

**以 UF 膜及 UV 消毒之
水再生處理技術系統指引
(113 年版)**

內政部國土管理署
中華民國 113 年 12 月 9 日

「下水道技術相關手冊編修訂計畫」委託專業服務案 項下之「以 UF 膜及 UV 消毒之水再生處理技術系統 指引」審查會議紀錄 意見回覆表

113 年 8 月 28 日

委員意見	回覆
一、莊清榮委員	
(一) P. 7, 藥液反洗-在經常性反洗的基礎上, 結合使用 <u>次氯酸鈉</u> 進行清洗操作。次氯酸鈉能夠高效地去除附著在 UF 膜表面的有機物污堵等; 藥液(浸泡)清洗-是指停止運轉目標 UF 膜處理系統(或單元), 將 UF 膜浸泡在藥液中約 2 小時的清洗過程。所使用的藥液包括 <u>鹽酸和次氯酸鈉</u> , 其中鹽酸用於無機物鈣污堵的去除, 而次氯酸鈉則用於有機物污堵的去除。有關洗淨的化學品是否須完全設定?	謝謝委員的建議, 通常薄膜多以此二種藥品進行有機物與無機物的去除。
(二) P. 11, 本技術生產的再生水有多種可能的用途, 根據再生水的品質, 最適合的用途是農業灌溉用水。此外, 其他可能的用途包括清洗、灑水、景觀美化和工業用水, <u>但在本技術中, 懸浮物和病毒的去除是主要目標, 對於其他可溶性物質, 則取決於原始水的水質, 因此需要進一步根據不同的用途進行評估。此部分日本是否已有相關之評估資料?</u>	謝謝委員意見。尚未看到日本有相關之評估資料。
(三) P. 16, 圖 2-4 “精密過濾”建議修改為“微過濾”。	謝謝委員意見, 已依委員建議修正。
(四) P. 25, 本實證研究於 2015 年至 2016 年以「結合 UF 膜過濾處理與 UV 消毒的再生水利用技術」為主題進行。此部分 2016 後日本是否有更新相關實證研究資訊?	謝謝委員意見。尚未看到日本有更新相關實證研究資訊。
(五) P. 38, 有關計算公式的基準價格和其他條件, <u>最好根據實際污水處理廠的情況進行調整, 以盡可能符合實際情況。本指引之計算公式的基準價格和其他條件, 未來需藉由國內工程公司的協助, 方能更具應用參考價值。</u>	謝謝委員意見。
(六) P. 52, M4(污泥處理處置費・總計):	UF 積垢物的確熱值太低, 但仍需視其有機

委員意見	回覆
3,024 千日圓/年。UF 反洗之污泥其熱值是否太低而不具熱回收價值?	物比例高低進行適當的處理。
(七) P. 69, UF 膜規格: 1. 膜材指定 PVDF, 是否基於對機械強度與耐化性的需求的考量? 若有功能性相似之其他 UF 膜, 是否亦可採用?	UF 規格視各廠家規格而定, 本書為求原意呈現, 僅列出原日本測試之規格, 其他規格之 UF 模只要符合需求均可採用。
2. 分子量建議修改為截留分子量。	謝謝委員意見, 已依委員建議修正。
(八) P. 70, 在 UF 膜過濾中, 即使原水 SS 濃度為 10 mg/l, 原水濁度為 10 NTU (參考「§6 再生水利用用途」), 也要考慮通過適當的清洗頻率 (參考「§48UF 膜洗淨」) 來達到長期穩定的運轉。因此, 標準設計膜過濾通量為 1 m/日。資料編 P. 16、P. 18 一般水質項目的處理效能(日常試驗)(原水)。原水水質項目為何沒考慮 SDI15 (Silt density index)?	通常 SDI15 多用於 RO 膜組, 且放流水濃度不會太高, 而 SS 與 NTU 為污水處理廠既有之設備, 因此未進行此 SDI15 測試。
(九) 資料編 P. 80, 對於通過 UV 消毒裝置的水量的 95 % 以上, 需要確保其 UV 照射量為 10 mJ/cm ² 以上。透過 P-CFD 的分析了解整體分布在這些情況下會如何變化, 進而評估水道形狀的最優化以及在哪个位置的燈管失效時水質風險會變得無法接受, 並將這些資訊應用於管理方法中。資料編 P. 84, 首先需要透過追蹤劑試驗確認 P-CFD 分析結果和實際流動的停留時間分佈, 進行計算模型的校正。UV 消毒裝置之流道設計是否會有專利權的問題?	謝謝委員的意見, 此為工程化設計規範, 不會有專利問題。
(十) 資料編 P. 86, 由於本系統的主要處理目標是去除病毒, 對於其他水質項目的去除效果很小, 因此在導入時, 原水的水質條件需要滿足適用條件在進行再生水用於農業的利用時, 確立與農業使用者之間的傳遞, 如資訊的公開等, 是非常重要的。國內農糧主管機關未來是否會考慮再生水於農業使用? 農業用水量大且有季節性, 此再生水可能較適於某些特性區域性小量之農業用水。	目前國內已有部分縣市進行放流水再利用於農灌用途, 未來應可推廣應用到小規模之水資源回收中心。
(十一) 沈澱池建議修改為沉降池。	謝謝委員意見, 目前環工界中皆使用沉澱

委員意見	回覆
	池一詞。
二、張勝傑委員	
(一)P. 1, 中日專有名詞對照 SBS 建議中文後面增加”(亞硫酸氫鈉)”以利各界作了解。	謝謝委員意見, 已依委員建議修正。
(二)P. 1, 中文部分水質沒有英文縮寫, 有的有, 建議統一, 例如懸浮固體有”(ss)”、模型病毒有”(ms2)”, 導電度、氨氮日文有縮寫, 中文沒有。	謝謝委員意見, 已依委員建議修正。
(三)P. 8, 第 13 點膜間壓差, 應該是 uf 的自清器後, 跟 uf 過濾後的壓力之間的差異, 非原水泵提升(增壓)之前。	謝謝委員意見, 已依委員建議修正。
(四)P. 12, 除了濁度計外建議可增加 SDI(淤塞密度指數)相關檢測儀器, 可以互相比對, 確保系統正常。	謝謝委員意見, 已依委員建議修正。
(五)P. 18, 在氯消毒中…5 log 毒去除…建議敘述方式與前文一致, 修正為"5 log 去除"(看似多了一的“毒”字)。	謝謝委員意見, 已依委員建議修正。
(六)P. 28, 表 2-4、2-6、2-7 備註中的金額建議統一為日圓/kg。	謝謝委員意見, 已依委員建議修正。
(七)P. 42, 圖 3-9 左邊的污泥產生量單位應該是 ton 噸。	謝謝委員意見, 已依委員建議修正。
(八)P. 55, 因農業灌溉用水需求會因農作物生長期用水需求也有所不同, 建議第三點的再生水供應計畫資訊調查, 可以增加再生水用水狀況調查(日、月、年的再生水用水量)。	謝謝委員的建議, 由於農灌範圍甚大, 本書僅提供必要之資訊調查, 其餘資訊應因地制宜進行更多之調查。
(九)P. 56, 考量雨季放流瞬時(cmh)水質較差, 建議原水水質可將雨季最大時的放流水質一併納入評估。	都市污水之放流水應與雨季無明顯差異。
(十)P. 58, 圖 4-2 剩餘污泥名詞建議與文中說明統一, 改為廢棄污泥。	謝謝委員意見, 已依委員建議修正。
(十一) P. 107, 表 5-6 uv 燈管輸出備註建議可增加燈管 uv 強度不足發出警報, 確保殺菌效果。	謝謝委員意見, 已依委員建議修正。
(十二) P. 108, 建議增加再生水槽檢視, 檢查槽體底部是否有底泥淤積, 槽壁是否有生物膜。	再生水槽多為密閉設計, 不易檢查是否有底泥或是生物膜。
(十三) P. 111, 表 5-12 考量農業用, 再生水日常監測項目建議納入總磷總氮。	謝謝委員的建議, 農業灌溉範圍甚廣, 表中所列為大部分農作物所需之標準。

委員意見	回覆
(十四) 資料編 P. 41, 圖 2-2 水量平衡圖建議增加流向箭頭, 以利各界作了解。	謝謝委員意見, 本書為直接翻譯, 原書並沒有繪箭頭。
(十五) 資料編 P. 68, 圖 5-1(2) 格式跨頁, 應在 p 資-69。	謝謝委員意見, 已依委員建議修正。
(十六) 再生水拿來灌溉使用, 其中導電度會影響比較不耐鹽的農作物, 或者影響植物幼苗的根部, 未來建議可以加入導電度對農作物相關文獻進行探討, 以及納入導度評估指標(p48)。	謝謝委員意見。
三、周泳辰委員	
(一) 參考國內常用專有名詞, 建議本手冊「中日文專有名詞對照」修正如下: 1. 經常性反洗(日文: 通常逆洗): 建議可修正為「反沖洗」。 2. 藥液反洗(日文: 藥液逆洗): 建議可修正為「化學清洗」。 3. 藥液(浸泡)清洗(日文: 藥液(浸漬)洗淨): 建議可修正為「化學浸泡清洗」。 4. 膜間差壓(日文: 膜間差压): 本處英文為 Transmembrane Pressure Drop, 建議修正為於國內常見名詞的「透膜壓差」或「跨膜壓差」, 其定義為薄膜過濾前後水壓差。 5. UV 透過率: 建議調整為「UV 穿透率」。	謝謝委員意見, 已依委員建議修正。
(二) P. 11, 手冊第 6 條再生水利用用途內文中, 有說明 UF+UV 技術之再生水可根據「污水處理水再利用水質基準等手冊(國土交通省都市・地域整備局下水道部、國土交通省國土技術政策綜合研究所: 2005 年 4 月)」, 建議評估納入國內相關參考規則, 如「再生水水質標準及使用遵行辦法」等規定。	目前我國再生水水質標準與放流水標準接近, 如擬作為農業用途, 建議應另案進行水質研擬。
(三) P. 25, 說明 UV 消毒無「副產品」, 係相對加氯消毒比較而得, 一般稱作「消毒副產物(Disinfection By-products, 簡稱 DBPs), 諸如三氯甲烷、鹵乙酸等, 因此建議「副產品」修正為「消毒副產物」。	謝謝委員意見, 已依委員建議修正。

委員意見	回覆
(四) P. 67, 手冊第 36 條： 1. 「原水槽」一般常以「UF 進水池/槽」為名詞。 2. 「UF 膜供應泵」一般常用「UF 進流泵」或「UF 供水泵」之名詞。 3. 「自動過濾器」一般常用「保安過濾器」或「前置過濾器」之名詞。 4. 另於內文中，說明至少 1 池原水槽，但一般實務上至少採用 2 池(含)以上，以便於後續清池、維護時，可互為備用以不影響流程操作，因此建議可補充「至少採用 2 池(含)以上」之說明。	謝謝委員意見。 1. 已修正。 2. 已修正為 UF 膜產水泵。 3. 已修正。 4. 已修正。
(五) P. 68, 有關 UF 膜供應泵(本次意見建議名詞：UF 進流泵)的總揚程設計： 1. 手冊內容說明要考慮實際揚程(建議修正為：最大靜水頭，因採用原水槽最低水位時，靜水頭達最大值)、管道損失(建議修正為：管路水頭損失)以及膜操作壓力(建議修正為：UF 膜設備建議操作壓力)。	謝謝委員意見，已依委員建議修正。
2. 同上，UF 進流泵總揚程，除考慮最大靜水頭、管路水頭損失及 UF 膜設備建議操作壓力外，建議應補充「保安過濾器」之水頭損失。	謝謝委員建議，保安過濾器視為 UF 膜之一部分，其水頭合併計算。
(六) P. 69, 標準設計膜通量為「1.0 m/日」，一般膜通量常採用單位為 LMH(每小時單位平方米面積通過水量)或 CMD/m²，將內容之「1.0 m/日」換算等於約「42 LMH」，符合一般外壓式 UF 不超過 60 LMH。建議本文涉及膜通量單位的部分，修正採用國際常見的 LMH 單位為準，或補充備註。	謝謝委員建議，已補充於第四節用語定義中。
(七) 接續第 7 點意見，UF 系統一般有 2 種型式分別為「外壓式」及「浸沒式」，其適用的膜通量差異甚大(如外壓式不超過 60 LMH、浸沒式不超過 30LMH)，而本手冊 UF 技術係採外壓式 UF，因此建議在手冊第 4 節用語定義，補充說明註解如「本手冊 UF 系統採外壓式 UF 系統」等說明，使定義更為明確以免混淆。	謝謝委員意見，已依委員建議修正。
(八) P. 70~71, UF 膜面積的計算方式符合	謝謝委員意見，已於 p.70 補充之。

委員意見	回覆
一般會將反洗水水量納入考量，但設計膜組組數影響重大，需進一步考量在「泡藥清洗停機」時的備載量，如設計 4 組停 1 組進行藥液，操作組數降 3 組進行產水(膜組降載 75%)，應檢核此情形下，UF 膜通量仍符合合理範圍內，如 4 組操作時平均膜通量為 42 LMH，3 組操作則提升至 56 LMH($42 \times 4/3$)，檢核是否仍可符合最大不超過 60 LMH 之建議值，但今天若設計組數為 2 組，則停 1 組進行泡藥清洗時(膜組降載 50%)，平均膜通量將提升為 82 LMH($42 \times 2/1$)，超過建議值，因此建議補充說明-「設計計算需考慮泡藥清洗停機」之情境，依據產水設計量檢核合理組數、膜通量及備載量」。	
(九) P. 75，氣洗設備的部分，因 UF 反沖洗或化學清洗屬於間歇性操作，非連續性操作，因此氣洗設備應選用適合之鼓風機型式(氣浮式鼓風機於本 UF 系統不適用)，建議補充建議採用正排量型式之鼓風機，如魯氏鼓風機、螺旋式鼓風機等說明。	謝謝委員的建議，因氣洗設備因廠商採用設備不同而將有所不同，因此不宜指定型式。
(十) P. 76，次氯酸鈉貯槽容量之決定，建議補充參考濃度，因濃度高低涉及貯槽容積大小，一般常用濃度為 12% 的次氯酸鈉，又因次氯酸鈉之有效氯會隨時間衰減的特性，通常建議採用 UF 系統所需次氯酸鈉平均每日加藥量的 7 日量以內，作為貯存容量為佳。	謝謝委員意見，已於 p.76 補充之。
(十一) 接續第 11 點意見，因濃度 12% 的次氯酸鈉濃度對於 UF 系統較高，在加藥量控制較不易掌握，往往加少量就因高濃度使 UF 藥洗濃度過高的問題，因此一般設計會另設置次氯酸鈉稀釋貯槽，將 12% 次氯酸鈉貯槽溶液及調整比例之自來水混合稀釋後，再藉由加藥系統注入 UF 系統，可補充說明。	謝謝委員意見，已於 p.76 補充之。
(十二) P. 85，UV 投放劑量計算公式中的係數，f1 中文名詞建議修正為「燈管	謝謝委員意見，已依委員建議修正。

委員意見	回覆
老化係數」、f2 中文名詞建議修正為「套管結垢係數」，較為直覺且符合國內常用名詞。	
(十三) P. 89，UV 消毒常見有型式有「渠道式」及「管道式(或稱密閉式)」，本手冊僅說明「渠道式」渠道設計要點，若以本手冊「外壓式」UF 系統+「渠道式」UV 系統，UF 產水後，可利用渠道直接輸水至 UV 消毒(水力檢核可行條件下)。但若採「外壓式」UF 系統+「管道式」UV 系統，因「管道式」UV 系統為壓力管需要維持一定的水壓，因此可考慮將「管道式」UV 系統安裝在 UF 產水主管上，有效利用剩餘水壓，避免 UF 產水解壓後至中間水槽，再用泵浦加壓至「管道式」UV 系統的能耗浪費方式。建議於本手冊補充「管道式 UV 系統可利用 UF 產水管餘壓避免浪費能耗」之說明。	謝謝委員的建議，因 UV 搭配 UF 設備因廠商採用設備不同而將有所不同，因此不宜指定型式。
(十四) 參考美國環保署「Ultraviolet Disinfection Guidance Manual for The Final Long Term 2 Enhanced surface Water Treatment Rule(2006)」手冊第 3 章，「管道式」UV 系統安裝於管路的建議位置可參考下圖，納入手冊中。 Validation Options UV Facility Installation Options (x ≥ 0 where x is a multiple of the pipe diameter "D" and [shaded box] is the reactor.)	謝謝委員的建議，UV 設備因廠商採用設備不同而將有所不同，因此不宜指定型式。
(十五) P. 82~91，UV 消毒系統相關名詞、設計原則建議可參考「內政部營建署(現國土管理署)污水處理廠設	謝謝委員的建議。

委員意見	回覆																																
計及解說」第 7 章進行手冊內容修正。																																	
(十六) 接續第 15 點意見，「內政部營建署（現國土管理署）污水處理廠設計及解說」UV 消毒系統的形式種類建議可考量納入手冊，增加手冊敘述完整性。	謝謝委員建議，本書之 UV 針對病毒進行消毒，因此較不適宜通盤採用污水處理廠設計及解說中 UV 消毒之相關論述。																																
(十七) 建議可依照需求評估將美國環保署「Ultraviolet Disinfection Guidance Manual for The Final Long Term 2 Enhanced surface Water Treatment Rule(2006)」內容納入本案手冊，加強本手冊豐富完整性，另於會後提供檔案供參考。	謝謝委員。																																
(十八) 另參考美國環保署「Ultraviolet Disinfection Guidance Manual for The Final Long Term 2 Enhanced surface Water Treatment Rule(2006)」手冊第 3 章，提供翻譯後的典型 UV 燈管性質及一般安裝位置供參考。	謝謝委員。																																
<table><tr><th colspan="4">UV 燈管</th></tr><tr><th>項目</th><th>低壓低強度</th><th>低壓高強度</th><th>中壓高強度</th></tr><tr><td>燈管內壓(Pa)</td><td>約 0.93</td><td>0.18-1.6</td><td>40,000-4,000,000</td></tr><tr><td>操作溫度(℃)</td><td>約 40</td><td>60-100</td><td>600-900</td></tr><tr><td>光譜、波長</td><td>單色光、254nm</td><td>單色光、254nm</td><td>多色光、200~300nm</td></tr><tr><td>耗電功率(W/cm)</td><td>0.5</td><td>1.5 - 10</td><td>50 - 250</td></tr><tr><td>輸出功率(W/cm)</td><td>0.2</td><td>0.5 - 3.5</td><td>5 - 30</td></tr><tr><td>一般安裝位置</td><td>開放渠道</td><td>開放渠道</td><td>密閉管道式</td></tr></table>		UV 燈管				項目	低壓低強度	低壓高強度	中壓高強度	燈管內壓(Pa)	約 0.93	0.18-1.6	40,000-4,000,000	操作溫度(℃)	約 40	60-100	600-900	光譜、波長	單色光、254nm	單色光、254nm	多色光、200~300nm	耗電功率(W/cm)	0.5	1.5 - 10	50 - 250	輸出功率(W/cm)	0.2	0.5 - 3.5	5 - 30	一般安裝位置	開放渠道	開放渠道	密閉管道式
UV 燈管																																	
項目	低壓低強度	低壓高強度	中壓高強度																														
燈管內壓(Pa)	約 0.93	0.18-1.6	40,000-4,000,000																														
操作溫度(℃)	約 40	60-100	600-900																														
光譜、波長	單色光、254nm	單色光、254nm	多色光、200~300nm																														
耗電功率(W/cm)	0.5	1.5 - 10	50 - 250																														
輸出功率(W/cm)	0.2	0.5 - 3.5	5 - 30																														
一般安裝位置	開放渠道	開放渠道	密閉管道式																														
(十九) P. 92，再生水槽(或稱 UF 產水槽)，假設供應於再生水管網系統，應考慮其時變遷係數，假若使用端有自設配水池(槽)，則再生水槽之貯存容量可考量 12 小時的容量；若使用端無設置配水池，則建議再生水槽之貯存容量採 24 小時以上的容量。	謝謝委員意見。																																
(二十) 接續第 19 點意見，再生水槽(或稱	謝謝委員意見。																																

委員意見	回覆
UF 產水槽)建議考慮備用條件設計至少 2 槽以上為佳。	
(二十一) 資料編 P. 42, 表 2-5 反洗泵規格為「橫軸渦卷泵(日本稱離心泵為渦卷泵)」建議修正為「橫軸離心泵」, 與同表格之膜供給水泵相同。	謝謝委員意見, 已依委員建議修正。
四、周宗蜀委員	
(一) 總論篇以及資料編之目錄, 第”一”章總則採國字, 而其他章採數字。建議格式統一。	謝謝委員意見, 已依委員建議修正。
(二) 中日專有名詞對照 P. I, 中文名稱欄位”膜間差壓”建議改為”膜間壓差”或”跨膜壓差”; 餘后頁內文部分未統一, P. 99 膜間差壓、P. 107 膜差壓(2 處)、及 P. 108 膜間差壓等頁, 建議一併檢視並修正統一。	謝謝委員意見, 已依委員建議修正。
(三) 中日專有名詞對照 P. II, 中文名稱欄位”懸浮固體(ss)”括弧內英文建議修正為”懸浮固體(SS)”。	謝謝委員意見, 已依委員建議修正。
(四) P. 10, ” …, Title22 標準技術中使用了絮凝劑添加、砂濾和消毒等方法來處理 再生水。 …”, 建議修正為” …, Title22 標準技術中使用了添加絮凝劑、砂濾和消毒等方法來處理再生水。 …”。	謝謝委員意見, 已依委員建議修正。
(五) P. 12, 建議增加 UV 穿透計的名詞解釋。	謝謝委員意見, UV 穿透計是一種使用透射法測量射或穿過水樣的光。
(六) P. 13, 圖 2-2, ”反沖洗風扇”建議修正為”反沖洗風機”。	謝謝委員意見, 已依委員建議修正。
(七) P. 13, 圖 2-2, 藥劑洗淨廢液建議修正為”藥洗廢液”。	謝謝委員意見, 將依委員建議修正。
(八) P. 20, 膜通量單位國內常用 LMH, 建議確認釐清。	謝謝委員建議, 已補充於第四節用語定義中。
(九) P. 25, 再生水設施供給農業使用者端, 建議亦需符合我國灌溉水質基準值之管制項目及品質項目。	謝謝委員建議, 相關水質基準值將於附件一呈現。
(十) P. 28, 表 2-4 耗電量及維護管理成本的試算結果, 備註之次氯酸鈉價格單位是否為日圓。P29, 表 2-6 生命週期成本削減效果, 備註之 PAC 及次氯酸鈉價格單位是否為日圓。建議確認	謝謝委員意見, 已依委員建議修正。

委員意見	回覆
釐清。	
(十一) P. 28, 表 2-5 GHG 排放量試算成果, p. 31 表 2-9 GHG 排放量削減效果; 圖 2-16 GHG 排放量的削減效果, p. 44 溫室氣體排放量計算一節等, 建議檢核與環境部公告之最新溫室氣體排放係數是否有差異。	謝謝委員的建議, 本書為忠實呈現, 且本書針對 UF/UV 系統進程序介紹, 因此採用日本數據。
(十二) P. 35, (2)再生水必要水質一節, 「在農業利用方面, 根據資料編號 9 中…」, 建議敘述”編號 9”對應之頁數或標題以供對照。	謝謝委員意見, 已依委員建議修正。
(十三) P. 63, 表 4-5, 表頭有誤請修正。	謝謝委員意見, 已依委員建議修正。
(十四) P. 68, 圖 4-6 以中文覆蓋日文方式, 但有疊影, 建議修訂中文標註位置。	謝謝委員意見, 已依委員建議修正。
(十五) P. 84, 圖 4-13 MS2 噬菌體失活率與 UV 照射量的關係, 建議修訂中文標註位置。	謝謝委員意見, 已依委員建議修正。
(十六) P. 87, 圖 4-15 UV 消毒裝置的備用機組與操作方法範例, 建議修正裝置 NO.3 發生故障文字敘述。	謝謝委員意見, 已依委員建議修正。
(十七) P. 95, 3. 壓力衰減試驗的壓力監測一節, 建議敘述”編號 6”對應之頁數或標題以供對照。	謝謝委員意見, 已依委員建議修正。
(十八) P. 96, 2. UV 照射燈的自動調光控制一節, 建議敘述”參考資料編號 1”對應之頁數或標題以供對照。	謝謝委員意見, 已依委員建議修正。
(十九) 針對 UF 材質以及後續維護清洗程序, 建議可放寬參採各專業廠商之技術及經驗值。	謝謝委員意見。
五、內政部國土管理署下水道工程分署	
(一) 本案提供再生水處理技術指引, 具有相當參考價值, 且可因應未來節能減碳政策目標, 提供不同功能的處理選項, 目前台灣使用放流水或再生水提供灌溉用水案例, 是否有相關參考資訊、法規上有提及灌溉水質基準值之管制項目共 9 項、灌溉水質基準值之品質項目共 10 項, 建議可以納入相關章節內, 提供使用者參考。	謝謝委員建議, 相關水質基準值將於附件一呈現。
(二) 本技術與分署業務常見 UF+RO 處理流程不同, 在來源水的適用條件僅有限	通常都市污水放流水水質較為固定, 因此不需限縮來源水之水質條件。

委員意見	回覆
制 SS 與濁度，惟二級處理依處理方式不同，放流水源尚有氮、磷、硼及導電度等其它水質項目及標準，後續如適用於農業或人體接觸等用途，是否應再限縮來源水之水質條件？	
(三)P14，圖 2-3 中來源水稱二次處理水，請確認是否為二級處理水。	謝謝委員意見，已依委員建議修正。
(四)本技術之適用來源水源僅為二級處理水，如遇民生污水不足時，是否評估有其它替代水源可取代。	如遇民生污水不足時，其他水源地表水源應亦不足，而地下水較地表水乾淨，可以取代。
(五)P. 7；UV 消毒使用波長 253.7nm 的紫外線，波長是否有衰退之可能性及如何判斷已衰退。	各家紫外線燈管不一，可以所購買之產品廠商之建議進行。
(六)P8；項次 17 自動調節 UV 功率，是否影響消毒效率？為達到消毒效果是否須達到波長 253.7nm，請問接觸時間或停留時間？	DNA 在 253.7nm 將有最大的吸收度，因此消毒能力最強，所以波長不能改變，但停留時間可視功率進行調整。
(七)已採用 MBR、MABR 或 MBBR 廠，是否得逕以 UV 消毒？	本書針對病毒，其體積小於 UF 孔隙，因此尚須以 UV 進行消毒。
六、內政部國土管理署永續營運組	
(一)建議增列圖目錄及表目錄	謝謝委員意見，已增列。
(二)中日文專有名詞對照： 1. 過濾水修正為過濾水量。 2. 對數除去率修正為對數去除率。 3. 前 21 項有對應 P. 7 用語定義，其餘項目似無選取標準。 4. 日文與中文完全相同的項目請評估是否保留。	謝謝委員意見。 1.已修正。 2.已修正。 3.本書就一般工程常用之日文進行專有名詞對照，的確無特別選取目標 4. 建議保留。
(三)P. 3；圖 1-1： 1. 實證事業修正為實證計畫。 2. (18)降水、浸水預測，修正為 17。 3. (13)ICT 活用運轉管理、ICT 活用戰略性維持管理文字請評估是否統一。	謝謝委員意見。 1.已修正。 2.已修正。 3.本書為直接翻譯，不建議統一。
(四)P. 6；圖 1-3 建議文字與目錄一致。	謝謝委員意見，已依委員建議修正。
(五)P. 12；UV 透過率修正為 UV 穿透率。	謝謝委員意見，已依委員建議修正。
(六)P. 17；圖 2-6 文字不清晰。	謝謝委員意見，已依委員建議修正。
(七)P. 18；圖 2-7 文字說明位置請調整。	謝謝委員意見，已依委員建議修正。
(八)P. 15；圖 2-11 文字修正：淨化中心（水資中心）、病毒不活(失活)、二次處理水(二級)。	謝謝委員意見，已依委員建議修正。

委員意見	回覆
(九)P. 27；圖 2-12，文字修正：二次處理水(二級)、再生水移送泵(輸送泵)。	謝謝委員意見，已依委員建議修正。
(十)P. 47；圖 3-12，水路水請評估是否修正為灌溉用水。	謝謝委員意見，已依委員建議修正。
(十一)P. 54；策定設施規劃建議刪除策定、圖 4-1 既存修正為既有、圖名修正為設施計畫的策定步驟。	謝謝委員意見，已依委員建議修正。
(十二)P. 59；污泥回流廢水請評估是否修正為污泥系統上層液、圖 4-3 長時間曝氣法修正為延長曝氣法。	謝謝委員意見，已依委員建議修正。
(十三)P. 60；圖 4-4 水量及物料平衡修正為質量平衡。	謝謝委員意見，已依委員建議修正。
(十四)P. 67；請評估 3. UF 膜供應泵是否修正為 UF 膜產水泵、排放倍率是否修正為產水倍率。	謝謝委員意見，已依委員建議修正。
(十五)P. 68；圖 4-6 文字說明位置請調整。	謝謝委員意見，已依委員建議修正。
(十六)P. 73；每日 1 次循環請評估是否修正為週期數。	謝謝委員意見，已依委員建議修正。
(十七)P. 110；表 5-10(漏字)。	謝謝委員意見，已依委員建議修正。
(十八)P. 111；表 5-11(漏字)、電導率修正為導電度。	謝謝委員意見，已依委員建議修正。
(十九)P. 115；維護檢查、維護檢修用字請一致。	謝謝委員意見，已依委員建議修正。
(二十)資料編需確認部分： 1. P. 6；烷基水銀修正為烷基汞。 2. P. 18；圖 1-3 處理量 m^3/d 修正為 $m^3/天$ 。 3. P. 23；圖 1-4 大腸菌 MS 請確認是否正確。 4. P. 30；人為破膜狀態是否修正為人為膜破壞狀態。 5. P. 37；空氣清洗修正為氣洗。 6. 資-42；表 2-5 修正為系統設備清單。 7. P. 86；表 9-1 缺表頭。 8. P. 88；灑溉灌溉名詞請確認。	謝謝委員意見，已依委員建議修正。

序

我國自 2015 年再生水資源發展條例通過後，目前已核定桃北、竹北、水湳、福田、豐原、安平、永康、仁德、鳳山、臨海、楠梓等 11 案合計每日可供應 28.9 萬噸之系統再生水，若再增加未來五件再生水擴大案，供水量則增為每日 62.8 萬噸。目前再生水多用於工業用途，雖有助於解決缺水問題，惟其產水耗電量較高，不利我國達到 2050 淨零排放之目標。日本將再生水使用於農業用途已有多年經驗，該國每年之下水道展中均有十餘攤位展現各地將再生水用於農業灌溉之實際產品，並已有相關技術指引供產水端參考。

本「以 UF 膜及 UV 消毒之水再生處理技術指引」翻譯自日本國土交通省 國土技術政策綜合研究所「UF 膜ろ過と紫外線消毒を用いた高度再生水システム導入ガイドライン(案)」一書，該書係由日本國土交通省下水道創新技術實證計畫(B-DASH)之實際研究成果，該研究針對再生水利用於農業灌溉時所需之處理程序及注意事項進行系統性、科學性的研究，並將其研究成果就規劃設計及維護管理等面向彙整成本指引，讓再生水供水端如擬作為農業灌溉用水時之依據。

本手冊由台灣水環境再生協會歐陽嶠暉榮譽理事長整體策劃及監修。由中興大學陳浸愷助理教授先完成翻譯全書初稿，並邀請多位資深水資源回收中心主管協助編撰。各章之重點及編撰者包括：

總論篇——第一章總論，介紹本指引目的、適用範圍、指引構成及用語定義(游勝傑教授)；第二章技術概要與評價，技術簡介、適用條件及實證研究評價概要(游勝傑教授)；第三章導入檢討，介紹導入檢討方法、導入成本試算(游勝傑教授)；第四章規劃、設計，介紹整體系統之規劃設計(侯清文技師)；第五章維護管理，介紹系統的運轉管理、維護檢查及緊急應變(侯清文技師)。

資料編——第一章實證設施及模廠實驗結果，介紹模組設施、試驗廠、病毒分析結果等(李孟謙廠長)；第二章容量計算及工程費試算案例，介紹容量計算、維護管理費計算、GHG 排放量計算及建設費、維護管理費與設置面積(李孟謙廠長)；第三章病毒感染風險，介紹病毒感染風險評估指標、病毒感染風險計算方法、病毒濃度估算及病毒感染風險的評估(林志麟教授)；第四章病毒分析法，介紹 PCR 法、培養法及 Integrated Cell Culture-PCR 法(林志麟教授)；第五章 UF 膜之藥液洗淨方法，介紹藥液(浸泡)清洗的執行頻率及執行方法(林志麟教授)；第六章 UF 膜之壓力衰減試驗要領，介紹 UF 膜模組的單元構成、壓力衰減試驗步驟、膜破裂的判斷標準、壓力衰減試驗執行頻率異常模組的辨別方法及壓力衰減試驗的自動化(林志麟教授)；第七章高靈敏度濁度計清洗方法，介紹高靈敏度濁度計結構、污垢生成、清洗頻率及清洗步驟等(林志麟教授)；第八章紫外線消毒裝置之 UV 照射量評價，介紹 P-CFD 評估 UV 照射量概述、效能評估例子、分析結果及 P-CFD 的實用性和未來標準化(林志麟教授)；第九章農業利用風險傳遞，介紹農業使用開始及運作時的傳遞(胡念英總經理)；第十章農業利用為前提導入效果試算例，介紹導入效果情境、試算條件及導入效果評估(胡念英總經理)，並由該

協會游勝傑秘書長主持編撰會議之討論。

在此謝謝所有參與者的付出與協助，讓再生水相關業者得以參考應用，以利我國朝向民國 120 年每日產製 132 萬噸再生水之目標邁進。

中 日 文 專 有 名 詞 對 照

日 文	中 文
原水	原水
UF 膜ろ過	UF 膜過濾
UF 膜ろ過水	UF 膜過濾水
UV 消毒	UV 消毒
UV 消毒水	UV 消毒水
再生水	再生水
ろ過水量	過濾水量
Flux	通量
通常逆洗	反沖洗
藥液逆洗	化學清洗
藥液(浸漬)洗淨	化學(浸泡)清洗
SBS 亞硫酸氫鈉	SBS 亞硫酸氫鈉
膜間差圧	跨膜壓差
圧力減衰試験(PDT 試験)	壓力衰減試驗(PDT 試驗)
高感度濁度計	高靈敏度濁度計
光回復	光回復
自動調光	自動調光
CT 値	CT 値
log 除去(「対数除去率(log-removal)」ともいう)	log 去除率(也稱為「對數去除率(log-removal)」)
log 濃度	log 濃度
大腸菌ファージ(MS2、GIファージ)	大腸桿菌噬菌體(MS2、GI 噬菌體)
凝集剤	絮凝劑
溶存酸素量(DO)	溶氧量
生物化学的酸素要求量(BOD)	生化需氧量
化学的酸素要求量(CODMn)	化學需氧量
全窒素(T-N)	總氮
アンモニア	氨
アンモニア化合物	氨化合物
亜硝酸化合物	亞硝酸鹽化合物

日文	中文
硝酸化合物	硝酸鹽化合物
アンモニア性窒素(NH ₄ -N)	氨氮(NH ₄ -N)
硝酸性窒素	硝酸鹽氮
亜硝酸性窒素	亞硝酸鹽氮
全りん(T-P)/ 全磷	總磷
電気伝導度(EC)	導電度(EC)
塩素	氯
浮遊性物質(SS)	懸浮固體(SS)
下水処理廠	污水處理廠
最終沈澱池	最終沉澱池
ウイルス感染リスク (DALY _{pppy})	病毒感染風險(DALY _{pppy})
感染確率 (P _{inf} (D))	感染機率(P _{inf} (D))
として、ノロウイルス (以下、「Nov」という)	諾羅病毒(Nov)
モデルウイルス (MS2)	模型病毒 (MS2)
PCR (Polymerase Chain Reaction (ポリメラーゼ連鎖反応))	PCR (Polymerase Chain Reaction (聚合酶鏈反應)) 法
酸中和工程	酸中和程序
密閉流通型	密閉流通型
開水路型	開放水道型

目 錄

一、總論編

中 日 文 專 有 名 詞 對 照.....	I
目 錄.....	III
第一章 總則.....	1
第 1 節 目的.....	1
§1 目的.....	1
第 2 節 指引適用範圍.....	4
§2 指引適用範圍.....	4
第 3 節 指引構成.....	5
§3 指引構成.....	5
第 4 節 用語定義.....	7
§4 用語定義.....	7
第二章 技術概要與評價.....	10
第 1 節 技術概要.....	10
§5 技術目的.....	10
§6 再生水利用用途.....	11
§7 技術概要.....	12
§8 系統特徵.....	14
§9 UF 膜過濾系統特徵.....	16
§10 紫外線消毒系統特徵.....	18
第 2 節 技術適用條件.....	20
§11 適用條件.....	20
第 3 節 基於實證研究評價概要.....	25
§12 實證研究概要.....	25
§13 評價項目.....	26
§14 評價結果.....	27
第三章 導入檢討.....	32
第 1 節 導入檢討方法.....	32
§15 導入檢討程序.....	32
§16 基礎調查.....	34
§17 導入效果檢討.....	36
§18 建設成本試算.....	37
§19 耗電量・藥品使用量及維護管理成本試算.....	38
§20 生命週期成本(LCC)計算.....	43
§21 溫室氣體排放量計算.....	44
§22 本系統設施面積.....	45
§23 其他效果.....	46

§24 導入判斷.....	49
第 2 節 本技術導入成本等試算例.....	50
§25 試算條件.....	50
§26 導入成本等試算例.....	51
第四章 規劃・設計.....	54
第 1 節 設施計畫.....	54
§27 設施規劃步驟.....	54
§28 詳細調查.....	55
§29 基本條件設定.....	56
§30 處理廠整體處理流程擬訂.....	58
§31 處理廠整體質量平衡計算.....	59
§32 處理廠整體處理流程整合檢討.....	62
§33 再生水使用端相關檢討.....	64
第 2 節 本系統處理流程.....	65
§34 本技術處理流程.....	65
第 3 節 UF 膜過濾設施設計.....	66
§35 UF 膜過濾設施設計基本條件.....	66
§36 UF 膜過濾裝置原水供給設施設計.....	67
§37 UF 膜過濾裝置設計.....	69
§38 洗淨設備設計.....	74
§39 水量平衡計算.....	80
第 4 節 UV 消毒設施設計.....	82
§40 UV 消毒裝置的設計水量.....	82
§41 UV 消毒裝置設計.....	83
§42 UV 消毒水路的設計.....	89
§43 再生水槽的設計.....	92
第 5 節 設施配置檢討.....	93
§44 設施配置檢討.....	93
第 6 節 監測控制系統.....	94
§45 UF 過濾裝置的監測控制系統.....	95
§46 UV 消毒裝置的監測控制系統.....	96
§47 水質異常的監測系統.....	98
第五章 維護管理.....	99
第 1 節 運轉管理.....	99
§48 UF 膜洗淨.....	99
§49 持續確認穩定處理狀況的方法.....	102
§50 UF 膜破裂檢查.....	103
§51 運轉管理項目.....	107
§52 水質管理項目.....	109
§53 提升導入效果的管理要點.....	114

第 2 節 維護檢查.....	115
§54 維護檢查.....	115
第 3 節 緊急應變.....	116
§55 緊急應變.....	116

二、資料編

第一章 模組設施和試驗廠的實驗結果.....	資-1
第二章 容量計算和成本計算的示例.....	資-39
第三章 病毒感染風險.....	資-53
第四章 病毒分析方法.....	資-62
第五章 UF 膜藥劑（浸泡）清洗方法.....	資-68
第六章 UF 膜的壓力衰減測試要領.....	資-71
第七章 高靈敏度濁度計清理方法.....	資-75
第八章 UV 消毒裝置之 UV 照射量相關效能評價 P-CFD 適用可能性.....	資-79
第九章 農業利用風險傳遞.....	資-87
第十章 農業利用的導入效果試算範例.....	資-108
附件一 灌溉水質基準值之管制項目及品質項目.....	附-1

圖目錄

圖 1-1	下水道創新性技術實證事業 (B-DASH 計畫) 的概要 (全體)	3
圖 1-2	本指引的適用場所	4
圖 1-3	本指引的構成	6
圖 2-1	本系統概要 (實證設施)	10
圖 2-2	本系統流程圖	13
圖 2-3	本技術與傳統技術的比較	14
圖 2-4	膜的種類與分離孔徑	16
圖 2-5	UF 膜過濾裝置 (實證設施) 的外觀	17
圖 2-6	UF 膜模組概要	17
圖 2-7	UV 消毒裝置 (實證設施) 的外觀	18
圖 2-8	UV 消毒裝置的概要	19
圖 2-9	UF 膜過濾裝置的系列與單元示意圖	21
圖 2-10	UV 消毒裝置的系列與單元的示意圖	22
圖 2-11	本實證研究概要	25
圖 2-12	成本試算範圍	27
圖 2-13	生命週期成本削減效果	29
圖 2-14	維護管理費削減效果	30
圖 2-15	耗電量削減效果	30
圖 2-16	GHG 排放量的削減效果	31
圖 3-1	導入檢討流程	32
圖 3-2	導入檢討詳細流程	33
圖 3-3	再生水的需求量預測範例	35
圖 3-4	建設成本的費用函數	37
圖 3-5	公用事業耗電量的計算函數	38
圖 3-6	公共事業 (藥品) 使用量的計算函數	39
圖 3-7	UF 膜模組與 UV 燈更換費用的費用函數	40
圖 3-8	修繕費用的費用函數	41
圖 3-9	產生污泥量的計算函數	42
圖 3-10	增加污泥處理相關維護管理成本的費用函數	42
圖 3-11	必要用地面積的計算函數	45
圖 3-12	在實證栽培試驗中的作物生長情況 (小番茄)	47
圖 4-1	設施計畫的策定步驟	54
圖 4-2	處理廠整體處理流程	58
圖 4-3	各生物處理方式的諾羅病毒的去除特性	59
圖 4-4	(1)既有處理廠全處理質量平衡(處理能力 10,000 m ³ /日)(情境 1)	60
圖 4-4	(2)再生處理既有處理廠(處理能力 10,000m ³ /日)出流部分水量時(再生水量 1,000m ³ /日)質量平衡計算(情境 2)	61
圖 4-5	本技術基本處理流程	65

圖 4-6	UF 膜供給泵的總揚程	68
圖 4-7	UF 膜過濾裝置的系列及單元示意圖	72
圖 4-8	藥液洗淨流程	77
圖 4-9	UF 膜過濾裝置周邊的水流程序	80
圖 4-10	UV 消毒裝置的設計水量（以 UF 膜過濾裝置有 3 套系列為例）	82
圖 4-11	渠道式 UV 消毒裝置	83
圖 4-12	密閉式 UV 消毒裝置	84
圖 4-13	MS2 噬菌體失活率與 UV 照射量的關係	84
圖 4-14	燈的有效照射容積	86
圖 4-15	UV 消毒裝置的備用機組與操作方法範例（1 系列配 3 台裝置的情況）	87
圖 4-16	UV 消毒裝置的清洗裝置	88
圖 4-17	UV 消毒水路的一般設計要點	90
圖 4-18	水位控制裝置（固定堰）	91

表目錄

表 2-1	試算條件	27
表 2-2	試算條件	27
表 2-3	建設成本試算結果	28
表 2-4	耗電量及維護管理成本的試算結果	28
表 2-5	GHG 排放量試算結果.....	28
表 2-6	生命週期成本削減效果	29
表 2-7	維護管理費削減效果	29
表 2-8	耗電量削減效果	30
表 2-9	GHG 排放量削減效果.....	31
表 2-10	本技術與傳統技術的比較	31
表 3-1	建設成本的費用函數	37
表 3-2	公用事業使用量費用函數	38
表 3-3	UF 膜模型與 UV 燈更換費用的費用函數	39

第一章 總則

第 1 節 目的

§1 目的

本指引的目的為基於下水道創新技術實證計畫（B-DASH 計畫）中的一項創新技術，即「結合超濾膜(UF)過濾和紫外線(UV)消毒的再生水利用技術（以下簡稱本技術）」，根據實證研究的成果，闡明技術概要、導入評估、規劃設計和維護管理等技術事項，旨在促進其導入，以在水資源短缺的地區提供安全且穩定的新型水資源供應。

【解說】

下水道創新技術實證計畫（B-DASH 計畫）是由日本國土交通省實施的一項計畫，旨在透過加速新技術的研究開發和應用，實現下水道業務中的資源回收、節能減排、能源創造以及成本削減。同時，該計畫也支援日本國內企業在水資源領域的海外拓展。

B-DASH 計畫的整體概述如圖 1-1 所示。在每個實證計畫中，都進行了由日本國土技術政策綜合研究所委託進行的實證研究。

在 2011 年，本指引進行了有關①水處理中的固液分離技術（不包括高級處理）、②沼氣回收技術、③沼氣純化技術、④沼氣發電技術的創新技術的公開招募，選擇並執行了 2 個實證研究，以及制定了指導方針案。

在 2012 年，本指引對於以下領域的創新技術進行了公開招募：⑤污泥固體燃料化技術、⑥污水熱利用技術（僅限於未處理的污水熱利用）、⑦營養鹽（氮）去除技術（不包括水處理相關技術）、⑧營養鹽（磷）去除技術（不包括水處理相關技術，但可包括回收技術）。本指引選擇並執行了 5 個實證研究，並制定了指導方針案。

在 2013 年，本指引對於以下領域的創新技術進行了公開招募：⑨污泥生物質發電系統技術（結合降低含水率技術、能源回收技術、能源轉換技術的系統技術）、⑩管渠管理技術。本指引選擇並執行了 5 個實證研究，並制定了指導方針案。

在 2014 年，本指引對以下領域的創新技術進行了公開招募：⑪從污泥中產生氫氣的創新能源技術、⑫利用既有設施的節能型水處理技術（取代傳統活性污泥法的技術和高級處理的替代技術）、⑬透過資訊通信技術(ICT)利用既有設施的戰略性水處理管理技術，以及透過 ICT 提升城市防洪措施的技術。本指引選擇並執行了 6 個實證研究，並制定了指導方針案。

在 2015 年，本指引對以下領域的創新技術進行了公開招募：⑭從多個污水處理廠有效地集中和利用沼氣的技術、⑮從沼氣中分離、回收和利用二氧化碳的技術、⑯設備劣化診斷技術、⑰在城市區域內對於局部集中豪雨的降雨和浸水預測技術、⑱能夠檢測污水管道導致的道路下陷徵兆的技術、⑲污水處理水的再生利用技術。本指引選擇並執行了 9 個實證研究，並制定了指導方針案。

在 2016 年，本指引對以下領域的創新技術進行了公開招募：⑳針對中小規模污水處理廠的污泥有效利用技術、㉑可進行縮小規模的水處理技術。本指引選擇並執行了 4 個實證研究，並制定了指導方針案。

本技術屬於⑲所提及的創新技術，並在實證研究整合階段中，本指引徵詢了具備專業知

識的專家以及具有實務經驗的地方下水道業者的意見。同時，本指引收到了由具備學識經驗的專家所組成的「下水道創新技術實證項目評價委員會」(以下簡稱評價委員會，網址：<http://www.nilim.go.jp/lab/ecg/bdash.htm>)的評價，他們對這項技術的成果表示了充分的肯定。本指引的目的在於在下水道業務中實現成本節約和減少溫室氣體排放，並基於評估委員會對本技術實證研究成果的評價，綜合了這些成果，以促進本技術的引進。因此，本指引整理了有關技術的概要與評估、引進考慮、規劃設計以及維護管理等技術相關事項，以供地方政府等下水道業者在考慮引入此技術時參考。

此外，關於本指引，同樣如同實證研究成果一樣，本指引也請教了具備專業知識的專家以及具有實務經驗的地方下水道業者的意見，並經評價委員會的評價後獲得認可。

下水道創新性技術實證計畫（B-DASH計畫）的實證題目

*Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology Project

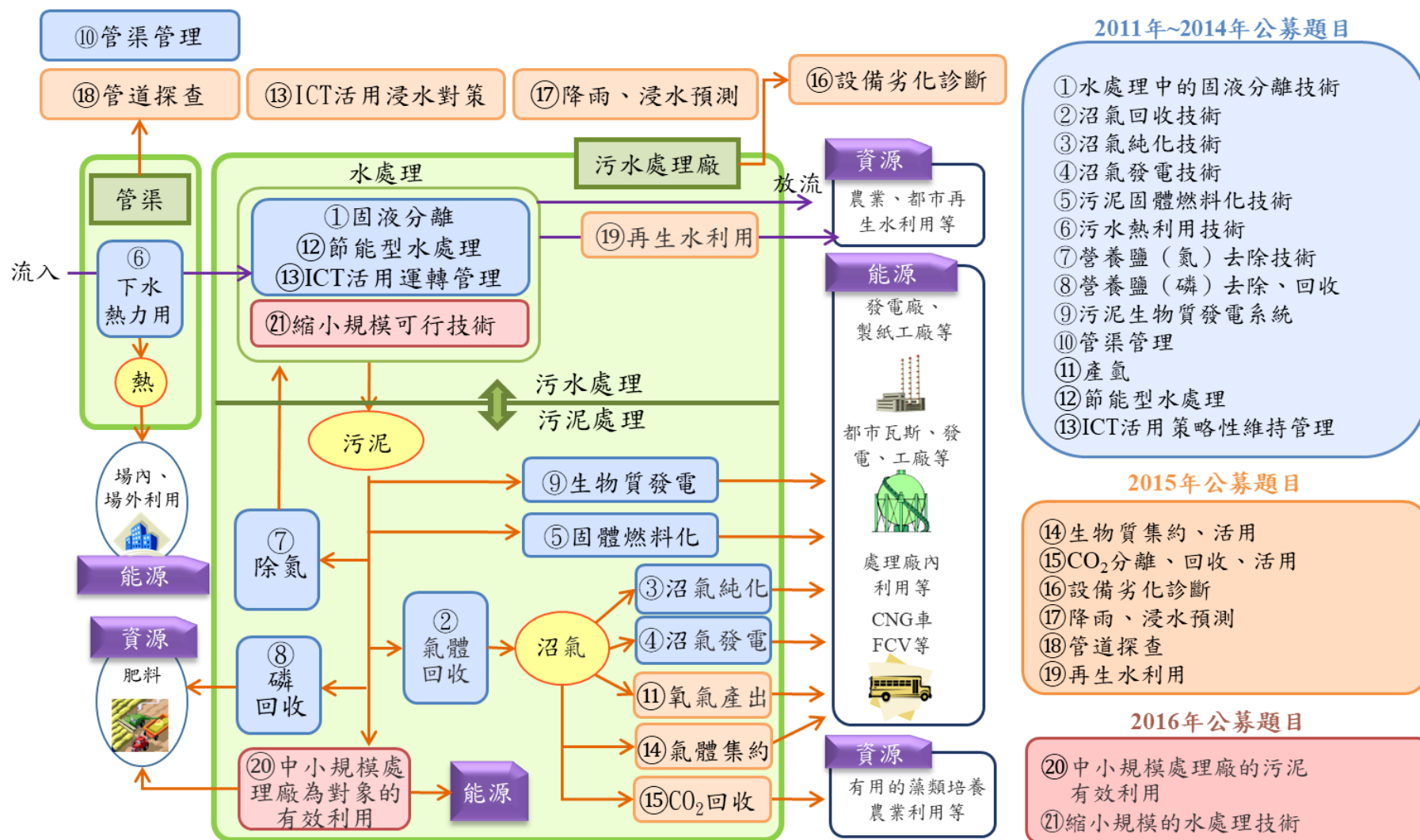


圖 1-1 下水道創新性技術實證事業（B-DASH 計畫）的概要（全體）

第 2 節 指引適用範圍

§2 指引適用範圍

本指引主要考慮到再生水將被用於可能與人體接觸或被作物攝取的用途，特別是農業灌溉用水，並強調對於病原體風險的安全性。適用於處理二級處理水（最終沉澱池排放水）為原水的再生水處理技術的導入檢討、規劃/設計和維護管理。

【解說】

本技術如圖 1-2 所示的處理流程，在既有污水處理設施中，以二級處理水（最終沉澱池）作為原水，透過超濾膜（Ultrafiltration，以下簡稱"UF"）和紫外線（以下簡稱"UV"）消毒處理，旨在為對人類和作物可能產生接觸或攝取的用途，特別關注對可能產生病原體風險的安全性。本技術主要目的為以高度再生水進行可靠的病毒去除，並將其作為農業灌溉用水有效利用。本指引涵蓋從 UF 進水池/槽到 UV 消毒處理的範圍（參見圖 1-2 的處理流程範圍），並將其適用於該技術的導入檢討、規劃/設計和維護管理。請注意，本指引的目的是為地方公共團體與業者以及再生水的用途相關業者提供參考。

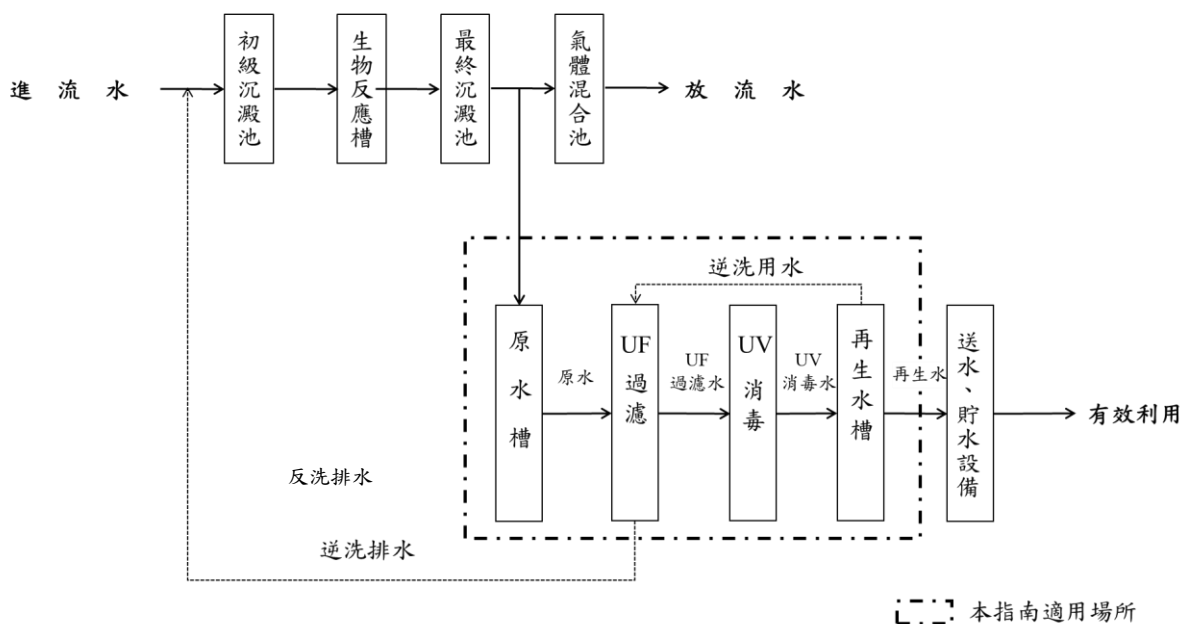


圖 1-2 本指引的適用場所

第 3 節 指引構成

§3 指引構成

本指引包含總則、技術概要與評價、導入檢討、規劃與設計、維護管理以及資料編等部分。

【解說】

1. 第 1 章 總則

描述了目的、指引的適用範圍、指引的構成、術語的定義。

2. 第 2 章 技術概要與評價

整理了創新技術的目標、概要、特點、適用條件、導入場景範例。此外，根據實證研究所得結果展示了創新技術的評價結果。

3. 第 3 章 導入檢討

整理了在考慮導入創新技術時所需的步驟和方法，並展示了導入效果的考慮範例。

4. 第 4 章 規劃與設計

整理了根據導入檢討結果，在確定創新技術的導入效果有望時，更具體地計畫和設計導入的方法。

5. 第 5 章 維護管理

在導入創新技術的情況下，整理管理者等應採取的具體維護管理方法。

此外，作為資料編，整理了實證研究結果、容量計算和成本估算範例、聯絡資訊等相關資料並附上。

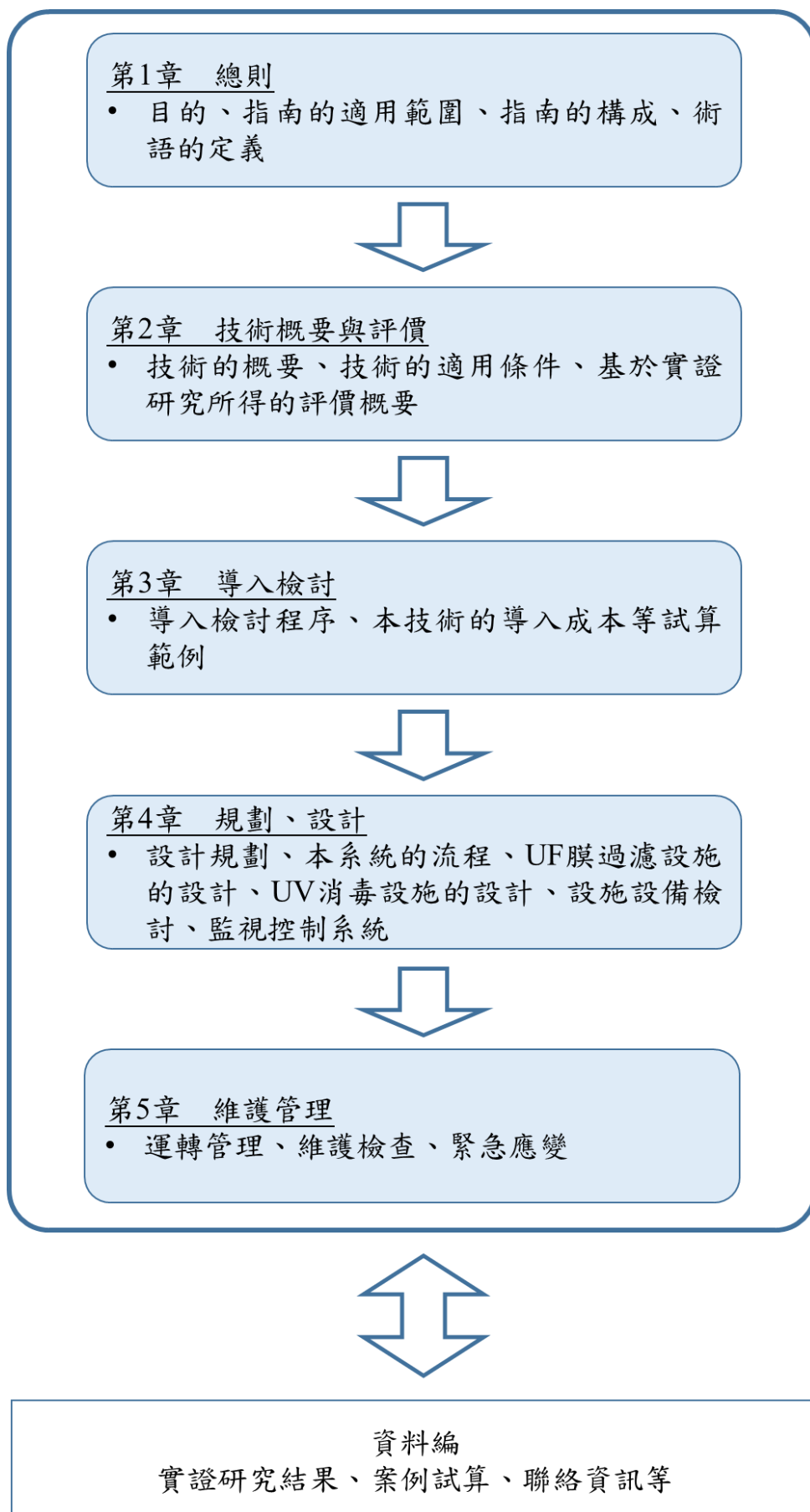


圖 1-3 本指引的構成

第 4 節 用語定義

§4 用語定義

本指引中涉及的用語按照以下的定義進行解釋。關於下水道設施的基本用語，參考「下水道施設計畫・設計指針與解說 2009 年版（以下簡稱設計指南）」（社團法人日本下水道協會）、「下水道維持管理指針 2014 年版（以下簡稱維護管理指南）」（社團法人日本下水道協會）、「下水道用語集 2000 年版」（社團法人日本下水道協會）和「（一財）土木研究中心用語解說集¹⁾」的定義。

本手冊 UF 系統採外壓式 UF 系統。

1. 原水

指進入再生水廠的水。在本技術中，原水指的是最終沉澱池排放水（氣混合池進水前）。

2. UF 膜過濾

使用 UF 膜進行的過濾，孔徑大約在 10 nm（0.01 μ m）左右。

3. UF 膜過濾水

通過 UF 膜進行過濾處理後的水。

4. UV 消毒

利用紫外線(Ultraviolet)的殺菌作用進行消毒，主要使用波長 253.7 nm 的紫外線照射水，對細菌、病毒等的 DNA 和 RNA 造成損壞，使其失去活性並被去除。

5. UV 消毒水

經過 UV 消毒處理後的水。

6. 再生水

指經過 UV 消毒的水中，扣除用於反洗的水後，可以被利用的水。

7. 過濾水量

指用於再利用的再生水量，加上用於反洗所需的水量。

8. 通量

是指膜面上透過的平均水流量，計算方式是將過濾水量除以膜面積得到的數值。也稱為「水透過流量」，可以 m/d(m³/m²*day)或 LMH (liter/m²*hr)表示。

9. 反沖洗

是指在 UF 膜過濾系統中，透過過濾水側的水（即再生水或 UF 膜過濾水）和氣洗對膜表面進行交替的清洗操作，以去除附著在 UF 膜表面的污垢。

10. 化學清洗

是在反沖洗的基礎上，結合使用次氯酸鈉進行清洗操作。次氯酸鈉能夠高效地去除附著在 UF 膜表面的有機物污堵等。

11. 藥液（浸泡）清洗

是指停止運轉目標 UF 膜處理系統（或單元），將 UF 膜浸泡在藥液中約 2 小時的清洗過程。所使用的藥液包括鹽酸和次氯酸鈉，其中鹽酸用於無機物鈣污堵的去除，而次氯酸鈉則用於有機物污堵的去除。

12. SBS（亞硫酸氫鈉）

是 Sodium Bisulfite Solution 的首字母縮寫，中文名稱為亞硫酸氫鈉(NaHSO₃)。在

本系統中，用於中和次氯酸鈉在洗淨廢液時所產生的酸性。此外，它還被用作食品添加劑、皮革鞣製劑的溶劑、染料輔助劑和工業廢水處理劑等。

13. 跨膜壓差

UF 的自清器後，跟 UF 過濾後的壓力之間的差異。

14. 壓力衰減試驗 (PDT 試驗)

是一種用來直接檢測 UF 膜破損的試驗方法。透過在膜的一側施加一定的空氣壓力，在經過一定時間後觀察空氣壓力的減少程度來確定膜是否破損。也稱為 PDT 試驗 (Pressure Decay Test)。

15. 高靈敏度濁度計

雖然不限制製造商等，但在實證研究中使用了激光散射光法的散射光濁度計。在本指引中，本指引對其進行以下規定。

- 測量方法：激光散射光法
- 測量範圍：0.0000 NTU~2.0000 NTU (以上)
- 分辨率：0.0001 NTU

16. 光回復

是指被紫外線照射失活的微生物等，通過可見光照射再次恢復活性的反應。

17. 自動調光

是指根據原水的特性（主要是 UV 穿透率）自動調節 UV 消毒設備的燈管輸出功率的功能。

18. CT 值

在氣消毒等情況下，用於衡量消毒劑濃度 C (mg/l) 和接觸時間 T (分鐘) 的乘積，以表示消毒效果的指標。CT 代表 Concentration 和 Time 的首字母。

19. log 去除率 (也稱為「對數去除率(log-removal)」)

對於病毒、細菌和污染物等，以處理後的濃度對處理前的濃度的比例進行常用對數表示的值 (通過以下公式計算)，表示處理後剩餘的比例的對數的絕對值。在公共衛生學的風險評估中，這是一種常用的表示方法。

$$\begin{aligned} [\log \text{ 去除率}] &= \log([\text{處理前濃度}]) - \log([\text{處理後濃度}]) \\ &= \log([\text{處理前濃度}] / [\text{處理後濃度}]) \dots \dots \dots (\text{式 1.1}) \end{aligned}$$

3 log 去除表示的是處理後的濃度相對於處理前的濃度的 10^{-3} ，例如，如果病毒的存在量在處理前為 10,000 個/ml，處理後為 10 個/ml，則 log 去除為 $\log(10,000/10) = \log(10^3) = 3$ (這被表示為 3 log 去除)

另外，一般用來表示去除性能的去除率通常通過以下公式計算：

$$[\text{去除率}(\%)] = ([\text{處理前濃度}] - [\text{處理後濃度}]) / [\text{處理前濃度}] \times 100 \dots \dots \dots (\text{式 1.2})$$

如果要將 log 去除轉換為去除率，可以通過以下公式計算：

$$[\text{去除率}(\%)] = (1 - 1 / 10^{[\log \text{ 去除}]}) \times 100 \dots \dots \dots (\text{式 1.3})$$

例如，對於 3 log 去除，計算為 $(1 - 1 / 10^3) \times 100 = 99.9\%$

此外，在 UV 消毒中，也經常使用 log 失活(log inactivation)來表示微生物的失活。

具體來說，它通過以下公式計算：

$$\begin{aligned} [\log \text{ 失活}] &= \log([\text{UV 照射前濃度}]) - \log([\text{UV 照射後濃度}]) \\ &= \log([\text{UV 照射前濃度}] / [\text{UV 照射後濃度}]) \dots \dots \dots (\text{式 1.4}) \end{aligned}$$

20. log 濃度

病毒、細菌和污染物等的存在濃度有時會以常用對數表示（根據以下公式計算）。例如，如果病毒存在濃度為 1,000 個/ml，則對數濃度為 $\log 1,000 = \log 10^3 = 3$ 。

21. 大腸桿菌噬菌體（MS2、GI 噬菌體）

大腸桿菌噬菌體(Phage)是感染大腸桿菌的病毒總稱。特別是對大腸桿菌 F 纖毛有選擇性感染的 F 特異噬菌體，其形狀和大小與人類腸道病毒相似，因此多用於評估水處理中的對數去除。在本研究中選擇可以大量培養的 MS2 (Leviviridae 科 Levivirus 屬) 作為可以添加的模型病毒。此外，在實際驗證中，由於添加模型病毒相對困難，透過基因型將殘留在污水處理水中的 F 特異噬菌體進行分類，並選擇相對高濃度存在的 GI 型（GI 噬菌體）作為模型病毒進行評估。

第二章 技術概要與評價

第 1 節 技術概要

§5 技術目的

本技術的目的是結合 UF 膜過濾和 UV 消毒的再生水利用技術，透過這種技術，即使人們直接吸入再生水的飛沫，或者藉由農作物間接攝取，也能夠使病毒引起的病原風險降低（幾乎無風險），同時實現低成本、節能、安全且穩定的高可靠性再生水供應，從而擴大污水處理水的有效利用。

【解說】

在再生水利用中，根據不同的用途，需要不同水質標準。然而，在直接接觸再生水、進行供水或灌溉時，可能直接攝取飛沫的情況下，或者在用於灌溉食用或觀賞農作物時可能間接攝取附著在收成物上的再生水的情況下，安全的再生水對於預防病原體風險至關重要。加州的再生水利用法規，加州法典(California Code of Regulations, CCR)的第 22 條規定(Title22)，都要求在再生水灌溉利用中，需要具有高度處理性能以確保對病原體的安全去除。然而，Title22 標準技術中使用了添加絮凝劑、砂濾和消毒等方法來處理再生水。但這種標準技術可能導致處理成本和能源消耗大，且難以確保對病毒的可靠去除，同時無法進行對病毒去除情況的可靠監測，這可能引起安全性的疑慮。因此，使用者可能對再生水的安全性不太了解，並且普及再生水利用變得困難。

為了解決這些問題，需要即時監測生物和化學反應的異常情況，以及設備故障是否發生，並且能夠在異常情況發生時立即進行應對的管理技術。因此，除了採用具有高度病毒去除性能的處理方法外，還需要採用可靠的新型營運控制和管理技術。

作為具有這種管理能力的處理方法，採用了孔徑小於病毒尺寸的「UF 膜過濾」，以及使用不產生副產物的「UV 消毒」(不使用氯)，並透過揭示其營運控制和管理技術，旨在提供節能經濟、可靠安全和穩定的再生水供應，如圖 2-1 所示。

透過高水準的病毒處理和管理，可以期望促進再生水在對人類和作物的接觸和攝取可能存在安全風險的用途中的應用。此外，由於污水處理水被有效地再利用為再生水，傳統上被排放到公共水域中的氮和磷等污染負荷可以轉化為作物的養分，這也可以看作是一個期待帶來的效果。

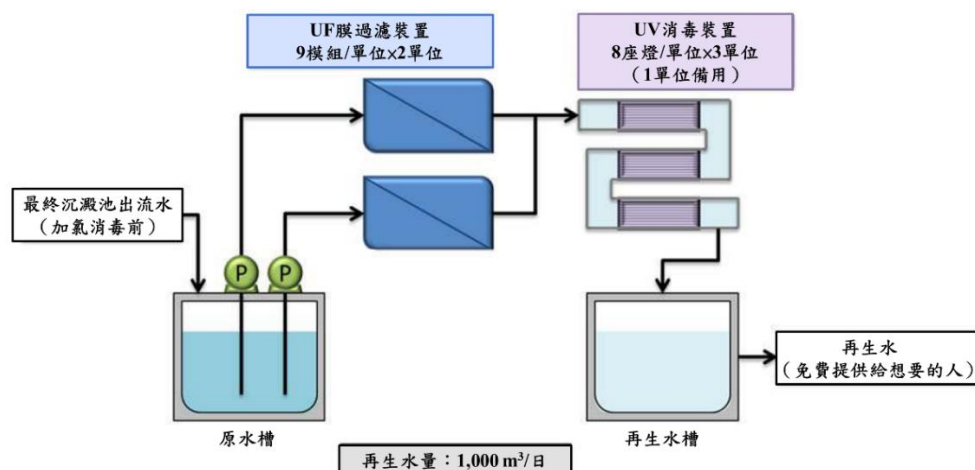


圖 2-1 本系統概要（實證設施）

§6 再生水利用用途

本技術生產的再生水有多種可能的用途，根據再生水的品質，最適合的用途是農業灌溉用水。此外，其他可能的用途包括清洗、灑水、景觀美化和工業用水，但在本技術中，懸浮物和病毒的去除是主要目標，對於其他可溶性物質，則取決於原始水的水質，因此需要進一步根據不同的用途進行評估。

【解說】

由於這項技術能夠高效地控制病毒去除，因此由此技術產生的再生水，其病原性風險非常低（實際上，幾乎可以認為是沒有風險），可以安全地使用。因此，這項技術所生產的再生水的使用用途，可以預期包括城市使用，其中人體直接接觸，以及灌溉用水。對於可能直接接觸的用途，如清洗、灑水、景觀美化等，可以根據「污水處理水再利用水質基準等手冊（國土交通省都市・地域整備局下水道部、國土交通省國土技術政策綜合研究所：2005年4月）」的水質標準來適當應對，對於大腸桿菌和濁度方面可以達標，然而對於色度方面，由於這是系統中沒有特別針對去除的物質，因此需要注意它可能來自於污水二級處理水的原始水質。

在農業灌溉用水方面，農民在灌溉時可能直接吸入再生水飛沫，而且這種情況的頻率也相當高。此外，考慮到人體可能在食用未充分沖洗的受到再生水污染的農作物，或者直接接觸觀賞植物時間接地攝取再生水，對於這些情況，對於病毒的安全性需求很高。這項技術能夠製造出病原風險極低的再生水，因此非常適合作為農業灌溉用水的再生水系統。

§7 技術概要

這項技術結合對原水濁度變化的穩定處理能力，使用「UF 膜過濾」技術，以及沒有消毒副產物和殘留物，具有高度安全性的「UV 消毒」技術，並透過結合這些技術的管理，可以以比傳統更低的成本提供安全穩定的再生水。

【解說】

本技術結合了以下技術，能夠以更穩定且經濟的方式可靠的去除病毒，從而產生安全的再生水。本技術已經在生食蔬菜的供應和收成物的銷售方面進行了驗證，可以用作"農業灌溉用水"。

- UF 膜過濾技術：

透過使用孔徑比病毒還要小的 UF 膜，可以實現病毒的去除。這種技術可以穩定地處理原水的濁度變化，以獲得低濁度的過濾水（參見資料編第一章），同時可以提高 UV 穿透率。

- UV 消毒技術：

這種技術具有較低的副生成物和殘留物，可以在短時間內使病毒失去活性，從而降低建設成本。同時，透過結合自動調光技術，還可以減少能源消耗。

- 管理技術（系統組合）：

透過使用 UF 膜過濾技術，可以穩定地獲得良好的 UV 穿透率過濾水，從而減少後續 UV 消毒的規模，實現整個系統中高效的病毒去除，並降低建設和維護成本。同時，透過即時監測處理狀況，可以在異常情況下進行處理，確保穩定的病毒處理性能。

技術的整體流程如圖 2-2 所示。除了 UF 膜過濾裝置和 UV 消毒裝置之外，還包括用於清洗 UF 膜的反洗設備、用於進行空氣清潔和壓力衰減測試的壓力空氣設備、用於進行化學清洗等的化學品設備，以及用於處理化學品清洗後的廢液的中和設備。

此外，為了實現穩定的處理，還配置了高靈敏度濁度計、SDI(淤塞密度指數)相關檢測儀器、UV 穿透計、壓力計（用於測量跨膜壓差）等儀器設備。

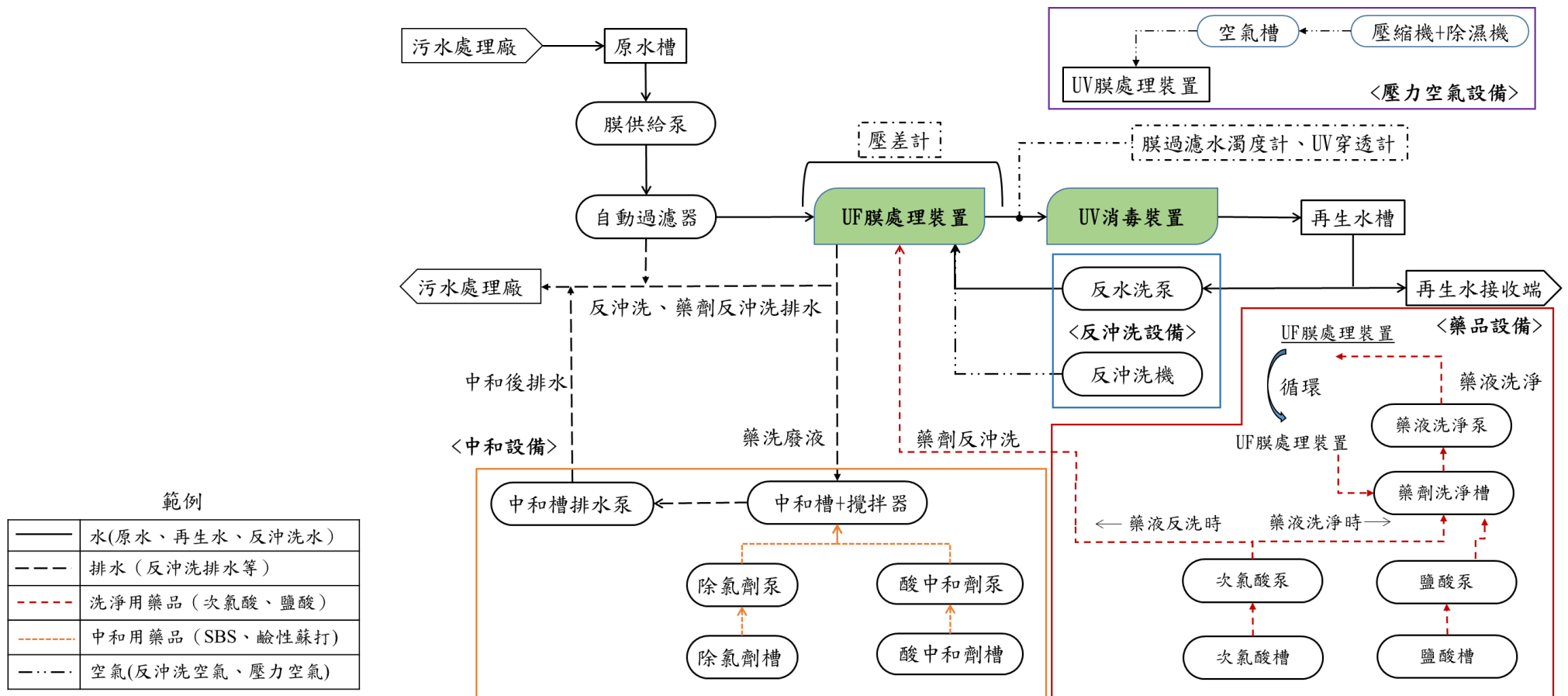


圖 2-2 本系統流程圖

§8 系統特徵

整個系統的特點如下：

1. 與傳統技術的比較特點

與傳統技術相比，本技術能降低生命週期成本(LCC)、維護管理費用、溫室氣體排放(GHG)等。

2. 結合 UF 膜過濾和 UV 消毒的特點

透過使用 UF 膜過濾技術，可以獲得穩定的過濾水，從而實現後續的 UV 消毒穩定處理，整個系統能夠高效地去除病毒。此外，透過即時監測處理狀況，可以對系統的異常進行完善處理。

【解說】

1. 與傳統技術的比較特點

本技術與傳統技術（Title22 中的「絮凝劑添加+砂濾+消毒」）之間的差異，如圖 2-3 所示。

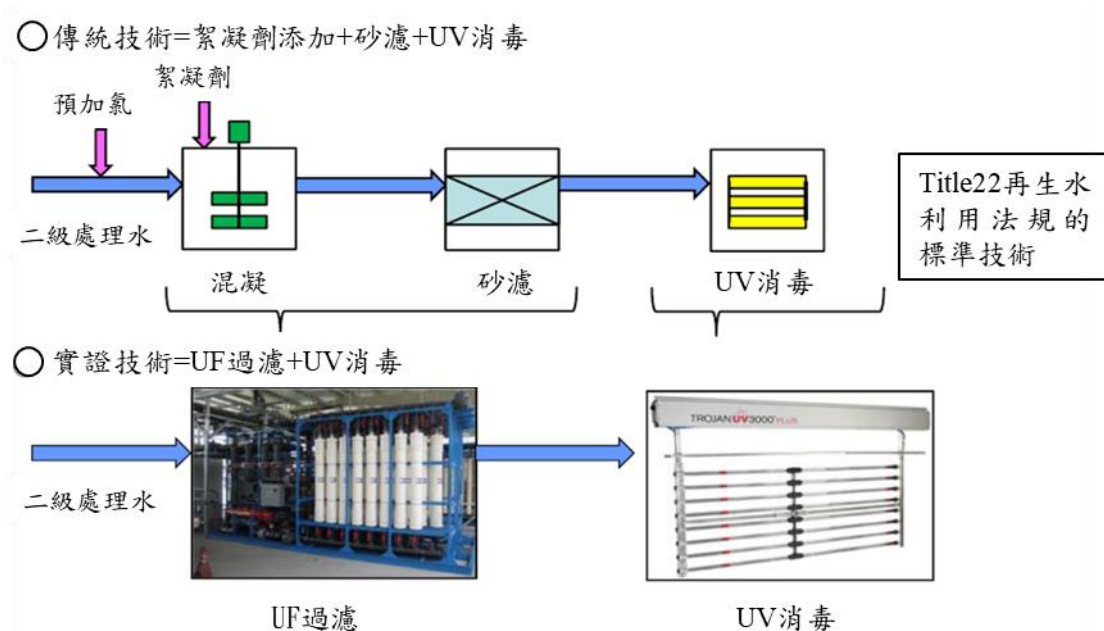


圖 2-3 本技術與傳統技術的比較

本技術與傳統技術相比，具有以下優勢。雖然能耗較高，但由於幾乎不使用化學藥品，因此在維護管理費用方面能夠節省。此外，從生命週期成本和溫室氣體排放量的角度來看，本技術也能夠比傳統技術更節省。

- 在生命週期成本方面，比傳統技術更低
- 在維護管理費用方面，比傳統技術更低
- 在溫室氣體排放量方面，比傳統技術更低

此外，與傳統技術相比，本技術還具有能夠高效處理和去除病毒的能力，並且對於重視安全性的農業利用等領域也能夠促進再生水的使用。因此，可以期待在水資源短缺的地區為新的水資源供應做出貢獻，並且能夠擴大受制於水資源不足而受限的高附加值

農業生產區域的農業生產。同時，從前被排放到公共水域中的氮和磷等污染物，現在可以作為農作物的營養鹽得到利用，這有望防止公共水域等地區的優養化問題，從而達到更好的效果。

2. 結合 UF 膜過濾和 UV 消毒的特點

透過 UF 膜過濾，可以穩定地獲得優良的 UV 穿透率過濾水，這樣可以縮小後續 UV 消毒的規模，實現整體系統高效的病毒去除，同時也能夠降低建設和維護管理成本。同時，透過結合 UF 膜過濾裝置和 UV 消毒裝置，並利用 UV 消毒裝置的備用機，可以實現以下效果，從而實現安全而穩定的病毒處理

- 在膜過濾中發生膜斷裂等異常情況時，啟動 UV 消毒裝置的備用機，可以增強 UV 消毒過程中的病毒失活，確保整體系統的病毒處理性能。
- 在 UV 消毒裝置的燈管故障等異常情況下，啟動 UV 消毒裝置的備用機，也可以確保病毒處理性能。

此外，如果利用 UF 膜藥洗所使用的消毒副產物設備，可以應對異常時的氯注入（儘管這只是緊急應對的措施）。再者，對於將再生水用於農業灌溉的情況，氯對作物生長的影響可能需要考慮。然而，考慮到短期使用在陽光下幾天內可以去除氯³⁾，所以長期使用對作物生長的影響是有限的，因此在異常情況下進行加氯的緊急應變是可行的。

§9 UF 膜過濾系統特徵

透過 UF 膜過濾，可以去除大部分的病毒，同時提高 UF 過濾水的 UV 穿透率，以確保後續的 UV 消毒能夠確實地對病毒進行失活，為一種前處理方法。

【解說】

透過使用比病毒尺寸更小的 UF 膜（超濾膜，其孔徑大約在 10 nm 左右，小於目前被認為最小的病毒如小 RNA 病毒和瓦波病毒的大小約為 20 nm），可以實現 1 log 以上的病毒去除（超過 90% 的去除率）（參考資料 1）。透過進行 UF 膜過濾，UV 穿透率得到改善，從而可以減小後續的 UV 消毒裝置的尺寸。

對於細菌和原生動物，傳統的 MF（微過濾）膜可能會有部分滲漏，但使用 UF 膜則幾乎可以完全去除，因此在後續的 UV 消毒過程中不會出現光回復的風險，可以確保獲得安全的再生水。

