

出國報告(出國類別：其他)

赴加拿大相關單位合作推動環保木構架綠建築之研習

服務機關：行政院農業委員會林業試驗所

姓名職稱：王益真 研究員兼組長

塗三賢 助理研究員

派赴國家：加拿大

出國期間：100年6月11日至6月20日

報告日期：100年9月1日

## 摘要：

具環保節能、安全舒適特性的綠建築已逐漸成為居住與辦公的優選，而現代化的環保木構架綠建築與鋼筋混凝土等其他構造建築物相比，除了在興建時可減少二氧化碳排放量外，經由特殊的設計，甚至可以達到淨零能源消費，達成二氧化碳零排放的目標。木構建築的封包設計會影響建築物本身的使用壽命及日常耗能表現，良好的木構建築的封包系統要注意的除了相關材料的選擇外，封包施作技術更為重要未來國內應可也和加拿大合作，舉辦木結構相關講座或訓練班，以提昇了國內木結構建築的技術水準。以鋼筋混凝土結構與木構架混合(hybrid)建築可達到公共建築的防火需求，同時使用木質工程材於大型木構造建築更是近年來北美地區木構造建築市場的趨勢，其中膠合集成材(Glulam)的使用已有多年歷史，也廣泛應用於各類型的建築物，國內也有許多使用 Glulam 的建築實例了，值得注意的是，近年來歐美地區木質工程材的新產品一直交積層木材(CLT)，CLT 具有高強度、耐火、防震、耐久的特點，在大型木構造建築物的應用上十分具有潛力。CLT 是一種可再生，低碳排放的材料，可替代鋼或混凝土興建多層住宅及商業建築，CLT 甚至可用於興建高於 10 層樓的建築物。因此未來 CLT 的發展，值得國內相關單位的研究。

# 目 次

## 摘要

一、計畫目的	01
二、研習過程	02
三、成果與心得	04
四、結論與建議	17
五、附件與參考資料網站	18

## 一、計畫目的：

具環保節能、安全舒適特性的綠建築已逐漸成為居住與辦公的優選。在居家環境中與綠建築密不可分的是木構架(wood frame construction, WFC)房屋。我國木屋文化已中斷數十年，新近才有完整的木構建築規範。推廣木構，特別是北美地區盛行的2 x 4間柱構架工法(又稱框組壁式工法)，因結合構架與牆組，形成堅韌且有彈性的結構體，在歷次地震中表現優異的安全性。牆組間柱之間充填適當絕緣材，復可大幅降低冬夏空調需求；加上木材對環境的調適性，使其舒適感遠優於磚石與混凝土建築。惟木構建築在台灣尚有疑慮與知識缺口：1) 在濕熱環境下耐久性；2) 樓高限制，不利都會區應用；3)防火、抗風、抗蟻等技術與表現；4)構架材料的選擇；及5)預構及工程設計木材之應用。爰此，本所曾提案由台加雙邊合作建構示範木屋以利推廣。本案係鑑於建屋之資本需求頗高，擬先進行考察，釐清疑慮的解決方案、建立知識與技術；包括先進工程木構架於大型公共建築應用等的交流管道，了解雙邊對相互承認材料規格與永續性認證之可能性等。所獲取之資訊有利於後續合作案之推動及國內城鄉木構綠建築之開展。

## 二、研習過程

本計畫已於2011年6月11日至6月20日由本所木纖組王益真研究員與利用組塗三賢助理研究員前往加拿大溫哥華地區進行參訪與研習活動，在加拿大期間主要與下列機構相關人員進行相關議題的討論與研習：行程如下：

日期	主要行程
6月11日(六)	臺北→溫哥華。
6月12日(日)	準備資料、調整時差。
6月13日(一)	訪問溫哥華市 Habitat Engineers工程顧問公司：研習該公司進行之零能源消耗平衡建築計畫(The Harmony House Equilibrium™ Project)的設計理念、結構設計與執行現況。並與執行工程師討論於都會區高樓層鋼骨混凝土結構頂興建混合(hybrid)木構架建築的技術發展、法規限制與在台灣都會區推展可能性。
6月14日(二)	訪問溫哥華市 RDH 建築工程研究機構(RDH Building Engineering Dept.)：與RDH機構Graham Finch 總監，研習木構架建築的封包技術(wood-frame enclosure design guide)與WUFI®(Wärme und Feuchte instationär)熱流與濕度系統模擬技術，並針對木材構架建築之耐久性、抗震、節能、環境調適等及大型先進工程木材應用於公共建築之經濟性、環保性及永續性優勢，討論其於台灣環境之推廣策略與技術支援議題。 訪問列治文(Richmond)市Viceroy木構架公司：考察其預製組件式木構架房屋設計與生產過程、市場應用現況，探討可否克服國內木構初期從業人員過少之施作困難性，增快國內木構架建築的學習曲線。
6月15日(三)	訪問蘭禮(Langley)市 Structurlam公司及BC Wood (BC省木業協會)：討論之木質工程材(engineered wood products)市場應用現況及其於建築美學與環境效益應用及經濟可行性，BC省木業出口現況及展望。 訪問紐威斯明斯特(New Westminster)市CST Innovations公司，討論直交積層木材(Cross laminated timber, CLT)的製造與市場應

