

智慧綠能農牧場創新營運模式之成本有效性分析： 經理人與全社會兩種觀點之比較

江約珥¹ 許志義² 陳宗薊^{3*}

摘 要

隨著2050年淨零碳排的目標在世界各國中逐漸成為共識，能源轉型議題成為了各國的首要之務。電力產業的主要供應者，由非再生能源為主的大型集中式電廠，須逐漸轉向朝著以再生能源為主，小型的分散式電源為主。而農牧業通常具有土地面積相對遼闊，建築物相對較大的特性，於是各國政府也積極推廣「農能共構」的概念，將綠色能源相關之設施系統導入於農牧業之場域中。

本研究以國立中興大學溪心壩農牧場為實證場域，發現超約罰金之情形嚴重，且其每日負載曲線呈現明顯尖、離峰差距極大的問題。以此為動機，本研究以成本有效性之方式，分別由農牧場經理人之觀點，以及全社會之觀點，分析農牧場在以下三種模擬情境下之各項成本和收益：情境一、分析未導入任何綠能設施，更改契約容量之效益；情境二、模擬導入小型綠能設施，分析是否具有成本有效性；情境三、模擬將實證場域打造為淨零能源智慧綠能農牧場(Net-Zero-Energy Smart Green Farm)，分析是否具有成本有效性。

研究結果顯示，不論是由全社會或是農牧場經理人之觀點，皆以模擬情境三，當農牧場建置337瓩太陽能板達成淨零碳排後，選擇不建置任何儲能櫃系統，並將所生產之綠電全部委由售電業者轉售，相較於其他任何可行方案，更加具有成本效益。此時，農牧場須選擇與台電訂定經常契約容量119瓩，並採用三段式時間電價，才可獲得最高之效益。

關鍵詞：智慧綠能農牧場，成本有效性分析，電力儲能系統，再生能源，分散式能源資源

1. 緒 論

牛津字典選擇以「氣候緊急(Climate Emergency)」作為2019年之年度關鍵字，足見近年來全世界對於氣候危機之重視。氣候緊急

係指「需要緊迫行動減輕或停止氣候變遷並避免因為氣候變遷所造成潛在不可逆的環境破壞」的情形(Oxford Languages, 2020)。為將全球氣溫之上升控制在攝氏1.5度之內的能源目標，在2050年之前，實現淨零碳排，業成世界

¹國立政治大學經濟研究所 碩士生

²國立臺北商業大學榮譽講座、中華大學產業創新學院暨企管系特聘教授、
國立中興大學智慧運輸發展中心兼任特聘研究員

³國立中興大學應用經濟學系 博士生

*通訊作者，電話：0919094444，電郵：d103034003@mail.nchu.edu.tw

收到日期: 2022年12月07日

修正日期: 2023年06月27日

接受日期: 2023年07月26日

之共識(IEA, 2021)。按聯合國糧食及農業組織(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)之估計，全球農牧業約佔整體碳排放量之18% (Todde *et al.*, 2018)。故而打造出更加永續經營的農、畜牧業，有效降低其碳排放量，已是各國政府積極面對的嚴肅課題。因應能源轉型以及淨零碳排之規劃，有效降低其對於灰色電力之需求量亦為降低農牧場碳排放量的有效辦法之一，故而各國政府也正積極推廣「農能共構」之營運模式。

近年來世界各國政府莫不積極協助其農民，在其農地上進行太陽光電系統之評估與建置，推動農能共構之推廣措施(易秉蓉，2019)。臺灣近年因應能源轉型之趨勢，以「農業為本、綠能加值」為政策主軸，推動以農漁民為主體，在不影響農漁業生產及農漁民權益下，採先試驗建立漁電共生之示範案場(經濟部能源局，2022a)。而隨著2050年淨零碳排之規劃，未來綠色能源在整體供電中的占比將會逐年成長。為提升整體供電品質、電力系統之靈活性及安全性，分散式能源資源與微電網即為電業發展推動重點，可降低集中式能源設施帶來的風險，避免個別發電端異常狀況影響整體電力供應(行政院環境保護署，2021)。

綜此，若能將畜、農、漁業之土地資源進行有效地利用，在各個農牧場導入智慧綠能系統，並開發為分散式能源資源，除了對於需求端(農牧場)而言，可供應自身電力之需求，降低本身碳排放量以及電費成本；對於電力供給端(台電)而言，更可提升電力系統之供電品質。

故此，本研究旨趣在於實際之案例(國立中興大學溪心壩農牧場)中，先以經理人觀點之成本有效性分析方法，探討導入智慧綠能系統及配套之創新營運模式後，對於案例農牧場所面臨電費成本管理不善的問題是否有所改善；

此外後以全社會觀點，導入因農牧場減少使用黑電，所帶來全社會之減碳效益，更進一步進行成本有效性之分析。兩觀點之差異，在於經理人觀點在於追求農牧場的利潤極大化，全社會觀點在於追求整體社會效益極大(包括但不限於減碳效益)；藉由模擬數據，觀察兩者是否衝突而不相容，抑或有出現誘因相容(Incentive Compatibility)之可能行存在。

為協助讀者易讀，特先敘明章節重點如次：首先，在緒論說明研究背景。其次是研究個案(溪心壩農牧場)在所面臨之問題及可能之解決方案。其三則說明成本有效性分析法及相關資料來源；其四，分以經理人觀點及全社會觀點進行成本有效性之分析，並對於碳價進行敏感度分析，觀察影響結果；最後提出結論與建議。

2. 個案研究

溪心壩農牧場，位於臺中市烏日區溪南路一段506巷360號，於1989年8月將原校本部內之畜牧場遷移至此。該農牧場為國立中興大學附屬之農畜產試驗所，為強化該校系學生現場之實務經驗並增廣學生見聞，以供其未來職場上應用之參考，逐步興建雞舍、水禽舍、乳牛舍、種豬舍、約五公頃之牧草地…等，成為一研究與教學兼用之農牧場，(國立中興大學農業試驗場，2022)。

本研究選定溪心壩農牧場作為實證場域，原因如下：

- 一、農牧場於電力需求方面，具典型之尖離峰負載，在模擬相關智慧綠能管理、需量管理時，具有「常態性」、「可模擬」、「可預測」之特性。
- 二、該農牧場身為國立中興大學附屬之畜產試驗所，不僅匯集各方之專業人才，且具有

教育之性質，方便本研究進行概念性驗證(Proof of Concept, POC)。且若能發展為成功之案例，甚至能幫助將綠能系統推廣至臺灣甚至是海外各地之農場中。

三、該農場目前仍有相當豐裕之空地和農舍屋頂，可供建置頗具規模之綠能設施系統。

四、溪心壩農場目前正發生明顯超出契約容量之情形，從而導致其極高的超約罰金成本，具有改善空間。為解決此問題所提出的數個解決方案，以及可選方案，其中數項具有綠能創新營運模式的導入機會。

五、尤其該實證場域，身為中興大學畜產試驗所，在臺灣農牧業中身負開創及引領之教育意涵。盼以本研究取得之創新成果，得以使智慧綠能科技在全臺灣甚至是世界範圍內，加深在校園及農場中的推廣及應用。

為了解農場有哪些可選之方案，需進一步分析農場之用電模式(基載/離峰設備、尖載設備，其使用概況與時段)。

圖1中，棕線下方描繪出農場每日典型之負載型態，橫軸對應一天的時間，由左至右為0:00~23:59；縱軸則為農場之用電需量(單位為kW)；由此圖可看出農場之用電模式：

1. 使用概況與時段：圖1中兩個藍色框框，對應農場晨昏時段(約為6時至8時、16時至18時)之用電需量高峰。棕線上方，則對應一天的時間，呈現溪心壩農場內，辦公室及牛舍所開啟之電器設備。
2. 基載/離峰設備主要為：冰箱、飲水機、洗衣機、生乳冰桶、牛舍風扇等。
3. 尖載設備，則主要為攪拌機、空壓機、榨乳機，當三種設備同時開啟，再加上基載持續運作之用電設備時，即造成每日兩個頗為明顯的尖峰負載。

2.1 農場用電模式之探討

2.1.1 契約容量

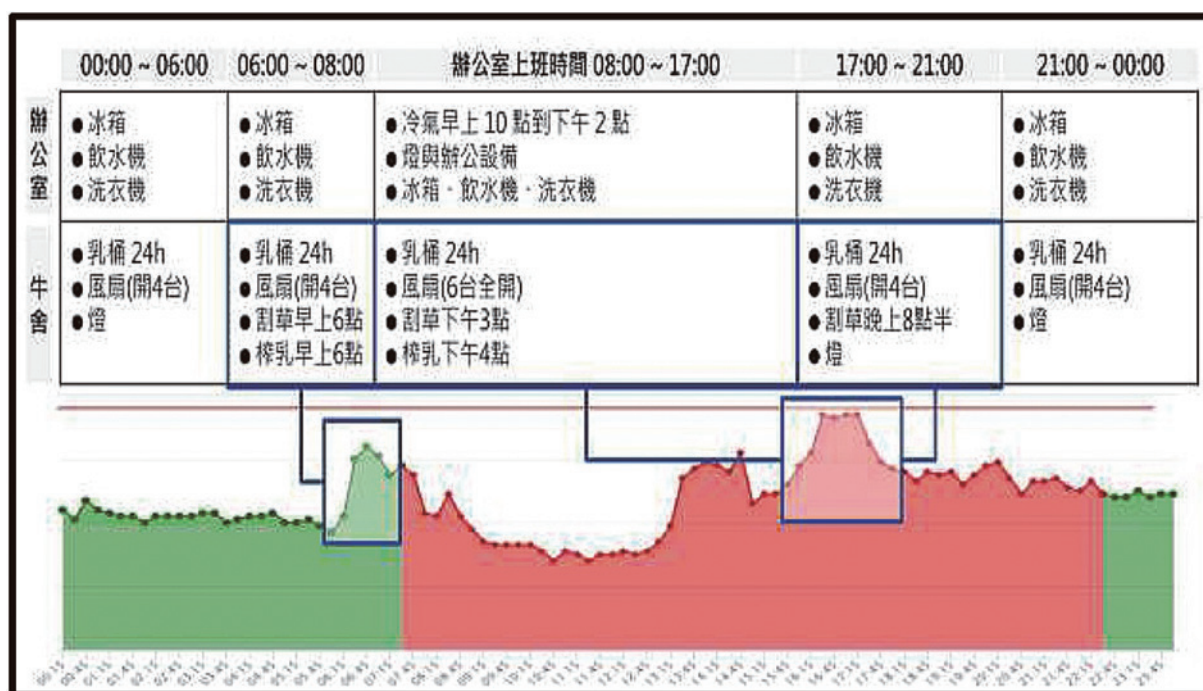


圖1 農場牛舍與辦公室之負載特性與用電設備

資料來源：溪心壩農場(2021)提供

台電公司按高壓用戶之收費標準向農牧場收取電費，主要分為基本電費和流動電費兩大部分：流動電費方面，按用戶用電度數而定，可按自身用電模式，選擇二段式或三段式時間電價，以達電費最小化。基本電費的部分，高壓電力用戶則可按其用電情況，對於台電公告之四種契約類型(經常契約、非夏月契約、週六半尖峰契約及離峰契約)，選擇訂定所需之容量，使其達到效益極大化(意即基本電費成本之最小化)；然而若該用戶某月之最高需量超過該契約容量，則須繳交相對應之罰金，按台電2021年所公告之電價表，其計算方式如下：超過原約定瓦數10%以內的部分需支付基本電費兩倍之罰金，而若超過原約定瓦數10%以上的部分則需支付基本電費三倍之罰金。故若契約容量訂定不慎，將造成電力用戶及高之超約罰金成本。

2.1.2 超約罰金

該農牧場訂定之契約容量為，經常契約容量76瓩、週六半尖峰契約容量28瓩；然而以2020年為例，該年度全年最高尖峰負載出現在9月30日，高達138瓩；而此種超約之情形在溪心壩農牧場的案例中時常發生，幾乎每個月皆有發生尖峰負載嚴重超約之情形，包括2020年7月最高尖峰負載高達137瓩、2020年8月最高尖峰負載高達126瓩…等。而2020年全年度契約容量之超約罰金總額則高達258,550元，當年度繳交給台電公司之總電費共約1,448,193元，光是超約罰金就佔了總電費之17.85%，據此，若能降低農牧場之超約罰金金額，應能減省可觀之用電成本。

2.2 針對超約罰金之三項解決方案

為了解決上述超約罰金之問題，本研究觀察農牧場之實際用電情形，以及農牧場2020年之平均需量(參考圖2)，發現農牧場用電模式之兩項特點：第一點，即農牧場之尖、離峰需量