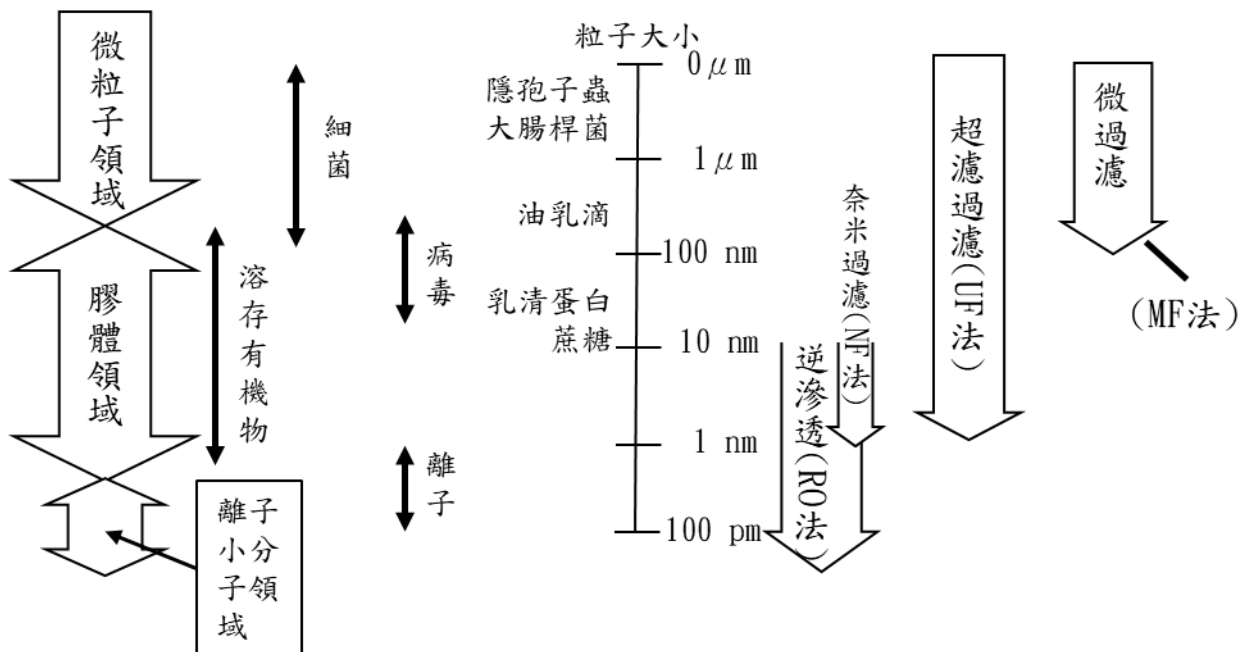


圖 2-4 膜的種類與分離孔徑

此外，透過進行 UF 膜過濾，即使在水質較高的情況下，也能穩定地獲得低濁度的過濾水（參考資料 1），並且可以穩定地提高 UF 膜過濾水的 UV 穿透率。

在 UF 膜過濾裝置中，需要控制的項目是調整 UF 膜過濾供水泵的轉速，不需要像傳統技術一樣根據原水水質調整絮凝劑添加量等細微的操作管理。此外，傳統技術中，絮凝效果可能會受到除了測量的原水水質之外的條件影響，可靠的處理需要一定的熟練度，然而 UF 膜過濾技術是一種基於簡單的物理處理，即使原水變化也能實現可靠的處理。

UF 膜過濾裝置（實證設施）的外觀和 UF 膜模組的概要分別在圖 2-5 和圖 2-6 中顯示。



圖 2-5 UF 膜過濾裝置（實證設施）的外觀

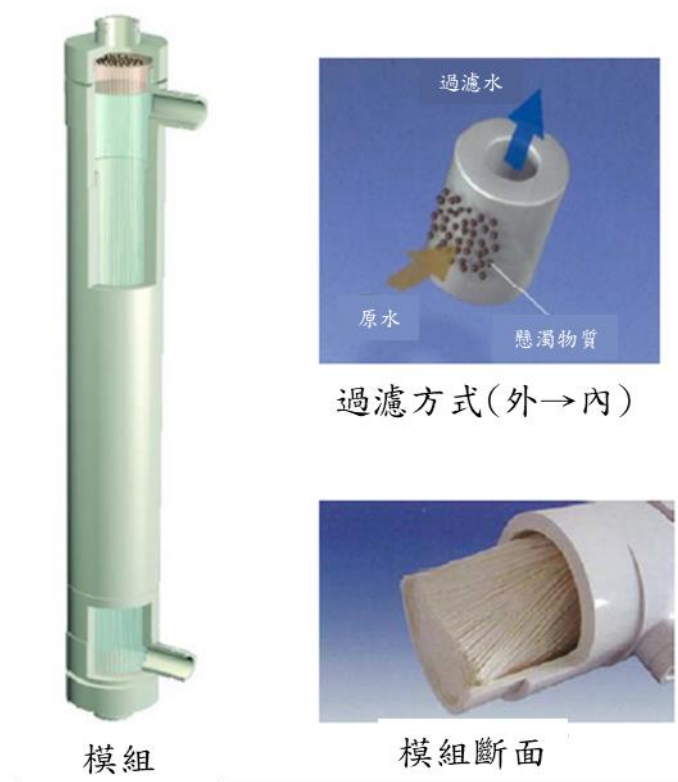


圖 2-6 UF 膜模組概要

§10 UV 消毒系統特徵

透過 UV 消毒，能夠在短時間的 UV 照射下獲得沒有殘留物且無副生成物產生的安全再生水。此外，透過 UF 膜過濾水的 UV 穿透率進行 UV 強度的自動調節，不僅可以降低能源消耗，還能確保病毒失得活，實現高安全性的處理。

【解說】

在氯消毒中，Title22 的標準技術可實現本系統相同的 5 log 去除，需要的 CT 值為 450 $\text{mg}/\ell \cdot \text{min}$ （例如在殘留氯濃度為 5 mg/ℓ 的情況下，需接觸 90 min）。然而，透過 UV 消毒，能夠在數分鐘的照射時間內使病毒失活，從而減少消毒槽的建設成本。此外，由於幾乎不需要使用氯消毒劑等化學藥劑，還可以減少維護管理成本。

透過前面的 UF 膜處理，能夠獲得低濁度的過濾水，提高 UV 透射率。這可以在處理性能方面避免由於濁度變化而導致的失活降低或變動風險，實現穩定的病毒失活。在維護管理方面，透過根據 UF 膜過濾水的透過率自動調節 UV 強度，不僅可以降低能源消耗，還可以根據需要實現高強度的 UV 照射，確保病毒失活，實現高安全性的處理（參考資料編 1）。

UV 消毒裝置（實證設施）的外觀和 UV 消毒裝置的概述如圖 2-7 和圖 2-8 所示。

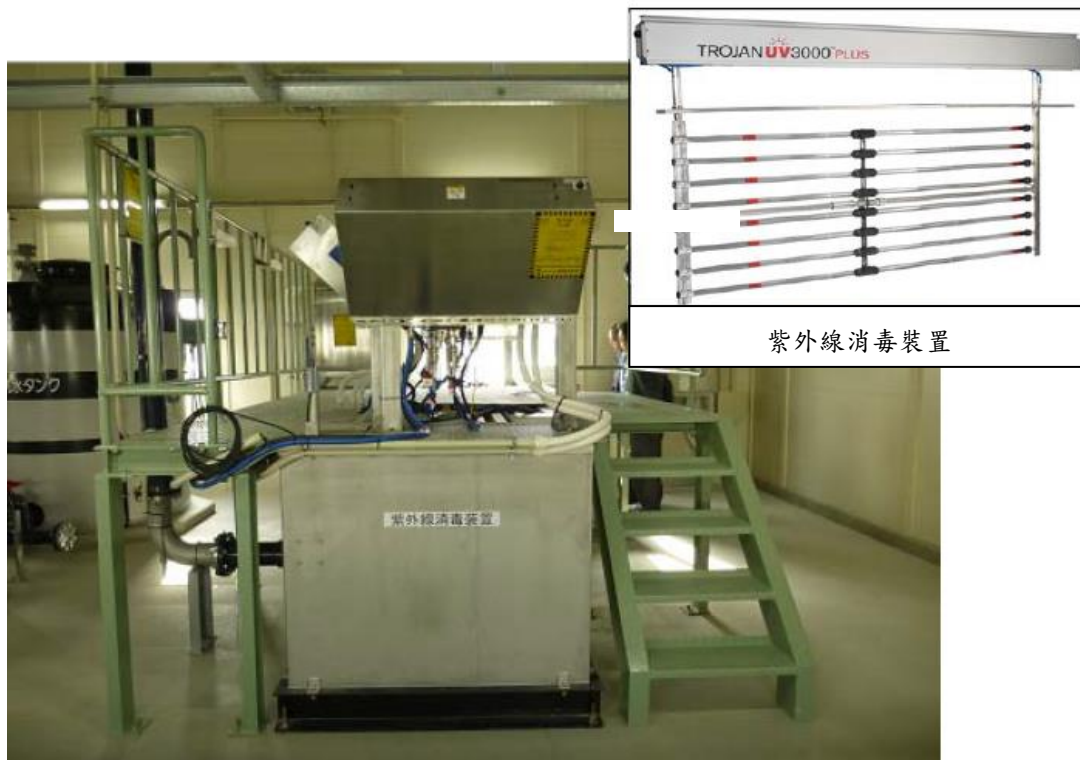


圖 2-7 UV 消毒裝置（實證設施）的外觀



圖 2-8 UV 消毒裝置的概要

第 2 節 技術適用條件

§11 適用條件

本技術的適用條件如下：

1. 處理水量

本技術的最小規模為每日 1,000 m³（最大日），單元數和串聯數可以任意設定，因此沒有最大規模的限制。需要注意的是，在每日 1,000 m³（最大日）的規模下，透過調整營運時間，也可以實現處理水量低於此數值的營運。

2. 原水 SS 水質和濁度

原水的 SS 水質和濁度適用條件如下：

- 原水 SS 水質：不超過 10 mg/l（年均值）
- 原水濁度：不超過 10 NTU（年均值）

3. 場地確保和貯水設施相關條件

確保足夠的場地來設置本系統，並確保能夠滿足再生水需求日間變動所需的貯水設施相當重要。

【解說】

1. 處理水量

(1) 最小規模

本技術的最小規模將根據 UF 膜過濾裝置和 UV 消毒裝置的最小規模中較大的一方來確定。UF 膜過濾裝置的最小規模為每日 660 m³（最大日），而 UV 消毒裝置的最小規模為每日 999 m³（最大日）。因此，本技術的最小規模大約為每日 1,000 m³（最大日）。需要注意的是，如果規模較大，每個裝置都可以靈活地進行適應。

此外，對於後續的最小規模考慮，雖然基於實證研究使用的標準設計，但可以根據採用的設備製造商的標準規格以及根據再生水需求來進一步縮小系統規模。因此，應根據預期的再生水需求進行系統設計（參考第 4 章）。

① UF 膜過濾裝置的最小規模

UF 膜過濾裝置的最小規模如下所示，為每日 660 m³。然而，如果在使用本技術中所示的監控控制系統進行備份控制（參見「§55 緊急應變」），並且安裝備用模組，則可以進一步縮小規模。

另外，一個系列由多個單元組成，每個單元又由多個膜模組組成（圖 2-9 示意了膜模組、單元和系列的關係）。

● 膜模組的最小規模：

膜面積：72 m²/個

膜通量：1.0 m/日

回收率：92 %

膜面積 72 m²/個×膜通量 1.0 m/日×回收率 92 % = 66 m³/日・個

● 膜單元的最小規模：330 m³/日・單元

膜單元的模組數量最小為 5 個，原因是在膜破裂的情況下，這樣可以更容易

地識別破裂位置，並減少停止 1 個模組對整個單元的影響。雖然停止 1/5 的模組將導致每個模組的處理水量（膜通量）增加 20%，但在實際的驗證設施中確認，這不會對 UF 膜過濾的處理性能產生重大影響。

膜單元的最小模組數量：5 個/單元

$$66 \text{ m}^3/\text{日} \cdot \text{個} \times 5 \text{ 個/單元} = 330 \text{ m}^3/\text{日} \cdot \text{單元}$$

雖然在這項技術中考慮了經濟性，不考慮安裝備用模組，但如果再生水的使用效果很高，也可以考慮安裝備用模組，使一個膜單元有兩個模組（其中一個為備用）。

- 每系列的最小規模：660 $\text{m}^3/\text{日} \cdot \text{系列}$

考慮到單元共用設備的故障等影響以及單元更新時的影響，一個系列中的單元數最少為 2 個。

一個系列的最小單元數：2 單元/系列

$$330 \text{ m}^3/\text{日} \cdot \text{單元} \times 2 \text{ 單元/系列} = 660 \text{ m}^3/\text{日} \cdot \text{系列}$$

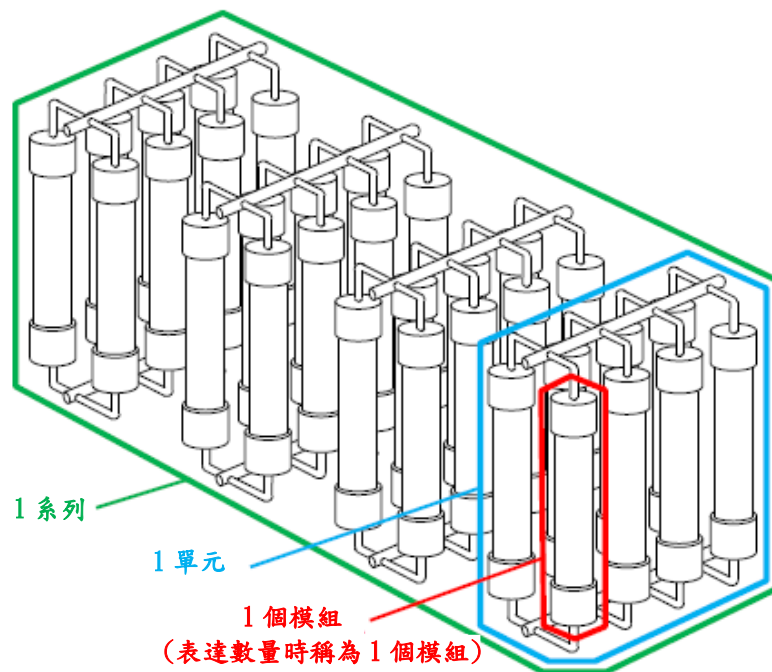


圖 2-9 UF 膜過濾裝置的系列與單元示意圖

② UV 消毒裝置的最小規模

UV 消毒裝置的最小規模基於以下規格為 1,000 $\text{m}^3/\text{日}$ 。然而，如果在這種情況下不執行根據本技術監控控制系統的備用控制（參見「§55 緊急應變」），則可以進一步適用更小的規模。

此外，UV 消毒裝置的一個系列可以由 1 個或 2 個水路組成，其中 1 個水路包含多個燈單元，1 個燈單元包含多個燈模組，1 個燈模組又包含多支燈。圖 2-10 顯示了燈、燈模組、單元、水道和系列之間關係具的體配置。

- 燈的最小規模：148 $\text{m}^3/\text{日} \cdot \text{支}$

此為在實證研究中使用含有較多 GI 型大腸桿菌噬菌體（GI 噬菌體）的污水處理水進行的研究結果（參見資料編第一章）。這些結果是根據使用

標準規格品所需的燈數進行設定的。

- 設計 UV 穿透率：70 %（參見「§41 UV 消毒裝置的設計」）
- 燈輸出：100 %（假定在最大輸出時可以處理最大日水量）
- 每支燈能處理的水量（假定 UV 照射量為 85 mJ/cm^2 ）： $148 \text{ m}^3/\text{日} \cdot \text{支}$

● 模組和單元的最小規模

在實證研究中使用的 UV 消毒裝置中，1 個模組的最小燈數是 4 支，1 個單元的最小模組數是 2 個。（實際運轉時使用 2 個模組，加上 1 個預備模組，成為本技術的標準最小單位。）此外，UV 消毒裝置每日的實際處理水量是根據 UF 膜過濾裝置僅在過濾運轉期間進行 UV 消毒，因此處理的規模是考慮每日運轉時間設定的。

- 1 個模組的最小燈數：4 支/模組
- 1 個單元的最小模組數：2 個/單元
- 過濾時間：20.25 小時
- 1 個模組的最小規模： $148 \text{ m}^3/\text{日} \cdot \text{支} \times 4 \text{ 支/模組} = 592 \text{ m}^3/\text{日} \cdot \text{模組}$
- 1 個單元的最小規模： $592 \text{ m}^3/\text{日} \cdot \text{支} \times 2 \text{ 支/模組} \times 20.25 \text{ 小時} \div 24 \text{ 小時} = 999 \text{ m}^3/\text{日} \cdot \text{單元}$

然而，在本技術中，如果不執行所示的監控控制系統的備份控制（參見「§55 緊急應變」），並且可以在一定時期內停止運轉，則可以進一步減少模組數量。

● 1 系列的最小規模和實際處理水量： $1,000 \text{ m}^3/\text{日} \cdot \text{系列}$

UV 消毒裝置可以對每個單元進行控制，因此 1 系列由 1 個單元組成，為最小的配置。

1 系列的最小單元：1 單元/系列

$999 \text{ m}^3/\text{日} \cdot \text{單元} \times 1 \text{ 單元/系列} = 999 \text{ m}^3/\text{日} \cdot \text{系列}$

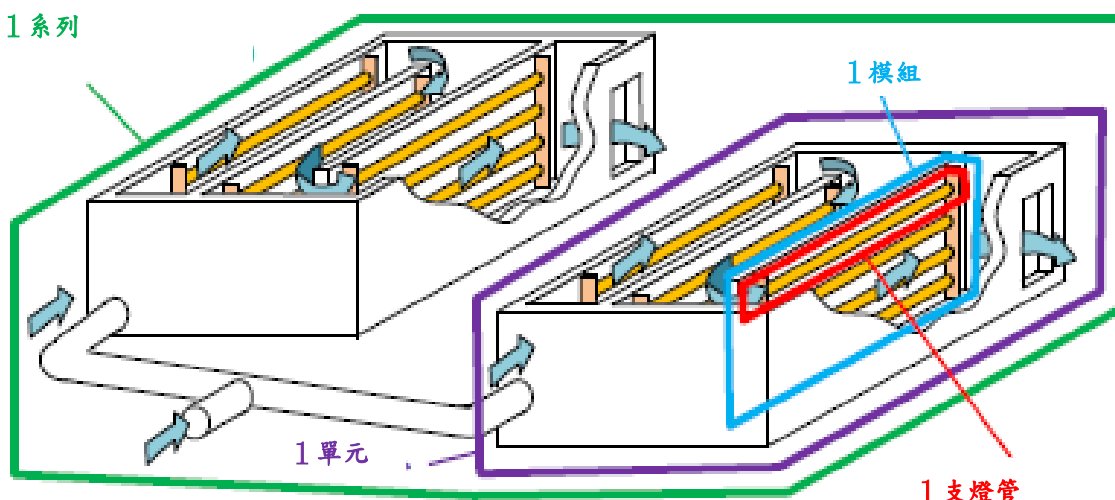


圖 2-10 UV 消毒裝置的系列與單元的示意圖

(2) 最大規模

本技術在系列數方面沒有限制，因此最大規模也沒有限制。然而，對於每個系列的單元數和模組數存在以下限制。

① UF 過濾裝置的最大規模

UF 過濾裝置的單元數和系列數是無限制的，因此可以根據不同供水點的需求量來設定系列數，或者根據用地形狀進行適當的系列和單元配置，以符合設計條件。

- 1 個模組的最大規模：根據規格品的大小而定。
- 1 個單元的最大模組數量：每個單元最多 16 個模組。

在檢測到膜破裂後，將以每個模組為單位進行壓力衰減測試以確定破裂的模組。在此情況下，假設每個單元在約 30 分鐘的時間內進行測試，白天共 8 小時，最多可以管理 16 個模組。

- 1 系列的最大單元數量：無限制。

② UV 消毒裝置的最大規模

UV 消毒裝置的水路數目和系列數目沒有限制，可以根據多個用水點的需求進行系列設置，或者根據用地形狀進行合適的系列和水路配置，根據設計條件進行設置。

- 單支燈管的最大規模：根據規格品的大小而定。
- 1 個燈管單元的最大燈管數量：根據規格品的大小而定。
- 1 水路的最大單元數量：無限制

1 水路的最大單元數量沒有特定的規定，但應考慮採用製造商的規格以及維護管理性能，進行適當的設定。

- 1 系列的最大水路數量：無限制

2. 原水 SS 水質和濁度

原水的懸浮固體(SS)水質和濁度高的情況下，膜的堵塞問題會更快地出現，需要增加 UF 膜反洗的頻率，這會增加維護管理成本。如果反洗不足，膜的堵塞（污垢積聚）將進一步惡化，可能導致無法運轉的壓差升高，或是隨之而來的膜壽命下降。

在實證實驗中，即使存在短暫的 SS 水質約 15 mg/l 和濁度約 15 NTU 的進水情況，也能夠達到成為 UF 反洗水的目標，即 SS 水質偵測極限(1 mg/l)以下，濁度 0.2 NTU 以下。然而，對於長期以高 SS 水質和濁度處理的穩定性無法評估，因此在考慮到原水的平均水質時，需保留一些彈性，以確保 SS 水質 10 mg/l 以下，濁度 10 NTU 以下，這樣就能確保穩定的處理，因此將其作為適用條件。

3. 場地確保和貯水設施相關條件

由於這個系統是在既有處理場中進行附加設置，因此需要確保既有處理廠的用地是否有足夠的空間，或者在周邊確保用地以進行建設。此外，雖然最好進行設施佈局的考慮，以確定所需的用地面積，但也可以通透「§22 本系統設施面積」中提供的用地面積計算函數進行大致估算。

在這個系統中，如果用戶位於附近，則可以利用配水塔等自然落差進行供水。但如果用戶位於遠處，則可能需要額外的中繼泵站，因此需要確保相應的建設用地。

另外，基於這個系統需要進行 24 小時不間斷營運，以滿足每日最大的需求量（請參

考「§29 基本條件設定」)，因此在需求量每日波動的情況下，需要有貯水設施來應對。確保能夠另外設置這些貯水設施相當重要。如果用於農業用途，則可以考慮將再生水引入既有的貯水池中，以同時進行儲水和利用，這也是一個值得考慮的方案。

第 3 節 基於實證研究評價概要

§12 實證研究概要

本實證研究旨在結合 UF 膜和 UV 消毒技術，並融入新的管理技術，以驗證能夠實現安全穩定的再生水供應

【解說】

本實證研究於 2015 年至 2016 年以「結合 UF 膜過濾處理與 UV 消毒的再生水利用技術」為主題進行。該實證技術的概要如圖 2-11 所示，如「§5 技術的目的」所述，將 UF 膜和 UV 消毒技術結合，並加入新的管理技術，以實現安全穩定的處理。該實證項目的目標是供應再生水給都市用水（如日本小溪水道用水）和農業灌溉用水，並在實際中證明這項技術的可行性。

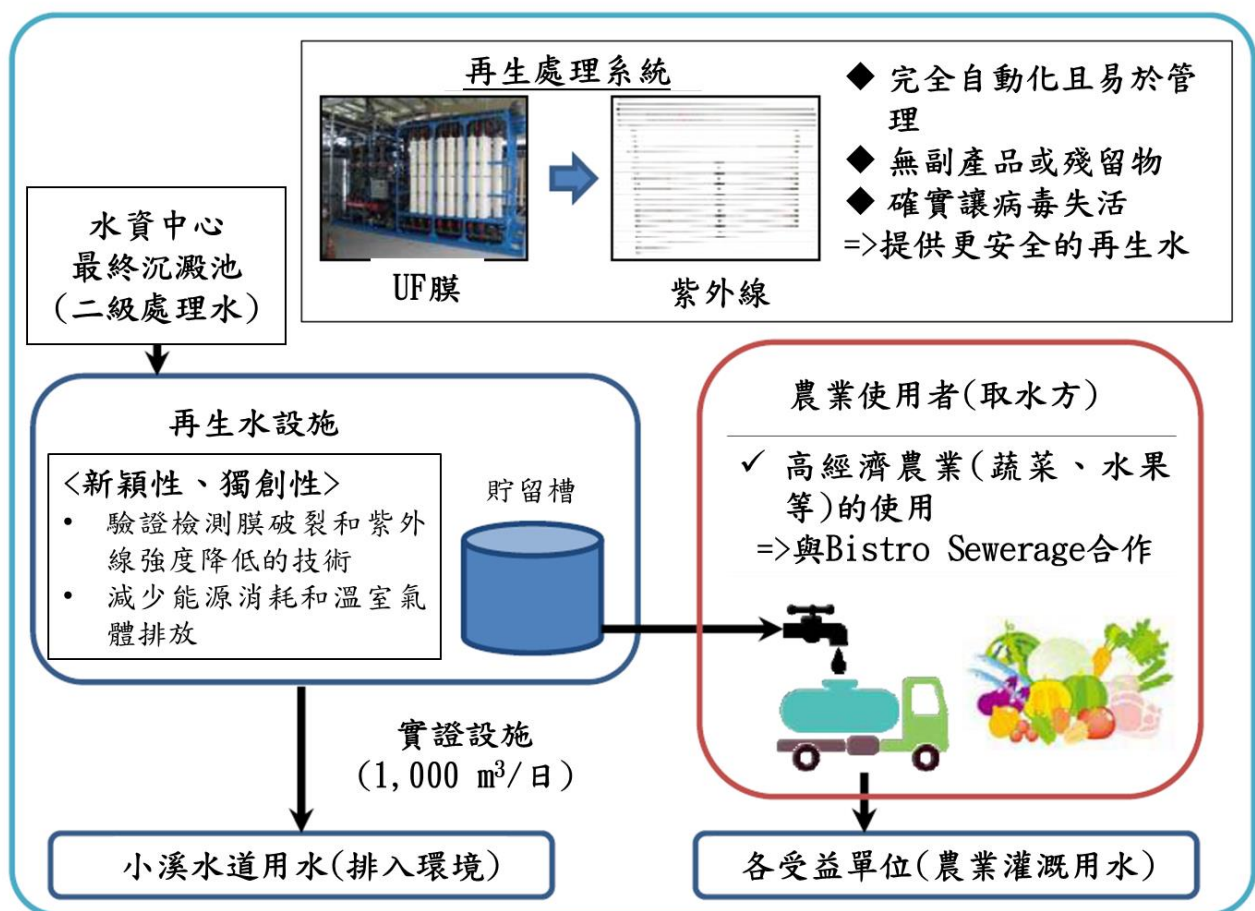


圖 2-11 本實證研究概要

§13 評價項目

在實證研究中，針對與傳統技術的比較，評估項目如下所示：

1. 建設成本（年價）
2. 維護管理成本
3. 生命週期成本(LCC)
4. 耗電量
5. 溫室效應氣體(GHG)排放量

【解說】

在實證研究中，與「§8 系統整體的特徵」中所示的傳統技術（添加絮凝劑+砂濾+紫外線消毒）進行比較，設定了一個每日處理能力為 10,000 m³ 的模型案例，並對以下項目進行了評估：

1. 建設成本（年價）

進行了模型設計，計算建設成本，並根據設定的各設施使用年限計算年化成本。

2. 維護管理

成本在設計的模型設施中，計算電力費、化學藥品費、消耗品費、維修費和污泥處理費等項目的維護管理費用。

3. 生命週期成本

將建設成本（年化）和維護管理費用相加，計算生命週期成本。

4. 能耗

在設計的模型設施中，累加了各設備的用電量，計算整個系統的能耗。

5. 溫室氣體排放量

在設計的模型設施中，計算電力來源、化學藥品來源、污泥處理來源、建設和拆除來源等各項目中的溫室氣體排放量。

§14 評價結果

在以 10,000 m³/日規模進行的模型設計中，對於傳統技術和本技術進行比較和評估的結果顯示，雖然本技術在能耗方面超過了傳統技術，但在生命週期成本、維護管理費用和溫室氣體排放量方面，本技術被證明比傳統技術更具優勢（請參考資料編 2）。

【解說】

1. 試算條件

以表 2-1、表 2-2 和圖 2-12 所示的試算條件試算與傳統技術的比較和評估。

表 2-1 試算條件

項目	計算方法	備註
設施規模	10,000 m ³ /日	24 小時運轉
土木	所需結構尺寸乘以 30,000 日圓/m ³ 計算	地下機械室、UV 消毒槽、再生水槽
建築	所需建築面積乘以 25 萬日圓/m ³ 計算	UF 膜設備大樓
機械電氣	設定必要的設備成本，安裝工程成本按設備成本的 30 %（機械）、70 %（電氣）計算	

表 2-2 試算條件

項目	標準耐用年數 n 的設定	利率 i 的設定	備註
土木建築	50 年	2.3 %	與傳統技術共通
機械電氣	15 年	2.3 %	與傳統技術共通

$$\text{建設費年價} = \text{建設費} \times \frac{i \times (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

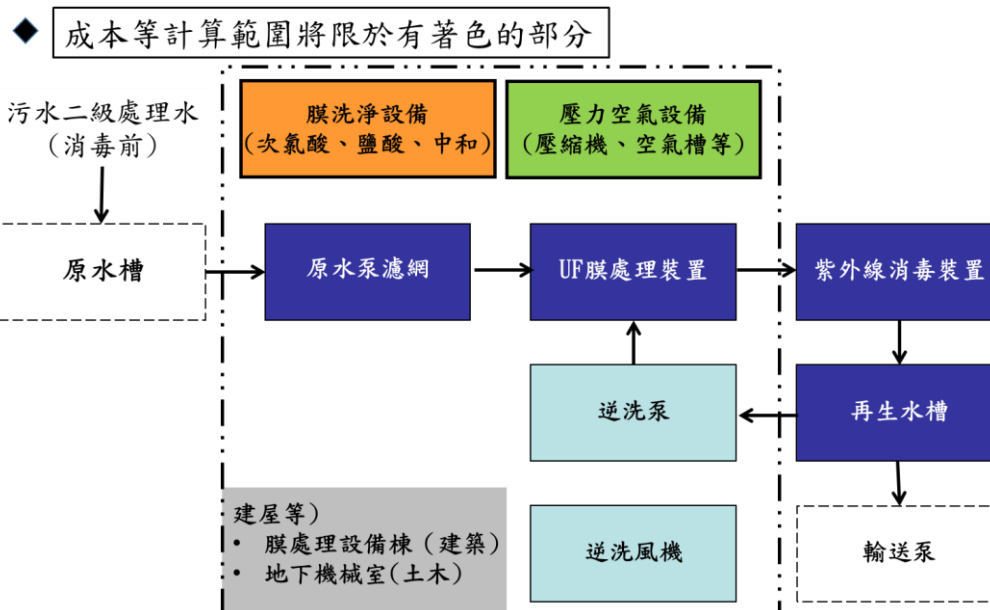


圖 2-12 成本試算範圍

2. 本技術的成本試算結果

根據前述的試算條件，進行導入效果的試算，結果如下的表 2-3 到表 2-5 所示。在進行本技術的試算時，考慮到透過 UV 消毒裝置的自動調光控制（請參考「§46 UV 消毒裝置的監控控制系統」）可以降低消耗電力，相對於 UV 燈的標準運轉（無 UV 自動調光）情況，評估了有 UV 自動調光和無 UV 自動調光的兩種情況。根據試算結果，建設成本再生水 1 m³ 約為 21 日圓，維護管理成本再生水 1 m³ 約為 12 日圓（包括有 UV 自動調光和無 UV 自動調光的情況）。

表 2-3 建設成本試算結果

項目	計算結果		備註
	金額（百萬日圓）	年價（百萬日圓/年）	
土木建築	236.95	8.02	使用年限 50 年
機械電氣	867.43	69.03	使用年限 15 年
合計	1,104.38	77.05	

表 2-4 耗電量及維護管理成本的試算結果

項目		計算結果		備註
		無 UV 自動調光	有 UV 自動調光	
耗電量		680,689 kWh/年	654,080 kWh/年	
維護管理費	電力費	10.21 百萬日圓/年	9.81 百萬日圓/年	
	藥品費	0.94 百萬日圓/年	0.94 百萬日圓/年	次氯酸鈉 50 日圓/kg
	消耗品費	23.86 百萬日圓/年	23.86 百萬日圓/年	
	修繕費	4.43 百萬日圓/年	4.43 百萬日圓/年	
	污泥處理費	3.86 百萬日圓/年	3.86 百萬日圓/年	
	合計	43.30 百萬日圓/年	42.90 百萬日圓/年	

表 2-5 GHG 排放量試算結果

項目	計算結果（kg-CO ₂ /年）		備註
	無 UV 自動調光	有 UV 自動調光	
電力來源	399,564	383,945	CO ₂ 排放係數 0.587 kg-CO ₂ /kWh
藥品來源	6,623	6,623	原單位 次氯酸鈉 0.320 kg-CO ₂ /kg 等
污泥處理來源	7,311	7,311	
建設及拆除來源	102,086	98,230	建設：維護管理：拆除 =19.3：80.2：0.5
合計	515,584	496,109	

3. 與傳統技術的比較

關於本技術的成本試算結果，將其與傳統技術進行比較，結果如下的表 2-6~表 2-9 和圖 2-13~圖 2-16 所示，並將本技術與傳統技術的比較總結在表 2-10 中。相對於傳統技術，本技術可以減少「土木建築費」和「藥品使用量（絮凝劑）」。此外，由於不使用絮凝劑，可以減少與藥品相關的溫室氣體排放量，並且由於生成的污泥量（固體物量）也減少，因此也可以減少「污泥處理費」和「與污泥處理相關的溫室氣體排放量」。然而，另一方面，由於在將原水送入 UF 膜時需要較大的電力，所以相對於傳統技術，本技術的耗電量會增加。

表 2-6 生命週期成本削減效果

		金額 (百萬日圓/年)	削減率 (%)	備註
傳統技術		138.41	-	PAC50 日圓/kg
本技術	無 UV 自動調光	120.35	13.0	次氯酸鈉 50 日圓/kg
	有 UV 自動調光	119.95	13.3	

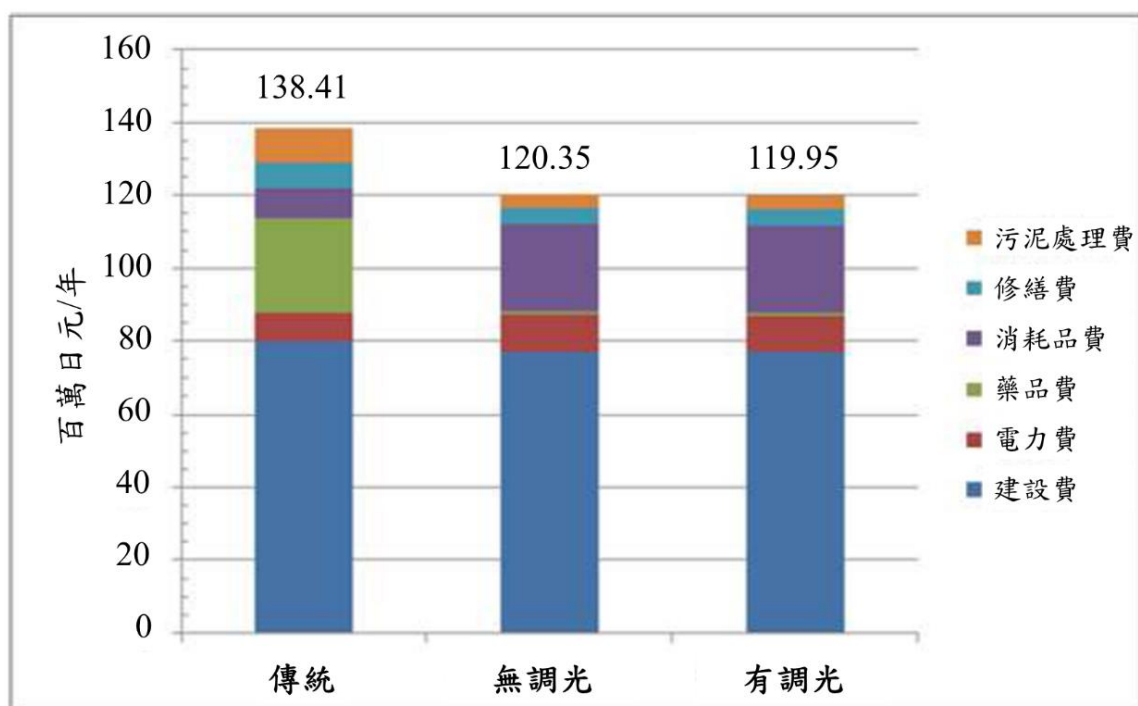


圖 2-13 生命週期成本削減效果

表 2-7 維護管理費削減效果

		金額 (百萬日圓/年)	削減率 (%)	備註
傳統技術		58.75	-	PAC50 日圓/kg
本技術	無 UV 自動調光	43.30	26.3	次氯酸鈉 50 日圓/kg
	有 UV 自動調光	42.90	27.0	

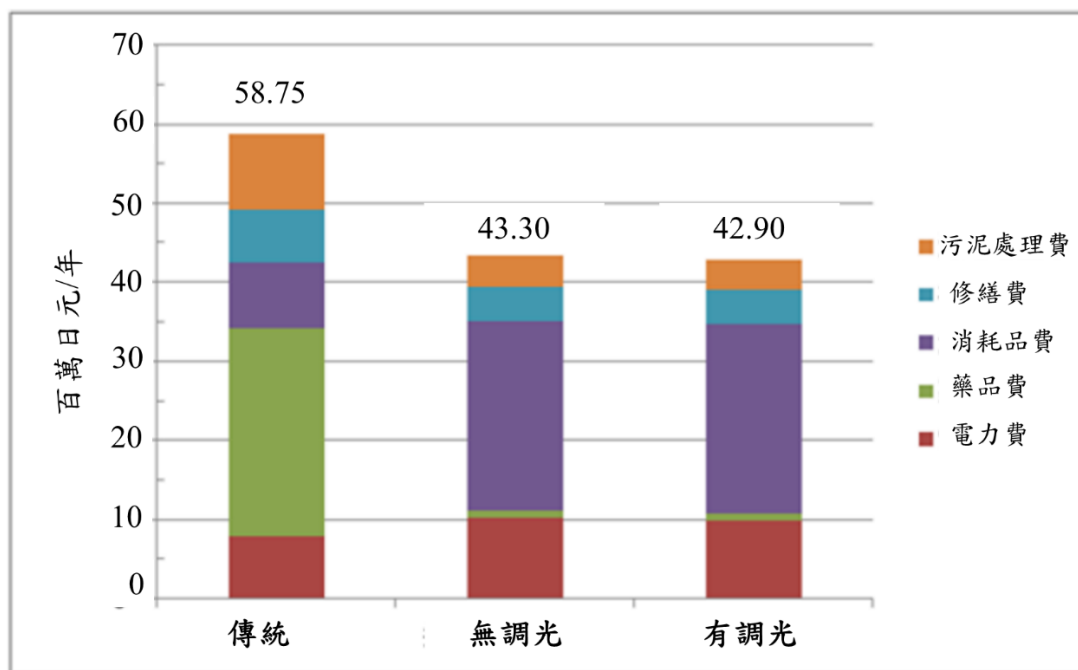


圖 2-14 維護管理費削減效果

表 2-8 耗電量削減效果

		電力量 (kWh/年)	削減率 (%)	備註
傳統技術		526,138	-	
本技術	無 UV 自動調光	680,689	-29.4	
	有 UV 自動調光	654,080	-24.3	

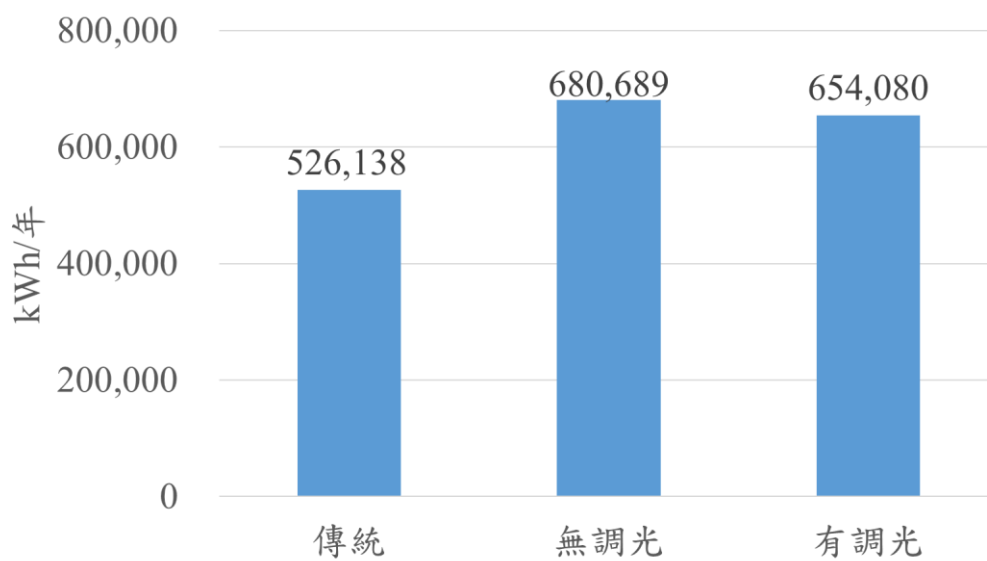


圖 2-15 耗電量削減效果

表 2-9 GHG 排放量削減效果

		排放量 (kg-CO ₂ /年)	削減率 (%)	備註
傳統技術		649,416	-	
本技術	無 UV 自動調光	515,587	20.3	
	有 UV 自動調光	496,109	23.6	

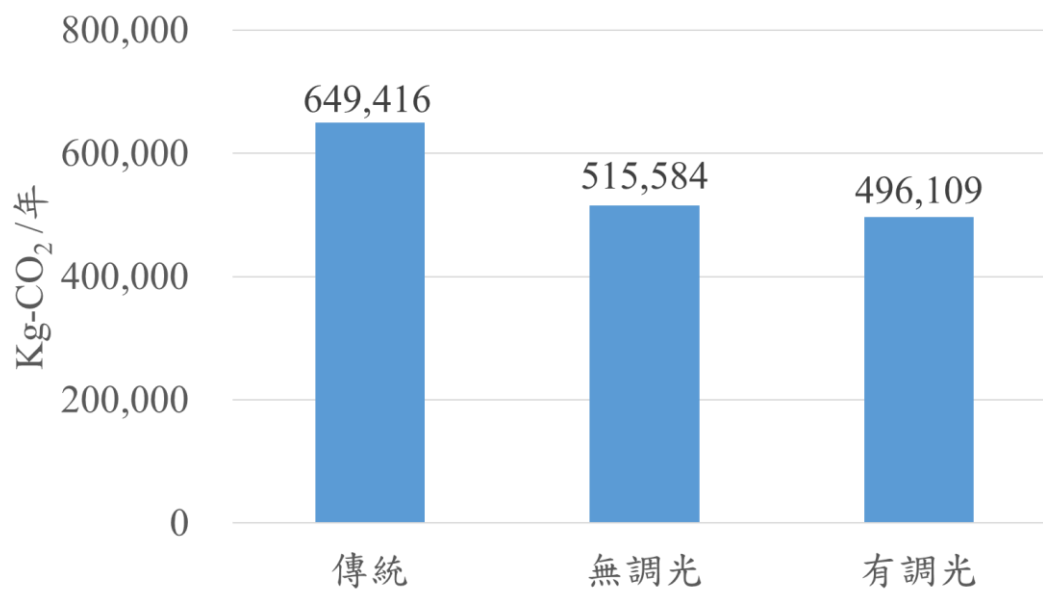


圖 2-16 GHG 排放量的削減效果

表 2-10 本技術與傳統技術的比較

項目	傳統技術	本技術		備註
		無 UV 自動調光	有 UV 自動調光	
生命週期成本	138.41 百萬日圓/年	120.35 百萬日圓/年	119.95 百萬日圓/年	
維護管理費	58.75 百萬日圓/年	43.30 百萬日圓/年	42.90 百萬日圓/年	次氯酸鈉 50 日圓/kg
耗電量	526,138 kWh/年	680,689 kWh/年	654,080 kWh/年	

第三章 導入檢討

第 1 節 導入檢討方法

§15 導入檢討程序

在考慮引入本技術時，需要了解污水處理設施和再生水利用的目標區域的現狀和問題等，進行導入效果的評估，並對適當的導入範圍和業務形態等進行判斷。

【解說】

透過使用可供人們安全接觸的高可信度再生水利用技術，在水需求迫切的地區，供應新的水資源，促進區域經濟發展，例如農業利用等，同時從減輕公共水域等環境負擔的角度擴大污水處理水的有效利用，明確制定導入目標。根據圖 3-1 所示的評估流程和圖 3-2 所示的導入評估詳細流程，收集必要的資訊，進行導入效果的概要試算，並進行導入判斷，包括導入範圍和業務形式等。如果試算結果顯示導入效果不足，則應重新審視導入方案，進行多次考慮是有幫助的。

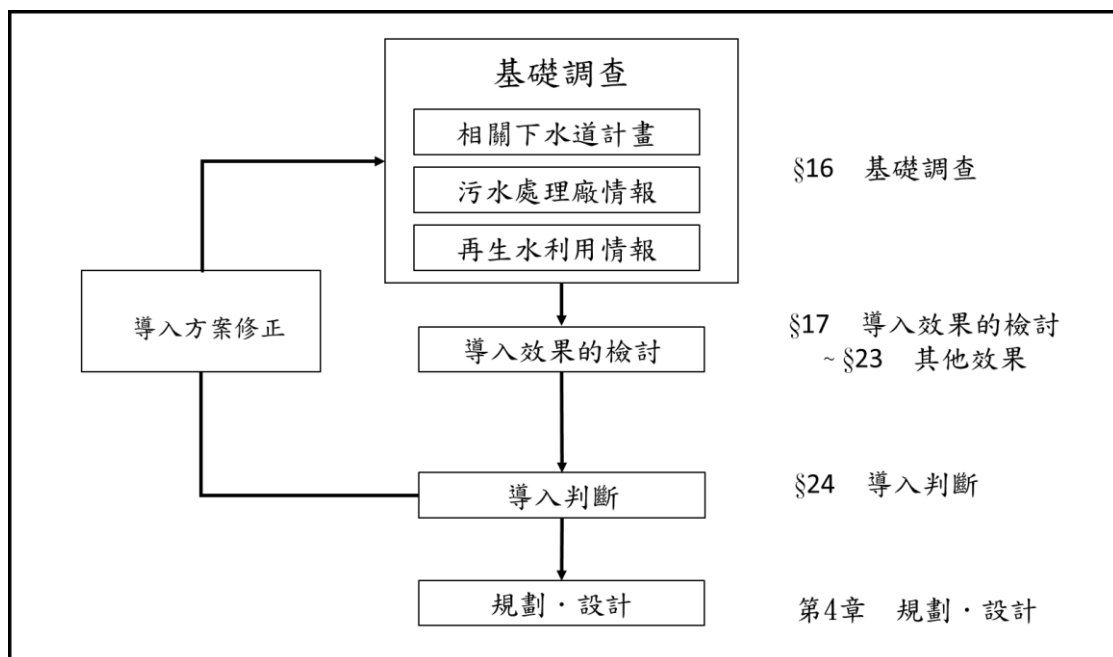


圖 3-1 導入檢討流程

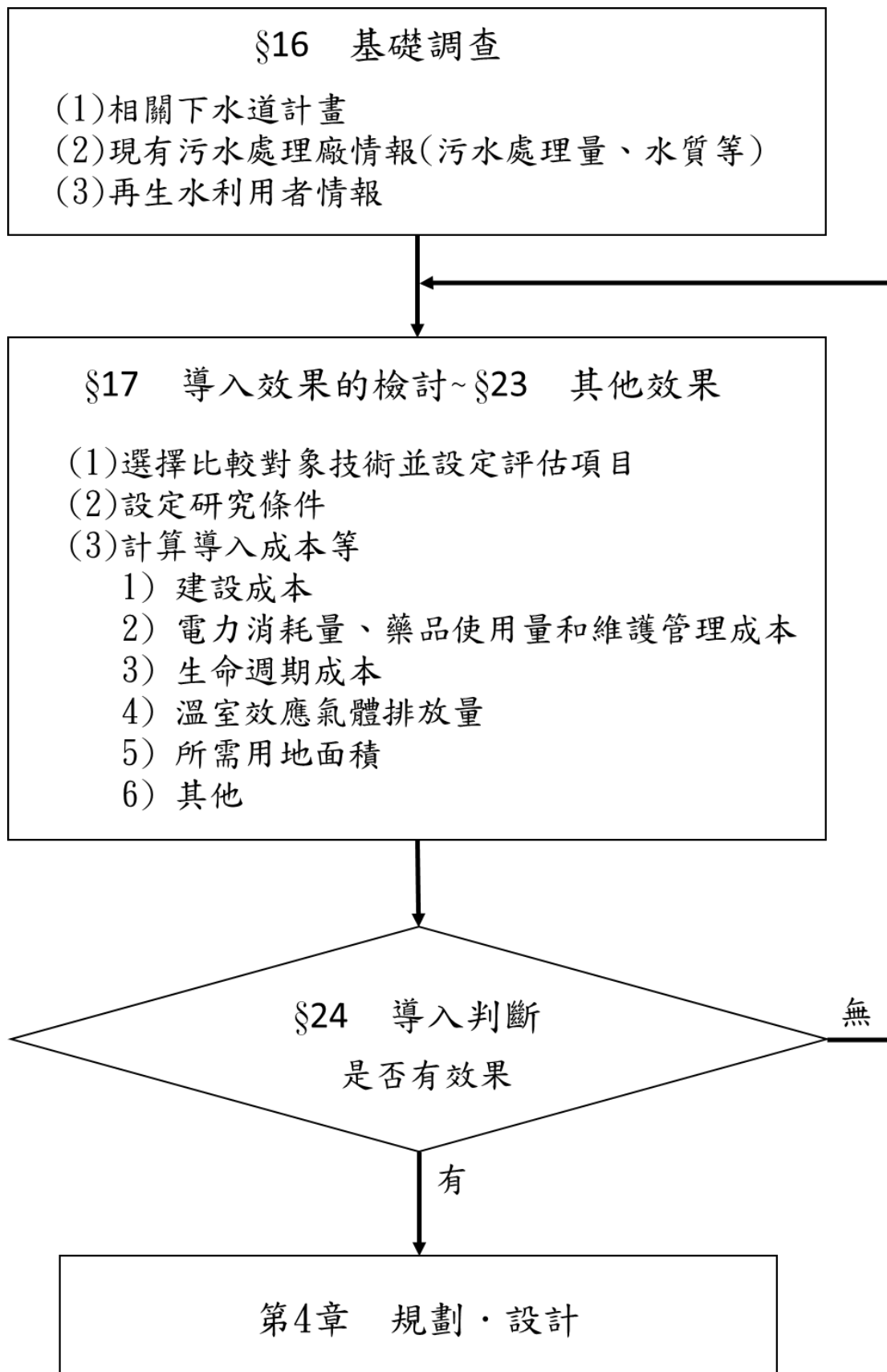


圖 3-2 導入檢討詳細流程

§16 基礎調查

在基礎調查中，了解下水道計畫和設施，以及再生水的使用地點的情況等。

【解說】

在制定本技術導入的詳細計畫之前，先了解相關下水道計畫，並了解下水道設施以及區域內再生水利用的可能性的相關資訊。

1. 相關下水道計畫

(1) 下水道規劃

了解下水道縣市規劃或主計畫中有關下水道的未來規劃，包括下水道整合等內容。

(2) 整體下水道計畫和業務計畫

了解未來流入污水量和水質的預測，以及根據此預測制定的設施計畫的內容。

(3) 下水道設施更新計畫或延壽計畫

了解下水道設施更新計畫、延壽計畫、儲存管理計畫以及其計畫制定時進行的設施劣化調查結果。

(4) 設施配置佈局計畫

從污水處理設施的加強和擴建計畫中，了解未來設施佈局規劃和可利用土地預測。

(5) 再生水業務計畫

了解既有的再生水業務。

2. 既有污水處理廠情報

(1) 污水處理量

調查過去幾年的每日、每月、每年的污水處理量，了解每年的最大日處理量、平均日處理量、最小日處理量、最大月處理量、月平均處理量和最小月處理量等數據。

(2) 污水處理水質

調查過去幾年的污水處理水質，針對「§11 適用條件」中所示的水質項目，了解每年的最大日水質、平均日水質數值以及年間變動情況。

(3) 既有的再生水處理設施

如果已經進行再生水利用，就對污水處理廠的再生水處理設施進行整理，包括過去進行的耐震、劣化調查等結果。

(4) 營運管理狀況

整理有關污水處理設施營運管理的體制、人員、委託對象和委託內容。

3. 再生水利用者情報

(1) 再生水需求量

了解再生水的使用地點以及其水需求量。

如果用於農業用途，可以從未來的灌溉面積和每單位面積的灌溉水量來估計。但是，由於不同的農作物有不同的灌溉期，因此最好了解灌溉計畫，以估計年間灌溉水量的變動。在估算農業用水需求量時，需要了解過去幾年的降水量，以乾早年份為基準年，從灌溉水量中減去降水量，以確保準確的需求預測。相關預測示例請參見圖 3-3。

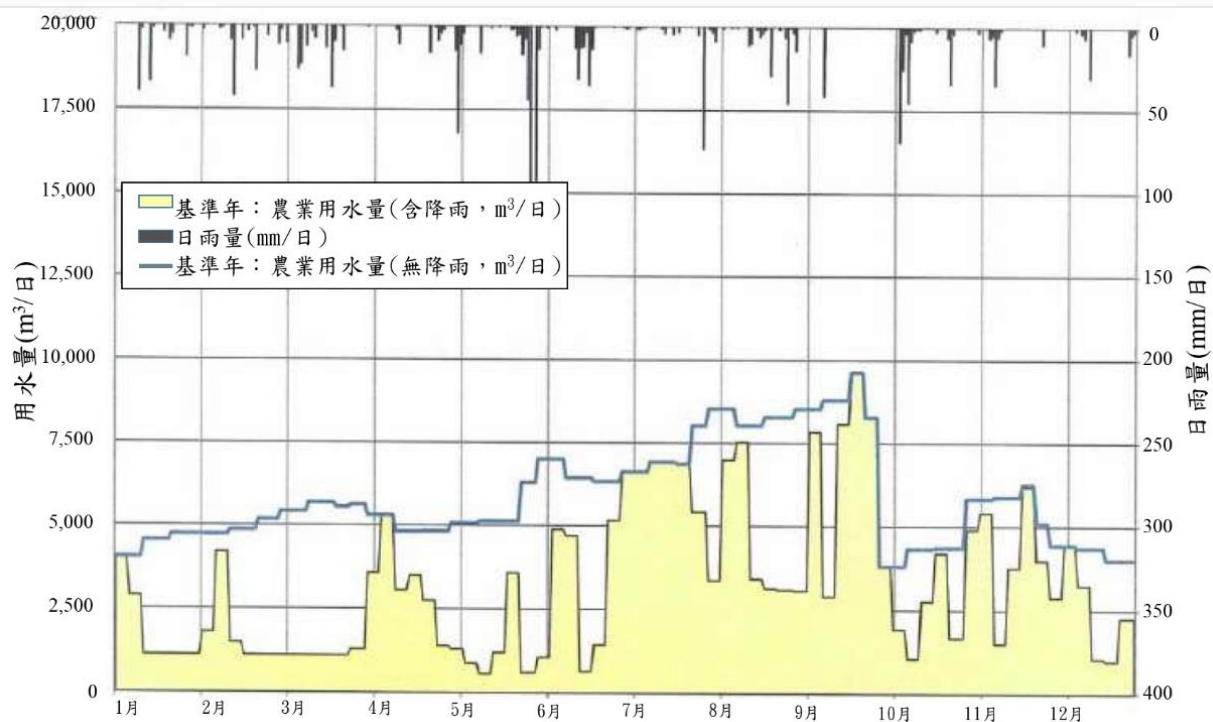


圖 3-3 再生水的需求量預測範例

(2) 再生水必要水質

了解在再生水使用地點所需的水質標準。在農業利用方面，根據資料編第九章關於開始使用時的水質項目，了解適用於所種植農作物的水質標準相當重要。

(3) 現有水價

如果在再生水使用地點使用已購水來滿足所需的水需求，則需要了解該水的單價。此外，在農業利用方面，如果存在來自遠處的供水或使用水庫貯水的情況，可能需要負擔設施管理費用，因此需要了解相關的水價。

(4) 利用者資訊把握

關於再生水使用地點の利用者資訊（需求），根據現有的相關下水道計畫進行了了解，並確認本技術的適用性。

§17 導入效果檢討

導入效果與比較對象技術進行比較，涵蓋成本（建設、維護管理、生命週期）、能源消耗量、溫室氣體排放量的減少效果等方面進行評估。此外，還可以根據導入技術的地區和用途，包含適用的評估項目。

【解說】

1. 選擇比較對象技術和設定評估項目

根據使用目的，選擇能夠滿足所需水量和水質的處理技術作為比較對象技術。在實證研究中所選擇的比較對象技術的概要如「§8 系統整體特點」中所示。常見的評估項目如「§18 建設成本計算」至「§22 本系統所需面積」所列。關於這些項目，實證研究已在「§14 評估結果」中提供了與比較對象技術進行比較的實例，請參考該部分。此外，除了上述常見的評估項目外，還可以根據導入技術的地區和用途，包括相應的評估項目。例如，在農業利用方面，可以考慮包括透過穩定的灌溉提高農作物產量、轉向高附加值作物等，實現「農業利用促進地區經濟發展」以及利用再生水中的氮等作為作物養分，實現「減輕對公共水域的環境負擔」等等。有關其他評估項目的實例已在「§23 其他效益」中提供，請參考該部分。

2. 檢討條件的設定

對於上述常見的評估項目，所需的評估條件如下。有關公用事業價格的標準值，請參考「§18 建設成本計算」。

- (1) 計畫處理水量（最大日和平均日）
- (2) 公用事業（電力、藥品）使用量價格
- (3) 用地費用價格

此外，關於評估方法，導入本技術的減少效果將與預計的計算結果進行比較，比較對象技術等導入後的預計計算結果進行比較，以進行評估。

3. 導入成本等的試算

在計算導入本技術所帶來的建設成本、維護管理成本、生命週期成本、能源消耗量和溫室氣體排放量時，將使用「§18 建設成本計算」至「§22 本系統設施面積」中的計算函數來進行計算。

§18 建設成本試算

建設成本使用模型設計的成本函數計算

【解說】

在計算建設成本時，根據本指引中提供的設施設計標準等，進行三種規模的模型設計，分別是 2,000 m³/日、10,000 m³/日和 25,000 m³/日。接著透過累積這些成本來計算不同規模的建設成本，並建立成本函數（請參閱表 3-1 和圖 3-4）。

表 3-1 建設成本的費用函數

對象	單位	費用函數	備註
機械	百萬日圓	$Y_1 = 1.209 Q_{Dmax}^{0.708}$	Q_{Dmax} ：最大日再生水量(m ³ /日) 最小水量為 1000m ³ /日
電氣	百萬日圓	$Y_2 = 3.276 Q_{Dmax}^{0.392}$	
土建	百萬日圓	$Y_3 = 5.236 Q_{Dmax}^{0.426}$	

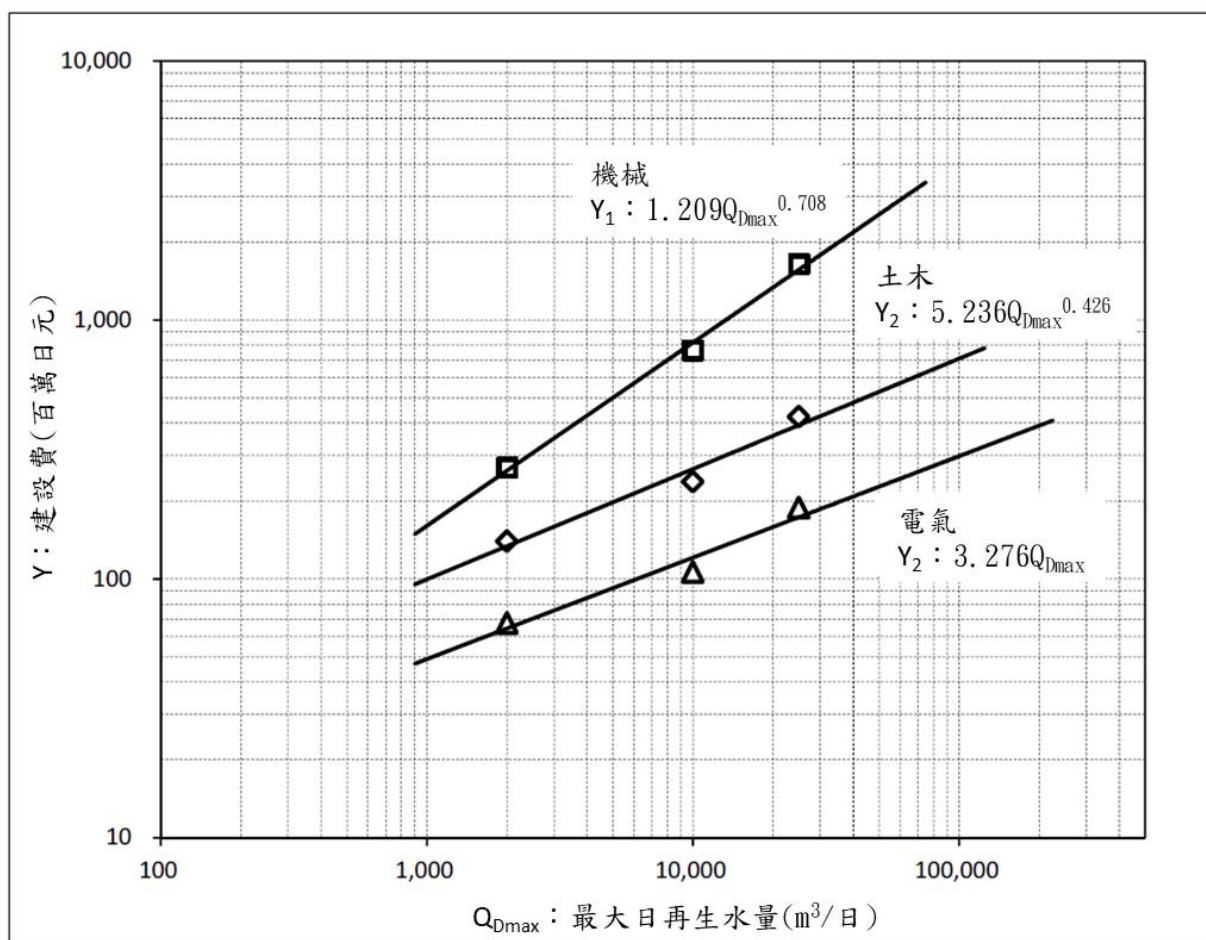


圖 3-4 建設成本的費用函數

§19 耗電量・藥品使用量及維護管理成本試算

電力消耗、化學品使用等公用事業使用量以及維護管理成本根據使用模型設計所創建的費用函數來計算。

【解說】

在計算維護管理成本時，根據本指引中所示的設施設計標準等，進行三種規模的模型設計和成本計算，分別是 2,000 m³/日、10,000 m³/日和 25,000 m³/日。有關電力和化學品（公用事業）使用量的資訊如表 3-2 以及圖 3-5 和圖 3-6 所示，有關 UF 膜模組和 UV 燈更換費用的資訊如表 3-3 和圖 3-7 所示，有關維修費用的資訊如表 3-4 和圖 3-8 所示，有關產生的污泥量的資訊如表 3-5 和圖 3-9 所示，最後，有關污泥處理費用的資訊如表 3-6 和圖 3-10 所示。有關計算公式的基準價格和其他條件，最好根據實際污水處理廠的情況進行調整，以盡可能符合實際情況。

表 3-2 公用事業使用量費用函數

項目	單位	公用事業計算函數	參考單價	備註
電力	kWh/年	$U_1=0.180 Q_{Ave} \times 365$	$P_1=15$ 日圓/kWh	Q_{Ave} : 平均日再生水量(m ³ /日) 單價應根據考慮引入的污水處理廠實際情況進行設定，為理想情況。
藥品	次氯酸鈉	kg/年	$U_{21}=4.923 Q_{Ave} \times 10^{-3} \times 365$	$P_{21}=50$ 日圓/kg
	鹽酸	kg/年	$U_{22}=0.036 Q_{Ave} \times 10^{-3} \times 365$	$P_{22}=55$ 日圓/kg
	碳酸氫鈉	kg/年	$U_{23}=0.080 Q_{Ave} \times 10^{-3} \times 365$	$P_{23}=60$ 日圓/kg
	氫氧化鈉	kg/年	$U_{24}=0.066 Q_{Ave} \times 10^{-3} \times 365$	$P_{24}=45$ 日圓/kg

*與公用事業相關的維護管理成本 M_1 及 $M_{21} \sim M_{24}$ 透過 $M=U \times P$ 計算。

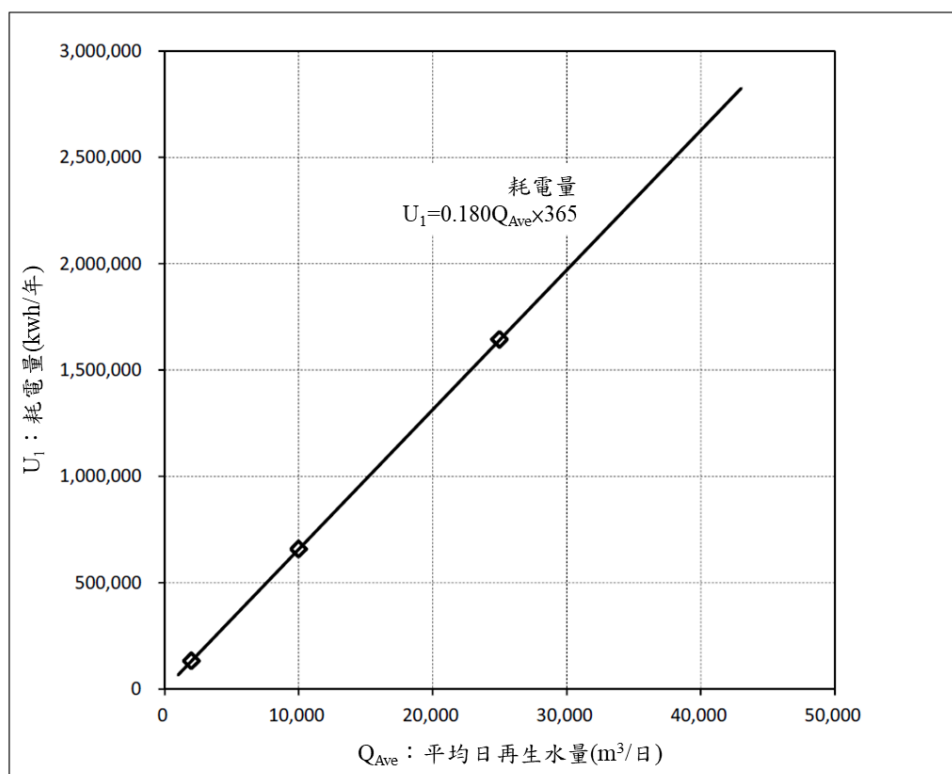


圖 3-5 公用事業耗電量的計算函數

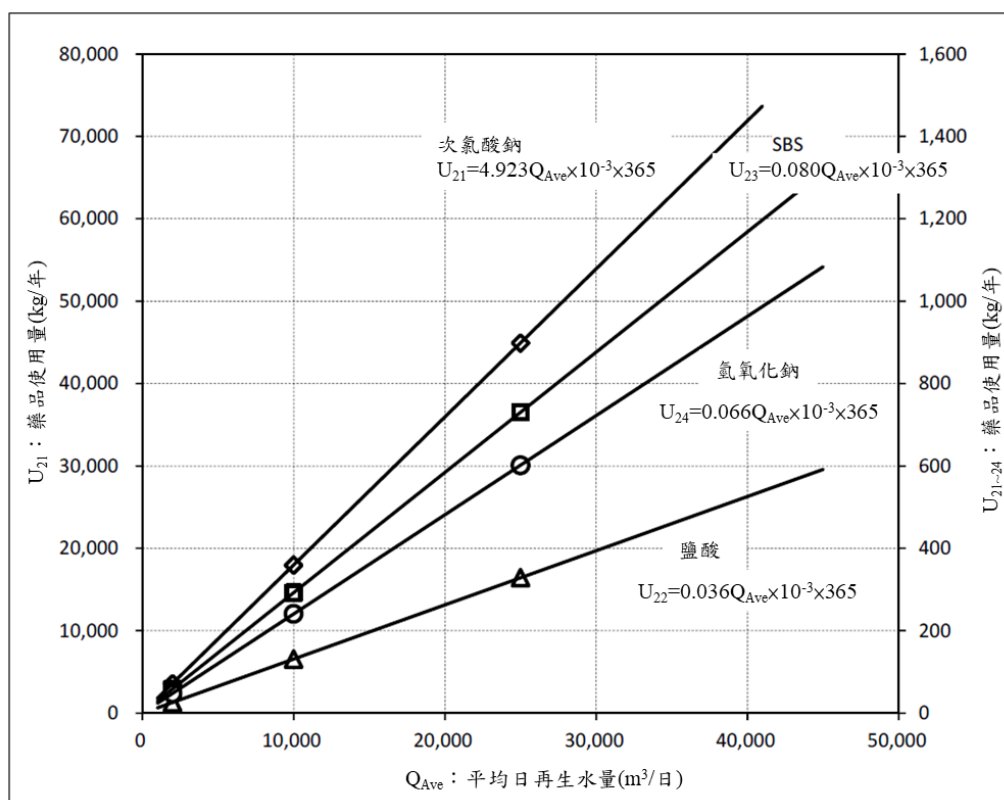


圖 3-6 公共事業（藥品）使用量的計算函數

表 3-3 UF 膜模型與 UV 燈更換費用的費用函數

對象	單位	費用函數	備註	
UF 膜模型	千日圓/年	$M31=2.06 Q_{Ave}$	使用年限以 7 年推算	Q_{Ave} ：平均日再生水量($m^3/日$)
UV	千日圓/年	$M32=0.32 Q_{Ave}$	運轉壽命以 12,000 小時推算	

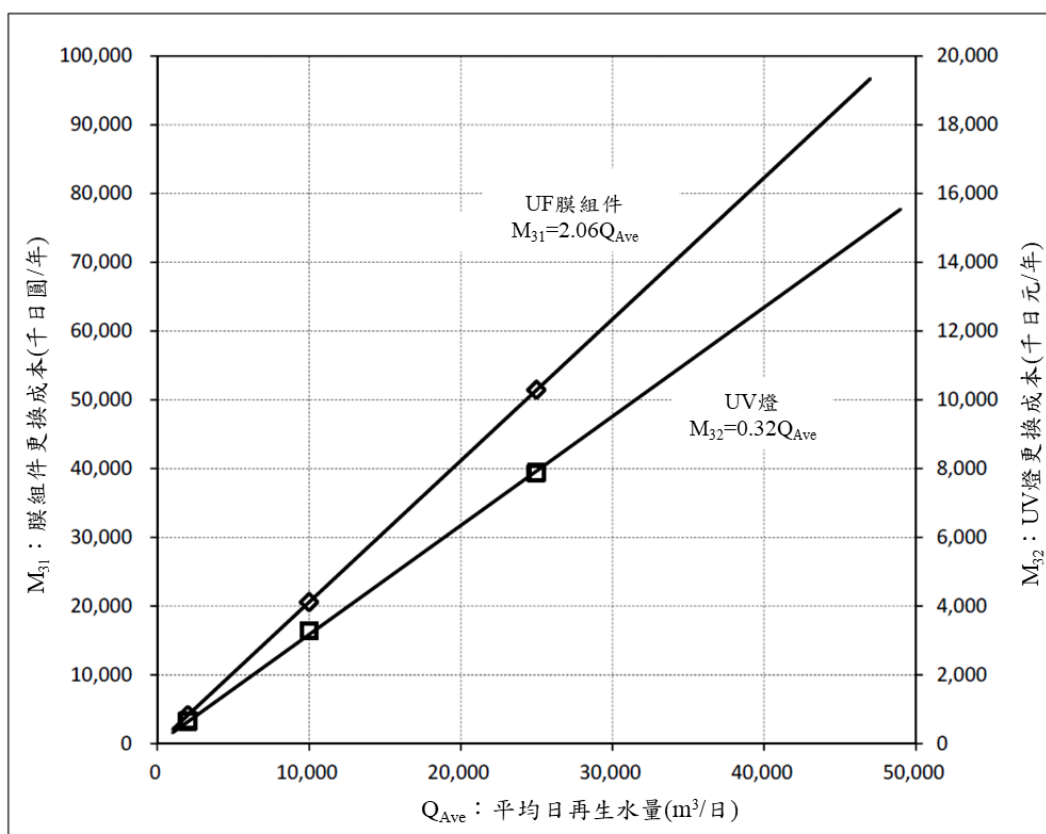


圖 3-7 UF 膜模組與 UV 燈更換費用的費用函數

表 3-4 維修費用的費用函數

對象	單位	費用函數	備註
維修費用 (UF 膜模組與 UV 燈更換費用 除外)	千日圓/年	$M_{33} = 144.77 Q_{Dmax}^{0.384}$	機械、電氣建設成本 (不包括 UF 膜過濾裝置和 UV 消毒裝置) 設定為 3.0%。 Q_{Dmax} : 每日最大再生水量(m³/日) 最小水量設定為 1,000m³/日

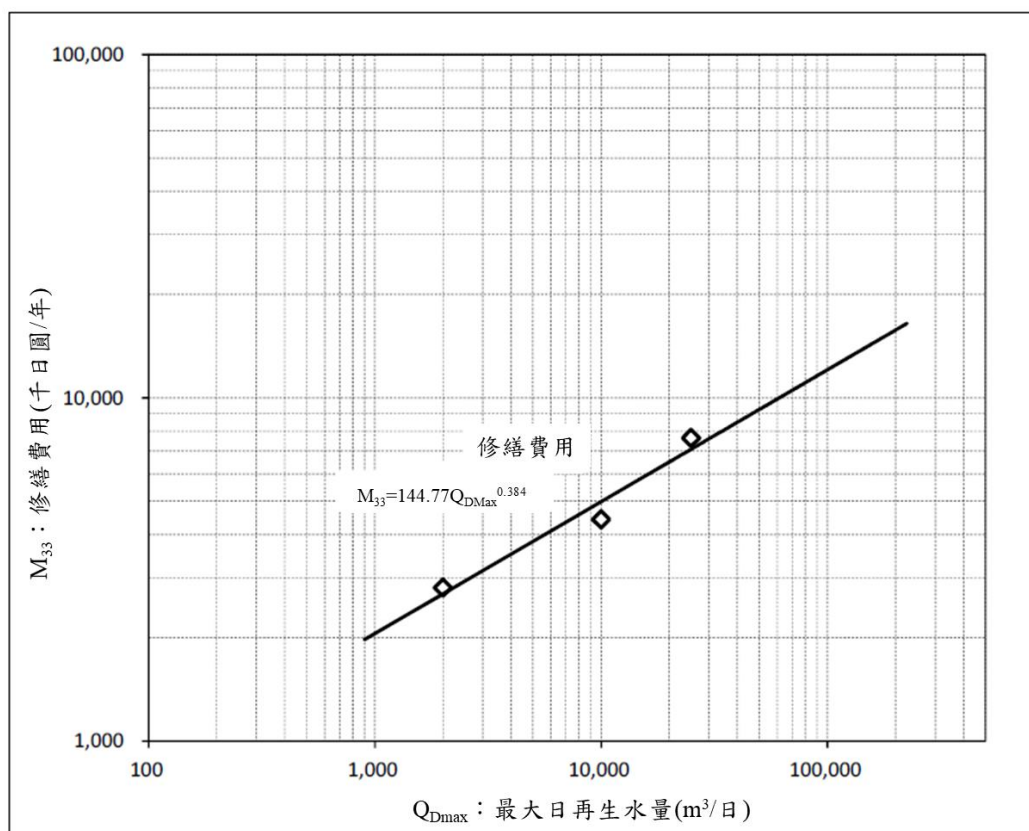


圖 3-8 修繕費用的費用函數

表 3-5 產生污泥量的計算函數

項目	單位	費用函數	備註	
產生污泥固形物量	t-ds/年	$Q_{dsY} = (3.0/0.922 \times 10^{-6}) Q_{Ave} \times 365$	原水 SS 水質為 3.0 毫克/升，假設可以完全過濾去除。 再生水量/過濾水量的比率計算為 0.922。	Q_{Ave} : 平均日再生水量($m^3/日$)
產生污泥量	$m^3/年$	$Q_{wetY} = Q_{dsY}/0.01$	污泥濃度以 1.0%計算	
污泥餅量	t/年	$Q_{cakeY} = Q_{dsY}/(1 - 0.80)$	含水率以 80%計算	

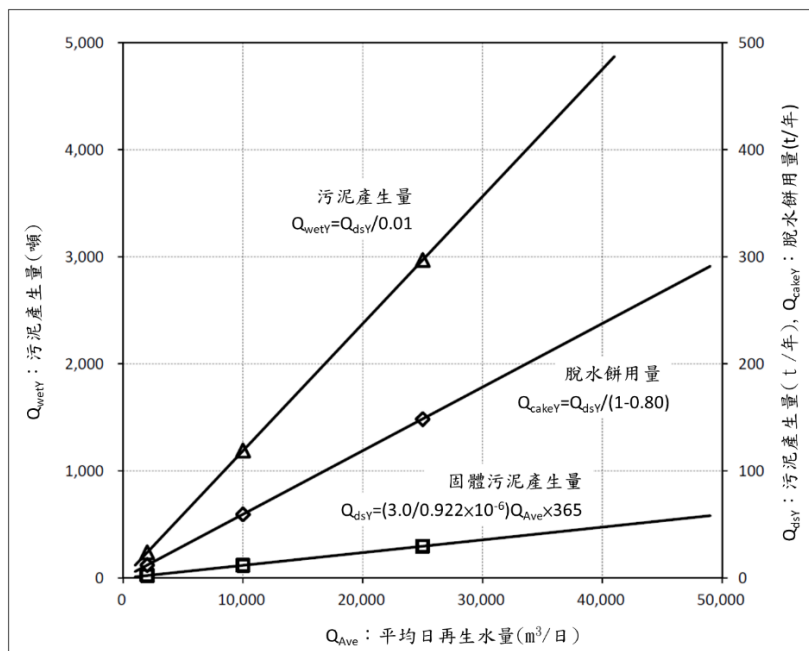


圖 3-9 產生污泥量的計算函數

表 3-6 污泥處理費（僅考慮本系統導入所增加的部分）的費用函數

項目	單位	費用函數	備註
污泥濃縮	千日圓/年	$M_{41} = 0.03(Q_{wetY}/365)^{0.628} \times 10^3 \times (107.2/100)$	
污泥脫水	千日圓/年	$M_{42} = 0.039 Q_{wetY}^{0.596} \times 10^3 (107.2/100)$	
污泥處置	千日圓/年	$M_{43} = Q_{cakeY} \times P_{43}$	P_{43} ：處理單價 (千日圓/噸)

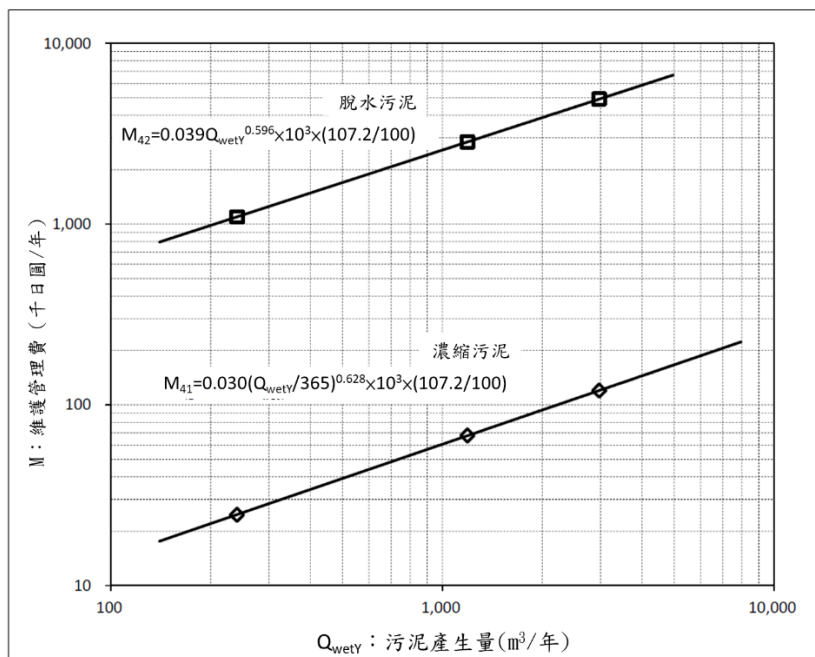


圖 3-10 增加污泥處理相關維護管理成本的費用函數

§20 生命週期成本(LCC)計算

生命週期成本透過將建設成本折算成年度成本，再加上維護管理成本來計算。

【解說】

建設成本由建設年價進行換算。建設成本每年的費用，根據「污泥利用基本計畫制定手冊（由日本國土交通省城市區域整備局和日本下水道協會於 2004 年 3 月發行）」中的計算範例，乘以以下係數來計算。

建設費年價 $C = Y \times i(1+i)^n / \{(1+i)^n - 1\}$ (式3-1)

Y：建設費

i：年利率 2.3 %

n：使用年限

使用年限的試算以表 3-7 年限為標準。機械和電氣設備的使用年限均設定為 15 年，土木和建築設施的使用年限為 50 年。然而，最好根據考慮引入的污水處理廠的實際情況進行設定。

表 3-7 使用年限設定

對象	使用年限	備註
機械	n ₁ =15 年	建議根據考慮引入的污水處理廠的實際情況進行設定。
電氣	n ₂ =15 年	
土木	n ₃ =50 年	

§21 溫室氣體排放量計算

溫室氣體排放量透過使用模型設計來計算排放量函數而得出。

【解說】

用於維護管理成本計算的各公用事業（電力和藥品）所產生的溫室氣體排放係數範例見表 3-8。在計算溫室氣體排放量時，可以透過使用計算函數計算各公用事業，然後乘以表 3-8 中的各排放係數來進行計算。

表 3-8 溫室氣體排放係數

對象			排放係數		備註
			數值	單位	
管理相關	電力消耗		G11=0.587	kg-CO ₂ /kWh	※1
	藥品使用	次氯酸鈉	G21=0.320	kg-CO ₂ /t	※2
		鹽酸	G22=0.620	kg-CO ₂ /t	※3
		碳酸氫鈉	G23=1.940	kg-CO ₂ /t	※4
		氫氧化鈉	G24=0.938	kg-CO ₂ /t	※4
	污泥處理	濃縮/脫水相關	G31=0.474	kg-CO ₂ /kg-ds	污泥產生量※5
		掩埋處置相關	G32=28.35	kg-CO ₂ /t-wet	污泥餅量※6
	建設相關		管理相關的 24 %		※6
	拆除相關		管理相關的 0.06 %		※6

※1 地球温暖化対策課ウェブサイト「電気事業者別の CO₂ 排出係数」、環境省地球環境局、平成 27 年度実績(http://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/h29_coefficient.pdf)⁷⁾

※2 下水道における地球温暖化防止推進計画策定の手引き、下水道における地球温暖化防止推進計画策定委員会、平成 21 年 3 月⁸⁾

※3 化学関連産業分野における CO₂ 対策技術評価法の調査、NEDO、1992.3⁹⁾

※4 LCA 実務入門、社団法人産業環境管理協会、1998¹⁰⁾

※5 「21 世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価」に関する調査研究報告書、土木研究所資料第 4313 号、平成 28 年 1 月¹¹⁾

※6 下水道における LCA 適用の考え方、国土技術政策総合研究所資料第 579 号、平成 22 年 2 月¹²⁾

§22 本系統設施面積

本系統的設施面積可以透過使用模型設計來創建的面積計算函數來確定。

【解說】

本技術所需的設施面積是根據本指引中所示的設施設計標準，進行了 2,000 m³/日、10,000 m³/日和 25,000 m³/日三種規模的模型設計，以計算各規模的所需面積，並創建了用於計算面積的函數（參見表 3-9 和圖 3-11）。如果土地形狀特殊，或者可用面積有限，建議另外進行設施配置評估。對於既有處理廠的用地，應評估是否可以提供根據表 3-9 計算出的所需設施面積，如果無法在既有處理廠內確保，則應評估是否可以獲得其他用地。

表 3-9 必要用地面積的計算函數

計算函數(ha)	備註
$A=22.07 \times Q_{Dmax}^{0.39}$	Q_{Dmax} ：最大日再生水量(m ³ /日) 最小水量設定為 1,000 m ³ /日 (參閱「§11 適用條件」)。

