

出國報告(出國類別：考察)

## 人才培育與研發成果推廣計畫

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、塗三賢 副研究員兼研究中心主任、  
林振榮 研究員、徐中芄 副研究員、林柏亨 助理研究員、  
簡子超 助理研究員、徐光平 聘用助理研究員

派赴國家/地區：日本/北海道

出國期間：114年3月9日至3月13日

報告日期：114年4月29日

## 摘 要

此次參訪北海道水產林務部、北海道立北方森林培育專門學校、北海道立綜合研究所機構森林研究本部林產試驗場與道產木材製品販路擴大協會，首先在交流中瞭解：1.北海道的森林概要。2.木質生物量資源的概要。3.木質生物量的政策。

其次由道產木材製品販路擴大協會介紹目前北海道地區正推廣加入 FIT(Feed-in Tariff)制度(再生可能エネルギーの固定価格買取制度)，提高木材收購價格亦照顧林農。

在北海道立綜合研究所機構森林研究本部林產試驗場與北海道立北方森林培育專門學校的交流後瞭解到：CLT 材的利用、收穫機模擬器應用及木質生質材料的應用。

根據此次考察，建議首先進行木質生質燃料及林業剩餘資材技術的本地化評估，其次參考北海道推動 FIT 制度的經驗，做為未來生質能源政策參考依據。最後建立與北海道研究機構及學術單位的長期合作機制，以提升臺灣林業人才程度。

關鍵詞：林業剩餘資材、木質生物量、木質生質材料、木質生質燃料

# 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.....	29
伍、 附錄.....	30

## 壹、前言及目的

當前全球面臨氣候變遷、資源枯竭與碳中和壓力，森林資源的永續經營與林業剩餘資材的高值化利用，已成為各國發展循環經濟與綠色能源的重要關鍵。臺灣作為林地資源有限的島嶼型國家，如何有效提升國產材使用率、強化林業副產資源的附加價值，進而促進林業經濟發展與實現碳中和目標，亟需借鑒國際成功經驗與先進技術。基於此，本次前往日本北海道進行實地訪查與交流，期盼深入了解當地在林業剩餘資材利用、生質能源發展、人才培育與技術創新等方面的政策措施與產學研合作模式。

「北海道」作為日本森林資源最豐富的地區之一，政府部門在林業政策制定、資源管理及永續發展戰略方面具有豐富的經驗。本次訪問旨在深入了解北海道政府如何透過政策引導，促進林業剩餘資材的高值化利用與循環經濟發展，並探討其如何支持產業鏈發展，包括資材回收、加工及生質能轉化技術的推動。

此次考察團隊拜訪了北海道水產林務部、道產木材製品販路擴大協會、北海道立綜合研究機構森林研究本部林產試驗場，以及北海道立北方森林培育專門學校等單位，透過與政府機關、研究機構與教育單位的面對面交流，全面掌握北海道在推動木質生質能利用與高值應用上的具體成果與策略。不論是 FIT(Feed-in Tariff)固定價格收購制度對林農與木質燃料市場的正向影響，或是引進 CLT 與模擬教學設備以培育智慧林業人才，皆展現出日本整合政策、技術與教育資源，系統性推動林業循環再生的高度成熟模式。

本報告綜整此次實地觀察所獲得的關鍵資訊，並針對臺灣林業發展現況提出具體建議，期望能促成臺日雙邊長期合作機制，並作為臺灣未來擬定生質能政策、發展木質高值化製品與推動林業永續經營的重要參考依據。

## 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
塗三賢	六龜研究中心/副研究員 兼主任	博士	工程木材加工技術研究、複合材料之開發應用研究、3D 列印及數位化加工研究、木結構設計及維護研究、木質廢棄物之回收再利用研究
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	博士	林產物利用研究、生物質轉化利用、綠色製程開發應用
簡子超	嘉義研究中心/助理研究員	碩士	林業技術、剩餘資材利用研究、林產化學及纖維研究
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 2025 年 3 月 9 日至 3 月 13 日前往日本北海道，進行參訪與國際交流。此次參訪將包括北海道水產林務部、北海道立北方森林培育專門學校、北海道立綜合研究所機構森林研究本部林產試驗場與道產木材製品販路擴大協會等地，旨在瞭解日本先進技術、提升國產材於林業剩餘資材附加加值，推動高值應用與循環經濟，改善林業管理、智慧技術與保育策略，實現永續發展與減廢目標。

日期			起迄地點	任務
月	日	星期		
3	9	日	臺灣→日本札幌	於桃園國際機場搭機前往日本北海道新千歲國際機場。
3	10	一	札幌	至北海道廳水產林務部考察。
3	11	二	札幌→旭川→札幌	至北海道立北方森林培育專門學校考察。 至北海道立森林研究本部林產試驗場考察。
3	12	三	札幌	至道產木材製品販路擴大協議會參訪。
3	13	四	札幌→台灣	於日本新千歲國際機場搭機返國。

