

# 2023 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 100027

參展科別 工程學

作品名稱 斜槓元宇宙－智慧新農機：全球首創利用  
Arduino 自動偵測「迴轉耕耘機」犁耕土壤深  
度的火犁仔(曳引機)、解決人類糧食危機

得獎獎項 三等獎

就讀學校 臺中市華盛頓高級中學  
臺中市私立衛道高級中學

指導教師 王忠俊

作者姓名 王宥棋、王宥鈞

關鍵詞 Arduino 微控制器 (microcontroller)、  
3D 立體影像感測技術-ToF (Time of Flight)、  
曳引機 (tractor)

## 作者簡介



我們是一對雙胞胎。左圖開三腳仔耕耘機是弟弟王宥棋，目前就讀台中市私立華盛頓高級中學。右圖開曳引機的是哥哥王宥鈞，目前就讀台中市私立衛道高級中學。

家族世代務農，父親是假日農夫，為了扶養我們3個小孩，身兼3份工作，連假日都要種水稻增加收入。因此從小就幫忙父親下田工作，並經常操作各種農業機械。

在學校的多元選修課程及大學營隊中，學到了許多 Arduino 相關的知識及傳感器的應用，激發了我們，透過感測器將機電整合，並設計程式讓大型農機智慧化。透過我們發明的作品，希望能在這次活動中，將台灣智慧農機，推展到國際舞台。

## 摘要

本研究以機電整合，發明了【曳引機迴轉犁偵測系統】，將大型農業機械智能化，並優化及整合工程技術，設計了六大系統，藉由量化評工程效益及作物的產量變化，觀察設計成效。

根據文獻，水稻管理使用「灌溉系統」+「雜草抑制蓆」+「生物肥料」的機制，可以增加產量[1,2]。因此我們優化這些機制，並設計「精準深耕」、「智慧噴桿」、「滴灌系統」形成六大系統。利用自創的【曳引機迴轉犁偵測系統】，犁耕時就可以在每一寸土地上，精確控制土壤深度在 25cm 的「精準深耕」。我們也發現，在這六大系統的協同效應下，不僅省下 3~12 倍的作業時間，同時在加乘效果的作用下，產量可以大幅提高至 79%。

本實驗花二年時間，在台中清水地區 1.2 公頃的農地，實際建構這六大系統。並使用無人機偵測飛行高度的 3D 立體影像感測器、Arduino 微控制器、燒入自行設計的 Arduino C 程式，成功發明【曳引機迴轉犁偵測系統】，並裝在大型曳引機，用來偵測迴轉耕耘機翻鬆土壤的深度，同步將該數據立即顯示在駕駛室的儀表板。

目前全球六大品牌大型曳引機，造價超過新台幣 400 萬元，尚無一款具有本研究自創的迴轉犁自動偵測功能。

## Abstract

In this study, the "traction machine rotary plow detection system" was invented by mechanical and electrical integration, which intelligentized large agricultural machinery. Optimized and integrated engineering technology, designed six systems, and observed the design effectiveness by quantifying the engineering benefits and crop yield changes.

According to the literature, rice management using the mechanism of "irrigation system" + "weed suppression" + "bio-fertilizer" can increase yield [1,2]. Therefore, we optimized these mechanisms and designed "Precise Deep Plowing", "Smart Spray Rod", and "Drip Irrigation System" to form six major systems. Using the self-created "traction machine rotary plow detection system", the " Precise Deep Plowing" with a soil depth of 25cm can be accurately controlled on every inch of land during plowing. We also found that under the synergistic effect of these six systems, not only the operation time is saved by 3~12 times, but also the output can be greatly increased to 79% under the effect of multiplication.

Therefore, this experiment took two years to actually construct these six systems on 1.2 hectares of agricultural land in the Qingshui area of Taichung. Using the 3D stereo image sensor of the drone to detect the flight altitude, the Arduino microcontroller, and the self-designed Arduino C program, the "traction machine rotary plow detection system" was successfully invented and installed in a large traction machine to detect the depth of the soil turned loose by the rotary cultivator, and the data was immediately displayed in the dashboard of the cab.

At present, the world's six major brands of large-scale traction machines, the cost of more than NT\$4 million, none of them have the automatic detection function of the rotary plow created by this study.

## 壹、前言

農業機械化曾經是臺灣十二大建設項目之一，以農業培養工業、以工業促進來發展農業，因此農業要永續，農業機械是根本。從這次的俄烏戰爭中，我們也看到了，俄羅斯入侵烏克蘭時，別的不要，卻掠奪了 27 台價值 500 萬美元的強鹿牌 John Deer 大型曳引機。沒有農機輔助生產，熟悉的作物將侷限於生產成本，可能因而消失，所以農業機械的發展將會影響到全人類糧食生產！

## 一、研究動機

每逢假日，總是看到在父親在炙熱的太陽下，汗流浹背在田裏種植水稻，因為他也是眾多的假日農夫之一，每日工作超過 12 小時，不但辛苦，賺的錢也不多。有幾次在田裏駕駛曳引機翻土作業時，讓我驚覺發現，頭不是一直往前看，有一半的時間是往後看迴轉耕耘機（迴轉犁）。有好幾次都差點撞上前方的田埂或圍牆。問了父親才知道，他回頭在目測迴轉犁翻土的深度，因為真實犁耕深度，目前市售機器均無法得知，只能目測。據統計曳引機的農機操作，意外事件佔農民職災死亡的 7 成[19]，這可怕的數字，卻被多數務農者所忽略。

作者統計這 5 年，父親在假日農夫的收入，假日每日工作 12 小時，每半年工作 624 小時，在台中清水農地種植水稻平均每公頃（約 2934 坪），每半年淨利平均約 4 萬元，如果換算時薪大約只有 64 元，甚至比在手搖飲店上班時薪 150 元還要低。

因此作者兄弟二人，為了解決上述問題，找到作物提高產量的方法：「精準深耕」，配合優化管理水稻「灌溉系統」+外掛「滴灌系統」+「雜草抑制蓆」+「生物肥料」+「智慧噴桿」等六大工程，將改良曳引機智能化，就能在翻土作業時，讓每一寸農地都能精準控制在 25 公分的犁耕深度。之後探討這個「精準深耕」在協同效應的加乘作用下，所提高的產量，是否可以到達全台最高記錄，每公頃每半年平均 10 萬元的淨收入[3]。

## 二、研究目的

有了高科技技術力加持，傳統農業將脫胎換骨，智慧農機、精準農業將銳不可擋，以下是我們的研究目的。

- (一) 將學校所學 Arduino C 程式設計，實際應用在大型農業機械的控制。
- (二) 無人機的 3D 立體影像感測技術，是否可以跨領域用在其他產業。

- (三) 微處理器、資通訊、電機、機械及自動控制的整合設計與實作，實現智慧新農機的創新。
- (四) 設計曳引機迴轉犁偵測系統，可以用在任何一款大型曳引機。
- (五) 分析精準深耕土壤的深度，與作物產量的關聯。
- (六) 量化評估水稻管理：整田、灌溉、施肥、除草等工程一條龍的設計與改良。
- (七) 假日農夫的收入與全職收入的比較分析。

### 三、文獻回顧

唐代詩人李紳著名的五言絕句《憫農》云：「鋤禾日當午，汗滴禾下土。誰知盤中飧，粒粒皆辛苦。」主要描述務農的辛勤勞苦，既傳神又寫實，因此傳誦千年。

農業是供應民生必需品的產業，關係著人民的生計、社會安寧及國家安定，因此世界各國均予以高度的關注。然而目前農村勞動力不足、人口老化已是世界各國共同面臨的問題，朝向自動化、智慧化發展的農業機械，被視為解決農村缺工問題一大利器，不過，臺灣農機研發產業，事實上也和農村一樣面臨人才斷層危機，直接影響臺灣智慧農機研發，行政院農業委員會（簡稱農委會）表示，在 2027 年前屆齡退休的知名農機專家、優秀學者預計有 40 人，農機人才恐出現斷層，所以農委會自 106 年起推動新農民培育計畫，規劃在 10 年內培育 3 萬名青農，就是為了避免農機人才斷層[6]。

曳引機有著農業機械之王的頭銜，一點也不為過。全世界六大品牌：久保田 Kubota（日本）、強鹿 John Deere（德國）、新荷蘭 New Holland（美國）、藍地莉 Landini（義大利）、美福 Massey Ferguson（法國）、德士 Deutz（德國），獨缺臺灣。現在臺灣年輕人不願意務農，農村勞力越來越少且高齡化，需要借重農業機械來減輕勞動強度，尤其是大型曳引機，然而這些農機全部都是進口，價格動輒數百萬元，並不是每個人都負擔得起，因而導

致農民減少，休耕土地越來越多，這些問題不解決，會造成台灣糧食需要大量進口[7]，若是又碰到臺海關係緊張，屆時會引發許多無法挽回的後果。

現代農業有最新科技當後盾，而且配有高科技的中控電腦，有效控制整個系統的操作。然而農業機械的名稱很多種講法，很容易混淆，因此就曳引機、耕耘機，以及時下最流行的 3D 立體影像感測技術逐一介紹。

### （一）曳引機（tractor）

當初設計用來拖拉沒有動力的機械裝備，所以只要能提供行走、驅動、拖行等動力的機械均稱曳引機（如圖 1-3-1）。所以又稱拖拉機。

在有些國家，這個名稱也可以指聯結車的拖車頭。在農業上使用的曳引機，在後部經常附掛（鏈接）田間作業之農耕機械，如翻耕犁、耙、播苗機、施肥機、割草機、切碎機、收穫機、牧草打包機等等。

在台灣使用曳引機利用後方的三點連接機構，附掛有翻土的迴轉耕耘機（簡稱迴轉犁），因此就有了犁耕的功能[4]。配裝迴轉犁，就成為曳引機的標準配件了。台灣早期進口的曳引機，因為配裝的耕耘機是碟犁為主，碟犁之外觀很像炒菜鍋，可以前進又翻土，好像鍋後面有火當動力在犁田，所以在台灣，閩南語稱曳引機為火犁仔[5]。中大型馬力（75HP）的曳引機，造價約新台幣 400 萬元以上，價格十分昂貴，堪稱農業機械界的獅子王，一點也不為過。



圖 1-3-1 曳引機（資料來源：作者自行拍攝）

## (二) 迴轉耕耘機 (rotary tiller / rotary plow)

簡稱迴轉犁 (如圖 1-3-2)。能將土壤擊碎的機器，通稱為耕耘機如犁、耙。就動力來分，使用迴轉式的即稱為迴轉耕耘機，所以台灣生產的中耕機也是迴轉耕耘機的一種，只是動力比較小 (大約 13 馬力下)。

若以中大型曳引機為動力來源 (大約 75 馬力以上)，旋轉的耕耘刀刃，會以 500rpm 以上的轉速，將土壤切削與細碎土塊，且一次作業能達到傳統犁耕多次的效果，故只要走過一趟，犁耕、碎土及耙平等作業幾乎一氣呵成！。犁後地表平整、鬆軟，即可播種作物[4]。

本文研究所稱迴轉耕耘機就是附掛在曳引機後方的耕耘機，簡稱迴轉犁。



圖 1-3-2 迴轉耕耘機 (迴轉犁)  
(資料來源：作者自行拍攝)

## (三) 3D 立體影像感測器

俗稱讓機器長眼睛的感測器。應用最明顯的例子，是發生在澳洲，因為保育區的袋鼠太多，經常誤闖民宅、便利商店、或飯店，因為大門入口的感測器是感測有無物體接近，無法辨識人或動物，所以經常發生動物靠近大門時，自動門就開了。

近幾年來，越來越多智慧型手機，高度使用 3D 感測技術，並搭載 3D 感測模組來辨識人臉做 Face ID，例如蘋果產品中第一支推出人臉識別解鎖的 iPhone X，則是靠 3D 感測技術實現的。目前就感測技術而言，目前主要分為立體視覺、結構光、飛時測距。

立體視覺 (Stereo Vision)：這個技術原理是基於人眼視差，透過兩個以上相機模組從不同的角度對同一物體拍攝影像，再以數學的三角測量法等運算進行，來取得與物體之



間的距離資訊。應用上，也可以同時與以下二種感測技術混用。目前應用在 AR/VR 頭戴式裝置、機器人等領域。

結構光（Structured Light）：利用雷射二極體（LD：Laser Diode）或數位光源處理器（DLP：Digital Light Processor）打出不同的光線圖形（或稱光斑 Pattern），經由物體不同深度的位置反射回來會造成光線圖形扭曲（或稱圖案編碼 Light Coding），如圖 1-3-3。例如打出直線條紋的光線到人臉上，由於人臉是很很多立體的圓弧形狀，因此反射回來的圓弧形條紋，進入紅外光影像感測器後就可以利用圓弧形條紋反推人臉的立體結構[15]。最明顯的應用案例 iPhone X，就是靠 3D 結構光實現的。

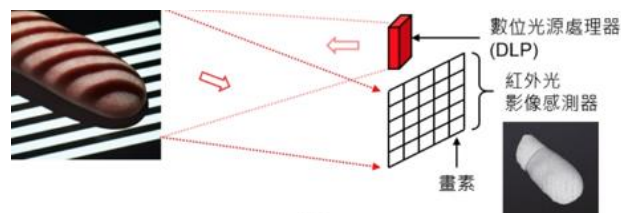


圖 1-3-3 結構光－3D立體影像感測技術原理

（資料來源：STOCKFEEL 知識力。<https://reurl.cc/RX5EKD>）

飛時測距（Time of Flight；簡稱：TOF）：簡單而言就是將激光（或雷射光）發射出去，再由偵測器接收散射光，去計算光子來回（雙向）飛行時間，進而推導出發射點與物件之間的距離，如圖 1-3-4。所以 ToF 的中文名稱：飛時測距感測，也就是偵測距離技術有如時光飛梭快速。

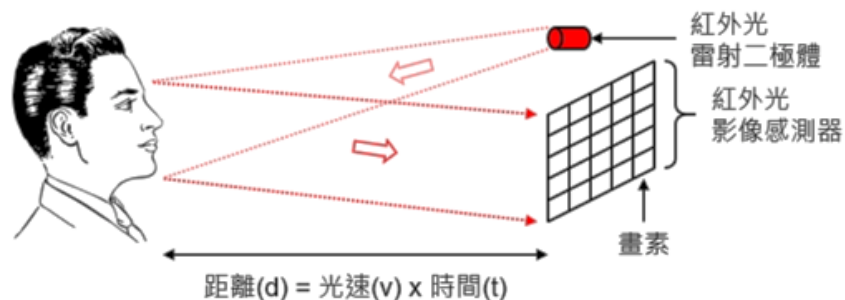


圖 1-3-4 飛時測距（ToF）－3D立體影像感測技術原理

（資料來源：STOCKFEEL 知識力。<https://reurl.cc/RX5EKD>）

利用發射點與物件之間的距離，藉此達成 3D 成像。以人臉來說，TOF 可以更加精確的計算出鼻梁、下巴、唇峰、人中、眉骨、眼窩、耳朵等。一般數位鏡頭難以精準測量被測物的深度差異，而 ToF 運用在遠景的拍攝，則能夠更加精準掌握實物的成像細節，進而還原出更加細緻的景深效果。所以又稱作「飛行時間法 3D 成像」[14]。

其實 ToF 存在的歷史又可以往前推幾十年，就廣義解釋來說，是不限於光學領域的，凡是利用超音波、微波的「飛行時間」來計算物體距離的，都可以認為是 ToF 技術的應用。所以微波雷達也可說是應用了 ToF 技術的典型設備。如此，ToF 涵蓋的技術領域也就變得非常廣。

