

「電動公車至電網」營運模式成本有效性分析： 以臺北市公車為例

許志義^{1*} 郭哲甫² 蔡志祥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，可以選擇電動公車的電池作為儲能設備之替代方案。本文分析臺灣電動公車參與B2G之營運模式下，相對於傳統柴油公車之成本有效性分析。實證結果顯示，從使用者情境的角度，考量12輛柴油公車之固定成本與變動成本，其淨現值約為201.9百萬元。公車業者購置電動公車，在申請政府補助的情況下，12輛電動公車之淨現值約為270.6百萬元。若參加B2G獲得業外收入，其淨現值最高可達到277.4百萬元。因此，在使用者情境中，電動公車係具有成本有效性。從整體社會情境的角度，12輛傳統柴油公車之總成本現值約為194.3百萬元。扣除政府補助之移轉性支付，12輛電動公車之淨現值約為228.5百萬元。若參加B2G獲得業外收入，其淨現值最高可達到235.9百萬元。因此，在整體社會情境中，電動公車係具有成本有效性。

關鍵詞：電動公車，成本有效性分析，車至電網，再生能源，電池儲能

1. 前言

近年來，極端氣候頻繁出現、石油能源供應浪潮式微及大數據與人工智慧的快速發展，讓再生能源成為世界各國競相發展的目標，不僅美國各州、各縣市及鄉鎮市紛紛訂定100%再生能源佔比時間表，RE100 (Renewable Energy 100)會員，也要求產業供應鏈須達到100%再生能源佔比目標。因此，再生能源發展已然不是政府的口號，而是各大先進國家政府與大企業公司重視的政策方針與企業社會精神。

根據REN21 2015年至2018年發表的「Renewables Global Status Report」報告，2015年全球再生能源裝置容量之淨增加量達到

158 GW，2016年至2018年全球再生能源裝置容量之淨增加量依序為171 GW、177 GW和177 GW，由此可見，全球再生能源發展之快速，是牽動全球能源永續的關鍵項目。

目前全世界車輛的能源需求仍以石油與柴油為大宗，根據英國汽車調研公司Jato Dynamic 2018年車市調查數據報告，全球汽車銷售量達到8,600萬輛，其中電動車銷售量僅有126萬輛，其佔比約1.5%，而全球汽、柴油車整體之碳排放將可能造成溫室效應加劇與極端氣候出現。值得注意的，美國各州、各縣市及各鄉鎮市訂定的100%再生能源佔比時間表裡，大多數縣市政府將公共運輸綠能化與電氣化列為政策施行項目之一，並作為具體實現100%再生能源

¹ 國立臺北商業大學榮譽講座教授、國立中興大學應用經濟學系暨資訊管理學系 合聘教授

² 國立政治大學經濟系研究所 碩士

³ 國立中興大學應用經濟系研究所 博士生

*通訊作者電話: 04-2285-0505, E-mail: hsu@nchu.edu.tw

收到日期: 2020年07月31日

修正日期: 2021年01月18日

接受日期: 2021年02月24日

佔比目標之方法。

相較之下，臺灣行政院於2018年能源政策提出2025年再生能源20%佔比，再生能源裝置容量達到2,742.3萬瓩的目標。隨著再生能源發電佔比越來越高，在未來大量併網之後將使得電力系統面臨嚴峻挑戰。在此情況下，儲能系統的發展能減緩再生能源間歇性的問題，並能夠即時提供具有高彈性的容量與能量，配合電力系統操作者進行電力調度。

電動公車是儲能系統的一種形式，可以在系統尖峰時段，提供電動公車之剩餘容量；在系統離峰時段，提供額外的用電負載需求。值得注意的，電動公車除了傳統上作為載運乘客用途之外，還能讓電動公車參與輔助服務市場，使未出勤的電動公車不再只是閒置資產。

B2G (Bus-to-Grid)的技術，可以將電動公車作為儲能裝置，即時使電力需求追隨用電負載，提供電網電力調度之用。B2G技術產生一個典範移轉，利用電動公車的兩種商品特性：(1)公車：公眾交通運輸、(2)儲能電池：儲存電能，當電動公車在不需出勤的時間，可以透過充電站連接電網，提供多餘的能量與剩餘的容量，協助調控電力系統負載，促使能源市場與交通運輸市場擁有連結性(Turton and Moura, 2008)。雖然一輛電動公車的電池容量¹還不足以參與輔助服務市場，但可以透過電動公車車隊，集結沒有在路上行駛的所有閒置電動公車一齊連接電網，以螞蟻雄兵之力提供可觀的儲存能量與容量參與輔助服務市場。

此外，電動公車業者可以透過每日電動公車連接電網的充放電時數、能量與容量等，匯集成資料，並依照電力市場之價格訊號進行調整，選擇在電價便宜的時段讓電動公車充飽電，節省電費；在電價偏高的時段讓電動公車提供電池容量，作為電力系統操作者進行電力調度之用，讓電動公車業者能賺取業外收入。

本研究希望能透過利害關係人的互動與未

來電動公車B2G的發展趨勢，探討臺北市電動公車在B2G營運模式下，先對傳統柴油公車與電動公車之成本有效性(cost-effectiveness)進行探討與比較。接下來，探討電動公車B2G在臺灣可行的營運模式，本研究採用成本有效性分析法，從經濟、社會與技術觀點切入分析，緊接著從整體社會角度，將傳統柴油公車與電動公車對生態環境與人的健康之量化成本納入成本有效性之重要參數，進行整體社會檢定。

2. 文獻回顧

2.1 車輛至電網(V2G)技術與說明

在臺灣，能源供給有98%以上仰賴進口，且夏季期間時常面臨電力供應緊澀情事，如何抑低或移轉尖峰用電為一重要課題。而國際間投入資源於車輛至電網(Vehicle-to-grid, V2G)技術，藉以適時舒緩尖峰用電需求之壓力，現階段已有初步成效，相關成功因素可作為我國參考並探討應用之可行性及未來發展。

車輛至電網技術之核心概念為利用電動車輛使用電池之剩餘容量，在電力需求尖峰時供應電力到電網中，以舒緩尖峰用電需求，而在離峰時，則可將電力回充，達到電力調度的效果，其衍伸出來的概念包括車輛到建築(Vehicle-to-building, V2B)及車輛到家戶(Vehicle-to-home, V2H) (Kempton and Letendre, 1997)。

2.2 電動車至電網(V2G)相關文獻

近年來，插電式電動車(plug-in electric vehicles, PEVs)的普及率大大的提升。藉由V2G (vehicle-to-grid)技術，PEVs可以在微電網扮演移動式儲能裝置的角色(Dai *et al.*, 2020)。

