

出國報告（出國類別：開會）

參加「2015 JSAE/SAE 動力系統、燃料及潤滑劑國際研討會」

服務機關：台灣中油公司煉製研究所

姓名職稱：許倖嘉 化學工程師

派赴國家：日本

出國期間：104年8月31日至9月4日

報告日期：104年11月26日

摘 要

2015年美國自動車工程師協會 (Society of Automotive Engineers, SAE) 與日本 JSAE 於京都 TERRSA 會議中心聯合舉辦「2015年 JSAE/SAE 動力系統、燃料及潤滑劑國際研討會」，發表專業論文共約 200 多篇，本文擇要整理研究相關主題包括未來能源展望、車輛動力發展趨勢、污染排放法規、燃料特性對引擎污染排放之影響、噴射器積污及車輛濾網阻塞、低速預燃等研究論文觀點，提供本公司未來研發優質燃料及潤滑油產品之技術參考，分述如下：

- (1) 未來能源展望：因全球中產階級增長、新興經濟體的擴展及新增人口導致未來能源需求急遽攀升，至 2040 年能源需求將較 2010 年增加 35%，碳基燃料(carbon-based fuels)仍將繼續提供約 75% 全球能源需求，而伴隨低碳燃料的使用及能源效率的提升，二氧化碳排放量將逐漸下降；至 2040 年，非傳統原油(如油砂、緻密油、天然氣及生質燃料等)約占全球液體燃料的 45%，天然氣因為低碳燃料且可同時做為燃料及原料，需求量快速增長，屆時天然氣將可望超越煤提供 25% 以上之全球能源使用量；北美因豐富的油砂及緻密油蘊藏量，2020 年將成為液體燃料的淨出口國，2040 年預計將超越俄羅斯和里海成為全球最大的天然氣產區。
- (2) 車輛動力發展及排氣污染試驗趨勢：為因應節能減碳及燃料多元化需求，除傳統燃料車輛外，車廠亦積極發展混合動力車、插電式混合動力、燃料電池車、電動車等多種動力車輛，並致力提高動力系統效率，包括發展高效能組件、改善熱效率及傳動效率並降低運行阻力等。相較於傳統輕型車輛，混合動力車因可提升 30 % 的燃油經濟性，可望在 2025 年成為具成本競爭力的車輛，預估至 2040 年車輛數約占輕型車的三分之一，而燃料電池車在中、長程續航力佳較電動車具成本優勢。在污染排放測試方面，配合歐盟六期法規實施，擬於 2017 年改採實際駕駛排放測試，測試車輛配備可攜式排氣檢測系統量測廢氣量，另為考量實際道路測試結果公平性，全球輕型車統一測試流程尚在討論修訂中。
- (3) 車輛噴射器積污及濾網阻塞：柴油車輛為符合排放法規需求使用高壓共軌噴射設計，近期歐美地區皆有車輛噴射器積污及濾網阻塞案例，在英國的研究亦發現，來自動物性脂肪和廢食用油的微量聚乙烯可能造成過濾器阻塞。歐洲協調委員會預計於 2016 年公告 DW10C 標準測試方法以評估柴油噴射器內部積污。根據文獻，使用新型添加劑及管控燃油品質可有效改善積污及濾網阻塞問題，另外燃油系統材料表面塗覆類鑽碳薄膜 (Diamond Like Carbon, DLC) 亦可有效防止柴油噴射器內部積污。
- (4) 低速預燃：在渦輪增壓 GDI 引擎發生之低速預燃現象，明確原因尚無定論且發生頻率計算亦隨評估方法不同而產生極大差異，但近期車輛業者相關研究皆顯示潤滑油之添加劑鈣含量與低速預燃發生頻率呈正相關，此結果可做為潤滑油產品研發之參考。

關鍵詞：能源展望、車輛動力系統、濾網阻塞、柴油噴射器內部積污、低速預燃

目次

一、目的	3
二、過程	3
三、研討會論文摘要說明	3
四、心得與建議	13
五、參考文獻	14
附錄 研討會議程及論文目錄	15

一、目的

減緩溫室氣體造成之全球暖化效應為各界共同關切的重要議題，中油公司長期以來即持續研發省油、清淨之高品質車用燃油及節能潤滑油品以符合環境及市場需求。此次奉派參加於日本京都舉辦之「2015 年 JSAE/SAE 動力系統、燃料及潤滑劑國際研討會」，研習車用燃料(含替代能源)及潤滑油、車輛動力系統、車輛後處理系統及排放法規等最新發展及未來趨勢，期能應用所習新知提昇本公司研發能力以開發具市場競爭力之優質清潔燃料及潤滑油品。

二、過程

2.1 行程簡述

本次出國期間自 104 年 8 月 31 日至 104 年 9 月 4 日止共計五天。8 月 31 日由高雄國際航空站搭乘長榮 BR-0182 班機抵日本關西機場後，轉乘日本 JR 高鐵至京都，當晚參加由主辦單位日本自動車工程師協會(JSAE) 於京都 TERRSA 會議中心舉辦之歡迎酒會；9 月 1 日至 9 月 3 日參加「2015 年 JSAE/SAE 動力系統、燃料及潤滑劑國際研討會」；9 月 4 日搭乘 JR 高鐵至關西機場，再轉搭長榮 BR-0181 班機返抵高雄。

