

彰化縣 114 學年度國民中小學學生獨立研究作品徵選
作品說明書（封面）

作品編號：（由承辦單位編列）

組別：
☐ 國小組
☒ 國中組
☐ 數學類
☒ 自然與生活科技類
☐ 人文社會類

作品名稱：太空中的太陽能發電模擬

◎封面切勿出現校名、作者、校長及指導者姓名，違者不予評審並退件。

第一階段 研究訓練階段

一、獨立研究課程之規劃



二、獨立研究課程之訓練

教學階段	授課內容
訓練階段 (7 月)	1.獨立研究的意義、研究者需具備的能力和態度 2.認識研究報告的格式與步驟 3.研究方法的介紹 4.資料收集與篩選、網路資源及工具書的使用 5.以數據處理的課程加深其科學技能
研究階段 (8 月至 12 月)	1.訂立研究主題 2.研究報告的撰寫、編輯書面研究報告 3.辦理獨立研究發表會

第二階段 獨立研究階段

一、研究動機

平常的自然課與生科課中，認識了許多嶄新的科技，並且在新聞媒體上，經常討論「國防」和「太空」的話題，更注意全球各地都非常積極地在推兩樣東西——天上的衛星和地上的太陽能。這讓我們不禁好奇，為什麼各國要花這麼多力氣發展衛星與綠能？這背後究竟藏著什麼樣的戰略思考呢？

在搜尋相關資料時，發現了長期在太空中運轉並且使用太陽能作為能源的就是「國際太空站」，因此同學們好奇，國際太空站的運行與其太陽能發電的情形究竟為何？該用什麼方式著手研究呢？

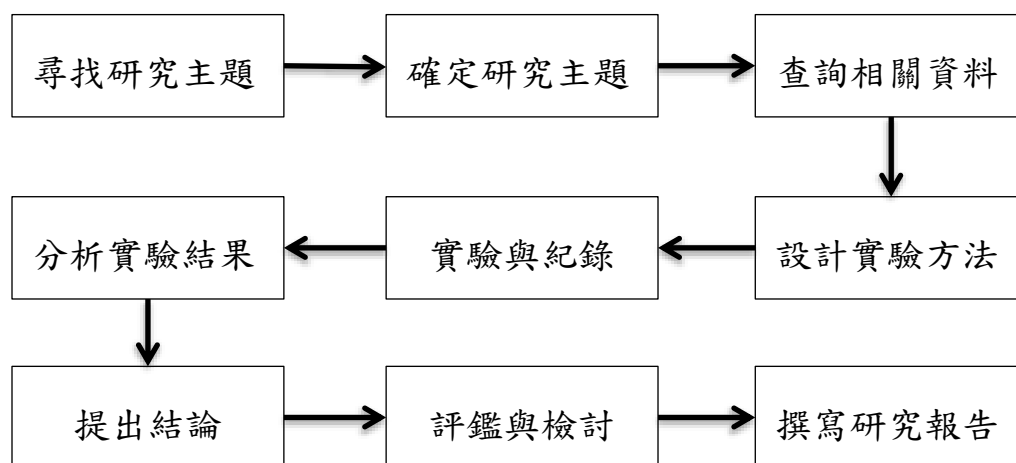
起初，我滿懷熱血地想著要動手做，腦中籌畫著要用各種材料架設一個實體的國際太空站模型，覺得那樣才酷、才像在做研究。但在與老師討論的過程中，老師的一席話點醒了我們。

老師提醒我們，如果不懂背後的原理，做出來的只是空殼，建議應該先去理解國際太空站究竟是如何在太空中運行的？它面對的是什麼樣的嚴苛環境？與其花時間鋸木頭、接電線，不如使用 Python 程式語言來打造一個「虛擬實驗室」。透過程式碼，我們可以模擬出真實的軌道數據和環境變數，這讓我們意識到，原來用程式寫出來的模擬環境，其深度與廣度可能遠勝於一個靜態的模型。

