

# 物聯網對商用建築節能措施之影響分析

許志義<sup>1\*</sup> 謝志豪<sup>2</sup> 陳志綸<sup>3</sup>

## 摘要

在網際網路與各類資通訊技術不斷地進步之下，物聯網(Internet of Things, IoT)蓬勃發展，國外已有實際應用於節能領域之案例，除了預期能節省能源與費用外，更可進一步有效減少自然資源消耗與對環境之衝擊，例如Rahman *et al.* (2010)針對澳洲中央昆士蘭大學洛坎普頓校區資訊技術部大樓進行實驗，最高可得41.87%的節能效益。本研究聚焦於商用建築，設計出模擬情境為：導入物聯網智慧節能系統+分散式再生能源發電系統+儲能系統(電動車)，用以探討導入物聯網智慧節能系統的成本效益，是否具有足夠的誘因，吸引有意願者導入。本研究採用成本效益分析法中之參與者檢定(Participant Cost Test, PCT)，建立經濟分析模型，於「事前」評估成本效益。根據本研究實證結果顯示，前一代物聯網智慧節能系統之模擬情境皆無法通過檢定。然而科技日新月異，物聯網的應用更加友善，國內廠商推出了次世代物聯網智慧節能系統(如Raspberry Pi, 樹莓派、Long Rang, LoRa)，使得模擬情境之期初投入大幅降低。經過計算，使用次世代物聯網智慧節能系統能夠通過檢定，主要原因是此節能系統所產生之節電效益，再加上分散式再生能源發電系統所產電力回售台電，透過此兩大主要收益，足夠使其投入成本在有效使用年限中回收，對有意願投資者具有誘因。最後，透過敏感度分析，部分未通過檢定之模擬情境轉為通過。一旦假設改變或是另作設定而與原情境不同時，模擬情境之檢定結果會出現不同結論之可能。

**關鍵詞：**物聯網，商用建築，節能減碳，成本效益分析

## 1. 前言

由於科技的進步，人類的生活獲得顯著的改善，但其代價是消耗大量的地球資源，所排放的溫室氣體已使得全球溫度上升並造成各地氣候異常。從1997年簽訂《京都議定書》、2009年召開但無法達成共識的哥本哈根氣候會議，一直到2015年12月的《巴黎協定》，世界各國(涵蓋195國)政府終於意識到且同意，必須立即採取氣候變遷應對行動。在《巴黎協定》

中，各國約定協議在2020年生效，目標是在本世紀結束前，把溫度升高的程度控制在不高於工業化前時期2°C水準，並盡量維持在1.5°C以內。為達此一目標，佔了全球排碳量共計98%以上的188國遞交了承諾書，表明願為地球的永續生存而努力。面對這艱難挑戰，導入各種節能減碳的措施與潔淨的再生能源將刻不容緩。(行政院環境保護署，2017)

透過太陽能、風力等再生能源所生產之電能，其特性是取之不盡以及對環境友善，許志

<sup>1</sup>國立中興大學資訊管理學系、應用經濟學系合聘教授兼產業發展研究中心主任

<sup>2</sup>台灣中油股份有限公司探採事業部管理師

<sup>3</sup>資策會永續經濟組組長

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

收到日期: 2017年05月03日

修正日期: 2018年02月09日

接受日期: 2018年02月21日

義(2015)認為自行建置分散式再生能源系統的電力用戶使用後所剩餘的電力還可回饋至電網供他人使用，但考量再生能源的不穩定性與間歇性，可以使用儲能系統來進行調節，將多餘電力儲存至發電量不足時使用，定能有效降低用戶使用向電力公司購買的「灰色電源」，亦即傳統化石能源，可謂最積極的節能手段。

再者，隨著網際網路與各類資通訊技術不斷地進步，物聯網(Internet of Things, IoT)<sup>1</sup>一詞從概念轉變成有實際的軟體與硬體產品，並已成功地應用於部分領域。在不久的未來，可以預期物聯網將會融入人類的日常生活中，成為人們生活的一部分，並且產生巨大的影響力。物聯網透過高度整合的全球網路建設，把每個人及有意義的事物都設定成為一個的節點(Node)結合在同一平台中，這些節點中裝有感測器，可全年無休地發送收集資訊並傳送至伺服器進行整合，再應用科學的分析法及智慧演算法處理這些為數龐大的巨量資料(Big Data)，來預測被觀察者的下一個步驟，以及採取最適的措施，進而使得效率提升、成本下降，並讓整個系統保持最佳狀態(許志義及黃國璋，2010)。

物聯網在節能措施領域，已有許多研究結果顯示確能提升能源使用效率，例如Vermesan & Friess (2014)的研究指出，在露天停車場中導入物聯網設備，可有效減少8%駕駛尋找車位的時間，節省不必要的燃料消耗，且由於停車場的利用率提升，還可以增加15%的營業收入；除此之外，在杭州地區地下停車場中導入物聯網架構的智慧照明系統，可有效節省照明用電之使用達45%，節能效益非常顯著(胡力勤，2015)。考量我國經濟發展與巴黎協定之承諾兩者偏一不可、亟需平衡發展，因此在各界致力於發展物聯網時，若能夠強化與節能減碳應用的相互結合，將會是同時兼顧兩者的解決方向之一。然而，儘管節能措施與物聯網是我國亟需大力投入資源發展的重要領域，且已有相關

文獻支持導入物聯網確有節能效益，不過目前仍沒有出現快速普及的跡象，除了技術問題之外，是否具有足夠的成本效益來促使企業及個人可以積極投入，將是至為重要的關鍵。

本研究內容旨在於採用成本效益分析法，探討導入物聯網智慧節能系統後是否具有實質效益，具體言之，包括以下數端：一、探討物聯網與節能措施之關聯性；二、提供適當的分析方法及指標來評估物聯網智慧節能系統之成本效益；三、進行物聯網架構下(LoRa)再生能源創新服務模式運用於商用建築之成本效益與敏感度分析；四、提供導入物聯網智慧節能系統之建議，做為未來政府制定政策(如相關節能設備補貼或鼓勵措施等)、企業引進類似節能設備，以至於家庭節能規劃的參考之一。

為達成前述之目的，本研究在物聯網的架構下，設計了模擬情境為商用建築導入物聯網智慧能源系統+分散式再生能源發電系統+儲能系統(電動車)，並使用成本效益檢定，檢視資金投入與回收情形是否具有誘因。從科技創新的觀點，上述結合分散式發電技術、物聯網通訊模組、及虛擬電廠商業模式之整合的創新。為減少化石燃料的使用，降低溫室氣體的排放以及避免空氣汙染，本研究將傳統汽柴油車改以電動車取代為最佳選擇。本情境中再生能源發電系統產生的電力除回售台電公司之外，亦可部分儲存於電動車中，使用電動車即可省下傳統車輛之油耗費用，作為效益的一部分。在此情況下，針對上述個案進行成本效益分析，乃是值得予以探討的課題。

## 2. 商用建築與物聯網節能措施之探討

### 2.1 商用建築

我國合法的建築物類別，主要是依據2011年10月1日實施之「建築物使用類組及變更使

<sup>1</sup>由美國麻省理工學院Auto-ID中心主任愛斯頓(Kevin Ashton)於1998年提出。

用辦法<sup>2</sup>」規定，計有A至I共9個類別，如表1所示。本研究所稱之「商用建築」，乃指依該辦法所訂之「G類」、「辦公、服務類」中之G-2組別，即符合「供商談、接洽、處理一般

