

國立臺灣大學工學院土木工程學系

碩士論文

Department of Civil Engineering

College of Engineering

National Taiwan University

Master Thesis

大學校園建築節能措施成本效益與推行阻礙之研究-

以國立台灣大學為例

Cost-Effectiveness and Executive Obstacles for
Buildings Energy-Saving Practices - A Case Study of the
National Taiwan University



周祐康

Yu-Kang Chou

指導教授：郭斯傑 教授

Adivisor: Prof. Sy-Jye Guo

中華民國 101 年 6 月

Jun. 2012

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

大學校園建築節能措施成本效益與推行阻礙之研究-
以國立台灣大學為例

Cost-Effectiveness and Executive Obstacles for
Buildings Energy-Saving Practices - A Case Study of the
National Taiwan University

本論文係周祐康君 (R99521712) 在國立臺灣大學土木工程學系碩士班完成之碩士學位論文，於民國 101 年 6 月 20 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

郭 斯 傑

(指導教授)

曾 仁 杰

潘 南 飛

郭斯傑

曾仁杰

潘南飛

系主任

呂 良 正

呂良正

(簽名)

致謝

在打這篇文章的時候已經過了人生長度三分之一，真正的人生卻才要開始。
一路幫助我的那些人，總是如此默默地不發一言。

爸爸、媽媽和姊姊，謝謝你們包容著任性的我。

謝謝你，認識十年、六年和兩年的伙伴們。

謝謝你，生命中最難忘的人。

謝謝你，和我擦肩而過的人。

謝謝你，曾經愛我的人。

謝謝你，現在愛我的人。

是你們讓我得以存在於這個時空地點。

是你們塑造了我過去的人生，也讓我可以滿懷感激地繼續往未來走去。

如果你問我，完成這本論文最需要感謝的是誰？

想了又想，我決定回答：

「真正值得感謝的，是這個並不美麗卻讓我們相遇的世界。」



摘要

在環保意識升高與能源價格飆漲之雙重壓力下，我國政府在近年來積極推動校園建築物之節能減碳。本研究選擇以國立台灣大學之校園建築為研究對象，目的在將台灣大學多年來之節能經驗做出有系統之整理，以作為未來大執行大學建築物節能之參考。首先利用校園內各館舍的用電資料進行用電特性分析；再與校內節能組織之負責人進行訪談以探討校園內各館舍執行節能之誘因、壓力與阻礙為何；最後並計算台灣大學校園常用節能措施之成本效益，以利進行未來優先施行何種節能措施之參考。

研究結果發現雖然能源局現行規定之學校用電指標(EUI)為 98.2，但本研究調查之 83 棟校園建築物中僅有 21 棟低於此數值，且前 10 名之 EUI 高達 478.3，因此可知台灣大學在節能成效尚仍有加強空間。由專家訪談中得知台灣大學目前是以金錢補助、節能績效比賽和自付電費機制來提供各館舍節能之誘因與壓力，各館舍在選擇節能措施時之主要考量因素則為「工程費用高低」和「投資回收年限」；曾執行過的節能措施以校方有進行專案經費補助的「更換 T5 節能燈泡」和「更換 LED 逃生指示燈」比例最高；執行節能時遭遇的阻礙主要來自「汰換設備之經費不足」和「使用者節能習慣不佳」。

總結而言，本研究認為成功推動大學校園建築節能之關鍵因子為：使用者付費機制的確實建立、上級者與行政人員之強烈意願、使用者節能意識的加強、設備汰舊換新和補助項目的自由化。在常見節能措施中，T5 省電型燈具與 LED 逃生指示燈具有良好的節能率與投資回收年限可考慮全面汰換；屋頂隔熱與感應式電燈需仔細評估安裝場所後才能確保其節能成效；冷氣汰換則不具財務回收之可行性，其優點僅在環境污染與室內舒適度之改善，不宜過於積極汰換。

關鍵字：校園建築、節能、用電特性分析、專家訪談、成本效益分析

Abstract

For the awareness of energy conservation and under the pressure of energy-price rising, our government made a lot of efforts in energy-saving and carbon reducing in recent years. This research target on campus building of National Taiwan University (NTU), and aim to (1) making systematize arrangement of energy-saving experience in NTU. (2) Using energy-consumption data of campus building for basic analysis of electrical characteristic. (3) Discussing the status and difficulty of energy-saving practices by expert interviews. (4) Cost-benefit analysis of common energy-saving measures in NTU.

The result shows that the top 10 energy-using buildings in National Taiwan University have a 478.3 EUI value, which is much higher than the standard value of university (98.2). It means NTU still have space to improve energy-saving performance. By expert interview for who in charge of building energy-saving, “building facility replacing subsidy” and “competition of building energy-saving performance” are the major incentives and the major pressure is provided by the “Departments’ electric bill sharing”. Under those policies, most departments take “budget of engineering” and “payback period” as most important concern criteria when choosing energy-saving measures, and “T5 bulb” and “LED fire-caution indicator” are two most common energy-saving measures that be taken. “Not sufficient in budget of facility replacing” and “poor energy-saving conscious of building users” become the greatest challenge to carry energy-saving in NTU.

This research conclude that the critical factor of successful energy-saving is: build up the pay-as-you-go energy bill sharing mechanism, the highly inclination of energy-saving executor, enhance building user’s energy-saving consciousness,

speeding up facility replacing and better subsidy diversity. And this research recommend that campus building should replace “T5 bulb” and “LED fire-caution indicator” immediately since they have good energy-saving effect and payback ratio. “Roof insulation” and “motion-sensor in lighting system” need to assess install location carefully to ensure their energy-saving effect. “Replacement of Air-conditioner” has no financial self-liquidating and is suggested keep in normal maintain and eliminate rather than aggressive replacement.

Keyword: Campus Building, Energy-Saving, Expert Interview, Cost-Benefit Analysis



目錄

致謝.....	II
摘要.....	III
Abstract.....	IV
第一章 緒論.....	1
1.1 研究動機與目的.....	1
1.2 研究限制.....	3
1.3 研究方法與流程.....	3
第二章 文獻回顧.....	6
2.1 國外既有建築物節能制度與手法.....	6
2.2 國內既有建築物節能制度與手法.....	15
2.3 節能政策、獎勵與補助方案.....	23
第三章 台灣大學館舍節能案例探討.....	30
3.1 台灣大學建築物節能政策.....	30
3.2 國立台灣大學校總區用電分析.....	34
3.3 台灣大學館舍節能常用措施、阻礙與誘因.....	40
第四章 校園節能措施成本效益分析.....	53
4.1 外殼節能.....	54
4.2 空調節能.....	59
4.3 照明節能.....	62
4.4 綜合比較.....	68
第五章 結論與建議.....	71
5.1 研究結論.....	71
5.2 後續研究建議.....	73
參考文獻.....	75
附錄一 國立台灣大學 98-100 年部分館舍用電資料.....	78
附錄二 機關學校用電指標(EUI)基準值.....	83
附錄三 經濟部冷氣機能源效率比值標準.....	86

圖目錄

圖 1. 研究流程圖.....	5
圖 2. BREEAM 評估流程圖.....	12
圖 3. 我國綠建築分級評估系統示意圖.....	18
圖 4. 美國.節能獎勵與補助統計範圍示意圖.....	24
圖 5. 校園綠色循環基金之數量與規模圖.....	26
圖 6. 台灣大學推動節能組織架構圖.....	31
圖 7. 學校和研究機構電能消費結構圖.....	54
圖 8. 管院一號館屋頂隔熱工程剖面詳圖.....	56
圖 9. 管院一號館頂樓空間配置圖.....	56
圖 10. 農化新館感應式電燈實景.....	65



表目錄

表 1. LEED-EB 評分權重一覽表.....	9
表 2. BREEAM UK 版本一覽表.....	12
表 3. BREEAM In-Use 評估權重表.....	14
表 4. 通過候選證書及標章案例數量統計表.....	16
表 5. EEWB 綠建築評估系統設立日期與適用對象一覽表.....	18
表 6. EEWB-RN 兩種評估法比較表.....	20
表 7. 美國六州之教育設施可申請節能補助統計分析表.....	24
表 8. 國內綠建築補助方案整理.....	29
表 9. 台灣大學近年節能補助方案比較表.....	32
表 10. 台灣大學節約用電獎勵辦法得獎單位施行之節能措施整理.....	33
表 11. 台灣大學校總區 91-100 年用電統計表.....	34
表 12. 台灣大學校總區電力分析建築所屬單位一覽表.....	36
表 13. 台大校總區年耗電量前十名館舍一覽表.....	37
表 14. 台灣大學校總區 EUI 前十名館舍一覽表.....	38
表 15. 各學院所屬建築物平均 EUI 一覽表.....	38
表 16. 台灣大學校總區各學院節能率一覽表.....	40
表 17. 受訪節能執行人員一覽表.....	41
表 18. 各單位選擇節能措施時考量因素整理.....	43
表 19. 各訪談單位曾經執行節能措施整理.....	45
表 20. 各訪談單位執行節能之阻礙與困難整理.....	48
表 21. 管院屋頂隔熱工程預算表.....	55
表 22. 生命科學館空調更換設備一覽表.....	60
表 23. 生命科學館改善後空調設備表.....	61
表 24. 傳統日光燈與 T5 日光燈功能比較表.....	62
表 25. 不同類型空間燈具使用時數假設一覽表.....	63
表 26. 管院更換省電型燈具前後對照表.....	64
表 27. 台灣大學更換 LED 逃生指示燈案例資料一覽表.....	67
表 28. 台灣大學常用館舍節能措施效益比較表.....	68

第一章 緒論

1.1 研究動機與目的

自工、商業革命徹底改變人類的生活以來，迄今已接近三百年之久，人類的生活型態也已經有了極巨大的改變。機械的廣泛應用使得製造物品的速度大為提升，交通工具的改善使人們能快速的來往各地，人們的生活確實更加便利了。然而科技的蓬勃發展也讓地球環境面臨了重大的挑戰，其中一個重要原因就是工業製造與交通運輸都燃燒大量的化石燃料作為動力來源，而燃燒後產生的溫室氣體—如二氧化碳、甲烷...等都造成地球溫度不斷升高，此即眾人皆知的溫室效應 (Greenhouse effect)。根據 Turner, J.(2009)之研究指出，自 1950 年至 2006 年地球表面溫度平均每十年上升 1.03°C ，這些溫度改變足以融化南北兩極的冰山，使海平面平均每年上升 $0.16\pm 0.06\text{mm}$ ，若此升溫趨勢持續，則至 2100 年時海平面可能上升達 1.4 公尺，對地球生態而言影響可謂甚鉅。有鑑於此，如何控制溫室氣體排放實在已是近年來最大的環境議題。

對土木建築產業而言，自從人口大量離開鄉村而集中於都市以降，越來越多的高樓大廈就應孕居住型態的改變而生。土木建築產業是高耗能、高污染的產業，根據成功大學建築研究所的統計(林憲德，2007)指出，台灣建築產業耗能所排放的二氧化碳量占全國總二氧化碳排放量的 28.8%，這些二氧化碳的來源包括建材的生產、運輸、施工和後續拆除時使用的重型機具之能源消耗。由於早期的土木建築產業並沒有適切注意到建築行為會對環境造成巨大影響的事實，因此不但恣意使用高耗能高污染的建材與工法，在建築的本身設計上也缺乏節能的理念(例如低度依賴天然採光、使用隔熱性差的外牆材質導致隔熱不良、通風不足造成過

度依賴空調...等)進而造成營運使用階段的耗能量大為增加。尤其使用空調雖然能使室內溫度下降,但將室內熱氣排到室外實質上使得都市的溫度更加酷熱難熬,進而成為一種惡性循環。為了改善土木建築產業帶來的高耗能與高汙染問題,世界各國於近年來掀起一股「綠建築」的風潮。根據內政部 1999 年「綠建築解說與評估手冊」的解說,所謂綠建築即是「消耗最少地球資源,製造最少廢棄物的建築物」,2003 年更進一步擴大綠建築的定義為「生態、節能、減廢、健康的建築物」。綠建築不僅建造時要減少各式的廢棄物與能源消耗,其設計更要與周圍的環境高度親和以保護建築周圍生態的完整;不僅要讓在建築物內的人們有舒適的環境,更要檢討如何使用最節能的手法達到最佳的舒適度。

根據謝宏仁(2004)之研究資料顯示,國內的建築市場截至 2008 年台灣新、舊建築物的比例將高達 3:97,顯示出現存舊建築物的比例已遠高於新建建築物。對於基本設計已無法改變的「既有建築物」而言,雖然已錯過在設計與建造階段進行綠建築設計之時機,卻仍可運用一些節能技術在後續長達數十年的營運階段為節能減碳貢獻一份心力。在「新建綠建築」在台灣已漸趨成熟階段的現在,舊有建築物翻新為綠建築的「綠建築更新」也逐漸受到重視,因為如果僅要求新蓋建築物符合綠建築標準,卻無視於超過九成的舊有建築物之綠建築更新,對於保護地球環境的效益仍然有限。而內政部建築研究所在累積數年對既有建築物推行綠建築改善之經驗後於 2010 年首度推出「綠建築更新評估手冊」,讓既有建築物能在經過簡易的改造或調整而大幅增進其在「生態、節能、減廢、健康」方面之效能,並於此手冊中強調「節能」的確是綠建築更新之重要目的之一。

「舊有建築物節能」作為目前之大勢所趨,政府在初期必定先從公有建築物開始向民間示範其重要之處,而推行的成功與否則關乎於成本效益、誘因與執行配套機制是否充足完整等層面。本研究之目的即是以政府權力所能觸及的公立大

學校園建築物為對象，選定國立台灣大學為對象，藉由專家訪談與案例資料蒐集的方式將校園內執行節能之實務經驗做出整理與探討，並專注在下列兩大主題上：

- (1)大學校園建築執行節能之阻礙與激勵因子為何。
- (2)大學校園建築常用節能措施之成本效益

1.2 研究限制

本研究之目的在於探討大學校園建築進行館舍節能之常用措施、成本效益和執行相關問題，但礙於全國大學校園建築甚多且分布地區不同而導致個體間存在實質上的差異，故本研究將以個案研究的方式將研究範圍限制於國立台灣大學總校區館舍以利研究之進行。綜上所述，本研究之結論可能無法完全適用於台灣其他地理區位之學校，但對於同處於北部的大學校園建築而言仍具有相當之參考價值。

1.3 研究方法與流程

1. 文獻回顧：

(1) 國外既有建築物節能制度與手法：

彙整蒐集國外既有建築物節能評估制度和常用之節能措施，藉由國外推行既有建築物節能多年所累積的豐富文獻與案例，使吾人可確實瞭解目前世界上推行既有建築物節能之方式與達成節能的手法。

(2) 國內既有建築物節能制度與手法：

彙整國內曾推行過之既有建築物節能改善案例，並歸納出我國政府近年

來既有建築節能政策之推動方向和常用節能手法。

(3) 節能獎勵與補助方案：

既有建築節能是否可以成功推行，除了本身成本效益充分外，是否擁有充足的誘因或完善的執行配套機制都會左右最後的成敗，本部分研究目的是瞭解國內外常見的節能獎勵與補助方案，並視其是否能應用在大學校園建築之節能推行上。

2. 台灣大學館舍節電案例探討：

本研究以國立台灣大學校總區為研究案例，整理台灣大學近年來之節能政策與推行成果，並藉由對校內各館舍執行節能相關人員之訪談，進而確切瞭解現行制度下校內各館舍之常用節能手法和執行時的阻礙與推力為何。

3. 校園建築節能案例成本效益分析：

以國立台灣大學校總區各館舍常用之節能措施為對象，藉由校園內之實際工程案例資料進行分析，以得到這些節能措施的成本效益、節能效果、二氧化碳減排放量等相關指標，並就其成本效益特性進行比較與施作建議。

綜上所述，本研究之研究流程如下頁所示：

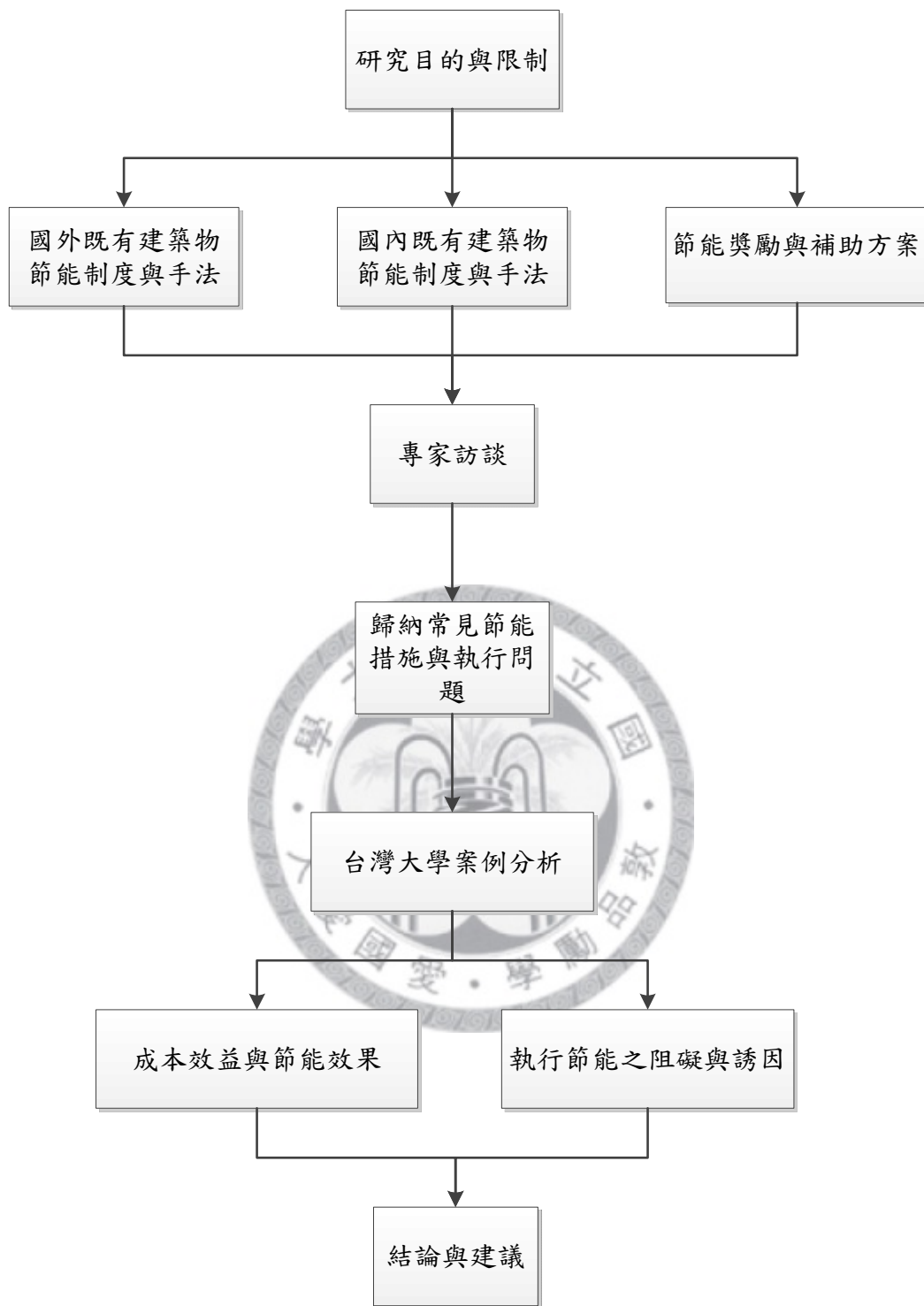


圖 1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

既有建築物節能作為一新興的研究領域，其研究成果往往會融合於「綠建築」之相關理論與實務中。綠建築也被稱為永續建築，其定義和名稱在各國雖皆不相同，但其意旨並無不同。根據美國環境保護署(US Environmental Protection Agency, USEPA)之定義，所謂綠建築指的是「在一建築物的全部生命週期：選址、設計、建造、營運、維護、更新和拆除中，無論其結構體或使用程序皆可以對環境保護付責任，並同時達到有效率資源使用的建築物。此概念擴充了以往建築設計只考慮經濟、設施、耐久度和舒適度的思考模式」；英國綠建築協會(UK Green Building Council, UKGBC)則指出「綠建築指的是能把對人類與地球的負面影響最小化，並提供更高的生活品質與商業價值的建築物」。在日本，綠建築被稱為「環境共生建築」，其內涵包括了減低環境負荷、與自然環境親和、舒適與健康三大項(蘇煥格，2011)。在國內，內政部營建署在1999年以資材、能源、水、土地、氣候之「地理資源」，以及營建廢棄物、垃圾、汙水、排熱、CO₂排放量之「廢棄物」兩層面角度來定義綠建築的範疇，將「綠建築」定義為：「消耗最少地球資源，製造最少廢棄物的建築物」，其後更進一步將綠建築定義為「生態、節能、減廢、健康的建築物」(林憲德，2007)。由綠建築的定義觀之，「節能」的確是綠建築之重要目的，而所謂「綠建築更新」則泛指將既有建築物改變成為綠建築的各式手法，本章將對國內外的綠建築更新節能制度與手法做出詳細探討。