2.2 研討會議程

美國自動車工程師協會 (Society of Automotive Engineers, SAE) 與日本 JSAE 於京都 TERRSA 會議中心聯合舉辦「2015 年 JSAE/SAE 動力系統、燃料及潤滑劑國際研討會」，研討會議程包含專題演講、技術及學術論文發表(研討會議程及相關論文如附錄一)，並安排先進引擎、油品噴射量檢出器及油品添加劑等廠商展覽攤位，與會人員達數百人，主要來自亞洲及歐美各國之政府機構、石油公司、汽車製造公司、學校及獨立研究機構等。研討會於 104 年 9 月 1 日至 9 月 3 日止共 3 天，會議旨在透過全球相關領域專家、學者及油品、車輛、添加劑等業者與會交流，提供更廣泛且具價值性的觀點，協助新燃料及車輛新技術之開發研究，所發表的論文主要探討車輛先進動力系統及燃燒技術、燃料及替代能源、污染排放控制、低能耗潤滑油等主題；9 月 4 日執行小組會議(Executive Panel Session)則邀請 Shell Global Solutions、CONCAWE、TOYOTA Motor、Ford Motor、Renault S. A.及 Hino Motors 等公司代表共同研討未來(至 2035 年)車輛及燃料技術之發展趨勢及施行規劃，此議程免費開放研討會與會者參與討論。

三、研討會論文摘要說明

本次研討會各界發表專業論文達兩百多篇，茲就未來能源展望、車輛動力發展趨勢、污染排放法規、燃料特性對引擎污染排放之影響、噴射器積污及車輛濾網阻塞、低速預燃等相關研究論文摘要整理如下：

1. 至 2040 年之未來能源展望 [1,2]

依據埃克森美孚公司(ExxonMobil)的未來能源展望報告(涵蓋 100 個國家、15 個個人及企業的需求端及 20 種不同的能源形態)，因全球中產階級的大幅增長(主要為中國和印度)、新興經濟體的擴展及新增 20 億人口導致未來能源需求急遽攀升，至 2040 年，能源需求將增加 35%，碳基燃料(carbon-based fuels)仍將繼續提供約 75% 全球能源需求，而伴隨低碳燃料的使用及能源效率的提升，二氧化碳排放量將逐漸下降；到 2040 年，非傳統原油(如油砂、緻密油、天然氣及生質燃料等)約占全球液體燃料的 45% (2010 年不到 25%)，值得注意的是，剩餘可開採之原油和凝結油蘊藏量(以目前需求為基準)已由 1981 年的 60 年提升至約 150 年(2013 年)。

展望 2040 年全球能源需求，主要來源包括油、天然氣、煤碳、生質能、核能、太陽能、風能、生質燃料、水力能及地熱等，由 2010 年至 2040 年之總熱量需求平均年成長率約 1.0%(參見圖 1)，其中，為滿足日益增長的電力需求(如擴大基礎設施、電氣化和城市化)約占總能源需求的一半。風能、太陽能和生質燃料將成為增長最快的能源，平均每年約增加 5.8%，到 2040 年約占全球能源需求的 4%，而再生能源則約占總能源需求的 15%；核能亦為增長快速的能源之一，預計增長近一倍，其中亞太地區(以中國為首)增長率約 75%。

北美可能在 2020 年成為液體燃料的淨出口國，供應緻密油(Tight Oil)及從油砂提煉的液化天然氣和瀝青；非洲因當地需求增加 1 倍以上，預估其液體燃料出口量將下降；而在拉丁美洲，因生產深海層液體燃料和非傳統液體燃料，預估燃料供給量將超過需求量。

天然氣為低碳燃料且可同時做為燃料和原料，其需求自 2010 年至 2040 年約增加 65% (一半來自亞太地區，以中國為主)，其中約 80% 主要應用於公用設備和工業活動。到 2040 年，天然氣將超越煤提供 25% 以上之全球能源使用量。北美非傳統天然氣產量將增長近三倍，到 2040 年該地區預計將超越俄羅斯和里海成為最大的天然氣產區，而亞太地區因需求量攀升可望超過歐洲，成為世界上最大的天然氣進口國。

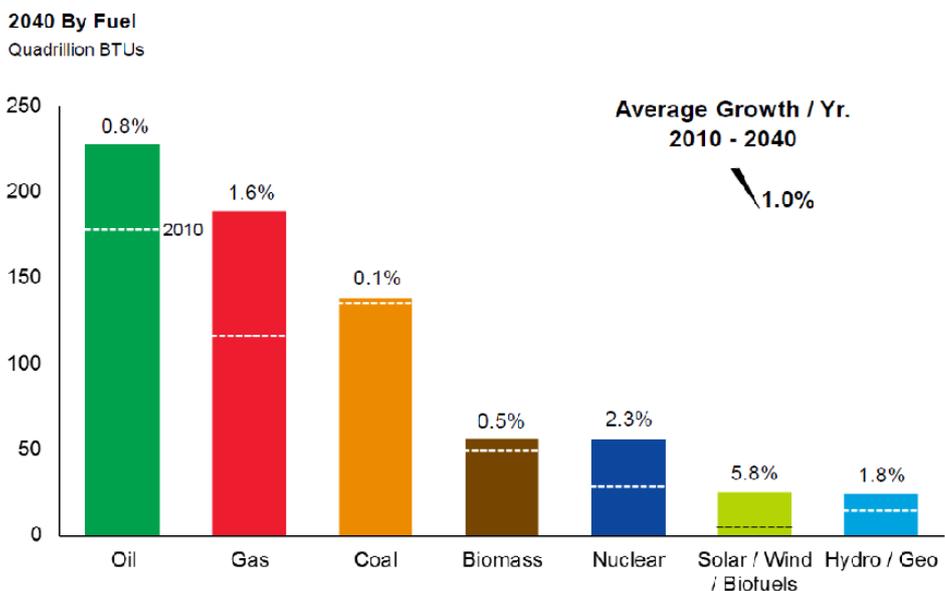
對煤炭的需求預計將上升到 2025 年再下降，主要因中國經濟增長逐步放緩且政策轉變朝向遵循經濟合作與發展組織國家 (Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD) 使用更清潔的燃料，但因發電需求不斷增長，煤炭在亞太地區仍有顯著的需求。