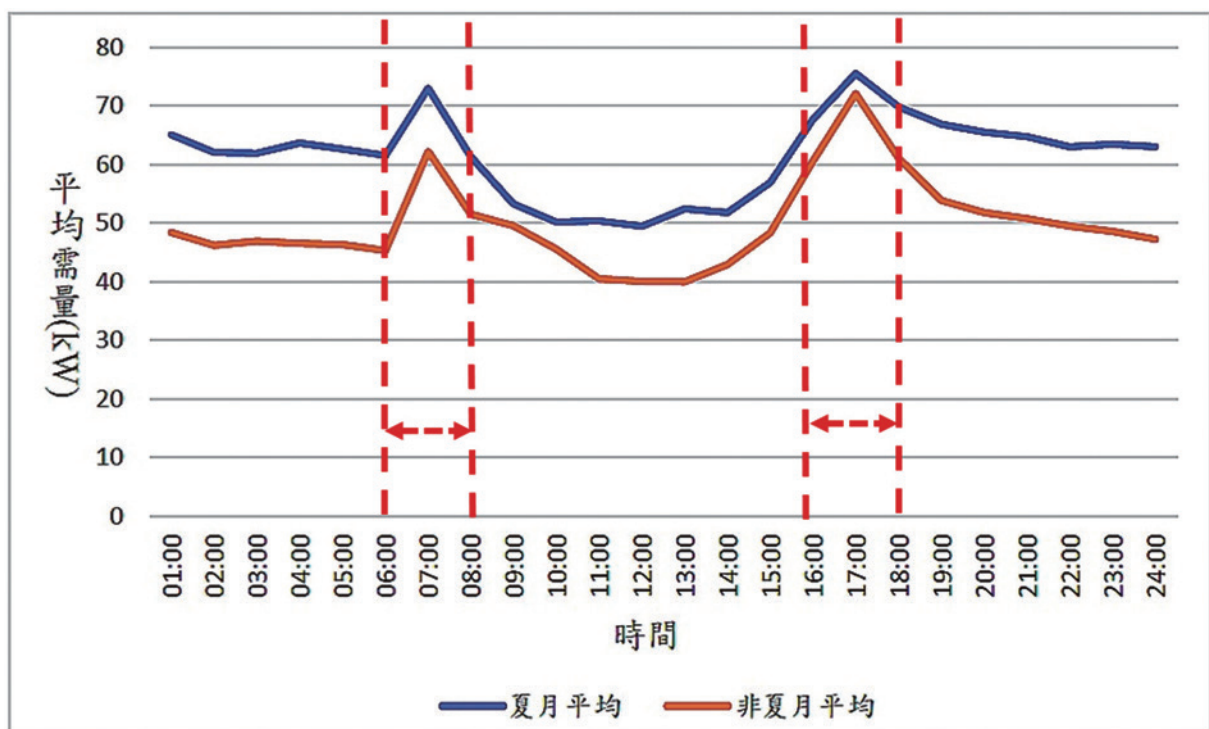


圖2 農牧場2020年平均需量圖

資料來源：溪心壩農場

差異極大，用電峰谷差異就高達20瓩~30瓩；第二點，每日負載曲線類似，約於每日晨昏兩時段(6時至8時、16時至18時)，密集使用特定設備，致有兩個明顯的尖峰負載之用電模式。

根據以上觀察，提出了以下三項解決方案：

一、解決方案(一)：改變用電模式

依此，若農場能改變自身用電模式，藉由轉移部分尖載設備之使用，至離峰時間再開啟，從而降低農場之尖峰需量，應能達成削峰填谷之作用。

二、解決方案(二)：調高契約容量

降低超約罰金最快的方法，便是訂定更高之契約容量，先行緩解在尖峰用電時之超約情形。

三、解決方案(三)：導入智慧綠能系統

藉由建置智慧綠能系統，有下列幾點優勢：

1. 降低農場尖峰需量的同時，減少其超約罰金和基本電費之成本；
2. 生產綠電供農場自用，亦可降低農場之流動電費。
3. 在台電訂定之離峰時間(當日22時至隔日7時，亦為農場離峰用電時段)，以最為便宜電費為儲能系統充電，並在農場尖峰用電時間進行放電，移轉農場之尖峰需量，減少基本電費和超約罰金之成本，達成削峰填谷作用。
4. 利用儲能系統離峰充電、尖峰放電，產生時間電價價差，降低流動電費。

值得注意的是，農場可以選擇一開始先建置小規模之智慧綠能系統，觀察是否符合其成本效益。若在實際應用中，確實能為農場提供效益，降低其電費成本，則農場值得考

慮逐步增加其綠能設施之規模，甚至最終達到淨零能源(Net-Zero-Energy)之目標。

2.3 解決方案之可行性以及模擬情境之設定

首先，有關解決方案(一)，當告知農場注意不要在尖峰用電時段同時開啟此三項設備時，農場方面卻回應，這三項設備是乳牛進行牛乳生產時之必要設備，而農場內，乳牛擠乳的時間，按其每日生理時間而定，並非農場經理人可自由掌控和調配的，這也是農場為何會有如此固定之晨昏尖峰時段，乃是配合乳牛生理時鐘，進行每天早晚各一次的擠乳作業。因此，改變用電模式並不可行。

其次，對於農場而言，解決方案(二)是可以立即採取行動的，只需和台電訂定新的契約容量即可，然而詳細之成本效益，仍需由成本有效性之分析才能得出結果。將此一方案定為「模擬情境一」。

最後，解決方案(三)，先導入少量的綠能設施系統是否可行？而後若是成為淨零能源之智慧農場，又是否可行？這兩點都無法通過現有資訊一眼看出可能的結果來，本研究於是將此方案下，二項替選方案定為本研究之「模擬情境二」及「模擬情境三」。

經濟部能源局(2016)提出相關智慧科技應用於電力系統中之價值，即電能管理與需量控制，而電能管理之目的，主要可分為兩項：減少流動電費(kWh)以及減少基本電費(kW)。故此，進一步按台電高壓用戶服務入口網站之試算分析，發現應當採取三段式時間電價代替原本的二段式時間電價，可進一步節省流動電費，故本研究於各模擬情境中，都分別模擬農場採取兩種時間電價之情形。

3. 研究方法與資料說明

3.1 國內外先進案例

近年來世界各國政府積極推動農能共構之鼓勵措施，例如：中國國務院於2016年推動光扶扶貧以及農光互補之扶貧方案；日本則推動農山漁村再生能源法，並以農林水產省地方農政局為中心，提供有意投入營農行太陽能發電之農民諮詢服務；美國農村能源方案則提供再生能源系統補助，幫助農民進行再生能源之評估與開發(易秉蓉，2019)。

Todde *et al.* (2018)分析義大利南部285間傳統乳牛場，在生產過程中，以電力方面每年約排放10.77噸二氧化碳和柴油方面每年約43.08噸二氧化碳排放為大宗。農牧業通常擁有較大的土地面積以及農舍屋頂等優勢，若能導入智慧綠能設施系統，進行農能共構，既有效降低其對於灰色電力之需求量，亦能有效降低農牧業之碳排放量。

實際上農業與太陽光電之間可以有互補的作用，而並非競爭對手：農能共構之措施，使高效的雙重土地利用成為可能：農民得以在同一塊土地上，同時生產馬鈴薯以及生產電力(Schindele, S. & Högy, P., 2017)。

德國狄美特農牧場(Demeter farm)即為農電共構之成功案例，在佔地三分之一公頃的試驗田上種植有機作物，並於正上方五公尺高的地方，建置720個太陽能光電模組，而每組光電系統間距則刻意放大，為了讓下方生長的農作物接收至少60%光合作用所需的陽光。通過這種方式，可以在同一塊土地上收穫電力和農產品。結果顯示，營運的前12個月，即產生了約245,666度(kWh)的電力。此外，與未裝設太陽能板之相同地區相比，農能共構下之作物產量僅較正常產量略低20%左右。總體而言，

以同樣的2公頃土地為例，相較於一公頃純作太陽光電發電使用、一公頃純作小麥生產之傳統土地利用方式；狄美特農牧場農能共構的模式下，雖然每公頃小麥和太陽光電的生產量都僅為傳統方式的80%，然而兩公頃農地收成的加總，土地利用的效率較傳統方式高了60%(Schindele, S. & Högy, P., 2017)。

在酪農業的部分，有鑑於能源是乳製品生產系統的關鍵投入和重要成本，且在乳牛養殖場域眾多之能源需求(包括可再生能源、不可再生能源和相關商業性之能源，諸如柴油、電力、化肥、灌溉用水和機械設備…等)中，化石能源乃是乳牛養殖作業中涉及的重要能源投入之一，比如飼料生產、運輸、儲存、加工及物流配送皆離不開灰色能源之投入。然而在當前世界趨勢下，化石燃料之資源越來越有限，因而須積極投入於新能源或再生能源之利用與開發，以替代燃料能源，為當前酪農業所面對刻不容緩之議題(Ilyas *et al.*, 2019)。

在智慧農業的發展之下，智慧綠能科技之應用，將可解決農牧業用電型態之相關問題，隨著近年來世界各國對於氣候危機之重視，關於如何與農牧場結合，發展農能共構之模式，國際上成功之案例也越來越多，顯見智慧綠能農牧場之概念已越來越受到國際之重視。

許志義等(2016)即以國立中興大學畜產試驗所為實證案例，對於所內配備屋頂型太陽能發電系統之牛舍和雞舍、移動式廢棄物熱電轉換設施、追日式太陽能發電系統以及溫式蘭花栽培場，進行成本效益之分析；此外，許志義與詹書瑋(2020)則針對多元智能永續校園建置計畫進行個案研究，針對案例校園之智慧照明管理、智慧用電管理、智慧場域服務，三項智慧節能系統進行成本效益之評估，並說明建置之情形。本研究發現兩篇文獻皆僅以實證場域已經導入之智慧系統進行分析，並未基於實證

場域之用電情形，進行可行情境之設定(比如分析建置更多的太陽能設備或是其他綠能設施之可行性)，導致分析之結果具有某種程度之侷限性。

故本研究以溪心壩農場之用電數據開始進行分析，判斷如何有效降低其電費成本，並且對症下藥，對於農場經理人之可行方案進行多樣化之設定，並且分別由經理人觀點和全社會之觀點進行經濟分析，使本研究之分析角度更加多元化，為本研究之一大創新特色。

3.2 成本效益分析與成本有效性分析之說明

一般在實際進行經濟分析時，柏拉圖效率(Pareto Efficiency)在決策評估扮演著重要角色。在生產過程中對於資源進行配置亦或是於消費過程中對於物品進行配置時，若是無法找到一替代決策，可以在使至少一個經濟個體境況較先前更好的同時不讓其他個體境況變糟，即稱此情形是「具有柏拉圖效率的(Pareto Efficient)」(Weimer, 2009)。而進行資源重分配時，若能使此經濟體中某個體境況較先前更好，同時不使其餘任何人境況變糟，則稱此行為作柏拉圖改善(Pareto Improvement)。(Weimer, 2009)

然而，柏拉圖改善往往描述的是潛在而非真實的效率增加。若是評估在某一資源重分配後所產生的效益將超出其所產生之成本，使這項資源重分配之替代方案將可能滿足上述有關於柏拉圖改善的條件，則稱此替代方案為一潛在之柏拉圖改善(Weimer, 2008)。然而，此方式在現實中難以被計算，因此將採用其餘的替代方式，如成本效益分析法(Cost-Benefit Analysis)或是成本有效性分析法(Cost-Effectiveness Analysis) (蕭代基等，2002)。成本效益分析是將計畫對社會產生的所有成本與效益均加以計

算。成本有效性分析則是僅計算計畫的實施成本及欲評估的效益項目之效果，選擇較低單位成本的政策(郭彥廉，2000)。

成本效益分析法即以貨幣作為衡量成本與效益之單位，藉以評估替選方案是否具潛在之柏拉圖改善(Weimer, 2009)。成本有效性分析的原則是「即使不知道所要達成目標之價值，但卻很清楚要以最低成本的方式達到該目標」。意即在資源有限的情形下，找出成本最小的選擇，或是在固定的成本下可獲得的最大產出之選擇。選擇計畫或決策之成本與效益計算是相當重要的，對於可量化之項目，可以用價格作為衡量之依據，譬如商品或是服務；在對於無法量化之項目，譬如像是人的生命、品質、自然環境或是很難具體說明因此計畫或是政策的受益，將能夠採用成本有效性分析法作為另一種輔以決策的工具(蕭代基等，2002)。

由於成本有效性分析方法，在評估選擇方案之過程中，係指最低成本，意即迴避成本(Avoided Cost)。換言之，即是在選擇另一個不同的替選方案時，所節省、迴避一部分原來基準方案之成本。而替代方案節省之成本項，換句話說，其係為成本之減項，即為替代方案之效益(許志義與黃國璋，2010)。以上相關之分析方法應用成本效益分析的概念，該效益並非替代方案對其他利害關係人產生之效益，其係指對自己本身，所節省成本之效益。

以本研究為例，對於實證案例之農場而言，其迴避之成本(例：所節省之電費)，即為成本有效性分析中相關成本項目之減項，遂將其認列為效益項目。值得注意的是，所認列之效益項目中，並非所有的項目計算的都是實證場域所直接獲得的收益，如前所述，亦有可能計算其所節省的相關成本。而該農場所建置綠能設施及系統之相關固定成本及變動成本等，則為成本有效性分析之成本加項。

本研究按照不同情境下，所認列之成本效益項目有所不同，採取兩種不同的研究方法：在模擬情境一中，由於所有效益項目均屬於「成本的減項」，並非農牧場所能真正獲得之收益，故此情境當屬成本有效性分析；然而，模擬情境二和三之中，存在部分效益項目屬於農牧場確實獲得之收益(例如：模擬情境二之綠電憑證收益、模擬情境三之售電效益、躉售效益……等)，並非為單純「成本減項」的概念，故此二情境之研究方法當屬成本效益分析。

