

環保低碳運具在臺灣推行之比較分析報告

葉欣誠¹、程金保²

1 國立臺灣師範大學環境教育研究所教授

2 國立臺灣師範大學機電工程學系教授

一、前言

低碳轉型的背景

從 1990 年代開始，氣候變遷即已成為全球關注的重要議題。然而事實上，氣候變遷的發生隨著工業革命開始人為溫室氣體排放的增加，與在大氣的累積，已經發生超過百年。近年世界經濟論壇的全球風險報告持續將「極端天氣事件」與「氣候變遷調適與減緩的失敗」列為發生機率最高的風險。2019 年 5 月，英國議會通過將氣候變遷改稱為「氣候緊急狀態」(climate emergency)，同年 11 月，歐洲議會通過相同決議；“climate emergency” 也被牛津字典選為 2019 年的年度代表字。至今全球已經有多國與上百的城市做出相同的宣告，象徵氣候變遷的嚴重程度已經進入新的階段，嚴峻且急迫。

2020 年開始的新冠疫情，讓全年溫室氣體排放量較前一年降低了 7%，但對於大氣中的二氧化碳濃度的影響卻相當有限（張君堯，2020），在當年五月份達到 418 ppm，較前一年又上升了 6 ppm。根據聯合國環境規劃署(UNEP)的排放差距報告(Emission Gap Report) (UNEP, 2021)，就算世界各國依照在巴黎協定中的國家自主承諾(NDC)減碳，到了 2030 年仍比全球較工業革命前升溫攝氏 2 度的基準排放量多了 150 億噸二氧化碳當量(CO₂-e)。為了彌補這減碳的差額，以歐盟為首的各國政府從 2019 年開始陸續宣布在 2050 年前後達到碳中和(carbon neutrality)的目標。UNFCCC 在 2020 年底出版的《2020 年全球氣候行動年鑑：馬拉喀什全球氣候行動夥伴》(Yearbook of Global Climate Action 2020: Marrakech Partnership for Global Climate Action) (UNFCCC, 2020) 中也整理出，至 2020 年十月已有 826 個城市、103 個區域承諾淨零排碳，以人口計算的話大約是全球人口的 11%，可以見得減碳已是國際社會中無法阻擋的趨勢。

在今年(2021年)4月22日地球日(Earth Day)，美國總統拜登邀集將近四十位國家領袖參與網路氣候高峰會，請各國提出碳中和時間的具體承諾，更進一步提出2030年的減碳目標。而至今已宣布2050碳中和的國家或經濟體包含加拿大、歐盟、法國、德國、義大利、日本、南韓、墨西哥、西班牙、英國等，已經超過50個國家。拜登在網路氣候高峰會開幕時表示，未來十年是決定性的十年(decisive decade)，也是人類能夠致力減碳以自救的最後機會。減碳已經不是口號、政策，而是不得不然的必要作為。

減碳是人類社會永續發展的必要措施，在朝向低碳社會發展的途中，各產業勢必會面臨低碳的轉型，各部門也應訂定低碳轉型的策略方針與具體目標。其中，根據IPCC(2014)的報告，交通運輸的排放佔了每年溫室氣體(包含非二氧化碳)排放的14%，是溫室氣體的主要來源之一。全世界交通運輸部門約佔最終能源消耗的27%，由於交通運輸幾乎完全依靠化石燃料，因此也造成世界約25%化石燃料的二氧化碳排放。若再根據運輸的種類劃分排放來源，陸運交通工具的碳排放佔了交通運輸的72%，且在1970至2010年間增加了80%的排放量(張晨瑜, 2019; Wang & Ge, 2019)。因此，在達成減碳目標的路上，陸運交通工具的低碳化是十分重要的環節。

運輸工具電動化趨勢與發展目標

因應陸運交通工具低碳轉型的趨勢，全球電動車(Electric Vehicle, EV)的發展如火如荼，2020年全球電動車銷售量在疫情下仍成長逾40%，美國拜登政府更在上任後即宣布65萬輛公務車未來將全數汰換成電動車(工商時報, 2021)，紐約市也將在2040年達到100%公務車電動化(Kobe, 2020)，讓電動車的話題持續升溫(詹詒絜、曾緯哲、王振益、李倫, 2021)。臺灣在全球運具電動化的趨勢中，具有從半導體、零組件、機械產業，到加工業完整產業鏈的優勢，相當具有發展機會。電動車發展與推行是減碳的關鍵措施，並兼具空氣污染控制的效益，因此車輛全面電動化也成為包含我國在內，朝低碳運輸轉型之具體目標。

根據Cairn Energy Research Advisors 這家研究電池和電動車產業的公司的最新報告預測，2021年全球電動車的銷量將激增至36%，並突破300萬輛(LeBeau, 2020)。且由於全球各國政府的碳中和承諾與減碳目標，許多國家都將針對交通運輸部門進行低碳運具的推行規劃與獎勵措施，且由於政策推動，部份國家在數年前就已

使電動車在銷量、普及率上有初步成果。隨著電動車技術的進展與國際社會對低碳轉型目標的共識，電動車的需求與銷售量成長迅速，並有可期的市場發展。

環保低碳運具的發展現況

若要以減碳為目標，使用 ICE (internal combustion engine) 內燃機的傳統內燃式引擎車 ICEV (internal combustion engine vehicle) 科技的發展接近頂峰，很難再有突破性的進展，因此替代的運具是低碳轉型之關鍵。電動車即是目前陸運交通工具主要的低碳發展方向。目前使用到電力提供驅動力的運具(即此報告中所指之電動車)的主要類型包含：混合動力電動車 HEV (hybrid electric vehicle)、插電式混合動力電動車 PHEV (plug-in hybrid electric vehicle)、電池電動車 BEV (battery electric vehicle) 和燃料電池電動車 FCEV (fuel cell electric vehicle)。與傳統內燃式引擎車 ICEV (本文後續將以「汽油車」指稱) 相比，這些車種都有不同的電氣化程度差異以及優缺點(Ajanovic & Haas, 2019)。

HEV 使用內燃機和電動推進系統提供車輛動力來源，可以依照行駛狀況選擇最有效率的動力模式。例如中低速駕駛時可採用電力驅動。需要更高的行駛速度時，切換至內燃機進行運轉，而兩個動力系統也可以共同出力提升動力性能。由於混合動力電動汽車 HEV 仍需依賴化石燃料，因此可以將其視為較節能版本的汽油車。PHEV 與 HEV 類似，以內燃機和電池組作為主要驅動動力，但 PHEV 有較高的電池儲能系統，且 PHEV 的電池可以插頭插入電網，透過外部電源充電為電池組充電，並具有車輛至電網 (vehicle-to-grid, V2G) 的技術(呂錫民, 2015)。PHEV 與 HEV 皆是同時裝載內燃機和電動動力系統的車輛，因此以分類來說都屬於油電混合車(本文後續將以「油電混合車」指稱兩者，特指 PHEV 或 HEV 時則將另行標註)。BEV 和 FCEV 在車輛內部轉換動力的過程完全不會產生碳排放，前者以完全以電池提供動力，也因此電池電動車又被稱作純電動車(本文後續所提及之「純電動車」均指 BEV 電池電動車)。後者則利用以氫為燃料的燃料電池提供動力，並也都具有 V2G 的功能。

