

出國報告(出國類別：其他(開會))

奈米材料及製程技術發展計畫－奈米精碳 材料研討出國報告

服務機關：國防部軍備局中山科學研究院

姓名職稱：張信評 聘用技士

派赴國家：法國

出國時間：100/10/23~100/10/29

報告日期：100/11/29

出國報告審核表

出國報告名稱：奈米材料及製程技術發展計畫－奈米精碳材料研討出國報告			
出國人姓名	職稱	服務單位	
張信評	聘用技士	國防部軍備局中山科學研究院	
參加類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 實習 <input checked="" type="checkbox"/> 其他(開會) (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)		
出國期間：100年10月23日至100年10月29日		報告繳交日期：100年11月29日	
計畫主辦機關審核意見	<input checked="" type="checkbox"/> 1. 依限繳交出國報告	計畫組	
	<input checked="" type="checkbox"/> 2. 格式完整	第五研究所 計畫組組員 楊煥煥 10012071920	第五研究所 計畫組副組長 陳彥良 10012080835
	<input checked="" type="checkbox"/> 3. 無抄襲相關出國報告	第五研究所 計畫組組長 莫文偉 10012080844	
	<input checked="" type="checkbox"/> 4. 內容充實完備		
	<input checked="" type="checkbox"/> 5. 建議具參考價值		
	<input checked="" type="checkbox"/> 6. 送本機關參考或研辦		
	<input type="checkbox"/> 7. 送上級機關參考		
	<input type="checkbox"/> 8. 退回補正，原因： <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/> 抄襲相關出國報告之全部或部分內容 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔		
	<input checked="" type="checkbox"/> 9. 本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表： <input checked="" type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會(說明會)，與同仁進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input checked="" type="checkbox"/> 其他 本報告已於12月5日辦理知識分享。		
	<input type="checkbox"/> 10. 其他處理意見及方式：報告內容不涉機敏，資訊可公開。 <small>本件報告僅為赴法國參加「奈米材料製程技術發展計畫－奈米精碳材料研討」出國報告資料，該內容屬於科學專案項目，未涉及科研或國防相關研究，非屬「國家機密保護法」及「軍事機密與國防秘密種類範圍等級劃分準則」等法規所列範疇；另報告乃依公開分發原則研擬，做為爾後研究或發展方向參考，並無包含本所實質研究內容，且尚未屬於營業秘密法等相關智慧財產權保護標的，故本案不涉機敏文件。</small>		
審核人	出國人員	初審(業管主管)	機關首長或其授權人員
	第五研究所 高濕組技士 張信評 10012061400	第五研究所 高濕組組長 程一誠 10012071000	中山科學研究院 第五研究所所長 林慶章 10012081700

說明：
 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「政府出版資料回應網公務出國報告專區」為原則。

報 告 資 料 頁			
1.報告編號： CSIPW-100Z-D0007	2.出國類別： 其他(開會)	3.完成日期： 100年11月29日	4.總頁數： 31頁
5.報告名稱：奈米材料及製程技術發展計畫－奈米精碳材料研討 出國報告			
6.核准 文號	人令文號 部令文號	100.10.11 國人管理字第 1000013983 號 100.10.04 國備科產字第 1000014273 號	
7.經 費		新台幣：117,445 元	
8.出(返)國日期		100/10/23 至 100/10/29	
9.公 差 地 點		法國	
10.公 差 機 構		法國阿卡雄	
11.附 記			

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：奈米材料及製程技術發展計畫－奈米精碳材料研討出國報告

頁數 31 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

國防部軍備局中山科學研究院第五研究所/張信評/313846

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

張信評/國防部軍備局中山科學研究院/第五研究所/聘用技士/313846

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他(開會)

出國期間：100/10/23-100/10/29 出國地區：法國

報告日期：100/11/29

分類號/目

關鍵詞：化學氣相浸入技術、碳複合材料回收技術、疊層製造法

內容摘要：(二百至三百字)

為執行經濟部委託之科技專案「奈米材料及製程技術發展計畫」(奈米精碳產品開發分項)，赴法國參加 2011 年的國際碳複合材料研討會，蒐集法國的碳複合材料發展技術，充分了解市場與技術的最新發展狀況與未來的發展趨勢，作為後續計畫執行以及應用系統開發的參考。

目 次

壹、目的.....	(9)
貳、過程.....	(9)
參、心得.....	(9)
肆、建議事項.....	(27)
附 件.....	(28)

報告名稱：奈米材料及製程技術發展計畫－奈米精碳材料研討出國報告

壹、目的

為執行經濟部委託之科技專案「奈米材料及製程技術發展計畫」(奈米精碳產品開發分項)，赴法國參加2011年的國際碳複合材料研討會，蒐集法國碳複合材料發展技術，充分了解市場與技術的最新發展狀況與未來的發展，作為後續計畫執行以及應用系統開發的參考。

貳、過程

10月23日深夜11:55搭乘長榮航空公司的飛機，由台北飛抵法國巴黎夏爾-戴高樂機場(CDG)停留3小時後，再飛往波爾多(BOD)機場後，搭乘機場巴士前往波爾多車站，再由波爾多車站搭乘快捷抵達阿卡雄(Arcachon)，由於阿卡雄靠近南歐地區，距離西班牙不遠之處，與台灣相差正好6小時，抵達阿卡雄旅館已經是下午2點左右，前往會議現場辦理註冊手續後，隨後因時差的關係返回旅館內稍作休息，以及閱讀研討會的議程內容。

此次會議議程僅兩天半而已，可說是相當緊湊，開完會立即得搭乘快捷回波爾多機場，隔天再搭乘清晨6:55返回巴黎。由現場參與研討會的人員，得知並沒有任何華人參與此次會議，然而參與此次會議人數約略150~200位之間，幾乎來自於法國、德國兩地居多，其中一大部分人員都是來自於亞利安火箭(Ariane)¹ 相關協力廠商與配合的學術單位。

