

## 知識物件上傳表

- 一、計畫名稱：公部門用電效率管理計畫（2/4）
- 二、上傳主題：建築動態耗能密度指標之研究
- 三、提報機構：財團法人台灣產業服務基金會
- 四、提報時間：2022年09月08日
- 五、報告內容

與計畫相關	<input checked="" type="checkbox"/> 1. 是 <input type="checkbox"/> 2. 否
國別	<input type="checkbox"/> 1. 國內 <input checked="" type="checkbox"/> 2. 國外
能源業務	<input type="checkbox"/> 1. 能源政策（包含政策工具及碳交易、碳稅等） <input type="checkbox"/> 2. 石油及瓦斯 <input type="checkbox"/> 3. 電力及煤碳（包含電力供應、輸配、煤炭、核能等） <input type="checkbox"/> 4. 新及再生能源 <input checked="" type="checkbox"/> 5. 節約能源（包含工業、住商、運輸等部） <input checked="" type="checkbox"/> 6. 其他
能源領域	<input type="checkbox"/> 1. 能源總體政策與法規 <input type="checkbox"/> 2. 能源安全 <input type="checkbox"/> 3. 能源供需 <input type="checkbox"/> 4. 能源環境 <input type="checkbox"/> 5. 能源價格 <input type="checkbox"/> 6. 能源經濟 <input checked="" type="checkbox"/> 7. 能源科技 <input type="checkbox"/> 8. 能源產業 <input checked="" type="checkbox"/> 9. 能源措施 <input type="checkbox"/> 10. 能源推廣 <input checked="" type="checkbox"/> 11. 能源統計 <input type="checkbox"/> 12. 國際合作
決策知識類別	<input type="checkbox"/> 1. 建言（策略、政策、措施、法規） <input checked="" type="checkbox"/> 2. 評析（先進技術或方法、策略、政策、措施、法規） <input type="checkbox"/> 3. 標竿及統計數據 <input type="checkbox"/> 4. 其他：
重點摘述	<p>政府機關(構)及學校用電效率管理計畫以 EUI 基準作為單位節電目標設定之基準，而各基準係利用統計方法制訂，對於同類組其使用模式及建築空間構成有所不同，在執行節能難易度就有所差異，為彌平差異並探討細微化指標訂定原則，透過動態能源模型分析建立能耗指標，提供建築物空間模擬或場域之能耗，並進一步探討影響辦公大樓耗能的因素與建築結構的能源特性。</p> <p>建築能源模擬主要目的為了解相同建築空間其內部能耗因子對於建築能源指標之影響性，而能耗因子又區分為「建築環境因子」及「人為使用因子」，其中差異在於空間能源使用量的可控性，由於「建築環境因子」主要以地理位置、環境氣候、建築結構、樓層高低、開窗方位等因子構成，屬於不可控因子，故本計畫在探討建築能耗合理性時，將以此因子進行差異分析，並藉由基本模型與實際案例之耗能差異，制定各因子之敏感度係數，作為衡量不同條件之建築空間耗能指標，並藉由相關指標因子律定，做為未來動態評估指標之基礎。</p>
詳細說明	<p><b>一、能源模擬之步驟方法</b></p> <p>本文獻[1]由六個步驟組成：(a) 表徵建築存量、(b) 開發參考建築、(c) 模擬和校準能源模型、(d) 開發回歸基準模型、(e) 分析基準模型的性能、(f) 使用真實案例測試基準測試。</p> <p>在評估各建築物合理能耗指標前，透過相關文獻蒐集建築設計參數、材質、氣象環境、地理方位、高度、及內部各項能耗因子指標，訂定不同類型空間基本能源模型，</p>

此模型將作為後續評估實際建築能耗之基礎指標，並藉由實際建物之能耗及環境因子，逐步調整修訂基礎能源模型，使其符合我國建築樣態耗能標準參考依據。

## 二、開發參考建築

識別出七種不同的形狀。為了包含七種不同形狀的代表性建築，分析了 31 種建築設計，包括建築、電氣和管道圖說。這些建築設計是指不同的形狀，包括十個長方形、五個“E”形、一個“L”形、九個“O”形、一個“U”形、一個“H”形和四個“多建築物”。組裝每個建築形狀的特徵以指導建模過程，例如材料屬性、開窗細節、開窗率以及房間、教室、過道、辦公室、浴室的數量和佈局、廚房和其他空間。如果無法獲得建築形狀的信息，則使用政府建築設計的標準數據。照明功率密度 (LPD)、設備功率密度 (EPD) 和每間房間的製冷能力的信息也是從圖說分析中獲得的。

