

出國報告（出國類別：研習）

赴日本研習『農業設施環控與結構工程模擬與 驗證技術』

服務機關：行政院農業委員會農業試驗所

姓名職稱：徐武煥助理研究員

服務機關：行政院農業委員會農業試驗所

姓名職稱：陳俊仁聘用助理研究員

派赴國家：日本

出國期間：**103年9月8日至14日**

報告日期：**103年12月10日**

目次

壹、摘要.....	3
貳、前言.....	3
參、目的.....	4
肆、研習行程及內容.....	4
(一) 研習人員.....	4
(二) 行程概要.....	5
(三) 研習行程及重要內容.....	5
伍、心得與建議.....	18
陸、致謝.....	20

赴日本研習『農業設施環控與結構工程模擬與驗證技術』

壹、摘要

為加強 103 年『設施農業升級及產業加值』計畫之研發能量，特研提 103 年行政院農業委員會臺日國際農業合作計畫，規劃參訪日本大學、農村工學研究所、千葉大學及神奈川縣農業技術中心等單位、1 家植物工廠及 4 處農園，研習其溫室通風與管理策略與技術、流場分析與驗證技術、參訪風洞設備系統(Wind Tunnel System)及其量測設備、近來發展的 dome 型新式溫室及實際應用於生產之溫室類型等，交流彼此相關研究及其量測驗證等相關經驗。

貳、前言

國內夏季時，不管常見之簡易設施或是風扇水牆、風扇噴霧或玻璃精密溫室，常有設施內溫度過高之熱累積問題，降溫需耗費大量的能源(成本)。設施的結構(高度、寬度及長度)、設置方位、通風口型式(側開或開頂)、位置或大小、防蟲網孔目大小、設施內作物別、棚架及其他設施之配置等，皆會影響降溫效率及作物生長的品質。而國內典型之溫室，在通風應用上常見使用側開或開頂等結構，並於出入口加設病蟲害防治之防蟲網，必須進行環控工程模擬，以求得各項設施環控參數，以建立環境調控基礎研究。

目前國內溫室以鈹管塑膠布型式使用最多，具有遮風避雨、搭設成本低之優點，惟耐風強度仍有待提升，因應季節強風吹襲，適度進行結構分析方法研究，實為重要。研究指出，風災前除採取搶收、棄收方法，破壞塑膠布保護鈹管骨架之消極作為外，採取溫室予以密閉且避免強風灌入，並在溫室外部利用壓條固定支撐和內部骨架連結補強等措施，則可提升整體抗風與阻風效果，以及針對颱風、

季風等強風之侵襲，日本曾進行多種相關試驗研究，例如增加鋁管塑膠布溫室骨架直徑與連結等，經補強後可提高風速吹襲強度。而日本設施栽培模式與我國極為相似，在溫室結構模擬分析及設計方面，值得研習及技術交流。

參、目的

為補足農業設施之環境控制效果，以及設施結構尚無整體有效的評估技術，擬藉由派員研習日本利用計算流體力學(Computational Fluid Dynamics, CFD)或 ANSYS 等知名軟體之模擬及實地量測之驗證技術，透過實地參訪與技術交流，冀望將來國內設施產業設計規劃及技術服務之產學研團隊能成形，可應用於國內溫室之模擬與驗證，以對國內溫室產業提供實質的幫助。

肆、研習行程及內容

(一) 研習人員

徐武煥助理研究員行政院農業委員會農業試驗所

Wu-Huan Hsu, Resistant Researcher, Taiwan Agriculture Research Institute (TARI), COA

陳俊仁聘用助理研究員行政院農業委員會農業試驗所

Chun-Jen Chen, Hire Resistant Researcher, Taiwan Agriculture Research Institute (TARI), COA

(二) 行程概要

日期	行程規劃	備註
9月8日	啟程，搭機前往日本成田機場後再搭車前往東京。	夜宿東京
9月9日	參訪千葉縣柏市之 Mirai 株式會社、千葉大學植物工廠園區及筑波之農村工學研究所。	夜宿筑波
9月10日	參訪神生玫瑰園及綠色舞台大平兩處農園之溫室	夜宿東京
9月11日	參訪日本大學生物資源科學部	夜宿神奈川
9月12日	參訪神奈川縣農業技術中心、菊地園藝及西山農園	夜宿東京
9月13日	參訪千葉縣佐倉市 dome 型溫室	夜宿東京
9月14日	返程，由東京搭車前往日本成田機場後搭機返國。	