參、心得

今年是第三屆國際碳複合材料研討會(International Carbon Composites Conference, IC3)，每隔兩年固定在法國阿卡雄舉辦，由於阿卡雄位於波爾多(阿基坦省)與土魯斯(南庇里牛斯省)附近區域，它是一座靠海的小城市，以生蠔為主要輸出產品。其中最值得一提的是土魯斯(Toulouse)這個區域，它位於法國西南部加龍河畔，大致處於大西洋和地中海之間的中點，是法國第四大城市，同時它也是歐洲太空產業的基地，空中巴士、伽利略定位系統、SPOT衛星的總部，歐洲最大的太空中心—法國國家太空研究中心的土魯斯太空中心(CST)便設在此地。由於土魯斯一帶航空工業組成世界知名航空谷(aerospace valley)，大約 55,000 名工作

人員和超過 1000 家機構參與各項計畫，包括航空工業各個領域與工藝，例如：航空電子、合成材料、鑄造、精確機械維護、表面處理、機載電子設備、佈線、冷卻系統、內部佈置、工程學、設計與施工、組裝與粘合等。因此土魯斯的航空谷為法國航太及衛星定位系統之聚落。另外還擁有 8,500 名從業人員在進行公共和私人研究，超過 80 個公立的專業研究中心，包括航空與航太的 6 所大學與 12 所培育工程師的學校。因此出席此次會議的人士，勢必都是德法兩國航空與航太相關領域的精英與學者。

此次研討會並非著重基礎科學研究，而是碳複合材料實際應用之最新的發展趨勢，因此研討會程議圍繞著碳纖維未來發展、環境議題、奈米複合材料趨勢與碳纖維可能的替代等問題，以及致力解決終端客戶對高性能碳材需求與應用，針對目前正在發展的工程進行討論，如何使得碳複合材料產品可以達到市場一定的水平發展。

研討會議程總共安排了 50 個口頭(oral)簡報，以及現場有兩家公司的產品展示說明。其中每一個口頭簡報約 20 分鐘，以技術主題被區分成幾大類，有效的製造(efficient manufacturing)、奈米碳管與奈米複材(carbon nanotubes & nanocomposites)、高性能應用(high performance applications)、設計與模擬(design & simulation)、特徵與分類(characterization & classification)與回收科技(recycling technologies)。研討會議程(如圖一所示)，並且安排每天上下午有全體出席的會議(plenary session)，如表一所示。

表一 全體出席的演講的名單

日期	單位 / 姓名	演講內容
10/25	法國 SOFICAR / Guy Dupupet	碳纖維的概況
	法國 Snecma Propulsion Solide / Michel Bourgeon	奈米碳管與奈米複材輸出的概況
	法國 Enscbp / cedric Le Coz	彈性體基奈米複合材料
	法國 Canoe / Celia Mercader	多功能複材纖維之奈米碳管的連續紡絲
	法國 Mmac Elastomeres / Cedric Bissuel	彈性體在奈米濾材之工業合成
	法國 Arkema / Patrick Delprat	奈米碳管使用對複合材料之電荷傳輸

10/26	法國 THINK composites / Thierry Massard	使用薄板不捲曲織物於新建築材料上
	法國 Universite reims champagne Ardennes / Xavier Coqueret	生質基質:再生碳,綠色化學,高性能之發展路程圖
10/27	印度 IIT Madras / Bruce Maxfield	附著黏合之新實驗於超音波水平切變導波之探討
	法國 Astrium Space Transpiration / Brigitte Defoort	BOOST-TP 一個等級高性能熱塑複材結構
	葡萄牙 INEGI / Celeste Pereira	歐洲高性能碳纖維之策略需要

Day 1 October 25 th		Plenary Session - 6 Chairman: D. LANG, J. GOMEZ	
0900-0930	Registration	14000-14030	Bio-based Composites: Defining a Roadmap Passing by Renewable Carbon, Green Chemistry and High Performance Xavier COQUERET Universite Reims Champagne Ardennes - FRANCE
Opening Session		Recycling - 1 Technologies Chairman: D. LANG, J. GOMEZ	
0900-0915	Welcome Address Jean-Luc MACRET ASTECH - FRANCE	Design & Simulation - 2 Chairman: P. LADEVEZE, A. de ROUVRAY	
Introduction Keynotes		14020-14040	A Second Life for CFRPs - Recycling Composites by Solvolysis Mathieu SCHWANDER Composites - FRANCE
0915-0930	Aerospace Valley, Competitvity Cluster Benoit MAILLARD, President Grand Regional Aquitaine R.M.	14040-15000	A Comparative Study between Conventional Pyrolysis and Steam-Thermolysis for Recycling CFRP Waste Shengyue YE Tsinghua Univ of Beijing - FRANCE
Plenary Session - 1 Chairman: Y. GUILLOU, M. BOURDEON		15000-15030	Recycling Process by Solvolysis Using Supercritical Fluids, and Reuse of Carbon composites - RECOO approach Christophe MAGRO RECOO-Guyane - FRANCE
0905-1030	Overview of Carbon Fibres Guy DUPURET SOLKEM - FRANCE	15020-15040	CFCC: Modeling of the Elastic Response and Structural Optimization Romain PIAT Aerotech Institut de Technologie - Germany
1030-1035	PROGRESS: Overview of Outputs in 3D and Nano-composites Michel BOURDEON Sneema Propulsion Solide - FRANCE	COFFEE BREAK	
1035-1130	Elastomer-Based Nanocomposites Claire LE COZ ASTEP - FRANCE	Recycling - 2 Market view Chairman: G. DUPURET, J.L. MACRET	
1130-1130	COFFEE BREAK	Design & Simulation - 3 Chairman: B. TROLET, M. IGUCHI	
Efficient Manufacturing - 1 Chairman: P. BRIANT, P. CHINESTA		16010-16030	Global Overview of Carbon Fiber Recycling and Reuse Frank GLOWIAK EBC - FRANCE
1140-1200	Experimental Analysis of Process / Properties Link for Carbon/Fiber Thick Composite Obtained by Injection Gilles CAZAUZANG MTP Toulouse 1 - FRANCE	16030-16050	Design for Recycling of Carbon Thermoset Composites: Connection between Recyclers and Designers through Experts in Material Characterization Nicolas PEREY Aerotech de Toulouse - FRANCE
1200-1230	Automated Production of Binder-Preforms at the ITA-Preformer Josef KLINGELE Institute for Textile and Fiber Technology (ITF) - GERMANY	Round Table - Design Methods & Tools Moderator: Thierry MASSARD	
1230-1230	Thermal Aging of a Composite Mold Damien GUILLOU ASTEC - FRANCE	16050-16300	View LADEVEZE Mohamed KHACHOU Mohamed AL HAMDY Alain de ROUVRAY Vincent GOMEZ MOLINERO Andreas RITTMER Diter GODEIRA DESGEOORGES
1240-1300	Mesoscopic Simulations of Residual Stress Induced by the Curing Process of Composites Hoshy ROSKHN University of Beersheva - ISRAEL	LMF - EMS Cochran Ecole Centrale Lyon UTC Compiègne EBC EADS CASA Espacio Astrium EADS IW	
1300-1430	LUNCH	Functionalized Carbon Carbon Composites as Novel Efficient Catalysts for Environmental and Green Chemistry Applications Joel BARRAULT LARCOS, University of Poitiers - FRANCE	

