



內政部建築研究所

「創新循環綠建築環境科技計畫(二)協同研究計畫」

110年度研究成果發表講習會

建築物同層排水系統設計及技術應用之研究

計畫編號 11015B0012

執行期程:決標日起至110/12/31

國立高雄科技大學

計畫主持人：羅時麒

協同主持人：廖婉茹

研究助理：張文耀、謝錦煌、張素真

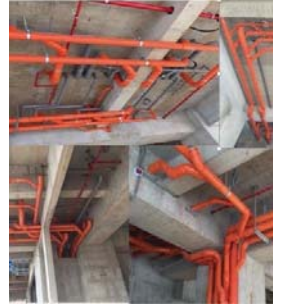
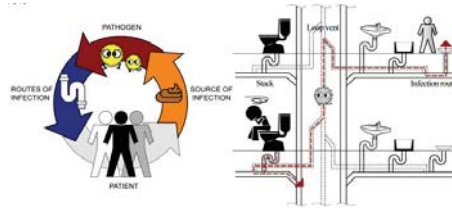
1

- 一、建築同層排水系統重要性
- 二、建築同層排水系統工法
- 三、同層排水運用於集合住宅案例成本探討
- 四、建築同層排水設計指引手冊（草案）
- 五、結論



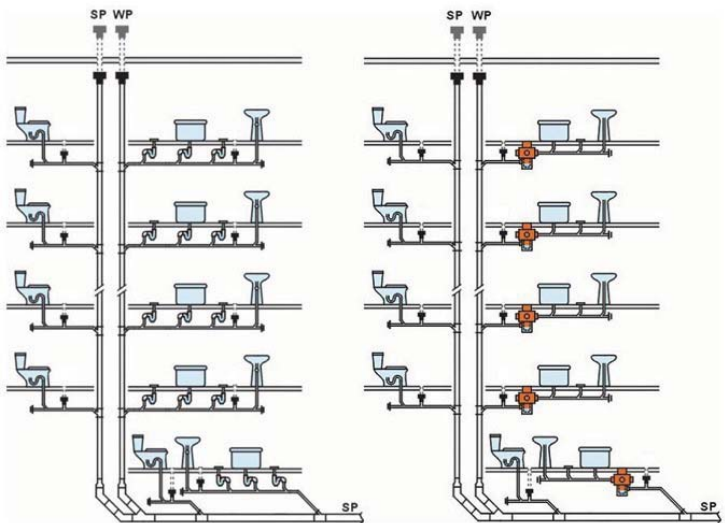
2

- ✓ 隨著社會時代的演進與設備技術之發展，建築物新設備新工法推陳出新不斷進步。建築給排水設備設計技術規範，必須定期檢討評估修訂，才能因應時代之技術進步與民眾之居住生活需求，確保健康室內環境之品質。
- ✓ 於2003年期間引起國際恐慌的SARS傳染事件，經研究顯示建築排水系統就是傳染途徑之一，不良的排水系統配置加上失效的存水彎阻絕機制，造成病媒藉由空氣傳播至建築物內，更凸顯出建築排水系統合理正確規劃設計之重要性，從事件過後人們對於建築排水系統的效能和衛生安全性的關注。
- ✓ 國內目前建築排水系統設備管路的規劃設計，傳統施工方法基於經濟與方便之考量，多採取排水管路貫穿至下一樓層之作法。此種工法對於公寓大廈排水管路的生命週期維修管理造成極大困難，必須取得他人住戶之同意配合才能維修，常造成上下樓層住戶間困擾與糾紛。



依據內政部彙整各直轄市及縣(市)政府資料，109年第4季房地產消費糾紛案件計有501件，房地產消費糾紛原因前5名為：

資料來源：內政部不動產交易平台

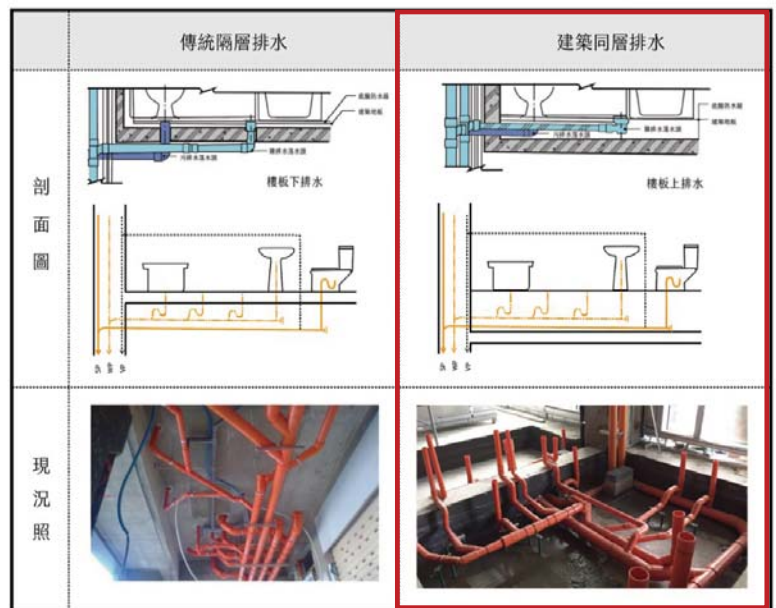


使用新型式集合式存水彎之前後浴廁管線配置圖

因應環境變遷與時代趨勢

- ✓ 隨著社會時代的演進與設備技術之發展，建築物新設備新工法推陳出新不斷進步。
- ✓ 有關於集合住宅浴廁空間之排水配管，國內積極發展使用新型式集合式存水彎，提升給排水管線整齊化及裝置上系統化，並減少相關管材消耗及施工上之繁雜，同時部分解決在當層住戶排水系統清潔、維護等課題。

- ✓ 為了解決當樓層專用區分所有權範圍內得以進行衛生管路之生命週期維護管理，部分國家已採建築同層排水設計。
- ✓ 日本於 2009 年開始針對既有建築提出「長期優良住宅指針」，藉此提升既有住宅之效能與品質，並且明定住宅中共有部分及專有部分。任何私有之構造、設備、配管，不得進入他戶之私人所有權範圍內，以維護建築生命週期的更新維護，並避免住戶間之衝突與糾紛。
- ✓ 中國大陸2016年12月1日已規定強制執行建築同層排水規程 (CJJ 232-2016)。
- ✓ 其實國內部分建築業者早已採用部份降版設計，將排水管路配置於樓版之上，且其降版或牆前配管相關工法概念在開放建築工法課題中亦曾被探討，惟缺乏持續有系統之問題解決與課題分析整理，包括建築排水性能確認以及工法技術可行性之探討。



- ✓ 因此，營建署前於109年度請內政部建築研究所協助辦理「集合住宅同層排水法制化與技術規範修訂之研究」，提出建築技術規則及設計技術規範(草案)，期能協助解決排水系統更新維護及上下樓層住戶間的糾紛問題，同時提升建築環境品質，落實建築物全生命週期，永續營運與更新維護理念。
- ✓ 為配合同層排水法制化，本研究將彙整同層排水工法施作方式、工期、維護管理、造價成本，以及應用等，提供一完整明確的資料，繪製建築物同層排水系統設計圖說，並編撰成建築物同層排水系統設計指引(草案)，作為設計及施工單位參考依據，或供業界或民眾參考使用，以協助法令之施行。



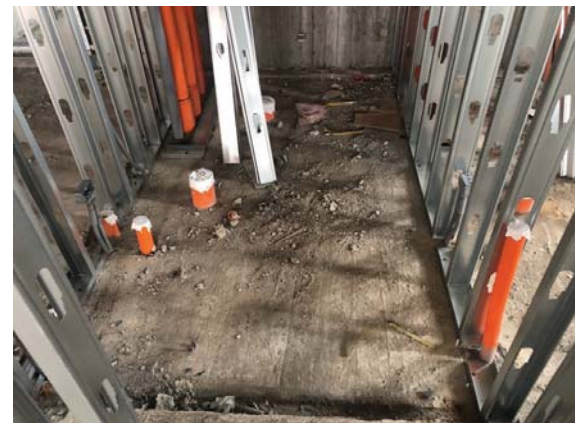
PART 2

建築同層排水工法

	示意圖	工法	現況照片	優點	缺點
降板		降板構造配管採用衛浴空間本身局部下沉，結構樓板下沉約25-60公分作為管路敷設空間，其中降板構造配管施工方式有兩種形式：有回填及無回填式。		<ul style="list-style-type: none"> • 管道設備佈置在下降空間內，衛生器具佈置較靈活，便於施工和維修。 	<ul style="list-style-type: none"> • 箍筋需要加強施作，增加成本費用。 • 地面負荷增加和下降空間中積聚的水應事先排出。
架高		架高構造配管施作方式有分為兩種，其一施作方式將原管線拉明管後以混凝土回填，高度約增加15公分以上，其二中空水泥板架高20公分以上。		<ul style="list-style-type: none"> • 靈活的構造和更少的空間限制。 • 部分既有室內裝修採用。 	<ul style="list-style-type: none"> • 設備分配應一起提高，並降低天花板高度。 • 多了樓地板高低差，影響實用性。
牆前		於牆前構造一個空間，牆厚度設置大於15公分以上，利用輕型鋼、矽酸鈣板等材料將管線封閉於其中，在假牆內進行敷設、安裝管線，需選用壁掛式洗臉盆、馬桶。		<ul style="list-style-type: none"> • 無須抬高或者降板而影響室內高度問題，適合小型浴室或是空間需大量化空間。 • 以一體規格化工法設備設計配置，可以提升及呈現室內空間之衛生、美觀品質。 	<ul style="list-style-type: none"> • 維修管道空間必須擴增，影響到室內使用空間。

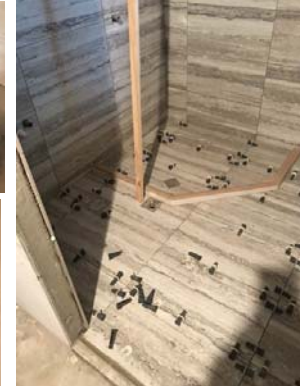
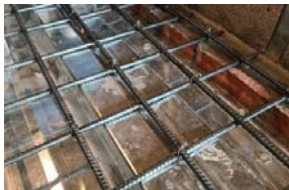
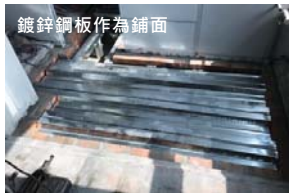
PART 2

案例一：回填式降板構造配管



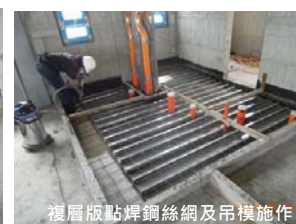
PART 2

案例二：無回填式降板構造配管



PART 2

案例三：無回填式降板構造配管



PART 2

案例四：無回填式架高構造配管



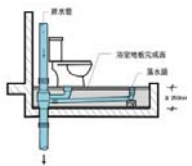
北部集合住宅案-高架地板配合現場改管實例



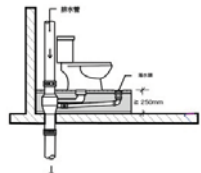
PART 3

同層排水運用於集合住宅案例成本探討

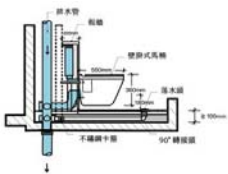
四種衛浴系統之構造初始成本



1. 結構樓板下沉60cm
2. 回填式-回填輕質混凝土
3. 不回填式-墩座 + 鍍鋅鋼板 (含防水)



1. 地板架高20cm
2. 回填式-回填輕質混凝土
3. 不回填式-墩座 + 勁扣鋼承板 (含防水)



- 原有牆面前增設間距15cm之鍍鋅鋼架及烤漆面板

施作項目及工序	傳統穿板構造配管	降板構造配管		架高構造配管		牆前構造配管
		回填	無回填	回填	無回填	
1.外牆結構體 (含鋼筋、模板、混凝土、防水、泥作打底、二丁掛) (L型)	45,825	45,825	45,825	45,825	45,825	45,825
2.濕式牆體輕隔間施作 (含批土油漆) (L型)	26,418	26,418	26,418	26,418	26,418	26,418
3.泥作工程	4,576	4,576	4,576	4,576	4,576	4,576
4.防水工程	9,368	1,1596	1,1596	9,368	9,368	9,368
5.壁磚工程	24,562	24,562	24,562	24,562	24,562	24,562
6.地磚工程	7,175	7,175	7,175	7,175	7,175	7,175
7.天花板PVC工程	4,860	4,860	4,860	4,860	4,860	4,860
8.管路系統配管工程	11,500	14,950	14,950	11,500	11,500	12,075
9.總存水彎	-	6,000	6,000	-	-	-
10.降板 (架高) 回填輕質混凝土、基座	-	6,885	-	5,145	-	-
11.墩座、鍍鋅鋼板 (含防水)	-	-	14,745	-	-	-
12.勁扣鋼承板 (含防水)	-	-	-	-	14,525	-
13.鍍鋅鋼架配管牆體	-	-	-	-	-	28,000
總計	134,283 (±0%)	152,847 (+13.8%)	160,707 (+19.7%)	139,429 (+3.8%)	148,809 (+10.8%)	162,859 (+21.3%)

備註：上述施工程序方法、成本皆為實際建築案例調查及營建公司、建設公司、建築室內設計公司於110年提供資料，僅提供參考。

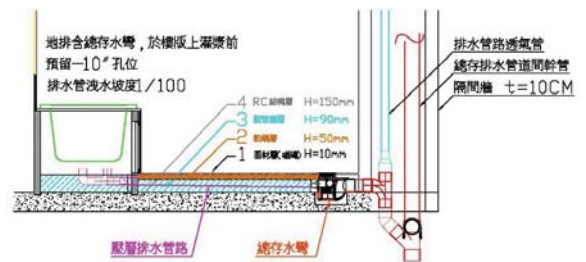
PART 3

同層排水運用於集合住宅案例成本探討

建築案例：桃園集合住宅案例



縣市地區	桃園市桃園區	地址	桃園市桃園區文忠一路278號
建案名稱	印象天裔	基地位置	桃園市桃園區文忠一路慈文路口
建設公司	傑丞建築-永盛開發建設有限公司	代銷公司	自建自售
基地面積	537.72坪	房屋類型	電梯大樓
房間規劃	最小2+1房·18戶 最大3+1房·36戶	坪數	建坪：42~68坪
公設比	32.9%	是否店面	無店面
樓層	地上19層、地下3層	總戶數	54戶
座向	座東北朝西南	車庫	坡道平面85個



PART 3

同層排水運用於集合住宅案例成本探討

建築案例：桃園集合住宅案例



項目	資源項目	施工費用	單坪成本	累計成本	成本百分比	備註	
同層排水浴廁水泥砂漿墊層 H=12cm	地坪墊層工資	146,168	37	37	0.03%	傳統配管埋於RC版內	
	地坪墊層水泥砂	168,432	43	80	0.07%		
牆排馬桶背層(乾式面封6mm普納纖維板)	纖維板工資	90,000	23	103	0.09%		
	纖維板材料	169,200	43	145	0.13%		
墊層新增防水	防水公料	301,070	76	222	0.20%		傳統工法只做一層水
	抗裂纖維網	82,110	21	242	0.21%		
馬桶背牆石材蓋板	石材蓋板工資	53,628	14	256	0.23%		
	石材蓋板材料	164,372	42	298	0.26%		
總存位置預留10"套管	套管間隙鋼筋補強	8,000	2	300	0.26%	傳統現場放樣開孔	
	10" PVC套管	6,000	2	301	0.27%		
預留馬桶旁三角凡而水源	配管工資	360,000	90	391	0.34%	增加成本可估算為393元/坪	
	三角凡而水及另件	6,000	2	393	0.35%		
隱藏式側排水箱固定	固定水箱工資	184,000	46	439	0.39%	採牆排外露水箱馬桶可不計此成本	
	TOTO水箱費用	1,240,000	310	749	0.66%		

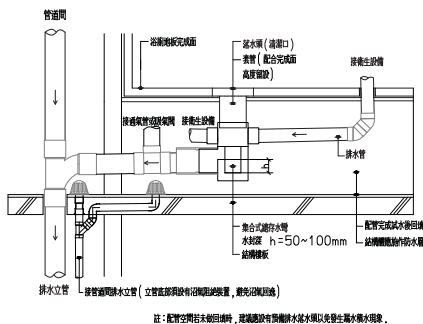
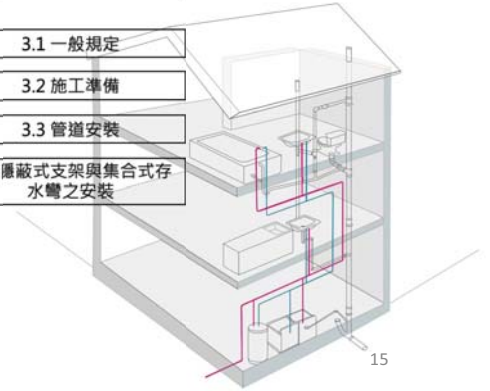
資料來源：傑丞建築。



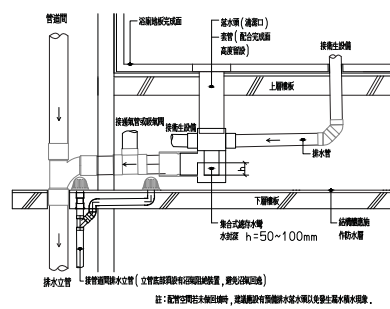
設計指引 (草案) 封面初稿

壹、基本篇	1.1 概論
	1.2 手冊使用說明
	1.3 建築排水系統基本概念
	1.4 同層排水解釋
	1.5 國外同層排水相關規定
貳、規劃設計篇	2.1 一般規定
	2.2 衛生間敷設
	2.3 管道間敷設
參、施工篇	3.1 一般規定
	3.2 施工準備
	3.3 管道安裝
	3.4 隱蔽式支架與集合式存水彎之安裝
肆、維護篇	
附錄一、同層排水系統配管圖說範例	
附錄二、設備容量計算方法	

