

出國報告（出國類別：實習）

赴英國諾丁漢大學執行建築節能與測試技術實習計畫出國報告

服務機關：核能研究所

姓名職稱：陳恩仕 助理研究員

派赴國家：英國

出國期間：105年11月15日~105年12月20日

報告日期：106年1月19日

摘要

建築部門用電為我國電力消耗大宗之一，占 20~30%，加強建築節能技術的發展有助於節能減碳目標之落實。英國為最重視建築節能之歐美國家之一，其國內諾丁漢大學(University of Nottingham)之建築與環境建設(Architecture and Built Environment)學系於建築節能與永續能源之研究有深厚基礎，規劃本所科技人員前往諾丁漢大學實習，將可獲致最大效益。

同時藉由本次實習參加了該系舉辦之學術演講，了解目前該系研究之方向；並參觀該系重要之建築節能研究設施，了解目前英國建築節能之技術重點及測試方法，值得供我國建築節能技術發展參考。

本次實習之心得在了解該系於永續建築議題上的研究布局廣泛，使該系居領先地位；Creative Energy Homes 之建造為該系奠定學術知識基礎；保溫節能膜安裝容易，若價格合理可為目前最快進入歐美市場之技術。建議事項方面，應注意實習時程避免與學校學期末相重疊；英國高等級永續建築對建商而言利潤低，造成推行永續建築上的瓶頸，我國應加以借鏡；我國可參考 Creative Energy Homes 的經營模式建立實驗建物，促進國內產學價值之提升。

目 次

一、目 的.....	1
二、過 程.....	2
三、心 得.....	38
四、建 議 事 項.....	40
五、誌謝.....	41
六、參考資料.....	42

一、目的

建築物的耗電在開發中國家或是已開發國家中佔了很高的比例，占 20~30%，先進國家的節能減碳工作必將建築部門的節能視為重點項目。我國都市化程度高，如何促進建築物節約能源，一直是國內關心的課題，各研究單位無不致力於再生能源、提升用電效率及各式節能技術等領域之發展。

英國為歐美國家中最重視建築節能的國家之一，其國內建立了一套永續建築制度 UK Code for Sustainable Homes，用以評比建築物在零碳、節能及環保等方面的等級，已被其他國家參考效法。諾丁漢大學(University of Nottingham)為該國重點大學之一，擁有遠播的學術聲譽；在英國政府政策推動的建築節能氛圍下，該校之建築與環境建設學系(Architecture and Built Environment Department)長年致力研究於永續能源技術、建築節能技術與建築設計實務間的結合，成果豐碩；曾多次主辦相關之國際研討會，學術資源豐富，顯示其於此領域之領先地位。

藉由此次赴英國諾丁漢大學建築與環境建設學系實習的機會，可以充分了解該系建築節能研究現況、最新研究主題以及面臨之問題等，將此借鏡做為日後本所研發之參考，期能有助於國內相關技術水準之提升，為國人創造更舒適的生活環境。

二、過 程

本次出國實習之行程安排如表一：

表一、出國行程表

日期	地點	內容
11 月 15 日~11 月 16 日	桃園機場→曼徹斯特 曼徹斯特→諾丁漢	去程轉機 抵諾丁漢大學
11 月 17 日~12 月 17 日	諾丁漢	於諾丁漢大學實習建築節能技術，了解 Creative Energy Homes 特點，參與該系之學術會議聽取各研究團隊簡報。
12 月 18 日	諾丁漢→曼徹斯特	回程轉機
12 月 19 日~12 月 20 日	曼徹斯特→桃園機場	回程抵台

本實習之去程為從桃園機場搭機至英國曼徹斯特，再搭火車轉往諾丁漢。由於本次實習為學術性質，且滯英時間在法定限制內，不需英國簽證即可入境，對我國人員十分便利。抵達諾丁漢車站後，由諾丁漢大學建築與環境建設學系之 Zheng Xiaofeng 博士接送與 Benson Lau 教授會面，隨後即安排在英國實習之住宿。

(一) 諾丁漢大學簡介

諾丁漢大學建校於 1881 年，於 1948 年正式成為英國國立大學，目前共有 63 個科系，涵蓋藝術、工程、醫學、基礎科學及社會科學等領域，是世界排名前百大大學之一，2014 年排名第 75 名。諾丁漢大學位於英國中南部之 Nottingham，約於倫敦西北方 150 公里，主要校區為 University Park Campus，占地約 160 公頃，大多數的科系及學生活動均聚集於此，圖一為校園正門；建築與環境建設學系亦位於此區內，其校區平面圖如圖二所示；比鄰於 University Park Campus 者為 Queen's Medical Center (當地簡稱為 QMC)及 Jubilee Campus，Queen's Medical Center 為其醫學院所在，亦為當地醫院，而 Jubilee Campus 除了設有系所大樓，尚為大型會議及訓練場所，其平面圖如圖三所示。各校區之相關位置圖如圖四所示。

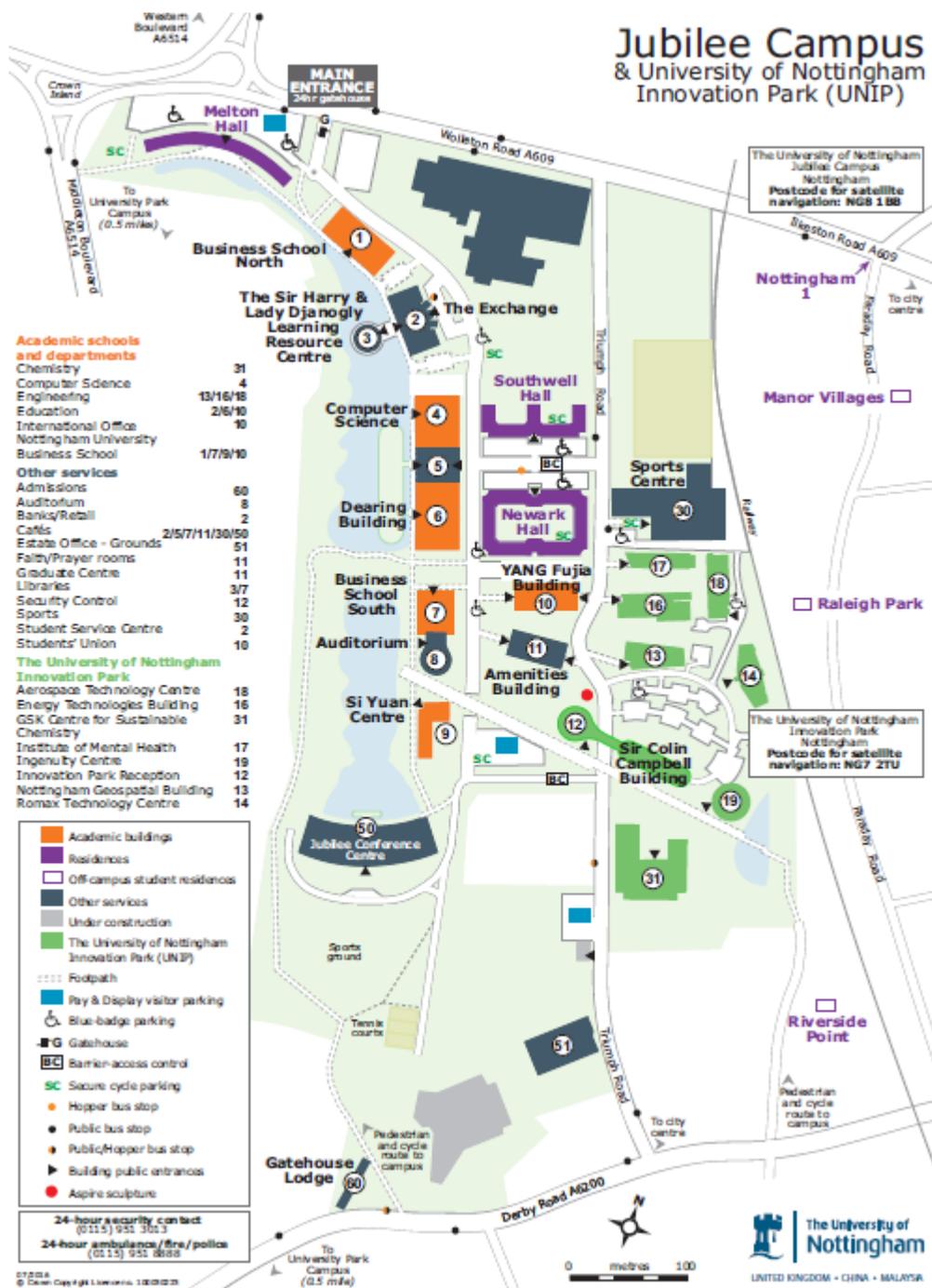
除了英國境內的本校外，諾丁漢大學在馬來西亞及中國寧波亦設有分校，吸引各國人才。



圖一、諾丁漢大學正門



圖二、諾丁漢大學公園校區平面圖，建築與環境建設系位於紅框處



圖三、諾丁漢大學 Jubilee 校區圖



圖四、諾丁漢市區與諾丁漢大學之主要校區相關位置圖

(二) 建築與環境建設學系簡介

該系始於 1843 年，初為建築設計專業學校，旨在培養建築人才，當時諾丁漢大學尚未設立；自 1881 年諾丁漢大學建校後該系即與之合併，近百年來均專注於建築設計人才之培育。1997 年系主任 Saffa Riffat 上任後，更名為 School of Built Environment，開始強調建築的節能與永續性；2004~2008 年 Brian Ford 教授接任系主任，更大力著手於建築與永續能源、節能技術之間的整合。2009 年再次更名為 Department of Architecture and the Built Environment，為一結合建築設計、都市規劃、建築服務及永續能源技術等專業之跨領域科系，致力於綠色及永續問題之創新解決方案。

圖五為前系主任 Saffa Riffat 教授於 2016 年期末發表會向廠商及與會來賓介紹該系的主要研究與教學成果。內容主要為研究論文發表、過去 15 年舉辦 SET 國際會議且創辦三個國際期刊，學術成果輝煌。