我們將用 Python 的數值運算套件來模擬太空站的運作邏輯，在虛擬環境中輸入不同的環境參數，以測試系統在各種情境下的反應，進而達成低成本、高效率的模擬驗證，同時能善用 Python 的套件 Matplotlib 的繪圖功能，將龐雜的模擬運算數據轉化為清晰的可視化圖表，透過繪製時間-功率曲線圖，我們不僅能直觀地監測太陽能板在不同軌道位置的輸出變化，更能藉由圖形的波動，精確分析電池在進入地球陰影區前後的充放電效率，讓數據分析更直觀更具說服力。

二、擬定正式計畫、研究問題及工作進度表

(一) 擬定正式計畫



(二) 研究問題

考量到電力是維持太空站維生系統運作的命脈，我們利用 Python 的模擬與數據處理能力，針對其太陽能發電陣列進行深度解析。藉由程式演算，我們一方面分析歷史數據中的發電特徵，另一方面則建立預測模型，模擬未來特定時間點的日照條件與發電量。這項工作能協助我們提前評估電力供需是否平衡，避免因進入陰影區過久而導致的能源危機。

1. 建立模擬環境，並對工具完善其功能。
2. 使用預測工具對國際太空站的軌道週期、能量生成、能量儲存與消耗進行預測。

(三) 工作進度表

工作進度	114 年 7 月			114 年 7-8 月			114 年 9-10 月			114 年 11 月			114 年 12 月		
文獻探討															

擬定問題															
記錄發現															
擬定計畫															
進行實驗															
撰寫報告															

三、彙整相關文獻

國際太空站（ISS）的能源系統並非靜態的供電裝置，而是一個與軌道週期緊密扣合的動態循環。由於ISS位於約400公里的低地球軌道，其繞行地球一圈僅需約90至92分鐘。這意味著太空站每24小時會經歷16次的日出與日落。

這種快速的日夜交替直接決定了能源策略：

能量生成：在約55分鐘的「日照區」，巨大的太陽能板陣列必須追蹤太陽位置，將光能轉換為電能。

能量儲存：此時系統不僅要供給即時用電，更必須將多餘電力存入鋰離子電池模組中。

能量消耗：當進入約35分鐘的「陰影區」時，發電完全停止，全站的維生系統、實驗設備與通訊導航，全數仰賴電池釋放稍早儲存的電力來維持運作。

因此，我們的模擬重點在於驗證充放電循環是否能應對24小時不間斷的負載需求。

實驗中，模擬的三個核心要素：

1. **軌道週期**：太空站在繞行地球時，會經歷「受光區」與「陰影區」，在陰影區時太陽能發電為 0。

2. **能量生成**：取決於太陽能板面積、效率以及太陽常數（在太空中約為 1361 W/m^2 ）。
3. **能量儲存與消耗**：電池在白天充電，晚上放電以維持維生系統運作。

四、資料分析

(一)實驗工具與軟體

電腦(硬體)、Python(軟體)

(二)實驗步驟

#引進python的擴充程式庫，此提供大量數學函數庫

```
import numpy as np
```

```
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
class SpaceStation:
```

```
def __init__(self, name):
```

```
    self.name = name
```

```
    #設定參數
```

```
    #太陽常數 (Solar Constant): 地球軌道附近的太陽輻射強度約為  
    1361  $\text{W/m}^2$ 
```

```
    self.solar_irradiance = 1361
```

```
    #太陽能板參數
```

```
    self.panel_area = 2500
```

```
    #面積 (平方公尺) - 接近國際太空站的規模
```

```
    self.panel_efficiency = 0.30
```

```

# 轉換效率 (30%)

# 電池參數

self.battery_capacity = 200000

# 電池容量 (Watt-hours, Wh)

self.current_battery = 50000

# 初始電量 (Wh)

# 耗電負載 (太空站運作所需的電力)

self.base_load = 80000

# 瓦特 (W) - 維生系統、實驗設備等

def calculate_generation(self, is_in_sunlight):
    計算當下的發電量 (W)

    if is_in_sunlight:
        # 發電量 = 輻射強度 * 面積 * 效率

        return self.solar_irradiance * self.panel_area * self.panel_efficiency

    else:

        return 0.0

def update(self, dt_seconds, is_in_sunlight):
    更新系統狀態 (dt_seconds: 時間步長)"""

    # 1. 計算發電與耗電

    generation_power = self.calculate_generation(is_in_sunlight)

    net_power = generation_power - self.base_load

    # 淨功率 (正值為充電，負值為放電)

    # 2. 計算能量變化 (Power * Time = Energy)

    # 將 瓦特(W) * 秒(s) 轉換為 瓦時(Wh) -> 除以 3600