就狹義解釋來說，ToF 限制在光學測距範疇。因此由 ToF 模組的光源向該物件發出光(子)，光在發出後抵達該物件，並反射回來，由 ToF 模組的感測器獲得。計量此間「光的飛行時間」，在光速已知的前提下即可得到目標物的距離資料。相對簡單的解釋是，很精確測得 ToF 模組與場景中某個對象(或某個點)的距離。

2015 年左右，手機上的 LED 與光感測器開始應用主動光學測距技術，如果感測器擷取到的反射光強度超過預設的臨界值，這時手機螢幕就關閉。這幾乎可以認為是 ToF 的雛形了，Apple 的 iPhone 6s 已經採用這種技術。之後的 iPhone 7 不再依賴於反射光強度變化的軟體技術了，沉真正落實了 ToF 感測器，並開始計量來自雷射二極體的光子飛行時間作為精密的測距[16, 17]。本研究所使用的 3D 立體影像感測器，就是用這項 ToF 技術的 MF8701 傳感器。

## 貳、研究設備及器材

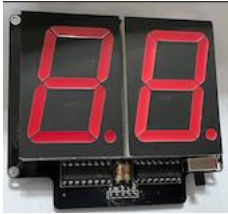







### 一、研究設備

筆電型電腦（含 Arduino IDE）、電焊槍、焊錫、強鹿 75HP 曳引機、2.2m 迴轉犁、18V 電動軍刀鋸、剪刀、4 寸砂輪機切割機、18V 免力出四溝鉋鑽、電子磅稱、捲尺、18V 電動起子、碼錶、AZDO7031 微電腦溶氧測試儀。

### 二、研究器材

（一）曳引機迴轉犁偵測系統：如下表 2-2-1









表 2-2-1：迴轉犁偵測系統—主要材料表

1、七段顯示器模組(1.8 吋雙位數)	2、Arduino Uno 微控制器	3、充電式 18650 電池	4、網路線
			
5、3D 立體影像感測器 MF8701 (ToF)	6、18650 電池盒 (附開關)	7、合板 厚度 12mm	8、泡綿膠
			

（資料來源：作者自行拍攝）

（二）管理水稻工程：三大系統「灌溉系統」+「雜草抑制蓆」+「生物肥料」主要材料：如下表 2-2-2。

表 2-2-2：三大工程系統－主要材料表

1、白角鐵	2、白鐵網(孔徑 1x1)	3、PVC 排水管 5"	4、PVC 90 度彎頭
			
5、雜草抑制蓆	6、生物肥料	7、籃子(孔徑 5x5)	8、白鐵膨脹螺絲
			

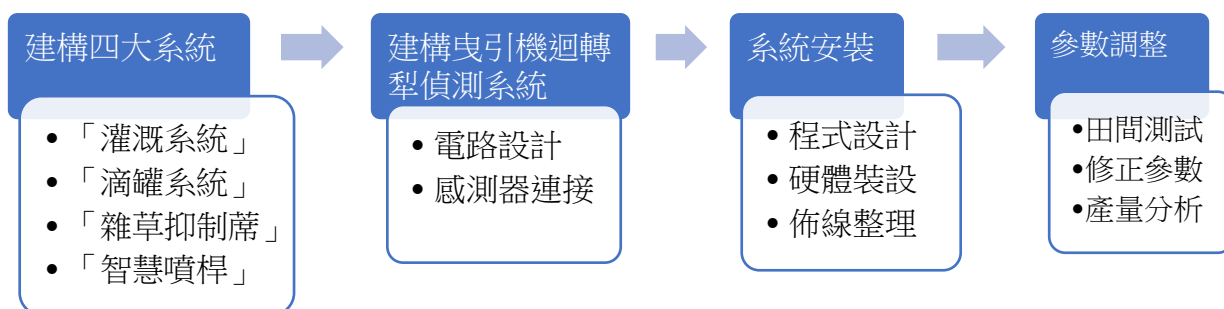
(資料來源：作者自行拍攝)

(二) 其他材料：

南亞 5 寸 PVC 自來水管及 90 度彎頭、PVC 膠合劑、釘子、3 分壁虎 (膨脹螺絲)、6 分厚木板、鐵鎚、計時器、溶磷菌、熱溶膠、熱溶槍、螺絲、鐵線、剪刀、鑽頭、螺絲起子、鉗子、繩子、14 尺竹竿、七孔噴霧桿、玻璃纖維。

## 參、研究方法或過程

### 一、研究架構



## 二、研究過程




解決人類糧食危機，種植水稻是最佳的選項，然而栽培水稻「三分種、七分管」，說明了七成的時間在管理的工作，因此我們將「灌溉系統」+「雜草抑制蓆」+「生物肥料」+「智慧噴桿」，重新整合改良並建構，配合自創【曳引機迴轉犁偵測系統】，期許能夠達到25cm的「精準深耕」作業，研究過程如下：

(一) 灌溉系統：灌溉水的取得技術，包含攔水、過濾、進水、曝氣等4個工程系統。

表 3-2-1 所示。

- 1、攔水系統：用L型白鐵角，用膨脹螺絲鎖在河溝二旁，中間用一木版裁成與河寬相同大小，形同小水壩的樣子（圖 3-2-1）。
- 2、過濾系統：將孔徑約1x1公分的白鐵網，鎖在河邊的入水口上方。外圍加上孔徑較大的黑色籃子，當作初篩，過濾較大的雜物（圖 3-2-2）。第一段過濾：由黑色竹籃來過濾長寬大於5公分以上的雜物，目的是阻止大型異物。第二段過濾：由孔距1cmX1cm的白鐵網，過濾比較小的雜物，這種改良稱為「二代過濾系統」，有別於傳統農法，只用廢棄電風扇的扇葉保護蓋當過濾網，容易生鏽且阻塞。
- 3、進水系統：利用5吋的PVC水管，用膠合黏著劑，搭配L型90度彎頭，利用水管的傾斜角，調整進水量。進水量與傾斜的水平角度成反比（圖 3-2-3）。
- 4、曝氣系統：當河中水位高過攔水系統的木板，翻過木板的水，衝擊河床，激起無數氣泡（圖 3-2-4），如同無動力的打氣機，稱為跌水效應。

表 3-2-1 灌溉系統（四項子系統）－施作工程與功能

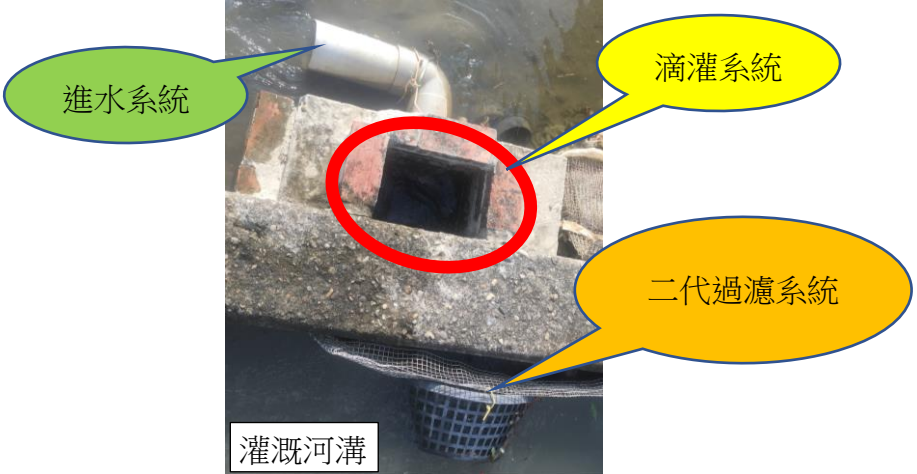
灌溉系統－作業流程、功能介紹			
			
快速攔下河溝的水	二段過濾水中雜草	控制進入田中的水	增加水中涵氧量
圖 3-2-1 攔水系統	圖 3-2-2 過濾系統	圖 3-2-3 進水系統	圖 3-2-4 曝氣系統

（資料來源：作者自行拍攝）

### 5、外掛「滴灌系統」

以色列地處沙漠卻是農業科技王國，有著許多精良的滴灌技術的開發，才能大量節水。將本實驗的「灌溉系統」，外掛「滴灌系統」即可以達到此目標。作法是將水泥、磚塊，砌成一個約 20x15x40cm 的長方體（內部尺寸）如下圖 3-2-5 所示，當液體藥物進入後此空間後，透過水流在此激盪迴旋，就能均勻充份攪拌混合（如圖 3-2-6），再流到田裏，即能以達到節省藥物、省時又有效的系統。

表 3-2-2 灌溉系統外掛「滴灌系統」

滴灌系統－建構平面圖	
	
圖 3-2-5 滴灌系統、進水系統、過濾系統相關位置	

（資料來源：作者自行拍攝）



表 3-2-3 「滴灌系統」



(資料來源：作者自行拍攝)

## (二) 雜草抑制蓆

遮光度百分之百的針織型百吉網，稱為雜草抑制蓆。按不同的田埂寬度，有不同寬度的尺寸（以尺為單位，每件長度固定為 50 公尺），可直接覆蓋在田埂上，使雜草不受光漸趨腐爛死亡，而達到防草的效果。施工方式如下表 3-2-4 所示。

表 3-2-4 雜草抑制蓆－施作工程

雜草抑制蓆－施作工程		
		
1、田埂鋪蓋雜草抑制蓆	2、用 U 型釘子固定	3、鋪設完成
圖 3-2-7	圖 3-2-8	圖 3-2-9


(資料來源：作者自行拍攝)

### (三) 生物肥料－溶磷菌

這是利用微生物促進植物開花結果，進而提高作物產量的機制。能產生磷肥的微生物肥料，簡稱生物肥料，包含具有活性的藻類、細菌等微生物及微生物代謝產物。主要運作機制是協助分解土壤中不易溶解的無機物養分，並分解、產生有機酸，如磷酸鈣、磷酸鐵、磷酸鋁等有機物，就可以供作物吸收利用[8]。所以直接或間接方式，提供植體養分吸收並增進土壤肥力，進而增加產量。

我們使用的生物肥料是溶磷菌，是一種枯草芽孢桿菌。成份登記：有效活菌數  $1 \times 10^8$  CFU/公克。產品外觀、使用方法如下表 3-2-5。

表 3-2-5 生物肥料－施作工程

生物肥料－使用方式（每分地 1 包）		
		
產品外觀	小面積－手工施撒	大面積－動力噴撒
圖 3-2-10	圖 3-2-11	圖 3-2-12

（資料來源：作者自行拍攝）

### (四) 曳引機迴轉犁偵測系統

這是本作品最重要的研究。這個系統最主要的目的是用來獲取曳引機迴轉犁翻土時的深度，簡稱「曳引機迴轉犁偵測系統」。

曳引機在犁耕作業時，正常情形下，a：曳引機後輪最低點、b：迴轉犁最低點、c：土壤表面會在同一水平線，這時犁耕深度為 0 cm。但是每塊農田土壤軟硬不同，a、b、c 就不會在同一水平線。如果在土質較軟的農地，重達 4 噸以上的曳引機，a、b 已在 c 下面了，這時駕駛操作的犁耕深度，實際深度會超出很多。因此透過本系統，可以



將 a、b、c 控制在同一水平線，按下微動開關，即為校正歸零，之後顯示的數字就是真實的犁耕深度。

系統最大功能是：不管耕地是否平整，均能保證在每一寸土地都有精準的翻土深度（或稱犁耕深度）。作者利用在學校多元選修所學的數位科技課程，及研讀有關 Arduino 微控板原理及市售所有感測器的特性[9, 10]，找出真正可以用在農場作業的器材。

因為農場的環境十分惡劣，高溫、粉塵、及大型農機柴油引擎造成劇烈震動，導致很多感測器如超音波、紅外線等元件，受到嚴重干擾，最後失效，無法使用。最後找到下列元件，才得以順利完成。

系統包含三大部份，一是控制主機、二是感測器、三是程式演算法。

## 1、控制主機

組成元件：由 Arduino Uno 微控制器、雙位數 1.8 吋七段顯示器模組、18650 電池盒、按鈕開關（微動開關）所構成，完整主機外觀如下表 3-2-6 的圖 3-2-16。

### （1）Arduino Uno 微控制器



Arduino 微控制器（microcontroller），又稱主控板、微控制板、控制板。是由義大利一所科技藝術學院的教師與工程師們共同研發出的微控制板，具有價格便宜（目前數百元，30 年前近萬元）、多元擴展硬體、及不限制開發環境等優點。

根據不同處理器型號、記憶體大小等差異，具有不同型號款式。其中 Arduino Uno Rev3 控制接腳多，可連接的周邊元件多元，並且價格十分低廉。雖然處理器是 8 位元，但就運算能力、處理速度、記憶體容量而言，已足夠應用在各種場合[9]，故選為本次作品的 Arduino 控制板，如下表 3-2-4 的圖 3-2-11。

## (2) 顯示器

主要功能是顯示目前的犁耕深度，也就是「土壤表面到迴轉犁的最低點」。本研究為了能夠讓駕駛清楚看到顯示器的數字，因此用大螢幕 1.8 吋的七段顯示器模組。這個模組由兩片 74HC595 驅動，腳位有：5V-工作電壓、G-GND、D-dataPin、L-latchPin、C-clockPin。模組內建 2 顆 14500 電池盒，使用 14500 鋰電池 3.7v，二顆供電可以連續工作 15 小時[12]，如下表 3-2-6 的圖 3-2-12。

表 3-2-6 主控板（左）、顯示器（右）

Arduino UNO 主控板	1.8 吋的七段顯示器 (LED)
	
圖 3-2-13	圖 3-2-14

(資料來源：作者自行拍攝)

## (3) 電池盒

18650 電池盒，使用雙節串聯、帶線含蓋、附開關的規格，因此，可以作為作品的主要開關（表 2-2-1 圖 6）。電池為 Panasonic 松下 NCR18650B 鋰電池（表 2-2-1 圖 3） 3400mAh，這個高容量的電池二顆，足夠連續二天，近 16 小時的作業時間。

## (4) 按鈕開關（微動開關）

主要目的是參數調整。作者自創的「迴轉犁偵測系統」，可以在不同軟硬的土壤，利用按鈕開關，在曳引機每次作業時，將土壤深度「歸零」的動作。這是一很重要的設計，目的是要讓曳引機在任何一個地點，甚至土壤表面不平整時，都可以隨時精確控制犁耕深度。使用上，每按一次，程式就會將目前感測器測所測到深度設定為最大值，透過程式，這時候在駕駛室的旋鈕所設定的犁耕深定就是真實翻土深度。

## 2、感測器

感測器組成元件：3D 立體影像感測器模組 MF8701 ToF [14]、積木（尺寸 W10xL10xH50mm）、黑色 ABS 萬用塑膠盒（W54xL83xH30mm），如圖 3-2-15。

