

能源技術服務產業於離島民宿之 節能績效研究與商業模式探討

Energy-Saving Performance Evaluation for Bed and Breakfasts in Outlying Island through Energy Service Business Models

林旅寧 Lyu Ning Lin¹

徐堯 Yao Hsu²

陳昭璇 Chao-Hsuan Chen³

吳文方 Wen-Fang Wu⁴

摘要

能源技術服務產業能否推動成功與否，我國政府應可參考他國成功因素，考慮由臺灣電力公司帶頭推動能源服務產業，使有興趣之能源用戶及能源技術服務公司能積極投入發展此項新事業。該公司在台灣離島地區所提供的電力成本較本島高出許多，但電費計價收費標準卻與本島相同，對公司明顯不利。臺灣電力公司實可考量從離島地區占最大耗電比例之住宅與民宿產業著手，協助推動能源技術服務產業。據此，本研究導入 ESCO 商業模式，根據國際節能績效量測與驗證規範(International Performance Measurement and Verification Protocol, IPMVP)，以離島民宿的照明、空調與熱水系統為例，評估能源技術服務、電力公司在節能效益分享型(Shared Savings Contract)與節能量保證型(Guaranteed Savings Contract)兩種商業模式之回收年限(Payback Period, PP)與投資報酬率(Return on Investment, ROI)，探討雙方所適合投入的節能商業模式。研究結果顯示就能源技術服務公司而言，投資節能效益分享型能有較佳利益；而站在電力公司的角度，節能量保證型能使其享有較大利潤；但無論選擇何種商業模式，都能達到環境保護與經濟利益的雙贏局面。因此本研究建議，雙方可透過協商來達到共同利益最大化。

關鍵字：國際節能績效量測與驗證規範、量測與驗證、能源技術服務產業

Abstract

The energy service industry, in particular, the operation of an energy service company is introduced and demonstrated in this thesis. T Benefits to both Taiwan Power Company and the energy service company are examined in particular. The result indicates the energy service

¹ 國立台灣大學工業工程學研究所研究生。

² 開南大學企業與創業管理學系副教授(聯絡地址：338 桃園縣蘆竹鄉開南路一號，聯絡電話：03-3412500 轉 6086，E-mail: yhsu@mail.knu.edu.tw)。

³ 逢甲大學商學博士學位學程經營管理組博士生。

⁴ 國立台灣大學工業工程研究所教授。

company could receive more profit if a Shared Savings Contract is selected, but Taiwan Power Company could receive more if a Guaranteed Saving Contract is selected. With regard to environmental protection and economic interests, no matter which business model is selected, both companies can achieve win-win victories. Therefore, it is suggested that both companies negotiate furthermore to maximize their common interests and benefit the society.

Keywords: International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP), Measurement and Verification, Energy Service Company (ESCO).

壹、緒論

雖然世界各國都在積極研發找尋各種可替代的能源，但其仍需一段漫長的研發時間，且尚有投資成本高的問題，因此，就永續性而言，節能減碳絕對是刻不容緩的發展策略。經濟部能源局與綠基會近年來為加速落實節能工作，推動低碳環境，積極推動節能績效保證專案(Energy Saving Performance Contract, ESPC)，引進國際節能績效量測與驗證規範(International Performance Measurement and Verification Protocol, IPMVP)，作為節能專案量測與驗證之參考依據。IPMVP 中探討執行 ESPC 時，如何量化節能改善措施性能、量測、計算效益等步驟，並提供可用來驗證節能績效的實務技巧(AEPCA, 2004)，使 ESCO 的專業性與服務水準大為提升。IPMVP 總共提供四種量測與驗證(Measurement and Verification, M&V)選項方案，每個選項都涉及一些不同的特性及適用情況，Kromer 及 Schiller(2000)就曾討論專案中如何選取適合的 M&V 來進行量測與驗證。M&V 選項的適用特性如表 1。

表 1 M&V 選項方案比較

選項方案	量測方式	節能效益計算模式
A	針對部分改善項目的耗能量來計算節能量，部分量測代表某些耗能數據為約定值。	使用短期或連續量測、約定值、電腦模擬或歷史經驗數據作節能效益計算。
B	針對全部量測個別改善項目的耗能量來計算節能量，全部量測代表全部耗能參數皆以量測獲得而非約定值。	使用短期或連續量測做量測工程上的效益計算。
C	針對全部改善項目的耗能進行量測。	使用迴歸分析針對公錶或分錶之數據進行分析比較。
D	藉由能源模擬軟體來分析節能量，此選項需人員要大量模擬方面的知識與技術。	將逐時或逐月耗能相關數據或終端設備的量測值代入模擬模型進行校正後，再進行節能效益。

資料來源: Efficiency Valuation Organization (2009)

目前台灣離島地區採用柴油引擎的發電方式，故其發電成本較本島相比高上好幾倍，但政府為不讓離島居民因電費過高而有太大的生活重擔，因此採取離島用電戶的電力收費標準與本島相同之政策，電力公司在供電支出與售電價格不平衡的情況下，產生離島用電量越多則造成電力公司虧損越多的狀況，如此高的發電虧損對電力公司來說無疑是一個龐大的負擔，因此，離島地區的用電節約更顯重要。

