

出國報告（出國類別：考察）

參加科萊恩第七屆定義未來研討會與
參訪 BASF Battery Materials-Ovonic 公司
之心得

服務機關：台灣中油公司綠能科技研究所

姓名職稱：盧信宏/工程師

派赴國家：美國

出國期間：104年8月24日至104年8月30日

報告日期：104年10月20日

摘要

此次至美國參加科萊恩公司舉辦的第七屆定義未來研討會(“Defining the Future VII” Conference - Clariant)與參訪美國 BASF Battery Materials-Ovonic 公司獲益良多，本人在研討會主要參加關於合成氣生產與應用、燃料與創新、未來能源、觸媒應用技術等方面的議程；參訪 BASF Battery Materials-Ovonic 公司主要吸取固態儲氫的實際應用經驗以及鎳氫電池的發展。

聆聽研討會的感想為，國際間石化廠商在提高獲利與穩定進料來源的雙重因素下，正積極開發新製程以煉製更多種類與更便宜的進料，台灣中油公司為國內最大燃料供應商，在穩定國內供貨與穩健獲利的目標下也應當考慮朝這方向努力進行。

BASF Battery Materials-Ovonic 公司在鎳氫電池市場具有重要的指標意義，該公司也有研究人員對儲氫材料深具實務經驗，台灣中油對儲氫材料以及鎳氫電池的研發與應用如有進一步行動，該公司是一個相當適當的合作與諮詢對象。

關鍵詞：觸媒，能源，儲氫材料，鎳氫電池

目次

壹. 目的	1
貳. 過程	2
一. 科萊恩第七屆定義未來研討會	2
1-1. Keynotes	2
1-2. Session: Market & Technology Developments	4
1-3. Session: Syngas - Conversion to Chemicals & Fuels	6
2-1. Session: Engineering Services	7
2-2. Session: Fuel & Innovation	9
3-1. Session: Energy of the Future	10
二. 參訪 BASF Battery Materials-Ovonic 公司	15
2-1. Solid Hydrogen Storage Application	15
2-2. NiMH Battery Application	18
參. 心得與建議	20
參考資料	21

壹、目的

定義未來研討會為瑞士特用化學集團科萊恩公司(Clariant, 2014 年營業額達 67 億美元)每兩年舉辦一次的國際性研討會，會議內容主軸圍繞在全球化工和燃料行業的市場現況分析與技術發展，以及觸媒催化技術發展等。由於本人研究領域為天然氣產氫觸媒評估與研究，與科萊恩公司在天然氣產氫觸媒技術有密切交流，並且研究領域也與此次會議題目如“合成氣轉化為化學品與燃料(Syngas-Conversion to Chemicals & Fuels)”、“未來燃料 (Energy of the Future)”、“燃料與創新(Fuel & Innovation)”以及“合成氣創新用於氨氣生產(Syngas Innovation for Ammonia Production)”等極為相關；另外如“烯烴及其衍生物(Olefins & Derivatives)”、“專門烯烴生產(On-Purpose Olefins)”以及“苯乙烯與芳香族化合物(Styrene & Aromatics)”等會議題目，都是跟本公司現行業務、生產製程與未來新創事業等息息相關，因此藉由參加此會議瞭解收集全球化工、燃料、觸媒等行業中主要公司的發展策略。

另一行程為安排與 BASF Battery Materials-Ovonic 公司就固態儲氫應用與鎳氫電池應用等儲氫相關技術進行交流。該公司內有幾位研發人員先前在 Energy Conversion Devices 公司時即從事儲氫材料開發，而 Energy Conversion Devices 公司的子公司 Ovonic Hydrogen System LLC 以往在固態儲氫材料於可攜式儲氫罐、移動式、與固定式產品之應用深具商業化基礎；此外，BASF Battery Materials-Ovonic 公司是現今鎳氫電池技術的發明者，在此領域擁有 97 篇美國與國際專利，全球鎳氫電池主要製造商都是在該公司給予執照使可下進行生產。因此，藉由參訪產業界 BASF Battery Materials-Ovonic 公司，可以針對具前瞻性的儲氫技術以及電池技術進行交流討論，汲取相關技術之市場與研發走向，以提昇自主研發能量並做為新創事業開發之可行性評估。

貳、過程

本次出國行程與詳細工作內容整理如下表：

日期	詳細工作內容
104.8.24	啟程：桃園-舊金山
104.8.25	參加第七屆定義未來研討會
104.8.26	參加第七屆定義未來研討會
104.8.27	參加第七屆定義未來研討會
104.8.28	(1)參加第七屆定義未來研討會 (2)研討會結束由舊金山啟程前往底特律 (3)拜訪 BASF Battery Materials- Ovonic 公司
104.8.29	(1)拜訪 BASF Battery Materials-Ovonic 公司 (2)返程：底特律-舊金山
104.8.30	返程：舊金山-桃園

以下首先針對本人參與研討會場次的演講內容做重點介紹，之後針對 BASF Battery Materials-Ovonic 公司的參訪行程內容做重點介紹。

一. 科萊恩第七屆定義未來研討會

1-1. Keynotes

(1) Global Petrochemical Market Outlook: The Impact of Energy at the Extremes

IHS 公司副總裁 Mark Eramo 提出能源價格與石化產品價格息息相關，高能源價格造成石化產品價格高漲，反之亦然。另外，2010 年到 2020 年，全球五個國家（中國大陸、美國、沙烏地阿拉伯、南韓、印度）合計的化學品新產量（231 百萬公噸）將佔全球化學品新產量的 75%，其中中國大陸就佔了 45% 的新產能。中國大陸的石化產品生產基地已由東部逐漸轉往西部，如對二甲苯、烯烴（煤製烯烴/甲醇製烯烴）的生產。由於便宜的大量乙烷出現，2014 年到 2020 年北美乙烯新產量將達到 11.47 百萬公噸。2015 年美國的乙烯出口量佔其本國需求量的 15%；反觀中國大陸一直是乙烯進口國，但是自足率（self-sufficiency）已從 2005 年的 38% 增加至 2015 年的 55%，主要是因為大陸煤製乙烯的產能陸續開出所致。

(2) Where On The Spectrum Is The Chemical Industry And What Are the Implications on Innovation and Technology Development

