

建築能源模擬軟體功能分析比較

一、前言

根據 IEA 資料，2011~2035 年全球電力需求年均成長率為 2.5%。建築部門為全球最大耗能部門，占全球 33%。我國預估全國整體用電需求，2014~2030 年全國電力需求年均成長率 2.29%。其中住商部門用電逐年攀升，以 2015 年為例，用電占全國總用電約 37%，故需持續提升住商能源效率，以達成國家節能減碳總目標與智慧型產業政策。目前國際間主要國家針對建築節能科技的研發不遺餘力，其中一項技術研發便是建築能源模擬相關技術，反觀我國建築能源模擬技術的發展與應用並不普及，使得該技術在我國推廣困難。有鑑於此，開發簡易使用且模擬結果準確度高的工具，結合引導式的建築模型設定頁面及整合本土化的建材及設備資料庫，成為我國新建建築節能設計或是既有建築節能改善的設計評估工具，將有助於我國住商部門建築提升能源使用效率。

二、模擬軟體性能比較

近年來建築性能模擬軟體已逐漸被應用於新建築能耗設計評估以及舊建物節能改造分析，因此模擬軟體的模擬計算結果，其準確性及以可靠度也逐漸被嚴格要求。目前市面上建築性能模擬軟體種類繁多，而較為眾人熟知的包括 DOE-2、eQUEST、EnergyPlus、DeST 等軟體，而這些軟體各有模擬功能的強項以及使用上的限制，以下為上述模擬軟體之發展歷程以及功能簡介。

DOE-2 主要是在 1980 年代，由美國勞倫斯柏克萊國家實驗室開發的建築能耗分析軟體，包括熱負荷計算模組、空調系統模組、機房模組、經濟分析模組。目前已開發的版本包括 DOE-2.1E 以及 DOE-2.2 兩個版本，由於為較早開發的建築性能模擬軟體，因此至今仍為最被廣泛使用之建築性能模擬軟體。DOE-2 軟體可以提供整棟建築物每小時的能量消耗分析，用於計算系統運行過程中的能效和總費用，也可以用來分析建築結構（包括屋頂、外牆、外窗、地面、樓板、內牆等）、空調系統、電器設備和照明對能耗的影響。Doe-2 的功能非常全面而強大，經過了無數工程的實際檢驗，是國際上都公認的較為準確的建築能耗分析軟體，並且該軟體是免費軟體，使用人數和範圍非常廣泛。DOE-2 的輸入方法為手寫程式設計的形式，要求用戶手寫輸入檔，輸入檔必須滿足其規定的格式，並且有關鍵字的要求。DOE-2 輸入、輸出檔格式要求比較嚴格，對於一般初學使用者來說不易上手。但 DOE-2 有大量的資料庫和研究文獻，使用者可以通過學習來分析比較詳細的操作與運用。目前還有很多基於 DOE-2 上開發的軟體，比如 isualDOE、eQUEST、PowerDOE 等，但就 DOE-2 軟體本身而言，目前程式已停止更新的動作，因此模擬功能的擴充或是程式錯誤的修正也就維持在 DOE-2.2 的版本。

eQUEST 同樣是一款在 DOE-2 基礎上開發的建築能耗分析軟體，因此它的軟體架構以及計算引擎基本上是一樣的，它允許設計者進行多種類型的建築能耗模擬，並且也為設計者提供了建築物能耗經濟分析、空調系統模組、日照和照明系統的控制以及通過從列表中選擇合適的測定方法，自動完成建築能源利用效率的模擬。這款軟體的主要特點是為 DOE-2 輸入檔的寫入提供了精靈模式，從建築外部模型建構到建築內部能耗參數輸入等，使用者可以根據精靈模式的指引寫入建築描述的輸入檔，使用者可以非常直覺化的看到輸入檔生成的二維或三維的建築模型，並且透過表單選擇的方式，進行詳細參數的設定及輸入。同時，軟體還提供了報表型式以及圖形結果顯示的功能，可以直接由軟體操作介面查看圖形的輸出結果，亦或是利用 excel 檔案，透過後處理進行更細部的圖形結果輸出。目前 eQUEST 的軟體更新由當初開發 DOE-2 的團隊另外獨立出來的一家私人公司在做維護，但更新的速度並不頻繁。

EnergyPlus 同樣是由美國勞倫斯柏克萊國家實驗室開發的建築能耗分析軟體，基於 DOE-2 的程式架構，從 1998 年便開始進行整合的工作，將 DOE-2 的強項功能納入並且同時發展新的功能模組，包括熱負荷計算模組、空調系統模組、機房模組、經濟分析模組。目前開發的最新版本為 8.7 版，已在 2017 年 3 月釋出。與 DOE-2 相較之下，EnergyPlus 目前同樣也是國際公認的建築能耗分析軟體，並且該軟體是免費軟體，由於其模擬功能更為完整並且持續進行軟體版本的更新，使用人數和範圍也非常廣泛，因此目前已有逐步取代 DOE-2 的趨勢。EnergyPlus 的輸入方法為手寫程式設計的形式，輸入、輸出檔必須符合其規定的格式，因此參數設定的過程相當繁瑣且容易出錯，對於一般使用者而言，使用上會有較大的障礙。EnergyPlus 同樣可以提供整棟建築物每小時的能量消耗分析，用於計算系統運行過程中的能效和總費用，也可以用來分析建築結構、空調系統、電器設備和照明對能耗的影響。而其模擬結果的輸出型式包括 txt、excel 以及 html 等，使用者必需透過後處理方式才能獲得圖形化結果。

DeST 是由清華大學空調實驗室研製開發的建築性能模擬軟體，但軟體開發的核心團隊依然是 LBNL 開發 EnergyPlus 的開發團隊。DeST 主要是結合建築性能模擬分析與 AutoCAD 的輔助設計，在建築模型建置介面擁有視覺化的建築樓層和房間劃分圖形介面，建立好之建築模型並且可以直接匯入到 AutoCAD 中做讀取與修改，其計算模組也全部整合於 AutoCAD。DeST 作的模擬分析採用階段性的方法，在各個不同的設計階段可以分別加以模擬分析，通過建築類比、方案類比、系統類比等資料結果對其進行驗證，從而確保建築性能設計的可靠性。DeST 通過採用逆向的求解過程，根據建築整體設計，在每一個設計階段計算出逐時的各項能耗要求，包括風量、送風狀態、水量等等，使得設計可以從傳統的單點設計擴展到整體設計。而由於 DeST 採用了多種整合技術並提供了較為便利的使用介面，因此可以較容易方便地應用到工程實務中。上述介紹之各種建築性能模擬軟體之比較，如表 1 所列：