本報告目的與分析方向

一般在討論氣候與能源議題時，經常出現就某一特定技術或系統的使用階段進行討論。但氣候與能源是典型的系統問題，譬如受到光合作用、燃燒作用和各種自然界與人為行動影響的碳循環是討論碳排放的基本原理，而無論是化石燃料、核能、再

生能源、水力發電等，也都涉及到能源開採、轉化、使用與後續處理與處置的排碳量與環境衝擊。因此，種樹減碳要看樹種、時機、前後的狀態；太陽能發電必須考量生產太陽能光電板本身的耗電與排碳，還有最後的廢棄；核能發電也得考量建廠與除役後的排碳與環境成本；駕駛電動車是否減碳，則需考量生產電動車時的排碳，還有電動車充的「電」背後代表的碳排放。「系統思考」是以科學檢視每一種行動的效能的基本原則，而「批判思考」則提醒我們需就直觀的想法或一般的說法進行反思。

前段簡介的電動運具雖有行駛過程低碳或無碳排放、環保、與智慧電網結合的功能等優勢，但是這些優勢是電動車技術最理想化的功能應用，而現在根據不同地區與電動車配套的建設與能源結構等，各層面的應用仍有其限制。首先，電動車在行駛過程中雖然不會排放二氧化碳、懸浮微粒和其他造成空氣污染的物質，或是排放量較低(如 PHEV)，但是其使用的電力如果不是由再生能源產生，那麼電動車的使用根本上仍會產生碳排放。因此，電動車的環保低碳效益不能夠只考量車體運行過程中的溫室氣體排放量，其總溫室氣體排放量，很大程度取決於電力生產的來源(FCEV 則是氫氣生產的來源)，所以在評估電動車的環保減碳效益時，必須考量該區域的發電結構。另一方面，電動車需要充電以回復電力，因此充電站的建設會影響到電動車的便利性與普及應用。在轉型的初期，若充電站不如傳統油耗車補充石油燃料的加油站密集，或甚至只能夠在自家或少數特定地點充電，不僅便利性不足，也會由於電力續航狀況造成使用者的「里程焦慮」，這些都可能影響電動車的使用與推廣。最後，現在電動車的發展技術雖然可以達到 V2G，也就是將電動車的電回充到智慧電網中，但是若地區智慧電網發展仍不夠成熟，此技術也無法發揮這個理想化的功能。

此外，電動車本身是一種商品，減碳或環保是消費者購買商品的考量之一，而一般而言，「環保」最大的競爭力量就是「方便」和「便宜」。低碳或環保是否成立，尚受到技術程度、電力結構等各種因素的影響，而電動車是一種新商品，搭配的公共建設與系統仍在發展中，一如當時汽車問世時，公路與加油系統都還在發展。作為新商品的電動車，價錢基本上也比傳統汽油車高。消費者購買電動車的決策受到諸多因素的影響，原則上是一種「多目標決策」，也可就不同面向的考量綜合思考。

綜合上述，本報告之主要目的是評估臺灣現階段背景條件下使用到電力驅動的運具之環保減碳效益，以及消費者購買和使用運具的決策考量。比較分析的標的物包括傳統汽油車、純電動車、油電混合車三類。

二、運具之環保減碳效益分析

生命週期評估 (Life cycle assessment, LCA) 概述

生命週期評估 (Life cycle assessment, LCA) 是對任何產品或服務從原料取得、製造、配送銷售、使用到廢棄處理回收等生命週期中，各項投入與產出對環境的潛在衝擊的標準化評估方法 (I.S.O., 2006)。陸上交通運輸工具的生命週期評估中，最主要貢獻於碳排放量的生命週期過程之一就是產生動力的過程，即基本燃料生產、電力生產以至於驅動車輛的生命週期過程。

WTT 指的是「鑽井到油箱 (well-to-tank)」，也就是基本燃料的生命週期，包含基本燃料的開採、處理、運輸進出口前後的處理過程等。比較三種化石燃料的 WTT：煤炭、石油、天然氣。煤炭產生的溫室氣體排放量最低。石油在精煉過程中產生不同的溫室氣體排放，而天然氣產生的溫室氣體排放量最高，這很大一部份來自於天然氣的處理與液化過程的排放，總體而言，天然氣產生的碳排放分別是煤炭和汽油排放量的約 2.6 倍和約 1.2 倍 (Choi 等, 2020)。而車輛的 WTT 就是指車輛上游的碳排放，汽油車的 WTT 排放量就是指石油開採處理、運輸過程中產生的碳排放量；電動車的 WTT 碳排放量則是指發電和其傳輸所造成的碳排放量。

而 TTW 「油箱到輪子 (tank-to-wheel)」計算的是汽油車油箱中燃料在內燃機燃燒後經排氣管排放的二氧化碳量，也就是行駛過程中的碳排放量。而因為純電動車之車體內不會有化石燃料燃燒，所以純電動車的 TTW 是零排放量。

從鑽井到輪子 (well-to-wheel, WTW) 的總排碳量則是涵蓋了從燃料來源到車輛使輪子產生動能的過程，因此就包含了基本燃料和電力的生命週期 (WTT) 以及油箱到輪子 (TTW) 的碳排放量，也就是說 WTW 排放量是 WTT 和 TTW 的總和。而產生電力的過程會與發電技術、發電結構組合和發電效率有關。使用化石燃料的發電技術中，雖然在煤炭生產過程 (WTT) 產生的碳排放量最低，但使用蒸汽輪機燃煤發電產生的碳排放量最高。天然氣則相反，在生產過程 (WTT) 雖然排碳量最高，但是在發電時是化石燃料中碳排放量最低的，且天然氣使用聯合循環系統和燃料電池發電的效率高於蒸汽輪機。因此，雖然若以燃料的生命週期評估生產過程，煤炭的二氧化碳排放量最低、天然氣最高，但是以整個電力生命週期的碳排放量而言，煤炭的碳排放量最高，石油次

之，天然氣最低 (Choi 等, 2020)。另外，核能發電可降低碳排放；使用再生能源發電時，則大多數不會直接產生碳排放。

總而言之，各電力生產方式會在不同的生命週期階段根據燃料性質、技術及條件等各有碳排放量上的差異，因此總體的電力生命週期評估通常會以每單位電能產生的所造成的二氧化碳排放量來呈現，也就是電力排碳係數。綜合上述，若要評估比較不同陸上交通運輸工具「從鑽井到輪子 (well-to-wheel)」的總排碳量 WTW，作為環保減碳效益分析的比較方式，就必須將能源發電結構等背景條件納入分析，才能獲得比較客觀的結果。

