研究成果發表會議程內容：5 月 1 日(星期二)

上午時段場次議程				
場次	A1	B1	D1	E1
單元主題	高齡者安全安心 生活環境	都市及建築防災	建築技術創新	綠建築與建築 節能減碳
主持人	王組長順治	蔡組長綽芳	陳組長建忠	羅組長時麒
08:40-09:10	簽到			
09:10-09:20	王代理所長安強致詞			
09:20-10:10	療癒性環境應用於高齡社會之評估研究-關華山	雨水滯蓄設施雲端系統擴充與推廣應用-李光敦	建築工程鋼筋機械式續接性能基準及驗證研究-李宏仁	永續智慧城市與綠建築發展策略規劃-鄭政利
10:10-10:30	休息			
10:30-11:20	活化閒置空間為高齡者日間照顧據點之研究-陳柏宗	建築耐震評估補強促進法規與推動策略之研究-周瑞生	建築物基礎構造設計規範之修正研擬-陳正興	台灣綠建築評估系統國外適用策略之研究-林子平
11:20-12:10	高齡者之居家及社區式智慧環境科技發展調查及未來需求推估-顏世禮	山坡地社區智慧防災系統可行性研究-邊坡智能感測暨雲端運算-沈哲緯	帷幕牆系統結構耐風設計手冊研擬-陳瑞華	綠建築空調效率評估信賴度提升之研究-李魁鵬
12:10-12:30	簽退			

下午時段場次議程				
場次	A2	C1	D2	**E2**
單元主題	高齡者安全安心 生活環境	建築防火科技	建築技術創新	**綠建築與建築 節能減碳**
主持人	王組長順治	蔡組長綽芳	陳組長建忠	羅組長時麒
13:00-13:20	簽到			
13:20-14:10	無機坑式無障礙昇降設備可行性之研究-傅學中	建築物防火避難性能設計評定認可之使用安全查核驗證研究-陳盈月	中高樓層建築軟弱層及扭轉不規則效應評估研究-翁元滔	公共建築能源總量指標評估研究-**林憲德**
14:10-15:00	公共建築物設置無性別廁所之研究-陳海曙	智慧型避難引導系統輔助消防救助行動之應用研究-游坤明	中高樓層建築非韌性 RC 配筋柱擴柱補強技術研究-歐昱辰	基於未來氣候的住宅溫室氣體排放趨勢預測與調適策略-**黃瑞隆**
15:00-15:10	休息			
15:10-16:00	無障礙流動廁所設置及管理之研究-靳燕玲	我國建築物排煙設備設置及施工規範之研究-蔡尤溪	鋼結構與鋼骨鋼筋混凝土建築耐震能力初步評估研究-宋裕祺	辦公類智慧建築使用階段性能評估之研究-**周鼎金**
16:00-16:50	美國公平住房法案可及性準則、日本確保高齡者居住安定法設計基準及我國無障礙住宅設計基準之比較分析-張志源	複合式聲-光探測技術應用於鋼筋混凝土破壞特徵預測及火害傷損判識之研究-陳立憲	鋼結構耐震能力詳細評估方法與示範例之研擬-宋裕祺	循環永續綠建築創新環境科技發展策略研究-**蔣本基**
16:50-17:00	簽退			

106 年度研究成果發表會

E-2 綠建築與建築節能減碳

1. 公共建築能源總量指標評估研究----------1-1

主講人: 林憲德

2. 基於未來氣候的住宅溫室氣體排放趨勢預測與調適策略----------2-1

主講人: 黃瑞隆

3. 辦公類智慧建築使用階段性能評估之研究----------3-1

主講人: 周鼎金

4. 循環永續綠建築創新環境科技發展策略研究----------4-1

主講人: 蔣本基

公共建築能源總量指標評估研究

主講人: 林憲德

主講人簡歷

姓　　名：林憲德

服務單位：國立成功大學建築系

職　　稱：教授

聯絡電話：06-2757575-44126

傳　　真：07-2762550

電子信箱：linsiraya@gmail.com

學　　歷：日本東京大學建築系

經　　歷：國立成功大學建築系教授

主要著作：

1. 林憲德, 1999,12,「城鄉生態」,詹氏書局
2. 林憲德, 2003,08,「熱濕氣候的綠色建築」,詹氏書局
3. 林憲德, 2004,11,「我愛綠建築」,高雄市政府環保局、新自然主義股份有限公司共同出版。
4. **林憲德**，2010.12，「綠色魔法學校:傻瓜兵團打造零碳綠建築」，新自然主義出版社，ISBN 9789576966910
5. **林憲德**, 2011,「Green Architecture - An Asian Perspective(亞洲觀點的綠色建築)」, Pace publishing，Hong Kong，ISBN 9789881887382
6. 林憲德, 2009,01,「都是愛迪生惹的禍：光害」,新自然主義出版社，ISBN 9789576966507
7. 林憲德, 2009,09,「人居熱環境」, 詹氏書局，ISBN 9789577053947
8. 林憲德, 2014.07,「建築碳足跡」，詹氏書局，ISBN 97895767054685

---

[1] 國立成功大學建築系教授

中文摘要

林憲德 [1]

關鍵字：建築能源總量管制、一次能源、ENVLOAD 指標、EUI

2016 年我國已通過溫室氣體減量法，今後勢必要全面展開節能管制措施。日本在 2013 年起建築節能法由過去建築外殼、空調、照明、通風、電梯、熱水設備效率之分項規範法，改用一次能源總量管制之方法，是全球最先進之建築節能法。我國目前在建築外殼節能管制上雖有 ENVLOAD 指標，在空調、照明節能管制上雖有綠建築標章之 EAC、EL 指標，但是這些指標缺乏統合成一次能源管制，同時對於熱水、輸送、送風設備耗能亦尚未管制，未來在溫減法通過之壓力下，未來勢必朝向建築能源總量管制之方向，值得向日本建築節能法學習。

本研究基於我國公共建築物之節能指標 ENVLOAD、與綠建築評估手冊之設備節能指標之基礎，試圖結合空調 EAC、照明 EL 等指標，加入通風、電梯、熱水設備之節能計算指標。本研究依動態 EUI 的理論，建立以耗能特性分類的的能空間耗能密度標準，接著以 ENVLOAD 指標、空調 EAC、照明 EL 等指標來建立空調、照明的耗能預測公式。另一方面，將過去用水量統計、人員密度、樓層高度、換氣空間面積建立熱水、輸送、換氣、給排水設備之預測公式。這些預測公式均包含了該項設備之節能技術與節能性能效率之變數，可明顯反應節能之功效，並因而結合成非住宿類公共建築物總能源之評估公式。

本研究提出公共建築包括建築外殼與建築設備之整體耗能設計之評估法，有益於我國未來採取能源總量管制之政策。由於本研究採用以基礎耗能特性空間之動態 EUI 方法，評估基準隨著空間組成而動態調整，以自身空間特性而公平對比評估，可以應付建築複合化、多樣化之趨勢，可公平管制公共建築之節能效益。未來在溫減法精神下，本研究可做為政府修改建築節能管理政策之依據。

---

[1] 國立成功大學建築系教授

ABSTRACT

Keywords：Building energy total control， Primary energy， ENVLOAD indicator， EUI

In 2016， The Greenhouse Gas Reduction Act was passed， it will be bound to implement a comprehensive energy control measures in the future. Since 2013， Japan's building energy efficiency regulations changed toward the primary energy total control from the sub-standard regulations of building envelope， air conditioning， lighting， ventilation， elevators， and hot water equipment. It is the world's most advanced building energy-saving regulations and worthy of our reference.

Based on ENVLOAD， the energy-saving index of public buildings in Taiwan， and the energy-saving index of EEWH green building labeling system. This study temp to combine and integrate the EAC， EL and other calculation indicators， adding ventilation， elevators， hot water equipment index. According to the theory of dynamic EUI， this study established standards for energy density base on energy characteristics of building classification， followed by creating an air conditioning and lighting energy consumption prediction formula using ENVLOAD indicators， EAC，EL and other indicators. This will be a combination of building envelope and equipment energy efficiency and a comprehensive evaluation which can be used as building energy efficiency rating system.

This study have established a comprehensive total building primary energy evaluation of building envelope and equipment energy efficiency. Because the study is based on the dynamic EUI， the assessment benchmarks are dynamically adjusted with the spatial composition， and fair energy efficiency control for public buildings according to their own space characteristics while coping with the complex and diversified of today’s building trend. In the future， under the demand of The Greenhouse Gas Reduction Act， this study can be serve as a reference for the government to revise the building energy saving and management policy.

壹、緒　論

本研究所謂的「公共建築」，是指「住宿類建築以外的供公眾共使用的建築物」，又可稱「非住宿類公共建築」。鎖定「非住宿類公共建築」的原因在於該類建築物多為中央空調型、白天高溫期使用、耗電量明顯較大的建築物，在未來執行整體能源管制時，具有管制目標較少、管制成效較大、符合公共利益之好處。

我國建築技術規則建築設計施工編（以下簡稱本編），關於建築節約能源設計之法規條文與其技術規範，自 1995 年創立以來已屆 22 年，其間對我國的建築節能貢獻良多。然而，在現代建築物營運複合化、多樣化的趨勢下，原法規所規定的建築分類與建築空間型態已與當年大異其趣，使該法規所採用的 ENVLOAD 指標所規範的節能對象日漸失焦，使其節能效益日趨減弱。另一方面，我國對於空調、照明等建築設備之節能管制，目前僅在綠建築標章中採用空調 EAC、照明 EL 等指標來管制，但此管制與建築外殼節能指標分離，同時也缺乏熱水、通風、輸送、給排水等設備之節能設計管制，對於整體建築能源之節能效益尚感不足，今後有待改善整合。

2016 年台灣已通過溫室氣體減量法，該法明文規範我國溫室氣體長期減量目標為 2050 年的溫室氣體排放量要降為 2005 年的 50%以下，今後勢必全面加強節能管制措施，尤其對於上述建築節能之缺口，勢必被要求加速強化處理。2006 年在德國推行的「能源證照(Energie Ausweis)」制度，採用能源總量管制的方法，以及日本在 2013 年起建築節能法由過去建築外殼、空調、照明、通風、電梯、熱水設備效率之分項規範法，改用一次能源總量管制之方法，值得我國作為改善上述整體建築能源管制不足之改善借鏡。

有鑑於此，內政部建築研究所在 2016 年的委託研究案「我國建築技術規則建築節能設計法規因應建築多樣化趨勢應有之調適策略研究」中，已提出動態 ENVLOAD 指標來解決建築物複合化、空間多樣化的建築分類問題，同時營建署也於 2018 年將依此研究結論落實於修改建築技術規則綠建築專章條文與技術規範中，今後則剩下整合建築外殼節能指標以及空調、照明、通風、電梯、熱水等設備節能設計之課題，此課題即為本研究的研究背景與目標。

貳、研究內容

一、建立公共建築物耗能總量碳排量預測公式

本研究仿效德國的「能源證照法」以及日本的「一次耗能指標法」的方法，採用建築能源的模擬計算方法來預測建築物最終耗能總碳排量，以做為建築能源總量管制的方法，因此此法又可稱為「建築耗能總碳排量指標法」。本研究為了與既有建管與綠建築標章接軌，乃是利用綠建築評估手冊的 ENVLOAD、EAC、EL、EUI 等做為建築外殼、空調、照明耗能量的預測方法，再結合本研究將研擬非住宿類公共建築物之通風、輸送、熱水設備之耗能預測方法，可模擬出全棟建築物之總耗能碳排量指標與基準，藉此成為非住宿類公共建築物耗能總量管制的方法。

本研究最重大的理論基礎為筆者所發展之「動態 EUI 理論」（Lin, Hsien-Te, 2013）。所謂「動態 EUI 理論」，例如圖 1 所示一棟由展覽、商業、辦公等三類「耗能特性空間」所組成的建築物，其耗能標準乃是由此三類空間的 EUI 值加權計算而得。由於現代建築的複合化、多樣化，傳統的建築分類以難以規範其耗能特性，任一建築物有無限「耗能特性空間」排列組合的可能，也有其獨一無二的耗能特性，我們必須將此建築物拆解成其基本的「耗能特性空間」，才能檢視其有效的節能設計效益。建築碳排量必須依據相同「耗能特性空間」之排列組合來評估。為了因應建築複合化之趨勢，在 2015 年版內政部建築研究所的綠建築評估手冊之動態耗能密度 EUI 理論揭露了各類建築物類型空間的動態耗能密度標準，其局部如表 1 所示，這是做為此次能總量管制基準的參考。

表1 43 類「耗能特性空間」耗能密度標準 EUIij（拔粹）

空調營運分區	耗能特性空間名稱		分項 EUI 基準(kWh/m^2.yr)			EUIij (kWh/m^2.yr)
			空調 EUIai	照明 EUIli	電器 EUIei	
24 小時間歇空調型住宿類空間	A1	間歇空調透天住宅、集合住宅（含地上室內公共空間）	10	18	22	50.0
	A2	間歇空調不常住型住宿設施（學校、機關、企業之宿舍單元區）	11	29	16	56.0
24 小時間歇空調常住型住宿類空間	B1	間歇空調常住型住宿設施（養老院、孤兒院、療養院之住宿單元區）	28	33	15	76
24 小時空調型住宿類空間	C1	24 小時輕設備醫療空間(一般病房+護理站）	163	37	25	225
	C2	全年空調住宿空間（飯店或招待所之客房區）	86	37	15	138
	E2	電腦、電信機房（內含高密度電腦、電信設備之全空調機房）	315	57	561	933
15 小時視聽娛樂類空間	H1	電影院、影城（包括走廊、前廳）	228	28	98	354
12 小時營業類空間	I1	一般商店、超市、百貨專櫃(未設餐飲空間、美食街、冷凍冷藏設備等者）	132	126	58	316
	I2	高照明商場（百貨一樓美妝商場）	173	247	64	484
	I3	一般餐廳、飯店宴會場（中西餐廳，特色餐廳，美食街等，含附屬廚房、備餐區、冷凍冷藏區）	165	86	94	345
	I4	有大量冷凍冷藏設備之生鮮商場、量販店	206	96	289	591
12 小時間歇使用類空間	J1	展覽空間（美術館、文物陳列室、商業展覽場等，及其附屬接待大廳、室內公共空間）	74	61	18	153
	J2	專用演講廳、禮堂、會議中心、會議廳、演講活動兼用之宗教集會廳	106	37	12	155
	J3	演藝廳、表演廳、演藝活動兼用之體育館	105	54	7	166
	J4	體育比賽專用室內體育館	132	37	18	187
10 小時行政辦公類空間	K1	辦公行政類空間（辦公、會議、行政、視聽、研究、實驗相關空間及其附屬大廳與室內公共空間）	54	39	28	121
	K2	圖書館（含閱讀區、書庫區與及其附屬大廳與室內公共空間）	47	43	23	113

	K3	機關餐廳（學校、企業、工廠之大眾餐廳，含附屬廚房、備餐區、冷凍冷藏區）	124	58	56	238
	K4	工廠實驗、研究室（研發空間及其附屬大廳與室內公共空間）	72	58	32	162
10 小時學校教室類空間	L1	高中以上學校教室（辦公室、普通教室、專科教室、視聽教室）	25	24	10	59
	L2	國中教室（普通教室、專科教室、視聽教室）	23	22	9	55
	L3	國小教室（專科教室、視聽教室）	18	17	7	42

