

111 年度氣候變遷創意實作競賽

決賽作品說明書

隊伍編號+名稱	12-水情釀的電
作品中文名稱	聚水成能-種水樓臺先得電
作品英文名稱	Hydroelectricity: Buildings Harvesting Water Get Electricity

參賽學校：國立中央大學

指導老師：陳沛芻

團隊成員：地球科學學院學士班 張源澤、丁翔赫、孫語彤

目錄

目錄.....	2
一、摘要.....	3
二、設計構想及運作說明.....	3
(一) 構想來源.....	3
(二) 建築示意圖與儀器安裝位置.....	4
(三) 主要功能與運作說明.....	5
三、作品材料說明.....	11
(一) 屋頂.....	11
(二) 牆壁.....	11
(三) 地面.....	12
(四) 地下.....	12
(五) 室內.....	12
(六) 比較兩種壓電板.....	12
四、創作特點與創意說明.....	12
(一) 與氣候變遷和 SDGs 之關係.....	13
(二) 有別於現有類似設計之創意特色與亮點.....	14
五、作品應用範圍及發展潛能.....	14
(一) 產生的價值.....	15
(二) 未來發展潛能.....	16
六、工作分配.....	17
七、參考資料.....	17
(一) 引用資料.....	17
(二) 其它文獻資料.....	18

一、摘要

因應臺灣缺水、缺電等日益嚴重的能源挑戰與氣候變遷衝擊，我們提出一個能妥善收集儲存與循環利用雨水的系統，整合雨水發電、回收儲存、自動化水霧降溫等多項模組，實現氣候調適與聚水成能之共伴效益的永續價值。

To address the rising challenges of water and electricity shortages in Taiwan and to relief the impact of climate change, we propose an architectural system that can collect, store and recycle efficiently rainwater for electrical power generation, recycle and storage of water, automated cooling by water mist. Our idea in architecture can in twofold meet sustainable values of adaptation to climate change and water harvesting into energy.

二、設計構想及運作說明

此段內容包括構想來源、建築示意圖與儀器安裝位置、主要功能與運作說明三個部分。

(一) 構想來源

2021 年春天，臺灣面臨長時間的枯水期，引發許多社會正義、生命和自然保育議題，例如農田禁灌、供五停二、超抽地下水等等，提供許多科技用水的寶二水庫蓄水量甚至跌破 8.08% [1]，而這一切都是因為缺水所致。會導致今年缺水，除了長時間的乾旱外，部分原因也在於沒有妥善分配水資源，造成浪費，使本就水情告急的島嶼雪上加霜。時序來到夏天，NOAA 證實 2021 年 7 月是 142 年以來最熱的月份 [2]，而「今天用電量又破歷史新高」的新聞 [3] 也時有耳聞，可想而知，臺灣的電力狀況岌岌可危。在可預期的未來，缺水、缺電的窘境將會一再於臺灣上演。我們想設法改變此現狀，利用隨處可見的資源與建築，運用創意方法，改善生活品質。

在讀過一篇談論雨水發電的報導：「The Next Renewable Energy Source Could Be Rain. [4]」與北投圖書館綠建築概念 [5] 後，本團隊決定以水和電為主軸，提出開源與節流方案，以一棟假想都市建築物為模板，加入雨水收集、儲存與增值利用回收、雨水發電和水霧節能構想。一方面解決臺灣現有雨量時序不均的問題，另一方面提供未來完成獨立建築發電的可行性模板，期望能一併解決水資源和電力問題，達成一舉兩得之功效。