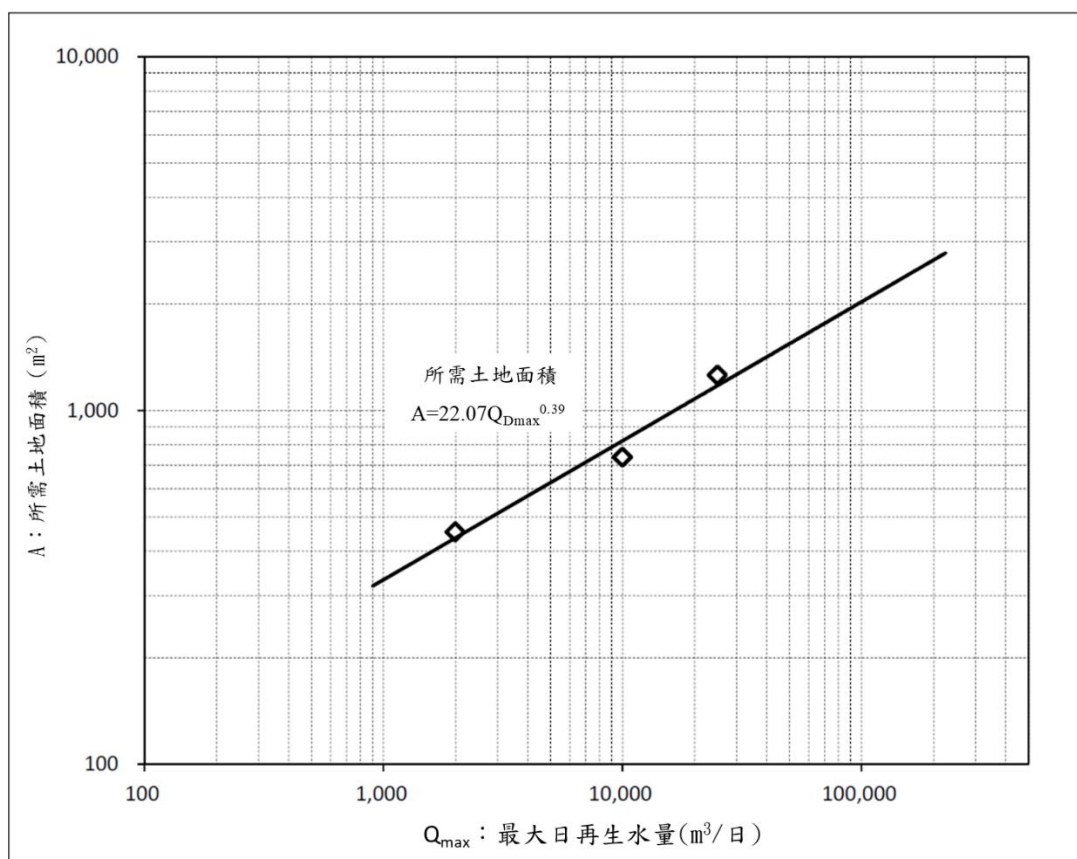


圖 3-11 必要用地面積的計算函數

§23 其他效果

如果將再生水用於農業灌溉，預期可以透過還原原水中的氮來減少施肥量，並避免由於殘留的氯造成農作物生長的風險。因此，可以透過種植試驗來研究這些效應。

【解說】

1. 關於氮肥用量的減少效果

對於氮，該技術幾乎不進行去除（參見資料編第一章）。因此，如果將該技術用於將再生水供應為農業灌溉用水，那麼農作物可以將再生水中的氮作為營養鹽利用。一般蔬菜的氮施肥量為 50~300 kg/ha·年，並且將年度灌溉水量設定為 10,000m³/ha·年（參見 FAO 灌溉用水指南¹⁴⁾），這是水質指標的計算基礎水量。通常不會所有灌溉水中的氮都被作物吸收，但假設所有灌溉水中的氮都被利用，則灌溉水中的總氮水質為 5~30mg/l 時，就不再需要氮肥。灌溉水中的氮吸收效率可能會因作物類型和土壤等各種條件而異，根據條件不同，在作物種植中，氮肥用量可能會減少一定程度¹⁵⁾。然而，為了量化氮肥用量的減少效果，建議透過種植試驗來進行評估。

另外，在導入評估中，可以將既有處理廠的二級處理放流水的 T-N 水質，推定為幾乎等同於再生水的 T-N 水質進行判定。這是因為根據該技術，T-N 幾乎不被去除（參見「§29 基本條件設定」），而在既有處理廠的消毒過程中，T-N 也幾乎不被去除。如果在最終沉澱池出流水中測量 T-N 水質，可以將其推定為再生水的 T-N 水質進行判定。

另一方面，針對再生水中氮含量過高可能對農作物生長造成的抑制等不良影響的判斷，在 ISO16075《污水處理水用於灌溉的指南》¹⁶⁾中，灌溉用水的總氮(T-N)水質指標被設定為平均 25 mg/l 以下⁹⁾，因此可以將其作為判斷標準。

在既有處理廠的 T-N 水質實際數據中，如果持續超過 25 mg/l，且平均低於 25 mg/l，則可以判斷為可進行導入。此外，如果存在 T-N 水質較高且對再生水利用存在擔憂的情況下，根據作物類型和土壤等條件，對於灌溉水中的氮的吸收比例會有所不同。在某些條件下，也可能允許再生水的使用。因此，建議通過使用既有處理廠的最終沉澱池出流水進行種植試驗，以進行導入評估。

【實證試驗實例】

在實證試驗中，有些作物表現出使用再生水生長速度比傳統灌溉水更快的趨勢。由此可見，即使減少氮施肥量，使用再生水仍有可能獲得與傳統種植方法相當的收成量。

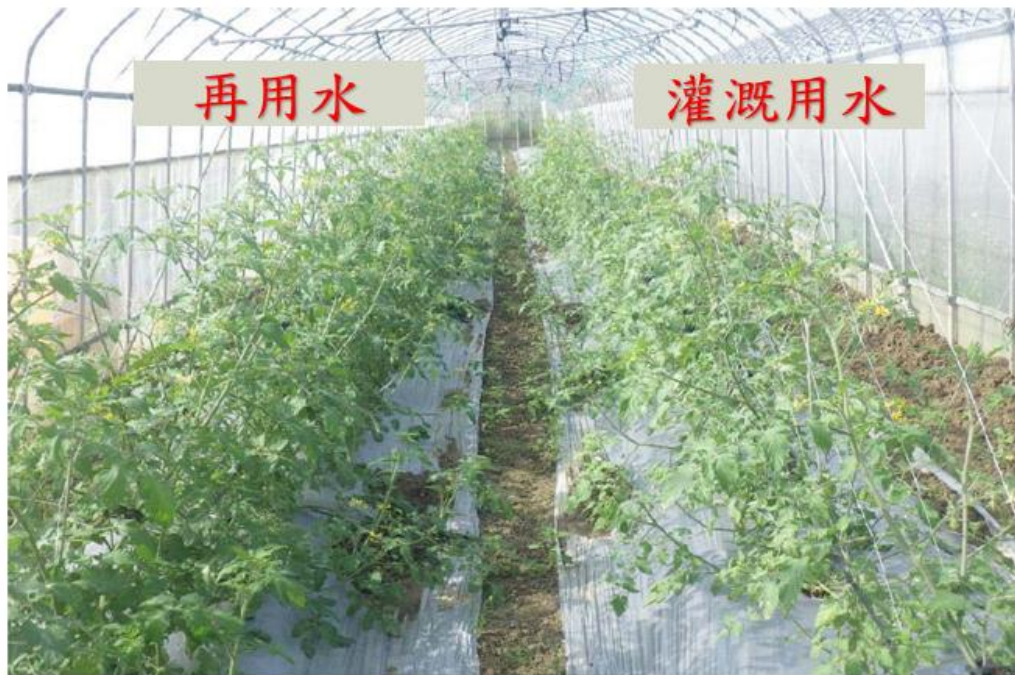


圖 3-12 在實證栽培試驗中的作物生長情況（小番茄）

2. 避免殘留氯對農作物生長的抑制風險效果

如果使用經過氯消毒的再生水進行農業灌溉，可能引起氯消毒產生的殘留氯對農作物根系造成枯萎等生長阻礙的風險¹⁷⁾。然而，由於本技術不進行持續性的氯消毒，因此對於作物的生長不會造成影響。相較於使用經常性的氯消毒污水處理水，使用本技術所提供的再生水，效果將更為明顯。

值得注意的是，在既有農作物的種植中，如果直接使用污水處理設施下游水源，或者使用自來水，可能存在受到殘留氯影響的可能性，因此判斷使用本技術提供的再生水進行農業灌溉將是有利的。這種評估是定性的。

如果需要進行定量評估，建議進行基於既有處理廠最終沉澱池出流水等的種植試驗，以及使用自來水或經消毒處理的處理水進行灌溉的種植試驗，並比較其收成量。

【實證試驗實例】

在栽培試驗中使用了生菜，進行了再生水、泉水和自來水的比較，結果顯示相對於含有殘留氯的自來水，再生水的收穫重量增加了。在這個案例中，判斷在乾旱時期使用自來水時，使用再生水將更為有利。此外，與水質良好的泉水相比，收穫重量沒有明顯差異，這顯示了再生水的優越性。

表 3-10 玉萵苣的試驗種植結果（實例）

項目	再生水區			泉水區			自來水區		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
品質	○	○	○	○	△	○	○	○	○
規格	31x28	36x32	29x22	36x34	25x23	38x35	32x21	34x37	35x32
重量(g)	521.4	369.0	384.3	475.8	355.1	471.2	304.3	412.0	365.7
重量合計(g)	1274.7			1302.1			1082.0		
重量平均(g)	424.9			434.0			360.7		

※品質(目視)內容 ○正常 △外葉腐敗

3. 其他

關於磷的部分，由於非溶解性磷（以下簡稱 UF 膜可去除的磷）幾乎完全被去除，因此在實證研究中也觀察到了去除效果，再生水的 T-P 水質低於 0.1 mg/l（參考資料編 1）。根據 ISO16075《污水處理水用於灌溉的指南》¹⁶⁾，T-P 的水質標準為平均 5 mg/l⁹⁾，因此使用再生水作為灌溉水，對於農作物生長的不利影響，如磷過量攝取等，實際上不是一個實質性的問題。

此外，一般蔬菜的磷施肥量被認為是 50 到 200kg/ha·年¹³⁾，根據每年的灌溉水量為 10,000 m³/ha 年（參考 FAO 灌溉用水指南¹⁸⁾的水質標準計算根據水量），如果灌溉水中的磷被完全利用，則灌溉水的 T-P 水質為 5 到 20 mg/l，不需要進行磷施肥。然而，再生水中的 T-P 濃度約為 0.1 mg/l 以下，尚未達到實質上減少磷施肥量或評估作物產量增加等的定量評估水平。

因此，就磷而言，在農業灌溉使用方面，不需要設立導入評估指標。

§24 導入判斷

導入評估將綜合考慮成本削減效果等，透過與比較對象技術進行比較，確定其優越性以及導入的意義和目的。

【解說】

在「§17 導入效果評估」中，對於所選定的比較對象技術，將進行與該部分設定的評估項目相對比，與本技術進行比較。在實證研究中進行的一般評估項目的比較結果將在「§14 評估結果」中予以呈現。值得注意的是，在導入評估中，除了一般的評估項目外，也可以考慮包含根據地區和用途選擇的評估項目，例如農業利用對地區經濟發展和環境負擔的減輕效果，以及「§23 其他效果」中所示的相關項目。在確認本技術的導入意義和目的的同時，將綜合進行導入評估。

第 2 節 本技術導入成本等試算例

§25 試算條件

導入成本等の試算條件

【解説】

導入成本等の試算條件如下所示。

1. 成本試算條件

(1) 既設處理廠流入水量

假設平均日流入水量為最大日處理水量的 0.7 倍。

$$QT_{Dmax} \text{ (最大日既設處理水量)} = 10,000 \text{ m}^3/\text{日}$$

$$QT_{Ave} \text{ (平均日既設處理水量)} = QT_{Dmax} \times 0.7 = 10,000 \times 0.7 = 7,000 \text{ m}^3/\text{日}$$

(2) 再生水處理設施規模 (最大日再生水量)

預計對既設處理廠的全部流入水進行再生水處理。

$$Q_{Dmax} \text{ (最大日再生水量)} = QT_{Dmax} = 10,000 \text{ m}^3/\text{日}$$

(3) 平均日再生水量

預計對既設處理廠的全部流入水進行再生水處理，既設處理廠的平均日流入水量為 7,000 m³/日。

$$Q_{Ave} \text{ (平均日再生水量)} = QT_{Ave} = 7,000 \text{ m}^3/\text{日}$$

(4) 年利率

用於年現值計算的年利率假設如下：

$$i \text{ (年利率)} : 0.023 \text{ (2.3\%)}$$

(5) 使用年限

用於建設成本的年現值計算的使用年限假設如下：

$$n_1 \text{ (使用年限 (機械))} : 15 \text{ 年}$$

$$n_2 \text{ (使用年限 (電氣))} : 15 \text{ 年}$$

$$n_3 \text{ (使用年限 (土木))} : 50 \text{ 年}$$

(6) 公用事業單價

假設以下為用於維護管理費的使用年限：

$$P_1 \text{ (電力)} : 15 \text{ 日圓/kWh}$$

$$P_{21} \text{ (次氯酸鈉)} : 50 \text{ 日圓/kg}$$

$$P_{22} \text{ (鹽酸)} : 55 \text{ 日圓/kg}$$

$$P_{23} \text{ (碳酸氫鈉)} : 60 \text{ 日圓/kg}$$

$$P_{24} \text{ (氫氧化鈉)} : 45 \text{ 日圓/kg}$$

(7) 土地價格

假設以下為用於土地費用的土地單價：

$$PA \text{ (土地單價)} : 120 \text{ 千日圓/m}^3$$

※假設為 2015 年度「全國公示地價」的平均值。

§26 導入成本等試算例
導入效果的研究結果

【解説】

導入效果的研究結果如下所示

1. 建設成本

(1) 再生水量條件

假設處理既有處理廠全部水量，將計畫處理水量視為再生水量。

$$Q_{Dmax} \text{ (最大日再生水量)} = 10,000 \text{ m}^3/\text{日}$$

$$Q_{Ave} \text{ (平均日再生水量)} = 7,000 \text{ m}^3/\text{日}$$

(2) 建設費

$$Y_1 \text{ (機械)} = 1.209 Q_{Dmax}^{0.708} = 1.209 \times 10,000^{0.708} = 821 \text{ 百萬日圓}$$

$$Y_2 \text{ (電力)} = 3.276 Q_{Dmax}^{0.392} = 3.276 \times 10,000^{0.392} = 121 \text{ 百萬日圓}$$

$$Y_3 \text{ (土木)} = 5.236 Q_{Dmax}^{0.426} = 5.236 \times 10,000^{0.426} = 265 \text{ 百萬日圓}$$

$$Y_T \text{ (總計)} : 1,207 \text{ 百萬日圓}$$

(3) 必要用地面積

$$A \text{ (用地面積)} = 22.07 Q_{Dmax}^{0.39} = 22.07 \times 10,000^{0.39} = 801 \text{ m}^3$$

(4) 用地費

$$P_A \text{ (用地單價)} = 120 \text{ 千日圓/m}^3$$

$$Y_A \text{ (用地費)} = A \times P_A = 801 \text{ m}^3 \times 120 \text{ 千日圓/m}^3 \times 10^{-3} = 96 \text{ 百萬日圓}$$

(5) 建設成本（總計）

$$Y \text{ (事業費)} = Y_T + Y_A = 1,303 \text{ 百萬日圓}$$

2. 維護管理成本

(1) 公用事業年度用量

$$U_1 \text{ (電力)} = 0.180 Q_{Ave} = 0.180 \times 7,000 \times 365 = 459,900 \text{ kWh/年}$$

$$U_{21} \text{ (次氯酸鈉)} = 4.923 Q_{Ave} = 4.923 \times 7,000 \times 10^{-3} \times 365 = 12,578 \text{ kg/年}$$

$$U_{22} \text{ (鹽酸)} = 0.036 Q_{Ave} = 0.036 \times 7,000 \times 10^{-3} \times 365 = 92 \text{ kg/年}$$

$$U_{23} \text{ (碳酸氫鈉)} = 0.080 Q_{Ave} = 0.080 \times 7,000 \times 10^{-3} \times 365 = 204 \text{ kg/年}$$

$$U_{24} \text{ (氫氧化鈉)} = 0.066 Q_{Ave} = 0.180 \times 7,000 \times 10^{-3} \times 365 = 169 \text{ kg/年}$$

(2) 公用事業費

電力費：

$$M_1 \text{ (電力費)} = U_1 \times P_1 = 459,900 \text{ kWh/年} \times 15 \text{ 日圓/kWh} \times 10^{-3} = 6,899 \text{ 千日圓/年}$$

藥品費：

$$M_{21} \text{ (次氯酸鈉)} = U_{21} \times P_{21} = 12,578 \text{ kg/年} \times 50 \text{ 日圓/kg} \times 10^{-3} = 629 \text{ 千日圓/年}$$

$$M_{22} \text{ (鹽酸)} = U_{22} \times P_{22} = 92 \text{ kg/年} \times 55 \text{ 日圓/kg} \times 10^{-3} = 5 \text{ 千日圓/年}$$

$$M_{23} \text{ (碳酸氫鈉)} = U_{23} \times P_{23} = 204 \text{ kg/年} \times 60 \text{ 日圓/kg} \times 10^{-3} = 12 \text{ 千日圓/年}$$

$$M_{24} \text{ (氫氧化鈉)} = U_{24} \times P_{24} = 169 \text{ kg/年} \times 45 \text{ 日圓/kg} \times 10^{-3} = 8 \text{ 千日圓/年}$$

$$M_2 \text{ (藥品費・總計)} : 654 \text{ 千日圓/年}$$

(3) 更換・修理費

$$M_{31} \text{ (UF 膜模組更換)} = 2.06 Q_{Ave} = 2.06 \times 7,000 = 14,420 \text{ 千日圓/年}$$

$$M_{32} \text{ (UV 燈管更換)} = 0.32 Q_{Ave} = 0.32 \times 7,000 = 2,240 \text{ 千日圓/年}$$

$$M_{33} \text{ (其他修理費)} = 144.77 Q_{Dmax}^{0.384} = 144.77 \times 10,000^{0.384} = 4,974 \text{ 千日圓/年}$$

$$M_3 \text{ (更換修理費・總計)}: 21,634 \text{ 千日圓/年}$$

(4) 產生污泥量 (本系統導入後的增加量)

$$Q_{dsY} \text{ (產生污泥固體量)} = (3.0/0.922 \times 10^{-6}) Q_{Ave} \times 365 = (3.0/0.922 \times 10^{-6}) \times 7,000 \times 365 = 8.31 \text{ t-ds/年}$$

$$Q_{wetY} \text{ (產生污泥量)} = Q_{dsY}/0.01 = 8.31/0.01 = 831 \text{ m}^3/\text{年}$$

$$Q_{cakeY} \text{ (污泥餅量)} = Q_{dsY}/(1-0.80) = 8.31/(1-0.80) = 42 \text{ t/年}$$

(5) 污泥處理・處置費 (本系統導入後的增加量)

$$M_{41} \text{ (濃縮處理費)} = 0.030(Q_{wetY}/365)^{0.628} \times 10^3 \times (107.2/100) \\ = 0.030(831/365)^{0.628} \times 10^3 \times (107.2/100) = 54 \text{ 千日圓/年}$$

$$M_{42} \text{ (脫水處理費)} = 0.039Q_{wetY}^{0.596} \times 10^3 \times (107.2/100) \\ = 0.039 \times 831^{0.596} \times 10^3 \times (107.2/100) = 2,298 \text{ 千日圓/年}$$

$$M_{43} \text{ (污泥處置費)} = Q_{cakeY} \times P_{43} \\ = 42 \text{ t/年} \times 16,000 \text{ 日圓/t} \times 10^{-3} = 672 \text{ 千日圓/年}$$

$$M_4 \text{ (污泥處理處置費・總計)}: 3,024 \text{ 千日圓/年}$$

(6) 維護管理成本 (總計)

$$C_M = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 = 6,899 + 654 + 21,634 + 3,024 = 32,211 \text{ 千日圓/年} \\ \approx 32 \text{ 百萬日圓/年}$$

3. 生命週期成本

(1) 建設費年價

$$C_{Y1} \text{ (機械)} = Y_1 \times \left[\frac{i(1+i)^{n1}}{(1+i)^{n1} - 1} \right] = 821 \times \left[\frac{0.023(1+0.023)^{15}}{(1+0.023)^{15} - 1} \right] = 65 \text{ 百萬日圓}$$

$$C_{Y2} \text{ (電氣)} = Y_2 \times \left[\frac{i(1+i)^{n2}}{(1+i)^{n2} - 1} \right] = 121 \times \left[\frac{0.023(1+0.023)^{15}}{(1+0.023)^{15} - 1} \right] = 10 \text{ 百萬日圓}$$

$$C_{Y3} \text{ (土建)} = Y_3 \times \left[\frac{i(1+i)^{n3}}{(1+i)^{n3} - 1} \right] = 265 \times \left[\frac{0.023(1+0.023)^{50}}{(1+0.023)^{50} - 1} \right] = 9 \text{ 百萬日圓}$$

$$C_Y \text{ (建設費年價・合計)} = 84 \text{ 百萬日圓}$$

(2) 生命週期成本

$$C = C_Y + C_M = 84 + 32 = 116 \text{ 百萬日圓/年}$$

4. GHG 排放量

(1) 電力消耗量相關 GHG

$$G_{11} = 0.587 \times U_1 = 0.587 \times 459,900 \text{ kWh/年} = 269,961 \text{ kgCO}_2/\text{年}$$

(2) 次氯酸鈉使用量相關 GHG

$$G_{21} = 0.320 \times U_{21} = 0.320 \times 12,578 \text{ kg/年} \times 10^{-3} = 4.0 \text{ kgCO}_2/\text{年}$$

(3) 鹽酸使用量相關 GHG

$$G_{22} = 0.620 \times U_{22} = 0.620 \times 92 \text{ kg/年} \times 10^{-3} = 0.1 \text{ kgCO}_2/\text{年}$$

(4) 碳酸氫鈉使用量相關 GHG

$$G_{23} = 1.940 \times U_{23} = 1.940 \times 204 \text{ kg/年} \times 10^{-3} = 0.4 \text{ kgCO}_2/\text{年}$$

(5) 氫氧化鈉使用量相關 GHG

- $$G_{24} = 0.938 \times U_{24} = 0.938 \times 169 \text{ kg / 年} \times 10^{-3} = 0.2 \text{ kgCO}_2/\text{年}$$
- (6) 污泥處理（濃縮・脫水）相關 GHG
- $$G_{31} = 0.474 \times Q_{dsY} \times 10^3 = 0.474 \times 8.31 \text{ t-ds/ 年} \times 10^3 = 3,939 \text{ kgCO}_2/\text{年}$$
- (7) 污泥處置相關 GHG
- $$G_{32} = 28.35 \times Q_{cakeY} = 28.35 \times 42 \text{ t/ 年} = 1,191 \text{ kgCO}_2/\text{年}$$
- (8) 建設相關 GHG
- $$G_{41} = (G_{11} + G_{21} + G_{22} + G_{23} + G_{24} + G_{31} + G_{32}) \times 0.24 = 66,023 \text{ kgCO}_2/\text{年}$$
- (9) 拆除相關 GHG
- $$G_{42} = (G_{11} + G_{21} + G_{22} + G_{23} + G_{24} + G_{31} + G_{32}) \times 0.0006 = 165 \text{ kgCO}_2/\text{年}$$
- (10) GHG 排放量（合計）
- $$G = G_{11} + G_{21} + G_{22} + G_{23} + G_{24} + G_{31} + G_{32} + G_{41} + G_{42} = 341,284 \text{ kgCO}_2/\text{年}$$
- (11) 用地面積
- $$A (\text{用地面積}) = 22.07 Q_{Dmax}^{0.39} = 22.07 \times 10,000^{0.39} = 801 \text{ m}^2$$

第四章 規劃・設計

第 1 節 設施計畫

§27 設施規劃步驟

本技術設施規劃的制定步驟如下

【解說】

設施規劃的步驟流程如圖 4-1 所示。在第 3 章導入檢討中，對於判定為有預期導入效果的設施，按照圖 4-1 的步驟進行設施規劃。

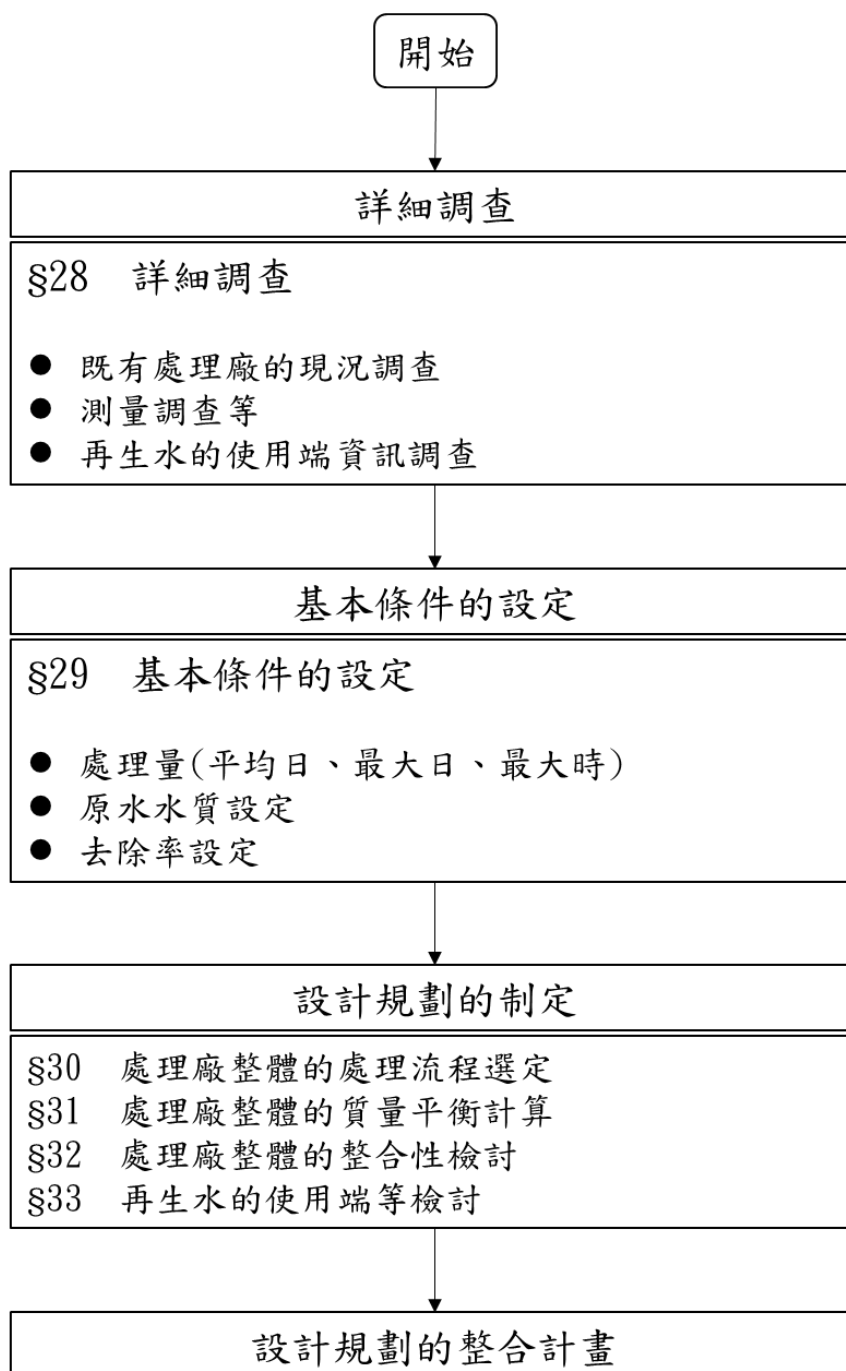


圖 4-1 設施計畫的策定步驟

§28 詳細調查

在詳細調查階段，將對再生水處理設施的具體規劃和設計進行進一步的研究。包含對「§16 基礎調查」中確定的必要資料進行進一步的調查、收集和整理。

【解說】

在詳細調查階段，為了進行再生水處理設施的具體規劃和設計，除了基礎調查階段所進行的調查外，還需要對以下資料進行收集和整理，以便在後續的設施規劃。

1. 既有處理廠狀況調查

- (1) 電力設施狀況：評估再生水處理設施的電力設施是否可以重複使用，則需要了解既有處理廠的電源容量、餘裕情況以及與電力公司的合約狀況等。
- (2) 自來水狀況：如果在再生水處理設施中需要安裝洗手設施等，則需要了解既有處理廠的自來水情況。
- (3) 污水排水管道狀況：為了考慮再生水處理設施中反洗廢水等的排放位置，需要了解既有處理廠的排水系統和排水管道的埋設位置等。
- (4) 其他地下埋設物：考慮到需要布設再生水的原水導管和反洗廢水管，需要了解既有處理廠內外地下埋設物的情況。
- (5) 原水取水位置：需要了解既有處理廠附近的原水取水點的構造和止水方法（閘門、閥門、位置等）等。

2. 測量調查等

(1) 測量調查

對於再生水處理設施和原水導管等的預定位置進行測量調查。如果在既有污水處理廠內曾經進行過測量調查，也可以考慮重複利用這些資料。

(2) 地質調查

對於再生水處理設施的預定位置進行地質調查。如果在既有污水處理廠內曾經進行過地質調查，也可以考慮重複利用這些資料。

3. 再生水的利用端資訊調查：

(1) 再生水供應計畫

了解再生水供應計畫，包括再生水供應管的布設位置、供水泵的安裝位置和規模，以及如果使用車輛運輸的話，車輛進入路線和車輛規模等。

(2) 與再生水使用者傳遞

了解再生水使用者對所需處理廠信息的項目、頻率，以及希望的信息傳達方式等傳遞方法。對於農業利用的情況，請參閱「資料編9 農業利用風險傳遞」以獲得相關的傳遞方法。

§29 基本條件設定

本系統的基本條件如下：

1. 最大日再生水量

最大日再生水量應相當於全年最大日需水量。

2. 設計營運時間

設計營運時間原則上為 24 小時連續運轉。

3. 最大時再生水量

最大時再生水量原則上應為最大日再生水量除以 24 小時。

4. 原水水質

原水水質參考設計時最終沉澱池出口水質的 95% 值來設定。

5. 去除率

本系統的去除率以下表為標準。

項目	去除率
BOD	90%以上
SS	98~99.5%
T-N	0~10%
T-P	50~80%
病毒	99.9994%以上 (5.2log 去除率以上)

【解說】

1. 最大日再生水量

再生水處理設施的最大日再生水量應根據過去的用水量記錄等進行再生水的每日需求預測，並將其設定為整年度內出現最大需水日所對應的水量。

2. 設計營運時間

由於本系統可採自動運轉，因此原則上設施可以 24 小時運轉以應對最大日需水量（再生水量）。

3. 最大時再生水量

由於本系統可以在 24 小時運轉以應對最大日需水量，因此最大時處理水量應原則上為最大日再生水量除以 24 小時的值。

4. 原水水質

原水的水質應與下水道整體規劃和業務計劃中設計的最終沉澱池出口水質相符，如果已經設定了這些計劃，應確保一致。然而，如果過去的實際記錄與這些計劃存在差異，也可以參考實際記錄的最大值或 95% 值來設定原水水質。

5. 去除率

本系統的去除率（病毒以 log 去除率表示）標準範圍如表 4-1 所示。詳細數據請參考附件 1。

表 4-1 去除率的標準值

項目	系統整體	UF 膜過濾	UV 消毒
BOD	90 %以上	同左	-
SS	98~99.5 %	同左	-
T-N	0~10 %	同左	-
T-P	50~80 %	同左	-
病毒	99.9994 %以上 (5.2 log 去除率以上)	90 %以上 (1 log 去除率以上)	99.9937 %以上 (4.2 log 去除率以上)

*在實證研究中，超濾膜過濾時 BOD 和 SS 均低於檢測極限。

§30 處理廠整體處理流程擬訂

考慮到來自本系統的反洗廢水的回送，擬訂將本技術設施整合到既有處理廠中的處理流程。

【解說】

如果將本技術設施整合到既有處理廠中，將來自本技術設施的反洗廢水返回至抽水站前的流入渠，處理廠整體處理流程如圖 4-2 所示。

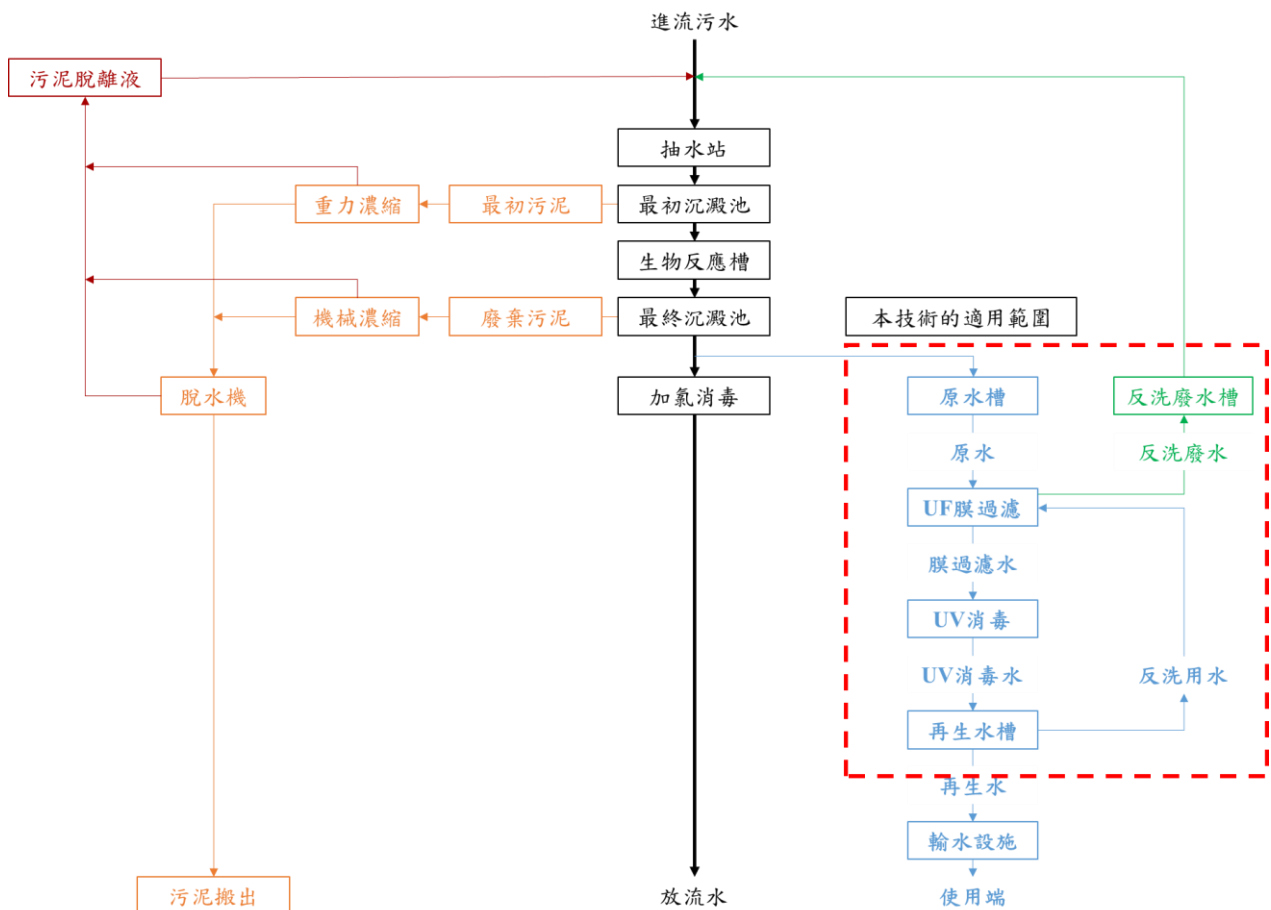


圖 4-2 處理廠整體處理流程

§31 處理廠整體質量平衡計算

根據處理廠整體處理流程進行質量平衡計算。

【解說】

為了評估應用本系統對處理廠的影響，根據整個處理流程進行水量和固體物質量平衡計算。試算例請參考圖 4-4(1)和圖 4-4(2)。在此試算中，假定既有處理廠的處理能力為每日 10,000 m³，並設定了以下兩個情境：

情境 1：處理既有處理廠流入水的全部量（每日 10,000 m³）

情境 2：處理既有處理廠流入水的部分量（每日 1,000 m³）

在這個試算範例中，僅摘錄與本技術相關的部分，實際的質量平衡計算研究中將包括污泥處理系統（包括污泥系統上層液）。另外，既有水處理設施中的病毒去除率（不包括消毒處理）參考圖 4-3，並設定為 99 %（2 log 去除）。這是因為大多數病毒被活性污泥吸附，然後透過廢棄污泥從最終沉澱池中移除到系統外部。

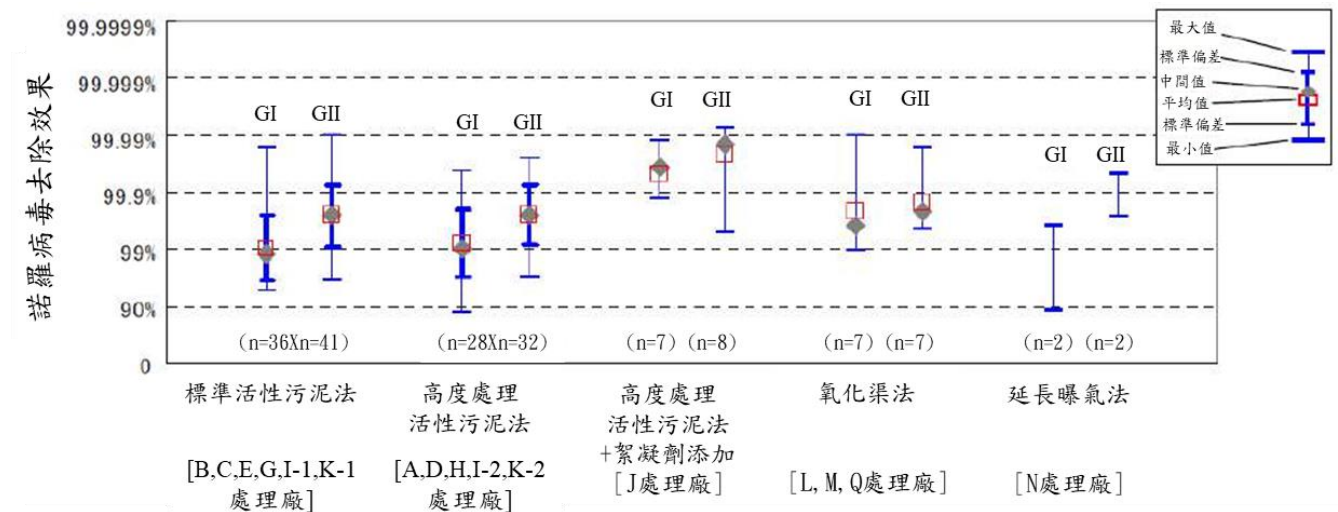


圖 4-3 各生物處理方式的諾羅病毒的去除特性

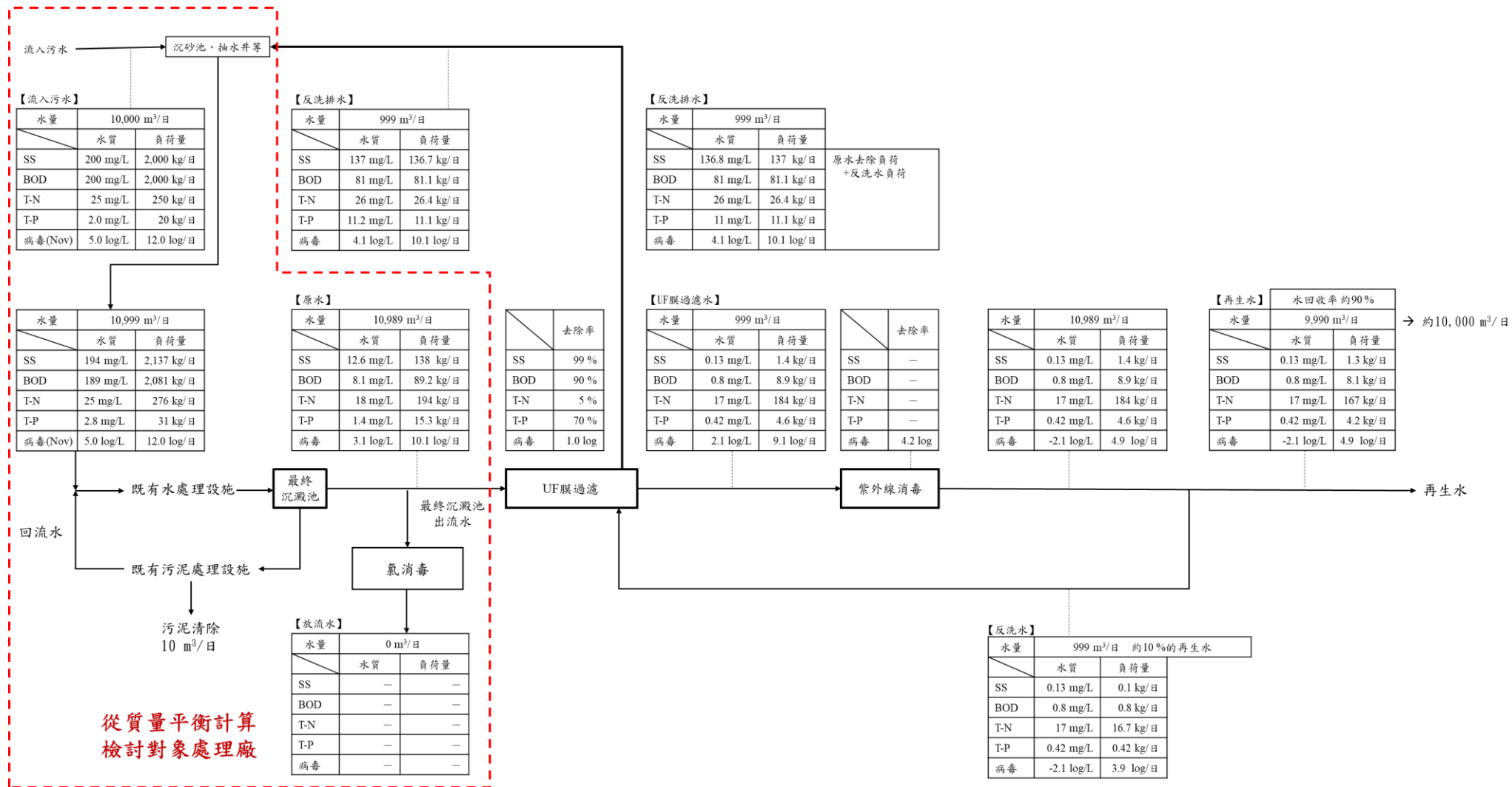


圖 4-4 (1)既有處理廠全處理質量平衡(處理能力 10,000 m³/日)(情境 1)

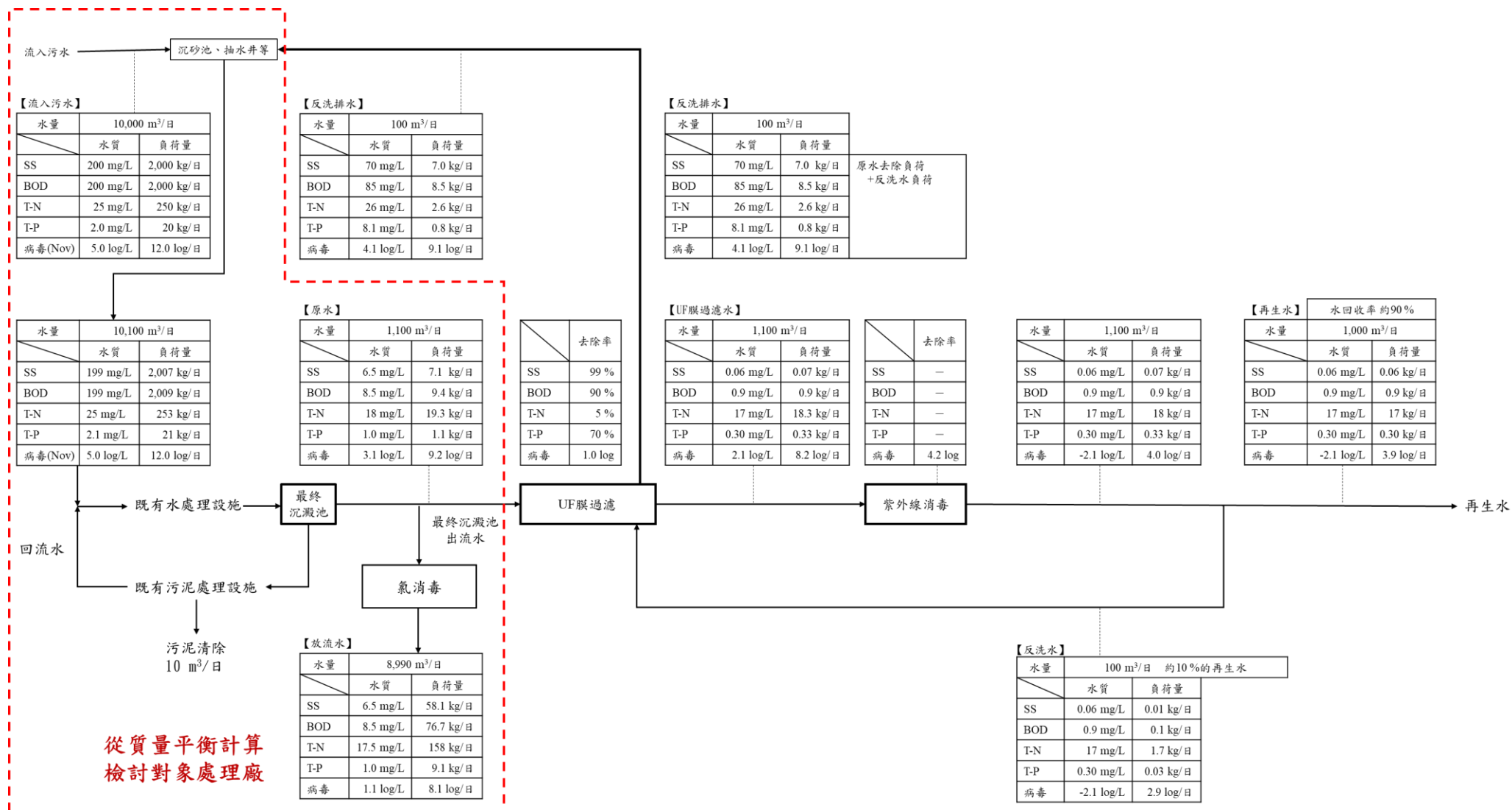


圖 4-4 (2)再生處理既有處理廠(處理能力 10,000m³/日)出流部分水量時(再生水量 1,000m³/日)質量平衡計算(情境 2)

§32 處理廠整體處理流程整合檢討

根據質量平衡計算結果，針對水量和 T-P 水質進行評估，以研究反洗廢水對水處理設施的影響。

【解說】

根據「§31 處理廠整體質量平衡計算」所示質量平衡計算範例，由於反洗廢水對水處理設施負荷的影響，唯一會使既有處理廠進流水質增加的項目是 T-P。因此，需要進行有關 T-P 水質受反洗廢水影響的研究。此外，由於反洗廢水會導致處理水量和污泥產生量增加，因此需要確認既有水處理和污泥處理設施的容量是否足夠。

1. 確認水處理、污泥處理能力

從「§31 處理廠整體質量平衡計算」，可以了解反洗廢水導致既有處理廠流入水量增加的情況，並與既有處理廠的處理能力進行比較。表 4-2 至表 4-3 提供了一個能力比較的範例。如果發現處理能力不足，則需要考慮重新審核處理廠擴建計劃或重新評估功能計算等措施來解決處理能力不足的問題。

表 4-2 反洗廢水的影響：水量（情境 1）

項目	情境 1 10,000m ³ /日全量再生處理		判定	既有處理廠 處理能力
水量	計畫進流水量	10,000 m ³ /日	<	12,000 m ³ /日
	反洗廢水量	999 m ³ /日		
	合計	10,999 m ³ /日		

表 4-3 反洗廢水的影響：水量（情境 2）

項目	情境 2 10,000m ³ /日中取 1,000 m ³ /日再生處理		判定	既有處理廠 處理能力
水量	計畫進流水量	10,000 m ³ /日	<	12,000 m ³ /日
	反洗廢水量	100 m ³ /日		
	合計	10,100 m ³ /日		

2. 確認 T-P 水質

如果已經確定計畫目標放流水質 T-P 標準，則需要檢查既有處理廠設施中的 T-P 處理能力是否能滿足計畫目標放流水質。

需要注意的是，表 4-4 至表 4-5 提供了一個比較的範例。如果發現 T-P 處理能力不足，就需要考慮透過增加絮凝劑的投加量等措施來解決處理能力不足的問題，並進行相應的研究。

表 4-4 反洗廢水的影響：T-P（情境 1）

項目	情境 1 10,000m ³ /日全量再生處理			判定	既有處理廠 處理能力
T-P	進流水質 (根據物質 收支計算)	計畫進流量	2.0 mg/l	<	85%以上
		反洗廢水量	11.2 mg/l		
		合計	2.8 mg/l		
	計畫目標放流水質		0.5 mg/l		
	必要去除率		82.1%		

表 4-5 反洗廢水的影響：T-P（情境 2）

項目	情境 2 10,000m ³ /日中取 1,000 m ³ /日再生處理			判定	既有處理廠 處理能力
T-P	進流水質 (根據質量 平衡計算)	計畫進流量	2.0 mg/l	<	85%以上
		反洗廢水量	8.1 mg/l		
		合計	2.1 mg/l		
	計畫目標放流水質		0.5 mg/l		
	必要去除率		76.0 %		

§33 再生水使用端相關檢討

與再生水使用者進行充分的協商與傳遞。

【解說】

在再生水利用的使用地點，應充分討論和傳遞以下事項，以穩定供應並促進實施，避免供水開始後的問題。關於農業灌溉利用的傳遞內容，可以參考附件 9 中的範例。此外，在考慮其他利用目的時，也應將其作為參考，充分討論和傳遞以下項目：

1. 需水量（年變化和日變化）等
2. 輸水設施的規模、位置等
3. 貯水設施的規模、位置等
4. 所需水質
5. 再生水設施的營運狀況、水質公開項目和方法

第 2 節 本系統處理流程

§34 本技術處理流程

本技術的基本處理流程。

【解說】

本技術的基本處理流程如圖 4-5 所示。

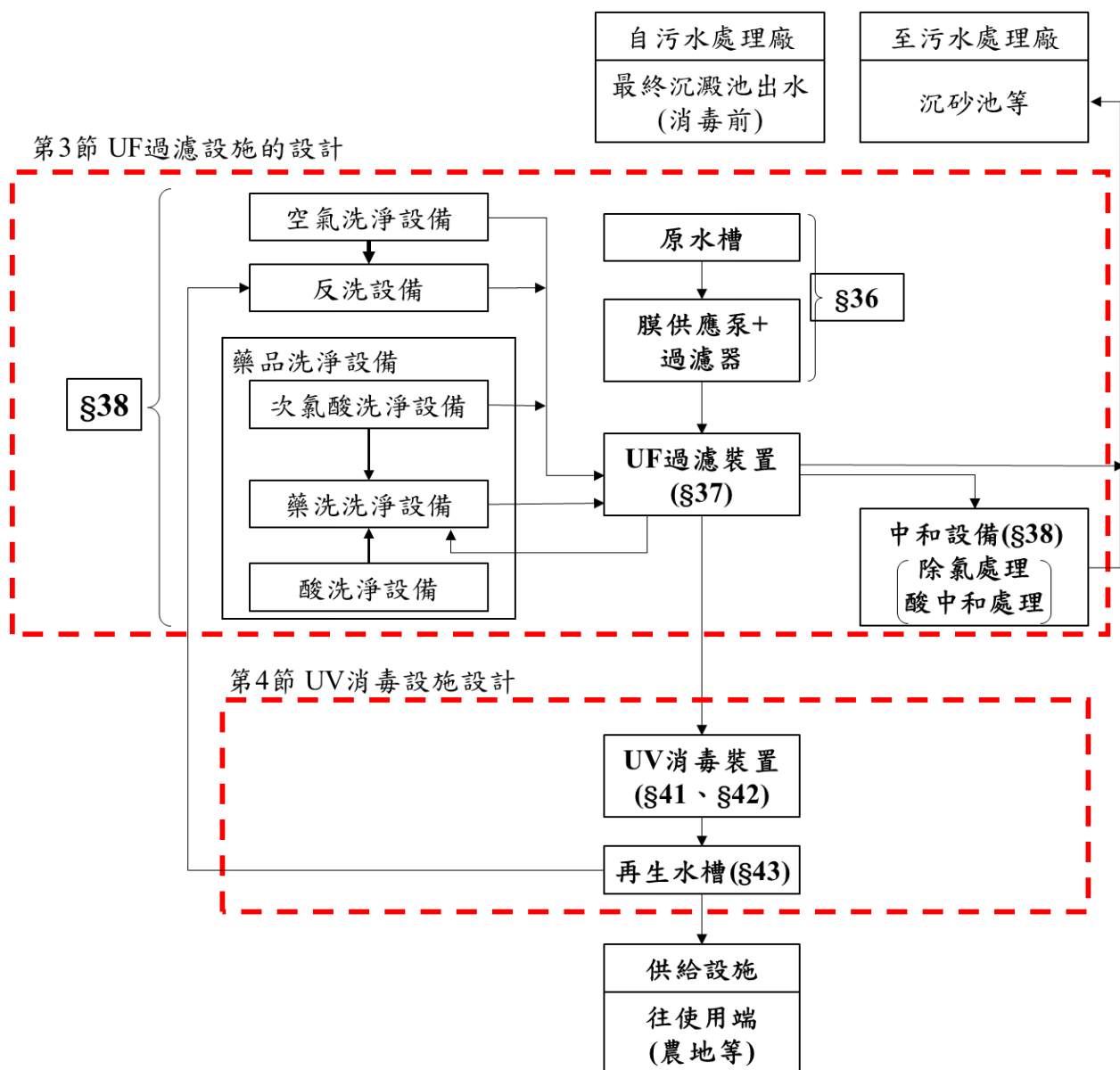


圖 4-5 本技術基本處理流程

第 3 節 UF 膜過濾設施設計

§35 UF 膜過濾設施設計基本條件

UF 膜過濾設施設計以最大日再生水量和 UF 過濾設施運轉周期作為基本參數。

【解說】

在 UF 膜過濾過程中，除了需要水量（再生水量）外，還需要進行反洗用水之過濾和貯存。因此，在進行 UF 過濾設計時，需要計算反洗用水量，而反洗用水量則由 UF 過濾設施的運轉時間和運轉周期來確定。基於這一點，進行 UF 過濾設施設計的基本參數，如表 4-6 所示。需要水量（再生水量）參考「§33 再生水使用端相關檢討」相關研究，運轉周期設定參考「§48 UF 膜洗淨」。

表 4-6 UF 膜過濾設施設計基本參數設定原則

基本設計規範	參數設定概念
最大日再生水量	以再生水需求量為基準設定（參見「§33 再生水使用端相關檢討」）
設計運轉時間	基本上設為 24 小時連續運轉（參見「§29 基本條件設定」）
運轉周期	參考「§48 UF 膜洗淨」進行設定

§36 UF 膜過濾裝置原水供給設施設計

1. 膜操作壓力

UF 膜模組的設計最大操作壓力為 200 kPa，以此為標準。

2. UF 進水池/槽

UF 進水池/槽兼具 UF 供給泵抽水井功能，其有效容量為可確保 UF 膜產水泵 30 分鐘之設計供應量，以此為標準。

3. UF 膜產水泵

每個系列應至少配置一台供應泵，以此為標準。

4. 保安過濾器

為了防止原水中的雜質（如樹葉等）進入 UF 膜過濾設施，導致膜堵塞等問題，設置保安過濾器。

【解說】

UF 膜過濾裝置的原水供應設施應進行「§37 UF 膜過濾裝置設計」至「§39 水量平衡計算」的研究，計算出原水供應量後，以此作為設計參數進行設計。

1. 膜操作壓力

由於 UF 膜的耐壓規格為 300 kPa（參考「§37 UF 膜過濾裝置設計」），因此在 UF 膜過濾運轉時，為確保不會達到膜的耐壓極限而發生膜破裂，需考慮設計最大供應壓力為 200 kPa 為標準。此外，若 UF 膜產水泵的產水倍率超過 1.5，則需進一步考慮降低膜操作壓力的設計最大值。

2. UF 進水池/槽

UF 進水池/槽兼作 UF 膜產水泵的抽水井。因此，為了防止 UF 膜產水泵突然運轉導致 UF 進水池/槽水位下降並產生孔蝕，為確保安全，規定原 UF 進水池/槽需保證容量等於 UF 膜產水泵 30 分鐘供應量。UF 進水池/槽數量應根據每個系列可以單獨停運的需求進行設置，每個系列至少採用 2 池(含)以上進水池/槽。此外，也可以使用隔板或者其他方式來將 1 池 UF 進水池/槽分隔使用。

3. UF 膜產水泵

UF 膜產水泵提供的膜供應水量將根據以下公式進行計算。有關膜實際總面積、實際膜過濾通量以及過濾操作時間的計算方法，參閱「§37 UF 膜過濾裝置設計」。

$$\left[\text{膜供應水量} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{分}} \right) \right] = \frac{[\text{膜總面積}(\text{m}^2)] \times [\text{實際膜過濾通量}(\frac{\text{m}}{\text{日}})]}{[\text{過濾運轉時間}(\frac{\text{小時}}{\text{日}})] \times 60} \dots\dots\dots(\text{式 4.1})$$

產水量應能夠因應系列發生故障，將由以下公式計算出的產水倍率乘上膜供應水量得出。值得注意的是，如果系列數為 1 或者產水倍率超過 1.5，則應考慮安裝備用泵，如果安裝備用泵，則將產水倍率設為 1.1。

$$[\text{產水倍率}] = \frac{[\text{系列數}]}{([\text{系列數}] - 1)} \dots\dots\dots(\text{式 4.2})$$

因此，排放量透過以下公式進行計算：

$$\left[\text{設計排放量} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{分}} \right) \right] = [\text{膜供應水量}] \times \frac{[\text{產水倍率}]}{[\text{系列數}]} \dots\dots\dots(\text{式 4.3})$$

UF 膜進流泵的總揚程設計，要考慮最大靜水頭、管路水頭損失及 UF 膜設備建議操作壓力。因此，總揚程為從 UF 進水池/槽的 L.W.L (最低水位) 到 UF 膜模組入口的水頭，加上管道損失和膜操作壓力 200 kPa (相當於 20 m) (參見圖 4-6)。UF 膜產水泵的數量將根據每個系列能夠單獨停止運轉的需求，每個系列至少安裝一台供應泵。

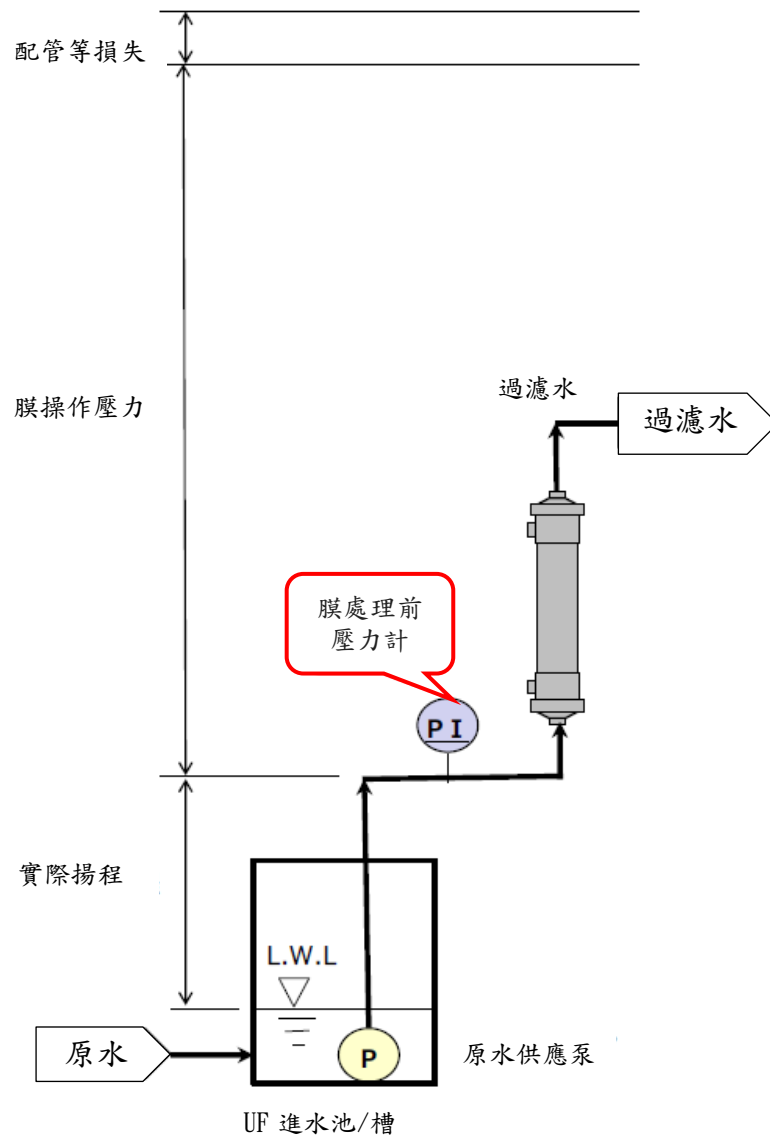


圖 4-6 UF 膜供給泵的總揚程

4. 保安過濾器

保安過濾器的設置位置原則上應安裝在 UF 過濾裝置的前段，以防止 UF 膜在過濾早期時被堵塞。保安過濾器的最大處理能力應能處理 UF 膜產水泵的設計排放量。此外，標準配備具有自動清潔功能的過濾器，可自動執行定期清潔。

§37 UF 膜過濾裝置設計

UF 膜過濾設施設計標準如下

1. 設計運轉時間

UF 過濾裝置的設計運轉時間，如「§29 基本條件設定」所示，標準設計運轉時間為最大日再生水量發生當日連續運轉 24 小時（1,440 分鐘/日）。

2. UF 膜規格

項目	規格	備註
膜材質	PVDF	聚偏氟乙烯
截留分子量	150,000	UF 膜 (90%以上孔徑分布在 0.01 μ m 以下)
標稱孔徑	0.01 μ m 以下	
耐壓性能	300 kPa	

3. 設計膜過濾通量

標準設計膜過濾通量為 1.0 m/日以下。

4. 每日運轉週期

每日的運轉週期參考「§48 UF 膜洗淨」而設定。

5. 過濾時間和反洗時間

根據過濾和反洗程序及每日運轉週期等條件計算過濾時間和反洗時間。

6. 過濾水量與所需的膜面積

根據設計通量和過濾運轉時間等條件計算過濾水量和所需膜面積。

7. UF 膜組件和單元數量

膜組件總數是用所需膜面積除以一個膜組件的膜面積計算得。

一個單元的膜組件數量和一個系列的膜單元數量參考以下設定。

- 1 個膜單元：5~16 個膜組件
- 1 系列：2 個膜單元以上

8. 實際膜過濾通量確認

從設定 UF 膜組件的膜面積、組件數量、單元/系列數量計算出實際膜過濾通量，並確認其低於設計膜過濾通量。

9. UF 膜組件初始供水

在反洗結束時，需將 UF 膜模組中的水全部排出，使其處於空狀態。在恢復運轉時，為了使 UF 膜模組重新充滿水，需要進行原水的初始供水（水灌注），以確定所需的供水量。

【解說】

1. 設計運轉時間

本技術的運轉時間原則上按照「§29 基本條件設定」所示，將每日最大再生水量以 24 小時進行處理。因此，對於 UF 膜過濾裝置，其設計過濾水量（最大日）也需以 24 小時運行來對應，設計運行時間為 24 小時（每日 24 小時）。

2. UF 膜規格

UF 膜規格考慮到其能夠去除一定量的病毒，選用了比病毒尺寸更小的 UF 膜（其孔徑大約在 0.01~0.001 μ m 之間），這比目前已知最小的病毒（如皮可病毒和巴爾博病毒約為 0.02 μ m 的大小）還小，標準規範如表 4-7 所示。另外，每個膜組件的膜面積並無特別

限制，按照標準產品的規格來確定。

表 4-7 UF 膜規格

項目	規格	備註
膜材質	PVDF	聚偏氟乙烯
分子量	150,000	UF 膜(90%以上孔徑分布在 0.01 μm 以下)
標稱孔徑	0.01 μm 以下	
耐壓性能	300kPa	

3. 設計膜過濾通量

提高膜過濾通量可以使 UF 膜模組規模變小，但會加快 UF 膜的堵塞（積垢）速度，導致反洗等頻率增加，運轉成本也會增加。此外，膜破裂的可能性也會增加，膜更換頻率也可能變高。相反，降低膜過濾通量會使 UF 膜模組的規模變大，導致導入成本增加。因此，在考量泡藥清洗停機下設定適當的膜過濾通量相當重要。

在 UF 膜過濾中，即使原水 SS 濃度為 10 mg/ℓ，原水濁度為 10 NTU（參考「§6 再生水利用用途」），也要考慮通過適當的清洗頻率（參考「§48 UF 膜洗淨」）來達到長期穩定的運轉。因此，標準設計膜過濾通量為 1 m/日。然而，鑒於無法將膜過濾通量精確設定為 1 m/日，因此需以選擇膜模組數量等條件使實際膜過濾通量略低於 1 m/日。

4. 每日運轉週期數

每日運轉週期數按照以下公式計算。其中，[過濾時間]、[例行性反洗時間]和[化學清洗時間]可參考「§48 UF 膜洗淨」進行設定。

[每日運轉週期(次/日)]

$$= \frac{[\text{設計運轉時間(小時/日)}] - [\text{藥洗時間(小時/日)}]}{[\text{濾程(小時/次)}] + [\text{例行性反洗時間(小時/次)}]} \dots\dots\dots(\text{式 4.4})$$

5. 過濾運轉時間和反洗時間

過濾運轉時間和反洗時間根據以下公式計算

$$[\text{過濾運轉時間(小時/日)}] = [\text{濾程(小時/次)}] \times [\text{每日運轉週期(次/日)}] \dots(\text{式 4.5})$$

$$[\text{平常反洗時間(小時/日)}] = [\text{平常每次反洗時間(小時/次)}] \times [\text{每日運轉週期(次/日)}] \dots\dots\dots(\text{公式 4.6})$$

$$[\text{藥液時間(小時/日)}] = [\text{藥液每次時間(小時/次)}] \times [\text{每日運轉週期(次/日)}] \dots\dots\dots(\text{公式 4.7})$$

每次反洗時間是指扣除氣洗、排水和補水所佔用時間，僅計算水反洗和水+次氯酸反

洗這一過程的總時間。可以參考「§48 UF 膜洗淨」中的運轉條件來設定反洗清潔時間。另外，反洗清潔時間代表了在一天運轉循環中的總時間。

6. 過濾水量與所需的膜面積

過濾水量和再生水量按以下公式計算。反洗通量倍率標準上使用「§38 洗淨設備設計」標準值。

$$\begin{aligned} [\text{過濾水量}(\text{m}^3/\text{日})] &= [\text{設計膜過濾通量}(\text{m}/\text{日})] \times \frac{[\text{過濾時間}(\text{小時}/\text{日})]}{[\text{設計運轉時間}(\text{小時}/\text{日})]} \times A \\ &= [\text{每單位膜面積過濾水量}(\text{m}^3/\text{日} \cdot \text{m}^2)] \times A \dots\dots\dots (\text{式 4.8}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \left[\text{反洗水量} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{日}} \right) \right] &= [\text{設計膜過濾通量}(\text{m}/\text{日})] \times [\text{反洗通量倍率}] \times \\ &\frac{[\text{反沖洗清洗時間}(\text{小時}/\text{日})] + [\text{化學清洗清洗時間}(\text{小時}/\text{日})]}{[\text{設計運轉時間}(\text{小時}/\text{日})]} \times A = \\ &[\text{每單位膜面積反洗水量}(\text{m}^3/\text{日} \cdot \text{m}^2)] \times A \dots\dots\dots (\text{式 4.9}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{再生水量}(\text{m}^3/\text{日})] &= [\text{過濾水量}(\text{m}^3/\text{日})] - [\text{反洗水量}(\text{m}^3/\text{日})] \\ &= \{ [\text{每單位膜面積過濾水量}(\text{m}^3/\text{日} \cdot \text{m}^2)] - [\text{每單位膜面積反洗水量}(\text{m}^3/\text{日} \cdot \text{m}^2)] \} \times \\ &A \dots\dots\dots (\text{式 4.10}) \end{aligned}$$

A：所需膜面積(m²)。

將所需膜面積 A 整理成以下公式。此處再生水量採「§29 基本條件設定」設計最大日再生水量。

$$\begin{aligned} [\text{所需膜面積}(\text{m}^2)] &= \\ &\frac{[\text{再生水量}(\text{m}^3/\text{日})]}{([\text{每單位膜面積過濾水量}(\text{m}^3/\text{日} \cdot \text{m}^2)] - [\text{每單位膜面積反洗水量}(\text{m}^3/\text{日} \cdot \text{m}^2)]} \dots\dots\dots (\text{式 4.11}) \end{aligned}$$

7. UF 膜模組和單元數量

膜模組總數採以下公式計算。

$$[\text{膜模組總數}(\text{個})] = \frac{[\text{所需膜面積}(\text{m}^2)]}{[\text{每一個膜模組之膜面積}(\text{m}^2)]} \dots\dots\dots (\text{式 4.12})$$

在考慮經濟性、維護管理性和設施配置的情況下，選擇適當的 UF 膜模組型號。

另外，每一個 UF 過濾裝置系列中的單元數量，以及每個單元中的膜模組數量，按照「§11 適用條件」的說明中所示的最小和最大規模，如圖 4-7 所示，標準如下

- 1 個單元：5～16 個膜模組
- 1 系列：2 個單元以上

系列數和單元數應根據季節等需求變動的情況，儘可能採系列或單元之停運進行調整，以因應需求變動。

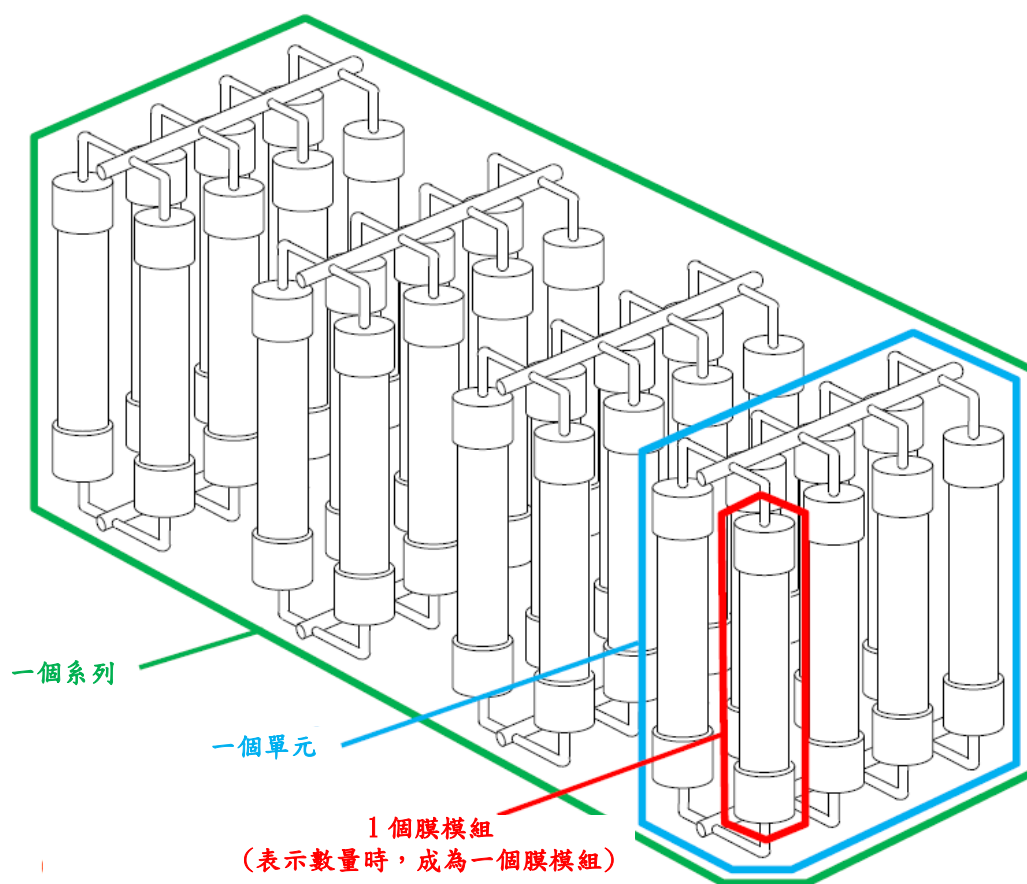


圖 4-7 UF 膜過濾裝置的系列及單元示意圖

8. 實際膜過濾通量確認

根據設定的 UF 膜模組膜單元面積、模組數量、單元數量和系列數量，可以透過以下公式來計算實際膜過濾通量。另外，應確認實際膜過濾通量是否低於設計膜過濾通量。

$$[\text{膜的實際總面積}(\text{m}^2)] = [\text{每單位膜模組的膜面積}(\text{m}^2)] \times [\text{膜模組數}(\text{個}/\text{單元})] \times [\text{膜單元數}(\text{單元}/\text{系列})] \times [\text{系列數}] \dots\dots\dots (\text{式 4.13})$$

$$[\text{實際膜通量}(\text{m}/\text{日})] = [\text{設計膜通量}(\text{m}/\text{日})] \times \frac{[\text{所需膜面積}(\text{m}^2)]}{[\text{膜實際總面積}(\text{m}^2)]} \dots\dots\dots (\text{式 4.14})$$

9. UF 膜模組初期供水

UF 膜過濾初期操作即可供水，因此，標準上將供水通量設定為與實際膜過濾通量相等。供水量可按以下公式計算。反洗供水時間按照「§48 UF 膜洗淨」作為參考進行設定，並根據每日運轉週期數進行計算。

● 產水通量

$$[\text{產水通量}(\text{m}/\text{日})] = [\text{實際膜過濾通量}(\text{m}/\text{日})] \dots\dots\dots (\text{式 4.15})$$

● 例行性反洗產水量

$$[\text{給水量}(\text{m}^3/\text{日})] = [\text{膜的實際總面積}(\text{m}^2)] \times [\text{產水通量}(\text{m}/\text{日})] \times [\text{原水給水時間}(\text{小時}/\text{次})] \times [\text{頻率}(\text{次}/\text{日})] \div 24 \dots\dots\dots (\text{式 4.16})$$

● 化學清洗產水量

$$[\text{給水量}(\text{m}^3/\text{日})] = [\text{膜的實際總面積}(\text{m}^2)] \times [\text{產水通量}(\text{m}/\text{日})] \times [\text{原水給水時間}(\text{小時})] \times [\text{週期數}(\text{次}/\text{日})] \div 24 \dots\dots\dots (\text{式 4.17})$$

另外，給水將使用 UF 膜產水泵進行，並且不需要另外安裝泵設備。

§38 洗淨設備設計

洗淨設備設計如下：

1. 反洗設備

反洗（水反洗）包括每天進行數次的反沖洗，以及作為藥液清洗的一個步驟（沖洗處理）進行。反洗用水使用再生水，反洗用水槽同時也作為再生水槽。反洗用水透過反洗泵送入，送水量由膜過濾通量及反洗通量放大倍數計算出設計反洗通量，反洗通量倍率為 1.1。

2. 空氣洗淨設備

空氣洗淨作為反沖洗和化學清洗的最後一步進行。所需的送風量由 UF 膜模組設計送風量和膜模組數量計算得出。設計送風通量為設計膜過濾通量的兩倍。

3. 藥品洗淨設備

3-1 次氯酸洗淨設備

次氯酸洗淨是化學清洗和藥液（浸泡）清洗的一個步驟，並使用次氯酸鈉進行清洗。次氯酸洗淨設備包括次氯酸貯存槽和次氯酸加藥泵。次氯酸的必要送水量由化學清洗時藥品使用量和次氯酸洗淨時間計算得出。

3-2 酸洗淨設備

酸洗是藥液（浸泡）清洗的一個步驟，酸洗設備包括酸貯存槽和酸加藥泵。酸的必要送水量由酸使用量和酸洗淨時間計算得出。

3-3 藥液洗淨設備

藥液洗淨設備用於藥液（浸泡）清洗，將酸和次氯酸貯存在藥液清洗槽中，透過藥液清洗泵在 UF 膜過濾裝置和槽之間循環。

藥液清洗的必要循環流量由藥液清洗通量和膜的實際總面積計算得出，藥液清洗通量與膜過濾通量相等。

4. 中和設備

4-1 除氯設備

除氯設備用於去除藥液（浸泡）清洗時所使用次氯酸之氯含量，然後回送至既有水處理設施，包括除氯劑貯存槽和除氯劑送水泵。除氯劑所需送水量由除氯劑用量和送液時間計算得出。

4-2 酸中和設備

酸中和設備是用於對藥液（浸泡）清洗的酸進行中和，然後回送至既有水處理設施，包括酸中和劑貯存槽和酸中和劑送水泵。酸中和劑所需送水量由酸中和劑用量和送液時間計算得出。

5. 中和槽

中和槽是用於對藥液（浸泡）清洗所使用的亞硫酸鹽進行除氯和酸中和處理的攪拌槽。中和槽的容量需能確保一次藥液清洗排水及除氯劑或酸中和劑的用量，中和槽排水所需送水量則由中和槽排水量和排水時間計算得出。

【解說】

1. 反洗設備

除了每天進行幾次的定期反洗外，反洗也可以作為藥液清洗的一個步驟（沖洗過程）進行。（參見「§48 UF 膜洗淨」）。反洗用水使用經 UV 消毒處理後的水，標準作法是與

再生水槽合併以節省成本（再生水槽的設計參見「§43 再生水槽的設計」）。

反洗泵的設計反洗通量根據膜過濾通量乘以反洗通量倍率來計算。反洗通量稍微大於膜過濾通量，以利將附著在 UF 膜表面的懸浮物等從相反方向擠出。然而，過大的反洗通量可能導致膜破裂，因此反洗通量倍率以 1.1 為標準。反洗泵所需送水量需能滿足正常反洗水量和藥洗水量中較大者，並選擇較大水量。膜的實際總面積、實際膜過濾通量以及例行性反洗清洗時間的計算方法請參見「§37 UF 膜過濾裝置設計」。

$$[\text{常態反洗水量}(\text{m}^3/\text{分})] = [\text{膜的實際面積}(\text{m}^2)] \times [\text{膜過濾通量}(\text{m}/\text{日})] \times [\text{反洗通量倍率}] \times [\text{常態反洗清洗時間}(\text{小時}/\text{日})] \div (24 \times 60) \dots\dots\dots (\text{式 4.18})$$

$$[\text{藥劑反洗水量}(\text{m}^3/\text{分})] = [\text{膜的實際面積}(\text{m}^2)] \times [\text{膜過濾通量}(\text{m}/\text{日})] \times [\text{反洗通量倍率}] \times [\text{常態反洗清洗時間}(\text{小時}/\text{日})] \div (24 \times 60) \dots\dots\dots (\text{式 4.19})$$

反洗泵的總揚程設計，要考慮最大靜水頭、管路水頭損失及 UF 膜設備建議操作壓力。因此，從再生水槽的低水位線到 UF 膜模組的入水口，需要考慮管路等損失及膜操作壓力 200 kPa(20 m)（參見「§36 UF 膜過濾裝置原水供給設施設計」）。

2. 空氣洗淨設備

空氣洗淨作為常態反洗和化學清洗的最終步驟（參閱「§48 UF 膜洗淨」）。空氣洗淨所需的送風量可以透過以下公式計算。標準設計送風通量為設計膜過濾通量的 2 倍（參閱「§37 UF 膜過濾裝置設計」）。

$$[\text{所需送風量}(\text{m}^3/\text{分})] = [\text{設計送風通量}(\text{m}/\text{日})] \times [\text{膜實際總面積}(\text{m}^2)] \div 1440 \dots\dots (\text{式 4.20})$$

空氣洗淨用風機的靜壓包括進氣損失、管路損失以及膜操作壓力。標準膜操作壓力為 200 kPa(20 m)（請參閱「§36 UF 膜過濾裝置原水供給設施設計」）。

$$[\text{空氣洗淨用風機靜壓}(\text{kPa})] = [\text{吸入損失}(\text{kPa})] + [\text{配管損失}(\text{kPa})] + [\text{膜操作壓力}(\text{kPa})] \dots\dots\dots (\text{式 4.21})$$

3. 藥品洗淨設備

3-1 次氯酸洗淨設備

次氯酸洗淨是化學清洗和藥液（浸泡）清洗的一個步驟，使用次氯酸鈉進行清洗（請參考「§48 UF 膜洗淨」）。次氯酸洗淨設備包括次氯酸貯存槽和次氯酸加藥泵。次氯酸鈉所需供水量可以透過以下公式從化學清洗的次氯酸洗淨時間中計算得出。次氯酸的標準使用量、次氯酸溶液的比重以及次氯酸清洗時間和藥液清洗時的送液時間應根據「§48 UF 膜洗淨」來設定。

(1) 化學清洗的情況

$$[\text{次氯酸使用量}(\text{ℓ}/\text{日})] = \frac{[\text{次氯酸標準使用量}(\text{g}/\text{再生水}\text{m}^3)] \times [\text{再生水施設規模}(\text{m}^3/\text{日})]}{[\text{次氯酸溶液的比重}] \times \text{m}^3} \dots\dots (\text{式 4.22})$$

$$[\text{所需送水量}(\text{m}^3/\text{分})] = \frac{[\text{次氯酸使用量}(\ell/\text{日})]}{[\text{次氯酸反洗時間}(\text{秒}/\text{日})]} \times 60 \times 10^{-3} \dots\dots\dots(\text{式 4.23})$$

(2) 藥液（浸泡）清洗的情況

$$[\text{次氯酸用量}(\ell/\text{日})] = \frac{[\text{次氯酸標準使用量}(\text{g}/\text{再生水}\text{m}^3)] \times [\text{再生水施設規模}(\text{m}^3/\text{日})]}{[\text{次氯酸溶液的比重}] \times 10^3} \dots\dots\dots(\text{式 4.24})$$

$$[\text{所需送水量}(\text{m}^3/\text{分})] = \frac{[\text{次氯酸使用量}(\ell/\text{日})]}{[\text{送液時間}(\text{分})]} \times 10^{-3} \dots\dots\dots(\text{式 4.25})$$

次氯酸貯存槽同時兼顧用於每日執行的化學清洗和原則上每年執行一次的藥液（浸泡）清洗，因此需要根據兩者中較大的使用量來確定所需容量。次氯酸使用量可以透過以下公式計算得出。每天的清洗次數應參考「§48 UF 膜洗淨」進行設定。對於化學清洗的貯留日數，可以參考定期巡視檢查的頻率（參考「§54 維護檢查」）來設定。對於藥液（浸泡）清洗的情況，由於在清洗時需要指派人員進行藥液補充，因此貯留能力是以一次清洗所需的容量進行計算。惟次氯酸鈉之有效氯會隨時間衰減，且初購濃度 12%，較實際使用濃度高，因此實際容量以貯存方式建議可參考國內相關規範。

$$[\text{化學清洗時次氯酸貯存槽所需容量}(\ell)] = [\text{次氯酸使用量}(\ell/\text{日})] \times [\text{貯留日數}(\text{日})] \dots\dots\dots(\text{式 4.26})$$

$$[\text{藥液(浸泡)清洗時次氯酸貯存槽所需容量}(\ell)] = [\text{次氯酸使用量}(\ell/\text{回})] \times [1 \text{ 回份}] \dots\dots\dots(\text{式 4.27})$$

3-2 酸洗設備

酸洗是利用酸來分解和去除附着在 UF 膜上的無機物等。因此，需要選擇合適種類的酸，參考「§48 UF 膜洗淨」進行選擇。酸洗所需送水量可以透過每個步驟中的酸使用量和送液時間，使用以下公式來計算。酸的標準使用量、酸液的密度以及送液時間可以參考「§48 UF 膜洗淨」進行設定。

$$[\text{酸使用量}(\ell/\text{日})] = \frac{[\text{酸標準使用量}(\text{g}/\text{再生水}\text{m}^3)] \times [\text{再生水施設規模}(\text{m}^3/\text{日})]}{[\text{酸溶液的比重}] \times 10^3} \dots\dots\dots(\text{式 4.28})$$

$$[\text{所需送水量}(\text{m}^3/\text{分})] = \frac{[\text{酸使用量}(\ell/\text{日})]}{[\text{送液時間}(\text{分})]} \times 10^{-3} \dots\dots\dots(\text{式 4.29})$$

酸貯存槽所需容量應確保足夠應用於一次藥液（浸泡）清洗使用量。另外，酸的類型應選擇具有足夠氧化能力以分解附著在 UF 膜上的無機物等，請參考「§48 UF 膜洗淨」進行選擇。

3-3 藥液洗淨設備

藥液洗淨設備用於在藥液（浸泡）清洗過程中，將酸和次氯酸等貯留在藥液洗淨槽中，並透過藥液洗淨泵使其在 UF 膜過濾設備和藥液之間進行正向流循環。藥液洗淨的流程如圖 4-8 所示。