各車種 WTW (鑽井到輪子) 的二氧化碳排放量分析

在全球平均狀況下，相對於傳統汽油車，電動車可提供生命週期的溫室氣體排放量減少的效益。根據國際能源總署 (IEA) 發布的《全球電動車展望》(Global EV Outlook) 報告 (IEA, 2020)，以鑽井到輪子的過程 (WTW) 來計算，2018 年傳統汽油車平均溫室氣體排放量每公里便高於 200 克二氧化碳當量 (gCO₂e/km)，而純電動車 (BEV) 的平均二氧化碳當量每公里大約只有 95 克，排放量比傳統汽油車少 53%，比插电式油電混合車 (PHEV) 少 40% (詹詒絜、曾緯哲、王振益、李倫, 2021; IEA, 2020)(圖 1)。然而，若將各國的發電結構納入考量，再分別依照國家能源發電結構比較分析不同車種，各車種之減碳效益會有明顯的差異，如圖 1 中 BEV 的每公里二氧化碳當量排放雖然全球平均約 95，但範圍變化從 0 到 190 左右，因為電動車 WTW 碳排放量取決於再生能源發電的比率 (Ajanovic & Haas, 2019)。然而，報告中也說明了，因為不同廠牌的設計與性能不同，PHEV 的碳排放量也可能比 BEV 低。

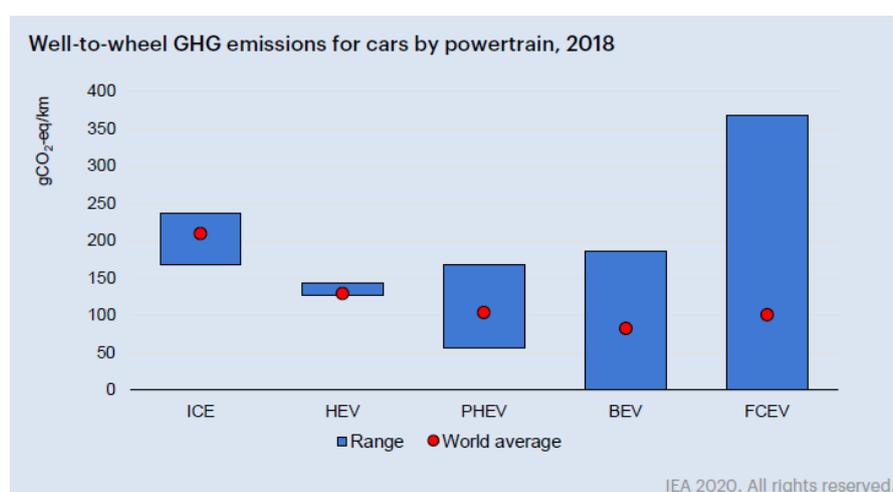


圖 1 各車種 WTW (鑽井到輪子) 的排放量 (圖片來源：IEA)

(1) 能源發電比率對各車種碳排放量的影響

劍橋大學的研究 (Knobloch 等, 2020) 針對全球 59 個國家做比較，研究顯示其中 53 個國家使用電動車的碳排放量較低，每公里平均碳排放量比汽油汽車低 31%。而有 6 個國家使用電動車碳排放量較高，其中包括中國、印度、波蘭等開發中國家，這些國家使用燃煤發電比例較高，反映了使用潔淨能源比例越高、碳排放量較低。另外，此研究也點出一個例外：日本的油電混合車 (HEV) 能源效率高，與現行的純電動車不相上下，這也顯示了同樣的車種可能因本身之設計與製造技術而產生碳排放量差異。

國際能源總署 (IEA) 發布的報告 (IEA, 2020) 指出，若在主要依靠煤炭作為發電來源的國家，純電動車的排放量甚至可能比傳統汽油車更高。在挪威和冰島，純電動車的 WTW 溫室氣體排放量幾乎為零，這是因為電力結構及電力供應的生命週期碳排放量極低。歐洲和北美的發電結構裡，低碳再生能源佔比較高，電力排碳係數大多控制在 0.25-0.4 kg CO_{2e}/kWh 之間，所以電動車整個生命週期的碳排放量，明顯比傳統內燃引擎車輛來得低。而以燃煤發電為主的區域，像中國和印度，其電力排碳係數則是在 0.55-0.8kg CO_{2e}/kWh 之間，電動車的減碳效益就不如歐洲國家來得明顯，生命週期的碳排放量會與一般傳統內燃引擎車或油電混合車相近 (IEA, 2018)。氣候傳播媒體 (Carbon Brief, 2019) 也指出，在主要以煤炭發電的國家，純電動車的減碳效益較低，終身排放量與油電混合車差不多。隨著各國改變其發電結構、朝向更低碳化的能源發電之後，純電動車的碳排放量才會逐漸下降，而更新科技的純電動車製造過程之碳排放量也可望減低。

另外，若利用邊際排放 (marginal emission) 的概念來檢視電動車的減碳效益，可以呈現每增加一台電動車上路所造成的碳排放量的改變，如果碳排放量增加，就代表電動車的增加並不會帶來減碳的效果。Yuksel 等 (2016) 的研究比較了規格相近的純電動車、插電式油電混合車以及傳統汽油車，由研究中整理的圖 2 即可清楚看到在美國各區域部分純電動車和插電式油電混合車 (以 2013 Nissan Leaf BEV, 2013 Chevrolet Volt PHEV 和 2013 Toyota Prius PHEV 為例作比較分析) 相對於部分汽油車 (以 2014 Mazda 3 作為比較基準) 的生命週期碳排放差異。

由於在美國各區域的發電方式差異很大，例如美國中部地區主要仰賴煤炭發電，而加州或紐約等地區的發電方式則環境污染較少。分析結果發現，除了在美國中部以外，純電動車和插電式油電混合車邊際排放都比汽油車來得低，而純電動車在美國中部地區反而碳排放量比汽油車高出許多，減碳效益甚至不如插電式油電混合車。