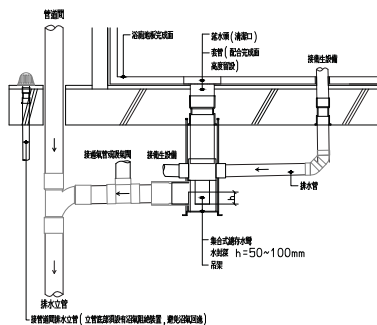
為配合同層排水法制化，本研究將彙編撰成建築物同層排水系統設計指引(草案)，作為設計及施工單位參考依據，或供業界或民眾參考使用，以協助法令之施行，將有助於解決國內排水管路生命週期維護更新問題。



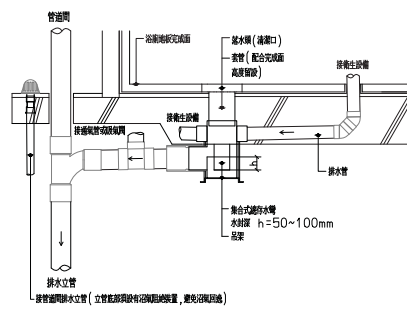
同層埋入式 (埋入式) 剖面示意圖



同層埋入式 (雙層樓板) 剖面示意圖



隱蔽式剖面示意圖



隱蔽埋入式剖面示意圖

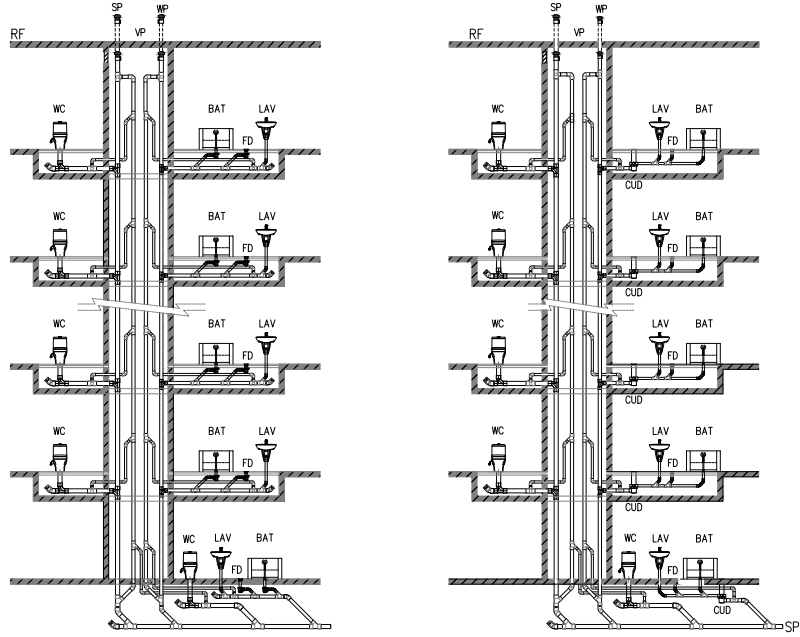
集合式總存水彎之設置方式

PART 4

建築同層排水設計指引手冊 (草案)

建築物之廁所盥洗室、浴室空間之洗手台、浴缸及地板落水頭，與廚房空間之洗槽、地板落水等衛器具設備，得採用集台式總存水彎連結雜排水之管路設備。

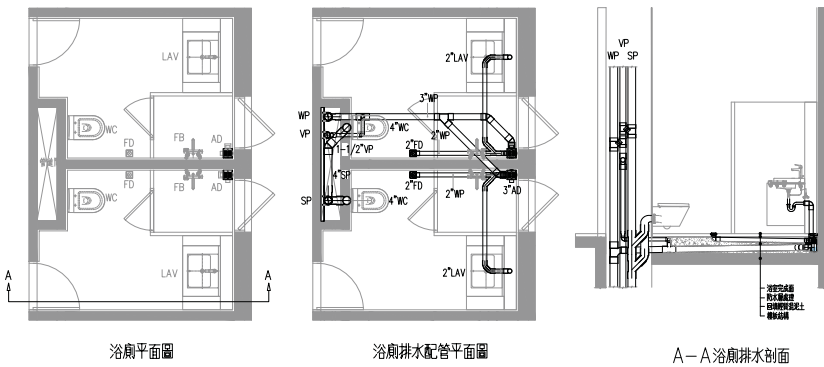
說明：
集台式總存水彎又稱多通道存水彎或多通道排水器，浴廁單元採用集台式總存水彎連結雜排水的排水管路，是利用集中補水的方式降低個別器具存水彎水封破裂或蒸發乾涸的缺失，同時雜排水設備器具匯接於集台式總存水彎集中排水，可穩定存水彎水封，同時便於進行簡易維修管理。



註：
1.當WP橫支管採個別存水彎時，若器具本身已有存水彎(如:洗臉盆)，其排水管不得再設置存水彎，避免雙重存水彎造成排水不順暢與無法維護管理。
2.排水立管設有曲折管之配置，參照建築給排水設備設計技術規範「圖4-2立管、折曲管與排水橫主管之關係」。

PART 4

建築同層排水設計指引手冊 (草案)



編號	名稱	圖示	編號	名稱	圖示
1	WC	各式馬桶	6	SP	污水機支管
2	LAV	檯面上洗面盆	7	VP	通氣機支管
3	FD	地板落水頭	8	WP	廢水立管
4	AD	多通道總存水彎	9	SP	污水立管
5	WP	廢水機支管	10	VP	通氣立管


附註：
1.牆前配管箱深度考量配管及洩水坡度應有之尺寸空間
2.地坪排水配管可考量洩水坡度作足夠之降板並說

同層排水系統牆前vs降板工法(馬桶壁掛)配管範例

Type9

序號	圖集名稱	特點
Type-1	同層排水系統降板工法配管	
Type-2	同層排水系統降板工法配管	上下樓層浴廁空間不在同位置，共用管道間設計
Type-3	同層排水系統降板工法配管	上下樓層浴廁空間、管道不在同位置
Type-4	同層排水系統降板工法配管	浴廁、廚房空間排水系統降板配管
Type-5	同層排水系統架高工法配管	
Type-6	同層排水系統架高工法配管	
Type-7	同層排水系統架高工法配管	適用於既有空間重新裝修配管
Type-8	同層排水系統牆前工法配管	
Type-9	同層排水系統牆前Vs降板工法(馬桶壁掛)配管	
Type-10	同層排水系統牆前工法配管	

1. 完成蒐集歐美、日本、大陸、我國等國家對於建築同層排水相關政策目標及推動作法。
2. 透過文獻回顧及實際案例現況調查，完成既有建築管線及衛生器具漏水原因原則歸納，並了解其修繕方式及費用。
3. 本研究透過六個實際建築案例現況調查，掌握目前建築同層排水採降板構造、架高構造及牆前構造等三種配管工法，以釐清新設備、新工法之發展。
4. 以單一浴廁空間為單位，傳統衛浴於初期建置成本雖具有優勢，但於維修、施工時間、施工精準度表現較差，而降板構造配管、架高構造配管及牆前構造配管等同層排水工法雖然初期建置成本高於傳統工法3.8%至21.3%，但其後續使用、維護管理、施工時間皆具較佳表現。
5. 經由三個實際集合住宅案例成本套算分析，若以建築整體造價來看，導入降板構造配管、架高構造配管、牆前構造配管及整體衛浴之同層排水工法成本增加佔總工程比例約2.0%以內。
6. 本研究透過三次專家拜訪及三場專家座談會議舉辦，邀請國內相關領域之產官學專家學者，請益有關於建築同層排水系統之配管工法、維護方式及應用，以作為歸納建築同層排水之可行技術與設計策略之參考建議。
7. 透過上述之研究成果，本研究團隊將其彙整完成建築同層排水系統設計指引（草案），手冊架構分為基本篇、規劃設計篇、施工篇、維護篇等四個主題，並彙編同層排水系統配管圖說範例，以未來提供作為設計及施工單位參考依據，或供業界或民眾參考使用，並協助法令之施行，將有助於解決國內排水管路生命週期維護更新問題。



建築物同層排水系統設計及技術應用之研究

感謝聆聽 敬請指教

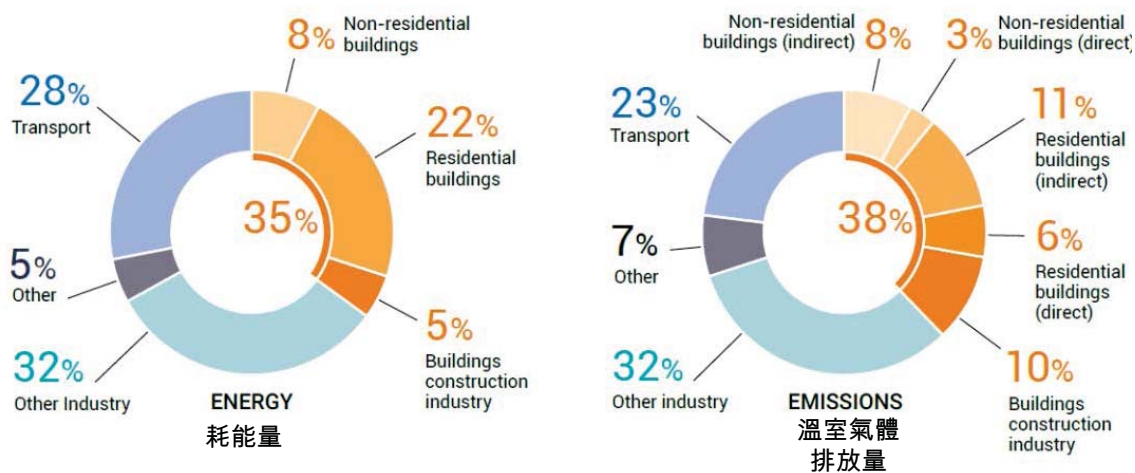
住商部門溫室氣體減量策略成本效益之研究

黃國倉 國立臺灣大學生物環境系統工程學系/教授



建築部門占全球能源消費及碳排放比例

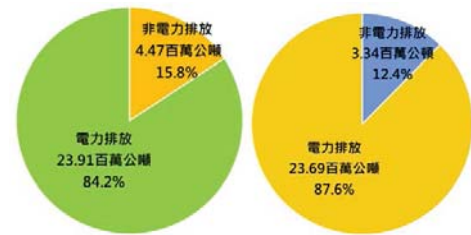
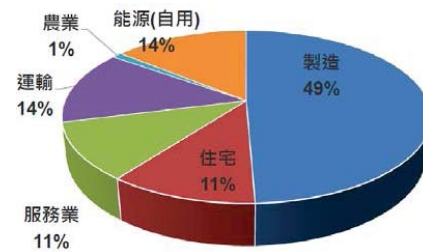
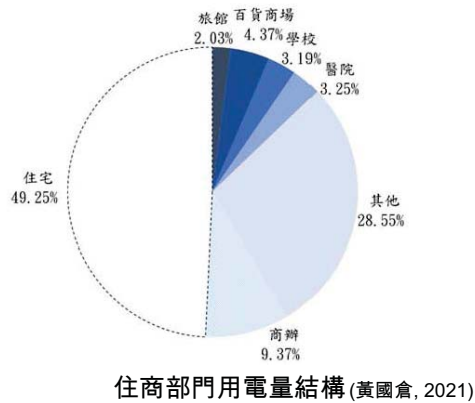
Global share of buildings and construction final energy and emissions, 2019



(資料來源：UNEP, 2020)

我國建築部門的溫室氣體排放

1. 我國「溫室氣體減量及管理法」自 2015 年正式上路，明訂我國溫室氣體減量的目標為 2050 年碳排放減量至 2005 基準年的 50%。
2. 依國家減碳量之目標規劃，109 年需較基準年減少 2%，114 年較基準年減少 10%，而於 119 年需較基準年減少 20%。



3

研究目的與研究成果

● 研究內容

1. 完成國內外住商部門減碳策略及減碳潛力之文獻蒐集。
2. 完成建築溫室氣體排放量及能源需求量之滾動推估。
3. 提出我國住商部門可行之減碳策略並量化其成本及減碳效益。
4. 完成我國淨零能源建築路徑評估報告。

● 研究成果

1. 更新能源局、環保署、台電相關去年或前年之各項能源統計資料。彙整國內外住商部門之減碳策略及推動之權責機關。
2. 更新2019年始以及未來至2050年之各項建築耗能組成比例，作為推估商業建築各耗能來源之推算基礎。
3. 提出電動汽車對住商部門溫室氣體排放量之影響。
4. 新增住商部門之減碳策略，針對既有建築提出以(1)空調設備效率提升、(2)照明燈具節能汰換與(3)冷凍設備與冰箱能效升級等用電較大的項目。
5. 針對減碳策略進行政策擴散率之推演計算其預期之節能減碳成效與估計其成本。

4

國內外有關本案之研究情況

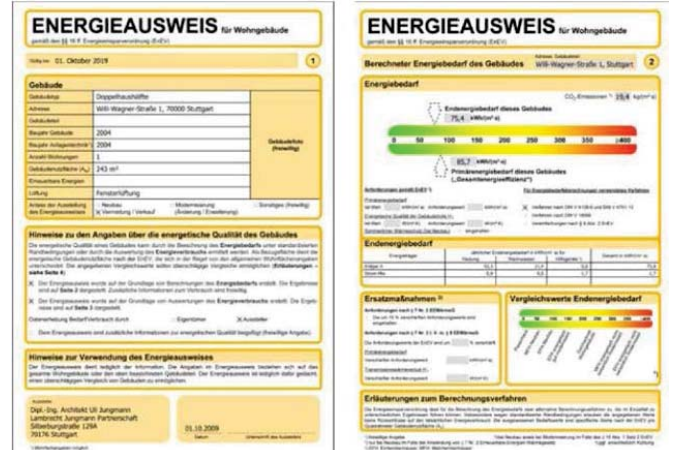
德國住商部門之溫室氣體減量措施

德國聯邦政府針對建築之節能與能源效率提升之具體政策作為主要可以分為兩部分：

- 1) 針對新建建築之能源使用密度、建築外殼性能之規定。
 - 節約能源法：1976年德國實施，並於2018年政府機關之新建非住宅之建築提前履行近零耗能建築之義務。
 - 節能條例 (EnEV)：針對新建建築物的能源消耗採取更嚴格之標準。右表以1990年為比較基準，政府設定能源消耗個階段目標。
 - 能源服務暨其他能源效率法 EDL-G：為德國導入具有成本效益之能源服務，並由政府帶頭示範，目標在2050年實現近碳中和建築。另依節能條例，新核發之能源證書需載明能源效率等級，須清楚標示隔熱、空調使用、CO₂排放等能源消耗狀況，無論業者將建築物出租或者出售，皆需要出示完整的建築能源證書(右圖)。
- 2) 針對既有建築物改造之低利貸款以及根據節能成效的補助。
 - 德國聯邦政府與德國復興信貸銀行 (簡稱KfW) 合作，提供「節能改善翻新計畫」。由KfW提供既有建築翻新之低利貸款與投資補助。

項目	2011	2020	2030	2040	2050
減少溫室氣體排放	-27%	-40%	-55%	-70%	-80%
再生能源占能源總耗量	10%	18%	30%	45%	60%
再生能源占電力使用量	16%	35%	50%	65%	80%

資料來源：(Federal Ministry for Economic Affairs and Energy)



德國能源證書分為九個等級
資料來源：(Deutsche Energie-Agentur)

國內外有關本案之研究情況

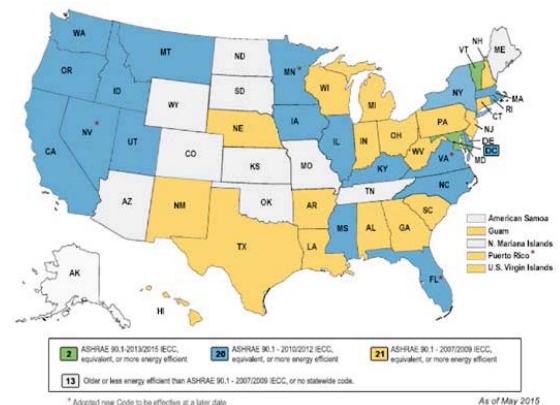
美國住商部門之溫室氣體減量措施

- 美國建築部門佔總溫室氣體排放量的40%。2009年通過美國《清潔能源與安全法規》，要求提高新建以及既有建築物之能源效率，包括頒布執行新建、家用電器以及工業之節能標準。能源效率章節中提到：
 - 1) 規定新建的商用以及民用建築能效要提高30%
 - 2) 提供1976年以前建造之既有建築物的能效改造補貼
 - 3) 實施建築能效標示計畫
- 2015年歐巴馬簽署《未來十年聯邦可持續發展計畫》，訂定聯邦政府之清潔能源與減排目標，下方表格為目標與具體措施。

資料來源：(the White House)

項次	項目	具體措施
1	推進並提高建築節能，效率和管理	2015年至2025年期間每年降低聯邦大樓2.5%的能源使用
2	確保在特定百分比，建築所消耗的電力和熱能來源來自可再生電能源和替代能源的最低限度	聯邦大樓2025年總能量消耗的25%需來自清潔能源
3	提高機構水資源利用效率和管理	至2025年聯邦大樓每年降低2%的用水強度
4	提高機構車隊和車輛的使用效率和管理，如果該機構有20輛以上汽車組成的車隊	2025年需減少聯邦車隊每英里溫室氣體排放量30% (以2014年為基準)

- 另外美國《建築能源規範》由美國能源局規定並且執行。目前現有之商業建築大多根據美國冷凍空調協會的ASHRAE 90.1標準或者根據國際能源法規委員會(IECC)的標準建造並於2015年提出IECC 2015，對於建築能源效率有更嚴格規定，美國各州採用的標準不盡相同。

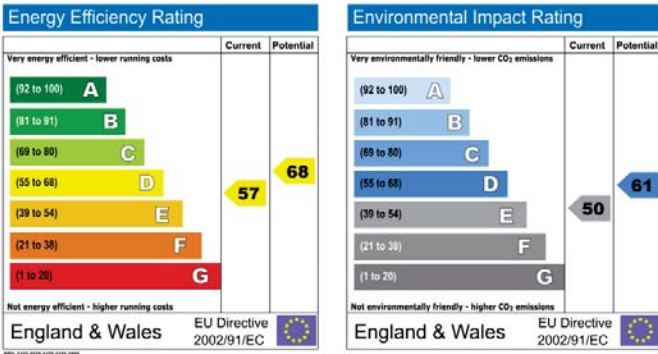


美國各州商業建築能源規範採用版本分布圖
資料來源：(Department of Energy 2015)