圖一 2011 年國際碳複合材料研討會議程表

此次的研討會全數以口頭簡報進行發表，所提供的書面資料不多，甚至有漏頁情況，然而贊助該會議的廠商有 Aerospace Valley, INNOVALIS Aquitaine, REGION Aquitaine, American Elements, ARKEMA, Astrium(EADS), Snecma Propulsion Solide (Safran Group), ASTECH 等 8 個公司。現場 2 家公司的攤位進行產品展覽與解說，分別是阿斯特利烏姆公司

(Astrium -EADS²)與斯奈格馬公司(Snecma Propulsion Solide-SAFRAN Group³)，首先阿斯特利烏姆公司(Astrium)是歐洲航太國防集團 (EADS)子公司，專門從事衛星設計與製造等工作，該公司的設備和分系統產品清單已覆蓋了飛行器電子設備、電子元件、機械和構造產品，特別是在航天應用領域，例如衛星公用平台和有效載荷領域包括太陽能發電機、高穩定結構、溫控管理系統、制導與控制系統、天線與衛星數據處理器等，截至目前為止，已有 200 多顆衛星上應用到該公司的相關產品。其次斯奈格馬公司(Snecma Propulsion Solide)是勝福集團(SAFRAN Group)子公司(圖二)，專門從事固體燃料推進技術發展的公司，從現場海報與資料得知亞利安火箭之碳/碳複合材料噴嘴乃是由該公司所提供，以及法國最新型戰略飛彈 M51 也是由該公司從事設計與製造。綜合此次研討會議內容，將有關於奈米精碳計畫執行相關的論文，總共 14 篇。



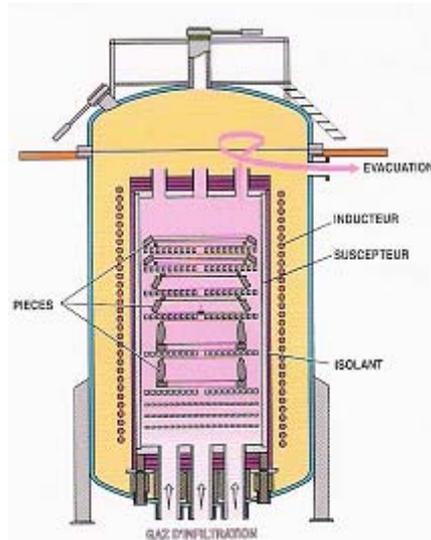
圖二 斯奈格馬公司(Snecma Propulsion Solide)現場展示攤位

1. 碳/碳複合材料技術(Carbon-Carbon Composite Technology)

斯奈格馬固體推進(Snecma propulsion solid)公司實現了碳纖維預成型體自動化成型技術，大大拓展碳/碳複合材料應用領域。以四維編織技術生產碳/碳複合材料，並以 4D®為產品商標，圖三(左)是該公司人員正在進行四維碳/碳複合材料預成型體製作，圖三(右)是該公司專利的四維編織法示意圖，可以明顯得知先將碳纖維含浸樹脂製作成硬桿，以特有的四維位置方向進行預成型體排列。另一技術是針刺法技術，首先以數層碳纖維織布(carbon fabric)配合一層碳纖維毛氈(carbon felt)，利用針軋技術在碳纖維毛氈上進行反覆地針刺動作，將毛氈上原本排列混亂的碳纖維穿刺帶入到下層碳纖維織布，藉此達到類似的三維(quasi-3D)結構體，並以 Novoltex®為產品商標，然而針刺法所製造碳/碳複合材料，目前已經使用到法國亞利安火箭發動機延伸錐、喉襯材料。該公司利用化學氣相滲入(Chemical Vapor Infiltration ; CVI)進行預成型體滲碳處理與加工，將預成型體被放置在真空環境下，通入碳源氣體(以碳氫化合物為主要來源)進行氣相碳化，爐內尺寸可以放置直徑 2.5m、高度 3m 等大型工件，並且反覆地進行滲碳、石墨化(2700°C)，讓大型碳/碳複合材料在短時間內可以達到高密度等級(>1.90 g/cm³)，圖四是該公司所使用的化學氣相滲入設備結構示意圖與圖五是該公司化學氣相滲入設備工廠現況。



圖三 該公司人員正在進行四維碳/碳複合材料預成型體製作(左)；四維編織法示意圖(右)



圖四 該公司所使用的化學氣相滲入設備結構示意圖



圖五 該公司化學氣相滲入設備工廠現況

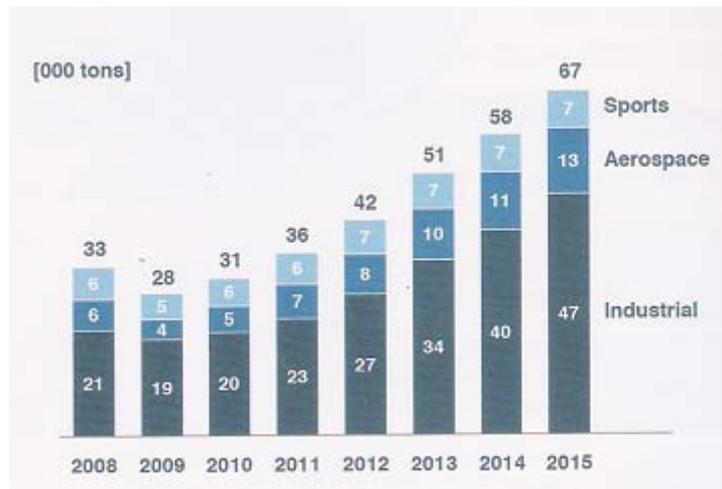
2. 碳纖維：最大的機會但許多的挑戰(great opportunities but a log of challenges)