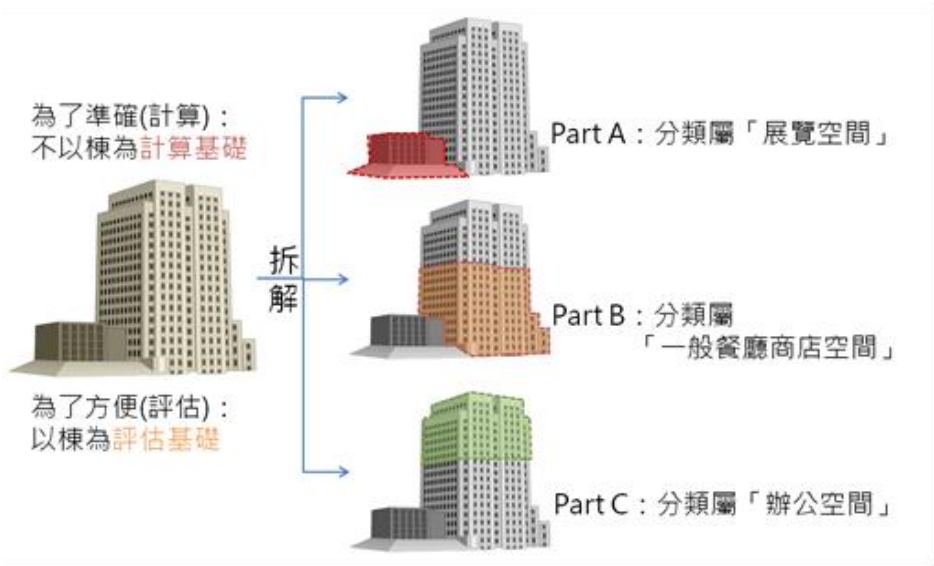


圖1 建築「耗能特性空間」之排列組合

在此先定義所謂非住宿類公共建築物之建築耗能總量的項目包括：1.空調、2.照明、3.插座電器、4. 換氣、5.給排水、6.輸送、7.熱水等七項設備系統之耗能量。當然，某些特殊設備如冷凍冷藏、澆灌馬達、餐廳烹飪、採暖乾燥、特殊機械等設備並未被包含在內，但這些遺漏項目之耗能量難以掌握且佔比極小，本研究將之省略。該式為了統合此七項設備系統可能採用不同能源種類（電、瓦斯、燃油）的單位，同時為了與溫減法接軌，統一以碳排量（二氧化碳排放當量 CO2e）為本研究的計算單位。本研究最終所提出的公共建築物能源總量以耗能總量碳排量Ceu標示，本次建立此Ceu由其七項設備系統的排碳量所組成的計算公式群如下所示：

耗能總量碳排量 Ceu= 空調 Ca＋照明 Cl＋插座電器 Ce

＋換氣 Cv＋給排水 Cwt＋輸送 Ctr＋熱水 Ch------ (1)

其中，七項設備系統的排碳量計算公式如下：

Ca＝(ΣEUIai× AFIi×Baci) × EAC×β---------- (2-1)

Baci＝ 1.0－0.15×(AFpi/(AFpi+AFmi))×EEVi-------- (2-2)

Cl＝Σ（EUIli×AFIi）×EL×β----------（3）

Ce＝Σ（EUIei×AFIi）×Uei×β----------（4）

Cv＝Crpv×Arp＋Cppv×App＋Crtv×Art＋Cptv×Apt ------（5）

Cwt＝Wt×β----------（6）

Ctr＝（Σnei × Eeli ＋Σnsj × Eesj ）×β---------（7）

Ch＝ΣG1j＋ΣG2j ----------（8）

其中

Ceu：建築耗能總碳排量（kgCO2e）

Ca：空調設備耗能碳排量（kgCO2e）

Cl：照明設備耗能碳排量（kgCO2e）

Ce：插座電器設備耗能碳排量（kgCO2e）

Cv：換氣設備耗能碳排量（kgCO2e）

Cwt：給污水設備耗能碳排量（kgCO2e）

Ctr：輸送設備耗能碳排量（kgCO2e）

Ch：加熱設備耗能碳排量（kgCO2e）

EUIai：i 類耗能特性空間之空調耗能密度（kWh/m2.yr），見表 1

EUIli：i 類耗能特性空間之照明耗能密度（kWh/m2.yr），見表 1

EUIei：i 類耗能特性空間之插座電器耗能密度（kWh/m2.yr），見表 1

AFIi：i 類耗能特性空間之室內樓地板面積（m2）

Baci：i 類耗能特性空間之分區建築外殼節能率，無單位。

EEVi：i 類耗能特性空間依最新「2018 綠建築評估手冊 EEWH-BC」計算之分區外殼節能效率

AFpi：i 類耗能特性空間之外周區總樓地板面積（m2）

AFmi：i 類耗能特性空間之內部區總樓地板面積（m2）

EAC: 空調系統節能效率，無單位，依綠建築評估手冊 EEWH-BC 日常節能指標之 EAC 值，此資料通常由空調設計者提供

EL：照明系統節能效率，無單位，依內政部綠建築評估手冊 EEWH-BC 日常節能指標規定計算

Uei：電器設備使用管理效率，無單位，使用有效之夜間待機用電停機管理技術者 0.9（必須提證明），無則為 1.0。

Crpv：住宿類建築室內停車場換氣設備碳排密度標準（kgCO2e/(㎡.yr)），見原報告

Cppv：公共類建築室內停車場換氣設備碳排密度標準（kgCO2e/(㎡.yr)），見原報告

Crtv：住宿類建築與旅館招待所客房浴廁換氣設備設備碳排密度標準（kgCO2e/(㎡.yr)），見原報告

Cptv：公共浴廁換氣設備設備碳排密度標準（kgCO2e/(㎡.yr)），見原報告

Arp：住宿類建築室內停車場面積(㎡)

App：公共類建築室內停車場面積(㎡)

Art：住宿類建築與旅館招待所客房浴廁面積(㎡)

Apt：公共類建築浴廁面積(㎡)

Wt：給污水耗電量（kWh/yr），計算法見原報告

AFIi：i 類空間室內面積（㎡）

Eeli：i 類電梯全年標準耗電量（kWh/(台 yr)），見原報告

Eesj：j 類電扶梯全年標準耗電量（kWh/(台 yr)），見原報告

nei：i 類電梯台數（台）

nsj：j 類電扶梯台數（台）

G1j：熱水備碳排量（kgCO2e/ yr），見原報告

G2j：廚房設備碳排量（kgCO2e/ yr），見原報告

β：電力的碳排係數（kgCO2e / kWh），依能源局最新公告值處理。

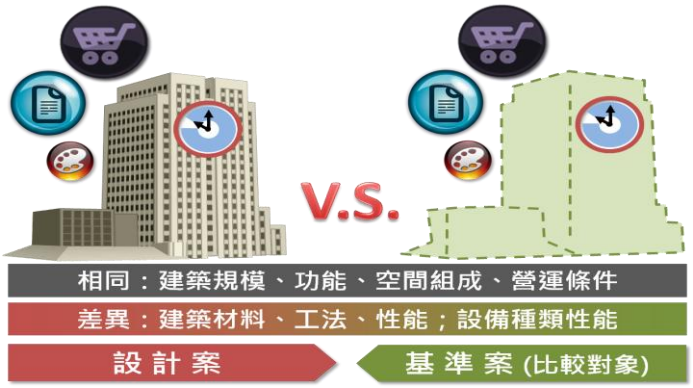


圖 2 自我比較原則示意圖

此七項設備系統中空調、照明、插座電器等三項設備系統的耗能量就是以前述表 1 的 EUI 標準值來推算的部分，此乃本研究「動態 EUI 理論」的核心基礎。本研究特別結合既有以 ENVLOAD 指標、空調 EAC、照明 EL 等指標，其好處是與現行綠建築制度完全無縫接軌，亦即以現行綠建築節能指標即可推算實際空調、照明、插座電器等三項設備系統的的全年耗電量。此三項以外之換氣、給排水、輸送、加熱等四項設備系統之碳排量計算公式是本次提出之公式。

這些預測公式均包含了該項設備之節能技術與節能性能效率之變數，可明顯反應節能之功效，並因而結合成建築物總能源之評估公式。採用此法最大的好處是承襲我國目前已有的建築外殼節能 ENVLOAD 指標，與綠建築標章之 EAC、EL 指標，轉換成最先進的能源總量管制指標，可讓國內建築師、空調技師等專業者同步到位，落實更客觀、更全面的建築能源管理。

由於篇幅所限，以上公式所有細部說明與計算所用之數據來源均予以省略，其詳細請參見原報告。

二、建築耗能總碳排量評估基準建議

本「建築耗能總碳排量指標法」未來將提供整體耗能的評估方法。既言「評估」，就必須有相對比較的「評估基準」。然而，「評估基準」有兩種類型，一是「標竿基準（Benchmark）」，二是「現況基準（Baseline）」。「標竿基準」有如「優等獎」的選拔制度，採用與一個被設定好的高門檻值作為評價標準，如現行建築節能法規的 ENVLOAD 基準值即是如此。另外，「現況基準」則有如「進步獎」的選拔，是跟自己現有條件相比的基準，此基準因工程類別、設計條件、市場行情而採浮動的評價標準，是鼓勵市場進步較有實質效益的制度。為求公平合理之評估，本「建築耗能總碳排量指標法」當然採用「現況基準」法，亦即採取一個「設計案」與一個「相近功能」的「基準案」相互比較評估的方法，稱之為「自我比較原則」。

未來若執行本「建築耗能總碳排量指標法」之評估時，必須設定「相近功能」下的「設計案」與「基準案」之間的評估，亦即是相同設計圖面、相同尺寸、相同基本工程規範的兩案件才可相互比較，這就是「自我比較原則」的精神。反之，不同規模、不同尺度、不同基本使用機能的案件，則被視為「不同功能」的案件，兩者不能相互比較評估（圖 2）。

「自我比較原則」乃要求工程案件在「相近功能」條件下的相互比較法，是確保公平合理評估的最高原則，例如「設計案」與「基準案」之比較，在建築工程中，必須是具備相同建築平面、相同高度、相同結構安全條件、相同室內舒適條件的兩案；在景觀工程中，必須是相同地形、相同設施項目、相同植栽數量的兩案；在室內裝修工程中，必須是相同圖面、相同裝修項目數量、相同造型形式的兩案，才能作為比較評估的對象。「自我比較原則」可避免不同規模、不同類型、不同等級工程案件之間的比較，例如避免商務旅館與觀光旅館之比較、教學醫院與私人診所之比較。

「自我比較原則」主要的目的，在於消除一些與耗能設計因子無關的雜訊，將評估的火力集中於設計者可控制的節能設計技術、可改善的節能設計上，以便達到節能改善的功能。有鑑於此，本「建築耗能總碳排量指標法」將「基準案」設於一個最基本、最常見、最低門檻的基準條件，例如建築物之遮陽、隔熱水準設為建築技術規則的合格最低節能基準；建築設備為一般無特殊節能技術的水準。如此一來，設計者可在「設計案」中採用較具節能潛力的設計，因而可得到明顯的減碳效益評估，此乃做為政府節能政策的操作工具。

三、建築耗能總碳排量評估法計算實例

茲舉一座落於臺北市之 A 飯店建築（圖 3）為例來計算建築耗能總碳排量。依據上述公式計算，本案七項設備系統的年排碳量與其佔比如表 2 所示。下：根據以上結果，可發現本研究「建築耗能總量指標法」，可明確計算之七大設備系統之年碳排量與其佔比，且該結果與過去相關研究之結果與專業之經驗相符。該計算也進一步可與計算設定標準條件的比較案之年碳排量，如此便可檢驗出其節能減碳之效果。本研究相信，以本研究「建築耗能總量指標法」作為我國未來建築能源總量管制與節能減碳之工具，可說是既方便又有效之方法。

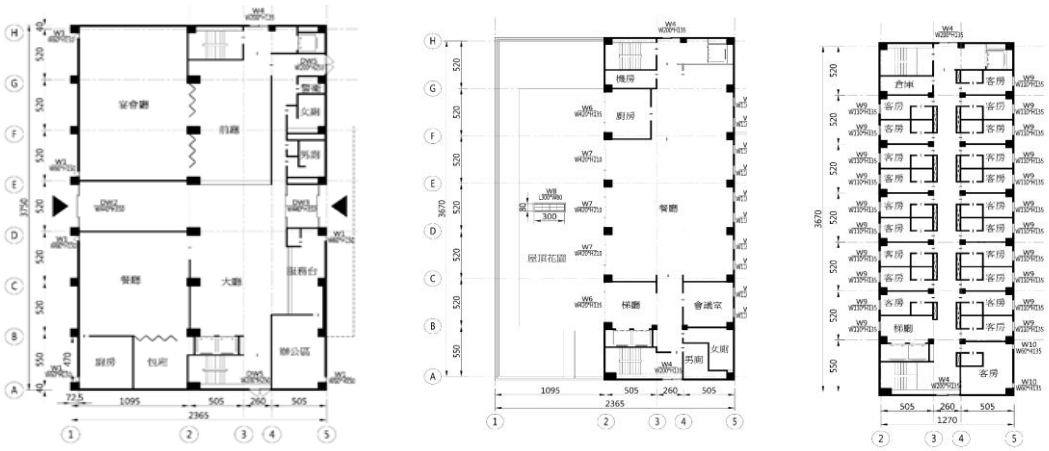


圖 3 A 飯店平面圖

表 2A 飯店七項設備系統全年碳排量與其佔比

設備系統	年碳排量（kgCO2e/ yr）	佔比(%)
1.空調設備	263862.7	45.67
2.照明設備	109880.1	19.02
3.插座電器設備	116872.0	20.23
4.換氣設備	22174.5	3.84
5.給排水設備	14018.9	2.43
6.輸送設備	12371.1	2.14
7.加熱設備	38584.0	6.68
合計	577763.3	100.00

肆、結　論

本研究仿效德國的「能源證照法」以及日本的「一次耗能指標法」的方向，同時結合綠建築評估手冊之空調 EAC、照明 EL 等指標，加入通風、電梯、熱水設備之節能計算指標，提出以上「建築耗能總量指標法」。本研究也建立「建築耗能總碳排量評估法」所有公式與計算基礎資料，同時也提出未來作為政府能源總量管制操作之「建築耗能總碳排基準 Ceuc」，以及作為政府節能減碳操作之「建築耗能總碳排效益評估法」。

以上成果是改善我國營建法規目前只管制外殼節能設計，而缺乏管制建築設備節能設計、缺乏一次耗能總量管制目標之缺點。本計畫所提整合設備效率之能源總量指標應該是改善現況，並呼應世界最先進之建築節能趨勢，落實節能成效透明化與科學化的最佳策略。

伍、參考文獻

1. 林憲德，2013，《建築物設計階段碳揭露標示法之研究》，內政部建築研究所委託研究
2. 林憲德, 2014.07,「建築碳足跡」，詹氏書局
3. Lin, Hsien-Te; Su, Tzu-Ching; Ho, Ming-Chin; 2013 , ‘Dynamic Energy-Use Intensity Index for Green Building Evaluation Systems in Taiwan,. DISASTER ADVANCES　6(3) 1-10, JUL 2013 (SCI))