圖 1、本作品欲解決的問題與解決方法

(二) 建築示意圖與儀器安裝位置

我們的規模為一棟建築，以下為示意圖，右下角為比例尺。

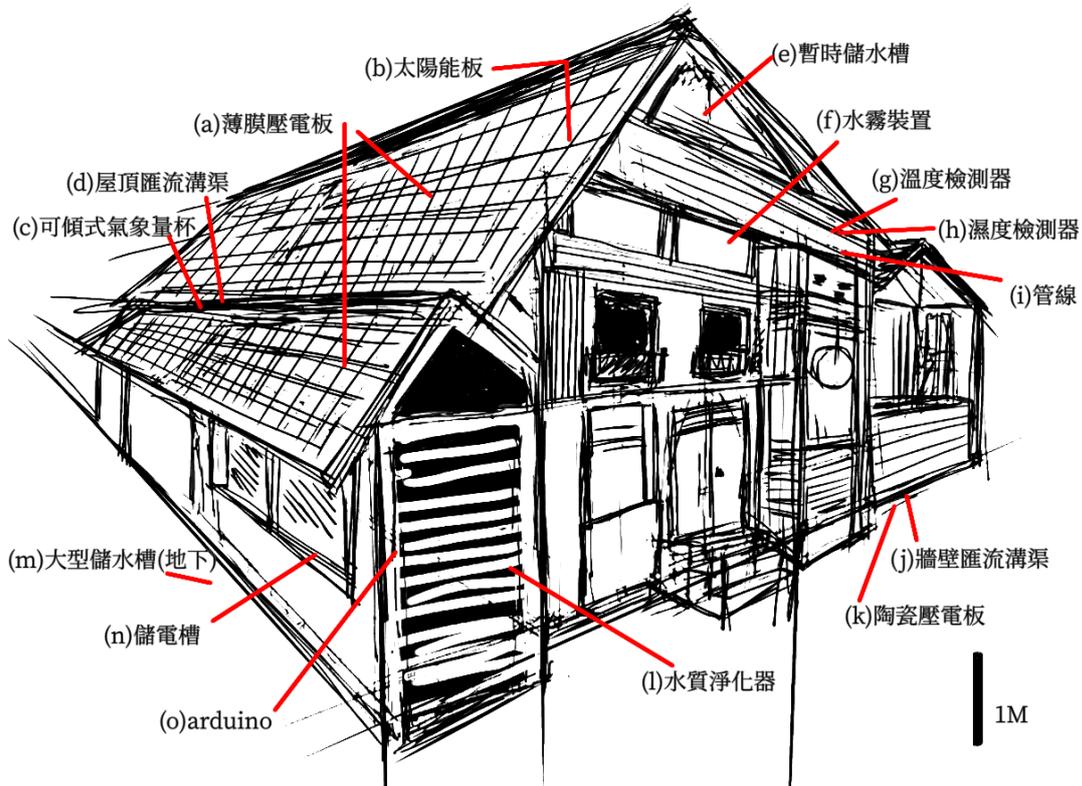


圖 2、本作品建築示意圖

1.屋頂：薄膜壓電板(a，鋪在 b 上)、太陽能板(b)、可傾倒式氣象量杯(c)、屋頂匯流溝渠(d)、暫時儲水槽(e)。

2.牆壁：水霧裝置(f)、溫度檢測器(g)、濕度檢測器(h)、管線(i，從屋頂到地下)。

3.地面：牆壁匯流溝渠(j，圍繞建築牆壁)、陶瓷壓電板(k)。

4.地下：水質淨化器(l)、大型儲水槽(m)。

5.室內：儲電槽(n)、Arduino(o)。

因本作品規模太大，不易真實呈現，故我們製作模型以呈現概念，現場展示時會帶去配合解說。模型為 50:1 大小，參考臺北市大安區「青田七六」建築外觀。



圖 3、實作成果模型各種角度

(三) 主要功能與運作說明

本作品期望能妥善利用一棟建築可收集的雨水資源，並在此過程中發電。我們有兩個使用雨水的構想。一個是趁雨季時使用屋頂和牆面收集雨水，密封儲存於地下儲水槽，於旱季時再將水取出，供給該棟住戶；另一個構想為水霧，當自動化系統判定當天為高溫低濕度的天氣，便自行啟動，將雨水製成水霧噴灑於牆面。需同時判定濕度，是考量到在高濕度環境下水霧不易蒸發，降溫效果會不明顯且更加悶熱。

因為都市缺少將雨水集中的系統，造成無法有效收集，所以本作品想以建物為實驗；其後的自動化水霧，則展現出利用現代科技，可讓生活更加舒適。



圖 4、本作品四大概念細說

1. 雨水開源：可分為屋頂收集與牆面收集討論。

- i. **屋頂收集**：一開始雨滴從天空降落時，會先打到鋪有薄膜壓電板的太陽能板上。為了不讓屋頂積水，太陽能板之間會有匯流溝槽空隙，且屋頂會以一傾角鋪設，能夠使水流從較高處，透過匯流溝槽集中流到屋頂較低處邊緣的可傾倒式氣象量杯。此裝置累積一定雨量後便會傾倒雨水，傾倒至陶瓷壓電板後，再經由牆壁匯流溝渠流至地下管線。匯流溝渠也有微小傾角，避免雨水靜止而流不進管線裡。
- ii. **牆面收集**：雨水從空中降到地表時，因為受到風場影響，不一定會是垂直於地面落下，部分雨滴會和地面形成一個角度，最終打到建築物牆壁上。我們在牆壁周圍設計一圈牆壁匯流溝槽，目的為收集牆面雨水。打到牆壁的雨水會因重力慢慢掉入匯流溝槽裡，最後流入地下管線。

地下管線會先經過水質淨化器，將雨水處理成可用水，再集中到地下大型儲水槽密封儲存。待需要使用時，將大型儲水槽雨水抽到屋頂暫時儲水槽，再讓雨水經由水管流到各處。使用大型儲水槽雨水的時機有以下四種：水霧降溫、旱季儲備使用、強降雨即時使用、儲水過多限時開放。大型儲水槽會有「最低儲備水量值」、「儲備安全值」和「儲備過多警告值」，我們分別假設為 50%、70%、90%，實際量值可依個案調整。我們希望水量至少能先儲到 50%，以預留旱季用水，才考慮使用水霧。建築的雨水管線和自來水管線是分離的，不會互相接觸。而儲水槽的管線會連通到該棟建築各家各戶的一個水龍頭與牆壁上的水霧裝置，只有那個水龍頭會流出雨水。