法國 JEC 集團實地調查全球碳纖維廠商與應用狀況，圖六是 2008~2015 年全球碳纖維需求量與應用領域，指出 2010 年稱為工業應用消耗(Industrial applications -consumption)年，平均每年消耗掉約 20,000 公噸，直到 2015 年運動與娛樂領域每年應該可以達到 7,000 公噸，同一時間工業領域也將達到 47,000 公噸，全部的用途將在 2020 年達到 110,000 公噸，中期而言是風能發電的葉片需求，長期而言是汽車產業帶動整體的需求。然而碳纖維生產的能量而言，聚丙烯腈(PAN)碳纖維而言，低於 24,000 細絲(filaments)稱為小絲數(small

tows)，圖七是小絲數 PAN 碳纖維主要的生產廠商。以 2010 年 57,560 公噸與 2013 年 71,000 公噸，其中 5 家小絲數的最大生產廠商(Toray Group, TOHO Tenax Group, Mitsubishi Rayon, Formosa Plastic Group, Cytec)占整體 85%，日本公司占整體 30%，然而 2011 年 3 月震度 9 級的福島地震，並未影響日本在聚丙烯腈碳纖維生產的能量，主要是這些廠商幾乎建置在日本南部居多，其中特別的是 ASKA(土耳其)、Kemrock(印度)，分別於 2009 年與 2011 年加入聚丙烯腈(PAN)碳纖維生產，證實這些國家對聚丙烯腈碳纖維的需求大增，促使他們投入大量生產。

大於 24,000 細絲(filaments)稱為大絲數(large tow)，圖八是大絲數 PAN 碳纖維主要的生產廠商，新成員為中國藍星(Bluestar)集團，直接併購英國格力姆斯比工廠，使得中國本土廠商第一次成功切入 T300 等級以上的碳纖維，並取得相關技術與能量，未來一旦成功擴量之後，勢必影響到目前中國碳纖維的市場分布，然而中國廠商都無法突破 T300 等級大量生產，更是不計其數與難以統計。可見大絲數領域，未來將是高度成長局面。在工業應用上，大絲數碳纖維將以品質/價格比(quality/price ratio)為優先選擇條件。大小絲數碳纖維被預測從 2010 年(77,650 公噸)而 2013 年(96,000 公噸)有 24%成長。

圖九是瀝青基碳纖維主要的生產廠商，然而瀝青基(pitch-based)碳纖維有三家廠商(Nippon Graphite fiber, Mitsubishi Plastic, Cytec)，幾年前根據中碳公司人員轉述日本石墨纖維(Nippon Graphite fiber)投資百億日元於瀝青基碳纖維生產結果失敗，使得中碳公司對於相關產品發展並不感到任何興趣。此次數據證明日本石墨纖維公司眼光深遠而非短淺，該公司於 2010 年開出 2,450 公噸產能，當年度遠大於其它兩家產能。然而另一家日本大廠三菱塑膠(Mitsubishi Plastic)，則是併購原研製碳纖維的子公司—三菱氣體化學(Mitsubishi Gas Chemical)，該公司知名的瀝青基碳纖維是由萘(naphthalin)經過氟化氫(HF)與三氟化硼(BF₃)催化而合的芳香族樹脂(aromatic resin)，以 AR[®]為產品商標。Cytec 公司則以 Thorne1[®]為產品商標，市場知名 K1100 就是該公司瀝青基碳纖維最高等級的產品，該公司也是全世界唯一一家同時可以生產聚丙烯腈(PAN)與瀝青(Pitch)兩種碳纖維的公司。



圖六 2008~2015 年全球碳纖維需求量與應用領域

"Small tow" Nameplate capacities (metric tonnes) - % of total	Brand name	2009	2010	2011	2012	2013
Toray Group	Torayca	17 600	17 600	17 600	18 600	20 800
Toray, France		7 000	5 200	5 200	5 200	8 000
Soficar, France		5 200	5 200	5 200	5 200	5 200
CFA, USA		5 400	5 400	5 400	5 400	5 400
TAK, Republic of Korea		0	0	0	0	0
Toho Tenax Group	Tenax	13 500				
TTJ, Japan		6 400	6 400	6 400	6 400	6 400
TTE, Europe		5 100	5 100	5 100	5 100	5 100
TTA, USA		2 000	2 000	2 000	2 000	2 000
Mitsubishi Rayon		7 400				
Japan	Pyrofil	5 400	5 400	5 400	5 400	5 400
Grafil, USA	Grafil	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000
Formosa Plastics Group, Taiwan	Tairafil	6 150	7 450	8 750	8 750	8 750
Hexcel	HexTow	4 750	4 750	5 500	7 000	7 000
USA		4 100	4 100	4 850	6 350	6 350
Spain		650	650	650	650	650
Cytec, USA	Thornel	2 000	3 000	3 000	4 000	4 000
AKSA, Turkey	Aksaca	750	1 500	1 500	3 500	3 500
Kemrock, India		0	0	400	1 000	2 000
Total "small tow"		52 150	57 650	60 100	67 800	71 000
Output (coefficient 0.7)		36 505	40 355	60 100	67 800	71 000

圖七 小絲數 PAN 碳纖維主要的生產廠商

Large tow Nameplate capacities (metric tonnes)	Brand name	2009	2010	2011	2012	2013
Zoltek Group	Panex	13 000	13 000	13 000	13 000	13 000
Europe		8 000	8 000	8 000	8 000	8 000
USA		3 000	3 000	3 000	3 000	3 000
Mexico		2 000	2 000	2 000	2 000	2 000
SGL Group	Sigrafil	6 000	6 000	6 000	7 500	9 000
Europe		4 000	4 000	4 000	4 000	4 000
USA		2 000	2 000	2 000	3 500	5 000
Bluestar	Starafil	0	2 450	2 450	4 050	4 050
China		0	1 600	1 600	3 200	3 200
UK		0	850	850	850	850
Mitsubishi rayon, production at SGL Europe until 2010, Japan after	Pyrofil	700	700	2 700	2 700	2 700
Toray Group, Japan	Torayca	300	300	300	300	300
Total "large tow"		20 000	20 000	22 000	23 500	25 000
Output (coefficient 0.9)		18 000	18 000	19 800	21 150	22 500