## 參、參訪單位交流紀錄

### 一、3月10日上午前往北海道廳水產林務部考察

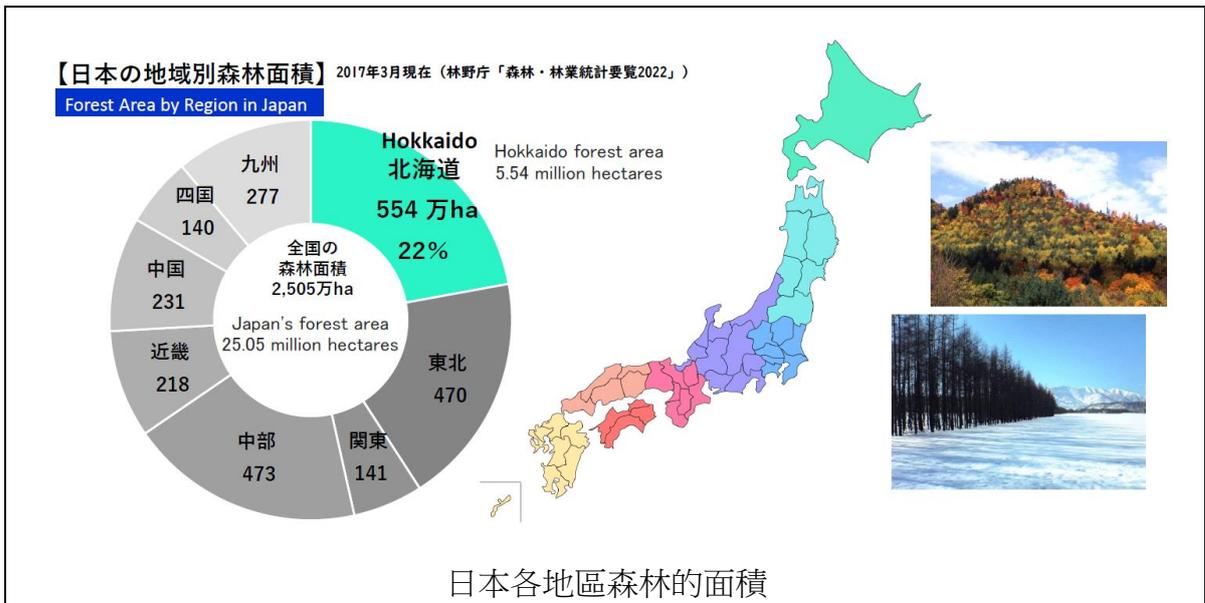
北海道廳水產林務部下轄總務課、水產局 水產經營課、水產局 漁港漁場課、水產局 漁業管理課、林務局 林業木材課、林務局 森林計畫課、林務局 森林整備課、林務局 治山課、森林海洋環境局 森林海洋環境課、森林海洋環境局 道有林課、森林海洋環境局 成長產業課、漁業研修所、北の森づくり専門学院等機關，主要業務範圍為北海道地區的水產與林業政策，推動森林資源管理、木材產業發展及可持續利用，並協調相關法規與補助措施。本次考察將瞭解北海道最新的林業政策與補助計畫，並探討智慧林業、碳匯政策及森林保育策略，交流日本木材產業的發展經驗與未來趨勢。

此次參訪主要拜會水產林務部林務局長寺田 宏(Hiroshi Terada)及林業木材課利用推進係長片桐 誠(Makoto Katagiri)，並由林業木材課專門主任油川 裕之與主任下川部 步真陪同。首先林務局長寺田 宏介紹了在北海道地區環境與林業政策現況，且述及於2019年起，每年參與臺北建材展，積極拓展木製品在臺灣市場，並希望於未來雙方就淨零排放及剩餘資材利用技術進行深入交流合作。

在寺田局長介紹了北海道的林業概況後，林業木材課利用推進係長片桐誠報告「北海道木質生物量的現況與施行政策(北海道の木質バイオマスの現状と施策について)」，摘錄重點如下：

#### (一) 北海道的森林概要

北海道的森林面積占土地總面積的 71%，約 554 萬公頃，佔日本全國森林面積的 22%。人工林的伐採量增加：1981 年人工林木材佔伐採量的 20%，1997 年超過 50%，目前已達 90%以上。在令和 2 年(2020 年)，北海道產生產木材共計 4,249,000 m<sup>3</sup>用於製材佔(33%)、紙漿佔(28%)、合板佔(8%)，其餘用於包裝材料、建築材料等。



(二)北海道地區主要木材種類：

1. 冷杉(トドマツ, *Abies sachalinensis*)為北海道數量最多的針葉樹，其材質柔軟木紋調理通順及迷人的白色色澤，從建築材料至產業資材方面等被廣泛使用。
2. 水樺樹(ミズナラ, *Quercus crispula*)為北海道的落葉闊葉樹的主要樹種，通常使用於家具及地板類的基本材質，深受日本海內外好評。
3. 水曲柳(ヤチダモ, *Fraxinus mandshurica*)為北海道自然生長的落葉闊葉樹，木紋柔和具強度與韌性並具有高彈性，在家具材料裝潢材料及工藝品等方面廣泛

使用。

4. 日本落葉松(カラマツ, *Larix kaempferi*)：日本產唯一落葉針葉樹，由於乾燥技術的進步得以抑制裂縫和變形並活用其高硬度用途廣泛擴及建築材料。
5. 道南杉木(道南スギ, *Cryptomeria japonica*)：自古以來在北海道道南地區種植，是日本本土生長最北端的山脈在北海道嚴峻自然環境中大量產出的高品質杉木，從建築材料到免洗木筷皆被廣泛使用。
6. 榆樹(ニレ, Ulmaceae)：榆科下榆屬植物的統稱，英文名稱為 ELM，材質具有高硬度韌性及良好加工性適用於家具材料樂器材料及雕刻材料等。
7. 樺樹(カバ, Betulaceae)：點綴出典型北海道景色也是當地最多數量的落葉闊葉樹，主要用於家具材料、三合板材料、地板及牙籤等，其中以真樺木為珍貴的名品，市場價值極高。

### (三)木質生物量資源的概要

木質生物量來源主要有 3 方面，分別為：

1. 未利用材(73%)：來自間伐、主伐及林地殘材。  
主要疏伐後未使用的樹枝部分，另外有樹幹空心部分(有缺陷部分)、樹幹末端等，約佔砍伐樹木總量的 20%。
2. 製材工場端材(16%)：製材後之樹皮、邊皮材、木屑、刨花。
3. 建築廢材(11%)：舊建築拆除後廢棄物、模板、裝潢用材等。



北海道木質生物量來源概要

自 2012 年起，日本政府推行「可再生能源固定價格收購制度(Feed-In Tariff, FIT 制度)」，鼓勵發展可再生能源，包括木質生物質發電。FIT 制度是根據《可再生能源特別措施法》(再エネ特措法)所制定的，該制度自 2012 年 7 月 1 日開始實施。該制度規定，電力公司以固定價格和固定期間收購透過太陽能、風力、生物質等自然能源發電所產生的電力，促進可再生能源的普及與發展。

此外，電力公司為執行該制度所支付的電力收購費用(買取費用)，將作為「可再生能源發電促進附加費」，由所有使用電力的消費者共同負擔，以支持可再生能源的推廣與擴展。其施行要點如下：