表 1 建築性能模擬軟體比較表

軟體名稱	DOE-2 / eQUEST	EnergyPlus	DeST
開發者	美國勞倫斯柏克萊 國家實驗室	美國勞倫斯柏克萊 國家實驗室	中國清華大學
發行時間	1980	2001	2000
軟體架構	選單模式	模組模式	選單模式
應用階段	設計到營運階段	設計到營運階段	設計到營運階段
建築模型建構方法	Data input in GUI	3-D	CAD
建築模型視覺化	支援	支援	支援
系統操作介面	選單設定	選單設定	選單設定
操作介面視覺化	支援	無	無
行為模式模擬	無	無	無
結果輸出格式	excel, txt	excel, txt, html	excel, txt
亞熱帶資料庫	無	無	無
價格	免費	免費	免費

三、EnergyPlus 軟體操作

Energy Plus 與一般其它常見建築性能模擬軟體一樣，在開始模擬建築之使用性能以及能源消耗時，必需收集此建築所有相關之資料及數據，包括地理位置、氣象資料、建築尺寸結構與外殼（外部及內部建材、門、窗戶）、建築內部負載情形（照明、空調、插座用電及其它機電設備）、內部空間規劃、建築運轉時程、使用人員數量等。在資料收集愈詳細的情況下，將有助於模擬結果更為準確。

圖 1 為 Energy Plus 模擬軟體之主要操作畫面，所有程式相關操作指令皆可以此介面中作選擇。在此操作介面下可以選擇檔案路徑、氣象資料、選擇程式編輯方式（內建預設程式編輯器、純文字檔編輯器或是可用外掛 PSPAD 程式編輯器）、執行程式進行模擬、程式錯誤訊息與警告訊息、查看細部模擬結果（模擬結果可以 Excel 或是 Html 等方式輸出）以及其它詳細相關資料。在此操作介面中，最常使用到的指令除了 RDD、MDD 查看關鍵指令列表之外，另外就是 ERR 的這項指令，由於 EnergyPlus 是個功能相當完整的建築性能模擬軟體，相對它的輸入方法及參數要求也會相對嚴格且複雜，因此在模擬過程當中常會遭遇錯誤訊息的發生，一旦有錯誤訊息，程式便無法繼續進行模擬，必需要把錯誤訊息裡的錯誤修正後，才能再繼續進行模擬。但有時候會發生另外的情形，就是當修正完一項錯誤後，卻會出現另外一項新的錯誤，因此在過程就必需相當耗時來一一解決這些錯誤。

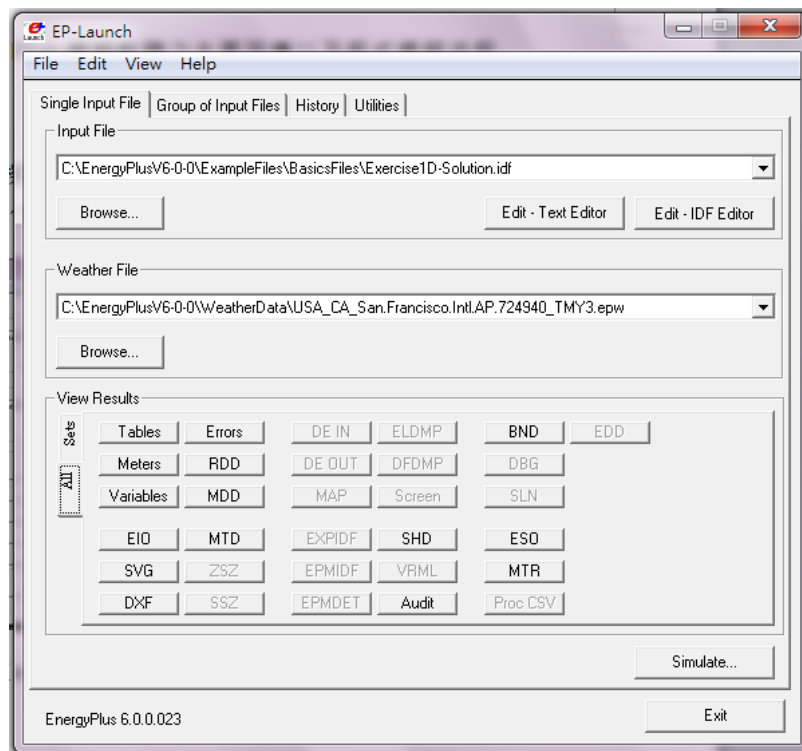


圖 1 Energy Plus 模擬軟體之主要操作介面

目前 EnergyPlus 的建模可以支援由 Google 所發行的 Google SketchUp 所繪製的圖檔，但在這之前必需要先安裝名為 OpenStudio 的外掛程式。其優點是在此軟體中建模的過程中，同時也會將各個熱負載空間定義出來，因此在 EnergyPlus 的輸入介面中，將不用針對建築中的熱負載空間一一去定義出來，由於 EnergyPlus 的輸入介面是文字形式，因此這將會節省相當多的建模時間以及避免在文字介面中輸入錯誤的情形發生。SketchUp 的建模可以逐一畫出建築中的各個熱負載空間，而點選建築的門窗或壁面可以查看該選取元件的細部資訊並且可以直接在資訊視窗中更改該元件的設定參數。當建築整體模型繪製完成後，必需將檔案格式儲存為 EnergyPlus 專用的 idf 檔，當 EnergyPlus 讀取檔案後，便將建築中熱負載空間的資料以及設定參數同時匯入，因此便不需要再由 EnergyPlus 的文字輸入介面中再次設定。

圖 2 為 EnergyPlus 的參數輸入介面，所有程式相關設定皆必需在此介面中做設定，主要輸入項目以及參數包括 Simulation Parameters、Location and Climate、Schedules、Surface Construction Elements、Thermal Zones and Surfaces、Advanced Construction, Surface, Zone Concepts、Detailed Ground Heat Transfer、Room Air Models、Internal Gains、Daylighting、Zone Airflow、Natural Ventilation and Duct Leakage、Exterior Equipment、HVAC Templates、Output Reporting。上述的項目並不一定全部都要輸入，而是依照建築模擬的需求來作選擇，但有些欄位則是必要輸入的選項，通常這些欄位會用藍色顯眼字體顯示，如果這些必要輸入的欄位沒有輸入資料，在模擬過程當中則會彈跳出錯

