

2025年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號	100024
參展科別	工程學
作品名稱	以農電共生方式提升台灣太陽能總發電量

就讀學校	國立彰化女子高級中學
指導教師	林明弘
作者姓名	洪子耘

關鍵詞	<u>毀農式種電、可移動式太陽能板、光合午休</u>
-----	----------------------------

作者簡介



我是來自彰化女中的洪子耘，目前就讀數理資優班二年級。在老家附近的田地，發現由於地主偏好將農地發展太陽能，而導致能種植作物的農地減少，許多農民也沒有土地可以承租，期望能透過農電共生，將農地最大化運用。即使過程中遇到許多挫折、沒有學過的知識，也比想像中要複雜，但一點一滴的收穫，對我而言都是成長。最後也謝謝家長和老師的支持！

2025年臺灣國際科學展覽會
研究報告

區別：

（編號由國立臺灣科學教育館統一填列）

科別：工程學科

作品名稱：以農電共生方式提升台灣太陽能總發電量

關鍵詞：毀農式種電、可移動式太陽能板、光合午休（最多三個）

編號：

（編號由國立臺灣科學教育館統一填列）

作品名稱：以農電共生方式提升台灣太陽能總發電量

一、 中英文作品摘要：

台灣現行的「毀農式種電」政策犧牲農地以增進太陽能發電，導致農業用地縮減、農民收入減少，能源需求與農業發展間產生衝突。我們參考日本成功的農電共生模式，提出一種可滑動的太陽能發電系統，利用 Arduino 控制太陽能板的開合，兼顧農地種植與發電效能。此系統結合植物光合作用原理，特別適合種植半日照作物或具有光合午休特性的植物。當植物進行光合午休時，太陽能板滑動展開以提高發電量；在強光高溫時段，太陽能板則可遮蔽陽光，避免植物葉片受損。此方案不僅能恢復「毀農式種電」土地的種植功能，也讓農民獲得穩定收入，實現農業與綠能發展的平衡。這套模型提供具體且可行的解決方案，期望在提升台灣總發電量的同時，達成淨零減碳目標，並促進農業的永續發展。

Taiwan's current "farmland-sacrificing solar development" policy prioritizes solar energy production at the expense of farmland, leading to a reduction in agricultural land, decreased farmer income, and conflicts between energy demands and agricultural development. Drawing on Japan's successful model of agricultural-energy symbiosis, we propose a sliding solar power system controlled by Arduino to balance both farming and energy generation on agricultural land. This system integrates principles of plant photosynthesis and is particularly suitable for semi-shade crops or plants with midday photosynthetic pauses. When plants are in their midday photosynthesis break, the solar panels slide open to maximize energy production; during periods of intense heat and sunlight, the panels provide shade to protect plant leaves from sun damage. This approach not only restores farming functionality to land currently used for fixed solar installations but also enables farmers to earn stable income, achieving a balance between agricultural and green energy development. Our model offers a practical, implementable solution that aims to increase Taiwan's overall solar energy output while supporting net-zero emissions goals and fostering sustainable agricultural development.

二、內文：

壹、研究動機

台灣的毀農式種電是犧牲農地來進行太陽能發電，會發生這種事是三方共同用粗暴的方法想要提升綠電，(1)一方是政府想要提升太陽能的占比以提高綠電占比，(2)一方是地主覺得將土地租給太陽能板業者獲得更高的租金，(3)一方是太陽能板業者用最省錢省事的方式採用地面型太陽能板方式施工，造成這些地面型太陽能板的農田無法耕種。

犧牲農地來進行太陽能發電產生二個苦主，(1)1個苦主是農民，農地不見得是農民的，很多農民都是向地主租農地耕種，今天這些農地改租給太陽能板業者，造成農民沒有土地可以租來耕種，或是用更高的租金租農地，造成台灣不時有農民抗爭的新聞。另一個苦主是太陽能板發電慘捐黑鍋，原本太陽能發電對環境是很好的，犧牲農地反而讓太陽板發電被農民抗爭和抹黑。

貳、研究目的

- 一、分析日本農電成功關鍵和台灣失敗的主要原因。
- 二、設計一種新的太陽能板運作方式，讓太陽能板和農地可以共存。
- 三、跨領域將光合作用和太陽能發電結合，找出合適的農作物讓系統能成功推廣。