圖八 大絲數 PAN 碳纖維主要的生產廠商

Pitch-based carbon fibre (metric tonnes)		2009	2010	2011	2012	2013
Nippon Graphite Fiber, Japan	Granoc	0	2 450	2 450	4 050	4 050
Mitsubishi Plastics, Japan	Dialed	1 000	1 250	1 250	1 250	1 250
Cytec, USA	Thornel	400	400	400	400	400
Total nameplate capacities		1 500	1 830	1 830	1 890	1 890

圖九 瀝青基碳纖維主要的生產廠商

3. 疊層製造法(additive layer manufacturing, ALM)

歐洲航空國防集團(EADS)發表了一款自行車(Airbike)，如圖十所示。該自行車不但外形很未來，而它的製造方式和材料也很特殊。然而早期的自行車架會使用模鑄或鍛接形成。Airbike 自行車主要是由尼龍纖維及其它塑料、金屬等先磨成精細的粉末，再依電腦程式導引，先由雷射光將預先研磨好的粉末一一熔化掉，再讓它們依照特定的形狀一層一層地被凝固起來，直到最終完成最後外觀為止，該製造工法稱為疊層製造法(additive layer manufacturing, ALM)，其原理和 3D 印刷技術非常類似，依據 EADS 人員說明，利用這種方法可以製造設計師想要的任何形狀，而且成品比傳統製造方式做出來的產品重量少了 65%，生

產過程會產生的廢材也大大減少。Airbike 是由 6 個用 ALM 法造出的不同部件零件組合而成，它的強度跟市面上的高價自行車一樣。EADS 旗下的空中巴士公司正考慮，將 ALM 技術用在輕型客機的製造，因為它可以大大減輕飛機重量與節省燃油消耗等問題。



圖十 歐洲航空研發的超堅硬尼龍自行車(Airbike)

4. 奈米碳管連續紡絲多功能複合材料纖維(continuous spinning of carbon nanotube multifunctional composite fibers)

法國 Canoe 公司 Celia Dmercader 等人發展一種新紡絲原理，來生產具備奈米複合材料結構與高奈米碳管含量的纖維。奈米碳管分散到聚乙烯醇(polyvinyl alcohol)、表面活性劑與硫酸鈉溶劑內進行凝結(coagulation)，其中表面活性劑扮演關鍵角色，是奈米碳管分散到高分子溶劑是否成為可紡絲混合物的重要因素，因為表面活性劑能夠讓奈米碳管得到較好的分散效果，同時避免在聚乙烯醇的溶劑內自行凝結，而無達成分散的效果。由於纖維內含 50% 奈米碳管，這些碳管隨著紡絲方向(x 軸)而形成順向排列(orientation)，角度誤差僅 $\pm 10^\circ$ ，纖維直徑(10~100 μm)隨著紡絲條件可以任意變化，紡絲出來的纖維之阻抗 $\sim 10\Omega\text{m}$ ，適合被運用於飛行器上的雷擊保護器或靜態電容裝置。然而，奈米碳管具備壓阻(piezoresistivity)效應性質，意思是指著纖維的電阻率易受到機械負載而影響。電阻隨著應力增加而變大，這使得奈米碳管成為感測器應用良好的候選人，於楊氏係數 40GPa 與高堅韌特性使得機械性質大有可為。

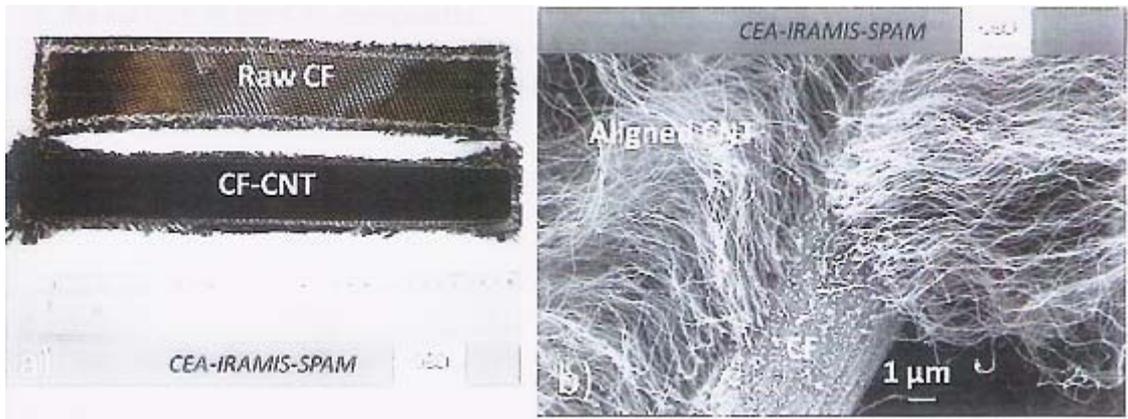
5. 多功能碳/碳複合材料(Functionalized Carbon/Carbon Composites)

斯奈格馬 (SNECMA) 公司以合成異相催化製作一種新式奈米結構碳材。於二維或三維碳/碳纖維表面覆蓋奈米碳纖維(carbon nanofiber; CNF)，使得碳/碳複合材料結合奈米碳纖維的特性與巨觀結構，允許在官能基改質(functionalization)之後存在一個複雜形狀的觸媒材料，因此許多表面改質方法被使用去產生具有觸媒活性的碳/碳複合材料，主要來自於化學官能基的建立。首先利用 soft oxidative 原理去產生含氧的官能基(oxygen-containing surface groups)，它將成為轉變的金屬離子前驅體固定的位置。在活化程序之後氧化鈾(cerium)與鈷(cobalt)奈米顆粒將被均勻分散到多功能碳/碳複合材料表面，當鈷的觸媒性質減少時，可以透過適當的氫化反應來估算，含鈷的石墨樣品相較於含觸媒的複合材料而言，增加更多的氫化產品的選擇性，這重要結果乃是強調複合材料上碳的選擇性更多。具備鈾/鈷官能基的碳/碳複合材料在空氣污染上有很大的觸媒活性，那就是臭氧的減少。新型碳/碳複合材料在許多表面官能基改質的方法在近期內被發展出來，結果證明上述材料具備異相催化的活性、選擇性與穩定性。

