

# 美國 Energy Star 建築 EUI 營運因子

## 正規化修正分析技術報告

### 一、前言

一般而言，國內外的建築能源評比最常以「耗能密度(Energy Use Intensity, EUI)」為評比指標，而 EUI 最常見之定義為，建築物之年耗能量除以建築總樓地板面積；各國用以計算 EUI 的建築總耗能量所涵蓋之範圍皆有出入，以美國而言，通常將建築物一年期間所有耗電、耗化石能源皆轉換成一次能源加總計算為「Source EUI， $\text{Btu/ft}^2\cdot\text{yr}$ 」；而在台灣，EUI 的定義則僅計入建築一年的總用電，故台灣 EUI 一般以  $\text{kWh/m}^2\cdot\text{yr}$  做為 EUI 之單位。

而如何比較、評比 EUI 才會公平有效呢？以台灣過去而言，建築 EUI 評比多直接以同類建築各建築案例之原始 EUI 大小，做為建築耗能狀況好壞的判斷依據，或以同類建築 EUI 統計之平均值做為耗能表現好壞的分界，建築個案 EUI 小於平均值則較節能、大於平均值則應改善。這樣評比邏輯對於營運條件都各不相同的建築個案，會造成一定程度的誤判與不公平之處，例如：單純的辦公建築與複合商業機能的辦公建築、常加班的辦公大樓與通常正常上下班辦公大樓、生意極好，自動門整天開不停的商店與門可羅雀的商店、販賣冷凍生鮮商品的超商與沒有冷凍冷藏設備的超商，上述這些例子在兩兩比較之下，其耗能特性都有巨大差異，但是過去卻常被歸為同類建築而以相同的 EUI 基準來評比，顯然有嚴重的不公平與不合理的現象。

建築 EUI 其實是一個受到建築空間類別、建築外殼性能、使用時間、使用方式、種種設備功率與效率、氣候因素等眾多複雜因子，多重變動下的綜合產物。因此，如何有效解析 EUI 數據，使 EUI 比較時能盡量過濾消弭其中無關節能的雜音，讓比較結果能較公平客觀地呈現出建築、設備性能的好壞，將會是建築 EUI 分析評比技術的重要門檻。綜觀全球建築能源評估體系，美國環保署發展的 Energy Star Portfolio Manager，為美國政府單位扶植相當重要的建築耗能評估體系，故以下深入分析其 EUI 先天營運因子正規化修正 EUI 標準值之技術內涵，以探索我國利用建築實際 EUI 評比建築能源效率之可能發展。

## 二、核心精神：建築 EUI 同儕比較

美國 Energy Star Portfolio Manager 是一套用以評估建築實際營運階段耗能表現的系統。該系統以美國 2003 年商業建築耗能普查 (Commercial Building Energy Consumption Survey 2003, CBECS 2003) 資料為其統計基礎，建立 11 類商業建築之 EUI 評比評分系統、EUI 營運條件修正方法及 EUI 分級架構。該系統的中心精神為「同儕比較(Peer Group Comparison)」，「同儕比較」的核心意義在於，建築實際 EUI 會因為一些營運條件(諸如：工時、員工數、電腦數、空調面積比例、氣候冷熱等)而變動；然而，這些營運條件是獨立於建築外殼性能、設備效率、技術之外的不可抗拒、無法透過努力改善而獲得 EUI 減少之因子，但這些因子所造成的耗能變異(增減)確實混在建築實際 EUI 裡。因此，任何一棟建築在做 EUI 評比時，其所面對的比較 EUI 標準值不應是大樣本統計之 EUI 中位數或平均數(因為 EUI 中位數的營運條件不同於每個建築個案)，而應將大樣本統計之 EUI 中位數或平均數做適當的修正，成為近似「營運特性與該建築相當的樣本群 EUI 標準值」，方能有較公平客觀的比較。其做法是透過複雜的統計迴歸分析，建立一個浮動的迴歸修正機制，依照每個建築個案獨特的營運條件，修正建築個案所面對的 EUI 比較基準(EUI 標準值)，使建築個案的實際 EUI 與其面對的 EUI 標準值，能站在同樣的(即建築個案實際的)營運條件下來做 EUI 比較。簡言之，這是一套「調整 EUI 比較基準，而不調整每個建築實際 EUI」的評估方法。

## 三、以營運因子正規化修正 EUI 標準值之評比技術

美國環保署 Energy Star Portfolio Manager 對於建築實際 EUI 的修正技術為「利用先天營運因子正規化(Normalization)修正 EUI 標準值」，此技術利用大量樣本統計檢定後，找出各類建築顯著影響建築 EUI 的先天營運因子，建立複迴歸修正公式，將每一個建築個案所應面對的 EUI 標準值(即 Predicted EUI)根據欲評估建築個案的先天營運條件做對應的正規化修正，其修正公式如下：

$$\text{Predicted EUI} = C_0 + C_1 \times \text{Characteristic}_1 + C_2 \times \text{Characteristic}_2 + C_3 \times \text{Characteristic}_3 + \dots + C_n \times \text{Characteristic}_n \quad (\text{式 1})$$

