中華民國第54屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組　物理科

佳作

030113

省電與照度的平衡

－日光燈具的三維照度之實驗

學校名稱：桃園縣立中壢國民中學

作者：	指導老師：
國二 蘇菲亞	陳威成 蕭濬程

關鍵詞：日光燈、照度、輕鋼架

省電與照度的平衡—日光燈具的三維照度之實驗

摘要

在日常生活中，任何活動幾乎都離不開電能，而照明是占所有電能消耗中相當重要的一項。許多室內場所都使用了輕鋼架與日光燈箱來做照明的設計。因此我們這次便設計了一個實驗，利用智慧型手機上的光照度感應器，配合 APP 軟體，來研究各種的日光燈箱位置組合，與空間中不同位置照度的關係。同時，最近有許多場所為了節約能源，會將日光燈箱中的部分燈管拆除。因此，我們也以這樣的方式進行照度測量。實驗中我們得到各種輕鋼架日光燈箱組合，在空間中不同位置所產生的照度，同時探討拆掉部分燈管時，對桌面照度所造成的影響。最後再進行 T9 日光燈管(傳統)與 T5 日光燈管的照明面積、照度與用電量的比較。

壹、 研究動機

許多建築物天花板使用輕鋼架與日光燈箱做為照明裝潢，本實驗研究動機如下：

一、偶然發現有些地方的日光燈箱為了節約能源，故意將一些日光燈轉至不亮，我們想知道減少燈管數目是否仍然可以達到室內空間的照度標準呢？

二、輕鋼架天花板片為相同之一格一格正方形形狀，有些教室內的兩個日光燈箱間隔只隔一個天花板，而有些時候又會隔兩格或三格的天花板。而在一個輕鋼架裝潢的房間裡，到底天花板間日光燈箱與課桌椅需要怎麼樣的排法，才可以達到省電與確保學生在閱讀的時候能夠得到足夠得照度呢？

三、T5、T9(傳統)日光燈都可以省電，如果把照度與照明的面積一起來比較，到底哪一個是真的最省電？

國二自然與生活科技裡面有提到光學的知識，所以就開始了這個研究。

貳、 研究目的

在這次的研究中，我們將實際量測日常生活中所常見的輕鋼架日光燈箱，在空間中各個位置的照度，並且希望達到下列目的：

一、了解與光亮度有關的各種物理量以及手機上照度計的準確性。

二、測量單一日光燈箱的照度分布，了解三維空間中的照度變化。

三、檢查兩個燈箱位置中心的照度，是否可用一個燈箱的照度(目的二)疊加而成。

四、測試拆除日光燈箱中不同位置的燈管，測量不同位置之照度。

五、進行 T9 日光燈管(傳統)與 T5 日光燈管的照明面積、照度與用電量的比較。

參、 研究設備及器材

輕鋼架 60 公分日光燈箱 (T9 與 T5 日光燈管)	智慧型手機(電子照度計) 三星 NOTE 2	細線
筆記型電腦	捲尺	LED 省電燈泡

肆、 研究過程或方法

一、了解與亮度有關的各種物理量以及手機上照度計的準確性。

接聽智慧型手機時，手機螢幕會變黑，是因為手機聽筒附近有一個小小的照度計(圖 1)。

圖 1：智慧型手機上的照度計

我們安裝 APP 程式—AndroSensor(圖 2 為從手機上所截取的畫面)。這個應用程式是利用手機上本來內建的感應器來測量許多不同的物理量，例如加速度、磁力、手機方向及我們所需要

的照度等，我們設計了以下的實驗來測試手機照度計的準確性。

照度(luminance)的定義為每單位面積所接受到的光通量，單位為勒克斯(lux)

$$照度(勒克斯,lux)=\frac{光通量(流明,lm)}{面積(平方公尺)}$$

其中的流明為光通量的單位，符號為 lm。

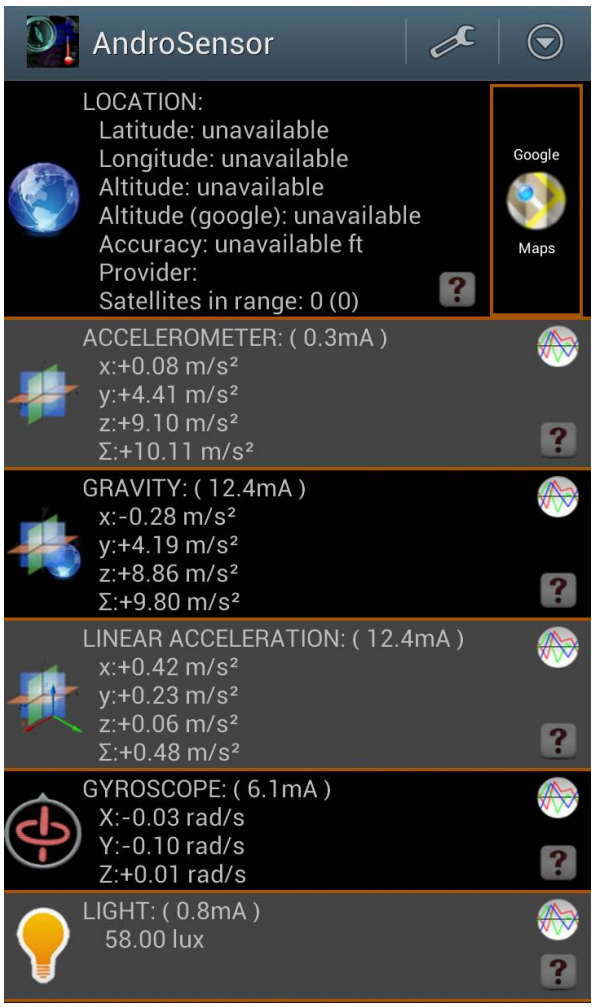


圖 2：APP 程式 AndroSensor。

根據流明與勒克斯的定義，距離夠遠的時候，圓形省電燈泡和點光源一樣，如此它所照射的面積就是一個球面，與光源距離 r 的球面表面積為 $4\pi r^2$。雖然 LED 燈泡不是點光源，但應該也是符合與距離平方成反比的關係。我們用手機分別測量 750 流明與 1000 流明的燈泡，在距離 1 公尺、2 公尺、3 公尺處之照度，由得到數據計算照度的變化是不是符合與距離平方成反比的關係。

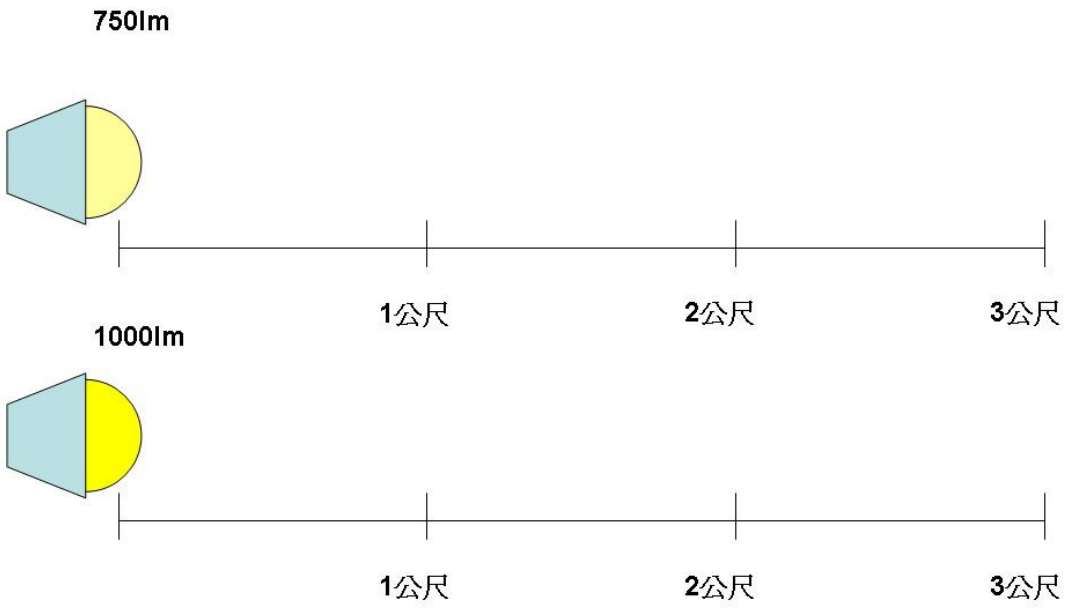


圖 3：利用兩個不同光通量的燈泡確認手機照度計準確性

二、測量單一日光燈箱的照度分布，了解三維空間中的照度變化。

我們所選用的日光燈具是四支 T9 燈管所組成，每支燈管都是長 60 公分、20 瓦的規格，而這類的天花板多半都是設計成 60×60 公分的間隔。

準備工作：

首先我們把一片天花板大小的一半當做我們測量點，在日光燈箱垂直和水平 0、30、60、90、120 公分的地方都各貼上一條細繩，並在繩上以打結的方式，標註距離天花板 75、100、125、150、175 以及 200 公分的高度(圖 4)。因為一個開關會管很多個日光燈箱，在做實驗的時候，把教室內沒有要用到的日光燈箱用手把它轉到不會亮。因為日光燈一打開時亮度可能不會馬上最亮，所以我們要先把日光燈箱的開關打開一分鐘再開始實驗。

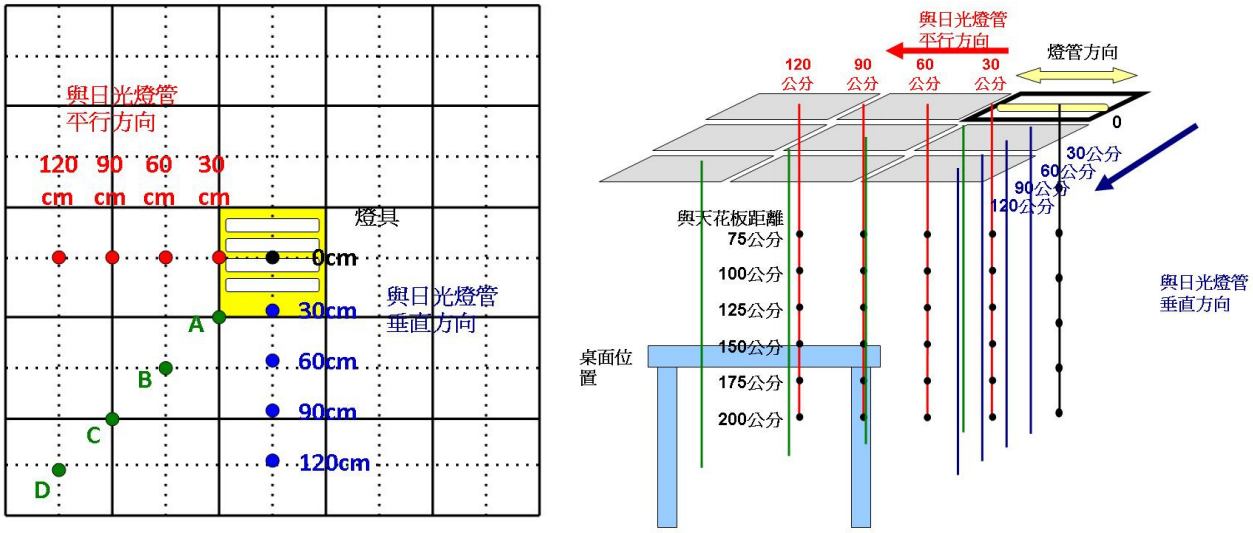


圖 4：三維空間中的照度測量點示意圖

步驟一：用保麗龍塊把手機墊高到要量的高度，再把手機 APP 打開後人就趕快離開，不要讓人影響到結果。

步驟二：在同一個地方測 1 分鐘，為避免要關 APP 時，拿手機的動作有影響，我們會先把手機的照度計用手指頭遮起來，讓照度變成 0，再去用另一隻手去關 APP。

步驟三：用電腦把資料讀出來。把手機可以設定 0.05 秒取樣一次，1 分鐘差不多會有 1200 個取樣的資料點，為了避免手去按 APP 的開關時會影響，我們取資料最中間的 500 個數字計算平均。圖 5 就是在日光燈箱正下方，距離 75 公分的結果，它的照度是 1254 lux。而我們是從手機上讀出資料，不像是從尺上或是秤上面看刻度，所以我們沒辦法在這個實驗中求估計值。