6. 發展最優化的注射化學氣相沉積過程與排列在碳纖維上的奈米碳管之官能基化作用 (Growth optimization by injection CVD process and Functionalization of aligned carbon nanotube on carbon fibers)

奈米碳管(CNTs)已經開啓新科技方法，尤其在航空領域去克服許多傳統複合材料限制，達到更高的性能，然而，過去這幾年來，奈米碳管在未來的商業應用上引起許多潛在健康影響，潛在風險可能主要來自於奈米碳管在處理過程中分散在空氣所造成。本團隊發展化學氣相沉積(CVD)製程允許排列整齊的奈米碳管生長在碳纖維表面，使得碳纖維能夠強化高分子基材之複合材料，進而提升碳纖維與基材之間界面性質。另外，使用奈米尺度高分子塗佈進行官能基反應作用，使得重氮鹽(Diazonium salts)可以去避免奈米碳管從碳纖維上脫落，同時也可改善奈米碳管在高分子基材上的化學穩定性。同時使用注射式化學氣相沉積(injection CVD)，先在碳纖維表面塗佈薄薄的陶瓷層，再生長上述排列整齊的奈米碳管，主要能夠優化奈米碳管均勻分散到碳纖維上，得到較大被奈米碳管覆蓋的基質(4x30cm)材料，透過不同參數調整可以控制沉積到碳纖維上的奈米碳管長度與密度變化。圖十一(左) Raw CF 是沒有塗

佈奈米碳管層之碳纖維與 CF-CNT 是有塗佈奈米碳管層之碳纖維，圖十一(右)是生長在碳纖維上排列整齊的奈米碳管之 SEM 圖。



圖十一 塗佈奈米碳管層之碳纖維(左)；生長在碳纖維上排列整齊的奈米碳管之 SEM 圖(右)

7. 碳/碳複合材料包含陶瓷奈米成分(Carbon-Carbon composites containing ceramic nanocomponet)

傳統在牙科植體中，氫氧基磷灰石鍍層已經使用在承載負荷的硬組織植體應用上，當碳/碳複合材料在氫氧基磷灰石(hydroxyapatite)型式下包含生物活性相(bioactive phase)，能夠創造出特殊生物材料於承載負荷上，使之具備良好的機械性質與生物活性(biological activity)。然而煤焦瀝青因為它的流變性質的優點，使得它成為碳/碳複合材料絕佳的前驅體，本研究主要目的是以碳/碳複合材料為基材，開發附有人乙醯肝素酶(HAP)生物活性複合材料，於是添加生物活化陶瓷成分均勻分散到液態瀝青內，使得原本毫無活化反應的碳結構體內，因而具備材料生物活性特性，因此得到人乙醯肝素酶改質碳/碳複合材料(Hap-modified C/C composite)。然而等方向性瀝青被用於製作碳纖維強化基材前驅體，氫氧基磷灰石奈米粉末被使用去改質碳基材，當碳/碳複合材料碳化到 1000°C 時，陶瓷奈米粉末出現在碳基材時，使得整體孔隙減少許多，經過機械測試發現，當添加 2% 奈米陶瓷粉末時於碳基材時，明顯增加整體材料的彎曲強度與彎曲模數。

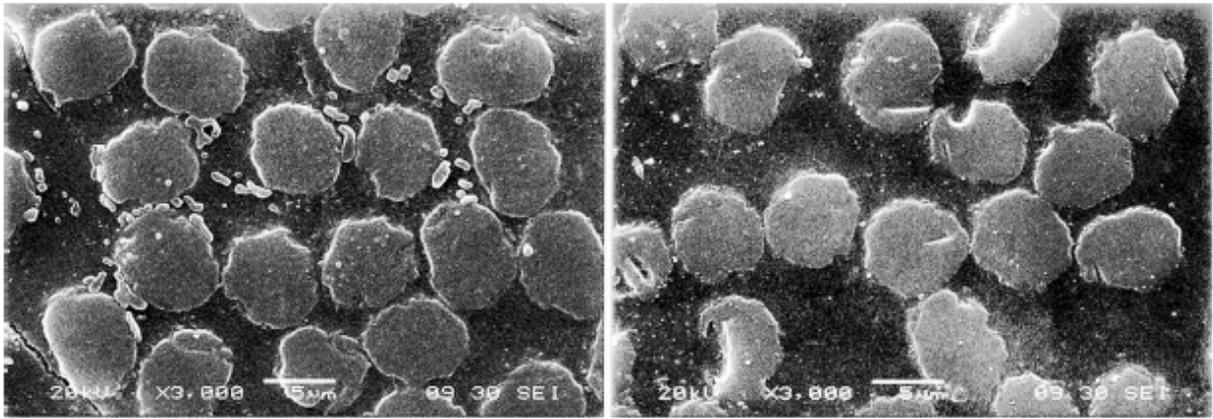
8. 碳纖維回收與再利用之全球概述(Global overview of carbon recycling and reuse)

目前碳纖維材料加工的廢料和回收材料，或被用於修路的鋪墊材料，或被簡單地填埋。但2005年初歐盟新規定已禁止這樣處理方式，原因是碳纖維也屬於有機材料，會污染環境。另一種處理辦法是燃燒，但要使碳纖維複合材料分解，不僅消耗大量能源，而且對昂貴的材料來說也太可惜。截至目前為止，僅歐洲每年的碳纖維廢料就有400~1000公噸。預計今後5~10年內，隨著空中巴士(AIRBUS)等新型飛機的大量投產和更多風力發電裝置的生產，碳纖維的需求量還將大幅度增加，因此碳纖維回收再生具有很大的市場前景。在低碳經濟、綠色環境等指引下，國外針對碳纖維及其複合材料的回收和再使用採取了許多重要措施，包括：制訂專項計畫、設立研究專題、政府支援經費、高等學府和研究機構大力開展研究、碳纖維生產商和碳纖維複合材料生產單位積極參加前期研究、建立複合材料回收中心和興建碳纖維回收廠等作為來因應碳纖維回收的問題。2009/11/3~4全球第1次國際碳纖維的再生與再使用於德國漢堡市召開，出席會議有碳纖維的製造和應用單位、碳纖維複合材料的生產和應用單位、高等學院、研究機構與工業協會等，其中結論如下所示。

