

出國報告（出國類別：訪問）

循環經濟多元化林產品國際交流研究 I

服務機關：農業部林業試驗所

姓名職稱：何振隆 研究員兼組長、林振榮 研究員、
徐中芄 副研究員、林柏亨 助理研究員、徐光平 聘用助理研究員

派赴國家/地區：日本/東京、京都

出國期間：113 年 9 月 17 日至 9 月 21 日

報告日期：113 年 11 月 15 日

摘 要

此次赴日參訪，團隊前往東京大學、日本木質生質能源協會、FORESTRISE 展(第 4 回次世代森林產業展)和京都大學，目的是學習日本在農林剩餘資材高值化利用、生質能源技術及循環經濟方面的經驗，推動台灣林業資源的永續利用。台灣每年產生大量農林剩餘資材，但多數僅以低價出售或焚燒，導致資源浪費和環境污染。因此，此行希望借鑒日本技術，促進資源回收和高效利用，逐步實現減廢和零廢的目標。

在東京大學的交流中，團隊了解到日本在纖維素加值利用技術的最新進展，及其應用於多樣產品的可能性。於日本木質生質能源協會參訪，團隊與日本專家深入探討木質顆粒燃料及生質能源技術，發現日本技術的高成熟度，並意識到需根據台灣的資源特色和產業鏈進行本地化調整，特別是在資材取得和規模應用方面。未來將持續與日本專家展開密切合作，針對台灣環境進行技術適配性研究，將是技術引進的關鍵。

此次參訪日本 FORESTRISE 展(第 4 回次世代森林產業展)，聚焦了日本林業創新技術。展覽展示了森林產業的尖端設備和技術，包括木材加工、林業機械、生態保護和可再生能源等領域的新技術等。這些技術不僅能提升資源管理和生產效率，也對生態保護有重要作用，更增加了木材的使用方式及提高剩餘資材的利用率。

在京都大學的學術交流中，日方學者介紹了木質素和纖維素的創新研究，例如具有高氮氣阻隔特性的複合纖維素薄膜、適用於氣球包覆層的材料，以及非破壞性檢測技術和機器學習在木塑複合材料(WPCs)改善中的應用，為台灣的研究提供了啟示。京都大學的先進實驗設備，如 GC-MS、LC-MS、FT-IR 等，對提升台灣在木材分析及生質能源技術的研究水準有重要參考價值。未來應加強與京都大學的合作，尤其在木質材料科學和生質能源領域的知識共享。

此次參訪不僅加深了團隊對次世代森林產業技術的理解，也為台灣在林業剩餘資材的高值化利用、生質精煉及生質能源技術的發展帶來了寶貴的啟示。期待持續推動與日本的技術交流與合作，為台灣林業循環經濟注入新動力。

目次

摘要.....	1
壹、 前言及目的.....	3
貳、 參訪行程概要.....	4
參、 參訪單位交流紀錄.....	6
肆、 心得與建議.....	22
伍、 附錄.....	23

壹、前言及目的

林業循環是一種以林業資源的循環利用為核心，以「再利用、再循環、減量化」為原則，以低消耗、低排放、高效率為基本架構，實現林業資源循環利用及對環境危害最小的發展模式。臺灣目前每年在國內木竹產業的生產加工過程中產生的剩餘物估計約為 70 萬公噸，然而，於此等之剩餘物處置方法，半數以上為直接焚燒、供能源使用(原子炭)、廢棄、再回收利用成木竹質材料及其他處理(如堆肥、製成樹脂、蚊香、纖維水泥板、飼料、菇類栽培等)等低價值使用，其再利用率僅有 5%，實為造成環境清潔、生態與產業經營困境等諸多問題。

於日本東京大學、日本京都大學及日本木質生質能協會於林業循環經濟中之化學處理、生物精煉和生質能源等技術研發成果均尋翹楚。因此，本次參訪重點，即為深入瞭解日本學術單位在林業循環經濟中之技術研發成功經驗。同時，學習及借鏡先進的化學處理、生物精煉和生質能源技術，以及纖維素等多元且高值化的林產品開發技術，以逐步達減廢零廢目標，並提升我國林業剩餘資材科技研發與生產效能水準。

貳、參訪行程概要

(一)參訪人員名單

中文姓名	服務單位/職稱	學歷	專業領域
何振隆	林產利用組/研究員 兼組長	博士	生質材料與能源開發、溶劑製漿研究、造紙濕端化學研究、林產物化學利用研究
林振榮	林產利用組/研究員	博士	樹木危險性檢測、建築木質構件的非破壞性檢測及材質評估、樹木非破壞性檢測及材質評估、複合材料之開發應用研究、木質廢棄物之回收再利用研究、木質材料的物理性質檢測
徐中芄	森林經營組/副研究員	博士	景觀評價、景觀偏好、環境心理、日文翻譯
林柏亨	林產利用組/助理研究員	碩士	林產物利用研究、生物質轉化利用、綠色製程開發應用
徐光平	林產利用組/聘用助理研究員	碩士	林產物利用研究、生質材料與能源轉化開發、製漿漂白技術研究

(二)參訪行程概要

為執行本所 113 年行政院國家科學技術發展基金管理會補助計畫「人才培育與研發成果推廣計畫」(計畫編號：NSTC 113-3111-Y-061-001)，於 2024 年 9 月 17 日至 9 月 21 日前往日本東京、京都，進行參訪與國際交流。此次參訪將包括東京大學農學院森林科學專攻、京都大學農學研究科森林科學專攻及日本木質生質能協會等地，旨在瞭解日本以林木剩餘資材應用於生物精煉高值化及優化製程技術，以及纖維素多元化開發技術之最新發展。

日期			起迄地點	任務
月	日	星期		
9	17	二	臺灣→日本東京	於臺北松山機場搭機前往日本東京羽田國際機場。
9	18	三	日本東京→東京大學農學院森林科學專攻	<ol style="list-style-type: none"> 1. 上午為參訪東京大學農學院森林科學專攻橫山智也教授及齊藤嗣之教授研究室。 2. 瞭解日本在木竹剩餘資材應用於纖維素增值利用技術上的最新進展及相關產品。
			東京大學農學院→日本木質生質能源協會	<ol style="list-style-type: none"> 1. 下午為參訪日本木質生質能源協會，與協會會長酒井秀夫教授和副會長矢部三雄先生會談。 2. 瞭解日本林業剩餘資材的利用、木質顆粒的應用及生質能源的發展現況等，促進技術合作。
9	19	四	日本東京→FORESTRISE 展(第4回次世代森林產業展)	上午為參訪 FORESTRISE 展，瞭解次世代森林產業創新技術、智慧林業解決方案及木材應用與永續經營，並促進產業交流合作。
			日本東京→京都	下午為搭乘新幹線(JR)由東京前往京都
9	20	五	日本京都→京都大學農學研究科森林科學專攻	<p>參訪與京都大學的行程：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 與農學研究科森林科學專攻的高野俊幸教授和寺本好邦教授進行座談。 2. 雙方以木質素與纖維素等材料的研究進行功能性應用、開發潛力及可永續應用於工業中的前景探討。 3. 下午為參訪高野俊幸教授和寺本好邦教授實驗室並討論未來合作研究方向。
9	21	六	日本京都→關西國際機場→桃園國際機場	於關西國際機場搭機返國。