基於未來氣候的住宅溫室氣體排放
趨勢預測與調適策略

主講人：黃瑞隆

主講人簡歷

姓　　名：黃瑞隆

服務單位：國立高雄師範大學 工業科技教育學系 能源與冷凍空調組

職　　稱：教授

聯絡電話：07-7172930 分機 7621

傳　　真：07-6051206

電子信箱：rlhwang6202@gmail.com

學　　歷：國立中山大學機械工程博士

主要著作：

1. Feng-Yi Lin, Tzu-Ping Lina, Ruey-Lung Hwang*,Using geospatial information and building energy simulation to construct urban residential energy use map with high resolution for Taiwan cities, Energy and Buildings, Available online 16 January 2017 (SCI)

2. Ruey-Lung Hwang, Chuan-Yao Lin, Kuo-Tsang Huang*, Spatial and temporal analysis of urban heat island and global warming on residential thermal comfort and cooling energy in Taiwan, Energy and Buildings, Available online 16 November 2016 (SCI)

3. Kuo-Tsang Huang, Ruey-Lung Hwang*, Future trends of residential cooling energy and passive adaptation measures to counteract climate change：the case of Taiwan, Applied Energy, Available online Decmber 15 2015,(SCI)

4. Kuo-Tsang Huang, Ruey-Lung Hwang*, Parametric Study on Energy and Thermal Performance of School Buildings with Natural Ventilation, Hybrid Ventilation, and Air Conditioning, Indoor and Built Environment accepted on Aug 2015,(SCI)

5. Feng-Chi Liao, Ming-Jen Cheng, Ruey-Lung Hwang*, Influence of Urban Microclimate on Air-Conditioning Energy Needs and Indoor Thermal Comfort in Houses, Advances in Meteorology, Article ID 585623, in press.(SCI)
6. Kuo-Tsang Huang, Wen-Pin Huang, Tzu-Ping Lin, Ruey-Lung Hwang*, Implementation of green building specification credits for better thermal conditions in naturally ventilated school buildings, Building and Environment 86 (2015) 141-150(SCI)

中文摘要

黃瑞隆[1]　黃國倉[2]　王仁俊[3]　施文玫[4]

關鍵字：住宅部門、溫室氣體預測、建築外殼節能、調適策略

氣候變遷之議題從過去至今已激起許多關注，其對人居環境的衝擊更是備受討論。在臺灣每年近百分之四十的能源使用皆來自於建築能耗，其中供建築之日常使用的能源占比，其影響程度不容小覷。

本研究以由下往上之推估法，建立用於預測未來住宅溫室氣體排放趨勢之模型，由社經因素如人口、家戶收入等為外部驅動因子，並考慮各個會影響住宅能源使用之最終用途，包含空調使用、設備、燈光照明與烹飪等等；透過全域不確定性分析中的蒙地卡羅法產生足以代表臺灣多樣化住宅之研究案例，各案例以 EnergyPlus 模擬在三種氣候變遷情境下至世紀末之逐年能源使用情形，由模擬之結果建立溫室氣體推估模型以預測未來氣候下的住宅部門排放趨勢。為了使得住宅部門的溫室氣體排放量維持在溫室氣體減量管理法的管制標準內，本研究最終提出應用於住宅之各項調適策略並量化其效益，以為未來政策擬定之參考，以臻節能減碳之目的。

---

[1] 國立高雄師範大學工業科技教育學系 教授

[2] 國立臺灣大學生物環境系統工程學系 副教授

[3] 國立高雄師範大學工業科技教育學系 教授

[4] 國立成功大學建築學系 碩士

ABSTRACT

Keywords: Residential Building Sector, Greenhouse Gas Emissions Projection, Building Envelope Energy Saving, Mitigation

Global warming issue has drawn great attention over the past few decades, and its impact on human habitat has been a major concern to the public. Building energy consumption is responsible for approximately 40% of the annual total energy usage in hot-and-humid Taiwan. The daily energy uses of residential buildings contribute the largest proportion of this consumption.

A building physics and statistical based bottom-up model was introduced in the study for the purpose to project the future GHG emissions in residential sector. The model adopts socio-economic factors such as population and household income as external drivers, and includes different energy end-use groups (including space cooling and heating, water heating, appliances, lighting, etc.) to predict the amount of residential energy consumption.

In order to ensure that a variety of building characteristics of typical condominium in Taiwan is encompassed, residential cases were generated through Monte Carlo method based on global uncertainty analysis. These generated models were simulated via EnergyPlus under three climate change scenarios to estimate their future cooling energy use. Therefore, a model to predict and assess the variation trend of GHG emissions in residential sector under future climate was developed based on the simulation results.

To restrain the excessive amount of residential GHG emissions in the future, this study proposed several passive design mitigation measures and quantified their corresponding benefits in application to residential buildings.

壹、緒　論

一、研究動機與目的

氣候變遷之議題從過去至今已激起許多關注，其對人居環境的衝擊更是備受討論。在臺灣每年近百分之四十的能源使用皆來自於建築能耗，其中供建築之日常使用的能源占比，其影響程度不容小覷。根據先前的研究結果顯示，隨著全球暖化日益加劇，外氣條件之改變增加了未來建築節能的不確定性，尤其臺灣位於亞熱帶熱濕氣候區，未來的氣溫增量導致空調耗能於最嚴峻之情境下，在 21 世紀末增為 2000 年的兩倍之多(Huang & Hwang, 2016)。如此巨幅的成長，最終勢必貢獻於全國整體溫室氣體排放量的上升。基於建築節能與碳排放等因素，本研究之目的旨在量化未來住宅之溫室氣體排放趨勢，並以此為依據，制定適切的調適策略以將未來住宅之溫室氣體排放量維持在當代水準。

了解氣候變遷影響下溫室氣體的排放趨勢，是制定溫室氣體減量政策的重要依據。本研究選擇建築部門當中的住宅作為研究對象，整理國際上考慮未來氣候下的住宅溫室氣體排放趨勢的推估方法，分析比較後建構了符合我國住宅碳排放構成及特點的預測模型；為探討全球暖化對於住宅部門的影響，期間製作了臺灣地區至 21 世紀末的逐年模擬氣象數據，並輸入建構完成之預測模型作為氣候背景值，完成未來氣候下我國住宅溫室氣體排放趨勢的預測；最終以此預測結果為基準，提出可行之住宅部門調適策略，其對於國家整體溫室氣體排放量的減少具有相當重要的意義與貢獻。

二、研究背景

(一) 國際上推估溫室氣體排放量之方法

概括而言，關於在未來氣候下住宅建築的溫室氣體排放預測模型分

為兩種基本類型：自上而下(Top-down)和自下而上(Bottom-up)的方法，以下將針對自下而上的方法作說明。國際能源總署 IEA (1998) 提出的自下而上(Bottom-up)的推估法，目的在於拆解各個層級中的部件數據，單獨評估各項部件後再根據部件之間的關係，建構組合而成的數據，並用以估計個別部件對整體能源耗用的影響。此方法最大的優勢在於可估計各種單獨的能效措施如何影響二氧化碳的排放量，也就是量化最終之減碳效果。此模型可以用來選擇基於最佳成本效益的可用技術和過程，以實現給定的碳排放減量目標。

van Ruijven et al. (2011)基於由下而上的方法論提出了一套適合於開發中國家的住宅能源需求預測模式，並用來預測印度從 2005-2050 的全國住宅二氧化碳的排放趨勢預測，結果顯示與 2005 年相比，在 2050 年印度住宅溫室氣體排放將增加 9-10 倍之多，然而根據不同的社經情境，溫室氣體排放增量亦有所差異，故社經因素對於溫室氣體排放量的影響必須列入考慮中。

Jylhä et al. (2015)在觀察近期和未來氣候條件下評估了芬蘭典型住宅的能源需求。透過使用 2030、2050 和 2100 年的逐時氣象年做建築能量動態模擬。模擬的結果發現在芬蘭，住宅全年的供暖和通風的耗電量在 2100 年減少了 20-40％，而空調的能耗需求增加了 40-80％。根據氣候變化的嚴重程度，到 2100 年，供暖和空調消耗的年能源總量估計會下降 20-35％。基於長期經濟分析，並考慮到建築物中用於其他目的所消耗的能源，研究也發現位在寒帶氣候區的芬蘭於 2100 年家庭能源成本的淨現值將比沒有考慮氣候變化影響時低 5-10％。

建築中的能源使用在全球和區域能源需求中佔很大的一部分。供暖空調在整個建築能源使用中的重要性是非常多樣的，所佔份額在 18％和 73％之間變化。Vorsatz et al. (2015)提供關於建築物中的能源使用、其驅動因素及其在全球和區域基礎上的過去，現在和未來趨勢的信息來源。該文章根據 Kaya 特徵方法確定了供暖和空調能源需求的關鍵驅動因

素：家庭數量、每戶人口、人均佔地面積、GDP，每 GDP 的佔地面積和商業建築的比能耗等。

(二) 國內與住宅部門溫室氣體排放相關之研究

黃群達 (2006)利用因素分解及脫鉤指標分析方法，以住宅部門及商業部門為探討對象，針對住商部門之歷年能源消費及二氧化碳排放變動趨勢進行探討，並藉由因素分解法找出影響二氧化碳排放之關鍵因子；同時再以脫鉤指標分析住商部門在國內生產總值、能源及二氧化碳三者間的發展關係。其研究結果顯示住宅部門的歷年碳排放量占全國比例的10-12%，且住宅部門能源消費結構以電力為主，油品及天然氣所佔比例較小；在因素分解方面，住宅部門主要影響碳排放量的因素為每人居住樓板面積的增加、全國住宅戶口總數與家戶人口數。由上述結果可知，社經因素確實會影響住宅部門的能源使用，因此本研究所提出之住宅部門溫室氣體排放模型除了考量氣候狀況的改變，亦會將上述社經因素納入模型之部件。

林唐裕等人(2010)整合二個模型以推估我國住宅及服務業部門能源需求，包含臺灣永續能源發展模型(Taiwan Sustainable Energy Development, TaiSEND)，並應用系統動態理論，參考前人建構之住商部門能源服務需求預測模型，在考量金融海嘯、潔淨能源發展與能源價格合理化等因素下，預測住宅與服務業部門之能源需求。蔡妙姍 (2015)運用自下而上之推估法，以系統模型建置住宅與服務業電力需求推估模型，參數考量社會面、經濟面、技術面及環境面建立住宅與服務業部門的電力需求預測模型進行節電潛力評估。而本研究將延續上述各層面的考量以建構住宅部門的溫室氣體預測模型，並針對各個項目提出減量策略。

貳、研究內容

一、自下而上的住宅能耗模擬模型

本研究採用如圖 2-1 所示之自下而上的住宅部門能量模擬模型，以描述不同家庭能量函數的能量需求和供給。圖中述及的有關於住宅能源使用可從現有文獻中得出，通過關注特定終端用途功能及其驅動力以理解住宅領域的能源使用，將這些能源功能與經濟發展聯繫起來，就能分析及預測未來的能源使用變化。圖中也顯示出了在模型中主要驅動力，次要驅動力和能量函數之間的相關性，該模型著重於五個最重要的最終用途功能：即烹飪、家電器具、供熱和空調、熱水供應和照明。

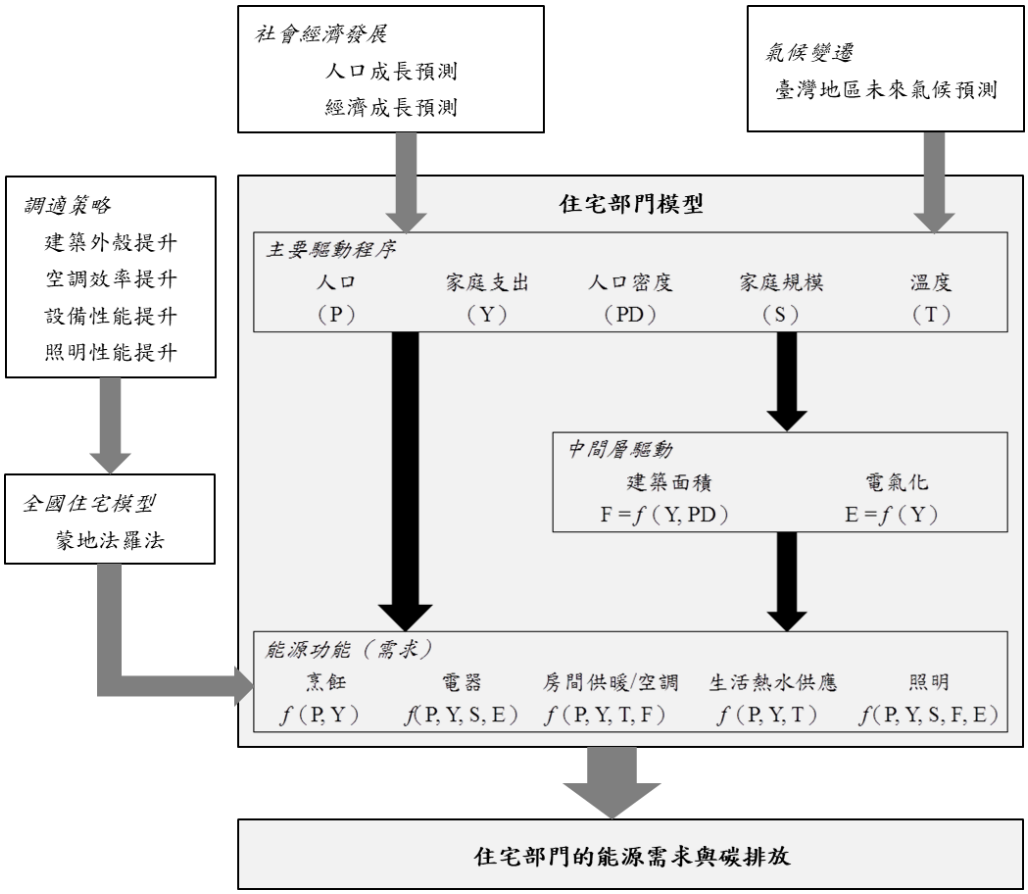


圖 2-1　本計畫採用之自下而上的能量模擬模型

(一) 主要驅動因子與中間層驅動

本研究提出的預測模型所採之主要驅動因子囊括人口、家庭支出、人口密度、家庭規模與氣候條件。中間層驅動包含總體建築面積與電氣化，然而能源使用趨近成熟，故電氣化對於整體能源的使用影響可忽略。

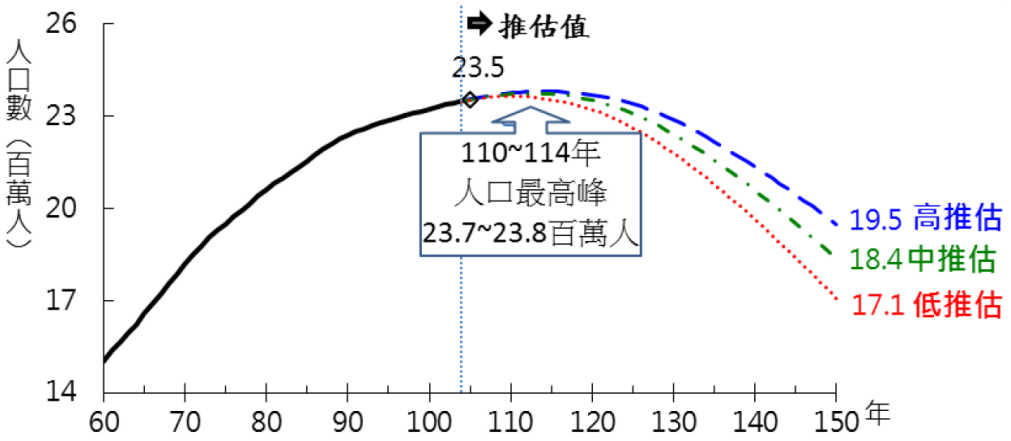


圖 2-2　總人口成長趨勢－高、中及低推估

國家總體人口的成長直接影響住宅能耗之需求，故詳細的人口預測資料有利於住宅部門溫室氣體的推估。本研究之人口預測資料參考由國家發展委員會提出的「中華民國人口推估（105 至 150 年）」，其中包含高、中、低之人口推估值，如圖 2 3 所示。年間平均家庭化的數據和情景值本研究參考「2005 - 2030 年人類住區全球報告」以及國內的戶政資料。家庭支出資料則參考人均國內生產總值（人均 GDP）。同時本研究參考聯合國人居署全球城市指標數據庫統計後歸納出的住屋面積與人均 GDP 之間的關係，根據此關係式，可藉由經濟成長之趨勢得到全國住宅部門之總體建築面積，以此作為預測模型的中間驅動層因子。

