

投稿類別：工程技術類

篇名：

台灣北部住家裝設獨立型太陽能發電系統之探究

作者：

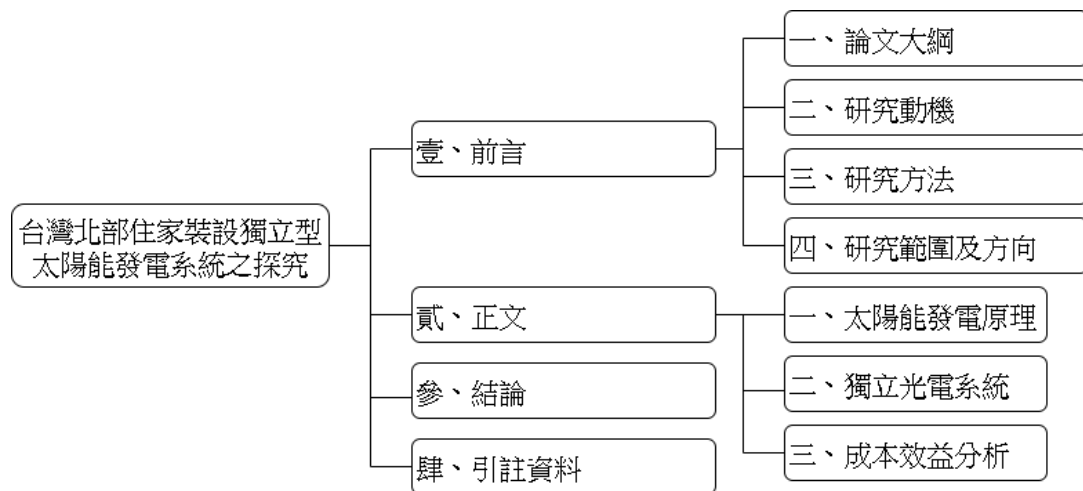
傅麒元。桃園市立龍潭高級中等學校。電機三甲  
陳俊杉。桃園市立龍潭高級中等學校。電機三甲  
邱品森。桃園市立龍潭高級中等學校。電機三甲

指導老師：

王政瑜老師

## 壹、前言

### 一、論文大綱



### 二、研究動機

在高二的環境科學概論課程中，我們探討了許多能源的議題，其中也包括目前我國政府大力推動的太陽能發電，而我們就讀的學校，許多建築物的屋頂都裝設了太陽能板，如（圖一）所示。看到太陽能板能夠大範圍的在學校安裝，就讓身為電機科的我們想到，如果每個家庭都能安裝太陽能板，是否能夠解決台灣的能源短缺的問題，而裝了太陽能發電系統要多久才能回本，符合裝設的經濟效益。



圖一：本校教學大樓太陽能板  
(圖一資料來源：本研究自行拍攝)