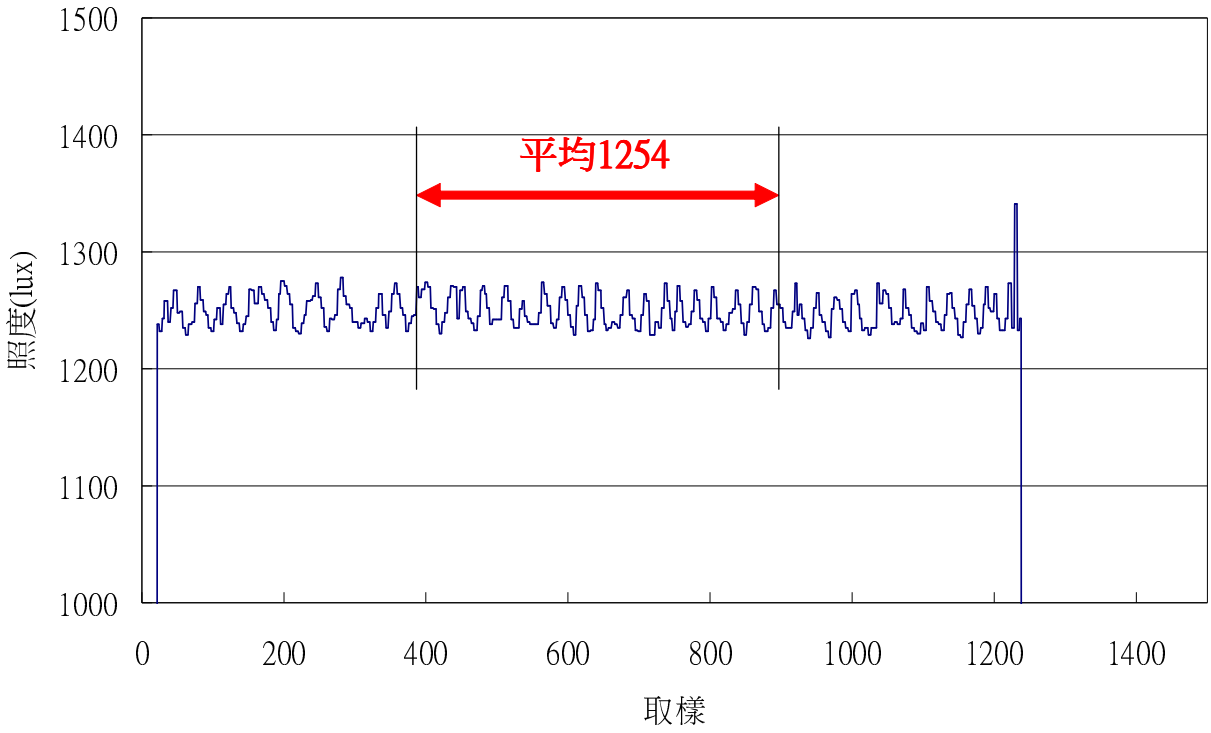


圖 5：日光燈箱正下方，距離 75 公分的照度

重覆步驟一到三，把圖 4 中每一個地方的照度都測完。

除了少數照度很低的區域以外，其震盪的幅度都大約在 50 勒克斯左右。所以我們把 50 lux 當作是我們實驗的一個基本儀器誤差。

三、檢查兩個燈箱位置中心的照度，是否可用一個燈箱的照度疊加而成

(一)、兩組燈具，於日光燈平行方向相距一個天花板(120 公分) (圖 6)。

(二)、兩組燈具，於日光燈垂直方向相距兩個天花板(180 公分) (圖 7)。

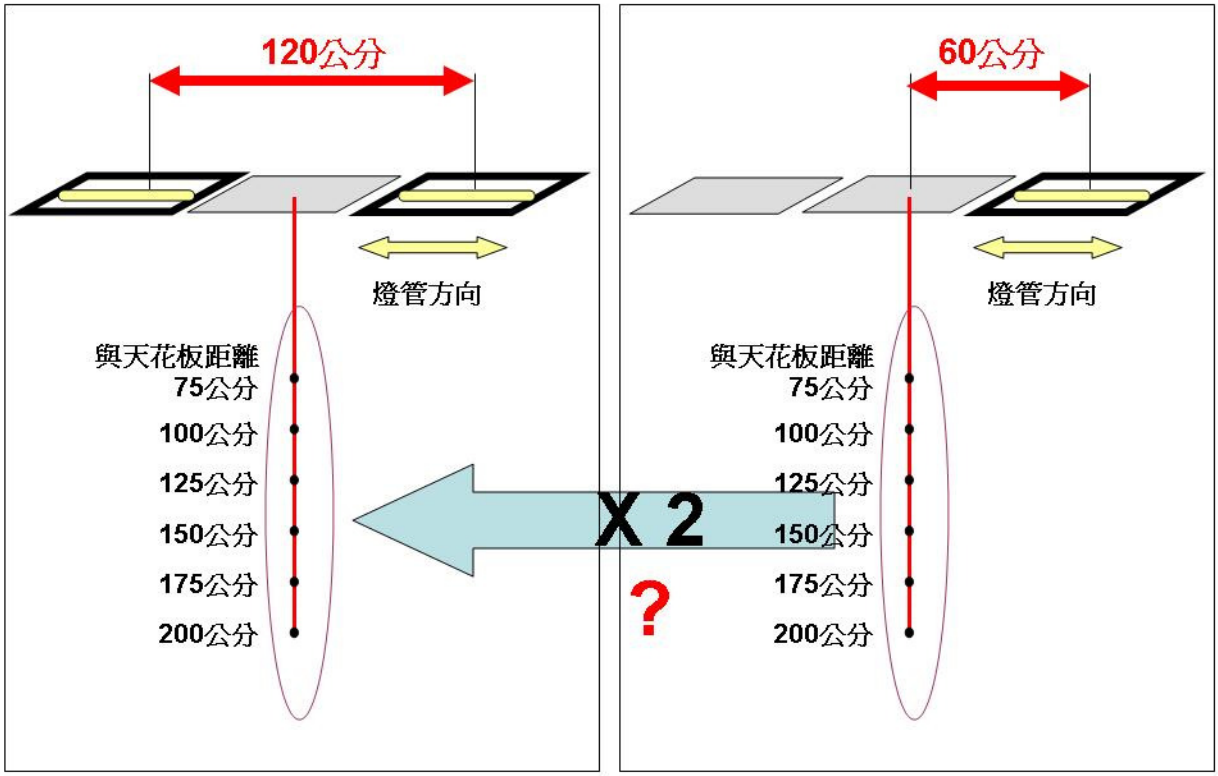


圖 6：兩組燈具，於日光燈平行方向相距一個天花板示意圖

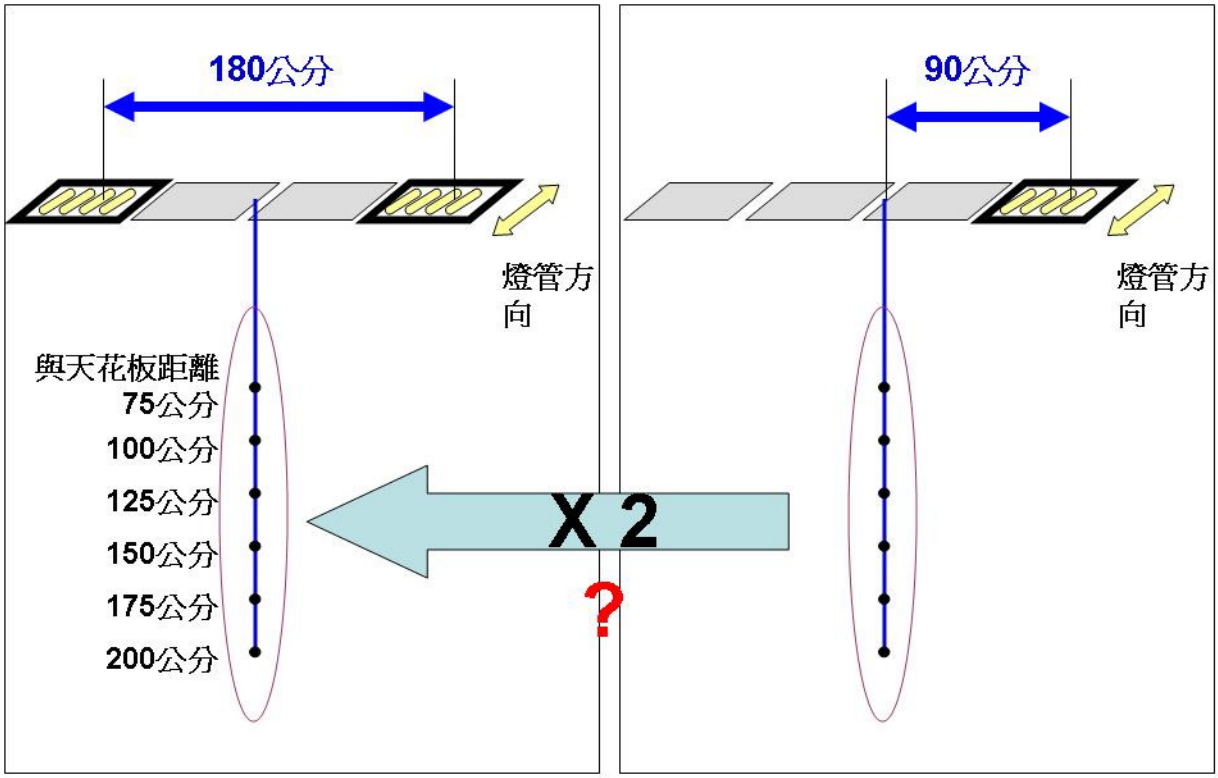


圖 7：兩組燈具，於日光燈垂直方向相距兩個天花板示意圖

將圖 6 所得到的結果，與圖 4 中水平方向 60 公分(紅點 60 公分)量到的照度乘以二相比。
將圖 7 所得到的結果，與圖 4 中垂直方向 90 公分(藍點 90 公分)量到的照度乘以二相比。

