

# 115 年度氣候變遷創意實作競賽

## 決賽作品說明書

隊伍編號+名稱	氫淨農場
作品中文名稱	太陽能驅動製氫活化植物根系系統
作品英文名稱	Solar-Powered Hydrogen Rhizosphere Activation System

參賽學校：國立臺北教育大學、國立臺灣大學

指導老師：李鍇朮 老師

團隊成員：劉佳宜、劉禾萍

一、作品中、英文摘要（各 100 字以內）

H<sub>2</sub> Cycle 以電解製氫、氣泡溶氫與融合液肥來提升土壤微生物活性與養分吸收效率，改善土壤積鹽、根系缺氧與依賴化肥的農業問題；並整合太陽能、雨水回收來運行。搭配土壤分析儀來及時監控與控制裝置。

H<sub>2</sub> Cycle improves soil microbial activity and nutrient absorption efficiency through electrolytic hydrogen production, bubble hydrogen dissolution, and integrated liquid fertilizer, addressing agricultural challenges including soil salinization, root hypoxia, and chemical fertilizer dependency. The system operates by integrating solar energy and rainwater harvesting. Paired with a soil analyzer for real-time monitoring and device control.

## H<sub>2</sub> Cycle

太陽能驅動製氫活化植物根系系統



## 二、設計構想（包含構想來源）及運作說明

### （一）議題背景

#### 1. 氣候變遷加劇全球農業危機

IPCC 報告指出，氣候變遷加速土壤鹽化的速率與範圍。升溫導致蒸散量增加、乾旱頻率上升，使灌溉水中的鹽分不斷在根圈累積；而極端降雨又造成土壤結構破壞與養分流失——兩者交替形成「旱澇交替」的惡性循環。



#### 2. 全球溫室栽培在提升產量的同時，也加速了土壤的退化。

溫室種植長期高密度的集約種植導致土壤負荷過重。高頻率的施肥與缺乏雨水淋洗，使得溫室土壤面臨嚴重的「土壤貧瘠」，農民往往只能依賴更多化學藥劑，形成惡性循環。



#### 3. 目前政策與趨勢

為響應聯合國永續發展目標，並配合台灣「2050 淨零排放路徑」中關於農業部門減碳的策略，發展「低碳、省水、抗逆境」的智慧農業系統已成必要趨勢。現行政策鼓勵採用「精準農業」技術，利用感測數據減少資源浪費，這正是本提案切入的關鍵契機。



### （二）痛點分析

#### 1. 現有技術瓶頸分析

(1) 目前解決上述問題的技術方案均存在顯著侷限：

傳統滴灌系統：僅能解決「補水」問題，無法改善土壤溶氧量或消除氧化壓力，且高度依賴外部水源管線，在偏遠區無法建置。

(2) 現有氫水農業設備：雖學術界已知氫氣可作為抗氧化訊號分子，但現有設備多為大型工業等級，需外接穩定電源與純水管線，且氫氣在水中滯留時間短，難以深層滲透土壤，導致實際應用效益低且成本高昂。

#### 2. 三個現有方案無法解決的問題

痛點	現況	缺口	氣候變遷下的惡化趨勢
土壤積鹽	定期沖洗稀釋	耗水、治標不治本	乾旱越來越頻繁，能用來沖鹽的水越來越少，鹽只會越積越多
根系缺氧	增加灌溉頻率	加劇積鹽與厭氧菌滋生	高溫加速根系產生的有害自由基累積，傳統灌溉無法提供抗氧化保護
化肥依賴	依經驗調配	缺乏即時根圈回饋，過量施肥	氣候不可預測→經驗法則失效→更依賴化學投入

### （三）動機與目的

現行溫室種植普遍陷入「土壤退化 → 施用更多化肥與藥劑 → 土壤更貧瘠」的惡性循環。長期的化學投入不僅破壞土壤微生物生態，更使根系長期處於氧化逆境與鹽離子毒害之中。我們思考：是否能開發一套不完全依賴外部水電網、僅靠陽光與自然水源，便能自

主修復土壤健康的裝置？

因此本設計設定以下目標：

**1. 能源與水源自主**

開發全自主運作系統，整合太陽能供電與大氣集水／雨水回收技術，突破農業發展受地理與基礎建設限制的困境，使偏遠或資源匱乏地區亦可實現精準農業。

**2. 數據驅動的精準修復**

導入 AIoT 邊緣運算，即時監測土壤氧化還原電位（ORP）與鹽分濃度；僅在偵測到氧化逆境或積鹽超標時，自動啟動氫水灌溉與液肥調配，做到精準賦能、避免資源浪費。

**3. 提升農業韌性、減少化肥依賴**

利用富氫微氣泡清除根系累積的活性氧（ROS），緩解根部的氧化壓力與離子毒害；同時活化土壤中的促生菌群，強化作物對極端氣候的適應力，並從根本減少對化學肥料的依賴。

**（四） 創意構想來源**

本作品之技術構想源自**跨領域科學**原理的整合應用，主要參考文獻與技術來源如下：

**1. 植物逆境生理學文獻**

氫氣（ $H_2$ ）作為一種獨特的分子訊號物質，可介入植物從種子萌發至幼苗生長的多項生理過程，並在溫度脅迫、滲透逆境、氧化逆境與重金屬毒害等非生物逆境下，透過強化抗氧化防禦系統、提升光合作用效率、重建離子穩態等途徑，有效減緩環境壓力對植物的傷害（Jin et al., Antioxidants, 2022）。