```

```

energy_change = net_power * (dt_seconds / 3600.0)

# 3. 更新電池狀態

self.current_battery += energy_change

# 4. 限制電池電量 (不能超過最大值，也不能低於 0)

if self.current_battery > self.battery_capacity:

    self.current_battery = self.battery_capacity

# 電池充滿，多餘能量浪費掉

elif self.current_battery < 0:

    self.current_battery = 0

# 電池耗盡

return generation_power, self.current_battery

# 模擬設置

# 模擬參數

orbit_period = 90 * 60

# 軌道週期 90 分鐘 (典型的低地軌道)

eclipse_duration = 35 * 60

# 陰影區時間 35 分鐘 (地球擋住太陽)

total_time = 4 * 60 * 60

# 模擬總長度：4 小時 (約 2.5 個軌道週期)

dt = 60 # 時間步長：每 60 秒計算一次

# 初始化物件

iss = SpaceStation("International Space Station")

# 儲存數據用於繪圖

time_history = []

```



```

battery_history = []
generation_history = []
sunlight_history = []
# 1 代表有光，0 代表陰影
# 開始模擬迴圈
current_time = 0
while current_time < total_time:
    # 計算當前在軌道中的位置 (0 ~ orbit_period)
    orbit_pos = current_time % orbit_period
    # 判斷是否在受光區 (假設軌道前段是受光，後段是陰影)
    # 受光時間 = 總週期 - 陰影時間
    sunlight_duration = orbit_period - eclipse_duration
    if orbit_pos < sunlight_duration:
        is_in_sunlight = True
        sun_status = 1
    else:
        is_in_sunlight = False
        sun_status = 0
    # 更新太空站狀態
    gen, bat = iss.update(dt, is_in_sunlight)
    # 紀錄數據
    time_history.append(current_time / 60)
    # 轉為分鐘
    battery_history.append(bat / 1000)

```

```

# 轉為 kWh
generation_history.append(gen / 1000)

# 轉為 kW
sunlight_history.append(sun_status * 100)

# 放大方便在圖上顯示
current_time += dt

#繪圖結果

fig, ax1 = plt.subplots(figsize=(10, 6))

# 繪製電池電量 (左軸)

color = 'tab:blue'

ax1.set_xlabel('Time (minutes)')

ax1.set_ylabel('Battery Level (kWh)', color=color)

ax1.plot(time_history, battery_history, color=color, linewidth=2,
label='Battery Storage')

ax1.tick_params(axis='y', labelcolor=color)

ax1.set_ylim(0, iss.battery_capacity / 1000 * 1.2)

# 設定Y軸範圍

# 繪製發電功率 (右軸)

ax2 = ax1.twinx()

color = 'tab:orange'

ax2.set_ylabel('Solar Generation (kW)', color=color)

ax2.plot(time_history, generation_history, color=color, linestyle='--',
label='Solar Gen')

ax2.fill_between(time_history, 0, generation_history, color='orange',