表1 建築物之使用類別、組別及其定義

類別		類別定義	組別	組別定義
A類	公共集會類	供集會、觀賞、社交、等候運輸工具，且無法防火區劃之場所。	A-1	供集會、表演、社交，且具觀眾席之場所。
			A-2	供旅客等候運輸工具之場所。
B類	商業類	供商業交易、陳列展售、娛樂、餐飲、消費之場所。	B-1	供娛樂消費，且處封閉或半封閉之場所。
			B-2	供商品批發、展售或商業交易，且使用人替換頻率高之場所。
			B-3	供不特定人餐飲，且直接使用燃具之場所。
			B-4	供不特定人士休息住宿之場所。
C類	工業、倉儲類	供儲存、包裝、製造、檢驗、研發、組裝及修理物品之場所。	C-1	供儲存、包裝、製造、檢驗、研發、組裝及修理工業物品，且具公害之場所。
			C-2	供儲存、包裝、製造、檢驗、研發、組裝及修理一般物品之場所。
D類	休閒、文教類	供運動、休閒、參觀、閱覽、教學之場所。	D-1	供低密度使用人口運動休閒之場所。
			D-2	供參觀、閱覽、會議之場所。
			D-3	供國小學童教學使用之相關場所。(宿舍除外)
			D-4	供國中以上各級學校教學使用之相關場所。(宿舍除外)
			D-5	供短期職業訓練、各類補習教育及課後輔導之場所。
E類	宗教、殯葬類	供宗教信徒聚會、殯葬之場所。	E	供宗教信徒聚會、殯葬之場所。
F類	衛生、福利、更生類	供身體行動能力受到健康、年紀或其他因素影響，需特別照顧之使用場所。	F-1	供醫療照護之場所。
			F-2	供身心障礙者教養、醫療、復健、重健、訓練、輔導、服務之場所。
			F-3	供兒童及少年照護之場所。
			F-4	供限制個人活動之戒護場所。
G類	辦公、服務類	供商談、接洽、處理一般事務或一般門診、零售、日常服務之場所。	G-1	供商談、接洽、處理一般事務，且使用人替換頻率高之場所。
			G-2	供商談、接洽、處理一般事務之場所。
			G-3	供一般門診、零售、日常服務之場所。
H類	住宿類	供特定人住宿之場所。	H-1	供特定人短期住宿之場所。
			H-2	供特定人長期住宿之場所。
I類	危險物品類	供製造、分裝、販賣、儲存公共危險物品及可燃性高壓氣體之場所。	I	供製造、分裝、販賣、儲存公共危險物品及可燃性高壓氣體之場所。

資料來源：中華民國內政部營建署官方網站，2016年。

<sup>2</sup>本辦法是依據我國建築法第七十三條第四項規定所訂定，而建築法主要為規範國人建築物的使用，避免影響安全、交通、衛生及市容，而訂之以供遵循。



事務之場所」之建築物。商用建築的節能之所重要，乃是由於人們待在建築內的時間比例很高。許志義及吳仁傑(2013)指出現代人約有80-90%的時間從事室內活動，而建築物一般約可使用40到120年之久，因此消耗了很大比例的能源；再者，Lam (2000)觀察1971到1996年這26年間，香港住宅建築的電力消耗從每年1,059 GWh增加到8,109 GWh，平均年成長率為8.5%，商用建築耗電量從每年1,780 GWh增加到17,907 GWh，成長率約為906%，平均年成長率為9.7%，可見商用建築節能更顯其重要性。只要能在人們進行室內活動的同時，採取節能措施省下部分能源，經年累月下所得之成效將是非常之可觀，有鑑於此，「零耗能建築」因應而生。所謂「零耗能建築」主要是指該建築所消耗之能源，係100%由其自建之再生能源系統來供應，完全不使用傳統化石能源、核能等

灰色能源，可使整體電力需求零成長，甚至是負成長。在美國、英國等先進國家零耗能建築的成功案例中可知，再生能源主要是使用太陽能發電(許志義及吳仁傑，2013)。

在商用建築中導入節能措施確可以達到降低能耗的目標，甚至應在設計初期即加入節能概念，用以提高能源使用效率，而空調與照明系統是商用建築能耗的重點項目，此兩大節能重點將列入本研究之影響分析中。

## 2.2 物聯網節能措施之探討

### 2.2.1 物聯網架構

物聯網可依照不同的工作內容劃分為感知層、網路層及應用層等3層，環環相扣，如圖1所示。



圖1 物聯網架構及關鍵技術

資料來源：張志勇及陳正昌，2014。

### 2.2.1.1 感知層

由多組具有感測、辨識及通訊能力的設備所組成，其元件可嵌入各式物體中，可對狀態做監測，例如偵測水溫、壓力…等。最常見的就是RFID (Radio Frequency Identification)技術，將RFID的標籤嵌入於物體，便可讓周遭設備得知自己的身分或狀態。

### 2.2.1.2 網路層

將感知層所收集到的資訊傳至雲端上，包含有線或無線的將資訊上傳，並進行分析與儲存，使用者亦可透過網路層來進行遠端互動，主要建構在無線通訊的技術上，常見的技術如紅外線、ZigBee、藍牙、WiFi、3G等。透過這些技術，使用者可物體的狀態或對其做遠端的遙控，也可藉由所收集而來的資訊，轉化為人們所需要之服務。

### 2.2.1.3 應用層

即物聯網的應用服務。利用感知層與網路層得到的有價值資訊，讓使用者可隨時隨地透過網路來取得相關的服務。如各個家電產品將每小時的電量消耗、開關狀態傳送至雲端，使用者經由手機從遠端加以操控(張志勇及陳正昌，2014)。若應用在發電及節電上，可把狀態監測資訊上傳到電腦系統，電腦可判讀太陽能是否有發電，若感知到任何因素(下雨、烏雲、故障…等)導致啟動發電系統，這時候會啟動電動車來做補充，或自動切掉冷氣…等耗電設備。

物聯網將萬物集合在同一個大網路中，物與物、機器與機器(M2M)之間可相互溝通與交換訊息。但若只有物物相連還不夠，仍須從「人」這個中心點出發，才能開發出有利人群的應用服務(徐仁全，2015)。

## 2.2.2 物聯網應用市場的成長

物聯網話題最近幾年又再次被提起，並且

成為先進國家爭相投入資源的一顆新星，陳良榕及鄧凱元(2015)分析物聯網收到先進國家的關注主要有三個原因：

### 2.2.2.1 成本下降

由於物聯網需要數量龐大的感測元件與傳輸設備，才能將各節點的資料完整且即時地收集至伺服器，以進行後續的分析。過去由於設置成本昂貴，各界不願意投入；隨著智慧型通訊產品的普及，微機電系統感測元件(Microelectromechanical Systems, MEMS)、藍芽通訊晶片的價格均已跌至1美元以下，使得建構物聯網的資金門檻降低，促使相關應用快速發展與成長。

### 2.2.2.2 位址足夠

在物聯網架構下，物件需置入電子標籤或各類感測器，個個都需要被分配1個特定的IP位址，方能透過資通訊設備進行資料傳輸，以進行資料收集，但是現行IPv4所定義 $2^{32}$ (約43億)個IP位址已不敷使用，因此阻礙的物聯網的普及化。為解決此一困境，網際網路工程任務小組(Internet Engineering Task Force, IETF)規劃出新版IPv6位址，由於是採取16進位，可提供接近 $3.4 \times 10^{38}$ 個IP位址(里夫金傑瑞米，2014)，足夠容納為來物聯網導入後的大量IP位址需求。

### 2.2.2.3 大數據成熟

麥爾荀伯格及庫基耶(2013)認為所謂的「大數據」，其資料量並非一定得要有TB等級以上才算是大數據，而是必須要完整收集。透過物聯網全天候、全年無休地收集資料，數量十分可觀，如此一來，完整的資料取代抽樣，樣本就等於母體，配合近年來雲端運算以及各類演算法進展快速，能更快更準確地分析這些大又複雜的數據，並產出有意義的結果，使決策不再需要憑直覺而是數據，效率大幅提升。再加上各式應用軟體改善了使用介面，增加了有趣性和易讀性，亦明顯地提高使用者的接受



度與降低使用門檻，增加了大眾對物聯網的需求。

在物聯網因前述3點漸趨普及之際，後續能帶給我們的經濟效益估計將會非常可觀。未來學大師里夫金傑瑞米(2014)對日後物聯網帶給各領域的效益進行預測，以航空產業為例，導入物聯網後針對每條航線進行資料收集與分析，航空路線、設備監控與維修將會被更妥善的規劃與執行，只要能改善1%的燃料效率，即可在15年內節省300億美元；以醫療產業為例，2011年全球的產值約7.1兆美元，其中10%是由於系統的無效率而導致的浪費，其中有59% (約為4,290億美元)，在導入物聯網後可獲得改善，僅是1%的成本節省，每年就有42億美元。McKinsey Global Institute (2015)則認為未來物聯網的應用會遍及9大領域，分別為家庭、辦公室、工廠、工作場所、零售環境、城市、車輛以及外部應用，另外個人領域的應用(例如使用穿戴裝置來進行健身、疾病監控甚至於生產力提升等)，也是重要的一環。同一資料來源指出，根據世界銀行(World Bank)的估計，2025年全球GDP (Gross Domestic Product)為99.5兆美元，而這9大應用領域的產值預估在該年度可成長至3.9兆至11.1兆美元，佔了11%之多。本文所要探討的商用建築節能，是屬於「辦公室」領域，2025年估計會有700至1,500億美元的產值。因此，物聯網目前雖然仍處於開發階段，但隱藏著龐大商機，而且具有改變產業戰局的潛能，不容小覷，值得各界投注心力開發。