### (1) 3D 立體影像感測器模組

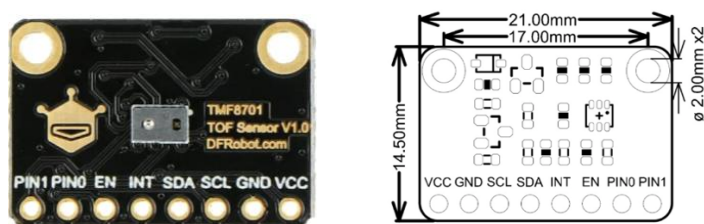


圖 3-2-15 感測器模組 DFRobot—MF8701

（資料來源：台灣智能感測科技有限公司。https://reurl.cc/ZbKZpp [13]）

本研究使用取得影像深度資訊的 3D 立體影像感測器是 DFRobot 生產的 MF8701（ToF）—激光測距傳感器。這個模組最大優點，就是測量 100mm 內的接近檢測，精密度可以控制在 5mm 內，100mm 以上最大只有 10mm 的誤差。運用場合很廣如無人機、3D 人臉識別、安控等領域，這也是本研究採用的目的，規格如下表 3-2-7。

表 3-2-7 3D 立體影像感測器 MF8701 規格、特性

工作電壓	2.7~3.3V	
工作電流	< 1.5mA	
激光元件	單光子雪崩二極體（SPAD：Single Photon Avalanche Diode）	
測量範圍	最小：1mm	最大：600mm
測量誤差	1-100mm 的接近檢測	±5%（5mm）
	100-600mm 的高動態範圍測量	10mm
通信方式	I2C	
外觀尺寸	21 x 14.5mm	
產品特色	1、高精度深度測量。 2、黑暗、陽光環境均適合 3、有算法支援的集成微控制器，無需外部光學器件	

	4、無論物體的顏色、反射率和紋理，能提供物體的單區域檢測
應用場合	無人機、3D 人臉識別、安控、自動駕駛（AD）、接近檢測、距離檢測、避障

（資料來源：<https://reurl.cc/ZbKZpp> [13]）

組裝感測器時，先在外殼鑽二個孔，一個是感測器的光源出口，一個是連接網路線的出口。再利用小時候留下來的微型積木，用螺絲固定在黑色零件盒。感測器用熱溶膠黏接固定，並焊接腳位與網路線（圖 3-2-19），完成外觀如圖 3-2-20。

控制主機，是用裝潢用的抽屜木板（俗稱抽牆）當外殼，因為材質堅硬，不易變形。先裁出 5 片，並將主控板、電池盒、七段顯示器安排在預定位置如圖 3-2-16。顯示器在正中央，並垂直正面，上端再往後傾約 30 度，以符合使用者視學的人體工學，如圖 3-2-17。完成外觀如圖 3-2-18。完整製作過程如下表 3-2-8 各圖所示。

表 3-2-8 曳引機迴轉犁偵測系統－建構流程

一、控制主機（主控板、顯示器、電池盒）			二、感測器（MF8701 ToF）	
				
主要材料	元件接線	完成外觀	腳位焊接	完成外觀
圖 3-2-16	圖 3-2-17	圖 3-2-18	圖 3-2-19	圖 3-2-20
完整作品	感測器安裝在迴轉犁		實地安裝（主機+感測器）	
				
作品外觀	貼泡綿膠	支架安裝	主機顯示	3D 測距
圖 3-2-21	圖 3-2-22	圖 3-2-23	圖 3-2-24	圖 3-2-25

### 三、程式演算法

1. 先測出土壤表面到感測器的深度，並設定為「最大值」。
2. 當迴轉犁下降翻土時，感測器測得的深度會變小，稱為「測量深度」。
3. 此時再將「最大值」扣除「測量深度」的值，傳給駕駛室的「七段顯示器」，這個數字就是迴轉犁真實的犁耕深度。

(資料來源：作者自行拍攝)

#### (五) 作品安裝

將前面所的控制主機、感測器，安裝在曳引機上，安裝位置如下表 3-2-9 (圖 3-2-26) 所示。有二個紅色文字所指部份是作者自創的作品安裝所在處。3D 立體影像感測器實體安裝迴轉犁的實體位置，如上表 3-2-8 (圖 3-2-23) 所示。顯示器安裝在駕駛室的儀表板上方，實體安裝結果如上圖 3-2-24。

主機與感測器用網路線連接，佈線在駕駛室角落處，以免操作進出時被勾到。選用網路線的原因是取得容易、訊號傳輸品質極佳、多芯、彎曲度佳，且日後維修容易。

感測安裝支架，使用合板原因是裁切容易、強度夠 (本實驗用二片接合，完全不抖動)、可用泡綿膠就可以固定。更最重的是，可以在任何一款迴轉犁上，完全不用焊接、鐵工等作業。

表 3-2-9 曳引機、迴轉犁、曳引機迴轉犁偵測系統配置圖

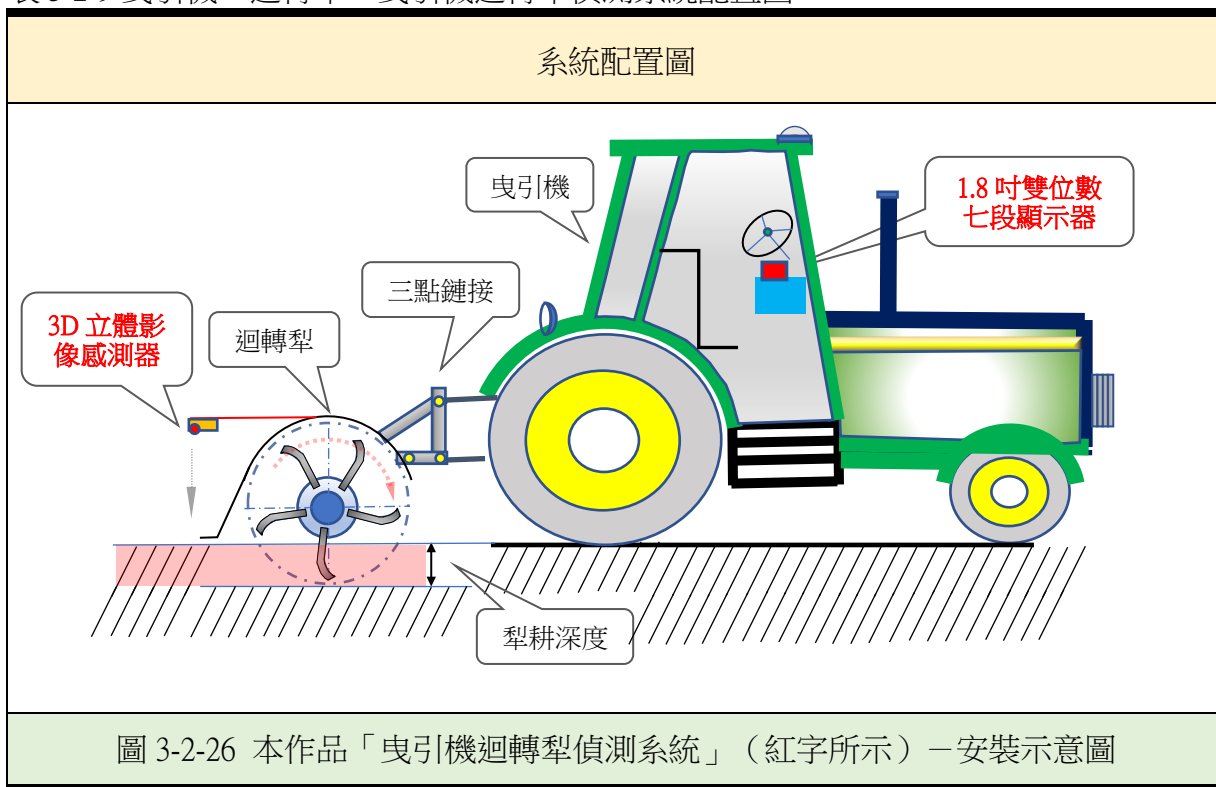


圖 3-2-26 本作品「曳引機迴轉犁偵測系統」(紅字所示)－安裝示意圖

(資料來源：作者自行繪製)

#### (六) 迴轉犁深度偵測系統－發明原因分析

有三個原因，讓作者想發明這個系統。

- 1、是每當看到父親開著曳引機下田，幾乎有一半的時間，頭是往後看迴轉犁的翻土深度。因此經過調查、上網查資料，並在一年一度的虎尾農機展，問了很多開曳引機的駕駛也是如此。本作品研發成功後，駕駛就不必經常轉頭往後看迴轉犁了，因而大幅減少撞上田埂、圍牆的意外事故。
- 2、當農場的土質太軟或遇到水田時，重達數噸的曳引機還沒翻土，輪子就已經下陷十幾公分了。這時由駕駛室控制迴轉犁深度的距離是不準確的，因為曳引機控制迴轉犁翻土深度的旋鈕，是從曳引機後輪最低點，到迴轉犁的最低點的距離，也就理論犁耕深度。如下圖 3-2-27 所示，此種狀況將導致：

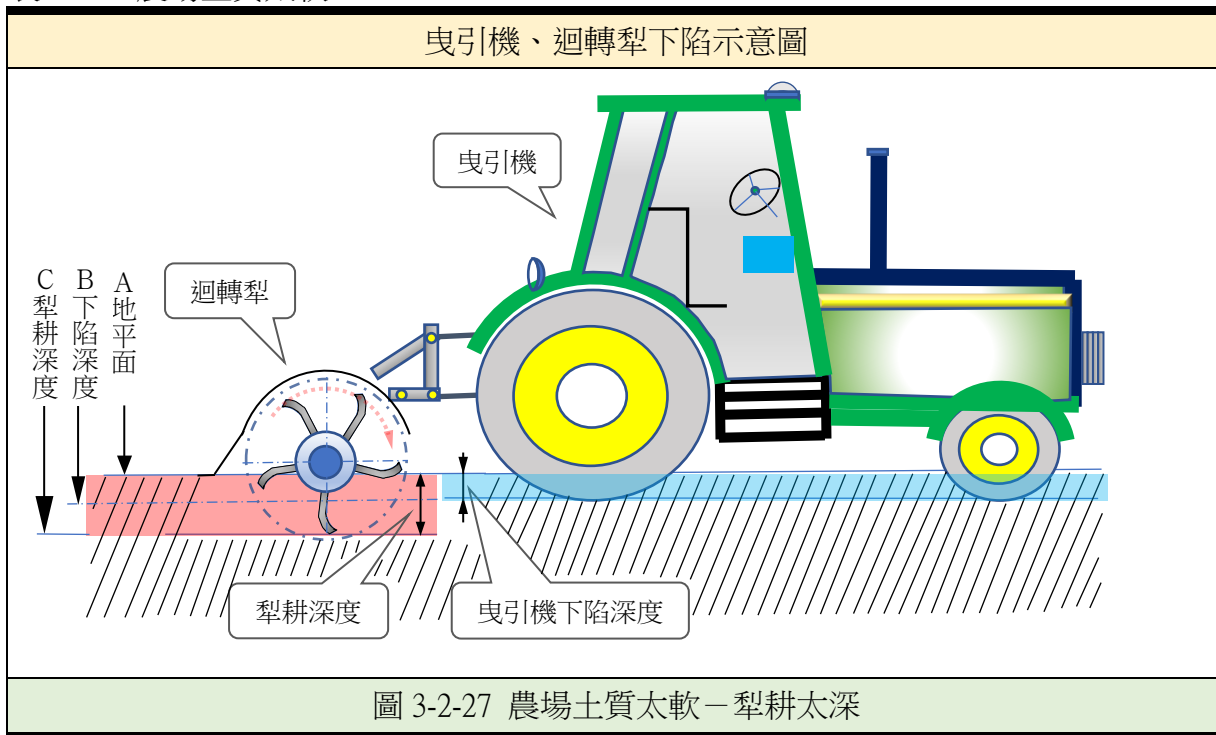
真實犁耕深度 > 旋鈕設定深度 (目標深度)



因為：真實犁耕深度 C = 旋鈕設定深度 + 下陷深度 B

此時，犁耕深度太深了，導致在此地的秧苗會被淹死、或被福壽螺吃掉！

表 3-2-10 農場土質太軟



(資料來源：作者自行繪製)

解決方法：將迴轉犁調高到土壤表面，再按下「按鈕開關」（歸零），直到看到數字「0」。之後主機內的顯示數字，即為當時的真實犁耕深度。

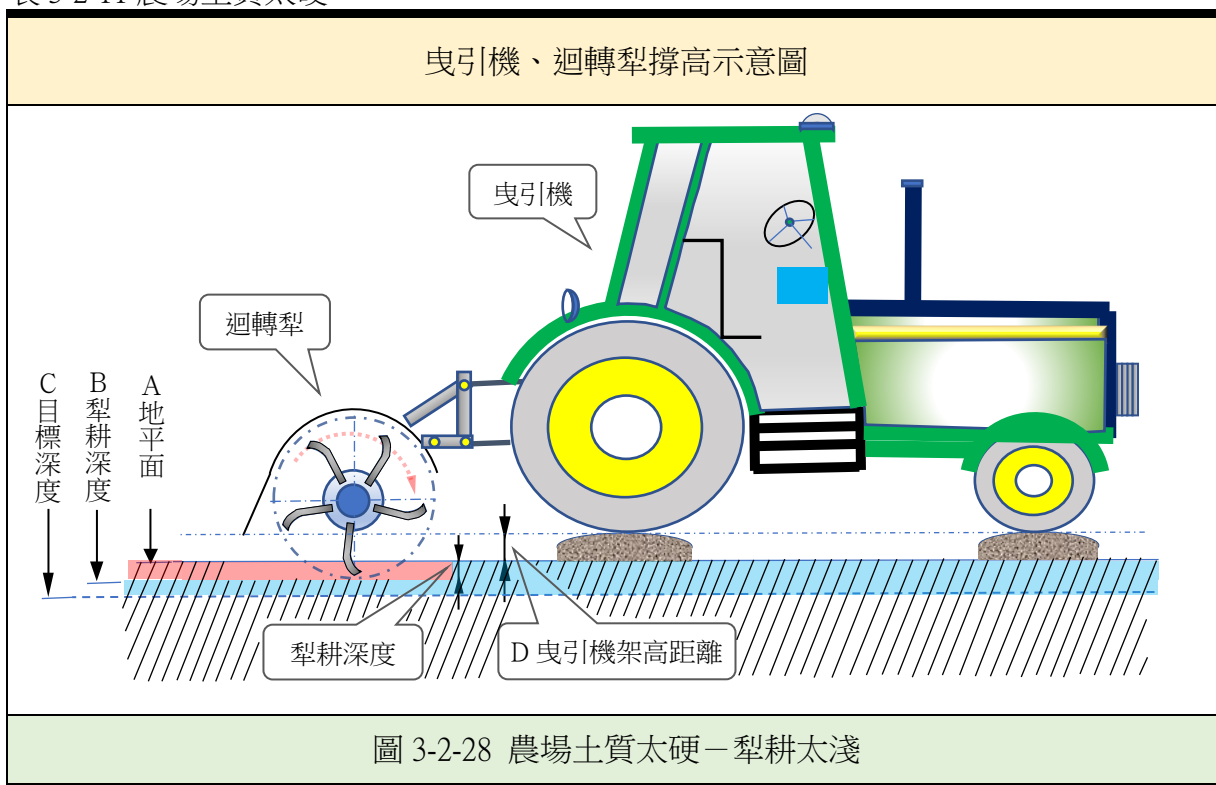
- 3、當農場的土壤土質太硬，或碰到高起的硬塊，曳引機的輪子如同被架高一樣（下圖 3-2-28），這時由駕駛室控制迴轉犁深度的距離不是真實要犁耕深度，反而太淺，因為此種狀況將導致：

