



98 年度計畫執行報告

居住空間舒適性檢測標準整合與開發計畫(2/4)

(第 2 年度)

全程計畫：自 97 年 1 月至 100 年 12 月止

本年度計畫：自 98 年 1 月至 98 年 12 月止

委託單位：經濟部標準檢驗局

執行單位：工業技術研究院

中 華 民 國 99 年 1 月

【期末報告摘要資料】

科資中心編號	PG9801-0115			
計畫中文名稱	居住空間舒適性檢測標準整合與開發計畫			
主管機關	經濟部標準檢驗局	計畫編號	98-1403-04-0304	
執行機構	財團法人工業技術研究院量測技術發展中心	審議編號	98-1403-04-0304	
年度	98	全程期間	9701-10012	
本期經費	7,500仟元			
執行單位出資0%				
經濟部標準檢驗局 委託(補助) 100%				
執行進度		預定進度	實際進度	落後比率(比較)
	當年	100%	100%	0%
	全程	50%	50%	0%
經費支用		預定支用經費	實際支用經費	支用比率
	當年	7,500仟元	7,500仟元	100%
	全程	30,576仟元	20,104仟元	65.8%
中文關鍵詞	智慧建築、校正追溯、熱舒適、感測器			
英文關鍵詞	Intelligent building, Calibration and traceability, Thermal comfort, Sensor			
研究人員	中文姓名		英文姓名	
	彭國勝		Peng , Gwo-Sheng.	
	楊正財		Yang, Cheng-Tsair	
中文摘要	「透過物理與生理的平衡效應，而達到心理的滿足」為本計畫所要追求的健康舒適環境。藉由標準的量測與檢測方法建立，尋找環境物理與人體生理相互影響的關聯性以及其多種物理與生理參數達到平衡的舒適性。本計畫將逐年建立環境物理與人體生理參數之客觀量測方法與標準程序並建立主觀量測之人因資料庫供社會各界參考使用，進而建構人與環境更直接友善的溝通模式，使人們在居住空間中能更順心如意，擁有智慧又美好的生活。因此短期研發重點工作將在於以度量衡(Metrology)為出發點，參考國外標準建立健康舒適環境性能驗證與標準檢測方法，而中長期目標則為環境物理與人體生理系統之介面整合，並將計畫所建立的成果作為智慧建築標章制訂的參考。			
英文摘要	Quality of life in Taiwan is improving gradually in recent years and more demands for residential environment with higher level of health and comfort are also desirable to be achieved. The Architecture and Building Research Institute (ABRI) in Taiwan had already drawn up criteria for physical parameters, such as acoustics, lighting, humidity, heat and air flow, and these regulations must be met in order to qualify for Green Building and Intelligent Building certification. However, standard measurement			

	methods, operation procedures of field assessment, instrument calibration and standard traceability still need to be clarified before applying them to the indoor environment. Thus the purpose of this project is to establish the measurements and standard operation procedures for physical and physiological parameters and build up the ergonomic database finally. For the short term of the research project, the inspection and examination methods of indoor environment are focused. And the long-term goal is to integrate the environmental physical and psychological parameters and also help to achieve the balance of environment and human comfortability.
報告頁數	192頁
使用語言	中文
全文處理方式	可立即對外提供參考

報 告 內 容

目 錄

壹、年度活動紀要.....	1
貳、前言.....	4
參、執行績效.....	7
一、資源運用情形.....	7
(一) 人力運用情形.....	7
(二) 經費運用情形.....	8
(三) 設備購置與利用情形.....	10
二、計畫達成情形.....	11
(一) 進度與計畫符合情形.....	11
(二) 目標達成情形.....	12
(三) 配合計畫與措施.....	26
三、人力培訓情形.....	28
肆、計畫變更說明.....	32
伍、成果說明.....	33
一、量化成果說明.....	33
二、非量化成果說明.....	34
(一) 環境性能量測之感測器功能驗證與評估.....	34
(二) 熱舒適度量測標準之草案研究.....	80
陸、結論與建議.....	122
柒、參考文獻.....	124
捌、附件.....	125
一、新台幣五百萬以上儀器設備清單.....	127
二、國外出差人員一覽表.....	128
三、專利一覽表.....	129
四、論文一覽表.....	130
五、技術報告一覽表.....	131
六、研討會/成果發表會/說明會一覽表.....	132
七、中英文對照表.....	133
八、國人熱舒適度調查與標準.....	134
九、研究成果統計表.....	176
十、審查意見表.....	177
十一、期末查證暨驗收會議記錄.....	186
十二、計畫績效評估報告.....	190

壹、年度活動紀要

茲就本計畫今年度計畫管理、技術與成果活動、人事與國際合作相關事務，說明如下：

日期	活動內容簡述
97.12	簽約完成，本計畫 98.01.01 開始執行。
98.2	拜訪建研所智慧化居住空間整合應用展示中心，與建築中心林杰宏副執行長討論現場量測與感測器驗證事宜。
98.2	拜訪中山大學楊冠雄教授，討論 PMV 技術與空調節能整合問題，同時規劃國人熱舒適的調查研究工作。
98.5	拜訪智慧化居住空間產業聯盟討論熱舒適度量測方法標準草案的推廣與程序，聯盟予以支持。
98.5	參加 2009 全球智慧化居住空間未來展望國際研討會，並將研究成果以海報的方式展覽與進行技術推廣。
98.5	投稿 ACRA2009 國際冷凍空調研討會「Field measurement and computational simulation for the thermal comfort in the bedroom during winter」，於 5/22 於台北完成發表。
98.6	本計畫上年度建立之熱流環境量測技術目前已應用至農委會 98 年「導入高效節能環保概念提升花卉商品品質之研究」之計畫推動。協助推動花卉節能生產，評估溫室熱流環境以及提供準確性的量測結果作為後續節能改善的參考依據，並辦理花卉業者及溫室設備業者(商)節能環保之教育訓練課程，培育高效節能技術人才。
98.6	拜訪聯合大學黃瑞隆教授，並討論熱舒適性指標與國人舒適度的調查研究內容。
98.7	完成國人熱舒適調查期中報告會議(學術委託計畫)。
98.8	拜訪生產力建設公司，針對去年現場量測結果進行報告與討論，同時就感測器規格與安裝位置進行探勘。

日期	活動內容簡述
98.08.31-98.9.4	前往台中生產力建設進行室內環境熱舒適現場量測實驗(五樓住宅)，同時與對方討論相關量測結果。
98.09.21-98.10.21	前往丹麥科技大學(DTU)的國際室內環境與能源研究中心(ICIEE)進行技術的研習，研究內容包括熱舒適的最新量測技術，並討論環境與人種的差異性、生理訊號與舒適度的關連性以及標準引用適切性的評估方法，及討論熱舒適量測技術與量測方法標準草案事宜。
98.10.12-98.11.2	前往內政部建研所智慧化居住空間整合應用展示中心進行感測器現場驗證與環境量測實驗。
98.11.06	舉辦智慧化空間熱舒適量測與標準國際研習會，邀請內政部建研所何明錦所長探討智慧建築產業發展狀況；文化大學建築系溫琇玲教授解說智慧建築標章在健康舒適指標目前最新的制訂現況；工研院量測中心李信宏研究員講解國際熱舒適的相關標準以及室內熱舒適度的量測與評估方法；日本九州大學大学院藝術工学研究院人間生活系統部門枋原裕教授介紹日本熱舒適研究的相關發展趨勢，最後則是由中山大學機電系楊冠雄教授講解國內外熱舒適度的差異性與國人熱舒適的調查結果。參加人數總共為 72 人並包含廠家數 58 家。
98.11.09-98.11.12	前往台中生產力建設進行感測器現場驗證與環境熱舒適度量測實驗(四樓公設)。
98.12.01	計量科技計畫98年度成果展，展出居住空間熱舒適度量測與評估系統與居住空間音環境現場量測系統。藉由與國外相關實驗室研究合作，引進「Quality of life」觀念，建立一般消費大眾生活需求的標準化量測方法，以及各項環境指標之標準驗證與檢測方法，發展符合亞熱帶區域環境的舒適指標，以標準引導設計與智慧型居住空間

日期	活動內容簡述
	產業商業機制，建立貼近建築市場、系統廠商和設備廠商的產業鏈，甚至帶領產業進入國際舞台。

貳、前言

根據行政院 SRB 會議，推動「智慧化居住空間的基礎建設及使用者介面」，與「建立智慧化居住空間及高效能環境所需的評估及檢測標準」等兩項工作，為政府對於優質生活政策的重要施政方針。目前在內政部建築研究所主導下，已進行多項以建築居住環境來建構優質生活的規劃，包括【綠建築標章】、【智慧型建築標章】等等。經濟部標準檢驗局以標準建立與驗證技術研發的角度，協助建研所及智慧化居住空間產業聯盟與相關業者推動智慧化居住空間產業之發展。

智慧建築以「人本」為導向，運用智慧 IT 的各種感測技術提升居住方便性與舒適性。但智慧住宅牽涉每戶使用設備的意願與建物整體規劃，量化的標準確實不易制定。為有效推動整體智慧化居住空間產業的發展，建立以標準量測技術為基礎的驗證指標，使指標的訂定具有技術上的可行性與推動上的公信力，為現階段產業發展的嚴肅課題。工研院量測技術發展中心(CMS)長年接受標檢局委辦執行「國家度量衡標準實驗室(NML)」業務，在各種物理量、機械量與化學量等量測參數的實體標準方面，已建立起超過百套的原級系統，滿足國內各級實驗室乃至最終使用者對各項儀器設備的追溯需求，並透過各種關鍵比對藉以與國際計量標準接軌。在此考量下，工研院量測中心依據本身量測技術的特長，針對智慧型建築與所需的室內現場環境性能驗證，首先於 FY96 執行了科發基金計畫「音光熱電之現場性能驗證技術與檢測先期研究」，在此基礎上全面規畫包括音、光、熱、氣流、濕度等與室內舒適性相關的參數量測標準與技術研發，並於 FY97 進行環境物理性能驗證標準檢測方法之研究，完成眩光量測方法與 PMV 量測方法之建立；亦對空間性能量測之儀器進行校正追溯的調查；並完成環境物理參數關係之研究，對環境空間照度分布與熱舒適度 PMV 之對應關係有一系列的研究。同時相關研究內容均已陸續發表在國際研討會與期刊，並藉由研討會的舉辦增加與產業界的連結。

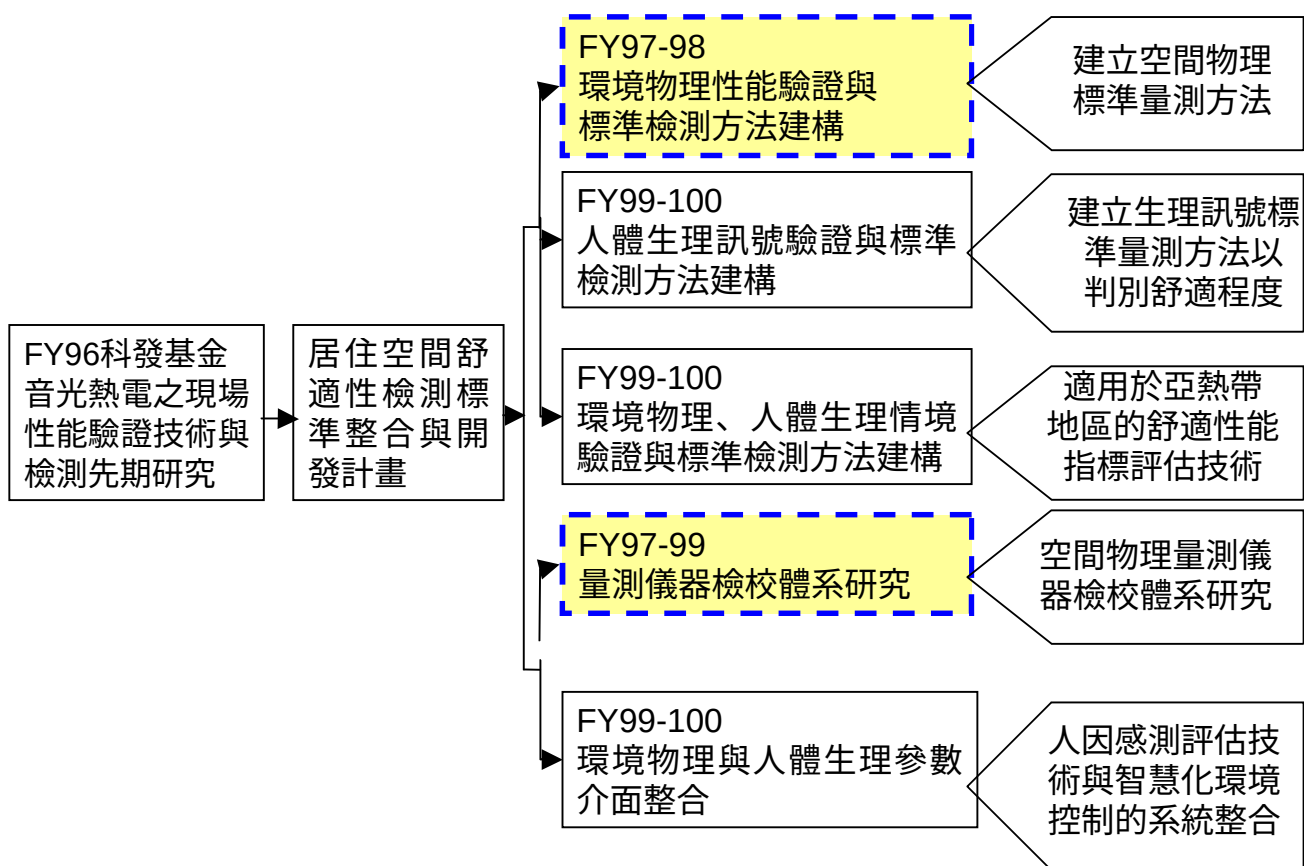
智慧建築標章的舒適健康指標部分，未來將逐漸朝向量化的規格作訂定，然而在目前的智慧建築裡面為了要達到後續控制，往往需要藉助大量

的感測元件進行監控，而其中感測器在現場安裝完後的量測準確度，則需作進一步的確效與驗證，如此在做後端控制與回饋調控的時候才會有所依據。

而目前的智慧建築大部分只針對溫度、濕度、二氧化碳等等基本參數作為監控，然而利用綜合性的舒適評估指標作為室內環境控制的參考，則是目前國內外的發展趨勢(如台中大都會歌劇院室內空調控制的招標規格裡，便已包含熱舒適指標 PMV 的要求)。在溫熱環境部分，目前國際標準(如 ISO 7730、ASHRAE 55 等等)已提出綜合性的評估指標(如 PMV (Predicted Mean Vote)、PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied))，利用溫度、濕度、風速、平均輻射溫度、活動量以及衣著量綜合評估室內熱環境，但其中生理相關參數均以國外環境與人種作為考量，同時國內相關物理量的校正追溯尚未完整，因此一旦應用於國內環境時，與國外差異性則有可能存在(國外文獻指出氣候、人種及生活習性等因素均有可能造成熱舒適感覺的不同)，因此針對此一部份則有必要作進一步的研究(包含量測方法、儀器、位置、高度與週期，甚至包括國人的新陳代謝率與衣著量的評估)，以作為將國外標準引入或是增修成為國家標準之前的確認，藉由此研究可適時的與國際標準相接軌，同時經由差異性的研究與探討後，可制訂更符合台灣環境的量測標準與評估指標，對於未來居住空間舒適性指標的訂定參考或往其他亞熱帶區域的經驗輸出將更有幫助。

因此綜合以上智居產業面臨到的問題，進而規劃本年度的研究內容，包含環境性能量測之感測器功能驗證與評估、熱舒適度量測標準方法之草案研究，發展一個能夠提供與國際規範接軌並傳遞可驗證的量測方法，以及以人為本的自動化量測系統與環境舒適性的整合界面，可用來確認並整合現有已成熟之資通訊技術產品及應用。此外藉由標準的量測方法的建立、人因工程分析與環境、儀器的整合測試，尋找物理環境與人體生理相互影響的關聯性以及其多種物理與生理參數達到平衡的舒適性，可對亞熱帶環境之住宅性能資料與舒適性能指標進行完整的評估。

本年度計畫架構



參、執行績效

一、資源運用情形

(一)人力運用情形

1.人力配置

單位：人年

主持人	預計人年	實際人年
計畫主持人：彭國勝 協同計畫主持人：楊正財	2.48	2.63

2.計畫人力

單位：人年

分類	職稱					學歷					合計
分類	研究員級以上	副研究員級	助理研究員級	研究助理員級	研究助理員級以下	博士	碩士	學士	專科	其他	
狀況											
預計	1.02	1.46				0.92	1.48	0.08			2.48
實際	1.62	1.01				1.10	1.51	0.02			2.63

(二)經費運用情形

1.歲出預算執行情形

單位：新台幣仟元

會計科目	預算金額	佔預算 %	動支金額	佔動支%	差異說明
(一)經常支出					無
1.直接費用	7,453	99.4	7,453	99.4	
(1)直接薪資	2,922	39.0	2,922	39.0	
(2)管理費	936	12.5	936	12.5	
(3)其他直接費用	3,595	47.9	3,595	47.9	
2.公費	47	0.6	47	0.6	
經常支出小計	7,500	100.0	7,500	100.0	
(二)資本支出					
1.土地					
2.房屋建築及設備					
3.機械設備					
4.交通運輸設備					
5.資訊設備					
6.雜項設備					
7.其他權利					
資本支出小計					
合 計	7,500	100	7,500	100	

2.歲入繳庫情形

單位：新台幣元

科 目	本年度預算數	本年度實際數	差異說明
財產收入	-	-	
不動產租金			
動產租金			
廢舊物資售價			
技術移轉	-	-	
權利金			
技術授權			
製程使用			
其他－專戶利息收入	-	-	
罰金罰鍰收入	-	-	
罰金罰鍰			
其他收入			
供應收入－資料書刊費	-	-	
服務收入	-	-	
教育學術服務			
技術服務			
審查費	-	-	
業界合作廠商配合款	-	-	
收回以前年度歲出	-	-	
其他轉項	-	-	
合計	-	-	

(三).設備購置與利用情形

本表所列为 98 年度計畫所需而增購之儀器設備，均由執行單位工研院量測技術發展中心自行籌資取得。

單位：千元

儀器設備名稱	主要功能規格	單價	數量	總價	運用情形
無					

二、計畫達成情形

(一)進度與計畫符合情形

—預期進度 …實際進度

進度 月份 工作項目	FY98											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A.環境性能量測之感測器功能驗證與評估												
•熱舒適相關量測參數之感測器規格調查	—	—	—	(1)								
•感測器現場驗證與誤差評估			—	—	—	—	—	—	(2)			
•感測器佈點位置之 CFD 最佳化分析與環境熱舒適評估							—	—	—	—	—	(3)
B.熱舒適度量測標準之草案研究												
•國際熱舒適度評估標準調查	—	—	(1)									
•亞熱帶國家熱舒適度研究調查		—	—	—	(2)							
•國人熱舒適度調查與標準引用適切性評估			—	—	—	—	—	—	—	—	(3)	
•熱舒適度量測標準之草案研擬									—	—	—	(4)
進度百分比 % (依經費之比重計算)	30%			60%			80%			100%		

(二)目標達成情形

目標項目	工作說明	實際執行內容	差異檢討
(一). 環境物理性能驗證標準檢測方法研究			
• 熱舒適相關量測參數之感測器規格調查	• 3 月完成感測器規格調查。	• 完成建研所智慧化居住空間整合應用展示中心內部安裝的環境感測器調查, 以規劃未來比對方法技術研究之參考。其中溫度感測器可感測的範圍為 0 °C to 50 °C, 精度為± 0.4 °C ; 相對濕度可感測的範圍為 0 % to 100 %, 精度為 ± 3 % ; 二氧化碳感測器的感測範圍為 0 ppm to 2000 ppm, 精準度為 ± 30 ppm ± 2 % 的讀值, 當周圍空氣流量為每分鐘 30 ccm 時, 反應時間小於 10 秒。 • 為進行後續感測器現場驗證與誤差評估, 除針對智慧化居住空間整合應用展示中心內的感測器進行調查外, 並針對建築內所會用到的感測器以感測原理進行分類調查, 以瞭解感測器的精度與感測範圍大小, 同時整理測定時的注意事項作為後續現場驗證方法的參考。 –在溫度量測部分, 可分為下列三類方式: 1. 物理熱膨脹: 讀取玻璃製溫度計封入液體體積變化, 此種無法自動化。或讀取兩種不同膨脹係數之金屬變形(雙金屬感應器), 此種可長期自動監測, 適用量測 -184 °C to 538 °C 範圍, 但器差約為± 3.0 °C, 需校正後才能使用。	• 無差異

目標項目	工作說明	實際執行內容	差異檢討
		2. 溫度造成電阻變化：電阻溫度感測器（如白金電阻感測器），此種感測器如使用白金材質，與溫度關係最安定，因此被廣泛使用，目前量測室內溫度大致選用 0 °C to 100 °C 的型式，其精度為 A 類：$\pm(0.15+0.002 T)$ °C 與 B 類：$\pm(0.3+0.005 T)$ °C 兩種。另外熱敏電阻感測器，使用金屬氧化物與半導體技術做成，適於量測 -40 °C to 100 °C，精度為 ± 1.0 °C to ± 3.0 °C。 3. 熱電對效應：即為熱電偶，適用量測 -57 °C to 125 °C，精度為 ± 0.5 °C to ± 0.1 °C，使用時需增加補償接點隔絕外界對電位差量測之影響。 使用溫度計進行感測器現場比對驗證時，須注意測定對象之溫度場不能變化，並且根據感測器熱容量考慮測定時間長短。量測時會受空氣流動及熱輻射影響，必要時應以遮蔽物遮蓋感測器。 —濕度量測部分，可分為下列二類： 1. 測定空氣中水的蒸發凝結所造成之熱力學上的平衡溫度：乾濕球溫度計。量測範圍為 0 % to 100 %，精度為 ± 2 % to ± 5 %。另外在使用時需注意塵埃多的場合不適用，且濕球給水	

目標項目	工作說明	實際執行內容	差異檢討
		後需 5 至 7 分鐘讀值才會穩定，同時易受觀測者呼氣中的濕度及溫度所影響。 2. 利用吸濕性物質吸收測定空氣中所含之水蒸氣，讓吸濕物質脫濕，並觀察其物質之力學、電氣、光學等性質之變化：電子式濕度計。量測範圍為 0 % to 100 %，精度為$\pm 3\%$ to $\pm 5\%$。另外電子式濕度計雖然多能解析至 0.1 %，但感測器精度通常在$\pm 2\%$ to $\pm 5\%$。通常感測器外有過濾灰塵之過濾網，此燒結金屬之熱容量大，在測定有溫度變化之時，反應時間較慢。另外測定空氣與感測器間如有溫差，會產生誤差。例如 20 °C，相對濕度 50 %時，$\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$的誤差會造成$\pm 3\%$之誤差。而手持式濕度計使用時需注意熱傳導對其影響。在日照強烈之室內，需採行適當之防護措施。	
• 感測器現場驗證與誤差評估	• 8 月完成感測器現場驗證與誤差評估。	• 規劃感測器比對之實驗流程，進行感測器現場驗證與誤差評估 其步驟如下： 1. 選定 8 個經校正後之熱電偶並連接至 data logger。 2. 放置於感測器偵測點之上下左右四點，離壁面及距離感測器 5 cm 處放置第一層溫度計，另於離感測器外殼 5 cm 高處相對於第一層熱電偶上方處設置第二層熱電偶，並於感測器中心正	• 無差異

目標項目	工作說明	實際執行內容	差異檢討
		前方位置設置溫濕度工作標準件。 3. 藉由空調送風30分鐘並與環境達到熱平衡後，製造一均溫非層化之溫度場。 4. 當溫度穩定後連續量取溫度與濕度五分鐘。 5. 將 data logger 暫停擷取數據10分鐘，並再開始量取溫度與濕度，重複此步驟兩次。 6. 開啟空調，設定低於送風時環境溫度3℃為操作溫度，待操作溫度與環境達到穩定熱平衡時，再次執行以上步驟量測溫濕度，此流程共執行三次。 • 委託廠商加工製作溫濕度計夾治具，可將上述之8個熱電偶與1支溫濕度工作標準件固定在感測器周圍並隨著感測器外型改變而能調整量測位置。 • 採用變異數分析以評估現場量測的數據，判定感測器與工作標準件量測數據的一致性。在施行方法上先假定為一致，但在$F_0 > 1$，依照顯著水準α，查表得$F_{\alpha}(k-1, n-k)$，在$F_0 > F_{\alpha}$，即推翻假設，導出感測器與標準件有差異，並判定感測器有問題。 • 完成感測器現場驗證與誤差評估，實驗測試室內安裝之溫濕度感測器以及具有較大偏差的溫度計（如感測接點焊接不良、器差大、標準差大、器差與標準差均大），實驗測試結果分析如下：	

目標項目	工作說明	實際執行內容	差異檢討
		1.標準件從資料上由多變數分析結果顯示，其量測值在設定的室內條件下，不同天量測表現無明顯差異，可以說穩定性足以拿來當成標準件。 2.具有較大偏差的 8 支溫度計與標準件的器差在-1 °C至 1.3 °C 之間，不過在實驗過程中亦沒大幅度變化。 3.感測器中感測接點焊接不良明顯使得資料群與標準件不一致，最大器差亦大於 2.4 °C，因此可判定為 fail。 4.目前初步選定測試的溫度計在器差大、標準差大、器差與標準差均大的 3 種 case，從實驗資料中並無明顯不一致，因此還維持與標準件一致的判定。 - 將感測器現場驗證與誤差評估使用之八根溫度計，改為白金電阻溫度計以改善量測再現性。同時重新設計支撐架，以負荷所增加之重量。 測試結果如下：(1)八根溫度計在相同溫度量測下差異不明顯(小於 0.1 °C)。(2)重複量測同一溫度的結果皆為一致，再現性佳。 - 已於 10/12 前往智慧化居住空間展示中心進行現場感測器驗證實驗。量測地點包括展示中心二樓的休息區、數位體驗區(個人及多人)與會議室。	

目標項目	工作說明	實際執行內容	差異檢討
• 感測器佈點位置之 CFD 最佳化分析與環境熱舒適評估	• 11 月完成感測器佈點位置之 CFD 最佳化分析與環境熱舒適評估報告。	• 目前由 CFD 模擬判斷人體舒適度可有兩種方式，一個是引用 ISO 7730 的熱舒適評估指標，另一個則可直接建立虛擬人體模型並計算出皮膚表面溫度，再轉化為人體各部位的等效溫度進而判斷熱舒適情況。其中直接建立虛擬人體模型，由 CFD 計算出皮膚表面溫度的結果與實驗在某部份往往有差異，此差異主要是未考量人體本身的溫度調節，故將藉由 65-Node Thermoregulation Model 程式計算出該環境下人體皮膚表面溫度並進而評估人體的熱舒適。 • 感測器佈點位置研究流程，首先將評估空間特性，包括空調進出口位置、家具擺設、隔間與尺寸大小，其次評估需安裝之感測器型式，接著利用 CFD 的方法研究感測器附近熱流場型態，最後依據感測器佈點位置的評估準則進行最佳位置的選擇。 • 評估準則：針對溫濕度感測器部分，將室內空間區分為感測器位置與活動區域，彼此溫度差最小者則為選擇安裝區域，此外也需符合感測器裝置位置的限制。而針對 CO₂ 感測器部分，則可定義最大濃度值為標準，並找出反應時間最快的區域作為安裝位置的建議。 • 完成實驗室內感測器佈點位置測試(室內尺寸：4.7 m × 2.65 m × 2.7 m)，測試結果感測器佈點位置為窗戶對牆上的感測器(離壁面 5	• 無差異

目標項目	工作說明	實際執行內容	差異檢討
		cm, 離地板 1.5 m), 較接近室內中心活動區域溫度。 • 完成熱舒適量測設備一致性的評估實驗, 分別將設備擺設於環境控制室的不同環境條件下, 其中溫濕度分別 15 °C&80 %、20 °C&80 %、25 °C&80 %、20 °C&40 %、25 °C&40 %、30 °C&40 %以及 22 °C&65 %, 測試不同環境條件下對設備的影響, 結果顯示 5 站之 PMV 的量測趨勢一致, 差距最大在 0.1 以內, 後續將進行量測數據的進一步分析。 • 已完成台中生產力建設的智慧建築現場熱環境量測(包括客廳、餐廳、主臥室與客房), 目的為提供感測器佈點位置之 CFD 最佳化分析時的參考比較。而 CFD 模擬之空間尺寸已完成, 後續將進行溫濕度感測器佈點位置的分析。另外也利用 CONTAM 區域模擬軟體模擬室內氣流型態與空間內二氧化碳的濃度分佈, 以決定適當的感測器擺設位置。 • 完成台中似水年華智慧住宅內的 CFD 模擬, 同時利用 CONTAM 模擬不同通風型態下的 CO₂ 濃度, 以評估感測器擺設位置。在評估時考慮四種狀態, 包括室內一般狀態、空調開啟、關上遮陽窗簾下之空調開啟及自然通風型態。 • 目前新版的智慧建築評估指標總表草案已公布, 其中評估指標共分為兩類包括住宅與辦公室部分, 而	

目標項目	工作說明	實際執行內容	差異檢討
		在辦公類建築基礎性指標的健康舒適部分, 需考量溫濕度的偵測裝置與測點佈置。另外必要性指標的健康舒適部分, 也需考量二氧化碳的偵測裝置與測點佈置。因此藉由本計畫所進行的感測器佈點位置 CFD 最佳化分析, 可針對感測器佈置位置作事先的評估。對於未來相關廠商欲申請標章認證時應有相當的幫助。	

(二).熱舒適度量測標準之草案研究

• 國際熱舒適度評估標準調查	• 2 月完成國際熱舒適度評估標準調查。	• 完成國際熱舒適標準調查並比較其差異性, 包含 ISO 7730(2005)、ISO 14415(2005)、ISO 16815(under development)、ANSI/ASHRAE 55(2004)、EN 15251(2007)、GB/T 18049(2000)、KS A5601。 • 各國熱舒適標準主要參照 ISO 7730。 –大陸標準 GB/T 18049(2000)與韓國標準 KS A5601 均參考 ISO 7730 之 1994 年的舊版本並翻成該國語言。 –ISO 14415(2005)主要是針對殘障、老人與有特殊需求人士補充現有 ISO 熱舒適標準(包括冷熱與中度環境)在應用時所需之必要考量與原則。 –ISO 16815 主要是針對建築熱環境的設計, 但此標準目前正在制訂中尚未公布。 –ANSI/ ASHRAE 55(2004)主要是提供室內熱環境與空調系統的設計與測試以及熱環境的量測	• 無差異
--	--	---	---

目標項目	工作說明	實際執行內容	差異檢討
		與評估，同時在內文中並與 ISO 7730(1994)與 ISO 7726(1998)標準中的熱舒適指標 PMV 與預測環境不滿意程度(PPD)的內容一致。 —歐洲標準 EN 15251(2007)主要提供室內空氣品質、熱環境、照明與隔音之設計與能源效率的評估標準，並著眼在能源的計算與室內環境的長期評估。	
• 亞熱帶國家熱舒適度研究調查	• 4 月完成亞熱帶國家熱舒適度研究調查。	• 完成 14 篇亞熱帶國家熱舒適度研究調查(調查結果詳見內文)，以做為國人熱舒適度與標準引用適切性評估之參考。	• 無差異
• 國人熱舒適度調查與標準引用適切性評估	• 10 月完成國人熱舒適度調查與標準引用適切性評估。	• 進行熱舒適實驗，每組環境條件受試者男生 5 人、女生 5 人，男女座位間隔，27 組實驗，共 270 人。受試者進行實驗前，限制其進食及劇烈運動，服裝皆穿著短袖 T-shirt 及牛仔長褲，衣著熱阻值約為 0.5 clo，受試過程中受試者皆為靜靜坐著填寫問卷，故其新陳代謝率為 1.1 met，並於進入人工氣候室之前，先在另一冷氣房休息半小時後，消除測試前之感覺差異。 • 受試者主觀問卷內容設計，參考 ASHRAE 55 附錄 E 之熱舒適現場實測問卷格式，分為受試者基本資料、環境熱感覺及各環境參數熱接受、熱舒適度調查三大部分，受試者基本資料包含性別、年齡、身高體重等，環境熱感覺則是由熱至冷依照 ASHRAE 55 七個等級劃分，環境因子則是依照溫度、濕	• 無差異

目標項目	工作說明	實際執行內容	差異檢討
		度 風速及平均輻射溫度個別進行受試者的接受度及舒適度調查。受試者進入人工氣候室時需立即填寫第一份問卷，之後每間隔 5 分鐘填寫一份，一組環境條件實驗時間為 20 分鐘，故至實驗結束，每位受試者應填寫 5 份問卷，結束後問卷立即回收。 • 根據各參數貢獻度分析結果已確定熱感受度、熱接受度及熱舒適度三種指標各主要影響因子，同時根據實驗所分之三水準，觀察各要因在各指標中的變化情況，以推估受試者的感覺情形。從熱感受指標來看，溫度的感受趨近於線性，受試者的感覺會隨著溫度的變化而有顯著差異。濕度的感覺雖也趨於線性，但其改變範圍不大，顯示出受試者對於濕度的改變並無太大的感覺。然而就風速及平均輻射溫度而言，只要超過一定範圍，受試者的感覺就無明顯的改變。熱接受度和熱舒適度指標皆在探討溫度、風速及溫度與風速的交互作用。當溫度越高、風速趨近於零時，受試者感覺較不舒適也較無法接受。從交互作用來看發現風速約 0.6 m/s 時，溫度 23 °C 及 26 °C 的情況下受試者接受程度是一樣的，而在風速 0.8 m/s 時，溫度 23 °C 及 26 °C 的狀況以及風速約 0.9 m/s 時，溫度 23 °C 及 29 °C 的情況下，受試者感受到的舒適程度也是相同，顯示出除了熱感受指標外，熱接受度及熱	

目標項目	工作說明	實際執行內容	差異檢討
		舒適度皆不可忽略其交互作用的影響性，也了解到溫度及風速在兩種指標中相關性為何。後續將分析各項因子對以上所提之三種指標的影響，並進行迴歸分析。 • 根據各因子的指標影響值，可以用來估計各環境狀況的熱感受度(TS)、熱接受度(TA)及熱舒適度(TC)指標情況，可評估在不犧牲舒適的情況下達到節能的效果。而為使計算能夠更加的簡易便利，故利用柴比雪夫多項式觀念，進行迴歸式的計算，根據各指標重要環境參數進行迴歸計算與找出各項係數，目前已計算得出各個指標方程式。 • 完成調查各亞熱帶地區國家 PMV 相關研究情況進行歸納，發現原 ISO 7730 之熱舒適範圍與亞熱帶國家有稍加修正之必要。然而其原理則放諸四海而皆準。有鑑於此，本研究進行台灣氣候下之國人熱舒適度調查全尺度實驗，並經由田口式直交表進行實驗設計，配合問卷調查，而初步建立我國具體可行之熱感受度(TS)、熱接受度(TA)及熱舒適度(TC)各項指標方程式。此種重要之回歸式，可經由空調通風系統之連動，而達成兼具節能與熱舒適環境之重要成果，深具意義。	
• 熱舒適度量測標準之草案研擬	• 11 月完成熱舒適度量測標準之草案研擬。	• 蒐集研讀相關標準資料與 CNS 標準作為草案撰寫架構的參考，初步規劃之草案架構為：前言、適用範	• 無差異

目標項目	工作說明	實際執行內容	差異檢討
		圍、引用標準、用語釋義、量測因子及評估標準、量測儀器、量測方法(量測原理、量測程序、量測條件、注意事項)、附錄一、量測儀器規格。 • 拜訪智慧化居住空間產業聯盟討論熱舒適度量測方法標準草案的推廣與程序。 • 藉由去年前往日本 AIST 與今年的丹麥科技大學 ICIEE 之拜訪，目前已建立起與其它國家熱舒適量測領域專家與單位的關係，由於該單位的負責人均為 ISO/TC159/SC1 Ergonomics of Physical Environment 的主席與會員，因此對於後續國內標準的推展，與國際接軌以及國際最新標準訊息的獲得均有相當的助益。 • 拜訪丹麥科技大學 ICIEE 的中心主任 Professor Bjarne Olesen (亦為 ISO /TC159/SC5/WG1 會議召集人)後，得到最新的熱舒適標準發展相關事宜，包括(1)熱舒適相關標準包括 ISO 7730、ISO 7726、ISO 14505 與 ASHRAE 55 的技術委員大致均為相同，標準大約為 5 年會進行一次更新，熱舒適標準 ISO 7730 可能在明後年會進行更新。(2)目前將新增標準 ISO 14505-4，內容為利用電腦模擬方法進行車內熱舒適的評估(Numerical manikin for vehicle)以及新提出 ISO model of human thermo regulation。(3)由於台灣目前並不	

目標項目	工作說明	實際執行內容	差異檢討
		是 ISO 的會員國，但標準技術委員會開會時亦會邀請專家參與，目前已徵詢對方關於台灣派遣專家參與會議的可能性。(4)熱舒適標準發展的未來方向包括：1.超過 1 m/s 之室內風速對於熱舒適的溫度補償效應。2.探討熱舒適、聲音與光的耦合影響效應。3.人體周遭局部環境的控制。4.不同氣流頻率對於熱舒適的影響。 • 草案之撰寫內容除與丹麥科技大學相關專家進行討論外，並與國內相關學者及智慧化居住空間產業聯盟討論熱舒適度量測方法標準草案的推廣與程序，以符合國際標準及國內實際情形。 • 完成熱舒適度量測標準方法草案研擬，將提交至智居聯盟。	
• 其他		• 完成投稿國內期刊發表研究成果，共五篇包括室內環境光與熱因子耦合效應之研究、室內環境熱舒適度標準與評估指標、室內環境熱舒適度量測方法(量測資訊期刊)；居住空間光環境指數量測技術之研究(照明學刊)；室內照明之光與熱心理反應研究(設計學刊)。 • 完成 ACRA2009 國際研討會的論文口頭發表，論文題目為 Field measurement and computational simulation for the thermal comfort in the bedroom during winter。 • 完成第十六屆全國計算流體力學學術研討會論文投稿，論文題目為"室內環境與人體模型熱舒適度	•

目標項目	工作說明	實際執行內容	差異檢討
		模擬"。 • 參加 2009 全球智慧化居住空間未來展望國際研討會，除為協辦單位外並將研究成果以海報的方式展覽，同時進行技術推廣。 • 9/21-10/21 前往丹麥科技大學 ICIEE 進行熱舒適度量測與模擬之共同研究，並將就今年欲提出之熱舒適量測方法標準草案進行討論，同時將目前國際最新的技術與標準發展相關資訊帶回台灣。 • 與義大利熱舒適量測儀器廠商 (LSI) 進行熱舒適度量測技術與該設備的標準追溯與量測方法的討論，同時洽談後續合作事宜。 • 11 月 6 日於台大集思會議中心柏拉圖廳舉辦智慧化居住空間熱舒適標準及量測方法研討會，此研討會議程為一天，共包括五位主講人分別為內政部建研所何明錦所長、文化大學建築系溫琇玲教授、中山大學楊冠雄教授、工研院量測中心李信宏博士與日本九州大學的 Tochihara 教授，內容包括智慧建築產業發展現況、智慧建築標章及健康舒適指標、國際熱舒適標準與量測方法、日本熱舒適研究發展現況以及亞熱帶地區 PMV 熱舒適指標之應用分析等，藉由此研討會達到推動熱舒適量測方法標準草案的目的。 • 12 月 1 日計量科技計畫 98 年度成果展，展出居住空間熱舒適度量測	

目標項目	工作說明	實際執行內容	差異檢討
		與評估系統與居住空間音環境現場量測系統。藉由與國外相關實驗室研究合作, 引進「Quality of life」觀念, 建立一般消費大眾生活需求的標準化量測方法, 以及各項環境指標之標準驗證與檢測方法, 發展符合亞熱帶區域環境的舒適指標, 以標準引導設計與智慧型居住空間產業商業機制, 建立貼近建築市場, 系統廠商和設備廠商的產業鏈, 甚至帶領產業進入國際舞台。	

(三) 配合計畫與措施

計畫名稱	合作單位	合作計畫內容	經費	執行情形	困難與改進情形
國人熱舒適調查研究	中山大學 楊冠雄教授	1.進行亞熱帶國家熱舒適度研究調查 2.進行國人熱舒適度調查與標準引用適切性評估 3.熱舒適量測方法標準草案研討	400K	已於 11 月 27 日完成期末報告與結案報告繳交, 詳細研究內容請參考非量化成果說明	目前已完成 270 人次的國人熱舒適調查實驗與數據分析, 同時今年度將提交熱舒適度量測方法標準草案, 後續將往國家標準的推展以及增加不同年齡層的國人熱舒適度調查, 以擴展國人熱舒適度的人因資料庫。

工研院量測中心流量與能源研究室李信宏研究員 中山大學機電系楊冠雄教授

授(ASHRAE fellow)與聯合大學建築系黃瑞隆教授共同進行國人熱舒適調查研究，我方負責此調查研究的方向規劃與調查結果研討，中山大學負責進行人因實驗規劃執行及問卷資料分析，共同針對國人熱舒適度進行調查與分析，目前將產出結案技術報告一篇，預定於明年將相關研究內容進行期刊投稿與發表。

三、 人力培訓情形

【客座研究】

拜訪丹麥科技大學(DTU)的室內環境與能源國際研究中心(ICIEE)進行技術研習(李信宏研究員，98.09.20-98.10.20)

今年前往進行共同研究的丹麥技術大學(Technical University of Denmark, DTU)室內環境與能源國際研究中心(International Center for Indoor Environment and Energy, ICIEE)，原隸屬於該校的機械系，但由於目前該中心的研究方向主要與室內環境及建築節能有關，因此已轉為土木系之下的一個研究中心。由於該單位為目前國際上進行室內環境熱舒適性研究的先趨(熱舒適性指標 PMV(Predicted Mean Vote)即為該中心的重要研究成果，目前並已成為熱舒適研究必參考的國際標準(ISO 7730)與產業標準(ASHRAE 55))，同時中心內的數位教授已為ISO標準組織下之技術委員會的主席或是會議召集人以及美國冷凍空調協會 ASHRAE fellow(該中心主任 Professor Bjarne Olesen 為 ISO/TC159/SC5/WG1 thermal environments 會議召集人、Professor Pawel Wargocki為ISO/TC159/SC5/WG6 Perceived air quality會議召集人等等)。而同時該中心仍積極參與國際熱舒適相關標準的制定與增修活動，並將該中心的研究成果提交至標準委員會，其中包括有

ASHRAE SSPC 55, Thermal environmental conditions for human occupancy (past chair)

ASHRAE SSPC 62, Ventilation for acceptable indoor air quality

ASHRAE SSPC 113, Method of testing for room air distribution

CEN/TC89/WG 10, Moisture transfer calculations

CEN/TC122/WG11, Ergonomics of the thermal environment

CEN/TC156/WG12, Design criteria for the indoor environment (chair)

CEN/TC228, Heating systems (chair)

CEN BT TF 173, Steering group for standards related to European Energy Performance of

Buildings Directive (EPBD)

ISO/TC159/SC5/WG1, thermal environments (chair)

ISO/TC159/SC5/WG6, Perceived air quality

ISO/TC205, Building environment design

ISO/TC205/WG8, Radiant heating and cooling systems (chair)

DS S 154, Measurement of pollution in indoor air

DS S 313, Ventilation (chair)

DS S 316, Heating

因此藉由此共同研究以及與對方進行熱舒適量測技術的討論，已蒐集目前國際熱舒適標準的最新發展現況，可作為今年計畫所進行之熱舒適量測方法標準草案研擬的參考，同時並將今年所欲提出之標準草案與對方進行討論，相關結果將對國內量測方法標準的制訂有相當的幫助。而目前取得最新的熱舒適標準發展相關資訊包括

- (1) 熱舒適相關標準包括ISO 7730、ISO 7726、ISO 14505與ASHRAE 55的技術委員大致均為相同，標準大約為5年會進行一次更新，熱舒適標準ISO 7730可能在明後年會進行更新。而目前與熱舒適量測技術最為相關的標準工作小組 (ISO/TC159/SC5/WG1 thermal environments)正在討論的議題包括 14505-4 Equivalent temperature by numerical manikin、Human Modeling、Revision ISO EN 7933 Analytical heat stress index、Revision ISO EN 13731 Definitions、Guide for working practices for moderate thermal environments、Revision ISO EN 7243 WBGT-Index、Revision EN 10551 Subjective scales、Revision ISO EN 7726 Instruments and measurements、Working Practices for hot environments、Personalized environment等等。
- (2) 目前將新增標準 ISO 14505-4, 內容為利用電腦模擬方法進行車內熱舒適的評估(Numerical manikin for vehicle)以及新提出 ISO model of human thermal regulation。
- (3) 由於台灣目前並不是 ISO 的會員國，但標準技術委員會開會時亦會邀請專家參與，目前已洽詢對方關於台灣派遣專家參與會議的可能性。

(4) 熱舒適標準發展的未來方向包括： 1.超過 1 m/s 之室內風速對於熱舒適的溫度補償效應。2.探討熱舒適、聲音與光的耦合影響效應。3.人體周遭局部環境的控制。4.不同氣流頻率對於熱舒適的影響。其中第 2 項部分，本計畫也已於 FY97 進行初步的研究，相關研究成果並發表於期刊論文。

在本計畫欲提出的熱舒適量測方法標準草案，也藉由此機會與對方進行討論，同時獲得相關的草案修改建議。另外該單位也因擁有 7 個環境控制室(包含一個由波音公司贈送的機艙)可進行室內環境的研究，目前除進行學術研究外，並承接歐盟的研究計畫與廠商的合作計畫(包括目前已經產品化的 EXHAUSTO personalized ventilation 或是結合多個歐洲國家的研究單位與廠商，並由歐盟支持的 Clear-up 計畫(總經費達 1200 萬歐元)-目的為整合不同主動與被動的溫度、通風與照明之感測與智慧控制技術，以提供能源使用最佳化的室內環境設計。)，其中環境控制室的相關資料將補充於出國報告的內容中，而此資料將可作為熱環境標準人因實驗室建立的規格參考。

另外也藉由此共同研究的期間，拜訪在熱舒適量測領域的知名廠商，並瞭解應用在熱舒適量測所需用到儀器的校正方法與標準追溯，此部分可作為未來國家標準實驗室在國內提供室內熱舒適量測與儀器校正服務的參考。

藉由去年前往日本 AIST 人間福祉醫工學研究部門與今年丹麥科技大學 ICIEE 的拜訪，目前已建立起與其它國家熱舒適研究領域專家與單位的關係，由於此兩單位的負責人均為國際熱舒適標準制訂的會議主席與參與會員，因此今年舉辦的熱舒適量測與標準國際研習會，也藉由此關係邀請到日本在熱舒適領域的標準制訂代表(九州大學 Prof. Tochiara)來台灣給予演講，因此藉由共同研究的活動，對於後續國內熱舒適量測標準的推展、國際接軌以及國際最新標準訊息的獲得均有相當的助益。

【國內外研究生來中心研究培訓】

在今年度計畫執行期間，清大材料研究所碩士班研究生吳康華在量測中心流量與能源研究室進行工讀，主要協助執行今年度環境熱舒適現場量測的研究工作。另外中山大學機電研究所唐士傑與莊清鈞也在計畫執行期間，協助進行

國人熱舒適調查與分析工作。藉由以上研究生與本單位共同研究的過程，除協助計畫的執行外，對於該學生的研究能力提升與技術擴散均有相當的幫助。

【對外學研機構演講】

計畫執行團隊於 11 月 6 日在台灣大學集思會議中心舉辦智慧化空間量測與標準國際研習會並特別邀請內政部建研所何明錦所長探討智慧建築產業發展狀況；文化大學建築系溫琇玲教授解說智慧建築標章健康舒適指標目前最新的制訂現況；工研院量測中心李信宏研究員講解國際熱舒適的相關標準以及室內熱舒適度的量測與評估方法；日本九州大學大学院藝術工学研究院人間生活系統部門枋原裕教授介紹日本熱舒適研究的相關發展趨勢，最後則是由中山大學機電系楊冠雄教授講解國內外熱舒適度的差異性與國人熱舒適的調查結果。藉由此研習會希望透過專題演講的方式引領智慧化居住空間產業創新導向，同時強調產業標準化的重要性，以確保建商設計規劃之品質，進而提供國人更優質的生活品質。

此研習會由經濟部標檢局擔任主辦單位，工研院與智居聯盟為執行單位，台灣區冷凍空調工程同業公會、台灣冷凍空調學會、中華民國建築師全國聯合會及中華民國建築學會作為協辦單位。此國際研習會共吸引產、官、學、研共 72 人次並包含廠家數 58 家共同進行討論。同時此研討會的學員問卷調查結果顯示，講師之專業水準、時間掌握與表達技巧均達 90 分左右，同時課程內容、講師、培訓單位、綜合意見均超過 4 分滿意程度(非常滿意 5 分、滿意 4 分、尚稱滿意 3 分、不太滿意 2 分、很不滿意 1 分)，顯示此國際研習會的內容規劃可滿足產業界的需求，同時藉此機會達到熱舒適量測技術與標準的推廣及宣傳目的。

