

【補充論文】

# 生態化乾式廁所於玉山國家公園之應用

陳國帝<sup>1</sup>

陳文卿<sup>2</sup>

林裕修<sup>3</sup>

林青<sup>4</sup>

(於 2004/10/2-3 玉山國家公園主辦之「2004 國家公園登山研討會」)

## 【摘要】

高山地區因為氣溫低、缺水及缺電等環境因素，平地廁所常應用之處理設備如沖水馬桶、化糞池等皆無法應用，因此需針對當地環境規劃設計最適合之糞便處理設施。為改善玉山主峰線塔塔加至排雲山莊登山路徑之環境衛生，玉山國家公園管理處委託工研院環安中心規劃設置兩座生態化乾式廁所，應用微生物固態醱酵原理，將人體排洩物、木屑與微生物混合後，經醱酵作用達污染減量及安定化目的；同時應用風力、太陽能為通風及照明用途。歷經七個月總共約兩萬餘人次使用，由定期監測結果顯示功用良好。此種人體排洩物處理方式應用再生能源，無二次污染，對環境影響小，因此是結合生態工法與再生能源利用的生態化廁所。目前已開發完成套裝式設備，未來可推廣應用於高山或水質保護區，以保護國家公園環境。

## 【關鍵詞】

生態化乾式廁所、堆肥化、再生能源

**KEYWORDS :** (eco-dry toilet), (composting), (renewable energy)

<sup>1</sup>工業技術研究院，環境與安全衛生技術發展中，研究員，ktchen@itri.org.tw

<sup>2</sup>工業技術研究院，環安中心，組長

<sup>3</sup>內政部營建署玉山國家公園管理處，課長

<sup>4</sup>內政部營建署玉山國家公園管理處，處長

# 生態化乾式廁所於玉山國家公園之應用

陳國帝  
陳文卿  
林裕修  
林青

(於 2004/10/2-3 玉山國家公園主辦之「2004 國家公園登山研討會」)

## 一、前言

玉山國家公園位於台灣本島中間地帶，跨越嘉義、南投、高雄、花蓮四縣，面積十萬餘公頃，是我國第二座，也是面積最大一座國家公園。園區內有三十座海拔 3,000 公尺以上高山，如玉山群峰、馬博拉斯山、秀姑巒山等；其中玉山主峰海拔 3,952 公尺，是東亞第一高峰，因攀登困難度不高，為一種大眾化及國際線登山路線，每年吸引眾多遊客到訪。但高山地區環境特殊，無法如平地正常供水、供電，冬季更易下雪結冰。由與此種特殊環境條件，傳統式廁所之設計，因水、電及污水排放等因素，無法應用於高山地區，因此登山客之排遺成為國家公園管理單位急待解決之問題。為服務登山遊客及保護生態環境，工研院環安中心受玉管處委託，針對玉山主峰線之環境特性，規劃設計兩座乾式生態化廁所，於 92 年底完成建造開放使用，經連續監測，驗證乾式生態化廁所可符合當地特殊環境需求。此種生態化乾式廁所首次應用於台灣地區，因此將規劃設計及應用成果提出，供相關單位未來規劃及設計參考。

## 二、國內高山廁所現況

高山旅遊風氣日盛，但遊客排遺問題也成為管理單位面臨難以解決之困境。如 92 年 8 月底，太管處舉辦之「2003 年國家公園登山研討會」，張玉龍等多位先生<sup>[8]</sup>，論文中都提到登山環保中排遺如何處理問題。92 年 8 月 21-23 日於芬蘭舉行之第 1 屆乾式廁所國際研討會「The 1<sup>st</sup> International Dry Toilet Conference」，多篇論文討論高山及寒冷缺水地區乾式廁所應用方式<sup>[8]</sup>。92 年 10 月於台北舉行之世界廁所高峰會議，高山廁所也為會議主題之一，因此高山地區因遊客排遺之影響及高山廁所之興建技術問題，已於國內外逐漸受到重視。但以往國內建築師，僅作建築物及內部設施考量，缺乏環保等整體性技術彙整，因此以往國內高山地區廁所皆不理想，主要缺失如下：