四、測試拆除日光燈箱中不同位置的燈管，測量不同位置之照度

步驟一：我們先從測量的位置那邊開始，依序將燈管命名為一、二、三、四號(圖 8)。

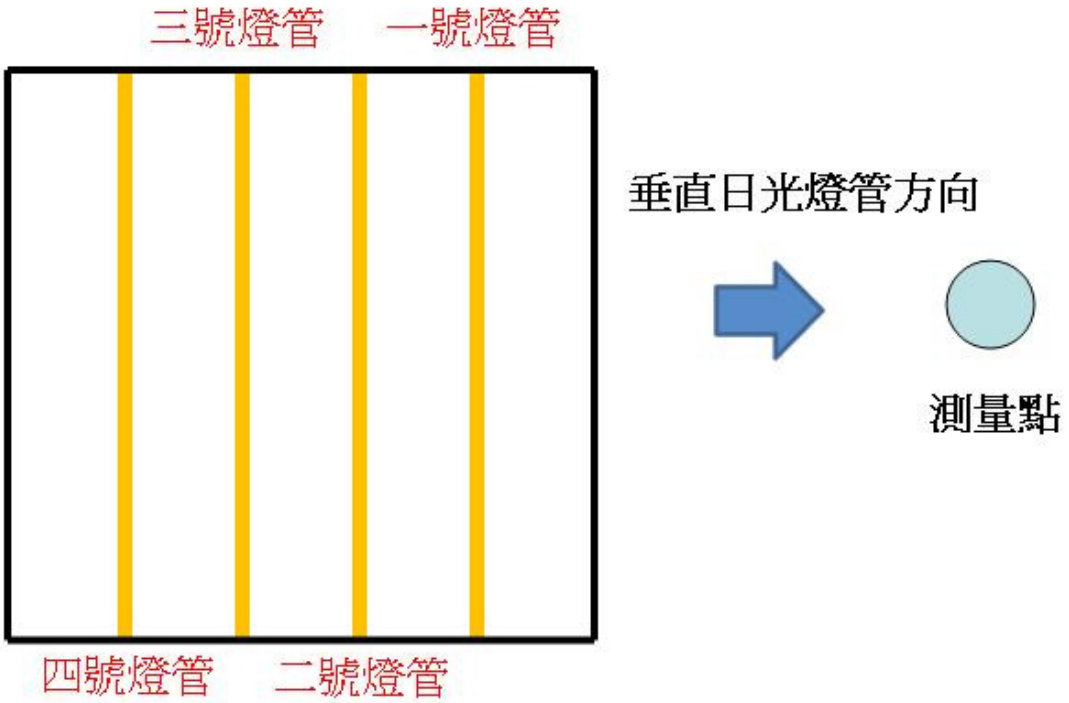


圖 8：燈管號碼示意圖

步驟二：將一號燈管拆除，重覆目的一的步驟，量出少掉一號燈管，只剩三支燈管的垂直方向照度。

步驟三：依序拆除二、三、四號燈管，量出只剩三支燈管的垂直方向照度。

五、進行 T9 日光燈管(傳統)與 T5 日光燈管的照明面積、照度與用電量的比較

步驟一：同研究方法二，以相同模式測量單一 T5 日光燈箱的照度分布，了解三維空間中的照度變化。

步驟二：將實驗結果與 T9 燈管的結果進行比較。

伍、 研究結果

一、了解與光亮度有關的各種物理量以及手機上照度計的準確性。

測量 750 流明與 1000 流明燈泡結果如表 1。

表 1：手機照度計在不同距離的測量結果

照度計與燈泡距離	750 流明燈泡		1000 流明燈泡	
	照度測量值	距離平方反比比例常數	照度測量值	距離平方反比比例常數
1 公尺	450 lux	1.66	543 lux	1.84
2 公尺	115 lux	1.63	140 lux	1.78
3 公尺	56 lux	1.48	66 lux	1.68

我們知道照度乘上面積等於光通量，雖然 LED 燈泡在 3 公尺內可能無法視為點光源，但照度與光通量間應該還是存在距離平方反比的關係，只是中間會存在一個比例常數。

$$\text{光通量} = \text{照度} \times \text{距離平方反比比例常數} \times r^2$$

在三種距離得到的比例常數都差不多。因為照度與距離的平方有關，如果手機的照度計不準，在我們測量的三種距離就沒有辦法得到很接近的比例常數，因此手機照度計測量結果應該是可以相信的。

二、測量單一日光燈箱的照度分布，了解三維空間中的照度變化。

以下是單一 T9 日光燈箱的照度分布，三維空間中的照度變化

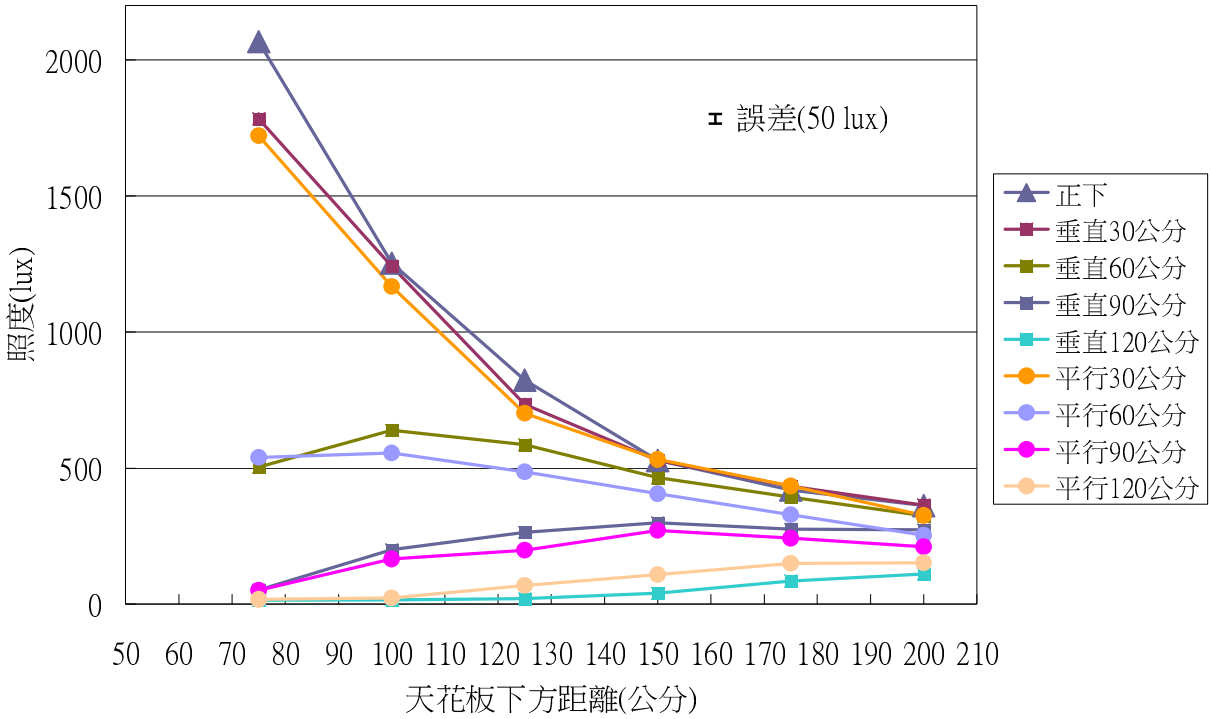
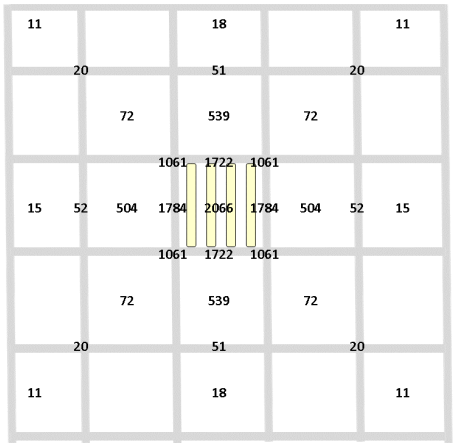


圖 9：T9 四支燈管全亮照度三維變化

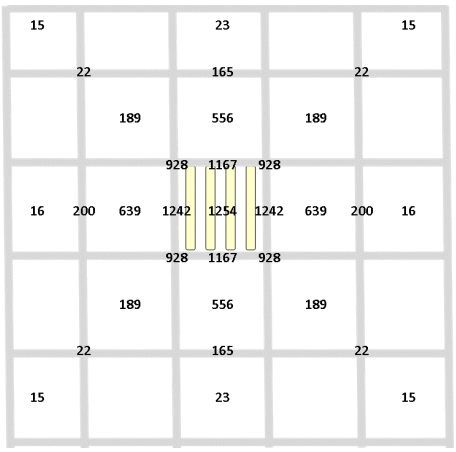
我們看到以下結果

1. 離日光燈箱向下距離相同時，平行方向與垂直方向所量到的結果都差不多
2. 在平行方向與垂直方向 30 公分以內時，天花板下方距離越遠，照度越低。
3. 在平行方向與垂直方向 60 公分時，天花板下方距離 100 公分處照度最強。
4. 在平行方向與垂直方向 90 公分時，天花板下方距離 150 公分處照度最強。
5. 在平行方向與垂直方向 120 公分時，天花板下方距離 200 公分處照度最強。

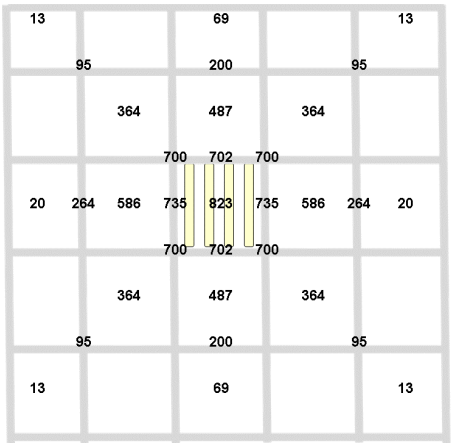
加上斜向量到的結果，我們依照不同的高度把它紀錄下來



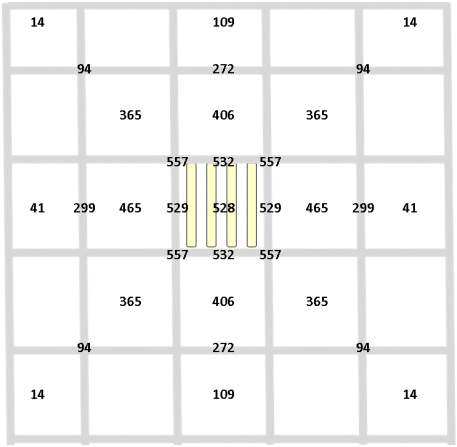
a：天花板下方 75 公分



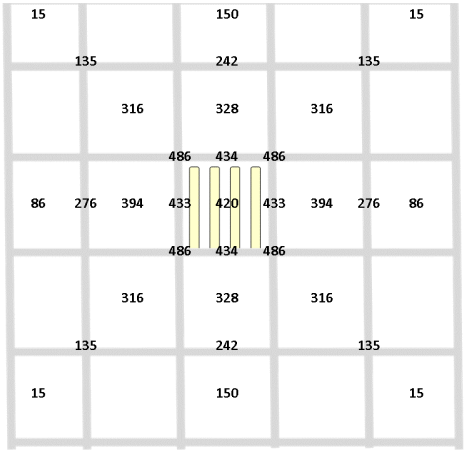
b：天花板下方 100 公分



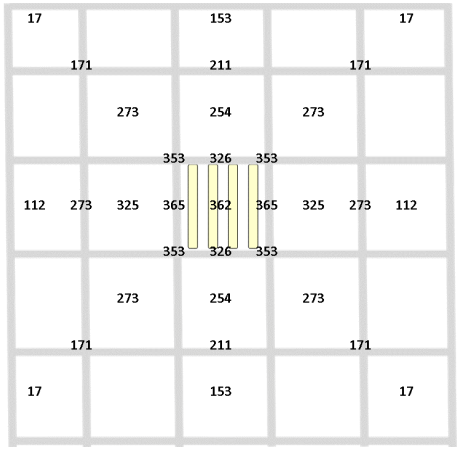
c：天花板下方 125 公分



d：天花板下方 150 公分



e：天花板下方 175 公分



f：天花板下方 200 公分

圖 10：T9 燈箱天花板下方不同距離照度分布(lux)

三、檢查兩個燈箱位置中心的照度，是否可用一個燈箱的照度(目的二)疊加而成

(一)兩個燈箱，燈管平行方向相距一個天花板(120cm)

表 2：一個 T9 燈箱×2 與兩個燈箱燈管平行方向距離一個天花板(120cm)比較

天花板下方距離	一個日光燈箱燈管平行方向距離 60cm 測量值(lux)	一個日光燈箱燈管平行方向距離 60cm 測量值×2(lux)	兩個日光燈箱燈管平行方向距離 120cm(lux)	差異(%) $\left(\frac{\text{一個燈箱}\times 2-\text{兩個燈箱}}{\text{兩個燈箱}}\right)$
75cm	539	1078	1223	-11.86
100cm	556	1112	1189	-6.52
125cm	487	974	1116	-12.72
150cm	406	812	897	-9.48
175cm	328	656	693	-5.34
200cm	254	508	552	-7.97

(二)兩個燈箱，燈管垂直方向相距兩個天花板(180cm)