肆、計畫變更說明

考量計畫整體規劃與執行整合，於 98.02.18 行文(工研量字第 098 0001811 號)申請計畫主持人變更，業已於 98.02.25 獲標檢局回函(經標四字第 098 0001860 0 號)同意核准在案，計畫變更摘要詳如下表。

計畫名稱：居住空間舒適性檢測標準整合與開發計畫(2/4)			執行機構：量測中心	
原訂計畫內容	變更後內容	變更理由	效益增減說明	經費增減說明
計畫主持人：楊正財博士	計畫主持人：彭國勝博士	本全程計畫針對光、音、溫度、濕度等性能來訂定適合台灣的居住指標，前期主要探討光與溫、濕之研究，後期執行重點將聚焦於仿真人頭、地板衝擊等環境聲學研究，考量計畫整體規劃與執行整合，擬自 FY98 年起變更計畫主持人，由彭國勝組長擔任。	無影響	無調整

伍、成果說明

一、量化成果說明

項目		預期成果	實際成果	備註
專利	申請	1 件	1	專利正在申請中
	獲得	0 件		
論文	國內期刊	1 篇	5	
	國外期刊	0 篇		
	國內研討會（口頭）	2 篇	2	
	國內研討會（書面）	0 篇		
	國外研討會（口頭）	0 篇	1	
	國外研討會（書面）	0 篇		
研究 報告	技術	0 件	2	
	調查	2 件	3	
	訓練	0 件	1	
合作 研究	學術合作研究	1 案	1	
	業界合作研究	0 件		
	國外合作研究	0 件		
研討會	場次	1 場	1	
	人數	人次	72	
技術 服務	家次	0	1	

二、非量化成果說明

(一)環境性能量測之感測器功能驗證與評估

1. 熱舒適相關量測參數之感測器規格調查

國內於近年來發展智慧化居住空間產業，政府為加速產業升級以及推廣智慧化產業，因此由內政部建築研究所成立智慧化居住空間整合應用展示中心，結合多家廠商在此裝設其產品並實際運用於此空間中。感測器為實現智慧居住空間中各種調控的基礎，其量測出來之數值關係到後續能源、安全、舒適、健康等使用策略。但是不論是廠商與使用者對於量測出來的數據正確與否無法進行準確度確認，因此本計畫於今年便規畫此部分的研究，但由於建築空間內之感測器種類繁多，且有各家廠牌，因此針對感測器規格調查部分，主要針對室內熱舒適的相關量測參數(包含溫度、濕度與二氧化碳感測器為主)。目前調查的對象包括內政部建研所的智慧化居住空間整合應用展示中心、已獲得智慧建築標章健康舒適指標的士林電機仰德大樓以及獲得候選智慧建築證書並申請健康舒適指標的生產力建設 Crystal House 大樓內部所安裝的感測器資料，並進行資料分析。

經調查內部會使用到的感測器感測範圍、精度與反應時間等等資料，整理後相關資料如表 1 至表 4。同時藉由以下感測器規格的比較，可進而決定後續感測器現場驗證與誤差評估所需選用的儀器規格。

表 1、溫濕度感測器

品名	溫溼度感測器		
持有單位	建研所	生產力建設	生產力建設
生產商與型號	E+E 公司 EE10-FT6	柏昇 AHT301W	SIEMENS QFA3171 (戶外)
			
溫度範圍(°C)	0 to 50	-40 to 120	0 to 50 / -40 to 70 / -35 to 35
溫度精準度(°C)	± 0.4	± 0.5	± 0.6 (15 °C to 35 °C), ±0.8 (40°C to 70 °C)
感測方法	PT100	NA	PT 1000
相對濕度範圍(%)	0 to 100	NA	0 to 100
濕度精準度(%)	± 2 (40 % to 60 %), ± 3 (10 % to 90 %)	NA	± 2 (23 °C)
感測方法	電子式	NA	電子式
溫度效應	0.06 %/°C (60 %)	NA	NA
output	4 mA to 20 mA	4 mA to 20 mA	4 mA to 20 mA
	(RL < 500 Ohm)		
Response time	Temperature: 20 sec、 Humidity: 20 sec	Temperature: 40 sec	Temperature: 20 sec、 Humidity: 20 sec

表 2、溫濕度感測器

品名	溫溼度感測器	
持有單位	士林電機	量測中心 (標準件)
生產商與型號	AZBIL TY7043Z0P00 / HY7043D4000	ROTRONIC
		
溫度範圍(°C)	0 to 60	-40 to 100
溫度精準度(°C)	± 0.3 (0 °C to 60 °C)	± 0.1 (23 °C $\pm$ 5 °C)
感測方法	PT100	PT100
相對濕度範圍(%)	0 to 100	0 to 100
濕度精準度(%)	± 3 (25 °C、30 % to 70 %)	± 0.8 (23 °C $\pm$ 5°C)
		± 0.2 (0.5 % to 20 %)
	± 5 % (15°C to 35°C、20 % to 80 %)	± 0.3 (20 % to 40 %)
		± 0.4 (40 % to 65 %)
		± 0.5 (65 % to 85 %)
		± 0.6 (85 % to 99 %)
感測方法	電子式	電子式
溫度效應	NA	NA
output	溫度:10 Ω @ 0°C/ 濕度: (1 to 5) V	(-0.4 to +0.85) V
Response time	Temperature: <4.5 min、 Humidity: < 40 sec	<10 sec

表 3、二氧化碳感測器

品名	二氧化碳感測器	
持有單位	建研所	生產力建設
生產商與型號	Telasia Symtonic Pte Ltd Venticator - VC1008T-IP54	HONEYWELL C7232A
		
量測範圍 (ppm)	0 to 2000	0 to 2000
background signal	400 ppm	400 ppm
精準度	± 30 ppm, $\pm 2\%$ of reading	± 30 ppm, $\pm 2\%$ of reading
輸出1	0~10 V(= 0~2000 ppm CO ₂)	0~10 V(= 0~2000 ppm CO ₂)
輸出2	4~20 mA(= 0~2000 ppm CO ₂)	
responds time	< 10 秒. @ 30 cc/min. 流速< 3min.擴散時間	3 min
感測方法	鍍金紅外線 (NDIR) 自動導波技術背景校正 (ABC)	鍍金紅外線 (NDIR)

表 4、一氧化碳感測器

品名	一氧化碳感測器	
持有單位	生產力建設	生產力建設
生產商與型號	HONEYWELL GD-250	NIGHTHAWK KN-COPP-3
		
量測範圍 (ppm)	0 to 250	0 to 999
精準度	± 7.5 ppm (0 ppm to 150 ppm)、 ± 25 ppm (150 ppm to 250 ppm)	± 25 ppm (150 ppm)
輸出1	(4 to 20) mA	(4 to 20) mA
輸出2	(2 to 10) V DC	
responds time	<5 min	<5 min
感測方法	半導體式	電化學式

因此經由以上調查結果，可確認目前使用於智慧建築中的感測器量測範圍

與精度，並進而決定進行下一階段感測器現場驗證與誤差評估時所需選用的工作標準件(如表所示)，而此儀器的解析度與精度均較目前使用於智慧建築內的感測器高，已足夠作為現場驗證時的標準與參考。

2. 感測器現場驗證與誤差評估

智慧建築裡面為了要達到環境的控制，往往需要藉助大量的感測元件進行監控，而其中感測器在現場安裝完後的量測準確度，則需作進一步的確效與驗證，如此在做環境感測與回饋控制的時候才會有所依據。

Portland Energy Conservation Inc (PECI) [1]建議現場驗證時之步驟如下：

(1) 溫度方面：

- a、選定 4-8 個經出廠校正或經正確補償後之感測器，連接 data logger。
- b、放置於偵測點，而這些偵測點可表現整體感測器之點。
- c、藉由 100 %回風或固定預熱設定值，製造一均溫非層化之溫度場。
- d、當溫度穩定後取平均溫度。
- e、採用兩個溫度點，或一個接近操作溫度之溫度點做比對。

(2) 濕度方面：建議採用飽和鹽水蒸氣法。

另外 JTM 07 [2]為評估一溫控腔體內溫度穩定程度的量測標準，其方法為量測腔體四周離牆一定距離($L/10$)及中心處(如圖所示)，並計算其平均溫度及標準差以便評估溫度變異程度。其中在此標準提及

(1)在評估溫度波動範圍時，在空間溫度穩定後於特定時間內量測溫度值，每一筆溫度量測資料與下一筆資料間隔時間相等、連續測定 10 回以上，量得之溫度標準差為 $\sigma_{n-1} = \sqrt{\sum (X_i - X_{Ave})^2 / n - 1}$ ，而 $\pm 2 \sigma_{n-1}$ 則定義為溫度波動 (temperature fluctuation)。

(2)在評估溫度均勻性時，以試驗區中心的平均溫度為基準，和其他頂點測定平均溫度比較，最大的差值則定義為空間溫度變動 (temperature variation in space) $|Max(X_{cornerAve}(j) - X_{centerAve})|$ 。另外各個量測點平均值的最大值與最小值的差則為溫度梯度 (temperature gradient) $X_{AveMax} - X_{AveMin}$ 。

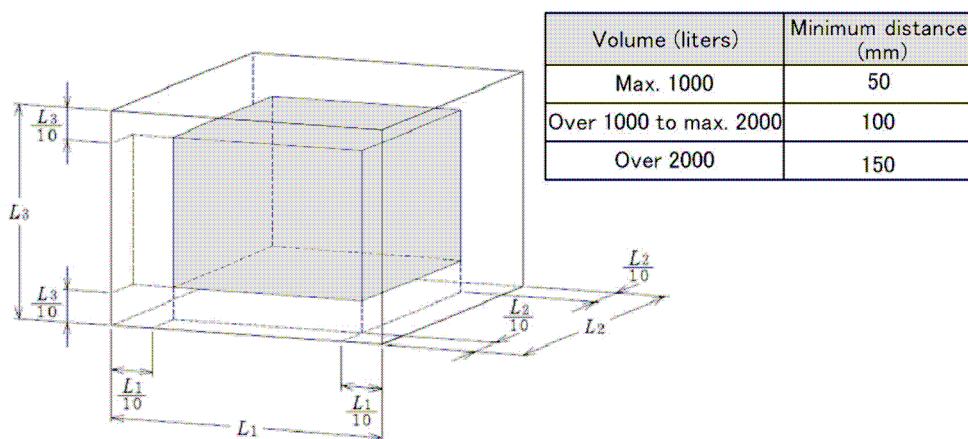


圖 1、JTM 07 評估溫控腔體溫度穩定程度之量測標準方法示意圖

因此綜合這些研究與標準，本計畫提出一套現場比對用之量測方法。其比對流程如下圖所示。

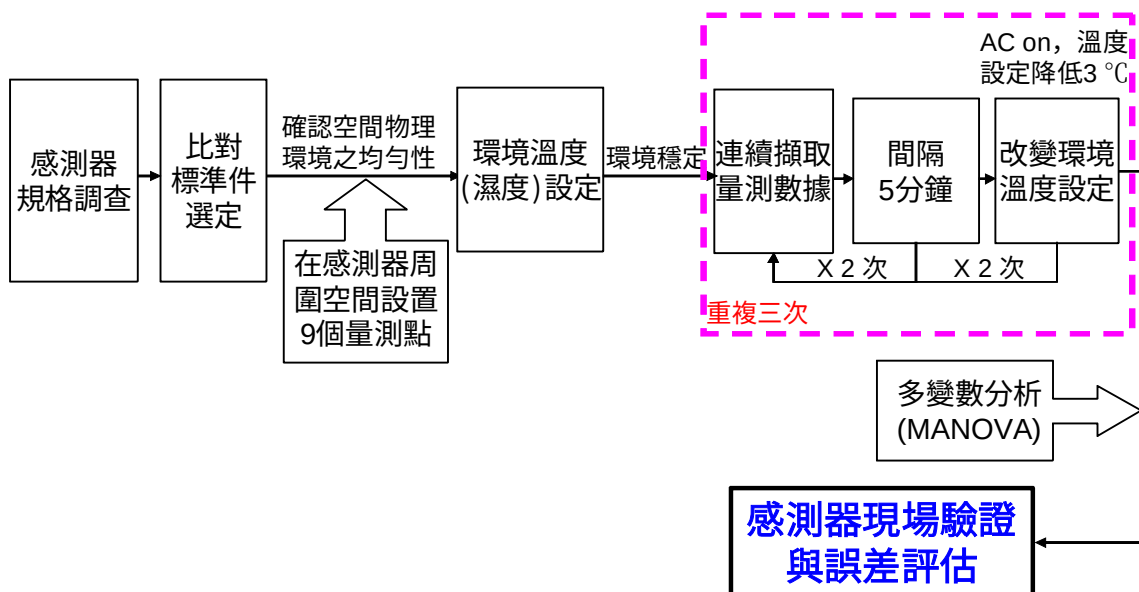


圖 2、比對流程圖

比對方法詳敘如下：

- 以 data logger 連接校正過之溫度計
- 空調送風 30 分鐘達到均溫非層化熱平衡狀態

- c、連續量取溫濕度值 5 分鐘，並停止擷取 10 分鐘，再繼續連續量取，重複 3 次
- d、開啟空調，設定比送風溫度低 3 度，待達成熱平衡狀態後連續量取溫濕度值 5 分鐘，並停止擷取 10 分鐘，再繼續連續量取，重複 3 次
- e、再調低環境溫度 3 度，重複步驟 4
- f、重複步驟 b-e，總共 3 次
- g、以成對 t 檢定分析判定感測器與標準件溫濕度讀值是否有顯著差異

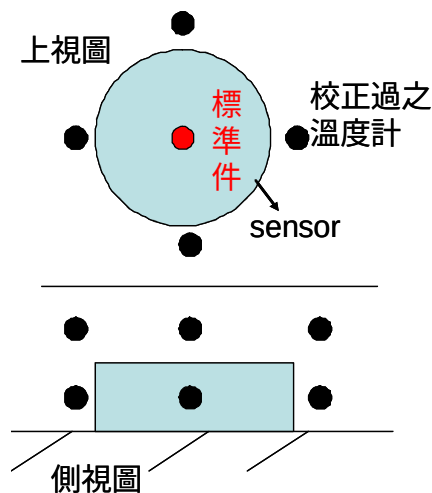


圖 3、比對方法示意圖

成對 t 檢定分析說明：

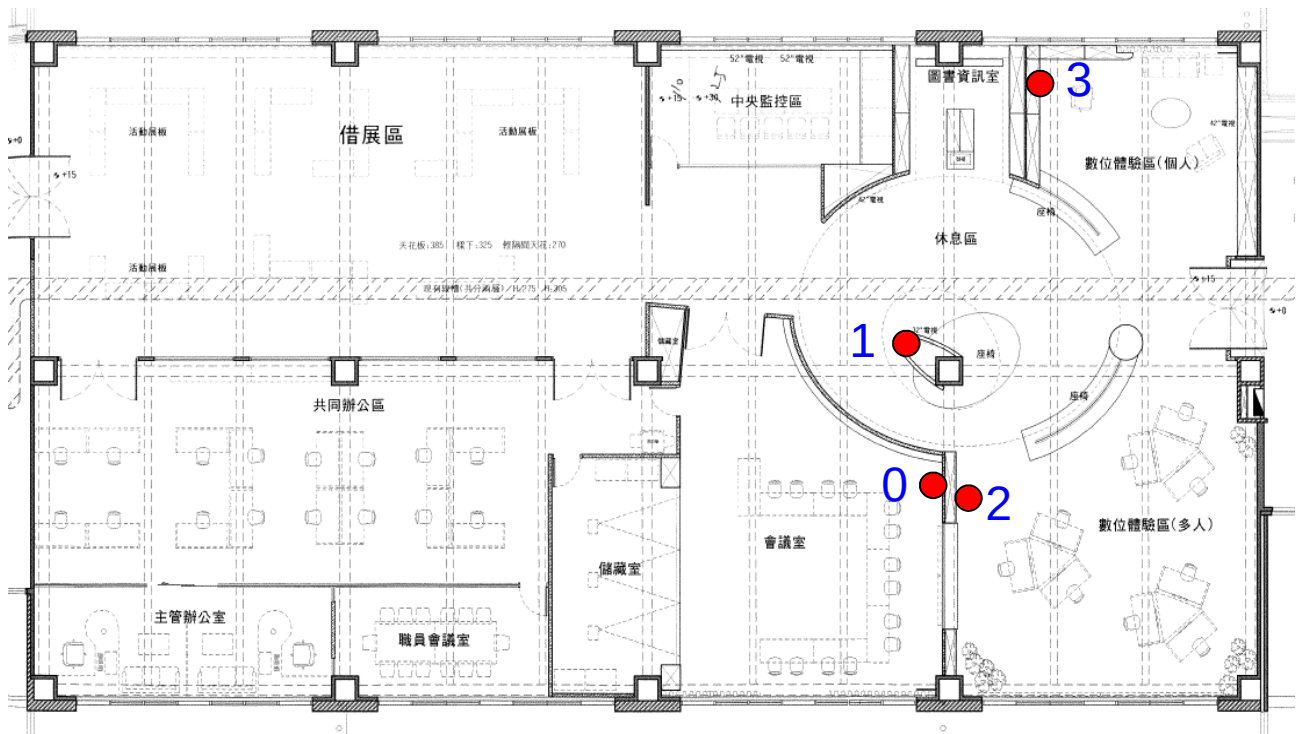
- a、如果是兩組資料比較，可利用 Z-score 或 t-score 做分析，但將兩組經重複實驗驗證再進行資料比對時，要比較平均數值間有無顯著差別，則須採用 t 檢定推廣的方法，即成對樣本 t 檢定(paired two-sample t-tests)。
- b、成對 t 檢定是先假定各感測器與標準件之平均數間無差異，分別計算樣本的平均數、標準差及組間差異，以求 T 檢定值及此檢定值之機率 P value。
- c、應用成對 t 分佈檢定組間變異是否顯著。
 - (a). $T < 1$ ，則組間變異不顯著變異不顯著=>確認感測器與標準件無差異。
 - (b). $T_0 > 1$ ，依照顯著水準 α （例 $\alpha=0.05$ 即為 95 %信賴區間），查表得 $P_{\alpha}(k-1, n-k)$ ，在 $P < \alpha$ ，即推翻假設=>感測器與標準件有差異，可判定

感測器有問題。

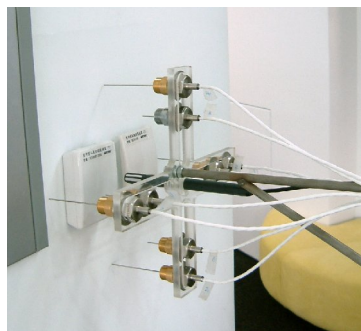
(c). $T_0 > 1$ ，查表得 $P_{\alpha}(k-1, n-k)$ ，在 $P > \alpha \Rightarrow$ 確認各感測器與標準件之平均數間無差異。

【智慧化居住空間整合應用展示中心現場驗證結果】

展示中心二樓感測器佈置位置如下圖 4 所示，為了方便進行實驗，將量測順序作為命名號碼並標示在圖上。



(a) 展示中心二樓感測器佈點位置



(b) 展示中心的溫濕度與二氧化碳感測器

圖 4、展示中心進行比對之感測器與量測位置

由下面四個表格可以看出在進行量測時量測區間內的溫度變動不大，唯一比較大的為 sensor2 區域，有可能是因為該區為開放空間且較寬廣，因此該區域溫度容易受到外界空氣擾動的影響。

表 5、展示中心不同 sensor 量測點之量測區域間溫度變化

sensor0 量測點的量測區域溫度變化

	溫度波動	溫度均勻性	
		max(Xcorner-Xcenter)	maxXcorner-minXcorner
23	±0.21	0	0.62
25	±0.29	0.12	0.63
27	±0.43	0.22	0.43

sensor1 量測點量測區域溫度變化

	溫度波動	溫度均勻性	
		max(Xcorner-Xcenter)	maxXcorner-minXcorner
23	±0.37	0.38	0.83
25	±0.27	0.27	0.64
27	±0.31	0.30	0.60

sensor2 量測點的量測區域溫度變化

	溫度波動	溫度均勻性	
		max(Xcorner-Xcenter)	maxXcorner-minXcorner
23	±0.40	0.40	1.06
25	±0.50	0.52	1.12
27	±0.31	0.32	0.46

sensor3 量測點的量測區域溫度變化

	溫度波動	溫度均勻性	
		max(Xcorner-Xcenter)	maxXcorner-minXcorner
23	±0.18	0.22	0.87
25	±0.23	0.18	0.90
27	±0.20	0.19	0.46

若感測器與比對標準件在同一環境下，所量得的數據應為一致，但將各個感測器量得的平均值與標準差計算後，由圖中可知 sensor0 所量得的溫度值器差最大，而 sensor1 的溫度值偏高。

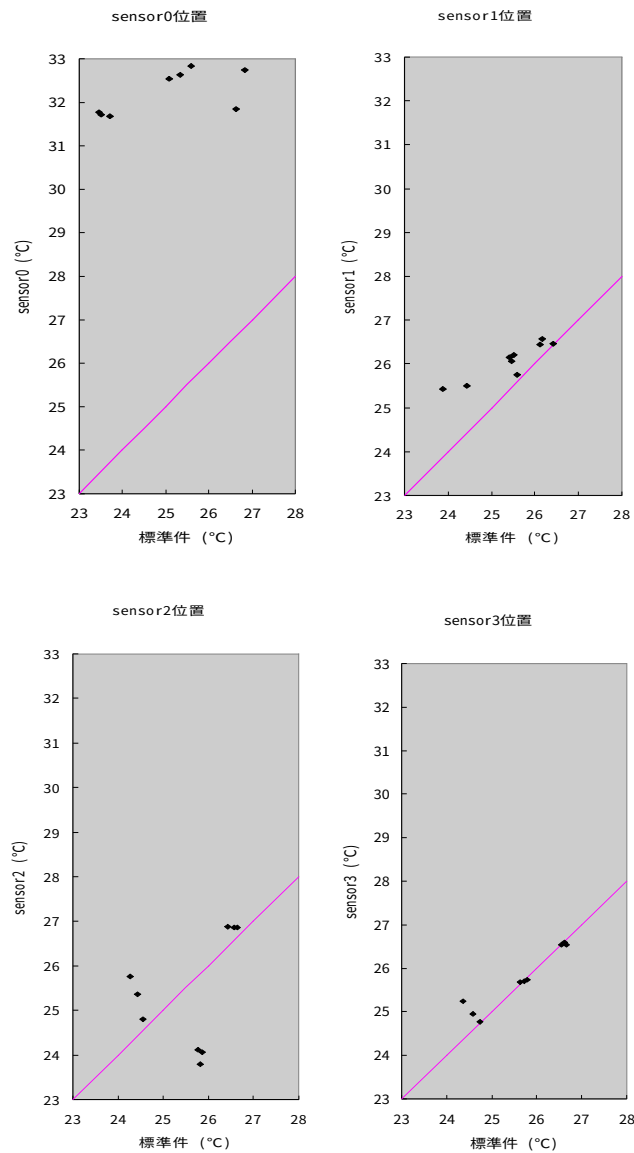


圖 5(a)、感測器與標準件之量測溫度對照圖

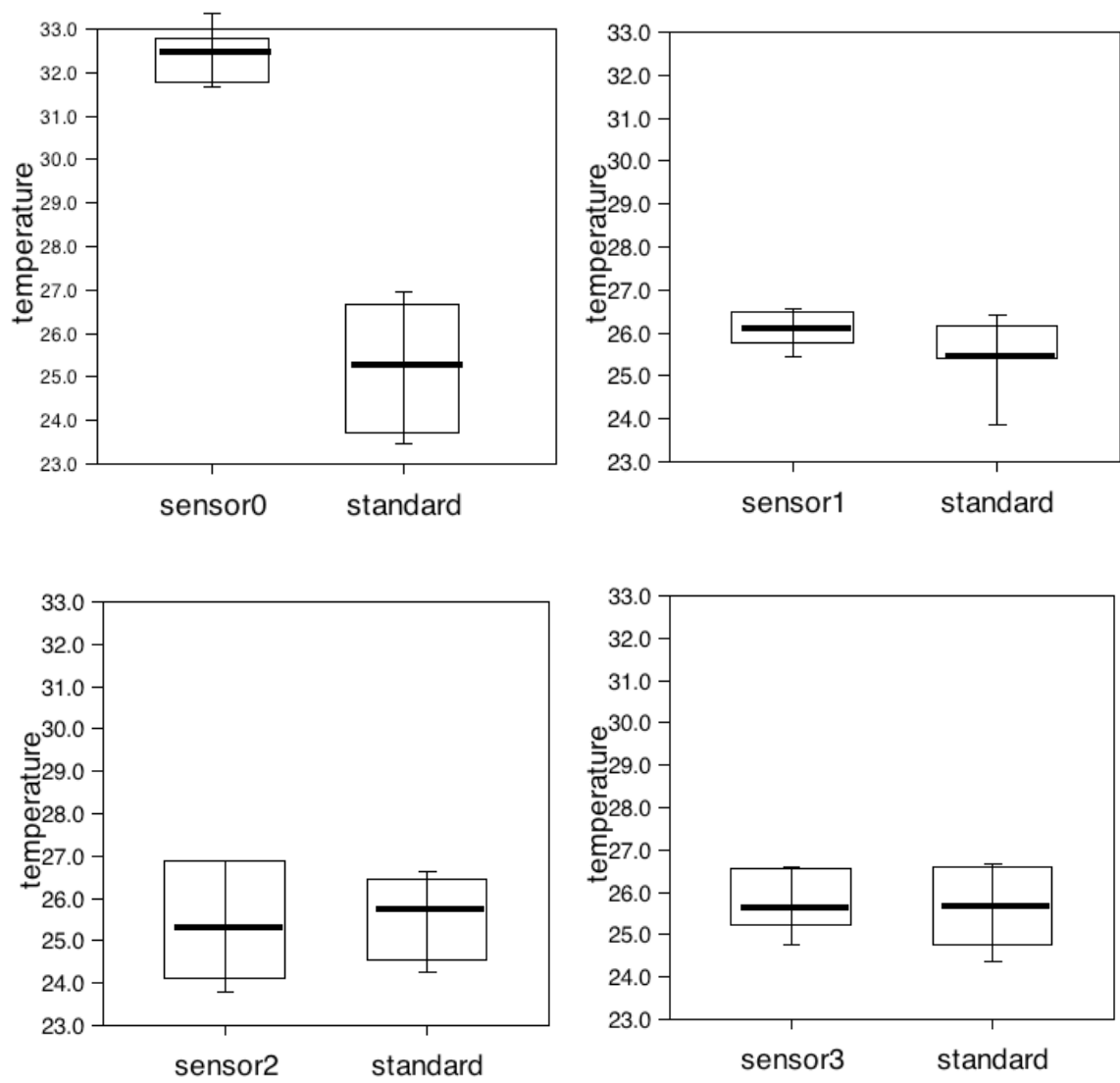


圖 5(b)、感測器與標準件之量測溫度比較圖

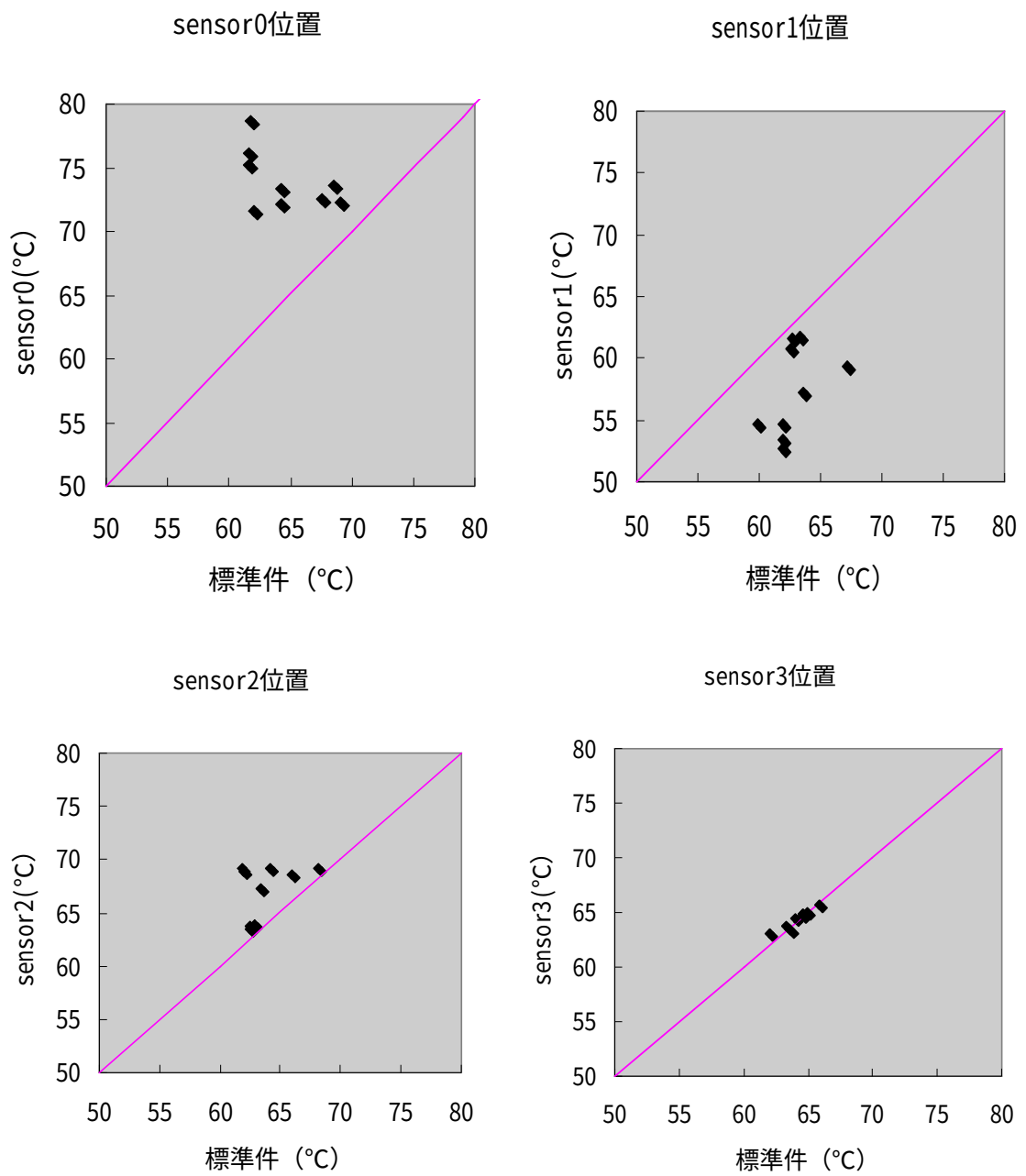


圖 5(c)、感測器與標準件之量測濕度對照圖

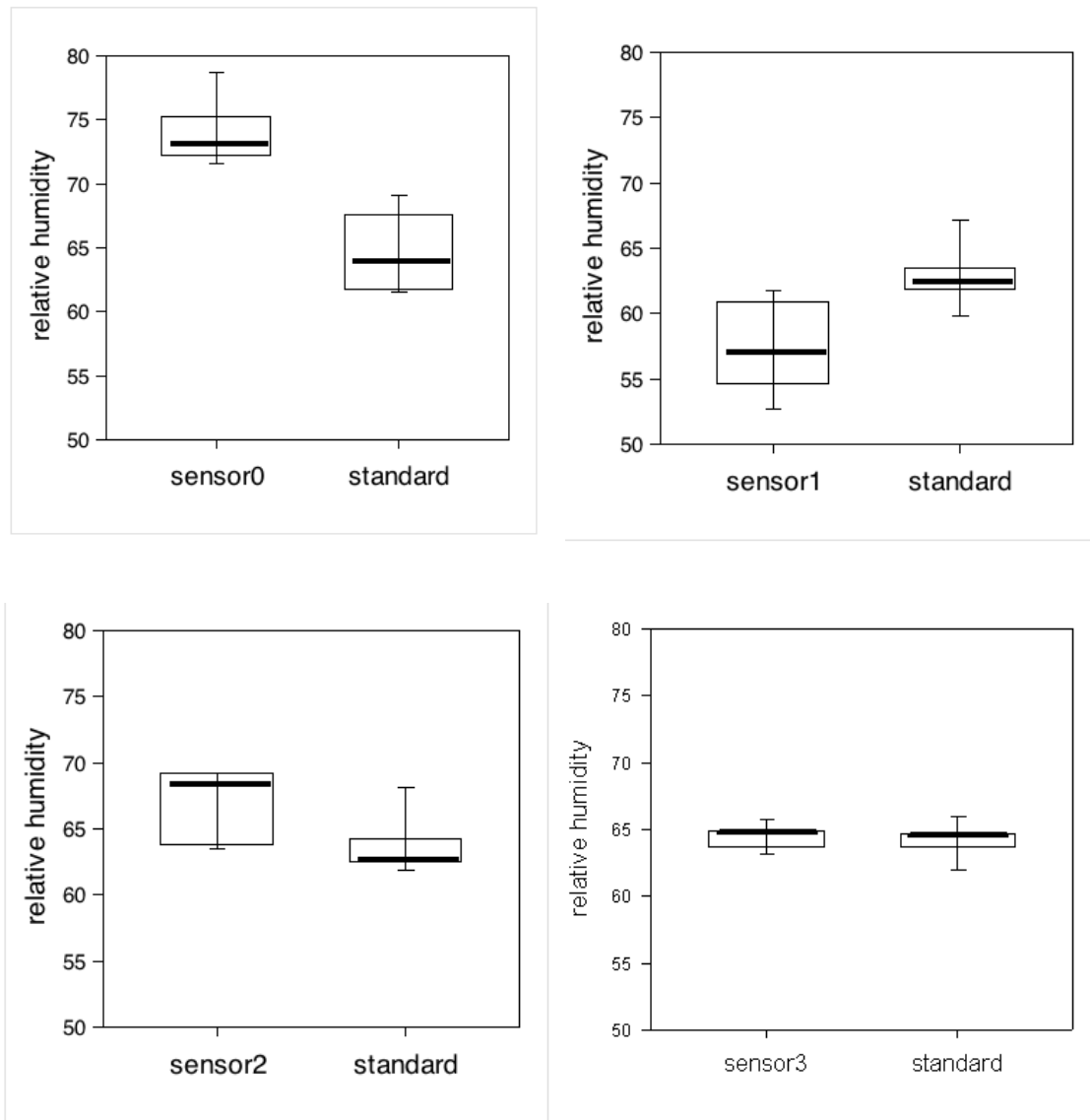


圖 5 (d)、感測器與標準件之量測濕度比較圖

圖 5、感測器與標準件的差異

由以上之箱型圖也可看出 sensor0 的量測值與標準件相差明顯，另外 sensor1 的平均濕度也低於標準件 5.4 %，sensor1 的平均濕度也高了 5.8 %，只有 sensor3 則較相似。

最後在取 $\alpha=0.05$ 並經過成對 t 檢定分析後，判定在 95 %信心水準下，sensor0、sensor1 的溫度值與標準件不一致，sensor0、sensor1、sensor2 的濕度值與標準件不一致。結果整理如下表。

表 6、感測器經 t 檢定分析判定結果-溫度部份

	sensor0	standard	sensor1	standard	sensor2	standard	sensor3	standard
平均數	32.3484	25.2378	26.0625	0.6220	25.3915	25.5901	25.7504	25.6288
觀察值個數	9	9	9	9	9	9	9	9
t 統計	19.9391		3.9333		-0.4650		1.1550	
P(T<=t) 雙尾	4.17E-08		0.0043		0.6544		0.2814	
臨界值：雙尾	2.3060		2.3060		2.3060		2.3060	
判定	不一致		不一致		一致		一致	

表 7、感測器經 t 檢定分析判定結果-濕度部份

	sensor0	standard	sensor1	standard	sensor2	standard	sensor3	standard
平均數	73.9434	64.4983	57.3481	62.7830	67.0388	63.6992	64.4359	64.1884
觀察值個數	9	9	9	9	9	9	9	9
自由度	8		8		8		8	
t 統計	5.9605		-5.1799		3.9437		1.8059	
P(T<=t) 雙尾	0.0003		0.0008		0.0043		0.1086	
臨界值：雙尾	2.3060		2.3060		2.3060		2.3060	
判定	不一致		不一致		不一致		一致	

分析感測器量得之數據，發現 sensor0 在空調調變溫度的情況下，所量得的數值與標準件的量測結果差異最大，因此建議展示中心檢查 sensor0 的接線是否正確或者感測器是否正常運作。另外 sensor1 則是建議展示中心進行感測器的規格確認，並評估此器差是否可接受。濕度部份 sensor0 亦與溫度部分建議相同，而 sensor1、sensor2 亦是建議確認該感測器的規格與評估此器差是否足夠作為該控制系統使用。於此同時展示中心亦發現感測器量測值異常，當下已進行改善作業。

【生產力建設現場驗證結果】

除了針對智慧化居住空間整合應用展示中心進行感測器現場驗證與誤差評估外，並調查另一棟獲得候選智慧建築證書並申請健康舒適指標的生產力建設 Crystal House 大樓內部所安裝的感測器資料，並進行現場驗證。其感測器分佈位置如下圖所示。

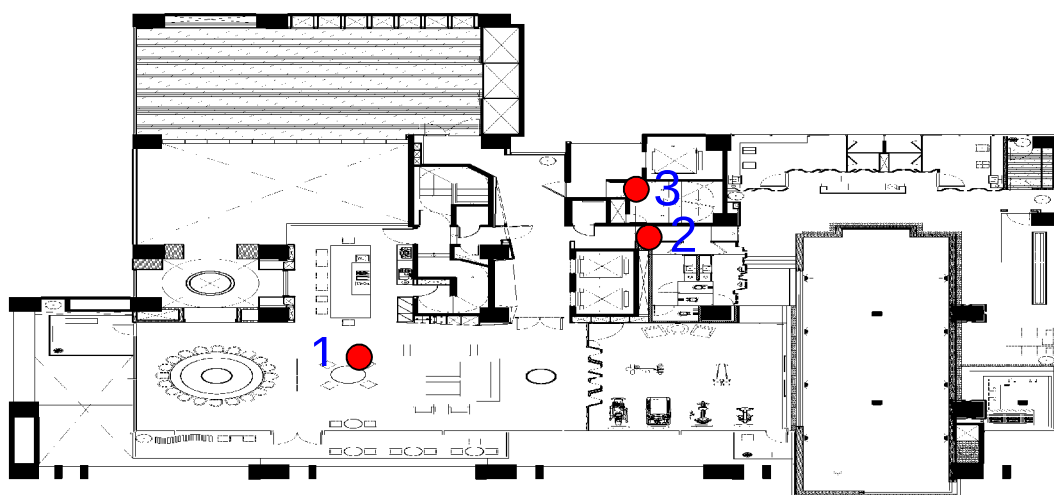


圖 6、台中似水年華 4 樓公設感測器位置示意圖

下表為該量測點的量測區域內溫度變動情況，由此結果可以得知在 sensor2 由於位處門邊，易受外界影響，再加上 sensor2 與 sensor3 設於角落位置，因此不易達到均溫。

表 8、台中似水年華不同 sensor 量測點之量測區域溫度變化

sensor1			
	溫度波動	溫度均勻性	
		max(Xcorner-Xcentral)	maxXcorner-minXcorner
21	±0.50	0.01	0.64
23	±0.46	0.18	0.72
25	±0.20	0.32	0.24
27	±0.22	0.22	0.22

sensor2			
	溫度波動	溫度均勻性	
		max(Xcorner-Xcentral)	maxXcorner-minXcorner
21	±0.34	0.34	0.9
23	±0.75	0.75	1.64
25	±0.56	0.56	0.75
27	±0.70	0.70	0.90

sensor3			
	溫度波動	溫度均勻性	
		max(Xcorner-Xcentral)	maxXcorner-minXcorner
21	±0.35	0.35	0.7
23	±0.40	0.87	1.15
25	±0.86	0.42	1.07
27	±0.77	0.77	0.82

計算各個感測器的器差平均值與標準差後進行下圖分析。由圖中可以得知 sensor2 與 sensor3 量測的溫度值與標準件差異較大且標準差分佈接近 1 °C。

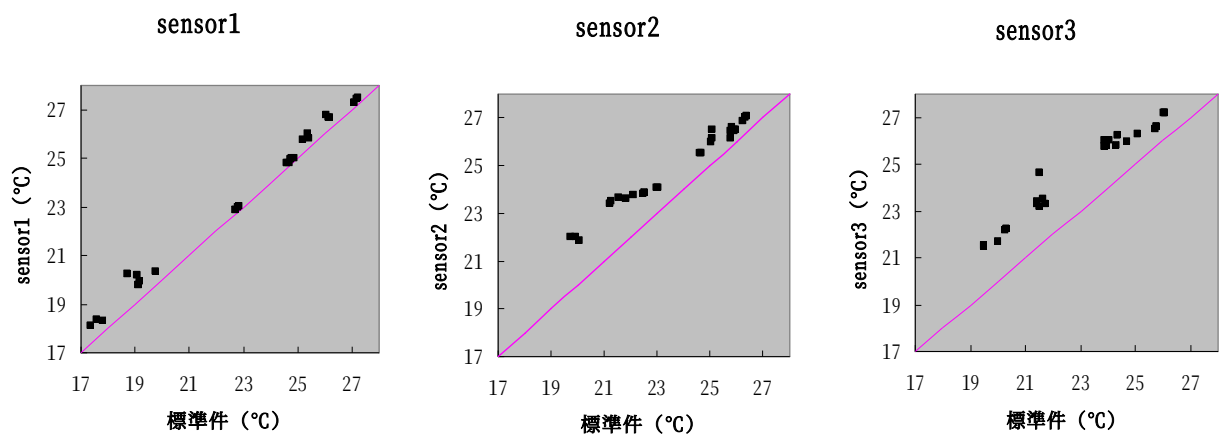


圖 7 (a)、感測器與標準件之量測溫度對照圖

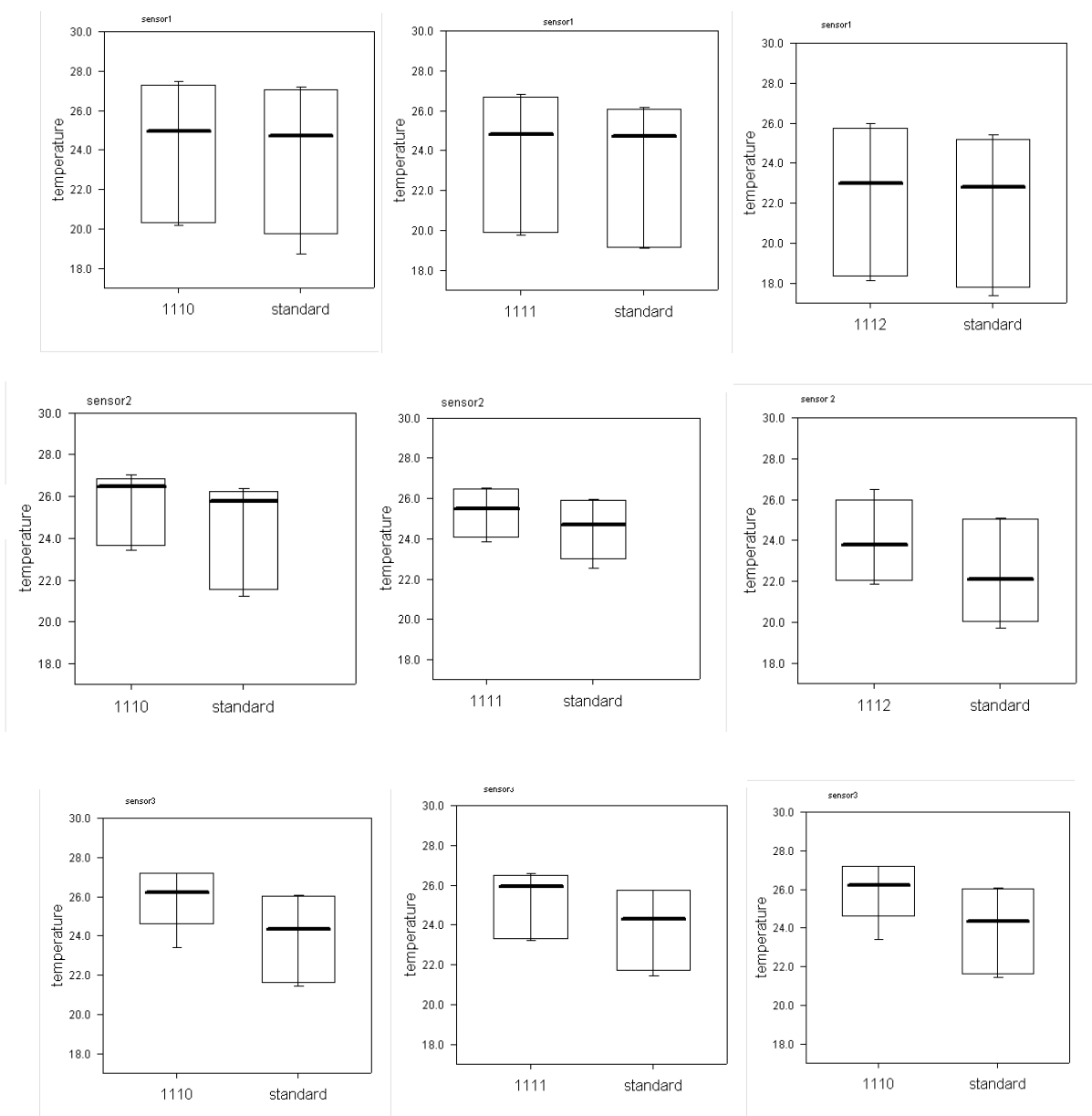


圖 7 (b)、感測器與標準件之量測溫度比較圖

而取 $\alpha = 0.05$ ，並經過變異數分析之後，判定在 95 %信心區間內，sensor2 與 sensor3 和標準件不一致。

表 9、感測器經由變異數分析後判定結果-溫度部份

	sensor1	standard	sensor2	standard	sensor3	standard
平均數	23.4556	22.9725	24.9782	23.7773	24.7356	23.0624
觀察值個數	27	27	27	27	27	27
自由度	26		26		26	
t 統計	1.1947		10.2212		17.1900	
P(T<=t) 雙尾	0.243		1.34E-10		1.02E-15	
判定	一致		不一致		不一致	

分析感測器所量得的數據，發現 sensor2 與 sensor3 在空調調變溫度的情況下，所量得的數值與標準件的量測結果差異較大，因此建議生產力建設確認 sensor2 及 sensor3 的感測器設置地點與規格，同時評估此器差是否足夠作為控制系統使用。

3. 感測器佈點位置之CFD最佳化分析與環境熱舒適評估

室內空調裝設位置、通風情況以及污染源的濃度分佈...等等都會影響溫度或氣體感測器位置的擺放(如圖 8)。由於目前並沒有可供依循的國家或國際規範決定安裝的數量、分佈以及安裝高度，致使感測器的安裝方式存非常較大的差異，甚至安裝於熱、流場變化極端的位置，如此將導致感測器無法有效的作動其它元件。因此本計畫將利用電腦模擬的方式配合現場量測，達成室內熱流場的可視化，以找出適當的感測器佈點位置。

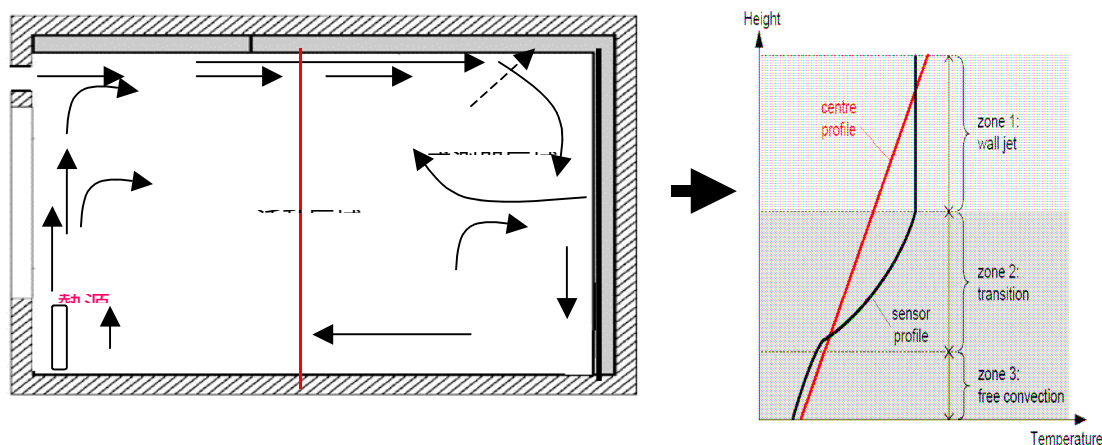


圖8、感測器佈點區域與熱流場關係

3.1 溫濕度感測器適當安裝位置

建築內的溫濕度感測器安裝位置會受到室內環境不均勻的熱傳與氣流場影響，因此感測器所量測到的溫濕度與室內平均溫濕度有所偏差(例如裝置於冷氣出風口處，導致溫濕度感測器所感測的溫濕度為出風口溫濕度；裝置於靠近窗戶的區域，則易受熱輻射的影響)。為使能夠真實反映室內活動範圍所感受的環境溫濕度，故選擇合適的安裝位置除可代表該區環境平均溫濕度外，更可提供室內環境的控制達到舒適且省能的要求。

在決定感測器的適當安裝位置之前需先釐清室內的熱流場型態，其中較佳的安裝位置可參考圖9，並需遠離熱輻射源、迴流區及靠近窗戶的位置(如表10)。根據ASHRAE 62定義室內活動區域(occupied zone)為離地板高度1.8 m以下，所以通常感測器高度為距地板高度1.5 m左右並以不超過地板高度1.8 m為限，另外考量室內氣流與人體高度，以離地面0.9 m至1.8 m高度為影響居住者感受較大的區域，綜整所有相關文獻感測器安裝高度如表11。

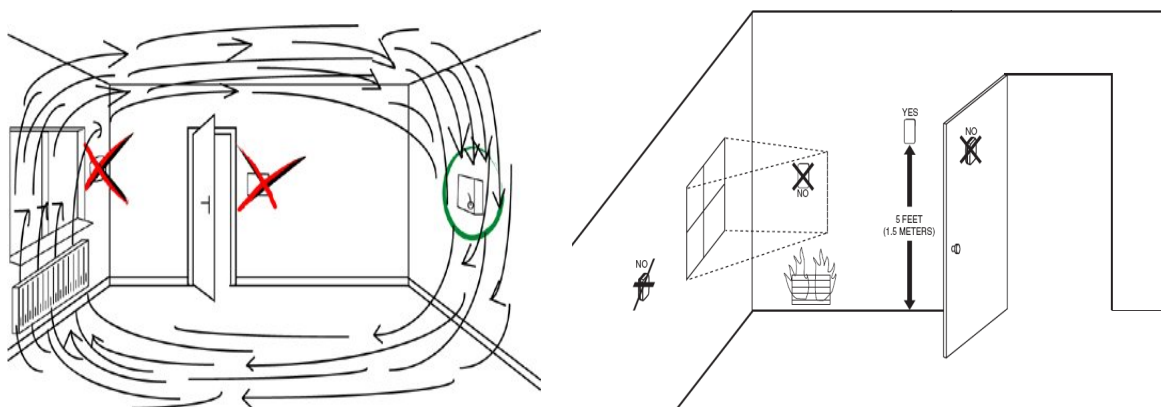


圖 9、溫濕度感測器較佳安裝位置

表 10、溫濕度感測器避免安裝位置

	避免安裝位置
1	遠離熱輻射源(燈、太陽直射區、電器、火爐等)
2	迴流區
3	靠近窗戶區域
4	入口氣流直吹
5	氣流循環差(例如門後、窗簾後)

表 11、溫濕度感測器安裝高度

	感測器安裝高度(距離地板高度)	
1	1.5 m	[3] Installation instructions, C7189A Wall Mount Temperature Sensor, Honeywell.
2	1.5 m	[4] Influence of sensor position in building thermal control: criteria for zone models.
3	1.2 m to 1.5 m	[5] Installation instructions, T28 Fan Coil Thermosta Sensor, Johnson Controls.

