

出國報告(出國類別:考察)

日本福岡及佐賀污水處理廠技術及 淨零議題成功經驗交流

服務機關：內政部國土管理署

姓名職稱：

曾淑娟下水道建設組組長

鄭惠君下水道建設組科長

羅聖翔下水道建設組幫工程司

派赴國家/地區：日本(福岡市)

出國期間：114年4月13日至4月16日

報告日期：114年7月1日

摘要

本次考察行程自 114 年 04 月 13 日至 04 月 16 日，共計 4 日，此行除前往福岡中部污水處理廠參訪，及福岡西部污水處理廠參訪外，另安排佐賀市下水淨化中心參觀。福岡市致力於省能源技術的導入，如通過引入高效率擴散設備和鼓風機等，實現更高效的節能化。與此同時福岡市亦針對沼氣發電進行推動，如利用消化槽中產生的沼氣進行發電。此外，佐賀市下水淨化中心在下水處理污泥的堆肥化事業上處於領先地位，廠區內以乾燥污泥焚燒轉製成肥料，成功將污水廠與農民建立出一道好橋梁。透過福岡中部污水處理廠參訪、西部污水處理廠參訪以及佐賀市下水淨化中心這三場次的考察，深入了解日本在總合治水、污水處理之寶貴經驗。

目錄

目錄 I

圖目錄 II

壹、考察背景與目的	1
貳、考察行程	3
參、考察過程	5
一、 福岡中部污水處理廠參訪	5
二、 福岡西部污水處理廠參訪	20
三、 佐賀市下水淨化中心參訪	36
肆、心得及建議	48

圖目錄

圖 2.1 考察行程區域示意圖	4
圖 3.1 福岡中部污水處理廠大門.....	5
圖 3.2 福岡市污水處理廠分布圖.....	6
圖 3.3 福岡市各污水處理廠之處理能力及面積	6
圖 3.4 福岡中部污水處理廠之污水及污泥處理流程	7
圖 3.5 福岡中部污水處理廠之處理流程分布圖.....	8
圖 3.6 福岡中部污水處理廠設施模型圖	8
圖 3.7 各處理單元處理後的水	9
圖 3.8 福岡中部污水處理廠之介紹座談分享	10
圖 3.9 參訪人員與污水廠人員合照	10
圖 3.10 參訪人員交流過程	11
圖 3.11 實地參訪	11
圖 3.12 福岡中部、西部及新西部污水處理廠之碳中和計畫內容	12
圖 3.13 福岡中部污水處理廠之散氣裝置及曝氣裝置改善	13
圖 3.14 福岡中部污水處理廠之消化槽攪拌及加溫設施改善	13
圖 3.15 福岡中部污水處理廠之沼氣收集設施	14
圖 3.16 福岡中部污水處理廠之沼氣利用	15
圖 3.17 污水廠產生之沼氣的使用類別	15

圖 3.18	氣體分離膜裝置及沼氣發電裝置	16
圖 3.19	福岡中部污水處理廠的氫能車加氫站	17
圖 3.20	福岡中部污處理廠污泥消化槽及運作說明	18
圖 3.21	污泥洗淨槽	19
圖 3.22	西部污水處理廠之流程示意圖(左)及立體模型展示(右)	21
圖 3.23	西部污水處理廠之固形燃料樣品與場內污泥展示	22
圖 3.24	日本西部污水處理廠之污泥乾燥與燃燒處理設備全景 ..	23
圖 3.25	福岡市污水處理廠之碳中和污水處理計劃	24
圖 3.26	福岡市污水處理中心計畫與能源利用概覽	25
圖 3.27	西部污水處理廠利用場內屋頂之空間設置大規模的太陽能 發電站	27
圖 3.28	西部污水處理廠之處理流程圖	28
圖 3.29	西部污水處理廠之污泥轉化燃料流程圖	30
圖 3.30	台灣代表團對至日本福岡西部污水處理廠之訪視活動照片	35
圖 3.31	佐賀下水淨化中心示意圖及彈塗魚造型下水道人孔蓋 ..	36
圖 3.32	館內設置互動式超大單元示意圖	37
圖 3.33	放流水再利用之用途：海苔養殖場、農地灌溉用途	38

圖 3.34 佐賀下水淨化中心環境友善發展面向：放流水應用、污泥再利用以及沼氣發電和廢熱回收	38
圖 3.35 佐賀下水淨化中心 3 樓展望室圖	39
圖 3.36 佐賀下水淨化中心中央管理室	40
圖 3.37 佐賀下水淨化中心污水進流口	41
圖 3.38 佐賀市兩種接管方式	41
圖 3.39 佐賀下水淨化中心生物處理單元	43
圖 3.40 佐賀下水淨化中心最終沉澱池及放流渠道	43
圖 3.41 佐賀下水淨化中心之厭氧消化槽和沼氣儲存槽	44
圖 3.42 佐賀下水淨化中心之沼氣發電設備	44
圖 3.43 佐賀下水淨化中心放流前毒單元及再生農業澆灌	45
圖 3.44 佐賀下水淨化中心污泥處理新舊設備對照圖	46
圖 3.45 佐賀下水淨化中心污泥轉肥料	47

表目錄

表 2.1 考察行程表	3
-------------------	---

壹、考察背景與目的

一、考察背景

台灣與日本同為島國，面臨相似的能源安全、環境永續及碳排放挑戰。日本福岡市作為西部重要都市，在污水處理設施中積極推動低碳及循環經濟創新模式，於 2022 年起實施「下水處理廠碳中和區域模型計畫」(カーボンニュートラル地域モデル処理場)，成效顯著。佐賀市則以污水處理污泥結合當地生物質資源的循環利用模式獲得矚目。本次考察前往福岡市中部、西部污水處理廠以及佐賀市下水淨化中心，旨在學習日本先進經驗，借鏡其污水處理與資源化技術、能源管理模式，以及官民合作機制，作為台灣推動污水處理廠低碳轉型的參考。

二、考察目的

(一)瞭解碳中和區域模型與能源管理策略

- 研究福岡市污水處理廠通過省能源技術導入及創能技術應用，達成 7%能源削減和 11%能源創出的完整策略
- 考察佐賀市整合當地生物質資源提升沼氣產量的循環型能源生產模式

(二)學習下水道資源多元化利用技術

- 研究下水污泥燃料化技術，包括造粒乾燥方式及其作為石炭替代燃料的應用
- 考察下水沼氣發電、水素製造與熱能回收系統的整合應用
- 瞭解太陽光發電設施導入模式，特別是 FIT 制度與 PPA 方式的實際運作

(三)考察循環經濟商業模式與社會效益

- 分析再生水供應系統的商業模式與定價機制

- 研究佐賀市污水處理污泥堆肥化事業與食品企業合作開發肥料的模式
- 考察下水資源多元化利用對地方產業發展的貢獻

(四)探討官民合作機制與政策誘因

- 瞭解日本 FIT 制度(再生能源固定價格收購制度)促進污水處理廠能源轉型的成效
- 研究 PPA(電力購買協議)方式引入民間資源投入再生能源建設的運作模式
- 考察地方政府、民間企業與社區協作推動污水處理廠碳中和的有效策略

(五)評估技術移植可行性與台灣應用潛力

- 分析日本污水處理廠節能減碳技術在台灣應用的可行性
- 評估台灣既有污水處理設施導入類似系統的投資效益與政策調整需求
- 研擬台灣污水處理廠碳中和推動策略與政策建議方案

此次考察將為台灣污水處理廠進行低碳轉型、推動資源循環利用及提升能源自主性提供寶貴參考，為我國污水處理廠邁向 2050 淨零排放目標提供具體可行的技術路徑與政策建議。

貳、考察行程

本次考察行程自 114 年 04 月 13 日至 04 月 16 日，共計 4 日，此行除前往福岡中部污水處理廠參訪，及福岡西部污水處理廠參訪外，另安排佐賀市下水淨化中心參觀。行程安排如表 2.1 所示，考察行程區位如圖 2.1 所示。

表 2.1 考察行程表

日期	地點	時間	行程安排	備註	住宿
第一天 (4/13)	福岡市	-	福岡機場—飯店	-	
		14:00-18:00	Group Meeting	-	
		晚上	Group Meeting		
第二天 (4/14)	福岡市	10:00-12:30	福岡中部汙水處理場 福岡市 中部水處理センター	福岡市 中部水處理センター	福岡市 (ホテルリソルトリニティ博多)
		12:30-14:00	午餐		
		14:00-18:30	福岡西部汙水處理場 福岡市西部水處理センター	福岡市西部水處理センター	
		18:30-20:00	Group Meeting		
第三天 (4/15)	福岡市— 佐賀市	7:50-12:00	柳川運河淨化水質現地 參觀		佐賀市 (古湯温泉 ONCRD)
		12:00-13:00	午餐		
		13:00-17:00	佐賀市下水淨化センター	佐賀市下水淨化センター	
		18:00-19:00	Group Meeting		
第四天 (4/16)	佐賀市	09:00-12:00	Group Meeting		-
		11:00 出發	飯店—佐賀車站 佐賀車站—福岡機場	-	



圖 2.1 考察行程區域示意圖

參、考察過程

一、 福岡中部污水處理廠參訪

(一)福岡中部污水處理廠簡介

福岡中部污水處理廠是福岡市最早啟用的污水處理廠（圖 3.1），於 1966 年 4 月開始供應服務。福岡中部污水處理廠位於市中心地帶，目前的污水收集範圍主要包含福岡市中央區，如圖 3.2 所示。負責人口密集區的污水處理，有效支撐當地的環境衛生與生活品質。