表 3：一個 T9 燈箱×2 與兩個燈箱燈管垂直方向距離兩個天花板(180cm)比較

天花板下方距離	一個日光燈箱燈管垂直方向距離 90cm 測量值(lux)	一個日光燈箱燈管垂直方向距離 90cm 測量值×2(lux)	兩個日光燈箱燈管垂直方向距離 180cm(lux)	差異(%) $\left(\frac{\text{一個燈箱}\times 2-\text{兩個燈箱}}{\text{兩個燈箱}}\right)$
75cm	52	104	88	18.18
100cm	200	400	317	26.18
125cm	264	528	514	2.72
150cm	299	598	609	-1.81
175cm	276	552	619	-10.82
200cm	273	546	584	-6.51

除了在距離兩個天花板實驗中，天花板下方 100 cm 內有大於 18%的差值，其他的差值都差不多在 13%以下。這結果告訴我們在距離天花板超過 100 cm 之外時，光照度是可以疊加的。

四、測試拆除日光燈箱中不同位置的燈管，測量不同位置之照度。

圖中的(1)表示拆跟測量位置最近的日光燈、(2)表示拆跟測量位置第二近的日光燈、(3)表示拆跟測量位置第三近的日光燈、(4)表示拆跟測量位置最遠的日光燈，都沒寫的表示沒拆。