## (一)沖洗式廁所

國內廁所設計大都以沖水馬桶方式為主，易於清潔維護及衛生，因此應用最為普遍。此種方式，以大量乾淨水源(約為糞便量 40-50 倍)將之沖離便器。但後續處理設施如化糞池或污水處理設施，也無法將污水中污染物質完全分解，反而因水之稀釋或擴散作用，將污染物質擴散更廣，影響更為深遠。化糞池處理污水結果如下表 1 所示，無法達到現行放流水標準，急需改善。因國內主要高山位於國家公園內，又是台灣地區主要水源水質保護區，廁所設計污染防治將要以更高標準進行設計及施工。

表 1 國內 3000 公尺某山莊公廁檢測結果及現行排放標準<sup>2-</sup>

	BOD mg/ℓ	COD mg/L	SS mg/ L	N mg/ L	P mg/ L
檢測結果	160	210	370	35	18
排放標準	30	100	30	10	4

資料來源：工研院 91 年研究報告

## (二)傳統型糞坑式廁所

高山地區氣候環境特殊，如缺水缺電溫度低等特性，因此國內部份高山地區雖應用一些免沖水廁所，但因無適當通風及微生物作用，因此臭氣及蚊蠅滋生，環境不良。雖定期添加菌種，但效果有限。若底部防水施工不良，仍有污染地下水可能。

## (三)化學藥劑應用之流動廁所

為防止糞便於槽內分解，因此雖以小量清水混合化學藥劑作為清洗用途，因此無糞尿臭味，但有濃重藥水味，後續污水更需以大量清水稀釋，降低消毒水濃度後，才能進行污水處理，同樣為一種耗費水源設施。市售之流動廁所容積狹小，空間不足；通風不良因此室內潮濕，使用者不便。且使用外加之化學藥劑亦不符合維護自然生態環境之原則。

高山地區國家公園內廁所設計，不但要以高標準之處理設施，將污染降至最低，同時更應以使用者之需求設計，如登山背包放置，更換衣物需求方便性，也要具有如緊急避難需求等多功能設計。同時因設置於國家公園範圍內，建築物更要與景觀結合，因此需結合建築、環工及景觀等專家，共同執行廁所設計，以符合國家公園需求。

### 三、工程規劃設計

針對缺水條件之廁所排放物處理，不能採傳統化糞池之處理方式，因此將糞尿分離方式設計。尿液部份採土壤滲透之自然淨化處理，而糞便部份則採用堆肥醱酵之原理作設計。但為確保高山冬季低溫時生物醱酵能進行，因此於實驗室中模擬低溫醱酵狀況，進行微生物之分解測試及驗證。為達成一個完整之乾式生態化廁所之規劃設計，因此本計畫由工研院邀請台灣衛浴文化協會理事長吳明修建築師團隊，共同執行此計畫。由吳建築師負責景觀及木構造與室內之設備配置，工研院研究團隊負責醱酵槽、風力、太陽能光電系統之規劃設計。本計畫之主要工程規劃設計內容及方法如下所述：

#### (一)環保功能性設計

玉山地區為生態保育及環境敏感地區，因此廁所之興建將以不產生二次污染處理方式，將糞便以微生物分解及安定化後，再將之運送下山，或擇適當地點掩埋，將可降低環境之破壞。考量國人應用習慣，及參考國外研究資料中對於糞/尿分離之設計如圖 1 所示，規劃設計糞/尿分離方式之蹲式馬桶如圖 2。糞/尿分別收集後，依不同特性將排泄物分別處理。糞便混合木屑及堆肥以固態醱酵方式，進行減量及安定化處理。尿液部分及醱酵過程中過量水分，應用經特殊設計之之散水管方式如圖 3 所示，散水管長度為 30 米，遠離水源區，應用微生物分解、土壤吸附及植物吸收方式，進行處理避免二次污染產生。