基於這樣的疑問，我們便針對一般家庭獨立型太陽能發電之效益分析來做進一步的探究。

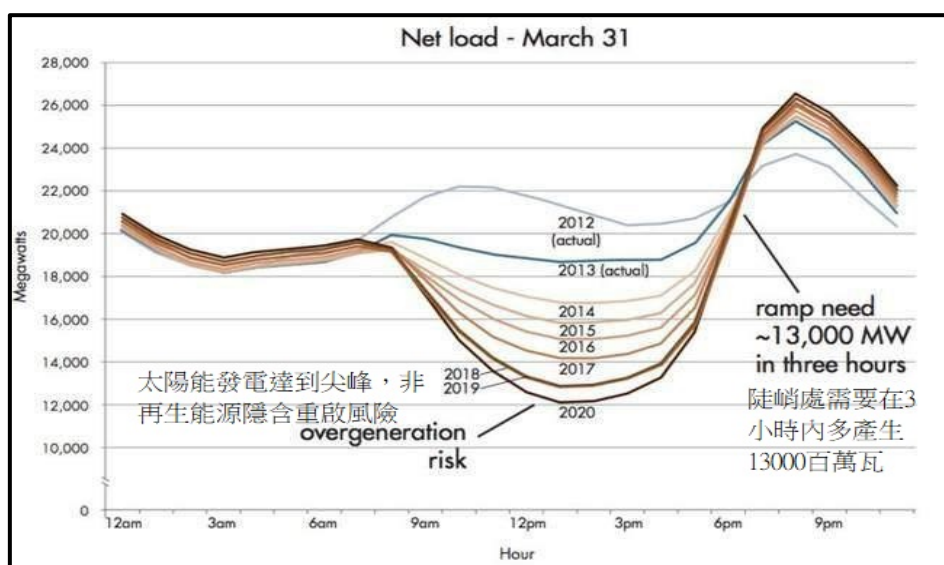
### 三、研究方法

在研究開始我們先進行太陽能光電理論的探究，包括發電的原理、系統的架構、元件的功能…等進行分析。接著再確認各項元件後，將分析不同發電量的設備成本，最後再將計算太陽能發電產生的度數(KWh)乘上電費費率，分析大概多久才能回收設備成本。

### 四、研究範圍及方向

太陽能發電系統的裝設主要分成「獨立型」和「併聯型」，本次我們將以家庭獨立型太陽能進行效益分析，選擇「家庭獨立型」的原因是，因「併聯型」需要透過台電的電線將太陽能所產出的電賣給台電，但這就牽扯到雙方契約的問題，而「獨立型」是自給自足，也沒有「孤島效應」與「鴨子曲線」的問題，因此本次的研究將聚焦於「獨立型」太陽能系統的探究。

**註：鴨子曲線：**以太陽能光電為例，白天時，太陽能的發電比例大，相對的非再生能源(如火力、核能)的發電量自然能夠保持在較低的水平，其曲線低垂如鴨子的腹部；而在傍晚，太陽能光電的發電量急遽下降，取而代之火力、核能等非再生能源來替補需求電量。而此時的非再生能源的發電量急速攀升，就如同鴨脖子一樣。如（圖二）所示，若一個地區太陽光電的比例越高，則鴨子曲線的鴨腹部會越豐滿，而鴨脖子（圖中下午4點~6點陡峭上升曲線）會更陡峭，而在短時間內非再生能源在入夜後突增的運轉壓力也就跟著更大了。



圖二：鴨子曲線示意圖（圖二資料來源：Daniel Ta（2017）。The Duck Curve: What is it and what does it mean?。2017年3月29日，取自 <https://alcse.org/>）

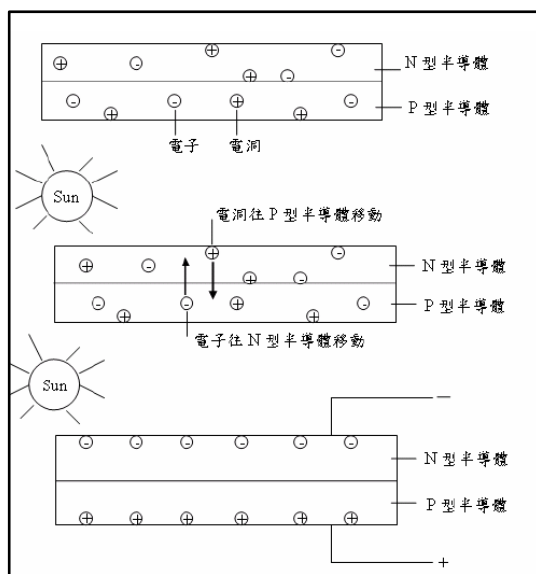
## 貳、內文

### 一、太陽能的發電的探究

#### （一）太陽能發電原理

太陽電池一般也稱為太陽能板，它是一種把光轉為電能的一種裝置，使用了光

起電力效應的半導體物理現象，透過光線照射，產生正極及負極的電荷，再透過半導體的 pn 二極體，可以分離電荷作為光起電力取出電能。而這樣 pn 二極體知識，也與我們高二上電子學所學的理论有相當的關聯。就是把以電洞作為多數載子的 p 型半導體和以電子成為多數載子的 n 型半導體緊密連結，然後再透過擴散作用使接合面附近的電子與電洞相遇，n 型半導體的多數載子電子（帶負電）會穿過 pn 面與 p 型半導體的電洞結合，同樣的 p 型半導體的多數載子電洞（帶正電）會穿過 pn 面與 n 型半導體的電子結合。此時 p 型區域側會帶有負電，n 型區域側則帶有正極電，產生障壁電位，n 指向 p 的內建電場。而太陽能電池就是運用光線能量照射在 pn 接面時產生的電子受內建電場吸引移動至 n 型半導體。同樣的電洞會移動到 p 型半導體，如此，接面累加的電荷就能形成電流。如（圖三）所示。