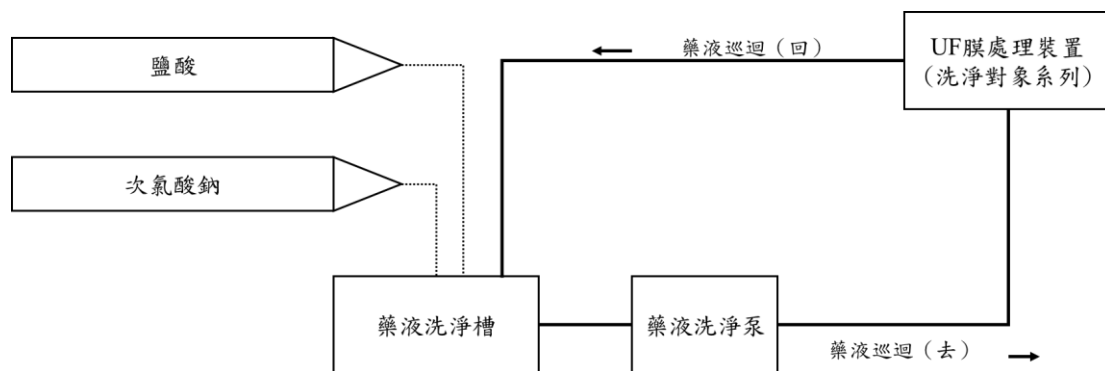


圖 4-8 藥液洗淨流程

藥液洗淨所需循環流量應根據每個膜模組在藥液(浸泡)清洗時的標準清洗流量(對於使用於實證研究的模組，標準為 50 升/分·支)來設定。

$$[\text{必要循環流量}(\text{m}^3/\text{分} \cdot \text{支})] = [\text{標準藥液清洗流量}(50 \text{ L}/\text{分} \cdot \text{支})] \dots\dots\dots (\text{式 4.30})$$

藥液洗淨為了最大程度地減少設施的停工時間，應對 UF 過濾裝置的每個系列進行操作。藥液洗淨泵的流量應根據以下公式進行計算。

$$[\text{設計排放量}(\text{m}^3/\text{分} \cdot \text{支})] = [\text{必要循環量}(50 \text{ L}/\text{分} \cdot \text{支})] \times [\text{一系列的模組支數}(\text{支})] \dots\dots (\text{式 4.31})$$

藥液洗淨泵的總揚程設計，要考慮最大靜水頭、管路水頭損失及 UF 膜設備建議操作壓力。因此，從藥液清洗槽的 L.W.L 到 UF 膜模組入口的水頭應包括管道等損失，以及膜操作壓力 200 kPa(20 m) (請參考「§36 UF 膜過濾裝置原水供給設施設計」)。

藥液洗淨槽所需容量，應確保藥液(浸泡)清洗中，次氯酸洗淨和酸洗淨所需的調配藥液量中較大的一方。藥液的標準使用量、濃度以及調配濃度應請參考「§48 UF 膜洗淨」來設定。

● 次氯酸的調整藥液量

$$[\text{次氯酸的純重量}(\text{kg}/\text{次})] = [\text{次氯酸標準使用量}(\text{g}/\text{再生水 } \text{m}^3)] \times [\text{再生水施設規模}(\text{m}^3/\text{日})] \times [\text{溶液的次氯酸濃度}(\%)] \times 10^{-6} \dots\dots\dots (\text{式 4.32})$$

$$[\text{次氯酸的調整藥液量}(\text{m}^3/\text{次})] = \frac{[\text{次氯酸的純重量}(\text{kg}/\text{次})]}{[\text{次氯酸的調整濃度}(\text{mg}/\ell)]} \times 10^3 \dots\dots\dots (\text{式 4.33})$$

● 酸的調整藥液量

$$[\text{酸的純莫耳數}(\text{mol}/\text{次})] =$$

$$\frac{[\text{酸標準使用量}(\text{g}/\text{再生水 } \text{m}^3)] \times [\text{再生水施設規模}(\text{m}^3/\text{日})] \times [\text{溶液的酸濃度}(\%)]}{[\text{莫耳質量}(\text{g}/\text{mol})] \times 100} \dots\dots\dots (\text{式 4.34})$$

$$[\text{酸的調整藥液量}(\text{m}^3/\text{次})] = \frac{[\text{酸的純莫耳數}(\text{mol}/\text{次})]}{[\text{酸的調整濃度}(\text{mol}/\ell)]} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (\text{式 4.35})$$

4. 中和設備

4-1 除氯設備

除氯設備用於對藥液（浸泡）清洗過程中使用的次氯酸進行除氯處理，並回流至既有的水處理設施中。該設備包括除氯劑貯存槽和除氯劑送水泵。除氯劑送水泵送水至中和槽。中和槽用於進行除氯處理和酸中和處理。除氯劑所需送水量可根據一個工序中使用的除氯劑量以及送液時間，並使用以下公式計算。除氯劑的標準使用量、除氯劑溶液的比重以及送液時間應參考「§48 UF 膜洗淨」來設定。

$$[\text{除氯劑使用量}(\ell/\text{次})] = \frac{[\text{除氯劑標準使用量}(\text{g}/\text{再生水}\text{m}^3)] \times [\text{再生水施設規模}(\text{m}^3/\text{日})]}{[\text{除氯劑溶液的比重}] \times 10^3} \dots\dots\dots(\text{式 4.36})$$

$$[\text{所需送水量}(\text{m}^3/\text{分})] = \frac{[\text{除氯劑使用量}(\ell)]}{[\text{送液時間}(\text{分})]} \times 10^{-3} \dots\dots\dots(\text{式 4.37})$$

酸中和劑貯存槽所需容量應確保足夠的酸中和劑量，以應對一次藥液（浸泡）清洗過程。選擇酸中和劑的種類應考慮成本以及藥液處理的便利性等因素，並參考「§48 UF 膜洗淨」進行選擇。

4-2 酸中和設備

酸中和設備旨在對藥液（浸泡）清洗過程中使用的酸進行中和，以便回流至既有的水處理設施，包括酸中和劑貯存槽和酸中和劑送水泵。酸中和劑送水泵送水至中和槽。中和槽是一個共用的槽，用於除氯處理和酸中和處理。酸中和劑的所需送水量可以根據一個工序中的酸中和劑使用量和送液時間，透過以下公式（式 4.38）來計算。酸中和劑的標準使用量、酸中和劑溶液的密度以及送液時間應參考「§48 UF 膜洗淨」來設定。

$$[\text{酸中和劑使用量}(\ell/\text{次})] = \frac{[\text{酸中和劑標準使用量}(\text{g}/\text{再生水}\text{m}^3)] \times [\text{再生水施設規模}(\text{m}^3/\text{日})]}{[\text{酸中和劑溶液的比重}] \times 10^3} \dots\dots\dots(\text{式 4.38})$$

$$[\text{必要送水量}(\text{m}^3/\text{分})] = \frac{[\text{酸中和劑使用量}(\ell)]}{[\text{送液時間}(\text{分})]} \times 10^{-3} \dots\dots\dots(\text{式 4.39})$$

酸中和劑貯存槽的必要容量，應確保足以應對一次藥液（浸泡）清洗所需的酸中和劑量。在選擇酸中和劑種類時，需考慮成本以及處理藥液的便利性等因素，並且需參考「§48 UF 膜洗淨」進行選擇。

5. 中和槽

中和槽是用於進行藥液（浸泡）清洗中所使用的次氯酸的除氯處理和酸中和處理的攪拌槽，包括中和槽本身和中和槽排水泵。中和槽排水泵將水送往既有處理設施的入流渠或沉砂池。中和槽用於共同進行除氯處理和酸中和處理。中和槽所需容量由以下公式計算，確保可以應對一次藥液（浸泡）清洗所需的次氯酸洗淨排水量和除氯劑調整藥液量之和，以及酸洗淨排水量和酸中和劑調整藥液量之中較大者。另外，餘裕率取標準值為 1.1。

- 次氯酸中和槽所需容量

$$[\text{中和槽排水量}(\text{m}^3)] = [\text{次氯酸的調整藥液量}(\text{m}^3)] + [\text{除氯劑使用量}(\text{m}^3)] \dots\dots\dots (\text{式 4.40})$$

- 酸中和槽所需容量

$$[\text{中和槽排水量}(\text{m}^3)] = [\text{酸的調整藥液量}(\text{m}^3)] + [\text{酸中和劑使用量}(\text{m}^3)] \dots\dots\dots (\text{式 4.41})$$

- 中和槽所需容量

$$[\text{中和槽所需容量}(\text{m}^3)] = [\text{上述較大的所需容量}(\text{m}^3)] \times [\text{餘裕率}] \dots\dots\dots (\text{式 4.42})$$

此外，貯槽容量可能會以有效容量（排水泵的 H.W.L 到 L.W.L 的容量）來表示，以確保所需容量。中和槽的排水所需水量是根據中和槽的排水量和排水時間計算的，排水時間參考自「§48 UF 膜洗淨」。

$$[\text{所需送水量}(\text{m}^3/\text{分})] = \frac{[\text{中和槽排水量}(\text{m}^3)]}{[\text{排水時間}(\text{分})]} \dots\dots\dots (\text{式 4.43})$$

§39 水量平衡計算

基於本設計的基礎上，進行質量平衡計算，必要時重新檢視「§31 處理廠整體質量平衡計算」中的平衡計算。

【解說】

根據本設計，進行如下各水量的計算，關於反洗廢水的再生水比例若與「§31 處理廠整體質量平衡計算」中的設定值差異明顯，則需重新檢視平衡計算。具體 UF 膜過濾裝置周邊的水流程序請參見圖 4-9。

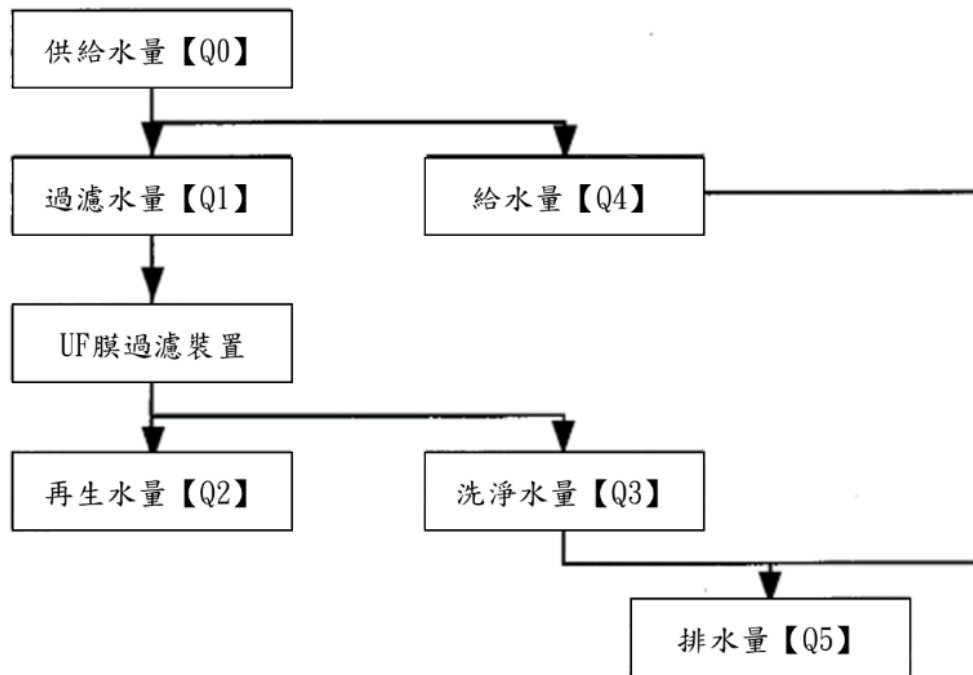


圖 4-9 UF 膜過濾裝置周邊的水流程序

1. 供給水量【Q0】

供給水量是指過濾水量【Q1】與給水量【Q4】的總和。

2. 過濾水量【Q1】

這裡計算的過濾水量包括因反洗所需水量，而進行 UF 膜過濾的實際過濾水量，因此為再生水量【Q2】和洗淨水量【Q3】的總和

3. 再生水量【Q2】

再生水量是指在再生水的使用端所需的需求量，使用「§29 基本條件設定」中的最大日再生水量。

4. 洗淨水量【Q3】

洗淨水量是指常態反洗水量與化學清洗水量的總和。反洗所使用的反洗用水量與反洗後排放的反洗廢水量相等，因此這是一個綜合使用的水量。常態反洗水量與化學清洗水量來自於「§38 洗淨設備設計」的計算。

5. 給水量【Q4】

給水量表示在進行反洗後，對於處於空的狀態的 UF 膜模組，需要一定的水量來使其重新充滿水。此給水量相當於在反洗前殘留在 UF 膜模組中的水量，此水量在進行反洗時不進行 UF 膜過濾（也不計入過濾水量）而被排放出來。此給水量是由「§38 洗淨設備設計」中計算得到的常態反洗給水量和化學清洗給水量的總和。

6. 排水量【Q5】

排水量是指在反洗時被送回到既有處理廠的水量，是洗淨水量【Q3】和給水量【Q4】的總和。

7. 水回收率

水回收率以及反洗廢水對再生水的比例由以下公式計算。

$$[\text{水回收率}] = \frac{[\text{再生水量【Q2】}]}{[\text{供給水量【Q0】}]} \dots\dots\dots(\text{式 4.44})$$

$$[\text{反洗廢水對再生水的比例}] = \frac{[\text{排水量【Q5】}]}{[\text{再生水量【Q2】}]} \dots\dots\dots(\text{式 4.45})$$

第 4 節 UV 消毒設施設計

§40 UV 消毒裝置的設計水量

UV 消毒裝置的設計水量為最大膜過濾水量（UF 膜產水泵出水量）。

【解說】

UV 消毒裝置位於 UF 膜過濾裝置的後段，處理水量等同於來自 UF 膜過濾裝置的全部過濾水量。UF 膜過濾裝置並非一直處於運轉狀態，例如定期進行反洗等操作，因此並非始終處於 UF 膜過濾狀態。但是在安裝的 UF 膜過濾設施中，當所有系列都處於 UF 膜過濾狀態時，過濾水量會達到最大值。因此，UV 消毒裝置的設計水量應該等於對應的 UF 膜過濾裝置在所有系列均處於過濾狀態時的最大膜過濾水量（即 UF 膜產水泵出水量）。

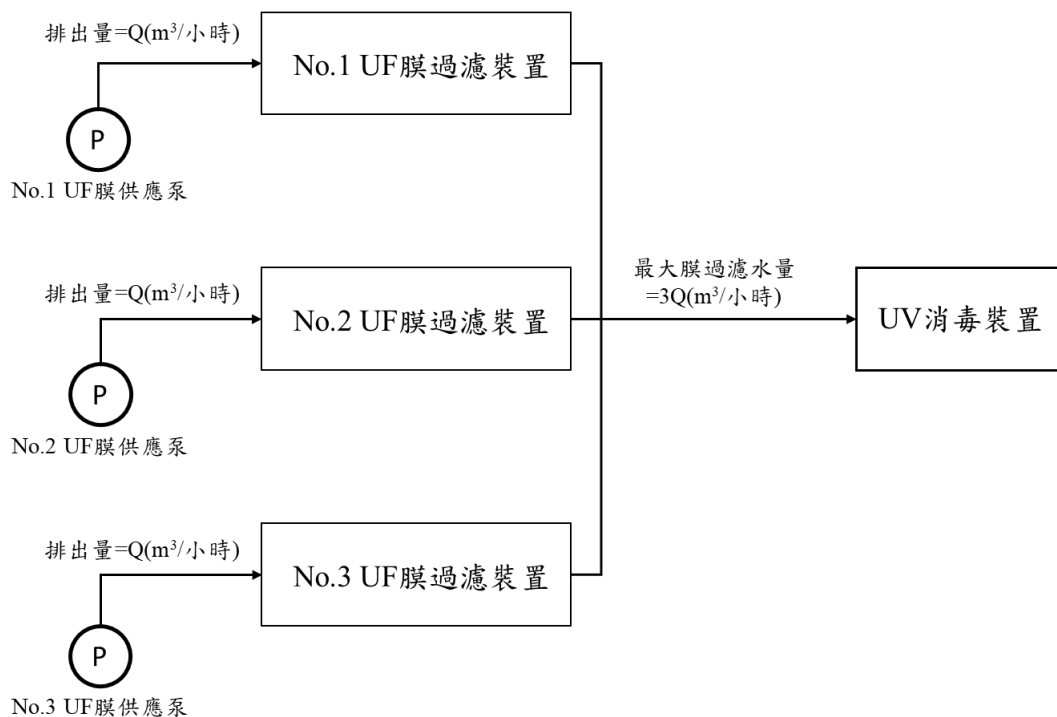


圖 4-10 UV 消毒裝置的設計水量（以 UF 膜過濾裝置有 3 套系列為例）

此外，最大過濾水量（=膜供水泵出水量 $(\text{m}^3/\text{時})$ ）是指計畫過濾水量除以過濾運轉時間（扣除反洗時間等後的過濾運轉時間）得到的值。這與簡單地除以 24 小時得到的值不同。過濾運轉時間的計算方法請參考「§37 UF 膜過濾裝置設計」。

$$\begin{aligned} & [\text{UV 消毒裝置設計水量}(\text{m}^3/\text{小時})] = [\text{最大過濾水量}(\text{m}^3/\text{小時})] \\ & = \frac{[\text{設計過濾水量}(\text{m}^3/\text{小時})]}{[\text{過濾運轉時間}(\text{小時}/\text{日})]} \dots\dots\dots (\text{式 4.46}) \end{aligned}$$

§41 UV 消毒裝置設計

UV 消毒裝置的設計標準如下：

1. 型式

本系統適用於渠道式和密閉式兩種型式。

2. 目標 UV 照射量

UV 消毒裝置的目標照射量標準為 85 mJ/cm^2 以上，足以使病毒的活性降低 $4.2\log$ 。

3. 設計 UV 穿透率

設計的 UV 穿透率標準為 70 %。

4. 根據目標 UV 照射量設計 UV 消毒裝置

UV 消毒裝置的設計應基於目標 UV 照射量和 UV 穿透率。

5. 裝置數量

為了確保在燈管故障等情況下能夠及時應對，UV 消毒裝置應設有備用裝置。

6. UV 燈保護管的清洗裝置

為了避免長時間使用導致燈保護管積污而降低性能，UV 消毒裝置應配備自動清洗裝置。

【解說】

1. 型式

UV 消毒裝置有兩種方式：一是將燈管浸沒在具有自由水面的開放水路中（渠道式：參見圖 4-11），二是在管路內配置燈管，然後讓被處理水過燈管（密閉式：參見圖 4-12）。在實證研究中，已確認兩種方式都可以獲得所需的性能，因此本技術可以採用這兩種方式。UV 可能導致眼睛受損，因此在採用（渠道式時，應對其上部進行遮蔽等措施，需要確保 UV 不會外泄。



圖 4-11 渠道式 UV 消毒裝置

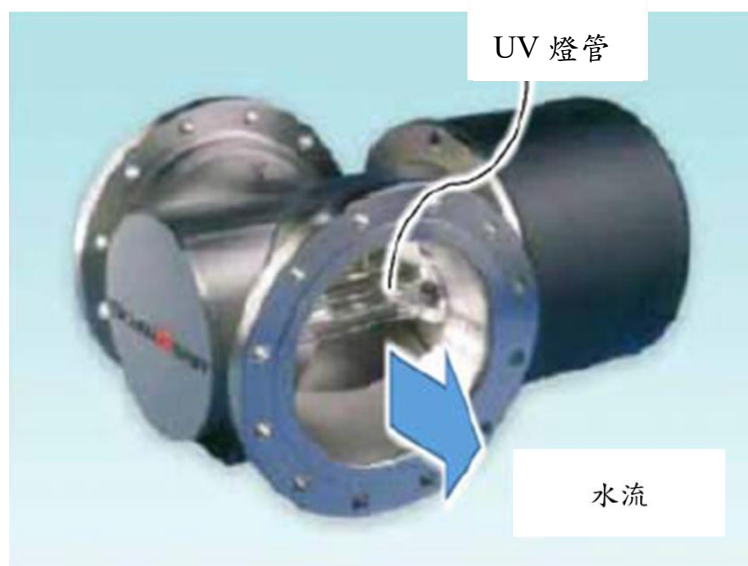
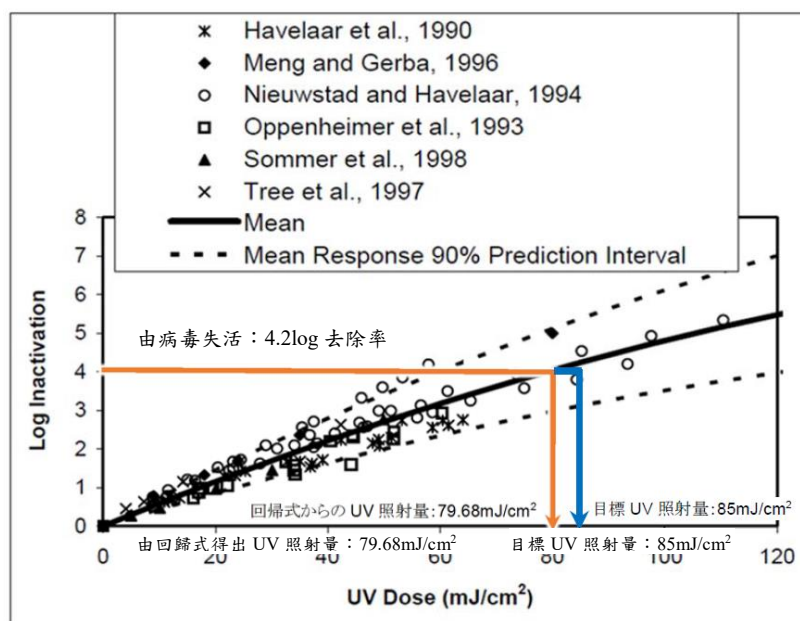


圖 4-12 密閉式 UV 消毒裝置

2. 目標 UV 照射量

為達到目標病毒失活率（請參考「§29 基本條件設定」），主要參考美國環保署(U.S. EPA)發行的《紫外線消毒指南²⁰⁾》（以下簡稱“UV 指南”）中關於 MS2 噬菌體失活和 UV 照射量的相關資料(請參考圖 4-13)。圖 4-13 以橫軸表示 UV 照射量(UV Dose)，縱軸表示病毒失活程度(以 log 去除率表示)，失活程度以 MS2 噬菌體為測量標準。

在前期試驗中，透過添加 MS2 噬菌體，可以驗證病毒的失活率。然而，在實證設施中無法添加 MS2 噬菌體，因此本研究透過在具有 UF 膜通流的 UV 設施中進行評估，評估了含有 GI 噬菌體的污水處理水在 UV 設施中的失活率。此外，在實驗室的小型照射設施中，確認了 GI 噬菌體和 MS2 噬菌體對 UV 的敏感度大致相同，因此兩者的失活率視為相等。



資料來源：美國環保署《紫外線消毒指南²⁰⁾》

圖 4-13 MS2 噬菌體失活率與 UV 照射量的關係

圖 4-13 中的上限和下限的病毒失活（以 log 去除率表示）的回歸方程式，以及其平均值的計算式如下

$$[\text{上限的病毒失活}] = -1.4 \times 10^{-4} \times [\text{UV 照射量}]^2 + 7.6 \times 10^{-2} \times [\text{UV 照射量}] \dots\dots\dots (\text{式 4.47})$$

$$[\text{下限的病毒失活}] = -9.6 \times 10^{-5} \times [\text{UV 照射量}]^2 + 4.5 \times 10^{-2} \times [\text{UV 照射量}] \dots\dots\dots (\text{式 4.48})$$

$$[\text{平均病毒失活}] = -0.0001 \times [\text{UV 照射量}]^2 + 0.607 \times [\text{UV 照射量}] - 0.0017 \dots\dots\dots (\text{式 4.49})$$

所需的目標 UV 消毒效果為 4.2 log 去除（請參閱「§29 基本條件設定」）。根據式 4.49，平均病毒去活效果（log 去除）為 4.2，相對應的 UV 照射量為 79.68 mJ/cm²。為確保充分的餘裕，因此將平均 UV 照射量設定為以下數值。

$$[\text{目標 UV 照射量}] = 85 \text{ mJ/cm}^2 \text{ 以上}$$

3. 設計 UV 穿透率

即使在 UF 膜過濾水的 UV 穿透率降至 70 % 的情況下，也要確保可以達到所需的病毒失活效果，因此進行 UV 消毒設施的設計。

4. 根據目標 UV 照射量設計 UV 消毒裝置

UV 消毒裝置的設計將遵循《紫外線消毒裝置技術手冊²¹⁾》（日本下水道新技術機構，2006 年 3 月）中所示的設計方法，並按以下步驟進行。

(1) 設計 UV 強度的設定

應用於本系統的 UV 消毒裝置設計 UV 強度，將根據以下方式進行設定。如果裝置內配置複數燈管，將使用裝置有效反應部分的平均值。

$$I = I_p \times f_1 \times f_2 \dots\dots\dots (\text{式 4.50})$$

I：設計 UV 強度(mW/cm²)

I_p：設計 UV 透過率(70 %)裝置規格的 UV 強度(mW/cm²)

f₁：燈管老化係數

f₂：套管結垢係數

上述 I_p、f₁、f₂ 項目為所選製造商的保證值。

(2) 必要照射時間的設定

根據本系統的 UV 消毒裝置所需的目標 UV 照射量(85 mJ/cm²)和設計 UV 強度（如上所述(1)），所需的照射時間設定如下。

$$T = \frac{D}{I} \dots\dots\dots (\text{式 4.51})$$

T：必要照射時間(秒)

D：目標 UV 照射量(85 mJ/cm²)

I：設計 UV 強度(mW/cm^2)

(3) 每支燈管可處理水量的設定

根據設定的照射時間（如上所述(3)）和適用於本系統燈管的有效照射容積，設定每支管可處理水量。

$$q = \frac{T}{V} \times 3600 \times 10^{-3} \dots\dots\dots(\text{式 4.52})$$

q：每支燈管可處理水量($\text{m}^3/\text{時}$)

V：燈管的有效照射容積(ℓ)（參考圖 4-14）

T：必要照射時間(秒)

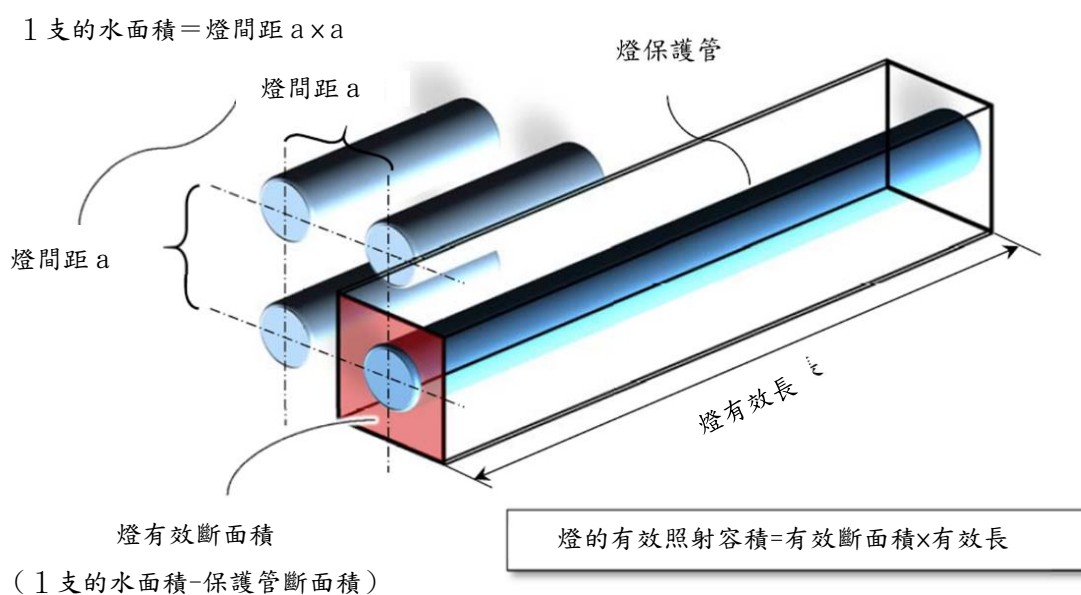


圖 4-14 燈的有效照射容積

(4) 必要燈管數的設定

根據每支燈管可以處理的水量（如上述(3)），來設定系統所需的燈管數量。由於製造商會針對每個模組設定最小和最大的燈管數量，以及每個單元可以配置的最小和最大模組數量，所以在實際選擇設備時，需要確保所選擇的設備型號符合計算出的所需燈管數量。

$$n = \frac{Q}{q} \dots\dots\dots(\text{式 4.53})$$

n：必要的燈管數量（支）

Q：設計目標水量（=最大過濾水量）($\text{m}^3/\text{小時}$)

q：每支燈管可處理水量 ($\text{m}^3/\text{小時}$)

5. 裝置數量

本系統的目的不僅僅是為再生水的使用者提供高度的安全性和信心，也是為了食用以再生水種植作物的消費者等提供信心。另一方面，為了讓使用者持續使用再生水，確保穩定的供應至關重要。因此，必須事先採取措施以因應主要設備故障等風險。為了確保UV消毒裝置在燈管故障等情況下能夠正確因應，需要提供備用裝置（參見圖4-15）。

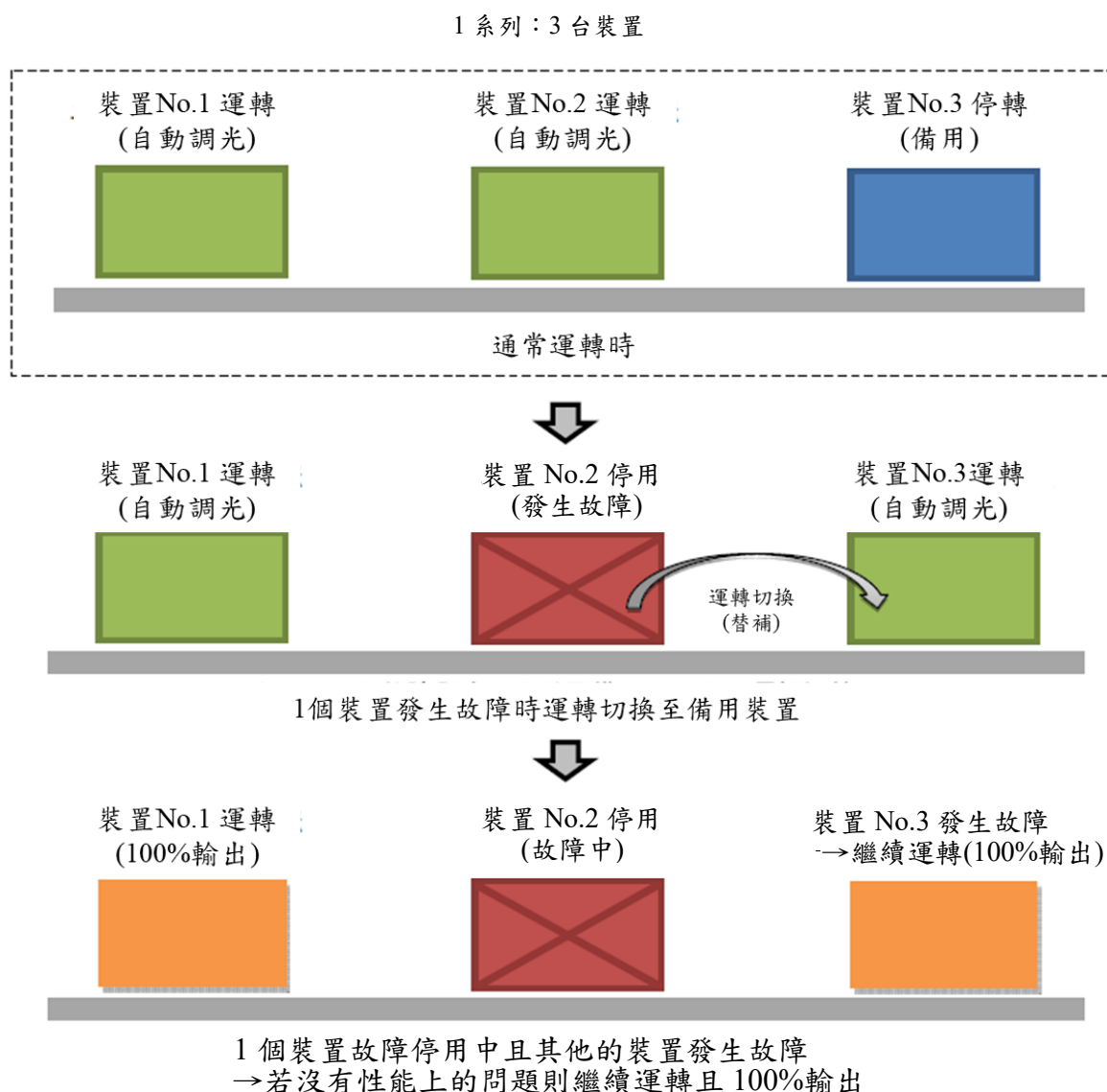


圖 4-15 UV 消毒裝置的備用機組與操作方法範例（1 系列配 3 台裝置的情況）

6. UV 燈保護管的清洗裝置

UV 消毒裝置在燈管周圍設有保護管（例如石英製圓筒），隨著持續操作保護管的表面（與水接觸面）會附著原水中的有機物和無機物形成污垢。如果不即時處理光線會被污垢遮擋，從而降低性能（降低 UV 強度）。因此，需要定期清洗保護管的表面。

為了提高清洗效果，在驗證研究中使用自動藥液/機械式擦拭器作為標準清洗裝置（參見圖4-16）。清洗裝置的形狀、操作方法、原理、材料等沒有具體規定，但必須能夠確保對保護管進行有效的清洗。另外，所使用的藥液成分及濃度不能對再生水產生影響。例

如，範例中使用的藥液特性如下：

- 類型：酸性洗淨劑
- 成分：磷酸水溶液（磷酸濃度不超過 5%）
- 對再生水的影響：磷酸濃度約為 0.02 ppb(mg/m^3)

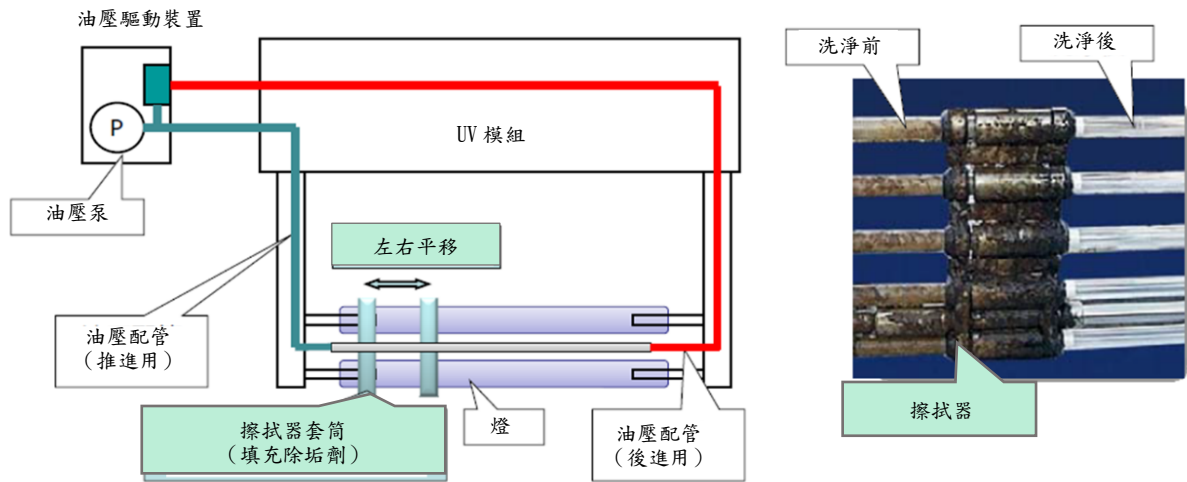


圖 4-16 UV 消毒裝置的清洗裝置

§42 UV 消毒水路的設計

UV 消毒水路的設計準則如下：

1. UV 消毒水路的尺寸設計要點

在渠道式設計所需的一般規範詳以下解說。對於密閉式的情況，則需要考慮到空間和損失進行配置。

2. 水位控制裝置

設置水位控制裝置來吸收 UV 消毒水路的水位變動，以確保最接近水面的燈保護管頂端與水面之間的距離在規定值內。

【解說】

1. UV 消毒水路的尺寸設計要點

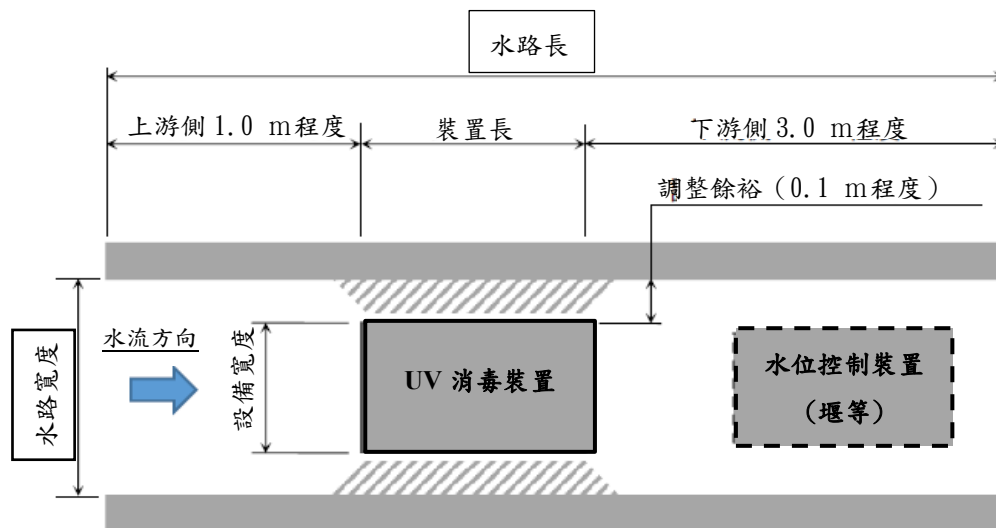
對於渠道式浸泡型，應根據所選擇的 UV 消毒設備規格，進行消毒水路的設計。由於不同製造商的設備形狀可能不同，因此詳細的規格需要根據所選擇的製造商進行調整。然而，以下提供了設計水路所需的一般設計要點（圖 4-17）。對於密閉式，應根據設備的形狀和安裝方式（例如泵壓送等），考慮必要的空間和水頭損失進行配置。

[水路寬度] = [設備寬度] + [調整空間（約 0.15 m：用於調整水路側壁和燈管之間的間隙）].....(式 4.54)

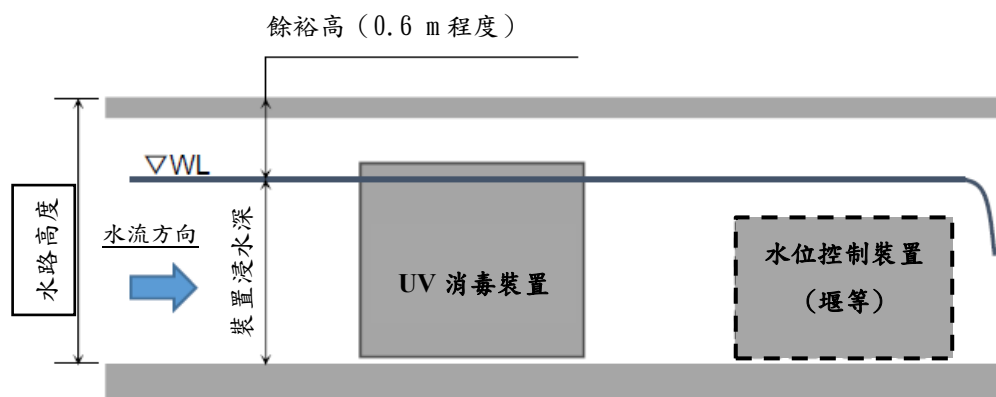
[水路長度] = [上游保留空間（約 1.0 m：用於穩流）] + [設備長度] + [下游保留空間（約 3.0 m：用於安裝水位控制裝置）].....(式 4.55)

[水路高度] = [設備浸水深度] + [保留高度（約 0.6 m：用於確保與開口蓋的間隙）].....(式 4.56)

設備的寬度、長度和浸水深度將根據所選擇的設備規格進行確定。



消毒水路平面



消毒水路剖面

圖 4-17 UV 消毒水路的一般設計要點

2. 水位控制裝置

對於渠道式，由於 UV 消毒設備安裝在具有自由水面的水路內，因此水路內的水位會隨著原水流量的變化而波動。為了吸收這種水位變動，並確保在設計水量下，最接近水面的燈保護管頂端與水面之間的距離在規定值內，需要安裝水位控制裝置。水位控制裝置可以選擇固定堰（圖 4-18）或自動水位調整閘門（例如翻板閘門等），但需考慮到安裝空間的限制進行選擇。另外，對於密閉式的情況，由於不具有自由水面，即使進流量變動，也不會受到水位變動的影響。然而，需要確保設備的外殼始終處於充滿水的狀態。

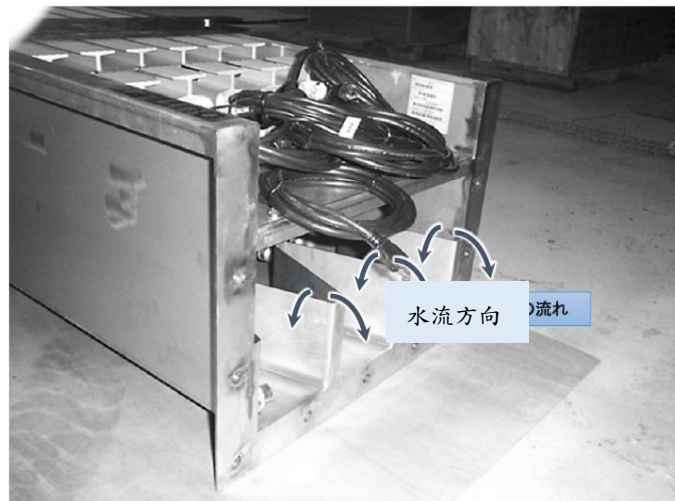


圖 4-18 水位控制裝置（固定堰）

§43 再生水槽的設計

再生水槽的設計準則如下：

1. 再生水槽數量

整個系列中可配置一個再生水槽，或者根據運轉週期或再生水使用地點的不同，每個系列配置一個再生水槽。具體安排視情況而定。

2. 再生水槽的容量

再生水槽的標準容量應能夠保證滿足所需的反洗流量以及供應地點的用水量變化等，確保足夠的容量。

【解說】

1. 再生水槽數量

如果所有系列的運轉週期相同，則可以配置一個再生水槽以滿足整個系統的需求。另一方面，如果每個系列的運轉週期不同，或者每個系列的再生水使用地點不同，需要進行不同的運轉管理，則應根據不同系列的情況進行單獨配置。在這種情況下，每個再生水槽的必要容量應單獨計算。

2. 再生水槽的容量

由於再生水槽兼具反洗水槽的功能，因此應保證其具有足夠的容量來滿足一個運轉週期所需的反洗流量，以避免反洗水不足（參考「§38 洗淨設備設計」）。此外，考慮到供水地點的緩衝能力（例如配水箱等），如果需要滿足使用量的變化，也應考慮這部分容量。

第 5 節 設施配置檢討

§44 設施配置檢討

對於設施配置，將根據用地條件等進行綜合考慮，包括經濟性和維護管理等方面的因素。

【解說】

在進行配置考慮時，需要根據用地形狀、地基情況以及相鄰土地的條件，綜合考慮經濟性、維護管理、再生水使用者和附近居民的意見進行研究。以下列舉需要考慮的主要條件

1. 用地形狀條件：

用地形狀可能會導致配置上的死角增多，進而使所需用地面積變大。這可能會增加用地費用，因此比較多層建築對土地費用減少以及建設成本的增加，進行經濟性的研究非常重要。

2. 地基條件：

地基情況可能需要基礎工程，與不需要基礎的情況相比，這可能會導致建設成本的巨大差異。因此，確認建築物和水池的基礎位置的地基情況非常重要。

3. 相鄰土地條件：

如果再生水使用者需要親自到廠取再生水，則可能會增加使用者的車輛進出次數，也可能會引起附近居民的抱怨等問題。因此，必須考慮使用者車輛的進出口和工作地點，並根據附近居民的意見進行研究非常重要。另外，如果要建設多層建築，也需要進行有關附近土地的日照研究。

4. 維護管理條件：

需要考慮保證設備出入的通道、施工車輛的進出、停車和轉彎空間等維護管理所需的事項，並進行研究以確定設施配置。本系統的標準配置面積已在「§22 本系統設施面積」說明。

第 6 節 監測控制系統

本系統量測儀器的標準安裝位置如圖 4-19 所示。每個計測儀器的監控和控制內容請參考§45 至§47。

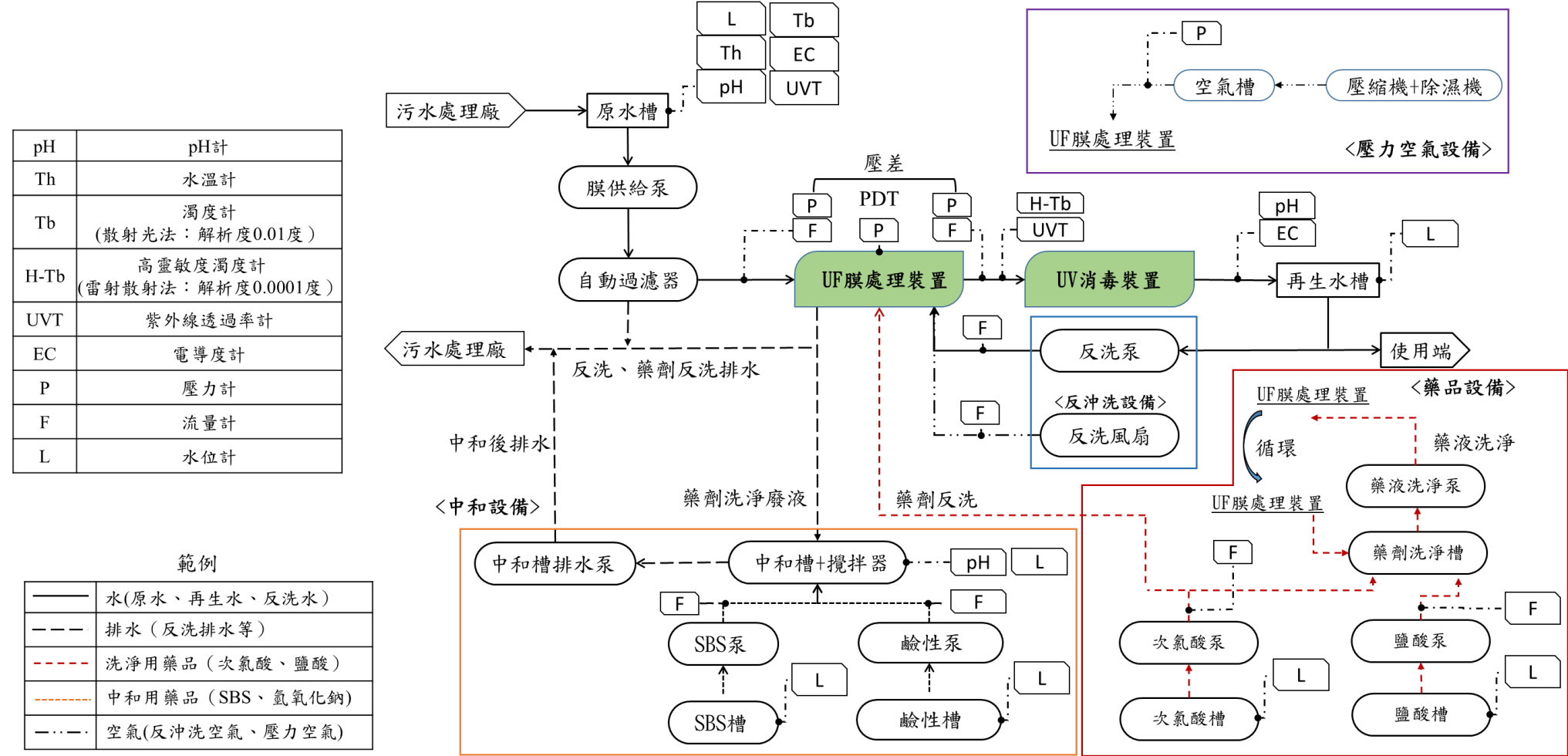


圖 4-19 標準量測儀器設置位置

§45 UF 過濾裝置的監測控制系統

為了確保 UF 過濾裝置的正常運作，可以進行以下監測：

1. 監測過濾水量、膜過濾通量以及 UF 膜產水泵的控制

監測過濾水量和膜過濾通量，以確保膜過濾通量保持在設計值的範圍內，並控制 UF 膜產水泵的運轉。

2. 跨膜壓差監測

在 UF 膜前後測量壓力，並監測前後之間的壓差（跨膜壓差）。

3. 壓力衰減試驗的壓力監測

在壓力衰減試驗期間，連續監測 UF 膜模組內的壓力。

4. 濁度監測

在 UF 膜出口處，可以使用高靈敏度濁度計進行濁度監測。

【解說】

1. 監測過濾水量、膜過濾通量以及 UF 膜產水泵的控制

可以在 UF 膜過濾裝置前後測量過濾水量，以監控膜模組是否發生漏水等情況。此外，可以根據過濾水量和運轉中的 UF 膜單元的膜面積，換算並監測膜過濾通量，並控制 UF 膜產水泵的運轉以確保膜過濾通量保持在設計值的範圍內。

2. 跨膜壓差監測

在 UF 膜過濾裝置前後測量壓力，並測定前後的壓差（跨膜壓差）（參見圖 4-20），以監測跨膜壓差是否超過設計壓力「§36 UF 膜過濾裝置原水供給」。

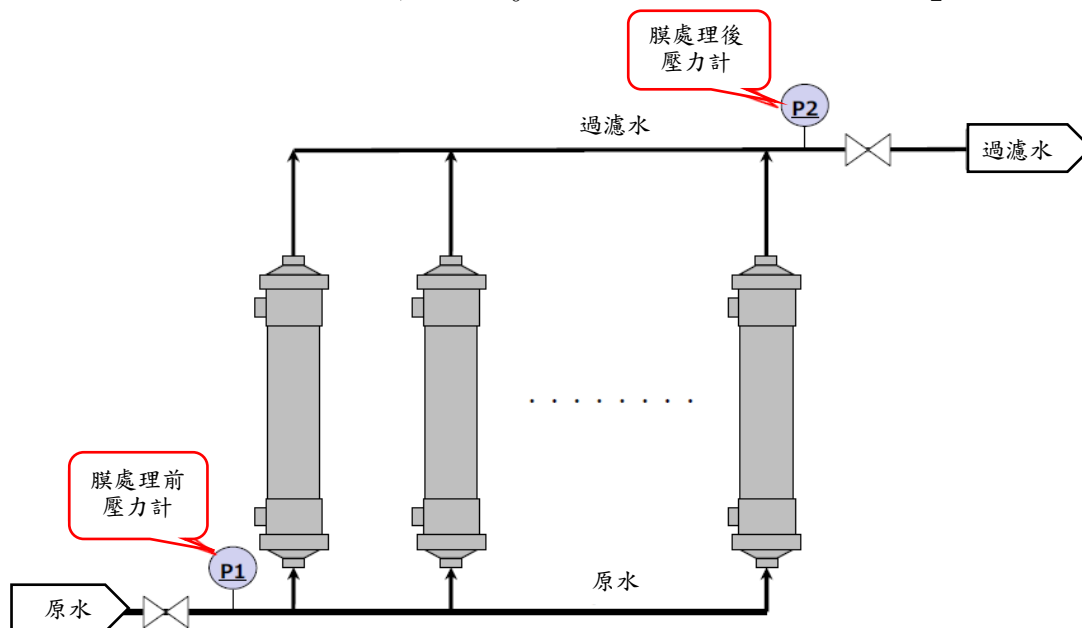


圖 4-20 UF 膜過濾前後的壓力計位置

3. 壓力衰減試驗的壓力監測

在進行壓力衰減試驗以確認 UF 膜是否破裂時，可以連續監測空氣槽和 UF 膜模組內的壓力。關於壓力衰減試驗的方法，請參考相關的資料編 6。

4. 濁度監測

在 UF 膜過濾裝置出口處，可以使用解析度為 0.0001 NTU 的高靈敏度濁度計進行濁度監控。關於濁度的管理值，請參考「§49 持續確認穩定處理狀況的方法」以獲得相關資訊。

§46 UV 消毒裝置的監測控制系統

UV 消毒裝置的監測控制系統如下：

1. UV 穿透率的監測

可以在 UV 消毒裝置的流入部進行 UV 穿透率的監測。

2. UV 照射燈的自動調光控制(請參閱資料編第一章)

可以根據 UV 穿透率和 UF 膜過濾裝置出口的流量(進入 UV 消毒裝置的流量)來進行 UV 照射燈的自動調光控制。

【解說】

1. UV 穿透率的監測

UV 穿透率是影響 UV 照射量和病毒失活效能的重要因素之一。由於在實證設施中無法添加 MS2，因此本研究評估了含有 GI 噬菌體的污水處理水在經過 UF 膜旁路的 UV 設施中的失活率。此外，在實驗室的小型照射設施中，GI 噬菌體和 MS2 噬菌體對 UV 的敏感性大致相等，因此將它們的失活率視為相等。如圖 4-21 所示，當降低 UV 照射輸出時，GI 噬菌體的對數失活率也會下降。在設計輸出的約 60 % 的情況下，GI 噬菌體下降至檢測極限，並且確定了至少為 4.2 的對數失活。因此，在 100 % 的設計輸出下，UV 照射將確保至少達到 4.2 的對數失活。基於這一點，需要在 UV 消毒裝置的流入部進行 UV 穿透率的監測，並根據需要進行 UV 消毒裝置的調整。

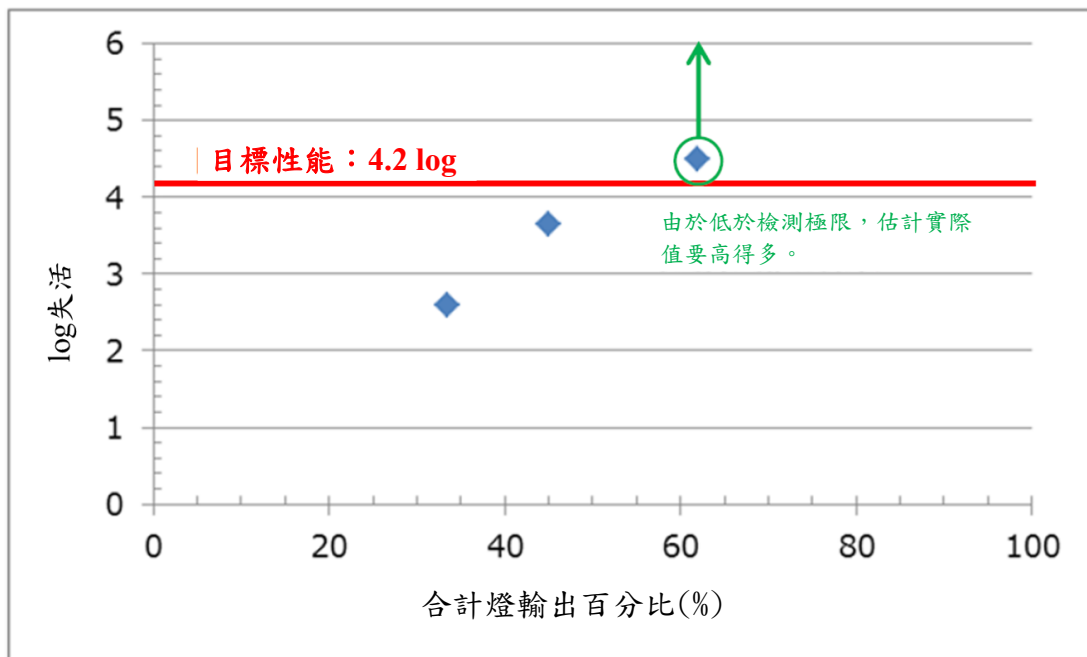


圖 4-21 燈輸出與病毒去除（失活）之間的關係

2. UV 照射燈的自動調光控制

有些 UV 消毒設備根據原水的特性，具有自動調光功能，可以自動調節燈管的輸出功率（自動調光功能）。自動調光功能根據進水（UF 膜過濾水）的狀態，調整燈管的輸出百分比，以確保在本系統中實現目標的紫外線照射量，避免過高的燈管輸出，並可以期待節能等效果（參考資料編 1）。自動調光控制根據 UV 穿透率和 UF 膜過濾水量（流入 UV 消毒裝置的水量）來自動調節燈管輸出功率，以確保 UV 照射量達到在「§41 UV 消毒裝置的設計」中設定的設計值。控制的細節取決於所選用的製造商，但以下公式為一個範

例，顯示了標準輸出調節的一種思路（圖 4-22）。

[UV 照射燈管輸出(%)] =

$$[\text{UV 照射燈管設計輸出}(\%)] \times \frac{[\text{實測流量}]}{[\text{設計流量}]} \times \frac{[\text{實測 UV 穿透率}]}{[\text{設計 UV 穿透率}]} \dots\dots\dots(\text{式 4.57})$$

然而，UV 照射燈管的調光控制並非本系統的必需部分，因此需要評估進行自動調光控制所帶來成本降低的效果，並進行必要性的判斷。

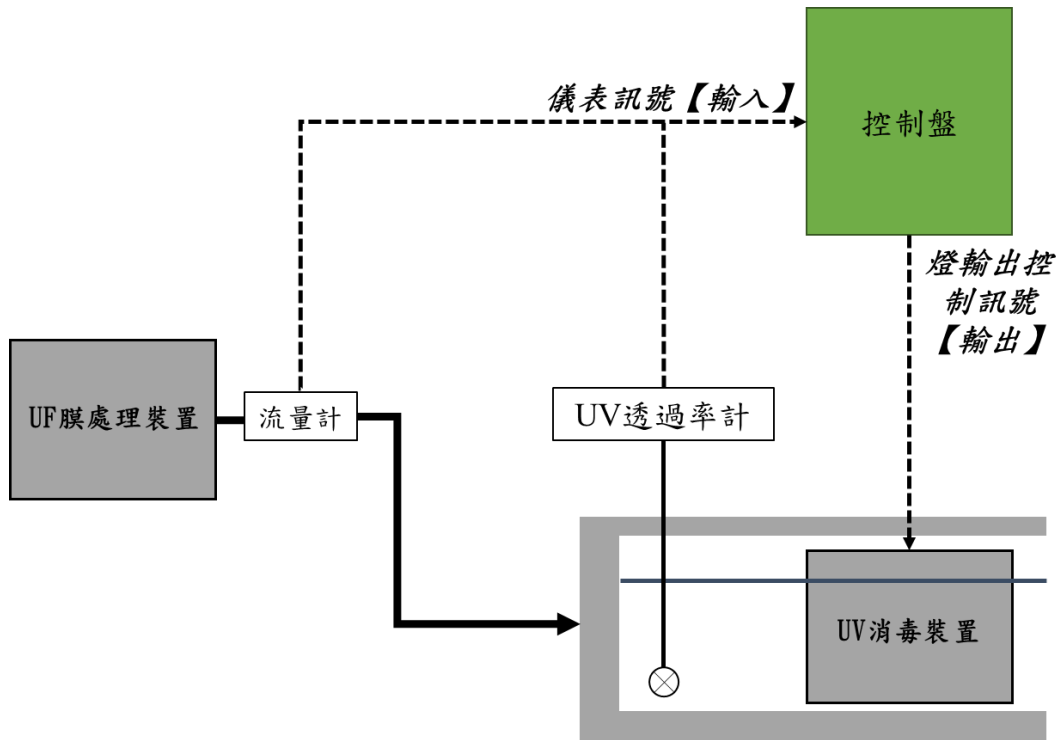


圖 4-22 自動調光控制系統

§47 水質異常的監測系統

為了確認流入原水的水質是否正常，將進行以下監測：

1. 監測原水的溫度

在 UF 進水池/槽中，應能監測水溫。

2. 監測原水和再生水的 pH 值

在 UF 進水池/槽和再生水槽中，應能監測 pH 值。

3. 監測原水和再生水的導電度（EC 值）

在 UF 進水池/槽和再生水槽中，應能監測導電度（EC 值）。

【解說】

1. 監測原水的溫度

為了判斷是否有異常的廠區廢水等流入，應在 UF 進水池/槽中進行水溫監測。

2. 監測原水和再生水的 pH 值

為了判斷是否有異常的廠區廢水等流入，應在 UF 進水池/槽中進行 pH 值監測。同時，如果再生水的使用標準已經設定，也應在再生水槽中進行 pH 值監測。

3. 監測原水和再生水的導電度（EC 值）

在 UF 進水池/槽和再生水槽中應進行導電度（EC 值）的監測。同時，如果再生水的使用標準已經設定，也應在再生水槽中進行導電度（EC 值）的監測。

第五章 維護管理

第 1 節 運轉管理

§48 UF 膜洗淨

1. 過濾時間

過濾時間設定為 30 分鐘為標準。

為了降低維護管理成本，應該在確認跨膜壓差的長期變化情況下，設定適當的過濾時間。

2. UF 膜洗淨頻率

UF 膜洗淨方法包括反沖洗、化學清洗和浸泡洗淨三種。

洗淨方法	洗淨頻率（洗淨次數）
反沖洗	每次過濾進行一次
化學清洗	每天進行一次
藥液浸泡洗淨	最久一年一次

3. UF 膜洗淨方法

UF 膜各種洗淨方法如下

洗淨方法	內容
反沖洗	使用反洗水和反洗空氣進行洗淨
化學清洗	使用次氯酸、反洗水和反洗空氣進行清洗
藥液浸泡洗淨	使用酸、次氯酸、反洗水和反洗空氣進行清洗

【解說】

1. 過濾時間

過濾時間指的是從反沖洗結束到下一次反沖洗開始之間持續進行過濾的時間。若過濾時間過長，可能導致 UF 膜堵塞（污垢積聚）加重，膜壓差增大，進而導致 UF 膜產水泵運轉成本增加，以及供應壓力增大可能導致膜破損等問題。因此，考慮在過濾時間內稍微抑制膜壓差的上升，過濾運轉時間設定為 30 分鐘為標準。另外，拉長過濾時間的洗淨前後跨膜壓差的變化中記錄到，即使將過濾時間延長，長期也不會出現膜壓差的增加，即使超過 30 分鐘也可以設定合適的過濾運轉時間。

2. UF 膜洗淨頻率

UF 膜的各種清洗頻率標準如下，請參照表 5-1 和圖 5-1：

表 5-1 UF 膜洗淨頻率

洗淨方法	洗淨頻率（洗淨次數）	備註
反沖洗	每次過濾進行一次	長期膜壓差的變化要確認，可進行設定更改
化學清洗	每天進行一次	
藥液浸泡洗淨	最久一年一次	檢查壓差情況，即使不到一年也應執行

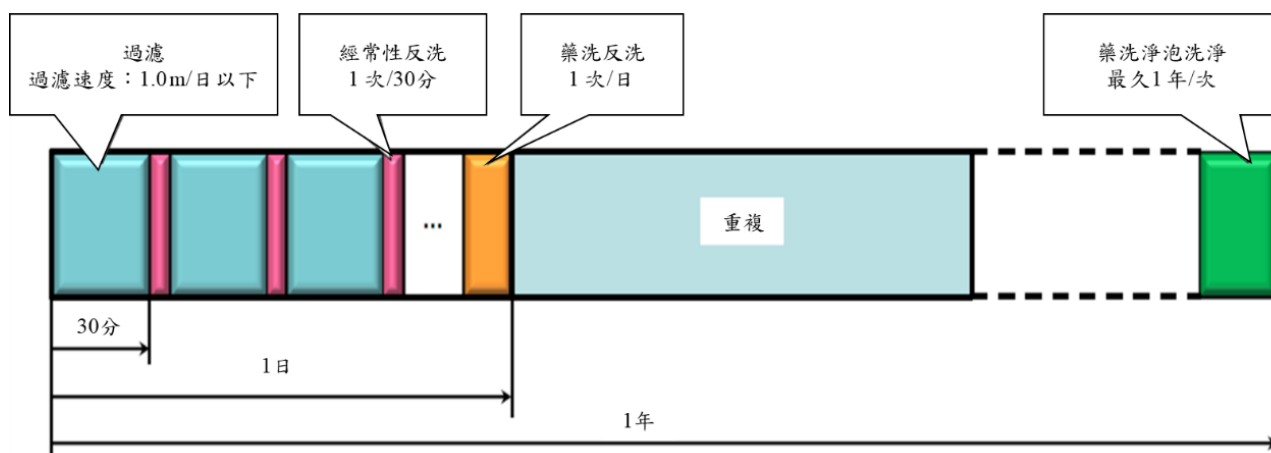


圖 5-1 UF 膜的標準洗淨循環

藥液浸泡洗淨應於透膜壓差達到設計膜供應壓力 200 kPa（參考「§36 UF 膜過濾裝置原水供給設施設計」）作為參考時機進行，即使未超過此值，在前次藥液浸泡洗淨後一年後也應進行洗淨。

3. UF 膜洗淨方法

UF 膜洗淨方法應參考實證實驗中所使用的以下方法，並根據 UF 膜的特性和性能選擇適當的方法進行洗淨。

(1) 經常性洗淨

項目	內容	備註
工程概述	停止原水供應→水反洗→空氣洗淨→排水→重新啟動原水供應→進入正常運轉模式	全部自動運轉
洗淨時間	水反洗（60 秒）→空氣洗淨（60 秒）→排水（45 秒）→原水供應（70 秒）	閥門啟閉等操作約需 45 秒
反沖洗時間	280 秒	
反沖洗洗淨時間	60 秒	水洗淨所需時間

(2) 化學清洗

項目	內容	備註
工程概述	原水供應停止→排水→水+次氯酸反洗→浸泡→空氣洗淨→排水→[水反洗(沖洗)→空氣洗淨→排水](重複兩次)→原水供應→正常運轉	全部自動運轉
次氯酸濃度	有效氯 300~500 mg/l	
次氯酸標準使用量	4,840 g/再生水 m ³ (12%溶液、比重 1.16)	JWWAA-103-1:2006
洗淨時間	排水(45 秒)→水+次氯酸反洗(115 秒)→浸泡(20 分)→空氣洗淨(60 秒)→排水(45 秒)→[水反洗(沖洗)(80 秒)→空氣洗淨(60 秒)→排水(45 秒)](重複兩次)→原水供應(70 秒)	閥門啟閉等操作約需 180 秒
反沖洗時間	2,085 秒	
反沖洗洗淨時間	275 秒	水+次氯酸反洗和水洗淨所需時間

(3) 藥液浸泡洗淨

項目	內容	備註
工程概述	[反沖洗→原水供應停止→排水]→酸(浸泡)洗淨→排水→水反洗(浸泡)→排水→次氯酸(浸泡)洗淨→排水→水反洗(浸泡)→排水→恢復原水供應[→正常運轉]	全部手動運轉 廢水以中和處理進行
酸濃度	鹽酸 0.1 mol/l	
酸標準使用量	13.0 g/再生水 m ³ (鹽酸濃度 35%溶液、比重 1.18)	
酸莫耳質量	36.46 g/mol (鹽酸)	
次氯酸濃度	有效氯 3,000 mg/l	
次氯酸標準使用量	30 g/再生水 m ³ (12%溶液、比重 1.16)	JWWAA-103-1:2006
洗淨時間	酸(浸泡)洗淨(2 小時)→排水(45 秒)→水反洗(浸泡)(5 分)→排水(45 秒)→次氯酸(浸泡)洗淨(2 小時)→排水(45 秒)→水反洗(浸泡)(5 分)→排水(45 秒)→恢復原水供應(70 秒)	閥門啟閉等操作約需 180 秒
酸中和劑種類	氫氧化鈉	
酸中和劑標準使用量	24.0 g/再生水 m ³ (25 %溶液、比重 1.28)	氫氧化鈉工業協會
酸中和劑注入時間	約 10 分鐘 (/次)	
除氯劑種類	SBS (亞硫酸氫鈉)	
除氯劑標準使用量	29.0 g/再生水 m ³ (34 %溶液、比重 1.30)	
除氯劑注入時間	約 10 分鐘 (/次)	
中和後的排水時間	約 30 分鐘 (/次)	

※藥液浸泡洗淨方法詳見「資料編 5 UF 膜藥液浸泡洗淨方法」

§49 持續確認穩定處理狀況的方法

為確保處理狀況的穩定性，將進行以下持續監測：

1. 利用高靈敏度濁度計進行監測。
2. 進行 UV 穿透率的監測。

【解說】

1. 利用高靈敏度濁度計進行監測

經實驗證實，當 UF 膜出現 0.1% 的破損時，濁度值會超過正常值的五倍以上。然而，由於 UF 膜過濾水的濁度通常非常低，因此需要使用高靈敏度濁度計進行監測才能檢測到這種情況。根據在試驗廠中關於膜破損檢測的研究結果（參考附件 1），濁度監測的標準基準是在出現 0.1 %破損時，濁度值超過正常值的三至四倍。此外，由於 UF 膜過濾過程中會進行反洗並重啟操作，重啟後約 15 分鐘內，高靈敏度濁度計的讀值會不穩定，因此在此時間段內的測量值將不列入監測範圍（請參閱表 5-2）。

表 5-2 濁度監測的基準

方法	基準	監測時間
使用高靈敏度濁度計進行測量 (解析度：0.0001 NTU)	標準值的 3~4 倍	反洗後經過 15 分鐘以上 (持續監測直至下一次反洗停止前)

透過高靈敏度濁度計進行濁度監測，可以評估 UF 膜破裂導致的病毒滲漏情況，並確保處理狀況的穩定性。

2. 進行 UV 穿透率的監測

如果進行 UV 燈的自動調光控制（參考「§46 UV 消毒裝置的監測控制系統」），建議透過監控 UV 穿透率和 UV 燈輸出來確保自動調光正常運作。另外，若 UV 穿透率低於設計值，即使沒有進行自動調光，也難以進行相應的處理。因為即使未進行自動調光，也是在基於設計的 UV 穿透率進行 UV 強度設定，所以穩定的病毒去除會變得困難。UV 穿透率直接影響所需的病毒去除效能，為確保穩定的處理狀況，需監測 UV 穿透率未低於設計值。

§50 UF 膜破裂檢查

為了偵測 UF 膜的破裂，需持續或定期進行以下的確認檢測：

1. 透過高靈敏度濁度計進行連續監測。
2. 定期檢測大腸桿菌的存在。
3. 定期進行壓降試驗。

【解說】

健全的 UF 膜在破裂後，假定流向破裂前的中空纖維的流量保持不變，並考慮到破裂導致病毒去除完全無法進行。若處理量為 Q ，原水濃度為 C_0 ，UF 膜模組中空纖維破裂前的 $\log$ 去除率為 R ，假設中空纖維破裂的比例為 x ，那麼在整個 UF 膜模組中的病毒去除可計算獲得。原水中病毒的單位時間量為 $Q \cdot C$ ，從破裂的 UF 系統流出的病毒的單位時間量為

$$Q \cdot (1-x) \cdot C \cdot 10^{-R} + Q \cdot x \cdot C \dots\dots\dots (式 5.1)$$

這樣，該 UF 膜模組的 $\log$ 去除 R' 可以計算如下：

$$R' = \log\left(\frac{Q \cdot C}{Q \cdot (1-x) \cdot C \cdot 10^{-R} + Q \cdot x \cdot C}\right) = \log\left(\frac{1}{(1-x) \cdot 10^{-R} + x}\right) \dots\dots\dots (式 5.2)$$

對於健全的 UF 膜模組，其病毒的 $\log$ 去除率 R 假定為 $1 \sim 5 \log$ 。根據上述公式，破裂後的 $\log$ 去除 R' 如表 5-3 所示。本系統的 UF 膜過濾的目標病毒去除為 $1 \sim 2 \log$ ， 0.3% 的破裂導致約 $0.1 \log$ 的影響， 0.1% 的破裂幾乎沒有影響。實際上，在中空纖維破裂率 0.1% 至 1% 的範圍內的破裂實驗，結果顯示在一個 UF 膜模組上，大腸桿菌群和大腸桿菌的泄漏發生， $\log$ 去除顯著下降。然而，大腸桿菌噬菌體 $\log$ 去除，除了在新品時具有較高的 $\log$ 去除率外，幾乎沒有變化。此外，泄漏的大腸桿菌和大腸桿菌群在後續的 UV 照射中降至檢測極限以下。

表 5-3 膜破裂狀態下的病毒去除理論計算值

健全狀態的病毒去除		1.00 log	2.00 log	3.00 log	4.00 log	5.00 log
膜破裂狀態的 病毒去除	0.1 %破裂	1.00 log	1.96 log	2.70 log	2.96 log	3.00 log
	0.3 %破裂	0.99 log	1.89 log	2.40 log	2.51 log	2.52 log
	0.5 %破裂	0.98 log	1.82 log	2.22 log	2.29 log	2.30 log
	1.0 %破裂	0.96 log	1.70 log	1.96 log	2.00 log	2.00 log

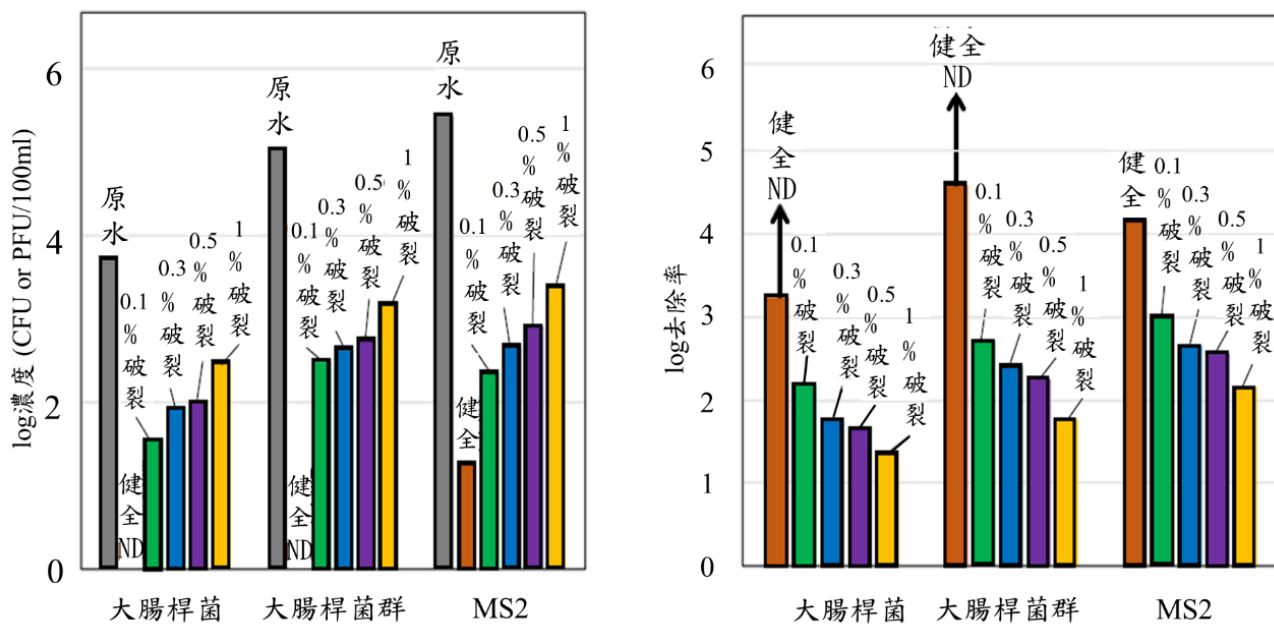


圖 5-2(1) 膜破裂狀態下的病毒去除實驗結果（全新膜）

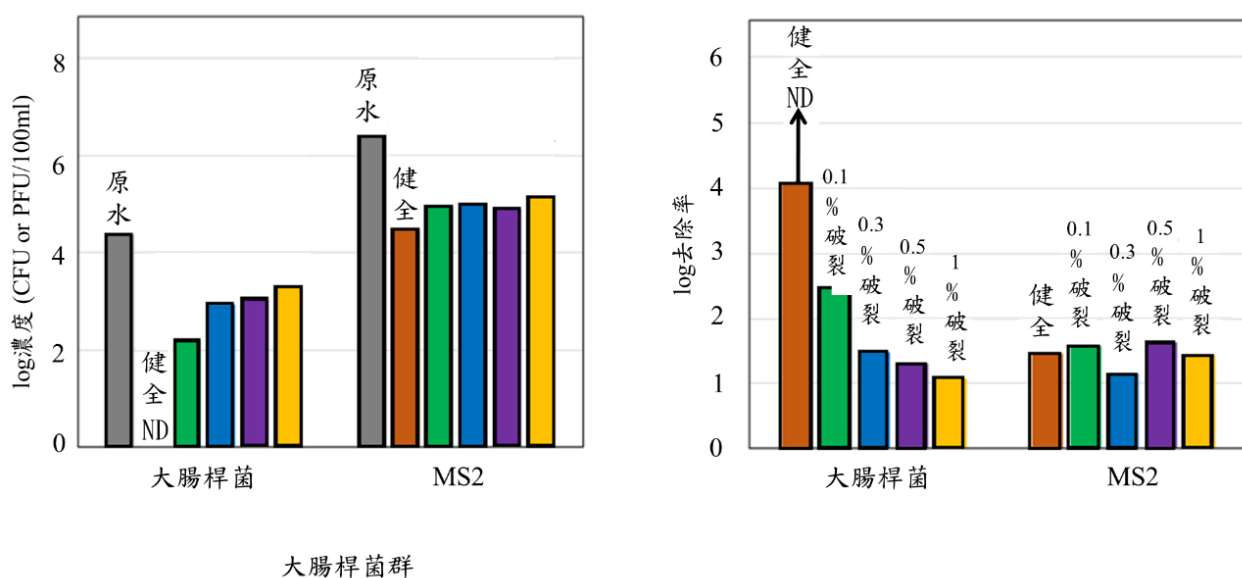


圖 5-2(2) 膜破裂狀態下的病毒去除實驗結果（使用 3 年的膜）

此外，透過實驗也確定了在中空纖維破裂的情況下，由於過濾水的濁度升高，會對後續的 UV 消毒造成影響（請參考圖 5-3）。但是，即使在 0.1% 的破裂情況下，由於大腸桿菌和大腸桿菌群的檢測結果低於檢測極限，所以可以確定 UF 膜的破裂幾乎沒有影響。此外，如果存在多個 UF 膜模組，濃度增加的影響也會變得更小，因此其影響會進一步減小。

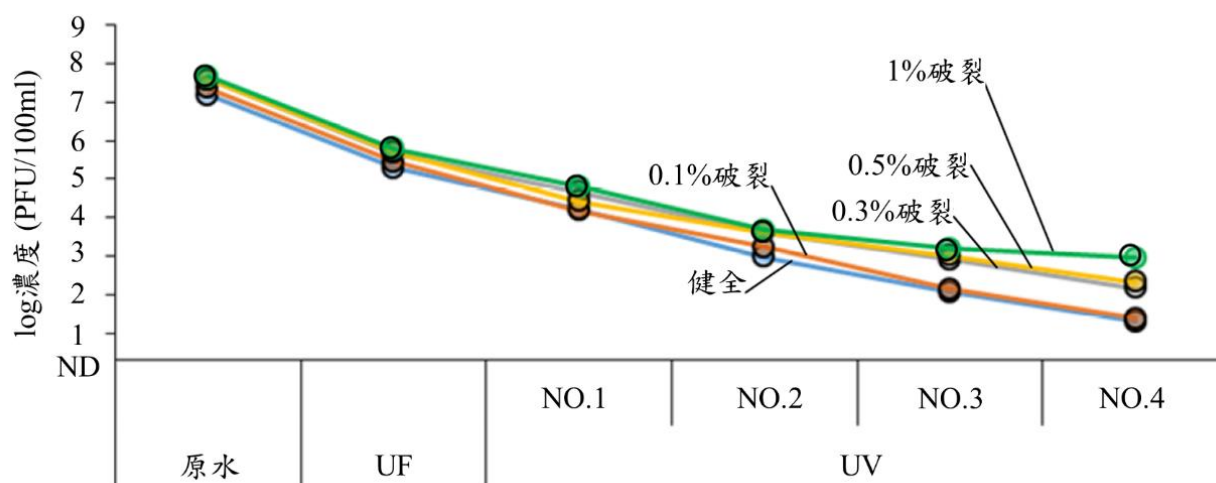


圖 5-3 膜破裂對 UV 消毒的病毒去除影響評估的實驗結果

1. 透過高靈敏度濁度計進行連續監測

透過高靈敏度濁度計的連續監控，可以檢測到膜的破裂狀態（參閱資料編 1）。關於透過高靈敏度濁度計進行的連續監控，請參考「§49 持續確認穩定處理狀況的方法」。若透過高靈敏度濁度計檢測到膜可能破裂，則即時進行以下大腸桿菌測試，以確認膜是否破裂。

2. 定期測量大腸桿菌的存在

UF 膜的孔徑約為 10 nm，而大腸桿菌的大小約為 2 μm ，大小相差了 100 倍以上，因此只要 UF 膜保持健全，UF 膜過濾水中就不會檢測到大腸桿菌（參閱資料編 1）。然而，透過實驗，在 0.1 % 的情況下，即使發生膜破裂，也會檢測到大腸桿菌。因此，定期進行 UF 膜過濾水的大腸桿菌測試，以確保沒有檢測到大腸桿菌，進而確認 UF 膜的健全性（參閱表 5-4）。關於大腸桿菌測試的頻率，請參考「§52 水質管理項目」。

表 5-4 大腸桿菌的監測標準

方法	標準	檢測頻率
大腸桿菌的檢測	N.D.	根據「§52 水質管理項目」，或者在使用高靈敏度濁度計檢測到膜破裂時進行確認測試。

若發現大腸菌測試顯示存在膜破裂的可能性，將臨時進行壓力衰減實驗，以定位膜破裂位置。

3. 定期進行壓降試驗

壓力衰減實驗是通過將 UF 膜模組充氣至 100 kPa，然後在一段時間後測量壓力，以確認壓力衰減的變化趨勢（具體試驗方法請參考附件 6）。壓力衰減實驗顯示，在 UF 膜處於正常狀態時，幾乎看不到壓力衰減，但即使是 0.1 % 的膜破裂，其壓力衰減速度也明顯快於正常狀態的 UF 膜，這一情況經實證實驗確認（請參考資料編 1）。

因此，定期進行壓力衰減實驗，並確保壓力幾乎不下降，以確認 UF 膜的正常情況（請參考表 5-5）。關於壓力衰減實驗的頻率，標準為每月 1 次。如果透過大腸菌測試檢測到可能存在膜破裂的情況，應考慮進行 UF 膜的部分閉塞修復或更換 UF 膜模組等必要的應對措施（請參閱「§54 維護檢查」）。

表 5-5 壓降測試的監測標準

方法	標準	檢測頻率
壓降測試 (參考資料編 6)	5 分後 低於 20 %	標準為每月 1 次或在發現大腸菌測試顯示存在膜破裂的情況下進行確認試驗

§51 運轉管理項目

本技術的操作管理基於遠程監測為基礎，並結合定期巡迴監測以進行詳細的狀況確認。

1. 遠端監測項目

在遠程監測中，將監測各水槽的水位、膜壓差以及各設備的運轉狀況。

2. 巡迴監測檢查項目

在巡迴監測中，除了遠程監測項目外，還將確認各設備的運轉狀態，並根據需要進行藥液補充。

【解說】

1. 遠程監測項目

在遠程監測中，將監控每個水槽的水位、跨膜壓差以及各設備的運轉狀態，如果出現警報，則需與現場的既有處理廠維護管理負責人聯繫，並考慮進行緊急應對（參閱「§55 緊急應變」）。遠端監測項目列於表 5-6。

表 5-6 遠程監測項目

對象	遠程監測項目	備註
UF 進水池/槽	水位	當水位異常時發出警報
	濁度	超過適用條件時發出警報
	UV 穿透率	
	水溫	
	pH	超過適用條件時發出警報
	EC 導電度	
膜供給水量	流量	
UF 膜	跨膜壓差	異常壓差時發出警報
UF 膜過濾水	濁度	超過適用條件時發出警報
	流量	
	UV 穿透率	低於設計透過率時發出警報
UV 燈管	UV 燈管輸出	燈管 uv 強度不足發出警報，確保殺菌效果
再生水槽	再生水槽水位	異常水位時發出警報
	pH	超過利用端基準時發出警報
	EC 導電度	超過利用端基準時發出警報
反洗泵	流量	
反洗鼓風機	風量	
次氯酸洗淨設備	次氯酸貯存槽液位	貯存液不足時發出警報
	次氯酸送水泵流量	
酸洗淨設備	酸貯存槽液位	貯存液不足時發出警報
	酸送水泵流量	
除氯設備	除氯劑貯存槽液位	貯存液不足時發出警報
	除氯劑送水泵流量	
酸中和設備	酸中和劑貯存槽液位	貯存液不足時發出警報
	酸中和送水泵流量	
中和槽	中和槽 pH	pH 異常時發出警報
	中和槽水位	

