

日本筑波大學參訪：智慧農機與基因編輯之創新應用

農試所農工組 李育賢　花蓮場 葉育哲

一、前言

筑波大學為日本重要的學術研究重鎮，在智慧農業、農業自動化與植物生物技術等領域，長期累積豐富的研究能量與產學合作經驗。本次赴日參訪，實地走訪筑波大學生物生產與機械研究室（Bioproduction and Machinery Laboratory, BPM Lab）及筑波植物創新研究中心（Tsukuba-Plant Innovation Research Center, T-PIRC）兩個具代表性的研發單位，聚焦在智慧農機、感測整合、作物自動化管理，及基因編輯與機能性作物開發等方面的研究進展。本文整理智慧農機與基因編輯兩大技術主軸，並進一步探討日本在農業生產自動化與高附加價值作物開發之應用模式與經驗，對我國農業科技研發、產業推廣及跨域整合之啟示，期能提供國內農業研究、推廣及技術服務工作之參考。

二、參訪單位與研發特色

本次參訪BPM Lab與T-PIRC，前者以智慧農機、感測整合與自動化應用見長，後者則聚焦於植物科學、基因編輯與機能性作物開發，兩者分別代表日本農業科技在工程應用與生物技術兩方面之發展方向。生物生產與機械研究室由Ahamed副教授主持，研究主軸為結合機器人技術、物聯網、人工智慧與感測技術，發展可應用於果園、田間及設施農業之智慧化作業系統。該研究室成員組成相當國際化，研究議題亦涵蓋田間自主導航、自動化作業平台、多感測器融合、病蟲害監測、農產品品質檢測及植物工場環境控制等，展現農業工程與資訊科技深度整合之特色。

T-PIRC成立於2017年，其設立目標在於因應糧食安全、生態安全及氣候變遷等全球性挑戰，建構一個由基礎研究到社會應用的一站式研發平台。該中心由福田直也教授帶領，結合植物基因體、體學整合分析、國際協作研究及智慧農業等多個部門，研究範疇橫跨植物分子機制、遺傳資源利用、機能性成分開發與次世代農業應用，具備明顯的跨領域整合特性，也重視研究成果如何進一步與產業、法規及市場需求對接。

作　　者：李育賢助理研究員
連絡電話：04-23317704

DOI：10.30248/TSQBTARI.202609_(147).0005

三、智慧農機應用實例

BPM Lab目前的研發主軸包括提升農業生產力的機器人技術、以IoT與AI為基礎的決策系統，以及結合熱影像等新型感測技術的智慧感知架構。在果園自動化作業方面，BPM Lab展示自動施肥、除草與噴藥系統，移動平台可結合



圖一、Ahamed教授解說果園自走除草機之運作原理。



圖二、三自由度蘋果採收機，果實經末端夾爪摘取後，沿空心管送入暫存桶中。

LiDAR、深度相機與深度學習演算法進行路徑規劃與自主導航（圖一）。所開發的系統能在樹冠遮蔽、光照變化劇烈的環境中，維持穩定感知與作業能力。研究團隊將熱顯像儀與LiDAR融合，使機器人在低光甚至無光條件下仍可穩定行駛，在實際果園試驗中平均路徑位置誤差約為0.2 m，顯示其在夜間果園作業已具有應用潛力。在果實採收自動化方面，BPM Lab開發三自由度與六自由度之採收機械手臂，應用於蘋果等果樹採收作業（圖二）。果園採收往往受到枝葉遮蔽，單一視角難以準確判定果實中心位置，進而影響抓取成功率。該團隊提出結合雙視角RGB-D相機之定位方式，由外部視角提供較大範圍的全局資訊，並由手臂末端相機提供近距離局部資訊，再配合遮蔽迴避與雙視角融合定位方法，提高果實定位精度，在不同距離條件下，果實中心定位誤差可控制在約25 mm以內。

除了採收與噴藥，BPM Lab在果園施肥管理上提出具精準施作能力之「單點環式施肥系統」（圖三）。傳統果園施肥容易出現施肥量不均、肥料浪費或根圈分布不理想等問題；該系統則利用環狀施肥模組，配合樹幹辨識與移動平台控制，將肥料更均勻地分配於幼齡果樹根圈周圍，以提升肥料利用效率並減少損失。此系統適合單株、定點、精準施作，對幼齡果園或果園之智慧養分管理具有發展潛力。此外，BPM Lab亦展示應用於鵪鶉蛋生產之智慧檢測

