

電動汽車儲能對電網售電營運模式之成本有效性分析

蔡志祥¹ 許志義² 葉法明^{3*}

摘要

隨著近年來越來越多再生能源加入電網，電力產業需要儲能設備平衡電網供需，以維持電力系統的穩定度。電力產業除了建置電池儲能系統，可以利用電動汽車藉由車對電網(Vehicle to Grid, V2G)的技術，電動汽車的電池扣除移動所需之容量，藉由整合商聚集大規模數量之電動汽車，便可以提供可觀的儲存量能，對於電力公司可以節省建置儲能設備之成本，整合商、電動汽車車主可以從V2G的商業模式中獲益。本研究分析臺灣電動汽車參與V2G商業模式之下，相對於傳統汽車之成本有效性分析。本研究首先比較電動汽車與傳統汽車之差異，釐清電動汽車所需考慮之成本項目以及如何估算；接著說明電動汽車與V2G的商業模式，探討V2G營運模式如何興起，而電動汽車如何從其營運模式中獲益；最後解釋V2G的概念，為電動汽車參與V2G商業模式提供相關技術背景架構。本研究結果顯示，電動汽車車主參與V2G商業模式，可以增加傳統汽車車主換購電動汽車之誘因，從整體社會而言，電動汽車相對於傳統汽車可以減少噪音污染、空氣污染以及減少排碳量，增進整體社會之效益。因此，若在適當時機臺灣發展V2G商業模式，將可以提升整體社會之效益。本研究最後針對電動汽車V2G商業模式加以引申探討其經濟意涵。

關鍵詞：電動汽車，成本有效性分析，車對電網，再生能源，電力儲能

1. 緒論

近年來由於意識到溫室效應等環境問題，同時在核能安全的疑慮之下，再生能源逐漸受到全球重視。臺灣能源政策(行政院，2018)指出，目標在2025年再生能源裝置容量設置達20 GW，預估再生能源發電量可達546億度電。然而，風能、太陽能等再生能源受限於環境與氣候等其他因素，必須取決於風力大小、日照期間長短因而造成其供電不穩定，因此當這些分散式能源資源(Distributed Energy Resource, DER)加入傳統電網之中，電網的安全性與可靠

性將受到挑戰。

Lund. & Kempton (2008)說明再生能源佔電力系統比重越高時，可以透過Vehicle to Grid (V2G)的技術，利用電動汽車的電池作為儲能裝置，當電力供給過多時可以增加儲能需求，或者電力供給不足時，從電池釋出電能至電網，即時快速提供電力輔助服務，平衡電網中的供給與需求。V2G的技術產生一個典範移轉，利用電動汽車的兩種商品特性：(1)汽車：交通運輸、(2)電池：儲存電能，當電動汽車不作為交通工具使用時，電動汽車的電池可以儲能，協助調控電力系統的負載，促使能源市場

¹ 國立政治大學經濟學系研究所 碩士

² 國立中興大學資訊管理學系所暨應用經濟學系所 合聘教授

³ 國立中興大學應用經濟學系所 博士生

*通訊作者電話: 0911-716488, E-mail: d104034004@mail.nchu.edu.tw

收到日期: 2020年03月27日

修正日期: 2020年11月05日

接受日期: 2020年11月10日

與交通運輸市場產生連結性(Turton & Moura, 2008)。雖然電動汽車的電池容量不大，但可以透過能源聚合商(Aggregator)聚集千百輛的電動汽車，以螞蟻雄兵之力提供可觀的儲存量能，可以節省另外設置儲能設備之成本，也能善用電動汽車的電池達成共享經濟。

電動汽車加入智慧電網一天的使用情形如圖1所示，白天通勤至上班地點，電動汽車停在商辦大樓或是停車場，電動汽車的電池便可以在這段時間作為儲能裝置協助電網的供需平衡，最後只需要保留返家所需的電能，再利用夜晚回到家時再充電。

電動汽車別於傳統燃油汽車，因其電池將可提供儲能服務而有潛在收益，故本研究分析臺灣電動汽車在V2G技術帶來的創新營運模式，對於購買純電動汽車的車主以及整體社會的成本，並且考量隨著純電動汽車數量增加、規模變大之後，不同的模擬情境下對於電力供給的影響以及參與電力輔助市場潛在的收益，相對於傳統汽車之成本有效性分析。

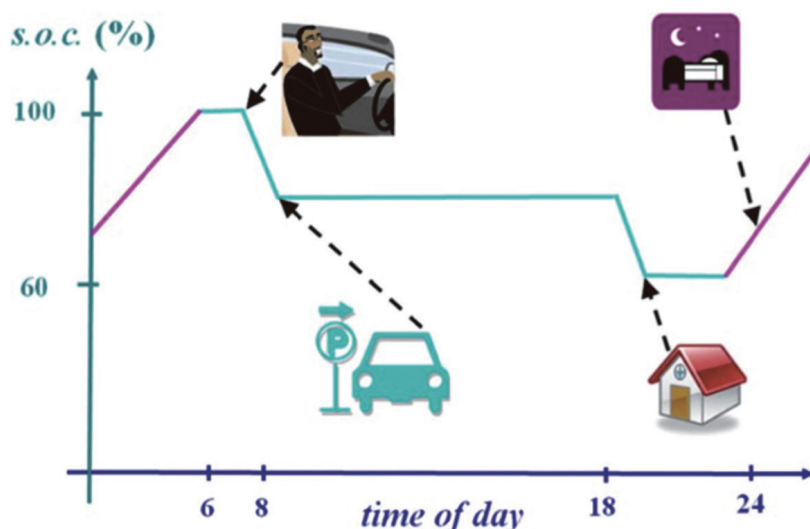
2. 電動汽車創新營運模式及其文獻回顧

2.1 電動汽車相關文獻

電動汽車相較於傳統燃油汽車，排放溫室氣體以及其他空氣污染物是較低的(Rangaraju *et al.*, 2015；Razeghi *et al.*, 2016)，但前者普及率不高。Wolbertus *et al.* (2018) 統整主要有三個因素使得電動汽車並不普及：(1)續航力不足、(2)購車成本高、(3)缺乏充電基礎設施。前兩項因素涉及電動汽車的技術限制，尤其是電池的成本高，但是續航力不比傳統燃油汽車。

本研究以純電動汽車(Battery Electric Vehicle, BEV)為研究對象。根據國際能源總署(IEA) 2018年全球電動車展望報告，電池是電動汽車成本中最為昂貴的部分，隨著這幾年技術的發展，鋰離子電池(Li-ion cell)成本逐年下降(參考圖2)，而且隨著電池的容量越大，電池成本還會再進一步降低，例如70 kWh容量的電池比30 kWh容量的電池每單位節省25% (參考圖3)。

針對電池壽命的研究，Warner在2015年估計鋰離子電池大約可以循環使用1,000次(Warner, 2015)，假設電池容量為35 kWh，平均每公里消耗0.2 kWh的情況下，則一般電動汽車的電池可以行駛175,000公里，足以應付電動



註：State of Charge (S.o.C.)是電池剩餘電量比，等於電池的剩餘電量/電池的總電量，SoC=0%表示電池完全沒電了，SoC=100%時表示電池滿電。

圖1 電動汽車一天的使用情形(Guille & Gross, 2009)

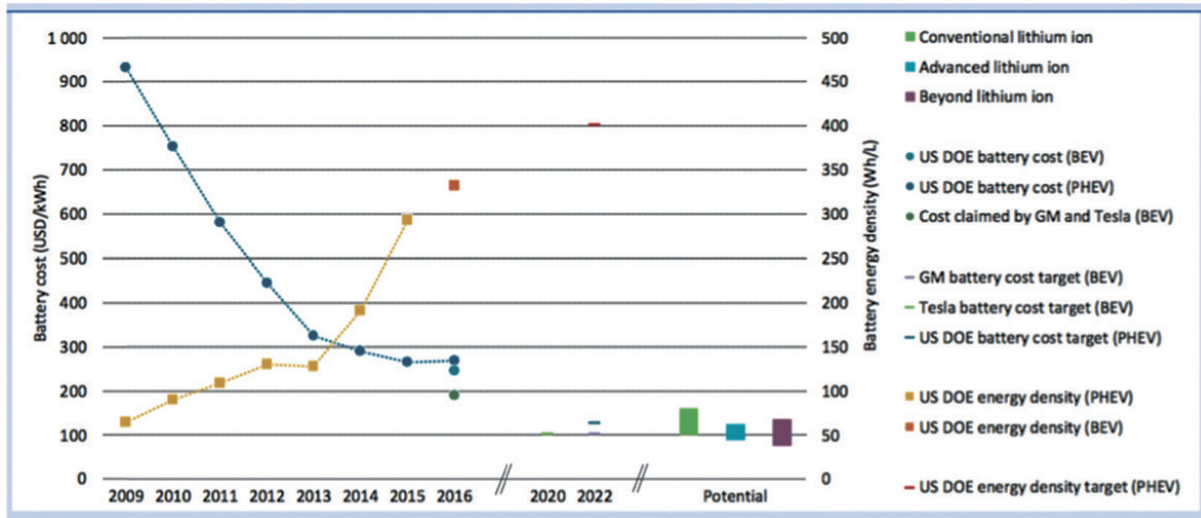


圖2 2009-2015年電池每單位密度成本(2016為預估值) (IEA, 2017)

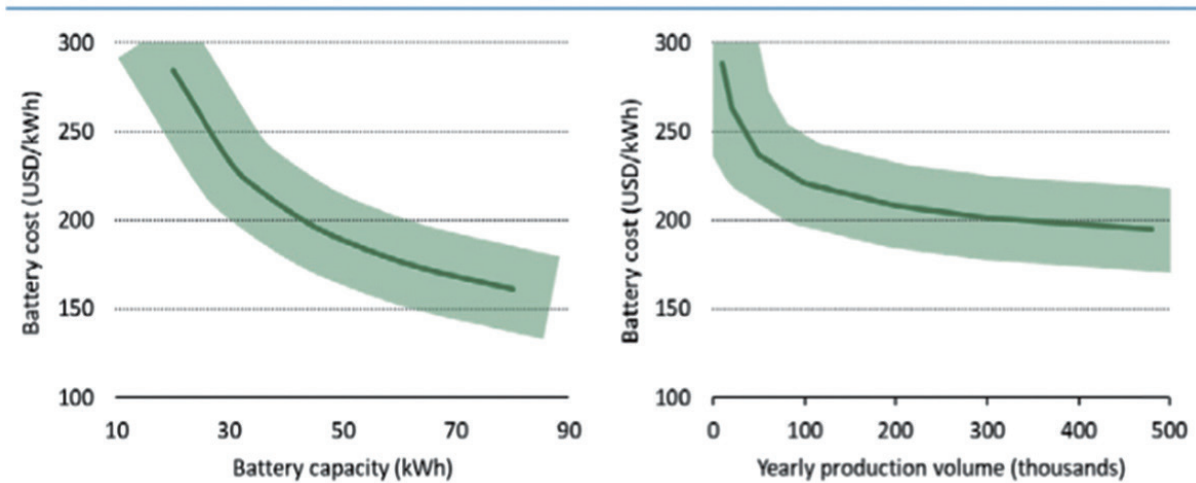


圖3 電動汽車電池容量與成本關係(IEA, 2018)

