



使用者行為對辦公建築節能差異分析

Energy End Analysis Occupant behavior in Office Building

林鴻文^{*}，鄭名山^{*}，洪天真^{**}

^{*} 工業技術研究院 綠能與環境研究所

^{**} Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA

摘要

使用者在建築物內用能的行為決定了建築物整體能耗多寡，此因素也是新舊建築物在評估全年用能量最不容易準確預測的部份。然而，節能減碳為全世界共同追求的重要目標，因此，建築節能設計上除了使用高效率節能設備與綠色材料外，使用者的用能行為也是重要關鍵的一環。本篇主要分析使用者行為的重要性，在同棟建築相鄰的三間同類型、尺寸的個人辦公室，設定7種行為狀況，藉由*EnergyPlus*評估在節儉、標準與浪費三種使用者類型下對建築能源使用的差異。在整合所有行為狀況後，模擬結果顯示的最佳節儉類型使用者與最浪費類型使用者之間的用能差異高達130%。證明建築物能源使用的多寡與使用者行為有密不可分的關係。

1. 簡介

在節能減碳的全球化趨勢下，建築節能議題已成為國際間共同思考的方向與追求的指標。綠建築是指在建築的全壽命周期內，提高建築物所使用資源的效率，其中包含電、水及建築材料，同時期望能減低建築對人體健康與環境的影響。因為如此，建材、日光照明、窗戶、空調系統等建築設備研究成為建築設計的主要項目。

建築模擬軟體為建築師與相關建築技術人員評估建築整體用能相當重要的工具。然而，

運用軟體評估過後建構的建築，在實際量測的建築用能量卻往往高於建構前的模擬用能量。圖1為模擬與實際建築單位用能差異比較[1]。橫軸代表模擬預期的建築能源使用密度(Energy Use Intensity, EUI)，縱軸代表實際建築量測能源使用密度。實際建築能源使用密度若能夠符合模擬設計之規劃，應如圖形中虛線所示，然而實際建築能源使用密度並非如此。如圖1所示。這其中許多原因來自於使用者的行為使然，建築物在規劃時，常忽略建築物使用者的行為模式，普遍對於使用者的用能



習慣過於理想化，實際上每位使用者的用能觀念不同，用能量相對不同，因此產生建築物建構前模擬用能量與建築物建構後實際用能量的差異存在。

Yoshino 以及 Hasegawau 為探討使用者行為對建築物能耗的影響，研究一面積為 153m² 的兩層建築物[2]。其方法分為改變外牆絕緣厚度以及使用者用能模式對整年度能源使用量。研究結果顯示將建築物外牆絕緣強度增加一倍，對熱水與空調使用並沒有明顯改變，全年能耗僅僅減少 0.1%，相反的，當使用者用能習慣改變，反映在熱水使用的能耗減少，空調系統在全年的能源使用量能減少一倍之多，建築物總體用能可減少近一半之使用量。

Daisuke 等學者針對印尼與馬來西亞兩個國家的居民在住宅冷氣溫度設定做了一項統計分析[3]。結果發現這兩個城市僅有 10% 的居民將冷氣溫度設定於 26~28°C。有高達 20% 的印尼居民將冷氣溫度設定於 20°C，其次為 18°C；平均冷氣設定溫度為 21.6°C。馬來西亞有將近 45% 的居民將溫度設定 16~20°C，平均設定溫度為 22°C。在冷熱舒適度調查中發現，印尼居民僅有 8% 認為溫度適中，其餘近 90% 民認

為室內溫度寒冷。馬來西亞同樣有 70% 的居民認為夜晚室內溫度寒冷，僅有 28% 的民眾認為溫度適中。雖然如此，兩國居民還是喜歡將室內溫度設定在其偏好的設定溫度。不同國家文化及氣候型對使用者用能的行為有相當程度的影響。

為了有效量化使用者行為對能耗差異的影響，本文主要針對相同規格尺寸之個人辦公室內，不同使用者類型下全年用能分析。主要將使用者用能量多寡區分為節儉(Austerity)、標準(Standard)、與浪費(Wasteful)三種類型，再依據不同的狀況分析其中的差異，並分析在邁阿密、舊金山、芝加哥三個不同氣候區時，使用者行為對全年用能量的影響。

