日本豪士登堡〈Huis Ten Bosch〉

水再生利用介紹

陳仁仲、溫子文/工研院能資所節水團

前言

豪士登堡（HUIS TEN BOSCH 荷蘭語的意思為森林之家）於水資源再生利用方面，無論在日本或世界各地都是一個十分成功的案例；在建造之初，基於水資源與環境保護觀點，決定將使用過的生活排水，經過處理之後做為冷卻水塔的補充水、廁所沖水及植栽澆灌等用途，其中廁所沖水之再生處理設施，因為膜式處理的採用，不但形成生生不息的再生利用循環系統，而且使再生利用率，提高到「總用水量」的百分之 40 以上（一般約 20%左右）。

此外，豪士登堡為了與地方保持良好關係，自我約束地不增加佐世保市用水負荷，無論旅遊旺季與否，對地方之取水量每日均以不超出 3,000 噸為上限，不足部分則以海水淡化補足之，產水量每日大約 1,000 噸，主要用於飲用水，約佔總用水量的百分之 6，與再生水合計共佔了百分之 46 左右，是十分傲人的一個數字。

不過豪士登堡面積只有 152 公頃，在這有限的面積裏必須容納 3,500 人的工作人員、年 400 萬的觀光客、5 間旅館日平均約 1,000 人的住宿客以及運河下游約 1,500 的住戶人數；且在旺季時經常一天便可一股氣湧入 5-7 萬人次的遊客，激增的用水量，無論對下水處理或再生水處理，乃至經營管理者都是一個很大的挑戰。

一、豪士登堡的地理條件

▲HUIS TEN BOSCH 中 水再生處理施之 UF 膜

豪士登堡位處長崎縣佐世保市的針尾島，針尾島是個面積僅有 34 平方公里的小島，既無可做為水源利用的河川亦無水庫，豪士登堡即座落於該島東南方的位置，面積 152 公頃，約佔該島面積的百分之 4 點 5；在第二次世界大戰之前為海軍學校，於戰後整頓為工業用地；可惜水源不足，製程原料與成品的搬運在交通上均非常不方便，再加上面臨的大村灣有非常嚴苛的水質排放標準，種種的原因使該地的用途，不得不由工業用地轉型為休閒用地。

二、豪士登堡設計的基本概念

西元 1987 年，為響應日本第 4 次全國綜合開發計劃之都市改造計畫中之休閒市都市開發計畫，由荷蘭村的社長號召，以「早速株式會社」為中心，組成 15 人委員工作小組，自 1987 年開始規劃設計豪士登堡計畫，1992 完成第 1 期工程並開始營運，為集思廣益，15 人的委員包含了都市規劃家、建築家、土木專家、音樂家及作家等各種不同專長者，以荷蘭的市街為規劃藍圖，共同為打造 21 世紀的城鎮而努力。該計畫的基礎構想是：以人工智慧營造一個人類的科學工程，整個工程之施工中及施工後，不但能不影響環境且能和地理環境與自然生態融為一體，以調和工程開發與自然的衝突，除了光、音、綠、土壤、廢棄物、能源等的考量之外，「水」也是豪士登堡計畫中很重要的規劃課題，亦是本文將介紹的重點，環境設計及主要設施如下：

1. 開發總面積/152ha。
2. 建築物/休閒、商業、住宅等建物 150 棟。
3. 運河/全長約 6Km、容積(水量)約 32 萬 m3。
4. 共同溝/全長約 3.2Km(冷水、蒸氣、上水、中水、排水、電氣、通信、情報用

配管配線等)。

5. 冷熱源/蒸氣吸收式冷凍機 5 台、渦輪式冷凍機 1 台、冷水蓄熱槽 2,000m3。
6. 溫熱源/瓦斯蒸氣鍋爐 3 台、廢熱鍋爐 3 台(燃氣式渦輪發電機之廢熱利用)。
7. 受水槽/2,000m3。
8. 海水淡化/1,000m3/日(逆滲透法)。
9. 排水再利用/2,700m3/日(接觸氧化法+超濾過膜)。
10. 下水處理場/3,400m3/日(標準活性泥法)。
11. 發電電力/瓦斯渦輪發電機 1,500kw×3 台。
12. 垃圾處理/堆肥處理場、燒卻場。
13. 植栽/40 萬棵樹木及 30 萬棵花。
14. 旅館(760 室、105 戶)及迎賓館(9 室)。

