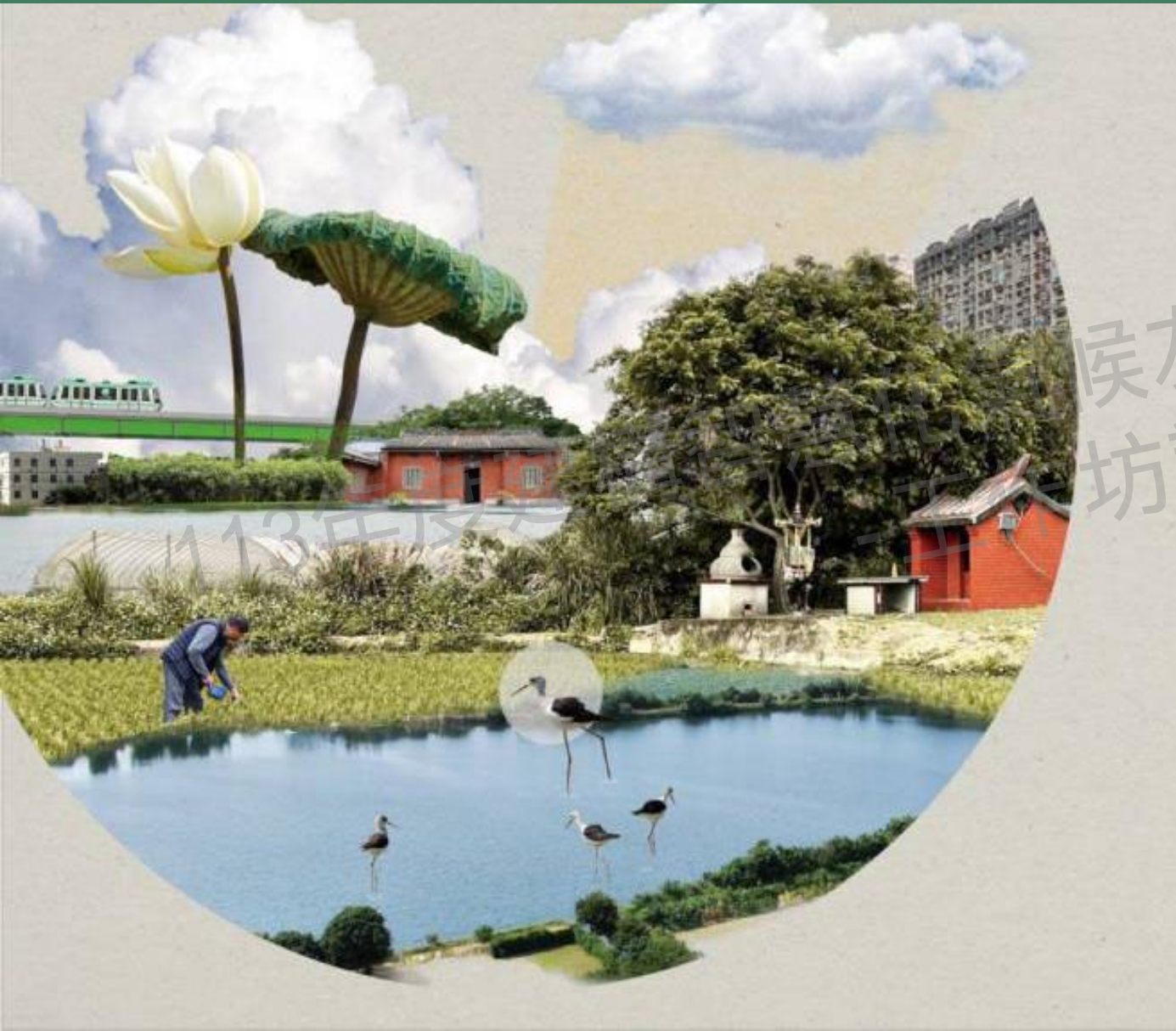


113年智慧化氣候友善校園設計工作坊



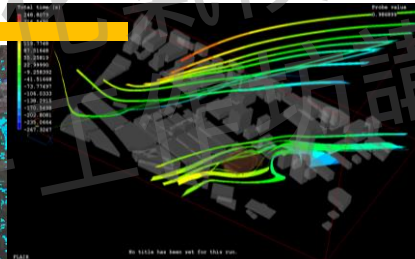
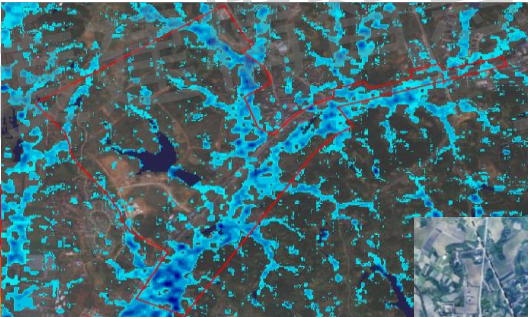
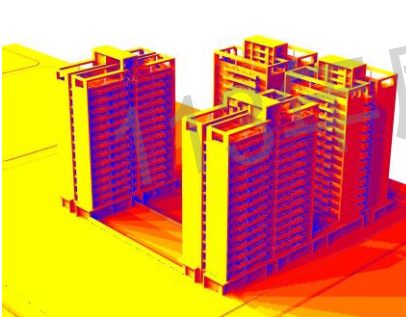
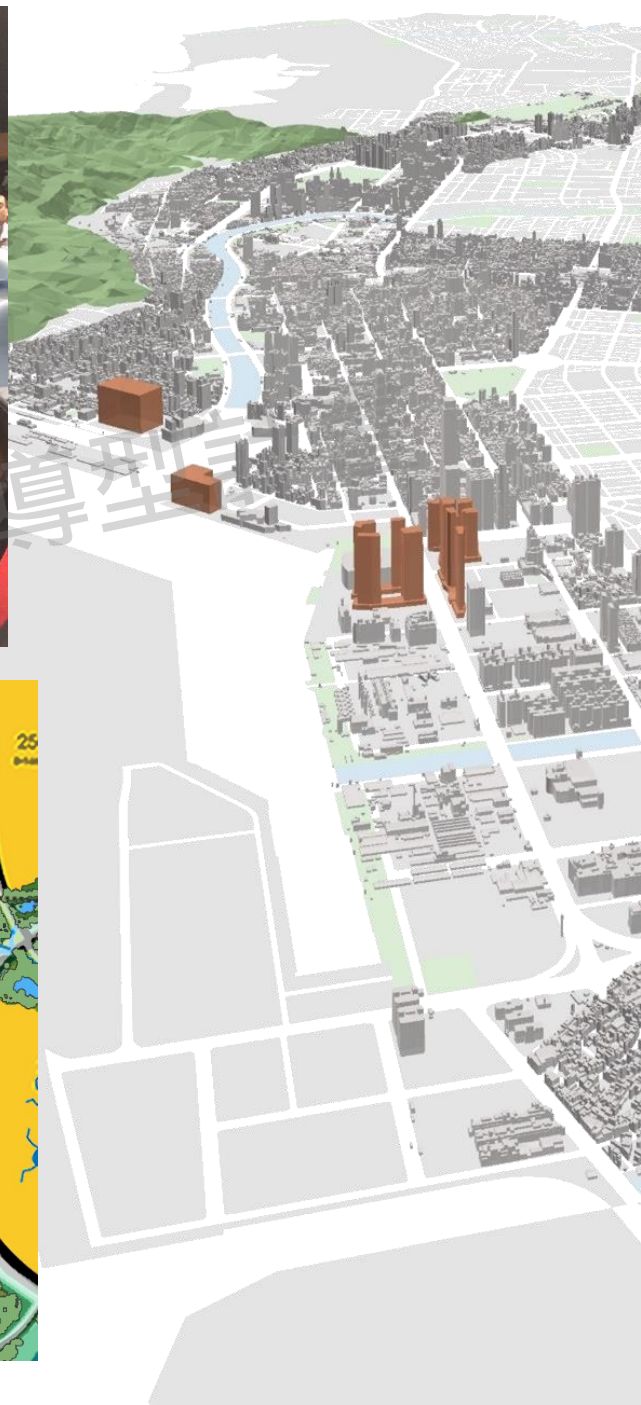
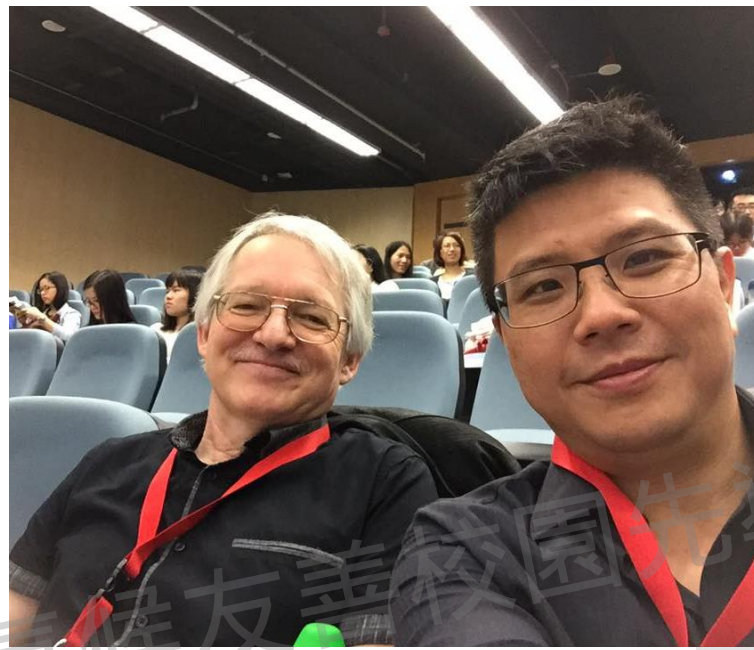
永續校園盤點與成長管理 對應 校園韌性基盤改造規劃

李彥頤 副教授/建築師

森曜建築師事務所 主持建築師
樹德科技大學 建築與室內設計研究所
高雄市空間藝術學會 理事長
台灣永續建築環境促進會 秘書長
Board Member of iiSBE

李彦頤 Joseph Yen-Yi , Li

- Associate Professor, Graduate School of Architecture and Interior Design, ShuTe University.
- General Secretary, Taiwan Society of Sustainable Built Environment (TSSBE), Taiwan Local Chapter, International initiative of Sustainable Built Environment (iiSBE)
- Deputy General Manager, Kuoyang Construction Co. Ltd, Taiwan
- Board Member, Taiwan Society of Indoor Environmental Quality. (TSIEQ)
- Executive Board, Taiwan Society of Sick House Diagnosis and Renovation
- Deputy Director, Taiwan Sustainable Campus Steering Group, Ministry of Education.
- Project Leader, Tainan Ecocity and Green Energy Science Park, Tainan City Government
- Project Leader, Integrated Urban Design Guidelines for Eco-LID Solutions in Kaohsiung New Harbor Area, Kaohsiung City Gov.



氣候友善校園核心精神與歷年成果分享



建構智慧化氣候友善校園-核心精神

因應氣候變遷，朝向淨零碳排目標。
運用**智慧系統**，收集相關碳排數據。
校園韌性環境，驗證硬體改造策略。
長期監測數據，比較環境改造差異。
氣候變遷教育，接軌全球應對趨勢。



校園環境既有設施與措施，輔以環境監測量化分析，進行智慧化轉變與優化管理。

智慧對應氣候友善?

主要執行軟體內涵

- 學校應推動氣候變遷與碳盤查之增能作為
- 落實環境教育探究實證作為，培力未來面對環境變遷的作為者。

隱含於校內課程之內涵

- 災害風險預判與評估。(因地制宜，設定主軸，貴精不貴多)
- 校園氣候災害準備。(硬體的準備、軟體的操作轉變)
(永續校園基盤的整備、環境教育對應災害之演練)
- 學校設定自我之『氣候對應友善作為』，作為實踐減碳對應。

校園智慧感知
(低科技與高科技並用)
確認改善作為
與效益檢證

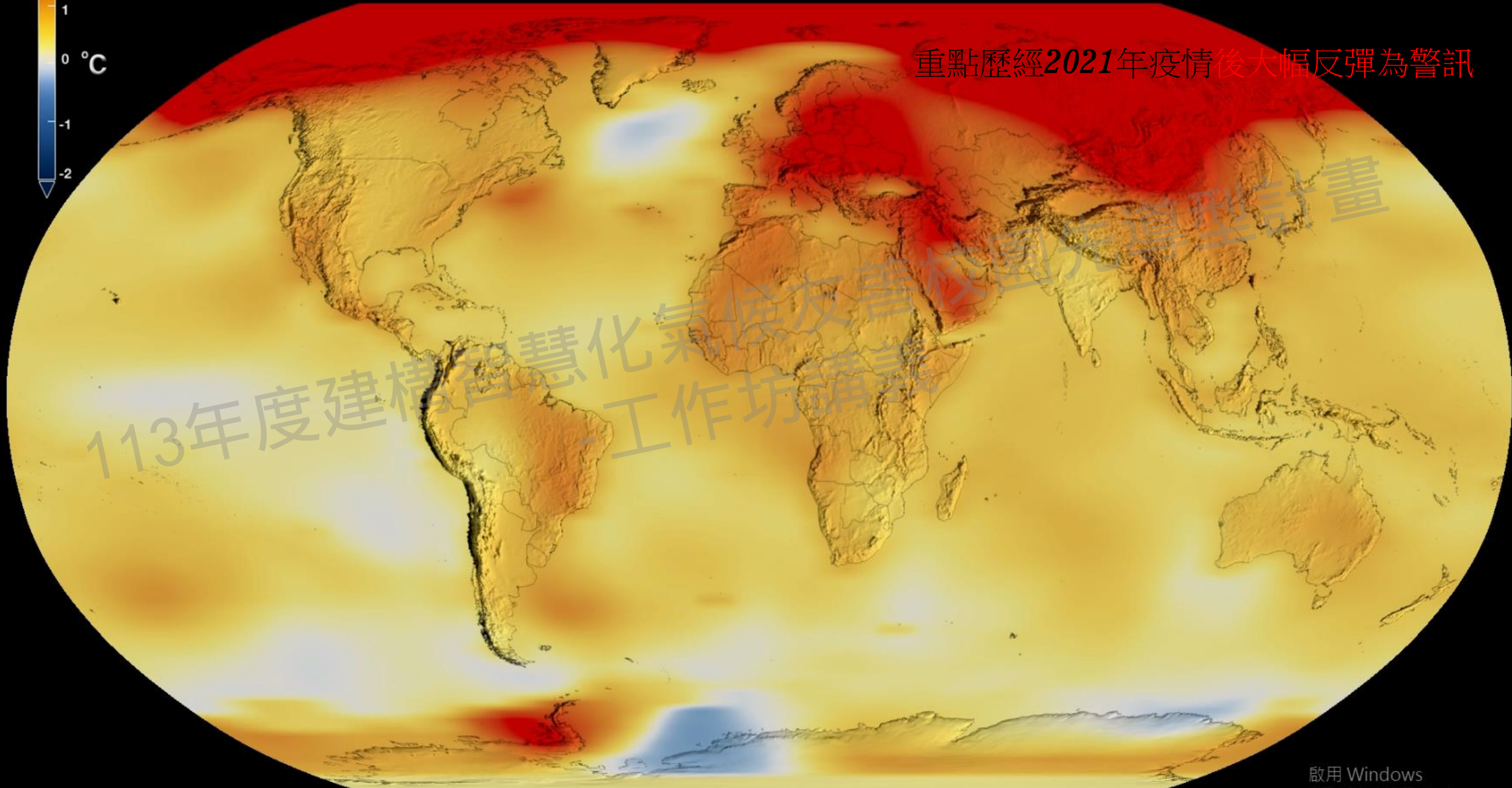
全球氣候異變下的環境威脅



2017 - 2021

2022年是歷年第二高的高溫年

重點歷經2021年疫情後大幅反彈為警訊



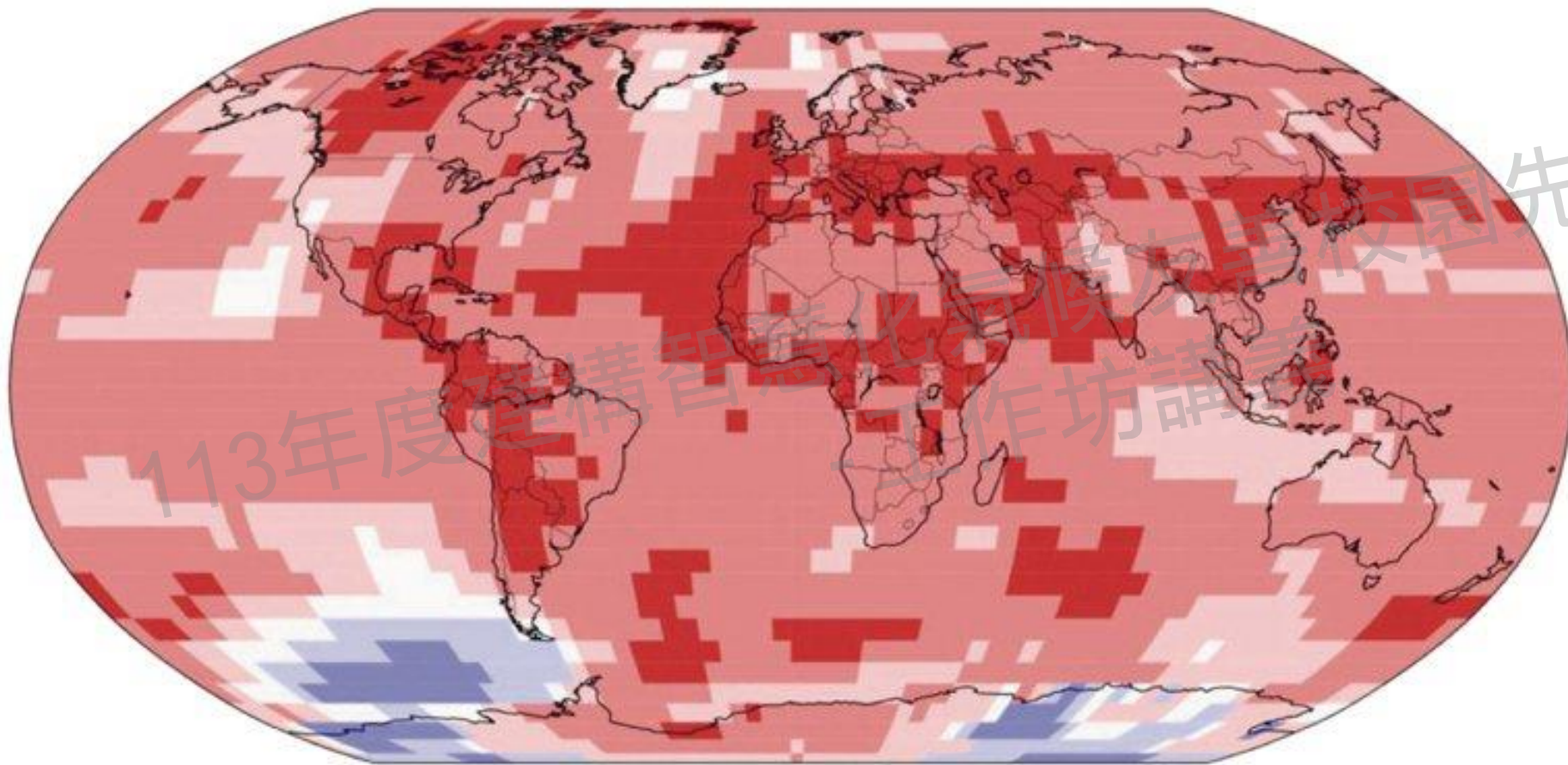
2023年是有史第一高的高溫年

113年度建構智慧化氣候友善校園先導型計畫
- 工作坊講義



愈來愈熱的地球

2023年全球陸地及海洋溫度，多處創有紀錄以來最暖



- | | | | |
|----------|---------|----------|--------|
| ■ 史上紀錄最冷 | ■ 遠比均值涼 | ■ 比均值涼 | □ 接近均值 |
| ■ 比均值暖 | ■ 遠比均值暖 | ■ 史上紀錄最暖 | |

全球氣溫近年一直上升，最近 NASA 發表了年度全球氣溫報告，表示 2023 年是自從 1880 年開始進行測量以來最熱的一年。

報告顯示，2023 年全球氣溫比 NASA 1951 年至 1980 年期間記錄的基準平均氣溫高出約 1.2 度。

隨之而來的嚴峻挑戰

氣候變遷、資源匱乏、能源危機

生態不平衡、疫病擴散、健康危害

支持體系崩潰、疲於奔命、經濟崩盤

校園降溫策略與因地制宜方案擬定



台灣絕大部分校園
都有一個一樣的問題

113年度建構智慧化氣候友善校園先導型計畫
- 工作坊講義

高溫 炎熱

推動前提：氣候高溫化發展 校園學習環境品質確保

班班有冷氣計畫
校園植樹計畫
校園冷氣美感
永續循環校園



有冷氣 請專心
中小學修校舍 整電力 裝冷氣 政府兩年內完成!

1 校園整建高效率
2 整合規劃增電力
3 後年人人吹冷氣

蘇貞昌 #有政府 #會做事

政策目標

宣布

- 中小學教室裝冷氣 111年2月前完工
- 校園安全 → 舒適校園

323億 學生學習環境安全升級、舒適升級

特別統籌分配稅款 + 前瞻第二階段計畫
提高中央補助比率，降低地方財政負擔

111年2月前
高中以下
班班有冷氣

改善電力系統
教室線路、校區配線、配電場所

裝設及汰換冷氣
一般性補助款支持國中、小冷氣所生電費
購置節能冷氣

落實校園降溫機制
搭配循環風扇使用、樹木盤點及植樹
建置斜屋頂、防水隔熱、太陽能板、水霧器

計畫推動

中華民國
能源效率標示
每小時耗電量
XXX度
本產品能源效率為第1級

樹木盤點及植樹

防水隔熱

斜屋頂

太陽能發電

計畫推動

電力系統改善與冷氣裝設計畫 規劃期程

期程	109年	110年	111年
重点工作			
協調整備	7月 — 9月		
現勘盤點	7月 — 9月		
電力改善設計	10月 — 2月		
電力改善施工	新設冷氣電力系統及既設電力系統改善 (60日)	2月 — 10月	
	新設冷氣電力系統 (120日)	2月 — 9月	
冷氣採購安裝	既設電力系統改善 (240日)	2月 — 9月	
		3月 — 12月	

計畫推動

電力系統改善與冷氣裝設計畫 執行項目

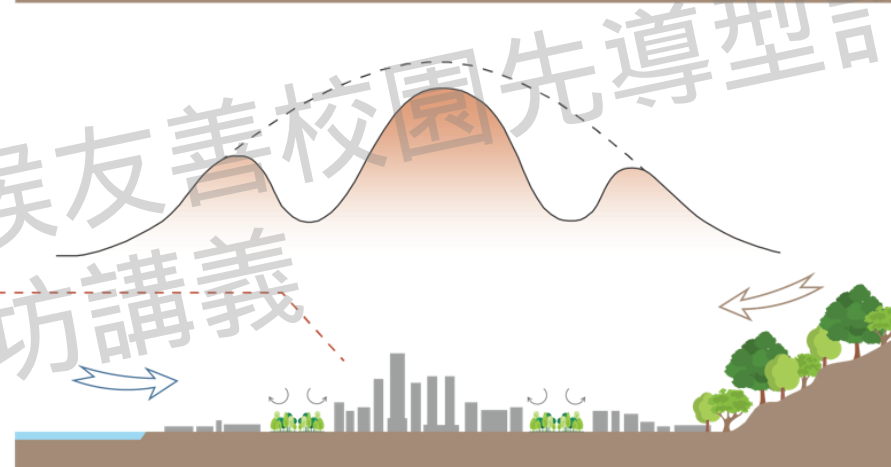
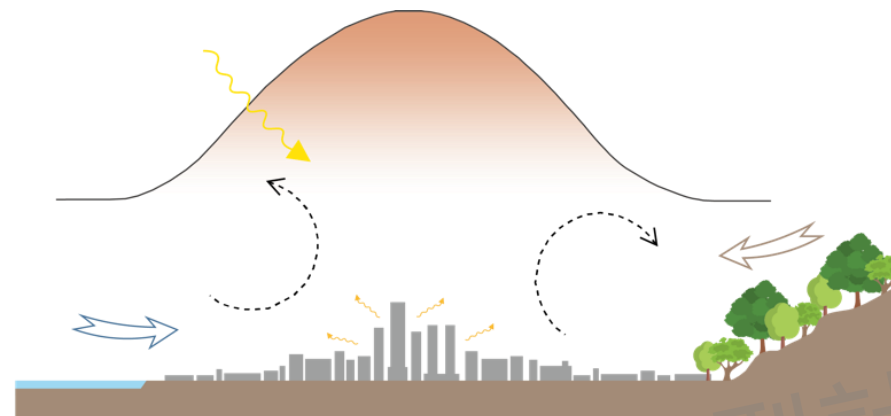
技術服務設計監造	電力系統工程	冷氣採購安裝	能源管理系統採購
<ul style="list-style-type: none"> 1. 技術服務勞務契約 (電機技師) 2. 各縣市分群發包 (每群約5~10所學校) 	<ul style="list-style-type: none"> 1. 工程契約 (電器承裝業) 2. 各縣市分群發包 	<ul style="list-style-type: none"> 1. 財物採購(安裝)契約 (電器商業公會業者) 2. 各縣市統一發包 	<ul style="list-style-type: none"> 1. 勞務採購(安裝)契約 (資訊服務業) 2. 各縣市統一發包

都市熱島效應

具1.5公頃以上面積的公園綠地或學校進行冷島節點區設定，達成針灸降溫

First Effect - Big Green / Water

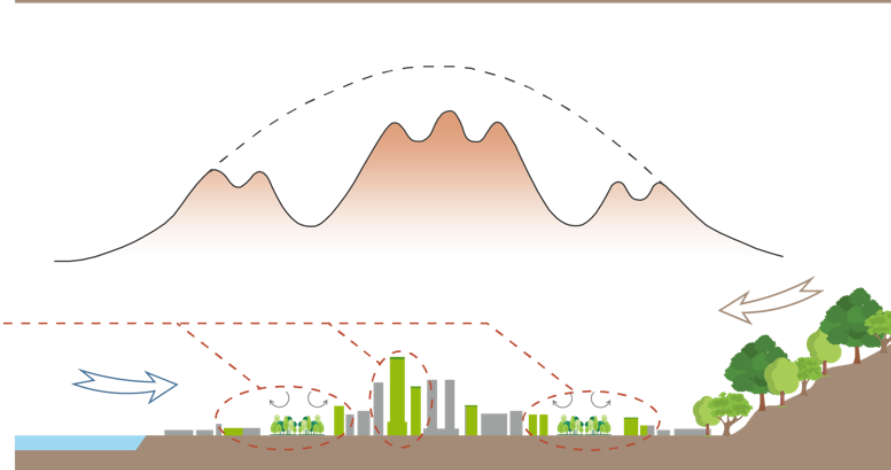
利用公園、水體、綠地等開放空間，由原本的高溫熱島逐漸成為不同冷島降溫的區段波峰圖。都市冷島的創造將為發熱的都市體提出一個“針灸”式的改善策略。



街廓內部與建築立面及屋頂之綠化或材料控制，降低日射熱得以及減少熱積累為目標

Second Effect - Material / Ventilation

提出區域尺度的改善對策 - 區域尺度中重要的特性為密集的人工建成環境已不可避免，因此改善對策以“降溫”、“導風”為主要目的。



113年度建構智慧氣候友善校園先導型計畫 - 工作坊講義



2009年高雄實測都市溫度地圖。(左：夏季日間14:00 右：夏季夜間20:00)