以中國為例，在2018年，中國共銷售超過125萬輛電動車，相較於2017年，其銷售數量成長61.67%。根據中國電動車市場數據，其平均

¹根據華德動能官方網站之開放資料，其大型電動公車RAC-700之電池容量為282 kW。作為參考，2018年TESLA Model系列大型電動車之電池容量為100 kW。

電池容量為20度，若以上述2018年銷售125萬輛電動車作試算，將會有2.5萬MW潛在能源容量可供中國電網級儲能系統運用。若每年有20%的電動車參與V2G，不僅可以提高電網穩定性和電力品質，也可在尖峰與非尖峰電價之價差中產生套利利潤(Li *et al.*, 2020)。

此外，隨著越來越多再生能源併入電網，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。電動車可以藉由V2G技術，當其不作為交通用途使用時，電動車的電池扣除移動所需之容量，可以藉由聚合商(aggregator)整合大規模數量之電動車，以提供可觀之儲存容量，對於電力公司而言，可以節省建置儲能設備之成本，同時聚合商、電動車車主亦可以從V2G營運模式中獲益(蔡志祥，2019)。

隨著電動車電池與充電樁技術進步，電動車取代傳統石油車已漸漸成為趨勢。此外，有智慧電網的加入，電動車可藉由V2G技術，促進再生能源電網之整合，同時有助於電網之電力調度(Saini *et al.*, 2020)。

相較於一般自用轎車，電動公車具有較大之電池容量，而相對於傳統柴油公車，電動公車之外部成本較低，其參與V2G模式具有更高之商業價值(蔡志祥，2019)。

2.3 電動公車至電網(B2G)及其營運模式之文獻

虛擬電廠為在單一且安全的網絡連接系統下，一套透過軟體執行遠端與自動化電力調度以及發電量最適化、需求端管理或儲能設備等功能之系統(Pike Research, 2013)。此外，虛擬電廠有別於一般傳統發電廠，使電力來源不僅來自電力公司的供電系統，亦可「雙向」、「即時」來自電力需求端之分散型發電系統，其電力供需較過去更多元、更充沛及更具彈性(許志義與鍾皓晨，2017)。

廣泛而言，智慧電網為整合發電、輸電、配電及用電的先進電網系統，其兼具自動化及

資訊化的優勢，且具備自我檢視、診斷及修復等功能，提供具高可靠度、高品質及高效率之電力。此外，智慧電網強調自動化、安全及用戶端與供應端密緊配合，以提升電力系統運轉效率、供電品質與電網可靠度，並整合分散式再生能源，增強因應再生能源所帶來衝擊之能力，進而達到節省的目的(臺灣智慧型電網產業學會，2020)。

智慧電網可以在電網各處裝設感應器，蒐集電網運轉流程中的資料並加以分析，使電力公司更容易管理資產並以較好效率來提供高品質的電力服務，同時智慧電網從傳統電網的單向通訊轉變成雙向通訊，使電力用戶也可以參與電力市場的運作。在電力負載管理系統方面，電力公司藉由智慧電網的雙向溝通直接與消費者做聯繫，引入市場價格資訊，可以制定時間電價與需量反應(Demand Response, DR)，提供用戶選擇消費電力的選擇，讓電力公司在用電吃緊時，得以藉由管理電力需求端來抑低尖端負載，以提升電力可靠度與電力品質(張嘉諳等人，2014)。

當鋰電池成本快速下降，電動公車將於2035年具有競爭優勢，且透過電動公車雙向車載充電器之研發，讓電動公車本身具有充電站的功能，並結合國內資通訊科技之優勢與B2G充電站的發展，以提高電動公車之附加價值(黃郁青等人，2018)。

Dominion Energy電動校車計畫係藉由儲能技術來支援電網，結合V2G技術，利用閒置電動校車之電池在電力需求高峰期間，將其儲存容量注入電網。除此之外，電動校車碳排放量較一般校園公車少，一方面為社區環境和在地居民健康帶來正面影響，同時降低60%校車之營運成本與維護成本(Dominion Energy, 2020)。

2.4 智慧電網與V2G相關文獻

現今能源轉型趨勢為電力市場往自由化、減碳化、分散化、數位化及人口減少化的方向推動。為因應再生能源比例提升、電動車

發展(含電動公、汽車)，需透過IoT (Internet of Things)基礎建設，提升再生能源之調整力，以確保供電穩定(聯齊科技，2020)。

世界上近60%產出的石油，都用於車輛公路駕駛，再加上內燃機是較為低效率產生動力的方式，造成交通運輸是低效率且非環境永續性的生態系統。上述問題，可以透過再生能源發電以及提升電動車輛滲透率，降低CO₂的排放量。因此，為減少都市區域的碳排放，將電動車併入電網是有效的選擇之一，且使用智慧電網連接V2G系統，可以提高V2G的穩定性(Karad and Thakur, 2019)。

電動車的充電策略會影響電力網絡的運作。考慮到V2G市場驅動的情況會影響電動車輛之駕駛模式。而駕駛模式的微小變化可以為電動車用戶獲取收益，同時改善電網的運行(Triviño-Cabrera *et al.*, 2019)。

從中長期來看，電動車之數量增加將對電網產生影響。一方面，在電動車充電時，其用電需求將會影響電網的穩定性與效率。若大量電動車無節制充電可能會導致嚴重的功能耗損、電壓偏差和配電變電站過載。在雙向V2G情景中，智慧電網能在車輛與電網之間進行雙向的能量傳輸。若管理得當，雙向V2G系統將可以應對用電需求高峰，執行電力負載之削峰填谷，且亦可參與輔助服務。在此情況下，電動車可以充當臨時的移動式儲能裝置，並具有快速的反應時間(Triviño-Cabrera *et al.*, 2019)。

3. 研究方法

3.1 決策評估工具

決策評估工具有非常多種，而在經濟學的基礎上，且與本研究有關的包含柏拉圖改善與成本有效性分析(cost-effectiveness analysis)。柏拉圖準則(Pareto Criterion)之決策方式係該計畫或政策是否能帶來柏拉圖改善(Pareto improvement)，進而達到經濟效率或是又稱為

柏拉圖最適(Pareto optimum)。若能夠達成，則該計畫或政策將可被執行。然而，此種方式在現實中難以被計算，因此將採用其餘的替代方式，如成本效益分析法或是成本有效性分析法(蕭代基等人，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)。

3.2 成本有效性分析

成本有效性分析係以最低成本法(Least Cost Method)，做為選擇方案之策略。值得注意的，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，使用此方法進行分析的過程中，主要考慮各替代方案對於參與者(本研究即公車經營者)不同成本支出，以及各替代方案迴避成本所產生的參與者之增額效益(許志義與黃國璋，2010)。