(三) 研習行程及重要內容

9月8日

(一)參訪千葉縣柏市 MIRAI 有限公司(株式会社みらい)之植物工廠

此行程由後藤孝宏總經理及千葉大學蔬菜園藝學研究室丸尾達教授引導介紹。本植物工廠是由 MIRAI 公司(總部位於東京)與三井不動產共同打造，佔地面積 1260 m²，室內高度 6 公尺，整個內部空間採無柱設計，植物工廠外牆由具隔熱性及氣密性相當好、厚度 18cm 的兩層木頭夾層建材所構建。本廠是從今年 6 月 2 日才開始出貨，6 月 5 日正式宣佈進入投產。本植物工廠採水耕栽培，植床採多層設計，在栽培小苗的第一階段，層數多達 10~12 層，在有限的空間裡可提高其利用率。每層植床的植株利用保麗龍在養液上飄浮，當其一端被移出時，另一端則推動使其植株移動，利用簡易的動作達到簡化設施及節電之目的。而每層上方之光源則採用 LED 和螢光燈。該廠主要栽培萵苣、花葉生菜、結球生菜及直立生菜

等 15 種以上的葉菜，是日本規模很大的植物工廠。類似這樣的植物工廠在日本目前約有 150~160 家。

此植物工廠之萵苣生產分三個階段，第一階段約 14 天、第二階段約 10 天及第三階段約 10 天，萵苣整個生產期程約需 34~35 天，每天產量約 1 萬棵，每棵重量 70~80g，參訪當時市場售價每棵約在日幣 58 元。植物工廠成本有 30% 左右是建築及系統設備、人力成本佔 30%、資材及其他佔 30%、而管銷則佔 10%。



(二)參訪千葉縣千葉大學之柏市園區，由千葉大學丸尾達教授引導介紹。

千葉大學為日本植物工廠應用研發之重點單位。此行在丸尾達教授的帶領解說下，實際參訪千葉大學位於千葉縣柏市的溫室園區。本次主要參訪溫室設施為太陽光利用型植物工廠，藉此瞭解日本現行溫室常用之資材、防蟲網、自然通風設施、養液栽培系統、移動式植床、小苗養生癒合系統、溫室風扇外排氣流改善、殘株堆肥化設備及試驗組合床架及模組化量測系統等。該園區有 7 個正在運作的植物工廠，其中 5 個使用太陽光源，用來生產番茄；另外 2 個使用人工光源，用以生產萵苣。設施結構部分，溫室四周以 C 型鋼為結構主體大幅增加強度，頂部則以鋁管為結構主體，多數溫室都有開頂以大幅增加通風與散熱效能。目前在園區也有一個半圓形屋頂、新型的植物工廠，整體已經大致完工。

因植物之光合作用與陽光、水及二氧化碳相關。為了提供足夠的水源及二氧化

碳以增強作物的光合作用，並能在得到最大的產量情況下使用最少的資源，溫室使用了高透光的 F-clean 膜以增加其透光性。5 個使用太陽光源的溫室使用儲存在地下桶槽的雨水當作養液的水源，且使用熱泵作為夏季降溫及冬季加溫、除濕及氣流之



用。設施內部空間環控空氣的溫度、濕度及風速會影響到植株葉面吸收二氧化碳的效率，故太陽光利用型溫室屋頂採用遮陰網(Shading nets)及保溫網(Thermal screen)來控制光強及溫度；並利用防蟲網以隔絕蟲害。該園區並結合生產氫氣的業者，以管線引用附近工廠之二氧化碳氣體，作為溫室二氧化碳補注之用。整個園區還包括有廢棄物的堆肥化、將其再回收利用。

(三)參訪農村工學研究所(NIRE)