國內外有關本案之研究情況

英國住商部門之溫室氣體減量措施

- 英國建築在建造、出售或出租房屋時，需要能源績效證書(Energy Performance Certificate, EPC)會顯示建築物的供熱系統和照明成本、其二氧化碳排放量以及可提高其能源效率的建議。



EPC指標示意圖

- CCC針對目前建築減碳政策分為6大項明確指出住宅、商業以及公共建築的差別，如下表明確針對各式建築之規範。

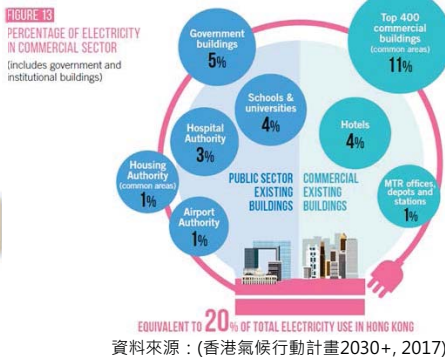
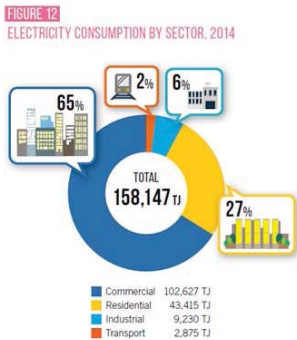
項目	內容
住家效率	2017年政府提出淨能成長策略中提到2030年全國住宅的EPC第C等級。
租用商業和公共建築	要求英格蘭和威爾斯的所有私人出租物業在2023年4月之前至少達到EPC第E等級。期望2030年需要達到EPC第B等級，但目前BEIS預計只有64%的私人出租商業建築可達成B等級，20%則達成C等級，其餘16%則無法達到C等級。
新建建築	根據未來住宅的標準，新建築將不會建造使用化石燃料供熱系統。
商業建築效率	企業與工業的能源效率設定在2030年相較2017年需提升20%
政府機關	2032年公共部門排放量相較2017年大幅減少50%為目標。
移除高碳化石燃料	在2020年開始逐漸停止安裝新式與淘汰舊有的煤炭或石油設備。

7

國內外有關本案之研究情況

香港近期住商部門之溫室氣體減量目標(~2030+)

- 香港行業劃分用電量可知目前商業建築消耗佔65%，住宅建築消耗佔27%的電力。既有的公共和商業建築群的用電量份額占香港總用電量約20%。



- 政府2015年制定公共建築物需要在2020年前達成總用電量減少5%的目標。
- 從2017年開始提供經費給各部門實行節電改善工程或採購節能設備。

- 針對建築之內部設備能耗

- 機電部門致力發展淡水冷卻塔(FWCT)與區域冷房系統(DCS)
- 空調耗電量約整體耗電量30%，目前商業建築大多使用傳統氣冷式空調，若安裝水冷式空調系統更節能，預計能節省多達20%的電力。
- 區域冷房系統為中央統一空調，比傳統氣冷式空調效率更高出35%。

- 改變民眾使用習慣

- 提供能源效率標籤(MEELS)，使民眾購買時能選擇更節能的產品。
- 政府負責提高產品的能效標準並增加更多產品類別之能效標示。
- 利用教育與宣導，提高民眾節能生活意識

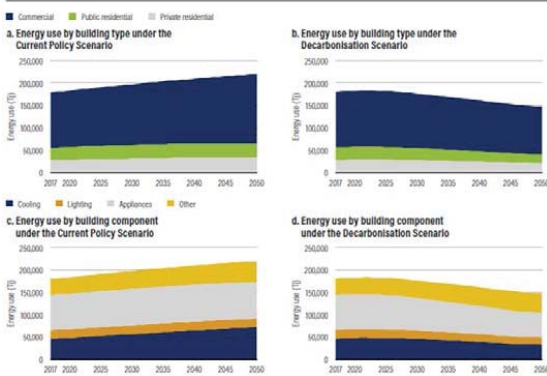
8

國內外有關本案之研究情況

香港遠期住商部門之溫室氣體減量目標(~2050)

- 以在2017年建築業部門總能耗179,350 Tj為基礎：
 1. 當前政策情境下
 - 2050年能源總消耗量會增加至21%
 - 人均能源使用量增加13%和人口增加產生額外8%
 2. 在減碳情境下
 - 2050年建築總能耗會降低20%左右
 - 人均能源使用量下降25%，而人口增長因此抵消。
 - 建築能耗能下降的主因為空調冷卻系統下降39%

Figure 5-1 | Use of energy under the Current Policy Scenario and the Decarbonisation Scenario, by building type and component, 2017-50



- 在電力尚未脫碳之前，政府針對建築能效提出之四大策略

策略	內容
制定目標並提高資料透明度	<ul style="list-style-type: none"> • 至2030年耗電量需相較於2005年減少30% • 至2050年建築能耗以2017年的水準減少20%。 • 導入強制性的年度節能績效報告，以改善資料公開性並提高透明度。
提高政策與節能法規之標準	<ul style="list-style-type: none"> • 建築能源守則 (BEC) 每三年檢討一次 • 能源效益標示規範 (MEELS) 每五年檢討一次 • 節能指標每五年審視修訂一次:商業建築或旅館建築外殼熱性能指標(OTTV)以及住宅外殼熱性能指標 (RTTV) • 預測2050年建築物的空調冷房效率可提高40%、建築外殼能效提高30%、照明系統能效提高35%、電器能效提高25%，以及其他設備能效提高11%。
增強稽查項目並改善設備效能	<ul style="list-style-type: none"> • 商業建築能源審查要求改至每5年一次與 • 要求建築業主製作基於成本效益的能源效率審計建議 • 重新調整對既有設備能效之設定與調整
改進需求管理和用戶行為	<ul style="list-style-type: none"> • 要求商辦公司在夏季調整室內溫度保持在24~26°C • 提高節能意識和傳達節能文化 • 大規模推廣智慧電錶，促使香港轉型為智慧城市 • 針對以商業建築獎勵措施設立「綠色建築基金」專案補助能效改進金費

資料來源：(香港2050年政策報告, 2020)

9

研究流程及內容

- 同樣以由下而上之建築能源推估法，導入蒙地卡羅方法(Monte-Carlo Method)中之拉丁超立方抽樣 LHS (Latin Hypercube Sampling)方法，以綜合考量各種現存建築之建築外殼熱性能、建築使用密度、運轉時程、設備效率等之不確定因素。
- 本計畫分成兩階段：
 - 第一階段：建立各類建築之溫室氣體排放量推估模式
 - 建立代表全國建築樣本特性之資料庫，同時透過整合未來氣候資料與基於大量之建築耗能模擬下，建構全國建築耗能資料庫
 - 第二階段：擬定可行之減碳路徑評估其減碳潛力
 - 擬定節能減碳政策或調適路徑時，得以量化分析各項減碳對策潛在的減碳潛力

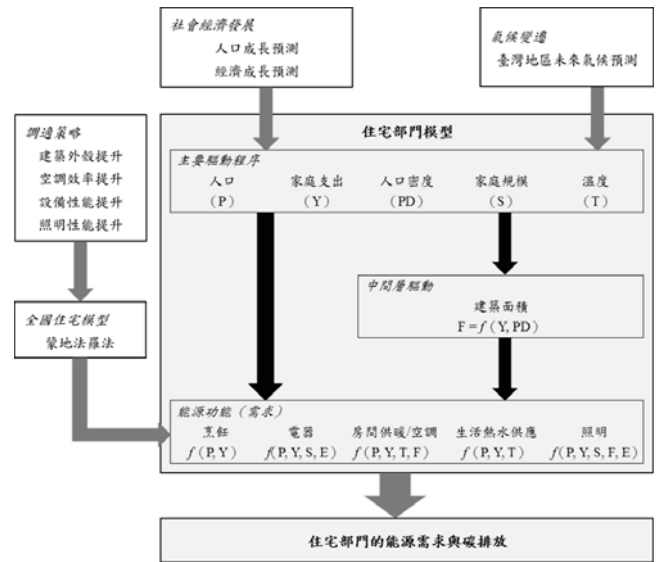
研究方法

建築類型之耗能推估法

建立建築耗能模型

- 此節參考2018年所內之研究及綜合前節之文獻內容，採用自下而上 (bottom-up) 方式推估住宅耗能，並與歷年耗能資料進行修正，以此模型作為排放基線(BAU)。
- 本研究採用如右圖所示之自下而上的模擬模型，為其他類型之建築模型為基礎，以計算建築能源供需。在模型中主要驅動力、中間層驅動力及能量函數之間的相關性。總體而言，該模型著重於五個最重要的能源功能。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)。
- 為了建立包括醫院、旅館、百貨商場等建築類別之溫室氣體排放基線預測模式，考量建築的空調耗能隨氣候條件與地區而有不同的耗能差異，本研究擬以EnergyPlus程式，以電腦逐年逐時動態模擬空調之耗能量。並顧及各建築類型之耗能差異。

自下而上之耗能模擬模型



(參考資料:內政部建築研究所協同研究報告)

研究方法

住商部門溫室氣體推估理論

空調能源推估用氣象資料

- 空調之耗能與外界氣候相關，為更全面地了解未來氣候對建築空調耗能的影響，本研究須製作逐時的未來氣象年供動態模擬使用。

項目	數量	備註		
地區	3	台北、台中、高雄		
未來情境	3	RCP2.6、RCP4.5、RCP8.5		
GCM 模式	住宅	歷史年分	20	以RCP4.5模擬，2000至2019年
		未來年分	48	區分為以RCP2.6、RCP4.5、RCP8.5三種情境模擬，2020年至2035年
	商業	歷史年分	15	以RCP4.5模擬，2005至2019年
		未來年分	63	區分為以RCP2.6、RCP4.5、RCP8.5三種情境模擬，2020年至2035年
真實氣候年分 (2000年-2019年)	20	採台北、台中、高雄三城市之歷史氣象資料		
建築案例(個)	1,000	以蒙地卡羅法之LHS生成		
總模擬次數(個)	住宅	264,000	$=[(20*3*1)+(16*3*3)+20*3*1]*1000$	
	商業	294,000	$=[(15*3*1)+(16*3+15)*3]+20*3*1*1000$	

各項能源之溫室氣體排放係數

年	電力碳排係數 (β ₁)	液化石油氣排放係數 (kgCO ₂ e/度) (β ₂)	天然氣排放係數 (kgCO ₂ e/度) (β ₃)	自來水排放係數 (kgCO ₂ e/度) (β ₄)	
				臺北自來水事業處	台灣自來水股份有限公司
2005	0.555	1.7529 (行政院環境保護署 2019)	1.8790 (行政院環境保護署 2019)	0.0633	--
2006	0.562				--
2007	0.558				--
2008	0.555				--
2009	0.543				0.167
2010	0.534				0.169
2011	0.534				0.167
2012	0.529				0.164
2013	0.519				0.156
2014	0.518				0.155
2015	0.525				0.154
2016	0.530				0.152
2017	0.554				0.162
2018	0.533				0.160
2019	0.509				0.150

(參考資料:經濟部能源局 2019、行政院環境保護署 2019、臺北自來水事業處、臺灣自來水全球資訊處)

住宅溫室氣體排放BAU推估方法



- A. 電力能源：空調、照明、家電、電熱熱水器
- B. 非電力能源：瓦斯與天然氣熱水與烹飪、家庭用水
- C. 其他用電來源：併入與歷年用電修正

住宅參數設定與耗能推估

各類建築耗能推估模型設定



住宅建築室內與外殼參數設定

變因	最小值	最大值	備註
每戶樓地板面積分配	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 (SHGC)	0.20	0.85	-
外遮陽深度比	0	2.0	格子遮陽
外牆熱傳透率 (U值)	0.5	3.5	W/m ² -K
建築方位	八方位等機率模擬		
每戶人員數	4		人
客餐廳燈光密度	12.0		W/m ²
客餐廳設備密度	10.8		W/m ²
臥室燈光密度	9.6		W/m ²
臥室設備密度	4.8		W/m ²

住宅空調耗能推估法

- 分北、中、南三區域居住面積推估
- 推估公式：

$$E_{res,HVAC,yr} = \sum_{region} (EUI_{res,region,HVAC,yr} \times A_{res,region,yr})$$

$E_{res,HVAC}$ 代表住宅空調耗能， $EUI_{res,HVAC}$ 代表住宅空調EUI（由分布中取值）， A_{res} 代表住宅面積，下標res代表住宅部門，下標region代表北、中、南三種不同之區域，下標yr代表某一年份。

聯合國人居署之人均居住面積模型

$$\text{未來各區域住宅面積}(A_{res,region,yr}) = A_{res,region,yr-1} \times \zeta_{yr,region}$$

$$\zeta_{yr,region} = (y_{yr} \times P_{yr,region} / y_{yr-1} \times P_{yr-1,region})$$

住宅面積 (A_{res}) 推估法

各區域住宅面積(分北、中、南區，m²) = 各區域人均居住面積(m²/人) × 各區域人口 $P_{zone,yr}$ (人)

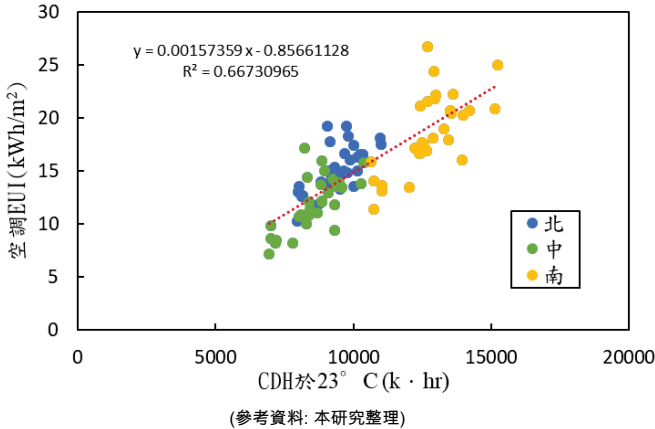
各區域人均居住面積（行政院主計總處，人口及住宅普查網站資料）
各縣市人口（內政部戶政司全球資訊網）；未來國內之人口數(2020年以後)依國發會所預測之人口趨勢(中推估)計算。

住宅參數設定與耗能推估

2036至2050年住宅空調推估

各區總冷房度時與EUI趨勢

使用北、中、南的總冷房度時(CDH)於23°C以下時間與該年氣候變遷之中情境(RCP4.5)的空調耗能密度取散佈圖並找出趨勢線。



中情境空調耗能密度推估

利用該線性趨勢線與未來2036至2050年已知的各區總冷房度時23°C以下時間推估出未來各地區之空調耗能密度。

年	北部(kWh/m ²)	中部(kWh/m ²)	南部(kWh/m ²)
2036	16.04	14.85	21.43
2037	15.94	14.66	21.30
2038	17.90	17.06	24.66
2039	17.22	16.57	24.88
2040	15.87	14.78	22.20
2041	16.79	16.02	23.89
2042	16.57	15.54	23.66
2043	15.35	14.02	21.45
2044	16.50	15.46	23.50
2045	15.88	14.84	22.45
2046	15.44	14.40	22.00
2047	15.89	14.72	22.46
2048	16.88	15.63	22.80
2049	16.10	15.15	23.28
2050	15.92	14.98	22.86

(參考資料: 本研究整理)

15

住宅電力耗能推估

照明耗能推估

住宅照明耗能推估法

- 參考「住宅耗電實測解析與評估系統之研究」
- 推估公式：

$$E_{res,light} = \sum_i (A_{res,i} \times I_{res,light,i} \times t_{res,light,i} \times 365)$$

i下標代表住宅中不同廳室空間，A為面積， $I_{res,light}$ 為住宅照明密度， $t_{res,light}$ 為每日照明時間，各空間之照明密度及時間設定如右所示（郭柏嚴，2015）

空間	住宅照明密度 $I_{res,light,i}$ (W/m ²)	平均每日照明使用時間 $t_{res,light,i}$ (hr)
客廳	11.30	6.0
餐廳	7.50	2.5
廚房	7.50	2.5
臥室	8.36	4.0
衛浴	7.97	1.5
陽台	5.93	0.5

平面格局	比例 R_{Aj}
兩房以下	19%
三房	45%
四房以上	36%

廳室 _i \格局 _j ($R_{Ai,j}$)	兩房以下	三房	四房以上
客廳	17%	26%	27%
餐廳	16%	12%	11%
廚房	10%	8%	9%
臥室	36%	35%	38%
衛浴	7%	9%	7%
陽台	14%	10%	8%

住宅各廳室面積推估法

- 利用營建署之統計調查及市面常見住宅平面
- 推估公式：

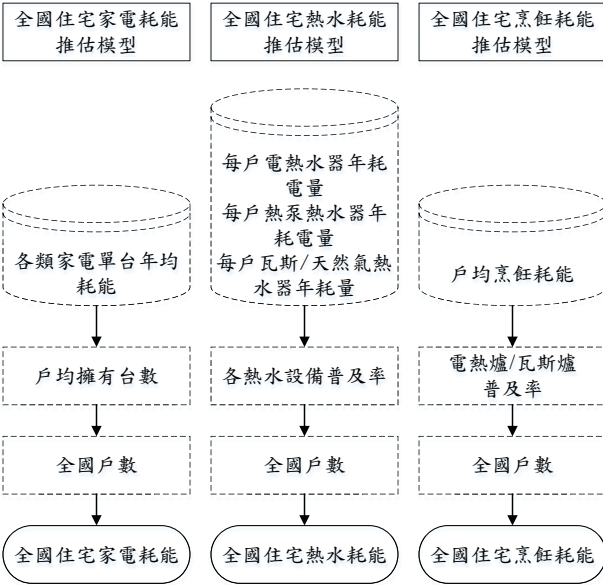
$$A_{res,i} = A_{res} \times \sum_j (R_{Aj} \times R_{Ai,j})$$