The Dow chemical 公司研發副總裁 Bob R. Maughon 提出對未來市場競爭的對策：

- a. 針對關鍵化學品要選擇 “專門生產” (On-purpose production)
- b. 需能處理多樣性的反應進料選擇
- c. 讓 “永續性” 成為公司的競爭優勢而非限制
- d. 加速研發速度與市場滲透率

Bob R. Maughon 也介紹關鍵化學品選擇 “專門生產” 的例子。乙烯、丙烯、丁二烯一般可以藉由輕油裂解製程獲得，通常輕油裂解產物中三者含量約為 30%、15%、5%，但是乙烯也可以藉由乙烷裂解獲得，產物中約有 80% 乙烯與少量丙烯、丁二烯；另外丙烯可以藉由丙烷脫氫製程 (PDH) 獲得，2014 年美國、中國大陸、以及全球利用 PDH 製程產丙烯的數量分別為 15、40、140 億磅，預估 2015 年分別增加至 30、80、190 億磅，Dow Chemical 公司的 PDH 製程反應器採用連續式流體化床反應器 (CFB)；丁二烯的生產方式除了傳統蒸汽裂解之外，藉由光合作用得到的碳水化合物先經由微生物發酵為雙醇化合物再轉化為丁二烯的做法也被提出。

(3) Ethylene Production Growth Drives New Global Industry Standards

Technip 公司乙烯生產部門的副總裁 Jean-Paul Laugier 介紹全球乙烯生產

現況與未來發展趨勢。從 2000 年到 2013 年間全球乙烯產能由 100 百萬公噸/每年 (MMtpy) 增加至 155MMtpy，新產能中超過 70% 來自於中東與中國大陸新廠的貢獻，中東產能由 6.5 MMtpy 增加至 30 MMtpy，而中國大陸產能由 4.3 MMtpy 增加至 20 MMtpy。現今新乙烯廠產能都朝向大產能設計，例如自從 2015 年起中東地區的 15 座新廠產能設計都超過 1MMtpy，大約是十多前一般乙烯廠產能的兩倍（例如，中油五輕乙烯產能為 0.5 MMtpy）。而中東的裂解工場朝向複合式進料的設計，進料可為乙烷、液化石油氣(LPG)、石油腦、製氣油。在中國大陸，約一半的乙烯新產能是使用重質進料（end-boiling point 高於 540°C）進行裂解而得，而不是採用傳統的石油腦（naphtha）為進料，主因是原料價格較便宜因此獲利較高。

因為頁岩氣進入市場，裂解工廠已開使採用乙烷為進料（在中東的乙烯廠產能已經推向 1.5 MMtpy 的層級），進料改變會造成丙烯產量下降，但順勢帶動了專門生產丙烯計畫的推展以彌補欠缺的丙烯產量。另外，在歐洲以及印度的乙烯生產進料開始採用煉製尾氣(refinery off gas)來取代石油腦，印度已經新建一個以煉製尾氣為進料的乙烯裂解廠，產能為 1.4 MMtpy。

未來生產烯烴方法將更多元，中國大陸積極發展煤製烯烴的技術，預計到 2020 年產自於煤的乙烯總量將佔大陸乙烯總產量的 20%。

(4) Chemurgy: A Continuing Journey

Archer Daniels Midland Company (ADM) 公司的 Paul Bloom 介紹所謂的“Chemurgy”，它指的就是指利用農作物生產化學品的觀念與衍生技術。1902 年 ADM 公司成立後即提出這種利用再生資源永續生產人類必需品（化學品）的觀念，並且發展相關技術以實現這個理念。

1-2. Session: Market & Technology Developments

(1) Global Energy & GHG Reduction Potential via Catalytic Improvements

Ed Rightor (The Dow Chemical Company) 提出相較於 2105 年，在 2030 年時全球能源使用量將會增加 45%，但同時全球也需要減少 40% 的溫室氣體(greenhouse gas, GHG) 排放量。同時要達成減少能源耗費以及 GHG 排放量的目標需要依靠觸媒與製程技術的創新。現今 90% 的化學生產程序需要使用觸媒，而全球光是生產 18 種產

品就耗用了化學產業所需能源的 80%以及排放了 75%的 GHG，這 18 種產品依 2010 年的年產量排列依序為氨、乙烯、苯-甲苯-二甲苯、丙烯、聚乙烯、聚丙烯、甲醇、對苯二甲酸(TPA)、氯乙烯單體、對-二甲苯、苯乙烯、環氧乙烷(EO)、乙二醇(EG)、丙烯腈、己內醯胺、環氧丙烯(PO)、酚、異丙基苯(cumene)。針對這 18 種產品的生產，只要在觸媒及相關技術有所改進則預期在 2050 年可以節省 13 百萬兆焦耳的能源使用量，以及減少 10 億噸二氧化碳當量的排放量。

Ed Righor 也提到全球化工界關注的直接甲烷轉化法(Direct Methane Conversion)，甲烷可以直接反應生成：(1)苯與氫氣、(2)二氧化碳與水、(3)碳與氫氣、(4)甲醇與甲醛、(5)一氧化碳與氫氣（即合成氣），其中第五項的一氧化碳與水又可以做為進料生成碳氫化合物、氨、甲醇與乙醚，足見直接甲烷轉化法的重要。直接甲烷轉化法的優勢有：(1)甲烷具成本與含量的優勢、(2)較少反應步驟與較低資本、(3)製程乾淨且可減少 20%二氧化碳排放，但是使用直接甲烷轉化法的挑戰有：(1)較低的產物選擇性、(2)需要較耗能的分離程序、(3)易生結焦使觸媒失活。

(2) US Shale Gas Development

American Chemistry Council (ACC)的 Martha Gilchrist Moore 介紹美國因頁岩氣的開採所造成相關產業鏈的改變。首先因為頁岩氣的大量開採，2010-2015 年間因生產成本下降使得美國轉變為“低價生產者”，美國在由天然氣轉化的產物的市場佔有率從 2005 年的 59%增加至 2014 年的 92%，並造成中東的乙烷供給量受到壓縮。雖然現今低油價部分地削弱了美國因頁岩氣獲得的相關優勢，但是美國依然擁有“原料優勢”(feedstock-advantaged)的地位

因為原料優勢使得在美國的化學工業投資量與金額急速增加，2010 年初起關於提升乙烷利用的小型計畫開始被推動，到今年六月初 ACC 要追蹤的計畫高達 242 件且總值 1490 億美元，其中有 62%的計畫是美國以外的國家或是至少包含一個非美國的國家來投資。另外，ACC 正在追蹤 495 件塑膠加工投資案件。