產生冷島區的關鍵卻在於擁有大面積綠地、開放場域陰影累積時間長以及高度10M以下的通風條件，而校園在其中尤為關鍵因子，主因在於其相較周邊具備較為空曠與低矮、綠樹與軟性鋪面較多，使風得以下沉進入10M以下範圍，同時因為鋪面、陰影、蒸散效應等之複合影響下，成為最好的『都市降溫針灸區』。若再搭配有效的都市通風廊道與降溫街道之串連，疊加效果影響更大。



圖 2. 高雄市中心區冷島範圍 (左：實測結果 右：相對應之區域照片)



高雄市中心區冷島範圍 (以顏色遮罩篩選綠地與喬木範圍)



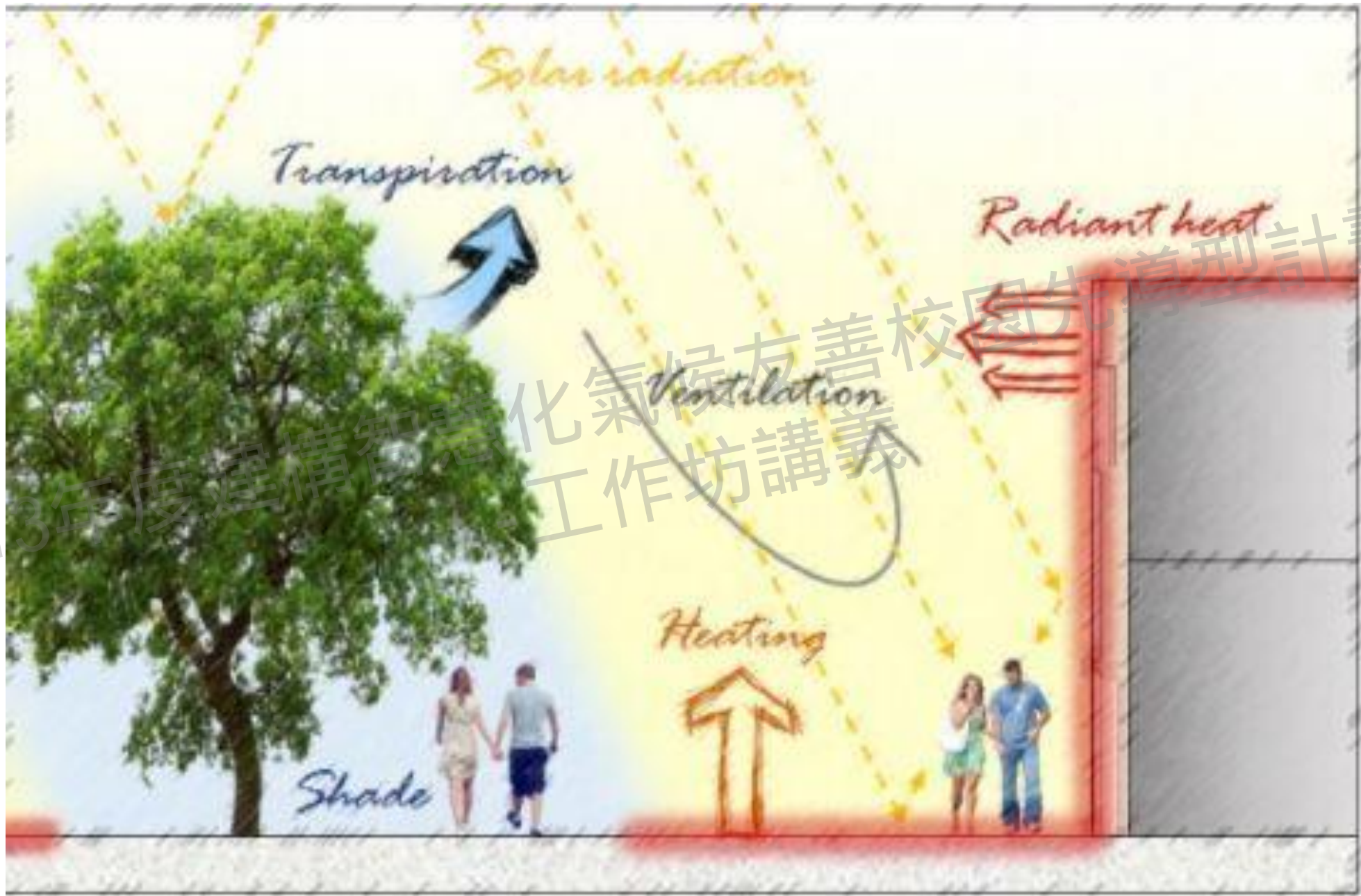
1

化氣怡友喜光型計畫

1998年度維新

坊計畫

113年度建構智慧化氣候友善校園先導型計畫
工作坊講義



校園增加通風與陰影



畫

113

Eco-LID 低衝擊開發設計策略系統

Two cycles of the process. 低衝擊開發策略涵融體系

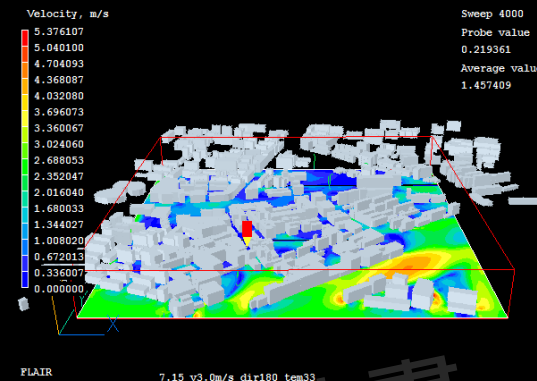
健康外環境

低衝擊基盤策略

- 01 Urban Ventilation 校園通風**
 1. 從環境、地理、氣候資料找尋城市特定區位之立地微氣候
 2. 穿越型通風路徑、人行風場檢討、風障害區避免、流域管理
- 02 Urban Heat Island Mitigation 校園熱環境衝擊減緩**
 1. 都市熱地圖建立，指認都市熱島潛力區
 2. 日照、陰影、熱輻射、材質、生態調控等綜合管理
- 03 Index Pollution Control 指標性污染調控**
 1. 季節對應污染問題指認，並納入以健康依歸的控制目標
 2. 粉塵污染 (PM₁₀、PM_{2.5})、噪音污染、光污染
- 04 Urban Water System 校園水環境調控**
 1. 以防災對應與環境調和的智慧型水系統建置
 2. 節水、水儲集與滯洪、水再生利用、保水、排水、水降溫
- 05 Urban Green Quality System 校園綠質量確保**
 1. 從生態景觀 + 微氣候調控切入的綠質量管理體系
 2. 生態棲地與廊道、綠景觀、綠降溫、綠潔淨、綠地微氣候



3 階段檢討可行作為



1. 正常未開啟空調：外環境調適與室內通風換氣

永續循環校園生態微氣候調控基盤打造 - 資源、能源、水與綠、健康

2. 開啟空調時段：廢熱快速移除、空調效率、換氣要求

- A. 空調效率安裝指引、室內有效給冷、降低室外空調熱交換區溫度、排熱
- B. 永續循環校園設施可強化效率：減少室外溫度與潛熱、校園有效通風排熱、外殼與介面之日照熱輻射減少處理、遮陽處理、機能性喬木綠化、校園指定增加蒸散區域創造溫差通風

3. 冬季空汙時段：增設新風過濾系統

落實到教育現場作為

硬體改變

環境感知
(儀器與身體)

面對衝擊
(缺水缺電缺糧)

生活模式改變
(對策提擬)

實作檢證
(感應效益與檢討)

探索計畫
(環境探索)

關鍵課題設定

節能減碳資源循環
作為
(推動與競賽)

降溫節電效益
生態負碳效益
被動降溫與資源循環

基礎校
(環境感知監測)

重要因子辨別

設備設施檢討

體驗與量測為效益評估
(校園環境盤查)

軟體作為

增能學習

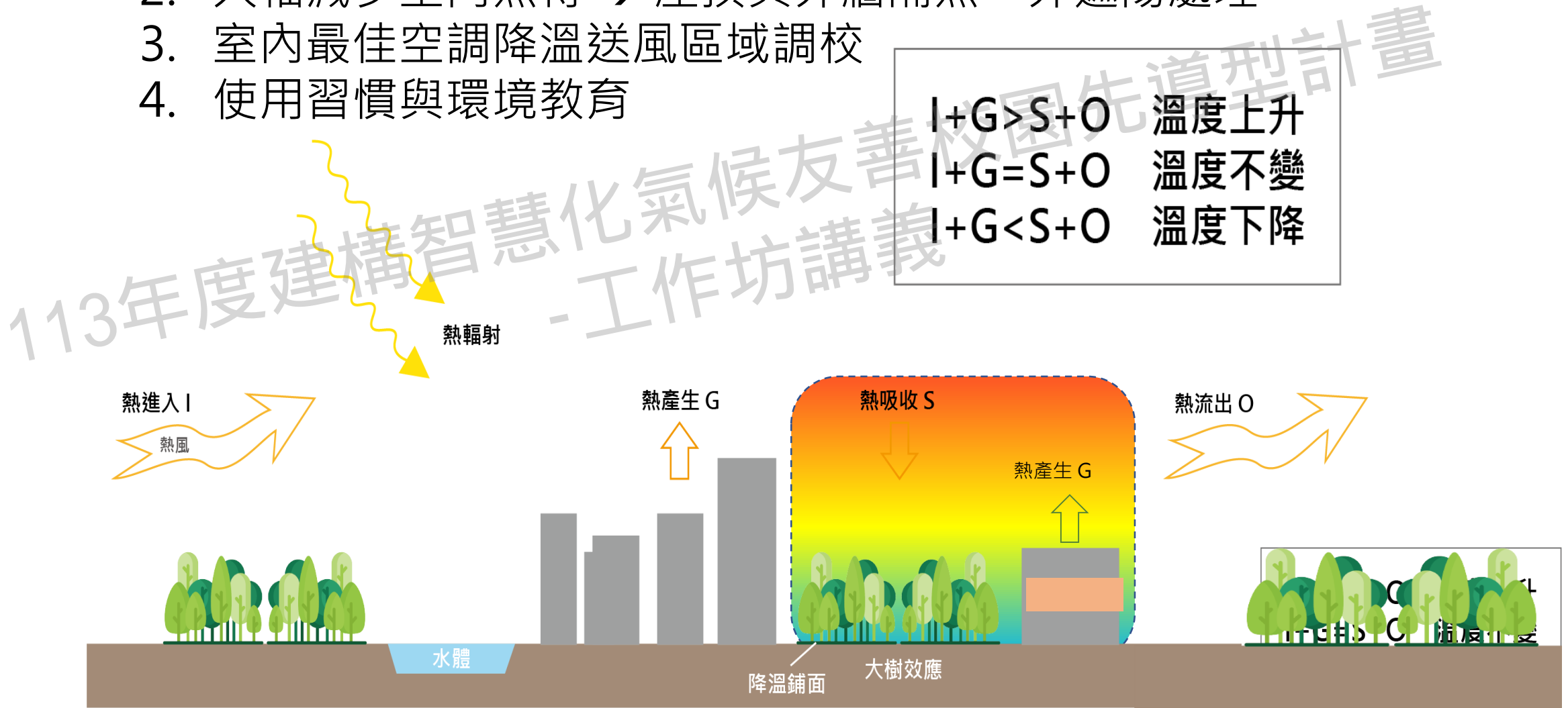
校園負碳能力

負碳、能源結構改變
資源與生態作為
使用行為的改變

從「熱」的機制來切入思考管理作為

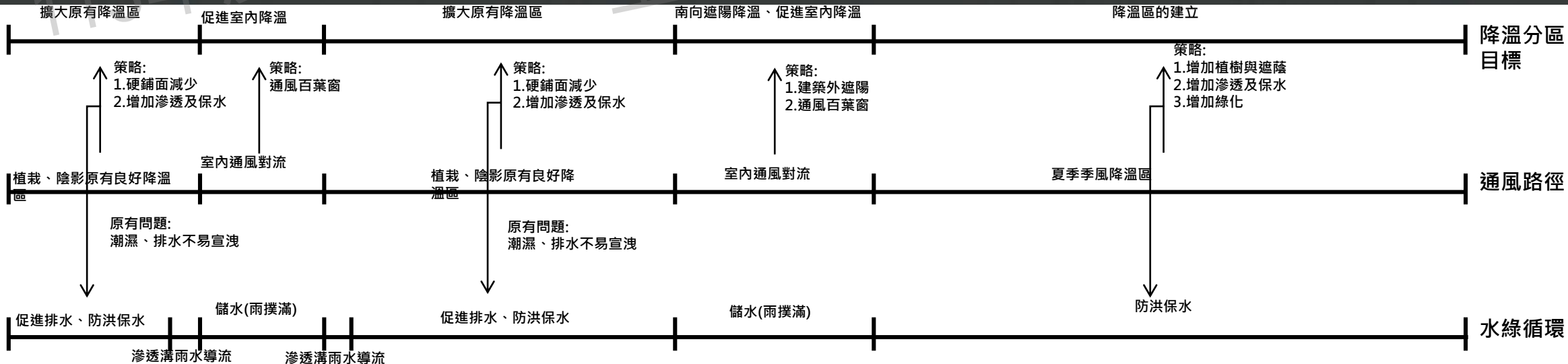
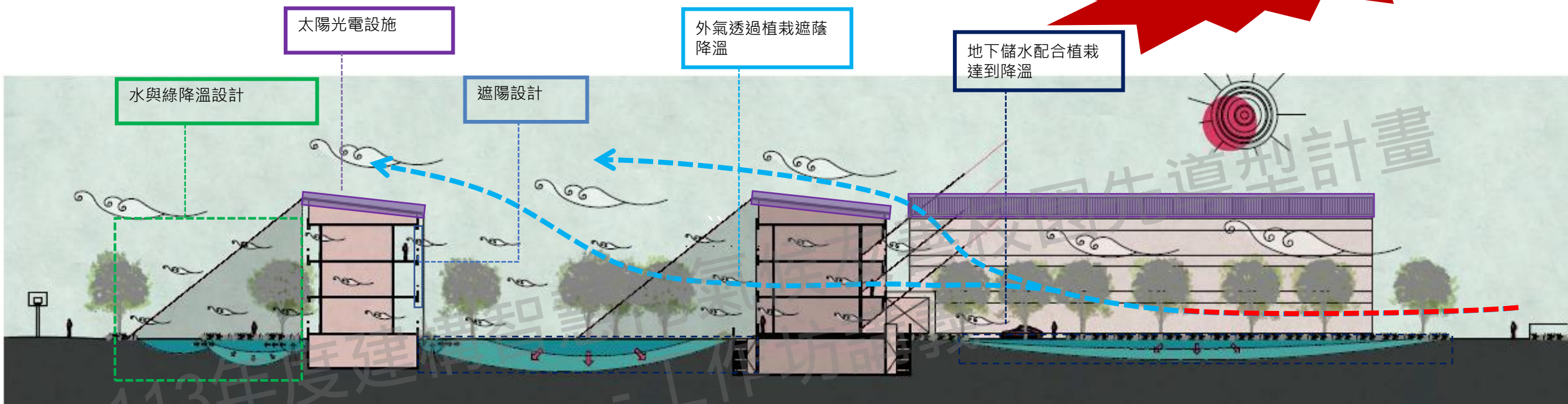
1. 減少開啟空調時間長度 → 校園外環境降溫與通風
2. 大幅減少室內熱得 → 屋頂與外牆隔熱、外遮陽處理
3. 室內最佳空調降溫送風區域調校
4. 使用習慣與環境教育

$I+G>S+O$ 溫度上升
 $I+G=S+O$ 溫度不變
 $I+G<S+O$ 溫度下降



校園外環境可作為降溫場域示意圖

上中下游整體
管理的策略概念



校園對應的因地制宜降溫策略與手法

室外

室內

- ◆本表以外氣溫度為34°C作為背景值，且各區域之降溫效果不可以疊加效果進行計算。
- ◆由各項研究數據進行分析，部分降溫效果以推估值進行計算。

3

校園外環境		校舍間		屋頂面		外牆		開口及室內	
策略內容	降溫數值	策略內容	降溫數值	策略內容	降溫數值	策略內容	降溫數值	策略內容	降溫數值
1.夏季季風方向	-	1.通風不良與風向檢討	2.0°C	1.光電屋頂	3.4°C	1.外遮陽導風板	6.8°C	1.導風式開口	2.72°C
2.陰影檢討處理	5.8°C	2.鋪面與活動場域之日照檢討	2.7°C	2.屋頂綠化	5.1°C	2.導風導光版	-	2.夜間通風可行性	1.7°C
3.高熱鋪面處理	7.5°C	3.增加通風與陰影作為	4.1°C	3.格柵或遮陽板	3.4°C	3.綠化植栽遮陽	4.08°C	3.進排風扇	1.36°C
4.儲水降溫作法	5.1°C			4.黑網與灑水系統	2.72°C	4.東西側複層外牆	6.12°C	4.通風式遮陽簾	1.7°C
				5.隔熱板或漆	3.4°C	5.複層材料貼附	3.4°C	5.採用多聯變頻空調配合教室連動	節電
				6.自然排風扇	-	6.高性能隔熱漆	2.4°C	6.採用全熱交換機與新風系統	節電 冬季
								7.山地區採用太陽能熱水器配熱泵進行溫控與除濕	節電 冬季

2

1

2

1

來源

傳輸

受體

人體溫熱健康

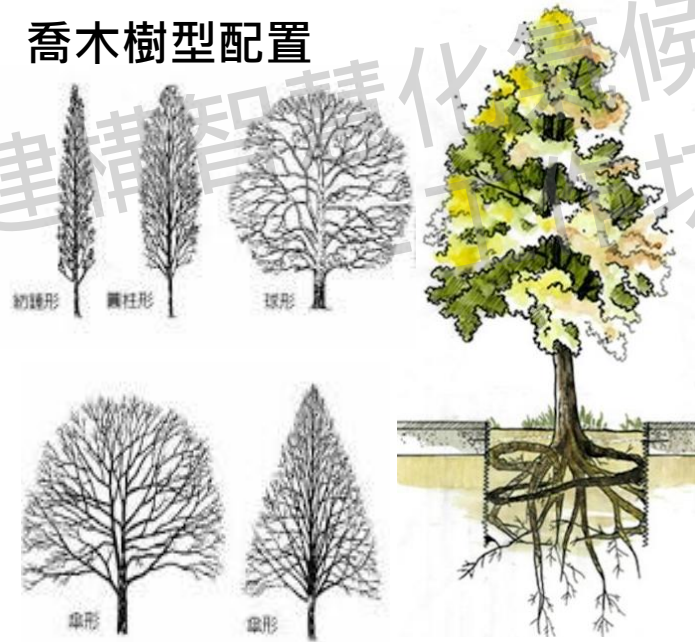
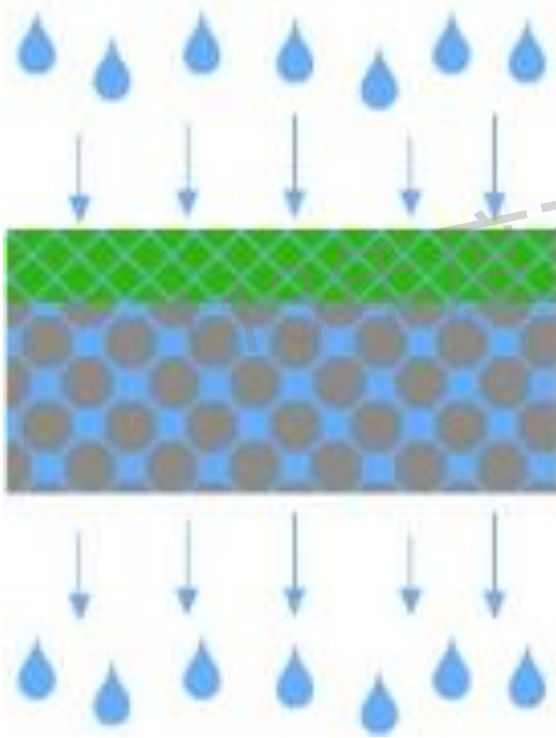
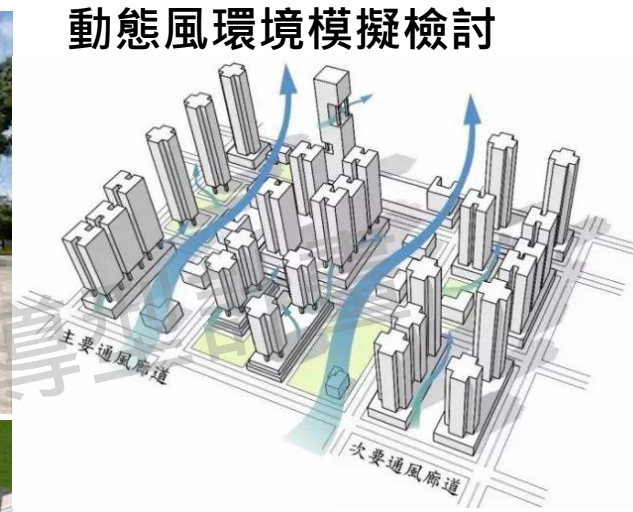
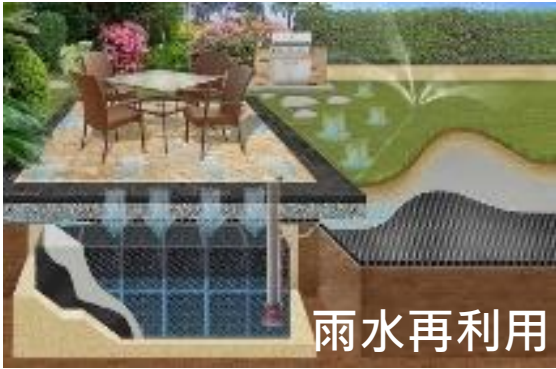
9

項技術改造作為

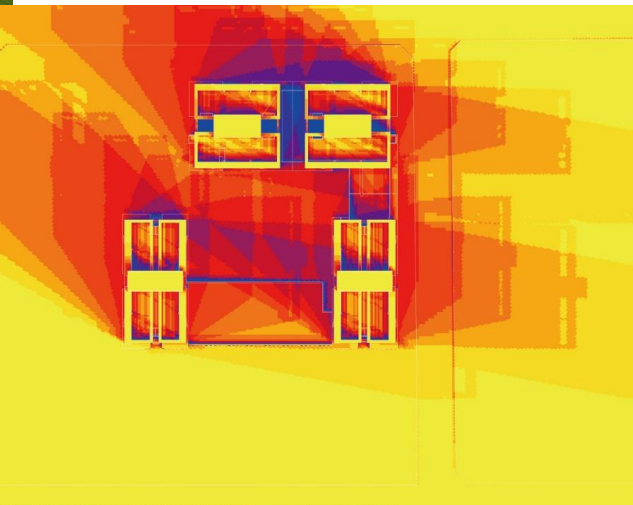
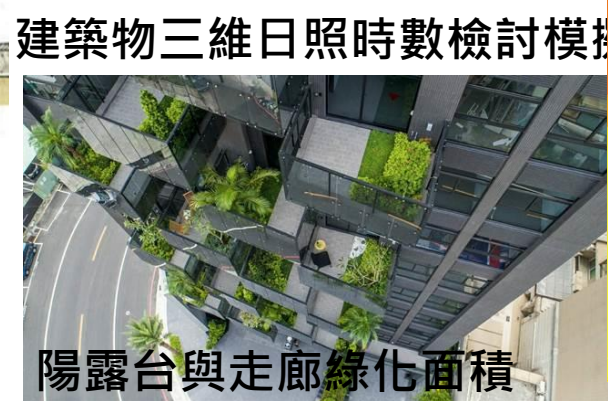
113年度建構智慧化氣候友善校園先導型計畫
工作坊講義

因地制宜。被動優先 整合補助。智慧優化

高熱鋪面處理 vs 透水滲透與排水整合概念 vs 環境整合



校園陰影環境檢討



擴大並連續化
非人為鋪面

非混凝土植栽穴
設施考量

高熱鋪面處理 VS 透水滲透與排水整合概念

高熱鋪面處理：

- 1.常見高熱鋪面主要為連鎖磚、柏油鋪面、PU鋪面...等。
- 2.校園應減少硬鋪面面積
- 3.搭配正確高程設計，表面溢流水導入綠地

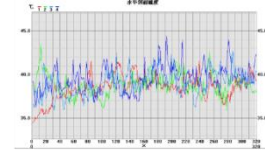
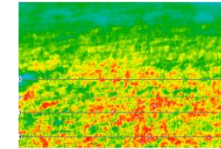
校舍間鋪面：

- 1.應視其場域之日照條件優劣進行規劃
- 2.若學生人數過多活動場域不足時，應確保學生有足夠活動場域
- 3.確保校舍間之通風路徑能暢通

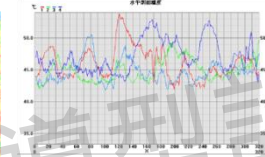
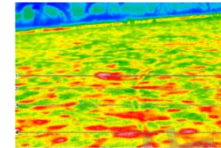
服務動線：

- 1.以人車分道為原則，服務性質車輛與學生就學動線分流設計。
- 2.留設緊急救援動線，方便如遇緊急狀態時能有效確保師生安全。
- 3.動線規劃盡量以動靜空間進行區隔

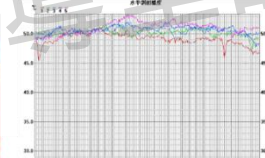
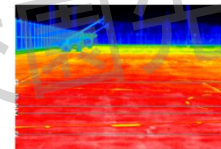
Grass average 37.5
(Variation 6~8 ^C)



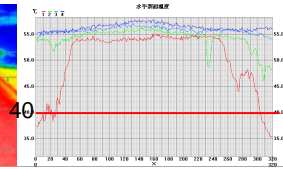
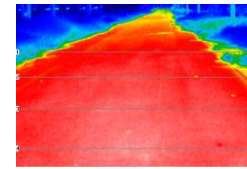
Sand average 45.0
(Variation 10~12 ^C)



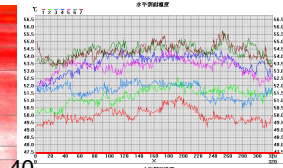
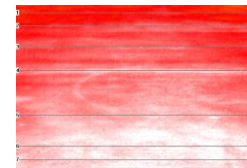
PU average 47.5
(Variation 1~2 ^C)



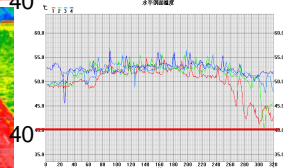
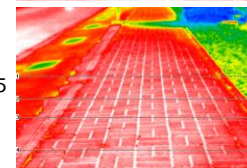
Asphalt 56.24
(Variation 1~2 ^C)



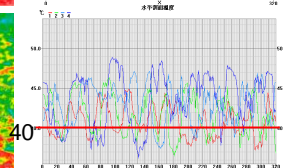
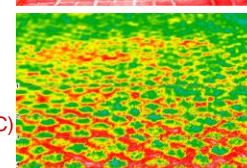
Cement PC 53.8
(Variation 2~3 ^C)



Cement Bricks 52.5
(Variation 2~5 ^C)



Grass Bricks 43.8
(Variation 10~13 ^C)