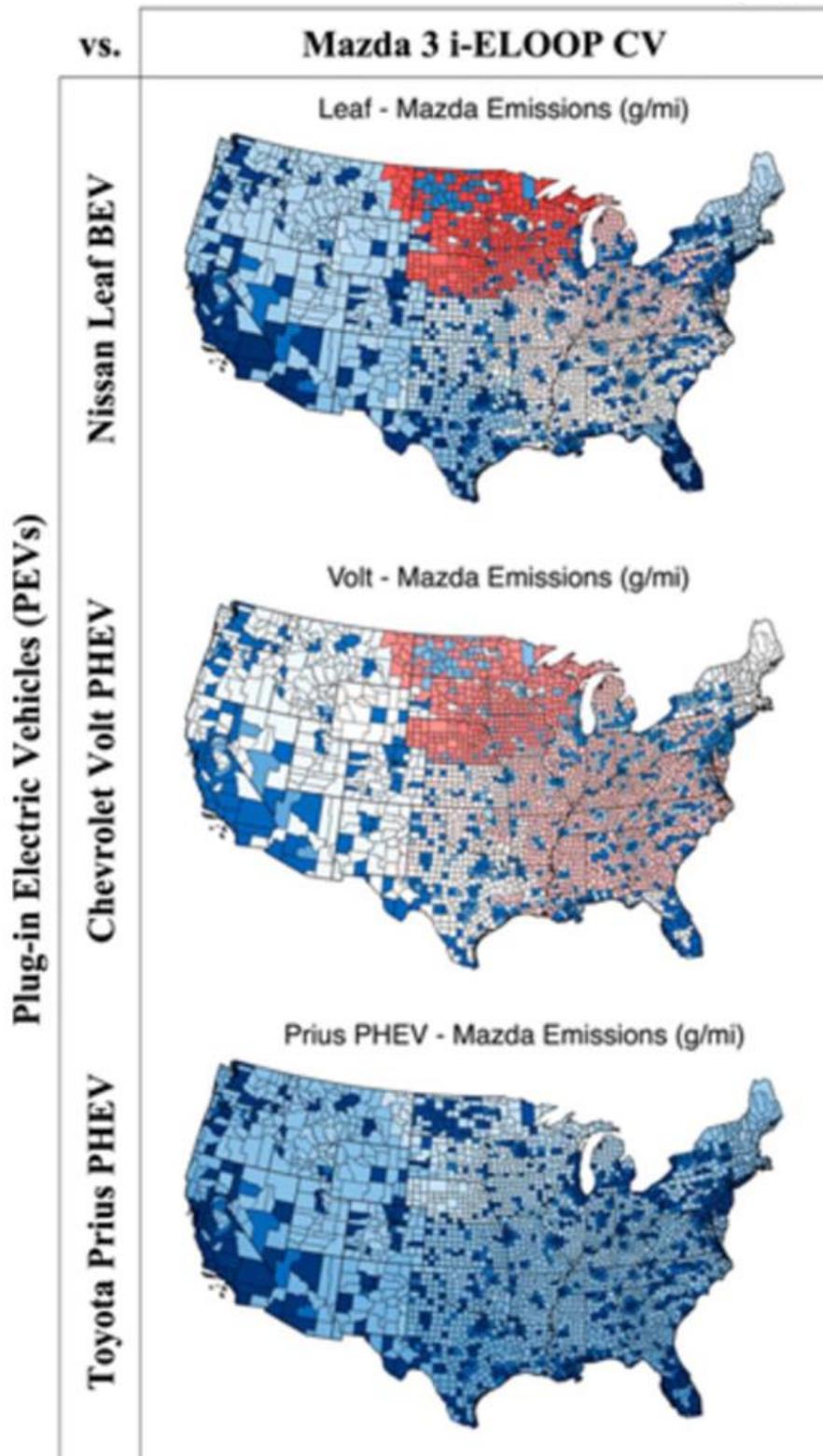


圖 2 美國各區域純電動車 (2013 Nissan Leaf BEV) 和插電式油電混合車 (2013 Chevrolet Volt PHEV 和 2013 Toyota Prius PHEV) 相對於汽油車 (2014 Mazda 3) 的生命週期碳排放差異分布。紅色代表該區域使用油電混合車的碳排放量比汽油車高 (電動車排碳量減去汽油車排碳量為正值)，藍色則表示該區域使用油電混合車的碳排放量比汽油車低 (電動車排碳量減去汽油車排碳量為負值)。圖片來源：修改擷取自 (Yuksel 等, 2016)

這也顯示在發電能源潔淨、電力排碳係數低的地區，電動車的使用增加有助於降低該區的碳排放量。但是在電力排碳係數高的地區，電動車與最高效的傳統汽油車相比，其減碳效益可能趨近於零或為負值(詹詒絜、曾緯哲、王振益、李倫, 2021; Carbon Brief, 2019)。

雖然 Carbon Brief 也指出邊際排放量只是對電動車影響的短期估計。然而，總結上述各項資料，電動車的減碳效益不管從平均排碳量或是邊際排放量而言，都需歸因於區域的能源發電結構。

(2) 台灣發電結構與各車種減碳效益現況

根據 108 年台電系統發購電量結構，臺灣的主要電力來源為火力發電，佔整體發電比例為 79.2%，而再生能源發電比例僅有約 6.0%。再加上台灣經濟部能源局於 2020 年 6 月 30 日公告的資訊，臺灣在 2019 年之電力排碳係數為 0.509kg CO₂e/kWh。若考量臺灣現階段的發電結構，並將臺灣現在的電力排碳係數資訊對照國際能源總署 IEA 在 2018 年報告中揭露的幾個國家的電力排碳係數，臺灣的電力排碳係數較接近中國與印度，因此推估臺灣目前使用電動車 BEV 在減碳層面並無法達到很高的效益，而其生命週期的碳排放量會與一般傳統內燃引擎車或油電混合車相近。

Choi 等人 (2020) 的研究納入各國電力排碳係數，以及根據未來能源經濟與技術發展狀況推估之 2030 年資訊，呈現傳統汽油車、油電混合車 (HEV)、電池電動車在各電力排碳係數下之 WTW 溫室氣體排放量。此篇研究的 WTW 分析結果顯示，中國在 2015 年使用 BEV 產生的溫室氣體排放量高於 HEV 油電混合車；在歐洲則是使用 BEV 有利於減少溫室氣體排放；而臺灣未來的發電結構如果沒有改變，使用 BEV 電池電動車和 HEV 油電混合車的溫室氣體排放量是相同的。

從 WTW 各項研究分析結果，總體而言與傳統的汽油或柴油汽車相比，所有電動車均可以減少二氧化碳的排放，但是須確保電動汽車發電來源是再生能源，然而在臺灣現階段的發電結構下，透過純電動車的應用尚無法保證達到良好的減碳效益。另一方面，油電混合車並非行駛過程零碳排放車輛，與其他類型的電動車相比，它們具有較低的成本和較高的行駛里程，因此可以作為過渡時期銜接的車型 (Ajanovic & Haas, 2015)。在環保減碳效益的考量上，電動車的減碳效益仍須仰賴臺灣未來朝向更低碳發電結構的進展，而在此之前，系統與技術介於汽油車與純電動車之間的油電混合車可以扮演轉型過程中的過渡運具選擇。