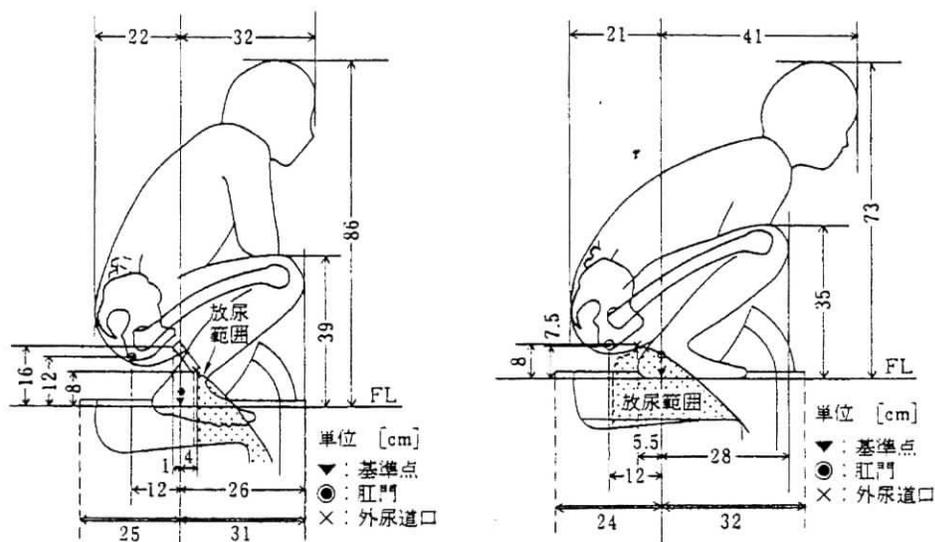


圖 1 糞/尿分離設計示意圖<sup>1)</sup>

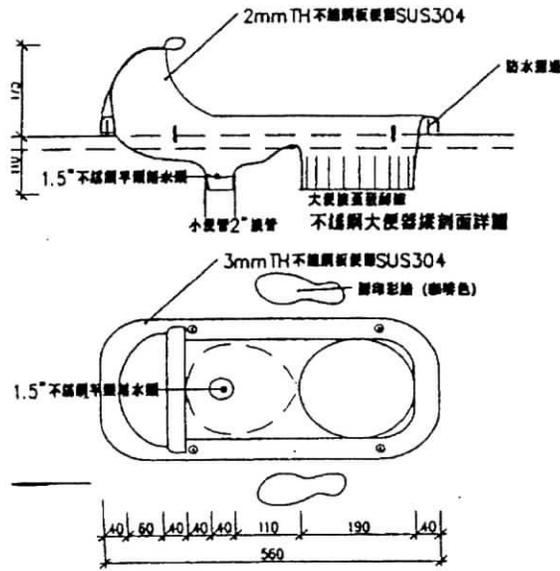
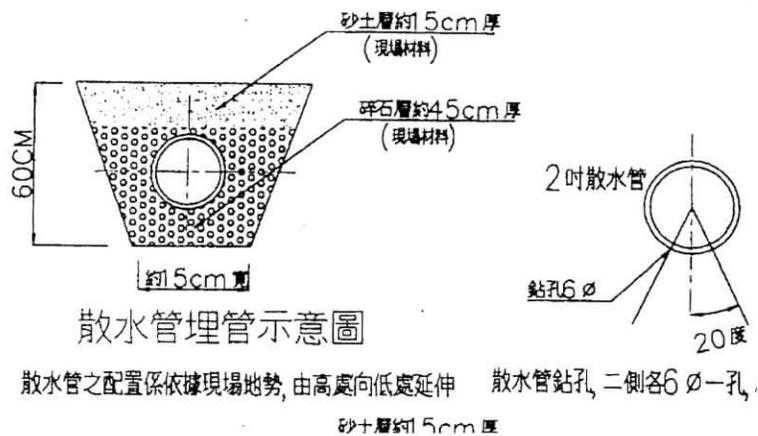