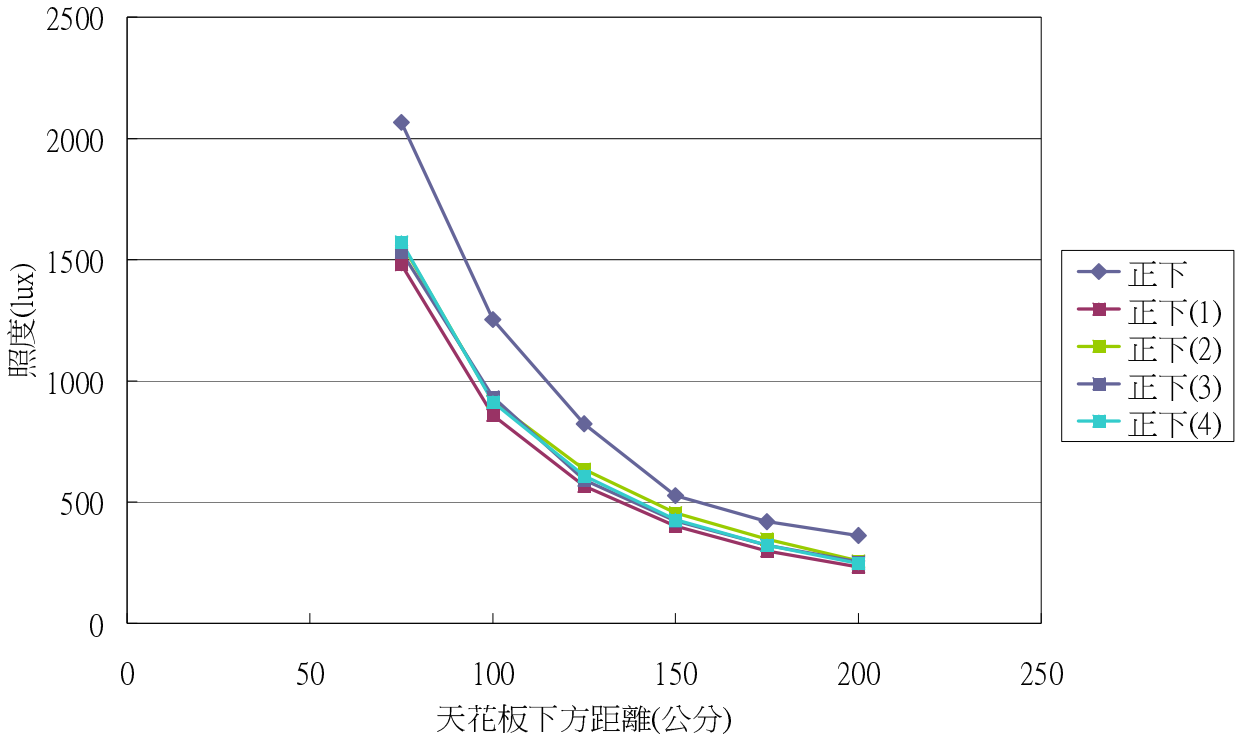


圖 11：拆掉 T9 燈箱中不同日光燈，燈箱正下方量到的照度

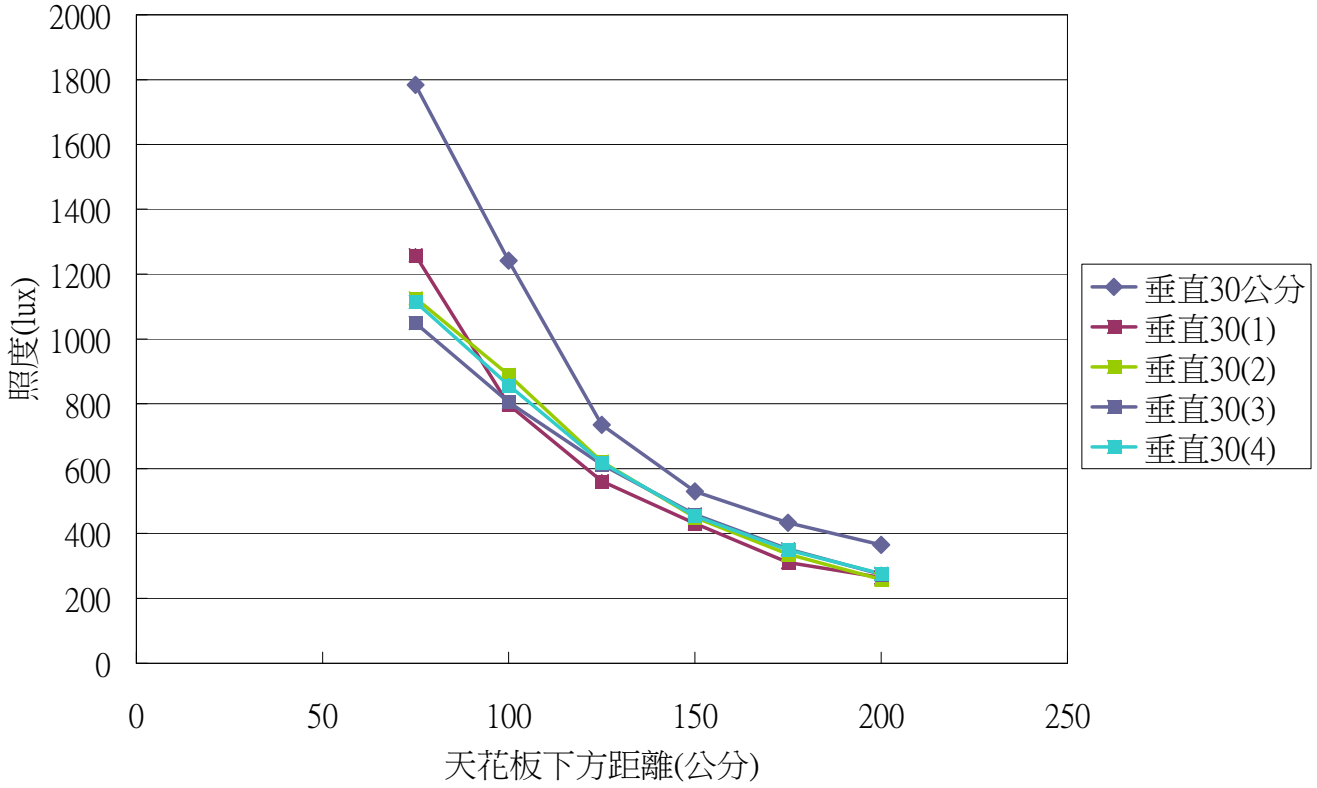


圖 12：拆掉 T9 燈箱中不同日光燈，燈管垂直方向 30 公分下方量到的照度

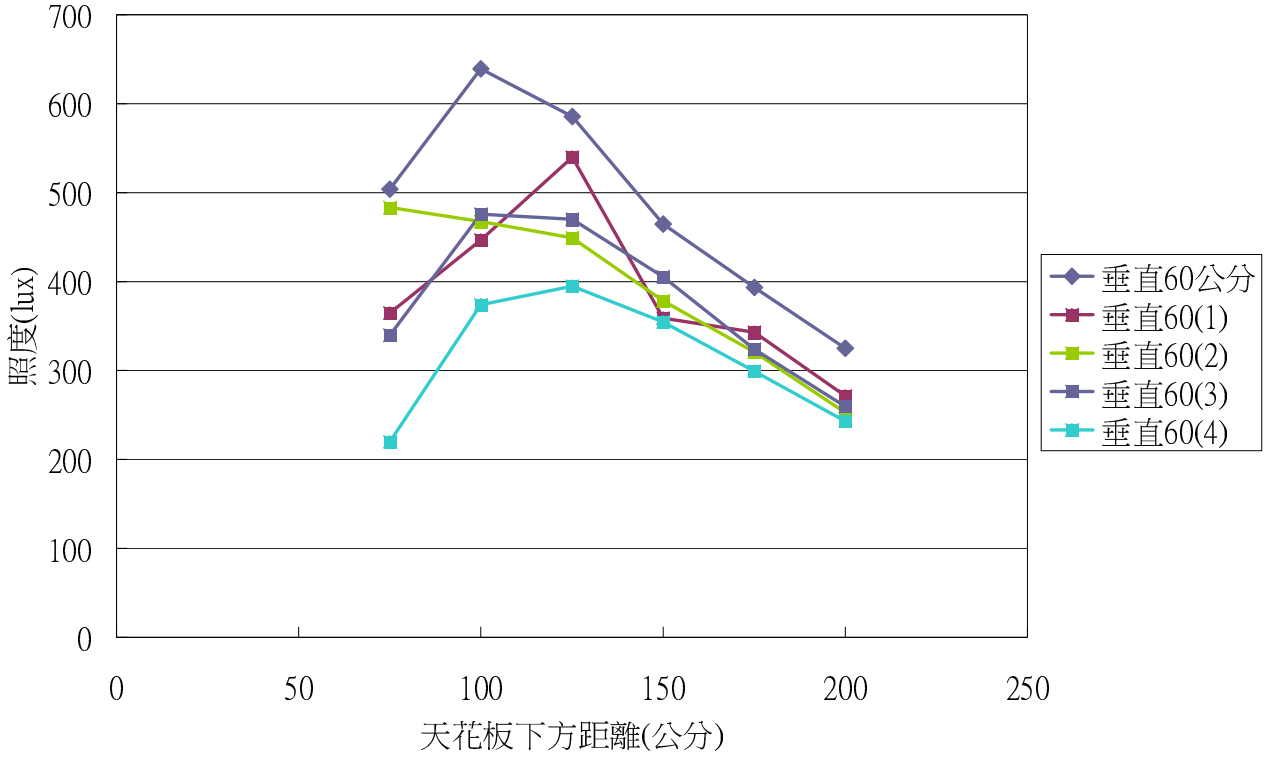


圖 13：拆掉 T9 燈箱中不同日光燈，燈管垂直方向 60 公分下方量到的照度

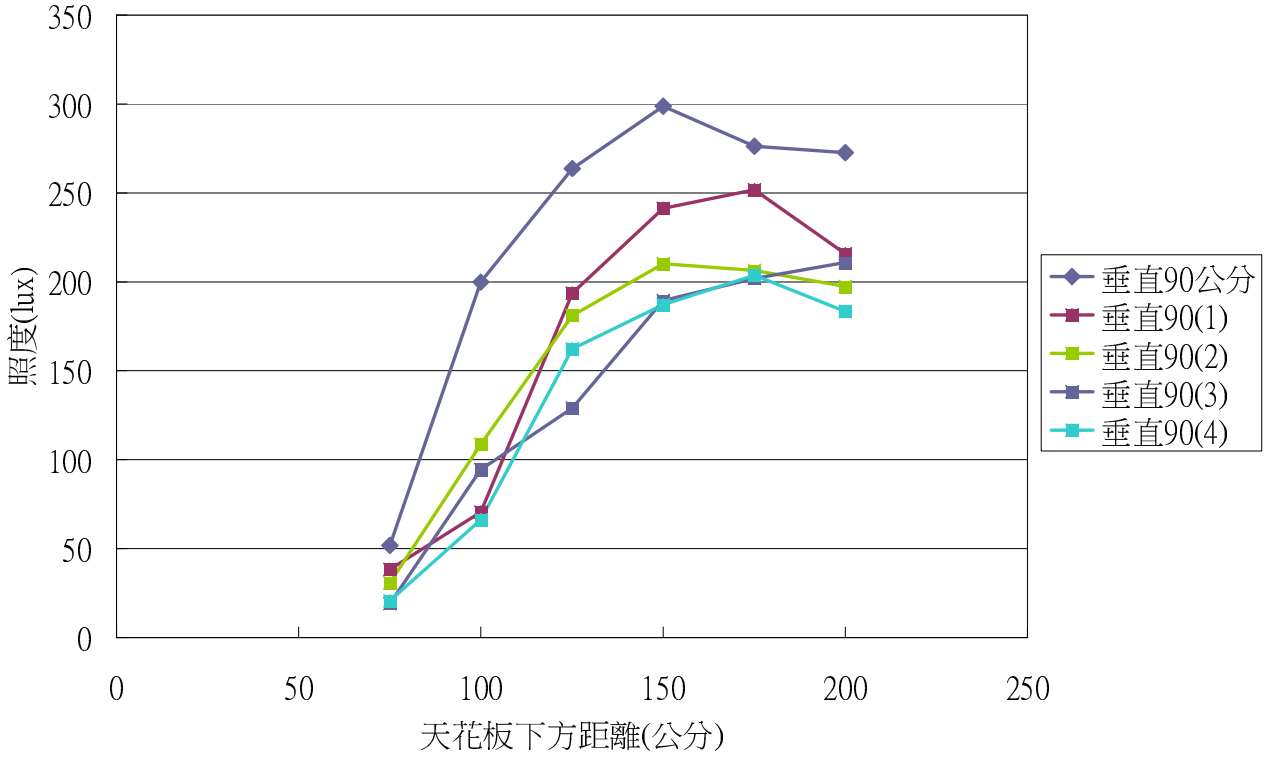


圖 14：拆掉 T9 燈箱中不同日光燈，燈管垂直方向 90 公分下方量到的照度

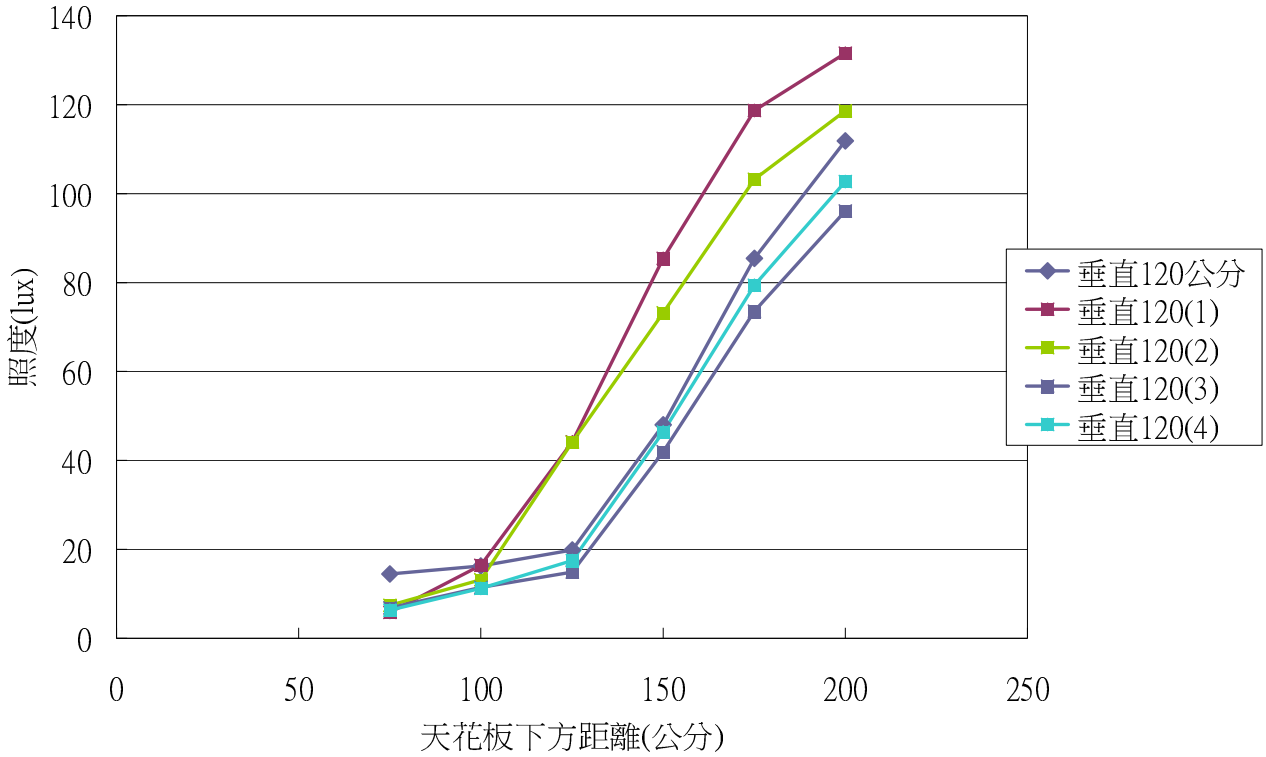


圖 15：拆掉 T9 燈箱中不同日光燈，燈管垂直方向 120 公分下方量到的照度(已接近手機誤差)

a：拆掉外側燈管　　b：拆掉內側燈管

圖 16：拆掉不同 T9 燈管天花板下方 150 公分處的照度分布(lux)

表 4：在桌面高度(天花板下方 150 公分)拆各 T9 燈管的比較

桌面高度(天花板下方 150 公分)比較					
	正下	垂直距離 30cm	垂直距離 60cm	垂直距離 90cm	垂直距離 120cm
沒拆燈管的照度(lux)	528	529	465	299	41 (已在照度計誤差以內)
拆了會減少照度最多的燈管	拆 1 號	拆 1 號 (最近)	拆 4 號 (最遠)	拆 4 號 (最遠)	拆 3 號 (第三遠)
拆了減少照度最多燈管後的照度(lux)	402	431	354	187	42 (已在照度計誤差以內)
減少量	24%	16%	24%	37%	12%

五、T5 日光燈管之三維照度分布

我們接著量測目前市面上的省電燈具，記錄不同燈具在空間中的三維照度分布。我們先使用 T5 日光燈管，實驗條件與前面一致，以四支燈管組成的燈具。T5 日光燈管空間中的照度分布如圖 17 所示。

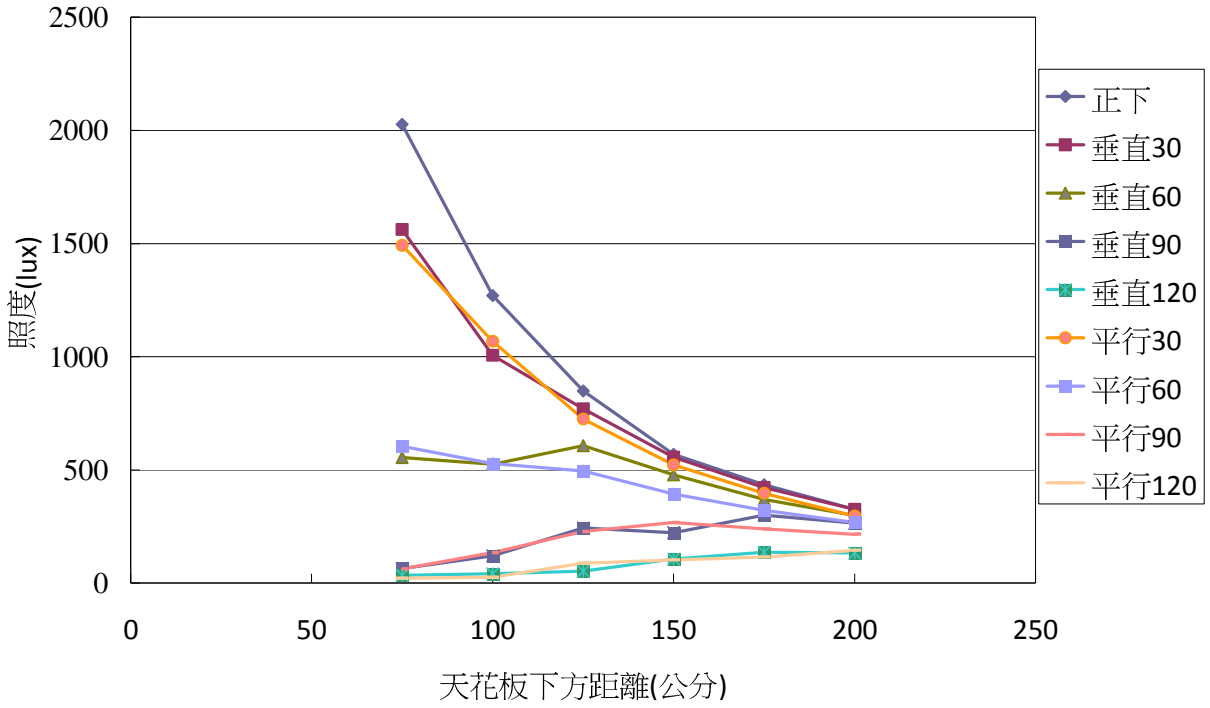


圖 17：T5 日光燈箱於三維空間中的照度分布

我們也畫出在天花板下方 150 公分處的平面圖，如圖 18。

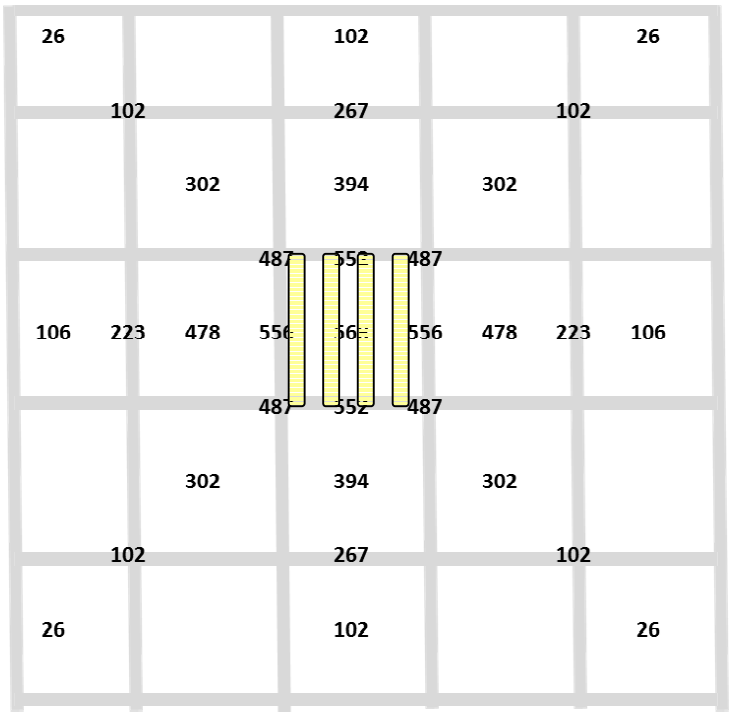


圖 18：T5 日光燈箱於天花板下方 150 公分下的照度分布(lux)

陸、 討論

一、了解與光亮度有關的各種物理量以及手機上照度計的準確性。

我們的實驗需要跟教育部公告的教室桌面照度來比較，所以手機照度計量到的準不準就很重要。先看看光通量與照度的關係

$$\text{照度(勒克斯},lux) = \frac{\text{光通量(流明},lm)}{\text{面積(平方公尺)}}$$

光通量與照度的關係與面積有關，而面積是用距離平方算出來的，雖然我們沒有其他的照度計可以用來檢查看看手機的照度計準不準，也不能保證 LED 電燈泡盒子上寫的光通量(流明數)一定沒有誤差，電燈泡在我們實驗中也不能當做點光源，但是我們可以知道光通量與照度的關係是距離平方反比

$$\text{光通量} = \text{照度} \times \text{距離平方反比比例常數} \times r^2$$

我們用兩個不同的 LED 電燈泡都可以各自在 1 公尺、2 公尺、3 公尺的距離，找到很接近的距離平方反比比例常數。假想手機量到的都比真正的照度大 100 lux，就不會算出 3 個很接近的比例常數。因此我們可以相信手機照度計量到的結果。