誤訊息而導致模擬過程中斷。有別於其它的建築性能模擬軟體，通在 EnergyPlus 在輸入欄位中並沒有預設的選項或是替代的選項可以選擇，因此使用 EnergyPlus 來進行建築性能模擬時，在初步階段的資料收集就必需要作得相當仔細。關於資料輸入的欄位說明，EnergyPlus 有份多達兩千多頁的文件用來說明介紹相關的資訊，包括每個輸入欄位的用途，意義解釋，輸入格式規定等等。另外，在 EnergyPlus 中的每個熱負載空間也都必需各別去作相關的設定，假設建築模型中包含有 50 個熱負載空間，那麼就必需需要對這 50 個熱負載空間一一去作設定，而這將會花費相當多的時間在資料輸入的過程當中，因此在起初的建築階段中，如能將模型做適當的簡化，勢必在往後的參數資料輸入過程將會相對地容易及節省時間。

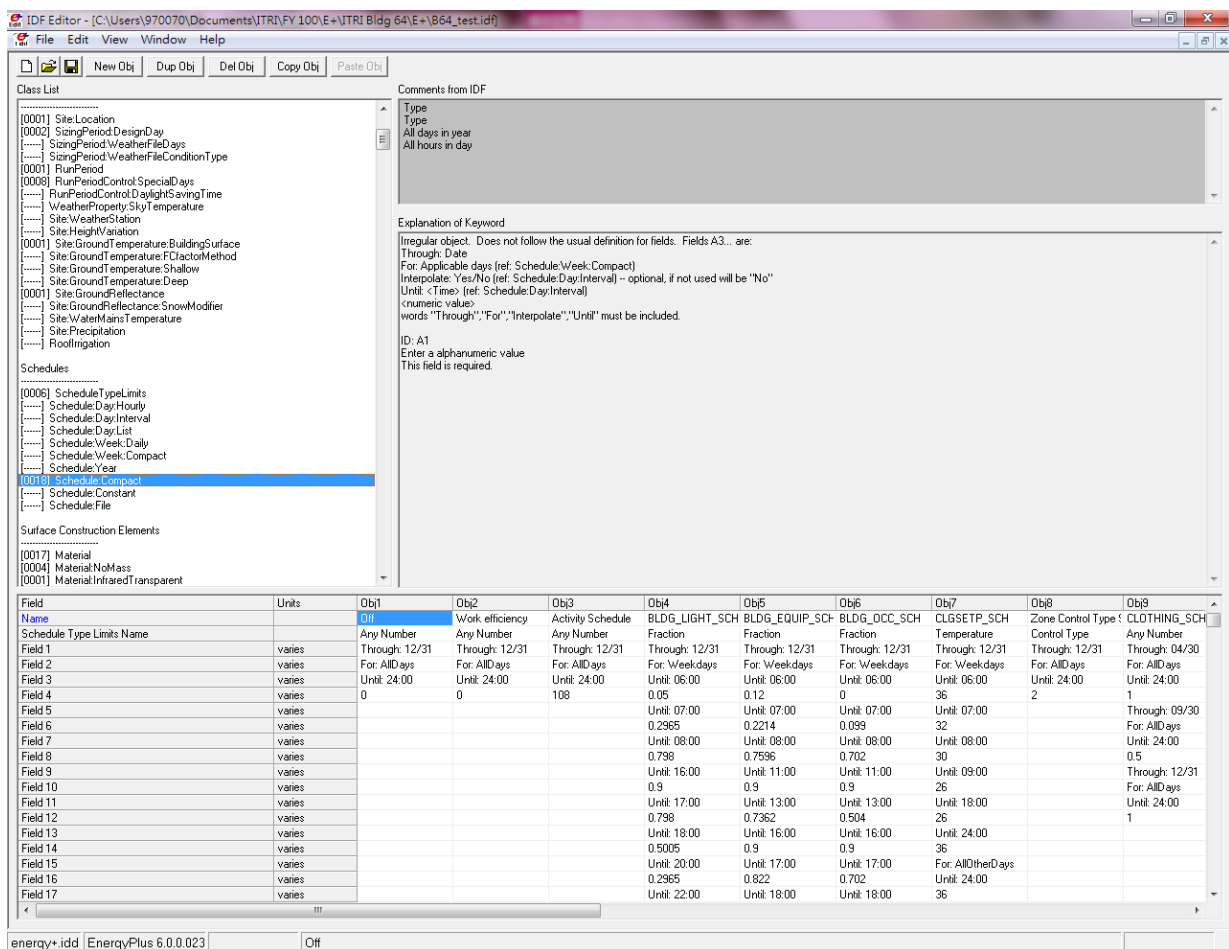


圖 2 EnergyPlus 參數輸入介面

當輸入參數的設定或格式錯誤時，在執行模擬計算的過程中則會產生錯誤訊息，而這將會導致模擬運算中止。通常產生的錯誤訊息可分為兩類，分別為 error 以及 warning，而要查看詳細的錯誤訊息，可在 EnergyPlus 主要操作介面按下 ERR 這個指令，詳細的錯誤訊息便會以視窗形式出現，如圖 3 所示。在此視窗中會顯示在此次的模擬過程中發現幾個 error 以及 warning，並且會指出這些 error 或是 warning 是在哪裡發生，因此根據錯誤訊息的描述，可一一在參數輸入介面中做適當的修正，直到在模