### 3. 研究方法與模型建立

#### 3.1 研究方法

本研究主要是探討採用物聯網智慧節能系統是否具有效益，以提供商用建築使用者充分的誘因導入，亦即從參與者的角度切入來進行後續計算與評估。在學理上有許多方法來進行評估，如還本期間法、會計報酬率法、淨現值

法、內部報酬率法、益本比法等。在這之中以還本期間法的評估操作最為簡便，只單純的加總研究期間內的成本與收入，可以快速的判斷研究是否該執行，但未考慮貨幣之時間價值為其最大缺點；淨現值法則為一個最佳的評估技術，它估算成本與收益之現金流時滿足了各項評估標準，如符合了價值相加定律、考慮貨幣時間價值等；而益本比法為淨現值法之變形，其值為考量貨幣時間價值後，淨收益與淨成本相除之商，大於1表示此研究值得執行，反之則不值得執行。本研究之成本效益分析(Cost Benefit Analysis, CBA)，以上述之淨現值法與益本比法來進行。

至於評估的角度，將分別從參與者角度與社會整體角度，以成本效益分析在不同假設情境下進行「參與者檢定(Participant Cost Test, PCT)」、與「社會成本檢定(Societal Cost Test, SCT)」，計算「事前」評估之成本效益檢定量化模型。檢定結果以淨現值(Net Present Value, NPV)與益本比(Benefit Cost Ratio, BCR)呈現量化研究結果(許志義及黃國璋，2010)。

#### 3.2 模擬情境

在物聯網快速發展以及全球氣候異常的同時，為了能夠促進我國產業發展與轉型，以及環境保護、節能減碳的目標，鼓勵現有及未來興建的建築物導入物聯網智慧能源系統，是個值得各界投入資源、極力推廣與開發的方向之一。現行不論政府機關或是民間企業，甚至是家庭個人用戶，在購買物聯網智慧能源系統之前，所考量的重要因素之一，即是成本效益。有鑑於此，本研究設計之情境為商用建築導入物聯網智慧能源系統+分散式再生能源發電系統+儲能系統(電動車)，如表2所示，以有意願導入物聯網智慧能源系統之組織的角度，結合文獻與實際用電資訊，評估與探討導入此系統的成本效益情形。

本研究引用Moreno *et al.* (2014)四位學者於西班牙穆爾西亞大學所進行之研究，

表2 本研究模擬情境內容之說明

模擬對象	內容說明
商用建築導入物聯網 智慧能源系統 + 分散式再生能源發電系統 + 儲能系統(電動車)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 以Moreno <i>et al.</i> (2014)研究中之前一代物聯網智慧能源系統為基準，收集相關設備資訊後進行計算，並擴大套用至實際商用建築，來評估成本效益情形。</li> <li>2. 使用再生能源可幫助用戶本身以及其他用戶減少使用傳統化石能源，是最積極的節能手法之一；另我國政府設有鼓勵自設太陽能發電系統之辦法，亦有效益產生，故加入本研究之情境模擬中。</li> <li>3. 由於再生能源具有間歇性，無法持續穩定供電，而儲能系統可將過剩的再生能源移轉至不足的時段使用，提高供電穩定度，故儲能系統加入本研究之情境模擬中；同時為減少溫室氣體排放，本研究選擇之儲能系統為電動車，並以全球著名的Tesla電動車與較為平價的Nissan電動車為計算對象。</li> </ol>

資料來源：本研究整理。

其內容主要闡述在給定的空間中，導入前一代物聯網智慧能源系統，如圖2所示，設備計有控制面板(Control panel)、智能監控系統(Web-SCADA access)、家庭自動化模組(Home Automation Module, HAM)、能號監控系統(Energy consumption monitoring)、溫度感測器(Temperature sensor)、感應器(Presence sensor)、照明感應器(Lighting sensor)、可控燈泡照明(Controllable lamp lighting)、可控百葉窗(Controllable blinds)、可控暖空空調(Controllable Heating, Ventilation and Air

Conditioning, HVAC)、可控開關(Controllable switches)及可控天花板燈(Controllable ceiling lights)等12項，考量2013年2月與3月氣候條件與建物使用情形相類似，所以在這2個月份中進行實驗，實際驗證後發現3月份在導入物聯網設備後，較2月份完全沒有導入時，每日之用電可節省14%至30%、平均為20%。

前述平均20%的節電效益，主要是因為物聯網能將即時用電情形與各式感測器所蒐集到之資訊彙整至中央伺服器，伺服器便可據此資訊進行有效的用電規劃與即時控制，讓每個耗

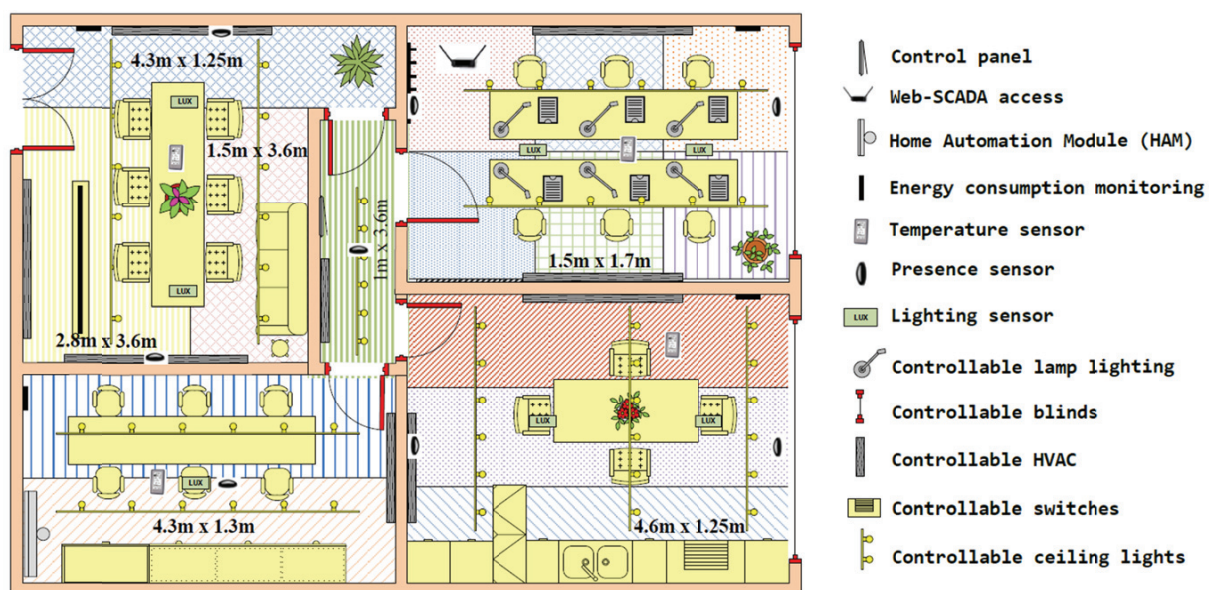


圖2 實驗建築設施配置

資料來源：Moreno *et al.*, 2014。

能設備都能持續維持在最佳效率的狀態，無人使用時亦能立即關閉或啟動節電模式；相較於沒有物聯網時，使用者離開卻忘記關燈關空調而言，著實避免了許多能源的浪費。再者，物聯網智慧能源系統得以將耗能資訊，轉成友善的可視化訊息，即時呈現予使用者，時刻提醒使用者應進行節能，像這樣的電力使用資訊與節約能源措施之回饋，如果能直接且立即提供予使用者，將可有效提升10-15%的節能效益(Darby, 2006)。

透過以上數據可知，物聯網智慧能源系

統確實能產生顯著之節能功效。在有了節能功效之後，進一步探討該投資是否具有效益，本研究收集了國內相關物聯網設備之市售參考價格，如表3所示；另外，同時收集了在不導入物聯網時所使用設備之市售參考價格，如表4所示，俾利進行後續評估。

由表3及表4可知，以圖2所計算出的66.2平方公尺(約為20坪)的空間中，要導入前一代物聯網智慧能源系統以獲得20%的節能效果，必須投資142,675 (=475,070 – 332,395)元。本研究為使模擬情境能夠更加貼近實際商用建築，使