雨水經過建築的過程如下圖。



圖 5、雨水收集、儲存、利用流程

2.雨水節流：可分為旱季儲備使用、強降雨即時使用、儲水過多限時開放等三種情況討論。

我們有設計一個簡單的監測系統 APP。當某棟建築的一戶家庭欲使用此系統，需先註冊帳號以建檔，之後登記住家地址與樓層。系統會根據使用者所登記的地址得知該名用戶是住在哪一棟建築裡，並顯示該棟建築的即時資訊，包括：儲水槽剩餘水比例、目前水價、室外空氣溫度、室外空氣濕度、上次水霧開啟時間。最後三項為水霧需要，後面會提到。此監測系統還會匯入中央氣象局在當地的即時天氣資訊，以及水利署的水情資訊，判定「旱季儲備使用」和「強降雨即時使用」條件。此 APP 還具有通知用戶的功能，後面會詳細解釋。

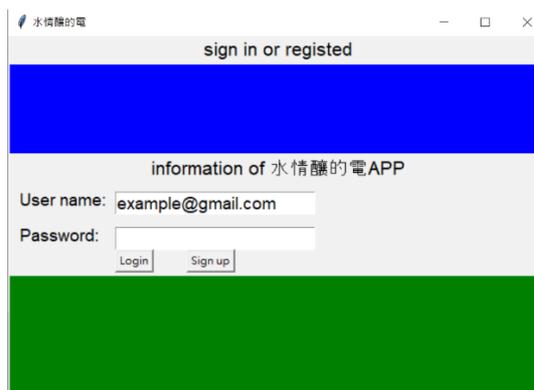


圖 6、註冊帳號



圖 7、登記地址與樓層

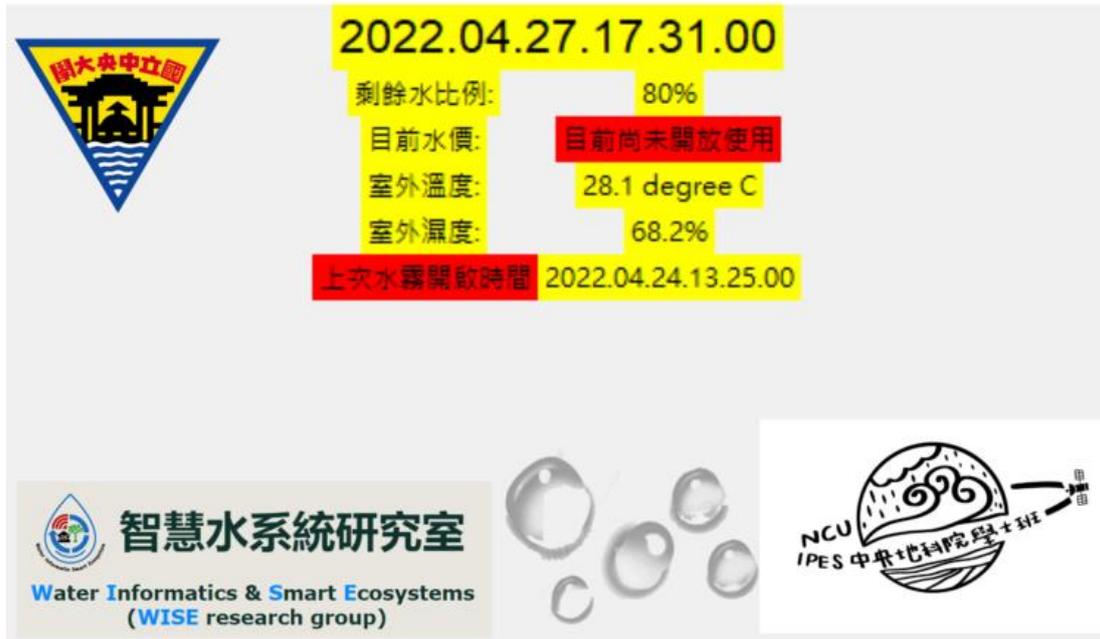


圖 8、使用者居住建築之即時資訊

i. 旱季儲備使用：監測系統會分析水利署的水情資訊，若出現減壓供水、減量供水、分區供水等限水措施，即判定為旱季來臨，開啟儲水槽水閘，開放各家各戶打開水龍頭使用。這些用水並不是免費的，如同自來水水錶，雨水也會有一個水錶計算價格。不過和自來水不同，雨水水價會根據旱災情況波動，當旱災越嚴重，水價便越昂貴。當水庫越缺水時，使用水車的價格便越高。我們的雨水水價會參照以下關係圖訂定。

