

農地種電

探討如何兼顧太陽能發電與農業生產



政策目標：太陽能 2025 年達 20GW

- 依估計要發展 20GW 的太陽能估計要至少要 2 萬公頃的面積。



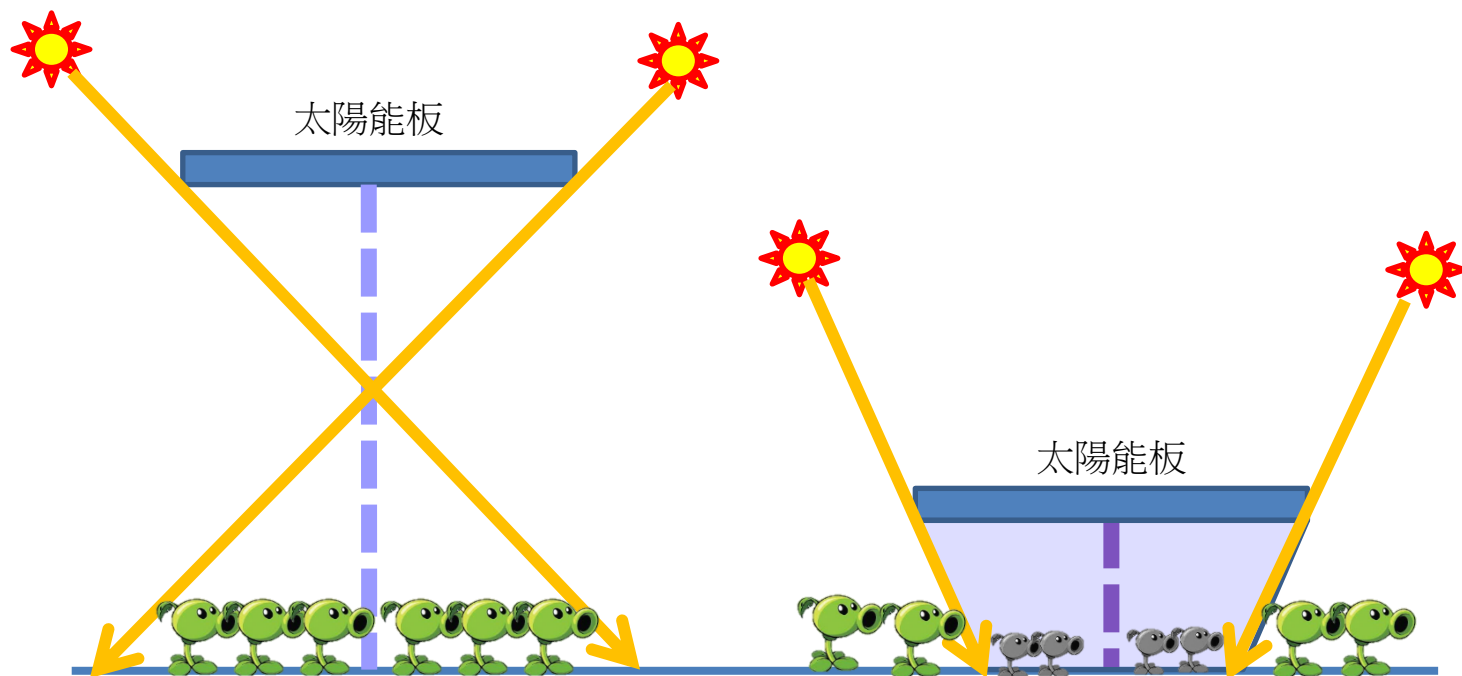
還有地方可以架嗎？



二次農地沉淪-農地種電



太陽能發電與農業生產真的不能兼顧嗎？



- 鳳山試驗所的農電溫室研究，將太陽能板架高6公尺，即使覆蓋30~40%的面積，也不會對植物造成太大的影響
- 架的高度越高，越不容易形成光照不足的區域，對植物影響越小，

太陽能發電與農業生產真的不能兼顧嗎？

日本農電共享協會與東京大學研究：

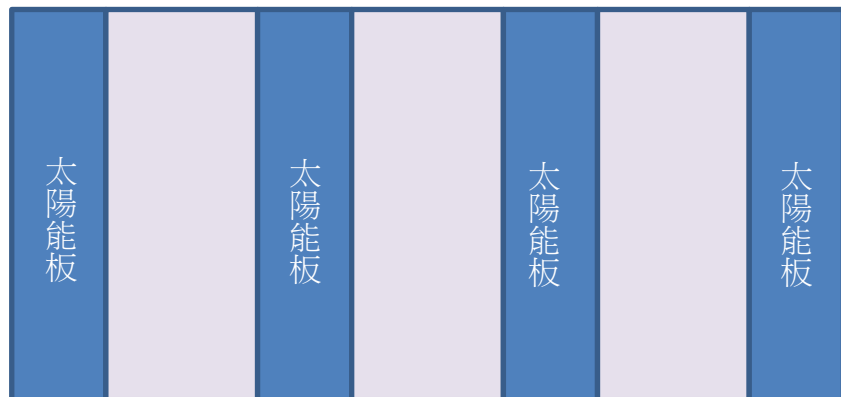
在架設太陽能板的農田與鄰近農田種下明日葉，每十公頃收量前者為1682公斤，後者為1447公斤，多出16%產量。



太陽能發電與農業生產真的不能兼顧嗎？

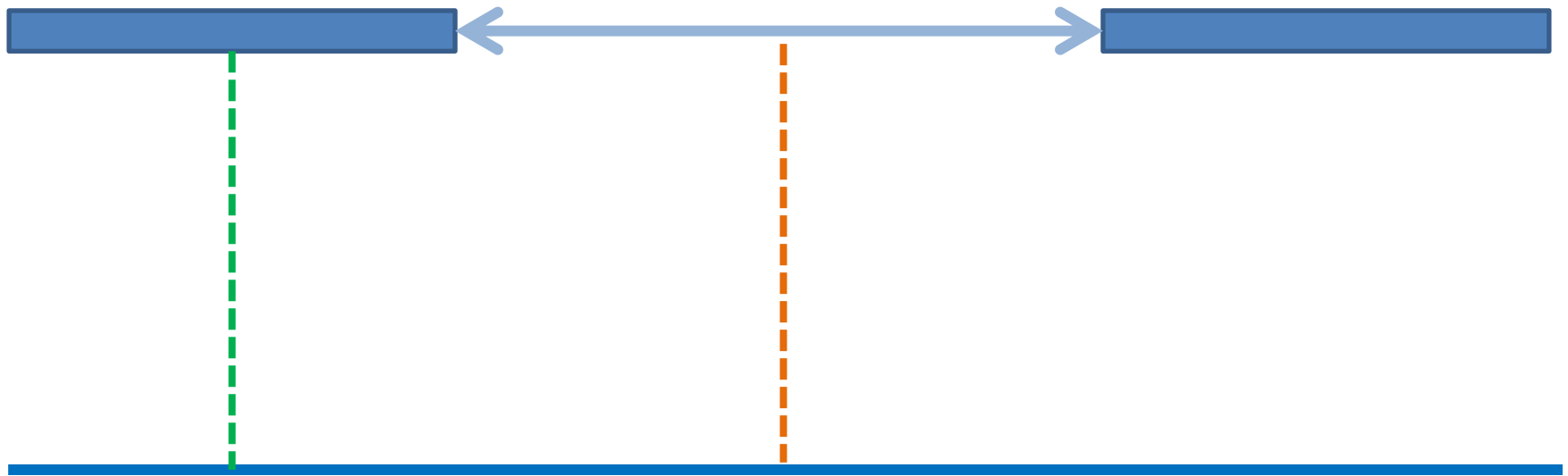
- 太陽能發電與農業生產是有機會兼顧的
- 但是6公尺的太陽能板真的太高了，不只架設成本高，還容易因為風大而受損，怎麼辦呢？

研究標的



研究標的

- 高度要多高，才能讓太陽能板下方中間(A點)和間距中間(B點)一天照光的量相同呢？



太陽能板下方中間(A點)
(最照不到光)

間距中間(B點)
(照光最多)

研究標的

- 探討太陽照射角度與太陽能板遮蔽之關係。
- 探討太陽能板寬度、間隔距離與架設高度對累積日照量的影響。
- 探討如何求得太陽能板最佳架設高度，確保可兼顧太陽能發電與農業生產。

研究方法與步驟

↑ 南北向



→ 東西向

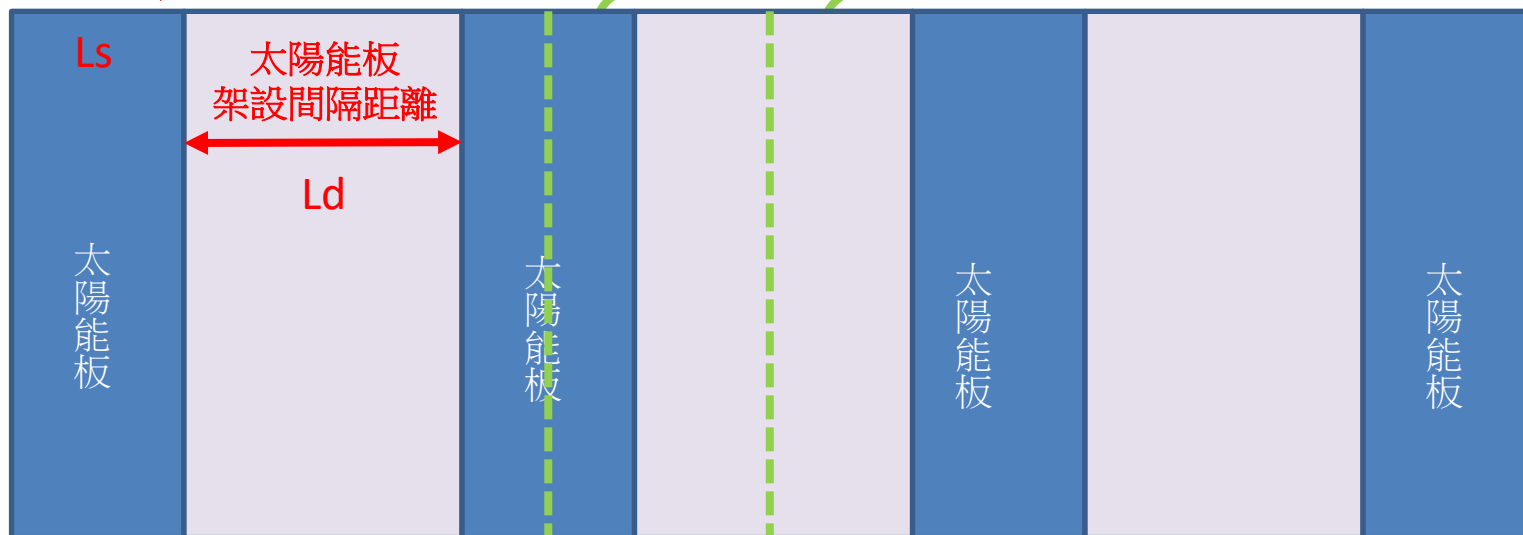
名詞定義

太陽能板寬度

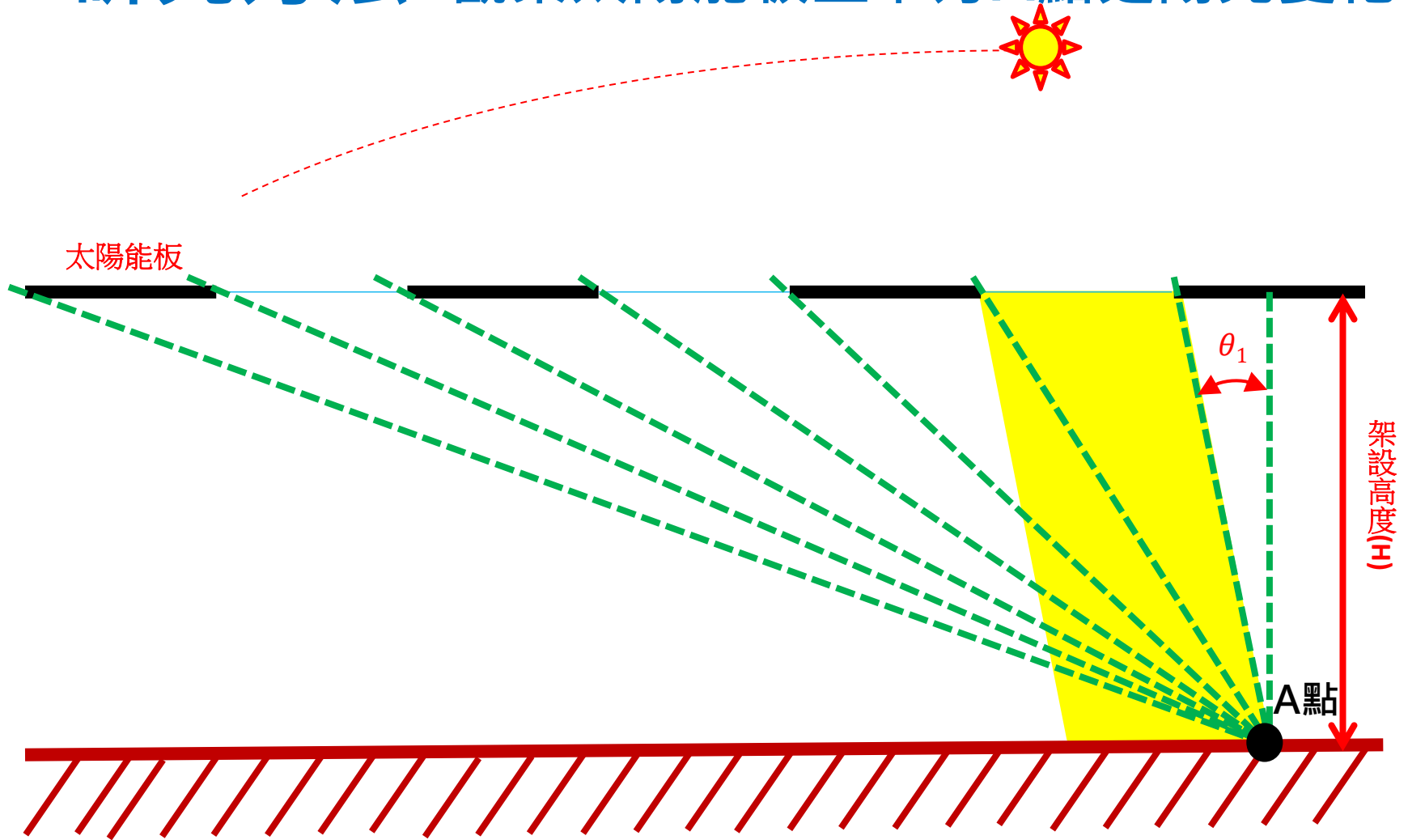


太陽能板正下方(A點)