3.2 經理人觀點和全社會觀點之說明

本研究將分別由經理人觀點和全社會觀點，對於農牧場之智慧綠能營運模式進行經濟

分析，以下就相關成本、效益項目、以及計算各個認列項目之淨現值，並分析各模擬情境之可行性。

3.2.1 經理人觀點之成本效益項目

$$C^N = \sum_{t=1}^T \frac{EC_t^N + SoC_t^N + StC_t^N + MoC_t^N}{(1+i)^t} \quad (1)$$

$$B^N = \sum_{t=1}^T \frac{EB_t^N + SoB_t^N + StB_t^N + MoB_t^N}{(1+i)^t} \quad (2)$$

$$NPV^N = B^N - C^N \quad (3)$$

上式(1)、(2)及式(3)中，各項符號說明如表1所示。

表1 經理人觀點之成本效益及淨現值各符號項目

符號	意義	說明
C^N	經理人觀點情境N之下的總成本現值	經理人在情境N之下，相較於基準情境，模擬期間T年所新增之總成本現值。
B^N	經理人觀點情境N之下的總效益現值	經理人在情境N之下，相較於基準情境，模擬期間T年所新增之總效益現值。
i	經理人觀點下之私人折現率	以2020年臺灣銀行公告之基準利率2.366%為此觀點下之折現率。
EC_t^N 、 EB_t^N	電費帳單增加之金額和減少之金額	經理人在第t年於情境N中，較基準情境增加之金額和減少之金額。
SoC_t^N 、 SoB_t^N	導入太陽能光電系統後，使經理人新增之成本和效益	農牧場於情境N導入太陽能光電系統後，使經理人在第t年較基準情境所新增之成本項目和效益項目。
StC_t^N 、 StB_t^N	導入儲能櫃系統後，使經理人新增之成本和效益項目	農牧場於情境N導入儲能櫃系統後，使經理人在第t年較基準情境所新增之成本項目和效益項目。
MoC_t^N 、 MoB_t^N	導入電動自駕除草機後，使經理人新增之成本和效益	農牧場於情境N導入電動自駕除草機後，使經理人在第t年較基準情境所新增之成本項目和效益項目。
NPV^N	經理人於情境N整體淨現值	模擬期間內，折現加總其總成本與總效益之差值。

在式(3)中，模擬期間內折現加總之總成本與總效益之差值，便可得到整體淨現值(NPV)。當 $NPV > 0$ ，即說明此時總效益大於總成本，代表此計畫或決策值得執行，反之則否。公式如式(3)所示，其中， NPV^N 表示經理人觀點於情境N之淨現值， B^N 、 C^N 則同式(1)、式(2)之說明。

3.2.2 全社會觀點之成本效益項目與淨現值法

$$C_s^N = \sum_{t=1}^T \frac{EC_t^N + SoC_t^N + StC_t^N + MoC_t^N}{(1+r)^t} \quad (1)$$

$$B_s^N = \sum_{t=1}^T \frac{EB_t^N + SoB_t^N + StB_t^N + MoB_t^N + CB_t^N}{(1+r)^t} \quad (2)$$

$$NPV_s^N = B_s^N - C_s^N \quad (3)$$

上式(4)、(5)及式(6)中，各項符號說明如表2所示。

在式(6)中，模擬期間內折現加總之總成本與總效益之差值，便可得到整體淨現值(NPV)。當 $NPV > 0$ ，即說明此時總效益大於總成本，代表此計畫或決策值得執行，反之則否。公式如式(6)所示，其中， NPV_s^N 表示全社會觀點於情境N之淨現值， B_s^N 、 C_s^N 則同式(4)、

表2 全社會觀點之成本效益及淨現值各符號項目

符號	意義	說明
C_s^N	全社會觀點情境N之下的總成本現值	全社會在情境N之下，相較於基準情境，模擬期間T年間所新增之總成本
B_s^N	全社會情境N之下的總效益現值	全社會在情境N之下，相較於基準情境，模擬期間T年所新增之總效益。
r	全社會觀點下之社會折現率	參考劉庭瑋(2017)之研究，以1.01%作為本研究之社會折現率。
$EC_{s,t}^N$ 、 $EB_{s,t}^N$	電費帳單增加之金額和減少之金額	全社會觀點下第t年於情境N電費帳單較基準情境增加之金額和減少之金額
$SoC_{s,t}^N$ 、 $SoB_{s,t}^N$	導入太陽能光電系統後，使全社會新增之成本和效益	農牧場導入太陽能光電系統後，使全社會在第t年於情境N較基準情境所新增之成本項目和效益項目
$StC_{s,t}^N$ 、 $StB_{s,t}^N$	導入儲能櫃系統後，使全社會新增之成本和效益	農牧場導入儲能櫃系統後，使全社會在第t年於情境N較基準情境所新增之成本項目和效益項目
$MoC_{s,t}^N$ 、 $MoB_{s,t}^N$	導入電動自駕除草機後，使全社會新增之成本和效益	農牧場導入電動自駕除草機後，使全社會在第t年於情境N較基準情境所新增之成本項目和效益項目
$CB_{s,t}^N$	減碳效益	全社會第t年於情境N所獲得之減碳效益。
NPV^N	全社會觀點於情境N之淨現值	模擬期間內，折現加總其總成本與總效益之差值。

式(5)之說明。

4. 實證結果與分析

以下先說明基準情境，包括實證場域之現況、用電模式以及當前與台電訂定之契約容量、時間電價……等。接著，說明模擬情境一到模擬情境三之設定，並說明農牧場經理人在各情境下之各種替選方案。最後，對於模擬情境一、二、三，經濟分析之過程與成果，分別由經理人觀點以及全社會觀點進行詳細說明。

4.1 基準情境

由於模擬情境二(導入綠電系統)中所模擬設置之太陽光電系統及儲能設施，部分已於2021年4月建置完成並開始啟用。為使基準情境用電數據不受任何模擬情境設定之影響，本

研究按2020年4月1日至2021年3月31日之實際用電數據，作為農牧場基準情境一年期之用電設定，於研究分析中將會更為準確。在此期間內，設定農牧場在基準情境中並未裝置任何綠能設備。

農牧場於基準情境中，在樣本期間一年期內與台電訂定之契約容量並採取之時間電價，按台電2021年所公告之高壓電力電價表(參考表3及表4)。

(1). 基本電費的部分：經常契約容量76瓩併週六半尖峰契約容量28瓩，故全年度共須支付基本電費約169,450元。

(2). 超約罰金的部分，最高需量超過事前約定之契約容量，則須支付，超過原約定瓩數10%以內的部分需支付基本電費兩倍之罰金，而若超過原約定瓩數10%以上的部分則需支付基本電費三倍之罰金。由歷史電

表3 台電高壓用戶二段式時間電價表

台電公司高壓電力二段式時間電價表				高壓供電	
				夏月 (6月1日至9月30日)	非夏月 (夏月以外時間)
基本 電費	經常契約			223.60元	166.90元
	非夏月契約			----	166.90元
	週六半尖峰契約			44.70元	33.30元
	離峰契約			44.70元	33.30元
流動 電費	週一至 週五	尖峰時間	07:30~22:30	3.29元	3.17元
		離峰時間	00:00~07:30 22:30~24:00	1.41元	1.31元
	週六	半尖峰時間	07:30~22:30	1.97元	1.87元
		離峰時間	00:00~07:30 22:30~24:00	1.41元	1.31元
	週日及 離峰日	離峰時間	全日	1.41元	1.31元

資料來源：台電公司(2021)

表4 台電高壓用戶三段式時間電價表

台電公司高壓電力三段式時間電價表					高壓供電		
					夏月 (6月1日至 9月30日)	非夏月 (夏月以外 時間)	
基本 電費	經常契約				每 戶 每 月	223.60元	166.90元
	非夏月契約					166.90元	166.90元
	週六半尖峰契約					44.70元	33.30元
	離峰契約					44.70元	33.30元
流動 電費 (尖峰 時間 固定)	週一至 週五	尖峰時間	夏月	10:00~12:00 13:00~17:00	每 度	4.67元	----
		半尖峰時間	夏月	07:30~10:00 12:00~13:00 17:00~22:30		2.90元	----
			半夏月	07:30~22:30		----	2.82元
		離峰時間	00:00~07:30 22:30~24:00			1.32元	1.26元
	週六	半尖峰時間	07:30~22:30			1.78元	1.71元
		離峰時間	00:00~07:30 22:30~24:00			1.32元	1.26元
	週日及 離峰日	離峰時間	全日			1.32元	1.26元

資料來源：台電公司(2021)

費明確可見，農牧場超約情形嚴重，高達226,339元。

(3). 流動電費的部分，按時間電價計費，規模約為997,538元。

(4). 而除了上述三個項目之外，功率因數調整費及加減收項金額亦會影響電費金額。樣本期間內，農牧場實際之功率因數調整費一年度可為農牧場節省電費約17,504元；加減收項金額在一年度總額則為0元。

在基準情境中，本研究按照實際之功率因數調整費納入計算，但在此後的三個情境中，由於功率因數調整費及加減收項金額數字較小，並不具決定性之影響力，此二項數據在後

續所有模擬情境中皆保持相同，以便核算。

將上述基本電費、超約罰金及流動電費加總，並扣除節省之功率因數調整費，農牧場一年期需支付總電費共計約1,375,823元，如表5所示。並假設在此基準情境之下，農牧場之淨現值為0元，作為後續比較之基礎。

4.2 模擬情境之說明

理論上太陽能面板的生命週期應可達35年，但目前臺灣的太陽能光電系統，還沒有使用超過20年的案例(許志義與蔡志欣，2018)，且台電之售電合約多以20年為常態，模擬期間遂設定為二十年。此外，二十年之模擬期間，

表5 基準情境下農牧場模擬期間內一年期之電費項目

(單位：元)

契約容量：經常契約容量76瓩、週六半尖峰契約容量28瓩				
採取二段式時間電價				
基本電費	超約罰金	流動電費	其他影響電費之項目	總計
169,450	226,339	997,538	(17,504)	1,375,823

皆設定為農牧場2020年4月1日至2021年3月31日間之實際用電數據。而按《100-103年度經濟部能源局補助設置「太陽光電發電系統」之各縣市回報發電量平均值》所公布之資料，每瓩太陽光電系統之日平均發電量為3.34度，考量過去7~10年間，太陽光電產業之材料與技術已有提升，本研究按聯齊科技公司之建議，設定本研究每瓩太陽光電系統之日平均發電量為3.62度。

4.2.1 模擬情境一：改變契約容量

有鑑於超約罰金在樣本期間內一年期需支付約佔總電費成本之16.45%。本情境旨在模擬經理人更改與台電簽訂之契約容量或採取不同時間電價，觀察農牧場藉由整體電費成本的下降，達到效益的極大化。故情境一延續基準情境之設定，並未新增任何綠能設施及系統(如：太陽能光電系統、儲能櫃系統、電動自駕除草機…等)。

本研究中提及之相關太陽光電系統皆由聯齊科技公司負責建置完成；故相關系統建置之報價，以及藉由該公司專利演算法所模擬試算之農牧場用電成本，皆具有實務層面之價值。該公司為一在日本智慧能源管理績效卓著之新創廠商，其主要業務從雲端運算、裝置數據管理平臺設置直至場域工程等，給予全方位的新能源應用服務方案(NextDrive, 2021)。

本研究將樣本期間用電數據，及台電之計費公式，導入聯齊科技公司之專利演算法中進行疊代運算，由76瓩開始，以連續性窮舉方式，逐一模擬每一瓩之邊際增量下所能節省之總電費，直至最高契約容量150瓩為止，如圖3。

結果顯示，若將經常契約容量由原76瓩調整為119瓩，並取消原有28瓩的週六半尖峰契約容量，對農牧場經理人而言應當最為有利。換言之，農牧場若調整經常契約容量至119kw，每年增加支付基本電費約95,872元，然而超約罰金將相應下降約202,086元，每年可減少電費支出約106,214元。故選定此演算成果(經常契約容量119瓩)，作為情境一經理人選擇簽訂之契約容量，進一步模擬經理人分別採取二段式及三段式時間電價兩種替選方案。

故此，模擬情境一之下，農牧場未導入任何綠能設施及系統之前，調整經常契約容量至119瓩，並採取不同時間電價之分析結果。此情境共計有兩種替選方案，如表6所示。

4.2.2 模擬情境二：改變契約容量並建置綠能系統(13.2瓩)

本情境模擬農牧場導入綠能系統後，配合經理人重新簽訂新的契約容量以及不同的時間電價，是否能有效降低農牧場之成本。

此時可模擬儲能櫃系統(電池能量10度)進

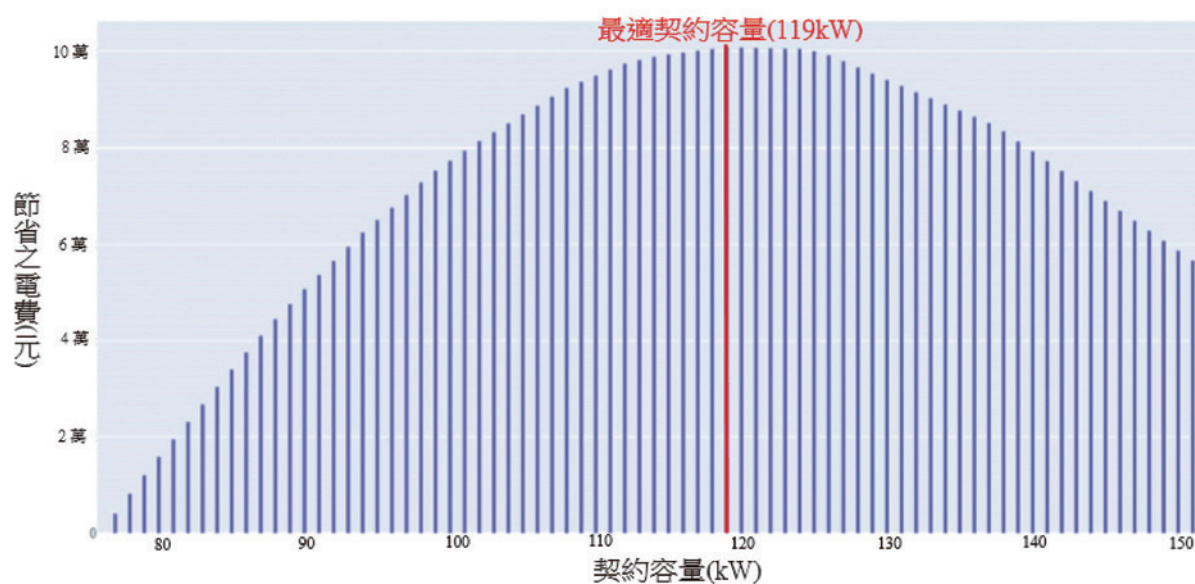


圖3 以疊代運算及連續窮舉演算法推測農場最適之契約容量

資料來源：聯齊科技公司(2021)