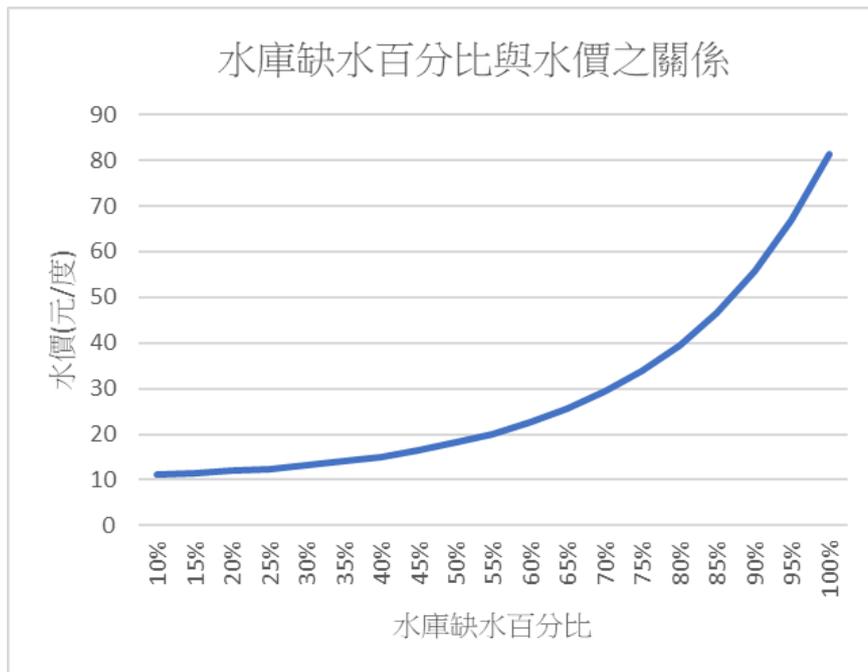


圖 9、水庫缺水百分比與水價關係圖

ii.強降雨即時使用：若系統依據即時天氣資訊，判定接下來內將有暴雨或颱風來臨時，如同水庫會預防性洩洪，儲水槽水閘也可開啟，臨時販售雨水。此時 APP 會通知所有用戶，即刻起開放用水到某時段。為了促進用水誘因，此時雨水價格會低於自來水市價。若前者效果不彰或是發生預報以外的驟雨，使大型儲水槽水量瀕臨或已達 90%，且即時天氣資訊顯示短時間內還是會繼續降雨時，為了防止滿載溢出而浪費，將啟動即時使用計畫。此時水閘會打開，並且 APP 會緊急通知該棟所有用戶，大家便可以打開水龍頭使用雨水。這時因為是緊急狀況，為了達到強烈的用水誘因，雨水會賣得非常廉價。若還是入超，便只能將大型儲水槽的水排出，流進地下水溝。等到降雨停止時，APP 便會公告剩餘開放時間，不會雨一停就關水閘，避免發生使用到一半突然停水的困境。時間會開放到水量低於儲備安全值 70% 為止。

iii.儲水過多限時開放：若遇有強降雨外因素導致大型儲水槽的雨水瀕臨 90%，如當年旱季並沒有限水問題所以無法開水龍頭，此時做法和強降雨狀況類似，APP 會通知所有用戶，即刻起開放用水到某時段。此時雨水價格會低於當下自來水水價。和強降雨不同的是，一開始便會公告結束時間。若到了結束時間儲水槽雨水還是太多時，便延長開放直到低於 70% 為止。

3.電力開源：建築物屋頂上有鋪設太陽能板，太陽能板再鋪上一層由 FGPM FSP 耦合結構製成的壓電薄膜，使此建築無論晴雨皆可發電。有陽光的日子可利用太陽能板發電；下雨的日子便可透過雨滴打到薄膜壓電板，產生壓電效應來發電。接著屋頂匯流溝渠將雨水集中到可傾倒式氣象量杯，累積一定雨量後，便傾倒雨水至陶瓷壓電板上，利用屋頂和地面的高低差使水的位能轉換成動能產生壓電效應。所有電力儲存於室內電容裝置。這些電力可用作許多用途，像是一般建築用電、緊急照明儲備、溫度檢測器與濕度檢測器運作等等。

雨水從可傾倒式氣象量杯落到陶瓷壓電板的過程中，會受到空氣阻力影響減速，若高度足夠則最後會趨近一個終端速度。不過不同質量的水團，能達到的終端速度也不一樣。為了使陶瓷壓電板發電效益達到最高，我們會希望能讓水團達到終端速度。因為倒水體積是根據可傾倒式氣象量杯而決定的，為一定值，所以我們可以根據不同建築樓高調整量杯大小以控制倒水體積，讓水團打到陶瓷壓電板時正好達到終端速度。那具體倒水體積和終端速度、樓高的關係是如何呢？以下為計算式與計算後的結果：

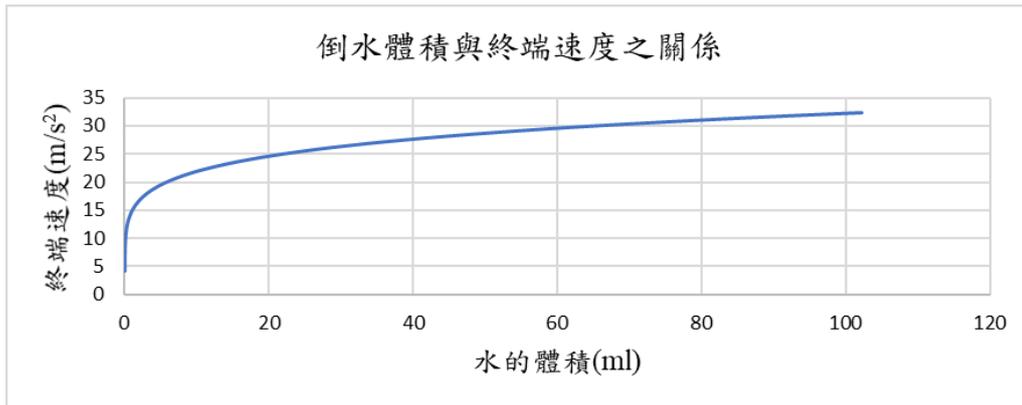


圖 10、倒水體積與終端速度關係圖

$$(終端速度)V_f = \sqrt{\frac{2mg}{\rho_{air}AC_d}}, m: 水的質量, g: 9.8m/s^2, \rho_{air}: 空氣密度, A: 投影面積, C_d: 阻力係數$$

$$V(t) = V_f \tanh\left(\frac{gt}{V_f}\right), S(t) = \frac{V_f^2}{g} \ln\left(\cosh\left(\frac{gt}{V_f}\right)\right)$$