```

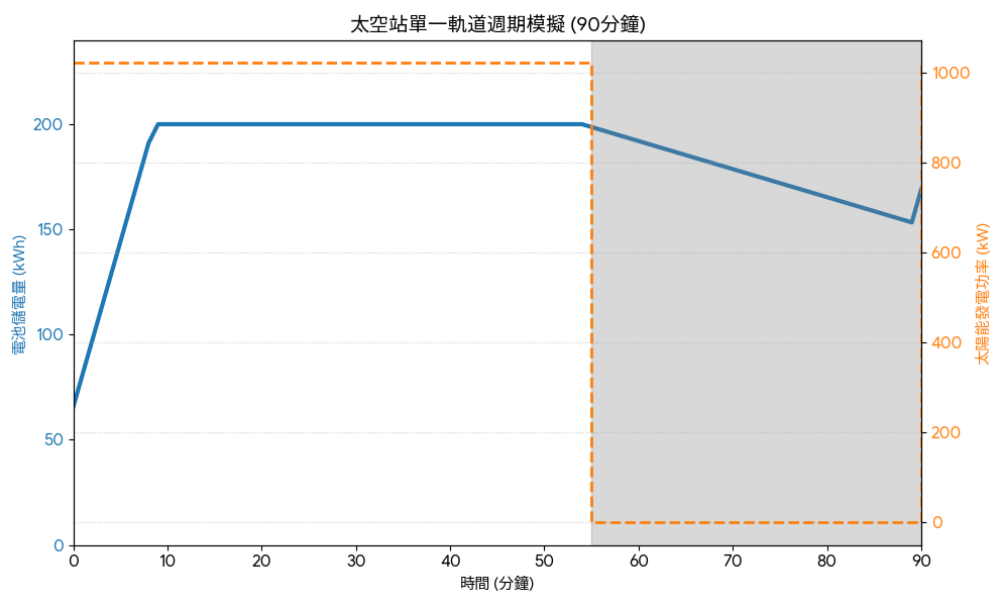
```

alpha=0.1)
# 填色區域
ax2.tick_params(axis='y', labelcolor=color)
# 標示陰影區
#灰色背景表示陰影區
for i in range(len(time_history)-1):
    if sunlight_history[i] == 0:
        plt.axvspan(time_history[i], time_history[i+1], color='gray', alpha=0.2)
plt.title(f'Space Station Power Simulation ({total_time/3600} Hours)')
fig.tight_layout()
plt.grid(True, linestyle=':', alpha=0.6)
plt.show()

```

五、研究結果與討論

(一)模擬國際太空站運行90分鐘



從圖中能清楚的看到單一次「日出—日落—充放電」的微觀過程：

0~30 分鐘（快速充電期）：

- 1.太空站剛從陰影中出來（日出）。
- 2.橘線（發電功率）瞬間跳升至 1000 kW。
- 3.藍線（電池電量）以陡峭的斜率直線上升。

這是因為發電量遠大於耗電量（ $1000\text{ kW} > 80\text{ kW}$ ），大部分能量都進入電池。

30~55 分鐘（飽和浮充期）：

藍線變水平：電池已經充滿（200 kWh）。

這段時間雖然太陽能板還在發電，但電池達到最大飽和。

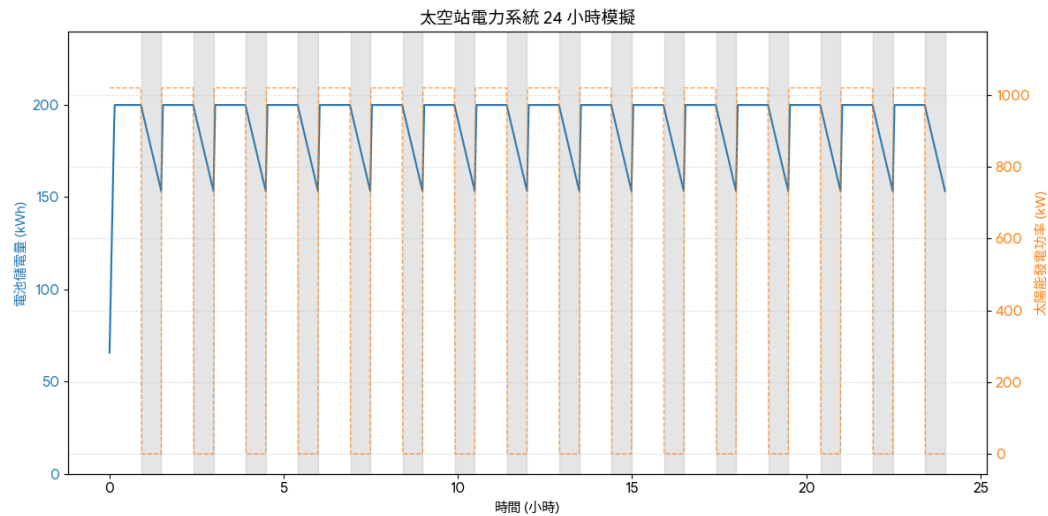
多餘的電力（發電量 - 耗電量）必須被拋棄，通常透過分流器將電能轉為熱能輻射到太空中。