用現況，觀摩該公司與卑氏大學(UBC)合作之CLT應用於大型公共建築之建築實例，探討CLT取代鋼筋混凝土結構的環境效益及經濟可行性。

6月16日(四) 參訪溫哥華市半官方林產綜合研究公司(FPIInnovation Inc.)：以我方在本所福山研究中心進行「延長框組壁式木構造房屋使用耐久性技術之研發」產學合作計畫所獲之監測資料進行討論，並與Dr. Chun Ni及Dr. J.Y. Wang 討論木構建築的耐久設計與處理，並就未來雙方可合作的議題進行探討。

卑氏大學林學院(Faculty of Forestry, UBC)：與Prof. Frank Lam就木構建築的抗震性能與設計、木構建築的防火設計等議題進行討論，Prof.Lam並以卑氏大學林學院大樓為例，說明如何以鋼筋混凝土結構與木構架混合(hybrid)建築，來達到公共建築的防火需求。

6月17日(五) 訪問加拿大林產工業協會(Council of Forest Industry, COFI)，與林產工業協會總裁Paul Newman討論對木構架建築推展有礙之相關問題，COFI的市場推廣活動與其他相關議題，並收集木構建築相關建築資訊與技術指南。

6月18日(六) 參訪卑氏大學(UBC)，整理資料。

6月19~20日 溫哥華→台北，返程。

### 三、成果與心得

- 1、由Habitat Engineers工程顧問公司進行中之零能源消耗平衡建築計畫(The Harmony House EQUilibrium™ Project)是加拿大現代化的環保木構架綠建築發展概念之一，它的設計理念主要是透過節能與使用可再生能源的策略，並製造產出其所需要的能源，達到淨零能源消耗的目標，因此在房屋中設置了太陽能熱水系統，除可供盥洗外，主要用來供應熱幫浦，作為冬天的室內調溫用；同時在這座房屋上也裝設了85.6m<sup>2</sup>(922 ft<sup>2</sup>)的太陽能光電板發電，產出的發電量可完全供應室內照明及一般電器使用。在結構設計上，採用大面積開窗、設計空氣對流系統、使用低毒性內部裝修材料，再生材料、節約用水和雨水收集灌溉系統等。這些措施將降低對環境的影響，節約資源，創造一個健康的室內環境。這一棟均衡房屋不管在溫度調節、加熱用水或使用電器上均不會排放溫室氣體，達成零碳建築的目標。