參、參訪單位交流紀錄

一、9月18日上午前往東京大學農學院森林科學專攻

東京大學森林科學專攻隸屬於農學部，主要研究領域涵蓋森林生態系統、林業資源管理及木材材料科學。該專攻的目標是培養具備廣泛知識和技能的專業人才，能夠在森林資源的可持續管理、生態系統保護以及林產業多元化與永續發展中發揮積極作用。

此次參訪主要拜會橫山智也(Tomoya Yokoyama)教授及齊藤嗣之(Tsuguyuki Saito)教授的研究團隊。二位教授在木材化學及纖維研究方面卓有成就。在會談中，橫山教授介紹了他的最新研究方向：

1. 木材化學改性

研究如何通過化學處理提升木材的性能，如耐久性、耐火性和抗腐蝕性。

2. 木材成分分析

致力於木材結構和化學組成的分析，特別是木質素和纖維素等生物聚合物的性質及其在不同應用中的表現。

3. 環保型木材處理技術

研究如何開發更環保的木材處理技術，以減少對環境的影響。

於齊藤嗣之教授主要專注於以下研究：

1. 奈米纖維素複合材料

齊藤教授致力於從植物中提取奈米纖維素，並探索其在生物醫學、包裝材料和高性能複合材料中的應用潛力。他深入研究纖維素的化學結構及其在不同條件下的行為，並開發新型纖維素材料。

2. 可持續材料科學

致力於開發可持續材料，減少對化石燃料基材料的依賴，推動環保技術和產品的發展。

兩位教授在會談中提到，利用奈米技術可將木竹剩餘資材轉化為奈米纖維素(圖 1)，從而開發高強度、輕量化的材料，適用於複合材料和生物醫學等領域。他們目前正致力於解決奈米纖維素品質不一的問題，例如：通過高壓均質機等技術手段以提高產品的一致性。

通過與東京大學製紙科學部齊藤教授的交流，我們了解到日本在木竹剩餘資材的纖維素增值利用技術及相關產品開發方面的最新進展，包括奈米纖維素製程技術的簡

化和竹纖維研發技術等，這些技術成果值得台灣借鑒與學習。此外，這些技術能促進兩地在生物資材增值利用、循環經濟及環保材料方面的合作，為未來的科技與產業發展注入新動力。

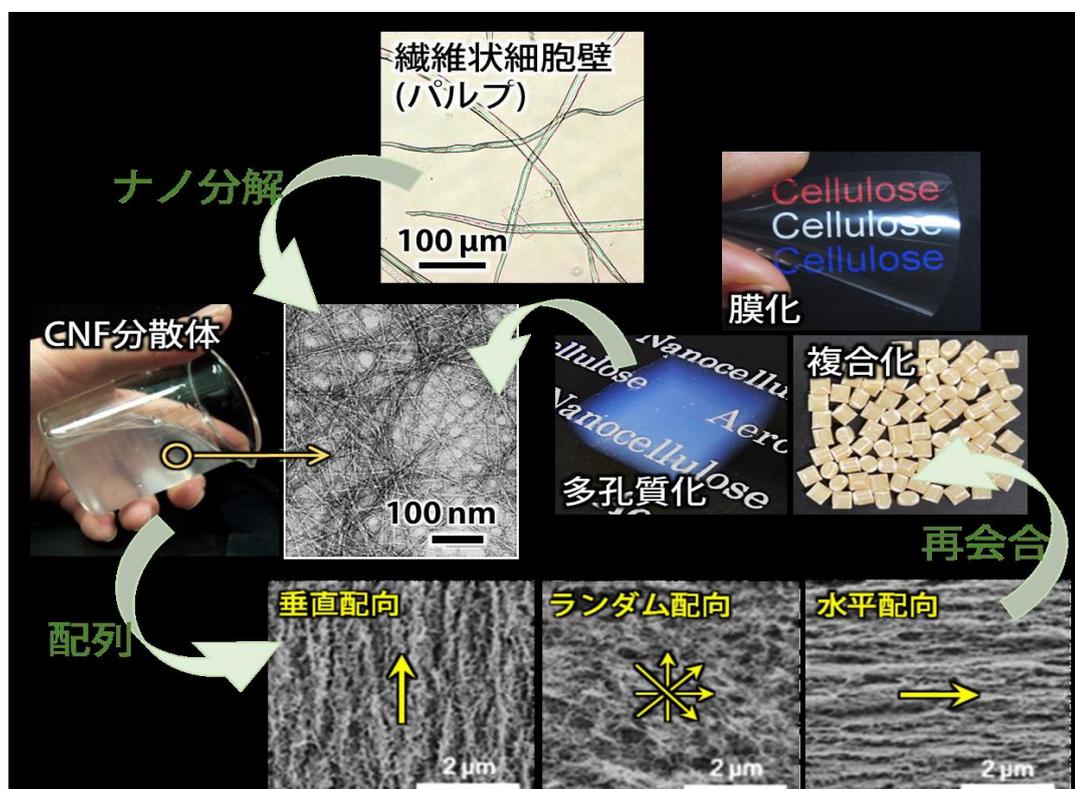


圖 1. 橫山智也教授及齊藤嗣之教授近期研究聚焦於奈米纖維素的開發與應用

二、9月18日下午前往日本木質生質能源協會

日本木質生質能源協會(Japan Woody Bioenergy Association, JWBA)為專注於推廣木質生質能源的非營利組織。該協會致力於推動木質生質能源在日本的發展與利用，通過研究、教育、政策建議等方式來促進可再生能源的使用，以達到減少碳排放和提升能源自給自足的目標。

本次參訪日本木質生質能源協會的過程中，由協會會長酒井秀夫先生與副會長矢部三雄先生親自接待且以「日本木質生物質能源現況」進行簡報。簡報結束後，雙方深入探討林業剩餘資材的利用、木質顆粒的應用以及生質能源的發展等議題。以下是詳細的訪談內容紀錄。