在交通運輸燃料需求部分，因中產階級及人口增加預期全球輕型車輛將顯著增長，從 2010 年至 2040 年，車輛數由 8.25 億部增加至 17 億部(中國：30 輛 /100 人、美國：80 輛/100 人、韓國：40 輛/100 人)，然而因車輛技術提昇(如渦輪增壓、傳輸系統等)使未來車更具省油性，車輛油耗預估由 2010 年 25 mpg 提昇至 2040 年 45 mpg，故輕型車輛之燃料需求變化不大。相較於傳統輕型車輛，混合動力車(Full hybrid car)因可提升 30% 的燃油經濟性，可望在 2025 年成為具成本競爭力的車輛，預估至 2040 年車輛數約占輕型車的三分之一(參見圖 2)，插電式混合動力車 (plug-in hybrid car)和全電動汽車(full electric car)將略為成長，但因高成本及功

能限制故普及率仍低，未來即使電池成本下降，也需面對其他替代車輛技術提昇的挑戰，故預估 2040 年市占率約 5 %。

另外一個值得注意的趨勢是：因全球的經濟活動持續擴大進而增加卡車及其他重型車輛的需求，約 2025 年重型車輛可能超越輕型車輛成為交通運輸最大的耗能段(2040 年佔 40%)。在重型車輛燃料中柴油約佔 75% 為主要燃料，但在部分地區已開始使用天然氣作為替代燃料，雖然天然氣卡車(無論是配備 CNG 或 LNG)的初始投資成本可能較傳統柴油卡車高數萬美金，但隨時間推移，在某些市場上天然氣可能較柴油具價格優勢故可大幅節省燃油成本，此外，天然氣亦可提供減排效益。

Global Demand



ExxonMobil

ExxonMobil 2015 Outlook for Energy

圖 1、2010 至 2040 年全球燃料需求

Light Duty Vehicle Fuel Consumption

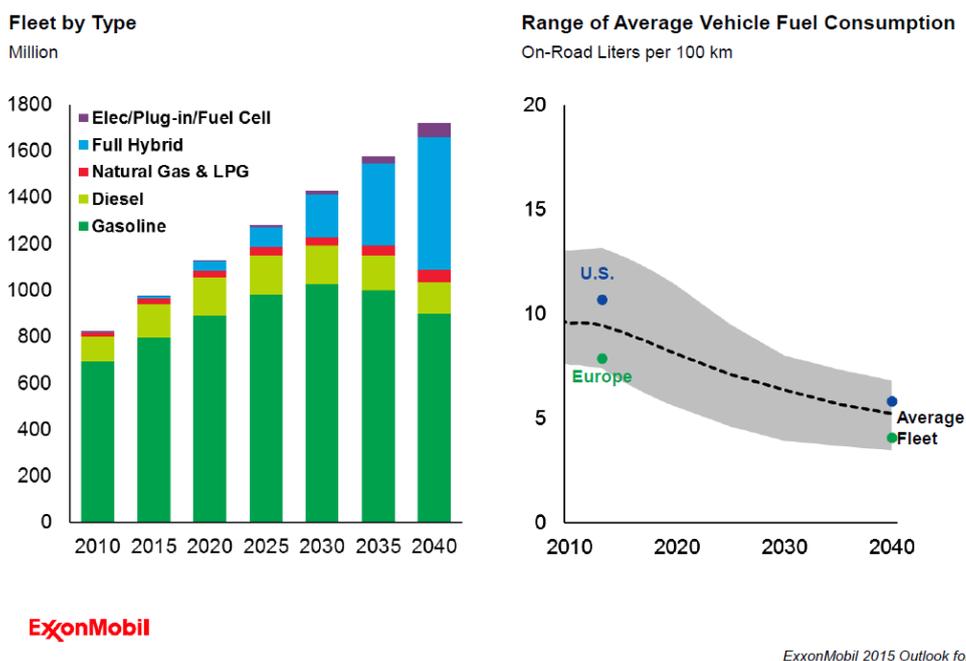


圖 2、2010 至 2040 年全球輕型車輛分布及燃油經濟性

2. 2035 年車輛發展趨勢 [3,4]

20 世紀以來，隨著工業及科技發展，全球車輛數目大幅增長導致能源安全(原油供需)、溫室氣體增加及空氣污染問題。近年來燃料來源除生質燃料外，因開採技術進步，非傳統原油如油砂(Oil sand)、緻密油(Tight oil)、深海層原油(deep water oil)等產量逐漸增加，未來車輛產業將面臨燃料多元化之挑戰(參見圖 3)。

依據國際能源署(International Energy Agency, IEA) 2012 年研究報告(參見圖 4)，至 2035 年配置內燃式引擎(Internal Combustion Engine, ICE)的輕型柴油車約佔 80%，化石燃料仍為重要的車輛動力來源，化石燃料的有效利用是實現永續行動社會(sustainable mobility society)的基本要件；另，依據政府間氣候變化專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 高溫室氣體排放情境(參見圖 5)，全球表面溫度到 21 世紀末將增加 5°C 左右，故車輛產業未來將致力研發高效率且清淨的動力系統以減少油槽到車輛(Tank-to-Wheel)的能源消耗並儘量減少環境負擔。

日本整合政府機構、學界、石油及車輛工業等單位於 2014~2018 年實施「跨部級策略創新推廣計劃」(Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program, SIP)以研發先進車輛技術，建立可達到最大 50%熱效率並降低 30% CO₂ 排放量(以 2011 年排放量為基準)之引擎燃燒技術為其計畫目標之一。

車輛使用之燃料將更多元化，近期生質乙醇、生質柴油及天然氣之應用日益廣泛，說明

如下:

- (1)生質乙醇應用：目前各國推行生質乙醇汽油大多以 E3、E5、E10 為主，使用高摻配比例生質乙醇汽油的國家如美國(E10/E15/E85)、巴西(E27/E100)及巴拉圭(E24/E100)；部分東南亞和南美洲國家能源政策亦規劃逐步提升生質乙醇摻配汽油比例，如印尼及菲律賓於 2025 年皆實施 E20。
- (2)生質柴油應用：目前各國推行生質柴油大多以 B2、B3、B5、B7、B10 為主，近期部分東南亞國家能源政策亦規劃逐步增加生質柴油摻配比例，如 2025 年印尼實施 B30、菲律賓實施 B20、泰國實施 B10。
- (3)天然氣應用：天然氣車輛主要導入亞洲及南美洲生產國，2013 年度全球天然氣汽車總計約 1,989 萬部，包括伊朗 350 萬部、中國 300 萬部及巴基斯坦 279 萬部。

為因應節能減碳及燃料多元化需求，除傳統燃料車輛外，車廠亦積極發展混合動力車、插電式混合動力、燃料電池車、電動車等多種動力車輛。提高動力系統效率研發方向包括發展高效能組件並需盡量減少因組件合併造成的效率損失、改善熱效率及傳動效率(使用多速自動變速箱)、降低運行阻力(降低阻力及車體重量)。

在不久的將來，傳統動力系統將無法滿足燃油經濟性法規及低污染排放要求，混合動力車、電動車及燃料電池車數量將持續成長；然而，電動汽車的基本問題包括續航力(cruising range)、成本、充電時間、專用充電設施及電池壽命等仍待改善。相較於電動車續航力(如 JC 08 mode :Nissan Leaf 228 km、Toyota eQ 100 km)，燃料電池車在中、長程續航力之車輛成本較具優勢，Toyota 公司 2014 年上市之 MIRAI FCV 續航力可達 650 公里、燃料補充時間約 3 分鐘、冷啟動能力可達-30°C，輸出功率密度最高可達 3.1 kw/L、儲氫罐儲存密度(儲氫量/每單位罐質量) 最高可達 5.7wt%。

日本政府極力推展零二氧化碳排放之燃料電池車，建置加氫站的稅率補助達一半以上(最多 2.8 億日元，取決於加氫站類型)，購車補助為國家補助 2 百萬日元再加上購車當地政府補助金，另清潔汽車可享免稅優惠。目前日本營運中的加氫站共有 24 座，另有 57 座在建置中，氫氣售價約 1,000~1,100 日元/kg。