A代表面積，下標i代表不同廳室，下標j代表不同的格局， R_{Aj} 為格局j之比例（內政部營建署，2006）， $R_{Ai,j}$ 代表在格局j之下廳室i之面積比例（本研究整理）：

16

住宅耗能推估

全年電力累計與其他能源別之推估



註：虛框線表示未來會持續變動而逐年滾動檢討的因子

第 yr 年的電力總耗能量

$$\text{住宅部門第}yr\text{年之耗電量 } E_{res,elec,yr} (\text{kWh/年}) \\ = E_{res,HVAC,yr} + E_{res,light,yr} + E_{res,app,yr} + E_{res,DHW,e,yr} + E_{res,cook,e,yr}$$

其他能源消耗量

$$\text{住宅部門耗瓦斯量 } E_{res,gas,yr} (\text{m}^3/\text{年}) = E_{res,DHW,gas,yr} + E_{res,cook,gas,yr}$$

$$\text{住宅部門用水量 } E_{res,water,yr} (\text{m}^3/\text{年}) = \text{北水處耗水量} + \text{台水公司耗水量} \\ = 98.6(\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{年}) \times (\text{台北市人口數}_{yr} + \text{新北市人口}_{yr} \times 38\%) \\ + 98.6(\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{年}) \times (\text{新北市人口}_{yr} \times 62\% + \text{其餘縣市人口}_{yr})$$

根據最新的資料顯示，北水以及台水公司的排放係數不相同，故需分開討論：
北水處耗水量(m³/年)=98.6(m³/人·年)×(台北市人口數+新北市38%人口)
台水公司耗水量(m³/年)=98.6(m³/人·年)×(新北市62%人口+其餘縣市人口)

住宅溫室氣體排放推估與修正

住宅部門第i年總溫室氣體排放量推估值

$$\text{住宅部門第}yr\text{年總溫室氣體排放量推估值 } GHG'_{res,total,yr} (\text{kgCO}_2\text{e/yr}) \\ = \text{住宅部門耗電量 } E_{res,elec,yr} \times \text{電力碳排係數} (\beta_{1,yr}) \\ + \text{住宅部門瓦斯耗量 } E_{res,gas,yr} \times \text{桶裝瓦斯占比} \times \text{桶裝瓦斯碳排係數} (\beta_{2,yr}) \\ + \text{住宅部門瓦斯耗量 } E_{res,gas,yr} \times \text{天然氣占比} \times \text{天然氣碳排係數} (\beta_{3,yr}) \\ + \text{住宅部門用水量 } E_{res,water,yr} \times \text{自來水碳排放係數} (\beta_{4,yr})$$

實際發生取值來源 我國燃料燃燒二氧化碳排放統計與分析

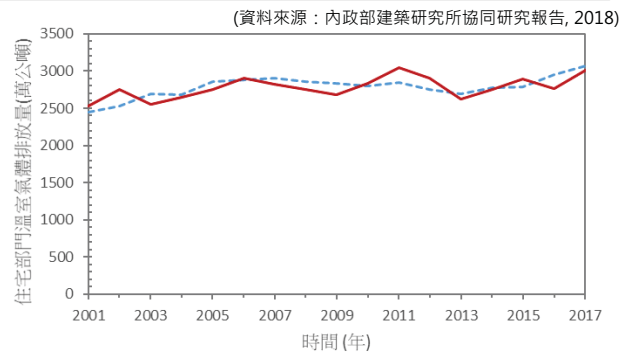
推估值之修正計算

$$\gamma_{res} = \frac{\sum_{i=2008}^{2018} \frac{E_{res,actual,y} - E_{res,actual,y-1}}{E_{res,est,y} - E_{res,est,y-1}}}{2018 - 2008}$$

下標est為模型推估值；下標actual為實際值

經修正的住宅部門第yr年之溫室氣體排放量模式推估值

$$GHG_{res,total,yr} (\text{kgCO}_2\text{e/yr}) = GHG'_{res,total,yr} \times (1 + \gamma_{res})$$



為建立本預測模型之可信度，比對本模型推估之時間與可參考的歷史資料，以 2000 至 2018 年的數據進行模型校正。採一校正係數，使預測模型結果符合實際的溫室氣體排放情形，校正後的住宅部門溫室氣體推估值與歷史資料的變化趨勢。修正後之推估值與實際值平均差異0.3%

商業溫室氣體排放BAU推估法



商業參數設定

商業建築耗能推估模型設定

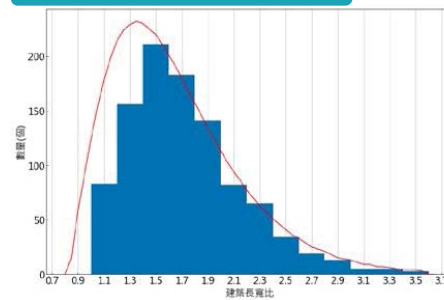
商業建築外殼參數設定

變因	最小值	最大值	分佈型態
長邊面向方位	N-S, W-E, NE-SW, SE-NW		四方位均佈
建築平面長寬比	1.1	3.5	Gamma
單層樓地板面積(m ²)	800	3000	均佈
地面上總樓層數	6	20	均佈
空調空間面積比($\delta_{A/C}$)	0.8	0.95	均佈
空間有效面積比(δ)	0.6	0.85	均佈
窗牆比(WWR)	0.35	0.85	均佈
玻璃熱傳透率(U值)	2.5	6.2	Gompertz
玻璃日射透過率(SHGC)	0.25	0.85	均佈
外遮陽深度比(x/y)	0.0	0.5	均佈(但當WWR>0.5時·x須小於0.2)
外牆隔熱材PS版厚度 (cm)	0.0	1.25	均佈
屋頂隔熱材PS版厚度 (cm)	1	5.0	均佈

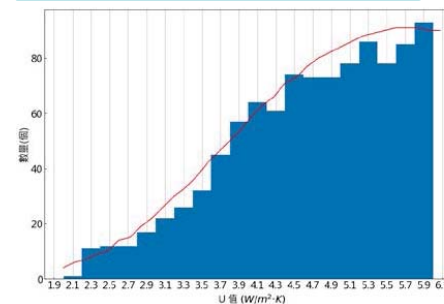
表列所示最大值、最小值與分布型態乃示意用之暫訂值，真實模擬之取值將依未來研究進行之文獻查找與過去之研究經驗取代。

建築長寬比隨機抽樣分佈示意圖

資料來源：本研究繪製



玻璃熱傳透率(U值)隨機抽樣分佈示意圖



商業電力耗能推估

照明耗能推估

商業空調耗能模擬

- 以蒙地卡羅法設計1000個不同外殼的案例並以EnergyPlus模擬其全年耗能
- 室內發散熱之設定亦採用蒙地卡羅法決定室內各項發散熱之密度，相關參數如右下表
- 空調系統採CAV+VWV系統與氣冷式VRF系統之比例分別為86.8%與13.2%。(林憲德,2010)
- 氣象資料採用GCM產製的氣象年(分台北、台中、高雄)，並與真實氣象之模擬結果比較差異後修正。
- 由EnergyPlus之模擬結果得到空調EUI之分布
- 推估公式：

$$E_{com,HVAC,yr} = \sum_{region} (EUI_{com,region,HVAC,yr} \times A_{com,region,yr} \times \delta)$$

下標u為每單位樓板面積，region為，com為商業部門，δ為有效面積比

室內發散熱之模擬設定

變因	最小值	最大值	分佈型態
人員密度 (人/m ²)	0.05	0.15	均布
照明密度 (W/m ²)	3	13	以平均數為8，標準差為2.3之常態分佈(圖 3-12)
事務設備密度 (W/m ²)	5	10	均布

空調系統之模擬設定

空調系統	COP最小值	COP最大值	備註
CAV + VWV	USRT < 150	4.00	市占約86.8%
	150 < USRT < 300	4.55	
	USRT > 300	5.10	
氣冷式VRF	2.95	3.85	市占約13.2%
空調溫度設定	常態分佈(平均值=25°C，標準差=1.0°C)		
外氣換氣量(ACH)	最小值：0.1	最大值：0.5	均勻分佈
Sizing Factor	常態分佈(平均值=1.5，標準差=0.3；最小值=1.0)		

商辦部門電力耗能推估

照明以及事務設備耗能推估

商業照明耗能模擬

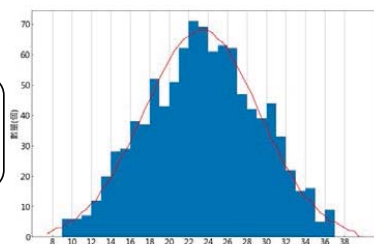
- 採蒙地卡羅方法模擬辦公區照明密度
- 照明密度分布採常態分布
- 非有效面積區照明密度設定為5.5 W/m²
- 照明時間採均勻分布(每日7-10小時)
- 辦公區之同步開燈率=0.8
- 照明時間每日7-10小時不等(相當於全年1778-2540小時)
- 推估公式：

$$EUI_{com,light} = \sum_d (I_{com,light,d} \times t_{com,light} / 1000)$$

$$EUI'_{com,light} = 5.5 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{yr)}$$

$$E_{com,light,yr} = A_{com,yr} \times \delta \times \rho_{light} \times EUI_{com,light} + A_{com,yr} \times (1-\delta) \times EUI'_{com,light}$$

A_{com}為全國商辦大樓樓地板面積；EUI'_{com,light}為非有效面積之年照明EUI，根據照明時間不同；δ為有效面積比；ρ_{light}為同步開燈率，本研究取0.8



資料來源：本研究繪製

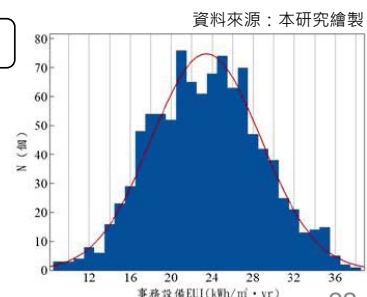
商業事務設備耗能模擬

- 運轉時間採均勻分布(每日7-10小時)
- 辦公區之同步運轉率=0.7
- 運轉時間每日7-10小時不等(相當於全年1778-2540小時)
- 推估公式：

$$EUI_{com,eqp} = I_{com,eqp} \times t_{com,eqp} \times \rho_{eqp} / 1000$$

下標eqp代表事務設備，I_{com,eqp}參考範圍取值範圍為5-10(W/m²)，t_{com,eqp}則參考照明時間(取值自1778小時至2540小時之間)；ρ_{eqp}為事務設備同時負荷率，本研究取0.7

$$E_{com,eqp,yr} = A_{com} \times \delta \times EUI_{com,eqp}$$



資料來源：本研究繪製

商辦部門非電力耗能推估

非電力用量推估以及商業總耗能與校正計算

商業耗水計算

- 參考「建築產業碳足跡」中之假設
- 取10小時行政辦公類空間每人年用水量訂為25.4 m³/人
- 以辦公區之人員密度推求人數：
$$p_{com,yr} = A_{com,yr} \times \delta \times 0.1$$
- 耗水計算公式：

$$E_{com,water,yr} = 25.4 \times p_{com,yr} \times p_{ri,com}$$

W_{com} 為全國總用水量 (m³)； p_{com} 為商辦大樓使用人數 (人)； $p_{ri,com}$ 為人員使用率 (取0.7)； A_{com} 為商辦大樓總面積 (查營建署逐年樓地板面積統計資料)； δ 為有效面積比 (取值自蒙地卡羅樣本生成時有效面積比之平均數)；25.4 (m³/人.年) 為辦公空間每人每年單位用水量。

- 電力使用所排放的溫室氣體佔99.40%，其餘總和為0.60%
- 以比例方式推估計算排放量

商業部門第yr年總溫室氣體排放量

$$GHG_{com,total,yr} = GHG_{com,elec,yr} + E_{com,water,yr} \times \beta_{4,yr} + GHG_{com,other,yr}$$

$$GHG_{com,elec,yr} = E_{com,total,yr} \times \beta_{1,yr}$$

$$GHG_{com,water,yr} = E_{com,water,yr} \times \beta_{4,yr}$$

其中， $GHG_{com,elec}$ 為商業大樓電力使用所排放的溫室氣體量； $GHG_{com,total,yr}$ 為第yr年商業大樓總溫室氣體排放量， β_1 為電力排放係數， β_2 為自來水排放係數，依台北自來水公司與台灣自來水公司所公告之碳排放係數分區計算， $GHG_{com,other,yr}$ 為其他能源別A.至I.項各項之推估總和

商業耗瓦斯計算

$$GHG_{com,other,yr} = (GHG_{com,e,yr} / d_e) \times (d_{NG} + d_{gas} + d_{diesel})$$

$GHG_{com,gas,yr}$ 為某年yr商辦大樓使用天然氣及汽油所排放之溫室氣體， $GHG_{com,e,yr}$ 為某年yr商辦大樓使用電力所排放之溫室氣體； d_e 為商辦大樓電力使用排放溫室氣體占商辦大樓總溫室氣體排放量之比例； d_{NG} 、 d_{gas} 與 d_{diesel} 分別為商辦大樓天然氣、汽油與柴油占商辦大樓總溫室氣體排放量之比例

23

商辦部門非電力耗能推估

商業模型推估值與歷史資料之校正

商業部門之模擬耗能需與歷史資料比對校正，參考過去1998-2018共21年的能源歷史資料，將醫院、商場、旅館、辦公室之總排放量依年分加總，並與模擬值相比。由於模擬過程中忽略許多影響商業建築的影響因子，可能造成模擬排放量低於或高於實際排放。因此乘上修正係數，使預估結果更接近真實情形。

$$\text{修正係數 } \delta_{yr} = \frac{E_{actual,com,yr}}{E_{estimate,com,yr}}$$

下標yr為預估之年份(西元年)； δ 修正係數；E為全年用電量(kWh)；下標actual為實際用電量；下標com代表商業建築；下標estimate為本研究預估模型產出之預估用電量。

所建立之修正係數預估模型為：

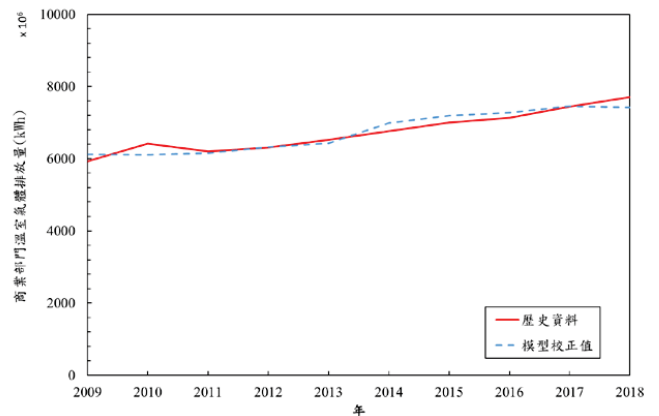
$$\delta_{yr} = 0.006557 \times yr - 12.336619$$

其他商業部門內之各類建築類別則以歷史資料逐年假設與商業建築之年變化率相同之幅度成長推估其用電量

$$E_{estimate,i,類建築,yr} = E_{estimate,i,類建築,yr-1} \times \frac{E_{estimate,com,yr}}{E_{estimate,com,yr-1}}$$

$$GHG_{商業部門,elec,yr} = \sum E_{estimate,i,類建築,yr} \times \beta_{1,yr}$$

$GHG_{商業部門,elec,yr}$ 表示第yr年商業部門用電部分之溫室氣體排放量； β_1 為逐年之用電碳排放係數



(參考資料: 本研究整理)

24

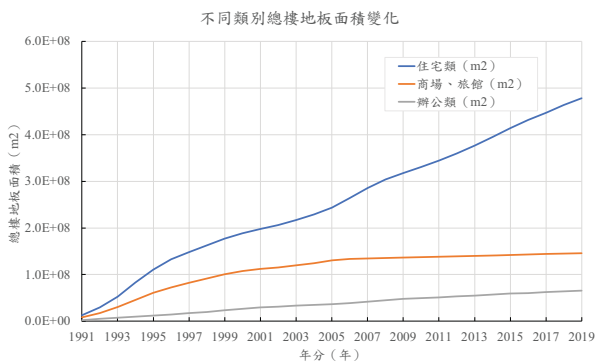
溫室氣體排放量預測與滾動式修正



全國住商部門之未來成長趨勢推估

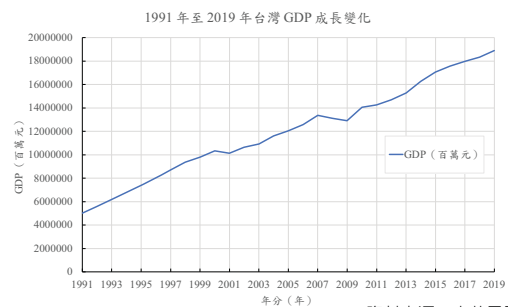
- 將歷史資料值做迴歸分析，預測未來的各類商業建築樓地板面積成長趨勢，再以能源局預測之碳排係數 β 推估出未來商業部門溫室氣體的排放基線。

各類建築樓地板面積成長圖



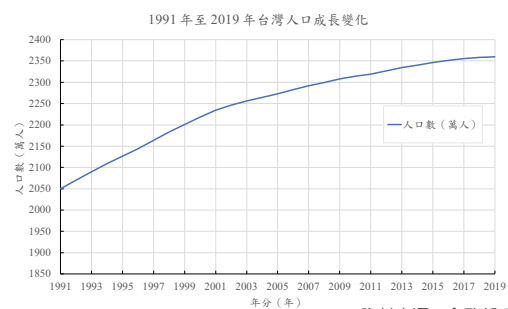
(資料來源：內政部營建署)

歷年之 GDP 預估成長率



(資料來源：中華民國統計資訊網)

歷年各之人口變化

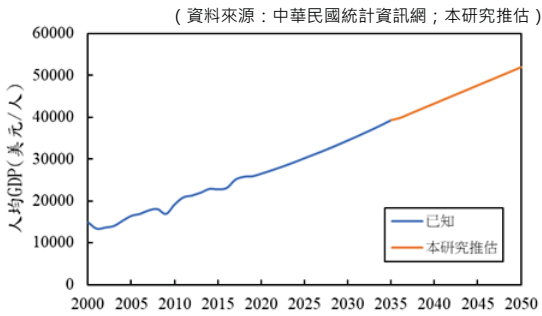


(資料來源：內政部戶政司)