觀察此圖可得知，當倒水的體積增加到一定量時，終端速度的增加幅度會越來越小，這代表當水的體積達到一定量時，落下的速率會非常接近。接著觀察圖中倒水體積與達到終端速度所需的最小高度關係，可知水團體積增加到一定量時，高度的增加幅度會越來越小。這證明只要樓高達到一定量高度時，就能產生一定量動能，再繼續增加樓高雖能使速度更趨近於終端速度，但增加幅度非常小。

4. 電力節流：我們利用 Arduino 與牆壁外側的溫度檢測器、濕度檢測器，自動化評估當天是否為高溫低濕度天氣，若判定是且地下大型儲水槽的水位高於最低儲備水量值 50% 時，則將雨水製成水霧噴灑在外牆，使水蒸發帶走熱能，降低室內溫度以改善居住品質。使用此裝置，便可減少使用冷氣的時間，達到省電功效。若住戶想知道室外溫度與上次水霧開啟時間，可打開 APP 監測即時資訊。

具體水霧的降溫效果如何？我們做了一個實驗。此水霧噴灑實驗是在一個 18cm×18cm×18cm 的壓克力盒子中央放入 Arduino 溫度感測器，實驗時壓克力盒外溫度為 25°C。本團隊利用燈泡來模擬太陽光對建築的加熱效果，先將壓克力盒子中的溫到加熱到 30.2°C，再開始噴灑水霧在盒外來觀察室內溫度在 7 分鐘內的變化，噴灑水霧頻率為 5 秒一次。藍色實線代表盒內溫度變化，紅色虛線代表整體降溫趨勢。可以從藍色實線觀察得知，溫度在 7 分鐘內從 30.2°C 下降了 3.1°C，最後趨向一個定溫，證明水霧的噴灑確實能對達到降低室內溫度的效果。本次實驗只是藉由一個小規模的測試，來觀察水霧噴灑對室內降溫的關係，由於無法找到適合的地點來測試真實建築尺度下的效果，所以利用一個小規模的實驗來呈現噴灑水霧對於建築室內溫度降低的可行性。

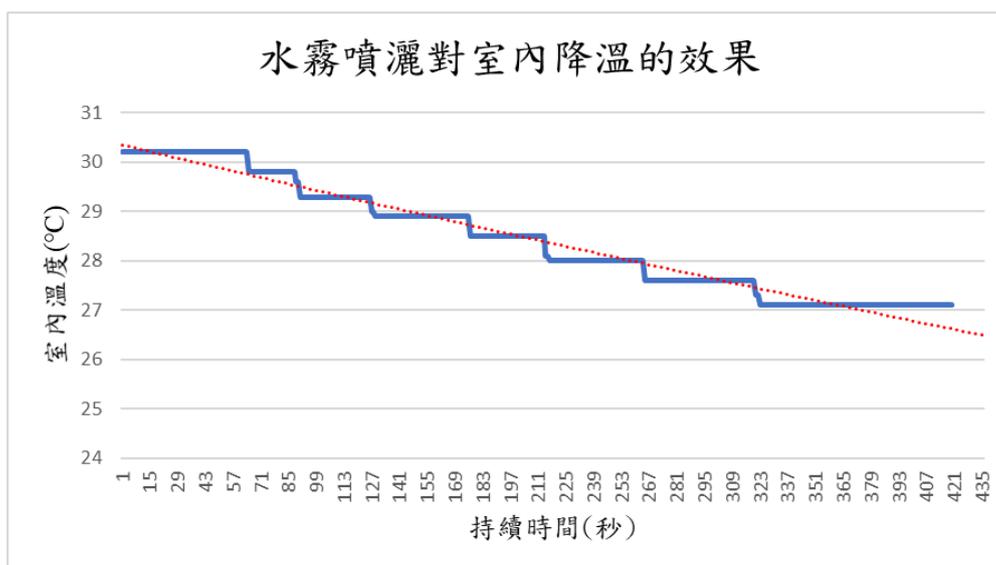


圖 11、水霧噴灑對室內降溫效果關係圖

三、作品材料說明

(一) 屋頂(對應圖 2 中編號)

a. 薄膜壓電板	由 FGPM FSP 耦合結構製成，當被水滴打到時，會使薄膜變形而產生壓電效應。會鋪設在太陽能板上。
b. 太陽能板	在有陽光的日子發電，補足壓電板發電效益問題。
c. 可傾倒式氣象量杯	當雨水達到傾倒重量時，便傾倒水至底下的陶瓷壓電板。
d. 屋頂匯流溝渠	收集屋頂攔截到的雨水，並匯流至可傾倒式氣象量杯。
e. 暫時儲水槽	當要使用雨水時，會從大型儲水槽透過管線抽至此處，之後再送至各家各戶或水霧裝置。此儲水槽為一個中繼站。