圖2 糞/尿分離式 蹲式馬桶設計<sup>[3]</sup>



散水管埋管示意圖

散水管之配置係依據現場地勢,由高處向低處延伸 散水管鉆孔,二側各6 $\phi$ -孔,

砂土層約5cm厚

圖3 散水管設計<sup>[3]</sup>

## (二)廁所設施多功能性設計

公廁設計除維護環境所使用污染防治設施之外,於山區也將考慮多種用途;如利用雨水截留設計,除可供衛生設備清潔用途,也可供緊急需求使用;公廁也要有緊急避難小屋之功能,因此要能符合登山客避風、雨、雪之功能。因此設計公廁將以內部寬敞,乾燥採光通風良好為主,進口寬大登山背包可直接進入,另

有置物架以方便直接取物，便於登山者更換衣物。因此具有達到遮風避雨，緊急避難等多功能用途如圖 4 所示。設計風力及太陽能之再生能源，應用於照明及通風用途，將空氣經由便器進入醱酵槽，再排至室外；防止醱酵槽臭氣外逸，同時供應微生物作用時所需氧氣，避免產生厭氧化而有臭氣產生。

### **(三)配合地理環境之特殊考量**

玉山地區高山地區冬季降雪及結冰，地面濕滑，因此有關戶外地面、樓梯之設計，將以防滑及不積存冰雪之設計，樓梯扶手等人體接觸地方，應用木料以取代鐵材。人員進出口位置，也將考慮以避風雪位置及方向，同時環境設計將以明亮、通風、乾燥等方式為設計原則。

### **(四)外觀與自然環境融合**

本計畫兩座廁所設置興建，也是國家公園內整體設施之一部份，除提供遊客一個舒適上廁所環境，其整體外觀也要與當地自然景觀、環境融合，避免突兀等景觀產生。因此步道與廁所連接通路以石塊堆積及現地階梯（孟祿亭）及現地開鑿石頭步道（白木林）設計，另以南方松原木經防腐處理後，作為廁所主要建材，使整體廁所外觀與自然環境融合。應用 D-log 木料設計，整體結構於工廠內組裝完成，拆解後運至山上工地再進行組裝，易於施工、縮短工期及確認品質。

### **(五)設備及操作**

為維護廁所功能正常運作，因此重要設備皆有備份裝置，如通風系統，排風裝置設有兩套，輪流運轉，以降低失效無法運作風險。因此採用風力及太陽能兩種併行之再生能源發電方式，除獲穩定性之能源供應外，另一方面也可達示範宣導再生能源使用之目的，符合國家公園之教育目標。廁所清潔維護也以容易操作為原則。馬桶及小便斗也將以容易拆卸方式設計，清潔人員將可輕易拆卸，清潔後再安裝定位。

經由以上之規範進行設計，完成發包作業手續，得標廠商於山下工廠內完成所有設備組裝，便於施工及監造，經驗收確認功能後，再拆解調運至工地完成組裝手續。



圖 4 孟祿亭廁所



圖 5 白木林廁所



## 四、應用經驗

玉山主峰登山路徑之乾式生態廁所，從 92 年底完成後開放使用至 93 年 7 月，經 8 個月使用，經由定期監測，已達成下列目標：

### (一)不同季節登山人數統計

玉山主峰線乾式生態廁所於 92 年 11 月底完成後即開放供遊客使用，同時每年 12 月底至 2 月底為冬季封山期間，因此遊客較少，但從 3 月份起使用人數增加為 2602 人次，至 4 月及 6 月份，每個月使用人數已超過 4500 人次，各月份使用人數及最終統計如圖 7 所示，已超過 2 萬人次使用乾式生態化廁所。經由不同月份統計，得知登山人數分布及對照廁所性能之功效。

