

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學科(一)

032801

ECO 智慧校園

學校名稱：金門縣立金城國民中學

作者： 國一 吳政陽 國一 許彥群	指導老師： 吳蕙如
---------------------------------	------------------

關鍵詞：MQTT、ECO、IOT

ECO 智慧校園

摘要:

本研究利用樹莓派 Pi 4B、PicoW 及各式感測器建構校園環境的自動化系統。整體架構中以 Pi 4B 為核心，負責各項資料以 MQTT 技術傳送交換及 Node-RED 做數據呈現，PicoW 則控制著各感測器操作。首先，從三種形式的 LED 燈找出最適合做為教室智慧燈光的燈光源，利用光照度感測器讀取光照度值反饋給 LED 控制器，自適應調整 LED 發光亮度 PWM 值；再利用人體運動感測器做為燈具自動開關的依據。另二個 PicoW 連接 PM2.5、溫濕度感測器及太陽能路燈、水泵，隨時偵測校園環境的 PM2.5 值及溫濕度並自動化操作各設備。最後，以平板載具即時顯示各設備狀態，以可視化 web 界面觀察教室內燈光及校園內各項設備運作情形。

壹、研究動機

隨著科技日新月異，人工智慧與自動化設備如雨後春筍般湧現，帶來生活便利的同時，也對我們賴以生存的自然環境造成了難以復原的衝擊。在享受科技成果的同時，我們更應思考如何將科技導入永續發展，善用科技為環境帶來正向改變。

因此，我們決定從生活最密切的校園出發，打造一個環境友善、節能減碳的「Eco 智慧校園」。以教室為起點，實踐包括：智慧照明系統節能自動化、環境溫控自動調節、輕度廢水循環再利用，以及以太陽能供電的自動路燈，並透過行動載具與網路科技進行即時監控與遠端管理，使整體系統更加智慧且高效。



圖 1、ECO 智慧校園構想心智圖(由作者繪製)

「Eco 智慧校園」中的“Eco”源自“ecology（生態、環保）”，也象徵經濟節能與綠色生活的理念。我們希望透過這項研究，從教育場域出發，培養節能意識與環保行動力，將永續生活態度內化為日常習慣，進而推動低碳、智慧、永續的校園生活型態。藉由實際應用與技術導入，讓校園成為實踐綠色轉型與淨零排放的起點，成為綠色生活的最佳實驗基地與推廣典範。

貳、研究目的

- 一、 教室自動調光照明系統：尋找適合的教室 LED 燈光源，並配合 Pico W 及 GY-30 感測自動偵測教室內光照度值，並隨環境調整照明 LED 亮度，讓教室光照度符合標準且提高光照度均勻度，並期能自動開關燈具以節約能源。
- 二、 PM2.5 偵測及溫控風扇自動化：隨時監測教室外 PM2.5 濃度，並以燈號顯示濃度等級做為警示；再以 DHT-11 感測器偵測教室內溫濕度，自動啟動及停止溫控設備。
- 三、 再生水系統及太陽能自動路燈照明：利用水位感測器，收集洗水台的廢水後再做澆灌綠地利用，節省水資源；利用光敏感測器感測環境亮度，自動啟動太陽能路燈。
- 四、 智慧校園環境儀表板：配合上述三項各式感測器，將即時資訊顯示在行動載具上，並以圖表方式顯示便於觀察利用。

參、研究設備及器材

表 1、研究設備與器材(由作者拍攝)

			
Raspberry Pi 4B (由作者拍攝)	Raspberry Pi PicoW (由作者拍攝)	繼電器 (由作者拍攝)	大功率 LED 模組 (由作者拍攝)
			
環狀 LED 模組 (由作者拍攝)	條狀 LED 模組 (由作者拍攝)	光強度感測器(GY-30) (由作者拍攝)	溫濕度感測器(DHT-11) (由作者拍攝)
			
水位感測器 (由作者拍攝)	微型水泵 (由作者拍攝)	平板 (由作者拍攝)	壓克力板 (由作者拍攝)
			
雷切機 (由作者拍攝)	3V 小風扇 (由作者拍攝)	光線感測器 (由作者拍攝)	

肆、研究過程及方法

本研究整體架構以 PiOS 為核心作業系統，利用 MQTT 技術串連各微控器(Pi Pico W)及感測器，並以 Node-RED 做為 UI 介面，期能創造一個兼具智慧及環境友善的平台，並能在校園中實際使用。

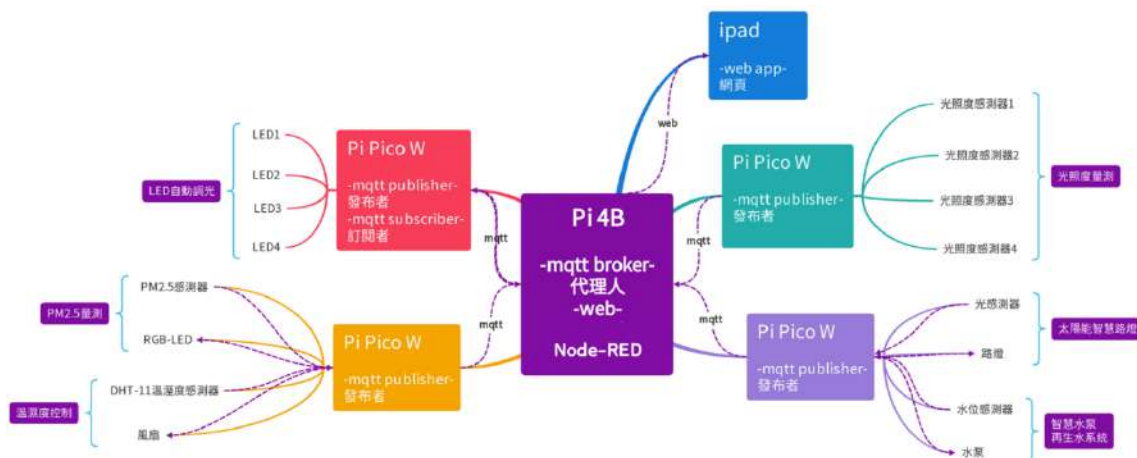
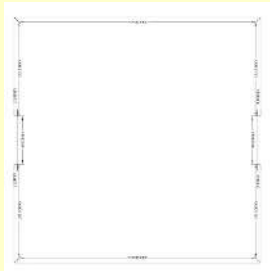
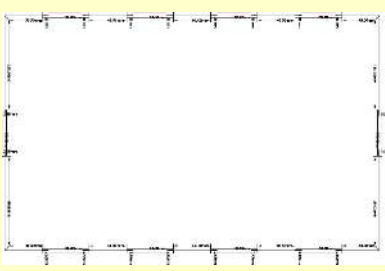
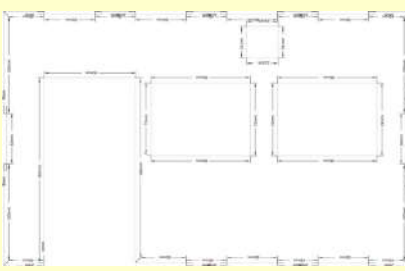

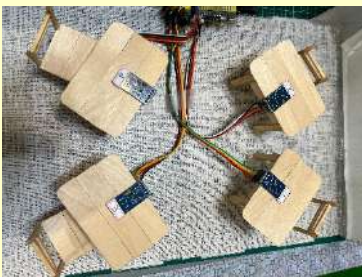


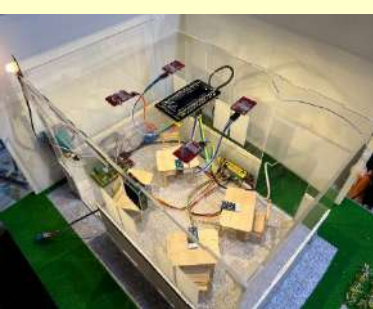



圖 2、研究系統心智圖(由作者繪製)

一、實驗主體架構元件說明：

- (一)Raspberry Pi 4b：本研究核心硬體，內部架設有 MQTT Server，做為 MQTT Broker 的角色，同時架設 Node-RED Server，做為視覺化各項感測器數值及顯示各設備最新狀態。
- (二)Prapverry Pi Pico W：控制各式感測器的動作，並做為 MQTT Publisher 及 Subscriber 角色，傳送接收各種資料訊息。
- (三)各式感測器：偵測校園環境中各種訊息，並經由微控器接收後由微處理器做資訊整合及顯示。
- (四)校園模型：為模擬校園及教室環境，我們使用容易取得的塑膠瓦楞紙板作為基底，運用生活科技課程教過的木工製作課桌椅，並以 Inkscape 設計縮小版教室，再以雷射切割機切割壓克力版做為實體教室的模型，設計圖及成品如下：

表 2、教室設計圖及成品(由作者繪製及拍攝)

		
教室前後雷切設計圖(作者繪製)	教室上下雷切設計圖(作者繪製)	教室左右雷切設計圖(作者繪製)
		
教室原型設計圖(由作者拍攝)	教室課桌椅(由作者拍攝)	教室組裝圖(由作者拍攝)
		
教室前視圖(由作者拍攝)	教室上視圖(由作者拍攝)	切割壓克力(由作者拍攝)

二、實驗事件流程圖

本研究共分為五大系統，分別為自動調光照明系統、溫控風扇、PM2.5 空品偵測、再生水系統及路燈自動照明系統，各系統事件流程圖如以下所示：

(一)自動調光照明系統流程圖

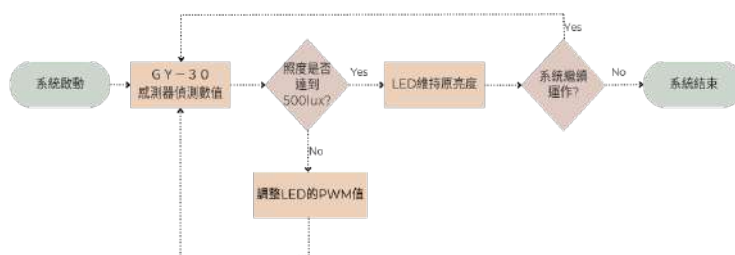


圖 3-1、自動調光照明系統流程圖(作者繪製)

(二) 溫控風扇流程圖

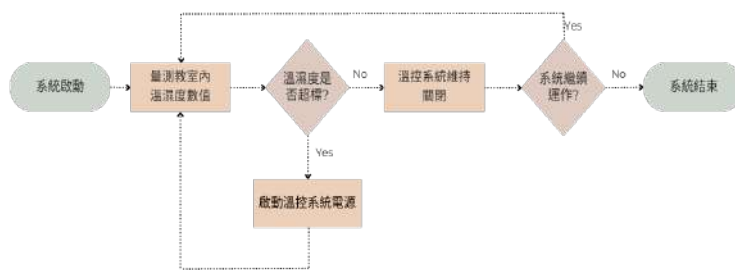


圖 3-2、溫控風扇流程圖(作者繪製)

(三) PM2.5 空品偵測流程圖

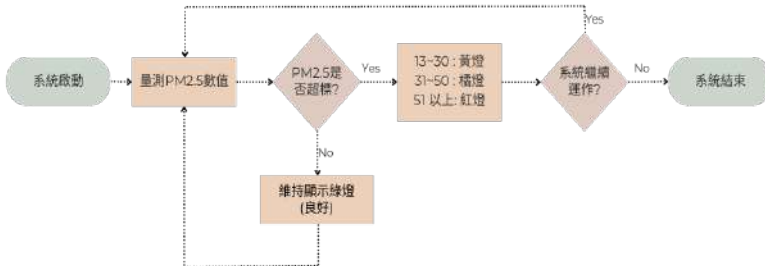


圖 3-3、PM2.5 空品偵測流程圖(作者繪製)

(四) 再生水系統流程圖

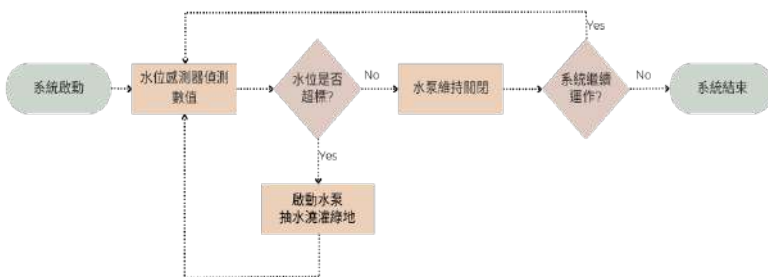


圖 3-4、再生水系統流程圖(作者繪製)

(五) 路燈自動照明系統流程圖

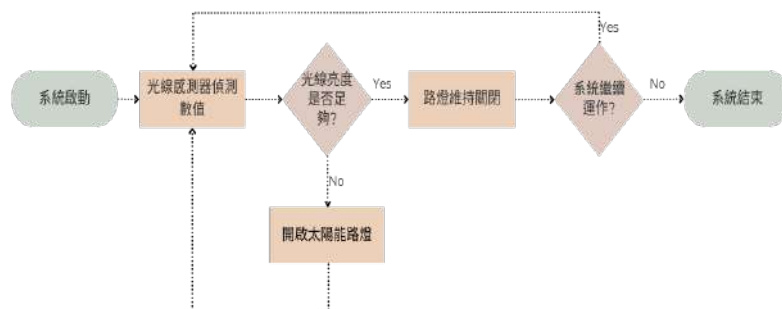


圖 3-5、路燈自動照明系統流程圖(作者繪製)

三、實驗過程：

(一)教室自動調光照明系統：

1、照度均勻度定義：

依教育部「學校教室照明與節能手冊」，教室光照度值需在 500lux 以上才能符合標準。但光照度值並不是越高越好，在達到標準值之後還需要考慮到光照度均勻度，也就是光在特定區域內的均勻指標。此指標值越接近 1，代表光的均勻度越高，也越不容易產生視覺上的疲勞。依經濟部能源局「產業照明系統節能技術手冊」，光照度均勻度依下列方式計算：

$$\text{光照度均勻度} = \frac{\text{最低照度}}{\text{平均照度}}$$

2、實驗方法：

(1)光照度感測器位置

我們將建構好的教室模型內部照明空間分為四大部分，分別為區域一、區域二、區域三及區域四，如圖 4-1 所示：

每個區域中心位置各有一個光照度感測器(GY-30)，量測該區域光照度值。四個感測連接到一個 Raspberry Pi Pico W，Pico W 收集到四個區域的光照度值後，利用 MQTT 技術將獲得的數值傳送到核心 Pi 4B 的 MQTT Broker。MQTT Broker 收到教室各區域的照度值後，再發送到控制教室 LED 燈光的 Pi Pico W 做運算，當發現照度不足 500lux 時會以 PWM 調變技術提高 LED 亮度，當照度高於 550lux 時再以 PWM 降低 LED 亮度。此機制可以自適應的自動調整 LED 亮度，除了可以符合教室照度標準外，更可以節約能源並讓教室的光照度更加均勻，維護師生上課光照亮度的舒適度。

各光照度感測器以 I2C 協定與 PicoW 連接，如圖 4-2 所示：

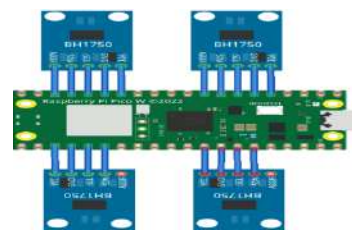
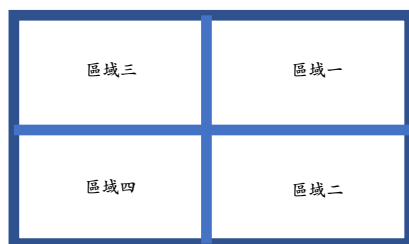


圖 4-1、教室空間劃分分區圖(作者繪製) 圖 4-2、PicoW 連接光照度感測器(作者繪製)