▼環境、設備設計與環境

	自然環境						街道環境	
	水	大氣、熱	音	光	土壤	緑	景觀	機能
高度下水處理	○							○
土壤浸透	○				○	○		
海水淡化	○							○
中水再利用	○					○		○
運河水質保全	○						○	
光環境				○			○	○
自然環境背景之保全			○			○	○	
植栽		○	○			○	○	○
土壤改善					○	○		
地域冷暖房		○	○				○	○
汽電共生		○						○
人工智慧								○
共同溝							○	○

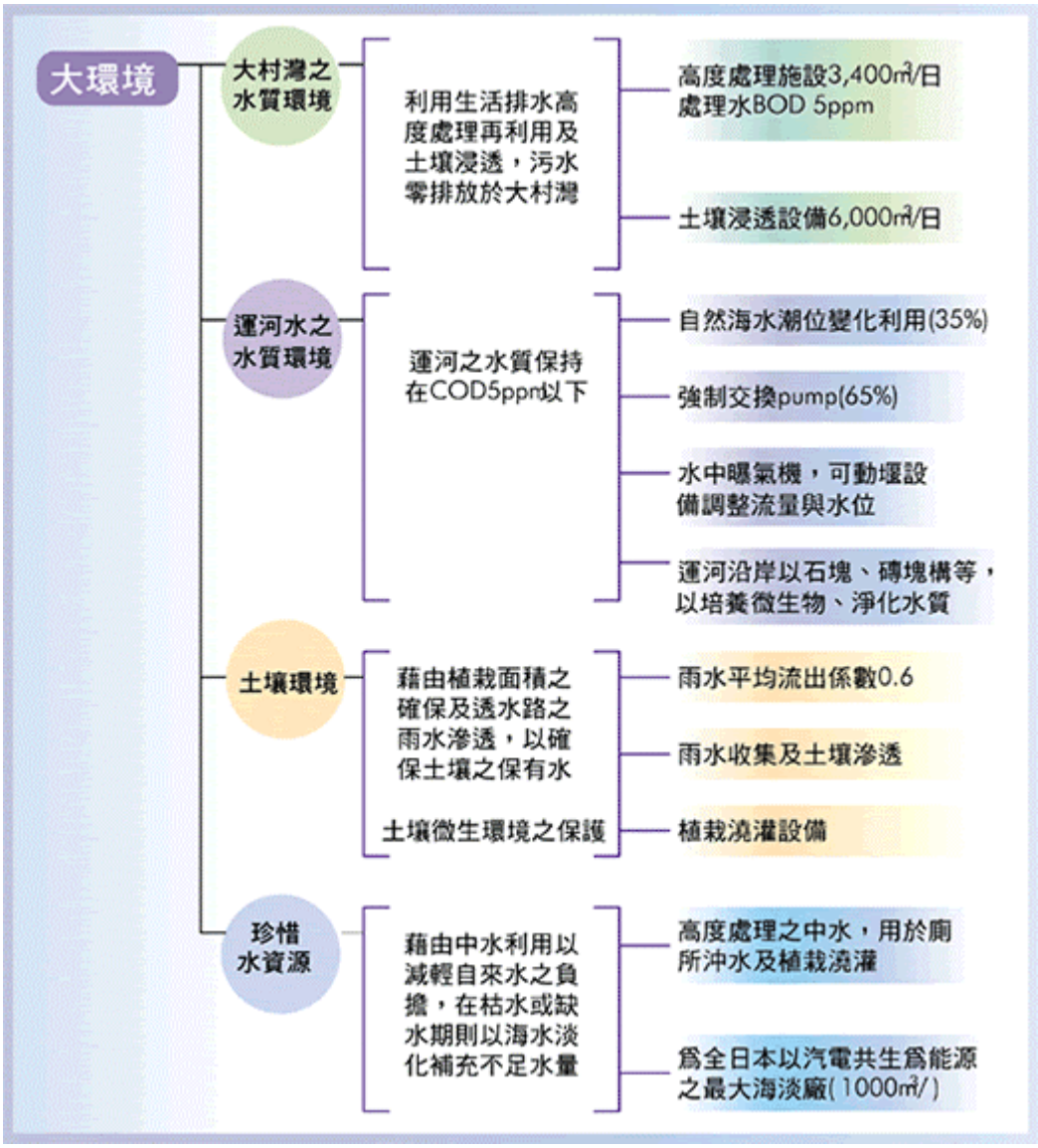
三、水資源環境

佐世保地區年降雨量雖可達 1,800 釐米，但因河川短小縱有下雨也立刻流入大海，無法貯留利用，這樣的水資源環境對需要使用大量自來水的豪士登堡而言，絕不是一個水量豐沛的環境；規劃之初當然也考慮到採用井水，但是豪士登