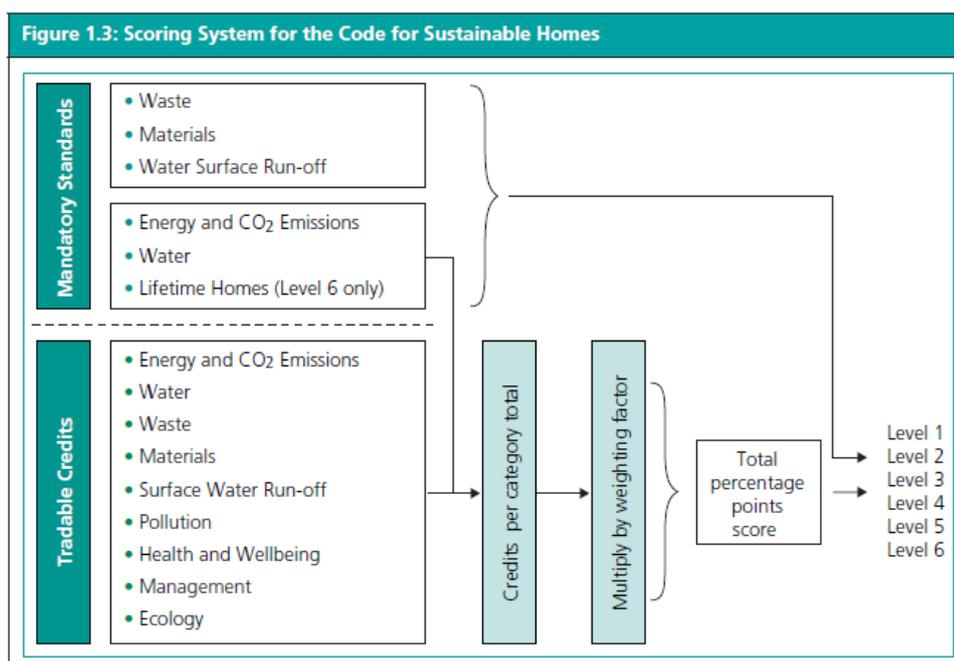


圖五、Saffa Riffat 教授簡報該系成就

(三) Code for Sustainable Homes 簡介

英國的永續建築法規主要依照 Code for Sustainable Homes[1]，共有六個等級，評分項目如表二。成為永續建築有最低門檻，項目分別為 Materials、Water Surface Run-off (建屋時之省水管理)、Waste(居住及建屋之垃圾管理)，須達法定標準。單滿足最低要求後，便是 Level 等級的評等，評等有兩個面向，一為碳排放，如表三，一為省水，如表四。而最後要完成 Level 6 的等級，須滿足 Lifetime Homes 的要求與滿足使用者舒適度才能稱之。

表二、Code for Sustainable Homes 評分項目[1]



表三、碳排放減量評等標準[1]

Code Level	Minimum percentage reduction in dwelling emission rate over target emission rate
Level 1 (★)	10
Level 2 (★★)	18
Level 3 (★★★)	25
Level 4 (★★★★)	44
Level 5 (★★★★★)	100
Level 6 (★★★★★★)	'Zero Carbon Home'

表四、用水上限標準[1]

Code Level	Maximum indoor water consumption in litres per person per day
Level 1 (★)	120
Level 2 (★★)	120
Level 3 (★★★)	105
Level 4 (★★★★)	105
Level 5 (★★★★★)	80
Level 6 (★★★★★★)	80

(四) Creative Energy Homes

在建築物節能與永續能源技術的領域中，各研究單位往往礙於經費及場地等限制，研究方法上通常採電腦模擬及現有建築現地量測的方式進行。其結果雖為可信，但從探究整體建築節能的觀點而言，則顯得單薄，不足以剖析實際建物的節能全部面向。

英國政府對建築部門的節能採取積極作為，希望能於 2050 年減少 80% 之碳排放，且在 2016 年起推廣所有新建自住房屋皆為零碳排放屋。建築與環境建設系自 1997 年至 2008 年間陸續建置七棟實際可供居住之 Creative Energy Homes，如圖六所示模型，其旨不但要幫助英政府達到節能減碳目標，並且要展現世界級創新建築結構、再生能源、建築節能及用電優化等技術之研究能量，更要成為檢視建築規範、舒適度、滿意度及用電效能之平台。

Creative Energy Homes 的實驗結果最終要推廣至民間，觀察其使用的情形是一項非常重要的資料，故每個房屋皆有人員進駐，並且安裝許多監測器以記錄長時間的使用資訊，須蒐集的資訊如人員數、天候資料、溫濕度、室內空氣品質、能源使用情形(如天然氣及市電等)、用水、建築結構效能及再生能源使用情形等。

這七棟房屋同時也是研究人員與廠商合作的平台，廠商可藉此平台得到更有說服力的數據向客戶行銷，研究人員亦可發表研究成果，學校則向各房屋的使用者收取租金；此外，學生亦可藉參與此研究活動從中得到有價值的經驗，是一互利互惠的研究設施。



圖六、Creative Energy Homes 模型圖，自左上至右下分別為：Mark Group House、Nottingham H.O.U.S.E、BASF House、E. ON research House、Tarmac Masonry Homes (兩棟連體) 及 David Wilson Eco-House

以下分別為各 Creative Energy Homes 作介紹

David Wilson Eco-House

David Wilson Eco-House 是第一個建立的 Home，由 David Wilson Homes 公司所設計，故以此命名之，如圖七。此建物採傳統磚牆結構建造，有四個獨立臥室。本建物的原始用意是支援微型熱電機(Micro-CHP，以天然氣發電並產熱之設備)，太陽熱能、微型風機與自然通風設備等再生能源系統的研究；屋子在面向南方的屋頂上裝有太陽電池來提供電力使用，如圖八，從前曾裝設的微型風機目前已拆除。此屋並將煙囪改造為透明結構，作為引入太陽熱能的設施，並同時利用太陽熱能造成的煙囪效應幫助屋內通風，如圖九。每個裝設於此屋之技術均為節省市電之使用。

本屋目前作為研究人員辦公室，但能源使用的資料蒐集仍持續進行；此外，本屋正進行七個 Creative Energy Homes 的微電網實驗，期能滿足下一代為電網之需求。



圖七、David Wilson Eco-House 外觀



圖八、David Wilson Eco-House 照片中右方屋頂深色部分為太陽電池，屋頂上方圓錐物為
第 10 頁



圖九、以煙囪效應幫助通風的透明煙囪

BASF House

打造一個節能屋對一般民眾來說所費不貲，**BASF House** 在造價上與節能上提供了一個平衡點，如圖十。本屋使用了精心挑選的材料和技術，並基於其建物的生命週期的使用成本和能耗，達到了新建物 Level 4 的綠建築等級，同時滿足造價平民化的需求。

本屋興建的關鍵，在於善用樓地空間、採光蓄熱及自然通風等策略。屋之北、東及西面牆為高度保溫材料，南面則有二層樓高的窗戶罩住整個平面，並且再隔出一個緩衝空間，亦全為玻璃覆蓋，如圖十一。

南面的緩衝空間可接收太陽光增加熱量，作為屋內的主要熱源，減少暖氣之使用；另外裝有地下熱交換系統及一地源熱泵，作為輔助熱源。為達到更高的屋內熱能之維持性，一樓地面下設有隔絕結構及相變材料。屋頂上裝有太陽電池，供應屋內使用。

在保溫的工法方面[2]，基地開挖後先打入地樁，地樁上架設輕骨架，輕骨架上再鋪設絕熱材料板 Neopor insulation boards，此時地面與一樓地板形成一層空氣做熱阻擋層，如圖十二；所有牆面採 Insulating Concrete formwork (ICF)設計，如圖十三，之後再貼附摻雜石墨之 EPS 發泡材，如圖十四，使保溫能力再上層樓。為進一步滿足永續建築的規範要求，BASF

公司採用了相變材料板 SmartBoard™ 來達成。此相變材料為許多包覆蠟之小顆粒組成，當氣溫升高時，蠟自固態轉為液態吸熱，此時蠟之溫度固定，可以維持室內溫度；當氣溫由高溫轉低溫，原本液態的蠟放熱轉為固態，溫度亦為固定，同樣可維持室內溫度，使整個室內更舒適。

較其他 Creative Energy Homes 不同的是本屋屋頂塗有 IR 反射漆，用以降低屋頂因被太陽加熱隨後散熱回環境而造成的熱島效應。熱島效應在郊區並不明顯，但在都會區如倫敦等，熱島效應明顯，常對夏季冷房造成更多的耗電。

本屋目前已結束測試，待日後實驗規劃使用。



圖十、BASF House 外觀，屋頂塗有 IR 反射漆



圖十一、BASF 的南面緩衝空間



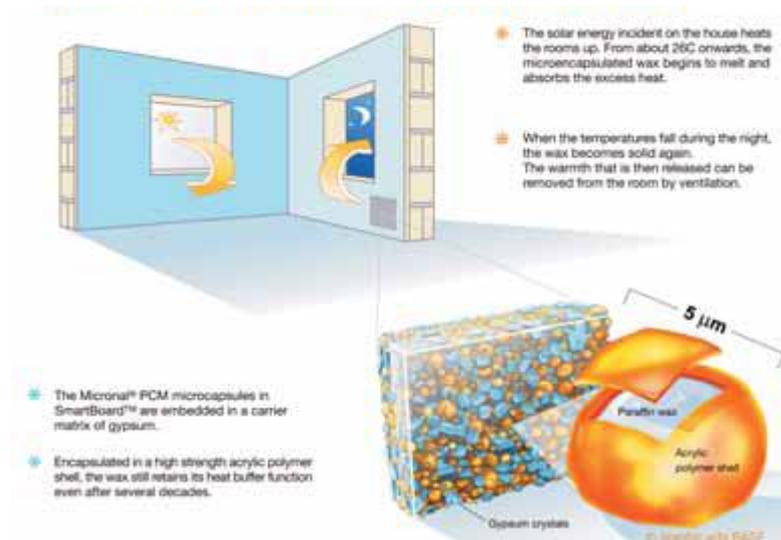
圖十二、BASF HOUSE 建造之初，打入地面的地樁，鋪設於上的地板及牆面工程[2]