參、文獻回顧

一、台灣的太陽能發電的安裝方式

台灣政府推動「太陽光電2.0」計劃，目標是到2025年達到20GW的太陽能裝機容量。這包括屋頂太陽能和地面太陽能發電系統的建設。

(一)、屋頂太陽能發電系統

- 1、有效利用空間：屋頂太陽能系統可以利用現有的建築屋頂，不需佔

用額外的土地資源，這對於城市地區尤其重要，因為土地非常稀缺且昂貴。

2、屋頂結構不穩：許多建築物的屋頂設計初衷並非承載額外的設備重量，這使得在安裝太陽能板時需要對屋頂結構進行額外的加固，增加了成本和施工複雜性。

3、維修困難：當屋頂太陽能系統發生故障時，維修相對困難，這不僅增加了維護成本，還可能影響系統的穩定運行。

（二）、地面型太陽能發電系統

1、發電容量較大：通常建設在空曠的場地，這允許安裝大量太陽能板，從而能夠提供更大的發電容量。

2、易於維護：所有設備都在地面，技術人員能夠輕鬆檢查和替換有問題的元件，維護成本較低。

3、佔用農地問題：在許多地區，地面太陽能系統常常被建設在農地上，這直接導致了農地的大量轉變與損失，影響了農作物的生產與農民的生計。農地一旦被用來建設太陽能設施，可能會難以恢復其農業用途，這對糧食安全也構成了潛在威脅。

二、光合作用

光合作用的效率不是固定的，受到很多因素影響，和本研究有關如下：

（一）、光照強度的影響：植物在不同光照強度下，光合作用效率會有所不同。隨著光照強度增加，光合作用效率也會提升，但當光強達到某個飽和點時，效率不再顯著上升。

（二）、二氧化碳濃度的影響：二氧化碳是光合作用的重要原料之一。在低二氧化碳濃度下，光合作用效率較低，當濃度增加時，效率會提升，但當二氧化碳濃度達到一定水準後，過量的二氧化碳也不會進一