為對未來的家庭的空調耗能詳細估算，需更全面地了解氣候變化對建築能耗的影響，因此必須製作逐時的未來氣象年。本計畫採用過去內政部建築研究所委託研究所產製的 TMY3 標準氣象年(何明錦和黃國倉, 2013)與來自全球大氣環流模式的數據來產生臺灣主要城市的

2015 年到 2100 年的逐時氣象年，並透過型態轉換法將原始知月平均資料轉化為時間精度為一小時的氣候背景值。

(二) 住宅的各項能源功能

根據本研究提出的住宅能源使用預測模型，家戶之各項終端能源使用包含烹飪、電器設備、供暖與空調、生活熱水、照明等需求。

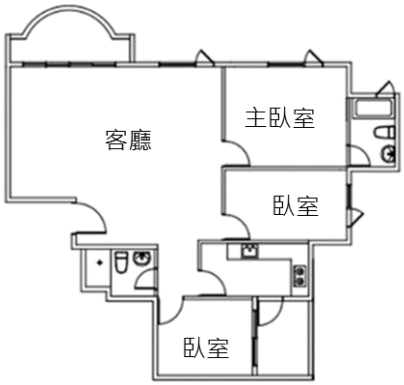


圖 2-3 住宅平面配置圖

逐時的未來氣象年製作完成後，便可藉助建築動態能耗模擬軟體 EnergyPlus 來獲得每一家庭使用空調的單位能耗。然而，經歷不同經濟發展時期和不同建築能源法規要求，造就台灣住宅建築物在型式與熱性能上的多樣性，這使得建築模擬過程中存在著不確定性。本計畫改以全域方法之蒙地卡羅分析，探討在同時改變所有參數之狀況下，應變之改變量，並以隨機抽樣法產製 300 組隨機住宅樣本以作為本研究之模擬對象。首先選定臺灣較為常見之集合住宅標準平面，如圖 2-3 所示，其中包含客廳、餐廚空間、主臥室與次臥室。同時假設影響空調耗能之變因，透過此方法進行樣本之生成以盡可能涵蓋市場上所有可能住宅建築樣態之組合。各參數變動範圍之設定則參考郭柏巖 (2005) 之研究與法規，數值羅列如表 2-1，為探討在可行範圍內之變動，本研究假設各參數分佈類型為均勻分佈，類別囊括各項建築外殼參數與室內熱取得來源。

各項家電設備、照明設定參照郭柏巖之研究，此研究針對台灣地區公寓和透天式住宅進行耗電量解析，透過實地調查統計住宅規模、家庭人口、家電普及率以及生活模式等住宅因子，並對各項家電設備進行電力監測其計算而得的設備密度與照明密度羅列如表 21 所示。

表 2-1 各變因及其參數設定

變因	最小值	最大值	備註
坪數分配	92.56		m^2
窗牆比 (WWR)	0.1	0.6	-
玻璃熱傳透率 (U 值)	1.5	6.0	W/m^2-K
玻璃日射透過率(Solar heat gain coefficient, SHGC)	0.20	0.85	-
外遮陽深度比	0	2.0	遮陽裝置的深度與窗高之比值，採格子遮陽
外牆熱傳透率 (U 值)	0.5	3.5	W/m^2-K
建築方位	八個方位等機率模擬		
每戶人員數	4		人
客餐廳的燈光密度	12.0		W/m^2
客餐廳的設備密度	10.8		W/m^2
臥室的燈光密度	9.6		W/m^2
臥室的設備密度	4.8		W/m^2

烹飪能耗之部份本研究參考 van Ruijven 等人歸納出，每人每天約消耗 0.5 至 3.5 MJ 的能源，而分佈上又以 1.7 至 2.7 MJ 的區間較為集中，並且發現其值無關乎家戶收入與家戶大小，主要仍與飲食文化相關，故本研究採 van Ruijven 等人所提出之每人每日用於居家烹調消耗的能源量，約為 2 MJ = 0.556 kWh。生活熱水之計算參考 LEED Canada 2009 reference guide 之計算標準，並以李孟杰 (2006)針對臺灣之熱水使用狀況所作的研究為基準。參考鄭凱文 (2004)的研究，結果顯示每天的使用熱水行為與長期的氣候相關性不大，故本研究視生活熱水之耗能不受氣候變遷之影響。

此模型可應用於不同時期的社會經濟發展，以及氣候狀態改變下的能源需求與碳排放。在了解未來氣候下可能的住宅部門排放趨勢後，可進一步根據建築外殼、空調、家電設備與照明等面向提出調適策略，以期降低住宅部門的溫室氣體排放量，詳細的研究流程如圖 2-1 所示。

參、研究發現

一、未來氣候分析

本研究由典型氣象年與大氣環流模式的資料產生未來氣候資料，並以生物氣候的角度進行分析，引入長期的生物氣候全年累計熱應力與全年累計冷應力，來描述人體感受到熱不舒適與冷不舒適的程度。由其結果可知，未來氣候下人體的熱不舒適程度遠大於冷不舒適，尤以高雄的過熱程度最高，顯示在未來空調耗能的需求將逐步上升。本研究進一步評估各項被動式調適策略的應用潛力，結果發現適合於臺灣濕熱氣候的被動式策略以自然通風與太陽能採暖為主，但後者的應用潛力隨著氣候變遷的情況加劇，應用潛力逐漸下降，然而主動式的空調降溫的應用潛力在未來將大幅上升。

二、單位空調耗能變動分析

本研究由實際的動態能源模擬分析未來氣候下單位空調耗能的變化趨勢，結果顯示，全年單位空調耗能的增加主要原因在於長時間的空調使用；雖然年尖峰冷房負荷的增量未如空調使用時間的多，但是在冷凍噸數的設計上仍需考慮氣候改變所造成的影響，以高雄為例，在高溫室氣體排放情境 RCP8.5 的前提之下，相較於 2000 年至 2015 年的平均值而言，年尖峰冷房負荷將上升 25.5%、空調時用時間將增加 155%，最終造成全年空調耗能成長了 187%。

本研究欲從建築外殼的熱性能改善為出發點以降低傳至室內的熱，以達到減少空調耗能之目的，首先須找到影響空調耗能最劇的建築外殼因子。依據靈敏度分析的結果加以判斷各因子對於單位空調耗能的影響程度，並歸納出改善效益最大的因子之優先順序為玻璃之日射透過率(SHGC)、外遮陽係數(Ki)、外牆平均熱傳透率(Uw)。

三、溫室氣體排放趨勢預測

由前述本研究所提出的住宅能源模擬模型預測結果顯示，在 2030 以前各個氣候變遷情境之溫室氣體排放量皆穩定上升；在中排放量 RCP4.5 情境下，溫室氣體排放於 2050 年以後在 3000 至 3500 萬公噸之間變動；在高排放量 RCP8.5 情境下，儘管全國的人口減少，溫室氣體排放量仍維持在 3300 至 4000 萬公噸之分佈區間並未減緩，勢必須採取調適策略以抑制溫室氣體的增量。

四、調適策略

為了抑制溫室氣體的增量，本研究針對四個項目提出溫室氣體減量調適策略，依序為建築外殼熱性能改善、空調效率提升、設備效率提升與照明效率提升，並以兩組綜合調適策略作為說明，其中建築外殼熱性能之改善主要以建築技術規則為基準。結果顯示，若採取中度減量效果的調適組合，2025 年之後的溫室氣體排放量平均可望控制在 3400 萬公噸以下；若採取更為嚴謹的高度減量效果調適組合，於 2030 年的溫室氣體排放量能進一步維持在 2800 萬公噸左右。若以各個項目的減量比例來看，在中度減量效果的調適組合下，減量成效最明顯的項目為改善外殼熱性能，平均占整體減量的比例為 34%，次之為提升設備節能率，減量比例約為整體的 30%，占比最少的分別為提升照明效率與空調能效，他們各占總溫室氣體減量的 18%；在高度減量效果的調適組合下，減量成效最明顯的項目為提升設備節能率，平均占整體減量的比例為 38%，次之為改善外殼熱性能，占總溫室氣體減量的 24%，效果最少的為提升空調能效，其減量比例約為整體的 16%。

以《溫管法》的長期減量目標而言，於 2030 年溫室氣體排放量將降為 2005 年 80%以下，假如減量比例由各部門均分，住宅部門的溫室氣體排放量在 2030 年需降至由歷史資料換算而得的 2547 萬公噸，故各項目的調適程度應繼續提升，否則無法達成減量目標。

肆、結　論

根據本研究成果發現，若以現階段之住宅外殼、設備、空調與照明等等，在氣候變遷之影響下，住宅部門之溫室氣體排放量於 2030 年以前仍維持正成長的趨勢，故制定住宅部門之溫室氣體減量與調適策略極為重要，而本研究提出以下二點建議：

一、研擬因應未來氣候之建築外殼法規相關法規

在氣候變遷影響下，透過法規規範外殼之改善是必須的。本研究已提出基準值來描述整體的住宅外殼性能，至於如何透過改變個別外殼因子以降低基準值，後續研究則可參考本研究之靈敏度分析結果，作出個別性的調整，以最有效率的方式提升整體住宅外殼熱性能，並進一步評估其對於社會、經濟與環境之衝擊。

二、推廣老舊瀕危建築與設備的更新

本研究之研究結果證實，老舊與瀕危建築的拆除更新與更換節能建築設備有助於改善整體住宅建築外殼熱性能，而逐年建築的更新率為達成減量目標的重要因素，須仰賴政府的推廣與民眾的配合才能達到一定的減量效果。

伍、參考文獻

1. Huang, K. T., & Hwang, R. L. (2016). Future trends of residential building cooling energy and passive adaptation measures to counteract climate change: The case of Taiwan. Applied Energy, 184, 1230-1240.
2. IEA. (1998). Mapping the energy future: energy modelling and climate change policy. Paris: International Energy Agency.
3. van Ruijven, B. J., van Vuuren, D. P., de Vries, B. J. M., Isaac, M., van der Sluijs, J. P., Lucas, P. L., & Balachandra, P. (2011). Model projections for household energy use in India. Energy Policy, 39(12), 7747-7761.
4. Jylhä, K., Jokisalo, J., Ruosteenoja, K., Pilli-Sihvola, K., Kalamees, T., Seitola, T., . . . Drebs, A. (2015). Energy demand for the heating and cooling of residential houses in Finland in a changing climate. Energy and Buildings, 99, 104-116.
5. Ürge-Vorsatz, D., Cabeza, L. F., Serrano, S., Barreneche, C., & Petrichenko, K. (2015). Heating and cooling energy trends and drivers in buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41, 85-98.
6. 黃群達（2006）。住宅與商業部門能源消費及二氧化碳排放特性與趨勢變動分析。國立成功大學博士論文。
7. 林唐裕、葛復光、謝智宸、曾禹傑與林忠漢（2010）。我國 2010-2030 年住宅及服務業部門能源需求推估。台電工程月刊。
8. 蔡妙姍（2015）。台灣地區住宅與服務業電力服務需求與節能潛力之研究。國立臺北大學博士論文。
9. 郭柏巖（2005）。住宅耗電實測解析與評估系統之研究。國立成功大學博士論文。
10. 李孟杰（2006）。住宅生活熱水使用耗能評估與節能方法之研究。國立臺灣科技大學博士論文。
11. 鄭凱文（2004）。家用太陽能熱水器輔助電熱器耗能因子分析。國立成功大學碩士論文。

辦公類智慧建築使用階段性能評估之研究

主講人：周鼎金

主講人簡歷

姓　　名：周鼎金

服務單位：國立台北科技大學建築系

職　　稱：教授

聯絡電話：02-27712171 分機 2906

傳　　真：02-27510843

電子信箱：dcchou@ntut.edu.tw

學　　歷：國立成功大學建築所碩士、東南大學建築研究所博士

經　　歷：國立台北科技大學永續環境與綠建築中心主任、中國技術學院教授兼系主任、中原大學室內設計研究所兼任教授

主要著作：

1. Chou, Ding-chin, Ching-Shan Chang, and Yong-ZhiHsu,Investigation and analysis of power consumption in convenience stores in Taiwan, Energy and Buildings , Volume 133, 1 December 2016, Pages 670–687.

2. Ding-Chin Chou , Ching-Shan Chang , Jui-Chi Chang ,Energy conservation using solar collectors integrated with building louver shading devices, Applied Thermal Engineering,Volume 93, 25 January 2016, 1282–1294

3. 周鼎金,2014.4,智慧照明在智慧綠建築之應用,照明季刊,2014，春季版。

4. Ding-Chin Chou , Chi-Hsiang HuangGuan-Hue Lin, Thermal Recycling System for Indoor LED Lightings, The 2016 International Conference on Applied System Innovation ,(IEEE ICASI 2016), Ginowan City Okinawa Japan, May2016.