表3 前一代物聯網智慧能源系統設備使用數量及參考價格(新臺幣/元)

項次	項目	數量	參考單價	複價
1	Control panel	1	1,695	1,695
2	Web-SCADA access	1	27,654	27,654
3	Home Automation Module (HAM)	1	22,348	22,348
4	Energy consumption monitoring	4	2,680	10,720
5	Temperature sensor	4	1,000	4,000
6	Presence sensor	8	1,000	8,000
7	Lighting sensor	7	1,000	7,000
8	Controllable lamp lighting	6	1,999	11,994
9	Controllable blinds	1	154,141	154,141
10	Controllable HVAC			
	10-1冷房能力2.2 kw	7	23,590	165,130
	10-2冷房能力2.8 kw	1	27,990	27,990
11	Controllable switches	1	4,998	4,998
12	Controllable ceiling lights	60	490	29,400
合計				475,070

資料來源：本研究整理。

表4 各種不具物聯網功能設備使用數量及參考價格(新臺幣/元)

項次	項目	數量	參考單價	複價
1	Lamp lighting	6	999	5,994
2	Blind	1	139,441	139,441
3	HVAC			
	3-1冷房能力2.2 kw	7	20,690	144,830
	3-2冷房能力2.8 kw	1	24,190	24,190
4	Ceiling lights	60	299	17,940
合計				332,395

資料來源：本研究整理。



用臺灣中部地區某商用建築(以下簡稱C大樓) 2015年5月至2016年4月一整年的電費資料進行評估。C大樓單層樓面積為950平方公尺(約287坪)，為圖2面積之14倍，地上共7個樓層。以Moreno *et al.* (2014)之研究為基準，並套用至C大樓時，表示各項設備之數量將變為原本之 $14 \times 7 = 98$ 倍，但並非所有的設備皆以同倍數放大，其中：

(一)「Control panel」、「Web-SCADA access」

1個樓層只需裝設1台，因此數量為7台。

(二)「Home Automation Module (HAM)」每層樓角落各安裝1台(即每層樓4台)，數量為 $4(\text{台/層}) \times 7(\text{層}) = 28(\text{台})$ 。

(三)現行C大樓每層樓有8個窗戶，因此「Controllable blinds」每層樓裝設8組，總數量為 $8(\text{組/層}) \times 7(\text{層}) = 56(\text{組})$ 。

根據此一個案實際情形，相較於Moreno *et al.* (2014)之研究，以上述說明同比例(98倍)放大，可得C大樓導入前一代物聯網智慧能源

系統前後花費情形整理如表5，而C大樓為導入此系統，相較於傳統方式須多花費 $35,847,819 - 26,718,188 = 9,129,631$ (元)。

經實證調查，C大樓用電量較多，與一般低壓供電之家庭或小型商店用戶不一樣，乃申請高壓供電，並選用二段式時間電價。根據台灣電力公司所公告之最新電價費率，高壓二段式時間電價之收費情形如表6所示。

本研究取得C大樓用電資料為2015年5月起至2016年4月，但台灣電力公司在這段期間已調整電價2次，亦即有3種電費費率，而此階段主要討論導入設備的成本效益，非電價改變的影響，所以直接採用2016年4月1日版最新費率(即表6)進行評估，電價變動對評估結果之影響將於敏感度分析中進行討論。準此，C大樓一整年的用電情形與電費計算如表7所示。由前述可得，C大樓為了導入前一代物聯網智慧能源系統，相較於傳統設備，必須多花費新臺幣9,129,631元。後續各節則採用成本效益分析法

表5 導入前一代物聯網智慧能源系統C大樓所需投資金額(新臺幣/元)

項次	項目	傳統方式			導入IoT節能設備		
		數量	參考單價	複價	數量	參考單價	複價
1	Control panel	0	0	0	7	1,695	11,865
2	Web-SCADA access	0	0	0	7	27,654	193,578
3	Home Automation Module (HAM)	0	0	0	28	22,348	625,744
4	Energy consumption monitoring	0	0	0	392	2,680	1,050,560
5	Temperature sensor	0	0	0	392	1,000	392,000
6	Presence sensor	0	0	0	784	1,000	784,000
7	Lighting sensor	0	0	0	686	1,000	686,000
8	Lamp lighting	588	999	587,412	588	1,999	1,175,412
9	Blinds	56	139,441	7,808,696	56	154,141	8,631,896
10	HVAC						
	10-1冷房能力2.2 kw	686	20,690	14,193,340	686	23,590	16,182,740
	10-2冷房能力2.8 kw	98	24,190	2,370,620	98	27,990	2,743,020
11	Switches	0	0	0	98	4,998	489,804
12	Ceiling lights	5,880	299	1,758,120	5,880	490	2,881,200
加總				26,718,188			35,847,819

資料來源：本研究整理。

表6 高壓用戶二段式時間電價表(2016年4月1日起適用)(新臺幣/元)

分類				計費單位	夏月(6/1至9/30)	非夏月(夏月以外時間)
基本電費	經常契約			每瓩每月	223.6	166.9
	非夏月契約				-	166.9
	周六半尖峰契約				44.7	33.3
	離峰契約				44.7	33.3
流動電費	週一至週五	尖峰時間	7時30分~22時30分	每度	3.13	3.03
		離峰時間	0時~7時30分		1.35	1.26
			22時30分~24時		1.35	1.26
	週六	半尖峰時間	7時30分~22時30分		1.97	1.87
		離峰時間	22時30分~24時		1.35	1.26
	週日及離峰日	離峰時間	全日		1.35	1.26

資料來源：台灣電力公司業務處網站，2016。

中之參與者檢定，來檢定本研究所設計之模擬情境，是否值得有意願者導入。

## 4. 實證分析與結果

### 4.1 前一代物聯網架構下之情境模擬分析

在此情境模擬分析中，除了導入物聯網智慧能源系統外，亦加入分散式再生能源發電系統。再生能源種類繁多，舉凡風力、地熱或生質能皆屬之，但在這其中以太陽能為目前再生能源應用較廣的一種，各國政府透過發展太陽能發電來減少溫室氣體的排放，以對抗日益嚴重的氣候異常。為最大化本情境之效益，以自設太陽能發電系統所生產之電力全數回售台電、本身所需之用電則全數向台電購買之模式，來評估商用建築導入前一代物聯網智慧能源系統與自設太陽能發電系統之投資成本，能否透過太陽能發電回售台電所產生之效益來回收。

然而，由於再生能源有其間歇性，無法保證供電能夠持續穩定，時有短缺時有過剩，例如下雨天時太陽能發電系統就派不上用場，但生產電力超過需求量時又無法轉移至不足時段

使用，導致再生能源利用上的不便。於此時儲能系統即可解決這個問題，當能源需求小於供給時儲存起來，待需求大於供給時再釋放出來使用，可減少再生能源的浪費。由於本研究另外一個目的是希望能夠降低溫室氣體的排放，故本情境加入之儲能系統選用電動車進行評估，除解決間歇性之外，亦能減少傳統汽油車量的廢氣排放，作為效益之回收。

本情境之用戶參與檢定模型(Participant Cost Test, PCT)模型如下，其變數名稱與說明可參考表8：

$$NPV_T = B_T - C_T \quad (1)$$

$$BCR_T = \frac{B_T}{C_T} \quad (2)$$

$$DP_T = \min j \text{ Let } B_{Tj} > C_{Tj} \quad (3)$$

$$B_{Tk} = \sum_{t=1}^k \frac{BR_t + MP_t + TP_t + Oil_t}{(1+d)^{t-1}} \quad (4)$$

$$C_{Tk} = \sum_{t=0}^k \frac{(\sum_{i=1}^{12} EQ_{it} + Sol_t + ELV_t + MT_t) + Bl_t}{(1+d)^{t-1}} \quad (5)$$

本情境的效益分析結果，採用Tesla電動車的部分(如表9)，檢定結果「淨現值」為-4,198千元<0、「益本比」為0.72<1、「回收年限」大於20年，無法通過檢定；另外，採用Nissan