成本有效性分析，因不涉及成本效益分析多方利害關係人的不同成本項與不同效益項，相對而言單純許多，減少了許多不必要的爭議。尤其是多方利害關係人所涉及的非市場財(non-market goods)效益評估，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，往往需要相對主觀的人為判斷或市場需求端之問卷調查，不容易獲得一致性的看法(蕭代基等人，2002)。

至於柏拉圖效率改善，在執行上實務面也同樣涉及資料來源可靠性，以及對不同利害關係人效用函數的推估，其困難程度與爭議性更勝於成本效益分析。在此情況下，對於典型公共政策(尤其是獨佔性電力營運者)而言，成本有效性是所謂最低成本規劃(least-cost planning)普遍採用的研究方法(許志義，2020)。

在本研究中，從公車業者的角度，分析三種不同之使用者情境：公車業者選擇柴油公

車、電動公車且採用時間電價及電動公車且採用時間電價並參與B2G之營運模式，計算其固定成本、變動成本及稅額成本與補助收益及B2G收益，將其折算至基其現值並算出淨現值(Net present value, NPV)。同時，在此營運模式下，藉由成本有效性分析法，作為公車業者選擇柴油公車抑或是電動公車之依據。

淨現值法介紹如下：

將各期總效益與總成本差值之現值加總，即可得到整體淨現值(NPV)。當NPV > 0時，表示總效益大於總成本，表示此計畫或政策值得執行，反之則否。公式如下：

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} \quad (1)$$

上述方程式中，NPV為計畫或政策之整體淨現值； B_t 為第t年之總效益； C_t 為第t年之總成本； n 為計畫或政策預期壽命年限； i 為折現率。

4. 實證結果

4.1 使用者情境

本研究參考臺北市欣欣客運公司，於2018年10月開通66號公車路線²作為臺北市智慧綠能示範場站，購置12輛電動公車實際營運，推估計算其相關成本與收益；並假設相同路線以

12輛柴油公車傳統營運模式作模擬使用者情境與比較。首先，說明公車業者營運模式之三種使用者情境，參見表1。這些情境用來與現狀(status quo)傳統柴油公車之營運模式相互比較。最後，以最低成本法推估公車業者採用電動公車是否符合成本有效性。

以下針對各使用者情境進行說明：(一)使用者情境一：係針對公車業者使用傳統柴油公車12輛之營運模式進行成本計算，分別以3%、6%及9%之油價上漲率執行成本有效性分析。(二)使用者情境二：係針對公車業者12輛電動公車採用二段式時間電價。根據台電2018年4月公告電價表，以低壓電力電價之二段式時間電價費率表作為參考。換句話說，公車業者在電費離峰抑或半尖峰時段讓電動公車進行充電，而電費尖峰時段載運乘客，依此營運模式進行成本計算。(三)模擬情境三：係針對公車業者12輛電動公車依二段式時間電價³，同時採用B2G營運模式，且每度B2G回購電價為8元作計算。換句話說，公車業者參考時間電價之尖離峰電費以決定公車營運模式，並讓備援⁴電動公車參與B2G，依此營運模式進行成本有效性分析。

本研究以2019年12月作為決策時間點，不考慮通貨膨脹率。關於公車的使用期限，臺北市現行規定使用年限為8年⁵，同時參考《臺北

表1 公車業者之三種模擬情境說明(本研究模擬)

使用者情境	
情境一	模擬傳統柴油公車12輛，且油價上漲率為3%、6%、9%之敏感度分析
情境二	擬電動公車12輛，並採用二段式時間電價
情境三	模擬電動公車12輛，並採用二段式時間電價及B2G營運模式，且每度B2G回購電價為8元、10元、12元之敏感度分析

²臺北市公運處新闢電動公車66號路線，由欣欣客運於2018年10投入營運，其配置12輛電動公車作為智慧綠能示範場站。資料來源：<https://www.setn.com/News.aspx?NewsID=448743>。

³時間電價係反映尖峰、半尖峰及離峰時間不同之供電成本，分別就尖、半尖及離峰時間訂定不同費率；尖峰時間電價較高，離峰時間電價較低，以鼓勵用戶調整作業時間、更新設備或增設負載管理設備等，俾移轉尖峰時間用電於離峰時間使用。資料來源：台電業務處負載管理課，並於2020年6月10日查閱。

⁴備援電動公車係指為預防意外事件發生，影響公車出勤營運之狀況，而待命在休息站內，隨時上路替代其出勤。

⁵臺北市政府交通局新聞稿，2021年1月3日查閱。https://www.dot.gov.taipei/News_Content.aspx?n=D739A9F6B5C0AB95&sms=72544237BBE4C5F6&s=13B90D26750EFF88#:~:text=%E8%87%BA%E5%8C%97%E5%B8%82%E8%81%AF%E7%87%9F%E5%85%AC%E8%BB%8A%E8%A6%8F%E5%AE%9A,%E5%B0%87%E4%BE%9D%E8%A6%8F%E5%90%8A%E6%89%A3%E8%BB%8A%E7%89%8C%E3%80%82。

市聯營公車營運服務評鑑執行要點》⁶，其附表一臺北市聯營公車營運服務評鑑指標評定基準與計分方式，提及低底盤公車以7年為新車分界，當公車車齡為8、9年時計分減半，9年之後沒有任何積分。因此本研究考量業者會盡可能爭取評鑑分數，汰換8年以上的公車，採用8年為本研究期間。

4.2 使用者情境一之成本有效性及敏感度分析

本節旨在探討公車業者在使用傳統柴油公車進行商業營運，其固定成本、變動成本與相關稅額成本之計算及比較。關於私人折現率的部分，本研究係參考臺灣銀行2020年3月基準利率2.616%。首先，說明柴油公車之成本項目。第一個成本項 FC_0 為開始營運前購買柴油公車之固定成本，本研究以2016年交通部運輸研究所《公路公共運輸電動公車經營與運作績效調查》之數據作為參考依據，一輛柴油公車購車成本為6百萬元，因此，情境一12輛柴油公車之 FC_0 為72百萬元。

第二項 VC_t 為第t年柴油公車之相關變動成本，包含保養維護及燃油成本。首先說明傳統柴油公車保養維護費用。根據賴文泰(2017)針對臺灣電動公車發展之研究，傳統柴油公車之單位維護費⁷為0.82元/公里。臺北木柵66號路線公車一趟來回總里程約35公里，而目前路線一輛公車平均一天跑6趟，故一年每輛公車總行駛里程約為76,650公里⁸。因此，情境一12輛傳統

柴油公車一年維護成本為754,236元。本研究假設每輛柴油公車為相同的、公車司機駕駛習慣相同及定期將公車進行維護保養，故八年的成本相同，將其依私人折現率折現後加總，每輛傳統柴油公車保養維護費用為448,444元。