2. 分析工具

2.1. 建築模型

本文中使用的建築模型為一棟三層樓的矩形建築(圖 2)，總樓板面積為 4,450m²。在二樓南面的空間，規劃 7 間長 5 米、寬 3 米之獨立辦公室與兩間長 5 米、寬 4.5 米之邊間辦公室，如圖 3 所示。獨立辦公室內的窗牆比為 21%，冷氣系統為獨立空調系統，暖器使用天然氣鍋爐。在同面向規劃相同類型辦公室主要目的在於確保每間辦公室在相同人員類型使用下有相同的耗能量。本文主要在於探討不同用

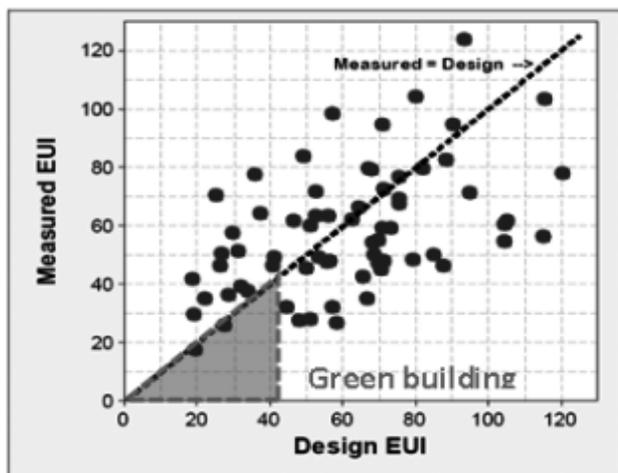


圖 1. 建築物實際用能與設計用能差異比較

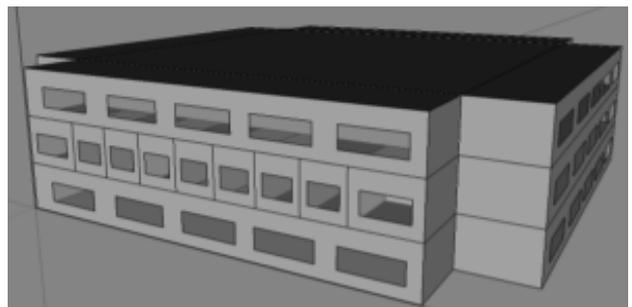


圖 2. 辦公建築模型

能型態的使用者在用能量的差異，因此選定最中間及其相鄰兩邊之獨立辦公室分別置入節儉、標準與浪費三種使用者於辦公室內。

2.2. 氣候條件

氣象數據使用 TMY3(Typical Meteorological Year 3)作為全年分析的氣候依據。此標準氣象數據是從 1991 到 2005 年全國太陽能輻射資料庫(National Solar Radiation Data Base) 檔案的數據集的數據文件。其中以每小

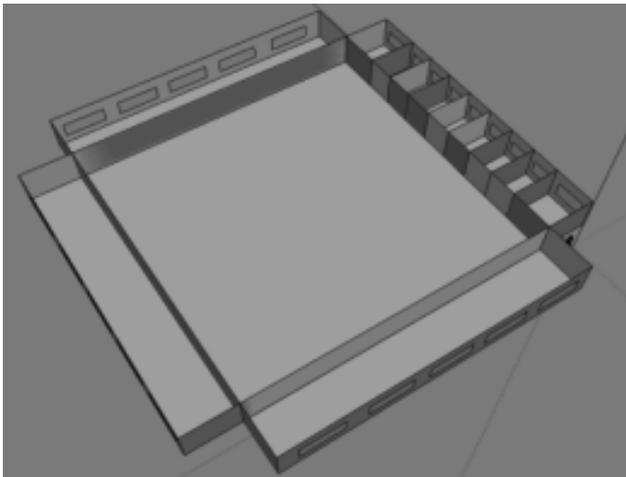


圖3.二樓辦公室配置規劃

時為一個區間間隔，收集太陽輻射及氣象相關元素值組合而成[4]。歷史的氣象數據則是收集從 1980 年到 2009 年之間各氣候區完整的氣象數據分析使用者行為全年用能量。