本研究欲以離島地區占最大耗電比例之住宅與民宿產業耗能設備著手，以照明系統、

空調系統與熱水系統為例，利用 IPMVP 之規範進行節能改善效益之探討，以改善過往在數學的評估模型中沒有一個標準模式，造成能源技術服務產業在進行改善專案時因節能評估手法不同產生節能效益認知落差之紛爭，因此本研究希望藉由建立耗能數學模型來探討整個建築的耗能，接著再以各種不同的角色及商業模式來找出較適當的選擇方案，在最後根據所計算出來之節能績效，以電力公司與 ESCO 合作之角度切入，探討在離島民宿中導入各種能源服務產業商業模式之效益，以求真正節能，促進知識型服務業的興起與提升其附加價值，並達到國家社會永續發展的最終目標。

貳、節能績效量測與驗證案例分析

綜觀全台發電成本，可發現離島地區因採用柴油引擎發電，造成離島地區的發電成本高達 12.242 元/度，約為台灣本島發電成本的 5 到 6 倍，而政府在 2000 年為減少離島地區的生活負擔，公布實施離島建設條例(全國法規資料庫)，在此政策下，離島地區的收費標準與台灣本島相同。造成電力公司長期的發電虧損，因此如何針對離島地區進行節能改善已減少電力公司盈虧更顯重要。

一、案例說明

本研究以台灣某離島民宿節能為標的，該民宿為鋼筋混泥土結構，地上共 3 層；客房數共 23 間，其中用電類型為低壓表燈，每層樓皆有獨立的電錶，主要用電設備包含照明、空調、飲水機、揚水泵及冷凍冷藏櫃等，改善工程中設置公錶及分錶監控耗電情形。

二、M&V 基準線建立

耗能節約量並非直接由量測獲得，而是在相同的運轉條件下，透過比較執行節能改善工程前後所的耗能量而認定。第三節將分別針對本案例之改善設備，即照明、空調、熱水系統等之節能績效量測與驗證進行說明，由於能源價格並非固定，因此在進行量測與驗證前須先約定能源價格；電價會依不同時段(如六月到九月為夏月，其餘為非夏月)、用電度數多寡而有不同的計費方式，因此在此根據案例民宿夏月及非夏月之耗電平均價格來進行計算。夏月價格以 4.505 元計，非夏月價格以 3.095 元計。

三、節能效益分析

經由上節計算後可供整棟民宿作為節能改善前後效益評估基準，衡量將整棟民宿都進行節能改善之效益。民宿照明系統經迴歸分析後得到改善前後每月耗電數據、節能效益如表 2 所示。

表 2 照明系統改善前後耗能效益

	改善前(基準)	改善後
非夏季耗電度數(kWh/年)	1,435	1,152
夏季耗電度數(kWh/年)	3,536	2,828
民宿能源費用(元/年)	\$20,373	\$16,308
電力公司發電成本(元/年)	\$12,131	\$4,065
節能量(kWh)	991	
民宿節能金額(元/年)	\$4,065	
電力公司減少虧損(元/年)	\$8,066	
節約率(%)	19.93	

案例空調系統經迴歸分析後得到改善前後之耗能數據及節能效益分別如表 3 所示。

表 3 空調系統改善前後耗能效益

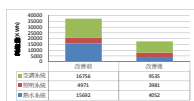
	改善前(基準)	改善後
非夏季耗電度數(kWh/年)	1,529	925
夏季耗電度數(kWh/年)	15,227	8610
民宿能源費用(元/年)	\$73,332	\$41,651
電力公司發電成本(元/年)	\$88,402	\$31,681
節能量(kWh)	7,221	
民宿節能金額(元/年)	\$31,681	
電力公司減少虧損(元/年)	\$56,721	
節約率(%)	43.10	

民宿熱水系統改善前後每月耗電數據、節能效益如表 4 所示。

表 4 熱水系統改善前後耗能效益

	改善前(基準)	改善後
非夏季耗電度數(kWh/年)	4,050	1,046
夏季耗電度數(kWh/年)	11,642	3,006
民宿能源費用(元/年)	\$4,150	\$1,071
電力公司發電成本(元/年)	\$142,501	\$48,203
節能量(kWh)	11,640	
民宿節能金額(元/年)	\$48,203	
電力公司減少虧損(元/年)	\$94,297	
節約率(%)	74.18	

此外，也可藉此分析出整棟民宿改善前後主要耗能設備之耗能度數及比例，如圖 1 所示。



23%

54%

23%

圖 1 民宿改善前後主要耗能設備之耗能度數及比例比較

參、節能商業模式案例分析

本章將考慮各種角度與多重因素後選擇較適當的執行模式，並探討回收年限 (Payback Period, PP)、投資報酬率 (return of investment, ROI) 等。不同的方案會有不同的成本與利潤而有不同的投資報酬率，所以投資報酬率為評估投資計畫是否可行的一項重要指標，故投資報酬率是利益與所需投資成本的一種關係，如式(1)所示。

$$ROI = \frac{\text{淨利}}{\text{投資額}} \quad (1)$$

本章將利用前章所推算之節能改善前後耗電量，探討整棟民宿都進行節能改善的情況下，節能分享型與節能量保證型兩種節能績效模式下的工程收益分析。

一、投資成本

整棟民宿都進行節能改善工程的情況下，除了實際購買節能設備的成本外，還須納入施工與安裝之費用，且離島地區的運費需自行負擔，尚須加入運輸節能設備至離島民宿之費用，因此本研究參考專家建議，以總購買成本的 10% 作為施工、安裝維護及運輸費用。另外，本研究也考量包括人事費用等管銷成本，參考專家意見後以總購買成本及施工、安裝維護與運輸費用加總的 10% 列為管銷成本。此外，由於案例民宿改善前所使用的冷氣僅使用 2 年多，可將其進行折舊，每台冷氣折舊可獲得 \$10,000 元，因此 25 台舊冷氣折舊可獲得 \$250,000 元。綜合上述成本計算，本研究之初期總投資成本為 \$917,650.00 元。