陰影檢討處理

透過日照模擬檢討：

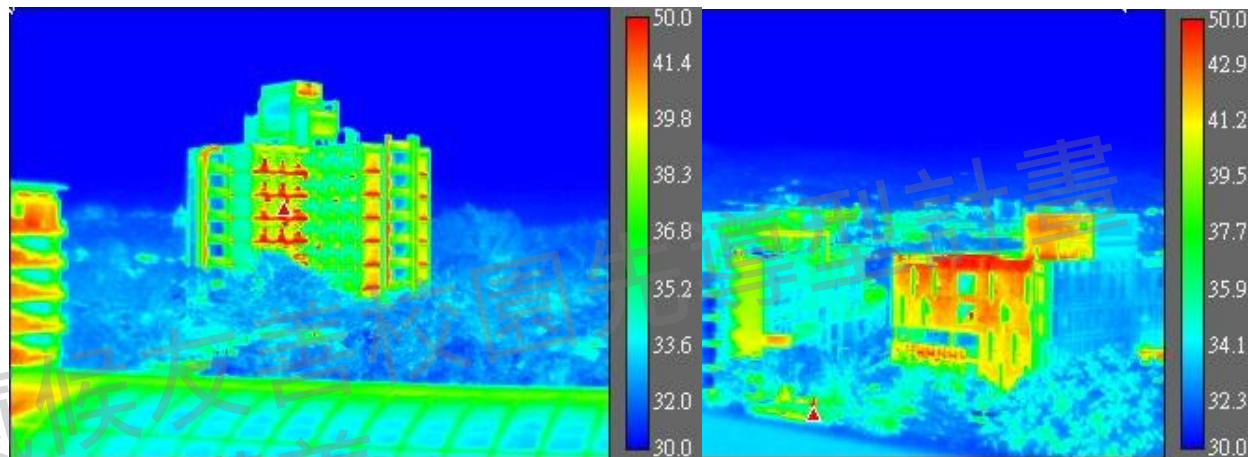
1. 平面陰影分布與植栽選用
2. 檢視日照時數多寡選用適宜植栽或鋪面材料
3. 搭配夏季風向營造降溫層

建築物：

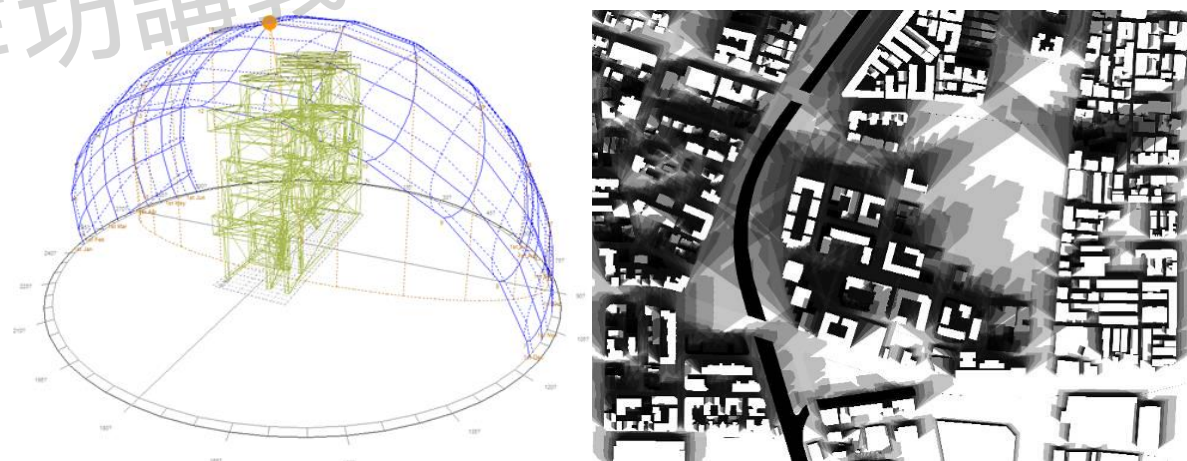
1. 針對東西曬牆面日照時數累積與擬定改善方案
2. 透過不同建築形態了解所需要因應高溫牆面
3. 檢視周邊建築與景觀是否能達到遮陽效果

對策研擬：

1. 建築立面加裝太陽光電板，可隔熱又有收入
2. 主要以西曬面與其開口部進行遮陽設計
3. 平面規劃上，可針對日照時數長短不同區域進行景觀植栽(遮蔭規劃)與鋪面材料(減濕設計)上使用



紅外線熱顯像攝影



電腦模擬日照因影疊圖分布

儲水降溫作法 (ECO-LID作為)

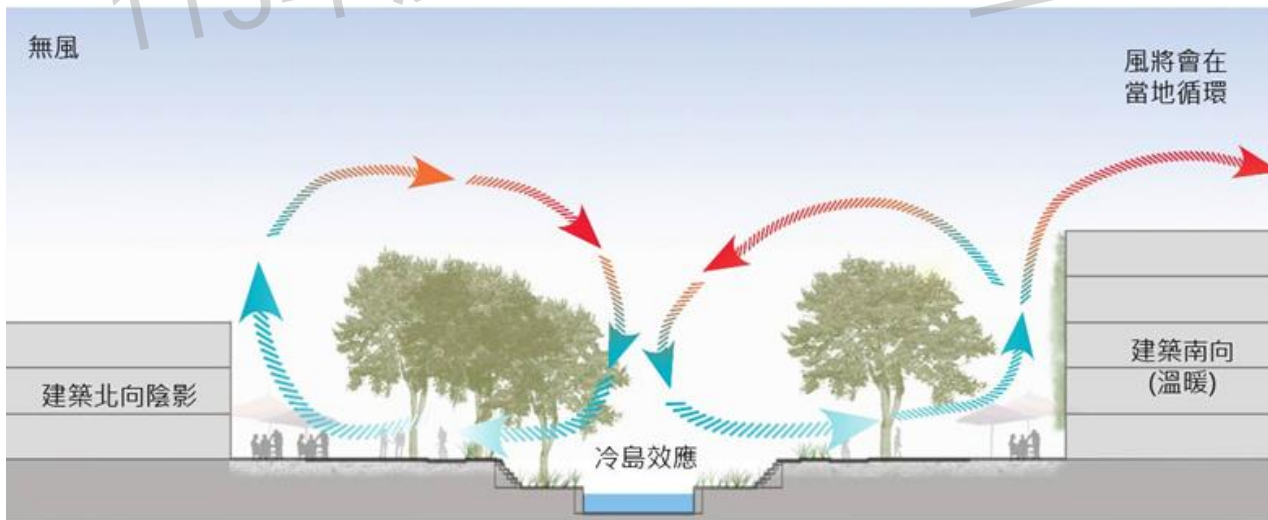
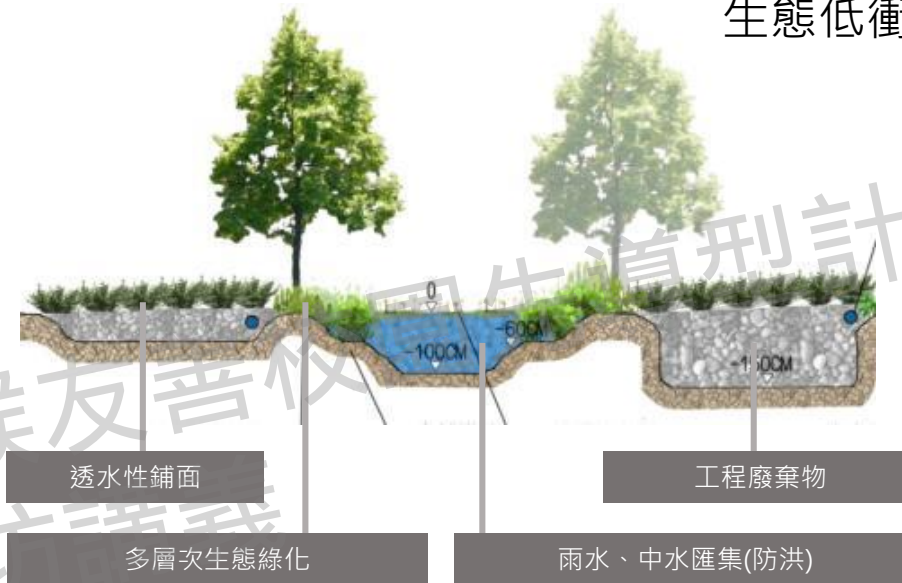
ECO-LID: Ecological
Low-Impact
Development
生態低衝擊開發

儲水降溫作法

有效將校園工程廢棄物，埋至地下，使其具集水之效果，以透水性草皮及多層次綠化鋪設於表層，達環境微氣候調節及防洪之功效。

儲水降溫工法原則概念如下：

1. 提高校園儲滯水量
2. 透過植栽與儲水池，搭配使用，以自然滲透方式進行灌溉。
3. 植栽因有穩定的水源，枝葉茂密營造出陰影區達到降溫效果。
4. 若水源充足可思考於高水位時裸露水體，提高場域降溫效果。



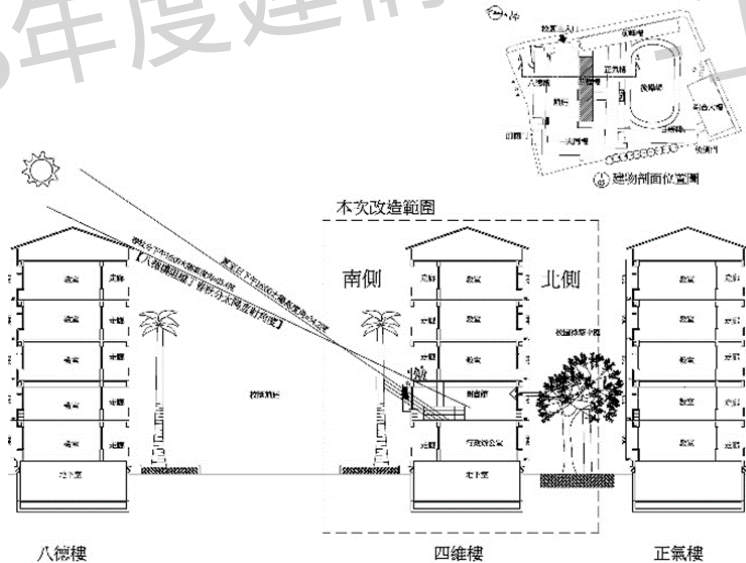
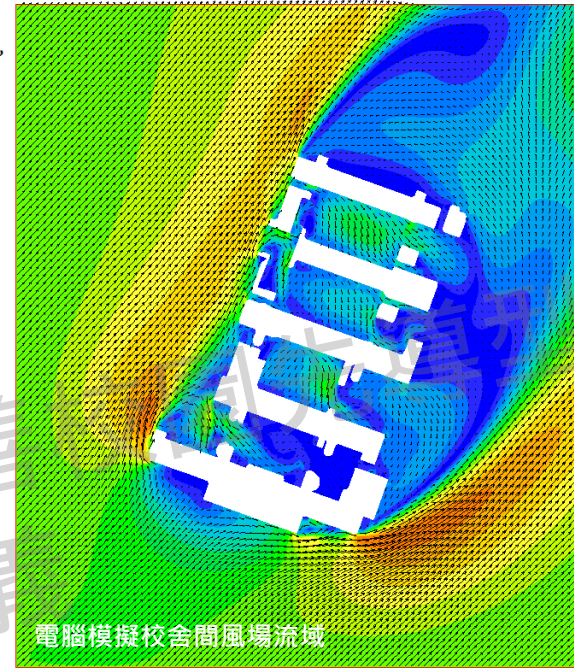
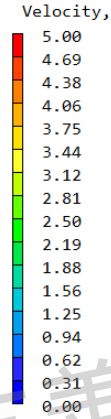
通風不良與風向檢討

通風不良與風向檢討

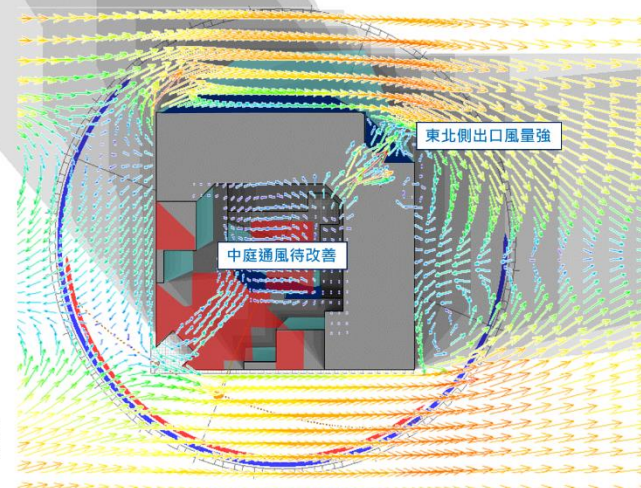
1. 主要因校園建築形態不佳
2. 周邊建築阻擋校園氣流
2. 校園建築坐落方位與外氣風向呈水平狀

改善原則概念如下：

1. 透過植栽或風動藝術進行導風設計
2. 以改變鋪面材質進行微氣候條件
3. 外氣可透過敲除阻擋外氣之教室，營造縮口改善校園通風環境。



校舍間改造策略



日照模擬分析與氣流疊圖分析以利後續策略擬定

鋪面與活動場域之日照檢討

鋪面與活動場域日照檢討

傳統之學校易忽略校舍之間的鋪面使用，最常見的鋪面適用連鎖磚或混凝土進行處理，但在校園微氣候的思考上尚嫌不足，在選擇校舍之間場域鋪面材料時，應進行日照陰影檢討以檢視該區域是否有足夠之日照時數，不足或過多均易造成微氣候環境之威脅。

鋪面遴選使用準則如下：

1. 以高透水性材料為主
2. 建議與喬木、灌木與草皮混植
3. 除了必要服務動線與學童活動場域外，最大可能將其鋪面改造成可透水性材料。
4. 若該區域日照時數不足，則選擇植栽時應考慮以冬季落葉植栽優先使用。



台南市太康國小



台南市太康國小



新北市埔墘國小



高雄市美濃國小

增加通風與陰影作為

增加通風與陰影作為

校園常因為建築過度圍閉或校園內缺乏足夠綠地導致微氣候熱對流不足，因此常導致校園內有廣大的靜峰區域，夏季悶熱冬季潮濕不舒適的問題。

改造通風與陰影準則如下：

- 1.先確認長年風向方位，進行校園空間檢討，確保通風路徑順暢。
- 2.減少硬鋪面面積，並種植喬木與矮灌木草皮等，增加校園內遮蔭區域形成冷島有助微氣候環境。
- 3.透過挑高廊道或穿堂留設通風路徑，引導氣流能有效貫流校園。
- 4.透過遮陽設計(建築物+植栽)，降低外氣溫度，達到校園降溫效果。



台南市太康國小案例示範說明

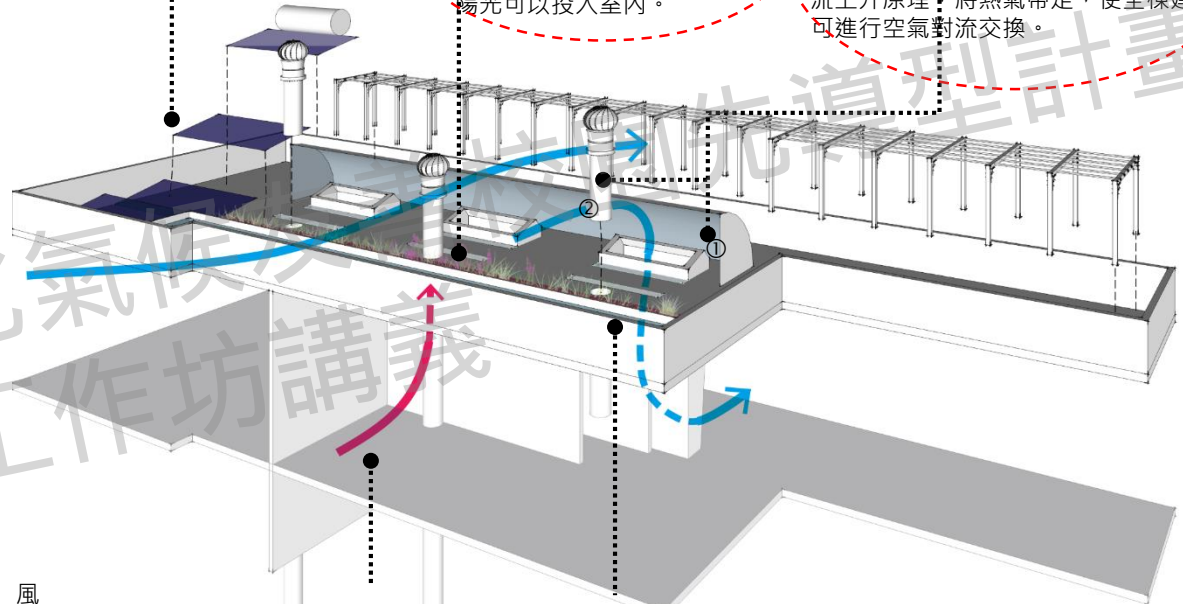
光電屋頂搭配通導風系統



太陽能
屋頂架設太陽能板及太陽能熱水器，
使用太陽熱能，降低能源消耗。

採光
利用中庭天井概念進行樓板
開口，建構導光導風板，使
陽光可以投入室內。

風
①利用引風板引進夏季西南風，使冷空
氣可進入北側建築室內。
②南側以自然通風塔引入自然風，用熱氣
流上升原理，將熱氣帶走，使全棟建築
可進行空氣對流交換。



風
南側以自然通風塔引入自然風，用熱氣流上升原理，
將熱氣帶走，使全棟建築可進行空氣對流交換。

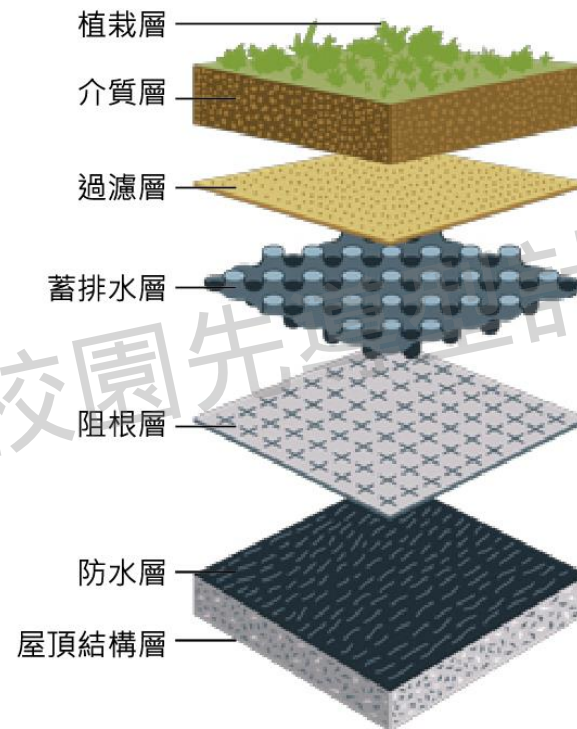
水系統
①利用屋頂設置雨水收集系統，經過過濾，匯集至兩儲水
池。
②泵浦抽取地下儲水，打至花台澆灌。

113

屋頂綠化

透過日照模擬檢討

1. 平面陰影分布與植栽選用
2. 檢視日照時數多寡選用適宜植栽或鋪面材料
3. 搭配夏季風向營造降溫層



綠化好處



省電好幫手、非核家園好選擇



減少碳排放



減緩都市熱島效應



生態多樣性



打造都市有機農園



室內降溫



增加雨水停滯表面時間



保護屋頂(減少紫外線輻射)



黑網與灑水系統

黑網與灑水系統

利用機械和動力設備，使水通過噴頭（或噴嘴）射至空中，以雨滴狀態降落地面用水體吸附屋頂熱能達到降溫效果。噴灌設備由進水管、抽水機、輸水管、配水管和噴頭（或噴嘴）等部分組成，可以是固定的或移動的。雖可調節地面氣候且不受地形限制等優點但必須考量現地風向。



特點：

- a. 省水：由於噴灌可以控制噴水量和均勻性，使水的利用率大為提高，省水量30—50%，省水還意味著節省動力，降低用水成本。
- b. 省工：噴灌便於實現機械化、自動化，可以大量節省勞動力。
- c. 搭配智慧系統：若外部氣候為降雨時，將可停止供水進行噴灌。

搭配屋頂綠化之自動澆灌系統之範圍及時間

- a. 依照澆灌系統設備之不同，建議平均每30~50平方公尺設置一個澆灌噴水頭。
- b. 自動噴灌系統之噴頭以隱藏設計，除噴灌時大多時候與草皮高度一致。



噴灌系統示意圖



屋頂黑網使用示意圖



屋頂黑網使用示意圖



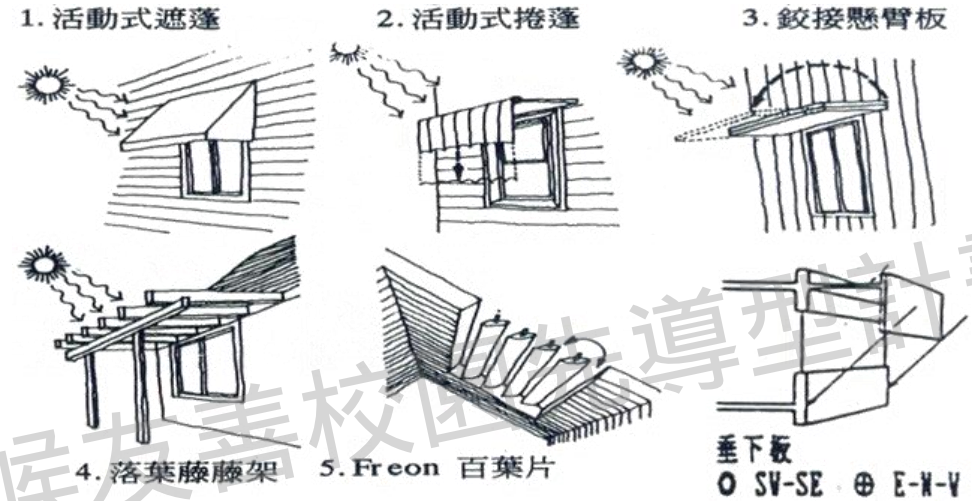
屋頂黑網使用示意圖

外遮陽

外遮陽

外遮陽改造方案與策略擬定：

1. 大部分教室夏季悶熱且外氣通風不足。
2. 校舍間之開口部有明顯直射光源進入室內。
3. 東西曬外牆側無明顯植栽進行遮蔽。
4. 為求靈活調整遮陽條件，建議以百葉窗取代窗簾進行遮陽。
5. 應進行模擬找出最適合遮蔽日照之角度與區域，避免過度設計浪費預算。



導風版

導風版

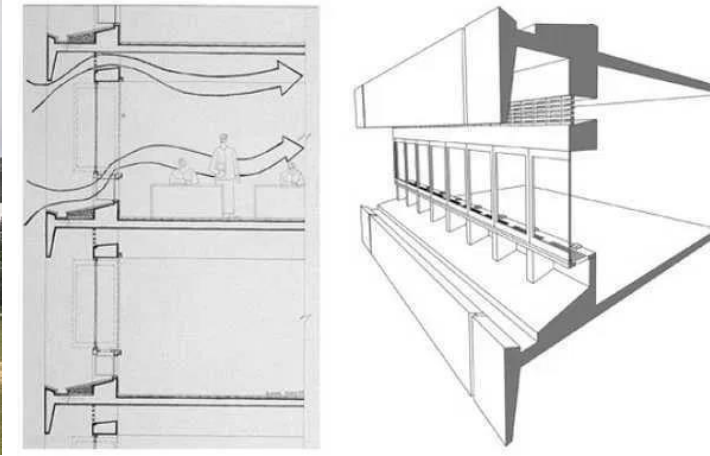
為了有效因應教室內或區域處於靜風區域，且外氣不易導入進行改善時，可透過建築立面導風板、植栽(喬木)與公共藝術品(地景藝術)的設置，用以改善環境微氣候條件。

若能設置於長年強勢風向側，將其強襲風進行破風與減速的控制進而引導至靜風區域或教室內部，即能有效改善氣流環境。

1. 教室內明顯無外氣導入。
2. 教室外走廊有顯著氣流通過。
3. 改造開窗模式，導入新鮮外氣進入教室。
4. 透過植栽或風動藝術品作為導風版，改變外部氣流走向。



Figure 3: Original sketch section on the left. As-built section on the right without below-sill window.
Croquis original del corte a la izquierda. Corte como fue construido a la derecha, sin ventanas bajo el alféizar.



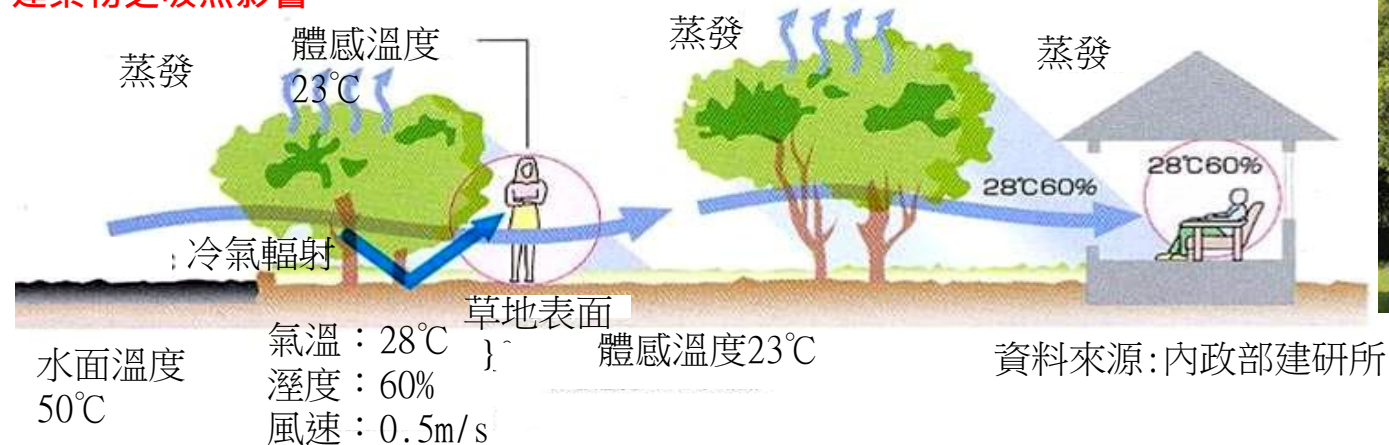
綠化植栽遮陽

綠化植栽遮陽

植栽遮陽為主要降溫的手法之一，透過減少太陽直接照射、減少熱能吸收而達到降溫效果，同時能搭配水體與氣流帶走熱氣，其降溫效果能達到最高效益，因此在校園中能達到最佳的降溫策略，最直接有效的就是由外環境的氣候進行改造。

綠化植栽遮陽方案與策略擬定：

1. 優先於主要入風方位進行綠化規劃。
2. 盤點出校園熱區位置進行改造，減少校園熱區。
3. 搭配鋪面材料進行改造方案，以複層植栽進行降溫。
4. 建築物西側與南側日照時數較長位置進行植栽綠化設計，減少日照對於建築物之吸熱影響。



東西側複層外牆

東西側複層外牆

牆面與陽台綠化不僅可降低建築外殼吸收熱，達到降溫效果，達到節能目標，還兼具美觀功能。立面綠化須有良好的澆灌系統計畫。

複層改造方案與策略擬定：

1. 針對東西曬牆面優先進行複層外牆隔熱。
2. 建議保留散熱孔洞以供累積之熱氣排除。
3. 透過植栽增加隔熱效益，並美化建築立面。
4. 複層外牆作法多元，不一定需要以實體牆面進行隔熱，可透過植栽攀爬營造生態牆面。
5. 應進行模擬找出最適合遮蔽日照之角度與區域，避免過度設計浪費預算。



畫

導風式開口

導風式開口

建築外牆改造為求改善室內通風不良的現況，一般常見問題主要為主風向面未留設開口部或者教室因設備問題高窗不常開啟導致教室內天花板處累積之熱氣無法有效排除，導致吊扇再將熱氣往下吹，不但無法降溫反而造成學童不適感。

導風式開口方案與策略擬定：

1. 變更開窗型式，從平拉窗改為外推窗。
2. 將傳統高低窗(高窗小、低窗大)轉變為高窗窗面大、低窗窗面小。
3. 門板設計應搭配紗窗或百葉



畫

夜間通風可行性

夜間通風可行性

一般教室在夜間通常處於緊閉狀態，再使用一整天下來教室空間若能在夜間充分進行通風換氣，對於隔日一早到教室的學童，可以免除掉潮濕霉氣的氣味，對於教室整體空氣品質有顯著的提升。目前所見鮮少有教室能有效進行夜間換氣的原因有二，第一、教室高窗不常開啟，主要為擔心教室內財物遭竊等治安問題，第二、擔心教室夜間開啟易被蚊蟲或小動物入侵。若能有效改善此兩種問題，能有效提高教室夜間通風的比率。