表6 農場經理人於模擬情境一所有可行方案

可行方案一	經理人簽訂經常契約容量119瓩並選擇執行二段式時間電價
可行方案二	經理人簽訂經常契約容量119瓩並選擇執行三段式時間電價

行需量管理，在台電所訂定之離峰時段(全天電費最便宜時)進行充電；並在台電訂定之尖峰時段又適逢農場用電高峰時放電，供農場使用，減少農場之尖峰用電需量、流動電費及超約罰金。此外，也將太陽能光電系統(13.2瓩)生產之綠電，提供農場使用，將有效減少農場對於台電電力之需求。而導入電動自駕除草機(電池能量5度)，則可減少農場人力之成本以及使用柴油之成本。

由情境一之分析結果可知，未導入任何綠能設施之情境下，對農場而言，與台電訂定經常契約容量119瓩為最適替選方案；然而於模擬情境二導入綠能系統後，本研究將利用10度之儲能櫃系統，進行需量管理進一步降低尖峰需量，故模擬情境二將採取敏感度分析的方式，分別模擬農場經理人與台電簽訂三種經

常契約容量(105瓩、110瓩、115瓩)之情形。再模擬經理人在此三種契約容量下，分別採取二段式及三段式時間電價之情形，共計模擬六種替選方案，比較分析何種替選方案較有可能使農場達效益極大化。

故此，模擬情境二之下，合計共有六種替選方案整理如表7所示。

4.2.3 模擬情境三：改變契約容量並建置綠能系統(337瓩)及綠電營運管理模式

此情境模擬實證場域成為一淨零能源之智慧農場(Net-Zero-Energy Smart Farm)。所指淨零能源，為計算實證場域自行生產之綠色電力，超過其自身用電量。故計算農場至少須建置337瓩之太陽光電系統以達成淨零能源之目

表7 模擬情境二經理人觀點下之決策

採用之時間電價	簽訂之經常契約容量		
	105瓩	110瓩	115瓩
二段式時間電價	可行方案一	可行方案二	可行方案三
三段式時間電價	可行方案四	可行方案五	可行方案六

標，另模擬農牧場共計有三種不同綠電營運管理模式，如下所示：

- 一、綠電營運管理模式(一)：場域自發自用：農牧場自身用電完全不使用台電所提供之灰色電力，僅以導入之太陽光電系統所生產之綠電，搭配儲能櫃系統，作為唯一的用電來源，此時農牧場可省下所有向台電購電之成本，並且生產之每度綠電還可以獲得約1.4元販售綠電憑證之收益。
- 二、綠電營運管理模式(二)：全數躉售台電：農牧場自身用電完全向台電購買，並將農牧場所生產之太陽光電全部躉售予台電公司。農牧場雖不能節省所有電費，但此時生產之每度綠電可獲得躉售效益約為3.9227元。
- 三、綠電營運管理模式(三)：全數委外轉售：農牧場自身用電完全向台電購買，並將自身所生產之太陽光電全部委由售電業轉售。農牧場雖不能節省所有電費，但此時生產之每度綠電可獲得轉售淨收益約5元(含綠電憑證收益)。

除了太陽光電系統337瓩外，在此情境中將延續導入電池能量5度之電動自駕除草機一台。然而按綠電營運模式的不同，將導入不同數量之儲能櫃系統。按聯齊科技公司之分析，實證場域若需達成綠電完全自發自用，不向台電購買任何電力，則至少須並聯每組電池能量

10度的儲能櫃共計84組，建置為一電池能量共840度的儲能櫃系統，儲存太陽光電系統在白天所生產的多餘綠電，方能確保農牧場於夜間或天氣不好時，太陽光電系統無法發電，還有足夠的電力供農牧場使用。然而在其餘兩種營運模式下(包含將綠電全部躉售予台電公司以及將綠電全部委由售電業者轉售)，都可將綠電直接併入電網，故兩模式下都不需新增任何儲能櫃系統。

接著，農牧場在三種綠電營運管理模式，契約容量之訂定。若選擇綠電完全自發自用之模式，則自然無須簽定任何契約，也無須考量經理人採取不同時間電價之情形；而另兩種營運模式下，考量農牧場用電情形與模擬情境一幾乎一致，故參照情境一之最佳契約容量，設定農牧場應與台電簽訂經常契約容量119瓩，並在此契約容量下，分別模擬經理人採取二段式時間電價及三段式時間電價的情形。綜上所述，於模擬情境三中，經理人共計有五種替選方案，如表8所示。

另綜整各項解決方案及各模擬情境下之替選方案如圖4所示。

4.3 模擬情境一之經濟分析

首先，從農牧場經理人觀點進行分析，計算不同替選方案下之成本、效益項目，並以2.366%之基準利率(臺灣銀行，2021a)作為此觀

表8 模擬情境三農牧場之可行方案

採用之時間電價	採取之綠電營運模式		
	全數自發自用	全數躉售予台電 (簽訂經常契約容量 119瓩)	全數委由售電業轉售 (簽訂經常契約容量 119瓩)
二段式時間電價	可行方案一 (不須考量農牧場簽訂之 契約容量或時間電價)	可行方案二	可行方案三
三段式時間電價		可行方案四	可行方案五

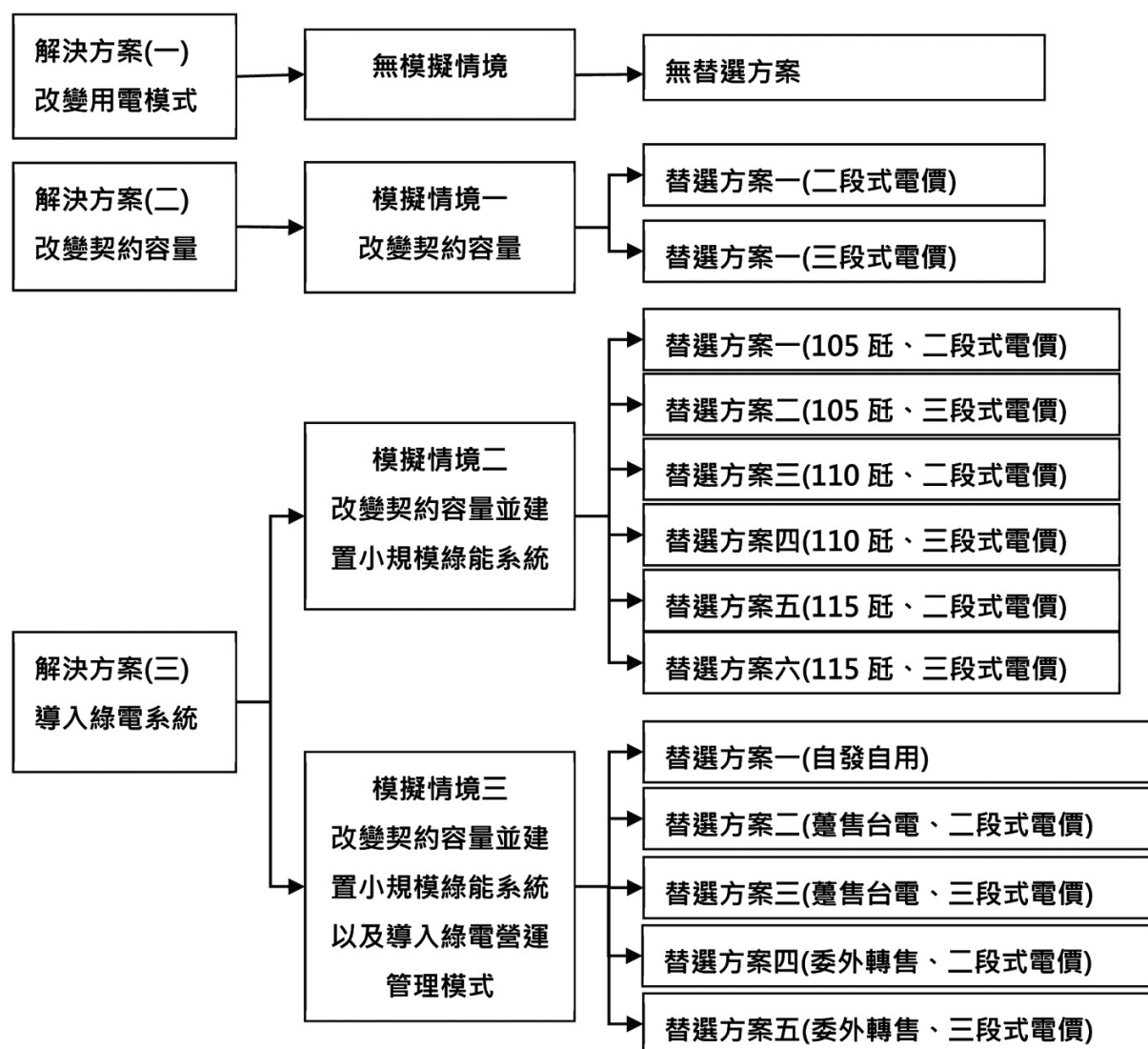


圖4 解決方案、模擬情境及替選方案之層次關係

點下之折現率。接著，再由全社會之觀點，按近年對臺灣社會折現率之研究，以1.01%作為此觀點之折現率(劉廷瑋，2017)，進行經濟分析，並判斷是否有移轉性支付需予以扣除以及此情境下是否有經理人觀點下未曾考慮之外部效果須納入分析中。

4.3.1 經理人觀點下之成本有效性分析

4.3.1.1 成本項目

在此情境中，未導入任何綠能設施系統，故無需認列 SoC_t^1 、 MoC_t^1 、 StC_t^1 ，成本項目中只有新增之電費成本(EC_t^1)一個項目。

本情境在兩個替選方案下，經理人皆選擇調整經常契約容量至119瓩，一年期基本電費之成本在兩個替選方案下皆約為265,322元，較基準情境每年增加支付約95,872元，按模擬期間20年進行折現加總，則較基準情境多支付約1,513,657元，認列為模擬情境一新增之電費成本項目。

4.3.1.2 效益項目

有關新增之電費效益(即減少之電費成本， EB_t^1)的部分，以下分為減少之超約罰金、減少之流動電費，兩個效益項目進行分析。

首先，在本情境兩個替選方案下，調整經常契約容量至119瓩後，按農場樣本期間內之用電數據並台電公告之超約罰金計費公式

(2021)進行計算，則每年須支付給台電之超約罰金約下降至24,253元，較基準情境每年減少支付約202,086元，認列為模擬情境一新增之電費效益項目。

而流動電費須按農場選擇採取之時間電價計費方式(二段式或三段式)而定。在替選方案一中，農場經理人採取二段式時間電價，則與基準情境相同，並無增加或減少任何流動電費之相關成本，亦即未因而新增任何成本或效益項目。在替選方案二中，採取三段式時間電價，則農場每年僅須支付流動電費約958,553元，相較基準情境每年約可省下38,985元，認列為替選方案二新增之電費效益項目。故二十年折現加總，計 EB^1 約為3,190,598元。

4.3.1.3 實證結果

本研究計算農場於各替選方案下，二十年折現加總之總成本、總效益、淨現值如表9所示。

由分析結果可見，即使經理人僅僅調整經常契約容量至119瓩，超約罰金成本下降之效益，經二十年折現加總，現值高達3,190,598元，可見超約罰金確實過高。若進一步採取三段式時間電價，經折現加總後總效益共約3,806,105元，此時替選方案二之淨現值為2,292,448元，為此情境下之最適決策。值得注意的是，分析結果中淨現值雖為正值，然而並非代表農場執行此替選方案於模擬期間二十年後將可獲得的收益，而是相較於基準情境共

表9 模擬情境一經理人觀點之分析結果

(單位：元)

	C^1	B^1	NPV^1
可行方案一	1,513,657	3,190,598	1,676,940
可行方案二	1,513,657	3,806,105	2,292,448

可節省的成本，模擬情境二、三的淨現值亦適用。

4.3.2 全社會觀點下之成本有效性分析

首先，本情境經理人觀點下新增之成本、效益項目而言，皆由於農場經理人與台電之間訂定之契約容量或者時間電價發生變動而產生，對於農場(電力需求端)而言，可獲得電費成本降低之效益；對於台電(電力供給端)而言，當農場調整基本電費或時間電價至較符合其用電需求之情形時，台電將能更加瞭解電力用戶之實際需求，有助其維持電網之穩定性。故此，在整體社會效益上升的情形下，判斷 EC_t^I 、 EB_t^I 非屬移轉性支付，應納入全社會觀點。

此外，整體社會對於台電之電力需求沒有發生改變，則並無任何外部效果須納入全社會觀點分析中。綜合所有認列之成本、效益項目如表10所示。

乍看之下，全社會與經理人兩觀點之分析結果大同小異，不同處在於折現率不同，使得不論農場採行哪一種替選方案，在全社會觀點之下，淨現值都比經理人觀點得出之結果略高。故在模擬情境一下，農場選擇採取替選方案二，將經常契約更改為119瓩，並採行三段式時間電價，不論對於農場經理人或是對全社會而言，均為最適之替選方案。