(2)LED 光源位置

本研究將 LED 照明方式，分為單組 LED 照明、雙組 LED 照明及四組 LED 照明；單組 LED 照明將 LED 置於教室天花板中心點(如圖 5a)，雙組 LED 照明的二組光源放在於教室二側的中心點(如圖 5b)，四組 LED 照明將 LED 置於教室天花板四個區域的中心點(如圖 5c)，實驗中除了讓 LED 亮度自適應的 PWM 亮度調整以外，也相對應的模擬 LED 全亮時的情況。

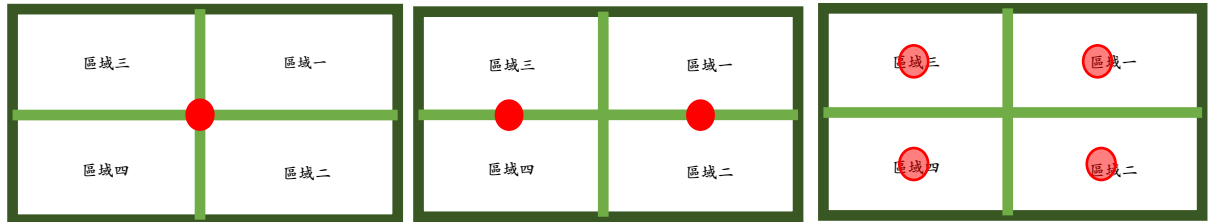


圖 5a、單組 LED (作者繪製) 圖 5b、雙組 LED(作者繪製) 圖 5c、四組 LED(作者繪製)

(3)PWM 自適應調整方式

我們所使用的 LED 亮度控制器為 Raspberry Pi PicoW，PicoW 的每個數位 IO Pin 均能輸出 PWM 訊號。PWM 是一種脈衝寬度調變的訊號，因此能藉由調整脈衝寬度，用來模擬輸出類比訊號。由於 PicoW 的 PWM 解析度為 16-bits，因此可以輸出 0~65535 的訊號(duty cycle 由 0%至 100%)。

利用 PicoW 的 PWM 功能，當桌面上的光照度計偵測到光照度數值後，經由 MQTT 技術傳送到 LED 的 PicoW。此數值如果低於 500lux 代表光照度不足，該 LED 的輸出 PWM 值則提高來增加光源亮度；數值如果高於 550lux 代表光照度過高，則降低該 LED 的輸出 PWM 值則來減少光源亮度。以此自動回饋(feedback)補償的方式來自動調整。

3、實驗過程：

實驗用的 LED 共有三款，分別為高功率 LED(圖 6a)、5050 環狀 LED(圖 6b) 及 5050 條狀 LED(圖 6c)，其相異處比較如表 3。



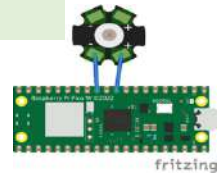
圖 6a、高功率 LED (作者拍攝) 圖 6b、5050 環狀 LED(作者拍攝) 圖 6c、5050 條狀 LED

表 3、LED 特性比較(作者自製)

	高功率 LED	5050 環狀 LED	5050 條狀 LED
外觀包裝	單顆型	8 顆環狀型	8 顆條狀型
功率	3W	2.4W(單顆 0.3W)	2.4W(單顆 0.3W)
亮度	180~210lm	22-24lm(單顆)	22-24lm(單顆)

(1)高功率 LED 實測：

(i)單組高功率 LED 照明 (LED 置於教室天花板中心點(如圖 5a))：

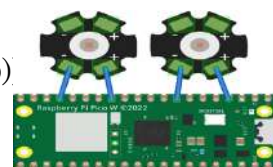


單組大功率 LED 在全亮情況下(無 PWM 調變)，實驗數據如表 4。

表 4a、單組大功率 LED - 全亮(作者實驗數據)						
位置 照度	第 1 區	第 2 區	第 3 區	第 4 區	平均照度	光照度均勻度
實驗 1	405	462	432	469	442.00	0.92
實驗 2	408	472	430	471	445.25	0.92
實驗 3	402	450	429	458	434.75	0.92
實驗 4	409	455	431	462	439.25	0.93
實驗 5	399	439	428	470	434.00	0.92
實驗 6	408	455	440	461	441.00	0.93
實驗 7	403	460	429	459	437.75	0.92
實驗 8	399	468	431	450	437.00	0.91
實驗 9	405	471	428	466	442.50	0.92
實驗 10	411	458	437	467	443.25	0.93
實驗 11	409	450	440	470	442.25	0.92
實驗 12	404	432	430	479	436.25	0.93
實驗 13	401	471	419	466	439.25	0.91
實驗 14	400	459	428	465	438.00	0.91
實驗 15	409	462	433	472	444.00	0.92
實驗 16	415	455	438	469	444.25	0.93
實驗 17	411	460	429	465	441.25	0.93
實驗 18	409	461	428	461	439.75	0.93
實驗 19	410	459	433	460	440.50	0.93
實驗 20	405	448	437	471	440.25	0.92
平均	406.1	457.35	431.5	465.55	440.125	0.923
PWM	100%					

在僅用單組大功率 LED 情況下，全亮狀態仍無法讓照度值達 500lux，故如以 PWM 調變機制進行實驗，PWM 在 100%時仍會在照度值 500lux 以下，和全亮一樣的結果。

(ii)雙組大功率 LED 照明(LED 照明的二組光源放在於教室二側的中心點(如圖 5b)

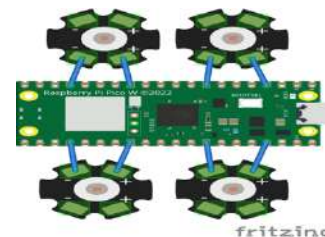


雙組大功率 LED 實驗紀錄如下：

表 5a、雙組大功率 LED - 全亮 (作者實驗數據)							表 5b、雙組大功率 LED - PWM 調變 (作者實驗數據)						
位置 照度	第 1 區	第 2 區	第 3 區	第 4 區	平均照度	光照度 均勻度	位置 照度	第 1 區	第 2 區	第 3 區	第 4 區	平均照度	光照度 均勻度
實驗 1	621	683	697	647	662.00	0.94	實驗 1	508	544	548	518	529.50	0.96
實驗 2	618	690	699	642	662.25	0.93	實驗 2	513	545	545	508	527.75	0.96
實驗 3	625	681	701	648	663.75	0.94	實驗 3	521	549	529	505	526.00	0.96
實驗 4	611	677	689	642	654.75	0.93	實驗 4	518	538	551	515	530.50	0.97
實驗 5	629	678	687	648	660.50	0.95	實驗 5	511	535	555	510	527.75	0.97
實驗 6	630	689	688	650	664.25	0.95	實驗 6	509	530	557	529	531.25	0.96
實驗 7	620	670	691	658	659.75	0.94	實驗 7	505	541	548	522	529.00	0.95
實驗 8	618	679	679	651	656.75	0.94	實驗 8	518	548	538	511	528.75	0.97
實驗 9	622	688	677	658	661.25	0.94	實驗 9	511	550	535	527	530.75	0.96
實驗 10	610	690	680	647	656.75	0.93	實驗 10	509	541	544	533	531.75	0.96
實驗 11	615	682	691	650	659.50	0.93	實驗 11	518	538	551	511	529.50	0.97
實驗 12	625	679	692	668	666.00	0.94	實驗 12	511	535	555	515	529.00	0.97
實驗 13	626	688	681	648	660.75	0.95	實驗 13	509	541	538	510	524.50	0.97
實驗 14	619	678	688	649	658.50	0.94	實驗 14	505	544	536	507	523.00	0.97
實驗 15	625	681	681	651	659.50	0.95	實驗 15	501	548	530	512	522.75	0.96
實驗 16	620	677	679	639	653.75	0.95	實驗 16	509	550	542	519	530.00	0.96
實驗 17	618	675	680	641	653.50	0.95	實驗 17	511	556	543	529	534.75	0.96
實驗 18	630	679	688	648	661.25	0.95	實驗 18	513	537	549	525	531.00	0.97
實驗 19	618	681	692	641	658.00	0.94	實驗 19	510	532	552	530	531.00	0.96
實驗 20	622	678	699	650	662.25	0.94	實驗 20	505	529	553	529	529.00	0.95
平均	621.1	681.15	687.95	648.8	659.75	0.941	平均	510.75	541.55	544.95	518.25	528.875	0.962
PWM	100%		100%				PWM	85%		85%			

在使用雙組大功率 LED 情況後，PWM 值在 Duty Cycle 為 85%時照度可達到 500lux 以上；相對於無 PWM 調變(全亮相當於 PWM 值為 100%)可節省 15%的能源耗，且照度均勻度可從 0.94 上升到 0.96(表 5a、表 5b)。

(iii)四組 LED 照明：LED 置於教室天花板四個區域的中心點(如圖 5c)



四組大功率 LED 實驗紀錄如下：

表 6a、四組大功率 LED-全亮 (作者實驗數據)							表 6b、四組大功率 LED-PWM 調變 (作者實驗數據)						
位置 照度	第 1 區	第 2 區	第 3 區	第 4 區	平均照度	光照度 均勻度	位置 照度	第 1 區	第 2 區	第 3 區	第 4 區	平均照度	光照度 均勻度
實驗 1	1454	1502	1469	1405	1457.50	0.96	實驗 1	511	516	509	512	512.00	0.99
實驗 2	1455	1508	1477	1399	1459.75	0.96	實驗 2	515	520	505	511	512.75	0.98
實驗 3	1499	1511	1481	1410	1475.25	0.96	實驗 3	510	518	519	513	515.00	0.99
實驗 4	1501	1509	1460	1400	1467.50	0.95	實驗 4	508	511	520	520	514.75	0.99
實驗 5	1494	1481	1455	1421	1462.75	0.97	實驗 5	513	510	512	505	510.00	0.99
實驗 6	1501	1499	1491	1397	1472.00	0.95	實驗 6	519	522	519	511	517.75	0.99
實驗 7	1488	1510	1488	1411	1474.25	0.96	實驗 7	511	523	504	512	512.50	0.98
實驗 8	1464	1501	1460	1399	1456.00	0.96	實驗 8	508	528	509	511	514.00	0.99
實驗 9	1476	1509	1461	1398	1461.00	0.96	實驗 9	501	512	512	502	506.75	0.99
實驗 10	1450	1511	1499	1408	1467.00	0.96	實驗 10	513	520	508	501	510.50	0.98
實驗 11	1455	1520	1466	1411	1463.00	0.96	實驗 11	515	511	511	521	514.50	0.99
實驗 12	1437	1491	1461	1409	1449.50	0.97	實驗 12	519	519	512	522	518.00	0.99
實驗 13	1451	1499	1471	1398	1454.75	0.96	實驗 13	501	522	501	519	510.75	0.98
實驗 14	1437	1481	1409	1399	1431.50	0.98	實驗 14	505	528	509	510	513.00	0.98
實驗 15	1455	1492	1453	1405	1451.25	0.97	實驗 15	513	518	512	519	515.50	0.99
實驗 16	1461	1501	1499	1411	1468.00	0.96	實驗 16	506	510	511	502	507.25	0.99
實驗 17	1502	1505	1481	1431	1479.75	0.97	實驗 17	509	509	519	512	512.25	0.99
實驗 18	1466	1509	1461	1419	1463.75	0.97	實驗 18	505	522	516	515	514.50	0.98
實驗 19	1468	1511	1472	1402	1463.25	0.96	實驗 19	511	513	515	501	510.00	0.98
實驗 20	1455	1502	1488	1411	1464.00	0.96	實驗 20	512	522	515	505	513.50	0.98
平均	1468	1502	1470	1407	1462.0875	0.962	平均	510	518	512	511	512.76	0.987
PWM	100%	100%	100%	100%			PWM	33%	33%	33%	33%		

使用四組大功率 LED 做為燈光來源後，PWM 值在 Duty Cycle 為 33%時照度可達到 500lux 以上，相對於四組無 PWM 調變的全亮狀態可節省 67%的功耗，且照度均勻度可接近 0.99(表 6a、表 6b)。

(2) 5050 環狀 LED 實測

(i)單組及雙組環狀 LED 照明：

單組及雙組環狀 LED 實驗紀錄如下：

表 7a、單環 LED - 全亮(作者實驗數據)							表 7b、雙環 LED - 全亮(作者實驗數據)						
位置 照度	第 1 區	第 2 區	第 3 區	第 4 區	平均照度	光照度 均勻度	位置 照度	第 1 區	第 2 區	第 3 區	第 4 區	平均照度	光照度 均勻度
實驗 1	232	238	220	243	233.25	0.94	實驗 1	437	453	461	415	441.50	0.94
實驗 2	221	245	242	245	238.25	0.93	實驗 2	440	460	458	417	443.75	0.94
實驗 3	241	231	249	220	235.25	0.94	實驗 3	428	460	460	410	439.50	0.93
實驗 4	230	231	210	239	227.50	0.92	實驗 4	435	451	469	415	442.50	0.94
實驗 5	228	231	215	241	228.75	0.94	實驗 5	420	456	470	435	445.25	0.94
實驗 6	237	237	215	237	231.50	0.93	實驗 6	438	443	472	416	442.25	0.94
實驗 7	215	228	226	247	229.00	0.94	實驗 7	429	449	461	412	437.75	0.94
實驗 8	202	229	217	243	222.75	0.91	實驗 8	445	452	459	418	443.50	0.94
實驗 9	231	230	219	248	232.00	0.94	實驗 9	412	457	450	419	434.50	0.95
實驗 10	233	228	215	239	228.75	0.94	實驗 10	432	459	468	416	443.75	0.94
實驗 11	241	234	210	233	229.50	0.92	實驗 11	445	461	462	429	449.25	0.95
實驗 12	220	233	231	249	233.25	0.94	實驗 12	428	452	461	420	440.25	0.95
實驗 13	230	245	223	249	236.75	0.94	實驗 13	432	449	466	419	441.50	0.95
實驗 14	242	219	237	241	234.75	0.93	實驗 14	425	450	471	422	442.00	0.95
實驗 15	237	241	220	251	237.25	0.93	實驗 15	429	448	463	410	437.50	0.94
實驗 16	229	237	219	253	234.50	0.93	實驗 16	430	451	469	412	440.50	0.94
實驗 17	231	233	215	249	232.00	0.93	實驗 17	435	451	472	415	443.25	0.94
實驗 18	215	229	234	244	230.50	0.93	實驗 18	436	450	461	419	441.50	0.95
實驗 19	220	231	233	248	233.00	0.94	實驗 19	442	461	462	420	446.25	0.94
實驗 20	240	222	238	249	237.25	0.94	實驗 20	431	449	466	415	440.25	0.94
平均	228.7	232.6	224.4	243.4	232.29	0.933	平均	432.5	453.1	464.1	417.7	441.825	0.943
PWM	100%						PWM	100%		100%			

使用 5050 環狀 LED 後，可以發現使用單組及雙組 LED 時，即使 LED 亮度已達到最高 PWM 值(全亮)時，照度不足以達到 500lux 的標準(表 7a、表 7b)，因此在環狀 LED 的光源情況下，單組和雙組 LED 的照度均無法滿足最低照度標準的需求。