**2. 土壤鹽化修復文獻**

應用微奈米氣泡生成技術，利用氣液剪切原理將氫氣破碎為直徑小於 200nm 的超微氣泡。相較於普通氫氣泡，微奈米氣泡具有更高的比表面積、更慢的上浮速度與更強的界面負電位，能大幅延長氫氣在水中的溶存時間、克服氫氣難溶於水且易逸散的物理限制，確保氫水在到達根系前維持有效濃度。

本作品跨域整合植物生理學以及流體力學而設計了這個裝置。

### (五)核心創意說明

## H<sub>2</sub> Cycle

太陽能驅動製氫活化植物根系系統



H<sub>2</sub> Cycle 透過 PEM 製氫與奈米微氣泡溶氫，將氫氣直接注入灌溉水與土壤，中和根圈氧化逆境。系統整合雙槽液肥模組，一次完成補水、溶氫與施肥作業。模組化機箱垂直整合 RO 純水製備、氣液分離、儲氫與控制單元，以太陽能實現能源自給，太陽能板同時導引雨水回收再利用。搭配土壤分析儀即時回傳含水量、導電度與氧化還原電位，由 AIoT 自動判斷並調控裝置運作。預期促進作物生長 15 - 20%，降低 30% 以上極端氣候農損。

### 三、作品材料說明

#### (一)尺寸機電結構說明：

##### 1、核心設計原則

##### (1) 各層獨立可拆

機箱各層可單開維修，不影響上下層。液肥可打開上蓋補充，不需停機更換。

##### (2) H<sub>2</sub>處理全在同層

電解後 H<sub>2</sub> 需盡快進氣液分離器，兩者同層確保管路最短，避免水氣冷凝倒流損壞膜面。

##### (3) 重心管理

電力層獨佔底層，置底使整機重心降低，防震防傾倒。PEM 與電池相隔不同層，消除電解液污染風險。

##### 2、安全設計說明

(1) H<sub>2</sub>安全

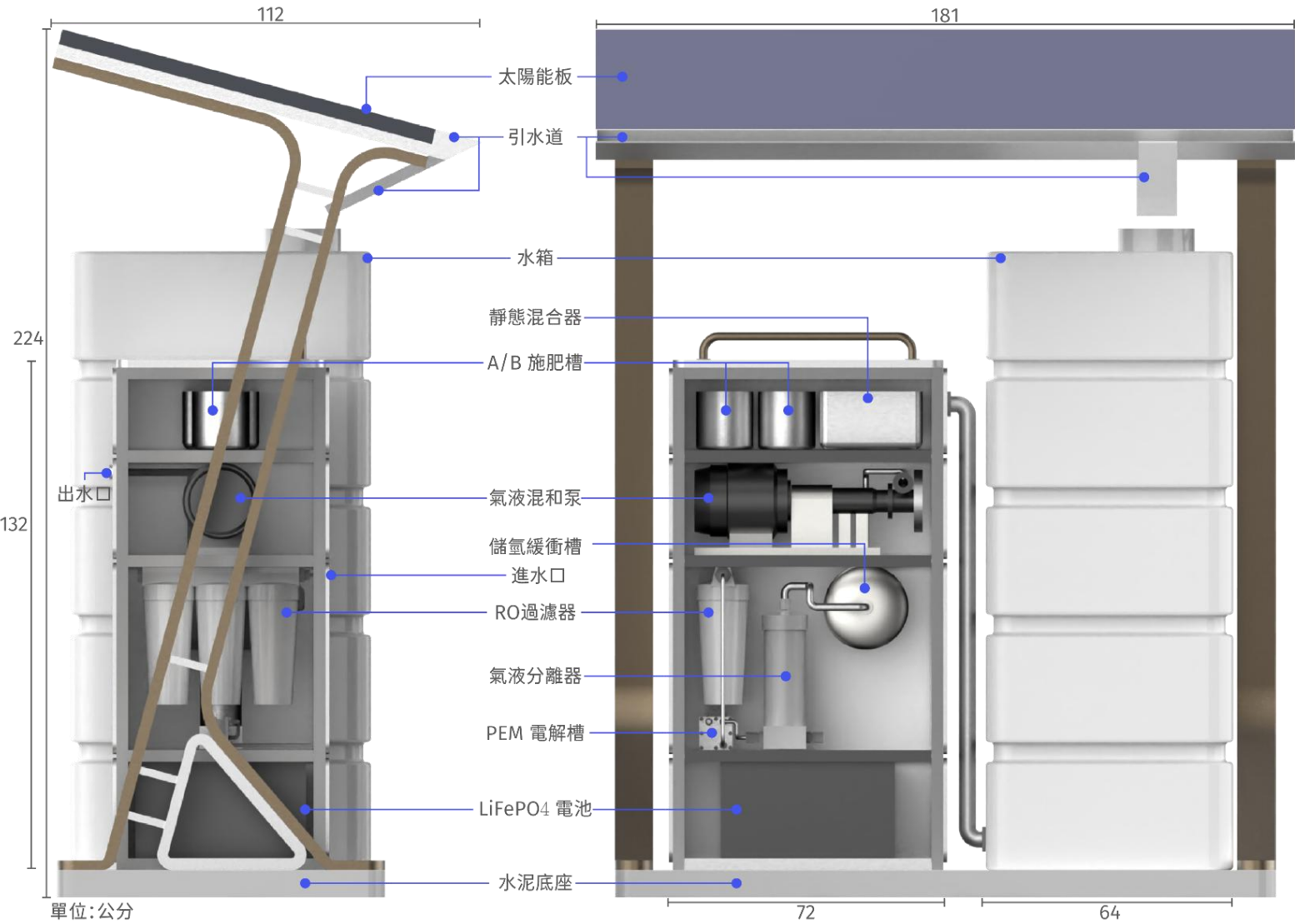
機箱非密封設計，H<sub>2</sub>自然擴散不積聚。H<sub>2</sub>管路全程 316L 不鏽鋼壓接接頭。儲氫罐配 PRV 洩壓閥，工作壓力 5barg，最大承壓 10barg。