其中：

Predicted EUI：某類建築正規化修正後的 EUI 標準值

$C_0$ ：某類建築原始 EUI 基準

$C_n$ ：營運因子 n 之迴歸係數

Characteristic<sub>n</sub>：欲評估建築個案之營運特徵因子 n 與標準值之差

上式 1 中，所謂 Predicted EUI，即 Energy Star Portfolio Manager，根據大量建築樣本之統計顯著性及迴歸分析後，認為欲評估建築對象「應有的」耗能表現或 EUI 標準值，同時也可以說是「與建築個案之先天營運條件相當的建築群(Peer Group)之 EUI 中位數(EUI 標準值)」。Predicted EUI 的計算方式為，某類建築所有有效統計樣本之中位數 EUI(C<sub>0</sub>)，連加上「各項先天營運因子參數乘以其對應的迴歸係數」(C<sub>n</sub>×Characteristic<sub>n</sub>)。其中，此項先天營運因子參數(Characteristic<sub>n</sub>)為「建築個案與標準營運因子之數值差」，各標準營運因子訂為該類建築統計調查該因子之中位數，如某類建築標準每週工時為 40，即表示該類建築調查樣本之工時中位數為 40；而若某概類建築個案每週工時為 45，則先天營運因子參數(Characteristic<sub>n</sub>)以 5 輸入。

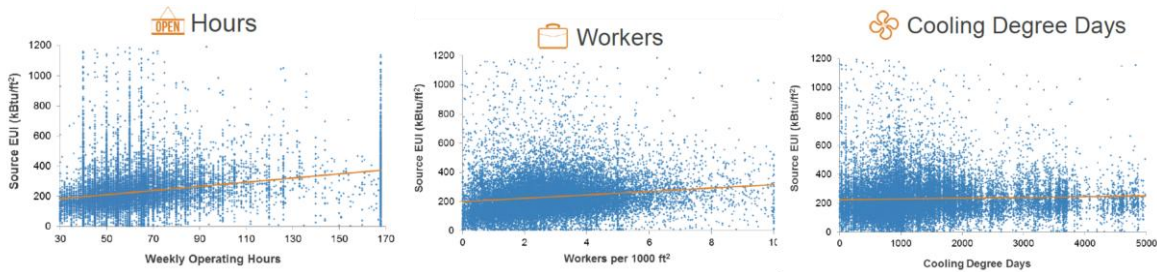


圖 1 Energy Star Data Trends 顯示辦公建築工時、員工數、冷房度日之資料統計趨勢

美國 Energy Star 於其網頁釋出 Energy Use in Office Buildings - Data Trends，其中包含上圖 1 工時、員工密度、冷房度日 3 項因子與 EUI 之大量樣本統計趨勢，說明了利用足量樣本的統計迴歸，即能掌握各因子對於該類建築 EUI 的「平均」影響能力，而用以客觀修正 EUI 標準值，獲得較合理的 EUI 評比。

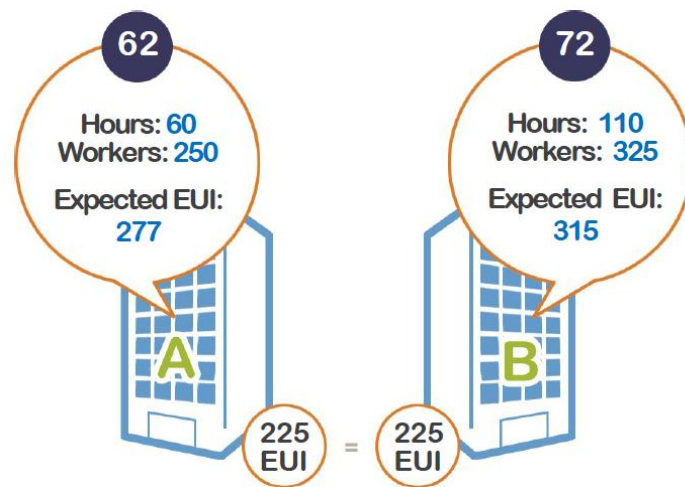


圖 2 Energy Star 建築能效率評分說明示意圖

而在圖 2 中，則進一步以辦公建築為例，說明 Energy Star Portfolio Manager 的評分概念：A、B 兩棟辦公大樓實際 EUI 同為 225，在過去沒有這套評比機制時，通常被視為兩者能源效率相當。然而，調查發現，B 辦公大樓工時長且員工密度也較 A 來的高，因此，經過 Energy Star 的計算邏輯算出 B 辦公大樓所要面對的 EUI 標準值(315) 就會大於 A 辦公大樓所應面對的 EUI 標準值(277)；而最終評分方面，Energy Star 以 100 分為最節能最佳評分，0 分為最差評分，也因此，B 辦公大樓在較嚴苛的先天營運條件(高工時、高員工密度)下，實際 EUI 能與 A 辦公大樓相當，表示 B 辦公大樓節能措施較佳，故 B 辦公大樓評分(72)高於 A 辦公大樓(62)。

#### 四、建築營運模式調查問卷概要

美國環保署 Energy Star Portfolio Manager 之所以能將建築 EUI 針對一些先天營運條件做正規化修正，是因為採用了美國商業建築耗能普查-2003 年版(Commercial Building Energy Consumption Survey 2003, CBECS 2003)之用電普查資料，該普查資料中，包含一份詳盡的建築營運狀況調查問卷，而相關量測調查人員最終統計分析各營運條件與建築 EUI 之關係，方能建立以營運因子正規化修正 EUI 標準值技術，本研究摘要該份問卷之內容如以下 10 項：

- 1.建築尺寸與屋齡- Building Size and Age：建築樓層數、面積、構造別、升降設備、屋齡等項目。
- 2.主要活動(機能)- Principal Building Activity：有關建築主要及次要機能為何，及各機能占有面積比例。
- 3.人員負荷與工時- Occupancy and Operating Hours：詢問建築所有權、人員數、空房率、使用時數、員工等項目。
- 4.能源供給源、終端使用與設備-Energy Sources, End Uses and Equipment：建築能源供源與最終使用量、冷暖房能源供給與設備形式、熱水能源供給與設備形式、烹飪能源供給、其他能源形式供給源與使用比例等項目。
- 5.其他各式設備- Miscellaneous Equipment：本項詢問建築物是否裝設並使用各種特殊設備，如：X 光機、MRI 設備、洗衣設備、洗碗機、冷凍冷藏設備、電腦設備、溫水泳池等，並詢問數量。
- 6.~10.電力、天然氣瓦斯、燃油、區域蒸氣、區域熱水使- Electricity, Natural Gas, Fuel Oil, District Steam, & District Hot Water Usage：此五項詳細詢問建築逐年或逐月之各種能源

