

# 綠色校園智慧節能系統之成本效益分析：中興大學 畜產試驗所案例

許志義<sup>1\*</sup> 鄭彙齡<sup>2</sup> 鄧蓉<sup>3</sup>

## 摘 要

本研究旨在評估綠色校園智慧節能系統之經濟效益。為了達成此一目的，本文以中興大學烏日畜產試驗所校區為實證案例，利用該校區溫室蘭花栽培場、屋頂型太陽能發電系統之農牧場與雞舍、追日式太陽能發電系統、以及移動式農牧場廢棄物能源熱電轉換設施，將這些物件緊密整合成一套智慧能源雲端管理系統，加以運作。同時，針對此一案例進行成本效益分析，分別由參與者(亦即學校主體)觀點及整體社會觀點加以評估。其結果顯示：在現行技術水準及市場環境下，不論是參與者檢定或社會成本檢定，均未能通過符合經濟淨效益的門檻，其兩者的益本比，分別為0.78以及0.79。值得注意的，本研究在未新增智慧綠能農牧設備之參與者檢定即為0.78，其原因為在於目前在商品市場中畜產肥料成本過高，並非綠能投入所導致的不符成本，而在投入智慧綠能系統之後，其益本比並未有下降之趨勢，而在社會成本檢定中，加入二氧化碳排放計算，益本比亦有小幅升高的結果，可以推測建立綠能農牧場對整體學校節能是有益的。而本研究社會成本效益分析範圍，僅考量二氧化碳排放減量的外部效益，並未納入此一智慧能源管理系統潛在的能源教育功效在內。這些不易納入量化分析的外部效益，是否可能翻轉成本效益分析的檢定門檻，值得後續研究予以探討。

**關鍵詞：**綠色校園、智慧能源管理系統、成本效益分析、參與者檢定、社會成本檢定

## 1. 研究動機與目的

在全球節能減碳普世價值趨勢下，綠色校園(Green Campus)是當前各國大學校園力行實踐的目標。Abramson (2000)認為，「綠色」就是「永續(sustainable)」，換句話說綠色校園亦即永續校園，是各校園必須努力追求的目標。Weiss (2000)也認為，學校進行綠色節能推廣，須以永續校園為目標，才能創造出優質、健康的學習環境，也能利用該區域的優勢，藉

由當地再生能源之天賦資源，供應學校研究與運用。Kennedy (2001)將綠色校園推動政策分成三個面向，分別是建築設計策略、設備之選擇與行為之改變。Moore (2002)也提到，永續校園能提升學生之學業表現與教師之教學熱忱，降低學校運作的花費等多重效益。Stafford (2011)選取美國180所大專院校，分析校園進行綠色節能改善工作的意願與持續性，發現其影響因素為：1.監管壓力(Regulatory Pressures)：若學校進行節能工作一段期間，且已具有成

<sup>1</sup> 國立中興大學應用經濟學系暨資訊管理學系合聘教授及產業發展研究中心主任

<sup>2</sup> 國立中興大學產業發展研究中心助理

<sup>3</sup> 國立中興大學應用經濟所研究生

\*通訊作者, 電話: 04-22857798, E-mail: hsu@nchu.edu.tw

收到日期: 2015年12月31日

修正日期: 2016年07月05日

接受日期: 2016年07月25日

效，地方政府對於其節能標準的要求將會逐漸提高，期望能在既有的節能基礎上精益求精，將節能效益更加發揮。2.財政約束(Financial Constraints)：學校進行節能工作的經費包括預算的撥給與外界的補助(如企業贊助或政府補助)，另外，進行節能工作所能節省之能源支出費用也是考慮的重點。3.學生偏好(Student Preferences)：具有節能成效的校園可能會是吸引學生就讀的條件，根據MTV/CBS電視台在2006年對於美國13-24歲年輕族群的調查，有81%認為學校在節能工作的投入會是考慮就讀的重要因素。4.利益相關者的影響(Stakeholder Influences)：學校對於節能工作的投入會增加校友對母校的忠誠度，會給予更多的捐款幫助節能工作。另外對於學校所在的社區而言，也能提升其綠色形象。

國外著名之綠色校園案例包括：美國亞利桑那大學(Arizona State University)與北岸社區學院(North Shore Community College)等。亞利桑那大學在2009年被普林斯頓評論(The Princeton Review)與非營利環保機構ecoAmerica評選為全美最綠的15個校園之一，其主要推行策略是在體育館、圖書館與停車場等公共空間之屋頂裝設太陽能面板，裝置容量總計約751 KW，預計在2020年達到20 MW的目標。另外校方也規劃「綠色工作箱(sustainability toll box)」，內容詳細條列校務工作的節能策略。北岸社區學院則以校園為零耗能建築(Zero Energy Building)為號召，且建築也通過美國LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)評鑑，達到金色認證水準。主要使用的再生能源為太陽能發電與地源熱泵(深度500呎的地熱井)。建築使用冷樑(chilled beams)系統幫助通風順暢，冬暖夏涼；屋頂雨水回收系統的水源可用於沖洗廁所和灌溉種植；停車場裡的地熱井則用來輔助建築內部的加熱和冷卻。在未來每年電價上漲率為3%的假設下，未來20年共可節省350萬美

元，可減少4,000噸的碳排放。

國內方面，ISO50001能源效率認證系統被導入校園節能工作之中。ISO50001於2008年由國際標準組織(International Organization for Standardization, ISO)的能源管理委員會所規劃<sup>1</sup>，目標是幫助客戶建立完整之能源管理系統與組織。根據Pinero (2009)對於ISO50001之見解，其認證系統係要求組織能夠建立、執行、維護及改善能源管理系統，使組織能夠系統化的推動該系統，將組織本身的能源使用效率提升到最佳狀態，並與組織運作之策略和目標密切配合。洪文雅與林信作(2010)該文提到希望藉由以計畫-執行-查核-行動(Plan-Do-Check-Action, PDCA)之機制，持續性地進行能源使用效率改善，快速且有效的降低能源消費量，降低營運成本、提升能源管理績效。該文也認為此標準將對全球60%的能源使用產生正面影響，尤其近年來資通訊能源管理系統普及，成本顯著下降，具有進一步推廣的發展空間。

綜合上述國外與國內綠色校園相關案例，綠色校園主要特色不外乎就地制宜，因勢利導引進再生能源發電系統，同時落實ISO50001或其他相關智慧能源管理系統與制度，達到整體校園永續發展之目標。

本研究基於以上之背景，聚焦於中興大學烏日畜產試驗所校區，建置以太陽能發電系統為主之展示系統，做為示範場域。其中該烏日畜產試驗所具有自然資源特色與教學研究推廣服務之環境，結合當前最具節能減碳策略的再生能源以及資源回收循環永續利用之示範系統，建構出綠色校園農場智慧節能模式，實現次世代之未來產業效益。利用學校既有的綠能蘭花栽培場、陽光牧場與雞舍以及移動式農場廢棄物能源熱電轉換，將其緊密整合，並規劃出智慧綠能農牧系統，並利用參與者檢定以及社會成本檢定針對智慧綠能農牧系統進行效益分析。許志義與黃國暉(2010)該文