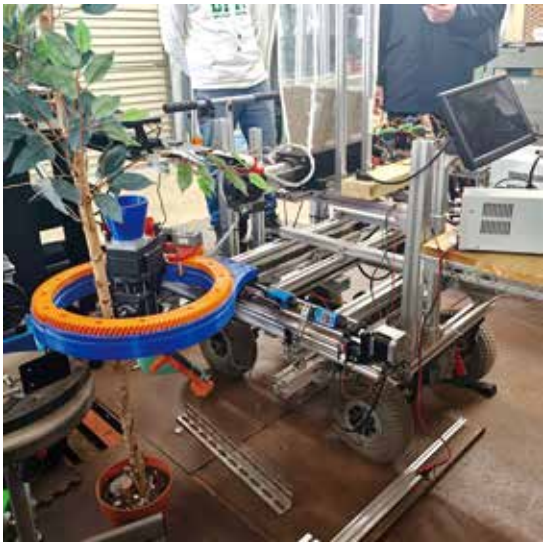
DOI：10.30248/TSQBTARI.202609_(147).0005

系統，利用熱影像機器視覺估算蛋內氣室比例，以非破壞方式判定鵪鶉蛋新鮮度（圖四）。當熱影像分割所得之氣室面積比例高於15%時，代表其新鮮度已顯著降低。此系統可結合輸送、溫度控制、影像判讀與分級模組，提升蛋品品質檢測效率與數位管理能力。

四、基因編輯與機能植物研發

T-PIRC以基因編輯作為植物改良的重要工具，運用CRISPR/Cas9等技術進行精準DNA序列修飾，培育具特定機能性或高附加價值之作物。與傳統基因轉殖技術不同，基因編輯不一定需導入外來基因，而是針對目標基因進行特定修飾，以提升作物有益性狀。最具代表性的案例為高GABA基因編輯番茄，該番茄為筑波大學與其衍生企業合作推動之成果，透過調控GABA合成相關基因，使番茄中GABA含量較一般番茄提升4倍，被認為具抑制血壓上升與緩解壓力等機能性價值（圖五）。

高GABA番茄的成功關鍵，在於日本對不含外來DNA之基因編輯產品，採取與傳統基改作物不同的管理思維，使此類產品具備明確的法規依循，進而加速應用與商品化進程。日本政府將「無外來基因植入」的基因編輯作物視為不同於傳統GMO的類型，在制度上降低了商業化門檻；而T-PIRC則透過新創公司Sanatech Seed與企業合作，將研究成果由大學端延伸至市場端，形成相對完整的商業化鏈結。從社會接受的角度思考，基因編輯作物的推動並非僅是科學問題，也涉及制度設計與風險溝通。高GABA番茄在初期並未直接進入大型零售通路全面銷售，而是以小規模的方式逐步推進，透過種苗分發、居家栽培與社群交流等途徑，使產品先以「可被理



圖三、單點環式施肥系統，透過可開合之環狀機構對果樹根圈進行精準施肥。



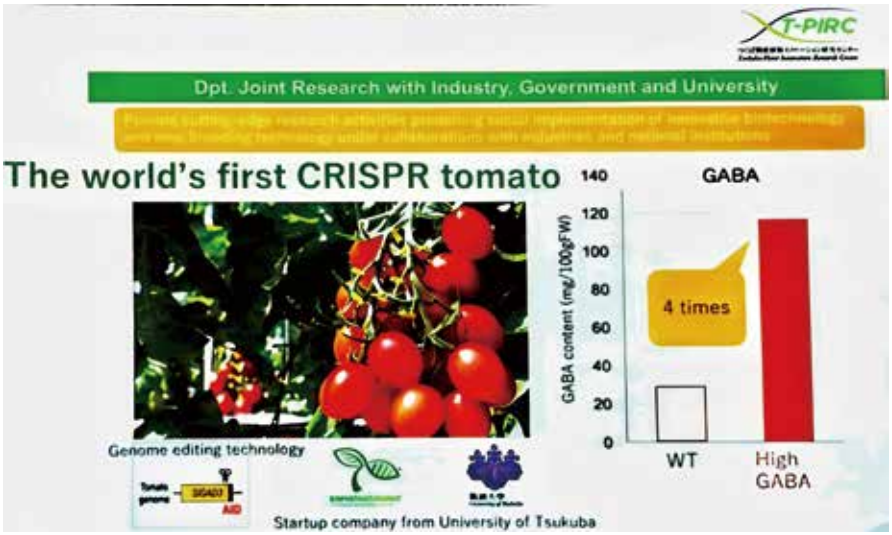
圖四、鵪鶉蛋新鮮度檢測與分級平台，核心部件以3D列印機製作，有效降低成本並利於後續優化。