使用量，計量方式、該用量所囊括之範圍、燃料費用等細節。

## 五、Energy Star 用以修正建築 EUI 標準值的營運因子

美國環保署 Energy Star Portfolio Manager 在處理分析 CBECS 2003 的調查資料時，首先將可能影響建築 EUI 的種種因子分類為「營運因子」、「技術因子」兩大類。所謂「營運因子」是諸如建築面積、每週工時、人員數、電腦數、收銀機數、冷凍冷藏櫃數量、氣候條件等建築使用者無法透過節能改善而有所改變，卻顯著影響建築 EUI 的因子；而所謂「技術因子」則是如燈具效率、外殼性能、空調效率、特殊節能操作手法等建築使用者可透過節能改善而有所提升的因子。而美國 Energy Star Portfolio Manager 則以「同儕比較」的核心概念出發，只挑選各類建築之「營運因子」進行相關性分析，並以其中顯著影響建築 EUI 的「營運因子」建立其正規化迴歸修正模式，以確保建築個案做 EUI 評比時，能與營運條件相當的 Predicted EUI 相比。以下羅列其中坊間常見的 6 類主要建築類型最終做正規化迴歸修正因子：

### (一)、辦公/金融/銀行/法院建築：

美國 EPA Energy Star 在 2007 年釋出辦公/金融/銀行/法院建築先天營運因子修正 EUI 標準值之技術文件，其辦公建築迴歸模型以 498 個辦公建築樣本進行加權迴歸所建立而成的。美國 EPA 在統計分析後，採用其中 6 項顯著影響建築 EUI 的營運因子，包含：總樓地板面積(取自然對數)、每 1000ft<sup>2</sup> 個人電腦數、每週工時(取自然對數)、每 1000ft<sup>2</sup> 員工數(取自然對數)、暖房度日×暖房面積比、冷房度日×冷房面積比。下表則為最終採用上述 6 個因子所建立的複迴歸模型摘要表，由表 1 可見，此迴歸模型判定係數 R<sup>2</sup> 值偏低，Energy Star 解釋此現象是因為迴歸模型的應變數為 EUI 而非建築總耗能，且聲稱，若以建築總耗能为應變數，此迴歸模型 R<sup>2</sup> 值可達 0.791，屬相當有效之預測模型。

本研究則認為，上述迴歸模型之 R<sup>2</sup> 之所以偏小(0.334)，原因出在選取因子。Energy Star 只針對營運因子做正規化修正，而不將技術因子(如空調效率、照明效率等)取進迴歸分析所致，此現象亦表示，營運因子對於 EUI 變動的影響力約僅有 33%；但從另一個角度來看，本研究由此推估「技術因子」在辦公/金融/銀行/法院建築 EUI 之影響力不小(技術因子對於 EUI 變動可能有近 67%的影響力)，因此，本研究推測辦公類建築施行節能改善應相當容易收效。

表 1 Energy Star 辦公/金融/銀行/法院 EUI 標準值正規化修正迴歸模型摘要表

Final Regression Modeling Results				
Dependent Variable		Source Energy Intensity (kBtu/ft <sup>2</sup> )		
Number of Observations in Analysis		498		
Model R <sup>2</sup> value		0.3344		
Model F Statistic		22.19		
Model Significance (p-level)		0.0000		
	Unstandardized Coefficients	Standard Error	T value	Significance (p-level)
常數	186.6	4.699	39.71	0.0000
樓板面積取自然對數	34.17	5.271	6.484	0.0000
個人電腦密度	17.28	3.645	4.739	0.0000
每週工時取自然對數	55.96	13.53	4.135	0.0000
員工密度取自然對數	10.34	7.304	1.416	0.1575
冷房度日×冷房面積比	0.0077	0.0026	2.962	0.0032
暖房度日×暖房面積比	0.0144	0.0064	2.253	0.0249
銀行樓板面積取自然對數	-64.83	20.25	-3.201	0.0015
銀行每週工時取自然對數	34.20	15.88	2.153	0.0318
銀行是否>5000ft <sup>2</sup>	56.30	15.01	3.751	0.0002

Note:

- The regression is a weighted ordinary least squares regression, weighted by the CBECS variable "ADJWTS".

此外，Energy Star 同時採用員工密度與個人電腦密度為修正因子，在統計意義上恐有不妥之處。一般辦公建築而言，每個員工擁有一台工作用個人電腦是非常正常的現象，個人電腦密度與員工數密度可能有極高的相關性，在迴歸模型同時採用之，可能有共線之問題。此問題亦可從員工密度檢定之顯著值 P 值大於 0.05(表示以 95%的信心水準而言，人員密度對於 EUI 之影響不顯著)略窺一二，但 Energy Star 卻以人員密度與 EUI 有明確的物理關係而強制採用了此項因子，這可能造成此迴歸模型計算之謬誤。

