

電動農機未來發展展望

李汪盛

行政院農業委員會桃園區農業改良場

前 言

隨著環保法規的日益嚴格，以內燃機為動力的農機勢必需付出更高的成本以進行燃燒廢氣排放的管控。已有許多國家宣布 5-20 年內將禁售燃油車，顯示內燃機將逐步被淘汰，農機電動化已無可迴避，必須加速思考因應。

近 10 年來，電池能量密度及壽命均大幅提升，但價格卻大幅下降；電池取代燃油動力已成為經濟可行，這提供了研發電動農機極佳的時間點。農機電動化需整合電機、機械、控制、物聯網及人工智慧等相關技術，為先進國家農機的發展趨勢；台灣在此方面具備極佳的技術優勢，透過電動農機的開發可大幅提升農機產業競爭力，加速產業升級，拓展海外市場。

農業機械設備已被列入「中國製造 2025」的 10 大重點產業領域；以目前中國在感測器、人工智慧、雲端計算及預測分析等新技術的發展，相關技術如快速整合應用於電動農機的開發勢必會擠壓台灣農機的生存空間，特別是在具競爭性的新南向國家，台灣將逐漸喪失優勢，因此必須加速農機電動化技術的研發。

國內/外電動農機研發概況

近年來環保意識抬頭，歐盟針對農業機械之廢氣排放量進行嚴格把關，農業機械廠商逐漸財團化，導致許多大型農業機械更加集中於這些企業中，如曳引機、聯合收穫機、插秧機等農業機械，使得中小型農機廠商缺乏關鍵技術及大量資金，面臨被併購的嚴峻考驗，進而影響全球農業機械整個市場需求量的變化。目前全球主要的農業機械為田間機械(曳引機、耕耘機等)、管理機械(中耕管理機、噴霧機、割草機等)、灌溉系統、收穫機械(蔬菜收穫機、聯合收穫機等)，以及收穫後機械(乾燥機、選別機等)等，這些農機具的選擇和使用頻率，往往取決於作物的栽培方式、種植環境以及生產規模。我國農業機械的發展受限於市場規模，開發機種主要以農作通用機械為主，例如整地、中耕、除草、育苗、移栽、播種、噴霧、施肥、乾燥及搬運等中小型農業機械。大型農業機械如曳引機、插秧機、聯合收穫機、雜糧及特作專用機等機械大部分仰賴進口。

電動車是以車載電源為動力，用電機驅動車輪行駛的車輛。電動汽車根據電動車電力供給方式及所占的比例不同，可分為純電動汽車(Battery electric vehicle, BEV)、油電混合動力 HEV (Hybrid electric vehicle)、插電式混合動力汽車(Plug-in hybrid electric vehicle, PHEV)與增

程式電動車(Range extender electric vehicle, REEV)等類型。電動車主要零組件包括電池系統、驅動系統及車身及底盤等部分，電動車成本中電池系統占比最高約 40-50%，其次為驅動系統約 15-20%，車身及底盤約 16-18%。

電池是影響電動車價格及續航力之關鍵核心，電動機電池要求大電流，主要以鋰電池與鉛酸電池為主，可分為不可充電式一次性電池與可充電式二次性電池，考量經濟效率及環保問題，可充電式電池較為普遍。鋰電池依正極材料不同，可分成鋰鈷電池、鋰錳電池、鋰鎳電池及磷酸鐵鋰電池等幾種，負極則以石墨為主。鋰鈷電池應用於手機、筆記型電腦等電子產品；鋰錳電池常用於電動螺絲起子、電動扳手等電動手工具；鋰鎳電池安全性不佳，目前使用比例極少；磷酸鐵鋰電池電容量大、使用穩定性高，應用於電動車等電動交通工具。