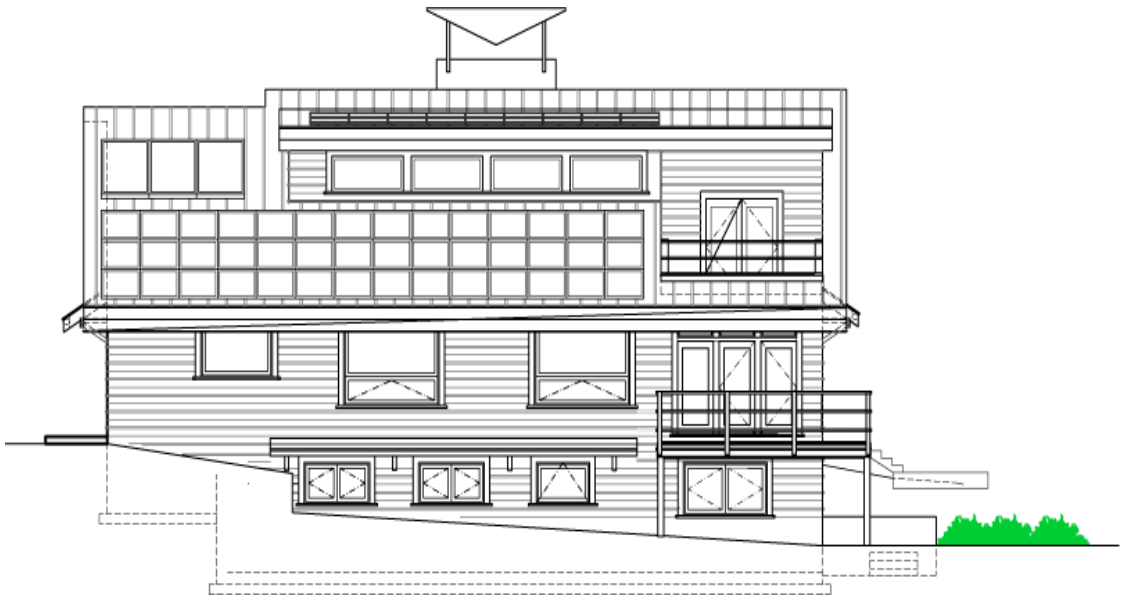


圖1、加拿大的均衡房屋設計採用大面積開窗、設計空氣對流系統，並設置太陽能發電系統以達成淨零能源消耗的目標

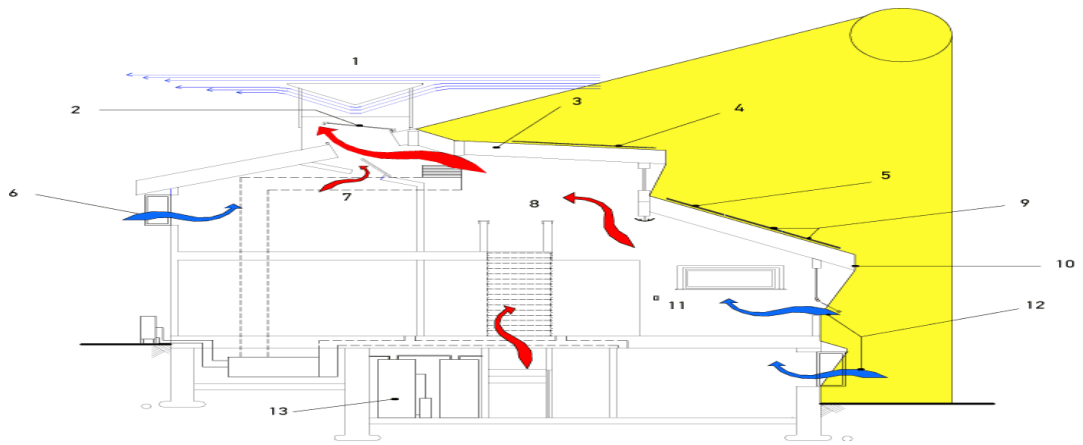


圖2、The Harmony House透過上圖中的4、5所指的太陽能光電板產生能源，同時經由空氣對流系統的設計，達到節能的目標



圖3、與Habitat Engineers工程顧問公司負責人Chris Mattock先生討論零能源消耗平衡建築計畫(The Harmony House EQUilibrium™ Project)的設計理念



圖4、Chris Mattock先生介紹Harmony House所使用的建材與設計



2、木構建築的封包設計(wood-frame enclosure design guide)會影響建築物本身的使用壽命及日常耗能表現，RDH (RDH Building Engineering Dept.) 建築工程研究機構的Graham Finch表示良好的木構建築的封包系統要注意的除了相關材料的選擇外，封包施作的完整性更為重要，這也表示施工技術的重要性，目前國內木構造房屋數量仍少，相關的施工技術雖有規範，但仍缺少經驗的累積。除了木構建築的封包設計外，Graham Finch也介紹WUFI® (Wärme und Feuchte instationär)熱流與濕度系統模擬軟體，此軟體的系統資料庫涵蓋了13國，一百餘個測站的資料，包括鄰近的日本、韓國與中國等，在本所福山研究中心的試驗木屋中，我們也蒐集了許多相關的資訊，未來可以經由這套軟體系統與世界各國加強在木構造房屋溫濕度監測、調節與模擬研究上的交流與合作。