## (二)、旅館建築

美國 EPA Energy Star 在 2009 年釋出旅館建築先天營運因子修正 EUI 標準值之技術文件，其旅館建築迴歸模型以 142 個旅館建築樣本進行加權迴歸所建立而成的。美國 EPA 在統計分析後，採用 6 項顯著影響建築 EUI 的營運因子用以正規化修正旅館 EUI 標準值，包含：每 1000 ft<sup>2</sup> 房間數、每 1000 ft<sup>2</sup> 員工數取自然對數、是否提供商業備餐、每 1000 ft<sup>2</sup> 商業冷凍單位量 (unit, 包含 Walk-in、Open 及 Closed 型)、暖房度日×暖房面積比、冷房度日×冷房面積比。下表 2 則為最終採用上述 6 個因子所建立的複迴歸模型摘要表，由表 5 可見，此迴歸模型判定係數 R<sup>2</sup> 值偏低(0.367)，Energy Star 解釋此現象是因為迴歸模型的應變數為 EUI 而非建築總耗能所造成，且聲稱，若以建築總耗能为應變數，此迴歸模型 R<sup>2</sup> 值可達 0.873，屬相當有效之預測模型。



表 2 Energy Star 旅館建築 EUI 標準值正規化修正迴歸模型摘要表

Final Regression Modeling Results				
Dependent Variable	Source Energy Intensity (kBtu/ft <sup>2</sup> )			
Number of Observations in Analysis	142			
Model R <sup>2</sup> value	0.3669			
Model F Statistic	13.04			
Model Significance (p-level)	0.0000			
	Unstandardized Coefficients	Standard Error	T value	Significance (p-level)
常數	169.1	7.457	22.68	0.0000
房間密度	33.22	9.330	3.560	0.0005
員工密度取自然對數	20.81	10.38	2.004	0.0471
是否提供商業備餐	65.14	18.64	3.494	0.0006
冷凍冷藏設備密度	249.8	147.2	1.697	0.0920
冷房度日×冷房面積比	0.0107	0.0029	3.653	0.0004
暖房度日×暖房面積比	0.0169	0.0085	1.988	0.0488

Note:

- The regression is a weighted ordinary least squares regression, weighted by the CBECS variable "ADJWTS".

同樣的，本研究仍認為上述旅館建築迴歸模型之所以 R<sup>2</sup> 偏低，乃因選取因子(自變數)之問題：此模型並未考量住房率及其他技術因子，故 R<sup>2</sup> 偏低應屬正常狀況。然而，以旅館先天營運條件考量，本研究認為住房率應是影響旅館建築 EUI 的要素之一，國內王佑萱、楊冠雄(2003)之研究亦確認旅館住房率與耗能之關係，此因子之所以未被 Energy Star 列入 EUI 修正因子考量，可能是因為我國、美國旅館營運生態不同、或者 CBECS 調查沒有旅館住房率所致。

### (三)、醫院建築：

美國 EPA Energy Star 在 2011 年釋出醫院建築先天營運因子修正 EUI 標準值之技術文件，其醫院建築迴歸模型以 191 個醫院建築樣本進行加權迴歸所建立而成的。美國 EPA 在統計分析後，採用 4 項顯著影響建築 EUI 的營運因子，用以正規化修正醫院 EUI 標準值，包含：相當全時工作 (Full-time Equivalent) 每 1000ft<sup>2</sup> 員工數、每 1000ft<sup>2</sup> Staffed Bed 數、每 1000ft<sup>2</sup> MRI 設備台數、冷房度日，其迴規模型摘要如表 3 所示。

表 3 Energy Star 醫院建築 EUI 標準值正規化修正迴歸模型摘要表

Final Regression Modeling Results				
Dependent Variable		Source Energy Intensity (kBtu/ft <sup>2</sup> )		
Number of Observations in Analysis		191		
Model R <sup>2</sup> value		0.2235		
Model F Statistic		14.67		
Model Significance (p-level)		0.0000		
	Unstandardized Coefficients	Standard Error	T value	Significance (p-level)
常數	484.8	7.480	64.82	0.0000
相當全工作時段職員密度	26.64	8.625	3.088	0.0023
病床密度	120.3	48.72	2.470	0.0144
MRI機台密度	8961	2989	2.998	0.0031
冷房度日	0.0227	0.0088	2.563	0.0112

Note:

- The regression is a weighted ordinary least squares regression, weighted by the Survey Weights (refer to Survey Weights Section)

醫院建築的迴歸模型 R<sup>2</sup> 值偏低(0.22，同樣地，Energy Star 聲稱，此迴歸式若以建築總耗電量為應變數，則迴歸 R<sup>2</sup> 值可達 0.87)，亦顯示 Energy Star 所採取的 4 項顯著因子對於醫院 EUI 變動之影響程度有限，而就診人數並未顯著影響 EUI 是頗出乎意料的结果。另外，較耐人尋味的是氣候相關因子，由前述辦公/金融/銀行/法院建築及旅館建築吾人可發現，Energy Star 所做的氣候修正通常包含冷房度日與暖房度日，以分別對應夏季、冬季採冷採暖之耗能，夏季愈熱(冷房度日愈高)、冬季愈冷(暖房度日愈高)，則建築 EUI 傾向愈高。然而，在醫院迴歸模型中，卻僅納入冷房度日為顯著因子，不見暖房度日。Energy Star 推測此因醫院設備量偏高，發熱量亦偏高所致。

#### (四)、學校建築：

在美國，學校(K-12 School)係指幼稚園至 12 年級(高中)之學校建築，不包含大學院校。美國 EPA Energy Star 於 2009 年釋出學校建築營運因子修正 EUI 標準值之技術文件，其學校建築迴歸模型以 353 個學校建築樣本進行加權迴歸所建立而成的。在分析學校建築營運因子時，採用 8~11 項顯著影響建築 EUI 的營運因子，用以正規化修正學校 EUI 標準值，包含：總面積(取自然對數)、週末是否營運、每 1000ft<sup>2</sup> 大型冷凍櫃 (walk-in 型) 數量、是否有烹飪耗能、每 1000ft<sup>2</sup> 個人電腦數量、冷房度日(取自然對數)×冷房面積比、暖房度日(取自然對數)×暖房面積比、是否為高中(若是則還有額外的面積與冷房比例與冷房度日修正)。



