

面對汽車電動化後成本結構之轉變，全球車廠紛紛開始與電池業者進行策略結盟或合資關係，以掌握鋰離子電池之生產技術並降低成本，而隨著電動車產業版圖的重新洗牌，業者能否盡快檢討並展開相關領域的事業，則變得非常重要。雖然電動車的發展，對現有汽車供應鏈造成衝擊，但也提供新興業者切入汽車領域的機會，在商業競爭態勢下，業者應持續引進關鍵核心技術、強化與國外合作，並整合國內資通訊強項，才能有效提升該業的競爭力。

電動車成本結構分析及對傳統汽車產業之影響

吳念祺·陳彥豪

電動車是一個高資本投入、高技術密集的整合性產業，從電最上游的材料(Raw Materials)、中游的電池芯(Cell)、電池模組(Pack)、電池管理系統(Battery Management System)、馬達(Motors)、控制器(Motor Controllers)、到下游整車製造(Vehicle Manufacturers)、汽車電子(GPS/GSM)、電力基礎建設(Power and Infrastructure)，需要大量跨領域的技術支持。由於電動車的動力來源來自於電池，從外部車身以至內部零件，均與傳統汽車迥然不同，進而影響全球汽車產業的結構變化。

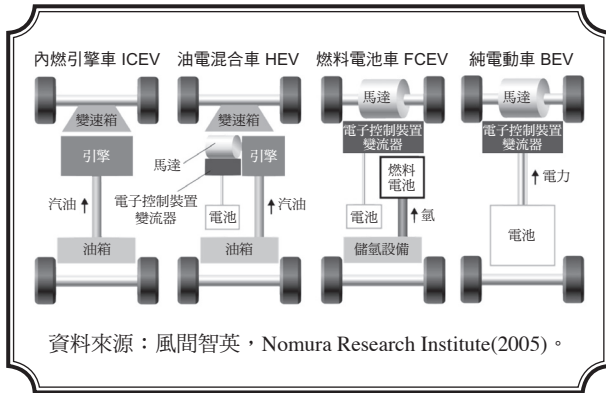
因此，本文將先針對電動車與傳統汽車構造差異進行比較，進而觀察兩者之間成本結構的變化，並分析車輛電動化後對傳統汽車產業所造成的衝擊，最後將做一總結，作為國內推廣電動車產業之參考依據。

從節能減碳角度來看，以內燃機車輛對石油依賴度最高，CO₂排放量最大。相形之下，電動車對石油依賴度較低，純電動車、燃料電池車甚至不需要石油作為動力來源，惟因價格過於昂貴，故距量產階段仍有一段時間。

電動車與傳統汽車構造差異

依據動力來源之不同，車輛(Vehicle)可分為四種類型：(1)傳統內燃引擎車(Internal Combustion Engine Vehicle, ICEV)：將

圖1 電動車與傳統內燃引擎車構造之差異



燃油在汽缸內完全燃燒，並經由內燃引擎轉換後，作為動力推進之來源，並透過變速箱 (transmission)內多組的傳動齒輪產生速度切換；(2)油電混合電動車(Hybrid Electric Vehicle, HEV)：以燃油搭配電動馬達作為技術，高速時以汽油驅動引擎，低速時以電池為動力；(3)燃料電動車(Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV)：以氫氣為燃料，經由與氧氣化學反應後產生電能，作為車輛的主要動力來源；(4)純電動車(Battery Electric Vehicle, BEV)：完全以電池作為驅動車輛行駛之動力，並用馬達和變流器(converter)取代原有變速箱的傳動功能(圖1)。為了降低石油依賴度、減少能源耗竭威脅，目前美國、歐盟、日本、中國等品牌車廠已開始進行HEV和BEV的量產，而FCEV由於技術不夠成熟、且運行成本高昂，故距離量產階段仍有一段時間。

以上四種汽車類型之中，從節能減碳角度來看，以ICEV對石油依賴度最高，二氧化碳排放量最大。相形之下，電動車對石油依賴度較低，BEV和FCEV甚至不需要石油作為動力來源(表1)。