太陽能板間隔中間(B點)

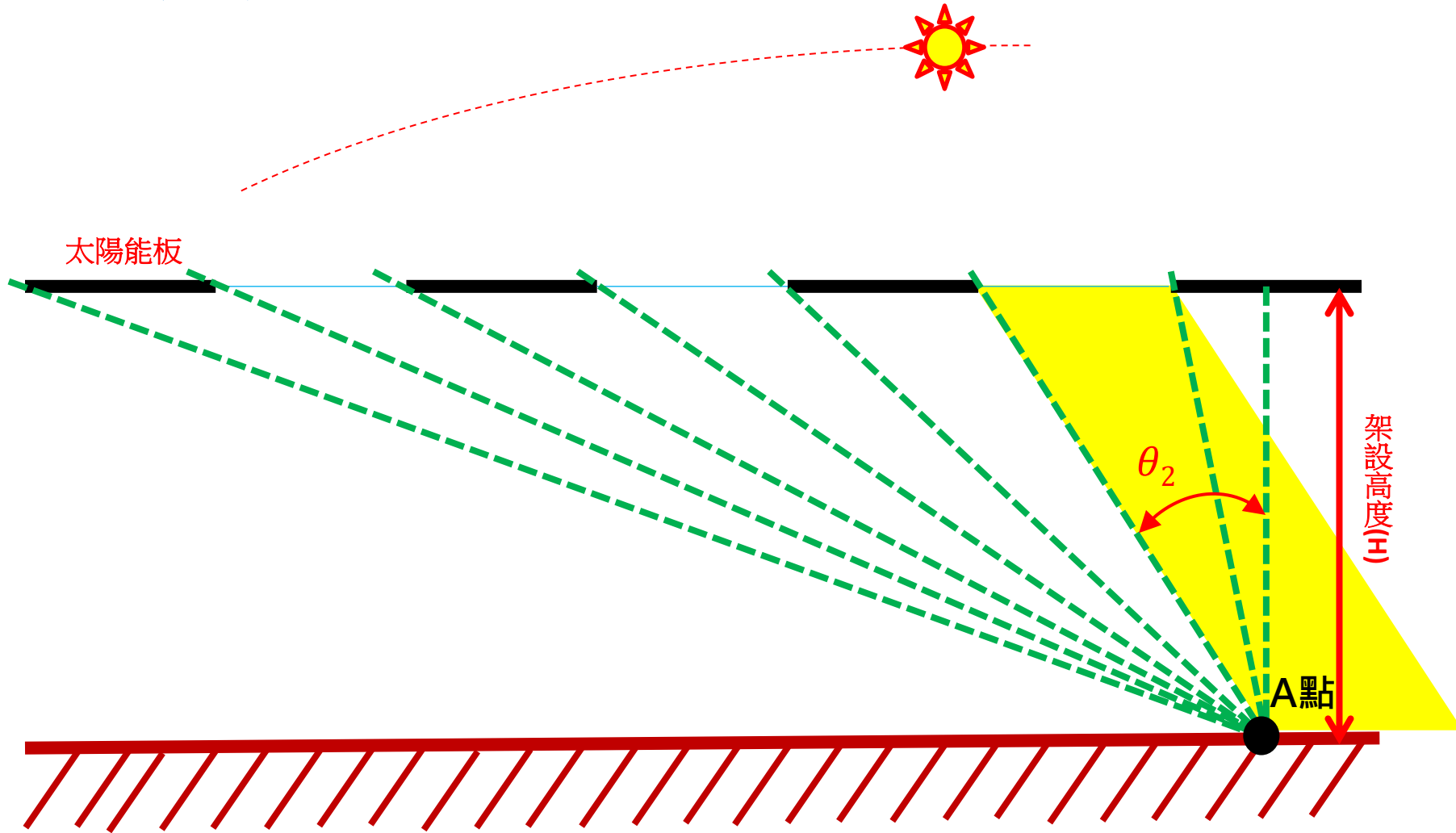


研究方法-觀察太陽能板正下方A點之陽光變化



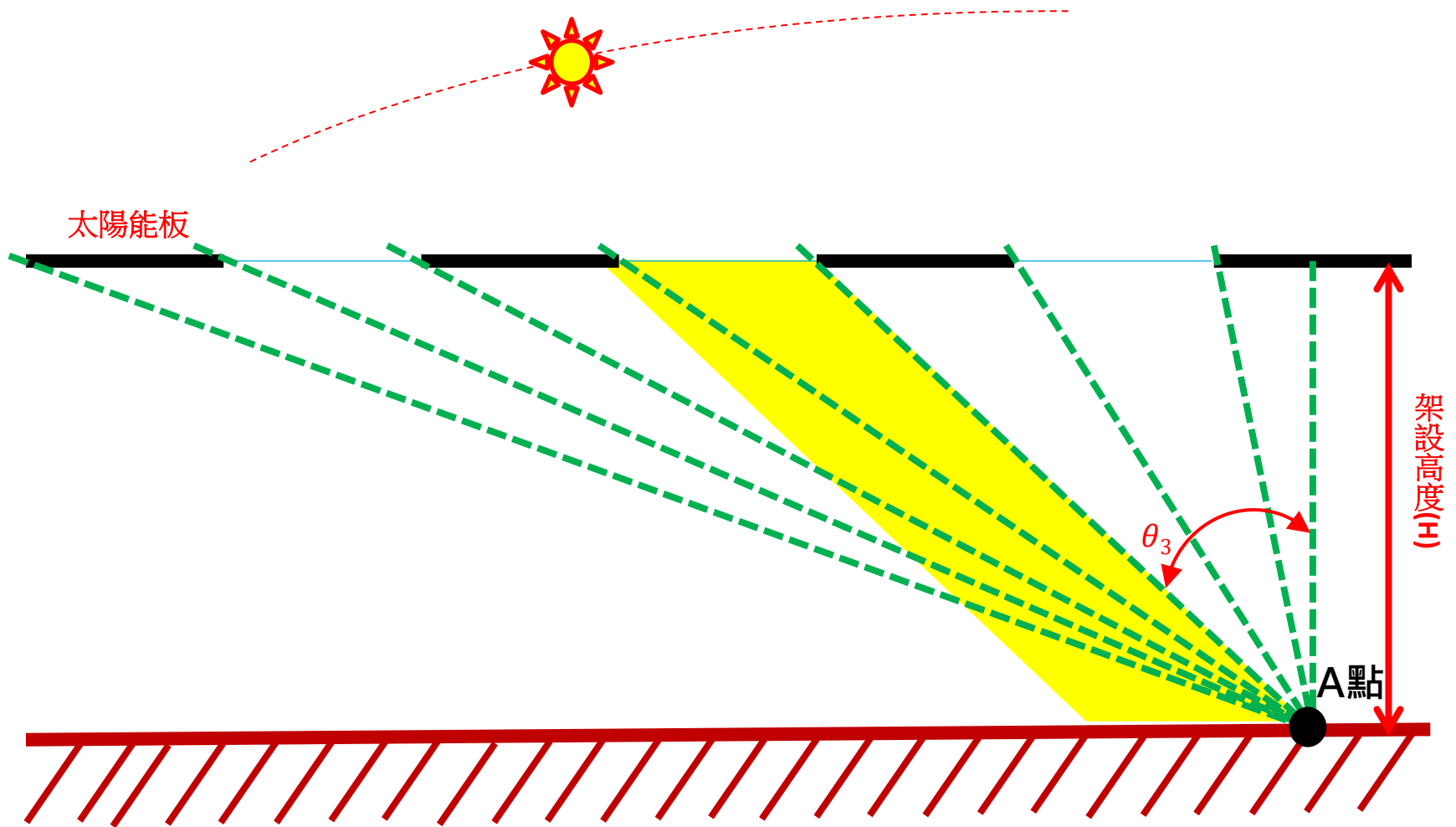
太陽能板正下方於 θ_1 時開始照到陽光

研究方法-觀察太陽能板正下方A點之陽光變化



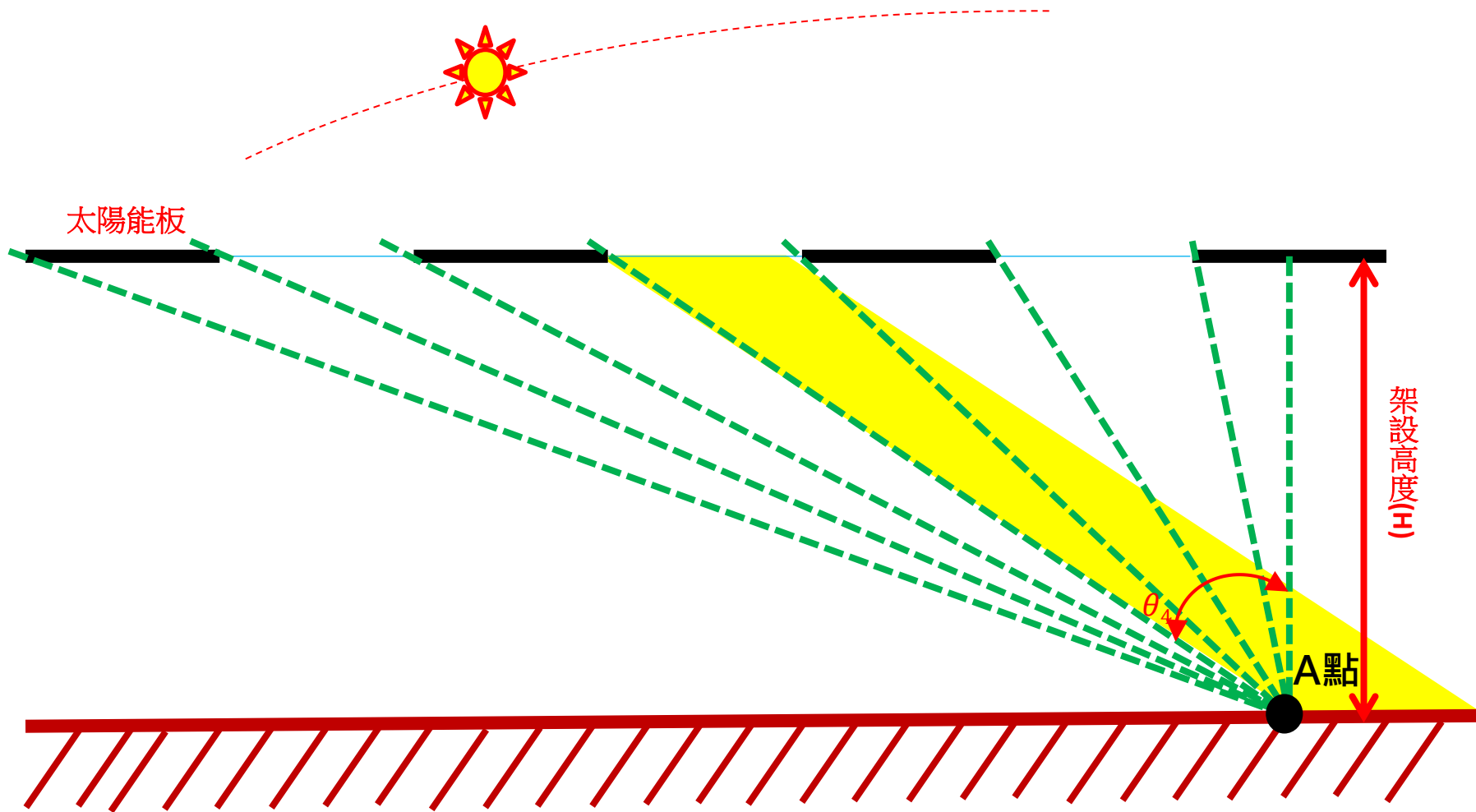
太陽能板正下方於 θ_2 時照不到陽光

研究方法-觀察太陽能板正下方A點之陽光變化



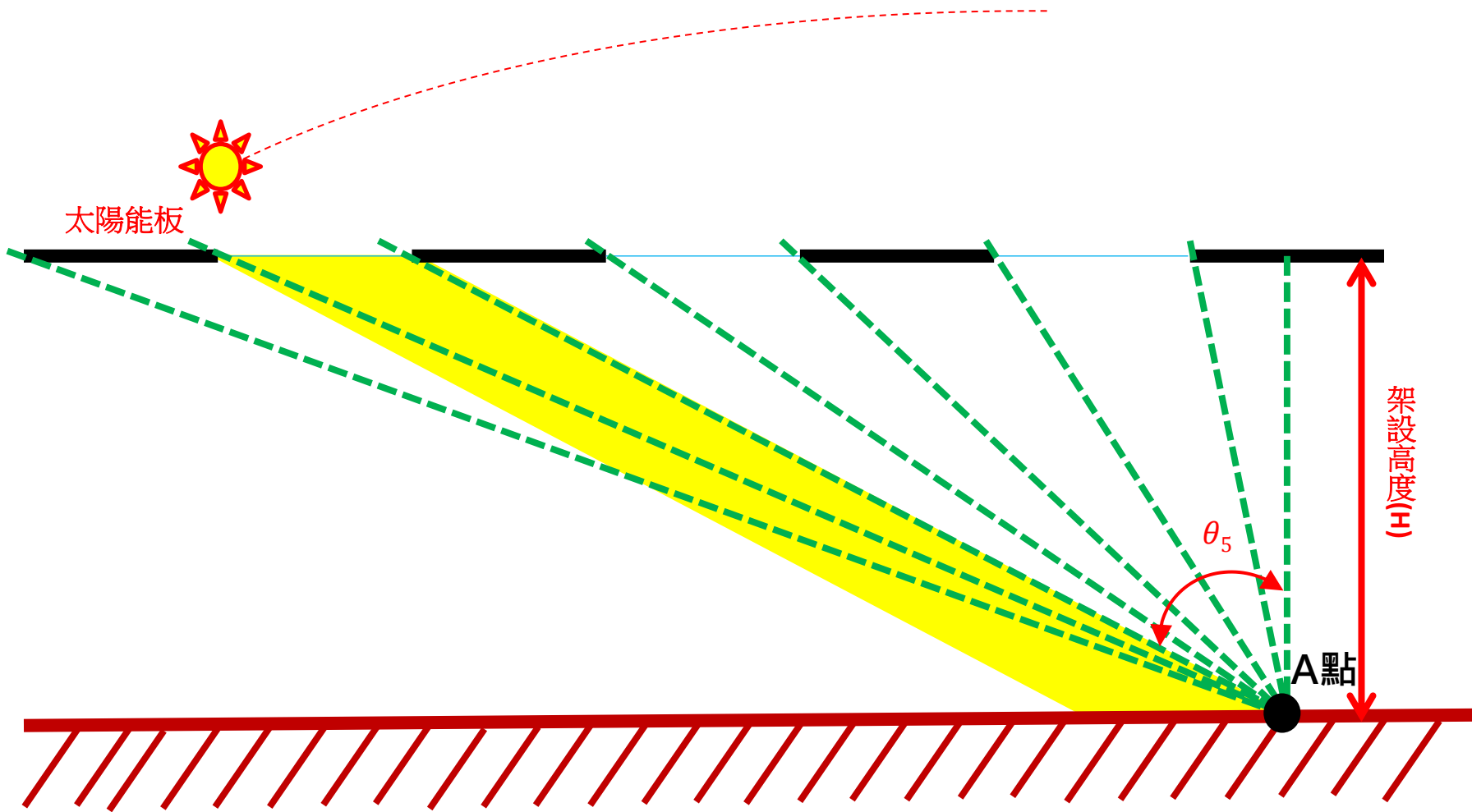
太陽能板正下方於 θ_3 時開始照到陽光