另外，頁岩氣的大量開採造成許多產品產量遽增，包含：

1. 乙烯（產量增加 50%）、乙烯衍生物（如聚乙烯、 α -烯烴等）、生產 PVC 用的鹼氮化合物
2. 甲醇、含氮肥料(氨、尿素等)
3. 使用在水力裂碎(hydraulic fracturing)、鑽井、油/氣生產的相關化學物

其實全球天然氣與原油資源分別有 32%與 10%是存在於頁岩間，而頁岩氣含量最多的地區是中國大陸。美國開始對頁岩氣開採投注心力起自於 2005 年的颶風造成 GOM 生產中斷，讓天然氣價格增加超過 12 美金/mmBTU。現今全球頁岩油/氣開採仍不普及的原因是：各國政策法規不一、開採技術與設備不夠水準、對水資源污染的顧慮、對使用水力裂碎技術的政治性反對(英法都禁止使用)。

(3) Oil Price Impact on Petrochemical Industry and Investments

McKinsey & Company 公司的 Theo Jan Simons 提到油價的下跌是來自於供需平衡失調，供給過剩因為美國頁岩油大量生產以及 OPEC 不願意減產以保護其在亞洲的市佔率，而需求下降主要因為中國 GDP 下降以及歐洲經濟復原速度緩慢。自 1965 年到 2014 年，OPEC 在全球原油市佔率一直維持在 33-50%之間，因此 OPEC 對於石油減產與否取決於能否維持其市佔率。

1-3. Session: Syngas - Conversion to Chemicals & Fuels

(1) High Performance Hydrogen Production

Amec Foster Wheeler 公司的 Steve Beeston 介紹 “梯田型”產氫重組器 (Terrace Wall Reformer)，相較於傳統兩種重組器設計(一為 “Radiant Wall Fired”、另一為 “Top Fired”)，“梯田型”重組器的優勢為:(1)較平均的溫度與熱流量分佈，可以讓觸媒反應區的操作壽命增加、(2)設計較為緊緻因此設備佔地面積較小(梯田型:2300 m²、Radiant Wall Fired: 3100 m²、Top Fired : 2800 m²)。

Amec Foster Wheeler 公司的氫氣工廠設計主要單元為：梯田型重組器、CO 轉移器、PSA 純化器。產氫觸媒與 Clariant 公司合作。在進料方面可以有多種選擇，包含天然氣、LPG、石油腦、以及煉製尾氣。2009 年至 2014 年止，Amec Foster Wheeler 公司在全球代表性的氫氣工廠建設案有 14 件(分佈在 11 個國家)，其中最大氫氣工廠為在俄羅斯的 Bashneft Hydrogen Plant，於 2014 年正式啟用，產氫量達 254 MMSCFD (約中油高廠氫氣工廠的 5 倍)，進料可為液化石油氣、正己烷、以及含氫尾氣，配備有兩套 PSA 氫氣純化設備。

(2) Pre-commercial demonstration of high-efficiency, low-cost warm Syngas cleanup technology for chemical, fuel and power applications

RTI 公司介紹他們針對合成氣脫硫所研發的製程 “Warm Syngas Desulfurization Process”，首先在 250-600°C 下將含硫化合物與 ZnO 反應，生成的 ZnS 再經由燃燒還原為 ZnO，燃燒產物 SO₂ 再轉換為硫。這個程序的特點是利用可再生式流體化床設計，讓 ZnS 可以在再生器中還原為 ZnO 再傳送回脫硫區繼續反應。目前的實證計畫是在 Tempa Electric Co. 進行，用於將煤氣化所得的合成氣脫硫，脫硫效率達 99.7-99.9%，現今操作時間超過 1500 小時 ZnO 皆無活性衰退現象發生，預計在 2016 年要達到超過 5000 小時的測試。

(3) Clariant Syngas Production and Conversion Catalysts

Clariant 公司的 Stefan Gebert 博士介紹合成氣(CO+H₂)的重要性，合成氣可以視為一個生產其它化學品的萬用平台，合成氣可以轉化為燃料(Fisher Tropsch 反應)、合成天然氣(SNG)、甲醇、氨，並且經過純化後的氫氣在煉油廠的加氫相關程序(如加氫脫硫、加氫裂解…等)的應用極其重要，甚至隨著燃料電池的發展，氫氣更是不可或缺的進料。

另外，經合成氣轉化的甲醇也是轉化為其他化學物質的重要中間物，丙烯、烯烴、汽油、芳香族化合物、其它高碳數醇類、乙醛、醋酸、甲基胺、醋酸乙烯酯、甲基丙烯酸甲酯、甲硫醇、二甲基亞砷…等，都可以藉由甲醇來生產。近年來大陸煤化學的興起，也是因為可以經由煤氣化生成合成氣再將合成氣轉為甲醇後，可以再製得其它化學品，包括汽油以及石化原料如丙烯，這樣就可以擺脫對原油的依賴。在中國大陸甲醇的生產量於 2015 年達到 65.4 百萬公噸，到 2020 年估計年產量為 84.8 百萬公噸。由於美國頁岩氣的成功開採，甲醇的年產量也激增(藉由甲烷轉化為合成氣再轉化為甲醇)，2015 年達到 13.8 百萬公噸，到 2020 年估計年產量為 28 百萬公噸。這也就是所謂“甲醇經濟”。

Clariant 公司對生產合成氣使用的觸媒投入相當多的研發，觸媒種類完備，並且也提供不同合成氣應用端所需的觸媒。

2-1. Session: Engineering Services

(1) Catalyst loading techniques for optimized reactor performance

Clariant 公司的 R. Scott Osborne 介紹觸媒填充均勻度對整體反應安全性與

經濟效益的影響，並以實際案例說明四種不同觸媒充填方法得到的結果來證實 Clariant 公司的新型填充方法為較好的選擇。當觸媒填充密度不均勻或是各層填充高度不對時會造成反應管內局部流率偏低，尤其當進行氧化反應時會導致反應管溫度過高而有溫度不受控制的危險，當然反應管在這不正常的溫度操作下也容易毀損；另外，前述問題發生時，輕則產率降低、副產品增多，重則造成反應停工進行維修，總之都對公司營運造成負面效應。