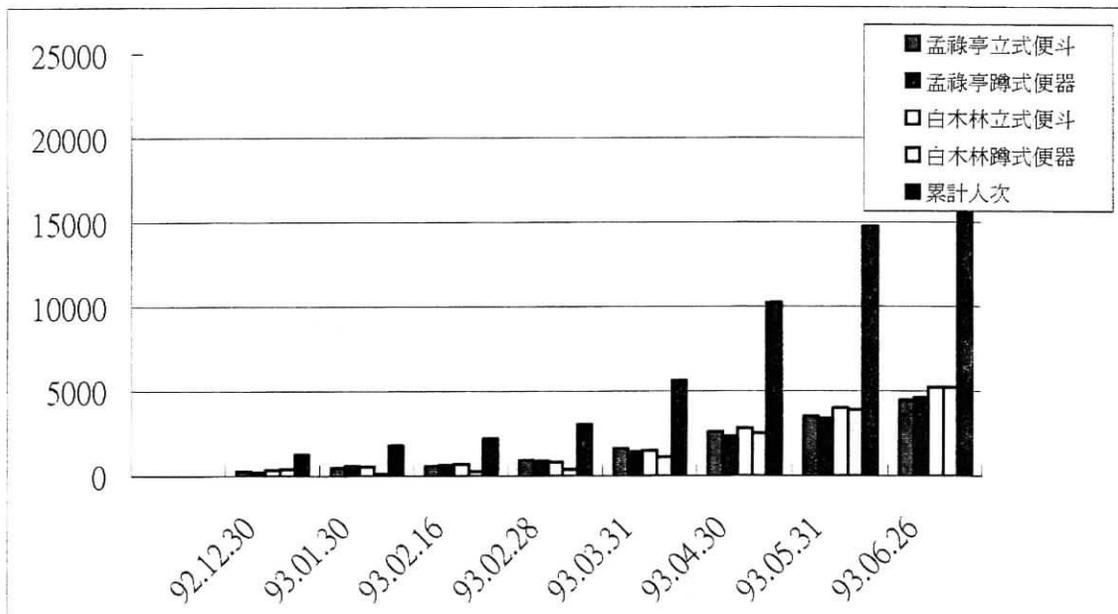


圖 7 使用人數統計<sup>[4]</sup>

### (二)清潔能源應用

生態廁所照明及通風用電，應用太陽能系統，將陽光轉換為電源，經由控制器儲存於電池內，作為通風及照明用途。經 93 年元月至 93 年 6 月底，經由目前太陽能系統累積發電量，白木林為 33.03KWh，孟祿亭為 26.06KWh，其差別主要為白木林地區較空曠，因此發電量也高於孟祿亭地區。平均發電量白木林  $33.03/180=0.184\text{KW/日}$ ，孟祿亭  $26.06/180=0.145\text{KW/日}$ ；因通風系統  $5\text{W}\times 24$  小時及照明系統  $5\text{W}\times 2$  小時，合計所需電量為  $0.13\text{KWh/日}$ ，因此太陽能系統可充份供應系統所需的通風及照明用途。由圖 8 之清潔能源產生量統計，風力機因無穩定風力，因此僅可於夜晚或陰雨天作為補助功能，主要能源仍以太陽能系統為主。