圖 3.1 福岡中部污水處理廠大門

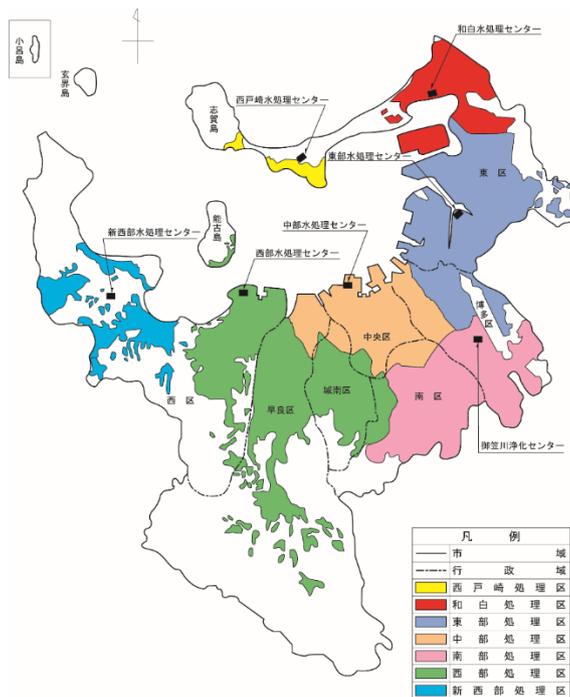


圖 3.2 福岡市污水處理廠分布圖

中部污水處理廠的每日處理能力為 300,000 立方公尺/日，處理量居福岡市之冠；處理區域面積則為 2,715 公頃(ha)(圖 3.3)。

名称	現有處理能力	供用開始	處理面積
西戸崎水處理センター	6,500m ³ /日	1981年 7月	154ha
和白水處理センター	52,700m ³ /日	1975年 1月	1,347ha
東部水處理センター	145,300m ³ /日	1975年 4月	3,651ha
中部水處理センター	300,000m ³ /日	1966年 7月	2,715ha
西部水處理センター	184,300m ³ /日	1980年12月	4,858ha
新西部水處理センター	15,400m ³ /日	2014年 3月	1,163ha
御笠川浄化センター	※295,800m ³ /日	1975年 5月	3,311ha

圖 3.3 福岡市各污水處理廠之處理能力及面積

(二)福岡中部污水處理廠處理單元及設施分布

福岡中部污水處理廠佔地規模廣闊，整體廠區設施規劃依循處理流程順序設置(如圖 3.4、圖 3.5)，具備高度機能整合性與操作效率。進流水首先經由沉砂池及最初沉澱池進行初級處理，設於廠區入口附近，便於大型雜物與砂礫移除作業。隨後為生物反應槽與最終沉澱池，佔地廣，為生物處理系統核心，設施間距規劃寬敞，以利維護動線與氣流通風。

污泥處理系統設於廠區後段，包含濃縮機、厭氧消化槽、脫水機等設施。厭氧消化槽為高度封閉結構，旁設沼氣儲存與發電模組，構成能源再利用核心區域。此區亦配置熱交換系統，實現能源循環使用。

此外，廠區內設有管理棟與展示空間，開放民眾參觀與學習(圖 3.6)，強化教育推廣與社區互動。整體廠區配置清晰分區，兼顧功能性與環境友善，為現代化都市污水處理設施規劃的參考範例。



圖 3.4 福岡中部污水處理廠之污水及污泥處理流程

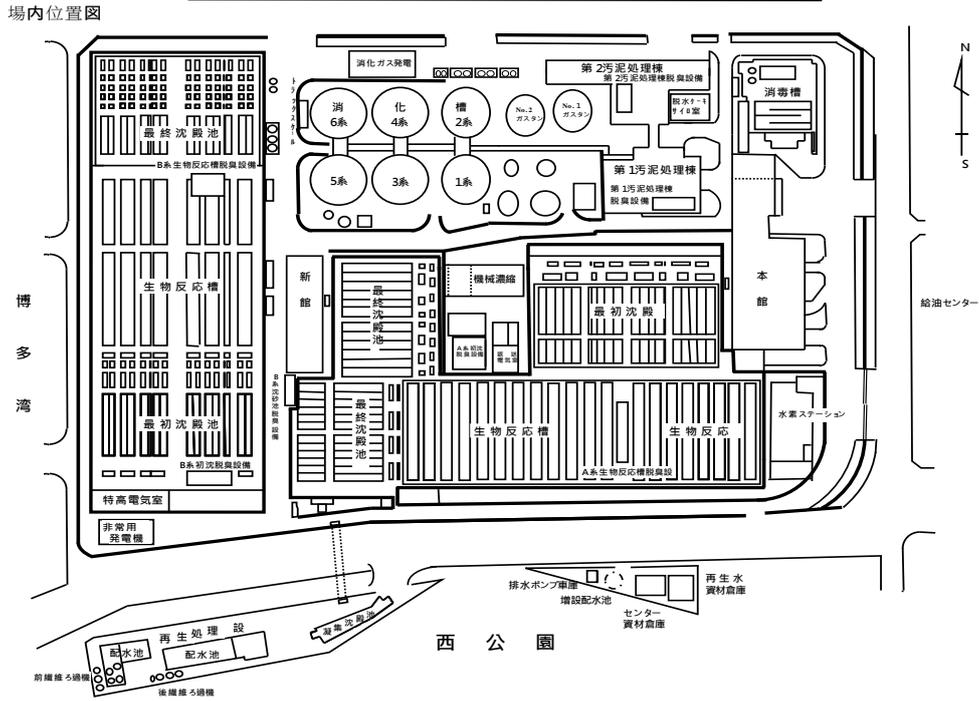


圖 3.5 福岡中部污水處理廠之處理流程分布圖



圖 3.6 福岡中部污水處理廠設施模型圖

福岡中部污水處理廠採用二級生物處理程序，搭配後續污泥處理與再生水設施，整體水質淨化效果卓越。進入廠區的原水多來自都市家庭與商業區生活污水，污染物濃度較高，經由各處理單元依序淨化後，可達到環保法規甚至高於標準的排放水準，並具備部分再利用條件。

初級處理單元包括沉砂池及最初沉澱，可有效去除懸浮固體(SS)與粗大雜質，使水中 SS 初步降低。接續進入曝氣池進行活性污泥法處理，透過微生物代謝去除水中有機物質，生化需氧量(BOD)與化學需氧量(COD)下降，水質澄清度明顯改善。二級沉澱池進一步去除殘留懸浮微粒，處理後水體透明度佳(如圖 3.7)。

整體而言，福岡中部污水處理廠處理後出流水質穩定，依據不同需求提供等級化處理出水，展示日本在都市污水處理與再利用領域的成熟技術與品質控管能力。



圖 3.7 各處理單元處理後的水

(三)參訪過程及交流

本次參訪的目的為學習日本在污水處理的先進技術與管理。除了透過實地參訪，了解日本在二級處理、污泥消化以及氣體回收等方面的技術外，也學習日本如何透過厭氧消化、沼氣發電及污泥資源化等方式，實現節能與減碳，並評估日本成功經驗在台灣實施的可行性與調整方式。

福岡中部污水處理廠的參訪流程設計精緻，旨在全面介紹污水處理過程及相關技術應用。參訪開始時，參訪人員先於會議廳集合，並由廠區人員簡要介紹廠區背景、處理能力及主要設施(如圖 3.8、圖 3.9、圖 3.10)。隨後，參訪人員依序參觀各處理單元(如圖 3.11)，首先了解進水處理區的初級處理設施，如沉砂池。接著，參觀生物反應槽與二級沉澱池等生物處理區。在污泥處理與能源回收

區，參訪人員參觀厭氧消化及沼氣發電等設備。參訪結束前，廠區人員介紹廠區內的加氫站，強調廠區在能源再利用方面的創新做法。



圖 3.8 福岡中部污水處理廠之介紹座談分享



圖 3.9 參訪人員與污水廠人員合照



圖 3.10 參訪人員交流過程



圖 3.11 實地參訪

(四)福岡中部污水處理廠與福岡碳中和計畫(福岡市 CN 處理場計畫)

「福岡碳中和計畫」是福岡市針對其下水道處理設施所推動的一項全面性碳中和(Carbon Neutral, CN)政策行動計畫，旨在實現該市的脫碳目標，推動永續發展。這項計畫的重點聚焦於福岡市的三大污水處理中心：福岡中部、西部與新西部污水處理廠，並透過先進的省能源技術和創能源技術來大幅減少能源消耗與碳排放，進一步達成碳中和目標(圖 3.12)。



圖 3.12 福岡中部、西部及新西部污水處理廠之碳中和計畫內容

福岡中部污水處理廠作為該計畫的重要實施單位之一，已經開始執行一系列節能技術，這些技術的目標是提升處理效率並降低對環境的影響。具體的省能源技術包括散氣裝置與曝氣裝置的改善以及消化槽熱回收技術。

在散氣裝置和曝氣裝置的改善方面，福岡中部污水處理廠已經將傳統的擴散板替換為具有較低壓力損失的膜板。這一改變不僅提升了氧氣的傳遞效率，還顯著減少了所需的風量，從而大幅降低了約 70% 的耗電量(圖 3.13)。這一技術的應用，不僅減少了能耗，也提高了水處理過程中的氧氣使用效率，進一步達到節能減排的目標。



散氣板(旋回流式) 酸素移動効率 14~16%



メンブレンパネル式(全面曝気) 酸素移動効率 28~31%

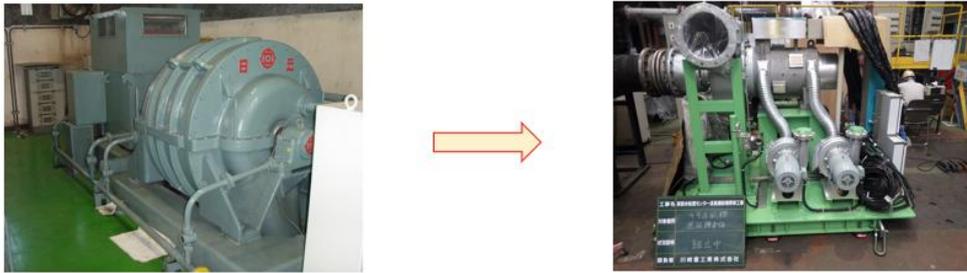


圖 3.13 福岡中部污水處理廠之散氣裝置及曝氣裝置改善

此外，該廠在消化槽熱回收技術的應用上也取得了顯著進展。傳統上，污泥濃縮後會被送入消化槽進行處理，這一過程通常需要 20 至 25 天。在此期間，攪拌和加熱所需的能源消耗非常龐大。為了提高處理效率，福岡中部污水處理廠將傳統的氣體鼓風機更換為葉輪式機械混合設備。這樣不僅提高了消化槽中污泥的混合效率，還能夠減少對能源的需求，進一步降低運行成本(如圖 3.14)。

另外，在消化槽的加熱技術方面，福岡中部污水處理廠也進行了改進。過去，消化槽的加熱是依賴消化槽內產生的沼氣來加熱設施，但現在該廠已改用熱交換器技術，將設施內部產生的廢熱(例如來自燃料轉換設施的廢熱)用來加熱消化槽。這一改變不僅提高了加熱效率，還能夠有效節省能源，從而進一步實現能源的回收與再利用。