(i)四組環狀 LED 照明：

四環 LED 實驗紀錄如下：

表 8a、四環 LED - 全亮(作者實驗數據)							表 8b、四環 LED - PWM 調變(作者實驗數據)						
位置 照度	第 1 區	第 2 區	第 3 區	第 4 區	平均照度	光照度 均勻度	位置 照度	第 1 區	第 2 區	第 3 區	第 4 區	平均照度	光照度 均勻度
實驗 1	828	882	845	828	845.75	0.98	實驗 1	527	540	536	519	530.50	0.98
實驗 2	829	885	851	831	849.00	0.98	實驗 2	525	541	535	520	530.25	0.98
實驗 3	829	873	855	830	846.75	0.98	實驗 3	520	544	519	510	523.25	0.97
實驗 4	825	869	851	833	844.50	0.98	實驗 4	526	549	520	519	528.50	0.98
實驗 5	841	890	850	828	852.25	0.97	實驗 5	527	541	522	525	528.75	0.99
實驗 6	830	890	849	825	848.50	0.97	實驗 6	530	539	523	515	526.75	0.98
實驗 7	833	893	851	830	851.75	0.97	實驗 7	533	531	529	520	528.25	0.98
實驗 8	820	891	843	834	847.00	0.97	實驗 8	536	535	531	522	531.00	0.98
實驗 9	825	882	839	835	845.25	0.98	實驗 9	534	541	535	520	532.50	0.98
實驗 10	819	890	836	830	843.75	0.97	實驗 10	529	533	539	518	529.75	0.98
實驗 11	823	891	837	829	845.00	0.97	實驗 11	518	533	541	518	527.50	0.98
實驗 12	823	881	841	822	841.75	0.98	實驗 12	519	529	540	521	527.25	0.98
實驗 13	820	878	843	819	840.00	0.98	實驗 13	522	528	542	520	528.00	0.98
實驗 14	828	875	849	818	842.50	0.97	實驗 14	526	534	535	515	527.50	0.98
實驗 15	830	870	851	821	843.00	0.97	實驗 15	517	533	539	525	528.50	0.98
實驗 16	831	869	855	826	845.25	0.98	實驗 16	520	530	530	528	527.00	0.99
實驗 17	822	873	851	817	840.75	0.97	實驗 17	520	534	525	527	526.50	0.99
實驗 18	821	877	849	819	841.50	0.97	實驗 18	529	539	528	533	532.25	0.99
實驗 19	831	875	845	819	842.50	0.97	實驗 19	521	541	534	535	532.75	0.98
實驗 20	825	881	851	828	846.25	0.97	實驗 20	522	541	536	510	527.25	0.97
平均	826.65	880.75	847.1	826.1	845.15	0.974	平均	525.05	536.8	531.95	521	528.7	0.981
PWM	100%	100%	100%	100%			PWM	55%	55%	55%	55%		

使用四組高功率 LED 後，PWM 值在 Duty Cycle 為 55%時照度可達到 500lux 以上；相對於無 PWM 調變(全亮)可節省 45%的能源耗，且照度均勻度可達 0.98(表 8a、表 8b)。

(3) 5050 條狀 LED 實測

(i)單組及雙組條狀 LED 照明：

單組及雙組條狀 LED 實驗紀錄如下：

表 9a、單條 LED - 全亮(作者實驗數據)							表 9b、雙條 LED - 全亮(作者實驗數據)						
位置 照度	第 1 區	第 2 區	第 3 區	第 4 區	平均照度	光照度 均勻度	位置 照度	第 1 區	第 2 區	第 3 區	第 4 區	平均照度	光照度 均勻度
實驗 1	205	210	222	211	212.00	0.97	實驗 1	439	441	441	425	436.50	0.97
實驗 2	215	203	218	218	213.50	0.95	實驗 2	428	451	435	420	433.50	0.97
實驗 3	208	202	215	222	211.75	0.95	實驗 3	439	455	446	425	441.25	0.96
實驗 4	205	213	219	220	214.25	0.96	實驗 4	433	439	449	422	435.75	0.97
實驗 5	200	215	220	212	211.75	0.94	實驗 5	435	433	438	419	431.25	0.97
實驗 6	208	212	222	205	211.75	0.97	實驗 6	445	439	433	422	434.75	0.97
實驗 7	220	219	211	205	213.75	0.96	實驗 7	451	430	429	420	432.50	0.97
實驗 8	219	208	203	208	209.50	0.97	實驗 8	455	429	429	418	432.75	0.97
實驗 9	220	209	210	201	210.00	0.96	實驗 9	443	435	436	421	433.75	0.97
實驗 10	218	208	222	202	212.50	0.95	實驗 10	438	435	450	428	437.75	0.98
實驗 11	209	201	215	209	208.50	0.96	實驗 11	432	438	451	422	435.75	0.97
實驗 12	207	208	220	215	212.50	0.97	實驗 12	438	448	448	433	441.75	0.98
實驗 13	206	204	225	216	212.75	0.96	實驗 13	448	451	439	425	440.75	0.96
實驗 14	201	203	208	220	208.00	0.97	實驗 14	431	455	435	432	438.25	0.98
實驗 15	199	214	206	222	210.25	0.95	實驗 15	430	438	435	419	430.50	0.97
實驗 16	201	211	210	225	211.75	0.95	實驗 16	412	430	433	430	426.25	0.97
實驗 17	200	216	209	215	210.00	0.95	實驗 17	438	429	429	428	431.00	0.99
實驗 18	199	210	211	211	207.75	0.96	實驗 18	446	433	435	426	435.00	0.98
實驗 19	210	202	213	222	211.75	0.95	實驗 19	450	438	438	425	437.75	0.97
實驗 20	206	212	215	221	213.50	0.96	實驗 20	446	445	436	425	438.00	0.97
平均	207.8	209	214.7	214	211.375	0.958	平均	438.85	439.6	438.25	424.25	435.2375	0.973
PWM	100%						PWM	100%		100%			

使用 5050 條狀 LED 後，可以發現使用單組及雙組 LED 時和環狀 LED 相似，LED 亮度已達到最高 PWM 值(全亮)時，照度仍無法達到最低標準 500lux((表 9a、表 9b))。但可發現到條狀 LED 的照度平均度相對較高，平均照度則較低。

(i)四組條狀 LED 照明：

四組條狀 LED 實驗紀錄如下：

表 10a、四條 LED - 全亮(作者實驗數據)						
位置 照度	第 1 區	第 2 區	第 3 區	第 4 區	平均照度	光照度 均勻度
實驗 1	758	777	784	775	773.50	0.98
實驗 2	768	782	779	777	776.50	0.99
實驗 3	770	781	775	779	776.25	0.99
實驗 4	765	769	769	781	771.00	0.99
實驗 5	750	765	779	776	767.50	0.98
實驗 6	752	775	781	776	771.00	0.98
實驗 7	757	778	785	778	774.50	0.98
實驗 8	760	781	780	781	775.50	0.98
實驗 9	766	785	776	780	776.75	0.99
實驗 10	761	775	779	776	772.75	0.98
實驗 11	759	770	782	770	770.25	0.99
實驗 12	752	765	788	769	768.50	0.98
實驗 13	749	762	791	766	767.00	0.98
實驗 14	751	768	785	775	769.75	0.98
實驗 15	759	775	788	775	774.25	0.98
實驗 16	757	775	780	780	773.00	0.98
實驗 17	752	775	775	781	770.75	0.98
實驗 18	759	779	779	778	773.75	0.98
實驗 19	757	761	781	775	768.50	0.99
實驗 20	751	765	788	776	770.00	0.98
平均	757.65	773.15	781.2	776.2	772.05	0.981
PWM	100%	100%	100%	100%		

表 10b、四條 LED - PWM 調變(作者實驗數據)						
位置 照度	第 1 區	第 2 區	第 3 區	第 4 區	平均照度	光照度 均勻度
實驗 1	543	548	531	530	538.00	0.99
實驗 2	545	555	529	535	541.00	0.98
實驗 3	540	543	525	531	534.75	0.98
實驗 4	548	548	531	529	539.00	0.98
實驗 5	551	551	535	522	539.75	0.97
實驗 6	552	556	539	528	543.75	0.97
實驗 7	539	549	540	531	539.75	0.98
實驗 8	538	545	535	535	538.25	0.99
實驗 9	541	540	533	541	538.75	0.99
實驗 10	545	539	538	532	538.50	0.99
實驗 11	549	548	540	540	544.25	0.99
實驗 12	540	546	535	541	540.50	0.99
實驗 13	538	550	538	536	540.50	0.99
實驗 14	533	551	533	535	538.00	0.99
實驗 15	541	549	540	538	542.00	0.99
實驗 16	548	542	538	540	542.00	0.99
實驗 17	542	541	531	535	537.25	0.99
實驗 18	548	546	533	533	540.00	0.99
實驗 19	550	552	530	539	542.75	0.98
實驗 20	551	556	525	532	541.00	0.97
平均	544.1	547.75	533.95	534.15	539.9875	0.985
PWM	58%	58%	58%	58%		

使用四組高功率 LED 後，PWM 值在 Duty Cycle 為 58%時照度可達到 500lux 以上；相對於無 PWM 調變(全亮)可節省 42%的能源耗(如表 10a 及表 10b)，且照度均勻度可達 0.985。

(4)夜間自適應 LED 燈照明模擬(以大功率 LED 實作)：

為了了解本研究的自適應 PWM 調變 LED 燈光，是否能在無其他光源下正常運作，我們將系統放在無光源的暗房內，開啟系統後以儀表板觀測數據並紀錄，實驗結果如表 11a 及表 11b。

表 11a、模擬白天 LED 自適應 PWM 調變 (作者實驗數據)							表 11b、模擬夜晚 LED 自適應 PWM 調變 (作者實驗數據)						
位置 照度	第 1 區	第 2 區	第 3 區	第 4 區	平均 照度	光照度 均勻度	位置 照度	第 1 區	第 2 區	第 3 區	第 4 區	平均 照度	光照度 均勻度
實驗 1	511	516	509	512	512.00	0.99	實驗 1	510	512	508	515	511.25	0.99
實驗 2	515	520	505	511	512.75	0.98	實驗 2	511	511	500	521	510.75	0.98
實驗 3	510	518	519	513	515.00	0.99	實驗 3	509	509	507	518	510.75	0.99
實驗 4	508	511	520	520	514.75	0.99	實驗 4	515	505	506	510	509.00	0.99
實驗 5	513	510	512	505	510.00	0.99	實驗 5	511	513	510	513	511.75	1.00
實驗 6	519	522	519	511	517.75	0.99	實驗 6	505	515	512	512	511.00	0.99
實驗 7	511	523	504	512	512.50	0.98	實驗 7	512	520	515	512	514.75	0.99
實驗 8	508	528	509	511	514.00	0.99	實驗 8	518	505	513	508	511.00	0.99
實驗 9	501	512	512	502	506.75	0.99	實驗 9	502	518	505	507	508.00	0.99
實驗 10	513	520	508	501	510.50	0.98	實驗 10	505	510	510	513	509.50	0.99
平均	511	518	512	511	512.83	0.988	平均	510	512	509	513	510.92	0.990
PWM	33%	33%	33%	33%			PWM	38%	38%	38%	38%		

經由實驗結果，在完全無光源的地方內，自適應 PWM 調光系統仍可以正常運作提供符合標準的光照度，並能保持很高的光照度均勻度。

(5)日曬角度配合自適應 LED 燈照明模擬：

在教室上課時，特別是在早晨及午後經常受到太陽以各角度斜射進教室，造成教室內因位置不同，光線的明亮度也會有很大的差異。本實驗以手電筒做為太陽的替代光源，分別以 30 度角、45 度角及 60 度角(如圖 7)模擬自適應 LED 燈照明在此狀況下的運作情形。

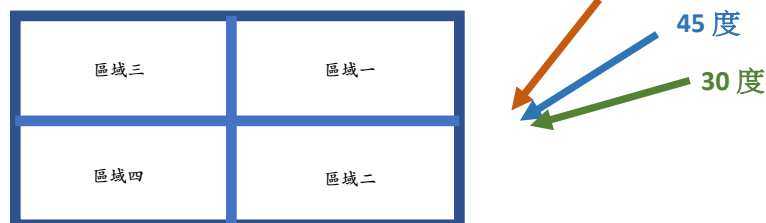


圖 7、太陽斜射入教室模擬(由作者繪製)

實驗結果如表 12a 至表 12d

表 12a、模擬白天 LED 自適應 PWM 調變 (作者實驗數據)						
位置 照度	第 1 區	第 2 區	第 3 區	第 4 區	平均 照度	光照度 均勻度
實驗 1	511	516	509	512	512.00	0.99
實驗 2	515	520	505	511	512.75	0.98
實驗 3	510	518	519	513	515.00	0.99
實驗 4	508	511	520	520	514.75	0.99
實驗 5	513	510	512	505	510.00	0.99
實驗 6	519	522	519	511	517.75	0.99
實驗 7	511	523	504	512	512.50	0.98
實驗 8	508	528	509	511	514.00	0.99
實驗 9	501	512	512	502	506.75	0.99
實驗 10	513	520	508	501	510.50	0.98
平均	511	518	512	511	512.83	0.988
PWM	33%	33%	33%	33%		

表 12b、模擬太陽斜射 - 30 度角 (作者實驗數據)						
位置 照度	第 1 區	第 2 區	第 3 區	第 4 區	平均 照度	光照度 均勻度
實驗 1	520	532	544	537	533.25	0.98
實驗 2	523	535	542	535	533.75	0.98
實驗 3	518	528	546	530	530.5	0.98
實驗 4	522	530	545	541	534.5	0.98
實驗 5	524	531	550	542	536.75	0.98
實驗 6	525	529	541	538	533.25	0.98
實驗 7	525	524	542	541	533.00	0.98
實驗 8	524	529	541	542	534.00	0.98
實驗 9	528	531	549	538	536.50	0.98
實驗 10	520	530	539	534	530.75	0.98
平均	522.9	529.9	543.9	537.8	533.625	0.980
PWM	28%	28%	28%	28%		

表 12c、模擬太陽斜射 - 45 度角 (作者實驗數據)						
位置 照度	第 1 區	第 2 區	第 3 區	第 4 區	平均 照度	光照度 均勻度
實驗 1	542	512	520	516	522.5	0.98
實驗 2	545	515	522	518	525	0.98
實驗 3	540	520	521	522	525.75	0.99
實驗 4	538	522	526	518	526	0.98
實驗 5	541	518	519	520	524.5	0.99
實驗 6	545	518	520	526	527.25	0.98
實驗 7	535	517	525	525	525.5	0.98
實驗 8	547	520	513	515	523.75	0.98
實驗 9	539	522	520	520	525.25	0.99
實驗 10	540	511	522	516	522.25	0.98
平均	541.2	517.5	520.8	519.6	524.775	0.984
PWM	26%	26%	28%	28%		

表 12d、模擬太陽斜射 - 60 度角 (作者實驗數據)						
位置 照度	第 1 區	第 2 區	第 3 區	第 4 區	平均 照度	光照度 均勻度
實驗 1	539	533	527	543	535.50	0.98
實驗 2	542	531	528	545	535.00	0.98
實驗 3	538	530	523	543	531.00	0.98
實驗 4	541	541	528	540	537.00	0.98
實驗 5	533	538	526	539	540.00	0.99
實驗 6	538	537	529	539	541.00	0.99
實驗 7	541	541	532	542	533.00	0.99
實驗 8	549	539	531	543	539.00	0.98
實驗 9	529	530	530	545	531.00	0.99
實驗 10	530	538	526	539	528.00	0.99
平均	538	535.8	528	541.8	535.05	0.985
PWM	22%	22%	28%	28%		

由實驗結果可知，當各種日照角度引起教室內光照分度不均勻或不足時，藉由 PWM 自動調變系統可以將光照度太低部份補足，並且讓照度更加趨近均勻。

(6)人體運動感測器自動開關 LED 燈照明模擬：

為了達到節能減碳目標，減少碳排份量的增加，我們利用 HC-SR501 做為人體偵測的感測器。這是一款透過檢測人體發出的紅外線輻射，來判斷是否有人在感應範圍內。當人體移動時就會檢測到紅外線輻射的變化，並輸出信號。