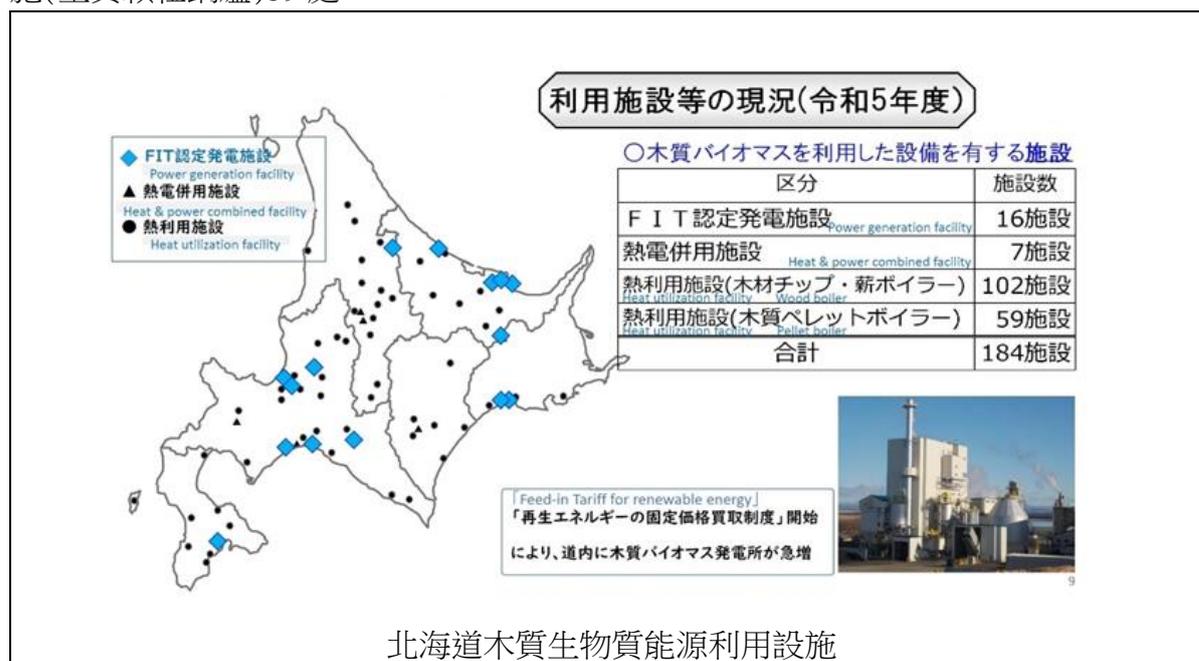
要點 1：收購對象為可再生能源。

使用太陽能、風能、水力發電、地熱能和生質能源等再生能源所產生的電力，均符合收購條件。

要點 2：收購電力費用由全體用電戶負擔

購買成本將作為再生能源發電促進稅由所有電力用戶支付，其依據是政府指定的成本分攤調整機構計算的全國統一費率。此外，符合政府規定條件的耗電企業將免徵再生能源發電促進附加費。

在令和 5 年(2023 年)，有使用木質生物量作為能量來源的設施共計 184 處，包括 FIT 認定發電設施 16 處、熱電並用設施 7 處、熱利用設施(木粒片)102 處、熱利用設施(生質顆粒鍋爐)59 處。



#### (四)木質生物量的政策

現今日本政府補助計畫項目如下：

1. 補助金：用於購買促進木質生物質利用所需的機械設備。
2. 補助項目：碎木機(Chipper)、運輸卡車、鍋爐等設備。

補貼率依情況不同而不同，範圍為 15-50%。另外有部分木材屬於未使用材，隨著砍伐量的增加，預計產生的未使用木材的數量也將增加。根據現場地形的限制和工作效率評估，可能無法將所有砍伐的木材運出森林，而只能棄置於林地，故於 2019 年約 140 萬 m<sup>3</sup> 的木材屬於未使用材，而在 2031 年推估約有 158 萬 m<sup>3</sup>。

為了充分利用這些木材，嘗試以各種方法，以低成本方式採集林地未利用材，如利用小型繩索絞盤將幼齡林的搬出、利用林地未利用材集貨專用貨櫃(Millicon)，在主伐跡地建立集貨系統或是編撰實踐低成本採集林地未利用材的方法與對策的資料。

在聽取寺田局長精闢的簡報之後，緊接著由利用推進係係長一片桐 誠先生進行簡報，內容直指當前北海道地區木材經營所面臨的重大課題：若木材粒片(木質燃料)無法順利銷售，是否就無法進行木材的砍伐？

他以木材價格作為說明的出發點，根據相關資料，不同木材部位在整體木材中的比例與單價如下：

一般材(如建材用材)：占比 40%，單價為每立方公尺 12,000 日圓

低質材(品質不佳之次級材)：占比 20%，單價為每立方公尺 10,000 日圓

原料材(如紙漿、燃料用材)：占比 40%，單價為每立方公尺 7,000 日圓

將比例與價格進行加權計算後，得出每立方公尺木材的平均售價如下：

一般材： $12,000 \times 40\% = 4,800$  日圓

低質材： $10,000 \times 20\% = 2,000$  日圓

原料材： $7,000 \times 40\% = 2,800$  日圓

總計：9,600 日圓／立方公尺

而在這 9,600 日圓當中，扣除運材、製材等成本(約 6,000 日圓)，林農實際可獲得的收入僅為 3,600 日圓／立方公尺。這樣的收入水平對林農而言相當微薄，難以支撐其持續投入森林經營。若此情況長期惡化，恐將導致林地缺乏管理、資源荒廢，形成惡性循環。

因此，目前北海道積極推動木材的多元化利用，其中一項關鍵策略就是將木材中約 70% 的低質材與原料材轉製為木質粒片(木屑顆粒)，應用於：

1. 紙漿製造
2. 固定價格收購制度(FIT)下的電力發電
3. 熱能利用(如地區暖房或熱水系統)

藉此提升木材整體的使用效率，不僅能有效活化林地資源，也有助於改善林農的收入結構，讓林業經營朝向永續發展邁進。

#### (五)北海道廳本廳舍木質化設施展示

北海道廳本廳舍一樓大廳，以木質化設施進行室內裝潢設計。該大廳的木質化設施共劃分為四個區域，分別為：玄關與電梯區、東側、西側與北側。

1. 玄關與電梯區：作為政府辦公大樓的門面空間，內裝以大理石與木質設計融合，營造出溫潤的氛圍，讓來訪民眾感受到木材所帶來的自然溫暖。大廳立柱上設置百葉窗式裝飾，採用北海道產的日本落葉松(カラマツ, *Larix kaempferi*)製作。為符合消防法規，木質設施特別設計不緊貼牆面，預留空隙，以減少火災時火焰快速延燒的風險。
2. 東側空間：為一處靈活運用的展示與交流活動空間，能因應不同活動需求做彈性調整，具高度機能性。
3. 西側空間：開放給所有人自由進出與休憩，民眾可在此放鬆心情，體驗「北海道 Style」所展現的生活風格與自然魅力。
4. 北側空間：提供路過民眾依個人心情與需求自由使用，內部設有以木質顆粒為燃料的壁爐，營造溫暖宜人的室內氛圍。此空間也展示了北海道各地製作的木質家具，讓來訪者能更直觀地感受北海道的地域特色與木材資源的多樣應用。