圖十三、牆面用的 ICF 材料 [2]



圖十四、EPS 保溫板[2]



圖十五、含蠟之相變材料[2]

E. ON Research House

在英國，有數百萬棟房屋建於 1930~1950 年之間，為當時的人們提供了許多工作機會，也使許多人有屋可住。當時建屋技術並沒有隔熱節能的觀念，通風亦不佳，導致在 80 年後能源吃緊的今天，這些房屋均要面臨一場綠色革命。

諾丁漢大學與能源公司 E.ON 獲得了合作計畫授權，建造一仿 1930 年代之居住型建物，用以探究何種改造方式可以滿足政府對降低既有建物碳排放的目標，如圖十六所示。本屋的原外牆加設了內外氣熱交換層，利用排氣的熱來對入內進氣加溫，減少暖氣的能源消耗，見圖十七及圖十八。

目前，英國約有 86% 的既有建物將使用到 2050 年，因此針對此類房舍尋找可減少能源消耗的技術是非常重要的。本實驗屋即為此目標而設，採用跨年多階段之改造升級方式，來觀察不同施作方式造成的衝擊及效率。

目前此實驗屋為能源公司之辦公室。



圖十六、E. ON Research House 外觀



圖十七、E. ON Research House 外牆，功能為內外氣熱交換用



圖十八、外牆下之通風口

Mark Group House

本 **Mark Group House** 亦為一獨棟之四房建築，由校內師生自行設計建造，如圖十九。本屋之目的為建造一零能屋，不同於傳統磚塊結構，其整個建物使用了絕熱混凝土結構，地面上的部分外牆更鋪有發泡聚合板，使保溫更加確實，減少暖氣使用。在太陽能利用方面，鋪設大量太陽電池提供室內活動使用；規劃緩衝區以取得太陽光的預熱效果。



圖十九、Mark Group House 外觀

Nottingham H.O.U.S.E

此屋名 Nottingham H.O.U.S.E，為 a family Home Optimising the Use of Solar Energy，是結合系上各方學者、研究員及學生與校外廠商及專家的心血結晶，見圖二十及圖二十一。

本屋的特點是第一個同時滿足 German Passivhaus Institute, UK Code for Sustainable Homes Level 6 及 Lifetime Homes compliant & Secured by Design Compliant 三個嚴格規範之零碳屋。German Passivhaus Institute 規範了新成屋的能源消耗量[3]，如表五；UK Code for Sustainable Homes 則定義用水、用電、廢棄物等項目的評分，評分項目如前所述；而 Lifetime Homes compliant & Secured by Design Compliant 則為整個建案的舒適性及方便性規劃。整個房屋須達到碳排放在 Level 6、用水在 Level 6、用電完全靠太陽能及儲能設備，且居住舒適度高的規格要求。

表五、German Passivhaus Institute 的新屋耗能規範[3]

				Criteria ¹			Alternative Criteria ²
Heating							
Heating demand	[kWh/(m ² a)]	≤	15			-	
Heating load ³	[W/m ²]	≤	-			10	
Cooling							
Cooling + dehumidification demand	[kWh/(m ² a)]	≤	15 + dehumidification contribution ⁴			variable limit value ⁵	
Cooling load ⁶	[W/m ²]	≤	-			10	
Airtightness							
Pressurization test result n ₅₀	[1/h]	≤	0.6				
Renewable Primary Energy (PER)⁷				Classic			
				Plus			
				Premium			
PER demand ⁸	[kWh/(m ² a)]	≤	60	45	30	±15 kWh/(m ² a) deviation from criteria... ...with compensation of the above deviation by different amount of generation	
Renewable energy generation ⁹ (with reference to projected building footprint)	[kWh/(m ² a)]	≥	-	60	120		

相較於其他 Homes，Nottingham H.O.U.S.E 特別設計成可人工拆卸組裝的結構，適於遷地展覽，於 2010 年參加在西班牙馬德里舉辦的 Solar Decathlon 國際競賽，獲得很好的成績。本屋並且通過了 2016 年訂定的零碳排挑戰，也適於一夫一妻家庭甚至其日後養兒育女的需求。

本屋設計的主要重點在結構與佈局上，例如採用低熱阻材料以避免結構上的熱橋效應；使用絕熱材料於各牆面幫助保溫；使用特殊材料及工法滿足高標準氣密要求，減少冷空氣自隙縫進入；聽室間空間變化以幫助排濕排廢氣；使用遮陽板避免在夏季室內過熱；適當開窗充分採光，減少燈具使用機會；利用排氣的熱空氣為抽入的冷空氣加溫。電力方面，完全使用太陽電池作為電力來源，如圖二十二。



圖二十、Nottingham H.O.U.S.E 外觀，側面



圖二十一、Nottingham H.O.U.S.E 外觀，正面



圖二十二、Nottingham H.O.U.S.E 上方布有太陽電池

Tarmac Masonry Homes

本屋為兩個相連的傳統英式磚造建築，建置之主要目的為證明採用易於取用的磚石材料和工法也可使傳統房屋變成 Level 6 的綠建築。另一目的為驗證 UK Code for Sustainable Homes 的可行性，以及對其舒適度與節能效率進行評估。

兩屋其一為 Level 4，另一為 Level 6 的房屋，如圖二十三及圖二十四。建商更希望藉此展示改造後的屋子依然價廉，而且易於維護。本屋採用太陽能熱水器、高效率電器、雨水收集器、太陽光透光以及高保溫材料。



圖二十三、左方乳白色為 Level 6 房屋，右側磚紅色為 Level 4 房屋



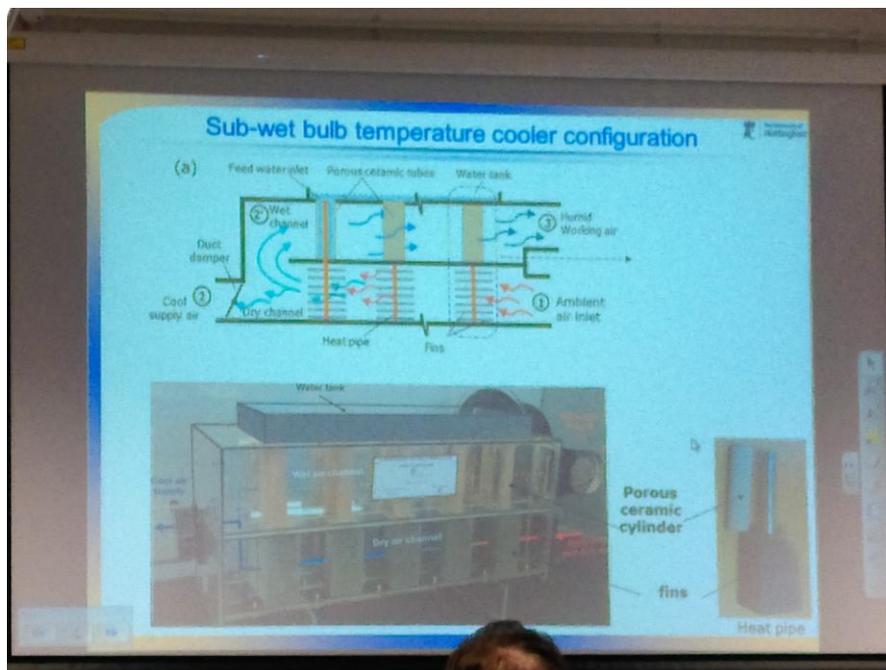
圖二十四、左側房屋正門建有接收太陽熱之緩衝空間

(五) Seminar I

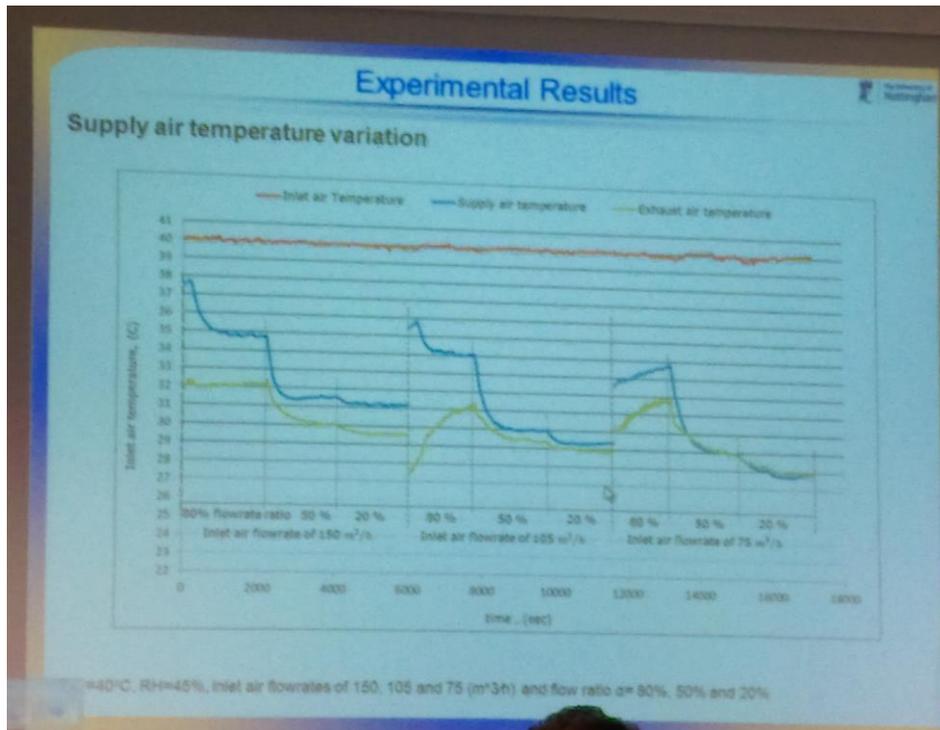
本次實習期間，參加了護系舉辦的專題演講，與會聽眾主要為系上教授、博士班學生，講員發表其最新研究成果，茲摘要如下：