汽車正常壽命所需。Baker *et al.* (2010)蒐集專家的意見，大多數認為電池循環使用超過3000才會造成電池可用容量減少。Cluzel & Dogulas (2012)在氣候變遷委員會中，關於電動汽車電池成本的報告也提出，實務上電動汽車行駛低於250,000 km都不需更換電池¹。因此有研究計算電動汽車總成本時不計入更換電池的成本，或是以十年為期計算更換電池成本對於持有電動汽車總成本之影響(Ruan *et al.*, 2016；Weldon *et al.*, 2018)。

根據Faria *et al.* (2013)和Delucchi & Lipman

(2001)的研究，電動汽車的保養維修費用約為傳統燃油汽車的65%-80%；Onat *et al.* (2015)選用70%做評估。Propfe *et al.* (2012)的研究，指出純電動汽車在保養維修費用大約比傳統燃油汽車低18%。Ruan *et al.* (2016)在其研究中假設電動汽車保養費用為傳統燃油汽車的70%，估算電動汽車行駛300,000公里所需的保養維修費用為12,300美金。

2.2 電動汽車創新營運模式

電動汽車因市場售價高而難以較民眾接

¹筆者曾於2019年11月14日在布里斯本參與Renewable Energy Pop Up的活動，現場有Tesla Model 3與Nissan Leaf以其他廠牌之電動汽車展示，經訪談現場人員得知Tesla Model 3電池折損率不高，從Tesla電動汽車問世以來，使用經驗顯示大約還可保有98%的電池容量，而Nissan Leaf大約兩三年電池容量效能僅剩80%，針對這點Nissan有提供更換電池的服務。因此本研究中對於Nissan Leaf不考慮電池折損率，而對於Tesla Model 3的假設是合理的。

受, Laurischkat *et al.* (2016)彙整2009年至2016年203篇文獻, 探討電動汽車的商業模式, 以創造電動汽車多種用途而增加額外收益。其中V2G的商業模式, 是利用私家汽車有96%時間都是閒置的特性, 將電動汽車閒置時的電池作為儲能設備, 聚合商向電動汽車車主購買電池的容量或是能量, 可以協助平衡電網的供給與需求, 參與電力輔助市場獲得收益, 電動汽車汽車車主也能在不使用汽車時獲得額外的收益, 降低電動汽車的使用成本提升大眾購買電動汽車的意願(Lund & Kempton, 2008; Turton & Moura, 2008; Kempton & Tomić, 2005; Kley *et al.*, 2011; Christensen *et al.*, 2012)。

Kempton & Tomić (2005)將所有的電動汽車視為一個車隊, 以美國電動汽車電池累積共19,500 GW為例參與V2G商業模式, 探討V2G商業模式如何支持大量再生能源進入電網之穩定性。研究建議電動汽車車隊短期時可以參與即時、具有高價值的調頻服務, 只需電動車車隊3%容量。當調頻服務市場被滿足後, 接著可以再參與抑低尖峰負載或是間歇性再生能源儲存服務市場。長期而言, 為了滿足全黑啟動或是再生能源儲能服務, 有電力系統搭配建置儲能

設備或是與電動汽車車隊合作兩種方式, 由於電動汽車除了作為儲能裝置也具有一般汽車的商業價值, 同時取代傳統汽車具有外部效益, 因此電力系統搭配電動汽車車隊比起建置儲能裝置是較為合理的選擇。

2.3 車對電網(Vehicle to Grid, V2G)相關文獻

「智慧電網」目前仍無統一定義, 廣泛而言, 是以傳統電網為基礎, 導入資訊、通訊與自動化科技, 建置具智慧化之發電、輸電、配電及用戶的整合性電力網路, 強調自動化、安全及用戶端與供應端密切配合, 以提升電力系統運轉效率、供電品質及電網可靠度, 並整合分散式能源, 增強因應再生能源所帶來衝擊之能力, 進而達到節能省碳的目的(經濟部能源局, 2018a)。

Guille & Gross (2009)提出車對電網(Vehicle to Grid, V2G)的架構, 圖4揭示電動汽車加入智慧電網之相關利害關係人, 圖中能源聚合商串連電動汽車車主、電力調度中心(Independent system operator, ISO)/區域輸電組織(Regional Transmission Organizations, RTOs)、電力服務提

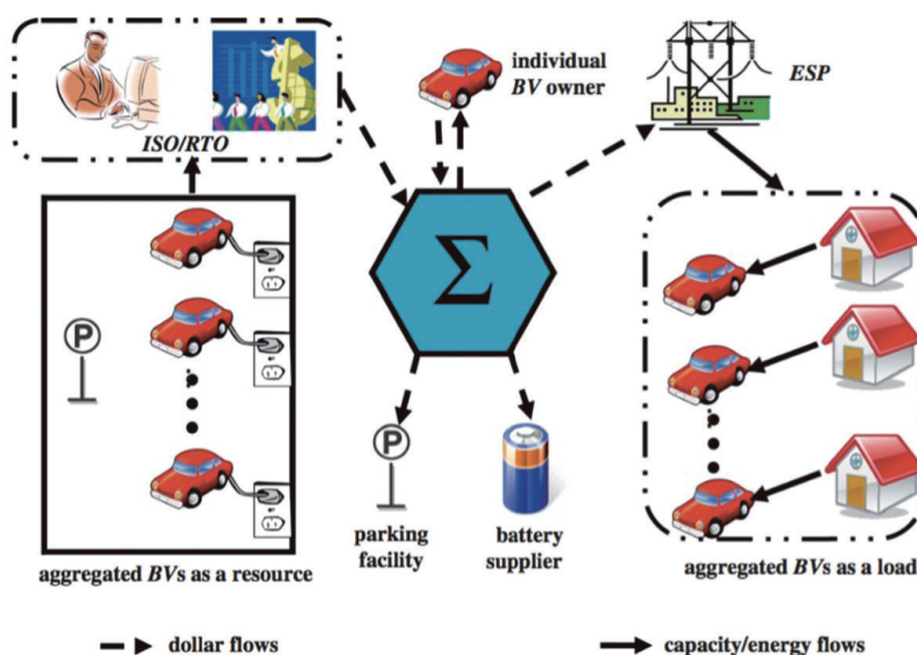


圖4 電動汽車加入智慧電網架構圖(Guille & Gross, 2009)

供者(electric service provider, ESP)。由於汽車多數時間停在停車場，專業的停車場能源管理公司(聚合商)管理電動汽車充放電，依照電力市場的電價資訊，挑選便宜的電價時段充電、用電尖峰時間不充電或甚至將電力供電至電網，不僅可以平衡電網供需提升電網穩定度，對於聚合商、電動汽車車主也能有額外收益，隨著電動汽車數量越多，將能達到具有成本效益的商業規模(環境資訊中心，2018)。

Uddin *et al.* (2018)指出，電動汽車雖然可以參與智慧電網的輔助服務提升電網穩定，但是缺乏考量充電以及放電對於電動汽車電池壽命的影響，然而，透過資訊技術管理、適當的演算法便能提升電池的壽命，讓電池壽命的折損程度不會因參與智慧電網的電力輔助市場而加劇。Noel & McCormack (2014)研究傳統燃油巴士與電動巴士加入智慧電網之成本效益分析，在考量電動巴士減少空氣污染、提升健康等外部性之後，還必須藉由參與智慧電網售電獲得每年15,274美金的收入才符合成本效益。Gough *et al.* (2017)使用英國電力市場的資料，模擬電動汽車參與商用建築的智慧電網，參與電力市場輔助服務。在模擬情境中，電動汽車電池的電能可以有三種不同的使用方式：(1)商用建築自己使用、(2)提供電力批發市場(Wholesale market)、(3)提供短期備轉容量(Short Term Operating Reserve, STRO)，研究結果指出在電動汽車的電能可以同時提供至批發市場以及容量市場的組合下，扣除電池折損的成本，每臺電動汽車可以在十年內獲得8400英鎊的淨收益。

臺灣將於2040年禁售燃油汽車(行政院，2017)，在經濟部能源局(2017)的智慧電網總體規劃方案中，智慧用戶具體工作其中一個項目是推動電動車(G2V及V2G)及充電站建設，可以預期臺灣未來將有更多電動汽車加入智慧電網。

依據臺灣電力公司估計，臺灣2040年將禁售燃油汽車，2050年達成全面汽車電動化，每

天將增加4011萬度的電能需求，台電配電處處長王耀庭指出(環境資訊中心，2018)，夏日夜間離峰每天可提供4,000萬度，冬季夜間離峰每天也可提供6,400萬度，都足以滿足電動車充電，因此不需要擴增電廠來供應尖峰用電所需，而是需要時間電價、需量反應、智慧電網與車對電網技術，藉由適當的價格誘因，讓民眾在對的時間充電，讓電動汽車充放電時間協助電網穩定，可透過需求平衡負載，不再是傳統負載追隨需求。

3. 研究方法

3.1 成本有效性分析

成本效益分析是比較計畫或政策執行之後所產生的效益以及執行時所需的成本，作為選擇的依據。然而，通常有許多計畫或政策之效益很難具體量化成貨幣值，譬如人之生命的評估，或者很難具體說明某些人因計畫或者政策而受益，此時成本有效性分析(cost-effectiveness analysis)可以作為另種可行之決策工具(蕭代基等，2002)。

成本有效性分析之原則是，「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」，係以最低成本法，做為選擇方案之策略。其在評估最低成本方案之過程中，會應用經濟學之機會成本概念，亦即迴避成本(Avoided Cost)。換言之，不同替代方案之成本將取代基準方案的成本，而基準方案所節省之成本為替代方案之效益(蕭代基等，2002；許志義與黃國暉，2010)。

上述分析方法應用成本效益分析，該效益並非為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。成本有效性分析法與成本效益分析法，最大不同之處係成本有效性分析法沒有考慮對整個社會或各產業間之效益。然而，本質上該分析方法仍為成本效益分析之一種(許志義，2020)。