表1 智慧電動車技術競合比較

項目	內燃引擎車	油電混合車	燃料電池車	純電動車
CO ₂ 排放量	基準	低燃料	低燃料	低燃料
綜合效率	14	26	22	35
石油依存	依賴石油	節省石油	不需石油	不需石油
價格	200萬	230萬 (Toyota Prius)	1億	400萬 (Nissan Leaf)

單位：%；日圓

資料來源：風間智英，Nomura Research Institute(2005)；台經院數據修改(2011.04)。

再就綜合效率而言，因為ICEV的引擎並非一直維持高功率轉速，而電動車之運轉需經過發電、充電、放電等動力轉換過程，故BEV的35%能源使用效率，遠比ICEV的14%來得高。最後，在價格制定方面，由於電動車所涵蓋的動力電池，占整車成本結構一半以上，故迄今價格仍然居高不下。以本田汽車(Nissan)於2011年所推出純電動車Leaf為例，售價約400萬日圓(約新台幣132.3萬，注1)，是傳統ICEV的兩倍。而燃料電池(Fuel Cell)的材料成本高昂，整車價格高達一億日圓左右(約新台幣3,307.9萬)，成為FCEV實現普及化的最大瓶頸。

若進一步比較電動車與ICEV的內部結構，電動車最大特點在於，減少過去燃油高溫所需的周邊零件，加速了電動化零件、半導體電子零件之運用(表2)。依照車輛零件的機能特性，汽車架構可分為八大類別：(1)引擎；(2)引擎周邊裝置；(3)傳動系統；(4)煞車；(5)轉向裝置；(6)懸吊系統；(7)車體、輪胎；(8)其他。

其中，電動車利用馬達、驅動電池取代原有汽油引擎、燃料系統，作為汽車的主要動力來源。而ICEV的變速箱、油壓裝置、倍力裝置、

表2 電動車與傳統汽車零件之比較

	電動車變得不再需要零件	電動車需要零件
引擎	氣缸體、活塞、連桿、凸輪、凸輪軸、閥門燃料系統、吸氣系統、排氣系統、潤滑系統、充電啟動系統、點火裝置	馬達
引擎周邊裝置	燃料系統、吸氣系統、排氣系統、潤滑系統、充電啟動系統、點火裝置	冷卻系統（電動化）、變流器、驅動電池、直流轉換器
傳動系統	變速箱	傳動軸、差動齒輪、主動軸
煞車	油壓裝置(Hydraulic System)、倍力裝置(Servo)、總泵(Valve)	手煞車、鼓式煞車（電動化）、碟式煞車（電動化）、防鎖死剎車系統
轉向裝置	油壓式動力方向盤(Steering)、轉向軸	電動式動力方向盤、變速器(Gearbox)、橫拉桿
懸吊系統		避震彈簧、減震器、懸吊臂
車體、輪胎		所有部分、空調系統（電動化）
其他		高壓線組、接觸器

資料來源：“カー・エレクトロニクスのすべて2009”，日經BP社(2009.07)。

總泵、轉向系統等零組件亦變得不再需要，改由電子零件來控制電動車的啟動、運行、停止，以及速度，像是電動鼓式煞車、電動碟式煞車、電動動力方向盤、變速器等。除此之外，電動車還在傳統汽車既有的懸吊系統、車體、輪胎等裝置上面，增加了避震彈簧、減震器、懸吊臂、電動空調系統、高壓線組、接觸器等零組件。