接著說明柴油公車之燃油成本。本研究參考過往一年107年12月至108年11月之歷史資料，該年平均柴油價格為25.1元/公升。而後八期為未來之情事，無法進行準確推斷。因此，本研究假設未來八年之柴油價格上漲率分別為3%、6%、9%，一年每輛公車總行駛里程約為76,650公里，燃油效率為2.5公里/公升(賴文泰，2017)，推算出第一期至第八期每輛柴油公車之燃油成本，折現加總後分別為6,261,111元、7,144,039元、8,155,146元。最後，將折現後保養維護成本及燃油成本加總，得出每輛柴油公車變動成本為6,709,555元、7,592,483元、8,603,590元。

最後說明第三項 TC_t 為第t年柴油公車之相關稅額，包含燃料稅額及牌照稅額。市區公車、公路客運公車依《使用牌照稅法》第7條第1項第10款及發展大眾運輸條例第2條第3項規定免徵使用牌照稅⁹。依《汽車燃料使用費徵收及分配辦法》第4條第4項免燃料稅¹⁰。因此從公車營運業者角度而言，不需考量燃料稅額及牌照稅，故本研究不考量 TC_t 。

在營收的部分，本研究根據2019年臺北市及新北市政府交通局統計，大臺北公車路線之公里營收平均約為54元/公里¹¹，以66號公車路

⁶《臺北市聯營公車營運服務評鑑執行要點》，2021年1月3日查閱。<http://www.rootlaw.com.tw/LawArticle.aspx?LawID=B010070041002000-0990609#:~:text=%E5%9B%9B%E3%80%81%E8%87%BA%E5%8C%97%E5%B8%82%E8%81%AF%E7%87%9F%E5%85%AC%E8%BB%8A,%E7%99%BE%E5%88%86%E4%B9%8B%E4%BA%8C%E5%8D%81%E3%80%82>。

⁷單位維護費用係全年維護費用除以全年行駛里程數得知。由交通部公路總局統計查詢網得知全年行駛里程數為5.16億公里；網路資料顯示公車年維護費用約4.23億元，經本研究計算後得單位維護費用約0.82(元/公里)。

⁸LINE TODAY新聞網2018年11月01日。資料來源：<https://today.line.me/tw/v2/article/IJ0MnG>。2020年12月27日查閱。

⁹財政部稅務入口網，於2020年12月25日查閱。<https://www.etax.nat.gov.tw/etwmain/web/ETW118W/CON/444/9137576649062485574>。

¹⁰全國法規資料庫，於2020年12月25日查閱。<https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=K0040007>。

¹¹本研究採用2019年之公車平均公里營收為53.8元/公里。此數據係根據臺北市政府交通局統計，臺北市聯營公共汽車行車效率。2021年1月8日查閱。網址：<https://www-ws.gov.taipei/Download.ashx?u=LzAwMS9VcGxvYWQvMzkwL3JlbGZpbGUvMTk3MjAvMzMzMzAwOS9jNmM4OTFhYi0wNDVhLTQ4NmYtYTUyYjY1NS1mNWZmYmNkMGRiNzkucGRm&n=WTaxLnBkZg%3d%3d&icon=.pdf>。

線每輛車每年行駛76,650公里，估算每輛柴油公車之年平平均營收為4,139,100元。假設每期柴油公車年營收為固定，在此情況下，將其折算至基期現值，得使用者情境一12輛柴油公車之總營收現值約為354,380,036元。

綜上所述，本研究將情境一柴油公車認列之成本項目 FC_t 、 VC_t 與其年營收彙整後，參見表2。

根據表2可知，情境一12輛柴油公車之固定成本、變動成本及稅額成本現值。在油價上漲率為3%情況下，柴油公車之淨現值為202百萬元；在油價上漲率為6%情況下，柴油公車之淨現值為191百萬元；在油價上漲率為9%情況下，柴油公車之淨現值為179百萬元。換言之，在其他條件不變的情況下，柴油公車之總成本會隨著油價上漲率的提高而增加。

4.3 使用者情境二之成本有效性及敏感度分析

本節旨在探討公車業者在使用電動公車進行商業營運，根據《公路公共運輸補助電動化大客車作業要點》，甲類大客車之電動公車，每輛最高可獲得補助333.8萬元¹²，同時採用時間電價的方式下，其固定成本、變動成本與電動公車稅額之成本計算及比較。

首先說明電動公車之效益項。 SUB_t 為第

t 年電動公車之補助收益，由於政府補助為發生在公車業者購置電動公車時點，且購置電動公車之補助為333.8萬元/輛，故在模擬情境二下，12輛電動公車之 SUB_0 約為0.4億元。

接著說明電動公車之成本項目。第一個成本項 FC_t 為第 t 年購買公車之成本，本研究以華德動能之電動公車型號RAC-700做為參考依據。選擇此電動公車之原因是其市占率高，且相較於其他市售電動公車之售價較低。除此之外，RAC-700用於臺北欣欣客運木柵站暨第一條全電動公車路線66路之電動公車，提供民眾零碳排放、低噪音，及無車輛震動之舒適搭乘環境¹³。因此，本研究根據華德動能於網路上公告之價格900萬元代入模擬情境二，亦即12輛電動公車之 FC_0 為1.08億元。

第二項 VC_t 為第 t 年電動公車之變動成本，包含保養維護費用及充電費用。首先說明電動公車保養維護費用。本研究參考賴文泰(2017)針對臺灣電動公車發展之研究，電動公車之單位維護費為0.43(元/公里)，由單位維護成本及單位電動公車之年行駛里程(76,650公里)，可以得知每輛電動公車之年維護成本為32,959.5元。本研究假設每輛電動公車為相同的、公車司機駕駛習慣相同及定期將公車進行維護保養，8年每期維護成本皆相同，折現總值為235,160元。

接著說明電動公車之充電費用部分。以臺

表2 使用者情境一：12輛柴油公車之各成本項目現值(經本研究計算並整理)

項目	輛數(輛)	油價上漲率(%)	各期現值加總(百萬元) $t = 0, \dots, 8$
(1) 總營收	12	-	354.4
(2) FC_0	12	-	72
(3) VC_t	12	3	80.5
		6	91.1
		9	103.2
(1)-(2)-(3) = NPV	12	3	201.9
		6	191.3
		9	179.1

¹²電動公車補助報導，於2020年12月25日查閱。<https://technews.tw/2019/08/05/electric-bus-subsidy-will-be-released-and-the-local-government-will-assist-the-industry-to-redeem-the-vehicle/>。