中文摘要

王安強[1]周鼎金[2]游璧菁[3]黃琪翔[4]林鈺琪[5]

關鍵字：智慧建築、智慧建築標章、使用性能評估

目前智慧建築標章申請案，多在建築物完工時即進行現勘查核，多數維護使用資訊尚未收集、累積，故多以圖說規劃設計之設備系統建置確認為主。本研究期盼以建築使用階段性能評估為目的，未來在標章申請或申請標章展期現勘，都採以使用性能評估的方式進行，以確保智慧建築設計階段導入之設計、設施、設備，符合管理使用需求並能永續使用。依據本研究總結研究成果有：

1. 辦公類智慧建築使用性能評估指標：建立辦公類智慧建築使用性能評估架構，內容包括主要構面、評估要項、評估指標，並依據專家問卷結果，採 AHP 層級分析法完成各評估構面、要項之權重訂定，提供業主、建築師及相關人員使設計階段導入智慧化理念參考，期使智慧建築規劃符合使用者需求。

2. 依據本計畫智慧建築專家座談、問卷整理，顯示智慧建築專家均同意，使用階段效能之展現，才能讓使用者感受智慧建築的服務。依據 AHP 層級分析結果顯示，專家認為五個評估構面依重要程度排序為『安全監控』、『整合智慧服務』、『永續節能』、『健康舒適』、『便利效率』。

3. 辦公類智慧建築設計階段與使用階段性能差異：智慧建築設計、使用階段落差問卷結果彙整，顯示多數專家認為，現行評估內容有部分與建築使用需求衝突，促使標章申請單位為了標章得分、等級要求，導入部分設備係非實際使用需求而形成浪費。另目前標章現勘時，多數使用單位均未進駐，致使查核過程無法得知使用紀錄，因此，現勘過程僅能確認系統、設備之建置情形，無法有效掌握其使用性能，故易造成設計、使用階段落差。

4. 研擬辦公類智慧建築指標之性能評估之查核指引草案：依據既有智慧建築標章評估內容，研擬辦公類智慧建築性能評估之查核指引草案，供標章評估、既有建築標章申請查核參考，確保智慧建築標章之建築物，能有效展現使用階段、運轉使用之效益。

未來智慧建築標章現場查核，若可依使用需求性能展現的方式進行現場確認，並搭配情境式智慧化事件處理流程的檢視，將使智慧建築規劃設計與使用需求有效鏈結，發揮智慧建築的價值。

---

[1] 內政部建築研究所代理所長
[2] 國立台北科技大學建築系教授
[3] 中國科技大學室內設計系副教授
[4] 國立台北科技大學設計學院博士生
[5] 國立台北科技大學建築研究所碩士

ABSTRACT

Keywords：intelligent building, intelligent building label

At present, the site inspection for the intelligent building label application is mostly conducted when the building is completed. Most of the information on maintenance and use has not yet been collected and accumulated for building facility. Therefore, most of the applications for intelligent building label are checking papers or drawings on the planning and design stage of the intelligent system.The purpose of this study is to assess the performance of the building usage phase. In the future, application of the label or extended of the label is conducted by using the performance evaluation method to ensure that the design, facilities, equipment that could meet the management needs and sustainable use. Based on the research findings are as follows:

1. Office intelligent building performance evaluation index: The establishment of intelligent office building performance evaluation framework, including the main facets, assessment items, evaluation indicators, and based on the results of expert questionnaire, using AHP level analysis method to complete the assessment of the facet, weights and requirements of the project, providing owners, architects and related personnel to import the design phase of the intelligent concept for reference, so that the intelligent building planning to meet the needs of users.
2. According to the study that intelligent building expert forum, questionnaire finishing, show intelligent building experts agree that the use of stage performance in order to allow users to experience the intelligent building services. According to the results of AHP level analysis, experts believe that the five evaluation structures are ranked in order of importance as "safety monitoring," "integrated intelligent service," "sustainable energy saving," "health and comfort," and "convenience and efficiency."
3. Office intelligent building design phase and the use of performance differences: intelligent building design and use stage gap, questionnaire results collected, show that most experts believe that the contents of the current assessment of some conflicts with the needs of the use of buildings. The equipment is not the actual use needs cause to waste. In addition, when the site inspection is currently surveyed, most of the users have not entered the buildings, resulting in no record of the use of the site inspection. Therefore, the

site inspection can only confirm the system and equipment construction situation and cannot effectively control its serviceability. Therefore design and use stage have the gap for intelligent building planning.

4. To proposed a draft guideline for assessing the performance of intelligent office building indicators: According to the existing intelligent building label assessment content, To proposed guidelines for checking the performance evaluation of intelligent office buildings that for checking reference for the label assessment, the existing building standard application,to ensure that intelligent building can effectively demonstrate the benefits for the use and operation period.

Ifintelligentbuilding label site inspection that can be confirmed on the basis of the using demand performance and collocated with the review of the contextual intelligent event handling process in the future, the intelligent building planning and design will be effectively linked with the usage requirements, and to exert the intelligent building value.

壹、緒論

一、研究動機與目的

目前智慧建築標章申請案，多在建築物完工時即進行現勘查核，多數維護使用資訊尚未收集、累積，故多以圖說規劃設計之設備系統建置確認為主。本研究期盼以建築使用階段性能評估為目的，未來在標章申請或申請標章展期現勘，都採以使用性能評估的方式進行，以確保智慧建築設計階段導入之設計、設施、設備，均能符合管理使用需求並能永續使用。

本計畫研究目的有：

1. 蒐集國內外辦公類智慧建築相關文獻及進行國內案例調查，調查使用運轉維護現況，並了解實際使用階段所面臨之問題。
2. 研擬辦公類智慧建築使用性能評估架構，包括主要構面、評估要項、評估指標、評估權重等，俾使智慧建築除設計階段之審查外，更強化使用後效能之展現，以利智慧建築之推展。
3. 研擬使用階段性能評估之查核指引，可以供辦公類智慧建築標章評估參考，進而獲得智慧建築標章之建築物，能確保使用階段之效能展現以及運轉使用之效益。

完成辦公類智慧建築使用性能評估指標，建立辦公類智慧建築使用性能評估架構，包括主要構面、評估要項、評估指標、評估權重等，供業主、建築師及相關人員使設計階段導入智慧化理念，以及規劃符合使用者需求之智慧建築。

研擬辦公類智慧建築指標之性能評估之查核指引草案，供辦公類智慧建築標章評估與查核參考，確保獲得智慧建築標章之建築物，能確保使用階段之效能展現以及運轉使用之效益。

二、研究流程

本計畫研究流程如下圖：

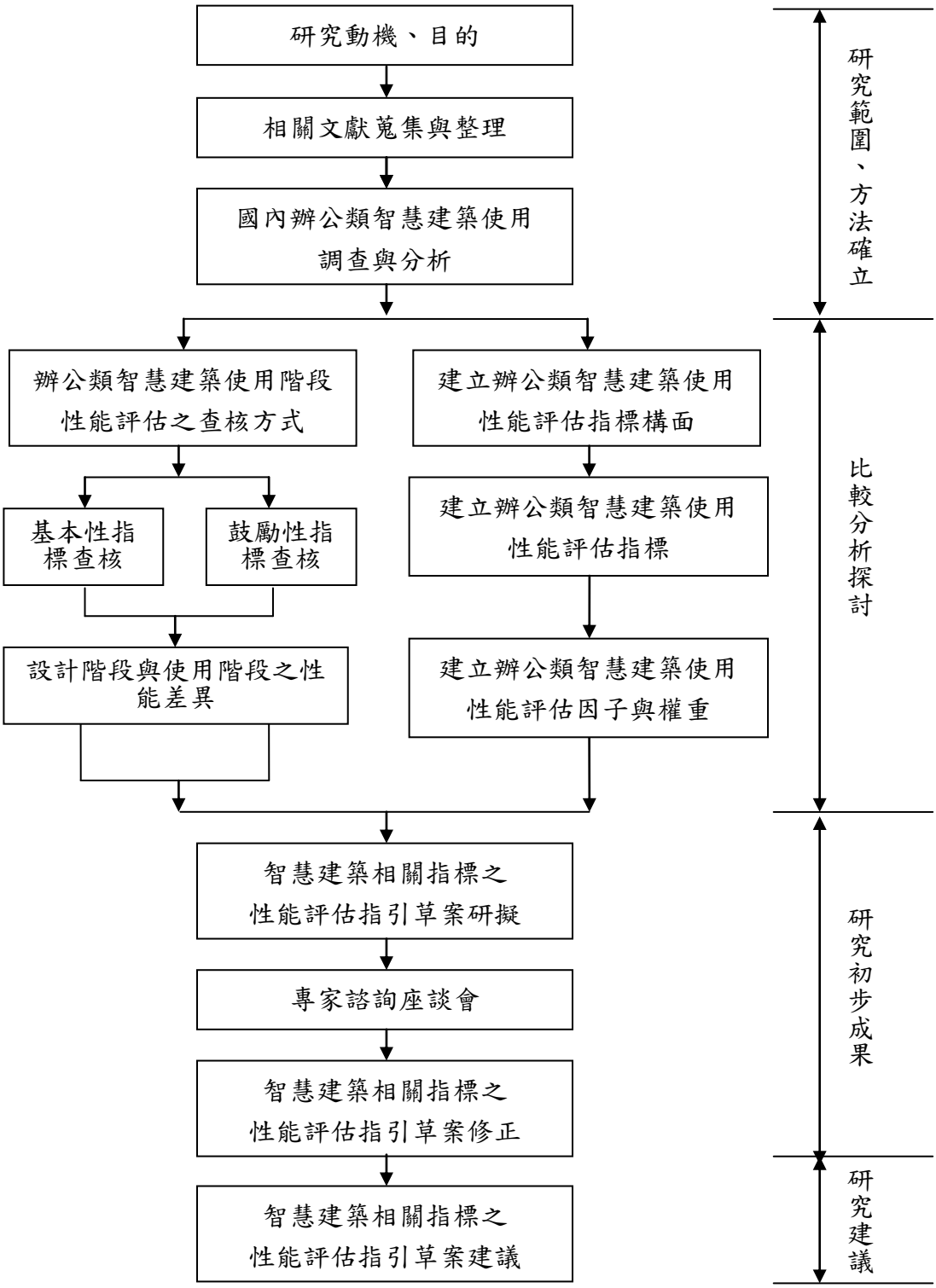


圖 1-1 研究流程圖

貳、研究內容

一、辦公類智慧建築使用調查與分析

本研究所選定的調查對象均為辦公類智慧建築物，選擇辦公類智慧建築物作為調查對象，主要的原因是智慧建築因應高科技的資訊通信系統與自動化設備的導入，在設施管理方面更加需要專業的管理經驗、技術及固定的管理程序，才可以達到對建築物設施與環境上之控制，因此智慧建築的系統及設施管理機制必定較一般建築的完整，因此，本研究以內政部智慧建築標章的華碩電腦企業總部大樓、臺灣電力公司總管理處大樓為調查對象,瞭解其各項系統及設施的使用現況，設施設備使用效能及運作、維護機制與效益。

二、辦公類智慧建築使用性能評估指標

(一)辦公類智慧建築使用性能評估指標構面

本研究文獻收集並參考國外智慧建築性能評估方式，盤點我國辦公類智慧建築評估項目與使用性能相關構面。研擬辦公類智慧建築使用性能評估架構，包括主要構面、評估要項、評估指標、評估權重等，俾使智慧建築除設計階段之審查外，更強化使用後效能之展現，以利智慧建築之推展，初步擬訂辦公類智慧建築使用性能評估架構，如下表：

表 2-1 辦公類智慧建築使用性能評估架構

評估構面	評估要項	評估指標
安全監控	門禁安全	訪客系統
		門禁監視系統
		防盜自動警報設備
	停車安全	停車管理
	緊急求救	直通樓梯緊急求救
		電梯緊急求救
		隱蔽或其他有危險疑慮空間之緊急求救
	防有害氣體	設置致命有害氣體之偵測設備或措施

評估構面	評估要項	評估指標
	防水	有漏水之虞之重要設備空間，具備防漏水功能
		有淹水之虞之重要設備空間，具備防淹水功能
	防火	具有防火系統，避免火災之危害
	防震	地震時可自動關閉瓦斯及控制升降機至最近樓層部分之設施
永續節能	能源管理	具有設備監控功能
		具有用電需量控制功能
	設備節能	空調設備智慧化節能
		照明設備智慧化節能
		動力設備智慧化節能
	再生能源	太陽光電
		風力發電
健康舒適	空氣環境	設置空氣品質感測、連動
	溫熱環境	設置溫熱環境感測、連動
	視環境	設置照度感測、連動
		智慧化導光設備
	音環境	音景設計
	水環境	水箱水位監測、自動補水
		一般用水水質監測
		飲用水水質監測
	生活服務	空間使用可以適應各種需求改變
		數位化學習服務平台
		數位化生活服務平台
		協助料理事務
		結合平台資訊，依據使用者習慣、時程，提供主動提醒服務
		公共區域提供具有多樣性的娛樂服務
		可偵知環境、植栽土壤狀態之設備
	健康照護	具傳輸功能之生理監測裝置(如血壓偵測、心跳偵測、血糖偵測等)
		照護資訊及視訊傳送至遠距照護服務系統

評估構面	評估要項	評估指標
便利效率	資通訊服務	資訊佈線 區域網路
		資訊服務 公眾行動通信涵蓋
		通信服務 數位式(含 IP)電話交換
		視訊會議
		公共資訊顯示
		公共環境資訊導覽
	設施管理	達成設施管理的效率
整合服務	中央監控	具有安全、節能、健康、舒適等數據整合功能
		具有安全、節能、健康、舒適等智慧化連動功能
	雲端服務	具有安全、節能、健康、舒適等雲端數據儲存功能
		具有安全、節能、健康、舒適等雲端數據整合連動功能

(二)建立辦公類智慧建築使用性能評估指標要項

依據使用性能評估架構研擬使用性能評估架構、方式，評估方式區分為二類：依功能達成情形給分，該類評估內容具備性能等級特性，給分愈高則表示其使用性能愈佳。依達成功能項目數量給分：該類評估內容中提供之功能項目愈多，則表示其使用性能面向愈廣。

表 2-2 辦公類智慧建築使用性能評估架構、方式(摘錄)

評估構面	評估要項	評估指標	評估方式(定性、定量)
安全監控	門禁安全	訪客系統	□1 分：訪客線上登記、查詢 □2 分：訪客預約 □3 分：自動通報
		門禁監視系統	□1 分：監視系統 □2 分：異常畫面自動跳出

評估構面	評估要項	評估指標	評估方式(定性、定量)
			□3 分：監控室發出異常警報 □4 分：以簡訊等方式主動傳至管理者行動載具
		防盜自動警報設備	□1 分：重要入口及區域安裝防盜警報設備 □2 分：系統能警示警報位置和相關警報資訊 □3 分：系統能按照時間或位置需求，限制防盜警報設備之解除或設定 □4 分：系統能對防盜警報設備之運轉狀態及信號傳出路線信行檢測，並及時發出故障警報、指示故障位置
	停車安全	停車管理	□1 分：停車出入口管制、停車查詢 □2 分：出入口辨識功能(如：車號、E-Tag 等方式辨識) □3 分：提供預約停車服務 □4 分：智慧化尋車服務
	緊急求救	直通樓梯緊急求救	□1 分：於直通樓梯設置緊急設備 □2 分：緊急求救訊號連結至管理平台，並可提供查詢 □3 分：緊急求救後影像連動，並即時回傳管理中心

評估構面	評估要項	評估指標	評估方式(定性、定量)
			□4 分：以簡訊等方式將緊急求救地點主動傳至管理者行動載具 □5 分：緊急求救影像主動傳至管理者行動載具
		電梯緊急求救	□1 分：於電梯設置緊急設備 □2 分：緊急求救訊號連結至管理平台，並可提供查詢 □3 分：緊急求救後影像連動，並即時回傳管理中心 □4 分：以簡訊等方式將緊急求救地點主動傳至管理者行動載具 □5 分：緊急求救影像主動傳至管理者行動載具
		隱蔽或其他有危險疑慮空間之緊急求救	□1 分：於隱蔽或其他有危險疑慮空間設置緊急設備 □2 分：緊急求救訊號連結至管理平台，並可提供查詢 □3 分：緊急求救後影像連動，並即時回傳管理中心 □4 分：以簡訊等方式將緊急求救地點主動傳至管理者行動載具 □5 分：緊急求救影像主動傳至管理者行動載