步提升光合作用效率。

(三)、水分的影響：水是光合作用過程中不可或缺的原料。如果植物缺水，氣孔會關閉限制二氧化碳的進入，光合作用的效率就會下降。

(四)、植物種類的差異：不同植物的光合作用效率存在差異，C4植物，C3植物就有明顯差異。

肆、研究方法或過程

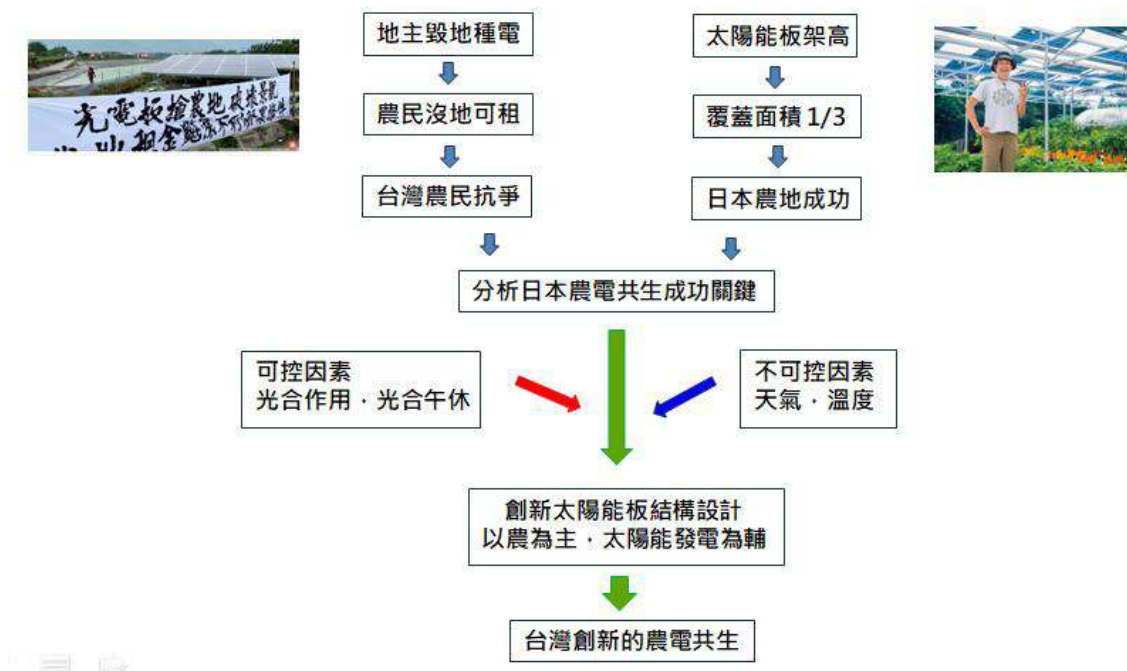


圖1、分析問題和創意發想過程

一、可移動式太陽能板

(一)、單片可移動式太陽能板主體結構

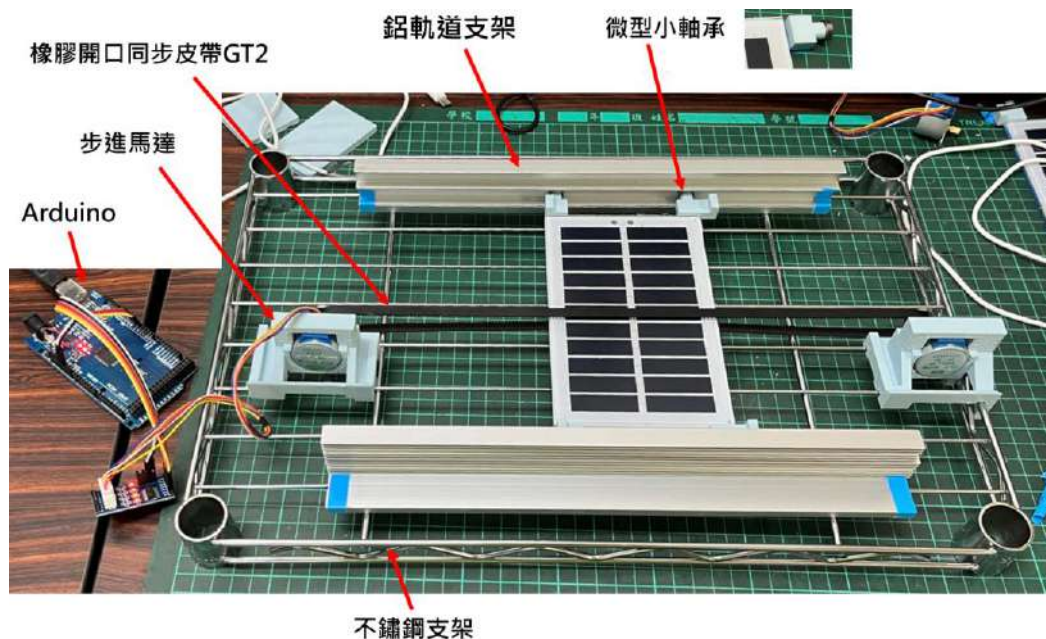


圖2、可移動式太陽能板主體結構和arduino模組說明（自攝）

平行鋁軌道：支撐太陽能板在軌道滑動

步進馬達和皮帶：步進馬達提供動力帶動皮帶，皮帶可以拉動太陽能板。

微型軸承：功能是輪子，協助太陽能板在軌道中滑動。

Arduino：控制系統運作，這裡是控制步進馬達前進或後退。

(二)組裝過程

1、評估太陽能板的運作軌道

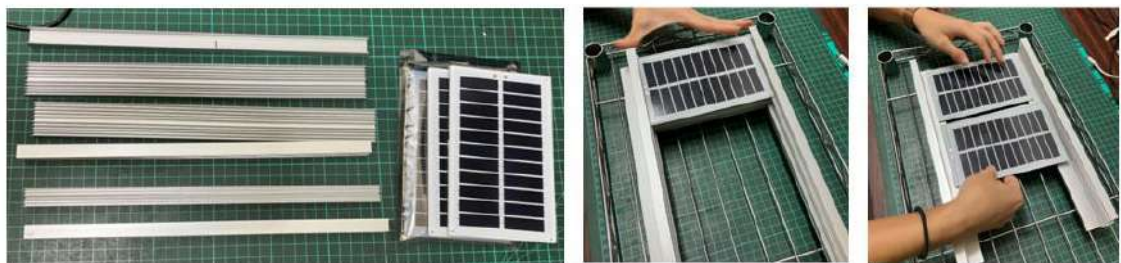


圖3、評估和組裝可移動式太陽能板和軌道（自攝）

2、太陽能板裝上滑輪

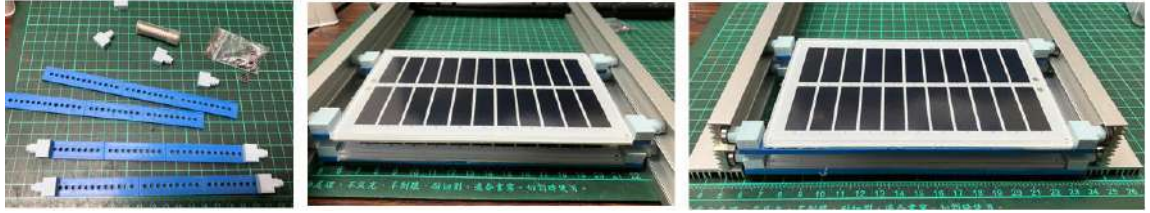


圖4、固定太陽能板, 每片太陽能板裝上4個軸承（自攝）

3、用步進馬達帶動皮帶，皮帶拉動1片太陽能板左右滑動



圖5、使用arduinoq控制步進馬達，用皮帶帶動太陽能板水平移動（自攝）

4、三片太陽能板收合和展開



圖6、最上方太陽能板位置固定，最下方太陽能板為過動式（自攝）

收合時，太陽能板收合在左側，當展開時，皮帶帶動最下方太陽能板向右滑動，滑動時，可以帶動中間太陽能板向右滑動，到定位後3片太陽能板就能順利展開。當系統要收合時，最下方太陽能板往左滑動，接著帶動中間太陽能板滑動，最後收齊到左方。