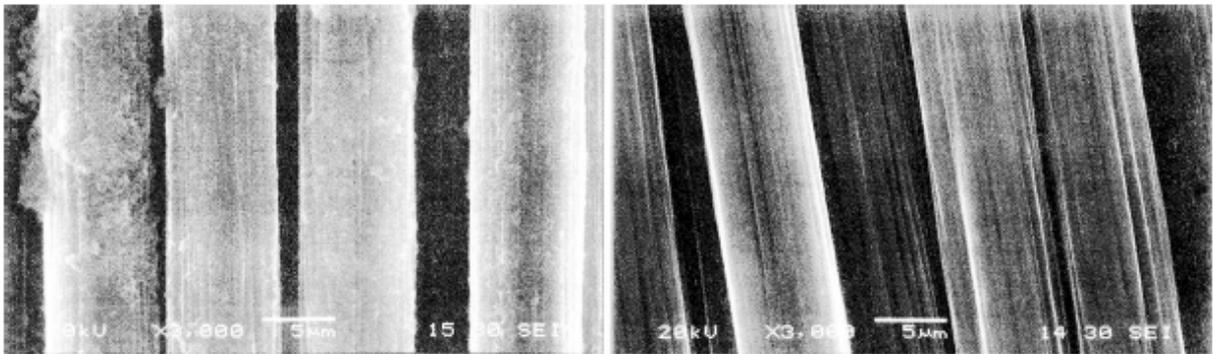
1. 英國制訂專項回收和重用碳纖維計畫，乃是因為波音787飛機碳纖維複合材料的用量已經達到50%以上。為了創造綠色環境，在英國政府支援下開展了「買得起的回收碳纖維計畫」由英國諾丁漢大學(The University of Nottingham)負責，於該校投入大量人力與物力於碳纖維及其複合材料的回收技術研究，該計畫目的在於研製開發低成本、高強度的回收碳纖維及其複合材料作為架構材料，並應用於飛機和汽車工業。首先用於非主結構材料，例如飛機坐椅、行李箱、內裝修材料和隔板以及汽車車身等。由英國技術戰略委員會資助90萬英鎊於諾丁漢大學開展溶劑萃取法回收碳纖維的研究，合作單位包括：飛機製造商—波音飛機公司、福特汽車公司、複合材料供應商—先進複合材料集團、纖維加工公司—技術纖維產品公司、Toho Tenax等。溶劑萃取法是熱分解法的改進，它比熱分解法效率更高而且更潔淨。實質是把廢棄複合材料放入一種超臨界液體中，把樹脂基體溶解，獲得潔淨的碳纖維。該方法不僅回收了碳纖維，而且還從高分子樹脂基體中萃取出相應化學產品，因此效益高，污染少。超臨界液體是某些物質在某個超過熱動力臨界溫度和壓力下，它們可以像氣體透過固體擴散，又可以像液體溶解物質，它們是有機

化學溶劑的取代品，在實驗室和工業上應用。用溶劑萃取法回收的碳纖維其性能比熱分解法回收的要好，取得的複合材料的架構與性能也比熱分解法回收的碳纖維來得的更好。圖十二(左)是化學法回收的碳纖維軸向之SEM圖、圖十二(右)是原始碳纖維軸向之SEM圖(右)、圖十三(左)是化學法回收的碳纖維側向之SEM圖、圖十三(右)原始碳纖維側向之SEM圖。

2. 德國建置碳纖維及其複合材料回收中心，因為隨著德國境內碳纖維及其複合材料在航空工業大量應用，使得碳纖維及其複合材料的廢棄物大量生產出來，使得廢棄物管理和處理問題日益顯得突出。德國於漢堡建置CFK回收公司，該公司離空中巴士在德國漢堡工廠僅50 km，並計畫建成為歐洲的回收中心。它將成為世界上第一個加工、處理和回收碳纖維及其複合材料的工廠，於2010年中旬建置完成，將回收處理後的碳纖維將被作為原材料重新加以應用。
3. 英國2009年3月英國在偉茲特米蘭組置產能1200 t/a連續化生產碳纖維回收工廠，該公司收集各式碳纖維複合材料的廢棄物與廢料，用熱分解法生產回收碳纖維。並詳細地研究了原碳纖維和回收碳纖維的力學性能，包括抗拉強度、抗拉模量、斷裂延長率等，以及掃描式電子顯微鏡(SEM)、X射線光電子譜(XPS)等對比試驗，證明回收碳纖維與原始碳纖維性能相當，完全滿足使用要求。
4. 美國設立複合材料回收項目，透過環境優化回收技術來實現飛機生產美國波音民用飛機公司環境戰略董事長比律·格洛弗(Billy Glover)提及:波音民用飛機公司對環境的保證和承諾反映在前瞻性的參與複合材料回收項目，我們一直保持與工業界對回收技術開拓與研發精英者們的合作，透過環境優化回收技術來實現飛機生產。這個項目將為解決碳纖維複合材料回收提供關鍵技術。
5. 日本福岡縣大牟田市興建60 t/a的工廠，並從2006年起不斷開展碳纖維回收的技術開發，在採用熱解法回收碳纖維，回收所需能量約為生產碳纖維的17%，排放的二氧化碳約為10%。日本並制訂了再生碳纖維複合材料粉碎品的標準。



圖十二 化學法回收的碳纖維軸向之 SEM 圖(左)；原始碳纖維軸向之 SEM 圖(右)