¹³資料來源：2018年11月05日臺北市政府交通局公共運輸處。

北木柵66號公車路線，其採用之華德動能RAC-700大型電動公車續航力為260公里(282度)¹⁴，而每輛電動公車一天行駛里程為210公里，故一天充電一次即可滿足一天公車用電所需，且剩餘50公里續航力足夠回到木柵66路之停車休息站。因此，電動公車會於夜間時段充電，其基本電費、流動電費皆可使用離峰費率，而電動公車實際營運所花費之電費為1.988元/公里(賴文泰，2017)。根據前述資訊，一輛電動公車之一年用電費為1.988元/公里×76,650公里=152,380.2元。本研究假設每年電費費率在八年期間不變，一輛電動公車八年期間電費之折現總值為1,087,203元。電動公車之牌照稅額，與4.2節相同，因作為公共運具之用途，予以免徵。

關於電動公車載客營收的部分，由於本研究設定為電動公車與柴油公車相比較，行駛路線及載客狀況與情境一與相同，故12輛電動公車之總營收現值約為354,380,036元。

綜上所述，本研究將情境二電動公車認列之成本項目 FC_t 、 VC_t 與總營收彙整後，參見表3。

根據表3可知，情境二12輛電動公車之補助收益、固定成本、變動成本及稅額成本現值。首先，電動公車之補助收益為40.1百萬元、固定成本為108百萬元，變動成本為15.9百萬元。其二，在情境二下，12輛電動公車淨現值為270.6百萬元，高於情境一12輛柴油公車在三種不同油價上漲率之淨總成本現值為高。值

得注意的，在情境二下，原12輛電動公車相對於情境一獲得40.1百萬元補助，使其固定成本低於12輛柴油公車($108-40.1 < 72$)。但即使電動公車沒有獲得補助，其淨現值仍高於情境一中12輛柴油公車($270.6-40 > 201.9$)，其主因為電動公車的變動成本遠遠低於柴油公車之變動成本，在油價上漲率為3%情形下，12輛電動公車8年可以節省68.7百萬元，若油價更加大幅上漲(若為6%或9%的情形)，則可以節省更多。

4.4 使用者情境三之成本有效性及敏感度分析

本節旨在探討公車業者在使用電動公車進行營運，同時採用時間電價，並結合B2G營運模式，計算其B2G收益與固定成本、變動成本及稅額成本。換言之，模擬情境三為在模擬情境二之前提下，再加入B2G營運模式，並針對電動公車進行成本有效性分析。

首先說明電動公車之效益項。 SUB_t 為第t年電動公車之補助收益，其收益與情境二相同，12輛電動公車之 SUB_0 約為0.4億元。第二個效益項 $B2G_t$ 為第t年將電動公車連接至電網，提供容量與能量，所能獲得的報酬。而電動公車完成出勤任務後，其剩餘電力可讓電動公車行駛50公里。本研究根據Google地圖量測臺北木柵66路起點站至木柵公車休息站的距離約為1公里。因此，電動公車剩餘電力足夠回至休息站。此外，公車末班次晚上10點30分後回至休息站，可以將所有電動公車於同一時間連接至充電樁

表3 使用者情境二之12輛電動公車各成本項目現值(經本研究計算並整理)

效益項	成本項	輛數(輛)	各期現值加總(百萬元) $t = 0, \dots, 8$
(1) 總營收	-	12	354.4
(2) SUB_t	-	12	40.1
-	(3) FC_0	12	108
-	(4) VC_t	12	15.9
(1)+(2)-(3)-(4) = NPV		12	270.6

¹⁴大型巴士，RAC-700介紹。2021年1月8日查閱。<https://www.racev.com/product/jR>。

並進行充電，此時充電價格為離峰電價。若隔日白天有備援電動公車，可以將昨日夜間已充飽電之電動公車連接至電網，提供多餘電力給台電，獲得B2G收益。

假設在臺北木柵66路及本研究模擬情境12輛電動公車的情況下，實際上，66路配有12輛電動公車，且尚未實際運行B2G營運模式。因此，本研究假設能參與B2G之備援電動公車數量為10%，亦即客運業者調配得宜，10輛電動公車中有1輛能參與B2G，並計算電動公車一年參與B2G可獲得之收益，參見表4。

根據台電107年度需量反應負載管理措施之可靠型需量競價措施，其抑低用電每度回購價格不得高於10元。假設電動公車電池之充電與回充沒有耗損，而為維護電池之壽命，進行B2G營運模式時最少保留電池最大容量之5%，亦即最大充放電為267.9度(282*0.95)。本研究以B2G每度8元、10元及12元之三種不同價格進行敏感度分析。在每度B2G回購價格為8元、10元及12元的情況下，扣除離峰充電之平均成本，公車業者所獲得的B2G收入之折現總值為4,077,011元、5,472,343元及6,867,675元。

接著說明電動公車之成本項目。情境三成本項目 FC_t 、 VC_t 同模擬情境二，本研究將各項成本資料進行彙整。此外，將不同B2G回購價

格下的B2G收益與電動公車之固定成本、變動成本現值進行彙整，參見表5。最後將三種情境之比較彙整於表6。

由表5及表6可以看出幾項重要結果。首先，12輛電動公車八年之總成本現值低於柴油公車最少28.6 (152.5-123.9)百萬元，雖然電動公車購置成本昂貴，但是相對於柴油公車可以節省非常多的變動成本，更尤其現階段臺灣政府鼓勵公車電動化，給予購車補助，更進一步降低固定成本(購車)，因此公車業者購置電動公車(情境二)相對柴油公車(情境一)具成本有效性。其二，情境三相對於情境二，12輛電動公車總成本現值相同，但獲得B2G的收益，使淨收益皆高於情境二。其三，以淨現值的角度來看，顯而易見地，情境三12輛電動公車採行時間電價，同時參與B2G商業模式，是此三種情境中最具成本有效性。

4.5 整體社會情境之成本有效性

本節將以第二節及第三節相同之模擬情境，以整體社會立場出發，評估各情境下之外部性，包含使用傳統柴油公車時會產生的噪音污染、空氣汙染以及排碳成本，而移轉性支付如購車補助將不列入分析之中。

在社會折現率選取方面，以劉庭瑋(2017)

表4 使用者情境三之12輛電動公車(備援電動公車)參與B2G之收益現值(本研究計算並整理)

每度B2G回購電價(元)	年B2G收益現值(元)		
	12輛(備援1輛)		
	8	10	12
t = 1	556,858	747,440	938,021
t = 2	542,662	728,385	914,108
t = 3	528,828	709,816	890,805
t = 4	515,347	691,721	868,095
t = 5	502,209	674,087	845,965
t = 6	489,406	656,902	824,398
t = 7	476,930	640,156	803,382
t = 8	464,771	623,836	782,901
合計	4,077,011	5,472,343	6,867,675

註：B2G躉購價格係參考台電107年度需量反應負載管理措施

表5 使用者情境三之12輛電動公車之B2G收益與各項成本之現值(本研究計算並整理)