5、將太陽能板的主結構組裝起來



圖7、上方結構組裝後，在將整個系統組裝起來。（自攝）

準備2個長方型的花盆，左邊花盆放在這個系統，右側花盆為對照組。



圖8、將植物種子播種到花盆內（自攝）

種子選用青梗白菜，是一種全年可種的蔬菜，約40天可以採收。

說明書說發芽率60%，每隔一段距離播幾個種子。

6、展開時，測試是否能將陽光遮蔽



圖9、將系統移到屋頂，測試系統。（自攝）

當太陽能板展開前，盆內植物照到陽光，當太陽能板展開後，陽光用來發電，太陽能板的下方呈陰暗。

7、30天後採收秤重

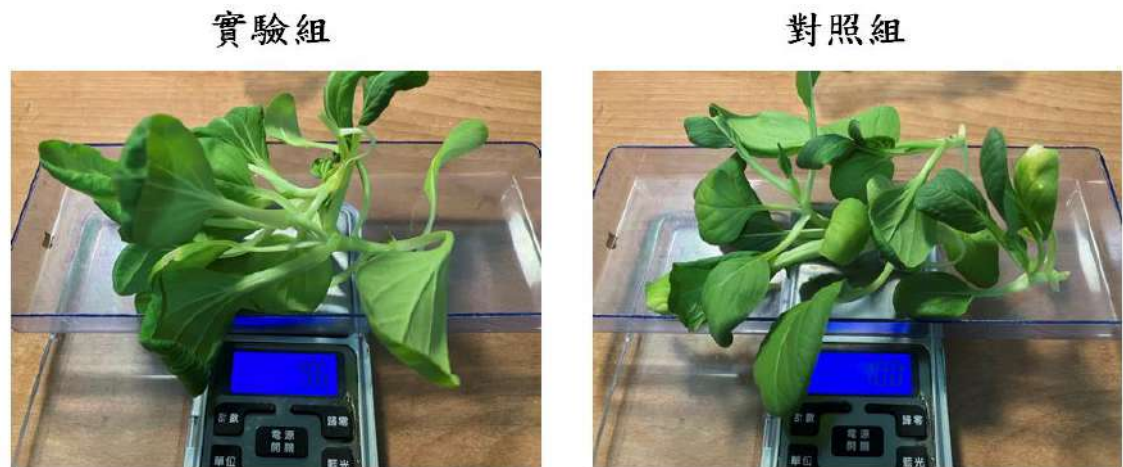


圖10、播種30天後，分別將實驗組和對照組的青梗白菜採收秤重
由結果可以看到，青梗白菜的重量差異很少。（自攝）

二、測量不同天氣的光照強度



圖11、測量晴天、陰天和雨天的光強度（自攝、自繪）

根據我們研究日本的成功經驗，發現有一個問題？太陽能板覆蓋1/3，如果是晴天，植物少1/3陽光影響不到，但是我們想到，如果陰天或雨天時，陽光只剩晴天的1/6~1/18，如果再覆蓋1/3太陽能板，陽能就會明顯不足，這個問題需要處理。

三、感測模組材料說明



圖 12、系統增加下雨感測器和光照傳感器（自攝）

雨滴感測器模組：檢測室外天氣是否下雨的報警器。

BH1750光照傳感器模組：測量光照度，單位是lux。

當陰天或雨天，而陽光不足時，系統就不會展開太陽能板，將陽光給植物。
。如果展開時出現陰天或雨天時，系統就會強迫太陽能板收合起來。

伍、研究結果與討論

一、分析台灣毀農式種電和日本農電成功關鍵

（一）、台灣的毀農式種電是犧牲農地來太陽能發電



發展再生能源自有其必要性，惟不應以犧牲農業為代價，若無法修正毀農式的種電模式，將對台灣農地造成難以彌補的傷害，圖 / 本報資料照片

圖13、毀農式種電，讓土地沒有陽光，土地就失去種植功能。

（圖片來源：工商社論）

政府想要提升太陽能的占比以提高綠電占比，一定要找塊地安裝太陽能板，但是有些安裝在農地，因為是地面型太陽能板，將陽光都遮住造成農地不能種植植物，標準犧牲農地來進行太陽能發電。



圖 14、農民沒有土地可租，生計受到影響，只好上街頭抗爭。

（圖片來源：上下游 News and Market）

以美濃小鎮為例，濃水圳旁農地有一場光電裝置甫完工，遭到地方農業團體強烈抗議，他們痛批錯誤太陽能政策會危害美濃的觀光與農業基礎。目前安裝太陽能板的方式沒辦法提供農作物足夠的陽光，必需想出一種安裝方式，又能進行太陽能發電又能提供作物足夠的陽光，才有可能解決這類爭議。