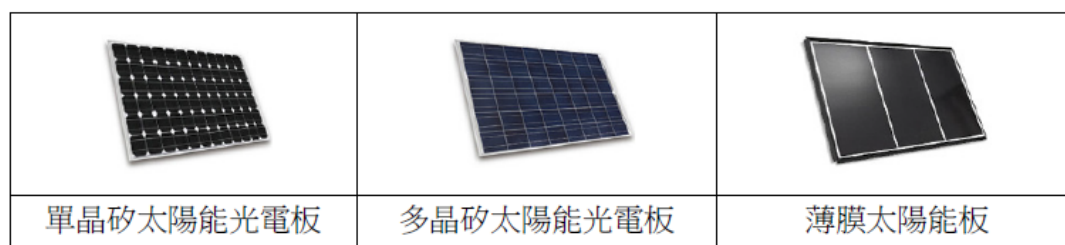


圖三：太陽能發電原理

（圖三資料來源：何珮儀 (2009)。獨立型太陽能系統蓄電池充電效率提升研究。國立台灣大學機械工程學研究所：碩士論文。）

## (二) 太陽能電池類型

目前常見的太陽能電池，又可分成單晶矽、多晶矽與非晶矽三種。單晶矽與多晶矽是把矽的結晶鑄塊切開，切成薄片，來製成半導體元件並進行鋪設，非晶矽則是在玻璃基板上真空蒸鍍非晶矽，形成薄薄的矽層，然後製造薄膜型太陽能電池，如（圖四）。



圖四：各類型太陽能光電板的樣式（圖四資料來源：本研究整理繪製）

一般而言單晶矽效率在大概 15%~18%，多晶矽在 12%~17%，而非晶矽（矽薄

膜) 在 6~9%。所以對於太陽能電池轉換效率來說，我們小組覺得還有很大的進步空間。如何做出更有效率的太陽能電池，以目前技術也可以使用矽以外的原料，如以 III-V 族材料製作的太陽能板，以參考文獻資料指出目前三結砷化鎵太陽能電池的轉換效率目前已超過 40%，是矽晶的兩倍，但是這種太陽能電池成本高昂，所以沒有被一般家庭普遍使用。