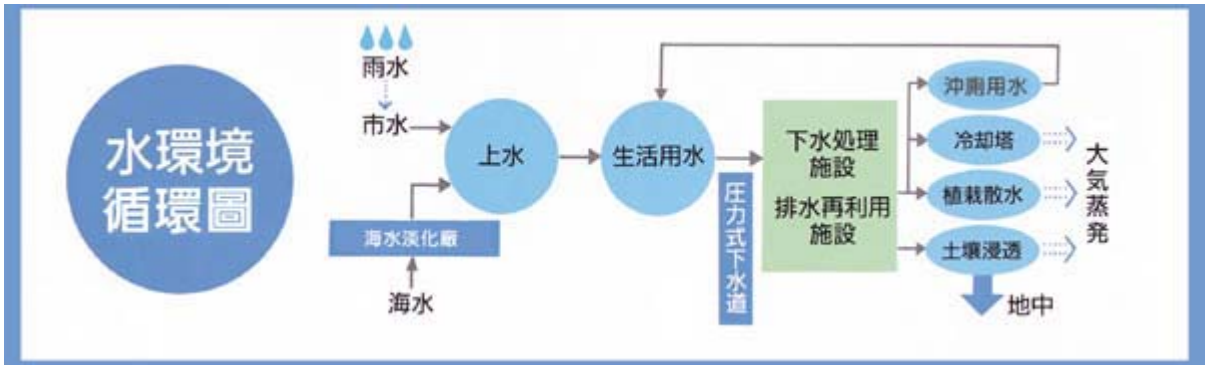
堡緊鄰海邊，井水開挖時抽出的不是淡水而是海水，深度若挖掘至 1,000 米以上，則有溫泉湧出，目前為附近旅館廣泛利用。

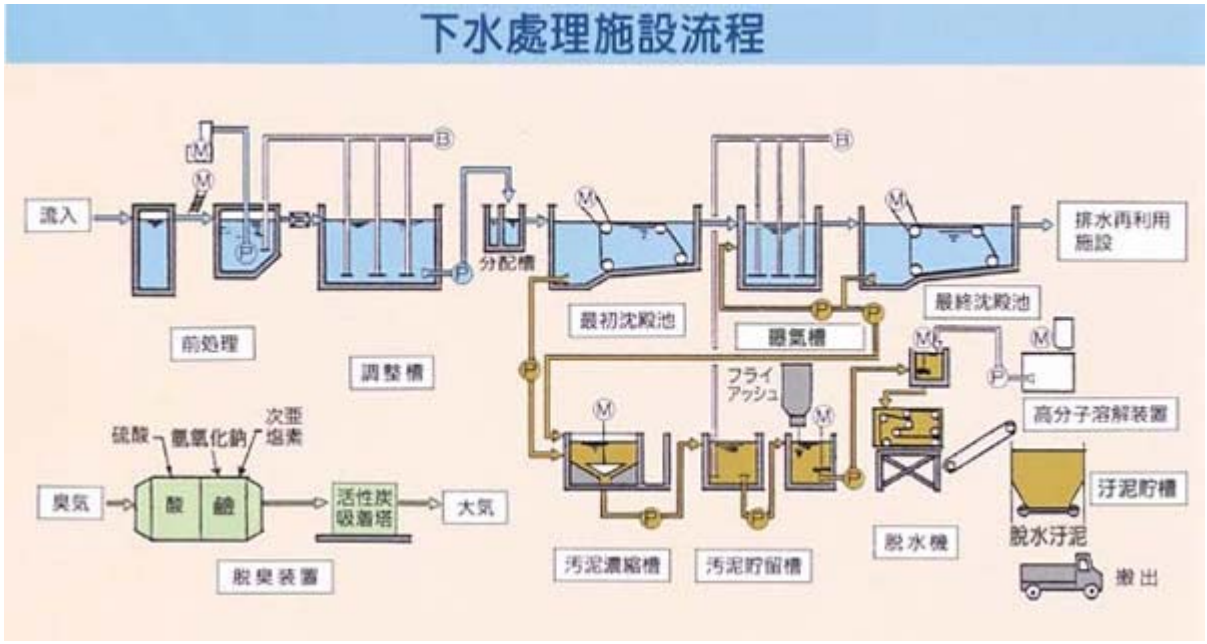
豪士登堡無疑為佐世保地區的最大用水戶，由於附近居民有逐漸增加趨勢，且豪士登堡亦持續有 2、3 期擴建計劃，為不影響市民用水並與市民保持良好關係，雙方協議豪士登堡之日取水量以不超出 3,000 噸為限，不足部分則以水再生利用及海水淡化因應，豪士登堡整體水環境計畫如表 1。