1. 日本林業所產生的剩餘資材現狀

日本林業中之林業剩餘資材現況顯示，近年來燃料材的需求與供應量均有顯著變化，

特別是木質顆粒的使用與進口量大幅增加，此也證實生質能源在日本能源結構中，日益重要的地位。

自平成 26 年(2014 年)以來，日本國內的燃料材需求量顯著擴大，尤其是進口燃料材的需求量急劇上升。到令和 4 年(2022 年)，燃料材的需求量已超過國內木材總需求量的 20%(圖 2)。這一變化與再生能源固定價格收購制度(Feed-In Tariff, FIT)的推行有密切關係，該制度自 2013 年日本實施以來，鼓勵利用木材進行發電，使得木質燃料的需求快速增長。

木材生產量中燃料材的比率也有明顯變化。根據日本林野廳的數據顯示，隨著人工林資源的充實，燃料材的比率從 2013 年的 1%逐年增加，至 2022 年(令和 4 年)達到 29.7%。當年日本國內的木材生產量擴大至 3,500 萬 m³，顯示出燃料材在木材生產中所占比重的日益增加(圖 3)。

在木質顆粒的生產方面，令和 4 年日本的木質顆粒國內生產量達到 15.8 萬噸，較前一年增加 0.2 萬噸，雖然規模仍小，但呈現穩步增長的趨勢。但於生產工廠數方面，現為 136 家木質顆粒生產工廠，較前年度減少 2 家。然而日本國內生產的木質顆粒僅佔總供應量的 3.5%，所需要的木質顆粒絕大部分仍依賴進口，因此導致木質顆粒進口量有顯著增長的趨勢。於令和 4 年，日本的木質顆粒進口量達到 440.7 萬噸，比前一年增長了 41.4%。其中來自越南、加拿大和美國的進口量佔總進口量的 90%，顯示出進口木質顆粒在滿足日本國內需求中扮演的重要角色。

在燃料材的來源方面，製材廠和建築工程所產生的剩餘資材幾乎全部被回收利用，回收率高達 90-98%。然而，林地所剩餘資材的利用率儘管逐年增加，仍不到 40%，顯示出尚有大量潛在可利用資源未得到充分開發。根據估算，林地剩餘資材的潛在收集量約為 660 萬噸，而枝條等剩餘資材量則達 203 萬噸，合計換算後，約相當於 1,890 萬 m³ 的可用資材。提高這些剩餘資材的利用率，對於日本發展木質生物質能源具有重要意義。

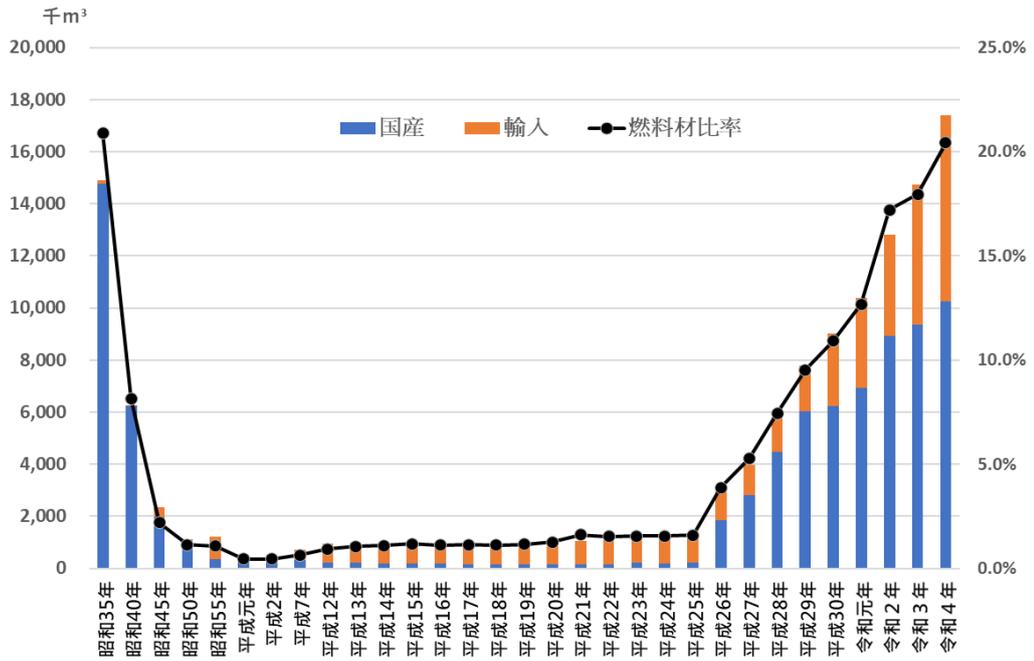


圖 2. 日本燃料材需求量的變遷

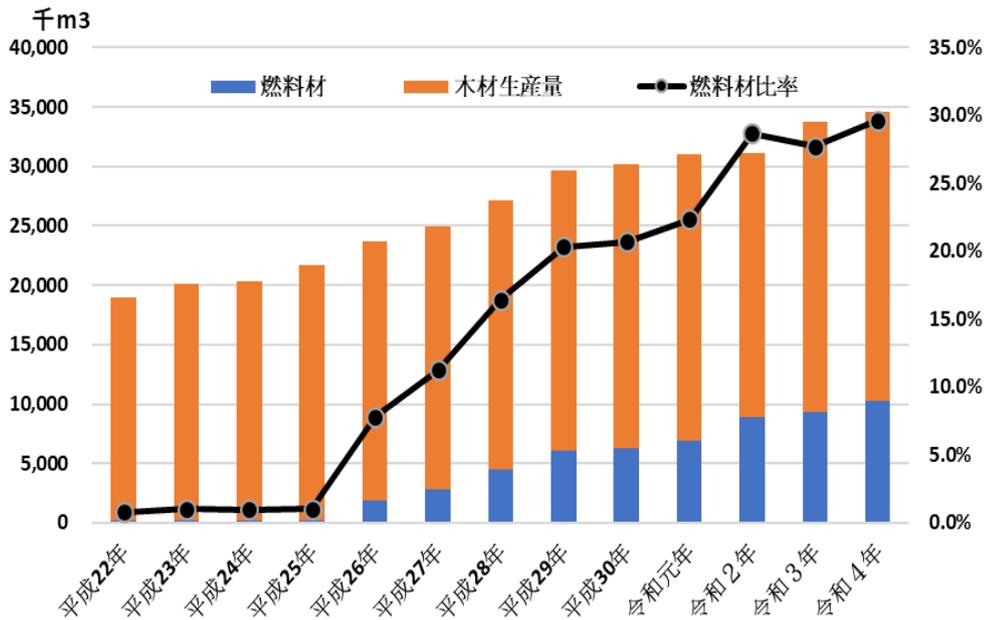


圖 3. 木材生產量中燃料材比例的變遷

2. 日本生物質顆粒利用現狀

生物質顆粒於日本利用情況持續成長，特別是在木質顆粒的生產和使用方面，有顯著的進展和應用範例。

首先，根據 2023 年 4 月 1 日日本修訂《木質顆粒品質規範》中有列出：木質顆粒

的濕基低位發熱量(Lower Heating Value, LHV)之標準為 16.5 MJ/kg 以上，此標準與 10% 含水量之濕基低位發熱量相當，使木質顆粒在燃燒時具有穩定熱能輸出。故此熱值標準，除可助於提高木質顆粒作為燃料效能，亦可適用於供暖等生物質能源應用。