(2) 電氣安全

LiFePO<sub>4</sub> 電池含 BMS 過充過放保護。MPPT 控制器過壓保護。PEM 電解槽與電池相隔兩層，防止電解液滲漏污染。逆變器獨立安裝，泵線路獨立走管。

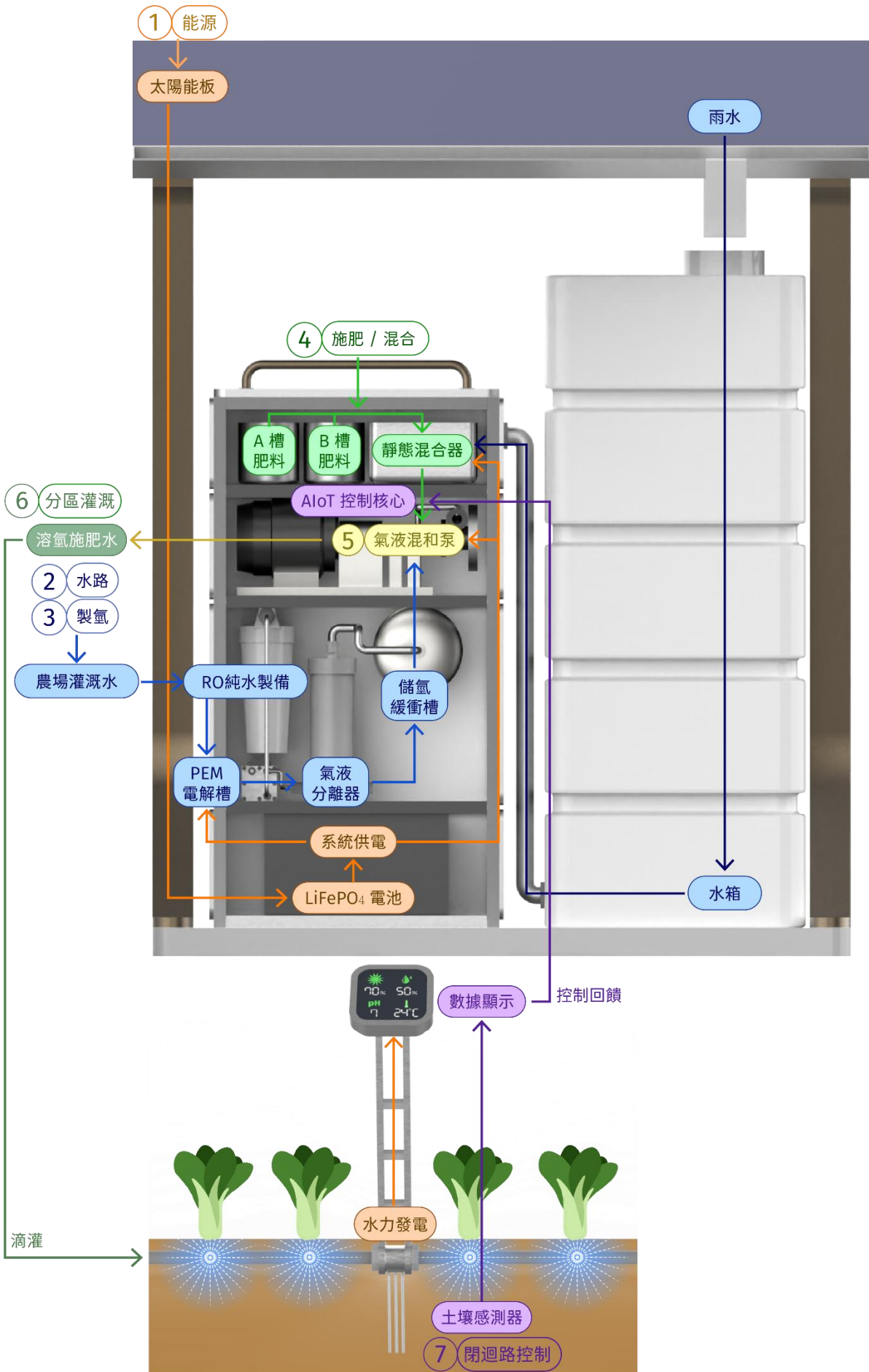
(3) 結構安全

底座使用水泥固定。太陽能板獨立立架，不置機箱頂，消除側向風載傾倒風險。機箱非密封，防止熱積累。



## (二) 產品運作流程說明

1. **能源**：2 片 300W 太陽能面板發電，經 MPPT 充電控制器存入 48V/150Ah LiFePO4 電池，每日提供穩定電力供全系統運作，無日照可備援 5 日。
2. **水路**：農場灌溉水進入 RO 逆滲透膜與 DI 去離子柱，純化至 TDS < 5 ppm，送入 PEM 電解槽。雨水回收後混和稀釋肥料後灌溉。
3. **製氫**：PEM 電解槽以 120W 功率每日產製 27L 高純度 H<sub>2</sub>，氣液分離器去除水氣後，乾燥 H<sub>2</sub> 進入 10L 緩衝槽穩壓至 5barg。
4. **施肥 / 混合**：A/B 槽各自透過計量泵按比例注入主水線，經靜態混合器均質後由 EC/pH 感測器確認濃度。
5. **溶氫整合**：施肥水與 H<sub>2</sub> 在氣液混和泵同點注入，經奈米微氣泡產生器將 H<sub>2</sub> 均勻溶入水中，根圈溶氫濃度達 0.8 ppm。