本研究中，從汽車車主以及整體社會兩種角度，分析為了獲得汽車交通服務(達到同樣的服務或是功能)之選擇依據。從使用傳統汽車轉換至使用電動汽車，我們無法說使用電動汽車為成本，不使用傳統汽車為其效益。因為不使用傳統汽車的「效益」並非是由於使用電動汽車而直接產生的，不像金融活動中投入資金，可以收取的「利息」是從投入的資金衍生的。因此對於汽車車主和整體社會，購買電動汽車貨傳統汽車時是考量兩者的使用成本不同，經加總計算後，以較低成本作為選擇依據，故本研究採用成本有效性分析。

3.2 本研究成本項及效益項相關說明

本節將說明V2G商業模式成本有效性分析從電動汽車車主立場以及社會整體兩種角度所需的成本項、效益項以及相關參數。本研究以Tesla Model 3以及Nissan Leaf兩種電動汽車為參考依據，考量在不同電池續航力、是否參與V2G商業模式等情境下，分別從汽車車主立場以及整體社會立場，計算淨現值，評估替代購買傳統汽車之成本。

3.2.1 汽車車主立場

在汽車車主立場，使用傳統汽車與電動汽車相比，其購車之成本、汽車所需相關之變動成本以及所需繳納的稅金與保險都不相同，另外還有政府針對電動汽車之補貼和電動汽車參與V2G商業模式之收益。傳統汽車市場售價則分為70萬、90萬、110萬、130萬、150萬五種模擬情境。

➤汽車車主之成本淨現值

$$NPV^T = C^T - B^T \quad (1)$$

NPV^T 為第T種情境下汽車車主使用者淨現值； B^T 為第T種情境下汽車車主之效益； C^T 為第T種情境下汽車車主之成本。其中上標T為區分情境一至五，例如情境一為 NPV^1 。

$$B^T = \sum_{t=1}^n \left[\frac{VG_t^T}{(1+i)^t} \right] \quad (2)$$

在效益項的部分，對於購買電動汽車的車主，由於可以參與V2G商業模式而獲得收益，而傳統汽車車主則沒有額外收益為零。因此效益項中 B^T 僅包含 VG_t 為第t年電動汽車參與V2G商業模式獲得的收益；i為私人折現率。

$$C^T = \sum_{t=0}^n \left[\frac{PC_t^T + VC_t^T + TC_t^T}{(1+i)^t} \right] \quad (3)$$

PC_t 為使用者在第t年時購買汽車成本； VC_t 為第t年汽車相關變動成本； TC_t 為第t年汽車相關稅金；i為私人折現率。

3.2.2 整體社會立場

對整體社會立場而言，有關傳統汽車的部分，新增認列其外部成本影響，包含有空氣汙染、噪音汙染和排碳成本；在電動汽車的部分，新增列因為增加電能使用而導致的外部成本。稅金的部分在整體社會立場中為移轉性支出，因此排除計算，並以社會折現率取代私人折現率估計之。以下將以數學式表達其計算方式。

➤整體社會之成本淨現值

$$NPV_S^T = C_S^T - B_S^T \quad (4)$$

NPV_S^T 為第T種情境下使用汽車之社會淨現值； B_S^T 為第T種情境下使用汽車社會總效益； C_S^T 為第T種情境下使用汽車社會總成本。其中上標T為區分情境一至五，例如情境一為 NPV^1 ，而下標S代表為傳統汽車、Tesla Model 3及Nissan Leaf汽車車主對於社會之影響。

$$B_S^T = \sum_{t=1}^n \left[\frac{VG_t^T}{(1+d)^t} \right] \quad (5)$$

在效益項的部分，由於使用電動汽車可以參與V2G商業模式而獲得收益，而使用傳統汽車則沒有額外收益為零。因此效益項中 B_S^T 僅包含 VG_t 為第t年電動汽車參與V2G商業模式獲得的

收益，而 d 為社會折現率。

$$C_S^T = \sum_{t=0}^n \left[\frac{PC_t^T + VC_t^T + NC_t^T + AC_t^T + CC_t^T}{(1+d)^t} \right] \quad (6)$$

PC_t 為整體社會附在第 t 年時購買汽車之成本； VC_t 為第 t 年汽車相關變動成本； NC_t 為第 t 年時傳統汽車噪音污染之成本； AC_t 為第 t 年時傳統汽車空氣污染之成本； CC_t 對於傳統汽車以及電動汽車都是第 t 年時排碳之成本，傳統汽車是由於使用燃油而產生排碳，電動汽車則是因為使用電能，而電廠在發電的過程中而產生的排碳； d 為社會折現率。

4. 實證結果與分析

本章節首先估計汽車車主，購買傳統汽車與Tesla Model 3和Nissan Leaf兩款電動汽車之成本比較。接著將調整汽車使用年限、電動汽車是否課徵牌照稅、參與V2G商業模式獲得額外收入進行敏感度分析。最後估計汽車車主購買傳統汽車、Tesla Model 3和Nissan Leaf對整體社會之成本，並且也將調整汽車使用年限、考量電動汽車加入V2G商業模式進行敏感度分析。

4.1 汽車車主模擬情境之成本有效性分析

首先關於電動汽車成本的部分。第一個成本項 PC_t 為第 t 年購買汽車之成本，本研究以Tesla Model 3以及Nissan Leaf兩種電動汽車為參考依據，選擇這兩款電動汽車的原因是相較於其他市售的電動汽車的售價較低，民眾可接受度較高，而且依照裕隆日產汽車股份有限公司總經理李振成於2018年法說會上表示，2019年4月將把Nissan Leaf二代引進臺灣，預計售價為150萬起²。Tesla Model 3則是已經可以在網路

上選購，目前美加地區已經陸續交車，其他國家也將於2019年陸續交車³，售價為35,000萬美金，不過根據Musk於2016年表示，車主會再加購配備，平均Model銷售價為42,000美金⁴，約130.2萬(匯率美金兌臺幣31元)，此外在考量臺灣關稅17.5%，則售價將為153萬，貨物稅的部分，依照現在財政部對於電動汽車之優惠，超過140萬貨物稅減半為15%，因此Tesla Model 3預估臺灣購買成本將為170.95萬。兩款電動汽車之基本資料參考表1。

第二項 VC_t 為第 t 年電動汽車相關變動成本，包含保養維修費用、保險費用以及充電費用。根據本研究第二章文獻回顧，以傳統汽車保養維修費用之百分之七十作為電動汽車的保養維修費用(Onat *et al.*, 2015)。根據交通部統計處(2018)《自用小客車使用狀況調查報告》，臺灣自用小客車車主一年平均保養維修費用為12,211元，因此本研究估算兩款電動汽車每年保養維修費用約為8,548元。

保險費用的部分，目前臺灣保險公司仍將電動汽車之保險費用比照一般小客車辦理，本研究也認為電動汽車以及傳統汽車行駛在道路上的風險並無太大差異，主要取決於駕駛人的駕駛行為以及道路環境的風險。Loup Venture於2017年的研究當中，估計Tesla電動車的保險費用略低於傳統汽車，因此本研究採用與傳統汽車相同的9,195元作為保險費用。

在充電費用的部分，根據《自用小客車使用狀況調查報告》，臺灣自用小客車每年平均行駛公里數為9,134公里，並以表1兩款電動汽車的最高續航力以及最低續航力分別估算一年需要的電能。電價費用的是依照台電2018年4月1日公告電價表，住商簡易型時間電價之二段式、三段式時間電價方案(表2)以及標準型時間電價(表3)，依據台灣電力公司(2018)官方網站

²〈裕隆集團法說〉裕日車明年Q2開賣首款電動車 售價不排除150萬元起跳，CMoney投資網誌。擷取自：<https://www.cmoney.tw/notes/note-detail.aspx?nid=123699>。2019.01.01查閱。

³Tesla官方網站，Model 3 預購常見問題集。擷取自：https://www.tesla.com/zh_TW/support/model-3-reservations-faq。2019.01.01查閱。

⁴擷取自：<https://insideevs.com/elon-musk-tesla-model-3-average-selling-price-expected-42000/>。2019.01.04查閱。

表1 Tesla Model 3 & 2019 Nissan Leaf規格(本研究彙整)

	Tesla Model 3	2019 Nissan Leaf
售價	預估售價為170.95萬	預計售價150萬臺幣
電池容量	80 kWh	40 kWh
最高續航力	310英里(約500公里)	400公里 ⁵
最低續航力	220英里(約355公里)	150英里(約240公里)
馬力	450 hp ⁶	147 hp

表2 住宅用電之住商簡易型時間電價(台電公司，2018)

(1) 二段式 單位：元

分 類					夏月 (6月1日至 9月30日)	非夏月 (夏月以外 時間)
基 本 費	按 戶 計 收			每戶每月	75.00	
流 動 費	週 一 至 週 五	尖峰時間	07:30~22:30	每 度	4.44	4.23
		離峰時間	00:00~07:30 22:30~24:00		1.80	1.73
		週六、週日 及離峰日	離峰時間		全 日	1.80
	每月總度數超過2000度之部分			每 度	加0.96	

(2) 三段式 單位：元

分 類					夏月 (6月1日至 9月30日)	非夏月 (夏月以外 時間)	
基 本 電 費	按 戶 計 收				每戶每月	75.00	
流 動 電 費	週 一 至 週 五	尖峰時間	夏月	10:00~12:00 13:00~17:00	每 度	6.20	—
		半尖峰時間	夏月	07:30~10:00 12:00~13:00 17:00~22:30		4.07	—
			非夏月	07:30~22:30		—	3.88
		離峰時間		00:00~07:30 22:30~24:00		1.80	1.73
	週六、週日 及離峰日	離峰時間	全 日	1.80		1.73	
	每月總度數超過2000度之部分				每 度	加0.96	

介紹，一般住宅用電度數未滿4,000建議選用住商簡易型時間電價，超過4,000度則選標準型時間電價⁷，因此本研究假設一般住宅選擇住商簡

易型時間，而商辦大樓選擇標準型時間電價。電動汽車車主會選擇在離峰時間電價便宜的時候充電，再依照夏月與非夏月比例33.3%、

⁵根據日本JC08測試，電池充飽後可以行駛400公里。

⁶Car and Driver, Tesla Model 3 擷取自：<https://www.caranddriver.com/tesla/model-3>。2019.01.04查閱。

⁷表燈用戶如何評估選擇時間電價？擷取自：<https://www.taipower.com.tw/tc/page.aspx?mid=1402>。2019.01.04查閱。