二、節能效益分享型之收益分析

案例民宿在節能效益分享型模式下進行節能改善專案時，電力公司在專案進行過程中不必支出任何成本費用，所需耗用的所有資金全由能源技術服務公司提供，包括節能設備的購買、運輸、安裝與熱水系統的維護等費用，此外，能源技術服務公司也須在節能績效

保證契約之中訂定專案的節能指標、量測驗證方式與基準線的建立方式。於契約實施的 7 年期內，民宿業者節省的能源費用與電力公司所減少的發電成本都歸能源技術服務公司所有。而在專案結束後，電力公司才可獲得所減少的發電成本，未來台灣若開始推動碳交易也可增加碳權等節能效益；民宿業主則是減少能源費用的支出。

因能源技術服務公司可能同時投資多項節能專案，所需的龐大投資成本將使能源技術服務公司需向銀行貸款融資以協助專案的實施，本研究採保守估計方式，將能源技術服務公司進行民宿節能專案時所需的投資成本設為全額向銀行貸款，銀行貸款利息則依據中央銀行 100 年 7 月之擔保放款融通利率，將源技術服務公司之融資貸款利率訂為 2.25%。

為便於節能效益分享型的節能效益計算，在此利用數學符號來假設呈現，首先，定義融資貸款利率為 r ，當 $Z_{1,n-1} < 0$ 時能源技術服務公司須負擔借貸利息；若 $Z_{1,n-1} \geq 0$ 時則無需負擔貸款利息，表示方式如式(2)所示。

$$\begin{cases} r = 0.0225 & \text{if } Z_{1,n-1} < 0, n = 1, 2, \dots, 7 \\ r = 0 & \text{if } Z_{1,n-1} \geq 0, n = 1, 2, \dots, 7 \end{cases} \quad (2)$$

舊冷氣折舊可以獲取折舊收入，在此令 D_n 為折舊；在節能收益方面，定義 X_n 為電力公司在第 n 年所減少之發電虧損， P_n 為案例民宿在第 n 年所減少之耗電成本；在成本方面，令 $Z_{1,n}$ 為能源技術服務公司在專案期間第 n 年之總收益，以 C_n 表示第 n 年的節能設備建置成本，而 M_n 為第 n 年節能設備之維護費用。因此，在節能效益分享型模式中，源技術服務公司的總收益可由式(3)表示。

$$\begin{cases} Z_{1,0} = -C_0 + D_n \\ Z_{1,n} = Z_{1,n-1} + X_n + P_n + D_n - C_n - M_n - r(-Z_{1,n-1}) \end{cases} \quad (3)$$

最後，將 $R_{1,n}$ 定義為能源技術服務公司在節能效益分享型下，於第 n 年之投資報酬率以式(4)所示。

$$R_{1,n} = \frac{Z_{1,n}}{\sum_0^n [r(-Z_{1,n-1}) + C_n + M_n]} \quad (4)$$

照明系統所需之回收年限與投資報酬率如表 5 所示，能源技術服務公司在第五年可回收且於第七年擁有 43% 之投資報酬率。而空調系統之回收年限與投資報酬率如表 6 所示，由於空調系統之改善工程除了講冷氣汰換為變頻分離式冷氣機外，尚搭配電能管理系統才能達到相對較佳的節能率，使其投資成本非常高，導致能源技術服務公司在七年內無法回收投資成本。最後，熱水系統之回收年限與投資報酬率如表 7 所示，其擁有高報酬率與短回收年限之節能效益，能源技術服務公司在第一年即可回收，且擁有 14% 之投資報酬率，在第七年時投資報酬率更可達到 711%。綜合所有節能設備之節能效益，如表 8 所示，能源技術服務公司可在第五年回收，且擁有 26% 之投資報酬率，第七年時投資報酬率可達到

78%，整體看來此乃為值得投資之節能專案。

表 5 ESCO 在節能效益分享型模式下之照明系統效益分析表

年	(A)ESCO 之節能收益(元)	(B)建置成本(元)	(C)總收益(元)	(D)投資報酬率(%)
0	-	-\$58,080.00	-\$58,080.00	-
1	\$12,130.84	\$0	-\$47,255.96	-80%
2	\$12,130.84	\$0	-\$35,243.27	-58%
3	\$12,130.84	\$0	-\$23,200.54	-38%
4	\$12,130.84	\$0	-\$11,127.70	-18%
5	\$12,130.84	\$0	\$975.32	2%
6	\$12,130.84	\$0	\$13,106.15	21%
7	\$12,130.84	\$0	\$25,236.99	41%

註：1.期初總收益(C)=建置成本(B)

2.若上一期總收益為負：該期的總收益(C)=上一期的總收益(C)+該期的[(A)+(B)]+上一期的總收益(C)×融資利率

3.若上一期總收益為正：該期的總收益(C)=上一期的總收益(C)+該期的[(A)+(B)]

4.投資報酬率(D)=-此期的總收益(C)/第0期到該期的建置成本(B)