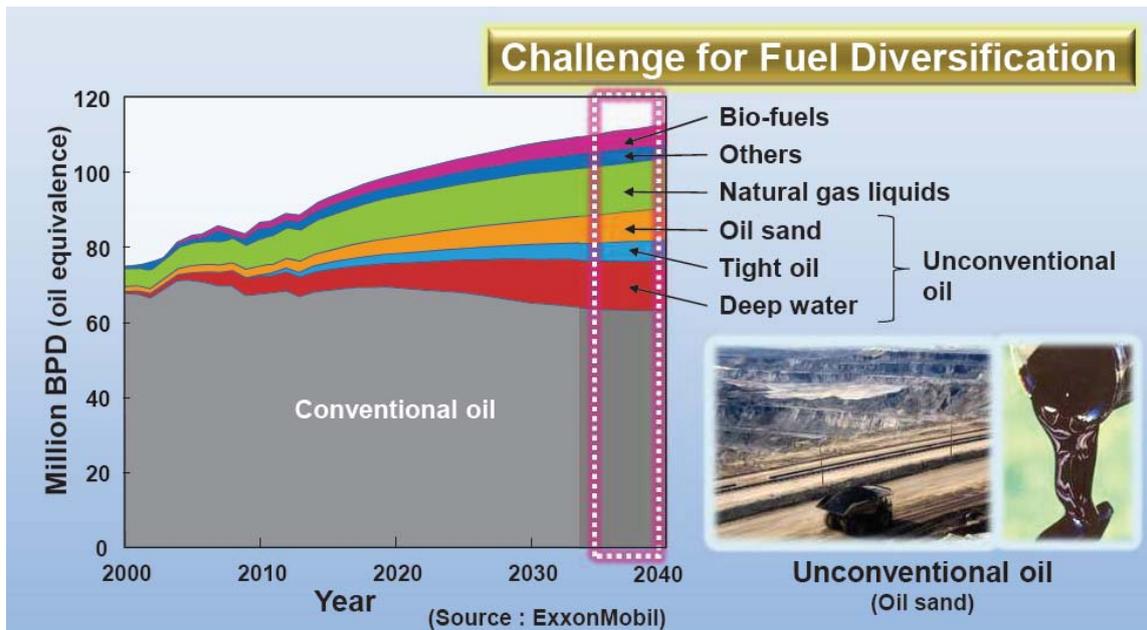


圖 3. 至 2040 年燃料需求預測

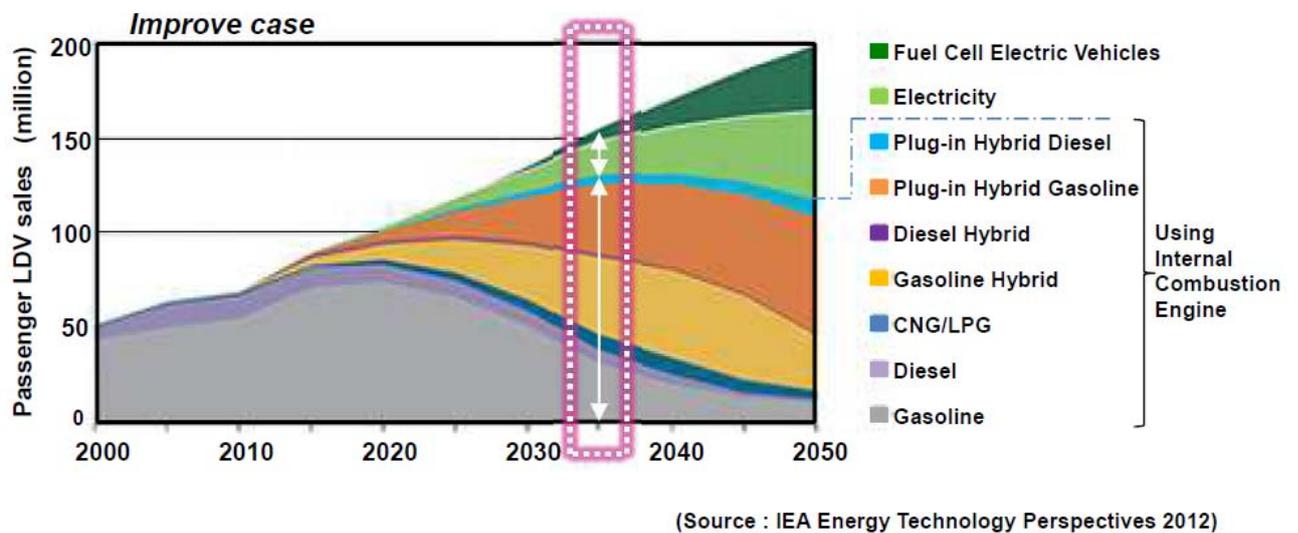


圖 4. 至 2050 年輕型車輛銷售趨勢預測

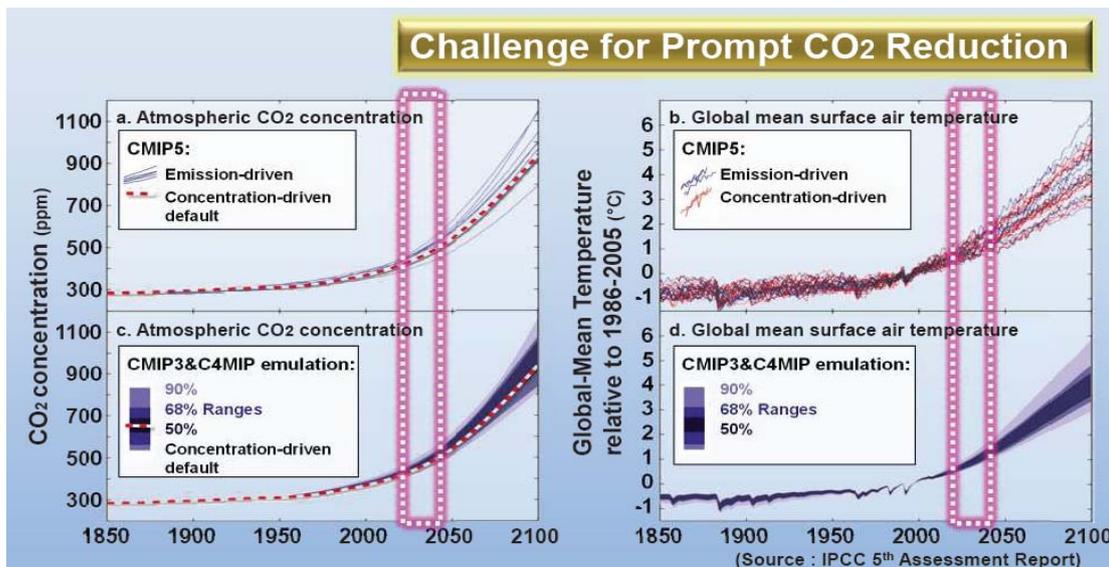


圖 5. 至 21 世紀末大氣中 CO₂ 濃度及地表溫度上升趨勢預測

3. 污染排放法規趨勢

為減緩溫室氣體排放造成全球溫度上升效應，全球包括美、歐、日、中、韓等國皆致力於管制 CO₂ 排放量，未來可望穩定下降。各國 CO₂ 排放量目標：美 97 g/km 以下(2025 年)、日本 122 g/km 以下(2020 年)、歐盟 95 g/km 以下(2021 年)；全球污染排放規範標準亦逐漸加嚴(參見圖 6)，歐盟配合六期法規擬於 2017 年改採實際駕駛排放測試(Real Driving Emission, RDE)，測試過程包含市區、郊區及公路駕駛型態，測試車輛配備可攜式排氣檢測系統(Portable Emission Measurement System, PEMS)進行廢氣排放測試，另為考量實際道路測試結果公平性，擬研定全球輕型車統一測試流程(Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure, WLTP)，詳細內容尚在討論修訂中。

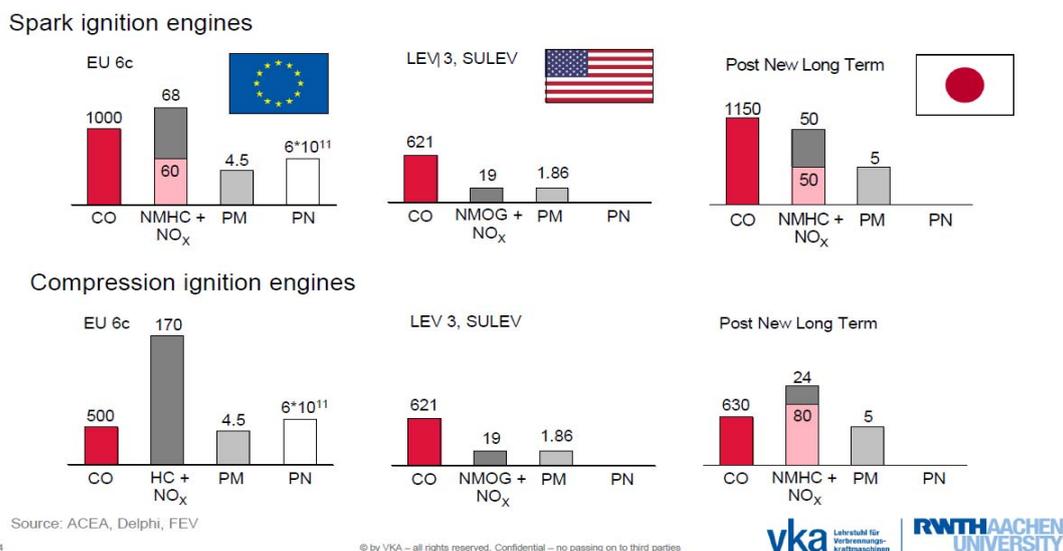


圖 6. 歐盟、美國及日本之排放法規

4. 燃料特性對引擎污染排放之影響[5,6]