2. 巡迴監測檢查項目

在巡迴監測中，透過視察現場監控面板以確認遠程監測項目的狀態，並檢查監控面板的顯示是否正常。此外，對於每個設備，檢查運轉狀態，包括異常聲音或振動等。特別是如果 UV 燈的點亮狀態導致照射強度不足，這將對病毒去除性能產生重大影響，因此必須進行必要的處理，如更換燈管等。此外，如果藥液槽的有效容量被視為在巡迴檢查間隔期間所需的藥液量，則原則上應在巡迴檢查時進行藥液補充。如果有效容量至少是巡迴檢查間隔的兩倍，則應在巡迴檢查時檢查液位，並根據需要進行藥液補充。此外，即使在反洗清洗 UF 膜後，如果膜壓差仍然超過 200 kPa，則應在巡迴監測時進行藥液浸泡清洗。巡迴監測檢查項目請參見表 5-7。

表 5-7 巡迴監測檢查項目

巡迴監測檢查項目	確認頻率	備註
UF 進水池/槽中的砂堆積	每月一次	根據需要進行清理
原水泵的運轉狀況	巡迴檢查時	檢查異常聲音和振動
UF 膜模組的連接狀況	巡迴檢查時	檢查裂縫、損傷、異常聲音和振動
UV 燈的運轉狀況	巡迴檢查時	檢查燈管點燈、照射強度
再生水泵的運轉狀況	巡迴檢查時	檢查異常聲音和振動
反洗泵的運轉狀況	巡迴檢查時	檢查異常聲音和振動
空調設備的運轉狀況	巡迴檢查時	檢查異常聲音和振動
UV 消毒槽的狀況確認	6 個月一次	檢查裂縫、損傷、漏水
藥液槽的狀況確認	6 個月一次	檢查裂縫、損傷、漏液
防溢堤的狀況確認	6 個月一次	檢查裂縫、損傷
地上管路的連接狀況確認	6 個月一次	檢查裂縫、損傷、漏水
埋設管路的連接狀況確認	適時	檢查裂縫、損傷
建築物的狀況確認	一年一次	檢查裂縫、損傷
現場監測面板的顯示狀況	巡迴檢查時	認顯示是否在正常範圍內
現場監測面板的運轉狀況	巡迴檢查時	檢查異常聲音和振動
藥液補充	根據需要	以 LWL 作為判斷基準
UF 膜藥液清洗	根據需要	反洗後跨膜壓差是否超過 200 kPa 以上

§52 水質管理項目

水質管理項目遵循法定標準，包括「水質污濁防止法」所規定的排水標準、以及「下水道法施行令」中有關放流水質的技術標準，此外還會根據使用目的選擇相應的水質項目進行管理，以確保各項標準的遵守。

1. 一般管理項目

本技術會確保有效的病毒去除，即使使用者直接接觸再生水也不會出現異常情況，並進行對能檢測到病毒去除或進流水的指標進行管理。

2. 農業用途的管理項目

如果再生水的使用是農業用途，為了了解對農作物的鹽害影響，會透過測量氯離子和導電度來進行管理。

3. 其他用途的管理項目

其他用途包括清洗用水、灌溉用水、景觀用水、親水用水等。在這些用途中，將進行對一般管理項目以及「下水處理再利用水質標準等手冊²⁾」中規定的管理項目的管理。

【解說】

水質監測將通過連續測量、日常試驗、精密試驗以及定期試驗來進行。各項試驗的測量頻率如下：

1. 一般管理項目

對於一般管理項目，包括項目、測試位置、頻率以及標準值，分別在表 5-8、表 5-9 和表 5-10 中顯示。一般管理項目的目的是確保本系統能夠有效進行病毒去除，並考慮到使用者可能直接接觸水源，以確保使用者不會感受到異常。因此，進行以下水質測量

- pH 值：

一項簡單的指標，用於快速確認進流水是否存在異常。

- 大腸桿菌：

若檢測到大腸桿菌存在，則認為可能對病毒去除效果造成異常，因此將其設定為水質管理項目，定期進行確認。

- 濁度：

為確保 UV 消毒效果，需要確保 UV 能充分透過 UF 膜過濾水，因此將 UF 膜過濾水的混濁度設定為水質管理項目。

- 外觀：

再生水的使用涵蓋可能直接接觸的場合，因此將使用者可能感受到的外觀異常設定為水質管理項目。

- 氣味：

再生水的使用涵蓋可能直接接觸的場合，因此將使用者可能感受到的異常氣味設定為水質管理項目。

表 5-8 水質管理項目（一般管理項目）

水質管理項目	本系統測定頻率			備註
	連續測定	日常檢測	精密試驗	
pH	○			測定 1 天的最大及最小值
大腸桿菌			○	
濁度	○		○	測定頻率為每日 5%
外觀		○		
氣味		○		

表 5-9 水質測定場所及頻率（一般管理項目）

水質項目	本系統測定場所		
	原水	UF 膜過濾水	再生水
pH	●	—	—
大腸桿菌	—	◇	—
濁度	●◇	●◇	
外觀	—	—	◎
氣味	—	—	◎

●：連續監測

◎：日常檢測（每週一次（巡迴檢查時））

◇：精密試驗（一個月兩次（若滿足水質管理值則一年兩次））

表 5-10 水質管理值（一般管理項目）

水質項目	水質管理值	備註
pH	滿足下水道法的標準	下水道法標準：5.8 以上 8.6 以下
大腸桿菌	N.D.	
濁度	高靈敏度濁度計：一般值的 3~4 倍以下 手分析：0.2 度以下	
外觀	無不適感	
氣味	無不適感	

※氣味的測試結果將以舒適/不舒適的判斷，或以氣味指數來表示為標準。

2. 農業用途的管理項目

本技術的再生水用於農業灌溉，假設主要用於農地灌溉。本指引中提供了與農地灌溉相關的管理項目範例。若使用該技術將再生水用於水稻灌溉，建議參考農林水產省於昭和 45 年 3 月發布的「農業（水稻）用水基準」。在再生水用於田地的情況下，為了了解對農作物的鹽害影響，應進行氯離子的測定，以確保再生水的濃度適合當地的農作物種植。此外，透過同時測定氯離子和導電度，可以確認其之間的相關性，如果確定存在相關性，則可以省略氯離子的測定。建議持續進行導電度的測定，並每日計算平均值和最大值。有關

農業用水的項目、測定位置和頻率，以及管理值，請參見表 5-11 和表 5-12。這裡提供的僅是一個範例，實際上，每種再利用方法、使用場景和栽培作物的特性都可能會影響管理項目和管理值的設定。

表 5-11 水質管理項目（農業用水）

水質管理項目		本系統檢測頻率			備註
		連續測定	日常檢測	精密試驗	
農 作	pH	一般管理項目內測定			測定 1 天的最大及最小值
	濁度	一般管理項目內測定			定頻率為每日 95%
	導電度	○			測定 1 天的最大及最小值
	氯離子		○	○	如果與電導度相關，則無需進行測定
	大腸桿菌	一般管理項目內測定			

表 5-12 水質測定場所及頻率（農業用水）

水質項目		本系統測定場所		
		原水	UF 膜過濾水	再生水
農 作	pH	一般管理項目內測定		
	濁度	一般管理項目內測定		
	導電度	—	—	●
	氯離子	—	—	◇
	大腸桿菌	一般管理項目內測定		

●：連續監測

◎：日常檢測（每週一次（巡迴檢查時））

◇：精密試驗（一個月兩次（若滿足水質管理值則一年兩次））

5-13 水質管理值（農業用水）

水質項目	農業利用	備註	參考值	
			放流水質標準 （下水道法）	通用排水標準 （水質污濁防止法）
pH	考慮栽培作物的特性來進行設定		5.8 以上 8.6 以下	排放到海域以外 5.8 以上 8.6 以下 排到海域 5.0 以上 9.0 以下
濁度	根據一般管理項目的標準	0.2 NTU 以下	—	—
導電度	考慮到與氯化物離子之間的相關性來進行設定		—	—
氯離子	根據種植的農作物可以設定適用的管理值。以下是一些示例： 敏感： 月平均 250 mg/l 以下 最大值 280 mg/l 以下 中度敏感： 月平均 400 mg/l 以下 最大值 440 mg/l 以下 中等抗性： 月平均 1,000 mg/l 以下 最大值 1,100 mg/l 以下 抗性： 月平均 1,400 mg/l 以下 最大值 1,500 mg/l 以下	這些標準是建議值，可以根據種植的農作物類型、種植場所的特性等另外設定管理值。	—	—
大腸桿菌	根據一般管理項目的標準	N.D.	—	—

3. 其他用途的管理項目

其他的利用場景包括清洗用水、灌溉用水、景觀用水和親水用水。這些利用場景的水質管理項目、測量位置和管理值分別列於表 5-14、表 5-15 和表 5-16 中。

表 5-14 水質管理項目（其他用途）

水質管理項目	本系統測定頻率			備註
	連續測定	日常檢測	精密試驗	
大腸桿菌	一般管理項目內測定			測定 1 天的最大及最小值
濁度	一般管理項目內測定			
pH	一般管理項目內測定			測定 1 天的最大值
色度		○		
外觀	一般管理項目內測定			
氣味	一般管理項目內測定			
殘留氯		○		

表 5-15 水質測定場所及頻率（其他用途）

水質項目	本系統測定場所			責任分界點
	原水	UF 膜過濾水	再生水	
大腸桿菌	一般管理項目內測定			
濁度	一般管理項目內測定			
pH	一般管理項目內測定			
色度			◎	
外觀	一般管理項目內測定			
氣味	一般管理項目內測定			
殘留氯				◎

●：連續監測

◎：日常檢測（每週一次（巡迴檢查時））

◇：精密試驗（一個月兩次（若滿足水質管理值則一年兩次））

§53 提升導入效果的管理要點

1. 調整 UF 膜模組的運轉數量

可以根據再生水的需求，調整 UF 單元內膜模組的運轉數量，可以考慮延長 UF 膜模組壽命的情況下操作。

2. 調整 UF 膜的反洗頻率

透過調整 UF 膜的反洗頻率，可以降低與反洗相關的維護管理成本。

3. 調整 UV 燈的運轉數量

如果 UV 照射量有餘裕，可以透過調整 UV 燈單元的燈管運轉數量來進行考慮延長 UV 燈的操作壽命。

【解說】

1. 調整 UF 膜的運轉數量

若再生水需求較低，可以減少處理水量的情況下，有可能停止膜模組單元的運轉。這樣可以縮短 UF 膜模組的運轉時間，預期可以延長 UF 膜模組的壽命，減少與 UF 膜模組更換相關的維護管理成本，提升導入效果。然而，若長時間不使用 UF 膜模組，存在再啟動後 UF 膜的處理性能可能下降的風險，因此考慮運轉周期，例如每日更換停止單元。

2. 調整 UF 膜的反洗頻率

UF 膜的反洗頻率在「§48 UF 膜洗淨」中給出了標準值。然而，由於 UF 膜的反洗頻率較高，對維護管理成本的影響也較大。然而，若延長 UF 膜的反洗間隔，可能會導致 UF 膜的堵塞進一步加重，進而增加藥液（浸泡）清洗的次數，使得 UF 膜的供應壓力增加，進而可能縮短 UF 膜模組的壽命，甚至引起膜破裂等問題。因此，對於 UF 膜的反洗頻率，需要進行長期的 UF 膜堵塞進展的評估，並考慮整體成本降低效果，才能進行適當的設定，這一點非常重要。

3. 調整 UV 燈的運轉數量

根據「§41 UV 消毒裝置的設計」，如果處理水量較少，UV 消毒水路的停留時間（照射時間）會變長，或者 UF 膜過濾水的 UV 穿透率會變高，即使相同的 UV 燈輸出，也會產生 UV 照射量的寬裕度。因此，在處理水量低於設計條件或 UV 穿透率較高的情況下，可以降低 UV 燈的輸出以獲得設計的 UV 照射量。根據「§46 UV 消毒裝置的監測控制系統」中的 UV 自動調光控制，可以根據停留時間和 UV 穿透率進行 UV 燈具輸出的控制。這使得在正常運轉時，UV 燈具可以以低於額定值的輸出運轉，從而降低能耗。此外，當再生水供應的需求量較低，或者既有處理廠的處理情況導致原水水質較好且 UV 穿透率較高時，甚至可以停止單元的 UV 燈運轉，仍然可以獲得所需的 UV 消毒效果。這將使 UV 燈的運轉時間減少，並且有望延長燈具的使用壽命，從而降低維護管理成本，提高導入效果。因此，了解再生水供應地的水需求量以及原水水質的情況，並適當調整 UV 燈具的運轉次數，將對提高導入效果至關重要。

第 2 節 維護檢查

§54 維護檢查

1. 巡迴監測檢查的頻率

巡迴監測檢查的頻率標準為每週一次。

2. UF 膜模組更換

如果檢測到 UF 膜的破損，應考慮更換 UF 膜模組。

3. UV 燈更換

如果在巡迴監測檢查時發現 UV 強度不足，應考慮更換 UV 燈。

4. 維護檢查的頻率

維護檢查的頻率應考慮各設備的壽命等因素進行設定。

【解說】

1. 巡迴監測檢查的頻率

巡迴監測檢查的頻率以每週一次為標準。然而，頻率可能會因巡迴監測檢查人員確認情況等而變動，因此考慮到這些因素進行頻率的調整相當重要。另外，若要更改巡迴監測頻率，也需要注意到這可能需要調整藥液的貯留天數和容量。

2. UF 膜模組更換

當檢測到 UF 膜破損（參見「§50 UF 膜破裂檢知」）時，應考慮執行必要的應對措施，例如進行 UF 膜部分閉塞的維修處理或更換 UF 膜模組，因為這會對病毒去除效能產生重大影響。

3. UV 燈更換

在巡迴監測中，如果根據 UV 燈的點亮狀態，照射強度低於所需強度（請參閱「§41 UV 消毒裝置的設計」），則應考慮執行必要的應對措施，例如更換燈管，因為這對病毒去除效能會產生重大影響。

4. 維護檢查的頻率

根據每台設備的使用壽命並進行適當的庫存管理研究來設定維護和檢修的頻率非常重要。

第 3 節 緊急應變

§55 緊急應變

在運轉管理中，如果出現異常情況，應進行備用控制，並在需要時緊急停止處理設施。

1. 備用控制

一但檢測到異常情況，應立即切換到備用控制。

2. 緊急停止

即使執行了備用控制，如果異常情況未得到解決，應緊急停止處理設施。

3. 加氯

如果停止處理設施的運轉，為確保安全，應進行加氯。

【解說】

根據「§49 持續確認穩定處理狀況的方法」和「§51 運轉管理項目」中檢測到異常的情況，應切換到備用控制。此外，即使執行了備用控制，如果異常狀態未得到解決，應緊急停止處理設施。

1. 備用控制

本系統的基本配置考慮到異常情況和在檢測到異常時的備用控制，請參閱表 5-17。

表 5-17 基本配置及備用控制

對象技術	基本配置	備用控制(圖 5-4、5-5)
UF 膜過濾裝置	由於可以通過改變操作通量來承受一定程度的處理量變化，因此沒有提供完全的備用系列。如果其中一個系列由於故障等原因無法運轉，可以透過提高其他系列的處理水量（通量）來應對。	在故障發生時，將停止相對應的系列，並透過其他系列確保處理水量。 例： 正常情況下：2,000 m ³ /日×5 組＝10,000 m ³ /日 故障時：2,500 m ³ /日×4 組＝10,000 m ³ /日
UV 消毒裝置	為了保證再生水的安全性，必須提供一定的 UV 照射量，因此為了保證在故障發揮功能，設置一個完全的單元備用。（運轉 2 單元，備用 1 單元，共計 3 單元）	在故障發生時，將停止相應的單元，並切換到備用單元。 例： 正常情況下： [單元 1]+[單元 2]運轉([單元 3]通常處於停止狀態) 單元 2 故障時： [單元 1]+[單元 3]運轉

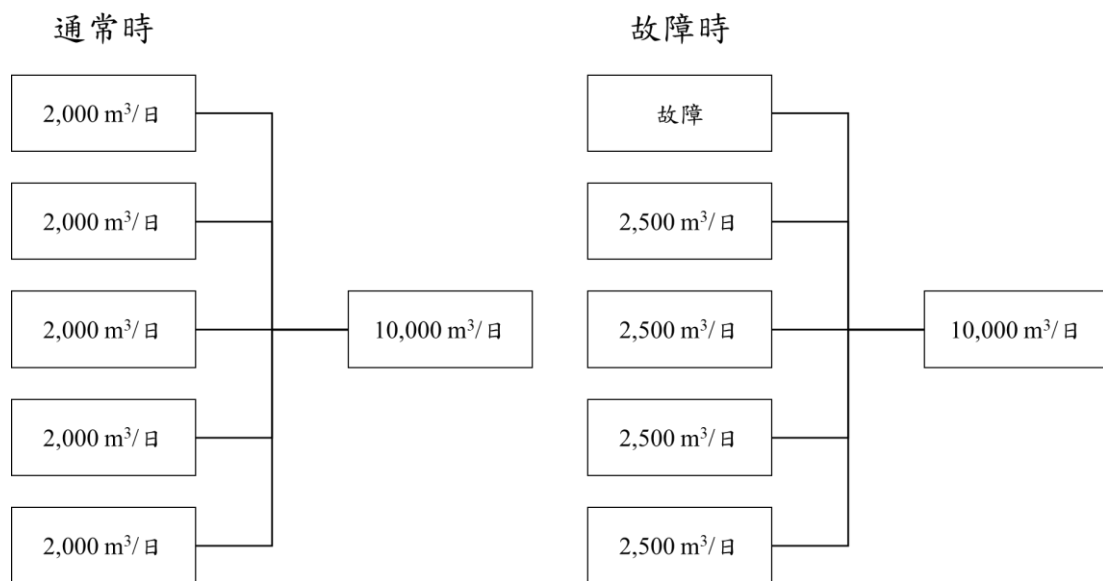


圖 5-4 UF 膜過濾裝置的備用控制（透過更改每個系列的處理量來應對）

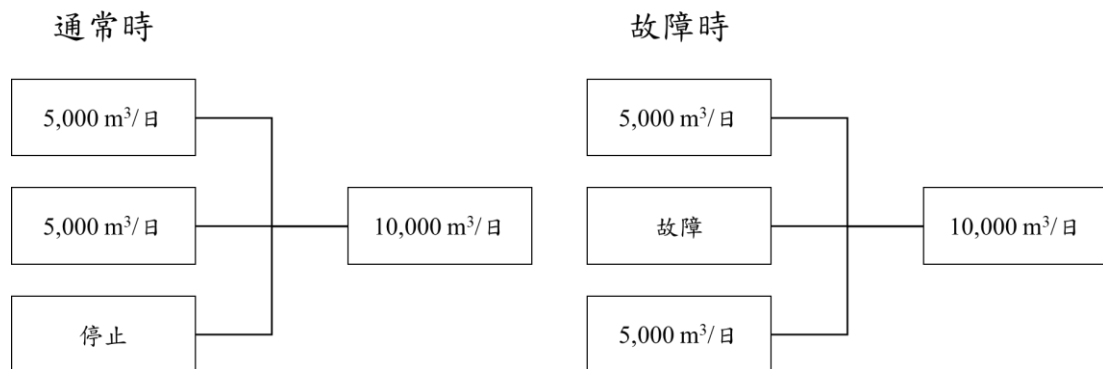


圖 5-5 UV 消毒設備的備援控制（切換到備用單元以應對）

2. 緊急停止

在檢測到異常而沒有備用設施，或進行備用控制後，如果異常狀態仍無法解決，應實施緊急停止措施。

3. 加氯

若發生停止處理設施，經消毒處理生成的再生水可能不足。因此，為確保安全性，應在再生水槽中加氯。建議考慮加氯量時，即使在再生水的使用地點中貯存 24 小時，餘氯也應維持在約 0.1 mg/l。在緊急情況下，可以利用本系統的標準 UF 膜處理設備清洗用或特別購置氯進行添加。如果使用 UF 膜處理設備清洗用的氯，建議設置一個旁通管路可以從次氯酸加藥機加氯到再生水槽。

参考文献

- 1) 月刊土木技術資料に掲載された土木用語の解説(http://www.pwrc.or.jp/yougo_g/nabc.php)、一般財団法人土木研究センター
- 2) 下水処理水の再利用水質基準等マニュアル、国土交通省都市・地域整備局下水道部、国土交通省国土技術政策総合研究所、平成 17 年 4 月
- 3) 大阪府立大学植物工場研究センター栽培技術者育成支援研修資料、一般社団法人日本施設園芸協会、2015
- 4) 下水道施設計画・設計指針と解説、日本下水道協会、2009 版
- 5) Regulations Related to Recycled Water June 18(TITLE 22 CODE OF REGULATIONS)、California Department of Public Health、2014(Revisions effective on 6/18/14)
- 6) バイオソリッド利活用基本計画策定マニュアル、国土交通省都市・地域整備局、(社)日本下水道協会、平成 16 年 3 月
- 7) 地球温暖化対策課ウェブサイト「電気事業者別の CO2 排出係数」代替値、環境省地球環境局、平成 27 年度実績(http://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/h29_coefficient.pdf)
- 8) 下水道における地球温暖化防止推進計画策定の手引き、下水道における地球温暖化防止推進計画策定委員会、平成 21 年 3 月
- 9) 化学関連産業分野における CO2 対策技術評価法の調査、NEDO、1992.3
- 10) LCA 実務入門、社団法人産業環境管理協会、1998
- 11) 21 世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価」に関する調査研究報告書、土木研究所資料第 4313 号、平成 28 年 1 月
- 12) 下水道における LCA 適用の考え方、国土技術政策総合研究所資料第 579 号、平成 22 年 2 月
- 13) 再生水利用学、浅野 孝、Harold L. Leverenz、土橋 隆二郎、George Tchobanoglous、Franklin L. Burton、技報堂出版、2010
- 14) Water quality for agriculture、FAO irrigation and drainage paper 29 Rev.1. Food and Agriculture Organization of the United Nation、Rome、Italy、FAO、1985
- 15) 沖縄県における都市下水道処理水の畑地灌漑利用マニュアル、沖縄県農林水産部南部農林土木事務所、平成 29 年 3 月
- 16) ISO16075 Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects、ISO、2015 年 8 月 15 日
- 17) 水耕栽培における水耕栽培におけるクロラミンにより発生するサラダナの根部褐変、伊達修一・寺林敏・松井浩平・並木隆和・藤目幸廣、園学雑 71(4) PP485-489、2002
- 18) Water quality for agriculture、FAO irrigation and drainage paper 29 Rev.1. Food and Agriculture Organization of the United Nation、Rome、Italy、FAO、1985
- 19) 下水道におけるウイルス対策に関する調査委員会報告書、平成 22 年 3 月、下水道におけるウイルス対策に関する調査委員会
- 20) Ultra Violet Disinfection Guidance Manual For the Final Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule、米国環境保護庁(U.S. EPA)、2006
- 21) 紫外線消毒装置技術マニュアル、(財)下水道新技術推進機構(現：(公財)日本下水道新技術機構、2006 年 3 月
- 22) 農業(水稻)用水基準、農林水産技術会議、昭和 46 年 10 月 4 日

資料編

資料編

第一章	模組設施和試驗廠的實驗結果.....	資-1
1.1	模組設施的實驗結果.....	資-1
1.1.1	模組設施運轉條件.....	資-1
1.1.2	模組設施的採水地點.....	資-2
1.1.3	日常測試結果.....	資-3
1.1.4	精密試驗的結果.....	資-5
1.1.5	全日試驗的結果.....	資-11
1.2	試驗廠的實驗結果.....	資-18
1.2.1	試驗廠的運轉條件.....	資-18
1.2.2	一般水質項目的處理效能(日常試驗).....	資-18
1.2.3	一般水質項目的處理性能(精密試驗).....	資-20
1.3	病毒分析試驗結果.....	資-22
1.3.1	病毒分析方法.....	資-22
1.4	膜破裂檢測方法的驗證.....	資-30
1.4.1	人為膜破壞狀態的設定.....	資-30
1.4.2	利用高靈敏度濁度計進行膜破壞的檢測.....	資-30
1.4.3	透過測量大腸桿菌檢測膜破裂.....	資-32
1.4.4	以壓力衰減測試 (PDT, Pressure Decay Test) 檢測膜破裂.....	資-33
1.5	紫外線消毒的病毒去除效果的驗證.....	資-35
1.5.1	紫外線消毒的病毒去除目標.....	資-35
1.5.2	在模組廠中驗證病毒去除效果.....	資-36
第 2 章	容量計算和成本計算的示例.....	資-39
2.1	容量計算例.....	資-39
2.2.1	系統設計條件.....	資-39
2.1.2	UF 膜處理裝置.....	資-39
2.1.3	紫外線消毒裝置.....	資-42
2.1.4	系統構成清單.....	資-42
2.1.5	建設費.....	資-44
2.2	維護管理費計算例.....	資-45
2.2.1	電費.....	資-45
2.2.2	藥品使用量的設定.....	資-45
2.2.3	耗品費.....	資-45
2.2.4	維修費.....	資-46
2.2.5	污泥處理費.....	資-46
2.2.6	合計維護管理費.....	資-47

2.3	GHG 排放量計算例	資-48
2.3.1	計算條件	資-48
2.3.2	計算結果	資-49
2.4	建設費、維護管理費與設置面積	資-50
2.4.1	建設費	資-50
2.4.2	公用設施使用量	資-50
2.4.3	維護管理費	資-51
第三章	病毒感染風險	資-53
3.1	病毒感染風險的評估指標	資-53
3.1.1	風險評估指標	資-53
3.1.2	風險評估的判斷基準	資-53
3.1.3	風險的對象	資-53
3.2	病毒感染風險(DALY _{pppy})的計算方法	資-54
3.2.1	DALY _{pppy} 計算方法	資-54
3.2.2	感染機率($P_{inf}(D)$)計算方法	資-55
3.2.3	病源微生物攝取量計算方法	資-55
3.2.4	曝露量和年度曝露頻率	資-56
3.3	病毒濃度估算	資-57
3.3.1	再生水原水的病毒濃度	資-57
3.3.2	各處理技術的 log 去除效能	資-57
3.3.3	其他的 log 去除效能	資-58
3.3.4	再生水的濃度分布推算方法	資-59
3.4	病毒感染風險(DALY _{pppy})的評估	資-60
第四章	病毒分析方法	資-62
4.1	PCR (Polymerase Chain Reaction (聚合酶鏈反應)) 法	資-62
4.2	培養法 (Cell Culture 法)	資-65
4.3	Integrated Cell Culture-PCR 法 (ICC-PCR 法)	資-66
第五章	UF 膜藥劑 (浸泡) 清洗方法	資-68
5.1	藥液 (浸泡) 清洗的執行頻率	資-68
5.2	藥液 (浸泡) 清洗的執行方法	資-68
第六章	UF 膜的壓力衰減測試要領	資-71
6.1	UF 膜模組的單元構成	資-71
6.2	壓力衰減試驗的步驟	資-72
6.3	膜破裂的判斷標準	資-72
6.4	壓力衰減試驗的執行頻率	資-73
6.5	異常模組的識別方法	資-73
6.6	壓力衰減試驗的自動化	資-74
第七章	高靈敏度濁度計清理方法	資-75

7.1	高靈敏度濁度計結構.....	資-75
7.2	高靈敏度濁度計內的污垢生成.....	資-76
7.3	高靈敏度濁度計內的清洗頻率.....	資-77
7.4	高靈敏度濁度計的檢查和清洗步驟.....	資-77
第八章	UV 消毒裝置之 UV 照射量相關效能評價 P-CFD 適用可能性.....	資-79
8.1	使用 P-CFD 評估 UV 照射量概述.....	資-79
8.2	使用 P-CFD 進行效能評估的例子.....	資-81
8.3	實證研究中 P-CFD 分析結果.....	資-82
8.4	P-CFD 的實用性和未來標準化的討論.....	資-85
第九章	農業利用風險傳遞.....	資-87
9.1	導入本系統時的傳遞.....	資-87
9.2	農業使用開始時的傳遞.....	資-92
9.3	農業使用運作時的傳遞.....	資-106
10.	農業利用的導入效果試算範例.....	資-108
10.1	導入效果情境.....	資-108
10.2	試算條件.....	資-109
10.2.1	成本試算條件.....	資-109
10.2.2	效益試算條件.....	資-112
10.3	導入效果的評估.....	資-114
10.3.1	情境 1.....	資-114
10.3.2	情境 2.....	資-118

第一章 模組設施和試驗廠的實驗結果

1.1 模組設施的實驗結果

1.1.1 模組設施運轉條件

1. UF 膜運轉條件

表 1-1 UF 膜處理的運轉條件

項目		運轉條件	備註
處理水量		1,000 m ³ /日	整個系統的處理量
通量		1.0 m/日	
清洗	自動反洗	1 次/30 分	過濾水+空氣
	自動藥液清洗	1 次/日	自動反洗+次氯酸鈉

2. 紫外線消毒裝置運轉條件

表 1-2 紫外線處理的運轉條件

項目	運轉條件值	備註
燈管輸出	60~100 %*	自動調整燈管輸出
燈管數量	8 支/單元×2 單元	共 16 支
燈管清洗頻率	1 次/24 小時	

*UV 裝置採用可變控制燈管功率輸出，以應對原水質量的變化（處理水量、紫外線穿透率）。

*燈管輸出在進行病毒等水質測試時，會根據測試條件進行調整。在非測試時，將保持輸出固定（100 %、80 %等）運轉。

1.1.2 模組設施的採水地點

各採水點的取水方法如下。各採水點分別為①～⑤。

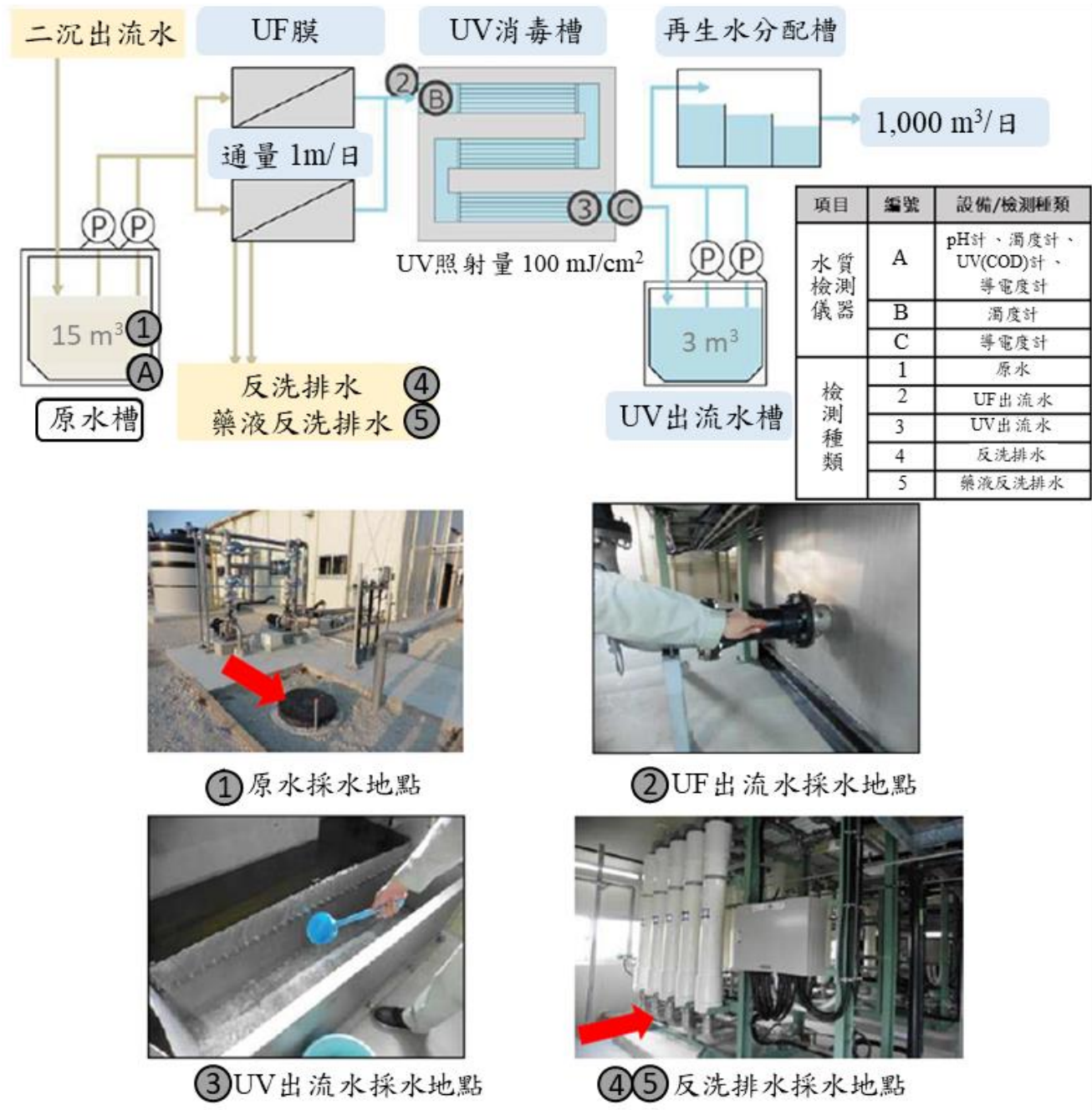


圖 1-1 模組設施的採水地點

1.1.3 日常測試結果

以下是原水、UF 膜過濾水和再生水（UV 處理水）在日常測試中的水質測試分析結果。

表 1-3(1) 原水的水質分析結果（日常測試）

項目	單位	原水										2017		
		2016										1/24	2/21	3/7
臭氣	-	-	-	-	-	污水味	污水味	污水味	污水味	污水味	污水味	污水味	污水味	污水味
pH值	-	6.8	7.3	7.2	7.4	7.3	7.0	6.9	6.9	7.0	7.1	6.8	7.0	7.0
水溫	℃	-	-	-	-	23.0	22.1	24.2	19.8	23.1	21.3	21.5	25.4	-
BOD	mg/L	23.0	10.0	-	12.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CODMn	mg/L	16.0	15.0	14.5	13.0	14.2	13.9	16.0	15.8	19.0	14.8	15.4	14.7	-
TOC	mg/L	8.9	7.0	6.6	6.0	5.9	6.1	6.4	7.5	9.6	6.6	6.9	6.5	-
溶解性TOC	mg/L	8.0	7.0	5.9	5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
懸浮固體 (SS)	mg/L	-	5.0	4	2.0	1.0	2.0	6.0	4.0	13.0	2.0	7.0	3.0	-
濁度	度(高嶺土法)	3.0	5.0	4.4	2.0	1.8	1.9	7.4	6.6	16.0	3.1	7.3	4.7	-
溶氧	mg/L	-	-	-	-	2.0	2.3	2.1	1.9	1.7	1.9	2.6	2.0	-
大腸桿菌群 (DESO)	個/ml	1,600	460	649	1,200	11,000	15,000	17,000	7,200	1,100	2,600	30,000	33,000	-
大腸桿菌	MPN/100mL	檢出	檢出	檢出	檢出	220,000	250,000	260,000	160,000	88,000	140,000	180,000	140,000	-
色度	度	32	32	33	28	17	16	18	15	15	16	17	15	-
總氮	mg/L	14.7	17.9	22.1	19.9	13.8	12.5	14.7	19.4	16.2	17.7	17.1	16.6	-
氨氮	mg/L	5.5	11.1	13.6	11.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
亞硝酸鹽氮	mg/L	2.2	1.4	1.5	1.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
硝酸鹽氮	mg/L	6.3	2.5	2.9	4.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
總磷	mg/L	0.360	0.400	0.376	0.230	0.192	0.227	0.425	0.535	1.120	0.159	0.383	0.308	-
磷酸根離子	mg/L	0.130	0.080	0.089	0.060	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Na	mg/L	-	-	-	-	99.6	111	119	98.5	122	103	109	108	-
K	mg/L	-	-	-	-	14.5	14.3	15.4	13.6	12.7	12.2	13.6	13.7	-
Ca	mg/L	-	-	-	-	19.3	22.9	21.0	19.9	20.0	17.3	17.9	20.0	-
Mg	mg/L	-	-	-	-	10.3	11.5	11.7	9.3	11.2	8.4	9.1	9.6	-
SAR	SAR	-	-	-	-	6.4	6.7	7.3	6.5	7.7	7.2	7.4	7	-
Cl ⁻	mg/L	-	-	-	-	152	170	171	129	88.1	149	141	146	-
導電度	mS/cm	-	-	-	-	0.848	0.858	0.869	0.791	0.904	0.793	0.751	0.824	-

表 1-3(2) UF 膜過濾水的水質分析結果（日常測試）（2015 年度實施）

項目	單位	UF過濾水											
		2016										2017	
		2/18	2/23	2/24	2/29	8/25	9/14	10/19	11/22	12/13	1/24	2/21	3/7
臭氣	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH值	-	6.9	6.9	7.0	7.2	-	-	-	-	-	-	-	-
水溫	℃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BOD	mg/L	<1	-	<1	<1	-	-	-	-	-	-	-	-
CODMn	mg/L	10.0	11.0	10.0	11.0	-	-	-	-	-	-	-	-
TOC	mg/L	6.5	6.0	5.0	5.0	-	-	-	-	-	-	-	-
溶解性TOC	mg/L	6.4	5.0	5.0	3.0	-	-	-	-	-	-	-	-
懸浮固體 (SS)	mg/L	-	<1	<1	<1	-	-	-	-	-	-	-	-
濁度	度(高嶺土法)	<0.1	-	<0.1	<0.1	-	-	-	-	-	-	-	-
溶氧	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
大腸桿菌群 (DESO)	個/ml	ND	ND	ND	ND	-	-	-	-	-	-	-	-
大腸桿菌	MPN/100mL	<1	<1	<1	<1	-	-	-	-	-	-	-	-
色度	度	24	28	28	24	-	-	-	-	-	-	-	-
總氮	mg/L	14.6	18.1	18.5	17.8	-	-	-	-	-	-	-	-
氨氮	mg/L	6.2	10.8	10.1	7.4	-	-	-	-	-	-	-	-
亞硝酸鹽氮	mg/L	2.1	2.0	2.2	2.4	-	-	-	-	-	-	-	-
硝酸鹽氮	mg/L	5.5	3.8	4.4	5.5	-	-	-	-	-	-	-	-
總磷	mg/L	0.130	0.140	0.110	0.120	-	-	-	-	-	-	-	-
磷酸根離子	mg/L	0.130	0.070	0.050	0.060	-	-	-	-	-	-	-	-
Na	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SAR	SAR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cl ⁻	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
導電度	mS/cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

表 1-3(3) 再生水的水質分析結果（日常測試）

項目	單位	再生水											
		2016									2017		
		2/18	2/23	2/24	2/29	8/25	9/14	10/19	11/22	12/13	1/24	2/21	3/7
臭氣	-	-	-	-	-	污水味	污水味	污水味	污水味	污水味	污水味	污水味	污水味
pH值	-	6.9	7.0	7.3	7.4	7.1	7.0	6.9	7.1	7.0	7.2	6.9	7.0
水溫	℃	-	-	-	-	22.3	22.1	24.2	20.8	23.2	21.1	22.0	25.4
BOD	mg/L	23.0	10.0	-	12.0	-	-	-	-	-	-	-	-
CODMn	mg/L	10.0	10.0	10.4	10.0	9.9	10.7	10.7	10.1	10.2	9.7	10.9	8.5
TOC	mg/L	5.5	6.0	6	5.0	4.9	4.9	5.4	6.0	5.8	6.1	5.3	5.1
溶解性TOC	mg/L	5.3	5.0	5.5	4.0	-	-	-	-	-	-	-	-
懸浮固體 (SS)	mg/L	-	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
濁度	度(高嶺土法)	<0.1	-	<0.1	<0.1	0.2	0.2	<0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	4.7
溶氧	mg/L	-	-	-	-	2.5	2.3	2.6	2.5	3.1	3.4	3.5	3.3
大腸桿菌群 (DESO)	個/ml	<50	<50	<50	<50	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
大腸桿菌	MPN/100mL	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
色度	度	24	28	32	28	14	12	10	13	13	9	13	12
總氮	mg/L	14.3	20.5	21.2	18.4	13	11.4	13.3	19.4	14.3	16	15.8	16.1
氨氮	mg/L	5.3	11.3	14	10.9	-	-	-	-	-	-	-	-
亞硝酸鹽氮	mg/L	2.2	1.5	1.7	1.9	-	-	-	-	-	-	-	-
硝酸鹽氮	mg/L	5.8	2.2	2.6	3.9	-	-	-	-	-	-	-	-
總磷	mg/L	0.120	0.140	0.140	0.110	0.081	0.096	0.078	0.125	0.054	0.067	0.082	0.104
磷酸根離子	mg/L	0.130	0.080	0.149	0.060	-	-	-	-	-	-	-	-
Na	mg/L	-	-	-	-	104	116	123	97.8	112	106	113	107
K	mg/L	-	-	-	-	15.5	13.9	15.3	12.8	12.9	12.6	14.1	13.4
Ca	mg/L	-	-	-	-	19	22.7	20.9	19.9	19.7	18.0	17.8	20.4
Mg	mg/L	-	-	-	-	10.3	11.6	11.6	9.2	11	9	9.1	9.5
SAR	SAR	-	-	-	-	6.8	7	7.6	6.4	7.1	7.2	7.7	6.9
Cl ⁻	mg/L	-	-	-	-	152	154	168	132	88.2	150	142	146
導電度	mS/cm	-	-	-	-	0.843	0.847	0.877	0.793	0.909	0.811	0.768	0.824

例行測試的主要水質分析結果如下圖所示。

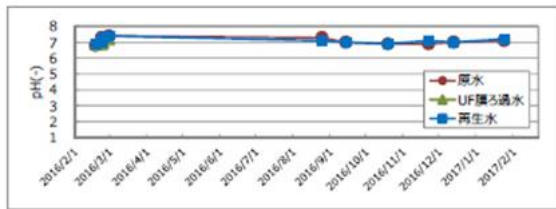


圖 1-2(1) pH

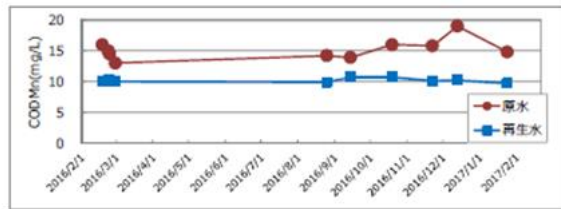
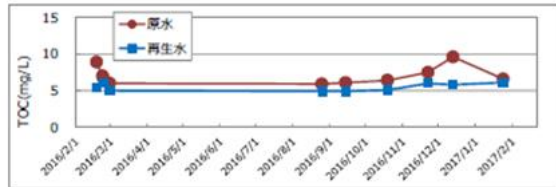
圖 1-2(2) COD_{Mn}

圖 1-2(3) TOC

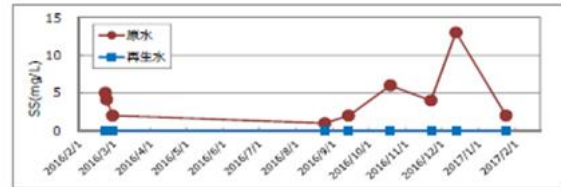


圖 1-2(4) 懸浮固體(SS)



圖 1-2(5) 濁度

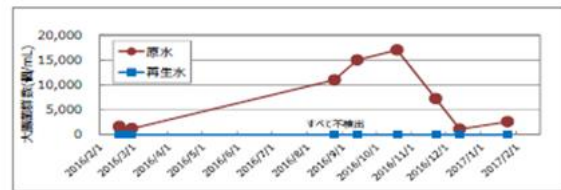


圖 1-2(6) 大腸桿菌群

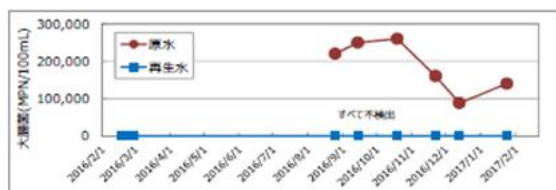


圖 1-2(7) 大腸桿菌

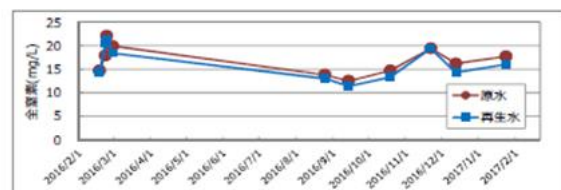


圖 1-2(8) 總氮

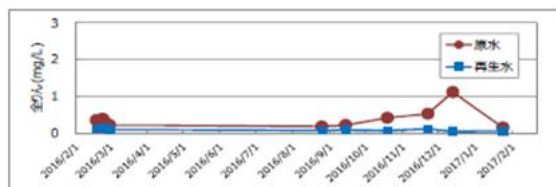


圖 1-2(9) 總磷

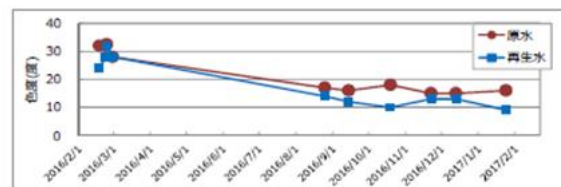


圖 1-2(10) 色度

1.1.4 精密試験の結果

在 2015 年度，於 2016 年 2 月 23 日進行了一次，而在 2016 年度，於夏季（2016 年 9 月 28 日）和冬季（2016 年 12 月 6 日）各進行了兩次採水和精密試驗。

1. 2015 年度的精密試驗結果

在 2015 年度的精密試驗中，選擇了以下兩個水樣：

- 原水（二沉出流水）
- 再生水

以下是精密試驗的水質試驗分析結果。

表 1-4 2015 年度精密試驗的水質分析結果

項目	單位	原水	再生水	水質環境基準值	
鎘	mg/L	未滿 0.01	未滿 0.01	0.003	以下
總氰	mg/L	未滿 0.1	未滿 0.1	ND	-
鉛	mg/L	未滿 0.01	未滿 0.01	0.01	以下
六價鉻	mg/L	未滿 0.05	未滿 0.05	0.05	以下
砷	mg/L	未滿 0.01	未滿 0.01	0.01	以下
汞	mg/L	未滿 0.0005	未滿 0.0005	0.0005	以下
烷基汞	mg/L	ND (<0.0005mg/L)	ND (<0.0005mg/L)	ND	-
PCB	mg/L	未滿 0.0005	未滿 0.0005	ND	-
二氯甲烷	mg/L	未滿 0.02	未滿 0.02	0.02	以下
四氯化碳	mg/L	未滿 0.002	未滿 0.002	0.002	以下
1,2-二氯乙烷	mg/L	未滿 0.004	未滿 0.004	0.004	以下
1,1-二氯乙烯	mg/L	未滿 0.02	未滿 0.02	0.1	以下
順-1,2-二氯乙烯	mg/L	未滿 0.04	未滿 0.04	0.04	以下
1,1,1-三氯乙烷	mg/L	未滿 0.3	未滿 0.3	1	以下
1,1,2-三氯乙烷	mg/L	未滿 0.006	未滿 0.006	0.006	以下
三氯乙烯	mg/L	未滿 0.03	未滿 0.03	0.01	以下
四氯乙烯	mg/L	未滿 0.01	未滿 0.01	0.01	以下
1,3-二氯丙烯	mg/L	未滿 0.002	未滿 0.002	0.002	以下
得恩地 Thiram	mg/L	未滿 0.0006	未滿 0.0006	0.006	以下
西瑪津 Simazine	mg/L	未滿 0.0003	未滿 0.0003	0.003	以下
殺丹 Thiobencarb	mg/L	未滿 0.002	未滿 0.002	0.02	以下
苯	mg/L	未滿 0.01	未滿 0.01	0.01	以下
硒	mg/L	未滿 0.01	未滿 0.01	0.01	以下
硝酸鹽氮和亞硝酸鹽氮	mg/L	3.9	3.7	10	以下
氟	mg/L	未滿 0.17	未滿 0.17	0.8	以下
硼	mg/L	0.12	0.12	1	以下
1,4-二噁烷	mg/L	未滿 0.05	未滿 0.05	0.05	以下
有機磷化合物	mg/L	未滿 0.1	未滿 0.1	-	-
總硬度	mg/L	99	98	-	-
氯化物離子	mg/L	190	180	-	-
鈣	mg/L	22	220	-	-
鈉	mg/L	160	140	-	-
氨、銨化合物、亞硝酸化合物和硝酸化合物	mg/L	8.6	7.9	-	-

2. 2016 年度的精密試驗結果

在 2016 年度的精密試驗中，採水對象包含以下 5 個：

- 原水
- UF 膜過濾水
- 再生水
- 地表水（作為農業利用再生水的對照）
- 反洗廢水

以下是精密試驗的水質試驗分析結果。

表 1-5(1) 2016 年度精密試驗的水質分析結果（原水）

項目	單位	夏季	冬季
臭氣	-	污水味	污水味
pH 值	-	7.0	6.8
COD _{Mn}	mg/L	12.4	16.6
懸浮固體(SS)	mg/L	1.0	9
濁度	NTU (高嶺土法)	2.4	13
溶氧	mg/L	2.0	2.4
大腸桿菌群(DESO)	個/ml	16,000	26,000
大腸桿菌	MPN/100mL	110,000	200,000
色度	度	14	10
總氮	mg/L	10.7	14.8
總磷	mg/L	0.205	0.907
Na ⁺	mg/L	104	95.5
K ⁺	mg/L	12.9	13.7
Ca ²⁺	mg/L	20.9	20.4
Mg ²⁺	mg/L	10.0	11.4
SAR	SAR	6.6	5.9
Cl ⁻	mg/L	152	152
TOC	mg/L	5.8	8.3
導電度	mS/cm	0.749	0.798
病毒(ICC-PCR)	-Log	3	-

表 1-5(2) 2016 年度精密試驗的水質分析結果 (UF 膜過濾水)

項目	單位	夏季	冬季
臭氣	-	污水味	污水味
pH 值	-	7.0	6.7
COD _{Mn}	mg/L	8.8	11.1
懸浮固體(SS)	mg/L	<1	<1
濁度	NTU (高嶺土法)	0.1	0.1
溶氧	mg/L	1.9	2.7
大腸桿菌群(DESO)	個/ml	ND	ND
大腸桿菌	MPN/100mL	<1	<1
色度	度	11	13
總氮	mg/L	10.9	12.4
總磷	mg/L	0.087	0.071
Na ⁺	mg/L	100	113
K ⁺	mg/L	12.9	12.9
Ca ²⁺	mg/L	20.8	20.3
Mg ²⁺	mg/L	10.0	12.2
SAR	SAR	6.4	6.9
Cl ⁻	mg/L	151	151
TOC	mg/L	4.8	5.3
導電度	mS/cm	0.747	0.799
病毒(ICC-PCR)	-Log	-0.4	-

表 1-5(3) 2016 年度精密試驗的水質分析結果（再生水）

項目	單位	夏季	冬季
臭氣	-	污水味	污水味
pH 值	-	7.0	6.9
COD _{Mn}	mg/L	8.9	10.3
懸浮固體(SS)	mg/L	<1.0	<1.0
濁度	NTU (高嶺土法)	0.1	0.1
溶氧	mg/L	3.5	3.0
大腸桿菌群(DESO)	個/ml	ND	ND
大腸桿菌	MPN/100mL	<1.0	<1.0
色度	度	11	13
總氮	mg/L	10.3	12.7
總磷	mg/L	0.081	0.072
Na ⁺	mg/L	102	97.6
K ⁺	mg/L	13.2	16.1
Ca ²⁺	mg/L	20.6	20.5
Mg ²⁺	mg/L	9.99	12
SAR	SAR	6.5	6.0
Cl ⁻	mg/L	153	149
TOC	mg/L	4.7	5.4
導電度	mS/cm	0.751	0.801
病毒(ICC-PCR)	-Log	ND	-

表 1-5(4) 2016 年度精密試驗的水質分析結果（地表水）

項目	單位	夏季	冬季
臭氣	-	污水味	污水味
pH 值	-	7.9	7.9
COD _{Mn}	mg/L	10.3	6.9
懸浮固體(SS)	mg/L	55	4
濁度	NTU (高嶺土法)	37.0	1.8
溶氧	mg/L	8.5	9.3
大腸桿菌群(DES0)	個/ml	30,000	2,600
大腸桿菌	MPN/100mL	25,000	11,000
色度	度	46	13
總氮	mg/L	4.22	4.18
總磷	mg/L	0.391	0.241
Na ⁺	mg/L	20.0	15.9
K ⁺	mg/L	402	7.97
Ca ²⁺	mg/L	62.7	89.1
Mg ²⁺	mg/L	19.1	27.3
SAR	SAR	0.8	0.5
Cl ⁻	mg/L	24.5	29.7
TOC	mg/L	4.7	3.9
導電度	mS/cm	0.526	0.738

*地表水是指在進行農田栽培試驗的農地上，通常用作農業用水的水流。

表 1-5(5) 2016 年度精密試驗的水質分析結果（反洗廢水）

項目	單位	夏季	冬季
pH 值	pH	6.6	6.5
BOD	mg/L	24.4	46.7
懸浮固體(SS)	mg/L	23	117
大腸桿菌群(DESO)	個/ml	62,000	82,000
總氮	mg/L	12.3	31.6
總磷	mg/L	0.643	13.7

表 1-6 再生水的精密試驗結果（對農作物的影響項目）

項目	單位	2017/1/24
鈦	mg/L	<0.1
鎢	mg/L	<0.1
雷氏菌屬	CFU/100ml	<10
碳酸氫離子	mg/L	73
鈹	mg/L	<0.05
鎳	mg/L	<0.05
釩	mg/L	<0.05
鋁	mg/L	<0.05
鉬	mg/L	<0.05
鈷	mg/L	<0.05
錫	mg/L	<0.1
鋰	mg/L	<0.05

1.1.5 全日試驗的結果

在 2016 年 2 月 23 日至 24 日、9 月 28 日至 29 日、12 月 5 日至 6 日，每 3 小時進行一次，共計 8 次取水，進行全日試驗。取水對象包括以下兩者：

- 原水
- 再生水

1. 2015 年度全日試驗結果

在 2015 年度，於 2016 年 2 月 23 日 13:00 至 24 日 10:00，每 3 小時進行一次，共計 8 次取水，進行全日試驗。

表 1-7(1) 2015 年度的全日試驗結果（原水）

項目	單位	原水							
		2016/2/23				2/24			
		13:00	16:00	19:00	22:00	1:00	4:00	7:00	10:00
臭氣	-	污水味	污水味	污水味	污水味	污水味	污水味	污水味	污水味
pH	-	7.1	7.1	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
水溫	°C	21.9	22.5	22.4	22.4	22.5	22.3	22.4	22.6
BOD	mg/L	30	33	30	30	32	-	-	30
COD _{Mn}	mg/L	14	14	15	15	15	15	14	14
TOC	mg/L	6	6	7	7	7	7	7	6
DOC	mg/L	5	5	6	5	7	7	6	6
SS	mg/L	3	3	4	5	5	5	4	4
濁度	NTU	3	3	4	4	6	5	5	5
大腸桿菌群	個/cm ³	330	330	540	720	710	950	1200	410
大腸桿菌	MPN/100 mL	檢出	檢出	檢出	檢出	檢出	檢出	檢出	檢出
色度	度	28	28	32	32	36	36	36	32
總氮	mg/L	17.8	19.9	22.2	23.4	24.6	24.9	22.7	21.1
氨氮	mg/L	9.8	11.5	13.1	15.4	17.1	16.1	14.3	11.6
亞硝酸氮	mg/L	1.8	1.8	1.7	1.3	1.1	1.2	1.5	1.9
硝酸氮	mg/L	3.7	3.9	3.4	2.2	1.5	2.0	2.5	3.9
總磷	mg/L	0.31	0.37	0.35	0.41	0.44	0.41	0.37	0.35
正磷酸鹽	mg/L	0.10	0.10	0.08	0.08	0.09	0.08	0.10	0.08

表 1-7(2) 2015 年度的全日試驗結果（再生水）

項目	單位	原水							
		2016/2/23				2/24			
		13:00	16:00	19:00	22:00	1:00	4:00	7:00	10:00
臭氣	-	污水味	污水味	污水味	污水味	污水味	污水味	污水味	污水味
pH	-	7.2	7.1	7.2	7.3	7.4	7.3	7.3	7.3
水溫	℃	21.9	23.4	23.0	22.7	23.1	23.3	23.2	23.4
BOD	mg/L	ND	-	ND	-	ND	ND	-	-
COD _{Mn}	mg/L	10	10	10	10	11	10	10	12
TOC	mg/L	6	5	6	6	7	6	6	6
DOC	mg/L	6	5	5	6	6	6	5	5
SS	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
濁度	度	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
大腸桿菌群	個/cm ³	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
大腸桿菌	MPN/100 mL	ND	ND	ND	ND	ND	-	ND	-
色度	度	32	32	32	32	32	32	32	32
總氮	mg/L	17.7	18.6	22.1	23.1	22.2	22.8	21.2	21.6
氨氮	mg/L	10.3	10.9	13.9	16.2	16.5	16.7	14.9	12.4
亞硝酸氮	mg/L	1.9	2.0	1.8	1.4	1.2	1.2	1.7	2.0
硝酸氮	mg/L	3.2	3.5	3.0	2.0	1.4	1.5	2.4	3.5
總磷	mg/L	0.14	0.12	0.11	0.13	0.15	0.14	0.16	0.14
正磷酸鹽	mg/L	0.07	0.06	0.05	0.07	0.08	0.07	0.09	0.07

2. 2016 年度（夏季）全日試驗結果

2016 年度夏季，於 2016 年 9 月 28 日 11:00 至 29 日 7:00，每 3 小時進行一次，共計 8 次取水，進行全日試驗。

表 1-8(1) 2016 年度（夏季）的全日試驗結果（原水）

項目	單位	原水							
		2016/9/28					9/29		
		10:00	13:00	16:00	19:00	22:00	1:00	4:00	7:00
臭氣	-	污水味	污水味	污水味	污水味	污水味	污水味	污水味	污水味
pH	-	7.0	7.0	6.8	6.8	6.8	6.8	6.7	6.7
水溫	°C	21.9	22.5	22.4	22.4	22.5	22.3	22.4	22.6
COD _{Mn}	mg/L	12.4	10.4	10.5	12.0	14.0	12.6	12.6	12.8
TOC	mg/L	5.8	5.3	5.4	5.5	5.9	5.9	4.9	5.8
SS	mg/L	1	1	1	1	1	1	1	1
濁度	NTU	2.4	2.4	4.4	2.3	2.4	2.5	2.5	3.0
大腸桿菌群	個/cm ³	16,000	18,000	12,000	22,000	58,000	52,000	36,000	20,000
大腸桿菌	MPN/100 mL	110,000	91,000	99,000	310,000	520,000	310,000	240,000	140,000
色度	度	14	13	13	14	23	16	15	15
總氮	mg/L	10.7	9.52	10.9	13.7	15.1	14.9	14.0	12.3
總磷	mg/L	0.205	0.163	0.162	0.163	0.204	0.175	0.178	0.180
Cl ⁻	mg/L	152	139	137	143	148	157	154	152
導電度	mS/cm	0.749	0.711	0.724	0.758	0.807	0.829	0.819	0.801

表 1-8(2) 2016 年度（夏季）的全日試驗結果（再生水）

項目	單位	原水							
		2016/9/28					9/29		
		10:00	13:00	16:00	19:00	22:00	1:00	4:00	7:00
臭氣	-	污水味	污水味	污水味	污水味	污水味	污水味	污水味	污水味
pH	-	7.0	6.8	6.8	6.8	6.8	6.9	6.9	6.9
水溫	°C	21.9	23.4	23	22.7	23.1	23.3	23.2	23.4
COD _{Mn}	mg/L	8.9	8.9	8.3	8.2	9.0	9.9	9.4	9.3
TOC	mg/L	4.7	4.2	4.1	4.2	4.6	4.8	4.8	4.6
SS	mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0
濁度	NTU	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0.2	0.2	0.2
大腸桿菌群	個/cm ³	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
大腸桿菌	MPN/100 mL	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
色度	度	11	11	9	10	12	13	13	12
總氮	mg/L	10.3	9.36	10.5	12.9	14.9	13.9	13.8	12.2
總磷	mg/L	0.081	0.064	0.063	0.064	0.066	0.066	0.072	0.073
Cl ⁻	mg/L	153	140	138	142	150	157	157	151
導電度	mS/cm	0.751	0.727	0.736	0.766	0.822	0.851	0.846	0.821

3. 2016 年度（冬季）全日試驗結果

2016 年度冬季，於 2016 年 12 月 5 日 16:00 至 6 日 13:00，每 3 小時進行一次，共計 8 次取水，進行全日試驗。

表 1-9(1) 2016 年度（冬季）的全日試驗結果（原水）

項目	單位	原水							
		2016/12/5					12/6		
		16:00	19:00	22:00	1:00	4:00	7:00	10:00	13:00
臭氣	-	污水味	污水味	污水味	污水味	污水味	污水味	污水味	污水味
pH	-	6.5	6.6	6.6	6.6	6.7	6.7	6.8	6.7
水溫	°C	21.1	22	22	21.9	22.1	22.3	22.4	21
COD _{Mn}	mg/L	16.7	17.2	17.5	18.5	17.7	18.8	16.6	16.8
TOC	mg/L	9.8	9.5	9.1	10.2	9.0	8.7	8.3	8.4
SS	mg/L	11	11	12	11	11	10	9.0	9.0
濁度	NTU	16	16	16	16	16	13	13	13
大腸桿菌群	個/cm ³	5,700	10,000	26,000	33,000	34,000	37,000	26,000	24,000
大腸桿菌	MPN/100mL	120,000	150,000	370,000	520,000	460,000	340,000	200,000	250,000
色度	度	10	11	11	10	13	13	13	13
總氮	mg/L	15.4	16.9	17.6	18.4	18.8	17.8	14.8	14.4
總磷	mg/L	1.02	1.07	1.12	1.20	1.09	0.990	0.907	0.856
Cl ⁻	mg/L	134	142	150	159	163	162	152	153
導電度	mS/cm	0.731	0.779	0.828	0.874	0.896	0.893	0.798	0.829

表 1-9(2) 2016 年度（冬季）的全日試驗結果（再生水）

項目	單位	原水							
		2016/12/5					12/6		
		16:00	19:00	22:00	1:00	4:00	7:00	10:00	13:00
臭氣	-	污水味	污水味	污水味	污水味	污水味	污水味	污水味	污水味
pH	-	6.6	6.6	6.7	6.7	6.8	6.8	6.9	6.7
水溫	°C	23.3	23.6	23.5	23.2	23.4	23.5	23	23.3
COD _{Mn}	mg/L	11.0	10.7	11.1	11.7	11.8	11.2	10.3	10.2
TOC	mg/L	6.0	5.8	5.7	6.1	5.9	5.8	5.4	5.3
SS	mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0
濁度	NTU	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
大腸桿菌群	個/cm ³	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
大腸桿菌	MPN/100mL	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
色度	度	10	11	12	13	14	14	13	12
總氮	mg/L	13.8	15.0	16.0	16.9	17.4	15.9	12.7	12.8
總磷	mg/L	0.063	0.049	0.052	0.054	0.063	0.060	0.072	0.067
Cl ⁻	mg/L	134	140	149	159	162	162	149	154
導電度	mS/cm	0.734	0.779	0.824	0.866	0.892	0.894	0.801	0.813

1.2 試驗廠的實驗結果

1.2.1 試驗廠的運轉條件

位於系滿市淨化中心的試驗廠的運轉條件如下。另試驗廠的系統概要見圖 1-3。

- 處理水量：10 m³/日
- UF 膜過濾通量：1 m/日

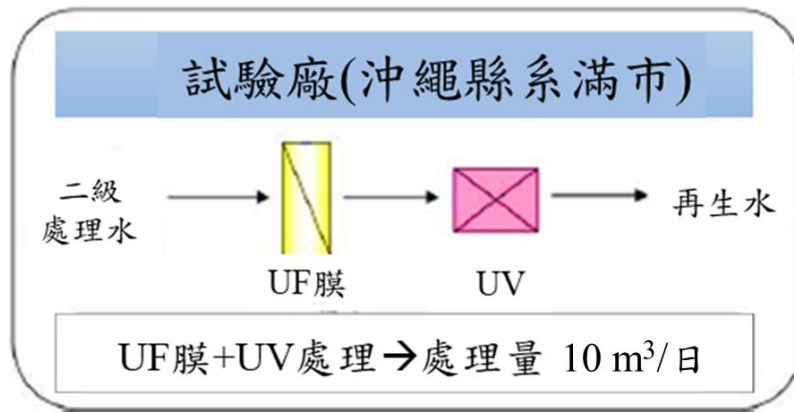


圖 1-3 試驗廠的系統概要

1.2.2 一般水質項目的處理效能（日常試驗）

表 1-10 顯示了在 2016 年 2 月至 2017 年 2 月進行的日常試驗的測試結果，其中部分結果涵蓋了 2015 年度的數據。

表 1-10(1) 日常試驗測定結果（原水）

原水					
項目	單位	2016/2/17	2016/9/28	2016/12/5	2017/2/21
臭氣	-	-	污水味	污水味	污水味
pH	-	6.8	6.7	6.5	6.9
BOC	mg/L	23	-	-	-
COD _{Mn}	mg/L	14	14.8	22.8	14.6
TOC	mg/L	-	5.9	9.9	5.7
SS	mg/L	-	2	14	1
濁度	NTU	4.0	3.6	17.0	1.8
大腸桿菌群	個/ml	1,100	28,000	5,100	34,000
大腸桿菌	MPN/100mL	檢出	170,000	220,000	79,000
色度	度	24	15	23	17
總氮	mg/L	15.4	11.2	16.4	14.3
總磷	mg/L	0.24	0.204	1.310	0.253
Cl ⁻	mg/L	-	148	137	139
導電度	mS/cm	-	0.744	0.765	0.724

表 1-10(2) 日常試驗測定結果 (UF 膜過濾水)

UF 膜過濾水					
項目	單位	2016/2/17	2016/9/28	2016/12/5	2017/2/21
臭氣	-	-	污水味	污水味	污水味
pH	-	6.9	6.8	6.8	7.0
BOC	mg/L	<1	-	-	-
COD _{Mn}	mg/L	9.0	10.4	14.7	10.5
TOC	mg/L	-	4.7	9.0	5.4
SS	mg/L	-	<1	<1	<1
濁度	NTU	<1	0.2	0.2	0.4
大腸桿菌群	個/ml	<50	ND	ND	ND
大腸桿菌	MPN/100mL	ND	<1	<1	<1
色度	度	24	14	15	14
總氮	mg/L	14.8	10.6	15.0	13.4
總磷	mg/L	0.11	0.059	0.056	0.066
Cl ⁻	mg/L	-	145	139	137
導電度	mS/cm	-	0.746	0.761	0.721

表 1-10(3) 日常試驗測定結果 (再生水)

再生水					
項目	單位	2016/2/17	2016/9/28	2016/12/5	2017/2/21
臭氣	-	-	污水味	污水味	污水味
pH	-	7.0	6.8	6.7	7.0
BOC	mg/L	<1	-	-	-
COD _{Mn}	mg/L	10.0	11.0	12.4	10.6
TOC	mg/L	-	4.7	6.1	5.3
SS	mg/L	-	<1	<1	<1
濁度	NTU	<1	-	0.1	0.1
大腸桿菌群	個/ml	<50	ND	ND	ND
大腸桿菌	MPN/100mL	ND	<1	<1	<1
色度	度	24	14	15	14
總氮	mg/L	14.9	10.6	15.0	13.7
總磷	mg/L	0.10	0.060	0.053	0.063
Cl ⁻	mg/L	-	147	138	137
導電度	mS/cm	-	0.736	0.763	0.720

表 1-11 日常試驗測定結果（再生水的去除率）

再生水				
項目	2016/2/17	2016/9/28	2016/12/5	2017/2/21
臭氣	-	-	-	-
pH	-	-	-	-
BOC	ND	-	-	-
COD _{Mn}	28.6%	25.7%	45.6%	27.4%
TOC	-	20.3%	38.4%	7.0%
SS	-	ND	ND	ND
濁度	ND	94.4%	99.4%	94.4%
大腸桿菌群	ND	ND	ND	ND
大腸桿菌	ND	ND	ND	ND
色度	0.0%	6.7%	34.8%	17.6%
總氮	3.2%	5.4%	8.5%	4.2%
總磷	58.3%	70.6%	96.0%	75.1%
Cl ⁻	-	0.7%	-0.7%	1.4%
導電度	-	-	-	-

有機物指標中的 COD_{Mn} 和 TOC 通常可以達到 20~40% 的去除率。至於 BOD 和 SS，則是檢測不到。總氮的去除率約為 5%，幾乎無法期望進行有效去除。此外，總磷的去除率高，大約在 60~95% 左右。

1.2.3 一般水質項目的處理性能（精密試驗）

2016 年 2 月進行的精密試驗的測試結果如表 1-12 所示。

表 1-12(1) 精密試驗測定結果（水質）

項目	單位	原水	膜過濾水	再生水
TOC	mg/L	8.0	6.0	5.5
DOC	mg/L	7.4	5.7	5.5
NH ₄ -N	mg/L	6.4	6.5	6.3
NO ₃ -N	mg/L	6.1	6.0	6.1
NO ₂ -N	mg/L	2.0	1.9	2.0
PO ₄ -P	mg/L	0.11	0.12	0.12
Cl ⁻	mg/L	185	186	187
Na ⁺	mg/L	121	118	117
K ⁺	mg/L	14.5	14.2	14.3
SO ₄	mg/L	17.9	17.9	18.1

表 1-12(2) 精密試驗的測定結果（去除率）

項目	UF 膜過濾水	再生水
TOC	24.7%	30.7%
DOC	23.1%	26.0%
NH ₄ -N	-0.3%	2.6%
NO ₃ -N	1.5%	-0.8%
NO ₂ -N	5.5%	2.5%
PO ₄ -P	-9.1%	-9.1%
Cl ⁻	-0.7%	-1.4%
Na ⁺	2.6%	3.6%
K ⁺	1.7%	1.2%
SO ₄	-0.3%	-1.1%

有機物指標中的 TOC 和 DOC 經 UF 處理後約 20~30 % 的去除率，但經 UV 消毒後並未觀察到明顯變化。對於其他項目，由於處理方法的基本原理，濃度並未顯著下降。

1.3 病毒分析試驗結果

1.3.1 病毒分析方法

1. 研究對象病毒

(1) 模型病毒（MS2 型）

透過將高濃度培養的模型病毒（大腸桿菌噬菌體 MS2，參見表 1-13）添加到二級處理水中，可以直接評估病毒去除率。

MS2 屬於勒比病毒科勒比病毒屬，大小約為 24~26 nm，具有正二十面體的蛋白外套。由於這種特徵與腸道病毒（如脊髓灰質炎病毒和諾羅病毒等）相似，因此 MS2 經常被用作腸道病毒的模型病毒，用於消毒實驗和處理實驗。

表 1-13 模型病毒大腸桿菌噬菌體 MS2

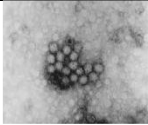
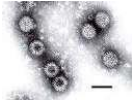
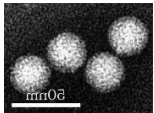
模型病毒	特徵
大腸桿菌噬菌體 MS2	• 單股 RNA 病毒 • 正二十面體 • 直徑約 20~30 nm 左右 

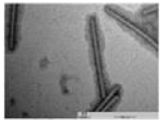
MS2 病毒的原液濃度為 $10^8 \sim 10^9$ PFU/mL，將其添加到二級處理水中進行約 1,000 倍的稀釋，調整原水中的濃度為 $10^5 \sim 10^6$ PFU/mL 左右，然後進行實驗。在原水和各處理階段後進行取水，測定 MS2 的濃度，以計算去除率。

(2) 人類病毒等（野生株病毒）

由於在模組設施中使用處理水，無法添加人為的模型病毒，因此也將對野生株的人類病原病毒和植物病毒進行分析。表 1-14 顯示了分析的研究對象病毒。

表 1-14 研究對象病毒

分類	病毒	特徵
人類病原病毒	GI-、GII- 諾羅病毒 (GI-、GII-NoV)	• 單股 RNA 病毒 • 正十二面體 • 直徑約 20~30 nm 
	輪狀病毒(RoV)	• 雙股 RNA 病毒 • 被兩層蛋白質外殼覆蓋 • 直徑約 70 nm 
	AdV 病毒(AiV)	• 單股 RNA 病毒 • 正二十面體 • 直徑約 20~30 nm 
大腸桿菌噬菌體 (F-RNA 噬菌體)	GI-、GII、GIII、GIV	• 許多種類具有正二十面體狀外殼 • 直徑 25 至 200 nm 

分類	病毒	特徵
植物病毒	胡椒輕度黃斑病毒 (PMMoV)	• 雙股 RNA 病毒 • 棒狀 • 長度約 300 nm 

2. 病毒測定方法

對原水和 UF 膜過濾水進行 PCR 法的病毒測定。

此外，由於 PCR 法無法確定病毒的生死狀態，因此在 UV 消毒過程中無法評估其失活效果。因此，對於 UV 消毒後的再生水，本試驗設施（添加模型病毒 MS2）中使用培養法進行測定。由於實際原水中的病毒量非常少，使用樣品量較少的培養法幾乎無法檢測到病毒。因此引入了 ICC-PCR 法，結合培養法和 PCR 法，以實現對病毒的失活評估。有關測定方法的詳細資訊，請參閱附錄四。

測定方法

- 原水：PCR 法
- UF 膜過濾水：PCR 法
- 再生水（試驗設施）：培養法
- 再生水（模組設施）：ICC-PCR 法

3. 取水點和添加模型病毒的場所

在模組設施中，取水將在日常試驗的取水點進行，即與模組設施的 1.1.2 節「模組設施的取水點」相同。對於驗證廠，將在 UF 進水池/槽中添加模型病毒 MS2，並在原水、UF 膜過濾水以及 UV 消毒後進行取水。UV 裝置共有 4 個並排設置，每個裝置在通過時均可進行採樣。因此，採樣點為以下六個地方：

- (1) 原水
- (2) UF 膜過濾水（以下簡稱 UF）
- (3) UV 裝置第一通過水（以下簡稱 UV1）
- (4) UV 裝置第二通過水（以下簡稱 UV2）
- (5) UV 裝置第三通過水（以下簡稱 UV3）
- (6) UV 裝置第四通過水（以下簡稱 UV4）

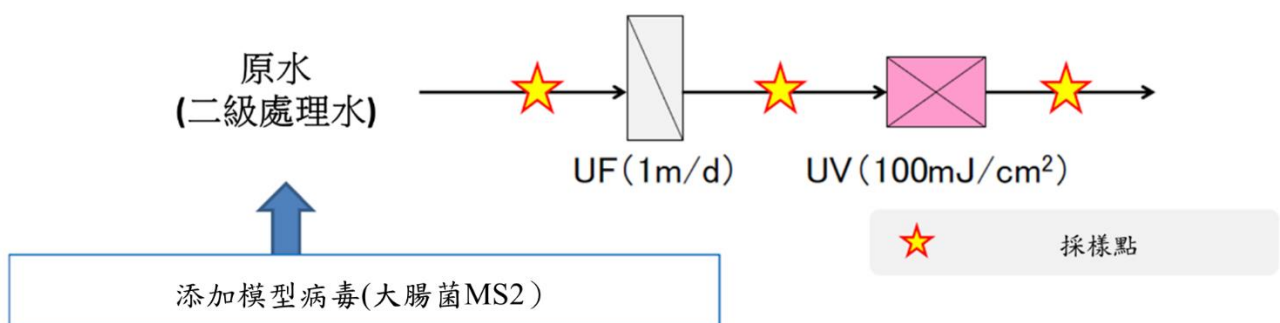


圖 1-4 驗證場廠的病毒測定概要

1. 樣品採樣日期

驗證廠和模組設施的樣品取水日期如下。

表 1-15 驗證廠採樣日

次數	採樣日	次數	採樣日
1	2015/8/18	10	2016/2/17
2	2015/8/19	11	2016/8/30
3	2015/8/20	12	2016/8/31
4	2015/9/30	13	2016/9/1
5	2015/10/2	14	2016/9/28
6	2015/10/2	15	2016/11/16
7	2015/12/16	16	2016/12/7
8	2015/12/17	17	2017/1/18
9	2016/1/14		

表 1-16 模組設施樣品採水日

	樣品採水日、時間		
	採樣日	採樣點	
		原水	UF 膜過濾水
1	2016 年 8 月 30 日	○	○
2	2016 年 8 月 31 日	○	○
3	2016 年 9 月 28 日	○10:00、13:00、16:00、19:00、22:00	○10:00
4	2016 年 9 月 29 日	○1:00、4:00	○4:00
5	2016 年 11 月 16 日	○	○
6	2016 年 12 月 5 日	○16:00、19:00、22:00	○22:00
7	2016 年 12 月 6 日	○1:00、4:00、7:00、10:00	-
合計		17 個樣品	6 個樣品

1.3.2 病毒去除率的測試結果

1. UF 膜過濾病毒去除率

(1) 模型病毒(MS2)去除率

在驗證廠中，透過 UF 膜過程去除 MS2 的性能如下。根據這些結果，UF 膜過程對病毒的去除效果被評估為 1 log 以上的去除率。

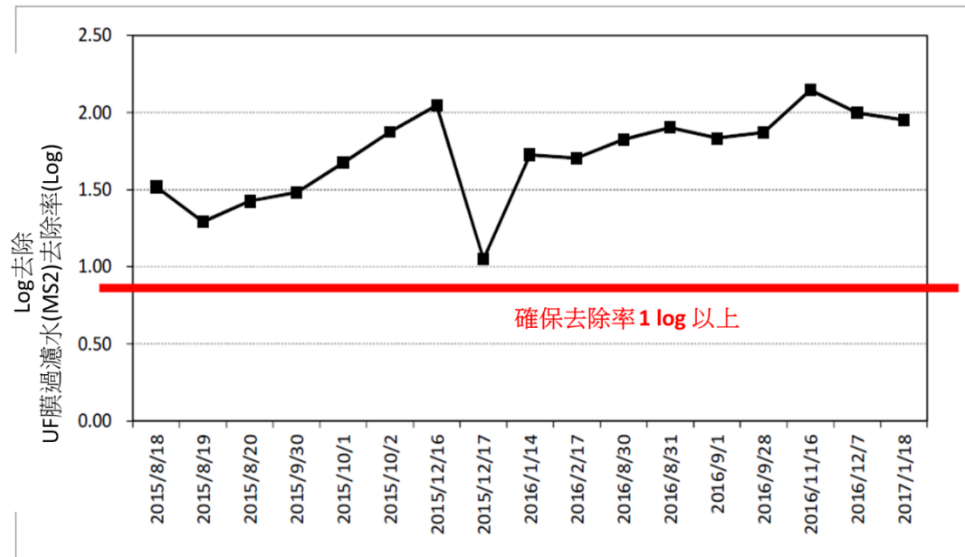


圖 1-5 UF 膜過濾模型病毒(MS2) log 去除率（驗證廠）

(1) 人類病毒等（野生株的病毒）去除率

在驗證廠和模組設施中，評估了對 F-RNA 噬菌體和 MS2 的去除率的結果如下。根據這些結果，即使對於 F-RNA 噬菌體，病毒的 log 去除效果也能夠達到 1 log 以上。

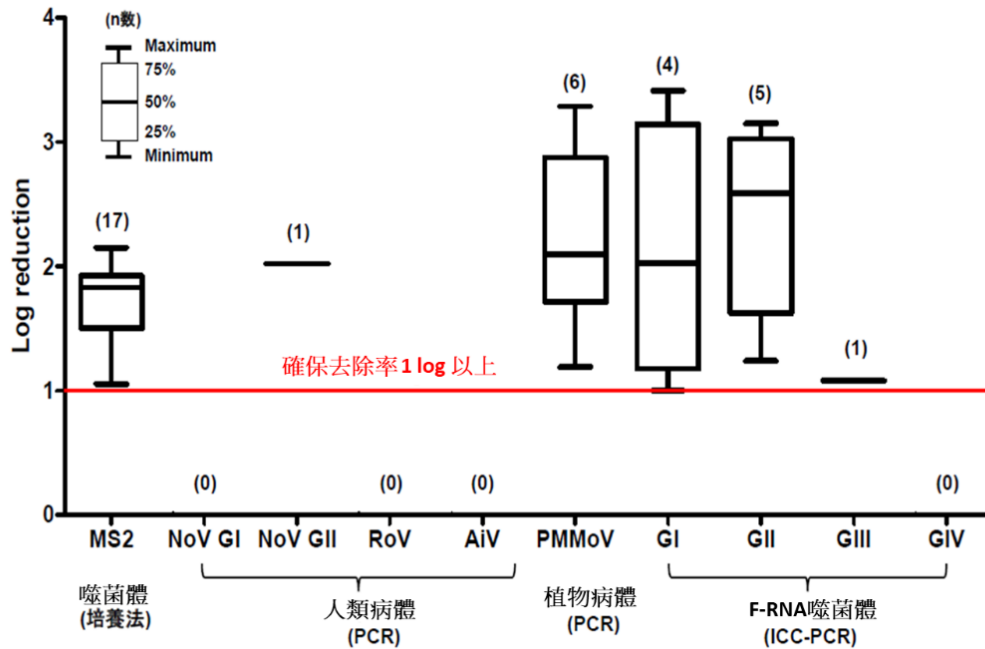


圖 1-6 UF 膜過濾的病毒 log 去除率（驗證廠和模組設施）

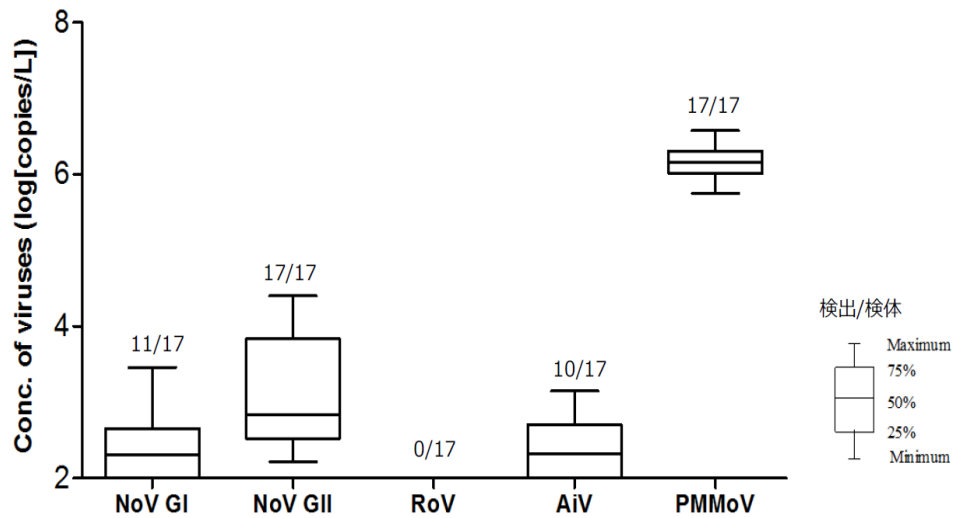


圖 1-7(1) 原水中人類病毒等的濃度 (log 濃度)

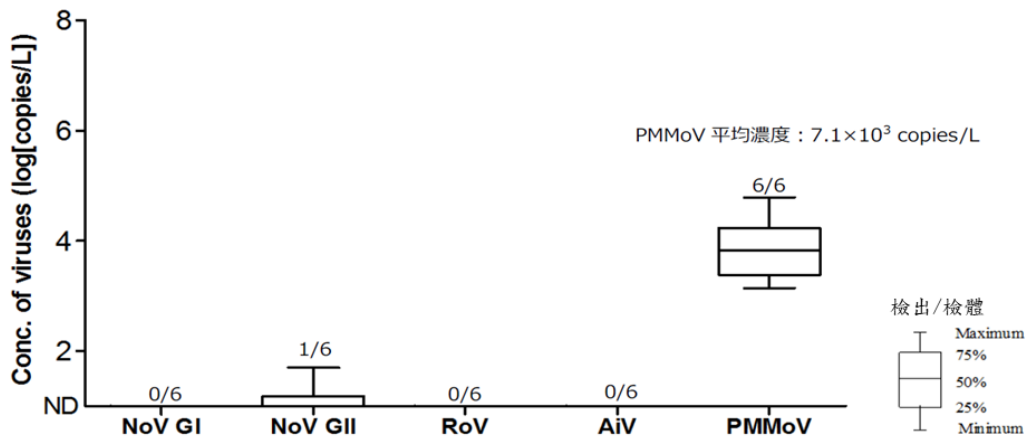


圖 1-7(2) UF 膜過濾水中人類病毒等的濃度 (log 濃度)