2.1 國外既有建築物節能制度與手法

根據 Jensen et al.(2009)的調查指出，丹麥、法國、德國、荷蘭與英國地區目前每年的新建建築物僅占建築物總數的1%，可見既有建築物比例偏高之問題並

不僅在我國發生，在國外亦是迫在眉睫的工作。但節能是一件因地制宜的工作，世界各國地處不同的氣候區，其地理狀況和面臨的環境問題也大異其趣，因此其他國家發展之建築節能技術與評估系統往往不能完全適切的運用於自己國家。

目前世界各國評估建築節能績效的工作往往包含於各國之「綠建築評估系統」中。且誠如上段所述，為了有效的進行自己國家建築物綠建築程度之評估，目前世界各國皆競相發展自己的綠建築評估制度。其中又以美國綠建築協會(US Green Building Council, USGBC)所發展的領先能源與環境設計 (Leadership in Energy and Environmental Design, LEED)與英國綠建築協會所發展的英國環境評估方法(BRE Environmental Assessment Method, BREEAM)為兩個最具代表性的評估系統，故本研究將以此兩系統做為國外既有建築物節能文獻回顧之主軸。

2.1.1 美國 LEED-EB 系統

在 1993 年美國綠建築協會創辦後，其成員即認知美國需要發展一套有效且快速的綠建築評估系統。美國綠建築學會經過數年研究後在 1998 首先發表了 LEED 綠建築評估系統(目前由最早的 Ver.1.0 持續修改至目前之 Ver.2.2)。此套評估系統涵蓋「減少溫室氣體排放」「化石燃料使用」「有毒物質排放」「空氣與水污染」「室內環境條件」等建築或環境議題，並以基地的永續性(Sustainable Sites)、水資源(Water Efficiency)、能源與大氣環境(Energy and Atmosphere)、物材與資源利用(Materials and Resources)、室內環境品質(Indoor Environmental Quality)五大類別進行評分，每個類別皆依照其對人類和環境之影響力大小賦予了不同的評分權重。若建築物採用了創新的綠建築設計手法，也可以在經過 LEED 官方認證後在五大評分類別外以特別加分的方式列入最後的總評分。

為了因應不同類型建築物具有相異的使用特性，截至 2011 年底 LEED 已建立了多達九種評估標準，其評估對象分別為：

- (1) 新建建築物(New Construction)
- (2) 既有建築物之營運與維護(Existing Buildings: Operations & Maintenance)
- (3) 商業建築之室內設計(Commercial Interiors)
- (4) 建築核心與外殼(Core & Shell)
- (5) 學校建築物(Schools)
- (6) 零售類建築(Retail)
- (7) 醫療保健類建築(Healthcare)
- (8) 居住類建築(Homes)
- (9) 鄰里發展(Neighborhood Development)

由於學校建築物(LEED-Schools)評估系統是針對學校之新建建築物而設計，不能套用於既有建築物，故對於大學校園既有建築物而言，最適合採用的是 LEED 既有建築物之營運與維護(LEED-EB)評估系統。LEED-EB 評估系統之評分項目與權重如表 1 所示，此評估系統針對四層以上之商業和公共使用之既有建築物專門設計，主要目的是鼓勵既有建築物的使用者(或擁有者)去採行各式各樣的永續措施(Sustainable Practice)，以降低建築物生命週期內對地球環境造成之影響。這些措施包含了建築機電設備的升級、小規模的空間使用模式變更或是在既有的建築物上進行增建或整修(但以不超過建築物樓地板面積的 50%為限)，其評估項目與最大可能得分如下表所示。在計算完總得分後，將依照最後得分給予合格級(40-49 分)、銀級(50-59 分)、金級(60-79 分)、白金級(80 分以上)之級別認證。

表 1 LEED-EB 評分權重一覽表

類別	評估項目	可能得分
基地的永續性 (Sustainable Sites)	設計與建造通過 LEED 認證	4
	建築外觀與硬體之妥善管理	1
	周遭生物、地基與景觀之管理	1
	通勤工具替代方案	3-15
	運輸替代性	12
	基地發展	1
	雨水再利用計畫	1
	防治都市熱島效應	2
	光害防治	1
水資源 (Water Efficiency)	室內管道設備之最低節水效率要求	必要
	用水效率量測	1-2
	室內管道設備之額外節水效率要求	1-5
	景觀用水效率	1-5
	冷卻水塔用水管理	1-2
能源與大氣環境 (Energy and Atmosphere)	能源效率管理-計畫、文件、評估	必要
	最低能源效率	必要
	基礎冷媒管理	必要
	能源效率最佳化	1-18
	既有建築物使用	6
	能源使用績效量測	2-3
	基地內外之再生能源使用	1-6
	進階冷媒管理	1
	汙染排放減量報告	1
物材與資源利用 (Materials and Resources)	採購對環境友善產品之策略	必要
	廢棄物管理策略	必要
	採購對環境友善產品-耗材類	1
	採購對環境友善產品-耗電設備、家具	1-2
	採購對環境友善產品-設施本體的改建	1-2

	和增建	
	採購對環境友善產品-採用低水銀燈具	1-2
	採購對環境友善產品-食物	1
	廢棄物管理-廢棄物種類查核	1
	廢棄物管理-耗材	1
	廢棄物管理-耐用品	1
	廢棄物管理-設施本體的改建和增建	1
室內環境品質 (Indoor Environmental Quality)	室內空氣品質-最低要求	必要
	抽菸管制	必要
	綠色清潔政策	必要
	室內空氣品質最佳管理實務	5
	使用者舒適度	3
	自然採光與視野	1
	綠色清潔	6
五大基本項目總計		100
創新設計加分 (Innovation in Design)	創新設計	1-4
	LEED 認證專業人員參與設計	1
	永續建築成本影響文件化	1
區域特殊性加分 (regional priority)	區域特殊性	1-4
特殊加分項目總計		10

LEED-EB 評估系統內關於節約能源的手法主要涵蓋於「能源與大氣環境」和「物材與資源利用」兩大項目之下，規範中對於節能之建議策略與技術如下：

1. 建立建築營運計畫(包含使用者作息、設備使用時程、空調和照明設備清單)
2. 建立建築維護計畫(空調、管線、照明和建築控制等系統)
3. 通過能源之星組合經理工具(Energy Star Portfolio Manager Tool)之節能認證且至少獲得 69 分
4. 能源效率改造或節能技術

5. 採用節能或對環境友善產品辦公和家電設備
6. 排定空調汰換時程表
7. 減少空調使用
8. 尋找空調替代設備
9. 確認所有設備按照排定時程使用
10. 確認所有設備功能完好
11. 改善設備使用習慣
12. 採用太陽能、地熱、風、生質能...等再生能源

2.1.2 英國 BREEAM In-Use 評估系統



BREEAM (Building Research Establishment's Environmental Assessment Method) 是世界上最早被設計出來的綠建築評估系統，於 1990 年施行至今已有超過一百萬棟建築物使用過此系統進行評估，其中有約二十萬棟建築物(300 棟位於英國本土之外)順利得到認證。BREEAM 評估系統的評估範圍涵蓋建築物之設計、建造、營運三階段，評審項目含括：管理、健康與舒適、能源、運輸、水資源、材料、廢棄物、土地使用與生態、污染等議題九大領域，並配合以不同的得分權重以得出總分，並以：合格、好、良好、優良、傑出五個等級進行認證(圖 2)。此外 BREEAM 規範不但依建築使用類型細分成十數個版本，為了配合各地的不同風土條件還再分為英國(UK)、德國(Germany)、荷蘭(Netherlands)、挪威(Norway)、西班牙(Spain)、瑞典(Sweden)、國際(International)的地域版本差別。目前 BREEAM 之評估系統整理如表 2 所示。



圖 2 BREEAM 評估流程圖

(資料來源：BREEAM，引自林憲德，2010，頁 28)

表 2 BREEAM UK 版本一覽表 (資料來源：BREEAM，本研究整理)

評估對象	建築使用類型
新建建築物	<ul style="list-style-type: none"> • 法院 • 資料中心 • 生態家園 • 教育設施 • 醫療設施 • 工業設施 • 集合住宅 • 辦公室 • 監獄設施 • 零售業 • 其他
建築物翻修	<ul style="list-style-type: none"> • 家庭翻修 • 非家庭翻修
既有建築物	<ul style="list-style-type: none"> • 生態家園 • 使用中 (In-Use)

對於既有建築物節能而言，「BREEAM In-Use」是為了降低既有建築物的營運成本並增進對環境友善程度而特別建立的評估系統，評估對象包則含所有非家用建築物：商業、工業、零售和公有建築物且擁有專用的評審標準、評估方法和獨立的驗證程序。此系統之核心概念在於：

- 降低營運成本
- 加強資產本身的價值
- 提供地主、屋主和房客間明確的建築改善溝通平台
- 提供建築達成各種建築評審標準的機會
- 促進建築使用者對於永續議題之瞭解
- 提供明確的證據以供企業社會責任(Corporate Social Responsibility, CSR)和建築永續性之評估

申請 BREEAM In-Use 的評估和驗證流程可分成：

Part 1. 資產績效評定(Asset Performance)

基於建築形式、建造方式和服務上的績效評定

Part 2. 建築管理績效評定(Building Management Performance)

關鍵資源(能源、水、其他消耗品...等)和環境影響(產生碳和廢棄物...等)之管理政策，程序與實務

Part 3. 組織效能評定(Organizational effectiveness)

使用者參與理解上述管理政策、程序與實務之程度(非辦公類建築免評)

此三部分的評審標準仍是以 BREEAM 慣用的九大領域為主，但其下之子評審標準會依照建築使用需求、建築規範和評估工具的不同而有些微的調整，各部分的評審項目其權重如表 3 所示：

表 3 BREEAM In-Use 評估權重表 (資料來源：BREEAM)

部分 評審項目	資產績效 評定	建築管理績效 評定	組織效能 評定	三部分平均
能源	26.5%	31.5%	19.5%	25.8%
水資源	8.0%	5.5%	3.5%	5.7%
物料使用	8.5%	7.5%	4.5%	6.8%
廢物回收	5.0%	-	11.5%	5.5%
健康舒適	17.0%	15.0%	15.0%	15.7%
汙染	14.0%	13.0%	10.5%	12.5%
運輸	11.5%	-	18.5%	10.0%
生物多樣性	9.5%	12.5%	5.0%	9.0%
建築管理	-	15.0%	12.0%	9.0%
總計	100%	100%	100%	100%

本研究之研究主題在於「節能」，故在此將 BREEAM In-Use 規範中和節能有關的子評審項目列出：

1. 訂定二氧化碳排放標準
2. 獨立監控永續能源使用量
3. 獨立監控各使用者之能源使用量
4. 再生能源的使用
5. 維護計畫及時程安排
6. 能源查核
7. 能源及二氧化碳的監控、規範與減量
8. 能源報表及資訊回饋
9. 能源管理
10. 能源策略
11. 能源及設備採購政策
12. 能源使用量測與紀錄
13. 確認耗能項目與監控
14. 能源管理人員的培訓
15. 碳足跡
16. 綠色採購政策
17. 綠色採購的執行

由這 18 個子評審項目觀之，BREEAM In-Use 對於既有建築物節能之要求重點在於能源量測與管理、設備的綠色採購、碳排放量與碳足跡的控制，並不涉及建築物外殼的更新與翻修，這與後續章節所回顧之台灣 EEWH-RN 系統存在很大的差異。

2.2 國內既有建築物節能制度與手法

2.2.1 EEWH-RN 評估系統

我國於 1997 年即著手進行綠建築技術之研究，EEWH 綠建築標章評估制度在 1999 年由內政部正式公布實施，不但是世界上僅次於英國(1990)、美國與加拿大(1998)第四早建立綠建築評估系統的國家，也是亞洲第一個綠建築評估系統。EEWH 綠建築標章分為「候選綠建築證書」和「綠建築標章」兩大類，其中「候選綠建築證書」是頒發給規劃設計合於綠建築評估指標但尚未完工領取使用執照之新建建築物，僅為「準」綠建築之證明書，唯有在取得使用執照成為合法建築物後仍合於綠建築評估指標者，才頒授「綠建築標章」。根據台灣建築中心最新公布之資料，我國目前通過候選證書及標章之案例數量統計如表 4：

表 4 通過候選證書及標章案例數量統計表(資料來源：台灣建築中心)

類別 年度	綠建築候選證書		綠建築標章	
	公有	民間	公有	民間
89 年	0	4	1	0
90 年	3	3	0	2
91 年	111	5	0	2
92 年	161	8	0	8
93 年	237	22	14	3
94 年	251	24	36	6
95 年	212	22	61	17
96 年	263	33	77	18
97 年	223	30	74	22
98 年	309	30	99	27
99 年	186	27	103	13
100 年	229	52	146	27
總計	2185	260	611	145

由此表可觀察到，申請綠建築標章或候選綠建築證書者仍以公有建築物為大宗(約占 87%)，民間建築物的申請者仍然只占極小的比例。究其原因，是因為內政部於開始推行此制度時，僅規定工程規模 5000 萬以上之「公家機關工程」需要申請「候選綠建築證書」否則不辦理工程結算驗收，而民間建築物至今並無強制申請綠建築標章之壓力存在，僅需符合建築技術規則綠建築基準的要求即可。雖然建築技術規則第三百零一條明定「中央主管建築機關得以增加容積或其他獎勵方式，鼓勵建築物採用綠建築綜合設計」，內政部也在民國 99 年公布「內政部獎勵民間綠建築改善示範作業要點」作為鼓勵民間建築物申請綠建築標章的激勵措施，惟其施行成效還有待觀察。而綠建築標章或候選綠建築證書者通過數量上有落差之原因除了政府一開始並未強制要求工程規模 5000 萬以上之公家機關工程通過「綠建築標章」(直至民國 98 年起才強制要求)外，另方面則是許多工程更在施工過程不斷進行變更設計，把原本需花高成本的綠建築設計手法再改為

一般成本較低的設計，導致原設計的綠建築功能降低或喪失，造成原本預期的綠建築效益難以落實(蘇煥格，2011)。以上種種跡象觀之，我國在推動綠建築成效上仍有許多地方值得加強。

EEWH 評估系統以「生態、節能、減廢、健康」為主軸，再細分成生物多樣性、綠化量、基地保水、外殼節能、空調節能、照明節能、二氧化碳減量、廢棄物減量、室內環境、水資源、汗水垃圾改善九大指標進行綜合評分，欲申請標章者至少須通過四項指標(日常節能與水資源為必選指標，其餘兩指標任選)。此評估系統的認定標準具有「低得分容易，而高得分困難」之特質，並以通過綠建築最低標準分(12分)到目前歷史最高得分(82分)之間利用自然對數常態分佈圖劃分為五個概率區間為分級獎勵之標準(見圖 3)，分別為鑽石級(95%以上)、黃金級(80~95%)、銀級(60~80%)、銅級(30~60%)、合格級(30%以下)。

台灣的綠建築評估系統發展至今，也和國外的綠建築評估系統一樣已經出現依建築使用形式的專業分化。除了最早公布的綠建築基本型(EEWH-BC)外，目前尚有生態社區(EEWH-EC)、綠色工廠(EEWH-GF)、綠建築更新(EEWH-RN) 三個分別針對不同類型建築物的評估系統已完成開發，其適用對象如下頁表 5 所示：

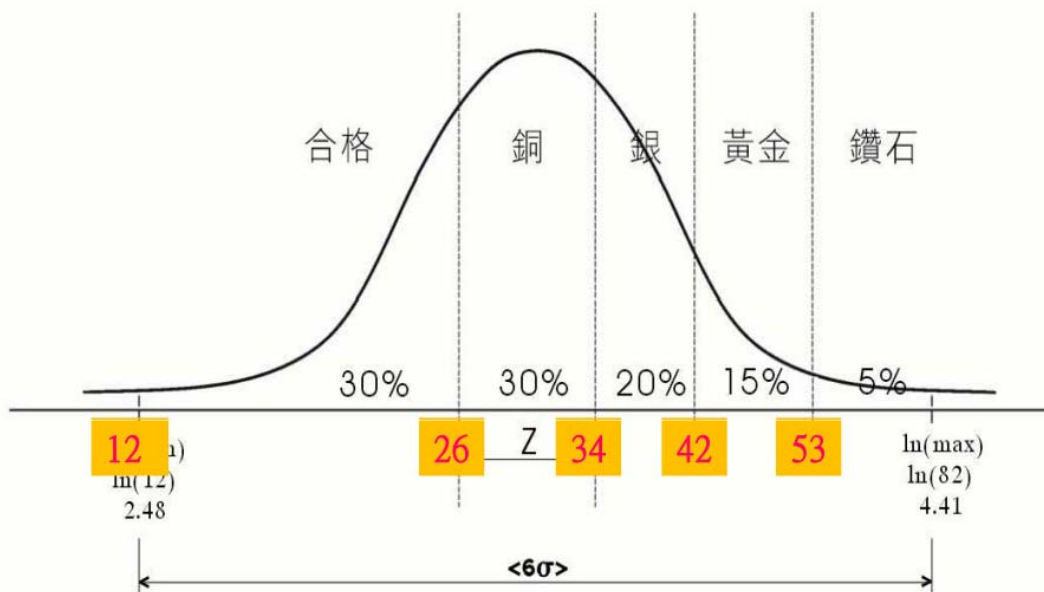


圖 3 我國綠建築分級評估系統示意圖
(資料來源：綠建築解說與評估手冊，2009)

表 5 EEWB 綠建築評估系統設立日期與適用對象一覽表
(資料來源：綠建築解說與評估手冊)

綠建築評估系統類別	設立年分	適用對象
綠建築基本評估系統	1999	除了夏墅三類之工廠建築與六類之住宿類建築以外的新建或既有建築物
生態社區評估系統	2009	鄰里單元社區、新開發住宅社區、既成住宅社區、農村聚落或原住民部落、科學園區、工業區、大學城、商業區及住商混合區等社區
綠色工廠評估系統	2010	以一般室內作業為主的新建或既有工廠建築
綠建築更新評估系統	2010	取得使用執照三年以上，且建築更新樓板面積不超過一半以上之既有建築物