研究方法-觀察太陽能板正下方A點之陽光變化



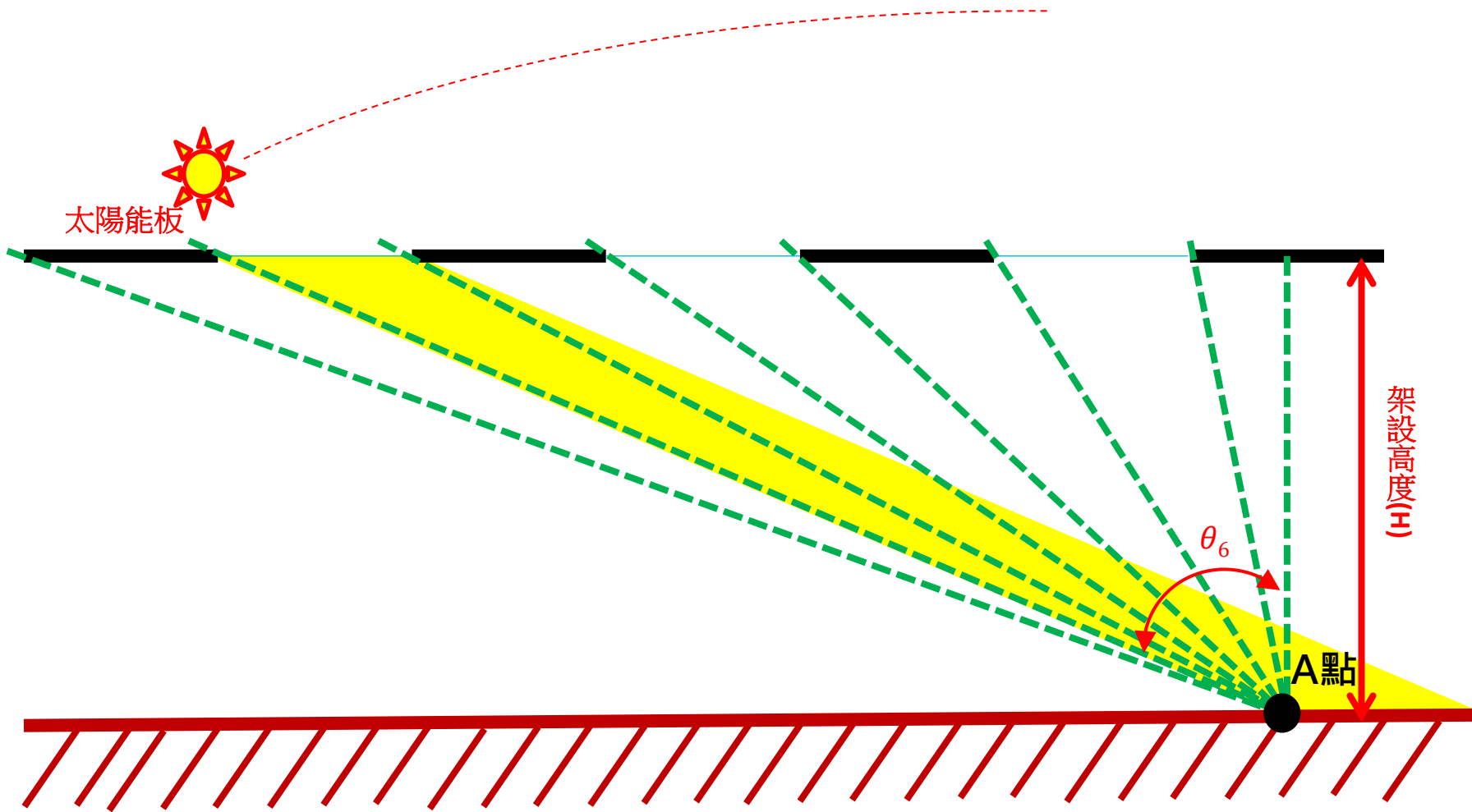
太陽能板正下方於 θ_4 時照不到陽光

研究方法-觀察太陽能板正下方A點之陽光變化



太陽能板正下方於 θ_5 時開始照到陽光

研究方法-觀察太陽能板正下方A點之陽光變化

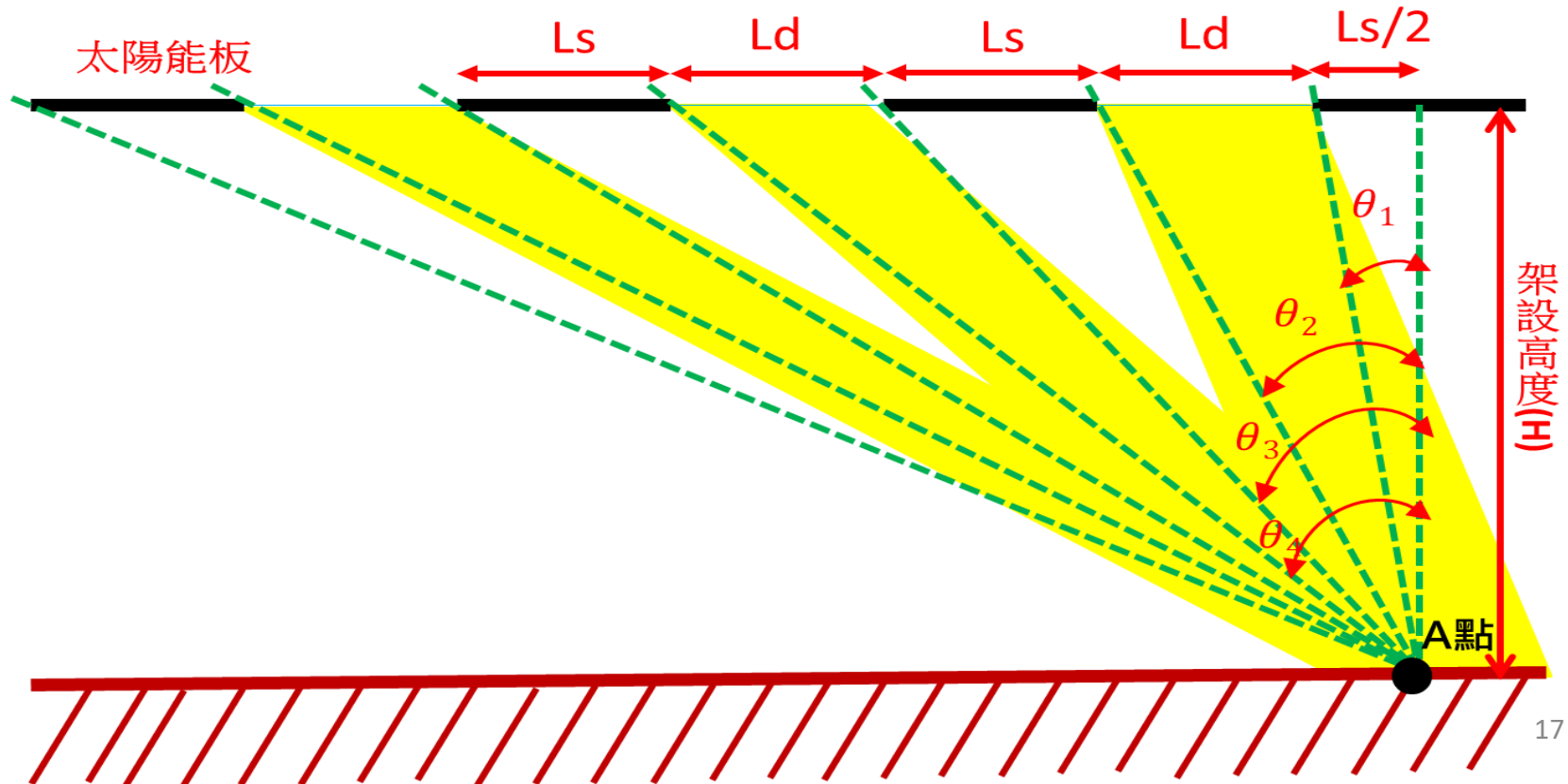


太陽能板正下方於 θ_6 時照不到陽光

研究方法-觀察太陽能板正下方A點之陽光變化

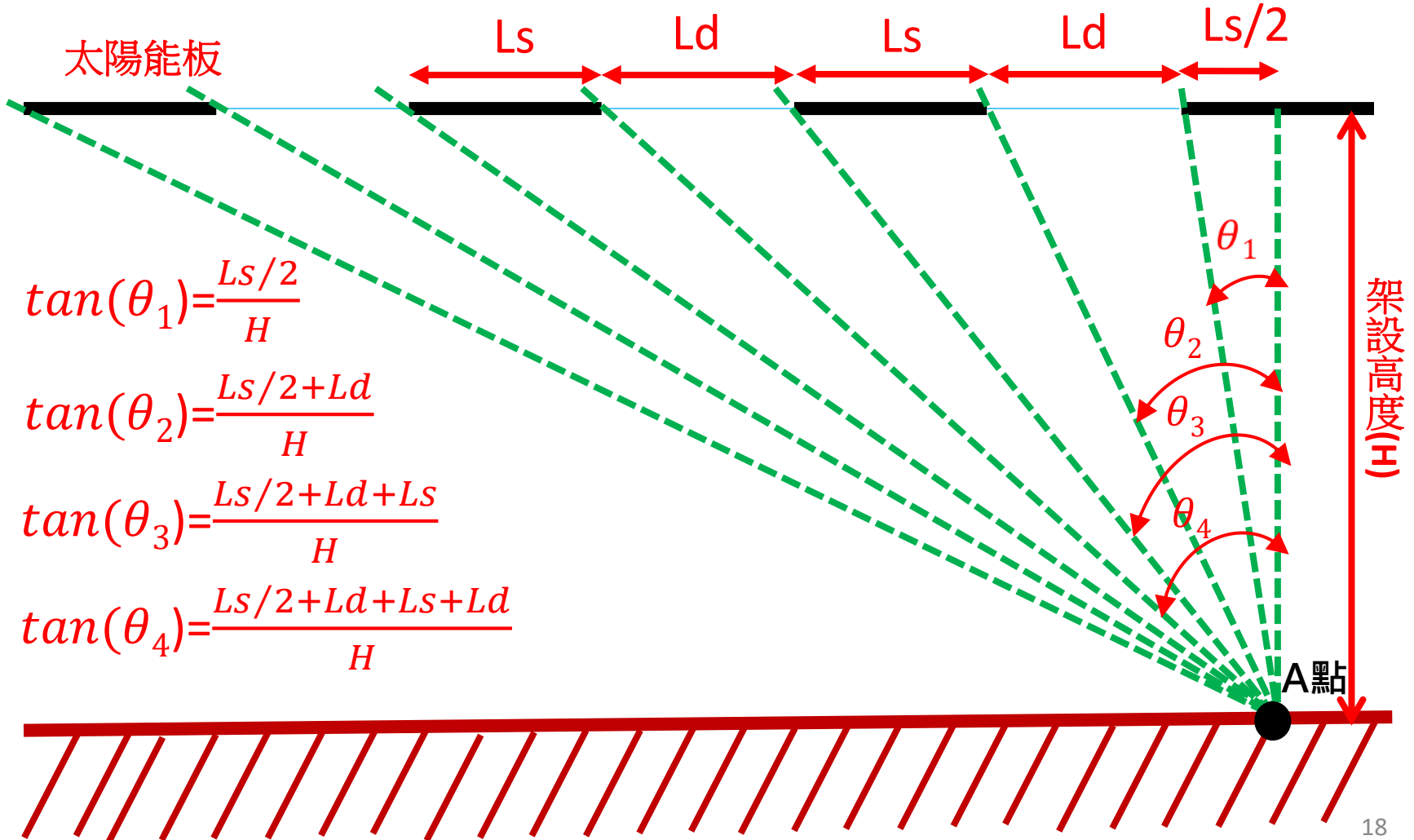
觀察得知：