夜間通風可行性與策略擬定：

1. 高窗搭配紗窗同時對角門板置換成百葉門版+紗窗
2. 建議採對角方式裝設



進排風扇

進排風扇

當教室所在位置確認無法有效引入新鮮外氣，且外部氣流被建築或恰好位於靜風區域，即便透過電腦模擬與導風板設計均無法有效改善室內通風環境時。可見易學校裝設進排風扇，以對角方式進行安裝，且搭配門窗進行使用時，能有效增加室內換氣率。

進排風扇方案與策略擬定：

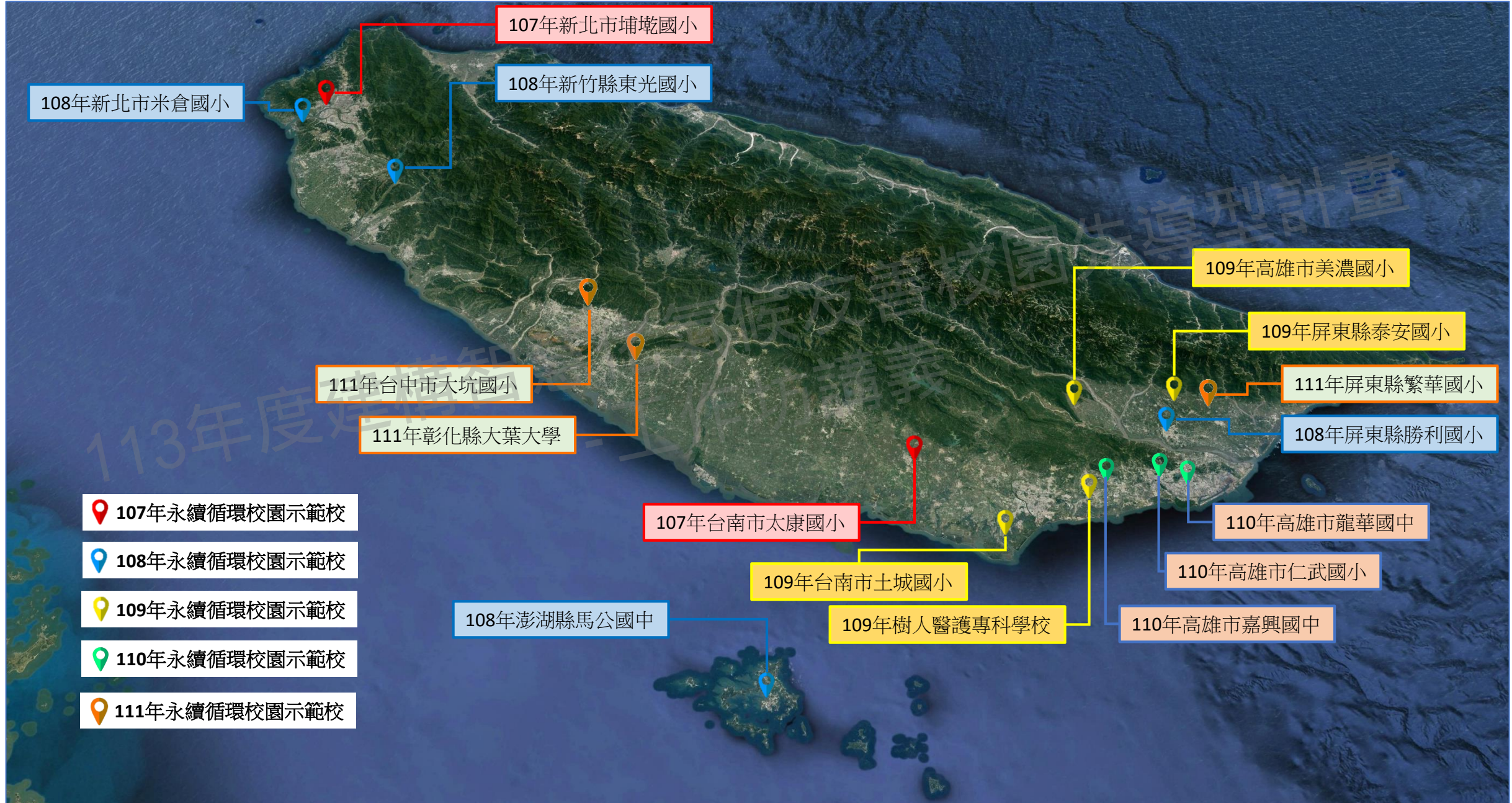
1. 裝設位置建議以教室窗戶對角方式
2. 可搭配新風系統進行裝設
3. 建議於進風側外側裝設濾紙



氣候友善校園硬體改造+作為



107-111年永續循環校園示範校分佈圖



107年示範校-新北市埔墘國小

確保通風廊道

都會熱島區被動節能降溫示範

【活動中心屋頂通風及室內照明節能改造】

宜蘭總務輔導團、台中及台南環教輔導團、周遭文德國小、光復國小、建安國小、育德國小等相繼參訪，人數粗估約250人左右。



鋪面改造後



改造前



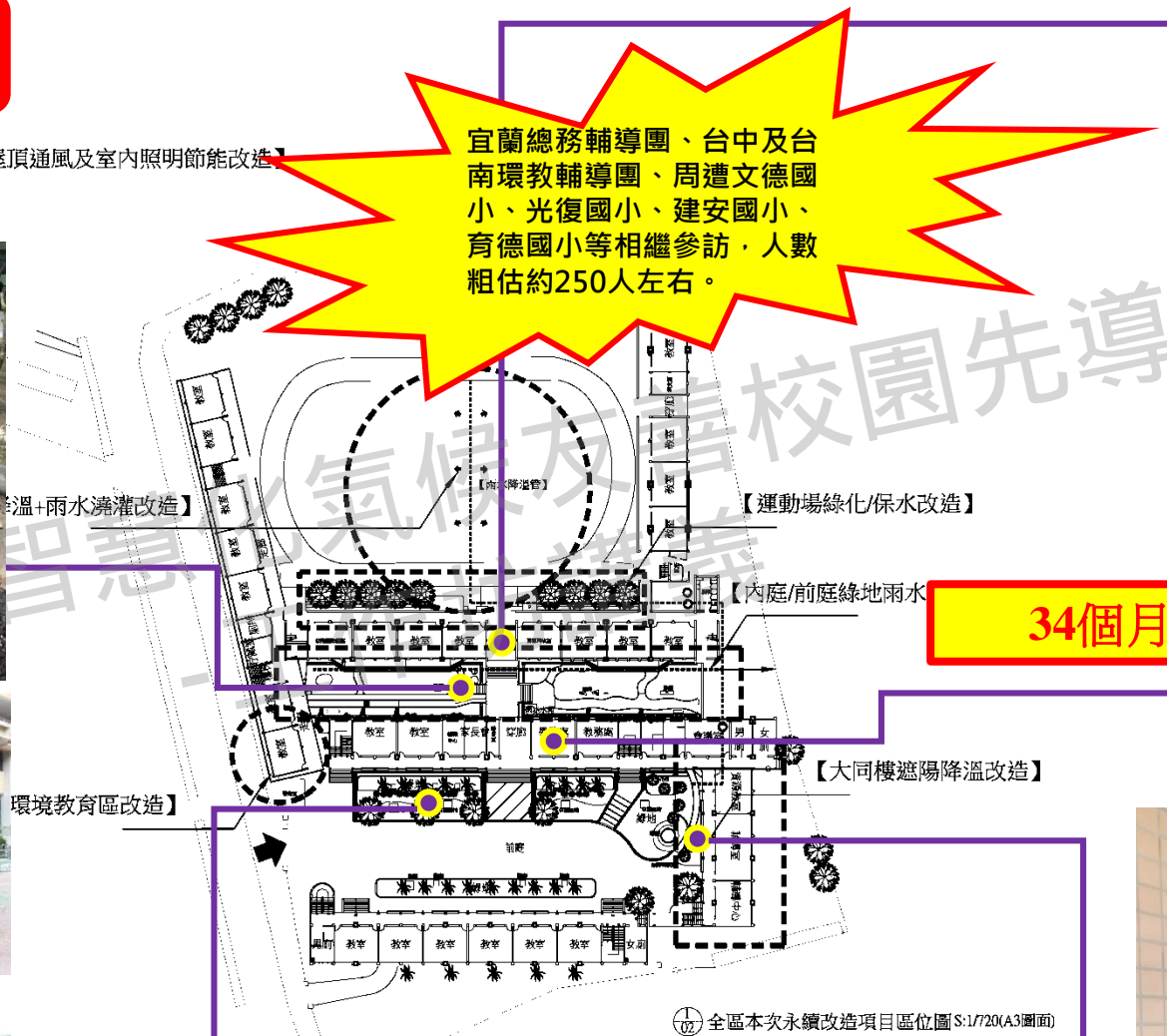
改造前



改造後



改造後



34個月 沒有開過空調



開口改善 搭配遮陽系統

107年示範校-新北市埔墘國小

107年度.....

前庭



改造前



改造前



改造後



改造後

113 氣候工作坊

計畫

107年示範校-新北市埔墘國小



教師討論



學生設計



學生設計圖

新北市埔墘國小節能減碳環境教育方案
五年十四班 _____ 108.11.10 號

【關卡四：聽聲尋蹤·創意設計】

上午：因為大門有陽光照射，前排桌椅比較多又封閉，所以熱空氣從大門流進，冷空氣由窗戶吸入。
下午：太陽偏在邊，所以風從邊。

1. 想想，看看，測測風從哪裡來。

2. 畫出圖書館的風向(請用不同顏色區分出上、下午的風向)

如果你是設計師，你會幫圖書館設計何種形式的窗戶？請畫下你的設計圖，並寫出設計的理由。

款式一 地點：圖書館的南邊圓形狀形
(可用文字說明或在上圖圈出適當的地點)

設計理由
就不用開開關關了。

款式二 地點：圖書館的北百葉窗
(可用文字說明或在上圖圈出適當的地點)

設計理由
這樣就不怕有蚊蟲飛進來，旁邊的牆壁把百葉窗上也可以防止小偷進入。

107年示範校-新北市埔墘國小



20160227 am09:17 現況日照(圖 8)



20160227 am09:17 現況日照建模比對(圖 9)



107年示範校-臺南市太康國小

自然節能設計

風.光.水.綠

鄉村型低地校園水循環與滯洪示範

校園環境的改變，季節乾旱季不影響校園植栽生長狀態，校園幾乎不淹水。

社區民眾與地方首長民意代表合計約300人次，透過校慶、校友同學會、立委偕中央地方教育主管機關等活動進行導覽；其餘永續校園伙伴學校蒞校參訪，包含高工、國中師生，以及高雄、屏東縣市學校團體到校參訪合計約310人次。

分區 D：北棟教室北側滲透保水排水系統

分區 B：幼教大樓二樓室內隔熱與通風改善

分區 E：北棟教室整建(教育部106-108)

分區 C：北棟教室南側滲透保水排水系統

分區 A：草地滯洪操場

楔型擾流導引風向

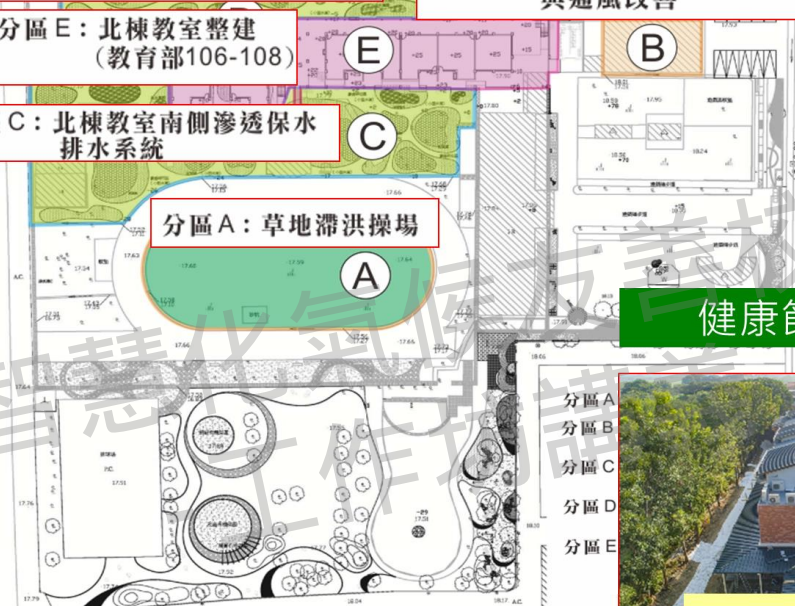
健康節能設計

教學空間規劃

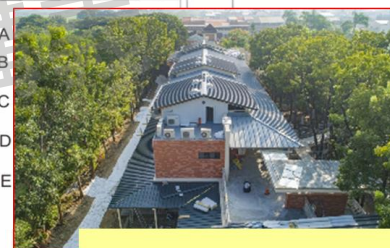
多功能教室



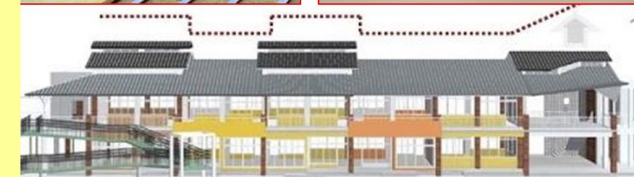
班級教室



分區 A
分區 B
分區 C
分區 D
分區 E



改善通風的教室配置
運用自然植物遮蔭
外推窗導風進入室內
隔熱材 斜屋頂 通風器



新建校舍正立面



農事

高年級

低年級

幼兒園

森林遊藝探索

家庭院

班級空間

班級空間

資源與 碳循環

二 水噹噹~導覽動線

水與綠 系統

1

欖仁樹下迎賓導覽：

- 全區導覽解說牌
- 前庭通風降溫區策略

2

麗園：

- 拆除老舊宿舍並將雜亂空間活化成花園綠地。
- 增加透水鋪面、落葉堆置區移至排球場旁
- 回收廚房之洗菜水供農園澆灌。

3

中庭：

- 改善透水鋪面。
- 設置雨水儲收設備以澆灌花木植栽。
- 利用雨撲滿設置水道沖刷實驗教具

屏東縣勝利國小校園地圖



4

至善樓：

- 西側：透水鋪面改善，增加滲透溝及綠覆率

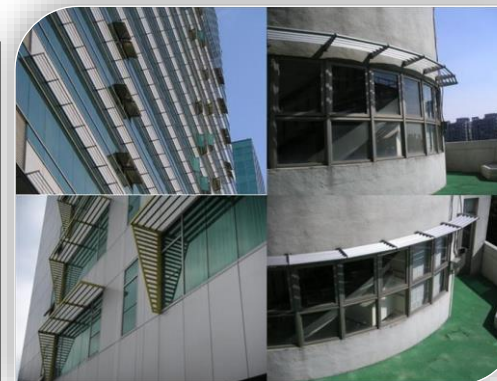
5

勵志樓：

- 北側遊戲區：透水鋪面改善，增加滲透溝及綠覆率
- 綜合球場：榕樹旁打除水泥改為透水鋪面
- 集留勵志樓中水用來澆灌綠地



認識學校的遮陽裝置



未進行改造前測量室內外溫度

109年示範校-高雄市美濃國小

高地下水位校園整合儲水系統與校園通風排熱整合

(屋頂雨水)屋頂雨水收集系統



(屋頂雨水)屋頂雨水收集系統



水撲滿(15噸儲水系統)



湧泉水(補水系統)



屋頂及 RO 儲水系統(筏基儲水)

屋頂雨水集水沖廁回水系統

(筏基儲水)

可回收再利用水520噸

(屋頂雨水)屋頂雨水收集系統



水撲滿 168 噸(儲水系統)



水資源教育中心



學校週邊湧泉點分布圖



湧泉水課程

與社區結合落實環境教育

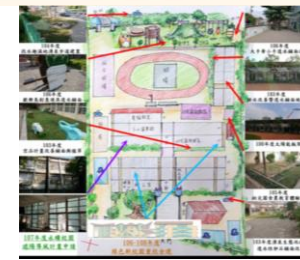


水資源保育設施地圖

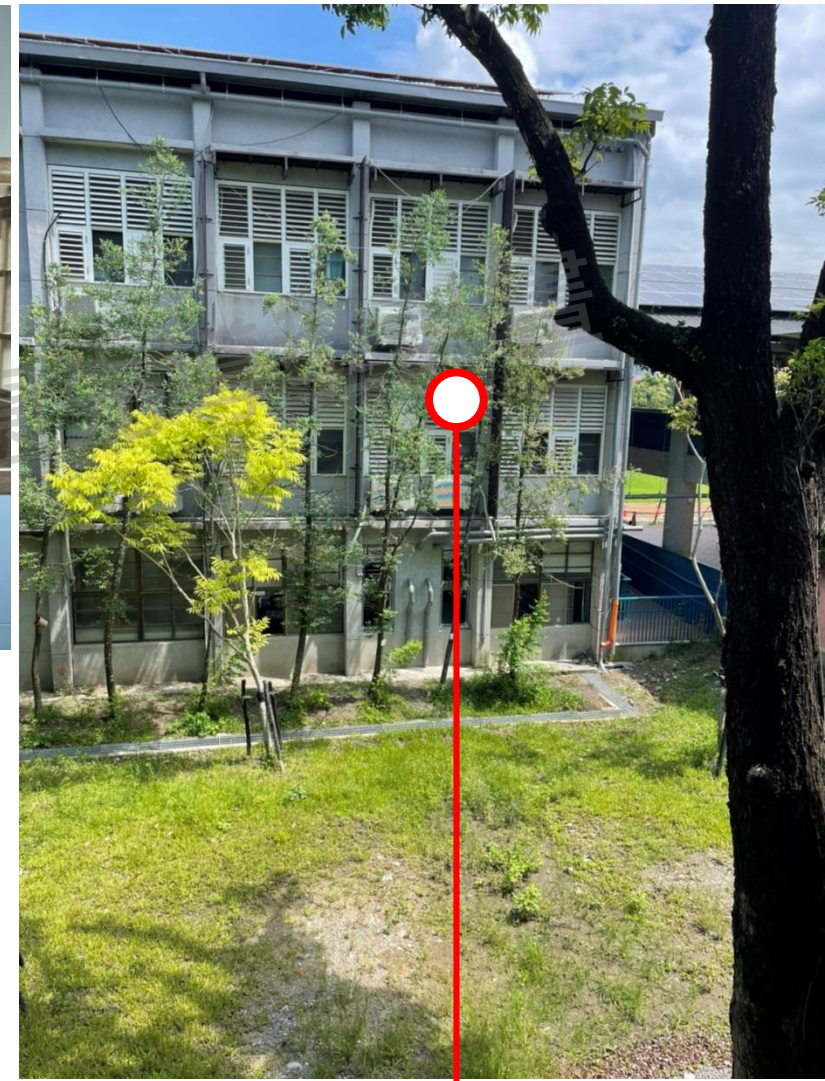
新校園雨水資源回收系統圖



- 新設水資源利用系統
- 湧泉水再利用系統



109年示範校-高雄市美濃國小



把戶外的水撲滿，結合過濾分流槽，
進到教室當成主題教學。
透過三個槽的水箱可以看出進水量
與整個水資源的淨化過程，最後如
何回到整個校園用水系統之中。

水平遮陽板搭配植栽達到立面綠化
降溫的效益。



110年示範校-高雄市嘉興國中

高雄市嘉興國中：市郊型學校、校園位於高速公路旁、周邊有空污威脅、部分區域排水不易

校園問題	解決方案	改造工程	成果效益
1.校園落葉落枝龐大	有機碳循環資源	落葉與廚餘堆肥	<ol style="list-style-type: none"> 1.就近設置數個落葉堆肥區，將校園落葉集中堆肥，做為校園植栽的養分來源。 2.減少學生清掃落葉所耗體力與時間，並且降低每天的垃圾清運量。
2.校園水資源統整	水循環	滲透保水	預計後庭鋪面改造成礫石鋪面與步道，增加基地保水，改善乾季粉塵或雨濕滑蚊子肆虐的情況，學生也能更有意願親近此區，成為賞鳥生態永續教育園區。
		自然滲透與澆灌	高雄市109年度永續校園推動實施計畫排水溝改造成礫石溝自然滲透預計將中庭東側的水泥鋪面改造成礫石與草地，達到自然滲透，一併解決附近水溝排水不良易生子子或泥沙淤積的問題。
3.校園用電量偏高	電能	節電設施與設備	將班級教室、視聽教室燈具改成LED省電燈具與迴路改善，預估減少10%電費。
4.部分校園空間悶熱	溫熱外環境	通風換氣排熱排污	更換教室門片為三合一通風門，以及部分窗戶更換成紗窗，夜間引入涼爽氣流將室內熱氣排除，有效減緩隔日升溫速度，延後開冷氣時間。
	遮陽與導光	外掛式遮陽板	多數教室或辦公室在春秋冬三季上下午皆有陽光斜射入南側/前走廊與教室，預計設置外遮陽降溫導風，將可降低冷氣機使用頻率。

110年示範校-高雄市嘉興國中



1. 校園通風首重避免無風區域並確保穿越型通風路徑。
2. 本校冬天早上吹北風偏東，冬天中午後吹北風偏西。
3. 本校夏天清晨以前吹微微東風(陸風)，其餘時段夏天靠內陸吹南風偏東。

105-109年高雄市嘉興國中歷年補助內容



高雄市嘉興國中示範計畫分年計畫

- 1.建議種植冠型喬木，增加遮蔭
- 2.規劃停車空間
- 3.停車空間下方設置礫間儲水，同時與周邊綠帶串連。

- 1.規劃種植喬木與草地做為該校入風路徑通風廊道。

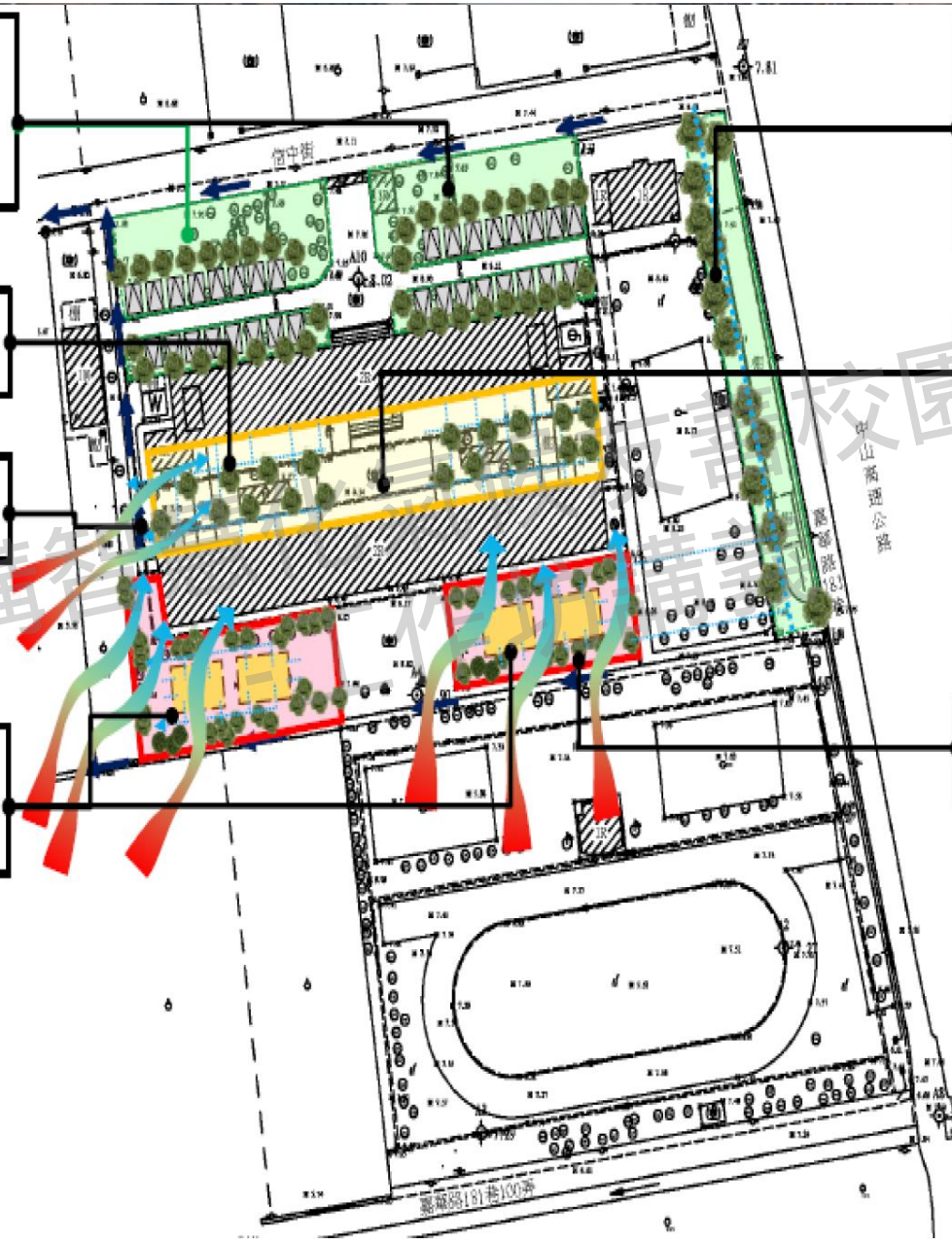
- 2.高程與排水路線重整，透過可透水鋪面進行串聯

規劃地下儲水系統(礫間儲水+陰井)，連結排水管線，排除積淹水問題

- 1.種植耐空氣污染屬性植栽(喬木)
- 2.新種植之喬木建議可與地下澆灌系統串連
- 3.冠狀植栽提供部分遮陽降低校園熱區面積

- 3.部分硬鋪面(中庭)，應可思考調整縮小面積

氣流模擬外部氣流，提出植栽適宜種植位置，達到引入外部氣流



110年示範校-高雄市嘉興國中



前庭



中庭



後庭



前庭



後庭

嘉興國中-永續生態綠嘉興課程規劃



113年度建構智慧未來停水工作坊課程設計計畫

嘉興國中-成果效益

- 1.外遮陽降溫導風：透過外遮陽設計隔熱降溫導風，將可降低冷氣的使用頻率，以及避免黑板反光或投影過亮影響學生視力健康。
- 2.教室通風改善：更換教室的三個門片為三合一通風門，以及門上方外推窗，以對應通風開窗模式，可於夜間引入涼爽氣流調濕、換氣將室內熱氣排除，有效減緩隔日升溫速度，延後開冷氣時間。
- 3.中後庭鋪面改造與落葉堆肥：改造成礫石鋪面與步道，並設計落葉堆肥區，可增加基地保水，減少學生打掃的辛苦並提供土壤養分，學生也能更有意願親近此區，成為賞鳥生態永續教育學區。
- 4.RO飲水機回收水與洗手台中水回收再利用：已用於拖地清潔或導入澆灌系統進行植栽澆灌，節省用水與水費。