4.4 模擬情境二之經濟分析

本情境導入綠能管理系統相關設備包括：太陽能光電系統含面板(共13.2瓩)、儲能櫃系統一組(每組電池能量為10度)並搭載「模組化單級併網型逆變器」、電動自駕除草機(電池能量為5度)一台。

4.4.1 經理人觀點下之成本效益分析

4.4.1.1 成本項目

關於情境二導入之太陽能面板，其相關成本(SoC_t^{II})按聯齊科技公司報價：首先，建置成本每瓩約70,000元(共13.2瓩)，於期初認列建置成本共約924,000元；模擬期間二十年內之運作維修成本，以建置成本之10%計，共約92,400元，認列為期初成本；此外，系統中之逆變器須於第十年末進行一次汰換，成本約為建置成本之5%，經折現計算，此汰換成本約為36,567元。故二十年折現加總下，算得 SoC^{II} 在六個替選方案下皆約為1,052,967元。

又導入儲能櫃系統一組(每組電池能量為10度)，相關成本項目(StC_t^{II})按國立中興大學電機系賴慶明教授及其研發團隊之報價：首先，建置成本認列為期初成本約300,000元；而該儲能櫃系統於模擬期間內第7年末、第14年末須進行維護以及電池汰換，每次維護費用約為50,000元、電池汰換成本約為200,000元；最後，此系統搭載賴慶明教授所研發之「模組化單級併

表10 模擬情境一全社會觀點之分析結果

(單位：元)

	C_s^I	B_s^I	NPV_s^I
可行方案一	1,728,323	3,643,084	1,914,762
可行方案二	1,728,323	4,345,882	2,617,560

網型逆變器」，在系統內部採用多模組並聯操作，以達到發電功率可彈性擴充與負載分享，並且解決了傳統逆變器故障即停機之重大缺點(陳淑芬，2020)，該逆變器須於模擬期間內第十年末進行一次汰換，汰換成本約150,000元。故二十年折現加總下，算得 StC^H 在六個替選方案下皆約為811,176元。

而導入電動自駕除草機(電池能量為5度)一台，相關成本項目(MoC_t^H)按賴慶明教授及其研發團隊之報價：首先，建置成本的部分共約500,000元，認為期初成本。此外，每年需維護成本約20,000元。而設備內之電池，於模擬期間內第五年末、第十年末及第十五年末各須進行一次汰換，每次汰換成本約100,000元。最後，本研究假設農牧場每天使用電動自駕除草機進行一次除草作業，且每次都使用到電池沒電為止，因此每天都須於台電公布之離峰時段為此除草機充5度的電，以下按不同替選方案所採取之時間電價，分別對於充電成本進行說明：若經理人選擇採取二段式時間電價，則每年須約2,452元之充電費用；若選擇採取三段式時間電價，農牧場每年需支付約2,336元之充電費用。故二十年折現加總下，算得 MoC^H 在替選方案一、二、三下，約為1,093,008元；在替選方案四、五、六下，則約為1,091,177元。

而此情境之電費成本項目(EC_t^H)，來自於調整經常契約容量所致基本電費成本上升。本研究於此情境進行105 kW、110 kW、115 kW三種不同契約容量之敏感度分析，以下分別說明在不同替選方案下，農牧場較基準情境增加之基本電費：若選擇簽訂經常契約容量105瓩，則每年較基準情境增加約64,658元之電費成本，經折現加總增加約1,020,841元；若選擇簽訂經常契約容量110瓩，則每年增加電費成本75,806元，經折現加總增加共約1,196,849元；若採經常契約容量115瓩，則增加電費成本約169,450

元，經折現加總約1,372,857元。

4.4.1.2 效益項目

首先，太陽光電系統之相關效益(SoB_t^H)。其中一項是六個替選方案都相同之綠電憑證之收益：農牧場完成導入光電系統後，可申請再生能源憑證(REC)，並經交易賣憑證給需要出口產品至環保法令較嚴格國家的相關企業，獲得收益。按聯齊科技公司所提供之資料，販賣綠電憑證，每度電售價約為1.4~2.2元，本研究以每度電1.4元進行計算，並按聯齊科技公司之建議，設定每瓩太陽能面板日平均發電量為3.62度，故13.2瓩太陽能面板日平均發電量約47.78度，農牧場每年可獲得綠電憑證收益約24,418元。

其次，計算流動電費之效益，假設農牧場每日皆於台電電價表中電費最高的時段，使用太陽光電系統生產之綠電，故按不同決策採取之時間電價，將有不同之分析結果：若採取二段式時間電價，則每年可節省約48,080元；若採取三段式時間電價，則每年可節省約50,322元。經二十年折現加總計算 SoB^H ，前者共約1,144,607元；後者共約1,180,011元。

接著，在儲能櫃系統之相關效益(StB_t^H)方面，模擬農牧場利用此10度之儲能系統進行需量管理，實證場域將可同時達到抑低尖峰負載和減少流動電費之雙重目的，以下分別進行說明。本研究決定將儲能櫃放電時段，定在每日台電流動電費較高，同時又是農牧場尖峰用電之時段。如前所述，農牧場之尖峰用電時段，大約出現在每日6:00~8:00和16:00~18:00，而流動電費較高之時段，則視採取之時間電價而定：若農牧場採用二段式時間電價(參考表3)，則台電收費較高之時段(尖峰時間電價)主要落在每日7:30~22:30，對照農牧場之尖峰用電時段，本研究選取每日7:30~8:00及16:00~18:00兩

個時段，共2.5小時為儲能櫃系統之放電時間，則農牧場將可抑低4瓩之尖峰需量，並每年節省流動電費約81,447元。若農牧場採用三段式時間電價(參考表4)，參考夏月尖峰時間電價之時段，落在10:00~12:00及13:00~17:00，對照農牧場之尖峰用電時段，故選取每日16:00~17:00，共1小時為儲能櫃系統之放電時間，則農牧場將可抑低10瓩之尖峰需量，並每年節省流動電費約92,506元。

故可計算各決策下節省之超約罰金和流動電費(StB^H)：若選擇簽訂經常契約105瓩，則替選方案一之下，每年節省共約254,334元，經折現加總計約2,811,042元；替選方案四之下，每年節省共約282,314元，經折現加總計約3,089,255元。若選擇簽訂經常契約110瓩，則替選方案二之下，每年可節省共約270,581元，折現加總約3,067,554元；替選方案五之下，每年可節省共約296,268元，折現加總約3,309,565元。若選擇簽訂經常契約115瓩，則替選方案三之下，每年節省共約283,086元，折現加總約3,264,987元；替選方案六之下，每年節省共約306,547元，折現加總約3,471,853元。

在導入電動自駕除草機之相關效益(MoB^H)之前，農牧場每年需僱用2個人力，並使用搭載傳統柴油引擎的山貓在農牧場內約3公頃大的牧草地進行除草作業共計30次。其中，人力成本的部分，每人每次需支付1,300元之人力費用，山貓每次需柴油費用約500元。故導入電動自駕除草機後，每年可節省約78,000元之人力成本與約15,000元之柴油費用。模擬期間二十年之折現加總，計算 MoB^H 共約1,468,313元，在六個替選方案下皆相同。

最後，說明電費效益(即減少之電費成本， EB^H)。其中超約罰金下降之效益，已認列於 StB^H 中，此處不再重複計算。而利用綠能設備或系統，達到流動電費降低之效益，已分別認

列於 StB^H 、 SoB^H 中，此處將忽略綠能設施之影響，單就農牧場經理人採取之流動電費，以原本之用電數據所節省之電費成本進行說明。若農牧場經理人採取二段式時間電價，即替選方案一、二或三，此時農牧場於樣本期間內應支付之流動電費與基準情境相同，因此 EB^H 為0元；若農牧場經理人採取三段式時間電價，即替選方案四、五或六，則農牧場於樣本期間內，相較於基準情境每年可節省約38,985元之流動電費，故二十年折現加總 EB^H 約為615,508元。

4.4.1.3 實證結果

將六個替選方案與基準情境相較，模擬期間二十年折現加總所有新增之相關成本、效益項目，以及總成本、總效益和淨現值，如表11所示。

替選方案五之淨現值高達2,421,228元，應為農牧場之最適替選方案，但與模擬情境一之最適決策比較，雖僅高出約128,780元，但這128,780元才是情境二導入的綠能系統所創造之真正價值，其餘均係藉由調整契約容量和時間電價所節省之成本。

觀察表11，發現太陽能光電系統創造之淨效益($StB^H - StC^H$)有127,044元，電動自駕除草機之淨效益($MoB^H - MoC^H$)也有377,136元，在三項綠能設施系統之淨效益僅有128,780元之情形下，說明儲能櫃系統非但沒有淨效益，反而還造成淨損失約375,400元。此乃因當前儲能設施技術、材料之限制，致相關成本甚高，故建置儲能系統在目前並不具成本效益(不代表未來也沒有)。

4.4.2 全社會觀點下之成本效益分析

由模擬情境一之分析可知，模擬情境二之中， EB^H 、 EC^H 、 StB^H 、 SoB^H 、 SoC^H 、 MoC^H 、

表11 模擬情境二經理人觀點下之實證結果及各期現值加總

(單位：元)

		二段式時間電價			三段式時間電價		
		可行 決策一 (105瓩)	可行 決策二 (110瓩)	可行 決策三 (115瓩)	可行 決策四 (105瓩)	可行 決策五 (110瓩)	可行 決策六 (115瓩)
成本項目	SoC _t ^{II}	1,052,967	1,052,967	1,052,967	1,052,967	1,052,967	1,052,967
	StC _t ^{II}	811,176	811,176	811,176	811,176	811,176	811,176
	MoC _t ^{II}	1,093,008	1,093,008	1,093,008	1,091,177	1,091,177	1,091,177
	EC _t ^{II}	1,020,841	1,196,849	1,372,857	1,020,841	1,196,849	1,372,857
效益項目	SoB _t ^{II}	1,144,607	1,144,607	1,144,607	1,180,011	1,180,011	1,180,011
	StB _t ^{II}	2,811,042	3,067,554	3,264,987	3,089,255	3,309,565	3,471,853
	MoB _t ^{II}	1,468,313	1,468,313	1,468,313	1,468,313	1,468,313	1,468,313
	EB _t ^{II}	0	0	0	615,508	615,508	615,508
總成本($C^{II} = SoC_t^{II} + StC_t^{II} + MoC_t^{II} + EC_t^{II}$)		3,977,992	4,154,000	4,330,008	3,976,159	4,152,168	4,328,176
總效益($B^{II} = SoB_t^{II} + StB_t^{II} + MoB_t^{II} + EB_t^{II}$)		5,423,962	5,680,474	5,877,907	6,353,086	6,573,397	6,735,685
淨現值($NPV^{II} = B^{II} - C^{II}$)		1,445,970	1,526,475	1,547,900	2,376,926	2,421,228	2,407,508

StC^{II}，此七項目均不應列屬移轉性支付，而是反映整體社會效益水準之提升。特別注意的，SoB^{II}中綠電憑證之收益，並非移轉性支付；係屬綠電憑證所有權的轉移，由全社會角度考量，綠電憑證若由企業持有，使其產品得以順利出口至環保法令較為嚴格的國家，相較於原本由農牧場所有，全社會經濟效率將得以提升，不應將之視為移轉性支付而忽略不計。綜此，在模擬情境二中，並無任何移轉性支付的項目。

此外，在模擬情境二中，因農牧場對於台電之電力需求有所變化，即代表台電之發電量

有所改變，故需在全社會觀點之分析中，計算台電使用化石燃料電廠發電量改變後，全社會排碳量改變之「間接外部效果」。此外，農牧場在此情境下，導入了自駕電動除草機後，減少了對於山貓、曳引機之使用，也減少了農牧場對於柴油之需求，產生減碳之「直接外部效益」。

4.4.2.1 除減碳效益外各項目之分析結果

在全社會觀點中，直接將四個成本以及四個效益項目之加總，如表12。

表12 模擬情境二全社會觀點下未將減碳效益納入分析之結果

(單位：元)

	二段式時間電價			三段式時間電價		
	可行 決策一 (105瓩)	可行 決策二 (110瓩)	可行 決策三 (115瓩)	可行 決策四 (105瓩)	可行 決策五 (110瓩)	可行 決策六 (115瓩)
$(SoC_{S,t}^{II} + StC_{S,t}^{II} + MoC_{S,t}^{II} + EC_{S,t}^{II})$	4,285,961	4,486,931	4,687,900	4,283,870	4,484,839	4,718,746
$(SoB_{S,t}^{II} + StB_{S,t}^{II} + MoB_{S,t}^{II} + EB_{S,t}^{II})$	6,193,181	6,486,073	6,711,505	7,254,074	7,505,628	7,690,932

4.4.2.2 減碳之效益

首先，情境二相較於基準情境，新增之電力需求為每天都為電動自駕除草機所充的5度電，然而農牧場在本情境中導入之太陽光電系統，每天可為農牧場生產約47.78度之電力。故合計農牧場每天約減少對台電之電力需求約42.28度，每年減少約15,432度之台電電力需求，而按台電公告之2020年電力排碳係數，其生產之每度電約造成0.502公斤之二氧化碳排放(經濟部能源局，2022b)，故全社會每年減少對台電15,432度之電力需求，則約減少7,747公斤之二氧化碳排放。

其次，按農牧場提供之數據，導入電動自駕除草機後，每年約可節省15,000元之柴油成本，按柴油每公升約28元之價格計算(油價資訊管理與分析系統，2021)，每年約節省536公升之柴油消耗；按環保署綠色車輛指南網計，每公升柴油燃燒約產生2.66公斤之二氧化碳排放(環保署綠色車輛指南網，2021)。故可推算農牧場導入電動自駕除草機後，全社會減少使用柴油之減碳效益，每年約減少1,425公斤之二氧化碳排放。

