

電動中耕機整車控制系統之開發

林連雄、盧昱其、劉錦霖

國立宜蘭大學生物機電工程學系

摘要

本研究開發一套基於 CAN 通訊之電動中耕機整車控制系統，透過 STM32 ARM Cortex 微控制器作為控制核心，經由 CAN 通訊網路，控制分別位於耕耘部及行走部之直流無刷馬達，同時於 TFT 螢幕監控電池電量、馬達轉速、電池及馬達溫度。為確保田間作業人員安全性，此系統搭載自動及手動安全裝置，可由程式及感測器控制之自動停機功能(過載保護、溫度保護、通訊錯誤檢測)，以及手動控制之緊急停止開關，遇到任何危害機具或人員情形，皆能當下產生防護作用。

搭載具安全裝置控制系統之電動中耕機，可連續平均作業 2.35 小時，直線作業速度 2.46 km/h (>1.8)、作業深度 7.38cm (>6)和轉彎時間 4.02sec (<7)可通過動力中耕機作業性能測定基準。測試過程中均無出現人員受傷、機件故障、程式錯誤及馬達過載或過溫情形。

關鍵詞：電動中耕機、微晶片控制、機電整合、CAN 通訊

緒論

中耕機可進行鬆土、作畦、鋤草、開溝與培土作業，進而提升耕作效率，傳統電動中耕機通常使用內燃機作為動力源，而排放的廢氣會影響自然環境及人員健康，因此近幾年內，國內積極推動農機電動化政策，惟市場主流開發電動農機多為輪式田間搬運機、割草或剪枝機等低功耗電動農機。而 Scolaro et al. (2021)針對農機電動化進行全面探討，提出成本高昂的高性能電池及電機為電動農機面臨之挑戰^[1]。電動中耕機因作業負載較大(壤土)，故能量源續航與承載容量為開發首要問題，故市場上較少電動中耕機開發及販售，也較少對應於中耕機的控制套件。

陳(2016)設計並開發無輪式電動中耕機，為了增加能量效率，將蝸輪蝸桿減速機構改為行星齒輪機構，並使用能量密度高的鋰鈷鎳電池，有效降低功耗並節省能源^[2]。Mohanraj et al. (2022)對於馬達控制技術及減少轉矩漣波的研究中探討電動車及其馬達種類的回顧^[3]，分析比較七種馬達特點，其中無刷直流馬達可適用於高扭矩、低速運行效率高，適合應用於電動中耕機上。塚本等人(2020)為確認電動農業機械作業特性，使用直流無刷馬達驅動耕耘機刀耕耕作，搭載磷酸鋰鐵電池，可達 80%以上的耕作效率，低轉速下能產生高扭矩，因此容易應付耕耘時的負載變動^[4]。劉(2025)設計一款雙輪式電動中耕機，耕耘部及行走部分別搭載

無刷直流馬達，並使用高精度行星減速機輸出至耕耘刀及驅動輪，加上雙輪作為動力行走與搬運功能，可搭載更多能量源，有效提升傳動效率及續航能力^[5]。

本研究開發一套具備通用性及安全性之整機控制系統，搭載於劉(2025)雙輪電動中耕機上，透過實地田間測試，驗證控制系統的操作便利性及安全性，期盼未來能將此系統，應用並推廣於相關電動中耕機上。

材料與方法

研發之控制系統為了能夠構成通用性、方便插拔維護功能，首先開發手把端 PCB 控制板(圖 1)及車身端 PCB 控制板(圖 2)，承載 STM32 微控制器核心，並將電路延伸至各類插拔端子，兩個控制板再透過 CAN 網路通訊。