(二) 牆壁

f. 水霧裝置	安裝在建築牆壁外側，和 Arduino、空氣溫度濕度檢測器組成自動化系統。條件符合時便自動灑水霧降低室內溫度。
g. & h. 空氣溫度濕度檢測器	檢測室外空氣溫度與濕度，將資料交給 Arduino 判定是否需開啟水霧。
i. 管線	雨水的管線，將水送往各處。

(三) 地面

j.陶瓷壓電板	位於可傾倒式氣象量杯正下方，且鋪設在匯流溝渠最高處。透過雨水位能轉換生成電力。
k.牆壁匯流溝渠	圍繞牆壁一圈的半圓溝槽，匯流屋頂倒下來的水與牆面水至地下。

(四) 地下

l.水質淨化器	當雨水從牆壁匯流流入時，將雨水過濾雜質後，透過管線送往大型儲水槽。
m.大型儲水槽	雨水統一收集處。會密封儲存隔離空氣，避免回收雨水接觸變質與微生物干擾。

(五) 室內

n.儲電槽	發電設備產生的電力統一儲存在此處。
o.Arduino	控制溫空氣溫度濕度檢測器及判定是否需開啟水霧。

(六) 比較兩種壓電板

表 1、比較兩種壓電板

	a.薄膜壓電板	k.陶瓷壓電板
鋪設位置	屋頂	地面
發電效率	較高，3%	較低，2.2%
使用年限	較短，相對不耐用	較長，相對堅固
是否能搭配太陽能板使用？	可以，在太陽能板上鋪設一層薄膜，可使太陽能板不論晴雨皆可發電	不行，會遮蔽太陽能板
屋頂和地面使用不同壓電板理由	可搭配太陽能板使用	可使用年限較長且較堅固

四、創作特點與創意說明

此段內容包括與氣候變遷和 SDGs 之關係、有別於現有類似設計之創意特色與亮點兩個部分。

(一) 與氣候變遷和 SDGs 之關係

本作品與以下三項氣候變遷議題有關聯，分別為減緩旱季缺水現象、降低極端降雨洪災、有效降溫達成省電功效。

1.減緩旱季缺水現象：因全球暖化導致炎熱天氣與日俱增，IPCC AR6 [6]的報告更是有提到，若大家對氣候變遷視若無睹，溫度上升會往 SSP5-8.5 這條曲線走，到了 2100 年氣溫會比現在提高將近 4 度[7]。屆時，不僅炎熱時節增加，乾季天數恐會不斷延長。此時又面臨降雨時態不均問題，恐怕是火上澆油。縱使 2021 年缺水影響已經非常嚴重，但未來面臨氣候變遷的惡果，無水可用的日子恐會更加頻繁且規模更甚。本作品在非集水區設置集水設備，增加可利用的水資源，並且詳細規劃使用方法，能有效減少旱季無水可用的困境。

2.降低極端降雨洪災：由於氣候變遷影響，未來短延時強降雨次數會逐漸增加，且雨季和乾季的日子會更加分明。也就是說，降雨時態會愈來愈不均[8]。此會導致下雨時，因排水設施來不及將水排出，導致路面積水釀成水災；乾季時又因缺水造成乾旱與限水危機。而我們大型儲水槽的強降雨即時使用計畫，便可以在驟雨時攔截水資源，減少流進排水孔的雨水。只有一棟建築或許效果有限，但如果整個地區都使用本作品的建築，效果將很可觀。

3.達成省電功效：也是因為全球暖化，家家戶戶開冷氣的次數越來越多且時間越來越長，形成可觀的用電量。若未來氣溫真提升 4 度，可想而知電力會嚴重不足。我們水霧能降低室內溫度並減少開冷氣時間，達到節流效果。

我們的作品也符合聯合國 17 項永續發展目標 (SDGs) 中的四個目標，分別為：6 潔淨水與衛生中「確保所有人都能享有水及衛生及其永續管理」、7 可負擔的潔淨能源中「確保所有的人都可取得負擔得起、可靠的、永續的，以及現代的能源」、11 永續城市與社區「促使城市與人類居住具包容、安全、韌性 及永續性」、13 氣候行動中「採取緊急措施以因應氣候變遷及其影響」[9]。



圖 12、本作品切合的 SDGs 目標

綜上所述，可知我們的作品既能降低缺水問題，還能減少短延時強降雨災害，更能節省電能，完成本作品氣候變遷調適目標。

(二) 有別於現有類似設計之創意特色與亮點

我們參考的報導中，提及多種利用雨滴發電的構想，比如薄膜發電、陶瓷發電等等，不過都是分開來說，並沒有把數種發電方式整合在一起，且雨水發電完後即沒有用處，實為可惜。而現有綠建築只收集屋頂所攔到的雨水，將其匯流到儲存裝置，但沒有加入雨水發電的元素。例如北投圖書館，它們收集雨水後進行過濾，儲存在地下的儲水槽，用於澆灌公園樹木及沖洗馬桶等。雖已努力改善缺水問題，但卻沒有收集牆面水，且對於缺電和節能問題，尚少規劃。本團隊設計一個「改良收集方法，並加入發電和水霧」的裝置，能有效達成目標，解決上述問題。將系統加入建築後，該建築將可有效規劃雨水產生之額外電能，獲得更多雨水以用作各式用途，如澆灌、沖洗、清潔等等。本作品不僅將水資源和電力一併考量，還結合報導中數種發電方法，並將有限資源發揮到極致，更考慮到氣候變遷調適議題，系統性解決多項問題，走在環保尖端。