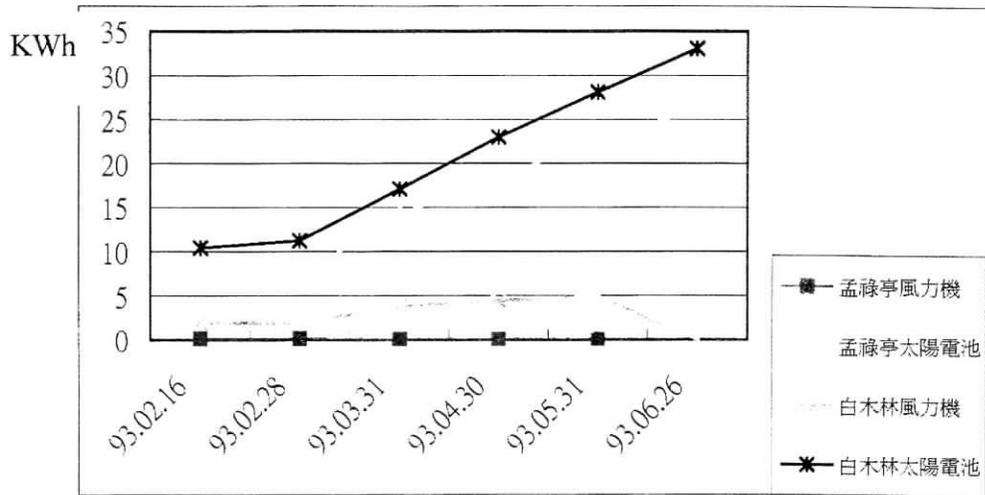


圖 8 清潔能源生產<sup>4</sup>

### (三)生態廁所性能監測

應用微生物將有機物分解為一種放熱反應 (exothermic reaction)。因此經由量測內部溫度與外界差異，則顯示為生物活動狀況。生態廁所啓用之初，正值冬季封山，使用人數少，有機物分解量少，不易蓄積熱量，因此溫差有限。但使用人數逐漸增加後，至 93 年 4 月起，因有機物累積發酵作用順利進行，因此槽內溫度也逐漸上升。比較槽內溫度與室溫，相差達 10°C 以上，顯示發酵槽內微生物已發揮生物分解功能。

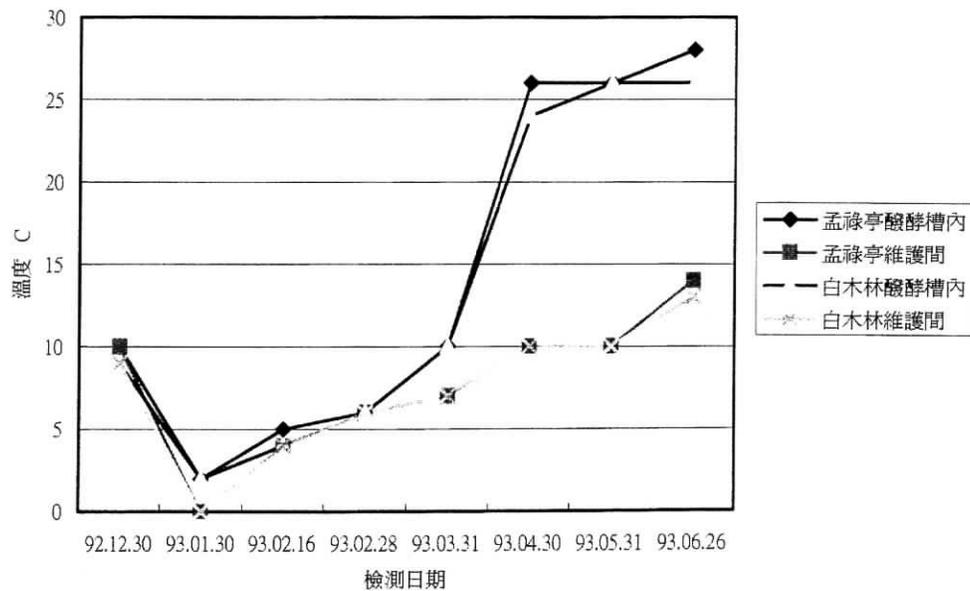


圖 9 發酵槽內外溫度比較<sup>4</sup>

#### (四) 污染防治設備

乾式廁所因無水封裝置，為避免發酵區內氣體滯留於如廁空間，應用排風機將氣體排至室外，新鮮空氣將經由馬桶及小便斗再向下進入處理區，改善如廁空間空氣同時也提供微生物生長所需氧氣。生態化乾式廁所應用木屑與糞便混合後，調整碳氮比及水份以利於微生物作用，將之轉換為堆肥。本計畫歷經半年應用，發酵槽內混合產物，經取樣分析如下表 2 所示，其中高量之氮鹽成分，係尿液成分影響，但對於植栽綠化應用，後續因有澆水及雨水等稀釋作用，因此氮鹽影響不大，另含有微量重金屬成分，也在禽畜糞堆肥標準範圍內，另含有高量之碳氮磷成分，生態廁所最終產物為一優良有機肥。