2.3. 氣候區選定

選定三個氣候區，分別為芝加哥、舊金山以及邁阿密。依據 ASHRAE90.1-2010 的標準[5]，芝加哥屬於濕冷的氣候區(5A)，舊金山屬於溫暖的海洋型氣候區(3C)，邁阿密屬於非常濕熱的氣候區(1A)。三種氣候區在 ASHRAE 氣候區分類及數據詳列於表 1。暖氣度日數(Heating Degree Day, HDD18)是一年中當某天室外日平均溫度低於 18°C 時，將低於 18°C 的度數乘以 1 天，所得出的乘積的累加值。其單位

表1. 氣候區類型定義[5]

氣候區	ASHRAE 氣候區定義	HDD18	CDD10
邁阿密	Very Hot -Humid, 1A	200	9474
舊金山	Warm-Marine, 3C	3016	2883
芝加哥	Cool-Humid, 5A	6176	3251

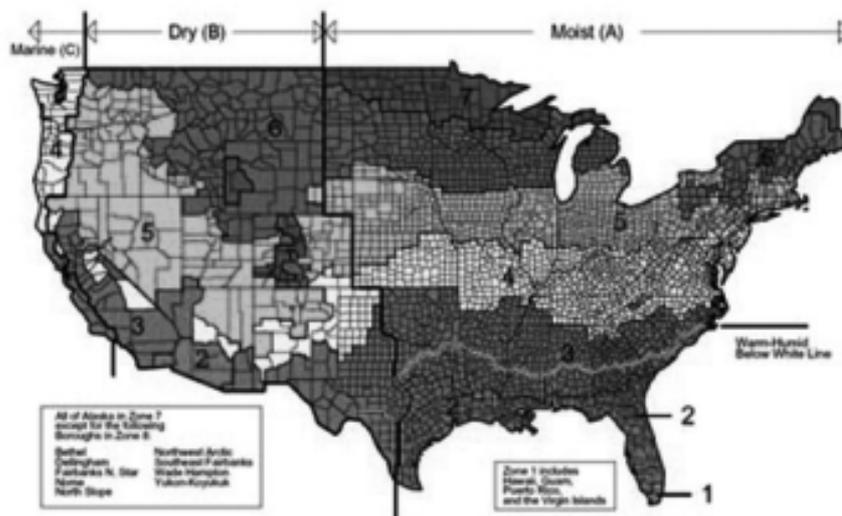


圖4. ASHRAE 氣候區



為 $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ 。HDD18 數值越高，代表暖氣的需求越高。相對的，冷氣度日數(Cooling Degree Day, HDD10)是一年中當某天室外日平均溫度高於 10°C 時，將高於 10°C 的度數乘以1天，所得出的乘積的累加值，CDD10 數值越高，代表冷氣的需求越高。

2.4 模擬引擎

EnergyPlus 為美國能源局委託美國勞倫斯柏克萊國家實驗室於2001年開始主導開發的建築模擬軟體，主要是整合BLAST以及DOE-2兩個既有的建築模擬軟體的架構並結合新的計算功能而成的新一代建築模擬軟體。不同於以往僅能以1小時為最小的時間單位，EnergyPlus的模擬時間間隔最小可以以1分鐘為一個單位。各區域之間熱平衡為其主要的計算架構，演算結果分析數據包含了空間溫度，舒適度，冷熱負載量，HVAC容量，用能量，再生能源，水資源消耗，空氣使用量以及能量費用等。