真實犁耕深度 < 旋鈕設定深度（目標深度）

因為：真實犁耕深度 B = 旋鈕設定深度 C - 曳引機被架高距離 D

此時，犁耕深度太淺了，導致在此地的秧苗會枯死、甚至長雜草、被麻雀啄起！

表 3-2-11 農場土質太硬



(資料來源：作者自行繪製)

解決方法：將迴轉犁調降到土壤表面，再按下「按鈕開關」（歸零），直到看到數字「0」。之後主機內的顯示數字，即為當時的真實犁耕深度。

#### (七) 作品實際安裝測試

作者自創的「曳引機迴轉犁偵測系統」，先經由電腦測試（下表 3-2-12 的圖 3-2-29 所示），並調整參數（偵測最大深度、最小深度之臨界值）。先在室內測試無誤（圖 3-2-30、圖 3-2-31），最後移到田間實地測試（圖 3-2-33、圖 3-2-34）。正常後，開到農場實際操作（圖 3-2-35～圖 3-2-37）。完整測試、實際到農場測試結果如下表 3-2-9 所示。實際作業達 8 小時，主機可以隨時顯示數據，系統穩定，不曾當機。（上述作品的測試、實際作業的影片連結：<https://reurl.cc/O4xO23>）



表 3-2-12 作品測試流程

主機、感測器－連線測試	感測器－深度測試	主機安裝－穩定測試
		
作品在電腦測試正常運作	作品在室內測試－功能正常	主機安裝在儀表板上方
圖 3-2-29	圖 3-2-30	圖 3-2-31
感測器安裝支架	田間測試－深度歸零	田間測試－深耕功能
		
利用迴轉犁機構三點固定	犁耕深度 0 cm	犁耕深度 30 cm
圖 3-2-32	圖 3-2-33	圖 3-2-34
完成測試－實地操作	主機－顯示真實犁耕深度	作品運作－正常
		
作者親自開曳引機	駕駛不用轉頭看迴轉犁	儀表板上的數字十分清楚
圖 3-2-35	圖 3-2-36	圖 3-2-37

(資料來源：作者自行拍攝)

#### (八) 智慧噴桿

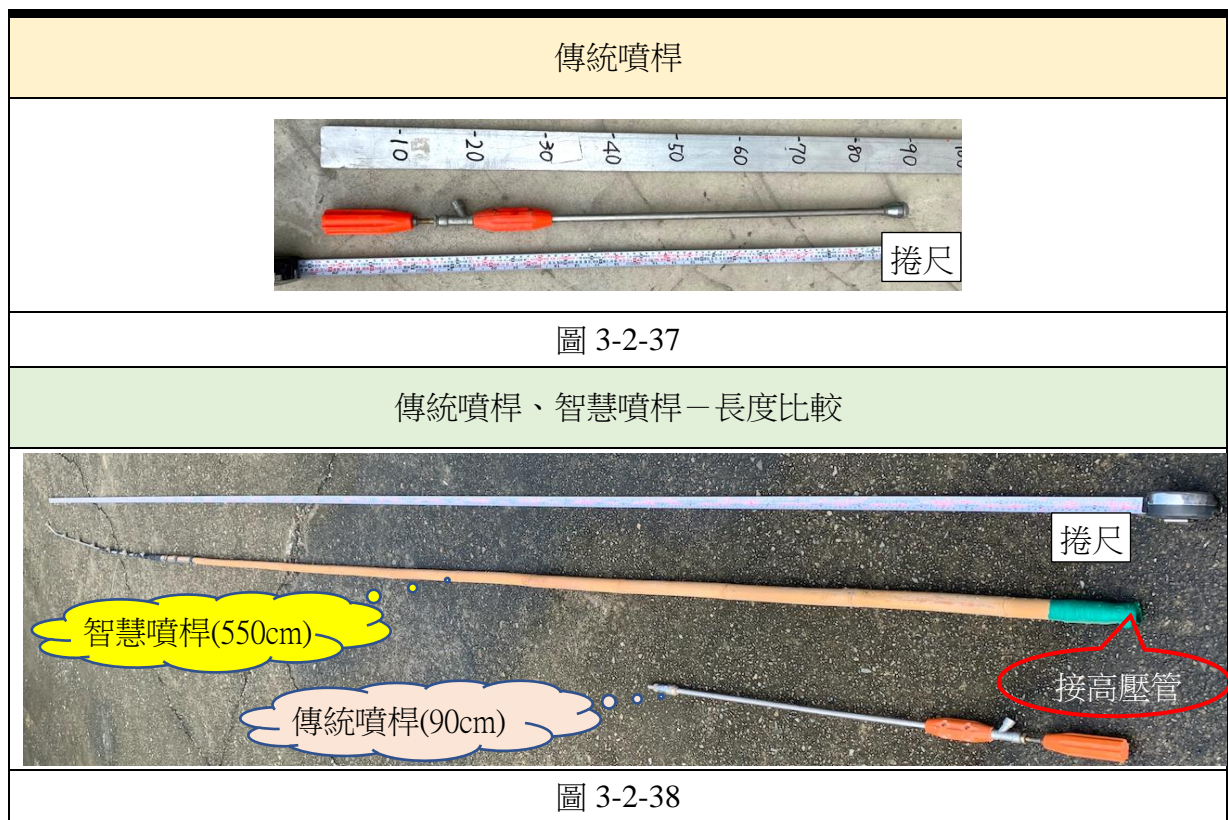
本噴桿具有：7 個噴霧孔、噴嘴全向下、噴出的霧化藥劑可以透過地面反射至作物背面的氣孔，所以稱為智慧噴桿。用來噴撒藥物、液肥，並利用噴嘴將管內液體細化的桿子，統稱為噴桿或噴霧桿。按材質可分為金屬（圖 3-2-37）、竹竿（圖 3-2-38）、碳

纖維（圖 3-2-42）等三種材質（表 3-2-12）。本作品用竹竿（又稱一代噴桿）為研究對象。備品則是用碳纖維材質的噴桿（又稱二代噴桿）。

1、系統元件：竹竿噴桿（14 尺）、七孔噴霧桿（4 尺）、玻璃纖維 2 片（1cmX90cm）。（圖 3-2-38）

2、組裝操作：將 3 尺長的傳統噴桿（圖 3-2-37），改成 14 尺長的竹竿噴桿（圖 3-2-38），並加上七孔噴霧桿，總長度可達 5.5 公尺。因為在噴撒作業時，高壓管內的水壓太大，所以在接合處會折斷，作者運用巧思，利用二條玻璃纖維將二個噴桿在接合處上下用水電膠帶固定補強，形成「智慧噴桿」。建構過程如下表 3-2-13 所示。

表 3-2-12 傳統噴桿、智慧噴桿比較



（資料來源：作者自行拍攝）

表 3-2-13 智慧噴桿—建構過程

1、串接七孔噴霧桿、竹竿並鎖緊



圖 3-2-39

2、將 2 片玻璃纖維夾在噴嘴二側、再用膠帶纏繞數圈

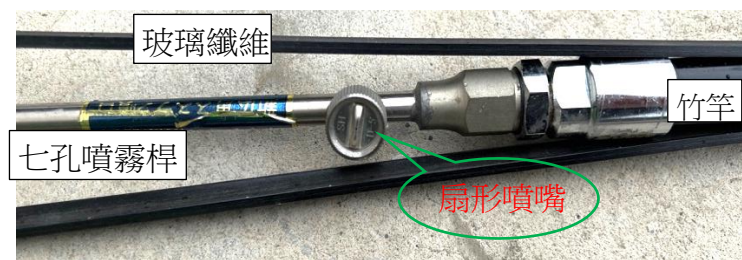


圖 3-2-40

3、安裝完成



圖 3-2-41

4、備品—碳纖維智慧噴桿



圖 3-2-42



## 肆、研究結果與討論

台灣的小農，平均每位小農耕地不到 1 公頃，導致智慧農業推行不易，加上栽培水稻的管理作業相當繁瑣，因此本研究用六個系統工程：「灌溉系統」+外掛「滴灌系統」「雜草抑制蓆」+「生物肥料」+「精準深耕」+「智慧噴桿」，解決了近 8 成栽培水稻的管理作業。其中「深耕作業」是目前全球面臨的困境，因為在耕地無法做到全面性的每一個點都是「精準深耕」，此時作物根系發展不一，總產量也無法達到一致，甚至差異不明顯，農民因而放棄，採慣行農法。

以下實驗數據的「測量時間」用碼錶計時（單位：秒），且重複 5 次，得到的數據採平均值並記錄。重量是用電子磅稱（單位：克）。所有測得數據均記錄在實驗日誌，結果如下。

### 一、研究結果

以下將這四大系統分別研究、統計結果如下。

#### （一）灌溉系統—研究建構灌溉水的工程時間、設備成本及含氧量結果分析

灌溉工程的四個子系統：攔水系統（將灌溉水攔阻下來的機制）、

過濾系統（將灌溉水過濾雜物的機制）

進水系統（控制灌溉水的水量到田間多寡的機制）

曝氣系統（增加灌溉水含氧量的機制）。

研究指標：灌溉水取得的建構工法、操作時間、及控制進水的管理時間。

實驗地號：台中清天朝天段農地的所在地號為 132、135、138，且均相鄰。


實驗結果：如表 4-1-1、表 4-1-2、表 4-1-3、表 4-1-4 所示。

表 4-1-1 灌溉工程－攔水系統

攔水系統－實驗結果					
	實驗地號	實驗工法	實驗現場操作照片	操作時間	設備成本
實驗組	135	將木板插入河溝旁二片白角鐵的槽溝內，攔阻水流，形同小水壩。木板的高度決定了攔水的深度。		30 秒	2000 元
對照組	132	將大小石頭、雜草、塑膠袋等物品堆砌成圍牆，達成阻水效果，堆砌的高度，決定了攔水的深度。		300 秒	0 元
結果分析	實驗組節省 10 倍時間、設備壽命平均每年 100 元。			節省 90%	增加 2000

(資料來源：作者自行拍攝整理)

表 4-1-2 灌溉工程－過濾系統

過濾系統－實驗結果					
	實驗地號	實驗工法	實驗現場操作照片	操作時間	設備成本
實驗組	135	進水口設置白鐵網，有效阻絕福壽螺、雜草進入田間、過濾效果極佳。		每天清一次 60 秒／次	每件平均 300 元
對照組	132	進水口無任何阻擋，福壽螺、雜草容易進入田間，增加水稻田除草劑使用量。		0 秒	0 元
結果分析	實驗組的二段過濾雜物，田間幾乎無雜草、每基平均減少 2 次除草時間。				

(資料來源：作者自行拍攝整理)

表 4-1-3 灌溉工程－進水系統

進水系統－實驗結果					
	實驗地號	實驗工法	實驗現場操作照片	操作時間	設備成本
實驗組	135	上下調整 L 型水管。 直立：停水。 放平：進水。 傾斜角度決定進水量。		15 秒	每件約 100 元
對照組	132	搬大小石頭、布、塑膠袋等塞入進水孔。		180 秒	0 元
結果分析	實驗組：精準控制進水量。對照組：易漏水、且進水量極難掌控。				

(資料來源：作者自行整理)

表 4-1-4 灌溉工程－曝氣系統

曝氣系統－實驗結果					
	實驗地號	實驗工法	實驗現場操作照片	操作時間	設備成本
實驗組	135	灌溉水超過攔水系統的木板時，水會翻過木板，衝擊河床，形成大量水泡（形成跌水效應）。		0	0 元 (攔水系統的附加功能)
對照組	132	灌溉水流動平緩，毫無任何水泡，無法增加水與空氣接觸面積。		0	0 元
結果分析	實驗組：觀察氣泡，平均粒徑在 1mm 到 5mm 之間，佔了總水量近 1/2 對照組：灌溉水沒有氣泡，含氧量無法提昇。				

(資料來源：作者自行整理)

討論分析：

透過建構的灌溉工程－曝氣系統，將灌溉水經由攔水系統製造落差，造成跌水效應（如圖 4-1-1），產生許多無數的小氣泡，將可使水中含氧量提高。因為氣泡粒徑越小，質量就愈輕，其上升速度就越慢，所以在水中滯留時間長，傳氧率就越高。所以粒徑 5mm 的氣泡在水中上升速度為粒徑 1mm 的氣泡的 1.6 倍，表示 1mm 的氣泡在水中的滯留時間為 5mm 氣泡的 1.6 倍[18]。氣泡粒徑、個數、與空氣接觸表面積分析如表 4-1-5。經計算結果在 1 立方公尺的體積下，氣泡粒徑 1mm 時，氣泡與空氣接觸的表面積為 6000 平方公尺（圖 4-1-1-1）。



圖 4-1-1 本研究作品「跌水效應」的真實效果  
（資料來源：作者自行拍攝）

表 4-1-5 曝氣系統－氣泡粒徑、個數、與空氣接觸表面積分析表

氣泡粒徑(mm)	氣泡數量(個)	氣泡總表面積(m <sup>2</sup> )
15mm(大氣泡)	5.60 x 10 <sup>5</sup>	400m <sup>2</sup>
10mm(粗氣泡)	1.91 x 10 <sup>6</sup>	600m <sup>2</sup>
3mm (小氣泡)	7.07 x 10 <sup>7</sup>	2000m <sup>2</sup>
1mm (細氣泡)	1.91 x 10 <sup>9</sup>	6000m <sup>2</sup>

（資料來源：Today Water Equipment。https://reurl.cc/nOe58d）

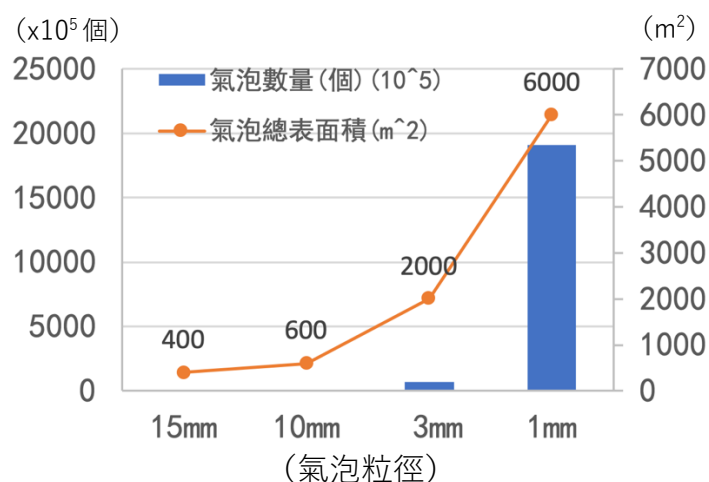


圖 4-1-1-1 氣泡粒徑、表面積、個數關係曲線  
(資料來源：作者自行繪製)

## (二) 雜草抑制蓆－工程效益

雜草抑制蓆的平均使用年限約為 5 年。一件寬 3 尺長 50 米抑制蓆約 550 元，每鋪一件，平均工資約 120 元。以每分地（約 293 坪）田埂使用約 8 件，統計使用效益分析，如下表 4-1-6。（以每分地 293 坪計算）

表 4-1-6 雜草抑制蓆－效益分析（單位：元）

	實驗工法	實驗地號	初期材料費	人力成本	預計 5 年總成本	換算每年成本	備註
實驗組	雜草抑制蓆	135	4400	960	5360	1072	耐用 5 年
對照組	噴灑除草劑	138	450	250	21000	4200	每年 6 次
成本增減			增加 3890	增加 710	減少 15640	節省 74.5%	每年節省 3128

(資料來源：作者自行整理)