	感測器安裝高度(距離地板高度)	
4	1.5 m	[6] Installation instructions, TLC-BCR-T-US, Intelligent binary temperature controller, VECTOR.
5	1.5 m	[7] Installation instructions, Humidity Temperature Sensor type BO-TFK-120, AIRWIN.

3.2 二氧化碳感測器適當安裝位置

二氧化碳濃度為室內空氣品質好壞的指標，在室內二氧化碳主要來源為人體呼吸的代謝產物，當濃度超過 1000 ppm 以上才具有危害人體健康的可能性，同時室內二氧化碳濃度升高也可顯示出室內的換氣量不足，所以室內裝置二氧化碳感測器不僅可作為檢視室內二氧化碳的濃度狀況，若超過濃度值則可配合空調氣閥、自動開窗裝置及風扇等控制系統，將二氧化碳排出以維持室內良好的空氣品質。然而二氧化碳感測器安裝位置也會受到室內環境不均勻的熱傳、氣流場、室內家具擺設與室內人數的影響，因此選擇合適的安裝位置則是有其必要性，其中二氧化碳感測器避免安裝位置如表 12 所示。另外二氧化碳感測器安裝位置主要考量人體呼吸區(breathing zone)的範圍內，因此安裝高度整理如下表 13。

表 12、二氧化碳感測器避免安裝位置

	避免安裝位置
1	遠離熱輻射源(例如太陽直射區、電器、火爐等)
2	迴流區
3	靠近窗戶區域
4	入口氣流直吹
5	氣流循環差(例如門後、窗簾後)

	避免安裝位置
6	避免於室內過熱或過冷區域

表 13、二氧化碳感測器安裝高度

	感測器安裝高度(距離地板高度)	
1	0.9 m to 1.8 m	[8] Designing and Testing Demand Controlled Ventilation Strategies.
2	0.3 m to 1.8 m	[9] 2005 Building Energy Efficiency Standards-September 2006 Revision.
3	1 m to 1.5 m	[10] Installation instructions, GMT Series Gas Monitor / Transmitters, KELE & ASSOCIATES.
4	1.2 m to 1.8 m	[11] Gas Sensor Placement Guidelines, ADS-001, Sierra Monitor Corporation.
5	2 m	[12] Installation Instructions, Space CO2 Sensor, Trend Control Systems USA.

3.3 研究流程

感測器佈點位置研究流程，首先需評估空間特性，主要搜集室內空間相關資訊，包括空間幾何形狀、尺寸、家俱擺放位置、空調進出口位置及隔間；其次選擇感測器型式(在此報告中主要評估安置於牆壁上的溫濕度與二氧化碳感測器)；接著利用電腦模擬的方法預測室內熱流場及釐清感測器附近的熱流場情況，最後依據 3.1 與 3.2 的評估準則進行安裝位置的設計(如圖 10)。

針對溫濕度感測器的評估準則，乃是將室內區分為感測器區域與活動區域，感測器區域主要指靠近牆壁的附近區域，同時文獻提出[13]主要需考量離壁面 5 cm 的範圍，而活動區域則評估室內的中心位置並利用垂直溫度的差異，以選擇適當安裝位置，此外適當安裝區域也必需符合以上所提之感測器安裝位

置注意事項。至於二氧化碳感測器部分，則以感測器設定濃度值為參考依據，而以反應時間最快的區域作為較佳擺放位置。

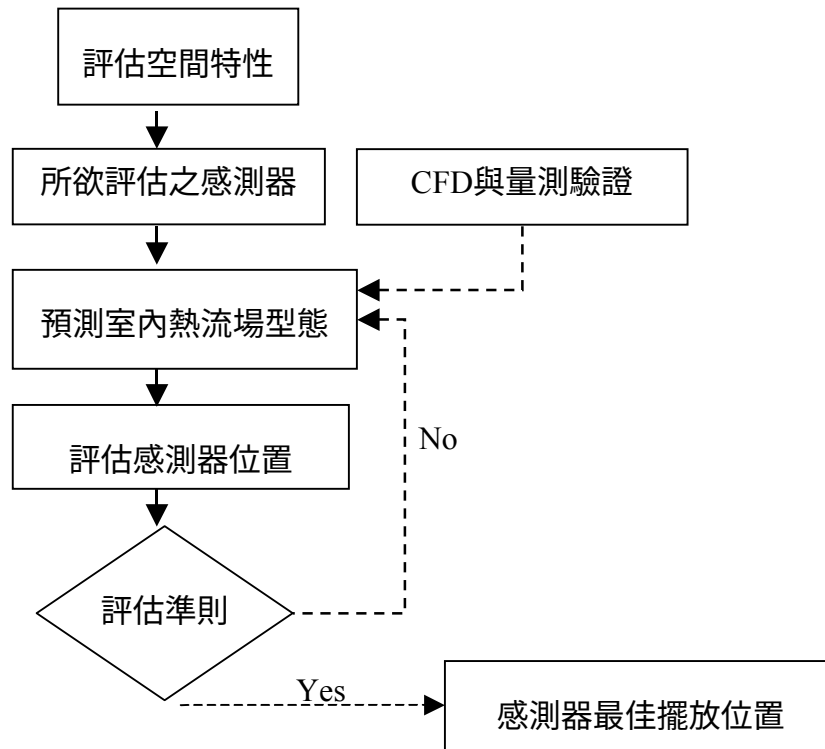


圖 10、感測器佈點位置評估流程

3.4 虛擬人體模型(virtual manikin)與驗證

模擬人體為探討熱舒適性的重要研究方法，其不僅考慮人體與環境熱傳遞過程中人體周圍空氣溫度、濕度、空氣流速分佈等，也避免採用昂貴的實際人體模型並可有效節省實驗時間與真實反應實際居住情況。因此在實際應用至感測器佈點位置前，將進行一系列的驗證工作。

本項工作將以日本東京大學 Shinsuke Kato [14]及美國冷凍空調協會計算案例[15]之現場量測置換通風試驗數據結果，作為進行全尺度電腦模擬結果的比對，以驗證電腦模擬的正確性與可靠度。

3.4.1 置換通風(Displacement ventilation)

透過東京大學 Kato laboratory 所建立的置換通風流場實驗案例可提供計算人體與環境空間內熱傳遞過程中人體周圍的空氣溫度、濕度、空氣流速分佈，

以驗證 CFD 模擬人體於空間氣流的可靠性。

如圖 11 為電腦預測室內中央截面速度向量圖(左)與人體周圍速度分佈圖(右)，由室內中央截面速度向量圖可看出人體熱釋放產生氣柱流場型式，將熱氣流引入天花板，然而由出風口帶走熱量。右圖為人體周圍環境內的流場，可評估人體與環境熱傳遞過程中人體周圍的空氣溫度、濕度、空氣流速分佈。而圖 12 為計算所得之室內中央截面溫度分佈圖。

另外圖 13(a)與(b)為沿 L_1 與 L_2 中央截面垂直溫度分佈與實驗結果的比較，由該圖可知計算與實驗結果趨勢均相當一致，其中最大的差異約為 6 %。圖 14(a)與(b)為沿 L_1 與 L_2 中央截面垂直速度分佈計算與實驗結果比較圖，同樣具有吻合的結果，最大差距均在 0.03 m/s 以內。

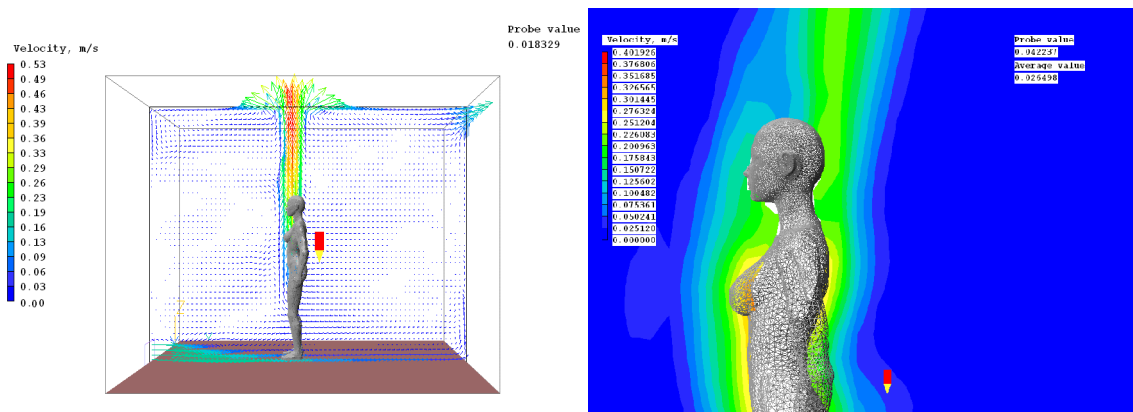


圖11、電腦預測室內中央截面速度向量圖(左)與人體周圍速度分佈圖(右)

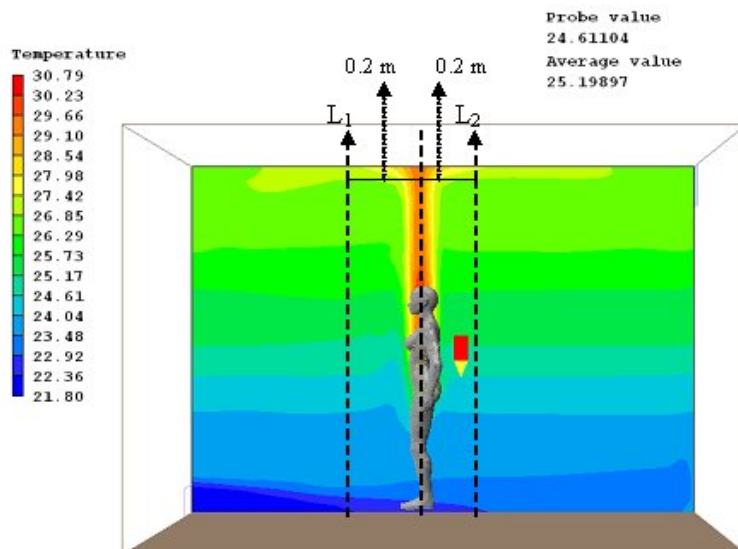
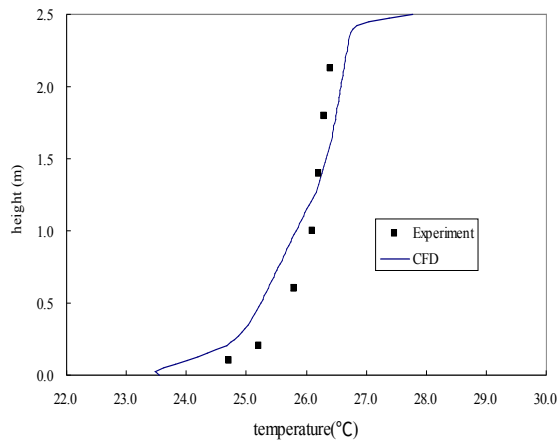
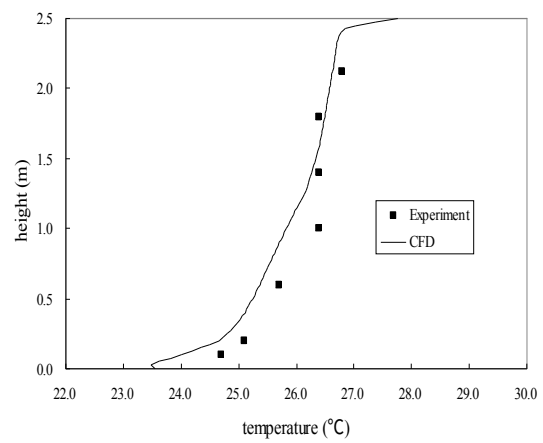


圖12、室內中央截面溫度分佈圖

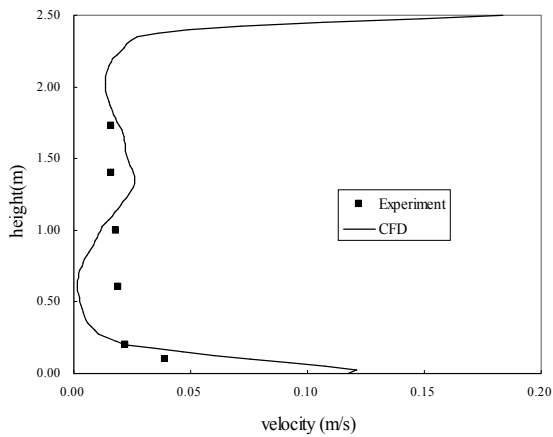


(a) L_1 垂直溫度分佈圖

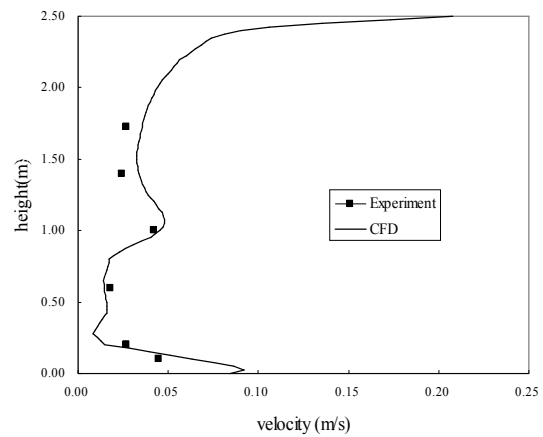


(b) L_2 垂直溫度分佈圖

圖13、沿 L_1 與 L_2 中央截面垂直溫度分佈計算與實驗結果比較圖



(a) L_1 垂直速度分佈圖



(b) L_2 垂直速度分佈圖

圖14、沿 L_1 與 L_2 中央截面垂直速度分佈計算與實驗結果比較圖

3.4.2 辦公室環境

辦公室環境主要採用 Srebric 在辦公室環境空間的測試作為計算案例，此案例為美國冷凍空調協會於驗證數值計算結果的算例之一，如圖 15 所示，該辦公室幾何形狀尺寸為長 5.16 m、寬 3.65 m、高 2.43 m，通風型式為置換通風系統，送風口的置於牆面中央並離地面 0.03 m，送風溫度為 21.2 °C，送風速度為 0.12 m/s，回風口位於室中心位置，尺寸為 0.43 m × 0.43 m，日光燈尺寸為 0.2 m × 0.2 m × 0.8 m，其它關於室內家具、人及燈光的發熱功率可參考[16]。

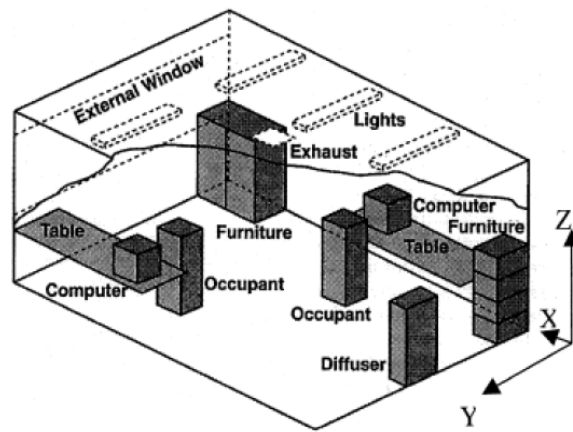


圖 15、為美國冷凍空調協會驗證算例

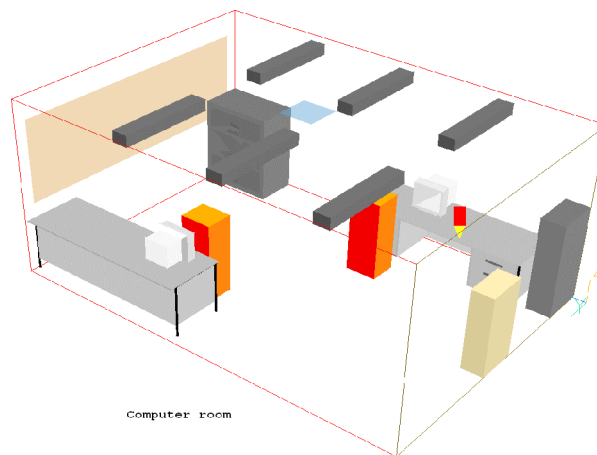


圖 16、辦公環境簡化模型

圖 16 為本次辦公室簡化模型的建立，包括人體坐姿設定的簡化尺寸，燈光結構，圖 17 為電腦模擬室內中心位置垂直速度(左)與溫度分佈圖(右)，由數值預測結果看來與實驗數據結果均相吻合，誤差值不到 1 °C。而圖 18 為所預測的室內二氧化碳濃度分佈圖(左)，模擬結果也與實驗數據結果一致。因此經由以上兩個案例的驗證後確認電腦模擬的可行性與正確性，後續將應用至感測器最佳佈點位置的評估。

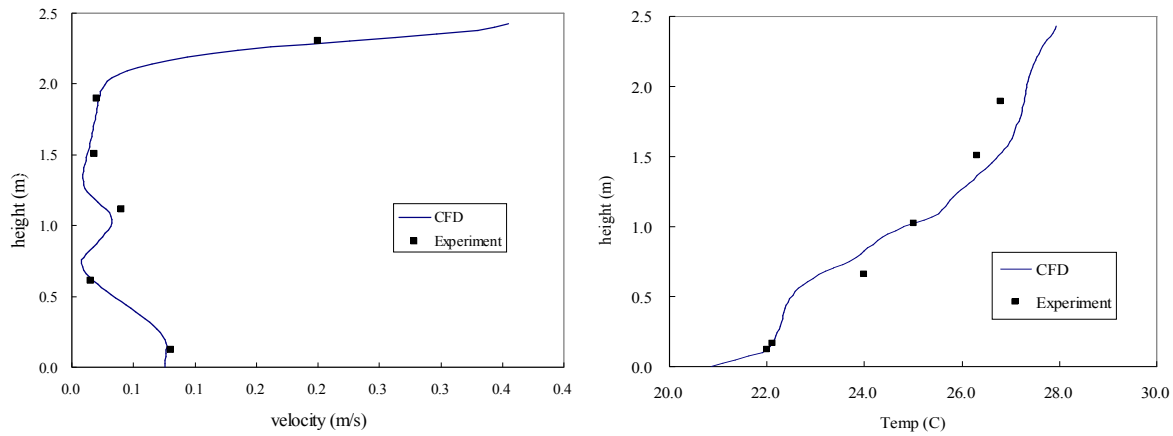


圖 17、為室內中心垂直軸線的速度(左)與溫度圖(右)

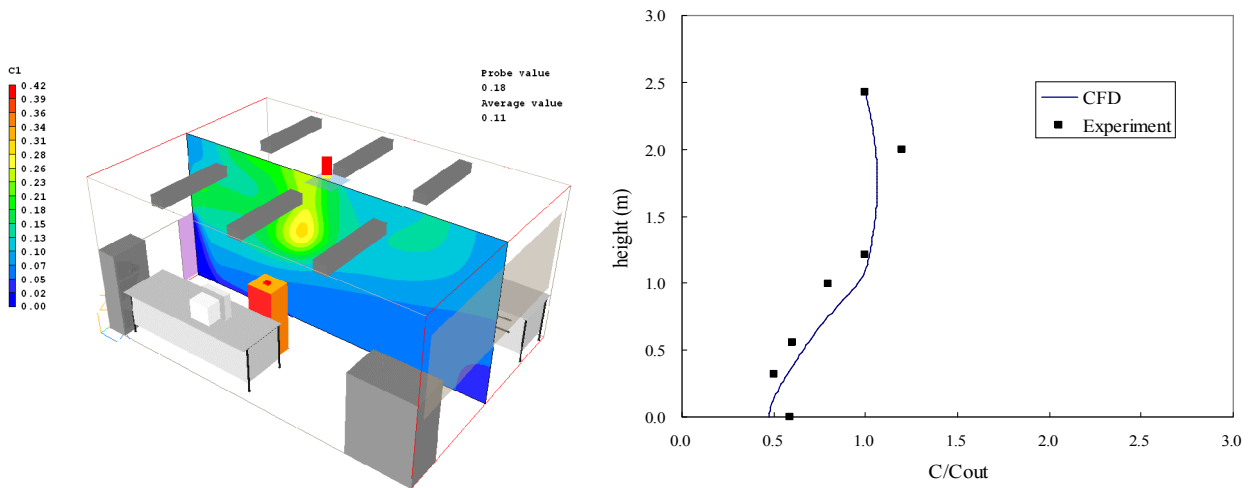


圖 18、為室內中心垂直軸線的 CO₂ 濃度分佈圖

4. 感測器佈點位置實地評估

進行感測器佈點位置實地評估主要選取生產力建設 Crystal House 大樓及建研所智慧化居住空間整合應用展示中心作為研究案例，探討裝置於牆面感測器附近的熱流場與溫度分佈，並配合現場量測以驗證電腦模型的可靠度，以達成感測器最佳佈建位置的評估。

4.1 生產力建設 Crystal House 大樓

如圖 19 為平面空間尺寸圖，量測地點包括客廳、休息區、主臥房、廚房

及客房，量測時間為 9 月 1 日至 9 月 4 日，量測期間天氣大多為晴天狀態，室外平均氣溫為 32.3 °C，平均相對濕度為 64.9 %。表 14 為 PMV 量測時的設定，各活動量根據空間功能不同而有不同的設定值，配合量測區域的空氣溫度、風速、相對濕度、平均輻射溫度等環境物理條件，進而評估人體熱舒適度 PMV 指標。

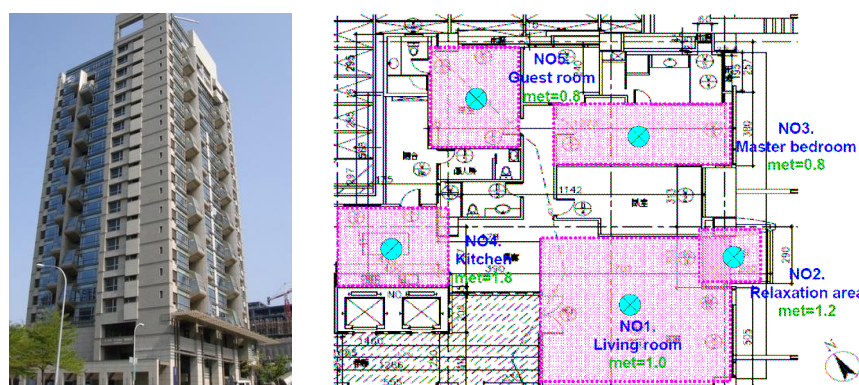


圖 19、似水年華(Crystal House)與平面空間尺寸圖與量測佈點位置

表 14、PMV 量測時的設定

	地點	活動量	衣著量
No.1	客廳	1	0.5
No.2	休息區	1.2	0.5
No.3	主臥房	0.8	0.5
No.4	廚房	1.8	0.5
No.5	客房	0.8	0.5

圖 20 為客廳、休息區及廚房模型配置圖，圖 21 為室內主臥房模型配置圖，根據現場量測室內環境空調送風時之氣流速、室內溫度、相對濕度定義邊界條件，同時在主臥房模型中加入虛擬人體模型(Virtual manikins)如圖 22，同時考慮人體所造成的二氧化碳污染源(假設嘴巴為 0.08 m² 正方形，風速為 0.17 m/s，產生量為 0.25 L/min)。

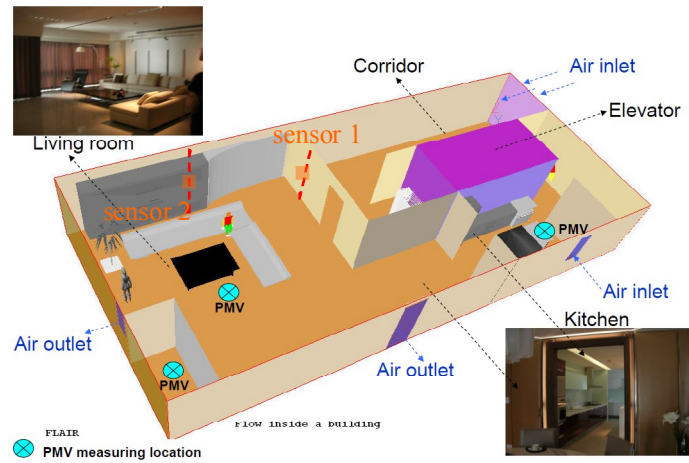


圖 20、客廳、休息區及廚房電腦模型

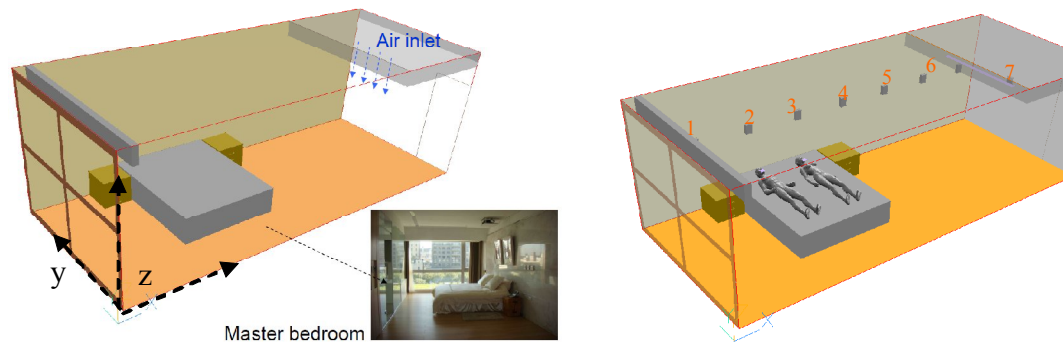


圖 21、主臥房電腦模型

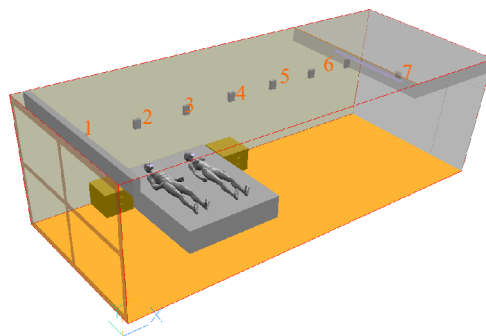


圖 22、主臥室內的虛擬人體模型與感測器位置

4.1.1 客廳、廚房熱流場模擬

圖 23 為客廳及廚房離地面 0.6 m 水平截面溫度分佈圖，空調進風口為側吹的氣流送風型式，氣流溫度為 24.2 °C，利用空調送風型式形成氣流循環並造成

室內溫度場均勻分佈，圖中客廳溫度分佈大約在 24 °C to 25 °C之間，其中外界高溫主要是藉由窗戶傳入而影響室內溫度，溫度較高發生於天花板附近約為 26°C。另外圖 24 中顯示離地面 0.6 m 的 PMV 分佈圖，量測位置的 PMV 指標約為-0.41，與 PMV 量測結果-0.4 相接近。

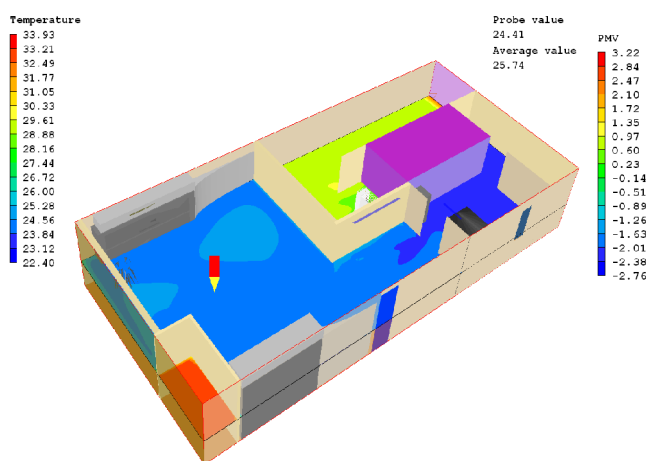


圖 23、客廳、廚房內溫度分佈圖

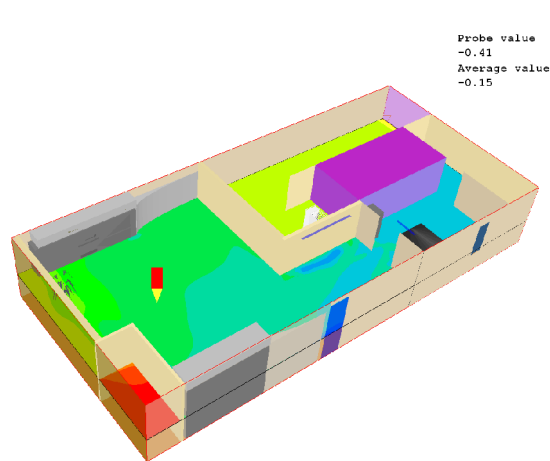


圖 24、客廳、廚房內 PMV 分佈圖

關於客廳溫度感測器適當安裝位置，主要需釐清室內牆面的流場型態，依據當時家俱擺放位置評估將環境區分為溫度感測區域與人員活動區域(圖 25)，其中活動區域溫度場是截取離地面高度 1.5 m。在空調出口平均速度約 0.3 m/s 時，可發現在感測器區域天花板附近溫度較高約 27 °C，活動區域水平溫度則以靠近側牆溫度較低。圖 26 分別代表側牆與對牆(感測器區域內)垂直溫度與客廳中心線的垂直溫度比較圖，圖右為對牆(位置 profile1)的垂直溫度與客廳中心的垂直溫度比較，經比較後發現在對牆垂直高度 1.5 m to 2.3 m 附近與客廳中心垂直溫度較接近，若感測器擺放在對牆離地面 1.5m 距離時，溫度感測器偵測的溫度將能代表環境內活動區域溫度值，顯示溫度感測器合理的擺放位置與高度為對牆離地面 1.5 m 的區域。圖左為側牆(位置 profile2)垂直溫度與客廳中心的垂直溫度比較結果，溫度感測器偵測的溫度在離地面 0.9 m 位置將能與環境內活動區域溫度值接近，唯溫度感測器裝置於出風口下方，出風口流速過快時流場將會影響溫濕度計的偵測，不利於裝設溫濕度感測器。

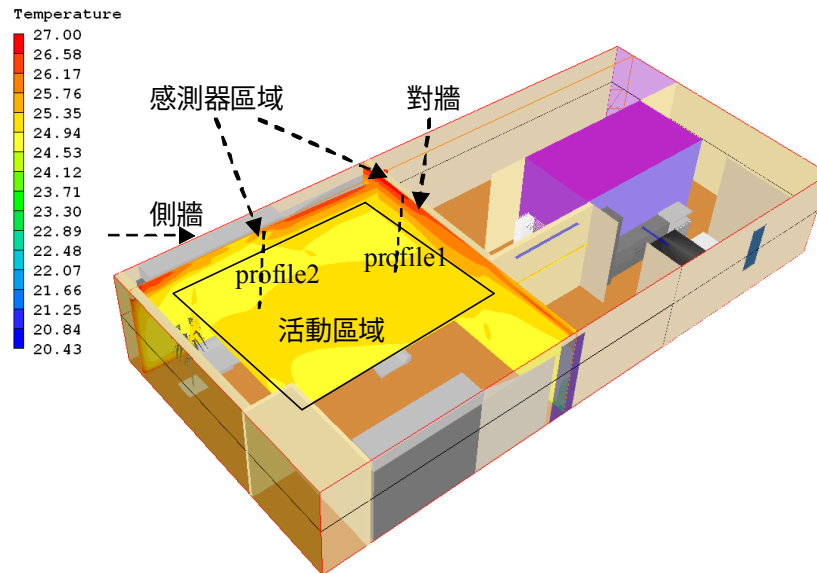


圖 25、客廳內溫度感測區域與人員活動區域溫度分佈圖

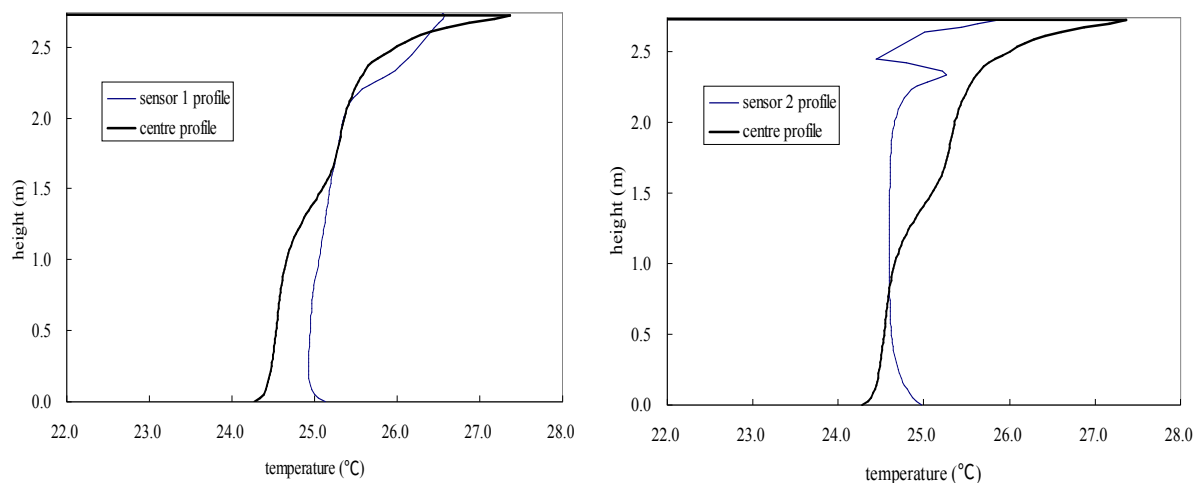


圖 26、客廳內對牆(左)與側牆(右)垂直溫度與活動區域中心的比較

4.1.2 主臥房熱流場模擬

圖 27 為電腦模擬主臥室內送風情況，熱源主要由窗戶傳入室內，此時內層玻璃溫度可達 30°C 左右，由於外牆與對牆的溫度差異，熱氣流會沿著壁面至天花板上升，導致天花板附近溫度較高。圖 28 為主臥房離地面 0.6 m 截面 PMV 分佈圖，衣著量與活動量則分別假設為 0.5 clo 與 0.8 met ，其約為睡眠時穿著夏季服裝之人體狀況，圖中顯示 PMV 分佈範圍廣，計算結果於量測位置點的

PMV 值為-0.8，與 PMV 量測結果-0.83 相接近。

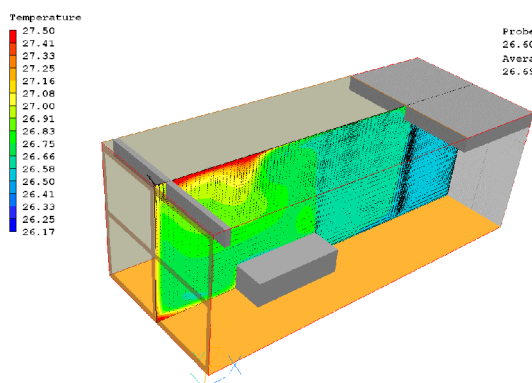


圖 27、室內 y 軸中央截面分佈圖

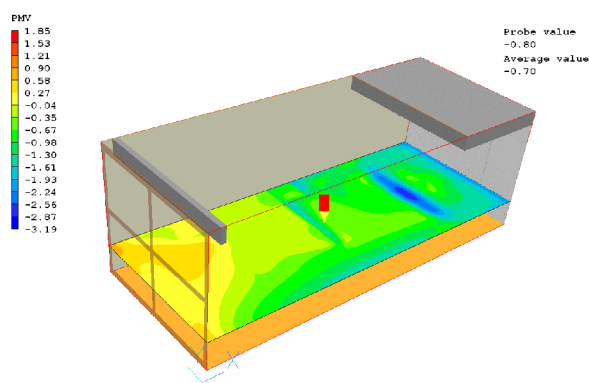


圖 28、主臥室內離地面 0.6 m 溫度分佈圖

圖 29 為室內靠近壁面附近(感測器區域)溫度分佈情況，外牆高溫沿著壁面至天花板上升，天花板附近溫度較高。圖 30 比較模擬與量測結果在感測器區域中央垂直高度的溫度變化，由圖中可看出接近天花板處，高度受到形成牆壁氣流(wall jet)影響，上層溫度較高與實驗結果相吻合。

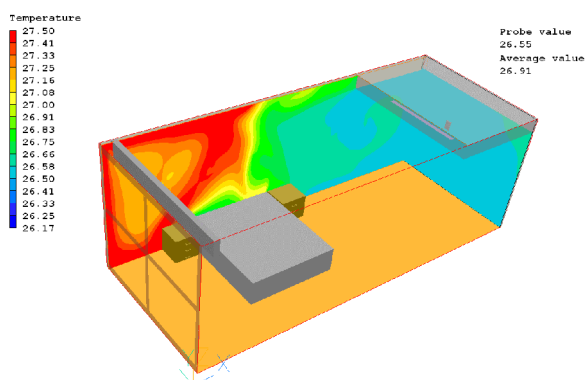


圖 29、壁面感測器區域之溫度分佈情況

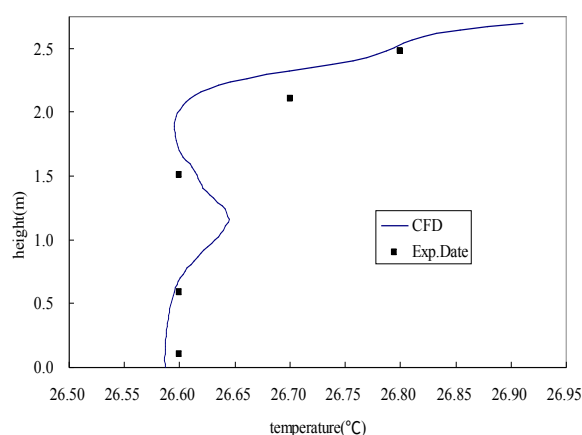


圖 30、垂直溫度溫度分布

圖 31 為室內感測器水平高度溫度分佈情況，感測器分佈在垂直高度 1.5 m 位置且彼此距離為 1 m。圖 32 為室內靠近壁面附近(感測器區域)與睡眠區域 1.5 m 溫度分佈情況，圖 33 為與活動區域 1.5 m 溫度分佈情況，由圖 34 靠近壁面各

感測器垂直高度溫度分佈情況及圖 35 可以得知，感測器 1~3 的垂直溫度分佈與睡眠區的垂直溫度較為接近，然而活動區的垂直溫度則與感測器 4 的垂直溫度接近。圖 36 為室內靠壁面約 5 cm 距離(垂直高度 1.5 m 位置)上，沿 x 軸線二氧化碳隨時間變化的分佈圖，圖中可以觀察到在開啟空調 5 分後濃度最高發生在感測器 2 的位置，往後隨時間變化各感測器附近濃度持續下降，在 2 m to 3 m 之間濃度值會有持續增加現象。

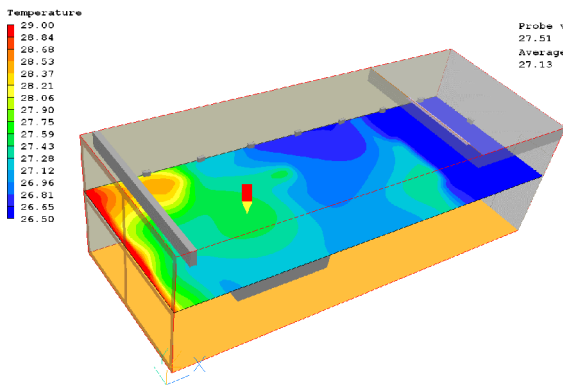


圖 31、主臥室感測器水平高度溫度分佈情況

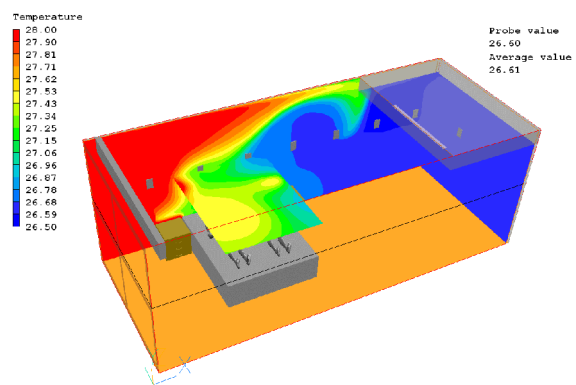


圖 32、室內靠近壁面附近(感測器區域)與睡眠區域 1.5m 溫度分佈情況

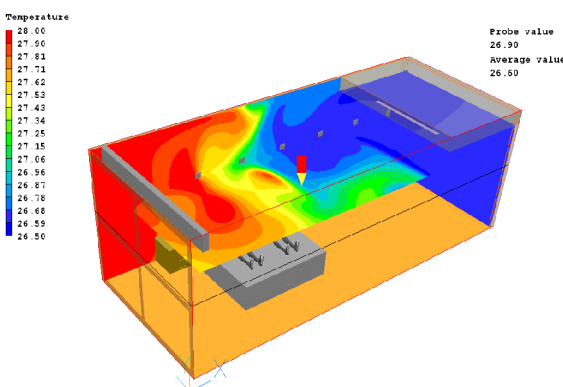


圖 33、室內靠近壁面附近(感測器區域)與活動區域 1.5m 溫度分佈情況

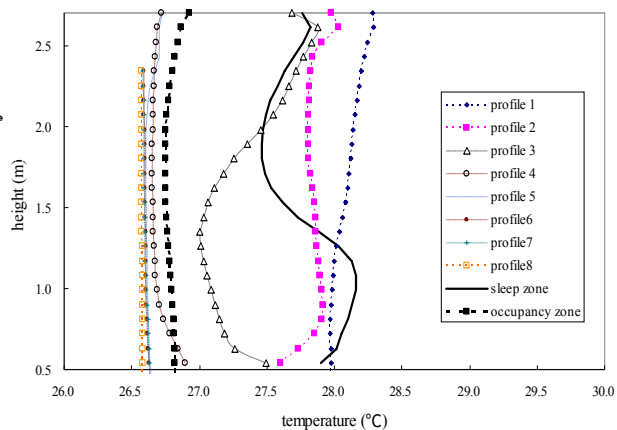


圖 34、靠近壁面各感測器垂直高度溫度分佈情況

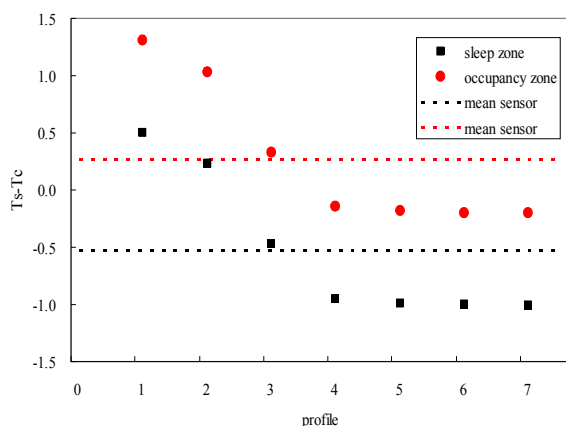


圖 35、各感測器垂直高度 1.5 m 溫度與室內睡眠區及活動區溫度差異情況

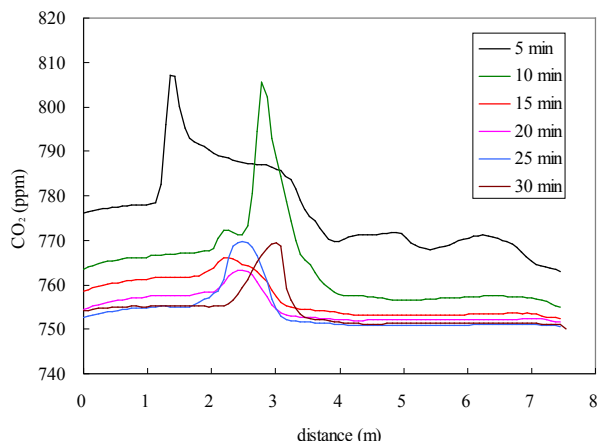


圖 36、室內感測器區域垂直高度 1.5 m 二氧化碳分佈

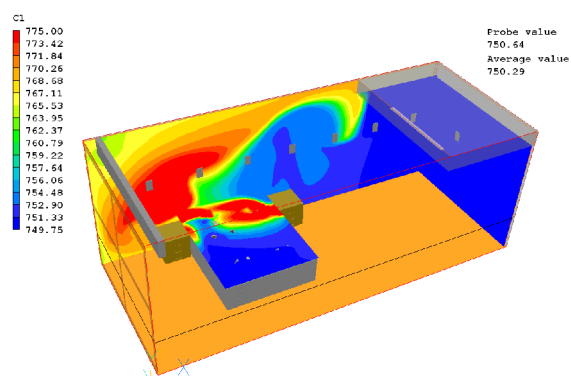


圖 37、感測器區域與室內睡眠區二氧化碳濃度分佈情況

關於主臥室溫濕度感測器適當安裝位置整理如表 15 所示，主要綜合上述整理不適合安裝感測器情況，與依據各感測器與室內活動區內距離地板高度 1.5 m 溫度差為判斷準則，由於感測器 5、6 及 7 受到向下氣流影響，感測器偵測溫度內溫度都較室內平均溫度低，無法代表環境內人員活動區內的溫度值；然而感測器 1 及 2 又會受到熱輻射影響，感測器偵測的溫度又比平均溫度較高，最後以感測器 4 位置距離活動區近且與室內活動區中心溫度較接近，故感測器 4 為最適當安裝位置。

表 16 為主臥室環境內適合安裝二氧化碳感測器評估表，安裝二氧化碳感測器基本上也參照上述不適合安裝二氧化碳感測器位置的條件進行評估，由表

16 可發現感測器 2 雖可在單位時間內達到最大濃度值，但由於感測器 2 與 3 的位置亦受到人的呼吸影響，因此，感測器 4 相對為較適合安裝的位置。

表 15、主臥室環境內適合安裝溫度感測器評估表

	sensor 1	sensor 2	sensor 3	sensor 4	sensor 5	sensor 6	sensor 7
不被流場干擾	✓	✓	✓	✓			
遠離熱輻射			✓	✓	✓	✓	✓
避免迴流區	✓	✓	✓	✓			
避免靠近窗戶區域		✓	✓	✓	✓	✓	✓
避免放置氣流循環差地方	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
與活動區域最小溫度差值($T_{\text{sensor}} - T_{\text{center}}$)				✓			