表 4 Energy Star 學校建築 EUI 標準值正規化修正迴歸模型摘要表

Final Regression Modeling Results				
Dependent Variable		Source Energy Intensity (kBtu/ft <sup>2</sup> )		
Number of Observations in Analysis		353		
Model R <sup>2</sup> value		0.268		
Model F Statistic		11.35		
Model Significance (p-level)		0.000		
	Unstandardized Coefficients	Standard Error	T value	Significance (p-level)
常數	131.9	6.668	19.78	0.0000
是否為高中	4.377	7.922	0.5526	0.5809
暖房度日取自然對數x暖房面積比	8.974	2.582	3.476	0.0005
冷房度日取自然對數x冷房面積比	6.389	1.230	5.193	0.0000
總面積取自然對數	-19.26	4.295	-4.484	0.0000
週末是否營運	18.43	7.488	2.461	0.0143
大型冷凍櫃密度	574.7	150.1	3.830	0.0002
是否有烹飪耗能	24.20	9.416	2.570	0.0106
個人電腦密度	9.568	2.336	4.096	0.0001
高中-總面積	0.00021	0.0001	2.490	0.0133
高中-冷房度日x冷房面積比	0.0285	0.0093	3.071	0.0023
高中-冷房度日取自然對數x冷房面積比	-11.75	3.781	-3.107	0.0020

Note:  
 - The regression is a weighted ordinary least squares regression, weighted by the CBECS variable "ADJWTS".

在 Energy Star 的學校建築迴歸模型中，R<sup>2</sup> 值依然偏小(0.268，同樣地，Energy Star 聲稱，此迴歸式若以建築總耗電量為應變數，則迴歸 R<sup>2</sup> 值可達 0.838)，依然顯示兩種可能：1.技術因子對於學校建築 EUI 變動之影響能力相當大(近 73%)；2.尚有其他關鍵先天營運因子未被納入修正。而在此修正模型中，本研究亦發現美國學校可能的特性：高中學校與其他學校在夏季冷房空調使用之差異較大(較顯著)，也就造成了高中學校建築需要額外增訂冷房修正係數。

此外，從表 4 亦可見，美國一般而言，面積愈大的學校 EUI 愈低(從總面積取自然對數這項因子的迴歸係數為負值可見)，然而，高中學校卻又有學校面積愈大，EUI 愈高之趨勢(從高中-總面積這項因子的迴歸係數為正值可見)，其中變動因素雖難確切猜測，但本研究判定此原因應不脫學校規模與其內部空間機能組成之相對變化有關。

#### (五)、零售店(含零售商店、批發俱樂部及購物中心)建築：

美國 EPA Energy Star 所定義的零售店(Retail Store)包含面積 5000ft<sup>2</sup> 以上，具有對外公共出入口的百貨公司、折扣店、購物中心、批發俱樂部、藥妝店、一元店，生活百貨/五金百貨，服裝/輕工業產品(Hard Line)專賣店等。美國 EPA Energy Star 於 2007 年釋出

零售店建築先天營運因子修正 EUI 標準值之技術文件，其售店建築迴歸模型以 182 個售店建築樣本進行加權迴歸所建立而成的。美國 EPA 在統計分析後，採用 9 項顯著影響建築 EUI 的營運因子，用以正規化修正零售店 EUI 標準值，包含：樓地板面積(取自然對數)、每週營業時數、員工密度、每 1000ft<sup>2</sup> 個人電腦數、每 1000ft<sup>2</sup> 收銀機數、每 1000ft<sup>2</sup> 大型冷凍櫃 (walk-in 型) 台數、每 1000ft<sup>2</sup> 開放型或封閉型一般冷凍櫃台數、冷房度日×冷房面積比、暖房度日×暖房面積比。

美國 EPA Energy Star 的零售店 EUI 標準值修正模型如表 5 所示。此模型與前面 4 類建築 EUI 修正模型不同，其 R<sup>2</sup> 值高達 0.71，顯示以美國零售店而言，營運因子對於建築 EUI 變動的影響力極大，亦暗示，技術因子或節能改善手法對於 EUI 變動的影響力相對偏小。以商業模式而言，來客數多，通常意味著自動門、某些展示性、互動性用電設備及餐飲相關設備使用率隨之偏高，而建築 EUI 亦可能偏高。而在上述模型 9 項顯著因子中，本研究認為，收銀機密度可能為反映來客數的因子之一，零售店設置收銀機密度愈高，應意味著來客密度高，而需要相對多的收銀機以服務客人，故此模型能在不納入來客數為修正因子的狀況下，迴歸獲得高 R<sup>2</sup> 值。

表 5 Energy Star 零售店 EUI 標準值正規化修正迴歸模型摘要表

Final Regression Modeling Results				
Dependent Variable	Source Energy Intensity (kBtu/ft <sup>2</sup> )			
Number of Observations in Analysis	182			
Model R <sup>2</sup> value	0.710			
Model F Statistic	46.74			
Model Significance (p-level)	0.0000			
	Unstandardized Coefficients	Standard Error	T value	Significance (p-level)
常數	153.1	5.685	26.93	0.0000
樓板面積取自然對數	20.19	9.315	2.167	0.0316
每週營運時數	1.373	0.4209	3.263	0.0013
員工密度	61.76	15.54	3.975	0.0001
個人電腦密度	70.60	20.80	3.394	0.0009
收銀機密度	249.1	33.79	7.372	0.0000
Walk-in型冷凍冷藏櫃密度	720.2	379.6	1.897	0.0595
商業冷凍冷藏櫃(Open and Closed 型)密度	81.90	44.34	1.847	0.0665
冷房度日×冷房面積比	0.0113	0.0036	4.274	0.0000
暖房度日×暖房面積比	0.0125	0.0073	1.725	0.0863

Note:

- The regression is a weighted ordinary least squares regression, weighted by the CBECS variable "ADJWTS".