嘉興國中-成果效益

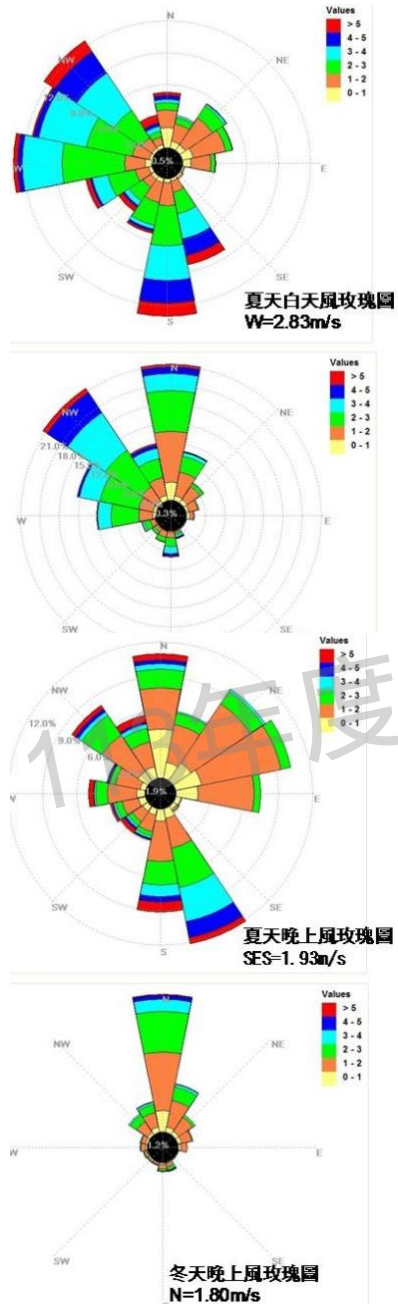
- 5.全面更換LED節能燈具與迴路改善，配合教育宣導達到**節省電費**的功效。
- 6.防空污空品作為：透過樹木高空攔截、減少硬鋪面及種植芳香植栽進行改善，營造健康校園。
- 7.透過校訂彈性課程讓學生了解學校**永續循環局部改造項目的原理和成效**，以及改變師生使用模式與行為，並且在日常生活中實踐節能永續的概念。
- 8.提供校園場地作為鄰近學校參訪學習之場域，做為**區域帶動永續校園核心節點**，盡到做為區域示範場域的交流功能。

110年示範校-高雄市龍華國中

高雄市龍華國中：市區型學校、位於交通要道側、校園硬鋪面多、校園高溫悶熱

校園問題	解決方案	改造工程	成果效益
1.校園缺乏水資源再利用機制	水循環	節水措施	1.落實水資源的再生利用的教育。 2.筏基之水可以應用於平時澆灌使用，並於枯水期時，以減少水費支出，預估減少10~15%水費。
		滲透保水	
		自然滲透與澆灌	
2.校園綠鋪面比率不足	綠基盤	環境友善鋪面與親和性圍籬	移除大門前庭地勢最低、平時豪大雨時易積水處之硬鋪面，加速地表滲透保水，減少積水現象及加速積水退去時間，提供人車一個安全通行的環境。
3.學校用電量龐大；校園高溫悶熱不舒適	電能	節電設施與設備	預計減少10~15%電費
	校園通風	穿越型通風路徑確保	減少校園夏季悶熱情形
4.校園通風不順暢	建築外殼開口	對應通風開窗模式	改善室內通風悶熱問題，預計教室內降溫2~3度。
		遮陽與導光	

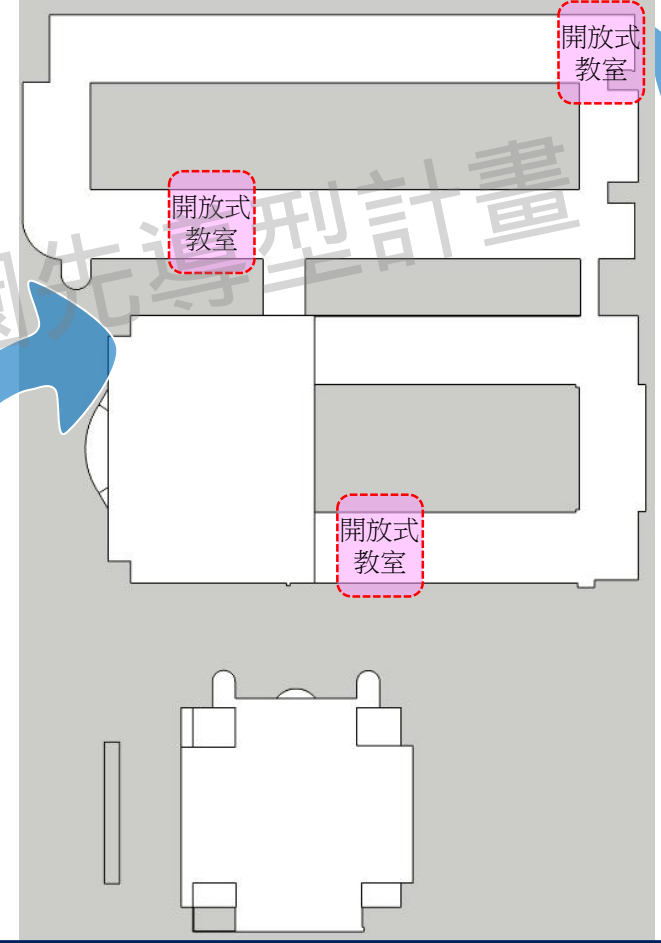
110年示範校-高雄市龍華國中



方案A



方案B



龍華國中問題點：

1. 學校建築型態不利外部氣流導入，造成悶熱。
2. 教室高窗緊閉，仰賴立扇散熱。
3. 部分校舍西曬嚴重且無腹地營造降溫區。

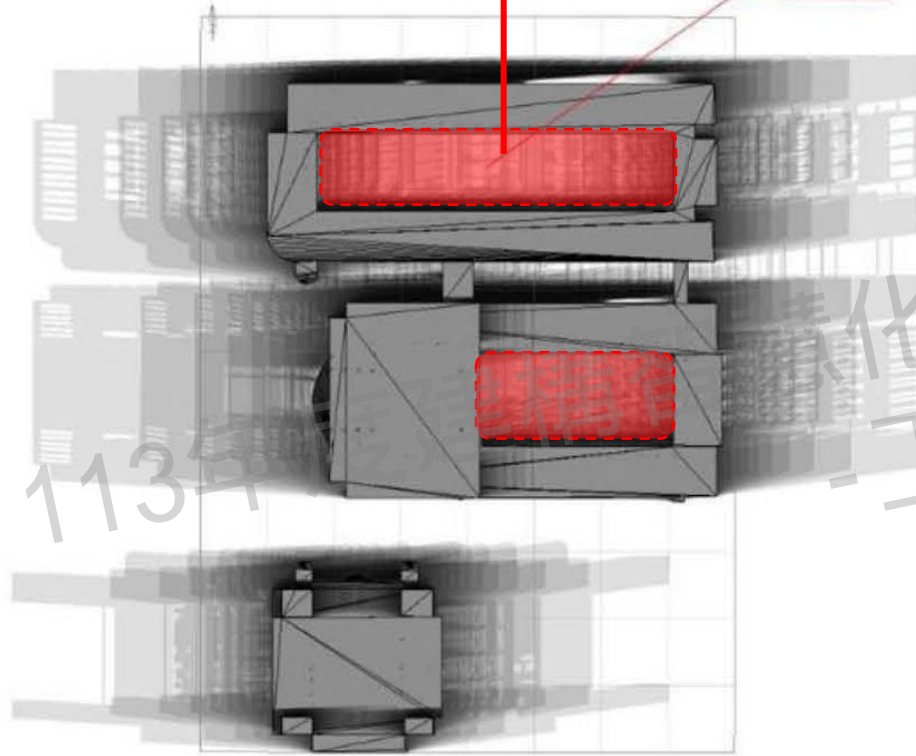
龍華國中改造方案

1. 盤點校園空間開放部分通風路徑空間改善環境。
2. 針對主要靜風區域進行改善。
3. 搭配中庭改善中庭鋪面材質，改善現況通風不良濕氣累積的問題。

110年示範校-高雄市龍華國中

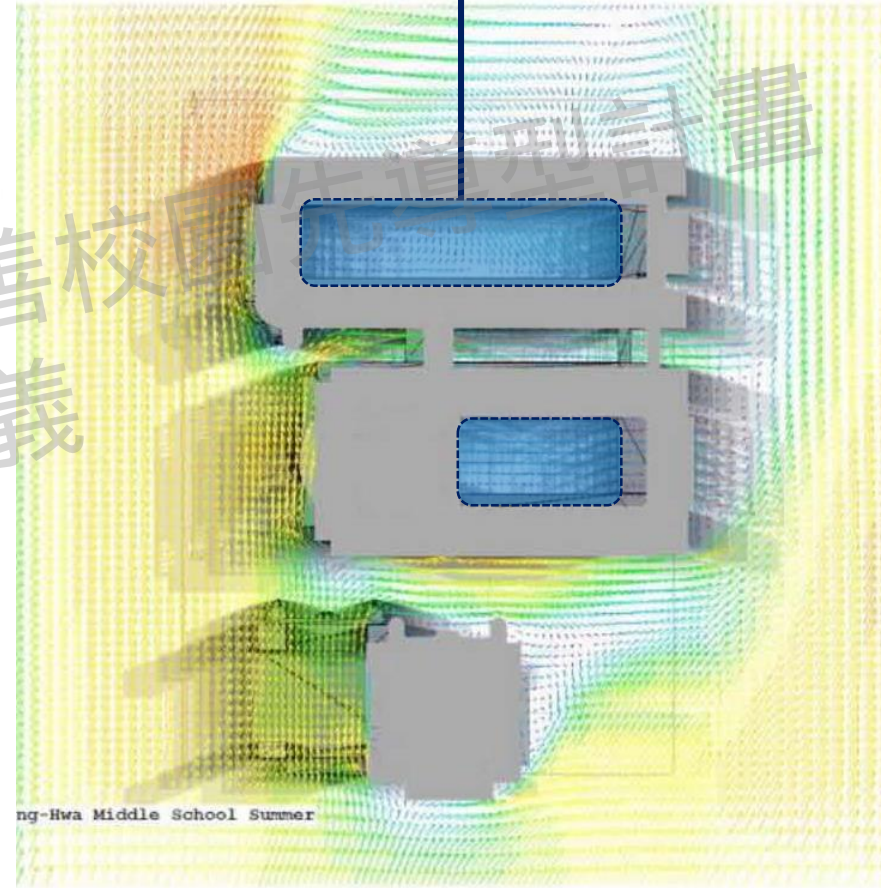
高溫悶熱區域

春秋季白日主要陰影分析



中庭區域在春秋季為日照遮蔽率較低(因為正東西向), 尤其在秋季會造成中庭熱累積

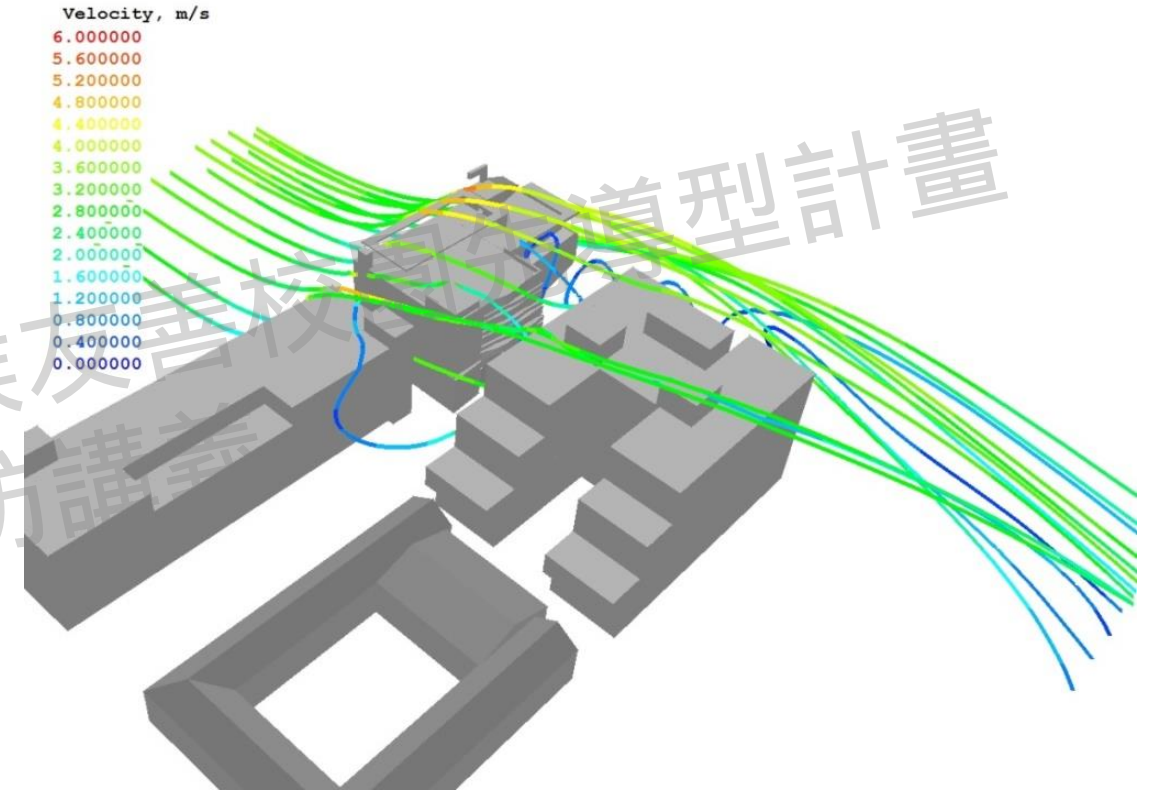
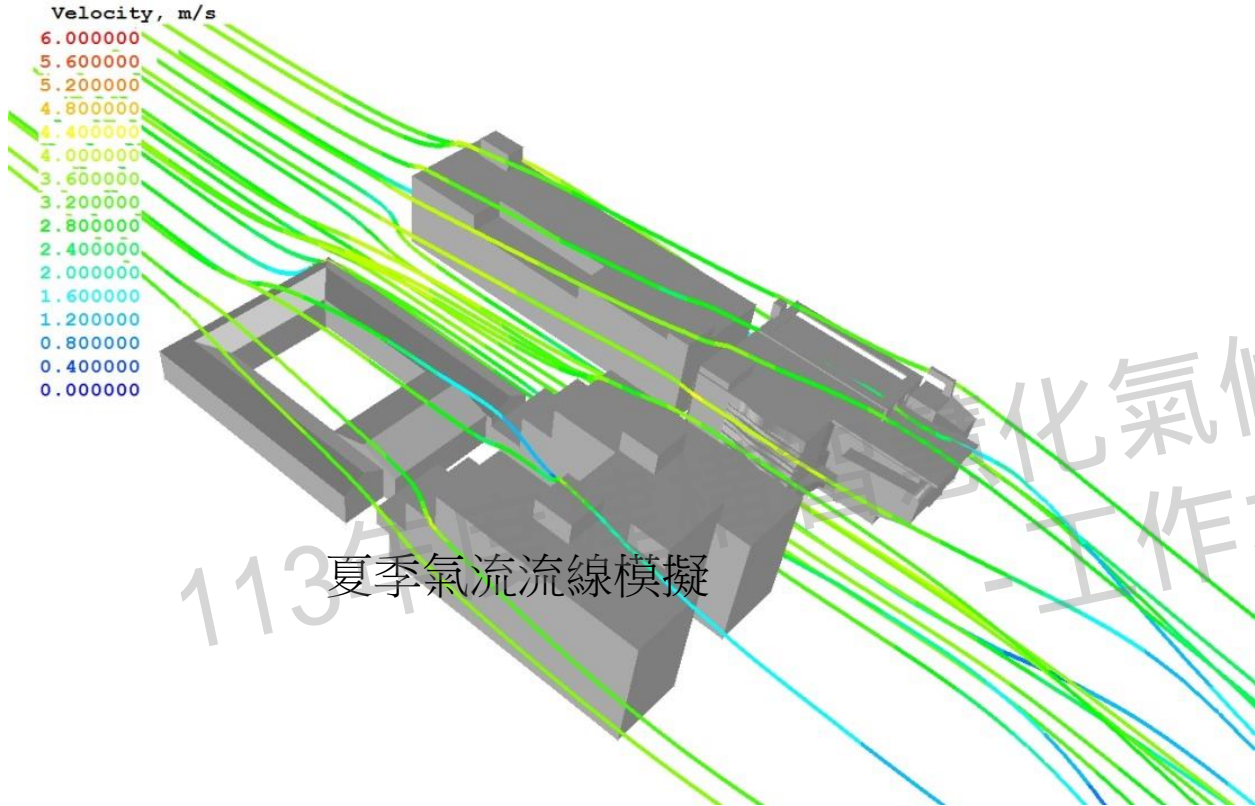
靜風區域



113年

氣候友善校園
工作坊講義

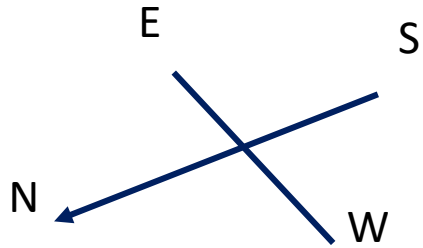
110年示範校-高雄市龍華國中



透過氣流模擬軟體(CFD)，針對建築物量體與周邊氣流之間的關係，有效檢討是否能引導外部氣流導入室內，協助熱氣排除與導入新鮮外氣。

冬季氣流流線模擬

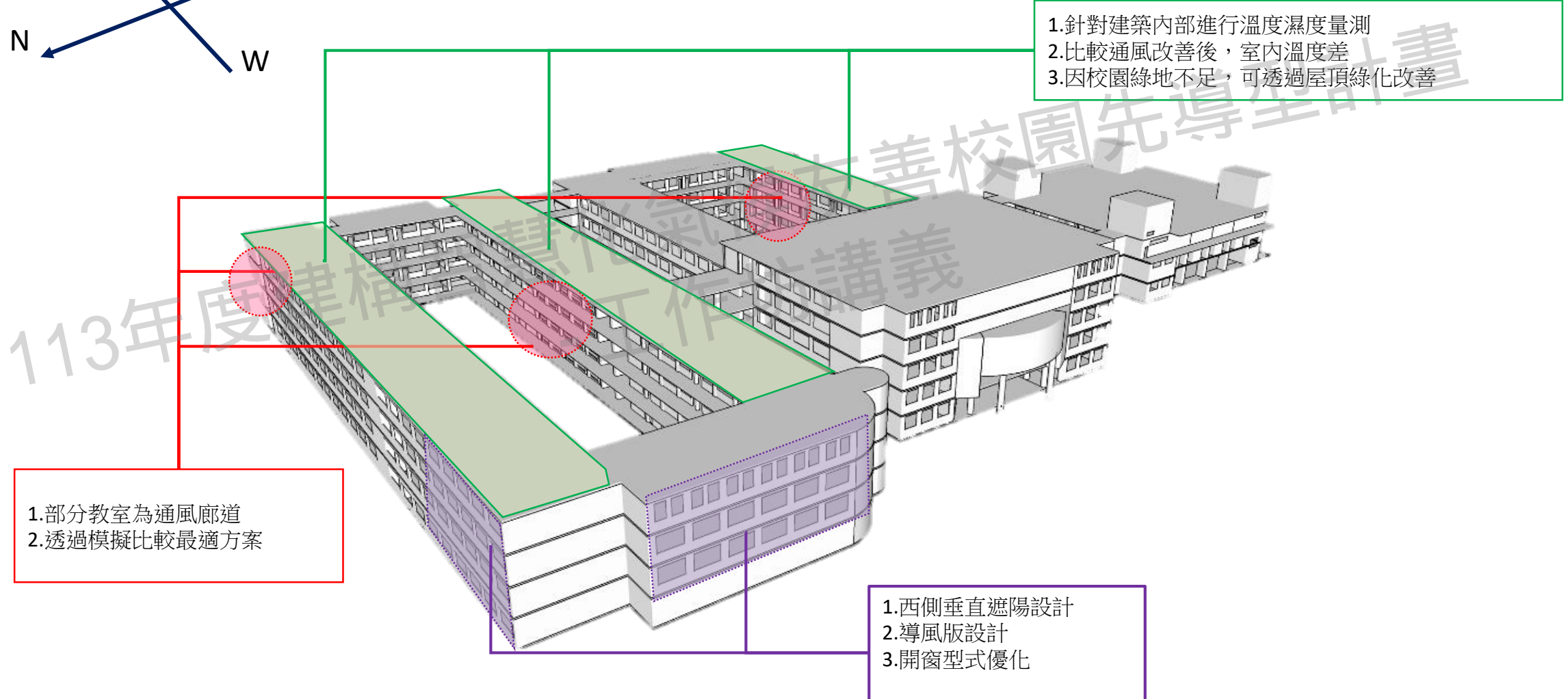
110年示範校-高雄市龍華國中



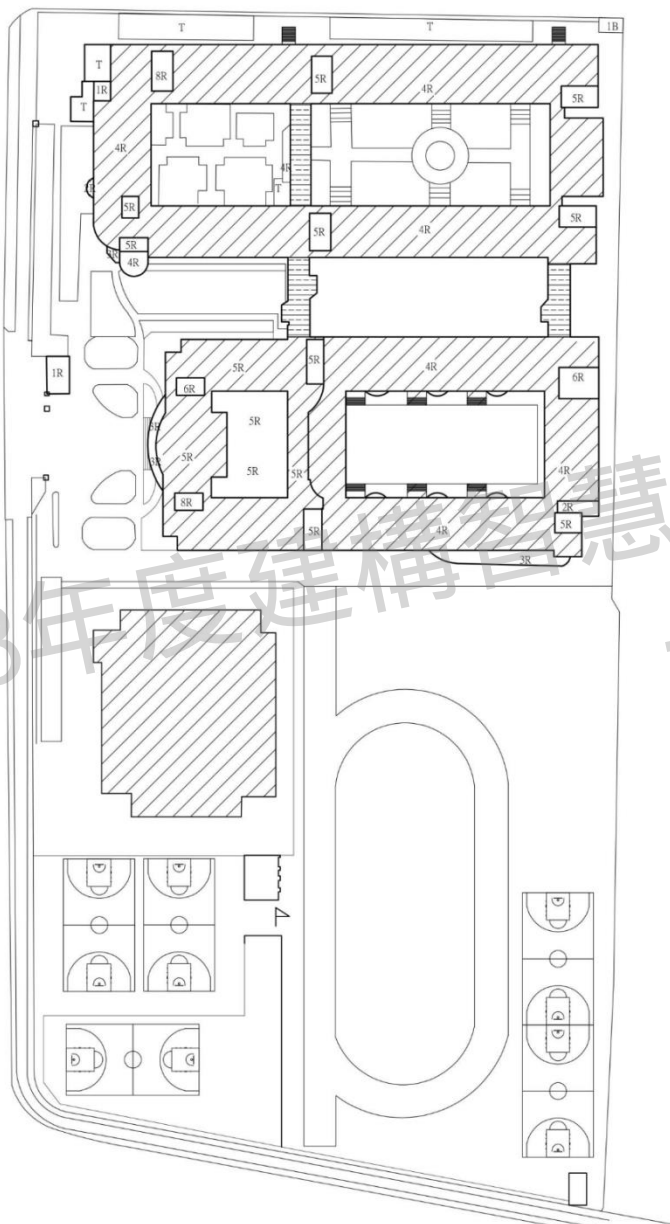
- 1.針對建築內部進行溫度濕度量測
- 2.比較通風改善後，室內溫度差
- 3.因校園綠地不足，可透過屋頂綠化改善