- 在角度區間 $[\theta_1, \theta_2]$, $[\theta_3, \theta_4]$, $[\theta_5, \theta_6]$, $[\theta_7, \theta_8]$,...太陽能板正下方可曬到太陽。
- 將上述角度區間的日照功率累積起來即可得到太陽能板正下方之日照量。



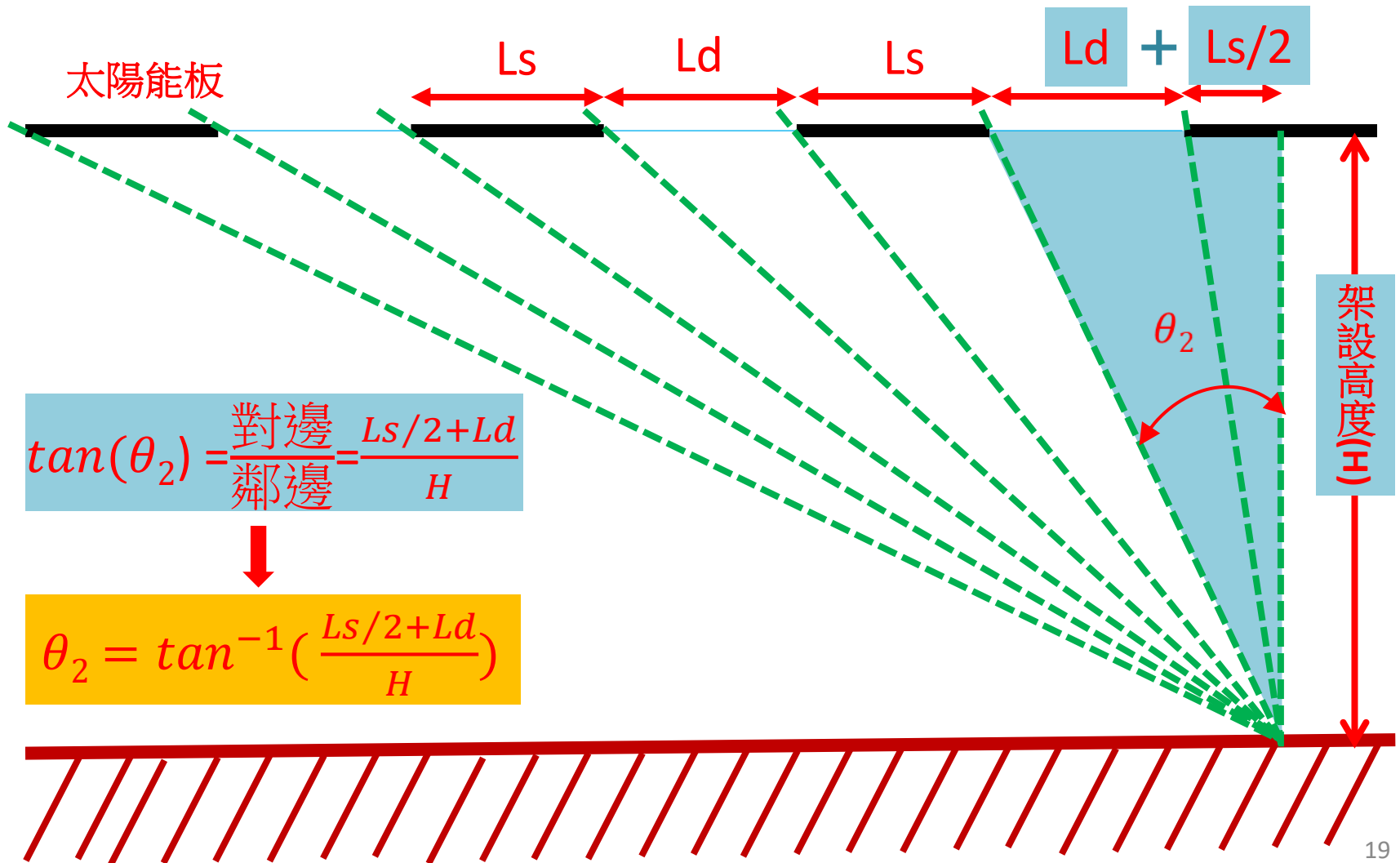
探討步驟

Step 1: 利用架設高度(H)和上方距離求出個角度



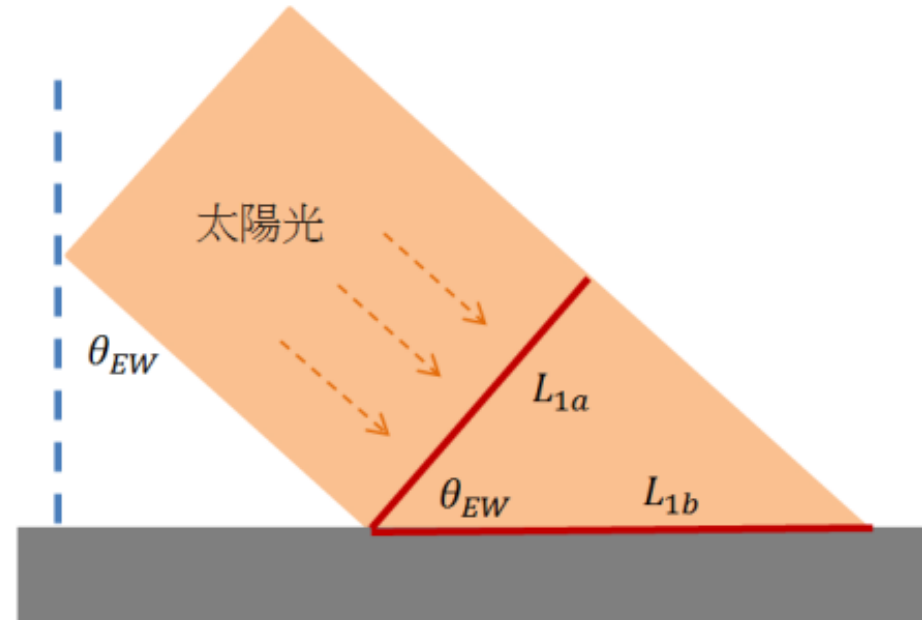
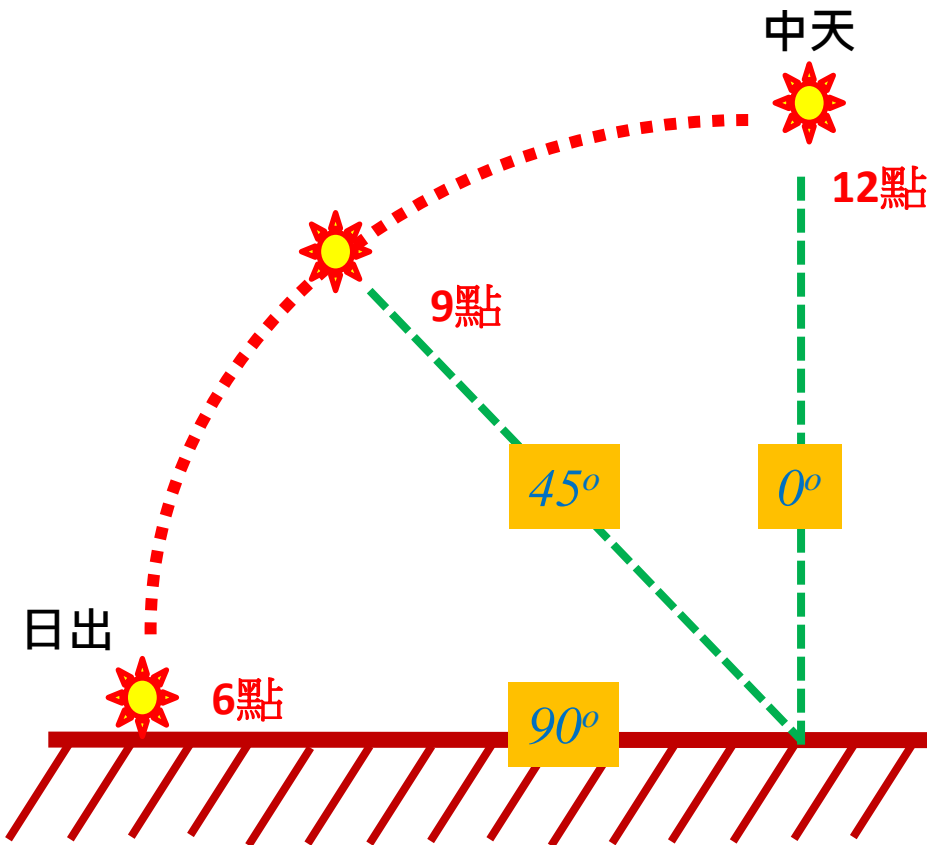
探討步驟