國外農機廠商電動農機開發主要以曳引機為主，如 KUBOTA 公司、Celestial E-mobility、Monarch Tractor 及強鹿(John Deere)等公司均以開發鋰離子電池為動力之曳引機為主要研發機種；而國內電動農機研發主要以小型農業機械為主如中耕鋤草機、小葉菜散裝收穫機、甜椒採收機器人系統、折疊式電動中耕機、電動履帶新型高空作業車及履帶式電動智能跟隨農地搬運機等，分述如下：

嘉義大學 2011 年開發電動中耕鋤草機(圖 1)，以功率 3kW 電壓 48V 之直流無刷馬達 1 個、12V 深循環電池 4 個以及自行組裝的電路系統為動力源，取代原有汽油引擎，以固定行走速度 0.48 m/s 鋤草平均深度為 3cm，掉頭轉彎時間為 4.0s，鋤草深度及轉彎時間符合據經濟部中央標準局訂定之國家標準規範，惟直線作業速度偏慢，未達規定 0.5m/s 以上標準。



圖 1、嘉義大學 2011 年開發之電動中耕鋤草機

桃園區農業改良場 2015 年開發小葉菜散裝收穫機可用於莧菜及甘藷菜收穫(圖 2)，採用電動馬達，可以排除汽油引擎排出的廢氣，不落地收穫方式，做到食安，本機一人操作，行走速度 0.1-0.15 公尺/秒，目前人工採收效率，每 0.1 公頃需要 96 人工時，機械採收每 0.1 公頃需時 16~32 人工時，是人工的 3-6 倍，損傷率 5%以下。可以用來節省人力。

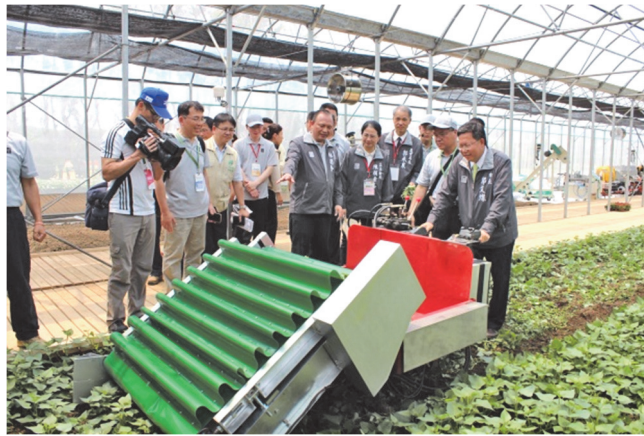


圖 2、桃園區農業改良場開發之小葉菜散裝收穫機

宜蘭大學 2015 年開發折疊式電動中耕機(圖 3)，電動中耕機總重量 48kg，搭配 60Ah 鋰鐵電池進行翻土作業實驗，充滿電後平均持續作業時間 77min，平均連續作業面積約 1850m²。使用普羅尼制動測功計測定耕耘軸輸出扭力值約 9kg-m，計算電動中耕機動力效率最高為 66.7%。在相同的作業面積下，電動中耕機的能源成本是汽油機的 10.9%，CO₂ 排放量僅汽油機的 30.4%，因此電動中耕機較傳統式引擎中耕機具有節能減碳之優勢。