表7 C大樓年度用電情形與電費計算

月份		非夏月						夏月						非夏月											
		1月		2月		3月		4月		5月		6月		7月		8月		9月		10月		11月		12月	
流動電費	類別	度	費率	度	費率	度	費率	度	費率	度	費率	度	費率	度	費率	度	費率	度	費率	度	費率	度	費率	度	費率
	尖峰時間	21,360	3.03	17,880	3.03	12,720	3.03	36,060	3.03	36,840	3.03	49,560	3.13	67,080	3.13	74,700	3.13	63,240	3.13	56,520	3.03	52,680	3.03	43,800	3.03
	週六半尖峰時間	1,260	1.87	2,040	1.87	1,200	1.87	1,680	1.87	1,020	1.87	1,740	1.97	1,140	1.97	1,500	1.97	1,680	1.97	1,500	1.87	1,320	1.87	1,380	1.87
	離峰時間	7,560	1.26	8,220	1.26	7,440	1.26	8,160	1.26	7,560	1.26	8,340	1.35	8,460	1.35	9,360	1.35	8,340	1.35	8,040	1.26	7,980	1.26	7,980	1.26
	小計1(元)	76,603		68,348		50,160		122,685		123,058		169,810		223,627		249,402		212,510		184,191		172,143.6		145,349	
基本電費	類別	瓩	費率	瓩	費率	瓩	費率	瓩	費率	瓩	費率	瓩	費率	瓩	費率	瓩	費率	瓩	費率	瓩	費率	瓩	費率	瓩	費率
	經常(尖峰)契約	450	166.9	450	166.9	450	166.9	450	166.9	450	166.9	450	223.6	450	223.6	450	223.6	450	223.6	450	166.9	450	166.9	450	166.9
	非夏月契約	0	166.9	0	166.9	0	166.9	0	166.9	0	166.9	0	-	0	-	0	-	0	-	0	166.9	0	166.9	0	166.9
	週六半尖峰契約	0	33.3	0	33.3	0	33.3	0	33.3	0	33.3	0	44.7	0	44.7	0	44.7	0	44.7	0	33.3	0	33.3	0	33.3
	離峰契約	0	33.3	0	33.3	0	33.3	0	33.3	0	33.3	0	44.7	0	44.7	0	44.7	0	44.7	0	33.3	0	33.3	0	33.3
小計2(元)	75,105		75,105		75,105		75,105		75,105		100,620		100,620		100,620		100,620		75,105		75,105		75,105		75,105
超約用電收費	最高需量 <td>298</td> <td></td> <td>98</td> <td></td> <td>97</td> <td></td> <td>387</td> <td></td> <td>399</td> <td></td> <td>439</td> <td></td> <td>471</td> <td></td> <td>445</td> <td></td> <td>429</td> <td></td> <td>382</td> <td></td> <td>397</td> <td></td> <td>363</td> <td></td>	298		98		97		387		399		439		471		445		429		382		397		363	
	週六半尖峰需量(瓩)	28		74		58		29		30		36		35		31		58		36		30		30	
	離峰需量(瓩)	58		59		60		69		57		59		69		148		177		190		60		58	
	經常(尖峰)需量(瓩)	450		450		450		450		450		450		450		450		450		450		450		450	
	週六半尖峰需量(瓩)	450		450		450		450		450		450		450		450		450		450		450		450	
離峰需量(瓩)	450		450		450		450		450		450		450		450		450		450		450		450		
超約計費容量	類別	瓩	超約計費	瓩	超約計費	瓩	超約計費	瓩	超約計費	瓩	超約計費	瓩	超約計費	瓩	超約計費	瓩	超約計費	瓩	超約計費	瓩	超約計費	瓩	超約計費	瓩	超約計費
	經常(尖峰)需量	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	9,391	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	週六半尖峰需量	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	離峰需量	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
總電費	超約附加費(元/月)	0		0		0		0		0		0		9,391		0		0		0		0		0	
	全年超約附加費(元/年)	9,391																							
	當月(元/月)	151,708		143,453		125,265		197,790		198,163		270,430		333,638		350,022		313,130		259,296		247,249		220,454	
全年(元/年)	2,810,598																								

資料來源：本研究整理。



表8 PCT模型各變數之說明

變數名稱	變數說明	變數名稱	變數說明
$NPV_T$	情境 T 之總淨現值	$TP_t$	第 t 年將自設太陽能板所生產之電力回售台電所得之價金
$BCR_T$	情境 T 之益本比	$Oil_t$	第 t 年減少使用油料可節省之金額
$DP_T$	情境 T 之回收年限	d	折現率
$B_T$	情境 T 之效益總現值	$BI_t$	第 t 年電費帳單增加之金額
$C_T$	情境 T 之成本總現值	$MP_t$	第 t 年節省之晚班保全人力成本
j	累計效益 = 累計成本之年數	$Sol_t$	第 t 年太陽能之建置成本
$B_{Tk}$	情境 T 累計至第 k 年之累計效益現值	$MT_t$	第 t 年各設備之運轉維護成本
$C_{Tk}$	情境 T 累計至第 k 年之累計成本現值	$ELV_t$	第 t 年電動車之購入成本
$BR_t$	第 t 年電費帳單減少之金額	$EQ_{it}$	在 q 項節能設備中，第 i 項節能設備在第 t 年之使用成本

資料來源：本研究整理。

表9 模擬情境成本效益分析結果(Tesla)

單位：新臺幣千元

	效益				成本				
	BR <sub>t</sub>	MP <sub>t</sub>	TP <sub>t</sub>	Oil <sub>t</sub>	EQ <sub>it</sub>	Sol <sub>t</sub>	ELV <sub>t</sub>	MT <sub>t</sub>	BI <sub>t</sub>
期初(t = 0)	0	0	0	0	9,130	3,300	2,112	0	0
第1期(t = 1)	256	66	381	21	0	0	0	17	2
折現總值(t = 0, 1, ..., 20)	3,925	1,009	5,362	318	9,130	3,300	2,112	238	33
折現總值總和	10,615				14,813				
檢定結果	NPV <sub>3</sub> (淨現值) = -4,198								
	BCR <sub>3</sub> (益本比) = 0.72								
	DP <sub>3</sub> (回收年限) = 大於20年								

資料來源：本研究整理。

表10 模擬情境成本效益分析結果(Nissan)

單位：新臺幣千元

	效益				成本				
	BR <sub>t</sub>	MP <sub>t</sub>	TP <sub>t</sub>	Oil <sub>t</sub>	EQ <sub>it</sub>	Sol <sub>t</sub>	ELV <sub>t</sub>	MT <sub>t</sub>	BI <sub>t</sub>
期初(t = 0)	0	0	0	0	9,130	3,300	966	0	0
第1期(t = 1)	256	66	381	21	0	0	0	17	2
折現總值(t = 0, 1, ..., 20)	3,925	1,009	5,362	318	9,130	3,300	966	238	32
折現總值總和	10,615				13,666				
檢定結果	NPV <sub>3</sub> (淨現值) = -3,051								
	BCR <sub>3</sub> (益本比) = 0.78								
	DP <sub>3</sub> (回收年限) = 大於20年								

資料來源：本研究整理。

電動車的部分(如表10)，檢定結果「淨現值」為-3,051千元<0、「益本比」為0.78<1、「回收年限」大於20年，同樣無法通過檢定。本情境

中不論採用何種電動車皆無法通果檢定，觀察兩款電動車的效益成本結構，皆可發現，在相同的里程數下，使用電動車所能節省的汽油費

用Oil<sub>i</sub>，約是其充電成本BI<sub>i</sub>之9倍，的確能貢獻許多效益，但由於購買電動車的期初投入遠大於效益，使得最終檢定結果未能通過。

根據上述的成本效益分析，模擬情境無法通過檢定，主要原因除了自設太陽能發電系統之外，其餘設備的期初投入資金過高，而可獲得之效益相對太低，使得在20年的評估期中，無法完全回收。

值得注意的，物聯網的技術日新月異，各式軟硬體也不斷在進步，推陳出新，同時使用端之購買成本也快速下降，比起近年來蓬勃發展的智慧型手機可說是有過之而無不及。不僅如此，就連技術導入與設備安裝的難度也大幅度降低。所以下一節採用新世代物聯網智慧能源系統數據，再次計算模擬情境的檢定結果。根據實證分析結果值得注意的，本文以C大樓坪數與西班牙個案坪數來做為節能系統，並未進一步考量詳實空間模擬，畢竟會有某種程度的誤差，也構成本研究精確度的限制。