表3 住宅用電之標準型時間電價(台電公司，2018)

分 類				夏月 (6月1日至 9月30日)	非夏月 (夏月以外 時間)
基 本 電 費	按 戶 計 收		單 相	129.10	
			三 相	262.50	
	經 常 契 約			236.20	173.20
	非 夏 月 契 約			—	173.20
	週 六 半 尖 峰 契 約			47.20	34.60
流 動 電 費	離 峰 契 約			47.20	34.60
	週 一 至 週 五	尖峰時間	07:30~22:30	3.42	3.33
		離峰時間	00:00~07:30 22:30~24:00	1.46	1.39
	週 六	半尖峰時間	07:30~22:30	2.14	2.06
		離峰時間	00:00~07:30 22:30~24:00	1.46	1.39
	週日及 離峰日		全 日	1.46	1.39

66.7%計算一年所需的充電費用，而住商簡易型時間電價之離峰電價皆相同為1.8元/kWh。以Tesla Model 3可行駛最高續航力(快速道路高能效) 500公里且採行標準型時間電價為例，一年行駛9,134公里除以500公里，需要充電18.27次，而充電一次的電池容量為80 kWh，則一年所需電量約為1,461 kWh，再按夏月33.3%乘以1.8元、加上非夏月66.7%乘以1.73元，得出一年充電費用為2,562元。同理可得，Tesla Model

3可行駛最低續航力(都市行駛低能效)一年所需充電費用為3,661元，而Nissan Leaf可行駛最高(高能效)以及最低續航力(低能效)一年所需充電費用分別為1,601元、2,669元。

第三項TC_t為第t年電動汽車相關稅金，由於電動汽車是以電能為動能，因此沒有燃料稅。在牌照稅方面，財政部(2018)以馬達馬力作為課稅分級，電動汽車稅額表如表4。根據Nissan官方資料，Nissan Leaf為147 hp，而Tesla

表4 電動汽車牌照稅稅額(財政部，2018)

完全以電能為動力之電動小客車使用牌照稅稅額表			
小客車(每車乘人座位9人以下者)			
馬達最大馬力		稅額	
英制馬力(HP)	公制馬力(PS)	自用(元)	營業用(元)
38以下	38.6以下	1,620	900
38.1-56	38.7-56.8	2,160	1,260
56.1-83	56.9-84.2	4,320	2,160
83.1-182	84.3-184.7	7,120	3,060
182.1-262	184.8-265.9	11,230	6,480
262.1-322	266.0-326.8	15,210	9,900
322.1-414	326.9-420.2	28,220	16,380
414.1-469	420.3-476.0	46,170	24,300
469.1-509	476.1-516.6	69,690	33,660
509.1以上	516.7以上	117,000	44,460

並沒有公告Model 3的馬力，依據網路上蒐集的資料估計Tesla Model 3的馬力約為463 hp，應繳牌照稅分別為7,120元、46,170元。目前臺灣政府政策為免徵牌照稅至2021年底⁸，因此本研究將於2021年後分別計入這兩款電動汽車所需負擔的牌照稅費用。

傳統汽車之成本，第一個 PC_t 為第t年購買傳統汽車之成本，根據《自用小客車使用狀況調查報告》，臺灣自用小客車以未滿1400c.c.-1600c.c.為大宗約30.9%，未滿1800c.c.-2000c.c.為次之佔28.3%，平均排氣量為1886c.c.，因此，本研究以平均排氣量1886c.c.為研究對象。為估計自用小客車的購車成本，本研究至8891新車網站⁹，蒐集以汽油為燃料、乘客數為4-5人、排氣量為1.8L-2.0L之小客車新車價格，最便宜的是Toyota Corolla Altis為65.6萬，最貴的是Audi A6為302萬，依據車型和配備的不同，

排除較昂貴的進口車，其餘新車價格大部分都在一百萬左右，參考表5。因此，本研究將傳統汽車購車成本分為70萬、90萬、110萬、130萬、150萬五種模擬情境。

第二項 VC_t 為第t年傳統汽車相關變動成本，包含保養維修費用、保險費用、牌照稅、燃料稅以及燃料費用。本研究使用《自用小客車使用狀況調查報告》統計資料，一年臺灣自用小客車車主平均保養維修費用為12,211元、平均保險費用為9,195元、平均燃料費用為33,864元，因此每年 VC_t 為55,270元。

第三項 TC_t 為第t年傳統汽車相關稅金，根據《使用牌照稅法》第六條附表一，1.8L-2.0L每年牌照稅11,230元；依據交通部公路總局公告的燃料費率，1.8L-2.0L每年燃料稅為6,180元¹⁰，因此每年 TC_t 為17,410元。

關於效益項的部分， VG_t 為第t年電動汽車

表5 2018年11月1.8L-2.0L燃油小客車新車價格(本研究整理)

品牌	車種	排氣量	價格(萬元)
Toyota	Corolla Altis	1.8L	65.6-79.9
Nissan	Elantra	1.8L	71.5-79.9
Mitsubishi	Grand Lancer	1.8L	66.9-78.9
Luxgen	S5 Turbo Eco Hyper	1.8L	71.9-80.9
BMW	3 Series Sedan	2.0L	209-269
Mazda	3 4D	2.0L	78.9-87.9
	6	2.0L	114.9-123.9
Mercedes-Benz	CLA	2.0L	229-311
Volvo	S60	2.0L	92.8-141
	S90	2.0L	255
Volkswagen	Passat	1.8L	148.8
		2.0L	179.8
Audi	A6	1.8L	254
		2.0L	302
	A3 Sedan	2.0L	255
	A5 Sportback	2.0L	225-283
Skoda	Octavia	2.0L	138.8
	Superb	1.8L	132.8
		2.0L	149.9-167.8

⁸行政院經濟部工業局(2018年2月22日)，推動延長電動汽車使用牌照稅免徵期限。擷取自：<https://www.moeaidb.gov.tw/ctrl?PRO=policy.rwdPolicyView&id=5654>。2018.12.09查閱。

⁹資料蒐集時間為2018年11月23日，擷取自8891新車網：<https://c.8891.com.tw/>。

¹⁰擷取自中華民國交通部公路總局：<https://www.thb.gov.tw/page?node=b58eb9aa-3160-429b-af08-645d5ae19f4c>。2019.01.01查詢。

參與V2G商業模式之效益，本研究假設電動汽車車主在週間(週一至週五)白天時通勤至上班地點，扣除回家時所需的電力，並另外再保留3%電池容量，將剩餘的電能，賣給商辦大樓或是工廠。由於商辦大樓或是工廠白天尖峰時用電電價較高，因此只要價格低於台電制定的電價，會有誘因向電動汽車車主購買，電動汽車車主便可以在白天時賣電、晚上回家使用離峰時較便宜的電價充電，從而獲得收益。

根據《自用小客車使用狀況調查報告》資料，臺灣自用小客車最主要用途為上下班使用，佔41.8%，其次為探親或接送親人、小孩為20.4%，而每次行駛里程(來回)平均為34.8公里，同時考量電動汽車之蓄電池剩餘容量則會依照車主使用習慣、駕駛環境等不同，在行使過程中有不同程度的能效，故本研究將依照表1計算兩款電動車分別在最高以及最低續航力的情況下，行駛34.8公里所需電量，並扣除保留3%的電量之後，得出電池剩餘量之上限(高能效、高續航力)以及下限(低能效、低續航力)，將剩餘電量將賣回給商辦大樓獲得收益。同時根據行政院公布2019年共250上班日¹¹，計算一年電動汽車車主可獲得之收益以及成本，其淨收益結果參考表6。

在私人折現率的部分，以中央銀行公告「五大銀行平均基準利率」2.63%為折現率¹²，

表6 兩款電動汽車參與V2G在不同時間電價方案下之淨收益(本研究整理)

單位：元		
車款	低能效	高能效
Tesla Model 3	28,206	29,173
Nissan Leaf	13,365	14,305

註：低能效意指電動汽車行駛於都市道路等，耗電較高、續航力較低。
高能效則指電動汽車行駛於高速道路等，耗電較低、續航力較高。

汽車使用年限則參考《自用小客車使用狀況調查報告》，臺灣自用小客車駕駛人認為自用小客車最高使用年限之平均值為16.7年，其中認為10-未滿15年佔32.5%為大宗，15-未滿20年31.1%次之，本研究選擇15年為基準。先不計入電動汽車V2G之收益，表7為汽車車主在五種模擬情境之傳統汽車，使用十五年之各項成本折現值及其折現總值。表8為Tesla Model 3、Nissan Leaf兩款電動汽車，分別計算最高以及最低續航力，使用十五年之各項成本折現值及其折現總值。

由表7、表8可以看出幾項重要結果。首先兩款電動汽車的售價皆比傳統汽車售價要高，但是變動成本都較低，然而Tesla Model 3的牌照稅比傳統汽車更高，Nissan Leaf則比較低，因此購買Nissan Leaf則可以節省後續維持汽車成本以彌補初始時購車成本較高，Tesla Model 3則不一定。其二，Tesla Model 3的成本皆高於五種模擬情境之傳統汽車車主；然而，Nissan Leaf的成本對於購買110萬以上之傳統汽車車主較低，代表只有對於110萬以上之汽車車主，應當選擇購買Nissan Leaf。

4.2 汽車車主使用電動汽車之敏感度分析

4.2.1 免除電動汽車牌照稅

目前臺灣免徵電動汽車牌照稅至2021年，在上節研究中兩款電動汽車僅節省三年(2019-2021)的牌照稅，故本研究將考慮免除後續十二年牌照稅對於汽車車主之影響。在表9的結果可以得知，免除電動汽車牌照稅之後，選購使用Tesla Model 3的成本低於使用110萬以上之傳統汽車，然而，由於Nissan Leaf所需牌照稅不高，免徵電動汽車牌照稅之後，使用其成本仍

¹¹行政院核定108年總放假日115日。擷取自：<https://tw.news.yahoo.com/%E8%A1%8C%E6%94%BF%E9%99%A2%E6%A0%B8%E5%AE%9A108%E5%B9%B4%E7%B8%BD%E6%94%BE%E5%81%87%E6%97%A5115%E6%97%A5-%E9%80%A3%E7%BA%8C%E5%81%87%E6%9C%9F%E5%80%8B-075604195.html>。2019.01.04查閱。

¹²五大銀行為臺灣銀行、合作金庫銀行、第一銀行、華南銀行、以及臺灣土地銀行。擷取自：https://www.cbc.gov.tw/sp.asp?xdurl=banking/rates_04.asp&ctNode=371。2019.01.02查閱。