討論分析：雜草抑制蓆的使用在台灣不普遍，經過調查結果有以下原因：

- 1、期初費用太高：平均每分地 1071 元，等於每位耕地 1 公頃的農地，就要花費 1 萬多元，是多數農民無法接受的。
- 2、習慣慣行農法：雜草抑制蓆施工不熟，傳統慣行農法數十年，習慣難改變。



3、沒做工程效益量化評估：市價每台斤 10 元左右的稻米，要用掉 100 多斤才能買一分地的抑制蓆。再者不能接受塑膠蓆可以使用 5 年以上，因為肥料袋都撐不了一年。沒有成本分攤的概念，就不會做效益評估。

表 4-1-7 雜草抑制蓆－實驗照片

雜草抑制蓆－實驗結果					
	實驗地號	實驗現場照片	實驗分析	植株高度	設備成本
實驗組	135		田埂使用雜草抑制蓆（右下），不用噴除草劑，田間溶磷菌不被傷害，肥效佳產量自然高。	110 cm	每年 1072 元
對照組	138		田埂每二個月噴除草劑時（左下），作物受到感染，稻株乾枯、矮小黃化之急性傷害。	35cm	每年 4200 元
實驗組 VS. 對照組	135 VS. 138		右上是實驗組：作物生長茂盛。  左下是對照組：作物生長障礙矮小，無法抽穗。	相差 75cm	節省 74.5%
結果分析	對照組的作物受到除草劑傷面積，由最嚴重的田埂旁，延伸至中間，受害面積近全區的 1/3。作物產量減少近 3 成。				



（資料來源：作者自行整理）

### (三) 生物肥料－成本、產量分析

種植水稻，每一期（半年）生產成本，幾乎是固定的，變化不大，平均每公頃的生產成本大約 10 萬元（肥料 40 包、藥物約 6000 元）。

本研究每分地使用溶磷菌 1 包，每包 550 元（已扣除政府補助一半）。使用溶磷菌所增加成本每分地為 550 元，產量與收益統計如下表 4-1-8，產量表現分析如下表 4-1-9。採樣分析如下表 4-1-10。

表 4-1-8 產量與收益（生物肥料－溶磷菌效益分析）（以 2.5 分地統計）

生物肥料－實驗結果						
	實驗地號	實驗成果照片	實驗分析	植株高度	設備成本	產量
實驗組	132 135		溶磷菌最怕含有銅劑的農藥，尤其是除草劑。由左圖本實驗也證明「雜草抑制蓆」+「溶磷菌」，溶磷菌得以發揮最大功效。	110 cm	1375 元	1076 kg
對照組	132 135		磷肥非常容易與土壤中的正離子（鈣、鐵、鋁、鎂等）結合成無機磷，同時流性高，約只有 20% 被吸收。	90cm	0 元	872 kg
結果分析	產量增加 23.4%。生物肥料－溶磷菌可以增加土壤中磷肥的有效應用、預防土壤病害發生、減少連作障礙，同時可以改良土壤，讓植物根系發展旺盛，產量自然大增。產量合計 1948kg					

（資料來源：作者自行整理）

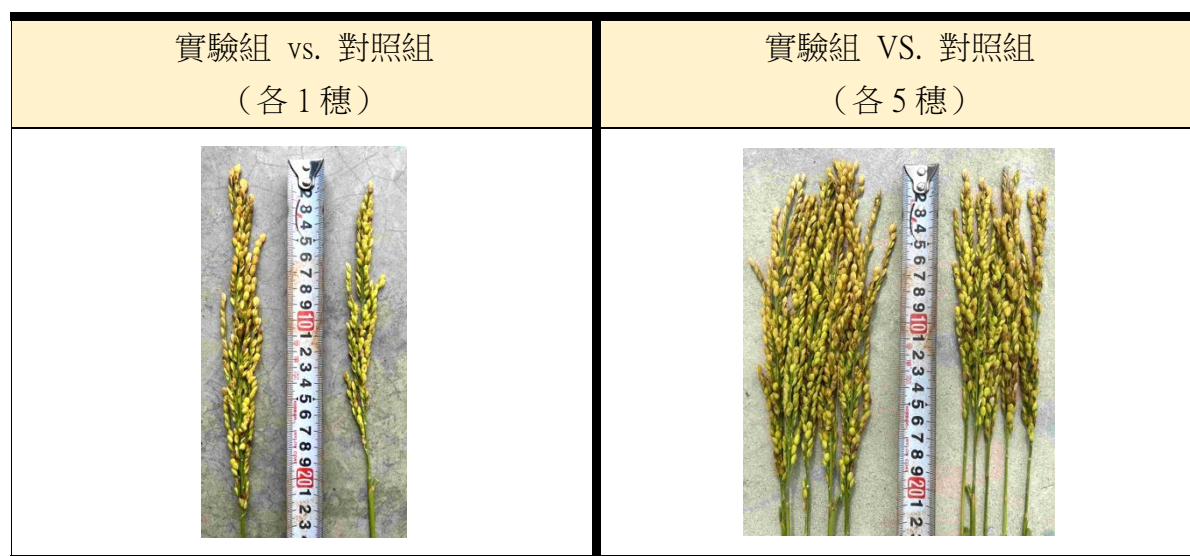
表 4-1-9 產量表現分析

	實驗組	對照組
株高(cm)	110	95
有效穗數	25	20
穗長(cm)	21	18
每穗稻穀粒數	141	116
每櫟稻穀重(g)	54.4	40.3
千粒重(g)	30.2	27.6
稔實率(%)	86	74
實驗地號	132、135	132、135
總產量(公斤/2.5 分)	1076	872

(資料來源：作者自行整理)

討論分析：總產量由農會出具「農會收購公糧稻穀聯單」，表 5-1-9 (六)。

表 4-1-10 採樣分析



(資料來源：作者自行拍攝)

討論分析：

實驗組(尺的左邊)很明顯看出，植株高(110cm)、穗又長，比對照組(尺的右邊)的植株矮(90cm)、穗又短的，外觀上看出差異，表現在產量上差異也很明顯。

#### (四) 智慧噴桿

實驗結果，如圖 4-1-2 所示。比較分析結果如下表 4-1-11。

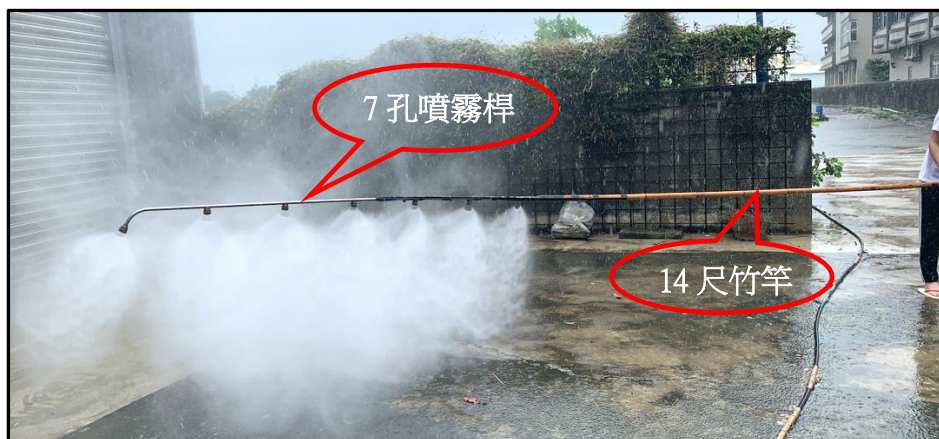


圖 4-1-2 智慧噴桿—操作效果  
(資料來源：作者自行拍攝)

表 4-1-11 智慧噴桿、傳統噴桿—實驗結果比較分析

	實驗組 (智慧噴桿)	對照組 (傳統噴桿)
設備長度	5.5m	0.9m
噴霧孔數	7 孔	1 孔
作業角度	180 度	180 度
作業半徑	12m	6m
人與藥劑距離	4m	0.9m
平均效能(每公頃作業時間)	1 小時	3 小時
藥劑噴散方向	往下	往前、往上
藥劑噴散形狀	全霧狀	水霧狀
作物接觸藥劑位置	葉子上面、背面	葉子上面
藥劑接觸植物氣孔面積	100%	40%

(資料來源：作者實驗數據自行整理)

討論分析：

- 1、安全分析：實驗組大幅減少藥物與人的接觸距離近 4 倍、接觸時間減少 3 倍。

2、效果分析：實驗組的噴嘴朝下，並透過扇形噴嘴將藥劑全完霧化，將使作物葉子正面接觸藥劑，同時有一半霧化的藥劑碰到土壤後會反彈，接觸到葉子最多氣孔的背面，效果十分良好將近 100%。對照組的噴嘴朝前，考量噴射距離，故無法將藥劑全霧化，因此藥劑只能接觸植物上面，只有少部份流到葉子背面效果只有 40%。

3、推廣分析：在中部，此法是創舉，因為總長太長，接合處結構太弱、易斷，造成大多數農民不用，或者多數人怕斷開，而只用 2 孔噴霧桿，效率不張。所以本實驗是在七孔噴桿與竹竿接合處放入二條玻璃纖維，再利用膠帶纏繞固定，以加強二者的強度，就能解上述問題。

#### (五) 曳引機迴轉犁偵測系統

研究「精準深耕」25cm 的精確度。結果分三部份：程式碼、電路接線圖、實際犁耕結果。

##### 1、程式碼

程式碼設計原理來自以下二個性質：

(1) 「迴轉犁從土壤表面開始下降犁耕的深度」=「翻土深度」=「犁耕深度」

(2) 迴轉犁「翻土深度」與「感測器測得土壤表面的深度」成「線性反比」。

因此透過 Arduino C 的 IDE 編輯，包括 setup()、loop() 基本函式，再自行設計一個專門顯示犁耕深度的副程式 Seven\_segment\_display()。經過多次實驗測試，同時具有自動調整「最大翻土深度」的功能（按下微動開關），完整程式碼，如下表 4-1-12 所示。



表 4-1-12 程式碼－曳引機迴轉犁偵測系統

作品完整程式碼 (Arduino C)	
<pre> //程式的主要功能是：測量犁耕深度，並顯示在駕駛室儀表板上方的七段顯示器 //          犁耕深度 = 設定的最大深度(max)－目前測得深度(now) //          每按一次按鈕開關，重新測得深度，並更新成最大深度 //變數宣告.          //按鈕開關 int Button_Pin = 5;          //按鈕開關 pin 接腳位 5           // 1.8 吋七段顯示器模組－參數設定 const byte dataPin = 2;    // 74HC595 data 接腳位 2 const byte latchPin = 3;   // 74HC595 storage register 接腳位接腳位 3 const byte clockPin = 4;   // 74HC595 data clock 接腳位 4 byte tens ,units;          //顯示十位數字 tens、個位數字 units uint16_t now_distance_cm  , min_measure_cm = 1 , max_measure_cm = 53 ;           //目前偵測、最小、最大測量深度初始值 const byte LED_1[10] = { B00000001, B11001111, B10010010, B10000110, B11001100,           B10100100, B10100000, B10001111, B10000000, B10001100 };           //依序記錄七段顯示器個位數 0~9 的編碼 const byte LED_2[10] = { B00000001, B11001111, B10010010, B10000110, B11001100,           B10100100, B10100000, B10001111, B10000000, B10001100 };           //依序記錄七段顯示器十位數 0~9 的編碼           //TMF8701 ToF 系列傳感器參數設定 #include "DFRobot_TMF8x01.h"    // DFRobot 傳感器載入模組 #define EN    -1 #define INT    -1 DFRobot_TMF8701 tof(EN, INT);    //宣告 TMF8701 ToF 物件變數名稱 uint8_t caliDataBuf[14] =          //TMF8701 ToF 校正資料     {0x41,0x57,0x01,0xFD,0x04,0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0x04};           //作者自訂副程式 (顯示數字在七段顯示器) void Seven_segment_display ( byte tens_digital , byte units_digital ) {     digitalWrite ( latchPin, LOW );    // 關上閘門     shiftOut ( dataPin, clockPin, LSBFIRST, LED_1 [ units_digital ] );           //先推入「陣列 A」。個位數的 index = units_digital     shiftOut ( dataPin, clockPin, LSBFIRST, LED_2 [ tens_digital ] );           //再推入「陣列 B」。十位數的 index = tens_digital     digitalWrite ( latchPin, HIGH );    // 開啟閘門 </pre>	

```

    delay(200);                // 暫停 200ms
}
void setup() { //Arduino 內建函式，送電後第一個執行的函式，且只執行一次
    pinMode(Button_Pin, INPUT);    //宣告「按鈕開關」pin 腳模式
    pinMode(latchPin, OUTPUT);     //宣告「七段顯示器」latch 的 pin 腳模式
    pinMode(clockPin, OUTPUT);     //宣告「七段顯示器」clock 的 pin 腳模式
    pinMode(dataPin, OUTPUT);      //宣告「七段顯示器」data 的 pin 腳模式
    Serial.begin(9600);            // Serial Initialization
    delay (500);
    tof.begin ();                 //啟動 TMF8701 ToF 模組
    tof.startMeasurement(tof.eModeCalib, tof.eCOMBINE);
}

    //主程式 — Arduino 內建函式，會一直循環執行的 loop()函式
void loop() {
    delay(250);
    tof.isDataReady();           //感測器函式庫啟動呼叫
    now_distance_cm = round ( tof.getDistance_mm() / 10.0 );
                                //感測器取得實際測量深度 mm，並轉為整數 cm
    if ( digitalRead (Button_Pin) == HIGH ) { //按鈕開關被按下，重新設定最大深度
        delay(500);              //防接觸點彈跳
        max_measure_cm = round ( tof.getDistance_mm() / 10.0 );
    }                             //感測器測量深度
    if ( now_distance_cm > max_measure_cm ) {
        Seven_segment_display ( 9 , 9 ); //overflow:測量深度超出設定的最大深度
    }
    else if ( now_distance_cm < min_measure_cm ) {
        Seven_segment_display ( 8 , 8 ); //underflow:測量深度小於設定的最小深度
    }
    else {                         //顯示「最大深度－目前深度」的差距
        now_distance_cm = max_measure_cm - now_distance_cm ;
        tens = now_distance_cm / 10; // 取十位數字
        units = now_distance_cm % 10; // 取個位數字
        Seven_segment_display ( tens , units ); //顯示 (十位數字、個位數字)
    }
}
}

```

(資料來源：作者自行設計)