（二）、日本農電共生，作物與太陽能板可以共存



案場太陽能板細長型的特殊設計，只占3分之1面積，不只增加透光率，還有減緩風速的效果。（攝影／陳睿緯）

圖15、周刊中有報導日本有成功的農電共生

（圖片來源：今周刊）

我們在今周刊中看到日本有成功案例，在千葉綠區大木戶町，一個典型的農田聚落；他們一手種田、一手種電，作物與太陽能板共享這一片土地的陽光，證明作物與太陽能板不必只能選一種。

(三)、分析日本成功和台灣發生困難的原因

1、台灣發生困難的原因是太陽能板的架設方式是地面型太陽能板

廠商的主要考量是成本因素，地面型太陽能板施工容易、成本較低，維修容易，但是沒有陽光時農地就失去種植農作物的功能。

2、日本農電共生成成功原因如下：

(1) 太陽能板架高1.5公尺以上，安裝難度和成本增加，好處是太陽能板下的農作物可以照到足夠陽光和通風。

(2) 太陽能板覆蓋1/3，太陽能板之間有2/3的空隙允許陽光照到地面，讓農作物獲得較少的陽光，這時候挑選合適的農作物是成功另一個關鍵。

二、植物的光合午休

指植物在中午或陽光最強的時候，光合作用速率減少的現象。

1、植物的光合作用效率在不同時間段會有顯著變化

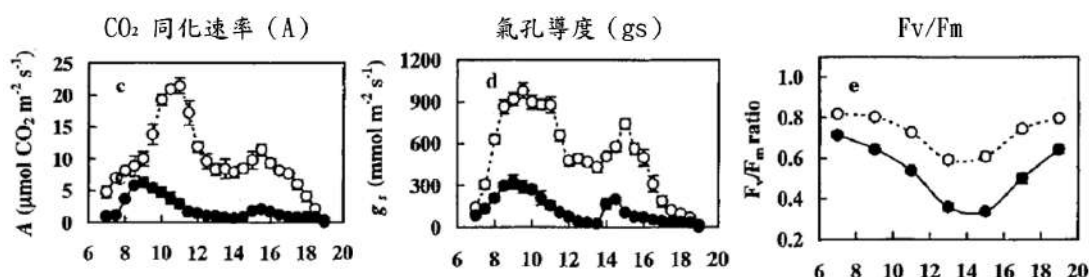


圖16、因陽光太強使得光合作用效率下降影響的文獻

(圖片來源：Limitations to photosynthesis of lettuce grown under tropical conditions: alleviation by root-zone cooling)

[文獻1]指出，CO₂ 同化速率 (A)、氣孔導度 (gs) 和 Fv/Fm 都出

現正午抑制現象，其中 F_v/F_m 是衡量植物光合作用效率的重要指標，用來評估植物在光系統 II (PSII) 中的光化學效率狀況。它表示最大光能轉換效率，常被用於判斷植物是否受到光脅迫或其他環境壓力的影響，在這裡是指出中午時，因陽光太強使得光合作用效率下降的影響。

2、中午強光對植物的影響力

- (1)、氣孔閉合：中午時分，氣溫升高，植物為了減少水分流失會部分或完全閉合氣孔，降低二氧化碳的進入量，限制了光合作用。
- (2)、光抑制：在強光照下，合作用機制中的光系統可能會因為過量的光能而受到抑制，因葉綠素可能會損壞而減少光合作用效率。
- (3)、高溫影響：高溫會影響光合作用酶的活性，減慢光合作用速率。高溫還可能加速光呼吸 (Photorespiration)，進一步減少淨光合作用速率。
- (4)、水分壓力：植物在高溫下會限制水分流失，也會抑制光合作用。即使在氣孔部分開放的情況下，水分供應不足也會影響植物光合作用效率。