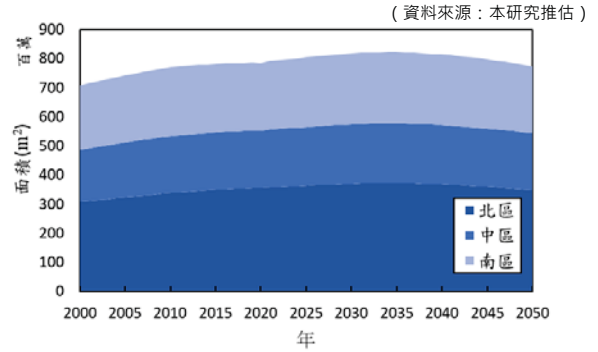
全國住商部門之未來成長趨勢推估

資料來源：中華民國統計資訊網

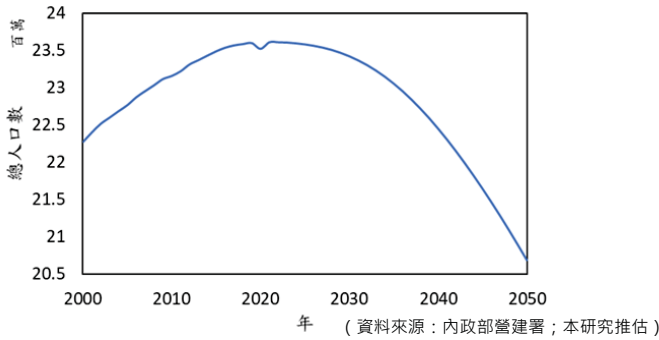
人均 GDP 預估趨勢



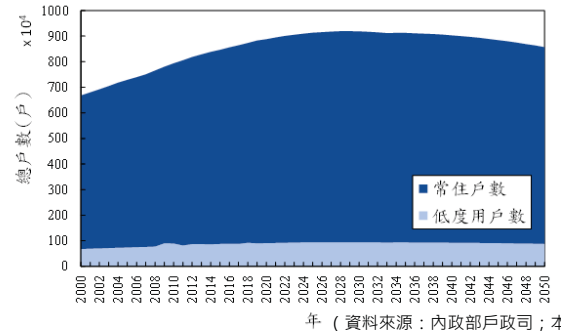
各區住宅面積推估圖



全國總人口數之成長圖



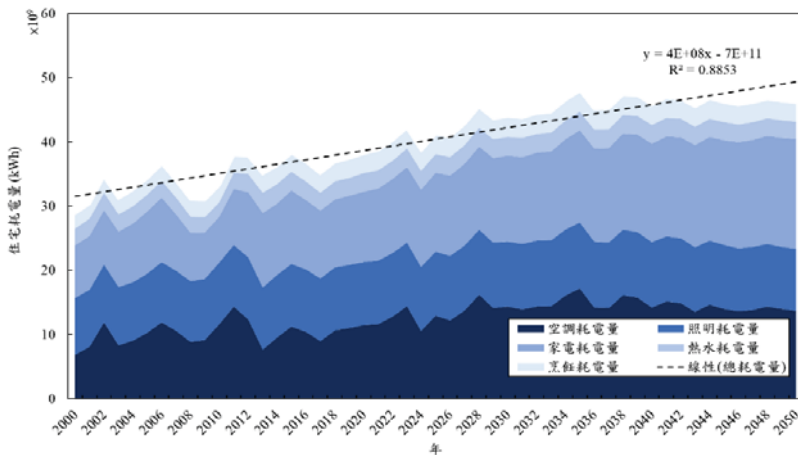
全國未來戶數推估



27

全國住宅耗電量推估

住宅各耗電項目耗電量未來推估

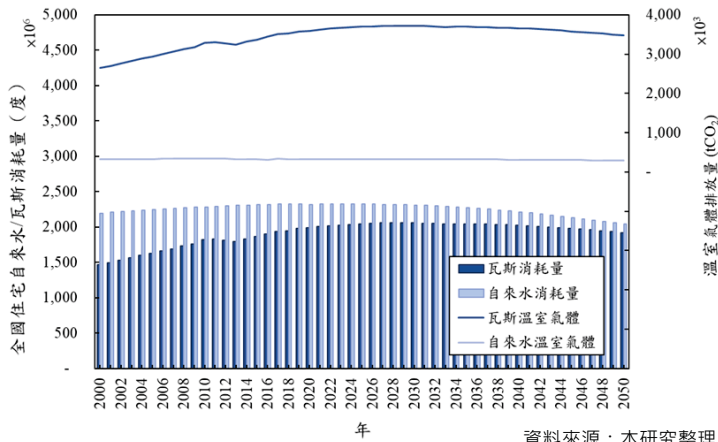


資料來源：本研究整理

- 全國之住宅總體耗能量是向上增長的，平均每年以 2.8×10^8 (kWh/yr)或相當於每年以0.73%之幅度增加。顯示住宅部門中最耗電的項目為空調及照明，由於每年的氣候條件不盡相同，因此空調也會隨著氣候條件起伏。
- 住宅用電量至2035年時達高峰，至2050年時，對比2005年其成長趨勢為約60%，其中，空調耗電量成長了33.2%，照明耗電成長了4.1%，家電耗電成長了77.8%，熱水耗電成長了3.5%，烹飪耗電成長了17.4%。

全國住宅其他溫室氣體排放源推估

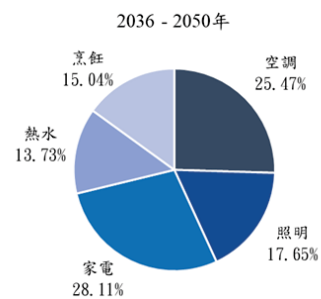
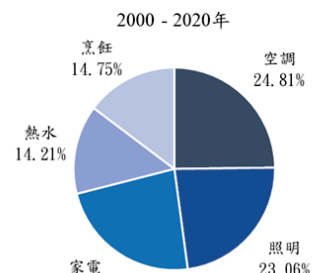
住宅瓦斯與自來水耗能量與溫室氣體排放趨勢



資料來源：本研究整理

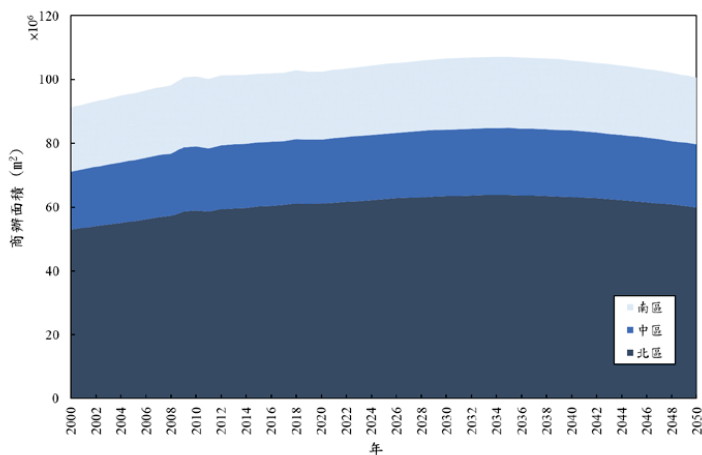
由於未來人口數在2020年至2027年達到最高峰，也就是說在2028年以後國家人口逐漸減少，造成瓦斯與自來水的使用人數逐漸減少，直接影響住宅部門在瓦斯與自來水的消耗量，由圖中可知，來自自來水之碳排在2022年達到使用高峰，而使用瓦斯之碳排放則在2029年才達到使用高峰。

住宅各耗能項目溫室氣體排放量占比



全國商業部門溫室氣體排放量預測推估

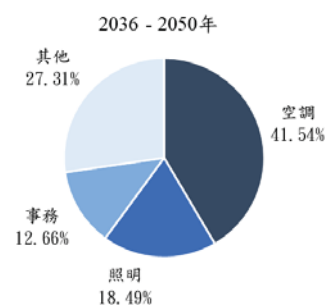
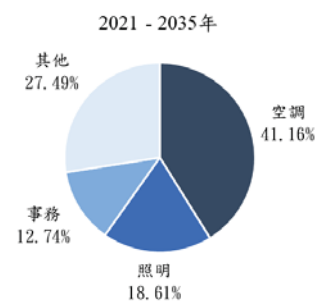
逐年商辦建築樓地板面積推估



資料來源：本研究整理

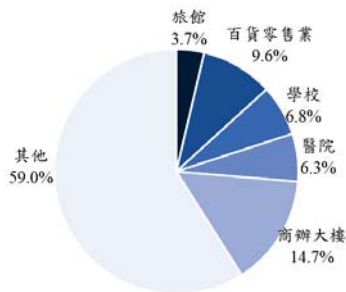
相較於2020年，商辦總樓地板面積在2035年增加了4.69%；而在2050年減少了1.70%。

商辦各耗能項目溫室氣體排放量占比



全國商業部門溫室氣體排放量推估

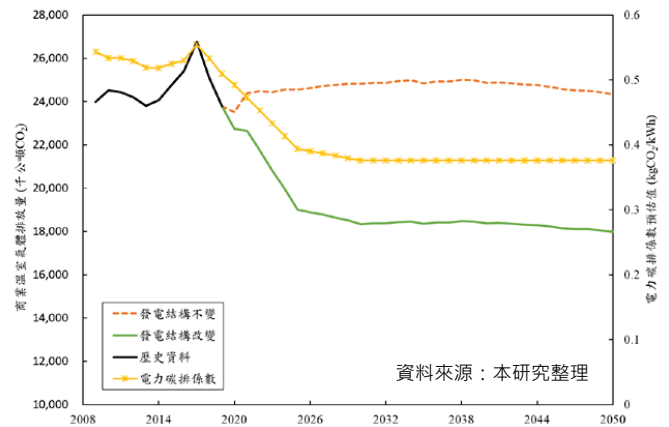
商業部門整體溫室氣體排放量之推估法



2009-2019年各類商業建築之用电量占比(資料來源：本研究整理)

1. 未來各類商業建築用电量是利用商辦建築之大量模擬結果，透過計算於未來各年之成長率藉以推估其他類型建築之成長率。
2. 商業類其他能源(如液化石油、汽油、煤油、天然氣等)之溫室氣體排放量，則是以經濟部能源局為歷史資料利透過ARIMA推估各類能源。
3. 整體商業部門之溫室氣體排放量=各類商業建築逐年用电量 + 商業類其他能源溫室氣體排放量

商業建築逐年溫室氣體排放量推估



資料來源：本研究整理

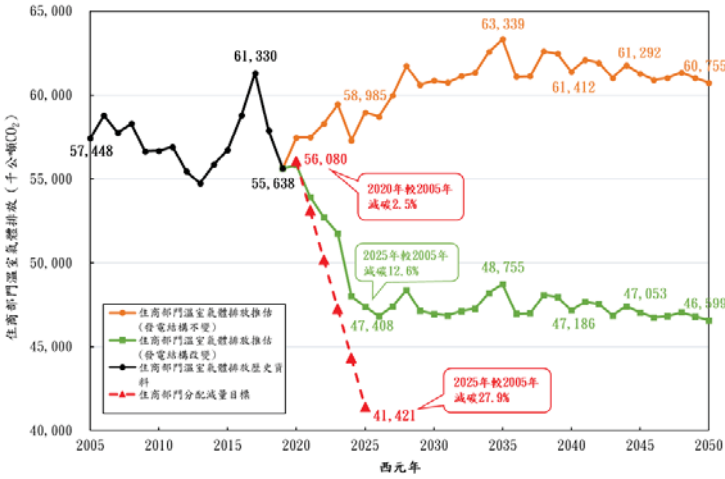
倘若電力碳排係數下降至2024年的0.396後，其電力結構改變對往後商業部門之溫室氣體排放並無下降之趨勢，未來仍會緩步上升。相較2019年之電力碳排係數於2050年下降26.1%，因此影響其溫室氣體排放量。當2050年發電結構不變時，總商業部門溫室氣體排放量會上升2.3%；同年發電結構改變時，總商業部門溫室氣體排放量會下降24.4%。

我國住商部門碳排基線分析



我國住商部門溫室氣體未來排放基線預估

更新(110年度)住商部門溫室氣體未來排放基線預估

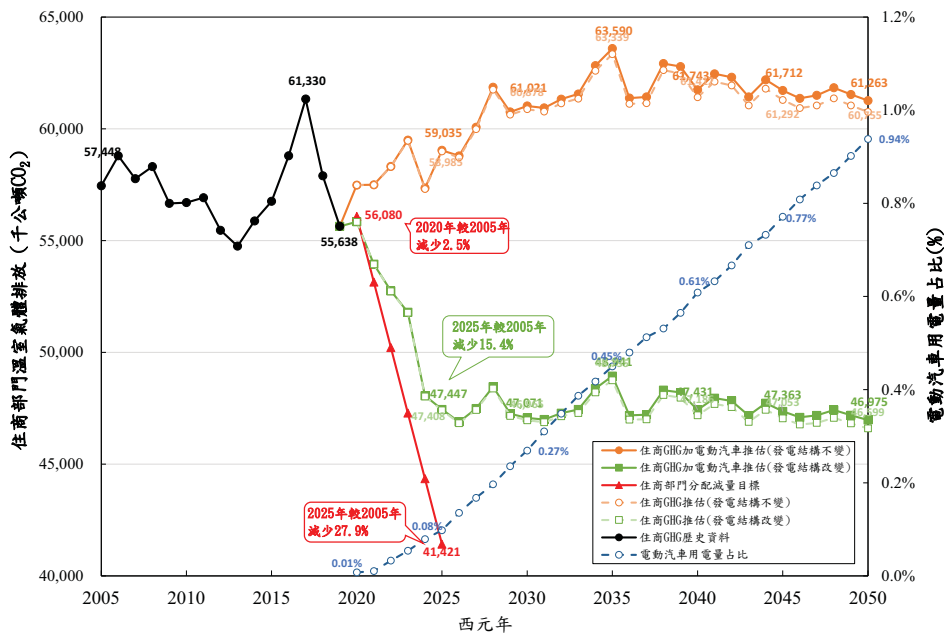


資料來源：本研究繪製

- 至2025年時，依電力碳排放係數在維持不變以0.509 kgCO₂e/kWh(108年度最新公告值)推算以及隨我國發電結構逐漸轉型分別推算下，預估住商部門之總溫室氣體排放量將分別降為58,985與47,408千公噸碳當量。
- 與現階段所訂的第二階段管制目標至2025年之分配排放額度分別仍有17,564與5,987千公噸碳當量之減碳缺口，尚須進一步分別再減碳30.6%與10.4%。
- 意即排除電力碳排放係數下降所導致之溫室氣體減少量外，額外住商部門本身需再減量10.4%。

考量電動車調整後之住商部門BAU趨勢

住商部門電動車分析及策略彙整



資料來源：本研究繪製

住商部門可行之減碳策略及其效益分析

空調節能策略

由於冷氣並非全年皆以滿載狀態運轉，因此效率提升並不代表即有相當增加的節能量。此乃因冷氣之運轉大部分時間是處於部分負載狀態之故，且同時考慮未來各年氣候之變化導致冷氣之負載狀態亦不同，本研究以冷氣之全負荷相當運轉時間(Equivalent Full Load Hours, EFLH)藉以換算可能之節電量。

未來各年之既存數量：

$$N_{ac,yr} = \sum_{loc} \cdot \sum_{layout} (N_{res,loc,layout,yr} \times \delta_{loc} \times \gamma_{layout} \times \rho_{layout})$$

N_{ac} 為住宅冷氣機數量預估值(台)； N_{res} 為住宅戶數(戶)； δ 為台灣北中南三區之戶數比例； γ 為各房型住宅之比例取自表 3-9，區分為二房、三房與四房以上之格局； ρ 為各房型下冷氣之擁有數量；下標 loc 為地理分區；下標 layout 代表不同的房型格局

各年空調節能量(kWh)：

$$\Delta E_{ac,yr} = E_{ac,yr} \times N_{ac,yr} \times (EFLH_{yr} / EFLH_{yr-1}) \times \tau \times \psi_{yr}$$

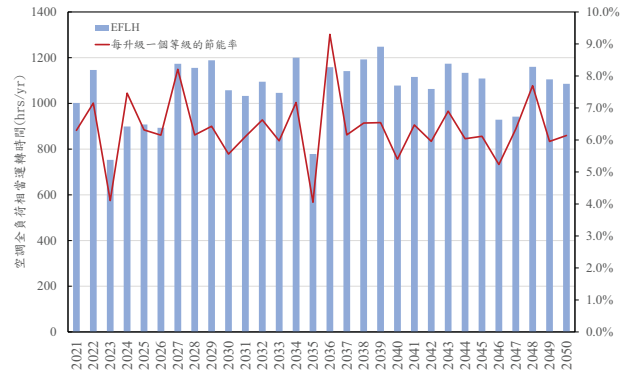
能效分級之間的節能率：

$$\tau = \left(\frac{CSPF_{\text{分離式後一等級}} / CSPF_{\text{分離式前一等級}}}{CSPF_{\text{窗型後一等級}} / CSPF_{\text{窗型前一等級}}} \right) \times \sigma_{\text{窗型}} + \sigma_{\text{窗型}}$$

ΔE_{ac} 為空調節能量(kWh)； E_{ac} 為冷氣平均年耗電量(kWh/yr)；EFLH 為冷氣之全年全負荷運轉時間(hrs/yr)； τ 為每一冷氣能效分級之間的節能率(窗型機為5%、分離式冷氣為7%；節能率參考自能源局，經市占率加權後為6.3%)； ψ 為每年進行冷氣能效汰換之比率； σ 為市占率；下標 yr 代表未來的某一年份。