三、消費者考量分析

環保低碳運具的成長與推行須由消費者需求推動，電動車相對傳統汽油車為較新的選項，因此消費者對於電動車會有其顧慮。根據勤業眾信(2021)在2018年與2020年對各國汽車消費者的研究，消費者對電動車的主要顧慮在各國不盡相同(請參見表1)。這可能反映了國家的電動車相關基礎建設的現況，尤其其中對續航力與電動車充電設施缺乏的疑慮在各國都有相較為高的比例。以義大利消費者為例，對於電動車主要顧慮為電動車充電設施的缺乏，並且相較其他國家更高，可能反映了義大利電動車充電站數量相較不足，抑或是消費者對充電站數量資訊了解不足。這個消費者研究也發現消費者對於電動車的顧慮隨著時間有所變化，有些原先的主要顧慮在2020年的調查中有相較2018年調查結果大幅降低的趨勢，例如，義大利消費者對於電動車充電設施缺乏的顧慮在2020年下降，這可能反映了充電設施建設或消費者對充電設施普及度認知的改變。由此研究報告，可得知電動車科技以及各國相關基礎建設等的發展現況及未來的配套調整，可能影響消費者的顧慮，並隨著消費者的擔憂逐漸解決，電動車也能在消費者需求下成為實際可推行的選項。

由於電動車相關基礎建設、電力供應結構等背景條件會因地區的發展現況與對電動車科技的認知而有所差異，本研究報告考量臺灣消費者對電動車的理理解與偏好。根據世新大學於2021年4月對全臺灣五百餘位消費者隨機抽樣電話訪問製成的消費者

表1 2018-2020 消費者對於電動車的疑慮調查。

資料來源：Deloitte Global Auto Consumer Study，節錄整理自(勤業眾信, 2021)

消費者對純電動車疑慮調查								
	義大利		德國		中國		美國	
調查年度	2018	2020	2018	2020	2018	2020	2018	2020
續航力	4%	27%	35%	33%	25%	22%	24%	25%
成本/價格溢價	19%	13%	22%	15%	9%	12%	26%	18%
充電所需時間	18%	16%	11%	14%	12%	15%	10%	14%
電動車充電設施的缺乏	44%	32%	20%	25%	18%	20%	22%	29%
對電池科技的安全考量	7%	10%	5%	10%	22%	31%	8%	13%
其他	8%	2%	7%	3%	14%	0%	10%	1%
總和	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
受測人數	1048	1274	1287	3002	1606	3019	1513	3006

汽車意向滿意度調查報告(2021)，分析臺灣現階段消費者對傳統汽油車、油電混合車與純電動車之觀感，以及購車決策時的可能考量。以下根據世新大學消費者汽車意向滿意度調查報告結果中，消費者購買自用陸地運輸工具時決策的幾大考量進行討論。

1. 環保低碳效益考量

對於減碳的態度，臺灣消費者支持的比例非常高，同意臺灣應該要加強減碳佔 94.9% (包含非常同意 37.3%和同意 57.6%)，不同意佔 2.3% (包含非常不同意 2.3%和不同意 0%)。而臺灣消費者對空氣汙染嚴重的認同度也很高，同意臺灣空氣汙染嚴重者佔 85.5% (包含非常同意 35.5%和同意 50.0%)，不同意佔 9.8% (包含非常不同意 2.3%和不同意 7.5%)。

針對臺灣消費者對臺灣純電動車與油電混合車的排碳量認知調查發現，調查結果統計分析後，受訪者認為純電動車比汽油車排碳量較低者佔 77.0% (包含認為排碳量低一點 29.7%及認為排碳量低很多 47.4%)，認為較高佔 5.0% (包含認為排碳量高一點 3.3%及包含認為排碳量高很多 1.8%)，另有 10.7%認為在臺灣純電動車與汽油車排碳量差不多。而若是比較受訪者對在臺灣油電混合車與汽油車的排碳量的認知，受訪者認為油電混合車比汽油車低佔 69.0% (包含認為排碳量低一點 55.4%和認為排碳量低很多 13.6%)，認為較高佔 3.6% (包含認為排碳量高一點 2.0%和認為排碳量高很多 1.6%)，另有 16.7%認為油電混合車與汽油車排碳量差不多。如圖 3 所示。

圖 3 的調查結果顯示，臺灣的消費者對於「電動車減碳」有偏向樂觀的看法，且認為純電動車的減碳效果比油電混合車好。依據前述的綜合分析，這二種看法均與現實的狀況不符合。以臺灣目前的發電結構與電力排碳係數來看，純電動車和油電混合車的減碳效果並不明顯，且二者的減碳效果差距也不大。

若詳究此篇報告的環保減碳效益分析，可以瞭解純電動車或油電混合車的環保減碳效益很大程度需考量地區的發電結構，因為非再生能源的電力生產過程可能包含了空氣汙染及溫室氣體的排放，因此發電結構比率不同會造成對空氣品質的影響差異以及臺灣整體的電力排碳係數，也就是說電動車使用的每度電背後代表著多少二氧化碳的排放量。因此，消費者對臺灣發電結構的認知可能會影響純電動車或油電混合車環保減碳效益的評估偏誤。而經調查結果統計分析後，受訪者認為臺灣發電比例最高者為火力發電者佔 47.0%，認為臺灣核能發電比例最高者佔 24.0%，認為臺灣水力發電比例最高者佔 3.9%。然而實際上我國的電力來源約 80%為火力發電(根據 108 年台電系統發購電量結構顯示火力發電比例為 79.2%)，而經濟部能源局公告的 108 年度之

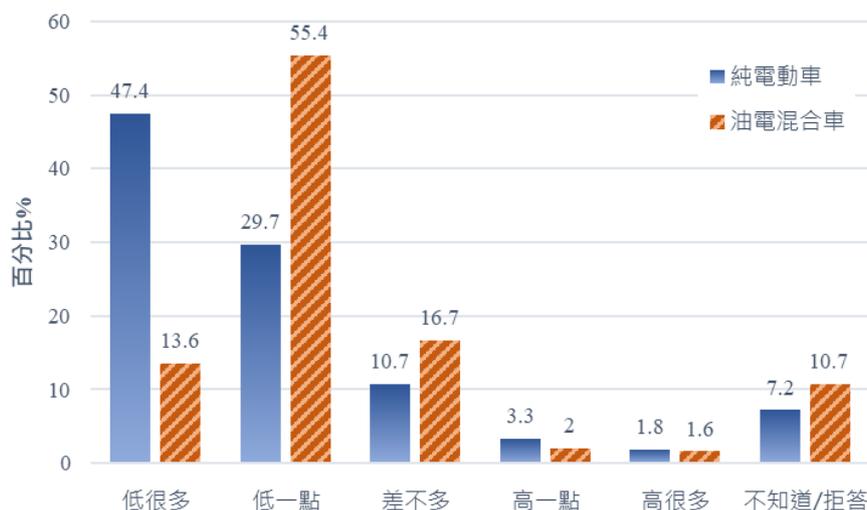


圖 3 臺灣受測者對於純電動車和油電混合車的減碳效果的調查結果
問題：請問您認為該車的排碳量比汽油車高或低？

電力排碳係數為 0.509 kg CO₂e/kWh。因此相對受訪者對臺灣發電結構的認知與對電動車環保減碳效益的樂觀，實際上現階段受發電結構的影響，在臺灣使用電動車的環保減碳效益相對有限。