這在系統設計上是為了避免過度充電，保證電池壽命。

55~90 分鐘（放電期/陰影區）：

- 1.在55分鐘處（日落）：太空站飛入地球陰影，橘線瞬間歸零。
從此刻起，全船的維生系統、電腦、燈光都完全依賴電池。
- 2.藍線開始線性下降。斜率代表了耗電速度（負載越重，斜率越陡）。
- 3.第90分鐘（同時也是下一圈的第0分鐘），你可以看到電池電量約剩下一半。這就是設計的餘裕，確保就算發生意外，電池也不會深度放電至0%。

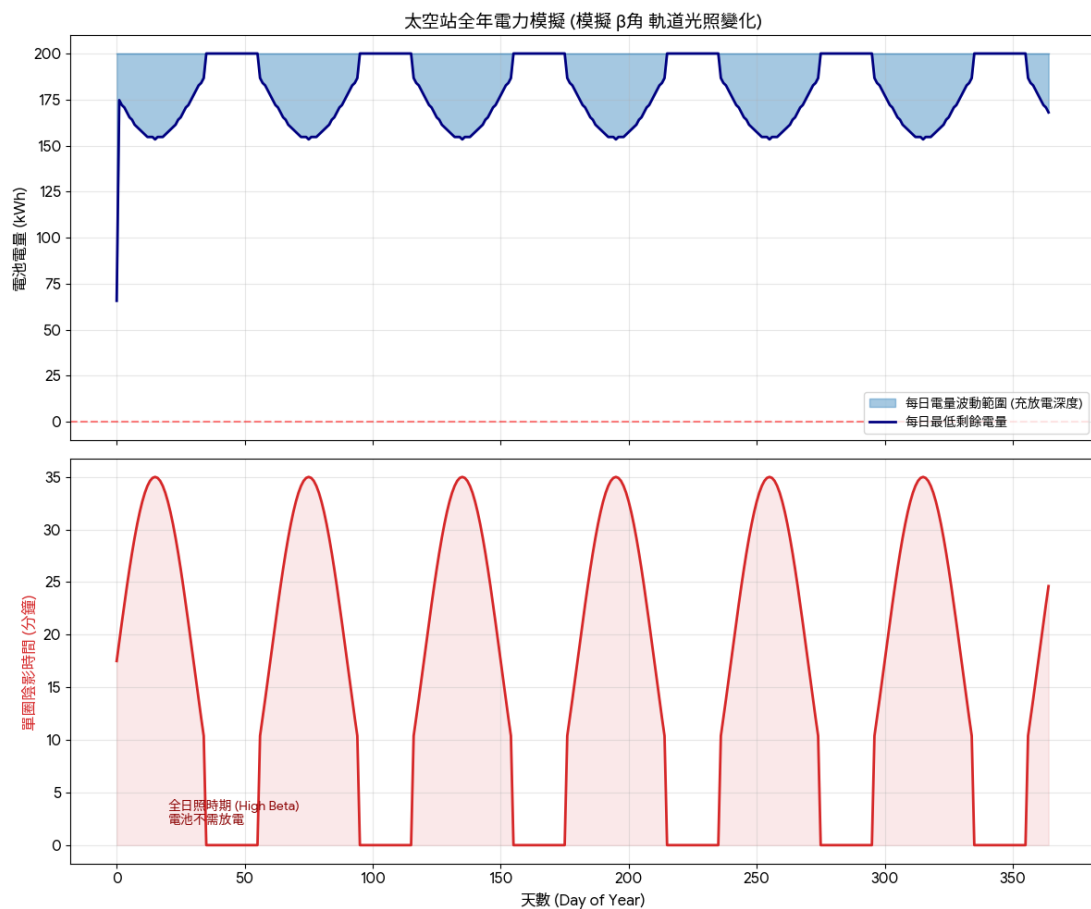
(二) 模擬國際太空站運行24小時



在24小時內，太空站經歷了16次的日出與日落(軌道週期約90分鐘)，電池每天會有16次完整的充放電循環，相比手機電池一天通常只充一次，對太空級電池的壽命是極大的考驗。

1. 圖片中看到藍色的電量曲線呈現非常規律的鋸齒狀，每次進入陰影區（灰色直條），電量就穩定下降；一進入受光區，電量迅速回升並達到飽和。
2. 目前的太陽能板面積（ 2500 m^2 ）相對於負載是足夠且有餘裕的，如果藍線峰值碰不到頂部，或者谷底觸碰0，就代表電力系統設計不良（發電不足或電池太小）。
3. 每個充放電週期的狀態幾乎一致，但在真實情況中，太空人可能會在某個小時開啟高耗電實驗設備，那時你會看到某幾個週期的藍線下降得很快。
4. 這張圖展示了低地軌道衛星或太空站最典型的電力特徵高頻率的能量循環。

(三)模擬國際太空站在2026年整年度的運行



整年度的預測模擬，必須考慮 β 角 (Solar Beta Angle)，因為太空站的軌道面會緩慢旋轉，導致陽光入射角度改變。