<sup>1</sup>元智大學(2011)，朝陽科技大學(2012)與國立中興大學(2013)等，已獲得ISO50001認證。

提到參與者檢定之優點為參與綠能系統者能夠獲得初次收割(first cut)之有利訊息，可以提供潛在參與者，對於其他有意參與者可以作為評估依據。社會成本檢定之適用性在於針對社會環境進行分析，除了參與者檢定所包含之成本效益，更考量到減低二氧化碳之排放量，所帶來之社會影響，故採用此兩種分析方式進行探討，而所分析之智慧綠能農牧系統敘述如下(如圖1)：

綠能蘭花栽培場：蘭花產業為臺灣農業最具國際競爭力產業之一，尤其蝴蝶蘭此作物。陳加忠(2013)適合臺灣生產的蘭花品種其特性為高溫栽培(25-35°C)，以配合臺灣本身亞熱帶氣候。然而蘭花成為商品必須經由低溫抽梗開花階段。因此蘭花溫室的夏季降溫與冬季加溫，成為蘭花栽培場能源需求之最大項目。本

研究將以蝴蝶蘭溫室為主要對象，並以生態綠能之理念進行蝴蝶蘭溫室之能源利用及改善效益之評估。

陽光牧場及雞舍：中興大學以農見長，烏日畜產試驗場除了蘭花栽培場外，也包含了牛舍、雞舍與興建中的乳品加工廠及屠宰場，另外為了預防禽流感問題也已建置「負壓式」雞舍，使用隧道式通風以及水簾，調控雞舍之溫度以確保雞隻健康，達到降低雞隻感染流感病毒之可能性。在本校牧場與雞舍既有基礎上，利用陽光牧場與負壓雞舍之能源應用，以期達到兼顧節能減碳、動物福祉及經濟效益之農牧場。

移動式農牧場廢棄物能源熱電轉換系統：建置此系統之目標在利用園藝場、家禽與家畜所產出的農牧廢棄物，進行能源與資源的回收



圖1 智慧綠能農牧系統  
資料來源：本研究繪製



再利用，建置一移動式的小型農牧廢棄物氣化發電系統進行示範，以自行發電方式供農牧場使用，亦可產出熱風供溫室設施利用；另一方面，亦將農牧廢棄物轉成生物炭，再回歸至農場土壤，以促進植物生長，達到零廢棄物的綠色農牧場永續發展目標。

2. 研究方法與模型建立

首先，蒐集中興大學畜產試驗所內各相關單元之成本效益資料，包括：(1)牛舍、雞舍、過去實際用電量，做為比較基線(Base Line)；(2)屋頂型太陽能面板之發電狀況；(3)雞隻產蛋率相關數據；(4)牲畜有機排泄物量；(5)生質能熱電轉換效率理論數據等，以利進行參與者檢定。

2.1 參與者檢定(Participant Cost Test, PCT)

參與者檢定的概念係用評估參與者在執行智慧綠能農牧系統所產生的效益與成本。從參與者(意即本校)的觀點，執行智慧綠能農牧系統所考量的效益項包括：電費帳單金額的減少(因太陽能發電、生質能發電、生質熱能所減少從台電購電的電力支出等)、回售部分自行發電的收益、銷售雞蛋與肉雞的收益、銷售乳品與牛隻的收益、銷售蘭花的收益。而參與者執行綠能農牧系統的成本則有：因參與該智慧綠能農系統所引發的支出(包含所購買的軟硬體設備、相關稅費、安裝費、運轉及維護成本、最

終移除成本等)、銷售雞蛋與肉雞的相關成本、銷售乳品與牛隻的相關成本、銷售蘭花的相關成本。茲將參與者檢定效益項與成本項列於表 1。

本檢定結果可以下列三種方式呈現：

2.1.1 參與者檢定的淨現值 (Participant Net Present Value, NPV<sub>p</sub>)：

$$NPV_p = B_p - C_p \tag{1}$$

NPV<sub>p</sub> 為參與者之淨現值；B<sub>p</sub> 為參與者之效益總現值；C<sub>p</sub> 為參與者之成本總現值。淨現值大於零可視為對參與者而言是有利的。結合表一的效益項和成本項，B<sub>p</sub> 和 C<sub>p</sub> 更細部的內涵可表示如下：

$$B_p = \sum_{t=1}^N \frac{BD_t + ER_t + CR_t + BR_t + FR_t}{(1 + d)^{t-1}} \tag{2}$$

其中d為折現率；BD<sub>t</sub>為第t年參與者電費帳單減少之金額；ER<sub>t</sub>為第t年回售自發電力的收益；CR<sub>t</sub>為第t年銷售雞蛋與肉雞的收益；BR<sub>t</sub>為第t年銷售牛隻的收益；FR<sub>t</sub>為第t年銷售蘭花的收益。

$$C_p = \sum_{t=1}^N \frac{PC_t + CC_t + BC_t + FC_t}{(1 + d)^{t-1}} \tag{3}$$

PC<sub>t</sub>為第t年之參與所引發的支出，包括：含稅之初始資本成本(Capital Costs)、燃料等運轉維護成本、最終移除成本(扣除剩餘殘值)。CC<sub>t</sub>為第t年銷售雞蛋與肉雞的成本；BC<sub>t</sub>為第t年銷售牛隻的成本；FC<sub>t</sub>為第t年銷售蘭花的成

表1 參與者檢定的效益項與成本項

	效益項	成本項
電力相關的成本效益	電費帳單金額的減少(BD)	參與該系統所引發的支出(PC)
	回售部分自行發電的收益(ER)	
雞隻相關的成本效益	銷售雞蛋與肉雞的收益(CR)	銷售雞蛋與肉雞的成本(CC)
牛隻相關的成本效益	銷售乳品與牛隻的收益(BR)	銷售乳品與牛隻的成本(BC)
蘭花相關的成本效益	銷售蘭花的收益(FR)	銷售蘭花的成本(FC)

資料來源：本研究整理

本。

### 2.1.2 參與者檢定的益本比 (Participant Benefit-Cost ratio, BCR<sub>p</sub>)：

$$BCR_p = B_p / C_p \quad (4)$$

BCR<sub>p</sub> 為參與者之益本比。益本比大於一表示對參與者而言是有利的。

## 2.2 社會成本檢定 (Social Cost Test, SCT)

透過社會成本檢定進行整體系統效益評估。社會成本檢定計算了外部性的影響，排除租稅扣抵的部分，並且以社會折現率取代一般財務分析所使用之資本市場折現率。社會成本檢定的效益項額外考量該系統之專利產出等其他無形之效益，本研究只簡易評估節能減碳效益，所謂減碳效益則可由每度電之排放係數(Emission Factor)與歐盟排放交易體系(European Union Emission Trading Scheme, EU ETS)市場價格推估，將無形之減碳效益貨幣化(Monetization)。