表7 車主觀點：傳統汽車五種模擬情境折現後各項成本比較(本研究整理)

模擬情境	折現後之成本項(千元)			總和(千元)
	購車成本	變動成本	稅金成本	
情境一	700	678	214	1,592
情境二	900	678	214	1,792
情境三	1,100	678	214	1,992
情境四	1,300	678	214	2,192
情境五	1,500	678	214	2,392

表8 車主觀點：Tesla Model 3及Nissan Leaf折現後各項成本比較(本研究整理)

不同廠牌電動汽車之 電池剩餘量(度)		折現後之成本項(千元)			總和(千元)
		購車成本	變動成本	稅金成本	
Tesla Model 3	70	1,710	262	435	2,407
	72	1,710	249	435	2,394
Nissan Leaf	33	1,500	244	67	1,811
	35	1,500	233	67	1,800

表9 電動汽車免除牌照稅對於汽車車主之各項成本及其折現總值(本研究整理)

不同廠牌電動汽車之 電池剩餘量(度)		折現後之成本項(千元)		總和(千元)
		購車成本	變動成本	
Tesla Model 3	70	1,710	262	1,972
	72	1,710	249	1,959
Nissan Leaf	33	1,500	244	1,744
	35	1,500	233	1,733

高於傳統汽車市場售價70萬之傳統汽車。

4.2.2 電動汽車參與V2G商業模式

依據第一節定義的V2G商業模式，將收益扣除成本之後，可以讓每輛電動汽車車主每年有額外的淨收益(參考表10)，故本研究將此

表10 電動汽車車主執行V2G淨收益(本研究整理)

車款	低能效	高能效
Tesla Model 3	28,207	29,173
Nissan Leaf	13,365	15,349

註：低能效意指電動汽車行駛於都市道路等，耗電較高、續航力較低。
高能效則指電動汽車行駛於高速道路等，耗電較低、續航力較高。

效益加入之後討論(參考表11)。從結果得知，Tesla Model 3由於電池容量大，可以從參與V2G商業模式每年獲得得收益較多，因此在維持對電動汽車課徵牌照稅的情況下，若電動汽車車主能加入V2G商業模式，其使用Tesla Model 3之成本將低於130萬以上之傳統汽車。Nissan Leaf加入V2G商業模式，相較於原本課徵牌照稅的情況下，其使用成本仍高於使用70萬傳統汽車。

同時考慮免徵電動汽車牌照稅以及同時參與V2G商業模式收益，對於電動汽車車主之影響(參考表12)。若是選購使用Nissan Leaf，其成本都低於五種模擬情境之傳統汽車；在Tesla Model 3的部分，其使用成本僅高於70萬傳統汽車。

表11 車主觀點：電動汽車參與V2G商業模式之各項成本與收益比較(本研究整理)

不同廠牌電動汽車之 電池剩餘量(度)		折現後之成本項(千元)			折現後之效益項 (千元)	總和(千元)
		購車成本	變動成本	稅金成本	V2G收益	
Tesla Model 3	70	1,710	262	435	346	2,061
	72	1,710	249	435	358	2,036
Nissan Leaf	33	1,500	244	67	164	1,647
	35	1,500	233	67	175	1,625

表12 車主觀點：電動汽車免除牌照稅、參與V2G商業模式之各項成本與收益比較

不同廠牌電動汽車之 電池剩餘量(度)		折現後之成本項(千元)			折現後之效益項 (千元)	總和(千元)
		購車成本	變動成本		V2G收益	
Tesla Model 3	70	1,710	262		346	2,407
	72	1,710	249		358	2,394
Nissan Leaf	33	1,500	244		164	1,811
	35	1,500	233		175	1,800

4.3 整體社會模擬情境之成本有效性分析

本節將以第一節相同之模擬情境，以整體社會立場出發，評估各情境之下之外部性，包含使用傳統汽車時會產生的噪音污染、空氣污染以及具有排碳成本，而使用電動汽車時會增加對於電力之需求，電廠發電而增加的排碳影響，而移轉性支付如稅金將不列入分析之中。在社會折現率選取方面，以劉庭瑋(2017)針對臺灣社會折現率之研究，建議以1.01%評估50年期以內之公共投資計畫或是公共政策。

PC_{st} 為第t年購買汽車之成本， VC_{st} 為第t年汽車相關變動成本， VG_{st} 為第t年參與V2G商業模式之效益，此三項在汽車車主與整體社會立場之成本皆相同，差異在於使用社會折現率而不是私人折現率。從整體社會立場，使用傳統汽車增加外部成本的部分包含噪音污染成本、空氣污染成本以及排碳成本；而使用電動汽車將增加外部成本的部分有電廠因增加發電而造

成碳排放，以下將分述說明。

NC_{st} 為第t年傳統汽車噪音污染成本，根據張國廷(2006)利用成本趨避法估算汽車噪音成本，估計出每輛汽車產生噪音成本為0.043/km，本研究參考其估計值，並以臺灣一年平均行駛9,134公里，估計傳統汽車一年造成噪音污染成本為393元。 AC_{st} 為第t年傳統汽車空氣污染成本，張國廷(2006)以衝擊路徑法之評估流程，計算空氣污染對人體產生之罹病及死亡成本，從而估計空氣污染成本，其中空氣污染包含PM10、SOX、NOX及CO四種污染物，本研究參考其估計值0.059/km，估計9,134公里之空氣污染成本為539元。 CC_{st} 為第t年排碳成本，由於空氣污染成本中並未包含二氧化碳，故本研究對於傳統汽車排放二氧化碳進行估計。本研究依據行政院環保署綠色車輛指南網¹³，蒐集2018年排氣量1800c.c.-2000c.c.車款之平均CO₂排放值，再將這些車款平均CO₂排放值取平均得188.718克/公里，並參考歐盟碳排放交易體系(European Union Emission Trading Scheme)的

¹³擷取自：<https://greencar.epa.gov.tw/webpage/carsearch.aspx>。2018.12.05查閱。

2018年12月3日碳交易價格20.68歐元¹⁴，以匯率35.15計算，約臺幣0.7269/公斤，最後得出傳統汽車一年碳排放成本為1,251元。

由於電動汽車對於電力之需求，使得電廠增加電力供給進而造成碳排放之成本，本研究以經濟部能源局(2018b)公告2017年最新電力碳排放係數¹⁵，每發一度電會造成0.554公斤二氧化碳的碳排放，並以上述碳交易價格，計算Tesla Model 3和Nissan Leaf在最高續航力、最低續航力一年所需電力造成電廠的排碳成本，參考表13。

值得注意的，當未來越來越多再生能源加入電網時，將會降低每度電的碳排放，進而減

表13 Tesla Model 3及Nissan Leaf增加電能消耗之排碳成本(本研究整理)

車款	低能效	高能效
Tesla Model 3	841元	589元
Nissan Leaf	613元	368元

註：低能效意指電動汽車行駛於都市道路等，耗電較高、續航力較低。
高能效則指電動汽車行駛於高速道路等，耗電較低、續航力較高。

少電動汽車的排碳成本。

在本節中先不計入電動汽車參與V2G商業模式之效益，汽車使用年限同第一節為15年，表14為整體社會立場之五種模擬情境傳統汽車，使用十五年之各項成本折現值及其折現總值。表15為Tesla Model 3、Nissan Leaf兩款電動汽車，分別計算最高以及最低續航力，使用十五年以整體社會立場之各項成本折現值及其總和。由表14、表15可以觀察到幾項結果。第一，Nissan Leaf各項成本在高電耗以及低電耗皆低於Tesla Model 3，因此對於整體社會而言，選購Nissan Leaf是優於Tesla Model 3。第二，使用傳統汽車與使用Tesla Model 3相比，使用Tesla Model 3的成本低於使用130萬以上傳統汽車之成本，然而若是與使用Nissan Leaf相比，則其成本低於110萬以上之傳統汽車之成本。

4.4 電動汽車參與V2G商業模式對於整體社會之影響

4.4.1 電動汽車參與V2G商業模式

表14 社會觀點：傳統汽車之種模擬情境之折現後各項成本比較(本研究整理)

模擬情境	折現後之成本項(千元)					總和(千元)
	購車成本	變動成本	噪音成本	空污成本	排碳成本	
情境一	700	766	5	7	17	1,495
情境二	900	766	5	7	17	1,695
情境三	1,100	766	5	7	17	1,895
情境四	1,300	766	5	7	17	2,095
情境五	1,500	766	5	7	17	2,295

表15 社會觀點：Tesla Model 3及Nissan Leaf折現後之各項成本比較

不同廠牌電動汽車之 電池剩餘量(度)		折現後之成本項(千元)			總和(千元)
		購車成本	變動成本	排碳成本	
Tesla Model 3	70	1,710	297	12	2,019
	72	1,710	281	8	1,999
Nissan Leaf	33	1,500	283	8	1,791
	35	1,500	268	5	1,773

¹⁴擷取自：<https://sandbag.org.uk/carbon-price-viewer/>。2018.12.05查閱。

¹⁵擷取自：https://www.moeaboe.gov.tw/ecw/populace/content/ContentDesc.aspx?menu_id=6989。2018.12.05查閱。

電動汽車車主加入V2G商業模式後，選購使用Tesla Model 3以及Nissan Leaf之成本都低使用90萬以上傳統汽車之成本。由於Tesla Model 3每年可從V2G商業模式獲益比較多，因此相較沒有V2G商業模式的狀況，Tesla Model 3多了90萬以及110萬之傳統汽車車主為潛在客群，Nissan Leaf僅增加90萬之傳統汽車車主為潛在客群。若是Tesla Model 3與Nissan Leaf兩者相比較，在可以參與V2G商業模式的情形下，使得兩款電動汽車使用成本都相當接近，可見得V2G商業模式的收益，提供相當經濟誘因使汽車車主購買Tesla Model 3，其結果為表16。

4.4.2 臺灣不同數量之電動汽車參與V2G之影響

電動汽車的電池作為電力儲能設備，在本研究中假設電動汽車車主利用晚上離峰時間充電、白天尖峰時間賣電，相當於將白天的電力負載移轉至夜間，當越來越多再生能源加入電網時，V2G的商業模式不僅可以提供電動汽車