- 1.部分教室為通風廊道
- 2.透過模擬比較最適方案

- 1.西側垂直遮陽設計
- 2.導風版設計
- 3.開窗型式優化



110年示範校-高雄市龍華國中



通風不良區域

1.校園主要通風口被既有建築外牆開口型式而阻礙風的主要納氣口



路徑不良區域

1.中庭風主要路徑口被既有遮陽板型式而阻礙風的主要路徑



路徑不良區域

1.校園主要路徑口被既有空橋外牆欄杆型式而阻礙風的主要路徑



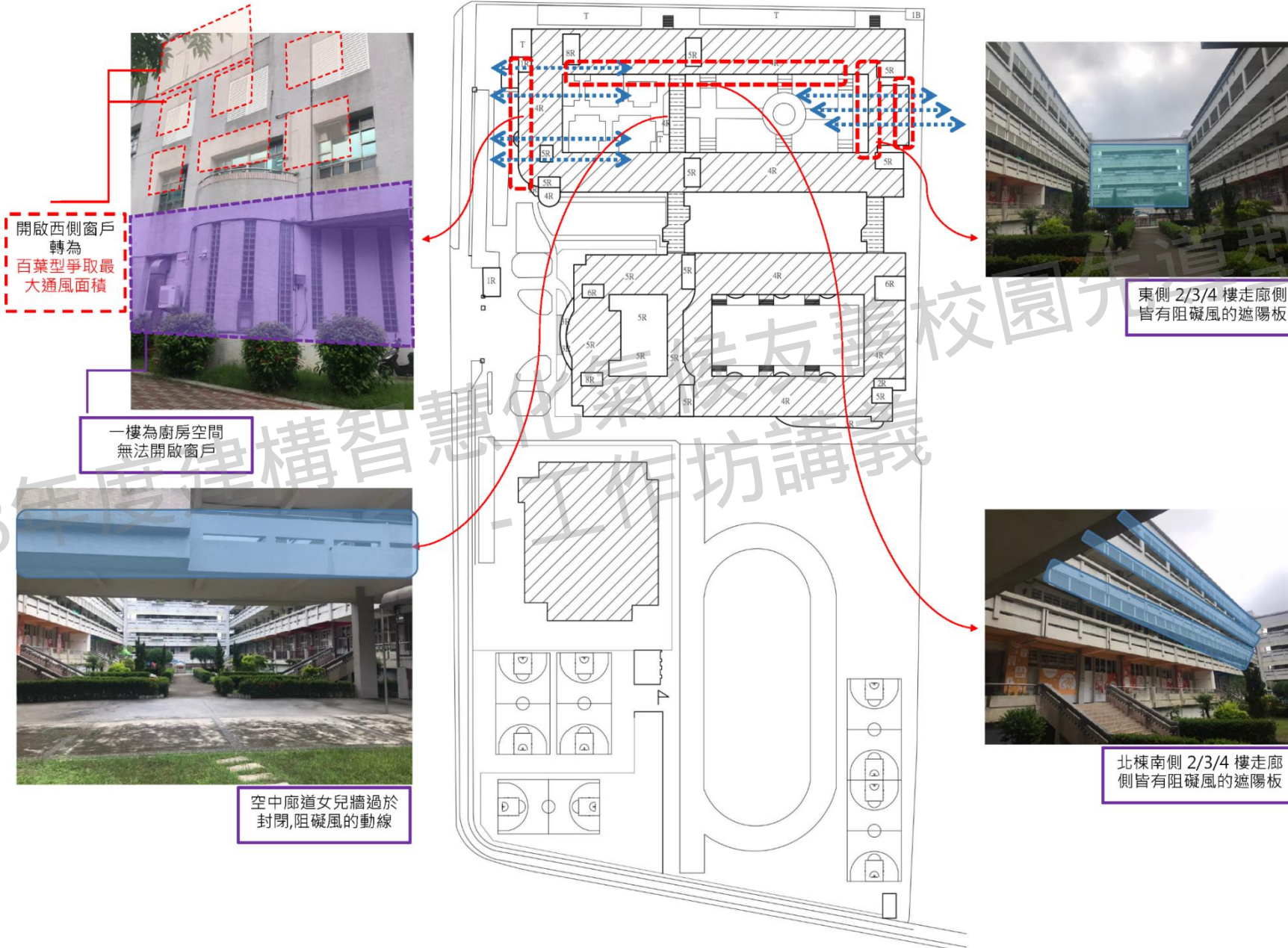
熱不良區域

1.校園硬鋪面導致熱環境產生



引風~~納氣~~排熱

110年示範校-高雄市龍華國中



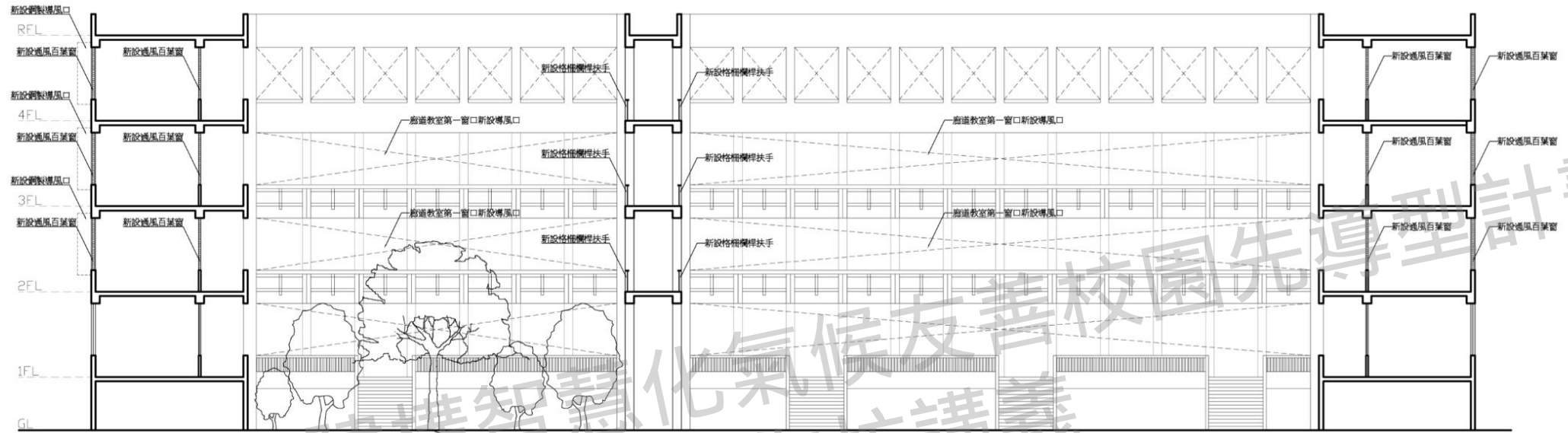
御風之龍 對策系統圖 校舍悶熱悶熱解決方式

大畫

113年度

智慧化校園工作坊講義

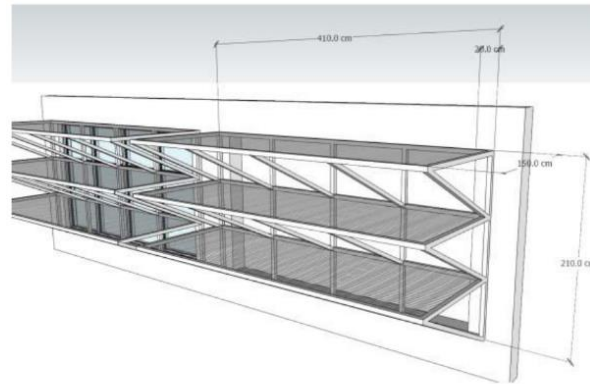
110年示範校-高雄市龍華國中



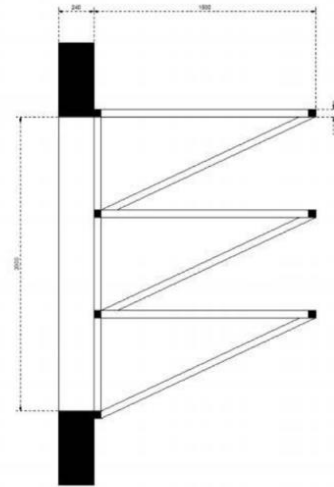
御風之龍 對策系統圖 風道教室



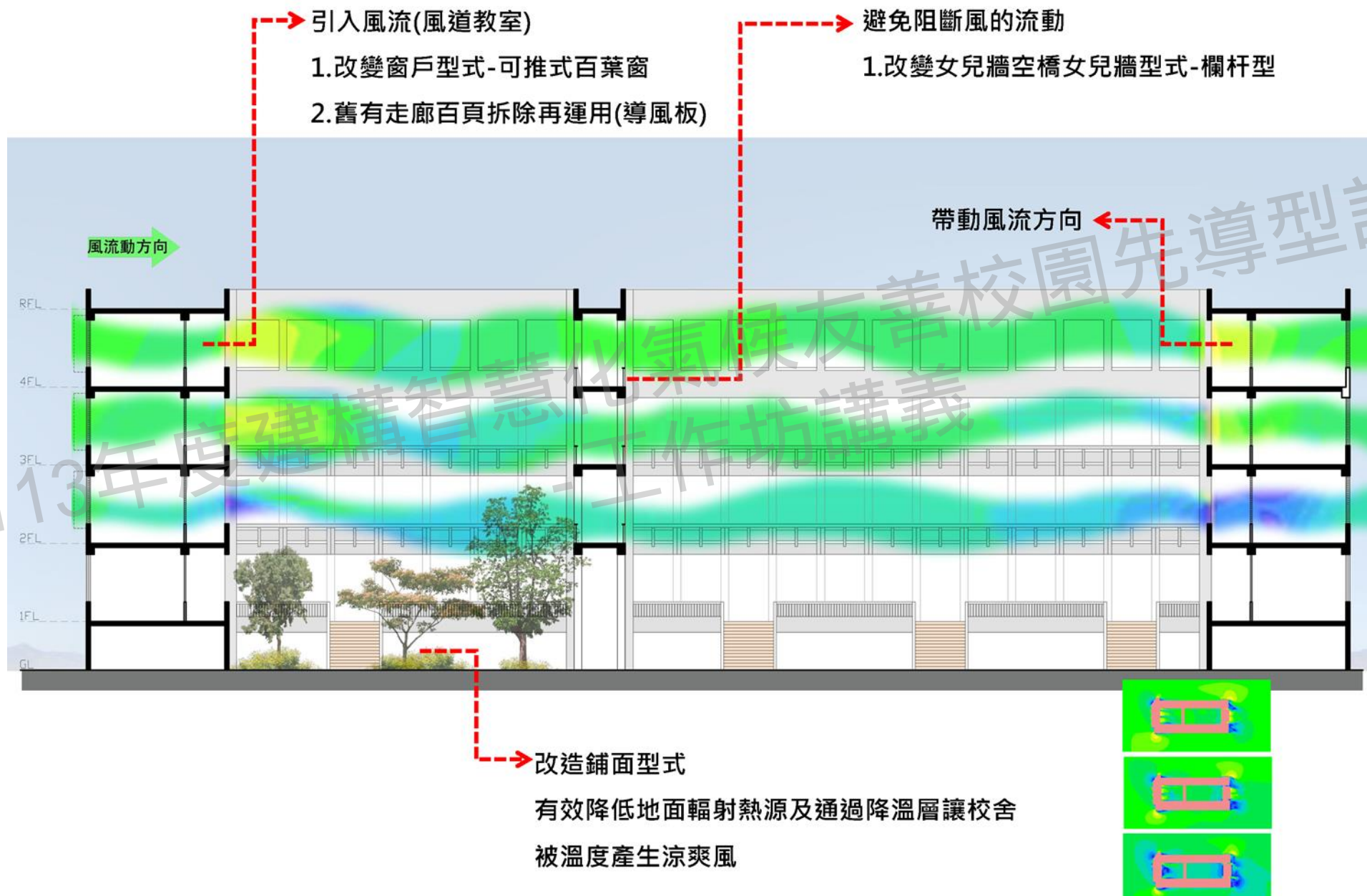
新設百葉窗樣式示意圖



舊有遮陽百頁再利用示意圖



110年示範校-高雄市龍華國中



110年示範校-高雄市龍華國中



改造前



改造前



改造前

113年度建構智慧校園-工作坊講義



改造後



改造後



改造後

高雄市節能減碳計畫示範校-阿蓮國小

Ecology

Energy Saving

Waste Reduction

Health

1. 綠化量指標
(老樹保留、複層式植栽)



2. 基地保水指標
(透水鋪面、綠置面積)



3. 日常節能指標
(建築外殼、照明、空調(多聯變頻系統))



4. CO2減量指標
(建築材料、結構合理、輕量化、耐久性、易維護)



5. 廢棄物減量指標
(土方平衡、模矩規劃、明管設計)



6. 室內環境指標
(隔音、採光通風、綠建材)



7. 水資源指標
(雨水貯集再利用、省水設備)



8. 汙水及垃圾改善指標
(雨汙水分流、垃圾分類)



高雄市節能減碳計畫示範校-阿蓮國小

因應班班有冷氣，我們也提出節能降溫策略來解決問題

因應全球氣候變遷，蓮小永續循環校園計畫朝著建構一個符合【永續循環校園】

(永續發展目標SDGs)，讓師生舒適的學習環境及社區最佳休憩空間而努力。

一、以學生學習為考量的校園環境規劃。

二、以友善校園環境作為全面規劃考量。

三、以解決校園面臨的法規問題為導向。

四、以節能減碳舒適環境為取向為目標。

校園可進行水、光、綠、熱等四面向探索，
從探索中發現校園問題，逐一解決問題。

五、以學校歷史特色作為意象傳承發揮。

六、以美感教育融入校園教學情境佈置。

- 01 外環境通風條件(風向、風速)**
 - 1.透過衛星資料與校園自我觀察記錄
 - 2.規劃校園環境有效防風減風路徑
 - 3.採用垂直綠化植物校園風環境
- 02 周邊建築熱島效應(建築密度、周邊綠地)**
 - 1.校園周邊建築與校園熱島效應
 - 2.綠地、綠廊、綠帶、透風條件、建築材料等
 - 3.採用垂直綠化、綠屋、日照綠廊
- 03 常態性空污影響(生物性與化學性空污)**
 - 1.空污特性(季節、時間、空間)
 - 2.空污特性(污染性、固空性)、高層建築(生物性污染)、校園內空污
 - 3.採用校園環境改善措施校園環境
- 04 校園水資源系統**
 - 1.校園草地供水系統與灌溉性
 - 2.高中水系統安裝運用中水
 - 3.配合地勢將灌溉水引導至低窪區，並安裝節水系統。
- 05 校園綠基盤系統**
 - 1.綠地植栽搭配微氣候達到環境優化
 - 2.整修降溫層，解決外部高溫影響室內環境
 - 3.採擇生態需水量較低系統
 - 4.校園降溫對策應用(硬鋪面改地)



區域內缺乏可供水之水線留設，造成澆灌不易。

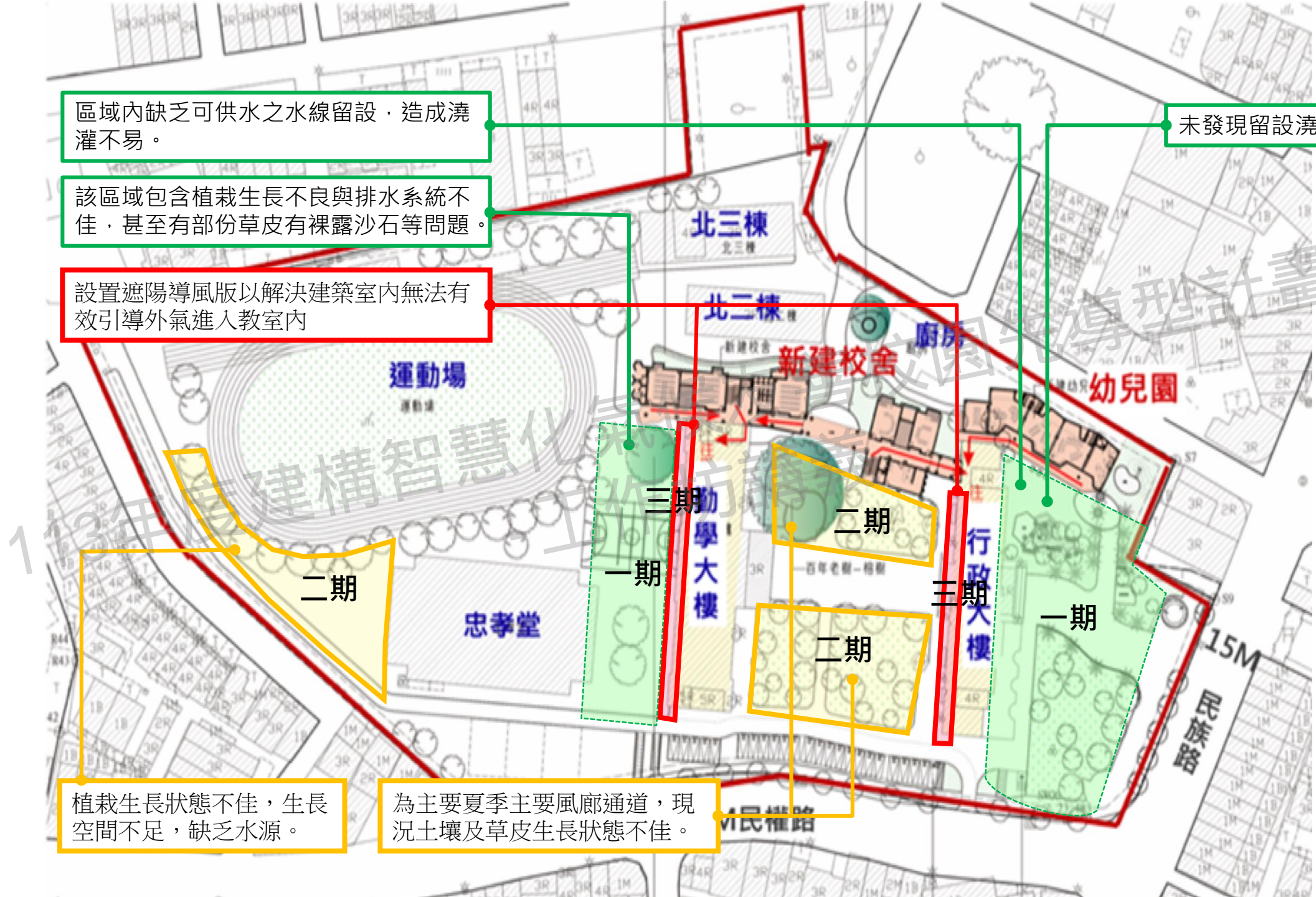
該區域包含植栽生長不良與排水系統不佳，甚至有部份草皮有裸露沙石等問題。

設置遮陽導風版以解決建築室內無法有效引導外氣進入教室內

未發現留設澆灌系統

植栽生長狀態不佳，生長空間不足，缺乏水源。

為主要夏季主要風廊通道，現況土壤及草皮生長狀態不佳。



建議該區域進行綠化(種植喬木或草地均可)。

區域內缺乏可供水之水線留設，造成澆灌不易。

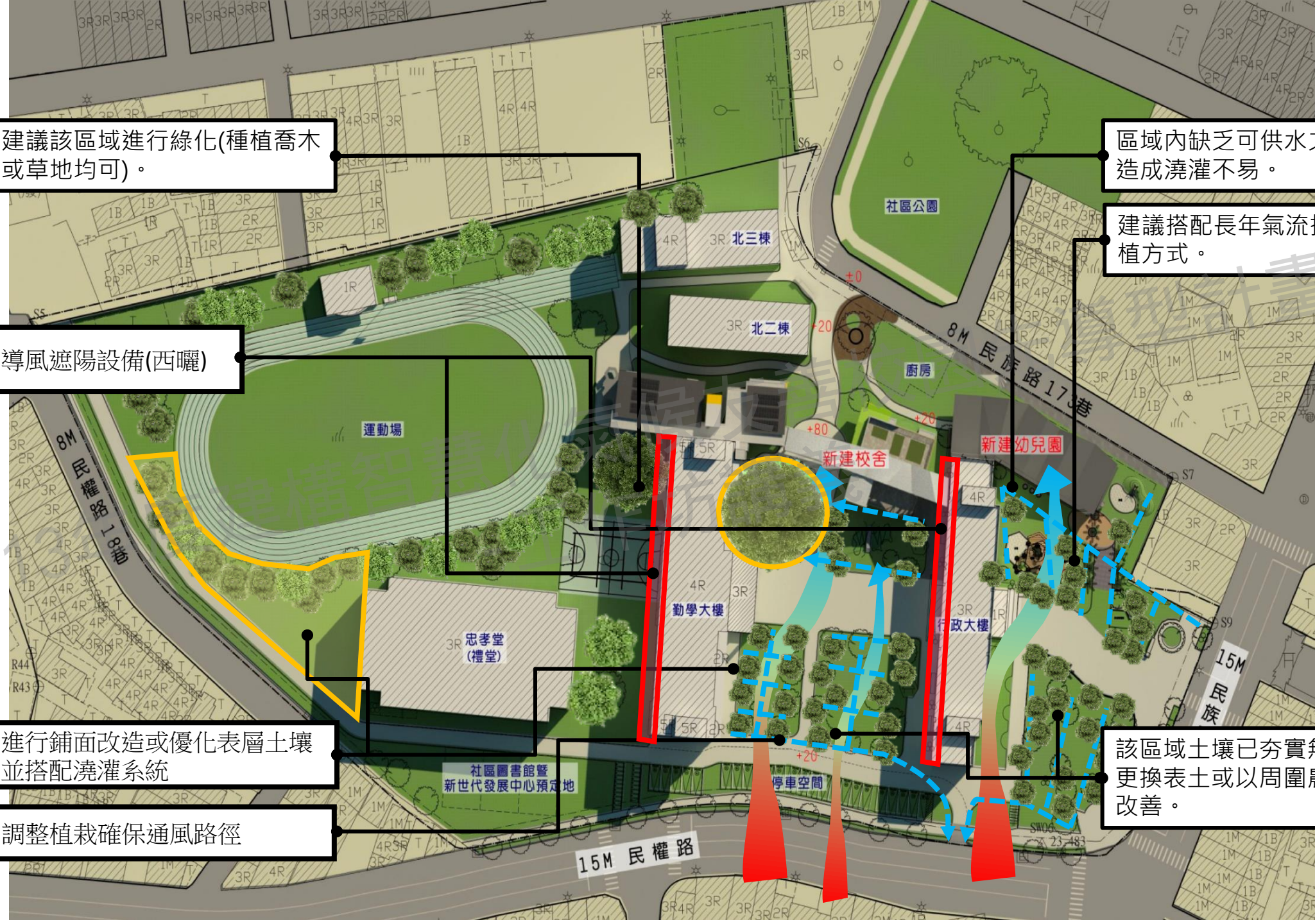
建議搭配長年氣流搭配植栽種植方式。

導風遮陽設備(西曬)

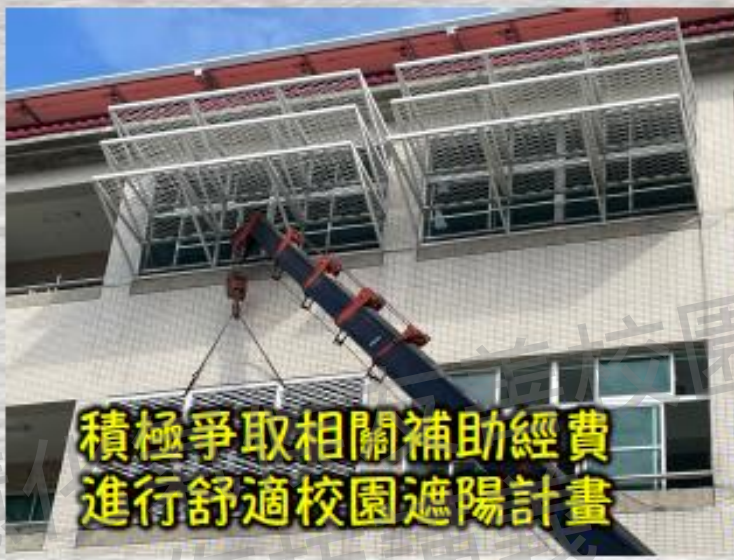
進行鋪面改造或優化表層土壤並搭配澆灌系統

調整植栽確保通風路徑

該區域土壤已夯實無養分，可更換表土或以周圍農地之沃土改善。



高雄市節能減碳計畫示範校-阿蓮國小



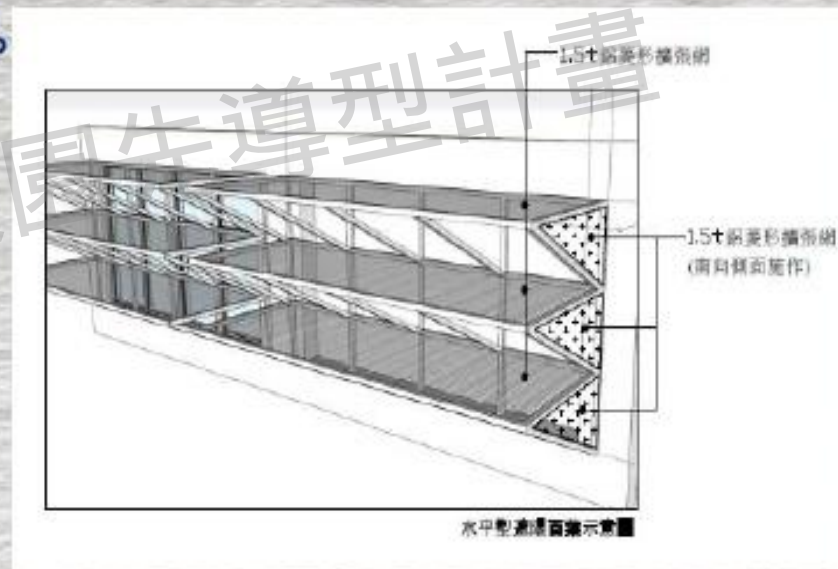
高雄市節能減碳計畫示範校-阿蓮國小

申請方案：

- 以通風開窗模式搭配遮陽導光，改善教室西曬悶熱問題。
所需經費新台幣490,000元。
- 勤學樓東側庭園鋪面則以多層次綠化方式讓草地重現。
所需經費新台幣10,000元。

預期效果：

- 降溫後，能有效延後空調使用時機暨達成節能減碳，又促進能源永續循環。
- 草皮鋪面增加地表含水量，降低溫度，營造生態綠化。



高雄市節能減碳計畫示範校-阿蓮國小



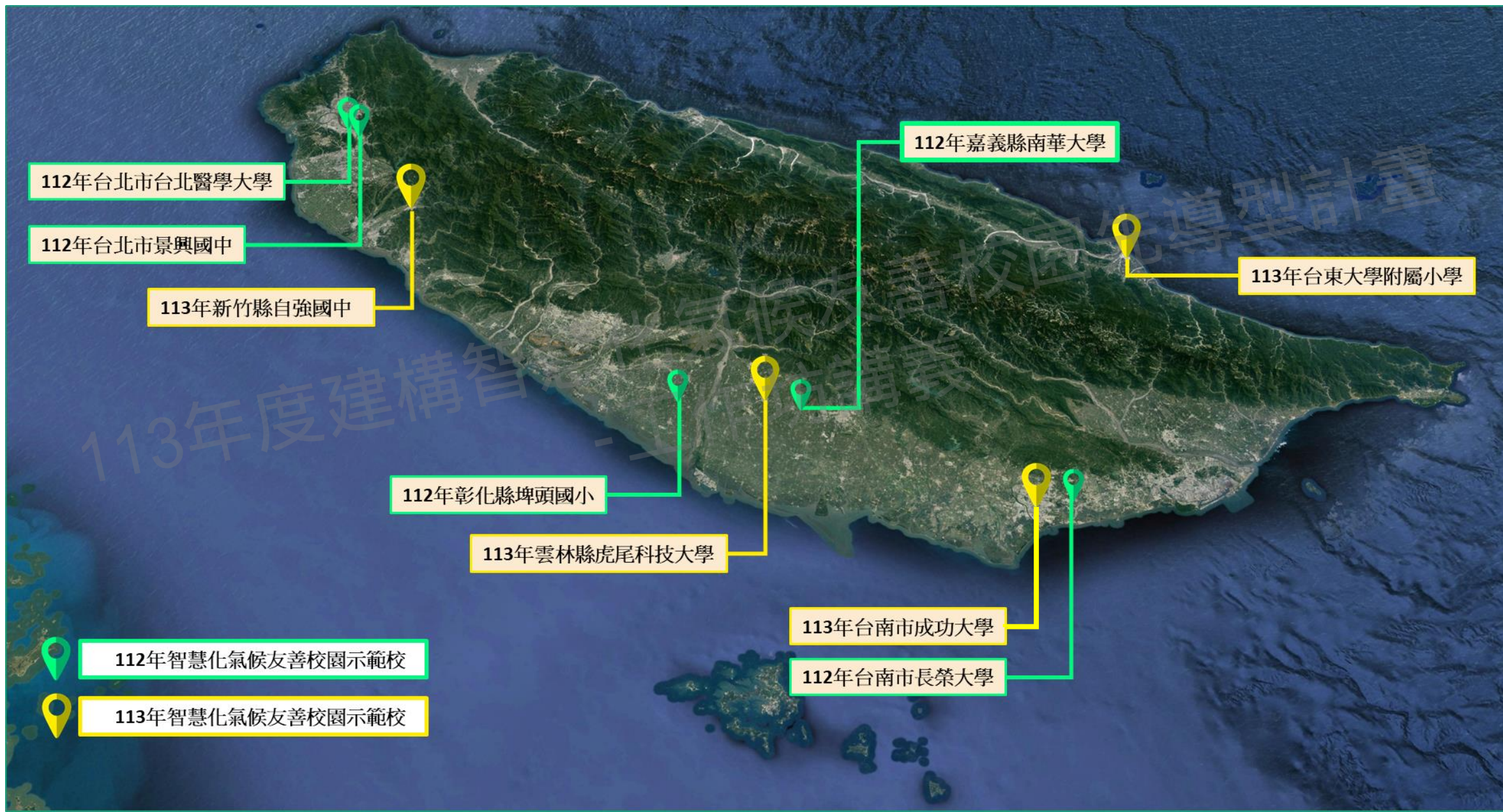
勤學樓3樓每當上午10點過後陽光漸強，班級教室捲簾紛紛放下，只為阻擋陽光照射。



勤學樓3樓的水平式遮陽百葉安裝完成，有效阻隔強光進入，讓班級教室不再長時間拉下捲簾。



112-113年智慧化氣候友善校園分布位置點



112年智慧化氣候友善校園執行成果

	台北醫學大學	台北市景興國中	彰化縣埤頭國小	嘉義縣南華大學	台南市長榮大學
能源與微氣候	1.以 2020 年為基準年，最佳化調控作為之後， 預估節電 15%。約減少二氧化碳 1268.5 噸/年 2.每年發電量106,000KWH， 減少二氧化碳41.7噸/年 。(校方自籌項目)		1.有效節省 10%~15%電費，約減少二氧化碳3.6441噸/年 。 2.提供風力及人體動能發電教學教材教具 3.增加綠電收入30~35萬元/年 4.增加10%陰影面積	1.預估減少 5%電費，約減少二氧化碳207.53噸/年 。 2.建築物及內部架設微氣象站 3.建立空氣品質不佳通報機制 4.建立降雨災害感知機制 5.更換舊有空調與照明， 減少二氧化碳22.91噸/年	1.周邊設置7.5KWP電力需求， 減少二氧化碳22.4 噸/年 。(包含既有光電系統) 2.完備珍古德教室建築及週邊設施綠色能源之使用與展示。
水與綠系統	預計可節約水量約 5.79% 節約水量 9,882噸/年 減少二氧化碳 91.7 噸/年		1.合併每年 15%節水效率，約減少二氧化碳 0.3048噸/年 。 2.增加10%綠化面積，提升滲透保水效益， 約減少二氧化碳 0.0582噸/年 。	1.將中水回收系統連貫，減少經處理之回收水溢流， 預估減少 10~15%水費。約減少二氧化碳 8.7噸 。 2.完成植樹面積至少1公頃，增加南華大學樹木固碳量。 約減少二氧化碳20噸/年 。	1.乾式滯洪池，預估可存 7.9公噸雨水 。中雨水回收池， 預估可儲存51.9公噸雨水。減少二氧化碳 29.71噸/年 3.原生種喬木12株&養護。 減少二氧化碳0.018噸/年
環境與健康	室內二氧化碳超標時間減少 80%，減少約二氧化碳94.89噸/年	1.若室外溫度34度時，每間教室可降溫 1.5~2度左右。約減少二氧化碳 39.44噸/年 2.監測空氣品質，啟動新風系統，引入潔淨新空氣，提升空氣品質。 3.減緩都市熱島效應、淨化空氣，延伸，延伸學校周遭綠帶。	1.透過偵測數據警示，及時加強通風降低二氧化碳濃度。 2.南向走廊增設水平遮陽導光板減少炫光，降低室內溫度		
資源與碳循環			增加率透水性鋪面與基地保水		1.植穴客土，提供植栽良好生長環境與條件。 2.改善土壤結構，達到土壤固碳效益
總減少排碳量	約二氧化碳 1494.79噸/年 全校總碳排放9553.38噸/年 佔全校 15.67 %	約二氧化碳39.44噸/年 全校總碳排放量419.19噸/年 佔全校9.41 %	約二氧化碳4.0071噸/年 全校總碳排放量58.38噸/年 佔全校6.86%	約二氧化碳259.14噸/年 全校總碳排放量5136.71噸/年 佔全校5.04%	約二氧化碳52.128噸/年 全校總碳排放量9457.52噸/年 佔全校1.10%