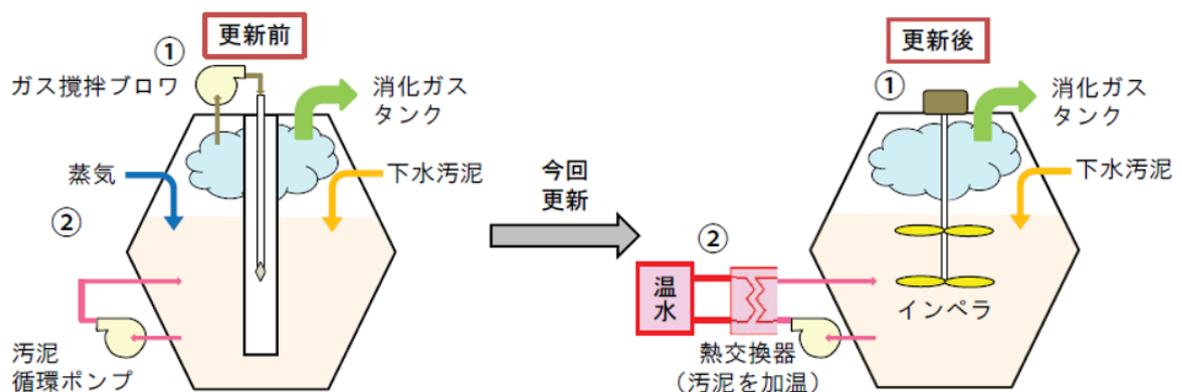


圖 3.14 福岡中部污水處理廠之消化槽攪拌及加熱設施改善

除了這些省能源技術外，福岡中部污水處理廠還積極開發創能源技術，特別是在沼氣發電方面。通過厭氧消化過程中產生的沼氣，福岡中部污水處理廠能夠進行發電，這些電力不僅供應廠內的運行需求，還能將剩餘的電力銷售給電力公司。這些電力會再由電力業者轉售給民眾。根據估算，福岡中部污水處理廠的沼氣發電能力約為 8,600 kWh，這一發電量足以支援周邊地區的部分用電需求，並對外界提供可持續的綠色能源(如圖 3.15)。



圖 3.15 福岡中部污水處理廠之沼氣收集設施

總體而言，福岡碳中和計畫不僅在能源使用和碳排放方面作出了突破性改變，且在創新技術之運用上走在了前列。福岡中部污水處理廠各項節能與創能源技術的實施，標誌著該市在實現碳中和目標上的不懈努力，並為其他地區提供成功之案例。這些技術不僅提升污水處理的效率及可持續性，還為未來的綠色城市建設奠定了堅實基礎。

(五)福岡中部污水處理廠的沼氣利用

福岡中部污水處理廠目前主要有兩種方式來利用沼氣，一是通過再生能源電能躉購制度(Feed-In Tariff, FIT)，將沼氣發電所產生的電力銷售給電力業者；二是將沼氣轉換為氫氣，並將這些氫氣供給氫能車作為能源使用(如圖 3.16)。

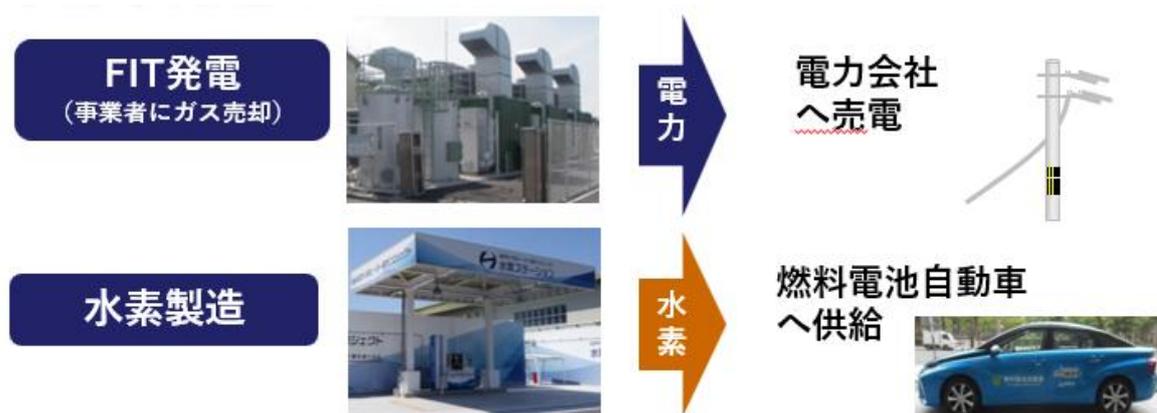


圖 3.16 福岡中部污水處理廠之沼氣利用

在福岡中部污水處理廠中，沼氣的有效利用率高達 99%(如圖 3.17)。其中，約 92%的沼氣被用來發電(圖 3.18)並透過 FIT 電力躉購制度出售，6%則轉換為氫氣，供氫能車使用，而剩下的 1%則用於加熱消化槽。這些數據顯示，幾乎所有的沼氣都得到了有效利用，實現資源循環再利用。

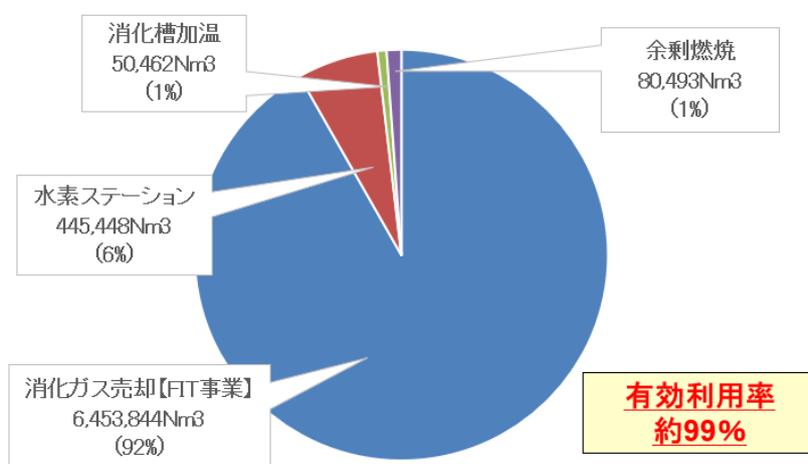


圖 3.17 污水廠產生之沼氣的使用類別

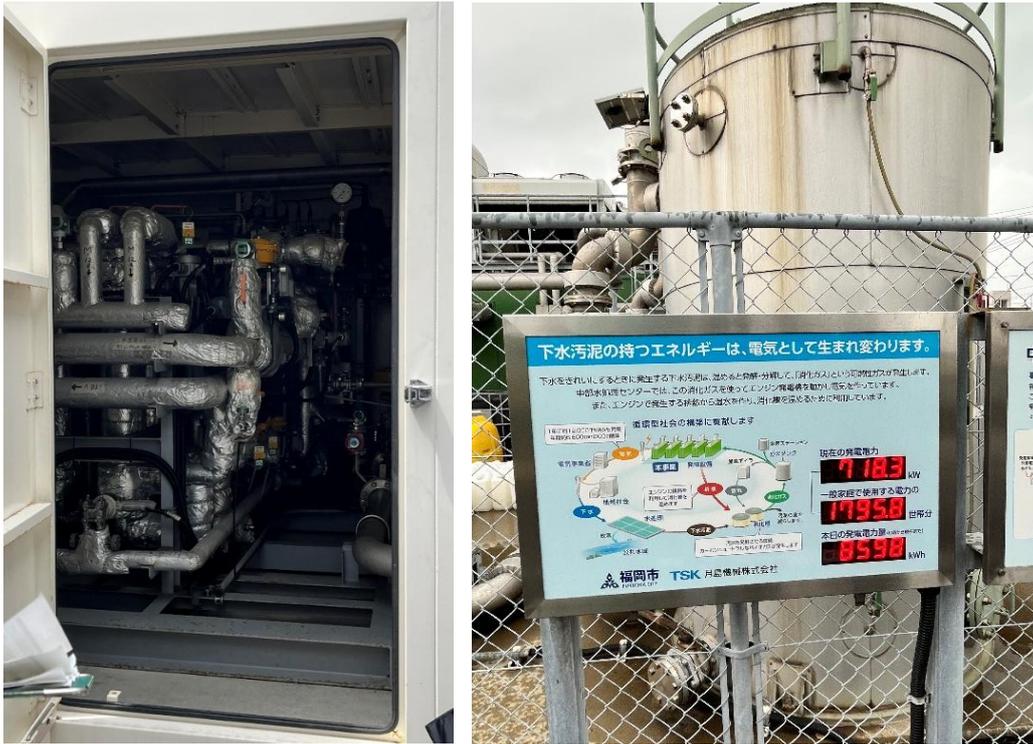


圖 3.18 氣體分離膜裝置及沼氣發電裝置

(左圖為氣體分離膜裝置；右圖為沼氣發電裝置)

為了進一步支持氫能車的運行，福岡中部污水處理廠專門設置了「加氫站」(如圖 3.19)，並由專業人員為氫能車進行加氫。這個加氫站配備了防爆設備，確保了工作人員的安全。這一設施不僅展示了沼氣的高效利用，也積極促進了福岡市在推動氫能使用方面的發展，成為綠色能源利用的示範。



圖 3.19 福岡中部污水處理廠的氫能車加氫站

(六)福岡中部污水處理廠的污泥處理與再利用

福岡中部污水處理廠在污泥處理方面，採用一套高效且符合資源循環理念的處理流程，不僅有效減少污泥體積，還能回收能源與資源，達成環境保護與資源再利用的雙重目標。

整個處理流程首先從污泥的濃縮開始。來自各階段的污泥經初步濃縮後，被送入加熱至約 50°C 的厭氧消化池中，進行為期約 20 天的微生物分解反應。在這個過程中，微生物會分解污泥中的有機物，並產生可再利用的沼氣(如圖 3.20)。這些沼氣主要由約 60% 的甲烷與 40% 的二氧化碳組成，其中甲烷具高度可燃性，可作為優質能源使用。

然而，在沼氣產生的同時，也會伴隨產生少量硫化氫(H₂S)，一種具有腐蝕性的氣體，若不經處理可能對儲存設備和發電系統造成損害。因此，福岡中部污水處理廠設有脫硫系統，專門用於去除沼氣中的硫化氫，確保下游設備運作安全與壽命延長。經過脫硫處理後的沼氣會儲存於專門設置的氣體儲存槽中，作為廠內的再生能源來源，用於發電、供熱，甚至轉換為氫氣等多元應用方式，展現高效率的能源循環體系。