2. 續航力與充電便利性考量

「里程焦慮」是電動車使用者的主要憂慮來源之一，使用者可能擔心車輛續航力不夠，在駕駛中途即有斷電可能。改良電動車本身的電池系統技術和普設充電站是改善里程焦慮的關鍵作法，目前臺灣的電動車充電站的設置仍然相當有限，雖然可以預期未來的發展，然而在幾年之內，電動車的充電便利性仍會是重要的議題。

根據消費者調查結果，受訪者認為在臺灣純電動車比汽油車的續航力低者佔 63.9% (包含認為低一點 39.5%和認為低很多 24.3%)，認為純電動車的續航力較汽油車高的佔 10.1% (包含認為高一點 7.9%和認為高很多 2.2%)，另有 15.2%認為兩者的續航力差不多。而如果是比較油電混合車與汽油車的續航力，受訪者認為在臺灣油電混合車的續航力比汽油車高者佔 32.9% (包含認為高一點 23.2% 和認為高很多 9.7%)，認為油電混合車續航力較低者佔 22.6% (包含認為低一點 19.5%和認為低很多 3.1%)，另有 32.6%認為差不多。根據此調查結果，可以發現對於純電動車的續航力有疑慮的消費者比例較高，而對油電混合車續航力的疑慮較少，有將近三分之一的消費者反而認為油電混合車在續航力方面優於傳統汽油車者，另外約三分之一的消費者認為油電混合車在續航力方面與傳統汽油車差不多，可推論油電混合車對消費者而言較無里程焦慮問

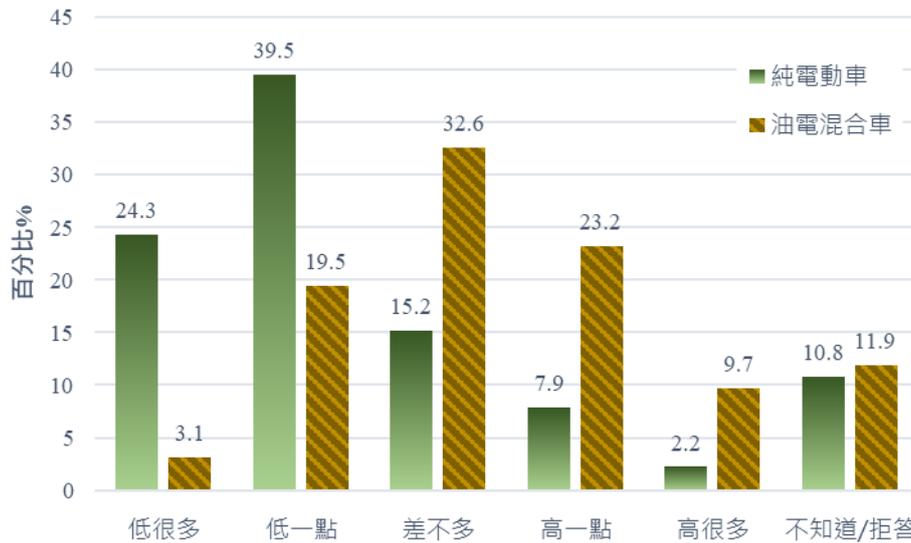


圖 4 臺灣受測者對於純電動車和油電混合車的續航力之調查結果
問題：請問您認為該車的續航力比汽油車高或低？

題。由圖 4 可以看出，臺灣受測者對於純電動車與油電混合車的續航力的理解明顯地不同。

里程焦慮的疑慮除了對車輛本身電池與燃料技術的觀感之外，主要受到充電便利性的影響，因此會是續航力與充電或補充燃料的頻率及方便性的綜合影響。此份臺灣消費者的調查結果中，認為在臺灣電動車充電不方便的受訪者就達 79.2% (包含認為不太方便 47.4%、認為不方便 31.9%)，認為方便者佔 14.9% (包含認為還算方便 12.2%、認為很方便 2.7%)。這項調查結果也反映出前述提到的臺灣充電站等基礎建設現況。

以續航力及充電便利性而言，因目前臺灣的電動車充電站的設置相當有限，電動車的充電便利性是使用者里程焦慮的主要來源之一，而油電混合車使用電力與汽油燃料作為動力，在臺灣充電站等基礎設施尚未完備前，相對純電動車帶給使用者的里程焦慮較低，由消費者調查結果發現，有近三分之一的消費者認為油電混合車的續航力較傳統汽油車高，顯示普遍而言，消費者對油電混合車續航力的信心較高。事實上，油電混合車並不需要充電，加油便可以驅動，且比汽油車省油。因此，如果要推行低碳、朝向電力系統提供動力來源的運具，就續航力信心再加上充電便利性等綜合導致的里程焦慮程度考量而言，油電混合車可能會是臺灣地區現階段消費者決策中較優先的選擇。

3. 價格考量

消費者決策中，商品與服務的價格是一大考量，也是市場供需平衡中重要的決定因子。若要從消費者角度評估臺灣純電動車與油電混合車，就必須將消費者對電動車價格感受與認知的考量納入分析，了解價格考量在消費者購車決策時心中的重要性。

由消費者調查結果可見，臺灣消費者對純電動車及油電混合車的價格認知皆是認為購買成本較傳統汽油車高。受訪者認為純電動車比汽油車價格高者佔 78.5% (包含認為價格高一點 36.8%和認為價格高很多 41.8%)，認為純電動車價格較低者佔 7.1% (包含認為價格低一點 5.3%和認為價格低很多 1.8%)，另有 6.8%認為差不多。若比較油電混合車與汽油車的價格，受訪者認為在臺灣油電混合車價格比汽油車高者佔 73.5% (包含認為價格高一點 51.0%和認為價格高很多 22.5%)，認為價格較低者佔 3.7% (包含認為價格低一點 3.2%和認為價格低很多 0.5%)，另外有 12.1%認為油電混合車與汽油車價格差不多。雖然調查結果顯示超過七成消費者認為純電動車及油電混合車都比傳統汽油車貴，但是若從對純電動車價格和油電混合車的價格相對傳統汽油車的認知調查結果再深入討論，認為純電動車價格與汽油車價格懸殊者比例超過四成 (41.8%)，認為油電混合車價格高出汽油車很多的比例則是只有 22.5%。從圖 5 呈現的結果可看出，臺灣地區較多數消費者對純電動車的價格認知相對高於汽油車與油電混合車。