表 6 ESCO 在節能效益分享型模式下之空調系統效益分析表

年	(A)ESCO 之節能收益(元)	(B)建置成本(元)	(C)折舊(元)	(D)總收益(元)	(E)投資報酬率(%)
0	-	-\$98,8570.00	\$250,000.00	-\$738,570.00	-
1	\$88,401.62	\$0	\$0	-\$666,786.20	-66%
2	\$88,401.62	\$0	\$0	-\$593,387.27	-58%
3	\$88,401.62	\$0	\$0	-\$518,336.87	-50%
4	\$88,401.62	\$0	\$0	-\$441,597.83	-42%
5	\$88,401.62	\$0	\$0	-\$363,132.16	-34%
6	\$88,401.62	\$0	\$0	-\$282,901.01	-27%
7	\$88,401.62	\$0	\$0	-\$200,864.66	-19%

註：1.期初總收益(D)=建置成本(B)+折舊(C)

2.若上一期總收益為負：該期的總收益(D)=上一期的總收益(D)+該期的[(A)+(B)+(C)]+上一期的總收益(D)×融資利率

3.若上一期的總收益為正：該期的總收益(D)=上一期的總收益(D)+該期的[(A)+(B)+(C)]

4.投資報酬率(E)=-此期的總收益(D)/第0期到該期的建置成本(B)

表 7 ESCO 在節能效益分享型模式下之熱水系統效益分析表

年	(A)ESCO 之節能收益	(B)建置成本(元)	(C)維護費(元)	(D)總收益(元)	(E)投資報酬率(%)
0	-	-\$121,000.00	-	-\$121,000.00	-
1	\$142,500.57	\$0	-\$2000	\$16,778.07	13%
2	\$142,500.57	\$0	-\$2000	\$157,278.64	123%
3	\$142,500.57	\$0	-\$2000	\$297,779.21	230%
4	\$142,500.57	\$0	-\$2000	\$438,279.79	333%
5	\$142,500.57	\$0	-\$2000	\$578,780.36	433%
6	\$142,500.57	\$0	-\$2000	\$719,280.93	530%
7	\$142,500.57	\$0	-\$2000	\$859,781.50	624%

註：1.期初總收益(D)=建置成本(B)

2.若上一期總收益為負：該期的總收益(D)=上一期的總收益(D)+該期的[(A)+(B)+(C)]+上一期的總收益

(D)×融資利率

3.若上一期的總收益為正：該期的總收益(D)=上一期的總收益(D)+該期的[(A)+(B)+(C)]

4.投資報酬率(E)=-此期的總收益(D)/第0期到該期的建置成本(B)

表 8 ESCO 在節能效益分享型模式下之效益分析表

年	(A)ESCO 之節能收益	(B)建置成本(元)	(C)折舊(元)	(D)維護費(元)	(E)總收益(元)	(F)投資報酬率(%)
0	-	-\$1,167,650.00	\$250,000.00	-	-\$917,650.00	-
1	\$243,033.03	\$0	\$0	-\$2,000.00	-\$697,264.10	-74%
2	\$243,033.03	\$0	\$0	-\$2,000.00	-\$471,919.51	-49%
3	\$243,033.03	\$0	\$0	-\$2,000.00	-\$241,504.67	-25%
4	\$243,033.03	\$0	\$0	-\$2,000.00	-\$5,905.50	-1%
5	\$243,033.03	\$0	\$0	-\$2,000.00	\$234,994.66	24%
6	\$243,033.03	\$0	\$0	-\$2,000.00	\$476,027.69	48%
7	\$243,033.03	\$0	\$0	-\$2,000.00	\$717,060.72	73%

註：1.期初總收益(E)=建置成本(B)+折舊(C)

2.若上一期總收益為負：該期的總收益(E)=上一期的總收益(E)+該期的[(A)+(B)+(C)+(D)]+上一期的總收益(E)×融資利率

3.若上一期的總收益為正：該期的總收益(E)=上一期的總收益(E)+該期的[(A)+(B)+(C)+(D)]

4.投資報酬率(F)=-此期的總收益(E)/第0期到該期的[(B)+(C)]

三、節能量保證型之收益分析

案例民宿在節能量保證型模式下進行節能改善專案時，所需耗用的所有資金由能源技術服務公司與電力公司雙方依照約定比例出資，包括節能設備的購買、運輸、安裝與熱水系統的維護等費用，在此將能源技術服務公司出資比例訂為 k ， $0 \leq k \leq 1$ ；因此，電力公司出資比即為 $(1-k)$ 。並由能源技術服務公司在節能績效保證契約之中訂定專案的節能指標、量測驗證方式與基準線的建立方式。在專案期間，能源技術服務公司與電力公司即依雙方出資比例分享民宿業主節省的能源費用與電力公司所減少的發電成本等節能效益，電力公司在第 n 年的節能收益以 $Z_{2,n}$ 表示。與節能效益分享型相同的是，在專案結束後，電力公司可獲得減少發電成本，而未來台灣若開始推動碳交易也可增加碳權等節能效益；民宿業主則是減少能源費用的支出。

依審計機關審核公私合營事業辦法規定，公有營事業機關與私營事業合作時，其投資之資本額未超過該事業資本之 50% 才為公私合營事業，因此本研究分別探討能源技術服務公司投入 90%、電力公司投入 10% 與能源技術服務公司投入 51%、電力公司投入 49% 這兩種情境，分析能源技術服務公司與電力公司在節能量保證型下之節能收益。