R. Scott Osborne 以生產鄰苯二甲酐為例說明 Clariant 公司的新型填充方法的優點。鄰苯二甲酐是由鄰-二甲苯與氧氣反應而得，為一高度放熱反應。反應時氧化過量則形成一氧化碳與二氧化碳，產率降低；氧化程度不夠又會形成其它副產品。在實際運作時反應管填充四種觸媒，反應器內的反應管高達 25,000 隻，因此在觸媒填充時對於填充密度以及各層填充高度的均一性十分注重。有四種填充方式被拿來做比較：(1)使用 loading template、(2)使用 loading screen、(3)使用 loading machine、(4)使用 loading screen/template (Clariant 的新型填充方法)。圖 1 為實際充填工具。實際驗證發現，利用第四種充填方法可以得到最佳的壓降分佈，各反應管壓降與平均壓降差異維持在 -5~4%之間，但是其他三種方法則至少有 -6~8%的壓降差異，可見 Clariant 的新型填充方法的優勢。

(1) loading template



(2) loading screen



(3) loading machine



(4) loading screen/template (Clariant 的新型填充方法)



圖 1. 四種觸媒充填工具

(2) Maximizing Plant Profitability Through the Use of Advances Catalyst and Process Simulation

Michael Balakos 介紹 Clariant 公司的觸媒反應器模擬(catalytic reactor modeling)技術，這模擬技術在 Clariant 公司已經發展與應用超過 40 年，應用在：(1)新式觸媒與反應器設計的效能估算、(2)數據調合(data reconciliation)、(3)觸媒於反應器裝填量的估算、(4)疑難排解(trouble shooting)、(5)估計使用中觸媒的壽命、(6)觸媒最適化。他並提出兩個實際案例來說明 Clariant 公司的觸媒反應器模擬技術的實用價值，一為解決生產甲醇時如何提高二氧化碳進料量才可增加甲醇產量(可提升 2.8%的產量)，另一為選用適當觸媒提高苯乙烯的產能(每 m³ 觸媒得到 37,000 USD 生產利益)。

2-2. Session: Fuel & Innovation

(1) 2G Biorefineries: Biomass Conversion Technologies are Ready for Industrial Deployment

Beta Renewables 公司利用“PROESA Technology”製程生產纖維素酒精，流程是將生質物進行預處理以及減黏，再利用水解與發酵得到酒精。在 2009-2010 年已經完成每天一噸產量的試驗工廠測試，一直到 2015 年都有相關計畫在執行。這製程的好處是可以利用不同種類的生質物做料源、以連續式設備設計容易放大生產規模、具有最低的設備與操作成本。除了生產酒精之外，這製程下一步先要發展為可以生產化學物質如 lactic acid、succinic acid、正丁醇、乙二醇以及 butanediol，以及未來要產製壓克力酸、綠色柴油與綠色汽油。

(2) Clariant sunliquid® process: Cellulosic biorefinery key technology features, applications and economics

Clariant 針對第二代生質酒精(纖維酒精)研發出生產成本可以跟第一代生質酒精相競爭的程序，稱為“sunliquid Technology”。此製程的競爭力來至於針對第二代生質酒精的傳統生產程序做出以下革新：(1)生質物前處理不使用化學品而是使用熱來進行，而熱源來自固態副產物的木質素(lignin)、(2)水解使用高糖產率的特定酵素，此酵素是現地使用生質物做營養源培育而得、(3)使用高乙醇產率的專利酵母，以及可以在同一反應器內對五碳糖與六碳糖進行發酵、(4)使用已經完

整建立的設備因此規模放大 (scale-up) 的風險低。此製程在 2006 年開始進行研發，2009 年進行 pilot plant 測試，產量是每年一公噸；2012 年進行 demo plant 測試，產量為每年 1000 公噸；2014 年時將生產的乙醇做成 E 20 酒精汽油並提供賓士車廠測試，最後在 2014 年完成商業化生產工廠的程序設計。

此程序得到的纖維酒精可以先轉化為乙烯，乙烯再轉化為其他化學品如環氧乙烷、乙二醇、乙醇胺 (ethanolamines)，纖維酒精的後續應用是使用另一家公司 Scientific Design 的 “Catalytic C2-Technology” 製程來進行。

(3) Building with Natural Gas

Siluria 公司首席執行官 Edward Dineen 介紹該公司的技術主軸與發展現況。Siluria 公司兩大技術為：(1) 甲烷氧化偶合 (Oxidative Coupling of Methane, OCM) 生產乙烯、(2) 乙烯-液體轉化 (Ethylene to Liquids, ETL)，所謂的甲烷氧化偶合指將甲烷與氧氣反應得到乙烯，而乙烯-液體轉化是指將稀薄乙烯轉化為運輸用燃料，如汽油、柴油、芳香族化合物等。該公司研發上述兩種製程使用的觸媒，可以將天然氣直接轉化為乙烯與汽油等高值產品，在轉化率、選擇性、活性、操做條件、觸媒壽命等特性上都比其他廠商觸媒有優勢。Siluria 在舊金山的總部進行研發與工程面的工作，並已完成三年 pilot 等級的 OCM 乙烯生產。Siluria 在 Hayward 進行 pilot 等級運轉測試，包含利用 ETL 製程生產汽油已超過一年半的時間，而 OCM 製程的 pilot plant 測試已運轉超過三年，另外在此也有商業化生產觸媒的設備並可以進行觸媒壽命測試。最後在德州 La Porte 已經完成 OCM 製程的 Demo 等級設備運轉測試。

Siluria 公司在 OCM 技術與 ETL 技術分別跟 Linde 與 AMEC Foster Wheeler 兩家公司有合作計畫。在 2015 年底起 Linde 公司將開始使用 Siluria 的 OCM 技術以進行全球性乙烯生產技術許可的先期行銷。

3-1. Session: Energy of the Future

(1) Power-to-Liquids with Reversible Electrolysis - A Game-changer for Renewable Energy Systems

Sunfire 公司介紹利用可逆式固態氧化物電池 (reversible solid oxide cell,

rSOC)進行 power-to-liquids 程序。rSOC 是結合固態氧化物燃料電池(SOFC)與固態氧化物電解器(SOEC)的裝置，亦即可同時當做 SOFC 或 SOEC 來使用。而所謂的 power-to-liquids 程序是指將電力(可來自再生能源如太陽能發電)通入 rSOC，同時通入水與二氧化碳，即可進行電解產生氫氣與一氧化碳(即合成氣)，此合成氣再進行 Fischer-Tropsch 反應得到所謂的“Blue Crude”，此 Blue Crude 經由蒸餾可以得到性質類似柴油的燃料(見圖 2)，這整個過程就稱為 power-to-liquids (或是 power-to-fuel)。當然此合成氣也可以經由一般的電解水產生氫氣，在配合 CO₂ 一起進行逆水氣轉移反應(RWGS)而得。Clariant 公司提供 Sunfire 公司 RWGS 與 Fischer-Tropsch 觸媒，並協助其進行實驗。