評估構面	評估要項	評估指標	評估方式(定性、定量)
			具
	防有害氣體	設置致命有害氣體之偵測設備或措施	□1 分：系統能偵測各種對人體有害氣體如瓦斯、一氧化碳等氣體，並發出警報或引導疏散 □2 分：設置排除或稀釋或阻斷有害氣體之裝置或空間設計
	防水	有漏水之虞之重要設備空間，具備防漏水功能	□1 分：設置漏水感測器，並將資訊傳至管理平台 □2 分：主動發送漏水資訊至管理平台 □3 分：主動排除漏水
		有淹水之虞之重要設備空間，具備防淹水功能	□1 分：設置淹水感測器，並將資訊傳至管理平台 □2 分：主動發送淹水資訊至管理平台 □3 分：主動排除淹水
	防火	具有防火系統，避免火災之危害	□1 分：具有火災偵知通報功能 □2 分：具有火災顯示功能 □3 分：具有災害排除功能
	防震	地震時可自動關閉瓦斯及控制升降機至最近樓層部分之設施	功能項目： 1. 地震時可自動關閉瓦斯 2. 地震時可控制升降機至最近樓層 依達成功能項目數量給分 □1 分：達成 1 項功能項目 □2 分：達成 2 項功能項目

三、辦公類智慧建築設計階段與使用階段之性能差異

本研究將依據國內外針對辦公類智慧建築使用階段性能探討，並以取得智慧建築標章之辦公類建築為探討對象，再配合智慧建築標章各指標相關內容，研擬指標之性能查核指引草案，促使設計階段導入智慧化理念以及規劃符合使用者需求之智慧建築，以達落實符合使用者需求之智慧建築目標。

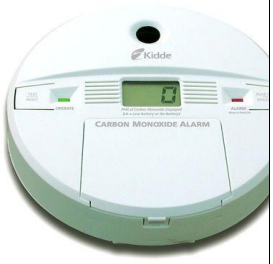
研擬性能查核指引草案前，本計畫亦邀請參與過智慧建築規劃、設計等相關作業之專家學者，進行智慧建築設計、使用階段落差問卷，其了解智慧建築設計是否反映使用階段需求，做為未來智慧建築規劃設計導入手法、系統、設施設備之參考。同時，亦提供現行 2016 年智慧建築標章評估手冊修訂之參考。

四、辦公類智慧建築指標之性能查核指引草案

依據專家對智慧建築現勘內容、檢附書圖內容討論，彙整訂定之辦公類智慧建築指標之性能查核指引，進行辦公類智慧建築指標之性能查核指引草案之研擬部分內容範例如下：

性能展現程度之符號表示：『●』表示性能展現程度為『強』、『◎』表示性能展現程度為『中』、『○』表示性能展現程度為『弱』。

表 2-3 辦公類智慧建築指標之性能查核指引要項-基本規定(摘錄)

指標	項目	評估內容	性能展現程度	性能查核方式
5.7 有害氣體防制	設置致命有害氣體之偵測設備或措施： 5.7.1 系統能偵測各種對人體有害氣體如瓦斯、一氧化碳等氣體，並發出警報或引導疏散	●	確認現場是否設置偵測設備，並檢測運作狀態。	 一氧化碳偵測

	5.7.2 設置排除或稀釋或阻斷有害氣體之裝置或空間設計	●	確認現場是否設置阻斷設備，並檢測運作狀態。	有害氣體阻斷設備
5.8 緊急求救系統	5.8.1 設置緊急求救按鈕或可對外聯繫之緊急電話：在建築物昇降機、直通樓梯、室內停車場等處設置緊急求救按鈕或對講設備等	●	確認現場是否設置緊急求救按鈕或可對外聯繫之緊急電話，並檢測運作狀態。	設置緊急求救按鈕
	5.8.2 緊急求救系統需與監視攝影系統整合連動(重要出入口、停車場區、屋頂區)	●	確認緊急求救系統需與監視攝影系統整合連動。派人員至具連動之緊急求救處按下求救按鈕，於中央監控室確認系統上是否會聯動攝影機並顯示觸發位置。	緊急求救系統與監視攝影系統整合連動

參、研究發現

一、 辦公類智慧建築使用調查與分析

各指標中設施系統維護部份因工作環境需求，通常由內部工程人員自行檢修與排除錯誤，以及進行週期性維護保養；因此在辦公類智慧建築使用階段皆能正常發揮效能。

二、辦公類智慧建築設計階段與使用階段性能差異

(1) 綜合佈線指標：智慧建築標準符號目前僅有智慧建築標章基準提供參考使用，但有機電、空調、電信部分圖例與實際法令送審圖例產生衝突，故無法全面使用。

(2) 資訊通信指標：網路管理、行動通信無死角等項目，使用單位與業主需求常有落差，因此常有規畫設計團隊未設計業主自辦項目，但智慧建築候選階段又為基本項目，若先由規畫者設計則完工使用與原標章評估常有落差，較易產生不必要的建置花費。

(3) 系統整合指標:設置自動門禁管制設備項目,若建物為供公眾使用，具 24 小時營運特性，則無此需求。

(4) 設施管理指標：整合式設施管理作業系統項目，建物啟用後進駐之物業管理公司多有自身開發或慣用之物管系統，未必沿用規劃階段設計之系統架構，故原系統面臨停用狀況，易造成物力時間浪費。

(5) 安全防災指標：設置緊急求救按鈕或可對外聯繫之緊急電話，許多規劃設計單位考量實際使用性不高，且辦公大樓直通樓梯甚至設有管制，平時人員是無法進出（防災除外），因此，建築物施工階段時投入相當多的費用、電源線與控制線後，平時卻無法實際產生效果，則讓投資者或開發者無法認同。設置停車管理設備：建築使用需求本身已有設置電動柵門，無設置柵欄機自動控制之需求，礙於規定還是需要設置，實際無使用效益。另有些建案並非全區檢討，申請案不需設置，得因免檢討此項目，另特殊建築(如:軍事單位等)設置柵欄門並不符合使用需求，也應免檢討。

(6) 節能管理指標：能源管理系統中的用電需量與卸載功能，因建築物實際運作上，如屬出租型辦公大樓或多使用類型之複合式辦公大樓時，管理單位考量使用者環境品質或生活需求，並無法實際進行卸載作為，如屬小規模建築物時，此項功能亦較不會採用。

(7) 健康舒適指標：具傳輸功能之生理監測裝置(如：血壓偵測、心跳偵測、血糖偵測等)，一般辦公大樓設置此項系統後，日常間使用率不高。

肆、結論

一、辦公類智慧建築使用性能評估指標

研究結果顯示智慧建築專家均同意，使用階段效能之展現，才能讓使用者感受智慧建築的服務，對智慧建築中『安全監控』、『永續節能』、『健康舒適』、『便利效率』及『整合智慧服務』等五個評估構面，依據AHP層級分析結果顯示，評估構面的重要排序為『安全監控』(L=0.351)，其次為『整合智慧服務』(L=0.222)，第三為『永續節能』(L=0.198)、第四為『健康舒適』(L=0.127) 、第五為『便利效率』(L=0.103)。後續可參考本研究成果提出使用階段性能架構、方式，研定舊建築改善之智慧建築評估指標與評估基準，該基準亦可適用於標章申請延續之評定。

二、辦公類智慧建築指標之性能評估之查核

依據研究成果研擬完成辦公類智慧建築性能評估之查核指引草案，供正式智慧建築標章現場查核之參考，確保智慧建築標章之建築物，能有效展現使用階段、運轉使用之效益。後續可研議情境式智慧化事件處理流程的查核方式，未來現勘時，可從事件情境中擷取題目，由使用管理者進行事件處理流程操作，將可有效展現智慧化整合功能，展現智慧建築功能，縮小智慧建築規劃設計與使用需求之落差。

伍、參考文獻

1. Saaty, Thomas L.; Peniwati, Kirti (2008). Group Decision Making: Drawing out and Reconciling Differences. Pittsburgh, Pennsylvania: RWS Publications. ISBN 978-1-888603-08-8.
2. Saaty, Thomas L. (June 2008). "Relative Measurement and its Generalization in Decision Making: Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors – The Analytic Hierarchy/Network Process" (PDF). Review of the Royal Academy of Exact, Physical and Natural Sciences, Series A: Mathematics (RACSAM) 102 (2): 251–318. doi:10.1007/bf03191825. Retrieved 2008-12-22.
3. H. ALwaer , D.J. Clements-Croome ,Key performance indicators (KPIs) and priority setting in using the multi-attribute approach for assessing sustainable intelligent buildings, uilding and Environment, 45 (2010) 799–807
4. Po Seng Kian ,A case study on total building performance evaluation of an “intelligent” office building in singapore,DimensiTeknikSipil, vol. 3, no. 1, maret 2001, 9-15
5. Milos manic, Kasunamarasinghe, Juan j. driguez-andina, and Craig rieger,Intelligent buildings of the future, cyberaware, deep learning powered, and human interacting, industrial electronics magazine 2016,12
6. 智慧建築解說與評估手冊(2016) 內政部建築研究所

循環永續綠建築創新環境科技
發展策略研究

主講人：蔣本基

主講人簡歷

姓　　名：蔣本基

服務單位：國立台灣大學環境工程學研究所

職　　稱：特聘教授

聯絡電話：02-2362-2510

傳　　真：02-2366-1642

電子信箱：pcchiang@ntu.edu.tw

學　　歷：1982　美國普渡大學土木環工博士

1978　美國辛辛那堤大學土木環工碩士

1976　國立台灣大學土木工程所衛生工程組碩士

1972　國立台灣大學土木工程系學士

經　　歷：國立台灣大學環境工程學研究所特聘教授/所長

國立台灣大學碳循環研究中心主任

行政院科技會報辦公室兼任研究員

行政院原子能委員會委員

行政院永續發展會委員

經濟部節能減碳推動小組委員

行政院科技顧問組兼任研究員

教育部諮議委員科技顧問室顧問

國科會工程處諮議委員

行政院環保署環境影響評估委員

美國阿崗國家實驗室客座教授

美國底拉瓦大學土木環工系客座教授

中華民國環境工程學會理事長

臺灣環保技術交流協會理事長

主要著作：

1. Zheng X-Y, Pan S-Y, Tseng P-C, Zheng H-L*, Chiang P-C*, 2018. “Optimization of Resin Wafer Electrodeionization for Brackish Water

Desalination", Separation and Purification Technology, 194, p. 346–354. (IF=3.359)

2. Pan S-Y, Snyder SW, Ma H-W, Lin YJ*, Chiang P-C*, 2018. "Energy-Efficient Resin Wafer Electrodeionization for Impaired Water Reclamation", Journal of Cleaner Production, 174, p. 1464–1474. (IF=5.715)
3. Pan S-Y, Chung T-C, Ho C-C, Hou C-J, Chen Y-H, Chiang P-C*. "Incorporated CO2 Mineralization and Utilization with Establishment of Waste-to-Resource Green Supply Chain", Scientific Reports, 2017. (In press)
4. Pei S, Pan S-Y, Li Y-M, Chiang P-C*, 2017. "Environmental Benefit Assessment for the Carbonation Process of Petroleum Coke Fly Ash in a Rotating Packed Bed", Environmental Science & Technology, 51, p. 10674–10681. (IF=6.198)
5. Pan S-Y, Shah K-J, Chen Y-H, Wang M-H, Chiang P-C*, 2017. "Deployment of Accelerated Carbonation using Alkaline Solid Wastes for Carbon Mineralization and Utilization Toward a Circular Economy", ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 5, p. 6429–6437 (IF=5.951)
6. Zheng J., Shah K-J., Zhou J, Pan S-Y, Chiang P-C, 2017. "Impacts of HCl and O2 on Removal of Elemental Mercury by Heat-treated Activated Carbon: Integrated X-ray Analysis", Fuel Processing Technology, 167, p. 11–17. (IF=3.752)
7. Pan S-Y, Snyder SW, Ma H-W, Lin YJ*, Chiang P-C*, 2017. "Development of a Resin Wafer Electrodeionization Process for Impaired Water Desalination with High Energy Efficiency and Productivity", ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 5, p. 2942–2948. (IF=5.951)
8. Pan S-Y, Wang P, Chen Q, Jiang W, Chu Y-H, Chiang P-C*, 2017. "Development of High-Gravity Technology for Removing Particulate and Gaseous Pollutant Emissions: Principles and Applications", Journal of Cleaner Production, 149, p. 540–556. (IF=4.959)
9. Pan S-Y, Lin YJ*, Snyder SW, Ma H-W, Chiang P-C*, 2016. "Assessing the Environmental Impacts and Water Consumption of Pretreatment and Conditioning Processes of Corn Stover Hydrolysate Liquor in Biorefineries". Energy, 116, p. 436–444. (IF=4.28)
10. Lin Y-P, Wang W-H, Pan S-Y, Ho C-C, Hou C-J, Chiang P-C*, 2016. "Environmental impacts and benefits of organic Rankine cycle power generation technology and wood pellet fuel exemplified by electric arc furnace steel industry", Applied Energy, 183, p. 369–379. (IF=5.746)
11. Shih Y-H, Shi N-X, Tseng C-H*, Pan S-Y, Chiang P-C, 2016. "Socioeconomic costs of replacing nuclear power with fossil and renewable energy in Taiwan", Energy, 114, p. 369–381. (IF=4.292)

12. Pan S-Y, Adhikari R, Chen Y-H, P. Li, Chiang P-C*, 2016. “Integrated and Innovative Steel Slag Utilization for Iron Reclamation, Green Material Production and CO2 Fixation via Accelerated Carbonation”, Journal of Cleaner Production, 37, p. 617–631. (IF=4.959)
13. Pan S-Y, Hung C-H, Chan Y-W, Kim H, P. Li, Chiang P-C*, 2016. “Integrated CO2 Fixation, Waste Stabilization and Product Utilization via High-gravity Carbonation Process: Sustainable Carbon and Material Cycles”, ACS Sustainable Chemistry and Engineering, 4, p. 3045–3052. (IF=5.267)
14. P. Li, Pan S-Y, Pei S, Lin YJ, Chiang P-C*, 2016. “Challenges and Perspectives on Carbon Capture, Storage, Utilization, and Conversion Technologies: An Overview”, Aerosol and Air Quality Research, 16, p. 1327–44. (IF=2.393)
15. Pan S-Y, Liu H-L, Chang E-E, Kim H, Chen Y-H, Chiang P-C*, 2016. “Multiple Model Approach to Determination of the Maximal Carbonation Conversion for Steelmaking Slag in a Slurry Reactor”. Chemosphere, 154, p. 63–71. (IF=3.698)
16. Chen K-W, Pan S-Y, Chen C-T, Chen Y-H, Chiang P-C*, 2016. “High-gravity Carbonation of Basic Oxygen Furnace Slag for CO2 Fixation and Utilization in Blended Cement”, Journal of Cleaner Production, 126, p. 350–360. (IF=4.959)
17. Pan S-Y, LorenteLafuente AM, Chiang P-C*, 2016. “Engineering, Environmental, and Economic Performance of High-gravity Carbonation Process for Carbon Capture and Utilization in the Steelmaking Industry”. Applied Energy, 170, p. 269-277. (IF 5.613)
18. Pan S-Y, Chang E-E*, Kim H, Chen Y-H, Chiang P-C, 2016. “Validating Carbonation Parameters of Alkaline Solid Wastes via Integrated Thermal Analyses: Principles and Applications”, Journal of Hazardous Materials, 307, p. 253–262. (IF 4.529)
19. Shu-Yuan Pan, Yi-Hung Chen, Chun-Da Chen, Ai-Lin Shan, Michael Lin, and Pen-Chi Chiang*, 2015. “High-gravity Carbonation Process for Enhancing CO2 Fixation and Utilization Exemplified by the Steelmaking Industry”, Environmental Science and Technology, 49, p. 12380–87.
20. Qianyun Chang, Chenghang Zheng, Xiang Gao, Pen-Chi Chiang, Mengxiang Fang, Zhongyang Luo, Kefa Cen, 2015. “Systematic Approach to Optimization of Submicron Particle Agglomeration Using Ionic-Wind-Assisted Pre-Charger”, Aerosol and Air Quality Research, 15 (7), p. 2709-2719.