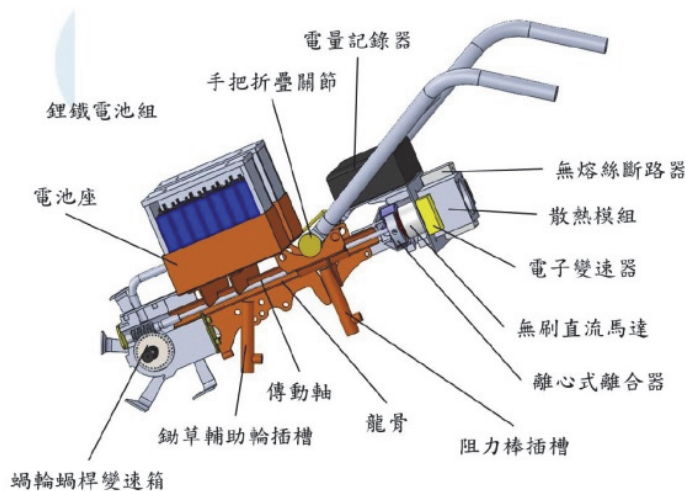


圖 3、宜蘭大學開發之折疊式電動中耕機

宜蘭大學 2017 年開發設施內甜椒採收機器人系統(圖 4)，機器人載台由四輪電動升降平台車所改裝，搭載市售六軸機器手臂、機器視覺與採摘爪具，可於設施內行道間進行自主式行走。機器視覺部分以兩部彩色攝影機擷取影像，程式進行影像處理判斷甜椒座標。實際甜椒果實採摘試驗之結果顯示，42 顆的試驗樣本中採收失敗 8 顆，成功率為 81%，其中爪具定位成功率為 88.1%，機器視覺判斷成功率為 100%。



圖 4、宜蘭大學開發之設施內甜椒採收機器人系統

臺南區農業改良場 2020 年開發電動履帶新型高空作業車(圖 5)，可應用於採收、整枝修剪及疏梢等田間操作，以電動馬達為動力源，高空作業車在操作移動上更加靈活簡便，並可使用遙控操作，搬運或跨越危險坡地時人員可不需乘坐其上，讓果園高空作業也能享有自動駕駛般的輕鬆與便利。作業車左右兩邊履帶由兩顆獨立電動馬達驅動，相較於傳統汽油動力式機型具有無油臭、可原地迴轉及因動力輸出平順而減少搖晃等優點，操作控制部分無需切換排檔，新型果園高空作業車在負載 120 公斤、舉升高度 2.8 米且傾斜角度 20° 以內的操作情況下，可保證其姿態安全；在充飽電力的情況下，不包含停歇時間，可連續行走 4 小時以上，本技術已經技術移轉郡野實業有限公司。



圖 5、臺南區農業改良場開發之電動履帶新型高空作業車

高雄區農業改良場 2020 年研發履帶式電動智能跟隨農地搬運機(圖 6)，運用屏東科技大學機械工程系副教授林宜弘的視覺辨識系統技術，讓搬運車無須遙控，就能自動跟隨在操作者 1 公尺距離；若是行進中車身意外發生碰撞，還設有安全開關會自動停止前進。此搬運機負重最高 200 公斤，滿載負重下可連續操作 2 小時。



圖 6、高雄區農業改良場開發之履帶式電動智能跟隨農地搬運機

台中區農業改良場 2021 年開發文心蘭電動自走式省工搬運裝置，搬運作業過程中，車輛卸貨後空車往返，以距離 10 公尺作測試，人力手推拖車與軌道式搬運車的平均行走時間，分別為 13.5 秒、75.5 秒，兩者速度差異達 5.6 倍。當負重 100 公斤時，人力手推拖車與軌道式搬運車的平均行走時間分別為 15.1 秒及 71.2 秒，可發現人力手推拖車在負重情況下，每趟行走時間將延長 11.8%，顯示，當負重越大，作業時間隨之延長；而軌道式搬運系統則無明顯時間差異，較傳統人力搬運更省時省力，減少作業辛勞，改善勞動作業環境。



圖 7、台中區農業改良場開發之文心蘭電動自走式省工搬運裝置

國內電動農機研發技術缺口分析及未來發展展望

綜整目前國內電動農機研發主要針對小型農業機械為主，電動農機所需的重要零組件如電池及馬達等均採用現有商品直接應用，並未針對農機使用特性進行優化。現行馬達為高轉速低扭力裝置，農業上主要應用於割草機、吹葉機及鏈鋸等高轉速機械，無法應用於需高扭力作業之農機，如曳引機、中耕機、管理機及噴霧機等，馬達勢必將成為電動農機發展的技術瓶頸；再者，目前農機採用電池系統均未進行最佳化充放電管理，電池使用壽命普遍不長，另外電池的安全性亦是電動農機開發的重點考量項目。