此款感測器具有二種模式：單次觸發及多重觸發模式，我們以這二種模式分別測試模擬：

表 13a、連續觸發模式 (作者實驗數據)		表 13b、單次觸發模式 (作者實驗數據)	
第 1 次	成功觸發	第 1 次	成功觸發
第 2 次	成功觸發	第 2 次	成功觸發
第 3 次	成功觸發	第 3 次	失敗
第 4 次	成功觸發	第 4 次	成功觸發
第 5 次	成功觸發	第 5 次	成功觸發
第 6 次	成功觸發	第 6 次	失敗
第 7 次	成功觸發	第 7 次	成功觸發
第 8 次	成功觸發	第 8 次	失敗
第 9 次	成功觸發	第 9 次	失敗
第 10 次	成功觸發	第 10 次	成功觸發
正確率	100%	正確率	60%

從表 13a 及表 13b 可發現連續觸發模式下，成功偵測到人體機率高於單次觸發。經詳細查閱資料及檢測其原理後，應是在單次觸發模式下，檢測到有人體運動會保持輸出一段時間的高電位，並且在這段高電位期間內不會做任何檢測，不檢測的這段期間如果有人經過，就會造成判斷上的錯誤(未偵測)。

在我們確定利用 SR-501 的連續觸發模式後，再判斷搭配 python 程式設計，當持續超過 2 分鐘未偵測到人體，立即將目前燈光狀態紀錄保留並且將 LED 燈光關閉。當重新檢測到人體活動時，則立刻回復原來燈光狀態恢復照明。

(二) PM2.5 偵測及溫控風扇自動化：

這部份使用 DHT-11 溫濕度感測器及 PMSA003 的 PM2.5 感測器，當 DHT-11 量測到教室內溫度大於 28 度，或是濕度大於 80%時則自動啟動溫控設備。PM2.5 感測器則依得到的數值，顯示不一樣的燈號來做為警示，燈號訊息如下：

PM2.5 值範圍	
綠燈	$PM2.5 < 12$
黃燈	$13 < PM2.5 < 30$
橙燈	$31 < PM2.5 < 50$
紅燈	$PM2.5 > 51$

圖 8、PM2.5 範圍顏色區分圖 (由作者繪製)

電路連接圖如下所示：

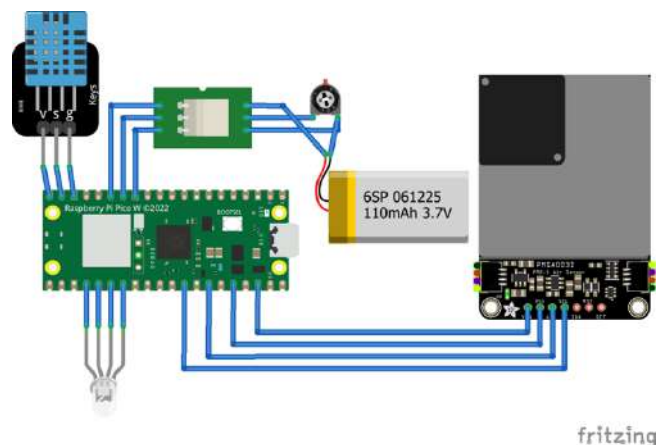


圖 9、PM2.5 偵測及溫控風扇連接圖(由作者繪製)

即時訊息顯示如下：

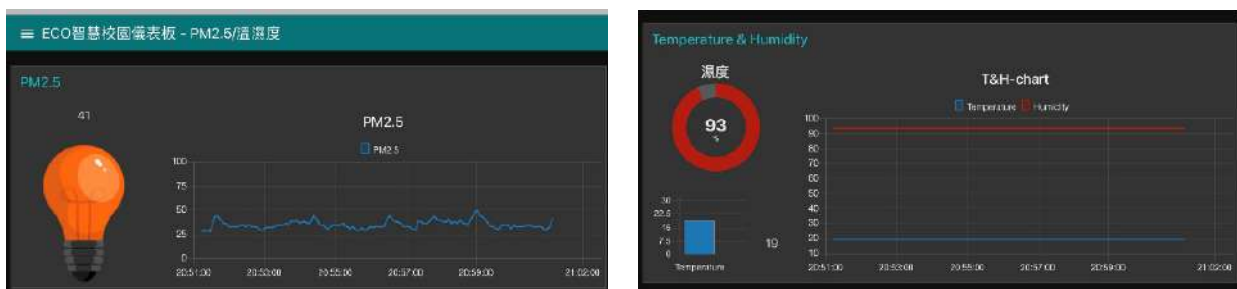


圖 10、PM2.5 偵測及溫控風扇儀表板截圖(由作者設計 Web 介面)

(三)再生水系統及太陽能自動路燈照明

此部份是利用收集洗水台的輕度廢水，經過沈澱池過濾後再來回收利用。我們在沈澱池的最後一道蓄水池中裝設水位感測器，當水位超過預設水位時自動抽取並澆灌至校園綠地。太陽能自動路燈照明，則是利用光感測器感測校園光線強度。當天色變暗時自動啟動太陽路燈，達成自動化及綠能的目的。

電路連接圖如右圖所示：

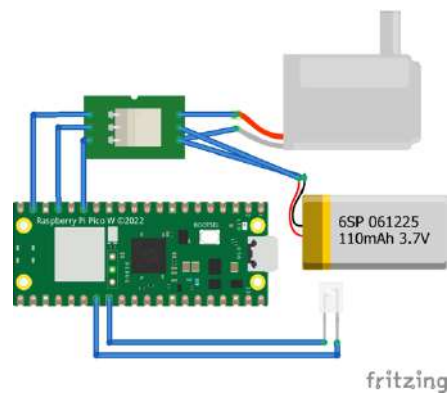


圖 11、再生水系統及太陽能自動路燈照明連接圖(由作者繪製)

即時訊息顯示如下：

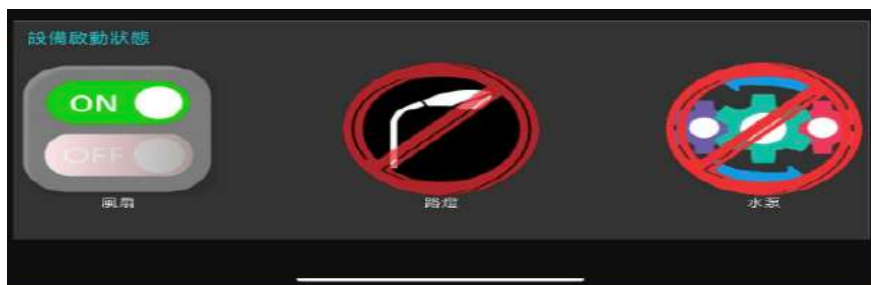


圖 12、再生水系統及太陽能自動路燈照明儀表板截圖(由作者設計 Web 介面)

(四)智慧校園環境儀表板

智慧校園儀表板是藉由 Node-RED 串接 MQTT，將資料視覺化處理，呈現易讀易懂的介面。並藉由網路的力量，可以在行動載具上即時瀏覽最新狀態。

詳細積木式程式語言及行動載具呈現介面如下：

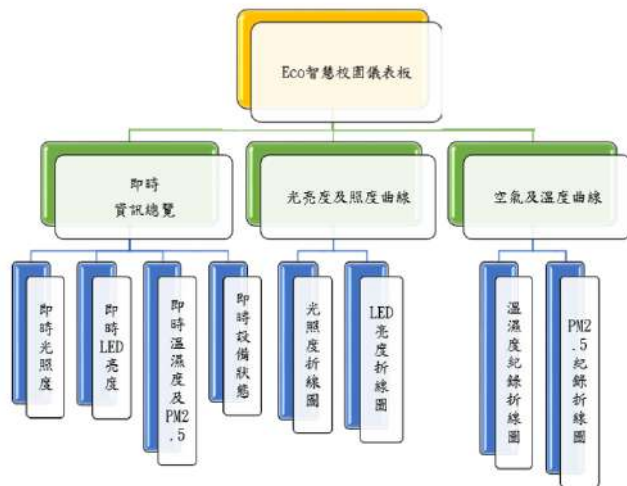


圖 13、智慧校園環境儀表板介面 UI 規畫

(由作者繪製)

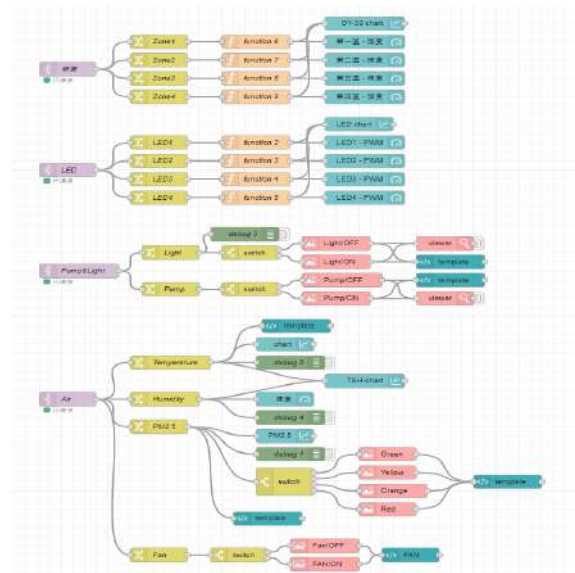
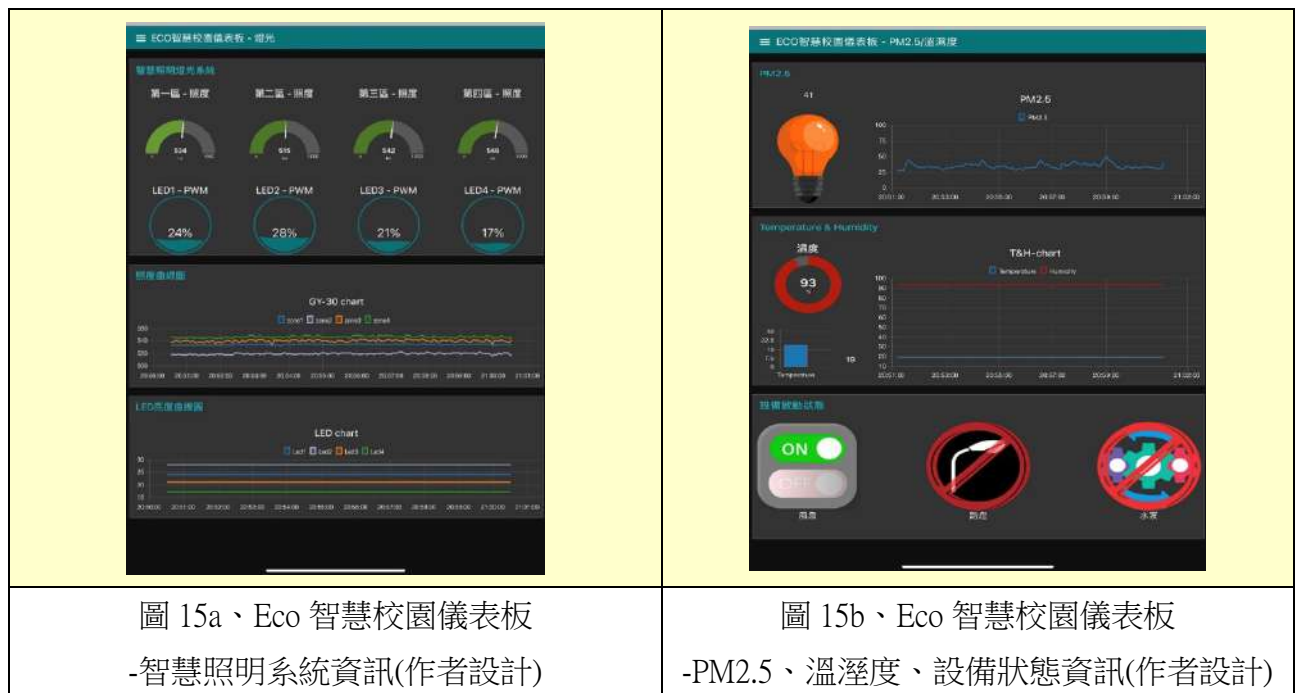


圖 14、智慧校園環境儀表板程式(由作者設計)



伍、研究結果及討論

一、在使用大功率 LED 實驗中，可得到平均數據如下：

表 14、大功率 LED 實驗平均數值(作者實驗數據)

項目	平均照度	光照度 均勻度	PWM	功率
單組大功率LED - 全亮	440.125	0.923	100%	3w
雙組大功率LED - 全亮	659.75	0.941	100%	6w
雙組大功率LED - PWM調變	528.875	0.962	85%	5.1w
四組大功率LED - 全亮	1462.088	0.962	100%	12w
四組大功率LED - PWM調變	512.76	0.987	33%	3.96w

我們分別在相同 LED 亮度情形(全亮及 PWM 調變)下討論：

1. 在使用 LED 全亮情況下：

LED 不使用 PWM 而以全亮照明(如一般全亮燈光)情況下，實驗平均值如下表 15。平均照度會隨著使用 LED 的數量增加而提高，耗電的功率也一樣會隨之升高，但照度均勻度介於 0.92-0.96(均低於使用 PWM 調變)如圖 16。需要注意的是亮度太高反而可能引越眩光、反光等情形，且所消耗的功率也是一種能源的浪費。

表 15、大功率 LED 實驗全亮情形平均數據(作者實驗數據)

項目	平均照度	光照度 均勻度	PWM	功率
單組大功率 LED - 全亮	440.125	0.923	100%	3w
雙組大功率 LED - 全亮	659.75	0.941	100%	6w
四組大功率 LED - 全亮	1462.088	0.962	100%	12w

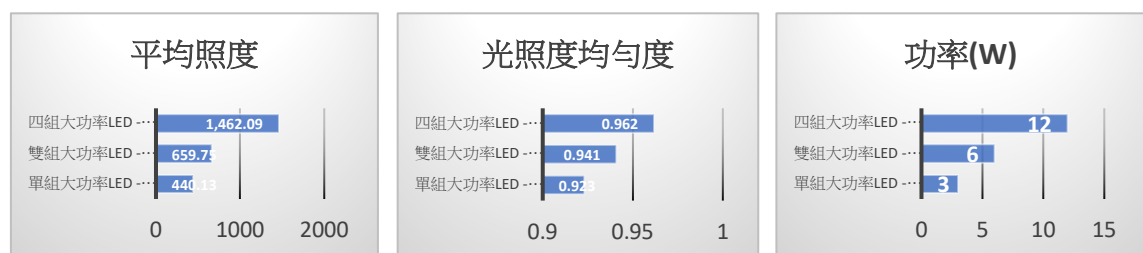


圖 16、大功率 LED 全亮實驗，不同光源數量各項數據比較圖(由作者繪製)

2. 在使用以 PWM 調變技術時：

當使用程式自動控制的 PWM 調變技術後，只要二組以上的 LED，平均照度都可以達到標準、四組 LED 的照度均勻度更可達到接近 0.99，已經非常接近理想狀態。

表 16、大功率 LED 實驗 PWM 調變實驗平均數據(作者實驗數據)

項目	平均照度	光照度均勻度	PWM	功率(W)
雙組大功率LED - PWM調變	528.875	0.962	85%	5.1
四組大功率LED - PWM調變	512.76	0.987	33%	3.96

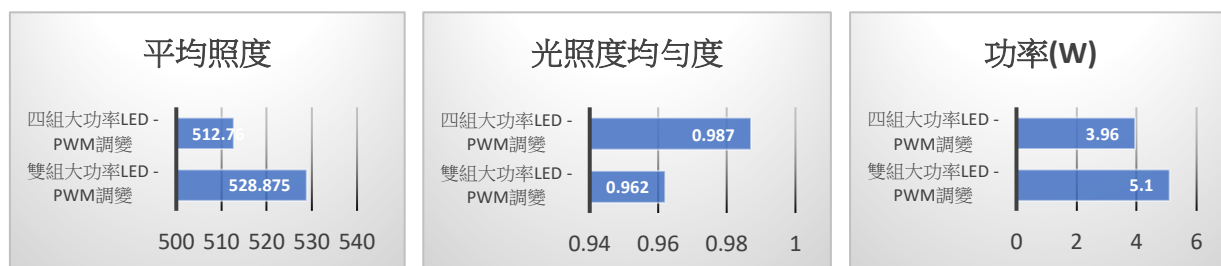


圖 16、大功率 LED 實驗 PWM 調變，不同光源數量各項數據比較圖(由作者繪製)