因此，在節能量保證型模式中，源技術服務公司的總收益及投資報酬率分別可由式(5)與式(6)表示。

$$\begin{cases} Z_{1,0} = k \times (-C_0 + D_n) \\ Z_{1,n} = Z_{1,n-1} + k (X_n + D_n + P_n - C_n) - M_n - r(-Z_{1,n-1}) \end{cases} \quad (5)$$

$$R_{1,n} = \frac{Z_{1,n}}{\sum_0^n [r(-Z_{1,n-1}) + C_n + M_n]} \quad (6)$$

而電力公司每年之的總收益及投資報酬率分別可由式(7)與式(8)表示。

$$\begin{cases} Z_{2,0} = (1-k)(-C_0 + D_0) \\ Z_{2,n} = Z_{2,n-1} + (1-k)(X_n + D_n + P_n - C_n) \end{cases} \quad (7)$$

$$R_{2,n} = \frac{Z_{2,n}}{\sum_0^n C_n} \quad (8)$$

照明系統在能源技術服務公司投入比例為 90%、電力公司投入比例為 10%的情況下，能源技術服務公司照明系統之回收年限為六年，第七年投資報酬率可達到 37%，如表 9 所示；而電力公司之回收年限為五年，且第七年投資報酬率可達到 46%，如表 10 所示。在能源技術服務公司投入比例為 51%、電力公司投入比例為 49%的情況下，能源技術服務公司之照明系統回收年限與投入 90%同為六年，第七年投資報酬率為 37%，如表 11 所示；而電力公司回收年限為五年，第七年投資報酬率為 46%，如表 12 所示。

表 9 節能量保證型模式下，ESCO 投入 90% 情境下照明系統之效益分析表

年	(A)ESCO 所分配到之節能收益(元)	(B)建置成本(元)	(C)總收益(元)	(D)投資報酬率(%)
0	-	-\$52,272.00	-\$52,272.00	-
1	\$10,917.75	\$0	-\$42,530.37	-80%
2	\$10,917.75	\$0	-\$32,569.55	-60%
3	\$10,917.75	\$0	-\$22,384.61	-41%
4	\$10,917.75	\$0	-\$11,970.51	-22%
5	\$10,917.75	\$0	-\$1,322.09	-2%
6	\$10,917.75	\$0	\$9,565.92	17%
7	\$10,917.75	\$0	\$20,483.67	37%

註：1. 期初總收益(C)=建置成本(B)

2. 若上一期總收益為負：該期的總收益(C)=上一期的總收益(C)+該期的[(A)+(B)]+上一期的總收益(C)×融資利率

3. 若上一期總收益為正：該期的總收益(C)=上一期的總收益(C)+該期的[(A)+(B)]

4. 投資報酬率(D)=-此期的總收益(C)/第 0 期到該期的建置成本(B)

表 10 節能量保證型模式下，電力公司投入 10% 情境下照明系統之效益分析表

年	(A)電力公司所分配到之收益(元)	(B)建置成本(元)	(C)總收益(元)	(D)投資報酬率(%)
0	-	-\$5,808.00	-\$5,808.00	-
1	\$1,213.08	\$0	-\$4,594.92	-79%
2	\$1,213.08	\$0	-\$3,381.83	-58%
3	\$1,213.08	\$0	-\$2,168.75	-37%
4	\$1,213.08	\$0	-\$955.67	-16%
5	\$1,213.08	\$0	\$257.42	4%
6	\$1,213.08	\$0	\$1,470.50	25%
7	\$1,213.08	\$0	\$2,683.59	46%

註：1. 期初總收益(C)=期初建置成本(B)

2. 下一期的總收益(C)=上一期的總收益(C)+下一期的[(A)+(B)]

3. 投資報酬率(D)=-此期總收益(C)/第 0 期到該期的建置成本(B)

表 11 節能量保證型模式下，ESCO 投入 51% 情境下照明系統之效益分析表

年	(A)ESCO 所分配到之節能收益	(B)建置成本(元)	(C)總收益(元)	(E)投資報酬率(%)
0	-	-\$29,620.80	-\$29,620.80	-
1	\$6,186.73	\$0	-\$24,100.54	-80%
2	\$6,186.73	\$0	-\$18,456.08	-60%
3	\$6,186.73	\$0	-\$12,684.61	-41%
4	\$6,186.73	\$0	-\$6,783.29	-22%
5	\$6,186.73	\$0	-\$749.18	-3%
6	\$6,186.73	\$0	\$5,420.69	17%
7	\$6,186.73	\$0	\$11,607.41	37%

表 12 節能量保證型模式下，電力公司投入 49% 情境下照明系統之效益分析表

年	(A)電力公司所分配到之收益(元)	(B)建置成本(元)	(C)總收益(元)	(D)投資報酬率(%)
0	-	-\$28,459.20	-\$28,459.20	-
1	\$5,944.11	\$0	-\$22,515.09	-79%
2	\$5,944.11	\$0	-\$16,570.98	-58%
3	\$5,944.11	\$0	-\$10,626.87	-37%
4	\$5,944.11	\$0	-\$4,682.76	-16%
5	\$5,944.11	\$0	\$1,261.35	4%
6	\$5,944.11	\$0	\$7,205.46	25%
7	\$5,944.11	\$0	\$13,149.57	46%

空調系統無論在能源技術服務公司投入比例為 90%、電力公司投入比例為 10%，抑或在能源技術服務公司投入比例為 51%、電力公司投入比例為 49% 的情況下，能源技術服務公司與電力公司所投入之成本皆無法在七年的專案期限內回收，如表 13 至表 14 所示。