擬過程中沒有錯誤訊息產生。有些 warning 的錯誤訊息是可以被忽略的，但 error 的錯誤訊息則必需將它完全修正後才能夠繼續進行模擬。

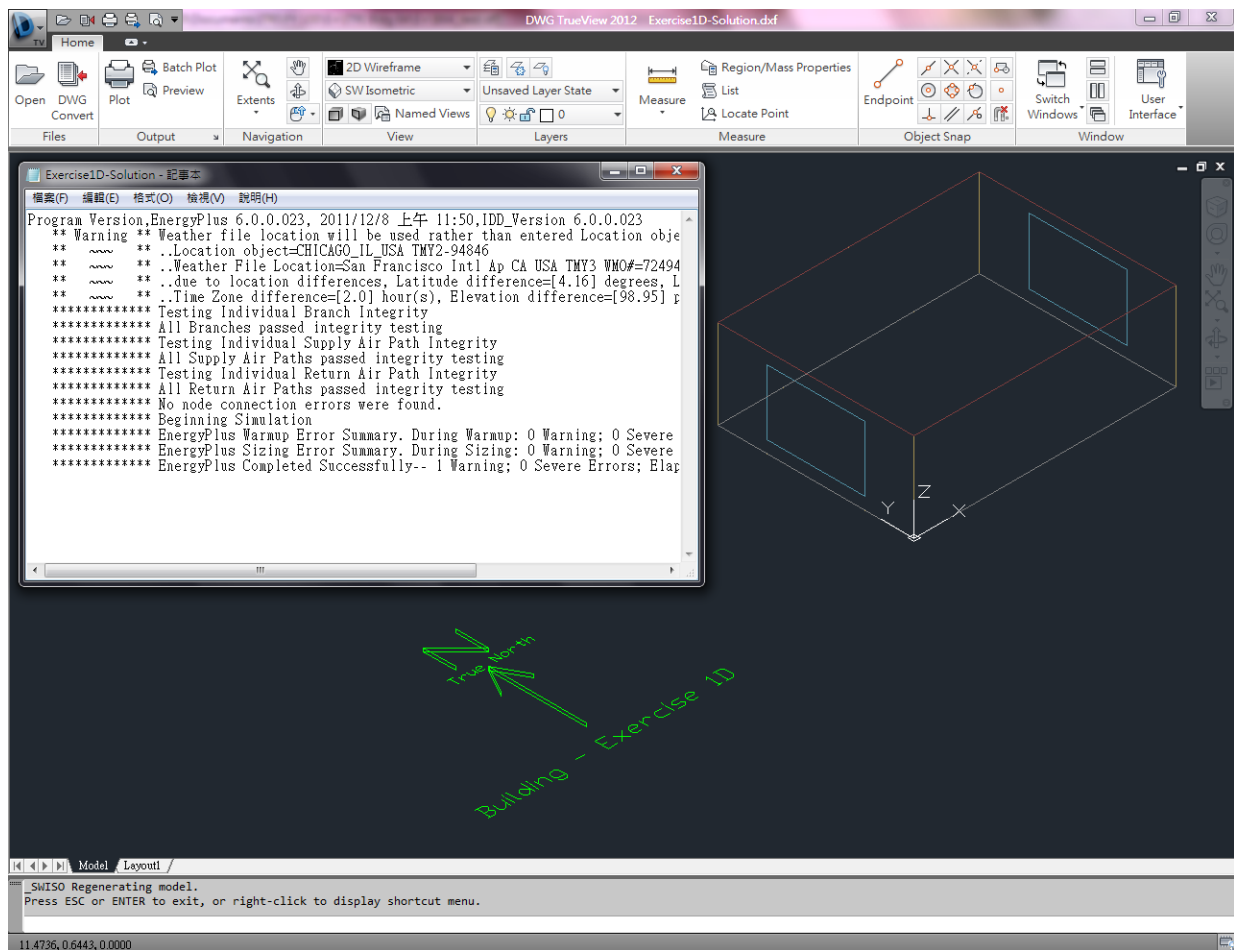


圖 3 EnergyPlus 錯誤訊息視窗

模擬進行的時間將會依照模擬案例的複雜度來做決定，當模擬的計算過程結束後，EnergyPlus 會根據在參數輸入介面（Output Reporting）所輸入的要求產生相對應的模擬結果報告，包括建築整體運轉性能及能耗資料、各個次系統包括空調、照明、機電設備等性能及能耗資料等多達數十種不同的模擬結果以及報告，同時這些資料可以以單月或整年的形式做資料輸出，而報告的輸出格式主要可分為 Excel 以及 Html 兩種格式，圖 4 為以 Html 格式輸出的細部模擬結果顯示畫面。在 EnergyPlus 中並沒有圖形顯示的輸出格式可以選擇，因此假設需要圖表格式的結果顯示，則必需要再使用其它繪圖軟體來繪製圖表。

Zone Summary

	Area [m2]	Conditioned (Y/N)	Volume [m3]	Multipliers	Gross Wall Area [m2]	Window Glass Area [m2]	Lighting [W/m2]	People [m2] per person	Plug and Process [W/m2]
ZONE ONE	48.00	Yes	129.60	1.00	75.60	12.00	20.8333		0.0000
Total	48.00		129.60		75.60	12.00	20.8333		0.0000
Conditioned Total	48.00		129.60		75.60	12.00	20.8333		0.0000
Unconditioned Total	0.00		0.00		0.00	0.00			

Report: EnvelopeSummary

[Table of Contents](#)

For: Entire Facility

Timestamp: 2011-12-08 11:50:30

Opaque Exterior

	Construction	Reflectance	U-Factor with Film [W/m2-K]	U-Factor no Film [W/m2-K]	Gross Area [m2]	Azimuth [deg]	Tilt [deg]	Cardinal Direction
SURFACE NORTH	LTWALL	0.40	0.516	0.559	21.60	0.00	90.00	N
ZONE SURFACE EAST	LTWALL	0.40	0.516	0.559	16.20	90.00	90.00	E
ZONE SURFACE SOUTH	LTWALL	0.40	0.516	0.559	21.60	180.00	90.00	S
ZONE SURFACE WEST	LTWALL	0.40	0.516	0.559	16.20	270.00	90.00	W
ZONE SURFACE FLOOR	LTFLOOR	0.35	3.314	17.040	48.00	180.00	180.00	
ZONE SURFACE ROOF	LTROOF	0.40	0.314	0.334	48.00	180.00	0.00	

Fenestration

	Construction	Area of One Opening [m2]	Area of Openings [m2]	U-Factor [W/m2-K]	SHGC	Visible Transmittance	Shade Control	Parent Surface	Azimuth [deg]	Cardinal Direction
EAST WINDOW	DOUBLE PANE WINDOW	6.00	6.00	3.610	0.697	0.781	No	ZONE SURFACE EAST	90.00	E
WEST WINDOW	DOUBLE PANE WINDOW	6.00	6.00	3.610	0.697	0.781	No	ZONE SURFACE WEST	270.00	W
Total or Average			12.00	3.61	0.697	0.781				
North Total or Average			0.00	-	-	-				