表 16、為主臥室環境內適合安裝二氧化碳感測器評估表

	sensor 1	sensor 2	sensor 3	sensor 4	sensor 5	sensor 6	sensor 7
不被流場干擾	✓	✓	✓	✓			
遠離熱輻射			✓	✓	✓	✓	✓
避免迴流區	✓	✓	✓	✓			
避免靠近窗戶區域		✓	✓	✓	✓	✓	✓
避免放置氣流循環差地方	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
單位時間內最大濃度值		✓					

4.2 智慧化居住空間整合應用展示中心

本文主要選取二樓辦公室展示空間探討裝置於牆面感測器(wall sensor)附近的熱流場與溫度分佈，並配合現場量測熱舒適儀量測環境內溫度、相對濕度、空氣流速、平均輻射溫度等物理量，驗證 CFD 數值模型準確性，以達到確認感測器最佳佈建位置。圖 38 為二樓辦公室展示空間平面尺寸圖與現場溫度與二氧化碳感測器佈點位置，包括會議室、多人及單人數位體驗區及休息區等。

圖 39 為會議室及多人體驗區人體熱舒適量測儀(PMV)量測情況，主要利用多點且連續自動方式(Automatic Sampling Method, ASM)置於會議室、休息區、多人及個人數位體驗區中央位置，各測點將至少連續量測 8 小時；此外，也利用其它環境參數感測器等量測室內及戶外氣溫、風速、濕度等環境參數，測試期間為 10 月份，量測期間戶外平均氣溫 27.3°C，平均相對濕度為 64.9%。

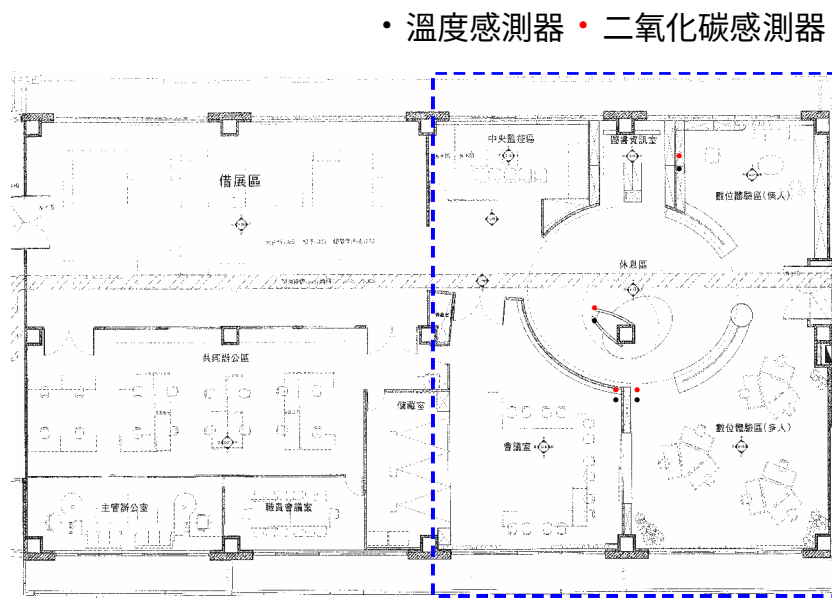


圖 38、2F 辦公室展示空間平面尺寸圖與感測器佈點位置



圖 39、會議室及多人體驗區 PMV 量測情況

會議室內模型配置如圖 41 所示，假設室內人員為 6 人，主要計算人體與環境熱傳遞過程中人體周圍的空氣溫度、濕度、空氣流速分佈，排列情況與參考設定感測器圖右所示，感測器在最短時間內感測到二氧化碳較高的濃度值為感測器較佳位置，模擬情況設定為 2 階段，第一階段前 30 分鐘為關空調系統，第二階段的 30 分鐘為開啟空調系統。

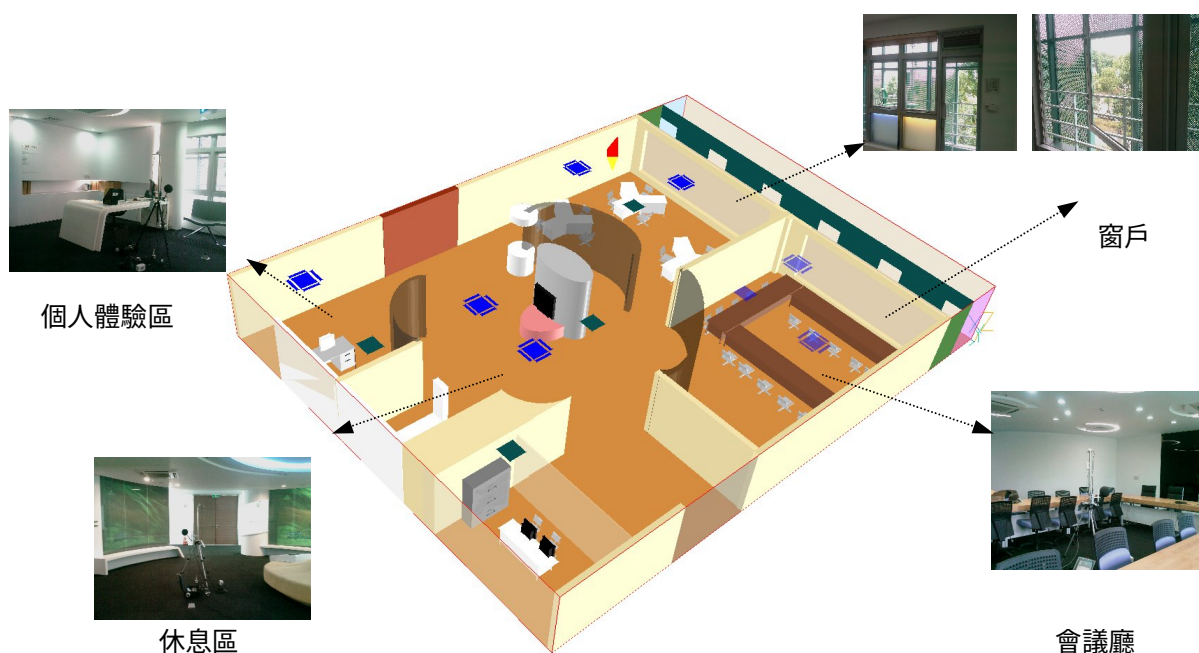


圖 40、為二樓辦公室展示空間模型配置圖

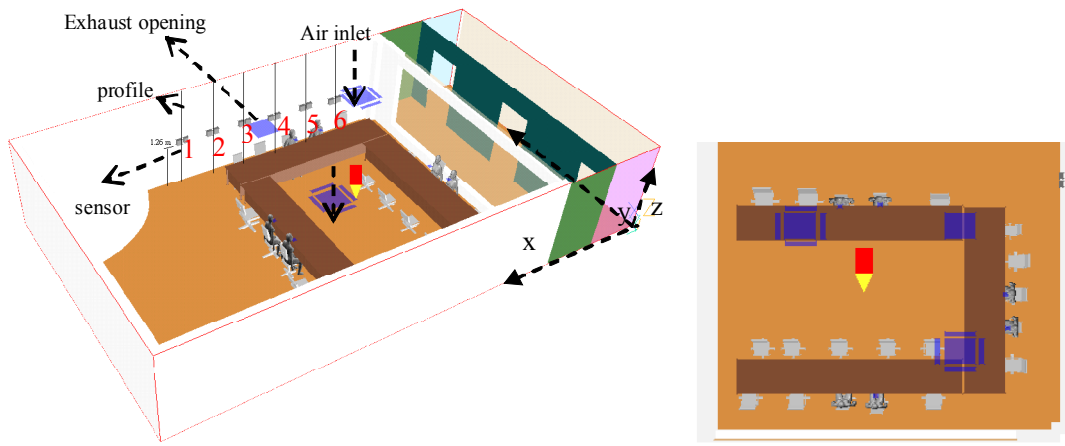


圖 41、會議室內模型與人員配置圖

4.2.1 辦公室展示空間內熱流場模擬

圖 42 為二樓辦公室展示空間內各區域溫度分佈情況，室內空調氣流主要以天花板擴散器射流入室內，透過對流維持室內溫度，圖中進入室內氣溫為 25.2°C 左右，外界氣溫為 30°C 左右，模擬在 10 月 26 日早上 10 點情況；經模擬後全場溫度範圍分佈在 25.2°C to 27.1°C 之間，以靠近窗戶附近溫度較高，約為 27.1°C 於會議室內角落，多人體驗區靠窗附近溫度也較高，約為 26.5°C 。圖 43 為辦公室展示空間內靠近天花板距離 5 cm 水平截面溫度與速度向量分佈圖，由於配合感測器驗證實驗，為使室內快速均勻性，故調整氣流流速設定為較高速，圖中靠近氣流出風口溫度較低，圖 44 為二樓辦公室展示空間內各區域濕度分佈情況，相對濕度的範圍在 56 % to 48 %，通常相對濕度恰與氣溫分佈相反，氣溫最高的區域相對濕度則較低，此時相對濕度較高為休息區及個人體驗區附近，基本上當天戶外相對濕度變化不大，平均相對濕度為 53.1%。

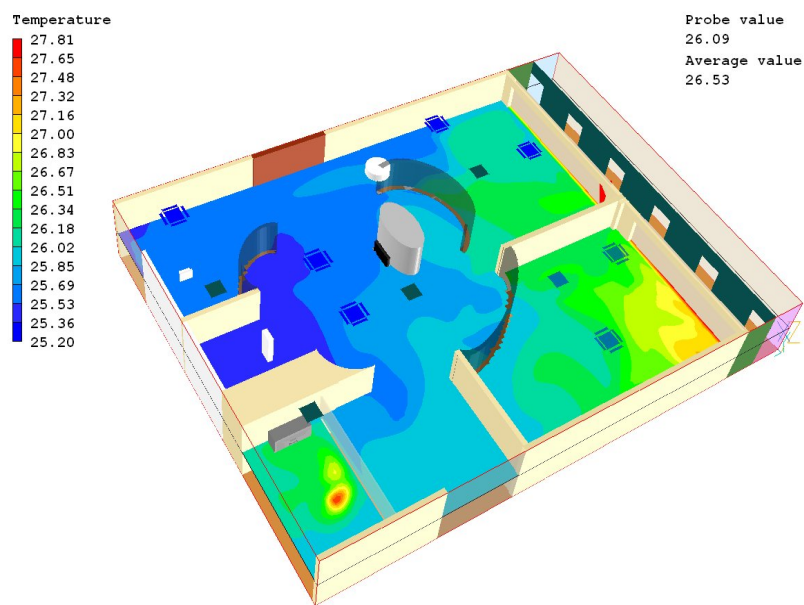


圖 42、二樓辦公室展示空間內各區域感測器水平高度截面溫度分佈情況

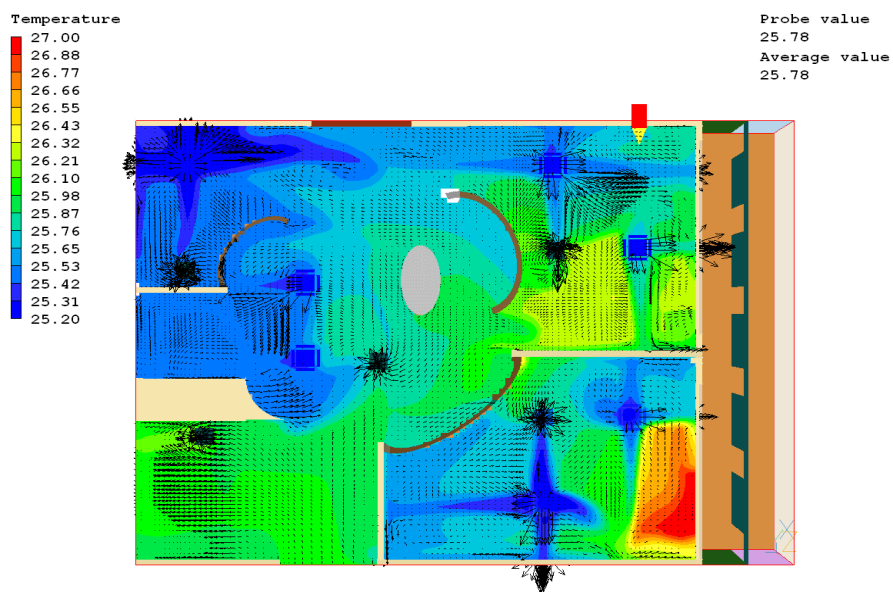


圖 43、辦公室展示空間內靠近天花板距離 5cm 水平截面溫度與速度向量分佈圖

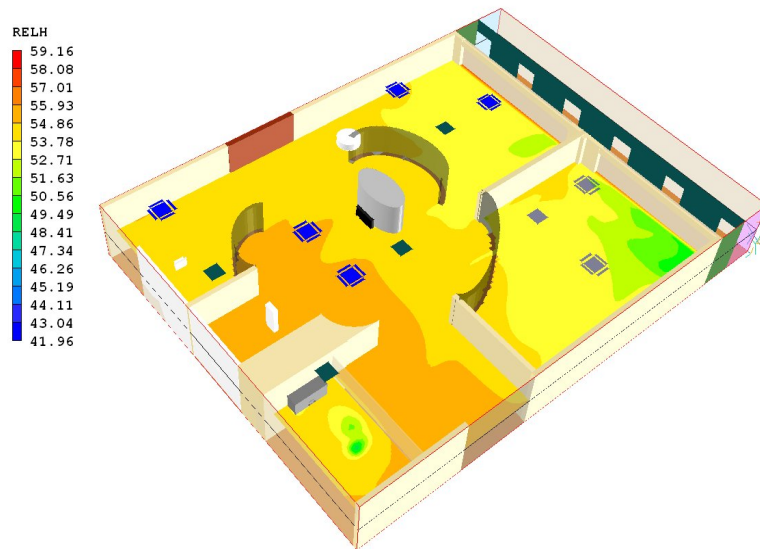


圖 44、二樓辦公室展示空間內各區域濕度分佈情況

4.2.2 多人數位體驗區

圖 45 為感測器區域附近與活動區域溫度分佈情況，圖中依據當時安裝感測器位置選擇靠近牆 5cm 距離溫度截面分佈與截取離地面高度為距地板高度 1.26 m 距離溫度分佈圖觀察，發現在靠近窗附近的感測器區域會受到出風口位置速度影響溫度較低，活動區域溫度分佈範圍在 25.4 °C to 26.5 °C，選擇中心垂直高度溫度分佈與感測器垂直溫度比較，如圖 46，感測器垂直溫度變動較大但位於感測器位置與中心區域相接近，由圖中若是僅有感測室內溫度時溫度感測器的擺放位置是合理的。

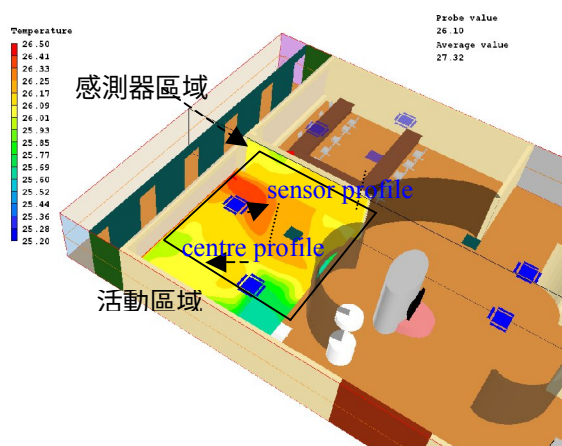


圖 45、感測器區域附近與活動區域中心溫度分佈情況

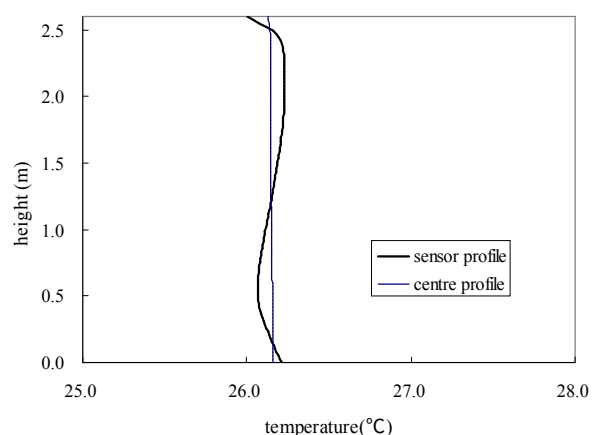


圖 46、感測器垂直溫度與活動區域中心溫度分佈比較

4.2.3 個人數位體驗區

圖 47 為感測器區域附近與活動區域溫度分佈情況，圖中選擇靠近牆 5 cm 距離為感測器可能放置位置，活動區域的溫度截面分佈是取離地面高度 1.26 m 距離溫度分佈圖觀察，發現在靠近牆附近的感測器區域附近溫度較低，由圖 48 感測器垂直溫度與活動區域中心溫度分佈比較，在感測器垂直高度溫度差異約 0.1 °C 左右，由圖中若是僅有感測室內溫度時，溫度感測器的擺放位置是合理的。

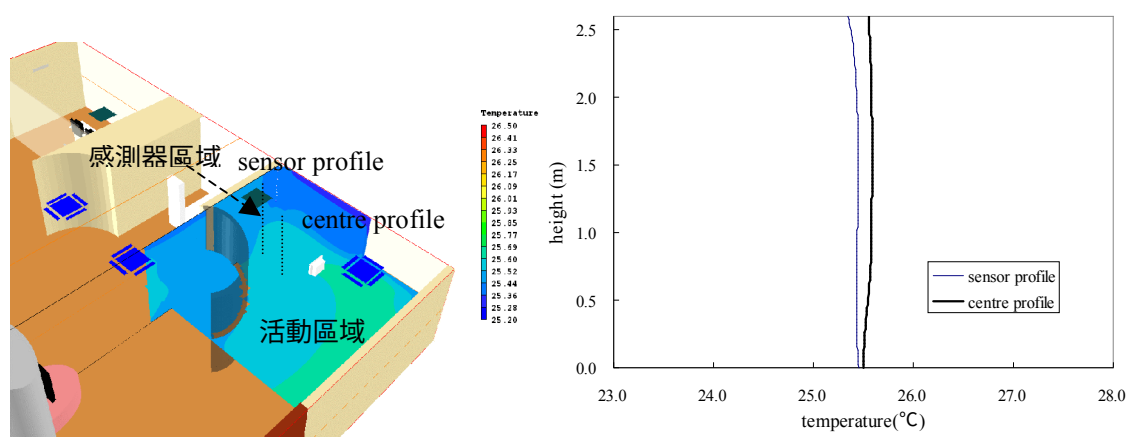


圖 47、單人數位體驗區感測器區域附近與 圖 48、感測器垂直溫度與活動區中心溫度
活動區中心溫度分佈情況 分佈比較

4.2.4 會議室

4.2.4.1 無空調狀態

圖 49 為會議室內於感測器水平截面溫度分佈情況，在無空調狀態下室內溫度範圍為 30 °C to 32 °C 左右，人體周圍附近有較高溫度值，此外靠近窗戶及天花板附近溫度也較高，圖 50 為靠近牆壁的感測器區域附近垂直溫度分佈，通常地板的溫度較低，人體的熱源也會隨氣流上升於室內天花板處溫度較高，基本上垂直溫度分佈會有層化(Temperature stratification)現象存在，室內溫度範圍會隨室內熱源及熱輻射而決定溫度高低，若室內有溫度的層化現象，溫度感測器安裝高度以離地面 1.5 m 位置為適合的安裝高度。

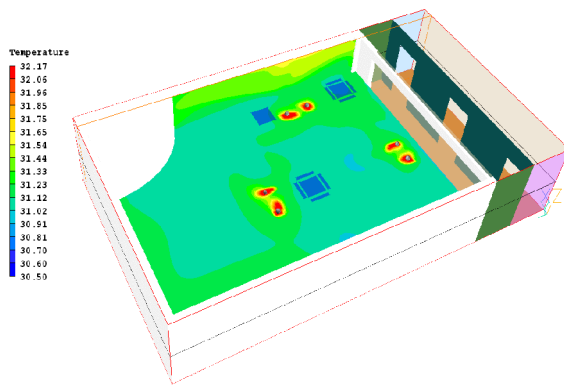


圖 49、無空調狀態會議室內於感測器水平
截面溫度分佈情況

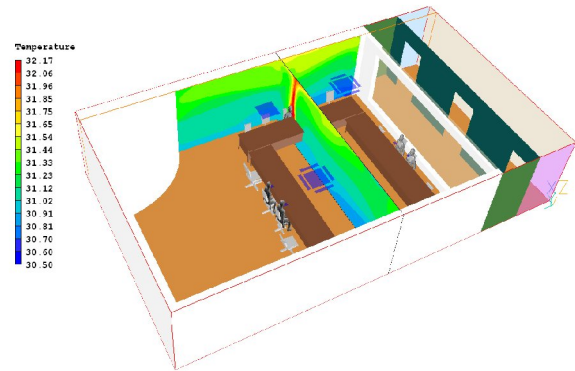


圖 50、無空調狀態會議室內於感測器垂直
截面溫度分佈情況

圖 51 為會議室內於感測器水平截面二氧化碳濃度分佈情況，圖中可以看出二氧化碳濃度會隨著人體熱氣流上升堆積於室內天花板處，此後隨時間變化往下沉積，二氧化碳濃度較濃區域為靠窗角落，約 900 ppm 左右；由圖 52 為會議室內於感測器區域附近垂直截面二氧化碳濃度分佈情況，觀察可以知道感測器安裝位置比較無法偵測較濃區域，且靠近窗戶附近二氧化碳濃度也較高。

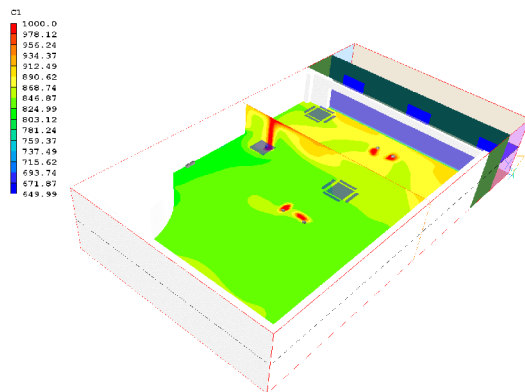


圖 51、會議室內於感測器水平截面二
氧化碳濃度分佈情況

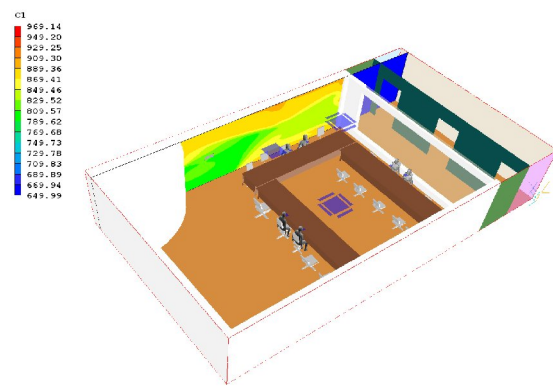


圖 52、會議室內於感測器垂直截面二
氧化碳濃度分佈情況

圖 53 為會議室內各感測器垂直溫度分佈情況，可以看到室內垂直溫度變化情況，天花板與地板溫度差異會隨室內熱源對流而決定彼此的溫度差異，靠近天花板約在垂直高度 2 m 以上區域容易受到室內人員及外界熱源的上升氣流影

響，溫度會變化較大；此外，垂直高度 1 m to 1.5 m 之間彼此差異溫度範圍較小。

圖 54 為會議室內目前感測器垂直溫度分佈與室內中心溫度分佈情況，以垂直高度 1.5 m 位置是最接近室內中心的垂直溫度。然而，目前感測器安裝高度為 1.26 m，彼此溫度差異小，故目前溫度感測器安裝位置是合適的。

圖 55 為各感測器垂直高度二氧化碳濃度變化圖，室內二氧化碳濃度主要來源於人體，圖中可以知道二氧化碳濃度範圍在 800 ppm to 900ppm 之間，濃度以接近內天花板較高，圖 56 為目前所安裝感測器位置的垂直高度二氧化碳分佈情況與室內中心二氧化碳分佈情況比較，以垂直高度 2 m 位置是最接近室內中心二氧化碳濃度值，故文獻有建議以超過垂直高度 2 m 位置為適合安裝的高度。

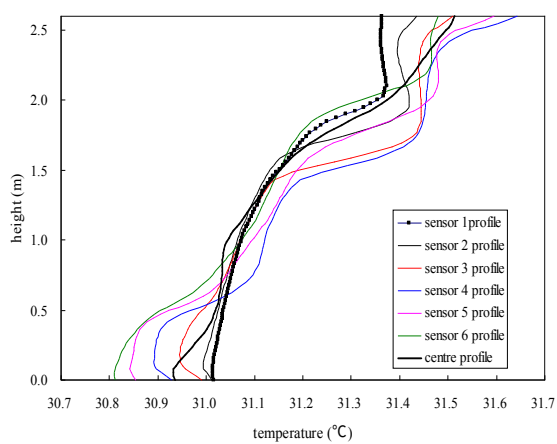


圖 53、會議室內各感測器垂直高度溫度分佈情況

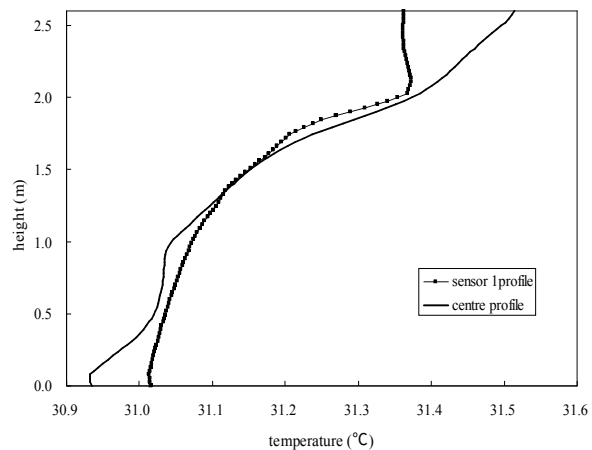


圖 54、會議室內目前實際感測器位置垂直高度溫度分佈情況

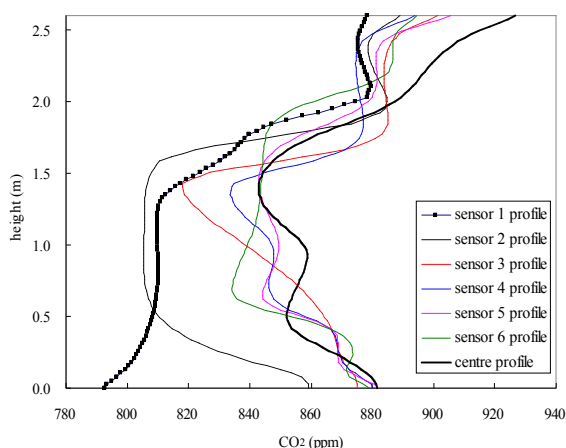


圖 55、會議室內各感測器垂直高度二氧化碳濃度分佈情況

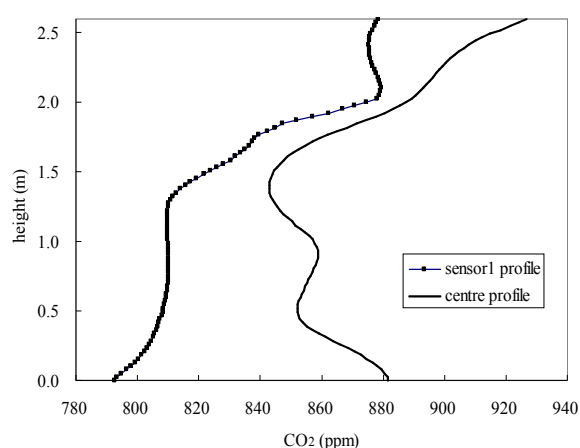


圖 56、會議室內目前實際感測器位置垂直高度二氧化碳濃度分佈情況

4.2.4.2 空調狀態

圖 57 及圖 58 為開啟空調後於感測器水平高度溫度及二氧化碳分佈情況，(a)(b)(c)依次為開啟空調 5 min、10 min 及 30 min 後溫度分佈情況，透過空調系統可以將溫度降低及二氧化碳濃度移除，二氧化碳濃度移除效率會隨著空調位置、氣流大小而改變。

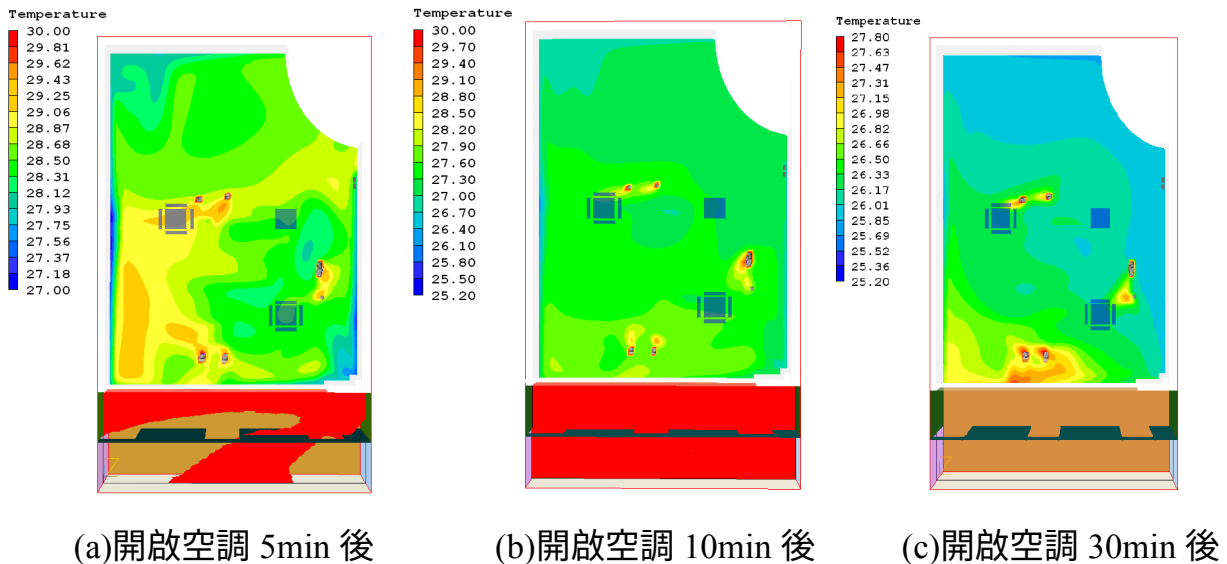


圖 57、為開啟空調後於感測器水平高度溫度分佈

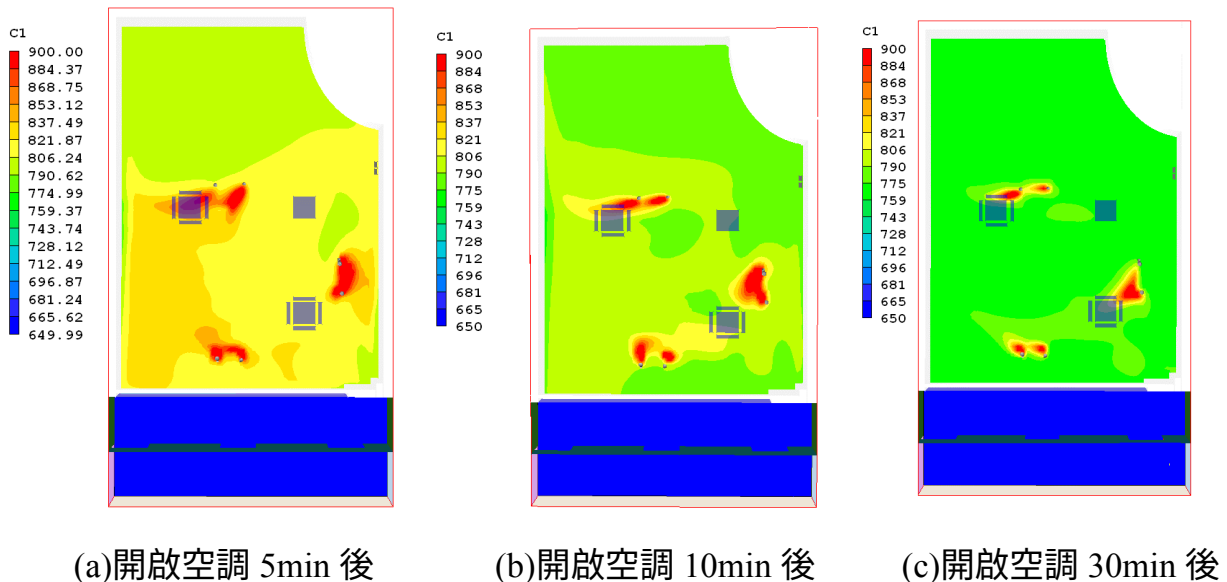


圖 58、為開啟空調後於感測器水平高度二氧化碳濃度分佈

圖 59 為室內各感測器在 30 分鐘(未開空調)與 60 分鐘(開空調 30 分鐘後)時所偵測的溫度與活動區溫度的差值，其中以感測器 6 為最接近環境內活動區範

圍的溫度值，但由於位於靠窗附近故不適宜安裝於此，其次以感測器 1 為最接近活動區溫度，故選擇於此較為適合。圖 60 為室內各感測器所偵測的二氧化碳濃度值，由變化過程以感測器 5 在 30 分鐘後可以偵測較高濃度值。

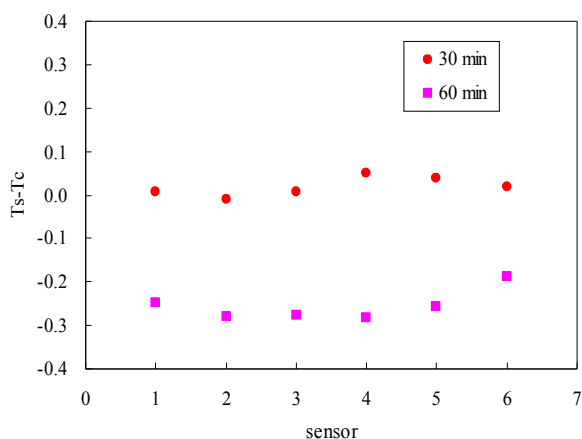


圖 59、室內各感測器所偵測的溫度與活動區溫度比較情況

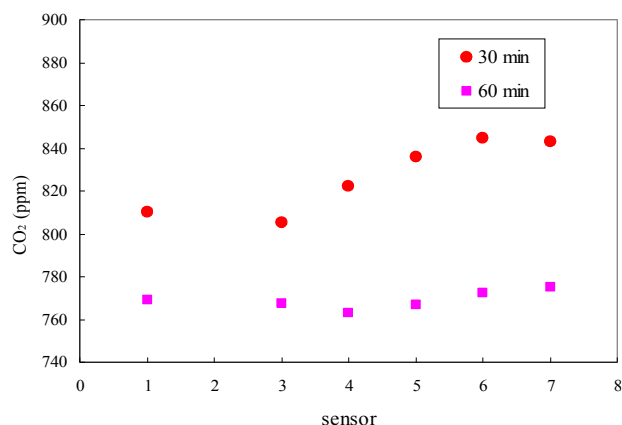


圖 60、室內各感測器所偵測的二氧化碳濃度值

最後，關於展示空間溫度感測器適當安裝位置整理如表 17 所示，主要綜合上述整理不適合安裝感測器情況，與各感測器與室內活動區內距離地板高度 1.5 m 溫度差為判斷準則，評估結果以感測器 1 為較適當安裝位置，表 18 為二氧化碳感測器綜合評估表，由於二氧化碳分佈會受到室內人員釋放位置影響，若以目前預設條件下感測器 5 所偵測在單位時間內二氧化碳濃度是較高的，此外又符合其它條件，故為較適當安裝位置。

表 17、會議室環境內適合溫度感測器放置評估

	sensor 1	sensor 2	sensor 3	sensor 4	sensor 5	sensor 6
不被流場干擾	✓	✓	✓	✓	✓	✓
遠離熱輻射	✓	✓	✓	✓	✓	
避免迴流區	✓	✓	✓	✓	✓	✓
避免靠近窗戶區域	✓	✓	✓	✓	✓	
避免放置氣流循環差地方	✓	✓	✓	✓	✓	✓
與活動區域最小溫度差值 $T_{\text{sensor}} - T_{\text{center}}$	✓					

表 18、會議室環境空間內適合二氧化碳感測器放置評估

	sensor 1	sensor 2	sensor 3	sensor 4	sensor 5	sensor 6
不被流場干擾	✓	✓	✓	✓	✓	✓
遠離熱輻射	✓	✓	✓	✓	✓	
避免迴流區	✓	✓	✓	✓	✓	✓
避免靠近窗戶區域	✓	✓	✓	✓	✓	
避免放置氣流循環差地方	✓	✓	✓	✓	✓	✓
與活動區域最小濃度差值 $C_{\text{sensor}} - C_{\text{center}}$		✓				
單位時間內最大濃度值 $C_{\text{sensor}} - C_{\text{center}}$					✓	

(二)熱舒適度量測標準之草案研究

1. 國際熱舒適度評估標準調查

如圖 61 所示，經比較各國熱舒適標準的差異性後，其中各國熱舒適度標準主要參照 ISO 7730：Ergonomics of the thermal environment-Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria，此標準的最新版本為第三版 2005 年，前一版本為 1994 年出版。第三版內容除針對前一版內容進行技術修訂外，並新增了長期評估的方法、局部熱不舒適(Local thermal discomfort)、非穩態的環境(Non-steady-state conditions)與生理適應性變化(Adaptation)的評估，同時在附錄中補充不同環境與空間的熱舒適需求。經調查各國熱舒適標準並分析後，大陸標準 GB/T 18049 (2000)與韓國標準 KS A5601 均參考 ISO 7730 之 1994 年的舊版本並翻成該國語言。ISO 14415 (2005)主要是針對殘障、老人與有特殊需求人士補充現有 ISO 熱舒適標準(包括冷熱與中度環境)在應用時所需之必要考量與原則。ISO 16815 (Building environment design -- Design and evaluation of indoor thermal environment)主要是針對建築熱環境的設計，但此標準目前正在制訂中尚未公布。ANSI/ ASHRAE 55 (2004)主要是提供室內熱環境與空調系統的設計與測試以及熱環境的量測與評估，同時在內文中並與 ISO 7730 (1994)與 ISO 7726 (1998)標準中的熱舒適指標 PMV 與 PPD 的內容一致。歐洲標準 EN 15251(2007)主要提供室內空氣品質、熱環境、照明與隔音之設計與能源效率的評估標準，並著眼在能源的計算與室內環境的長期評估。此份標準並參考國際熱舒適的相關標準包括 ISO 7730 (2005)、ISO 7726 (1998)、ISO 8996 (2004)、ISO 9920 (1995)、ISO 13731 (2001)與 ISO/TS 14415。

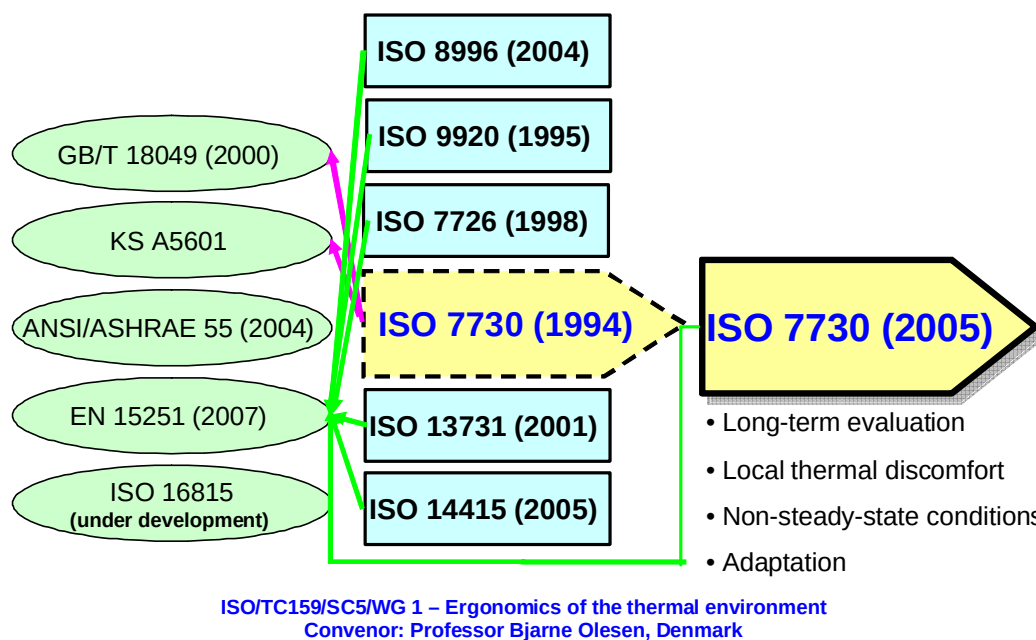


圖 61、熱舒適標準關係圖

最後綜整所有與熱舒適相關的標準如表 19 所示，並在下文作各個標準簡要的介紹：

ISO 7726

1. 提供量測環境物理參數時，必需要用到的儀器、參數以及量測方法。
2. 此標準並非定義出一個整合性的指數，而是在資料記錄時，應該進行的標準化的步驟。
3. 可以參考此標準作為：
 - i. 量測儀器的製造商與使用者作為說明書使用。
 - ii. 設備買賣的規格與合約。
4. 進行 ISO 7730 量測上，儀器所應該具備的準確度、量測範圍、反應時間、量測方法與注意事項。

ISO 7730

1. 提供室內環境下將人的熱感覺與不舒適感受量化的模型，進而作為評估室內

環境舒適度的參考依據。

2. 人的熱感覺主要受到活動量、衣著量與環境參數影響。就環境參數而言，包含空氣溫度、平均輻射溫度、風速以及溼度，並將這些參數綜整為一個 PMV 指數，進而預估人在某環境下所會感受到的知覺。
3. PMV 指數可視為人對冷熱感受的平均值，範圍由 3、2、1、0、-1、-2 到-3 並分別表示由熱到冷的程度。
4. PPD 指數為人對熱環境感受到不滿意程度的百分比。
5. 人體局部位置的冷或熱可能會造成人體的不舒適感受，因此需在會在腳踝、腹部及頸部的高度進行溫度、風速還有紊流強度(Turbulence intensity)的量測。

ISO 8996

1. 標準中將新陳代謝率定義為將化學能轉變為機械能與熱能的過程，而計算新陳代謝率即是計算輸入給肌肉的能量和輸出之活動量。
2. 參考標準：
 - i. ISO 7933：熱環境－計算排汗率以評估熱應力。
 - ii. ISO 9886：人體工學－藉由生理量測來計算熱應力。
3. 此標準包含了六個計算新陳代謝率的方法，並依其準確度分成三類：
 - i. 等級 I：將各種活動、職業等可能會產生的新陳代謝速率以一個圖表表示，但誤差最大。
 - ii. 等級 II：將等級 I 的圖表更精確化，將從事的活動更細部的描述，同時亦考量心跳作為參考，誤差大約為 15 %。
 - iii. 等級 III：分析從肺部呼出來的氣體(間接熱量量測法)，誤差可為 5 %。
4. 測量耗氧率和心跳來計算新陳代謝率。
5. 附錄 A：提供各種活動對應不同之新陳代謝率，以及計算平均新陳代謝率可能會用到的參數。
6. 附錄 B：依職業別給定參數來計算新陳代謝率。
7. 附錄 C：提供身體姿勢、工作與活動參數。

8. 附錄 D：提供各種活動和估計的新陳代謝率。
9. 附錄 E：計算範例－工作所會產生的平均新陳代謝率。
10. 附錄 G：計算範例－由量測的參數計算新陳代謝率。

ISO 9920

1. 在不同溫度環境下，穿著的衣物會不同，絕熱效果亦不同，藉此來評估不同的穩態熱平衡狀態。
2. 在此標準中所提供的資料，是利用人體模型進行實驗，其狀況可能會與真實人體有出入。
3. 本標準包含項目：
 - i. 以熱阻估計乾熱損失(Dry heat loss)。
 - ii. 服飾面積係數(clothing area factor)=衣服總面積/人裸體面積。
4. 本標準不包含項目：
 - i. 不考慮衣服可能會發生的其他因素，如水的吸附、觸感等。
 - ii. 雨水和雪對衣服造成的影響。
 - iii. 特別的衣服，如附有通風功能的衣服等。
 - iv. 溫度不平均所造成的身體不適等。
5. 附錄 A：衣物在人體模型的熱阻。
6. 附錄 B：各種服飾的熱阻。
7. 附錄 C：量測衣物在人體模型上熱阻實驗步驟。
8. 附錄 D：量測衣物在人體上熱阻實驗步驟，依據人體熱平衡作計算。
9. 附錄 E：衣物熱阻的不同表達方法。
10. 附錄 F：計算蒸發阻抗的步驟(依據熱阻和服飾面積係數)。

ISO 10551

1. 本標準提供主觀的評估參考。
2. 可與 ISO 7730 互補。

3. 包含五種程度：

- i. Perceptual
- ii. Affective
- iii. Preference
- iv. Acceptance
- v. Tolerance

ISO 13731

- 1. 依據國際標準，定義人體工學上有關熱環境方面的字彙與符號。
- 2. 提供這些字彙與符號的參考資料。

ISO 13732-2

- 1. 在一般溫度，10 °C到 40 °C下，人體與固體表面接觸時的反應。
- 2. 參考的標準包括有：
 - i. ISO 13732。
 - ii. EN 563：人體接觸溫度的安全規範。
- 3. 影響參數：
 - i. 人體溫度與環境溫度。
 - ii. 接觸時間與接觸壓力。
 - iii. 接觸面性質。
 - iv. 接觸係數(Contact coefficient)與熱擴散。
- 4. 人體不同部位的接觸，包含有無衣物等。

ISO 14415

- 1. 針對殘障人士、病患、孕婦、年長者等有特殊需要的人，所需要的舒適環境。
- 2. 需要考慮多方因素，例如知覺麻痺、癱瘓、體型、內分泌失調、血管舒張問題、新陳代謝問題等。

ISO 14505-1

1. 提供評估交通工具內熱應力的準則，此交通工具可以是在陸上、海上或是在空中飛行。
2. 此標準為概略性的評估，其詳細評估方法需參考其他標準。
3. 將環境分成三種：
 - i. 熱環境：參考 ISO 7933 或 ISO 7243。
 - ii. 舒適環境：參考 ISO 7730。
 - iii. 冷環境：參考 ISO 11079。
4. 附錄 A：評估駕駛員的新陳代謝率，詳細內容可參考 ISO 8996。
5. 附錄 B：提供相關通風、絕熱效果等資料，詳細內容可參考 ISO 9920。
6. 附錄 C：貨車行使在高速公路上，交通正常的情況下進行熱應力的評估。其中熱環境評估可參考 ISO 7730，量測方法可參考 ISO 14505-2，內容包含計算全身的等效溫度(Equivalent temperature)，以及熱所造成的人體局部影響。

ISO14505-2

1. 此標準提供如何進行量測與計算等效溫度，方法是主要利用環境與人體的之間的熱交互作用。
2. 依據不同的量測方法可分為：
 - i. 整體等效溫度(Whole body equivalent temperature)
 - ii. 局部等效溫度(Segmental equivalent temperature)
 - iii. 直接等效溫度(Directional equivalent temperature)
 - iv. 全方位等效溫度(Omnidirectional equivalent temperature)
3. 附錄 A：以人體模型作為一個量測範例。
4. 附錄 B：量測儀器相關資料。
 - i. Table B.1：量測整體與局部等效溫度時，需注意的量測細節。
 - ii. Table B.2：量測直接等效溫度時，需注意的量測細節。
 - iii. Table B.3：量測全方位等效溫度時，需注意的量測細節。

5. 附錄 C：包含表面溫度的修正方法、表面性質、傳導係數、儀器的反應時間、儀器準確度等。
6. 附錄 D：利用熱平衡來說明等效溫度，可參考 ISO 7730。
7. 附錄 E：說明如何利用等效溫度來評估交通工具內的穩態微氣候。

ISO 14505-3

1. 此標準為評估人(以人作為對象，而非人體模型)在交通工具內的舒適程度，亦含無包覆性的交通工具如機車、腳踏車等。
2. 必須與另外二個標準搭配參考，包括 ISO 12894 與 ISO 13731。
3. 附錄 A：測驗舒適程度的方法。
4. 附錄 B：測驗時所用的問卷。
5. 附錄 C：舒適度測驗。
6. 附錄 D：汽車玻璃舒適度測驗。
7. 附錄 E：車椅舒適度測驗。

ASHRAE 55

1. 整合所有會影響熱環境的所有參數(包含環境參數與人為參數)，並建構一個舒適環境標準，以滿足室內 80 %以上的居住者。
2. 環境參數由溫度、平均輻射溫度、濕度及風速所組成。
3. 人為參數則是由活動程度與穿著的服飾所影響。
4. 此標準並不將空氣品質、聲音或光照等與熱無關的環境因素考量在內。
5. 附錄中提供局部熱不舒適的相關資料，包含冷流效應以及在任意空間裡利用表面溫度和方位角計算平均輻射溫度等等，並提供計算步驟與範例。