綜上所述，在模擬情境二之中，農牧場因

減少其對於台電之用電需求，以及減少柴油之使用，每年可減少碳排放共約8,172公斤。值得注意的是，上述農牧場減少之碳排放量，是按農牧場導入之太陽能光電系統以及自駕電動除草機進行計算，此情境之六個替選方案下，導入兩項綠能系統之數量相同，亦即情境二之中，全社會減少之碳排放量，在六個情境皆為8,172公斤。

接著，分以五種不同之碳交易價格，對於全社會減碳之效益進行敏感度分析。按歐盟碳排放交易體系(European Union Emission Trading Scheme, EU ETS) 2021年7月1日至2022年6月30日之平均碳交易價格(EMBER, 2021)，每噸約73.08歐元，並按此價格之80%、90%、110%、120%，分別為每噸約58.46歐元、65.77歐元、80.39歐元、87.70歐元，設定共五個碳交易之價格，進行減碳效益之敏感度分析。再按匯率每歐元約31.58元新臺幣計算，五個碳交易價格每公斤分別約為新臺幣1.85元、2.08元、2.31元、2.54元、2.77元。

以下計算農牧場於模擬情境二之減碳效益，在上述五個價格下，每年分別約為15,102元、16,998元、18,877元、20,757元、22,653元；按模擬期間二十年折現加總計算，分別約

為272,247元、306,278元、340,309元、374,340元、408,371元。

4.4.2.3 分析結果

最後，將減碳之外部效益納入全社會觀點下分析中，計算模擬期間二十年之淨現值如表13所示。結果顯示，不論碳交易價格為何，替選方案五之淨現值在所有替選方案之中皆為最高，顯示對於全社會而言，替選方案五仍為模擬情境二之最適決策。

而敏感度分析之結果，對於本情境之分析結果似乎並無決定性之影響力，原因之一便是相較於總效益七百多萬元而言， $CB_{s,i}^H$ 僅占其中約百分之十左右，確實難以造成決定性之影響；此外，就算完全不將 $CB_{s,i}^H$ 納入分析之中，由經理人觀點之分析即可發現，淨現值之結果皆已大於零，所以在全社會觀點中，又新增了 $CB_{s,i}^H$ 效益項目之下，自然其淨現值皆為正數，各個碳交易價格似乎對於研究結果並無明顯影響。但是與模擬情境一之最適決策相較，情境二在全社會觀點下，替選方案五在碳交易價格為2.77元/kg時，淨現值高出了811,600元之多，

就算是在碳交易價格為1.85元/kg時，淨現值也高出了675,476元；此情境顯示農牧場執行此決策對於全社會而言，相對於經理人觀點具有更高效益。

情境二相較於情境一，兩者對於農牧場經理人之淨現值雖在伯仲之間，農牧場還是以導入綠能系統之情境二更為有利。然而，差距實在不大，故本研究認為，值得以全社會觀點，進一步考量農牧場導入各項綠能系統之減碳效益，其淨效益將更為顯著。

4.5 模擬情境三之經濟分析

本模擬情境中，農牧場建置太陽能光電系統含面板(共約337瓩)、搭載專利逆變器。與模擬情境二同樣導入電動自駕除草機一台，除了充電成本外其他項目之分析與情境二並無二致，以下不再贅述。儲能系統僅在綠電自發自用時考慮，躉售台電或委外轉售時，無須建置儲能系統。

4.5.1 經理人觀點下之成本效益分析

表13 模擬情境二全社會觀點下淨現值之分析結果

(單位：元)

碳交易價格 (元)	二段式時間電價			三段式時間電價		
	可行決策一 (105瓩)	可行決策二 (110瓩)	可行決策三 (115瓩)	可行決策四 (105瓩)	可行決策五 (110瓩)	可行決策六 (115瓩)
1.85	2,179,467	2,271,389	2,295,852	3,242,451	3,293,036	3,244,433
2.08	2,213,650	2,305,572	2,330,035	3,276,634	3,327,219	3,278,616
2.31	2,247,523	2,339,445	2,363,908	3,310,507	3,361,092	3,312,489
2.54	2,281,415	2,373,337	2,397,800	3,344,399	3,394,984	3,346,381
2.77	2,315,591	2,407,513	2,431,976	3,378,575	3,429,160	3,380,557

4.5.1.1 成本項目

首先，農牧場建置太陽能光電系統相關成本(SoC_t^{III})，按聯齊科技公司報價：說明如下。建置成本，每瓩約45,000元，於期初認列建置成本共約15,165,000元；模擬期間二十年內之運作維修成本，以建置成本之10%計，共約1,516,500元，認列為期初成本；此外，第十年末進行一次逆變器之汰換，約為建置成本之5%，經折現汰換成本約為600,143元。故二十年折現加總下，算得 SoC_t^{III} 在五個替選方案下皆約為17,281,643元。

以下按不同替選方案進行充電成本之說明：首先，替選方案一之下，設定農牧場並不需向台電購買任何電力，故無需計算充電成本；而替選方案二和三之下，經理人採取二段式時間電價，故每年須約2,452元之充電費用；替選方案四和五之下，採取三段式時間電價，故每年需支付約2,336元之充電費用。二十年折現加總下，算得 MoC_t^{III} 在替選方案一之下，僅須計算建置成本、維護成本、電池汰換成本，約為1,054,295元；在替選方案二、三下，則約為1,093,008元；在替選方案四、五下，則約為1,091,177元。

本情境有關電動自駕除草機之相關效益(MoB_t^{III})之相關分析與情境二完全相同。在五個替選方案下，其二十年之折現加總皆約為1,468,313元。

最後說明電費效益(即減少之電費成本， EB_t^{III})的部分。若農牧場選擇將所有綠電自發自用(即替選方案一)，則可直接省下基準情境下繳給台電的所有相關電費，認列如 StB_t^{III} 所示，此處便不再重複討論，故此決策之下， EB_t^{III} 二十年折現加總為0元。而若農牧場選擇另外兩種綠電營運模式(即替選方案二~五)，採取經常契約容量119瓩之下，每年皆可節省202,086元

之超約罰金；此外，若採取替選方案四或五，則因經理人採取三段式時間電價，故每年可進一步節省流動電費約38,595元。二十年折現加總下，替選方案二、三之 StB_t^{III} 約為3,190,598元；替選方案二、三之 StB_t^{III} 則約為3,806,105元。

4.5.1.3 實證結果

將情境三下五個替選方案，相較於基準情境，模擬期間二十年折現加總所有新增之相關成本、效益項目，以及總成本、總效益和淨現值，綜如表14。

替選方案五在五個替選方案之結果中，其淨現值為最高，達20,538,898元為本情境之最適決策。此時農牧場導入337瓩太陽光電系統以及電池能量5度之電動自駕除草機之情形下，成為一淨零碳排之模擬場域，且不須建置任何儲能櫃系統，可節省其相關成本，農牧場將太陽光電系統所生產之所有綠電直接併網，並委由售電業者轉售，可獲得約每度5元之收益，農牧場便可賺取售電收益和流動式電費之價差。此外，調整經常契約容量至119瓩，並採取三段式時間電價，極小化農牧場之電費成本。

值得注意的是，與前兩者模擬情境所不同的是—在本情境中，超約罰金之效益並非農牧場最主要之效益來源。其中，農牧場於替選方案一選擇將綠電全部自發自用，即便節省了所有電費成本，並獲得綠電憑證之收益，其總效益仍不及其他四種替選方案(選擇將綠電躉售或轉售時)之總效益。在此情形下，若選擇替選方案一，仍須導入840度之儲能櫃系統，相關成本(StC_t^{III})經二十年折現加總，高達68,138,773元，以致淨現值將損失高達57,182,673元。此項結果也呼應模擬情境二之分析，可見當前儲能相關成本實在過高，農牧場並不值得為了降低所有的電費成本而建置儲能櫃系統，完全不使用台

表14 模擬情境三經理人觀點下之實證結果及各期現值加總

(單位：元)

			二段式時間電價		三段式時間電價	
		可行方案一	可行方案二	可行方案三	可行方案四	可行方案五
成本項目	SoC _t ^{III}	17,281,643	17,281,643	17,281,643	17,281,643	17,281,643
	StC _t ^{III}	68,138,773	0	0	0	0
	MoC _t ^{III}	1,054,295	1,093,008	1,093,008	1,091,177	1,091,177
	EC _t ^{III}	0	1,513,657	1,513,657	1,513,657	1,513,657
效益項目	SoB _t ^{III}	9,842,268	27,577,332	35,150,957	27,577,332	35,150,957
	StB _t ^{III}	17,981,457	0	0	0	0
	MoB _t ^{III}	1,468,313	1,468,313	1,468,313	1,468,313	1,468,313
	EB _t ^{III}	0	3,190,598	3,190,598	3,806,105	3,806,105
總成本(C ^{III})		86,474,711	19,888,309	19,888,309	19,886,478	19,886,478
總效益(B ^{III})		29,292,038	32,236,243	39,809,868	32,851,750	40,425,376
淨現值(NPV ^{III} =B ^{III} -C ^{III})		-57,182,673	12,347,934	19,921,559	12,965,273	20,538,898

電電力。

而在情境中設定了其餘的四個情境，農牧場選擇不建置任何儲能系統，其效益來源則主要來自於躉售或轉售綠電之收益。若選擇躉售予台電，農牧場淨現值可達12,965,273元；若選擇委由售電業者轉售，農牧場淨現值甚至高達25,538,898元左右。以替選方案五而言，轉售電力之收益約占總收益之87%，超約罰金之收益則只佔總效益之8%。由此可知，相關高壓電力用戶若可建置足夠的太陽能光電系統，達到淨零碳排，即便不建置任何儲能系統，亦可以過直接併網，賺取用電(目前台電訂定之電價)及售電(電力市場上之售電價格以及台電綠電躉售之價格)之間的價差，獲取可觀收益。

4.5.2 全社會觀點下之成本效益分析

以下將以全社會觀點，進行成本有效性之分析，首先認列所有成本效益項目如表15所示。

由模擬情境二之分析可知，模擬情境三之中，EC_t^{III}、StB_t^{III}、EB_t^{III}，三項有關於電費之成本、效益項目，涉及到電力市場供需雙方效益之提升，即代表全體社會之效益提升，非屬移轉性支付。而SoC_t^{III}、MoC_t^{III}、StC_t^{III}、MoB_t^{III}，此四項目反映相較於基準情境一個新增的交易行為，及整體社會效益水準之提升，亦非移轉性支付。最後，SoB_t^{III}按綠電營運模式之不同，分別有綠電憑證之收益、躉售綠電之收益

表15 模擬情境三全社會觀點之成本效益項目及說明

成本項目	$EC_{S,t}^{III}$	相較於基準情境，模擬情境三第t年所新增之電費成本
	$SoC_{S,t}^{III}$	相較於基準情境，模擬情境三第t年所新增之太陽能光電系統相關成本
	$StC_{S,t}^{III}$	相較於基準情境，模擬情境三第t年所新增之儲能櫃系統相關成本
	$MoC_{S,t}^{III}$	相較於基準情境，模擬情境三第t年所新增之電動自駕除草機相關成本
效益項目	$EB_{S,t}^{III}$	模擬情境三相較於基準情境，第t年所新增之電費效益(即所減少之電費成本)
	$SoB_{S,t}^{III}$	模擬情境三相較於基準情境，第t年由太陽能光電系統所新增之相關效益(或減少之成本)
	$StB_{S,t}^{III}$	模擬情境三相較於基準情境，第t年由儲能櫃系統所新增之相關效益(或減少之成本)
	$MoB_{S,t}^{III}$	模擬情境三相較於基準情境，第t年由電動自駕除草機所新增之相關效益(或減少之成本)
	$CB_{S,t}^{III}$	模擬情境三相較於基準情境，第t年所新增減碳之外部效益

及委外售電之收益，三項略有不同之效益項目。

首先，綠電憑證效益項目即反映了全社會效率水準之提升，不應將之視為移轉性支付而忽略不計；其次，而委外售電之收益，既為自由之交易行為，則反映了整體社會效益之提升；第三，躉售綠電之效益最具爭議性，一般觀點認為台電相較於所訂定之電費水準，以較高的單價躉購太陽光電的制度屬於補貼的一種，故以為躉售綠電之效益項目應認為移轉性支付。

然而，台電制定之電費水準，是基於其提供之電力仍以燃煤燃油電廠生產之灰電為主，相較其進行躉購時，購買的是純太陽光電(綠電)，兩者是完全不同的商品；再者，即便躉購之價格高於電價水準，也不能斷然解釋其為補貼行為，綠電的躉購躉售仍屬於自由之交易

行為並反映買賣雙方效益之提升，故而不應將之列為移轉性支付。基此二論點，本研究仍將 SoB_t^{III} 納入分析之中，也因此模擬情境三中，並無任何項目屬於移轉性支付。

首先，如模擬情境二之分析所述，農牧場對於台電之電力需求若有所變化，即代表台電之發電量有改變之情形，需在全社會觀點之分析中，計算發電量增加造成的排碳(或發電量減少造成的減碳)之外部效果。而在此情境中，農牧場生產之綠電，無論經理人選擇何種營運模式，最終此綠電一定會被社會中某個體所使用，該個體必會因而降低其對於台電電力(灰電)之需求，故可推論農牧場建置太陽光電系統所生產之綠電，都應當納入減碳之效益中。