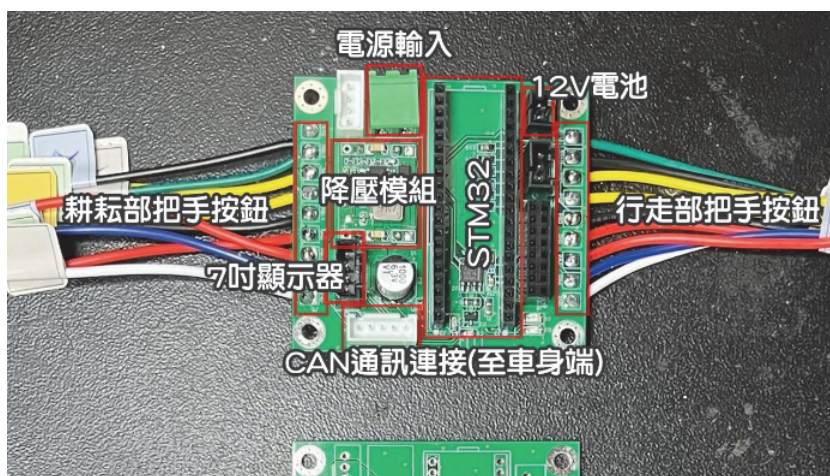


圖 1、手把端 PCB 控制板

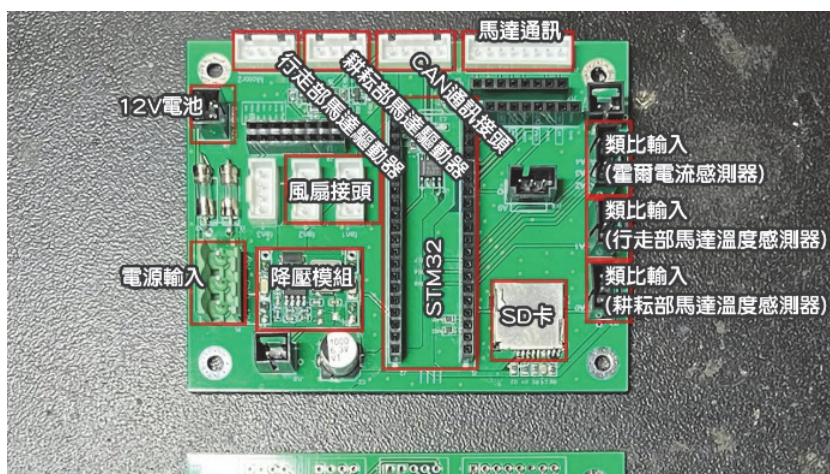


圖 2、車身端 PCB 控制板

本研究開發之電動中耕機整車控制系統如圖 3 所示，為測試 PCB 板上各類端子的連接便利性及維護性，於實驗室先配置好手把端及車身端電控盒，手把端電控盒內裝配 PCB 控制板、6P 端子台、7 吋 TFT 螢幕、鑰匙開關、上電開關、急停開關；盒內裝配 PCB 控制板、6P 端子台、兩顆無熔絲過載保護器、繼電器、降壓模組、接地銅排。

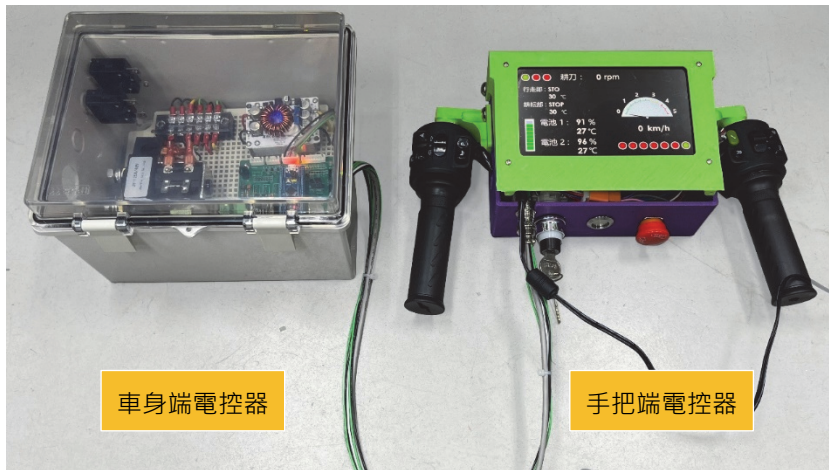


圖 3、整車控制系統

內部佈線完成後，即可連接左右控制握把、鋰三元電池(48V、35Ah)、兩顆直流馬達控制器以及馬達(耕耘部馬達規格為 48V、2,000W、3000rpm、行走部馬達規格為 48V、1,000W、3000rpm)，其中左握把控制耕耘部前進或後退、加速或減速、右握把控制行走部前進或後退、加速或減速，兩側握把均能觸發使馬達停止運轉的 FREE 狀態，詳細操作方式請見圖 4。