未來逐年冷氣全負荷相當運轉時間之變化與節能率

資料來源：本研究繪製



在每一冷氣提升一個能效等級時，未來逐年可能帶來的節能率。

住商部門可行之減碳策略及其效益分析

空調節能策略

不同汰換速度情境下所需之汰換成本及未來之節能率

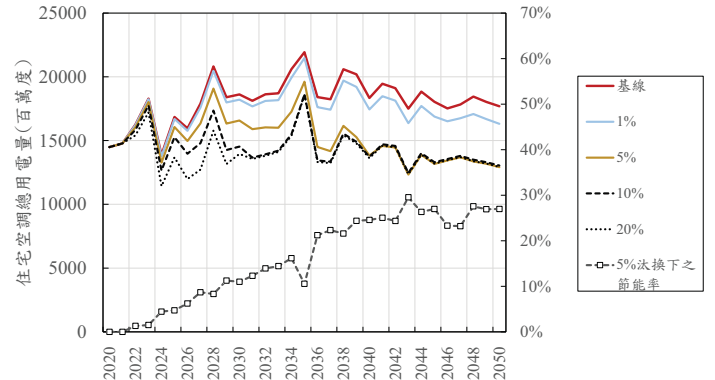
資料來源：本研究整理

冷氣汰換策略	改善方案(每年汰換率)	1%	3.5%	5%	10%	15%
	每年所需汰換之冷氣數量(千台)		131	458	655	1,310
	各年所需成本(百萬元/年)	3,563	12,470	17,814	35,627	53,441
能效提升四等級	至2025年節能率	0.9%	3.3%	4.7%	9.4%	14.1%
	至2030年節能率	2.2%	7.7%	11.0%	22.0%	22.6%
	至2035年節能率	4.2%	14.9%	21.2%	27.0%	24.9%
	至2050年節能率	7.8%	26.3%	27.0%	26.3%	24.2%
能效提升三等級	至2025年節能率	0.7%	2.5%	3.5%	7.1%	10.6%
	至2030年節能率	1.6%	5.8%	8.2%	16.5%	16.9%
	至2035年節能率	3.2%	11.1%	15.9%	20.2%	18.7%
	至2050年節能率	5.8%	19.7%	20.2%	19.7%	18.1%
至2050(30年後)外部報酬(單位：十億元)		26.8*1	89.8	80.2	77.8	67.3

*1逐年汰換率為1%時，至2050年無法汰換完畢，節能量無法達標，數值不具參考意義。
*2購置費用假設窗型冷氣平均為2萬元，分離式冷氣平均為3萬元計算。

住宅冷氣效率提升在不同汰換率下空調總用電量變化之趨勢

資料來源：本研究繪製



由於當汰換率為1%時至2050年仍未能完全將市場上既有之空調汰換完畢因此不予考慮。今若以3.5%之汰換速率並自2022年開始汰換能效五級以後之效率較差之冷氣機，各年所需之總成本為12.47億元/年。

住商部門可行之減碳策略及其效益分析

照明節能策略

- 照明耗能占整體住宅與商業建築用電平均約15%至20%，是商業建築中占比次多的耗能來源，也是住宅第三大耗能僅次於空調與家電。在照明節能效益之計算上與功率呈線性關係較易估計，不若空調系統有部分負載之問題。只要掌握全國既有燈具之數量種類，即可試算其效益。推估方式如下：

各汰換燈具數量：
$$N_{yr,i} = N_{yr-1,i} \times (1 + \zeta_{yr,i}) + N_{yr,LED}$$

LED燈具數量：
$$N_{yr,LED} = \Delta N_{H,yr} \times \lambda_i / 100$$

住宅總照明耗電量：
$$E_{light,yr} = (\sum N_{yr,i} \times W_i) \times 3285 \times \alpha / 1000$$

住宅總照明溫室氣體排放量：
$$GHG_{light,yr} = E_{light,yr} \times \beta_{1,yr}$$

替換燈具所需之成本：
$$C_{light,y} = \{ \sum C_i \times [N_{y-1,i} \times \zeta_{y,i}] \} \times (1 + \phi)^{y-1}$$

N為燈具數量(盞)； ζ_i 為第y年第i種燈源之替換比率(負值代表逐年減少)； $\Delta N_{H,y}$ 為第y年增加之戶數(戶)； λ 為每百戶平均燈具數量(盞/戶)，參考自(林唐裕2014)； W_i 為第i種燈源之平均耗電功率(W)； $E_{light,y}$ 為未來第y年時之全國住宅總照明耗電量(kWh/yr)；3285為住宅類照明全年平均使用小時數(hr)，參考自(林憲德 2018)； α 為與真實耗能之修正係數；C為每年替換燈具所需之成本(元)； ϕ 為利率與物價上漲率，下標i代表不同種類的燈具。

- 政策補助之誘因下，假設各照明種類之逐年汰換率可達如下：

資料來源：本研究整理

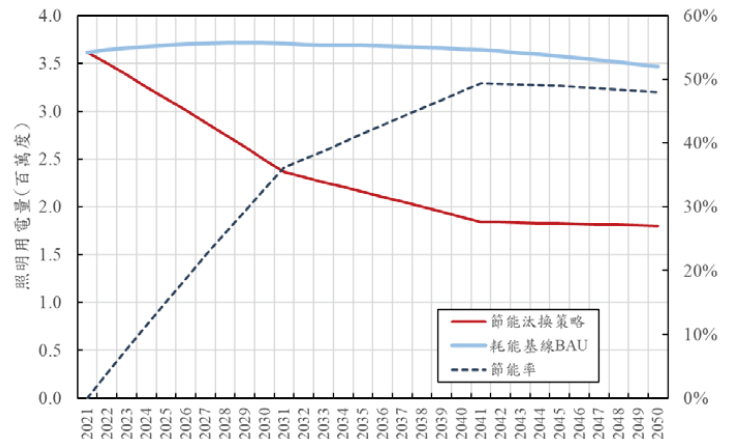
燈源種類	白熾燈泡	鹵素燈	省電燈泡	T5螢光燈	T8螢光燈
現今既存數量概估值*(個(支)/百戶)	62.2	46.4	672.1	275.1	374
逐年汰換率	10%	10%	5%	1%	10%
完成全部汰換之年數	10年	10年	20年	-	10年
汰換為燈具之種類	LED燈泡	LED燈泡	LED燈泡	LED燈管	LED燈管

在所需照明汰換成本之計算上，LED燈泡與LED燈管之平均價格分別以110(元/個)與260(元/支)計算，同時假設政策上以所需汰換成本之二成作為補助，以誘導民眾自主汰換。

住商部門可行之減碳策略及其效益分析

照明節能策略

- 在此汰換率情境下，未來白熾燈、鹵素燈與T8傳統螢光燈將於2031年達成完全汰換完畢；而省電燈泡則於2041年完成全面汰換成LED燈具。在此前提下，各年之節能率與照明用電趨勢如右圖所示，至2030年時照明節能率達33%；至2050年時節能率將可達48%。
- 在假設策略中政府同時補助其成本之二成情境下，並且考量物價上漲率與銀行利率為1.7%/年，據以計算外部報酬率下，所需之成本則將近為46.76億元。



註：節能率是對比於照明本身之用電量

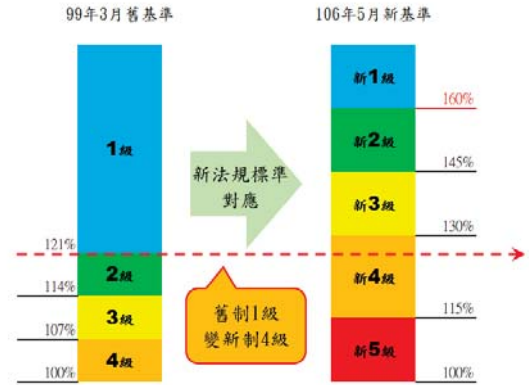
資料來源：本研究繪製

住商部門可行之減碳策略及其效益分析

電冰箱節能策略

- 我國電冰箱之能效分級區分為五等級，2016年5月新基準上路，相較過去99年舊基準的1級能效變成新制的4級能效，對於節能標準大幅提升。
- 電冰箱的容許耗用能源效率基準(E.F.)是以其容量公升為計算基礎，因此預估住宅與商業之電冰箱用電量將以容量公升數推算。
- 自2022年開始每年以汰換率相當於既有總量的1%、3%以及5%三種情境去探討汰換為高效率機種後之效益，其中在需汰換的冰箱數量上，假設有95%汰換為一級能效以及5%汰換為二級能效的冰箱機種，並期望至2050年將全國電冰箱提升至一級能效之水平。
- 在此同時每年因全國戶數增加而新增的電冰箱皆假定為購買一級能效之機種。

電冰箱之新舊基準對比



資料來源：經濟部能源局

住商部門可行之減碳策略及其效益分析

電冰箱節能策略 - 住宅部門冰箱汰換節能效益推估法

- 首先，以2021年電冰箱各級數量與各級能效節能比例之乘積可得每台基準電冰箱之用電密度：

$$\sigma_{res, yr} = \sigma_{res, yr-1} \times (1+0.68\%)$$

$$N_{ref, Total, res, yr} = \text{戶數}_{yr} \times \sigma_{res, yr}$$

$$\xi_{ref, res, BAU} = (E_{Total, res, 2021} \times 15\%) / (\sum(\alpha_{res, x, 2015} \times \theta_x) \times N_{ref, Total, res, yr})$$

$N_{ref, Total, res, yr}$ ：第yr年住宅電冰箱總台數(台)； $\sigma_{res, yr}$ ：第yr年每百戶電冰箱擁有台數(台/百戶)(梁世武 2019)·每年以0.68%成長； $\xi_{ref, res, BAU}$ ：住宅每台基準電冰箱之用電密度(kWh/台)； $E_{res, elec, 2021}$ ：為2021年住宅總用電量(kWh)·設改善情境之基準年； $\alpha_{res, x, 2015}$ ：2015年住宅的x級能效之占比(%) (郭瑾璋, 溫瑞伶 et al. 2017)； θ_x ：x級能效之用電率(%)。

- 取得每台住宅電冰箱之基準用電密度，並加入兩項設計條件：
- 1) 每年優先汰換低能效之電冰箱，並假設汰換後其中有95%購買1級能效之冰箱與5%汰換成2級能效
 - 2) 每年因增加戶數而新購電冰箱一律假設為購買1級能效電冰箱

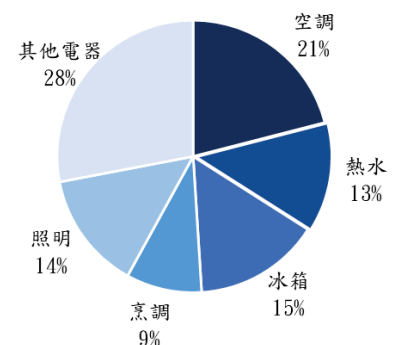
$$E_{ref, res, BAU, yr} = \sum(\alpha_{res, x} \times \theta_x) \times N_{ref, Total, res, yr} \times \xi_{ref, res, BAU}$$

$$E_{ref, res, save, yr} = \sum(N_{ref, yr, x} \times \theta_x) \times \xi_{ref, res, BAU}$$

$$\Delta E_{ref, yr} = E_{ref, res, BAU, yr} - E_{ref, res, save, yr}$$

$E_{ref, res, BAU, yr}$ ：第yr年住宅電冰箱基準用電量(kWh)； $E_{ref, res, 改善, yr}$ ：第yr年改善策略導入後之住宅電冰箱用電量(kWh)； $\Delta E_{ref, yr}$ ：第yr年改善策略導入後之年節電量(kWh)； $E_{ref, yr}$ ：第yr年住宅部門總耗電量(kWh)； $N_{ref, yr, x}$ ：第yr年之x級節能效率電冰箱台數(台)； θ_x ：x級能效之用電率(%)； $\xi_{ref, res, BAU}$ ：每台基準電冰箱之用電密度(kWh/m²·台基準電冰箱)； $N_{ref, Total, res, yr}$ ：第yr年住宅總電冰箱台數(台)

住宅設備用電占比



2015年之各級能效電冰箱之占比

各級節能效益	第1、2級	第3、4級	第5級
比例	24%	13%	63%

住商部門可行之減碳策略及其效益分析

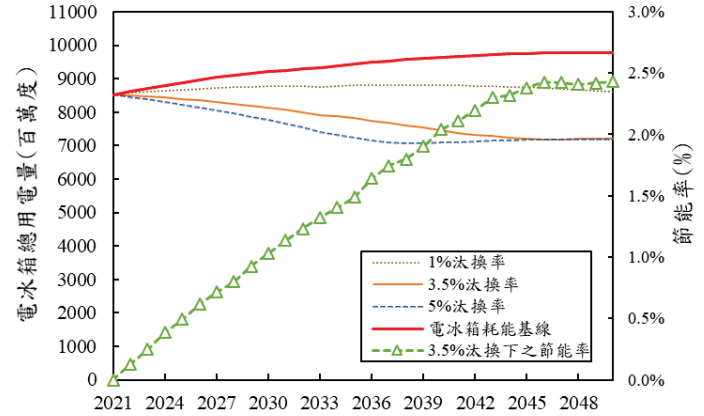
電冰箱節能策略 – 住商部門冰箱汰換節能效益推估

不同之汰換速度情境下所需之汰換成本及未來之節能率

冷氣汰換策略	改善方案(每年汰換率)	1.0%	3.5%	5.0%
	每年所需汰換之冷氣數量(千台)		110	384
	各年所需成本(百萬元/年)	2,547	8,915	12,736
95%提升為四級能效、5%提升為三級能效	至2025年節能率	2.4%	5.6%	7.5%
	至2030年節能率	4.8%	11.7%	15.8%
	至2035年節能率	6.8%	17.3%	23.6%
	至2050年節能率	11.9%	26.4%	26.6%
至2050(30年後)外部報酬(單位：十億元)		19.2	55.8	53.8

資料來源：本研究整理

電冰箱效率提升在不同汰換率下電冰箱總用電量變化之趨勢



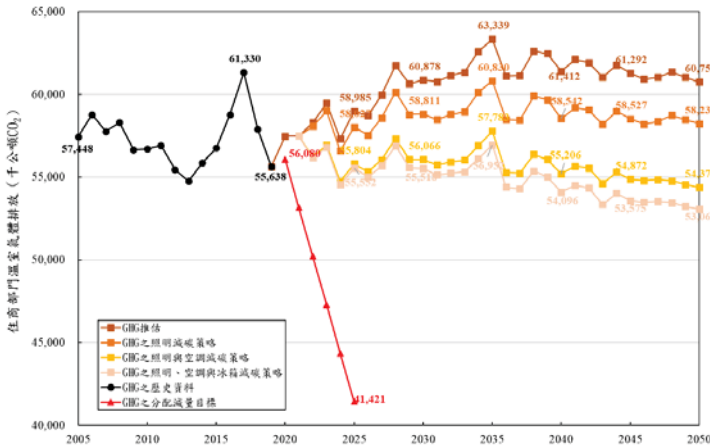
資料來源：本研究繪製

佔整體住商用電量之節能率約2.4%

住商部門可行之減碳策略及其效益分析

未來發電結構不變情況

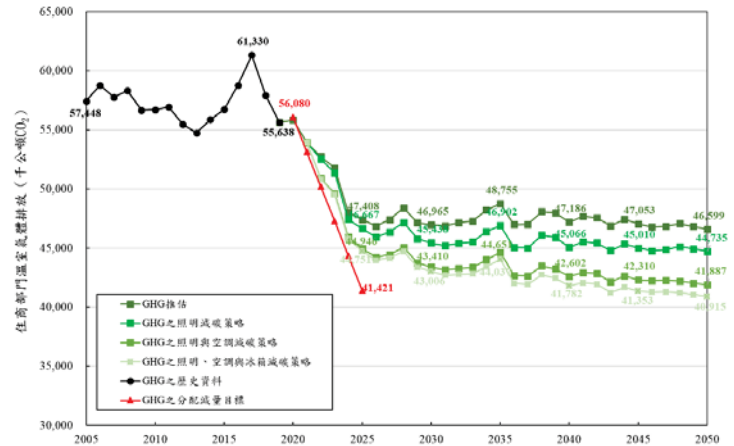
資料來源：本研究整理



至2050年時達12.6%之降幅

未來發電結構改變情況

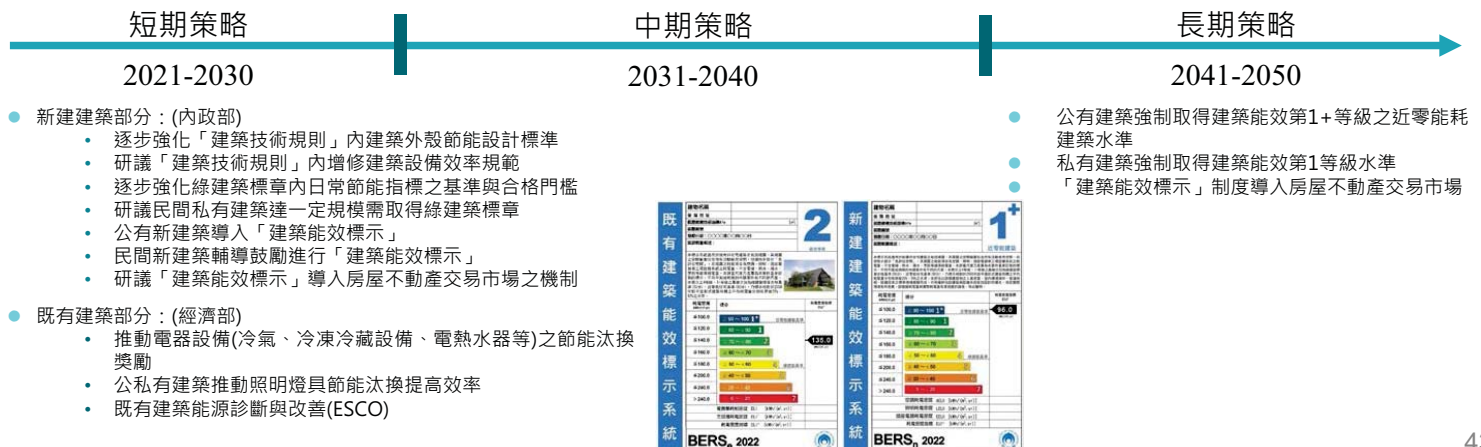
資料來源：本研究整理



至2050年時達12.2%之降幅

達成淨零能源建築之短中長期策略初步建議

- 新建建築部分：(內政部)
 - 公有建築強制取得建築能效第1等級水準
 - 一定規模以上之私有建築取得建築能效第2等級水準
- 既有建築部分：(經濟部)
 - 推動電器設備(單體式冷氣、冷凍冷藏設備、電熱水器等)之節能汰換獎勵
 - 公私有建築推動照明燈具節能汰換提高效率
 - 擴大既有建築能源診斷與改善(ESCO)