4.1 乙醇汽油：以單缸研究用汽油引擎(直噴操作模式)測試 E0(RON 95)、E20 及 E100，研究結果顯示(1)乙醇汽油(E20 及 E100)具較佳抗預燃性，E100 幾無預燃現象。(2)E100 較 E20 更容易點燃。(3)E100 因高汽化熱與低蒸氣壓導致冷啟動及機油稀釋問題，可採用對策包括多點噴射、增加燃油噴射器數目、噴油嘴預熱、增加硬體及引擎校正設備(高成本)。

4.2 最適生質汽油燃料設計(Tailor-Made Fuels from Biomass, TMFB)

4.2.1 火星塞點火引擎候選燃料選擇：依燃料成分符合 C1~C8、自燃性、汽化熱、蒸餾溫度、沸點、熱值等特性要求選擇 279 種分子結構做為候選燃料，再依其官能基分類(如正烷烴、異烷烴、酯、酮等)，分類成分之 DCN 可由 IQT 測定儀測定(依據 ASTM D6890， $DCN=4.46+186.6/ID$ ，延遲點火時間 ID : Ignition Delay time，單位:ms)，隨後應用各分類成分之 DCN 值建立模式以預測生質汽油燃料 $C_xH_yO_z$ 之 DCN(此模式不適用於炔類、酸類及連續雙鍵結構成分)。

4.2.2 選用 DCN 值低(相對 RON 高)之生質燃料 2-甲基呋喃(2-methylfuran, DCN<10)及 2-丁酮(2-Butanone, DCN<5)與乙醇進行單缸引擎試驗，相較於乙醇(高汽化熱及低蒸氣壓)，2-甲基呋喃(RON 101)及 2-丁酮(RON 117)皆具低汽化熱及高蒸氣壓，經單缸引擎測試，2-甲基呋喃抗預燃性較乙醇及 RON 95 汽油為佳；引擎高負載狀況下，相較於乙醇，2-丁酮因較高延遲點火時間補償了汽化冷卻效應；2-甲基呋喃及 2-丁酮減少機油稀釋且 HC 排放量較乙醇低。

4.3 低積碳及低 NO_x 排放之柴油燃料特性：適中的十六烷值、低芳香烴含量、含氧燃料

4.3.1 低十六烷值燃料雖可降低 PM 排放但 HC 及 CO 排放明顯升高，燃燒狀況可控性差，易有冷車啟動問題。

4.3.2 低芳烴含量燃料可減少積碳前驅物及 PM 排放，不影響 CO、HC 及噪音排放。

4.3.3 使用含氧燃料，在相同的十六烷值下，因局部空燃比(Air Fuel Ratio, AFR) 增加可降低 PM 排放，但因 OH 基降低燃料的揮發性，因此空氣與燃料混合性較差。

4.3.4 醚類揮發性高(高蒸氣壓、低粘度、低密度)，同時具備高反應性、高含氧量及高自燃性，如二甲醚(Dimethyl ether, DME)即為適當的替代燃料。

5. 車輛噴射器積污及濾網阻塞案例探討[7-11]

近年來柴油車輛噴射器積污及濾網阻塞案例普遍提高，歸結其原因包括：(1) 車輛噴射器製造商使用越來越高的壓力及溫度以滿足日趨嚴苛的排放法規要求，在此操作條件下，燃料可能較不穩定導致劣化。(2)燃料製造過程伴隨的污染物(如 NaCl 或其他鹽類)、添加劑(如過

量的酸性添加劑或未商業化之低分子量 PIBSI)或生質燃料皆可能產生皂化物造成積污。(3)某些添加劑可能形成醯胺或膠狀物形成沉積物影響車輛性能。

以下分別就柴油噴射器內部積污(Internal Diesel Injector Deposits, IDID)及濾網阻塞之相關研究摘要如下：

5.1 柴油噴射器內部積污

5.1.1 柴油高壓共軌噴射器(High pressure Common Rail Injectors)常可發現沉積物，其成分可應用 SEM/ EDX、FTIR、ESI-MS、EPMA 等分析，常見的成分為金屬皂(如鈉皂、羧酸鹽)及醯胺類膠狀物(如低分子量 PIBSI)及酯類(如 FAME 或流動促進劑)；此外，噴射器亦容易腐蝕，經 SEM 檢測，發現腐蝕物主要沉積於管件內表面，點蝕可達 3 至 25 microns，而造成腐蝕之原因為：(1)水分進入系統。(2)微生物代謝產生之低分子量酸。(3)生物柴油劣化。(4)腐蝕抑制劑失效。

5.1.2 傳統噴嘴積污主要為碳化物，累積於噴射器尖端和噴孔，影響燃油噴射量及噴霧型式，標準測試方法採用 F-023-01 (XUD-9 IDI) 及 F-098-08 (DW10B DI, CR)；而柴油引擎噴射器內部積污主要成分為金屬皂及醯胺類膠狀物，累積於噴射器針頭、導針及控制閥上，影響燃油噴射時間及噴射量，車輛可能會發生空轉(idling)及冷啟動問題。目前歐洲協調委員會(The Coordinating European Council, CEC)和美國協調研究理事(Coordinating Research Council, CRC)皆尚在開發新的標準測試方法中，歐洲協調委員會預計於 2016 年公告 DW10C 標準測試方法。