2. 整體系統病毒去除能力

(1) 模型病毒(MS2)去除能力

對於模型病毒(MS2)，整理了原水、UF 膜處理後和 UV 消毒後的殘餘濃度。結果如圖 1-8 和圖 1-9。去除率評估結果顯示，第三次 UV 平均達到 5.2 log 去除目標，第四次 UV 平均達到 5.2 log 去除目標，在各方面都取得了預期的成果。

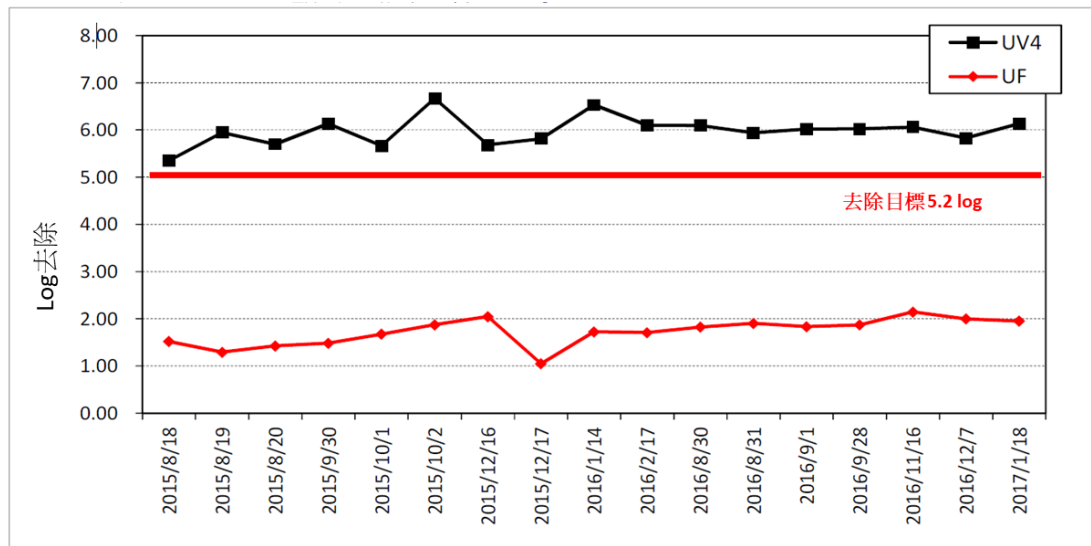


圖 1-8 模型病毒(MS2)log 去除率

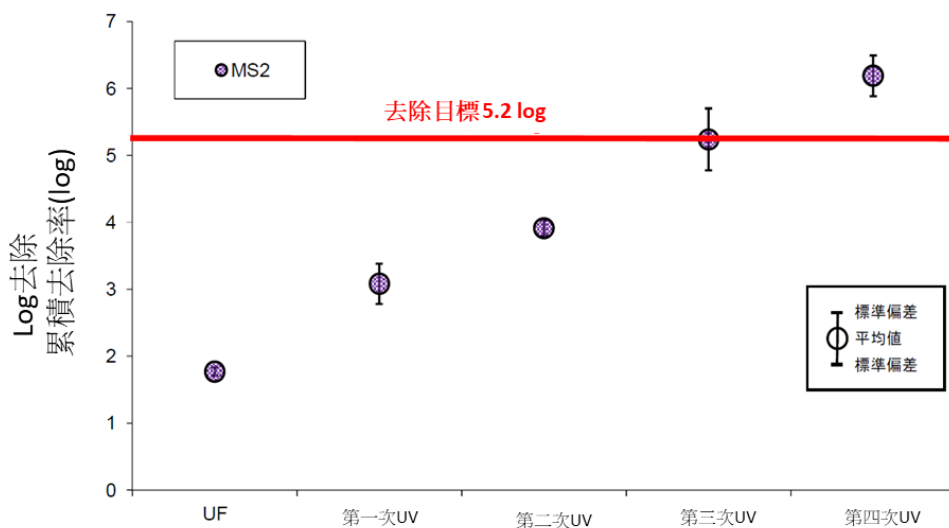


圖 1-9 模型病毒(MS2)log 去除率

(2) 驗證廠中的 F-RNA 噬菌體去除率

圖 1-10 顯示了使用 ICC-PCR 方法對 UF+UV 處理的每個階段的 F-RNA 噬菌體 GI 至 GIV 類型的濃度進行調查的結果。在原始 F-RNA 噬菌體 GI~GIV 型的存在濃度按照 GII、GI、GIII 的順序依次升高，而 GIV 的檢測下限以下。此外，在 UV4 的條件下進行處理後，F-RNA 噬菌體 GI~GIV 型的存在濃度全部低於檢測下限。UF+UV4 處理對 GI~GIV 型的 log 去除效果分別為 GI (4.7 log 以上)、GII (4.9 log 以上) 和 GIII (2.0 log 以上)。由此結果可見，即便在無法進行添加實驗的大型模組設施中，也有可能作為評估病毒去除效能的病毒測定手段。同時，確認該測定技術在消毒處理（如 UV 消毒）中 log 滅活評估上的應用可能性。

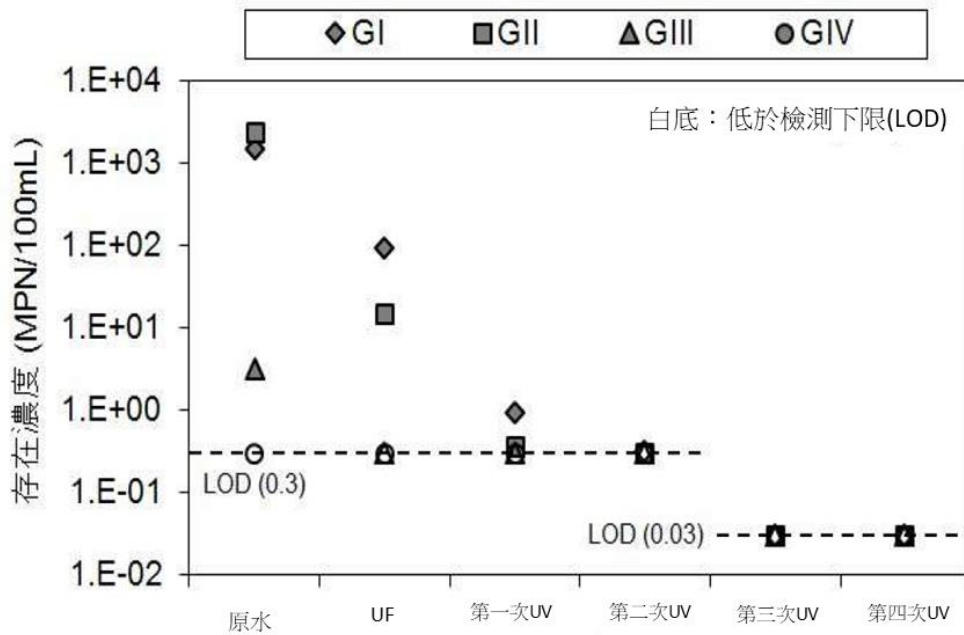


圖 1-10 ICC-PCR 法 F-RNA 噬菌體 GI 至 GIV 型調查結果 (2015 年)

使用 ICC-PCR 法評估 UF+UV 處理的每個階段對 F-RNA 噬菌體 GI~GIV 型的 log 去除率，結果如圖 1-11 所示。直到 UV 的第二次消毒之前，GI 和 GII 的病毒去除效能均可以進行評估，但在 UV 的第三次消毒後，僅可以評估 GI 的 log 去除率，而在 UV 的第四次消毒後，無法評估任何 log 去除率，無法確認達到 5.2 log 去除的目標。

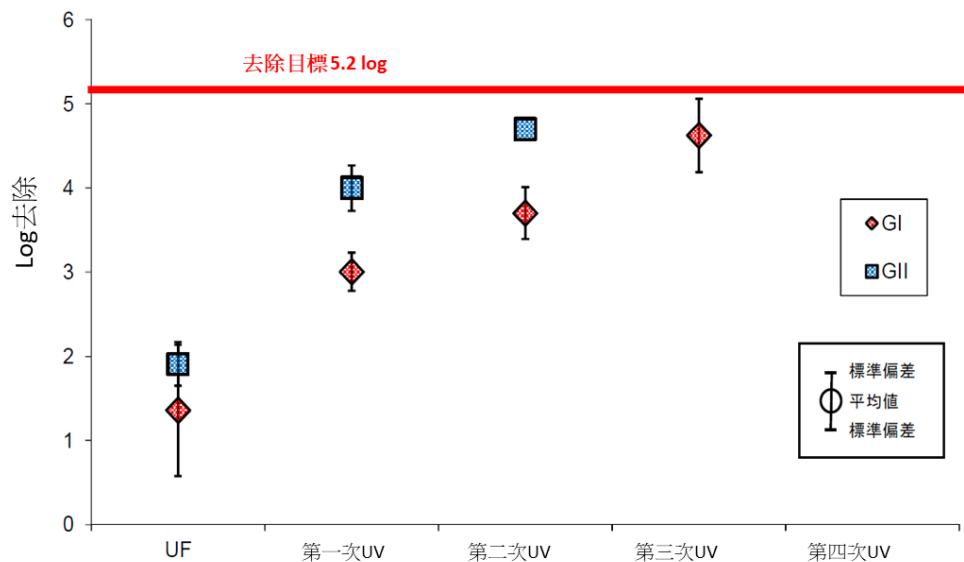


圖 1-11 UV 對 F-RNA 噬菌體的去除率 (第 3 次 UV 未檢測到 GII，第 4 次 UV 均未檢測到 GI 和 GII)

(3) 驗證廠中 MS2 與 F-RNA 噬菌體去除率比較

將上述 MS2 和 F-RNA 噬菌體的 log 去除效能進行比較。上圖中疊加了 MS2 的 log 失活效果數據。MS2 和 F-RNA 噬菌體 GI、GII 類型顯示出幾乎相同的趨勢，因此推測在原水中存在大量 F-RNA 噬菌體 GI、GII 的情況下，在 UV 的第四次消毒(UV4)，應能達到 5.2 log 的目標。

標去除效果。

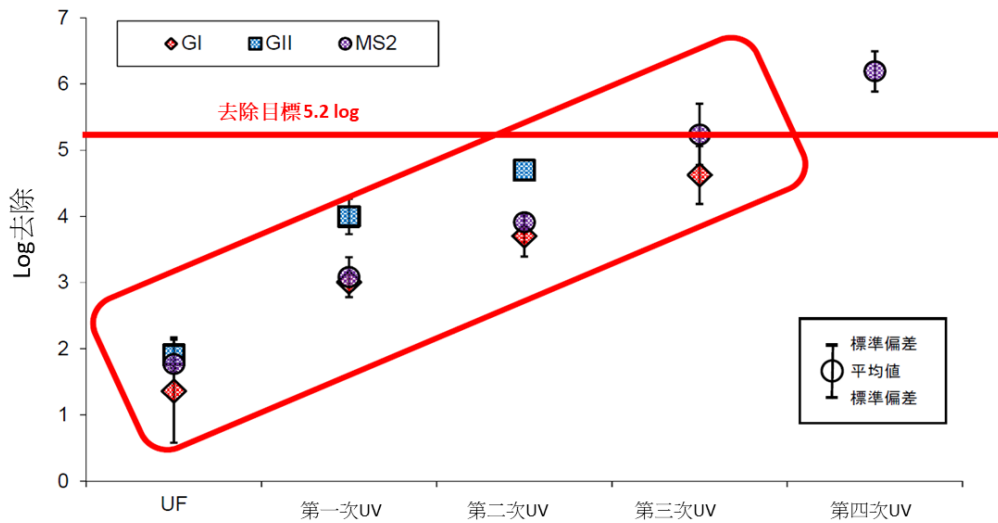


圖 1-12 UV 對 MS2 與 F-RNA 噬菌體的 log 失活效果比較

(4) 包含模組設施的病毒（F-RNA 噬菌體）去除率

在前面的評估中，由於 GIII 型的幾乎未被檢測到，因此在這裡的評估中，將以 GI 和 GII 型為對象進行評估。在模組施設中，通過 UF 膜過濾和 UV 消毒對 F-RNA 噬菌體各型的綜合去除效能類型進行評估，結果如圖 1-13 所示。同時，為了進行比較，該圖還顯示了驗證廠實驗的結果。由這個結果可以確認，對於 GI 型，儘管只有一個樣本，但已經實現了目標的 5.2 log 去除效果。同時，在驗證廠實驗中，MS2 的去除效能也達到了目標值 5.2 log，因此認為整個系統具有足夠達到 5.2 log 去除的性能。另外，圖 1-13 中的紅色圓圈(●)代表在再生水中無法檢測到病毒的存在(低於檢測下限)的數據，這表示如果將原水中的病毒全部去除，則去除效能將高於此處顯示的值。

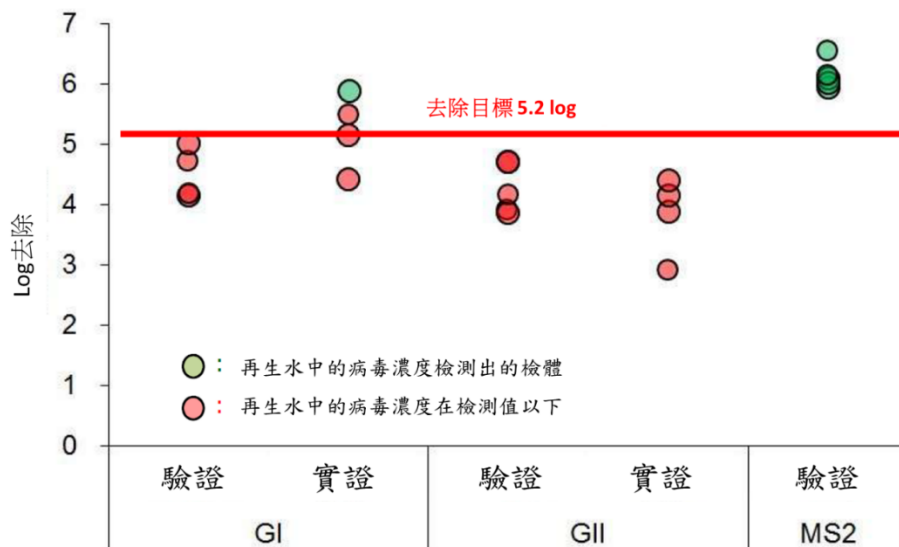


圖 1-13 本系統對各型 F-RNA 噬菌體 Log 去除率（UF 膜過濾+UV 消毒）

1.4 膜破裂檢測方法的驗證

1.4.1 人為膜破壞狀態的設定

在試驗廠中的膜模廠中故意引發膜破壞，並試圖檢測膜破裂的再利用性。膜破壞的情況分為破壞中空纖維（總共 1,000 根）為 0 根(0 %)、1 根(0.1 %)、3 根(0.3 %)、5 根(0.5 %)、10 根(1.0 %)的五種情況。此外，膜模廠包括使用 3 年的和全新的兩種情況。

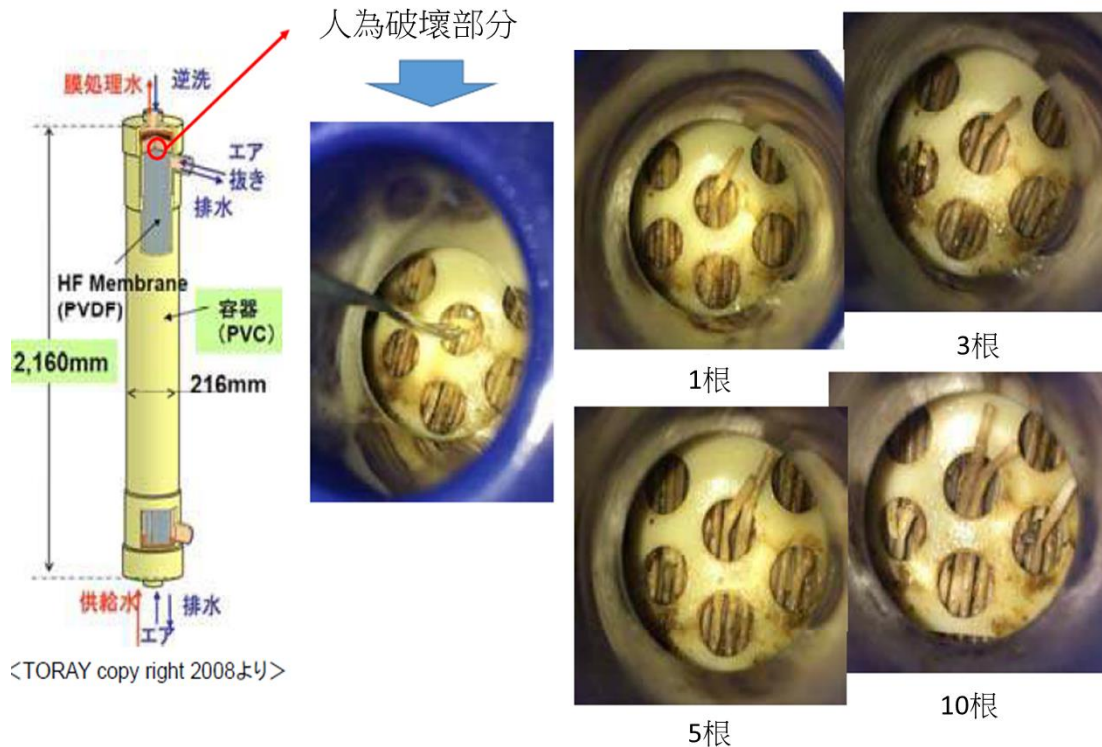


圖 1-14 人為膜破壞概述

1.4.2 利用高靈敏度濁度計進行膜破壞的檢測

由於再生水的用途，考慮到再生水被使用者誤飲而導致病毒攝取的可能性較高，因此需要更接近實時的膜破壞檢測。在此將評估高靈敏度濁度計檢測膜破壞的方法，以實現更接近實時的檢測。

高靈敏度濁度計的特點如下：

- 檢測極限：濁度 0.0001 NTU
- 可進行在線監測（遠程監視）

【實驗條件】

- 設定中空纖維膜模廠（總共 1,000 根）破壞狀況為 0 根(0 %)、1 根(0.1 %)、3 根(0.3 %)、5 根(0.5 %)、10 根(1.0 %)的五種情況。

【測定項目】

- 壓力衰減（透過壓力衰減試驗確認膜破壞的情況）

➤ 濁度（使用高靈敏度濁度計進行測量）

在進行高靈敏度濁度計檢測評估之前，使用目標膜模廠進行了壓力衰減試驗以確認膜破壞的情況。結果顯示，即使只有一根膜破壞，壓力也有所減少。

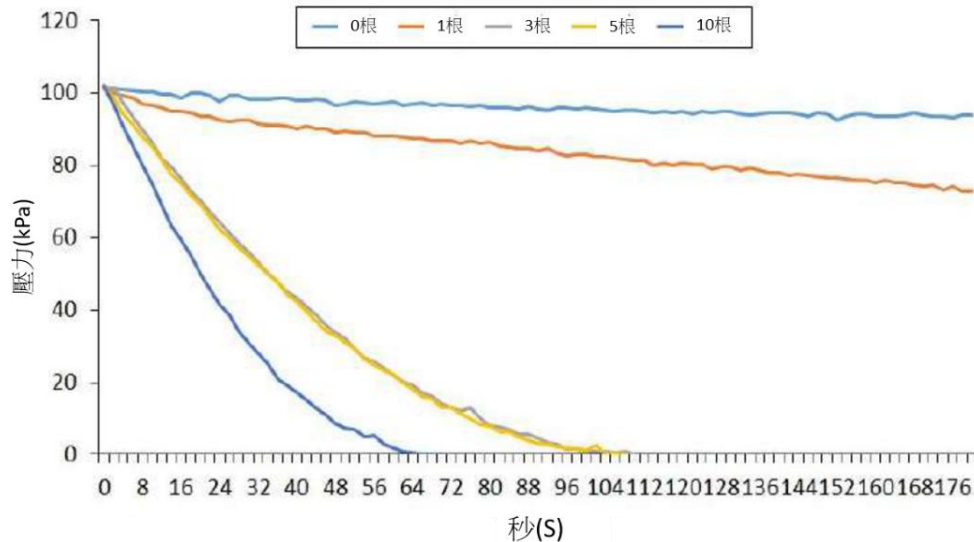


圖 1-15 膜破裂狀態確認

高靈敏度濁度計的測定是在停機狀態下，將破損的膜模廠安裝在驗證廠中，從啟動 UF 膜過濾的供水系時開始測定，並持續運轉約 30 分鐘。高靈敏度濁度計的測定結果顯示在停機狀態轉為膜過濾開始時，濁度達到了峰值。隨著運轉的繼續，出現了一些小的波峰，約 15 分鐘後濁度趨於穩定。在一個膜破裂的情況下，濁度約為正常情況的 5~20 倍，且存在明顯的差異，因此判斷可以檢測到單一膜(0.1%)的破裂。

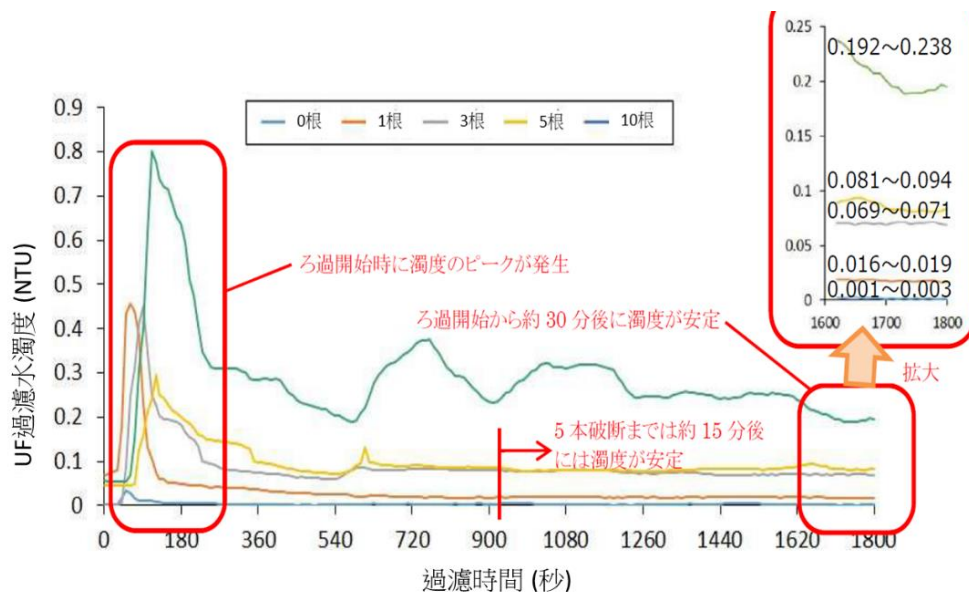


圖 1-16 利用高靈敏度濁度計進行膜破壞檢測

從圖 1-16 的結果來看，在單個膜破裂的情況下，檢測到的濁度值超過了正常範圍(0.001~0.003)的最大值的 5 倍以上，因此判斷應該設置基準值，如表 1-17 所示。

表 1-17 濁度檢測測概要

方法	檢測基準	頻率
使用超高靈敏度濁度計進行測量 (解析度：0.0001 NTU)	正常值的 3-4 倍	每天至少一次 (不進行反沖洗時)

在啟動時濁度上升的原因可能是由於膜表面的附著物或停機時生長的細菌的剝離，因此在模組設施進行了啟動時大腸桿菌測定。

1.4.3 透過測量大腸桿菌檢測膜破裂

如前所述，由於壓力減少試驗需要部分停機，因此每年約進行一次。因此，需要更頻繁地檢測膜破裂的方法。膜破裂對大腸桿菌的影響評估結果如圖 1-17 所示，正常情況下不會檢測到大腸桿菌，但發生單根膜的破裂時，就會檢測到大腸桿菌。因此，可透過定期檢測大腸桿菌，檢測膜是否有破裂。

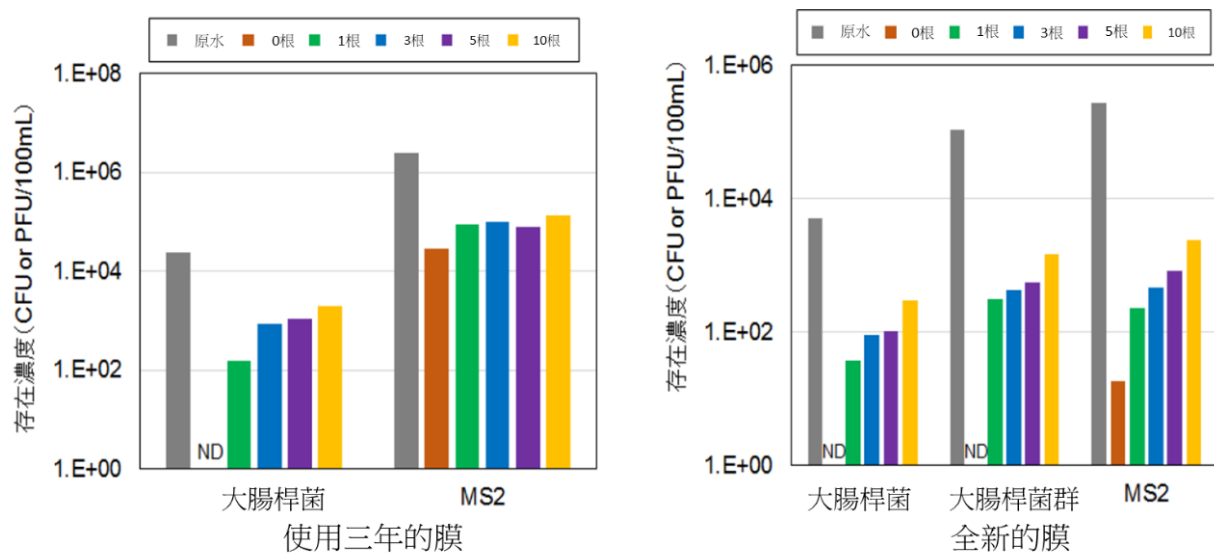


圖 1-17 破膜時大腸桿菌等存在濃度

以大腸桿菌測定為基礎的 UF 膜破裂管理標準，建議制定如下：

表 1-18 大腸桿菌檢測概要

項目	檢測基準	頻率
大腸桿菌分析	可檢出	精密測試時(原則上每月兩次)或濁度異常時

1.4.4 以壓力衰減測試 (PDT, Pressure Decay Test) 檢測膜破裂

1. 使用壓力衰減測試進行膜破裂檢測的實驗概述

圖 1-18 顯示了壓力衰減測試的方法。對膜模廠進行 100kPa 的空氣加壓測試，觀察一段時間後的壓力衰減來檢測膜的破裂。

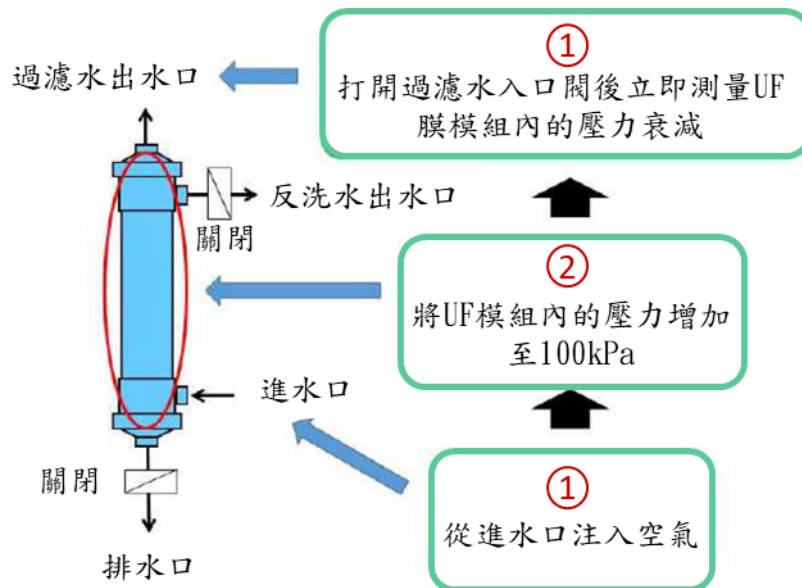


圖 18 使用壓力衰減測試進行膜破裂檢測概述

2. 壓力衰減試驗膜破裂檢測方法研究結果

對於使用 3 年的膜（位於沖繩縣糸滿市）和新膜（位於滋賀縣大津市），確認了膜破裂及其規模對壓力減少的影響。結果顯示，在所有膜破裂的情況下（1 到 10 支中的任意支），都能夠確認由於破裂程度引起的壓力減少。因此證實壓力減少測試可以有效地檢測膜破裂及其程度。

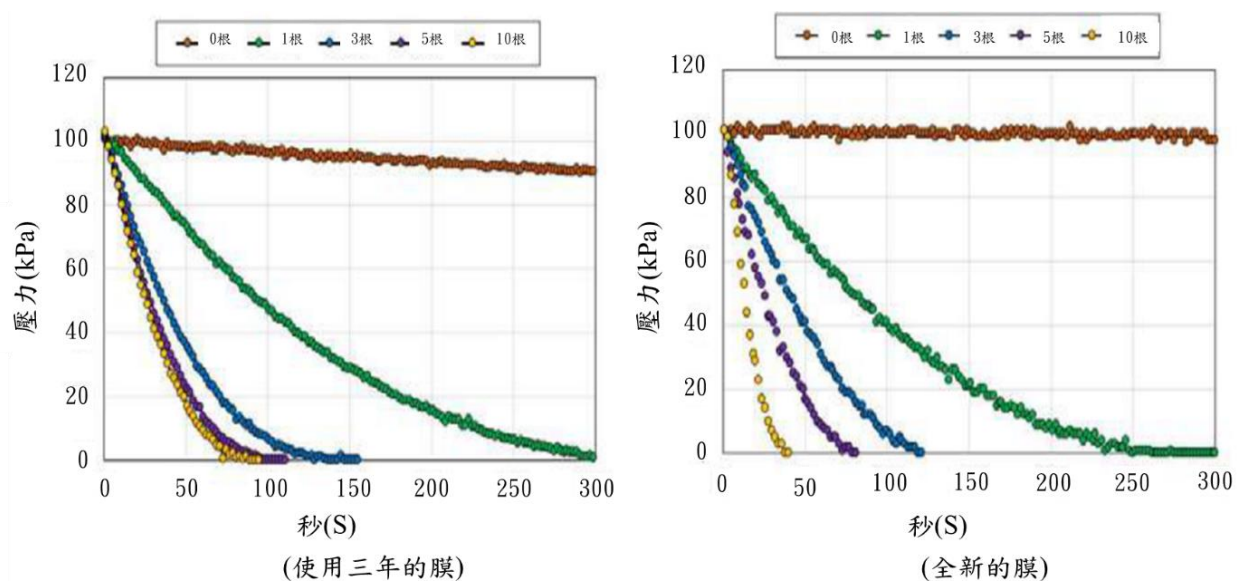


圖 1-19 壓力衰減試驗結果（使用 3 年的膜）

表 1-19 壓力衰減試驗的結果

膜斷裂數量	使用 3 年的膜	新膜
0 根	0.03 KPa/sec	0.01 KPa/sec
1 根	0.32 KPa/sec	0.38 KPa/sec
3 根	0.66 KPa/sec	0.83 KPa/sec
5 根	0.94 KPa/sec	1.25 KPa/sec
10 根	1.10 KPa/sec	2.53 KPa/sec

參考表 1-19 的壓力衰減測試結果，在此提出以下的 UF 膜破裂管理標準（草案）：

表 1-20 壓力衰減測試監控概要

項目	檢知基準	頻率
壓力衰檢試驗	5 分鐘後降低至 20%	1 次/月或檢測到大腸桿菌時

1.5 紫外線消毒的病毒去除效果的驗證

1.5.1 紫外線消毒的病毒去除目標

對於模型病毒(MS2)，原水、UF 膜處理後和 UV 消毒後的濃度，整理結果如圖 1-20 所示。從這些結果來看，UF 膜過濾的病毒去除可以確保達到 1 log 或以上，UV 消毒的病毒去除目標為 5.2 log 並為整個系統的目標去除效果，因此設定為 4.2 log 以上。

UF 膜過濾的病毒去除率：1 log 或以上

UV 消毒的病毒失活化效果：4.2 log 或以上

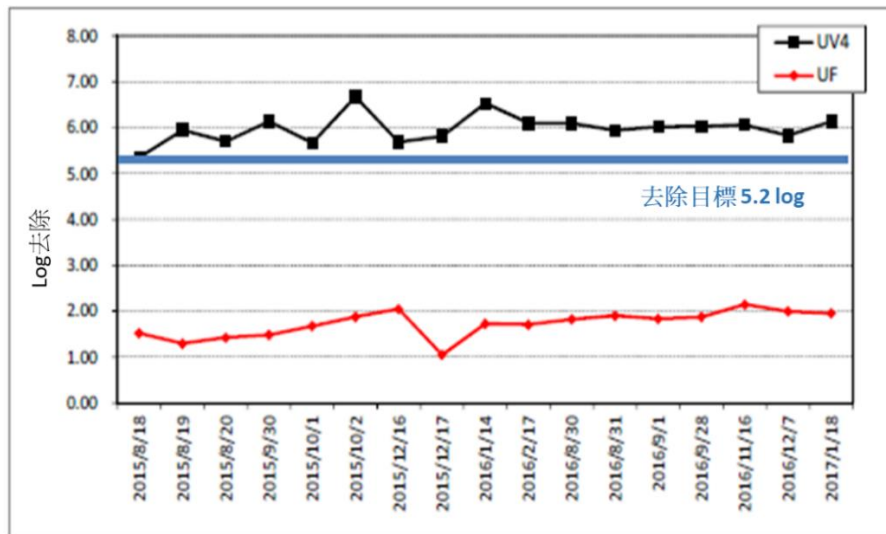


圖 1-20 模型病毒(MS2)在試驗廠中的 log 去除率 (UF 膜過濾和整個系統)

另外，如圖 1-21 所示，UF 膜過濾和 UV 消毒系統的病毒去除效能，在試驗廠的第三次 UV 平均達到了 5.2log 的目標去除效果，而在第四次 UV 的所有條件下都達到此目標。

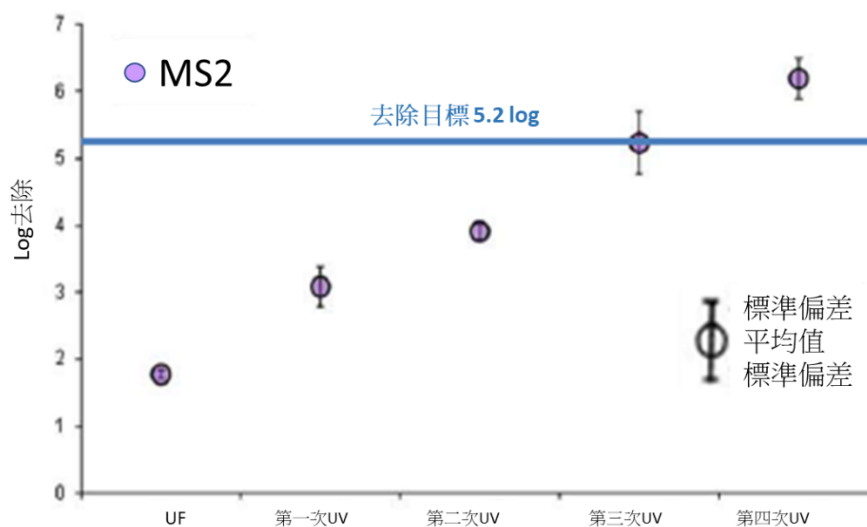


圖 1-21 在試驗性廠中的模型病毒(MS2)的 log 去除效能 (每個 UV 通過數)

1.5.2 在模組廠中驗證病毒去除效果

1. 模組廠的操作條件（燈管輸出）

在模組廠中，保持處理量不變，將 UV 裝置的操作條件(燈管輸出)設定為 3 個情況 (RUN1~3)，以驗證該操作條件下的病毒去除效果。

表 1-21 模組廠的操作條件

	流量	UV 穿透率	運作燈管數	設定燈管輸出	合計燈管輸出*
第一次	1,083m ³ /日	78.9 %	16 支	62 %	62.0 %
第二次	1,083m ³ /日	73.6 %	8 支	90 %	45.0 %
第三次	1,083m ³ /日	73.6 %	8 支	67 %	33.5 %

*總燈管輸出表示模組廠的 UV 裝置以 100 %能力運轉的比例。

模組廠 UV 裝置的 100 %能力：運作燈管數 16 支×設定燈管輸出 100 %

⇒運轉燈管數 8 支×設定燈管輸出 90 %的情況下，

總燈管輸出＝燈管數 8 支/16 支×燈管輸出 0.9＝0.45 → 45 %

2. 模組廠病毒去除效能

於 2017 年 1 月 25 日，在上述每次 RUN 的操作條件下，進行了 UV 消毒裝置的病毒去除效能的驗證。結果如下所示。

表 1-22 模組廠中的病毒 log 去除效果（F-RNA 噬菌體）

	去除率（性能目標：4.2log 去除）			
	GI	GII	GIII	GIV
第一次	4.49	4.70	2.26	原水中沒有檢出
第二次	3.65	4.70	3.16	原水中沒有檢出
第三次	2.59	4.03	3.16	原水中沒有檢出

*表中的陰影部分表示經 UV 消毒後的水（即再生水）中的病毒（F-RNA 噬菌體）定量結果低於檢測下限(N.D.)，因此實際上可能比此數值有更高的去除效能。

由上述結果可得知，考慮到模組廠的 UV 消毒裝置為實現 4.2log 的病毒去除率目標，保持總燈管輸出為 62 %就足以確保足夠的安全度（根據第一次的操作條件和結果）。此外，燈管輸出與病毒失活程度之間存在著良好的相關性，並且透過 UV 消毒裝置的自動調光功能，可以控制燈管輸出，同時確保所需的性能，也可以實現能源消耗的最佳化。

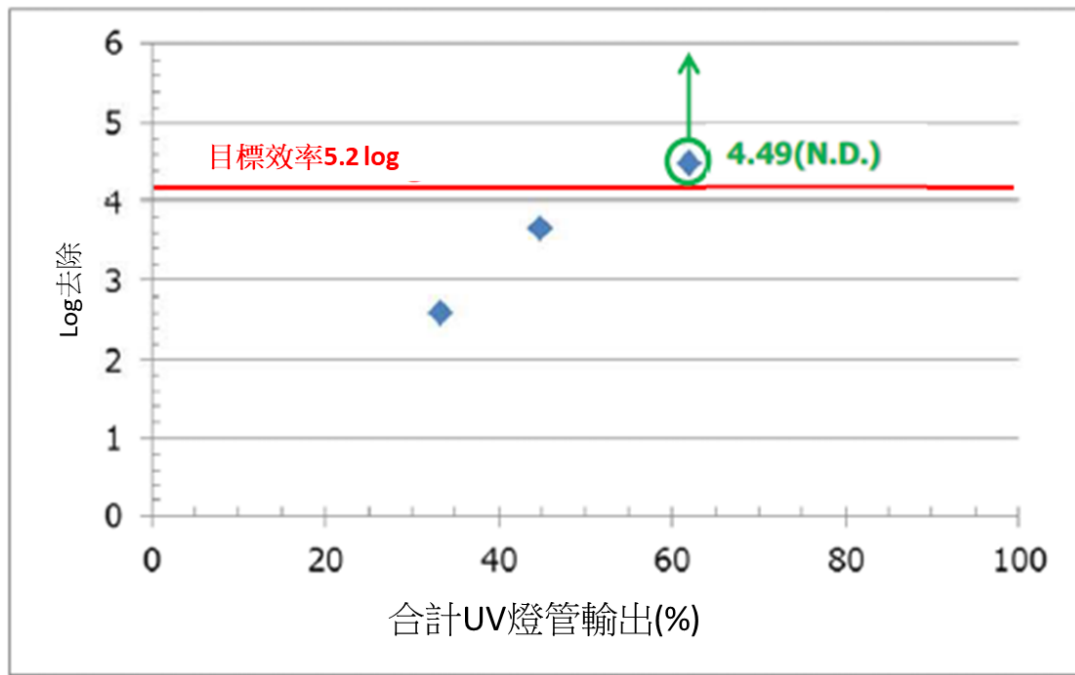


圖 1-22 在模組廠中的燈管輸出與 GI 型病毒 log 失活

3. 模組廠 UV 消毒裝置性能的一般化

在 UV 消毒裝置的設計中，紫外線照射量(mJ/cm^2)是基本參數。在模廠研究中，使用可對水中顆粒行為進行分析的 P-CFD，來探討病毒失活程度與裝置的紫外線照射量之間的關係。然而，由於數據有限等原因，尚未能對模廠研究進行一般化(請參閱資料編第八章)。因此，在第 4 章第 4 節中提到的標準設計方法的基礎上，我們使用在模組廠中獲得的 GI 型噬菌體失活實測值，來考慮本系統 UV 消毒裝置所需的紫外線照射量。

○ 考慮條件

- 裝置的紫外線強度： $11.0 \text{ mW}/\text{cm}^2$
- 保護管的污垢係數：0.95
- 燈管的老化係數：0.98
- 設計紫外線強度： $11.0 \text{ mW}/\text{cm}^2 \times 0.95 \times 0.98 = 10.2 \text{ mW}/\text{cm}^2$
- 燈管的有效容積：14.3 L/支
- UV 消毒裝置實際處理水量：過濾供水量($1,083 \text{ m}^3/\text{日}$) $\div$ 實際過濾時間 (20.25 小時) = $53.49 \text{ m}^3/\text{小時} \rightarrow 1,284 \text{ m}^3/\text{日}$

○ 結果

基於上述條件，針對 RUN1 至 RUN3 的每個操作條件，計算每支燈管的處理水量和照射時間，並從中計算得到紫外線照射量。此外，為了考慮結果的合理性，將模廠研究中的病毒去除率評估指標，即美國 EPA UV 消毒手冊中所示的 MS2 病毒失活測定結果進行比對。

表 1-23 模組的操作條件與病毒去除效果 (F-RNA 噬菌體)

RUN	實際 處理 水量	試驗條件				燈管一支規格			GIlog 失活
		運作 數量	設定 輸出	合計輸 出比	相當 數量	處理 水量	照射 時間	紫外線 照射量	Log
	m ³ /日	支	%	-	支	m ³ /日	秒	mJ/cm ²	
第一次	1,284	16	62	0.620	9	142	8.7	88.7	4.49
第二次	1,284	8	90	0.450	7	183	6.7	68.3	3.65
第三次	1,284	8	67	0.335	5	256	4.8	49.0	2.59

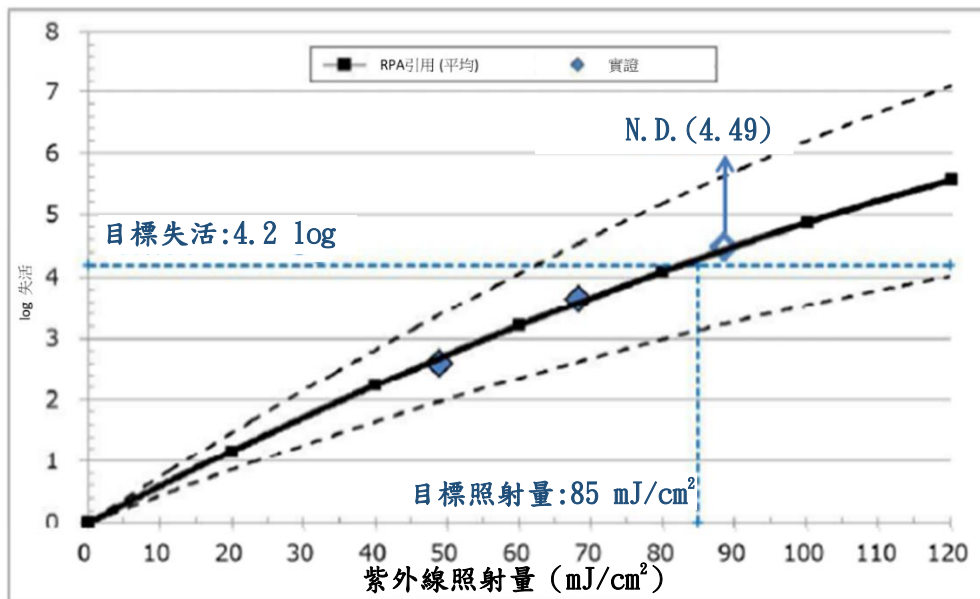


圖 1-23 在模組廠中的紫外線照射量和 GI 型病毒的 log 失活率

根據上述結果，模組廠中的 GI 型噬菌體失活實測結果與 EPA 手冊中的數據之間存在著良好的相關性。此外，RUN1 的測定結果（圖中白色空心菱形）為 N.D.（未檢出），因此可以推定實際的失活效果可能比此更高，因此本模廠結果整體上被認為比 EPA 手冊的數據更為保守。基於以上考慮，為確保系統的病毒去除率(5.2log)，將 UV 消毒裝置的病毒 log 去除目標設為 4.2log 是合理的。因此，適用於 UV 消毒裝置的紫外線照射量為 85 mJ/cm²。此外，根據本模廠結果，模組廠所使用的 UV 消毒裝置每支燈管的處理水量為以下數值。由於目標紫外線照射量為 85mJ/cm²，每支燈管所需的照射時間為：

必要照射時間（秒）

＝目標紫外線照射量(mJ/cm²)÷ 模組廠 UV 裝置的設計紫外線強度(mW/cm²)

＝85÷10.2＝8.34 秒以上

模組廠 UV 裝置每支燈管的有效容積為 14.3L，因此確保照射時間為 8.34 秒的處理水量為：

每支燈管的處理水量(m³/日/支)

＝有效容積(L/支)÷ 照射時間(秒)×1/1,000×86,400

＝14.3÷8.34×1/1,000×86,400＝148 m³/日/支以下

第二章 容量計算和成本計算的示例

2.1 容量計算例

2.2.1 系統設計條件

1. 系統設計條件

本示例的設計條件如下

- 再生水量 10,000 m³/日
- 運轉時間 24 小時/日

2. 系統的基本流程

本系統的基本流程如下

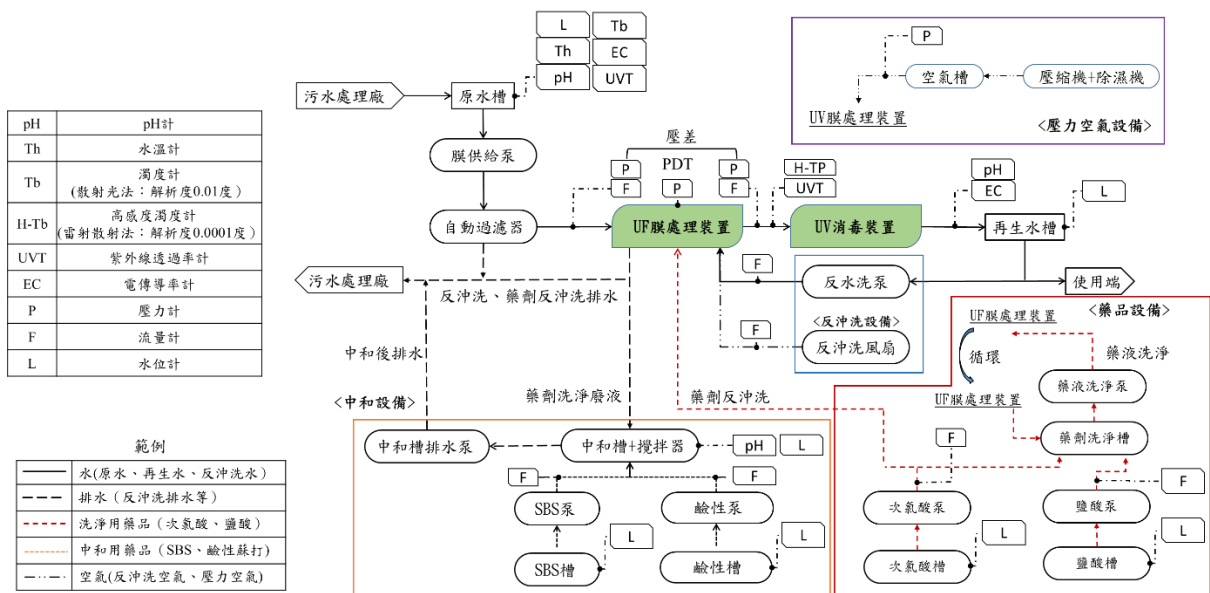


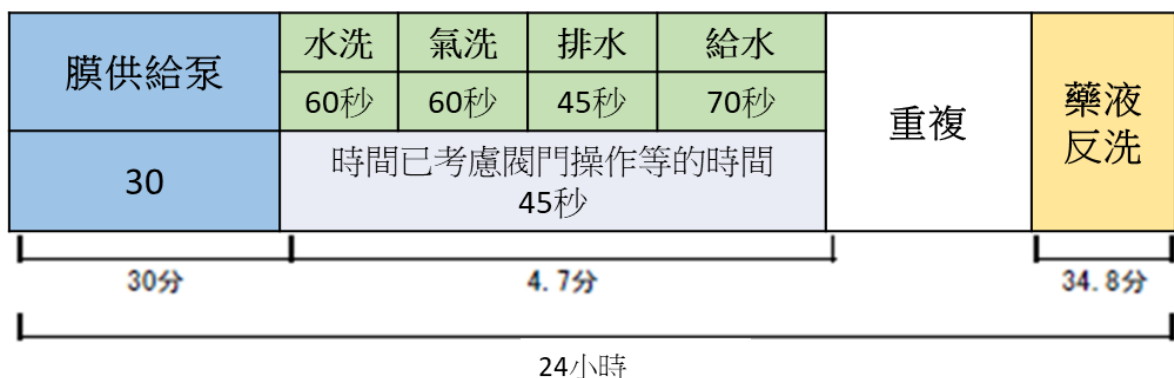
圖 2-1 系統的基本流程

2.1.2 UF 膜處理裝置

1. UF 膜處理裝置的運轉週期

UF 膜處理裝置的運轉週期以及每個過程的設定時間的標準如下。對於化學清洗，無論一天的運轉時間如何，都應以每天 1 次的頻率進行。

(1) 基本運轉週期



(2) 化學清洗

排水	水+次氯酸鈉	浸泡	氣洗	排水	水洗	氣洗	排水	水洗	氣洗	排水	給水
45秒	115秒	20分	60秒	45秒	80秒	60秒	45秒	80秒	60秒	45秒	70秒
時間已考慮閥門操作等的時間											
180秒											
34.8分											

(3) 各程序的標準設定時間

表 2-1 UF 膜處理裝置各程序的運轉時間設定

區分	程序	項目	單位	規格	備註
過濾運轉	過濾	持續時間	分/次	30	
正常反洗	水清洗	持續時間	秒/次	6	
		重複次數	次/次	1	
	氣洗	持續時間	秒/次	60	
		重複次數	次/次	1	
	排水	持續時間	秒/次	45	
		重複次數	次/次	1	
	給水	持續時間	秒/次	70	
		重複次數	次/次	1	
	操作損失	時間	秒/次	45	閥操作時間等
	1 工程的總持續時間		分/次	4.7	
化學清洗	水、次氯酸清洗	持續時間	秒/次	115	
		重複次數	次/次	1	
	浸漬	持續時間	秒/次	20	
		重複次數	次/次	1	
	氣洗	持續時間	秒/次	60	
		重複次數	次/次	3	
	水清洗	持續時間	秒/次	80	沖洗
		重複次數	次/次	2	
	排水	持續時間	秒/次	45	
		重複次數	次/次	4	
	給水	持續時間	秒/次	70	
		重複次數	次/次	1	
	操作損失	時間	秒/次	180	閥操作時間等
	1 工程的總持續時間		分/次	34.8	

2. UF 膜處理裝置的必要能力

UF 膜處理裝置會產生反洗水和清洗排水等的損失，為了獲得特定的再生水量，必須處理包含損失等部分的原水。因此，根據前述的運轉時間，來確定所需的處理能力。

3. 全體的水量平衡

綜上所述，本案例中整體的水收支平衡如下。

表 2-2 本案例之水收支平衡

項目		水量 $\text{m}^3/\text{日}$	備註
供給水量【Q0】		10,844	Q1+Q4
過濾水量【Q1】		10,429	
再生水量【Q2】		10,000	
清洗水量【Q3】	常規反洗	384	
	化學清洗	45	
	合計	429	
給水量【Q4】	常規反洗	405	
	化學清洗	10	
	合計	415	
排水量【Q5】	清洗階段	429	
	給水階段	415	
	合計	844	

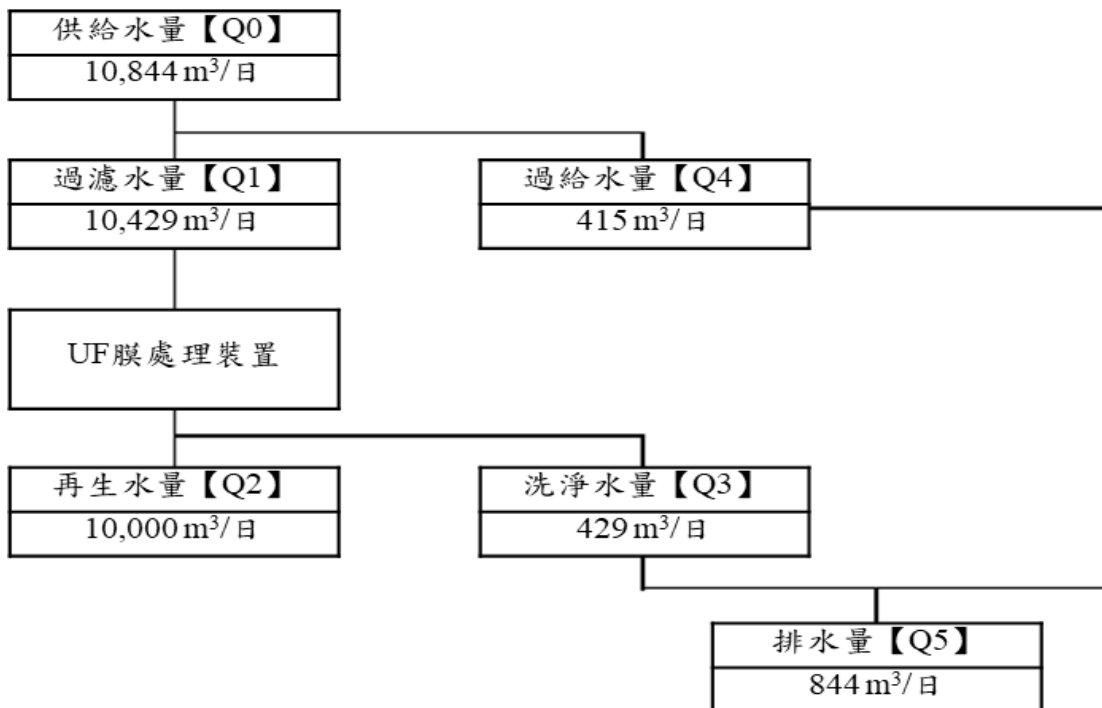


圖 2-2 本圖案例水量平衡

2.1.3 紫外線消毒裝置

根據模組研究的結果，考慮到使用在本系統中的 UV 消毒裝置，其基本參數如表 2-3 所示。

表 2-3 紫外線消毒裝置的基本規格

項目	規格	備註
目標病毒失活率	4.2 log	
必要紫外線照射量	85mJ/cm ² 以上	
原水條件	紫外線透過率 70%	
	水溫 10°C	

2.1.4 系統構成清單

整個系統的構成如下

表 2-4 系統的設施清單

區分	名稱	主要尺寸
土木	機械室	19.5 mW × 32.5 mL × 4.0 mH (2,535.0 m ³)
	UV 消毒水路	0.7 mW × 11.5 mL × 1.2 mH (9.7 m ³)
	再生水槽	6.0 mW × 6.0 mL × 2.0 mH (72.0 m ³)
建築	UF 膜處理設備棟	19.5 mW × 32.5 mL × 5 mH (633.8 m ³)

*土木結構採用 RC，UF 膜處理設備棟採用鋼構預製(扁平基礎，無樁)為假設。

表 2-5 系統設備清單

區分	設備名稱	規格	數量
UF 膜過濾設備	膜供水泵	橫軸離心泵(VVVF)φ100×2.14 m ³ /分×25 m×15 kw	5 台
	保安過濾器	自動濾網 2.14 m ³ /分×400 μm×0.2 kw	5 台
	UF 膜過濾裝置	壓力全量過濾方式、PVDF 膜、分子量 150,000 (孔徑：0.01μm) 膜面積 72 m ² /模廠×36 模廠/系列 *合計膜模廠數量：180 支 (配件等) 膜處理裝置控制盤室內 (1 面)	5 系列
	反洗泵	橫軸離心泵(VVVF)φ100×1.89 m ³ /分×25 m×15 kw	2 台
	反洗鼓風機	鼓風機 φ65×3.6 m ³ /分×30 kPa×3.7 kw	2 台
	次氯酸加藥機	隔膜泵 6.54 L/分×0.7 mPa×0.4 kw	2 台
	次氯酸貯槽	PE 製槽體 1m ³	1 個
	鹽酸加藥機	隔膜泵 6.54 L/分×10 m×0.4 kw	2 台
	鹽酸貯槽	PE 製槽體 0.2 m ³	1 個
	SBS 加藥機	隔膜泵 6.54 L/分×10 m×0.4 kw	2 台
	SBS 貯槽	PE 製槽體 0.3 m ³	1 個
	氫氧化鈉加藥機	隔膜泵 6.54 L/分×10 m×0.4 kw	2 台
	氫氧化鈉貯槽	PE 製槽體 0.2 m ³	1 個
	藥液清洗泵	耐腐蝕磁力泵 1.8 m ³ /分×20 m×11 kw	2 台
	藥液清洗槽	PE 製槽體 3 m ³	1 個
	中性槽排水泵	耐腐蝕泵 134 L/分×10 m×1.5 kw	2 台

區分	設備名稱	規格	數量
	中性槽	PE 製槽體 4 m ³ ×1.5 kW	1 個
	壓縮機	封裝式 240 NL/分×0.93 mPa×2.2 kw	2 台
	空氣槽	立式圓筒型 500 L	1 個
UV 消毒設備	UV 消毒裝置	明渠式(1 通道)，具備自動控光功能及自動清洗裝置 6 支/組×5 個/單元×4 個單元/系列(1 個備用單元) *燈總數：120(含備用燈) (配件等) 膜處理設備控制面板室內獨立式(1 面)	1 系列

表 2-6 系統電氣設備清單

區分	名稱	樣式	數量
操作設備	膜供應設備 現場操作面板	屋內獨立型	5 面
	反沖洗設備 現場操作面板	屋內獨立型	1 面
	化學設備 現場操作面板	屋內獨立型	1 面
	中和設備 現場操作面板	屋內獨立型	1 面
儀表裝置設備	原水濁度計	紅外光散射式，具有清洗功能	1 台
	原水 pH 計	玻璃電極式	1 台
	原水溫度計	熱電偶型	1 台
	原水 EC 計	交流 4 電極式	1 台
	原水 UVT 計	吸收光譜式	1 台
	膜過濾水 高靈敏度濁度計	雷射散射光型	1 台
	膜過濾水 UVT 計	吸收光譜式	1 台
	再生水 pH 計	玻璃電極式	1 台
	再生水 EC 計	交流 4 電極式	1 台
	膜過濾設備一次側 壓力計	隔膜式	5 台
	膜過濾設備 二次側壓力計	隔膜式	5 台
	膜過濾設備壓力衰 減試驗用壓力計	隔膜式	1 台
	流量計	電磁流量計	6 台
	流量計(目視型)	浮球式流量計、孔板式流量計等 (反洗水、反洗空氣、清洗用藥品、中和用藥品)	6 台
	槽體類水位計	超音波式、浮球式等	7 台

2.1.5 建設費

本系統的建设相關費用如下。

表 2-7 土木建築費

區分	計算方法	建設費（百萬日圓）	備註
土木	空 $\text{m}^3 \times 30,000$ 日圓/ m^3 計算	78.50	
建築	建 $\text{m}^2 \times 250,000$ 日圓/ m^2 計算	158.45	
合計	-	236.95	

表 2-8 機械設備費

區分	計算方法	建設費（百萬日圓）	備註
UF 膜處理裝置	按研究機構的累積	320.40	含附屬設備
UV 消毒裝置	按研究機構的累積	180.00	含附屬設備
周邊機器	按研究機構的累積	85.16	
設備安裝費	機械費的 30 %	175.66	
合計	-	761.22	

表 2-9 電氣設備費

區分	計算方法	建設費（百萬日圓）	備註
機器費	按研究機構的累積	62.50	控制面板/儀表
施工費	機械費的 70 %	43.70	
合計	-	106.20	

2.2 維護管理費計算例

2.2.1 電費

電費的計算條件如下。

表 2-10 電費計算條件

區分	項目		單位	設定值	備註
UV 以外	馬達負荷率		%	80	
UV 裝置	原水條件	紫外線透過率	%	78.0	
		水溫	°C	30.0	
	無自動調光燈輸出		%	100.0	案例 1
	自動調光燈輸出		%	86.5	案例 2
共通	電費單價		日圓/kWh	15	

2.2.2 藥品使用量的設定

根據模廠研究的結果，系統所需的藥品的量如下。

表 2-11 藥品使用量的設定

區分	藥品名	性狀	使用量（每 1m ³ 的再生水）
化學清洗	次氯酸鈉	12 %溶液	4.84 kg/1000 m ³ → 4.840 g/m ³
藥液清洗	次氯酸鈉	12 %溶液	30.0 kg/年 → 0.083 g/m ³
	鹽酸	35 %溶液	13.0 kg/年 → 0.036 g/m ³
	SBS	34 %溶液	29.0 kg/年 → 0.080 g/m ³
	氫氧化鈉	25 %溶液	24.0 kg/年 → 0.066 g/m ³

*SBS 是指用於中和次氯酸鹽的「亞硫酸氫鈉」

2.2.3 耗品費

此系統所需的耗材如下

- UF 膜處理裝置膜組件：1 次/7 年
- UV 消毒裝置：1 次/12,000 小時

1. 膜模組更換費用

膜模組的更換費用為 800 千日圓/支。

膜更換費用 = (800 千日圓/支 × 180 支) / 7 年 = 20.57 百萬日圓/年

2. UV 燈更換費用

UV 燈更換費用為 50 千日圓/支。

UV 燈更換費用 = (50 千日圓/支 × 90 支) / (12,000 小時/8,760 小時/年)

= 3.29 百萬日圓/年。

3. 合計消耗品費用

綜上所述，系統的消耗品費用的合計為：

消耗品費=20.57 百萬日圓/年 + 3.29 百萬日圓/年=23.86 百萬日圓/年

2.2.4 維修費

除膜處理設備、紫外線殺菌設備等需定期更換耗材的設備，維修費用以每年設備成本的3%計算。

膜處理設備、紫外線殺菌設備以外的機器費 85.16 百萬日圓

電氣設備的機器費 62.50 百萬日圓

補修費=147.66 × 3%/年= 4.43 百萬日圓/年

2.2.5 污泥處理費

1. 計算條件

進流水 SS 濃度為 3.0 mg/L，為模廠研究期間的平均濃度，其他條件與常規技術的計算條件相同。

表 2-12 污泥處理費計算條件

項目	單位	設定值
流入 SS 濃度	mg/L	3.0
掩埋處置單價	日圓/噸	16,000
脫水污泥含水率	%	80

2. 計算結果

根據計算條件計算污泥生成量，並使用「生物固體利用基本計畫制定手冊」(平成 16 年)中的費用係數計算污泥濃縮費用和污泥脫水費用。污泥處置費用則是根據處置單價計算。以下是用於計算的費用係數。

表 2-13 污泥處理費的計算之費用係數

項目	費用係數	備註
污泥濃縮費	$0.030 \times Qd^{0.628}$	Qd:產生污泥量的 1%濃度換算值 (m ³ /日)
污泥脫水費	$0.039 \times Qy^{0.596}$	Qy:年污泥量 1%濃度換算值 (m ³ /年)

由本系統產生的污泥主要來自反洗時的排水中的固體物質。另外，根據模廠研究的結果，未檢測到（低於檢測下限）再生水中的 SS（懸浮固體）成分，因此假設流入水中的 SS 成分全部算入污泥中。

2.2.6 合計維護管理費

綜上所述，總維護成本如下。

1. 當次氯酸鈉單價為 50 日圓/kg 時

表 2-14 維護管理費（次氯酸鈉單價 50 日圓/kg 時）

項目		單價	金額
電費	無自動調光	百萬日圓/年	10.21
	有自動調光	百萬日圓/年	9.81
藥品費		百萬日圓/年	0.94
耗品費		百萬日圓/年	23.86
維修費		百萬日圓/年	4.43
污泥處理費		百萬日圓/年	3.86
合計	無自動調光	百萬日圓/年	43.30
	有自動調光	百萬日圓/年	42.90

2. 當次氯酸鈉單價為 40 日圓/kg 時

表 2-15 維護管理費（次氯酸鈉單價 40 日圓/kg 時）

項目		單價	金額
電費	無自動調光	百萬日圓/年	10.21
	有自動調光	百萬日圓/年	9.81
藥品費		百萬日圓/年	0.76
消耗品費		百萬日圓/年	23.86
補修費		百萬日圓/年	4.43
污泥處理費		百萬日圓/年	3.86
合計	無自動調光	百萬日圓/年	43.12
	有自動調光	百萬日圓/年	42.72

3. 當次氯酸鈉單價為 30 日圓/kg 時

表 2-16 維護管理費（次氯酸鈉單價 30 日圓/kg 時）

項目		單價	金額
電費	無自動調光	百萬日圓/年	10.21
	有自動調光	百萬日圓/年	9.81
藥品費		百萬日圓/年	0.58
消耗品費		百萬日圓/年	23.86
補修費		百萬日圓/年	4.43
污泥處理費		百萬日圓/年	3.86
合計	無自動調光	百萬日圓/年	42.94
	有自動調光	百萬日圓/年	42.54

2.3 GHG 排放量計算例

GHG 排放量以電力消耗、藥品使用和污泥處理排放的二氧化碳量計算。

2.3.1 計算條件

GHG 的排放量將使用計算對象項目的排放量基本單位進行計算。排放量的基本單位將使用與傳統技術相同的值，而系統特有的單位（例如鹽酸等）則將在研究中進行設定。電力消耗和藥品使用量等將使用用於維護管理成本計算的數值。

表 2-17 GHG 排放量原單位

項目		單位	排放量原單位	備註
電力消費		kg-CO ₂ /kWh	0.587	※1
藥品使用	次氯酸鈉	kg-CO ₂ /kg	0.320	※2
	鹽酸	kg-CO ₂ /kg	0.620	※3
	SBS(亞硫酸氫鈉)	kg-CO ₂ /kg	1.940	※4
	氫氧化鈉	kg-CO ₂ /kg	0.938	※4
污泥處理	濃縮脫水相關	kg-CO ₂ /kg-SS	0.474	產生污泥量※5
	掩埋處置相關	kg-CO ₂ /t-製品	28.35	脫水污泥量※6
建設相關		管理相關的 24 %		※6
拆除相關		管理相關的 0.06 %		※6

※1：取自地球溫暖化對策科網站「各電力公司的 CO₂ 排放係數」，環境省地球環境局，實績年度為平成 27 年 (http://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/h29_coefficient.pdf)。

※2：下水道中的全球暖化防治推動計劃制定指南(平成 21 年 3 月)

※3：NEDO 化學相關產業領域的 CO₂ 對策技術評估方法調查(1992.3)

※4：LCA 實務入門(1998)

※5：為構建 21 世紀型城市水循環系統的水再生技術開發和評估進行的調查報告書，土木研究所資料第 4313 號(平成 28 年 1 月)。

※6：應用於下水道的生命週期評估(LCA)方法，國土技術政策綜合研究所資料第 579 號(平成 22 年 2 月)。

建設和拆除相關的排放，與傳統技術一起，根據建設、維護管理和拆除的比例進行計算。

- 建設相關 19.3
- 維護管理相關 80.2
- 拆除相關 0.5

2.3.2 計算結果

綜上所述，本系統的溫室氣體排放量計算結果如下。

表 2-18 GHG 排放量計算結果

項目			單位	使用量	備註
電力消費	無自動調光		kg-CO ₂ /年	399,564	
	有自動調光		kg-CO ₂ /年	383,945	
藥品使用	次氯酸鈉		kg-CO ₂ /年	5,750	
	鹽酸		kg-CO ₂ /年	81	
	SBS(亞硫酸氫鈉)		kg-CO ₂ /年	566	
	氫氧化鈉		kg-CO ₂ /年	226	
	小計		kg-CO ₂ /年	6,623	
污泥處理	濃縮脫水相關		kg-CO ₂ /年	5,628	
	掩埋處置相關		kg-CO ₂ /年	1,683	
	小計		kg-CO ₂ /年	7,311	
建設、 拆除	建設相關	無自動調光	kg-CO ₂ /年	99,508	
		有自動調光	kg-CO ₂ /年	95,749	
	拆除相關	無自動調光	kg-CO ₂ /年	2,578	
		有自動調光	kg-CO ₂ /年	2,481	
	小計	無自動調光	kg-CO ₂ /年	102,086	
		有自動調光	kg-CO ₂ /年	98,230	
合計	無自動調光		kg-CO ₂ /年	515,584	
	有自動調光		kg-CO ₂ /年	496,109	

2.4 建設費、維護管理費與設置面積

對於容量計算和成本估算，已提供案例 2 的案例研究，而對於案例 1 和 3，僅列出了計算結果的綜合摘要。

2.4.1 建設費

表 2-19 建設費

○建設費(百萬日圓)

項目	對象規模(m ³ /日:再生水量)			備註
	2,000	10,000	25,000	
土建	139.42	236.95	422.26	
機械	268.85	761.22	1,637.62	
電氣	67.40	106.20	187.80	
合計	475.67	1,104.37	2,247.68	

2.4.2 公用設施使用量

表 2-20 公用設施使用量

○公共設施使用量

項目		單位	對象規模(m ³ /日:再生水量)			備註
			2,000	10,000	25,000	
電力		kWh/年	131,400	657,000	1,642,500	0.180 kWh/再生水 m ³
藥品	次氯酸鈉	kg/年	3,594	17,969	44,922	4.923 g/再生水 m ³
	鹽酸	kg/年	26	131	329	0.036 g/再生水 m ³
	SBS(亞硫酸氫鈉)	kg/年	58	292	730	0.080 g/再生水 m ³
	氫氧化鈉	kg/年	48	241	602	0.066 g/再生水 m ³
產生污泥量	固形物量	t-ds/年	2.4	11.9	29.7	流入 SS 3.0mg/L (100%去除) 再生水量/過濾水量=0.922
	污泥量	m ³ /年	240	1,190	2,970	污泥濃度 1%
脫水污泥量		t-wet/年	12.0	59.5	148.5	含水率 80%

2.4.3 維護管理費

表 2-21 維護管理費

○維護管理費(千日圓/年)

項目		對象規模(m ³ /日:再生水量)			備註
		2,000	10,000	25,000	
電力		1,971	9,855	24,638	15 日圓/kWh
藥品	次氯酸鈉	179.7	898.5	2,246.1	50 日圓/kg
	鹽酸	1.4	7.2	18.1	55 日圓/kg
	SBS(亞硫酸氫鈉)	3.5	17.5	43.8	60 日圓/kg
	氫氧化鈉	2.2	10.8	27.1	45 日圓/kg
修繕費 (膜、UV 更換費除外)		2,803	4,430	7,641	機械、電氣機器費(UF 膜與 UV 裝置除外)的 30%/年
污泥 處理費	濃縮費	24.7	67.6	120.0	根據費用係數
	脫水費	1,096.1	2,846.3	4,909.3	根據費用係數
	掩埋 處置費	192.0	952.0	2,376.0	16,000 日圓/t-wet(脫水污泥)
	小計	1,313	3,866	7,405	
合計(千日圓/年)		11,045	42,941	101,332	
合計(百萬日圓/年)		11.05	42.95	101.34	

2.4.4 設置面積

表 2-22 設置面積

○設置面積

項目		單位	對象規模(m ³ /日:再生水量)		
			2,000	10,000	25,000
設施概略 尺寸	UF 膜處理設備棟	m	15.0m×25.0m	19.5m×32.5m	25.0m×45.0m
	UV 消毒管路	m	0.6m×6.0m	0.6m×11.5m	0.6m×15.0m
	預留面積處理	m	5.0m×15.0m	5.0m×19.5m	5.0m×25.m
必要面積	UF 膜處理設備	m ²	375.0	633.8	1125.0
	UV 消毒管路	m ²	3.6	6.9	9.0
	預留面積處理	m ²	75.0	97.5	125.0
	合計	m ²	453.6	738.2	1259.0

第三章 病毒感染風險

作為對病毒風險的評估，參考 CREST 的成果「21 世紀型都市水循環系統構建的水再生技術開發和評估研究調查報告書（2016 年 1 月國立研究開發法人土木研究所）」，此報告提供了風險評估的概要。在農業灌溉用水方面，為確保與飲用水相當的風險，建議需要達到 5.0 log 的病毒去除效能。

3.1 病毒感染風險的評估指標

3.1.1 風險評估指標

在假設再生水用於農業的前提下，對諾羅病毒（以下簡稱「Nov」）的風險進行評估，使用健康負擔的指標，即殘障調整生存年數（Disability Adjusted Life Years，簡稱「DALY」）的損失概念。DALY 是衡量特定疾病或風險因素對健康負擔的指標，DALY 的損失表示由於特定疾病導致的傷害或死亡而喪失的時間，透過與沒有疾病和傷害的狀態進行比較，得到每人每年的疾病負荷（每人每年 DALY，簡稱「DALY_{pppy}」）的評估。諾羅病毒(Nov)被分類為 GI 至 GV 的 5 種基因型，但在本評估中，將以高頻率在腸胃炎患者中檢測到的 NoVGI 和 GII 為目標。由於這兩種基因型都已知會引起腸胃炎感染，因此在評估中將以 NoVGI 和 GII 的總和進行處理。

【風險評估指標】針對 Nov GI 和 GII 的每人每年疾病負荷(DALY_{pppy})。

3.1.2 風險評估的判斷基準

雖然並沒有污水再生水的明確 DALY_{pppy} 值標準，但世界衛生組織(WHO)在農業利用下污水作為再生水時建議使用飲用水的標準值 10^{-6} DALY_{pppy} 作為參考值。因此，判斷標準值為 10^{-6} DALY_{pppy}。在評估中，透過統計學方法，如果 DALY_{pppy} 值的分布中有 95 % 低於 10^{-6} ，則判定為「適：可利用」；如果 DALY_{pppy} 值的分布中有 68 % 低於 10^{-6} ，則判定為「不足：需要重新評估增加處理、供應方法等的方案」；如果 DALY_{pppy} 值的分布中有 68 % 高於 10^{-6} ，則判定為「不適：不可利用」。

【風險評估的判定標準】 DALY_{pppy} 值分布的 95% 低於 10^{-6}

3.1.3 風險的對象

農業利用的風險對象包括農業從業者和消費者。農業從業者的風險假定為在作業期間進行間接攝取。而對於消費者，推測是感染風險最高的再生水附著在生鮮蔬菜上時，消費者最可能感染 Nov。

【風險對象】

- 農業從業者
- 消費者

3.2 病毒感染風險(DALY_{pppy})的計算方法

3.2.1 DALY_{pppy} 計算方法

每人每年的疾病負荷(DALYs per person per year, 簡稱「DALY_{pppy}」)可按照以下公式計算：

$$\text{DALY}_{\text{pppy}} = \{1 - (\text{P}_{\text{inf}}(\text{D}))^n\} \times \text{R}_{\text{inf}} \times \text{DB}$$

DALY_{pppy}：每人每年的疾病負荷（1/人/年）

P_{inf}(D)：感染機率

D：病原微生物攝取量(Copies)

n：年度接觸頻率（次/年）

R_{inf}：發病機率(Ratio of illness/infection)⁵⁾=0.8

Nov 的發病機率(R_{inf})非常高，從感染到發病的機率很高，根據過去的報告⁶⁾，發病機率設定為 80 %。因 Nov 引起的胃腸炎在不同年齡層的可能性有所不同，在這次評估中將發病機率設定為 80 %。

DB：疾病負擔（年）(Disease burden)⁷⁾= 9.0×10^{-4}

疾病負荷(DB)是一個特定的指標，根據被感染的病原微生物，透過計算由於就醫或感染而導致的經濟成本、死亡率、疾病率而得出。DB 是根據受感染的 Nov 患者數在整年內，考慮了無就醫、有就醫、住院、死亡者數的權重，並考慮了 4 % 的折現率計算而來，並對將來可能發生的疾病負荷進行了換算和計算。由於缺乏 Nov 引起之患者數的相關詳細日本國內數據，因此本文件參考了文獻²⁾並利用荷蘭的數據進行了評估。DB 的計算表如表 3-1 所示。Nov 引起的疾病負荷(DB)為 9.0×10^{-4} 。(447/470,000 $\div$ 9.0×10^{-4})

3-1 殘障調整生存年數(YDL)及損失生存年數(YLL)的疾病負荷的計算²⁾

	年間發生數 (人/年)	比重	YDL	YLL	合計值 (YDL+YLL)
感染性腸胃炎	470,000				447
無就醫	460,000	0.0007	322	---	(322)
有就醫	10,000	0.0062	62	---	(62)
住院	1,000	0.0078	8	---	(8)
死亡	5	1	---	55	(55)

3.2.2 感染機率($P_{inf}(D)$)計算方法

感染機率($P_{inf}(D)$)透過 Nov 的劑量反應模型(Dose-response Model)計算。劑量反應模型是針對特定的病原微生物，透過微生物攝取量的函數，描述對特定群體的感染、發病、後遺症、死亡等影響的數學模型。病原微生物的劑量反應模型基於流行病學數據，使用了 beta-Poisson 模型、Exponential 模型等⁵⁾，但 Nov 並沒有確立感染劑量反應模型的方法⁷⁾，並且尚未提出明確的劑量反應模型。近年來，Teunis 等人(2008 年)⁸⁾、Masago 等人(2006 年)⁹⁾提出了 Nov 的劑量反應模型。Teunis 等人(2008 年)⁸⁾提出了一個考慮到 Nov 粒子的狀態、凝聚狀態和分散狀態的複雜模型，作為劑量反應模型。在這次評估中，由於 Masago 等人(2006 年)⁹⁾的模型簡便，且 ID_{50} 被試算在安全側，因此我們使用了以下的模型。

$$P_{inf}(D) = 1 - \exp\left(-\frac{\ln 0.5}{ID_{50}} \times D\right)$$

$P_{inf}(D)$ ：感染機率

D：病原微生物攝取量(Copies)

ID_{50} ：在發病的情況下，攝取病毒量(Copies)使 50 % 的可能性發病＝假定為 10～100 個的均勻分布。

ID_{50} 在 Teunis 等人(2008 年)⁸⁾的研究中有較廣泛的值，介於 18～1,015 個之間。另一方面，Masago 等人(2006 年)⁹⁾報告 ID_{50} 為 10 或 100 個， $ID_{50}=10\sim100$ 個的範圍是一種安全假設，被估計為較高的風險。在這次評估中，我們假設了 $ID_{50}=10\sim100$ 個的均勻分布。

3.2.3 病原微生物攝取量計算方法

病原微生物攝取量(D)的計算如下。另外，再生水濃度在本評估中被視為概率分布。

$$D = C \times V$$

D：病原微生物的攝取量(Copies)

C：再生水病毒濃度(copies/L)

V：暴露量 (L/次)

3.2.4 曝露量和年度曝露頻率

農業利用的風險對象為農業從業者和消費者，曝露形式、曝露量和曝露頻率使用以下的值。農業從業者被假設在作業時透過再生水產生飛沫而間接口服，而消費者則被假設透過攝食附著再生水的生蔬菜而曝露。另外，生蔬菜的每日攝取量是根據農林水產省的「食糧需給表」計算的，根據 2010 年每人每年的供應量計算，假定每天攝取（365 天/年）242 克。

表 3-2 農業利用相關曝露形式、曝露量和曝露頻率

利用用途	風險對象	曝露形式	曝露量(V)	曝露頻率(n)
農業利用	農業從業者	作業時間接口服	0.3 mL/次	27.2 次/年
	消費者 (生蔬菜攝取)	攝食再生水附著的作物	0.242~2.42 mL/次 *根據每次攝取 242 克的作物，假設每 100 克作物表面均勻附著 0.1 毫升至 1 毫升的再生水	365 次/年 *每日攝取

3.3 病毒濃度估算

3.3.1 再生水原水的病毒濃度

再生水原水的病毒濃度使用那霸淨化中心的監測數據。圖 3-1 顯示了原水監測數據。

病毒濃度被假定為對數常態分布，從監測結果中得出中位數(μ)和標準偏差(σ)，如下所示。

Nov GI : $\mu=9.3\times 10^4$ (copies/L) $\sigma=1.93\times 10^5$ (copies/L)

Nov GII : $\mu=6.3\times 10^4$ (copies/L) $\sigma=1.40\times 10^5$ (copies/L)

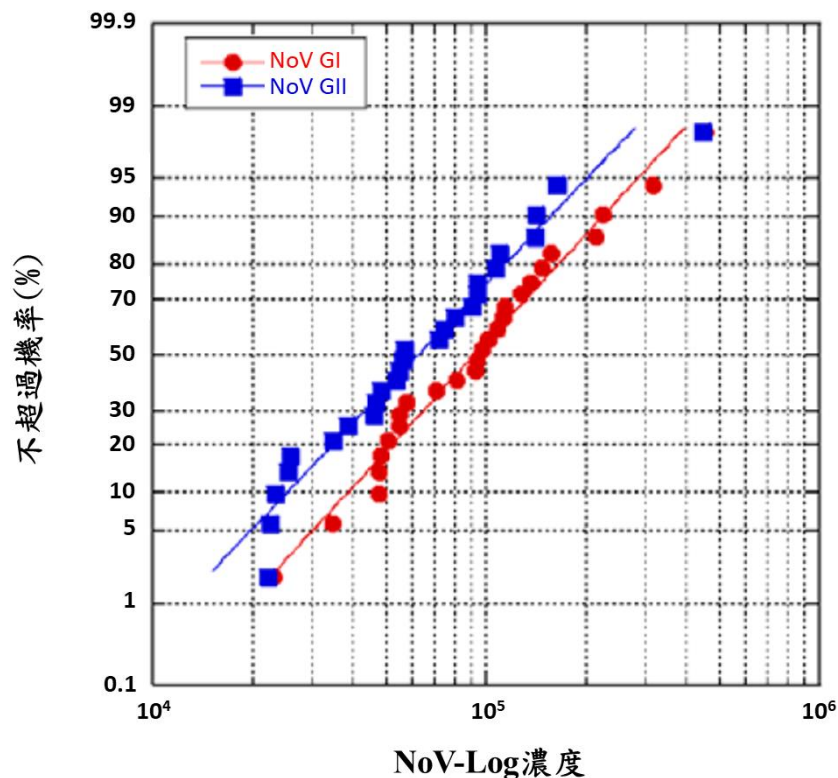


圖 3-1 再生水原水的 Nov 濃度模擬結果

3.3.2 各處理技術的 log 去除效能

各處理技術的病毒 log 去除效能根據 CREST 的研究成果設定如下。

【低 pH 凝集+UF 膜處理】

對數常態分布： $\mu=3.9$ Log， $\sigma=0.9$ Log

【UF 膜+UV 處理】

常態分布： $\mu=5.0$ Log， $\sigma=0.3$ Log

【UF 膜+NF 膜處理】

常態分布： $\mu=6.7$ Log， $\sigma=0.5$ Log

【UF 膜+RO 膜處理】

常態分布： $\mu=7.7 \text{ Log}$ ， $\sigma=0.5 \text{ Log}$

【臭氧(O_3)+凝集沉澱膜+陶瓷膜處理】

常態分布： $\mu=6.5 \text{ Log}$ ， $\sigma=0.5 \text{ Log}$

3.3.3 其他的 log 去除效能

其他的 log 去除效能，考慮了以下兩點。

【餘氯消毒對病毒的去除】

在再生水使用時，假設透過輸水管等輸水至儲水設施。在輸水過程中，為了防止再次增殖和防止水垢，將投放氯，並考慮到安全性，假設投放的氯全都轉化為氯胺，以確保餘氯為 0.1 mg/L 。在儲存和輸水過程中，假設沒有由於 Nov 的自然衰減而導致的濃度降低，只考慮了氯胺造成的濃度降低。另外，根據 CREST 的實驗結果，CT 值為 $270 \text{ mg} \cdot \text{min/L}$ ，可以實現 Nov GII 的 1 Log 去除，因此假設病毒的 log 去除效能如下。

貯留時間：

輸水距離 = 20 km 水的停留時間(HRT) = 5.5 小時

儲水設施 HRT = 3.0 小時

農家儲水槽 HRT = 1.5 小時

合計 10 小時 (600 分鐘)

餘氯濃度：

0.1 毫克/升

CT 值：

$0.1 \text{ 毫克/升} \times 600 \text{ 分鐘} = 60 \text{ 毫克} \cdot \text{分鐘/升}$

病毒 log 去除效能：

CT 值 $270 \text{ 毫克} \cdot \text{分鐘/升}$ 為 1 Log 去除的假設

$60 \text{ 毫克} \cdot \text{分鐘/升} \times 1 \text{ Log}/270 \text{ 毫克} \cdot \text{分鐘/升} = 0.2 \text{ Log}$

此 log 去除是針對農業從業者和消費者兩者所考慮。

【水洗去除病毒】

對於消費者的考慮，假設在採收、流通、加工（水洗）過程中，附著在作物上的諾羅病毒會減少，直到食用前濃度減少 4 Log(99.99 %)。減少比例是參考文獻⁴⁾中與腸道病毒（如腸病毒）有關的數據而確定。然而，由於減少比例是參考腸道病毒的感染度，而諾羅病毒實際感染度的減少可能與之不同，因此需要注意這一點。

病毒 log 去除 = 4 Log

3.3.4 再生水的濃度分布推算方法

再生水的濃度分布是透過估算原水的濃度分布和 log 去除分布進行。

由於再生水中的濃度分布是由原水的濃度分布和 log 去除分布相乘得到的，因此是兩者分布的乘積。由於單純地使用數學公式計算會變得複雜且困難，因此在本評估中，使用了蒙特卡洛模擬進行了估算。蒙特卡洛模擬是一種透過對不確定變數生成隨機數，並通過多次模擬從估計的概率分布中選取值，從而獲得近似解的方法（本評估的試驗次數 $n=10,000$ 次）。在此使用了 Crystal Ball(Ver.7.2.2)進行計算。

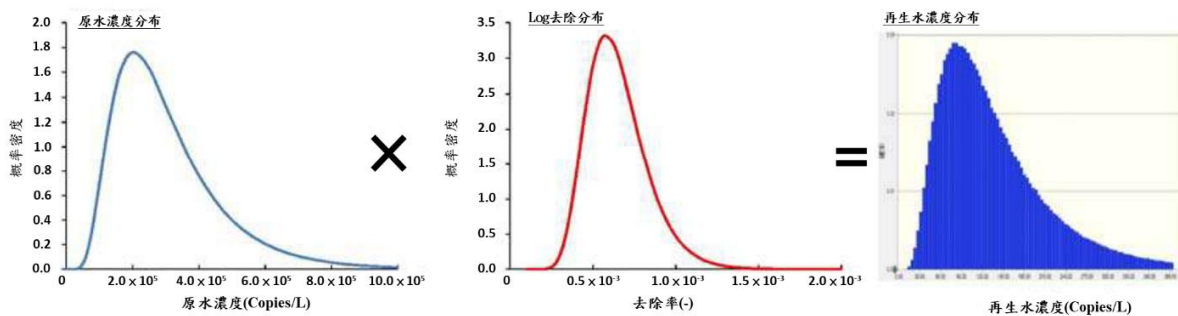


圖 3-2 再生水濃度分布的推算示意圖

3.4 病毒感染風險(DALY_{pppy})的評估

根據上述的蒙特卡羅模擬，從每次模擬的結果中提取再生水濃度，並計算攝取的病原微生物(D)、感染機率(Pinf(D))以及 DALY_{pppy}。從這些結果中，可以計算 DALY_{pppy} 的概率分佈。以下是每種處理方法對再生水中諾羅病毒感染風險(DALY_{pppy})的評估結果。

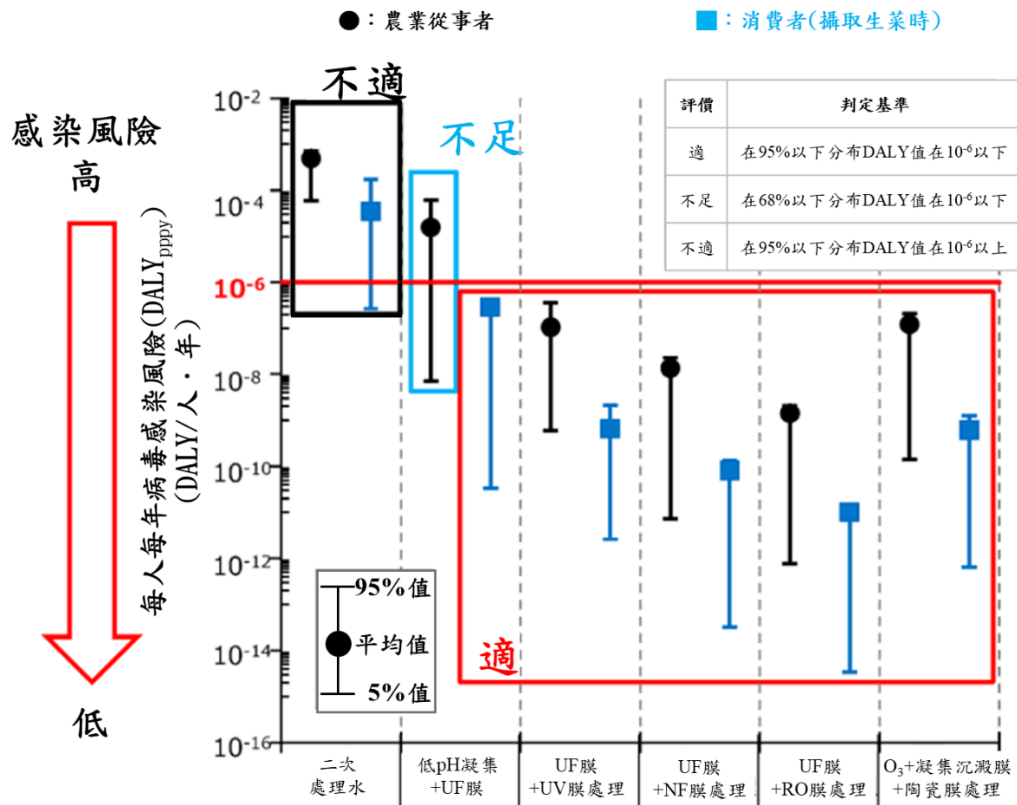


圖 3-3 再生水中 Nov 感染風險(DALY_{pppy})的評估結果

從 Nov 感染風險(DALY_{pppy})的評估結果來看，農業從業者的風險值較高。在能夠實現 5.0 Log（標準偏差 0.3 Log）去除的 UF + UV 處理中，可以在 95 %的情況下達到 DALY_{pppy} < 10⁻⁶。在本研究中，考慮到為了防止鈣化而進行的氯注入的效果，預期可以實現 0.2 Log 的病毒去除。因此，如果不進行氯注入，則需要達到 5.2 Log 的病毒去除效能。

參考文獻

- 1) 国立研究開発法人土木研究所、平成 28 年 1 月、21 世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価に関する研究調査報告書、【研究項目 6】水の衛生学的評価(土木研究所グループサイクルチーム)、P.518-607
- 2) Kemmeren J.M.、Mangen M.-J.J.、Y.T.H.P.van Duyhoven and A.H.Havelaar、2006、Prioritysetting of foodborne pathogens -Disease burden and costs of selected enteric pathogens-、RIVM report 330080001/2006、P.41-50、P.65-71、P.73-78
- 3) Zheng DP.、Ando T.、Fankhauser RL.、Beard RS.、Glass RI.and Monroe SS.、2006、Norovirus classification and proposed strain nomenclature、Virogy、346(2)、312-323.