3. 相同 LED 數量情況下比較有無 PWM 調變：

在 LED 數量一樣的情況下，得到數據平均值如下表 17。從數據中可以發現在智慧式的自適應 PWM 調變技術幫助下，教室自動調光照明系統除可達到平均照度標準外，更可提升及光照度均勻度，並大量的減少功率的消耗 (相對無 PWM 調變時，僅為相同 LED 數量時的 0.33~0.85 倍)，做到節能減碳的目標。

表 16、大功率 LED 實驗 全亮/PWM 調變實驗平均數據比較表(作者實驗數據)

項目	平均照度	光照度均勻度	PWM	功率(w)	項目	平均照度	光照度均勻度	PWM	功率(w)
雙組大功率LED - 全亮	659.75	0.941	100%	6	四組大功率LED - 全亮	1462.088	0.962	100%	12
雙組大功率LED - PWM調變	528.875	0.962	85%	5.1	四組大功率LED - PWM調變	512.76	0.987	33%	3.96

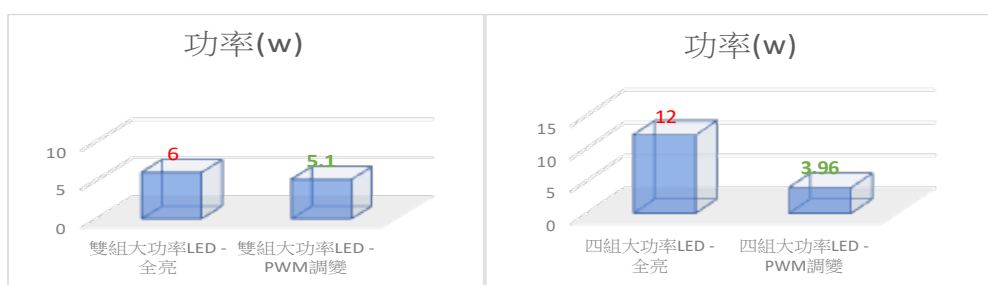


圖 17、大功率 LED 實驗 P W M調變/全亮 功率消耗比較圖(作者繪製)

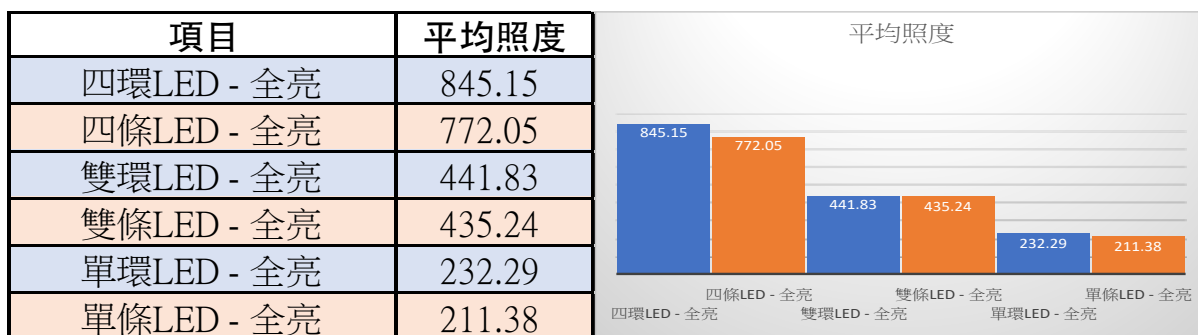
二、在使用 5050 環狀及條狀 LED 實驗中，可得到平均數據如下：

表 17、5050 LED 實驗平均值數據表(作者實驗數據)

項目	平均照度	光照度均勻度	PWM(%)	功率(w)
單環LED - 全亮	232.29	0.933	100	2.4w
雙環LED - 全亮	441.83	0.943	100	4.8w
四環LED - 全亮	845.15	0.974	100	9.6w
四環LED - PWM調變	528.70	0.981	55	5.28w
單條LED - 全亮	211.38	0.958	100	2.4w
雙條LED - 全亮	435.24	0.973	100	4.8w
四條LED - 全亮	772.05	0.981	100	9.6w
四條LED - PWM調變	539.99	0.985	58	5.57w

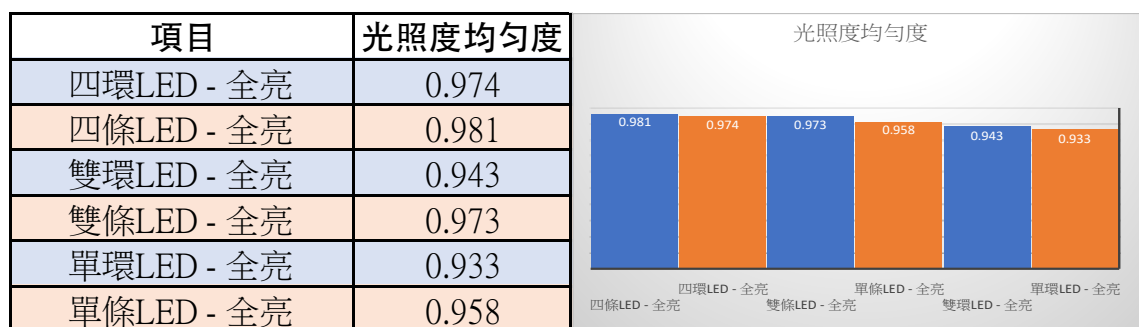
1. 當 LED 燈光在全亮情況下，燈光平均照度隨著數量減少而減少，且在燈光數量相同時，環狀 LED 平均照度值皆高於條狀 LED

表 18、5050 LED 全亮實驗平均照度數據表(作者實驗數據)



2. 當 LED 燈光在全亮情況下，燈光光照度均勻度隨著數量減少而減少，且在燈光數量相同時，環狀 LED 平均照度值皆低於條狀 LED

表 19、5050 LED 全亮實驗光照度均勻度平均數據表(作者實驗數據)



從上述結果，在相同數量的 LED 情況下，條狀 LED 的光照度均勻度會高於環狀 LED，但條狀 LED 的平均照度都低於環狀 LED。因為二種 LED 模組均使用相同的 5050-LED 發光源，唯一不同的地方在於 LED 的排列方式。又因為教室模型為長方形

(與一般教室相同)，故同為長型的條狀 LED 對於光照度均勻度的提升較有幫助，而環型 LED 則因發光源集中，所以平均照度會較高(LED 燈光全亮無 PWM 調變下)。

三、在各種 LED 使用 PWM 調變下的燈光模擬，所得到的平均數據如下：

表 20、三款 LED 實驗 PWM 調變平均數據比較表(作者實驗數據)

項目	平均照度	光照度均勻度	PWM(%)	功率(w)
雙組大功率LED - PWM調變	528.88	0.962	85	5.1
四組大功率LED - PWM調變	512.76	0.987	33	3.96
四環LED - PWM調變	528.70	0.981	55	5.28
四條LED - PWM調變	539.99	0.985	58	5.57

在本研究中可得到大功率 LED 在模型教室中，在照度達標準的前題下，其光照度均勻度最高，且消耗的功率最低，可達到最舒適的光照度環境及最節能減碳的最佳效果

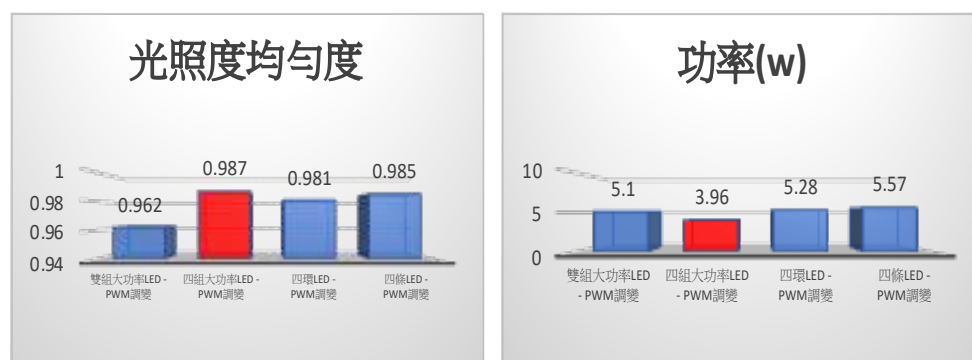


圖 17、LED 實驗 P W M調變 光照度均勻度/功率比較圖(作者繪製)

四、PM2.5 偵測、溫控風扇自動控制、再生水系統及太陽能自動路燈照明，經實際測試在網路環境穩定下，各式環境感測器均能穩定的傳送到智慧校園環境儀表板。除了可以顯示即時狀態外，也可以穩定的紀錄歷史訊息，並以折線圖呈現供參考。

陸、結論

本研究透過實際實驗，比較不同類型與控制方式的 LED 照明系統在教室照明應用上的表現，歸納結論如下：

一、大功率 LED 使用 PWM 調變優於全亮模式

實驗結果顯示，在相同 LED 數量下，採用 PWM 調變控制的系統可大幅降低耗電功率（僅為全亮模式的 33%~85%），同時提升光照度均勻度（可達 0.987），並仍可維持足夠的平均照度，達到節能與舒適照明兼顧的目標。

二、LED 模組排列方式影響光照效果

在 5050 環狀與條狀 LED 模組比較中，當燈具數量相同時，環狀 LED 的平均照度高於條狀 LED，但條狀 LED 在光照度均勻度表現較佳。此差異主因在於排列方式不同，其中條狀 LED 更符合教室長方形空間，有助於光線均勻分佈。

三、不同 LED PWM 調變下綜合比較

就整體而言，大功率 LED 在 PWM 調變下表現最為理想，具備最高的光照度均勻度與最低的耗電功率，最適合應用於智慧教室之節能照明設計。

四、PWM 調變系統可不同場合下良好運用

除了在固定光源下可以利用 PWM 調變教室光照度，營造節能與舒適照明的環境，在完全無光源或是受日照造成光照度有落差的情況下，也可以利用各區域 LED 發光強度的自適應回饋補償，讓光線適中及穩定。

五、智慧環境監測系統運作穩定

本研究除了能以人體感測器智慧判斷教室內是否有人，進而自動關閉/開啟照明電源以達節能目標，亦整合 PM2.5 偵測、溫控風扇控制、再生水系統與太陽能路燈等模組，測試結果顯示在網路穩定下，各項感測資料皆能準確回傳並在環境儀表板中即時顯示與記錄，為智慧校園的環境監控提供良好的技術支持。

柒、參考資料

- 一、 104 學習網. (2022, March 26). 樹莓派安裝 MQTT 伺服器.
<https://104.es/index.php/2022/03/26/raspberry-mqtt/>
- 二、 atCeiling. (2021, March). *Raspberry Pi Pico 筆記 1 : MicroPython 點亮 LED*.
<https://atceiling.blogspot.com/2021/03/raspberry-pico1micropythonled.html>
- 三、 Node-RED. (n.d.). *Node-RED*. <https://nodered.org>
- 四、 InfluxData. (2021, February 23). *Node-RED Dashboard Tutorial*.
<https://www.influxdata.com/blog/node-red-dashboard-tutorial/>
- 五、 經濟部. (n.d.). 2050 淨零碳排 [淨零排放資訊平台]. <https://go-moea.tw/#gsc.tab=0>
- 六、 教育部. (n.d.). 國民小學及國民中學設施設備基準.
<https://edu.law.moe.gov.tw/LawContent.aspx?id=GL000314>
- 七、 工業技術研究院能源與資源研究所. (n.d.). 產業照明系統節能技術手冊 [PDF].
<https://emis.itri.org.tw/Content/Upload/Manage/Files/68980c8d-4883-4339-9eaf-204681dd6f45.pdf>

【評語】 032801

1. 本作品設計規劃清晰，展現出良好的可行性與整合能力，對未來智慧校園的發展具有實質貢獻，值得肯定。
2. 若能進一步思考如何設計並開發出有別於現有物聯網產品的創新應用，將更能突顯作品的價值與獨特性，期待未來精彩表現。

作品海報



智慧校園

- 智慧節能新生活 -



摘要

- 本研究利用**樹莓派PI 4B**、**PICO W**及各式**感測器**建構校園環境的自動化系統。
- 以PI 4B為核心，負責各項資料以**MQTT**技術傳送交換及**NODE-RED**做數據呈現，PICO W則控制著各感測器操作。
- 先找出最適合做為教室智慧燈光的燈光源，利用光照度感測器讀取光照度值反饋給LED控制器，自適應調整LED發光亮度**PWM**值；再利用人體運動感測器做為燈具自動開關的依據。
- 另二個PICO W連接PM2.5、溫濕度感測器及太陽能路燈、水泵，隨時偵測校園環境的PM2.5值及溫濕度並自動化操作各設備。
- 平板載具即時顯示各設備狀態，以**可視化WEB界面**觀察教室內燈光及校園內各項設備運作情形。

壹、研究動機

- 科技快速發展帶來便利，也對自然環境造成難以復原的衝擊。
- 思考如何善用科技促進永續發展
- 利用科技為環境帶來正向改變



圖1、ECO智慧校園構想心智圖(由作者繪製)

貳、研究目的

表1、研究目的(由作者製作)

一、教室自動調光照明系統：	1-1尋找適合的教室LED燈光源，自動偵測教室內光照度值，並隨環境調整照明LED亮度，讓教室光照度符合標準且提高光照度均勻度。	1-2自動開關燈具以節約能源。
二、PM2.5偵測及溫控風扇自動化	2-1隨時監測教室外PM2.5濃度，並以燈號顯示濃度等級做為警示。	2-2以DHT-11感測器偵測教室內溫濕度，自動啟動及停止溫控設備。
三、再生水系統及太陽能自動路燈照明	3-1利用水位感測器，收集洗水台的廢水後再做澆灌綠地利用，節省水資源	3-2利用光敏感測器感測環境亮度，自動啟動太陽能路燈。
四、智慧校園環境儀表板	配合上述三項各式感測器，將即時資訊顯示在行動載具上，並以圖表方式顯示便於觀察利用。	

參、研究設備與器材

表2、研究設備與器材(由作者拍攝)

Raspberry Pi 4B	Raspberry Pi Pico W	繼電器	大功率 LED 模組
環狀 LED 模組	條狀 LED 模組	光強度感測器(GY-30)	溫濕度感測器(DHT-11)
水位感測器	微型水泵	平板	壓克力板
雷切機	Inkscape	光線感測器	3V 小風扇