圖5、與RDH Building Engineering Dept. Graham Finch 討論木構建築的封包技術，與本所目前相關的研究成果



圖6、Graham Finch展示WUFI®系統

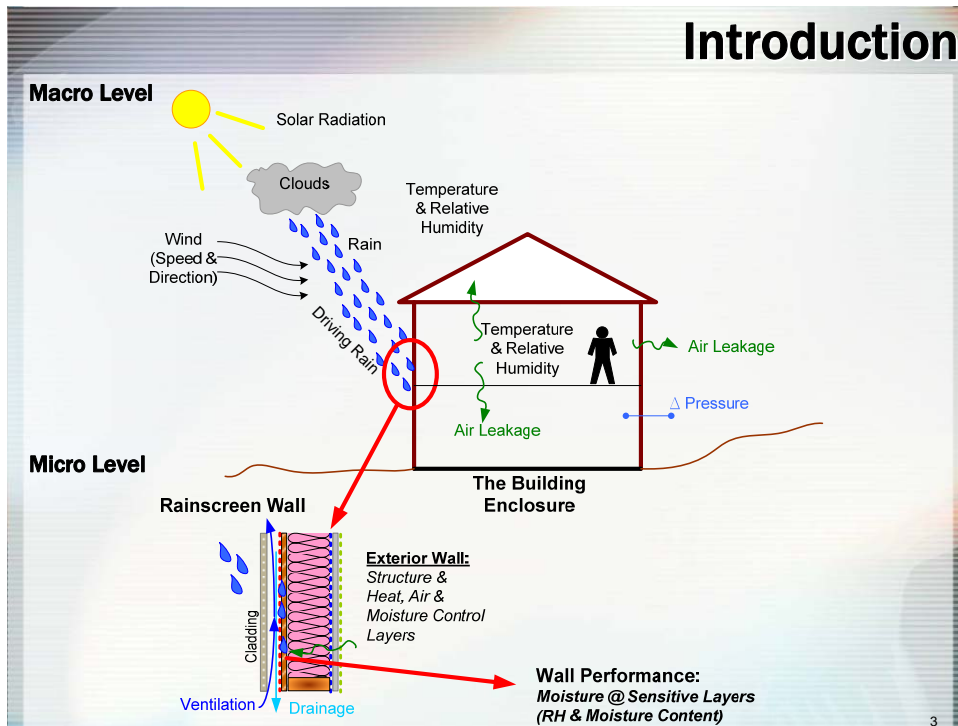


圖7、木構建築的封包系統除了要注意相關材料的選擇外，封包施作的完整性更為重要

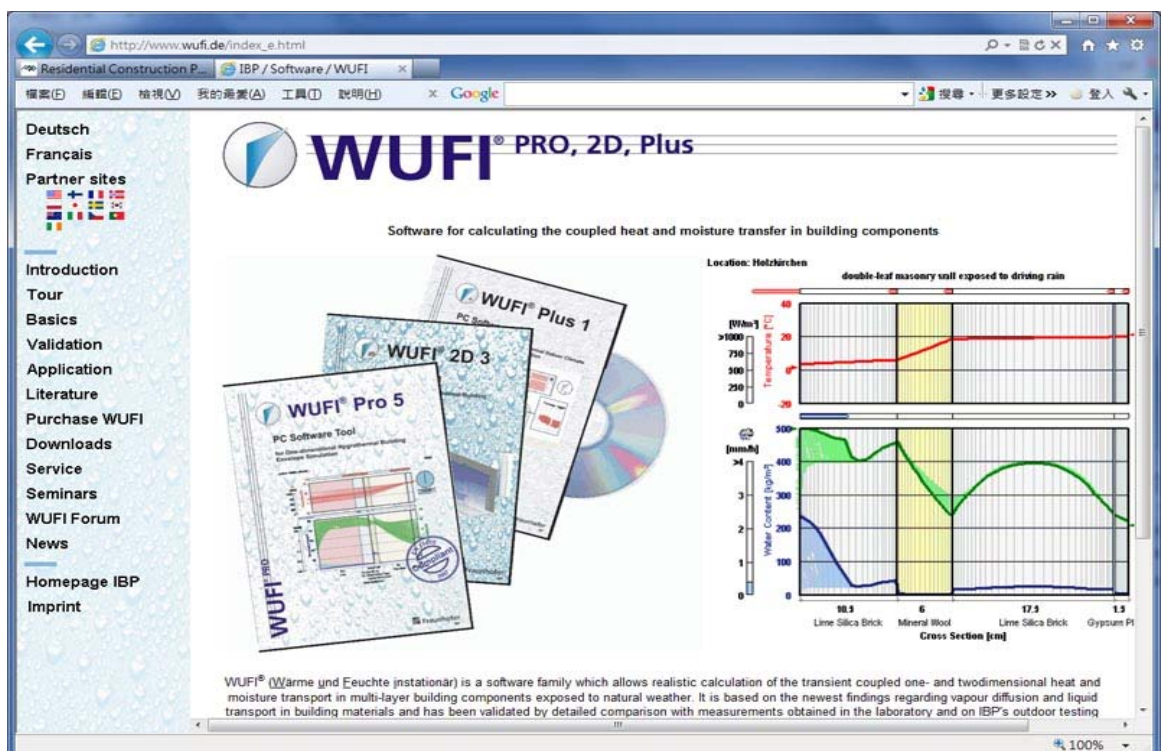


圖8、WUFI® (Wärme und Feuchte instationär)熱流與濕度系統模擬軟體

3、預製組件式木構架房屋設計與生產過程在加拿大已有多年歷史，同時也有相當廣泛的市場接受度，近年來鄰國日本、韓國與中國等也引進了不少北美的預製組件式木構架房屋，我們認為預製組件式木構架房屋應可克服國內木構初期從業人員過少之施作困難性，增快國內木構建築的學習曲線。