以數學式表達，可以下面兩種方式呈現：

### 2.2.1 社會的淨現值 (Social Net Present Value, NPV<sub>s</sub>)：

$$NPV_s = B_s - C_s \quad (5)$$

NPV<sub>s</sub> 為整體社會之淨現值；B<sub>s</sub> 為整體社會之效益總現值；C<sub>s</sub> 為整體社會之成本總現值。淨現值大於零可視為對整體社會而言是有利的。

$$B_s = \sum_{t=1}^N \frac{BD_t + ER_t + CR_t + BR_t + FR_t + \text{CarbonDe}}{(1+d)^{t-1}} \quad (6)$$

其中 $d$ 為折現率；BD<sub>t</sub>為第 $t$ 年參與者電費賬單減少之金額；ER<sub>t</sub>為第 $t$ 年回售自發電力的收益；CR<sub>t</sub>為第 $t$ 年銷售雞蛋與肉雞的收益；BR<sub>t</sub>為第 $t$ 年銷售牛隻的收益；FR<sub>t</sub>為第 $t$ 年銷售蘭花的

的收益；CarbonDe為減碳效益。

$$C_s = \sum_{t=1}^N \frac{PC_t + CC_t + BC_t + FC_t}{(1+d)^{t-1}} \quad (7)$$

PC<sub>t</sub>為第 $t$ 年之參與該所引發的支出，包括：含稅之初始資本成本(Capital Costs)、燃料等運轉維護成本、最終移除成本(扣除剩餘殘值)。CC<sub>t</sub>為第 $t$ 年銷售雞蛋與肉雞的成本；BC<sub>t</sub>為第 $t$ 年銷售牛隻的成本；FC<sub>t</sub>為第 $t$ 年銷售蘭花的成本。

### 2.2.2 社會的益本比 (Social Benefit-Cost ratio, BCR<sub>s</sub>)：

$$BCR_s = B_s / C_s \quad (8)$$

BCR<sub>s</sub> 為社會整體之益本比，效益項與成本項分別加以折現後，兩者之比值，即為益本比。益本比大於1，表示該方法對社會而言是有利的；益本比小於1，則不具有經濟可行性；益本比等於1，表示投資與否均可。

## 3. 模型參數

關於綠能農牧節能系統之成本效益分析，本節主要分為兩個面向來探討，分別為成本面和效益面分析內容概述如下示：

### 3.1 成本項

#### 3.1.1 直接成本

##### 3.1.1.1 參與該智慧綠能農牧系統所引發的成本

##### 1. 太陽能設備

##### a. 系統成本

太陽能設備主要影響系統成本最大部分是太陽能設備生產成本占總成本60%，此涵蓋了轉換太陽熱能為電能所需的設備，直流電轉換為交流電之變電器。目前太陽能模組之應用日益普遍，但其最大缺點為轉換效率低，以至

於如何提升其整體效益，為當前一大考驗。然而，在北回歸線橫跨的臺灣，與太陽直射角度保持25度以內，其具有高光電轉換效率，可達到有陽光就有電的效果，若大於此角度太陽光幾乎被反射掉，因而無法有效率進行光電轉換。。

本研究規劃將於牛舍屋頂裝置固定式太陽能板於牛棚南面如圖2，約為24.96 KW。其屋頂原均採側遮陰防止由西面及南面來的光線進入牛舍；另外由於地軸呈23.5度傾斜，夏季時則光線能由北側進入牛舍達到遮陰效果，太陽能板在冬季時，可利用其產生之熱能使空氣通過集熱面板的下方，吸收面板的熱量，提高溫度，牛舍溫度可藉此維持於19°C且使濕度穩定，達到節能設計，從而提高牛奶產量和品質。

另外，於牛舍外空曠地域建設無電追日式太陽能發電系統約4.68 KW及有電追日太陽能發電設施約1.56 KW，無電追日式太陽能是利用左右兩側壓力罐與遮光板搭配，利用物理原理使氣壓缸推動平台達到追日效果，因僅靠壓力罐液體昇華為氣體推動氣壓缸，清潔維護也較傳統之太陽能面板簡易，該種面板由人工清

潔，但乾燥簡單，不易留有水漬使面板鏽蝕或者使馬達浸水。藉由無電追日式太陽能提供有電追日太陽能發電系統以減少額外電力輸出。目前系統整體(牛舍屋頂、無電追日系統及有電追日系統)已建置完成所花費系統成本為200萬元。

#### b. 運維成本

為維持整體太陽能系統於生命週期中可達到最大效益，電站在成功併網發電後，逆變器的維護及功能檢查、電廠發電量的監測、模組及周邊配備的損耗情形等後續的運維，此相關修護及運行成本相當低。根據Hernández-Moro & Martínez-Duart (2013)文獻指出，採以每年運維成本大約占總系統投資約1.5%估算，約3萬元。

#### c. 除役成本(Decommissioning cost)

除役成本基本上在最後一年才會發生，在退役過程中的第一步是評估現有的場地條件，並準備現場進行拆遷。此成本為拆除退役，許多現役的電廠中除役成本會依照每年情形加以修正，屋頂型PV裝置比起地面型拆除較為簡易，因此PV除役成本約為投資成本之2%。

#### 2. 小型可移動式下吸式氣化發電系統

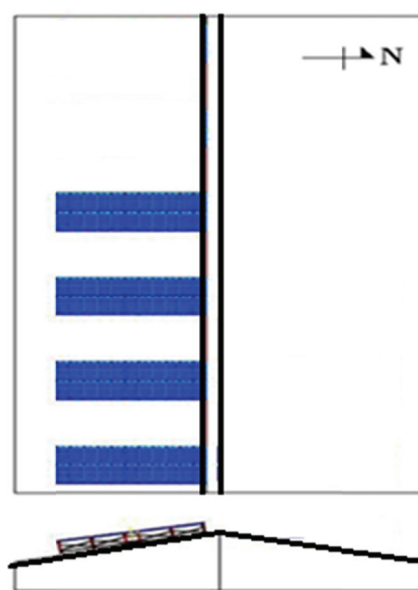


圖2 牛舍與牛舍太陽能板建置圖

資料來源：本研究繪製

### a. 系統成本

利用園藝場、家禽與家畜所產出的農牧廢棄物進行能源與資源的回收再利用，建置一移動式的小型農牧廢棄物氣化發電系統進行示範，提供電力供農場使用，亦可產出熱風，供溫室等設施使用；另一方面，亦將農牧廢棄物轉成生物炭，再回歸至農場土壤，以促進植物生長，達到零廢棄物的綠色農場永續發展目標。