同理，情境三導入了自駕電動除草機後，同樣也須計算農牧場減少燃燒柴油所產生減碳之外部效益；以及為了替此項設施充電，在替

選方案二至五之中，須計算增加用電之排碳成本，然而替選方案一設定農牧場完全不使用台電之電力，所以此項用電成本變無須計算。

4.5.2.1 除減碳效益外各項目之分析結果

在全社會觀點中，直接將四個成本項目各期之現值加總，以及四個效益項目各期之現值加總呈現如表16所示。

4.5.2.2 減碳之效益

相較於基準情境，情境三新增有減碳效益 ($CB_{S,t}^{III}$)，概分為兩部分：

第一部分，全社會對於台電電力需求減少所降低之碳排放量：農牧場在情境三中導入337瓩太陽光電系統，每天可生產約1220度之電力，提供全社會之使用。又導入之電動自駕除草機，每天都需為除草機充5度電：在替選方案二至五，此電力需求由台電提供；在替選方案一，設定農牧場完全不用台電提供之電力，此5度之電力需求則由太陽光電系統所提供。故合計全社會在替選方案二至五，每天約對台電減少1,215度之電力需求，每年全社會約減少對台電之電力需求443,475度；在替選方案一之下，每天約對台電減少1,220度之電力需求，每年全社會約減少對台電之電力需求445,300度。

而按台電公告之109年電力排碳係數，生產之每度電約造成0.502公斤之二氧化碳排放。故計算全社會在替選方案二至五，每年約減少排碳222,613公斤；在替選方案一之下，每年約減少排碳223,530公斤。

第二部分，減少柴油使用所降低之碳排放量：情境三與情境二導入了相同數量的電動自駕除草機，農牧場因此每年減少了柴油使用量約536公升，每年約減少1,425公斤之二氧化碳排放，而此減碳量在五個情境中，都是相同的。故可計算在模擬情境三，因台電減少發電，以及農牧場減少柴油使用量，全社會之總減碳量，在替選方案二至五，每年約減少排碳共224,038公斤；在替選方案一之下，每年約減少排碳約224,955公斤。

接著，進一步以敏感度分析之方式，分以五種不同之碳交易價格，如前設定每公斤按新臺幣計分別約為1.85元、2.08元、2.31元、2.54元、2.77元，對於全社會減碳之效益進行分析。替選方案一之減碳效益，在前述五個價格下，每年分別約為416,166元、467,906元、519,645元、571,385元、623,124元；按模擬期間二十年折現加總計算，分別約為7,502,390元、8,435,119元、9,367,849元、10,300,579元、11,233,308元。替選方案二至五之減碳效益，每年分別約為414,471元、466,000元、

表16 模擬情境三全社會觀點下將減碳效益納入分析前各期之現值加總

(單位：元)

		二段式時間電價		三段式時間電價	
	可行方案一	可行方案二	可行方案三	可行方案四	可行方案五
$SoC_{S,t}^{III} + StC_{S,t}^{III}$ $+ MoC_{S,t}^{III} + EC_{S,t}^{III}$	92,912,103	20,271,874	20,271,874	20,269,783	20,269,783
$SoB_{S,t}^{III} + StB_{S,t}^{III}$ $+ MoB_{S,t}^{III} + EB_{S,t}^{III}$	37,717,141	36,807,949	45,455,656	37,510,747	46,158,455

517,529元、56,058元、620,587元；按模擬期間二十年折現加總計算，分別約為7,471,836元、8,400,767元、9,329,697元、10,258,628元、11,187,559元。(兩方案間相去不遠)

4.5.2.3 分析結果

最後，將上述減碳之外部效益納入分析之中，計算模擬期間二十年之淨現值如表17所示。結果顯示，不論碳交易價格為何，替選方案五對於全社會而言，為最適之決策，其淨現值在五個碳交易價格下皆為最高。

經觀察發現：在替選方案一之下，即使加入了減碳之外部效益，在敏感度分析之五種碳交易價格下，農場全社會淨現值之結果為負數，對全社會造成47,692,572元之損失，不具執行價值。

而敏感度分析之結果，對於本情境之分析結果並無決定性之影響力，原因在於：在經理人觀點未將 $CB_{s,t}^{III}$ 納入分析之前，淨現值之結果在替選方案二至五，均為正數；在全社會觀點又新增了 $CB_{s,t}^{III}$ 效益項目之後，其淨現值仍皆為正數，各個碳交易價格下之模擬結果，與經理人觀點之分析結果無明顯差異。而替選方案一

之淨現值結果顯著為負，即便納入減碳效益，情況亦無改善。

5. 結論與建議

5.1 結論

5.1.1 經理人觀點之成本有效性分析

在農場經理人觀點下，各模擬情境成本有效性之結果，歸納結論如下：

- (一) 經理人在模擬情境一之最適決策：在導入任何綠能設施系統之前，調整經常契約容量至119瓩，並採取三段式時間電價。相較於基準情境，可節省電費成本之淨現值約2,292,448元(20年折現加總)。
- (二) 經理人在模擬情境二之最適決策：農場選擇訂定經常契約容量110瓩，並採取三段式之時間電價，並導入太陽能光電系統(13.2瓩)、電動自駕除草機(電池能量5度)、儲能櫃系統(10度)，並以儲能櫃系統進行需量管理，每天可於尖峰時間放電一小時，減少10瓩之需量，20年折現加總，

表17 模擬情境三全社會觀點下淨現值之分析結果

(單位：元)

碳交易價格	二段式時間電價			三段式時間電價	
	可行方案一	可行方案二	可行方案三	可行方案四	可行方案五
1.85	-47,692,572	24,007,911	32,655,618	24,712,800	33,360,508
2.08	-46,759,843	24,936,842	33,584,549	25,641,731	34,289,439
2.31	-45,827,113	25,865,772	34,513,479	26,570,661	35,218,369
2.54	-44,894,383	26,794,703	35,442,410	27,499,592	36,147,300
2.77	-43,961,654	27,723,634	36,371,341	28,428,523	37,076,231

共可節省成本之淨現值達2,421,228元(20年折現加總)。

- (三) 經理人在模擬情境三之最適決策：農牧場為達淨零碳排，須導入太陽能光電系統(337瓩)及電動自駕除草機(電池能量5度)，並選擇將綠電全部委由售電業者轉售，且不應導入任何儲能櫃系統，而自身電力仍向台電購買，可賺取售電價格與時間電價之價差；並訂定經常契約容量119瓩，採取三段式時間電價，進一步節省超約罰金及時間電費。農牧場共可獲得淨效益之淨現值約20,538,898元(20年折現加總)。

5.1.2 全社會觀點之成本有效性分析

在全社會觀點下，各模擬情境成本有效性之結果，歸納結論如下：

- (一) 在三個模擬情境中，全社會觀點下之最適決策與經理人觀點下之最適決策相同，
- A. 模擬情境一之下，仍應選擇訂定經常契約容量119瓩，並執行三段式時間電價；
- B. 模擬情境二之下，不論敏感度分析之碳交易價格為何，同樣應選擇訂定經常契約容量110瓩，並執行三段式時間電價；
- C. 模擬情境三之下，無論碳交易價格為何，均不須建置任何儲能櫃系統，而採取全部委由售電業者轉售之綠電營運模式，此時農牧場還是選擇使用台電之電力，可賺取售電效益及時間電價之價差，並須訂定經常契約容量119瓩，執行三段式時間電價。
- (二) 相較於經理人觀點之分析結果，三個情境之淨現值結果則有所變化：
- A. 模擬情境一最適決策之下，二十年折現加總，全社會節省約2,617,560元之成

本，主要因為分析時採取之折現率有所變化，其實兩觀點在此情境下分析之項目皆相同。

- B. 在模擬情境二、三，分別以每公斤1.85元、2.08元、2.31元、2.54元、2.77元對於碳交易價格進行敏感度之分析，20年折現加總，全社會在情境二裡最高之淨現值達3,429,160元、最低亦有3,293,036元；在情境三裡最高之淨現值達37,076,231元、最低亦有33,360,508元。觀察全社會淨現值之結果，均較經理人觀點之分析更高，情境一僅是因為採取的折現率不同；而情境二、三的部分，則除了淨現值不同外，還因導入了減碳之外部效益的分析。

- (三) 值得注意的是，在模擬情境二之中，分析綠能系統之淨效益，在經理人觀點之下具有淨損失之三種替選方案，在全社會之觀點下，導入了減碳效益之分析後，所有替選方案都具有淨效益，原本經理人觀點不應執行之決策，因減碳之效益超過了原有之損失，在全社會觀點之下卻為可行。不過最適決策之選擇，並未因此分析產生變化，仍須訂定契約容量110瓩，並採取三段式時間電價。
- (四) 在模擬情境三模擬了綠能設施系統之淨效益，此時，因經理人觀點下，選擇所有綠電自發自用之淨損失實在過高，以致即使納入了減碳外部效益之分析，依然無法補足這項損失，原因仍然在於導入了儲能櫃系統後，其創造之效益遠遠不及相關之成本。另外兩種綠電營運模式之淨效益則在經理人觀點下原本就為正值，加上了減碳之外部效益，全社會觀點下，顯示農牧場更應該執行情境三之最適決策。

5.1.3 兩種觀點之比較

按說經理人觀點追求利潤極大化，全社會觀點追求整體社會效益極大，如表18所整理，全社會觀點的最適決策並不違背經理人觀點，兩者雖然做出相同的最適選案，但兩者係為殊途同歸之誘因相容(Incentive Compatibility)的競合關係。

在模擬情境一裡面，農牧場並無減碳效益，僅是節約超額罰金，以降低生產成本，對全社會而言也是一種效益。模擬情境二相較於情境一，兩者對於農牧場經理者之淨現值，在成本有效性分析當中雖在伯仲之間，但再接續的成本效益分析裡，農牧場還是以導入綠能系統之模擬情境二相對於模擬情境一相對有利。

在模擬情境三裡面，減碳效益雖有顯現，但非絕對關鍵的決策因素，真正的關鍵在於綠電運用的營運管理模式。探究其關鍵因素，在於三種不同使用價格背後的經濟意義：首先，綠電自發自用，取得再生能源憑證收益，其經濟價值在於取代黑電，固然有減碳效益，其價值也僅僅是黑電的替代品，再怎麼競爭，價格上限也僅僅是黑電市價。其次，將綠電躉售台

電，其經濟價值不只是替代黑電的在能源憑證收益，也在降低台電跳電風險，對社會供電穩定做出貢獻，因此全社會裡也存在較高的經濟價值，亦即再怎麼競爭，價格下限也不會低到跟黑電一樣。最後，在綠電委外轉售的方案裡，在五種碳權價格的敏感度分析裡，替選方案一都不如替選方案五，顯示綠電能透過碳交易的價格機制，流向願付價格更高的組織，用來創造更具經濟價值的商品或服務，或用來節省碳關稅區域的國際貿易門檻費用。在模擬情境三的替選方案四、五裡，與同情境的方案二、三對比，表示有企業或其他組織願意出價比台電公司更高來收購這些農牧場生產的綠電價值。

因此，兩者觀點之下的最適決策雖然契合，但細究其決策邏輯並不相同。對經理人而言，因為追求利潤極大化，因此是較為接近「活化資產」或「新增商品與服務」的商業價值，對全社會而言，則是透過間接的碳交易機制引導資源流向，接近「社會成本極小化」與「外部成本內生化」的社會價值。尤其對比自發自用與委外轉售兩種替選方案，更能凸顯碳交易機制的存在意義。

表18 各模擬情境下兩種觀點之綜合比較

情境 \ 觀點	經理人觀點	全社會觀點
模擬情境一 (改變契約容量)	可行方案二	可行方案二
模擬情境二 (改變契約容量並建置小規模綠能系統)	可行方案五	可行方案五
模擬情境三 (改變契約容量及建置大規模綠能系統並導入綠電營運管理模式)	可行方案五	可行方案五

5.2 農能共構的管理意涵與應用機會

一般民營農牧場的經理人，追求的經營目標多為利潤極大化或產量極大化，溪心壩牧場係屬國立中興大學畜牧系所的實習場所，經營目標以提供系所師生充足實習教學所需量能正常運作為優先，其追求之目標為成本極小化，其酪農產品係屬附屬事業，以國立中興大學實習商店為單一經銷通路。以本研究模擬結果為基礎，提出三項管理意涵與建議：

一、成本有效性與成本效益等分析的模擬結果，說明了農牧場經理人適時引進「農能共構」的經營模式，透過碳交易機制的價格引導作用，能同時追求成本極小，兼顧社會責任，此結果與Todde *et al.* (2018)見解相同。

(一) 在綠電供給方面：除了太陽能發電，或多評估其他綠能發電之可行性(例如風力發電、生質能、地熱等)，仿造本研究的分析過程，擴大農能共構策略的淨效益。這些淨效益都值得農政與能源管理機關提供農村再生能源補助，予以積極支持，接軌國際趨勢(易秉蓉，2019)。

(二) 在綠電需求方面：

1. 儲能櫃技術在本研究中雖未能顯現充足效益，並不代表會農牧場無需考慮此一應用技術，在國際電池技術日益進步以及電力輔助需求服務日增的雙重趨勢下，其價格趨勢仍值得經理人留心合宜的應用機會。
2. 除了無人除草機，亦可適時擴大綠電自用的應用場景。由於本研究僅聚焦酪農產品附加價值的生產過程，並未觸及其運銷過程。映對國際文獻(Ilyas *et al.*, 2019)提及酪農產業之養殖、飼料生產、運輸、儲存、加工及物流配送皆