CHARACTERISTICS	DIESEL (EN590)	SUNFIRE FIRST DISTILLATE
GRAVIMETRIC DENSITY	820 ... 840 kg/m ³	780 kg/m ³
LHV	42.5 MJ/kg	44.71 MJ/kg
ENERGY DENSITY	34.9 ... 35.7 MJ/L	34.9 MJ/L
CETANE NUMBER	> 51	65 ... 76

*Preliminary Analysis from Petrolab/Speyer

圖 2. Sunfire 燃料與柴油的特性比較

這個 power-to-liquids 程序由 Sunfire 與 Lufthansa、Audi、以及德國聯邦教育研究部(Federal Ministry of Education and Research)在 2014 年 11 月啟動合作開發案，在今年 4 月 24 日把一公升的燃料提交給德國聯邦教育研究部做為成果實證，此燃料經 Audi 車廠驗證為環境友善產品。很明顯地，此程序不僅可利用再生能源產生的電力，也同時利用 CO₂，是一個相當環保的程序。Sunfire 公司表示此程序由電到燃料的轉換效率是 70%。

(2) Role of Hydrogenation in Clean Fuels Manufacturing

Naste Jacobs 是一家由 Naste Oil 與 Jacobs Engineering 合組的公司(股份各佔 60%與 40%)，在 Porvoo 有一個複合型石化廠，包括石油煉製與生產石化產品，有超過 50 年經驗。氫氣在煉油廠或石化廠都是相當重要的原料，一般主要用在加氫

脫硫(HDS)、加氫脫氮(HDN)、加氫裂解(HC)，Naste Jacobs 在 Porvoo 有一個 2006 年新建的氫氣工廠，產氫量為 14 公噸/小時(約為中油高廠氫氣工廠的 3 倍)。Naste Jacobs 公司利用氫氣進行 HDA (加氫脫芳香族化合物)製程、得到 HVO(加氫處理植物油，做為生質柴油)、以及生產異辛烷(iso-octane)。

生產異辛烷是這次演講的主題，它是利用異丁烯生成異辛烯(iso-octene)，再對異辛烯進行加氫飽合得到異辛烷。異辛烷的用途是要取代甲基第三丁基醚(MTBE)，其對環境較為友善；由於在美國加州禁止使用 MTBE 做為燃料添加劑，此外加拿大的 Alberta Envirofuels (AEF)公司需要生產異辛烷技術的驅動下，Naste Jacobs 開始研發生產異辛烷的製程，目前“NexOCTANE”已是一個商業化的製程。

(3) An Alternative for Liquid Fuel Production: ExxonMobil' s Methanol to Gasoline (MTG) Technology

ExxonMobil 公司發展甲醇製備汽油(MTG)製程，甲醇是利用合成氣來生產，而合成氣可以來自甲烷重組或是煤氣化。ExxonMobil 公司在 MTG 製程有相當多的商業化實績，其中在紐西蘭的 MTG 工廠自 1985 年啟用至 1997 年停用，有超過七年的時間產能維持在設計最大值的 96%以上，此 MTG 工廠採用固定床反應器，為全球第一座由氣體轉換為液體燃料的工廠。另外，世界第一座使用 MTG 製程的煤製液體燃料(coal-to-liquids)工廠是由中國大陸的山西晉城無煙煤礦業集團在 2009 年所投資興建(甲醇製備汽油是採用 ExxonMobil 公司的 MTG 製程)，日產 2,500 桶汽油；到了 2011 年該公司在山西省又要興建第二座相同製程的工廠，這次的汽油產量變成十倍來到日產 25,000 桶。總之，現在有六個廠家但共七座廠採用 ExxonMobil 公司 MTG 製程。此外，2015 年六月起，Air Liquid 也與 ExxonMobil 公司合作向全球推廣所謂的 gas-to-gasoline 技術(G2G™)，即採用 Air Liquid 的天然氣生產甲醇製程(Lurgi MegaMethanol™)再配合 ExxonMobil 公司的 MTG 製程將甲醇轉化為汽油。

ExxonMobil 現在開發把 MTG 製程的固定床反應器轉為使用流體化床反應器，此計畫由其下的 ExxonMobil Research and Engineering Company (EMRE)公司提供觸媒，結合中國大陸的中石化煉化工程公司(Sinopec Engineering (Group) Co., Ltd.)的流體化床技術來共同合作進行。現在以流體化床為反應器的 MTG 製程已經到了每天生產 100 桶汽油的驗證工廠等級。

(4) GTL Cost Reduction Using Advanced Process Intensification

Southern Research (SR)成立於 1941 年，為一非營利科學研發中心，總部在美國阿拉巴馬州的柏明罕(Birmingham)，研究部門包括工程(engineering)、能源與環境(energy and environment)、藥物發現(drug discovery)、藥物發展(drug development)，共有 500 位員工，服務對象包含政府單位與私人公司。

SR 此次介紹的是如何利用製程強化方法來降低 XTL 製程的成本，所謂 XTL 製程指先將煤或生質物進行氣化，再把產物導入自熱重組反應器(ATR)藉以把殘留的碳氫化合物充分轉化為合成氣，再將合成氣通入 Fischer-Tropsch (FT)反應器得到 C5-C20 的碳氫化合物。SR 的製程強化方法有三個：(1)ATR 反應器使用 microlith 型耐高硫含量觸媒、(2)FT 反應器選用 Chevron 的高活性與高 C5-C20 選擇性觸媒、(3)將觸媒鑲嵌在銅纖維以及採用新型熱交換器。第一個方法可以提高質傳與熱傳速率、降低觸媒使用量、提高觸媒表面積、降低壓降；第二個方法可以提高碳氫化合物產率、提高 C5-C20 液態碳氫化合物選擇率(>74%)、有效避免生成固態蠟以及甲烷；第三個方法可以提高熱傳效率而避免使用較複雜的 slurry 反應器，並在改採用固定床反應器下可達到近乎恆溫的反應條件。目前第一項方法在含 35ppm H₂S 進料下測試，觸媒穩定度超過 200 小時；第二與第三個方法已測試 300 小時都無觸媒失活現象發生。目前測試規模都在實驗室或 bench 等級。