上電測試鑰匙開關、上電按鈕與急停開關能否正常作動、操作左右握把按鈕，測試馬達正轉或反轉、加速或減速，以及制動狀態，同時透過 7 吋螢幕觀測當前運轉資訊。

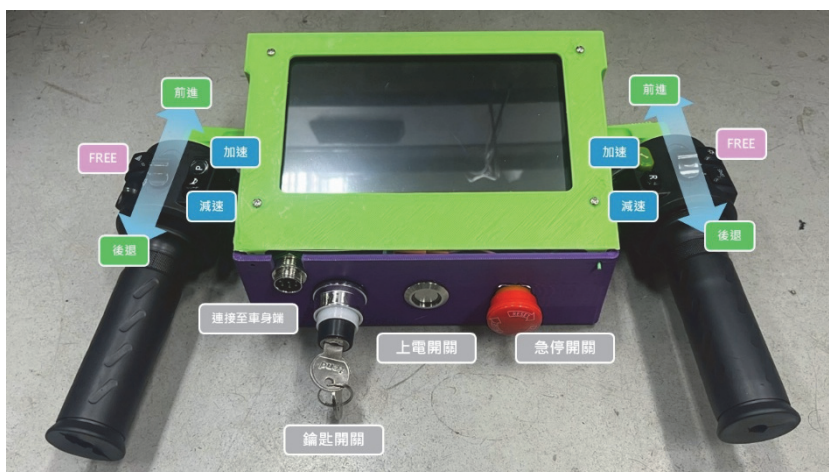


圖 4、開關與左右握把控制方式

當電控盒完成程式與線路除錯測試後，即應用安裝於劉(2025)設計開發之雙輪電動中耕機上^[2]，並進行田間中耕機性能測試以及電池續航力測試實驗。其規格請見表 1、全機部位介紹圖請見圖 5。

表 1、電動中耕機規格表

項目	規格
機身總重	110 (kg)
機身尺寸	長×寬×高：160×68×102 (cm)
車輪規格	直徑×寬：4×25 (cm)
輪距	62 (cm)
減速比	耕耘部：15:1；行走部：45:1
動力馬達	直流無刷馬達
動力功率	耕耘部：2,000W；行走部：1,000W
電池	46.8V、35A 鋰三元電池、單顆 11.8kg