效益項	成本項	輛數 (輛)	每度B2G 回購電價(元)	各期現值加總 (百萬元) $t = 0, \dots, 8$
(1)總營收	-	12	-	354.4
(2) SUB_t	-	12	-	40.1
(3) $B2G_t$	-	1	8	4.1
			10	5.5
			12	6.9
-	(4) FC_0	12	-	108
-	(5) VC_t	12	-	15.9
(1)+(2)+(3) -(4)-(5)	= NPV	12	8	274.6
			10	276
			12	277.4

表6 三種不同使用者情境總成本與總收益項目之現值(本研究計算並整理)

單位：百萬元

	情境一			情境二	情境三		
每度B2G 回購電價(元)	-			-	8	10	12
油價上漲率(%)	3	6	9	-	-		
(1)總收益現值	354.4			394.4	398.5	399.9	401.3
(2)總成本現值	152.5	163.1	175.2	123.9	123.9		
(1)-(2) = NPV	201.9	191.3	179.1	270.6	274.6	276	277.4

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。以下條列在整體社會情境所有相關之成本與效益項目，參見表7。

DFC_{st} 為第t年購買柴油公車之固定成本、 DVC_{st} 為第t年柴油公車之變動成本、 EFC_{st} 為第t年購買電動公車之固定成本、 EVC_{st} 為第t年電動公車之變動成本及總營收，上述五項在公車業者與整體社會立場之數值皆相同，其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，使用傳統柴油公車增加外部成本的部分包含噪音污染成本、空氣污染成本及排碳成本。

DNC_{st} 為第t年柴油公車噪音污染成本，利用成本趨避法估算柴油公車之噪音成本，估計出每輛柴油公車產生噪音成本為0.043元/公里(張國廷，2006)，以66號公車路線每輛車每年

行駛76,650公里，估計其一年噪音污染成本為3,295.95元。 DAC_{st} 為第t年柴油公車空氣污染成本，採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，其估計值0.059元/公里(張國廷，2006)，並估計76,650公里之空氣污染成本為4,522.35元。 DCC_{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，故本研究對於傳統柴油公車排放之二氧化碳進行估計。依據環境資訊中心，蒐集交通部2017年之數據統計，平均每輛柴油公車之CO₂排放值為1.22公斤/公里，同時參考中國碳排放交易市場2020年4月22日廣東碳交易價格為28.2人民幣/噸，將人民幣以匯率5作計算，約新臺幣0.141元/公斤，最後得出每輛柴油公車一年碳排放成本為13,185.333元。

表7 整體社會情境之各成本與收益項目說明(本研究整理)

項目	項目說明	
收益項	總營收	
	$B2G_{st}$	第t年公車之票價營收
		第t年電動公車參與B2G之收益
成本項	DFC_{s0}	第0年柴油公車之固定成本
	DVC_{st}	第t年柴油公車之變動成本
	DNC_{st}	第t年柴油公車噪音汙染成本
	DAC_{st}	第t年柴油公車空氣汙染成本
	DCC_{st}	第t年柴油公車排碳成本
	EFC_{s0}	第0年電動公車之固定成本
	EVC_{st}	第t年電動公車之變動成本
	ENC_{st}	第t年電動公車噪音汙染成本
	ECC_{st}	第t年電動公車排碳汙染成本

註：下標S代表整體社會

關於電動公車的部分，首先， ENC_{st} 為第t年電動公車噪音汙染成本。由於電動公車產生之噪音為70分貝，約為柴油公車90分貝之80%，故本研究將以每輛柴油公車產生噪音成本0.043元/公里的80%為0.0344元/公里作為每輛電動公車噪音汙染之估計值，66號公車路線每輛車每年行駛76,650公里，估計其一年噪音汙染成本為2636.76元。

由於電動巴士對於電力之需求，使得電廠增加電力供給進而造成碳排放成本 ECC_{st} 。本研究以現今66號路線，採用的華德動能RAC-700大型電動公車，其電池容量為282度具最大續航力260公里。考慮66號路線一天行駛里程210公里，按比例方式計算將消耗電池約為227.8度，並參考經濟部商業司公告2019年最新電力碳排放係數¹⁵，每發一度電會造成0.509公斤二氧化碳的碳排放，最後以本節前述碳交易價格，計算每輛電動公車一年所需電力造成電廠的排碳成本約為5,966.6元。

在B2G方面，相對於本章上一節情境三的狀況，在整體社會層面，會因增加電廠電力供給對整體社會造成碳排放成本 ECC_{st} 。假設備援

電動公車267.9度電每日皆接受台電調度並實際執行，一年的排碳成本為約7017.8元。

綜上所述，本研究將12輛柴油公車與電動公車之各項成本及收益資料進行彙整，將八年各期以社會折現率折現後加總，參見表8及表9。

由表8及表9得知，首先，電動公車參與B2G，在每度B2G回購電價為8元、10元及12元的情況下，整體社會情境12輛電動公車之淨總成本現值分別為232.9百萬元、234.4百萬元及235.9百萬元。其二，在油價上漲率3%、6%及9%的情況下，整體社會情境12輛柴油公車之淨總成本現值分別為194.3百萬元、182.7百萬元及169.4百萬元。其三，在整體社會情境下，12輛電動公車之淨現值，皆較12輛柴油公車之淨現值為高。亦即在整體社會情境下，12輛電動公車具有成本有效性。

5. 結論與建議

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

¹⁵商業服務業節能減碳專區。擷取自：https://escs.cdri.org.tw/?page_id=69#:~:text=2019%E5%B9%B4%E6%88%91%E5%9C%8B%E9%9B%BB%E5%8A%9B%E6%8E%92,%E8%BC%832018%E5%B9%B4%E4%B8%8B%E9%99%8D4.5%25%E3%80%82。2020.12.27查閱。

表8 整體社會情境之12輛柴油公車各社會成本現值(本研究計算並整理)

單位：百萬元

收益項	成本項	油價上漲率(%)	現值加總
(1)總營收	-	-	354.4
-	(2) DFC_{s0}	-	72
-	(3) DVC_{st}	3	86.1
-		6	97.7
-		9	111
-	(4) DNC_{st}	-	0.3
-	(5) DAC_{st}	-	0.4
-	(6) DCC_{st}	-	1.2
		3	194.3
(1)-(2)-(3)-(4)-(5)-(6) = NPV		6	182.7
		9	169.4

表9 整體社會情境之12輛電動公車各社會成本與收益現值(本研究計算並整理)