在原料供應和運輸方面，日本的木質顆粒生產主要依賴於兩種來源：

(1) 製材廠內的剩餘材料：製材廠的剩餘材料通常直接在工廠內加工為顆粒，或運輸至距離 50 公里以內的工廠進行加工。

(2) 林地剩餘木材：林地剩餘木材則由公共部門在小型區域內負責收集和加工，這種分散收集的方式有助於提高木質生物質能源供應的可持續性和穩定性。

以群馬縣上野村為例，該地區已制定長期的森林管理計畫，將木質生物質能源作為重點政策之一。上野村從村內森林，收集低品質針葉樹、闊葉樹殘材及製材廠所產生之剩餘資材，並將其加工為木質顆粒，供村內居民和設施使用，實現能源自給自足的目標。

而於長野縣的上伊那森林組合，木質顆粒生產以間伐的日本落葉松(*Larix kaempferi*)和赤松(*Pinus densiflora*)為原料，年產量約為 3000 噸。該地區の木質顆粒供應主要集中於每年 12 月至次年 2 月，約七成的生產量用於供暖設備，顯現出木質顆粒在冬季取暖應用中的重要性(圖 4)。

總結來看，日本在生物質顆粒的利用上展現了多樣化的應用策略，不僅通過品質規範來確保產品效能，還根據地區特性調整生產和供應計畫，以滿足不同季節和市場需求的變化。



圖 4. 於長野縣的上伊那森林組合，於夏季時將木質顆粒庫存狀況

3. 日本生物質能源發電的現狀

日本生物質能源發電正快速發展，特別是在木質生物質發電領域，有著顯著的導入

進展和技術應用的多樣性。

首先，根據 2030 年度的日本能源需求預測，木質生物質發電的導入目標為 4.26 GW，而實際可能的導入量可達 5.55 GW。截至 2023 年 12 月，木質生物質發電的實際導入量已達到約 5.06 GW，顯示出需求的迅速增長，然而經由再生能源固定價格收購制度 (Feed-In Tariff, FIT) 認證的木質生物質發電總量已達到 8.22 GW，此為顯示出未來仍有大量項目等待明確規範。

在能源轉換技術的應用方面，目前主要技術，包括：直接燃燒(蒸汽渦輪)、有機朗肯循環(Organic Rankine Cycle, ORC)技術和熱解氣化技術。其中，直接燃燒技術和 ORC 技術可將燃料轉化為高焓熱，但其缺點為大部分的熱能並未得到充分利用。而 ORC 技術和熱解氣化技術能產生 80-90°C 的熱水，非常適合應用於熱電聯供系統，提高能源利用的綜合效益。

不同能源轉換技術對燃料的要求也有所不同。直接燃燒技術和 ORC 技術對燃料的水分含量和形狀要求較為寬鬆，因此能夠使用多樣的燃料來源。熱解氣化技術對燃料品質的要求較高，需嚴格控制水分、形狀和灰分等指標，以確保設備穩定運行。

目前經 FIT 制度認證並投入運行的木質生物質發電設備中，約有 78% 採用直接燃燒技術，顯示出其為成熟且廣泛應用的火力發電技術；而使用熱解氣化技術的設備佔比約為 22%。直接燃燒技術因其技術成熟度高且應用廣泛，已成為木質生物質發電的主要選擇，而熱解氣化技術則逐漸發展，為提升能源利用效率提供了新的方向。

總體來看，日本在木質生物質發電的發展上，技術選擇多元且導入速度快，未來隨著更多高效能技術的普及和應用，木質生物質能源有望成為日本能源結構中的重要組成部分。

4. 環境相關對策

在木質生物質能源的發展過程中，日本面臨的一些環境問題與對策，及其在 J-Credit 制度中的應用現狀，反應了政策、技術和實際運行之間的協調挑戰。

關於環境問題與對策，在木質生物質原料的收集和處理過程中，污染和異味的問題相對較少。然而，當原料儲存時，特別是樹皮等容易吸水的材料，可能會導致粉塵及異味問題。這些儲存中出現的問題需要適當的管理措施以避免影響環境品質。此外，在燃燒過程中產生的氮氧化物(NOx)和粉塵等大氣污染物，則受到日本《大氣污染防治法》

及各地區條例的嚴格規範，以減少對空氣品質的影響。

其次，在 J-Credit 制度中的應用情況方面，日本針對木質生物質的利用制定了包括發電和熱能應用的方法論。然而由於 FIT 下的電力購買價格較高，多數企業更傾向於通過 FIT 制度出售電力，而非進行碳信用交易。因此 J-Credit 的使用主要集中在地方自治的特殊案例或自用情況下，使用率相對較高。

總體來看，木質生物質能源在發展過程中，雖然面臨一些環境管理的挑戰，但日本透過法律規制和適當的管理措施，努力減少環境影響。同時，政策的激勵機制，如 FIT 制度和 J-Credit 制度的應用，為木質生物質能源推廣提供了多種途徑。

5. 其他

(1) 生物質燃料灰分的利用

生物質燃料在燃燒後會產生灰分，這些灰分在日本有幾種處理方式。一是將其賣給肥料公司，但這要求進行重金屬檢測，增加了成本。另一種做法是賣給水泥公司，用於增量製作，如：填海造地或道路施工中使用的水泥(不需重金屬檢測)。此外，一些工廠選擇將灰分埋在自家土地中，如撒在太陽能板下方的土壤上，來防止雜草生長。

(2) 竹子應用於生物質燃料

竹子在日本應用於生物質燃料的案例不多，但已在一些小規模單位中進行加工和利用。用途不僅限於顆粒燃料，還可作為貓砂的替代品或乳酸發酵處理後的牛飼料。此為因竹子成分中鈉、鉀、矽的含量較高，尤其是矽會導致竹子在破碎時刀片損耗較大。