43

結論

1. 彙整國內外住商部門之減碳策略及推動之權責機關與文獻蒐集。
2. 蒐集我國經濟部能源局、環保署、台電等有關去年或前年之各項能源統計資料。此外，由於最新有關台電行業別用電統計年報其行業類別分組略有調整(85~107年版與108~109年版之分類細項不同)，本計畫重新統計彙整新的行業類別分項據以統計住商部門之年用電量。
3. 以能源局最新公告更新電力碳排放係數為0.492kgCO₂e/kWh(2020年)以及台灣自來水公司之每度自來水的碳排放係數0.150kgCO₂e/噸(2019年)，更新未來住商碳排基線之計算基礎。
4. 透過內政部不動產資訊平台，以最新2019年之統計資料更新全國低用電戶數量為891,880戶，約占全國總戶數之10.17%，較前一年(2018年)下降了0.39%。進行未來住宅部分之碳排基線更新預估值。
5. 以最新內政部營建署之統計資料，更新109年核發住宅與商業之建築使用執照樓地板面積，作為推算未來住商部門建築之成長趨勢。更新住商部門之溫室氣體排放量基線預測從原本2035年延伸至2050年，同時減碳策略之效益亦同步推估至2050年。
6. 依照能源局最新統計之商業大樓電力流向比例資料，更新2019年始以及未來至2050年之各項建築耗能組成比例，作為推估商業建築各耗能來源之推算基礎。
7. 有鑑於去年所發展以蒙地卡羅方法作為推估未來建築耗能之模型，重新更新定義變數之範圍與增加模擬之變數，並結合未來氣候重新大量更新模擬以建立新的排碳基線預測模式，擴大模型之使用彈性，以進一步作為計畫下半年度以該模型作為評估各項住商溫室氣體減碳策略之成效。

44

結論

8. 更新氣候資料，進行既有碳排預測模式之更新與滾動檢討。
9. 依照重新建立之住商碳排基線模型與滾動更新新的各項統計資料後，發現2020年住商部門年總溫室氣體總量為55,638千公噸碳當量，相較於前一年度(2019年)之58,282千公噸碳當量下降了4.5%。因此往後各年之排碳推估BAU亦隨之調整，至2025年時預估住商部門之總溫室氣體排放量依發電結構不變與改變下，將分別降為57,955與47,971千公噸碳當量。與現階段所訂的第二階段管制目標至2025年之分配排放額度分別仍有14,241與4,257千公噸碳當量之減碳缺口，尚須進一步分別再減碳24.6%與8.9%。意即排除電力碳排放係數下降所導致之溫室氣體減少量外，額外住商部門本身需再減量8.9%。
10. 本研究同時建立未來在電動車逐漸普及下，因充電樁位於建築內所增加之碳排放量預估模型。至2050年時因電動車充電所增加的碳排放量，在假設未來電力碳排放係數逐漸下降之前提下，為29.9 MtCO₂，相當於占當年度之住商總溫室氣體排放量的0.81%。
11. 本研究提出之減碳策略在同時考量成本效益、推動之難易度(擴散率)、可行性，以建築照明燈具汰換、汰換效率差之冷氣、汰換老舊冰箱等做為優先推動之項目較建築外殼節能改善，更具減碳與成本效益。自2022年各項上述策略逐年依各自所設定之汰換率實施至2050年止，依序以(1)僅實施照明節能汰換、(2)實施照明節能汰換與冷氣汰換及(3)同時實施照明節能汰換、冷氣汰換與老舊冰箱汰換等三種情境下計算其至2050年之減碳幅度，在假設未來我國發電結構改變電力碳排放係數逐年下降下，與當年度之基線相較後分別可減碳4.0%、10.1%與12.2%；意即於2050年時全國住商排碳量將分別減為44.735、41.887與40.915百萬公噸CO₂e。

簡報完畢 敬請指教



內政部建築研究所

AIoT 影像感測器在建築物 安全應用與效益研究

成果發表 簡報

計畫主持人：王榮進 所長

協同主持人：余文德 教授

研究員：廖琬洲 教授

張憲寬博士、林子怡博士

民國 一一一年 四月 十二日

簡報大綱

1 簡介

2 重要文獻回顧

3 應用情境及效益分析架構之研擬

4 模擬案例效益分析

5 結論與建議

研究背景

- 建研所**108**年開始推動「**智慧化居住空間整合應用人工智慧科技發展推廣計畫**」：
 1. 強化社會安全網，確保社會安定
 2. 加強防救災體系，保障民眾安全
 3. 打造宜居環境，維護民眾居住權利
- **人工智慧深度學習**技術在智慧影像辨識上具有高度**商業應用**可行性
 - 運算平台由雲端平台延伸至**AIoT影像感測器**，**提高決策與反應速度**
 - 智慧建築導入**AIoT影像感測**可**發揮巨大潛在效益**
 - 智慧建築導入**AIoT影像感測**可能**引發隱私權問題**

研究目標 ⇒ 預期成果

1. 完成國內外應用**人工智慧物聯網(AIoT)**影像感測於**建築安全應用**之案例及效益分析等相關**文獻資料**之蒐集與調查
⇒ **蒐集國內外案例與效益分析資料**
2. 完成**AIoT**影像感測器於**建築安全**之應用**情境**及**效益分析**
⇒ **提出應用情境與模擬案例研擬**
3. 完成**AIoT**影像感測器在建築物安全**應用效益**之案例**模擬試算**。
⇒ **完成應用案例效益評估與模擬試算**

5

研究方法 (1/2)

一. 資料分析方法

對**AIoT**影像感測器**建築安全應用**進行分析：

- 建築**施工**中**工地安全**監控
- 建築**施工**中**結構安全**監測
- 建築**完工**後**建築物安全**監測
- 建築**營運**階段**社區安全**管理等情境

歸納有關**隱私權保護**之注意事項，以及推估**AIoT**影像感測技術可提升建築物之**營運效益**。

6

研究方法 (2/2)

二. 案例模擬法

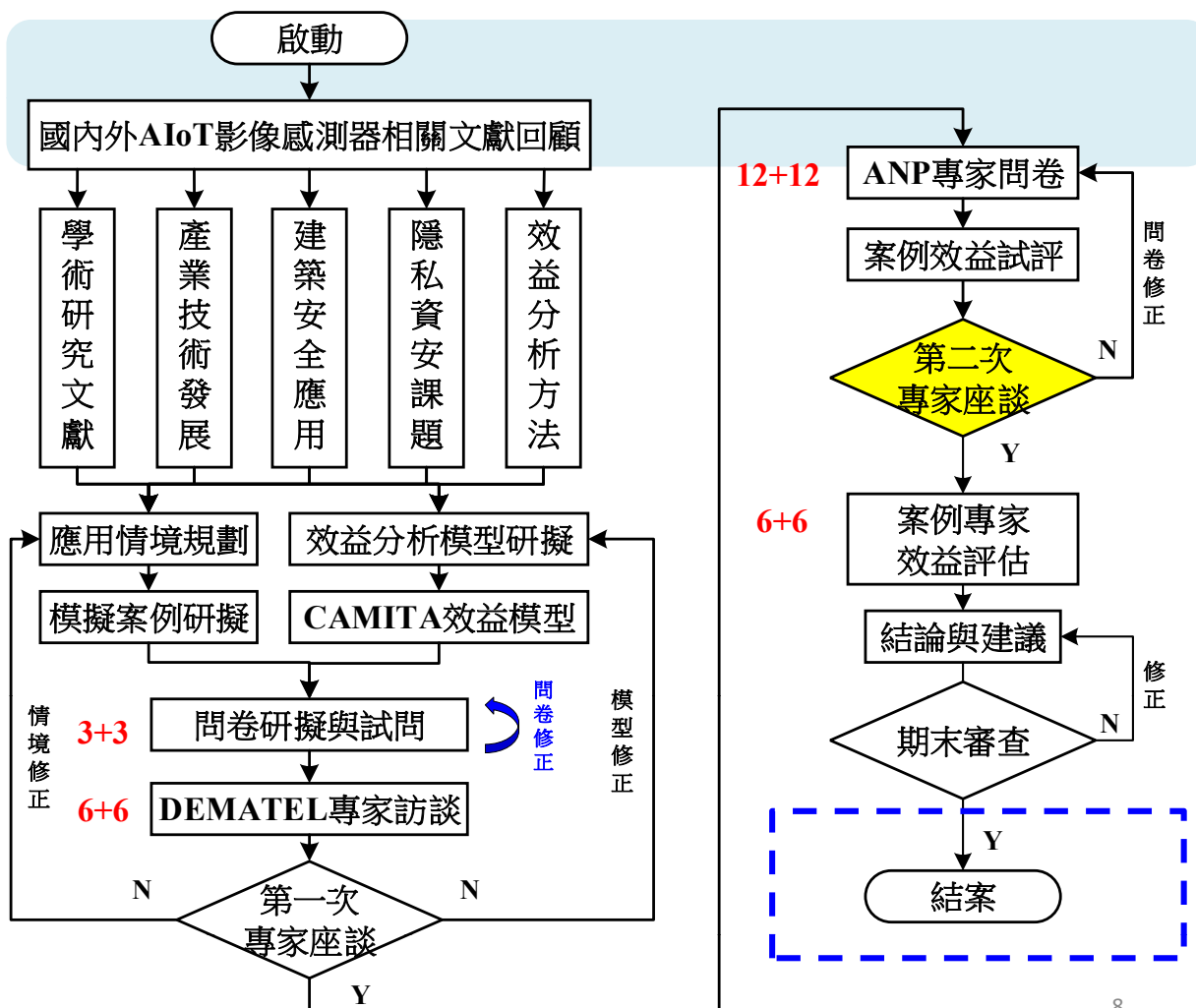
- 透過**案例模擬試算**，評估**AIoT影像感測器方案**vs.**傳統方案**，在**建築物安全應用**之**質性及量化效益差異**。

三. 專家訪談法

- 針對**參與建築物安全管理之人員**進行**專家訪談**，以了解**AIoT應用之資安、隱私**等**技術問題與實際效益**。

7

研究方法與流程



8

2

重要文獻回顧

- 國內外 **AIoT** 影像感測相關**技術發展**現況
- **AIoT** 技術於國內外**智慧建築**與**施工安全**應用之回顧
- **AIoT** 應用於智慧建築之**隱私權**與**資安**文獻回顧
- **AIoT** 應用**效益分析**方法回顧

9

國內外 **AIoT** 影像感測相關**技術發展**現況

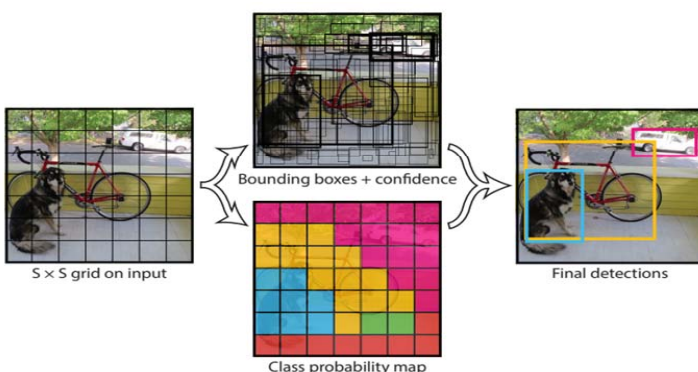
• **AIoT**影像感測器**硬體**技術發展現況

NVIDIA Jetson Nano 開發套件



(Nvidia, 2021)

• **AIoT**影像感測器**軟體**(**機器學習**)技術框架



Yolo物件偵測結果範例

(Redmon et al., 2016)

10

國內外 AIoT 影像感測相關技術發展現況

- **AIoT 影像感測技術國內外應用實例：**
 - 一、即時人流推估與異常行為偵測之應用
 - 人群聚集，異常行走軌跡，長時間逗留等
 - 二、居家照護與健康管理之應用
 - 跌倒偵測、嬰兒事故監控、睡姿分析等
 - 三、智慧停車場之應用
 - 車輛偵測、車牌辨識、停車格管理等
 - 四、智慧城市1+7落地方案 (台北市政府, 2020)
 - 智慧工地、門禁、體溫感測、CCTV智慧安防等

(Boominathan et al., 2016; Sánchez et al., 2020; Zhou et al., 2019; Ullah et al., 2020; Kong et al., 2018; Shojaei-Hashemi et al., 2018; Lai et al., 2018; Wang et al., 2019; Huang et al., 2020; McCay et al., 2020; Kurpiel et al., 2019; Silva et al., 2020; Dalarmelina et al., 2017; Luque-Vega et al., 2020; 台北市政府, 2020) 11

AIoT技術於國內外智慧建築與施工安全應用之回顧

- 一、**AIoT 於建築施工中工地安全監控**

Ex: 施工人員安全裝備自動檢查情境 (余文德等, 2020)
- 二、**AIoT 於建築施工中結構安全監控**

Ex: 隧道施工即時監控系統架構 (Zhang et al., 2021)
- 三、**AIoT 完工後建築物安全監測**

Ex: 結構安全監控之環境架設 (Hsu et al., 2020)
- 四、**AIoT 建築營運階段社區安全管理**

Ex: 智能火警系統架構 (Muhammad et al., 2018)

AIoT應用效益分析方法回顧

- 傳統經濟決策分析法(EDAM)之成本效益率分析(BCR)方法，仍為國際學術界對於智慧型新興建築科技效益評估之主流。
- 傳統BCR分析，須蒐集有形與無形之成本與效益數據資訊，並轉換成為量化貨幣單位，對於許多新興技術之應用方案分析造成困難。
- 透過質性分析來進行次量化轉換間接成本價值評估之方法為可能的替代方案。
- 亟需透過本土案例研究，以探討AIoT影像感測器在建築安全之實際應用效益。

13

3

應用情境及效益分析架構之研擬

- AIoT 在建築安全應用情境及模擬案例規劃
- AIoT 在建築安全應用之隱私權與資安問題分析
- AIoT 在建築安全應用效益之分析模式

14

案例一

AIoT在建築安全應用情境及模擬案例 規劃

➤ 建築施工中之安全監控模擬案例

- 工地進出口人車門禁管制
- 高處施工之建築開口或結構物邊緣之人員墜落風險監控
- 個人防護設備PPE辨識
- 移動式起重機吊掛作業監控

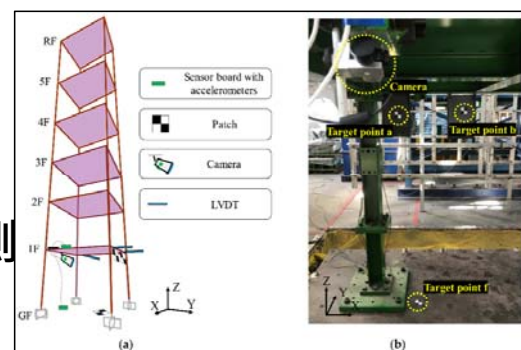
15

案例二

AIoT在建築安全應用情境及模擬案例 規劃

模擬案例 (二)：建築使用階段社區安全管理

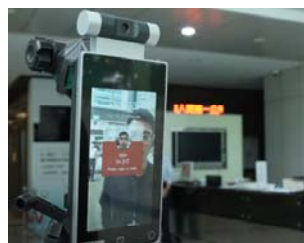
- 人員入口安全管理
- 車輛入口安全管理
- 異常行為偵測
- 建築水火災與結構位移偵測
- 老人嬰兒居家照護



結構安全監控
(Hsu et al., 2020)



異常行為事件偵測
(廖珠洲等, 2020)



門禁管制
(沛博科技, 2021)



老人照護
(Cherry Home, 2021)



嬰兒照護
(CUBO AI, 2021)

16

AIoT在建築安全應用之隱私權與資安問題分析

一、AIoT資料應用之隱私權規範

– 國內規範：

• 法務部釋例：

- 《法制字第 10302509360 號》「監視系統錄得影像資料利用」
- 《法律字第 10203502790 號》「大樓或宿舍公布監視錄影器錄下之侵入者影像」

• 法務部釋例之規定：

- 「公務機關或非公務機關蒐集大樓或宿舍監視錄影器中涉及個人資料之畫面，非屬個人或家庭活動目的情形時，應有特定目的(例如：場所進出安全管理)...並符合法律明文規定、增進公共利益、當事人書面同意、為防止他人權益之重大危害，或為免除當事人之生命、身體、自由或財產上之危險，始得為特定目的外之利用。」

17

AIoT在建築安全應用之隱私權與資安問題分析

一、AIoT資料應用之隱私權規範 (續)

– 國際規範：

• 經濟合作發展組織(OECD)「隱私權保護及個人資訊跨國流通處理原則」之八項規定，對於未來 AIoT 影像感測器所取得之數位資料皆有明確之規範：

- 如資料蒐集之限制、資料品質之確保、資料使用目的之明確化、資料利用之限制、資料安全之保障、資料利用目的之公開化、個人對於資料處理之參與權，以及取得資料單位所應負擔之責任等。

– 國內外對於透過資訊設備所取得之數位資料隱私權之保障已逐漸形成國際規範。

初步建議：對於未來AIoT所取得數位影像資料之利用與處置，可依循OECD八項規範原則。

AIoT在建築安全應用之隱私權與資安問題分析

二、AIoT數位資料之資安技術問題

1. 應用面：

- AIoT牽涉到使用者或消費者對資安的認知，容易因單一使用者遭入侵後，影響整棟建築安全或隱私。

2. 技術面：

- AIoT隱私權保護或者資安技術皆已達到產業實務上運用水平；然實務應用將牽涉到使用者需求、成本效益、維護複雜度等因素的影響，必須取得平衡點才有利基。

19

4-2 AIoT在建築安全應用之隱私權與資安問題分析

二、AIoT數位資料之資安技術問題 (續)

3. 法規面：

- AIoT智慧物聯網設備資安有賴法規面的規範，法規規範也是一體兩面的，在隱私保護與犯罪預防需要間必須取得一個平衡點，才能在兼顧隱私保護的前提下，來達成預防犯罪的目標。