- 4) World Health Organization:WHO Guidelines for the safe use of wastewater 、excreta and greywater 、 VolumeII 、 Wastewater use in agriculture 、 P59.2006.
- 5) Teunis P.F.M 、 van der Heijden O.G. 、 van der Giessen J.W.B. 、 Havelaar A.H. 、 The dose-response relation in humans volunteers for gastro-intestinal pathogens 、 1996
- 6) Moe C.L.:Preventing Norovirus Transmission:How Should We Handle Food Handlers? 、 Clin Infect Dis 、 (48) 、 PP.38-40 、 2009.
- 7) Duizer E. 、 Schwab J.k. 、 Neill H.F 、 Atmar L.R. 、 Koopmans P.G.M. and Estes K.M.: Laboratory efforts to cultivate noroviruses 、 journal of General Virology 、 85 、 PP.79-87 、 2004.
- 8) Teunis P.F.M. 、 Moe C.L. 、 Liu P. 、 Miller S.E. 、 Lindesmith L. 、 Baric R.S. 、 Pendu Le J.and Calderon R.L.:Norwalk Virus:How Infectious is It? 、 J.Med.Virol. 、 80 、 PP.1468-1476 、 2008
- 9) Masago Y. 、 Katayama H. 、 Watanabe T. 、 Haramoto E. 、 Hashimoto A. 、 Omura T. 、 Hirata T. and Ohgaki S.:Quatirative risk assessment of Noroviruses in drinking water based on qualitative data in Japan 、 Environ. Sci.Tech. 、 Vol.40 、 No.23 、 pp.7428-7433 、 2006.

第四章 病毒分析方法

二級處理水和再生水中的病毒存在極低濃度。為了測量低濃度的病毒，需要將樣本濃縮，這在原水和 UF 膜過濾水的病毒分析中是一種有效的方法。然而，由於濃縮會導致病毒失活，因此在 UV 消毒後的病毒分析中，無法區分經 UV 消毒失活的病毒，無法了解 UV 消毒的失活效果。因此，在本研究中，提出了一種稱為 Integrated Cell Culture-PCR 法 (ICC-PCR 法) 的病毒分析方法。以下是應用於原水和 UF 過濾水的 PCR 法病毒分析方法以及應用於 UV 消毒後的再生水的 ICC-PCR 法的分析方法。此外，在規模化的試驗設施中進行處理效能驗證時，可以向其中加入高濃度的模型病毒(MS2)進行評估，而在這種情況下，可以使用常規的培養法進行分析，這方面的概要也作為參考提供。

4.1 PCR (Polymerase Chain Reaction (聚合酶鏈反應)) 法

由於二級處理水和再生水中的病毒濃度很低，因此需要對樣本進行濃縮。本研究使用陰電荷膜法(Katayama 等，2002)對樣本進行濃縮。近年來，這種濃縮方法在許多文獻中被廣泛應用(Fong 等，2005、2010；Haramoto 等，2005、2013；Gersberg 等，2006；Hansman 等，2007；Gentry 等，2009；Suzuki 等，2011；Tian 等，2011；Kitajima 等，2011、2013)。將 1 升的樣本透過陰電荷膜法濃縮，得到約 650 微升的濃縮液。從濃縮液中提取病毒 RNA 使用 QIAamp Viral RNA Mini Kit(QIAGEN 52904)。提取的 RNA 使用 SuperScript™ First-Strand Synthesis System for RT-PCR(Invitrogen 11904-018)進行 RT 反應，獲得 cDNA。使用帶有 TaqMan 探測的 RT-PCR 進行 cDNA 的定量。PCR 反應液的組成請參見表 4-1，Master Mix 使用 TaqMan Gene Expression Master Mix(Applied Biosystems，4369016)，並使用 Thermal Cycler Dice Real Time System(Takara，TP800)進行檢測。PCR 的進行條件如表 4-2 所示。表 4-3 至表 4-7 顯示了用於各種 RNA 病毒檢測的前驅物、TaqMan 探測序列和退火溫度。TaqMan 探測的 5'端修飾為 FAM(Reporter dye，6-carboxyfluorescein)。此外，TaqMan 探測的 3'端修飾為 TAMRA (淬滅劑染 quencher dye，6-carboxytetramethylrhodamine) 或 MGB-NFQ(Minor Groove Binder–Non Fluorescent Quencher)。在核酸定量時，用作標準 DNA 的標靶 DNA 的增幅區域和相同的質粒 DNA 或寡聚體 DNA。標準 DNA 的製備根據樣本中標靶病毒的濃度，對於低濃度的情況，進行 10 倍稀釋，以建立各稀釋階段的 10000-100 copies/reaction，對於高濃度的情況，進行 100 倍稀釋，以建立各稀釋階段的 100000000-100 copies/reaction，各稀釋階段進行 2 次檢測操作。在此，如果將 qPCR (定量 PCR) 的檢測極限設為 1.0 copies/L，那麼檢測下限 (以下簡稱 ND) 約為 100 copies/L(2-log(copies/L))。

表 4-1 PCR 反應液的組成

component	Amount
2 × Master mix	12.5 μL
Sense primer	10 pmol each
Antisense primer	10 pmol each
Taqman probe	2.5 pmol each
Nuclease free water	Adequate
Sample (cDNA)	5.0 μL
Total	25 μL

表 4-2 PCR 熱循環條件

Stage 1 (1 Cycle)		Stage 2 (50 Cycle)	
Step1	Step2	Step1	Step2
Incubation	Enzyme Activation	Denature	Annealing, Extension
50°C	95°C	根據使用之前驅物而變更	

表 4-3 GI-NoV 檢測用前驅物、TaqMan 探測序列

Virus	Function	Sequence (5' → 3')	Length(nt)	Product size(bp)
GI-NoV	Forward primer	CGYTGGATGCGNTTYCATGA	20	85
	Reverse primer	CTTAGACGCCATCATCATTYAC	22	
	TaqMan probe	FAM-AGATYGCGATCYCCTGTCCA-TAMRA	20	

PCR : 95°C 15sec → 56°C 60sec
Reference : Kageyama et al., 2003

表 4-4 GII-NoV 檢測用前驅物、TaqMan 探測序列

Virus	Function	Sequence (5' → 3')	Length(nt)	Product size(bp)
GII-NoV	Forward primer	CARGARBCNATGTTYAGRTGGATGAG	26	98
	Reverse primer	TCGACGCCATCTTCATTCACA	21	
	TaqMan probe	FAM-TGGGAGGGCGATCGCAATCT-TAMRA	20	

PCR : 95°C 15sec → 56°C 60sec
Reference : Kageyama et al., 2003

表 4-5 RoV 検測用前駆物、TaqMan 探測序列

Virus	Function	Sequence (5' → 3')	Length(nt)	Product size(bp)
RoV	Forward primer	ACCATCTACACATGACCCTC	20	87
	Reverse primer	GGTCACATAACGCCCC	16	
	TaqMan probe	FAM-ATGAGCACAATAGTTAA- AAGCTAACACTGTCAA-TAMRA	33	
				PCR : 94°C 20sec → 60°C 60sec Reference : Pang et al., 2004, 2010

表 4-6 AiV 検測用前駆物、TaqMan 探測序列

Virus	Function	Sequence (5' → 3')	Length(nt)	Product size(bp)
AiV	Forward primer	GTCTCCACHGACACYAAYTGGAC	23	108-111
	Reverse primer	GTTGTACATRCAGCCCAGG	20	
	TaqMan probe	FAM-TTYTCCTTYGTGCGTGC-MGB-NFQ	17	
				PCR : 95°C 15sec → 60°C 60sec Reference : Kitajima et al., 2013

表 4-7 PMMoV 検測用前駆物、TaqMan 探測序列

Virus	Function	Sequence (5' → 3')	Length(nt)	Product size(bp)
PMMoV	Forward primer	GAGTGGTTTGACCTTAACGTTTGA	24	86
	Reverse primer	TTGTCGGTTGCAATGCAAGT	20	
	TaqMan probe	FAM-CCTACCGAAGCAAATG-MGB-NFQ	16	
				PCR : 95°C 15sec → 60°C 60sec Reference : Zhang et al., 2006

4.2 培養法 (Cell Culture 法)

在培養皿中使用重層寒天(洋菜)條件下培養基，加入含有 MS2 的樣本，進行上培養，在 37°C 的條件下培養 18-24 小時。計算形成 30-300 個斑點的稀釋倍數的培養皿上的斑點數，這些斑點數稱為噬菌體數(PFU)。

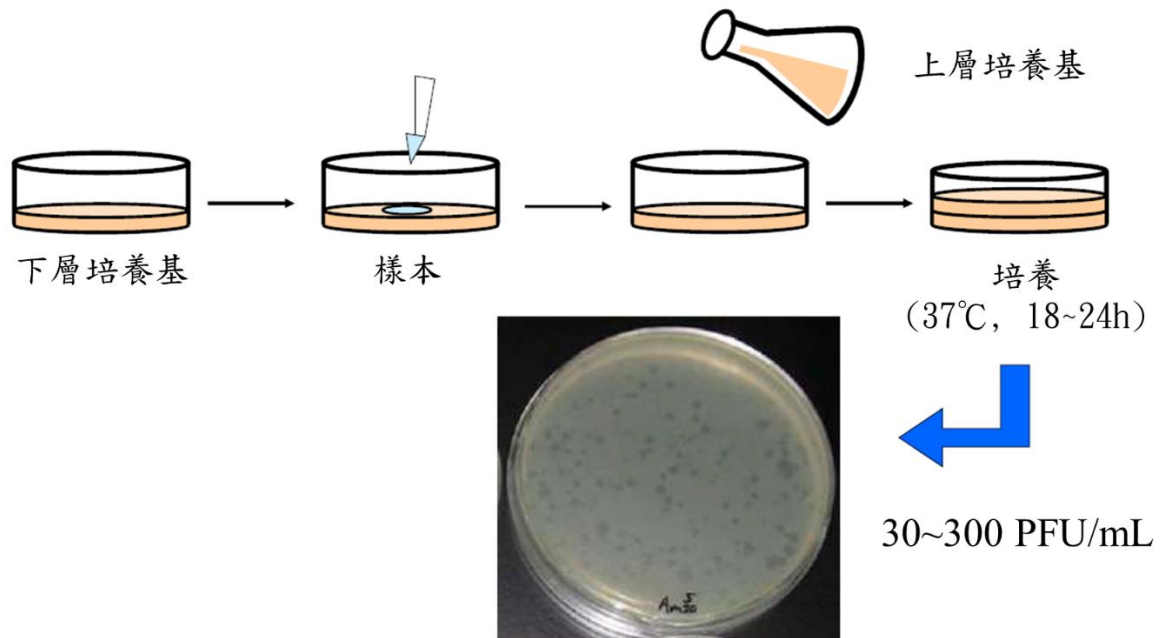


圖 4-1 以培養法分析 MS2 噬菌體

4.3 Integrated Cell Culture-PCR 法 (ICC-PCR 法)

ICC-PCR 方法是一種結合培養法和 PCR 法的方法，可以進行病毒失活評估。圖 4-2 顯示了使用 ICC-PCR 方法檢測大腸桿菌噬菌體的原理。透過將樣本與包含 F-RNA 噬菌體的液體培養混合，增殖 F-RNA 噬菌體，然後進行 RT-PCR，可以判斷目標基因型的感染力。該方法只能提供定性結果，但同時應用 MPN 法可以獲得定量數據。然而，這種方法對未檢測到感受性細胞（宿主）的病原性病毒，如 Nov 等無法應用。

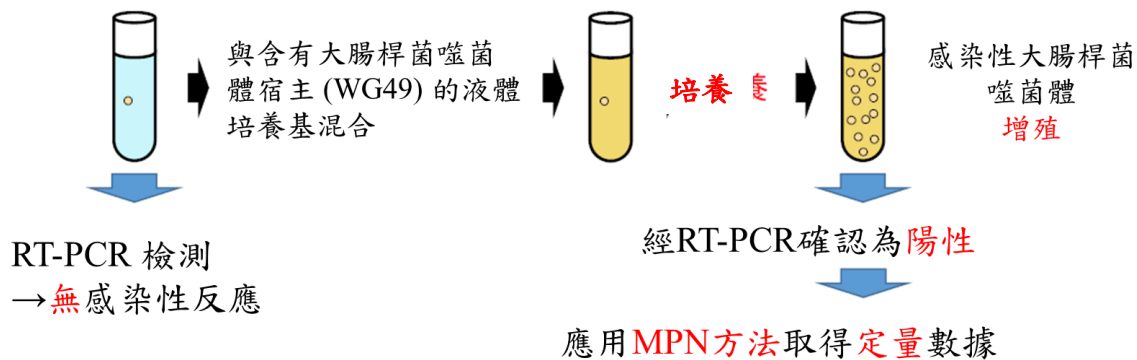


圖 4-2 利用 ICC-PCR 法檢測大腸桿菌噬菌體

參考文獻

- 1) Fong, T., Griffin, D. W. and Lipp, E. K.: Molecular Assays for Targeting Human and Bovine Enteric Viruses in Coastal Waters and Their Application for Library-Independent Source Tracking. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 71, No. 4, pp. 2070-2078, 2005.
- 2) Fong, T., Phanikumar, M. S., Xagorarakis, I. and Rose, J. B.: Quantitative Detection of Human Adenoviruses in Wastewater and Combined Sewer Overflows Influencing a Michigan River. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 76, No. 3, pp. 715-723, 2010.
- 3) Gentry, J., Vinjé, J. and Lipp, E. K.: A rapid and efficient method for quantitation of genogroups I and II norovirus from oysters and application in other complex environmental samples. *Journal of Virological Methods*, Vol. 156, No. 1-2, pp. 59-65, 2009.
- 4) Gersberg, R. M., Rose, M. A., Robles-Sikisaka, R. and Dhar, A. K.: Quantitative Detection of Hepatitis A Virus and Enteroviruses Near the United States-Mexico Border and Correlation with Levels of Fecal Indicator Bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 72, No. 12, pp. 7438-7444, 2006.
- 5) Hamza, I. A., Jurzik, L., Uberla, K. and Wilhelm, M.: Evaluation of pepper mild mottle virus, human picobirnavirus and Torque teno virus as indicators of fecal contamination in river water. *Water Research*, Vol. 45, pp. 1358-1368, 2011.
- 6) Hansman, G. S., Sano, D., Ueki, Y., Imai, T., Oka, T., Katayama, K., Takeda, N. and Omura, T.: Sapovirus in Water, Japan. *Emerging Infectious Diseases*, Vol. 13, No. 1, pp. 133-135, 2007.
- 7) Haramoto, E., Katayama, H., Oguma, K., Yamashita, H., Tajima, A., Nakajima,

- H. and Ohgaki、 S.: Application of Cation-Coated Filter Method to Detection of Noroviruses、 Enteroviruses、 Adenoviruses、 and Torque Teno Viruses in the Tamagawa River in Japan. *Applied and Environmental Microbiology*、 Vol. 71、 No. 5、 pp 2403–2411、 2005.
- 8) Haramoto、 E.、 Kitajima、 M.、 Kishida、 N.、 Konno、 Y.、 Katayama、 H.、 Asami、 M. and Akiba、 M.: Occurrence of Pepper Mild Mottle Virus in Drinking Water Sources in Japan. *Applied and Environmental Microbiology*、 Vol. 79、 No. 23、 pp 7413-7418、 2013.
- 9) Kageyama、 T.、 Kojima、 S.、 Shinohara、 M.、 Uchida、 K.、 Fukushi、 S.、 Hoshino、 F. B.、 Takeda、 N. and Katayama、 K.: Broadly Reactive and Highly Sensitive Assay for Norwalk-Like Viruses Based on Real-Time Quantitative Reverse Transcription-PCR. *Journal of Clinical Microbiology*、 Vol. 41、 No. 4、 pp. 1548-1557、 2003.
- 10) Katayama、 H.、 Haramoto、 E.、 Oguma、 K.、 Yamashita、 H.、 Tajima、 A.、 Nakajima、 H. and Ohgaki、 S.: One-year monthly quantitative survey of noroviruses、 enteroviruses、 and adenoviruses in wastewater collected from six plants in Japan. *Water Research*、 Vol. 42、 No. 6-7、 pp 1441-1448、 2008.
- 11) Kitajima、 M.、 Haramoto、 E.、 Phanuwat、 C. and Katayama、 H.: Prevalence and Genetic Diversity of Aichi Viruses in Wastewater and River Water in Japan. *Applied and Environmental Microbiology*、 Vol. 77、 No. 6、 pp 2184–2187、 2011.
- 12) Kitajima、 M.、 Hata、 A.、 Yamashita、 T.、 Haramoto、 E.、 Minagawa、 H. and Katayama、 H.: Development of a Reverse Transcription-Quantitative PCR System for Detection and Genotyping of Aichi Viruses in Clinical and Environmental Samples. *Applied and Environmental Microbiology*、 Vol. 79、 No. 13、 pp 3952-3958、 2013.
- 13) Pang、 X. L.、 Lee、 B.、 Boroumand、 N.、 Leblanc、 B.、 Preiksaitis、 J. K. and Yu C. C.: Increased Detection of Rotavirus Using a Real Time Reverse Transcription-Polymerase Chain Reaction (RT-PCR) Assay in Stool Specimens From Children With Diarrhea. *Journal of Medical Virology*、 Vol. 72、 pp 496–501、 2004.
- 14) Pang、 X. L.、 Cao、 M.、 Zhang、 M. and Lee、 B.: Increased sensitivity for various rotavirus genotypes in stool specimens by amending three mismatched nucleotides in the forward primer of a real-time RT-PCR assay. *Journal of Virological Methods*、 Vol. 172、 pp. 85-87.、 2010.
- 15) Suzuki、 Y.、 Narimatsu、 S.、 Furukawa、 T.、 Iwakiri、 A.、 Miura、 M.、 Yamamoto、 S. and Katayama、 H.: Comparison of real-time reverse-transcription loop-mediated isothermal amplification and real-time reverse-transcription polymerase chain reaction for detection of noroviruses in municipal wastewater. *Journal of Bioscience and Bioengineering*、 Vol. 112、 No. 4、 pp 369-372、 2011.
- 16) Tian、 P.、 Yang、 D.、 Pan、 L. and Mandrell、 R.: Application of a receptor-binding-capture qRT-PCR assay to concentrate human norovirus from sewage and to study the distribution and stability of the virus. *Applied and Environmental Microbiology*、 Vol 78、 No. 2、 pp 429–436、 2011.
- 17) Zhang、 T.、 Breitbart、 M.、 Lee、 W. H.、 Rum、 J. Q.、 Wei、 C. L.、 Soh、 S. W.、 Hibberd、 M. L.、 Liu、 E. T.、 Rohwer、 F. and Ruan、 Y.: RNA viral community in human feces: prevalence of plant pathogenic viruses. *PLoS Biology*、 Vol. 4、 No. 1、 e3、 pp 108-118、 2006.

第五章 UF 膜藥劑（浸泡）清洗方法

5.1 藥液（浸泡）清洗的執行頻率

藥液（浸泡）清洗原則上每年執行一次。但是如果觀察到跨膜壓差超過規定值(200 kPa)，即使未滿一年，也應執行藥液（浸泡）清洗。

藥液（浸泡）清洗的執行頻率：標準為每年一次。

※若跨膜壓差超過規定值(200 kPa)，即使未滿一年，也應執行。

5.2 藥液（浸泡）清洗的執行方法

清洗程序的概述如表 5-1 所示。藥液（浸泡）清洗是將酸（浸泡）清洗過程後的次氯酸（浸泡）清洗過程結合在一起的過程，詳細流程見圖 5-1(1)（酸清洗工程）和圖 5-1(2)（次氯酸清洗工程）。另外，下面所示的藥液量是基於實際研究中使用的每天 1,000 m³的再生水量的設施例，實際的設施應根據容量計算等確定所需的藥液量進行清洗。

表 5-1 藥液（浸泡）清洗流程

項目	內容	備註
概略程序	[常規反洗→原水供給停止→排水→] →酸(浸泡)清洗→排水→水反洗(潤洗)→排 水→次氯酸(浸泡)清洗→排水→水反洗(潤 洗)→排水→原水供給再開 [→常規運轉]	全部手動進行排水進 行中和處理
酸濃度	鹽酸 0.1 mol/L	模型內濃度
次氯酸濃度	有效氯 3,000 mg/L	模型內濃度
清洗時間	酸(浸泡)清洗(2小時)→排水(45秒)→ 水反洗(潤洗)(5分)→排水(45秒)→次 氯酸(浸泡)清洗(2小時)→排水(45秒) →水反洗(潤洗)(5分)→排水(45秒)→ 原水供給(70秒)	

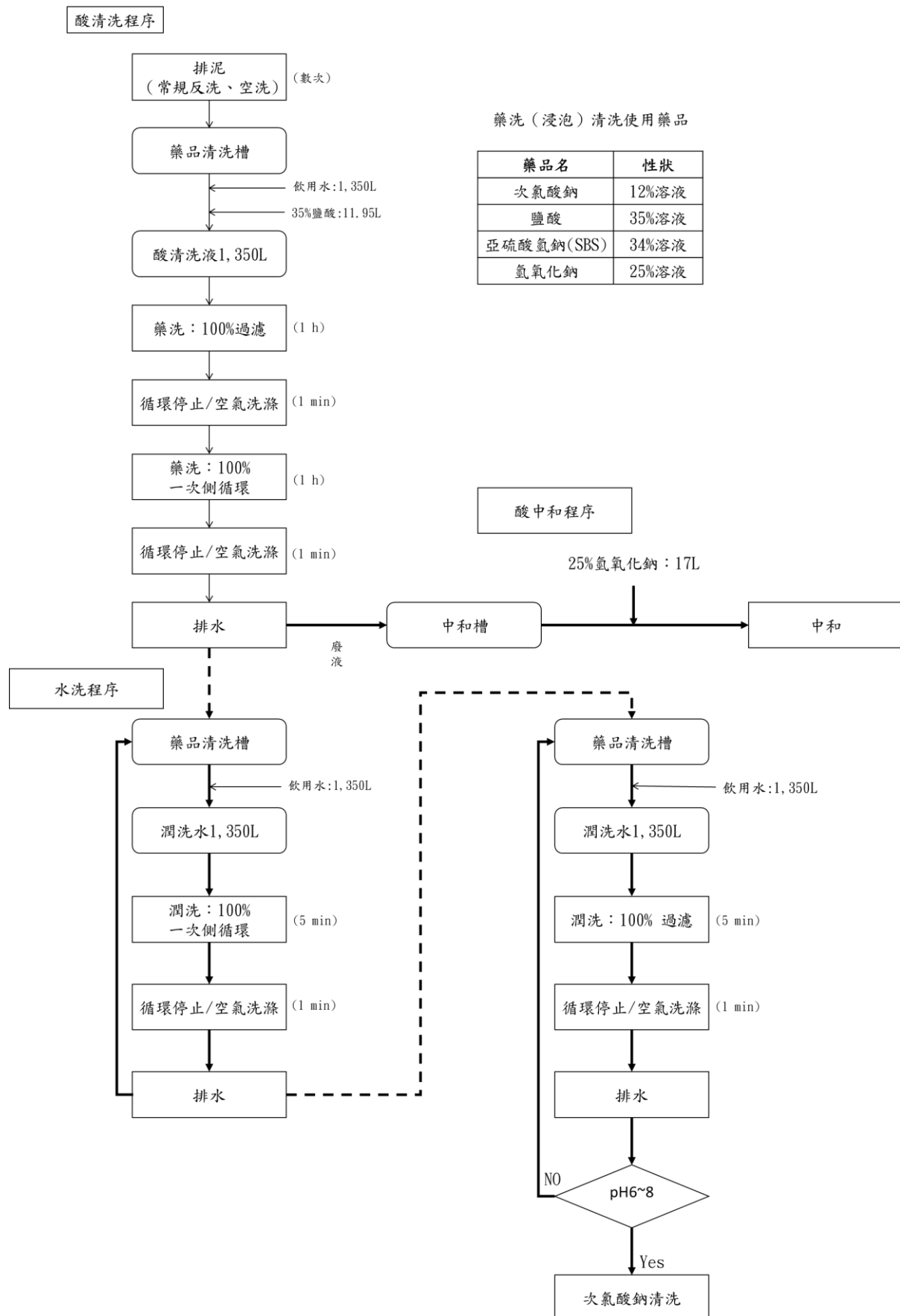


圖 5-1(1) 藥液（浸泡）清洗流程（酸清洗程序）

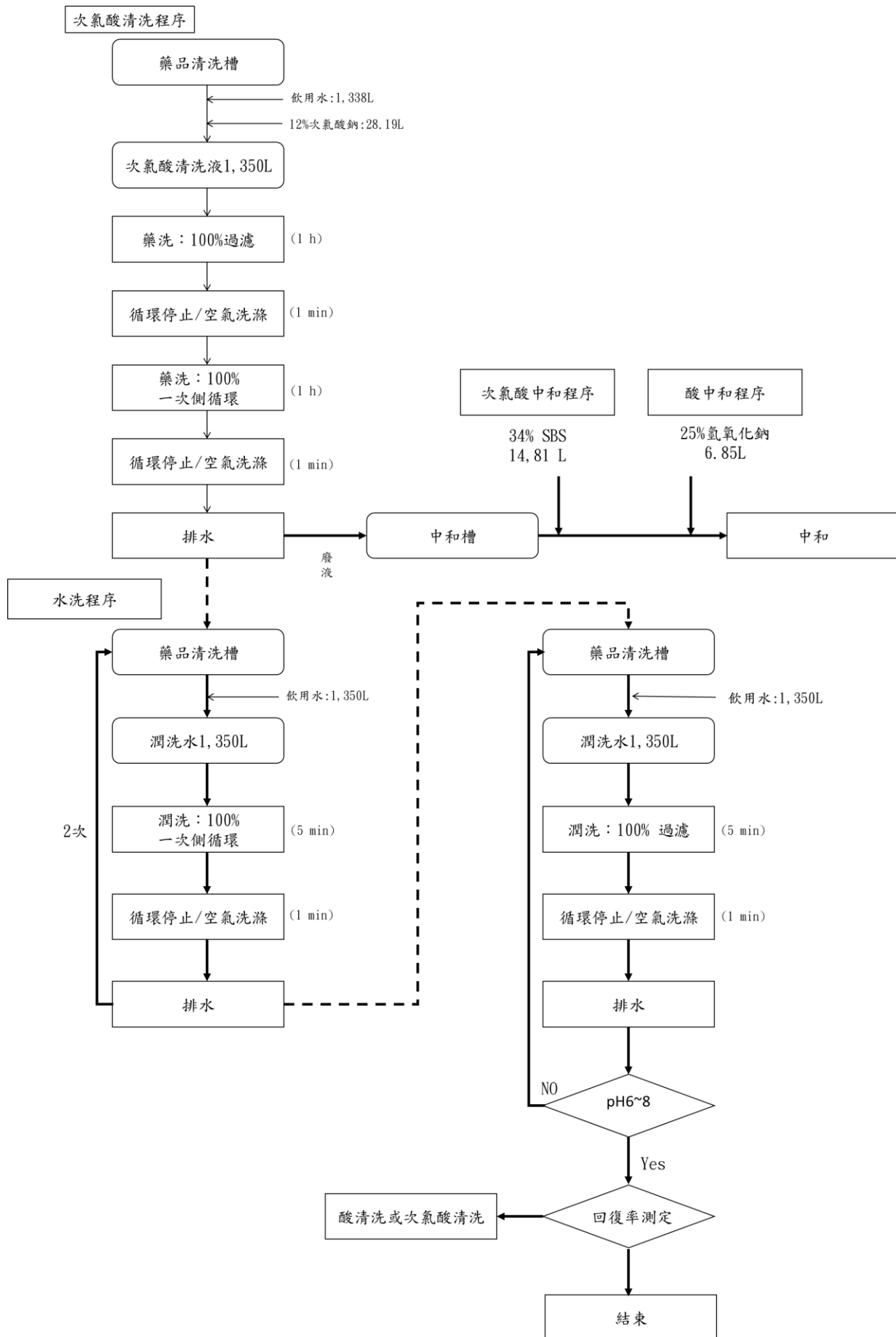


圖 5-1(2) 藥液（浸泡）清洗流程（次氯酸清洗程序）

第六章 UF 膜的壓力衰減測試要領

在實證實驗中，超過濾膜的壓力衰減試驗是作為檢測 UF 膜破損的有效方式。以下為 UF 膜的壓力衰減試驗步驟。

6.1 UF 膜模組的單元構成

UF 膜模組大致上構成如下圖，透過七個閥門(V-1~7)來控制各種水和空氣。

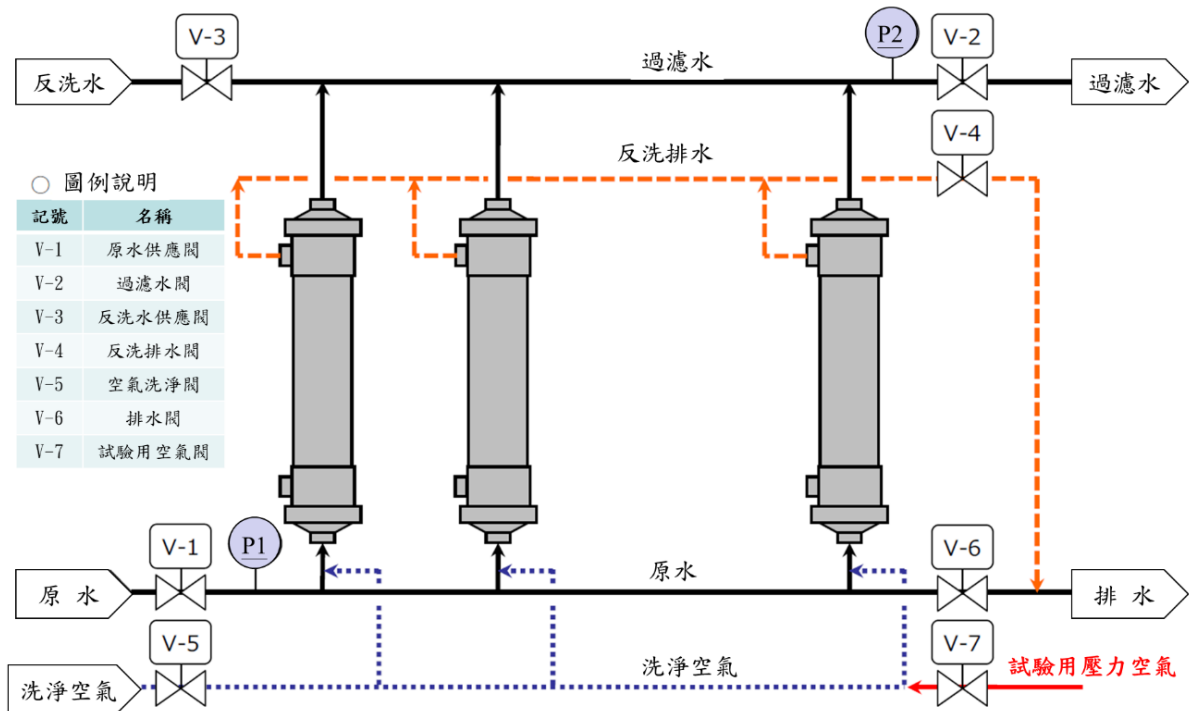


圖 6-1 UF 膜模組單元構成

6.2 壓力衰減試驗的步驟

UF 膜的壓力衰減試驗將按以下步驟進行：

- ① 常規反洗後，停止運轉，將所有閥門設為「閉」。
- ② 將 V-2、V-4、V-6 設為「開」，排出模組內部的水。
- ③ 將 V-4、V-6 設為「閉」，將 V-7 設為「開」。
- ④ 對單元 1 次側的壓力(P1)施加氣壓，直到達到規定壓力(100 kPa)，然後將 V-7 設為「閉」。
- ⑤ 靜置 5 分鐘，讀取 5 分鐘後的壓力(P1)，測量壓力下降值(ΔP)。
- ⑥ 如果壓力下降值超過規定值，則進行異常模組的識別。

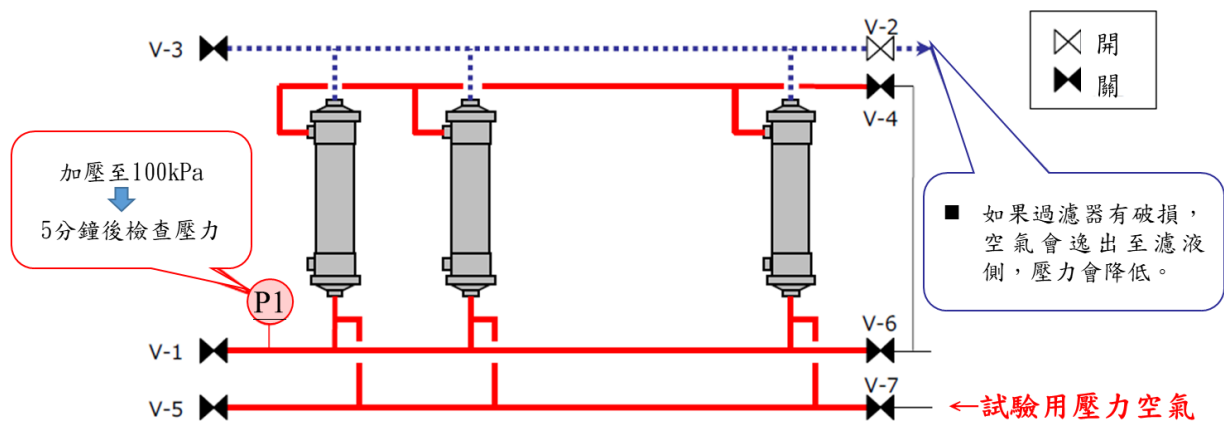


圖 6-2 UF 膜的壓力衰減試驗概要

6.3 膜破裂的判斷標準

膜破裂的判斷標準是在施加氣壓並靜置開始後 300 秒（5 分鐘）內，如果壓力從初始值下降了 20 % 或更多，則判定為異常。

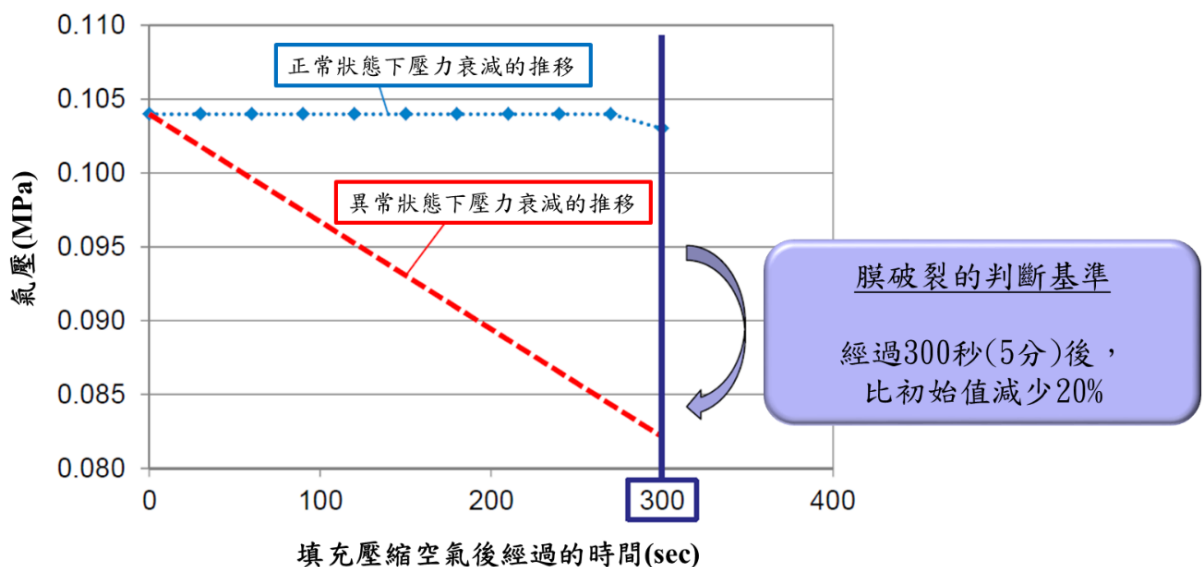


圖 6-3 膜破裂的判斷基準

6.4 壓力衰減試驗的執行頻率

壓力衰減試驗的執行頻率標準為每月一次，考慮到實施所需的成本和工作量，以及膜破裂可能導致的影響。

壓力衰減試驗的執行頻率：標準為 1 個月 1 次。

6.5 異常模組的識別方法

如果在 UF 膜的壓力減少試驗中觀察到壓力下降，則應按以下步驟識別異常模組：

- ① 打開 V-1 和 V-4，使用泵在膜的一次側注入原水。（其他閥門均設為「閉」）
- ② 關閉 V-1，對膜的二次側施加 100kPa 以下的氣壓，用聽診器或耳朵靠近模組聽取氣泡聲。（V-4 保持「開」狀態）
- ③ 斷開產生氣泡聲的模組的產水端管道，打開模組頂部（產水端）的蓋子。
- ④ 打開 V-6 排出模組內的水，然後關閉 V-4 和 V-6，從 V-7 向一次側施加 100 kPa 以下的空氣壓力。
- ⑤ 在模組端面灑上水，識別漏氣的地方。



圖 6-4 異常模組的識別

6.6 壓力衰減試驗的自動化

透過將相關的七個閥全部改為自動閥並進行自動開閉控制，可以使壓力衰減試驗自動化。壓力的減少可以透過自動記錄時間的流逝以及當時的瞬時壓力，並在規定時間後自動判斷是否存在異常。透過將每個模組的相關進出口和空氣閥的三個閥全部改為自動閥，也可以使壓力衰減試驗自動化，但由於成本較高，實施案例較少。

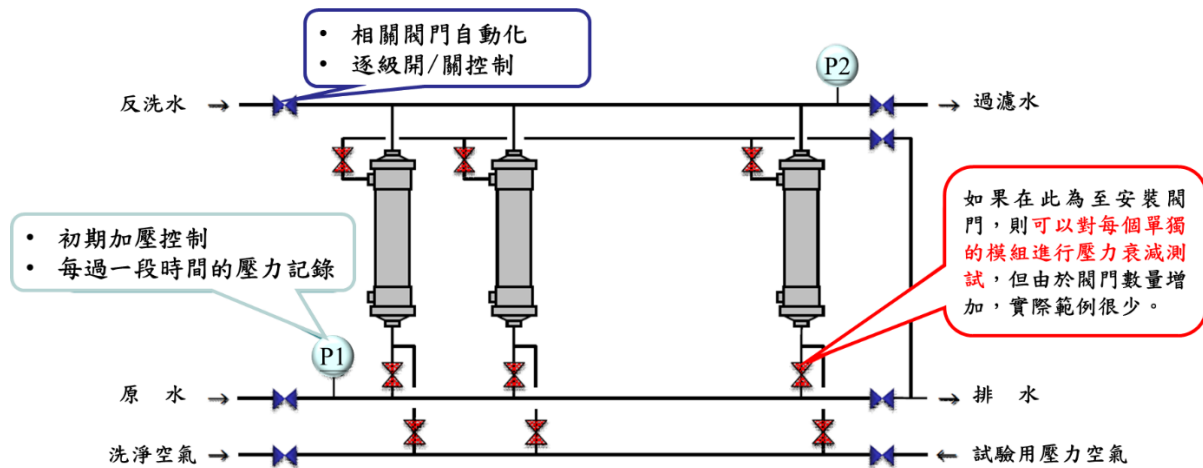


圖 6-5 壓力衰減試驗的自動化

第七章 高靈敏度濁度計清理方法

UF 膜放流水的高靈敏度濁度計監測在檢測膜破損方面發揮了初判作用，對確保流程的安全性是一個有效的步驟。然而，連接到濁度計的管路和設備內部的測定單元，即使在 UF 膜過濾後的放流水中，也可能因結垢而產生污垢，引起濁度上升或基線偏移等問題。因此，應對該系統的高靈敏度濁度計進行適當的檢點，進行清潔、更換管路等。以下是高靈敏度濁度計的構造和清潔程序。

7.1 高靈敏度濁度計結構

高靈敏度濁度計具有如圖 7-1 所示的構造，透過濁度的雷射光檢測，有超過 0.0001 NTU 的分辨率，並具有能夠檢測 0.0010~0.0100 NTU 變化的精度。

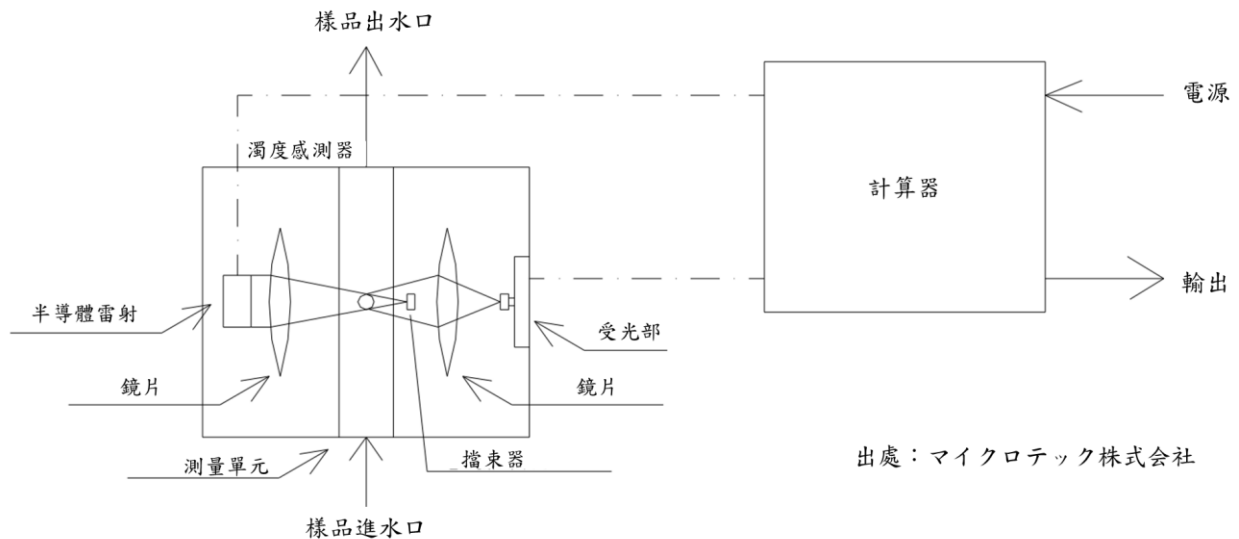


圖 7-1 高靈敏度濁度計的構造

7.2 高靈敏度濁度計內的污垢生成

根據實證研究中高靈敏度濁度計的長期觀測結果，從未進行清潔的 8 月至 11 月期間，濁度計的指示值有時超過了 0.02。

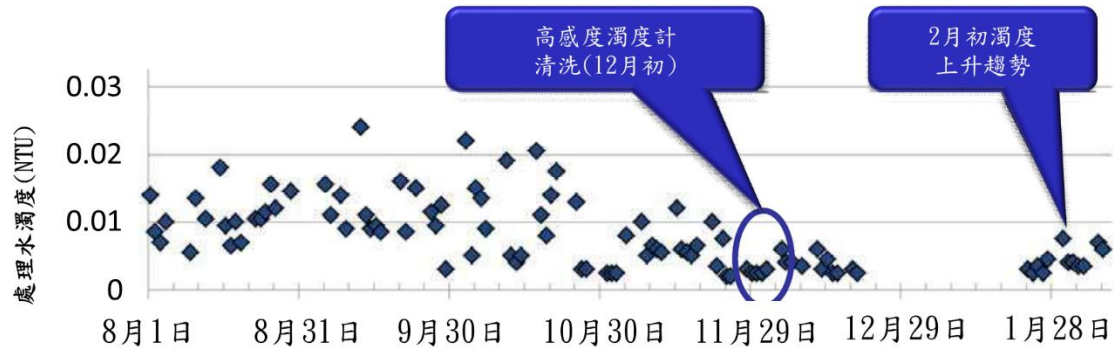


圖 7-2 高靈敏度濁度計的長期觀測結果

在實證研究中對高靈敏度濁度計進行了檢查，確認了管道管內產生的污垢(參見圖 7-3)。由於污垢的原因是在消毒之前，因此疑似是生物膜，但透過對 UF 放流水的取樣發現未檢測到大腸桿菌，因此可以推斷是簡單的污垢所致。清理了這些污垢後，濁度指示值變得穩定，確認高靈敏度濁度計的污垢是導致濁度指示值上升的原因。



圖 7-3 高靈敏度濁度計

7.3 高靈敏度濁度計內的清洗頻率

在實證研究中，確認使用後一段時間後，管道管內會形成褐色污垢，因此需要定期清潔高靈敏度濁度計。根據高靈敏度濁度計的長期觀測結果（參見圖 7-2），清潔後會顯示穩定的指示值，但在清潔後約 2 個月左右，可能會觀察到濁度上升的趨勢。為了在觀察到這種上升趨勢之前進行清潔，因此認為清潔頻率約為每月一次是合理的。由於污垢的生成可能受水質、氣溫等因素影響，因此需要根據實際情況進行清潔頻率的調整。

7.4 高靈敏度濁度計的檢查和清洗步驟

參照實證研究的檢查和清潔實例，以下是高靈敏度濁度計的標準檢查和清潔步驟。每個步驟對應的編號已繪製在圖 7-4 和圖 7-5 中。

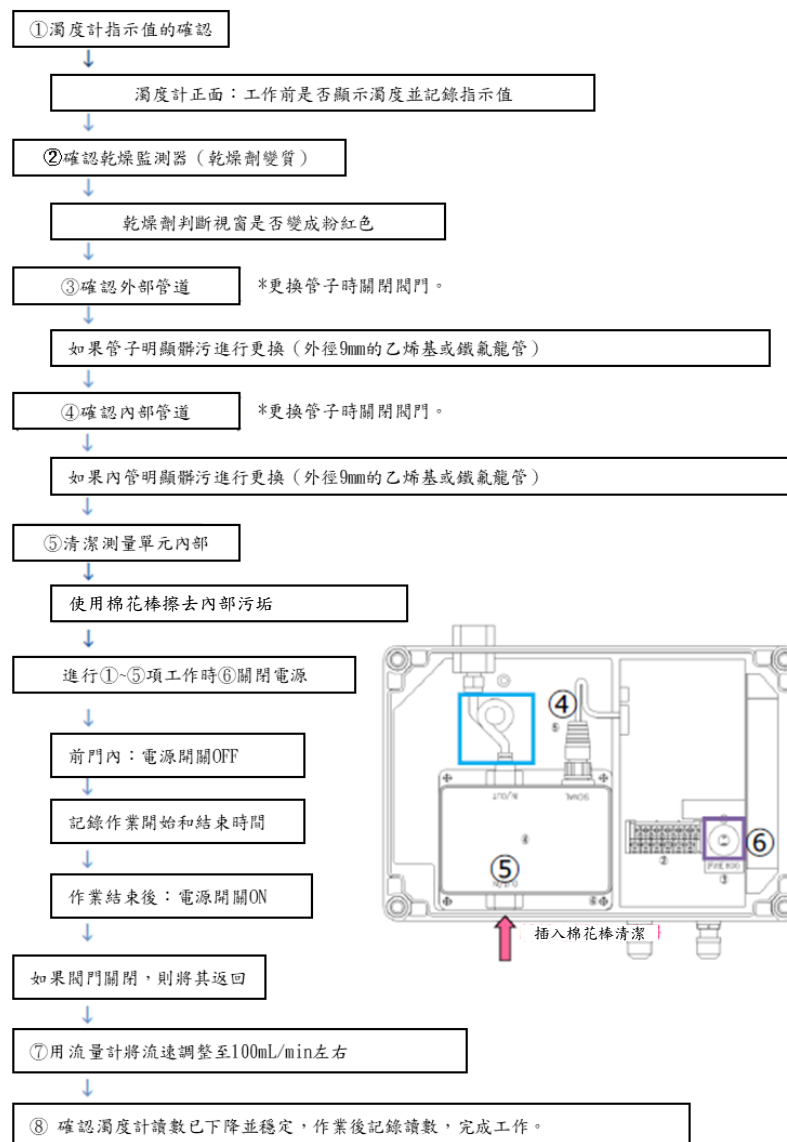


圖 7-4 高靈敏度濁度計內部及操作步驟



圖 7-5 高靈敏度濁度計的外觀

第八章 UV 消毒裝置之 UV 照射量相關效能評價 P-CFD 適用可能性

P-CFD 是在計算流體力學(CFD: Computational Fluid Dynamics)中，透過計算分析對象裝置內流動的顆粒，在其路徑過程中從裝置內的 UV 燈照射到多少 UV 的行為方法。在這種系統中，該方法可用於計算病毒和大腸菌等顆粒的行為，並可應用於 UV 消毒裝置的設計、效能評估以及燈故障時效能降低風險的評估等。因此，我們嘗試驗證其應用性。在實證研究中，考慮設施規模的數據收集方法，進行以下工作：

- 透過 P-CFD 計算照射分佈
- 測量病毒 (MS2 和 GI 噬菌體) 的失活

對於各設定的運轉條件，對試驗工廠和實證工廠分別進行了基於 P-CFD 的照射分佈計算和病毒失活數據的分析，以評估 P-CFD 的研究可行性及未來標準化的驗證和問題整理。檢驗結果顯示，透過累積整理各種數據作為課題，可以期望對於目標效能的達成，如燈排列和水路形狀的最佳化，以及故障發生時水質風險的可視化等進行展開。因此，在本指引中簡要介紹了這方面的結果。本文中使用的 UV 消毒裝置的設計應遵從第 4 章第 4 節中描述的設計方法。

8.1 使用 P-CFD 評估 UV 照射量概述

P-CFD 是一種可以進行上述分析的方法。例如，當將粒子流入裝置時，由於粒子使流動軌跡產生變化，因此當粒子通過靠近燈的位置時，它們會受到更多的 UV 照射，而通過離燈較遠的位置時，受到的 UV 較少。P-CFD 可以模擬這種行為，並分析每個粒子在裝置內接受的 UV 量（即 UV 照射量）。此外，透過對每個粒子的 UV 量進行統計處理，可以定量表示裝置所具有的 UV 照射量的分佈，並可利用該分佈進行裝置效能的評估。圖 8-1 是通過 CFD 對 UV 消毒裝置內粒子的行為（流動軌跡和速度）進行分析的結果，而圖 8-2 則是對裝置上的 UV 燈產生的 UV 強度分佈進行分析的結果。基於這些結果，可以使用 P-CFD 計算每個粒子在進入裝置後到出來之前所受到的 UV 量，這就是 P-CFD 用於評估 UV 照射量的方式。

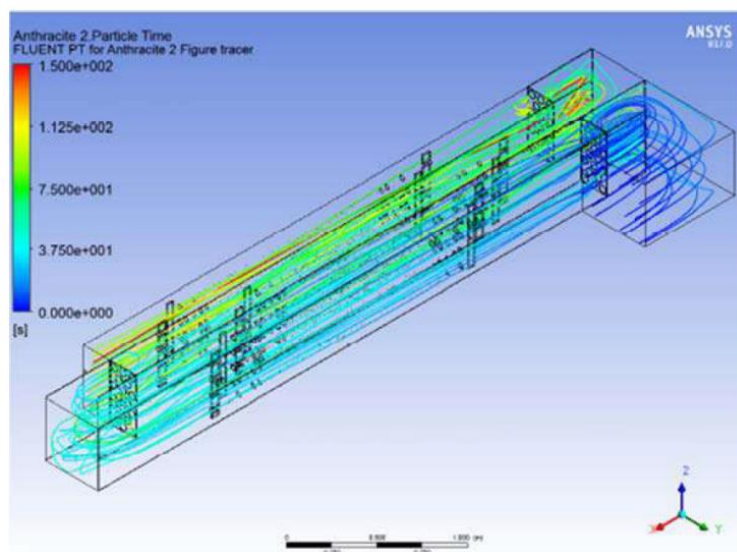


圖 8-1 粒子路徑分析結果範例

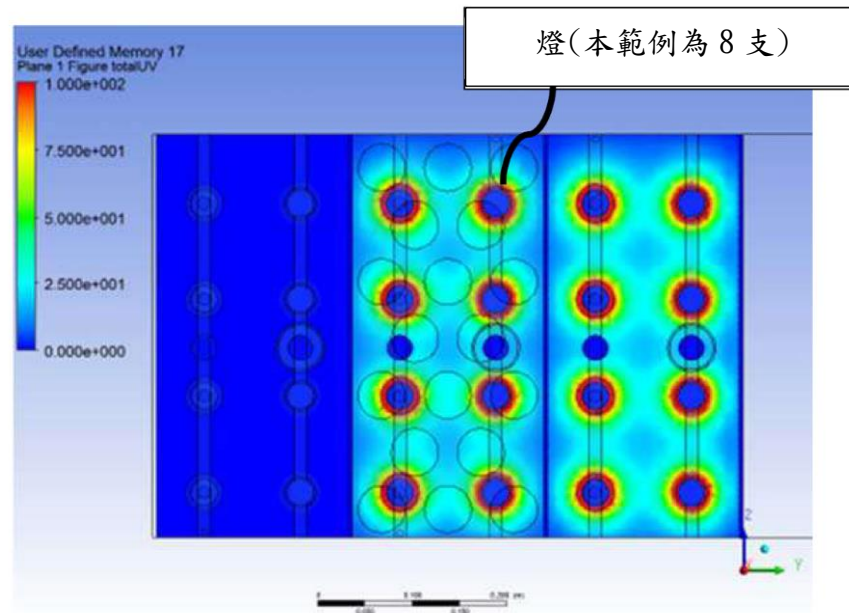


圖 8-2 UV 強度分析結果範例（距離燈越近，強度越高）

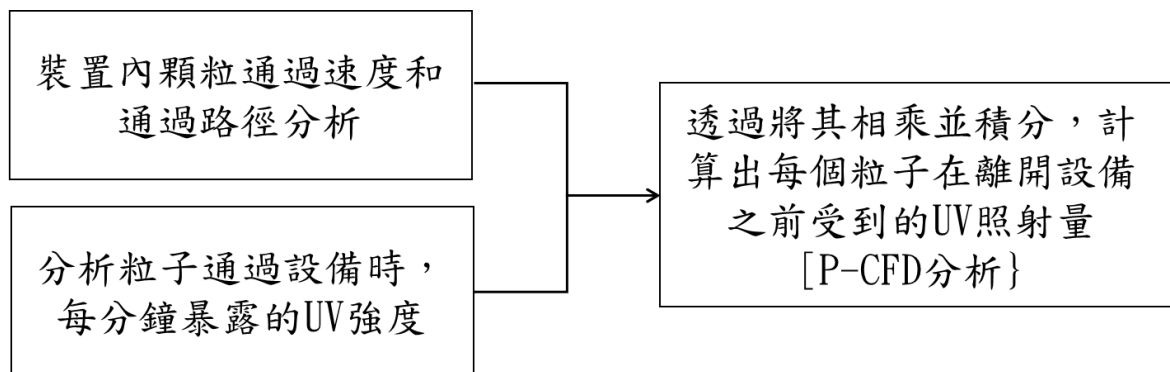


圖 8-3 P-CFD 分析的概念

8.2 使用 P-CFD 進行效能評估的例子

以 P-CFD 解析進行效能評估的一個例子是由日本國內（公益財團法人）水道技術研究中心發布的「UV 照射裝置 JWRC 技術審查基準」（平成 24 年 7 月 1 日）。在這個標準中，將 P-CFD 分析用於判斷適用於使用 UV 消毒裝置進行對抗具有抗氯生物特性的病原微生物（如隱孢子蟲等）。根據這個標準（如圖 8-4），對於通過 UV 消毒裝置的水量的 95 % 以上，需要確保其 UV 照射量為 10 mJ/cm^2 以上。

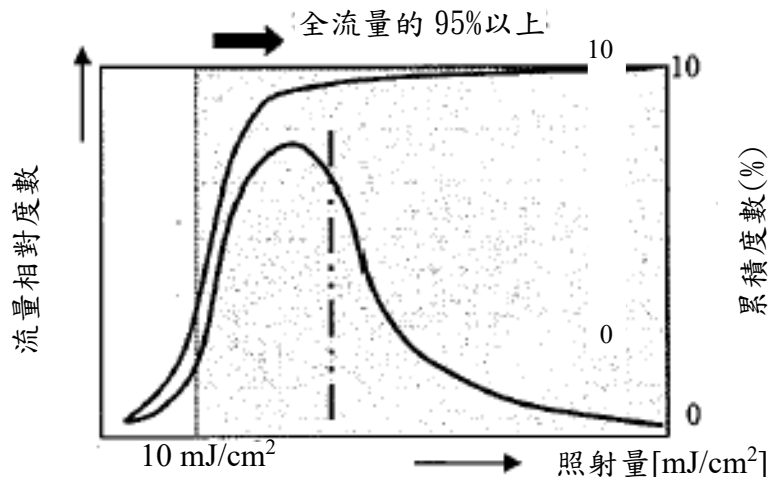


圖 8-4 JWRC 技術審查標準中輻照劑量分佈圖事例

上述的標準是針對去除（消滅）隱孢子蟲，而本系統的對象是病毒，因此不能直接應用該標準值。但是，透過 P-CFD，可以模擬裝置內粒子的行為，計算每個粒子在裝置內受到的 UV 量（即 UV 照射量），因此可以分析在更改裝置條件的情況下，UV 照射能力的變化程度。例如，在具有如圖 8-5 所示分布的 UV 消毒裝置中，通過 P-CFD 可以評估：

- 更改水道形狀的情況（如直線路徑和旁通路徑等）
- 當裝置內的燈管失效時

這樣，可以透過 P-CFD 的分析了解整體分布在這些情況下會如何變化，進而評估水道形狀的最優化以及在哪個位置的燈管失效時水質風險會變得無法接受，並將這些資訊應用於管理方法中。

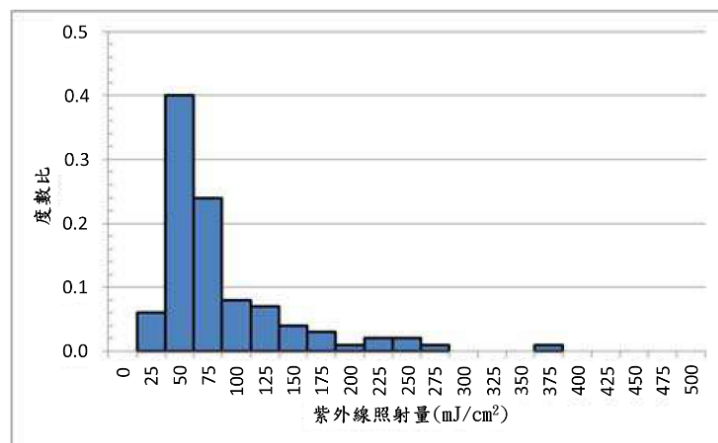


圖 8-5 UV 照射量分佈的計算

8.3 實證研究中 P-CFD 分析結果

在實證研究中致力於應用 P-CFD，計算實證工廠（自然流通的開放水道型）和試驗工廠（由泵壓送的封閉流通型）中的 UV 照射分布。

表 8-1 實證研究中使用 P-CFD 的績效評估研究

項目		試驗工廠	實證工廠	備註
消毒裝置 規格	形式	密閉流通型	開放水道型	
	最大燈數	4 支	16 支	安裝設備規格
	再生水量	9.45m ³ /日	1,080m ³ /日	
照射條件	水溫	30°C	同左	實證試驗
	UV 強度維持率	0.94	0.99	製造商數據
	套管衰減率	0.8	0.95	JWRC 標準

※1：隨著操作時間的增加，燈輸出會下降，但在 P-CFD 計算中將這種程度視為強度的維持率。這個值是製造商特有的，對於實證研究中使用的試驗設施，在計算時的累計運轉時間約為 1,000 小時，維持率為 94%，對於實證設施的設施，在累計運轉時間約為 2,000 小時時維持率為 99%。

※2：自動清潔存在）0.95，無自動清潔）0.8

在實證研究中，使用表 8-1 中顯示的條件，以表 8-2 中顯示的點亮燈數和燈輸出等操作設施，並進行 P-CFD 計算以試算照射量分佈（參見圖 8-6 和圖 8-7）。

表 8-2 試驗條件

項目		流量 (m ³ /日)	透過率 (%)	運轉燈數 (支)	燈輸出	
					(%)	(W)
試驗 工廠	RUN1	9.45	76.0	4	100	32
	RUN2	9.45	76.0	3	100	24
	RUN3	9.45	76.0	2	100	16
	RUN4	9.45	76.0	1	100	8
實證 工廠	RUN1	1,080	78.9	16	62	2,480
	RUN2	1,080	73.6	8	90	1,800
	RUN3	1,080	73.6	8	67	1,340

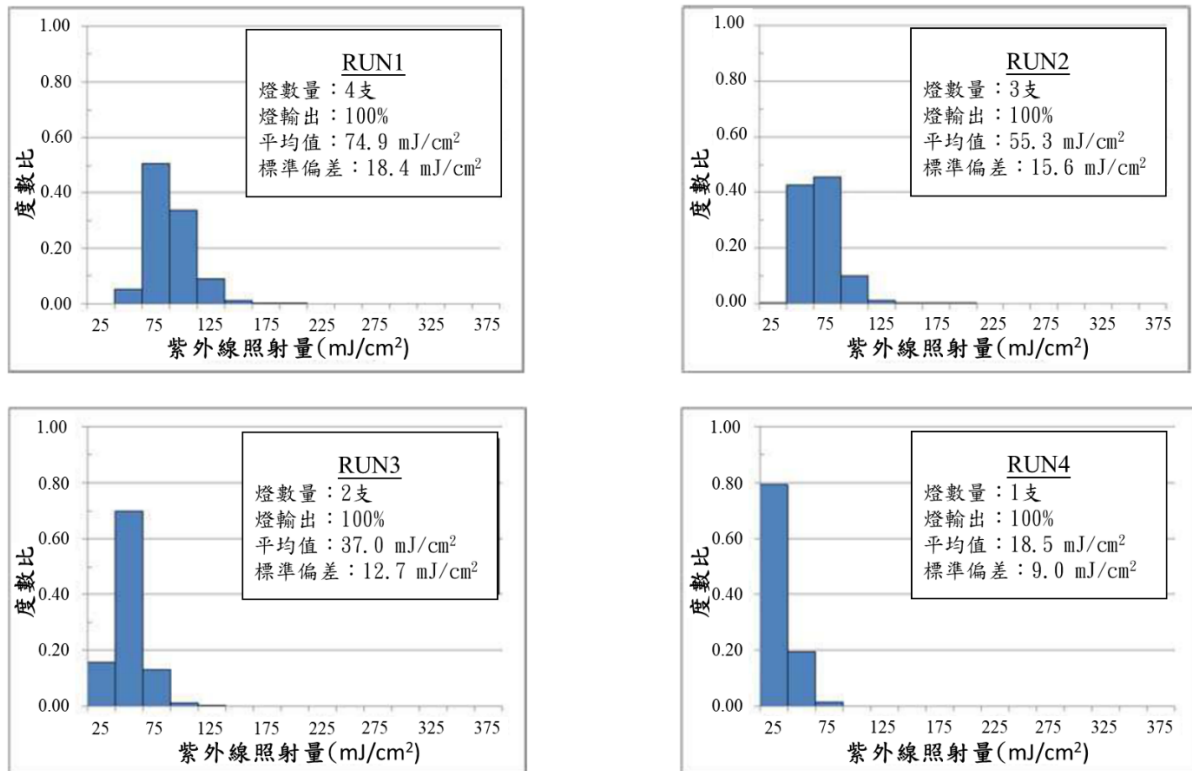


圖 8-6 試驗工廠 UV 照射量分佈估算結果

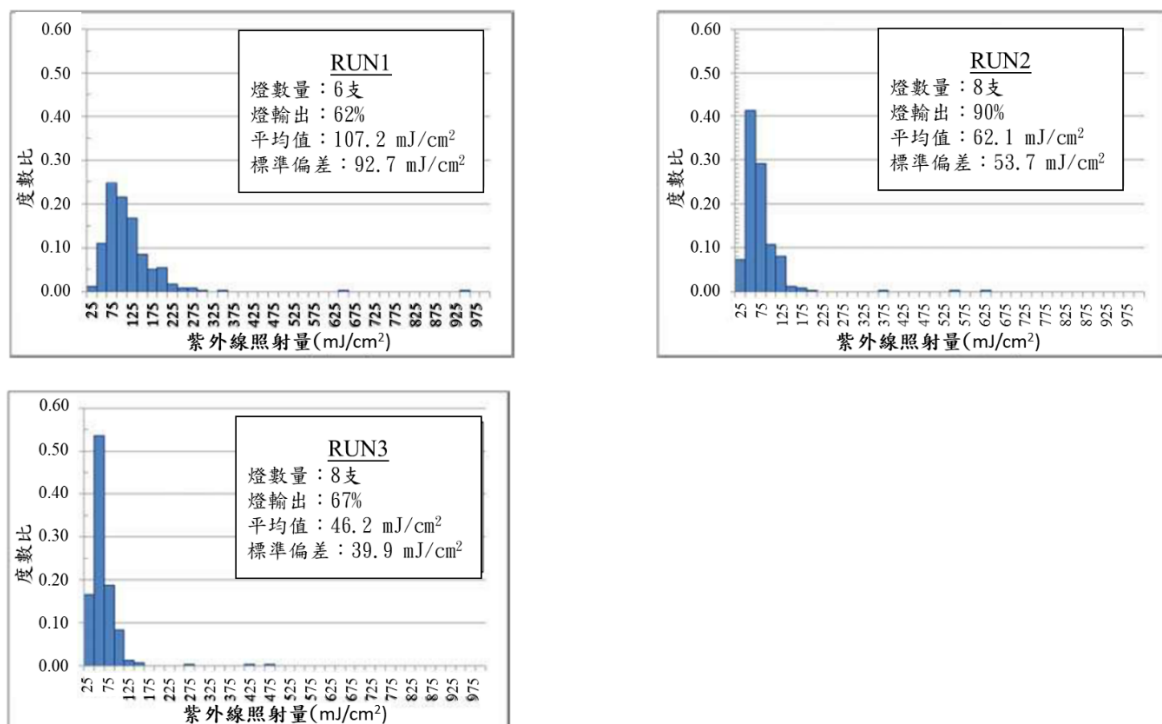


圖 8-7 實證工廠 UV 照射量分佈估算結果

傳統上，UV 消毒裝置的效能僅以該裝置提供的 UV 照射量的代表值（設計值）來表示，但 P-CFD 能夠表示裝置內 UV 照射量的分佈。基於這一點，整理了試算的 UV 照射量分佈的特性（見表 8-3、圖 8-8）。

表 8-3 試算的 UV 照射劑量分佈特徵

項目		水量 (m ³ /日)	運轉 燈數 (支)	燈輸出		UV 透過率 (%)	照射量分布	
				(%)	(W)		(mJ/cm ²)	(mJ/cm ²)
試驗 工廠	RUN1	9.45	4	100	32	76.0	74.9	18.4
	RUN2	9.45	3	100	24	76.0	55.3	15.6
	RUN3	9.45	2	100	16	76.0	37.0	12.7
	RUN4	9.45	1	100	8	76.0	18.5	9.0
實證 工廠	RUN1	1,080	16	62	2,480	78.9	107.2	92.7
	RUN2	1,080	8	90	1,800	73.6	62.1	53.7
	RUN3	1,080	8	67	1,340	73.6	46.2	39.9

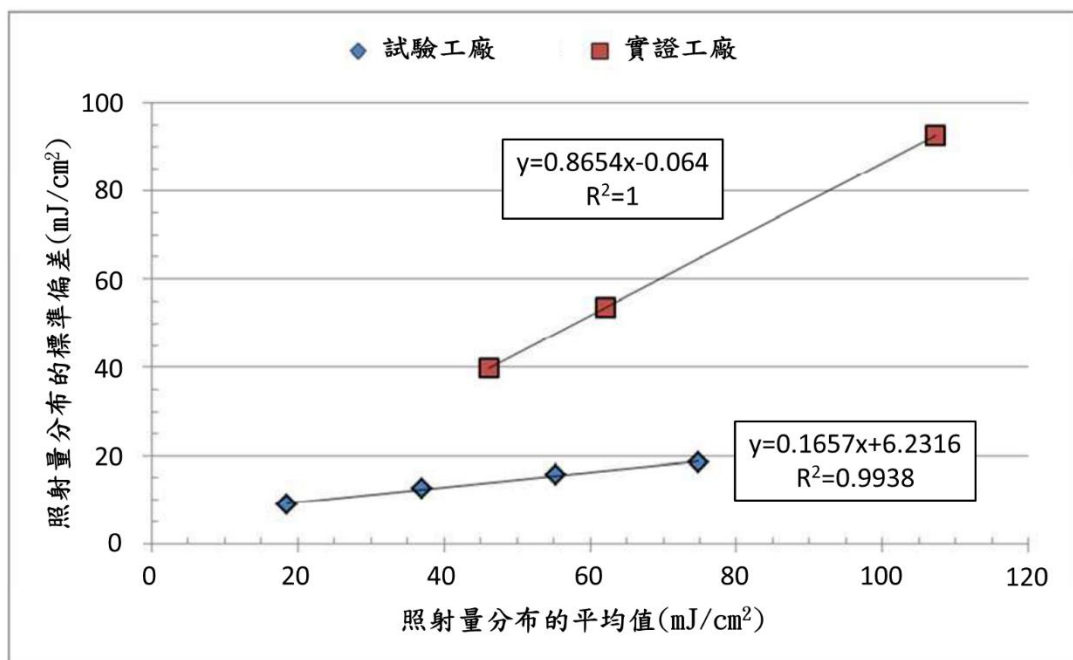


圖 8-8 估計劑量分佈平均值與標準偏差的關係

8.4 P-CFD 的實用性和未來標準化的討論

1. 使用 P-CFD 進行評估的可行性和意義

根據前述的分佈特性整理的結果，從中獲得以下有關 P-CFD 可行性的見解：

- 在使用的實證研究中，試驗工廠和實證工廠的處理水量相差 100 倍以上，而燈的輸出、配置方式和裝置形狀等也不同。從圖 8-8 所示的 UV 照射量分佈的平均值和標準差的關係中可以看出，相同平均值時標準差（照射量的變異）以及其變化程度（傾斜度）在兩者之間是不同的。這表明 P-CFD 的方法可以定量化和視覺化裝置形狀和操作條件等因素引起的特性差異。
- 這種可能性可以應用於裝置的效能評估和設計的優化。此外，由於可以基於照射量分佈定量評價燈的故障等導致的照射能力變化，因此也期望能應用於制定合適的運轉計劃等。考慮到以上的趨勢，P-CFD 的方法有助於明確 UV 系統的最佳設計和最佳操作的視點，同時也可應用於不同 UV 裝置的效率評估。

2. 標準化的研究事項

透過將病毒失活測試結果及由此導出的等效 UV 照射量（RED 值）以及 P-CFD 分析得到的 UV 照射量（分佈）相關聯，可以基於裝置內實際 UV 照射量分佈的數據，對 UV 消毒裝置進行定量評估（在效能和成本方面），並推動設計和管理方法的標準化。

此外，為了 P-CFD 分析的標準化，需要基於累積的數據進行以下整理：

- P-CFD 計算 UV 照射量分佈所使用的標準設置值（例如渦動黏性係數等）和程序等應該是明確的。
- P-CFD 計算的 UV 照射量分佈的結果應該基於特定的照射量（如 JWRC 技術審查基準中所示的閾值，即流量（百分比）的照射量超過 10 mJ/cm^2 的比例達到 95 % 以上）的基準值，並將其與該基準值相關聯，以及將基準值與目標病毒的失活率相關聯。

【為實現標準化而進行數據累積方法】

為了實現 P-CFD 對 UV 消毒裝置效能的檢討方法的標準化，以下是具體的檢討方法。透過這些方法，可以累積數據，從而推動基於 P-CFD 的 UV 消毒裝置的定量評估（效能和成本）以及設計和管理方法的標準化。

○ P-CFD 的標準化

要實現對 P-CFD 檢討方法的標準化，首先需要透過追蹤劑試驗確認 P-CFD 分析結果和實際流動的停留時間分佈，進行計算模型的校正。在這個過程中，考慮到裝置形狀、燈的配置以及流量的差異，可能需要進行各參數的個別設置，因此需要對具有不同水路形狀（例如“密閉流通型”和“開放水道型”）的兩種裝置進行驗證。在這期間，即使是相同的裝置，也應該在不同條件下進行驗證，包括給定幾種流量變化的條件，以進行各種條件下的驗證。基於這些結果，如果判定需要個別設置參數，則應進一步在流動方向、燈的配置等不同條件下進行相似的驗證，並基於這些結果揭示 P-CFD 分析中參數設置的方法和具體分析步驟。

○ 目標病毒的失活測試

對於病毒的失活，通過在實驗研究中對實驗裝置和實證裝置的一些條件下進行測試，確認了 UV 照射量與病毒（MS2 和 GI 噬菌體）的失活成比例關係。但是，要定量化系統對目標生物的失活，需要處理後的水中保留超過檢測下限的病毒。為此，需要調整 UV 消毒裝置的燈輸出和運轉次數，改變對水的 UV 照射量，測量在檢測下限以上的條件下的病毒量，並分析與 UV 照射量的相關性的數據。透過累積這類數據，可以提高 UV 照射量和病毒失活之間相關性的可靠性，進而期望實現對 P-CFD 的效能評估以及設計和管理方法的標準化。

第九章 農業利用風險傳遞

在進行再生水用於農業的利用時，確立與農業使用者之間的傳遞，如資訊的公開等，是非常重要的。以下是關於在考慮導入這項技術時的原水水質建議條件、農業利用開始時的水質管理項目設置、以及運轉期間的管理情況相關資訊公開的一個範例。

9.1 導入本系統時的傳遞

由於本系統的主要處理目標是去除病毒，對於其他水質項目的去除效果很小，因此在導入時，原水的水質條件需要滿足適用條件。有關原水水質條件的適用，根據作物的種類而有所不同，但以下的建議條件可作為參考，用來判斷本系統的適用性：

① 原水重金屬等：

農業灌溉用水通常使用河水，因此建議參考河川水質環境標準，作為推薦條件的一個範例。

② 原水氯鹽濃度：

原水氯鹽濃度應根據耐鹽性的農作物來判斷，建議參考濃度作為一個推薦條件的範例。

③ 原水 pH 值：

原水的 pH 值應根據種植的農作物種類來判斷，建議參考 pH 值作為一個推薦條件的範例。

(1) 原水重金屬等：

本技術主要針對病毒和細菌的處理，對於其他水質項目，僅能處理懸浮固體和由此產生的水質項目。對於重金屬等，實驗結果顯示在原水中檢測極限以下，且未能確認本技術的去除效果。但基於以下理由，原則上是無法處理的，因此需要確保原水水質滿足推薦條件：

- UF 膜的孔徑比重金屬等分子小。
- 由於 UV 照射無法改變重金屬等的性質，因此無法處理。

農業灌溉用水通常使用河水，而重金屬等在一般的河水中是可以接受的水質，因此可以判斷將其用於農業作物種植沒有問題。推薦條件的設定參考了日本河川水質環境標準。對於 ISO16075（放流水的灌溉用水利用）中存在的公共用水域水質基準，推薦條件參考了 ISO 的標準值。（參見表 9-1）

表 9-1 原水水質的推薦條件（重金屬類等）

項目	單位	推薦條件	參考值
鎘	mg/L	年平均 0.01 以下*2 最大 0.0025 以下	0.003 以下
總氰化物	mg/L	年平均 0.1 以下*2 最大 0.2 以下	不檢出
鉛	mg/L	依環境標準值	0.01 以下
六價鉻	mg/L	依環境標準值	0.05 以下
砷	mg/L	年平均 0.05 以下*1	0.01 以下

項目	單位	推薦條件	參考值
總汞	mg/L	年平均 0.002 以下*2 最大 0.005 以下	0.0005 以下
烷基汞	mg/L	依環境標準值	不檢出
PCB	mg/L	依環境標準值	不檢出
二氯甲烷	mg/L	依環境標準值	0.02 以下
四氯化碳	mg/L	依環境標準值	0.002 以下
1,2-二氯乙烷	mg/L	依環境標準值	0.004 以下
1,1-二氯乙烷	mg/L	依環境標準值	0.1 以下
順式 1,2-二氯乙烷	mg/L	依環境標準值	0.04 以下
1,1,1-三氯乙烷	mg/L	依環境標準值	1 以下
1,1,2-三氯乙烷	mg/L	依環境標準值	0.006 以下
三氯乙烯	mg/L	依環境標準值	0.01 以下
四氯乙烯	mg/L	依環境標準值	0.01 以下
1,3-二氯丙烯	mg/L	依環境標準值	0.002 以下
得恩地 Thiram	mg/L	依環境標準值	0.006 以下
西瑪津 Simazine	mg/L	依環境標準值	0.003 以下
Benthiocarb	mg/L	依環境標準值	0.02 以下
苯	mg/L	依環境標準值	0.01 以下
硒	mg/L	年平均 0.02 以下*2、*3 最大 0.05 以下	0.01 以下
硝酸鹽和亞硝酸鹽	mg/L	年平均 T-N25 以下*2、*3 最大 T-N30 以下	10 以下
氟	mg/L	年平均 2.0 以下*2、*3 最大 3.0 以下	0.8 以下
硼	mg/L	年平均 2.0 以下*2、*3 最大 2.6 以下	1 以下
1,4-二噁烷	mg/L	依環境標準值	0.05 以下