大廳立柱上設置百葉窗式裝飾



大廳立柱上的木質化裝飾



木質設施皆不緊貼牆面，預留縫隙



木質設施皆不緊貼牆面，預留縫隙



北海道廳水產林務部同仁進行導覽



西側樹木形狀的木質化裝飾



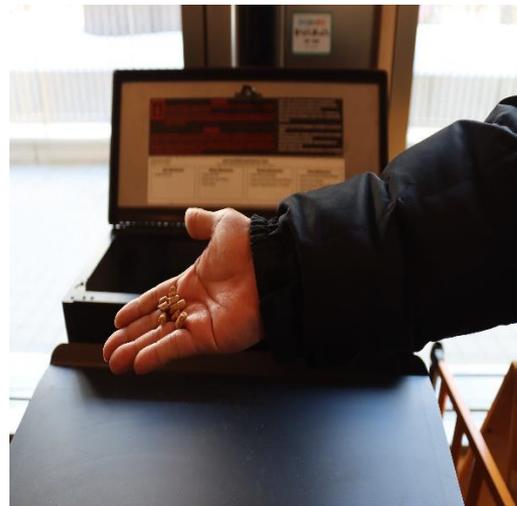
家形休息區，依個人心情與需求自由使用



圓形休息區，擁有私密性的半開放空間



以木質顆粒為燃料的壁爐



木質顆粒燃料



自動販賣木（機）

※日文中「木」與「機」同音



北海道廳玄関大廳木質化設施，皆採用  
北海道生產木材

此外，北海道廳針對大廳木質化後的民眾感受進行問卷調查(n = 1225)，結果顯示大多數民眾對木質空間產生正向觀感，包括：感覺更溫暖、質感時尚、心情平靜、採光明亮、環境友善、舒適放鬆、有助健康、使用便利等。同時，對於「寒冷」、「黑暗」、「令人不安」、「難以使用」、「對環境不利」等負面觀感的比例也有明顯下降。

值得一提的是，大廳內設有一處販售咖啡的小賣部，自進行木質化改裝後，客流量明顯提升，經統計發現比改裝前成長了 15.1%，由過往的 96.3% 提升至 111.4%(與前一年同期相比)，顯示木質設計更貼近人心，亦有助提升整體生活品質。

本次考察北海道廳水產林務部的成果顯示，日本在木質化設施及相關應用技術上，已具備高度成熟的經驗與實力。未來我國應與日本專家加強合作，針對臺灣的自然環境與社會條件，進行相關技術的在地化適配研究，尤其是在木質生質燃料及林業剩餘資材的應用與推廣上，應進行本地化技術評估，以確保其在臺灣環境中的可行性。

## 二、3月11日上午前往北の森づくり専門學院

此次參訪對象為北の森づくり専門學院的土屋學院長、藤井副學院長及佐藤總務係長。首先由土屋學院長介紹北の森づくり専門學院(簡稱北森カレッジ)：

北森カレッジ致力於推動百年森林建設，秉持守護與培育北海道豐富森林生態系統、並傳承至未來世代的理念。學院旨在培育具備廣泛林業與木材產業知識及實務技術，並能在企業或相關機構中發揮核心作用之專業人才。



北海道立北方森林培育専門學校摺頁

林業與木材產業為實現森林多元功能與永續發展的重要基礎產業，近年來受到全球高度重視，更被視為因應氣候變遷的關鍵成長型產業。當前，大型建築物廣泛採用木材已成為國際趨勢，林業現場亦積極導入無人機、雷射測量及高性能機械等智慧林業技術，產業正處於快速革新階段。疫情過後，自然生活型態受到更多關注，亦進一步提升了年輕世代對林業職涯的興趣。

北森カレッジ廣邀來自北海道內外的學生入學，提供先進教學設施與豐富實務訓練資源，並透過高性能林業機械模擬器等設備，協助學生習得即戰力。每年來自全道約百家林業與木材相關企業提出人才需求，在精準職涯指導下，畢業生皆能於相關領域中發揮所長、積極貢獻。

北森カレッジの三大特色如下：

### (一) 實踐能力的培養

透過分階段、系統化的教育課程，學生可由基礎紮實學起，最多可取得 15 項專業資格。第二年課程以實習為主軸，進一步深化實務能力。課程強調安全與技術訓練，廣受產業界高度肯定。

### (二) 整個北海道就是校園

以北海道的森林為學習場域，安排學生參訪各地林業與木材產業據點，深入認識地方生活與產業實況。第二年並規劃三次長期實習，提供實際職場體驗機會，學生可申請日本政府提供的「綠色青年就業準備補助金」，每年最高補助約 140 萬日圓，協助順利完成兩年課程與實習。學生亦可藉此建立橫跨全道的人脈網絡，為未來移居與定居奠定基礎。