肆、研究過程及方法

一、研究系統圖

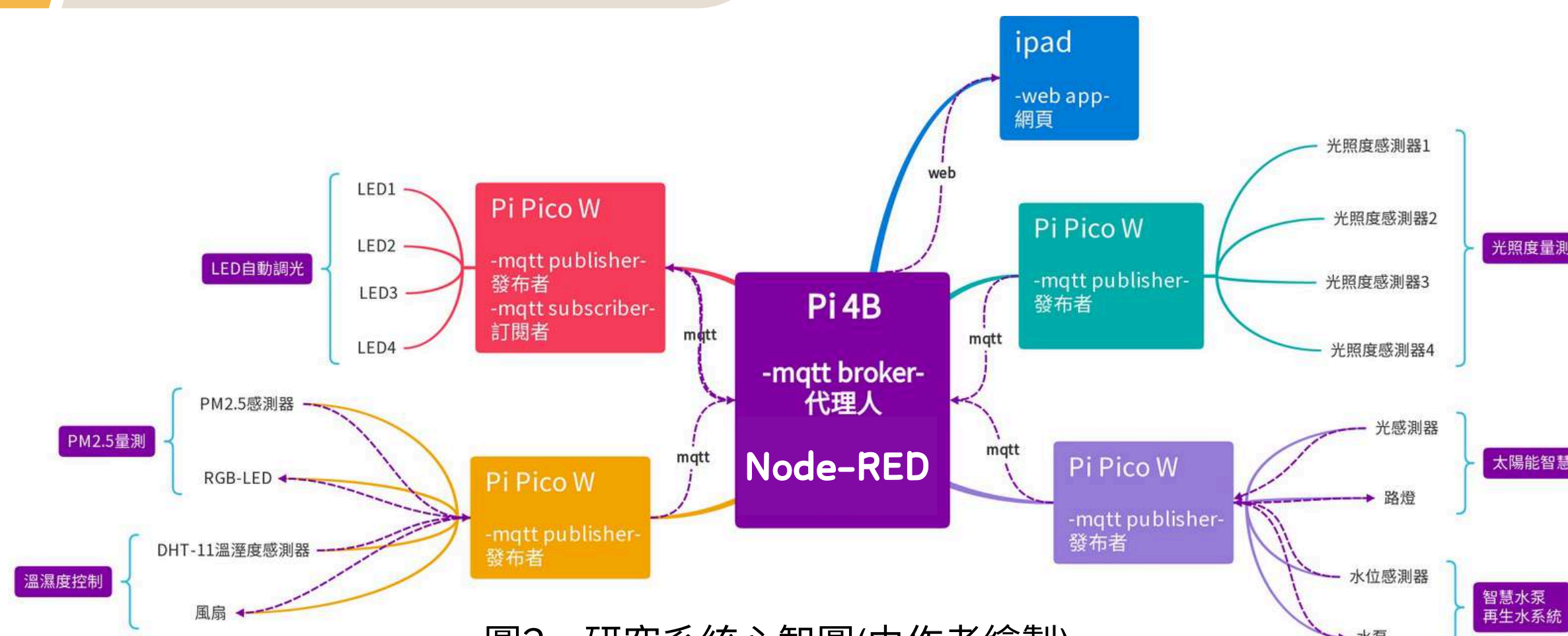
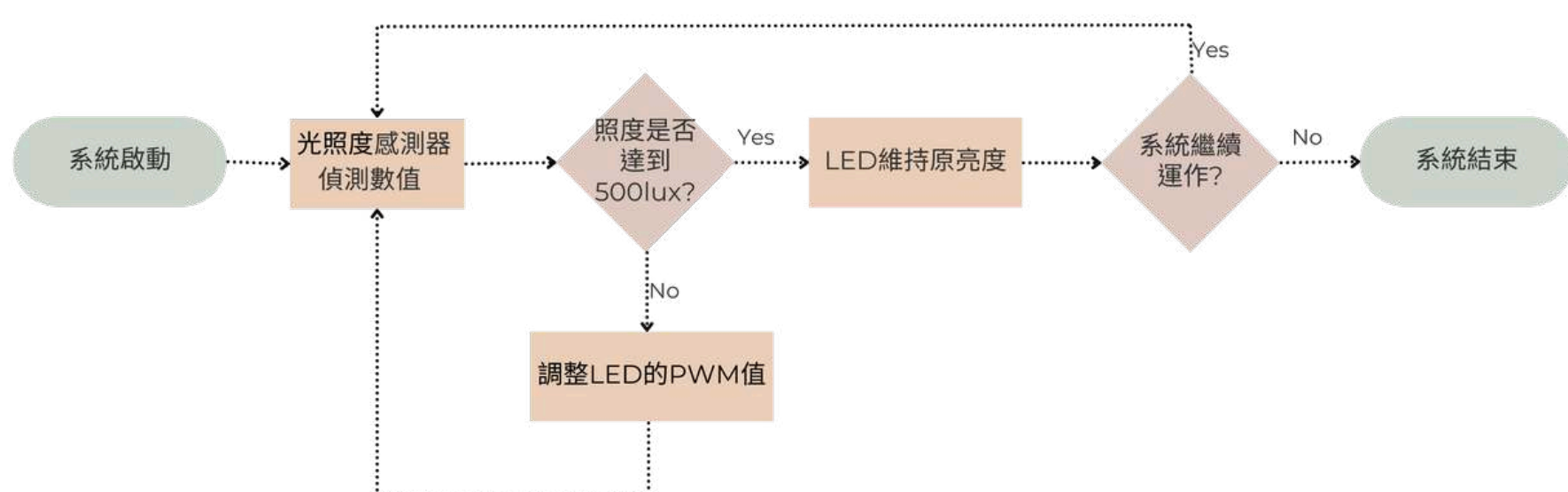


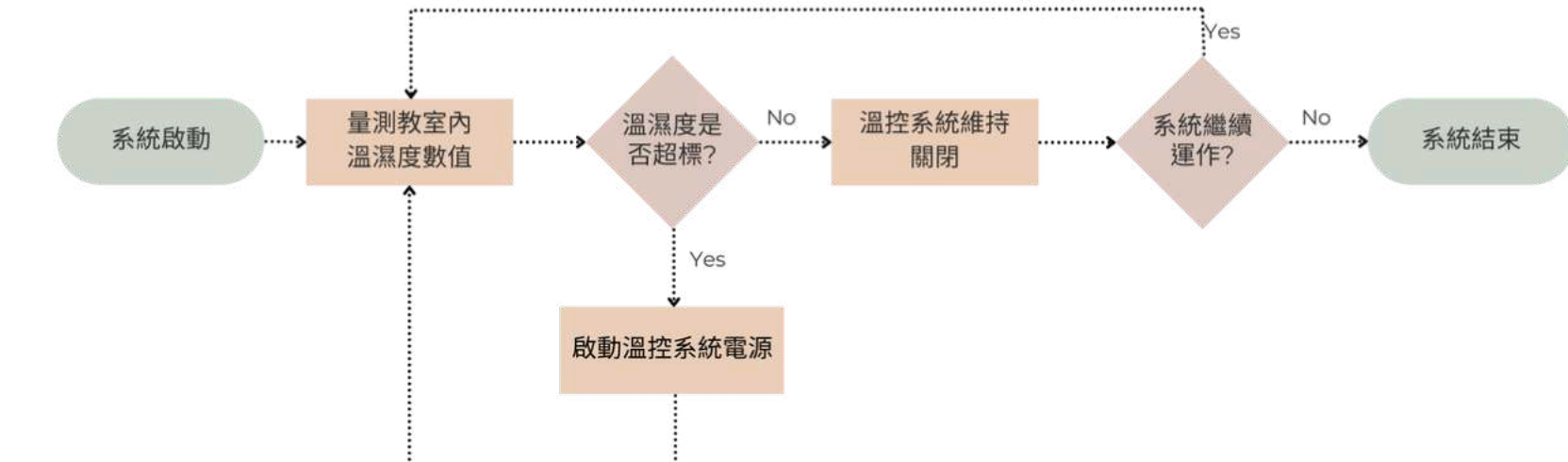
圖2、研究系統心智圖(由作者繪製)

二、實驗事件流程圖

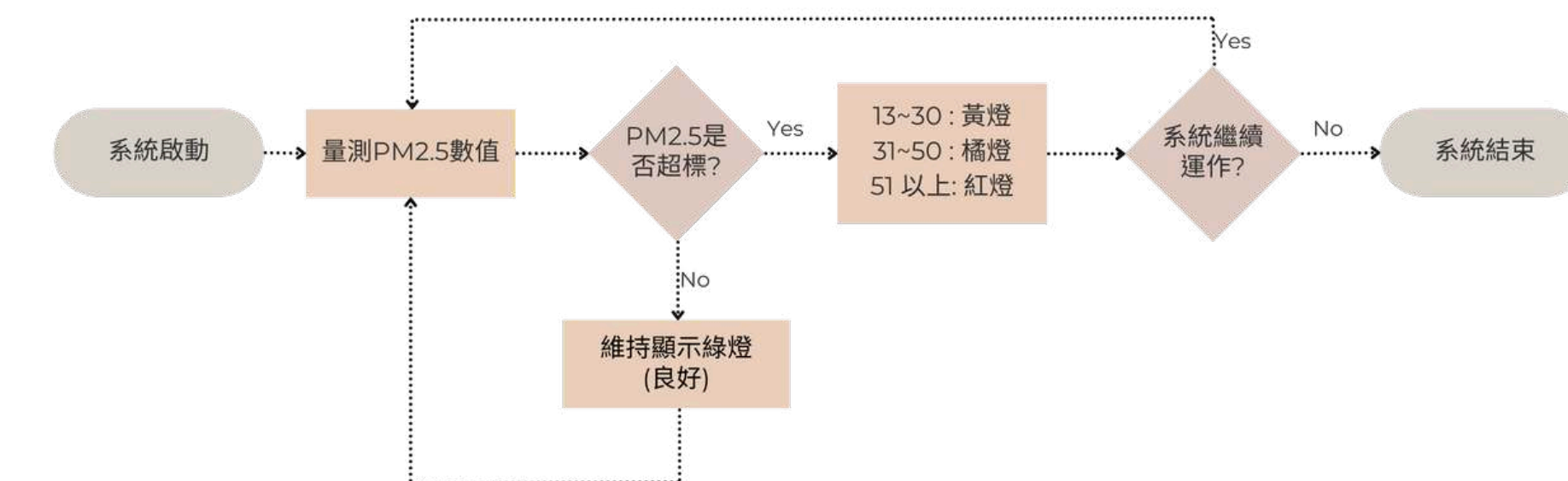
(一)自動調光照明系統流程圖



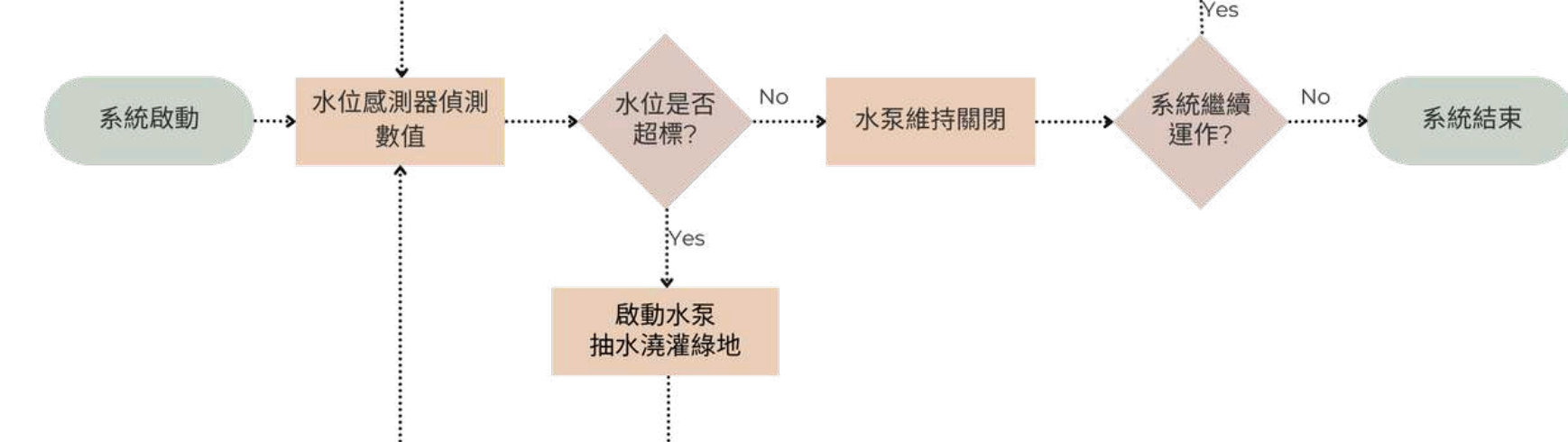
(二)溫控風扇流程圖



(三)PM2.5空品偵測流程圖



(四)再生水系統流程圖



(五)路燈自動照明系統流程圖

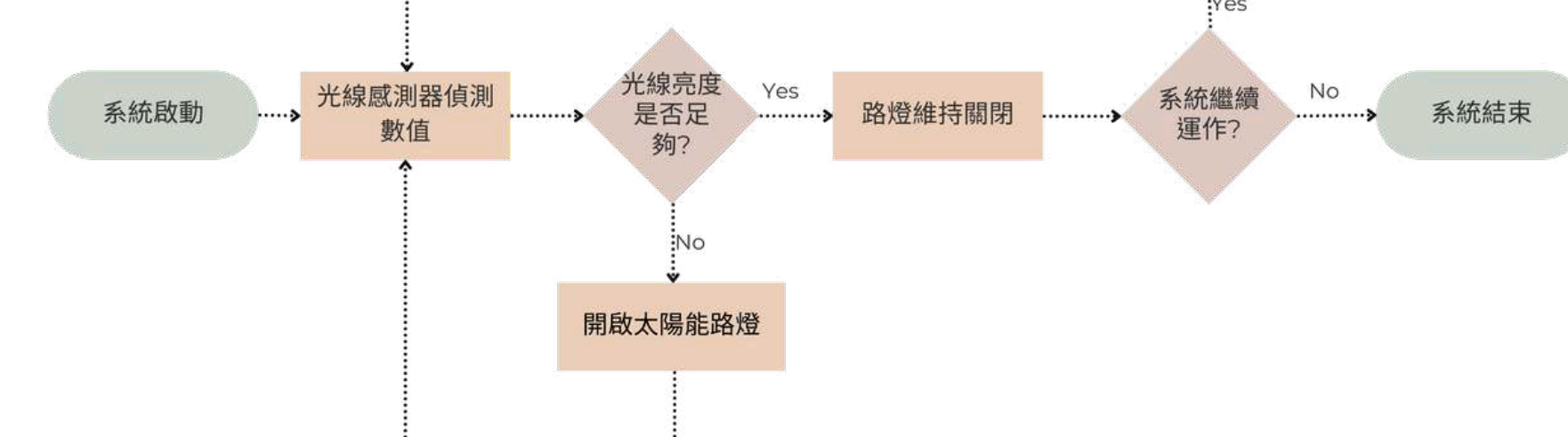


圖3、各實驗事件流程圖(均由作者繪製)

三、實驗方法

(1)光照度感測器位置

我們將建構好的教室模型內部照明空間分為四大部分，每個區域中心位置各有一個**光照度感測器**(GY-30)，量測該區域光照度值。

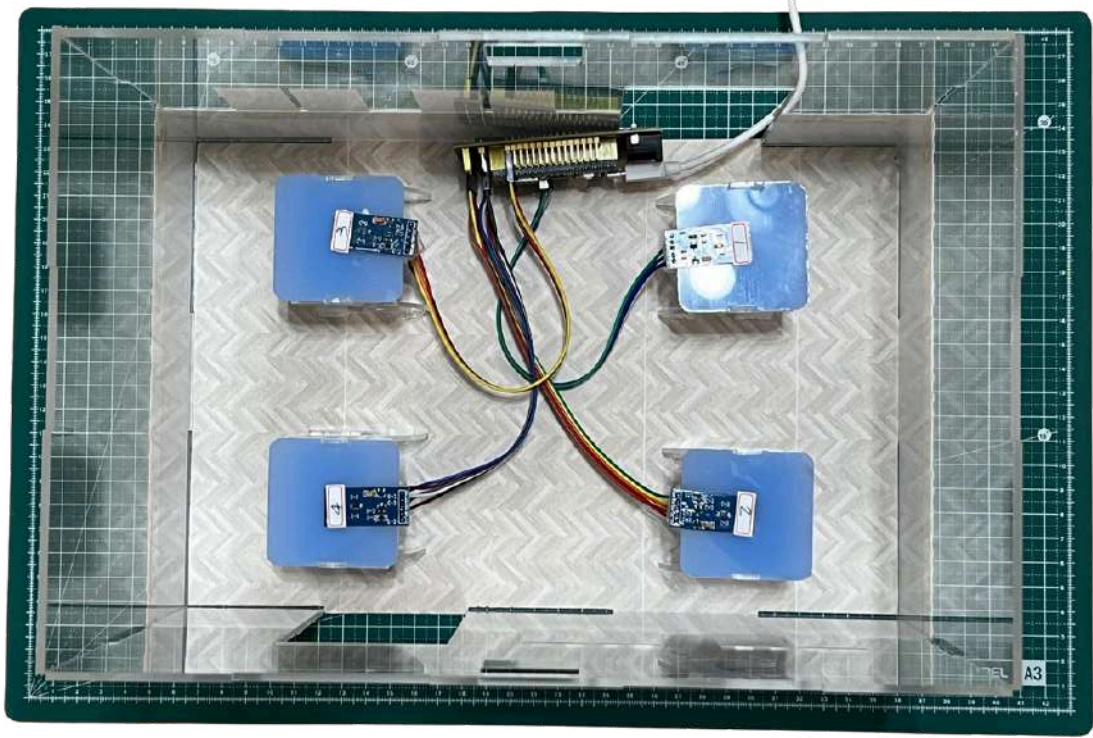


圖4、照明空間位置圖(由作者拍攝)