此系統主要分成三個部分如圖3，一是氣化爐主體，建置成本為50萬元；其次是發電機，一般型約為10萬元；三是移動台車，大概在15至20萬元，若是不移動或採現有之小貨車移動，此部分費用則可忽略。移動式下吸式氣化發電系統成本花費約70萬元。

### b. 運維成本

吳耿東(2009)提到維護費主要是在於機電定期維護費用，其所需要之費用是以機電設備成本3%估算；消耗性材料費用則包含材料、水費、藥品等開銷，其估算是以機電設備成本2%估算；另有關行政管銷部分包含有保險、稅捐、管理費等是以機電設備成本1%估算，合計操作維護費用共為6%。此針對大型氣化發電系統，但對於農業規模的小型氣化系統維護成本，本研究採佔總系統成本3%估計。

### 3.1.1.2 銷售雞蛋與肉雞的成本

### 1. 雞舍

#### a. 建置成本

為了預防禽流感問題也已建置「負壓式」雞舍，使用隧道式通風(Tunnel-ventilation system)以及水簾，利用風扇強制將空氣自雞舍內抽出至舍外，使密閉雞舍內部呈現負壓狀態，迫使外界新鮮空氣自動由固定進氣口進入雞舍，達到換氣目的；在進氣口裝置水簾，則可調控雞舍之溫度以確保雞隻健康，達到降低雞隻感染流感病毒之可能性。在本校牧場與雞舍既有基礎上，利用智慧陽光牧場與雞舍之能源創新應用，以期達到兼顧節能減碳、動物福祉以及經濟效益之「小而美」模組式農舍。目前溪心壩地址擁有14座雞舍，約3,500隻雞隻，其中有11個保種品系、4個育種品系。整體雞舍建設成本大約為500萬元。

#### b. 營運成本

在營運成本估算中，主要分為人事費用、每年修繕雞舍成本、雞隻飼料費、粗糠之總成本等，本畜牧場主要幼雛都以自行孵化為主，目前試驗場主要都是吃全料(完全飼料)，也就是正常的飼料配方，並不會特別添加營養素、抗生素與色素的飼料，僅有少數一兩種品種，因為怕熱的關係，偶爾會吃一些抗熱的藥物，但也不是天天食用。因此，熱能飼料和蛋白質補充料，便成為雞飼料之主體。其次則為礦物質、維生素及飼料添加物等。本校雞飼料採以

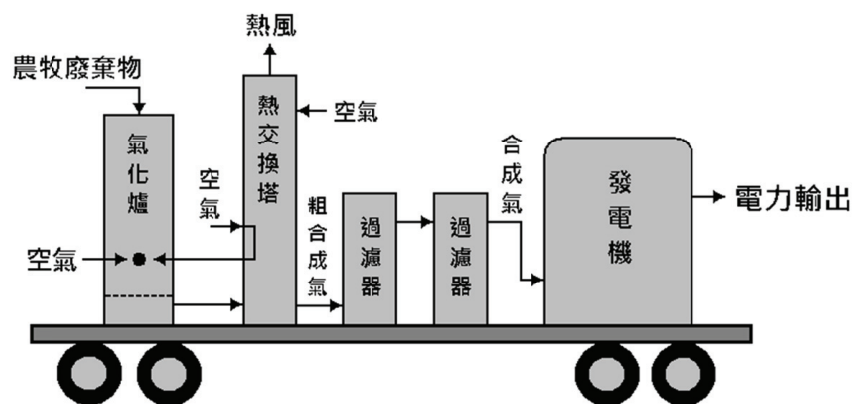


圖3 10 kWe小型可移動式下吸式氣化發電系統

資料來源：本研究繪製



粗糠作為熱能飼料，粗糠是稻穀的糠層(bran layer)和胚所組成，一般含有少量稻穀，破碎米粒和碳酸鈣，是碾米的副產品。新鮮粗糠約含13%蛋白質和12~18%粗脂肪，而粗纖維含量不超過13%。適口性佳，為雞的優良飼料，惟其脂肪含量高。經過歷史估計每年飼料費總成本約為250~300萬元、粗糠總成本為3~5萬元。人事費用部分固定一位研究助理餵養雞隻及清除雞隻排泄物，因此人事費約為54萬元。每年修繕雞舍之成本約為65萬元。

### 3.1.1.3 銷售乳品與牛隻的成本

#### 1. 牛舍

##### a. 建置成本

本校於民國78年8月將原校本部內之畜牧場遷移至烏日區溪心壩校地，並於該地逐步興建可容納5,000隻雞之雞舍、500隻鴨或鵝之水禽舍與水池、80頭牛之乳牛舍、200頭豬之種豬舍、污水處理場及約5公頃之牧草地。民國85年本場正式更名為「中興大學農學院畜產試驗場」，並陸續增建實習暨管理大樓、乾草房。民國86年將校內之乳牛群遷至溪心壩牧場，加上畜產學系研究用之家禽畜，成為一研究教學兼用之牧場。畜牧試驗場佔地：7.3公頃(牧場登記面積3.5公頃，其餘為牧草地)。目前牛舍有三棟，整體建設成本大約為6,000萬元。

##### b. 運營成本

在營運成本估算中，主要分為人事費用、每年修繕牛舍之成本、牛隻飼料費、牛隻疫苗費用等，目前畜牧場內牛隻總頭數為81頭，包含泌乳牛32頭，乾乳牛、女牛47頭，小公牛2頭，其中有30頭為懷孕牛，主要以母牛產奶為主營運。每年修繕牛舍之成本約為70萬元。而人事費用部分總計相關行政人員及技正額計8人，預計每人每月薪資約為36,000元，每年人事費用以15月計(含薪資13.5月，其他保險管銷1.5月)，因此人事費用約為432萬元。本畜牧場牛隻飼料費交由工廠配置飼料，經過歷史估計每年飼料費每年總成本約為450萬元、疫苗費用

4.5萬元。

### 3.1.1.4 銷售蘭花的成本

#### a. 建置成本

綠能蘭花栽培場未來將規劃建置於本校區溪心壩畜牧場場址，蘭花小型栽培場之基本規模約50坪。依104年之建造價格，每坪為8,000元。預算為新臺幣40萬元。本蘭花栽培場將配合臺大蘭園共同建置，臺大蘭園專業投入蝴蝶蘭、文心蘭、虎頭蘭、拖鞋蘭、嘉德利亞蘭及其他屬別蘭花之育種、研發及生產銷售。從育種選拔、無塵室組織培養、溫室栽培、病蟲害防治、病毒檢測各方面本公司均採企業化管理。未來與本研究配合將可望產出高品質各種蘭花。

#### b. 運營成本

在營運成本估算中，主要分為人事費用、每年修繕蘭花溫室、每年買進蘭花幼株成本、蘭花所需肥料費用、人工介質費用(如水苔、蛇木、樹皮、輕石)等，目前蘭花種苗一坪約80株，使用活動植床可提高空間使用率。目前假設的0.8為活動植床，如果為固定植床，空間使用率要降低，本研究採以空間使用率為80%，估計可種植約3,200株，目前蘭花幼苗一株約60元且蘭花生長期約一年，因此估計一年種植蘭花之成本約19.2萬元。每年修繕蘭花溫室之成本約為4萬元，而每年人事費用部分主要以遠端控制溫室溫溼度，安排研究生配合相關教學、實習及研究，因此人事費約為9.6萬元。