以 θ_2 為例說明：



探討步驟

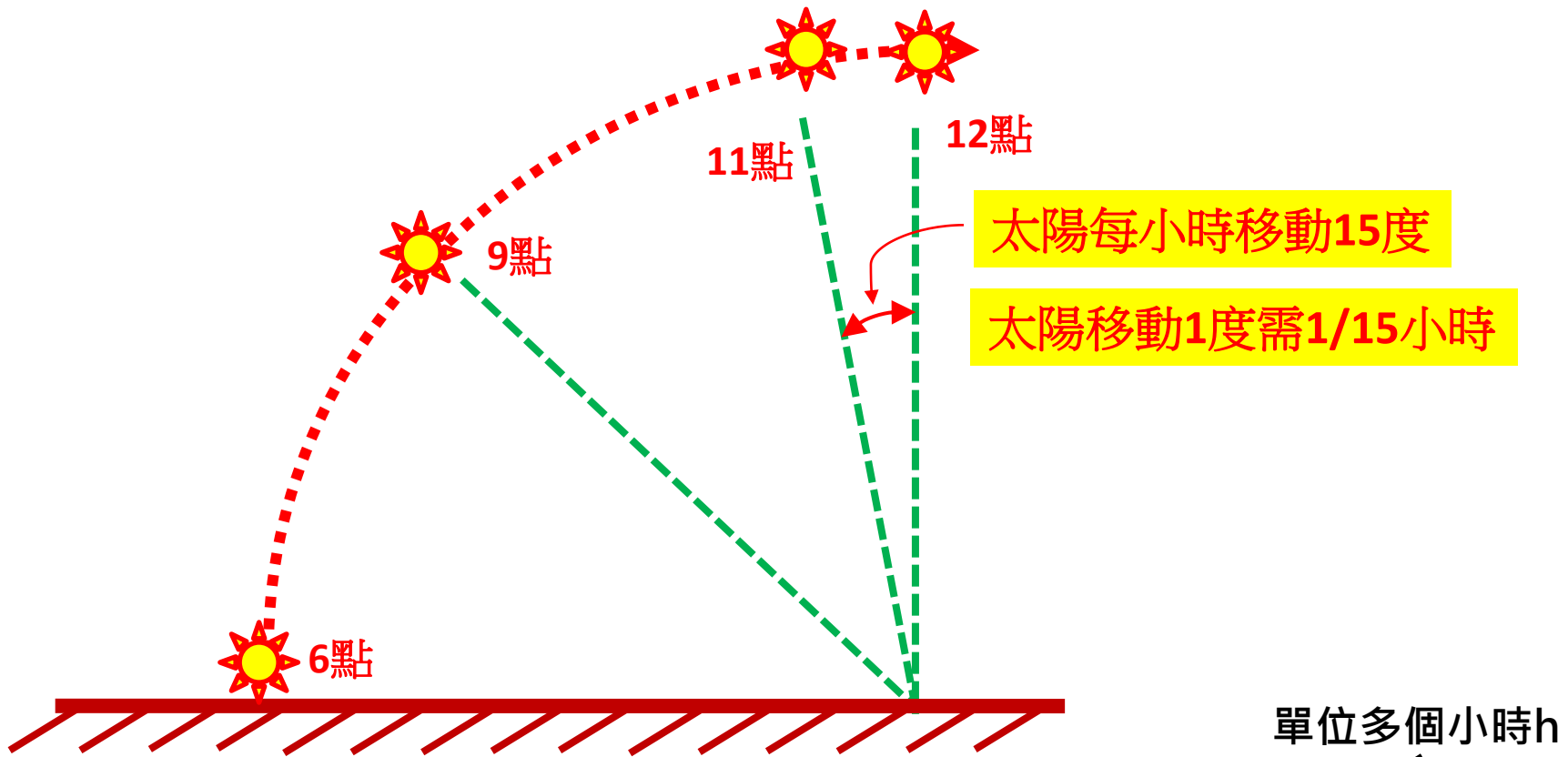
Step 2: 探討角度與光照度關係



$$\begin{aligned} \text{光照度} &= 1000 \cdot \frac{L_{1a}}{L_{1b}} \\ &= 1000 \cdot \cos(\theta_{EW}) \text{ w/m}^2 \end{aligned}$$

探討步驟

Step 3: 求出累積光照量。



$$\text{太陽移動1度之累積光照量} = \frac{1000}{15} \cdot \cos(\theta_{EW}) \text{ Wh/m}^2$$

EXCEL 試算表

Step1 : 算出在不同高度底下的陽光入射角

G10		✕ ✓ fx		=ATAN(SUM(\$A\$8:\$A10)/(G\$7))*180/3.141596							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1											
2		架設方位角	180 度								
3		太陽能板寬度(cm)	100 公分								
4		太陽能板架設間隔(cm)	200 公分								
5											
6											
7			20	40	60	80	100	120	140	160	
8	Ls/2	50	1	68.19851787	51.34014	39.80553	32.00535	26.56502	22.61984	19.6538	17.35401
9	Ld	200	2	85.42598774	80.90964	76.50419	72.25525	68.19852	64.35893	60.75111	57.3807
10	Ls	100	3	86.72941969	83.48011	80.27234	77.11112	74.05453	71.07528	68.19852	65.43276
11		200	4	87.91734107	85.84027	83.77408	81.72402	79.69507	77.6919	75.71882	73.77973
12		100	5	88.23751499	86.47845	84.72601	82.98341	81.25375	79.54001	77.84498	76.17127

角度算式

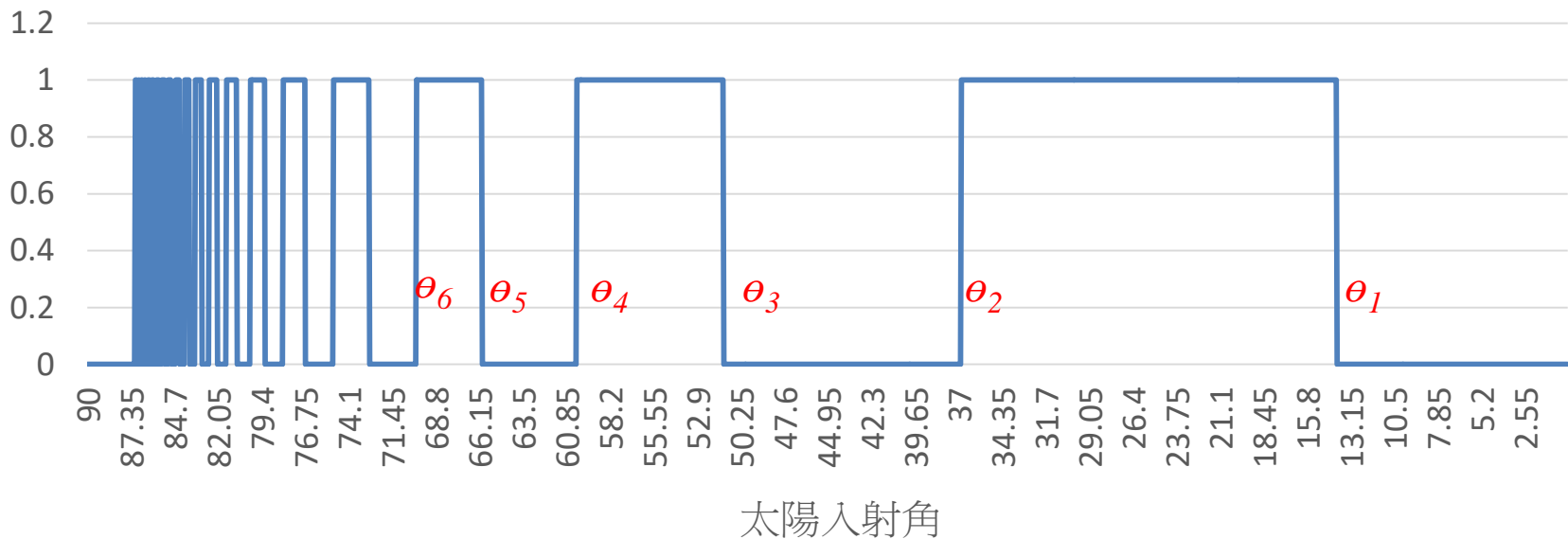
不同架設高度

EXCEL 試算表

Step 1 結果：

架設方位角	180	度
架設高度	200	公分
太陽能板寬度(cm)	100	公分
太陽能板架設間隔(cm)	100	公分

- 在角度區間 $[\theta_1, \theta_2], [\theta_3, \theta_4], [\theta_5, \theta_6], [\theta_7, \theta_8], \dots$ 太陽能板正下方可曬到太陽。



EXCEL 試算表

Step 2 : 算出不同太陽入射角下之光照度

D302 =工作表1!D351*COS(RADIANS(工作表1!\$A351))

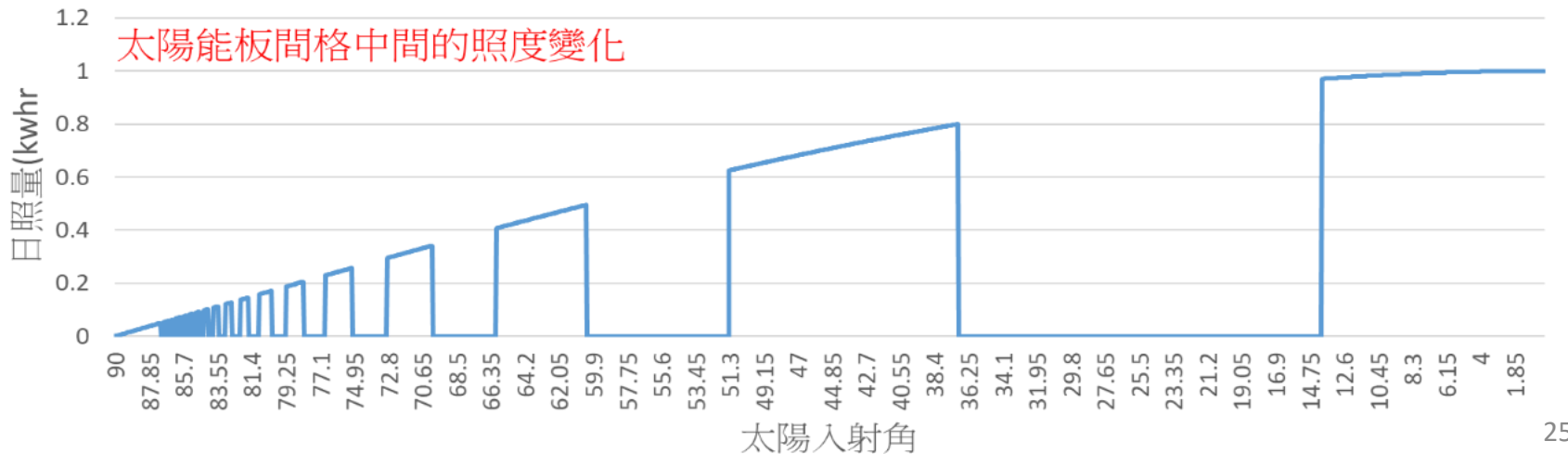
	A	B	光照度公式		D	E	F	G	H	I	J
297	75.25	14.75	0.254602		0	0	0.254602	0	0.254602	0.254602	0
298	75.2	14.8	0.255446		0	0	0.255446	0	0.255446	0.255446	0
299	75.15	14.85	0.256289		0	0	0.256289	0	0.256289	0.256289	0
300	75.1	14.9	0.257133		0	0	0.257133	0	0.257133	0.257133	0
301	75.05	14.95	0.257976	0.257976		0	0.257976	0	0	0.257976	0
302	75	15	0.258819	0.258819		0	0.258819	0	0	0.258819	0
303	74.95	15.05	0.259662	0.259662		0	0.259662	0	0	0.259662	0
304	74.9	15.1	0.260505	0.260505							
305	74.85	15.15	0.261347	0.261347							

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
346	75.25	14.75		1	0	0	1	0	1
347	75.2	14.8		1	0	0	1	0	1
348	75.15	14.85		1	0	0	1	0	1
349	75.1	14.9		1	0	0	1	0	1
350	75.05	14.95		1	1	0	1	0	0
351	75	15		1	1	0	1	0	0
352	74.95	15.05		1	1	0	1	0	0
353	74.9	15.1		1	1	0	1	0	0
354	74.85	15.15		1	1	0	1	0	0
355	74.8	15.2		1	1	0	1	0	0
356	74.75	15.25		1	1	0	1	0	0
357	74.7	15.3		1	1	0	1	0	0