(3) 日本的能源利用現狀

自 2011 年 311 地震後，日本的核能使用率降至零，火力發電占比約 60%，水力發電約 20%，再生能源(如太陽能和風力)僅占 2%，生質能源的利用率不到 3%。太陽能發電的發展受到電池廢棄問題的限制；風力發電在陸地上雖環保，但噪音等問題使其在陸地應用受限，需要發展海上風力發電，但成本較高。

三、9 月 19 日上午參訪 FORESTRISE 展(第 4 回次世代森林產業展)

此展覽為日本專注於森林產業的專業展覽會，旨在展示支援森林產業可持續發展和創新的最新技術、設備和解決方案。此展覽會場為位於東京國際展覽中心(日本東京都江東區有明 3-11-1)，吸引來自各地的參展商和參觀者，展示範圍涵蓋木材加工、林業機

械、生態保護和可再生能源等領域的新技術，促進森林資源的可持續管理和有效利用。此外，於會場中，還提供商務洽談機會，使參展商和訪客能夠建立合作夥伴關係，推動林業創新發展。因此，該展覽會不僅是展示最新技術和產品平台，也是森林產業專業人士交流合作重要場合，以下即為介紹具備林業創新技術的廠商。

1. 矢崎總業公司提供的產品展示了創新的環保應用：

「木煉」是一種利用間伐剩餘資材製成的環保再生產品，屬於無污染の木質模壓鋪路石。作為 100%木材製造的地磚材料，適用於一般人行道、公園和散步道等場所(圖 5)。與瀝青或混凝土相比，木煉具有更高的隔熱性，能有效抑制陽光直射的反射，從而減輕熱島效應。由於木材本身的柔韌性，木煉在吸收衝擊方面表現出色，類似於軟木塞材質，但比軟木塞更硬，步行時可減輕腿部、臀部和膝蓋的負擔，並降低摔倒時受傷的風險。

此等創新產品展示了林業剩餘資材的高效利用和對環境的友善，有助於推動可持續發展和綠色生活。



圖 5. 木煉應用於人行道地磚(來源：矢崎總業公司網站)

2. TYL Solutions

TYL Solutions 為新加坡公司，運用物聯網技術「Internet of Tree」，透過安裝在樹木根部的傾斜感測器，可對樹木傾斜變化的線上進行即時監測，以預防樹木倒塌事故的發生。此監測系統特別適用於監控老樹、行道樹以及公園和學校的樹木，有效降低樹木傾倒造成的安全風險及人員傷亡。此外，若結合氣象資料如風向和風速的監測，還可進行更深入的研究和風險評估，進一步提升樹木管理的精確度與安全性。



圖 6. 與 TYL Solutions 討論「Internet of Tree」技術

3. 德光建機

以現場影片介紹了各類伐木機械和草刈機械，並展示了多種抓斗的實體及模型。這些機械只需更換不同的抓斗刀具，就能執行各種作業，如：修枝、伐竹、伐木等。此外，有些抓斗還能處理大樹根、壓碎樹木，或連接衝壓刀進行木材劈開作業，也適用於廢棄物處理，展現出多功能的作業能力和靈活性(圖 7)。



圖 7. 與德光建機討論伐木及伐竹等機具事宜

4. 日比谷 Amenis 公司

採用 TopTex 材料(聚丙烯不織布)覆蓋材料(圖 8)，覆蓋在儲存的剩餘資材(如木片)上方，利用發酵產生的熱量來進行木片自然乾燥，有助於木片的儲存。此覆蓋材料具備「高耐用性」、「易用性」以及「透濕性與防水性」的特點，此材料結構使雨水和水滴難以滲透，但可讓木質生物質排放的蒸汽透出，只需覆蓋於木質生物質燃料之上，即具有戶外儲存功能，相比於需要建築物存放木片的情況，能有效降低成本及人力。



圖 8. 可促進木質生物質材料乾燥的 TOPTEx

5. 日本林野廳

現場展示了 2022、2023 的日本林野廳研究成果及研發的新技術，尤其是有關「木材系新素材」系列，如：「高柔軟性板材」木片經過特殊處理，可以將木片變得柔軟，可直接塑形，製作成盤子、湯匙、盒子等，可增加木材的使用範圍等(圖 9)。

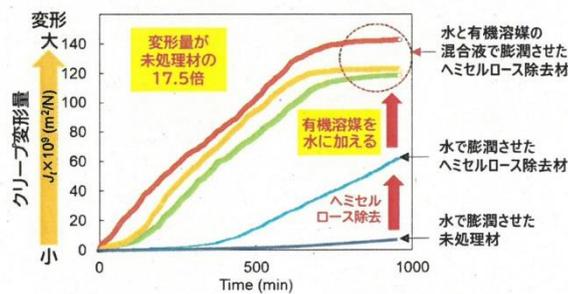


図1: 脱成分処理試験片の液体乾燥過程における曲げクリープ変形挙動



図2: 試作品イメージ (HPから画像引用 ポール & ジョー ファンデーションケース)

実施主体: 【代表】(国研) 森林研究・整備機構
【共同】チヨダ工業株、玄々化学工業株



圖 9. 日本林野廳所研發之高柔軟性板材

四、9月20日參訪京都大學農學研究科森林科學專攻

在與京都大學的交流中，我們與農學研究科森林科學專攻的高野俊幸教授和寺本好邦教授進行座談，探討木質素與纖維素等材料的研​​究，獲得一些新的啟發，尤其是在這些天然高分子材料的功能性應用及其在綠色材料開發中的潛力方面。我們深入了解了如何利用木質素和纖維素衍生物提升材料性能，以及這些技術在可持續工業應用中的前景。這些討論為我們今後的研究方向提供了寶貴的參考和新的靈感。以下是詳細的座談會內容紀錄。

1. 製漿廢液中之木質素回收利用

木質素是自然界中最豐富的芳香族聚合物之一，目前主要用於製漿過程中的熱能回收。然而，木質素具有潛力轉化為有用的低分子量芳香化合物，如香草醛。在自然界中，白腐菌通過分解木質素發揮作用，這一過程涉及介體(mediator)這種低分子量化合物，它在酶(如漆酶和過氧化物酶)與木質素之間進行反應。

過去多年來，模仿白腐菌分解木質素的漆酶介體系統(LMS)已被提出並研究，是一種環保的木質素降解技術。然而，由於酶的高成本和反應條件的限制，LMS 未能在工業上廣泛應用。