關於人工介質費用，常見的包括水苔(苔蘚)，芒骨(蛇木屑)，樹皮，木炭等。水苔保水力佳，適宜較乾燥的環境，或者沒有時間經常澆水的人。臺灣天氣潮濕，通常使用兩份物水苔碎混合一份芒骨，或者用兩份樹皮混合一份小石子及少量木炭種植蝴蝶蘭會較佳。每年應更換介質一次，並待介質乾燥才作首次澆水，減低根部傷口受感染的機會。每年所需肥料及人工介質費用約為5萬元。



### 3.1.2 間接成本

外部成本別討論環境汙染、環境景觀可能受到負面影響，以及可用於其他用途，如農業損失面積計算。太陽光電主要是利用太陽能電池吸收太陽光能，再直接將之轉換成電能，以供需求端應用，其於應用時並無環境污染物排出，但太陽能電池製程與半導體製程相似，製程亦為廢氣、廢水產生有毒、致癌性物種之主要區塊。此外生質能燃燒雖不會產生二氧化硫，但會產生微塵，植物的燃燒也會產生二氧化碳。此部分汙染較難以估算得以忽略。

## 3.2 效益項

### 3.2.1 直接效益

#### 3.2.1.1 電費帳單金額的減少

$BD_t$  為第  $t$  參與者電費帳單減少之金額，在此檢定中，參與者因使用太陽能發電、生質能發電所減少從台電的用電，產能如下：

##### 1. 太陽能設備(如表2)

本研究採電力系統市電併聯運轉，全數發電於自用，一旦太陽能電力不足時，瞬間即跳接到市電，不影響一般電器的正常使用，而達到節約用市電的目的。

太陽能面板發電(31 kW)，白天以太陽能面板發電供應電能，在臺中地區年發電量約1,237

kWh/h/kWp，一年可產生電能38,347度(參考表二計算)，每度5元，估計可省191,735元。

##### 2. 小型可移動式下吸式氣化發電系統

建立移動式農牧場廢棄物能源熱電轉換技術，旨在利用園藝場、家禽畜所產出的農牧廢棄物進行能源與資源的回收再利用。目前已完成農牧場作為氣化發電原料之一的牛糞之組成分析，包括近似分析、元素分析及熱值，其結顯示，牛糞之高熱值約為9.54 MJ/kg，根據初步估算，約12公斤牛糞可發1度電。

建置10 kW移動式的小型農牧廢棄物氣化發電系統，可提供電力供農牧場使用，亦可產出熱風，供溫室等設施使利用；另一方面，亦可將農牧廢棄物轉成生物炭，再回歸至農場土壤，以促進植物生長，達到零廢棄物的綠色農場永續發展目標，移動式設計具機動性，可配置於既有設施之農牧場，並具防災發電功效。

10 kW小型可移動式下吸式氣化發電系統，因牧場牛糞(乾物)一年約280,000公斤、雞糞(乾物)一年約70,000公斤、羽毛(乾物)一年約3,000公斤，總計每年35.3萬公斤，Lora and Nogueira (2000)指出約12 kg廢棄物可產1度電，約可產出29,416度，每度5元，氣化發電系統約可節省147,080元。

#### 3.2.1.2 回售部分自行發電的收益

再生能源發電為我們及我們的下一代植福、培福。太陽能發電與生質能發電都屬於再

表2 PV系統之各縣市2013年回報發電量平均值

縣市地區	日平均發電量(kWh/天/kWp)	縣市地區	日平均發電量(kWh/天/kWp)
臺北	2.71	臺南	3.53
桃園	2.9	高雄	3.46
新竹	3.04	屏東	3.29
苗栗	3.28	宜蘭	2.53
臺中	3.39	花蓮	2.6
彰化	3.6	臺東	3.11
雲林	3.52	澎湖	3.38
嘉義	3.50	金門	3.55

資料來源：本研究整理

生能源，意即來自大自然，取之不盡用之不竭，目前正蓬勃發展的研發與創新，是目前綠能發電中最具潛力及具體效益的選項。進而將產生的電力回售給台電，目前發電乃採自用，尚未有規劃回售於台電。

### 3.2.1.3 銷售雞蛋與肉雞的收益

中興大學畜產場對於雞隻飼養主要任務是保種，因此有受精的蛋是留種用，沒有受精的蛋進而於實習商店販售。販售用蛋都為無精蛋，至於常見的蛋的大小，通常在於雞的品種跟年齡；至於土雞，普遍來說，蛋略小而蛋黃的顏色，通常可以透過飼料的管理。至於學校販售的，基本上做為保種研究用，並不會額外添加太多的飼料或抗生素。每年雞隻平均一年產蛋量約4,380公斤，約492,750元。一年淘汰種雞約2500隻，每隻種雞賣價約50元，約125,000元。

### 3.2.1.4 銷售乳品與牛隻的收益

近年食安風暴，民眾改買其他品牌代替，引發乳品市場「假性產銷失衡」。使得原屬小眾市場的大學乳品，成了搶手貨，本校牛隻畜牧場一年估計產量約146噸鮮奶，以實習商店牛奶價格80元/公升計算，約可收益約1,134萬元。

### 3.2.1.5 銷售蘭花的收益

在臺灣農業的產值日漸低迷之時期，蘭花產業反是逆勢而上，不論是產量或品質都是逐年增加，其中又以蝴蝶蘭為主要作物。國內蝴蝶蘭生產面積在1993年之前，並未超過10公頃，而在2003年上半年，面積已將近150公頃。在歐洲近三年來，產量每年增加30%，售價每年成長10-15%。而此種蘭花需求量在短期內仍然不會到達飽和。

由於蘭花種苗主要來自植物組織培養技術所生產的分生苗，因此蘭花產業可稱為生物技術的下游產業。甚至被稱為臺灣生技產業的一

環。國內發展生物技術已有多多年，蘭花產業也可說是目前最具有產值與產量，因此成為最具代表性的生技產業。未來蘭花溫室平均一坪80株蘭花且占地50坪，蘭花栽培成功率80%，預估產量約2,560株。依照蘭花目前售價約120元/株，銷售蘭花的收益約30.72萬元。