5.1.3 Innospec、Afton 等添加劑公司認為研發新型清淨性添加劑可有效防止噴射器及燃油系統產生沉積物。

5.1.4 DENSO 公司研究發現熱效應為導致沉積物形成的主因，沉積物以物理吸附或化學鍵結方式分布於材料表面。經試驗證明，材料表面塗佈所開發之類鑽碳薄膜(Diamond Like Carbon, DLC)可有效防止柴油噴射器內部積污。

5.1.5 Afton 公司與 Hydrafact 公司(隸屬於 Heriot-Watt 大學的石油工程研究所)聯合研發的高壓石英晶體微天平(High Pressure Quartz Microbalance, HPQCM)技術可測量相當低的沉積物含量(納克至微克)，該技術透過測量石英晶體諧振器的頻率變化量測沉積物質量，可量測至 1 毫微克/平方厘米。噴射器積污引擎試驗結果顯示：噴射器壓力越高，低分子量 PIBSI 導致的積污越嚴重；超低硫燃料成分對積污影響不大，但添加 HVO(hydro-treated vegetable oil)至超低硫柴油中積污量略增，摻入 10% SME 則可降低醯胺類沉積物形成之風險。

5.1.6 美國許多地區燃料中鈉含量高，柴油噴射器內部沉積物常可發現氯化鈉。

5.1.7 腐蝕抑制劑長期以來被認為是造成沉積物的原因之一，但近期 Innospec 公司進行 DW10C 引擎測試結果顯示：正常劑量的腐蝕抑制劑不會導致噴射器積污。

5.2 過濾器阻塞

5.2.1 過濾器阻塞原因相當多，包括碳沉積物(燃料)、結冰(水分)、石蠟燃料)、催化劑(生質柴油)、甘油酯(生質柴油)、固醇類(生質柴油)、聚乙烯(生質柴油)、汙染物(燃料)、劣化(燃油系統設計)、脂肪酸(羧酸鹽)或生質柴油、FAME 飽和程度(生質柴油)等等。在過去幾年中，Innospec 僅在美國就分析超過 600 個過濾器，而在近一年內也收到 162 個過濾器樣品，主要是因微生物汙染及碳化物造成阻塞，但大部分案例都無法歸咎於單一原因。

5.2.3 Afton 分析濾網阻塞原因(2013~2015 實驗室樣品)：飽和單甘油酯 42%、碳酸鹽類 28%、汙染物/腐蝕沉積物 11%、其他 13%、蠟質 6%。

5.2.2 歐洲近期過濾器阻塞案例增加，推測可能是因寒冷氣候及生質柴油(如甘油酯、聚乙烯、FAME 飽和度等因素)，目前相關研究正在進行中尚無明確答案，未來規劃採用新方法(Cold FBT)來確定燃油的過濾性。

5.2.3 Afton 公司探討飽和甘油酯(生質柴油)、固醇類、碳酸鹽類及聚乙烯對燃油過濾性(以 FBT 評估，以測試值低於 1.41 為合格標準)之影響。在英國的研究發現，聚乙烯主要來自動物性脂肪和廢食用油，亦可能來自塑料袋、標籤或其他於生產生質柴油過程中使用的塑膠類物質，如牛油通常在 140°C 下進行精煉，而包裝材在約 110°C 溶化可能導致生質柴油中含 100 ppm 聚乙烯，B10 中含 1ppm 聚乙烯即無法通過 FBT 試驗 (FBT=1.87)；另，聚乙烯汙染燃料不會因添加添加劑而改善其對過濾器阻塞的影響。

5.2.4 Innospec 開發新的加氫熱裂(Hydropyrolysis)分析方法可檢測燃料中甘油酯和固醇類的含量。

5.2.5 燃料品質管控建議：(1)遵循 CRC RP 667「柴油儲存及處理指南」及 API RP 1640「產品品質-輕質產品儲存及處理操作」等做好維護管理。(2)保持燃油的清潔和乾燥。(3)使用適當的過濾器。(4)提高燃油規範並定期檢測規範/非規範項目。(5)使用新型清淨性添加劑適當控制積污問題。

6. 低速預燃研究(Low Speed pre-ignition, LSPI)[12-15]

6.1 為滿足環境法規及燃油經濟性的要求，新型汽油引擎設計使用排氣量較小的引擎並配備渦輪增壓器，除需要更高性能的潤滑油滿足傳統性能需求外(如氧化及積污控制、燃油經濟性等)，更須預防發生低速預燃現象。

6.2 在過去十年，在渦輪增壓 GDI 引擎發生之低速預燃案例已被廣泛研究，低速預燃現象在引擎燃油經濟性、性能和駕駛性能最佳平衡操作區內有較高發生頻率，相關影響因素包括引擎硬體設計、操作條件、燃料和潤滑油添加劑等，但尚無一種機制可完全解釋已發生之低速預燃案例。

6.3 燃料和潤滑油特性已被證明會影響 LSPI 發生頻率，豐田汽車(Toyota)研究已證明潤滑油中的鈣含量增加會提高低速預燃發生頻率，通用(GM)和福特(Ford)汽車亦有類似研究結論。

6.4 目前有許多研究低速預燃之引擎試驗方法，使用之設備、操作條件及判斷標準皆不同。因低速預燃可導致異常高壓，故可監測汽缸內壓力異常波峰值，當高於一定閾值（一般定義為大於平均值+特定倍數標準差值）被認為是一個低速預燃事件；另一種方法量化低速預燃的方法是量測燃燒提早發生的時間，如 MFB02 代表在 2% 氣缸進料的燃燒點（可量測曲軸角度），較低的曲軸角度表示較早發生的預燃事件；除了上述兩種預燃現象指標外，因一個預燃週期往往會導致隨後的低速預燃出現，故預燃現象可透過分組區分為一個或多個事件。量測低速預燃事件的方法對測試結果的解釋產生實質上的影響，對於相同的測試數據，若選用的量測方法不同，低速預燃事件數量可能差異超過兩倍以上。