圖9、參訪Viceroy預製組件式木構架房屋設計與生產公司，並與公司總經理討論市場應用現況



圖10、市場上有多樣化的預製組件式木構架房屋可提供消費者選擇

- 4、在半官方林產綜合研究公司(FPIInnovation Inc.)：先由我方在本所福山研究中心進行「延長框組壁式木構造房屋使用耐久性技術之研發」產學合作計畫研究成果進行簡報，除針對本所試驗木屋於福山研究中心所獲之監測資料進行討論，並與Dr. Chun Ni及Dr. J.Y. Wang 討論木構建築的耐久設計與處理，雙方並同意未來在木結構相關議題上進行合作。



圖11、參訪半官方林產綜合研究公司(FPIInnovation Inc.)



圖12、與FPIInnovation Inc. Dr. Chun Ni討論木構建築的耐久設計與處理

5、以鋼筋混凝土結構與木構架混合(hybrid)建築可達到公共建築的防火需求，卑氏大學林學院(Faculty of Forestry, UBC) Prof. Lam 以卑氏大學林學院大樓為例，說明木構建築的抗震性能與防火性能的設計方式，以及如何結合鋼筋混凝土結構與木構架建造大型混合(hybrid)木構架建築公共建築，UBC大學林學院大樓的設計可作為未來國內相關大型公共建築的借鏡。



圖13、Prof. Lam以卑氏大學林學院大樓為例，說明木構建築的抗震性能與防火性能的設計方式



圖14、UBC大學林學院大樓外觀與內部的大型集成樑



圖14、UBC大學林學院內部的大型集成樑是以樹木作為造型設計



圖15、在集成樑上裝設的監測器材

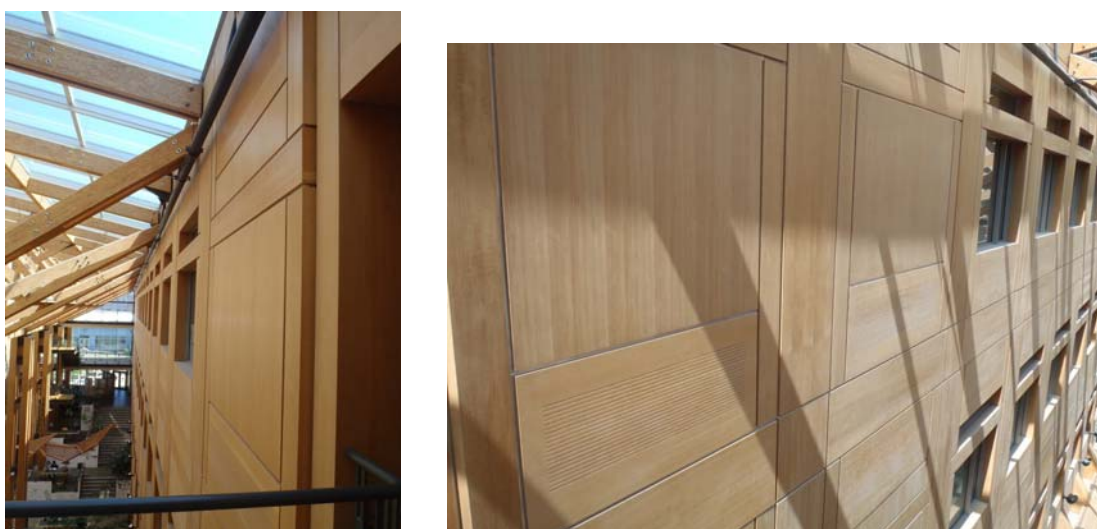


圖16、UBC大學林學院大樓使用工程木材作為主要的木質建材

6、使用木質工程材(engineered wood products)於大型木構造建築是近年來北美地區木構造建築市場的趨勢，其中膠合集成材(Glulam)的使用已有多年歷史，也廣泛應用於各類型的建築物，在特殊的場合，膠合集成材也可以經由設計達到建築結構所需的強度，甚至與其他材料結合，以配合特別的需求，例如在大溫哥華區列治文市的Richmond Oval滑冰場，就是使用膠合集成材與鋼材混合，創造出長達320英尺淨跨距，世界上最長的樑拱，該場地也是2010冬季奧運會的滑冰競技場。