## 4.2 新世代物聯網架構下之情境模擬分析

物聯網系統透過現有的技術(如WiFi或Bluetooth)，無法遠距離傳輸資料，或是必須耗費較多的能源，因此長距離低耗能的各種無線傳輸技術應運而生，例如SigFox特性就是長距離、低資料量，非常的符合物聯網的應用需求，且硬體裝置設計上比傳統的Mobile Network更簡單、省電及便宜。此外，LTE-M是另一個專為物聯網應用所設計的LTE網路技術，與其他鎖定物聯網應用的無線通訊技術相比，其主要的特色在於超長通訊距離，以及比標準LTE低一大截的功耗水準，但資料傳輸速度也會比標準LTE慢許多。而LoRa無線傳輸技術隨著物聯網蓬勃發展應運而生，讓傳輸資料與維護成本大為降低。

此外，近年來市面上出現了低價的自由開發單機版微型電腦，例如香蕉派、樹莓派(Raspberry Pi)。樹莓派體積約是一個火柴盒的

大小，好用又便宜是其優點，目的是以低價硬體及自由軟體促進學校的基本電腦科學教育。本研究基於目前市場上已經頗為成熟的樹莓派與LoRa技術，已於近期內推出了新世代物聯網智慧能源系統，可用之於商用建築內裝設偵測感應器，針對溫度、濕度、室內人數及亮度等，安裝於室內各重要據點或各種用電設備上，透過有線或LoRa無線傳輸技術，連結至以樹莓派為閘道(Gateway)的數據蒐集中心，將資訊經由閘道的彙集與處理後，傳回雲端或特定控制主機，控制主機便可藉由演算法資訊軟體系統，根據這些即時的相關資訊，針對整個大樓進行節能最佳化的調控與管理，與前述Moreno *et al.* (2014)的研究相比較，相同之處在於透過物聯網收集環境資訊與設備使用情形，並加以管理，使整個系統持續保持能源使用最佳化的狀態；而「前一代物聯網」與「新世代物聯網」相異之處，在於「前一代物聯網」必須購入文獻中所提及12項前一代物聯網智慧能源系統設備，用以取代傳統的設備，來架構整個節能系統。相對而言，導入前述之新世代物聯網智慧能源系統，則可在設備生命週期運轉期間將各種耗能設備(例如冷氣機)之遙控功能，整合至節能控制系統內，當此節能資訊系統藉由各種相關參數設定，並且所偵測到的參數值跨越系統內已設定之監控門檻時，相關之物聯網設備即會自動開啟或關閉電源，並立即發出回傳訊號，不需另外添購或更換部分既有設備，直接省下許多期初投入之固定成本。

當C大樓導入新世代物聯網智慧能源系統後，暖通空調(HVAC)、各種開關器(Switches)只要原本所裝設的設施即可繼續運作，新安裝之系統設備能直接控制原有電器設備運作；此外，由於大樓內每部個人電腦皆可登入平台，以獲取最即時的資訊，所以監控相關設備就不須額外投資；再者，遠端監控軟體(Web-SCADA Access)的角色將被平台所搭配之系統軟體所取代，亦無須購置。在此情況下，C大樓所需投資之設備數量及參考價格如表11所

表11 導入新世代物聯網智慧能源系統C大樓所需設備比較

項次	項目	傳統方式			導入IoT節能設備		
		數量	參考單價(元)	複價(元)	數量	參考單價(元)	複價(元)
1	「次世代物聯網智慧節能系統」中繼站(Gateway)	0	0	0	98	12,000	1,176,000
2	Temperature sensor	0	0	0	392	1,000	392,000
3	Presence sensor	0	0	0	784	1,000	784,000
4	Lighting sensor	0	0	0	686	1,000	686,000
5	lamp lighting	588	999	587,412	588	1,999	1,175,412
6	Blinds	56	139,441	7,808,699	56	154,141	8,631,899
7	Ceiling lights	5,880	299	1,758,120	5,880	490	2,881,200
加總(元)		10,154,231			15,726,511		

資料來源：本研究整理。

示。

由表11可以得知，C大樓導入新世代物聯網智慧能源系統，相較於傳統方式，必須再花費 $15,726,511 - 10,154,231 = 5,572,280$ 元，即表示 $EQ_{it} = 5,572,280$ 。使用前一代物聯網智慧能源系統的模擬情境，主要是因為期初投入相對過高，使用所獲得之效益無法在評估期內回收成本，導入新世代系統之後，期初投入已經有效下降 $3,557,351$ 元(即 $9,129,631 - 5,572,280$ )，透過導入新世代系統後，重新針對模擬情境進行成本效益分析。

在新世代物聯網智慧能源系統之模擬情境中，並重新計算成本效益後，發現模擬情境(Tesla)之淨現值為 $-60.4$ 萬 $<0$ 、益本比為

$0.94 < 1$ 、回收年限大於20年，無法通過檢定(如表12)；而模擬情境(Nissan)之淨現值為 $50.6$ 萬元 $>0$ 、益本比為 $1.05 > 1$ 、回收年限等於19年(如表13)，通過檢定，仍是期初投入降低使得所設定之收益能有效回收成本之故，惟模擬情境(Nissan)雖然通過檢定，但由於益本比僅 $1.05$ ，表示在20年的使用年限中，成本與效益現值差額不多，對於有意願導入新世代物聯網智慧能源系統者而言，雖有誘因但仍不大。

#### 4.3 新世代物聯網架構之敏感度分析

經上述實證結果分析與討論，C大樓使用新世代物聯網智慧能源系統下之模擬情境(Nissan)能夠通過檢定，吸引有意願者投入，

表12 模擬情境新成本效益分析結果(Tesla)

單位：新臺幣千元

	效益				成本				
	BR <sub>t</sub>	MP <sub>t</sub>	TP <sub>t</sub>	Oil <sub>t</sub>	EQ <sub>it</sub>	Sol <sub>t</sub>	ELV <sub>t</sub>	MT <sub>t</sub>	BI <sub>t</sub>
期初(t = 0)	0	0	0	0	5,572	3,300	2,112	0	0
第1期(t = 1)	256	66	381	21	0	0	0	17	2
折現總值(t = 0, 1, ..., 20)	3,925	1,009	5,362	318	5,572	3,300	2,112	238	33
折現總值總和	10,615				11,255				
檢定結果	NPV <sub>3</sub> (淨現值) = -640								
	BCR <sub>3</sub> (益本比) = 0.94								
	DP <sub>3</sub> (回收年限) = 大於20年								

資料來源：本研究整理。



表13 模擬情境新成本效益分析結果(Nissan)

單位：新臺幣千元

	效益				成本				
	BR <sub>t</sub>	MP <sub>t</sub>	TP <sub>t</sub>	Oil <sub>t</sub>	EQ <sub>it</sub>	Sol <sub>t</sub>	ELV <sub>t</sub>	MT <sub>t</sub>	BI <sub>t</sub>
期初(t = 0)	0	0	0	0	5,572	3,300	966	0	0
第1期(t = 1)	256	66	381	21	0	0	0	17	2
折現總值(t = 0, 1, ..., 20)	3,925	1,009	5,362	318	5,572	3,300	966	238	32
折現總值總和	10,615				10,109				
檢定結果	NPV <sub>3</sub> (淨現值) = 506								
	BCR <sub>3</sub> (益本比) = 1.05								
	DP <sub>3</sub> (回收年限) = 大於19年								

資料來源：本研究整理。

其他則否。有鑑於此，本節透過改變各種不同的前提假設，進一步計算淨現值、益本比與回收年限，藉以找出對各個模擬情境檢定結果之影響。由於以Moreno *et al.* (2014)研究為基礎的前一代物聯網智慧能源系統模擬情境皆無法通過檢定，且在新世代物聯網智慧能源系統推出後，憑藉其成本低與安裝簡便之優勢，應為日後有意願導入者之首選，因此本節以安裝新世代物聯網智慧能源系統來進行後續延伸，討論改變原情境的設定，其結果是否會隨之改變。

### 4.3.1 替代方案設定

本研究提出三種情境假設的改變加以比較，當原模擬情境的條件調整，對於參與者檢定的淨現值、益本比分別會有何種影響。三種敏感度分析之替代方案如下：

- (一) 參考台電董事長黃重球認為未來合理電價應調整34% (為方便計算及討論，本研究以35%計)之看法(呂國禎及劉光瑩，2015)，來探討若是流動電費(包含夏月與非夏月之尖峰、半尖峰、離峰時間流動電費)上漲5%、15%、25%及35%時，結果會有之變化。
- (二) 持續響應政府陽光百萬屋頂政策，如果將C大樓裝設太陽能發電系統的容量，由原本的60 kWp分別擴大為70 kWp、80 kWp、90 kWp及99 kWp，則其檢定結果所會出現的變動，於此進行探討。