*1 1971 年 10 月 4 日，農業(水稻)水標準，農林水產技術會議⁵⁾

*2 ISO16075 灌溉工程處理廢水使用指南，ISO，2015.8.15¹⁾

*3 基於具有中等耐受性的作物。

*4 所有環境標準值為平均值。

(2) 原水氯鹽濃度

作為評估灌溉水對農作物的鹽害影響的一個指標是氯鹽濃度。根據聯合國糧食和農業組織(FAO)的水質指南(參見表 9-2)，氯鹽濃度在地表滲灌中應保持在 140 mg/L 以下，而在噴灑灌溉中應保持在 115 mg/L 以下。此外，根據對沖繩縣島尻地區的調查結果⁶⁾，一般而言，氯鹽濃度在 200 mg/L 以下，對於對鹽分敏感的作物(參見表 9-3)也不太可能產生顯著影響。

表 9-2 氯離子建議值

	適用上的限制程度		
	無	一些限制	重大限制
地表灌溉	<4 meq/l (<140 mg/l)	4~10 meq/l (140~350 mg/l)	>10 meq/l (>350mg/l)
噴灑灌溉	<3meq/l (<115mg/l)	>3 meq/l (>115mg/l)	-

*Cl: 1 meq/l = 1 mmol/l = 35mg/l

資料來源：FAO（聯合國糧食及農業組織）灌溉水質準則(1985)⁴⁾

就氯鹽濃度而言，根據實證實驗結果，本技術幾乎不能去除氯鹽。因此，建議的條件是原水的水質應該根據耐鹽性的農作物而定，並保持在適當的濃度。此外，已知氯鹽濃度與導電度（EC 值）存在相關性。在此建議事先建立處理廠放流水中氯鹽濃度與 EC 值之間的相關方程式，同時設定 EC 值的正確範圍。在運轉管理中，建議連續監測 EC 值。

表 9-3 農作物的相對耐鹽性

品項	敏感性			
	耐受	中度 耐受	中度 敏感	敏感
農作物				
大麥(大麦)	✓			
菜豆(インゲン豆)				✓
蠶豆(そら豆)			✓	
玉米(トウモロコシ)			✓	
棉花(棉花)	✓			
長豆(ササゲ)			✓	
麻(麻)			✓	
苜蓿(ホホバ)	✓			
燕麥(オート麦)		✓		
黑麥(ライ麦)		✓		
甜菜(テンサイ)	✓			
甘蔗(サトウキビ)			✓	

品項	敏感性			
	耐受	中度 耐受	中度 敏感	敏感
高粱(モロコシ)		✓		
大豆(大豆)		✓		
小麥(小麦)		✓		
苜蓿(アルファルファ)			✓	
狗牙根(ギョウギシバ)	✓			
白三葉草(シロツメグサ)			✓	
紅三葉草(レッドクローバー)			✓	
草甸羊茅(ヒロハノウシノケグサ)		✓		
狐尾草 (オオスズメノテッポウ)			✓	
球莖草蘆(ハーディンググラス)		✓		
愛情草(ラブグラス)			✓	
寒地型永年牧草種子(オーチャードグラス)			✓	
田菁屬 (セสบニア属)			✓	
苦馬豆屬 (Sphaerophysa)			✓	
蘇丹草 (スーダングラス)		✓		
烏鴉豌豆(カラスノエンドウ)			✓	
仙女鳳頭麥草 (フェアリークレスティッドホイトグラス)	✓			
標準鳳頭小麥草 (スタンダードクレスティッドホイトグラス)		✓		
高大的小麥草(トールホイトグラス)	✓			
哈馬大蒜(ハマニンニク)		✓		
野菜				
菊芋(キクイモ)		✓		
蘆筍(アスパラガス)	✓			
甜菜根(赤カブ)		✓		
高麗菜(キャベツ)			✓	
紅蘿蔔(ニンジン)				✓
芹菜(セロリ)			✓	
黃瓜(キュウリ)			✓	
萵苣(レタス)			✓	
洋蔥(玉ねぎ)				✓
馬鈴薯(ジャガイモ)			✓	
菠菜(ほうれん草)			✓	

品項	敏感性			
	耐受	中度 耐受	中度 敏感	敏感
櫛瓜(ズッキーニ) 甘藷(サツマイモ) 番茄(トマト) 蕪菁(カブ)		✓	✓ ✓ ✓	
果物類				
杏仁(アーモンド) 杏桃(アプリコット) 黑莓(ブラックベリー) 椰棗(ナツメヤシ) 葡萄(ブドウ) 柳丁(オレンジ) 桃(桃) 李子乾 (プルーン) 草莓(イチゴ)	✓		✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓	

※1 Westcot and Ayers(1985)より引用。

※2 これらのデータは、作物間の相対的耐性の指針としてのみ役立つ。絶対的耐性は、気候、土壤条件、耕作習慣によって異なる。

出典：水再生利用學（技報堂出版）⁸⁾

(3) 原水 pH 値

pH 是評估灌溉水對農作物影響的指標之一，根據 FAO（聯合國糧食及農業組織）的水質指南（參見表 9-4 左欄），pH 值在 6.5 到 8.4 之間被認為是合適的範圍。然而，根據日本國內的調查結果（參見表 9-5），對於某些作物來說，即使在這個範圍之外，仍然可以被視為合適的範圍。此外，FAO 的測試結果（參見表 9-4 右欄）的可用範圍也比合適範圍更廣。鑑於這些情況，考慮到栽培的農作物種類等因素，對 pH 的評估宜謹慎進行。而本技術對再生水的 pH 影響較小。

表 9-4 pH 的推薦範圍

	糧農組織指引適當範圍*1	基於 FAO 測試結果的可用範圍*2
pH	6.5~8.4	6.0~8.5

資料來源：FAO(聯合國糧食及農業組織)灌溉水質準則(1985)⁴⁾

※1 Table 1 GUIDELINES FOR INTERPRETATIONS OF WATER QUALITY FOR IRRIGATION

※2 Table 2 LABORATORY DETERMINATION NEEDED TO EVALUATE COMMON IRRIGATION
WATER QUALITY PROBLEMS

9-5 農作物最適合的 pH 生長範圍(日本國內調査)

水稻(イネ)	5.0～6.5	白色三葉草(シロクローバ)	5.6～7.0
小麥(コムギ)	5.5～7.5	紅色三葉草(アカクローバ)	6.0～7.5
大豆(ダイズ)	6.0～7.0	苜蓿(アルファルファ)	6.2～7.8
花生(ラッカセイ)	5.3～6.6	藍草(ブルーグラス)	5.5～7.5
碗豆(エンドウ)	6.0～7.5	燕麥(エンバグ)	5.0～7.5
甘蔗(サトウキビ)	6.0～8.0		
煙草(タバコ)	5.5～7.5	紅莓苔子(ツルコケモモ)	4.2～5.0
大麥(オオムギ)	6.5～7.8	鳳梨(パイナップル)	5.0～6.0
		桃(モモ)	6.0～7.5
番茄(トマト)	5.5～7.5	蘋果(リンゴ)	5.0～6.5
黃瓜(キュウリ)	5.5～7.0	杏桃(アンズ)	6.0～7.0
紅蘿蔔(ニンジン)	5.5～7.0	葡萄(ブドウ)	6.0～7.5
馬鈴薯(ジャガイモ)	4.5～6.5		
萵苣(レタス)	6.0～7.0	常綠杜鵑亞屬(シャクナゲ類)	4.5～6.0
高麗菜(キャベツ)	6.0～7.5	蘭類(ラン)	4.0～5.0
菠菜(ホウレンソウ)	6.0～7.5	康乃馨(カーネーション)	6.0～7.5
蘆筍(アスパラガス)	6.0～8.0	天竺葵(ゼラニウム)	6.0～8.0

出處：土壤・肥料学の基礎⁹⁾

9.2 農業使用開始時的傳遞

在農業利用開始時，公開先前試運轉的水質測試結果等資訊，與農業使用者進行交流，確保再生水質滿足種植作物的要求是重要的。此外，在使用開始時確認水質測試的地點和再生水處理業者與再生水使用者之間的責任分界點也是重要的。水質測試和公開的項目如表 9-6 所示。此外，在進行資訊公開時，應考慮同時提供參考的比較水質。雖然不一定要求與比較值完全一致，但如果能夠基本滿足農業使用的目標值和環境標準，則通常不會存在大的問題。有關資訊公開，除了透過網站等進行公開外，還透過日本農業協會等途徑舉辦說明會，解釋水質測試數據以及各水質項目對農作物的影響等。

表 9-6 農用開始時水質項目測定結果

水質項目	單位	比較對象值						
		農業利用參考值				放流水 水質標準 (下水道法)	一般排水標準 (水質汚濁防止法)	環境標準 (環境基本法)
		農業（水稻） 用水標準※1	ISO 16075※2	WHO 指引※3、※4	FAO指引※5			
氫離子濃度 (pH)		6.0 以上 7.5 以下	—	6.5 以上 8.1 以下※3.1	使用範圍 6.0~8.5※5.2	5.8 以上 8.6 以下	5.8 以上 8.6 以下	(河川 A 類型) 6.5 以上 8.5 以下
					幾乎沒有效果 6.5 以上 沒有影響 6.5~5.5 影響力強 5.5~4.5 影響力非常強 4.5 以下 ※5.5			
					6.5 以上 8.4 以下※5.1			
滴灌	—	—	—	—	無限制7.0以下 有一些使用限制 7.0~8.0 有嚴格的使用限制 8.0 以上※5.4	—	—	—
浮游性物質 (TSS)	mg/L	100 以下	平均值 5 以下 最大值 10 以下※2.6	無限制 50 以下 有一些使用限制 50~100 有嚴格的使用限制 100 以上※3.1	—	40 以下	200 以下 (日間平均 150 以下)	(河川 A 類型) 25 以下
	滴灌	mg/L	—	—	無限制 50 以下 有一些使用限制 50~100 有嚴格的使用限制 100 以上※5.4	—	—	—

水質項目		單位	比較對象值						
			農業利用參考值				放流水 水質標準 (下水道法)	一般排水標準 (水質污濁防止法)	環境標準 (環境基本法)
			農業（水稻） 用水標準※1	ISO 16075※2	WHO 指引 ※3、※4	FAO指引 ※5			
溶解性物質 (TDS)		mg/L	—	—	無限制450以下 有一些使用限制 450~2,000 有嚴格的使用限制 2,000 以上 ※3.1	使用範圍 0~2,000※5.2 ※5.1	—	—	—
	滴灌	mg/L	—	—	—	無限制500以下 有一些使用限制 500~2,000 有嚴格的使用限制 2,000 以上※5.4	—	—	—
溶氧量 (DO)		mg/L	5 以上	—	—	—	—	—	(河川 A 類型) 7.5 以下
生化學需氧量 (BOD)		mg/L	—	平均值 5 以下 最大值 10 以下※2.6	—	—	10 以下	160 以下 (日間平均 120 以下)	(河川 A 類型) 2 以下
化學需氧量 (COD _{Mn})		mg/L	6 以下	—	—	—	—	160 以下 (日間平均 120 以下)	—
一般 細菌	滴灌	個/mL	—	—	—	無限制10,000以下 有一些使用限制 10,000~50,000 有嚴格的使用限制 50,000 以上※5.4	—	—	—
大腸桿菌群數			—	—	—	—	—	—	—
大腸桿菌		個/100mL	—	—	—	—	—	—	—
糞便性 大腸桿菌		個/100mL	—	(等級處理方法) 平均值 10 以下 (或沒有檢測到) 最大值 100 以下※2.6	1,000 以下※4	—	—	—	—

水質項目	單位	比較對象值						
		農業利用參考值				放流水 水質標準 (下水道法)	一般排水標準 (水質污濁防止法)	環境標準 (環境基本法)
		農業(水稻) 用水標準※1	ISO 16075※2	WHO 指引※3、※4	FAO指引※5			
總氮 (T-N)	mg/L	1 以下	月平均 25 以下 最大值 35 以下※2.1	無限制 5 以下 有一些使用限制 5~30 有嚴格的使用限制 30 以上※3.1	—	取決既有 處理廠的 處理方法	120 以下 (日間平均 60 以下)	—
氨、氮化合物、亞硝酸鹽化合物和硝酸鹽化合物	mg/L	—	—	—	—	—	100 以下	—
氨氮 (NH ₄ -N)	mg/L	—	月平均 20 以下 最大值 30 以下※2.1	—	使用範圍 0~5※5.2	—	—	—
					幾乎沒有效果15以下 沒有影響 15~30 影響力強 30~60 影響力非常強 60 以上※5.5			
硝酸鹽氮和亞硝酸鹽氮	mg/L	—	—	—	—	—	—	10 以下
硝酸鹽氮 (NO ₃ -N)	mg/L	—	—	—	使用範圍 0~10※5.2	—	—	—
					無限制 5 以下 有一些使用限制 5~30 有嚴格的使用限制 30 以上※5.1			
總磷(TP)	mg/L	—	月平均 5 以下 最大值 7 以下※2.1	—	—	取決既有 處理廠的 處理方法	16 以下 (日間平均 8 以下)	—
磷酸鹽(PO ₄ -P)	mg/L	—	—	—	使用範圍 0~2※5.2	—	—	—
有機磷化合物		—	—	—	—	—	1 以下	0.01 以下

水質項目	單位	比較對象值						
		農業利用參考值				放流水 水質標準 (下水道法)	一般排水標準 (水質污濁防止法)	環境標準 (環境基本法)
		農業（水稻） 用水標準※1	ISO 16075※2	WHO 指引※3、※4	FAO指引※5			
鎘 (Cd)	mg/L	—	月平均 0.01 以下 最大值 0.025 以下※2.5	0.01 以下 ※3.2	※5.3	—	0.03 以下	0.003 以下
總氰化物 (CN)	mg/L	—	月平均 0.1 以下 最大值 0.2 以下※2.5	—	—	—	1 以下	沒有檢測到
鉛(Pb)	mg/L	—	—	—	—	—	0.1 以下	0.01 以下
六價鉻	mg/L	—	—	—	—	—	0.5 以下	0.05 以下
砷(As)	mg/L	0.05 以下	—	0.10 以下 ※3.2	※5.3	—	0.1 以下	0.01 以下
總汞(T-Hg)	mg/L	—	月平均 0.002 以下 最大值 0.005 以下※2.5	—	—	—	0.005 以下	0.0005 以下
烷基汞(R-Hg)	mg/L	—	—	—	—	—	沒有檢測到	沒有檢測到
多氯聯苯(PCB)	mg/L	—	—	—	—	—	0.003 以下	沒有檢測到
二氯甲烷	mg/L	—	—	—	—	—	0.2 以下	0.02 以下
四氯化碳(CCl4)	mg/L	—	—	—	—	—	0.02 以下	0.002 以下
1,2-二氯乙烷	mg/L	—	—	—	—	—	0.04 以下	0.004 以下
1,1-二氯乙烯	mg/L	—	—	—	—	—	1 以下	0.1 以下
順式 1,2-二氯乙烯	mg/L	—	—	—	—	—	0.4 以下	0.04 以下
1,1,1-三氯乙烷	mg/L	—	—	—	—	—	3 以下	1 以下
1,1,2-三氯乙烷	mg/L	—	—	—	—	—	0.06 以下	0.006 以下
三氯乙烯	mg/L	—	—	—	—	—	0.1 以下	0.01 以下
四氯乙烯	mg/L	—	—	—	—	—	0.1 以下	0.01 以下
1,3-二氯丙烯	mg/L	—	—	—	—	—	0.02 以下	0.002 以下
秋蘭姆	mg/L	—	—	—	—	—	0.06 以下	0.006 以下
西瑪津	mg/L	—	—	—	—	—	0.03 以下	0.003 以下
硫苯威	mg/L	—	—	—	—	—	0.2 以下	0.02 以下
苯	mg/L	—	—	—	—	—	0.1 以下	0.01 以下
硒(Se)	mg/L	—	月平均 0.02 以下 最大值 0.05 以下※2.5	0.02 以下 ※3.2	※5.3	—	0.1 以下	0.01 以下
1,4-二噁烷	mg/L	—	—	—	—	—	0.5 以下	0.05 以下

水質項目	單位	比較對象值							
		農業利用參考值				放流水 水質標準 (下水道法)	一般排水標準 (水質污濁防止法)	環境標準 (環境基本法)	
		農業（水稻） 用水標準※1	ISO 16075※2	WHO 指引※3・※4	FAO指引※5				
氟(F)	mg/L	—	月平均 2.0 以下 最大值 3.0 以下※2.5	0.01 以下 ※3.2		※5.3	—	15 以下	0.8 以下
硼(B)	mg/L	—	敏感的 月平均 0.4 以下 最大值 0.5 以下 中度敏感 月平均 1.0 以下 最大值 1.3 以下 中等抵抗力 月平均 2.0 以下 最大值 2.6 以下 抵抗的 月平均 4.0 以下 最大值 5.2 以下※2.4			使用範圍 0~2※5.2	—	10 以下	1 以下
				沒有限制 0.7 以下 有一些使用限制 0.7~3.0 有嚴格的使用限制 3.0 以上 ※3.1		※5.1			
銅(Cu)	mg/L	0.02 以下	月平均 0.2 以下 最大值 0.5 以下※2.5	0.02 以下 ※3.2		※5.3	—	3 以下	—
鋅(Zn)	mg/L	0.5 以下	月平均 2 以下 最大值 5 以下※2.5	2.0 以下 ※3.2		※5.3	—	2 以下	—
鋁(Al)	mg/L	—	月平均 5 以下 最大值 12.5 以下※2.5	5.0 以下 ※3.2		※5.3	—	—	—
鈹(Be)	mg/L	—	月平均 0.1 以下 最大值 0.25 以下※2.5	0.10 以下 ※3.2		※5.3	—	—	—
鈷(Co)	mg/L	—	月平均 0.05 以下 最大值 0.125 以下※2.5	0.05 以下 ※3.2		※5.3	—	—	—
鋰(Li)	mg/L	—	月平均 2.5 以下 最大值 6.25 以下※2.5	2.5 以下 ※3.2		※5.3	—	—	—
鉬(Mo)	mg/L	—	月平均 0.01 以下 最大值 0.025 以下※2.5	0.01 以下 ※3.2		※5.3	—	—	—
鎳(Ni)	mg/L	—	月平均 0.2 以下 最大值 0.5 以下※2.5	0.20 以下 ※3.2		※5.3	—	—	—
鈀(Pd)	mg/L	—	月平均 0.1 以下 最大值 0.25 以下※2.5	5.0 以下 ※3.2		※5.3	—	—	—
釩(V)	mg/L	—	月平均 0.1 以下 最大值 0.25 以下※2.5	0.10 以下 ※3.2		※5.3	—	—	—

水質項目		單位	比較對象值						
			農業利用參考值				放流水 水質標準 (下水道法)	一般排水標準 (水質污濁防止法)	環境標準 (環境基本法)
			農業（水稻） 用水標準※1	ISO 16075※2	WHO 指引※3、※4	FAO指引※5			
鐵(Fe)		mg/L	—	月平均 2 以下 最大值 5 以下※2.5	5.0 以下		—	10 以下	—
					※3.2	※5.3			
	滴灌	mg/L	—	—	沒有限制 0.1 以下 有一些使用限制 0.1～1.5 有嚴格的使用限制 1.5 以上 ※3.1		※5.4		
錳（Mn）		mg/L	—	月平均 0.2 以下 最大值 0.5 以下※2.5	0.20 以下		—	10 以下	—
			※3.2		※5.3				
			幾乎沒有效果 100以下 沒有影響 100～300 影響力強 300～1,500 影響力非常強 1,500 以上※5.5						
	滴灌	mg/L	—	—	沒有限制 0.1 以下 有一些使用限制 0.1～1.5 有嚴格的使用限制 1.5 以上 ※3.1		※5.4	—	—
鉻(Cr)		mg/L	—	月平均 0.1 以下 最大值 0.25 以下※2.5	—	0.10 以下※5.3	—	2 以下	—

水質項目	單位	比較對象值						
		農業利用參考值				放流水 水質標準 (下水道法)	一般排水標準 (水質污濁防止法)	環境標準 (環境基本法)
		農業（水稻） 用水標準 ^{※1}	ISO 16075 ^{※2}	WHO 指引 ^{※3、※4}	FAO指引 ^{※5}			
鈣(Ca)	meq/L (mg/L)	—	—	—	使用範圍 0~20 meq/L (0~401 mg/L) ^{※5.2}	—	—	—
鈉(Na)	meq/L (mg/L)	—	敏感的 月平均 150 mg/L 以下 最大值 200 mg/L 以 下 ^{※2.4}	—	使用範圍 0~40 meq/L (0~917 mg/L) ^{※5.2}	—	—	—
	地表 灌溉	meq/L (mg/L)	—	沒有限制 3 meq/L 以下 (69 mg/L 以下) 有一些使用限制 3~9 meq/L(69~207 mg/L) 有嚴格的使用限制 9 meq/L 以上 (207 mg/L 以上) ^{※3.1}		—	—	—
	噴灌	meq/L (mg/L)	—	—	沒有限制 3 meq/L 以下 (69 mg/L 以下) 有一些使用限制 3 meq/L 以上 (69 mg/L 以上) ^{※5.1}	—	—	—
	meq/L (mg/L)	—	—	—	使用範圍 0~5 meq/L (0~61 mg/L) ^{※5.2}	—	—	—
鎂 (Mg)	meq/L (mg/L)	—	—	—	使用範圍 0~5 meq/L (0~61 mg/L) ^{※5.2}	—	—	—
鉀(K)	mg/L	—	—	—	使用範圍 0~2 ^{※5.2}	—	—	—
總硬度	—	—	—	—	—	—	—	—
SAR	meq/L	—	—	—	使用範圍 0~15 ^{※5.2}	—	—	—
					沒有限制 3 以下 有一些使用限制 3 ~9 有嚴格的使用限制 9 以上 ^{※5.2}			

水質項目	單位	比較對象值						
		農業利用參考值				放流水 水質標準 (下水道法)	一般排水標準 (水質污濁防止 法)	環境標準 (環境基本法)
		農業（水稻） 用水標準※1	ISO 16075※2	WHO 指引※3、※4	FAO指引※5			
導電度(EC)	dS/m	0.3 以下	敏感 月平均 1.4 以下 最大值 1.8 以下 中度敏感 月平均 2.0 以下 最大值 2.6 以下 中等阻力 月平均 4.0 以下 最大值 5.2 以下 阻力 月平均 6.0 以下 最大值 7.8 以下 ※2.4		使用範圍 0~3 ※5.2	—	—	—
			非常弱的阻力 0.5 以下 弱阻力 1.0 以下 中等阻力 2.0 以下 強阻力 4.0 以下 非常強阻力 8.0 以下※2.2	沒有限制 0.7 以下 有一些使用限制 0.7~3.0 有嚴格的使用限制 3.0 以上 ※3.1	※5.1	—	—	—

水質項目		單位	比較對象值						
			農業利用參考值				放流水 水質標準 (下水道法)	一般排水標準 (水質污濁防止法)	環境標準 (環境基本法)
			農業（水稻） 用水標準※1	ISO 16075※2	WHO 指引※3、※4	FAO指引※5			
導電 度 (EC)	SAR 0~3 meq/L	dS/m	—	※2.3	沒有限制 有一些使用限制 有嚴格的使用限制 ※3.1	0.7 以上 0.7~0.2 0.2 以下 ※5.1	—	—	—
	SAR 3~6 meq/L	dS/m	—	※2.3	沒有限制 有一些使用限制 有嚴格的使用限制 ※3.1	1.2 以上 1.2~0.3 0.3 以下 ※5.1			
	SAR 6~12 meq/L	dS/m	—	※2.3	沒有限制 有一些使用限制 有嚴格的使用限制 ※3.1	1.9 以上 1.9~0.5 0.5 以下 ※5.1			
	SAR 12~20 meq/L	dS/m	—	※2.3	沒有限制 有一些使用限制 有嚴格的使用限制 ※3.1	2.9 以上 2.9~1.3 1.3 以下 ※5.1			
	SAR 20~40 meq/L	dS/m	—	※2.3	沒有限制 有一些使用限制 有嚴格的使用限制 ※3.1	5.0 以上 5.0~2.9 2.9 以下 ※5.1			

水質項目	單位	比較對象值						
		農業利用參考值				放流水 水質標準 (下水道法)	一般排水標準 (水質汚濁防止法)	環境標準 (環境基本法)
		農業（水稻） 用水標準※1	ISO 16075※2	WHO 指引※3、※4	FAO指引※5			
氯離子 (Cl ⁻)		—	敏感 月平均 250 mg/L 以下 最大值 280 mg/L 以下 中度敏感 月平均 400 mg/L 以下 最大值 440 mg/L 以下 中等阻力 月平均 1,000 mg/L 以下 最大值 1,100 mg/L 以下 阻力 月平均 1,400 mg/L 以下 最大值 1,500 mg/L 以下 ※2.4	—	使用範圍 0~30 meq/L (0~1,064 mg/L) ※5.2	—	—	—
	地表 灌溉	—	—	沒有限制 有一些使用限制 有嚴格的使用限制 ※3.1	4 meq/L 以下 (140 mg/L 以下) 4~10 meq/L (140~350 mg/L) 10 以上 (350 mg/L 以上) ※5.1	—	—	—
	噴灌	—	—	沒有限制 有一些使用限制 ※3.1	3 meq/L 以下 (115 mg/L 以下) 3 meq/L 以上 (115 mg/L 以上) ※5.1	—	—	—
餘氯 (Cl ₂)	mg/L	—	—	沒有限制 1 以下 有一些使用限制 1~5 有嚴格的使用限制 5 以上※3.1	—	—	—	—

水質項目		單位	比較對象值					
			農業利用參考值			放流水 水質標準 (下水道法)	一般排水標準 (水質污濁防止法)	環境標準 (環境基本法)
			農業（水稻） 用水標準※ ¹	ISO 16075※ ²	WHO 指引※ ³ 、※ ⁴			
碳酸氫鹽 (HCO ₃)		meq/L (mg/L)	—	—	沒有限制 90 mg/L 以下 有一些使用限制 90~500 有嚴格的使用限制 500 以上※ ^{3.1}	使用範圍 0~10 meq/L (0~611 mg/L)※ ^{5.2}	—	—
	噴灌	meq/L (mg/L)	—	—	—	沒有限制 1.5 meq/L 以下 (92 mg/L 以下) 有一些使用限制 1.5~8.5 meq/L (92~519 mg/L) 有嚴格的使用限制 8.5 meq/L 以上 (519 mg/L 以上)※ ^{5.1}	—	—
碳酸根離子 (CO ₃ ²⁻)		meq/L (mg/L)	—	—	—	使用範圍 0~0.1 meq/L (0~3.0 mg/L)※ ^{5.2}	—	—
二氧化碳 (CO ₂)		mg/L	—	—	—	幾乎沒有效果 15以下 沒有影響 15~30 影響力強 30~60 影響力非常強 60以上※ ^{5.5}	—	—

水質項目	單位	比較對象值						
		農業利用參考值				放流水 水質標準 (下水道法)	一般排水標準 (水質汚濁防止法)	環境標準 (環境基本法)
		農業（水稻） 用水標準※1	ISO 16075※2	WHO 指引※3、※4	FAO指引※5			
硫酸根離子 (SO ₄ ²⁻)	meq/L (mg/L)				使用範圍 0~20 meq/L (0~961 mg/L)※5.2			
					幾乎沒有效果 200 mg/L以下 沒有影響 200~600 mg/L 影響力強 600~3,000 mg/L 影響力非常強 3,000 mg/L以上※5.5			
硫化氫 (H ₂ S)	mg/L	—	—	沒有限制 0.5 以下 有一些使用限制 0.5~2.0 有嚴格的使用限制 2.0 以上※3.1	—	—	—	—
	滴灌 mg/L	—	—	—	沒有限制 0.5 以下 有一些使用限制 0.5~2.0 有嚴格的使用限制 2.0 以上※5.4	—	—	—
正己烷萃取物 (礦物油含量)	meq/L (mg/L)	—	—	—	—	—	5 以下	—
正己烷萃取物 (動植物油含量)	mg/L	—	—	—	—	—	30 以下	—
酚類	mg/L	—	—	—	—	—	5 以下	—
濁度	ATU	—	月平均 2 以下 最大值 5 以下※2.5	—	—	—	—	—
色度	度	—	—	—	—	—	—	—
臭氣	—	—	—	—	—	—	—	—

※1 農業（水稻）用水基準、農林水産技術會議、昭和 46 年 10 月 4 日¹⁵⁾※2 ISO16075 Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects、ISO、2015.8.15¹⁾

• • • Part1 The basis of areuse project for irrigtion AnnexB(informativ) Examples of maximum levels of nutrients and salinity factors in TWW fo irrigatin

※2.1 P25 Table B1 Example of maximum levels of nutrients in TWW used for irrigation

※2.2 P25 Table B2 Example of maximum electrical conductivity of irrigation water 、 according to plant tolerance 、 when irrigated by overhead sprinkling

※2.3 P26 Table B4 Combined effect of electrical conductivity(ECw) of irrigation water and sudium adsorption ratio(SAR) on the likelihood of water infiltration(permeability) problems

※2.4 P27 Table B5 Example of maximum levels of salinity factors in TWW used for irrigation according to crop sensitivity (derived from the Israeli Regulations for irrigation in Israel climatic 、 soil 、 and irrigation methods conditions)

※2.5 P27 Table B6 Example of average value and maximum value of other chemical elements in TWW

• • • Part2 Development of the Project

※2.6 P10 Table 1 Suggested treated wastewater qulity according to chemical 、 physical and biological parameters

※3 WHO guidelines for the safe use of wastewater 、 excreta and greywater 、 WHO 、 2006 ²⁾

• • • VOLUME II wastewater use in agriculture ANNEX1

※3.1 P178 Table A1.1 Water quality for irrigation

※3.2 P179 Table A1.2 Threshold levels of trace elements crop production

※4 Health guideline for the use of wastewater in Agriculture and aquaculture 、 WHO Scientific Group 、 1989 ³⁾

P39 Table.3 Recommended microbiological quality guidelines for wastewater use in agriculture

※5 Water quality for agriculture 、 FAO irrigation and drainage paper 29 Rev.1. Food and Agriculture Organizetion of the United Nation 、 Rome 、 Italy 、 FAO 、 1985 ⁴⁾

※5.1 Table 1 GUIDELINES FOR INTERPRETATIONS OF WATER QUALITY FOR IRRIGATION

※5.2 Table 2 LABORATORY DETERMINATION NEEDED TO EVALUATE COMMON IRRIGATION WATER QUALITY PROBLEMS

※5.3 Table 21 RECOMMENDED MAXIMUN CONCENTRATIONS OF TRACE ELEMENTS IN IRRIGATION WATER

※5.4 Table 24 INFLUENCE OF WATER QUALITY ON THE POTENTIAL FOR CLOGGING PROBLEMS IN LOCALIZED(DRIP) IRRIGATION SYSTEMS

※5.5 Table 27 LIMIT VALUES FOR EVALUATING THE AGGRESSIVITY OF WATER AND SOIL TO CONCRETE

9.3 農業使用運作時的傳遞

在農業生產工程管理(GAP：Good Agricultural Practice)中，要確認所使用水源（自來水、井水、開放水路、水塘等）並在發現水源受到污染時實施相應的改善措施是必要的。特別是當水直接接觸可食部位，如蔬菜洗滌水等，接近或在收穫後，需要特別注意。當使用再生水作為灌溉水時，由於水源是明確的，因此農業使用者應監測再生水的污染狀況以及實施的措施，這是本技術管理的要點。此外，國立研究開發法人 科學技術振興機構(CREST)研究提出了在再生水用於農業時可能發生的危險因素和預防措施，如表 9-7 所示。對於表 9-7 中列出的預防措施，本技術能夠進行管理的項目包括「污水處理過程」和「再生水處理過程」。此外，表 9-8 列舉了針對這些管理的具體實施措施。

表 9-7 農業使用過程中可能發生的危害及預防措施

工程	發生預期的 危險因素	是否為重大危害因素	預防措施
		根據	
排水設備	感染症患者增加	感染症患者隨著污水濃度增加	從保健所等獲取感染者資訊
污水處理	水處理過程故障 (功能障礙)	處理效率降低導致風險增加	實施定期檢查
	病原微生物等流入增加(疫情爆發等)	如果去除率不變，由於排放水濃度增加，感染的風險也會增加	透過消毒等額外處理進行緊急回應
再生處理	水處理過程故障 (功能障礙)	處理效率降低導致感染風險增加	實施定期檢查 監控處理的穩定性
耕地供水	農業從業者接觸	再生水使用意識不足增加感染風險	重新檢視利用方法 監控從業者安全性
收割 農作物	附著在農作物上， 被消費者攝入	附著在稻米上的病原微生物	不產生飛濺的灌溉類型 採取加強水洗等措施

表 9-8 具體的實施對策

工程	管理項目	具體的實施對策
污水處理 再生水處理	進行定期檢查	公開檢查結果
污水處理	緊急措施以及消毒等 額外處理	公開對策的實施情況
再生水處理	監控處理的穩定性	水質測量和監測結果的持續管理 和公開

1. 檢點結果的公開

定期點檢的實施，對於遠端監視項目和巡迴監視項目的檢查結果即時進行資訊公開是很重要的。在資訊公開方面，除了通過網站等途徑進行公開外，還應該設置在給水點的公告板等，以使農業使用者更容易獲取資訊。

2. 對策狀況的公開

當設備出現異常，或者水質測定結果顯示異常值時，即時公開該狀況相當重要。此外，如果異常發生，導致處理暫時停止、切換到備用機等，或者進行添加氯等處理措施，即時公開這些對策情況也很重要。

3. 連續管理和水質測定監視結果的公開

透過測量儀器進行連續觀測的結果以及水質測定監視的結果應即時進行資訊公開相當重要。另外，關於資訊的公開，除了通過網站等途徑進行公開外，還應該在給水點設置公告板等，以使農業使用者更容易獲取資訊。

參考文獻

- 1) ISO16075 Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects、ISO、2015.8.15
- 2) WHO guidelines for the safe use of wastewater、excreta and greywater、WHO、2006
- 3) Health guideline for the use of wastewater in Agriculture and aquaculture、WHO Scientific Group、1989
- 4) Water quality for agriculture、FAO irrigation and drainage paper 29 Rev.1. Food and Agriculture Organization of the United Nation、Rome、Italy、FAO、1985
- 5) 農業(水稻)用水基準、農林水産技術会議、昭和 46 年 10 月 4 日
- 6) 沖縄における下水処理水の農業利用の研究、山下 正、農村工学研究所研究報第 50 号、2011
- 7) 再生水利用学、浅野 孝、Harold L. Leverenz、土橋 隆二郎、George Tchobanoglous、Franklin L. Burton、技報堂出版、2010
- 8) 土壌・肥料学の基礎、FOTH、H.D.(著)、江川 友治(訳)、養賢堂、1981
- 9) 農業生産工程管理(GAP)の共通基盤に関するガイドライン、別添 2、P.5、農林水産省生産局、平成 22 年 4 月
- 10) 21 世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価に関する研究調査報告書【研究項目 6】水の衛生学的評価(土木研究所グループリサイクルチーム)、P.518-607、国立研究開発法人土木研究所、平成 28 年 1 月

第十章 農業利用的導入效果試算範例

10.1 導入效果情境

導入效果評估的情境如下：

情境 1：對既有處理廠的全部放流水進行再生水處理

情境 2：僅對既有處理廠的部分放流水進行再生水處理

1. 情境 1

在本系統中，由於可以從既有處理廠的氯消毒前進行取水進行再生水處理，因此在進行全量的再生水處理時，可以減少既有處理廠的氯處理成本。同時，如果進行農業利用，由於氮和磷被農作物吸收作為養分，因此可以獲得在既有處理廠進行高級處理的情況下同樣的效益。然而，由於需要 24 小時運轉，可能會面臨夜間運轉時的維護管理機制確保等管理方面的問題，而且運轉成本可能會增加。

2. 情境 2

如果僅對既有處理廠的部分放流水進行再生水處理，則可以透過建設最小限度的設施，使再生水處理的建設成本降至最低。由於可以根據年度需求量的變化調整每日的處理量，因此也可以將維護管理成本降至最低，這是一個優點。然而，由於這只是既有處理廠的一部分處理，因此無法實現減少消毒成本以及減少氮和磷的效果，這也是一個不足之處。

10.2 試算條件

10.2.1 成本試算條件

1. 既有處理廠進水量

假設每日平均進水量為每日最大處理水量的 0.7 倍。

$$QT_{Dmax} \text{ (每日最大既有處理水量)} = 10,000 \text{ m}^3/\text{日}$$

$$QT_{Ave} \text{ (每日平均既有處理水量)} = QT_{Dmax} \times 0.7 = 10,000 \times 0.7 = 7,000 \text{ m}^3/\text{日}$$

2. 再生水供應地點

再生水的供應地點被假定為農業用的調整池、水塘或農田池塘，在這些貯水設施中貯存後，再供應到各個農業使用地點。



圖 10-1 農業用調整池範例

3. 農業利用的日均水需求量（日均再生水量）

(1) 情境 1：

在農業利用中，日均需求量假設為受益面積為 250 公頃，設定如下：

$$Ai \text{ (受益農地面積)} = 250 \text{ 公頃}$$

$$Qi_{year} \text{ (年度水需求量)} = 1,000 \text{ mm/年}$$

$$Qi_{Ave} \text{ (日均水需求量)} = Ai \times Qi_{year} \times 10 / 365 = 250 \times 1,000 \times 10 / 365 = 6,850 \text{ m}^3/\text{日}$$

既有處理廠的日均進水量為 7,000 m³/日，可以滿足需求。

情境 1 是指對既有處理廠的全部進水進行再生水處理，因此日均需求量超過了，但假設將處理既有處理廠進水量的 7,000 m³/日。

$$Q_{Ave} \text{ (日均再生水量)} = Q_{TAve} = 7,000 \text{ m}^3/\text{日}$$

(2) 情境 2：

在農業利用中，日均需求量假設為受益面積為 25 公頃，設定如下：

A_i (受益農地面積) = 25 公頃

$Q_{i\text{year}}$ (年度水需求量) = 1,000 mm/年

$Q_{i\text{Ave}}$ (日均水需求量) = $A_i \times Q_{i\text{year}} \times 10 / 365 = 25 \times 1,000 \times 10 / 365 = 685 \text{ m}^3/\text{日}$

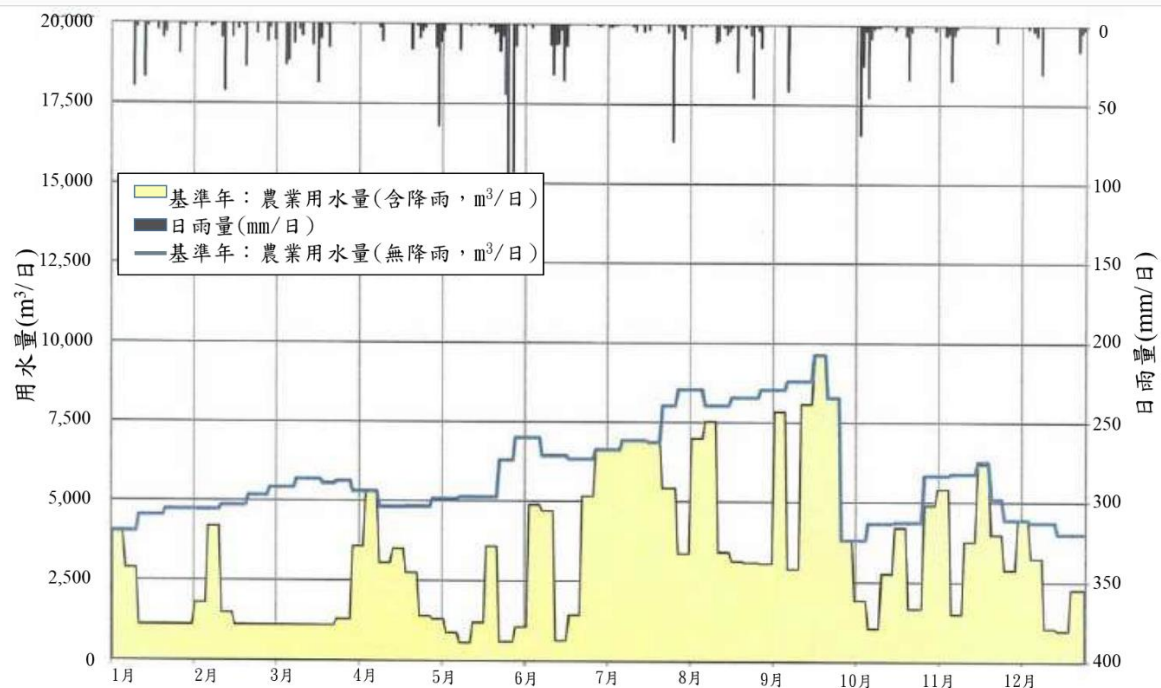
既有處理廠的日均進水量為 $7,000 \text{ m}^3/\text{日}$ ，可以滿足需求。

此外，情境 2 假設在農業使用的最大需求量不發生的時期，將多餘的水分配給附近的排水溝，以改善周邊景觀和環境，因此年度再生水處理量是固定的。因此，日均再生水量與最大日再生水量相同。

Q_{Ave} (日均再生水量) = $Q_{D\text{max}} = 1,000 \text{ m}^3/\text{日}$ (參見下文的設定內容)

4. 農業利用的最大日水需求量 (最大日再生水量)

假設每日最大需水量約為每日平均需水量的 1.5 倍 (見圖 10-2 中的範例(無雨))。A



資料來源：糸満市北部地区・再生水利用による畑地かんがい計画

圖 10-2 再生水的需求量預測例

(1) 情境 1：

$Q_{iD\text{max}}$ (最大日需求量) = $Q_{i\text{Ave}} \times 1.5 = 6,850 \times 1.5 \approx 10,000 \text{ m}^3/\text{日}$

既有處理廠的最大日進水量為 $10,000 \text{ m}^3/\text{日}$ ，雖然處理場的最大日進水日和需求量的最大日發生日可能不同，但假設農業用的貯水設施可以應對。

情境 1 是指對既有處理廠的全部進水進行再生水處理，因此進行處理廠的最大日流入水量為 $10,000 \text{ m}^3/\text{日}$ 。

$Q_{D\text{max}}$ (最大日再生水量) = $Q_{TD\text{max}} = 10,000 \text{ m}^3/\text{日}$

(2) 情境 2：

$Q_{iD\text{max}}$ (最大日需求量) = $Q_{i\text{Ave}} \times 1.5 = 685 \times 1.5 \approx 1,000 \text{ m}^3/\text{日}$

既有處理廠的最大日進水量為 $10,000 \text{ m}^3/\text{日}$ ，可以滿足需求。

情境 2 是指僅對需求量進行再生水處理，因此最大日再生水量為最大日需求量。

$$QD_{\max} (\text{最大日再生水量}) = QiD_{\max} = 1,000 \text{ m}^3/\text{日}$$

5. 再生水處理設施規模

根據最大日再生水量確定設施規模。

6. 輸水管

輸水管的條件如下：

(1) 情境 1：

$$L_p (\text{輸水管長度}) = 2.0 \text{ km}$$

(2) 情境 2：

$$L_p (\text{輸水管長度}) = 2.0 \text{ km}$$

7. 輸水泵

輸水泵的條件如下：

(1) 情境 1：

由於在貯水設施中有貯留效應，泵輸水量假設能夠在 24 小時內均勻地將最大日再生水量輸水。

(2) 情境 2：

考慮不考慮貯水效應，泵輸水量假設能夠在 8 小時內輸水最大日再生水量。

8. 利率

用於年現值計算的利率假設如下：

$$i(\text{利率}) : 0.023(2.3\%)$$

9. 耐用年限

用於建設費年現值計算的耐用年限假設如下：

$$n1 (\text{機械的耐用年限}) : 15 \text{ 年}$$

$$n2 (\text{電氣的耐用年限}) : 15 \text{ 年}$$

$$n3 (\text{土木的耐用年限}) : 50 \text{ 年}$$

$$n4 (\text{平板膜 (膜分離活性污泥法) 的耐用年限}) : 10 \text{ 年}$$

$$n5 (\text{輸水管的耐用年限}) : 50 \text{ 年}$$

10. 公共事業單價

用於維護管理費的耐用年限假設如下：

$$P1 (\text{電力}) : 15 \text{ 日圓/kWh}$$

$$P21 (\text{次氯酸鹽}) : 50 \text{ 日圓/kg}$$

$$P22 (\text{鹽酸}) : 55 \text{ 日圓/kg}$$

P23 (SBS 亞硫酸氫鈉): 60 日圓/kg

P24 (腐蝕性氫氧化鈉): 45 日圓/kg

11. 用地單價

用於土地費的用地單價假設如下：

PA (用地單價): 120 千日圓/m²

※為 2015 年「全國土地公告價格」的平均值。

10.2.2 效益試算條件

1. 農業生產高

各作物的農業生產高如下，使用再生水可利用休耕地，同時確保穩定的水源，培育高附加價值的作物。因此，使用再生水的農業生產高選擇了在實證實驗中種植的「設施青椒」。

Pi (面積單位的農業生產高): 21,980 千日圓/公頃・年

各作物的農業生產高

※來自「農業經營統計調查」(2015 年度個別經營的農業類型經營統計(經營收支)－蔬菜、果樹、花卉經營－)

露天黃瓜種植 9,320 千日圓/公頃・年

露天大番茄種植 6,880 千日圓/公頃・年

露天茄子種植 7,560 千日圓/公頃・年

露天青椒種植 8,920 千日圓/公頃・年

露天西瓜種植 3,410 千日圓/公頃・年

露天甘藍種植 1,890 千日圓/公頃・年

露天菠菜種植 1,710 千日圓/公頃・年

露天洋蔥種植 1,140 千日圓/公頃・年

露天生菜種植 2,540 千日圓/公頃・年

露天芥藍種植 2,170 千日圓/公頃・年

露天蔥種植 2,730 千日圓/公頃・年

露天大根種植 1,440 千日圓/公頃・年

露天胡蘿蔔種植 1,540 千日圓/公頃・年

露天里芋種植 740 千日圓/公頃・年

露天大蒜種植 4,120 千日圓/公頃・年

露天蘆筍種植 2,520 千日圓/公頃・年

露天花椰菜種植 1,650 千日圓/公頃・年

露天南瓜種植 1,200 千日圓/公頃・年

露天甜玉米種植 460 千日圓/公頃・年

露天山藥種植 2,010 千日圓/公頃・年

溫室黃瓜種植 16,070 千日圓/公頃・年

溫室大番茄種植 11,730 千日圓/公頃・年

溫室小番茄種植 13,750 千日圓/公頃・年

溫室茄子種植 16,690 千日圓/公頃・年
溫室青椒種植 21,980 千日圓/公頃・年
溫室草莓種植 16,040 千日圓/公頃・年
溫室哈密瓜種植 6,180 千日圓/公頃・年

2. 高級處理改建費

由於再生水用於農業種植，氮和磷的養分可以有效地被農作物利用。因此，假定對既有的標準活性污泥法進行高級處理改建將獲得與膜分離活性污泥法相同容量的效果。因此，不需要為將既有處理廠的標準活性污泥法改建為高級處理而支付費用，並將此改建費用視為利益。

(1) 情境 1：

在高級處理改建中，假定使用膜分離活性污泥法的循環方式，其處理容量與標準活性污泥法相同。

(2) 情境 2：

由於情境 2 中再生水僅使用既有處理廠的約 10%，因此氮和磷的減少效果很小，既有設施進行高級處理不太有效益。

3. 高級處理維護管理費

(1) 情境 1：

與標準活性污泥法相比，高級處理改建導致的維護管理費用增加部分預計為膜分離活性污泥法的維護管理費用和標準活性污泥法的維護管理費用之差額。

(2) 情境 2：

由於情境 2 中再生水僅使用既有處理廠的約 10%，因此氮和磷的減少效果很小，既有設施進行高級處理不太有效益。

4. 灌溉水路的配水對周邊景觀和環境的改善

(1) 情境 1：

由於情境 1 將全部水用於農業用途，因此透過將水供應到灌溉水路來改善周邊景觀和環境不太有效益。

(2) 情境 2：

考慮到再生水設施的最大日流量為 $1,000 \text{ m}^3/\text{日}$ ，農業利用的平均日需求量為 $685 \text{ m}^3/\text{日}$ ，因此將差異約 $300 \text{ m}^3/\text{日}$ 的水配送到周圍的灌溉水路。有關再生水對周邊景觀和環境改善的效益的計算參考了「下水道事業における費用効果分析マニュアル（案）（追補版）平成 20 年 4 月」（日本下水道協會）中的 A 市案例。

10.3 導入效果の評価

10.3.1 情境 1

1. 成本計算

(1) 再生水量條件

$$Q_{Dmax} \text{ (最大日再生水量)} = 10,000 \text{ m}^3/\text{日}$$

$$Q_{Ave} \text{ (平均日再生水量)} = 7,000 \text{ m}^3/\text{日}$$

(2) 建設費用

$$Y_1 \text{ (機械)} = 1.209 Q_{Dmax}^{0.708} = 1.209 \times 10,000^{0.708} = 821 \text{ 百萬日圓}$$

$$Y_2 \text{ (電力)} = 3.276 Q_{Dmax}^{0.392} = 3.276 \times 10,000^{0.392} = 121 \text{ 百萬日圓}$$

$$Y_3 \text{ (土木)} = 5.236 Q_{Dmax}^{0.426} = 5.236 \times 10,000^{0.426} = 265 \text{ 百萬日圓}$$

$$Y_T \text{ (總計)}: 1,207 \text{ 百萬日圓}$$

(3) 需要用地面積

$$A \text{ (用地面積)} = 22.07 Q_{Dmax}^{0.39} = 22.07 \times 10,000^{0.39} = 801 \text{ m}^2$$

(4) 用地費用

$$P_A \text{ (用地單價)} = 120 \text{ 千日圓/m}^2$$

$$Y_A \text{ (用地費用)} = A \times P_A = 801 \text{ m}^2 \times 120 \text{ 千日圓/m}^2 \times 10^{-3} = 96 \text{ 百萬日圓}$$

(5) 事業費

$$Y \text{ (事業費)} = Y_T + Y_A = 1,303 \text{ 百萬日圓}$$

(6) 建設費年費

$$C_{Y1} \text{ (機械)} = Y_1 \times \frac{i(1+i)^{n1}}{(1+i)^{n1}-1} = 821 \times \frac{0.023(1+0.023)^{15}}{(1+0.023)^{15}-1} = 65 \text{ 百萬日圓/年}$$

$$C_{Y2} \text{ (電力)} = Y_2 \times \frac{i(1+i)^{n2}}{(1+i)^{n2}-1} = 121 \times \frac{0.023(1+0.023)^{15}}{(1+0.023)^{15}-1} = 10 \text{ 百萬日圓/年}$$

$$C_{Y3} \text{ (土木)} = Y_3 \times \frac{i(1+i)^{n3}}{(1+i)^{n3}-1} = 265 \times \frac{0.023(1+0.023)^{50}}{(1+0.023)^{50}-1} = 9 \text{ 百萬日圓/年}$$

$$C_Y \text{ (建設費年費・總計)}: 84 \text{ 百萬日圓/年}$$

(7) 公用事業年度使用量

$$U_1 \text{ (電力)} = 0.180 Q_{Ave} \times 365 = 0.180 \times 7,000 \times 365 = 459,900 \text{ kWh/年}$$

$$U_{21} \text{ (次氯酸鹽)} = 4.923 Q_{Ave} \times 10^{-3} \times 365 = 4.923 \times 7,000 \times 10^{-3} \times 365 = 12,578 \text{ kg/年}$$

$$U_{22} \text{ (鹽酸)} = 0.036 Q_{Ave} \times 10^{-3} \times 365 = 0.036 \times 7,000 \times 10^{-3} \times 365 = 92 \text{ kg/年}$$

$$U_{23} \text{ (SBS)} = 0.080 Q_{Ave} \times 10^{-3} \times 365 = 0.080 \times 7,000 \times 10^{-3} \times 365 = 204 \text{ kg/年}$$

$$U_{24} \text{ (氫氧化鈉)} = 0.066 Q_{Ave} = 0.180 \times 7,000 = 169 \text{ kg/年}$$

(8) 公用事業成本費

電費：

$$M_1 (\text{電力}) = U_1 \times P_1 = 459,900 \text{ kWh/年} \times 15 \text{ 日圓/kWh} \times 10^{-3} = 6,899 \text{ 千日圓/年}$$

藥品費：

$$M_{21} (\text{次氯酸鹽}) = U_{21} \times P_{21} = 12,578 \text{ kg/年} \times 50 \text{ 日圓/kg} \times 10^{-3} = 629 \text{ 千日圓/年}$$

$$M_{22} (\text{鹽酸}) = U_{22} \times P_{22} = 92 \text{ kg/年} \times 55 \text{ 日圓/kg} \times 10^{-3} = 5 \text{ 千日圓/年}$$

$$M_{23} (\text{中和劑}) = U_{23} \times P_{23} = 204 \text{ kg/年} \times 60 \text{ 日圓/kg} \times 10^{-3} = 12 \text{ 千日圓/年}$$

$$M_{24} (\text{中和劑}) = U_{24} \times P_{24} = 169 \text{ kg/年} \times 45 \text{ 日圓/kg} \times 10^{-3} = 8 \text{ 千日圓/年}$$

$$M_2 (\text{藥品費・合計}) : 654 \text{ 千日圓/年}$$

(9) 置換、修繕費

$$M_{31} (\text{膜模組置換}) = 2.06 Q_{\text{Ave}} = 2.06 \times 7,000 = 14,420 \text{ 千日圓/年}$$

$$M_{32} (\text{UV 燈置換}) = 0.32 Q_{\text{Ave}} = 0.32 \times 7,000 = 2,240 \text{ 千日圓/年}$$

$$M_{33} (\text{其他修繕費}) = 144.77 Q_{\text{Dmax}}^{0.384} = 144.77 \times 10,000^{0.384} = 4,974 \text{ 千日圓/年}$$

$$M_3 (\text{置換修繕費・合計}) : 21,634 \text{ 千日圓/年}$$

(10) 污泥產生量（本系統導入的增加分）

$$\begin{aligned} Q_{\text{dsY}} (\text{污泥產生固形物量}) &= (3.0/0.922 \times 10^{-6}) Q_{\text{Ave}} \times 365 \\ &= (3.0/0.922 \times 10^{-6}) \times 7,000 \times 365 = 8.31 \text{ t-ds/年} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{wetY}} (\text{污泥產生量}) = Q_{\text{dsY}}/0.1 = 8.31/0.01 = 831 \text{ m}^3/\text{年}$$

$$Q_{\text{cakeY}} (\text{脫水污泥量}) = Q_{\text{dsY}}/(1-0.80) = 8.31/(1-0.80) = 42 \text{ t/年}$$

(11) 污泥處理費（本系統導入的增加分）

$$\begin{aligned} M_{41} (\text{濃縮處理費}) &= 0.030 (Q_{\text{wetY}}/365)^{0.628} \times 10^3 \times (107.2/100) \\ &= 0.030 (831/365)^{0.628} \times 10^3 \times (107.2/100) = 54 \text{ 千日圓/年} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{42} (\text{脫水處理費}) &= 0.039 Q_{\text{wetY}}^{0.596} \times 10^3 \times (107.2/100) \\ &= 0.039 \times 831^{0.596} \times 10^3 \times (107.2/100) = 2,298 \text{ 千日圓/年} \end{aligned}$$

$$M_{43} (\text{污泥處理費}) = Q_{\text{cakeY}} \times P_{43} = 42 \text{ t/年} \times 16,000 \text{ 日圓/t} \times 10^{-3} = 672 \text{ 千日圓/年}$$

$$M_4 (\text{污泥處理費・合計}) : 3,024 \text{ 千日圓/年}$$

(12) 維護管理成本（合計）

$$\begin{aligned} C_M &= M_1 + M_2 + M_3 + M_4 = 6,899 + 654 + 21,634 + 3,024 = 32,211 \text{ 千日圓/年} \\ &\approx 32 \text{ 百萬日圓/年} \end{aligned}$$

(13) 輸水管成本建設費（年價）

$$L_{\text{pipe}} (\text{輸水管延長}) = 2.0 \text{ km}$$

$$D_{\text{pipe}} (\text{輸水管徑}) = \phi 350 \text{ mm} (\text{輸水時的流速設定為 } 1.0 \sim 1.5 \text{ m/秒})$$

$$P_{\text{pipe}} (\text{輸水管單價}) = 0.2252 \times D_p + 24.5870 = 0.2252 \times 350 + 24.5870 = 103 \text{ 千日圓/公尺}$$

※參考「水道業務的設施更新費用估算指南（2011 年 12 月，日本厚生勞動省健康局水道科）」中聚乙烯管（道路施工）的費用函數設定。

$$Y_{\text{pipe}} (\text{輸水管建設費}) = L_{\text{pipe}} \times P_{\text{pipe}} = 206 \text{ 百萬日圓/公里}$$

$$C_{\text{pipe}} (\text{輸水管建設年金}) = Y_{\text{Pipe}} \times \frac{i(1+i)^{n4}}{(1+i)^{n4}-1} = 206 \times \frac{0.023(1+0.023)^{50}}{(1+0.023)^{50}-1} = 7 \text{ 百萬日圓/年}$$

(14) 輸水泵建設費（年價）

泵的能力是根據一天最大需求量均勻地在 24 小時內泵輸水。

$$Q_{\text{pump}} (\text{泵的能力}) = Q_{iD\max} = 10,000 \text{ m}^3/\text{日} (6.94 \text{ m}^3/\text{分鐘})$$

$$Y_{\text{pump1}} (\text{機械建設費}) = 0.0034Q_{\text{pump}} + 25.8517 = 60 \text{ 百萬日圓}$$

$$Y_{\text{pump2}} (\text{電氣建設費}) = 0.0019Q_{\text{pump}} + 78.1407 = 97 \text{ 百萬日圓}$$

$$Y_{\text{pump3}} (\text{土木建設費}) = 0.0056Q_{\text{pump}} + 119.1249 = 175 \text{ 百萬日圓}$$

$$Y_{\text{pump}} (\text{總計}) = Y_{\text{pump1}} + Y_{\text{pump2}} + Y_{\text{pump3}} = 332 \text{ 百萬日圓}$$

※參考「水道事業的再構築費用估算指南(2011 年 12 月, 日本厚生勞動省健康局水道科)」中輸水泵設施的費用函數。

$$C_{Y\text{pump1}} (\text{機械}) = Y_{\text{pump1}} \times \frac{i(1+i)^{n1}}{(1+i)^{n1}-1} = 60 \times \frac{0.023(1+0.023)^{15}}{(1+0.023)^{15}-1} = 4.8 \text{ 百萬日圓/年}$$

$$C_{Y\text{pump2}} (\text{電氣}) = Y_{\text{pump2}} \times \frac{i(1+i)^{n2}}{(1+i)^{n2}-1} = 97 \times \frac{0.023(1+0.023)^{15}}{(1+0.023)^{15}-1} = 7.7 \text{ 百萬日圓/年}$$

$$C_{Y\text{pump3}} (\text{土木}) = Y_{\text{pump3}} \times \frac{i(1+i)^{n3}}{(1+i)^{n3}-1} = 175 \times \frac{0.023(1+0.023)^{50}}{(1+0.023)^{50}-1} = 5.9 \text{ 百萬日圓/年}$$

$$C_{Y\text{pump}} (\text{總計}) : C_{\text{pump1}} + C_{\text{pump2}} + C_{\text{pump3}} = 18 \text{ 百萬日圓/年}$$

(15) 輸水泵維護管理費

泵的能力是根據一天最大需求量均勻地在 24 小時內泵輸水。

$$Q_{\text{pump_min}} (\text{泵的能力}) = Q_{iD\max}/1440 = 6.94 \text{ m}^3/\text{分鐘}$$

$$C_{M\text{pump}} (\text{維護管理費}) = 1.00(Q_{\text{pump_min}})^{0.69} \times (103.3/78.0) = 5 \text{ 百萬日圓/年}$$

※參考「流域下水道整備總合計劃調查指針和解釋(2008 年 9 月, 日本下水道協會)」中泵設施維持管理費的費用函數。

(16) 生命周期成本

$$C = C_Y + C_M + C_{\text{Pipe}} + C_{Y\text{Pump}} + C_{M\text{Pump}} = 84 + 32 + 7 + 18 + 5 = 146 \text{ 百萬日圓/年}$$

2. 效益的計算

(1) 農產品生產量

$$A_i (\text{受益農地面積}) = 250 \text{ 公頃}$$

$$P_i (\text{每公頃農業增加產值}) = 21,980 \text{ 千日圓/公頃} \cdot \text{年}$$

$$B_i (\text{農業增加產值}) = A_i \times P_i = 250 \times 21,980 = 5,495,000 \text{ 千日圓/年}$$

$$= 5,495 \text{ 百萬日圓/年}$$

(2) 高級處理改建費（年價）

根據「引入膜處理技術用於污水處理的指南(第 2 版)」, 對於約 15,000 m³/日的改建成本為約 15,824 百萬日圓(每個池約 2,000 百萬日圓)。因此, 假定 10,000 m³/日規模的改建

費用為 1,333 百萬日圓。另外，根據同一指南的費用結構，各項工程的比例如下：

機械：電氣：土木：平板膜模組＝0.21：0.03：0.02：0.74

$$Y_{B1} (\text{高級處理改建費} \cdot \text{機械}) = 1,333 \times 0.21 \times \frac{i(1+i)^{n1}}{(1+i)^{n1}-1} = 1,333 \times 0.21 \times \frac{0.023(1+0.023)^{15}}{(1+0.023)^{15}-1}$$

$$\doteq 22.3 \text{ 百萬日圓/年}$$

$$Y_{B2} (\text{高級處理改建費} \cdot \text{電氣}) = 1,333 \times 0.03 \times \frac{i(1+i)^{n2}}{(1+i)^{n2}-1} = 1,333 \times 0.03 \times \frac{0.023(1+0.023)^{15}}{(1+0.023)^{15}-1}$$

$$\doteq 3.2 \text{ 百萬日圓/年}$$

$$Y_{B3} (\text{高級處理改建費} \cdot \text{土木}) = 1,333 \times 0.02 \times \frac{i(1+i)^{n3}}{(1+i)^{n3}-1} = 1,333 \times 0.02 \times \frac{0.023(1+0.023)^{50}}{(1+0.023)^{50}-1}$$

$$\doteq 0.9 \text{ 百萬日圓/年}$$

$$Y_{B4} (\text{高級處理改建費} \cdot \text{平板膜}) = 1,333 \times 0.74 \times \frac{i(1+i)^{n3}}{(1+i)^{n3}-1}$$

$$= 1,333 \times 0.74 \times \frac{0.023(1+0.023)^{10}}{(1+0.023)^{10}-1} \doteq 111.5 \text{ 百萬日圓/年}$$

$$B_Y (\text{高級處理改建費} \cdot \text{年價總計}) = Y_{B1} + Y_{B2} + Y_{B3} + Y_{B4} \doteq 137.9 \text{ 百萬日圓/年}$$

(3) 高級處理維護管理費（僅考慮與標準活性污泥法的差額）

膜分離活性污泥法的維護管理費，根據「下水道膜處理技術導入指南（第 2 版）」，設定為 A₂O 法的 59.5%。因此，使用 A₂O 法的費用函數乘以 0.595 來計算。

另外，作為效益成本，將計算標準活性污泥法的維護管理費，然後減去這個值。維護管理費中已包含污泥處理的部分，因此將假設僅考慮水處理成本，並使用 0.60 的係數進行計算。

$$B_M (\text{高級處理維護管理費}) =$$

$$20.5 \times (Q_{Ave} \times 10^{-3})^{0.72} \times (109.9/101.6) \times 0.595 - 18.5 \times (Q_{Ave} \times 10^{-3})^{0.69} \times (109.9/101.6) \times 0.60$$

$$= 20.5 \times (7,000 \times 10^{-3})^{0.72} \times (109.9/101.6) \times 0.595 - 18.5 \times (7,000 \times 10^{-3})^{0.69} \times (109.9/101.6) \times 0.60$$

$$\doteq 7.6 \text{ 百萬日圓/年}$$

※根據「下水道膜處理技術導入的指南（第 2 版）」（2011 年 3 月，下水道膜處理技術會議）

※根據「流域別下水道整備總體計劃指南和解說」（2015 年 1 月，國土交通省水務及國土保全局下水道部）

(4) 效益

$$B = B_i + B_Y + B_M = 5,495 + 137.9 + 7.6 \doteq 5,641 \text{ 百萬日圓/年}$$

3. 導入效果的評估

根據成本和效益的試算結果，由於效益超過成本，因此可判定有導入效果。

成本 C = 146 百萬日圓/年

效益 B = 5,641 百萬日圓/年

$$B/C = 38.6$$

10.3.2 情境 2

1. 成本計算

(1) 再生水量條件

$$Q_{Dmax} (\text{最大日再生水量}) = 1,000 \text{ m}^3/\text{日}$$

Q_{Ave} (平均日再生水量) = 1,000 m³/日 (在農業利用較少的時期，透過向小溪水道供水，實現全年一定量的處理)

(2) 建設費用

$$Y_1 (\text{機械}) = 1.209 Q_{Dmax}^{0.708} = 1.209 \times 1,000^{0.708} = 161 \text{ 百萬日圓}$$

$$Y_2 (\text{電力}) = 3.276 Q_{Dmax}^{0.392} = 3.276 \times 1,000^{0.392} = 49 \text{ 百萬日圓}$$

$$Y_3 (\text{土木}) = 5.236 Q_{Dmax}^{0.426} = 5.236 \times 1,000^{0.426} = 99 \text{ 百萬日圓}$$

$$Y_T (\text{總計}) : 309 \text{ 百萬日圓}$$

(3) 需要用地面積

$$A (\text{用地面積}) = 22.07 Q_{Dmax}^{0.39} = 22.07 \times 1,000^{0.39} = 326 \text{ m}^2$$

(4) 用地費用

$$P_A (\text{用地單價}) = 120 \text{ 千日圓/m}^2$$

$$Y_A (\text{用地費用}) = A \times P_A = 326 \text{ m}^2 \times 120 \text{ 千日圓/m}^2 \times 10^{-3} = 39 \text{ 百萬日圓}$$

(5) 事業費

$$Y (\text{業務費用}) = Y_T + Y_A = 349 \text{ 百萬日圓}$$

(6) 建設費年價

$$C_{Y1} (\text{機械}) = Y_1 \times \frac{i(1+i)^{n1}}{(1+i)^{n1}-1} = 161 \times \frac{0.023(1+0.023)^{15}}{(1+0.023)^{15}-1} = 13 \text{ 百萬日圓/年}$$

$$C_{Y2} (\text{電力}) = Y_2 \times \frac{i(1+i)^{n2}}{(1+i)^{n2}-1} = 49 \times \frac{0.023(1+0.023)^{15}}{(1+0.023)^{15}-1} = 4 \text{ 百萬日圓/年}$$

$$C_{Y3} (\text{土木}) = Y_3 \times \frac{i(1+i)^{n3}}{(1+i)^{n3}-1} = 99 \times \frac{0.023(1+0.023)^{50}}{(1+0.023)^{50}-1} = 3 \text{ 百萬日圓/年}$$

$$C_Y (\text{建設費年費・總計}) : 20 \text{ 百萬日圓/年}$$

(7) 公用事業年度使用量

$$U_1 (\text{電力}) = 0.180 Q_{Ave} \times 365 = 0.180 \times 1,000 \times 365 = 65,700 \text{ kWh/年}$$

$$U_{21} (\text{次氯酸鹽}) = 4.923 Q_{Ave} \times 10^{-3} \times 365 = 4.923 \times 1,000 \times 10^{-3} \times 365 = 1,797 \text{ kg/年}$$

$$U_{22} (\text{鹽酸}) = 0.036 Q_{Ave} \times 10^{-3} \times 365 = 0.036 \times 1,000 \times 10^{-3} \times 365 = 13.1 \text{ kg/年}$$

$$U_{23} (\text{SBS}) = 0.080 Q_{Ave} \times 10^{-3} \times 365 = 0.080 \times 1,000 \times 10^{-3} \times 365 = 29.2 \text{ kg/年}$$

$$U_{24} (\text{氫氧化鈉}) = 0.066 Q_{Ave} \times 10^{-3} \times 365 = 0.066 \times 1,000 \times 10^{-3} \times 365 = 24.1 \text{ kg/年}$$

(8) 公用事業成本費

電力費：

$$M_1 (\text{電力}) = U_1 \times P_1 = 65,700 \text{ kWh/年} \times 15 \text{ 日圓/kWh} \times 10^{-3} = 986 \text{ 千日圓/年}$$

藥品費：

$$M_{21} (\text{次氯酸鹽}) = U_{21} \times P_{21} = 1,797 \text{ kg/年} \times 50 \text{ 日圓/kg} \times 10^{-3} = 89.9 \text{ 千日圓/年}$$

$$M_{22} (\text{鹽酸}) = U_{22} \times P_{22} = 13.1 \text{ kg/年} \times 55 \text{ 日圓/kg} \times 10^{-3} = 0.7 \text{ 千日圓/年}$$

$$M_{23} (\text{中和劑}) = U_{23} \times P_{23} = 29.2 \text{ kg/年} \times 60 \text{ 日圓/kg} \times 10^{-3} = 1.8 \text{ 千日圓/年}$$

$$M_{24} (\text{中和劑}) = U_{24} \times P_{24} = 24.1 \text{ kg/年} \times 45 \text{ 日圓/kg} \times 10^{-3} = 0.1 \text{ 千日圓/年}$$

$$M_2 (\text{藥品費・合計}) : 94 \text{ 千日圓/年}$$

(9) 置換、修繕費

$$M_{31} (\text{膜模組置換}) = 2.06 Q_{Ave} = 2.06 \times 1,000 = 2,060 \text{ 千日圓/年}$$

$$M_{32} (\text{UV 燈置換}) = 0.32 Q_{Ave} = 0.32 \times 1,000 = 320 \text{ 千日圓/年}$$

$$M_{33} (\text{其他修繕費}) = 144.77 QD_{max}^{0.384} = 144.77 \times 1,000^{0.384} = 2,054 \text{ 千日圓/年}$$

$$M_3 (\text{置換修繕費・合計}) : 4,434 \text{ 千日圓/年}$$

(10) 污泥產生量 (本系統導入的增加量)

$$\begin{aligned} Q_{dsY} (\text{污泥產生固形物量}) &= (3.0/0.922 \times 10^{-6}) Q_{Ave} \times 365 \\ &= (3.0/0.922 \times 10^{-6}) \times 1,000 \times 365 = 1.19 \text{ t-ds/年} \end{aligned}$$

$$Q_{wetY} (\text{污泥產生量}) = Q_{dsY}/0.01 = 1.19/0.01 = 119 \text{ m}^3/\text{年}$$

$$Q_{cakeY} (\text{脫水污泥量}) = Q_{dsY}/(1-0.80) = 1.19/(1-0.80) = 6.0 \text{ t/年}$$

(11) 污泥處理費 (本系統導入的增加量)

$$\begin{aligned} M_{41} (\text{濃縮處理費}) &= 0.030 (Q_{wetY}/365)^{0.628} \times 10^3 \times (107.2/100) \\ &= 0.030 (119/365)^{0.628} \times 10^3 \times (107.2/100) = 16 \text{ 千日圓/年} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{42} (\text{脫水處理費}) &= 0.039 Q_{wetY}^{0.596} \times 10^3 \times (107.2/100) \\ &= 0.039 \times 119^{0.596} \times 10^3 \times (107.2/100) = 722 \text{ 千日圓/年} \end{aligned}$$

$$M_{43} (\text{污泥處理費}) = Q_{cakeY} \times P_{43} = 6 \text{ t/年} \times 16,000 \text{ 日圓/t} \times 10^{-3} = 96 \text{ 千日圓/年}$$

$$M_4 (\text{污泥處理費・合計}) : 834 \text{ 千日圓/年}$$

(12) 維護管理成本 (合計)

$$C_M = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 = 986 + 94 + 4,434 + 834 = 6,348 \text{ 千日圓/年} \div 6 \text{ 百萬日圓/年}$$

(13) 輸水管成本建設費 (年價)

$$L_{pipe} (\text{輸水管延長}) = 2.0 \text{ km}$$

$$D_{pipe} (\text{輸水管徑}) = \phi 200 \text{ mm} (\text{輸水時的流速設定為 } 1.0 \sim 1.5 \text{ m/秒})$$

$$P_{pipe} (\text{輸水管單價}) = 0.2252 \times D_p + 24.5870 = 0.2252 \times 200 + 24.5870 = 70 \text{ 千日圓/公尺}$$

※參考「水道業務的設施更新費用估算指南 (2011 年 12 月, 日本厚生勞動省健康局水道科)」中聚乙烯管 (道路施工) 的費用函數設定。

$$Y_{pipe} (\text{輸水管建設費}) = L_{pipe} \times P_{pipe} = 2.0 \times 70 = 70 \text{ 百萬日圓/公里}$$

$$C_{\text{pipe}} (\text{輸水管建設年金}) = Y_{\text{Pipe}} \times \frac{i(1+i)^{n4}}{(1+i)^{n4}-1} = 70 \times \frac{0.023(1+0.023)^{50}}{(1+0.023)^{50}-1} = 5 \text{ 百萬日圓/年}$$

(14) 輸水泵建設費 (年價)

L_p (輸水管延長) = 2.0 公里

泵的能力是根據一天最大需求量均勻的在 8 小時內輸水。

$$Q_{\text{pump}} (\text{泵的能力}) = Q_{iD\max} \times 24/8/1440 = 1,000 \times 24/8/1440 = 2.08 \text{ m}^3/\text{分} \quad [Q_{\text{pump_day}} (\text{泵能力日量換算}) \quad 2.995 \text{ m}^3/\text{日}]$$

$$Y_{\text{pump1}} (\text{機械建設費}) = 0.0034Q_{\text{pump}} + 25.8517 = 36 \text{ 百萬日圓}$$

$$Y_{\text{pump2}} (\text{電氣建設費}) = 0.0019Q_{\text{pump}} + 78.1407 = 84 \text{ 百萬日圓}$$

$$Y_{\text{pump3}} (\text{土木建設費}) = 0.0056Q_{\text{pump}} + 119.1249 = 136 \text{ 百萬日圓}$$

$$Y_{\text{pump}} (\text{總計}) = Y_{\text{pump1}} + Y_{\text{pump2}} + Y_{\text{pump3}} = 256 \text{ 百萬日圓}$$

※ 參考「水道事業の再構築費用估算指南(2011 年 12 月, 日本厚生勞動省健康局水道科)」中輸水泵設施的費用函數。

$$C_{Y\text{pump1}} (\text{機械}) = Y_{\text{pump1}} \times \frac{i(1+i)^{n1}}{(1+i)^{n1}-1} = 36 \times \frac{0.023(1+0.023)^{15}}{(1+0.023)^{15}-1} = 2.9 \text{ 百萬日圓/年}$$

$$C_{Y\text{pump2}} (\text{電氣}) = Y_{\text{pump2}} \times \frac{i(1+i)^{n2}}{(1+i)^{n2}-1} = 84 \times \frac{0.023(1+0.023)^{15}}{(1+0.023)^{15}-1} = 6.7 \text{ 百萬日圓/年}$$

$$C_{Y\text{pump3}} (\text{土木}) = Y_{\text{pump3}} \times \frac{i(1+i)^{n3}}{(1+i)^{n3}-1} = 136 \times \frac{0.023(1+0.023)^{50}}{(1+0.023)^{50}-1} = 4.6 \text{ 百萬日圓/年}$$

$$C_{Y\text{pump}} (\text{總計}) : C_{\text{pump1}} + C_{\text{pump2}} + C_{\text{pump3}} = 14 \text{ 百萬日圓/年}$$

(15) 輸水泵維護管理費

泵的能力是根據一天最大需求量均勻地在 8 小時內輸水。

$$Q_{\text{pump_min}} (\text{泵的能力}) = Q_{iD\max} \times 24/8/1440 = 1,000 \times 24/8/1440 = 2.08 \text{ m}^3/\text{分}$$

$$C_{M\text{pump}} (\text{維護管理費}) = 1.00(Q_{\text{pump_min}})^{0.69} \times (103.3/78.0) = 2 \text{ 百萬日圓/年}$$

※ 參考「流域下水道整備總合計劃調查指針和解釋(2008 年 9 月, 日本下水道協會)」中泵設施維持管理費的費用函數。

(16) 再生水貯留設施 (年價)

再生水貯存設施是為了根據需求在夜間進行供水而存儲夜間處理的再生水的設施。貯存設施的容量被設計成能夠存儲最大日再生水量的 24 小時份量。

$$V_{\text{strg}} (\text{貯存設施容量}) = Q_{D\max} = 1,000 \text{ m}^3/\text{日}$$

$$Y_{\text{strg}} (\text{貯存設施建設費}) = 0.1100 \times V_{\text{strg}} + 0.2386 = 0.1100 \times 1,000 + 0.2386 = 110 \text{ 百萬日圓}$$

※ 參考「水道事業の再構築に関する施設更新費用算定の手引き(平成 23 年 12 月)」(厚生勞動省健康局水道科)的 PC 造配水池的費用函數設定。

$$C_{Y\text{strg}} (\text{貯存設施年費}) = Y_{\text{strg}} \times \frac{i(1+i)^{n3}}{(1+i)^{n3}-1} = 110 \times \frac{0.023(1+0.023)^{50}}{(1+0.023)^{50}-1} = 4 \text{ 百萬日圓/年}$$

(17) 生命周期成本

$$C = C_Y + C_M + C_{\text{Pipe}} + C_{\text{YPump}} + C_{\text{MPump}} = 20 + 6 + 5 + 14 + 2 + 4 = 51 \text{ 百萬日圓/年}$$

2. 效益的計算

(1) 農產品生產量

$$B_i (\text{農業生產量}) = A_i \times 21,980 = 25 \times 21,980 = 549,500 \text{ 千日圓/年} \\ \div 550 \text{ 百萬日圓/年}$$

(2) 透過將再生水引入附近的小溪流水道，以提升周邊風景和環境品質。

再生水處理設施能夠處理每日最大 1,000 m³ 的再生水，而農業使用的每日平均需求量為 685 m³。因此，假定將每日約 300 m³ 的差額供應到附近的水路。對於再生水對周邊風景和環境的改善效益的評估，將參考「下水道事業における費用効果分析マニュアル（案）（追加版）平成 20 年 4 月」（由社團法人日本下水道協會提供）中 A 市的案例進行效益計算。

● 一戶每月效益金額（日圓/月・戶）

每戶每月的效益金額根據「小規模公園費用対効果分析マニュアル」（由國土交通省都市・地區整備局公園綠地科監修）的理念，通過以下的計算公式進行計算。

$$[\text{一戶每月效益金額}] = [\text{一戶每月滿意度}(S_w)] / [\text{負擔金的參數}]$$

● 負擔金的參數

假設負擔金的參數為 0.0007，這是基於小溪水道等形成的主要目的是「環境」的假設。（參見「小規模公園費用対効果分析マニュアル」P.21）

$$[\text{負擔金的參數}] = 0.0007$$

● 一戶每月滿意度(S_w):

每戶滿意度(S_w)的計算是基於「小規模公園費用対効果分析マニュアル」中假定「沒有競爭設施(替代設施)的情況」，使用以下方程式進行計算：

$$[\text{每戶滿意度}(S_w)] = \ln\{1 + \exp([\text{設施效用值}])\}$$

● 設施效用值:

設施效用值的計算是基於「小規模公園費用対効果分析マニュアル」中假設「環境」是主要目的的情況，使用以下方程式進行計算：

$$[\text{設施效用值}] = [\text{設施面積參數}] \times [\text{設施面積}(m^2) \text{ 的平方根}] - [\text{所需時間參數}] \times [\text{所需時間}(\text{分}) \text{ 的平方}]$$

● 設施面積和所需時間的參數:

假設設施面積和所需時間的參數，根據「小規模公園費用対効果分析マニュアル」中假設「環境」是主要目的的情況，設定如下（請參見「小規模公園費用対効果分析マニュアル」P.20）。所需時間是指從城市的平均所需時間（基本上是在城市區域進行單元計算）。

[設施面積的參數]=0.005409

[所需時間的參數]=0.001014

在 A 市，提供再生水給一條長 120 m、寬 2 m 的小溪水道，以改善周邊景觀和環境。受益範圍被設定為存在水道的城區，以及與之相鄰的城區（約 30 分鐘內的步行時間）。此外，還計算了列舉的城區到小溪水道的距離和所需時間（根據步行速度為 70 m/分），並總結如下表：

表 10-1 A 市案例的溪水道受益範圍數據總結

No.	市町村	町丁目	距離(m) ①	所需時間(min) ②	戶數(戶) ③
01	A 市	a	1,581	23	494
02	A 市	b	2,075	30	387
03	B 町	c	1,794	26	313
04	B 町	d	1,772	25	316
05	B 町	e	618	9	781
06	B 町	f	2,003	29	404
07	B 町	g	2,013	29	364
08	C 市	h	1,639	23	664

接著，根據「小規模公園費用対効果分析マニュアル」中設定的參數，計算設施的效益值及每戶滿意度，進而計算每戶的補助益金額（以月為基準）和依城鎮劃分補助金額（以月為基準），結果如表 10-2 所示。

表 10-2 每戶每月效益金額的估算（A 市案例）

No.	設施的效益值 ④= $\sqrt{①} \times 0.005409 - ② \times ② \times 0.001014$	每戶滿意度 ⑤= $\ln(1 + \exp(④))$	每戶的補助金額 (日圓/戶・月) ⑥= $⑤ / 0.000700$	依城鎮劃分補助金額(日圓/月) ⑦= $⑥ \times ③$
01	-0.4331	0.4998	714	352,747
02	-0.8070	0.3690	527	203,977
03	-0.5821	0.4439	634	198,468
04	-0.5659	0.4497	642	203,016
05	0.0048	0.6955	994	776,007
06	-0.7462	0.3881	554	223,993
07	-0.7546	0.3854	551	200,399
08	-0.4721	0.4847	692	459,769

依城鎮劃分補助金額（月額基準）的合計如下：

[月間受益額（日圓/月）]= Σ [町丁目別的受益額（日圓/月）]

=2,618,377 日圓/月

[月間受益額（日圓/月）]= Σ [依城鎮劃分補助金額（日圓/月）]=2,618,377 日圓/月

此外，供水至小溪水路僅在農業使用不會產生最大日需水量的時期。假定農業用水的需水高峰期約為 1 個月，因此將供水至小溪水路的月數設為 11 個月，以計算年度受益額。

[年間受益額（日圓/年）]=[月間受益額（日圓/月）] $\times$ 11 個月=2,618,377 日圓/月 $\times$ 11 個月
=28,802,147 日圓/年

B2（周邊風景・環境改善）=29 百萬日圓/年

(3) 效益

$B = B_1 + B_2 = 550 + 29 = 579$ 百萬日圓/年

3. 導入效果的評估

根據成本和效益的試算結果，由於效益超過成本，因此可判定有導入效果。

成本 $C = 51$ 百萬日圓/年

效益 $B = 579$ 百萬日圓/年

$B/C = 11.4$

附件一

灌溉水質基準值之管制項目及
品質項目

附表一、灌溉水質基準值之管制項目

編號	管制項目	限值
1	總鉻(Cr)	0.1
2	鎳(Ni)	0.2
3	銅(Cu)	0.2
4	鋅(Zn)	2.0
5	鎘(Cd)	0.01
6	鉛(Pb)	0.1
7	砷(As)	0.05
8	汞(Hg)	0.002
9	氫離子濃度指數 (pH 值)	6.0-9.0
備註： 1. 本基準值之管制項目為限值，除氫離子濃度指數為一範圍(無單位)，其他均為最大限值(mg/L)。 2. 考量環境地理、水域特性及農業生產條件，其灌溉水質視為背景值，得不受本表之限制。		

附表二、灌溉水質基準值之品質項目

編號	品質項目	限值
1	導電度(EC)	750
2	懸浮固體(SS)	100
3	氨氮(NH ₃ -N)	3.0
4	鈉吸著率(SAR)	6.0
5	殘餘碳酸鈉(RSC)	2.5
6	氯鹽(Cl ⁻)	175
7	硫酸鹽(SO ₄ ²⁻)	200
8	溶氧(DO)	3.0
9	陰離子界面活性劑	5.0
10	油脂	5.0

備註：

1. 本基準值之品質項目為限值，除溶氧為下限值，其他均為上限值；品質項目之單位，導電度為 $\mu\text{S}/\text{cm}@25^{\circ}\text{C}$ 、殘餘碳酸鈉為 meq/L 、鈉吸著率為 $(\text{meq/L})^{1/2}$ ，其他均為 mg/L 。
2. 主管機關於受理申請搭排時，得視實際需要納入全部或部分品質項目管制。
3. 考量環境地理、水域特性及農業生產條件，其灌溉水質視為背景值，得不受本表之限制。
4. 依據灌溉水質分級圖(美國農業部，農業手冊#60)，考量臺灣降雨及土壤淋洗作用，導電度不致導致危害及蓄積性。