根據「綠建築解說與評估手冊」之解說，EEWH-RN 乃是立基於 EEWH-BC 之評估架構為主，並以內政部長投入既有建築物綠建築更新工程之實務經驗為輔，進而建立一有助於既有建築物朝向更生態、節能、減廢、健康的方向前進的綠建築更新評分系統。其認證方法分為「EEWH 性能效益評估法」與「實際減碳效益評估法」，申請者可任選對其最有利的評估法進行認證，本研究將此兩方法簡述如下，並以表 6 做出比較整理。：

- EEWB 性能效益評估法

此評估法使用 EEWB-BC 的九大指標來評估既有建築物改善前後的綠建築得分差距，再換算成性能改善效益百分比(ΔR_{Sr})進行分級認證。使用效益百分比而非絕對值的用意在於並非每棟建築物的先天條件皆一致，若使用絕對量尺可能會造成一些建築無論如何都無法獲得高分的情形，使用百分比進行評分方能提高建築物在其可行範圍內盡力改善的意願。依此建築物之 ΔR_{Sr} 值可將分級評估成：

不合格($\Delta R_{Sr} < 5\%$)、合格($5 \leq \Delta R_{Sr} < 10\%$)、銅級($10\% \leq \Delta R_{Sr} < 14\%$)、銀級($14 \leq \Delta R_{Sr} < 17$)、金級($17 \leq \Delta R_{Sr} < 20$)、鑽石級($\Delta R_{Sr} \geq 20\%$)。

- 實際減碳效益評估法

此評估法係將建築物之耗電、瓦斯、燃料等各式耗能數據換算成二氧化碳之排放量，再以改善之百分比做綠建築更新程度的評斷。使用本評估法者除了須提出申請更新前後各 12 個月之連續耗能資料外，其改善前後之建築物使用類型也不得變更超過原總樓地板面積之 30%，以避免產生評估立基點不同之錯誤。將耗能換算為二氧化碳排放量之依據乃是經濟部能源局所公布之「燃料及電力使用之二氧化碳排放係數表」(以電力排放係數為例，歷年電

力排放係數分別為：94 年(0.626kgCO₂e/度)、95 年(0.637kgCO₂e/度)、96 年(0.632kgCO₂e/度)、97 年(0.631kgCO₂e/度)、98 年(0.616 kgCO₂e/度)以及 99 年(0.612 kgCO₂e/度)。此外若建築物使用再生能源(如太陽能、風能、地熱能發電)的電量將會從總耗電量的計算中扣除，而且還能獲得特別的碳排放量折抵優惠。欲使用此評估法者須提出一份「減碳評估報告書」，內容包含以國際公認之能源模擬電腦軟體模擬出的「理論減碳效益」和以建築物耗能資料換算之「實際減碳效益」，申請者可擇較優之數據申請 EEWH-RN 之認證。

表 6 EEWH-RN 兩種評估法比較表 (資料來源：本研究整理)

EEWH 性能效益評估法	使用 EEWH-BC 九大指標進行評估
	$\Delta R_{Sr} (\text{EEWH 性能改善百分比})$ $= (R_{Sa} - R_{Sb}) / R_{Sc} * 100\%$
	R _{Sa} :改善前 EEWH 評估得分 R _{Sb} :改善後 EEWH 評估得分 R _{Sc} :最大改善潛力 = R _{Ssmax} -R _{Sb} R _{Ssmax} :該案最大可能得分值，通常為 70 分
實際減碳效益評估法	將節能成效轉換成碳排放量以進行評估
	$\Delta C_{Rr} (\text{減碳效益}\%)$ $= (C_{Eb} - C_{Ea}) / C_{Eb} * 100\%$ *須同時提出理論減碳效益與實際減碳效益
	C _{Eb} :改善前建築物總碳排放量 (kg-CO ₂ /yr) C _{Ea} :改善後建築物總碳排放量 (kg-CO ₂ /yr)

EEWH-RN 評估系統中與建築節能最有相關性者為「日常節能指標」，此指標將建築節能的改善潛力著眼於外殼、空調和照明三個部份上(且三個部分需同時通過標準時此指標才能合格)。根據綠建築解說與評估手冊之說明，「日常節

能指標」對於節約能源的要求比我國現行之「建築技術規則」強化約 20%，可同時節約 30%的空調設備容量和 20%的照明用電，以建築物數十年的生命週期觀之可省下的用電量甚鉅。

在綠建築更新評估手冊中明文指出的節能手法有如下幾種：

- 外殼節能

主要強調屋頂和牆面隔熱性能的加強，並要求使用低反射率之玻璃以降低玻璃反光公害。其節能手法大致可歸納為：

- (1)降低開窗面積，辦公類建築建議在 35%以下，住家最好在 25%以下。
- (2)增加遮陽板或遮陽效能
- (3)減少水平透光天窗，且當開窗面積超過 180 平方公尺以上時外遮陽遮蔽率必須達 50%以上。
- (4)進行屋頂隔熱措施，讓屋頂熱傳透率 U 值維持在 $1.2 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 以下。

- 空調節能

此部分針對法定中央空調建築物、其他中央空調建築物、窗型或分離式空調建築物分別建立不同的審核機制。其中窗型或分離式空調建築物部分直接引用經濟部能源局之空調系統冰水主機性能係數(COPc)為判斷標準，而在綠建築規範中予以直接規範，其他凡是採用中央空調系統(包含箱型機)者之節能方式為：

- (1) 冰水主機容量供應面積不得超量設計
- (2) 採用符合經濟部能源局 COPc 標準之高效率空調主機
- (3) 空調節能技術，包含：熱源系統節能(主機台數控制、儲冰空調、變頻空調、空調風扇並用...等)、變風量系統、變流量系統、建築能源管理系統與使用再生能源。

- 照明節能

既有建築物的照明系統及設備的改善，不僅為最普遍便利的綠建築更新手法，同時對耗能也有極大的改善效益(林憲德，2010)。本指標所評估的範圍不包含停車場、樓梯間、茶水間、廁所、住宅、旅館、開刀房、音樂廳等非居室使用或屬於私人住宿而有特殊照明需求之空間，僅針對一般照明水準較具有共同標準的供公眾使用空間。其建議改善手法大致可分為如下幾種：

(1)使用高效率燈具

(2)合理之燈具照度設計

(3)設置自動調光、晝光感知、紅外線感應...等自動點滅控制器

(4)加強分區開關控制，隨時關閉無人使用之照明設備



2.3 節能政策、獎勵與補助方案

推動節能除了由使用習慣的改變著手，最重要的就是進行各式耗能設備的汰換或能源監控系統的安裝。然而設備汰換安裝雖然有顯著且立即的節能效益，卻往往因為得不到經費的支持而難以推動。為了協助有意願進行節能的建築物進行改善，政府機關往往推出獎勵與補助方案以突破財務上的障礙，同時也能達到向社會大眾宣導之功效。

一、美國之政策、節能獎勵與補助方案

美國的聯邦政府、各州政府和部分能源公司皆提供財務上的激勵來幫助建築物提升能源效率。美國能源部在1995年建立了DSIRE(Database of State Incentives for Renewables & Efficiency)資料庫，專門彙整全美國的節能獎勵方案與政策等資訊，其統計資料指出目前美國所提供的節能獎勵與補助大致上可分為九類(如下所示)，其中以「折扣」的的獎勵方案數量最多，「低利貸款」次之。

- (1) 個人稅減免(Personal Tax)
- (2) 企業稅減免(Corporate Tax)
- (3) 貨物稅減免(Sales Tax)
- (4) 房地產稅減免(Property Tax)
- (5) 折扣(Rebates)
- (6) 補助(Grants)
- (7) 低利貸款(Loans)
- (8) 債券(Bonds)
- (9) 綠建築(Green Building)

為求詳細瞭解學校可適用何種獎勵和其補助項目為何，本研究在此將統計範圍(見圖 4)鎖定在氣候較溫暖的亞利桑那州(Arizona)、加州(California)、佛羅里達州(Florida)、喬治亞州(Georgia)、德州(Texas)，經過 DSIRE 資料庫之篩選後得到總計 26 個獎勵方案，分析結果如表 7 所示：

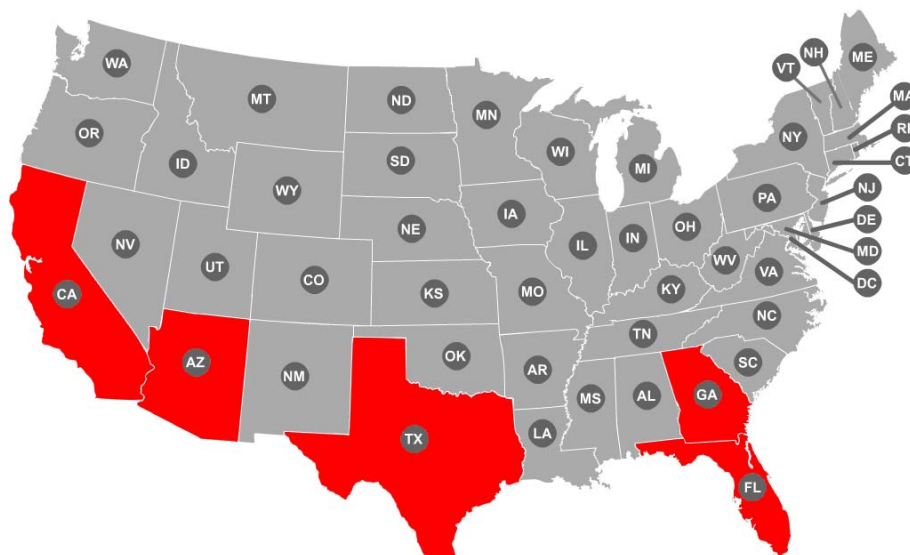


圖 4 美國節能獎勵與補助統計範圍示意圖

表 7 美國六州之教育設施可申請節能補助統計分析表

統計項目		數量
提供者	政府	2
	民間	24
獎勵類型	減稅	1
	貸款	3
	績效獎金	3
	折扣與補助	19
獎勵項目	照明	15
	空調	15
	太陽能板	10
	外殼隔熱	10
	能源管理系統	8

由表 7 可知這些地區大部分節能獎勵或補助方案的提供者是民間公司(通常是當地電力的提供者)，獎勵方式則以折扣和補助占了約八成的比例。每個方案通常不只針對一個項目進行獎勵，整體而言最常被提供的獎勵項目前五名分別是：照明、空調、太陽能板、外殼隔熱和能源管理系統，此結果和我國目前所推行之節能手法大致相符。

除了上述的節能補助，美國於近年來在校內自行籌組「校園綠色循環基金」(Green Revolving Funds on Campus)以推行既有建築物節能的數量也有攀升的趨勢，依照永續發展捐贈基金協會(Sustainable Endowments Institute)於 2011 年之研究報告指出，截至此報告出版為止，美國已有 47 所學校共建立了 52 個校園綠色循環基金(圖 5)，這些基金的規模從 5000 美元(College of Wooster)到 2500 萬美元(Stanford University)不等，平均基金規模在 140 萬美元上下，並擁有從 29%(Iowa State University)到 63%(University of Denver)不等的年報酬率。此報告認為校園綠色循環基金的好處如下：

- (1) 減少能源消耗、資源使用、廢棄物數量和汙染程度
- (2) 促進學校對於能源、水和其他相關消耗資料之追蹤與紀錄
- (3) 促進學校、學生和協力廠商之間的合作
- (4) 提供學校對永續議題之跨領域教育機會

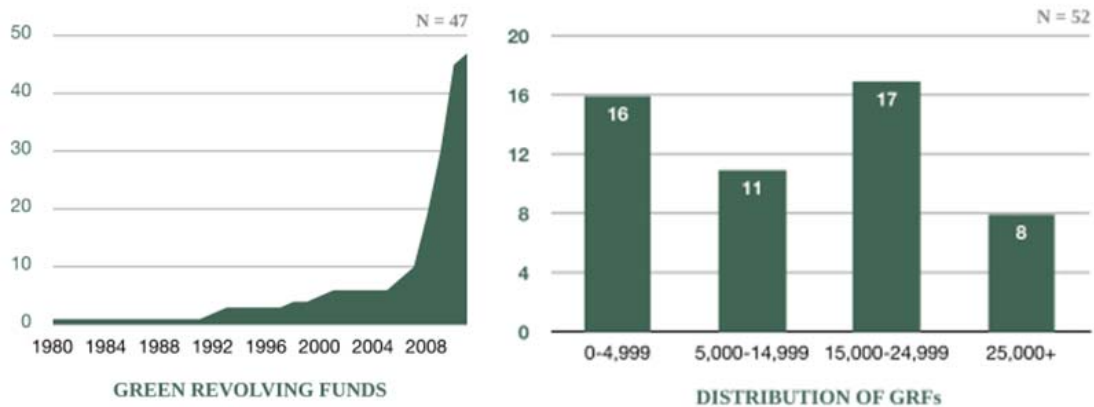


圖 5 校園綠色循環基金之數量與規模圖
(資料來源：Sustainable Endowments Institute，2011)

二、英國之節能政策、獎勵與補助方案

根據 Fudge, S., Peters, M. & Wade, J. (2012)之研究歸納，英國政府近年來主要推行的能源與氣候政策獎勵與補助方案涵蓋於下列各階段之政策白皮書中：

2003 年—“Our Energy Future: Creating a Low Carbon Economy”

英國皇家環境汙染委員會在 2000 年所發表之報告中呼籲英國政府能在 2050 年前降低國內 60% 碳排放量，對此英國政府特別發表此白皮書作為回應。此白皮書強調英國未來的能源策略執行將更加聚焦於地方政府的積極作為上，並以下列各方式協助或施壓各地方政府：頒發獎章予節能績效優良之地方政府、申明可能將節能績效列入地方政府之績效評估指標中、實施「碳信託方案」(Carbon Trust scheme)以對地方政府提供節能建議與金錢援助以改善其能源使用績效。

2006 年—“The UK Government’s Climate Change Programme”

為了達成「2010 年前將碳排放量降為 1990 年之 20%」與「2050 年前降低國內 60% 的碳排放量」之雙重目標，英國政府審度當時節能政策之不足而提出了此計畫。此計畫同樣強調地方政府對氣候變遷改善政策執行之重要地位，因此正式將節能績效放入地方政府績效評估指標中，希望能促使其更加努力於氣候變遷的

改善上。此項政策改變預計於 2008 下半年開始實施。

2007 年-“White Paper: Meeting the Energy Challenge”

英國政府在 2006 年公布的 Stern Review on the Economics of Climate Change 這份報告書中強調「若以舊有的政策走向來解決氣候變遷問題，改善成本將等同於每年 GDP 的 5%至 20%；但如果立即採取報告書內建議的行動，則改善成本可能只需要每年 1%的 GDP」。因應此報告書的內容，英國政府在 2007 年再度以此政策白皮書重申將以(1)碳交易(2)增加再生能源使用(3)增進能源使用效率(4)提升能源市場之競爭度四個管道去積極達成節約能源政策與目標

2007 年-“The Energy Measures Report”

因應 2008 下半年節能績效正式列入地方政府的績效評估指標，政府發展了此指導手冊以協助地方政府改善能源效率、增加當地小型發電機具的使用率並減少溫室氣體排放。惟中央政府雖然規定地方政府應「重視此指導手冊之內容」，但並未強制地方政府必須遵守其中的內容。

2009 年-“Energy White Paper: The Low Carbon Transition Plan”

因應英國政府在 2008 年提高減碳目標為「至 2050 年需減少 80%之二氧化碳排放量」，此計畫之目的除了提出未來五年之減碳相關預算規劃以利順利達成此目標外，其他核心目標包括

- 至 2020 年，全國 30%之能源使用必須來自再生能源。
- “Clean Energy”現金回饋方案，利用長期電費回饋(Feed-in Tariff)契約的方式鼓勵再生能源製造者生產綠色能源。
- 以低收入社區為單位發展綠建築。
- 提供約 3.2 億英鎊的經費幫助國內住宅提升能源使用效率。

- “Pay as You Save”方案，其目的是用建築設備更新汰換所節省的電費來支付設備安裝的費用，等於是鼓勵既有住宅綠建築化。此方案需要與當地能源供應商簽定合作契約，故亟需借助於地方政府與能源供應商之事先協調。
- 建置更大型的智慧電網，以利將更多再生能源發電機組或能源科技納入現有之輸配電系統中。

三、我國之節能政策、獎勵與補助方案

我國對於耗能設備之節能事宜主要由經濟部能源局負責，能源局除了建立「使用能源設備或器具容許耗用能源標準」並頒發「節能標章」作為管制市面上產品的基本要求外，目前與建築較相關的補助辦法為以下四種：

- (1) 公司購置節約能源或利用新及淨潔能源設備或技術適用投資抵減辦法
- (2) 購置節約能源設備優惠貸款要點
- (3) 節能績效保證專案示範推廣補助要點
- (4) 高效率道路照明燈具示範計畫審查及補助作業要點

除此之外，內政部自民國九十年起陸續施行「綠建築推動方案」、「生態城市綠建築方案」和「智慧綠建築推動方案」，希望由政府部門扮演領頭羊的角色積極推動綠建築，並由建築研究所負責建築節能改善補助計畫(見表 8)的審核與技術協助，惟其補助對象主要仍以公有建築物為主。內政部另於民國 99 年頒布「獎勵民間綠建築改善示範作業要點」，針對綠建築設計與更新改造進行獎勵作業，獎勵金額以該建築物綠建築改善工程經費之百分之四十九且不超過新臺幣二百萬元為限，最低申請獎勵金額則不得低於新臺幣二十五萬元。

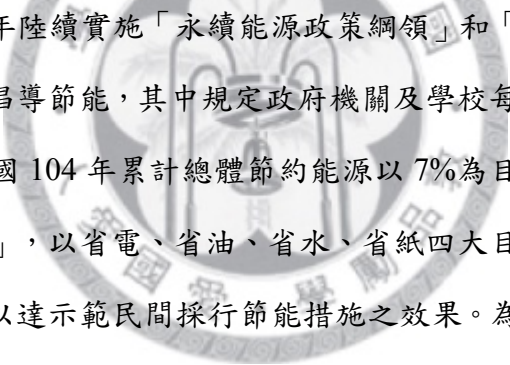
表 8 國內綠建築補助方案整理

方案名稱	子計畫	補助對象	節能手法	獎勵方式
智慧綠建築推動方案 (民國 99-104 年)	建築節能與綠廳舍改善補助計畫 (民國 101 年-)	中央政府機關暨所屬辦公廳舍及國立大專院校	(一)空調系統節能策略導入 (二)空調系統最佳化運轉 (三)高效率熱泵熱水系統 (四)建置或升級建築能源管理系統 (五)室內照明改善 (六)外遮陽 (七)屋頂隔熱	改善工程所需經費由內政部建築研究所全額補助
生態城市綠建築方案 (民國 97-100 年)	綠建築更新診斷與改造計畫 (民國 97-100 年)		(一) 綠屋頂 (二) 戶外照明改善 (三) 室內照明改善	
	建築能源效率提升計畫 (民國 97-100 年)		(一)空調系統節能策略導入 (二)空調系統最佳化運轉 (三)高效率熱泵熱水系統 (四)建置或升級建築能源管理系統	
綠建築推動方案 (民國 90-96 年)	綠廳舍暨空調節能改善計畫 (民國 91-96 年)		無限定，以改善高耗電耗水、嚴重日曬、悶熱、生態環境不良及工作環境惡劣等情形為目標	
	舊有建築物節能改善工程補助計畫 (民國 91-96 年)	中央機關之辦公廳舍、醫院、學校、住宅等公私有建築物	(一) 外遮陽 (二) 屋頂隔熱。	外遮陽工程每件補助上限 100 萬元，屋頂隔熱每件補助上限 50 萬元