- (三) 考量電動車購入成本相較於可節省油料費用而言偏高，尤其Tesla Model-S無法在有效使用期限20年內回收，因此透過敏感度分析來計算倘若電動車之售價，分別下降10%、20%、30%及40%時，淨現值、益本比所產生之變化。

### 4.3.2 替代方案結果分析

前述三種不同情境假設的改變對檢定結果是否會造成影響，整理於表14與表15中，並說明如下：

- (一) 若電價上漲之敏感度分析結果

- (1) 模擬情境(Nissan)中，由於在未考慮敏感度分析方案前即已通過檢定，即使電價上漲，檢定仍是通過，淨現值與益本比隨之增加，結果將會正面提高有意願導入者之投資誘因。
- (2) 模擬情境(Tesla)中，由於從充電花費與省下之油料費用來看，Tesla Model-S年度效益為18,609元，與期初購車成本211萬元來比較，效益相對少很多，必須增加收益方有於期限內完全回收之可能。透過敏感度分析可得，要是流動電費費率上漲25%，淨現值為22.3萬元>0、益本比為1.02>1，通過檢定。惟效益與成本之總現值差異不大，雖可在有效期限內回收成本，但投資誘因仍然不大。
- (二) 若擴大裝設屋頂太陽能發電系統容量之敏感度分析結果

(1) 對模擬情境(Nissan)於初始方案時就已通過檢定而言，如同前述效果，擴大太陽能發電系統之容量可讓淨現值與益本比上升，更具投資效益。

(2) 對模擬情境(Tesla)來說，為增加收益以期在有限期限內回收投入成本，於是考慮以每10 kWp的幅度來增加屋頂太陽能發電系統之容量。結果發現，當容量提升至90 kWp時，淨現值為27.5萬元>0、益本比為1.02>1，可通檢定。但為裝設90kWp容量之太陽能發電系統，以目前的技術而言必須使用總屋頂面積之78.4%，即225坪之空間，在扣除基本屋凸設施(如電梯、水塔…等)之後，空間配置將相當侷促。

值得注意的，當屋頂太陽能發電系統之裝置容量突破100 kWp時，政府保證收購20年的躉購費率將由5.2127 (元/度)，調降為4.8061 (元/度)，直接衝擊售電效益，相較於容量小於100 kWp之方案，其收益增幅將小於投入成本增幅，反而使淨現值與益本比雙雙減少。因此不建議C大樓裝設容量100 kWp以上之屋頂太陽能發電系統。

(三)若電動車價格下跌之敏感度分析結果

(1) 若是Tesla Model S購車價格下降40%，即車價為127萬元時，淨現值為20.4萬元>0、益本比為1.02>1，可通檢定。Tesla公司在2016年3月31日發表了最新車款Model 3，有別於過去鎖定頂級市場的策略，Model 3是一款平價車，目前建議售價為35,000美元，約新臺幣117萬元，更低於Model S調降40%後的價格。由於Tesla尚未公布Model 3的詳細規格，假定其電池容量每1 kWh能行駛之里程數不亞於Model S，則在不久的將來，引進Tesla Model 3可立即使模擬情境(Tesla)通過檢定。

(2) Nissan LEAF-S電動車原本訂價就比較親民，初始方案即可通過檢定，車價若是下降可直接提升淨現值與益本比，投資誘因隨之提升。

表14 敏感度分析之淨現值

單位：新臺幣千元

調整內容			模擬 情境 (Tesla)	模擬 情境 (Nissan)
初始方案			-640	506
敏 感 度 分 析 方 案	流動電費 上漲	5%	-468	679
		15%	-122	1,024
		25%	223	1,369
		35%	568	1,715
	擴大屋頂 型太陽能 發電容量	70 kWp	-335	811
		80 kWp	-30	1,116
		90 kWp	275	1,421
		99 kWp <sup>(註)</sup>	549	1,696
	電動車售 價下降	10%	-429	603
		20%	-218	699
		30%	-7	796
		40%	204	893

註：設置99 kWp之理由參見內文敏感度分析之說明。

資料來源：本研究整理。

表15 敏感度分析之益本比

調整內容			模擬 情境 (Tesla)	模擬 情境 (Nissan)
初始方案			0.94	1.05
敏 感 度 分 析 方 案	流動電費 上漲	5%	0.96	1.07
		15%	0.99	1.10
		25%	1.02	1.14
		35%	1.05	1.17
	擴大屋頂 型太陽能 發電容量	70 kWp	0.97	1.08
		80 kWp	0.998	1.10
		90 kWp	1.02	1.12
		99 kWp <sup>(註)</sup>	1.04	1.14
	電動車售 價下降	10%	0.96	1.06
		20%	0.98	1.07
		30%	0.999	1.08
		40%	1.02	1.09

註：設置99 kWp之理由參見內文敏感度分析之說明。

資料來源：本研究整理。

對於模擬情境所選用的2款電動車而言，其電池容量平均每1 kWh約可行駛5.5公里，並無太大差別，因此不論哪款電動車，在技術不變以及不考慮其他因素的價值下，期初購價都必須控制在130萬元左右，對C大樓來說方具有成本效益。不過，以目前電動車之定價，仍存在購入成本過高之問題，即使通過檢定，其淨現值與益本比皆低，有待日後技術進步使得車價更低，方能更具投資誘因。

## 5. 結 論

### 5.1 實證結果及敏感度分析

本研究所設計之兩種模擬情境：一是「物聯網智慧能源系統(Energy Management System, EMS) + 分散式再生能源發電系統(Distributed Generation, DG) + 儲能系統(Tesla電動車)」，二是「物聯網智慧能源系統(EMS) + 分散式再生能源發電系統(DG) + 儲能系統(Nissan電動車)」，同時參考Moreno *et al.* (2014)四位學者於西班牙穆爾西亞大學所採用之研究模型，來進行兩種模擬情境之成本效益估算。經由本研究的實證數據，商用建築導入次世代物聯網智慧節能系統搭配屋頂太陽能發電系統，再加上車價低於新臺幣130萬元之電動車(儲能系統) 1輛(Nissan)，經濟因素方面即是具有效益。一旦初始情境改變，檢定結果可能會隨之變動，例如電價倘若上漲25%，模擬情境(Tesla)則具有效益；另外如果擴大屋頂太陽能發電系統裝置容量為90 kWp，或是電動車的車價下降40%，模擬情境(Tesla)可通過檢定，具有投資誘因。

### 5.2 實證結果之經濟意涵

當組織在評估其商用建築是否採用物聯網智慧節能系統時，重要的考量之一即為是否符合效益。本研究從參與者(即是組織)的角度出發，來分析導入此節能系統之成本效益情形，當淨現值大於0、益本比大於1時，表示組織有

足夠的信心可以進行投資。得知從本研究的實證結果與討論可得知，商用建築導入次世代物聯網智慧節能系統之模擬情境(Nissan)可通過檢定，其經濟意涵主要在於以往要進行供給與需求資源的整合很困難，主要導因於這些資源通常是分散的，必須要透過人這個中間介面進行手動作業才能串聯起來，長時間下出現失誤、遺漏的機會大增，使得效果大打折扣。在物聯網時代，透過各類傳輸與雲端技術，即可實現跨領域機器與機器間的溝通，將各類資源彙整一起。相較於由人來進行手動作業，機器的優點除了效率提升許多之外，使用者不必支付薪水、沒有情緒考量且不會罷工。再者，由機器來執行作業人們就不必在危險的環境中工作，即使發生了爆炸事故，也是僅有財物損失而沒有人員傷亡，相對來說可保護人們的安全。

由於物聯網已將供給與需求的資源整合，透過日益精進的演算法，能做出最有效率的利用，使得每個決策都維持最適狀態。而且，由於機器在長時間運作過程中不斷累積資料，使得機器能夠取得資料的規律，進而對未知狀況進行預測，即所謂「機器學習」，更可讓每次最適決策的效率可以提升，排除例外。同時，相較於過去進行分析所採用的抽樣計畫，透過物聯網所收集到的資訊有著更高的完整性；也由於物聯網系統建置完成後即持續運作收集資訊，儘管進行多次分析與驗證，其邊際成本亦遠小於傳統方式，在這樣的基礎下所得之分析結果，肯定會比未導入物聯網前運用各種統計方法所產出的推論，要更貼近實際情形。如此一來，使用者能更精準地找到問題所在，並研擬對策加以改善。