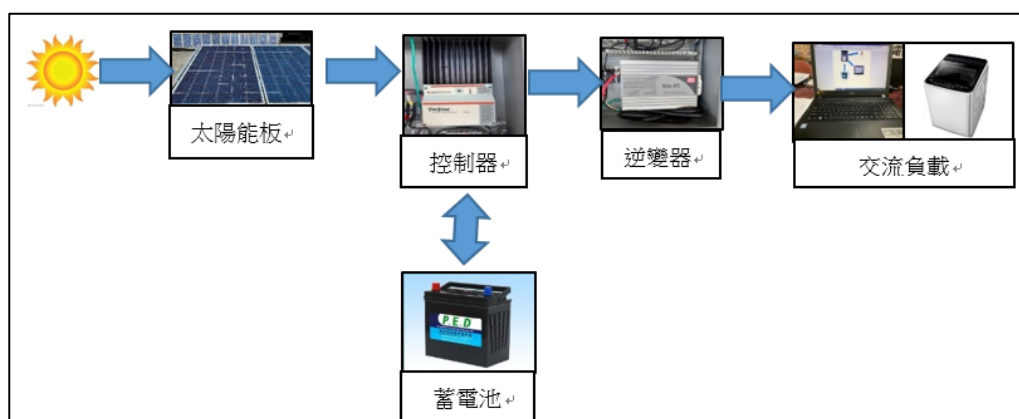
### (三) 供電系統模式

太陽能發電系統主要分成獨立型以及並聯型。獨立型的太陽能光電系統就會利用蓄電池儲存起來以便雨天、陰天或晚上使用，而並聯型太陽能發電系統則是將電賣給台電，下雨天或陰天也可以用市電供電。我覺得這兩種都有各自的優缺點，獨立型的太陽能發電系統優點在於它完全不用依賴市電，適合用於偏鄉，但是缺點就是必須要特別考量蓄電池的容量、壽命與價格。而並聯型優點就在於不用電池，等於是把電力公司當成一個無限大的蓄電池，可是缺點是必須防止「孤島效應」，也就是說如果併入電網中的太陽光電裝置，在電網斷電的情況下，仍然繼續回送電量的話，會危害到電力維修人員的人身安全，因此必須安裝反孤島效應的併網逆變器來防止危險的發生，這也是我們未來若從事電力輸配作業及太陽能系統裝置都需要相當注意的部分。

## 二、獨立型光電系統

### (一) 光電系統架構

本研究以獨立型太陽能光電系統進行探究，其中的設備有發出電能的「太陽能板」，儲存電能的「蓄電池」、將電送入和送出蓄電池的「充放電控制器」，還有將太陽能板產生的直流電轉成交流電供給家電使用的「交直流轉換器」或稱為「逆變器」以下為獨立型太陽能光電系統的系統架構圖。

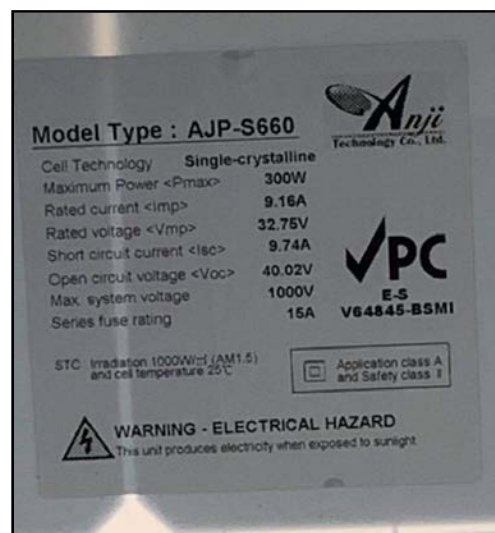


圖五：獨立型太陽能光電系統之系統架構圖（圖五資料來源：本研究自行整理繪製）

## (二) 系統元件介紹

### 1、太陽能板

目前一般常見的太陽能板使用，主要以每片 300W 功率的規格，如（圖六）所示，一般住戶可配合屋頂的面積裝設太陽能板，而當安裝片數及設備功率同時確定後，便可藉由不同的串、並聯模式達到不同的輸出電壓與電流，並配合不同功率的充放電控制器、逆變器來進行後續的輸出。



圖六：龍潭高中太陽能板規格  
（圖六資料來源：本研究自行拍攝）

### 2、蓄電池

獨立型與併聯型最主要的差別就在於需不需要儲電系統，所以對於獨立型發電來說，蓄電池的效率格外重要。因太陽能所用的深循環電池是指該「電池放電率」以及「循環次數」都比一般動力電池高，所以價格也較一般動力電池貴 2~3 倍。

表一：鉛酸電池與磷酸鐵鋰電池的特性比較（資料來源：本研究整理）

	鉛酸電池	磷酸鐵鋰電池
體積能量密度 (Wh/L)	100	270
循環壽命 (cycle life)	500~800	> 2000
自放電率 (%/每月)	20	8
能量效率%	60	95
安全性	佳	佳
高溫特性	佳	佳
記憶效應	否	否

就蓄電池類型大致可分為鉛酸電池、磷酸鐵鋰電池、鎳鎘電池與鎳氫電池…等種類。而考量蓄電池價格、壽命以及效率這三重要的因素，目前市面上大多以鉛酸電池與磷酸鐵鋰電池常被選用，而就價格來比較目前鉛酸電池價位較低，因此是最