(2)LED光源位置

LED照明方式，分為**單組**LED照明、**雙組**LED照明及**四組**LED照明。

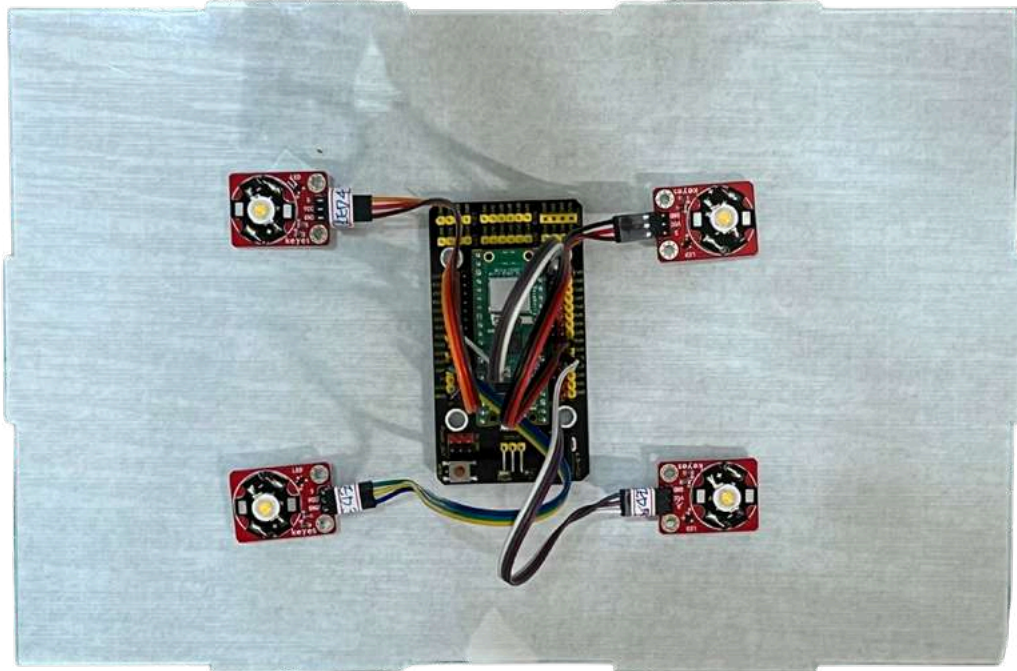


圖5、感測器位置圖(由作者拍攝)

(3) PWM自適應調整方式

利用PicoW的**PWM**功能，以此**自動回饋**(feedback)**補償**的方式來自動調整光源亮度。



圖6、教室內部空間照明圖1(由作者拍攝)



圖7、教室內部空間照明圖2(由作者拍攝)

四、實驗過程

各式LED燈

(一)實驗用的LED共有三款，分別為5050**條狀**LED、**高功率**LED及5050**環狀**LED，其相異處比較如表2。



圖8、各式LED圖(由作者拍攝)

表3、LED特性比較(由作者製作)

	高功率LED	5050環狀LED	5050條狀LED
外觀包裝	單顆型	8顆環狀型	8顆條狀型
功率	3W	2.4W(單顆0.3W)	2.4W(單顆0.3W)
亮度	180~210lm	22-24lm(單顆)	22-24lm(單顆)



圖9、智慧校園模型實景圖(由作者拍攝)

(一)高功率LED實測

(1)單組高功率LED實測

在僅用單組大功率LED情況下，全亮狀態仍無法讓照度值達500LUX，故如以PWM調變機制進行實驗，PWM在100%時仍會在照度值500LUX以下，和全亮一樣的結果。



圖10、單高功率LED(由作者繪製)

(2)雙組高功率LED實測

在使用雙組大功率LED情況後，PWM值在Duty Cycle為85%時照度可達到500lux以上；相對於無PWM調變(全亮相當於PWM值為100%)可節省15%的能源耗，且照度均勻度可從0.94上升到0.96(表5a、表5b)。

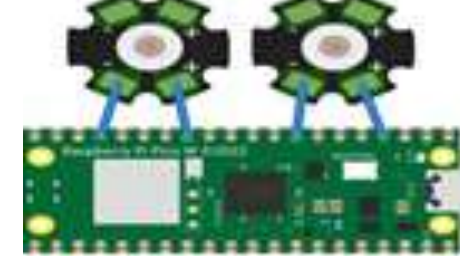


圖11、雙高功率LED(由作者繪製)

(3)四組高功率LED實測

使用四組大功率LED做為燈光來源後，PWM值在Duty Cycle為33%時照度可達到500lux以上，相對於四組無PWM調變的全亮狀態可節省67%的功耗，且照度均勻度可接近0.99(表6a、表6b)。

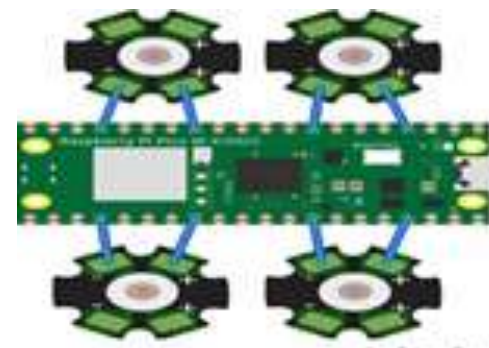


圖12、四高功率LED(由作者繪製)

表4、單組大功率LED - 全亮(作者實驗數據)						
位置照度	第1區	第2區	第3區	第4區	平均照度	光照度均勻度
平均	406.1	457.35	431.5	465.55	440.125	0.923
PWM	100%					

表5a、雙組大功率LED - 全亮(作者實驗數據)

位置照度	第1區	第2區	第3區	第4區	平均照度	光照度均勻度
平均	621.1	681.15	687.95	648.8	659.75	0.941
PWM	100%					

表5b、雙組大功率LED - PWM調變(作者實驗數據)

位置照度	第1區	第2區	第3區	第4區	平均照度	光照度均勻度
平均	510.75	541.55	544.95	518.25	528.87	0.962
PWM	85%					

表6a、四組大功率LED - 全亮(作者實驗數據)

位置照度	第1區	第2區	第3區	第4區	平均照度	光照度均勻度
平均	1468	1502	1470	1407	1462.09	0.962
PWM	100%					

表6b、四組大功率LED - PWM調變(作者實驗數據)

位置照度	第1區	第2區	第3區	第4區	平均照度	光照度均勻度
平均	510	518	512	511	512.76	0.987
PWM	33%					

(二)5050環狀LED實測

(1)單組及雙組環狀LED實測

使用5050環狀LED後，可以發現使用單組及雙組LED時，即使LED亮度已達到最高PWM值(全亮)時，照度不足以達到500lux的標準(表7a、表7b)，因此在環狀LED的光源情況下，單組和雙組LED的照度均無法滿足最低照度標準的需求。

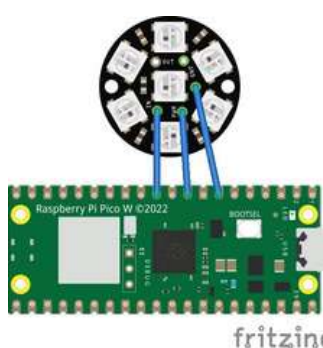


圖13、單組環狀LED(由作者繪製)

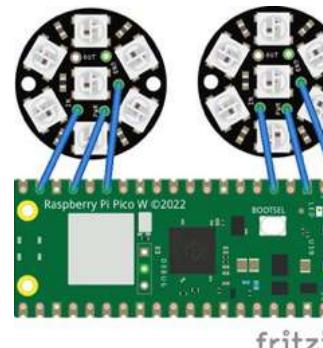


圖14、雙組環狀LED(由作者繪製)

表7a、單環LED - 全亮(作者實驗數據)						
位置照度	第1區	第2區	第3區	第4區	平均照度	光照度均勻度
平均	228.7	232.6	224.4	243.4	232.29	0.933
PWM	100%					

表7b、雙環LED - 全亮(作者實驗數據)						
位置照度	第1區	第2區	第3區	第4區	平均照度	光照度均勻度
平均	432.5	453.1	464.1	417.7	441.825	0.943
PWM	100%					

(2)四組環狀LED實測

使用四組高功率LED後，PWM值在Duty Cycle為55%時照度可達到500lux以上；相對於無PWM調變(全亮)可節省45%的能源耗，且照度均勻度可達0.98(表8a、表8b)。

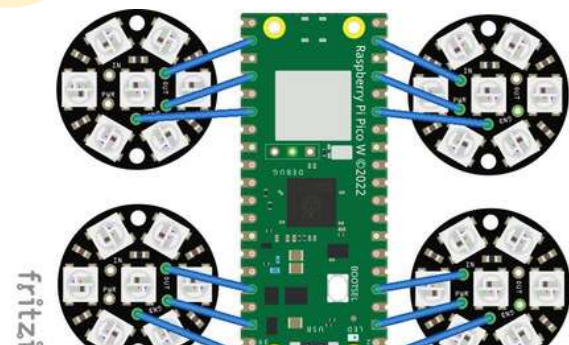


圖15、四組環狀LED(由作者繪製)

表8a、四環LED - 全亮(作者實驗數據)						
位置照度	第1區	第2區	第3區	第4區	平均照度	光照度均勻度
平均	826.65	880.75	847.1	826.1	845.15	0.974
PWM	100%					

表8b、四環LED - PWM調變(作者實驗數據)						
位置照度	第1區	第2區	第3區	第4區	平均照度	光照度均勻度
平均	525.05	536.8	531.95	521	528.7	0.981
PWM	55%					

(三)5050條狀LED實測

(1)單組及雙組條狀LED實測

使用5050條狀LED後，可以發現使用單組及雙組LED時和環狀LED相似，LED亮度已達到最高PWM值(全亮)時，照度仍無法達到最低標準500lux((表9a、表9b))。但可發現到條狀LED的照度平均度相對較高，平均照度則較低。

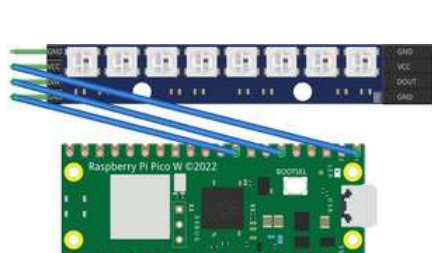


圖16、單組條狀LED(由作者繪製)

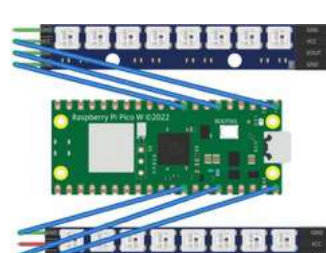


圖17、雙組條狀LED(由作者繪製)

表9a、單條LED - 全亮(作者實驗數據)						
位置照度	第1區	第2區	第3區	第4區	平均照度	光照度均勻度
平均	207.8	209	214.7	214	211.375	0.958
PWM	100%					

表9b、雙條LED - 全亮(作者實驗數據)						
位置照度	第1區	第2區	第3區	第4區	平均照度	光照度均勻度
平均	438.85	439.6	438.25	424.25	435.2375	0.973
PWM	100%					

使用四組高功率LED後，PWM值在Duty Cycle為58%時照度可達到500lux以上；相對於無PWM調變(全亮)可節省42%的能源耗(如表10a及表10b)，且照度均勻度可達0.985。

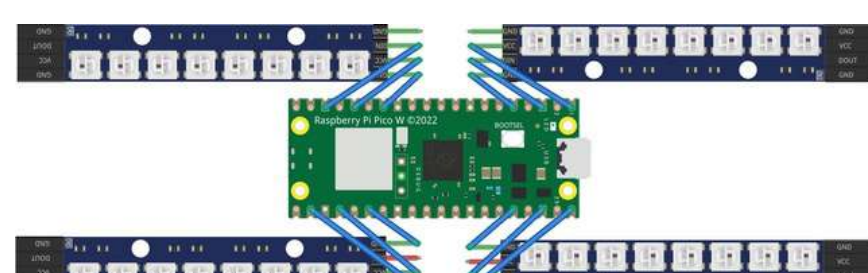


圖18、四組條狀LED(由作者繪製)

表10a、四條LED - 全亮(作者實驗數據)						
位置照度	第1區	第2區	第3區	第4區	平均照度	光照度均勻度
平均	757.65	773.15	781.2	776.2	772.05	0.981
PWM	100%					

表10b、四條LED - PWM調變(作者實驗數據)						
位置照度	第1區	第2區	第3區	第4區	平均照度	光照度均勻度
平均	544.1	547.75	533.95	534.15	539.987	0.985
PWM	58%					

(四)夜間自適應LED燈照明模擬

在完全無光源的地方內，自適應PWM調光系統仍可以正常運作提供符合標準的光照度，並能保持很高的光照度均勻度。

表11a、模擬白天LED自適應PWM調變 (作者實驗數據)						
位置 照度	第1區	第2區	第3區	第4區	平均照 度	光照度均 勻度
平均	511	518	512	511	512.83	0.988
PWM	33%	33%	33%	33%		

表11b、模擬夜晚LED自適應PWM調變 作者實驗數據)						
位置 照度	第1區	第2區	第3區	第4區	平均照 度	光照度均 勻度
平均	510	512	509	513	510.92	0.99
PWM	38%	38%	38%	38%		

(五)日曬角度配合自適應LED燈照明模擬

以30度角、45度角及60度角模擬自適應LED燈照明在此狀況下的運作情形。當各種日照角度引起教室內光照分度不均勻或不足時，藉由PWM自動調變系統可以將光照度太低部份補足，並且讓照度更加趨近均勻。

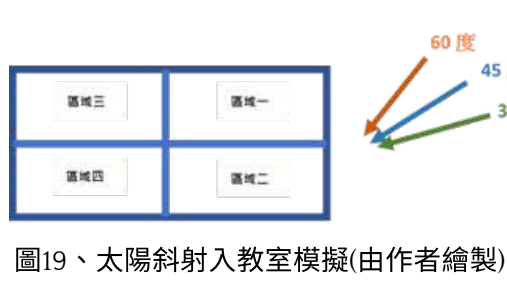


表12a、模擬白天LED自適應PWM調變(作者實驗數據)						
位置 照度	第1區	第2區	第3區	第4區	平均 照度	光照 度均
平均	511	518	512	511	512.83	0.988
PWM	33%	33%	33%	33%		

表12b、模擬太陽斜射 - 30度角(作者實驗數據)						
位置 照度	第1區	第2區	第3區	第4區	平均 照度	光照 度均
平均	522.9	529.9	543.9	537.8	533.625	0.98
PWM	28%	28%	28%	28%		

表12c、模擬太陽斜射 - 45度角(作者實驗數據)						
位置 照度	第1區	第2區	第3區	第4區	平均 照度	光照 度均
平均	541.2	517.5	520.8	519.6	524.77	0.984
PWM	26%	26%	28%	28%		