五、作品應用範圍及發展潛能

此段內容包括應用範圍、產生的價值與評估效益方式、未來發展潛能三個部分。

(一) 應用範圍

欲推廣此作品，可參考本作品商業模式圖如下圖[10]。

<p>Who helps you (Key Partners)</p>  <p>對於具氣候變遷想法及未來展望的建商</p>	<p>What you do (Key Activities)</p>  <p>推廣環保意識與省水的益處</p> <p>Who you are & what you have (Key Resources)</p>  <p>儲水槽、APP、監測人員、水電資源</p>	<p>How you help (Value Provided)</p>  <p>運用「開源」和「節流」達成「節水」與「節電」</p>	<p>How you interact (Customer Relationships)</p>  <p>運用APP讓客戶註冊帳號，滿足需求</p> <p>How they know you & how you deliver (Channels)</p>  <p>建商賣房或房東招人時說明</p>	<p>Who you help (Customers)</p>  <p>有環保意識且欲居住於符合氣候變遷調適選項的建築</p>
<p>What you give (Costs)</p>  <p>儀器架設費、軟體服務費、建築設計費、通路費用、廣告、土木工程師、授權費</p>		<p>What you get (Revenue and Benefits)</p>  <p>販售雨水、省下的碳稅。</p>		

圖 13、本作品商業模式圖

因為本作品比較適合蓋新建築來執行，故可以向預計都更區域提案，讓該區所有建物都能使用水電套件，不僅能在極端降雨時達到區域防洪功效，更可串連建築，在非集水區的都市創造集水區，解決雨水沒有降在集水區時而造成的缺水危機。

值得一提的是，雖然因建築法規和安全載重，老舊建築無法安裝地下大型儲水槽和屋頂暫時儲水槽，但還是可以設置電力套件，如薄膜壓電板、陶瓷壓電板。只是當雨水發電完後，這些水便只能流進排水設施，無法將其留住用作它途，實為可惜。

(二) 產生的價值

表 2、計算不同降雨強度的發電量

	2021/5/22 (1 小時)	2020/8/4 (3 小時)	2020/1/30 (2 小時)
雨量	0.5mm(小雨)	20.5mm(中雨)	200mm(大雨)
雨水終端速度	4m/s	6.5m/s	9m/s
雨水總質量	500kg	20500kg	200000kg
動能(屋頂薄膜壓電)	4000J=0.001 度	433063J=0.12 度	8100000J=2.25 度
位能(陶瓷壓電板)	98000J=0.027 度	4018000J=1.12 度	39200000J=10.9 度
總共產生的電能 (考慮轉換效率)	0.001×2.2%+ 0.027×3% =0.000832 度	0.12×2.2%+ 1.12×3% =0.03624 度	2.25×2.2%+ 10.9×3% =0.3765 度

表 3、計算不同降雨強度產生的價值

	小雨	中雨	大雨
發電量	0.000832 度	0.03624 度	0.3765 度
換算成電價 3.75 元/度	0.00312 臺幣	0.1359 臺幣	1.412 臺幣
發電省下的碳排	0.00042kg	0.0182kg	0.189kg
電力省下的碳稅	0.001 臺幣	0.04368 臺幣	0.4536 臺幣
雨水總質量	500kg	20500kg	200000kg
換算成自來水 水價	5.05 臺幣	207.05 臺幣	2100 臺幣
水省下的碳稅	0.1824 臺幣	7.7 臺幣	72.96 臺幣
總價值	5.2334 臺幣	214.7937 臺幣	2173.4136 臺幣
一公斤雨水價值	0.0104668 臺幣	0.010478 臺幣	0.010867 臺幣

假設建築高度為 20 公尺，屋頂面積為 1000 平方公尺。我們將降雨強度區分成大雨、中雨及小雨等三種情況進行探討，計算由屋頂攔截與牆面收集的雨水總量，及收集過程中由薄膜壓電發電及陶瓷壓電板所產生電力。雨水收集方面，本作品假設在屋頂攔截水過程中流失的量和牆壁收集到的雨水達成平衡，所以在計算收集到的雨水總量時，就能以屋頂面積×降雨量來推算。

發電量計算則藉由雨水本身所帶有的能量，再乘上能量轉換過程的轉換效率，得到最後有多少能量能轉換成電能。屋頂薄膜壓電的發電量由雨水的質量及終端速度計算有多少動能，再乘上 2.2% 的轉換效率；陶瓷壓電板的發電讓雨水由屋頂匯流溝槽集中到可傾倒式氣象量杯後，當累積到一定的水量時，雨水就會一次從屋頂倒在地面陶瓷壓電板上，原來帶有的位能轉換成動能，再經由壓電板轉換成電能，再乘上 3% 的轉換效率。加總上述兩種發電方式，即可分別計算出在大雨、中雨、小雨能分別產生多少電能。