ASHRAE 62

1. 在符合人體舒適及健康的條件下，設定室內最低通風量與空氣品質的標準。

2. 此標準亦適用於高濕度的環境，例如：廚房、浴室、更衣室、游泳池等場所。
3. 此標準提供二個步驟來達到空氣濾淨效果：
 - i. 通風：藉由控制通風的品質與通風量來控制空氣品質。
 - ii. 室內空氣品質：藉由了解室內空氣的內容來控制空氣品質。
4. 附錄 A：提供室內污染空氣的轉換因子。
5. 附錄 B：提供衡量空氣供應室內燃料燃燒的步驟。
6. 附錄 C：提供如何建立室內空氣品質的準則。
7. 附錄 D：提供室內環境人體呼吸空氣必須的量，並以二氧化碳濃度作依據。
8. 附錄 E：建立一套步驟來設計使用乾淨空氣作為再循環的空調系統。
9. 附錄 F：通風效率。

ASHRAE 113

1. 設立一個可重複量測穩態氣體擴散的方法，適用於辦公室等場所。
2. 測試一個溫度調控系統控制環境舒適度的能力，藉由某設定下量測其空間中的空氣移動、速度及溫度的分布。
3. 此標準可以給予建築設計師及屋主作為其房屋內空氣擴散狀況的量化參考。
4. 假設屋內的人均處於久坐或是只有些微的活動程度，衣著量為穿著一般室內衣服。
5. 風速與溫度在四個不同的高度做量測(離地 0.1 m、0.6 m、1.1 m 及 1.7 m)，量測地點則因不同的室內環境而異。
6. 提供一個計算程序：量測區域的平均溫度、平均風速、有效通風溫度、負載及 ADPI (Air Diffusion Performance Index)。

SAE J2234

1. 定義出等效溫度以及如何在應用在空調系統上，並解釋如何透過等效溫度來評估空調系統效能。
2. 須參考資料：

- i. ANSI/ASHREA 55：人與舒適環境的關係。
 - ii. ISO 7726：舒適環境的量測與方法。
 - iii. ISO 7730：舒適環境與 PMV 及 PPD 指數之間的關係。
3. 定義操作溫度(Operative temperature)。
 4. 給予不同通風情況下，所適用的等效溫度公式。

表 19、熱舒適相關標準

標準編號	標準名稱
ISO 7726 (2001)	Ergonomics of the Thermal Environment -- Instruments for Measuring Physical Quantities
ISO 7730 (2005)	Ergonomics of the Thermal Environment -- Analytical Determination and Interpretation of thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria
ISO 8996 (2004)	Ergonomics -- Determination of Metabolic Heat Production
ISO 9920 (2007)	Ergonomics of the Thermal Environment -- Estimation of Thermal Insulation and Water Vapour Resistance of a Clothing Ensemble
ISO 10551 (1995)	Ergonomics of the Thermal Environment -- Assessment of the Influence of the Thermal Environment using Subjective Judgement Scales
ISO 11399 (1995)	Ergonomics of the Thermal Environment -- Principles and Application of International Standards
ISO 13731 (2001)	Ergonomics of the Thermal Environment -- Vocabulary and Symbols
ISO 13732-2 (2001)	Ergonomics of the Thermal Environment -- Methods for the Assessment of Human Responses to Contact with Surface -- Part 2: Human Contact with Surfaces at Moderate Temperature
ISO 14415 (2005)	Ergonomics of the Thermal Environment -- Application of International Standards to People With Special Requirements
ISO 14505-1 (2007)	Ergonomics of the Thermal Environment -- Evaluation of Thermal Environments in Vehicles -- Part 1: Principles and Methods for Assessment of Thermal Stress
ISO 14505-2 (2006)	Ergonomics of the Thermal Environment -- Evaluation of Thermal Environments in Vehicles -- Part 2: Determination of Equivalent Temperature
ISO 14505-3 (2006)	Ergonomics of the Thermal Environment -- Evaluation of Thermal Environments in Vehicles -- Part 3: Evaluation of Thermal Comfort Using Human Subjects

標準編號	標準名稱
ISO 16813 (2006)	Building environment design -- Indoor Environment -- General Principles
ISO 16814 (2008)	Building Environment Design -- Indoor Air Quality -- Methods of Expressing the Quality of Indoor Air for Human Occupancy
ISO/CD 16815	Building Environment Design -- Design and Evaluation of Indoor Thermal Environment (under development)
ANSI/ASHRAE 55 (2004)	Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy
ANSI/ASHRAE 62.1 (2007)	Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality
ANSI/ASHRAE 62.2 (2007)	Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Low-Rise Residential
ASHRAE 113 (2009)	Method of Testing for Room Air Diffusion
SAE J2234 (2001)	Equivalent Temperature -- Truck and Bus
EN 15251 (2007)	Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics
GB/T 18048 (2008)	热环境人类工效学 -- 代谢率的测定
GB/T 18049 (2000)	中等热环境 PMV 和 PPD 指数的测定及热舒适条件的规定
GB/T 18977 (2003)	热环境人类工效学 -- 使用主观判定量表评价热环境的影响
KS A5601	Moderate Thermal Environments -- Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort
KS A5602	Hot Environments -- Analytical Determination and Interpretation of Thermal Stress Using Calculation of Required Sweat Rate
KS A5603	Ergonomics of the Thermal Environment -- Assessment of the Influence of the Thermal Environment Using Subjective Judgment Scales
KS A6304	Ergonomics of the Thermal Environment -- Principles and Application of Relevant International Standards

2. 亞熱帶國家熱舒適度研究調查

完成 14 篇亞熱帶國家熱舒適度研究調查，以做為國人熱舒適度與標準引用適切性評估之參考，調查結果如下所示。

- (1). Field study on occupants' thermal comfort and residential thermal environment in a hot-humid climate of China

作者	年份	研究方法	研究單位/ 國家	實驗人數	實驗地區	舒適溫度
Jie Han et al.	2003- 2004	經全尺度 實驗	College of Civil Engineering , Hunan University	110人	中國南部	22.81 °C

中國南部地區中在2003~2004年進行110人及26所住宅的熱舒適度實驗與問卷調查，利用ASHARE中的7大指標，將衣著量設定為0.15 clo，在夏天的測驗中發現，ASHARE的可接受範圍中，受測者中有87 %的人感覺到不舒服(感覺會熱)，也就是在國外所推薦的設定溫度(28 °C)並不適用於中國南部，而調查結果顯示 22.81 °C才是中國南部的熱舒適溫度。

(2). Adaptive comfort temperature model of air-conditioned building in Hong Kong

作者	年份	研究方法	研究單位/ 國家	實驗人數	實驗地區	舒適溫度
Kwok Wai Horace Mu	2003	經全尺度 實驗	Department of Building Services Engineering, Hong Kong Polytechnic University		香港	22.5 °C to 23.5 °C

在香港的研究結果顯示，地區的熱舒適度研究可以提供一個綜合的空調節能策略，而不是只有建築物的空調系統單方面的省能。因為人會受到氣候、衣著量、運動量等因素影響。經研究後，在香港的氣候條件下進行熱舒適度的控制大約可以得到的總體節能效果為7 %。熱舒適溫度約為22.5 °C to 23.5 °C。

(3). Thermal comfort in classrooms in the tropics

作者	年份	研究方法	研究單位/國家	實驗人數	實驗地區	舒適溫度
Nyuk	2002	經全尺度	Department of	12 間教室	新加坡	27.1 °C to

Hien Wong		實驗	Building, School of Design and Environment, National University of Singapore			29.3 °C
-----------	--	----	--	--	--	---------

新加坡的研究中，在一間小學的上課時段對老師與學生進行熱舒適度調查。結論顯示ASHARE 55的熱舒適度標準並不適用於新加坡這種亞熱帶濕熱型氣候，而通常在教室中，受測者比較喜歡低一些的溫度。舒適溫度約為27.1 °C to 29.3 °C。

(4). Thermal comfort evaluation of naturally ventilated public housing in Singapore

作者	年份	研究方法	研究單位/ 國家	實驗人數	實驗地區	舒適溫度
N.H. Wong	2001	經全尺度實驗	Department of Building, School of Design and Environment, National University of Singapore		新加坡	

在新加坡住宅的熱舒適度研究中發現，利用自然通風或裝設風扇等低成本的方式也可以使受測者感覺到舒適，以ASHRAE 55的標準，必須是有80 %的人是在可接受的範圍作為判斷基準。由其熱舒適度的研究結果顯示，在新加坡住宅中利用空調系統等較高成本的方式，可以改為利用低成本或無成本的方法來達到熱舒適。

(5). Adaptive thermal comfort standards in the hot-humid tropics

作者	年份	研究方法	研究單位/ 國家	實驗人數	實驗地區	舒適溫度
Fergus Nicol	2004	經全尺度實驗	Oxford Centre for Sustainable Development, Oxford Brookes University			

此篇論文提到，Fanger的熱舒適度理論與ISO 7730的國際標準在亞熱帶濕熱型地區中，需要重新去考慮氣候與濕度等因素。尤其在一些濕度較大的國家，其熱舒適度之範圍應該要較寬一些。而各地區之熱舒適度調查可使得在設計大樓或其它建築物時，有一明確的指標。

(6).上海地區適應性熱舒適研究

作者	年份	研究方法	研究單位/ 國家	實驗人數	實驗地區	舒適溫度
葉曉江, 周朝霞	2003-2004	問卷調查研究	武漢工程大學	上海地區在校居住的學生和附近的居民	上海地區	17 °C to 31 °C

問卷內容主要包括：居民的熱感覺以及對此時環境的風速、空氣清新程度和潮濕狀況的主觀評價；房間物理參數的測量，包括空氣溫度、空氣流動速度、相對濕度和平均輻射溫度。其中熱感覺投票值採用ASHRAE的7級指標表示。

利用回歸曲線得到上海地區熱中性溫度隨室外溫度變化的規則。此篇論文還提到人對於熱舒適度通常表示其生活過程中人體熱感覺與環境參數的關係，尤其是與室外溫度的關係。通過上海與各地的適應性熱舒適度標準對比，發現不同國家和地區的熱舒適度確實有所差異，ASHRAE RP-884 (1995~1997)的研究也證實了該點。這說明由於各地氣候條件、種族、生活習慣等各不相同，世界上不同地區適應性熱舒適度確實存在著差異，採用統一的熱舒適標準和溫度控

制範圍是不可取的，出於節能和舒適的目的，各國應該研究適合自身特點的熱舒適指標。上海地區中，人們在住宅和辦公室內可接受的溫度範圍為 17 °C to 31 °C。

(7).室內人體移動過程對熱舒適的影響研究

作者	年份	研究方法	研究單位/ 國家	實驗人數	實驗地區	舒適溫度
張泉, 袁 昊	2007	CFD電腦模 擬	湖南大學 土木工程 學院		中國南部	

使用計算流體力學(CFD)，去模擬得到人體移動過程中不同時刻室內流場分佈。分析了移動過程中的平均溫度、平均風速、溫度和風速不均勻性指標，並預測了有效吹風溫度(TEDT)、空氣分布特性指標(ADPI)和吹風感的不滿意指標(PD)，比較了不同人體移動速度對以上指標的影響。模擬結果表明，人體移動對室內氣流分佈和熱舒適有短期影響，能提高室內風速的擾動，造成吹風感。結論顯示人體移動是室內擾動源，對氣流分佈存在短期影響。人體移動中的擾動及人體散熱會增加室內平均溫度和平均速度，使溫度分佈向不均勻的方向發展，使速度分佈向均勻的方向發展，並且會降低能量利用係數，同時移動速度越大，對各參數的作用越明顯。人體移動改變了室內環境中各個參數的空間分佈，對室內熱舒適性有明顯的影響。由於人體移動產生了較強的氣流，室內部分區域有較強的吹風感，根據ADPI值和PD值的分佈，顯示移動打破了室內熱環境的穩定，改變人體的熱舒適感覺。然而此篇論文是在二維空間中進行模擬，真實情況還是必須利用三維空間進行模擬才可得知更真實的情況。

(8). Thermal perception, adaptation and attendance in a public square in hot and humid regions

作者	年份	研究方法	研究單位/ 國家	實驗人數	實驗地區	舒適溫度
Tzu-Ping Lin	2009	問卷調查	Department of Leisure		台灣公共 場所	23 °C to 24.5 °C

			Planning, National Formosa University			
--	--	--	--	--	--	--

公共場所熱環境與室內熱環境不同，本項研究測量公共場所之熱舒適度，結果顯示人們在公共場所之熱舒適溫度比在室內環境熱舒適溫度還高。就經驗而言，較涼爽季節之熱舒適溫度為23.7 °C；較熱季節之熱舒適溫度為25.6 °C。然而，結果顯示受測者心理因素會影響受測者的熱舒適感受。換句話說，簡單的熱舒適度不能完全解釋人們在公共場所之熱舒適度。實際受測者所喜歡的舒適溫度在較熱的季節為24.5 °C；較涼爽的季節為23 °C。

(9). An investigation of the potential for natural ventilation and building orientation to achieve thermal comfort in warm and humid climates

作者	年份	研究方法	研究單位/ 國家	實驗人數	實驗地區	舒適溫度
M. Haase	2008	全尺度實驗	SINTEF, Building and Infrastructure		香港	

氣候影響大樓建築之熱舒適，主因為不同方位所受之日曬量不同。在熱帶地區使用自然通風所得到的熱舒適度效果比亞熱帶地區好。研究結果顯示，在熱帶地區使用自然通風所得到的熱舒適度改進約為9 %到41 %之間，而在亞熱帶氣候地區使用自然通風所得到的熱舒適度約為3 %到14 %之間。在香港實驗結果發現亞熱帶地區使用自然通風所改進的熱舒適度潛力較小。在大樓建築中，利用通風井去提升自然通風的能力，並降低受到太陽日曬所得到的熱負荷，是較可行的。

(10). Evidence base prioritisation of indoor comfort perceptions in Malaysian typical multi-storey hostels

作者	年份	研究方法	研究單位/ 國家	實驗人數	實驗地區	舒適溫度
N.D. Dahlan	2009	實驗及問 卷調查	Welsh School of Architectu re, Cardiff University		馬來西亞	

在室內量測各項可變因素，包括溫度、照度及室內噪音等，並由受測者填寫熱舒適度問卷。研究結果顯示，在空間體積不到50立方米的房間裝設一台吊扇，可使受測學生在此房間之熱舒適感覺達到滿意的程度。文中表示可用較小的能量使人獲得滿意，並可用視覺與聲音使人對室內的氣候感覺較緩和，

(11). Additive model for thermal comfort generated by matrix experiment using orthogonal array

作者	年份	研究方法	研究單位/ 國家	實驗人數	實驗地區	舒適溫度
Reuy-Lung Hwang	2009	全尺度實 驗	Department of Occupational Safety and Health, China Medical University		台灣	23 °C to 28 °C

研究結果可用迅速及簡單的算術去簡化熱舒適度的算式。在台灣濕熱型氣候下，人們在裝設有空調的辦公室中，熱環境溫度23 °C到28°C、相對濕度為50 %到85 %、相對風速為0.2 m/s到0.8 m/s、平均輻射溫度為0 °C到40 °C的情況下，利用此熱環境之模型，可迅速簡單的預測熱舒適度。

(12). Thermal perceptions, general adaptation methods and occupant ' s idea about the trade-off between thermal comfort and energy saving in hot – humid regions

作者	年份	研究方法	研究單位/ 國家	實驗人數	實驗地區	舒適溫度
----	----	------	-------------	------	------	------

Ruey-Lung Hwang	2009	全尺度實驗	Department of Occupational Safety and Health, China Medical University		台灣	20.4 °C to 28.4 °C
-----------------	------	-------	--	--	----	--------------------

經實際研究結果顯示，熱帶氣候下之熱舒適度與ISO 7730的PMV公式有所差異。在濕熱型氣候下，預測不滿意百分比(PPD)之範圍應該增加5 %到9 %，同時較適合的溫度由ISO 7730建議的22.6 °C to 29.2 °C降為20.4 °C to 28.4 °C。

另外在工作場所中，使用者通常利用降低室內空氣溫度來得到滿意的熱舒適度；而在住宅中，使用者通常會利用電風扇或是打開窗戶來得到熱舒適度。這項結果可用於工作場所應多安裝風扇提高風速，將比空調溫度調低所得到的熱舒適度更節省能源。

(13). Hybrid ventilation for low energy building design in south China

作者	年份	研究方法	研究單位/ 國家	實驗人數	實驗地區	舒適溫度
Yingchun Ji	2009	電腦模擬	Institute of Energy and Sustainable Development, De Montfort University		中國南部	

在華南地區設計一種利用自然及機械通風之混合通風系統，可比利用純機械通風冷卻系統節省30 %的能源。此種被動型的通風系統利用計算流體力學(CFD)去模擬測試，顯示於冬季時這種混合通風系統是可行的，並且可改進室內空氣品質及增加熱舒適度。在夏季時，用於夜間排熱可得到較大的節能潛力。

(14). Thermal comfort in residential buildings - Failure to predict by standard model

作者	年份	研究方法	研究單位/ 國家	實驗人數	實驗地區	舒適溫度
----	----	------	-------------	------	------	------

R. Becker	2009	全尺度實驗	Faculty of Civil & Environmental Engineering, Israel Institute of Technology	夏季205間及冬季189間建築	以色列住宅	23 °C及21.5 °C
-----------	------	-------	--	-----------------	-------	---------------

研究結果顯示，夏季裝設空調設備與冬季加熱設備去利用Fanger模型去計算熱舒適度，模型估算之不滿意度高於實際估算之不滿意度。從實驗數據顯示，有90 %的滿意度極限值為19.5 °C及26 °C。所以夏季和冬季的設計條件，溫度應該分別為23 °C及21.5 °C。

3. 國人熱舒適度調查與標準引用適切性評估

3.1 研究方法

人體熱舒適是室內溫度、相對濕度、空氣流速、平均輻射溫度、服裝熱阻和人體活動量綜合作用後的結果。為了確定環境參數對人體熱舒適的影響，兩個人為參數：衣服熱阻和活動量是固定的。本實驗的目的主要是要印證ISO PMV-PPD模式在亞熱帶氣候區的適用性，所以實驗進行時的主要控制參數只選擇最重要的溫度和濕度進行控制。溫度的變化範圍是23 °C to 29 °C，每隔3 °C做一次實驗。相對濕度的變化範圍是50 % to 90 %，每隔20 %做一次實驗。各種組合都要做一次實驗，並利用人工氣候室將環境有效控制在指定溫度與相對濕度的條件下，使受試者入內感受，並進行設計條件下之實驗。

所選定之實驗組合乃利用著名之田口式實驗設計法。田口式實驗設計法(Taguchi Method) 的精神在於取代傳統耗時的逐一因子試驗法，並能同時考慮各影響因子間可能的交互作用及相互關聯，透過適當的實驗配置(例如：直交表的利用)，加以實驗並進行實驗數據的統計分析，不但能有效節省實驗時間，並可得更加嚴謹、具代表性、有競爭力的最佳化結果，故田口式實驗設計法儼然已成為工業界技術研發及提升品質的最佳方法之一。

實驗設計之所以能有效減少實驗組數的利器，主要在於直交表的配置，其種類相當多，總共有18種，其中，最常使用包括有L8(2^7)、L9(3^4)、L16(2^{15})、

L27(3^{13})、L32(2^{31})等，而田口高度推薦的則有L12(2^{11})、L18($2^1 \times 3^7$)、L32($2^1 \times 4^9$)、L36($2^{11} \times 3^{12}$)及L54($2^1 \times 3^{25}$)。因使用直交表具有實驗次數較少，由直交表實驗所獲得之結論，在整個實驗範圍裡都是成立的、具有良好之再現性、資料分析簡單等優點，經考量實驗因子及水準，選定以L27(3^{13})直交表之實驗配置。依L27直交表配置之27組不同配比進行實驗，然後針對所得溫度、相對濕度、風速等因子及所對應之熱感受度、熱舒適度等結果進行分析，探討各實驗因子對於熱感受度、熱舒適度效果之貢獻度，進而找出影響此處理系統之處理結果的主要影響因子。

本研究環境參數的設定採用直交實驗法，利用直交表從所有可能搭配中挑出若干必須的試驗，然後再利用統計分析方法對試驗結果進行綜合處理，選出最優因子和水準。根據人體的熱傳途徑，可得到影響熱舒適的四種環境參數，溫度、濕度、風速及平均輻射溫度，將各參數又分為三種水準(表 20)，在考慮其交互作用後，假設溫度和其餘三種環境參數皆有交互作用的情況下(圖 62)，利用L27 直交表(表 21)配置出此次研究的環境設定條件(表 22)，利用以上環境條件控制人工氣候室，使受試者入內感受，並將環境有效控制在條件溫度 $\pm 5^\circ\text{C}$ 、相對濕度 $\pm 10\%$ ，風速及輻射溫度控制在指定條件下，進行 27 組的設計。

表 20、各環境因子的水準

	水準		
	1	2	3
溫度($^\circ\text{C}$)	23	26	29
相對溼度(%)	50	70	90
風速(m/s)	0.2	0.5	0.8
黑球與乾球溫度差($^\circ\text{C}$)	0	2	4

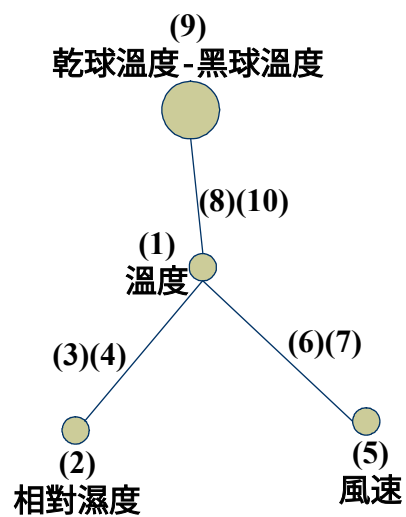


圖 62、環境因子交互作用

表 21、 L_{27} 直交表

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2

表 22、L₂₇ 環境參數配置圖

	溫度	相對濕度	(3)	(4)	風速	(6)	(7)	(8)	輻射熱	(10)	(11)	(12)	(13)
1	23	50%	1	1	0.2	1	1	1	0	1	1	1	1
2	23	50%	1	1	0.5	2	2	2	2	2	2	2	2
3	23	50%	1	1	0.8	3	3	3	4	3	3	3	3
4	23	70%	2	2	0.2	1	1	2	2	2	3	3	3
5	23	70%	2	2	0.5	2	2	3	4	3	1	1	1
6	23	70%	2	2	0.8	3	3	1	0	1	2	2	2
7	23	90%	3	3	0.2	1	1	3	4	3	2	2	2
8	23	90%	3	3	0.5	2	2	1	0	1	3	3	3
9	23	90%	3	3	0.8	3	3	2	2	2	1	1	1
10	26	50%	2	3	0.2	2	3	1	2	3	1	2	3
11	26	50%	2	3	0.5	3	1	2	4	1	2	3	1
12	26	50%	2	3	0.8	1	2	3	0	2	3	1	2
13	26	70%	3	1	0.2	2	3	2	4	1	3	1	2
14	26	70%	3	1	0.5	3	1	3	0	2	1	2	3
15	26	70%	3	1	0.8	1	2	1	2	3	2	3	1
16	26	90%	1	2	0.2	2	3	3	0	2	2	3	1
17	26	90%	1	2	0.5	3	1	1	2	3	3	1	2
18	26	90%	1	2	0.8	1	2	2	4	1	1	2	3
19	29	50%	3	2	0.2	3	2	1	4	2	1	3	2
20	29	50%	3	2	0.5	1	3	2	0	3	2	1	3
21	29	50%	3	2	0.8	2	1	3	2	1	3	2	1
22	29	70%	1	3	0.2	3	2	2	0	3	3	2	1
23	29	70%	1	3	0.5	1	3	3	2	1	1	3	2
24	29	70%	1	3	0.8	2	1	1	4	2	2	1	3
25	29	90%	2	1	0.2	3	2	3	2	1	2	1	3
26	29	90%	2	1	0.5	1	3	1	4	2	3	2	1
27	29	90%	2	1	0.8	2	1	2	0	3	1	3	2

由於人體熱舒適實驗的結果主要取決於受測人員的主觀反應，所以一般需要較大樣本。本次實驗擬邀集超過 100 人次的自願受測者。他們都是為身體健康的大學生或研究生。考慮到人工氣候室的空間大小，每組環境條件受試者男生 5 人、女生 5 人，男女座位間格，27 組實驗，共 270 人。為了保證受測試人員的反應正常，我們將嚴格要求受測者在實驗前有充足的睡眠與正常飲食。實驗前一個小時不可以用餐、喝飲料或劇烈運動。

本計畫受試過程中受試者皆為靜坐著填寫問卷，故其新陳代謝率為 1.1 met。為了使每次實驗受測者的服裝熱阻相同，將要求受測者穿著短袖上衣及牛仔長褲，衣著熱阻約為典型的輕便夏季的服裝的熱阻(0.5 clo)。受試者主觀問卷內容設計，參考 ASHRAE 55 附錄 E 之熱舒適現場實測問卷格式(附件七)，分為受試者基本資料、環境熱感覺、熱接受及熱舒適度調查等，受試者基本資料包含性別、年齡、身高、體重，環境熱感覺則是由熱至冷依照 ASHRAE 55 七個等級劃分，環境因子則是依照溫度、濕度、風速及平均輻射溫度個別進行受試者的接受度及舒適度調查。受試者進入人工氣候室時需立即填寫第一份問卷，之後每間隔 5 分鐘填寫一份，一組環境條件實驗時間為 20 分鐘，故至實驗結束，

每位受試者應填寫 5 份問卷，結束後問卷立即回收。

進入人工氣候室的受試者感覺會隨者時間而改變，但在實驗進行一段時間後便會趨於穩定，故本研究採用第 20 分鐘的投票值作為受試者在該環境條件中的感覺投票。所測之室內溫、濕度和風速值轉化為新等效溫度(ET^*)，將調查得到的全部 TS 值和計算得到的 PMV 值以算術平均的形式統計，並作相應的回歸曲線擬合。可以從該回歸線的斜率比較實測平均熱感覺和 PMV 的差異，也可瞭解適應濕熱氣候的台灣居民對於熱環境的感覺與 ISO 7730 的差異。

3.2 各種評估指標的相關性探討

根據受試者的投票，探討熱感受度、熱接受度及熱舒適度三者的交叉相關性(如圖 63~65)，發現其相關性皆高，而從探討熱感受度與熱接受度(圖 63)及熱感受度與熱舒適度(圖 65)的兩張圖中發現，不論是熱接受度或熱舒適度在熱感受約為「-0.5」時皆為最佳狀況，顯示出受試者喜好略微偏涼的情況。

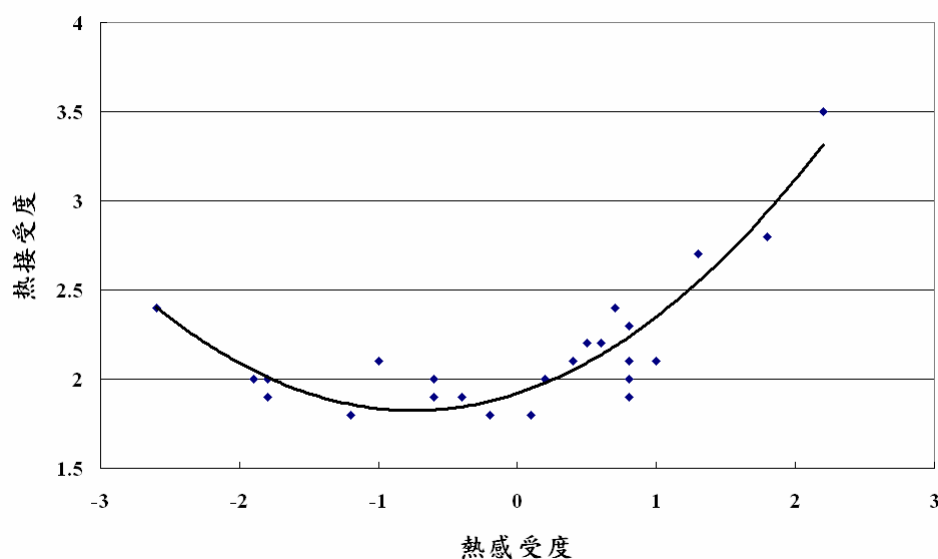


圖 63、熱感受度與熱接受度相關性探討

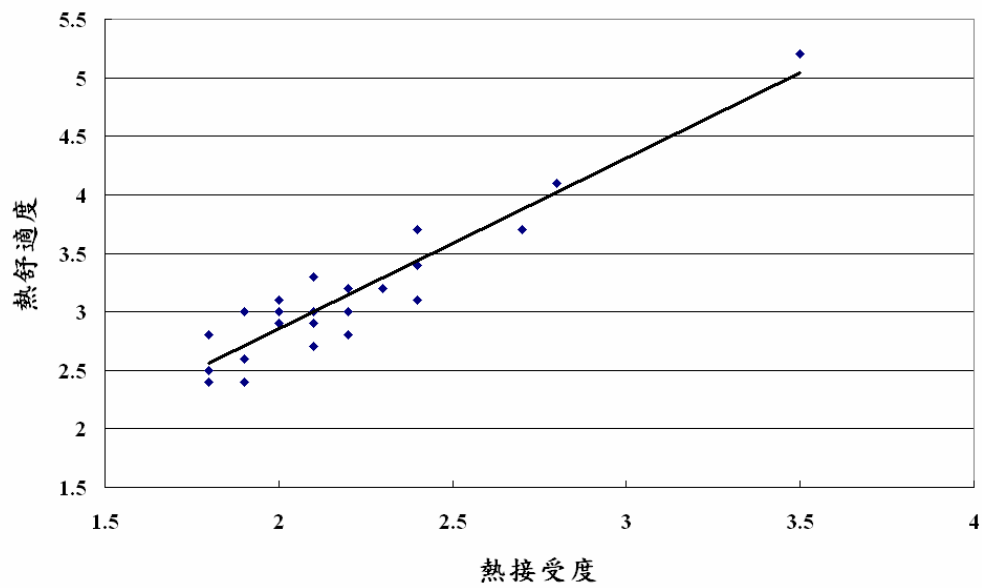


圖 64、熱接受度與熱舒適度相關性探討

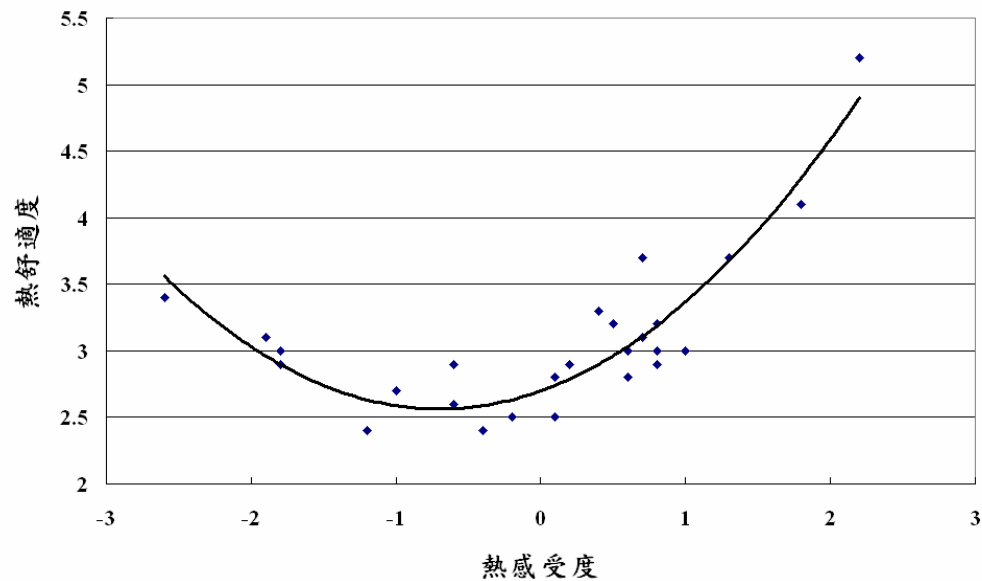


圖 65、熱感受度與熱舒適度相關性探討

3.3 直交表行的效果分析

根據 L_{27} 直交表的因子配置與其交互作用的討論下，利用程式編寫計算其各行因子的效果分析，探討熱感受度、熱接受度及熱舒適度三種不同指標受試者對於環境參數或其交互作用的感受性為何，並找出影響各指標的重要參數。

表 23、各參數所用代號

A	B	A×B	C	A×C	D	A×D	e
溫	濕	溫度×	風	溫度×	平均輻射	溫度×平均輻射	誤差值
度	度	濕度	速	風速	溫度	溫度	

將各因子和誤差值作校正後，從熱感受度(圖 66)調查中發現，溫度是影響感受的最主要原因，其次是風速，接著才是濕度及平均輻射溫度。而從熱接受(圖 67)程度來探討，則發現濕度及平均輻射溫度對熱接受度並無影響，主要影響原因為溫度、風速及溫度和風速的交互作用，明顯的與熱感受度不盡相同。最後熱舒適度(圖 68)的滿意程度則是風速影響最為明顯，其次為其和溫度的交互作用，接著才是溫度，此結果與熱接受度較為相同，在平均輻射溫度及濕度方面則較無影響。

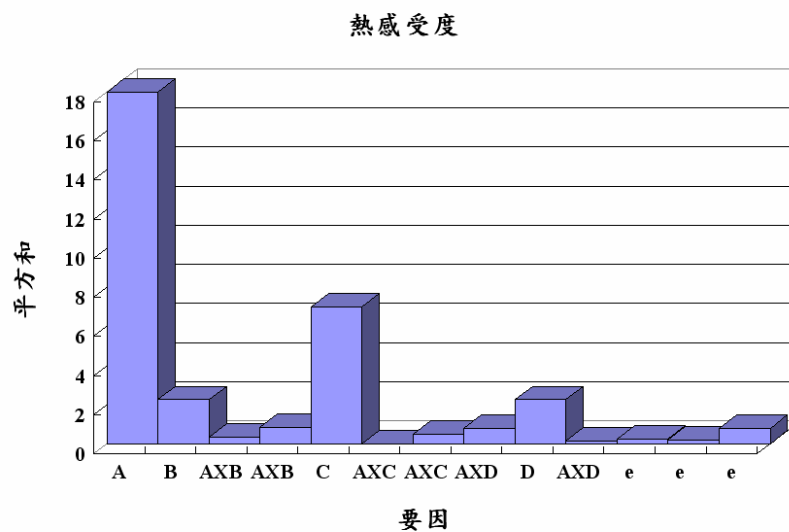


圖 66、熱感受度之各項因子效果分析

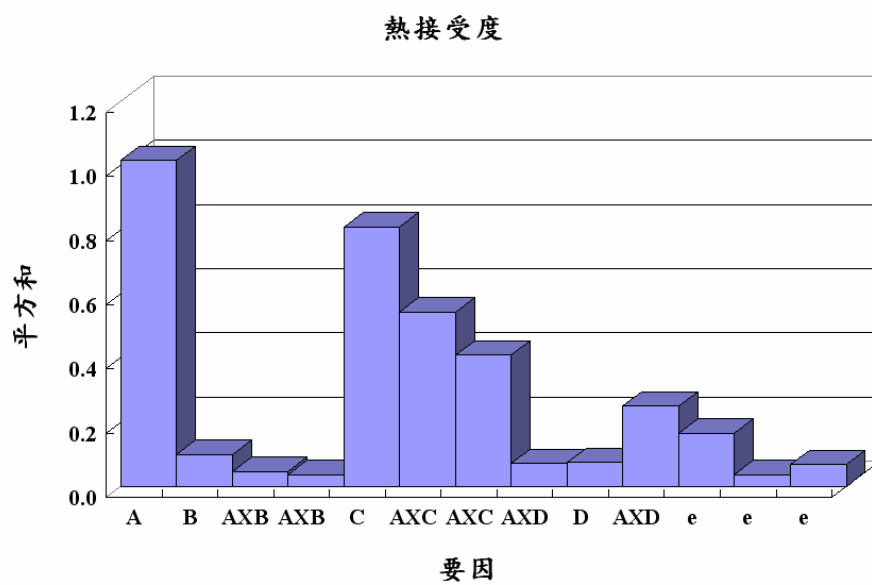


圖 67、熱接受度之各項因子效果分析

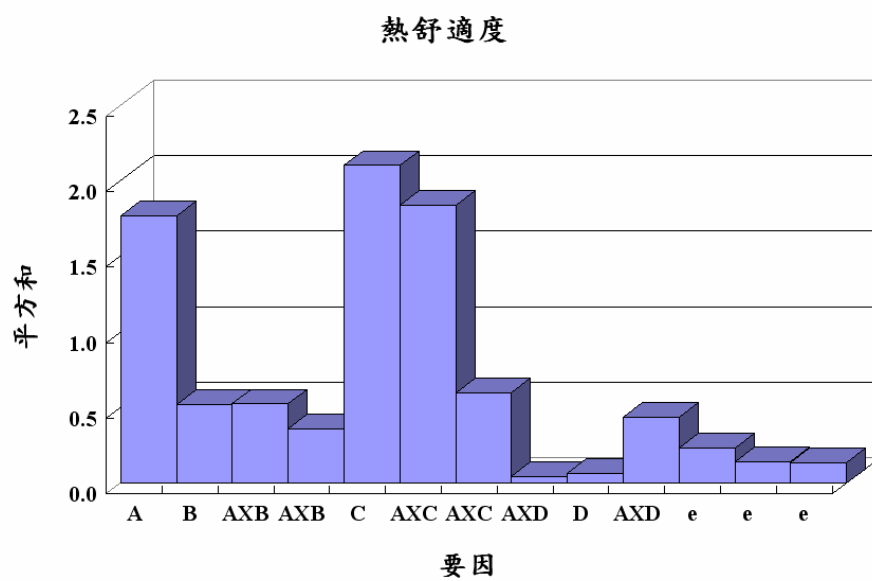


圖 68、熱舒適度之各項因子效果分析

表 24、各參數貢獻度

參數	貢獻度		
	熱感受度	熱接受度	熱舒適度
溫度	56%*	27%*	19%*
相對溼度	6%*	2%	5%
風速	19%*	21%*	23%*
黑球與乾球溫度差	6%*	1%	0%
溫度與相對濕度的交互作用	3%	1%	9%
溫度與風速的交互作用	1%	25%*	27%*
溫度與黑球及乾球之溫差的交互作用	2%	8%	5%
其他影響因數	3%	6%	5%

3.4 各項要因對基準值的影響

根據所做貢獻度(表 24)分析結果得知熱感受度、熱接受度及熱舒適度三種指標各主要影響因子為何，根據實驗所分三水準，觀察各要因在各指標種的變化情況，以推估受試者的感覺情形。從熱感受指標(圖 69)來看，溫度的感受趨近於線性，受試者的感覺會隨著溫度的變化而有顯著差異，濕度的感覺雖也趨於線性，但其改變範圍不大，顯示出受試者對於濕度的改變並無太大的感覺，然而就風速及平均輻射溫度而言，只要超過一定範圍，受試者的感覺就無明顯的改變。熱接受度(圖 70)和熱舒適度(圖 71)指標皆在探討溫度、風速及溫度與風速的交互作用，當溫度越高、風速趨近於無時，受試者感覺較不舒適也較無法接受，從交互作用來看發現風速約 0.6 m/s 時，溫度 23 °C 及 26 °C 的情況下受試者接受程度是一樣的，而在風速 0.8 m/s 時，溫度 23 °C 及 26 °C 的狀況下及風速約 0.9 m/s 時，溫度 23 °C 及 29 °C 的情況下，受試者感受到的舒適程度也是相同，顯示出除了熱感受指標外，熱接受度及熱舒適度皆不可忽略其交互作用的影響性，也了解到溫度及風速在兩種指標中相關性為何。

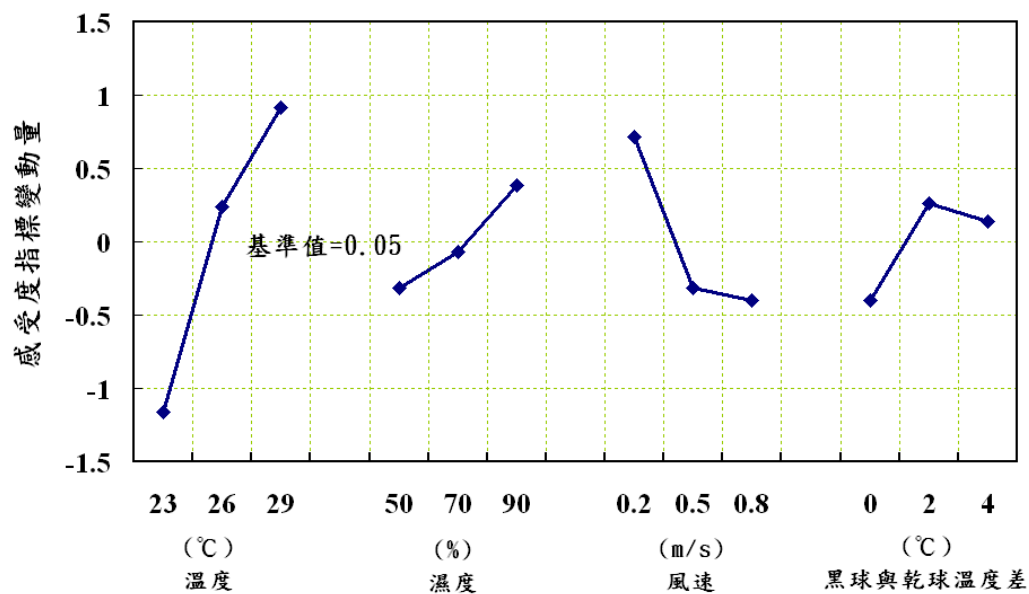


圖 69、各項要因對基準值的影響—熱感受度

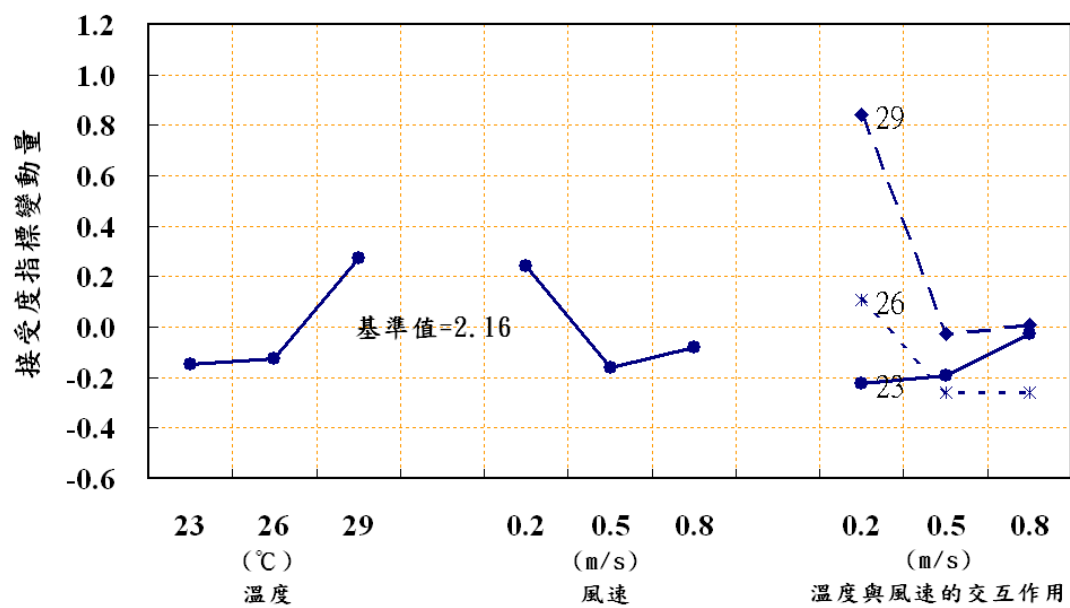


圖 70、各項要因對基準值的影響—熱接受度

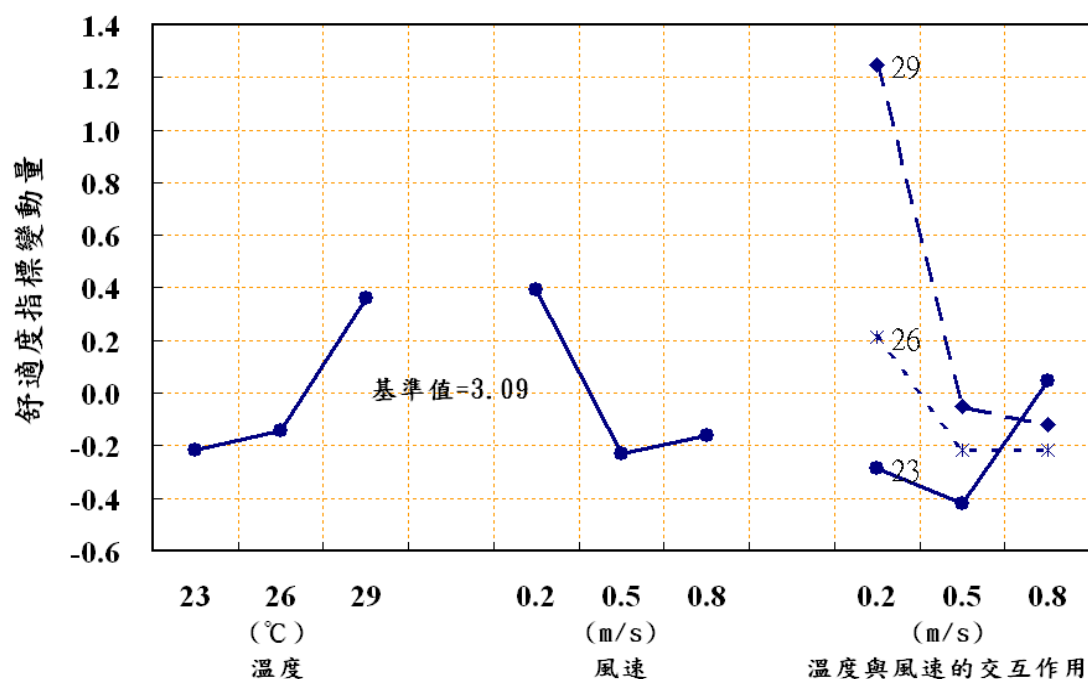


圖 71、各項要因對基準值的影響—熱舒適度

3.5 各因子對指標的影響值

根據各因子的指標影響值(表 25 至表 27), 可以用來估計各環境狀況的熱感受度、熱接受度及熱舒適度指標情況, 根據各指標重要環境參數進行回歸計算, 找出各項係數, 並寫出各指標方程式。

$$\begin{aligned}
 TS = & -0.267 + 0.346 \times (T - T_m) + 1.75 \times (RH - RH_m) \\
 & -1.870 \times (V - V_m) + 5.247 \times (V - V_m)^2 \\
 & + 0.136 \times (\Delta T - \Delta T_m)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 TA = & 1.874 + 0.07 \times (T - T_m) + 0.021 \times (T - T_m)^2 \\
 & -0.537 \times (V - V_m) + 2.654 \times (V - V_m)^2 \\
 & -0.287 \times (T - T_m) \times (V - V_m) \\
 & + 0.022 \times (T - T_m) \times (\Delta T - \Delta T_m)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
TC = & 2.715 + 0.096 \times (T - T_m) + 0.023 \times (T - T_m)^2 \\
& + 0.000 \times (V - V_m) + 3.827 \times (V - V_m)^2 \\
& - 0.472 \times (T - T_m) \times (V - V_m) \\
& + 0.347 \times (T - T_m) \times (RH - RH_m)
\end{aligned}$$

T：溫度， $T_m=26^{\circ}\text{C}$

V：風速， $V_m=0.5\text{m/s}$

RH：相對溼度，

$RH_m=70\%$

ΔT ：乾黑球溫度差，

$\Delta T_m=2^{\circ}\text{C}$

表 25、各因子對熱感受度的影響值

環境參數	0.05±2.04			基準值±信賴區間			單位
溫度	-1.16	0.24	0.92	23	26	29	°C
溼度	-0.31	-0.07	0.39	50	70	90	%
風速	0.72	-0.31	-0.40	0.2	0.5	0.8	m/s
黑球與乾球溫度差	-0.40	0.26	0.14	0	2	4	°C

表 26、各因子對熱接受度的影響值

環境參數	2.16±0.9			基準值±信賴區間			單位
溫度	-0.15	-0.13	0.27	23	26	29	°C
風速	0.24	-0.16	-0.08	0.2	0.5	0.8	m/s
溫度×風速	-0.23	-0.19	-0.03	23×0.2	23×0.5	23×0.8	
	0.11	-0.26	-0.26	26×0.2	26×0.5	26×0.8	
	0.84	-0.03	0.01	29×0.2	29×0.5	29×0.8	

表 27、各因子對熱舒適度的影響值

環境參數	3.09±0.86			基準值±信賴區間			單位
溫度	-0.22	-0.14	0.36	23	26	29	℃
風速	0.39	-0.23	-0.16	0.2	0.5	0.8	m/s
溫度×風速	-0.29	-0.42	0.05	23×0.2	23×0.5	23×0.8	
	0.21	-0.22	-0.22	26×0.2	26×0.5	26×0.8	
	1.25	-0.05	-0.12	29×0.2	29×0.5	29×0.8	

下圖 72 至圖 74 則為預測值與實際值評估結果。

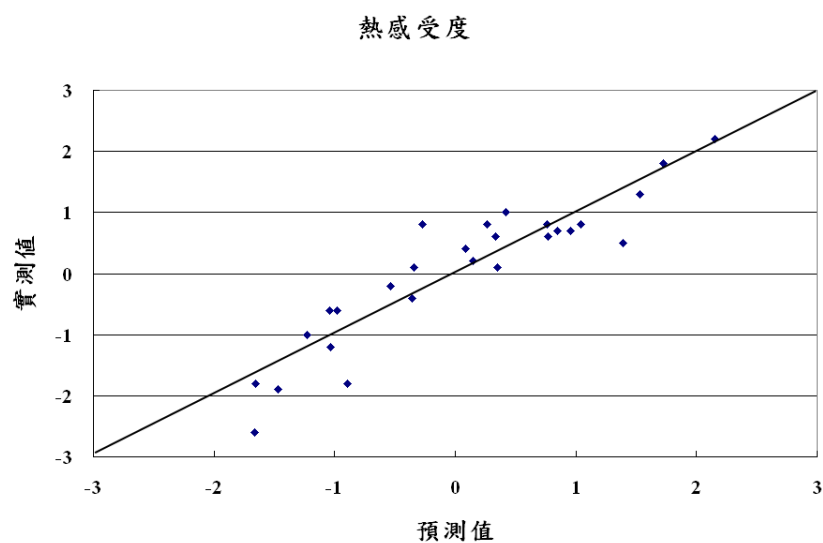


圖 72、預測與實測結果的比較—熱感受度

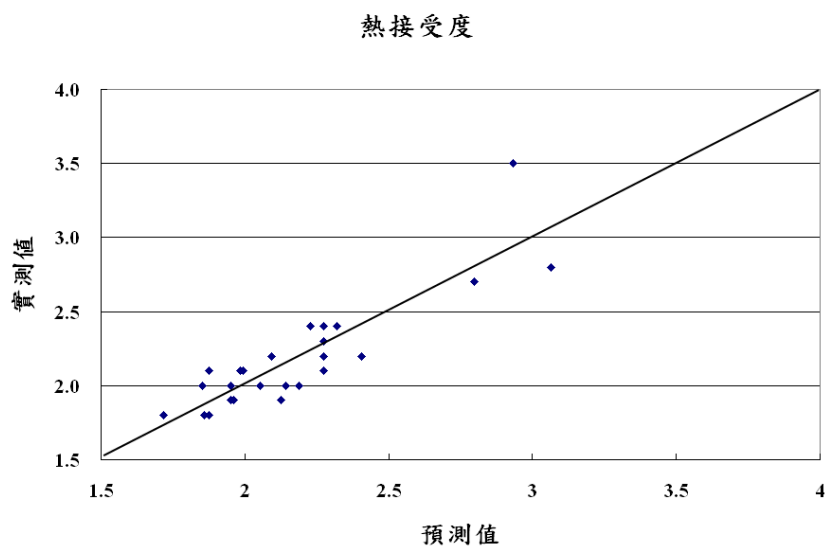


圖 73、預測與實測結果的比較—熱接受度

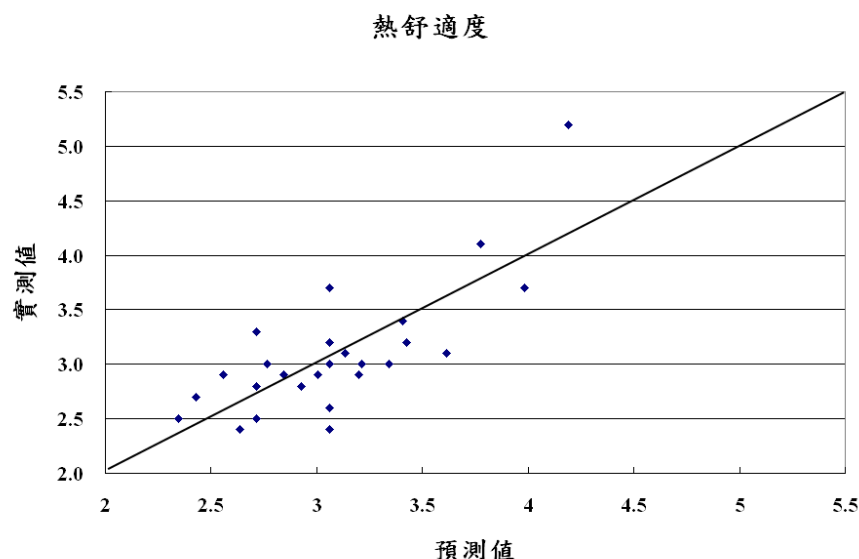


圖 74、預測與實測結果的比較—熱舒適度

4. 熱舒適度量測標準方法之草案研擬

由於國內目前尚無一套符合國人的熱舒適度量測方法，不利於智慧化居住環境的推廣，因此本年度針對熱舒適度量測方法進行草案研擬。除了參照國際標準之外，並與國內外學者專家進行研討，同時拜訪智慧化居住空間產業聯盟討論熱舒適度量測方法標準草案的推廣與程序。標準量測方法的建立除了使國人對於熱環境的量測有方法可循之外，經由標準量測方法的推廣，對於業界空調技術的開發與居住環境的重視更是具有加分效果。草案內容如下：



室內環境熱舒適度量測方法標準草案

前言

針對室內環境熱舒適度的量測，本草案提出所需之量測方法與程序，以作為產業界實際應用於室內熱流環境的量測與評估時的參考依據。此方法可同時應用於評估均勻(Homogeneous)環境與人體周遭之局部環境熱舒適度的評估。

1. 適用範圍

此標準主要介紹室內環境熱舒適度的量測與評估方法，並適用於穩態的熱流環境，但在某些非穩態熱環境(Non-steady-state thermal environments)的條件下仍然可以適用。包括：

1. 溫度循環變化(Temperature cycles)：溫度控制在某個條件下的空間內，溫度通常會呈現循環的變化。但如果峰值之間的差異小於1 K時，並不會影響室內的舒適程度並可適用穩態的模型。
2. 溫度變化率(Drift or ramp)：如果溫度變化率低於2 K/h時，仍可適用穩態的模型。

2. 引用標準

本量測方法標準草案所參考的標準包括：

1. ISO 7726:2001, Ergonomics of the Thermal Environment - Instruments for Measuring Physical Quantities.
2. ISO 7730:2005, Ergonomics of the Thermal Environment - Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria.
3. ANSI/ASHRAE 55:2004, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
4. EN 15251:2007, Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics.