(5) Transforming Power Infrastructure for the 21st Century

Bloomenergy 公司的 Asim Hussain 介紹該公司對未來電力生產的策略，Bloomenergy 期望建立以固態氧化物燃料電池(SOFC)為主的分散式發電模式，好處是：(1)可以避免傳統集中式電網供電無預警中止或因天然災害造成的停電、(2)可以減少二氧化碳的排放、(3)有機會比傳統集中式電網供電便宜。關於第一點提到的優勢是因為，SOFC 做為分散式發電將不需要電網做長途的輸配電，加上因為 SOFC 是利用氫氣與一氧化碳(天然氣經重組的產物)做為陽極進料以及空氣做為陰極進料，經電化學反應而發電，因此只要有天然氣就可以發電，相對不受天然災害影響。關於第二點，使用天然氣的 SOFC 發電的二氧化碳排放量將只有傳統集中式發電的二氧化碳排放量的一半，此外 SO_x、NO_x、以及煙霧粒子的排放也相對較少。雖然現在 SOFC 分散式發電的售電成本(0.125 美元/一度電)比美國平均電價高(0.105 美元/一度電)，但因集中式發電成本將越來越高，因此可預期往後 SOFC 分散式售電價格將

低於傳統集中式電網售電價格。

現今 Bloomenergy 公司已經完成總計大於 160MW 的分散式供電量，採用的客戶包含 AT&T、APPLE、Coca Cola、YAHOO、FedEx、IKEA、ebay、Morgan Stanley、Walmart、NOKIA…等各大知名公司。

(6) A new frontier for mercury removal

Petronas Research Sdn Bhd 隸屬於馬來西亞石油公司，該公司與 Clariant 合作研發脫汞吸附劑，研發此脫汞吸附劑是鑑於汞存在天然氣、液態碳氫化合物中，因此很容易與鋁金屬反應而使鋁製品脆化，當然汞也容易使觸媒失活，並且造成人體健康危害。汞對工安危害最明顯例子發生在 1973 年阿爾及利亞的一家液化天然氣廠，由於鋁製熱交換器的鋁長期與汞反應而造成熱交換器破裂，釀成 27 人喪生以及 10 億美元的損失。一般石化廠使用的氣體其汞含量要低於 0.0001 mg/立方米，液體則要低於 1-5 mg/kg。Petronas Research Sdn Bhd 的脫汞吸附劑以離子液體為脫汞活性成分，相較於其他市售的產品（主要以硫化物為脫汞活性成分）其能忍受更高的進料汞含量，對高碳數的碳氫化合物忍受度較高，最重要的是在相同使用條件下其使用壽命時間較長，此脫汞吸附劑已於 2012 年商業化量產販售。

二. 參訪 BASF Battery Materials-Ovonic 公司

2-1. Solid Hydrogen Storage Application

上午趙博士介紹他於 Ovonic Hydrogen System LLC 公司任職時對儲氫系統的研究成果，同時參與討論的有 BASF Battery Materials-Ovonic 公司其他研發人員(見圖 3)。Ovonic Hydrogen System LLC 公司儲氫罐的儲氫材料金屬氫化物(metal hydride)為 AB₂ 型或鎂合金氫化物[1]，圖 4 所示為儲氫量 20 與 80 公克的小型儲氫罐[4]，充氫壓力 250psi，在相同容積下儲氫罐的儲氫量是 2400psi 高壓氣體罐儲氫量的 4 倍[4]。在 2002、2004、2005 年，Ovonic Hydrogen System LLC 公司分別推出改良自 Toyota Prius Hybrid 汽車的新型氫氣內燃機 Hybrid 汽車(另一動力來源為 NiMH 電池)，新型氫氣內燃機 Hybrid 汽車分為將儲氫罐放置在後車廂(2002 年)以及底盤(2004 年與 2005 年)等兩種款式(見圖 5)[3]，圖 6 為 2002 年款的動力配置說明[5]。此氫氣內燃機 Hybrid 汽車可使排放廢氣中的 CO 與 CO₂ 大大地減少，2005 年款氫氣內燃機 Hybrid 汽車與傳統汽油車相比，CO 與 CO₂ 排放量分別由 0.368 降至 0.002 以及 176.5 降至 1.6(單位皆為公克/英哩)[3]。2005 年款的氫氣內燃機汽車搭載的兩個儲氫罐合計儲氫量達 3.5Kg，可以行駛約 200 英哩(320 公里)[2,3]。