表12d、模擬太陽斜射 - 60度角(作者實驗數據)						
位置 照度	第1區	第2區	第3區	第4區	平均 照度	光照 度均
平均	538	535.8	528	541.8	535.05	0.985
PWM	22%	22%	28%	28%		

(六)人體運動感測器自動開關LED燈照明模擬

利用SR-501的連續觸發模式後，再判斷搭配python程式設計，當持續超過2分鐘未偵測到人體，立即將目前燈光狀態紀錄保留並且將LED燈光關閉。當重新檢測到人體活動時，則立刻回復原來燈光狀態恢復照明。

表13a、連續觸發模式(作者實驗)		表13b、單次觸發模式(作者實驗)	
第1次	成功觸發	第1次	成功觸發
第2次	成功觸發	第2次	成功觸發
第3次	成功觸發	第3次	失敗
第4次	成功觸發	第4次	成功觸發
第5次	成功觸發	第5次	成功觸發
第6次	成功觸發	第6次	失敗
第7次	成功觸發	第7次	成功觸發
第8次	成功觸發	第8次	失敗
第9次	成功觸發	第9次	失敗
第10次	成功觸發	第10次	成功觸發
正確率	100%	正確率	60%

伍、研究結果及討論

一、使用LED全亮情況

全亮照明情況下，平均照度會隨著使用LED的數量增加而提高，耗電的功率也一樣會隨之升高，但照度均勻度介於0.92-0.96(均低於使用PWM調變)。亮度太高反而可能引起眩光、反光等情形，且所消耗的功率也是一種能源的浪費。

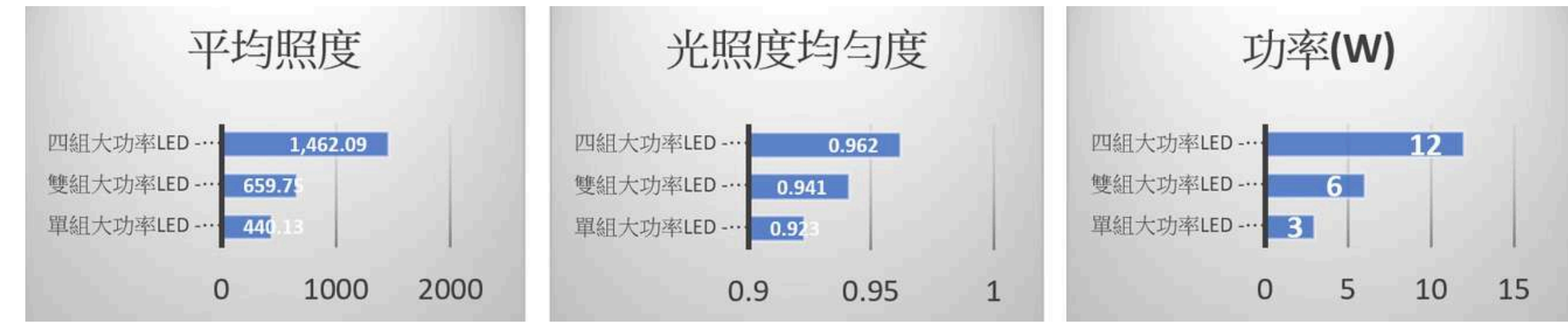


表14、大功率LED實驗全亮情形平均數據(作者實驗數據)

項目	平均照度	光照度均勻度	PWM	功率
單組大功率LED - 全亮	440.125	0.923	100%	3w
雙組大功率LED - 全亮	659.75	0.941	100%	6w
四組大功率LED - 全亮	1462.088	0.962	100%	12w

二、使用PWM調變技術

使用PWM調變技術後，只要二組以上的LED，平均照度都可以達到標準、四組LED的照度均勻度更可達到接近0.99，已經非常接近理想狀態。

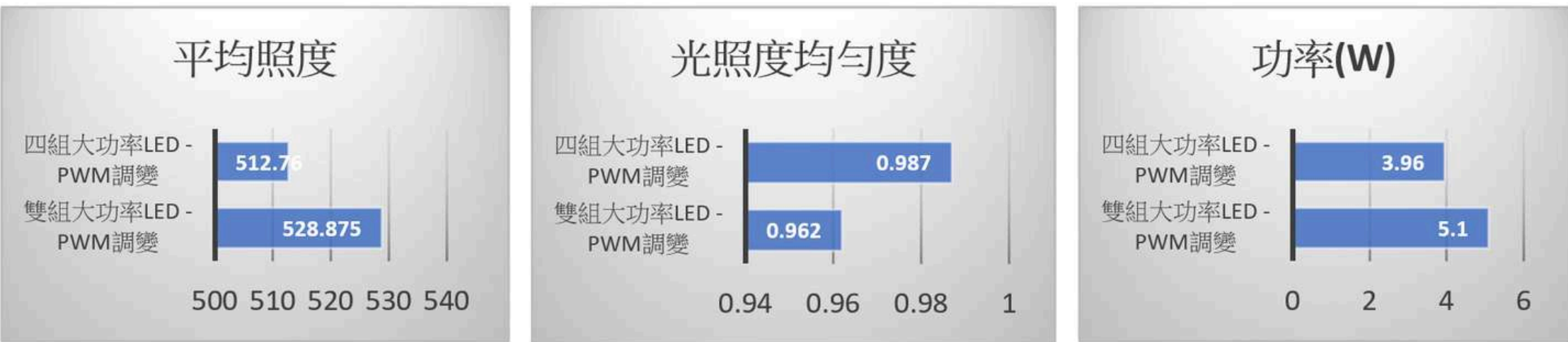


表15、大功率LED實驗PWM調變實驗平均數據(作者實驗數據)

項目	平均照度	光照度均勻度	PWM	功率(W)
雙組大功率LED - PWM調變	528.875	0.962	85%	5.1
四組大功率LED - PWM調變	512.76	0.987	33%	3.96

三、相同LED數量情況下比較有無PWM調變

在智慧式PWM調變技術幫助下，教室自動調光照明系統除可達到平均照度標準外，更可提升及光照度均勻度，並大量的減少功率的消耗(相對無PWM調變時，僅為相同LED數量時的0.33-0.85倍)，做到節能減碳的目標。



表16、大功率LED實驗 全亮/PWM調變 實驗平均數據比較表(作者實驗數據)

項目	平均照度	光照度均勻度	PWM	功率(w)
四組大功率LED - 全亮	1462.088	0.962	100%	12
四組大功率LED - PWM調變	512.76	0.987	33%	3.96

項目	平均照度	光照度均勻度	PWM	功率(w)
雙組大功率LED - 全亮	659.75	0.941	100%	6
雙組大功率LED - PWM調變	528.875	0.962	85%	5.1

四、使用5050 環狀及條狀LED-全亮

條狀LED的光照度均勻度會高於環狀LED，但條狀LED的平均照度都低於環狀LED。因為二種LED模組均使用相同的5050-LED發光源，唯一不同的地方在於LED的排列方式。又因為教室模型為長方形(與一般教室相同)，故同為長型的條狀LED對於光照度均勻度的提升較有幫助，而環狀LED則因發光源集中，所以平均照度會較高(LED燈全亮無PWM調變下)。

表17、5050 LED實驗平均值數據表(作者實驗數據)		
項目	平均照度	平均照度
四環LED - 全亮	845.15	
四條LED - 全亮	772.05	
雙環LED - 全亮	441.83	
雙條LED - 全亮	435.24	
單環LED - 全亮	232.29	
單條LED - 全亮	211.38	

項目	光照度均勻度	光照度均勻度
四環LED - 全亮	0.974	
四條LED - 全亮	0.981	
雙環LED - 全亮	0.943	
雙條LED - 全亮	0.973	
單環LED - 全亮	0.933	
單條LED - 全亮	0.958	

五、在各種LED使用PWM調變下的燈光模擬

在本研究中可得到大功率LED在模型教室中，在照度達標準的前提下，其光照度均勻度最高，且消耗的功率最低，可達到最舒適的光照度環境及最節能減碳的最佳效果。

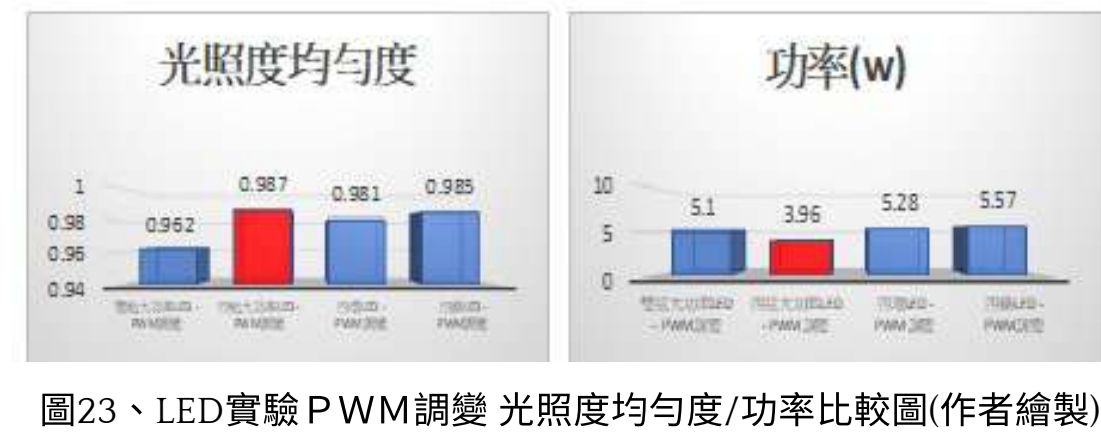


表18、三款LED實驗PWM調變平均數據比較表(作者實驗數據)

項目	平均照度	光照度均勻度	PWM(%)	功率(w)
雙組大功率LED - PWM調變	528.88	0.962	85	5.1
四組大功率LED - PWM調變	512.76	0.987	33	3.96
四環LED - PWM調變	528.70	0.981	55	5.28
四條LED - PWM調變	539.99	0.985	58	5.57

陸、結論

一、大功率 LED 使用 PWM 調變優於全亮模式

在相同 LED 數量下，採用 PWM 調變控制可大幅降低耗電功率（僅為全亮模式的 33%～85%），同時提升光照度均勻度（可達 0.987），並仍可維持足夠的平均照度，達到節能與舒適照明兼顧的目標。

二、LED 模組排列方式影響光照效果

就整體而言，大功率LED在PWM調變下表現最為理想，具備最高的光照度均勻度與最低的耗電功率，最適合應用於智慧教室之節能照明設計。

三、不同 LED PWM 調變下綜合比較

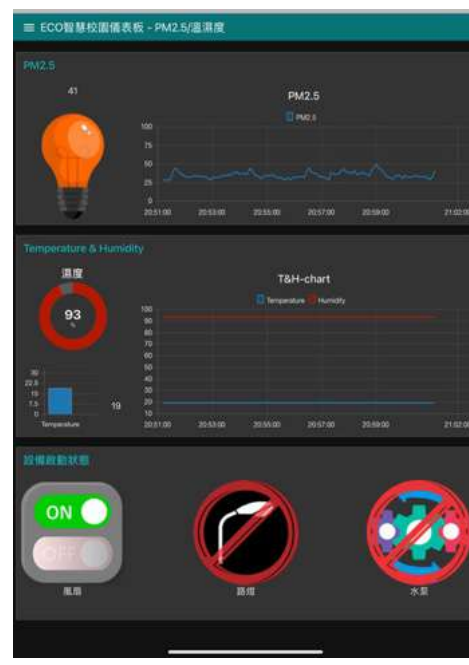
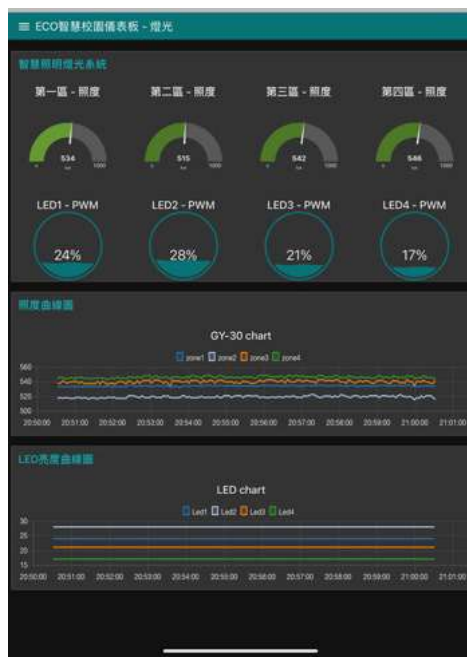
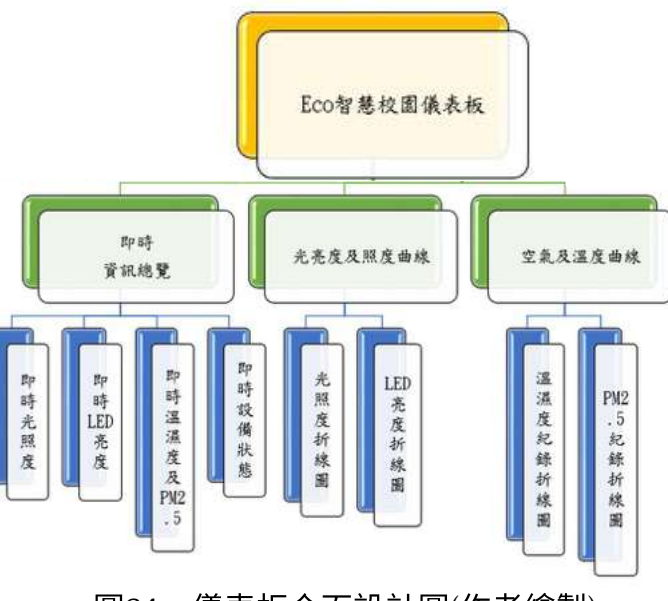
在 5050 環狀與條狀 LED 模組比較中，當燈具數量相同時，環狀 LED 的平均照度高於條狀 LED，但條狀 LED 在光照度均勻度表現較佳。此差異主因在於排列方式不同，其中條狀 LED 更符合教室長方形空間，有助於光線均勻分佈。

四、PWM 調變系統可不同場合下良好運用

除了在固定光源下可以利用PWM調變教室光照度，營造節能與舒適照明的環境，在完全無光源或是受日照造成光照度有落差的情況下，也可以利用各區域LED發光強度的自適應回饋補償，讓光線適中及穩定。

五、智慧環境監測系統運作穩定

本研究除了能以人體感測器智慧判斷教室內是否有人，進而自動關閉/開啟照明電源以達節能目標，亦整合 PM2.5 偵測、溫控風扇控制、再生水系統與太陽能路燈等模組，測試結果顯示在網路穩定下，各項感測資料皆能準確回傳並在環境儀表板中即時顯示與記錄。



柒、參考資料

- 一、104學習網. (2022, March 26). 樹莓派安裝MQTT伺服器. <https://104.es/index.php/2022/03/26/raspberry-mqtt/>
- 二、atCeiling. (2021, March). Raspberry Pi Pico筆記1：MicroPython點亮LED. <https://atceiling.blogspot.com/2021/03/raspberry-pico1micropythonled.html>
- 三、Node-RED. (n.d.). Node-RED. <https://nodered.org>
- 四、InfluxData. (2021, February 23). Node-RED Dashboard Tutorial. <https://www.influxdata.com/blog/node-red-dashboard-tutorial/>
- 五、經濟部. (n.d.). 2050淨零碳排 [淨零排放資訊平台]. <https://go-moea.tw/#gsc.tab=0>
- 六、教育部. (n.d.). 國民小學及國民中學設施設備基準. <https://edu.law.moe.gov.tw/LawContent.aspx?id=GL000314>
- 七、工業技術研究院能源與資源研究所. (n.d.). 產業照明系統節能技術手冊 [PDF]. <https://emis.itri.org.tw/Content/Upload/Manage/Files/68980c8d-4883-4339-9eaf-204681dd6f45.pdf>