#### (六)、超級市場/雜貨店建築：

美國 EPA Energy Star 於 2007 年釋出超級市場/雜貨店建築先天營運因子修正 EUI

標準值之技術文件，其售店建築迴歸模型以 83 個超級市場/雜貨店建築樣本進行加權迴歸所建立而成的。美國 EPA 在統計分析後，採用其中 7 項顯著影響建築 EUI 的營運因子，用以正規化修正超級市場/雜貨店 EUI 標準值，包含：樓地板面積(取自然對數)、每週營業時數(取自然對數)、員工密度(取自然對數)、單位面積大型冷凍櫃 (walk-in 型) 台數、烹飪密度、冷房度日×冷房面積比、暖房度日×暖房面積比。

**表 6 Energy Star 超級市場/雜貨店 EUI 標準值正規化修正迴歸模型摘要表**

Final Regression Modeling Results				
Dependent Variable	Source Energy			
Number of Observations in Analysis	83			
Model R <sup>2</sup> value	0.5136			
Model F Statistic	11.31			
Model Significance (p-level)	0.000			
	Unstandardized Coefficients	Standard Error	T value	Significance (p-level)
常數	581.1	19.83	29.31	.0000
員工密度取自然對數	115.6	37.77	3.061	.0031
每週營運時數取自然對數	125.8	79.72	1.578	.1187
樓地板面積取自然對數	84.97	29.04	2.926	.0045
Walk-in型冷凍冷藏櫃密度	794.4	167.1	4.755	.0000
烹飪密度	902.8	647.6	1.394	.1674
冷房度日×冷房面積比	.0326	.0119	2.739	.0077
暖房度日×暖房面積比	.0947	.0313	3.028	.0034

美國 EPA Energy Star 的超級市場/雜貨店建築 EUI 標準值修正模型 R<sup>2</sup> 為 0.51，差於零售店模型。此模型同時納入 CBECS1999 與 2003 的調查樣本，而其中，部份在零售店建築顯著影響 EUI 的因子，如收銀機、個人電腦數，在營運方式接近的超級市場/雜貨店並未顯著影響 EUI 變動，推測可能跟超級市場/雜貨店之商業規模較小有關。

根據上述 6 類建築 EUI 正規化營運修正因子中，本研究歸納出美國 Energy Star Portfolio Manager 對於 EUI 的修正有幾項特色：

**(一) 各類建築迴歸模型 R<sup>2</sup> 值多偏低：**

上述六類建築正規化修正模型除了零售店以外，R<sup>2</sup> 值多偏低。而 Energy Star 技術文件中，多次以「建築面積顯著影響建築總耗能」為理由，解釋各修正模型 R<sup>2</sup> 偏低之問題，並聲稱若改以建築總耗能為應變數，則 R<sup>2</sup> 值很高，修正迴歸式之預測性、代表性將會極佳。然而，以本研究看來，此實為文不對題之解釋，既然以 EUI 為應變數，則應試圖解釋 EUI 之問題，而非離題以建築總耗能搪塞說明。Energy Star 多類建築 EUI 標準值正規化修正模型之 R<sup>2</sup> 值之所以偏低，應歸就於以下三個原因：

1. 未考量技術因子(如：建築外殼良窳、空調照明設備效率、空調照明設備容量等因子)

對於 EUI 變動之影響力。

2. 先天營運因子考量並不週全，並沒有找到部份較有影響力的營運因子，例如旅館住房率，營業額等因子。
3. 各項因子交互影響瓜分了對 EUI 的影響力，造成大量有影響力的因子在統計迴歸分析上不顯著。

#### **(二)、迴歸修正因子部份採用顯著值大於 0.05 甚至大於 0.1 的不顯著因子：**

一般統計迴歸而言，判定因子顯著與否多以顯著值(P 值)0.05 為準，小於 0.05 視為以 95%信心水準之下顯著(P 值 $<0.05$ ，表示此部份 EUI 變動有小於 5%的機率不是因為此因子變動造成的)，大於 0.05 則視為不顯著，當然，這也視研究者對於統計預測失誤之風險容許度，一般最多容許到 90%信心水準顯著(P 值 $<0.1$ ，表示此部份 EUI 變動有小於 10%的機率不是因為此因子變動造成的)。Energy Star 各類建築因子所採取的迴歸修正因子中，卻常以因子與 EUI 之間物理關係明確，而採用部分不顯著(顯著值 $>0.05$  甚至大於 0.1)因子。

#### **(三)、常利用因子數值取自然對數加強因子與 EUI 間變動趨勢之擬合：**

上述 Energy Star EUI 標準值迴歸修正模型中，常將因子數值取自然對數，以增進因子數值與 EUI 變動趨勢的相似性。

#### **(四)、氣候相關條件修正幾乎為各類建築必要修正項目：**

氣候之差關乎建築空調使用，直接影響建築冷暖房耗能之多寡。美國國土廣闊，橫跨之氣候區眾多，不同地區氣候差異甚大，故勢必要有所修正，以消弭建築先天所在地之氣候差異，方能有公平的建築耗能比較。