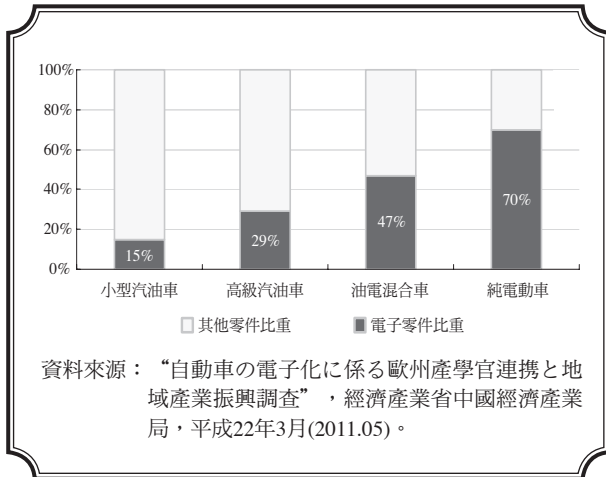
電動車與傳統汽車成本結構比較

隨著車輛系統朝向電動化、電子化趨勢發展，電池、馬達等電子零組件占整車成本的比例逐漸提高，而原有的引擎、變速箱等燃料系統在整車成本的比例逐步減少。根據日本經濟產業省中國經濟產業局(Chugoku Bureau of Economy, Trade and Industry)於2011年5月的報告顯示，小型汽油車內的電子零組件僅占車輛總成本的15%，占傳統高級汽油車的29%。不過，當傳統汽油車進化HEV時（以Toyota

Prius為例），電子零組件的比例立刻提升至47%，約占整車成本的一半。而BEV（以Nissan Leaf為例）因為電池成本更高，加上系統的電氣化與電子控制系統，因此電子零組件占整車成本的比重高達70%（圖2）。

根據德國學者Achim Kampker的研究顯示，電動車與傳統內燃引擎車的成本結構差異如下（圖3）：電池在電動車成本所占的比重最大，高達20~50%，這是過去傳統汽油車所沒有的投入。變化幅度次要的是驅動系統，其成本占比由原先傳統汽油車的22~24%，降低到10~20%，下滑幅度約五成左右。其中，電動車利用變流器(39~47%)、馬達(33~43%)、整車控制器(4~8%)、傳動機構與傳動軸(8~10%)、冷卻系統(4~6%)來取代舊有的基礎引擎(35~40%)、輔助設備(18~22%)、傳動機構(20~27%)，以及排氣設備(8~11%)。最後，電動車剩下成本則由車殼(8~19%)、車底(5~9%)，以及其他部分(6~15%)所瓜分。

圖2 電子零組件於車輛成本結構中的變化



儘管鋰離子電池技術發展尚未成熟，但預計未來20年後，其成本將持續降低，進而帶動整車價格下滑。美國計畫於2014年之前，將電池成本降至300美元/kWh；日本預計到了2030年，車用電池價格可降至2006年的1/40，並將性能提升七倍。

電動車電池成本結構分析

從上述電動車成本結構可見，電池成本是影響電動車售價的重要因素。分析電動車用電池種類，可分鋰離子電池(Li-ion)、鎳氫電池(NiMH)、鉛酸電池(Lead-Acid)、鋅空電池(Zinc-air)，以及其他前瞻技術電池，而目前各大車廠所採用的動力來源以鋰離子電池為主。以整車售價400萬日圓Nissan電動車Leaf為例，其所採用的24kWh鋰離子電池，總價約240萬日圓，約占整車成本約60%左右。拆解該電池的成本結構，發現主要由10%的正極材料(anode)、3%的負極材料(cathode)、3%的電池

隔離膜(separator)、3%的電解液(electrolyte)、4%為其他，以及77%的研發、加工、攤銷費用所組成(表3)。其中，電池研發、加工、攤銷的費用最高，達185萬日圓(約新台幣61.2萬)；而材料費用估計55萬日圓(約新台幣18.2萬)，其中以正極材料23萬日圓(約新台幣7.6萬)的比重最高。