在污泥完成厭氧消化後，所產生的剩餘污泥仍含有一定水分，因此需進一步透過離心脫水機進行脫水處理。這一階段能有效濃縮與減量污泥，最終產出的脫水污泥具有較低含水率，便於運輸與後續利用(如圖 3.21)。這些脫水污泥不會被直接丟棄，而是運送至廠外，作為水泥製造過程中的輔助原料，或轉換為固體燃料，用於其他高溫燃燒設備。

福岡中部污水處理廠的污泥處理系統不僅有效減少污泥量，降低對環境的衝擊，更能最大化資源回收率。從能源回收(沼氣發電與氫能)到材料再利用(脫水污泥作為燃料或建材)，展現出高度整合的資源循環處理能力，體現了現代污水處理廠向永續發展目標邁進的重要方向。



圖 3.20 福岡中部污處理廠污泥消化槽及運作說明



圖 3.21 污泥洗淨槽

二、 福岡西部水處理中心參訪

(一) 福岡西部水處理中心簡介

西部水處理中心座落於福岡市西部沿海地區，毗鄰美麗的博多灣，於 1980 年 12 月正式投入運營，成為福岡市七大水處理中心中不可或缺的重要一環。該中心佔地遼闊，廠區環境整潔有序，綠化面積充足，處處體現日本人對環境與生態的尊重。作為一座現代化污水處理設施，西部水處理中心設計處理能力達 184,300 立方公尺/日，服務範圍覆蓋福岡市西部區域約 4,858 公頃的城市區域，服務人口約 50 萬。根據 2022 年度實績數據，該中心年處理水量達 4,731 萬立方公尺，日均處理量約 13 萬立方公尺，充分彰顯了其在福岡市污水處理系統中的重要地位。

(二) 運作特色與創新亮點

西部水處理中心作為福岡市「碳中和地域模型處理場」計畫的核心設施之一，具有以下特色(圖 3.22)：

A. 從資源化到能源化的轉型，實現碳中和目標

西部污水處理中心致力於從傳統的「資源化」(資源回收)轉向「能源化」(能源生產)，以實現碳中和(カーボンニュートラル)。這包括利用太陽能 and 污泥燃料化技術，將廢棄物轉化為可再生能源，減少碳排放。

B. 太陽能發電(太陽光)

設施概述：中心安裝太陽能板，利用太陽能發電，作為主要再生能源來源之一。

政策支持：透過日本的 FIT (再生能源固定價格收購)制度，確保發電收益並促進太陽能應用。

效益：太陽能發電提升能源自給率，減少對外部能源的依賴。

C. 污泥燃料化(污泥燃料化)

技術流程：污泥經厭氧消化產生沼氣，用於發電；剩餘污泥進一步加工為固體燃料或有機肥料。

環境效益：減少污泥處置量，降低溫室氣體排放，實現資源循環利用。

應用：污泥燃料用於發電或供熱，支持中心運營並減少外部能源需求。

D. 能源自給與碳中和成效

透過太陽能和污泥燃料化的結合，中心實現部分能源自給，減少碳足跡。

這些措施支持福岡市的永續發展目標，並為其他地區提供可複製的模式。

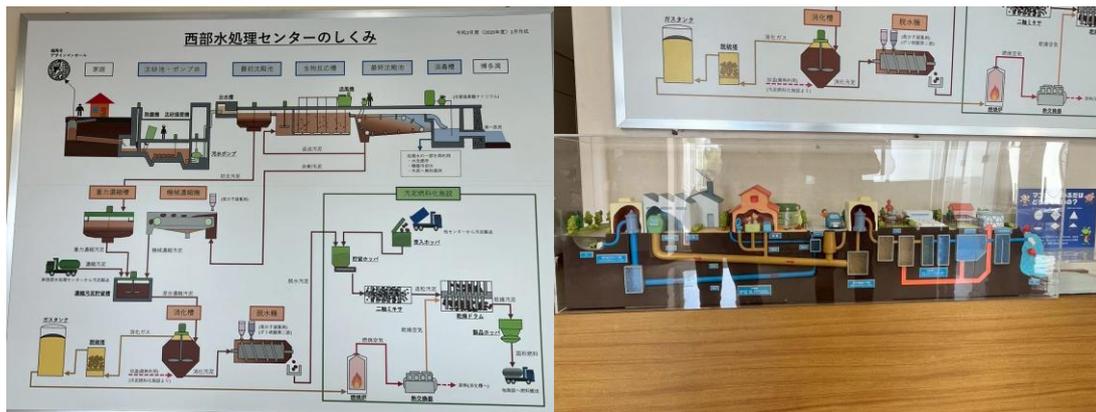


圖 3.22 西部水處理中心之流程示意圖(左)及立體模型展示(右)

在參觀過程中，我們深刻感受到該中心致力於將傳統的「污水處理廠」轉型為「資源能源創造工廠」的堅定決心與顯著成效。西部水處理中心擔當著福岡市污泥集中處理的重任。通過接收來自中部、新西部等多個污水處理廠的污泥，實現區域內污泥的集中高效處理。這種集中處理模式不僅提高了處理效率，降低了運營成本，更為大規模資源化創造了條件。行走在廠區內，我們看到各個處理單元協調運行，從污泥接收、濃縮、消化到脫水，形成了一條高效運轉的處理線，日處理能力達 100 噸，充分體現了規模化處理的優勢。

該中心配備了完整的能源回收系統，其中污泥固形燃料化設備尤為引人注目。採用先進的造粒乾燥技術，將污泥轉化為外形類似咖啡豆的固體燃料顆粒(圖 3.23)，熱值約 4,000 千卡/公斤，接近普通煤炭熱值的一半，可作為水泥廠的替代燃料。參觀時，工作人員特意展示了這種燃料顆粒，其質地堅硬、氣味輕微、

燃燒穩定，與我們印象中的污泥截然不同。此外，西部水處理中心積極利用廠區閒置空間發展創能設施。在廠區屋頂和部分閒置用地上，我們看到大面積部署的太陽能光伏板，總裝機容量達 1,320 千瓦，年發電量約 130 萬度。藍色的光伏板在陽光下熠熠生輝，不僅創造了可觀的綠色能源，也為水處理中心增添了現代科技的美感。此外，從固形燃料化過程中回收的熱能被巧妙地用於污泥消化槽加溫，形成了能源的二次利用。

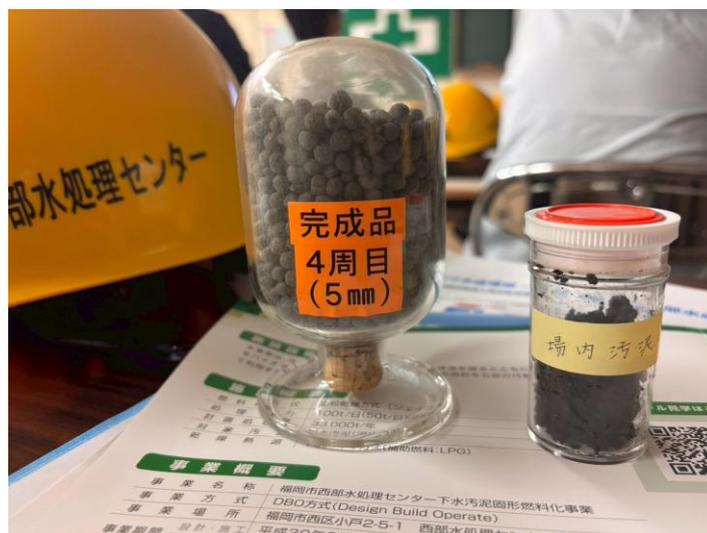


圖 3.23 西部水處理中心之固形燃料樣品與場內污泥展示

值得一提的是，該中心在節能技術應用方面同樣表現突出。通過引入高效率薄膜式曝氣系統、智能變頻控制的鼓風機、機械攪拌消化槽等一系列先進技術，顯著降低了能源消耗。特別是曝氣系統的改造，將傳統旋回流式散氣板更換為全面曝氣的薄膜式曝氣器，氧氣轉移效率從 14-16% 提升至 28-31%，節能效果立竿見影。最為令人印象深刻的是西部水處理中心實現了污泥 100% 有效利用、零廢棄物排放的環保目標。參觀期間，我們還注意到廠區內環境優美，如圖 3.24 所示，設施維護良好，員工工作積極認真，處處體現出日本人嚴謹專業的工作態度

與對環境事業的敬業精神。西部水處理中心的成功運營不僅在於先進技術的應用，更在於精細化的管理與持之以恆的執行力，這同樣值得我們深入思考與學習。



圖 3.24 日本西部污水處理中心之污泥乾燥與燃燒處理設備全景

(三)福岡西部污水處理廠與福岡碳中和計畫(福岡市 CN 處理場計畫)

A. 計畫背景與戰略意義

福岡市碳中和地域模型處理場計畫源於日本政府「2050 年碳中和宣言」的國家戰略，也是福岡市積極應對氣候變遷、實踐環境責任的具體行動。在全球能源危機與環境壓力日益加劇的背景下，福岡市道路下水道局以前瞻性的視野，審時度勢地提出了這一創新計畫，如圖 3.25 所示。作為日本西部重要城市，福岡市希望通過這一示範項目，探索城市污水處理設施實現碳中和的可行路徑，為日本乃至亞洲地區的城市提供可複製的經驗。該計畫於 2018 年開始籌備，2020 年正式啟動，計畫分三個階段實施，預計於 2034 年完成全部目標。在構思之初，規劃團隊便採取了系統思維與整體規劃的方法，將福岡市內的中部、西部及新西部三座污水處理廠視為一個有機整體，根據各自特點和優勢，合理分工、協同發展，共同構建一個區域性的資源能源循環系統。

福岡市污水處理廠 - 中部・西部・新西部水處理中心

特色：省能源技術導入與沼氣發電

處理方式：

燃料化 + 熱回收

利用來自三個水處理中心收集的下水污泥製造「固體燃料」。回收乾燥工程中產生的排熱。



省能源

通過引入高效率擴散設備和鼓風機等，實現更高效的節能化。回收的熱量用於消化槽的加溫等用途。



下水沼氣發電 + 熱回收

利用消化槽中產生的下水沼氣進行發電。回收發電過程中產生的排熱。

太陽能

基於FIT制度的大型太陽能設施正在運行中。此外，通過「PPA方式」進一步擴大導入規模。

圖 3.25 福岡市污水處理廠之碳中和污水處理計畫

B. 計畫內容與實施路徑

碳中和地域模型處理廠計畫的核心理念是將傳統的污水處理設施轉變為「能源正收益」的環保基礎設施。通過精心設計的技術路線圖，福岡市規劃了一條清晰可行的實施路徑(圖 3.26)。該計畫對能源消耗進行全面診斷分析，通過引入一系列節能技術，致力於將能源使用降低 7%。這些技術包括生物反應槽散氣系統的升級改造、鼓風機的高效變頻控制、污泥消化槽攪拌方式的優化等。工作人員向我們展示了詳細的能源審計報告，以及各項節能措施的具體實施方案和效果評估，體現了日本人做事嚴謹細緻的專業態度。再者，計畫積極推動創能設施建設，目標是增加能源創出 11%。這方面的措施包括太陽能發電系統的大規模部署、污泥厭氧消化產生的沼氣利用、固形燃料化設施的建設等。