#### **(五)、空間規模修正依建築類型而有所差異：**

從美國的能源調查中，不同建築類型常有「規模愈大，EUI 愈大(或小，端看建築類型)之特點」，這其中可能隱藏著該類建築隨著面積規模漸大，建築內部 1 增減了部份空間機能，而造成 EUI 變化。而 Energy Star 這樣的現象為無法「改善」之先天營運條件，故有此修正。而此修正概念之出發點亦與 2015 版台灣綠建築評估手冊中「動態 EUI 指標理論」相近，皆對於建築內部空間機能之面積比例有對應之修正。然而，Energy Star 以統計方式建立的修正機制必須基於各類建築空間 EUI 顯著差異的狀況下，方能有效修正以表現建築先天空間組成造成的 EUI 變動。實際上，各種空使用機能不同的空間，其 EUI 卻不一定有顯著差異，本研究推測這就是 Energy Star 的醫院 EUI 修正模型各項空間面積佔比並未顯著影響 EUI、且上述 6 類建築並非每種建築皆納入面積因子修正的主



因。

#### (六)、員工數、營業時間、生意、營運狀況、使用強度修正：

Energy Star 上述 6 類 EUI 標準值修正迴歸模型中，幾乎都納入每週工時(營業時數)及員工密度之修正，以反映同類建築個案之營運特色。而連鎖店建築類型納入收銀機密度，除了反應建築實際的使用強度外，也可能反映出商業建築的生意狀況；商業建築員工、收銀機多，意味著顧客多，故需要大量的員工與收銀機方能有效服務顧客，故有此修正。

#### (七)、特殊機能、設備量修正：

是否烹飪備餐、單位面積電腦數、醫院單位面積 MRI 數量、冷凍櫃數量等因子修正，顯示建築中若有特殊機能空間、建築中特殊機能空間之面積比例不同、或設備量異常，則應有所對應修正。

## 六、Energy Star Portfolio Manager 的問題

由前述介紹與分析，可以看出 Energy Star Portfolio Manager 希望藉由先天營運條件因子正規化修正，使建築 EUI 評比更公平，其立意極佳。然而，美國學者 Scofield 對於美國環保署 Energy Star Portfolio Manager 這套正規化迴歸修正模型背後的統計理論應用有所質疑，其論點包含：

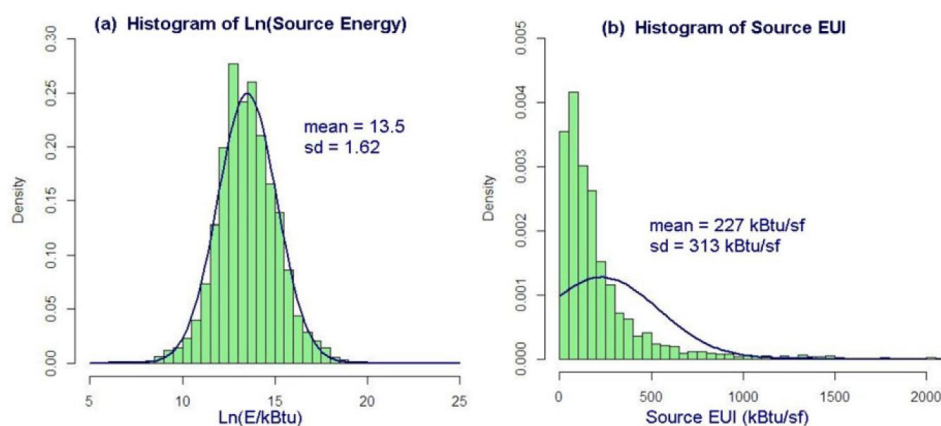


圖 3 (左)CBECs 2003 建築總耗能取自然對數之分佈圖；(右) CBECs 2003 建築 EUI 分佈圖

(一)、建築取樣分佈的問題：Energy Star Portfolio Manager 所採用的 CBECs 2003 之 EUI 樣本分佈狀況並非常態分佈，故不宜用做迴歸分析，如圖 3 所示。

(二)、迴歸判定係數偏低：以先天營運條件因子正規化修正 EUI 之迴歸式判定係數( $R^2$ )

偏低。非常態分佈的 EUI 樣本與低  $R^2$  的迴歸導致迴歸預測 Predicted EUI 之 1 個標準差的信心區間包含負值。

(三)、誤用加權迴歸模式：Scofield 認為正確有加權迴歸應針對誤差小的樣本加重迴歸權重；而 Energy Star Portfolio Manager 卻採 CBECS 2003 中，相似樣本群較多的樣本加重迴歸權重。

(四)、修正因子與 EUI 的物理關係不明確：各先天營運條件因子對於 EUI 的影響僅視統計檢定之顯著性而定，但顯著因子可能僅顯著影響取樣樣本群 EUI，對於同類建築其他樣本沒有影響；而不顯著的因子亦不代表對建築 EUI 完全沒有影響力。

(五)、建議應不分「先天營運條件因子」與「技術因子」，全面納入考量建立修正迴歸式後，再區分「先天營運條件因子」與「技術因子」，並在評比時僅針對「先天營運條件因子」做修正。

而本研究並不認為 Scofield 所提出的質疑與問題完全合宜，例如，本研究認為 Energy Star Portfolio Manager 因其同儕比較之核心精神，僅採統計檢定顯著影響 EUI 的先天營運條件因子來建立正規化修正迴歸模型，在採用因子有限的情況下， $R^2$  值偏低為必然之結果。偏低的  $R^2$  亦表示，其他非不顯著影響 EUI 的先天營運條件因子以及直接不予納入修正的技術因子對於建築 EUI 的變異影響程度極大，並暗示技術因子對於該類建築 EUI 的影響力不小，改善技術因子有機會得到可觀的 EUI 變動。