由於電池成本高低將影響電動車的普及程度，故如何有效地降低電池研發、加工、攤銷等生產成本是決定電池價格的關鍵。根據德國學者Wolfgang Bernhart、Juri Wagenleitner，以及中國學者Junyi Zhang的看法，未來鋰離子電池的最適成本為245歐元/kWh(約10,290新台幣/kWh，注2)。按生產階段來區別，鋰離子電池的成本結構可劃分為：(1)材料取得(115歐元/kWh)；(2)材料開發(155歐元/kWh)；(3)電池製造(150歐元/kWh)；(4)其他組件(110歐元/kWh)；(5)電池組裝(50歐元/kWh)等五個部分(圖4)。其中，材料開發與電池製造占成本比重最高，分別為26.7%和25.8%。因此，若要使電池費用減少，降低材料開發及電池製造成本將是必要條件。

然而，由於電池材料成本會隨著電容量增加而成正比上升，加上估計未來將持續由寡占廠商所壟斷，故未來各公司降低電池成本的策略，將著重在擴大鋰電池經濟規模、提升電池組裝效率、增加電池使用性能、減少其他零件費用，以及創造二次電池利用之環境等面向。

電動車最終產品成本結構分析

綜合上述分析，在成本結構方面以Nissan電動車Leaf售價為基礎，推算電動車最終產品成

圖3 傳統汽車與電動汽車成本結構比較

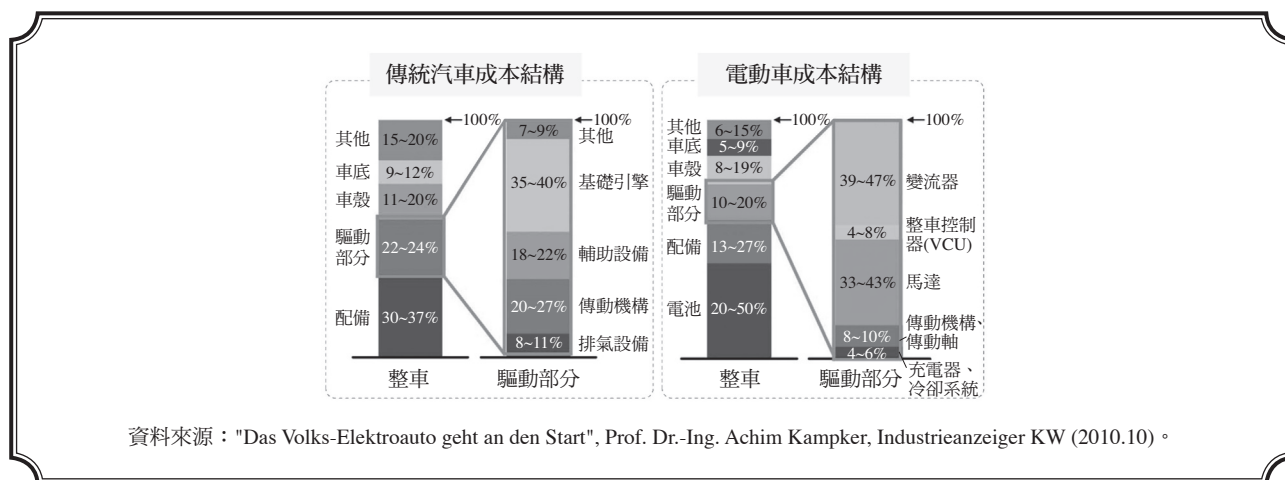


表3 電動車用電池成本結構分析

項目	單位：%		
	日本電池 成本結構 (日圓/萬元)	幣值換算 (新台幣/萬元)	成本 占比
正極材料	23	7.6	10
負極材料	6	2.0	3
電池隔離膜	7	2.3	3
電解液	9	3.0	3
其他	10	3.3	4
研發、加工、 攤銷費用	185	61.2	77
售價	240	79.4	100

資料來源：鈴木東陽，“電氣自動車で業界地圖が変わる”，讀賣新聞，2010年10月28日；台經院整理(2011.10)。

本結構顯示（表4），電動車專屬零組件價格高達288.2萬日圓（約新台幣953,357元），占整車成本72%；而電動車與傳統汽車的共有零件，像是底盤(5%)、車體(8%)、電子零件(9%)，以及其他配備(6%)，僅占Nissan Leaf整車成本28%，因為電動車已經不需要依賴引擎、變速箱等傳統汽車的零件作為動力系統。本研究認