6. **分區灌溉**：溶氫施肥水由電磁閥分配至 4 - 5 個灌溉區輪灌，每日供水 2,000 L。
7. **閉迴路控制**：土壤感測器持續回傳 VWC、EC、溫度與 ORP 數據至 AIoT 核心，自動調整灌溉排程、施肥濃度與 H<sub>2</sub> 供應量，形成完整閉迴路。



### (三)使用情境說明：

#### 1、裝置安裝位置

H2 Cycle 設置於溫室內部側邊，緊鄰植株作業走道，太陽能板架設於裝置正上方，同步導引屋頂雨水回收再利用。

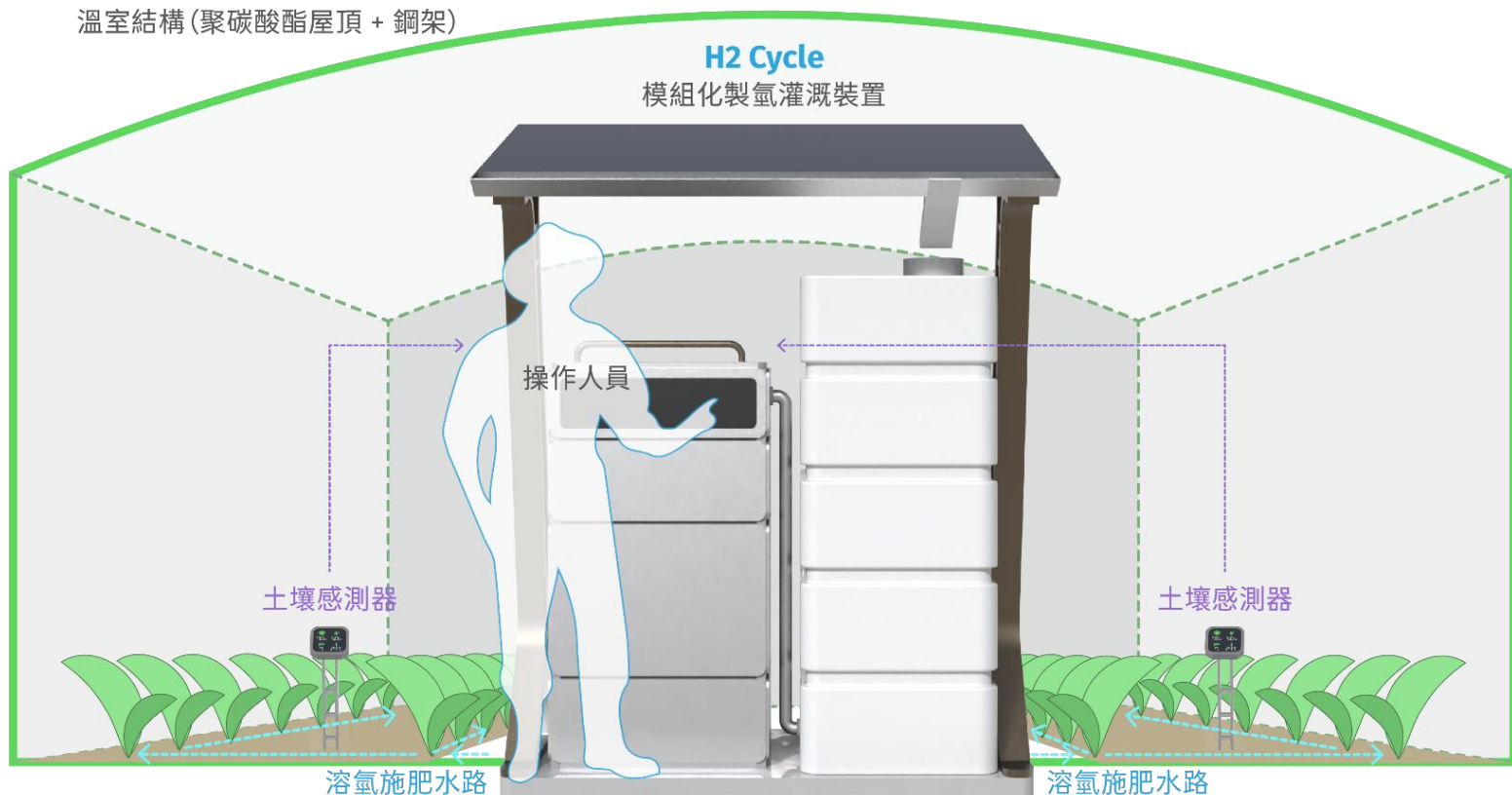
#### 2、人與裝置的空間關係

操作人員站立於裝置側面，透過控制面板執行參數設定或手動介入，不需進入設備內部，維護動線與灌溉作業互不干擾。

#### 3、滴灌方式

灌溉主管路沿地面延伸至各植株排，透過滴灌出水點精確供水；土壤感測節點插置於根圈深度，即時回傳數據至裝置進行自動調控。

溫室結構(聚碳酸酯屋頂 + 鋼架)



### 四、創作特點與創意說明

#### (一)創意構想來源／構想背景資料

##### 1. 參考文獻

FAO. (2022). The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture.

IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis.

Ohsawa, I., et al. (2007). Hydrogen acts as a therapeutic antioxidant by selectively reducing cytotoxic oxygen radicals. Nature Medicine.

Zeng, J., Zhang, M., & Sun, X. (2013). Molecular hydrogen is involved in phytohormone signaling and stress responses in plants. PLoS One.

Zhou, X., et al. (2020). Sorption-based atmospheric water harvesting:

Materials, components, systems, and applications. Chemical Society Reviews.

台灣「2050 淨零排放路徑」農業部門減碳策略、聯合國永續發展目標

## (二) 現有方案比較

H<sub>2</sub> Cycle 透過整合氫水微奈米溶氧、ORP 即時監控與自主能源設計，在農產效益、環境修復與技術規格上全面補足現有市售灌溉方案的不足。

比較面相		市售智慧灌溉	氫水灌溉機	傳統滴灌	H <sub>2</sub> Cycle
農產效益	作物增產幅度	文獻支撐 +5 - 15%	品質改善為主，增產幅度未有共識	文獻支撐 +5 - 37%	估算 +15 - 20%
	品質改善	▲間接效益	文獻支撐 葡萄光合效率提升	▲間接效益	預期提升 ORP 調控減少氧化逆境，預期提升糖酸比與抗氧化物
	肥料利用效率	文獻支撐 節氮 23 - 26%	▲間接效益	文獻支撐 節氮 25%	預估節肥 20 - 30%
環境影響	用水效率	文獻支撐 節水 20 - 40%	X	文獻支撐 節水 30 - 50%	預估節水 40 - 50%
	根圈缺氧改善	X	文獻支撐 H <sub>2</sub> 抑制 ·OH 等高毒性自由基	可能加劇根圈缺氧	文獻支撐 H <sub>2</sub> 抑制 ·OH 等高毒性自由基
	土壤微生物生態	X	文獻支撐 H <sub>2</sub> 文獻顯示促進有益根際菌	X	文獻支撐 H <sub>2</sub> 文獻顯示促進有益根際菌
農損風險管理	極端氣候農損	文獻支撐降低 10 - 20%	X	X	預估降低 30%+
	病害風險	X	▲間接降低 間接提升抗病力； 尚無直接防治試驗	X	▲間接降低 間接提升抗病力； 尚無直接防治試驗
技術比較	溶氫方式	X	泡徑較大，殘留短	X	泡徑 <200 nm，溶解效率 70%，延長 H <sub>2</sub> 殘留時間
	商業化程度	成熟商用	商業試驗中	成熟商用	概念設計

## 五、 作品應用範圍及發展潛能

### (一) 市場規模

#### 1、 溫室農業市場：

2025 年全球市場規模 USD 33 - 47 B，亞太區最速成長 +11.6% CAGR；中國溫室面積逾 400 萬公頃（全球 80%）

## 2、智慧灌溉市場

2025 年全球市場規模 USD 1.6 - 2.5 B，溫室智慧灌溉子市場 CAGR 20.3%，為最快成長細分；感測器子段 CAGR 21.4%

## 3、PEM 電解製氫市場

2025 年全球市場規模 USD 1.4 - 6.1 B，農業用氫灌溉尚無現成商業產品，為未填補的市場空缺。

### (二) 可行性評估

#### 1、技術可行性

評估面向	分析	風險
PEM 電解技術	工業成熟工藝，已廣泛用於加氫站與工業製氫。本專案創新在於「微型化（120W 級）整合至農用系統」。	低
微奈米氣泡	文丘里管與加壓溶解法皆為成熟技術，已有商用供應商。氣泡在水中滯留時間可達數小時。	低
AIoT 邊緣運算	邏輯控制為閾值判斷型，非深度學習，開發難度低且可靠。	低
太陽能+儲能	LiFePO <sub>4</sub> 循環壽命 > 3,000 次（約等於每天一次充放電用 8 年以上）	低
系統整合	本專案最大挑戰在於「多模組垂直整合」。模組化可拆設計降低維護難度	中

#### 2、經濟可行性

面向	分析
營運成本結構	經常性支出耗材約 750 元/季，佔傳統方案成本 4%。
投資門檻	初始投入約 133,000 元，對種植高經濟作物之溫室農戶而言，約等於半季產值。可透過「以租代買」降低門檻。
回收期	含增產效益：約 14 個月（保守 13% 增產）。即使增產僅 8%，回收期仍在 21 個月內，遠低於 5 年設備壽命。
風險揭露	增產效益為回收核心，需實際種植數據支撐。