然而在本研究所探討之節能領域導入物聯網亦如前述。探究其背後原因，主要是在於傳統的節能措施是由投入點(Input)與產出點(Output)，透過量化來做「靜態」或「比較靜態」的管制，不過由於資訊的不充足、不對稱與不完全，甚至於使用者與付費者的不相同，無法產生誘因相容(Incentive Compatibility)，所



以中間過程實難以控制。而物聯網能將整個過程透明化，並串聯全部流程，中間不須人為手動操作或進行決策。相較於傳統節能措施，能更加有效提升節能效率(許志義等，2015)。

### 5.3 研究貢獻

由於現今社會人們多數的時間會待在建 築裡，因此建築物的節能措施十分重要。本研究聚焦於商用建築，為探討導入物聯網智慧節能系統是否具有效益，設計了兩種模擬情境，使用成本效益法逐一進行檢定，於「事前」評估商用建築在導入前述的節能系統後，會產生之成本與效益，藉以計算「淨現值」、「益本比」與「回收年限」等三項指標。商用建築之樓板面積廣大、樓層多，導入物聯網智慧節能系統將會是個龐大的投資，對於是否能在有效使用期限內回收，設計者必定多所著墨，而本研究所計算之各項指標，無疑就是商用建築設計者所需之重要參考資訊之一。再者，商用建築在導入此節能系統前之規劃時期，透過模擬情境之檢定，亦提供了進一步增加收益或是減少成本支出來提高效益、通過檢定之方向，此部分即是本研究之主要貢獻。

在儲能系統部分，為兼顧環保議題，所探討者為電動車，選擇美、日系兩款電動車進行探討，提供業者在定價、電池容量設計上之參考；然而目前電動車尚未普及，礙於數量少及技術門檻高，售價仍高居不下，非是人人皆能負擔得起的開銷，政府要推廣環保，希望社會大眾使用電動車，則必須制定適合之補貼政策，本研究可為參考之一。

當前全球皆遭遇極端氣候之侵害，節能議題日趨重要；同一時間，物聯網的快速發展正不斷地改變人類往後的生活，是我國未來經濟發展的重要方向之一。本研究結合兩大議題，將物聯網應用在節能設備上，並於商用建築中，讓有意願者可以更快檢視自身條件，選取最佳裝設模式，在支持環保的同時亦能獲取額外收益。對社會而言，除了減少整體電能消

耗，也能透過增加「綠色電力」的設置，取代更多的「灰色電力」，優化電力供給結構，創造「環境保護」與「經濟發展」之雙贏局面。

## 參考文獻

- 中華民國內政部營建署，2016。建築物使用類組及變更辦法，擷取自 營建署附表一 建築物之使用類別、組別及定義：<http://t.cn/R8siXkb>。
- 台灣電力公司業務處，2016。時間電價與季節電價，擷取自 台灣電力公司：[http://www.taipower.com.tw/UpFile/PowerSavFile/main\\_6\\_2\\_2.pdf](http://www.taipower.com.tw/UpFile/PowerSavFile/main_6_2_2.pdf)。
- 行政院環境保護署，2017。國際合作--氣候公約簡介，擷取自 行政院環境保護署：<http://t.cn/REqCwSF>。
- 呂國禎及劉光瑩，2015。未來10年，合理電價應漲34%，擷取自 天下雜誌：<http://www.cw.com.tw/article/article.action?id=5073404>。
- 里夫金傑瑞米，2014。物聯網革命(陳儀、陳琬玲，譯者)，臺北：商周出版社股份有限公司。
- 胡力勤，2015。以杭州地區為例的地下停車庫照明節能技術研究，物聯網技術，第11期，頁96-98。
- 徐仁全，2015。藍天計畫，打造智聯生態圈，30，頁51-52。
- 張志勇及陳正昌，2014。物物相聯的龐大網路—物聯網，擷取自 科學月刊：[http://scimonth.blogspot.tw/2014/05/blog-post\\_3117.html](http://scimonth.blogspot.tw/2014/05/blog-post_3117.html)。
- 許志義，2015。再生能源願景-用電戶發電也供電，擷取自 遠見華人精英論壇：[https://www.gvlf.com.tw/article\\_content\\_7318.html](https://www.gvlf.com.tw/article_content_7318.html)。
- 許志義及吳仁傑，2013。電力零成長與零耗能建築之探析，碳經濟，第30期，頁2-22。

- 許志義及黃國曄，2010。〈臺灣能源需求面管理成本效益分析之應用〉，發表於「中華民國能源經濟學會2010年學術研討會」，臺北：中華民國能源經濟學會主辦，2010年11月19日。
- 許志義、賴彥宏、謝志豪與吳修賢，2015。物聯網對節能措施之影響分析，財團法人工業技術研究院委託國立中興大學執行。
- 陳良榕及鄧凱元，2015。萬能物聯網，天下雜誌，第572期，頁 78-80。
- 麥爾荀伯格及庫基耶，2013。大數據(林俊宏，譯者)，一版，天下遠見出版股份有限公司，臺北。
- Darby, S., 2006. The Effectiveness of Feedback on Energy Consumption, University of Oxford, Oxford.
- Lam, J. C., 2000. "Energy Analysis of Commercial Buildings in Subtropical Climates," Building and Environment, Vol.35, Issue 1, pp. 19-26.
- McKinsey Global Institute, 2015. The Internet of Things Mapping the Value Beyond the Hype, Executive Summary 2015.
- Moreno, M. V., B Úbeda, A. F. Skarmeta and M. A. Zamora, 2014. "How Can We Tackle Energy Efficiency in IoT Based Smart Buildings?", *sensors*, pp. 9589-9611.
- Rahman, M., M. Rasul and M. Khan, 2010. "Energy Conservation Measures in An Institutional Building in Sub-tropical Climate in Australia," *Applied Energy*, Vol.87, Issue 10, pp. 2994-3004.
- Vermesan, O. and P. Friess, 2014. Internet of Things –From Research and Innovation to Market Deployment (xvi ed.), River Publishers, Aalborg.

# Impact Analysis of Internet of Things on Energy Saving Measures of Commercial Buildings

Jyh-Yih Hsu<sup>1\*</sup> Chih-Hao Hsieh<sup>2</sup> Jyh-Lun Chen<sup>3</sup>

## ABSTRACT

Internet of Things (IoT) technology has been applied into the field of energy conservation in relation with the rapid development in internet and ICT technology. There are real cases abroad. The consumption of natural resources and the impact on the environment will be reduced effectively besides saving energy and expense.

This study focuses on the commercial buildings and design simulation scenario: importing the IoT intelligent energy conservation system + distributed renewable energy generation system + energy storage systems (electric vehicle) to evaluate the cost and benefit of IoT intelligent energy conservation system that is set up in those buildings. We aim to understand if there is enough incentives to attract those who are willing to import that system or not. This study adopts the participant cost test to build econometric analysis model, and evaluates the cost and benefit in an Ex ante assumption.

Our results revealed that simulation scenario with the previous generation of IoT intelligent energy conservation system can't pass the evaluation. However, the disruptive innovation in IoT technique enables itself more adaptable in energy conservation scenarios. A local company has released a next generation of IoT intelligent energy conservation system (taking Raspberry Pi and LoRa for instance), which significantly reduce the initial investment for the corresponding simulated conditions. We find that, after calculation, the simulation scenarios with that system can pass the evaluation. It mainly results from the energy saving benefit by the system and revenue from distributed renewable energy generation system, which can effectively recover the investment during the effective duration. This results show great promise and sufficient incentives to attract those who are willing to import that system.

Through the sensitivity analysis, it is shown that altering the scenario conditions can result in turning the fail outcome into passed one. If the hypothesis and conditions are changed or reset, the testing results of the three simulation scenarios will be different probably.

**Keywords:** Internet of Things, Commercial Building, Energy Conservation Carbon Reduction, Cost-Benefit Analysis

---

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

<sup>2</sup> Administrator, Exploration and Production Business Division, CPC Corporation, Taiwan.

<sup>3</sup> Chief, Sustainable Economy Section, Institute for Information Industry.

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

Received Date: May 3, 2017

Revised Date: February 9, 2018

Accepted Date: February 21, 2018