照度計與燈泡距離	750 流明燈泡			
	照度測量值	距離平方反比比例常數	假想照度測量值	距離平方反比比例常數
1 公尺	450 lux	1.66	550 lux	1.36
2 公尺	115 lux	1.63	215 lux	0.87
3 公尺	56 lux	1.48	156 lux	0.53

實驗一開始我們就是用三星 NOTE 2 手機，後來我們也借了 HTC J 的手機裝了一樣的 APP 來試試，發現 HTC J 量到的照度值每一次跳的值都差很多，看起來手機照度計準確性也跟手機有關。

二、測量單一日光燈箱的照度分布，了解三維空間中的照度變化。

我們原本以為，越靠近天花板時照度都會比較大，後來發現除了在日光燈箱那個正方形格子下方(垂直 30 公分、平行 30 公分與正下)以外都不是這樣。因為日光燈箱有燈罩會反射。

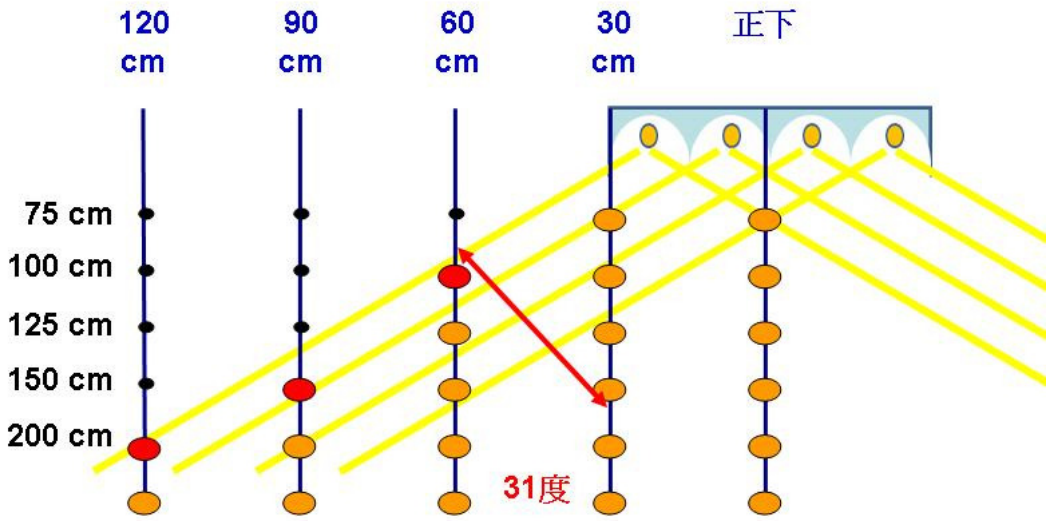


圖 19：燈罩反射示意圖

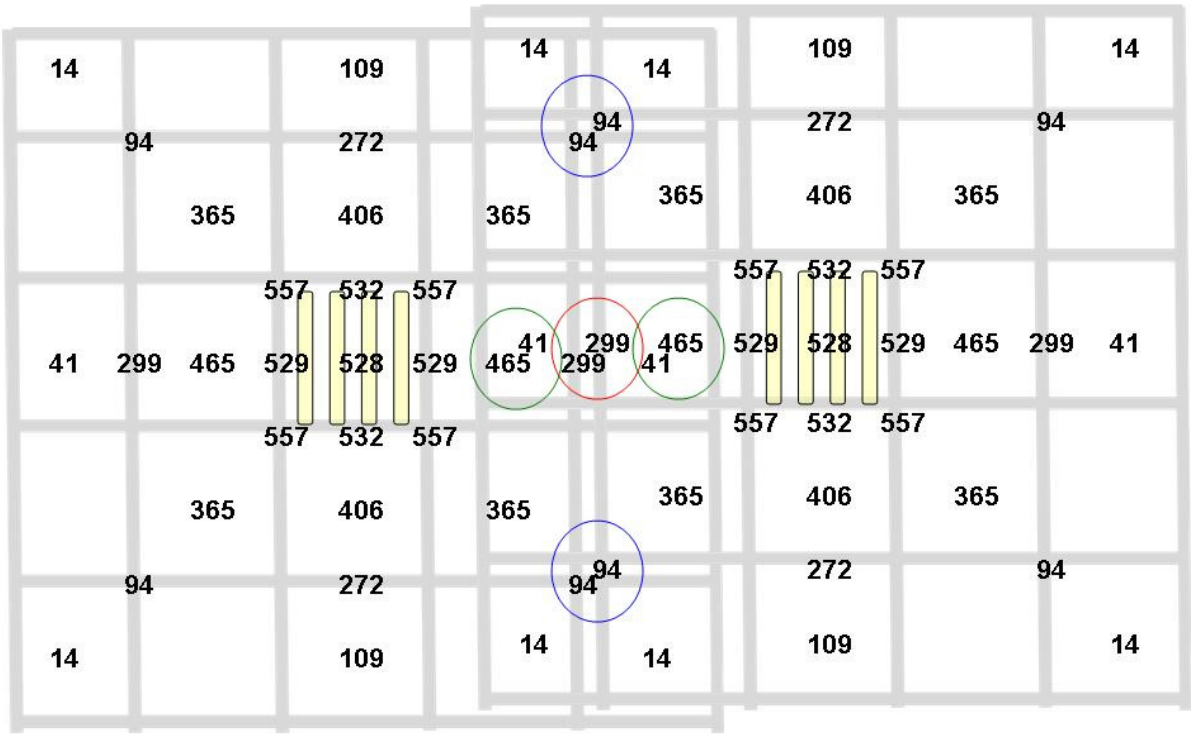
雖然燈罩反射的範圍(圖 19 最左邊那條黃線)有可能出現在我們兩個垂直測量點中間，但我們粗略的把 60、90、120 公分量到最大照度的天花板下方距離 100、150、200 公分拿來算燈罩反射的張角。

$$\tan^{-1}(\frac{60}{100}) = \tan^{-1}(\frac{90}{150}) = \tan^{-1}(\frac{120}{200}) \approx 31.1$$

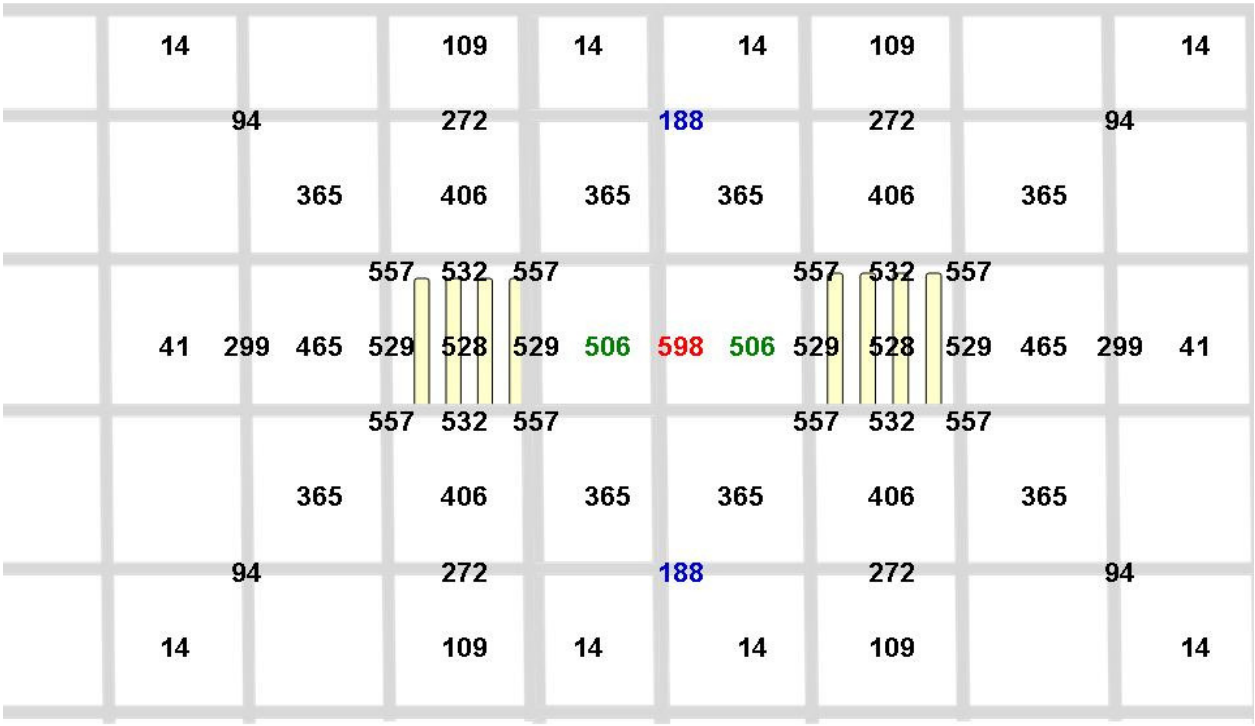
燈箱下方垂直方向打開 31 度左右都是燈罩反射的範圍。而從圖 9 可以看出，除了水平和垂直燈管距離 120 公分外，垂直燈管方向的照度都比平行的來的大一點點，理由可能是燈罩的反射面也提供了垂直燈管方向的照度。120 公分已經太遠，所以燈罩的貢獻不大。

三、檢查兩個燈箱位置中心的照度，是否可用一個燈箱的照度(目的二)疊加而成

從表 2 與表 3 可以看出，在我們在乎的桌面高度(距離天花板 150 公分)，用一個日光燈箱得到的結果，可以拿來推算兩個燈箱照度疊加的結果(圖 20)，所以，有了我們的一個燈箱的實驗結果，理論上就可以把整個室內空間裡面，好幾個燈箱所加起來的照度算出來。



a：疊加前的照度(lux)



b：疊加後的照度(lux)