圖 4 Html 格式輸出之細部模擬結果顯示畫面

四、EnergyPlus 與 DeST 比較

然而，上述所介紹的建築性能模擬軟體，即使是同時模擬同一建築標的物時，也有可能產生模擬結果的差異，甚至是完全相反的結果，其原因包括許多因素，包括軟體本身計算引擎的不同、氣象資料格式的不同、使用者輸入參數的差異、參數預設值的設定不同等等，皆會導致模擬結果差異，而這種現象將會導致使用者對於模擬軟體缺乏信心，同時也無法確信到底是哪種模擬軟體較具有準確度。基於上述原因，LBNL目前正在進行建築性能模擬軟體的性能比較，比較的模擬軟體包括 DOE-2、EnergyPlus 以及 DeST，主要的目的是透過比較分析的工作，能夠更為了解各個模擬軟體的特性，找出真正導致模擬結果之間差異的原因，並且提供各個模擬軟體改善以及修正的建議，以利建築在設計或運轉階段皆能有更加準確的模擬結果可以參考。EnergyPlus 與 DeST 熱平衡計算方法比較以及熱處理模型設定方法分別如表 2 及表 3 所列。

表 2 EnergyPlus 與 DeST 熱平衡計算方法

	EnergyPlus	DeST
熱平衡方法	傳遞函數法；有限差分法	狀態空間法
基本元素	建築結構內、外表面和空氣分別建立熱平衡方程	房間熱平衡
室溫和負荷計算	與 HVAC 系統耦合計算；HVAC 可以設置理想空調系統，與 DeST 類似	理想 HVAC 系統，據要求的溫度和濕度進行控制
求解方法	順序求解； 預測-校正方法耦合求解空間和系統	所有房間熱平衡方程同時求解； 對空間和系統反覆運算進行預處理

表 3 EnergyPlus 與 DeST 熱處理模型設定方法

	EnergyPlus	DeST
表面熱對流係數	多種模型供使用者選擇，傳熱溫差、風速的相關函數或固定值	固定值
非透光建築結構外表面的太陽輻射	太陽輻射吸收率 可見光輻射吸收率	太陽輻射吸收率
室內長波輻射吸收率	熱吸收率	黑度（熱吸收率）
室內熱傳（人員、燈光和設備）	在一些邊界條件下，角係數=長波輻射面積/總面積	無邊界條件約束，角係數=長波輻射面積/總面積
通風	換熱量與表面溫度成非線性關係	採用輻射係數轉化為線性關係
窗戶	熱傳在牆、地板和天光板的分配比例與內表面吸收率相關	熱傳在牆、地板和天光板的分配比例為固定值，與內表面吸收率無關
房間內部熱負載	通風：與溫度等因素相關	通風：用戶給定通風換氣次數

目前測試的方法包括透過簡化的建築案例作為測試的標的物，其建築幾何示意圖如圖 5 所示，分別有 3 種基本案例，而測試條件組合則如表 4 所列。另外的測試方法則是依據 ASHRAE 140 的標準規範進行測試，分別有 600 系列（輕質牆體）以及 900 系列（重質牆體）兩大測試系列。

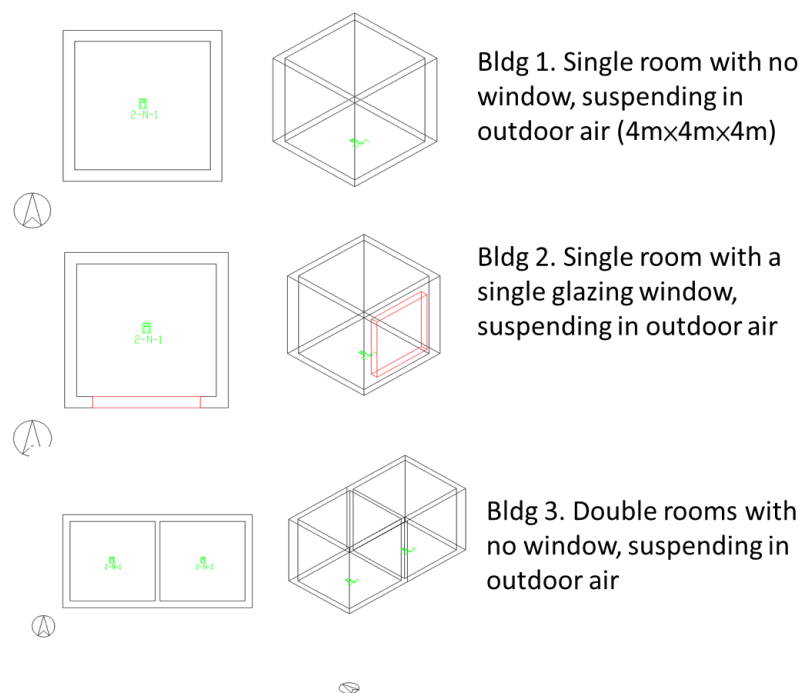


圖 5 測試案例建築幾何示意圖

表 4 建築性能模擬軟體測試條件組合

Case 1	only surface convection
Case 2	case 1+ outside solar radiation
Case 3-1	case 1+ inside solar radiation
Case 3-2	case 1+ internal long-wave exchange
Case 4	case 1+ natural infiltration
Case 5	case 1+ lighting
Case 6	adjacent zone heat transfer

在表 4 中所列的幾種不同組合的模擬案例，主要是要探討熱傳導、熱對流以及熱輻射在不同模擬軟體所獲得的模擬結果主要差異的來源。經由 EnergyPlus 以及 DeST 軟體所模擬獲得的結果可以發現，除了案例 3 的模擬結果會產生較大的差異之外，其餘各案例的模擬結果都非常地相近，如圖 6 及圖 7 所示。在案例 3 中的模擬條件為有考慮太陽熱輻射的情況，而這兩種模擬軟體在模擬有太陽熱輻射條件案例下，會產生模擬結果有較大差異的原因，經過分析的結論是由於 EnergyPlus 與 DeST 分別採用不同的數值演算法去計算太陽熱輻射通過窗戶進入到室內所獲得的熱量，而導至最終的模擬結果會產生較大的差異。因此透過上述一系列模擬案例所獲得模擬結果的比較分析，因此可以找出是何種主要原因導致不同的建築性能模擬軟體會產生不同模擬結果，而藉由此發現則可以提供未來模擬軟體在程式更新或是維護時的修正參考及建議。