3、跨域碰撞：光合作用的光合午休和太陽能發電

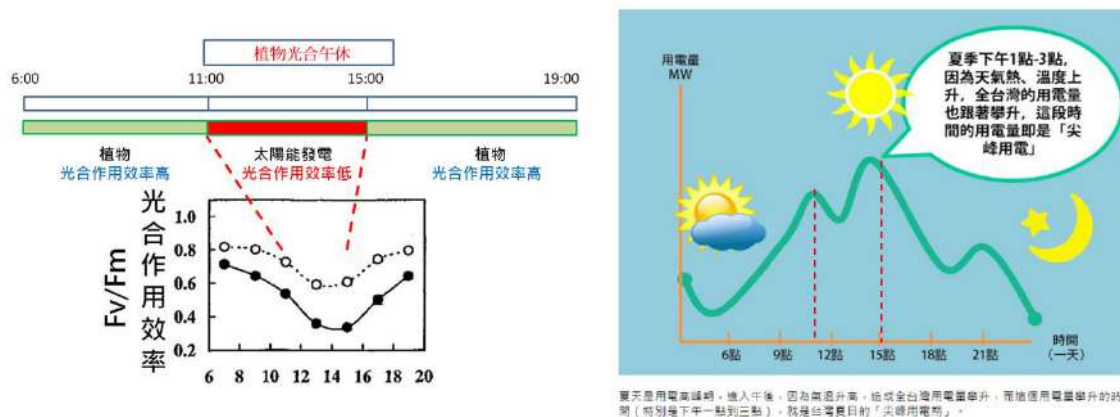


圖17、太陽能發電和植物的光合作用進行跨域碰撞

(圖片來源：國歡企業家族、綠色公民行動聯盟)