在模擬模型方面，一些參數是固定的，一些參數是變化的，以提供不同形狀對最終結果的影響的充分比較。仿真模型的固定參數如下表所示，概括起來可以描述為施工性質、運行模式和照明設備功率密度。這些值是根據從圖紙分析中獲得的平均值確定的。

表 1 模擬邊界條件之律定

Parameter	Unit	Value
Wall thermal transmittance	W/m <sup>2</sup> K	2.13
Roof thermal transmittance	W/m <sup>2</sup> K	1.77
Slab thermal transmittance	W/m <sup>2</sup> K	3.3
Glazing thermal transmittance	W/m <sup>2</sup> K	5.7
Glazing Solar Heat Gain Coefficient	–	0.87
Average wall absorptance	–	0.5
Average roof absorptance	–	0.65
Lighting power density in office rooms	W/m <sup>2</sup>	9.43
Lighting power density in library and computer lab	W/m <sup>2</sup>	6.57
Lighting power density in classrooms	W/m <sup>2</sup>	6.57
Lighting power density in aisles	W/m <sup>2</sup>	4.00
Equipment power density in office rooms	W	168
Equipment power density in library	W	50
Equipment power density in computer lab	W	3,000
Equipment power density in classrooms	W	50
Occupancy in office rooms	people	10

Occupancy in library and computer lab	people	18
Occupancy in classrooms	people	25

(資料來源：本研究整理)

此外還考慮了每個場景的四個不同方位，即每個模型面向北、南、東和西。在表徵過程中，注意到一些學校只在圖書館、計算機實驗室和行政室有空調，而其他學校的教室也有空調。事實上，巴西的學校有不同數量的空調房間。因此根據該模式，考慮了兩種條件類型。此外根據 ASHRAE 169 標準，選擇了四個地點進行能源模擬，代表巴西的不同氣候。

在模擬中，空調系統為直接膨脹的冷卻系統，冷卻設定點為 24°C，加熱設定點為 18°C。平均 COP 為 3.6。重要的是要自然通風在巴西很常見。因此為了表示混合模式建築運行的這種情況，能源管理系統(EMS) 用於控制空調打開/關閉或打開/關閉窗戶的操作，以使每個空調房間自然通風。空調選項的標準是室外溫度高於 26°C 和入住率，即房間只有在按照入住時間表入住的情況下才配備空調，以上述條件分析輸出 EUI (kWh/m<sup>2</sup>·year)。

### 三、開發回歸基準模型

模擬結果用於使用最小平方法 (OLS) 方法構建基準模型。該方法使用因果函數通過根據相關特徵開發的多變量回歸方程來確定 EUI。等式(1)描述了採用的通用回歸模型。

$$EUI = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_px_p \quad (1)$$

其中：EUI 為能源使用強度(kWh/m<sup>2</sup>·year)，a 為回歸模型的線性係數，b 為回歸模型“p”的斜率係數，x 為“p”回歸模型中的重要變量。

開發了八種回歸基準模型，一種用於分析的每種不同形狀，另一種將所有形狀一起考慮，稱為“全部”。通過應用一般線性模型使用多元線性回歸模型。回歸模型的因變量（即結果）為 EUI，自變量為空調面積 (x<sub>1</sub>)、製冷度天數 (x<sub>2</sub>) 和學生人數 (x<sub>3</sub>)。這些變量是根據進行的敏感性分析選擇的。考慮確定係數(R<sub>2</sub>)和統計模型的 p 值來評估回歸模型的質量。