近期京都大學高野俊幸教授和寺本好邦教授研究團隊，已研發出一種新型的電解介

體系統(EMS)技術作為 LMS 替代方案，用於克服現有技術的缺點，並提供更環保的木質素降解途徑(圖 10)。

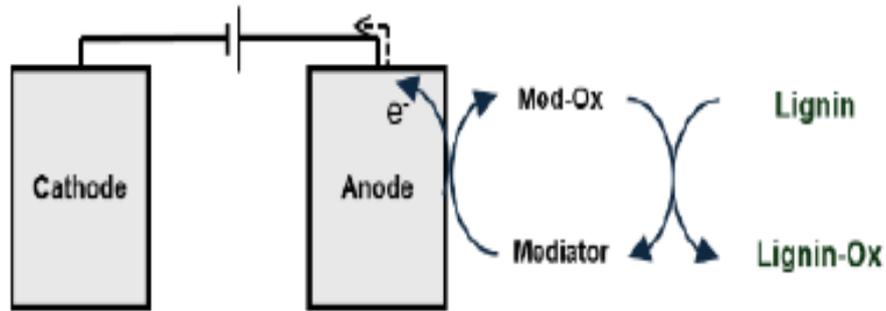


圖 10. 新型電解介體系統技術介紹

2. 奈米複合纖維素薄膜應用技術

京都大學指出聚氨酯/有機黏土奈米複合薄膜具備優異的氦氣阻隔特性，顯示出作為氣球包覆層潛力材料的應用前景。這些氣球主要用於國防監控，一般由四層組成：強度層、保護層、黏合層和氣體阻隔層。然而傳統多層結構面臨如脫層和低溫柔韌性差等問題的挑戰。熱塑性聚氨酯(TPU)因其多功能性，顯示出用於氣球包覆層的潛力，但其耐候性和氦氣阻隔特性需要進一步提升。為了改善 TPU 薄膜的氦氣阻隔性，本研究探討通過結構改造或引入奈米材料(如：奈米黏土或石墨烯)來增強其性能，特別是在 TPU 基體中添加有機黏土來製備聚氨酯奈米複合材料(PUNCs)，藉由增加氣體擴散的「曲折路徑」長度，來提高薄膜的氣體阻隔效果(圖 11)。

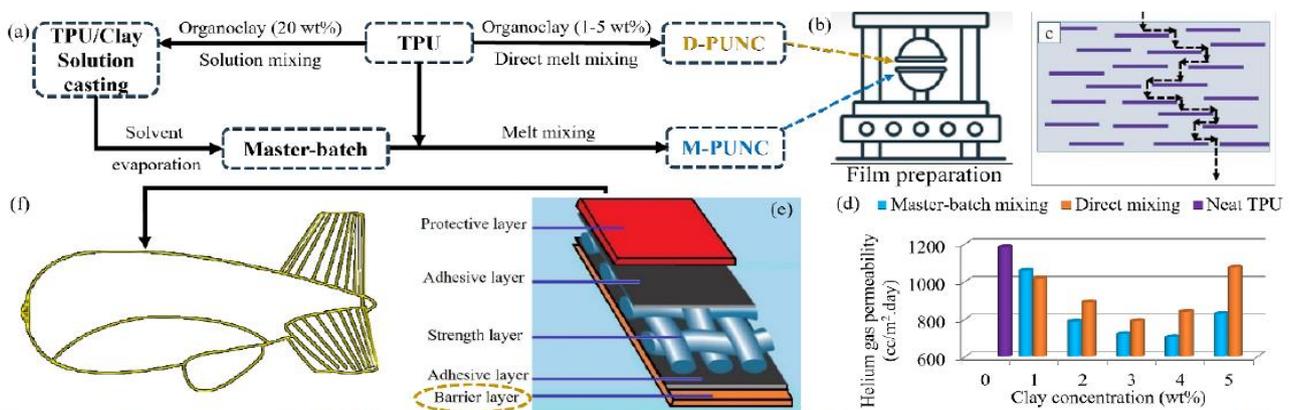


圖 11. 京都大學以聚氨酯/有機黏土納米複合薄膜作為氣球包覆層潛力材料

3. 利用 AI 機器學習在優化木塑複合材料(WPCs)配方中的應用

機器學習在木材相關工業材料的開發與評估中產生了變革性的影響，特別是在改善木塑複合材料配方的應用上。因此京都大學利用非線性偏最小二乘回歸和貝葉斯方法的改進，開發了一種自適應實驗設計。這種設計可以有效優化 WPCs 配方，顯著提升彎曲強度和抗衝擊強度等關鍵性能指標。這種基於機器學習的自適應設計方法不僅能加快材料開發過程，還能降低所需的資源投入，使可持續材料的開發變得更加高效和可行。這為各行業推廣應用可持續材料提供了有力支持，期望在未來的工業材料創新中發揮更大的作用(圖 12)。

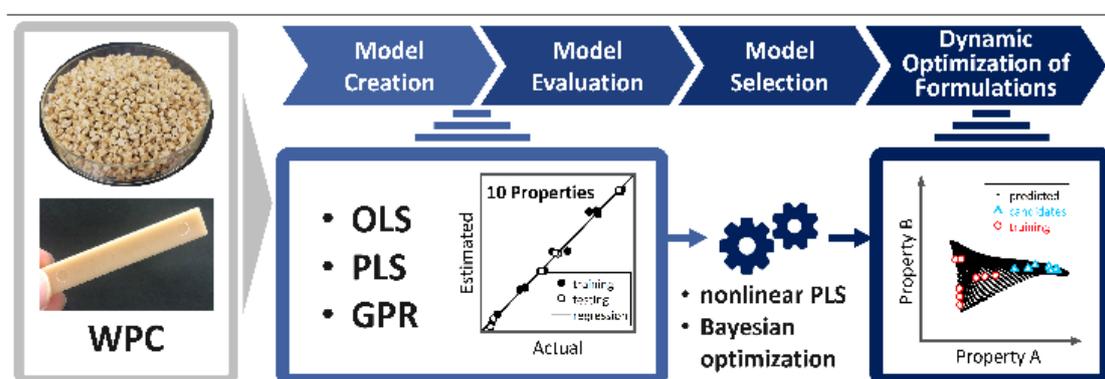


圖 12. 以 AI 機器學習在優化木塑複合材料(WPCs)配方中的應用

4. 參觀高野俊幸教授和寺本好邦教授之研究室

於參觀研究室時，見識到兩位教授實驗室，除了有造紙(圖 13)、木材物理機械設備(圖 14)外，並具備許多先進儀器，包括：GC-MS、LC-MS、FT-IR、X-ray 及 NMR 等儀器(圖 15)，這些設備對於木材分析領域研究具有極高價值。



圖 13. 造紙試驗設備



圖 14. 木材物理機械設備



圖 15. 兩位教授實驗室具有許多先進儀器

5. 未來的實驗合作展開討論

我們雙方就未來的實驗合作展開了深入討論，初步確定了研究方向，並計劃在木質材料科學及生質能源領域通過共同研究項目促進雙方的技術與知識共享，推動研究的深入發展(圖 16)。