單位：百萬元

收益項	成本項	每度B2G回購電價(元)	現值加總
(1)總營收	-	-	354.4
(2) $B2G_{st}$	-	8	4.4
		10	5.9
		12	7.4
-	(3) EFC_{s0}	-	108
-	(4) EVC_{st}	-	17
-	(5) ENC_{st}	-	0.2
-	(6) ECC_{st}	-	0.6
		8	232.9
(1)+(2)-(3)-(4)-(5)-(6) = NPV		10	234.4
		12	235.9

電力系統的穩定度。當電動公車作為備援用途期間時，其電池可連接至充電樁，並連接電網，提供儲存量能，亦即藉由B2G技術，公車業者可以獲得業外收入。

未來臺灣也將會許多再生能源加入電網，並且預定於2040年禁售燃油公車，故本研究利用成本有效性分析法，研究B2G營運模式，對於公車業者以及臺灣整體社會而言有何影響，並將電動公車與柴油公車之各成本項及效益項貨幣化後，衡量在不同模擬情境下，電動公車是否較傳統柴油公車具有成本有效性。以下為本研究研擬之結論。

5.1 使用者情境與整體社會情境之成本有效性分析

以客運業者角度考量，在電動公車與柴油公車模擬情境及敏感度分析中，得出以下重要結論：(一)雖然電動公車的固定成本較柴油公車高，但由於電動公車的變動成本較柴油公車低很多，即使政府不給予購車補助，購置電動公車具有成本有效性。(二)若客運業者排班調度得宜，可以利用備援電動公車，藉由參與B2G獲得業外收入。(三)在情境一、情境二及情境三下，以情境三12輛電動公車參與B2G係

最具成本有效性(參見表6)。

在整體社會模擬情境及敏感度分析中，得出以下兩點結論：(一)考量柴油公車之外部成本，以及電動公車耗用電能之外部成本內部化後，使用電動公車相較柴油公車具成本有效性。(二)考量電動公車可以參與B2G並獲得收益的情況下，使用電動公車相較於傳統柴油公車可以創造額外收益，更具成本有效性(參見表10)。

電動公車相較於柴油公車，最大的優勢是變動成本非常低，因此即使沒有政府補助、參加B2G獲得額外收益或者外部成本，客運業者購置電動公車對於自身以及社會都具有成本有效性。關於外部成本的部分，在減少噪音汙染、減低空氣汙染及降低排碳量方面，電動公車對於柴油公車而言，其亦具有優勢。因此，在整體社會情境中，購置電動公車具有成本有效性。

此外，若電動公車數量具備一定規模，善用其備援電動公車電池所提供的儲存量能，除了可以參與B2G獲得業外收入，若能參與電力輔助服務，會比建置特定用於儲能的大型設備更具效益。因此，若政府在適當時機發展B2G，將可以提升整體社會之福祉。

值得注意的，在情境一至情境三中，不論從客運業者角度或者整體社會角度分析，參加B2G皆可拉升購置電動公車之效益，但在情境三中，參加B2G除了需負擔購買能量之費用，還需考量排碳成本轉嫁至電廠端之外部成本。換言之，政府若推動B2G之技術服務，亦須推

動綠能，降低發電之排碳係數，整體社會才能真正享受到B2G所帶來的益處。

根據本研究之結論，電動公車於使用者情境具有成本有效性，意指公車業者在柴油公車與電動公車之間做選擇時，會以電動公車作為優先考慮之對象，其符合經濟理性。但截至2019年9月，臺北市區公車共3,600輛，其中電動公車之營運路線僅有2條，共22輛。換言之，電動公車佔臺北市區公車總數不到1%。儘管公車業者使用電動公車並採時間電價，甚至參與B2G，在使用者觀點，其具有成本有效性，但是臺灣目前電動公車仍不夠普及。本研究認為，導致這結果之原因可能為以下三點：(一)臺灣電動公車充電式場域仍不夠充裕。(二)電池交換費用昂貴，約佔電動公車固定成本之40%。(三)電池接點裝備不穩定，使得公車之穩定性與可靠度較傳統柴油公車為低。(四)客運業者面對電動公車受限於充電時間，不同於柴油公車隨時皆可補充燃料，在排班調度上需要再調適之因素。

在此情況下，公車業者考量了公車轉換成本與固定成本費用，且電動公車目前在臺灣尚未普及，導致電動公車儘管在使用者情境具有成本有效性，仍無法取代傳統柴油公車。值得注意的，臺北市交通局長陳學台說：臺北市電動公車將於2022年達400輛之目標。此外，於2019年5月，全世界共有42.5輛電動公車。其中，中國擁有42.1萬輛、歐洲有2,250輛、美國有300輛。根據BNEF (Bloomberg New Energy Finance, 2020)於2020年發布之電動車展

表10 柴油公車與電動公車於整體社會情境之淨值比較(本研究計算並整理)

單位：百萬元

	12輛柴油公車			12輛電動公車		
每度B2G回購電價(元)		-		8	10	12
油價上漲率(%)	3	6	9		-	
(1)總收益現值		354.4		358.8	360.2	361.7
(2)總成本現值	160	171.1	185		125.9	
(1)-(2) = NPV	194.3	182.7	169.4	232.9	234.4	235.9

望(Electric Vehicle Outlook, 2020)，預計到2025年，中國電動公車數量將增加到60萬輛，美國將增加至5,000輛，其五年之成長率分別為40%與1,567%。換言之，市區交通運輸系統以電動公車為主，是中國、美國、歐洲等先進國家未來發展之趨勢。

5.2 未來研究建議

本研究係以華德動能RAC-700電動公車為研究對象，使用之市場售價、維修費用皆與實際狀況有所出入，待未來有關電動公車更多詳細的相關資訊，可以再做調整及評估。

本研究假設之B2G營運模式，係由備援電動公車，僅以單純買、賣電力之能量，並未模擬其他輔助服務，例如更高價值之調頻服務、短期備轉容量等，且電動公車主要目的仍是以載運乘客為主，若未來電動公車是能夠以載運乘客和參與B2G同時作為主要目的，在每度B2G回購電價高於載運乘客之票價時，電動公車參與B2G所能獲得的收益將會更高。因此，本研究B2G營運模式之收益為低估。

在能源成本方面，本研究僅假設油價上漲之情況，固定電價之尖離峰價格，若未來電價調漲，尖離峰價差擴大，或許可能會提高B2G之收益，吸引更多購買者選用電動公車。

關於公車壽命之假設，目前是受限於法規，因此本研究以八年為研究期間，倘若主管機關未來能考量電動公車與柴油公車的差異，放寬電動公車使用期限，勢必會大大增加使用電動公車之誘因。

本研究沒有考量電動公車電池耗損、充電樁建置成本以及充電樁的實際充電耗損。此外，本研究假設客運業者人事、管理等其他成本相同，僅就對於電動公車以及柴油公車之差異做分析，但兩種不同車隊仍會有管理模式上的不同，可能會衍生不同組織管理上之成本效益，本研究也未將其納入考量。