程式流程圖：如下圖 4-1-3。

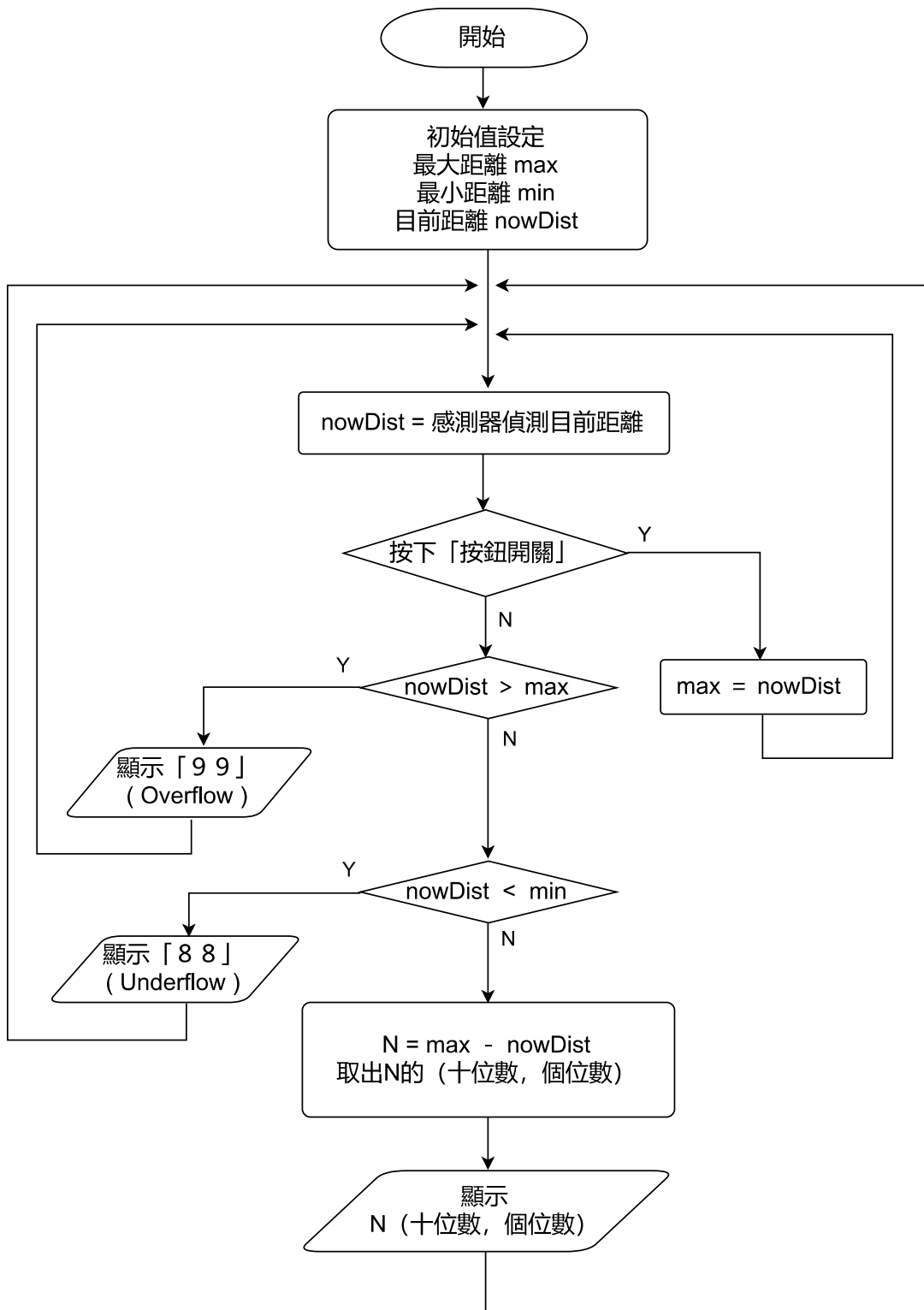


圖 4-1-3 程式流程圖

(資料來源：作者自行繪製)



2、電路接線圖：Arduino 主控板、感測器、七段顯示器、按鈕開關、電池盒接線、電阻，如下圖 4-1-4。

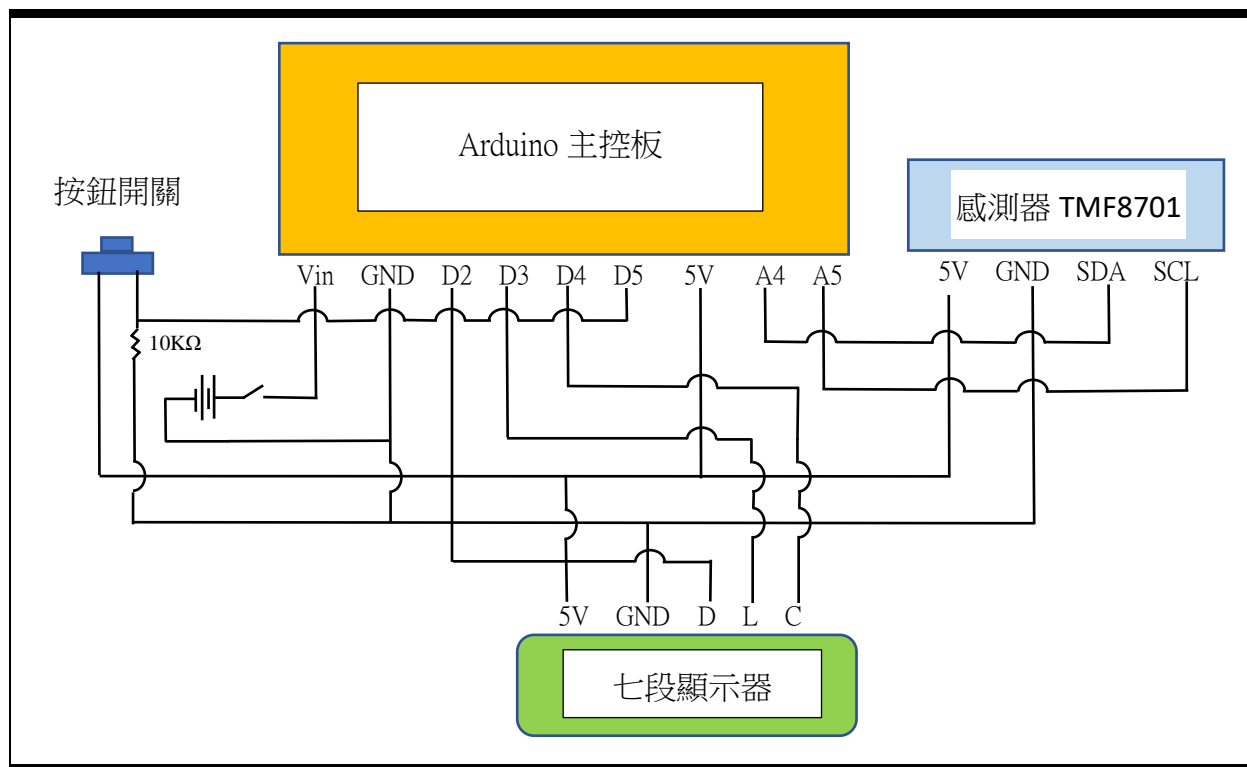


圖 4-1-4 電路接線圖  
(資料來源：作者自行繪製)

### 3、實際犁耕結果

實驗面積：1.3 公頃農地。

實驗地號：10 筆實驗地號。表 4-1-12

採樣方式：九宮格+中心點共 10 個採樣點，分別編號 A~J。表 4-1-12

目標深度：25cm

實驗結果：10 筆地號實際犁耕結果，實驗數據如下圖 4-1-5。

表 4-1-13 深度測量－實驗結果比較分析

	實驗組	對照組
犁耕深度測量		
深度分析	接近 25cm	接近 15cm

採樣點數(每筆地號)	10 個	10 個
採樣方式(每筆地號)	九宮格+中心點	九宮格+中心點

(資料來源：作者實驗數據自行整理)

表 4-1-14 實驗組犁耕深度－實際測量統計表 (目標深度 25cm)

採樣點 實驗地號	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
118	24	25	24	25	27	26	24	24	25	25
118-1	25	25	26	24	26	25	27	26	25	25
175	26	24	25	25	25	26	25	26	23	25
175-1	26	25	23	24	25	26	26	26	25	25
176	25	24	25	25	26	23	25	25	26	24
325	27	25	26	24	26	28	26	25	26	26
332	25	24	25	25	26	26	24	24	25	24
361	23	24	26	26	25	25	24	25	23	26
362	24	25	26	23	25	24	24	25	25	27
780	25	24	24	25	26	24	25	26	24	25

(資料來源：作者自行測量)

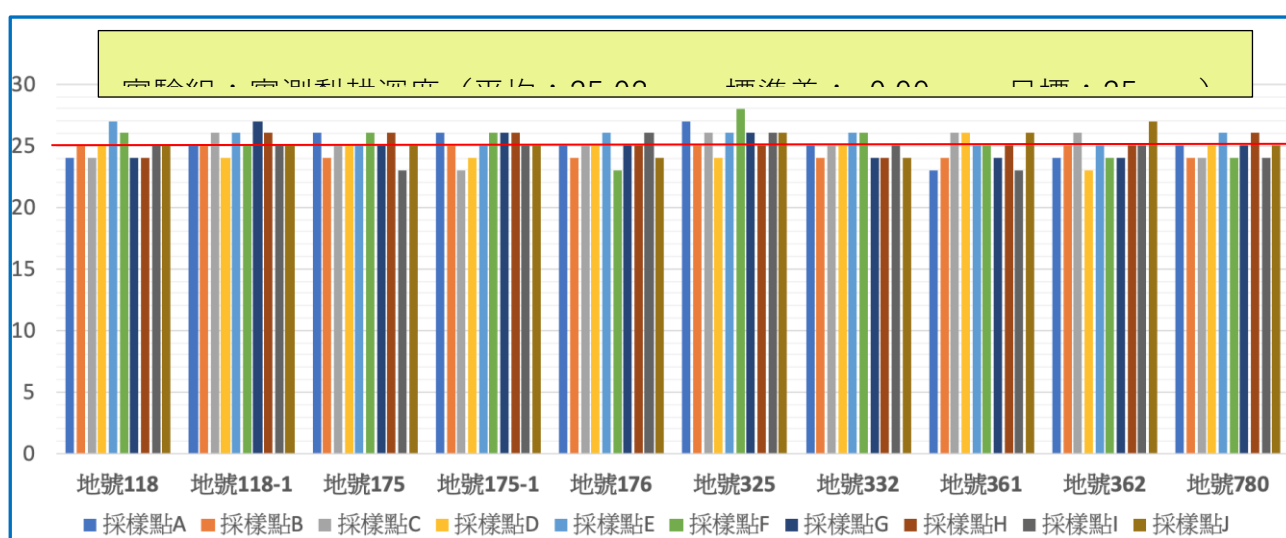


圖 4-1-5 實際犁耕結果－實驗組 (目標值：25cm)

(資料來源：作者自行繪製)

表 4-1-14-1 對照組犁耕深度－實際測量統計表（目標深度 25cm）

採樣點 實驗地號	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
118	22	25	28	14	13	22	16	19	13	26
118-1	27	19	20	12	16	25	18	13	16	22
175	20	14	21	25	15	11	20	18	26	15
175-1	12	22	25	13	20	17	27	13	15	20
176	20	27	17	13	12	14	28	22	13	21
325	27	21	13	16	21	25	15	12	24	16
332	20	24	13	27	18	20	25	14	13	22
361	20	12	15	22	16	27	13	20	19	14
362	12	23	17	27	14	24	16	26	13	20
780	19	28	26	22	18	13	16	24	27	16

（資料來源：作者自行測量）

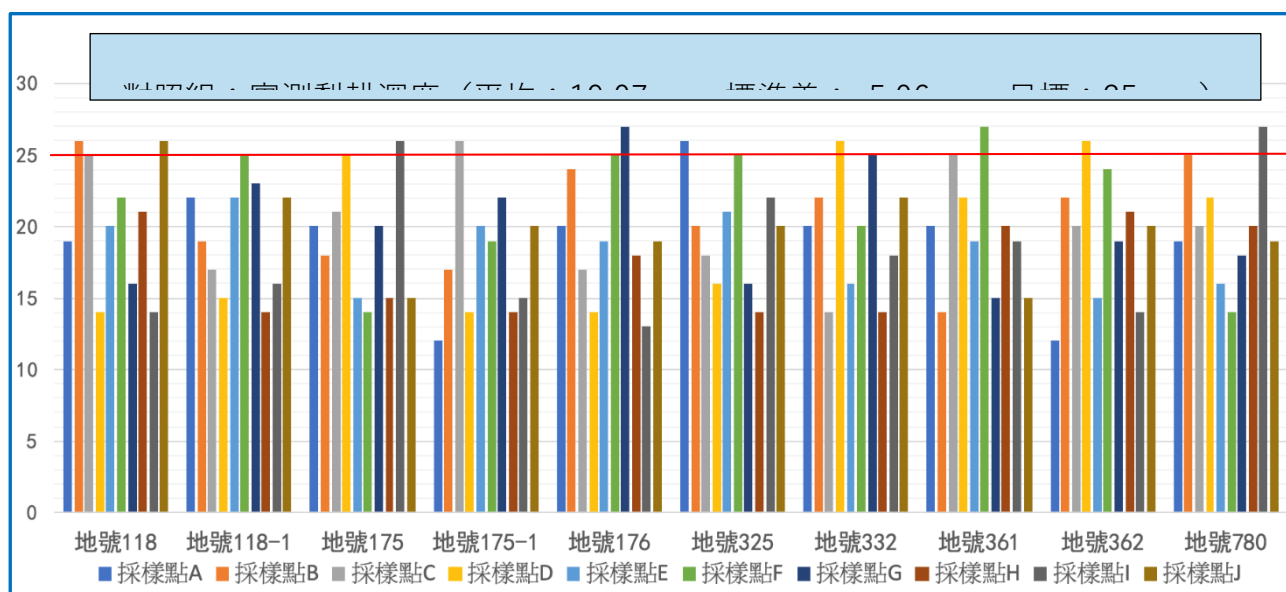


圖 4-1-5-1 實際犁耕結果－對照組（目標值：25cm）

結果分析：

- (1) 由表 4-1-14 的 100 個採樣點，得到的數字觀察，距離深耕目標 25cm 的誤差在落在 2~3cm 之間。從圖 4-1-5 及圖 4-1-5-1 看出，實驗組犁耕深度非常穩定，標準差只有 0.99cm。

- (2) 實地作業時，另外也發現，駕駛開曳引機的速度愈慢、技術熟練後，誤差會變小，如地號 780 的數據，因為駕駛看到螢幕時的反應速度會跟得上操作曳引機迴轉犁的動作時間。
- (3) 實驗現場也看出駕駛曳引機時，頭不用一直往後轉看迴轉犁（上圖 3-2-36）。
- (4) 同時在駕駛室的儀表板上方，看到本作品的主機螢幕，顯示的犁耕深度十分明亮且清楚（上圖 3-2-37）。

#### （五）產量比較分析

本實驗研究曳引機加上自創的「曳引機迴轉犁偵測系統」後，在耕地的每一寸土地，全面達成「精準深耕」。

上表 4-1-14 所示扣除地號 361 面積得到的實驗控制變因相同，應變變因為產量變化，結果如下表 4-1-15。

表 4-1-15 產量比較分析（實驗面積：1.2334 公頃）

操縱變因 \ 實驗期別	109 年	111 年
	對照組	實驗組
灌溉系統	√	√
雜草抑制蓆	√	√
溶磷菌	√	√
精準深耕		√
總產量	13576( kg )	15337( kg )
工程效益		增加 12.97%

（資料來源：作者自行整理）

結果分析：1. 從上表得知操縱變因為本作品的「曳引機迴轉犁偵測系統」時，在大規模的實驗面積下，總產量增加 12.9%。

2. 實驗面積相同。因為實驗組農會申報面積 1.3028 公頃，扣除地號 361 面積 0.0694 公頃（產量 864kg），所得實驗面積 1.2334 公頃等於對照組面積，所以控制變因相同。

（六）控制變因：歷年溫度、雨量

因為統計實驗期間有 5 年，下表 4-1-16 是中央氣象局提供，實驗期間的溫度、雨量。

表 4-1-16 中央氣象局－歷年溫度、雨量統計表（單位：度）

年份 月份	106 年	107 年	108 年	109 年	111 年	平均數	標準差	颱風數
3 月	19.6	20.2	20.6	21.5	20.6	20.50	0.69	0
4 月	23	23.7	24	21.5	23.1	23.06	0.97	0
5 月	26.2	27.8	25.1	27.2	24.2	26.10	1.48	0
6 月	26.9	28.2	28.1	29.3	28.2	28.14	0.85	0
平均溫度	23.93	24.98	24.45	24.88	24.03			