Sub-wet bulb temperature cooler

空調系統一直是建築物用電需求極高的設備之一，尤其到了夏季，空調用電總是居高不下。如何使用更少的電力將熱空氣降溫，研發的努力一直進行著。本系教授之一發表一演講，主題為以熱管結合水氣蒸發的降溫系統，利用熱管將熱空氣的熱傳送至熱管的另一端，熱管另一端與多孔材料結合，水從多孔材料滲透而吸收熱管的熱，產生蒸發降溫。過程中無需使用電力，可減少空調用電，裝置如圖二十五。本裝置仍在實驗室中操作。其製冷能力如圖二十六。



圖二十五、製冷機結構及裝置圖，1 號口為熱氣入口，2 號為冷氣出口，3 號為廢氣出口



圖二十六、實驗溫度曲線圖，紅色為入口溫度，藍色為冷氣溫度，黃色為廢氣溫度，在不同送氣速率下不同的溫度表現

- ### Conclusion
- Under favourable temperature and humidity conditions.
 - Inlet ambient temperature can be depressed by as much as 12 °C.
 - Wet bulb temperature approaching unity
 - Cooling capacity as high as 780 W/m² of wet surface area
 - Evaporative cooling can be an effective alternative to vapour compression systems for space cooling in building in hot and dry climates.
 - Consumes less electrical energy
 - Reduces peak load demand from grid
 - Supply constant fresh air

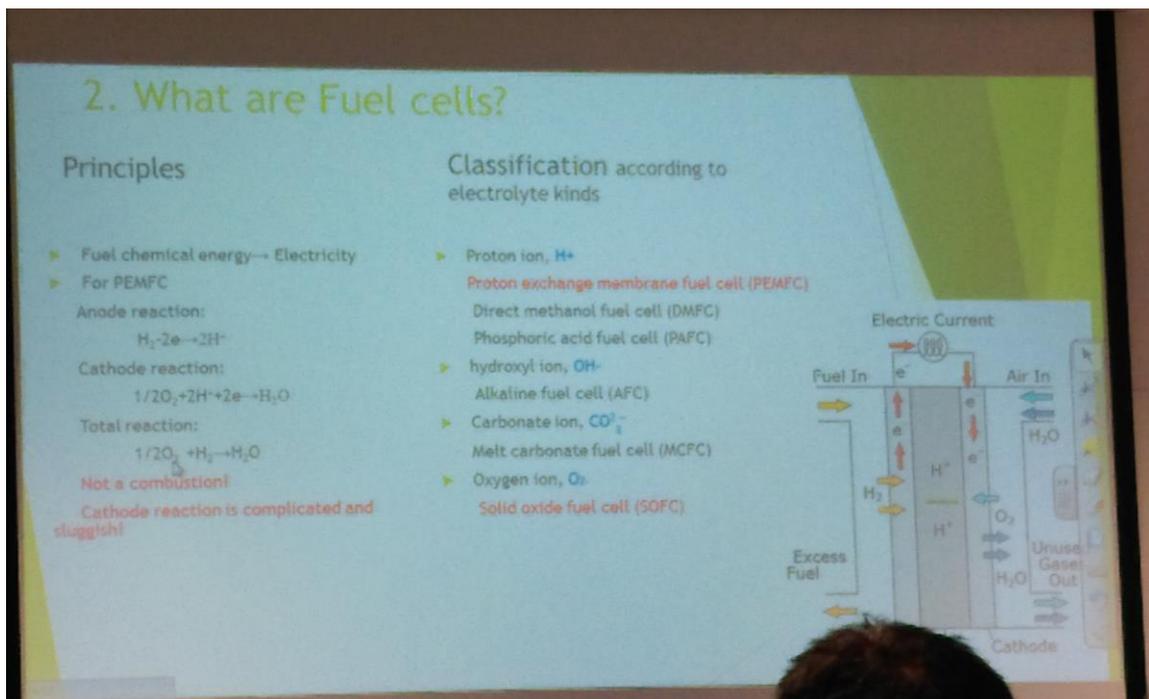
圖二十七、實驗結論為本裝置可幫助減少空調用電並提供新鮮空氣

本裝置須以水來幫助散熱，總製冷量除以水面面積為製冷力(Cooling Capacity)。入氣溫度越高越乾燥，越能蒸發水汽，效率越高；當以 75m³/s 的入氣速率，冷熱氣溫差達 12 度 C，製冷力為 780W/m²。

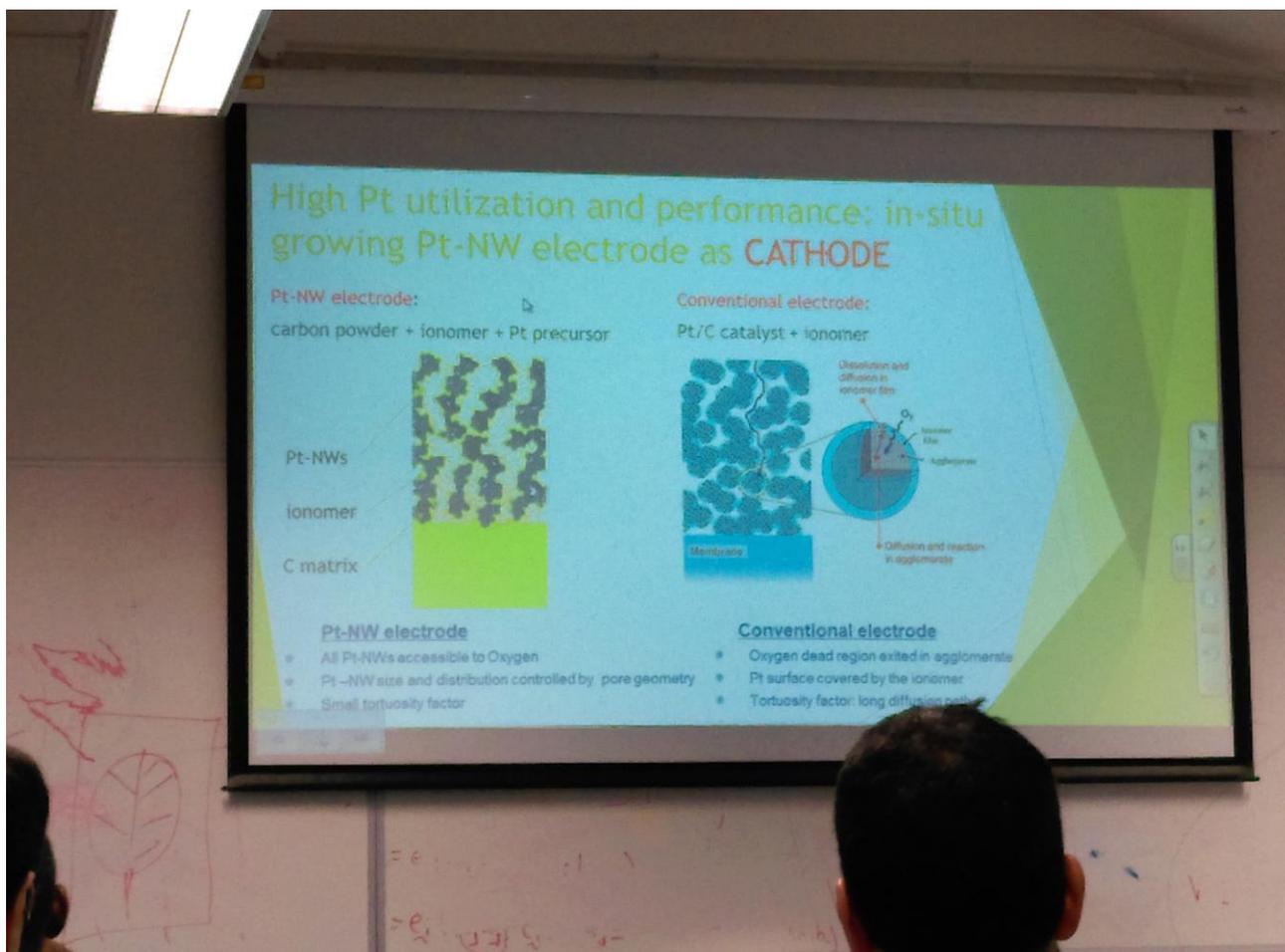
Fuel Cells

該系有邀請國外學者前來共同研究的國際合作計畫，受邀學者大約可在系上進行 2 年之研究。此次有一中國受邀學者，在此會議中亦發表了有關燃料電池相關研究工作結果。

燃料電池的原理如圖二十八，靠觸媒的作用，使氫氣與氧氣間有電子交換，從而發電。商業化的燃料電池之陰極通常採 Pt/C 的觸媒，本教授的燃料電池之陰極採 Pt-NW(nanowire)，如圖二十九，希望藉此提高電池的輸出特性。然實驗結果顯示，電池特性尚落後商業電池一些距離，待日後努力。