圖17、參訪Structurlam公司及BC Wood (BC省木業協會)，討論之木質工程材(engineered wood products)市場應用現況



圖18、UBC大學內一座興建中使用膠合集成材Glulam與鋼材的混合木構造建築



圖19、Richmond Oval滑冰場使用膠集成材Glulam與鋼材混合，創造出世界上最長的淨跨距樑拱的木構造建築



圖20、國內的新阿里山車站建築也是使用Glulam作為主要的木質材料



直交積層木材(Cross laminated timber, CLT)的使用則是近年來歐美地區木質工程材的新產品，直交積層木材CLT 具有高強度、耐火、防震、耐久的特點，在大型木構造建築物的應用上十分具有潛力，在UBC大學的生物能源研究與示範計畫(The UBC Bioenergy Research and Demonstration Project, BRDP)中，就是一個將CLT應用於大型公共建築之建築實例。該計畫將興建一座樓高四層，樓地板面積1886平方米的工廠將成為直交積層木材（CLT）在北美的第一個商業化應用。CLT是一種可再生，低碳排放的材料，可替代鋼或混凝土興建多層住宅及商業建築，CLT甚至可用於興建高於10層樓的建築物。



圖21、參訪CST Innovation公司，討論直交積層木材(Cross laminated timber, CLT)的製造與市場應用現況

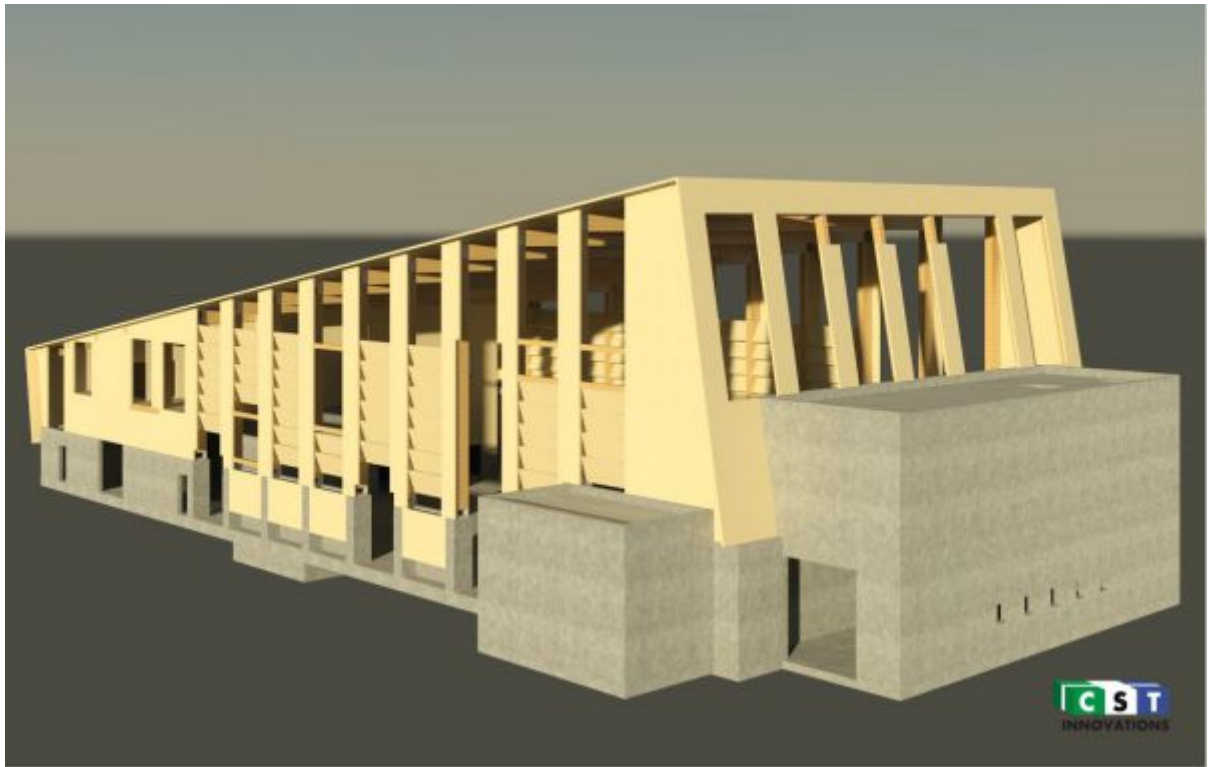


圖22、UBC大學生物能源研究與示範計畫(Bioenergy Research and Demonstration Project, BRDP)，是一個將CLT應用於大型公共建築之建築實例