第三章 台灣大學館舍節能案例探討

根據黃盛雄(2009)之研究指出我國以電力消費為主要 CO₂ 排放來源，至民國 97 年 CO₂ 排放量已占排放比例之 55.5%，顯示節約用電實為環境保護之重大課題。國立台灣大學在近年來積極推動館舍節能措施，本研究將利用台灣大學近年來的節能政策、電力資料分析再輔以專家訪談，以綜合探討執行大學校園建築節能之實務。

3.1 台灣大學建築物節能政策



我國於民國 98 年陸續實施「永續能源政策綱領」和「政府機關及學校全面節能減碳措施」大力倡導節能，其中規定政府機關及學校每年用電量與用油量以負成長為原則，至民國 104 年累計總體節約能源以 7% 為目標。民國 100 年更進一步推動「四省專案」，以省電、省油、省水、省紙四大目標來精進政府機關和學校節約能源成效，以達示範民間採行節能措施之效果。為因應政府節能政策並解決校內日漸龐大之電費負擔，台灣大學不但持續進行功率因素與契約容量的檢討，更於 98 年首先創立全校性的節能組織以針對水電濫用浪費及節約措施等議題進行定期討論，其組織架構和功能如圖 6 所示。總共分為校級的「能源管理小組」、各一級單位的「能源節約小組」和各二級單位的「能源幹事」。「能源管理小組」負責規劃督導全校能源節約措施，「能源節約小組」則配合規劃督導其下各館舍進行節能，並由「能源幹事」實際負責各項節能措施之執行。

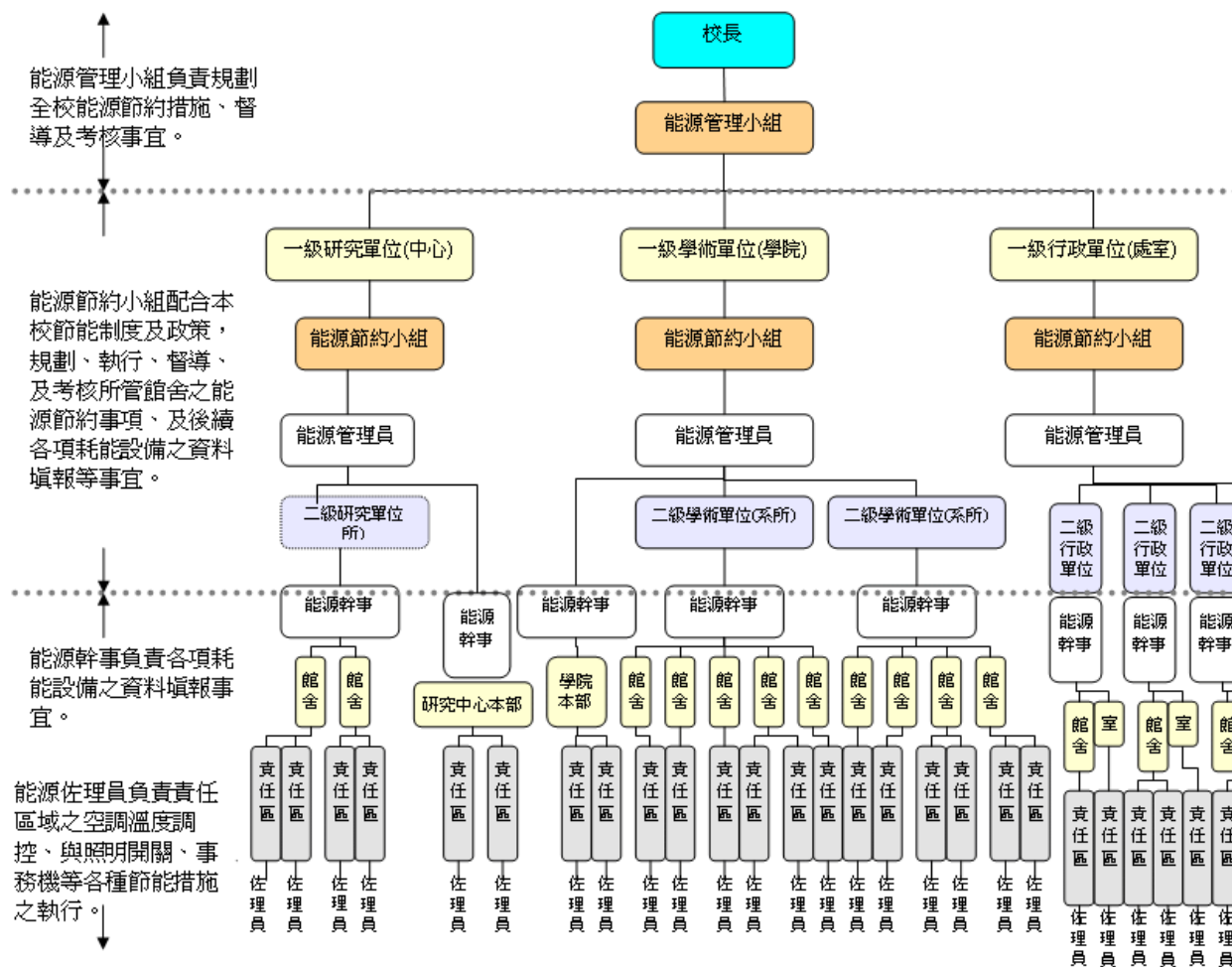


圖 6 台灣大學推動節能組織架構圖(資料來源：台大總務處網站)

而為了積極達成政府「四省專案」所要求之節能目標，台灣大學也訂下民國 98 至 104 年各館舍每年用電量需下降 4%(以 98 年為基準)之目標，並將此節能目標與「學校各單位自付電費」的制度做結合以加強執行成效。所謂「學校各單位自付電費」制度，即是規定校總區各單位自 98 學年度起應自行負擔其所使用電費之一定比例，希望能以使用者付費的角度喚醒各單位的節能意識。在將「年度節電目標」與「自付電費機制」結合後，目前台灣大學計算各單位當年度自付電費比率之公式如下：

$$\{ \max [0, A - C] * 100\% + C * B - \max [0, C - A] * B - \max [0, C - A] * D \} \div A$$

A：當年度實際用電量 / 98 年實際用電量 (%)

B：當年度自付電費比率基值(%), 98 及 99 年為 15%, 99 及 100 年為 16%

C：當年度節約用電目標 (相對 98 年) (%)

D：獎勵比率(%), 目前為 30%

此公式之設計理念即是：超量用電由該單位完全自負，節電超標給予額外獎勵。學校並保留每年度修改自付電費比率基值與獎勵比率之權利，可依實際執行成效隨時調整以加強對各單位的激勵效果或壓力。

繼全校性之節能組織成立後，台灣大學也於民國 98 年以來陸續通過「節能減碳評估暨改善設施補助要點」(民國 98 年)與「台灣大學節約用電獎勵辦法」(民國 99 年)來鼓勵校內各單位積極採行各項節約用電措施，其概要內容如表 9 所示。其中「台灣大學節約用電獎勵辦法」已公布前六名之單位與建築物為：第一名：圖書館、第二名：管理學院、第三名：應用力學研究所、優良：食品科學研究所、圖書資訊學系、獸醫專業學院。根據各單位所提出的節約能源報告書，本研究以 EEWH-RN 日常節能的三大領域：外殼節能、空調節能、外殼節能進行分類，整理出上述六個單位近年來所進行之節能措施如表 10。

表 9 台灣大學近年節能補助方案比較表

名稱	台灣大學節約用電補助辦法	節能減碳評估暨改善設施補助要點
期間	民國 98 年 5 月 4 日至 6 月 1 日	民國 100 年 7 月 20 日至 8 月 22 日
資格	校內各二級單位	校內各一級單位
內容	由申請單位提出節約用電報告書，交予學校能源管理小組之特別審查小組。其節電績效優良單位由總務處扣抵電費作為獎勵，方式如下：第一名 50 萬元、第二名 40 萬元、第三名 30 萬元、優良單位 7 名各 10 萬元。	由總務處編列預算補助各單位，每件以申請金額之 50% 為上限。申請補助額超過新台幣 100 萬元者為專案補助，其餘則為一般補助。但受補助之單位應於評估或改善後三個月內提出成效報告。

表 10 台灣大學節約用電獎勵辦法得獎單位施行之節能措施整理

節能措施	管理 學院	獸醫 學院	總圖 書館	圖資 系	應力 所	食科 所
外殼節能						
屋頂鋪設隔熱材	◎	◎	◎		◎	
照明節能						
更換省電型燈具	◎	◎	◎	◎	◎	◎
隔盞開燈 (或減少燈管數)	◎	◎	◎	◎	◎	◎
自動控制式電燈	◎		◎		◎	◎
使用 LED 逃生指示燈	◎	◎	◎	◎	◎	◎
中央控制系統	◎		◎			
空調節能						
溫度適當設定	◎	◎	◎	◎	◎	◎
調整空調開啟時間		◎	◎	◎	◎	
提早關閉冰水主機		◎	◎			
舊冷氣汰換	◎	◎	◎			◎
採用空調節能技術			◎			
空調用電管理系統			◎			
中央控制系統	◎		◎	◎		
自動控制式開關					◎	
空調清洗與保養	◎	◎	◎		◎	
其他節能						
事務機器自動休眠	◎	◎	◎	◎	◎	◎
電梯內照明及風扇自動啟停裝置	◎	◎				
綠建築標章		◎				
省水龍頭		◎	◎			
窗簾或隔熱紙			◎		◎	
飲水器自動斷電	◎	◎	◎			
非尖峰時段停用部分電梯	◎		◎			
提高照明系統之功率因數	◎					
節能宣導	◎	◎	◎	◎	◎	◎

3.2 國立台灣大學校總區用電分析

國立台灣大學校總區面積達 112.94 公頃，面積主要分為建築基地(92%)、實驗用地(4%)和體育館基地(4%)三個部分，包含總辦公處、文學院、理學院、工學院、生農學院、管理學院、電資學院、法律學院、生命科學院、圖書館總館、部分男、女生宿舍...等皆坐落於此處，是台灣大學最重要的教學研究空間所在地。校總區自民國 91 至 100 年之用電度數與電費統計資料如表 11 所示，由此資料可看出台灣大學於民國 91 年至 98 年用電度數與電費呈現逐年攀升，一直到民國 98 年行政院通過「永續能源政策綱領」和「政府機關及學校全面節能減碳措施」給予各大專院校節能壓力後成長趨勢才逐漸趨緩，並於民國 99 年首次出現負成長，但由於電費在過去十年每度已增加高達 0.62 元(91 年：2.18 元，100 年：2.80 元，漲幅 28.44%)，用電節省所能造成的電費減少正在逐漸下降中，這也增加了台灣大學加速節能腳步的急迫性與必要性。

表 11 台灣大學校總區 91-100 年用電統計表

年度	校總區用電度數		校總區電費		
	用電度數	年增率	總電費	年增率	平均電費
91 年	105,010,505	-	228,672,201	-	2.18
92 年	112,811,374	7.43%	232,954,642	1.87%	2.06
93 年	116,768,606	3.51%	233,022,899	0.03%	2.00
94 年	130,717,102	11.95%	259,107,794	11.19%	1.98
95 年	136,323,879	4.29%	281,390,949	8.60%	2.06
96 年	138,547,211	1.63%	300,280,252	6.71%	2.17
97 年	139,201,132	0.47%	329,196,016	9.63%	2.36
98 年	141,132,969	1.39%	391,146,456	18.82%	2.77

99 年	140,232,484	-0.64%	390,655,474	-0.13%	2.79
100 年	135,443,844	-3.41%	379,878,629	-2.76%	2.80

台灣大學由於館舍興建時間較早，早期總校區並非每個館舍皆有獨立的電號，也沒有獨立的電表，而是數個館舍共用一個電號和電錶的狀況，造成學校針對單獨館舍進行用電監控管理的一大阻礙。為促進用電的有效控管，台灣大學總校區目前已全面於館舍裝設獨立之數位電表作為能源管理系統之基礎建置，迄今已有 133 只電錶正常運作中。所有電表紀錄完全公開於線上之「校園數位電表監視系統」中，此系統儲存了自民國 98 年 1 月以後各電表之每日用電資料，校方並依此作為各館舍自付電費制度之執行依據。

本研究著眼於館舍用電數據的分析，以求獲得台灣大學校總區館舍的各種用電特性，但為求分析之正確與方便性，本研究先以下列條件進行樣本館舍之篩選：

1. 館舍須於民國 95 年前新建完成，以確保 98 年時數位電表開始紀錄時館舍用電模式已趨於穩定
2. 民國 98 年後無重大增、改建或使用用途改變。
3. 至少擁有兩年之連續用電資料不可間斷。
4. 排除用途為餐廳、販賣部、陳列展示館之特殊用途館舍。

篩選過後符合本研究要求條件的建築物共計 83 棟，其所屬之使用單位或類別如表 12 所示，本研究將運用這些資料進行各館舍用電的初步分析。

表 12 台灣大學校總區電力分析建築所屬單位一覽表

使用單位或類別	建築數量	使用單位或類別	建築數量
圖書館	1	管理學院	3
學生宿舍	12	文學院	5
電機資訊學院	4	生命科學院	5
工學院	13	生農學院	20
理學院	10	教學大樓	4
體育館	2	活動中心	2
行政大樓	1	計資中心	1

一、各館舍平均年總耗電量與平均 EUI 值

年總耗電量高之館舍代表的是校園內使用最多電能的建築，換言之，對這些館舍優先進行節能改善後所能造成學校整體用電量的下降也較為顯著。雖然每個館舍的樓地板面積並不相等，因此不能斷言年總耗電量者就有浪費電之嫌疑，但仍是一重要的參考指標。而為了讓各建築物在排除樓地板面積大小之歧異後進行耗能程度比較，經濟部能源局在民國 96 年頒布「機關學校用電指標 EUI(Energy Use Intensity)基準值」作為用電密度的參考指標。EUI 之定義為「單位樓地板面積之年耗電量」，一般大學基準值訂為 98.2，科技大學為 120.8，師範與教育大學則為 80.5(詳見附錄二)。本研究在此列出台大總校區平均年耗電量與 EUI 排名前十之館舍，如表 13、14 所示。由兩表之綜合比較可發現下列事實：

- (1) 年耗電量前十名的建築所屬單位為：圖書館、計資中心、理學院館舍兩棟、電資學院館舍兩棟、工學院館舍三棟、生命科學院館舍一棟。且耗

電量最大的三棟館舍佔校總區總用電比例約為 5% 上下，前十名佔校總區總用電比例高達 39%，代表台灣大學的用電確實集中於特定建築物。

- (2) EUI 前十名建築之所屬學院分別為：計資中心、電資學院館舍三棟、理學院館舍兩棟、工學院館舍兩棟、生農學院兩棟。且排名前十的建築物其 EUI 值皆遠超過能源局所規定之 98.2 甚多(平均 478.29)，甚至在本研究調查之 83 棟建築物中僅有 21 棟的 EUI 值低於 98.2。
- (3) 若以各學院所屬館舍之平均 EUI(表 14)觀之則以電機學院和理學院的 EUI 值最高，能符合能源局規定 98.2 的只有管理學院與文學院。因此本研究認為能源局之 EUI 基準對研究型大學適用與否尚有探討之空間。

表 13 台大校總區年耗電量前十名館舍一覽表

排序	館舍名稱	平均年耗電量(度)	佔全校用電比例 (以 100 年為基準)
1	總圖書館	8,660,030	6.39%
2	凝態科學館	8,204,393	6.06%
3	電機二館	6,687,748	4.94%
4	生命科學館	6,418,397	4.74%
5	化學館	4,880,364	3.60%
6	體育館	4,461,423	3.29%
7	計資中心	4,343,648	3.21%
8	工學院綜合大樓	4,063,290	3.00%
9	資訊工程館	3,304,774	2.44%
10	應用力學研究大樓	2,381,000	1.76%

表 14 台灣大學校總區 EUI 前十名館舍一覽表

排序	館舍名稱	樓地板面積(m ²)	98-100 年平均 EUI(kWh /m ² .yr)
1	計資中心	4886.25	888.95
2	資訊工程館	5683.45	581.47
3	化學館	8878.76	549.67
4	電機一館	2139.57	508.22
5	二號館	3636.15	498.49
6	電機二館	16007.25	417.79
7	動科系	3800.00	379.53
8	凝態科學館	24539.22	334.34
9	地質系	4792.85	329.18
10	林產館	1129.93	295.30

表 15 各學院所屬建築物平均 EUI 一覽表

使用單位或類別	平均 EUI 值	使用單位或類別	平均 EUI 值
計資中心	888.95	學生宿舍	126.17
電機資訊學院	381.34	行政大樓	122.35
理學院	275.64	體育館	100.38
總圖書館	245.15	文學院	82.69
生命科學院	190.03	管理學院	74.81
生農學院	178.62	教學大樓	68.9
工學院	174.94		

雖然 EUI 可排除樓地板面積之因素進行不同建築物之能耗比較，但有些館舍擁有大量持續運轉的實驗設備與器材，有些研究室僅需要個人電腦即可，用電需求上確實存在一定的差異。綠基會(2010)之研究也指出研究機構之電能消費結構主體為：空調 46.6%、照明 19.5%，學校則為：空調 41.2%、照明 28.6%，因此不同類型館舍確實存在耗電結構上之差異。台灣大學館舍的用途繁多，因此在評估館舍節能績效時，應先認定該館舍不可削減之「基本電力消耗量」為何並排除於館舍整體之節能績效評估中，方可達到較為公

平之節能成果判定。本研究認為「基本電力消耗量」應藉由館舍的過往設備耗電量和未來的設備使用計畫而判定，不宜訂定單一標準全校通用。惟礙於目前校總區數位電表大多並未將館舍的照明、空調、動力等系統進行獨立監控，也尚未要求各館舍訂定設備使用計畫，故本研究無法由目前資料得知各館舍之基本電力消耗量究竟為何。陳介惠(2009)在分析 48 所國立大學的用電資料後也指出其平均 EUI 為 96.27，但最大值為 190.25，最小值僅為 31.46，顯見學校館舍之 EUI 變動幅度是相當巨大的，能源局的單一基準值(98.2) 是否用以檢視所有館舍實是不無疑慮。

二、各館舍平均節能率

節能率是館舍節能成效的重要參考指標，本研究考慮相同學院所屬之館舍應具有較相似的能源使用結構與節能困難點，故在建築物平均節能率部分採取「學院別」作為分類之指標。其結果如表 16 所示，由此表可得知大部分學院皆能展現出一定的節能的成效，惟台灣大學的節能措施始於最近五年，而較詳盡的電量資料更只有三年份，對於分析趨勢而言仍顯不足因此無法得出更進一步的推論。此外由於目前台灣大學的用電監控仍然不夠精細，故無法從節能率中推斷出館舍節能成效究竟來自於何種方面(例如：是單純靠設備汰換或使用者節能意識的確有加強)，這也造成節能執行者在制定未來節能政策上的困難。

表 16 台灣大學校總區各學院節能率一覽表

學院別	節能率=(去年總耗能-今年總耗能)/去年總耗能	
	100 年節能率	99 年節能率
理學院	2.94%	2.10%
工學院	5.29%	3.40%
電資學院	15.22%	3.47%
文學院	11.84%	-14.66%
管理學院	6.33%	8.89%
生農學院	0.00%	4.44%
生科學院	7.09%	0.22%
學生宿舍	8.27%	16.94%
總圖書館	8.63%	17.20%
教學大樓	2.82%	3.25%
行政大樓	-0.33%	5.10%
體育館	6.93%	6.15%
活動中心	4.65%	9.06%
計資中心	-10.13%	-6.07%