圖二十八、燃料電池運作原理

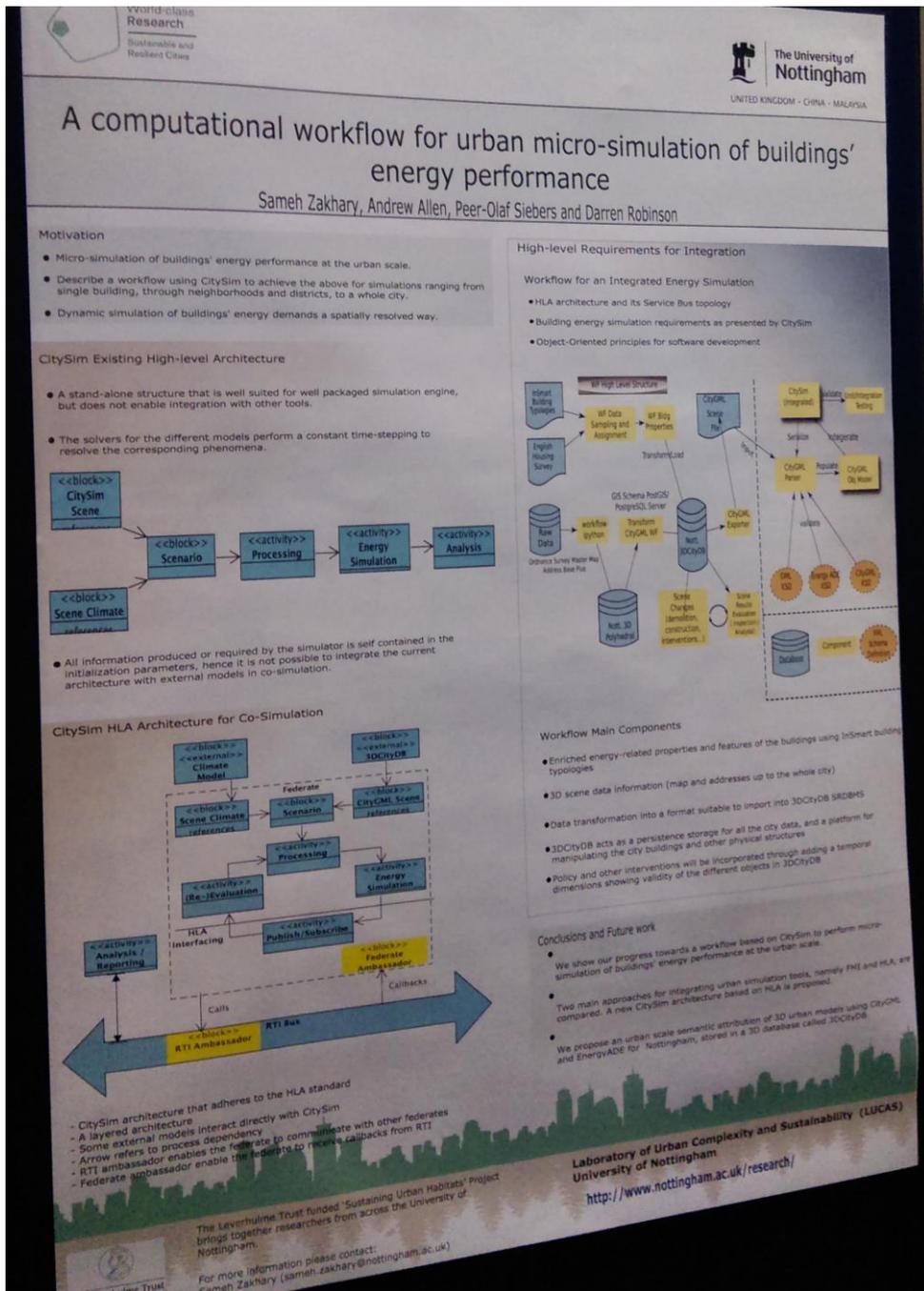


圖二十九、以 Pt-NW 與 Pt/C 觸媒的差異

(六) Seminar II

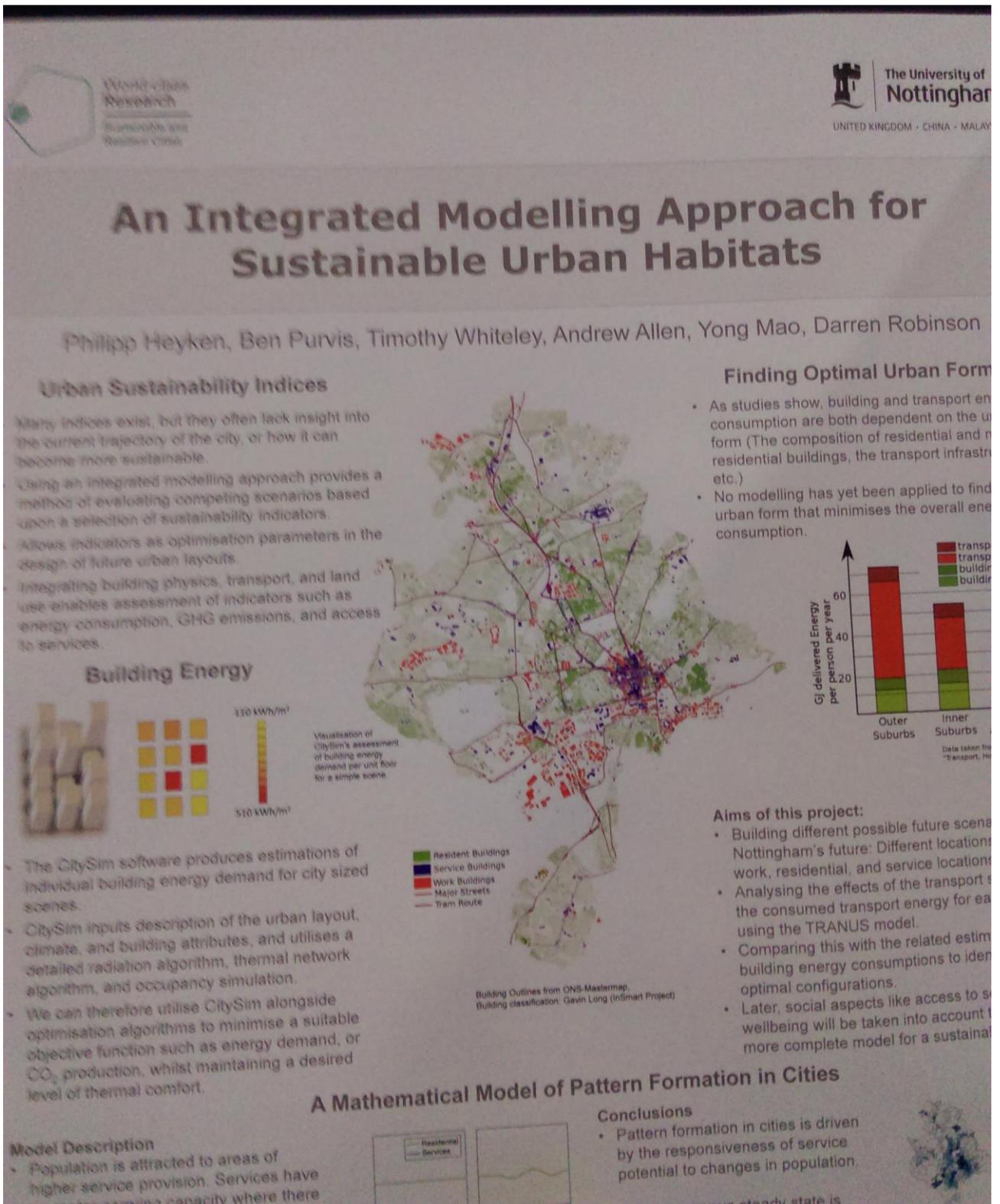
由於實習期間接近該校的期末，該系有安排一期末發表會，會場位於 Jubilee Campus，發表會一部分由該系教授或邀請學者演說，一部分供學生展示其研究內容，一部分展示該系目前執行的計畫，以下摘要介紹：

城市模擬：欲以電腦模擬 CitySim 的方式，建立一個城市的街廓、建築及氣候模型，使用更貼近生活的參數，模擬其用電情形，目前進度是正確地建立一個程式流程，如圖三十。



圖三十、以 CitySim 建模流程之研究海報

在研究一個城市的用電及碳排放等現象時，常常需考慮許多指標。究竟哪些指標真正具有意義，哪些真正能深入問題的核心，需借助電腦模擬的方式加以分析研究，並探討問題根源，進而優化。圖三十一之團隊利用 CitySim 進行上述之研究工作，初步結論為用電及碳排放模式的形成與人口分布的改變潛力有關。



圖三十一、以 CitySim 模擬分析城市活動與能源消耗研究之海報

在電腦模擬之初，模型參數的建立是十分重要的。圖三十二之研究為蒐集城市之建築、街道、車輛、氣候等資訊，探討資料之蒐集對模擬結果之敏感度。

World-class Research
Sustainable and Resilient Cities

The Uni Nott
UNITED KINGDOM · C

Sustaining Urban Habitats: An Interdisciplinary Approach

...iplinary team across the University with the aim of helping to transform our understanding of how sustainable cities can be. We are ad
jectives:

- Confront and understand the complex interrelated and competing factors influencing urban sustainability.
- Holistically define, measure and model urban sustainability.
- Identify pathways to transition developed cities and accommodate growth in developing cities in minimally unsustainable ways.
- Define policy and governance structures to implement these pathways in practice.

Environment

...source flows through our cities
...or indirectly lead to environmental
...ly weight these impacts depending
...severity, timescale to impact and
...weighted impacts back into models
...stem influencing decision making
...ing the potential impact

Figure below:
A 3D visualization of terrain and buildings. Residential buildings are coloured to illustrate their simulated energy intensity (kWh/m2). The building typological approach used is defined in the InSMART project.