4. 產業面：

- AIoT產業逐漸重視資安規範，因此各種資安的國際標準逐漸形成規範標準，未來AIoT智慧物聯網的製造商從零件供應商到產品製造過程，都必須符合特定的國際產業標準，才有利於與國際接軌。

20

AIoT在建築安全應用效益之分析模式

一、建築智慧科技應用成本效益分析模式

(Cost/benefit Analysis Model for Intelligent building Technology Adoption, CAMITA)

1. 目標層級(Objective)—分析建築智慧科技應用
 - 本研究聚焦於AIoT技術應用於建築安全之效益。
2. 構面層級(Category)—包括B、O、C、R四大構面，分析建築智慧科技應用之各面向成本與效益。
3. 項目層級(Item)—從BOCR四大構面，向下結構各評估面向所應包含之評估項目共14項。

21

AIoT在建築安全應用效益之分析模式

一、建築智慧科技應用成本效益分析模式

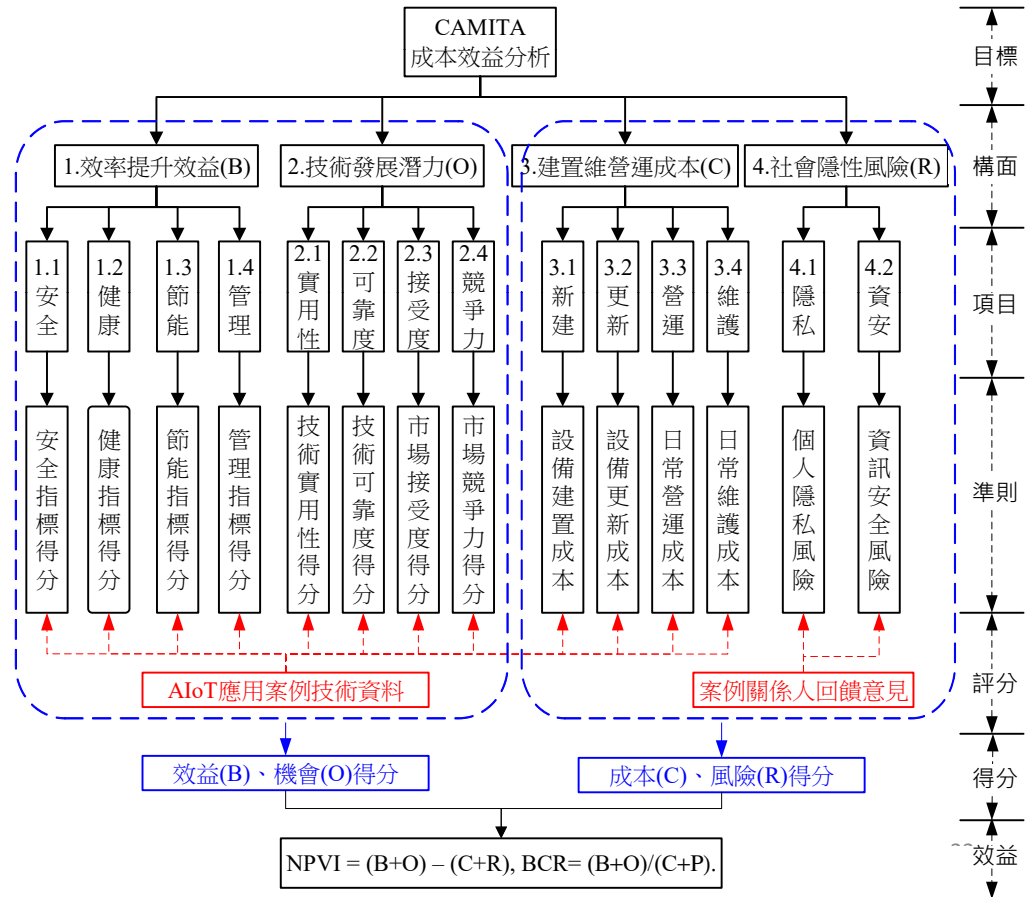
(CAMITA) (續)

4. 準則層級(Criterion)—由各評估項目之內涵，透過文獻回顧、專家訪談、問卷調查等歸納出評定該項目之評分準則，以決定各項目之BOCR量化數值。
5. 評分(Scoring)—依據第四層級之評分準則，針對不同應用技術之不同應用情境，進行個案之評分。

22

AIoT在建築安全應用效益之分析模式

一. 建築智慧科技應用成本效益分析模式 (CAMITA) (續)



AIoT在建築安全應用效益之分析模式

二. CAMITA 分析流程

1. 以DEMATEL結合ANP方法分解效益、機會(潛力)、成本、風險大項之細項分類；
2. 應用兩兩比較法(pairwise comparison)進行項目重要性相對權重分析；
3. 依據詳細個案技術與成本資料，以量化或質性(次量化)方法，評估「效益提升(B)」、「發展潛力(O)」、「應用成本(C)」及「隱私與資安風險(R)」各細項準則數據之評分；

二. CAMITA 分析流程 (續)

4. 依據ANP方法所得到之**權重**，**加總計算效益、機會(潛力)得分(B、O)**，以及**成本、風險項得分(C、R)**；
5. 帶入經濟決策分析指標計算—**CAMITA**之成本效益指標為方案**相對價值(技術加值)比較**，故**淨現值指標(NPVI)**為方案相對之**價值(技術加值)**，而非絕對之貨幣價值。
 - **淨現值指標 (NPVI) = (B+O)-(C+R)；**
 - **成本效益比率 (BCR)= (B+O)/(C+R)。**

25

4

模擬案例效益分析

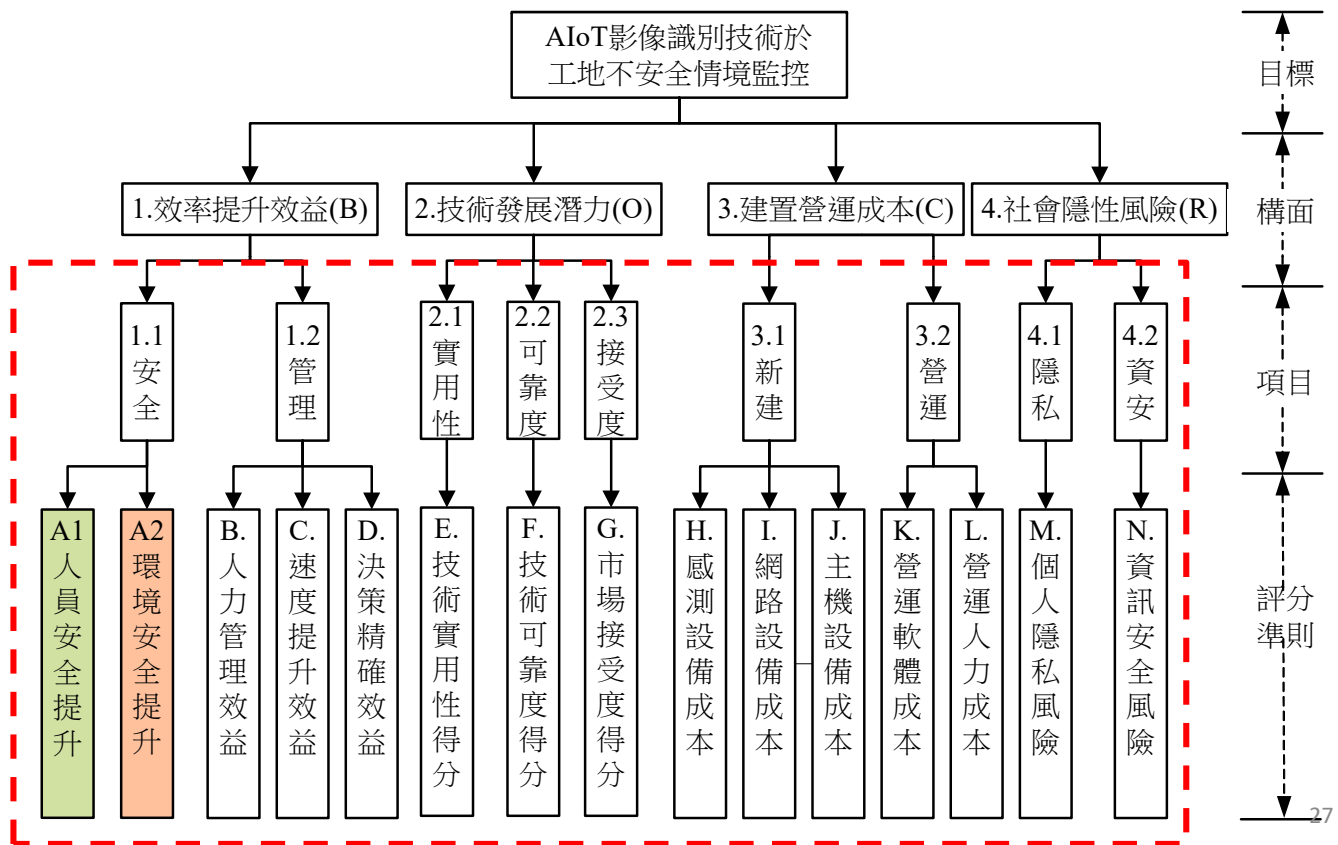
案例(一)：建築施工中之**工地安全監控**

案例(二)：建築營運階段之**社區安全管理**

26

案例一

CAMITA 模式於「AIoT 影像感測器應用於建築施工中之工地安全監控」之評估架構



案例一

CAMITA 效益評估指標計算

方案	方案一	方案二	方案一vs. 方案二
計算項目	AIoT	CCTV	
B	13.62%	7.08%	6.54%
O	13.05%	7.74%	5.30%
C	4.34%	3.31%	1.03%
R	2.11%	1.17%	0.94%
B+O	26.67%	14.82%	11.85%
C+R	6.45%	4.48%	1.97%
淨現值指標(NPVI)	20.21%	10.34%	9.87%
益本比(BCR)	5.10	4.23	1.21
結論	NPVI > 0 方案具可行性，BCR > 1.0 方案具成本效益		

案例一 簡易評估方法-指標計算

B = 16.72%, O = 7.70%, C = 3.22%, R = 2.03%

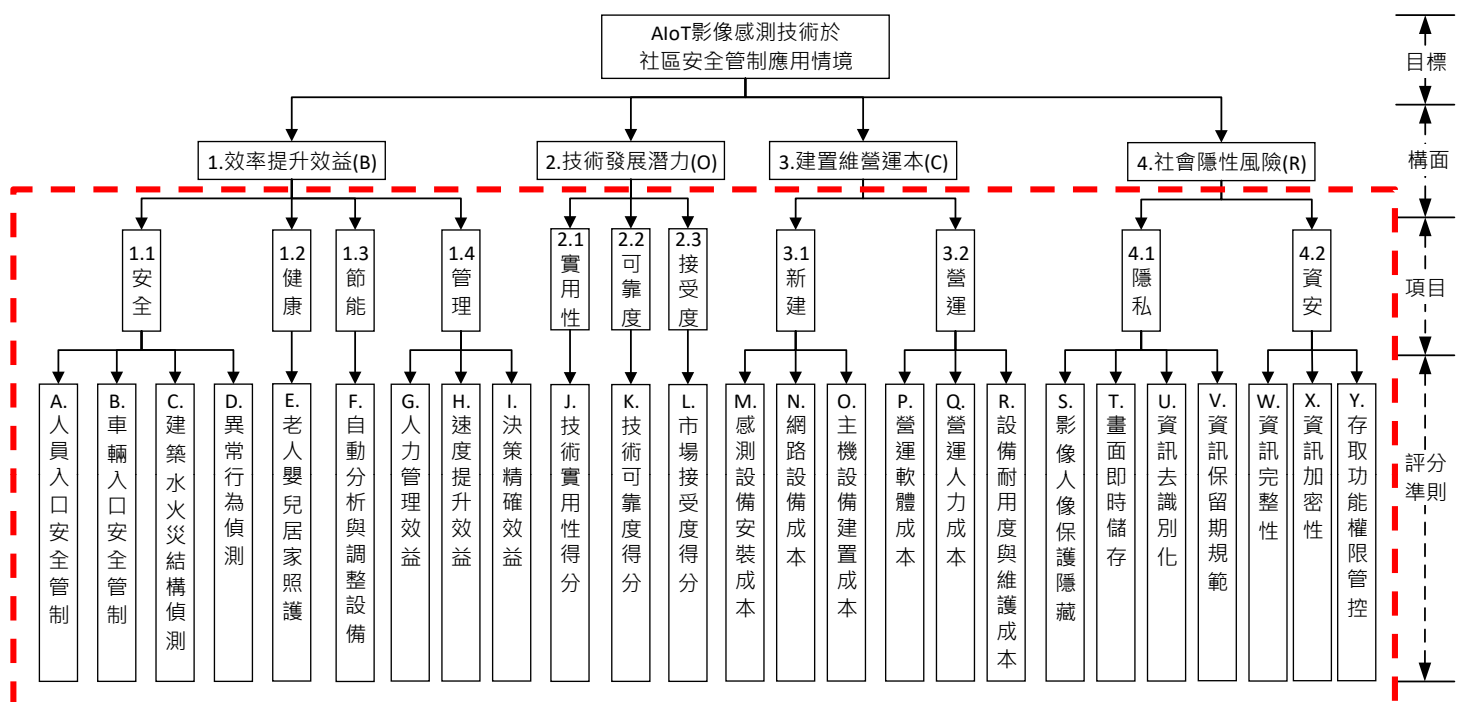
• **淨現值指標(NPVI) = (B+O) - (C+R)**
= 16.72% - 7.70% = 19.17%
(NPVI > 0 , 方案可行)

• **成本效益比率(BCR) = (B+O) / (C+R)**
= 16.72% / 7.70% = 4.65
(BCR > 1.0 , 方案具成本效益)

29

案例二

CAMITA 模式於「AIoT影像感測器應用於建築營運階段之社區安全管理」之評估架構



30

案例二

CAMITA 效益評估指標計算

計算項目 \ 方案	方案一	方案二	方案一 vs. 方案二
B	17.99%	7.44%	10.55%
O	6.14%	5.10%	1.04%
C	8.82%	4.50%	4.32%
R	2.68%	7.01%	-4.33%
B+O	24.13%	12.54%	11.59%
C+R	11.50%	11.50%	0.00%
淨現值指標(NPVI)	12.63%	1.04%	11.59%
益本比(BCR)	2.10	1.09	1.92
結論	NPVI > 0 方案具可行性，BCR > 1.0 方案具成本效益		

31

案例二

簡易評估方法-指標計算

$$B = 29.21\%, O = 11.42\%, C = 1.56\%, R = 5.19\%$$

- 淨現值指標(NPVI) = (B+O) - (C+R)

$$= 40.63\% - 6.75\% = 33.89\%$$

(NPVI > 0 ， 方案可行)

- 成本效益比率(BCR) = (B+O) / (C+R)

$$= 40.63\% / 6.75\% = 6.0231$$

(BCR > 1.0 ， 方案具成本效益)

32

結論

- ① 蒐集分析AIoT影像感測器在建築物安全應用之效益資料
 - 目前AIoT影像感測器於建築安全已漸臻成熟
 - 軟硬體技術已臻成熟，具有產業化及商業化應用發展潛力。
 - 國內外有關AIoT影像感測器於建築安全之應用範圍廣泛
 - AIoT影像感測器之應用已滲透日常生活各層面，遍及生命週期各階段。
 - 國內外有關智慧建築科技效益分析之發現
 - 傳統經濟決策成本效益率分析(BCR)為國際上智慧科技效益評估主流
 - 國外案例多包含有形及無形成本效益項目，必須量化並轉換為貨幣單位。
 - 國內外文獻之傳統智慧建築之BCR $\cong 0.88 \sim 1.99$ (Berawi et al., 2017)、NPVI $\cong -4\% \sim 6\%$ (Chen et al., 2016)，主要效益在於能源節省；而AIoT應用案例效益分析多屬質性。

結論

② 提出AIoT影像感測器建築安全應用注意事項及效益

- 本研究依據國內外案例文獻歸納建築生命週期四個階段，共**18項AIoT影像感測器於建築安全之應用情境**。
 - 可以做為未來業主或工程與設計單位，在AIoT影像感測器應用於建築安全領域時之參考情境。
- **AIoT影像感測器之隱私權與資安相關議題越來越重要**
 - 一般民眾與建築工程業主之疑慮偏高
 - 熟悉技術之專家與設備廠商普遍認為AIoT較傳統CCTV更安全
 - 國際上已逐漸形成標準，OECD之八項原則可作為依循標準。

35

結論

③ 提出AIoT影像感測器在建築物安全應用之效益案例模擬

- 提出**AIoT影像感測器於建築安全應用成本效益分析模式**
 - 「**建築智慧科技應用成本效益分析模式(CAMITA)**」
 - 包括：方案對照比較評估法及簡易查檢表評估法等兩種模式
 - 完成兩個**AIoT影像感測器於建築安全應用之模擬案例研究與分析**
 - 案例(一)：「**建築工地安全監控**」⇒ **NPVI=20.21%**、**BCR=5.10**
 - 案例(二)：「**社區安全管理**」⇒ **NPVI=12.63%**、**BCR=2.10**
- ⇒ **AIoT影像感測器應用效益高於傳統智慧建築技術**

36

建議

- ① 推動AIoT影像感測創新技術於社會住宅智慧建築應用之研究 ⇒ 建研所+國家都更中心、縣市社宅單位
- ② 推動AIoT影像感測創新技術於社會住宅施工安全與建築物災害監測應用之研究 ⇒ 國家都更中心、縣市社宅單位+建研所
- ③ 進行建築物應用AIoT智慧物聯網技術效益評估之實證研究 ⇒ 建研所+大學、研究機構
- ④ 推動AIoT影像感測器於智慧建築智慧創新應用之研究 ⇒ 建研所+大學、研究機構
- ⑤ AIoT影像感測器於智慧建築智慧創新應用人才培養及產學研合作推廣 ⇒ 台灣建築中心+大學、AIoT設備產業

37

內政部建築研究所



AIoT 影像感測器在建築物
安全應用與效益研究

成果發表 簡報

簡報完畢，敬請指教！