表 2 生態廁所堆肥成分分析

檢測項目	單位	樣品編號		成分標準	檢驗方法
		C930147	C930148		
		玉山-1孟祿亭	玉山-2白木		
檢驗值					
氮鹽	mg/kg	4250	3920	無	參考 NIEA W415.5 0T
總有機碳 (TOC) 含量	%	13.6	13.6	無	Walkley Black 濕氧化 法
全氮含量	%	1.69	2.59	0.8以上 3以下	Regular Kjeldahl Meth
溶解性 氮	%	0.14	0.22	無	參考 Kjeldahl Meth
銅	mg/kg	27.2	29.3	不超過 150	NIEA S321.63 B
汞	mg/kg	0.498	0.619	不超過 2	NIEA M317.0 1C
鉛	mg/kg	1.51	4.63	低於 150	NIEA S321.63 B
鋅	mg/kg	34.0	106	不超過 500	NIEA S321.63 B
鎘	mg/kg	0.26	0.52	低於 5	NIEA S321.63 B
鎳	mg/kg	13.2	9.30	低於 25	NIEA S321.63 B
鉻	mg/kg	65.9	44.9	低於 150	NIEA S321.63 B
砷	mg/kg	1.27	2.30	低於 50	NIEA S310.62 C

## (五)應用檢討

生態化乾式廁所，於台灣首次經由玉山地區應用經驗，驗證生態廁所能符合台灣地區特殊環境，如高山缺水、低溫或災難緊急救援情況下，人體排泄物之處理方式之需求，同時也具有以下特點。

1. 不須用水沖洗，可應用於缺水及嚴寒凍結之高山地區，不產生二次污染，達到環境及生態保護功能。
2. 經由適當通風設計，保持廁所內外環境衛生及提供醱酵槽微生物生長活動所需氧氣。
3. 應用太陽能及風力產生之潔淨能源，應用於照明、通風、使用人數統計等動力來源。
4. 設計雨水收集貯存系統，應用於環境清潔維護。
5. 小便斗及便器應用易拆卸設計，將螺絲輕易拆洩後即可取下，方便後續清潔維護。
6. 應用手動轉動攪拌裝置，協助微生物進行醱酵及增加民眾對生態保育之參與。
7. 應用 D-LOG 木構造設計，減少山區運搬及組裝困難，廁所整體設施背景與環境相融合。

## 五、未來應用展望

乾式生態化廁所於玉山主峰線應用經驗得知，將尿及糞便分離處理方式，將可達到完全解決方式，同時最終產物也能再利用物。同時經由使用者之參與及配合、如保持環境整潔及避免無法分解垃圾如塑膠袋、衛生棉等進入醱酵槽內，同時經由清潔人員適當維護，將為運轉成功之保證，目前已驗證於無水無電及溫度低之高山地區可應用，因此依相同設計應用於離島，水源保護區或災區搶救期間等特殊地區將可發揮其最佳環保功能。

## 【引用文獻資料】

### 【中文部份】

陳國帝，91年12月，「高山公廁生態工法與水源保護研究」期末報告 太魯閣國家公園管理處，委託研究。

陳國帝，92年12月，「玉山國家公園高山生態廁所設置標準之研究」期末報告 玉山國家公園管理處委託研究。

陳國帝，93年7月，「九十三年度玉山主峰線乾式生態廁所應用及環境監測」期中報告 玉山國家公園管理處委託研究。

### 【外文部份】

上野義雪，2004年8月，「トイレにおける人間工学」空氣衛生工學 第78卷第8號。

日本廁所協會，1998，「山岳トイレ整備ガイド」。

Clara，「Inclusive Urban Design Public Toilet」Architectural Press。

會議論文集，「1st International Dry Toilet Conference」 International Water Association 20-23 August Tampere, Finland。

### 【網站網頁】

太魯閣國家公園，「2003年國家公園登山研討會」資料。