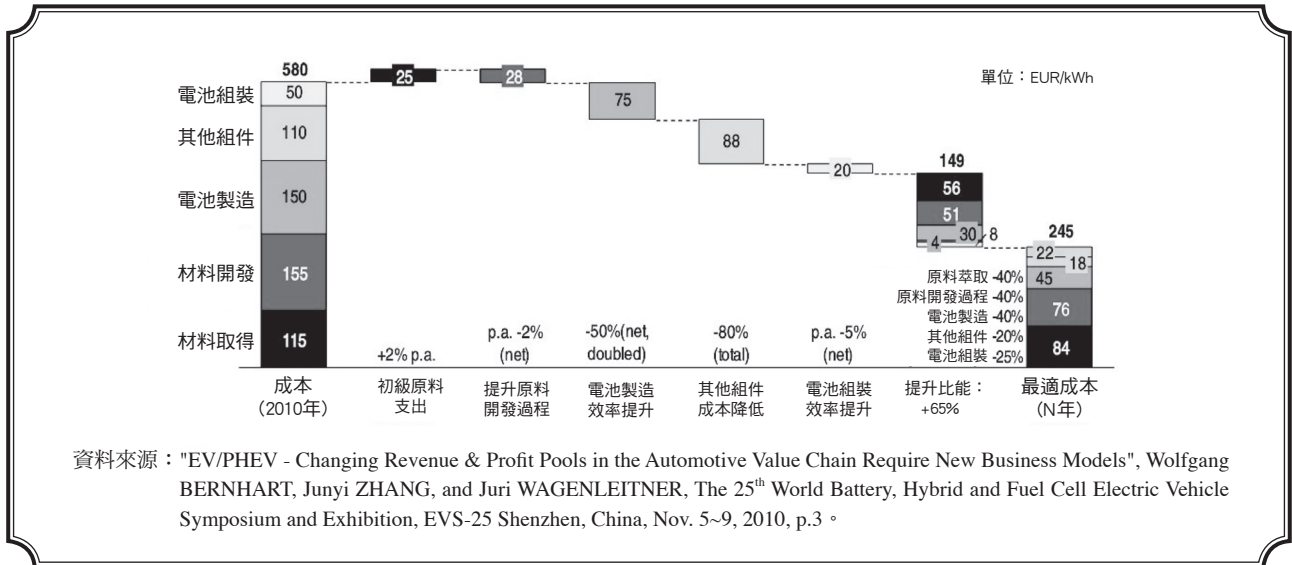
為，儘管鋰離子電池的技術發展目前尚未成熟，但隨著各國政府不斷地投入車用電池的研發及量產，預計未來20年之後，車用電池成本將持續降低，進而帶動電動車整車價格下滑。

美國能源局(Department of Energy, DOE)已計畫於2014年之前，將電池容量由目前的3.4kWh提升至11.6kWh，電池成本由1,000美元/kWh降至300美元/kWh（注3）；日本經濟產業省(Ministry of Economy, Trade and Industry, METI)也預計到了2030年，車用電池價格可降至2006年的1/40，性能提升為七倍（注4）。

電動車對傳統汽車產業之影響

面對汽車電動化後成本結構之轉變，全球車廠紛紛開始與電池業者進行策略結盟或合資關係，以掌握鋰離子電池之生產技術並降低成本。而觀察日系車商與電池製造商的合資關係顯示（圖5），日本知名汽車大廠如豐田(Toyota)、日產(Nissan)、本田(Honda)，以及三菱(Mitsubishi Motors)，均與日本電池製造商