6.5 許多文獻探討潤滑油添加劑成分碳酸鈣引發低速預燃的機制，有研究者認為碳酸鈣在引擎膨脹和排氣衝程因吸熱形成 CaO，隨後在進氣和壓縮衝程時，CaO 吸收 CO₂ 再轉化為碳酸鈣（放熱反應），由積污引起的預燃現象意味著高溫固體顆粒加熱周圍混合氣體導致燃燒，著火性與沉積物的特性及物理條件有關，如熱容量和顆粒尺寸等。另外，亦有文獻提及預燃現象可能是由液滴引發，液滴可能來自潤滑油和汽油的在活塞頂部形成的液膜，當液膜厚、表面張力小時，霧化液滴因活塞移動慣性噴濺至氣缸內；接著，液滴蒸發預燃導致周圍氣體混合氣的燃燒。

四、心得及建議

1. 燃料及潤滑油品質與車輛動力系統研發、能源型態及污染排放法規等息息相關，美國自動車工程師協會(SAE)每年於各地舉辦之國際研討會中皆發表數百篇專業論文並建立油公司、車輛業者、添加劑業者、研究機構及專家學者之交流溝通平台，本年度研討會所安排之專題演講及技術論文包括未來能源展望、車輛動力系統及燃料發展趨勢、柴油噴射器積污研究等皆相當專業、深入，切合實務研究工作需要。
2. 隨著能源開採技術進步及節能減碳的需求，燃料及車輛動力皆朝向多元化發展，未來生質乙醇、生質柴油及天然氣應用於車輛燃料之施行地區、摻配或使用比例皆逐年提昇，然而，這些國家或地區本身大多豐富天然資源的優勢，如東南亞(生質柴油)、美國及巴西(生質乙醇)、亞洲及南美洲(天然氣)；相較於上述國家，日本因大部分能源需仰賴進口，為達到節能減碳目標，近年來除持續改善傳統燃料動力系統之熱效率外，亦致力研發低能耗、低污染之混合動力車及零污染排放之電動車及燃料電池車等，並提供加氫站建設及民眾購車補助，其相關經驗可做為政府推行能源政策之參考。
3. 柴油車輛為符合排放法規需求使用高壓共軌噴射設計，同時，燃料品質亦隨之加嚴(如低硫化)並提高生質燃料摻配比例，近期歐美地區皆有車輛噴射器積污及濾網阻塞案例，探討積污及阻塞成分、成因、引擎評估測試方法、防治對策(如選擇適當添加劑)及燃料品質管控(如FBT檢測)、生質燃料選擇(如應用DCN建模)等相關文獻可供本公司做為提昇油品

品質之參考。

4. 在渦輪增壓 GDI 引擎發生之低速預燃現象，經多年研究雖尚無明確可完全解釋所有案例之成因，且對於相同的測試數據，如選用的量測方法不同，低速預燃事件數量可能差異超過兩倍以上，但車輛業者(包括 Toyota、GM 及 Ford)相關研究皆顯示低速預燃發生頻率會隨潤滑油中添加劑鈣含量增加而提升，此結果可供本公司生產潤滑油產品之參考。

五、參考文獻

1. Rob Gardner, The Outlook for Energy A View to 2040, ExxonMobil, 2015 JSAE/SAE Keynote Speeches.
2. ExxonMobil's Outlook for Energy Sees Global Increase in Future Demand, ExxonMobil.
3. Masanori SUGIYAMA, The Future of Automobiles in 2035, Toyota, 2015 JSAE/SAE Keynote Speeches.
4. Eiji OHIRA, Toward Hydrogen Society Activities for Dissemination of FCV, NEDO
5. Ing. Stefan Pischinger, Fuel as a Design Parameter for Future Low Emission Engines, RWTH Aachen University, 2015 JSAE/SAE Keynote Speeches.
6. Alexandre BOUET et al., Potential of Naphtha-like Fuel on an existing modern compression ignition engine, JSAE 20159009/SAE 2015-01-1813.
7. Richard L Chapman, The Effect of Fuel Quality on Injector and Fuel Filter Deposits in Modern High Pressure Common Rail Engines, Innospec, 2015 JSAE/SAE Technical Workshops .
8. Alexandra Fersner, Diesel Fuel Filterability Studies, Afton, 2015 JSAE/SAE Technical Workshops .
9. Koichi Yamada et al., Diesel Injector deposit, Denso, 2015 JSAE/SAE Technical Workshops .
10. Julie Galante-Fox, New Technique for Investigating the Mechanism of Internal Diesel Injector Deposits (IDID) Formation, Afton, 2015 JSAE/SAE Technical Workshops ..
11. Anthony Frank, Are our fuels protective, and do our engine tests truly demonstrate "Fit for Purpose"?, Lubrizol, 2015 JSAE/SAE Technical Workshops .
12. Koji Morikawa et al., Investigation of Lubricating Oil Properties Effect on Low Speed Pre-ignition, JSAE 20159149/SAE 2015-01-1870.
13. Ian Elliott, Understanding Low Speed Pre-Ignition Phenomena across Turbo-Charged GDI Engines and Impact on Future Engine Oil Design, JSAE 20159144/SAE 2015-01-2028.
14. Yasuo Moriyoshi et al., A Study of Low Speed Preignition Mechanism in Highly Boosted SI Gasoline Engines, JSAE 20159086/SAE 2015-09-1865.
15. Masaharu Kassai et al., Mechanism Analysis on LSPI Occurrence in Boosted S. I. Engines, JSAE 20159108/SAE 2015-01-1867.