圖 3. 參與討論的 BASF-Ovonic 研發人員



圖 4. Ovonic Hydrogen System LLC 公司不同儲氫量的儲氫罐

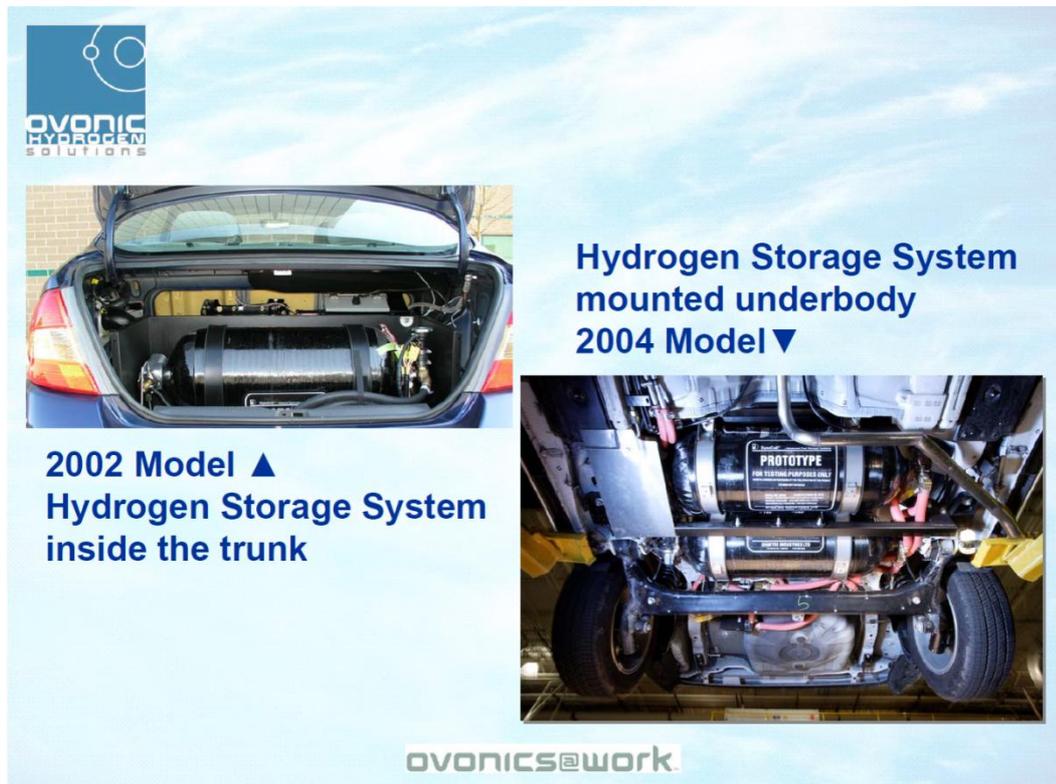


圖 5. 氫氣內燃機 Hybrid 汽車分為儲氫罐放置在後車廂(2002 年款)以及底盤(2004 年款)等兩種款式

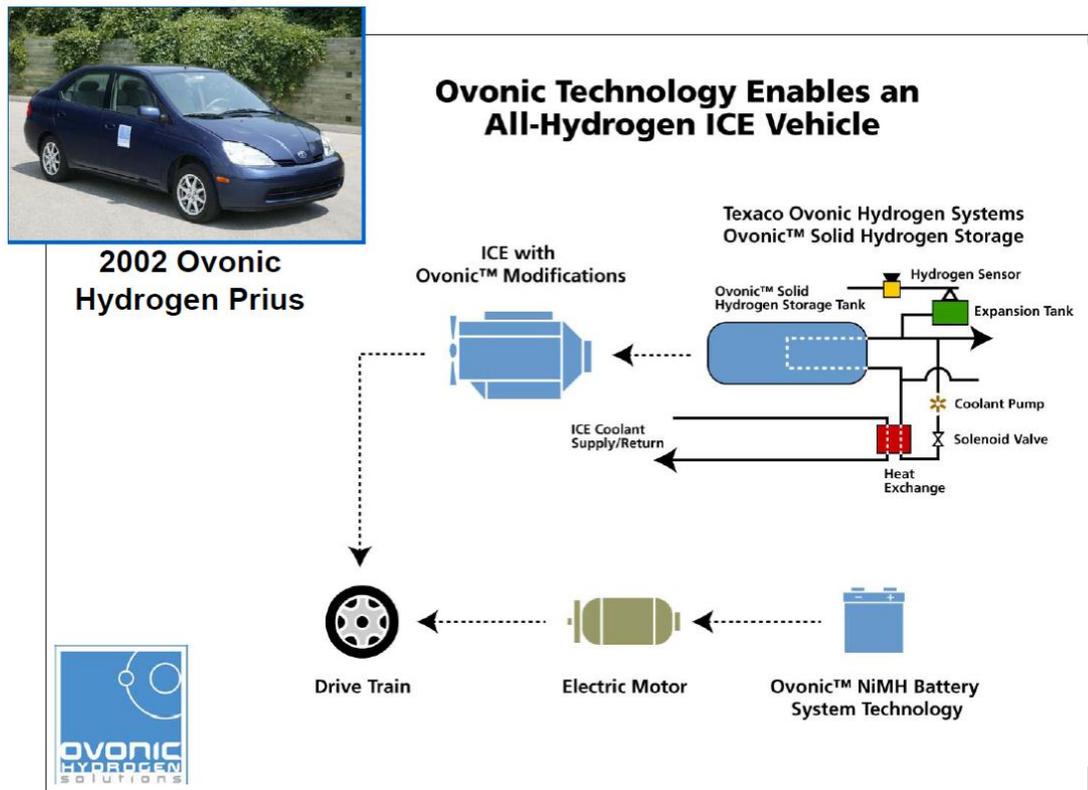


圖 6. 2002 年款氫氣內燃機 Hybrid 汽車的動力配置說明

儲氫罐除了應用在移動載具如汽車、叉車之外，也可以應用在做為可攜式產品的電源，例如照相機、醫療器材、教育器材、緊急電源、軍事設備等(見圖 7)[3]。



圖 7. 儲氫罐應用在可攜式產品的電源供應

趙博士研發團隊為了研究儲氫材料吸放氫特性，除了自己設計吸放氫測試機台外，並協助其它廠商開發 PCT 吸放氫測試設備(見圖 8)。



圖 8. PCT 吸放氫測試設備

2-2. NiMH Battery Application

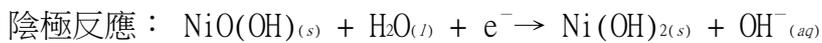
下午由楊博士介紹 BASF Battery Materials-Ovonic 公司的電池材料開發成果與方向。Ovonic Battery Company, Inc. (OBC) 原是美國 Energy Conversion Devices (ECD)公司的子公司，為現今鎳氫電池 (Nickel-metal Hydride Battery) 技術的發明者。德商 BASF 公司在 2012 年以五千八百萬美金收購 OBC 並成立 BASF Battery Materials-Ovonic 公司[6-7]。

鎳氫電池電壓為 1.2 伏特，具低記憶效應與高自放電 (Self-discharge) 特性，可在一小時內完成再充電，內阻較低，一般可進行 500 次至 1000 次的充放電循環。此外，鎳氫電池可在低溫(-20°C)下運作，也因為鎳氫電池不含鎘，並且無鎘重金屬污染之虞，被譽為最環保的電池[8]。