廣泛被使用的；另外磷酸鐵鋰電池有著較佳的電池特性，包括：體積能量密度、循環壽命、自放電率、能量效率…等特性都大幅度超過鉛酸電池，如磷酸鐵鋰電池的循環壽命很長，經過 2000 次充放電後，仍然剩餘 80% 的容量，能量密度也比鉛酸電池高三倍，但缺點就是成本昂貴，以下我們整理比較這兩種電池特性如（表一）所示。

由於蓄電池的價格影響整體的設備經費，因此我們需計算出合理的電池容量，我們參考（張金花，2009）文獻資料，計算蓄電池的容量的計算公式如下：

$$\text{電池容量(A/h)} = \frac{\text{最長陰雨天無日照小時數(hr)} \times \text{設備負載功率(w)}}{\text{Kb1} \times \text{Kb2} \times \text{Kb3} \times \text{系統電壓(V)}}$$

式中：Kb1：蓄電池的充放電深度係數

Kb2：逆變器轉換效率係數

Kb3：配線損失係數

因為可能有些時候是沒有太陽的，所以必須先計算需要儲存多少電力。電池放電深度的意思是電池都會有下限，要讓電量保持在一定的比例以上(0.5~0.7)，否則電池會無法再使用。還有逆變器轉換效率(0.8~0.9)跟線路的損失(0.95~0.98)，計算蓄電池是需要考量眾多因素才能找到最適合、需要的理想大小的電池。

### 3、充放電控制器

充電控制器(Charge Controller)主要功能為防止太陽能板對蓄電池過度充電和放電，當蓄電池飽滿時切斷充電電流，以防止過度充電，防止夜間蓄電池像太陽能板反向放電、短路保護。當充電電源有異狀，造成充電電流太大，不僅損害電池，也可能燒毀充電控制器。此時充電控制器切斷與充電電源的通路，以防止災情擴大，直到異狀消失，或是處理完畢，才恢復充電。

### 4、逆變器

將直流電能變換成交流電能的過程稱為逆變，太陽能發電系統中使用的逆變器是一種將太陽能電池所產生的直流電能轉換為交流電能的轉換裝置，它使轉換後的交流電的電壓、頻率、波形、相位等一致，以滿足為各種交流用電裝置、設備供電的需要。而逆變器的保護電路主要包括輸入過壓與輸出過壓、雷電保護、過載保護、短路保護、接反保護…等功能，而不同發電量所需配合的逆變器功率也會有所不同，價格也會有所差異 且考量用電負載的不確定性，一般逆變器選用也會預留適當容量。

### 三、成本效益分析

#### (一) 設備成本調查

本次小論文針對不同面積大小的屋頂規劃 1000W、2000W、3000W 三個太陽能發電系統，並透過網路進行太陽能板、逆變器、充放電控制器三項主要設備成本的市場調查，而且考量到電池年限及更換因素我們同時將鉛酸電池以及磷酸鋰鐵電池列入考量，整理不同發電功率所需的設備費用，如（表二）所示，以 2000W 太陽能發電系統加上磷酸鋰鐵電池設備費用約為 8 萬 6400 元。

表二、不同瓦數之太陽能系統設備的成本統計表（資料來源：本研究整理）

設備 \ 瓦數	1000W太陽能發電	2000W太陽能發電	3000W太陽能發電
太陽能板	25100元	37700元	50300元
逆變器	3800元	6800元	10500元
充電控制器	1250元	4400元	8640元
鉛酸/磷酸鐵鋰電池	12000/25000元	18000/37500元	36000/75000元
總價	42150/55150元	66900/86400元	105440/144440元

#### (二) 系統年度發電量

由於太陽能發電系統與各個地方的地理條件、氣候條件都有相關聯，因此本研究是參考施華 (2009) 社區發展太陽能發電系統之成本效益分析論文中的資料，台灣北部地區 1000W 的太陽能板平均發電量為 2.21 度電(KWhr)，參考台灣電力公司的電費表如（表三），因為累進制計算每度電的價格，所以我們以每月 700~1000 度用夏月用電，平均每度約 5 元作為電費價格分析。北部地區 1000W 太陽能一年發電量及換算發電電費回收所