表 13 節能量保證型模式下，ESCO 投入 90% 情境下空調系統之效益分析表

C	(A)ESCO 所分配到之節能收益	(B)建置成本(元)	(C)折舊(元)	(D)總收益(元)	(E)投資報酬率(%)
0	-	-\$889,713.00	\$225,000.00	-\$664,713.00	-
1	\$79,561.46	\$0	\$0	-\$600,107.58	-66%
2	\$79,561.46	\$0	\$0	-\$534,048.55	-58%
3	\$79,561.46	\$0	\$0	-\$466,503.18	-50%
4	\$79,561.46	\$0	\$0	-\$397,438.04	-42%
5	\$79,561.46	\$0	\$0	-\$326,818.94	-34%
6	\$79,561.46	\$0	\$0	-\$254,610.91	-27%
7	\$79,561.46	\$0	\$0	-\$180,778.20	-19%

註：1. 期初總收益(D)=建置成本(B)+折舊(C)

2. 若上一期總收益為負：該期的總收益(D)=上一期的總收益(D)+該期的[(A)+(B)+(C)]+上一期的總收益(D)×融資利率

3. 若上一期總收益為正：該期的總收益(D)=上一期的總收益(D)+該期的[(A)+(B)+(C)]

4. 投資報酬率(E)=-此期的總收益(D)/第 0 期到該期的建置成本(B)

表 14 節能量保證型模式下，電力公司投入 10% 情境下空調系統之效益分析表

年	(A)電力公司所分配到之收益	(B)建置成本(元)	(C)折舊(元)	(D)總收益(元)	(E)投資報酬率(%)
0	-	-\$98,857.00	\$25,000.00	-\$73,857.00	-
1	\$8,840.16	\$0	\$0	-\$65,016.84	-88%
2	\$8,840.16	\$0	\$0	-\$56,176.68	-76%
3	\$8,840.16	\$0	\$0	-\$47,336.51	-64%
4	\$8,840.16	\$0	\$0	-\$38,496.35	-52%
5	\$8,840.16	\$0	\$0	-\$29,656.19	-40%
6	\$8,840.16	\$0	\$0	-\$20,816.03	-28%
7	\$8,840.16	\$0	\$0	-\$11,975.87	-16%

註：1. 期初總收益(D)=建置成本(B)+折舊(C)

2. 該期的總收益(D)=上一期的總收益(D)+該期的[(A)+(B)+(C)]

3. 投資報酬率(E)=-此期的總收益(D)/第 0 期到該期的建置成本(B)

熱水系統在能源技術服務公司投入比例為 90%、電力公司投入比例為 10%的情況下，能源技術服務公司在第一年即可將所投入之成本回收，且投資報酬率為 13%，第七年投資報酬率更可達到 616%，如表 15 所示；而電力公司所投入之成本也可在一年內回收，並擁有 18%之投資報酬率，第七年投資報酬率更可高達 724%，如表 16 所示。在能源技術服務公司投入比例為 51%、電力公司投入比例為 49%的情況下，能源技術服務公司之熱水系統回收年限與投入 90%相同，僅需一年即可將投入之成本回收，在第七年投資報酬率可達到 560%，如表 17 所示；而電力公司所投入之成本也僅需一年即可回收，在第七年投資報酬率也為 724%，如表 18 所示。

表 15 節能量保證型模式下，ESCO 投入 90% 情境下熱水系統之效益分析

C	(A)ESCO 所分配到之節能收益	(B)建置成本(元)	(C)維護費(元)	(D)總收益(元)	(E)投資報酬率(%)
0	-	-\$108,900.00	-	-\$108,900.00	-
1	\$128,250.51	\$0	-\$2000.00	\$14,900.26	13%
2	\$128,250.51	\$0	-\$2000.00	\$141,150.78	122%
3	\$128,250.51	\$0	-\$2000.00	\$267,401.29	228%
4	\$128,250.51	\$0	-\$2000.00	\$393,651.81	330%
5	\$128,250.51	\$0	-\$2000.00	\$519,902.32	428%
6	\$128,250.51	\$0	-\$2000.00	\$646,152.84	524%
7	\$128,250.51	\$0	-\$2000.00	\$772,403.35	616%

註：1. 期初總收益(D)=建置成本(B)

2. 若上一期總收益為負：該期的總收益(D)=上一期的總收益(D)+該期的[(A)+(B)+(C)]+上一期的總收益(D)×融資利率

3. 若上一期的總收益為正：該期的總收益(D)=上一期的總收益(D)+該期的[(A)+(B)+(C)]

4. 投資報酬率(E)=-此期的總收益(D)/第 0 期到該期的建置成本(B)

表 16 節能量保證型模式下，電力公司投入 10% 情境下熱水系統之效益分析表

C	(A)電力公司所分配到之收益(元)	(B)建置成本(元)	(C)總收益(元)	(D)投資報酬率(%)
0	-	-\$12,100.00	-\$12,100.00	-
1	\$14,250.06	\$0	\$2,150.06	18%
2	\$14,250.06	\$0	\$16,400.11	136%
3	\$14,250.06	\$0	\$30,650.17	253%
4	\$14,250.06	\$0	\$44,900.23	371%
5	\$14,250.06	\$0	\$59,150.29	489%
6	\$14,250.06	\$0	\$73,400.34	607%
7	\$14,250.06	\$0	\$87,650.40	724%

註：1. 期初總收益(C)=建置成本(B)

2. 該期的總收益(C)=上一期的總收益(C)+該期的[(A)+(B)]

3. 投資報酬率(D)=-此期的總收益(C)/第 0 期到該期的建置成本(B)