圖4 電動車鋰鈷錳三元素鋰電池成本下降趨勢預測



如Panasonic、NEC/NEC、Tokin GS Yuasa以及Mitsubishi Corp.合資成立新公司，生產電動車專用的大型鋰電池。

圖5中百分比說明了整車廠與電池廠在新公司個別的持股比例，像是Panasonic EV Energy股權60%來自於Toyota，40%來自Panasonic；Automotive Energy Supply股權51%來自於Nissan，42%來自NEC，7%來自於NEC Tokin。相較於日系車商偏好入股的模式確保電動車的電池來源，美歐系車商與電池廠商合作的方式卻大相逕庭。

舉例而言，美國車商通用汽車(GM)選擇與韓國LG Chem成立策略聯盟，而法國車商雷諾——日產(Renault-Nissan)則選擇與日本NEC共同組成子公司(注5)。事實上，大部分車廠利用入股方式成立子公司原因有二：(1)設置一道財務安全防火牆，避免電動車發生安全事故時，波及整車母廠或零件母廠的財務；(2)防止

技術外移，搶攻全球電動車市占率。

隨著電動車產業版圖的重新洗牌，一方面，引擎、變速箱等傳統汽車零組件廠商必須面臨事業縮小或喪失的風險；另一方面，電池、馬達、電子零件相關產業則獲得了新的商機。在此背景下，能否盡快檢討並展開相關領域的事業則變得非常重要。由於電動車需要搭載100kg左右的動力電池，且電池續航力仍有待突破，故輕量化的車型設計以降低電力耗損，將是未來電動車的趨勢，而擁有高使用效率、高使用強度，以及價格優勢的金屬零組件，將會逐步地被較輕量的樹脂製品(或碳纖等)所取代。再來，由於動力電池的價格目前仍居高不下，為提升電動車普及度，將可能擠壓到其他零件的價格，迫使其他零件成本大幅下降。因此，零組件業者必須具備相當的價格彈性，以因應這樣的變化。

表4 電動車與傳統汽車最終產品成本結構比較

構成要素分類	傳統汽車		純電動車	
	金額	占比	金額	占比
整車	180	100	400	100
電動車專屬零件			288.2	72
馬達／發電機			18	4.5
動力控制模組（含電流轉換器）			18	4.5
鋰離子電池			240	60
其他（如傳動機構、傳動軸）			12.2	3
傳統汽車共有零件	180		111.8	28
引擎（含變速箱）	43.2	24	0	0
底盤	19.8	11	19.8	5
車體	41.4	23	32.0	8
電子零件	36.0	20	36.0	9
其他配備	39.6	22	24.0	6

注：以Nissan LEAF售價為基礎推算電動車最終產品成本結構。
資料來源：日本エネルギー經濟研究所(2008)；台經院推估(2011.10)。

衝擊＝切入新領域的機會

電動車的發展不但對現有汽車供應鏈造成衝擊，也提供新興業者切入汽車領域的機會，進而重整全球汽車產業結構。在此背景下，我國不但有機會建立自主整車品牌，也有部分零組件廠商已成功進入國際電動車供應鏈，為我國車輛產業發展創造新契機。雖然我國在技術方面目前與美、日、西歐等地區仍有落差，特別是缺乏系統整合的能力，但仍可透過與國外業者策略結盟的方式，彌補國內電動車的技術與人才缺口。除此之外，我國擁有全球資通訊產業的領先技術，未來在電動車輛、汽車電子、車載資通訊產業的布局上將具備競爭優勢。