▼表 1 Huis Ten Bosch 之水環境計畫



▼ Huis Ten Bosch 水環境設計





四、水再生循環系統

1.海水淡化

為節約用水成本，豪士登堡的海水淡化設施並非長期連續運作，而僅在枯水期、星期假日或大節日方才運轉，產製的清水則在原自來水貯水槽與自來水混合後，經次氯酸鈉消毒再利用 PUMP 以 4.5kg/cm2 加壓輸送至豪士登堡場內，供 5 間旅館、50 家店舖及 50 家各式餐館之廚房、衛浴清潔等用途，基本而言這些用途都會與「人體接觸」，如飲用、洗澡等為主，至於沖廁等清潔用水則仍嫌不足，須仰賴中水系統。

2.膜技術利用

豪士登堡海水淡化廠概要－

淡化方式：逆滲透法水淡化。

造水能力：每日最大造水量 1000m3/日（500m3/日兩套）。

產水率：40%。

用途：飲用水。

海水淡化設施處理流程：

(1). 海水取水：由豪士登堡燈塔附近海面下 1.5M 左右取水。

(2). 海水原水輸送 PUMP：由抽水站輸送至距離 600M，高差 18M 的海水淡化廠(能源中心前)。

(3). 前處理：本處理階段須先在原水槽殺菌、滅藻之後注入凝集劑，再輸送至過濾槽去除懸浮固體，

所得之澄清海水為防止氫氧化鈣（Ca(OH)2）於逆滲透膜表面結垢，在進入膜處理之前須先注入硫

酸（H2SO4）。

(4). 膜式脫鹽(RO 膜)：澄清之海水以高壓 PUMP 將壓力提升至 45-55 kg/cm2 後，壓送至逆滲透膜模組，

海水輸送量的百分之 40 為產製之淡水，另外百分之 60 的濃縮海水則由逆滲透膜的另一端排放，生

產水的水質以導電度連續監測，若發現水質超出預設值（200 mg/l），則以電磁閥自動將水排放。

(5). 後處理：淡化後之海水先在產水槽以氫氧化鈉調整 PH 值，再以次氯酸鈉殺菌後，輸送至受水槽。

(6). 供水

3.海水淡化廠

檢 驗 項 目	1998年6月	1998年12月
外觀	無異常	無異常
味感	無異常	無異常
臭氣	無異常	無異常
色度（度）	5以下	5以下
濁度（度）	2以下	2以下
PH值（23℃）	7.3	7.1
硝酸性氮與亞硝酸性氮（mg/l）	0.17	0.09
氯離子（mg/l）	61.3	53.2
有機物等過錳酸鉀消耗量（mg/l）	0.4	0.6
一般細菌	0	0
大腸菌群	未檢出	未檢出
殘留氯（mg/l）	0.5	0.2
蒸發殘留物（mg/l）	135	

註：鉛、鎘、鐵、銅並未檢測

處理水來源	廁所排水＋生活雜排水
處理水量	3400 m^3/日
流入污水水質	BOD 320 ， COD 150 ， SS 220（mg/l）
下水處理水水質	BOD 20 ， COD 50 ， SS 30（mg/l）
再生水處理水質	BOD 5 ， COD 10 ， SS 10（mg/l）
處理方式-	標準活性污泥法＋接觸氧化法＋凝集沉澱法＋砂濾＋UF（超過濾）膜法