氣候友善校園困境~在地微氣候影響



活動中心阻斷通風路徑，影響西棟二樓通風效果

南風和東南風路徑受阻，巷道風協助降溫效果有限

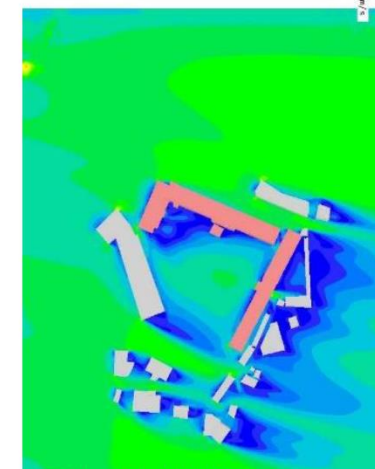
策略：
1. 加強導風設施，打開高窗，裝設吸排風扇

2. 導入智慧化監控設備，落實節能，強化減碳行動



北棟教室鄰近停車場，夏季硬鋪面溫度高，且因遮蔭不足，造成室內高溫

策略：
1. 調整地坪，增加綠化面積
2. 導入智慧化監控設備，落實節能，強化減碳



夏季氣流模擬

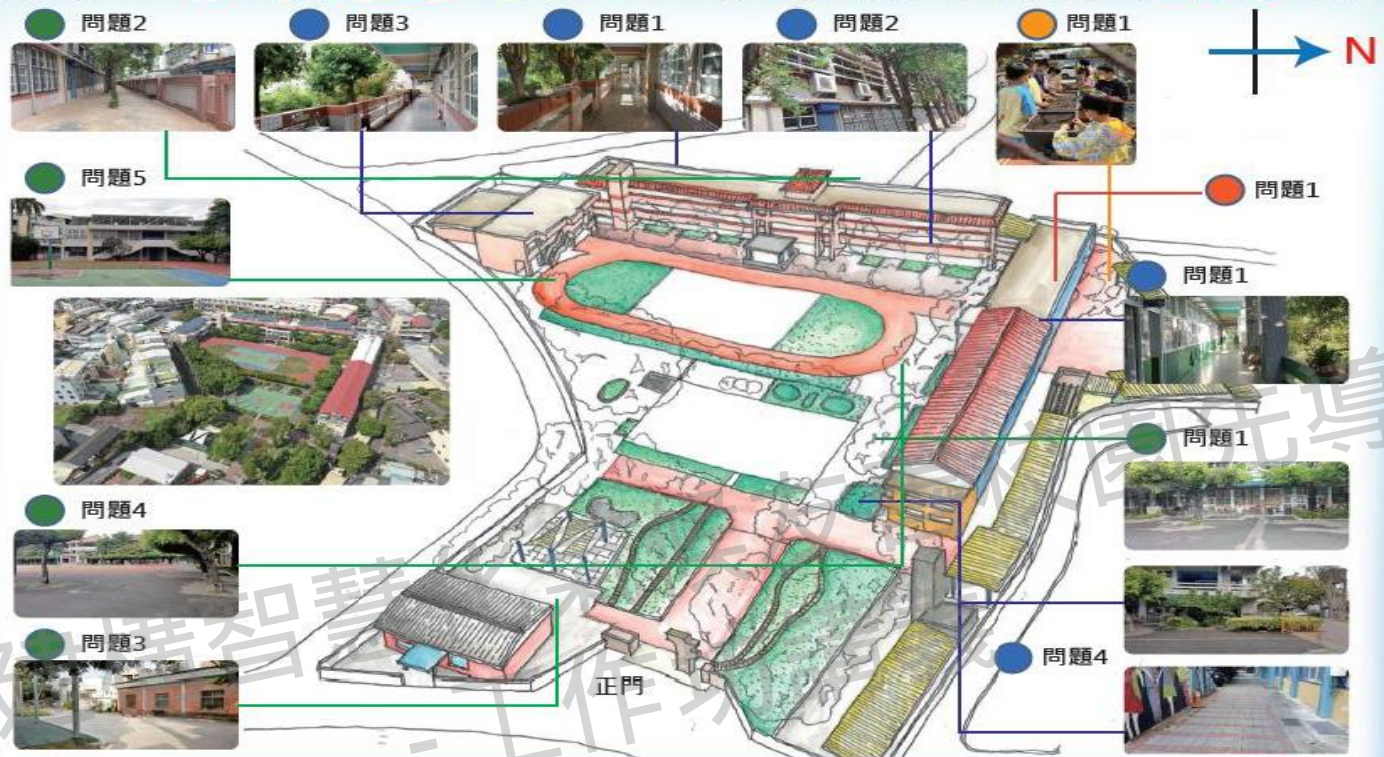


資源與碳循環

- 問題1.校地太小，食農教育發展受限
策略~運用植物園及周邊空地，以盆栽栽種作物，並與農會合作推廣食農教育
- 問題2.校內閒置課桌椅的再利用
策略~彩繪課桌椅作為休憩、藝文佈展道具或食農棚架，其餘提供社區或策略聯盟學校使用

水與綠系統

- 問題1.北棟一F 幼兒園走廊地勢最低，容易淹水
策略~暢通排水溝，清除陰井落葉，增加周邊透水面積，檢討校內外排水系統，引導逕流水至可暫時淹水區
- 問題2.西棟教室後面為硬鋪面不利雨水滲透
策略~擴大樹穴，增加透水面積
- 問題3.校外排水系統較高，社區活動中心周邊空地地勢低極易淹水
策略~將水泥鋪面改為透水鋪面，兼顧車道和透水功能，並可作為暫時淹水區
- 問題4.樹穴太小，影響樹木生長；硬鋪面太多，不利雨水滲透
策略~擴大樹穴，提升透水效率
- 問題5.綠帶斷裂生態分佈不均
策略~以盆栽植物串連綠帶，增加生物多樣性



規劃藍圖

短：燈具及彈性迴路改善/擴大樹穴/推廣食農教育
 中：遮陽導光設施/增加透水鋪面/建立生態廊道
 長：雨水回收系統/改善排水系統

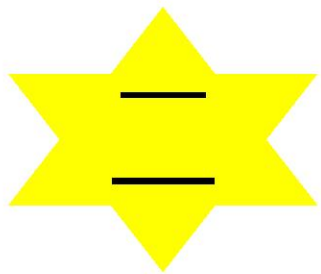


能源與微氣候

- 問題1.東西曬嚴重，室內溫度高
策略~走廊增設可調式遮陽導光板，降低室內溫度，依據光影分布，調整座位
- 問題2.既有西棟西側橫向水泥遮陽板，不利通風
策略~改為縱向遮陽導風版，引進西南風降低室內溫度
- 問題3.南棟活動中心擋住夏季氣流進入，西棟一二樓悶熱
策略~打開活動中心1F及2F大門及全部窗戶，維持通風路徑順暢，降低西棟教室溫度
- 問題4.車道和幼兒園走廊形成風口，冬天旋風盤旋
策略~移除幼兒園入口處假山及樹木，降低冬季季風盤旋效應

環境與健康

- 問題1.北棟教室頂樓缺少隔熱設施，夏季悶熱
策略~已完成屋頂裝設太陽能棚架，具隔熱效果，稍降低室內溫度
- 問題2.教室省電燈具及彈性迴路待改善
策略~已完成高年級及幼兒園教室照明及彈性迴路改善，其餘教室逐年完成
- 問題3.窗簾遮光影響通風
策略~改為上下兩段式百葉窗簾，兼具遮陽及通風效用



彙整 相關 課題 進行 改善



彰化縣埤頭國小112智慧化氣候友善校園基礎校計畫

探討
校園問題

資源與碳循環

問題1.校地太小，食農教育發展受限
策略~租借農地或運用植物園及周邊空地，以長條花槽栽種作物，並與農會合作推廣食農教育

問題2.校內閒置課桌椅的再利用
策略~彩繪課桌椅作為休憩、藝文佈展道具或食農棚架，提供社區或附近學校使用

水與綠系統

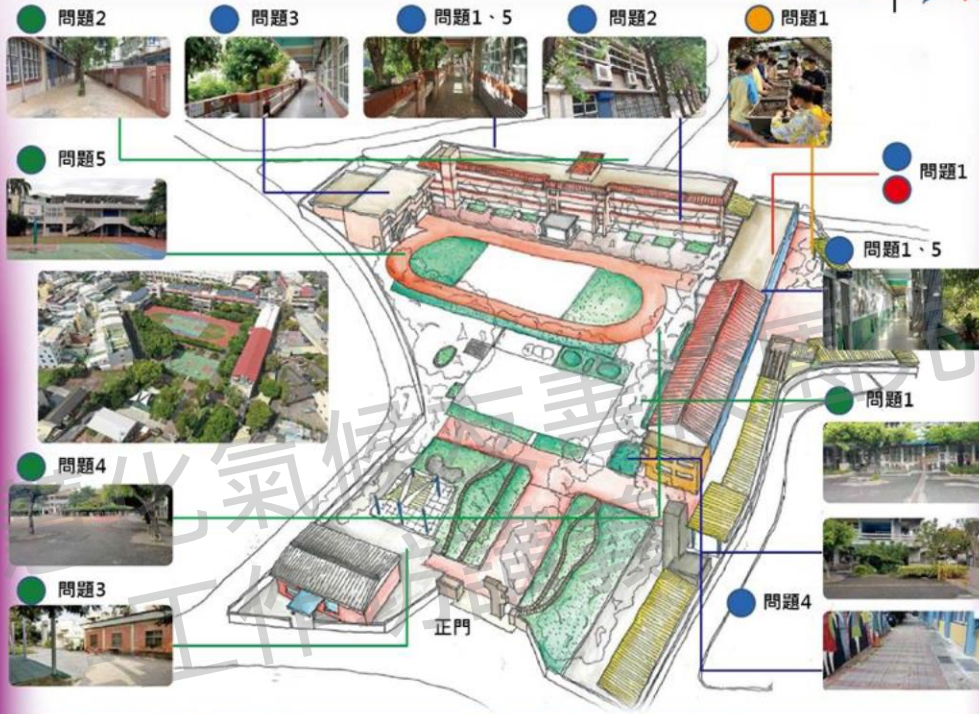
問題1.北棟一F 幼兒園走廊容易淹水
策略~暢通排水溝，清除陰井落葉，完成地坪改善，增加周邊透水面積

問題2.西棟教室後面硬鋪面不利雨水滲透
策略~擴大樹穴，增加透水面積

問題3.校外排水系統較高，社區活動中心周邊空地地勢低極易淹水
策略~設置地下蓄水池，收集地面逕流水提供綠地澆灌

問題4.樹穴太小，影響樹木生長；硬鋪面太多，不利雨水滲透
策略~擴大樹穴，增加透水鋪面

問題5.綠帶斷裂生態分佈不均
策略~以盆栽植物串連綠帶



規劃藍圖

短：燈具及彈性迴路改善/擴大樹穴/推廣食農教育/micro:bit即時監測系統
中：遮陽導光設施/增加透水鋪面/電子監控設備
長：中水及雨水回收系統/改善排水系統/電子監控設備及平台資料系統

碳盤查分析



能源與微氣候

問題1.東西曬嚴重，室內溫度高
策略~屋頂已裝設太陽能板，降低室內溫度，依據光影分布，調整座位

問題2.西棟西側橫向水泥遮陽板，不利通風
策略~考量結構安全，不宜拆除水泥遮陽板，室內裝設吸排風扇強制通風

問題3.南棟活動中心擋住夏季氣流進入，西棟一二樓悶熱
策略~打開活動中心1F及2F大門及全部窗戶，打造通風路徑，教室裝吸排風扇加強導風，降低西棟教室溫度

問題4.車道與幼兒園走廊形成風口，冬天易產生旋風盤旋現象
策略~已移除幼兒園入口假山及樹木，改為入口意象展演平台，降低冬季季風盤旋影響

問題5.教室省電燈具及彈性迴路待改善
策略~已完成高年級及幼兒園教室照明及彈性迴路改善，其餘教室逐年完成

環境與健康

問題1.北棟教室頂樓缺少隔熱設施，夏季悶熱
策略~已完成屋頂裝設太陽能棚架，具隔熱效果，稍降低室內溫度

問題2.窗簾遮光影響通風
策略~改兩段式百葉窗簾，兼具遮陽及通風效用

碳盤查教學



Microbit組裝室內亮度溫度測量



校園盤查與發展課題設定

埤頭國小智慧化氣候友善校園 示範主題

碳盤查

1. 基本資料
2. 固定式排放源 (燃料)
3. 移動式排放源 (燃料)
- 4.1 逸散性排放源 (汙水)
- 4.2 逸散性排放源 (冷氣冷媒、滅火器)
5. 能源間接排放源 (外購電力)
6. 其他間接排放源 (外購水力)
- 7.1.1、負碳排放源 (再生能源)
- 7.1.2、負碳排放源 (生態固碳)
- 7.2.1、減碳作為/策略 (建築/設備節能)

能源

1. 全校性智慧電表
2. 室內節能監控搭配微氣候 (風速、溫度、溼度、CO2、照度、感測器)
3. AIoT整合控制及資料圖像化平台
4. 微型氣象站
5. 氣候友善相關設施
 - * 強制通風吸排風扇
 - * LED省能燈具與彈性迴路
 - * 高窗紗窗/遮光簾
 - * 車棚光害改善

水

1. 智慧水表
2. 中水系統
3. 自動偵濕澆灌系統
4. 雨水回收地下儲水池 (收集地面逕流水做綠地澆灌，同時降低颱風、急降雨災害)
5. 停車場北側地坪透水性改善

水盤查

- 飲用水
- 一般用水
- 澆灌用水
- 沖廁用水
- RO回收廢水

三.1

搭配智慧化工具監測**能源**使用

- 1. 室內通風換氣改善~ 強制通風**吸排風扇**、高窗設置紗窗
- 2. 室內照明改善~ LED 省能**燈具與彈性迴路**
- 3. 室內遮陽改善~ 遮光簾
- 4. 停車場棚架光害改善

工程

監測能源
使用

設備

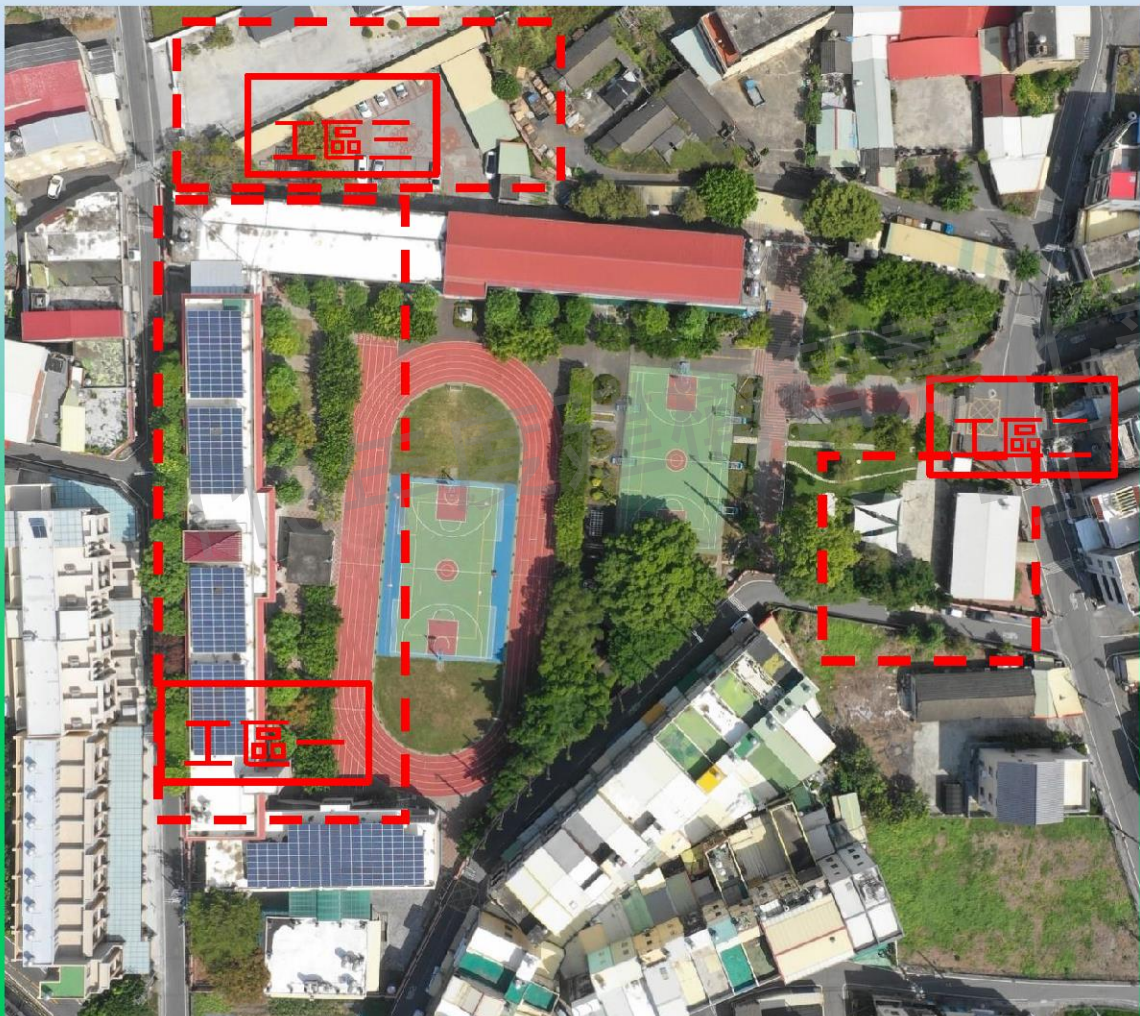
- 1. 全校性智慧電表
- 2. 班級智慧電表
- 3. 風速、溫度、溼度、CO2、照度感測器
- 4. 自動監控系統
- 5. 感測傳輸
- 6. 微型氣象站

收集數據判斷啟動

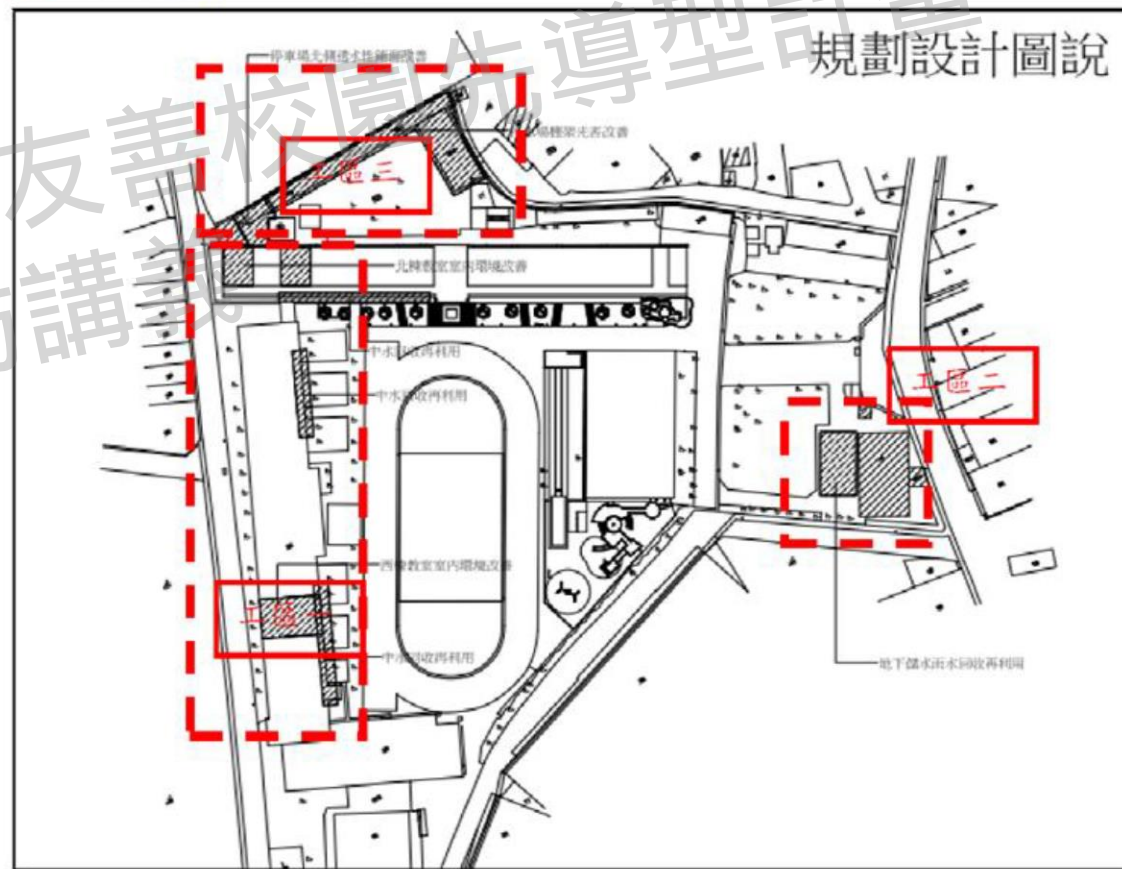
平台資料庫

環境工程改善

- 工區一：西棟和北棟教室：LED節能燈具暨彈性迴路改善、通風改善、遮光簾、中水回收再利用
- 工區二：雨水回收再利用
- 工區三：停車場北側透水鋪面改善、車棚棚架光害改善



工區配置圖：本案擬分為3各施工區域，施工期間可獨立施作
圖2 工區配置圖





智慧監控教室-裝設位置

設備裝設模擬圖



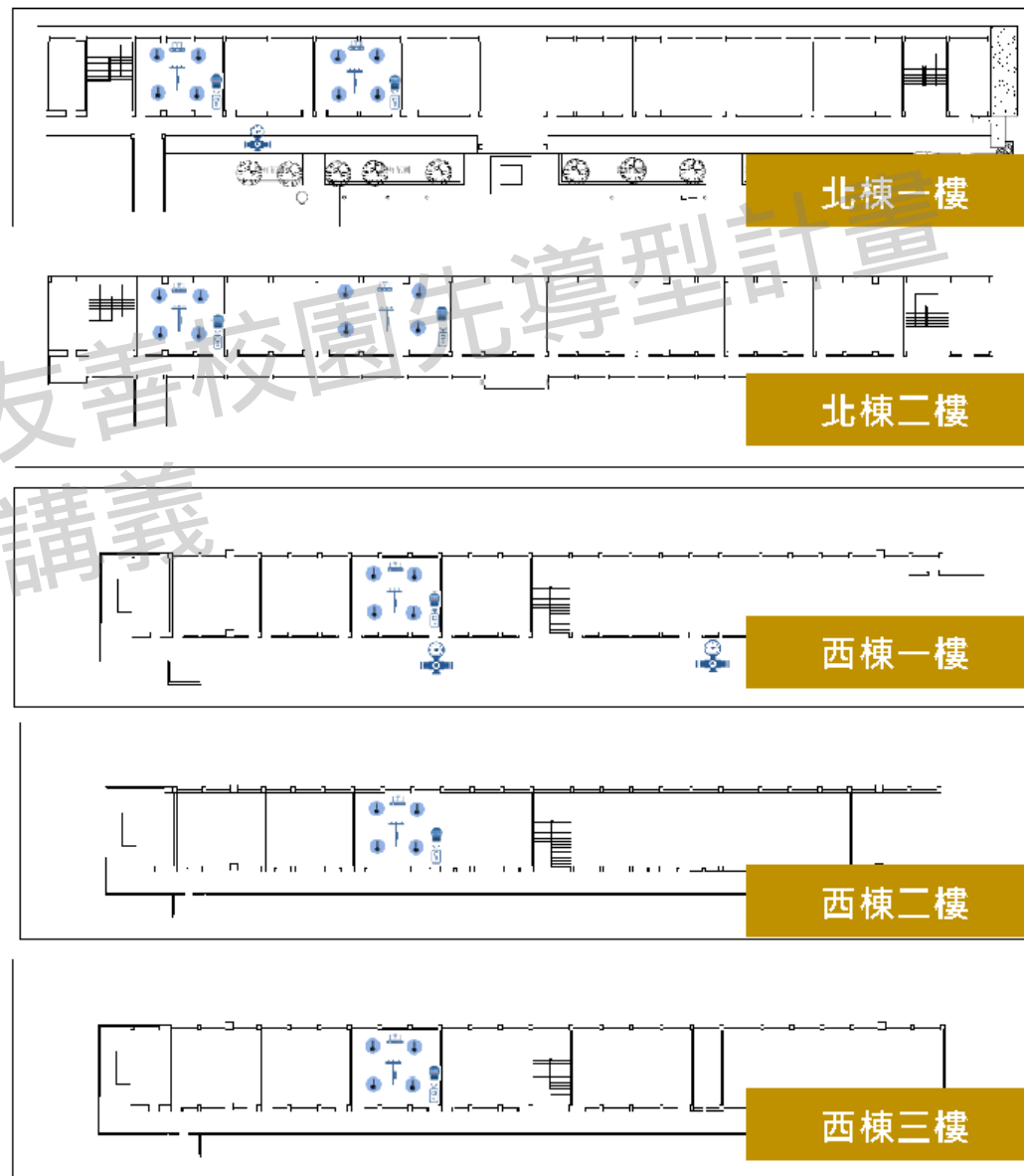
西棟教室3F-六乙

- 教室內部裝設溫溼度、光照感測器各一個於天花板上、智慧電表與控制器裝設於黑板旁電箱內、gateway接收器裝設於牆壁上。
- 建置一個移動站，上面放著溫溼度、光照感測器、二氧化碳濃度計、風速計。

移動站



因教室的坐向、方位不同，亦有部分教室附近外，有大型樹木，其目的為監控觀察教室內風場及風的對流、東西向日照的關係。





智慧監控設備

微型氣象站

用於收集和監測大氣環境的各種參數。
 本計畫提供風向風速、室外溫溼度、氣壓、雨量、UV及日射。



項目	規格
風向風速計	經風洞測試至200mph (320km/h; 88.9 m/s)
雨量計	最小測量值為0.01或是公制 0.2 mm
自然通風筒	避免紫外線及其他輻射干擾溫度 / 溼度的測量 值
強制通風筒	24小時運作的強制通風筒附有額外的太陽能板提供電力
溫度、溼度感應器	溫溼度感應器置於通風筒內，能夠有效避免紫外線及其他輻射的干擾
太陽能板	白天提供無線氣象站電力，晚上則由電池提供電力。陰天則有備用的鋰電池提供電力
構造	耐氣候外殼
日射計和紫外線感應器	感應器可以追蹤紫外線、蒸散及 UV 指數