#### 3、市場可行性

面向	分析
市場規模	本產品切入一個 30B+ 溫室市場為基底，疊加高成長（20%+）智慧灌溉需求，並結合尚未開發的氫技術應用空缺的跨域新市場。
競爭定位	市面無同類產品結合「離網能源、PEM 製氫、奈米微氣泡、AIoT 閉迴路」。
政策趨勢	配合台灣「2050 淨零排放路徑」農業減碳策略，精準農業與減少化肥為政策鼓勵方向。

### (三) 商業模式

#### 1、目標客群

客群	畫像	核心痛點	付費動機

高經濟作物溫室農戶	種植洋香瓜、草莓、小番茄，一分地以上規模	逆境資材成本高、良率受氣候波動大	每季省 5,900 元 + 增產 32,500 元
水電匱乏邊際農地	離島、山區、管線未達之溫室	無法使用需市電/自來水之傳統系統	離網運作是唯一選項
ESG 導向企業農場	需減碳數據的大型農企	須量化碳足跡削減與水資源效率	碳盤查數據 + 綠色行銷價值

## 2、價值主張

- (1) 隨插即用離網方案：到場安裝當日即運行，不需水電基礎建設。
- (2) 核心賣點不是灌溉設備，而是「氣候韌性」：透過即時 ORP 監測、氫水修復，將氣候風險轉化為可管理的數據指標。
- (3) 數據驅動決策：從「經驗施肥」改為「數據告訴你何時需要、需要多少」。

## 3、營收來源

模式	說明	參考定價	定價邏輯
硬體銷售	H <sub>2</sub> Cycle 機台（一分地規格）	170,000 元/台	硬體成本 + 30% 毛利 ≈ 170,000
以租代買	月租方案，降低導入門檻	4,500 元/月（36 個月）	月付 × 36 = 162,000，含維護
AI 決策訂閱 — 基礎版	APP 遠端監控、即時警報、手動操控	免費（綁機台）	養用戶、收集數據
AI 決策訂閱 — 進階版	根系健康診斷報告、自動氫水配方優化、種植建議	800 元/月	平台維護費
耗材配送	RO 濾心、PEM 膜片定期寄送	2,500 元/半年	確保系統效能 + 穩定經常性收入

## (四) 預期效益

### 1. 農產效益

- (1) 作物增產 +15~20%：滴灌精準供水、溶氫活化根圈
- (2) 節省化肥用量 -20~30%：液肥精準注入、H<sub>2</sub> 促進氮磷吸收效率
- (3) 果實品質提升：H<sub>2</sub> 灌溉改善作物糖酸比與香氣化合物累積
- (4) 養分吸收效率增加：H<sub>2</sub> 微氣泡活化根圈促生菌群，提升養分礦化與吸收

### 2. 環境效益

- (1) 節省灌溉用水 40~60%：滴灌效率、雨水回收
- (2) 土壤鹽分改善：H<sub>2</sub> 提升 K<sup>+</sup> 吸收同時抑制 Na<sup>+</sup> 累積，緩解離子毒害
- (3) 土壤微生物活化：H<sub>2</sub> 作為微生物能量源，促進氫氧化菌等促生菌群增殖
- (4) 根圈抗氧化修復：H<sub>2</sub> 選擇性清除有害自由基，降低根圈氧化還原電位

(5) 養分礦化與吸收：促生菌活化、根系活力提升，加速土壤有機質礦化與根系養分輸送效率。




(6) 根系活力：H<sub>2</sub>清除 ROS 緩解氧化損傷，恢復細胞分裂能力，促進根系伸展與側根發生

### 3. 減碳效益


(1) 運作碳排：550W 太陽能全程自給、LiFePO<sub>4</sub> 電池備援 5 天，無市電、無化石燃料

(2) 化肥減量減碳：年減 0.3~0.5 噸 CO<sub>2</sub>e、化肥減量 20~30%

### 4. SDGS

	消除飢餓	H <sub>2</sub> 促進根圈 N/P 吸收效率+70-80%，減少養分流失，增產 15-20%、果實品質提升，增加農業收益。
	工業、創新與基礎設施	創新整合 PEM 製氫、奈米微氣泡、AIoT 的離網灌溉裝置填補市場空白：無現成競品，屬技術創新藍海
	氣候行動	H <sub>2</sub> 緩解乾旱與熱逆境，提升作物對氣候變遷的耐受力。太陽能零碳運作、減少化肥，降低農業 N <sub>2</sub> O 排放。全系統年減碳約 2-2.5t CO <sub>2</sub> e。

## 六、工作分配



成員	學經歷背景	負責項目	具體工作內容
劉佳宜 	國立臺北教育大學 藝術與造形設計學系 工業設計／產品設計 商業規劃、創業經歷	產品設計 系統整合 商業模式	模組化機箱結構設計與外觀造形規劃、人機介面與 AIoT 監控 APP UI/UX 設計、商業模式建構與經濟效益分析、成本估算與供應鏈詢價管理、簡報製作與競賽文件撰寫、品牌識別與產品視覺規劃

劉禾萍		國立臺灣大學 植物病理與微生物學研究所	植物科學 文獻資料 技術研究	氫水對作物根系與土壤微生物影響之文獻研析、土壤感測器校正與數據分析、田間試驗設計、液肥配方調配與 A/B 槽施肥策略規劃、增產效益驗證與實驗數據統計
-----	---	------------------------	----------------------	--