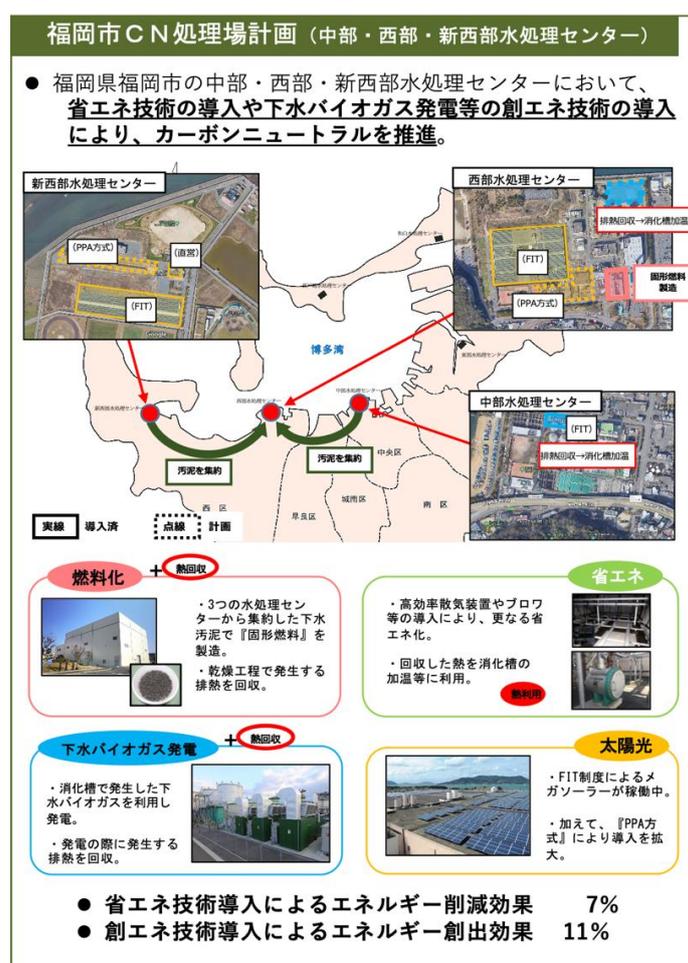


圖 3.26 福岡市污水處理中心計畫與能源利用概覽

特別值得一提的是，福岡市採用了多元化的能源創造模式，既有傳統的太陽能發電，也有創新的生物質能利用，形成了互補協同的能源供應體系。計畫亦注重能源的利用和餘熱回收。例如，將固形燃料化過程中產生的高溫廢熱回收用於消化槽加溫，將沼氣發電過程中的餘熱用於設施供暖等。這種能源的二次、三次利用大大提高了能源效率，降低了碳排放。最終，通過節能與創能的雙向發力，福岡市計劃在 2034 年實現三座水處理中心的整體碳中和運作。根據他們的測算，屆時能源自給率將超過 100%，成為名副其實的「能源正收益」設施。這一目標雖然挑戰巨大，但通過系統性的規劃與扎實的步驟推進，已經顯現出令人鼓舞的階段性成果。

C. 西部水處理中心在計畫中的樞紐作用

作為污泥處理的集中基地，西部水處理中心承擔著福岡市西部地區污泥資源化的重任，主要負責：

- a. 污泥集中處理與固形燃料化：接收福岡市多個水處理中心的污泥，日處理量達 100 噸
- b. 太陽能發電：利用處理設施閒置空間安裝大規模太陽能發電系統
- c. 餘熱利用：從固形燃料化過程中回收熱能，用於消化槽加溫等
- d. 設施節能改造：進行生物反應槽、鼓風機等設備節能升級

每天大量來自中部、新西部等污水處理廠的污泥通過專用運輸車輛送至這裡，經過科學處理後轉化為有價值的資源。工作人員向我們詳細介紹了污泥處理流程：首先通過高效濃縮設備將污泥含水率降低，然後送入大型消化槽進行厭氧消化，產生富含甲烷的沼氣；消化後的污泥經脫水處理後，進入固形燃料化設施，在嚴格控制的溫度和氣氛條件下進行乾燥造粒，最終形成標準化的固體燃料產品。這一整套流程設計精密，自動化程度高，日處理量可達 100 噸，年產固形燃料約萬噸，實現了污泥的大規模資源化利用。另太陽能發電是西部水處理中心的另一亮點。走在廠區內，放眼望去便可看到大片藍色的光伏板整齊排列在建築物屋頂

(圖 3.27)，總面積近 10,000 平方米，裝機容量達 1,320 千瓦。負責人告訴我們，這些太陽能設施採用了最新一代的高效光伏技術，發電效率比普通光伏高出約 20%，且使用壽命長達 25 年以上。在陽光充足的日子，這套系統的發電量可滿足廠區近一半的用電需求，大大減少了外購電力，降低了運營成本。在能源回收利用方面，西部水處理中心同樣表現出色。



圖 3.27 西部水處理中心利用場內屋頂之空間設置大規模的太陽能發電站

該中心建立了完善的餘熱回收網絡，將固形燃料化過程中產生的高溫廢氣經過熱交換器回收熱能，用於消化槽加溫、廠區供暖等。這種梯級利用方式大大提高了能源效率，據測算，僅餘熱回收一項就為中心節省了約 15% 的能源消耗。此外，西部水處理中心還積極推進設施節能改造，對生物反應槽曝氣系統、鼓風機、水泵等高耗能設備進行系統性升級。通過引入新一代高效設備和智能控制系統，這些傳統的「能源大戶」正逐步轉變為節能先鋒。負責人特別強調，技術改造不僅要考慮設備本身的效率，更要注重系統的整體優化和精細化運行管理，只有將硬件升級與管理提升相結合，才能實現最大的節能效益。

在參觀過程中，我們深刻感受到西部水處理中心在實現碳中和目標中的堅定決心和系統行動。作為計畫的核心設施，它不僅自身積極轉型升級，更發揮著示範引領和資源整合的重要作用，為整個福岡市的碳中和事業貢獻著寶貴經驗。

(四)西部水處理中心之核心技術介紹

A. 污水處理程序

西部水處理中心採先進的標準活性污泥法處理程序(圖 3.28)，主要流程包括：

- a. 前處理：沉砂池 → 初沉池
- b. 生物處理：生物反應槽 → 最終沉澱池
- c. 出水處理：消毒池 → 放流

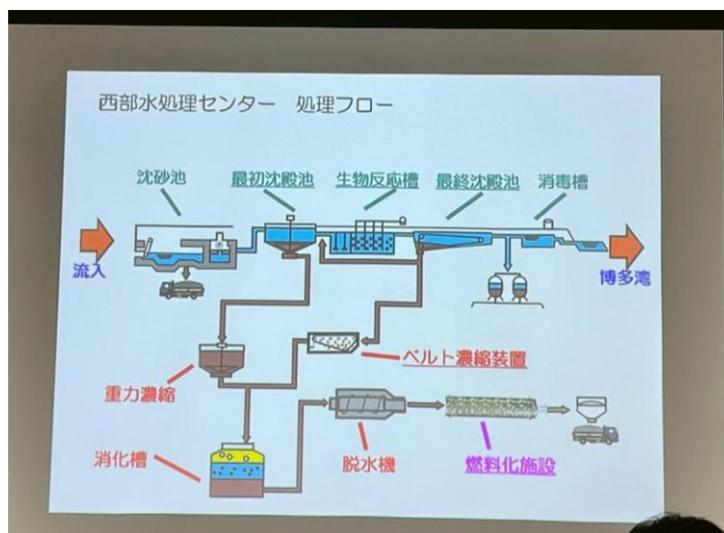


圖 3.28 西部水處理中心之處理流程圖

透過精密設計的處理單元，確保出水水質穩定達標。污水首先進入沉砂池，去除砂礫等粗大顆粒物質，保護後續設備不受磨損。隨後，廢水流入初沉池，通過重力沉降原理去除約 60%的懸浮固體和 30%的有機物質，大幅減輕後續生物處理負荷。生物處理階段是整個程序的核心，西部水處理中心的生物反應槽採用改良式 A²O 程序(厭氧-缺氧-好氧)，透過創建不同溶氧環境，實現有機物降解和氮磷去除的雙重目標。在生物反應槽中，微生物菌群在精確控制的條件下分解污水中的有機物，將其轉化為二氧化碳、水和新的微生物細胞。該中心特別優化了反應槽內液體流態，採用科學的反應區劃分和精準的溶氧控制，確保處理效能最大

化。處理後的混合液進入最終沉澱池，活性污泥與處理水分離。澄清的上清液經過消毒處理後達標排放，而沉澱的活性污泥一部分回流至生物反應槽維持微生物濃度，剩餘部分則進入污泥處理系統。整個處理流程中，西部水處理中心採用先進的自動化控制系統，根據進水水質和水量波動，動態調整程序參數，確保處理效果穩定可靠，同時最大限度降低能源消耗。

B. 污泥處理與能源回收系統

西部水處理中心的污泥處理系統是其最具特色和創新性的部分，它不僅解決了污泥處置問題，更將污泥轉化為寶貴的能源資源。該系統採用全流程、一體化設計理念，打破了傳統污泥處理的單一思維模式(圖 3.29)。污泥處理首先從濃縮環節開始。西部水處理中心採用重力濃縮與機械濃縮相結合的雙重濃縮模式，初沉污泥主要通過重力濃縮槽，利用密度差原理使固體顆粒沉降，濃縮比可達 2-3 倍；剩餘活性污泥則通過高效機械濃縮機處理，該設備採用低能耗高濃縮比設計，能將污泥含水率從 99%降至 97%，大幅減少後續處理量。