### 四、模擬和校準能源模型

根據國際性能測量和驗證協議(IPMVP)的建議，執行了校準步驟。模擬矩形的模擬模型，並將其輸出與與參考建築具有相似總平面圖面積和其他特徵的 31 所學校中的相同形狀建築的實際 EUI 進行比較。考慮到 5% 的最大差異，對占用時間表和占用值進行了細微調整，以將實際 EUI 與模型的預測 EUI 近似。考慮空調房的七個建築形狀、四個城市、四個方向和兩個場景，模擬總數為 224 個參數化案例。在模擬過程之後，進行敏感性分析以評估每個參數對結果的影響。敏感性分析，考慮到一組特定案例的 EUI 方差（例如所有朝北立面案例的方差）與所有案例的 EUI 總方差之間的商，計算了全局變化指數，該分析表明每個變量採用的每個值的重要性，然後，對於單個變量，計算全局變化指數的平均值，以證明該變量採用的不同值是否對總 EUI 產生影響。如果平均全局變異高於 5%，則變量被認為是顯著的。此步驟以條形圖呈現，表示每個案例的平均 EUI、它們的變異指數和它們的平均變異指數。

### 五、分析基準模型的性能

使用交叉驗證步驟來測量創建的每個回歸基準模型中具有不同形狀的案例的擬合。均方根偏差(RMSD)用於量化每個案例的 EUI 與從八個基準模型中的每一個預測

的 EUI 之間的差異。通過等式(2)計算 RMSD。在另一項比較基準模型性能的研究中建議使用該指數。

$$\text{RMSD} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - x'_i)^2}{N}} \quad (2)$$

其中：RMSD 是均方根偏差(kWh/m<sup>2</sup>·year)， $x_i$ 是“i”案例的 EUI(kWh/m<sup>2</sup>·year)， $x'$ 是回歸基準模型預測的 EUI(kWh/m<sup>2</sup>·year)，N 為案例數，即 224。

## 六、分析基準模型的性能

最後，為了比較基準對實際案例的影響，在每個基準模型中分別分析了七座建築物（分析的每個形狀一個）。實際案例來自用於建造參考建築物的 31 座建築物。每個建築物的信息都被插入到所有八個基準回歸中，以預測這些基準方程如何對它們進行分類。下表顯示了用於此步驟的建築物及其相應的數據。

表 2 各建築類別模擬結果

Building name	Building shape	Number of students	Gross floor-plan area (m <sup>2</sup> )	Air-conditioned area (m <sup>2</sup> )	CDD	Actual EUI (kWh/m <sup>2</sup> ·year)
Prof Laercio C. de Andrada	E	913	4,241.3	179.3	2376	14.9
Wanderley Junior	H	1310	4,947.6	79.7	2376	12.4
João Alfredo Rohr	L	358	2,090.0	622.4	2376	12.1
Praia da Gaivota	O	547	1,058.0	54.6	2376	8.5
Adolfo Boving	U	294	1,273.5	66.9	2376	3.9
Almirante Carvalhal	Rectangular	504	2,160.8	540.5	2376	16.9

José Jacinto Cardoso	Multiple buildings	225	2,005.3	436.4	2376	9.6
----------------------	--------------------	-----	---------	-------	------	-----

### 七、回歸基準模型

模擬輸出用於通過使用敏感性分析中確定的相關變量的多元回歸來構建基準模型。表 3 顯示了每個基準模型方程的線性和斜率係數。需要強調的是，變量位置（城市）是根據為該城市註冊的相應冷卻度天數(CDD)來考慮。下表還顯示了每個開發的回歸模型的決定係數(R<sup>2</sup>)和 p 值。

表 3 各建築類別基準模型迴歸係數

Shape	Linear coefficient	Slope coefficient			Coefficient of determination (R <sup>2</sup> )	p-value
		Conditioned area	CDD	Number of students <sup>a</sup>		
All	-5.355385	0.023313	0.004562	0.010546	0.725	2.0 × 10 <sup>-16</sup>
Multiple buildings	-5.715171	0.034898	0.004760	0	0.846	1.7 × 10 <sup>-12</sup>
Rectangular	-2.353484	0.019414	0.004626	0	0.875	5.3 × 10 <sup>-14</sup>
Shape L	-0.85118	0.018831	0.003760	0	0.754	2.7 × 10 <sup>-7</sup>
Shape H	-4.417603	0.018208	0.004549	0	0.885	2.7 × 10 <sup>-13</sup>
Shape E	-3.824597	0.026156	0.004728	0	0.845	1.7 × 10 <sup>-12</sup>
Shape U	-6.557437	0.041705	0.005102	0	0.855	6.5 × 10 <sup>-13</sup>
Shape O	-3.289516	0.026252	0.004410	0	0.839	1.1 × 10 <sup>-12</sup>