表三、台灣電力公司電價表  
（資料來源：台灣電力公司電價表）

每月用電度數分段		夏月 (6/1至9/30)	非夏月 (夏月以外時間)
120度以下部分	每度	1.63	1.63
121~330度部分		2.38	2.10
331~500度部分		3.52	2.89
501~700度部分		4.80	3.94
701~1000度部分		5.66	4.60
1001度以上部分		6.41	5.03



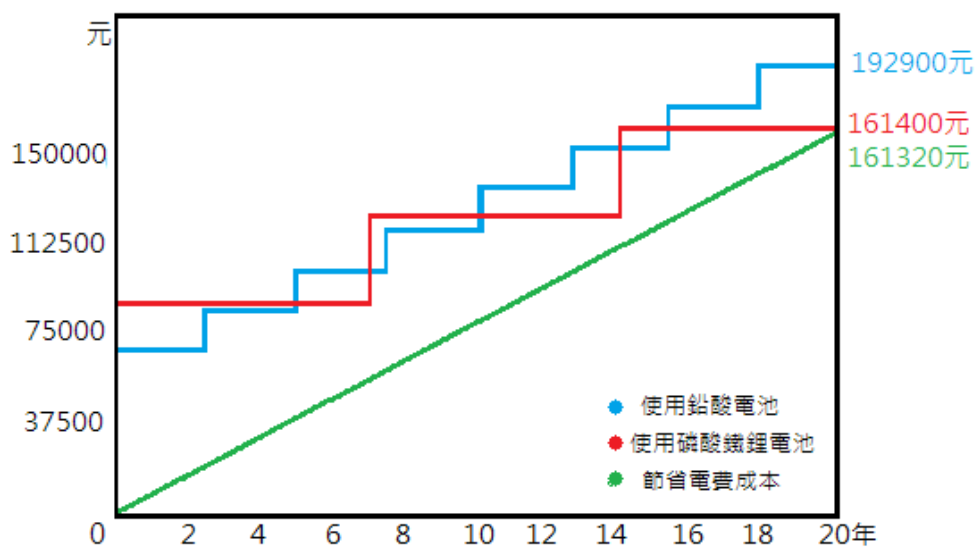
得約為 4033 元，詳如下公式與計算：

$$2.21 \text{ KW} \times \frac{\text{Hr}}{\text{日}} \times 1(\text{KW}) \times 365 \text{ 日} \times 5 = 4033 \text{ 元}$$

而按照比例也可推估 2000W 與 3000W 的太陽能系統，每年換算發電電費回收所得分別約為 8066 元及 12099 元。

### (三) 成本效益曲線

在成本的分析後，我們以較划算 2000W 太陽能系統來說明，我們假設太陽能系統有 20 年的使用年限，在考量蓄電池有老化問題需要定期替換（如果每天充放電一次的話，鉛酸電池可以使用 2~3 年，磷酸鐵鋰電池可以使用至少 7 年），而且蓄電池也有一定的成本，因此成本需進行累加，如（圖六）中藍色曲線為鉛酸電池設備費的累加，紅色曲線則為磷酸鐵鋰電池設備費的累加。圖中也可以發現雖然磷酸鐵鋰電池比鉛酸電池貴 2 倍，但是也因為壽命比較長，最後反而比較省錢，而就發電電費的回收 2000W 每年可回收電費約 8066 元，20 年可回收的電費約為 16 萬 1320 元，如圖中綠色曲線所示。



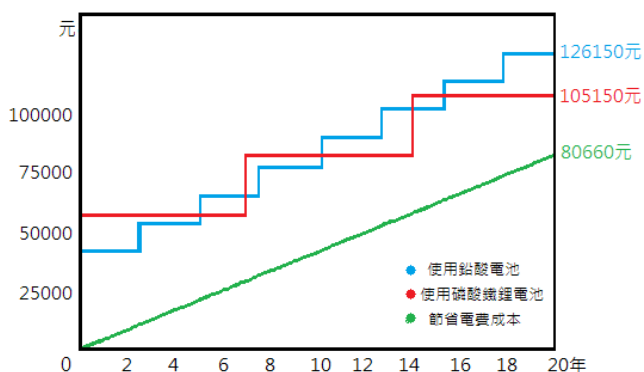
圖七：2000W 太陽能設備成本分析（圖七資料來源：本研究自行整理繪製）

整體而言 2000W 的太陽能系統的主要設備費用，於 20 年期間發電量應可達到設備費用的收支平衡，但若考量更多的細節：諸如設備安裝的材料及維修的人力成本…等等管理維護費用，那太陽能系統能否達到一般民眾能夠接受的經濟效益我們是存疑的。