3. 模擬方法

依據使用者不同的用能行為區分為3種類型，分別為節儉、標準與浪費型。在每一種類型的使用者中設定7種情境狀況，分別為1)冷氣溫度設定；2)暖氣溫度設定；3)空調起停時間設定；4)日照控制；5)舒適度控制；6)節約行為設定與7)冷氣開關排程設定。相關設定值如表2所示。標準類型使用者在相關排程設定依據美國能源部提供之大型辦公建築冷氣、人員、溫度設定之排程作為本研究的排程。在冷氣溫度設定值上，依據標準使用者設定在 24°C 為標準，往上及往下調整兩度成為節儉型與浪費型兩者的冷氣溫度設定值。分別為節儉型設定在 26°C ；浪費型設定在 22°C 。暖氣設定值在節儉型設定為 18°C ，標準型設定在 21°C 、浪費型設定在 23°C 。空調系統運轉時間以標準辦公人員在早上八點上班，下午五點下班作為運轉的起停時間依據。不同類型使用者設定不同

表2.使用者行為狀況參數設定

使用者行為類型	節儉	標準	浪費
冷氣設定溫度($^{\circ}\text{C}$)	26	24	22
暖氣設定溫度($^{\circ}\text{C}$)	18	21	23
空調起停時間設定(冷氣與暖氣)	9:00am - 4:00pm	8:00am - 5:00pm	6:00am - 10:00pm
日照控制	3 段步階調光	無	無
舒適度控制	採用	無	無
節約行為設定	房間無人的形狀下 ● 關照明 ● 設備用電減少30% ● 關空調	依據 DOE 提供之示範建築排程	房間無人的形狀下 ● 不關照明 ● 不減少設備用電 ● 不關空調
冷氣開關排程設定	每日進辦公室後，當室內溫度超過 28°C 才開空調，且維持室內 26°C 直到下班關閉。	同空調運轉時間	同空調運轉時間



的運轉時間。日照控制主要是於辦公室內使用照度計，判斷室內亮度做為調整日光燈照明的依據。日光燈標準設定為 600 流明。在節儉類型中，分為 3 段步階調光控制，以達到節省照明用電量，其餘兩種類型則沒有日光控制選項。隨手關燈的口號與標示常常出現在日常生活中，在節約行為設定上，節儉類型的使用者在離開辦公室時關閉空調與照明，並減少設備用電 30%，浪費型的使用者在離開辦公室時持續使用空調、照明、其所有用電設備。冷氣開關排程設定狀況假設節儉行使用者在上班日進入辦公室後，並不立即打開冷氣，而是當室內溫度超過 28°C 才開啓冷氣，並且持續開啓，維持室內溫度在 26°C 直到下班。標準類型及浪費型使用者冷氣開關排成設定與空調起停時間相同。

舒適度控制法則以 ASHRAE 55 標準為依據，如圖 5。中心虛線方程式為 $T_{ot}=0.31T_o+17.8$ 。其中 T_o 為每月平均戶外溫度， T_{ot} 為室內空調設定溫度。由此關係式，當戶外溫度越高，室內空調設定溫度可相對提高，進而減少空調用電。