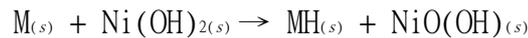
鎳氫電池的縮寫為 NiMH，以儲氫合金為陽極(負極)，而陰極(正極)為氫氧化亞鎳(Nickel oxyhydroxide, NiO(OH))。此儲氫合金可吸收高達本身體積 100 倍的氫，儲存能力極強。鎳氫電池中的「M」實際上是指介金屬化合物 (Intermetallic

compound, IMC)，許多種類的介金屬化合物都已被運用在鎳氫電池負極材料的製造，它們主要分為兩大類，最常見的是 AB₅ 一類，A 是稀土元素(Rare earth element)，包括：鐳(La)、鈰(Ce)、鐳(Pr)、鈷(Nd)的混合物，B 則是鎳(Ni)、鈷(Co)、錳(Mn)、鋁(Al)；另一大類主要由 AB₂ 構成，這裏的 A 則是鈦(Ti)或釩(V)，B 則是鋯(Zr)或鎳(Ni)，再加上一些鉻(Cr)、鈷(Co)、鐵(Fe)和錳(Mn)。所有這些儲氫合金可以反應形成金屬氫化物(Metal hydride)，也可進行逆反應還原回金屬 [8,9]。

鎳氫電池的放電反應式如下：



另外，充電反應式與放電反應式相反，總反應如下所示：



ECD 公司對 Metal Hydride 的發展策略就是應用在儲氫罐做為儲氫材料以及做為鎳氫電池的負極材料，差異之處在於儲氫罐應用是與氫氣結合做儲/放氫的動作，做為負極材料則是藉由氫在電極材料間傳遞/結合而完成充/放電程序[5]。

BASF Battery Materials-Ovonic 公司現在的研發與營業重點分為六項：(1)鋰離子電池的 NCM (Ni-Co-Mn)正極材料開發、(2)鋰離子電池的 LFP(LiFePO₄)正極材料開發、(3)電解質開發、(4)鎳氫電池的 licensing、(5)全球電池 R&D 應用服務、(6)材料最適系統研發。由此可知，雖然 BASF Battery Materials-Ovonic 公司以鎳氫電池聞名，但也進行鋰離子電池(Li-ion battery)相關電極材料的研究。BASF Battery Materials-Ovonic 公司非常歡迎跟我方進行交流合作，也帶本人進去實驗室介紹它們的研發設備，包含電極材料製備與測試、鈕扣型與長條型等單電池的組裝與測試、以及套裝式電池模組的組裝與測試，製程與檢測設備相當完整，但礙於機密並未拍照。

參、心得及建議

此次出國心得分兩部分說明，第一部分為研討會議程，第二部分為公司參訪。

一. 由這次聆聽研討會議程內容可以將其研究目的歸類如下:

(1) 進料多樣性

為避免採單一進料容易因原物料價格與供應量波動而使生產成本增加，採用多元進料已成為共識，例如乙烯生產除了以傳統的石油腦為裂解進料之外，乙烷、LPG、製氣油、煉製尾氣也成了裂解爐的進料選項。

(2) 製程多樣化

煤化學產烯烴（如乙烯）、天然氣（甲烷）產乙烯、以及以生質物作為進料的生物精煉生產乙烯也漸被推廣採用。

(3) 觸媒相關技術服務

例如 Clariant 公司提供包括觸媒充填以及觸媒反應器模擬等技術服務。

(4) 發展燃料生產技術

汽柴油生產方式越加多元化，如天然氣轉製乙烯再轉製汽柴油、天然氣轉製甲醇再轉製汽油、煤轉製甲醇再轉製汽油、利用再生能源發電配合高溫電解產合成氣再轉製柴油。

(5) 氫氣/合成氣

氫氣是化工程序的重要原料，合成氣更是如同瑞士刀一樣具有種多種功能可以製備多種化工重要原料，因此氫氣/合成氣的生產方式與應用也成為重要議題。

二. 公司參訪

BASF Battery Materials-Ovonix 公司在鎳氫電池市場具有相當的指標性，連 Toyota 都要詢問其對未來鎳氫電池的發展藍圖，因為 Toyota 的 Hybrid 汽車 (Prius)採用的電池動力就是鎳氫電池，即便是造成轟動的氫燃料電池車 “Mirai” 的電池也是使用鎳氫電池。趙、楊兩位博士聽聞台灣中油對氫能研究投注相當心力感到非常開心，畢竟美國自從 2008 年之後對氫能研究投注的經費就相對減少，但隨著日本對氫能經濟發展的投入與注重，相信會陸續帶動全球再次對氫能研發的重視。

關於此次出國的建議為：

- (1) 很明顯地，各國廠商在提高獲利與穩定進料來源的雙重誘因驅使下，正積極開發新製程以煉製更多種類與更便宜的進料源，例如全球知名的石油公司 ExxonMobil 公司研發 MTG 製程生產汽油並已成功商業化，台灣中油公司為國內最大燃料供應商，在穩定國內供貨以及穩健獲利的目標下也應當考慮朝向這方向努力進行。
- (2) 後續台灣中油對儲氫材料以及鎳氫電池的研發與實際應用有進一步的行動，相信 BASF Battery Materials-Ovonic 公司是一個相當適當的合作/諮詢對象。
- (3) 這次出國除了收集到與中油公司和個人研究相關的重要資訊之外，能與各界人士見面結識，對後續研究工作的討論甚至合作提供重要的機會，也期望中油公司能繼續給予同仁出國參訪的機會。

參考資料

- [1] “Metal Hydride for Onboard Application” , Ovonic Hydrogen Systems LLC, Yang Li.
- [2] “Ovonic Metal Hydrides Storage System” , Nov. 2005.
- [3] “Hydrogen ICE Vehicles Powered by Ovonic Metal Hydride Storage” , 2006 Air Innovations Conference, September 6, 2006.
- [4] “Hydrogen Technology” , Benjamin Chao, August 28, 2015.
- [5] “Ovonic Metal Hydride Technologies for Photovoltaic Energy Storage Applications” , Dennis A. Corrigan, Energy Conversion Devices.
- [6] “BASF buys Ovonic Battery for \$58M as parent files for Ch. 11” , February 14, 2012 ([http://www.autonews.com/article/20120214/OEM06/120219933/basf-buys-ovonic-battery-for-\\$58m-as-parent-files-for-ch.-11](http://www.autonews.com/article/20120214/OEM06/120219933/basf-buys-ovonic-battery-for-$58m-as-parent-files-for-ch.-11)).
- [7] “BASF acquires Ovonic Battery Company, the global leader in NiMH battery technology” , February 14, 2012, (http://www.catalysts.basf.com/p02/USWeb-Internet/en_GB/content/microsites/catalysts/news/news146).
- [8] “鎳氫電池 (Nickel-metal Hydride Battery)” , 2009/07/27 (<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=5099>)
- [9] <http://www.43911.com/machine/nami/dianchi/1348056813.shtml>, 2012-09-19.