表 17 節能量保證型模式下，ESCO 投入 51% 情境下熱水系統之效益分析表

C	(A)ESCO 所分配到之節能收益	(B)建置成本(元)	(C)維護費(元)	(D)總收益(元)	(E)投資報酬率(%)
0	-	-\$61,710.00	-	-\$61,710.00	-
1	\$72,675.29	\$0		\$7,576.82	12%
2	\$72,675.29	\$0		\$78,252.11	117%
3	\$72,675.29	\$0		\$148,927.40	216%
4	\$72,675.29	\$0		\$219,602.69	309%
5	\$72,675.29	\$0		\$290,277.98	397%
6	\$72,675.29	\$0		\$360,953.27	481%
7	\$72,675.29	\$0		\$431,628.57	560%

表 18 節能量保證型模式下，電力公司投入 49% 情境下熱水系統之效益分析表

C	(A)電力公司所分配到之收益(元)	(B)建置成本(元)	(C)總收益(元)	(D)投資報酬率(%)
0	-	-\$59,290.00	-\$59,290.00	-
1	\$69,825.28	\$0	\$10,535.28	18%
2	\$69,825.28	\$0	\$80,360.56	136%
3	\$69,825.28	\$0	\$150,185.84	253%
4	\$69,825.28	\$0	\$220,011.12	371%
5	\$69,825.28	\$0	\$289,836.40	489%
6	\$69,825.28	\$0	\$359,661.68	607%
7	\$69,825.28	\$0	\$429,486.96	724%

綜合所有節能設備之節能效益，在能源技術服務公司投入比例為 90%、電力公司投入比例為 10% 的情況下，能源技術服務公司所投資的成本回收年限為五年，且可獲得 19% 之投資報酬率，在第七年之投資報酬率為 58%，如表 19 所示；而電力公司在第四年時可將所投入之成本回收，其投資報酬率為 6%，在第七年投資報酬率更可達到 85%，如表 20 所示；在能源技術服務公司投入比例為 51%、電力公司投入比例為 49% 的情況下，能源技術服務公司所投資之所有成本回收年限為五年，且可獲得 18% 之投資報酬率，在第七年之投資報酬率為 56%，如表 21 所示，而電力公司的回收年限與投資報酬率與投入 10% 的方案相同，可在第四年時將所投入之成本回收，第七年投資報酬率為 85%，如表 22 所示。

表 19 節能量保證型模式下，ESCO 投入 90% 情境下之效益分析表

年	(A)ESCO 所分配到之節能收益(元)	(B)建置成本(元)	(C)折舊(元)	(D)維護費(元)	(E)總收益(元)	(F)投資報酬率(%)
0	-	-\$1,050,885.00	\$225,000.00	-	-\$825,885.00	-
1	\$218,729.73	\$0	\$0	-\$2000.00	-627737.6864	-59%
2	\$218,729.73	\$0	\$0	-\$2000.00	-425132.0582	-39%
3	\$218,729.73	\$0	\$0	-\$2000.00	-217967.8034	-20%
4	\$218,729.73	\$0	\$0	-\$2000.00	-6142.352898	-1%
5	\$218,729.73	\$0	\$0	-\$2000.00	210449.1703	19%
6	\$218,729.73	\$0	\$0	-\$2000.00	427178.8964	38%
7	\$218,729.73	\$0	\$0	-\$2000.00	643908.6225	58%

註：1. 期初總收益(E) = 建置成本(B) + 折舊(C)

2. 若上一期總收益為負：該期的總收益(E) = 上一期的總收益(E) + 該期的[(A)+(B)+(C)+(D)] + 上一期的總

收益(E)×融資利率

3.若上一期的總收益為正：該期的總收益(E)=上一期的總收益(E)+該期的[(A)+(B)+(C)+(D)]

4.投資報酬率(F)=-此期的總收益(E)/第0期到該期的[(B)+(C)]

表 20 節能量保證型模式下，電力公司投入 10% 情境下之效益分析表

年	(A)電力公司所分配到之收益	(B)建置成本(元)	(C)折舊收入(元)	(D)總收益(元)	(E)投資報酬率(%)
0	-	-\$125,235.00	\$25,000.00	-\$91,765.00	-
1	\$24,303.30	\$0	\$0	-67461.6971	-74%
2	\$24,303.30	\$0	\$0	-43158.3942	-47%
3	\$24,303.30	\$0	\$0	-18855.0913	-21%
4	\$24,303.30	\$0	\$0	5448.211604	6%
5	\$24,303.30	\$0	\$0	29751.5145	32%
6	\$24,303.30	\$0	\$0	54054.81741	59%
7	\$24,303.30	\$0	\$0	78358.12031	85%

註：1.期初總收益(E)=建置成本(B)+折舊(C)

2.該期的總收益(D)=上一期的總收益(D)+該期的[(A)+(B)+(C)]

3.投資報酬率(E)=-此期的總收益(D)/第0期到該期的[(B)+(C)]

表 21 節能量保證型模式下，ESCO 投入 51% 情境下之效益分析表

年	(A)ESCO 所分配到之 節能收益(元)	(B)建置成本(元)	(C)折舊收入(元)	(D)維護費(元)	(E)總收益(元)	(F)投資報酬率(%)
0	-	-\$595,501.50	\$127,500.00	-	-\$468,001.50	-
1	\$123,946.84	\$0	\$0	-\$2000.00	-356584.689	-59%
2	\$123,946.84	\$0	\$0	-\$2000.00	-242660.9997	-39%
3	\$123,946.84	\$0	\$0	-\$2000.00	-126174.0274	-20%
4	\$123,946.84	\$0	\$0	-\$2000.00	-7066.098181	-1%
5	\$123,946.84	\$0	\$0	-\$2000.00	114721.7594	18%
6	\$123,946.84	\$0	\$0	-\$2000.00	236668.6042	37%
7	\$123,946.84	\$0	\$0	-\$2000.00	358615.449	56%