濃縮後的混合污泥輸送至厭氧消化槽，這是整個系統的能源轉換核心。西部水處理中心的厭氧消化槽採用先進的中溫消化程序(約 35°C)，消化時間控制在 20-25 天。特別值得注意的是，該中心對傳統消化槽進行了創新改造，採用低能耗機械攪拌替代傳統氣體攪拌，實現了約 70%的能源節約。消化過程中，有機物在厭氧微生物作用下分解為甲烷、二氧化碳等氣體，形成寶貴的下水道生物氣體(沼氣)資源。

消化後的污泥通過高效離心脫水機處理，使含水率從 96-97%降至 75-80%。脫水污泥隨後進入該中心最具特色的固形燃料化設施。該設施採用先進的造粒乾燥技術，日處理能力達 100 噸，年產固形燃料約萬噸。污泥在高溫下乾燥造粒，最終含水率降至 10%以下，熱值提升至約 4,000 kcal/kg，成為優質的固體燃料。西部水處理中心的污泥處理系統最大的創新在於區域整合與資源化思維。該中心不僅處理自身產生的污泥，還接收中部、新西部等周邊污水處理廠輸送來的污泥，

實現了區域內污泥的集中高效處理。製成的固形燃料全部供應給當地水泥製造企業，替代部分石炭使用，每年可減少約 1 萬噸二氧化碳排放。這種「從廢物到資源」的轉變，不僅解決了污泥處置難題，還創造了經濟和環境的雙重價值。

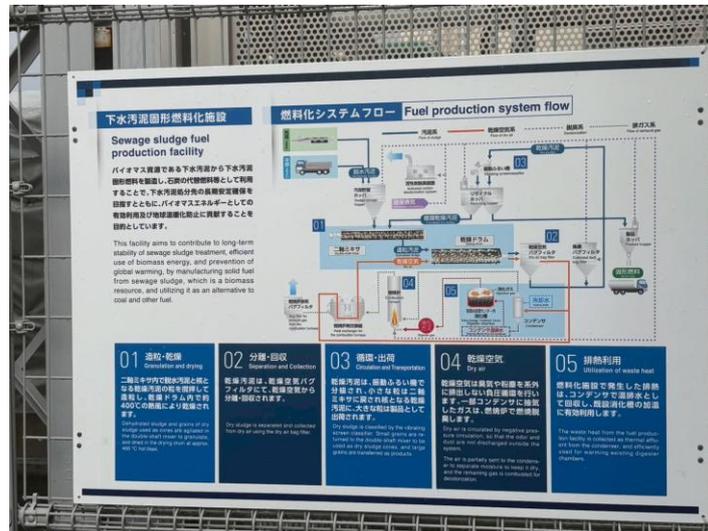


圖 3.29 西部污水處理廠之污泥轉化燃料流程圖

C. 節能技術應用

西部污水處理廠在具體技術應用上，採取了「系統優化+設備更新」的雙軌策略，從整體到局部全面提升能源效率。曝氣系統是污水處理廠能耗最大的環節，西部污水處理廠針對這一「能耗大戶」進行了徹底改造。傳統的旋回流式散氣盤被全新的薄膜式曝氣器(全面曝氣系統)所取代，這種新型曝氣器具有超微孔設計，氣泡直徑僅 0.5-2mm，大大增加了氣液接觸面積。實際運行數據顯示，新系統的氧氣移動效率達到 28-31%，比傳統系統的 14-16%幾乎翻倍，這意味著提供相同溶氧量僅需一半的能耗。同時，系統還優化了曝氣器布置方式，採用均勻分布式佈局，避免了能量浪費區域。鼓風機系統同樣經過全面升級。西部污水處理廠引入了高精度變頻鼓風機，配合先進的自動控制系統，實現了鼓風量與實際需氧量的精準匹配。系統會根據進水水質、水量變化和反應槽溶氧濃度，實時調整鼓風

機運行參數，確保在滿足處理需求的前提下最大限度節約能源。此外，鼓風機房還採用了導流裝置優化氣流路徑，減少管網阻力損失約 15%，進一步降低能耗。消化槽系統的節能改造尤為顯著。西部污水處理廠將傳統的氣體攪拌方式更換為低速機械攪拌，每座消化槽僅需一台功率為 5.5 kW 的攪拌機即可確保混合均勻，相比原來使用的 20 kW 氣體攪拌鼓風機，節電效果接近 70%。更為創新的是消化槽加溫系統的改造，原本依賴燃氣鍋爐的加熱方式被廢熱利用系統所取代，系統巧妙地收集固形燃料化過程和發電機組產生的廢熱，通過熱交換器將能量傳遞給消化槽，實現了能源的梯級利用。此外，西部污水處理廠在照明系統、供氣供水系統等輔助環節也採取了針對性節能措施。所有照明設備已全部更換為 LED 光源，並配備光感和時控裝置；水泵系統採用變頻控制和群控優化，避免無謂的能量消耗。這些小改造雖然單項節能效果有限，但積少成多，共同構成了完整的節能體系。

D. 創能設施

西部污水處理廠的創能設施代表了日本污水處理領域能源利用的最高水平，通過多元化的能源創造途徑，大幅提升設施能源自給率。該中心的太陽光發電系統是整個創能體系的重要組成部分。利用處理設施的閒置屋頂和未利用土地，西部污水處理廠建造了總容量達 1,320 kW 的大型太陽能發電陣列。系統採用高效單晶硅光伏組件，轉換效率超過 20%，年發電量約 130 萬 kWh，相當於約 400 戶普通家庭的用電量。整個系統基於 FIT(固定價格收購制度)模式運營，所產生的電力全部售往電力公司，為污水處理廠帶來穩定的收益。值得一提的是，太陽能系統採用了優化傾角設計和智能跟蹤控制技術，最大限度提高了發電效率，同時系統還配備了自清潔塗層和自動清洗設備，保證長期穩定運行。污泥固形燃料化設施是西部污水處理廠最具創新性的創能設施。該設施採用先進的造粒乾燥程序，將含水率高達 80%的污泥脫水餅轉化為含水率低於 10%的固形燃料顆粒。整個過程中，設備會精確控制溫度和氣流參數，既保證燃料品質，又避免能源過度消耗。

最終產出的固形燃料熱值約 4,000 kcal/kg，接近低質煤炭水平，是理想的替代能源。這些固形燃料全部供應給當地水泥製造企業，每年可替代約萬噸標準煤使用，減少二氧化碳排放約 1 萬噸。特別令人印象深刻的是，固形燃料化設施本身也採取了能源循環利用設計。乾燥過程產生的廢熱不會簡單排放，而是通過熱交換系統回收利用，一部分用於預熱進入系統的濕污泥，另一部分則用於消化槽加溫，實現了設施內部的能源梯級利用，進一步提高了整體能源效率。西部污水處理廠還設有小型廢熱回收系統，捕捉各類設備運行過程中產生的低品位熱能，用於辦公區供暖、生活熱水和程序用水加熱等，最大限度減少能源浪費。這種對「點滴熱能」的重視，體現了該中心追求能源高效利用的執著理念。上述多元化創能設施組成了西部污水處理廠完整的能源創造體系，不僅大幅降低了運行成本，更為當地能源結構優化和碳排放減少作出了積極貢獻。該中心的創能實踐充分證明，污水處理設施完全可以從傳統的「能源消耗者」轉變為「能源生產者」。

(五)西部污水處理廠之項目運營模式

A. 公私合作模式(PPP)創新

西部污水處理廠在能源設施運營上採用了靈活多樣的公私合作模式，體現了日本在公共基礎設施建設運營領域的成熟經驗。這些模式不僅有效解決了政府資金不足的問題，還引入了民間企業的專業技術和高效管理，實現了公共利益與商業效率的有機結合。

太陽光發電系統採用了 PPA (Power Purchase Agreement，電力購買協議) 模式運營。在此模式下，民間企業負責太陽能發電系統的投資、建設和運營維護，福岡市不需要前期資本投入，只需提供屋頂和場地資源。發電產生的電力由福岡市按協議價格購買使用，或直接售予電力公司。這種「零投資、零風險」的模式使福岡市能夠快速大規模部署可再生能源設施，而無需承擔技術和市場風險。合同期限通常為 15-20 年，期滿後設備所有權可轉移至福岡市，為市政府創造長期資產。固形燃料化設施則採用了 DBO (Design-Build-Operate，設計-建造-運營)

一體化模式。在此模式下，福岡市負責前期資金投入，保留設施所有權，而設計、建設和長期運營則由專業民間企業負責。福岡市按處理量或可用性向運營商支付服務費。這種模式的優勢在於政府保留了對關鍵基礎設施的控制權，同時充分利用了民間企業在技術創新和運營效率方面的優勢。合同中設定了嚴格的績效指標和獎懲機制，確保服務質量和處理效率。此外，西部污水處理廠還在部分設施的節能改造中嘗試了 EMC (Energy Management Contract，合同能源管理) 模式。節能服務公司投資實施節能改造，並通過分享節能效益收回投資並獲取合理利潤。這種「以節能養節能」的模式，使政府在零投入的情況下實現設施升級和運行效率提升。

這些多元化的公私合作模式為西部污水處理廠提供了強大的資金和技術支持，使其能夠持續引入先進設備和技術，保持在污水處理和能源利用領域的領先地位。同時，通過引入市場競爭和激勵機制，大幅提高了公共服務的效率和品質，為納稅人創造了更大價值。

B. 經濟效益深度分析

西部污水處理廠的節能減碳措施不僅帶來了環境效益，更創造了顯著的經濟價值，形成了可持續的良性循環。通過全面系統的成本效益核算，我們可以深入理解這一創新模式的經濟學邏輯。

- a. 能源成本節約：通過節能技術應用，每年節省能源費用約 3 億日圓
- b. 創能收益：太陽光發電每年創造收益約 1.2 億日圓
- c. 碳權收益：碳排放減少量約 1 萬噸 CO₂/年，按碳交易市場價格計算，每年可獲得約 0.5 億日圓碳權收益
- d. 污泥處置費節約：通過固形燃料化，每年節省污泥處置費約 2 億日圓