每個回歸模型代表一個基準，即對於具有特定空調區域的給定建築物、具有特定 CDD 和特定學生人數的城市，方程預測此類建築物應具有的典型性能。每條線對應一個不同的模型，因此對應一個不同的方程。例如，使用“全部”的等式，位於聖保羅（CDD 等於 2,022）且有 600 名學生的給定建築物的空調面積為 500 m<sup>2</sup>，其預測 EUI 將等於 21.85 kWh/m<sup>2</sup>·year 根據等式(3)。

$$EUI = -5.355385 + (0.023313 * 500) + (0.004562 * 2022) + (0.010546 * 600) \quad (3)$$

$$EUI = 21.85 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{year}.$$

### 八、敏感度分析理論

電能為台灣一般商業大樓之主要消耗能源，而附有空調系統的高層辦公大樓更是電能的主要使用設備，一般約佔 40%~50%之總用電比例[1]。若要了解能源之控管策

略與節能之設計原理，則需進一步探討影響辦公大樓耗能的因素與建築結構的能源特性。由於耗能模擬之電腦程式可以對建築耗能做細部的模擬，所以可藉由電腦模組的計算能力來分析耗能因素對建築耗能的影響。在建築物的熱反應及能源與負載特性的評估中已有很多研究運用了敏感度分析理論[2~8]，敏感度分析的目的是在觀察改變某已知之設計參數對建築耗能的影響程度[2]、[7]。若能知道建築耗能因子對建築耗能的影響程度，則可選擇合適的設計參數和條件以使建築耗能降到最低或最佳化。

### 九、建築模擬之敏感度分析方法

本文獻[9]為了以電腦模擬方法來模組建築物，必須規劃相關的建築物資料以提供給模擬軟體。在模擬的過程中，除了相關的輸入參數外，其餘的輸入參數必須保持不變，因此模擬結果的差異就表示是該輸入參數的變化所造成的差異。其分析步驟為：  
1. 規劃出一個基準模組；2. 設定參數表示式；3. 定義重要的參數並找出其基準模組的值；4. 決定所要探討的模擬結果及其代表之涵意；5. 決定每一個參數的敏感度係數。

能源特性本身是比較籠統且抽象的概念，其所要使用的公式乃依問題的性質而定，這也是建築物設計最佳化的重要步驟之一。在很多能源研究的案例中採用的標準是全年的建築耗能、尖峰冷卻與加熱負載，目的是設計最適當的系統變數使系統耗能可以降到最低。

### 十、基準模組的模組與氣象資料

基準模組的建立的分析中是非常重要的，因為所有以後的計算和分析都是與其作比較。此基準模組的描述是由具有代表性的設計參數與結構的選擇來決定。基準模組的平面圖如圖所示，此為一般典型都市區的高層辦公大樓，空調系統為全水式 FCU+外氣風管系統。除了建築物的描述外，另一個建築模擬的重要因素是外在的氣候。本研究採用台灣本土的氣候資料，匯入軟體的氣候資料夾內，提供模擬分析所需的氣象資料。