- 7、近年來加拿大林產工業協會(Council of Forest Industry, COFI)在遠東地區的主要市場焦點是在中國大陸地區，加拿大林產工業協會在中國上海，北京和成都都設有辦事處，與一些中國政府部門密切合作，其中包括：建設部、公安部消防局以及上海市建設和管理委員會。加拿大林產工業協會並與中國林業科學研究院和同濟大學等一些機構簽定了諒解備忘錄，除出版木結構建築相關建築資訊與技術指南外，每年也與同濟大學合作，舉辦木結構建築相關講座、訓練班等活動，講師群除了業界相關人士外，也包括了UBC大學木材科學系的教授，這些活動除了有益木結構建築市場的推廣外，也提昇了中國地區木結構建築的建築技術，未來國內應可也和加拿大林產工業協會合作，舉辦木結構相關講座或訓練班，以提昇了國內木結構建築的技術水準。



圖23、參訪加拿大林產工業協會(Council of Forest Industry, COFI)，討論對木構架建築推展有礙之相關問題，COFI的市場推廣活動與其他相關議題



圖24、加拿大林產工業協會也出版了一系列中文版的木結構建築相關技術指南

#### 四、結論與建議：

- 1、具環保節能、安全舒適特性的綠建築已逐漸成為居住與辦公的優選。木構架 (wood frame construction, WFC)房屋在居家環境中與綠建築密不可分。現代化的環保木構架綠建築與鋼筋混凝土等其他構造建築物相比，除了在興建時可減少二氧化碳排放量外，經由特殊的設計，可以達到淨零能源消費，達成二氧化碳零排放的目標，此可由加拿大零能源消耗平衡建築計畫(The Harmony House EQUilibrium™ Project)中可得證，這個零能源消耗平衡建築計畫所建造的Harmony House已在加拿大地區實際使用中。未來國內如欲興建木構架示範建築，以推廣木構住宅的建築市場時，這個 Harmony House project 可作為我們的借鏡。
- 2、木構建築的封包設計會影響建築物本身的使用壽命及日常耗能表現，良好的木構建築的封包系統要注意的除了相關材料的選擇外，封包施作的完整性更為重要，這表示施工技術的重要性，未來國內應可也和加拿大林產工業協會合作，舉辦木結構相關講座或訓練班，以提昇了國內木結構建築的技術水準。
- 3、以鋼筋混凝土結構與木構架混合(hybrid)建築可達到公共建築的防火需求，UBC大學林學院(Faculty of Forestry,UBC) 即是結合鋼筋混凝土結構與木構架所建造大型混合(hybrid)木構架公共建築，UBC大學林學院大樓的設計可作為未來國內相關大型公共建築的借鏡。
- 4、使用木質工程材(engineered wood products)於大型木構造建築是近年來北美地區木構造建築市場的趨勢，其中膠合集成材(Glulam)的使用已有多年歷史，也廣泛應用於各類型的建築物，國內也有許多使用Glulam的建築實例了，值得注意的是，近年來歐美地區木質工程材的新產品一直交積層木材 (CLT)， CLT 具有高強度、耐火、防震、耐久的特點，在大型木構造建築物的應用上十分具有潛力，在英國倫敦已有使用CLT興建的9層樓住宅，在UBC大學的生物能源研究與示範計畫(BRDP)中，則是一個將CLT應用於大型公共建築之建築實例。CLT是一種可再生，低碳排放的材料，可替代鋼或混凝土興建多層住宅及商業建築，CLT甚至可用於興建高於10層樓的建築物。因此未來CLT的發展，值得國內相關單位的研究。

## 五、附件與參考資料網站

### 附件一、The Harmony House project



#### Sponsors

BC Hydro Power Smart

Technical support on electrical energy conservation

Fab Form Industries

Monopour Fabric Footing System for foundation

Quad Lock

Insulated concrete forms

DuPont Building Innovations

Sheathing membrane, flashings, tapes, sealants and roof underlayment

Cascadia Windows and Doors

Fiberglass triple glazed windows and glass doors

Panasonic Canada

Vacuum insulation panels, compact fluorescent lamps

Velux Canada

High efficiency fixed and opening skylights

Eneready Products

Heat recovery ventilator, ventilation filtration system, controls, power grills and fixed exhaust and supply grills

Dow Building Solutions

Foam board insulation and closed cell urethane spray foam

Icyene

Castor bean oil based spray foam insulation / air barrier

Four Seasons Insulation Ltd.

Insulation installer

Thermo Dynamics Ltd.

Solar domestic water heating system

Benjamin Moore & Co. Ltd.