車主、整合商收益，也能協助電力公司調度電力負載。根據交通部公路總局統計，截至2018年11月底，全臺自用小客車數量約為660萬輛¹⁶，因此本節模擬200萬、300萬、400萬、500萬、600萬五種情況下，Tesla Model 3與Nissan Leaf兩款電動汽車電池可提供之儲能容量(參考表17)。依據歷年以來，用電最高峰出現於2018年7月31日下午一點49分，達到3,690萬瓩¹⁷，由表17五種模擬情境中，只需要200萬Nissan Leaf在最低續航力的情況下，便可以提供6,600萬瓩之儲能容量。值得注意的，此容量適合做為輔助服務，無法長時間持續供應用電所需。

4.5 經濟意涵與引申

本節分兩部分說明電動汽車V2G商業模式之經濟意涵與引申。第一部分將依據市場中電動汽車數量以及儲能裝置之容量不同，對於電動汽車車主以及儲能裝置擁有者之定價方式以及福利變化。第二部分將說明電動汽車V2G商業模式之興起，實為範疇經濟(Economics of

表16 社會觀點：電動汽車V2G商業模式之各項成本與收益比較(本研究整理)

不同廠牌電動汽車之電池剩餘量(度)		折現後之成本項(千元)			折現後之效益項(千元)	總和(千元)
		購車成本	變動成本	排碳成本	V2G收益	
Tesla Model 3	70	1,710	297	12	346	1,673
	72	1,710	281	8	358	1,641
Nissan Leaf	33	1,500	283	8	164	1,627
	35	1,500	268	5	175	1,598

表17 兩款電動汽車在不同數量規模可提供之儲能容量(本研究整理)

單位：萬瓩						
電動汽車	模擬情境	情境一	情境二	情境三	情境四	情境五
Tesla Model 3	高耗電	13,929	20,894	27,858	34,823	41,787
	低耗電	14,406	21,610	28,813	36,016	43,219
Nissan Leaf	高耗電	6,600	9,900	13,200	16,500	19,800
	低耗電	7,064	10,596	14,128	17,660	21,192

註：低能效意指電動汽車行駛於都市道路等，耗電較高、續航力較低。

高能效則指電動汽車行駛於高速道路等，耗電較低、續航力較高。

¹⁶交通部公路總局，統計年報及速報。擷取自：<https://www.thb.gov.tw/sites/ch/modules/StatisticsSummary/StatisticsSummary-List?node=47df19cb-4615-4f2e-b322-6bcceef70406>。2019.01.05查閱。

¹⁷炎熱天氣臺灣用電創新高。擷取自：<https://technews.tw/2018/08/01/tw-solar-power-help-a-lot/>。2019.01.05查閱。

Scope)之應用實例。

4.5.1 彈性價格機制與社會福利

彈性價格機制是指依據尖峰、離峰不同的需求量，訂定不同的價格，對於共享經濟中將閒置資產再利用創造價值，彈性價格機制的應用更符合經濟邏輯，因為共享經濟是以閒置資產較低的機會成本來提供服務，導致在不同的需求量時，由於閒置資產之機會成本不同而有不同訂價(游晨廷，2017)。

首先，圖5說明市場中僅存有少量電動汽車以及儲能設備對於電力儲能市場之社會福利。 S_1^* 為第一部電池儲能裝置提供電力儲存之供給線， S_1^v 為第一臺電動汽車電池提供電力儲存之供給線，假設在電池固定容量範圍內之邊際成本相同，超出儲存容量之後成本為無限大，因此供給曲線將出現拗折轉為垂直線。而根據天氣、發電機組等不同狀況，因應再生能源發電過多而出現離峰 D_1 與尖峰 D_2 則為兩種儲能之需求曲線。

在離峰 D_1 的情況下，需求量为 Q_1 ，若以儲能設備提供服務，則此時供過於求，需求決定價格為 P_2 。對於電動汽車車主而言將電池作為儲能裝置只是將電動汽車做為交通工具的額外用途，只需考量電池的邊際成本即可參與儲能市場，因此可以以電池的邊際成本更低 P_1 訂

價，若電動汽車的電池透過V2G商業模式提供儲能服務，則社會福利會增加灰色面積。

在尖峰 D_2 的情況下，此時由於儲能容量之限制，對於除能裝置之擁有者將有短期的超額利潤，又稱為經濟租(Economic rent)，即為圖6中灰色的部分，因此此時訂價會比邊際成本高，訂為 P_3 ，以利攤提回收資本之沈沒成本。

然而，若是再生能源過多，為滿足儲能之需求、提供電力系統穩定性，則必須再新增儲能裝置。但由於儲能裝置的限制，無法隨時根據再生能源發電的狀況而調整裝置容量，因此會造成儲能設備未達成百分之百使用，不論尖峰或是離峰之需求，其訂價皆為儲能設備之邊際成本 P_2 ，為圖7。而當再生能源發電沒有那麼多、儲能市場需求曲線從 D_2 降為 D_1 時，會新增有 Q_2-Q_1 閒置容量，將會造成更多資產設備因閒置未利用造成浪費。

對於電動汽車車主而言，由於電動汽車電池的邊際成本較低，在價格 P_2 的情況下，仍然具備V2G商業模式的商業價值，增加的社會福利與圖7相同。

圖8則考量市場中電動汽車數量越多，並且電動汽車電池容量足以作為儲能市場的儲能裝置，不論面對哪一種的需求曲線，可以調整電動汽車的數量因應不同儲能需求，在一樣面對尖峰 D_2 需求曲線的情況下，以電動汽

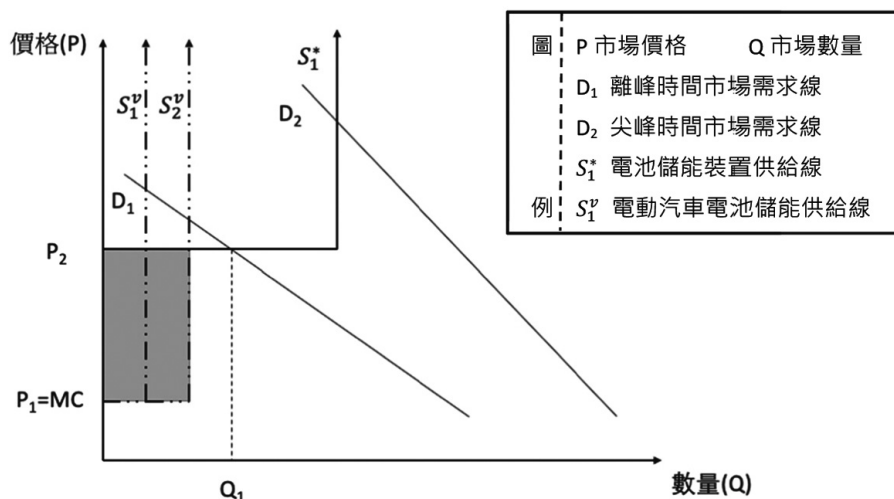
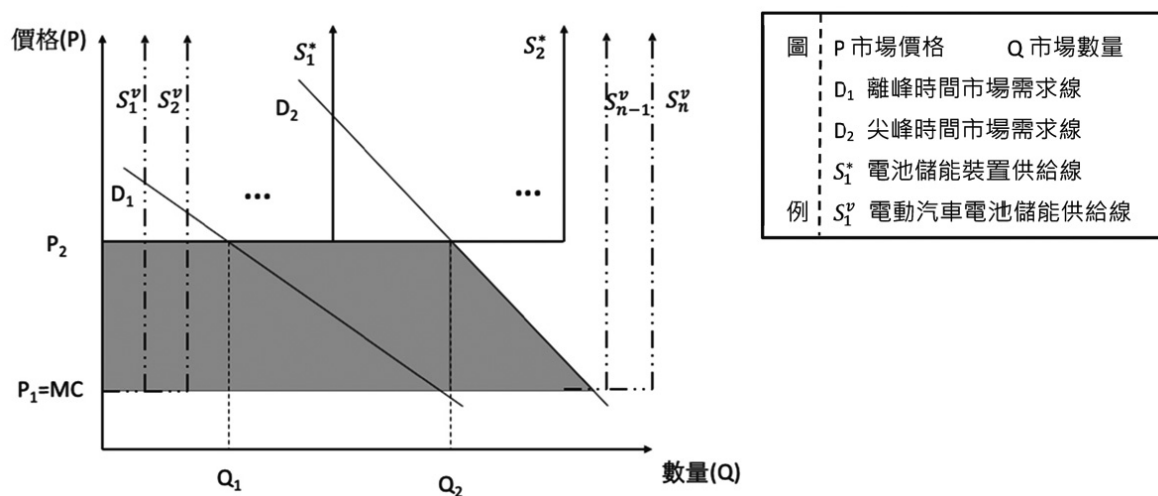
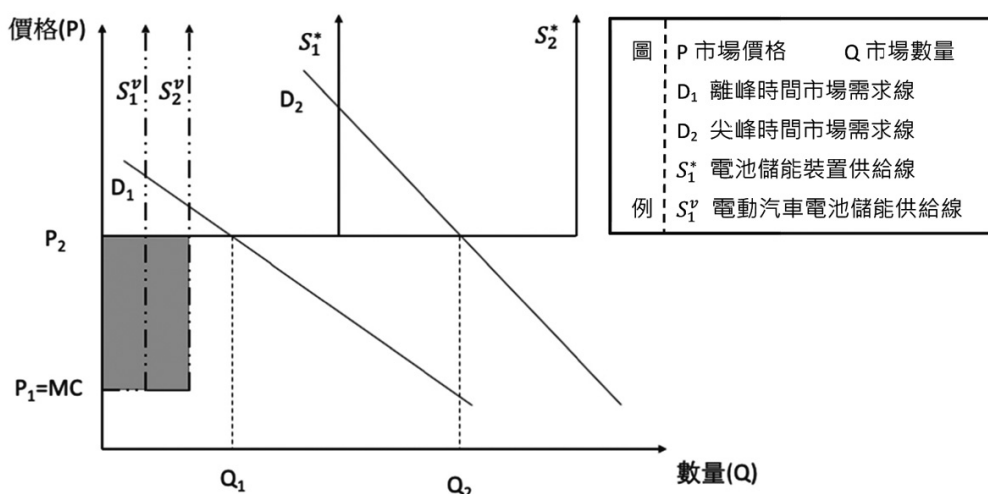
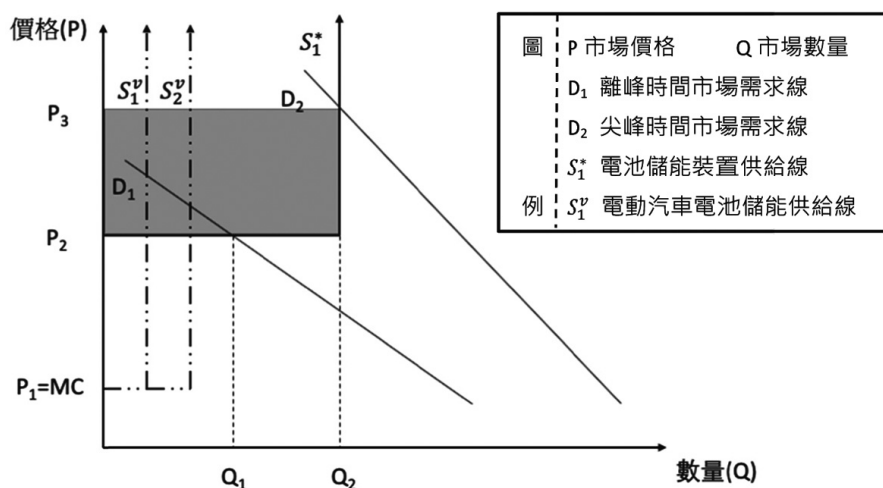