3. 用語釋意

1. 操作溫度(Operative temperature, T_o)：假想的黑色區域(Imaginary black enclosure)內之均勻溫度，在此區域內人體將藉由熱輻射和熱對流的效應，產生與實際非均勻環境下相同的熱傳大小。
2. 衣服熱阻(Clothing insulation)：一個用以表達服裝及衣著隔熱效果的單位，並以 clo 作為表示，其中 $1\text{clo}=0.155\text{ m}^2\text{°C/W}$ 。
3. 新陳代謝率(Metabolic rate)：人體透過新陳代謝活動將化學能轉化為熱能和

機械能的比率，並以 met 作為表示，其中 $1 \text{ met} = 58.2 \text{ W/m}^2$ ，相等於一般人靜坐休息時，每單位表面積產生的能量。

4. 90 %反應時間(90 % response time)：感測器在達到 90 %最終值所需之時間。

4. 量測因子與評估項目

對於室內溫熱環境的評估主要以量測室內之溫度、濕度、風速、平均輻射溫度並綜整以上各個物理參數與配合個人參數(衣服熱阻、新陳代謝率)所得之熱舒適度評估指標(PMV與PPD)以及局部熱不舒適評估指標(冷流效應、垂直空氣溫差、地板溫度、輻射不對稱)。針對各項之評估項目與基準將作如下說明：

4.1 熱舒適度評估指標(PMV與PPD)

熱舒適度綜合評估指標(PMV、PPD)的定義如下所示，其中依照熱舒適程度可分為七個等級分別為+3：Hot、+2：Warm、+1：Slightly warm、0：Neutral、-1：Slightly cool、-2：Cool、-3：Cold。而此綜合指標尚包括個人參數(代謝率與衣著量)，參數設定可依照居住者的實際狀況與氣候作為決定。關於PMV與PPD的定義如下：

$$PMV = [0.303 \times \exp(-0.036 \cdot M) + 0.028] \times \left\{ \begin{aligned} &(M - W) - 3.05 \times 10^{-3} \cdot [5733 - 6.99 \times (M - W) - p_a] - \\ &0.42[(M - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) - \\ &0.0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] \\ &- f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \end{aligned} \right\}$$

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028 \cdot (M - W) - I_{cl} \times \left\{ 3.96 \times 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \right\}$$

$$h_c = \begin{cases} 2.38 \times |t_{cl} - t_a|^{0.25} & \text{for } 2.38 \times |t_{cl} - t_a|^{0.25} > 12.1 \times \sqrt{v_{ar}} \\ 12.1 \times \sqrt{v_{ar}} & \text{for } 2.38 \times |t_{cl} - t_a|^{0.25} < 12.1 \times \sqrt{v_{ar}} \end{cases}$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1.00 + 1.290 I_{cl} & \text{for } I_{cl} \leq 0.078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \\ 1.05 + 0.645 I_{cl} & \text{for } I_{cl} > 0.078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \end{cases}$$

$$PPD = 100 - 95 \exp[-(0.03353 \times PMV^4 + 0.2179 \times PMV^2)]$$

其中

M 為基礎代謝率 (W/m^2)

W 為對外有效做功 (W/m^2)

I_{cl} 為衣服熱阻 ($\text{m}^2\text{K/W}$)

f_{cl} 為衣服表面積 (m^2)

t_a 為空氣溫度 ($^{\circ}\text{C}$)

$\bar{t}_r$ 為平均輻射溫度 ($^{\circ}\text{C}$)

v_{ar} 為相對空氣速度 (m/s)

p_a 為水的蒸氣分壓 (Pa)

h_c 為對流熱傳係數 ($\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$)

t_{cl} 為衣服表面溫度 ($^{\circ}\text{C}$)

另外此熱舒適度評估指標的適用範圍如下所示：

M : 46 W/m^2 to 232 W/m^2 (0.8 met to 4 met)

I_{cl} : $0 \text{ m}^2\text{K/W}$ to $0.31 \text{ m}^2\text{K/W}$ (0 clo to 2 clo)

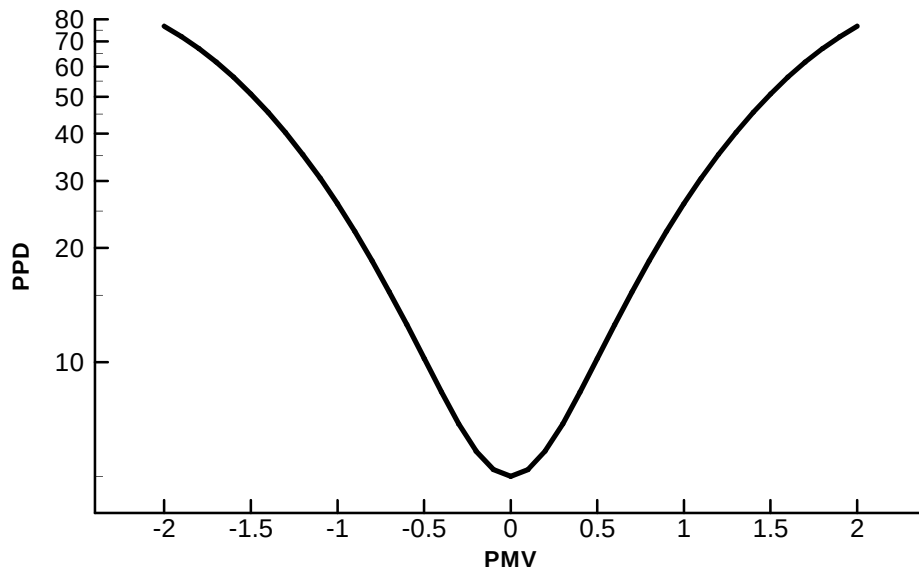
t_a : 10°C to 30°C

$\bar{t}_r$: 10°C to 40°C

v_{ar} : 0 m/s to 1 m/s

p_a : 0 Pa to 2700 Pa

其中PMV與PPD的對應關係如圖一所示。



圖一、PMV 與 PPD 對應圖

4.2 局部熱不舒適評估指標(Local thermal discomfort)

針對溫熱環境的局部熱不舒適程度可藉由量測空氣溫度、氣流速、垂直空氣溫差、地板溫度與平面輻射溫度進行評估，並適用於從事輕度工作坐姿時的對象，其定義如下所示：

4.2.1 冷流效應(Draft)

冷流效應主要是由於空氣溫度、平均風速與紊流強度增加人體局部位置的熱損失與膚溫變動所造成，其主要作用在人體未覆蓋衣物的位置(如頭部、手部與下肢)，其定義如下：

$$DR = (34 - t_{a,I})(\bar{v}_{a,I} - 0.05)^{0.62} (0.37 \times \bar{v}_{a,I} \times T_u + 3.14)$$

$$T_u = \frac{SD}{\bar{v}} \times 100$$

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (v_{ai} - \bar{v}_a)^2}$$

T_u 為局部紊流強度(%), 平均速度之風速波動變化程度

當 $\bar{v}_{a,I} < 0.05$ m/s時, 使用 $\bar{v}_{a,I} = 0.05$ m/s

當 $DR > 100\%$ 時, 使用 $DR = 100\%$

其中

$t_{a,l}$ 為局部空氣溫度，介於20 °C到26 °C

$\bar{v}_{a,l}$ 為局部平均風速，小於0.5 m/s

$\bar{v}$ 為平均風速

v_{ai} 為瞬時風速

T_u 介於10%到60%(如未知，可使用40%)

4.2.2 垂直空氣溫差(Vertical air temperature difference)

頭到腳踝之間的空氣溫差也是導致熱不舒適的原因之一，其中因為垂直空氣溫差所導致的不滿意百分比公式如下：

$$PD = \frac{100}{1 + \exp(5.76 - 0.856 \times \Delta t_{a,v})}$$

其中

PD 為不滿意百分比(%)

$\Delta t_{a,v}$ 為頭與腳踝間的垂直空氣溫差(°C)

4.2.3 溫暖及冰冷地板(Warm and cool floor)

由於地板溫度所造成的局部熱不舒適，其不滿意百分比的公式如下所示：

$$PD = 100 - 94 \times \exp(-1.387 + 0.118 \times t_f - 0.0025 \times t_f^2)$$

其中

t_f 為地板溫度 °C

PD 為不滿意百分比(%)

4.2.4 輻射不對稱(Radiant asymmetry)

由於溫暖或冰冷的天花板及牆面所造成不對稱的熱輻射同樣也可導致局部熱不舒適，其定義為平面兩側的平面輻射溫度差(Plane radiant temperature difference)。其中天花板與牆面所造成的不滿意百分比的公式如下，而以溫暖的

天花板與冰冷的牆面所造成的局部熱不舒適較為嚴重。

(1) 溫暖的天花板(Warm ceiling)

$$PD = \frac{100}{1 + \exp(2.84 - 0.174 \times \Delta t_{pr})} - 5.5$$

$$\Delta t_{pr} < 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

(2) 冰冷的牆面(Cool wall)

$$PD = \frac{100}{1 + \exp(6.61 - 0.345 \times \Delta t_{pr})}$$

$$\Delta t_{pr} < 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

(3) 冰冷的天花板(Cool ceiling)

$$PD = \frac{100}{1 + \exp(9.93 - 0.50 \times \Delta t_{pr})}$$

$$\Delta t_{pr} < 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

(4) 溫暖的牆面(Warm wall)

$$PD = \frac{100}{1 + \exp(3.72 - 0.052 \times \Delta t_{pr})} - 3.5$$

$$\Delta t_{pr} < 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_{pr} = \frac{P}{4\sigma T_n^3}$$

其中

PD 為不滿意百分比(%)

Δt_{pr} 為輻射不對稱溫度差($^{\circ}\text{C}$)

5. 量測方法

為進行均勻環境熱舒適狀態與局部熱不舒適的評估，以下將針對量測時的位置、高度、週期與注意事項進行說明，同時並提供所需之量測儀器規格、量測前的環境調查與量測後的數據處理方式。

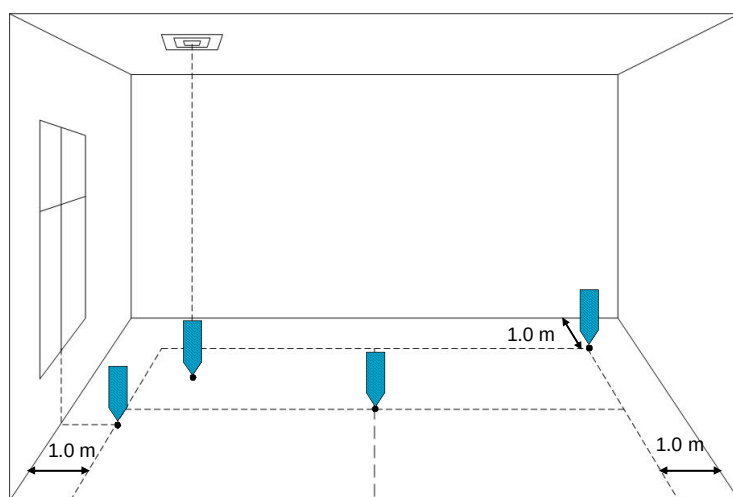
5.1 量測位置

量測位置必須選擇在建築物中被使用的區域以及居住者的活動範圍 (Occupied zone^{*})，所選定地點之空間功能可為站或坐。如果活動區域無法評估

時，可依以下原則選定量測位置：

- (1) 居住空間的中心位置。
- (2) 居住空間內距離牆中心位置 1 m 處，若是有窗戶的外牆，量測位置需選定在距離最大窗戶中心位置 1 m 處。
- (3) 對於易受極端熱流環境影響之位置需增加量測點以進行室內舒適度的評估或觀察。以一般的室內情況來說，位置包括窗戶附近、進排氣口、角落以及入口處。

※ Occupied zone 的定義為距離四周牆面 0.6 m，且由地面算起至居住者站立時之頭部高度所包圍的區域(一般定義為 1.8 m)。



圖二、量測位置示意圖

5.2 量測高度

在一般狀況下，在進行量測時都假定環境已達到穩定均勻(Homogeneous)的狀態，且在待測點周遭也為均勻的環境，因此只需取空間中心位置的一點量測即可。但環境若為非均勻狀態時，則必須在預定點周遭多取幾個量測點或是不同量測位置，以取得熱舒適度之局部分佈或是平均值。其中量測高度主要分為三部分，包括頸部、腹部與腳踝區域，針對不同的評估對象必要時可針對高度進行調整，量測高度可參考如下表，其中在平均輻射溫度部分，坐姿時可於 0.6 m 處，而站姿時可於 1.1 m 處進行量測，此外如外界熱輻射會被室內物品或家具

遮蔽的可能時，則需調整量測高度，以高於該物品的高度進行量測，以得到正確的量測結果。在濕度部分，如果只需量測空間中的一處區域，則在活動空間中的任何高度量測均可。一般在坐姿時可於 0.6 m 處，而站立時則於 1.1 m 處進行量測。

表一、參考量測高度

姿勢	空氣溫度	操作溫度	平均輻射溫度	濕度	風速	PMV 與 PPD
坐姿	0.1 m, 0.6 m , 1.1 m	0.6 m	0.6 m	0.6 m	0.1 m, 0.6 m , 1.1 m	0.6 m
站姿	0.1 m, 1.1 m , 1.7 m	1.1 m	1.1 m	1.1 m	0.1 m, 1.1 m , 1.7 m	1.1 m

5.3 量測週期

- (1) 空氣溫度的量測時間最少兩個小時並以低於 5 分鐘的時間量測與計算平均一次，同時最好是使用自動記錄器的量測方式來進行。
- (2) 風速的量測與計算以 3 分鐘為一個週期，以量取得到平均風速。而標準差與渦流強度的計算週期亦同。
- (3) 為確定室內環境是否已達穩定狀態，藉由下式計算同一週期內之最高與最低操作溫度的差值除以量測時間(分鐘)，以計算出操作溫度變動率($^{\circ}\text{C}/\text{小時}$)並藉此評估室內環境的穩定狀態，而量測與計算時間可採每 5 分鐘或至少 2 個小時一次。其中操作溫度變化率 = $60 \times (t_{o,\max} - t_{o,\min}) / \text{time}$ 。

5.4 量測注意事項

- (1) 在進行空氣溫度的量測時應避免熱輻射的影響，必要時需施以適當遮蔽物。由於黑球溫度計(Black globe thermometer)反應時間較長，因此用於熱輻射變化快速的環境下需謹慎使用。而風速的量測部分，則需採用無方向性的感測器。
- (2) 在進行室內環境量測時，需同時記錄室外溫濕度變化，同時在量測時需注意量測儀器時間的同步化。
- (3) 量測位置需選定在人在該環境下會停留較長時間的地方，且量測儀器需先經

校正以確認符合正確規格(如附件一)。

- (4) 於冬季量測時所選定的量測時段，其戶外溫度需在最冷三個月的平均溫度以下；夏季量測時所選定的量測時段，其戶外溫度需在最熱三個月的平均溫度以上且晴朗的天氣狀況，以取得具代表性的量測數據。
- (5) 進行量測時，需針對處在該環境至少超過 0.5 至 1.0 小時者，進行衣著量與活動量的估計。
- (6) 為有效評估室內熱流環境，空調系統的運作狀況需同時進行量測與記錄。量測參數包括供氣率、供氣溫度、室內出風口位置與型式、出風口風速、室內熱源位置、狀態與型式、回風口位置與尺寸以及空調系統型式。

5.5 現場調查

為確認建築物內大多數(至少 80 %以上)居住者的舒適程度，在實際進行量測前，需進行居住者與環境狀況的調查，其中調查項目至少需要下列資料：居住人數、居住者衣著量、居住者活動程度、居住者活動區域、日期及時間、室外氣溫、室外天氣狀況(晴天/多雲)、季節性條件以及可用之空調設備等等，以作為現場量測與評估的參考。

5.6 室內環境熱舒適長期評估方法

為了有效評估室內環境的熱舒適程度，進行長時間(季或年)的量測，則是有其必要性。針對實際現場量測的數據或動態電腦模擬所得出之結果，在此列出以下五種評估方式，以作為室內環境熱舒適度的長期評估參考。

(1) 方法一：

計算人處於該環境的情況下，PMV 值或操作溫度超出設定範圍的數量或所佔百分比。

(2) 方法二：

針對人處於該環境的情況下，利用實際操作溫度超過設定範圍的多寡作為加權因子(weighting factor)的設定，其中 $T_{o,limit,upper}$ 與 $T_{o,limit,lower}$ 為設定舒適溫度區間之上下限。

(2.1) 當 $T_{o, \lim it, lower} \leq T_o \leq T_{o, \lim it, upper}$ 時，加權因子 $wf = 1$ 。

(2.2) 當 $T_o \leq T_{o, \lim it, lower}$ 或 $T_o \geq T_{o, \lim it, upper}$ 時，加權因子

$$wf = 1 + \left| T_o - T_{o, \lim it} \right| / \left| T_{o, optimal} - T_{o, \lim it} \right|$$

(2.3) 針對不同季節或是全年度，利用加權因子與所評估時間的乘積進行加總計算（單位為小時）。

$$wt = \sum wf \times time \quad for \quad T_o > T_{o, \lim it, upper}$$

$$wt = \sum wf \times time \quad for \quad T_o < T_{o, \lim it, lower}$$

(3) 方法三：

當PMV的量測值超出設定的舒適範圍時，以PPD作為加權因子。

(3.1) 當 $PMV_{\lim it, lower} \leq PMV \leq PMV_{\lim it, upper}$ 時，加權因子 $wf = 1$ 。

(3.2) 當 $|PMV| > |PMV_{\lim it}|$ 時，加權因子 $wf = PPD_{actual PMV} / PPD_{PMV \lim it}$

(3.3) 針對不同季節或是全年度，利用加權因子與所評估時間的乘積進行加總計算（單位為小時）。

$$wt = \sum wf \times time \quad for \quad PMV > PMV_{\lim it, upper}$$

$$wt = \sum wf \times time \quad for \quad PMV < PMV_{\lim it, lower}$$

(4) 方法四：

針對人處於該環境的情況下，計算 PPD 的平均值。

(5) 方法五：

針對人處於該環境的情況下，計算 PPD 的總合。

6. 參考文獻

1. 室內溫熱環境測定規準・同解說，日本建築學會環境基準，AIJES-H002-2008

7. 附錄、量測儀器規格

量測因子	符號	量測範圍	準確度	反應時間 (90 %)
空氣溫度	t_a	10 °C to 40 °C	在 $ \bar{t}_r - t_a < 10$ °C的情況下 Required: ± 0.5 °C Desirable: ± 0.2 °C	盡可能縮短時間
表面溫度	t_s	0 °C to 50 °C	Required: ± 1 °C Desirable: ± 0.5 °C	盡可能縮短時間
平均輻射溫度	$\bar{t}_r$	10 °C to 40 °C	Required: ± 2 °C Desirable: ± 0.2 °C	盡可能縮短時間
平面輻射溫度	t_{pr}	0 °C to 50 °C	在 $ t_{pr} - t_a < 10$ °C的情況下 Required: ± 0.5 °C Desirable: ± 0.2 °C	盡可能縮短時間
輻射方向	r_d	-35 W/m ² to 35 W/m ²	± 5 W/m ²	Required: 1.0 s Desirable: 0.5 s
絕對濕度	p_a	0.5 kPa to 3.0 kPa	在 $ \bar{t}_r - t_a < 10$ °C的情況下為 ± 0.15 kPa	盡可能縮短時間
空氣速度	v_a	0.05 m/s to 1 m/s	Required: $\pm(0.05 + 0.05 v_a)$ m/s Desirable: $\pm(0.02 + 0.07 v_a)$ m/s	Required: 0.5 s Desirable: 0.2 s



陸、結論與建議

【結論】

1. 今年度所建立之感測器驗證方法配合統計成對樣本 t 檢定的方式，經實驗後可實際用於現場使用，作為判別感測器的量測結果以及性能評估。
2. 本研究藉由「現場實測」→「建立 CFD 模型」→「比對實驗與模擬結果」→「對照感測器位置評估準則」的流程找出最佳感測器擺放位置，已可應用於室內之溫度及二氧化碳感測器裝設位置的設計參考。
3. 空調環境下室內溫濕度感測器佈點高度以 1 m to 1.5 m 為較適合安裝的高度，然而開啟空調後，垂直溫度變化範圍縮小，感測器附近區域之溫度與活動區域溫度已差異不大。對於位置的選擇主要考慮為遠離輻射熱源、避免迴流區及放置在氣流循環好的地方，此外也必須比較室內活動區內的溫濕度值，以評估適當安裝位置。非空調狀況下，溫度分佈易受室內熱源及氣流影響，因此感測器的位置則需視實際狀況作進一步的考量。
4. 經調查各個亞熱帶國家熱舒適的研究，發現原 ISO 7730 之熱舒適範圍對於亞熱帶國家有稍加修正之必要，然而其原理則放諸四海而皆準。本研究已完成我國氣候下之國人熱舒適度調查全尺度實驗，並經由田口式直交表進行實驗設計，配合問卷調查並初步建立我國具體可行之 TS、TA 及 TC 各項指標方程式。此種重要之回歸式，可經由空調通風系統之連動，達成兼具節能與熱舒適環境之重要成果。
5. 依據本研究調查結果顯示，我國國人熱舒適度於 23.5 °C to 28 °C 為其感受最舒適之狀態，但加入風速因子後，於溫度 23 °C 之情況下，搭配風速 0.2 m/s to 0.4 m/s，可維持良好之熱舒適環境。於 26 °C 之情況下，搭配風速 0.5 m/s to 0.7 m/s 則可維持合適之熱舒適環境。以最節能之觀點來看，空調設定溫度為 29 °C 時，則須開啟風機設備，使風速達到約 0.6 m/s to 0.8 m/s，則可達到適合我國國人熱舒適之環境。

【建議】

1. 感測器的佈點位置，隨空調形式、空間尺寸、家具擺設位置而有所不同，但可藉由電腦模擬進行事先的評估，對於建築內環境的舒適程度，將可得到可靠的預測結果並可提供設計初期的參考。
2. 今年度所建立之感測器現場驗證比對方法，經實驗後可實際用於現場使用。但往後採行此法進行現場比對時，所使用之標準件需定時送校以提供穩定的量測結果。同時未來設計以自動化的方式進行感測器現場驗證，將是未來可行且有效率的方式。
3. 除了一般室內環境外，對於具備挑高中庭或大空間的建築物在進行空調設計時，可參考本量測方法草案內容進行評估，同時考量垂直高度溫度分層效應之影響，應用適當之氣流控制，可形成局部舒適環境並達到節約能源之效果。

柒、參考文獻

- [1] <http://www.peci.org/ftguide/csdg/CSDG.htm>
- [2] 日本試験機工業會，溫度試験槽-性能試験方法及び性能表示方法，JTM K 07:2007
- [3] Installation instructions, C7189A Wall Mount Temperature Sensor, Honeywell.
- [4] P. Riederer, D. Marchio, “Influence of sensor position in building thermal control: development and validation of an adapted zone model”, Seventh International IBPSA Conference, August 13-15, 2001.
- [5] Installation instructions, T28 Fan Coil Thermosta Sensor, Johnson Controls.
- [6] Installation instructions, TLC-BCR-T-US, Intelligent binary temperature controller, VECTOR.
- [7] Installation instructions, Humidity Temperature Sensor type BO-TFK-120, AIRWIN.
- [8] Designing and Testing Demand Controlled Ventilation Strategies.
- [9] 2005 Building Energy Efficiency Standards- September 2006 Revision.
- [10] Installation instructions, GMT Series Gas Monitor / Transmitters, KELE & ASSOCIATES.
- [11] Gas Sensor Placement Guidelines, ADS-001, Sierra Monitor Corporation.
- [12] Installation Instructions, “Space CO₂ Sensor”, Trend Control Systems USA.
- [13] P. Riederer, D. Marchio, “Influence of sensor position in building thermal control: criteria for zone models”, Conference Clima 2000, Napoli, Italy, September 15-18, 2001.
- [14] Murakami, S., Kato, S., and Zeng, J., “Flow and temperature fields around human body with various room air distribution -- CFD study on computation thermal manikin – Part I,” *ASHRAE Transactions*, 103(1), 3-15, 1997.
- [15] Srebric, J. and Chen, Q., “An example of verification, validation, and reporting of indoor environment CFD analyses,” *ASHRAE Transactions*, 108(2), 185-194, 2002.
- [16] Chen, Q., and J. Srebric. “How to verify, validate, and report indoor environment modeling CFD analyses”. Final Report for ASHRAE RP-1133, 58 pages, 2001.

附 件

一、	新台幣五百萬以上儀器設備清單.....	127
二、	國外出差人員一覽表.....	128
三、	專利一覽表.....	129
四、	論文一覽表.....	130
五、	技術報告一覽表.....	131
六、	研討會/成果發表會/說明會一覽表.....	132
七、	中英文對照表.....	133
八、	國人熱舒適度調查與標準.....	134
九、	研究成果統計表.....	176
十、	審查意見表.....	177
十一、	期末查證暨驗收會議記錄.....	186
十二、	計畫績效評估報告.....	190

附件一

年度歲出概算申購單價新臺幣
五百萬元以上科學儀器設備彙總表

機關（學校）名稱：經濟部標準檢驗局

單位：新臺幣元

編號	儀器名稱 (英文名稱)	使用單位	單位	數量	單價	總價	優先順序	備註
	無							

填表說明：

- 1.本表中儀器名稱以中文為主，英文為輔。
- 2.本表中之優先順序欄內，係按各項儀器採購之輕重緩急區分為第一、二、三優先

附件二

國外出差人員一覽表

出差性質	主要內容	出差機構/國家	期間	參加人員姓名	在本計畫擔任之工作	對本計畫之助益
國際合作/拜訪機構	前往丹麥科技大學室內環境與能源國際研究中心 (ICIEE) 進行熱舒適度量測技術之共同研究，並針對草案研擬進行討論。	International Centre for Indoor Environment and Energy/ 丹麥	98.09.20~ 98.10.20	李信宏	計畫執行與技術開發	由於 FY98 年度計畫的執行在於提出室內環境熱舒適度量測方法標準草案，而該參訪單位對於熱舒適度的研究已進行相當長的時間並對於熱舒適度國際標準 ISO 7730 的提出貢獻良多，因此藉由此次的共同研究可把國外先進的量測技術適時引進，並應用到國內的智居產業，達到提升國內技術能力的目的。此外也可藉此增進熱舒適度量測與評估能力，並對未來技術的應用以及國際合作，均有相當的幫助。

附件三

專利一覽表

專利申請(計 1 案)

項次	件編號	專利名稱	類型	申請國家
1	P07980036TW	熱流情境多媒體智慧整合控制方法	發明	中華民國

附件四

論文一覽表

論文

項次	論文名稱	作者	發表時間	會議／刊名	類別	國別
1	室內照明之光與熱心理反應研究	馮志成,張佳瑩,張謙允,謝明燁,賴少甄	20090723	設計學研究學刊	期刊	中華民國
2	室內環境光與熱因子耦合效應之研究	馮志成,張佳瑩,張謙允,謝明燁	20090901	量測資訊	期刊	中華民國
3	Field Measurement and Computational Simulation for the Thermal Comfort in the Bedroom During Winter	李信宏,陳建源,蔡昆志,馮志成,楊正財,蕭俊豪	20090522	The 4th Asian Conference on Refrigeration and Air-conditioning	研討會	中華民國
4	室內環境熱舒適度量測方法	李信宏,陳建源,蔡昆志	20090901	量測資訊	期刊	中華民國
5	室內環境熱舒適度標準與評估指標	李信宏,陳建源,蔡昆志	20091101	量測資訊	期刊	中華民國
6	居住空間光環境指數量測技術之研究	張佳瑩	20090101	照明學刊	期刊	中華民國
7	熱舒適量測一致性比對與誤差評估	蔡昆志, 李信宏、楊正財、彭國勝	20091120	中國機械工程全國學術研討會	研討會	中華民國
8	室內環境與人體模型熱舒適度模擬	陳建源, 李信宏、楊正財、蕭俊豪	20090730	全國計算流體力學學術研討會	研討會	中華民國

附件五

技術報告一覽表

項次	計資編號	資料名稱	產出日期	中心編碼	語文	作者
1	07-3-98-3102	國人熱舒適度調查研究-期中報告	20090714	FR-2069	中文	楊冠雄、李信宏
2	07-3-986164	國人熱舒適度調查研究-期末報告	20091209	FR-2181	中文	楊冠雄、李信宏
3	07-3-986264	室內環境熱舒適度量測方法標準草案	20091214	FR-2192	中文	馮志成、蔡昆志
4	07-3-986363	感測器佈點位置之 CFD 分析與模擬	20091222	FR-2214	中文	陳建源、李信宏、楊正財、蕭俊豪
5	07-3-986385	熱舒適相關量測參數之感測器規格調查與現場比對方法研究報告	20091221	FR-2208	中文	李信宏、蔡昆志
6	07-3-986597	出國訓練報告(國際室內環境與能源中心, 丹麥)	20091229	FR-2241	中文	李信宏

附件六

研討會一覽表

項次	研討會名稱	舉辦期間 (起~迄)	舉辦 地點	參加 人數	廠商 家數
1	智慧化空間熱舒適量測與標準國際研習會	98.11.06	台大集思會議中心柏拉圖廳	72	58
合 計				72	58

附件七

中英文對照表

英文縮寫	英文全名	中文名
BACnet	Building Automation Control Networks	建築自動化與控制網路
BAS	Building Automation System	建築自動化
BIG	BACnet Interest Groups	北美 BIG-NA、歐洲 BIG-EU、澳洲和太平洋區域共 11 個國家所組成的 BIG-AA(Austral Asia)、俄羅斯 BIG-RU、瑞典 BIG-SE 及中東 BIG-ME。
BTL	BACnet Testing Laboratories	提供產品 BACnet compliance 及 interoperability 的測試認證
CFD	Computational Fluid Dynamics	流體動力分析系統
CTE	Coefficient of Thermal Expansion	熱膨脹系數
HVAC	heating、 ventilating、 and air-conditioning	加熱、通風和空調
ICT	Information & Communications Technology	資通訊科技
IEC	International Electrotechnical Commission	國際電工委員會或國際電工協會
LDV	Laser Doppler Velocimetry	雷射都卜勒測速儀
LonWorks	Local-operating Network	區域運行網路
NREL	National Renewable Energy Laboratory	國家可再生能源實驗室
OSI	Open System Interconnection	開放系統互連
PMV	Predicted Mean Vote	舒適度指標
TCP/IP	Transfer Control Protocol/Internet Protocol	傳輸控制協定/網際網路協定
WSN	Wireless Sensor Network	無線感測網路

附件八

居住空間舒適性檢測標準整合與開發計畫

九十八年度委託研究計畫期末執行報告

國人熱舒適度調查與標準

委託單位：工業技術研究院 量測技術發展中心

執行單位：國立中山大學

執行期間：98.03.01～98.12.31

一、摘要

隨著工業與科技的發展，人們在室內的時間越來越長，室內環境和熱舒適問題已日益受到重視，而熱舒適問題也是建築科學中最早研究的課題之一，反映出人們對於所在環境的重視及欲改善的心態，根據 ASHRAE Standard 55 熱舒適被定義為「人們對環境表示滿意的意識狀態」，而過去幾年的研究中，大多在討論及定義不同條件的熱舒適區域範圍，但本研究則是希望利用舒適度的調查，了解溫度、溼度、風速及輻射熱，各種環境參數對舒適度的影響，最重要的是藉此建立出舒適度與環境參數的預測式，用於室內場所以達到最佳環境狀態。同時，藉由國內外此方面之先進研究成果加以歸納，以建立未來我國室內熱舒適標準之主要架構，此為本計畫之主旨與目標所在。

Abstract

Thermal comfort has become an important issue in complying with indoor environment and energy savings. In ASHRAE Standard 55, discussion has been focused on the thermal comfort range. Instead, in this study, effort has been emphasized on analyzing correlation among temperature, relative humidity, indoor air velocity, and mean radiant temperature, to compile the PMV index for local environment. In addition, recent development in this research field was analyzed so that the main structure of CNS standard on thermal comfort can be established, which is the main goal of this research project.

二、計畫目標

丹麥之 P.O.Fanger 教授於 1990 年代提出創新之 PMV 熱舒適理論，促成了國際通風空調相關領域之一大變革，並紛紛制定熱舒適度量測標準，並已形成 ISO 7730 之共通標準。

本計畫之目的為經由亞熱帶國家熱舒適度研究之調查及進行我國熱舒適度調查與部分全尺度實驗印證，以做為後續我國熱舒適度量測標準草案之主要參考依據。

本計畫之主要目標為參考 ISO 7730 之主要架構，結合我國亞熱帶氣候之特殊熱舒適需求，建立我國熱舒適度量測標準草案所需之主要資料庫。

三、實施方法

本研究之進行將採取國內外數據調查分析與國內部分全尺度實驗印證，並重並行之方式。其主因為，熱舒適之標準建立與應用與當地氣候型態及人種特性而有所不同。本計畫採取雙方面並重並行之方式，一方面可藉由搜尋國外之相關數據以明瞭主要之發展趨勢所在；另一方面則藉由部分全尺度實驗以印證我國人之熱舒適特性，使後續建立我國之熱舒適標準草案及架構時，具良好之應用性。

3.1 進行步驟

本研究之詳細進行步驟如下：

1. 亞熱帶國家熱舒適度研究調查。

本項工作經由搜尋亞熱帶其他國家之熱舒適度研究以了解氣候型態與人種特性不同之情況下，各具有哪些熱舒適之特性參數值並進行比對分析，以做為後續建立我國熱舒適度標準草案及架構之參考依據。

2. 國人熱舒適度調查與標準引用適切性評估。

本項工作將以 ISO 7730為主要架構，並進行我國人100人次之熱舒適度全尺度實驗印證，以做為我國人熱舒適特性參數值之重要分析資料庫。

3.2 研究方法

人體熱舒適是室內溫度、相對濕度、空氣流速、平均輻射溫度、服裝熱阻和人體活動量綜合作用後的結果。為了確定環境參數對人體熱舒適的影響，兩個人為參數：衣服熱阻和活動量是固定的。實驗的目的主要是要印證ISO PMV-PPD模式在亞熱帶氣候區的適用性，所以實驗進行時的主要控制參數只選擇最重要的溫度和濕度進行控制。溫度的變化範圍是23 °C to 29 °C，每隔3 °C做一次實驗。相對濕度的變化範圍是50 % to 90 %，每隔20 %做一次實驗。各種組合都要做一次實驗。利用人工氣候室將環境有效控制在指定溫度、相對溼度的條件下，使受試者入內感受，並進行設計條件下之實驗。

所選定之實驗組合乃利用著名之田口式實驗設計法。田口式實驗設計法 (Taguchi Method) 的精神在於取代傳統耗時的逐一因子試驗法，並能同時考慮各影響因子間可能的交互作用及相互關聯，透過適當的實驗配置 (例如：直交表的利用)，加以實驗並進行實驗數據的統計分析，不但能有效節省實驗時間，並可得更加嚴謹、具代表性、有競爭力的最佳化結果。故田口式實驗設計法儼然已成為工業界技術研發及提升品質的最佳方法之一。

實驗設計之所以能有效減少實驗組數的利器，主要在於直交表的配置，其種類相當多，總共有18種，其中，最常使用包括有L8(2^7)、L9(3^4)、L16(2^{15})、L27(3^{13})、L32(2^{31})等，而田口高度推薦的則有L12(2^{11})、L18($2^1 \times 3^7$)、L32($2^1 \times 4^5$)、L36($2^{11} \times 3^{12}$)及L54($2^1 \times 3^{25}$)。因使用直交表具有實驗次數較少，由直交表實驗所獲得之結論，在整個實驗範圍裡都是成立的、具有良好之再現性、資料分析簡單等優點，經考量實驗因子及水準，選定以L27(3^{13})直交表之實驗配置。依L27直交表配置之27組不同配比進行實驗，然後針對所得溫度、相對溼度、風速等因子及所對應之熱感受度、熱舒適度等結果進行分析，探討各實驗因子對於熱感受度、熱舒適度效果之貢獻度，進而找出影響此處理系統之處理結果的主要影響因子。

四、預定進度與實際進度比較

(一)預定進度

進度 月份(次) 工作項目	98 年											
	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
亞熱帶國家熱舒適度 研究調查												
國人熱舒適度調查與 標準引用適切性評估												
期中報告撰寫												
熱舒適度量測標準之 草案研討												
期末報告撰寫												
預定進度(累積數)	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

(二)預定查核點

查核點編號	預定完成時間	查 核 點 概 述
1	98 年 6 月	期中報告完成
2	98 年 11 月	期末報告完成

五、研究結果與結論

5.1 亞熱帶國家熱舒適度研究調查資料

1. Field study on occupants' thermal comfort and residential thermal environment in a hot-humid climate of China

作者	年份	研究方法	研究單位/國家	實驗人數	實驗地區	舒適度溫度
Jie Han et al.	2003-2004	經全尺度實驗	College of Civil Engineering, Hunan University	110人	中國南部地	22.81 °C

中國南部地區中在2003~2004年進行110人及26所住宅的熱舒適度實驗與問卷調查，利用ASHARE中的7大指標，將衣著量設定為0.15 clo，在夏天的測驗中發現，ASHARE的可接受範圍中，受測者中有87 %的人感覺到不舒服(感覺會熱)，也就是在國外所推薦的設定溫度(28 °C)並不適用於中國南部，而調查結果顯示 22.81 °C才是中國南部的熱舒適度指標的溫度。

2. Adaptive comfort temperature model of air-conditioned building in Hong Kong

作者	年份	研究方法	研究單位/國家	實驗人數	實驗地區	舒適度溫度
Kwok Wai Horace Mu	2003	經全尺度實驗	Department of Building Services Engineering, The Hong Kong Polytechnic University		香港	22.5 °C to 23.5 °C

在香港的研究結果顯示，地區的熱舒適度研究可以提供一個綜合的空調節能策略，而不是只有建築物的空調系統單方面的省能。因為人會受到氣候、衣著量、運動量等因素影響。經研究後，香港的熱舒適度大約可以使總體的節能效果為7%。熱舒適溫度約為22.5 °C to 23.5 °C。

3. Thermal comfort in classrooms in the tropics

作者	年份	研究方法	研究單位/國家	實驗人數	實驗地區	舒適度溫度
Nyuk Hien Wong	2002	經全尺度實驗	Department of Building, School of Design and Environment, National University of Singapore	12 間教室	新加坡	27.1 °C to 29.3 °C

在新加坡的研究中，在一間小學的上課時段對老師與學生進行熱舒適度調查。結論顯示ASHARE 55的熱舒適度標準並不適用於新加坡這種亞熱帶濕熱型氣候，而通常在教室中，受測者比較喜歡溫度低一些。舒適溫度約為27.1 °C to 29.3 °C。

4. Thermal comfort evaluation of naturally ventilated public housing in Singapore

作者	年份	研究方法	研究單位/國家	實驗人數	實驗地區	舒適度溫度
N.H. Wong	2001	經全尺度實驗	Department of Building, School of Design and Environment, National University of Singapore		新加坡	

在新加坡住宅的熱舒適度研究中發現，利用自然通風或裝設風扇等低成本的方式也可以使受測者感覺到舒適，且以ASHRAE Standard-55 的標準，必須是有80 %的人是在可接受的範圍中作為判斷之基準。換言之，本文熱舒適度的研究結果顯示，於新加坡住宅中利用空調系統等較高成本的方式可以改為利用低成本或無成本的方法來達到熱舒適。

5. Adaptive thermal comfort standards in the hot-humid tropics

作者	年份	研究方法	研究單位/國家	實驗人數	實驗地區	舒適度溫度
Fergus Nicol	2004	經全尺度實驗	•Oxford Centre for Sustainable Development, Oxford Brookes University			

此篇論文提到，Fanger的熱舒適度理論與ISO 7730的國際標準在亞熱帶濕熱型地區中，需要重新的去考慮氣候與濕度等因素。尤其在一些濕度較大的國家，其熱舒適度之範圍應該要較寬一些。而各地區之熱舒適度調查可使再設計大樓等建築時，有一明確指標。

6.上海地區適應性熱舒適研究

作者	年份	研究方法	研究單位/國家	實驗人數	實驗地區	舒適度溫度
葉曉江，周朝霞	2003-2004	問卷調查研究	武漢工程大學	上海地區在校居住的學生和附近的	上海地區	17 °C to 31 °C

				居民		
--	--	--	--	----	--	--

問卷內容主要包括：居民的熱感覺，以及對此時環境的風速、空氣清新程度和潮濕狀況的主觀評價；房間物理參數的測量，包括空氣溫度、空氣流動速度、相對濕度和平均輻射溫度。熱感覺投票值採用 ASHRAE 的 7 級指標表示。

利用回歸曲線得到上海地區熱中性溫度隨室外溫度變化的規律。此篇論文還提到人對於熱舒適度通常表示其生活過程中人體熱感覺與環境參數的關係，尤其是與室外溫度的關係。通過上海與各地的適應性熱舒適度標準對比，發現不同國家和地區的熱舒適度確實有所差異，ASHRAE RP-884 項目（1995~1997）的研究也證實了該點。這說明由於各地氣候條件、種族、生活習慣等各不相同，世界上不同地區適應性熱舒適確實存在著差異，採用統一的熱舒適標準和溫度控制範圍是不可取的，出於節能和舒適的目的，各國應該研究適合自身特點的熱舒適指標。上海地區中，人們在住宅和辦公室內可接受舒適溫度範圍可達 17 °C to 31 °C。

7. 室內人體移動過程對熱舒適的影響研究

作者	年份	研究方法	研究單位/國家	實驗人數	實驗地區	舒適度溫度
張泉，袁昊	2007	CFD電腦模擬	湖南大學土木工程學院	0	中國南部地區	

使用計算流體力學(CFD)，去模擬得到人體移動過程中不同時刻室內流場分佈。分析了移動過程中的平均溫度、平均速度、溫度和速度不均勻性指標，並預測了有效吹風溫度(TEDT)、空氣分布特性指標(ADPI)和吹風感的不滿意率指標(PPD)，比較了不同人體移動速度對以上指標的影響。模擬結果表明，人體移動對室內氣流分佈和熱舒適有短期影響，能提高室內風速的擾動，造成吹風感。結論顯示人體移動是室內擾動源，對氣流分佈存在短期影響。人體移動中的擾動及人體散熱會增加室內平均溫度和平均速度，使溫度分佈向不均勻的方向發展，使速度分佈向均勻的方向發展，並且會降低能量利用係數，同時移動速度越大，對各參數的作用越明顯。且人體移動改變了室內環境中各個參數的空間分佈，對室內熱舒適性有明顯的影響。由於人體移動產生了較強的氣流，室內部分區域有較強的吹風感，根據ADPI值和PD值的分佈，表明移動打破了室內熱環境的穩定，改變人體的熱舒適感覺。但此篇論文是在二維空間中進行模擬，真實情況還是必須利用三維空間模擬才可得知真實情況。