### (三) 與芬蘭的教育合作

導入林業先進國芬蘭的課程與技術，並以模擬器進行林業機械操作訓練。第二年開設「芬蘭研修」選修課程，提供前往芬蘭參與木材生產及體驗當地自然與文化的機會。

北森カレッジ正積極打造一個連結森林、社區與未來的教育平台，帶領北海道林業與木材產業邁向嶄新時代。

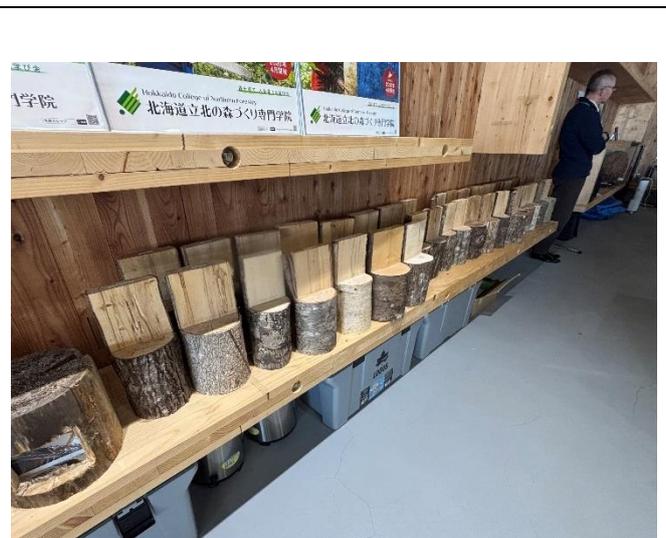
### 北森カレッジ校舍參觀

北森カレッジの木造校舍設計極具特色，平面尺寸約為東西長 30 米、南北長 20 米，一樓與二樓皆需由北側中庭(大廳)進入。南北方向因可在外牆與內部隔牆配置足夠的抗震結構，採用直交集成板(Cross-laminated timber, CLT)構造。東西方向則因兩側外牆為開放式設計，僅於一面隔牆內設置最小限度的高耐力抗震結構，並採用允許應力度設計の木質軸組工法，輔以部分金屬構件支撐。

CLT 構造部分選用北海道產冷杉(トドマツ, *Abies sachalinensis*)與日本落葉松(カラマツ, *Larix kaempferi*)，並由北海道在地 CLT 工廠加工完成。木質軸組構件則採用北海道產落葉松鋸材(經 Core Dry 技術乾燥處理)與集成材。由於北海道為多雪地區，積雪可達 130 公分，因此本建築大量使用 1.2 公尺寬的 CLT 牆板拼接，以確保建築整體強度。

校舍一樓入口處擺放著一隻木雕黑熊，由學生運用鏈鋸雕刻整根原木製成，栩栩如生、工藝精湛。此樓層亦設有教職員辦公室及實習教室，供教職員日常辦公及學生進行實作練習。考量北海道冬季氣候嚴寒，室內設有地暖系統。鍋爐室設於大門口，燃料為當地生產的木質粒片，燃燒產生的熱能用以加熱鍋爐內的水，透過鋪設於地板下的地暖管路，將熱氣均勻傳導至整棟校舍，確保室內溫暖舒適。

校舍二樓則為主要教學空間。建築大廳南側挑高區設有高側窗(High-side light)，配合四季與日照角度變化，陽光投射於斜屋頂與木構架上，創造出豐富變化的光影層次，成為學園建築的一大特色，亦體現出與自然共存的设计理念。





鍋爐室的簡介



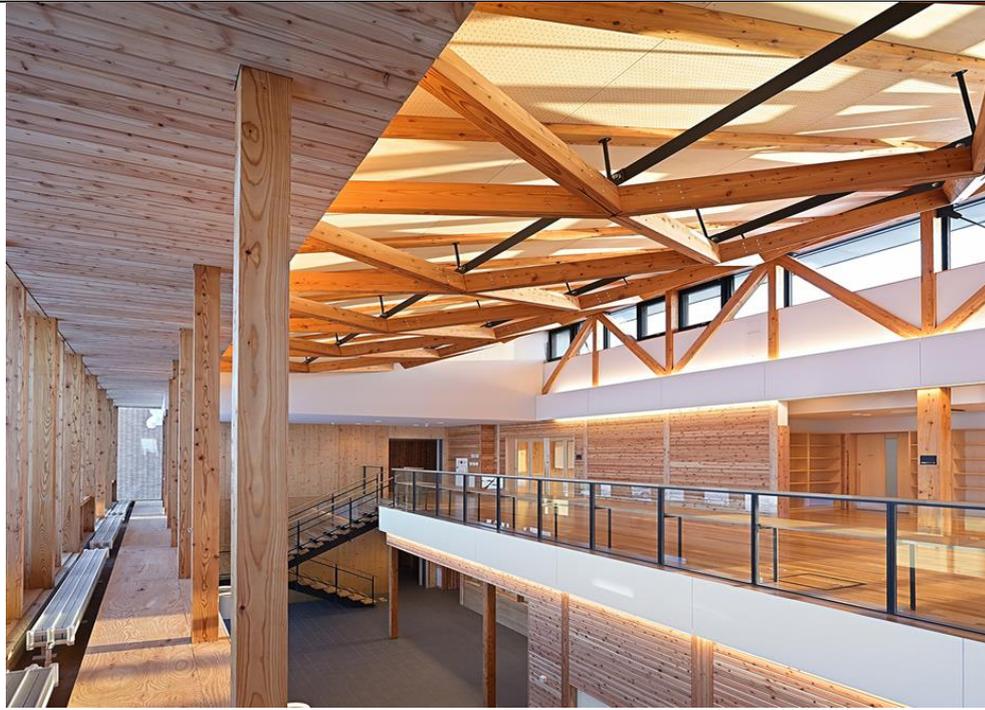
校舍內的鍋爐系統



作為燃料的木粒片



粉碎後的木粒片



大廳挑高空間的南側設置了高側窗(High-side light)更加明亮

此外，因本學園導入芬蘭的先進林業教育課程，特設有木材收穫機(Harvester)模擬器，協助培養操作技術人員，加速學員熟悉機械操作流程。木材收穫機是一種專為伐木與處理木材所設計的重型機械設備，配備履帶式或輪式底盤，並安裝多功能收穫頭，可一機完成伐倒、去枝、截斷及堆放等工序，大幅提升作業效率，並降低人力成本。

收穫機的關鍵部位為液壓驅動的收穫頭，內含鋸片、去枝滾筒及測量系統。操作員可透過駕駛室控制系統操縱機械臂，將樹木夾住，迅速完成伐木作業。部分機種亦搭載GPS及數據記錄系統，能精準測量木材長度與體積，進一步提升作業效率並降低對森林生態的干擾，有助實現永續林業管理。

除了模擬器操作訓練外，北森カレッジ亦結合虛擬實境(Virtual reality, VR)技術，讓學員配戴虛擬實境眼鏡，在模擬器中體驗不同森林地形與天候狀況的作業情境，進行更全面的訓練。此模擬系統亦具備測驗功能，學員必須通過模擬器操作測試後，方能進入實際林地操作階段。各階段訓練與測驗皆需達標，方能取得學分，確保學員在實務操作中具備足夠的安全性與專業能力。