### 3.2.2 間接效益

透過社會成本檢定進行整體系統效益評估。社會成本檢定的效益項額外考量該系統之專利產出、節能減碳效益等無形之效益，詳細評估方法如下：(1)專利之產出，可透過專利權評估(Evaluation of Patent Right)推估其價值。一般而言，可採用「利潤分成率」推估該專利技術可產生之收益。亦即以開發專利技術可產生之總收益為基礎，根據一定比例推算專利技術之收益。合理之利潤分成率，可參考先進國家經驗、類似產業對利潤分成率之推估、相關文獻資料等，制定適合本研究之利潤分成率；(2)減碳效益，則可由每度電之排放係數(Emission Factor)參考加拿大卑詩省之碳稅系統所呈現之碳價格推估，將無形之減碳效益貨幣化(Monetization)。而在本研究中，目前只針對減碳效益進行探討。

#### 3.2.2.1 減碳效益(CarbonDe)

以發電量在生命週期中的評估結果，來計算單位(度)發電下的二氧化碳減排放量的情況，此方法有助於了解單位(度)發電下對環境的影響，不但可做為不同系統之太陽能發電差異分析之用，更可以與其他發電方式比較，公式如下：

$$CO_2 \text{ emission reduction (kg)} = E_G \times \gamma \quad (9)$$

上式中， $E_G$  為發電總量， $\gamma$  為二氧化碳電力排放係數。

$$\gamma = \frac{E_G + \sum IPP + \sum CHP - \text{line loss}}{\text{Total quantity sold of electricity}} \quad (10)$$

上式， $E_G$  為綜合電業溫室氣體排放扣除廠

用電之溫室氣體排放量，IPP為民營電廠溫室氣體排放量扣除廠用電量之溫室氣體排放量，CHP為汽電共生業溫室氣體排放量扣除廠用電與自用電量之溫室氣體排放量，line loss為線損之溫室氣體排放量。

此方法假定以再生能源發電所得到發電量，轉換成所有購用電所需間接分擔之燃料燃燒溫室氣體排放，以推估可整體綠能農場減少之碳排放量。依照能源局公告電力排放係數取三年(民國100~102年)平均係數， $\gamma$ 為0.53，表示每度電排放0.53公斤二氧化碳。則將計算出二氧化碳排放量轉換成貨幣價值，以加拿大卑詩省之碳稅系統所呈現之碳價格，每噸碳取價30元加拿大幣，約為臺幣772元<sup>2</sup>(BC Ministry of Finance, 2016)。

## 4. 實證分析

### 4.1 參與者檢定之實證結果

本小節我們從參與者(意即本校)的觀點，評估效益與成本，針對事前與事後進行分析。在分析中，只考慮設備期初投入。太陽能設備項目將計算25年期的折現總值後，再進行分析，而小型可移動式下吸式氣化發電系統項目將計算15年期的折現總值後再進行分析。按2015年幣值加以檢定且折現率採用臺銀基準利率為2.896%為基準。

#### 4.1.1 事前(ex-ante)實證分析之結果

由上文整理可得知，雞舍建設成本為500

萬元，而牛舍為6,000萬，設備成本選擇以不計息方式攤提計算，如表3所示，以40年為使用年限作為攤提。可得知每年雞舍攤提費用為12.5萬元；牛舍每年攤提費用為150萬元。

在營運成本估算中，主要分為人事費用、每年修繕成本、飼料成本、疫苗費用等，由前文整理從表4可得知雞舍每年營運費用為398萬元，而牛舍每年營運費用為956.5萬元。雞舍與牛舍之總成本則如表5所分析。

由表6可得知，此模式並無通過檢定，淨現值為-5,836萬、益本比為0.788。本研究認為牛舍運營成本雖較高，但能由銷售牛奶符合成本效益。主要是因為這幾年因為雞飼料、肥料、藥品和大宗物資一再漲價，雞舍不敷成本，以致未通過此成本效益檢定。

表3 雞舍與牛舍建設成本攤提金額成本

項目	雞舍	牛舍
建設總成本(萬元)	500	6,000
攤提金額(萬元/年)	12.5	150

資料來源：本研究整理

表4 雞舍與牛舍之營運成本

項目	雞舍	牛舍
	金額(萬/年)	金額(萬/年)
人事費用	54	432
修繕費用	65	70
飼料成本	275	450
粗糠成本	4	—
疫苗費用	—	4.5
合計	398	956.5

資料來源：本研究整理

表5 雞舍與牛舍之總成本分析

項目	建設成本	運營成本	總成本	備註
	萬元/年	萬元/年	萬元/年	
雞舍	12.5	398	410.5	銷售雞蛋與肉雞的成本(CC)
牛舍	150	956.5	1,106.5	銷售乳品與牛隻的成本(BC)

資料來源：本研究整理

<sup>2</sup>根據2016年4月26日之匯率換算。



表6 事前(ex-ante)參與者檢定估算之結果

	效益(萬元)		成本(萬元)	
	銷售收益(雞)	銷售收益(牛)	銷售成本(雞)	銷售成本(牛)
期初(n = 0)	62	1,134	411	1,107
折現總值(n = 1, 2...25)	1,062	19,422	7,039	18,959
總計	21,680		27,516	
檢定結果				
淨現值(萬元)			-5,836	
益本比			0.788	

資料來源：本研究估算

#### 4.1.2 事後(ex-post)實證分析之結果

參與者電費帳單減少之金額在此模式中，參與者因使用太陽能發電、生質能發電所減少從台電的用電，總計約338,815元。

$$\begin{aligned} \text{電費帳單減少} &= \text{太陽能發電效益} + \text{小型可移動式下吸式氣化發電效益} \\ &= 191,735 + 147,080 = 338,815 \end{aligned} \quad (11)$$

太陽能設備建構完成約花費200萬元，每年運營費用以1.5%估算為3萬元，除役費用約4萬元；相較於，小型下吸式氣化發電整體系統約70萬元，運維成本以3%計算，約為2.1萬元。每年運營費用總計約為6.6萬。

$$\begin{aligned} \text{太陽能設備成本} &= 2,000,000 + 700,000 = 2,700,000 \end{aligned} \quad (12)$$

回售部分自行發電的收益，目前發電乃採自用，尚未有規劃回售於台電，因此此部分暫以為0。

銷售蘭花的收益，由前文可得知，以50坪蘭花溫室約可種植3,200株蘭花，以蘭花種植成功率約0.8計算，約有2,560株蘭花。蘭花市價一株約120元計。

$$\text{銷售銷售(蘭花)} = 2,560 \times 120 = 307,200 \quad (13)$$

銷售蘭花的成本，由前文統整可得知建置溫室成本約40萬元，運維成本約37.8萬(人事成本9.6萬、修繕費用4萬、肥料與人工介質費用5

萬元、蘭花幼苗約19.2萬元)。

若只推估於在綠能投入之建設成本以及所節省之電力成本如表7所示，其檢定結果為通過成本效益檢定，淨現值為171萬元，益本比1.48，其可證明投入綠能計畫是可行的，但由於本研究針對校園綠能進行檢定，太陽能建設之基準為牛舍之屋頂系統，小型可移動式下吸式氣化發電系統所使用之發電材料也為農場所產生之農牧廢棄物，而生產電能之熱氣亦提供溫室維持溫度之利用，整體綠能計畫因地制宜，故進行整體農牧成本效益之計算，不單獨就綠能系統之成本效益結果進行探討。