農村工學研究所是編制於農業、食品產業技術總合研究機構(National Agricultural Research Center, NARO)下的一個研究單位，屬於獨立行政法人，跟政府部門有密切的合作，主要執行 NARO 之計畫(例如五年的中期計畫)以達到其預設目標，並於 2011 年 4 月開始實施包括下列 12 個項目的技術發展。

1.食品穩定供給研究：

- (1)高生產率稻田、田地輪作系統的研究。
- (2)設施園藝作物的高收益穩定生產系統、安全食品的穩定供給研究。

2.全球性問題的研究：

- (3)農業水利設施的利用技術、管理功能的診斷、性能審查、管理技術的研究。
- (4)與生物量化生產、利用系統的開發等全球性課題相對應之研究。

3.區域資源利用研究：

- (5)農業水利設施的利用技術、管理功能的診斷、性能審查、管理技術的研究。
- (6)農業水利設施效率的結構功能診斷與性能校正方法的研究。
- (7)土地利用高性能和低成本的研究技術及災難預防技術的研究。
- (8)考慮農業灌溉對災害風險措施的長期安全性的研究。
- (9)本地農業對排水的風險評價變化對應以及運用管理手法的研究。

(10)農業用地生產功能的強化技術以及保全管理技術的研究。

(11)使用自然資源和當地資源的養護管理技術研究。

4.核事故對應研究：

(12)石油洩漏高濃度污染土壤和農田土壤放射性物質的淨化技術調查研究。

農村工學研究所之研究體制除了企劃管理部及技術轉移中心外，尚有農地基礎工學、設施工學、水利工學、資源循環工學及農村基礎設施等研究領域。本次農業設施參訪之對應窗口包含在農地基礎工學研究領域內。

在短暫拜會農地基礎工學研究領域長小林宏康後，與農業設施研究室之首席研究員奧島里美博士、研究員山口智治博士、主任研究員石井雅久博士、主任研究員森山英樹博士及 3 位日本大學、2 位宇都宮大學的見習生做意見交換，共同討論雙方之研究課題與方向及彼此間可行之合作方式。據奧島里美博士表示，彼此間之研究項目有很多類似，未來有很多合作的機會，我國這邊的研究人員也可申請到該單位進行數個月的短期研究。

在意見交流之後，由奧島里美、石井雅久及森山英樹博士等人引導，參觀該所玻璃試驗溫室內之風壓量測元件、資料介面及其資料記錄裝置、設施田間伺服器之應用、氣象站、設施內之感測元件及資料記錄設備、噴霧降溫及養液系統等。比較特別的是參訪中看到溫度及濕度量測的方式，該所目前保留以傳統的濕球溫度計與乾球溫度計進行微氣象觀測，相對於常用的電子式溫濕度計在濕度觀測值普遍過高，此做法值得參考。隨後參觀該所一個大型的風洞，該風洞建於 1978 年，目前仍可正常運作，該風洞可量測之尺寸寬 4m、高 3m、長 20m，風速範圍 0~15m/sec，靜壓跟動風壓測定裝置可分別支援到 100 及 16 點，可測試園藝、畜產及農產設施於空氣流動時、不同風速下實驗設施之耐風性。現場並有圓形及山形單棟或連棟溫室之模型，部分模型有圓形屋頂之開頂、山型溫室兩側開頂等，



許多模型內部設置有很多風壓量測管，量測管則連接到模型表面之孔洞，以作為表面風壓量測之用。



9月10日

(一)參訪茨城縣石岡市之神生玫瑰園(Kano Rose)

該玫瑰園之經營者是神生賢一。園內有三棟 2 連棟(寬 9m*2)大跨距之玻璃溫室，可開天窗進行自然通風，面積為 4000m²，該農園主要栽植玫瑰，可周年生產，該農園設有養液栽培系統。該農園現在擁有 20 個品系的玫瑰，有些新的品系目前正在該農園試植觀察中。當其品系栽植後，該農園利用壓枝的方式增加其切花的產量，有些品系 3~4 即需要重植，某些品系只需 10 年再重植即可。該農園玫瑰每公頃可種植 22000 株，切花產量每公頃 270~280 公噸，每公斤售價約在 300~600 日圓之間。該園設施之使用方面據神生賢一表示，到目前為止該園之溫室結構幾乎很少因為天然災害而受損。