各種收穫機的模型



體驗結合 VR 技術的收穫機模擬器



收穫機模擬器



體驗收穫機模擬器

### 三、3月11日下午前往北海道立森林研究本部林產試驗場考察

在參訪「北の森づくり専門學院」後，我們前往「北海道立森林研究本部林產試驗場」，由川西 博史場長及其團隊(石川 佳生部長、原田 陽部長、關 一人專門研究員)接待，進行深度交流。

#### (一)試驗場簡介與沿革

林產試驗場創立於 1950 年，原名「北海道立林業指導所」，後於 1964 年改名，1986 年遷至旭川市，1989 年設立「木材與生活情報館」，並於 2010 年納入北海道綜合研究機構體系。試驗場長期致力於木材高效利用研究及推廣，近年亦回應碳中和與資源多樣性需求，強化與實務接軌的應用研究。

## (二)研究目標與方向

### 1. 提升北海道產木材競爭力與應用擴大

推動 CLT 開發、高性能結構材、內外裝用材、以及如壓縮木與防火處理材等新技術，提升市場競爭力。

### 2. 強化木材生產與流通效率

聚焦林木資源供需匹配、運輸與加工系統優化，以及尚未廣泛應用的木材(如赤蝦夷松、闊葉樹)之特性研究與利用。

### 3. 穩定供應木質生質能源

因應需求增加，研究木質生質能源的區域特性利用、高效乾燥與品質管理技術，發展地方熱電系統。

### 4. 提升菇類附加價值與降低成本

針對香菇、特色品種如「大雪華之舞 1 號」，進行功能性與風味改良，開發加工品及栽培技術。

## (三)研究領域與成果

### 1. 木材材料應用技術：如 CoreDry 乾燥技術、冷杉壓縮木、深層滲透處理 CLT 等。

### 2. 木質能源研究：灰份資源再利用、水泥骨材、堆肥添加劑應用研究。

### 3. 飼料與非傳統用途開發：開發木質粗飼料、棒球棒用材(如岳樺)。

### 4. 技術支援：提供木材試驗、乾燥控制、防腐分析等實驗支援。



3 層、5 層 CLT 產品展示



高強度積層材開發成果海報



### 3. 燃料品質管理與標準化

推動木質顆粒 ISO 標準化，以提升競爭力及國際接軌。目前北海道木質顆粒年產量為 16,074 噸(16 家廠)。

在本次針對北海道林業剩餘資材利用政策與應用技術的交流過程中，雙方針對高附加價值材料開發、殘材實際應用、市場需求、環境政策與碳中和對策等面向，進行了深入的討論。

首先，在高附加價值應用方面，北海道當地已進行多項技術開發。以樹皮為例，因其富含酚類與萜烯類成分，具有作為天然樹脂或功能性添加劑的潛力。雖目前多作為堆肥處理，但已有研究機構著手進行其作為石油替代資源的應用探討。另一方面，樹皮粉末也被嘗試混入酚醛樹脂中，開發為部分取代石化原料的環保型接著劑。

針對殘材實際應用現況，根據日方回應，林地殘材主要用於能源化，然而受限於再生能源固定電價(FIT)補助偏低，目前多數作為燃燒燃料與其他材料混合使用。至於製材工廠產生的副材如邊材、間伐木與低質木，則被廣泛應用於紙漿製造、農業用覆蓋材料、木質粒狀燃料(如顆粒)及木質板材等用途。此外，建築拆解木材亦多被再製為人造板，而水土保持工程上則會將木片作為覆蓋材料(Mulching)使用，另有部分殘材被用來製作生物炭，應用於土壤改良及碳封存，有助於碳中和目標的實現。

市場方面，不同應用領域之產品價值差異顯著。能源、酒精燃料(如 SAF)與化學原料需求雖大，但單價相對低廉(每公斤約 100 日圓)；反觀具機能性的香料、天然藥品與農藥等，市場需求量雖小，但價值高，可達每公斤 1000 至 10000 日圓。因此，日方建議應評估殘材的性質與產量，選擇最適應用方向，以達到效益最大化。

技術創新方面，奈米纖維素(CNF)的應用成為近年重點。木質原料經奈米化處理後，具備高強度與良好成膜性，可作為未來生質塑料替代品。此外，透過聚乙二醇(PEG)改質木質素，已可製備耐熱性高之複合材料，並進一步應用於工程塑膠與生質元件。北海道也有業者利用當地針葉木提取芳香成分，發展特色琴酒與冷杉精油，作為地方創生的產業亮點。

在政策與制度層面，日本政府透過 FIT 制度推動未利用木材作為再生能源使用，自 2012 年啟動至今已有超過 2000 座生質能源設施建置計畫。另有木材銀行制度，提供民眾收集與利用漂流木等資訊，促進資源再循環。為加強對碳排放的管理，《合法伐採木

材等流通及利用促進法》已於 2024 年修正，要求再生能源業者揭露其 GHG 排放資訊。此外，日方也實施「J-信用制度」，透過認證獲得碳權點數，但其申請流程相對繁複，平均需時 1 至 2 年。

在處理無法利用的剩餘材料方面，日方強調幾乎所有木質資材皆可尋得再利用管道，如有特殊廢棄物則依規定作工業廢棄物處理。為確保合法木材流通，2024 年亦修訂了「清潔木材法」，加強對川上(伐採源頭)與水際(港口)業者的合法性確認，違者最高可罰 100 萬日圓。

綜上所述，北海道針對林業剩餘資材之利用已建立相當完整的政策與技術基礎，未來在碳中和與循環經濟目標驅動下，預期將有更多高附加價值技術被投入應用，為地方林業與環境永續發展開啟新局。

#### 四、3 月 12 日上午前往道產木材製品販路擴大協議會參訪紀要

北海道的森林面積約為 554 萬公頃，約佔日本全國森林總面積的四分之一。這片廣闊且品質優良的森林資源，孕育出高品質、具耐久性與自然質感的木材，廣泛應用於大型建築結構及高附加價值木製品的製造。「道產木材製品販路擴大協議會」即是致力於推動北海道產木材市場擴展、整合產業鏈及提升木材附加價值的重要平台。此次參訪中，本單位與該會進行了深入的交流，特別針對林業剩餘資材及木質生質燃料的利用進行提問，並獲得詳細回覆，內容摘要如下：