最後，本研究在整體社會情境中，未考慮智慧電網其他多功能用途帶來的效益，例如執

行B2G時除了為客運業者帶來效益，更對電網穩定有所貢獻，未來可再深入探究。

誌 謝

作者感謝科技部「新興科技創新營運模式:智慧製造與資訊系統整合創新營運模式建置與維運計畫」整合型研究計畫(編號109-2425-H-005-001-)及科技部臺灣地區太陽光電及風電未來96小時逐時預測系統之建置與測試(編號 108-3116-F-005-001-)之部分經費支持，始得完成此研究。同時，感謝兩位匿名評審提供的寶貴建議，惟文中若有任何疏誤，應由作者們自負文責。

參考文獻

- 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。
- 許志義與黃國曄，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。
- 許志義與鍾皓晨，2017。虛擬電廠參與者之成本效益分析與政策推介，臺灣能源期刊，第4卷第2期，頁145-172，臺北，經濟部能源局。
- 張嘉諳、藍柏荏、林彥均、羅亭竣、呂秉鴻、陳人豪與陳斌魁，2014。智慧電網及推動再生能源面臨的挑戰，臺灣能源期刊，第1卷第2期，頁259-281。
- 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。
- 郭彥廉，2000。《空氣污染移動源管制政策之成本有效性分析》，國立臺北大學資源管理研究所碩士論文。
- 黃郁青、陳治均與葛復光，2018。電動車的發展對我國電網級儲能系統之影響，核能研究所研究報告。

- 臺灣智慧型電網產業協會，2020。認識智慧型電網。2020年03月21日檢自：http://www.smart-grid.org.tw/content/smart_grid/smart_grid.aspx。
- 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。
- 賴文泰，2017。電動公車營運指標、財務效益分析與發展策略之研究，運輸計畫季刊，第46卷第4期，頁377~398。
- 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》，國立政治大學經濟系研究所碩士論文。
- 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：俊傑書局股份有限公司。
- 聯齊科技，2020。顏執行長哲淵演講：日本電力公司開放資料創新營運模式及其數據經濟發展。日期：2020年06月05日政大演講。
- Bloomberg New Energy Finance (BNEF), 2020. http://finance.sina.com/bg/usstock/usstock_news/sinacn/20190516/docifzikfzn1662674.shtml.
- Dai, Shihao, Feng Gao, Xiaohong Guan, Chao-Bo Yan, Kun Liu, Jiaoqiao Dong and Lei Yang, 2020. "Robust Energy Management for a Corporate Energy System With Shift-Working V2G." IEEE Transactions on Automation Science and Engineering.
- Dominion Energy, 2020. "Dominion Energy Moves Forward with Electric School Bus Program." Retrieved from <https://news.dominionenergy.com/2020-01-16-Dominion-Energy-Moves-Forward-with-Electric-School-Bus-Program>.
- Karad, S. and R. Thakur, 2019. "Recent trends of control strategies for doubly fed induction generator based wind turbine systems: A comparative review." Archives of Computational Methods in Engineering: 1-15.
- Kempton, W. and S. E. Letendre, 1997. "Electric vehicles as a new power source for electric utilities." Transportation Research Part D: Transport and Environment 2(3): 157-175.
- Li, Xinzhou, Yitong Tan, Xinxin Liu, Qiangqiang Liao, Bo Sun, Guangyu Cao, Cheng Li, Xiu Yang and Zhiqin Wang, 2020. "A cost-benefit analysis of V2G electric vehicles supporting peak shaving in Shanghai." Electric Power Systems Research 179: 106058.
- Pike Research, 2013. Worldwide Virtual Power Plant Capacity to Multiply Nearly Five-Fold by 2020, Forecasts Pike Research, [Online]. Available: <http://www.businesswire.com/news/home/20130311005262/en/Worldwide-Virtual-Power-Plant-Capacity-Multiply-Five-Fold>.
- Saini, Shubham, Tripta Thakur and Mukesh Kirar, 2020. "A Review of Electric Vehicles Charging Topologies, its Impacts and Smart Grid Operation with V2G Technology." Available at SSRN 3575388.
- Triviño-Cabrera, Alicia, José A. Aguado and Sebastián de la Torre, 2019. "Joint routing and scheduling for electric vehicles in smart grids with V2G." Energy 175: 113-122.
- Turton, H. and F. Moura, 2008. "Vehicle-to-grid systems for sustainable development: An integrated energy analysis." Technological Forecasting and Social Change 75(8): 1091-1108.

Cost Effectiveness Analysis of “Electric Bus-to-Grid (B2G)” Operation Model: Taking Taipei City Bus as an Example

Jyh-Yih Hsu^{1*} Che-Fu Kuo² Chih-Hsiang Tsai² Fa-Ming Yeh³

ABSTRACT

With renewable energies increasingly being incorporated into power grids, the power industry requires energy storage equipment to balance the supply and demand in power grids and thus maintain the stability of the power system. As an alternative to establishing battery energy storage systems, electric bus batteries can also be used as energy storage equipment by the power industry. This practice reduces power companies' costs in constructing energy storage systems and helps bus operators, through engagement of their electric buses in the bus-to-grid (B2G) business model, to gain nonoperating income. This study conducted a cost-effectiveness analysis of electric buses under the B2G business model in comparison with conventional diesel buses in Taiwan. The results revealed that, in a user scenario, the net present value of 12 diesel buses was approximately 201.9 million NTD after considering the fixed costs, and variable costs. By contrast, the net present of 12 electric buses with subsidies from government was approximately 227.4 million NTD when bus operators purchased electric buses. If operators participate in B2G, their net present value can reach up to 277.4 million NTD. Hence, electric buses are cost effective in a user scenario. In a social scenario, the present value of the total cost of 12 conventional diesel buses was approximately 194.3 million NTD. Excluding the transfer payment of government subsidies, the net present value of the 12 electric buses is approximately 228.5 million NTD. If participating in B2G, its net present value can reach up to 235.9 million NTD. Therefore, adopting electric bus system is cost-effective.

Keywords: electric bus, cost-effectiveness analysis, vehicle-to-grid, renewable energy, battery energy storage.

¹Distinguished Chair Professor, National Taipei University of Business; Professor, Department of Management Information Systems and Department of Applied Economics, National Chung-Hsing University.

²Master, Institute of Economics, National Cheng-Chi University.

³PhD student, Institute of Applied Economics, National Chung-Hsing University.

* Corresponding Author, Phone: +886-4-2285-0505, E-mail: hsu@nchu.edu.tw

Received Date: July 31, 2020

Revised Date: January 18, 2021

Accepted Date: February 24, 2021