3.3 台灣大學館舍節能常用措施、阻礙與誘因

數位電表提供了最直接的電費資料，讓做為校園館舍能源管理者得以瞭解館舍的能源使用狀況，也能依此訂定節能目標或進行節能成效之檢討。然而學校行政人員在實際推動各種節能措施時究竟是以怎樣的思維做考量，推動的過程又遇到怎麼樣的誘因和阻礙，並無法從電表的數字中得知。台灣大學具有完整的節能推動組織架構，本研究在此節將以此組織下累積了相當的館舍節能相關經驗與知識之執行人員為對象進行訪談，以求對校園建築節能實務有深刻的瞭解並將訪談內容整理成一具參考價值之結論。

3.3.1 節能執行人員訪談

為求深入探討台灣大學校總區館舍迄今為止進行節能之實際狀況，本研究對校總區館舍實際執行節能人員進行個別訪談。訪談對象從全校各級節能組織之負責人中選出，並從總務處(代表學校立場)、學務處(代表學生宿舍管理者立場)、校總區內各學院(不含甫新建完成之法律學院與正在興建之社會科學院)各挑選一名能源管理員或能源幹事，並優先考量「台灣大學節約用電獎勵辦法」的優勝單位，總計訪問十人(名單如表 17)。由於大部分受訪人表示不願意公佈其詳細個人資料，故本研究在此將二級單位與受訪人姓名皆以代號稱之。

表 17 受訪節能執行人員一覽表

#	一級單位	二級單位	受訪人	職稱	訪談時間
1	總務處	-	A	專委	3/12 14:00
2	學務處	住宿組	B	秘書	3/19 09:00
3	圖書館	行政組	C	組長	3/14 10:00
4	工學院	甲系	D	技士	3/16 09:00
5	管理學院	院辦	E	幹事	3/19 14:00
6	文學院	乙系	F	助教	3/27 10:00
7	生命科學院	丙系	G	技士	3/23 14:00
8	電機資訊學院	丁系	H	技士	3/26 10:00
9	生物資源暨農學院	戊所	I	技士	3/27 14:00
10	理學院	己系	J	技士	4/09 09:00

本研究於每次進行訪談前皆先以電子郵件方式寄出擬定好之訪談問題與參

考選項，並在訪談後以逐字稿的方式進行訪談內容的紀錄與整理。訪談主軸共計五點：

- (1) 選擇節能措施時之考量因素
- (2) 執行過的節能措施
- (3) 執行節能時遭遇的阻礙
- (4) 學校節能政策之誘因與壓力
- (5) 成功推動館舍節能的關鍵因子

以下本研究將依此大綱對訪談內容進行探討。

一、選擇節能措施時之考量因素

此部分之訪談內容整理如表 18 所示。大致而言，受訪者皆會將與財務相關之「工程費用高低」和「投資回收年限」列為實施節能時之主要考量因素，並表示各單位之經費需優先考量做為正常教學研究之用，若有剩餘方可用於設備節能汰換，因此本研究推論執行節能時最直接面對的即是經費不足的壓力。例如甲系的 D 技士即表示：「我們做事是以負責的態度，要讓學上和系上每年在正常研究教學之餘所剩下來的經費去做，不排擠現行軌道上的。那要如何切好幾塊慢慢去改善，是個挑戰，我們希望節能的實際手段一定要和系上的財務規劃符合。或像是有些部分你發現系上可以自己去做就自己做，這樣就能把錢花在刀口上」。在宿舍方面，學務處住宿組對於採行節能措施的做法上是以完全不增加經費支出為首要目標，具體方法例如在施作學生宿舍熱泵系統時先和廠商談定以每年省下的瓦斯水電費為設備費用和保固費用之給付。

表 18 各單位選擇節能措施時考量因素整理

單位	工程費用高低	投資回收年限	是否配合學校之政策	可否獲得補助	其他
總務處	◎	◎			
學務處住宿組			◎		
圖書館行政組		◎	◎		
工學院甲系	◎	◎			
管理學院院辦			◎	◎	
文學院乙系	◎				◎
生命科學院丙系	◎	◎			
電機資訊學院丁系		◎			◎
生物資源暨農學院戊所	◎	◎			
理學院己系	◎	◎		◎	
其他： 學務處住宿組：不增加經費支出 文學院乙系：方便性(最能夠實施的方式) 電機資訊學院丁系：不打擾老師學生實驗空間的使用					

二、執行過的節能措施

受訪各單位之節能成果整理如表 19 所示，除了不需經費的宣導和調整空調與照明使用策略之外，台灣大學總務處於過去三年推動「T5 燈管」和「LED 逃生指示燈」之更換補助計畫，故全數受訪單位皆已達成需要經費的省電型燈具與 LED 逃生指示燈更換。屋頂隔熱部分除了管理學院曾在 96 年接受內政部「綠廳舍暨空調節能改善計畫」之補助而特意進行屋頂隔熱與綠化之改善工程外，其餘單位之屋頂隔熱磚皆是在建築建造時便已列入設計中並未特別加裝且缺乏後續之維修養護。部分受訪單位也表示進行屋頂隔熱之經費實在過於龐大，一般系所每年之經費恐難以負擔安裝之費用。電機資訊學院丁系 H 技士即表示：「去年部分區域因為漏水所以有做(屋頂隔熱磚的

整理)，但所需的經費相當龐大。我覺得是否可以試著用灑水系統就好，也有想說要不要做屋頂綠化，這樣溫度太高的時候一樣可以降溫，我們可能今年夏天會再來考量看看」。總結而言，目前學校並未有系統地推動屋頂隔熱之安裝，這和內政部建築研究所大力推行安裝屋頂隔熱之政策有所違背。

照明節能措施方面除了更換省電型燈具外，另外一個常用的節能措施為安裝紅外線動作感應自動開關，安裝地點則以樓梯間、走廊、茶水間與廁所佔最多數(因為此類空間並沒有人員常駐故不需要持續開啟照明)，大部分受訪單位對感應器之設定為最後人員進出後五分鐘關閉。然而部分受訪單位也表示此類感應器除了本身故障頻率即偏高之外，反覆的開關燈具也容易造成燈管壽命減損。生物資源暨農學院戊所的 I 技士即表示：「廁所燈以前也是 24 小時都開著，而且出來的人絕對不會順手關燈，後來我們也都安裝紅外線感應器，大約離開五分鐘後就會關掉，只是廁所的省電燈泡常開關容易壞，學校現在開始推 LED 燈泡，似乎比較不怕反覆開關」。

此外本研究在訪談過程中發覺各館舍幾乎都有依據其使用特性而因地制宜的節能措施，例如圖書館由於全棟使用中央空調，故可以在空調監控軟體上進行加強以達成更完善之空調使用管理。電機資訊學院丁系因為大部分教室皆為電腦教室，所以設計出一套門禁用電管理系統，學生只有在上課前 30 分鐘可以刷卡進入教室，並以紅外線感應器在最後人員離開後大約六分鐘自動關閉所有用電設備。宿舍則在 100 年率先在研一男、女舍推動電熱泵系統以減少瓦斯之消耗。

表 19 各訪談單位曾經執行節能措施整理

單位	屋頂隔熱	空調		照明			LED 逃生指示燈	裝設太陽能發電板	宣導	其他
		汰換或維修	調整使用策略	更換省電型燈具	調整使用策略或減量	動作感應自動開關				
總務處		◎		◎			◎		◎	
學務處住宿組	◎/隔熱磚&棚架	◎		◎			◎		◎	◎
圖書館行政組	◎/缺乏維護	◎	◎	◎	◎	◎	◎		◎	◎
工學院甲系	◎	◎		◎	◎	◎	◎	◎/申請補助中	◎	◎
管理學院院辦	◎/隔熱磚&綠屋頂	◎	◎	◎		◎	◎		◎	◎
文學院乙系		◎		◎	◎		◎		◎	
生命科學院丙系		◎	◎	◎	◎		◎		◎	◎
電機資訊學院丁系	◎	◎	◎	◎		◎	◎	◎/廠商捐贈	◎	◎
生物資源暨農學院戊所	◎/棚架	◎		◎	◎	◎	◎		◎	◎
理學院己系		◎	◎	◎	◎	◎	◎		◎	◎

其他

學務處住宿組：電熱泵系統、節能績效訂為宿舍管理員之 KPI

圖書館行政組：空調監控軟體

工學院甲系：冷氣中央控制、雲端概念、網路拓樸、實驗室為單位安裝數位電表

管理學院院辦：教室照明中央控制

生命科學院丙系：上班時間電梯隔層停靠、假日關閉部分電梯、每層裝設數位電表

電機資訊學院丁系：教室門禁節電系統、空調儲值系統

生物資源暨農學院戊所：空調自動控制(溫度+感應)、冷藏設備(改為使用時才開)

理學院己系：安裝定時器於空調和照明設備

三、執行節能時遭遇的阻礙

此部分的訪談結果綜整如表 20 所示。設備汰換的經費過於龐大是許多單位無法從設備汰換著手節能的主要因素。由訪談結果可發現各單位對於價錢不高且學校有補助的設備(例如 T5 燈泡)的汰換接受程度是相當高的，然而佔建築耗電比例最大宗的空調設備卻因為價錢昂貴且學校沒有補助而難以進行汰換。受訪各單位多表示由於經費不足，故每年作設備汰換的金額其實相當少，且汰換原因大多是故障或老舊不敷使用，鮮少是以節能為出發點去進行設備汰換。而如前所述的依據各館舍使用特性所訂定之節能措施雖然能有效降低其能源的浪費，卻也往往無法適時獲得學校之補助。理學院己系的 J 技士對於其服務單位曾經推動空調節能的困境有以下的描述：「我們館在評估整棟空調汰換時要花快一億元，但是技師專業評估計算後至少要二十年的回收年限，等於是根本收不回來，現在只能等設備老舊壞掉到最後還是要換...因為學校不是 100% 補貼，我們系沒辦法支出那麼多錢也只能作罷。雖然學校有要我們做十年分期付款，但整個數額還是蠻大的，系所沒有那個能力推動」。學校方面雖曾在民國 99 年對生命科學館推動全面空調更新汰換案，但這樣一次工程經費高達四億餘元並不可能是具有全校普及性之解決方案。本研究認為學校仍應設計規模較小但較為常態性之補助辦法，例如將單位每年節省之電費轉做為空調汰換之用，如此一來不但可減少學校的財務負擔也對各系所有節能的激勵作用。

在經費不足的情況下，如何藉由改善建築使用者的能源使用習慣以達成零成本的節能效果，便成為各館舍節能負責人的首要之務。在訪談過程中受訪者皆表示會以電子郵件或海報的方式向老師和學生進行節能宣導，也會主動關閉辦公區域和公共區域不必要的電源，但館舍內眾多的研究室、實驗

室等研究空間的能源使用方式卻是職員所不能干涉的，只能有賴該研究空間之負責教師去要求學生改善能源使用模式。但截至目前為止一來各實驗室沒有安裝單獨的數位電表故難以得知其真實耗電量，二來學校的節能壓力主要仍落在行政人員身上，故老師大多並未直接感受電費增長的壓力，所以實驗室節能仍是一塊亟待加強的領域。在目前制度下，行政人員仍只能用宣導方式去希望老師與學生配合節能，管理學院院辦 E 幹事即表示：「我們現在也是很擔心以後會沒有再節能的空間。要再下降的話，或許就是要限制大家使用研究室的時間，不過因為我們沒辦法真的了解哪個老師耗了比較多電，所以不太可能強制要求他們，而且老師們也有研究要做，我們也只能盡量利用寄信的方式去請老師要記得做節能的動作」。

整體而言，設備汰換仍然是效果最卓越且勢在必行的節能措施，但從能源使用習慣著手之改善也不可忽略，執行節能時遭遇的阻礙除了經費外最重要的還是使用者有沒有養成節能習慣的問題。

表 20 各訪談單位執行節能之阻礙與困難整理

單位	老師和學生對節能的配合程度低	無法得知每間研究室的用電情況	承包廠商素質或配合度不良	現有設施難以改良	設備汰換所需經費龐大	節能績效難以增進	其他
總務處				◎	◎		◎
學務處住宿組			◎	◎			
圖書館行政組			◎		◎	◎	
工學院甲系	◎						◎
管理學院院辦		◎			◎		
文學院乙系	◎				◎	◎	
生命科學院丙系	◎		◎				
電機資訊學院丁系							◎
生物資源暨農學院戊所	◎	◎					◎
理學院己系	◎	◎		◎	◎	◎	◎
<p><u>其他</u></p> <p>總務處：各單位自主度太高，且對節能的在意程度不足</p> <p>工學院甲系：學校節能政策推行太過強制</p> <p>電機資訊學院丁系：校方對經費補助審核過久</p> <p>生物資源暨農學院戊所：老師對 T5 節能效果有質疑</p> <p>理學院己系：80%用電屬於基礎負載，很多儀器是不能關閉的。</p>							

四、學校節能政策之誘因與壓力

執行節能概括而言可由「設備汰換更新」與「能源使用習慣改善」兩方面下手，但如前所述無論是從哪一方面推行皆有其阻礙存在。若欲克服這些阻礙，必然得經由精神或財務上的誘因與壓力的提供，再藉由這些誘因與壓力促使決策者努力做出改變並因此達成節能績效之提升。本研究透過與總務處 A 專委之訪談整理，本研究整理出台灣大學校方對各單位所提供之節能誘因有以下四點：

- (1) 針對特定設備之汰換提供金錢補助。目前已推動 T5 燈具(補助工程費用一半)和 LED 逃生指示燈(全額補助)兩種設備汰換補助。
- (2) 為了幫助各館舍瞭解其用電結構與可能的節能方式，學校自民國 96 年起陸續委託綠基會從總耗電量高館舍開始做耗能表現的檢驗，像是空調主機效能評量、是否有管線設備損壞、設備是否正常使用和照明是否設計過量等問題，以幫助館舍管理者知悉耗電的原因和有節能空間的項目。此外像宿舍雖然並上述設備汰換補助的對象，但學校仍然會提供技術評估資訊和工程發包上的援助。
- (3) 為解決館舍有意願進行節能卻因為分配經費較少而難以推行的困境，總務處提供可分期償還之借款以降低各單位之直接財務壓力。
- (4) 舉辦校內節能績效比賽，除了在行政會議中表揚成效優良的單位之外，也提供該年度自付電費的一定額度抵免作為獎勵，進而提高各單位加強節能成效之意願。

相對於提供誘因，學校也會以一些方式逼使各單位加強節能成效，最主要便是從自付電費機制著手，藉由適度修改自付比例的計算公式來達到施加壓力的效果。受訪者皆表示自付電費機制對於單位的警惕效果相當大，但

在現行制度下校內有些單位甚至已經無法負擔出每年的自付電費，多數受訪者也認為這樣對單位財務的負擔過重，希望學校能再檢討自付比例的高低或改為每單位設置固定用電額度的方式，只有超過額度的電費才需要自付。惟如何決定各單位合理用電額度的方式目前仍然無一完整之評估模式，因此現階段學校方面仍以自付電費比例為主要推行政策。

五、成功推動館舍節能的關鍵因子

影響館舍節能成敗的因素中何者才是最關鍵的因素，本研究經過與實際執行節能人員的訪談後得到如下之結果：

(1) 使用者付費機制：

讓能源的使用者直接感受到電費的壓力，對於節能的推動至關重要。將電費與使用者的實際支出產生關聯性，能促使各單位去思考怎樣節省電費，這樣在後續推動節能上也會更有意願。目前的使用者付費由各單位自付電費的機制達成，然而此機制目前的收費方式是從各系所的經費中扣抵，對於主要經費來源為研究案經費得學生和老師而言警惕效果仍然較低，若能再進一步將各單位自付電費變成以研究室為單位之使用者付費機制，整體節能效果必可更上層樓。

(2) 上級者推動節能之意願：

台灣大學館舍之使用者主要可分為教師、職員、學生三大族群，但目前實際執行節能者(能源管理小組之成員)主要皆由權力不大的職員擔任，因此節能措施的推動若無獲得上級者(例如系主任、老師或總務長)的支持則難免窒礙。對此生命科學院丙系的 G 技士表示：「學校很積極，但是學校這麼大，主要還是看上級的意願強度，不要推動一下就停了，碰到問題他要去解決協調，要積極的把各塊連貫起來，迴路要連通

才會有效果出來。其實一件事情推動要有效力出來，很多事情還是要看老師，因為行政人員沒有什麼權力，上面的人要注意這塊，花一點時間來做就會有效果」。因此若上級者對於節能的意願比較積極，推行節能在效率上必定也事半功倍。

(3) 使用者節能意識的加強：

在執行訪談的過程中，受訪者普遍皆表示有「無法管控研究室用電方式」的問題。由於實驗室有其研究特性和使用排程，裡面的使用狀況基本上是由老師在做管理，行政人員只能針對環安衛和用電安全去做檢查或進行節電宣導而已無法去強制管控。故若要加強研究室節電的成效，在現有制度下只能寄望於教師與學生者節能意識與習慣的加強。

(4) 行政人員的用心監督管控：

只要行政人員有用心監督館舍的用電狀況，就都能顯現一定節能成效。例如下課 15 分鐘後主動去關閉教室電源、勤加巡邏各公共區域並順手關閉非使用中的電器或加強宣導節能概念。甚至宿舍已經將節能績效訂成宿舍管理員的關鍵績效指標 (Key Performance Indicators, KPI)，如此更能有效促使館舍管理者去尋找最適當的設備使用方式來達成節能。

(5) 設備汰換：

由於科技的進步造成設備本身的能耗降低，故在經費允許的狀況下，直接將舊有設備汰換更新是立即提升節能效果的最好辦法。

(6) 補助項目的自由化：

每棟校園建築都有其獨特的用電項目與模式，這是實際使用者以外的人所難以得知的。此外各單位的財務狀況也有所不同，學校若一味強制推行設備汰換未必能讓該單位從中獲得利益。工學院甲系的 D 技士即表示：「T5 我們是唯一沒有跟隨學校的腳步去換的，因為我們這是

使用高頻電子式的，而在中央單位的規定裡只要是高效率的燈具就好...不能說外面的人錯，但他們並不了解系所內的狀況。所以應該系所的問題主要給系所解決，學校只要針對你的用電總量去做管控就好，因為系所這麼細節的不太可能體會和了解」。許多受訪者也表示在自行設計了某些節能措施後，若想向校方申請安裝費用的補助是相當困難且緩慢的，但這些節能措施卻是因地制宜而最能有效改進該館舍耗電狀況的。因此學校在推動及補助節能措施時應盡量保持鼓勵而非強制的態度，讓各館舍節能負責人能以因地制宜的規劃最適合的方式，



第四章 校園節能措施成本效益分析

本章節將以台灣大學工程實際案例作為資料來源，針對目前常見的大學校園建築節能措施進行成本效益分析，分析的五項指標如下：

- 節能率：

$$\text{（改善前耗能量 - 改善後耗能量）} \div \text{改善前耗能量} \times 100\%$$

- 每年節省電費：

$$\text{每年節省用電度數} \times \text{電價，以台灣大學現行電價每度 2.80 元計算。}$$

- 每年CO₂減排量：

每年節省用電度數 × 電力碳排放係數。電力碳排放係數根據經濟部能源局民國 99 年公布之能源指標，以每生產一度電產生 0.612kg 的二氧化碳計算。

- 投資回收年限：

工程總金額 ÷ 每年節省電費。在此本研究採用靜態的投資回收期法 (Payback Period Method) 並忽略資產之時間價值因素。

- CO₂減排平均成本：

工程總金額 ÷ (每年CO₂減排量 × 使用年限)。本研究對使用年限的定義是若該案例之工程金額包含保固，則使用年限訂為整個保固期間；若不含保固費用，使用年限為該項節能措施在不經維修下的平均使用壽命。歐盟在 2005 年開始施行「歐盟溫室氣體排放量交易方案」(European Union Emissions Trading Scheme, EU ETS) 來幫助歐盟各國達成京都議定書中對於降低溫室氣體排放量的約定，在 2009 年底時交易價格約為 8 歐元/每噸二氧化碳 (Mansanet-Bataller et al., 2010)。Nordhaus(2011)之研究更指出，社會碳成本 (Social Cost of Carbon，代表每增加一噸二氧化碳排放所造成的經濟成本) 在 2015 年將高達 12 美元。由於減少二氧化碳排放量是節能能帶給環境的直接