而從臺灣地區消費者在考慮購買車輛原則中「價錢合理」的重要程度分析結果，可以發現臺灣地區的消費者仍十分在意車輛價格的合理性，認為價格合理性重要者佔 95.3%，其中認為非常重要者佔 62.6%，而認為不重要者僅佔 3.2%。而在此份調查結果中，價格的合理性也是民眾購車幾大常用原則的重要程度之冠。顯示車輛價格是臺灣地區消費者最重視的決策因子。

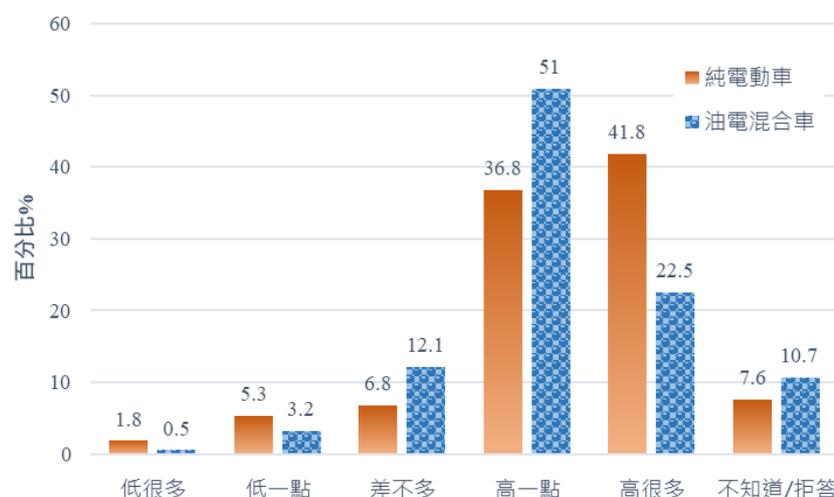


圖 5 臺灣受測者對於純電動車和油電混合車的價格之調查結果
問題：請問您認為該車的價格比汽油車高或低？

實際上，傳統汽油車、純電動車、油電混合車因廠牌、技術與規格的差異，使其價格區間有所重疊，而隨著純電動車、油電混合車的持續發展，價格也開始多樣化，拓展不同需求程度使用者的市場，價格範圍也有所改變。因此，儘管單就價格考量，消費者可能會以觀感認知較為低價的傳統汽油車為最佳選擇，但是更佳的消費者決策評估應傳統汽油車、純電動車、油電混合車的規格、效能與其他表現的帶來的性價比，而這些價格與技術性能革新的資訊在臺灣的普及率與更新速度也可能會影響消費者的購車決策的價值判斷。

4. 心理因素

根據汽車滿意度調查結果報告(世新大學, 2021)，受訪者認為適合形容純電動車的形容詞最主要為「低碳」佔 66.7%、「環保」佔 64.2%、「時尚」佔 20.5%、「新貴階級」佔 18.3%。而受訪者認為適合形容油電混合車的形容詞中「環保」佔 43.7%、「低碳」佔 40.3%、「使用方便」佔 24.0%、「務實」21.1%、「時尚」18.4%。

圖 6 呈現了受測者對於三類車輛的認知比較。由這項調查結果可以發現，消費者對純電動車和油電混合車最主要的觀感是認為其有低碳與環保的效益，除此之外，也有約兩成左右的消費者對純電動車有「時尚」、「新貴階級」的觀感，因此可以推

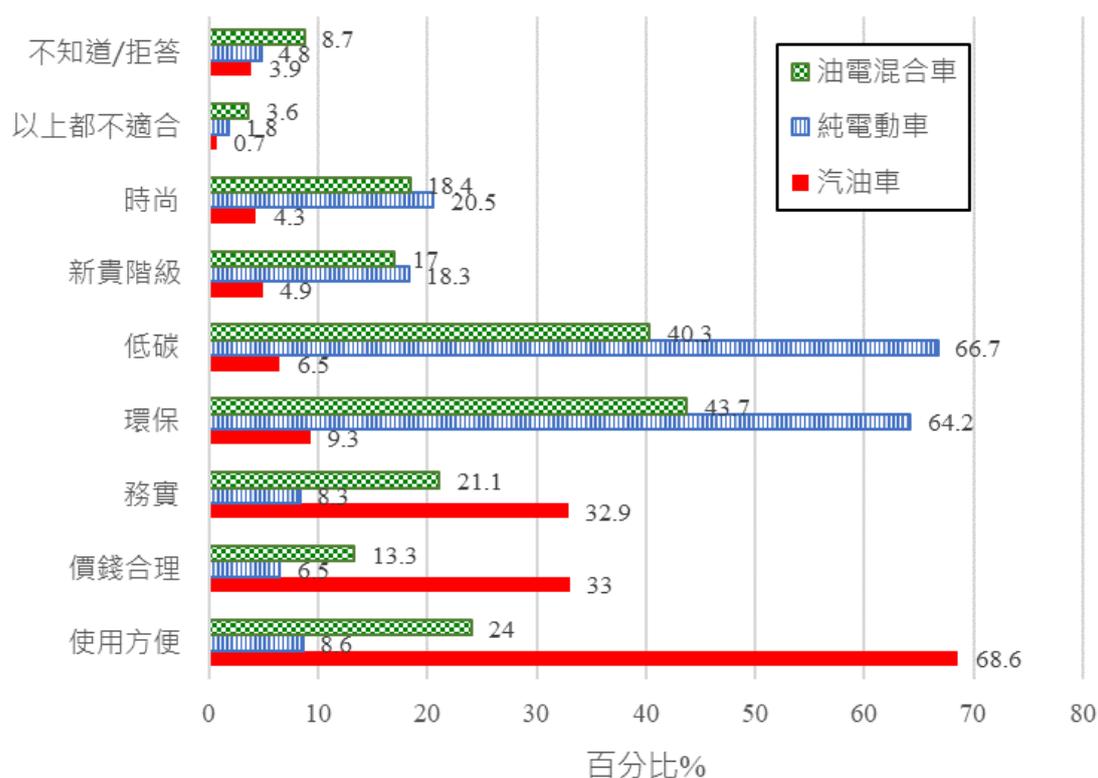


圖 6 臺灣受測者對於汽油車、純電動車、油電混合車的感受之調查結果

論，純電動車在消費者心中可能有新潮時尚、彰顯階級地位的商品價值，這反映出除了環保減碳效益、性能、方便性等考量之外，消費者的心理因素可能也佔了購買純電動車決策考量的一大比重。而對於油電混合車，消費者除了也有 18.4%認為有時尚的觀感，更有 21.1%認為油電混合車是「務實」的選擇。同樣對純電動車的觀感，消費者對油電混合車也有時尚感受，但同時也認為是務實的選擇，這樣的心理感受可能來自於前述包含價格、續航力與方便性等綜合考量。因為根據其他消費者可能顧慮因素的調查結果，消費者對於油電混合車續航力與使用方便性信心高者比例相對較多、對和汽油車價差的感受也不如純電動車高，因而對油電混合車有務實的觀感。