##### (一)北海道地區林業剩餘資材的來源與處理現況

北海道的木材剩餘資材主要來自兩大來源：

1. 林地作業所產的林地未利用材(約佔 60-70%)，包括伐木作業中所產生的枝葉、樹皮、頂端材、病枯木等。這類資材特性為分散性高、不易集中收集，且含水率較高，不利於即時應用。
2. 製材與加工廠所產的副產物(約佔 30-40%)，如鋸屑、木屑、邊角料等，特性為集中且品質穩定，較容易再利用。

目前北海道每年原木產量約為 500 至 600 萬立方公尺，估計可產出 150 至 200 萬立方公尺的剩餘資材。常見類型包括枝葉、樹皮、木屑與邊角料等。

然而，剩餘資材處理面臨以下挑戰：

- (1) 運輸與回收成本高，特別是山區地形崎嶇，缺乏回收與集中設施；
- (2) 高含水率影響使用效能，需經乾燥處理方可作為燃料或其他用途；
- (3) 市場價格低，經濟效益不佳，回收成本常高於市售價；
- (4) 技術與設備有限，如缺乏小型碳化爐、移動破碎機等；
- (5) 政策補助程序繁瑣，如 FIT 補助制度雖存在，但申請流程與審查門檻對中小企業不利。

這些剩餘資材可應用於生質發電、木質燃料製造(pellet、chip)、精油與木醋液製造、木炭、奈米纖維素(CNF)、農業資材及新型建材開發等。未來應強化林地未利用材的回收轉化效率，推動地方熱電聯產、微型精油提取或高值木質新材料開發，並簡化補助制度以提高資材再利用率。

## (二)生質能應用與木質燃料市場挑戰

在 FIT(固定價格收購制度)實施以後，北海道設立了多座木質生質能發電設施，主要利用林地未利用材、木片(chip fuel)、壓縮木質顆粒(pellet)等資材，用於熱電聯產(CHP)、工業鍋爐及地區供熱等用途。

目前生質能設施尚無法完全消化所有剩餘資材，尤其是地處偏遠的林地枝葉與樹皮，仍難以有效回收。木片與顆粒燃料之應用現況如下：

1. 木片(chip fuel)：多應用於大型發電與 CHP 設備；
2. 木質顆粒(pellet)：供應學校、溫泉設施及家庭取暖等小型系統。

此類燃料生產與使用主要挑戰包括：

1. 原料收集與運輸成本高。
2. 本地產品價格競爭力低，難與進口產品抗衡。
3. 設備與技術不足，製程效率不高。
4. 地方市場尚未充分開發，需求高度集中。
5. 含水率問題影響儲存與燃燒效率。
6. 對 FIT 補貼依賴性高，缺乏自立市場。

建議可從以下幾方面著手改善：

1. 發展地方型小規模熱電共生 (Combined Heat and Power, CHP)系統，減少運輸負擔。
2. 開發高值燃料產品，如活性炭顆粒或功能型木質燃料。
3. 強化林道建設與設備補助機制。
4. 擴展燃料應用場域至農業、觀光、公共設施等多元領域。

### (三)北海道政府在政策與補助措施上的支援

北海道政府推動生質能及剩餘資材再利用，主要透過以下政策工具與補助機制：

1. **FIT 制度**：提供再生能源電力固定收購價保障，最長 20 年，有效刺激林地未利用材利用。
2. **木質資源綜合利用推進事業**：補助資源回收設備(破碎機、乾燥機、木片製造設備等)之導入。
3. **森林資源循環利用支援**：建立木材資源媒合平台，協助林業者資源登錄、需求媒合與技術諮詢。
4. **J-クレジット制度**：透過碳權交易將木材再利用效益轉化為經濟資源，鼓勵生質能與碳吸收實踐。

### (四)木材供應鏈整合與行銷策略的建立

日本政府藉由以下措施提升木材產業鏈整合與行銷效益：

- 建構「從森林到應用端」的一體化供應鏈；
- 數位化追溯系統與資訊平台，提高流通效率；
- 鼓勵多元用途開發，提升剩餘資材商業化可能；
- 創立地區品牌(如 HOKKAIDO WOOD)，結合建築、美學與永續價值，強化消費者認同；
- 政府提供行銷資源與補助，降低業者負擔。

### (五)公私合作(Public-Private Partnership, PPP)推動剩餘資材產業化的經驗借鏡

日本推動木質資材市場化的成功經驗之一即是積極導入 PPP 機制。具體實踐方式如下：

- **政策與資金支持**：政府提供政策、場地與補助，企業則負責投資設備、營運加工設施；
- **區域合作**：由地方政府牽線，協助民間業者供應木材顆粒給學校、醫院等公共設施；
- **品牌與出口推進**：如發展森林香氛精油品牌並協助參與國際展會；
- **成立產業平台**：整合林地產量、加工廠能量與物流路線資訊，提升整體運作效率；
- **中央與地方聯合行銷**：打造「JAPAN WOOD」「HOKKAIDO WOOD」等形象品牌，建立永續、綠建築與森林文化的正面價值。

未來台灣若欲推動林業剩餘資材之高值化與產業化，可參考日本的 PPP 協力模式，透過政策設計、地方資源整合與企業參與，共同打造具有地方特色與永續價值的林產業新樣貌。

## (六)探討林業資材在生質能、生物基材料與高值化製品中的應用模式

北海道目前積極推動林業剩餘資材的多元利用，不僅限於生質能領域，更朝向高值化與精緻化的應用方向發展。以下整理其應用潛力與實例，以作為我國未來推動林業循環經濟的參考依據：

### 1. 生質能應用潛力

除傳統的發電用途外，林業資材亦可應用於熱電聯產、區域供暖及生質燃料替代品(如木質柴油、木醋液等)，可望實現林區內自給自足型能源系統，降低對化石燃料的依賴，並促進偏鄉地區能源自主。

### 2. 生物基材料發展方向

林業資材中的纖維素與半纖維素可作為製造生物可分解塑膠、生物基黏著劑、建築用纖維複合材料(Wood Plastic Composites, WPC)等原料，特別是奈米纖維素(CNF)具備輕量、高強度、高透明性等特點，已被廣泛應用於汽車、電子與醫療領域。北海道亦有研究機構與企業投入相關技術研發，期望建立完整的產業鏈。