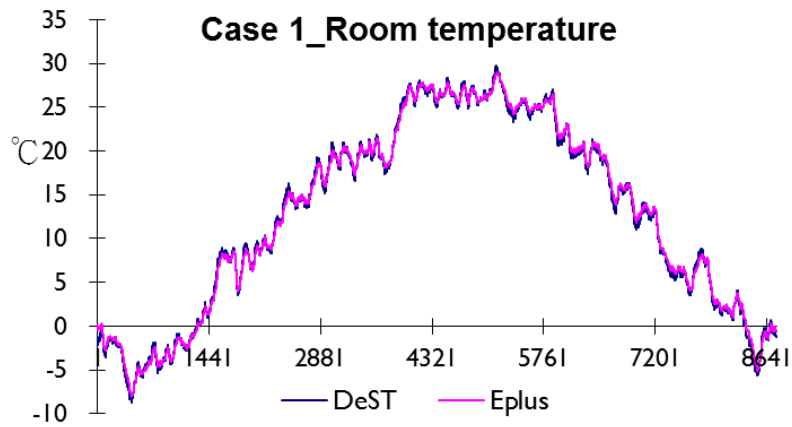


圖 6 EnergyPlus 與 DeST 模擬結果比較圖

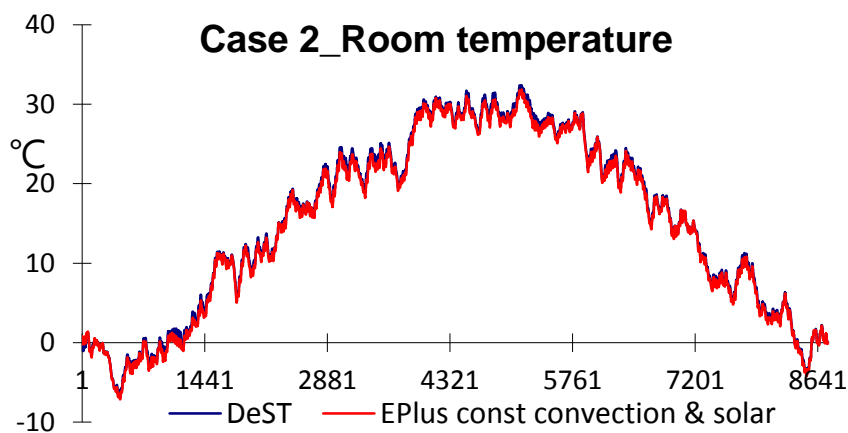


圖 7 EnergyPlus 與 DeST 模擬結果比較圖

DOE-2、eQUEST、EnergyPlus、DEST 這些軟體的計算方法一般都是基於動態的環境，為了保證計算結果的準確度，軟體大多都需要室外逐時的氣象資料或典型氣象年資料，而且需要盡可能詳細的建築描述資料及相對應的操作性能資料。由於對於氣象資料沒有統一的格式，所以應用這些軟體時，要求必須將氣象資料進行轉換，其它的比如建築結構的描述、建築材料熱物性參數的設置、供暖及製冷形式、熱負載區域等，因此對於一般使用者來說，模擬所需參數的輸入過程過於繁瑣。在初步的設計階段，由於很多條件無法確定，使用者更是無出利用這些軟體工具對建築進行能耗分析和節能改善最佳化。針對這些情況，目前建築性能模擬軟體便朝向發展為採用互動式功能的輸入介面，無論是在初步設計階段還是施工階段都能對設計方案進行能耗分析和方案最佳化。同時也開發轉換氣象資料格式的轉檔應用程式，可直接在不同的建築性能模擬軟體中互相讀取。模擬軟體在實際設計應用過程中，已減少消耗在資料登錄上的時間，而且也已經開發了直接匯入 AutoCAD 進行模型輸入、節能設計計算和最佳化設計選擇等功能，更加符合使用者的操作習慣。

五、EnergyPlus 與 BESAP 比較

建築能源模擬分析平台(BESAP)為我國開發之軟體工具，採用 EnergyPlus 作為模擬運算引擎，但相較於 EnergyPlus 則包含幾項特點，例如客製化模擬功能與使用介面，圖形化及選單式設定方法，簡易 5 個設定步驟即可快速完成建築能源模型。另外內建參考建築模型，內含建築外殼、內部負載、使用排程等超過上千種元件可直接套用。同時包括本土化資料庫，收錄內政部建築技術規則之外殼結構包括屋頂 18 種、外牆 28 種、窗戶 324 種，以及能源局節能標章 48 種項目近 7 千種產品。利用雲端化資源，進行線上建模、運算分析、結果儲存，可同時進行多筆模擬計算，達到快速分析及節省硬體成本之功效。設定建築能源模型之主要流程大致型區分為建築幾何設定、建築結構設定、內部負載設定、排程設定、空調設定等幾個步驟，EnergyPlus 與 BESAP 兩者在建模步驟與方法之差異比較如表 5 所列。

表 5 EnergyPlus 與 BESAP 建模流程比較

	EnergyPlus	BESAP
建築幾何設定 (以單一矩形空間為例)	<ul style="list-style-type: none"> 需分別輸入 8 個座標點 (x,y,z) 或是透過第三方軟體繪圖後，再轉檔匯入 EnergyPlus 	直接輸入建築的長寬高尺寸共 3 個欄位
建築結構設定 (以外牆為例)	設定步驟： 1. 設定建材 2. 組合建材成為牆結構 3. 指定每面外牆的牆結構	透過建材資料庫點選外牆結構，軟體自動將外牆參數值帶入至模型
內部負載設定	分別輸入照明及設備的總瓦數(部分照明及設備之瓦數值難取得)	由設備資料庫點選照明及設備的種類及數量，軟體自動加總瓦數
排程設定	手動各別輸入各種排程的起停時間(如 8:00-18:00)及開關狀態(0 或 1)	以下拉式選單設定各種排程的起停時間及開關狀態
空調設定	<ul style="list-style-type: none"> 手動輸入各個空調設備之參數值 由空調系統樣版進行高階設定 	<ul style="list-style-type: none"> 手動輸入各個空調設備之參數值 由設備資料庫點選設備，軟體自動將參數值帶入至模型
輸出報表	<ul style="list-style-type: none"> 文字或表格 或是透過第三方軟體將結果圖像化 	<ul style="list-style-type: none"> 內建圖像化分析報表 可進行客製化輸出
準確度	符合 ASHRAE Guideline 14 規範	符合 ASHRAE Guideline 14 規範
運算資源	單機版，一次進行一筆運算	雲端版，可同時進行多筆運算，且節省硬體設置費用