圖 4-1-6 歷年溫度

（資料來源：中央氣象局網站下載、作者自行整理）

結果分析：

- 1、種植水稻的月份，每年 3~6 月。根據中央氣象局農業氣象觀測網監測系統統計，在 109、111 年 3~6 月的溫度分別為 21.5 21.5 27.2 29.3（平均 24.8 度）及 20.4 23.0 28.2 27.6（平均 24.9 度），誤差 0.1 度，且無颱風[20]，故不影響產量。因此本研究的實驗組、對照組的控制變因（溫度、雨量）視為相同。
- 2、操縱變因－「精準深耕」：由上表 4-1-15 數據得知，實驗組、對照組真實反應了，傳統的犁耕效果不佳，表現在產量上（應變變因）的差異為 12.97%。

## 伍、結論與應用

### 一、研究結論

本研究將以六大系統的工程效益量化評估，分別結論，再做整體結論，將更能發現唯有在「六大系統」協同效應的加乘作用下，方能得到最大的產量。

實驗數據的參數假設：不鏽鋼使用年限為 50 年、PVC 水管使用年限為 10 年

(一) 灌溉系統—以時間、設備成本、工程效益比較，如下表 5-1-1、圖 5-1-1。

表 5-1-1 灌溉系統—工程效益量化評估統計表（以每分地計算）

灌溉系統效益—量化評估分析表						
	攔水系統		過濾系統		進水系統	
	操作時間 (秒)	設備成本 (元)	操作時間 (秒)	設備成本 (元)	操作時間 (秒)	設備成本 (元)
實驗組	30	2000 (40 元/年)	60	300 (6 元/年)	15	100 (10 元/年)
對照組	300	0	0	0	180	0
工程 效益	減少 10 倍	增加 40 元	增加 60 秒	增加 6 元	減少 12 倍	增加 10 元

(資料來源：作者自行整理)

■ 實驗組 ■ 對照組

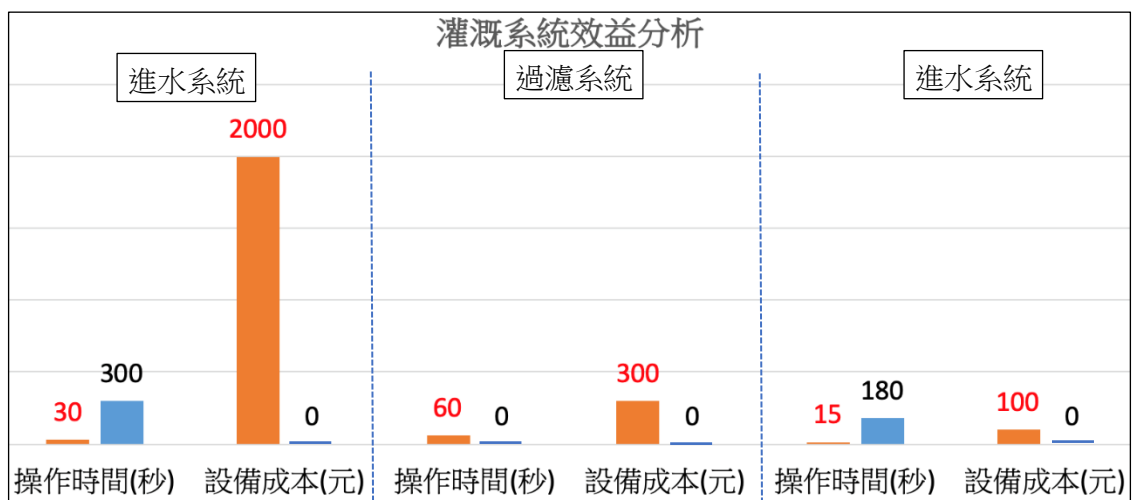


圖 5-1-1 灌溉系統—操作工程的時間、設備成本比較（資料來源：作者自行繪製）

結論：由量化分析結果，得知平均每年多花 56 元，時間少 10~12 倍。這是本研究六大系統重要精髓之一。

## (二) 曝氣系統－測量水中含氧量

使用 AZDO7031 微電腦溶氧測試儀，在每塊農地採四個測量點：入水口前、一次曝氣後、二次曝氣後、出水口前、三次曝氣後，共 5 個採樣點。

測量方式：檢體採集後，靜放 5 分鐘後開始測量，此時數據一直變化中，在第 5 分鐘時記錄數據。結果如下表 5-1-1-1。

表 5-1-1-1 曝氣系統－實測結果 (mg/L) (32°C)

曝氣系統－實驗結果					
採樣點 測量地號	入水口前	一次曝氣	二次曝氣	田中(出水口前)	三次曝氣
地號 118	3.01	6.18	7.12	2.26	2.95
地號 118-1	3.13	6.75	6.93	2.38	2.62
地號 175	3.28	6.96	6.88	2.58	3.01
地號 175-1	3.17	6.87	7.28	2.46	2.82
地號 176	3.44	6.69	6.91	2.22	2.93
地號 325	3.08	6.32	7.29	2.56	3.08
地號 332	3.04	6.25	7.22	2.23	2.94
地號 362	3.11	6.47	7.49	2.21	2.98
地號 780	2.92	6.06	7.13	2.84	3.04
平均	3.13	6.51	7.14	2.42	2.93

(資料來源：作者實際測量統計)



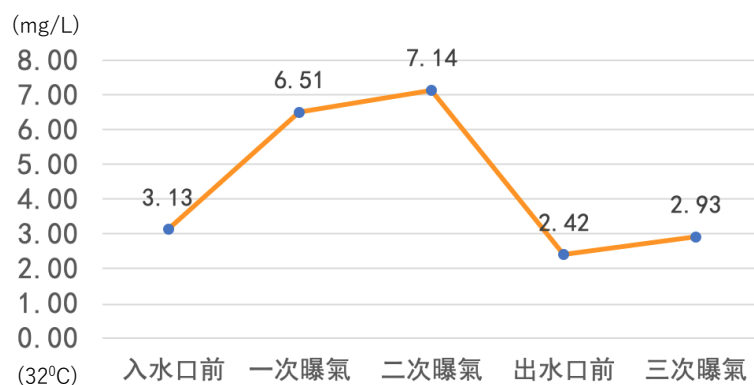


圖 5-1-1-1 曝氣系統－工程效益曲線圖

(資料來源：作者自行繪製)

結論：本作品二次曝氣系統將灌溉水含氧量，有效提高 4mg/L。同時也觀察出，農田在 32 度的高溫下，水中溶氧度很低，同時作物耗氧量非常大，由圖 5-1-1-1 得知灌溉水含氧量從 7.14 mg/L 降到 2.42 mg/L 即可看出。

## (二) 溶磷菌－成本與收益分析

實驗地號：132、135。實驗時間：111 年 3~6 月，結果如下表 5-1-2。

表 5-1-2 溶磷菌－工程效益統計表 (收益：以 2.5 分地產量，每台斤 10 元計算)

生物肥料－溶磷菌效益分析表 (量化評估)			
	產量(kg)	成本(元)	收益(元)
實驗組	1076	1375	17930
對照組	872	0	14530
工程效益	增加 23.4%	增加 1375 元	增加 3400 元

(資料來源：作者自行整理)

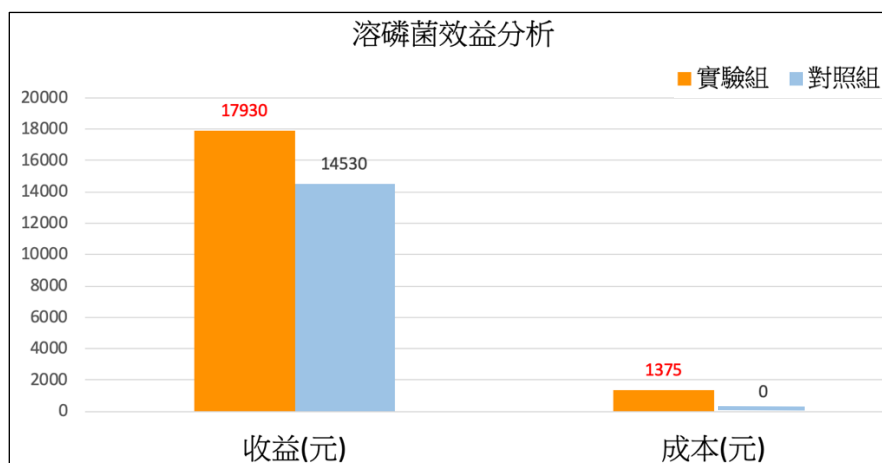


圖 5-1-2 生物肥料－溶磷菌工程效益統計圖  
(資料來源：作者自行繪製)

結論：

- 1、以每 2.5 分地，多花 1375 元，多賺 3400 元。淨賺 2025 元。每甲地近萬元。
- 2、本實驗得到的真實數據，與生產溶磷菌的生技公司實驗數據誤差 5% 以內。

### (三) 雜草抑制蓆－工程效益

對產量無直接助益，只有效降低管理時間的優勢。若配合生物肥料－溶磷菌，對產量的提升不容忽視，本實驗看到了真實數據。

實驗地號：132、135。實驗時間：111 年 3~6 月。

操作工程效益、成本比較，如下表 5-1-3、圖 5-1-3。

表 5-1-3 雜草抑制蓆－工程效益統計表 (以每分地計算)

	初期材料費(元)	人力成本(元)	平均每年成本(元)
實驗組	4400	960	1072
對照組	450	250	4200
工程效益	增加 3890 元	增加 710 元	節省 3128 元 (74.5%)

(資料來源：作者自行整理)

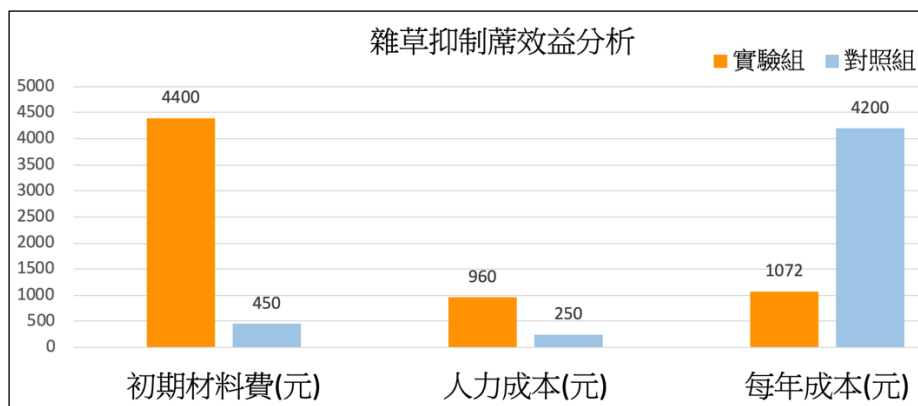


圖 5-1-3 雜草抑制蓆－效益統計圖

(資料來源：作者自行繪製)

結論：使用雜草抑制蓆，除草劑農藥支出每年減少 3128 元（每分地）。農民減少用除草劑每年至少 6 次，大幅減少農民罹癌風險，同時讓本研究的「溶磷菌」不會受到銅劑傷害，效果得以揮發。這種量化分析結果是農民看不到的隱藏附加價值。

#### (四) 總產量分析

1、本研究實驗的變因如下。

操縱變因：「灌溉系統」、「雜草抑制蓆」、「生物肥料－溶磷菌」、「精準深耕」

控制變因：相同地點的實驗農場地號、面積（公頃）、氣溫、雨量。

應變變因：總產量。

本實驗的控制變因中，實驗所在農場地點、面積如下表 5-1-4、表 5-1-5 所示。

表 5-1-4 控制變因－種植面積（實驗農地所在地號、面積－公頃）

控制變因	118	118-1	175	175-1	176	325	332	362	780	合計
實驗期別	0.1162	0.0661	0.1458	0.1191	0.1124	0.1403	0.2374	0.2173	0.0788	1.2334
106 年	√	√	√	√	√	√	√	√	√	1.2334
107 年	√	√	√	√	√	√	√	√	√	1.2334

108 年	V	V	V	V	V	V	V	V	V	1.2334
109 年	V	V	V	V	V	V	V	V	V	1.2334
111 年	V	V	V	V	V	V	V	V	V	1.2334

(資料來源：作者自行整理)

說明：控制變因的每一欄，上面數字為地號、下面小數點數字為面積。

表 5-1-5 控制變因－平均溫度 (3~6 月)

實驗期別 實驗月份	106 年	107 年	108 年	109 年	111 年	平均數	標準差
3 月	19.6	20.2	20.6	21.5	20.6	20.05	0.69
4 月	23.0	23.7	24.0	21.5	23.1	23.06	0.97
5 月	26.2	27.8	25.1	27.2	24.2	26.10	1.48
6 月	26.9	28.2	28.1	29.3	28.2	28.14	0.85
3~6 月中部颱風數	0	0	0	0	0		
平均溫度(標準差)	23.93	24.98	24.45	24.88	24.03	24.45	0.99

(資料來源：中央氣象局資料統計)

說明：作物生長的月份為 3~6 月。每年同月份的標準差在 1 度左右，年平均溫度誤差很小 (5% 以內)，且無颱風，故不影響產量。因此控制變因視為相同。

## 2、操縱變因、應變變因分析

用三種分析表呈現：

- (1) 六大系統 vs. 總產量 (表 5-1-6)
- (2) 六大系統 vs. 總產量 vs. 管理時間 (表 5-1-7)
- (3) 六大系統 vs. 總產量 vs. 管理成本 vs. 淨收入 (表 5-1-8)

表 5-1-6 六大系統、總產量－統計表

實驗期別		106 年	107 年	108 年	109 年	111 年
操縱變因						
	灌溉系統			V	V	V
	雜草抑制蓆			V	V	V
	溶磷菌		V		V	V
	精準深耕					V
	總產量(kg)	8521	10956	8533	13576	15337
工程 效益	當年相對 去年比較	0%	+ 28.58%	- 22.12%	+59.10%	+ 12.97%
	當年相對 106 年比較	0%	+ 28.58%	+ 0.14%	+ 59.32%	+ 79.99%

(資料來源：作者統計整理)

說明：

- (1) 實驗農地為表 5-1-4 所列九筆地號。
- (2) 每一年的操縱變因，相較前一年，幾乎只有一個。因此，當年度是實驗組，前一年就是對照組。
- (3) 若將 106 年視為對照組，則 107、108、109、111 年為實驗組。
- (4) 上表是作者近 5 年的分析統計。實驗證明，唯有透過四大工程系統的配套，產量方足以來到 79.99% (另二大系統是管理時間的優化，節省 3~12 倍)。