對植物來說，夏天早上11:00到15:00陽光太強，光合作用的效率低，剛好這時候很熱是我們人類用電高峰，不如就將這時刻的太陽光用來發電，其它時間將陽光還給植物。

三、單位面積接受到的陽光的光量是固定的，只能用分配方式處理

(一)、日本的陽光分配，1/3面積陽光給太陽能板，2/3面積陽光給農地。

1、本實驗嘗試用時間來分配陽光

設計一種可展開和可收合的太陽能板，讓陽光可以分配給植物或是讓陽光給太陽能板發電，為了達成這個目標，太陽能板不能是固定式，也不是追日式結構，而是一種全新的機構。

(1)旋轉展開收合

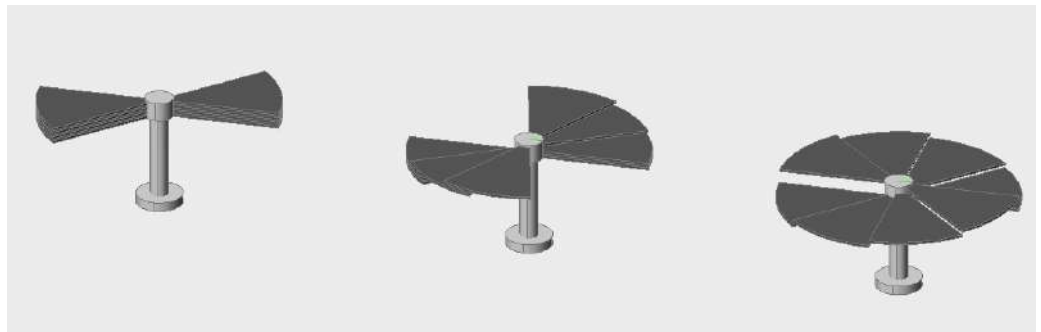


圖18、旋轉展開收合的示意結構和運作方式（自攝、自繪）
一種很簡單的運作方式，但是結構可能比較不穩，怕強風。

(2)水平展開收合

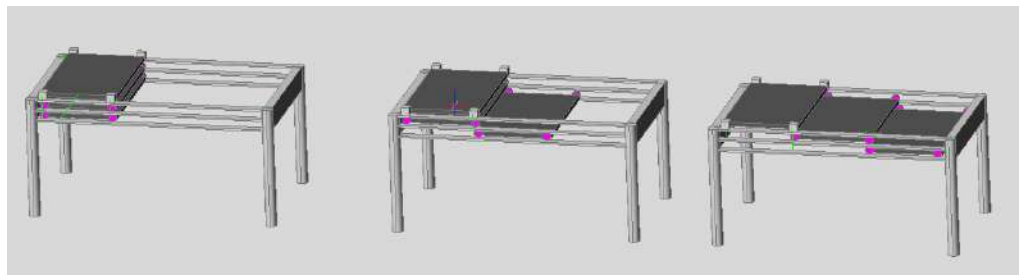


圖19、長方型結構，太陽能板在軌道中滑動，結構穩多了。
（自攝、自繪）

旋轉展開收合適合正方形的農地，如果要用在長方形農地就要用多個旋轉展開收合也行。水平展開收合可以用在大面積農地，結構很穩，但是成本也提高。

(3)因為農田多是長方型，最後決定研發水平展開收合機構



圖20、農田常見到長方形，溫室也多是長方形（自攝）
實際觀察農地，正方形很少，多是長方形居多，但是寬度差異有點大。

2、比較陽光在日本經驗和本組實驗的示意圖

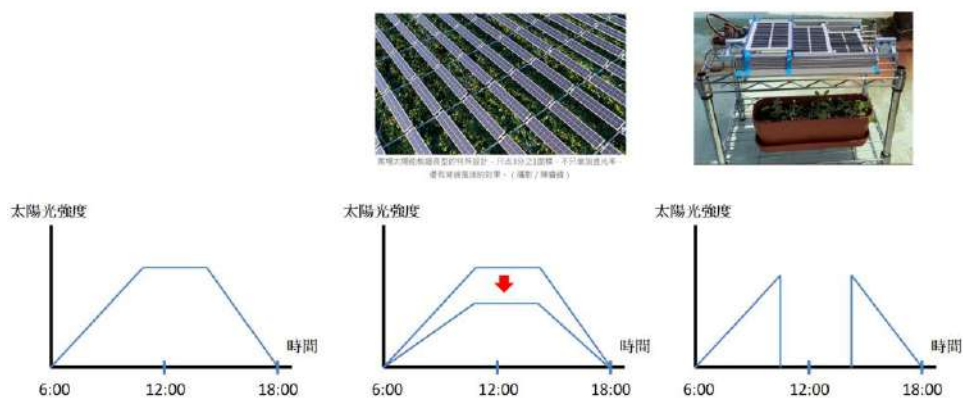


圖21、陽光X時間，每塊土地的光照量固定，發電or農作物。

（圖片來源：聯合新聞網、自攝，圖表自繪）

農田上的陽光，日本是用面積分配，直接扣1/3陽光給太陽能發電，我們的做法是用時間分配，在植物不需要強烈陽光時，將這些陽光用來發電。

（二）測量太陽能板的發電電流

1、用三用電表測量發電電流



圖22、用三用電表測量發電電流，展開或閉內有很大差異（自攝）

一開始用三用電表測量，有明顯差異，但是我們不可能每10分鐘測量一次發電電流。將arduino接上SD卡模組和測量電流模組（INA219），每10分鐘測量一次發電電流，將測量資料存到SD模組內。



圖23、將SD卡資料移轉到excel後繪圖（自繪）

第一天測量太陽能板未展開的發電電流，剛好雲比較多，有時太陽光被遮住發電流下降，但是還是能看出接近中午的發電電流最高。第二天測量太陽能板整天展開的發電電流。

2、



圖24、測量太陽能板未展開和11~15點展開之間的發電電流（自繪）

和預期結果相同，11點時3片太陽能板展開，發電電流急速上升。到了下

午3點時太陽能板收合時，發電電流急速下降。圖22和圖23相減，就能知道植物接受到多少陽光。

四、安裝下雨感測器和光強度感測器，

- 1、本組設計是以農為主，陽光優先給植物，由表中可知，陰天陽光只剩1/6下雨天的陽光更少到1/18，如果時間到時讓太陽能板展開，植物會發生光照不足。
- 2、本組加上下雨或光強度感測器，時間到太陽能板要展開前，如果感測器偵測是陰天或下雨天時，系統會停止展開太陽能板，將陽光讓給植物。
- 3、用另一個角度思考，陰天或下雨天陽光強度弱，用來太陽能發電的效益也很小，我們也有測量陰天的太陽能發電電流，只有晴天的1/5~1/10。

五、這個系統適合有光合午休的植物或半日照植物，這二者是不同的。

1、有光合午休的蔬菜

有些蔬菜在高溫和強光的條件下會表現出光合午休的現象，這些蔬菜通常生長在炎熱的氣候中，為了避免過度失水和熱損傷，會在中午的高溫時段減少或停止光合作用。（自繪）

番茄	炎熱的夏季中午時分，有時會減少光合作用來保護自己免受熱損傷。
辣椒	在高溫下也可能出現光合午休，這有助於減少蒸發和水分損失。
茄子	茄子在強光和高溫下，會減少光合作用來減少水分流失和避免熱損傷。
黃瓜	會減少中午時段的光合作用，這樣可以保護葉片免受過熱影響。
葉菜類蔬菜	熱的環境中，為了避免過度失水和熱損傷，會暫時減緩或停止光合作用

2、半日照蔬菜

半日照蔬菜是指那些對光照需求較低的蔬菜品種，它們只需要每天3-6小時的間接光照或柔和的陽光，並且能在陰涼或光線較弱的環境中健康生長。（自繪）

菠菜	適合半日照環境的綠葉蔬菜，能在較少光照的條件下健康生長。
萵苣	對光照的需求不高，在半日照條件下也能生長得很好。
羽衣甘藍	需要太多光照，在半日照環境下仍能生長良好，營養豐富的綠葉蔬菜。
芥菜	芥菜喜歡涼爽的環境，能適應較少的光照，是半日照環境中的理想選擇
小白菜	小白菜適應性強，對光照要求較低，非常適合在半日照的環境中種植。
香菜	陰涼環境中生長良好，不需要太多的光照，是半日照蔬菜的一個好例子。
蕪菁	能夠在光線不強的環境中生長，包括根部和葉部都是可食用的部分。
香椿	香椿是一種可以在陰涼環境下生長的蔬菜，它的嫩葉和嫩芽都可以食用。