七、其他（如果還有更多想發揮的內容，可自行加列）

(一) 迭代過程

1. 外型：

第一代	第二代
裝置未考量太陽能板、機電大小	將所需機構、型號評估後，依據實際尺寸規劃外型、人因操作
	




2. 機電結構：

第一代	第二代
未將所有機電考量，缺少許多過程	根據工作坊輔導建議，調整裝置機電結構、容量、型號，盡可能將機構規劃完整，並且以垂直模組化設計，讓裝置好更換、修改。
	



## (二) 裝置實作規劃

### 1. 購買材料

材料	規格/型號	功能說明
PEM 電解槽制氫裝置	 3 - 5W, DC 5V 供電, 含質子交換膜、鉀觸媒	電解純水產生高純度 H <sub>2</sub> , 產氫速率約 200 mL/min
USB 真空水泵/氣泵	 DC 5V USB 供電, 流量約 1 - 2 L/min	將 PEM 產出之 H <sub>2</sub> 加壓送入文氏管
文氏管	 內徑約 10 - 15 mm, 吸氣口 4 - 6 mm	利用文氏原理產生負壓吸入 H <sub>2</sub> , 氣液剪切力將氣體破碎為微氣泡
水管	 內徑配合文氏管接口	連接各模組之水路與氣路

### 2. 實驗過程

階段	工作內容	負責人
第一階段	PEM 單獨測試：純水準備、通電產氫、排水集氣量測	劉禾萍
第二階段	氣路組裝：PEM→氣泥→文氏管連接、氣密檢查	劉佳宜、劉禾萍
第三階段	溶氫測試：文氏管出水溶氫量測、ORP 量測、乳白化觀察	劉禾萍
第四階段	滴留穩定性測試：定時採樣溶氫、ORP 衰減曲線	劉禾萍
第五階段	數據整理、圖表製作、結果分析與報告撰寫	劉佳宜、劉禾萍

### (三) 3D 模型



### (四) 成本說明

前提假設：一分地溫室 ( $\approx 1,000 \text{ m}^2$ ) 種植洋香瓜，每季約 90 天，年種植 3 季。

#### 1. H<sub>2</sub> Cycle 硬體成本

模組	組件	費用
能源層	2x300W 單晶太陽能板	14,000
	MPPT 充電控制器 (48V/20A)	3,500
	48V/150Ah LiFePO <sub>4</sub> 電池 (含 BMS)	38,000
製氫層	PEM 電解槽 (120W 級)	16,000

	氣液分離器+10L 儲氣緩衝罐 (5barg) +PRV 洩壓閥	5,500
水處理層	RO 逆滲透膜組+DI 去離子柱	4,500
	雨水收集 (導水槽+初濾+接管)	3,000
溶氫施肥層	氣液混合泵+奈米微氣泡產生器	10,000
	A/B 液肥槽×2+蠕動計量泵×2+靜態混合器	5,000
	EC/pH 線上感測器	4,000
灌溉分配	電磁閥×5+316L 不鏽鋼管路接頭	7,000
控制層	AIoT 邊緣運算模組 (ESP32/RPi 級)	3,000
	土壤感測器組 (VWC+EC+ORP+溫度)	7,000
結構	模組化鋁合金機箱	6,000
	太陽能獨立立架+水泥底座	3,500
	配線、接頭、雜項	2,500
	硬體總計	132,500

## 2. 能源驗證

### (1) 發電量計算：

參數	數值	來源
面板功率	$2 \times 300W = 600Wp$	設計規格
台灣南部等效峰值日照	3.5 h/天	能源局公布全台日照參考數據：嘉南平原約 3.5 - 4.5 h
系統損耗 (線損+灰塵+溫升)	15%	太陽光電系統一般設計值
日發電量	$600 \times 3.5 \times 0.85 = 1,785 Wh \approx 1.8 kWh$	

### (2) 日耗電量計算：

負載	功率(W)	運行(h/天)	日耗電(Wh)
PEM 電解槽	120	2.0	240
灌溉泵浦	60	5.0	300
奈米微氣泡泵	80	2.5	200
AIoT+感測器	8	24	192
計量泵+電磁閥	15	5.0	75
RO 泵 (小型)	30	0.5	15
合計			<b>1,022 Wh <math>\approx</math> 1.0 kWh</b>

## 3. H<sub>2</sub> Cycle 每季運作成本

項目	金額 (NTD)	計算方式
設備攤提	8,867	$133,000 \div 15 \text{ 季} (5 \text{ 年} \times 3 \text{ 季/年})$
RO 濾心更換	400	約 600 元/組，每 1.5 季更換一次

PEM 膜片損耗	350	壽命約 5,000h，每季用 2h×90 天=180h，可用 27.8 季；更換成本約 10,000
A/B 液肥原料	3,000	精準施用，相較傳統減量 約 40% (AIoT 按需調配)
其他維護	500	密封件、感測器校正
每季總成本	13,117 ≈ 13,100	

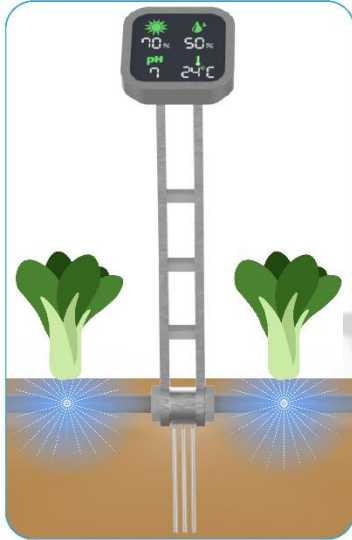
4. 成本效益比較

指標	傳統方案	H <sub>2</sub> Cycle
每季運作成本 (含攤提)	19,000	13,100
每季淨省	-	5,900
年度節省 (3 季)	-	17,700