模擬準確度測試的方法包括透過簡化的建築案例作為測試的標的物，其建築幾何示意圖如圖 8 所示，建築規格則如表 6 所列。

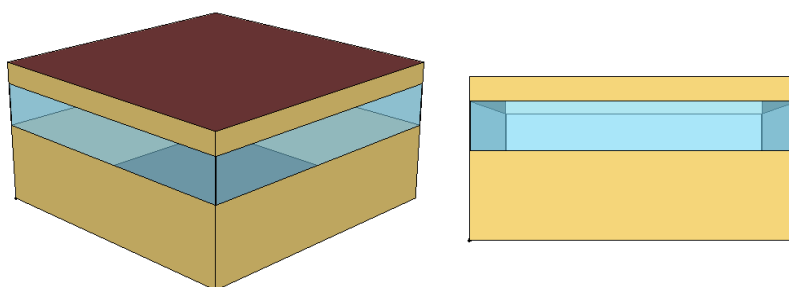


圖 8 測試案例建築幾何示意圖

表 6 測試案例建築規格

項目	規格
建築尺寸	10x10x5 (m)
建築結構	鋼筋混凝土
使用人數	10 人
照明功率	800W
設備功率	2500W
空調類型	中央空調
營運排程	8:00 ~20:00

由 BESAP 所模擬之全年能耗分析結果如圖 9 所示，全年總耗電量為 16663 度電，最高用電月份發生在 7 月份為 1905 度電，由圖中可發現空調用電隨季節變化而有所增減，因此在夏季會有較高的空調用電。EnergyPlus 與 BESAP 模擬結果比較如圖 10 所示，兩者之間的全年能耗總誤差小於 5%，而逐月的平均誤差約小於 10%，其誤差來源主要來自於空調耗能誤差，原因為在 BESAP 的空調系統設定中，簡化了幾個設定方法，例如設備元件的功耗、風量、水量等參數採用”autosize”之設定方法，而且部分參數並未開放提供進行設定，因此造成與 EnergyPlus 模擬結果之差異。

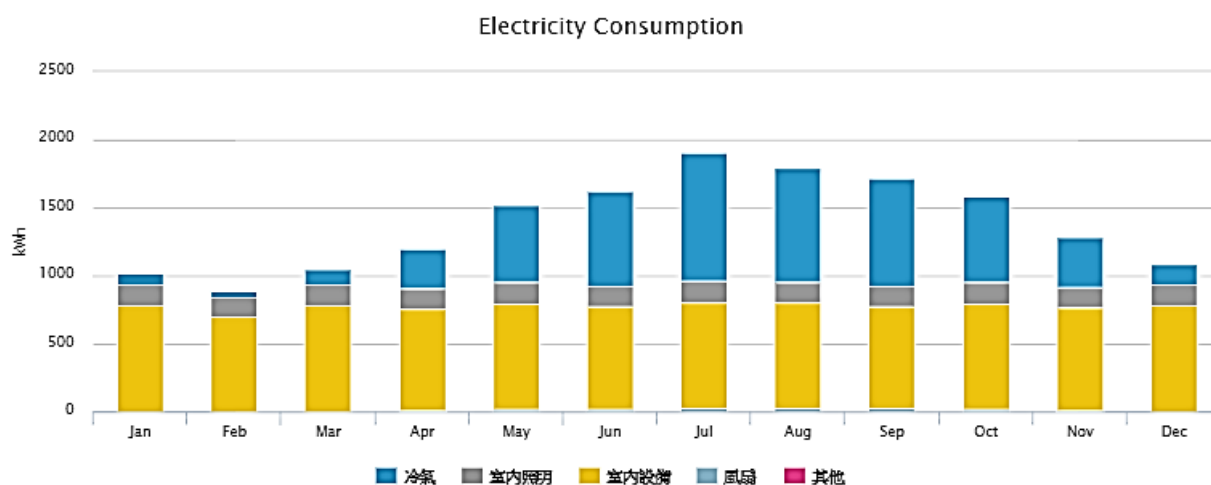


圖 9 測試案例建築之全年能耗分析結果

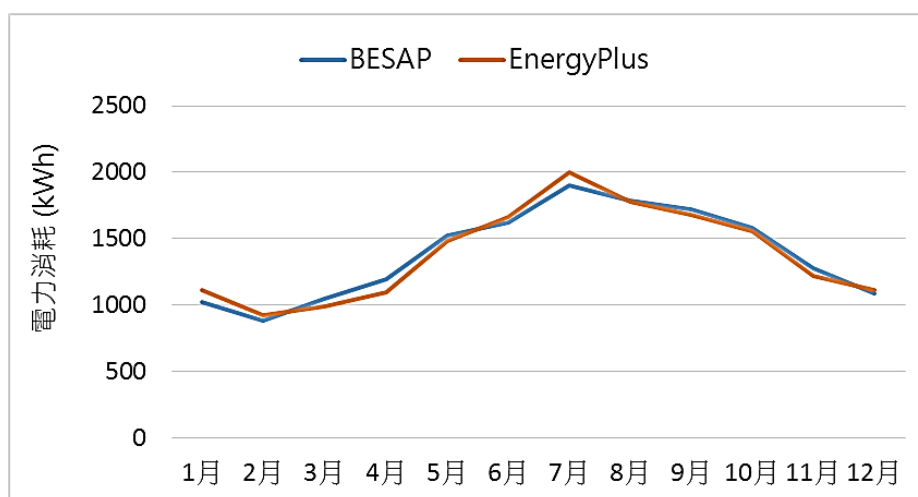


圖 10 EnergyPlus 與 BESAP 模擬結果比較圖

雖然 BESAP 模擬誤差最高約為 10%，但參考 ASHRAE Guideline 14 之國際規範如表 7 所列，採用均方根誤差(RMSE)作為模擬結果誤差之判斷指標，每月最大誤差容許範圍為小於 15%。因此，BESAP 透過參考建築模型、資料庫，以簡易方法設定建築能源模型，分析結果誤差已可達國際水準。

表 7 ASHRAE Guideline 14 規範

	Monthly criteria (%)	Hourly criteria (%)
ASHRAE Guideline 14	15	30
IPMVP	-	20
FEMP	15	30

六、結語

綜合上述說明，歸納下列幾點心得與建議：

1. 建築性能模擬工具將會是未來發展智慧綠能建築之重要評估工具，目前已逐漸被應用於新建築節能設計分析以及舊建築節能改造評估等應用場合。建築能耗之評估可透過建築性能模擬工具來執行，為了獲得更為準確的模擬結果，勢必要發展更符合我國氣候條件及建築營運特徵之模擬工具。
2. 目前國內地產開發商或營建商也逐步在設計階段採納以數值模擬之方式模擬建築之能耗相關數據，讓消費者獲悉更為詳細之建築能耗資訊，並提升本身建案之附加價值，甚至作為綠建築標章之申請工具。但目前建築性能模擬領域，其技術尚未成熟，因此發展國內自有之軟體，未來將有助於協助國內建築相關產業之發展，並同時推廣國內智慧綠能建築之市場。
3. 目前多數建築性能模擬軟體之資料庫並未完整，尤其是亞熱帶氣候區域之建築材料或是機電設備等，且尚缺圖形化之使用介面。因此未來開發建置完整之亞熱帶氣候區域之模型資料庫以及圖形化使用介面，提升在模擬亞熱帶氣候區域建築之模擬結果準確度及可信度。