國內電動農機未來發展展望

臺灣進口品項主要為大型且較為複雜農業機械，如曳引機、收穫及脫粒聯合機、插秧機等，出口品項則以田間小型農業機械及收穫後處理機械為主，包括噴霧機、割草機、收割機及乾燥機等。臺灣農業機械產業以中小企業規模為多，以及臺灣的小農經營型態，相較於研發及生產成本較高的大型複雜農業機械，更傾向出口小型客製化農業機械。鑒於台灣農機產業型態，電動農機未來發展建議可朝高扭力直流馬達、相關控制系統及開發電池充放電智能管理系統等方向進行設計及製造，針對田間及溫網室用電動中小型農機、人機輔助、智慧化及無人化電動農機等機械進行開發，以解決目前台灣電動馬達、儲能及電力管理系統應用於農機開發之技術缺口，並滿足國內農機應用及國外農機出口需求，分述如下：

1. 開發 25 馬力以下高扭力直流馬達及相關控制系統：開發農用馬達與智慧化控制系統，進行馬達模型建立與分析模擬、結構設計製作，並進行馬達控制器設計製作及韌體開發，優化馬達扭力與性能。
2. 開發電池充放電智能管理系統：導入太陽能與新式電池等永續節能概念導入充電系統、電池替換操作模式與機構設計製作，開發電動農機智慧型電池充放電管理系統，精確判定殘留電量、延長電池壽命之農用充放電管理系統開發。
3. 開發田間及溫網室用電動中小型農機：設施蔬菜栽培為北部地區重要栽培方式，受限於設施面積，開發滿足國內及外銷需求可於設施內使用 25 馬力以下中小型農業機械，如電動曳引機及相關附掛式農機具、中耕、除草、育苗、移栽、播種、噴霧、施肥、乾燥及搬運等電動農業機械。
4. 開發電動人機輔具：台灣的農業發展面臨高齡化的困境，女性農民人口近年來亦有激增趨勢。開發出使用場域廣及作業高靈活度的穿戴式輔具供務農人員使用降低高齡務農人員或女性在農作物採收與搬運時的體力負荷以提高生產力，將成為重要研究課題。
5. 開發智慧化及無人化電動農機：智慧化及無人化電動農機開發是國際趨勢，自駕車技術的開發引領目前汽車產業的創新與發展，未來農機的發展自然不能漠視此趨勢；因此如何鼓勵國內農機企業籌組聯盟與整合並與學研界共同投入較高研發成本之智慧化及無人化未來農機開發，更顯重要。

五、參考文獻

1. 言車社。2021。混動不算新能源車了，油電混動，插電混動究竟怎麼選？。網址：
<https://ppfocus.com/0/edfc22bea.html>。
2. 李健、張汶肇。2020。建立電動履帶式高空作業車安全姿態模型。臺南區農業專訊 112：
17-19。
3. 張金元、田雲生、詹庭筑。2021。文心蘭電動自走式省工搬運裝置。臺中區農業專訊 112：
1-3。
4. 郭泰均。2015。折疊式電動中耕機之設計與研究。碩士論文。宜蘭：國立宜蘭大學生物機
電工程學系。
5. 游昇俯。2021。省工好幫手自動跟隨電動搬運車窄身更適合溫網室使用，網址：
<https://www.agriharvest.tw/archives/53512>。
6. 楊智凱。2018。農業機械產業發展趨勢與人才職能需求研析。農政與農情 309：81-86。
7. 鄭允誠。2011。台灣中小型農機耗能調查及中耕鋤草機電動化評估與研製。碩士論文。嘉
義：國立嘉義大學生物機電工程學系。
8. 鐘立雯。2017。設施內甜椒採收機器人系統整合之研究。碩士論文。宜蘭：國立宜蘭大學
生物機電工程學系。