圖 16. 雙方未來的實驗合作展開討論

肆、心得與建議

此次赴日本東京與京都參訪，讓我們對林業剩餘資材的高值化利用及生質能源技術有了深刻瞭解。以下為重點摘錄：

(1) 技術交流與本地化調整：

在東京大學，我們了解了日本在纖維素加值利用技術及相關產品上的最新進展；日本木質生質能源協會則讓我們深入掌握了日本木質顆粒燃料及生質能源技術的成熟應用及林地剩餘資材利用。由於台灣在地理環境、資源特性及林業產業鏈方面與日本不同，技術引進必須進行本地化調整，特別是在資材取得及使用規模上。近期將再與日本專家展開緊密合作，針對台灣的具體環境進行技術適配性研究。

(2) 次世代森林產業技術：

在 FORESTRISE 2024 展覽中，展示了多項先進林產技術，包括矢崎總業公司的紙質布面材料和木煉，提升林業剩餘資材循環利用；TYL Solutions 的「Internet of Tree」技術，具有樹木傾斜即時監測，降低倒塌風險；德光建機的多功能伐木及草刈機械，提高作業效率；日比谷 Amenis 的 TopTex 材料，促進木片自然乾燥並降低儲存成本。這些技術有助於台灣林業資源管理和生態保護。

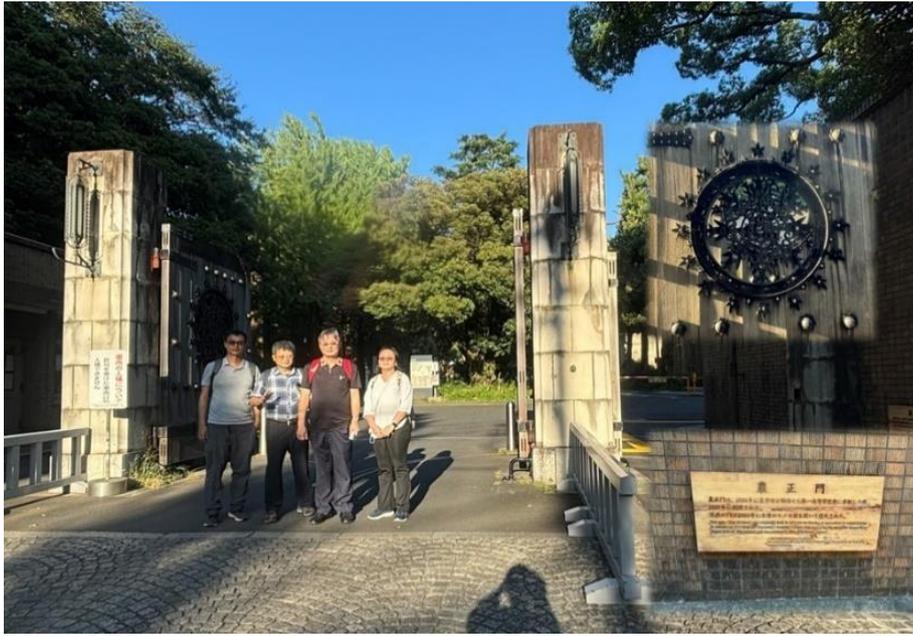
(3) 京都大學的啟發與先進儀器設備：

在京都大學，我們獲得了木質素與纖維素材料研究的新啟發，如聚氨酯/有機黏土奈米複合纖維素薄膜的高氬氣阻隔性、塗料劣化的非破壞檢測技術及機器學習優化木塑複合材料的應用。京都大學的先進儀器設備(如 GC-MS、FT-IR 等)對台灣木材分析研究具有重要參考價值，現已進行未來加強學術合作討論，透過共同研究項目促進技術與知識共享。

(4) 政策建議與合作推動：

促進與日本大學的學術合作，尤其在木材科學及先進檢測技術領域。應加強政府政策支援及產業鏈整合，推動生物精煉、纖維素加值利用及木質燃料技術的商業化，並建立定期交流機制，持續促進台日雙方技術發展。

伍、附錄



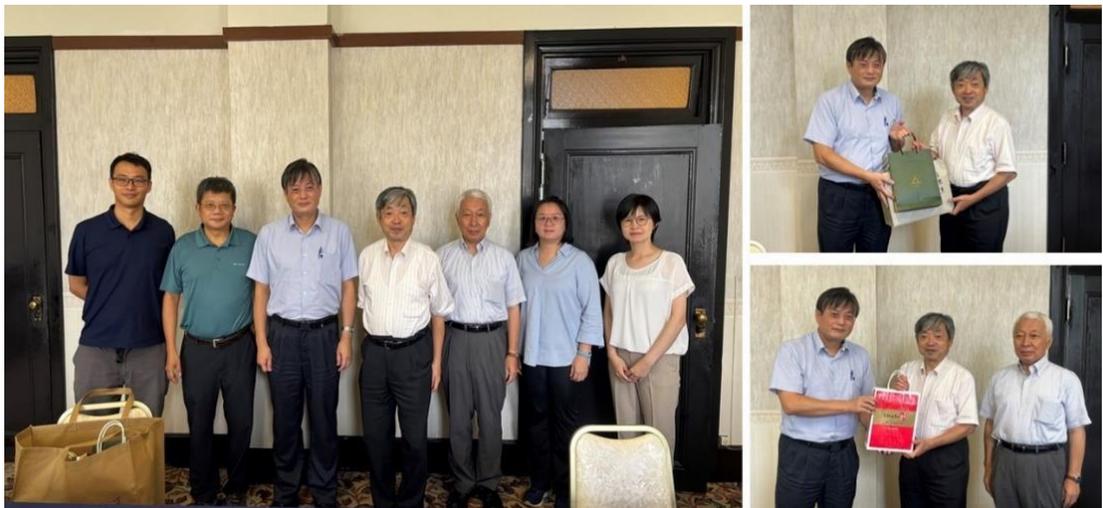
附錄圖 1. 東京大學的農正門(右上)為門上的裝飾，(右下)為農正門的介紹



附錄圖 2. 東京大學農學部森林科學專攻



附錄圖 3. 參訪日本木質生質能源協會



附錄圖 4. 與日本木質生質能源協會會長酒井秀夫先生、副會長矢部三雄先生進行訪談，並致贈紀念品



附錄圖 5. 參訪 FORESTRISE 展(第 4 回次世代森林產業展)會場



附錄圖 6. FORESTRISE 展(第 4 回次世代森林產業展)展覽會場地圖(上)、參觀證(左下)及摺頁(右下)

監測樹木是否傾倒! 