▼淡化後之海水與原水水質

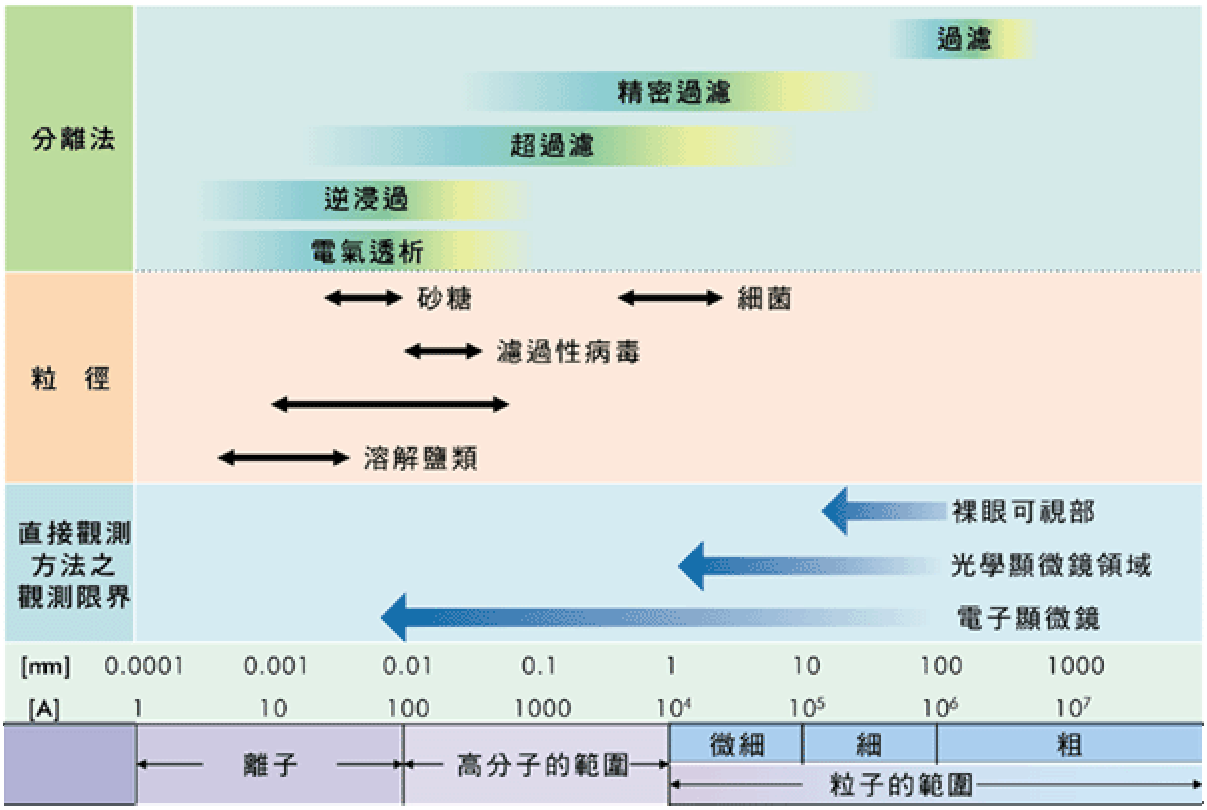
項 目	日本水道法水質基準	海 淡 水	原水
蒸發殘留物（mg/l）	500以下	380以下	-
氯離子（mg/l）	200以下	200以下	19000
PH（25℃）	5.8-8.6	7.0-8.0	8.2
懸浮物體（mg/l）	-	-	-
濁度	2.0	0	3.0
殘留氯（mg/l）	0.1以上	0.1以上	