陸、結論與應用

1、太陽能板多是固定的，少數追日系統的太陽能板能轉動太陽能板角度追日，主要是想將早上和傍晚的陽光也能有效發電。這種方式和我們的系統不一樣。我們是以農為主，早上和傍晚陽光弱但是光合作用強的時候將陽光給植物，中午陽光強而光合作用差的時候，太陽能板才展開發電，這段時間太陽能板和太陽接近垂直，發電效益最好的時候，不必安裝追日系統增加系統的複雜度。

- 2、用這種方式先讓現有的毀農式種電的農地恢復種植功能，目前政府最頭痛的是毀農式種電的地面型太陽能板，可以用我們設計的太陽能發電，先讓這些農地恢復種植功能。

3、尋找種植半日照農作物或光合午休植物的農地，可以安裝本系統增加收益。這些農地很適合推廣本系統，不但有農作物收益，讓能有種電收益。

4、先找地主在農地安裝本系統，地主再將這個農地出租給種植半日照或光合午

休植物的農民。

- 5、有些溫室的功能是只是為了降低光照量，這類溫室直接擋掉陽光就太浪費了，可以把這些多餘的陽光用來發電。
- 6、日本的農電共生在晴天時，陽光量少1/3都沒問題，但是如果是陰天或雨天時，陽光本來就少多了，如果在少1/3對植物就有嚴重影響，我們系統有裝陰天或雨天感測器，如果偵測到陰天或雨天太陽能板就不展開。
- 7、台灣夏天的用電量，接近中午會達到用電高峰，剛好本系統在11點到15點間展開太陽能板發電，可以有效的協助電網穩定。
- 8、**我們提供一種可行方案，包括太陽能展開收合模型、可種植蔬菜種類、應用場域等，有機會用這種不傷農的方式增加台灣的太陽能發電總發電量，為淨零減碳盡心力。**

柒、參考文獻

- 1、He, J., Lee, S.K. and Dodd, I.C. (2001) Limitations to Photosynthesis of Lettuce Grown under Tropical Conditions: Alleviation by Root-Zone Cooling. Journal of Experimental Botany, 52, 1323-1330.
- 2、楊明豐(2016)。 Arduino最佳入門與應用-打造互動設計輕鬆學。 台北市：碁峰資訊
- 3、夏季高溫抑制作物光合作用導致減產的原因。 <https://www.gofarco.com.tw/plant/blog/20/2062>
- 4、今周刊： 種田也種電賺更多、公民電廠做到要上市 農電共榮 日本奇蹟如演勵志電影 （2023） <https://www.businesstoday.com.tw/article/category/183015/post/202310180036/>
- 5、聯合新聞網：彰化發展農電共生以日本為師 架高太陽能板能繼續耕作（2024） <https://udn.com/news/story/7325/7808132>

- 6、《工商社論》毀農式種電何時了？（2024）[工商社論》毀農式種電何時了？
\(yahoo.com\)](http://www.yahoo.com)
- 7、蔬菜中午睡午覺 植物的熱逆境（2016）[HTTP://TREEWALKER-
ARBORIST.BLOGSPOT.COM/2016/06/BLOG-POST.HTML](http://treewalker-arborist.blogspot.com/2016/06/blog-post.html)
- 8、農地光電入侵富麗美濃小鎮 地方反彈。（2022）
<https://www.newsmarket.com.tw/blog/163119/>
- 9、【降下吧！尖峰用電！】抑制夏月尖峰，政府與我們還能做些什麼（2016）
<https://gcaa.org.tw/3053/>

【評語】100024

1. 本作品參考日本成功的農電共生模式，提出一種可滑動的太陽能發電系統，利用 Arduino 控制太陽能板的開合，兼顧農地種植與發電效能。值得鼓勵！
2. 建議針對太陽能發電效益與植物生長效益，提供適當的評估基準。
3. 建議針對以上效益，提供量化效益。
4. 如若台灣的現況是為降低成本，故少將太陽能板架高，則廠商是否會願意裝設這些額外的控制，值得考慮。
5. 此外，為了容納移動軌道等機制，整體勢必要架高，且三折的設計表示植物的光照量勢必減少 $1/3$ ，即與所提及日本的方式相同。此時額外的控制設計是否對電商有誘因，值得商榷。
6. 目前移動式軌道的使用，從系統設計面來評估仍屬複雜。建議可考量每一片太陽能板以旋轉方式開合，機構會更簡潔，若需要，也可以讓太陽能板具備追日的功能。

7. 目前實驗成果略為不足，除農作物的重量外，應評估作物各面向的差異。同時，也需要確認目前日照經太陽能板產生的電力，比維運整套系統所需電力要多（移動太陽能板會損耗不少電力），方可達到種電的功能。
8. 建議可實際審視目前農地或漁場太陽能板安裝之方式以利更具體評估本作品之實用性。另建議針對控制機制與實施效益進行較完整之分析。