圖5 離峰時少量電動汽車與儲能設備之彈性價格機制(本研究繪製)



車替代電池儲能設備，則圖8灰色面積為新增的社會福利。因此電力公司有足夠的誘因，將

節省建置電力儲能裝置的成本，轉而透過V2G商業模式向整合商購買電動汽車電池之儲能容

量。

然而，電動汽車的所有權並非在電業，是電動汽車車主不做為交通用途時，將閒置的電動汽車電池容量暫時「共享」，將電動汽車作為儲能設備參與V2G商業模式並非電動汽車車主之主要用途。因此，當電力系統需要平衡電網之供需時，電動汽車車主未必能全力配合電業的需求。為此，電業必須事先加以掌握，電動汽車參與儲能服務之狀況、其市場滲透率之高低變化，或是透過與整合商訂定契約，以因應新興商業模式崛起，並同時確保電力系統之穩定。

4.5.2 範疇經濟學之實例

範疇經濟是當同時生產兩種產品以上時，生產的費用低於生產個別產品，與規模經濟概念類似，但不是因為生產同一種產品數量增加而降低成本，而是由於增加生產的產品種類使得單位成本降低。

由於電動汽車兼具「汽車」以及「儲能裝置」兩種商品特性，對應交通運輸市場以及能源服務市場，代表車廠在生產電動汽車時，不同以往只是生產一部汽車，而是同時生產「汽車」以及「電池」兩種不同產業之產品，比起生產單一產品之成本更低，促使電動汽車生產者可以將生產產品進行多樣化的使用，即為範疇經濟概念的應用。由本研究之實證結果，可以得知電動汽車結合電動汽車電池參與V2G商業模式，對於汽車車主以及整體社會，在絕大部分的情況下替代傳統汽車都具有成本有效性，同時對於電力產業而言，透過V2G商業模式利用電動汽車電池替代儲能設備，只要搭配良好的能源管理，也能大幅降低成本、具有成本有效性。

以本研究的研究對象Tesla以及Nissan，也紛紛跨足能源管理市場。Tesla於2016年收購太

陽能公司SolarCity，配合電動汽車、家用電力儲存設備Powerwall，再加上太陽能板系統，讓Tesla的客戶可以同時使用電動汽車並且有效使用能源，使Tesla得以朝向垂直整合的能源公司發展¹⁸。Nissan也利用Leaf的車載電池，創造一個供電網絡，因此擴展三家獨立的能源公司，別為Nissan能源供應、Nissan能源股份有限公司及Nissan能源儲存公司，致力於打造「電動汽車生態鏈」，其概念為車輛到家庭(V2H)、車輛到大型建築(V2B)以及車輛到供電網路(V2G)三種服務¹⁹。

隨著越來越多再生能源，由於V2G的技術，電動汽車不只提供汽車交通運輸之功能，將能跨足能源市場提供儲能之服務，發揮範疇經濟的效果，實務上同時改變了汽車車廠經營模式，得以進行多角化經營，也將進一步影響電力產業以及能源服務，未來將可預見會有更多新興商業模式。

5. 結論與建議

5.1 結論

5.1.1 電動汽車車主之有效性分析

在電動汽車車主模擬情境以及敏感度分析中，得出以下四點結論：(一)以Tesla Model 3以及Nissan Leaf兩款電動汽車相較於排氣量1800c.c.傳統汽車，只有Nissan Leaf的使用成本低於110萬以上之傳統汽車。(二)考量免除電動汽車牌照稅之後，Tesla Model 3的使用成本低於110萬以上之傳統汽車，而對於Nissan Leaf其使用成本，則是低於90萬以上之傳統汽車。(三)若維持課徵電動汽車牌照稅，但是電動汽車車主可以參與V2G商業模式並獲益，則Tesla Model

¹⁸擷取自：<http://iknow.stpi.narl.org.tw/post/Read.aspx?PostID=12542>。2019.01.09查閱。

¹⁹擷取自：<https://autos.yahoo.com.tw/news/nissan%E5%B8%8C%E6%9C%9B%E5%B0%87%E9%9B%BB%E5%8B%95%E8%BB%8A%E8%BD%89%E6%8F%9B%E7%82%BA%E3%80%8C%E9%9B%BB%E5%8B%95%E6%B1%BD%E8%BB%8A%E7%94%9F%E6%85%8B%E9%8F%88%E3%80%8D-113034042.html>。2019.01.09查閱。

3的使用成本低於130萬以上之傳統汽車，而Nissan Leaf的使用成本則低於90萬以上之傳統汽車。(四)同時考量免除電動汽車牌照稅以及電動汽車車主可以參與V2G商業模式，Nissan Leaf的使用成本皆低於本研究五種模擬情境70萬至130萬之傳統汽車，然而Tesla Model 3的使用成本仍高於70萬之傳統汽車。

5.1.2 整體社會之成本有效性分析

在整體社會模擬情境以及敏感度分析中，得出以下三點結論：(一)考量電動汽車之V2G商業模式之收益以及耗用電能之外部成本，Tesla Model 3的使用成本低於130萬以上之傳統汽車，而Nissan Leaf的使用成本則低於110萬以上之傳統汽車。(二)考量電動汽車車主可以參與V2G商業模式並獲得收益情況下，Tesla Model 3和Nissan Leaf兩款電動汽車的使用成本皆低於90萬以上之傳統汽車。(三)模擬臺灣電動汽車200萬、300萬、400萬、500萬、600萬五種情況之電動汽車電池可提供之儲能容量，最低儲存容量為200萬輛最低續航力的Nissan Leaf，可以提供6,600萬瓩之儲能容量。

值得注意的，上述儲能容量雖然遠高於台電系統整體發電容量，但是並不表示足以因應電力系統整體之供電量。因為這些容量只是短暫的供應，適合做為電力輔助服務，無法持續滿足平常長時間用電所需。

綜上所述，電動汽車車主參與V2G商業模式，可以增加傳統汽車車主換購電動汽車之誘因，從整體社會而言，電動汽車相對於傳統汽車可以減少噪音污染、空氣污染以及減少排碳量，增進整體社會之效益。當電動汽車數量具備一定規模，善用電動汽車的電池所提供的儲能量能，若能參與電力輔助服務，會比建置特定用於儲能的設備更具效益，因此，若在適當時機臺灣發展V2G商業模式，將可以提升整體社會之效益。

5.2 政策推介

5.2.1 V2G商業模式

依據本研究實證結果分析可以發現，電動汽車相對於傳統汽車，其使用成本仍高於購買價格較低之傳統汽車，但是對於整體社會而言換購可以增進社會福祉。除了可以透過免徵電動汽車牌照稅以提供汽車車主購買電動汽車為誘因，若電動汽車車主參與V2G商業模式，經本研究分析將有助於提升電動汽車車主以及整體社會效益。然而，臺灣目前沒有V2G商業模式，但隨著近年來電動汽車售價越來越便宜，2019年度將有售價較低廉的Tesla Model 3以及Nissan Leaf在臺灣上市，若政府能完善智慧電網、鼓勵V2G技術研發、設置V2G等基礎建設、持續鬆綁電力產業，讓更多整合商能夠聚集大規模電動汽車電池之量能參與電力輔助市場，則將促使V2G商業模式發展，將能提升電動汽車車主購買電動汽車之附加價值，也使電力產業更加活潑、更具多樣性，增進整體社會之效益。

5.2.2 電業與V2G商業模式

隨著越多再生能源加入電網之中，電業需要儲能設備才能維持電力系統之穩定，確保對於用戶供電無虞。然而，建置儲能設備需要投入高成本，儲能設備資產也只有單一用途，為了保證穩定供電，不可避免需要建置應付極端情況時最大安全之容量，但在平常大部分時間都是閒置、浪費的。電業的另一個選擇是，利用電動汽車閒置時的電池容量，替代作為儲能設備，優點是成本低廉，因為是共享電動汽車閒置時的電池設備，不需要考量電動汽車車體之成本、維護等其他成本，機會成本是電池的邊際成本，雖然容量小，但是聚集不同規模之電動汽車，可以聚合可觀之量能，又如同將儲能設備切割成細小單位，更具有彈性調整儲存容量。

值得注意的，電動汽車的所有權並非在電業，電動汽車車主未必能全力配合電業的需

求，為此，電業必須事先加以掌握，電動汽車參與儲能服務之狀況、其市場滲透率之高低變化，提供適當的市場誘因，或是透過與整合商訂定契約，以因應新興商業模式崛起，並同時確保電力系統之穩定。

5.3 未來研究建議

本研究是以Tesla Model 3以及Nissan Leaf兩款電動汽車為研究對象，使用之市場售價、維修費用皆與實際狀況有所出入，待未來有關電動汽車更多詳細相關資訊，可以再做調整、評估。另外，本研究評估傳統汽車之外部成本所使用之資料，參考張國廷(2006)所作之估計，然而其所使用之估計資料如今難免有所改變，以至於本研究所採用之傳統汽車外部成本有低估之疑慮。建議未來研究可以加強傳統汽車外部性之估計，以期準確反映臺灣現今整體社會電動汽車之成本有效性。

本研究假設之V2G商業模式，僅以單純買、賣電力之能量，並未模擬其他輔助服務，諸如更高價值的調頻服務、短期備轉容量等，因此造成本研究V2G商業模式之收益低估。此外，目前研究沒有考慮當大量電動汽車瞬時充電對於電力系統的衝擊與影響，會有容量系統變化，變成潛在的尖峰或是次尖峰，造成系統的逆轉，此時電價也會不同。另一方面，也沒有考慮負電價、零電價的極端情況。