表7 事後(ex-post)參與者檢定綠能投入估算之結果

	效益(萬元)	成本(萬元)
	電費減少金額	太陽能成本
期初(n = 0)	34	270
折現總值 (n = 1, 2...25)	496	89
總計	530	359
檢定結果		
淨現值(萬元)	171	
益本比	1.48	

資料來源：本研究估算

表8顯示此模式並沒有跨越檢定，淨現值約-5,792萬、益本比為0.797。本研究認為，此模式無法通過成本效益檢定的原因除了在事前檢定中，因雞飼料、肥料、藥品和大宗物資一再漲價，雞舍不敷成本之外，在綠能投入之事

表8 事後(ex-post)參與者檢定估算之結果

	效益(萬元)					成本(萬元)			
	電費減少 金額	回售電力	銷售收益 (雞)	銷售收益 (牛)	銷售收益 (蘭花)	建置成本	銷售成本 (雞)	銷售成本 (牛)	銷售銷售 (蘭花)
期初 (n = 0)	34	0	62	1,134	31	270	411	1,107	40
折現總 值(n = 1, 2…25)	496	0	1,062	19,422	531	89	7,039	18,959	647
總計	22,772					28,691			
檢定結果									
淨現值(萬元)							-5,792		
益本比							0.797		

資料來源：本研究估算

後成本檢定外未通過之原因為太陽能初期建置成本過高，雖然每年所節省之電費帳單效益遠大於其每年運營成本，二十五年期間估算亦可回收成本，但仍無法補足上述之成本，第二原因為自從2008年起，荷蘭成為新興蘭花栽培大國，迅速成為我國競爭對手，荷蘭之蘭花通路遍及全球市場，臺灣目前仍無法突破國際產業新變局，導致現今價格不如從前。若未來能有相當的效益，將有可能通過成本效益檢定。

4.2 社會檢定之實證結果

在社會成本檢定中，我們必須計算外部效果，利用再生能源所將減少二氧化碳排放量，我們將透過電力碳排放係數換算二氧化碳排放量，再由目前國際碳權價格將其貨幣化。在社會成本檢定折現率之選擇，通常是以社會折現率取代一般使用之資本市場折現率，本研究取其為5%，為本文採用之社會折現率且按2015年幣值加以檢定。

4.2.1 綠能農牧系統之社會檢定實證結果

二氧化碳減排效益，根據取近三年平均電力排放係數約為0.53 CO<sub>2</sub>/度，再以加拿大卑詩省之碳稅系統所呈現之碳價格約772元/公噸計算。太陽能一年可產38,347度電，下吸式氣化

發電可產29,416度電，合計約67,763度。

二氧化碳減排效益 = 67,763 × 0.53 = 35.91  
公噸 = 35.91 × 772 ÷ 27,722.52 (14)

雖然此社會檢定未通過成本效益檢定(如表9)，但在全世界節能減碳之普世價值下，綠色校園(Green Campus)是目前許多大學實踐的目標之一。Weiss (2000)也認為，學校進行綠色節能工作，須以永續校園為目標，才能創造出優質、健康的學習環境，也能利用該區域的優勢找出再生能源之資源供學校研究與運用。Moore (2002)文章中也提到，永續校園能提升學生之學業表現與教師之教學熱忱，降低學校運作的花費等多重效益。這些無形效益尚未能看出，將來經由實際數據分析，整體成本效益將更趨於完善且有機會通過檢定。

4.3 參與者檢定之敏感度分析

本研究在研究初期因設備投入成本較高，導致淨現值與益本比有偏低的情況產生。太陽能設備投入成本在現今社會中，有逐年下降的趨勢。因此，本研究欲探討在不同太陽能設備成本之下，對於相關淨現值、益本比有何種影響，作為之後投入評估的依據。

方案一：太陽能設備費用為200萬元，每年運營費用1.5%估算為3萬元，除役費用2%約4萬元。

表9、事後(ex-post)社會成本檢定估算之結果

	效益(萬元)						成本(萬元)			
	電費減少金額	回售電力	銷售收益(雞)	銷售收益(牛)	銷售收益(蘭花)	減碳效益	建置成本	銷售成本(雞)	銷售成本(牛)	銷售成本(蘭花)
期初 (n = 0)	34	0	62	1,134	31	2.7	270	411	1,107	40
折現總值(n = 1, 2...25)	410	0	856	15,648	428	37	72	5,671	15,275	522
總計	18,616						23,489			
檢定結果										
淨現值(萬元)								-4,694		
益本比								0.799		

資料來源：本研究估算

方案二：太陽能設備費用降低為150萬元，每年運營費用1.5%估算為2.25萬元，除役費用2%約3萬元。

方案三：太陽能設備費用降低為100萬元，每年運營費用1.5%估算為1.5萬元，除役費用2%約2萬元。

根據表10敏感度分析之結果顯示，方案三結果相較於基準方案明顯提升淨現值以及益本比，由此可推知，當太陽能設備成本降低時，可有助於提升智慧綠能系統之效益。

4.4 小結

本節利用上述之兩種檢定結果，以事前及事後之成本效益分析，相互檢視，因參與者

檢定與社會成本兩種不同檢定方法估算出之結論，有何異同之處，並做一詳細分析。

表11中，三種模式都未能通過成本效益值大於或是等於一之檢定門檻，探究其原因，除了先前雞舍建置成本與當前運營成本相對較高，規模較小，未符合經濟門檻之外，太陽能設備期初建置成本偏高，也是重要原因之一，在此種一次性的示範場域中，因為在初期投入大量設備成本，必然會造成固定成本比例偏高，若以漸進式方式進行採購或是擴充設備，其成本結構不同所估算的結果亦會有不同改變。

5. 結論與建議

本研究提出綠色校園農牧場智慧節能模式，可調臺灣前瞻生態養殖技術之研發，具有深厚的市場潛力。不僅包含生態養殖概念，更可達到節能減碳效果。綠色校園農牧場智慧節能模式之亮點，包括：(1) 負壓式雞舍，可降低

表10 敏感度分析之結果比較

	敏感度分析		
	方案一	方案二	方案三
淨現值(萬元)	-5,792	-5,728	-5,665
益本比	0.797	0.799	0.801

資料來源：本研究估算整理

表11 參與者檢定與社會成本檢定之結果比較

	檢定方法		
	參與者檢定(事前)	參與者檢定(事後)	社會成本檢定(事後)
淨現值(萬元)	-5,836	-5,792	-4,694
益本比	0.788	0.797	0.799