4.生活污水系統

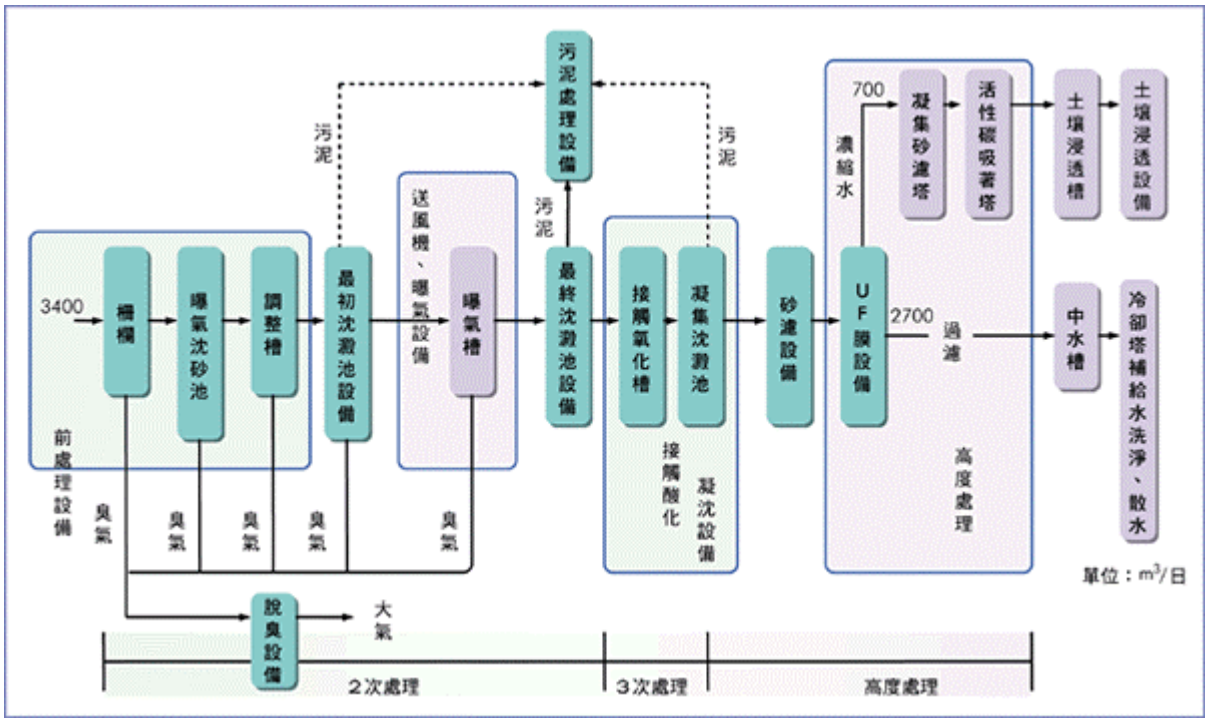
由於豪士登堡大部分為掩埋地，地基之穩定度較差，加上縱橫盤結的運河與由 27 座小橋連結而成的小島，使得豪士登堡無法採用傳統的重力式排水，而必須採用壓力式輸水，這也是全日本最大之壓力式下水道各小島之生活排水首先流入地下污水槽，經短暫停留後，再以加壓 PUMP 輸送至中繼槽，如此經數次之中繼槽搬送後，輸送至標高 19 米之下水處理廠，進行污水處理。

豪士登堡之下水處理廠不單是處理豪士登堡區域內生活排水，附近的別墅群、高級大廈、住宅排水亦屬處理範圍（對外稱佐世保市針尾下水處理廠）。

▼各種過濾法之過濾範圍與過濾物質之大小



▼下水處理流程圖



5.生活排水再利用處理設施概要

項　　目	範　　圍
PH值	7.0以上
導電度	700以下
鈣硬度 氯離子 硫酸根離子	鈣硬度70以下 三者合計須在250ppm以下
SiO2	35ppm
BOD	7ppm

6.再生水的應用（中水）

生活污水經處理後產出之再生水（即中水），在豪士登堡主要利用於 (1).廁所沖水。 (2).冷卻水塔補充水。 (3).植栽澆灌。其中廁所沖水的水質依據環境衛生局公告，水質基準如下：

(1).基本規定

- 無衛生問題。
- 使用上不會產生不快感。
- 不會影響衛生器材設施。
- 不會造成衛生設施維護管理之障礙。

作者攝於豪士登堡水再生處理設施之 RO 處理設備前

(2).水質要求

- 大腸菌：10 個/ml 以下。
- PH 值：5.8-8.6。
- 臭氣：無不快感。
- 外觀：無不快感。

項　　目	範　　圍
PH值	7.0以上
導電度	700以下
鈣硬度 氯離子 硫酸根離子	鈣硬度70以下 三者合計須在250ppm以下
SiO2	35ppm
BOD	7ppm