圖 20：照度疊加示意圖

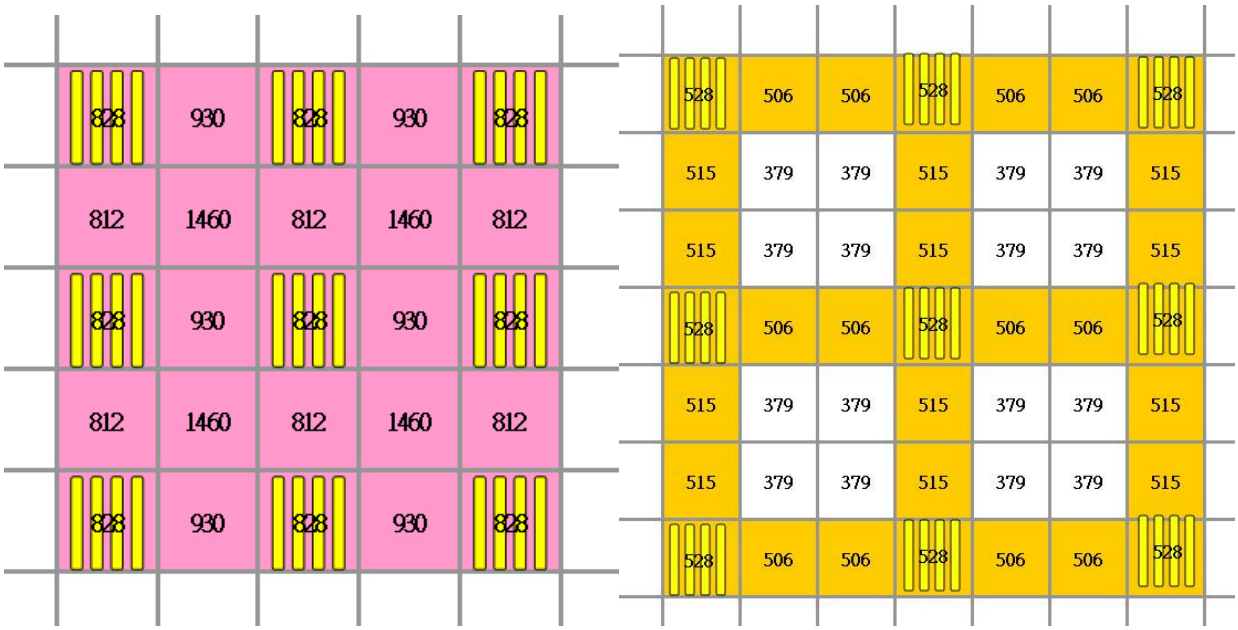
四、測試拆除日光燈箱中不同位置的燈管，測量不同位置之照度。

我們先參考教育部的學校教室建議照度標準。

表 5：教育部的學校教室建議照度標準

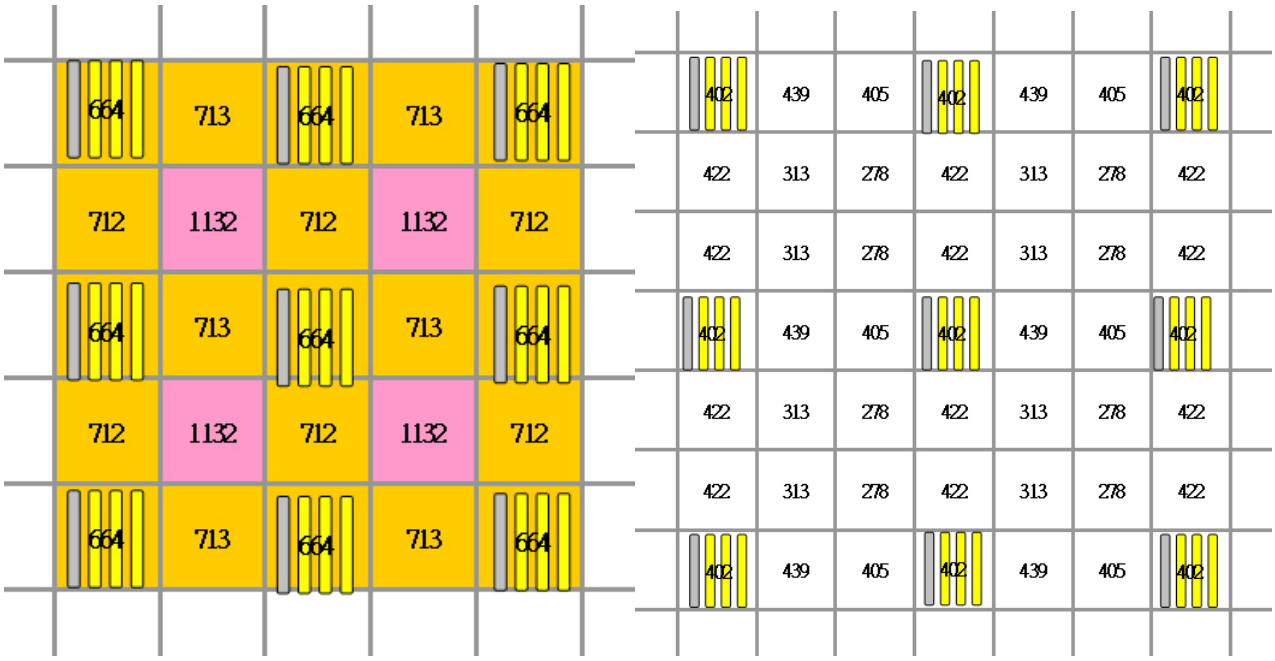
作業種類	教室名稱	桌面照度 [lx]	地板面照度 [lx]	黑板面照度 [lx]
極精細作業	製圖教室、縫紉教室	750	--	500
精細作業	普通教室、實驗教室 電腦教室、自然教室 社會教室、美術教室 工藝教室、家事教室 會計教室、英打教室 視聽教室、語言教室 攝影教室、餐飲教室 音樂教室	500	--	500
普通作業	舞蹈教室	--	300	500

我們利用圖 10 和圖 16 得到的結果，討論以下六種組合，在天花板下方 150 公分(桌面高度)的照度分布，是不是通過「極精細作業」和「精細作業」的標準。我們把「通過極精細作業」(大於 750 lux，同時也通過精細作業)的格子用粉紅色表示；「通過精細作業」(大於 500 lux)用黃色表示。結果在圖 21、圖 22、圖 23。