資料來源：本研究估算整理



雞隻感染禽流感病毒之機率，減少風險；(2) 畜牧供應鏈外，結合太陽能、生質能等再生能源系統，不僅節約原本廢棄處理費(蘭花栽培有機廢棄物、牛隻雞群有機排泄物等)，能源更可供應生產鏈使用。生產再生能源外，將原本需要耗費能源處理之有機廢棄物，轉換為有價值之綠金；(3) 綠色農牧節能模式具有節能減碳之環境效益，降低灰色電力之使用、減少有機廢棄物排放量、蘭花栽培吸收二氧化碳等，皆對環境保護有助益。

值得注意的，太陽能發電成本近年來有顯著降低之趨勢，根據成本學習曲線(Cost Learning Curve)隨時間之改變，太陽能發電成本可望於不久的未來，達到黃金交叉的損益平衡點，再加上在設備穩定運作之下，節能效益必然會有長期穩定之功效，屆時，值得進一步針對綠色校園此一主題，進行研究，同時，於本研究之分析結果相互比較。

此外，裝置再生能源設備可降低整體社會之二氧化碳排放量，此一外部效益經過本研究加以量化納入分析之後，仍無法跨越成本效益檢定之門檻。但在2015年12月12日巴黎協定出爐之後，碳權交易將成為國際間主流趨勢，因此未來降低二氧化碳排放量之外部效益，將隨著各國氣候變化國家自主貢獻(Intended Nationally Determined Contributions, INDC)提交會員國大會日趨明朗之後，其外部效益將隨碳權價格之上揚而增加。準此而論，未來亦可針對此一發展趨勢進行進一步比較分析。

再者，從能源教育的層面來看，大學校園做為整合各學術領域及科技之平台，能源相關科系與研究所的學生，可在校園節能管理系統建置與維護過程中，真正學習到能源專業領域知識。尤其可藉由此一分散式供電研究計畫之執行與實踐程序中，獲得做中學(Learning by Doing)的體驗。而非專業能源領域之其他科系學生，亦可透過此一校園節能管理研究方案，使校內更多學生平日前往參觀，耳濡目染獲得相關知識，增加對於能源永續發展的體認。而

當前大學校園與社會各階層息息相關，藉由綠色校園對外界開放參訪觀摩，落實能源社會教育，將永續發展及環境保護的觀念融入生活中，提升環境素養，符合國際永續發展之潮流。本研究計畫若能將上述能源教育之外部效益，進行量化分析，進一步研究綠色校園之間接影響效果，對未來臺灣整體社會有更積極正面的影響效益。

最後，在綠色校園智慧能源監控系統以及雲端管理系統建置之下，可以進行更具效率的用電控制與整體電能供需運轉基準值的建立，不但能提供綠色校園永續發展電力供需整合規劃，同時亦可提升區域用電供給安全與穩定自主之能力，例如：若因天災(地震或颱風等不可抗力因素)導致校園外之中央電力供應來源喪失時，此種分散式電源供應系統與智慧能源管理模式，可視系統整合程度之完備性，達到不同的無形整體社會效益，這也值得做為未來進一步用電安全效益評估之課題。

## 誌 謝

本論文感謝科技部國家型科技計畫「打造次世代綠能農牧場(I)」(MOST 103-3113-P-005 -001 -)之研究補助。

## 參考文獻

- 吳耿東，2009。木質材之氣化能源回收用，行政院農業委員會林務局委辦科技計畫。
- 洪文雅、林信作，2010。國際能源管理系統 ISO/DIS 50001標準及發展趨勢，綠基會通訊，第22期：2-6。
- 許志義、黃國暉，2010。臺灣能源需求面管理成本效益分析之應用，能源經濟學術研討會，10月19日，臺北市。
- 陳加忠，2013。臺灣蘭花專家研究報告，取自：<http://amebse.nchu.edu.tw/services.htm>, last visit date : 2015/01/09

- Abramson, P., 2000. How Green are Your Schools, *School Planning & Management*, 39 (12), 68.
- BC Ministry of Finance (2016), The Revenue-Neutral Carbon Tax.
- Hernández-Moro, J., & Martínez-Duart, J. M., 2013. Analytical model for solar PV and CSP electricity costs: present LCOE values and their future evolution, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 119-132.
- Kennedy, M., 2001. Going Green, *American School & University*, 73 (11), 14-16.
- Lora, E. S., & Nogueira, L. A. H., 2000. Technoeconomic evaluation of gasification technologies for small scale electricity generation from biomass, In *Proceedings of the Bioenergy'98 Conference*, 473-482.
- Moore, D.P., 2002. School Building Day, *School Planning & Management*, 41(5), 12-13.
- Pinero, E., 2009. ISO 50001: Setting the Standard for Industrial Energy Management, *Green Manufacturing News Summer*, 21-24.
- Stafford, S., 2011. How Green is Your Campus? An Analysis of the Factors that Drive Universities to Embrace Sustainability, *Contemporary Economic Policy*, 29(3): 337-356.
- Weiss, J., 2000. Sustainable schools. Scottsdale, AZ: Council of Educational Facility Planners International, Retrieved June 28, 2007.

# Cost Benefit Analysis of Smart Energy Saving System in Green Campus: The Case of Livestock Research Field of National Chung-Hsing University

Jyh-Yih Hsu<sup>1\*</sup> Hwei-Ling Cheng<sup>2</sup> Jung Deng<sup>3</sup>

## ABSTRACT

This study was designed to evaluate the economic benefits of smart energy-saving systems in green campus. In order to achieve this objective, this paper uses Wurih Livestock Research Campus of National Chung Hsing University as an empirical case. This research campus has an orchid cultivation greenhouse, cow and chicken raising houses with solar power generation system of the roof, and utilized the waste for thermoelectric energy conversion portable facilities. All of these independent systems were tightly integrated into a Smart Energy Cloud Management System for operational efficiency. Next, cost-benefit analysis was conducted from two different perspectives. One is from the private viewpoint, i.e., participant cost test. The other is from the public viewpoint, i.e., societal cost test. The results show that at the current level of technology and market environment, both participant cost test and social cost test were not in line with net economic benefit criterion. The benefit cost ratios are both about 0.78. It is worthy to mention that in this study the carbon dioxide emissions reduction is the only factor to be included for consideration of external benefits, not including the potential benefits of energy education, derived from the green campus smart energy-saving system. By including this educational benefit quantitative analysis, there might be a possibility of passing the benefit cost ratio threshold for societal cost test. It is worthy to conduct such a further study to be explored.

**Keywords:** Green Campus, Smart Energy Management System, Cost Benefit Analysis, Participant Cost Test, Societal Cost Test

---

<sup>1</sup> Director, Center for Industrial Development Research, and Professor, Department of Applied Economics and Department of Management Information Systems, National Chung-Hsing University.

<sup>2</sup> Assistant, Center for Industrial Development Research, NCHU.

<sup>3</sup> Graduate Student, Graduate Institute of Applied Economics, NCHU.

\*Corresponding Author, Phone: +886-4-22857798, E-mail: hsu@nchu.edu.tw

Received Date: December 31, 2015

Revised Date: July 5, 2016

Accepted Date: July 25, 2016