總而言之，我國業者當前已具備發展電動車的能源，未來必須在此基礎上持續引進國外核心技術、強化與國外合作、並整合國內資通訊強項，才能有效提升我國電動車整車及零組件

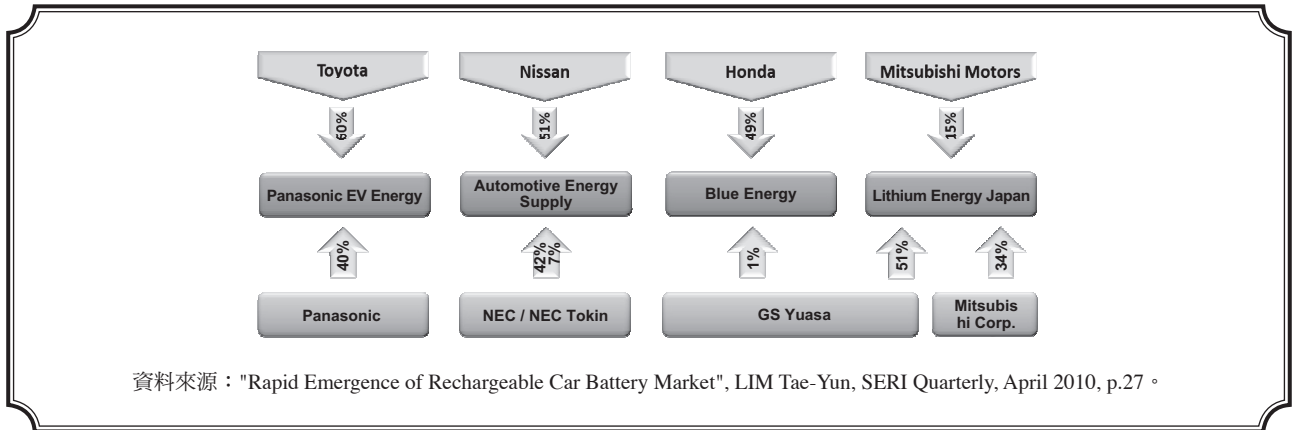
產業之競爭力。

（作者為台灣經濟研究院助理研究員、副研究員）

■ 注釋

1. 本文新台幣對日圓的匯率以1比3.023計算。
2. 本文歐元對新台幣的匯率以1比42計算。
3. "Transitions to Alternative Transportation Technologies-Plug-in Hybrid Electric Vehicles", Committee on Assessment of Resource Needs for Fuel Cell and Hydrogen Technologies and National Research Council, 2010, p.55, http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=12826&page=55
4. 呂雪慧，「力推補助，並廣設充電站設備；電動車滿街跑，先通任督二脈」，工商時報A5話題，2011年2月28日。
5. "Nissan and NEC Joint Venture - AESC - Starts

圖5 日系車商與電池製造商合資關係



Operations", NISSAN, May 19th, 2008, <http://www.greencarcongress.com/2008/01/renault-nissan.html>

■ 參考文獻

- Bernhart W., Zhang J., and Wagenleitner J., "EV/PHEV - Changing Revenue & Profit Pools in the Automotive Value Chain Require New Business Models", The 25th World Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium and Exhibition, EVS-25 Shenzhen, China, Nov. 5~9, 2010, p.3.
- Lim T. Y., "Rapid Emergence of Rechargeable Car Battery Market", SERI Quarterly, April 2010, p.27.
- Prof. Dr.-Ing. Achim Kampker, "Das Volks-Elektroauto geht an den Start", Industrieanzeiger KW, October 2010.
- "NISSAN AND NEC JOINT VENTURE - AESC - STARTS OPERATIONS", NISSAN, May 19th, 2008.
- "Transitions to Alternative Transportation Technologies - Plug-in Hybrid Electric Vehicles", Committee on Assessment of Resource Needs for Fuel Cell and Hydrogen Technologies and National Research Council, 2010, p.55, http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=12826&page=55
- “カー・エレクトロニクスのすべて 2009”，日經BP社，2009年7月。
- “自動車の電子化に係る欧州産學官連携と地域産業振興調査”，經濟産業省中國經濟産業局，平成22年3月，2011年5月。
- 鈴木東陽，“電氣自動車で業界地圖が変わる”，讀賣新聞，2010年10月28日。
- 呂雪慧，“力推補助，並廣設充電站設備；電動車滿街跑，先通任督二脈”，工商時報 A5 話題，2011年2月28日。
- 日本エネルギー經濟研究所，<http://eneken.ieej.or.jp/>。
- Nomura Research Institute, <http://www.nri.co.jp/english/>