No VOC interior paints, vapour barrier primer, low VOC urethanes, exterior paints

Interstyle Ceramic and Glass

Floor, backsplash and counter top tiles

Kohler Canada

Water conserving faucets, shower heads and toilets

Pacific Rim Cabinets

Kitchen and laundry room cabinets, bathroom vanities and cabinets

Echoflex

Wireless electric appliance and lighting controls

Mitsubishi Electric Sales Canada

Air source heat pump space and water heating systems

Greater Vancouver Home Builders Association

Sponsoring Association

Lynden Doors

Interior Doors

#### Team

Habitat Design + Consulting

Project Designer, Green Consultant, Energy Analyst

Insightful Healthy Homes

Builder

Teva Design

Interior Designer

Blue+Green Design Studio

Landscape Architect

Quantum Lighting

Lighting Designer

JRS Engineering

Building Envelope Engineer

K. Ito and Associates

Structural Engineer

Sustainability Television

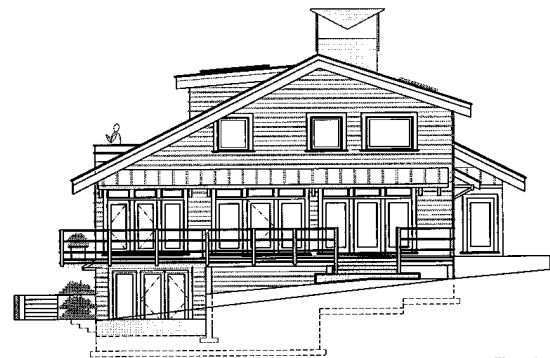
Video Documentation

#### Equilibrium™ Housing Initiative

Harmony House is a winning entry in the Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC) Equilibrium™ Sustainable Housing Demonstration Initiative -- a national initiative to design, build and demonstrate sustainable homes throughout Canada. For more information and the Harmony House project overview visit: [www.cmhc.ca](http://www.cmhc.ca)



#### the harmony house equilibrium project



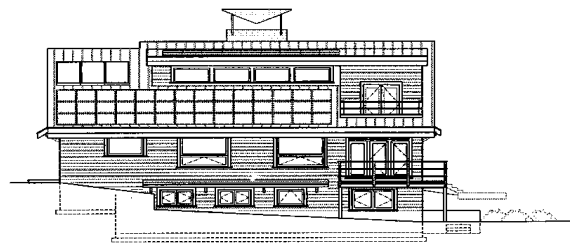
East Elevation

Harmony House, which is being constructed under CMHC's Equilibrium™ Initiative, is a next generation green building that uses a mixture of proven and leading edge technologies to provide a resource efficient, healthy, net zero energy, zero green house gas emission home.

The building envelope is super-insulated and airtight and incorporates fibreglass frame triple glazed windows to minimize space heating loads. Space heating is provided by a combination of solar heat gain through south facing windows and a high efficiency air source heat pump. Water heating is provided by a solar water heater backup by a high efficiency air source heat pump. A high efficiency heat recovery ventilator with dedicated supply and exhaust ductwork and a pre-filter will be used to minimize ventilation energy losses and to help ensure high indoor air quality and thermal comfort. High efficiency appliances will be used to minimize electrical power demand.

Lighting will be provided by a mixture of daylighting and high efficiency electrical lighting controlled by daylight sensors and motion detector controls. Cooling will be supplied, as required, through a combination of wind- and stack driven air-flow cooling and night-time free cooling. All electrical energy consumption on an annual basis will be provided through a grid connected 85.6m<sup>2</sup> (922 ft<sup>2</sup>) photovoltaic array.

The home will be resource efficient through the use of advanced framing, engineered wood products and products made from renewable and recycled materials. Water conservation will be achieved through the use of water-conserving plumbing fixtures and appliances, high efficiency irrigation and rain water harvesting. A healthy indoor environment will be provided through the use of low chemical off gassing interior finishes and the filtration of ventilation and recirculation air. Construction of the project will be documented in a series of videos which can be found at [www.sustainabilitytelevision.com](http://www.sustainabilitytelevision.com).



South Elevation

<http://www.harmony-house.ca/index.html>

參考資料網站

- 1、加拿大零能源消耗平衡建築計畫(The Harmony House EQUilibrium™ Project) :  
<http://www.harmony-house.ca/index.html>
- 2、加拿大木業協會 : <http://www.canadawood.org>
- 3、加拿大林產工業協會(Council of Forest Industry, COFI) : <http://www.cofi.org>
- 4、CST Innovations : <http://www.cstinnovations.ca/>
- 5、Structurlam : <http://www.structurlam.com>
- 6、UBC Bioresearch & Demonstration Project : <http://www.publicaffairs.ubc.ca/2011/02/24/pioneering-ubc-clean-energy-project-gets-11-2-million-in-new-government-support/>
- 7、FPInnovation Inc : <http://www.fpinnovations.ca/>