#4 Data

Objectives:

- How can we consistently store, manage and access 3D urban data required for energy simulation at the city scale?
- What is the sensitivity of city scale energy simulation to changes in the generalisation of 3D data?
- To what e Volunteer Informati urban ch necessar sustaina

Objectives:

- What form should modelling framew
- Based on i real cities, combinati maximise of city sus
- How robu pathway (varying) i
- Should oi scale dep [scalable

Objectives:

- What specific policy measures are required to achieve our visions for maximized sustainability in our case-study cities? How
- What architecture sh integrated urban plat to enable us to respo sustainability questio

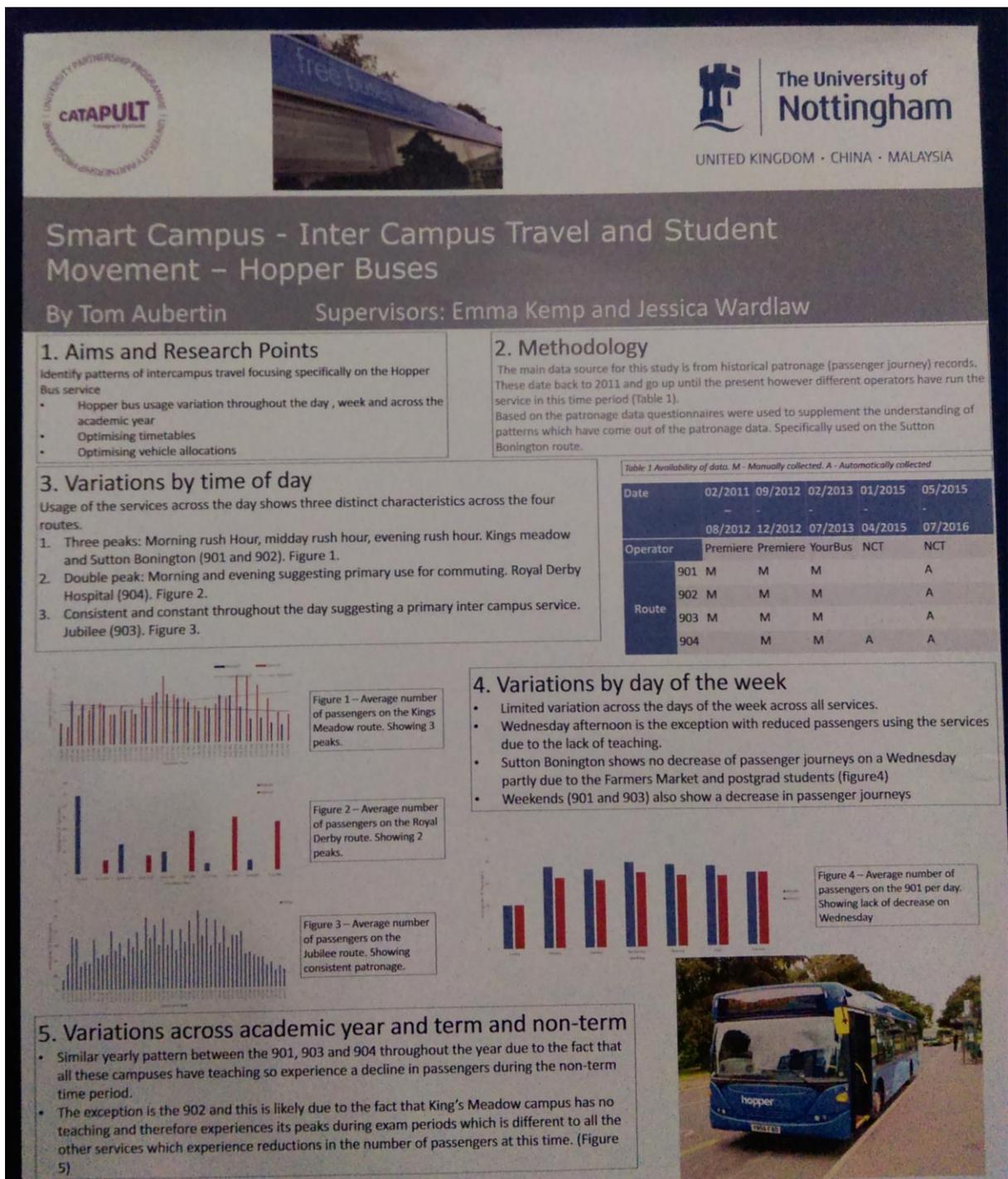
We are working across six interconnected themes...

Research conducted: "The financing of the Nottingham tram expansion"

...nomic
...dominant factors influencing the city's

圖三十二、模擬參數之蒐集及建立之研究海報

智慧校園：圖三十三為研究校區間的接駁公車載送服務，以優化時間表及載客點，做為日後智慧校園應用之基礎。



圖三十三、智慧校園之公車運載模式研究海報

微電網：該系應用研發之儲能技術在校外的三個地點建立展示社區，為該社區提供再生能源之使用，如圖三十四。

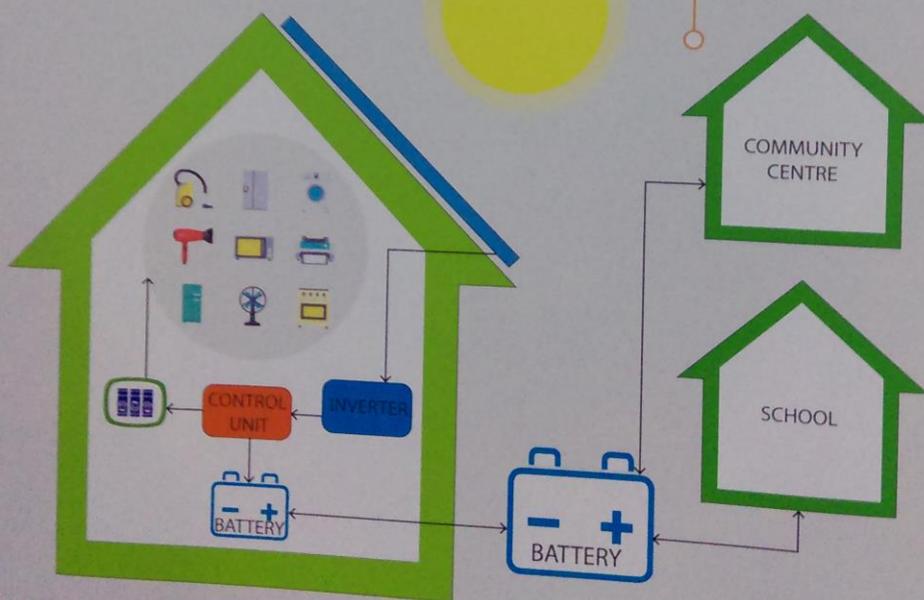
SENSIBLE

Storage-Enabled Sustainable Energy for Buildings and Communities



The overall objective of Project SENSIBLE is to develop, demonstrate and evaluate a storage-enabled sustainable energy supply for buildings and communities.

Project SENSIBLE will explore the integration of small scale and widely-available technologies into local power grids.



There are three demonstration sites for Project SENSIBLE, taking technologies from the laboratory into real world application.

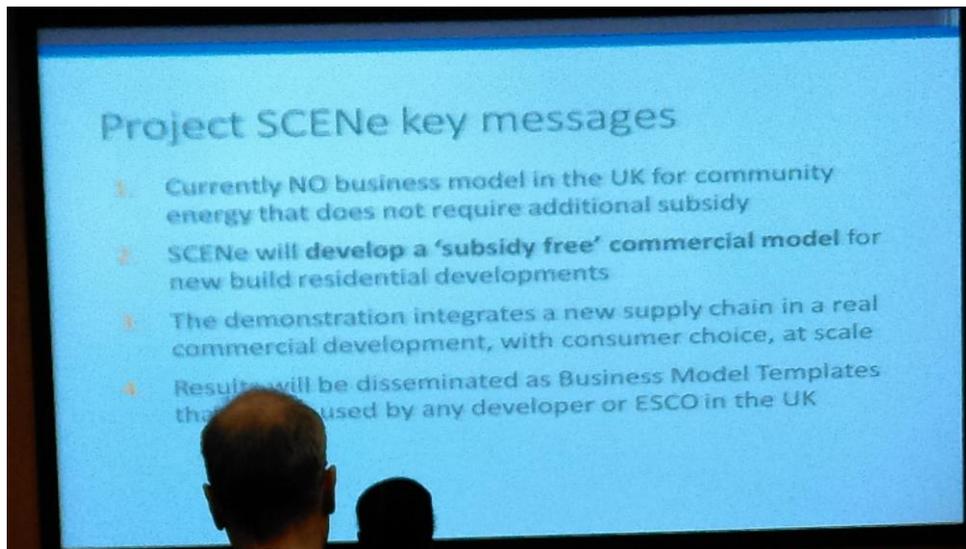


圖三十四、儲能技術拓展至小型社區之 SENSIBLE 計畫

社區建造：

以往在建立零能社區的計畫上必少不了提出對用戶的補助措施。Mark Gillott 教授主導的 SCENE 計畫為在諾丁漢市的特倫特河(Trent River)畔建造一個不用補助措施的實驗社區，此社區的運作模式若最後認為可行，將可成為許多建商遵循的參考依據，如圖三十五。