本研究沒有考量電池耗損。根據筆者訪談電動汽車車主的經驗，Tesla目前問世的車種其電池折損率不高，使用七八年尚可保有98%的電池容量；而Nissan Leaf大約使用兩三年僅剩80%可用的電池容量。然而，雖然Tesla的電池折耗率不高，但尚未考量參與V2G商業模式後，更頻繁使用電池後的情形。建議後續研究需再納入考量。

在整體社會觀點中，本研究並未考量充電樁、電力系統等建置成本，以及智慧電網其他多功能用途帶來其他的收益。建議未來研究可以再考量電動汽車成本分攤的議題。與此同

時，針對充電樁充電的充電耗損，本研究也尚未加以考量。而在V2G商業模式中，本研究假設所有電動汽車符合白天上下班之用途，此假設與現實有所差距，建議未來研究可以針對此部分做敏感度分析或是考量市場滲透率變化。

最後，本研究是以1800c.c.傳統汽車以及電動汽車之一般自用轎車為研究對象，建議未來可以研究電動巴士或是商業車隊，因為電動巴士具有更大的電池容量、傳統巴士之外部成本也更高，參與V2G模式也更具商業價值；而商用車隊具備管理組織，比起個人之電動汽車車主，可以進行車隊之能源管理，同時進行車隊調度、能源排程，會有不同的成本效益考量。

參考文獻

- 台灣電力公司，2018。台灣電力公司。上網日期：2018年12月28日，檢自：<https://www.taipower.com.tw/tc/index.aspx>。
- 交通部統計處，2018。自用小客車使用狀況調查報告。
- 行政院，2018。能源政策專案報告(口頭報告)立法院第9屆第5會期。
- 行政院，2017。空氣污染防制行動方案(紅害減半大作戰)。上網日期：2018.12.25，檢自：<https://www.ey.gov.tw/Page/448DE008087A1971/5638596f-c460-4a12-9e62-d623d34f67d1>。
- 財政部，2018。認識使用牌照稅。上網日期：2018.12.25，檢自：<https://www.etax.nat.gov.tw/etwmain/web/ETW118W/CON/407/6766142868914425732?tagCode=>。
- 許志義與黃國暉，2010。臺灣能源需求面管理成本效益分析之應用。《能源經濟學術研討會》，10月19日，臺北市。
- 許志義，2020。政大經濟系研究所郭哲甫碩士論文口試現場提供之書面修正意見，臺北市。
- 張國廷，2006。《都市旅次外部成本之研

- 究》。國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文，臺北市。
- 游晨廷，2017。《電動機車商業模式之經濟效益分析：共享經濟vs.電池租賃》。國立政治大學經濟學研究所碩士論文，臺北市。
- 經濟部能源局，2017。智慧電網總體規劃方案。
- 經濟部能源局，2018a。甚麼是「智慧電網」，上網日期：2019年1月11日。檢自：<http://www.smartgrid.org.tw/About/>。
- 經濟部能源局，2018b。2017年電力排碳係數，上網日期：2018.12.05。檢自：https://www.moeaboe.gov.tw/ecw/populace/content/ContentDesc.aspx?menu_id=6989。
- 環境資訊中心，2018。【2040電動車化】供電受影響？台電估：全部電動車化也不怕。上網日期：2018.12.05。檢自：<https://e-info.org.tw/node/209501>。
- 劉庭瑋，2017。《臺灣社會折現率之實證研究》。國立臺北大學自然資源與環境管理研究所碩士論文，新北市。
- 蕭代基、鄭蕙燕、吳珮瑛、錢玉蘭與溫麗琪，2002。《環境保護之成本效益分析：理論、方法與應用》。臺北市：俊傑書局股份有限公司。
- Baker, Erin, Haewon Chon & Jeffrey Keisler, 2010. Battery technology for electric and hybrid vehicles: Expert views on prospects for advancement. *Technological Forecasting & Social Change*, 77(7), 1139-1146.
- Christensen, B., Thomas, Peter Wells & Liana Cipcigan, 2012. Can innovative business models overcome resistance to electric vehicles? Better Place and battery electric cars in Denmark. *Energy Policy*, 48, 498-505.
- Cluzel, Celine & Craig Douglas, 2012. Cost and performance of EV batteries: final report for the committee on climate change.
- Delucchi, Mark A. & Timothy E. Lipman, 2001. An analysis of the retail and lifecycle cost of battery-powered electric vehicles. *Transportation Research. Part D: Transport and Environment*, 6(6), 371-404.
- Faria, Ricardo, Pedro Marques, Pedro Moura, Fausto Freire, Joaquim Delgado & Aníbal T. de Almeida, 2013. Impact of the electricity mix and use profile in the life-cycle assessment of electric vehicles. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 24, 271-287.
- Gough, Rebecca, Charles Dickerson, Paul Rowley & Chris Walsh, 2017. Vehicle-to-grid feasibility: A techno-economic analysis of EV-based energy storage. *Applied Energy*, 192, 12-23.
- Guille, Christophe & George Gross, 2009. A conceptual framework for the vehicle-to-grid (V2G) implementation. *Energy Policy*, 37(11), 4379-4390.
- IEA (International Energy Agency), 2017. *Global EV Outlook 2017*.
- IEA (International Energy Agency), 2018. *Global EV Outlook 2018*.
- Kley, Fabian, Christian Lerch & David Dallinger, 2011. New business models for electric cars—A holistic approach. *Energy Policy*, 39(6), 3392-3403.
- Kempton, Willett & Jasna Tomić, 2005. Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy. *Journal of Power Sources*, 144(1), 280-294.
- Laurischkat, Katja, Arne Viertelhausen & Daniel Jandt, 2016. Business Models for Electric Mobility. *Procedia CIRP*, 47, 483-488.
- Lund, Henrik, & Willett Kempton, 2008. Integration of renewable energy into the transport and electricity sectors through V2G. *Energy Policy*, 36(9), 3578-3587.

- Noel, Lance, & Regina McCormack, 2014. A cost benefit analysis of a V2G-capable electric school bus compared to a traditional diesel school bus. *Applied Energy*, 126, 246-255.
- Onat, Nuri Cihat, Murat Kucukvar & Omer Tatari, 2015. Conventional, hybrid, plug-in hybrid or electric vehicles? State-based comparative carbon and energy footprint analysis in the United States. *Applied Energy*, 150, 36-49.
- Propfe, Bernd, Martin Redelbach, Danilo Santini & Horst Friedrich, 2012. Cost analysis of Plug-in Hybrid Electric Vehicles including Maintenance & Repair Costs and Resale Values. *World Electric Vehicle Journal*, 5(4), 886-895.
- Rangaraju, Surendraprabu, Laurent De Vroey, Maarten Messagie, Jan Mertens & Joeri Van Mierlo, 2015. Impacts of electricity mix, charging profile, and driving behavior on the emissions performance of battery electric vehicles: A Belgian case study. *Applied Energy*, 148, 496-505.
- Razeghi, Ghazal, Marc Carreras-Sospedra, Tim Brown, Jack Brouwer, Donald Dabdub & Scott Samuelsen, 2016. Episodic air quality impacts of plug-in electric vehicles. *Atmospheric Environment (1994)*, 137, 90-100.
- Ruan, Jiageng, Paul Walker & Nong Zhang, 2016. A comparative study energy consumption and costs of battery electric vehicle transmissions. *Applied Energy*, 165, 119-134.
- Turton, Hal & Filipe Moura, 2008. Vehicle-to-grid systems for sustainable development: An integrated energy analysis. *Technological Forecasting & Social Change*, 75(8), 1091-1108.
- Uddin, Kotub, Matthieu Dubarry & Mark B. Glick, 2018. The viability of vehicle-to-grid operations from a battery technology and policy perspective. *Energy Policy*, 113, 342-347.
- Warner, John, 2015. *The handbook of lithium-ion battery pack design : chemistry, components, types and terminology*. Grand Blanc, MI: Elsevier Inc.
- Weldon, Peter, Patrick Morrissey & Margaret O'Mahony, 2018. Long-term cost of ownership comparative analysis between electric vehicles and internal combustion engine vehicles. *Sustainable Cities and Society*, 39, 578-591.
- Wolbertus, Rick, Maarten Kroesen, Robert van den Hoed & Caspar G. Chorus, 2018. Policy effects on charging behaviour of electric vehicle owners and on purchase intentions of prospective owners: Natural and stated choice experiments. *Transportation Research. Part D: Transport and Environment*, 62, 283-297.

Cost-Effectiveness Analysis of the Operation Model of Electric Vehicle-to-Grid

Chih-Hsiang Tsai¹ Jyh-Yih Hsu² Fa-Ming Yeh^{3*}

ABSTRACT

With more and more renewable energy feed-in to the grid in recent years, the power industry needs energy storage equipment to balance the supply and demand to maintain the stability of the power system. Without energy storage equipment, the power industry can choose the battery of the electric vehicle as an alternative. Electric vehicles can provide its battery capacity deducted from required for movement when it is not used for transportation purposes by Vehicle to Grid (V2G) technology. Aggregators can integrate the large number of electric vehicles so that can provide considerable storage capacity. Power companies can save on the cost of building energy storage equipment and aggregators and electric vehicle owners can benefit from V2G's business model. The purpose of this study is to analyze the cost-effectiveness of Taiwan's electric vehicles under V2G's business model compared to traditional vehicles. First, this study compares the differences between electric vehicles and traditional vehicles, clarifies the cost items needed to be considered for electric vehicles and how to estimate them. Secondly, this study explains what is the V2G model, describes how this model is emerging, and how electric vehicles can benefit from it. Finally, this study explains the concept of vehicle to grid, and provides relevant technical background for the V2G model of electric vehicles. The results of this study show that the participation in the V2G business model can incentivize the traditional vehicle owners to purchase electric vehicles. From the perspective of society, compared with traditional vehicles, electric vehicles can reduce noise pollution, air pollution, and carbon emissions and benefit the society. Therefore, Taiwan should develop V2G business model at the right time to improve social benefits. Finally, this study infers economic implications of the V2G business model for electric vehicles.

Keywords: Electric vehicles, Cost-effectiveness analysis, Vehicle to grid, Renewable energy, Energy storage.

¹Graduate, Graduate Institute of Economics, National Cheng Chi University.

²Professor of Department of Applied Economics and Department of Management Information Systems, National Chung Hsing University.

³Ph.D. Student of Department of Applied Economics, National Chung Hsing University.

* Corresponding Author, Phone: +886-911-716488, E-mail: d104034004@mail.nchu.edu.tw

Received Date: March 27, 2020

Revised Date: November 5, 2020

Accepted Date: November 10, 2020