### 3. 高值化產品開發案例

北海道地區部分企業透過萃取枝葉中的精油進行功能性商品開發，如防蚊噴霧、室內香氛、護膚品等；或是以木酢液、木炭應用於農業土壤改良與有機農業領域，進一步延伸林業副產物的使用壽命與商業價值。

此外，木材加工剩餘資材亦應用於家具設計、文創產品與建材模組，結合北海道的地方品牌形象(HOKKAIDO WOOD)，有效將剩餘資材轉化為附加價值產品，創造新的就業與出口機會。

### 4. 跨領域整合與永續經營方向

未來應透過林業與能源、農業、觀光、文創等產業的整合，以地方創生(Local Vitalization)為主軸，發展多角化經營模式，例如：

- 林場x旅宿 = 森林療癒結合木材展示與販售
- 枝葉精油x觀光農場 = 香氛體驗工坊
- 木屑x農業 = 堆肥製作與有機栽培基地

透過這類跨界合作，可提升林業資材的整體社會價值與產業韌性，實現資源循環與永續發展的雙重目標。

## (七)分析日本政府在推動林業剩餘資材利用與碳中和政策的成功經驗，以作為台灣政策擬定參考

日本政府在推動林業剩餘資材利用及邁向碳中和的政策上，展現出高度的整合力與前瞻性，尤其在制度設計、資源整合與地方參與等層面均具有值得台灣借鏡之處。以下整理其關鍵作法與成效：

### 1. 制度與政策整合：明確目標與跨部會協作

日本自 2012 年導入可再生能源固定價格收購制度(FIT 制度)，明確保障木質生質能的經濟誘因，吸引民間投入發電設施建設。同時，農林水產省、環境省與經產省等多部會協力制定《森林・林業基本計畫》與《生物質活用推進計畫》，有效整合資源，並賦予地方政府操作空間，提升政策執行彈性與效率。

### 2. 在地資源活化與地方創生連結

日本重視地方資源的活化與自立發展，透過補助金、稅賦優惠與區域協議制度，支持地方成立木材供應協同組織、地熱與木質能共構的能源設施、木屑堆肥化處理系統等，促使林業剩餘資材轉化為地方經濟動能。例如北海道各地的木質能源設施，不僅供應學校、醫院、溫泉旅館等使用，更結合觀光與教育功能，強化民眾對再生能源的認同與參與。

### 3. 高值化與多元化利用策略

日本不僅將剩餘林業資材視為燃料，更積極發展其於高值化領域的應用，如生質塑膠、奈米纖維素材料、生物活性物質萃取、農業用木酢液與有機肥等，建構完整供應鏈與增值網絡，避免單一用途導致價格波動或市場飽和。

### 4. 碳中和政策與國際倡議接軌

面對 2050 年碳中和目標，日本透過林地碳匯管理與木材長壽命利用策略，強調「森林吸碳+木製品儲碳+能源替代碳」，三位一體的碳管理邏輯，並與地方政府合作推動「森林碳權」、「木材碳足跡認證」等機制，提升木質資源的環境價值與市場競爭力。

### 5. 政策啟示與建議方向

臺灣在推動林業資材循環利用與碳中和目標上，可參考日本經驗，強化以下幾點：

- 建立跨部會整合平台與長期目標藍圖
- 鼓勵地方政府結合林業剩餘資源進行能源轉型與地方創生
- 提供技術輔導與補助資源，加速生質能與高值化產品示範
- 推動木質碳匯交易機制，鼓勵民間與產業投資林業資源永續經營

## 肆、心得與建議

此次赴日本北海道參訪，讓我們對北海道地區林產品利用方式及開發林業剩餘資材新技術有了深刻瞭解。以下為重點摘錄：

### (1) 林業政策協助地方林業發展：

北海道政府在推動木質生質能發展方面，透過「FIT 固定價格買取制度」創造穩定的市場機制，鼓勵地方林農與企業投入木質燃料的回收與加工。這種制度性保障不僅提升了木質剩餘資材的經濟價值，也為偏遠林區創造了新的產業機會，有效解決了資材運輸成本高昂與市場價格波動的問題。對照臺灣目前在再生能源政策上的不足，這樣的制度設計值得我國借鏡與改進，尤其是在地方政府與林農的合作關係上，更應強化誘因與技術輔導，才能真正落實永續林業經營。

### (2) 木材應用技術的創新：

在木材應用技術方面，北海道的研究機構對直交式集成板材(CLT)等新型高值木材材料的開發與應用，瞭解到木材不僅僅是傳統建築與燃料材料，更可以透過現代工程與設計轉化為現代建築材料的主角。CLT 不僅具有高強度與良好尺寸穩定性，還具備環境友善與碳固定的特性，對臺灣在推動木構建築及減碳建材方面有極大的應用潛力。

### (3) 北方森林培育專門學校的人才培育理念：

此外，北海道立北方森林培育專門學校在林業人才培育上的創新模式，尤其是運用高科技模擬設備(如收穫機模擬器)進行教學，對於提升學生實務操作能力與職場即戰力，有極大幫助。此舉不僅解決了傳統教學在戶外操作上的風險與成本問題，也加速了林業數位轉型與智慧化管理的進程。臺灣未來若欲加強林業技術人才的培育，應積極引進類似設備與課程設計，並建立學術單位與產業實務之間的橋樑。

### (4) 林業剩餘資材利用的推行：

未來可考慮導入公私部門合作(PPP)模式，首先由政府負責政策制定、補助資源與再造林推動，民間業者則投入加工設施與能源利用，形成明確的分工合作。地方政府也與企業合作，提供場地與補助，企業營運木質顆粒燃料供應系統，供應學校、醫院等公共設施，或開發如森林香氛精油等高值產品，由地方協會協助品牌與行銷。此外，中央與地方共同推動木材行銷與出口，打造品牌形象並與綠建築、觀光教育結合，提升附加價值，創造林業新契機。

## 伍、附錄



附錄圖 1. 北海道廳水產林務部寺田局長等人與本所同仁合照



附錄圖 2. 北の森づくり専門学院土屋学院長與本所何振隆組長合照



附録圖 3. 北の森づくり専門学院土屋学院長與本所同仁合照



附録圖 4. 林産試験場川西博史場長等人與本所同仁合照