8. Thermal perception, adaptation and attendance in a public square in hot and humid regions

作者	年份	研究方法	研究單位/國家	實驗人數	實驗地區	舒適度溫度
Tzu-Ping Lin	2009	問卷調查	Department of Leisure Planning, National Formosa University		台灣公共場所	23 °C to 24.5°C

公共場所熱環境與室內熱環境不同，本項研究測量公共場所之熱舒適度，結果顯示人們在公共場所之熱舒適溫度比在室內環境熱舒適溫度還高。就經驗而言，較涼爽季節之熱舒適溫度為23.7 °C；較熱的季節之熱舒適溫度為25.6 °C。然而，結果顯示受測者心理因素會影響受測者的熱舒適感受。換句話說，簡單的熱舒適度不能完全解釋人們在公共場所之熱舒適度。實際受測者所喜歡的熱舒適溫度在較熱的季節為24.5 °C；較涼爽的季節為23 °C。

9. An investigation of the potential for natural ventilation and building orientation to achieve thermal comfort in warm and humid climates

作者	年份	研究方法	研究單位/國家	實驗人數	實驗地區	舒適度溫度
M. Haase	2008	全尺度實驗	SINTEF, Building and Infrastructure		香港	

氣候影響大樓建築之熱舒適，因不同方位所受日曬量不同。在熱帶地區使用自然通風所得到的熱舒適度效果比亞熱帶地區好。研究結果顯示，在熱帶地區使用自然通風所得到的熱舒適度改進約為9 % to 41 %之間，而在亞熱帶氣候地區使用自然通風所得到的熱舒適度約為3 % to 14 %之間。在香港實驗結果發現亞熱帶地區使用自然通風所改進的熱舒適度潛力較小。在大樓建築中，利用通風井去提升自然通風的能力，並降低受到太陽日曬所得到的熱負荷，是較可行的。

10. Evidence base prioritisation of indoor comfort perceptions in Malaysian typical multi-storey hostels

作者	年份	研究方法	研究單位/國家	實驗人數	實驗地區	舒適度溫度
N.D. Dahlan	2009	實驗及問卷調查	Welsh School of Architecture, Cardiff University,		馬來西亞	

在室內量測各項可變因素，例如：溫度、照度、及室內噪音，並由受測者填寫熱舒適度問卷。研究結果顯示，在空間體積不到50立方米之房間裝設一台吊扇，可使受測學生在此房間之熱舒適感覺達到足夠之程度。表示可用較小能量並使人獲得滿意的住所，並且可用視覺與聲音可使人對室內氣候知覺較緩和，

11. Additive model for thermal comfort generated by matrix experiment using orthogonal array

作者	年份	研究方法	研究單位/國家	實驗人數	實驗地區	舒適度溫度
Reuy-Lung Hwang	2009	全尺度實驗	Department of Occupational Safety and Health, China Medical		台灣	23 °C to 28°C

			University			
--	--	--	------------	--	--	--

研究結果可用迅速及簡單的算術去簡化熱舒適度的算式。在台灣濕熱型氣候下，人們在典型裝設有空調的辦公室中，熱環境為溫度23 °C to 28°C；相對濕度50 % to 85 %、相對風速0.2 m/s to 0.8 m/s；建築輻射溫度0 °C to 40 °C，之情況下，假設此熱環境之模型，可迅速簡單的去預測其熱舒適度。

12. Thermal perceptions, general adaptation methods and occupant ' s idea about the trade-off between thermal comfort and energy saving in hot – humid regions

作者	年份	研 究 方法	研究單位/國家	實 驗 人數	實驗地 區	舒適度溫度
Ruey-Lung Hwang	2009	全 尺 度 實 驗	Department of Occupational Safety and Health, China Medical University		台灣	20.4 °C to 28.4 °C

經實際研究結果顯示，熱帶氣候下ISO 7730與PMV公式之熱舒適度之不同，與在不同情況下，人們在不同環境下為改進熱環境，使用不同方法所影響的熱舒適度，以及探討在熱舒適度與節能間之平衡。在濕熱型氣候下，預測不滿意度(PD)之範圍應該增加5 % to 9 %，較適合溫度由ISO 7730建議 的22.6 °C to 29.2 °C降為 20.4 °C to 28.4 °C。

在工作場所中，使用者通常利用降低室內空氣溫度來得到滿意的熱舒適度；而在住宅中，使用者通常會利用電風扇或是打開窗戶來得到熱舒適度。這項結果可用於工作場所應多安裝風扇提高風速，將比空調溫度調低所得到的熱舒適度節省能源。

13. Hybrid ventilation for low energy building design in south China

作者	年份	研 究 方法	研究單位/國家	實 驗 人數	實驗地 區	舒適度溫度
Yingchun Ji	2009	電 腦 模擬	Institute of Energy and Sustainable Development, De Montfort University		中國南部	

在華南地區設計一種利用自然及機械通風之混合通風系統，可比利用純機械通風冷卻系統節省30 %的能源。此種被動型的通風系統利用計算流體力學(CFD)去模擬測試，顯示於冬季時這種混合通風系統是可行的。並且可改進室內空氣品質及增加熱舒適度。在夏季時，用於夜間排熱可得到較大的節能潛力。

14. Thermal comfort in residential buildings – Failure to predict by Standard model

作者	年份	研 究 方法	研究單位/國家	實驗人 數	實 驗 地區	舒適度溫度
R. Becker	2009	全 尺 度 實	Faculty of Civil & Environmental Engineering,	夏 季 205 間	以 色 列 住	19.5 °C及26 °C

		驗	Technion - Israel Institute of Technology	及冬季 189 間 建築	宅	
--	--	---	--	--------------------	---	--

於研究結果顯示，夏季裝設空調設備與冬季加熱設備去利用Fanger模型去計算熱舒適度，模型估算之不滿意度高於實際估算之不滿意度。從實驗數據顯示，有90 %的滿意度之極限值為19.5 °C及26 °C。所以，以夏季和冬季的設計條件，溫度應該分別為23 °C及21.5 °C。

5.2 國人熱舒適度調查與標準引用適切性評估

本研究環境參數的設定採用直交實驗法，直交實驗設計方法是一種解決多因子對比試驗問題的重要數學方法，主要使用直交表進行整體實驗設計、綜合比較、統計分析。具體地說，也就是利用直交表從所有可能搭配中挑出若干必須的試驗，然後再利用統計分析方法對試驗結果進行綜合處理，選出最優因子和水準。直交表實驗設計的關鍵是選擇合適的直交表，直交表選用適當可節省人力、物力和時間。

根據人體的熱傳途徑，可得到影響熱舒適的四種環境參數，溫度、溼度、風速及平均輻射溫度，將各參數又分為三種水準(表 1)，在考慮其交互作用後，假設溫度和其餘三種環境參數皆有交互作用的情況下(圖 1)，利用 L27 直交表(表 2)配置出此次研究的環境設定條件(表 3)，利用以上環境條件控制人工氣候室，使受試者入內感受，並將環境有效控制條件溫度 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 、相對溼度 $\pm 10\%$ ，風速及輻射溫度控制在指定條件下，進行 27 組的設計。

表 1 各環境因子的水準

	水準		
	1	2	3
溫度($^{\circ}\text{C}$)	23	26	29
相對溼度(%)	50	70	90
風速(m/s)	0.2	0.5	0.8
黑球與乾球溫度差 ($^{\circ}\text{C}$)	0	2	4

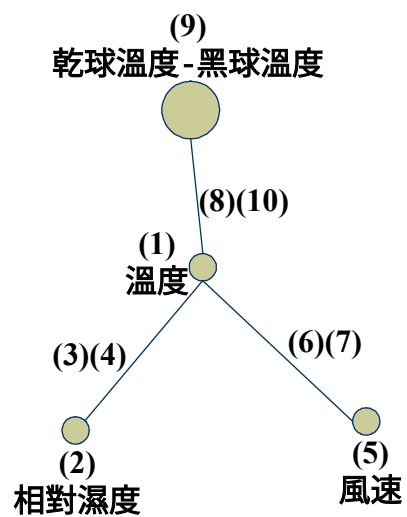


圖 1 環境因子交互作用

表 2 L₂₇ 直交表

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2

表 3 L₂₇ 環境參數配置圖

	溫度	相對濕度	(3)	(4)	風速	(6)	(7)	(8)	輻射熱	(10)	(11)	(12)	(13)
1	23	50%	1	1	0.2	1	1	1	0	1	1	1	1
2	23	50%	1	1	0.5	2	2	2	2	2	2	2	2
3	23	50%	1	1	0.8	3	3	3	4	3	3	3	3
4	23	70%	2	2	0.2	1	1	2	2	2	3	3	3
5	23	70%	2	2	0.5	2	2	3	4	3	1	1	1
6	23	70%	2	2	0.8	3	3	1	0	1	2	2	2
7	23	90%	3	3	0.2	1	1	3	4	3	2	2	2
8	23	90%	3	3	0.5	2	2	1	0	1	3	3	3
9	23	90%	3	3	0.8	3	3	2	2	2	1	1	1
10	26	50%	2	3	0.2	2	3	1	2	3	1	2	3
11	26	50%	2	3	0.5	3	1	2	4	1	2	3	1
12	26	50%	2	3	0.8	1	2	3	0	2	3	1	2
13	26	70%	3	1	0.2	2	3	2	4	1	3	1	2
14	26	70%	3	1	0.5	3	1	3	0	2	1	2	3
15	26	70%	3	1	0.8	1	2	1	2	3	2	3	1
16	26	90%	1	2	0.2	2	3	3	0	2	2	3	1
17	26	90%	1	2	0.5	3	1	1	2	3	3	1	2
18	26	90%	1	2	0.8	1	2	2	4	1	1	2	3
19	29	50%	3	2	0.2	3	2	1	4	2	1	3	2
20	29	50%	3	2	0.5	1	3	2	0	3	2	1	3
21	29	50%	3	2	0.8	2	1	3	2	1	3	2	1
22	29	70%	1	3	0.2	3	2	2	0	3	3	2	1
23	29	70%	1	3	0.5	1	3	3	2	1	1	3	2
24	29	70%	1	3	0.8	2	1	1	4	2	2	1	3
25	29	90%	2	1	0.2	3	2	3	2	1	2	1	3
26	29	90%	2	1	0.5	1	3	1	4	2	3	2	1
27	29	90%	2	1	0.8	2	1	2	0	3	1	3	2

進行本研究的人工氣候室是由空調機房、控制室和人工氣候室三個部分組成，如圖 2 所示。人工氣候室的內部尺寸是 3.8 m × 4.2 m × 3.0 m。艙體是不銹鋼板構成的。人工氣候室的溫度和濕度可透過空調箱來控制。並備有 16 盞 120 瓦的太陽燈，4 座立扇平均放至於各角落，控制其開度大小，用以調配平均熱輻射熱及風速，溫度及溼度的調整則仰賴人工氣候室的空調系統，為使每位受試者的感受差異度降至最小，受試者座位配置為圓形，讓各參數的影響能夠均勻於其中，並選用符合 ASHRAE Standard 55 熱評估儀器，紀錄各種環境參數狀況。空調箱由表冷卻器、電加熱器和加濕氣組成。人工實驗室可以實驗恆溫恆濕的功能。溫度可以控制在 15 °C to 35 °C 之間，相對濕度可以控制在 100 % to 40 % 之間。本實驗裝置可以模擬空調環境內各種條件。

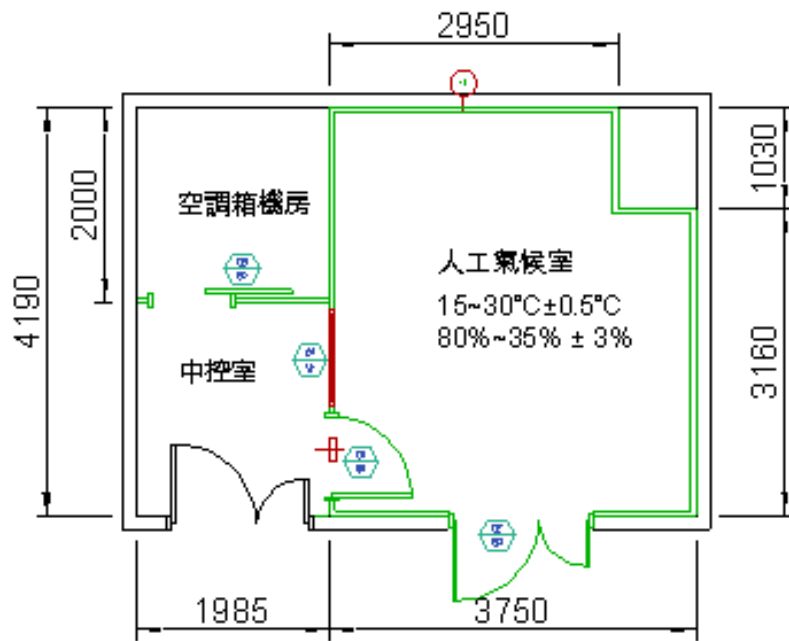


圖 2 實驗裝置人工氣候室配置平面圖

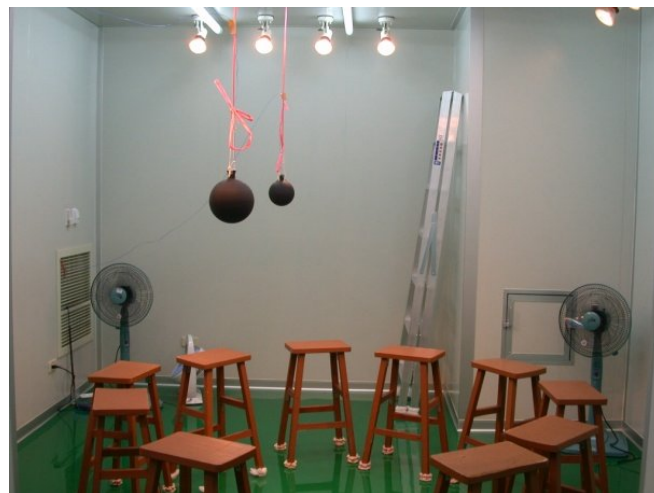


圖 3 人工氣候室



圖 4 空調機房

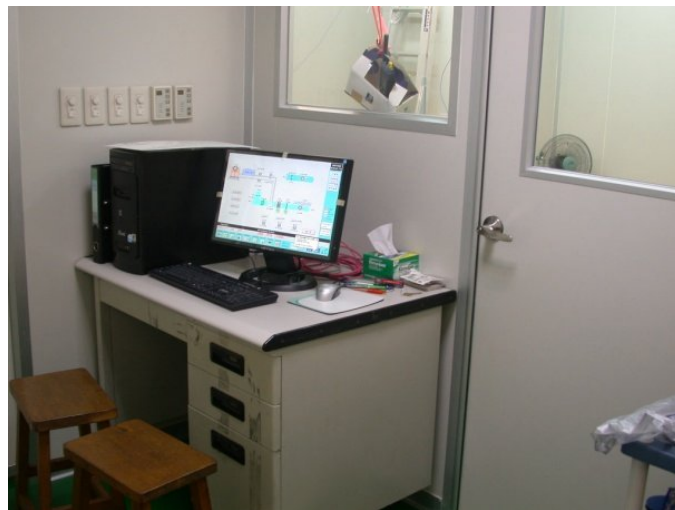


圖 5 控制室

由於人體熱舒適實驗的結果主要取決於受測人員的主觀反應，所以一般需要較大樣本。本次實驗擬邀集超過 100 人次的自願受測者。他們都是為身體健康的大學生或研究生。考慮到人工氣候室的空間大小，每組環境條件受試者男生 5 人、女生 5 人，男女座位間格，27 組實驗，共 270 人。為了保證受測試人員的反應正常，我們將嚴格要求受測者在實驗前有充足的睡眠與正常飲食。實驗前一個小時不可以用餐、喝飲料或劇烈運動。



圖 6 實驗受測情形

本計畫受試過程中受試者皆為靜坐著填寫問卷，故其新陳代謝率為 1.1 met。為了使每次實驗受測者的服裝熱阻相同，將要求受測者穿著短袖上衣及牛仔長褲，衣著熱阻約為典型的輕便夏季的服裝的熱阻（0.5 clo）。

受試者主觀問卷內容設計，參考 ASHRAE Standard 55 附錄 E 之熱舒適現場實測問卷格式，分為受試者基本資料、環境熱感覺及各環境參數熱接受、熱舒適度調查三大部分，受試者基本資料包含性別、年齡、身高體重等，環境熱感覺則是由熱至冷依照 ASHRAE Standard 55 七個等級劃分，環境因子則是依照溫度、濕度、風速及平均輻射熱個別進行受試者的接受度及舒適度調查。受試者進入人工氣候室時需立即填寫第一份問卷，之後每間隔 5 分鐘填寫一份，一組環境條件實驗時間為 20 分鐘，故至實驗結束，每位受試者應填寫 5 份問卷，結束後問卷立即回收。



圖 7 實驗前進行實驗問卷之講解



圖 8 實驗問卷之填寫，每隔 5 分鐘填寫一次問卷，每次實驗進行 20 分鐘

本實驗所設計之問卷如下所示:

請各位受試者穿著短袖T恤與牛仔長褲

受訪者基本資料

1.姓名(代號): _____ 性別: _____ 年紀: _____ 身高: _____ Cm 體重: _____ Kg

以下的問題為了解您對目前室內狀態的感覺

2-1 請根據您目前整個熱環境的感覺，直覺圈選合適的數值代表

Cold	Cool	Slightly cool	Neutral	Slightly warm	Warm	Hot
-3	-2	-1	0	1	2	3
冷	涼	微涼	剛好	微暖	暖	熱

2-2 【 】 您覺得目前整體的熱環境：

1.完全可接受 2.剛好可接受 3.剛好不接受 4.完全不接受

2-3 【 】 您覺得目前整體的熱環境：

1.非常舒適 2.舒適 3.剛好舒適 4.剛好不舒適 5.不舒適 6.非常不接受

3-1 請根據您目前對整個環境的溫度感覺

3-2 【 】 您覺得目前環境的溫度：

1.完全可接受 2.剛好可接受 3.剛好不接受 4.完全不接受

3-3 【 】 您覺得目前環境的溫度：

1.非常舒適 2.舒適 3.剛好舒適 4.剛好不舒適 5.不舒適 6.非常不接受

4-1 請根據您目前對整個環境的溼度感覺

4-2 【 】 您覺得目前環境的溼度：

1.完全可接受 2.剛好可接受 3.剛好不接受 4.完全不接受

4-3 【 】 您覺得目前環境的溼度：

1.非常舒適 2.舒適 3.剛好舒適 4.剛好不舒適 5.不舒適 6.非常不接受

5-1 請根據您目前對整個環境的風速感覺

5-2 【 】 您覺得目前環境的風速：

1.完全可接受 2.剛好可接受 3.剛好不接受 4.完全不接受

5-3 【 】 您覺得目前環境的風速：

1.非常舒適 2.舒適 3.剛好舒適 4.剛好不舒適 5.不舒適 6.非常不接受

6-1 請根據您目前對整個環境的熱輻射感覺

6-2 【 】 您覺得目前環境的熱輻射：

1.完全可接受 2.剛好可接受 3.剛好不接受 4.完全不接受

6-3 【 】 您覺得目前環境的熱輻射：

1.非常舒適 2.舒適 3.剛好舒適 4.剛好不舒適 5.不舒適 6.非常不接受

結果與討論

進入人工氣候室的受試者感覺會隨者時間而改變，但在實驗進行一段時間後便會趨於穩定，故本研究採用第 20 分鐘的投票值作為受試者在該環境條件中的感覺投票。所測之室內溫、濕度和風速值轉化為新等效溫度 ($E T^*$)，將調查得到的全部 TS 值和計算得到的 PMV 值以算術平均的形式統計，並作相應的回歸曲線擬合。可以從該回歸線的斜率比較實測平均熱感覺和比平均 PMV 的差異。也就是可以瞭解適應熱濕氣候的台灣居民對於熱環境的感覺與 ISO 7730 的差異。

1. 各種評估指標的相關性探討

根據受試者的投票，探討熱感受度、熱接受度及熱舒適度三者的交叉相關性，發現其相關性皆高，而從探討熱感受度與熱接受度(圖 9)及熱感受度(圖 10)與熱舒適度(圖 11)的兩張圖中發現，不論是熱接受度或熱舒適度在熱感受約為「-0.5」時皆為最佳狀況，顯示出受試者喜好略微偏涼的情況。

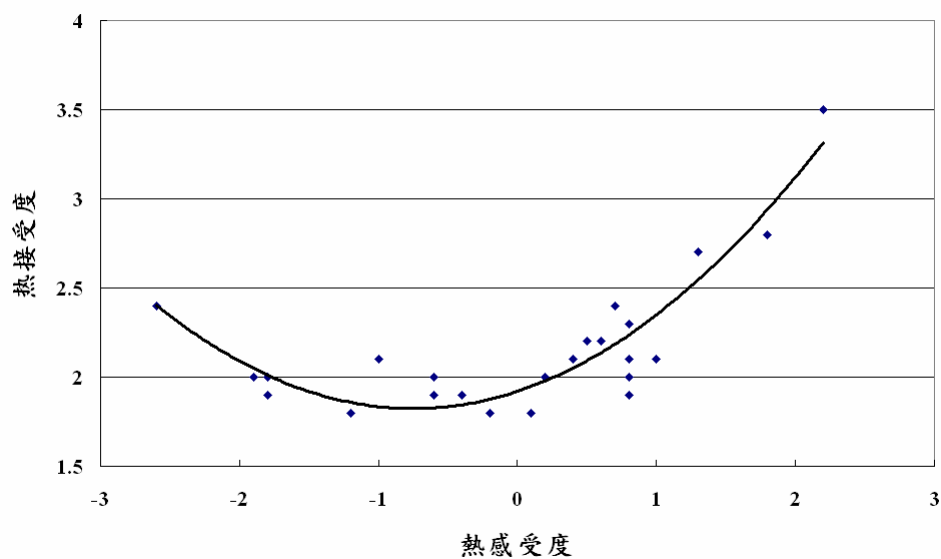


圖 9 熱感受度與熱接受度相關性探討

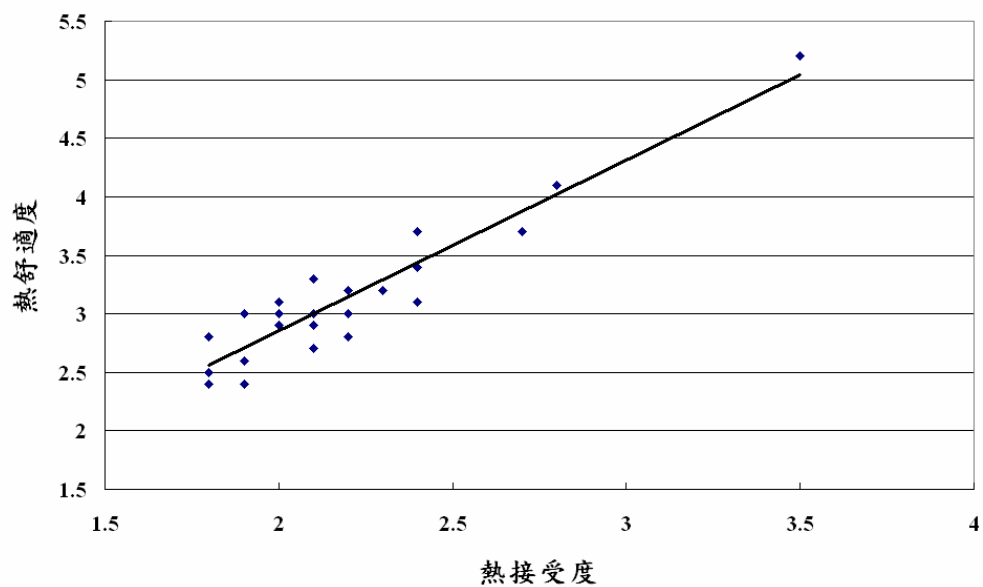


圖 10 熱接受度與熱舒適度相關性探討

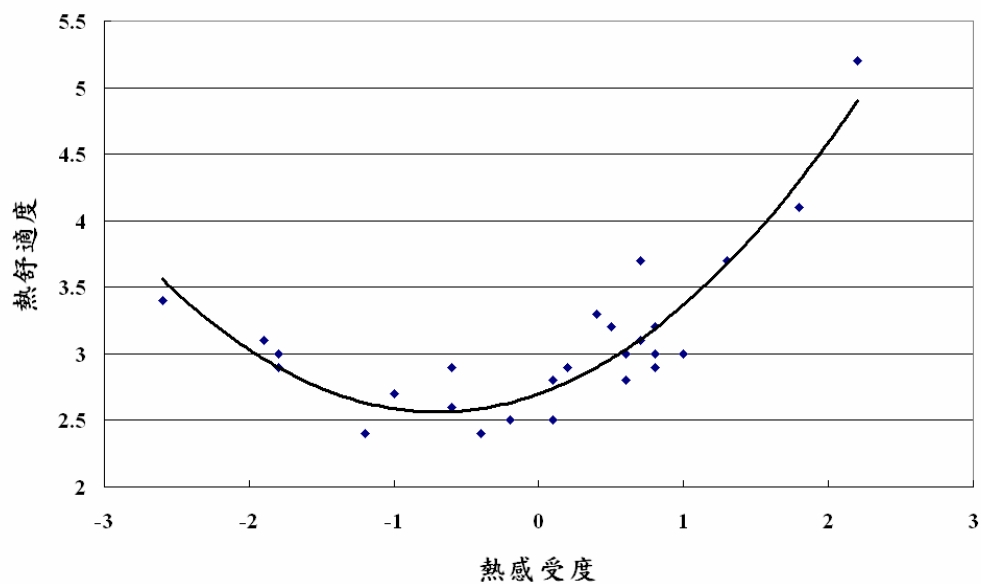


圖 11 熱感受度與熱舒適度相關性探討

2. 直交表行的效果分析

根據 L_{27} 直交表的因子配置與其交互作用的討論下，利用程式編寫計算其各行因子的效果分析，探討熱感受度、熱接受度及熱舒適度三種不同指標受試者對於環境參數或其交互作

用的感受性為何，並找出影響各指標的重要參數。

表 4 各參數所用代號

A	B	A×B	C	A×C	D	A×D	e
溫度	溼度	溫度×溼 度	風速	溫度×風 速	平均輻射熱	溫度×平均熱輻射	誤差值

將各因子和誤差值作校正後，從熱感受度(圖 12)調查中發現，溫度是影響感受的最主要原因，其次是風速，接著才是濕度及平均輻射熱。而從熱接受(圖 13)程度來探討，則發現溼度及平均輻射熱對熱接受度並無影響，主要影響原因為溫度、風速及溫度和風速的交互作用，明顯的與熱感受度不盡相同。最後熱舒適(圖 14)的滿意程度則是風速影響最為明顯其次為其和溫度的交互作用，接著才是溫度，此結果與熱接受度較為相同，在平均熱輻射及濕度方面則較無影響。

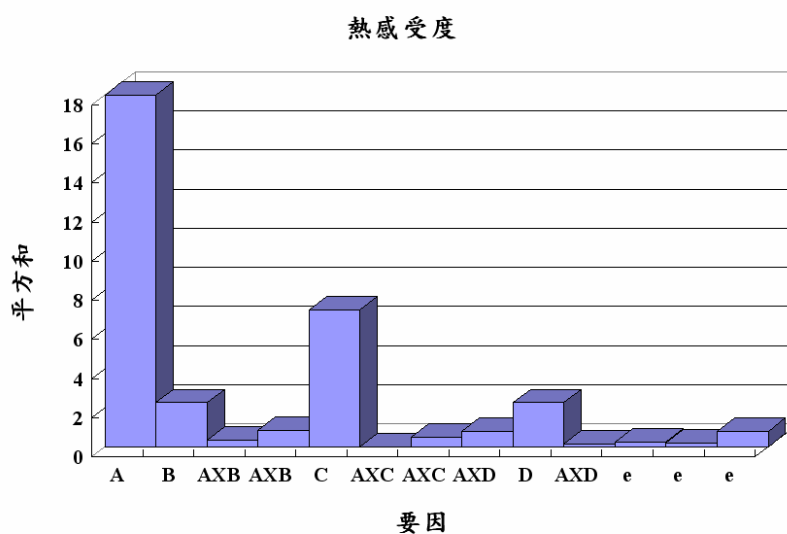


圖 12 熱感受度之各項因子效果分析

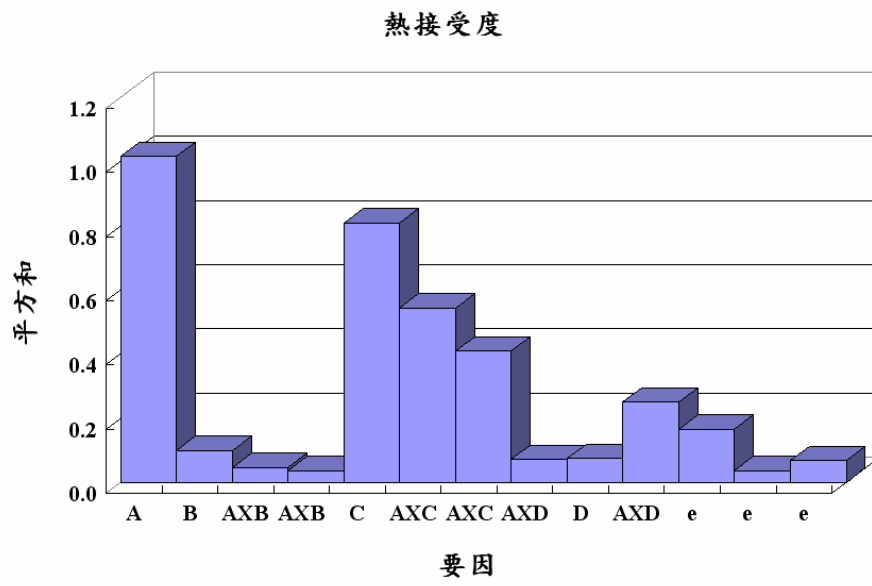


圖 13 熱接受度之各項因子效果分析

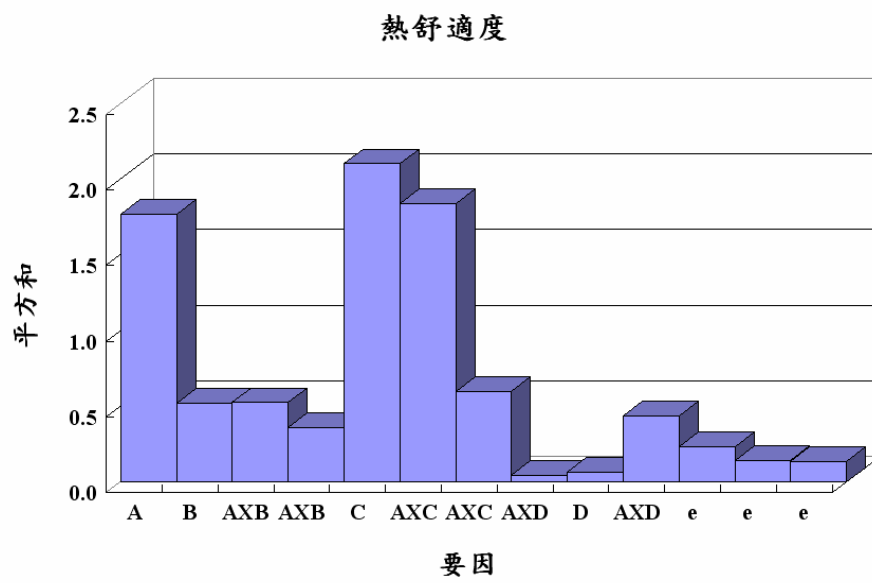


圖 14 熱舒適度之各項因子效果分析

表 5 各參數貢獻度

參數	貢獻度		
	熱感受度	熱接受度	熱舒適度
溫度	56%*	27%*	19%*
相對溼度	6%*	2%	5%
風速	19%*	21%*	23%*
黑球與乾球溫度差	6%*	1%	0%
溫度與相對濕度的交互作用	3%	1%	9%
溫度與風速的交互作用	1%	25%*	27%*
溫度與黑球及乾球之溫差的交互作用	2%	8%	5%
其他影響因數	3%	6%	5%

3. 各項要因對基準值的影響

根據所做貢獻度(表 5)分析結果得知，熱感受度、熱接受度及熱舒適度三種指標各主要影響因子為何，跟據實驗所分三水準，觀察各要因在各指標種的變化情況，以推估受試者的感覺情形。從熱感受指標(圖 15)來看，溫度的感受趨近於線性，受試者的感覺會隨著溫度的變化而有顯著差異，溼度的感覺雖也趨於線性，但其改變範圍不大，顯示出受試者對於溼度的改變並無太大的感覺，然而就風速及平均輻射熱而言，只要超過一定範圍，受試者的感覺就無明顯的改變。熱接受度(圖 16)和熱舒適度(圖 17)指標皆在探討溫度、風速及溫度與風速的交互作用，當溫度越高、風速趨近於無時，受試者感覺較不舒適也較無法接受，從交互作用來看發現風速約 0.6 m/s 時，溫度 23 °C 及 26 °C 的情況下受試者接受程度是一樣的，而在風速 0.8 m/s 時，溫度 23 °C 及 26 °C 的狀況下及風速約 0.9 m/s 時，溫度 23 °C 及 29 °C 的情況下，受試者感受到的舒適程度也是相同，顯示出除了熱感受指標外，熱接受度及熱舒適度皆不可忽略其交互作用的影響性，也了解到溫度及風速在兩種指標中相關性為何。

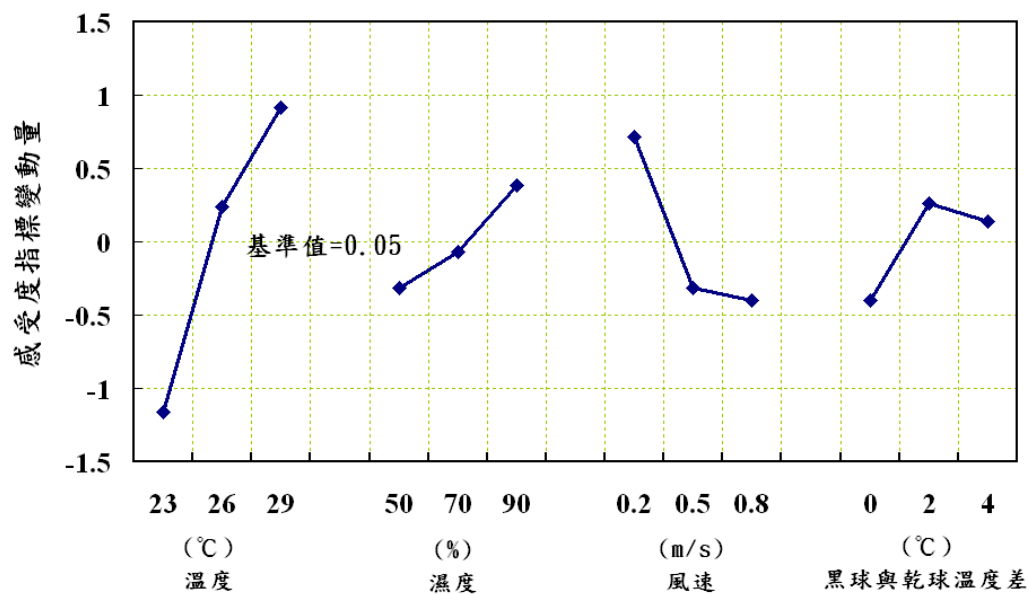


圖 15 各項要因對基準值的影響—熱感受度

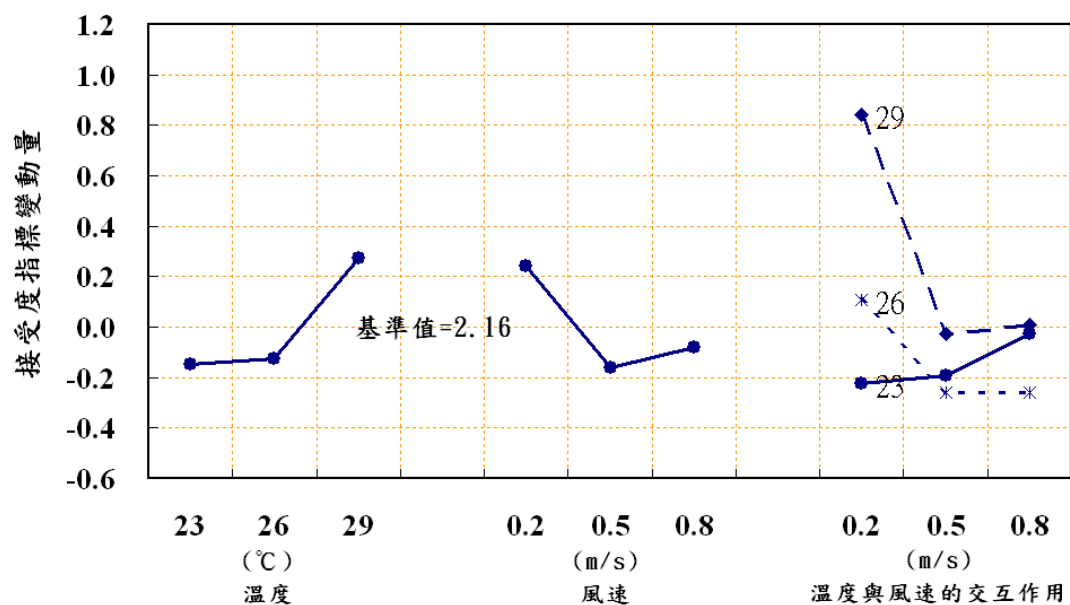


圖 16 各項要因對基準值的影響—熱接受度

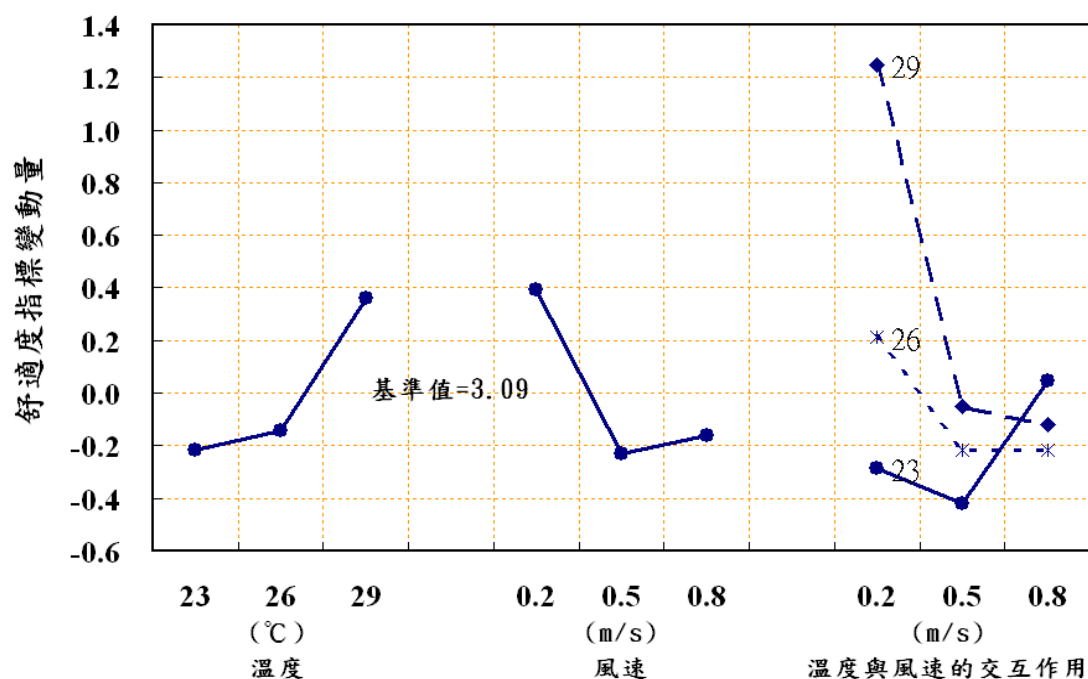


圖 17 各項要因對基準值的影響—熱舒適度

4. 各因子對指標的影響值

根據各因子的指標影響值(表 6 至表 8)，可以用來估計各環境狀況的熱感受度、熱接受度及熱舒適度指標情況，根據各指標重要環境參數進行回歸計算，找出各項係數，並寫出各指標方程式。

$$\begin{aligned}
 TS = & -0.267 + 0.346 \times (T - T_m) + 1.75 \times (RH - RH_m) \\
 & - 1.870 \times (V - V_m) + 5.247 \times (V - V_m)^2 \\
 & + 0.136 \times (\Delta T - \Delta T_m)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 TA = & 1.874 + 0.07 \times (T - T_m) + 0.021 \times (T - T_m)^2 \\
 & - 0.537 \times (V - V_m) + 2.654 \times (V - V_m)^2 \\
 & - 0.287 \times (T - T_m) \times (V - V_m) \\
 & + 0.022 \times (T - T_m) \times (\Delta T - \Delta T_m)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
TC = & 2.715 + 0.096 \times (T - T_m) + 0.023 \times (T - T_m)^2 \\
& + 0.000 \times (V - V_m) + 3.827 \times (V - V_m)^2 \\
& - 0.472 \times (T - T_m) \times (V - V_m) \\
& + 0.347 \times (T - T_m) \times (RH - RH_m)
\end{aligned}$$

T：溫度， $T_m=26^{\circ}\text{C}$

V：風速， $V_m=0.5\text{m/s}$

RH：相對溼度，

$RH_m=70\%$

ΔT ：乾黑球溫度差，

$\Delta T_m=2^{\circ}\text{C}$

表 6 各因子對熱感受度的影響值

環境參數	0.05±2.04			基準值±信賴區間			單位
溫度	-1.16	0.24	0.92	23	26	29	°C
溼度	-0.31	-0.07	0.39	50	70	90	%
風速	0.72	-0.31	-0.40	0.2	0.5	0.8	m/s
黑球與乾球溫度差	-0.40	0.26	0.14	0	2	4	°C

表 7 各因子對熱接受度的影響值

環境參數	2.16±0.9			基準值±信賴區間			單位
溫度	-0.15	-0.13	0.27	23	26	29	°C
風速	0.24	-0.16	-0.08	0.2	0.5	0.8	m/s
溫度×風速	-0.23	-0.19	-0.03	23×0.2	23×0.5	23×0.8	
	0.11	-0.26	-0.26	26×0.2	26×0.5	26×0.8	
	0.84	-0.03	0.01	29×0.2	29×0.5	29×0.8	

表 8 各因子對熱舒適度的影響值

環境參數	3.09±0.86			基準值±信賴區間			單位
溫度	-0.22	-0.14	0.36	23	26	29	°C
風速	0.39	-0.23	-0.16	0.2	0.5	0.8	m/s
溫度×風速	-0.29	-0.42	0.05	23×0.2	23×0.5	23×0.8	
	0.21	-0.22	-0.22	26×0.2	26×0.5	26×0.8	
	1.25	-0.05	-0.12	29×0.2	29×0.5	29×0.8	

下圖 18 至圖 20 則為預測值與實際值評估結果。

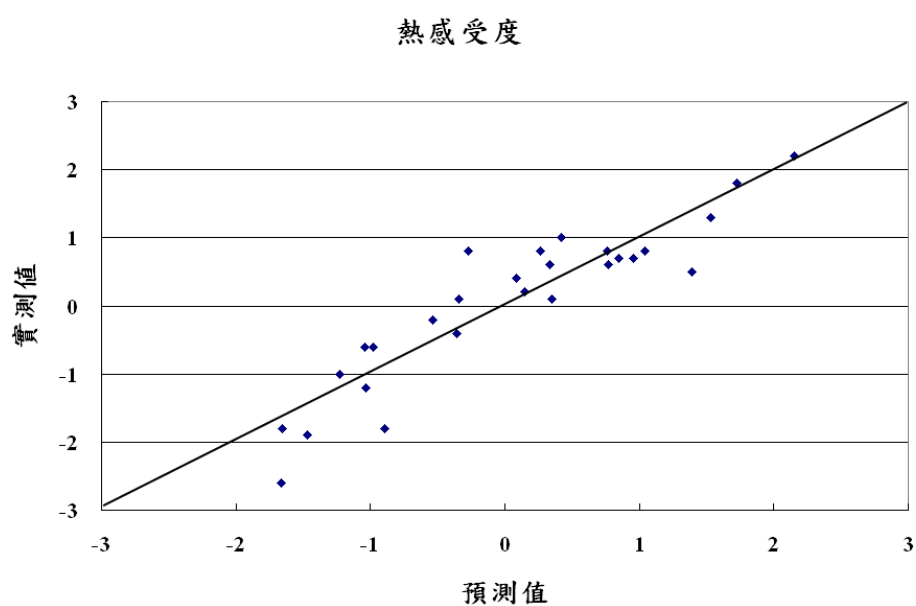


圖 18 預測與實測結果的比較—熱感受度

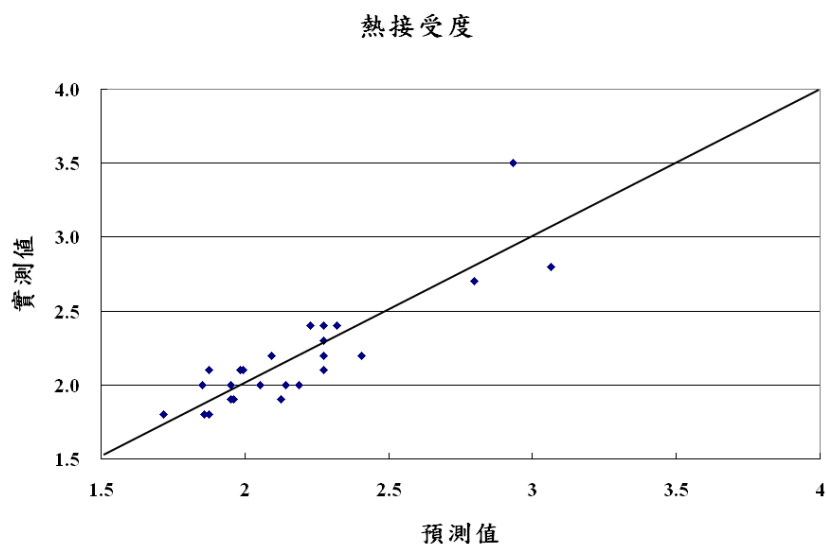


圖 19 預測與實測結果的比較—熱接受度

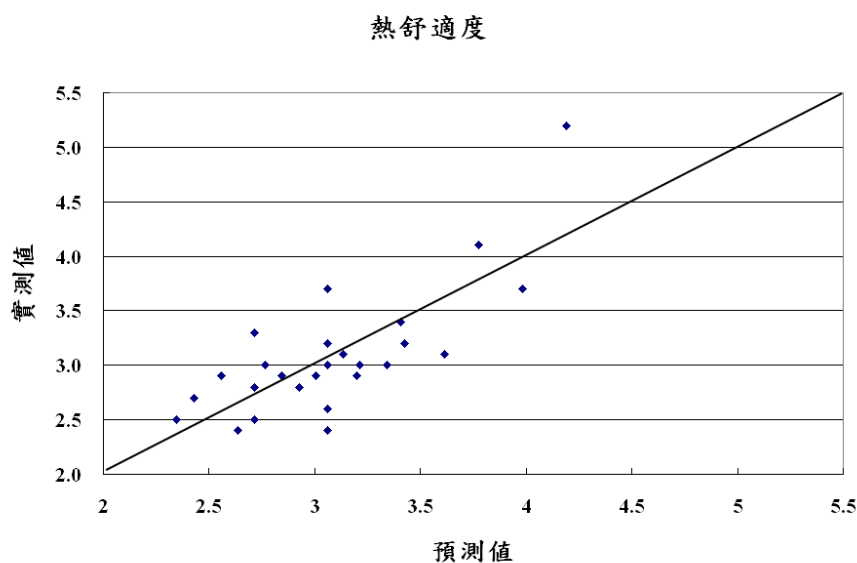


圖 20 預測與實測結果的比較—熱舒適度

5. 結論與建議

本計畫經詳細調查各亞熱帶地區國家PMV相關研究情況進行歸納，發現原ISO 7730之熱舒適範圍與亞熱帶國家有稍加修正之必要，然而其原理則放諸四海而皆準。有鑑於此，本研究進行我國氣候下之國人熱舒適度調查全尺度實驗，並經由田口式直交表進行實驗設計，配合問卷調查，而初步建立我國具體可行之TS、TA及TC各項指標方程式。

此種重要之回歸式，可經由空調通風系統之連動，而達成兼具節能與熱舒適環境之重要成果，深具意義。

依據本研究調查研究結果顯示，我國國人熱舒適於23.5 °C to 28 °C為其感受最舒適之狀態，但加入風速因子後，於溫度23 °C之情況下，搭配風速0.2 m/s to 0.4m/s，依然可維持良好之熱舒適環境。於26 °C之情況下，搭配風速0.5 m/s to 0.7m/s則可維持合適之熱舒適環境。以最節能之觀點來看，則空調設定溫度為29 °C時，則須開啟風機設備，使風速達到約0.6 m/s to 0.8 m/s，則可達到適合我國國人熱舒適之環境。