好處之一，故本項指標之目的在瞭解不同節能措施減少二氧化碳之所需成本為何。在未來碳排放量和金錢產生連結的潮流下，此指標之高低可作為優先選擇施作何種節能措施之參考。

4.1 外殼節能

屋頂隔熱

根據能源局(2010)之研究，學校類和研究機構之電能消費分布以空調占最大比例(圖 7)，如何降低空調耗電量乃成為提升節能成效的關鍵議題。而太陽輻射經外殼壁體及窗戶進入的熱量約佔整棟建築物冷房負荷的 30%以上(周鼎金等，2007)。因此進行「屋頂隔熱」之目的即在於降低頂樓接受大量太陽輻射所上升的溫度，進而達成空調用量之減少。

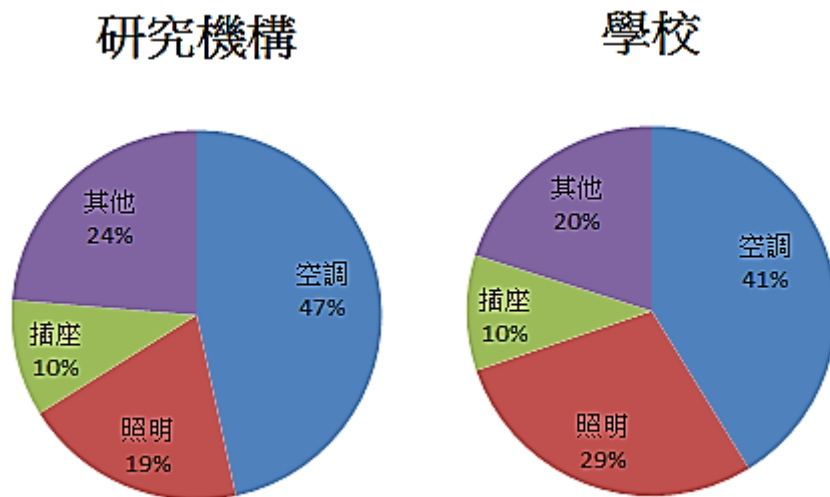


圖 7 學校和研究機構電能消費結構圖(資料來源：經濟部能源局，2010)

台灣大學管理學院一號館於民國 96 年接受內政部「綠廳舍暨空調節能改善計畫」之補助進行屋頂隔熱與綠化之改善工程，此工程之資料如下：

- 設計監造單位：陳勝川建築師事務所
- 建造單位：國王營造股份有限公司
- 施作面積：606m²(183 坪)
- 工程總造價：6,650,000 元 (含直接工程費、環安衛費用、稅金)
- 屋頂隔熱部分：931,067 元
- 根據內政部建築研究所之資料指出，本工程之屋頂熱傳導係數由原來的 1.2 W/m²K，降為 0.4 W/m²K

本工程詳細施作預算如表 21 所示：

表 21 管院屋頂隔熱工程預算表

項次	項目	單位	數量	單價	複價
壹	直接工程費				
1	現場清理	式	1	14,240	14,240
2	防潮革熱保溫板(60*90*5.5cm)	m ²	667	1,030	687,010
3	L 或 Z 型不鏽鋼收邊板	m	363	280	101,640
4	材料吊運	式	1	29,050	29,050
	小計				831,940
貳	工地安全保險費(壹項之 0.3%)	式			2,496
參	勞工安全衛生費用(壹項之 0.5%)	式			4,160
肆	包商管理及利潤(壹項之 5.0%)	式			41,597
伍	工程品管費用(壹項之 0.5%)	式			4,160
	壹至伍項小計	式			884,353
陸	加值營業稅(上項之 5%)	式			44,218
柒	空氣汙染管制費(壹項小計之 0.3%)	式			2,496
	工程價總計				931,067

屋頂隔熱部分採用 PS 隔熱材料與混凝土表層材料複合組成之防潮隔熱保溫板(圖 8)，根據周鼎金等(2005)之研究指出，PS 隔熱板材的優點在於使用年限可達 30 年以上，適用於 RC 構造平屋頂且使用簡單易於維護，缺點則是內夾之 PS 板較易老化 (本研究考慮此文獻所言之使用年限達 30 年應包含簡單維修，故在成本效益計算時假設其不經維修之使用年限僅為 10 年)。

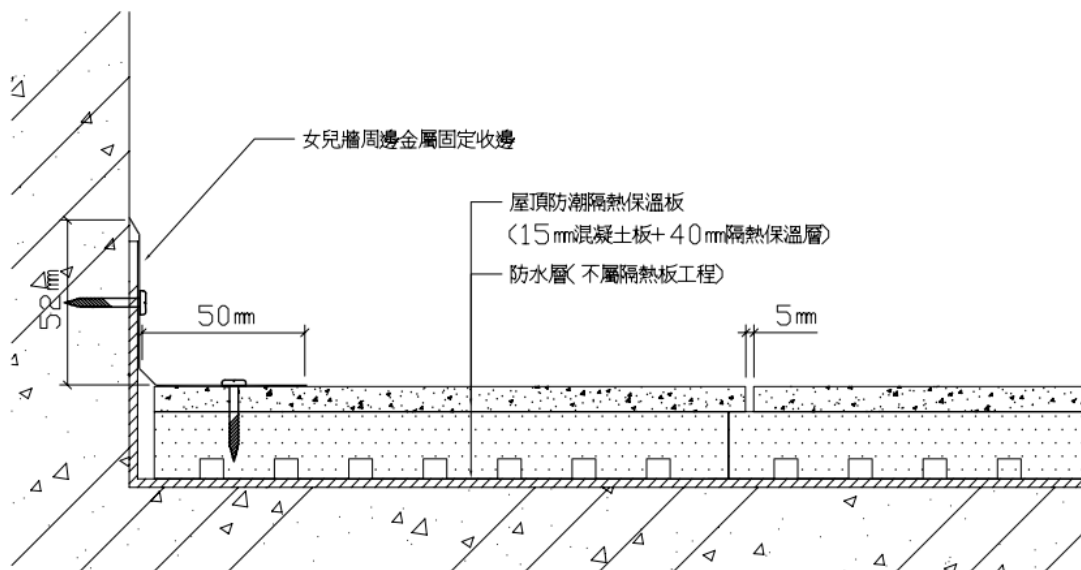


圖 8 管院一號館屋頂隔熱工程剖面詳圖

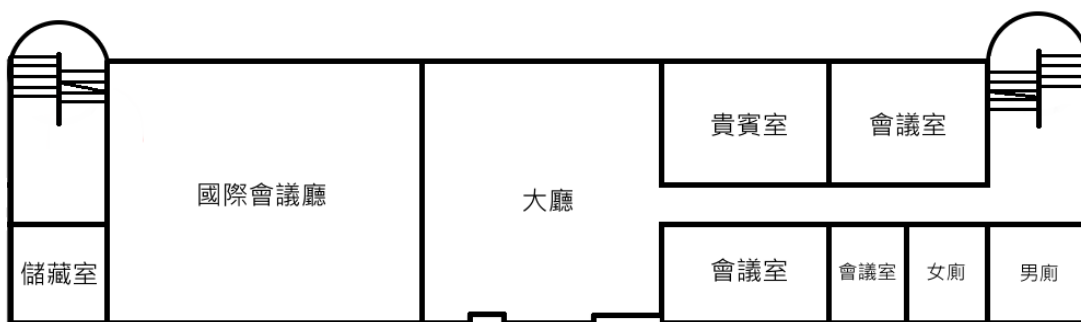


圖 9 管院一號館頂樓空間配置圖

目前管理學院一號館之最高樓層(十樓)作如圖 9 之空間配置，由於主要為舉辦會議之空間，並非教室或辦公室這類空間會有固定且長時間的空調使

用。為了探討空間使用型態對屋頂隔熱節電效益之影響，本研究在此分別假設此空間作為(1)教室(2)辦公空間(3)研究空間之使用，再利用建築研究所公佈之「屋頂隔熱節能效益計算公式」來探討台灣大學管院屋頂隔熱之節能效益，計算過程如下：

- 根據「建築物外遮陽暨屋頂隔熱設計參考手冊」(鄭政利等，2008)之研究結果，屋頂隔熱可減少建築物原本空調冷房負荷 20%。本案例進行屋頂隔熱改善後之熱傳透率(U 值)由 1.2 降至 0.4，因此可減少 66.6%的太陽熱輻射由屋頂面進入室內($(1.2-0.4)/1.2=66.6\%$)，並節省 13.32%之建築空調用電量($20\% \times 66.6\%=13.32\%$)。
- 根據「教育部校園節能推廣手冊」(2007)之建議，教室(頂層)或辦公室每 7 坪之面積即需要一冷凍噸(Refrigeration Ton，是指 24 小時內將 1000kg 重的冰溶解成水所放出的熱量，公制為 3320Kcal/hr)之冷房能力方為足夠。本層之面積為 606 坪，故本層樓所需之基本冷房能力 = $606/7 = 86.58RT = 287446 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}} = 334075W$ 。
- 經濟部能源局對於各式冷氣機之規定窗型冷氣機之能源效率比值(EER)皆有明確規定(見附錄三)，EER 之定義為冷氣能力(kcal/hr)除以有效輸入功率(W)，窗型冷氣至少為 2.60，箱型冷氣至少為 2.84，中央空調至少為 2.40。本研究在假設此層樓空調設備之 EER 為 2.40，故欲達本層之基本冷房能力，空調的有效輸入功率至少須為 $334075/2.40 = 139.20kW$ 。
- 若此層之空間做為教室使用，本研究假設冷氣使用習慣為五、六、

九、十月之周一至周五每日開啟 8 小時，七、八月暑假僅零星使用
故周一至周五每日開啟 3 小時，總計 830 小時/年，故：

$$\text{每年節省電費} = 139.20 \times 830 \times 13.32\% \times 2.80 = 43090(\text{元})$$

$$\begin{aligned}\text{每年CO}_2\text{減排量} &= 139.20 \times 830 \times 13.32\% \times 0.612 \\ &= 9418(\text{KgCO}_2)\end{aligned}$$

$$\text{投資回收年限} = 931067/43090 = 21.61(\text{年})$$

$$\text{CO}_2\text{減排平均成本} = 931067 \div (9418 \times 10) = 9.89(\text{元/KgCO}_2)$$

- 若此層之空間做為辦公空間使用，本研究假設冷氣使用習慣為每年五至十月之周一至周五每日開啟 8 小時，總計 1051 小時/年，故：

$$\text{每年節省電費} = 139.20 \times 1051 \times 13.32\% \times 2.80 = 54564(\text{元})$$

$$\begin{aligned}\text{每年CO}_2\text{減排量} &= 139.20 \times 1051 \times 13.32\% \times 0.612 \\ &= 11926(\text{KgCO}_2)\end{aligned}$$

$$\text{投資回收年限} = 931067/54564 = 17.06(\text{年})$$

$$\text{CO}_2\text{減排平均成本} = 931067 \div (11926 \times 10) = 7.81(\text{元/KgCO}_2)$$

- 若此層之空間做為研究空間使用，本研究假設冷氣使用習慣為三至十一月之每日從早上八點至晚上十點共開啟 14 小時，總計 3822 小時/年，故：

$$\text{每年節省電費} = 139.20 \times 3822 \times 13.32\% \times 2.80 = 198423(\text{元})$$

$$\begin{aligned}\text{每年CO}_2\text{減排量} &= 139.20 \times 3822 \times 13.32\% \times 0.612 \\ &= 43370(\text{KgCO}_2)\end{aligned}$$

$$\text{投資回收年限} = 931067/198423 = 4.69(\text{年})$$

$$\text{CO}_2\text{減排平均成本} = 931067 \div (43370 \times 10) = 2.15(\text{元/KgCO}_2)$$

4.2 空調節能

汰換老舊冷氣

學校類建築之耗能有 40%來自空調系統，空調系統之汰舊換新對於建築物整體能耗之影響因此甚為顯著。台灣大學生命科學館完工於民國八十七年，為總樓地板面積 28817 平方公尺之 12 層建築物，在過去十年的營運期間雖然空調皆定期進行基礎維修保養，但仍因為老舊問題而造成溫度無法調整控制、噪音過大、部分風口無法出風、水管漏水故障...等問題。因此民國九十九年台灣大學營繕組主動推動此館舍之空調更新案，並由堃霖冷凍機械股份有限公司以統包方式負責整個空調汰舊換新工程。堃霖公司進行評估後認為生命科學館之空調改善須從三方面著手：

一、箱型冷氣機

目前使用之冷氣機採經濟部於民國 82 年所訂定之舊標準值，且使用已超過 10 年故效率耗損嚴重。舊型冷氣機所使用的 R-22 型冷媒也已經因破壞環境而遭到政府逐步禁用(環保署於民國 98 年發布之「氟氯烴消費量管理辦法」第六條明文規定禁止 R-22 型冷媒用於新生產之空調設備)。

二、冷卻水塔

本棟建築物共設置五座冷卻水塔於頂樓，部分已有損壞或結垢的現象而導致散熱不佳。

三、冷卻水泵

設置於頂樓的冷卻水塔邊，共 10 台。目前部分水泵與管路已有鏽蝕現象，導致運轉效率降低。

針對上述問題之解決對策是(1)全面更換採用 R-410A 環保冷媒之箱型冷氣機(2)汰換舊有冷卻水塔與冷卻水泵並加裝變頻控制 (詳細汰換設備清單如表 22)，費用總計為 45,909,637 元(設備費用 33,483,265 元和十年全責保固費用 12,426,372 元)：

表 22 生命科學館空調更換設備一覽表

項次	設備名稱	台數	項次	設備名稱	台數
一	箱型冷氣機 3RT	19	七	上吹式薄型機(11200BTU)	9
二	箱型冷氣機 5RT	34	八	上吹式薄型機(14700BTU)	6
三	箱型冷氣機 7.5RT	67	九	上吹式薄型機(18400BTU)	1
四	箱型冷氣機 10RT	12	十	冷卻水塔	5
五	電腦房箱型機 5RT	2	十一	20HP 冷卻水泵	6
六	電腦房箱型機 7.5RT	3	十二	25HP 冷卻水泵	4

由於工程所涉及之區域甚廣，為縮小對館舍使用者之衝擊，此工程將冷卻水塔與冷卻水泵分成五組依順序進行汰換，並同時更換頂樓之管路，待五組冷卻水塔、冷卻水泵與管路皆更換完成才進行箱型機的更換作業。生命科學館由於大部分空間皆做為研究室和實驗室使用故空調使用時數非常高，在十年全責保固契約中更約定上述五組冷卻水塔其相應之箱型冷氣機每年應使用至少 4065 至 5283 小時不等之時數，相當全年的 40%以上時間空調皆處於開啟狀態。

此工程已於民國九十九年底驗收完成，本研究以冷氣機年約定使用時

數之平均值 4500 小時為基準，計算此工程之節能效益如下：

表 23 生命科學館改善後空調設備表

改善前之空調設備					
冷凍噸數	RT	3	5	7.5	10
台數	台	19	34	67	12
輸入功率(壓縮機+風扇)	W	3,300	5,400	8,000	10,800
耗電量(壓縮機+風扇)	KWH	282,150	826,200	2,412,000	583,200
改善前耗電量總計：4,103,550 度					
改善後之空調設備					
冷凍噸數	RT	3.13	5.00	8.00	10.73
台數	台	19	34	67	12
輸入功率(壓縮機+風扇)	W	2,570	4,100	6,560	8,800
耗電量(壓縮機+風扇)	KWH	219,735	627,300	1,977,840	475,200
改善後耗電量總計：3,300,075 度					

$$\text{節能率} = \frac{(4103550 - 3300075)}{4103550} \times 100\% = 19.58\%$$

$$\text{每年節約電費} = (4103550 - 3300075) \times 2.80 = 2,249,730(\text{元})$$

$$\text{每年CO}_2\text{減排量} = (4103550 - 3300075) \times 0.612 = 491727 (\text{KgCO}_2)$$

$$\text{投資回收年限} = 45909637 \div 2249730 = 20.41(\text{年})$$

$$\text{CO}_2\text{減排平均成本} = 45909637 \div (10 \times 491727) = 9.34(\text{元/KgCO}_2)$$

4.3 照明節能

T5 燈泡和傳統 T8 燈泡相比具有省電、使用壽命長、體積小等優點。根據工研院(2009)之研究指出，T5 日光燈和傳統 T8 日光燈相比除了可以省電 43% 之外，更有體積縮小 63%、平均壽命增加一倍和含汞量低和可回收等優點。LED 照明則屬於冷發光，具有低耗電量、壽命長、無須暖燈時間、體積小、耐震動、適合量產等優點(林川發，2009)。因此無論是 T5 日光燈或 LED 燈雙雙成為近年來取代傳統 T8 日光燈照明的新寵。

表 24. 傳統日光燈與 T5 日光燈功能比較表
(資料來源：工研院，2009，本研究整理)

燈管種類	T8 日光燈(HCFL)	T5 節能日光燈	LED 照明
每小時耗電功率 (Watts/Hr)	110W	62W	42W
燈管發光效率	70Lm/W	95Lm/W	90Lm/W 以上
平均壽命	7,500Hrs	12,000Hrs	20,000Hrs
耐點滅次數	差	差	優
燈管管徑	26mm	16mm	-
汞含量	10~15mg 不可回收液態汞	5mg 以下 可回收固態汞	無
演色性(RA) (太陽光為 100)	70	80	60

更換省電型燈具

台灣大學目前室內照明之節能措施以更換 T5 日光燈泡為主，故本研究以管理學院一、二號館於 2010 年將傳統 T8 燈具更換為 T5 省電型燈具為研究案例。此工程總計將舊型 T8 傳統式安定器日光燈 1049 盞替換為 T5 電子

式安定器燈具 846 盞，工程總投資金額為 1,034,703 元，並由廠商全責保固五年，詳細汰換項目如表 26 所示。由於本工程所更換的燈具並非皆使用於相同的空間，不宜單純認定每盞燈的使用時數皆一致，故本研究先假設不同類型空間之燈具使用時數(表 25)，再進行成本效益計算：

表 25 不同類型空間燈具使用時數假設一覽表

類型	週末是否使用	每日開燈時數		每年開燈時數
		寒暑假	非寒暑假	
教室	否	3	8	1780
研究空間	是	14	14	5096
辦公室	否	8	8	2080
會議室	否	2	4	920
廁所	是	2	4	1288
公共空間	是	1	2	644

$$\text{改善前每年耗電量} = \text{改善前燈具數量} \times \text{燈具耗能} = 148366(\text{度})$$

$$\text{改善後每年耗電量} = \text{改善後燈具數量} \times \text{燈具耗能} = 79496(\text{度})$$

$$\text{節能率} = 46.42(\%)$$

$$\text{每年節約電費} = 68870 \times 2.80 = 192,836(\text{元})$$

$$\text{每年CO}_2\text{減排量} = 68870 \times 0.612 = 42,148 (\text{KgCO}_2)$$

$$\text{投資回收年限} = 1034703 \div 192836 = 5.37(\text{年})$$

$$\text{CO}_2\text{減排平均成本} = 1034703 \div (5 \times 42148) = 4.91(\text{元/KgCO}_2)$$