工作表1 | 工作表2 | 工作表3 | 工作表4

EXCEL 試算表

Step 2 結果：



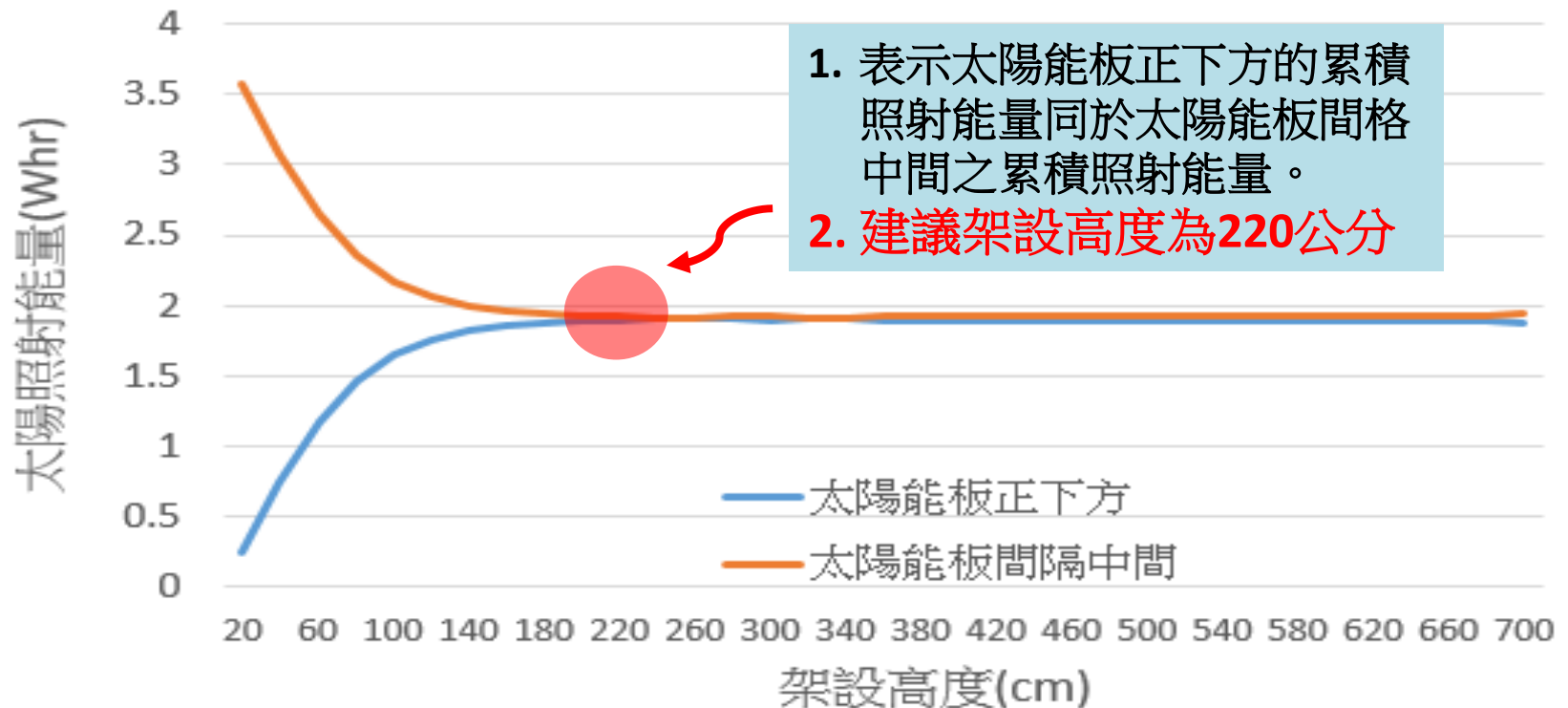
EXCEL 試算表

Step 3：將每角度的日照量累積起來，即可得出不同架設高度的累積日照量

C1804		計算式								
太陽仰角	C	D	E	F	G	H	I	J		
1796	89.7	0.999986292	0.999986	0.999986	0.999986	0.999986	0.999986	0.999986	0.999986	
1797	89.75	0.999990481	0.99999	0.99999	0.99999	0.99999	0.99999	0.99999	0.99999	
1798	89.8	0.999993908	0.999994	0.999994	0.999994	0.999994	0.999994	0.999994	0.999994	
1799	89.85	0.999996573	0.999997	0.999997	0.999997	0.999997	0.999997	0.999997	0.999997	
1800	89.9	0.999998477	0.999998	0.999998	0.999998	0.999998	0.999998	0.999998	0.999998	
1801	89.95	0.999999619	1	1	1	1	1	1	1	
1802	90	1	1	1	1	1	1	1	1	
1803										
1804	累積日照	3.76358319	3.612407	3.416353	3.220608	3.04927	2.913756	2.806859	2.7319	

EXCEL 試算表 結果

架設方位角	180 度				
太陽能板寬度(cm)	100 公分				
太陽能板架設間隔(cm)	100 公分				



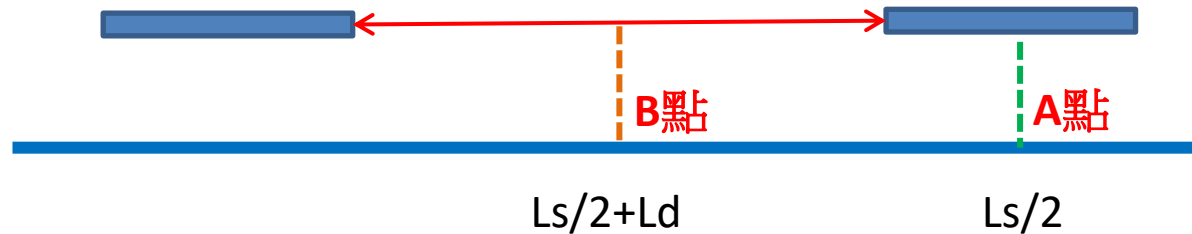
實驗與探討

- 實驗一：不同太陽能板架設間隔之比較
- 實驗二：不同太陽能板寬度之比較
- 實驗三：不同太陽能板寬度與太陽能板架設間隔之比較

實驗一、不同太陽能板架設間隔之比較



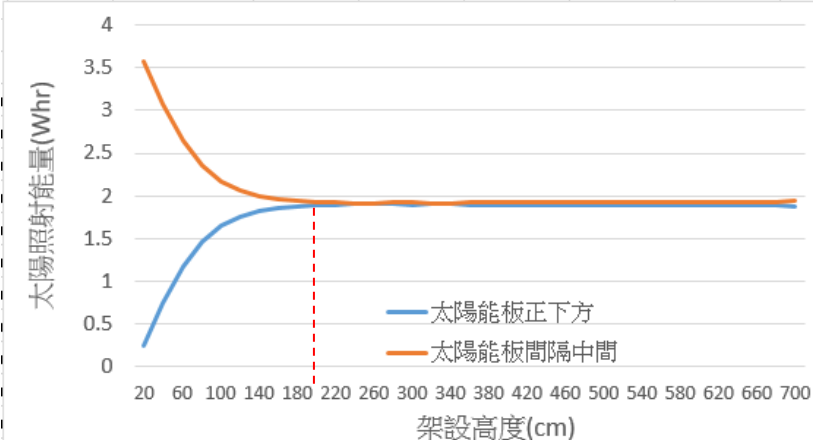
是否間隔越小，
讓A點和B點累積日照
量相等的高度越高？



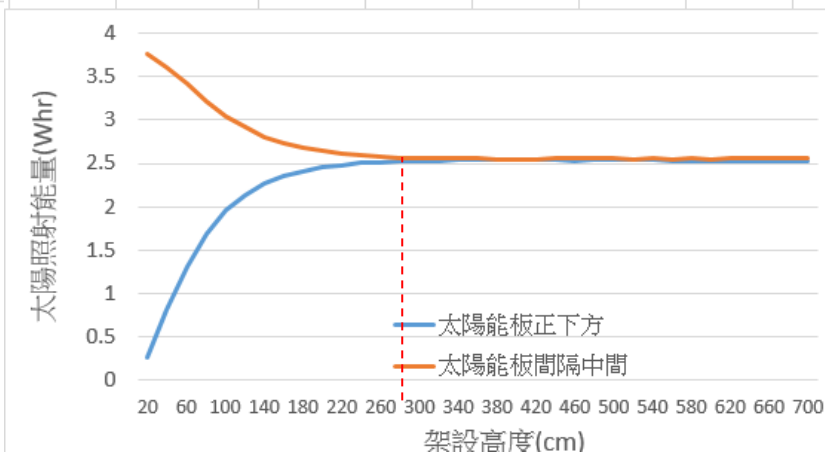
是否間隔越大，
讓 $Ls/2$ 和 $Ls/2+Ld$
累積日照量相等的
高度越高？

實驗一、太陽能板寬度100cm在不同架設間隔距離之結果

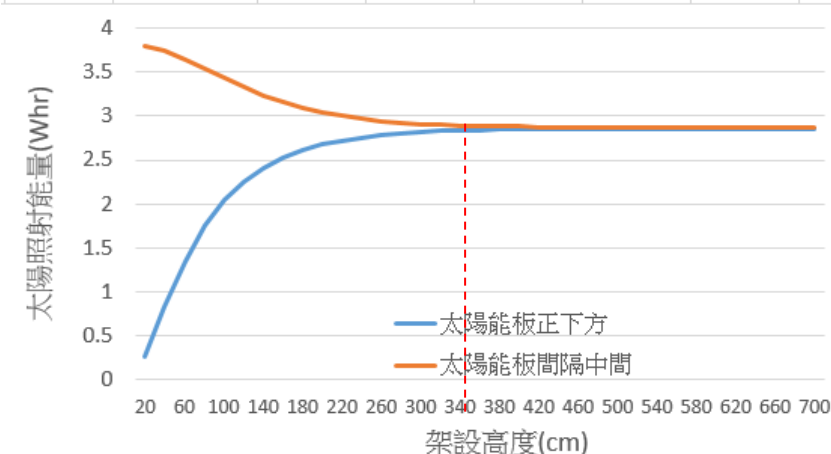
架設方位角	180 度
太陽能板寬度(cm)	100 公分
太陽能板架設間隔(cm)	100 公分



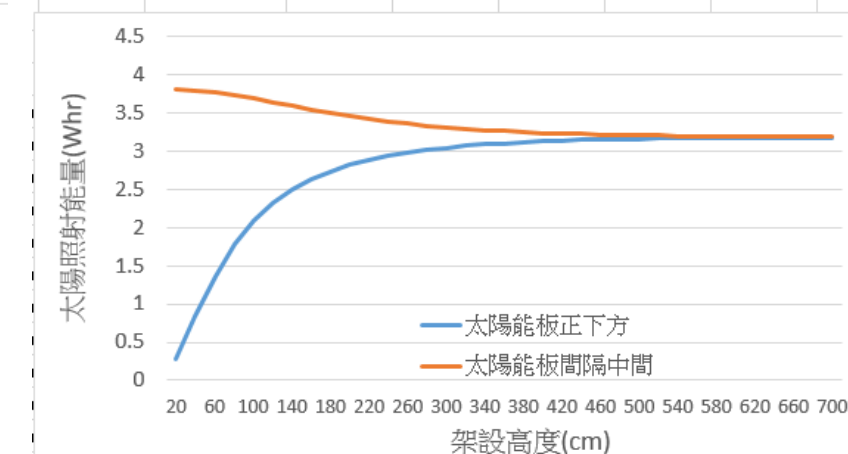
架設方位角	180 度
太陽能板寬度(cm)	100 公分
太陽能板架設間隔(cm)	200 公分



架設方位角	180 度
太陽能板寬度(cm)	100 公分
太陽能板架設間隔(cm)	300 公分

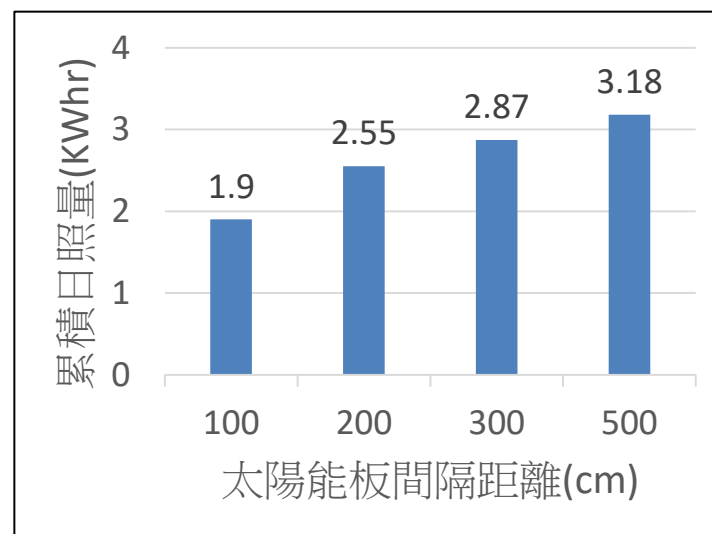
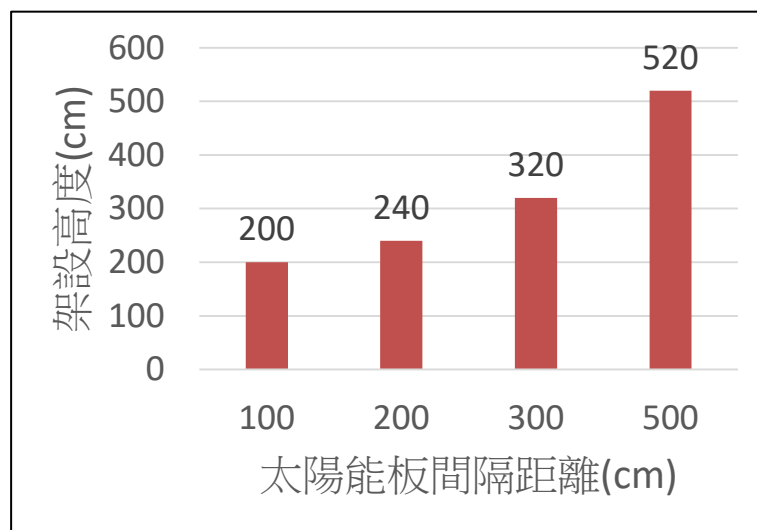


架設方位角	180 度
太陽能板寬度(cm)	100 公分
太陽能板架設間隔(cm)	500 公分



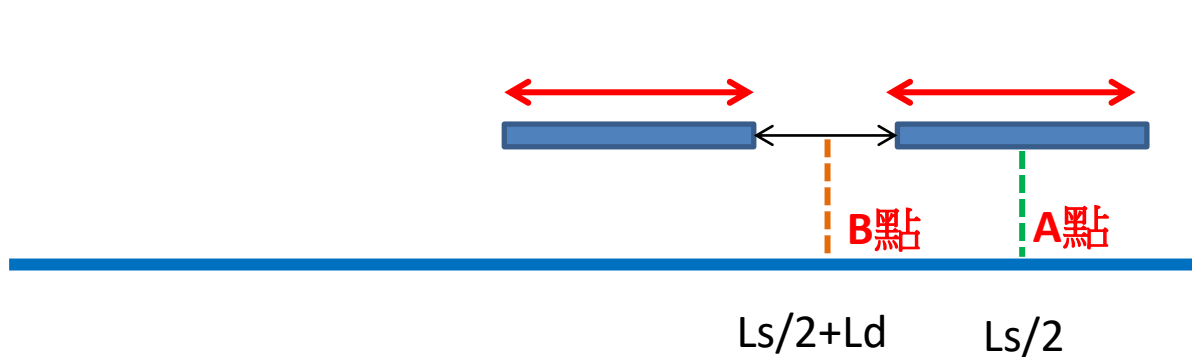
實驗一、太陽能板寬度100cm在不同架設間隔距離之結果

太陽能板寬度(Ls)	100 cm	100 cm	100 cm	100 cm
太陽能板間隔距離(Ld)	100 cm	200 cm	300 cm	500 cm
求得之日累積日照量	1.9 kWhr	2.55 kWhr	2.87 kWhr	3.18 kWhr
求得之最佳架設高度	200 cm	240 cm	320 cm	520 cm