(3).衛生安全要求：消毒滅菌為不可或缺之措施。

(4).水質檢驗：PH 值臭氣外觀
殘留氯----1 次/日以上，大腸菌群----1 次/月以上。

(5).水樣採水地點：離使用點最近之儲水槽出水口。

(6).誤飲誤用之防止：管路、儲水槽需明顯標示系採用再生水。

(7).其他：結垢與生物淤泥產生之防制。

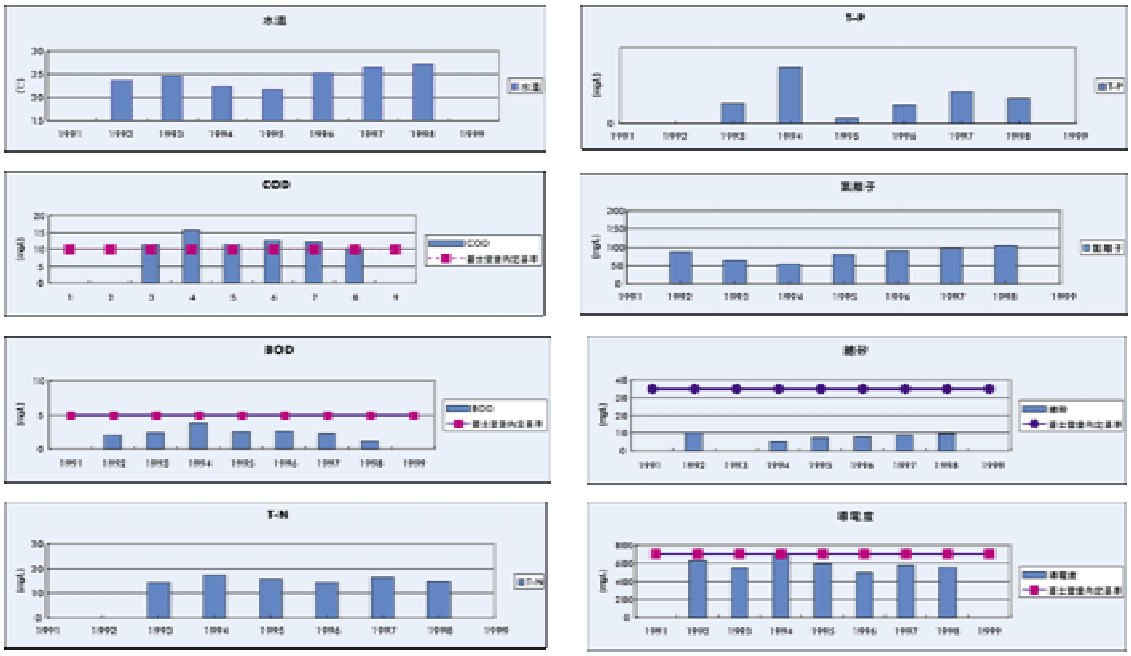
此外，若屬冷卻水塔之水質，則依日本冷凍空調公業會冷卻水水質基準或冷卻水塔製造商所要求之水質上限為基準，豪士登堡之冷卻水塔水質要求基準如表 2：

至於植栽澆灌方面的用水，由於有與作業人員接觸之顧慮，故豪士登堡採取 UF 超過濾膜處理，以去除濾過性病毒及其他雜菌。

7.豪士登堡回用水之相關數據

(1).中水水質（年平均）

	1992年	1993年	1994年	1995年	1996年	1997年	1998年	豪士登堡內訂標準
水溫 ℃	23.7	24.7	22.5	21.7	25.2	26.5	27.3	
pH	7.2				7.4	7.3	7.3	
COD mg/L		11.4	15.7	11.5	12.7	12.2	10.3	10.0
BOD mg/L	2.0	2.3	3.8	2.4	2.5	2.2	1.1	5.0
鐵 mg/L		ND	0.03	0.02	0.09	0.09	0.06	
錳 mg/L		ND	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	
蒸發殘留物 mg/L		319	4.29	329	336	361	331	
總氮T-N mg/L		14.2	17.6	15.7	14.4	16.3	14.6	
總磷 T-P mg/L		0.8	2.2	0.2	0.71	1.25	1.00	
總磷酸 mg/L	-	-	-	-	2.19	3.74	3.01	
胺氮 mg/L	-	-	-	-	4.32	4.98	4.36	
生菌數 個/mL	-	-	-	0	0	0	0	
大腸菌數個/mL	0	0	不檢出	不檢出	不檢出	不檢出	不檢出	
氯離子 mg/L	88	64	53	80.3	89	97.4	103	
鈣硬度 mg/L	45		36.7	49	55	54	49	70
硫酸根 mg/L	37		31.2	27.7	32.4	27.5	30.0	
總矽 mg/L	10		5.04	7.4	7.9	8.9	9.74	35
導電度 μS/cm	634	551	680	592	493	581	557	700