中文摘要

蔣本基[1]

關鍵字：綠建築、循環永續、綠建材、發展策略

目前全球綠建築推廣工作持續深入至不同發展層級的國家，依據美國綠建築協會(USGBC)於 2017 所發表的 World Green Building Trends 2016 SmartMarket Report，至 2018 年全球綠建築案件比例將從 2015 年的 18%上升至 37%，其中成長最快速的國家包含巴西(綠建築比例：6%上升至 36%)、中國(綠建築比例：5%上升至 28%)以及沙烏地阿拉伯(綠建築比例：8%上升至 32%)，其他例如墨西哥、哥倫比亞、南非以及印度等國也有卓越的成長,有此可見,綠建築不僅在已開發國家成熟發展，也在部分開發中國家取得成功的經驗。

在台灣方面，據內政部統計，臺灣中層住宅大樓所使用的建材之二氧化碳排放量約為 300（公斤／平方米），以每戶 35 坪（116 平方米）來計算的話，每戶二氧化碳排放量約為 3 萬 4,000 公斤，顯然建築產業是造成地球環境危機的原因之一。

此外，綠建材為綠建築中循環減廢之重要環節，目前國際間對於綠建材的概念，可大致歸納為以下幾種特性：再使用（Reuse）、再循環（Recycle）、廢棄物減量（Reduce）、低污染（Low emission materials）。基本上綠建材之優點包括：生態材料（減少化學合成材之生態負荷與能源消耗）；可回收性（減少材料生產耗能與資源消耗）；健康安全（使用自然材料與低揮發性有機物質建材，可減免化學合成材之危害）。因此，強化國內循環永續綠建築創新環境科技能力，規劃短期高質材料建材化利用技術研發方向、再生建材之循環減廢再利用及未來辦理循環永

續綠建築創新環境科技發展中長期策略計劃與推動架構顯得尤爲重要。

本研究針對未來國內循環永續綠建築發展推動實施策略與循環永續綠建材技術優先研究方向，謹提出以下二點建議：

一、從組織面、法規面、技術面、財務面及社會面等五大層面深入研擬推動策略與措施

1. 循環永續綠建築推動策略與措施為「構建循環永續綠建築發展藍圖，實踐低碳循環經濟」、「完善經濟誘因政策工具，落實循環永續綠建築市場運作機制」、「研發循環永續綠建築創新技術，提升建築能資源利用效能」、「落實循環永續綠建築環境教育，強化綠建築創新技術人才培育」以及「建構永續綠建築技術交流平臺，建立國際合作交流機制」

2. 針對永續綠建築創新環境技術，建議可以 4E 包含環境(Environment)、經濟(Economy)、工程(Engineer)及能源(Energy)等四個面向結合現行政策及評估體系進行分析，建立創新技術評估方法。

二、建議將本研究所歸納之綠建材優先研究方向作為建研所科技計畫之「低碳綠建築與節能減碳科技」之相關工作項目之參考資料

1. 研訂規劃循環永續綠建材技術優先研究方向，包含「自然生態」：天然隔熱與纖維材料；「節能減碳」：鹼性廢棄物碳礦化建材；「健康安全」：光觸媒塗料、新型聚氨酯樹脂黏結劑、海洋生物黏附材料；「再生循環」：鋼纖維與廢橡膠再生粒料、再生發泡聚苯乙烯技術、木質素發泡與分散技術；「高性能」：透明木材、超高強度高性能混凝土、輕質骨材混凝土。

2. 循環永續綠建材策略分析：落實再生綠建材資源回收體系以推動循環經濟：包含國內廢棄物來源、資源回收管道、產品功能設計、產品銷售規劃、經濟效益分析以及產品使用者調查等研究方向。

---

[1] 國立台灣大學環境工程學研究所特聘教授(95.8～)

ABSTRACT

Keywords：Green Building, Sustainability, Green Construction Materials, Development Strategy

Green construction materials technologies gradually have been implemented to minimize negative impacts of environment and society and become an innovative strategy for sustainability. Specifically, the green building has been not only regarded as a promising method of green technology but viewed as an effective measure to implemented environmental economic and social sustainability in construction industry. This study examined the development of green building rating system and the green technologies in four views of ecology, energy efficiency, waste reduction and health (EEWH) are described as well. Additionally, the study finds the barriers and challenges on development of green building among organization, regulation, finance, technology and society. Therefore, The study proposes five integrated strategies on enhancing green technology for sustainable building in Taiwan: (i) establishing the sustainable framework of green building and leading to low carbon circular economy, (ii) completing the green building policy and developing the sustainable market mechanism, (iii) developing the innovative technology of sustainable green building and increasing the energy performance, (iv) developing the innovative evaluated method of green building and improving the rating system and (v) establishing the green building technology communication platform and international cooperation mechanism.

The Study proposes the very two recommendations as follows after considering the status quo to expedite the improvement process for sustainable green building:

1. To develop and deploy integrated strategies and action plan from institutional, regulatory, technical, financial, and social aspects.

2. To establish implement of priority research direction for green construction materials toward circular economy.

壹、緒論

一、研究動機與目的

本文研究動機係基於「循環永續綠建築創新環境科技發展策略研究」計畫之研究目的，旨為積極研擬短期綠建築循環再生建材與相關技術研發之優先課題，並規劃我國未來辦理循環永續綠建築創新環境科技發展中長期策略計畫與推動架構，以作為政府推動永續綠建築創新技術之參考。

(一)參考國內外資料，且依本土營建環境條件及需求，從自然通風、低能耗、天然採光、健康空調、能源控制、資源回收、生態綠化、再生能源、綠色建材和舒適環境等方面進行相關研究。

(二)建立短期建築資材再生利用或高質材料建材化利用技術資料庫，同時補充建立相應的評估方法，篩選出關鍵績效，提出短期建築資材再生利用優先辦理課題及相關技術研發方向。

(三)研析國內推行循環永續綠建築在組織面、法規面、技術面、財務面及社會面等方面的障礙及挑戰。

(四)從能源面、經濟面、環境面及工程面，建立循環永續綠建築創新環境科技 4E 評估方法。

(五)規劃出我國未來辦理永續綠建築創新環境科技發展中長期策略計劃與推動架構，以供政府部門未來應用參考。

(六) 增強國內循環永續綠建築創新科技能力，建立國際合作與夥伴關係，培育專業人才，建構綠建築綜合研究技術交流平臺。

我國已建立綠建築評估系統(EEWH)並實現綠建築標章法制化，其通過綠建築標章與候選綠建築證書於 2016 年已逾 6000 多件，其中資源再生綠建材技術或高質材料建材化利用技術，一直是綠建築提升建材使用效率或實現循環減廢之有效策略。然對於建築資材循環再生利用技術評估方式，除了以現有 EEWH 評估之外，可同時從能源面、經濟面、環境面及工程面進行完善的技術評估。因此，強化國內循環永續綠建築創新環境科技研發能力，匯集永續綠建築相關先進技術以及建構永續綠建築綜合研究技術交流平臺乃當務之急。

本研究係配合前述科技計畫之「低碳綠建築與節能減碳科技」之相關工作項目，期研擬短期資源循環再生綠建材創新技術研發之優先課題、循環永續綠建築創新環境科技發展之中長期策略計劃與推動架構、系統研究循環永續綠建築科技發展創新及應用推廣評估，以規劃循環永續綠建築創新環境科技之發展藍圖，以供政府部門未來應用參考。

貳、研究內容

一、研究背景

二十世紀五、六十年代，隨著「綠色運動」在西方興起和開展，「綠色」思想開始在全世界範圍內被人們接受。「綠色」思想的出發點是保護自然資源，調整人類行為，滿足自然生態的良性循環，保證人類生存的安全。二十世紀八十年代末，「永續發展」成為全球的行動綱領，同時，生態學、社會學等學科向建築學領域的擴展，很自然地出現了「綠色建築」的概念。「綠色建築」的產生是建築學發展的必然結果，是永續發展在建築學方面的具體體現。「綠建築」在歐洲國家則稱為「生態建築」、「永續建築」，日本稱為「環境共生建築」，北美國家則稱為「綠建築」。由於「綠色」的用語在國際間已成為地球環保的代名詞，許多「綠色消費」、「綠色生活」、「綠色照明」已成為民眾朗朗上口的時髦用語，因此在美洲、澳洲、東亞國家，大多遂援用「綠建築」作為生態、環保、永續、環境共生之建築的通稱。

當前，人類面臨的兩大問題是能源危機和環境污染，由此帶來的氣候變化已成為 21 世紀全球經濟發展所面臨的巨大挑戰之一。建築領域是全球能耗最大的領域之一，其中，一方面是大量建築中採暖、空調、照明、家用電器、炊事用具等用能設備消耗大量能源，另一方面在新建建築的建造過程中，消耗了大量的鋼鐵、有色金屬、水泥、玻璃、塑膠等建築材料，在這些建築材料的製造、運輸、生產及加工等環節也消耗大量的能源。建築作為人類文明最重要的產物，在其建造和使用的過程中消耗了地球約 50%的資源，因此，探索建築的永續發展已經成為當今建築業發展的迫切要求。

2015 年於法國巴黎所召開第二十一次聯合國氣候變遷大會(Conference of Parties, COP 21)中通過了巴黎協定，旨於使全球暖化效應維持在 2 攝氏度以下，建築部門於減緩氣候變遷的成果也非常關鍵，全

球建築與建造聯盟(The Global Alliance for Buildings and Construction, Global ABC)已研擬氣候變遷之應變方案，並得到聯合國的支持，目前已有 20 個國家加入，代表超過 10 億人口，8 家大型企業，以及超過 50 個國際組織參予。Global ABC 已擬定促進建築業對於氣候變遷改善計畫之目標(UNEP 2016)，包含：(1)建立全球參與者整合溝通平臺，確保共同合作之機會；(2)增加綠建築於國際投資額，實行新的節能措施，並提高示範措施之知名度；(3)擴大建築參與者範疇，涵蓋建築物生命週期中的所有利益相關者；(4)整合所有參與者之改善意見與解決方案，並確保足夠的資金額度；(5)建立施工方與政府當局之溝通橋樑，發展一致性規範與低碳融資策略。

全球綠建築推廣工作也持續深入至不同發展層級的國家，依據美國綠建築協會(USGBC)於 2017 所發表的 World Green Building Trends 2016 SmartMarket Report，至 2018 年全球綠建築案件比例將從 2015 年的 18%上升至 37%，其中成長最快速的國家包含巴西(綠建築比例：6%上升至 36%)、中國(綠建築比例：5%上升至 28%)以及沙烏地阿拉伯(綠建築比例：8%上升至 32%)，其他例如墨西哥、哥倫比亞、南非以及印度等國也有卓越的成長，有此可見，綠建築不僅在已開發國家成熟發展，也在部分開發中國家取得成功的經驗。

目前國際間對於綠建材的概念，可大致歸納為以下幾種特性：再使用（Reuse）、再循環（Recycle）、廢棄物減量（Reduce）、低污染（Low emission materials）。基本上綠建材之優點包括：生態材料（減少化學合成材之生態負荷與能源消耗）；可回收性（減少材料生產耗能與資源消耗）；健康安全（使用自然材料與低揮發性有機物質建材，可減免化學合成材之危害）。目前依據國內綠建材標章制度推動以來，所核發之標章中，「健康綠建材」佔比接近 80%，遠高於其他三類包含生態、再生、高性能。其中再生綠建材更僅佔約 7%，此現象並未符合當初推動綠建材標章設立四個分類之規劃目標。再生綠建材推動的主要障礙為民

眾接受度，由於健康綠建材之名稱較能提高民眾的吸引力，再生綠建材卻常常造成民眾誤解認為回收再利用產品之品質與安全較差。為克服此困難，加強綠建材標章驗證與再生綠建材產品品質之公信力十分重要，以利提升民眾對於取得綠建材標章之產品，安全及性能品質上之信任感與接受度。

有鑒於此，強化國內循環永續綠建築創新環境科技能力，規劃短期高質材料建材化利用技術研發方向及未來辦理循環永續綠建築創新環境科技發展中長期策略計劃與推動架構顯得尤爲重要。

參、研究發現

本研究從聯合國永續發展目標（Sustainable Development Goals, SGDs）實踐循環永續綠建築以及其創新技術發展趨勢進行彙整：

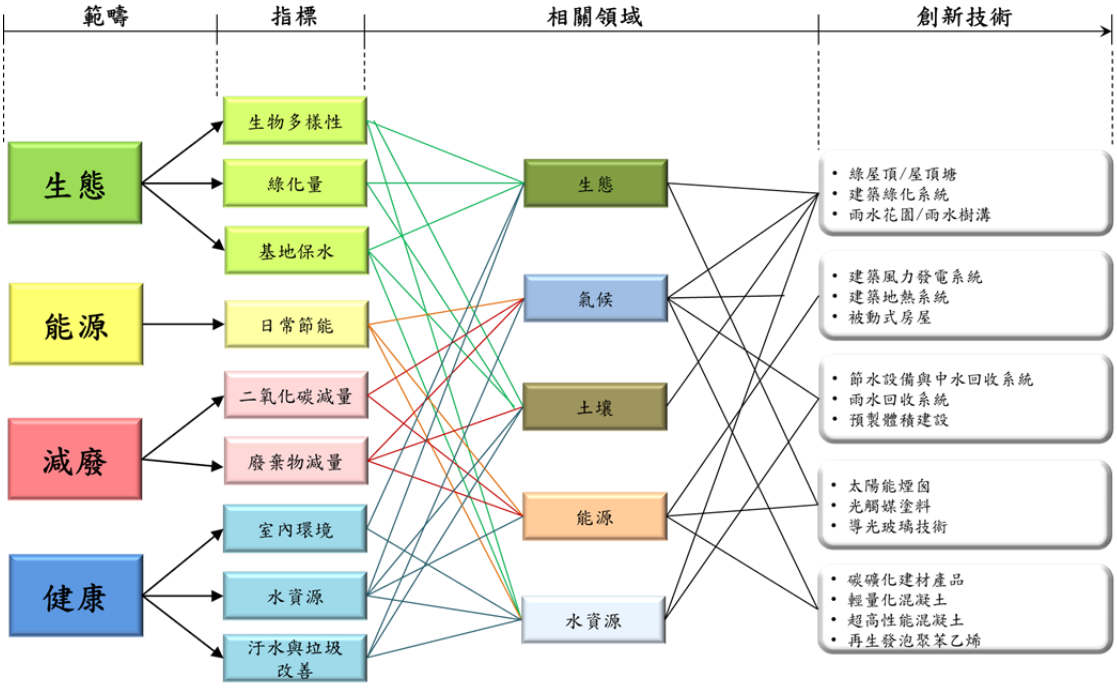
一、綠建築永續發展目標

本研究亦發現 SDGs 與國內綠建築 EEWH 體系以及九大指標皆有關聯性，圖一可說明部分永續發展目標與 EEWH 體系之關聯性，可分為結合自然生態(SDG 15)、提升能源效率(SDG 7)、促進循環減廢(SDG 13)、維護人體健康(SDG 3 與 SDG 6)以及綠建築永續發展(SDG 8、SDG 9、SDG 11、SDG 12 與 SDG 17)等方向。