能源成本節約是最直接的經濟收益。西部污水處理廠通過一系列節能技術應用，顯著降低了能源消耗強度。實際運行數據表明，與技術改造前相比，每處理

1000 立方米污水的電力消耗從原來的 285 千瓦時降至約 205 千瓦時，降幅達 28%。對於年處理水量超過 4,700 萬立方米的大型設施而言，這意味著每年可節省電力約 380 萬千瓦時，按日本電力平均價格計算，年節約電費約 7,600 萬日圓。此外，加溫系統改造後，燃氣使用量減少約 70%，每年可節省燃氣費用約 2.24 億日圓。綜合各項節能措施，西部污水處理廠每年直接節省能源費用約 3 億日圓，相當於運營成本的 15-20%。創能設施產生的經濟效益更為可觀。太陽光發電系統年發電量約 130 萬千瓦時，在 FIT 制度下，每千瓦時可獲得約 36 日圓的收購價格(高於一般市場電價)，年創收入約 4,680 萬日圓。而固形燃料銷售收入更為可觀，年產約萬噸固形燃料，每噸市場價格約 8,000-10,000 日圓，年創收入約 8,000-10,000 萬日圓。這兩項創能收益合計每年為福岡市帶來約 1.2-1.5 億日圓的直接經濟回報，投資回收期約 7-8 年。

碳權收益是西部污水處理廠的第三重經濟價值。基於日本「J-クレジット」碳交易體系，污水處理廠節能減碳措施產生的碳減排量可轉化為碳信用進行交易。西部污水處理廠的節能措施、太陽能發電和固形燃料替代石炭使用共計減少碳排放約 1 萬噸 CO₂/年。按照東京碳交易市場近期均價計算(約 5,000 日圓/噸 CO₂)，這些減排量每年可創造約 5,000 萬日圓的碳權價值。雖然目前該中心尚未全面參與碳交易，但隨著日本碳市場的成熟，這部分潛在收益將逐步釋放。

最具創新性的經濟效益來自於污泥處置方式的轉變。傳統污泥處理通常採用焚燒或填埋方式，每噸脫水污泥處置成本約 15,000-20,000 日圓。西部污水處理廠通過固形燃料化，不僅避免了這些處置費用，還將「廢棄物」轉化為「產品」創造收益。以年處理污泥量約 3 萬噸(脫水污泥)計算，每年節省處置費用約 4.5-6 億日圓。扣除固形燃料化過程的運營成本(約 2.5-3 億日圓/年)，淨節約約 2-3 億日圓/年。生命週期成本分析更能體現西部污水處理廠經濟模式的可持續性。以 20 年為計算週期，綜合考慮初始投資、運營成本、維護更新、能源節約和收益創造等因素，西部污水處理廠的節能減碳措施總體投資回報率超過 15%，遠高

於日本基礎設施投資的平均水平(約 5-8%)。更重要的是，隨著能源價格上漲和碳定價機制完善，這些措施的經濟效益還將不斷提升。

西部污水處理廠的經濟效益不僅體現在直接財務指標上，還包括許多難以量化的間接效益，如改善區域環境質量、促進相關產業發展、提升城市綠色形象等。這些效益雖然難以精確計算，但對福岡市的可持續發展具有重要價值(圖 3.30 台灣代表團對至日本福岡西部污水處理廠之訪視活動照片)。



圖 3.30 台灣代表團對至日本福岡西部污水處理廠之訪視活動照片

三、 佐賀市下水淨化中心參訪

(一) 佐賀市下水淨化中心簡介

佐賀市位於日本九州佐賀縣內，是縣內最大的都市，也是縣廳的所在地。坐落於九州西北部，位在福岡縣、熊本縣與長崎縣之間。佐賀市下水淨化中心設於該市的南方，當走進佐賀市下水淨化中心時，第一眼先看到全國有名的有明海著名彈塗魚造型下水道人孔蓋，如圖 3.31 所示。日本政府常設計各種特殊下水道人孔，拉近一般民眾對於環境的關注度。此外，館內設置超大互動式單元示意圖，大圓框內利用投影方式將實場污水單元投影至流程圖內，透過這種視覺體驗式環境教育拉近民眾與污水廠的距離，如圖 3.32 所示。



圖 3.31 佐賀下水淨化中心示意圖及彈塗魚造型下水道人孔蓋



圖 3.32 館內設置互動式超大單元示意圖

佐賀下水淨化中心於昭和 53 年 11 月 26 日開始運作，占地面積約為 90,221 平方公尺。以令和 5 年之實績為基準，其每日處理水量約為 59,600CMD，由於佐賀市的工業占比本就較低，因此主要污水來自於家庭及公司企業之污水，該下水淨化中心廠將所收集之污水處理後主要以兩種型式進行放流，包含排放至有名海最為養殖海苔的養殖用水，另外一個用途則是提供給農民進行農業澆灌，如圖 3.33 所示。



海苔養殖場

農地への処理水散布の様子

圖 3.33 放流水再利用之用途：海苔養殖場、農地灌溉用途

佐賀下水淨化中心除了針對放流水進行多面向的應用之外，同時也針對電力、污泥這兩個面向進行發展。如利用污水處理過程中厭氧消化槽產生的污泥進行甲烷發酵時所產生的消化氣體來發電。其所發電力全部用於佐賀市下水淨化中心的運營，可佔整個廠區用電量約 50%。另外，發電機產生的廢熱也有被回收並在場內再使用。以污泥角度而言，佐賀下水淨化中心透過在脫水污泥中添加 YM 菌和輔料(竹片、廢白土等)，在 90°C 以上的溫度下重複多次超高溫發酵，當細菌和廢棄物皆被燃燒完全後，約 45 天左右污水廠污泥就轉變成肥料。



圖 3.34 佐賀下水淨化中心環境友善發展面向：放流水應用、污泥再利用以及沼氣發電和廢熱回收

於佐賀下水浄化中心室内會議室介紹其下水浄化中心的基本背景及其發展後，廠長帶領我們前往展望室參觀。從展望室可以看到所以處理單元，包含初級沉澱池、生物處理池、最終沉澱池、污泥消化槽、肥料燃燒系統等等。



圖 3.35 佐賀下水浄化中心 3 樓展望室圖



圖 3.36 佐賀下水淨化中心中央管理室

接者場內人員引領我們來看下水淨化中心的各單元，首先看到的是下水淨化中心的污水進流端，由於佐賀市的工業占比較低，主要污水皆來自於家庭或是公司的污水。在接管上佐賀市採用雙軌並行的系統設計，區分為兩種接管方式，如圖 3.38 所示：

- 利用既有下水道容量的輸送方式

面對當地人口減少所帶來的污水處理量下降，佐賀市善用既有下水道系統的剩餘容量，允許部分有機污水(如家庭廚餘水或中小型商業設施之有機廢水)直接進入現有的污水管線、抽水站與處理設施。該方式前提為不超出設施原有的功能與處理能力，藉此避免興建新設施，降低整體建設與維運成本。

- 由業者自行鋪設專用管線的輸送方式

對於如食品加工廠等產水量較大的單位，則採用專用管線直送方式。此類業者需自費鋪設專用管線至最近抽水站，由抽水站再導入處理系統。政府在此過程中提供技術支援，包括現地調查、設計與施工建議，以確保整體系統順利整合並符合排放標準。

藉由上述兩種模式靈活接納來自不同來源的有機廢水，促使佐賀市在推動城市能源循環利用較具優勢。



圖 3.37 佐賀下水淨化中心污水進流口

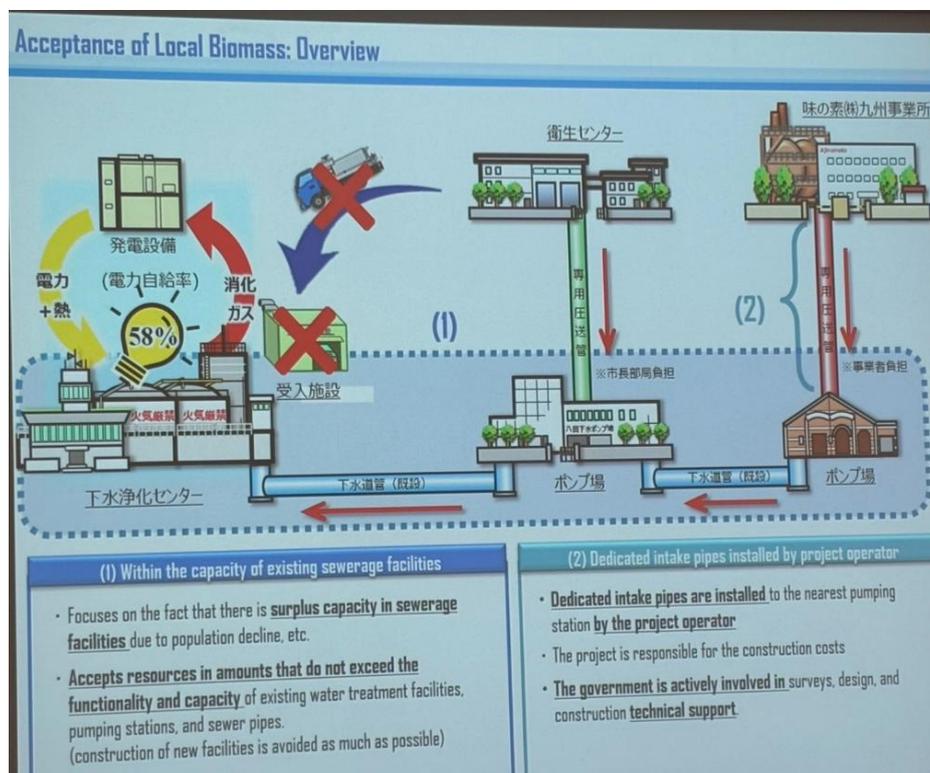


圖 3.38 佐賀市兩種接管方式

(二) 佐賀市下水淨化中心處理單元及設施分布

在佐賀市下水淨化中心的生物處理區域中，本場採用標準活性污泥法(Conventional Activated Sludge, CAS)以及添加載體之活性污泥法(Carrier-added Activated Sludge Process)進行有機污染物的去除。此設計兼顧傳統與創新技術的結合，不僅能夠提升水廠的處理效率，也展現日本廠區對於技術多元應用的發展現況，如圖 3.39 所示。

載體技術(通常為塑膠材質之流動性載體)被應用於既有活性污泥系統中，以提升微生物附著與增殖能力，進而提高對污染物的降解效能。這些載體可在曝氣槽中自由漂浮，增加反應面積與微生物量，有助於在空間受限的情況下提升處理容量。然而，臺灣目前多數污水處理廠仍以標準活性污泥法為主，對於載體法的應用大多停留在小型模廠或示範設施階段，未廣泛導入於實際營運系統。整體而言，佐賀市下水淨化中心在生物處理單元的設計與管理上展現高度成熟的程序整合與運轉管理能力，是此次參訪中的重要學習亮點之一。