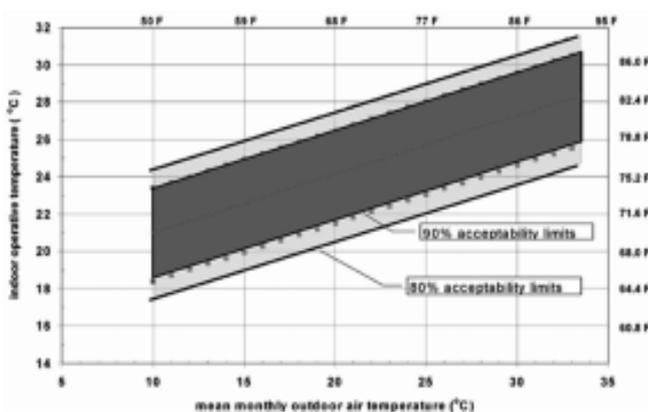


圖 5. 舒適度控制曲線

4. 結果與討論

建築物空調使用的能源分別為電力與天然氣。冷氣系統運用電力，暖氣是由天然氣提供能量。電廠將電能傳送至用戶端時，在傳輸過程中平均耗損三倍；天然氣在傳送過程中較無能量損耗的情形發生，可完全傳送至用戶端。研究中在三個氣候區，舊金山屬於全年氣候涼爽的城市；芝加哥氣候屬於冬冷夏熱，冬季溫度時常在攝氏零度以下；邁阿密地處美國最南端，緯度與台灣相近，全年平均氣候在攝氏 27 度，屬於熱帶海洋性氣候的城市。因此，本文中使用的辦公室全年的能源使用量在邁阿密最高，為 1462MJ/m²，其次為芝加哥的 1314MJ/m²，能源消耗量最低的城市為舊金山為 1048 MJ/m²。

圖 6 到圖 8 為三個氣候區中，三種不同類型的使用者在不同日常用能行為下全年用能量差異分析。水平軸表示用能差異的百分比，以標準類型的使用者為零點基準(0%)，零點左方代表節儉型使用者相對於標準類型使用者在每一設定條件狀況可相對節省能源的百分比；零點右方代表浪費型使用者相對於標準類型使用者在每一設定條件狀況相對增加能源的百分比。

由三個氣候區的分析結果可以發現，日照控制對能源使用的改變相較於其狀況偏少，全年的用能差異大概能減少 2% 至 5%。暖氣溫度設定的改變相對也偏少，原因在於暖氣用的能源是天然氣，從天然氣廠傳輸至用戶端時的傳遞過程中能量無任何耗損，而如同前一段所述，本文中所討論的電能是依據用戶端所需的量在回算到電廠應該產生的總電量，因此產生了電能與天然氣之間三倍的差異。