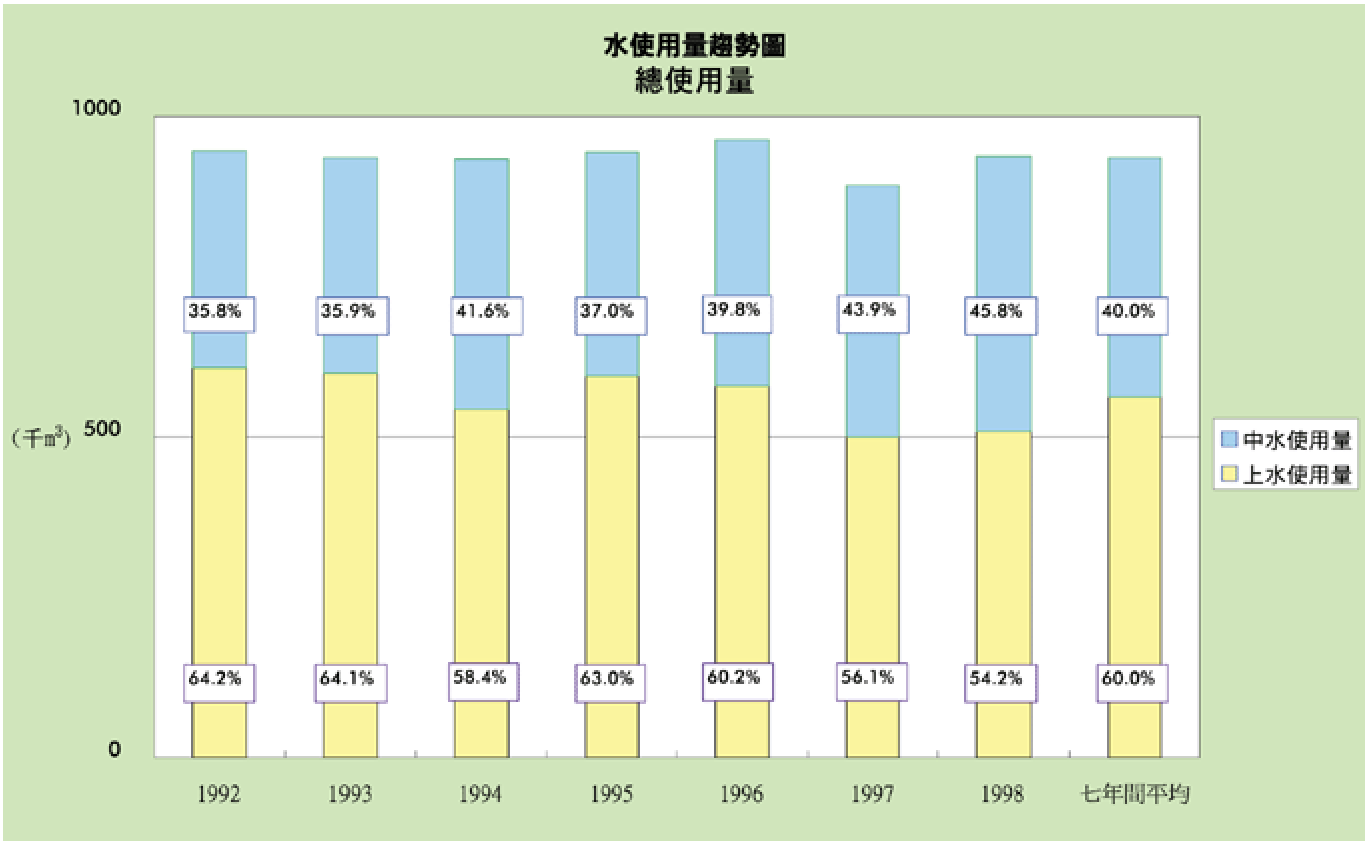


(2).使用水量

▼使用水量統計分析表

(單位：1000m^3)

	1991年	1992年	1993年	1994年	1995年	1996年	1997年	1998年
1.自來水使用量	608	600	544	595	580	500	508	3935
2.海水淡化	14	3	263	17	3	3	77	380
3. 2/7 比 %	1.5	0.3	28.2	1.8	0.3	0.3	8.2	5.8
4.再生水使用量	339	336	390	349	384	392	429	2619
5. 4/7 比 %	35.8	35.9	41.6	37.0	39.8	43.9	45.8	40.0
6.冷卻水塔補充水	78	73	101	102	109	108	130	701
7.總使用水量	947	936	934	944	964	892	937	6554



結語

▲HUIS TEN BOSCH 中水再生處理設施之凝集沈澱

豪士登堡對環境的考量是全面性的，也證明了環境開發與環境破壞未必一定要畫上等號，科技文明建造出的環境也可以和自然環境調和在一起，透過自然環境上之水、光、音、土壤、能源、景觀、城鎮機能等整體的考量，人類可能也可以在開發過程中同時保護環境，甚至創造出優於舊有環境的新市鎮，當然這涉及的範圍遠超出了我們的主題~水域環境；但即使單指水域環境而言，豪士登堡全面性的考量，亦十分值得作為台灣許多類似開發案之借鏡。