日食季的 β 角較小，太空站每一圈都會經過地球陰影，電池負擔大。全日照季 β 角很大，太空站沿著晨昏線飛行，24小時都有陽光，完全不需要用電池。

在圖中看不見前面圖中每分鐘的鋸齒波，而是呈現了季節性與軌道變化對電力的影響。

1. 下方紅線圖：陰影時間的變化，在真實運作中，太空站的軌道面與太陽的夾角 (β 角) 會不斷變化。

波峰 (約 35 分鐘)：這是最嚴苛的情況。每繞地球一圈，有 35 分鐘是全黑的。

平底區(0 分鐘)：這叫High Beta Angle時期。因為軌道角度的關係，太空站始終處於地球的晨昏線上，陽光24小時都會照射到太空站。

2. 上方藍色區塊：電池健康度

深藍色實線（每日最低電量）：工程師最關心的數據。

在陰影最長的日子（紅線波峰），電池被密集使用，電量會掉到最低點（約140-150 kWh）。

在全日照的日子（紅線平底），電池幾乎不需要放電（深藍線貼著頂部走），因為太陽能板全天候供電。

淺藍色區域（充放電深度）：區塊越寬，代表那天的電池「吞吐量」越大，壽命消耗越快。

依上述實驗結果歸納可得知2026年的太空任務規劃：

1. 可以選擇在2、4、6、8、10、12 月中旬，是進行高功率科學實驗的最佳時機，因為此時電力供應是無限的。
2. 在 1、3、5、7、9、11 月底，應避免進行高耗電實驗，並暫停非必要的系統維護，以確保電池有足夠的儲備，度過長陰影期。

六、評鑑與檢討：

(一) 彙整文獻階段

在查詢太空領域的資料通常非常兩極化，很粗淺的是太空新聞報導，深入的是NASA技術報告，真正的技術細節，像是太陽能板的具體衰退率大多存在於全英文的航太工程論文中，在閱讀上是很耗費心神的，而且有非常多的物理知識，是現階段我們不具備的，要很認真，而且多次的努力，才了解該原理。