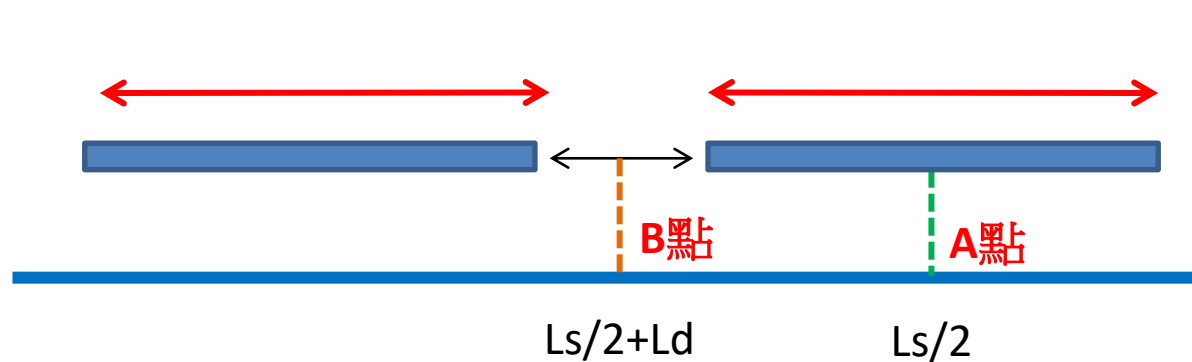


間距越大，累積日照多，需架設高度高
間距越小，累積日照小，需架設高度低

實驗二、不同太陽能板寬度之比較



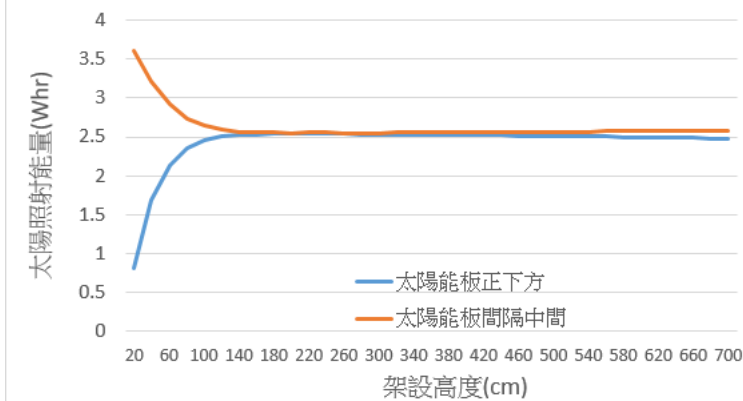
是否太陽能板寬度
越小，讓**A點**和**B點**
累積日照量相等的
高度越高？



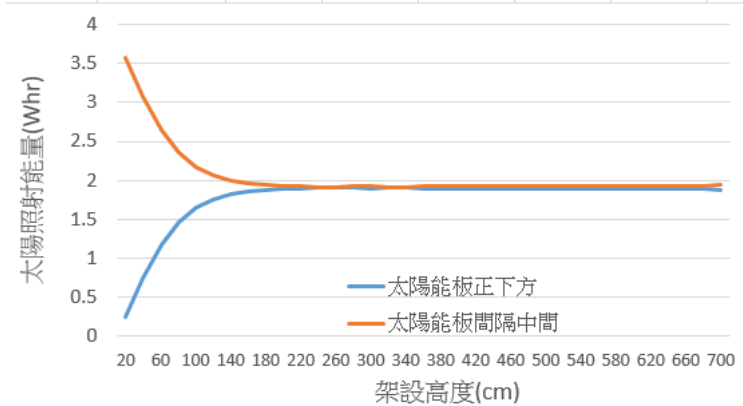
是否太陽能板寬度
越大，讓**A點**和**B點**
累積日照量相等的
高度越高？

實驗二、固定架設間隔100cm不同太陽能板寬度之結果

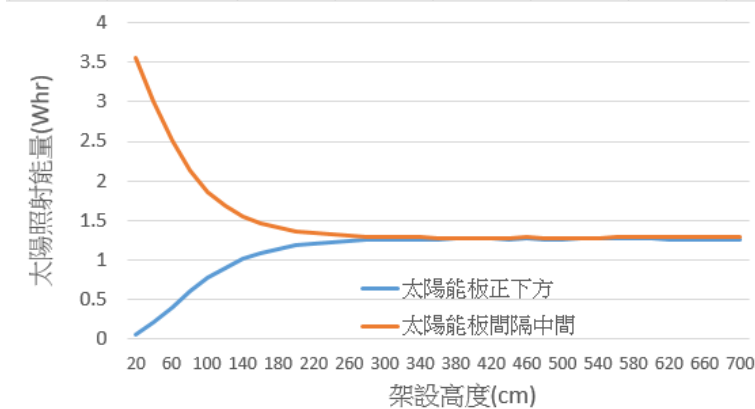
架設方位角	180 度
太陽能板寬度(cm)	50 公分
太陽能板架設間隔(cm)	100 公分



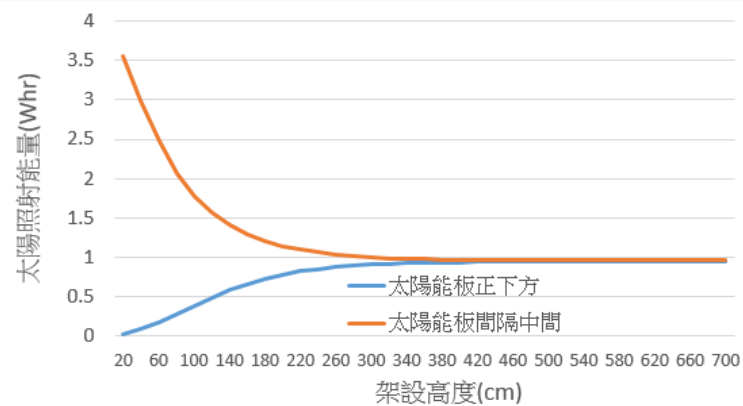
架設方位角	180 度
太陽能板寬度(cm)	100 公分
太陽能板架設間隔(cm)	100 公分



架設方位角	180 度
太陽能板寬度(cm)	200 公分
太陽能板架設間隔(cm)	100 公分

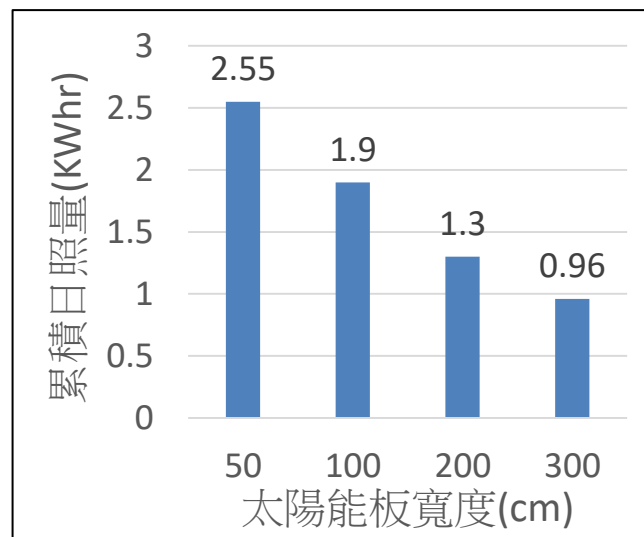
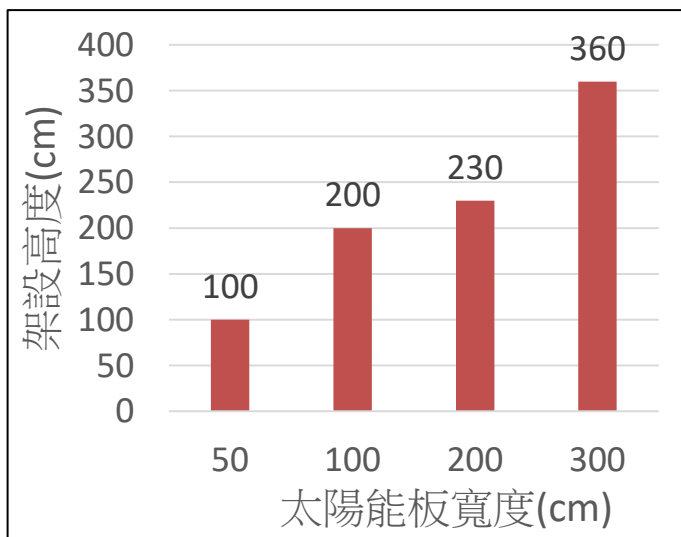


架設方位角	180 度
太陽能板寬度(cm)	300 公分
太陽能板架設間隔(cm)	100 公分



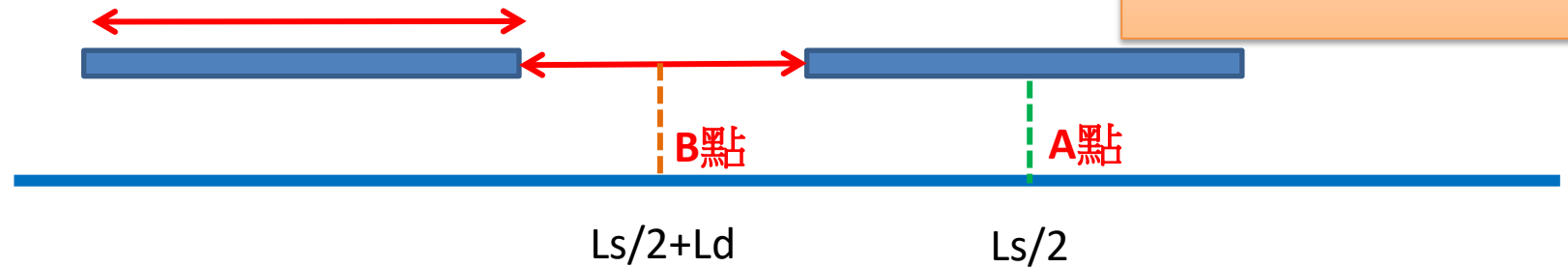
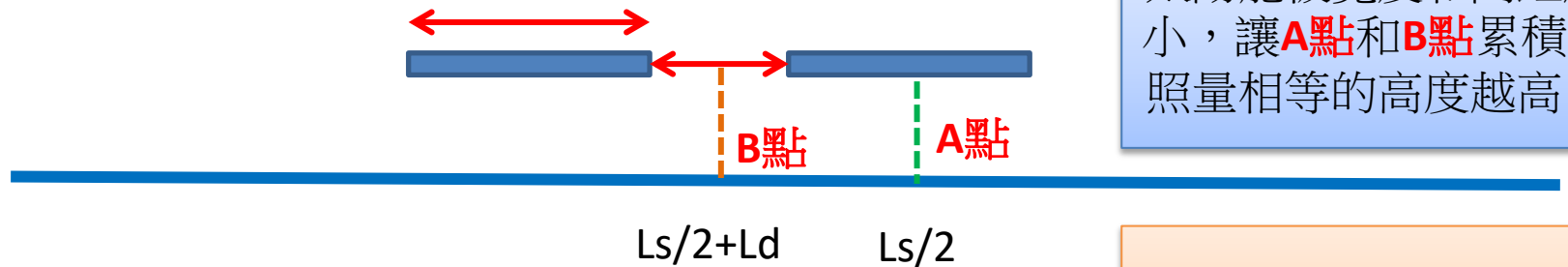
實驗二、固定架設間隔100cm不同太陽能板寬度之結果

太陽能板寬度(Ls)	50 cm	100 cm	200 cm	300 cm
太陽能板間隔距離(Ld)	100 cm	100 cm	100 cm	100 cm
求得之日累積日照量	2.55 kWhr	1.9 kWhr	1.3 kWhr	0.96 kWhr
求得之最佳架設高度	100 cm	200 cm	230 cm	360 cm