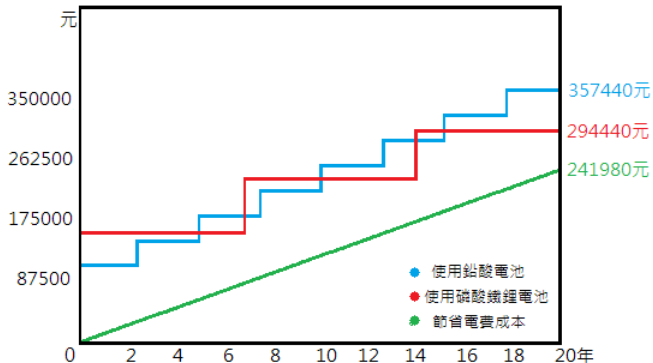
而在分析後較不划算的 1000W、3000W 的太陽能系統業分別於（圖八）、（圖九）

進行呈現，我們可發現，綠色的電費累增似乎更難追上藍色及紅色的設備曲線。

圖八：1000W 太陽能設備成本分析



圖九：3000W 太陽能設備成本分析



(圖八、九資料來源：本研究自行整理繪製)

## 參、結論

本次小論文研究主要的設備成本分析是以(1)光伏電池、(2)逆變器、(3)充放電控制器及(4)蓄電池為主，而蓄電池我們選擇鉛酸電池和磷酸鐵鋰電池來做比較；而在太陽能系統發電的電費計算上，以 1000W、2000W 及 3000W 三個不同發電量太陽能發電系統的來進行發電推估。在經過本次的小論文分析探究，三個不同發電量的太陽能發電系統經過了 20 年均無法回收設備所花費的成本。而其中以 2000W 的發電系統的發電的電費所得與磷酸鐵鋰電池的太陽能系統成本持平，因此不符合一般家庭的安裝太陽能發電系統的經濟效益。未來太陽能若要普及，勢必需達到能回收裝設成本的問題，我們分析可以從設備的費用、太陽能的發電效率及電費調整三個方向上去解決。

在設備的費用下降，減少裝設及維護的成本，可透過大量的生產來降低發電的太陽能板及儲電的磷酸鐵鋰電池製作成本；其次改善太陽能發電效率，可選擇效率較高的單晶矽光伏電池甚至是 III-V 族材料製作的太陽能板，期待更高的產出效率，最後當然可藉由調漲電費達到加速回收時限，不過隨著電費上升，也會影響到整個國家的經濟，也須審慎評估。

相信隨著時間的過去，一定會研發出低成本又高效率的太陽能發電系統，來彌補無法回收成本的問題，達到讓一般家庭都認同的經濟效益，使更多人願意接受這項低污染的永續綠能發電。

肆、引註資料

齋藤勝裕 (2012)。3 小時讀通太陽能電池。新北市：世茂出版。

日本太陽能學會 (2009)。圖解太陽能應用技術。新北市：世茂出版。

黃鎮江 (2014)。綠色能源。新北市：全華圖書出版。

佐藤勝昭 (2012)。太陽電池。新北市：瑞昇文化出版。

張金花 (2009)。太陽能光伏發電系統容量計算分析。甘肅科技，25(12)，3-6。

施華 (2009)。社區發展太陽能發電系統之成本效益分析。國立交通大學工學院碩士在職專班產業安全與防災組：碩士論文。

何珮儀 (2009)。獨立型太陽能系統蓄電池充電效率提升研究。國立台灣大學機械工程學研究所：碩士論文。

台灣電力公司 電價表。2019 年 10 月 2 日，取自

<https://www.taipower.com.tw/tc/page.aspx?mid=1461&cid=2676&cchk=1914457c-5e14-48db-8de1-c76d38f532ed>