表 22 節能量保證型模式下，電力公司投入 49% 情境下之效益分析表

年	(A)電力公司所分配到之收益(元)	(B)建置成本(元)	(C)折舊收入(元)	(D)總收益(元)	(E)投資報酬率(%)
0	-	-\$572,148.50	\$122,500.00	-\$449,648.50	-
1	\$119,086.18	\$0	\$0	-330562.3158	-74%
2	\$119,086.18	\$0	\$0	-211476.1316	-47%
3	\$119,086.18	\$0	\$0	-92389.94736	-21%
4	\$119,086.18	\$0	\$0	26696.23686	6%
5	\$119,086.18	\$0	\$0	145782.4211	32%
6	\$119,086.18	\$0	\$0	264868.6053	59%
7	\$119,086.18	\$0	\$0	383954.7895	85%

伍、結論與建議

本研究探討離島民宿導入 ESCO 之案例分析，利用 IPMVP 選項 B 方法進行照明系統、空調系統節能績效量測與驗證，採用 Minitab 軟體進行迴歸模擬，結果與選項 A 相符，此項成果可作為量測與驗證手法參考。表 23 探討節能量分享型與節能量保證型兩種商業模式下之收益分析比較，說明各節能改善工程於不同的 ESCO 商業模式下，在七年期限內之收益、可回收成本的時間點及投資報酬率，無論是哪種商業模式，照明及熱水系統皆可讓能源服務公司與電力公司在七年的專案期間回收，而空調系統由於所需之建置成本太高，使雙方在各節能商業模式下皆無法於合約期限內回收，因此往後可以進一步研擬空調系統之改善方案。

表 23 各種節能商業模式下之效益分析

節能模式		七年總收益(元)	回收年	投資報酬率	
節能效益分享型	照明系統	\$25,237	5	41%	
	空調系統	-\$200,865	七年內無法回收	-19%	
	熱水系統	\$859,782	1	624%	
	整體	\$717,061	5	73%	
節能量保證型	ESCO (90%)	照明系統	\$20,484	6	37%
		空調系統	-\$180,778	七年內無法回收	-19%
		熱水系統	\$772,403	1	616%
		整體	\$643,909	5	58%
	電力公司(10%)	照明系統	\$2,684	5	46%
		空調系統	-\$11,976	七年內無法回收	-16%
		熱水系統	\$87,650	1	724%
		整體	\$78,358	4	85%
	ESCO (51%)	照明系統	\$11,607	6	37%
		空調系統	-\$102,441	七年內無法回收	-19%
		熱水系統	\$431,629	1	560%
		整體	\$358,615	5	56%
	電力公司(49%)	照明系統	\$13,150	5	46%
		空調系統	-\$58,682	七年內無法回收	-16%
		熱水系統	\$429,487	1	724%
		整體	\$383,955	4	85%

綜合所有改善工程來說，由本研究案例分析結果可得知當案例民宿採用節能效益分享型之節能模式，能源技術服務公司在第五年可將其成本回收。另外，當案例民宿採用節能量保證型之節能模式，不論投資比例多少，能源技術服務公司則均可在第五年回收，而電力公司則是在第四年時即可回收成本。

因此本研究於離島案例民宿導入能源技術服務模式的分析，無論選擇何種節能方案，能源技術服務公司都可藉其專業服務創造出節能效益；而電力公司也得以大量減少離島地區的發電虧損，因此，對能源技術服務公司與電力公司來說各方案都是值得合作推行的。ESCO 及電力公司可參考本研究的分析，評估以何種商業模式投入各項節能專案較為適當，藉以減少離島地區發電所帶來的虧損與減少能源之消耗，為地球環境保護盡一分心力，並達到國家社會永續發展的最終目標。

參考文獻

- AEPCA(2004). A Best Practice Guide to Measurement and Verification of Energy Savings, Australian Energy Performance Contracting Association, South Melbourne, Australia.
- Chen, S., Yoshino, H., Levine, M.D., Li, Z. (2009) “Contrastive analyses on annual energy consumption characteristics and the influence mechanism between new and old residential buildings in Shanghai, China, by the statistical methods,” *Energy and Buildings*, vol. 41, pp. 1347–1359.
- Efficiency Valuation Organization, International Performance Measurement and Verification Protocol, 2009.
- Fung, Y.H., Rao Tummala, V.M.(1993) “Forecasting of electricity consumption: a comparative analysis of regression and artificial network models,” *Proceedings of the 2nd International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management*, Hong Kong, vol.2, pp.782-787.
- Mozzo, M.A.(1999)Measurement and verification of savings in performance contracting, *Energy Engineering* 96, pp. 33–45.
- Kissock, J.K(1993). A Methodology to Measure Retrofit Energy Savings in Commercial Buildings.
- Kromer, S., Schiller, S.R. (2000) Measurement and verification protocols – M&V meets the competitive and environmental marketplaces, *Proceedings of the ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*, vol. 4, pp. 4227–4238.
- Kromer, K., Schiller, S. R. (2000) Measurement and verification protocols – M&V meets the competitive and environmental marketplaces, *Proceedings of the ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings* 4, pp. 4227–4238.
- Lee, A.H.W.(2000) Verification of electrical energy savings for lighting retrofits using short- and long-term monitoring, *Energy Conversion and Management* 41, pp. 1999–2008.M.A.
- Roosa, S.A.(2002)Measurement & verification applications: Option A case studies, *Energy Engineering* 99, pp. 57–73.