四、結論

在全球進入氣候緊急狀態，各國陸續提出碳中和的具體承諾與減碳目標的現況下，環保減碳是無法阻擋的趨勢。交通運輸之低碳轉型措施也帶來電動車的崛起，車輛全面電動化是全球減碳的關鍵措施，兼具空氣污染控制的效益。臺灣在全球運具電動化的趨勢中，具有從半導體、零組件、機械產業，到加工業完整產業鏈的優勢，相當具有發展機會。然而，根據各種學術與實務研究報告顯示，電動車的實質減碳效益，與其使用之發電型式背後代表的碳排放量關係最為密切。

我國的電力來源約 80%為火力發電，依據台灣經濟部能源局的資料，臺灣每度電代表 0.509 公斤二氧化碳的排放量，電力的生產過程造成的碳排放量仍有待減少。雖然臺灣政府已宣示 2025 年提升再生能源佔比至 20%的目標，然而觀察過去再生能源占比的改變速度，可推估達成目標之挑戰性極高。以臺灣現階段的發電結構與相應之電力排碳係數狀況，在台灣使用電動車的減碳效益仍受到電力本身屬於「灰電」的影響，相對有限。

根據世新大學就國人對電動車的看法與消費傾向的調查，臺灣消費者對環保減碳抱持高度支持，但消費者對臺灣發電結構的認知有所不足，乃至於對純電動車或油電混合車環保減碳效益的認知也有偏誤。另外，調查也顯示消費者對於純電動車的里程焦慮，消費者普遍認為純電動車有續航力的疑慮，再加上臺灣的電動車充電站的設置不足，電動車充電便利性也成為消費者的顧慮之一，相對而言，現階段消費者對於兼用電力及化石燃料的油電混合車的續航力與使用便利性的顧慮較低。未來預期電動車的電池系統技術的改進和充電站設置的普及化，可以改善民眾對電動車的里程焦慮。

電動車作為一種消費商品，若同時綜合考量減碳、環保、方便、經濟等各種因素，對於經濟能力強、取得充電設施相對容易的消費者而言，購買與使用純電動車是合理的選擇。就一般國人而言，在臺灣的公共充電站設施普設完成，發電碳排放量大幅降低之前，油電混合車應該是一種兼顧理想與現實的合適選項。

參考資料

- Kobe, C. (2020), *紐約市推新政策，2040 年公務車 100% 電動化*,
<https://technews.tw/2020/02/13/new-york-city-vehicle-100-electric-2040/>, Tech News
科技新報, 2021/02/13.
- 工商時報 (2021), *不僅強調買國貨 拜登再為電動車添柴火*,
<https://ctee.com.tw/news/global/408584.html>, 工商時報, 2021/01/16.
- 呂錫民. (2015). *各種電動車技術介紹 An Introduction of Electric Vehicle Technologies*. 94
期, P72-81.
- 世新大學. (2021). *汽車意向滿意度調查*.
- 張晨瑜. (2019). *5 大關鍵 透徹解讀運輸碳排大戶！*. CSrone 永續智庫.
<https://csrone.com/topics/5902>
- 張君堯 (2020). *2020 年全球碳排放減 7% 創紀錄 「歸功」 新冠疫情* 聯合新聞網
(2020/12/11), <https://udn.com/news/story/6809/5084080>
- 勤業眾信 D. (2021). *2021 汽車產業趨勢與展望*.
<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/tw/Documents/consumer-business/rp210126-2021-electric-vehicles-trends-tc.pdf>
- 詹詒絜、曾緯哲、王振益、李倫. (2021). *電動車 Q & A 問答大蒐羅 Part I- 低碳生活部落格*. 台達電子文教基金會. https://www.delta-foundation.org.tw/blogdetail/3110?fbclid=IwAR1JWyGx-rh5BCsyAsc0sqTK_86KM8ASfHkqwLHcm8vp3meVJBnBKYjNU3M
- Ajanovic, A., & Haas, R. (2019). Economic and Environmental Prospects for Battery Electric- and Fuel Cell Vehicles: A Review. *Fuel Cells*, 19(5), 515–529.
<https://doi.org/10.1002/fuce.201800171>
- Ajanovic, A., & Haas, R. (2015). Driving with the sun: Why environmentally benign electric vehicles must plug in at renewables. *Solar Energy*, 121, 169–180.
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.07.041>

- Carbon Brief. (2019, 五月 13). *Factcheck: How electric vehicles help to tackle climate change*. Carbon Brief. <https://www.carbonbrief.org/factcheck-how-electric-vehicles-help-to-tackle-climate-change>
- Choi, W., Yoo, E., Seol, E., Kim, M., & Song, H. H. (2020). Greenhouse gas emissions of conventional and alternative vehicles: Predictions based on energy policy analysis in South Korea. *Applied Energy*, 265, 114754. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114754>
- IEA. (2018). *Global EV Outlook 2018*. IEA Webstore.
- IEA. (2020). *Global_EV_Outlook_2020.pdf*. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>
- IPCC. (2014). *Climate change 2014: Mitigation of climate change: Working Group III contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (O. Edenhofer, 編輯). Cambridge University Press.
- Knobloch, F., Hanssen, S., Lam, A., Pollitt, H., Salas, P., Chewpreecha, U., Huijbregts, M., & Mercure, J.-F. (2020). Net emission reductions from electric cars and heat pumps in 59 world regions over time. *Nature Sustainability*, 3. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0488-7>
- LeBeau, P. (2020), *Led by Tesla, electric vehicle sales are predicted to surge in 2021*, <https://www.cnbc.com/2020/05/29/led-by-tesla-electric-vehicle-sales-are-predicted-to-surge-in-2021.html>, NBC, 2020/03/29.
- UNFCCC. (2020). *Yearbook of Global Climate Action 2020: Marrakech Partnership for Global Climate Action | UNFCCC*. <https://unfccc.int/documents/267246>
- Wang, S., & Ge, M. (2019). *Everything You Need to Know About the Fastest-Growing Source of Global Emissions: Transport*. <https://www.wri.org/insights/everything-you-need-know-about-fastest-growing-source-global-emissions-transport>
- Yuksel, T., Tamayao, M.-A. M., Hendrickson, C., Azevedo, I. M. L., & Michalek, J. J. (2016). Effect of regional grid mix, driving patterns and climate on the comparative carbon footprint of gasoline and plug-in electric vehicles in the United States. *Environmental Research Letters*, 11(4), 044007. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/4/044007>