Tree-Tilt Sensor

BY STYL SOLUTIONS

Safeguarding Our Public Spaces With Internet of Tree
新加坡產品



A one of a kind tree mounted device that integrates IoT with Sensor Technologies to collect and transmit tilt measurement and temperature data wirelessly to our cloud server that allows you to monitor the tree's behavior anytime and detect possible abnormalities early.

Our data visualization can help you to identify which trees are more at risk of falling over so that preemptive measures can be taken effectively while improving productivity by saving manpower from inspecting all the trees.

Real Time Alerts 

Send over-threshold tilt alerts to authorized users via email or sms when it detects a tilt of 2 degrees (configurable) or more.

Data Capture

Sensor records the tree tilt, displacement and temperature every 2 hours.

Wireless Transmission

Long range low power wireless communication technologies to transmit data via NB-IoT every 12 hours (configurable). CAT-M1/LTE-M and LoRaWAN are also available.

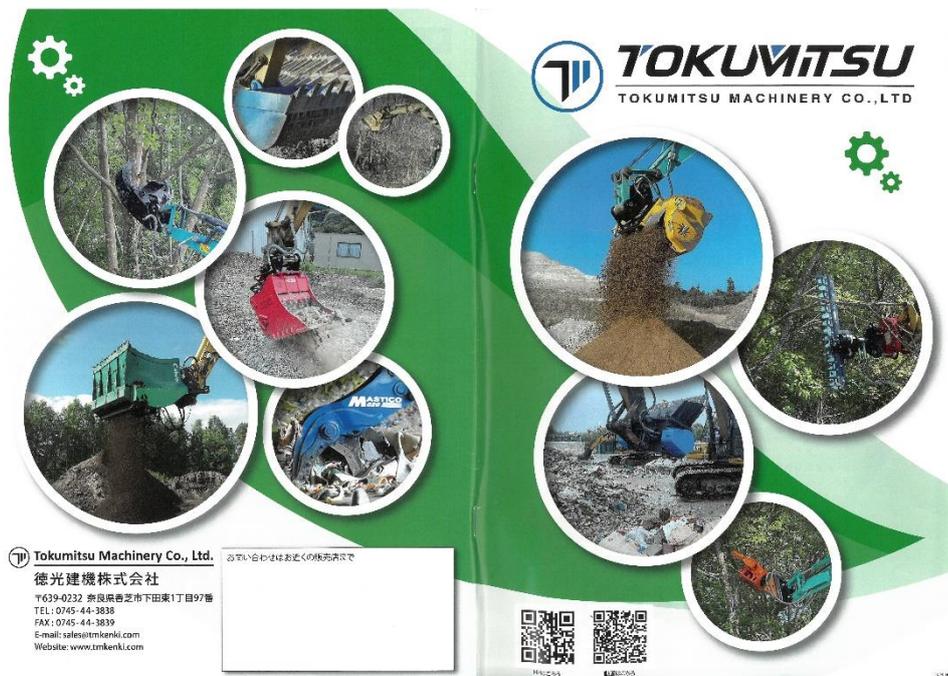
Outdoor Applications

- Weatherproof IP67 design with a simple installation process that is safe to the trees and accommodates tree growth.
- Built-in accelerometer for precise movement sensing, can also be used to detect soil movement.
- Geographical view of tree locations via geotagging. OTA configuration update from cloud to sensor. RAT (Radio Access Technology) NB-IoT/CAT-M1 LoRaWAN (Class A)

Website: www.styl.solutions | Email: sales@styl.com.sg



附錄圖 7. TYL Solutions 的「Internet of Tree」產品宣傳單



 **TOKUMITSU**
TOKUMITSU MACHINERY CO., LTD

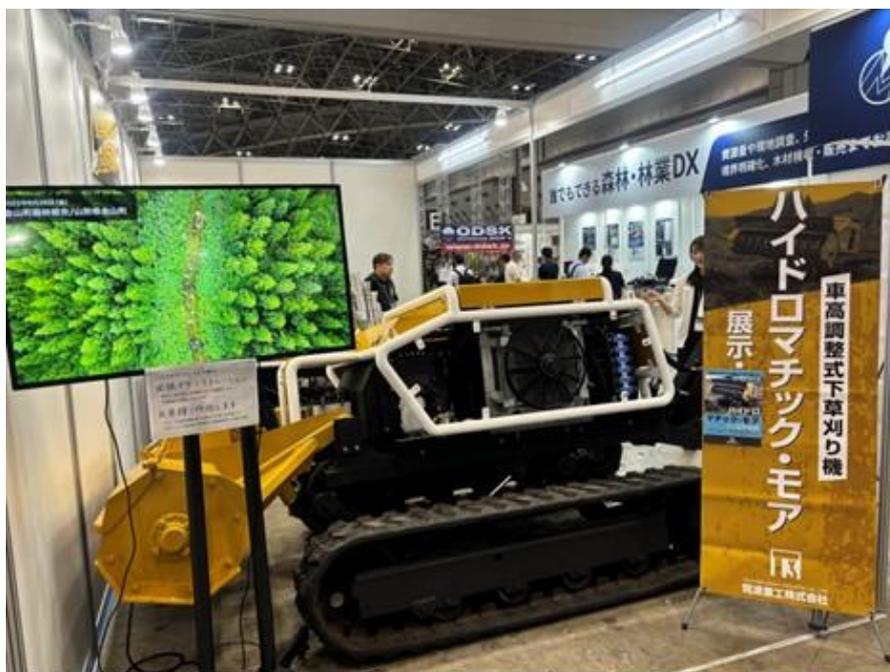
Tokumitsu Machinery Co., Ltd.
徳光建機株式会社
〒639-0232 奈良県香芝市下田東1丁目97番
TEL: 0745-44-3838
FAX: 0745-44-3839
E-mail: sales@tmkenki.com
Website: www.tmkenki.com

高次元の価値をお客様の機務管理に
 

附錄圖 8. 德光建機的產品摺頁封面



附錄圖 9. 德光建機產品摺頁內的伐木及伐竹等機具



附錄圖 10. FORESTRISE 展中展示的草刈機



附錄圖 11. 座談會後與高野俊幸教授(後排右 4)、寺本好邦教授(後排右 3)及研究室學生們進行合照，並互相致贈紀念品



附錄圖 12. 座談會地點在京都大學舊農學院附屬演習林事務室，是日本的有形文化財，是一座平房風格的木結構建築，擁有西班牙瓦屋頂和陽臺，陽臺天花板的設計充滿了現代主義的新鮮感，由京都帝國大學維護部的大倉三郎設計