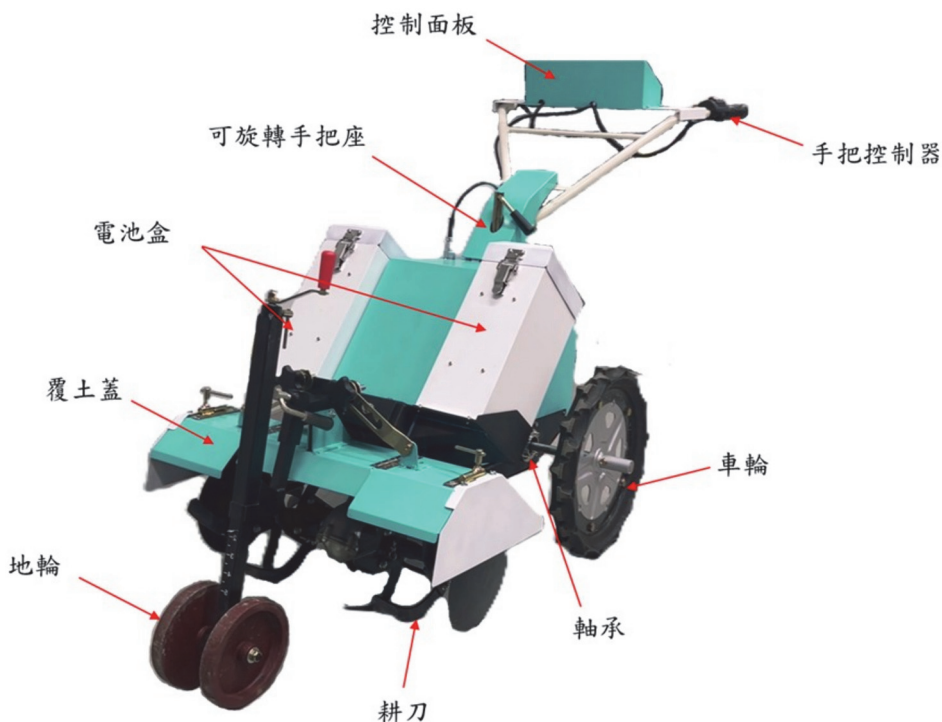


圖 5、電動中耕機全機部位介紹圖

結果與討論

進行田間性能測試之前，設定好中耕機行走部轉速為 2,142rpm(前進速度約為 3.77km/h)、耕耘部轉速為 2,000rpm(耕耘刀轉速為 133rpm)，並在兩個不同區域及土壤質地進行田間測試，其結果如表 2，作業速度、作業深度及轉彎時間均符合農業部中耕機性能測定暫行基準 (TS23)，其中作業速度分別為 2.67 及 2.25(km/h)，速度偏低於一開始設定的 3.77km/h，表示輪胎存在打滑問題。

表 2、中耕機性能測試結果統計表

測定地點	宜蘭大學城南校區	桃園改良場	平均
土壤質地	黏質壤土	黏質壤土	
測試面積(m ²)	510	504	
淨作業時間(min)	15.93	14.6	15.27
直線作業速度(km/h)	2.67	2.25	2.46 (> 1.8)
轉彎時間(sec)	4.08	3.96	4.02 (< 7)
中耕深度(cm)	7.09	7.66	7.38 (> 6)
中耕寬度(cm)	56.7	55.2	55.95

* 農業部中耕機田間測定暫行基準(TS23)規範作業速度為 1.8km/h 以上、作業深度為 6cm 以上、轉彎時間為 7sec 以下。

連續作業電池續航力測試結果如表 3 所示，皆能達到 2 個小時以上續航力，平均時間為 2.35 小時，透過平均作業寬度 0.552m、長度 28m 作計算，每作業一行面積為 15.456m²，三次行數分別為 166、181 及 176 行，對應面積分別為 2,566、2,798 及 2,720m²，平均作業面積為 0.27 公頃，測試期間無故障或損壞之情況，控制系統同時順暢運作。

表 3、中耕機電池續航力測試結果

作業項目	第一次測試	第二次測試	第三次測試
測定行數(行)	166	181	176
測定面積(公頃)	0.26	0.28	0.27
作業時間(小時)	2.23	2.4	2.43

結 論

本研究研發此控制系統，可應用於高扭力、高負載需求之電動農機上，透過雙輪電動中耕機田間測試，結果顯示控制系統能同時控制兩顆直流無刷馬達、除了車身端 PCB 與把手端 PCB 能互相通訊外，亦能與鋰三元電池、螢幕通訊，以及與各種開關按鈕、類比裝置(溫度監測用熱敏電阻)作連接，且具易插拔、易維護、通用性高及應用層面廣泛等優勢。

誌 謝

承蒙行政院農業部農糧署農業科技計畫(114 農科-11.2.2-科-01(3))補助本研究，使研究順利遂行，並感謝高宜良同學協助，特此誌謝。

參考文獻

1. Scolaro, E., Beligoj, M., Estevez, M. P., Alberti, L., Renzi, M., & Mattetti, M. 2021. Electrification of agricultural machinery: A review. *IEEE Access*, 9:164520-164541.
2. 陳昭廷。2016。電動化中耕機開發及節能控制之研究。碩士論文。宜蘭：國立宜蘭大學生物機電工程學系碩士班。
3. Mohanraj, D., Gopalakrishnan, J., Chokkalingam, B., & Mihet-Popa, L. 2022. Critical aspects of electric motor drive controllers and mitigation of torque ripple. *IEEE Access*, 10:73635-73674.
4. 塚本隆行、大西明日見。2020。DC ブラシレスモータの農作業利用。農業食料工学会誌 82(3):284-292。
5. 劉錦霖。2025。雙輪式電動中耕機之研發。碩士論文。宜蘭：國立宜蘭大學生物機電工程學系碩士班。