DOI：10.30248/TSQBTARI.202609_(147).0005

解、可被接觸」的方式，逐步提升社會對產品之認知與接受度。這種模式反映出新興農業生物技術在進入市場前，往往需要經過一段社會熟悉、理解與再詮釋的過程。新興技術是否能被社會接受，並不完全取決於其科學優勢，也與其進入消費者生活世界的方式密切相關。

五、日本經驗對我國農業研發之啟示

在智慧農機研發方面，日本經驗顯示未來發展方向不宜僅停留於單一機具自動化，而應朝向感測器、演算法、移動平台與作業模組整合之系統化應用邁進，發展具模組化與場域適應能力之智慧農機系統。BPM Lab所展示之自主導航噴藥、自動採收、精準施肥及品質感測等技術，均非單點式機械設備，而是建立在感測資訊取得、影像判讀、路徑規劃與作業執行相互連結的基礎上。我國農業場域多樣，地形條件與經營規模差異大，若僅強調農機本體設計，往往難以因應實際使用需求；相對而言，若能從場域問題出發，以終為始，發展可因地制宜的模組化智慧農機系統，將更有機會提升技術落地性與推廣價值。在植物生物技術方面，日本在作物改良目標已逐步由傳統的產量導向，延伸至機能性、健康性與高附加價值導向。T-PIRC推動高GABA基因編輯番茄的案例，即展現出基因編輯技術不只是提升育種效率的工具，更可作為回應消費市場需求的重要手段。對我國而言，未來若要推動植物生物技術研發，除持續強化耐逆境、抗病蟲害及品質改良等面向外，亦可進一步思考如何結合機能性成分、健康訴求及精緻化市場需求，發展更具辨識度與商品潛力之作物產品。換言之，研發成果若能更直接連結消費者所能理解的價值，將有助於提高技術商品化的可能性。



圖五、福田直也教授（T-PIRC中心長）簡報世界第一款CRISPR番茄，利用基因編輯技術提高GABA含量。

日本對基因編輯產品採取相對明確的管理路徑，透過通報、標示與企業推廣等方式，逐步建立消費者對產品的理解與接

DOI：10.30248/TSQBTARI.202609_(147).0005

受。我國未來若要推動基因編輯或其他新興農業科技，除法規調適之外，應建立包含標示制度、風險說明與資訊揭露之完整科學溝通機制，以降低技術進入市場初期可能面臨的社會輿論壓力與通路推廣阻力。而在人才培育方面，本次參訪亦反映出跨領域人才對農業科技發展之重要性，無論是BPM Lab的智慧農機系統，或T-PIRC的基因編輯與設施驗證平台，其背後皆須仰賴農業工程、資訊科技、植物科學、生物技術與產業管理等不同領域人員共同合作。因此，在農業研究與推廣體系中，如何促進不同專長背景人員共同參與計畫、共同定義問題，將是提升創新能量的重要基礎。

六、結語

本次參訪筑波大學生物生產與機械研究室及筑波植物創新研究中心，兩者雖屬不同領域，卻共同反映出當前農業科技的發展趨勢，唯有透過工程、資訊、生物技術、栽培管理與產業需求之整合，方能使創新技術真正落實於農業現場。無論是智慧農機系統或基因編輯作物，其價值不僅在於技術本身之先進性，更在於能否回應實際問題並建立完整之應用路徑。智慧農機若要發揮效益，必須兼顧場域適應性、感測判讀能力與作業模組整合；植物生物技術若要順利推動，則須同時具備研究能量、驗證平台、產學協作及社會溝通機制。未來農業科技除持續深耕各專業領域之核心技術外，亦宜更加重視跨單位合作、場域驗證及研發成果轉譯能力，並同步關注市場需求與社會接受度，使農業科技不僅停留於研究成果的累積，更能成為支撐我國農業升級、產業創新與永續發展的重要動能。



DOI：10.30248/TSQBTARI.202609_(147).0005