六、智慧財產權產生狀況

七、參考資料

1. ISO 7730,Moderate Thermal Environment-Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort,International Standards Organisation,Geneva,1994
2. ASHARE Standard 55-1992,"Thermal Environment Conditions for Human Occupancy",American Society of Heating,Refrigeration and Air-Conditioning Engineers,Atlanta,1992
3. Nyuk Hien Wong," Thermal comfort in classrooms in the tropics", Energy and Buildings 35 (2003) ,p337–351
4. Jie Han, Guoqiang Zhang," Field study on occupants ' thermal comfort and residential thermal environment in a hot-humid climate of China", Building and Environment(2006, doi:10.1016)
5. Kwok Wai Horace Mui," Adaptive comfort temperature model of air-conditioned building in Hong Kong", Building and Environment 38 (2003) ,p837 – 852
6. Alison G Kwok,"Thermal comfort in tropical classrooms", ASHRAE Transactions 1998,p1031
7. N.H. Wong," Thermal comfort evaluation of naturally ventilated public housing in Singapore", Building and Environment 37 (2002) p1267 – 1277
8. Fergus Nicol," Adaptive thermal comfort standards in the hot–humid tropics", Energy and Buildings 36 (2004) ,p628–637
9. Richard J. de Dear," Thermal comfort in naturally ventilated buildings:revisions to ASHRAE Standard 55", Energy and Buildings 34 (2002) ,p549–561
- 10.M. Haase," An investigation of the potential for natural ventilation and building orientation to achieve thermal comfort in warm and humid climates", Solar Energy 83 (2009),p 389 – 399
11. Reuy-Lung Hwang," Additive model for thermal comfort generated by matrix experiment using orthogonal array", Building and Environment 44 (2009) ,p1730 – 1739
12. Ruey-Lung Hwang," Thermal perceptions, general adaptation methods and occupant ' s idea about the trade-off between thermal comfort and energy saving in hot – humid regions", Building and Environment 44 (2009) ,p1128 – 1134
13. Yingchun Ji," Hybrid ventilation for low energy building design in south China", Building and Environment xxx (2009),p 1 – 11
14. R. Becker," Thermal comfort in residential buildings – Failure to predict by Standard model", Building and Environment 44 (2009), p948 – 960
15. Tzu-Ping Lin," Thermal perception, adaptation and attendance in a public square in hot and humid region", Building and Environment 44 (2009), p2017 – 2026
16. N.D. Dahlan," Evidence base prioritisation of indoor comfort perceptions in Malaysiantypical multi-storey hostels", Building and Environment 44 (2009),p2158 – 2165

附件

本實驗之量測數據

1. L27直交表

實驗次數	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
	T	RH	TxRH	TxRH	V	TxV	TxV	TxMRT	MRT	TxMRT	e	e	e
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2

2. 實驗條件

實驗次數	(1)	(2)	(5)	(9)	ET*	PMV	PPD
	T	RH	V	MRT			
1	23	50	0.2	0	23.0	-1.2	35.9
2	23	50	0.5	2	25.1	-1.1	29.1
3	23	50	0.8	4	27.3	-0.6	12.5
4	23	70	0.2	2	25.4	-0.4	9.2
5	23	70	0.5	4	27.5	-0.2	6.0
6	23	70	0.8	0	23.3	-1.9	72.6
7	23	90	0.2	4	27.7	0.3	7.2
8	23	90	0.5	0	23.5	-1.5	48.6
9	23	90	0.8	2	25.7	-1.0	27.7
10	25	50	0.2	2	27.1	0.2	5.5
11	25	50	0.5	4	29.2	0.5	9.9
12	25	50	0.8	0	25.0	-1.2	33.1
13	25	70	0.2	4	29.5	0.9	24.2
14	25	70	0.5	0	25.3	-0.7	16.4
15	25	70	0.8	2	27.4	-0.3	6.4
16	25	90	0.2	0	25.5	-0.1	5.3
17	25	90	0.5	2	27.7	0.1	5.3
18	25	90	0.8	4	29.8	0.6	13.9
19	28	50	0.2	4	32.2	1.9	74.1
20	28	50	0.5	0	28.0	0.4	8.2
21	28	50	0.8	2	30.1	1.0	24.5
22	28	70	0.2	0	28.3	0.9	21.5
23	28	70	0.5	2	30.5	1.3	39.5
24	28	70	0.8	4	32.6	1.9	72.1
25	28	90	0.2	2	30.7	1.7	62.3
26	28	90	0.5	4	32.9	2.2	84.4
27	28	90	0.8	0	28.7	0.6	13.2

3. 熱感覺之實驗數據

熱感覺											
	女 1	女 2	女 3	女 4	女 5	女 6	女 7	女 8	女 9	女 10	女 11
實驗編號	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
1	0	-1	0	0	-1	-2	-1	-3	-3	-2	-1
2	-1	-1	0	0	-1	0	-2	-3	-2	-2	-2
3	0	-1	1	-1	-1	0	-2	-3	-3	-2	-2
4	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1
5	0	0	1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-2	0
6	-1	-1	-1	-1	-1	-3	-3	-3	-3	-3	-2
7	1	0	2	0	0	0	0	-1	0	0	-1
8	0	0	0	-1	-1	-1	-1	0	-3	-2	-1
9	0	-1	0	-1	1	0	0	-1	-1	-1	1
10	0	0	0	-1	0	0	1	1	1	1	1
11	1	0	1	-1	0	1	0	0	0	1	0
12	-1	0	-1	0	-1	0	-1	1	-3	0	0
13	1	0	1	1	0	1	0	0	2	0	2
14	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
15	0	0	0	-1	0	-1	0	-1	-1	-1	-1
16	2	1	1	0	0	0	0	-1	-1	0	0
17	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1
18	1	1	1	0	0	-1	0	1	1	1	0
19	2	3	3	1	1	1	1	2	1	2	2
20	0	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	1
21	0	0	1	0	0	0	2	-1	0	1	1
22	0	2	1	1	1	1	1	0	1	2	3
23	1	2	3	0	1	1	0	-1	0	1	1
24	2	3	3	0	1	2	0	0	0	1	1
25	3	3	1	1	0	2	3	2	2	2	2
26	3	3	3	1	1	3	0	1	-1	1	0
27	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0

熱感覺										
男 1	男 2	男 3	男 4	男 5	男 6	男 7	男 8	男 9	男 10	男 11
a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
-1	-1	-1	-3	-2	-3	-2	-3	-2	0	-1
0	-1	-2	-3	-3	-3	-1	-2	-2	-1	-1
1	-1	0	-2	-3	-2	-2	-3	-1	0	-1
0	-1	-2	-2	-2	-2	2	0	1	1	1
0	0	-2	-3	-2	-2	-1	-1	0	-1	0
0	-2	-3	-3	-2	-1	-2	-2	-3	-2	-3
0	-1	0	1	-1	1	0	0	1	1	1
-1	-2	0	-1	-2	-2	0	0	0	-1	-2
0	-1	-1	-2	-3	-2	-2	-1	0	-1	0
0	-1	0	1	-1	0	0	1	2	1	1
1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0
0	0	-2	-2	0	-1	1	-2	0	0	-2
1	2	1	2	2	1	1	2	1	0	0
0	-1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	-1	1
1	1	0	-1	0	-1	0	-1	1	0	0
1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1
1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	2
2	1	2	3	2	3	0	3	2	2	3
1	0	0	0	-1	2	1	1	1	-1	0
0	0	1	0	-2	2	0	1	1	0	1
1	2	2	2	2	2	2	2	1	0	1
1	2	1	1	1	0	1	2	1	0	1
2	1	2	2	2	1	2	1	1	0	1
2	2	2	3	3	2	1	3	3	2	2
2	2	2	3	3	3	0	1	1	1	1
2	1	0	0	2	1	0	2	2	0	2

平均 tsv	女生 tsv	男生 tsv
-1.50	-1.27	-1.80
-1.50	-1.27	-1.90
-1.27	-1.27	-1.50
-0.05	0.27	-0.40
-0.82	-0.55	-1.20
-2.05	-2.00	-2.30
0.18	0.09	0.30
-0.95	-0.91	-1.00
-0.73	-0.27	-1.30
0.36	0.36	0.40
0.36	0.27	0.40
-0.64	-0.55	-0.80
0.95	0.73	1.20
-0.14	-0.09	-0.20
-0.36	-0.55	-0.20
0.09	0.18	-0.10
0.45	0.45	0.40
0.59	0.45	0.70
1.91	1.73	2.10
0.23	0.09	0.30
0.36	0.36	0.40
1.36	1.18	1.60
0.91	0.82	1.00
1.27	1.18	1.30
2.09	1.91	2.30
1.55	1.36	1.70
0.86	0.64	1.00

4. 熱接受度之實驗數據

熱接受											
	女 1	女 2	女 3	女 4	女 5	女 6	女 7	女 8	女 9	女 10	女 11
實驗編號	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
1	1	1	1	2	2	3	2	2	3	2	1
2	1	2	2	2	2	2	2	3	1	2	3
3	2	2	3	3	2	2	2	3	1	2	2
4	2	2	2	2	2	1	2	3	1	1	2
5	2	2	3	3	2	3	2	2	1	3	1
6	1	2	2	3	3	4	1	2	4	3	2
7	3	2	3	2	1	2	2	2	2	2	1
8	2	2	2	3	2	2	1	2	4	2	2
9	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2
10	1	1	1	3	1	2	2	2	2	2	2
11	2	2	2	3	2	2	1	2	2	2	2
12	1	1	2	2	2	1	1	2	4	1	2
13	3	2	3	2	2	2	2	2	3	2	3
14	1	1	1	2	1	1	2	2	3	1	1
15	2	2	2	3	2	2	2	2	1	2	2
16	2	3	3	4	3	2	2	2	1	2	2
17	3	3	3	2	2	2	2	2	3	2	2
18	3	2	2	2	1	2	2	1	3	3	1
19	3	3	4	2	2	2	3	2	2	3	3
20	2	2	3	1	2	2	1	2	2	2	2
21	2	2	2	1	1	2	3	1	2	2	3
22	2	2	3	2	2	2	2	2	2	3	3
23	3	3	4	2	2	3	2	2	2	2	2
24	3	3	4	2	3	3	1	2	3	2	2
25	3	3	3	3	2	4	4	3	3	4	4
26	4	4	4	3	3	4	2	2	2	2	2
27	3	2	2	3	3	4	2	1	2	2	1

熱接受										
男 1	男 2	男 3	男 4	男 5	男 6	男 7	男 8	男 9	男 10	男 11
b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
2	1	2	3	4	3	2	1	3	1	2
2	1	2	3	4	3	2	2	2	2	1
2	1	2	3	4	3	2	3	2	1	2
2	2	2	2	3	2	4	1	2	3	2
2	1	2	4	3	3	2	2	2	2	2
1	2	4	4	3	2	1	3	3	2	3
2	2	2	2	3	2	2	2	1	2	2
2	2	2	2	2	3	2	2	1	2	3
2	2	3	3	4	2	3	2	1	2	2
1	1	1	1	2	2	2	1	3	2	3
2	1	2	1	1	2	1	2	2	2	2
1	1	3	2	2	2	2	2	1	2	2
2	2	2	1	1	2	2	3	2	2	2
1	1	1	1	1	2	1	2	2	2	2
2	1	2	1	1	2	1	2	2	2	3
3	3	1	2	3	2	2	2	3	1	2
2	3	3	1	2	1	2	2	2	2	2
2	2	3	1	2	1	1	2	2	2	3
3	2	3	3	1	3	2	3	4	3	3
2	1	1	2	2	1	2	3	2	2	2
1	1	2	1	2	2	2	2	3	2	2
2	3	3	2	2	1	4	3	3	2	3
3	2	2	2	1	1	2	3	3	2	2
3	2	3	2	2	2	4	3	3	2	2
3	3	4	4	3	3	2	4	4	4	3
3	3	4	4	4	3	1	2	3	3	3
2	3	2	2	2	2	1	3	3	2	2

5. 熱舒適度之實驗數據

熱舒適											
	女 1	女 2	女 3	女 4	女 5	女 6	女 7	女 8	女 9	女 10	女 11
實驗編號	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
1	1	1	1	3	3	4	3	3	4	3	2
2	1	2	2	3	3	3	4	4	1	3	5
3	3	2	4	4	3	3	4	5	1	2	4
4	3	2	3	3	3	2	2	4	1	2	3
5	3	2	4	4	3	4	1	1	1	4	2
6	1	2	3	4	4	6	2	3	5	5	3
7	4	3	4	2	2	3	3	2	2	2	2
8	3	3	3	4	3	4	1	2	5	3	2
9	3	2	4	4	3	3	3	3	3	3	2
10	2	2	2	4	2	3	4	3	2	2	2
11	3	2	3	4	2	4	2	3	3	3	3
12	2	2	3	3	3	1	1	3	5	2	2
13	4	2	4	3	2	3	2	3	4	3	5
14	2	2	1	2	2	2	3	3	4	1	1
15	3	3	2	4	3	3	2	2	1	3	2
16	3	4	4	5	4	3	4	3	5	3	4
17	4	3	4	4	3	2	4	3	4	2	3
18	4	3	3	3	2	3	2	2	4	4	2
19	4	5	6	3	4	3	4	3	3	4	5
20	3	3	4	2	2	3	2	3	2	2	4
21	3	2	3	2	1	3	4	2	3	3	3
22	3	3	4	2	3	4	4	3	3	4	4
23	4	4	5	2	3	4	2	2	3	3	3
24	4	5	6	3	4	5	1	2	3	3	3
25	5	5	4	4	2	5	6	5	5	5	6
26	6	6	6	4	4	6	3	3	3	3	2
27	4	3	3	4	4	6	3	2	4	3	2

熱舒適											
	男 1	男 2	男 3	男 4	男 5	男 6	男 7	男 8	男 9	男 10	男 11
實驗編號	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
1	2	2	2	4	5	5	3	3	4	2	3
2	2	2	3	4	6	4	2	3	3	3	1
3	2	3	3	4	6	3	3	5	3	2	2
4	3	3	3	3	4	3	6	1	3	4	3
5	2	1	3	6	4	4	3	2	3	4	3
6	2	3	5	6	5	3	1	4	4	2	5
7	3	2	2	2	4	2	2	4	2	3	3
8	4	4	3	3	3	4	3	3	1	3	4
9	3	3	3	5	5	2	4	3	2	3	3
10	2	1	2	1	3	2	3	3	4	3	4
11	3	3	3	1	2	2	2	3	3	3	3
12	2	2	3	3	3	3	3	3	1	3	3
13	3	4	3	2	2	2	2	4	4	3	2
14	2	2	2	1	2	3	2	2	3	3	3
15	4	3	2	2	2	3	1	3	3	3	4
16	4	5	2	2	4	1	4	4	3	4	3
17	4	4	4	2	2	1	4	3	3	3	4
18	4	3	5	2	3	2	1	4	3	4	4
19	4	3	3	5	2	5	3	5	5	4	5
20	4	2	2	3	3	1	3	4	4	2	3
21	2	2	3	1	4	3	2	2	4	2	3
22	3	4	4	3	3	1	4	4	4	3	4
23	4	4	2	3	1	1	3	4	4	3	3
24	4	4	4	3	3	2	5	4	4	3	3

熱舒適											
	男 1	男 2	男 3	男 4	男 5	男 6	男 7	男 8	男 9	男 10	男 11
實驗編號	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
25	5	5	5	6	4	4	3	6	6	5	5
26	4	5	5	6	5	5	2	4	4	4	4
27	4	5	3	3	3	4	1	5	4	3	3

附件九

研究成果統計表

成果 分項計畫名稱	項目	專利權 (項數)		著作權 (項數)	論文 (篇數)		一般研究報告 (篇數)			技 術 創 新 (項數)				技術 引進 (項數)	技術移轉		技術服務		研討會		
		獲證	申請		期刊	研討 會	技 術	調 查	訓 練	產 品	製 程	應 用 軟 體	技 術		項 數	廠 家	項 數	廠 家	場 次	人 數	日 數
小	計	-	1	-	5	3	2	3	1	-	-	-	-	-	-	-	3	1	1	72	1
合	計	1 項		-	8 篇		6 篇			-				-	-		1 家次		1 場次		

註：(1) 技術創新一欄中所謂產品係指模型機、零組 4 件、新材料等。

(2) 專利權及著作權項數以當年度核准項目為主，若為申請中案件則於次年度中列報。

(3) 研討會含在職訓練、成果發表會、說明會與期中期末報告。

附件十

審查意見表

計畫名稱：「居住空間舒適性檢測標準整合與開發計畫（2/4）」

98 年度 ☐細部計畫審查 ☐期中報告 ☒期末報告

建 議 事 項	說 明
審查委員意見	
A 委員：	
一、居住空間舒適性檢測標準之計畫涉及學理及工程等專技，量測中心以不到三人之力執行完成此結果確實辛苦，令人欽佩，僅提供小意見請供參考。計畫中雖然考慮西方人與東方人不同之因素，也考慮年青人、小孩及老人，但若非老人院育兒院而是一般家庭常有年青人將子女請父母照顧，即老人亦可能與兒童同居，此點應如何調節？設計時應加考慮，又新屋可照設計發揮其功能，但日久變成老屋有些條件會變化，到時能否居住者自行調整各參數，還是要專家來處理？（例十年、二十年後）是否可預先考慮此因素？	感謝委員意見，關於不同年齡層在同一區塊內共同生活時，對於室內環境的設計確實較難兼顧到每一個人，關於所提時間所造成環境的改變之問題，目前智慧化居住環境除了強調自動化的調控外，仍舊保留個人化的設定功能與手動的方式，以進行個人化的控制。關於室內熱環境的評估部分，目前已有標準 ISO 14415 針對殘障、老人、小孩以及有特殊需求人士補充現有 ISO 熱舒適標準(包括冷熱與中度環境)在應用時所需之必要考量與原則。
B 委員：	
一、計畫經費 75,000 千元，實際支用 7,212 千元，支用比例 96.2%，支用良好，實際參與人力僅 2.33 人。	感謝委員肯定，並請持續給予指正。計畫經費 75,000 千元，支用比例已達 100%，實際參與人力 2.63 人年。
二、上半年計畫成果，已推廣至農委會之計畫，本計畫並至台中生產力中心進行熱舒適度現場量測及感測器現場驗證(替廠商服務是否應收費?)，有具體成果。	感謝委員肯定。關於收費部分，由於今年前往生產力建設進行現場量測與感測器現場驗證，主要是希望藉由實地的量測能夠得出更接近真實的狀況與結果，同時藉由與廠商的討論與回饋意見進行技術的修正，因此目前尚未收費。而後續若有其它廠商有相關的技術諮詢時，會針對技術服務的費用進行討論。
三、在國際舒適度評估標準調查及亞熱	感謝委員肯定，並請持續給予指正。

建 議 事 項	說 明
帶國家舒適度研究調查也與原訂目標無差異。	
四、第 33 頁顯示量化成果較原訂計畫指標豐碩，雖然部分工作成果是上年度之研究成果在本年度發表，還是值得肯定。不過整個計畫是以發表論文為重點？或是以能夠協助國內業界使用研究成果為計畫目標？值得進一步思考。	感謝委員肯定，本計畫將研究成果以論文方式發表，有助於增加智居產業標準化研究的能見度，同時亦將積極推廣研究成果，提供國內相關業者與國際接軌，並傳遞可驗證的量測方法。因此在今年計畫中除了建立感測器現場驗證的裝置與流程外，並藉由草案推廣，將量測技術傳遞至業界。
五、室內環境熱舒適度量測方法標準草案已撰寫，後續工作為何？未見著墨。	感謝委員意見，熱舒適度量測方法標準草案已送交智居聯盟討論並獲得支持，未來將藉由聯盟的協助進行草案的推廣，並預計朝向 CNS 標準制訂的方向進行努力。
六、技術報告中，國人熱舒適度調查研究期中報告、期末報告，應是委託案成績，本計畫人員是否有實際參與？	感謝委員意見，關於此調查研究，主要是我方進行規劃，而執行部分則是藉由學校教授的協助進行，同時資料的整理與量測結果的分析則是一起進行討論。
C 委員：	
一、該計畫以建構智慧居住產業整合介面示範案例為研究基礎，藉由標準的量測與檢測方法的建立，進行音環境舒適性能相關物理量化參數指標的確認與依據，協助發展一套可驗證的音環境舒適度性能量測方法。	感謝委員肯定，並請持續給予指正。
二、對於熱舒適實驗雖然皆要求穿著短袖 T shirt 及牛仔褲，但衣服熱阻如何統一與定義，請說明。此外，該實驗為固定受試者的數目，但對於不同人數處在相同空間環境下，實驗結果是否有影響，請比較說明。	感謝委員意見，關於衣服熱阻部分，在 ISO 9920 對於各種衣著量有相當詳細的定義，而在本計畫的熱舒適實驗時，針對衣著量部分，則盡量控制在 $clo=0.5$ 的狀況下。另外關於實驗人數部分，該實驗著重在不同環境溫

建 議 事 項	說 明
	濕度條件下對人的影響程度，而人數的影響相較環境的影響，則較輕微。
三、該計畫內容中檢測儀器之追溯體系不明，而量測儀器的適用性與精確度也無相關單位確認，請提出具體說明。	感謝委員意見，感測器目前國內並無所謂的追溯體系，只有量測儀器有完整的校正追溯體系。另外本計畫使用之量測儀器均已經過國家實驗室的校正，因此藉由感測器與標準件的比對達成標準的追溯。關於量測儀器的適用性，則是參考待比較之感測器規格後，選取更為精準的量測儀器進行研究。
四、本年度所建立的感測器現場驗證比對方法，經實驗後如何實際用於現場使用，或是如何普及至一般居住環境，請補充說明。	感謝委員意見，關於感測器現場驗證的應用，目前著重在簡單可用的現場驗證工具開發與分析技術建立，目的便是希望能實際用於現場，同時今年也已規劃前往實際建築物內進行量測研究並完成技術可行性的驗證。
五、本年度成果未見國際性的論文發表，僅為國內期刊與研討會論文，對於比照國際先進技術或提身國內技術能力尚有加強空間	感謝委員意見，本年度已於『The 4th Asian Conference on Refrigeration and Air-conditioning』國際研討會發表論文，除了進行技術交流外，也蒐集國際目前研究趨勢，對計畫執行有一定之助益。同時目前已規劃投稿建築領域相關期刊，如 Building and Environment 等等。
D 委員：	
一、計畫書所載之熱流場模擬，若在室內有人及電器產品如電視、冰箱等會產生熱之情況下該電腦 CFD 模擬結果與實際量測是否有差異性。	感謝委員建議，目前針對室內環境的模擬已把熱源估計在模型當中，例如在美國冷凍空調協會所提供的辦公室環境空間的計算案例中，就已考慮日光燈與電腦熱源的情況，因此在實際進行電腦模擬前，均已進行過相關的驗證。
二、請說明本計畫專利申請之技術內	感謝委員意見，目前專利申請的內

建 議 事 項	說 明
容，及該專利是否有技術移轉或授權之價值。	容，主要是著重在熱流情境的智慧整合控制方法，主要是藉由熱舒適的模型達成自動化的控制，目前由於相當多的廠商著重在舒適環境的控制，如中華電信，因此該廠商將是未來可以進行技術移轉或是授權的對象。
三、本計畫之人力為 2.33 人年，惟計畫成果中之論文及報告之作者人數相當多，請說明其差異為何。	感謝委員意見，本計畫礙於經費資源，僅規劃 2.48 人年投入計畫。計畫研究同仁無法全時參與(1 人年)，僅部份時間參與本計畫執行，因此會有多人參與計畫之錯覺，實際計畫執行人力為 2.63 人年。
E 委員：	
一、有關人力運用問題與建議。(有關 p.7 所述之人力配置表示方式是否可以調整，因目前僅呈現計畫主持人及協同計畫主持人姓名，但預計人年與實際人年卻是呈現全部人力，較無法對應，呈現方式是否可以稍加調整？)	感謝委員意見，此表格為統一制式格式，將再與主管機關討論調整之。而關於計畫執行人力部分，已於簽約計畫書中表達。
二、有關計畫內容問題與建議 1. 報告書 p.18 實際執行內容，倒數第 3 行至 p.19 第 5 行，所陳述之內容似乎與實際情況稍有出入，如新版智慧建築評估指標草案，目前仍持續進行修正中，且草案並未定案；而建築類型亦不只為兩類，健康舒適部分似乎亦無明確要求考量溫濕度及二氧化碳感測器之測點佈置。 2. 報告書 p.24 實際執行內容，第 18 行，完成熱舒適度量測標準方法草案研擬，將提至智居聯盟。此部分草案完成為何是提交至智居聯盟？而非標檢局？其用意為何？	1.感謝委員意見，由於目前標章內容僅公布草案且持續在進行修訂，因此這部分的內容主要是與參與智慧建築標章健康舒適指標修訂人員的初步討論結果。由於目前該指標內容主要是強調感測器的裝置與系統連動，而感測器位置，則是在感測器裝置的同時所會一併考量的地方。 2.感謝委員意見，標準草案之研提程序，一般會先經過相關聯盟進行溝通討論一致同意後，才會再向標檢局提出 CNS 標準的申請。

建 議 事 項	說 明
3. 報告書 p.34, 1.熱舒適相關量測參數之感測器規格調查, 其調查對象僅為 3 處之裝設產品是否稍嫌不足, 且目前表 1~4 所列之內容, 似乎與感測器原來規格型錄上呈現之資訊差不多, 且現場實證亦非全部, 也僅有 2 處, 是否符合計畫需求?	3.感謝委員意見, 由於建築空間內之感測器種類繁多, 為與整體計畫研究方向一致, 因此針對感測器規格調查部分, 主要針對目前申請智慧建築標章健康舒適指標的智慧建築為主, 而目前全國也僅為文中所提之兩家。而感測器部分則主要針對室內熱舒適的相關量測參數(包含溫度、濕度與二氧化碳感測器), 此部分的調查則決定感測器現場驗證與誤差評估所需使用之儀器規格。現場實證部分, 由於研究時程的考量, 當初計畫書的規劃便以展示中心為主, 而計畫執行的同時, 因考量更接近真實建築環境, 因此增加生產力建設的現場實證研究, 以使研究結果更為完整。
4. 報告書 p.53, 表 10、溫濕度感測器避免安裝位置, 報告書 p.54, 表 12、二氧化碳感測器避免安裝位置, 此 2 表之內容來源依據為何? 建議補充說明	4.感謝委員意見, 該內容主要是綜整各廠家感測器的安裝注意事項, 包括 Honeywell, AIRWIN 等等, 以及論文內容, 而論文部分已列於參考文獻裡面。
5. 另前述表 10 其與 p.68 之表 15、p.79 之表 17 項目所呈現之項目數、用語及敘述方式似乎均有所差異, 建議應加以說明?	5.感謝委員建議, 相關內容將會進行修正, 使內容能前後統一。
6. 報告書 p.60, 4.感測器佈點位置實地評估部分, 兩個案例之個別空間流場模擬, 為何案例一客廳及廚房並未提出感測器適合安裝位置表, 僅主臥房有提出建議, 如表 15、16; 案例二亦然, 僅有會議室提出建議, 如表 17、18, 建議應同時提出建議, 以利已裝設者調整	6. 感謝委員意見, 針對電腦模擬的對象, 主要是針對該環境下較為重要的案例(如會議室或主臥室)進行探討。至於其它部分, 例如展示空間, 由於該區域主要為開放參觀空間型式, 室內感測器已裝設完成, 因此目前僅就安裝位置提出建議;至於生產力建設的客廳與廚房, 目前已完成電

建 議 事 項	說 明
修正或未裝設者需進行裝設時之參考。 7. 熱舒適相關量測比對流程應提出全套考量之流程, 例如報告書 p.39 之流程僅為針對感測器本身之驗證; 建議可提出針對以考量裝設感測器之建築環境進行檢測之全套詳細流程。例如比對標準件的選定, 應先評估感測器佈點位置、安裝高度等, 再進行感測器之現場驗證與誤差評估, 因先進行篩選裝置位置不正確之感測器, 可瞭解若與計畫所提避免裝設位置相同時, 代表其數據相對較不正確; 至現場驗證似乎僅能針對感測器之器差、正常運作與否進行比對, 對所產生之數據於建築環境舒適度及相關系統調控之幫助似無正面功能。 8. 報告書 p.97 之國人熱舒適度調查, 調查假設為夏季, 未來建議後續研究應可納入其他 3 個季節之實驗, 所得數據應能更符合國內環境, 若經費時間允許, 亦可再針對國內不同地區之環境條件進行研究實驗。 9. 報告書 p.120, 室內環境熱舒適度量測方法草案之參考文獻是否僅所列內容? 還是有包括 p.81~89 所列之國際標準, 若有建議亦應一併納入。 10. 報告書 p.122 結論與建議部分, 建議可整理出經研究建立之完整熱舒適度標準量測操作流程, 以及提出完整之量測作業操作手冊, 以提	腦模擬, 未來將把結果與廠商討論, 以決定進行後續分析的必要性。 7. 感謝委員意見, 此部分確實可與感測器位置評估之研究相結合, 因此本計畫在進行比對之時, 已同時記錄感測器佈點位置進行初步篩選, 同時記錄現場環境邊界條件(出風口風速、風溫及壁面溫度), 作為電腦模擬模型建置與感測器佈點位置的評估。 8. 感謝委員意見, 目前已完成量測設備與評估流程的建立, 後續將在經費與時間許可的條件之下進行考量 9. 感謝委員意見, 目前該草案的參考文獻主要如草案內容所列, 而 p.81 至 89 則只作為參考, 並無直接相關 10. 感謝委員意見, 目前關於熱環境的量測方法, 包含量測位置、量測高度、量測週期、量測注意事項、現場調查與長期評估方法, 均已補充至量

建 議 事 項	說 明
供相關人員進行量測作業或實證時之參考。 11. 本研究兩個驗證案例中, 在進行模型建立及電腦模擬時, 部分係用假設條件, 並非實際使用情形, 因此在得出數值時, 其正確適用性會有出入, 如 p.61 客廳、休息區、廚房等, 亦未加以考量假設使用人數; 而 p.70 展示中心會議室假設室內為 6 人使用, 但其會議室實際係可容納 20 人以上, 因此建議未來進行研擬相關案件時, 其假設數值應更貼近實際現場使用情形得出之數值將會較佳。 12. 本研究所提檢測標準及草案內容, 建議未來應考量以真人模擬及找尋真正實際使用環境空間進行檢測, 再提供作為實際檢測之參考依循。	測方法標準草案內, 未來並將以此內容進行推廣。 11. 感謝委員意見, 兩個驗證案例中, 其邊界條件的設定都為當時現場量測的結果, 以提供電腦模擬的使用。而人員部分, 因狀況較為複雜(包含人數、位置、狀態等等), 因此目前僅以 6 人以及 3 個不同的位置進行評估, 而人數以及位置均可以視需要進行細部的考量。 12. 感謝委員意見, 關於草案部分, 主要著重在量測方法部分, 在量測的同時, 將針對環境狀況進行記錄。而一般在進行熱環境的研究時, 均會同時進行問卷的調查, 以作為量測結果的參考, 因此藉由此標準量測方法與現場調查結果, 將可有效的分析現場的熱環境與舒適程度。
三、有關報告書格式與撰寫誤繕問題與建議 1. 報告書 p.5, 第 9 行...PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied))_之後少了一個右刮號。 2. 報告書 p.14 實際執行內容, 第 4 行之應為 2.。 3. 報告書 p.18 實際執行內容, 倒數第 10 行, 完成台中似水年華智慧住宅內的 CFD 模擬, ..., 台中似水年華與全文中多次出現之台中生產力建設的智慧建築, 是否為同一案例, 若	感謝委員指正, 相關內容將於第二版修正完畢。

建 議 事 項	說 明
是，建議全文此案例名稱，應以一致之名稱呈現表示，以免造成誤認。 4. 報告書 p.21 實際執行內容，倒數第 3 行，應為 29°C。 5. 報告書 p.35，表 1 溫濕度感測器，其中最右邊一欄生產力建設部分，生產商與型號及溫度範圍（°C）之表格格式內容有遺漏，請加以調整修正。）	
F 委員	
1. 熱舒適相關量測參數之感測器規格調查，國際熱舒適度評估標準及進行量測標準方法之草案等研究，目標達成符合本年度計劃需求。但未來應以整合國際及亞熱帶地區方法論成為本土化標準，彙整國內標準成果。	感謝委員肯定、支持與建議，計畫研擬量測標準方法開發，皆參考國際相關規範，再調和國內實際狀況修正，以符合國內需求。
2. 計劃人力、配置及經費運用無差異，進度與計劃符合。	感謝委員肯定，並請持續給予指正。
3. 熱舒適度量測標準之草案研究，已有相關國際熱舒適度評估研究標準。亞熱帶國家與國人標準研究，應將差異性分析詳列研究報告，供執行者工程人員參考，避免量測準確度及誤差，彙整 SOP 作業程序。	感謝委員意見，為提出量測方法標準草案，於今年規劃亞熱帶國家與國人熱舒適度調查，但由於時程的關係，無法進行大規模的人因實驗，但由目前初步的研究成果已發現與國外的差異性，未來經費許可將進行更多人次的研究，並與其它國家的研究成果進行較為完整的比對。
4. 對於二氧化碳感測器適當安裝位置，若能兼顧節能減碳氣密建築，其空氣清淨機內裝置 CO ₂ 感測器當最佳點，人稱之低碳建築（或稱綠建築）應列為 21 世紀考慮新建築結構量測注意事項。	感謝委員意見，由於目前感測器的位置均裝設於室內空間，因此不管是控制系統廠商或是建築業者均有相關的疑問與需求，因此規劃此感測器位置的研究，而委員意見所提意見也將做為未來規劃的參考。
5. 全程計劃符合，擬請上列事項列為後續研究計劃參考。	感謝委員寶貴建議，後續研究將會謹慎考量之。
G 委員	

建 議 事 項	說 明
本計畫為4年期的第2年計畫，本年度重點工作是以度量衡為出發點，參考國外標準並完成「室內環境熱舒適度量測方法」標準草案，本草案係參考CNS 標準之架構撰寫，未來除可提交至智居聯盟，作為產業界實際應用於室內熱流環境的量測與評估時的參考依據外，後續是否考量推展制定為CNS 標準？	感謝委員意見，此「室內環境熱舒適度量測方法」標準草案將朝向 CNS 標準的方向進行推廣，以發揮最大效益。

附件十一

98 年度「居住空間舒適性檢測標準整合與開發計畫」期末查證暨驗收會議紀錄

一、時間：98 年 12 月 29 日（星期二）上午 10 時整

二、地點：財團法人工業技術研究院量測技術發展中心

三、主持人：許副組長景行

記錄：王藜樺

四、出席人員：（敬稱略）

洪委員祖昌（請假）、蘇委員青森（請假）、陳委員建人、董委員必正（請假）、鄭委員晃忠、何委員明錦（請假）、鄭委員政利（請假）、薛委員昭信（請假）、陳委員輝俊（請假）、洪委員權耀

工業技術研究院量測技術發展中心：段家瑞、林增耀、彭國勝、闕慶沂、
范雲龍、李祿唐、楊正財、邱鳳玉、李信宏、陳建源蔡昆志、
涂聰賢、簡淑華

本局秘書室：（請假）

本局會計室：江成猷

本局政風室：丁郡楷

本局第四組：許景行、王藜樺

五、計畫簡報與委員書面審查意見說明：（詳簡報資料）

六、結論：

- 一、本計畫執行成果符合預定目標，同意驗收。
- 二、請參酌委員書面審查建議事項（詳如附件）修改 98 年執行報告及改進辦理。
- 三、國人熱舒適研究調查問卷之設計需審慎考量各參數間是否有關聯性，並需清楚定義各參數之意義。
- 四、國人熱舒適研究調查結果建議可與國外類似研究相比較。
- 五、建議將節能指標納入計畫執行並綜合探討，風速與溫度該如何匹配調和，以達舒適與節能之功效。
- 六、Wireless 已有相關規範與標準，舒適量測儀器之無線模組需注意其規格是否符合。

七、 熱舒適度量測標準方法之草案已完成，後續推廣請持續跟催，以發揮最大效益。

八、 熱舒適的研究可應用在室內空調位置的評估，可提供民眾在購買或是裝潢新屋時之參考。

七、散會：中午 12 時 40 分

期 末 查 證 暨 驗 收 會 議 記 錄

計畫名稱：「居住空間舒適性檢測標準整合與開發計畫」(2/4)

時間：98.12.29(週二) 上午 10 時

地點：財團法人工業技術研究院量測技術發展中心 223 會議室

建 議 事 項	說 明
一、本計畫執行成果符合預定目標，同意驗收。	感謝委員的肯定，未來仍將繼續努力。
二、請參酌委員書面審查建議事項（詳如附件）改進辦理。	感謝委員提供審查之建議，將遵照並作為未來計畫執行的參考。
三、國人熱舒適研究調查問卷之設計需審慎考量各參數間是否有關聯性，並需清楚定義各參數之意義。	感謝委員意見，此國人熱舒適調查研究之問卷設計與各參數的定義均於國人熱舒適調查技術報告中進行詳細說明(附件八)，同時此一問卷乃是參考國際熱舒適研究目前通用之 ASHRAE 55 所提供之參考範本進行設計，而在研究進行時，也進行評估指標的相關性探討與各項參數對基準值的影響分析，以使分析出之結果具有一定的可信度。
四、國人熱舒適研究調查結果，建議可與國外類似研究相比較。	感謝委員建議，在本計畫執行期間已與國外知名研究單位(包括日本 AIST、丹麥 ICIEE 等等)建立起合作關係，同時國人熱舒適的調查研究也已得到初步的成果(附件八)，未來在經費與時程許可下，將進行此國際合作研究的規劃，以得到更大的效益。
五、建議將節能指標納入計畫執行並綜合探討，風速與溫度該如何匹配調和，以達舒適與節能之功效。	感謝委員建議，舒適節能為本計畫中熱舒適研究的目標，同時藉由今年國人熱舒適調查研究已進行 270 人次的人因工程研究，初步建立我國具體可行之各項指標方程式。此種重要之回歸式，可經由空調通風系統連動，達成兼具節能與舒適的效果。未來在經費許可下，將規劃更多人次的實驗與

建 議 事 項	說 明
	節能研究的規劃，以得出更為完整的結果。
六、Wireless已有相關規範與標準，舒適量測儀器之無線模組需注意其規格是否符合。	感謝委員提醒，此量測儀器使用的規格為目前普遍使用之無線傳輸架構並符合相關的規範與標準，同時在應用時主要在於進行現場熱環境的評估，並沒有與建築本體的設備或裝置進行連動，而在經由一系列的實驗後，已驗證此架構適合於現場使用。
七、熱舒適度量測標準方法之草案已完成，後續推廣請持續跟催，以發揮最大效益。	感謝委員提醒，熱舒適度量測方法標準草案已送交智居聯盟討論並獲得支持，未來將藉由聯盟的協助進行草案的推廣，並預計朝向 CNS 標準制訂的方向進行努力。
八、熱舒適的研究可應用在室內空調位置的評估，提供民眾在購買或是裝潢新屋時之參考。	感謝委員建議，關於室內空調位置的評估，本研究團隊已進行相關研究並發表於 ACRA2009 國際研討會，同時將相關成果與合作的建築廠商進行研討，而在計畫執行的同時也已完成夏季與冬季的實驗與模擬，後續將綜整研究成果陸續進行國際期刊的發表。

附件十二

計畫績效評估報告

經濟部標準檢驗局度量衡及認證類委辦科技計畫 績效評估報告

一、基本資料：

- 計畫名稱：居住空間舒適性檢測標準整合與開發計畫(2/4)
- 執行機關(單位)：工業技術研究院量測技術發展中心
- 經費：97 年預算數：12,821,000 元、簽約數：12,670,000 元
98 年預算數：7,579,000 元、簽約數：7,500,000 元

二、評分表：

居住空間舒適性檢測標準整合與開發計畫效評估評分表

評估項目	衡 量 標 準					權數	自評 分數	加權 得分
	100-96 分	95-80 分	79-60 分	59-40 分	39-1 分			
一、共同指標						40%		39.8
1.計畫作為						8%		7.8
(1)計畫目標之挑戰性	目標極具挑戰性。	目標甚具挑戰性。	目標具有挑戰性。	目標略具挑戰性，或與上年度相同。	目標不具挑戰性，或較上年度降低。	4%	98	3.9
(2)年度列管作業計畫具體程度	計畫內容均能具體、量化。	計畫內容大多能具體、量化。	計畫內容部分具體、量化。	計畫內容少部分具體、量化。	計畫內容未能具體、量化。	2%	97	1.9
(3)計畫之變更	核定之整體計畫、分項計畫均未曾修正。	核定之分項計畫曾修正，但未影響整體計畫之完成期限。	核定之分項計畫曾修正，致延長整體計畫之完成期限。	核定之整體計畫曾修正(或分項計畫曾修正二次以上)。	核定之整體計畫修正二次以上。	2%	95	1.9
評分說明	若依政府政策需要或本局要求變更計畫內容，該次修正得不列入績效評估。							
2.計畫執行						8%		8
(1)進度控制情形	依管考週期，年度進度或總累積進度均符合預定進度。	依管考週期，年度進度或總累積進度曾落後在 0%~3% 以內者。	依管考週期，年度進度或總累積進度曾落後在 3%~5% 以內者。	依管考週期，年度進度或總累積進度曾落後在 5%~10% 以內者。	依管考週期，年度進度或總累積進度曾落後超過 10% 者。	4%	100	4
(2)各項查證改善	期中、期末及不定期等各項查證均依期限完成改善並回覆。	期中、期末及不定期等各項查證逾期 10 日以內完成改善並回覆。	期中、期末及不定期等各項查證逾期 10~20 日以內完成改善並回覆。	期中、期末及不定期等各項查證逾期 20~30 日以內完成改善並回覆。	未在前四項衡量基準涵蓋範圍者。	2%	100	2
(3)進度控制結果	年度終了累積進度符合預定進度，且如期完成預期之年度進度。	年終時年度進度落後在 0%~3% 以內者。	年終時年度進度落後在 3%~5% 以內者。	年終時年度進度落後在 5%~10% 以內者。	年終時年度進度落後超過 10% 者。	2%	100	2
3.經費運用						20%		20
(1)預算控制情形	預算執行嚴格控制，並有效節餘經費，依管考週期，	預算執行嚴格控制，並有效節餘經費，依管考週期，	預算執行嚴格控制，並有效節餘經費，依管考週期，	預算執行嚴格控制，並有效節餘經費，依管考週期，	預算執行嚴格控制，並有效節餘經費，依管考週期，	20%	100	20

評估項目	衡 量 標 準					權數	自評 分數	加權 得分
	100-96 分	95-80 分	79-60 分	59-40 分	39-1 分			
	年度經費支用比在 97%~100%之間。	年度經費支用比在 97%~93%以內者。	年度經費支用比在 93%~88%以內者。	年度經費支用比在 88%~80%以內者。	年度經費支用比在 80%以下者。			
(2)資本支出預算控制結果	依年終資本支出預算執行率給分。					0%		
4.行政作業						4%		4
(1)各項計畫書及契約書	均能依限完成；且未有退件修訂者。	逾期 5 日以下完成者；或曾退件修訂 1 次。	逾期 5~10 日以下完成者；或曾退件修訂 2 次。	逾期 10~15 日以下完成者；或曾退件修訂 3 次。	逾期超過 15 日完成者；或曾退件修訂超過 3 次。	1%	100	1
評分說明	1.若依政府政策需要或本局要求變更各項計畫書及契約書內容，該次修正得不列入績效評估。 2.本項退件修訂係指本局正式函文通知者。							
(2)進度報表	各項進度報表依格式詳實填寫，且如期填送。	各項進度報表依格式詳實填寫，且填送平均逾期 3 日以下者。	各項進度報表尚能依格式詳實填寫，且填送平均逾期 3~5 日以下者。	各項進度報表依格式填寫，且填送平均逾期 5~7 日以下者。	未在前四項衡量基準涵蓋範圍者。	1%	100	1
(3)配合度	均能完全配合提供主管機關有關計畫之要求，且如期提供必要之資料或協助。	大多能完全配合提供主管機關有關計畫之要求，且平均逾期 3 日以下提供必要之資料或協助。	大多能完全配合提供主管機關有關計畫之要求，且平均逾期 3~5 日以下提供必要之資料或協助。	部分能完全配合提供主管機關有關計畫之要求，且平均逾期 5~7 日以下提供必要之資料或協助。	未在前四項衡量基準涵蓋範圍者。	1%	100	1
(4)各項執行報告	各項執行報告依格式詳實填寫，且如期填送。	各項執行報告依格式詳實填寫，且填送逾期 5 日以下者。	各項執行報告依格式詳實填寫，且填送逾期 5~10 日以下者。	各項執行報告依格式填寫且填送逾期 10~15 日以下者；或雖依格式填寫，但資料不詳實，且填送逾期 10 日以下者。	未在前四項衡量基準涵蓋範圍者。	1%	100	1
二、個別指標						60%		57.8
1.研發成果						20%		19.4
(1)學術成就	期刊、研討會論文及研究報告發表總數達成年度目標以上。	期刊、研討會論文及研究報告發表總數達成年度目標 80%以上。	期刊、研討會論文及研究報告發表總數達成年度目標 60%以上。	期刊、研討會論文及研究報告發表總數達成年度目標 40%以上。	未達成上述目標。	10%	99	9.9
評分說明(佐證)	1.FY98 本年度期刊、論文、研究報告發表共 14 篇(規劃：5 篇)；其中國際性發表總數：1 篇。 2. FY97：期刊、論文、研究報告發表總數：15 篇(規劃：8 篇)；其中國際性發表總數：1 篇。							
(2)專利權核准數、專利權授權(應用)收入及新技術引進項數	專利權核准數、專利權授權(應用)收入及新技術引進項數較年度目標增加 5%以上者。	專利權核准數、專利權授權(應用)收入及新技術引進項數較年度目標相同或增加 0%~5%者。	專利權核准數、專利權授權(應用)收入及新技術引進項數較年度目標減少 0%~15%者。	專利權核准數、專利權授權(應用)收入及新技術引進項數較年度目標減少 15%~30%者。	專利權核准數、專利權授權(應用)收入及新技術引進項數較年度目標減少 30%以上者。	10%	95	9.5
評分說明(佐證)	1.FY98 本年度專利申請 1 件(規劃 1 件數)。 2.FY97 專利申請規劃 0 件數。							
2.技術能力						30%		29.4
(1)環境性能量測之感測器	如期完成並達到或超出預定	達到預定「年度目標」75%以上	達到預定「年度目標」50%以上	達到預定「年度目標」25%以上	達到預定「年度目標」不滿 25%	15%	98	14.7

評估項目	衡 量 標 準					權數	自評 分數	加權 得分
	100-96 分	95-80 分	79-60 分	59-40 分	39-1 分			
溫濕、熱、氣 流 3 項功能驗 證與評估	「年度目標」	者，99-80 分	者，79-60 分	者，59-40 分	者，39-1 分			
評分說明(佐證)	完成環境性能量測之感測器溫濕、熱、氣流 3 項功能驗證與評估							
(2) 建立熱舒適 度量測方法 標準草案研 究一件	如期完成並達 到或超出預定 「年度目標」	達到預定「年度 目標」75%以上 者，99-80 分	達到預定「年度 目標」50%以上 者，79-60 分	達到預定「年度 目標」25%以上 者，59-40 分	達到預定「年度 目標」不滿 25% 者，39-1 分	15%	98	14.7
評分說明(佐證)	完成熱舒適度量測方法標準草案研究一件							
3. 特殊績效	受託機關(單位)經考量各計畫屬性後，「共同指標」及「個別指標」各小 項仍有不足之處，或有特殊之成效、表現、經濟效益、社會效益等非量化 事績，可依實際需要自行訂定合適指標項目或說明，並予評分。					10%	90	9
評分說明 (佐證)	- 本計畫上年度建立之熱流環境量測技術目前已應用至農委會 98 年「導入高 效節能環保概念提升花卉商品品質之研究」之計畫推動。協助推動花卉節能 生產，評估溫室熱流環境以及提供準確性的量測結果作為後續節能改善的參 考依據，並辦理花卉業者及溫室設備業者(商)節能環保之教育訓練課程，培 育高效節能技術人才。 - 舉辦智慧化空間熱舒適量測與標準國際研習會，邀請內政部建研所何明錦所 長探討智慧建築產業發展狀況；文化大學建築系溫琇玲教授解說智慧建築標 章在健康舒適指標目前最新的制訂現況；工研院量測中心李信宏研究員講解 國際熱舒適的相關標準以及室內熱舒適度的量測與評估方法；日本九州大學 大学院藝術工学研究院人間生活系統部門柝原裕教授介紹日本熱舒適研究 的相關發展趨勢，最後則是由中山大學機電系楊冠雄教授講解國內外熱舒適 度的差異性與國人熱舒適的調查結果。參加人數總共為 72 人並包含廠家數 58 家。							
總 分	97.6					100%		

說明：1.個別指標各分項之小項指標權數，請依計畫性質於範圍內自行選定，惟其權數總和須等於該分項之權數。

2.自評分數請評至個位，加權得分請算至小數第一位。