有了收集到的水量及電量資料後，就能利用自來水公司水費資料及臺電電費資料計算能產生多少的效益，以及將未來可能會徵收的碳稅考慮進去。2020 的每度用水排放的 CO₂ 約當量為 0.152 公斤 CO₂/度[11]，而 2020 的度之電力係數為 0.502 公斤 CO₂/度[12]，碳稅則是 80 美元/噸[13]，將上述資訊計算後即可評估本作品能產生多大的效益，（表 2）為不同降雨強度的發電量，（表 3）為其價值。這還只是正常水價，若以 p.8 的（圖 9）缺水狀況販售雨水，雨水價值會更高。

而在太陽能發電上，假設一年的平均日照每日為 3 小時，總共有 1095 小時，一平方公尺一天能發 0.3 千瓦/天的電（0.0125 度），一年總共能產生 4.5625 度的電，根據我們建築物的假設屋頂鋪滿太陽板，換算後此棟建築一年能產生 4562.5 度的電，能產生 17109.375 臺幣的價值。

（三）未來發展潛能

水資源部分，因為若要將雨水水質淨化到自來水等級，不僅成本高昂，水質淨化器也會很大臺，佔據大型儲水槽空間，故本作品假設雨水無法淨化成自來水，將雨水和自來水管線分開，並設計諸多儲水槽使用雨水規則。但假如隨著科技發展，能以低額成本將雨水淨化成自來水，這些回收水便能產生巨量效益。不僅簡化雙重管線問題，還可直接套用到老舊建築的水塔，簡單化本作品諸多要素。

電力部分，壓電板乍看之下不能創造多少錢，但根據（表 3）可知，因大雨的終端速度較高，所以大雨單位雨水的價值比中雨、小雨要高。而未來因氣候變遷的影響，短延時強降雨次數會增加。且隨著科技進步，相信壓電板轉換

效率會逐步提高。大雨次數增加加上效率提高，正好比現在就使用這個裝置還能獲得更多利益，切合氣候變遷調適主題。

六、工作分配

姓名	工作內容
張源澤	計算雨水終端速度公式、設計水霧實驗、計算作品金錢價值與效益、剪接影片素材
丁翔赫	撰寫作品說明書、收集並剪接影片素材
孫語彤	繪製建築示意圖、製作實作成果模型、設計 APP 介面與程式、繪製海報

七、參考資料

(一) 引用資料

- [1]歷史最低位！人工增雨無進帳，寶二水庫水位探新低跌破 8%
<https://reurl.cc/g0vbNb>
- [2]好熱！今年 7 月是 142 年以來史上最熱 <https://reurl.cc/Mb7mDv>
- [3]天氣炎熱用電飆 3884.4 萬瓩創新高 <https://reurl.cc/GokqDx>
- [4]A droplet-based electricity generator with high instantaneous power density
<https://reurl.cc/oeDbpM>
- [5]北投圖書館的剖析—綠建築的奧秘
<https://www.shs.edu.tw/works/essay/2020/10/2020101419132470.pdf>
- [6]IPCC AR6 <https://reurl.cc/OpbaDv>
- [7]The shared socioeconomic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500 <https://reurl.cc/nEzzll>
- [8]中央氣象局-降水正在發生怎樣的變化?
https://www.cwb.gov.tw/V8/C/K/Qa/qa_3_2.html
- [9]17 項永續發展目標 <https://globalgoals.tw/>
- [10]獲利時代 (Business Model Generation) 新書推薦
<http://blog.lyhdev.com/2013/01/business-model-generation.html?m=1>
- [11]度用水排放二氧化碳約當量 <https://reurl.cc/venboL>
- [12]臺灣電力公司電價表 <https://reurl.cc/5GgLVV>
- [13]碳稅參考資料 <https://reurl.cc/VjaZeY>

(二) 其它文獻資料

- [14]「科學家開發「水滴發電機」，一滴水可點亮 100 盞 LED 燈。」報導
<https://reurl.cc/venbGL>
- [15]【專訪】城大水滴發電研究團隊專訪 一滴水發電 140V + 點亮 100 個小 LED 燈 <https://today.line.me/hk/v2/article/eY3a8Z>
- [16]經濟部水利署 <https://reurl.cc/Gokn8D>
- [17] 水利署中文版全球資訊網-水情燈號
<https://www.wra.gov.tw/EarlyWarning.aspx?n=18804&sms=0>
- [18]中央大學測站資料 <https://reurl.cc/VjaW4y>
- [19]天氣與水文資料庫 <https://reurl.cc/Dd1O4E>
- [20]中央氣象局 <https://reurl.cc/zMy516>
- [21]雨水、中水利用案例 <https://reurl.cc/Dd1OIR>
- [22]以終端粒徑函數分佈法進行雨量地形修正 <https://reurl.cc/qODbag>
- [23]懸、浮與升的物理 <https://reurl.cc/aklbE4>
- [24]行政院環保署 <https://reurl.cc/3j1Ay0>
- [25]Wood Mackenzie <https://reurl.cc/Opbaz7>
- [26]Climate Change 2021 –IPCC <https://reurl.cc/OpbaLD>
- [27]2020，「複合薄膜應用於摩擦奈米發電機輸出性能的提升研究」，柯凱鴻
- [28]2019，「創新式薄膜及腔體設計於可分離式壓電薄膜微型泵之研究」，羅文甫
- [29]2015，「以 RMVT 有限層板法進行功能性壓電材料之電彈耦合分析」，丁爽