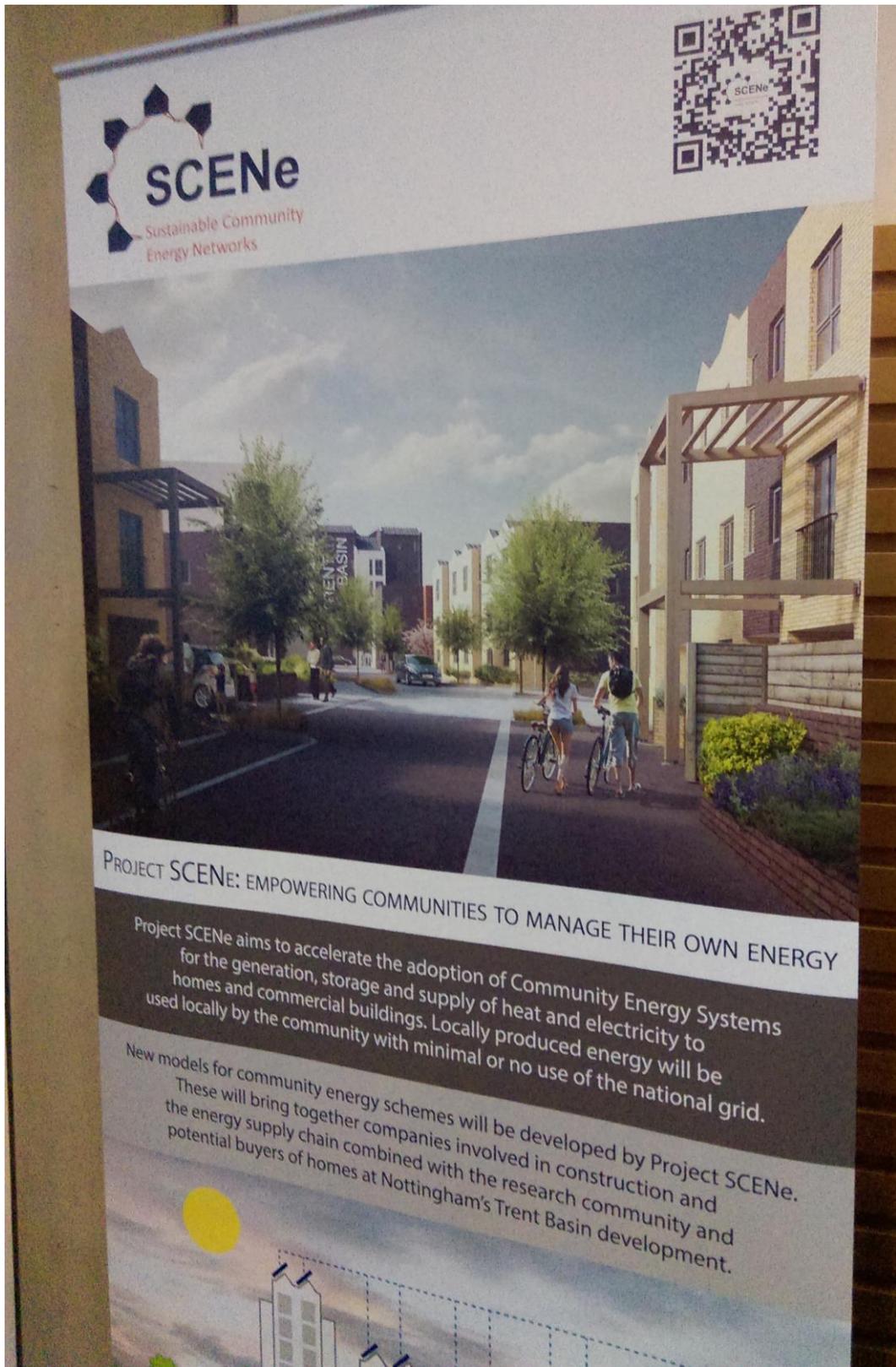
社區的平面圖如圖三十六，社區整合了再生能源及儲能技術供住戶的暖氣及民生用電使用，甚至饋入所儲之電至國家電網中，如圖三十七。



圖三十五、SCENE 計畫特點



圖三十六、SCENE 計畫基地平面圖



圖三十七、SCENe 計畫之海報及其主旨

(七) Zheng Xiaofeng 博士的氣密性測試法研究

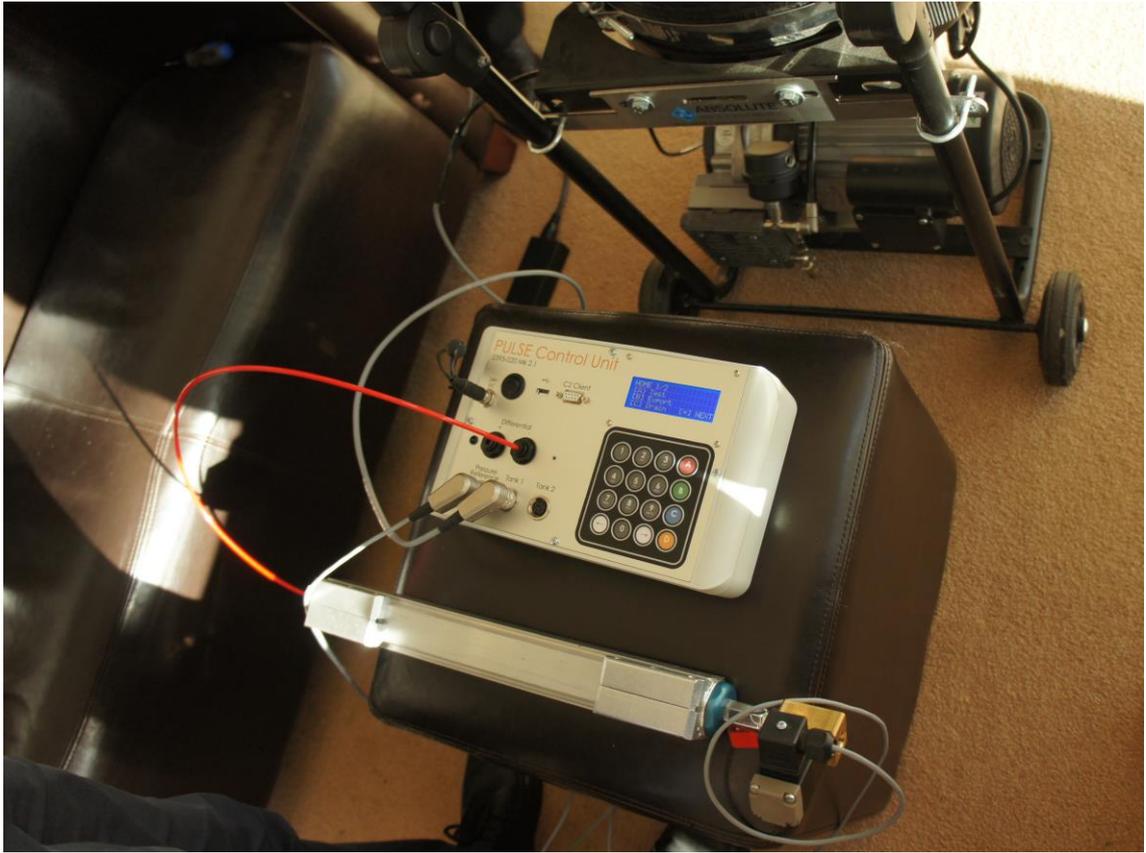
根據英國法規 BREEM Code for Sustainable Homes 中 SBEM SAP Air Tightness Test 中所述，氣密性 (Air Tightness) 測試是要將封閉的室內減/增壓，使室內外壓差達 50Pa 後，進行空氣之流入/出測試。此測試條件源自美國的測試方法，測試手法已行之有年但複雜，需有專業受訓人員才能施行，目前英國國內有許多授證廠商負責進行此類工作。

本系之研究員 Zheng Xiaofeng 博士為此發展出一套機器[4]，此機器安裝於封閉的室內，操作時選定程式，機器隨後噴氣使室內增壓數秒，使室內外壓差達 4Pa，偵測器在噴氣結束後 1.5ms 內分析氣壓變化，得出氣密性參數。本氣密測試儀外觀及操作控制面板請參照圖三十八及圖三十九，圖四十為 Zheng 博士示範氣密測試儀的操作流程。

本儀器已獲得諸多專利，而且準確度高於現行方法，使用便利，僅需將儀器攜至待測場合，之後程式自動完成測試，吸引廠商願意合作生產推廣。目前最大的困難點是政府的接受度及原有驗證廠商的排擠，鄭博士表示此儀器將提供政府及廠商另一個測試的途徑，以和緩的方式使市場接受。



圖三十八、氣密測試儀外觀



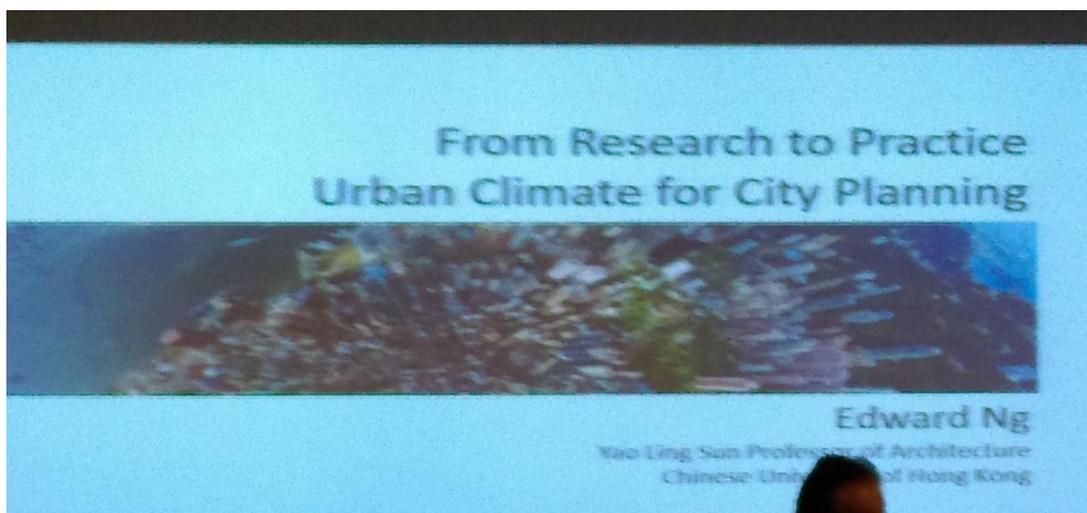
圖三十九、氣密測試儀控制面板



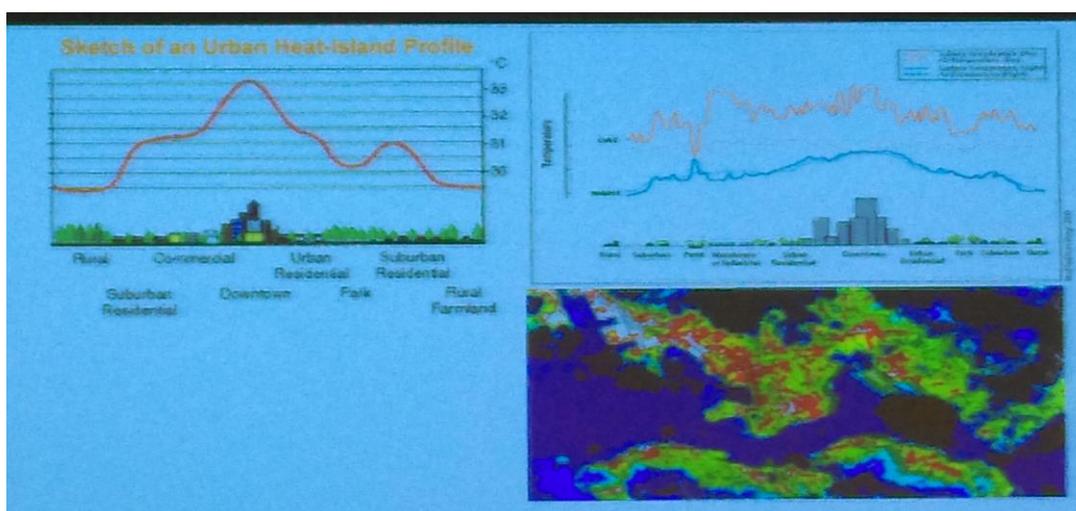
圖四十、Zheng 博士示範氣密測試儀操作流程，右一為 Zheng Xiaofeng 博士