- 學校司令台上方為日照、風場及雨量偵測安置上，為合適的地方。
- 施作過程以螺絲固定微型氣象站鐵桿，再依序安裝配置風速計、雨水偵測器及其他訊號設定等。

工區3：停車場北側透水性鋪面改善
停車場棚架光害改善



圖 13(工區三) 停車場棚架光害改善平面配置圖

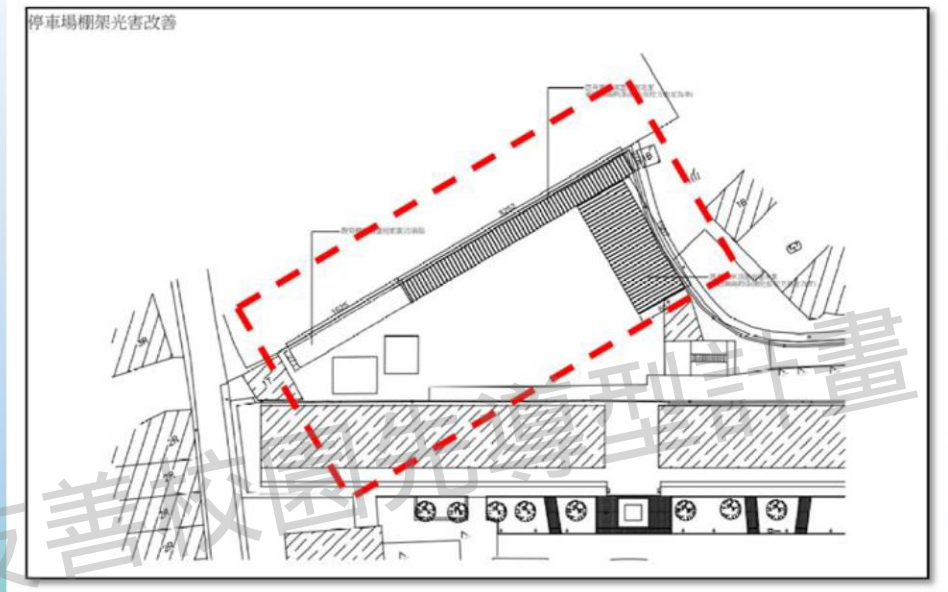
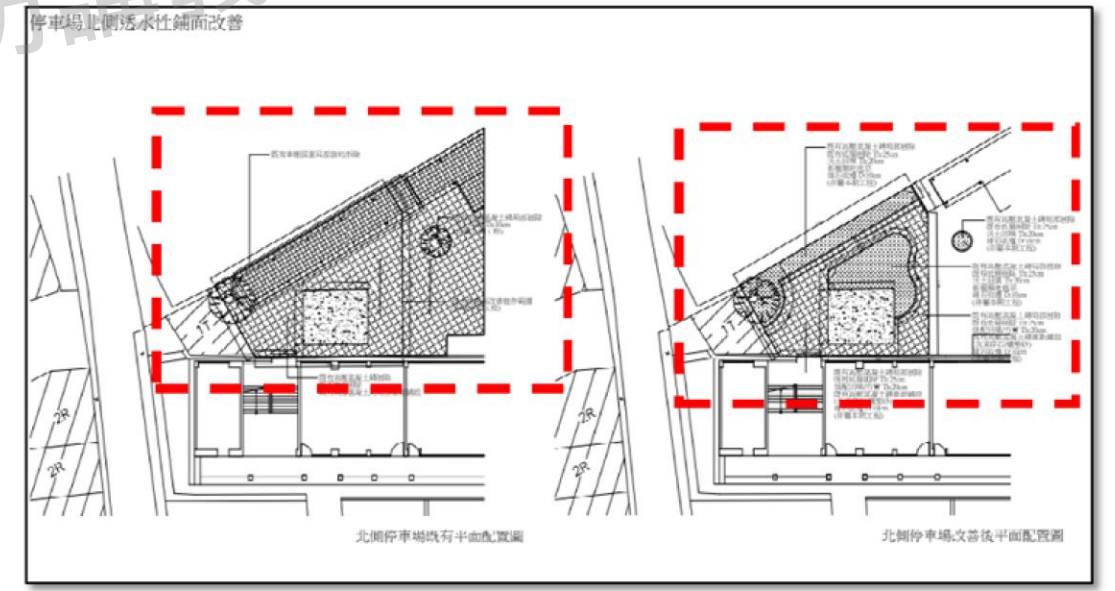
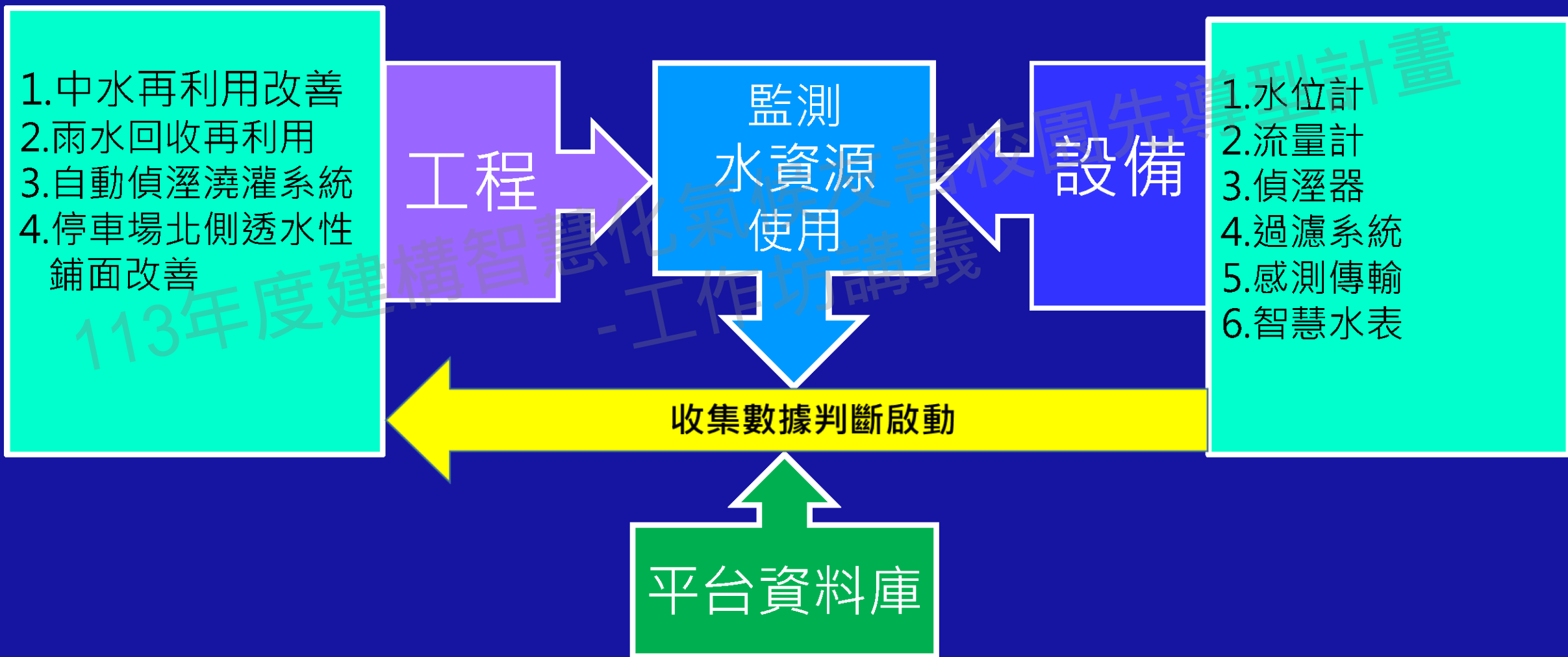


圖 14(工區三) 停車場北側透水性鋪面改善平面配置圖



三.2

搭配智慧化工具監測水資源使用



工區一：西棟和北棟教室：中水回收再利用

圖 15(工區一)西棟教室左側中水回收系統示意圖

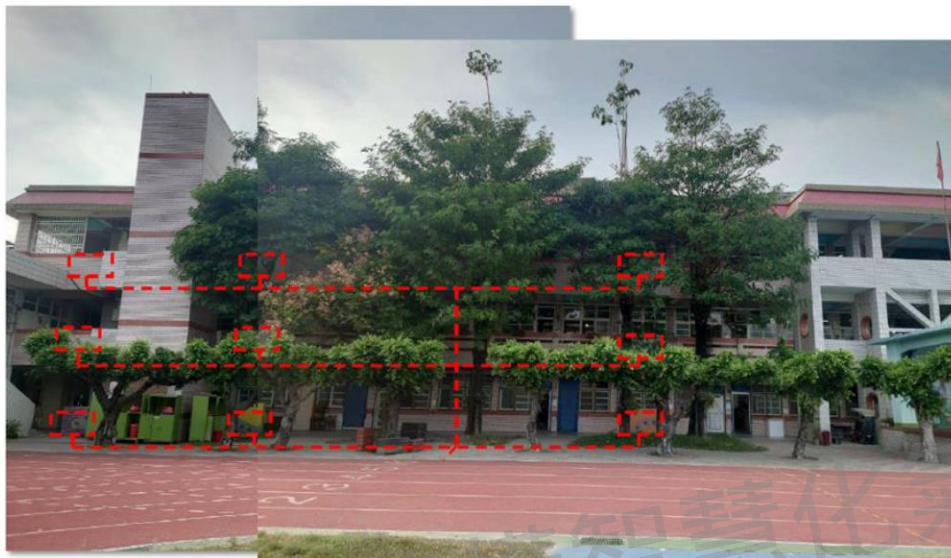
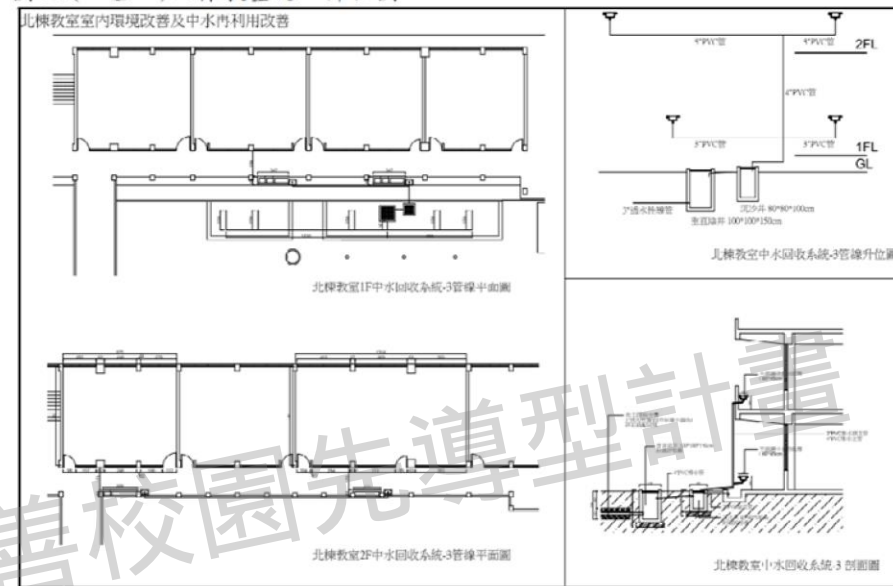
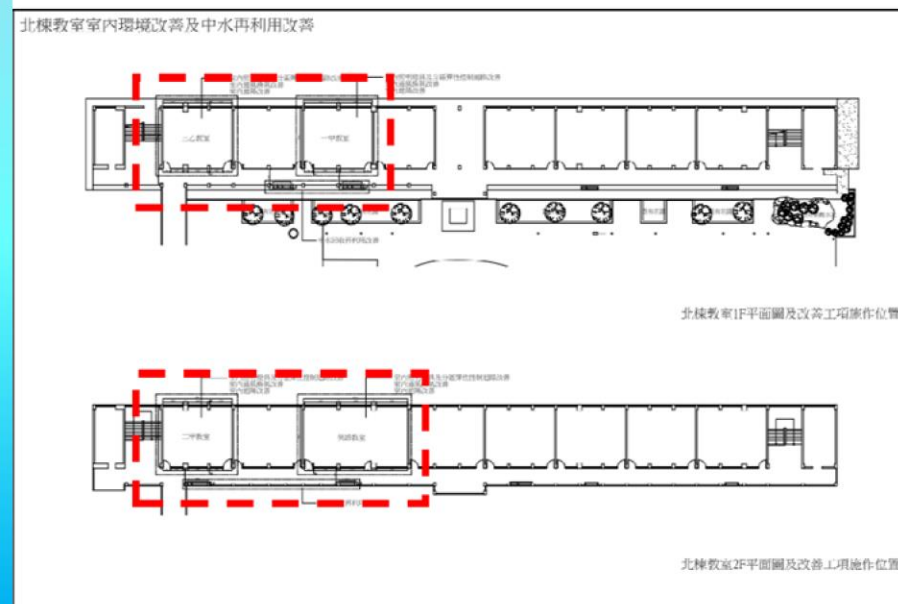


圖 10(工區一)西棟教室施工昇位圖



工區一北棟教室施工平面圖：主要施工內容為教式燈具通風改善、中水回收系統
圖 7(工區一)北棟教室施工平面配置圖

圖 16(工區一)北棟教室中水回收系統示意圖



工區二：雨水回收再利用



圖 17(工區二)雨水回收系統示意圖



圖 11(工區二) 雨水回收再利用改善平面配置圖

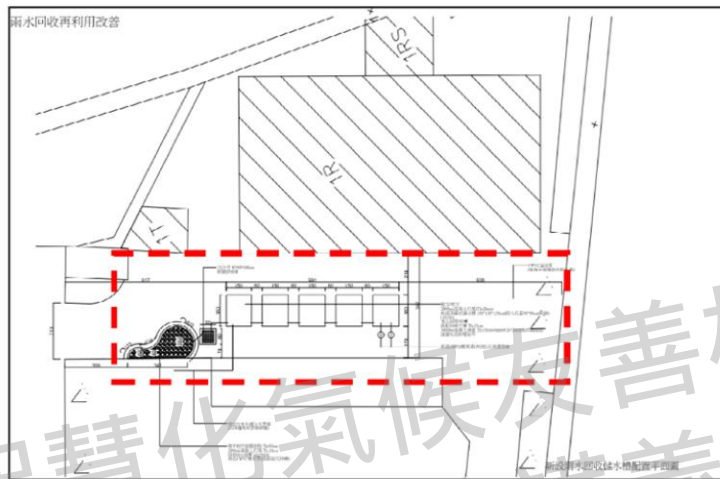
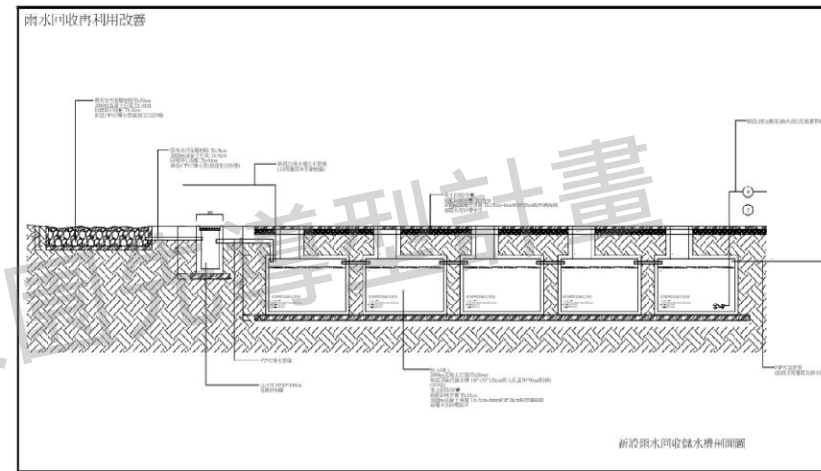


圖 12(工區二) 雨水回收再利用改善剖面圖

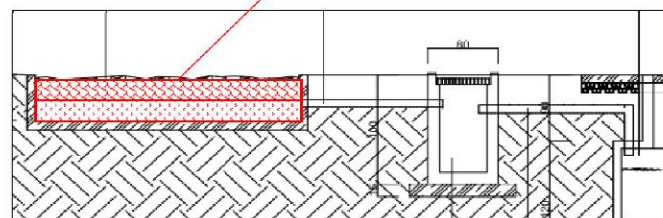


4. 建議加強措施：

(1) 加強集水池過濾效果：

調整濾材配比：上層 3-6 分清碎石(約 20 公分)，下層 2 分清碎石(約 20 公分)，分層過濾，雨水利用有較好水質，使澆灌系統不易堵塞損壞。

圖 19 加強集水池過濾示意圖

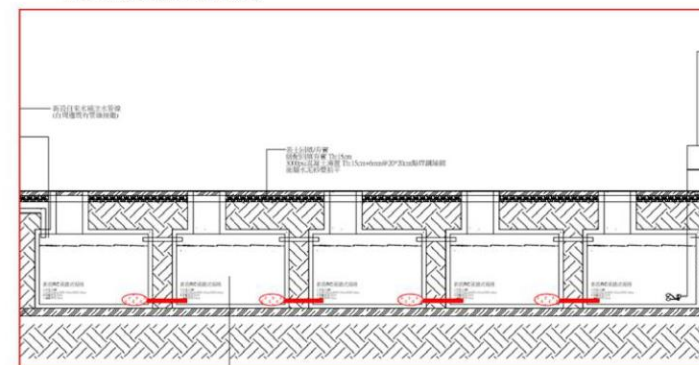


加強濾材配比：上層 3-6 分清碎石(約 20 公分)
下層 2 分清碎石(約 20 公分)

(2) 加強管水池過濾措施：

增設袋裝濾材：於池底洗洞連通，洞口設置袋裝 2 分清碎石，逐池過濾，淨化水質，使澆灌系統不易堵塞損壞。

圖 20 加強管水池過濾示意圖





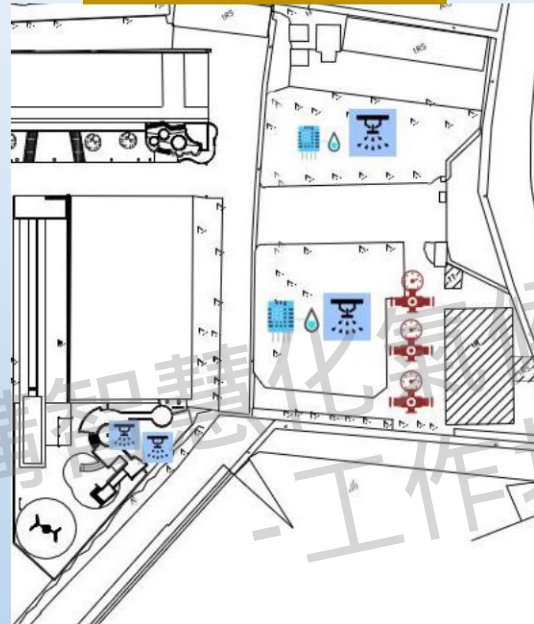
自動偵溼澆灌系統

無間科技

自動澆灌系統

自動澆灌系統

自動澆灌系統是一種用於自動灌溉植物技術，通常基於預訂的計畫，結合感知器數據或遙控技術，以確保植物得到適量水分。



- 自動偵溼澆灌系統預計裝設於大門兩側花園與遊戲場之榕樹。
- 結合雨水回收系統，將雨水所蒐集之水區域，配合指定PVC水管，搭配水泵起動器、電池閥整合應用。
- 自動澆灌系統配合雨水回收系統裝置，於進水管及出水管配置低流速流量計，搭配具低流速儀表再將訊號轉換成經過無線 (LoRa) 傳輸器、或有線網路回傳至資料庫。



智慧化氣候友善校園整合平台系統-智慧監控教室

無間科技

透過本系統快速連結至各智慧監控教室，顯示教室內部設備位置與監測數值，擬真圖像化設計，可提供教師教學，亦可讓學生快速了解學習。

教室設備位置各設備裝設位置，並可點擊顯示趨勢圖。

PITOU 埤頭國民小學 | 智慧化氣候友善校園整合平台 2023/12/12 10:30 後台登入

教室感測裝置

感測器01	溫度:30°C 相對溼度:50% 光照:800Lux
感測器02	溫度:30°C 相對溼度:50% 光照:800Lux
感測器03	溫度:30°C 相對溼度:50% 光照:800Lux
感測器04	溫度:30°C 相對溼度:50% 光照:800Lux

西棟教室3F-六乙

電源啟動狀態

用電量 50度	冷氣 ON
抽風扇 ON	教室電燈 OFF

移動站

123 9876 2245

溫度:30°C
相對溼度:50%
光照:800Lux
風速:10m/s
二氧化碳濃度:60ppm

電源啟動狀態各電器電源是否有啟動。

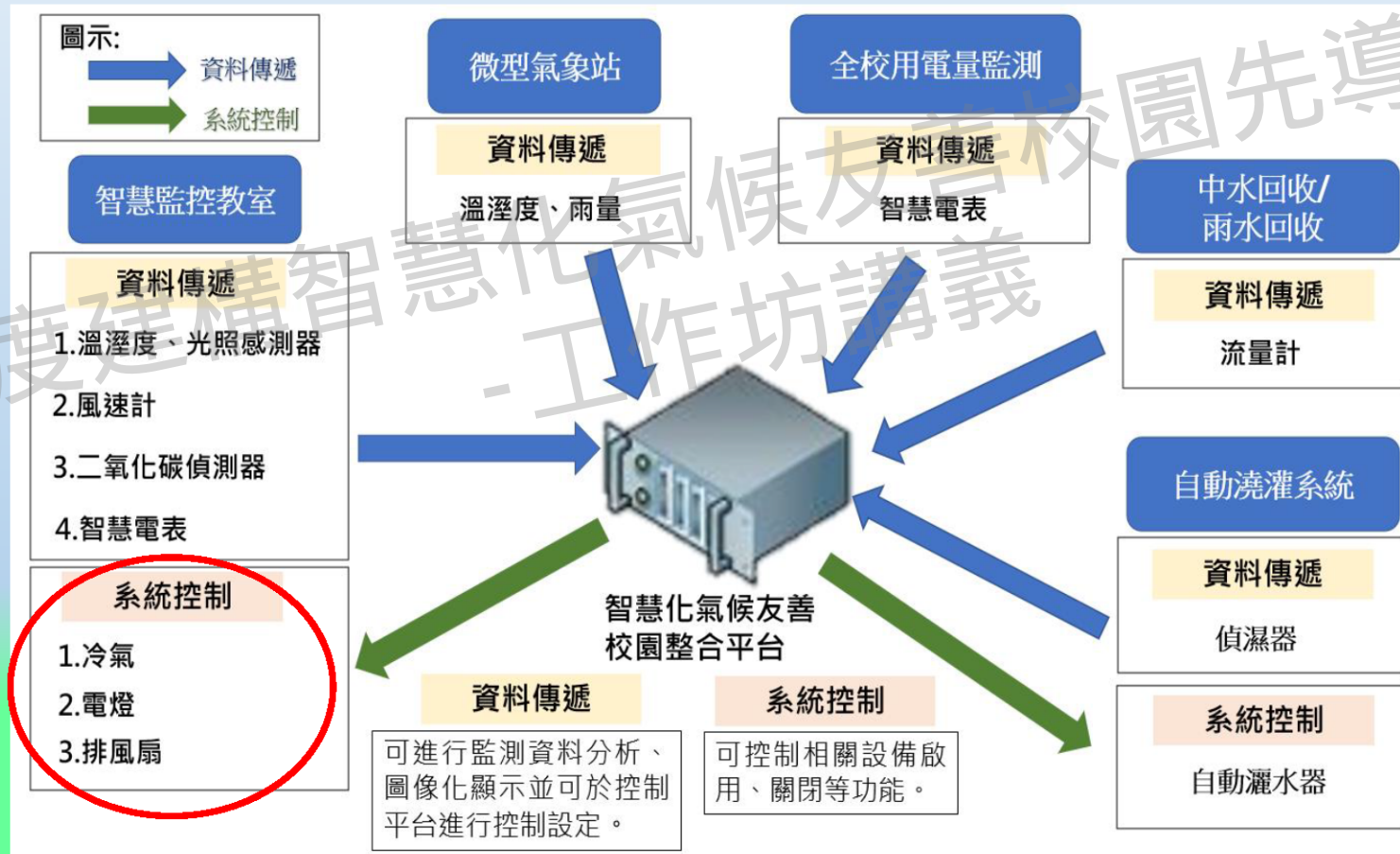
移動站移動站上各設備監測資料。



智慧化氣候友善校園整合平台系統架構

無間科技

智慧化氣候友善校園整合平台監測本計畫各項設備，包含智慧監控教室、微型氣象站、全校用電、中水/雨水回收、自動澆灌。



113年度建構智慧化氣候友善校園先導型計畫 - 工作坊講義

雨水回收再利用



雨水過濾池



沉砂池(雨水)



電磁閥



蓄水池
(5組共2.5噸)

雨水回收系統



施工前



施工後





藍色
原定位置



中水回收
管線設置

紅色
2、3F
實際施作



中水管線開挖



畫

113



埋設滲透管



滲透管



中水回收系統收那些水?



洗手台中水



RO廢水



冷氣冷凝水



流量計

沉水馬達



滲透管



灑水噴頭



中水系統完成圖



流量計

滲透或噴灑
的控制開關

滲透或噴灑
的控制開關



教室感測裝置



電源啟動狀態



冷氣



教室電燈

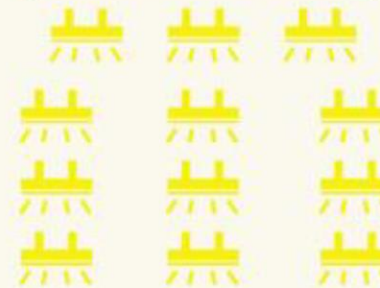


抽風扇



風扇

電燈配置圖



教室內安裝 4 個環境感測器，收集教室的溫度、溼度、亮度數據，後端平台依照數據開啟相對應的環控設備（吊扇、抽風扇、冷氣、電燈），教室電燈分六迴路依據教室內偵測亮度值啟閉燈具（吊扇、抽風扇、冷氣、電燈）。



智慧化監控系統

系統平台
(伺服器)

依環境數據下達指令

自動控制系統

連接設備開關

吸排風扇

CO2、清晨

電燈

依區域亮度啟閉迴路

吊扇

溫度

冷氣

溫度、溼度、
調高冷氣溫度

113年度建構智慧校園先導型計畫

PITOU 埤頭國民小學 | 智慧化氣候友善校園整合平台

2024/08/28 09:20

全螢幕

土壤溼度偵測器

1	含水率	33.7 %
2	含水率	20.3 %

★採「月」累計

●最後更新時間：2024/08/28 09:20

流量計 - 洗手台

1	水量	0 公升(l)
2	水量	1.1 公升(l)
3	水量	0 公升(l)

★採「月」累計

●最後更新時間：2024/08/28 09:19

全校配置圖

全校用電量

★採「日」最新更新時間：2024/08/28 09:20

- 全校總用電量 5128 度
- 智慧教室總用電量 1876 度
- 實際省電量 0 度

回收總水量

用電比較

減碳量 0 kgCO2e

省電量相當於充平板 0次



教室感測裝置-四甲(智慧教室)



電源啟動狀態

即時 冷氣

冷氣1 0 °C

最後更新時間：2024/08/27 17:02

即時 冷氣

冷氣2 0 °C

最後更新時間：2024/08/27 17:02

即時 智慧電表

電燈 0 瓦特(W)

最後更新時間：2024/08/28 09:18

即時 智慧電表

其他 0 瓦特(W)

最後更新時間：2024/08/28 09:19

即時 感測器

溫度 31.3 °C

濕度 70 %

光照 86 Lux

最後更新時間：2024/08/28 09:19

即時 感測器

溫度 31.2 °C

濕度 69 %

光照 45 Lux

最後更新時間：2024/08/28 09:19

即時 抽風扇

吸風扇 OFF

排風扇 OFF

即時 抽風扇

風扇 OFF

排風扇 OFF

即時 移動站

溫度 31.2 °C

(手動) 電燈

(手動) 風扇

冷氣

(手動) 抽風扇

擴散圖

氣象資料

節約能源——一起來

夏月冷氣室溫26-28度，一起共創省能好

建構智慧化 氣候友善校園



一同對
未來努力

113年度建構智慧化氣候友善校園先導型計畫
- 工作坊講義