(二)參訪栃木縣之綠色舞台(グリーンステージ)大平

該農園種植番茄，經營者為田杉潤。農園面積約 1 公頃，種植番茄，栽植密度為 2.2 株/m²，目前可容納 22,000 個番茄植株，收穫期為 10 月到隔年的 6 月。



農園建物設施屬於自然光利用型植物工廠，方位屬南北向，24 連棟，被覆資材為玻璃，內部有遮陰及保溫兩層資材，遮陰之時間依據陽光狀況而定。農園溫室使用鍋爐燃燒重油及熱泵之 hybrid 系統進行加熱，以確保加熱運作時失誤率降到最低。暖房依不同之時段設定，13 時~18 時為 21℃、18 時~22 時為 16℃、22 時~5 時 30 分為 16℃、5 時 30 分~13 時為 20℃。晚上二氧化碳濃度控制在 800ppm。滴灌的時間控制從最短 30 分鐘一次到最長 2 小時一次，主要看日照的時間長短及環境狀況。該場番茄年產量在 270~280 公噸，當時在日本相同品系的番茄售價約每公斤 300~400 日圓，但該場因生產品質較優異，售價高達每公斤 600 元左右。至於災損的部分，該農園之設施結構於日本 311 大地震發生時損害情形並不大。

9 月 11 日

參訪日本大學生物資源科學部生物環境工學科，拜會佐瀨勘紀教授

佐瀨勘紀教授曾在農村工學研究所任職多年，做過許多有關設施通風等方面的研究，甚至利用風洞進行量測驗證等，具有豐富的經驗。拜會的同時雙方即針對溫室應用分析研究等工作進度與成果進行交流，並初步探討未來可行之合作方



向與模式。佐瀨勘紀教授表示，溫室高度提高可增加溫度的緩衝功能，當溫室內具有溫度梯度時，因為此緩衝功能使得作物較不易受到溫度熱累積等之影響。自然通風溫室之風力與熱浮力(thermal buoyancy)會影響通風效果，但內部風力又受到入口與出口面積比值的影響。隨著溫室高度增加，入口面積可以加大，但高度大到一個程度，其熱浮力效應對通風的影響可能就會超過入口與出口面積的比值對應之風力所造成的，兩者之間常是交互的影響，且兩者的影響則是呈非線性的關係。所以溫室高度應有其限度，言談中也可觀察出他對於溫室目前以增加溫室設施建築的高度來降溫持保留的態度。此影響在不同季節會有不同的效應，而這些效應常以電腦軟體數值模擬的方式加以分析探討。佐瀨勘紀教授建議在以電腦模擬時，模擬之參數可從一些文獻獲得，再找較簡單且可實際驗證的 model 進行模擬，以先驗證模擬參數的正確性。另外，與佐瀨勘紀教授還有交流計算流體力學(Computational Fluid Dynamics, CFD)應用於設施環境之評估經驗，並向他展示介紹農業試驗所開發使用之農業氣象諮詢系統。佐瀨勘紀教授表示 CFD 應用於結構與通風研究較多，溫度及濕度評估研究較少；而對於農業氣象諮詢系統可將各地氣象資料統一收集並提供給研究人員及民眾使用表示肯定。

9月12日

(一)由佐瀨勘紀教授引薦，參訪神奈川縣橫濱市之神奈川縣農業技術中心，拜會生產技術部岡本保部長、野菜作物研究課藤代岳雄課長及主任研究員深山陽子博士

神奈川縣農業技術中心之組織有企劃經營、生產技術、生產環境、普及指導、病害蟲防除等五個部，並有橫濱川崎、北相、三浦半島及足柄等地區事務所。研究領域包括有(1)蔬菜：西紅柿、茄子、黃瓜、南瓜、哈密瓜、草莓、洋白菜、蘿蔔、洋蔥、蔥、龍鬚菜、菠菜及其他之一般蔬菜。(2)作物：水稻、小麥、大豆、花生及蕎麥等。(3)果樹：梨、李子、葡萄、柿子、獼猴桃、橘子及其他一般果樹。(4)花、觀賞樹：玫瑰、康乃馨，麝香豌豆花，仙客來，珊瑚木，桃及百日紅等。(5)特用作物：茶。(6)加工流通：農產物的加工、流通、銷售、質量評價等。(7)土壤、肥料：土壤管理診斷、改良、堆肥、施肥(肥料)、養液栽培、養液土耕栽培及生理障礙等。(8)病害蟲、鳥獸危害：病害，蟲害發生預測訊息，鳥獸受害對策等。(9)經營、節省勞力化：農業經營、農業普查、生產支援程序、節省勞力化技術機器等。