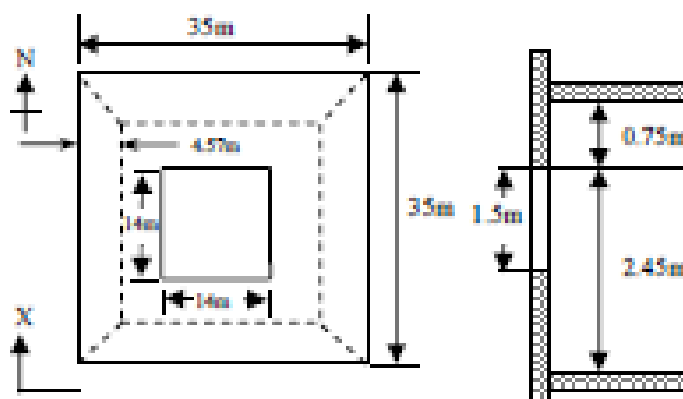


圖 1 建築模擬模組平面示意

### 十一、修正 EUI 之方程式

Energy Star Portfolio Manager 對於不同建築類型，利用統計方法找出不同的營運條件因子，以正規化修正建築 EUI。就辦公建築而言(USEPA,2007)，在 Energy Star Portfolio Manager 中，必須帶入的修正因子包含：總樓地板面積、單位面積電腦數、每週工時、員工密度、暖房度日 × 暖房面積比與冷房度日 × 冷房面積比等 6 項；而

	<p>對於旅館建築(USEPA,2009)，則另採以下 6 項做修正：單位面積房間數、員工密度、是否提供商業備餐、商業冷凍單位(unit)密度(units/1000ft<sup>2</sup>)、暖房度日 × 暖房面積比與冷房度日 × 冷房面積比。透過這些修正，每棟建築皆能與「與其營運條件相同的 EUI 基準」做公平比較。</p> <p><b>十二、結論</b></p> <p>建築能源模擬主要目的為了解相同建築空間其內部能耗因子對於建築能源指標之影響性，而能耗因子又區分為「建築環境因子」及「人為使用因子」，其中差異在於空間能源使用量的可控性，由於「建築環境因子」主要以地理位置、環境氣候、建築結構、樓層高低、開窗方位等因子構成，屬於不可控因子，故本計畫在探討建築能耗合理性時，將以此因子進行差異分析，並藉由基本模型與實際案例之耗能差異，制定各因子之敏感度係數，作為衡量不同條件之教室空間耗能指標。</p> <p>在模擬的過程中，影響建築能耗的參數有許多類型，而在制定能耗模型時無法將全部因子納入考量，故需透過現場訪視蒐集建築空間能源使用資訊，將各項耗能因子對於基礎能源模型的影響性進行分析評估，以掌握哪些參數的影響性是顯著且值得探討的。後續再針對顯著參數制定敏感度係數，藉以評估不同環境條件下建築能耗指標，使建築節能規範制定在合理的範疇中，並導入適切可行之節能措施，以達到提升能源使用效率之目的。</p>
其他資料	<p>資料來源：</p> <p>[1]Matheus Soares Geraldi *, Veronica Martins Gnecco, Antonio Barzan Neto, Barbara ´ Augusta de Mafra Martins, Enedir Ghisi, Michele Fossati, Ana Paula Melo, Roberto Lamberts Evaluating the impact of the shape of school reference buildings on bottom-up energy benchmarking (2021)</p> <p>[2] Joseph C. Lam and Sam C. M. Hui, Sensitivity Analysis of Energy Performance of Oddice Buildings, Building and Environment, Vol. 31, p.27-39(1996)</p> <p>[3]A. K. Athienitis, A computer method for systematic sensitivity analysis of building thermal networks. Building and Environment, Vol. 24, p.163-168(1989).</p> <p>[4]H. Buchberg, Sensitivity of room thermal response to inside radiation exchange and surface conductance, Building Science, Vol. 6, p.133-149(1971).</p> <p>[5]H. Buchberg, Sensitivity of the thermal response of buildings to perturbations in the climate. Building Science 4, p.43-31(1969).</p> <p>[6]PH C.LAM and SAM C. M. HUI, sensitivity Analysis of Energy Performance of Office Buildings.Building and Environment Vol. 31, No. 1. p. 27-39(1996).</p> <p>[7]ammarata, A. Fichera and L. Marletta, Sensitivity analysis for room thermal response. International journal of Energy Research, Vol. 17, p.709-718(1993).</p> <p>[8]J. Lomas and H. Eppel, Sensitivity analysis techniques for building thermal simulation programs. Energy and Buildings, Vol. 19, p21-44(1992).</p> <p>[9]李魁鵬*、陳相輪*、朱錫文，”辦公大樓之耗能因子敏感度分析”，(2007)</p>