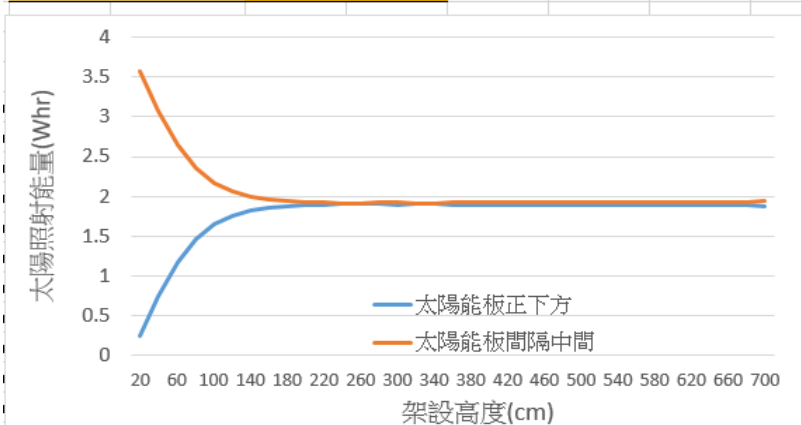
太陽能板寬越大，累積日照少，需架設高度高
太陽能板寬越小，累積日照多，需架設高度低

實驗三、不同太陽能板寬度和架設間隔之比較

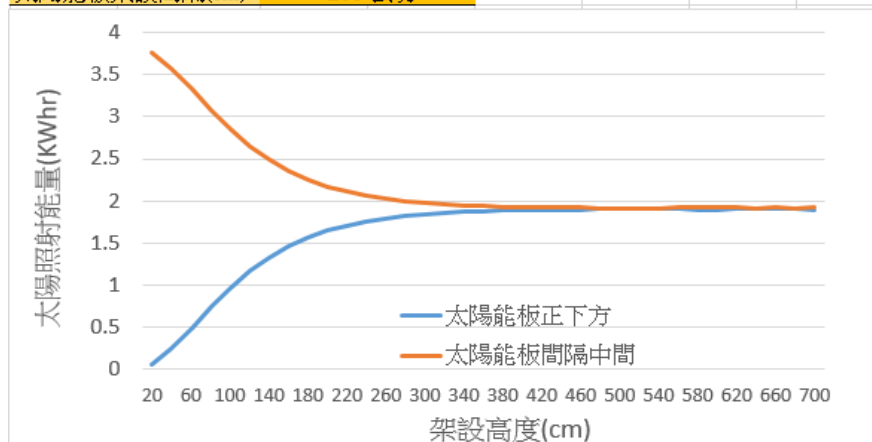


實驗三、不同太陽能板寬度與太陽能板架設間隔之結果

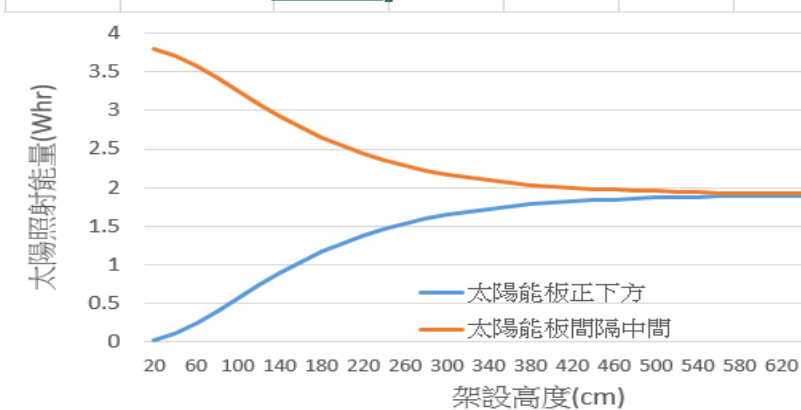
架設方位角	180 度
太陽能板寬度(cm)	100 公分
太陽能板架設間隔(cm)	100 公分



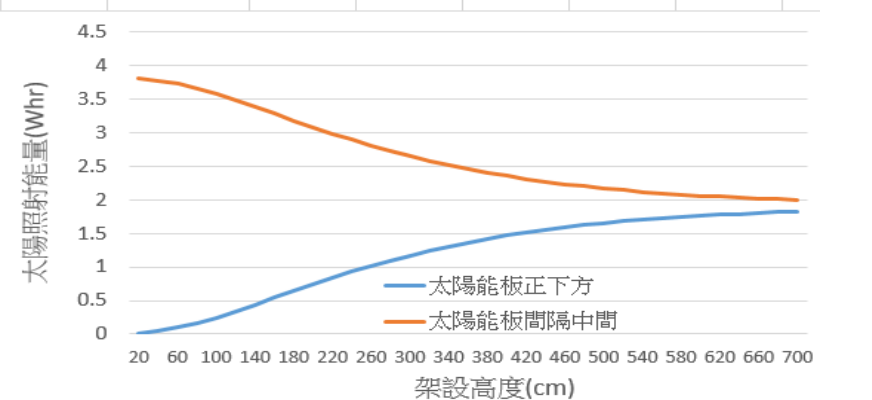
架設方位角	180 度
太陽能板寬度(cm)	200 公分
太陽能板架設間隔(cm)	200 公分



架設方位角	180 度
太陽能板寬度(cm)	300 公分
太陽能板架設間隔(cm)	300 公分

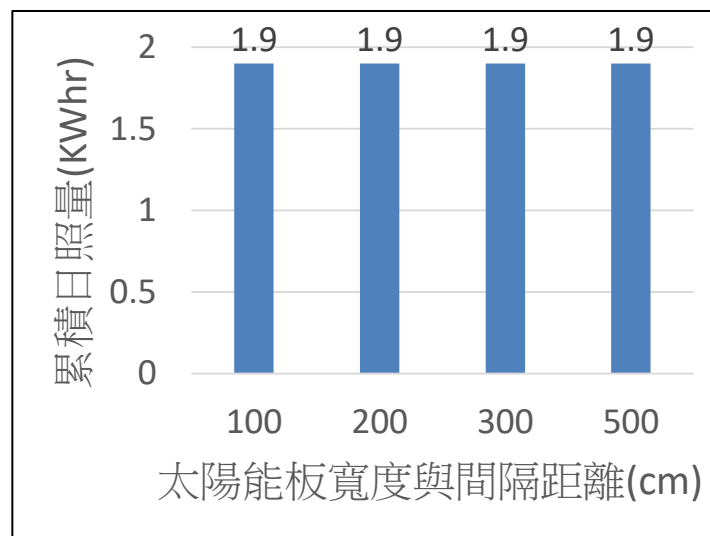
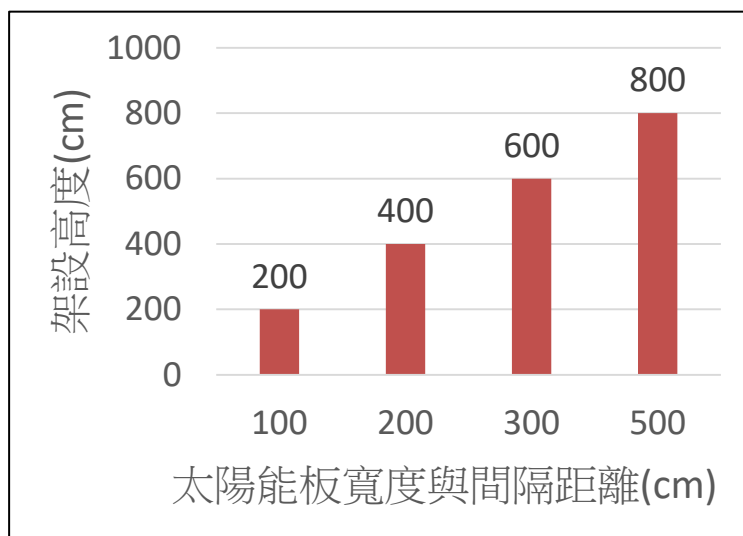


架設方位角	180 度
太陽能板寬度(cm)	500 公分
太陽能板架設間隔(cm)	500 公分



實驗三、不同太陽能板寬度與太陽能板架設間隔之結果

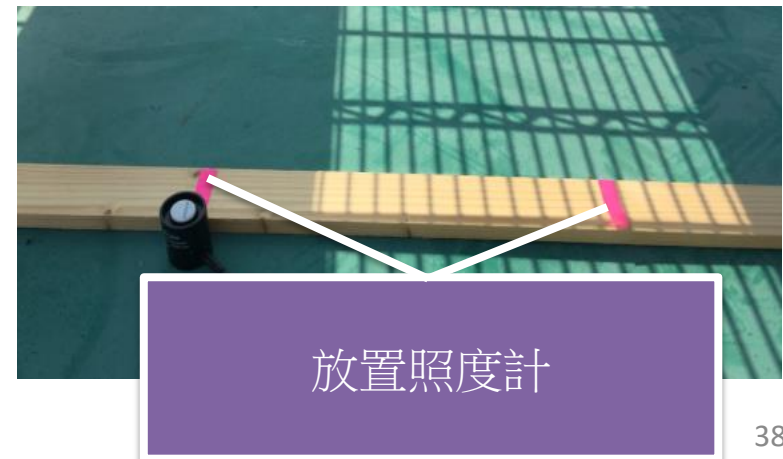
太陽能板寬度(Ls)	100 cm	200 cm	300 cm	500 cm
太陽能板間隔距離(Ld)	100 cm	200 cm	300 cm	500 cm
求得之日累積日照量	1.9 kWhr	1.9 kWhr	1.9 kWhr	1.9 kWhr
求得之最佳架設高度	200 cm	400 cm	600 cm	>700 cm



太陽能板寬度及架設間隔倍數後，日照量一樣。
 太陽能板寬度及間隔越大，所需高度越高。

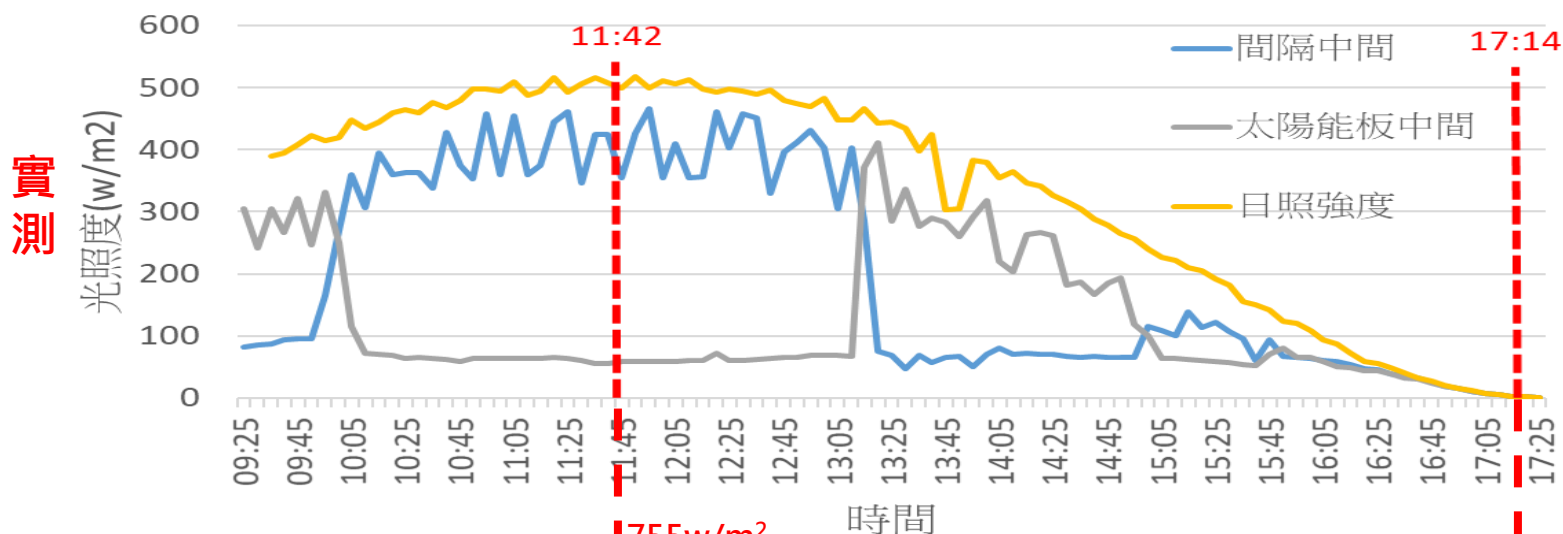
實際測量

- 自上午9:00開始，每隔五分鐘以照度量測記錄到日落，並將記錄輸入Excel進行分析



實際測量結果

日出時刻	方位角	太陽過中天	仰角	日沒時刻	方位角
06:09	108	11:42	49S	17:14	252



- 太陽光包含直射光與漫射光，直射光佔65%
- 實測時，使用直射型日照計故 $755 \times 0.65 = 491 (W/m^2)$



結論

- 成功探討出如何架設太陽能板高度，進而解決太陽能發電不能與農業共存之問題。
- 種植需較多日照的植物，應架設較窄的太陽能板，且間距應較大，但架設高度也較高。種植不需長時間日照的植物，間距可以較小，架設高度也可以較低。
- 若以市面常見太陽能板尺寸大部分長約165公分、寬約100公分而言，在太陽能板遮蔽率30%、40%與50%情況下，可得出最低架設高度分別為268公分、208公分與168公分。三個架設高度均低於3公尺，低於一個樓層高度，確實可適用於棚架與溫室，極具可行性。

未來發展

- 進一步探討非正南方之架設情況。
- 進一步探討當太陽能板傾斜時之情況。
- 進一步探討不同季節之情況。
- 進一步以蔬菜實驗植物生長情況。

感謝聆聽
敬請指教