而在加權迴歸方面，本研究亦不同意 Scofield 的看法。本研究認為，在 Energy Star 的分析中，確實應該依照 CBECS 2003 大樣本數量來決定加全迴歸之權重，使迴歸結果能符合大樣本趨勢。

而綜合考量 Energy Star Portfolio Manager 之評比精神、實施狀況與 Scofield 的論點，本研究提出以下優缺點分析：

**優點：**

1. EUI 同儕比較立意良好，能改善過去建築個案的 EUI 與 EUI 中位數或平均值直接比較之不公平。
2. 評比建築實際耗能與 EUI，操作尚稱簡便，使用者只要輸入耗能單據及部份建築營運條件，即可獲得評分。

**缺點：**

1. 統計取樣、統計分析方法有所失誤。
2. 評分只能說明該建築物的效率是好是壞，並不能告訴評分差的建築業主該如何改善。



3. 統計的侷限性。顯著影響 EUI 的因子可能只對於取樣樣本群有影響，對其他樣本群不見得有影響力；不顯著的因子亦不代表完全沒有影響力。且能帶入多少耗能影響因子進行統計分析檢定全憑建築資訊普查的詳細程度而定。
4. EUI 評分機制背後的統計調查工作量與技術程度皆高，曠日廢時。
5. 無法評估營建中或正常營運未滿一年的建築物。

## 七、結論與建議

- (一)、美國 Energy Star Portfolio Manager 之 EUI 正規化修正技術是一套利用大量數據統計迴歸，確定建築各項營運因子對於建築 EUI 之影響力，用以修正 EUI 標準值的分析技術。
- (二)、利用美國 Energy Star Portfolio Manager 之 EUI 正規化修正技術修正後的 EUI 標準值能與建築個案站在同樣的營運條件來比較建築 EUI，即「同儕比較」。
- (三)、EUI 正規化修正技術所面對的問題及此技術之極限包含：統計方法是否誤用、取樣是否具代表性、分析因子是否選取準確、不顯著的因子之影響力被直接忽略、EUI 評估以後只知道好壞，不知道為何好、為何壞。
- (四)、我國目前難以完成類似 Energy Star Portfolio Manager 的全國性 EUI 正規化修正評比機制主要是欠缺詳細的建築能源基本普查資料，且民眾商家對於研究單位多抱持懷疑心態，常造成普查研究之阻礙。
- (五)、我國若循 Energy Star Portfolio Manager 之模式與技術，應可做到類似的 EUI 評估系統，惟此需動用公權力以強制坊間商家業者配合能源普查，方可取得足量基礎資料，展開後續統計迴歸分析作業。
- (六)、若循 Energy Star Portfolio Manager 之模式與技術，但同時參採營運因子與技術因子進行迴歸分析，則可望建立一套兼顧 EUI 評比與節能改善建議之系統。惟此類普查、統計分析曠日廢時，非一時半刻可有所收效。

## 參考文獻

1. Energy Star "Portfolio Manager Overview," online available at [http://www.energystar.gov/index.cfm?c=evaluate\\_performance.bus\\_portfoliomanager](http://www.energystar.gov/index.cfm?c=evaluate_performance.bus_portfoliomanager)
2. Energy Star "Portfolio Manager Data Trends" online available at <http://www.energystar.gov/buildings/about-us/research-and-reports/portfolio-manager-datatrends>

3. U.S Energy Information Administration " Commercial Buildings Energy Consumption Survey ( CBECS ) " online available at <http://www.eia.gov/consumption/commercial/index.cfm>
4. Leslie Cook, 2014, "Overview of the ENERGY STAR Program and the Portfolio Manager Tool", U.S. EPA, ENERGY STAR
5. US Environmental Protection Agency, 2007, "ENERGY STAR Performance Ratings: Technical Methodology for Office, Bank/Financial Institution, and Courthouse," online available at: [https://www.energystar.gov/ia/business/evaluate\\_performance/office\\_tech\\_desc.pdf](https://www.energystar.gov/ia/business/evaluate_performance/office_tech_desc.pdf)
6. US Environmental Protection Agency, 2009, "ENERGY STAR Performance Ratings: Technical Methodology for Hotel," online available at: [https://www.energystar.gov/ia/business/evaluate\\_performance/hotel\\_tech\\_desc.pdf](https://www.energystar.gov/ia/business/evaluate_performance/hotel_tech_desc.pdf)
7. US Environmental Protection Agency, 2009, "ENERGY STAR Performance Ratings: Technical Methodology for Hospital (General Medical and Surgical)," online available at: [https://www.energystar.gov/ia/business/evaluate\\_performance/hospital\\_tech\\_desc.pdf](https://www.energystar.gov/ia/business/evaluate_performance/hospital_tech_desc.pdf)
8. US Environmental Protection Agency, 2011, "ENERGY STAR Performance Ratings: Technical Methodology for Grocery Store/Supermarket," online available at: [https://www.energystar.gov/ia/business/evaluate\\_performance/supermarket\\_tech\\_desc.pdf](https://www.energystar.gov/ia/business/evaluate_performance/supermarket_tech_desc.pdf)
9. US Environmental Protection Agency, 2009, "ENERGY STAR Performance Ratings: Technical Methodology for K-12 School," online available at: [http://www.energystar.gov/ia/business/evaluate\\_performance/k12school\\_tech\\_desc.pdf](http://www.energystar.gov/ia/business/evaluate_performance/k12school_tech_desc.pdf)
10. John H. Scofield, 2014, "ENERGY STAR Building Benchmarking Scores: Good Idea, Bad Science," 2014 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, P.P. 3-267~P.P. 3-282.