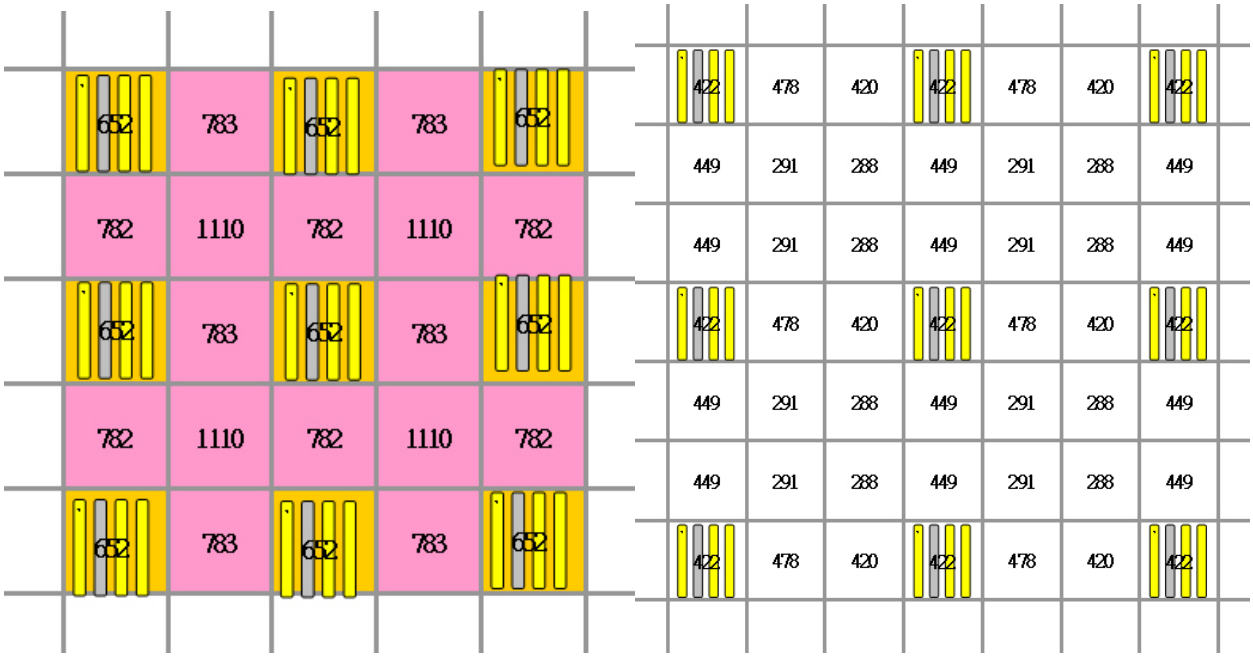
a：隔一個天花板，全亮　　b：隔兩個天花板，全亮

圖 21：T9 燈箱四支日光燈全亮的照度分布



a：隔一個天花板，拔一支外側日光燈　　b：隔兩個天花板，拔一支外側日光燈

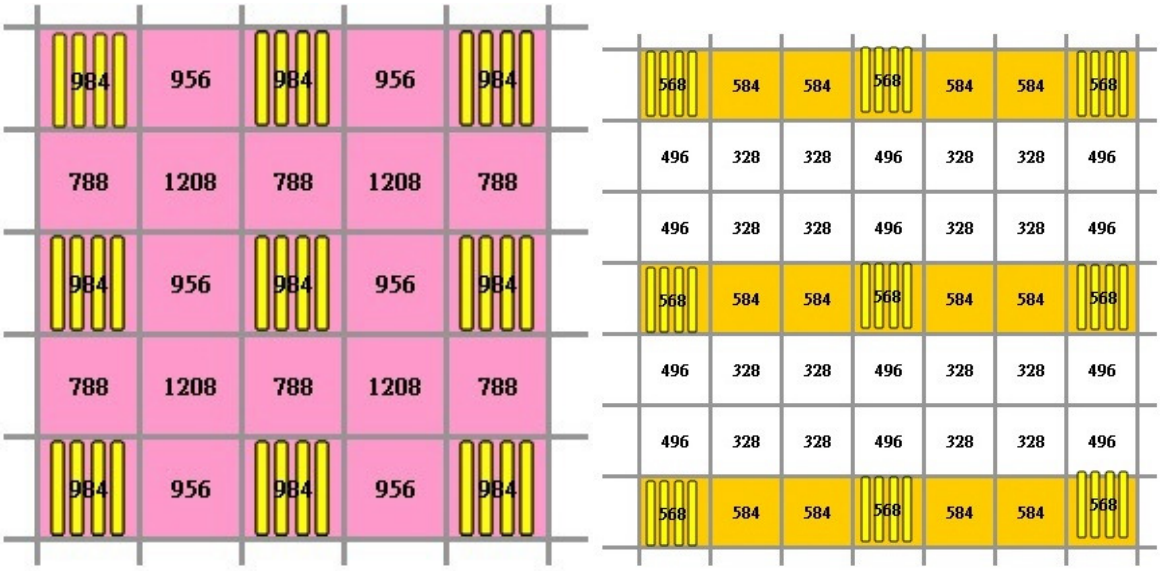
圖 22：T9 燈箱拔一支外側日光燈的照度分布



a：隔一個天花板，拔一支內側日光燈　　b：隔兩個天花板，拔一支內側日光燈

圖 23：T9 燈箱拔一支內側日光燈的照度分布

我們也同時對 T5 燈箱做了相同的計算



a：隔一個天花板，全亮　　b：隔兩個天花板，全亮

圖 24：T5 燈箱四支日光燈全亮的照度分布

拆除燈管的實驗要看的是燈罩反射的重要性，因此 T5 燈管就不再重複做拆燈管的實驗。

如果在一個燈箱都裝得很均勻的房間，可以定義一個「燈管效率」的量，如下式：

$$\text{燈管效率} = \frac{\text{通過標準的格數(輕鋼架方格)}}{\text{使用的燈管數}}$$

燈管效率的數字越大，代表每一支燈管可以讓更多的位置通過標準。

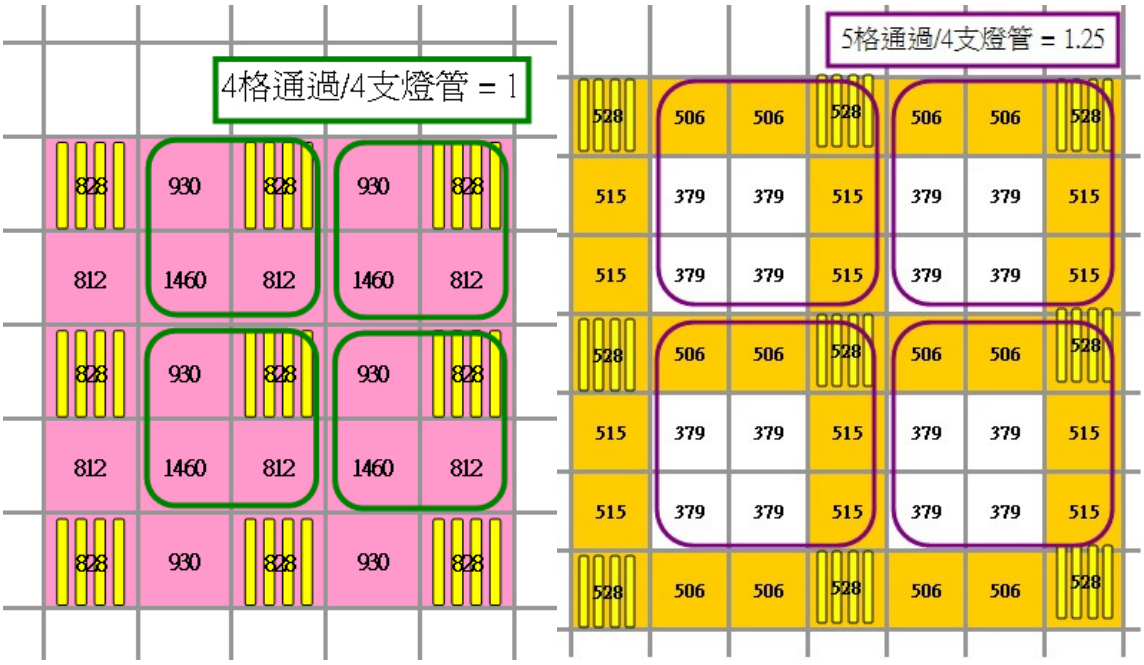


圖 25：燈管效率示意圖

表 6：燈箱、燈管安排與不同作業的照度標準

燈箱距離	燈管數目	極精細作業標準座位位置	燈管效率	精細作業標準座位位置	燈管效率
T9 燈管燈箱之間隔一格天花板	四支燈管全亮	全部達到’	4/4 =1	全部達到	4/4 =1
	外側燈管拆一支	只有燈箱對角線方向達到	1/3 =0.33	全部達到	4/3 =1.33
	內側燈管拆一支	燈箱正下方以外皆達到	3/3 =1	全部達到	4/3 =1.33
T9 燈管燈箱之間隔兩格天花板	四支燈管全亮	全部未達到	0/4 =0	只有燈箱垂直、平行方向達到	5/4 =1.25
	外側燈管拆一支	全部未達到	0/3 =0	全部未達到	0/3 =0
	內側燈管拆一支	全部未達到	0/3 =0	全部未達到	0/3 =0
T5 燈管燈箱之間隔一格天花板	四支全亮	全部達到	4/4 =1	全部達到	4/4 =1
T5 燈管燈箱之間隔兩格天花板	四支全亮	全部未達到	0/4 =0	只有燈箱平行方向達到	3/4 =0.75

教室內照明除了照度要充足之外，光線的分布均勻也很重要，我們稱為照度均勻度(均齊度)，光線分布越均勻，視覺感受越舒服，越不會造成眼睛視覺上的疲勞；如果因為室內照明分布不均勻，使教室內明暗交錯，容易造成眼睛疲勞，嚴重影響學童視力。因此，良好的學校教室照明要求場所內照度分佈均勻，尤其桌面照度以及黑板面照度更應該要求一致。如下式照度均勻度公式而言，其計算值越接近 1 越好，其良好的均齊度，桌面應在 0.5 以上，黑板面則應在 0.7 以上。

$$\text{照度均勻度} = \frac{\text{照光面積之最低照度}}{\text{照光面積之平均照度}}$$

因此，本實驗除了可以討論照度是否充足，也可以計算教室是否因為燈管數、燈具排列以及課桌椅排列等變因，導致燈具照度不均勻，進而影響視力。下表 7 不同燈箱排列方式在天花板下方 150 公分(桌面高度)的照度分布。

表 7：天花板下方 150 公分，不同燈箱排列之照度均勻度

燈箱距離	燈管數目	最低照度 (lux)	平均照度 (lux)	照度均勻度	符合照度均勻度標準(○)	平均照度符合照度標準 極精細(★) 精細(☆)
T9(傳統)燈箱之間隔一格天花板	四支燈管全亮	812	1008	0.81	○	★
	外側燈管拆一支	712	805	0.88	○	★
	內側燈管拆一支	652	832	0.78	○	★
T9(傳統)燈箱之間隔兩格天花板	四支燈管全亮	379	454	0.84	○	
	外側燈管拆一支	278	364	0.76	○	
	內側燈管拆一支	288	375	0.77	○	
T5 燈箱之間隔一格天花板	四支燈管全亮	788	984	0.80	○	★
T5 燈箱之間隔兩格天花板	四支燈管全亮	328	449	0.73	○	

表中可以看出，不論是間隔一格或兩格天花板，雖然照度均勻度都符合標準，但只有間隔一格時，才會同時符合照度標準。

五、進行 T9 日光燈管(傳統)與 T5 日光燈管的照明面積、照度與用電量的比較。

從圖 25 可以看出，相隔一個天花板時，天花板與燈具是以「4 格輕鋼架」為週期；相隔兩個天花板時，天花板與燈具是以「9 格輕鋼架」為週期。因為在不同的組合中，每一塊面積的照度都不同，我們以平均照度再乘上面積來計算，求出每單位電費，在不同的組合中所提供的光通量。也就是說，我們想知道哪一種組合，會讓電能轉換出的光通量能夠產生最大的效率。

表 8：燈箱、燈管不同組合中，單位電費產生之光通量比較

燈箱距離	燈管數目	瓦數 (W)	使用 12 小時度數 (Kwxhr)	面積 (m^2)	平均照度 (lux) 極精細 (★) 精細 (☆)	光通量 (lm) ‖ 面積 × 平均照度	價錢 (以 1 度電 2.6 元計)	光通量/價錢
T9 燈管燈箱之間隔一格天花板 (4 格週期)	四支燈管全亮	80	0.96	1.44	1008★	1451.5	2.496	581.5
	外側燈管拆一支	60	0.72	1.44	805★	1159.2	1.872	619.2
	內側燈管拆一支	60	0.72	1.44	832★	1198	1.872	640
T9 燈管燈箱之間隔兩格天花板 (9 格週期)	四支燈管全亮	80	0.96	3.24	454	1471	2.496	589.3
	外側燈管拆一支	60	0.72	3.24	364	1179.4	1.872	630
	內側燈管拆一支	60	0.72	3.24	375	1215	1.872	649
T5 燈管燈箱之間隔一格天花板 (4 格週期)	四支全亮	56	0.672	1.44	984★	1416.9	1.747	811
T5 燈管燈箱之間隔兩格天花板 9 格天花板為週期)	四支全亮	56	0.672	3.24	449	1454.8	1.747	833

由表中可以看出，以通過極精細作業(同時也通過精細作業)之組合來看，以 T5 燈管燈箱之間隔一格天花板，是真正最省電的組合；而使用 T9(傳統)燈管時，T9 燈管燈箱拆一支內側燈管時，間隔一格天花板，是最省電的組合。

我們做了這些討論

(一)、這個研究的結果有無限的延伸應用

我們的討論只針對天花板高度與桌面距離 150 公分，每個燈箱拆同樣位置日光燈的情形來做。如果是其他距離，我們已經完成了 75、100、125、150、175 和 200 公分的照度分布，也可以用一樣的方法來計算。從表 2 和表 3 已經知道照度是可以疊加的，只要把我們的照度分布圖(圖 10 和圖 16)印很多張在透明投影片上，一張代表一個燈箱，把想裝潢

的日光燈位置全部疊起來看，就可以推算出所有同形燈箱的各種組合。我們覺得這是這個實驗最大的貢獻。

(二)、如果要省電，建議拆中間的燈管

從表 4 可以看出，不論是在桌面高度的哪個位置，拆了之後照度下降最多的，不是最靠近的(1 號)就是最遠的(4 號)。我們推測可能與燈罩的弧度有關，靠近外側的燈罩反射後對旁邊的照度貢獻比較大，所以拆中間燈管的影響會比較小。

(三)、比較普通教室的精細作業標準

如果是要達到普通教室的精細作業標準，在燈箱之間相隔一個天花板時，拆掉任何一支燈管還是可以達到，如果不是為了美觀，四支燈管可以拆掉任一支。

(四)、容易忽略的桌椅擺法

在有些地方我們還是會看到，燈箱之間相隔兩個天花板。這時候避免把桌子放在燈箱的對角線方向，還是可以達到比較普通教室的精細作業標準。

(五)、T5 比 T9(傳統)燈管省電，不能只看用電瓦數(W)

從用電量來看，T5 燈管(14W)比傳統 T9 燈管(20W)的省電量為

$$\frac{20W-14W}{20W}\times 100\% = 30\%$$

所以我們會在省電燈具的宣傳上看到「T5 燈管比傳統 T9 燈管省下 30%的電量」這樣的敘述。但這樣的敘述並沒有把光通量考慮進去，所以，要真正看出 T5 比 T9 燈管省電多少，應該連同它們所提供的光通量一起考慮才對。嚴格來講，我們應該把它說成：

「T5 與 T9 燈管，在天花板 150 公分下方，單位瓦數的電量所提供的光通量有多少」

T9 燈管 4 支全亮時：

$$\frac{1.44(m^2,\text{4格天花板面積})\times 1008(lux,\text{每格天花板平均照度})}{80(W)} = \frac{1451.5(lm)}{80(W)} = 18.14(lm/W)$$

T5 燈管 4 支全亮時：

$$\frac{1.44(m^2,\text{4格天花板面積})\times 984(lux,\text{每格天花板平均照度})}{56(W)} = \frac{1416.9(lm)}{56(W)} = 25.3(lm/W)$$

所以把光通量考慮進去後，T5 燈管在天花板 150 公分下方比 T9 燈管省電量為

$$\frac{25.3-18.1}{18.1}\times 100\% = 40\%$$

柒、 結論

最理想的室內日光燈的數目與位置，應該是隨著需求自由的做改變，雖然天花板輕鋼架日光燈箱裡的日光燈數目無法隨便變換，日光燈箱位置也受限以格子的方式安排，因為輕鋼架裝潢相較於訂做的裝潢價格較低、維修也比較方便，所以很多地方還是用輕鋼架裝潢。為了要同時達到照度標準與節約能源省電這兩個目標，日光燈箱裡有亮的日光燈數目、燈箱與燈箱距離、以及桌子擺放位置都需要考慮。

實驗中我們發現，光照度是可以疊加的，實驗中我們找出了天花板下方 75~200 公分、不同日光燈組合的光照度分布，只要把它做成一張一張的投影片，一張代表一個燈箱，就可以應用在所有這種樣子的輕鋼架裝潢。利用這個結果疊加後，可以在裝潢前預先了解空間照度分布，避免裝潢後照度不足，或是燈裝太多造成能源的浪費。

以桌面距離天花板 150 公分的教室，四支 T9 日光燈，一支 20 瓦的燈箱實驗後我們有以下結論(不含牆壁邊界)：

一、如果燈箱間隔一個天花板，雖然四支全亮比較美觀，但在桌面的高度，已經到處都可以達到極精細作業的標準；如果只是普通教室，可以把四支燈管中任一支拆掉都可以。

二、如果沒有辦法仔細計算，為了省電要拆一支燈管時，拆四支之中兩側的兩支其中一支影響會比較小。

三、有時候會看到四支全亮、間隔兩個天花板的裝潢，此時燈箱對角線下方的照度低於普通教室照度標準，要避免把桌子放在那裡。

四、由手機照度計可以量測不同燈具(T5、T9)的照度，依照作業標準達到照度標準，並計算消耗電能與電費，選用最佳省電的照明燈具， T5 新式燈管比 T9 舊式燈管更為省電。若僅考慮用電量時，T5 燈管比傳統 T9 燈管省下 30%的電量；但以我們的實驗為例，在天花板下方 150 公分處不同燈管所供提的光通量也考慮進去時，T5 燈管比傳統 T9 燈管省下 40%的電量。

捌、 參考資料及其他

一、 維基百科(照度) http://zh.wikipedia.org/wiki/照度

二、 維基百科(流明) http://zh.wikipedia.org/流明

三、 周鼎金，學校教室照明與節能參考手冊，教育部，ISBN 957-01-6763-7

四、 經濟部能源局全球資訊網 www.moeaboe.gov.tw

【評語】030113

1. 研究內容之資料整理頗佳。

2. 能將探測的實驗做有系統整理，這很有意義。

3. 實用且細心的研究，與日常生活有適切配合。

4. 非常體貼學校電費之不足，研究心胸值得嘉許。

5. 作者解說時對內容十分了解，同時很有自信。