圖一、建立 SDGs 與 EEWH 關聯性

二、綠建築創新技術發展趨勢探討

本研究彙整國內外綠建築創新技術發展，並依據國內綠建築 EEWH 評估體系分類，以結合自然生態、提升能源效率、促進循環減廢以及維護人體健康等四大類別進行說明，如圖二所示，其中自然生態部分以綠建築結合生態融合設計方法為主，能源效率部分是以建築外殼、空調節能與能源管理等技術措施為主，人體健康部分則主要說明室內通風、採光、噪音防制與人體舒適度等面向進行說明，最後循環減廢部分主要著重於是以綠建材以及廢棄物資源化等創新技術。



圖二、各類綠建築技術與 EEWH 九大指標關聯圖

(一)提升能源效率，邁向近零能耗建築

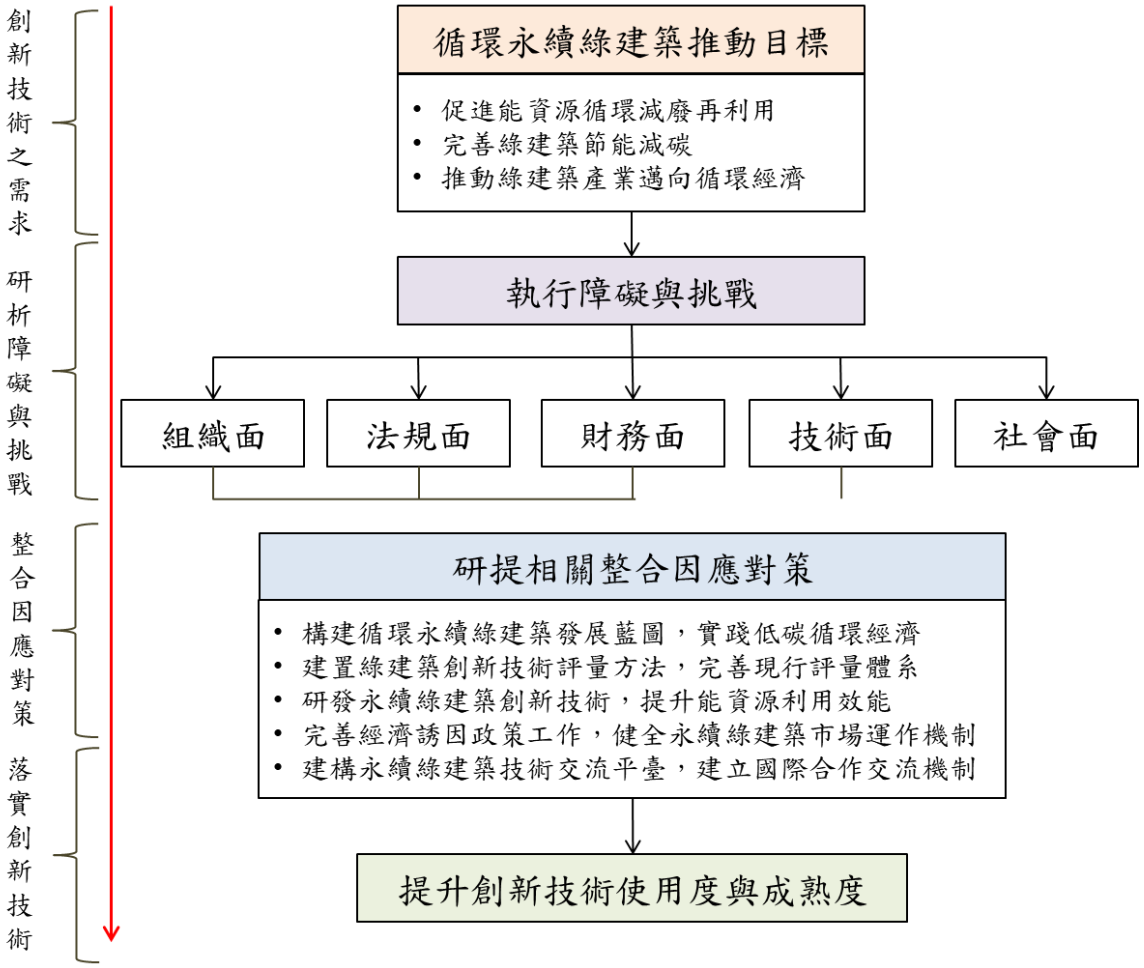
未來綠建築節能的主流趨勢為「提升能源效率，建立近零能耗使用之建築」。淨零能耗建築係指住宅或商業大廈經由減少能源需求，使能源需求達到平衡。生態系統的平衡，建立在能量平衡上，建築物的主要功能在於適當控制室內與室外能量流動，即利用建築物提供一個不同於外在自然環境的人為小環境，特別是較為舒適的、恆定的溫濕環境。為提升建築能效，必須靠降低能耗，而非能量供給（誘導式原則），也非替代能源，因此節能比開源更重要。無論從經濟性或環境保護角度衡量，建築節能都比開發新能源效益更高。此外，對於建築節能設計上也必須考量因地制宜，台灣屬亞熱帶／熱帶氣候，防熱製冷除濕為主，冬季濕冷，位於地震、颱風好發地帶，另外建築具有高樓與消防問題，且台灣能源皆仰賴進口，又具備尖峰電力高負荷與低電價等問題，對節能結構（主體、窗、外殼）設計要求，必須優先考量克服上述問題。

(二)結合控制軟體，發展智慧節能系統

物聯網（Internet of Things, IoT）的出現也影響著綠建築物發展，具備 IOT 之建築物可想像成嵌入式的電子網絡，軟件，傳感器與網絡連接，例如：建築能耗計算軟體比較／研發： PHPP、熱濕動態模擬計算軟體、監控傳感器、智慧樓宇控制軟體及產品、樓房控制軟體(BACnet, KNX, EnOcean)、無線與無源信號傳輸技術以及 BIM 應用，建立整合式大數據平臺。

三、循環永續綠建築創新技術發展推動策略

本研究為研擬循環永續綠建築創新技術發展推動策略，其研究流程如圖三所示，研析國際上推廣綠建築創新技術常見之障礙與挑戰，針對商業面、技術面與法令政策面之障礙與挑戰，並從中研析國內推廣綠建築創新技術於組織面、法規面、技術面、財務面及社會面等五大面向所遭遇之障礙與挑戰；最後研擬整合循環永續綠建築創新技術因應對策、推動策略與措施。



圖三、循環永續綠建築創新技術發展推動策略之流程

透過研析國外綠建築執行障礙與挑戰、推動策略與措施，從組織面、法規面、技術面、財務面及社會面等五大層面，研擬推動策略與措施（如圖四所說明），主要策略與措施為「構建循環永續綠建築發展藍圖，實踐低碳循環經濟」、「建置綠建築創新環境科技評量方法，完善現行綠建築評量體系」、「研發永續綠建築創新技術，提升能資源利用效能」、「完善經濟誘因政策工作，健全永續綠建築市場運作機制」以及「建構永續綠建築技術交流平臺，建立國際合作交流機制」，包含政策法規、經濟誘因、技術研發整合、評價體系、教育合作交流平臺等面向。

圖四、循環永續綠建築執行障礙與實施措施

四、綠建材創新技術分類

本研究參酌聯合國永續發展目標、EEWH 體系以及綠建材標章，加以整合分為「自然生態」、「節能減碳」、「健康安全」、「再生循環」以及「高性能」等五大類別，並彙整定義說明，此外，參考國內資源再生建材產業相關對策，透過 SWOT 分析，研擬循環永續綠建材技術優先研究方向，以供政府部門參考。

（一）自然生態綠建材

生態綠建材有助於降低建築材料開採和加工過程中的能源消耗、污

染物排放與碳足跡，因此大多數生態綠建材皆取自木材、竹類等。然而竹材根木材屬於天然材料，但在台灣主要考量是建築永久性與耐震度，通常這些天然材料都要進行特殊加工。因此，未來還應將生命週期概念納入生態綠建材的鑒定與評估，以促進綠建材廠商更新產品，降低環境衝擊與資源消耗。此外，綠建築之維護與元件更新亦會造成額外之環境衝擊。

（二）節能減碳綠建材

綠建材對於節能減碳也有助益,透過天然或再生循環之材料做成綠建材，可有效減少傳統水泥、混凝土材料用量，達到減少二氧化碳排放效果。例如使用再生粒料、混凝土或農林費資材作為建材原料，抑或開發具備碳捕獲效益是吸附材作為建築外殼結構等等。

（三）健康安全綠建材

為了因應台灣亞熱帶氣候環境考量,建議可強化隔熱建材的技術發展資料。並由本土發展技術開始發想，既可達到再利用資源化，又可以創造新穎建材。例如室內裝潢材料可考量多孔與輕量化材料，以利調整室內濕度與溫度。此外可考量推廣研發高反射塗料，但目前問題是耐久性不夠,建議要兼具高耐久與環保效益。例如對於玻璃幕牆之清潔維護，會消耗水資源。因此建議研究自潔性建材，可減少清潔劑使用，並將降低環境賀爾蒙效益納入建材評估體系。

（四）再生循環綠建材

對於再生建材技術發展研究課題，可由材料選擇、技術選擇、產品功能性等三個面向進行策略性思考；材料選擇要說明可再利用與適用的廢棄物料源，接著是產品功能性要明確，例如隔熱、防火、節能或輕質化等等，最後再說明技術如何選擇。舉例來說：發泡玻璃隔音磚，使用的料源是廢棄玻璃，功能是隔音隔熱與輕質化，其技術則是發泡技術。輕質骨材也是可以發展的通路，因為建材減重可有效提高耐震度，但是

包含運輸、性能、汙染去化等都是可以研究發展的課題。另外金屬材料之生產涉及礦石開採、冶煉、鍛造等，是屬於環境衝擊較高的建材。

（五）高性能綠建材

建材對於建築結構很重要,天然材料如木材或木材無法取代鋼筋混凝土，鋼構材料，主因是竹材木材耐久性低、維護頻率高；在台灣，為了因應未來都市更新與都市高樓化，建議可發展高性能材料，將混凝土材料與鋼筋材料效能提高，使結構型態更穩定，包含超高性能混凝土(Ultra High Performance Concrete, UHPC)與新型混凝土 New Concrete 等。（UHPC 指強度達 1000kgf/cm2 以上之纖維水泥質複合材料）

（六）循環永續綠建材技術優先研究方向

本計畫依照國內外創新綠建材技術以及發展現況,並配合台灣發展創新綠建材技術所遭遇的障礙與挑戰，針對循環永續綠建材研擬優先研究方向(Priority Research Direction, PRD),包含各項研發技術之(1)科學挑戰、(2)重點研發方向、(3)潛在性影響以及(4)潛在效益。最後彙整循環永續綠建材創新技術優先研發方向，包含「自然生態」：天然隔熱與纖維材料；「節能減碳」：鹼性廢棄物碳礦化建材；「健康安全」：光觸媒塗料、新型聚氨酯樹脂黏結劑、海洋生物黏附材料；「再生循環」：鋼纖維與廢橡膠再生粒料、再生發泡聚苯乙烯技術、木質素發泡與分散技術；「高性能」：透明木材、超高強度高性能混凝土、輕質骨材混凝土。

肆、結論

本研究以聯合國永續發展目標作為循環永續綠建築發展依據，彙整各國循環永續之綠建築創新技術，包含生態、節能、減廢與健康之範疇，符合我國 EEWH 評估體系分類，最後特別強調綠建材之循環減廢效益，研析各國綠建材創新技術並參酌我國綠建材標章與永續發展目標之精神（生態自然、節能減碳、健康安全、再生循環、高性能）進行分類，另一方面並邀集國內建築、環工、土木與材料等專家學者徵詢相關意見，彙整綠建材技術發展路線圖。

本研究透過研析國際上推廣綠建築創新技術常見之障礙與挑戰，針對商業面、技術面與法令政策面之障礙與挑戰，並從中研析國內推廣綠建築創新技術於組織面、法規面、技術面、財務面及社會面等五大面向所遭遇之障礙與挑戰；最後研擬整合循環永續綠建築創新技術因應對策、推動策略與措施；參考國內資源再生建材產業相關對策，透過 SWOT 分析，研擬循環永續綠建材技術優先研究方向。本研究再提出以下二點建議：

一、建議從組織面、法規面、技術面、財務面及社會面等五大層面深入研擬推動策略與措施

1. 循環永續綠建築推動策略與措施為「構建循環永續綠建築發展藍圖，實踐低碳循環經濟」、「完善經濟誘因政策工具，落實循環永續綠建築市場運作機制」、「研發循環永續綠建築創新技術，提升建築能資源利用效能」、「落實循環永續綠建築環境教育，強化綠建築創新技術人才培育」以及「建構永續綠建築技術交流平臺，建立國際合作交流機制」

2. 針對永續綠建築創新環境技術，建議可以 4E 包含環境(Environment)、經濟(Economy)、工程(Engineer)及能源(Energy)等四個面向結合現行政策及評估體系進行分析，建立創新技術評估方法。

二、建議將本研究所提綠建材優先研發方向與策略分析作為建研所科技計畫之「低碳綠建築與節能減碳科技」之相關工作項目之參考資料

1. 研訂規劃循環永續綠建材技術優先研究方向，包含「自然生態」：天然隔熱與纖維材料；「節能減碳」：鹼性廢棄物碳礦化建材；「健康安全」：光觸媒塗料、新型聚氨酯樹脂黏結劑、海洋生物黏附材料；「再生循環」：鋼纖維與廢橡膠再生粒料、再生發泡聚苯乙烯技術、木質素發泡與分散技術；「高性能」：透明木材、超高強度高性能混凝土、輕質骨材混凝土。

2. 循環永續綠建材策略分析：落實再生綠建材資源回收體系以推動循環經濟：包含國內廢棄物來源、資源回收管道、產品功能設計、產品銷售規劃、經濟效益分析以及產品使用者調查等研究方向。

伍、參考文獻

1. 台灣永續發展指標現況報告，2006，行政院國家永續發展委員會
2. 永續發展指標評量結果，2011，行政院國家永續發展委員會
3. 永續發展指標評量報告書，2010 行政院國家永續發展委員會
4. 永續綠建築與節能減碳科技中程個案計畫，2011，行政院國家科學委員會
5. 100 年度研究機構科技發展績效評估報告，2011，內政部建築研究
6. 中國綠色建築，2017，中國城市科學研究會
7. 劉撫英，2011，綠色建築設計策略
8. Ahn Y H, Jung C W, Suh M, et al. Integrated Construction Process for Green Building[J]. Procedia Engineering, 2016, 145: 670-676.
9. Bhandari B, Poudel S R, Lee K T, et al. Mathematical modeling of hybrid renewable energy system: A review on small hydro-solar-wind power generation[J]. International Journal Of Precision Engineering And Manufacturing-Green Technology, 2014, 1(2): 157-173.
10. Block A H, Livesley S J, Williams N S G. Responding to the urban heat island: A review of the potential of green infrastructure[J]. Victorian Centre for Climate Change Adaptation Research Melbourne, 2012.
11. Feist W, Schnieders J, Dorer V, et al. Re-inventing air heating: Convenient and comfortable within the frame of the Passive House concept[J]. Energy and Buildings, 2005, 37(11): 1186-1203.
12. Foster J, Lowe A, Winkelman S. The value of green infrastructure for urban climate adaptation[J]. Center for Clean Air Policy, 2011, 750.