在舊金山的氣候區中(圖 6)，最節能的狀況是冷氣開關排程設定，當使用者在室內環境

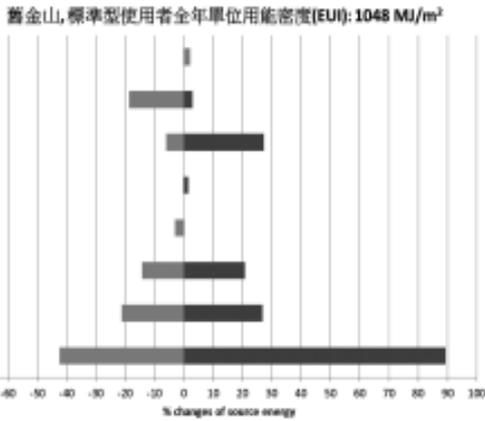


圖 6. 建築物於舊金山之使用者行為對用能差異百分比

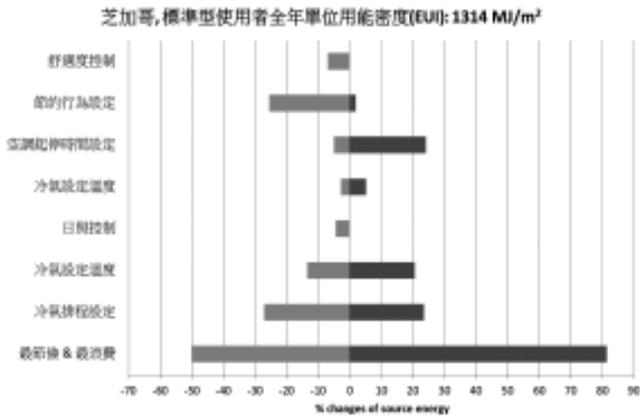


圖 7. 建築物於芝加哥之使用者行為對用能差異百分比

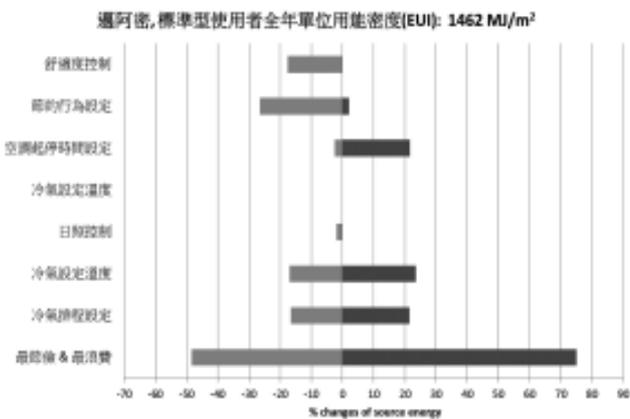


圖 8. 建築物於邁阿密之使用者行為對用能差異百分比

超過 28°C 才開啓冷氣的行為，的確可使得用能量減少 20%。浪費型使用者冷氣的運轉時間比起標準型使用者多出七個小時的運轉時間，整體用能量多出 25% 以上。

芝加哥的氣候區中(圖 7)，節儉型使用者在節約行為設定與冷氣開關排程設定兩項都可相較於標準類型使用者節省約 25% 的用能量。浪費型的使用者最浪費能源的狀況與在舊金山氣候區相同都在空調起停時間，超過標準型使用者之用能量 25%。

節儉型使用者在邁阿密中(圖 8)，以舒適度控制的狀況最能節省能源，大約節省 30%，其次依序為節約行為設定、冷氣開關排程設定與冷氣溫度設定。舒適度控制的節能效益在邁阿密顯現，主要原因為邁阿密的室外溫度高，若以圖 4 的舒適度溫度設定曲線為室內溫度設定依據，在夏季在室內冷氣設定溫度都可高於 26°C。因此，在節約行為設定上，隨手關燈與空調的行為著實讓全年的用能量減少 28%。

最後，整合上述七項各別的單獨用能狀況，包含舒適度控制、冷氣設定溫度、暖氣設定溫度、節約行為設定、日照設定、空調起停時間設定以及冷氣開關排程設定。定義出最節儉型使用者與最浪費型使用者。在芝加哥氣候區中，最節儉類型使用者比起標準類型使用者可節省 50% 的用能量。最浪費類型使用者比起標準類型使用者多使用 82% 的用能量，兩者之間用能的差異達到 130%。在舊金山，最節儉類型使用者比起標準類型使用者可節省 40% 的用能量。最浪費類型使用者比起標準類型使用者多使用近 90% 的用能量，兩者之間用能的差異同樣也達到 130%。此種結果也適用於邁阿密城市，著實可見使用者行為對用能量的多寡影響相當顯著。

5. 結論

相同格局與地理位置相同的辦公室，在不同的使用者進駐後，有者相當程度差異的用能行為。單就改變冷氣溫度的設定下，雖然冷氣設定溫度僅有上下兩度的差異，但是節儉型使用者比起標準類型使用者可節省 10% 以上的用能量而浪費型使用者比起標準使用者可增加 20% 以上的用能量。在整合所有狀況後所顯示的最佳節儉類型使用者與最浪費類型使用者之間的用能差異高達 130%。建築建構時常以平均值計算建築物用能量，以建築物使用的材料設備、水土保持的外在環境判定是否為綠建築的依據，但建築物真正用能的關鍵還是在於使用者本身在能源管理上的習慣。如何在生活教育上建立使用者的用能觀念，才是未來節能減碳的最重要課題。

致謝

本文承蒙經濟部能源局之能源基金計劃所贊助，僅此致謝。作者並感謝美國 Lawrence Berkeley National Laboratory 在此議題研究上提供必要的研究協助。

參考文獻

- [1].C. Turner, M. Frankel, Energy performance of LEED for new construction buildings. New Building Institute, USA, 2008
- [2].Hiroshi Yoshino. Total Energy Use in Buildings - Analysis and Evaluation Methods. Newsletter No.1, IEA ECBCS Annex 53, December 2010
- [3].OKA Daisuke, HOKOI Shuichi, UNO Tomoko. Field Study on Set Temperature of Air Conditioner in Hot-humid Climate - Questionnaire Survey on Use of Air Conditioner during Sleep. Annual meeting of Architectural Institute of Japan. 2010.
- [4].S. Wilcox, W. Marion, User's Manual for TMY3 Data Sets, Report of National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2008.
- [5].ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2010, Energy standard for buildings except low-rise residential buildings, 2010.