該系之期末發表會亦邀請香港中文大學吳恩榕教授(Prof. Edward Ng.)演講，吳教授講述其多年從事節能建築設計及都市熱島效應解決方案之經驗，如圖四十一。都市熱島效應是增加能耗的重要因素，是人口密度、建築排列、建築密度、車輛等諸多因素的集合現象，其解決方式需要與政府互相配合。

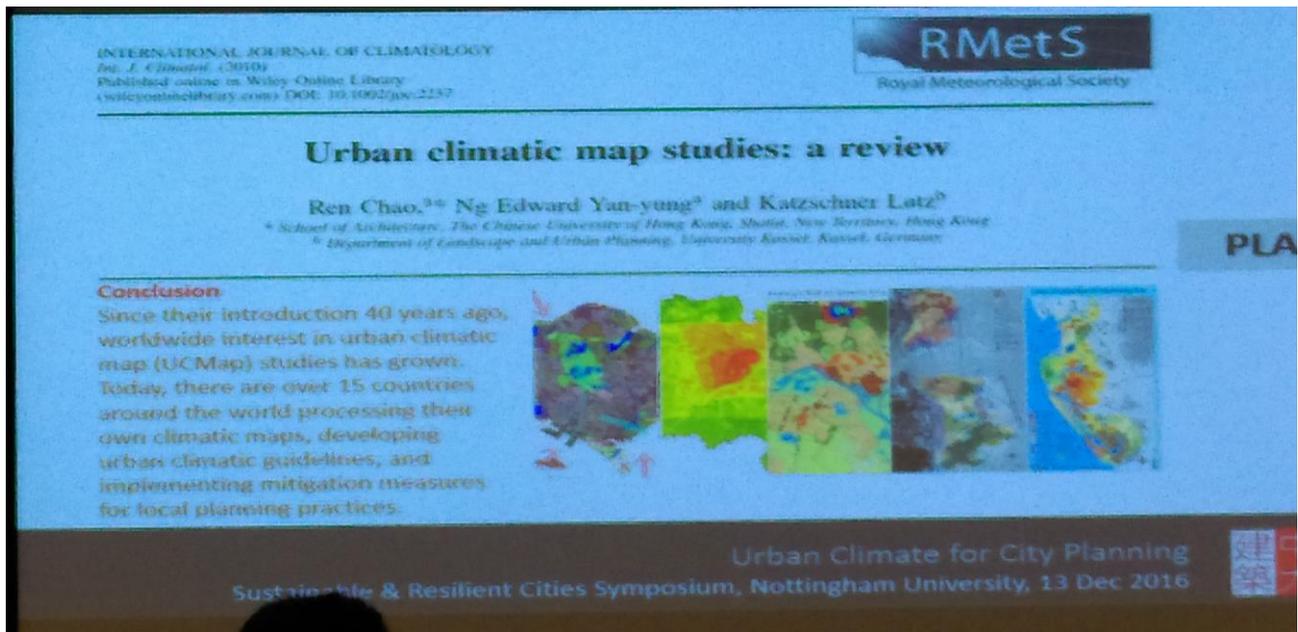
吳教授利用衛星紅外線照片研究一地區的熱島現象，如圖四十二，並且發現熱島的溫度分布與以往學術假設的分布並不同，實際的熱區分布更廣；然後以電腦模擬安排適當的解決方式，最後提出予當地政府參考。吳教授已研究過的地區如香港、澳門、新加坡及高雄等地，如圖四十三，亦對當局提出改善方案。從吳教授之研究啟示，建築節能之問題不僅為節能元件之開發，也是整個都市整體的效應問題，能否應用科技方式加以解決，值得成為未來努力的方向。



圖四十一、吳教授的演講題目



圖四十二、上圖右下為香港的衛星紅外線照片圖，紅色區域表示較熱區，綠藍色區較冷



圖四十三、吳教授報告個都市因應熱島效應之策略，圖中最右方為高雄市

(八) 獲取之資料

1. Field trialing of a new airtightness tester in a range of UK homes (pdf 檔)
2. Building a Sustainable Future (pdf 檔)
3. Code for Sustainable Homes (pdf 檔)
4. Criteria for the Passive House, EnerPHit and PHI Low Energy Building Standard (pdf 檔)

三、心得

(一) 綜整諾丁漢大學建築與環境建設系的研究布局，大致歸納為下表六：

表六、建築與環境建設系研究歸納表

類別	項目	研究/計畫
工程	材料	相變材料、隔音材料、發泡材料
	儲能	儲能技術
	再生能源	生質能、小型Stirling發電機、BIPV、風能
	節能減碳	節能空調、冷凍機、碳捕捉、建築節能模擬、建築節能監控、通風模擬、熱流研究、氣密研究、熱管散熱、熱泵
建築	建築設計	既有建築改造、通風設計、永續建築設計、採光設計
	其他	舒適度研究、人員行為模擬、人因與建築耗能
智慧城市	校內	BIM資訊數位管理、微電網
	校外	SCENE計畫 SENSIBLE計畫
永續城市	校內	城市能源及環境表現模擬、微氣候與建築節能、區域環境規劃、永續再生城市策略、社區能源安全
	校外	TURAS計畫

該系的研究範圍自材料、節能、再生能源、建築、智慧城市至永續城市等，各個階段均有教授、研究人員從事研發，滲透到永續建築產業的每個環節。該系的研究環境不但能提供學生廣闊的視野、培養可因應未來潮流之人才，而且其研究成果對將來政府政策的擬定、廠商商品研發、實作經驗之推廣等，均產生可觀的影響力。

由此觀之，諾丁漢大學建築與環境建設學系之研究著眼未來數十年之專業需求，進行跨域結合，積極擴大大自我的經驗範圍，產生具有實際效益的解決方案。此格局在台灣尚未普遍，在面對更嚴峻未來環境的前提下，諾丁漢大學建築與環境建設學系的腳步值得我國相關產學界學習。

(二) Creative Energy Homes 實驗屋本身可隨實驗需求不同，進行不同情境改裝，對實驗之控制及自由度相較於對既有建物之研究來得高，容易進行各式創新研究、對理論的驗證等，

這成就了諾丁漢大學建築與環境建設學系在此領域的核心優勢。我國亦有數棟綠建築展示屋，多為示範展示用途，若能開放予廠商或研究單位進行節能減碳研究，將可提升展示屋之價值與我國節能減碳研究之水準。

- (三) 建築節能元件可整合於既有建築，如保溫牆、雙層窗等，但對英國一般民眾而言，此均為麻煩的工程且為可觀的開銷，市場接受度仍不高。與 **Benson Lau** 教授討論，認為貼於窗上之功能膜具有容易施作的優點，可節省人工施作開銷，如同時具有高透光及保溫作用與價格合理，將是具有市場潛力的產品。目前本所研發之節能膜適用於高溫地區，未來可進一步研究具保溫特性之節能膜，將可拓展我國產業界的利基。

四、建議事項

- (一) 本次實習期間為 11 月 15 日至 12 月 20 日，恰逢諾丁漢大學學期末，此時教授、研究人員等多處於審核畢業生口試、結報年度計畫等繁雜工作時期，對我方人員之實習內容有時不易配合。故建議未來實習人員應多加留意實習時程是否恰與前往學校之期末或年度計畫結報時程相重疊，並加以避免。
- (二) 英國永續建築之等級越高，越具環保節能的功能，而建造成本相應提高。然英國房屋市場的價格取決於房間數，房間數不變的情況下若等級越高對建商而言利潤越低，降低建商興建高等級永續建築的意願，而逐漸使英國永續建築法令失去原本的意義。台灣綠建築的發展可以借鏡英國經驗，避免此市場效應。
- (三) 我國重視節能減碳，建築節能技術也是發展重點，建議可參考諾丁漢大學 **Creative Energy Homes** 之作法，建造真正適於人居或辦公之實驗樓房，廠商可進駐推廣產品、研究單位可蒐集數據而建造單位可收取租金，以取得三方互惠之效，預期可加速推動我國建築節能甚至綠建築產業的提升。

五、誌謝

本實習計畫之執行，須感謝成功大學李訓谷博士為諾丁漢大學及本所之間聯繫之橋樑，使本實習計畫的事前協調可順利進行；更感謝諾丁漢大學建築與環境建設學系 Benson Lau 教授，期間安排本所人員之住宿、實習內容之事宜；最後要感謝建築與環境建設系研究員 Zheng Xiaofeng 博士提供寶貴資料及指導，圖四十四。



圖四十四、於 BASF 合影，右一為 Zheng Xiaofeng 博士，中央為本人，左一為 Benson Lau 教授

六、參考資料

- (一) Department for communities and Local Government, 2008, Code for Sustainable Homes, https://www.gov.uk/government/.../code_for_sustainable_homes_techguide.pdf
- (二) BASF, The BASF House – UK Project, <https://www.nottingham.ac.uk/creative-energy-homes/documents/basfhousebrochure.pdf>
- (三) Passive House Institute, 2016, Criteria for the Passive House, EnerPHit and PHI Low Energy Building Standard, http://passiv.de/downloads/03_building_criteria_en.pdf
- (四) Cooper, E., Zheng, X.F., Gillott, M., Riffat, S., Tetlow, D., and De-Simon, L., 2015. Field trailing of a new airtightness tester in a range of UK homes (Winner of Best Paper Award) In: 36th AIVC Conference “Effective ventilation in high performance buildings”, Madrid, Spain, 23-24 September 2015.