據深山陽子博士表示，地中管研究早在 30 年前該單位已有相關之研究評估過，但是濕度問題一直無法得到有效解決，所以後來沒有進一步推廣使用。此部分的確切原因仍需進一步研究，但是在臺灣，地中管已有少數幾家蘭花業者導入使用，此方面也值得進一步探討於臺灣應用之可行性與其效果。因地中管的應用在地下 3 公尺以上有較佳的溫度穩定度，埋設內管直徑 50cm、100 公尺長的 PC 管於地下 6 公尺深度處，含入出口之陰井等，目前概估在臺灣施作約需台幣 200 多萬，價格不斐。



(二)參訪菊地園藝

菊地弘幸為經營者。該農園有兩個主要用來栽種番茄的溫室，總面積 2400m²，每年產量約有 25 公噸。其中一個溫室，其排水槽(Gutter)原有 2.5 公尺高，後來將支撐的柱切斷再接長，將其高度增高至 3.5 公尺。該區域去年冬天曾發生有 10



幾天的期間連續下大雪，該農園大約有 20~25 片玻璃屋頂被壓壞。該農園雖然是玻璃溫室，建置成本較高，但業者表示使用年份已經超過 25 年，現場觀察主結構鋼架有經過多次防水漆粉刷所以無銹蝕狀況，溫室目前還是可以正常運作。日本在設施防災之策略上有防風、防雪及防震的考量。防雪的損壞也是其一，就如同該農園，有時甚至造成的損失比風災來得大。該農園菊地弘幸表示，加高之溫室可幫助環境控制的達成，也有助於作物的生長，未來有可能會再將另一個 2.5 公尺高的溫室增高。

(三)參訪西山農園

該農園為西山勳及西山賢一父子檔兩人一同經營，農園主要有 6 個溫室，面積約 7000m²，主要栽種番茄及小黃瓜，前者占約 80%~90%，目前有 4 個品系，收穫期為 3~8 月，非常短暫。該農園大部分溫室已導入使用 F-clean 膜。據該農園西山勳先生表示，當地屋頂材料價格及壽命有所差異，PE 膜、玻璃及 F-clean 膜分別約在 300、2800 及 1500 日圓/m²，PE 膜屋頂使用壽命約 5 年即需更換，



但是 F-clean 膜卻可使用超過 20 年。適逢去年冬天連續下大雪 10 多天時，大量的雪堆積在溫室之間的空間及屋頂，故該農園使用非常多的燃油加熱將雪融化，但是使用高透光、高強度 F-clean 膜的溫室卻未因積雪重量而把它壓壞。

9 月 13 日

參訪千葉縣佐倉市的新型農業設施 Dome 型溫室

為豐富此次的研習內容，特多規劃此一行程。此行程參訪的農業設施 Dome 型溫室坐落在千葉縣的佐倉市，為日本新穎的溫室型式之一，今年七月才開始運轉使用。Dome 型溫室需要良好的氣密性，入口處即採內外雙門設計，同一時間只能打開其中一個門。Dome 型溫室採用 8 個單向式正壓風扇、4 個空調室內機(冷排)，風扇入口及在圓形屋頂中央之出風口都設置有防蟲網，出風口下方則設有防止冷凝水水滴滴落造成幼苗染病之塑膠布。Dome 型溫室單一棟造價為 3800 萬日幣，從育苗到移植於旋轉植床的最內圍需時 2 週，而從內圍緩慢旋轉並移動到最外圍可採收需時約 1 個月。該旋轉植床每圈為 250 株，從最內圍到最外圍有 47~57 圈，故約有 11000~14000 株萵苣在旋轉之植床中生長。據該 dome 的業主