# (五) 作品海報

## H2 Cycle

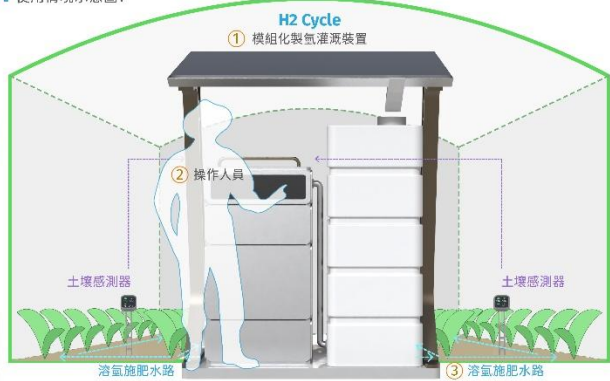
太陽能驅動製氫活化植物根系系統



**H 核心創意說明：**  
溫室集約農業長期面臨土壤積鹽、根系缺氧與化肥依賴等問題，現有灌溉系統缺乏主動調控根區環境的能力。  
H2 Cycle透過PEM製氫與奈米微氣泡溶氣，將氫氣直接注入灌溉水與土壤，中和根區氧化逆境。系統整合A/B雙槽液肥模組，一次完成補水、溶氣與施肥作業。模組化機箱垂直整合RO純水製備、氣液分離、儲氣與控制單元，以太陽能實現能源自給，太陽能板同時導引雨水回收再利用。搭配土壤分析儀即時回傳含水量、導電度與氧化還原電位，由AIOT自動判斷並調控裝置運作。預期促進作物生長 15~20%，降低 30% 以上極端氣候農損。

**H 議題背景：**  
全球溫室栽培在提升產量的同時，也加速了土壤的退化。  
溫室種植長期高密度的集約種植導致土壤負荷過重。高頻率的施肥與缺乏雨水淋洗，使得溫室土壤面臨嚴重的「土壤貧瘠」，農民只能依賴更多化學藥劑，形成惡性循環。

**H 使用情境示意圖：**

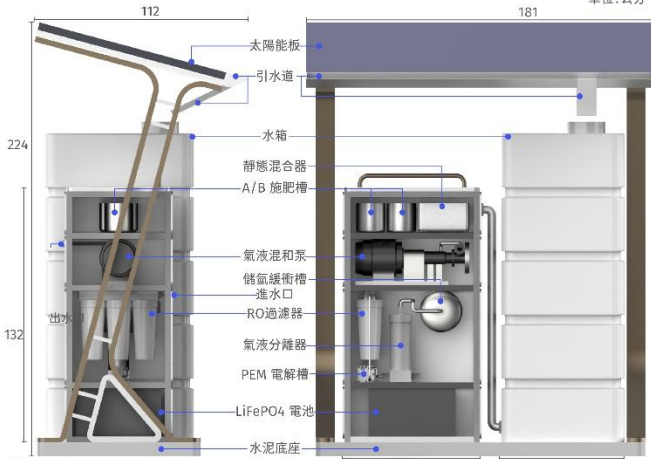


**H 痛點分析：**  
三個現有方案無法解決的問題

痛點	現況	缺口
土壤積鹽	定期沖洗稀釋	耗水、治標不治本
根系缺氧	增加灌溉頻率	加劇積鹽與厭氧菌滋生
化肥依賴	依經驗調配	缺乏即時根區回饋，適量施肥

**H 切入點：**  
氫氣具有選擇性中和和釋自由基的能力，濃度0.5 ppm 以上即可抑制根區氧化逆境，但目前市場上缺乏可整合至農業灌溉系統、具備能源自給能力的溶氫裝置。

**H 尺寸機電結構說明：**



**H 產品運作流程說明：**

- 能源**  
2片300W 太陽能板發電，經MPPT充電控制器存入48V/150Ah LiFePO4 電池，每日提供穩定電力供全系統運作，無日照可備援5日。
- 水路**  
農場灌溉水進入RO逆滲透膜與DI去離子柱，純化至TDS < 5 ppm，送入PEM電解槽。雨水回收後混和液肥後灌溉。
- 製氫**  
PEM電解槽以120W功率每日產製 27L高純度 H<sub>2</sub>，氣液分離器去除水氣後，乾燥H<sub>2</sub>進入10L緩衝槽壓至 5bar。
- 施肥 / 混合**  
A/B 槽各自透過計量泵按比例注入主水線，經靜態混合器均質後由 EC/pH 感測器確認濃度。
- 溶氫整合**  
施肥水與H<sub>2</sub>在氣液混和泵同點注入，經奈米微氣泡產生器將H<sub>2</sub>均勻溶入水中，根區溶氫濃度達0.8 ppm。
- 分區灌溉**  
溶氫施肥水由電磁閥分配至4-5個灌溉區輪灌，每日供水 2,000 L。
- 閉迴路控制**  
土壤感測器持續回傳VWC、EC、溫度與ORP數據至 AIOT 核心，自動調整灌溉量、施肥濃度與H<sub>2</sub>供應量，形成完整閉迴路。