在不同年份的文獻會給出不同的發電效率數值，從14%到30%都有，我們難以判斷在模擬中應採用哪一個數值作為基準，必須在多方比對後做出合理的假設或取平均值。

(二) 實驗工具準備階段

在針對國際太空站這類極端環境的研究，實體實驗存在著難以跨越的物理門檻，我們無法在教室中輕易製造真空或微重力環境，或是各種射線的生成，因此，轉向以軟體為核心的虛擬實驗成為了最佳解方。透過 Python 模擬，我們成功將龐大的太空設施『數位化』。這不僅克服了硬體器材的物理限制，更展現了數位時代研究的特質：高機動性與高可控性。只要有一台電腦，我們就能在虛擬世界中重現 400 公里高空的軌道環境，進行成千上萬次的壓力測試，這是傳統實體實驗難以企及的優勢。」

過去所有的經驗中，所有獨立研究的實驗工具與器材都是實體可見，而我們選定人工智慧與大數據，只要有電腦、網路與軟體即可完成，更能隨時隨地的，不受天候或環境影響，皆能進行實驗操作。

(三) 實驗操作階段

實作階段是這次實驗耗時最長的瓶頸。我們面臨的首要挑戰在於基礎建設，包括Python開發環境的配置以及相關機器學習套件的相容性設定。真正的核心難題在於AI 模型的建構與訓練，建立模型架構只是第一步，後續的「訓練」過程遠比預期複雜。為了讓模型準確理解太空站的能源邏輯，我們必須精確設計輸入指令與資料集，並透過反覆的測試，不斷修正權重與參數。這個過程需要極大的耐心與細心，每一次的模型優化，都是對我們邏輯思維的極限挑戰。

(四) 實驗數據分析階段

最令人振奮的成果，在於成功讓AI模型將複雜的參數轉化為可視化的預測結果，當我們比對不同條件下的預測範圍時，模型所展現的差異化分析能力，證實了人工智慧在處理太空能源問題上的

巨大潛力。

目前的成果僅是起點，我們期許在日後能具備更深厚的領域知識，對模型進行更深度的訓練與參數優化，納入更多的條件參數，建立一個能進行大範圍、高精確度預測的系統，讓這項技術不僅停留在實驗室，更能實際應用於太空科技與能源管理，讓人們擁有更好活環境與未來。

七、參考資料

(一) 科技大觀園。 當能源來自天際：太空太陽能發電

2025 年 7 月 11 日，取自：

<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/c000003/detail?ID=b7581bfc-eb5f-4409-adf1-abebc706d236#:~:text=%E8%80%80%E7%9C%BC%E7%9A%84%E5%A4%AA%E7%A9%BA%E5%A4%AA%E9%99%BD%E8%83%BD%E7%99%BC%E9%9B%BB&text=%E5%9C%B0%E8%A1%A8%E7%9A%84%E5%A4%AA%E9%99%BD%E8%83%BD%E7%99%BC%E9%9B%BB%E4%B8%80%E6%A8%A3,%E6%9C%89%E7%9B%B8%E7%95%B6%E5%A4%A7%E7%9A%84%E6%94%B9%E5%96%84%E3%80%82>

(二) 中央研究院。 2025 年 9 月 11 日，取自：

https://www.sinica.edu.tw/news_content/55/3044#:~:text=%E7%9B%AE%E5%89%8D%E5%B8%82%E5%94%AE%E7%9A%84%E7%9F%BD,%E6%88%96%E5%A0%86%E7%96%8A%E5%BC%8F%E6%96%B9%E5%90%91%E7%A0%94%E7%99%BC%E3%80%82

(三) Python。2025 年 9 月 5 日，取自：<https://www.python.org/>

(四) 美國太空總署。2025 年 8 月 11 日，取自：<https://www.nasa.gov/>