表 26 管院更換省電型燈具前後對照表

照明場所	更換前(傳統式安定器日光燈)			更換後(T5 電子式安定器燈具)		
	燈具形式	燈具數量(具)	耗能(W/具)	燈具形式	燈具數量(具)	耗能(W/具)
2 館 1-11F 茶水間	20W×2 型	22	46	14W×2 型	11	33
2 館 5-11F 準備室	20W×4 型	7	92	14W×3 型	7	49.5
2 館 5-11F 走道	20W×3 型	140	69	14W×3 型	49	49.5
2 館 5-11F 研討室	40W×3 型	357	147	28W×3 型	357	99
	20W×3 型	5	69	14W×3 型	5	49.5
2 館 1-3F 廁所	20W×4 型	28	92	14W×3 型	16	49.5
1 館 6F 電梯大廳院長室、B1 會議廳	40W×1 型	108	49	28W×1 型	98	33
1 館 1F 走道樓梯 B1-11F	20W×2 型	98	46	14W×1 型	89	16.5
1 館 1F 教休息室	20W×4 型	15	92	14W×3 型	15	49.5
1 館 8F 主任室 804 室、808 室、812 室、814 室	40W×2 型	34	98	28W×2 型	20	66
1 館 8F 走道 805 室、809 室、811 室、813 室	20W×4 型	54	92	14W×3 型	54	49.5
1 館 806 室	40W×3 型	3	147	28W×3 型	2	99
1 館 9F 走道	20W×4 型	17	92	14W×3 型	17	49.5
1 館 902-912 室、914 室、906 室	40W×2 型	43	98	28W×3 型	37	99
	20W×4 型	38	92			
1 館 10F 電梯外	40W×1 型	20	49	28W×1 型	17	33
1 館 10F 會議廳 1001 室、1002 室、1004 室、1005 室	20W×4 型	60	92	14W×3 型	52	49.5

感應式電燈



圖 10 農化新館感應式電燈實景

台灣大學裝設感應式電燈的館舍甚多，其安裝地點主要皆為廁所、樓梯間、茶水間等使用頻率中等偏低之空間。本研究以台灣大學農化新館 1F 廁所為案例來探討感應式電燈之成本效益，案例資料如下：

- 總工程費用：13230 元
- 照明設備：T5 燈泡 14W×2 傳統式安定器日光燈共三盞，其中兩盞安裝感應式電燈開關控制器，並設定為最後感應人員進出 5 分鐘後熄滅。
- 感應式開關的使用年限目前並無相關的文獻研究，故本研究以市面上廠商一般提供三年保固作為計算成本效益時之假設。
- 照明策略：白天(6:00-17:59)僅使用兩盞感應式電燈，晚上(18:00-05:59)才開啟無安裝感應控制器的第三盞電燈
- 白天開燈時數：若將有安裝感應器之電燈定義為 I、II 號燈，未安裝者為 III 號燈，則本研究假設 I、II 號燈開啟時間為六小時，III 號燈則完全不開啟。

- 夜晚開燈時數：本研究假設 I、II 號燈之開啟時間為兩小時，III 號燈則持續開啟不關閉。

依上述照明使用模式，本研究計算此工程之成本效益為：

- I、II 號燈白天節省度數 = 燈具耗能 × 每年白天開燈減少時數 =

$$\left(\frac{14 \times 2}{1000} \times 2\right) \times 6 \times 365 = 122.6 (\text{度/年})$$

$$\text{III 號燈白天節省電費度數} = \left(\frac{14 \times 2}{1000}\right) \times 12 \times 365 = 122.6 (\text{度/年})$$

- I、II 號燈夜晚節省度數 = 燈具耗能 × 每年夜晚開燈減少時數 =

$$\left(\frac{14 \times 2}{1000} \times 2\right) \times 10 \times 365 = 204.4 (\text{度/年})$$

$$\text{III 號燈夜晚節省電費度數} = 0 (\text{度/年})$$

綜合上述資料，本工程之節能成本效益計算如下：

$$\text{每年節省用電度數} = 122.6 + 122.6 + 204.4 = 450 (\text{度/年})$$

$$\text{改善前之每年耗電量} = (14W \times 2) \times 3 \times 24 \times 365 = 736 (\text{度/年})$$

$$\text{節能率} = 61.14\% (450 \div 736 = 61.14\%)$$

$$\text{每年節約電費} = 450 \times 2.80 = 1260 (\text{元})$$

$$\text{每年CO}_2\text{減排量} = 450 \times 0.612 = 275.4 (\text{KgCO}_2)$$

$$\text{投資回收年限} = 13230 \div 1260 = 10.5 (\text{年})$$

$$\text{CO}_2\text{減排平均成本} = 13230 \div (3 \times 275.4) = 16.01 (\text{元/KgCO}_2)$$

LED 逃生指示燈

根據莊賦祥(2002)之研究，LED 燈與除了用電量是一般燈泡的八分之一至十分之一，日光燈的二分之一外，還有壽命長達五萬小時以上、不發熱，對於廢棄物的處理安全且無汞污染等優點。根據行政院 98 年核定修正之政府機關及學校全面節能減碳措施揭示：「出口指示燈、避難方向指示燈、消防指示燈等至 101 年前應全面採用省電 LED 應用產品」。國立台灣大學為

配合政府相關之規定，已於民國 100 年由鈺璽光電科技有限公司完成全校 LED 消防燈具之更換並附加四年保固。此工程總計更換 3243 盞 LED 逃生指示燈，總工程費用為 4,021,254 元(包含燈具線材費用與安裝費)。本案之節能成本效益計算如下：

表 27 台灣大學更換 LED 逃生指示燈案例資料一覽表

	更換前	更換後
種類	傳統螢光燈泡式逃生指示燈	LED 逃生指示燈
平均功率	16.24W	1.63W
年耗電量	461,292 度	46,222 度
節能量(率)：415,070 度(89.98%)		

$$\text{每年節約電費} = 415,070 \times 2.80 = 1,162,196(\text{元})$$

$$\text{每年CO}_2\text{減排量} = 415,070 \times 0.612 = 254,022.84 (\text{KgCO}_2)$$

$$\text{投資回收年限} = 4,021,254 \div 1,162,196 = 3.46(\text{年})$$

$$\text{CO}_2\text{減排平均成本} = 4021254 \div (4 \times 254022.84) = 3.96(\text{元/KgCO}_2)$$

4.4 綜合比較

本研究之成本效益計算綜整如表 28 所示，本節將分別分析這五個常見大學校園館舍節能措施的特性。

表 28 台灣大學常用館舍節能措施效益比較表

項目		節能率 (%)	投資回收年限 (年)	CO ₂ 減排平均成本 (元/KgCO ₂)	
外殼 節能	屋頂 隔熱	教室	13.32%	19.33	3.6
		辦公	13.32%	15.26	2.6
		研究	13.32	4.69	0.72
空調 節能	汰換老舊冷氣	19.58	20.41	9.34	
照明 節能	更換省電型燈具	46.42	5.37	4.91	
	感應式電燈	61.14	10.5	16.01	
	LED 逃生指示燈	89.98	3.96	3.17	

(一) 屋頂隔熱：

由於屋頂隔熱磚未經維護的使用年限相對其他節能措施為長，故碳排減量成本的表現上相當優異，若從減碳的角度考慮是非常划算的投資項目。但因其節能原理是被動的降低頂樓空間的空調使用需求，故其節能率和投資回收年限的表現受該空間空調使用習慣影響甚大。本研究特別計算頂樓空間做為教室、辦公或研究使用時所產生之數據差異，藉由這三組數據之比較可發現頂樓空間之空調使用時數長短確

實對於屋頂隔熱的投資回收年限有重大影響。若屋頂隔熱施作於每年使用空調時間達 3000 小時以上之空間，則可將投資回年限縮短至接近 5 年。因此大專院校在施作屋頂隔熱前應審慎考慮頂樓空間之空調使用習慣。

(二) 汰換老舊冷氣：

空調的用電占學校耗能結構中相當高的比例，因此一旦進行改善，無論從財務或減碳的角度皆可造成大量的電費或二氧化碳排放量減量。但由於空調汰換更新所費不貲，以本研究選取之案例而言，其投資回收年限(20.41 年)更已大幅超越空調一般的使用年限(10 年左右)，代表執行此項節能措施其實並不能達到實質上的金錢節省。因此大專院校在推動空調節能時不宜只從財務的角度切入，更應著眼於室內環境舒適度的改善、二氧化碳減排和新型冷媒能防止臭氧層破壞這些方面上。

(三) 更換省電型燈具

大學校園建築內之照明設備數量不但多，在照度和品質的要求上也遠勝於一般住家。由本研究可得知傳統 T8 燈具更換為新型 T5 燈具之節能效果十分顯著(46.42%)且投資回收年限短(5.37 年)，無論從節能、減碳或省錢的角度而言都是非常值得採行的一項節能措施。值得一提的是，本研究選用的案例之工程費用包含燈管、燈座和線路安裝，而後續維修時基本上只需更換燈管即可，故此項節能手法在財務上的效益其實較此處顯現的數字更佳。本研究認為大專院校應考慮儘早全面更換省電型燈具，以達減碳和節省電費的雙重利多。

(四) 感應式電燈

感應式電燈的節能率與裝置安裝地點的照明使用習慣關係極大。目前台灣大學安裝感應式電燈的地點主要為廁所、茶水間、樓梯間等空間，其共通點是(1)每次使用時間短且使用頻率中等偏低 (2)照明需求持續存在，不宜直接關閉照明器具，但這兩個特性在本質上是互斥的。故本研究認為在安裝感應式電燈前務必經過仔細評估該空間之實際使用模式。感應式電燈的第二個問題是重複點滅燈泡容易導致燈泡損壞，因此在安裝時應考慮同時換裝耐點滅次數較佳的 LED 燈泡，以避免後續頻繁維修的麻煩。

(五) LED 逃生指示燈

無論從節能、減碳或省錢的觀點視之，更換 LED 逃生指示燈都具有相當的好的效益，主要原因在於 LED 燈所需之功率遠低於傳統螢光燈管。除此之外由於 LED 燈之平均壽命大約是傳統螢光燈管之三倍，因此本項節能措施也能有效減少更換燈泡的頻率，對於維修單位工作量的減少也有所助益，因此本研究認為對於大學校園建築而言此項節能措施相當值得即刻投資。

第五章 結論與建議

在政府政策與能源價格飆漲之雙重壓力下，我國近年來於節能減碳上的重視程度日益水漲船高。大學校園建築推動節能不僅能降低電費開銷，更具有教育莘莘學子之雙重意義，也因此更值得吾人投以高度重視。本研究之目的在明確定義大學校園建築執行節能時所遭遇的問題以利校園節能執行者預先研擬對策，也希望透過對大專院校常用節能措施做出成本效益分析與注意事項之提醒。

5.1 研究結論

本研究選擇國立台灣大學做為研究案例，其近年來推動節能的態度相當積極且已顯現相當之成效，此觀點可由校總區耗電量變化中得到印證 (2009~2011 年後校總區耗電量總計下降 4.05%，是自 2002 年來首見的負成長)。然而以經濟部能源局所訂定之 EUI 標準觀之，目前台灣大學校總區之節能確實還有改善的空間存在。

一、大專院校執行節能時之阻礙與激勵因子

本研究利用與台灣大學校總區實際執行節能人員之深度訪談，作為判斷台灣大學校總區館舍節能阻礙與激勵因子之資料來源。台灣大學對於節能之主要壓力來自於電費上漲和政府政策，在校內則以實施各館舍自付電費機制為主要推行機制。綜合而言，整個學校在節能由「自發性」轉化為「不得不達成之目標」後，在推行之積極度上的確有所提升。

目前台灣大學執行節能主要的阻礙方面主要有兩個，第一個是大多數館舍若欲藉由汰換老舊設備進行節能只能利用正常研究教學之餘的零星經費進行，各館舍經費不足的問題十分顯著；第二個是館舍使用者的節能意識不足，尤其是研究空間之用電量雖然佔了館舍用電的大半部分，但其實際使用者(老師與學生)的節能意識尚需加強。

在執行節能的激勵因子方面，主要藉由「T5 燈具與 LED 逃生指示燈設備汰換補助」、「節能績效比賽」和「自付電費機制」三者併行。「T5 燈具與 LED 逃生指示燈設備汰換補助」的推行成效相當好，這也間接證明了經費確實是推動節能時的重大阻礙。此外目前的補助項目仍有過少之虞，若欲申請學校指定項目以外的補助是相當困難的，本研究認為台灣大學目前在補助項目的自由度上尚有提升之空間；「節能績效比賽」於去年(2011)首次舉辦且廣受參與者之認同，認為此比賽之持續舉辦有助於激勵各館舍提升節能成果，但由於目前節能比賽之評選標準並未明定，本研究認為台灣大學校方應儘速建立完整且多元的評選標準，以利提升比賽的公平性與激勵效果；「自付電費機制」利用使用者付費的概念有效將電費壓力傳達至各館舍之行政人員身上，但這些壓力卻有無法傳至館舍的主要使用者(教師與學生)的問題，本研究認為使用者機制雖然已造成行政人員相當大的警惕，但仍須將此機制延伸至教師與學生身上，方可達真正使用者付費之意旨。

總結而言，本研究認為成功執行大專院校節能之關鍵因子為：

- (1)使用者付費機制的確實建立
- (2)上級者與行政人員推動節能之強烈意願
- (3)館舍使用者節能意識的加強
- (4)加速設備汰舊換新

(5)補助項目的自由化。

二、大專院校常用之節能措施與成本效益

本研究對針對屋頂隔熱、汰換老舊冷氣、更換省電型燈具、感應式電燈、LED 逃生指示燈五項節能措施之成本效益作出探討，並得到以下之結論：

- (1) 屋頂隔熱、感應式電燈在安裝時須注意施作空間之使用模式，安裝在不同空間對於其成本效益之影響甚鉅。屋頂隔熱需安裝於頂樓之空調使用時間長的地點，感應式電燈則需仔細評估安裝空間的照明使用頻率。
- (2) 省電型燈具與 LED 逃生指示燈具有良好的節能率與投資回收年限，就財務可行性上實屬可行。本研究建議大學校園建築可考慮儘速全面安裝這兩項節能措施。
- (3) 冷氣汰換雖然可以大幅降低該館舍之電費，但其高昂的安裝成本造成相當長之投資回收年限，其優點僅存在於環境舒適度改善與對環境污染之降低。因此本研究建議大學校園建築不宜為了一時的電費節省而進行全面汰換，應回歸於正常的維修保養頻率，至設備使用年限屆滿再行汰換即可。

5.2 後續研究建議

本研究之研究案例為台灣大學校總區，其研究成果對於鄰近之大學校園建築而言具有相當之參考價值。但由於我國地理氣候條件多變，因此建議後續研究可針對不同地區的大學校園建築進行類似之研究以探討是否有節

能執行實務上之差異。再者，台灣大學校總區之數位電表至 98 年才安裝完成，以「棟」為單位的電表裝設也導致用電資料過於粗糙，對於建築用電分析與管理上是相當困難的。本研究除建議台灣大學校方應建立更詳細之用電監控系統外，也建議後續研究能針對校內各館舍之用電結構作出分析，以利館舍合理用電量和 EUI 值之探討。最後由於我國的電費與鄰近國家相比非常便宜，因此成本效益數據有看似不佳的情形。但在環保意識高漲的今日，金錢不應是執行政策的唯一依據，本研究建議後續研究可將環境成本(例如碳價制度)納入成本效益之考量中，以利大學校園建築節能之執行者以更具前瞻性的角度來選擇節能措施。

最後，在本研究的專家訪談過程中，很明顯感受到「能源管理」才是節能的關鍵方式，而節能的阻礙也始終來自「能源管理機制」的不完善，設備汰換雖然成效明顯但終為治標不治本的作法。本研究礙於時間因素，對於如何改善校園的「能源管理機制」並沒有深入的探討，在此也建議後續研究可以就此部分提出具有實用價值的解決方案。

參考文獻

國外文獻

1. Fudge, S., Peters, M. & Wade, J., “Locating the agency and influence of local authorities in UK energy governance”, *Working Paper of Centre for Environmental Strategy*, University of Surrey (2012).
2. Jensen, O. M., Wittchen, K. B. & Thomsen, K. E., “Toward very low energy buildings – energy saving and CO2 emission reduction by changing European building regulations to very low energy standard”, *Report of Danish Building Research Institute*, Danish Building Research Institute (2009).
3. Mansanet-Bataller, M., Chevallier, J., Hervé-Mignucci, M. & Alberola, E., “The EUA-sCER Spread: Compliance Strategies and Arbitrage in the European Carbon Market”, *Mission Climat Working Paper*, Caisse des Dépôts (2010).
4. Nordhaus, W., “Estimates of the Social Cost of Carbon: Background and Results from the RICE-2011 Model”, *Discussion Paper of Cowles Foundation*, Yale University (2011).
5. Turner, J. et al., “Antarctic Climate Change and the Environment”, *Paper of Scott Polar Research Institute*, Scott Polar Research Institute (2009).
6. Weisbord D., Dautremont-Smith, J. & Orłowski, M., “Greening the Bottom Line - the Trend toward Green Revolving Funds on Campus”, *Report of Sustainable Endowments Institute*, Sustainable Endowments Institute (2011).
7. “BES 5058: BREEAM In-Use”, *BRE Environmental & Sustainability Standard*, BRE Global Ltd (2011).
8. “LEED for Existing Buildings: Operations & Maintenance Rating System”,

Leadership in Energy and Environmental Design rating systems, USGBC
(2010).

國內文獻

1. 周鼎金,「九十四年度舊有建築物節能改善工程補助計畫執行成果報告」,內政部建研所(2006)。
2. 周鼎金、邱繼哲,「建築物雙層通風屋頂構造隔熱性能之研究」,建築學報,第59期,第79~92頁(2007)。
3. 林川發,「發光二極體的照明應用」,科學發展月刊,435期,36~41頁(2009)。
4. 林憲德,「既有建築物綠建築評估系統之研究」,內政部建築研究所委託研究報告(2010)。
5. 莊賦祥,「藍綠光發光二極體」,科學發展,349期,46~53頁(2002)。
6. 陳介惠,「建築用電密度標準之研究」,碩士論文,國立成功大學建築研究所,台南(2009)
7. 黃盛雄,「台灣地區 CO₂ 排放指標因素分析」,碩士論文,私立嘉南藥理科技大學環境工程與科學系暨研究所,嘉義(2009)。
8. 謝宏仁,「台灣都市住宅設備現況永續性及評估系統擬議」,博士論文,成功大學建築研究所,台南(2004)。
9. 蘇煥格,「太陽能板應用於公有建築之效益研究—以圖書館建築為例」,碩士論文,國立台灣大學土木工程研究所,台北(2011)
10. 「CCFL 液晶燈照明技術新知」,工業技術研究院(2009)。
11. 「建築物外遮陽暨屋頂隔熱設計參考手冊」,內政部建築研究所(2008)。
12. 「國立台灣大學 96 年度綠廳舍改善計畫屋頂隔熱及陽台綠化工程發包文件」(2007)。
13. 「國立台灣大學生命科學館空調箱設備汰舊換新採購案規劃報告書」

(2010)。

14. 「國立台灣大學節約用電補助辦法評審得獎單位節能報告書」(2011)。
15. 「國立台灣大學總務處 100 年年報」, 26~33 頁(2012)。
16. 「國立台灣大學總務處能源節約小組會議紀錄」(2009-2011)。
17. 「教育部校園節能推廣手冊」, 九十五年度校園電力管理資訊化輔導團計畫, 財團法人綠色生產力基金會編印(2007)。
18. 「經濟部能源局九十九年非生產性質行業能源查核年報」, 財團法人台灣綠色生產力基金會編印(2010)。
19. 「經濟部能源局台灣能源指標」(2010)。
20. 「綠建築解說與評估手冊」, 內政部建築研究所(2007)。
21. 「綠建築更新評估手冊」, 內政部建築研究所(2010)。

網頁

1. 「DSIRE Financial Incentives for Energy Efficiency Financial Incentives for Energy Efficiency」, U.S. Department of Energy, <http://www.dsireusa.org/summarytables/finee.cfm>. (Retrieved November 11, 2011).
2. 「Green Building Basic Information」, U.S. Environmental Protection Agency, <http://www.epa.gov/greenbuilding/pubs/about.htm> (Retrieved December 10, 2011).
3. 「Introduction of UK Green Building Council」, UK Green Building Council, <http://www.ukgbc.org/site/aboutus> (Retrieved December 12, 2011).