圖 3.39 佐賀下水淨化中心生物處理單元



圖 3.40 佐賀下水淨化中心最終沉澱池及放流渠道

接著我們去參觀了厭氧消化槽與沼氣儲存槽，如圖 3.41 所示。在污水處理廠中，污泥處理是整體流程中不可或缺的一環。厭氧消化槽(Anaerobic Digester)主要負責處理剩餘污泥，透過微生物在缺氧條件下分解有機物，達到污泥減量與穩定化的目的。佐賀市下水淨化中心的一大特色是利用厭氧消化單元產生的沼氣進行發電，實現電力再利用。在厭氧消化過程中可產生具有能源價值的沼氣(Biogas)，先將這些沼氣放入儲存槽進行儲存，在拉管線到場內的沼氣發電設備。有效將其應用於發電、廢熱回收及其他能源再利用用途。

(三) 佐賀市下水淨化中心再利用案例

目前佐賀下水淨化中心透過沼氣發電機轉換為電能，可供應整個廠區總用電需求的 50%。此外，發電過程中所產生的廢熱也會進一步被回收利用，提升整體

能源效率並降低環境衝擊。透過厭氧消化與沼氣回收系統的整合，佐賀市成功實現污水處理設施的部分能源自給，展現出資源循環與永續經營的優良範例。



圖 3.41 佐賀下水淨化中心之厭氧消化槽和沼氣儲存槽

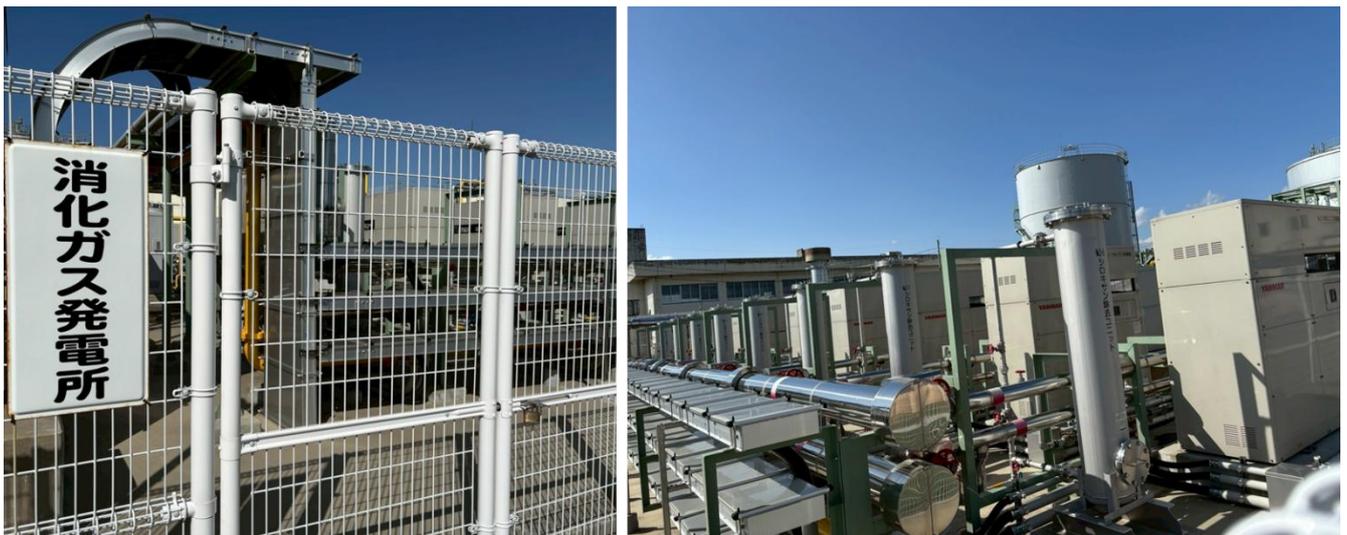


圖 3.42 佐賀下水淨化中心之沼氣發電設備

於下午的會議簡報中，我們了解到佐賀市下水淨化中心對於放流水的再利用已有相當成熟且具永續性的應用策略。處理後的放流水主要以兩種形式進行排放與再利用，其一為排放至有明海，作為海苔養殖所需的養殖用水，其二則是提供農民進行農業灌溉使用。由此可見，該廠已將污水資源化落實於實際生產應用中，並與當地產業緊密結合。會後，廠區人員更帶領我們實地參觀了放流水供應端的設施，如圖 3.43 所示。部分放流水在排放前會經過消毒單元進行消毒處理，以確保符合水質標準。另外，處理後的再生水是免費提供給當地農民使用，作為農田灌溉水源，這不僅減輕農業用水負擔，也提升水資源的利用效率。佐賀下水淨化中心透過放流水的多元化利用，不僅降低排放對環境的衝擊，也實現了地方產業與環保目標的雙贏局面，是再生水資源整合應用的優良典範。



圖 3.43 佐賀下水淨化中心放流前毒單元及再生農業澆灌

最後我們參觀了本次佐賀下水淨化中心的最後一個特色點，那就是污泥燃燒後製成肥料過程。佐賀市下水淨化中心不僅致力於水資源的再利用，也積極推動污泥資源化。原本場內的污泥處理設備因故障而停擺，當時在是否進行設備維修或建置全新燃燒設備之間展開討論，圖 3.44 所示。最終，廠方決議新建一套可將污泥轉製為肥料的燃燒系統，不僅解決了污泥去化的問題，也進一步實踐資源循環與永續利用的目標。

該系統透過在脫水污泥中添加 YM 菌及輔料(如竹片、廢白土等)，於 90°C 以上的高溫下進行反覆超高溫發酵處理，此過程可有效殺死污泥中的病原菌與雜草種子。經過大約 50 天左右即可產出質地細緻、類似土壤狀的有機肥料，具備良好的施用性與農業價值。



圖 3.44 佐賀下水淨化中心污泥處理新舊設備對照圖

所生產的肥料以極為低廉的價格銷售，每 10 公斤僅售 20 日圓，大幅降低農民的施肥成本。銷售地點位於佐賀市下水淨化中心內部，採自助式購買方式，民眾可自行裝袋、秤重，並將款項投入收費箱中。本次參訪過程中亦有佐賀是當地農民來下水淨化中心肥料售賣處進行購買，如圖 3.45 所示。場內人員也有介紹到若當地農民有大量需求(如 350 公斤或 800 公斤包裝)，則可採許事先預約的方式來預污泥製成之肥料。這項污泥轉製肥料的策略，不僅為污水處理廠提供一條穩定、低碳的污泥去化途徑，也提升了再生資源的價值與地方社會的參與度，是極具借鏡價值的永續實踐案例。



圖 3.45 佐賀下水淨化中心污泥轉肥料

肆、心得及建議

本次有幸參訪日本福岡中部、西部及佐賀市三座具代表性的污水處理廠，不僅是一場技術見學的機會，更是對我國人員對於水資源處理與環境永續理念的一次深刻啟發。透過與當地專業人員交流與實地觀察，讓我國人員對污水處理的多元功能與其背後的社會責任有了全新的體認。

(一) 心得

1. 對污水處理的再認識

過去，大眾對污水處理的印象多停留在「污染物去除」的基本功能上。然而，此次參訪使我們深刻感受到，現代污水處理廠早已不僅止於此，而是一個整合能源回收、環境教育、都市韌性與資源循環的複合性平台。無論是福岡的都市型設計，還是佐賀市與農業資源的結合，都展現出水資源處理的更多可能性。

2. 感受到日本對環境永續的態度

參訪過程中，最深的感觸之一，是日本對環境議題的重視不只是口號，而是徹底落實在每一個細節中。福岡中部污水處理廠不只強調污水處理，更進一步推動能源及資源再利用，讓人感受到「碳中和」在日常營運中的具體實踐。佐賀市則除了能源回收與農業利用外，他們還努力讓再生水真正走進市民生活，例如供應周圍農業的灌溉用水，如此「從源頭到用途」的完整思維，令人佩服。

3. 市民參與與開放的態度

在每一座污水處理廠，都能看見日本設計了互動導覽設施、開放參觀空間，甚至安排導覽解說人員與解說圖文，這些設施不僅讓市民可以理解污水處理流程，更讓整個廠區成為環境教育的場域。若台灣也能將污水廠「打開門」，讓它從一個封閉、被誤解的地方，轉型成為社區的教育與綠能基地，也許能讓更多人支持污水建設，提升整體公共意識。

4. 對比台灣現況的反思

台灣目前在污水建設推動上雖已有長足進展，但與日本相比，我們在再生水利用、污泥資源化、智慧化管理與社會溝通等方面仍有許多可學習之處。尤其在面對氣候變遷與水資源日益緊張的挑戰時，日本透過「科技整合、制度規劃及市民參與」三者並行的策略，顯然更具韌性與彈性。這令人重新思考除了技術之外，「制度與文化」才是推動永續發展最根本的動力。

(二) 建議

1. 導入污泥處理資源化政策目標

相較日本多數設施已將污泥視為可再利用資源，台灣污泥大多仍以最終處置為導向。建議由中央訂定階段性污泥資源化目標，並提供地方政府技術輔導與設備補助，推動厭氧消化、熱能回收及污泥再利用等多元處理方式。

2. 分階段實施節能減碳路徑

福岡市針對其下水道處理設施所推動的一項全面性碳中和政策行動計畫，預計於 2034 年完成全部目標。建議我國可訂定分階段實施節能減碳路徑及目標，並打造我國第一批「碳中和示範處理廠」，使節能減碳技術在全台污水處理廠得到普及應用，為全台 2050 年實現碳中和目標貢獻力量。

3. 加速智慧化監控系統導入

福岡污水廠普遍已使用即時監控設備，隨時控管出水品質，我國部分設施仍仰賴人工巡檢，效率與精確度有待提升。建議能以國營污水廠或新建廠為試點，推動智慧水務整合管理平台，提升操作效率與故障即時應變能力。

(三) 結語

日本在污水處理領域的成果並非一蹴可幾，而是長期在法制、科技、市民參與等層面持續累積的結果。台灣若能結合本土條件與國外經驗，調整制度架構、

強化設備能量與提升社會認知，將有機會使污水處理系統由單一污染防治設施，蛻變為真正的資源循環與城市永續基礎建設。

台灣正面臨水資源緊張、氣候衝擊與環境永續挑戰，污水處理不再只是末端排放工程，而是城市韌性、資源循環與社會共融的重要平台。藉由本次參訪觀察所得，若能整合制度設計、技術創新與民眾參與三者，將能有效提升台灣污水處理系統的效能與永續性，邁向下一階段的水資源治理願景。