表 5-1-7 六大系統、總產量、管理時間－統計表

六大系統目標		實驗期別	106 年	107 年	108 年	109 年	111 年
管理 時間 增減	灌溉 系統	攔水系統			-10 倍	-10 倍	-10 倍
		過濾系統			+60 秒 <sup>(註 3)</sup>	+60 秒 <sup>(註 3)</sup>	+60 秒 <sup>(註 3)</sup>
		進水系統			-12 倍	-12 倍	-12 倍
		曝氣系統					
	雜草抑制蓆			-3 次 <sup>(註 4)</sup>	-3 次 <sup>(註 4)</sup>	-3 次 <sup>(註 4)</sup>	
	溶磷菌			+4 mg/L	+4 mg/L	+4 mg/L	
	外掛滴灌系統			-2 次 <sup>(註 5)</sup>	-2 次 <sup>(註 5)</sup>	-2 次 <sup>(註 5)</sup>	
	智慧噴桿			-3 倍	-3 倍	-3 倍	
	精準深耕						
	作物 產量 增減	灌溉 系統	攔水系統				
過濾系統							
進水系統							
曝氣系統						+65.37%	+79.99%
雜草抑制蓆					+65.37%	+79.99%	
溶磷菌			+28.39%		+65.37%	+79.99%	
外掛滴灌系統							
智慧噴桿							
精準深耕						+79.99%	

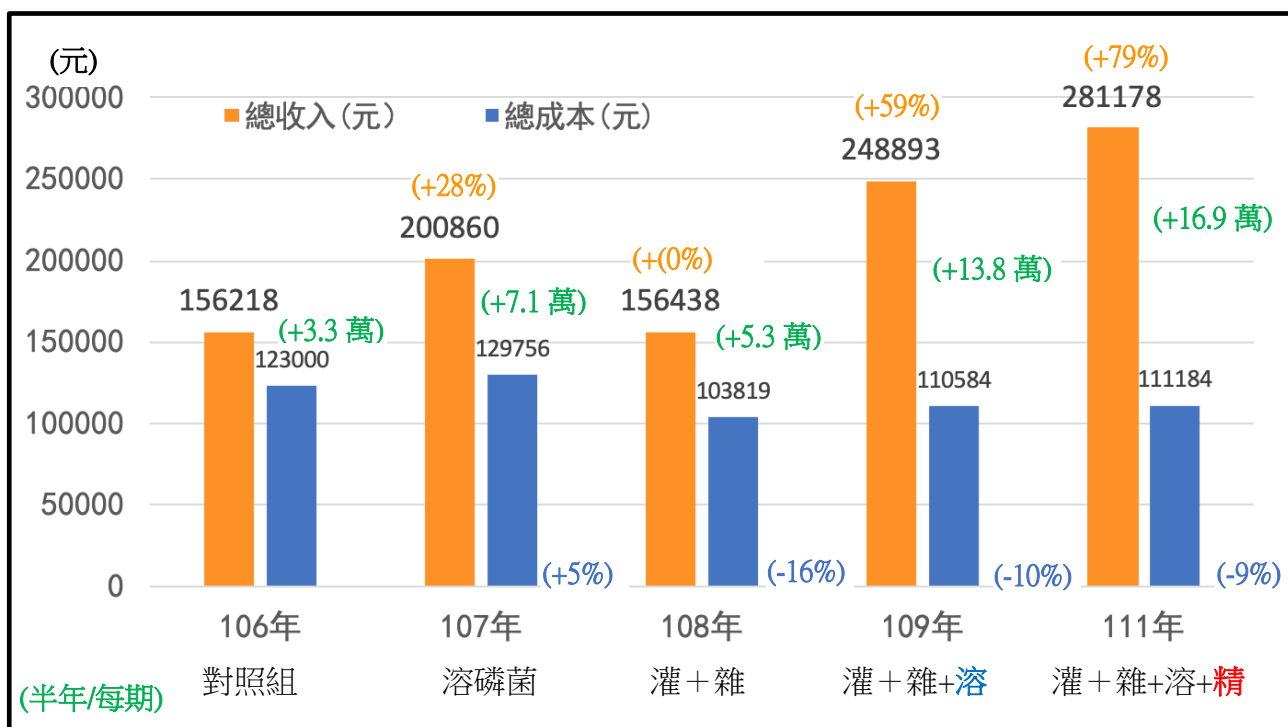
(資料來源：作者統計整理)

說明：

- (1) 同顏色區域的數字：代表系統之間要一起搭配使用才會出現該數字。
- (2) 將 106 年視為對照組，107、108、109、111 年為實驗組。實驗期間：上半年。
- (3) 二代過濾系統，清理濾網時間每天 60 秒，但田間雜草、螺害卻可減少 1~2 次。
- (4) 雜草抑制蓆：除草劑每二個月噴撒一次，每半年減少 3 次。

- (5) 外掛滴灌系統：可以減少施撒福壽螺用藥及施肥次數每半年 2 次。
- (6) 灌溉系統設備成本：量化分析後，平均每年 56 元。
- (7) 智慧噴桿：效果好，所以每期只噴 2 次，相較傳統噴桿（對照組）節省 2 次。

表 5-1-8 六大系統、總產量、管理成本、淨收入—統計圖



(資料來源：作者統計整理)

說明：

- (1) 綠色數字是每期的淨收入。106 年對照組淨收入 3.3 萬，107 年操縱變因溶磷菌，增加產量 28%，淨收入 7.1 萬。111 年操縱變因為六大系統時淨收入可達 16.9 萬 (耕地面積如 1.3 公頃可達 18 萬)。
- (2) 藍色數字是管理成本（生產成本），在 111 年實驗組看出，成本少 9%，產量增加 79%，淨收入 16.9 萬（增加 4 倍）



## (五) 損益分析

以本實驗在 111 年的研究成果為例，並與假日農夫、正職的薪水（勞動部公佈基本工資[20]）作比較（表 5-1-8）。統計項目如下：

秧苗、插秧費用：秧苗 316 片 x40 元/片+ 插秧工錢 750 元 x12.6 分，合計 22000 元。

整地費用：700x12.3=17220 元。

每期使用農藥明細：益友@550x4、亞賜圃@400x4 撲滅松@450x、克紋淨@250x6、cs-7(黏藥)@300x2、撲殺熱(稻熱病粒劑)@260x8、撲殺培丹@180x8

每期使用肥料明細：台肥有機複合肥料 39 號 12 包、1 號 12 包、5 號 12 包。

支出總成本：上述費用合計，每期固定不變，合計約 12.3 萬元（以本實驗農場面積 1.2 公頃計算）。

實際總成本：用本研究六大系統中的「智慧噴桿」、「雜草抑制蓆」成本節省 9%。

總成本約 11 萬元。

總收入：本實驗 111 年總收入。農會（契作）每台斤平均 11 元，合計約 28 萬元。

淨收入 = 總收入 - 支出總成本

假日農夫工時：以每週六、日／每日 8 小時／統計半年。每半年工作 416 小時計算。

統計期間：本研究實驗年度 111 年第一期／半年期間。

表 5-1-8 每 1.2 公頃－損益分析（實驗期間：111 年上半年）

	總收入	支出總成本	淨收入	平均每個月淨收入	假日農夫每小時時薪
本實驗研究成果	28.1 萬元	11.2 萬元	16.9 萬元	2.8 萬元	408 元
勞動部公佈基本工資（時薪）					176 元
勞動部公佈基本工資（月薪）				2.6 萬元	
差異				增加 2000 元 +7.2%	增加 232 元 +132%

（資料來源：作者自行統計）

表 5-1-8-1 每 1.3 公頃－損益分析（實驗期間：111 年上半年）

	總收入	支出總成本	淨收入	平均每個月淨收入	假日農夫每小時時薪
本實驗研究成果	31 萬元	13 萬元	18 萬元	3 萬元	432 元
勞動部公佈基本工資（時薪）					176 元
勞動部公佈基本工資（月薪）				2.43 萬元	
差異				增加 3600 元 +7.2%	增加 256 元 +145%

（資料來源：作者自行統計）

說明：

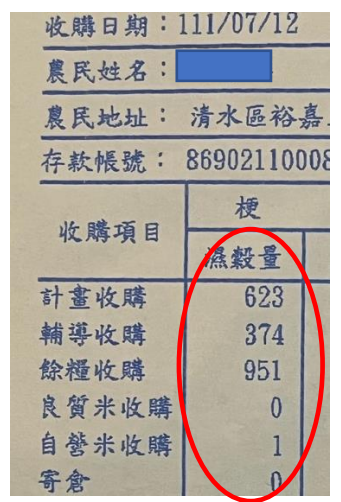
- 1、耕地 1.2 公頃的淨收入為 16.9 萬元。
- 2、耕地 1.3 公頃的淨收入為 18 萬元。
- 3、耕地面積與淨收入成正比。

#### （六）研究成果（產量）證明文件

種植水稻須先向當地農會申報，採收後繳交給農會，俗稱「契作」。本研究在每一年當期收割完後，全數繳交清水農會穀倉，並出具證明文件。

證明文件：111 年農會收購公糧種植面積申報書（紅色圈圈為面積，單位：公頃）。107 年、108 年、109 年、111 年的農會收購公糧稻穀聯單（紅色圈圈為產量，單位：kg），如下表 5-1-9。

表 5-1-9 農會證明文件

(一) 收購公糧種植面積申報書 (合計 1.3 公頃) (實驗組、對照組)	(二) 107 年農會收購公糧稻穀聯單(實驗組) (合計：10956 kg)	(三) 108 年農會收購公糧稻穀聯單(實驗組) (合計：8533 kg)
		
(四) 109 年農會收購公糧稻穀聯單(實驗組) (合計：13576 kg)	(五) 111 年農會收購公糧稻穀聯單(實驗組) (合計：16201 kg)	(六) 111 年農會收購公糧稻穀聯單(實驗組、對照組) (合計：1948 kg)
		

(資料來源：作者拍攝自農會收購公糧稻穀聯單)

(八) 總結

「灌溉系統工程」提高灌溉水含氧量、「抑草蓆系統」提供無銅劑環境，讓生物肥料—溶磷菌得到充份能量，加上「精準深耕」使得作物根系擴展，產量得以大幅增加到 79%。這便是元宇宙、智慧新農機的真諦。

- 1、「曳引機迴轉犁偵系統」、外掛「滴灌系統」是作者的創新發明，已送件申請專利中。其他四大系統均是利用生活中隨手可得的物品、材料加以整合而成，成本低、施工容易、操作簡單。
- 2、自創的「曳引機迴轉犁偵系統」，可以安裝在任何一款的曳引機。完全不用焊接、鐵工等作業。使用二顆 18650 電池，足夠供電 10 小時以上，滿足曳引機可以作業一整天。主機內的螢幕上方往後斜 30 度，外部陽光會被擋下，造成明暗強烈對比，數字看的很清楚。曾經嘗試用藍牙通訊模組 HC-05 與 HC-06 [11]連接，因為受到曳引機柴油引擎巨大震動與聲響，頻率受到干擾，經常斷訊，最終採用網路線。
- 3、本研究六大工程系統，製作總費用 3000 左右。不用額貴的器材，讓台灣眾多小農，人人都可以負擔起的費用，有效提高水稻產量。

本實驗透過父親大面積種植水稻，且在不同土地區域（共 10 個地號），得到的數據是真實呈現本研究作品的功效，絕不是在一般實驗室、實驗農場的小區域、小規模運作的實驗作品；也就是可以真實應用在台灣任一塊耕地，讓產量大幅提升，進而推廣到全世界，期能有效解決人類糧食危機。

至此，我們成功改良農機，讓作物產量大增，假日農夫收入高於正職收入，研究過程都一一克服了障礙，以上實驗，真實的記錄了這一切。

## 二、未來展望與應用

- (一) 將本作品的螢幕數字，同時訊號輸出給曳引機中控電腦，透過 PID 演算法，直接控制迴轉犁的犁耕深度，縮短曳引機操作的反應時間。

- (二) 透過修改程式，可以運用在施肥機的偵測施肥數量。
- (三) 希望農糧署可以推廣本作品並補助。
- (四) 未來將朝向肥料、農藥的改良，即完成了「種植水稻」最後一哩路的技術研發。

## 陸、參考文獻

- 註1、王韻慈（2019）。**智慧農業2.0 水稻篇**。中學生小論文網。1091015梯。  
<https://reurl.cc/Zb681A>
- 註2、楊秋忠、沈佛亭（2008）。**溶磷微生物肥料之特性及效益**。安全農業期刊。2008  
No.16 期。頁57-59。
- 註3、自由時報（2021年03月08日）。**種20甲地水稻一年淨利200萬？網紅農夫分析真實數字**。<https://reurl.cc/MNIWYK>
- 註4、行政院農業委員會（2021年12月20日）。**農業主題館－農機曳引機**。  
<https://reurl.cc/606XKy>
- 註5、台灣農業機械發展史編輯委員會（2012年03月）。**台灣農業機械發展史**。財團法人  
中正農業科技社會公益基金會。
- 註6、嘉義大學（2020年07月21日）。**【農機的新時代任務2】育才篇：退休潮來臨，農  
機研發出現人才斷層危機**。<https://reurl.cc/QbvNVq>
- 註7、行政院主計總處（2004年11月22日）。**肆、預算主要內容**。<https://reurl.cc/LMkeQe>
- 註8、國立中興大學、行政院農業委員會－有機農業推動中心（2021年11月19日）**認識  
微生物肥料：以溶磷菌肥料為例**。<https://reurl.cc/rRedgO>
- 註9、趙英傑（2020）。**超圖解 Arduino 互動設計入門（第四版）**。旗標出版社。
- 註10、施威銘研究室（2020）。**Flag's 創客·自造者工作坊 Arduino 認證集訓班：求職x  
升學x進修 超前部署**。旗標出版社。

- 註 11、Cubie (2014 年 11 月 01 日)。HC-05 與 HC-06 藍牙模組補充說明 (一)。  
<https://swf.com.tw/?p=693>
- 註 12、MAKER-PLANET (2021 年 10 月 08 日)。雙位數 1.8 吋七段顯示器模組-595。蝦皮購物。  
<https://reurl.cc/aGOGz7>
- 註 13、台灣智能感測科技有限公司 (2021 年 10 月 09 日)。Fermion: TMF8701 ToF 3D 立體影像傳感器 (10-600mm)。  
<https://reurl.cc/ZbKZpp>
- 註 14、吳冠儀 (2021 年 10 月 21 日)。Digi-Key 帶您了解 3D 飛時測距(ToF)技術概念。  
DigiTimes 科技網。  
<https://reurl.cc/NRvEdm>
- 註 15、光束小子 (2021 年 01 月 24 日)。3D 感測技術：什麼是飛時測距 (ToF：Time of Flight)。  
STOCKFEEL 知識力。  
<https://reurl.cc/RX5EKD>
- 註 16、大和有話說 (2018 年 03 月 11 日)。【圖解】3D 感測技術發展與應用趨勢 | 大和有話說。  
<https://reurl.cc/9pjXqn>
- 註 17、討喜小姐、陳薪智 (2018 年 10 月 11 日)。一圖看懂 讓機器長眼的 ToF 應用。  
COOL3C。  
<https://reurl.cc/4pA4kR>
- 註 18、行政院環境保護署 (2019 年 2 月 10 日)。曝氣。  
<https://reurl.cc/bE0nLo>
- 註 19、農傳媒 (2018 年 12 月 21 日)。【他山之石四】農機事故佔農民職災死亡 7 成，只要求農民注意安全合理嗎？。  
<https://reurl.cc/LMRX0e>
- 註 20、中央氣象局 (2022 年 09 月 21 日)。農業氣象觀測網監測系統。行政院農業委員會。  
<https://agr.cwb.gov.tw/NAGR/>

## 【評語】 100027

1. 本文以智慧農機開發為重心，發想具創意，在迴轉與深耕的功能均能助益農業。
2. "解決糧食危機"與"斜槓元宇宙"等用語相對較為浮誇。
3. 本文頗具創意，唯切入觀點宜平實，多些技術描述，少些主觀花絮。