附錄一 國立台灣大學 98-100 年部分館舍用電資料

館舍名稱	水工試驗所	園藝系造園館	城鄉所	心理研究大樓	望樂樓	航空測量館	樂學館	女五舍	機械臨時工廠	機械舊館
連續資料月數	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
樓地板面積(m ²)	714.05	1490.295	1684.52	1790.427	492.264	565.6	1977.893	1771.865	1246	2218.35
EUI	41.78469295	54.73073	51.56004	57.46529	223.5767	194.6602	61.75238	78.1068	117.56	68.25829
平均年耗電量(度)	29836.36	81564.93	86853.92	102887.4	110058.8	110099.8	122139.6	138394.7	146479.8	151420.8
98 至 99 年節能率	15.10%	33.80%	-6.03%	-14.75%	-0.02%	-14.67%	-14.91%	-19.99%	6.34%	-15.16%
99 至 100 年節能率	-13.13%	-18.49%	-1.24%	3.15%	-8.32%	8.25%	-11.24%	-5.69%	-31.00%	-29.38%
98 至 100 年節能率	-0.02%	9.05%	-7.19%	-12.07%	-8.34%	-7.63%	-24.47%	-24.55%	-26.63%	-40.09%

館舍名稱	食品研發大樓	舊體育館	五號館	研一女	圖書資訊館	女二舍	新生大樓	水工大樓	園藝系花卉館	林產館
連續資料月數	36	36	36	36	36	24	36	36	36	36
樓地板面積(m ²)	1998.955	4221.302	2288.573	4778.363	4627.97	5362.95	5200.95	3796.116	1381.301	1129.933
EUI	109.675889	58.50439	111.215	53.71646	59.64725	55.33621	57.10444	84.79078	235.1632	295.3056
平均年耗電量(度)	219237.1667	246964.7	254523.7	256676.7	276045.7	296765.3	296997.3	321875.6	324831.2	333675.5
98 至 99 年節能率	-6.57%	4.6%	-7.88%	-50.83%	-23.97%	-	9.4%	-23.87%	-25.89%	13.94%
99 至 100 年節能率	-4.96%	8.9%	-8.47%	2.56%	-15.71%	6.56%	-32.9%	-2.76%	-5.10%	5.28%
98 至 100 年節能率	-11.20%	13.9%	-15.68%	-49.57%	-35.91%	-	-26.7%	-25.97%	-29.67%	19.96%

館舍名稱	女一舍	共同教室	男五舍	綜合教室	農化新館暨第二行政大樓	研一男	昆蟲館	普通教室	地理系	女八、九舍
連續資料月數	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
樓地板面積(m2)	5297.978	5460.563	4089.847	4239.602	9106.955	7113.375	1980.36	7535.514	4005.502	3766.736
EUI	63.83901	70.80686	97.01985	93.7477	46.12153568	62.72225	231.7604	61.66603	116.1937	128.0962
平均年耗電量(度)	338217.7	386645.3	396796.3	397452.9	420026.75	446166.9	458969.1	464685.2	465413.9	482504.4
98 至 99 年節能率	-17.82%	-9.8%	11.35%	-0.4%	-7.90%	-4.50%	5.90%	-6.7%	-9.38%	3.50%
99 至 100 年節能率	-7.89%	-12.2%	-5.86%	-3.5%	-2.83%	-2.22%	9.29%	6.2%	-11.10%	-5.64%
98 至 100 年節能率	-24.31%	-20.8%	4.83%	-3.8%	-10.51%	-6.62%	15.73%	-0.9%	-19.45%	-2.33%

館舍名稱	獸醫三館	大氣系 A、B 館	土木館	文學院	森林館	女三舍	男六舍	管院二號館	農綜館	管理學院教學館
連續資料月數	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
樓地板面積(m2)	2994.285	2402.511	6947.638	7493.51	3766.228	5091.244	4821.88	10816.18	8340.549	5431.63
EUI	161.8633	208.7481	73.6429	68.94328	137.7605	116.2988489	124.6549	56.33744	75.84126	118.1394
平均年耗電量(度)	484664.9	501519.5	511644.2	516627.2	518837.5	592105.8167	601070.8	609355.8	632557.7	641689.7
98 至 99 年節能率	5.42%	5.19%	-12.40%	-5.04%	-10.74%	-48.40%	-4.95%	-1.83%	-10.99%	-19.73%
99 至 100 年節能率	-11.11%	-7.35%	-10.77%	-30.78%	-5.56%	-2.55%	-8.70%	-2.83%	31.73%	-3.64%
98 至 100 年節能率	-6.29%	-2.53%	-21.83%	-34.28%	-15.71%	-49.72%	-13.22%	-4.61%	17.26%	-22.65%

館舍名稱	心理系新館	獸醫一館	男三舍	行政大樓	舊總圖	四號館	環工所	食科館	農藝館	學生第一活動中心
連續資料月數	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
樓地板面積(m ²)	3595.312	3685.936	6110.998	5605.446	5407.475	2795.265	3732.322	3018.734	3989.347	5849.345
EUI	181.2613	179.7909	112.0312	122.3518	129.1029	256.278	203.2288363	259.568	197.3132	146.7151
平均年耗電量(度)	651690.8	662697.7	684622.7	685836.4	698120.7	716364.8	758515.4567	783566.6	787151	858187.75
98 至 99 年節能率	-10.64%	-6.58%	-12.54%	-5.10%	79.17%	2.84%	-7.65%	-12.96%	-13.52%	-8.92%
99 至 100 年節能率	-6.01%	-10.35%	-11.20%	0.33%	2.51%	-3.48%	-13.87%	3.38%	3.68%	-14.42%
98 至 100 年節能率	-16.02%	-16.25%	-22.33%	-4.78%	83.68%	-0.74%	-20.46%	-10.02%	-10.33%	-22.06%

館舍名稱	漁業科學館	展書樓	男八舍	中非大樓	管理學院 1 號館	思亮館	三號館	農機館	浩翰樓	電機一館
連續資料月數	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
樓地板面積(m ²)	3943.618	3900.058	6769.888	4307.099	12968.5	10199.81	3576.544	5310	4285.37	2139.572
EUI	207.7727	220.4392	132.1088	210.9524	72.07115	92.1833	270.939	196.9697213	246.071	508.2217
平均年耗電量(度)	819376.1	859725.5	894361.8	908592.9	934654.4	940252	969025.2	1045909.22	1054505	1087377
98 至 99 年節能率	-5.85%	2.98%	-8.08%	-5.86%	-5.18%	-7.24%	5.77%	-0.98%	-1.48%	-1.00%
99 至 100 年節能率	1.07%	-2.57%	-25.85%	-2.62%	-10.27%	-14.53%	1.73%	-6.08%	-7.99%	4.60%
98 至 100 年節能率	-4.84%	0.34%	-31.84%	-8.32%	-14.92%	-20.71%	7.59%	-7.00%	-9.34%	3.55%

館舍名稱	土木研究大樓	生化所	男一舍	海洋研究所	工科海洋系	化學工程館	動科系	學生第二活動中心	地質系	生技中心
連續資料月數	24	36	36	36	36	36	36	36	36	36
樓地板面積(m ²)	9686.44	5182.513	9594.412	6448.623	10214.81	4653.084	3800	19257.415	4792.85	8512.619
EUI	114.7699	222.1333	121.3386	182.1566	123.8708	293.1531	379.5349	81.8213	329.1828049	193.5814
平均年耗電量(度)	1111712	1151209	1164173	1174659	1265317	1364066	1442233	1575667.96	1577723.807	1647885
98 至 99 年節能率	-	19.89%	-13.02%	-7.67%	13.27%	-7.36%	-9.16%	-2.15%	-17.99%	-25.77%
99 至 100 年節能率	-2.58%	-4.32%	0.89%	-8.47%	-11.85%	9.88%	-2.57%	-6.13%	2.29%	-7.19%
98 至 100 年節能率	-	14.72%	-12.25%	-15.50%	-0.16%	1.79%	-11.50%	-8.14%	-16.11%	-31.11%

館舍名稱	國青舍(研三舍)	二號館	博理館	應用力學研究大樓	資訊工程館	工學院綜合大樓	計資中心	新體育館	化學館	生科館
連續資料月數	36	36	36	36	36	36	36	35	36	24
樓地板面積(m ²)	13034.12	3636.152	11460.91	11571.28	5683.452	24629.67	4886.246	41448.43	8878.76	28817.56
EUI	135.4482	498.4998	207.4821	205.7682	581.4732	164.9754	888.9542	107.6379	549.6673	217.2708
平均年耗電量(度)	1765449	1812621	2377934	2381001	3304775	4063290	4343648.7	4461423	4880364	6261214
98 至 99 年節能率	-11.37%	25.49%	-3.54%	-14.11%	-3.62%	-7.66%	10.13%	-7.5%	10.06%	-
99 至 100 年節能率	-30.09%	0.81%	-10.11%	-11.30%	-1.29%	-3.80%	6.07%	-6.9%	2.97%	-9.51%
98 至 100 年節能率	-38.04%	26.51%	-13.29%	-23.82%	-4.86%	-11.17%	16.82%	-13.9%	13.32%	-

館舍名稱	電機二館	凝態科學館	總圖書館
連續資料月數	36	36	36
樓地板面積(m2)	16007.251	24539.22	35325.22
EUI	417.794942	334.3379	245.1515
平均年耗電量(度)	6687748.503	8204393	8660031
98 至 99 年節能率	-3.73%	-3.50%	-17.20%
99 至 100 年節能率	-26.18%	-3.21%	-8.63%
98 至 100 年節能率	-28.93%	-6.59%	-24.34%



附錄二 機關學校用電指標(EUI)基準值

(資料來源：經濟部能源局，2007)

編號	屬性	類別	EUI 基準值 (kWh/m ² /year)
1-1	辦公機關	行政院所屬機關	137.2
1-2		中央一般行政機關	120.4
1-3		縣市政府	100.8
1-4		縣市政府文化局	92.3
1-5		縣市政府環保局	137.0
1-6		地方一般行政機關	107.2
1-7		國防機關	143.1
1-8		高耗能設備辦公機關	206.9
2-1	業務機關	區國稅局	195.2
2-2		國稅局縣市分局	90.9
2-3		稅捐稽徵處	95.8
2-4		關稅局	127.3
2-5		關稅局地方分/支局	150.4
2-6		國產局辦事處	199.1
2-7		國產局辦事分處	85.9
2-8		工程單位(養護工程、水土保持、捷運)	148.5
2-9		法院(檢查署)	106.8
2-10		警政直屬	145.2
2-11		行政執行、調查處	150.1
2-12		巡防局	147.5
2-13		各縣市警察局	147.2
2-14		市警察分局	123.1
2-15		各縣警察分局	77.4
2-16		警察分隊	95.1
2-17		消防局	99.7
2-18		縣市立圖書館	93.3
2-19		直(省)轄市立圖書館	116.2
2-20		鄉立圖書館	48.1
2-21		鎮立圖書館	59.6
2-22		特殊圖書館	89.8
2-23		文藝中心	118.8
2-24		社教館	71.6
2-25		美術館及博物館	174.8
2-26		市民代會	50.6
2-27		鄉民代會	38.5

編號	屬性	類別	EUI 基準值 (kWh/m ² /year)
2-28		鎮民代會	33.8
2-29		市公所	102.0
2-30		區公所	62.8
2-31		鄉公所	70.9
2-32		鎮公所	74.1
2-33		市戶政事務所	136.7
2-34		區戶政事務所	136.0
2-35		鄉戶政事務所	78.2
2-36		鎮戶政事務所	103.7
2-37		市地政事務所	122.5
2-38		區地政事務所	97.9
2-39		鄉地政事務所	124.3
2-40		鎮地政事務所	104.8
2-41		市衛生所	73.0
2-42		區衛生所	62.4
2-43		鄉衛生所	41.0
2-44		鎮衛生所	43.1
2-45		衛生局	98.8
2-46		健康服務中心	107.4
2-47		檢驗單位	98.6
2-48		慢性病防治所	79.1
2-49		家畜疾病防治所	101.3
2-50		選委會	44.0
2-51		氣象中心	79.9
2-52		事故鑑定單位	84.0
2-53		祭民服務處	61.1
2-54		航空站	192.9
2-55		殯葬單位	65.2
2-56		其他業務單位	105.8
3-1	研究訓練 機關	傳統技術研究機關	65.0
3-2		科技技術研究機關	189.5
3-3		訓練所	84.8
3-4		職訓中心	57.2
3-5		就業服務中心	125.1
3-6		其他訓練中心	71.0
4-1	醫療機關	醫學中心	220.7
4-2		區域醫院	197.7
4-3		地區醫院	156.1
4-4		精神專科醫療醫院	91.4
4-5		輔導會自費安養機構	65.9

編號	屬性	類別	EUI 基準值 (kWh/m ² /year)
4-6		輔導會所屬安養機構	54.1
4-7		內政部所屬安養機構	53.4
4-8		縣市政府所屬安養機構	58.6
4-9		其他醫療醫院	198.3
5-1	學校	大學	98.2
5-2		科技大學	120.8
5-3		師範大學&教育大學	80.5
5-4		餐旅、戲曲、藝術、體育、藝術等	71.8
5-5		高級中學 10000m ²	48.0
5-6		高級中學 10000-50000m ²	29.7
5-7		高級中學 50000m ² 以上	25.0
5-8		工商職業學校	28.4
5-9		工業職業學校	31.0
5-10		商業、家事職業學校	31.8
5-11		農工職業學校	21.2
5-12		海事職業學校	26.2
5-13		國民中學	19.9
5-14		國民小學	18.6
5-15		幼稚園	33.8
5-16		托兒所	32.6
5-17		特殊教育學校	20.8
5-18		軍事學校	49.0
6-1	其他	零售市場	19.4
6-2		體育、育樂場所	42.4
6-3		監獄	64.0
6-4		看守所	63.5
6-5		戒治、觀護	37.9
6-6		農改	67.4
6-7		試驗所	219.6
6-8		繁殖場	105.2
6-9		林區管理處	85.5
6-10		清潔隊	81.2
6-11		焚化、掩埋場	67.7
6-12		廣播電台	226.3
6-13		國家風景區管理處	121.7
6-14		其他管理單位	70.1
6-15		籌備處	61.2

附錄三 經濟部冷氣機能源效率比值標準

無風管冷氣機能源效率比基準				
執行階段		第一階段	第二階段	
實施日期		中華民國一百年一月一日至一百零四年十二月三十一日止	中華民國一百零五年一月一日起	
機種	冷氣能力分類 (kW)	能源效率比(w/w)		
氣 冷 式	單 體 式	2.2 以下	3.15	3.40
		高於 2.2 ，4.0 以下	3.20	3.45
		高於 4.0 ，7.1 以下	3.00	3.25
		高於 7.1 ，10.0 以下	2.95	3.15
	分 離 式	4.0 以下	3.45	3.85
		高於 4.0 ，7.1 以下	3.20	3.55
		高於 7.1	3.15	3.40
水蒸 冷發 式式	全機種	4.25	4.80	

窗型冷氣機能源效率比值標準對照表

窗型冷氣機能源效率比值標準對照表					
窗型氣冷式(消耗電功率 3KW 以下)			適用舊版 CNS3615	適用新版 CNS3615 及 CNS14464	實施日期
機種	總冷氣能力		型式	能源效率比值(EER) Kcal/h·W (BTU/h·W)	能源效率比(EER)
	適用舊版 CNS3615	適用新版 CNS3615 及 CNS14464			
單體 式	低於 2,000Kcal/h	低於 2.3kW	一般型式、 變頻式 (60Hz)	2.33(9.24)	2.71
	2,000Kcal/h 以上 3,550Kcal/h 以下	2.3kW 以上 4.1kW 以下	一般型式、變 頻式 (60Hz)	2.38(9.44)	2.77
	高於 3,550Kcal/h	高於 4.1kW	一般型式、 變頻式 (60Hz)	2.24(8.89)	2.60
分離 式	3,550Kcal/h 以下	4.1kW 以下	一般型式	2.55(10.12)	2.97
			變頻式 (60Hz)	2.38(9.44)	2.77
	高於 3,550Kcal/h	高於 4.1kW	一般型式、 變頻式 (60Hz)	2.35(9.32)	2.73

箱型冷氣機能源效率比值標準對照表

機 種	適用舊版 CNS2725	適用新版 CNS3615 及 CNS14464	實施日期
	能源效率比值(EER) Kcal/h·W (BTU/h·W)	能源效率比 (EER)	
氣冷式 (消耗電功率大於 3kW)	2.44(9.68)	2.84	民國九十一年一月一日
水冷式	3.17(12.58)	3.69	

空調系統冰水主機能源效率標準

執行階段		第一階段		第二階段		
實施日期		民國九十二年一月一日		民國九十四年一月一日		
型 式	冷卻能力等級	能源效率比值(EER)kcal/h-W	性能係數(COP)	能源效率比值(EER) kcal/h-W	性能係數(COP)	
水冷式	容積式 壓縮機	<150RT	3.50	4.07	3.83	4.45
		≥150RT ≤500RT	3.60	4.19	4.21	4.90
		>500RT	4.00	4.65	4.73	5.50
	離心式 壓縮機	<150RT	4.30	5.00	4.30	5.00
		≥150RT	4.77	5.55	4.77	5.55

		<300RT				
		≥300RT	4.77	5.55	5.25	6.10
氣冷式	全機種		2.40	2.79	2.40	2.79

註：

1. 適用舊版 CNS2725 箱型空氣調節機（民國八十四年十二月二十一日修正發布）者，能源效率比值（EER）依該標準規定試驗之冷氣能力（Kcal/h）除以規定試驗之冷氣消耗電功率（W），其比值應在上表標準值及標示值百分之九十五以上。
2. 適用新版 CNS3615 無風管空氣調節機（民國八十九年十月二十四日修正發布）及 CNS14464 無風管空氣調節機與熱泵之試驗法及性能等級（民國八十九年十月二十四日發布）者，能源效率比（EER）依該等標準規定在 T1 標準試驗條件下試驗之總冷氣能力（W）除以有效輸入功率（W），其比值應在上表標準值及標示值百分之九十五以上。
3. 冰水機能源效率比值（EER）依 CNS12575 容積式冰水機組及 CNS12812 離心式冰水機組規定試驗之冷卻能力（Kcal/h）除以規定試驗之冷卻消耗電功率（W），測試所得能源效率比值不得小於上表標準值，另廠商於產品上之標示值與測試值誤差應在百分之五以內。
4. 性能係數（COP）= 冷卻能力（W）/ 冷卻消耗電功率（W）= 1.163EER。1RT（冷凍噸）= 3024Kcal/h。