4. 與能源管理平台進行整合，開發動態建築性能模擬軟體，實施建築性能最佳化控制，因此藉由此架構導入即時設備用電資訊、使用者行為模式、以及亞帶熱氣條區域資料庫，利用先進感知技術收集即時環境條件參數，並藉由模擬軟體動態運算建築性能最佳化操作狀態，將結果即時回饋於各個建築次系統，達成建築性能最佳化控制。
5. 開發動態建築性能模擬軟體之際，也應考量資訊、控制信號等輸入及輸出等的通訊協定如何作整合，目前由 ASHRAE 所制定的 BACnet 以及國內所使用的 TCP/IP 等通訊協定，建築次系統廠商是否願意開放本身設備的通訊協定來支援模擬軟體進行控制，以及開放通訊協定後，是否影響到設備效率，這些問題都是要持續討論與研究的議題。

參考文獻

1. Key World Energy Statistics 2015, IEA.
2. 2015 年能源統計手冊，經濟部能源局.
3. 建築技術規則，內政部，台內營字第 1010810061 號，中華民國 101 年 11 月 7 日.
4. 新建建築物節約能源設計標準，內政部/經濟部，台內營字第 1020805210 號/經能字第 10204603180 號，中華民國 102 年 6 月 19 日.
5. SketchUp, <http://www.sketchup.com>
6. EnergyPlus, [http:// https://energyplus.net/](http://https://energyplus.net/).
7. Kaplan M, Canner P. Guidelines for energy simulation of commercial buildings. Portland: Bonneville power Administration; 1992.
8. ASHRAE Guideline 14-2002: measurement of energy and demand savings. Atlanta, GA 30329, 2002.

附件、建築能源模擬軟體之分析功能比較

軟體工具	開發國	運算核心	介面	空調分析方式		建模方式		難易
DOE - 2	美國	DOE-2	英文	熱負載計算方法	權重因子計算方法	建築幾何	簡易建築幾何外形，需輸入建築各節點座標值	難
				熱負載與空調系統	無法直接反應空間熱負載與空調系統之間的互動關聯			
				空調系統設定	簡易設定模組，提供系統預設值	設定輸入方式	為文字 txt 格式，欄位具固定格式，且需手寫輸入	
				空調系統控制	提供少數典型簡易控制設定方法			
				空調系統功能擴充	固定的空調系統模組，功能無法做擴充	結果輸出方式	文字及表格等型式	
				空調裝置容量計算	根據系統運轉設計天數有一定的限制			
				時間計算間隔	固定 1 小時	使用者能力	需專業人員資格	
				誤差容許範圍	15%(monthly)；30%(hourly)			
				其它	• 免費軟體 • 目前版本為 2.2，已停止更新			
eQuest	美國	DOE-2	英文	• 因運算核心為 DOE-2，故空調分析方式與 DOE-2 具有相同功能 • 免費軟體，部分第三方外掛程式需付費 • 目前版本為 3.65，更新速度慢		建築幾何	• 內建繪圖功能 • 可匯入幾何檔案，如 gbXML，但會有破圖的機會產生	中
						設定輸入方式	圖像化設定介面，提供工具庫點選輸入方法	
						結果輸出方式	文字、表格、圖形化報表	
						使用者能力	需短期專業訓練	
EnergyPlus	美國	Energy Plus	英文	熱負載計算方法	空間負載熱平衡方法	建築幾何	• 簡易建築幾何外形，需輸入建築各節點座標值	難
				熱負載與空調系統	串聯空間空間熱負載與空調系統進行整合式模擬			

							<ul style="list-style-type: none">• 可匯入幾何檔案，如 gbXML，但會有破圖的機會產生• 可透過第 3 方外掛程式進行 3D 繪圖	
				空調系統設定	具備彈性化的空調系統設備元件設定	設定輸入方式	<ul style="list-style-type: none">• 為文字 txt 格式，欄位具固定格式，且需手寫輸入• 可透過第 3 方外掛程式進行模型設定	
				空調系統控制	具備彈性化的空調系統控制方法設定			
				空調系統功能擴充	可擴充新功能，如自然通風、除濕排濕等	結果輸出方式	<ul style="list-style-type: none">• 文字及表格等型式• 可透過第 3 方外掛程式提供圖形化分析報表	
				空調裝置容量計算	根據系統運轉設計天數，可自動計算部分的空調設備元件設定參數			
				時間計算間隔	動態時間間隔，最短 1 分鐘；最長 1 小時	使用者能力	需專業人員資格	
				誤差容許範圍	15%(monthly)；30%(hourly)			
				其它	<ul style="list-style-type: none">• 免費軟體，部分第 3 方外掛程式需付費• 目前版本為 8.6，持續更新			
BESAP	台灣	Energy Plus	中文	<ul style="list-style-type: none">• 因運算核心為 EnergyPlus，故空調分析方式與 EnergyPlus 具有相同功能• 雲端化線上軟體，進行模型設定、計算分析、結果儲存，不需下載安裝• 客製化功能服務，如新增擴充空調系統設定介面、空調設備資料庫、設備篩選排序、標準建築模型• 免費軟體，部分客製化功能需付費• 目前版本為 2.0，使用者介面及設定功能持續更新		建築幾何	<ul style="list-style-type: none">• 簡易建築幾何外形，僅需設定長、寬、高，及窗牆比例• 提供建築結構資料庫，直接設定屋頂、外牆、窗戶	易
						設定輸入方式	<ul style="list-style-type: none">• 圖像化介面，提供手動輸入、下拉式選單、資料庫點選等方式• 節能標章設備資料庫• 快速排程設定• 本土化氣象數據	

						<ul style="list-style-type: none"> • 客製化設定輸入介面 	
					結果輸出方式	<ul style="list-style-type: none"> • 內建圖形化分析報表 • 具 ROI 分析功能 • 客製化分析報表 	
					使用者能力	需短期專業訓練，即可使用	