表示，萵苣在日本市場每株售價約在 30~300 日圓，價格非常不穩定，但是採用此種生產方式可採用契作栽培生產，以穩定售價，參訪當時每株契約售價為 250 日圓。換算每天產量約 365~465 株，每天產值約在 9.1~11.6 萬日圓之間。

伍、心得與建議

1. 風洞於農業設施工程模擬驗證之使用：風洞實驗在日本行之有年，包括農業設施在內，風洞也是一項很有效的驗證工具。目前設施之通風、環境因子分布或其結構分析都可結合風洞量測進行驗證。但因風洞及其感測元件非常昂貴，現階段包括農業試驗所在內，如果有其風洞實驗之需要，最有效的方式為先評估具有風洞的學術單位之實驗能量，如果可行再雙邊結合研提兩者間之合作計畫，也可用委辦的方式辦理。
2. 新型設施之使用：千葉大學內目前建有新型圓頂屋頂的溫室，此溫室屋頂經評估為使用填充夾層發泡隔熱的材料，以確保設施內環控的冷或熱不易流失，設施與外界部分可能有其節能的作用，但此型溫室不具有透光性，在植物工場應用必須使用完全人工光源。此型溫室整體如果要有節能的效用，設施與外界間節能的效果必須比光源使用多出的部分來得大。但此種應用方式類似

臺灣之菇蕈類環控栽培室，但其上部結構為圓形，將來如果評估使用須留意棚架空間利用之配置。

3. 新式資材之應用：溫室之被覆材料 **F-clean** 膠膜具有高透光、高強度及具有自淨的特性，目前造價高昂，在臺灣目前單位面積一般造價比玻璃高，但因玻璃材料在臺灣，約 5~6 年級需要清洗一次，如果加上工資的價格，估算其總成本與 **F-clean** 膠膜不相上下。**F-clean** 膠膜值得在臺灣試驗研究單位進行進一步試驗評估。
4. 為達到或維持自然通風溫室所需環境品質的要求，其設施通風口之開閉未來可考慮採用智慧型控制，將風力等環境的主要條件列為控制的感測因子。
5. 一維或二維移動式或旋轉式立體植床的概念：增加設施內可利用於生產的面積比率，或使其均勻受光，甚或區分以提供不同生長時期的光線或養分的需求，使其可利用性及其產量增加。
6. 設施內動態生產：新農業設施 **dome** 型溫室目前造價高昂，半圓形的結構為其雙層的塑膠布，一定正壓將結構撐起半圓形，內部也需保持一定的壓力，故需要有一定的密封特性與技術，內部旋轉模組化結構的概念，將來作物利用設施生產不盡然都是靜態方式，生產動線如何規劃、作物植株於設施內如何均勻受光等，承載的結構是否可因植株變大而做相對應的調整，或是養分的供給或受光的變化是否需要做不同階段的調整等，都是值得臺灣將來溫室設施發展之參考。
7. 二氧化碳補注：日本相當重視設施內作物生長二氧化碳的補注，應用的設施包括有開頂溫室及具有降溫系統的溫室。據參觀其中的一個農園業主表示，二氧化碳補注通常是在早上的時段(例如 8 點到 10 點)進行，將補注的濃度控制在 2000ppm，10 點後再將其開頂或降溫系統打開，以加強作物的光合

作用，強化其產量及品質，此做法值得國內評估參採。

8. 溫室成本效益分析：臺灣與日本同樣都受颱風威脅，此次參訪溫室多數以 C 型鋼為主結構，抗風能力較強，建置成本雖然高但可以使用年限也較長，適合農民長期種植與規劃長期種植作物，建議將來溫室設施發展應該包含分析成本效益之因素。
9. 水資源利用與分配：本次參訪日本農家多數引用地面水灌溉，很少直接由農戶自行鑽井抽取地下水，經詢問陪同專家後得知日本的地下水之抽取是由主管單位統一規劃管理並以地面渠道方式輸送。

陸、致謝

感謝本行程之規劃與參訪期間我國台北駐日經濟文化代表處林榮貴秘書的熱情接待與協助。