離不開灰色能源之投入，現有的燃料貨車，在將來際遇(政府補助、新興計畫或預算許可時)得以補強時，建議設置電動貨車及其充放電樁，擴大減碳效益並提高益本比。

二、對於社會責任的無形價值，並非只有減排溫室氣體一途，本研究為聚焦討論減碳效益，並未納計其他多元且難以衡量的無形價值，例如：

(一) 擴大教育價值：溪心壩農場除了可提供原有農學院與生命科學學院的實習課程用途，在綠能共構設備建置完成之後，亦可作為綠能教育的實地示範場所使用，建議校方整合資源，提供環境保護、能源經濟、循環經濟等課程參訪，擴大其使用價值，提升其他相涉領域課程之教學趣味與滿意度。

(二) 社區友善與休憩價值：農能共構後之另可利用課餘時段開放導覽，活化資產利用率，既可做為在地社區團體與中彰投地區環境教育之參訪據點，亦可提供休憩管理課程師生的實習機會。

(三) 節省政策推行成本：本場域建置成果未來可供其他民間業者借鏡，複製此經營管理模式並應用之，亦可協助農政與綠電等管理機關作為示範基地，提供經驗諮詢、申請窗口與說明會場地，間接提高公共預算的使用效益。

三、在生產過程方面，綠能的成功並不能說明農業部門也會有相同幅度的效益，仍須進一步思考：

(一) 與國際文獻裡的狄美特農場(Schindele, S. & Högy, P., 2017)相比較，一個是以生產經濟作物為本業，本案場係以經濟動物的酪農產品為副業，且不論經營重心，產品製程明顯不同。然狄美特農場在農能共

構前後，其農業部門產能受到綠能部門的影響，產生的明顯「排擠效果」，而溪心壩農場未來在共構後，是否也會發生排擠效果，尚無其他跡證可資補充於模擬運算，故本研究係以農業產出與能源產出「相互獨立」為假設前提，並非忽略此一性質，後續農能共構後，酪農產品的產能變化仍為經理人持續觀察之重點。

(二) 與前述國內文獻的溫式蘭花栽培場(許志義等，2016)相比較，智慧能源管理系統的確都能發揮作用。然而，不只是調節溫度、濕度、照明等用電端(許志義與詹書瑋，2020)，未來其他有助改善經濟動物成長與增產的作業環境，都可整併於智慧能源管理系統，以有效成本擴大無形效益。建議牧場經理人將結餘之電費與罰金，致力於友善動物福利，改善畜舍環境及空間等用電成本，取得「臺灣乳牛場動物福利評分制度」認證，既可完善國立中興大學的社會責任，提高社會認同感，亦可推出量少質高的酪農精品(限時鮮乳、限購草飼奶油、限量冰淇淋)，獲得更高的產品認同感與市場報酬。

綜前所述，智慧綠能農牧場的無形效益相當多元，減碳效益只是其中一種基本款，而隨著儲能科技進步與廠商踴躍投資的趨勢，未來建置綠能管理系統的平均成本亦將日趨便宜，本研究僅係揭露一角，並聚焦單一類綠電經營管理模式，以體現農能共構之意涵。

未來可擴充於循環經濟當中，經理人藉以碳交易制度的經營管理模式追求組織目標(利潤極大或成本極小)，競合減碳效益，無須多餘花費去實踐社會責任，而這些減碳效益(及其多元的教育、公益、動保等無形價值)亦將提高組織形象與產品認同，獲得更多的資金挹注機會(市場報酬、政府補助、研究計畫、參訪門票、社

會捐款等)，對組織目標產生正向回饋，值得一般民間農牧場經理人列為產業升級與轉型的優先策略。

5.3 建議

藉由本實驗場域的研究結果，顯見「農能共構」確實存在成本有效性與正向的益本比，不但具有開發價值，亦能作為中部地區綠能教育的示範基地。若能複製並推廣此經營模式，匯聚更多分散在各地的農牧場蘊涵的分散式能源資源，既能加速臺灣能源轉型，亦對全球氣候緊急提供部分紓緩之貢獻。

另於模擬情境三之分析中，模擬建置840度之儲能櫃系統，可以使農牧場達到綠電全部自發自用，然而因儲能系統之建置成本過高，此決策並不具成本有效性。然而，此一決策，可以使農牧場進入孤島狀態時，維持其進行孤島運轉，本研究並未計算此效益。建議後續之研究者可以由農牧場之相關農產品可能的損失，計算進入孤島狀態時，農牧場藉由儲能系統維持相關設備之運作，所獲得之效益。如將之納入計算，或許替選方案一之淨現值不致這麼低。

在孤島運轉的情形下，農牧場雖不須任何來自於台電之電力，然而農牧場亦需向台電訂定備用之契約容量，以防相關設施故障而無法維持孤島運轉。此備用契約容量之相關成本，本研究亦未曾將之納入分析之中，建議後續之研究可以估算此項成本，或可得到更加真實的結論。

值得注意的是，本研究參考之電價，為台電2022年7月1日之前訂定之高壓用戶電力價格，而台電自2022年7月1日起，即調漲相關高壓用戶之時間電價。本研究之實證場域，雖為農漁業而並不在此次調漲之列，所以上述之分析結果仍然適用，然而本研究之結果則不適用

於其他有被調整電費的電力用戶，且這次農漁業不調漲之列，是因近期疫情之影響，或許疫情過後也會被調整電費。故建議後續之研究者，可以由2022年7月1日公告之新的電力價格，重新進行成本有效性之分析。

致 謝

本文作者感謝行政院國科會計畫編號 NSTC 112-2622-8-216-001-TD2及MOST 111-2622-H-216-001-專案計畫經費之支持，也感謝兩位匿名評審委員提供的寶貴意見。惟本文如有任何錯誤，應由作者們自負文責。

參考文獻

太陽能光電變流器，2022年5月18日。維基百科。<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%85%89%E4%BC%8F%E9%80%86%E5%8F%98%E5%99%A8>

台灣電力公司，2021年11月10日。電價表。<https://www.taipower.com.tw/tc/page.aspx?mid=238>

台灣電力公司，2017。台電高壓用戶服務入口網站。<https://hvcs.taipower.com.tw/>

行政院環境保護署，2021。綠色車輛指南。空氣品質改善維護資訊網。https://air.epa.gov.tw/EnvTopics/MobilSource_3.aspx

行政院環境保護署，2021年11月10日。綠色車輛指南網。<https://greencar.epa.gov.tw/webpage/carsearch.aspx>

易秉蓉，2019。農業綠能共構人才供需調查及分析工作計畫。農業試驗所特刊，219。<https://scholars.tari.gov.tw/handle/123456789/16398>

油價資訊管理與分析系統，2021年11月10

日。汽柴油參考零售價。https://www2.moeaboe.gov.tw/oil102/oil2017/A01/A0108/allprices_m.asp。

國立中興大學農業試驗場，2022。<https://aes.nchu.edu.tw/%E9%97%9C%E6%96%BC%E6%9C%AC%E5%A0%B4/%E6%9C%AC%E5%A0%B4%E4%BB%8B%E7%B4%B9>。

國家發展委員會，2023。臺灣2050淨零排放路徑及策略總說明。https://www.ndc.gov.tw/Content_List.aspx?n=DEE68AAD8B38BD76。

梁靜云，2008。移動污染源空氣污染減量之政策工具有效性分析——台灣地區實證研究。〔碩士論文。國立政治大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。<https://hdl.handle.net/11296/yg3rv2>。

許志義、鄭彙齡與鄧蓉，2016。綠色校園智慧節能系統之成本效益分析：國立中興大學畜產試驗所案例。臺灣能源期刊，3(3)。https://km.twenergy.org.tw/Publication/thesis_more?id=128

許志義與林振玄，2021。智慧家庭能源管理系統營運模式及其經濟分析：電能產消者 vs. 產消儲電者。臺灣能源期刊，8(3)。https://km.twenergy.org.tw/Publication/thesis_more?id=290

許志義與黃國暉，2010。台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，臺北市，臺灣。

許志義與詹書瑋，2020。智慧校園成本效益分析與營運模式之研究——以○○大學為例。台電工程月刊，858，70-88。

許志義與蔡志欣，2018。太陽能發電系統生命週期淨能源分析與成本效益評估。台電工程月刊，834，1-21。

郭彥廉，2000。空氣污染移動源管制政策之成

- 本有效性分析。國立臺北大學自然資源與環境管理研究所碩士論文。
- 郭毓瑩，2007。成本效益分析。華泰文化。
- 陳淑芬，2020。興大研發儲能型發電系統 再生能源發電穩定不是夢。中時新聞網(2020年5月12日)。 <https://www.chinatimes.com/realtimenews/20200512003463-260405?chdtv>。
- 經濟部能源局，2016。電能管理與需量控制 Q&A 節能技術手冊。 <https://www.ecct.org.tw/ReadFile/?p=Knowledge&n=ab15c1f8-b397-4753-8270-1fd3c7adc070.pdf>。
- 經濟部能源局，2022a。能源轉型白皮書109年度執行報告。 https://www.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/content/ContentDesc.aspx?menu_id=15551。
- 經濟部能源局，2022b。109年度電力排碳係數。 https://www.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/news/Board.aspx?kind=3&menu_id=57&news_id=20933。
- 臺灣銀行(2021年11月10日a)新臺幣存(放)款牌告利率。 <https://rate.bot.com.tw/twd?Lang=zh-TW>。
- 臺灣銀行(2021年11月10日b)牌告匯率。 <https://rate.bot.com.tw/xrt?Lang=zh-TW>。
- 劉庭瑋，2017。台灣社會折現率之實證研究。〔碩士論文。國立臺北大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。 <https://hdl.handle.net/11296/ehsna5>。
- 蔡志祥，2019。電動汽車儲能對電網售電營運模式之成本有效性分析。〔碩士論文。國立政治大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。 <https://hdl.handle.net/11296/fg5z5f>。
- 蕭代基、鄭蕙燕、吳珮瑛、錢玉蘭與溫麗琪，20023。環境保護之成本效益分析：理論、方法與應用。俊傑書局。
- Ember. (2021, November 10). *Carbon Price Tracker*. Retrieved from <https://ember-climate.org/data/data-tools/carbon-price-viewer/>
- IEA, 2021. *Net zero by 2050: A roadmap for the global energy sector*. International Energy Agency. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ad0d4830-bd7e-47b6-838c-40d115733c13/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector.pdf>
- Ilyas, H. M. A., M. Safa, A. Bailey, S. Rauf and M. Cullen, 2019. Peer Review Paper published in the International Farm Management Association (IFMA) 22 Congress held in Tasmania, Australia, 3-8 March 2019.
- NextDrive, 2021。能源物聯網平台臺。 <https://www.nextdrive.io/>
- Oxford Languages, 2020. *Word of the Year 2019*. Retrieved from <https://languages.oup.com/word-of-the-year/2019/>
- Schindele, S. and P. Högy, 2017. Agrophotovoltaics: Harvesting the Sun for Power and Produce. Retrieved July 6, 2022, from <https://blog.innovation4e.de/en/2017/12/01/agrophotovoltaics-harvesting-the-sun-for-power-and-produce/>
- Todde, G., L. Murgia, M. Caria and A. Pazzona, 2018. A comprehensive energy analysis and related carbon footprint of dairy farms, part 1: Direct energy requirements. *Energies*, 11(2), 451.
- Weimer, D. (Ed.), 2009. *Cost-benefit analysis and public policy*. John Wiley & Sons.

Cost-Effectiveness Analysis of the Innovative Operation Model in Smart Green Energy Farms and Ranches: A Comparison Between Manager's Perspective and Societal Perspective

Joel Chiang¹ Jyh-Yih Hsu² Tsung-Chi Chen^{3*}

ABSTRACT

As the goal of net-zero carbon emissions by 2050 has gradually become a consensus among countries around the world, the issue of energy transition has become a top priority for all countries. The main supplier of the power industry, large-scale centralized power plants using non-renewable energy sources, must gradually shift towards renewable energy-based distributed power sources. Agriculture and animal husbandry usually have relatively larger areas or barns. Therefore, governments around the world are promoting the concept of agrivoltaic systems, introducing green energy systems into the field of farms and ranches.

In this context, this study focuses on the Hsi Hsin Pa Farm of National Chung Hsing University. It is found that in this empirical field, the peaks exceed the Taipower's contract capacity almost every month. In addition, two main electricity consumption peaks occurs each day, while the peaks exceed a lot from the trough. Taking this as the motivation, this study adopts the cost-effectiveness analysis (CEA), analyzing the costs and benefits of farms and pastures in the following three simulated scenarios, from both manager's perspective and societal perspective: in Scenario I, without introduction of any green energy facility, we analyze the benefit of changing the contracted capacity; in Scenario II, we simulated introducing small-scale green energy facilities, and analyze whether it is cost-effective; in Scenario III, we analyze whether it is cost-effective to build this empirical field in to a Net-Zero-Energy smart green farm.

The results show that from both societal and managers' point of views, among all the other alternative strategies, the most cost-effective one happens in Scenario III, in which the farm should build 337 kW of solar panels in order to achieve net zero carbon emissions. The most effective strategy is for the farm to seek for an green-power retailer and sell all the green electricity produced by the PV systems, without building any energy storage systems. At the same time, the farm should set a regular contract capacity of 119 kW, and adopt the three block TOU rate in order to obtain the highest benefit.

Keywords: Smart Green Energy Farm, Cost-Effectiveness Analysis, Energy Storage Systems, Renewable Energy, Distributed Energy Resources.

¹M.A. in Economics, National ChengChi University.

²Distinguished Research Fellow, Intelligent Transportation Development Center, National Chung Hsing University.

³PhD Candidate, Department of Applied Economics, National Chung Hsing University.

*Corresponding Author, Phone: +886-(0)919-094444, E-mail: d103034003@mail.nchu.edu.tw

Received Date: December 07, 2022

Revised Date: June 27, 2023

Accepted Date: July 26, 2023