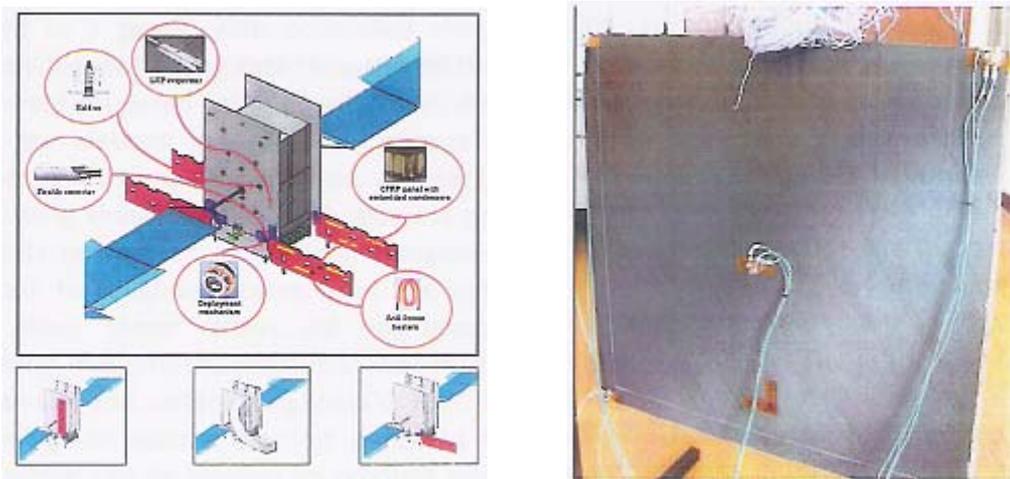
圖十三 化學法回收的碳纖維側向之 SEM 圖(左)；原始碳纖維側向之 SEM 圖(右)

9. 使用高導熱 CFRP 之高效率散熱板發展於航空器應用(Development of a high efficient radiator panel using high conductivity CFRP for spacecraft application)

通訊衛星最新進展導致了電子裝置電力增加與過多熱量需要被傳遞到太空環境，由於火箭空間限制了衛星的體積大小與重量，同時妨礙衛星輻射表面(radiative surfaces)擴大，必須更加嚴刻去面對熱傳需求。為了有效地解決該問題，傳統上利用可展開的散熱板(deployable radiator panels; DPR)裝置於衛星上，用來在發射與部署於軌道的過程中提供額外的散熱面積。

2006 年歐洲太空總署(ESA)與法國國家太空研究中心(CNES)簽訂了一份合作協議，將開發歐洲下一代通信衛星平台—阿爾法巴士(Alphabus)，並且提供資金給予阿斯特利烏姆(Astrium)公司和法國阿爾卡特航天公司合作興建歐洲重型衛星平台，以提高歐洲在這一領域

與美國的競爭力，它的發射重量為 5.5 ~ 9.5 公噸，衛星功率可達 40 千瓦。根據阿爾法巴士計畫的重型衛星平台總造價大約為 5 億歐元，並於 2006 年投入使用。計畫內建造一大尺寸散熱板(4m x 1m)，內部是三明治結構包含表層的碳纖維增強複合材料(CFRP)與鋁蜂巢板，透過迴路式熱管與冷凝器等裝置，將航空器內部多餘的熱量傳遞到散熱器表面。由於考量到碳纖維本身導熱性係數，瀝青基碳纖維(pitch-based carbon fiber)比一般傳統聚丙烯腈(PAN)擁有高傳導係數特性，較適合被應用到此計畫內，需要在機械與熱量環境內同時考量到重量、熱傳遞、硬度與強度等問題，面對大尺寸、薄層、瀝青基碳纖維的特性與埋置在內部的金屬管等問題，使得平板加工是一項挑戰。圖十四(左)是阿爾法巴士(Alphabus)計畫內的可展開的散熱器、圖十四(右)是完成品的CFRP板。



圖十四 阿爾法巴士(Alphabus)計畫的可展開的散熱器(左)；CFRP板(右)

10. 碳纖維增強複合材料第二生命—溶劑法萃取回收複合材料(A second life for CFRPs—recycling composites by solvolysis)

今日世界各地大量的廢棄物及城市垃圾已成為一種嚴重的環境公害，其中廢舊塑膠製品(其中大部分為農膜和包裝材料)佔有相當高的比重。對於廢舊塑膠製品，傳統的處理方法是再生利用、化學回收利用、填埋、燒掉。前兩種方法從能源、設備、使用性能等方面考慮，發展前景並不樂觀。在德國和日本，城市固體廢棄物的31%、66%是靠燃燒處理的。近年來，由於就地填埋的土地使用受到許多限制，以及廢棄物燃燒導致CO₂、有害氣體(VOC)的大量產生，造成了新的環境污染問題，後兩種處理方法受到越來越多的限制。因此從廢棄物利用、

能源再生角度考慮，開發一種全新的廢棄物處理技術，已成為當務之急。利用超臨界水所具有的特殊性能，實現廢舊塑膠的分解、原料回收、有害物質處理，目前已經成為研究者關注的焦點之一。超臨界水處理工藝可大大縮短反應時間，同時不需要使用任何催化劑，對後續回收相當有利。對尼龍-6的分解回收方法是用硫酸當作活化劑，將高溫的水蒸氣通入反應設備中進行分解反應，最終的問題是從硫酸水溶液中回收己內酰胺時，回收率一直不高。以往分解PC後，作為單體的雙酚-A的回收率僅能達到75%，這是藉由目前所使用的酸催化反應是得不到的，因此可以看出超臨界水作為一種新的聚合物分解手段是很有發展前途的。以超臨界水作為反應溶劑，完成短時間、高效率地分離廢舊塑膠、化學原料。截至目前為止，人們已經開始認識到資源的再利用、再資源化、有效利用的重要性。今後，舊紙、廢材、廢舊塑膠、廢舊胎環等廢棄資源將會被開發再利用，從資源和環保角度考慮這是維係人類生存的大事。超臨界水的開發利用無疑為資源回收與再利用開創了一條新的方法，儘管目前還處於摸索研究階段，相關機理還不清楚，但可以相信今後超臨界水技術會在各行各業得到更廣泛的應用。

法國 INNOVEOX 公司經過 2 年來在技術創新上的努力，甫榮獲 2010 年 Pierre Potier 大獎而深受肯定。該獎項創立於 2006 年，旨在表揚化學工業業者對於永續發展和環保上所做的努力。INNOVEOX 公司在 Cansell 教授和法國國家科學研究中心 (CNRS) 的協助下，開發了一種稱為超臨界水熱氧化 (Supercritical Water Oxidation) 法的創新技術。該技術係採用冷燃燒的方式，讓有機物完全轉化成水直接排放到自然環境中，不但對生態不具任何風險，並且達成減低廢棄物處理時排碳量的目標。此外，INNOVEOX 公司的技術還可以回收廢棄物中的金屬和礦物質。該技術透過對於油脂、溶劑或多氯聯苯分子的破壞來處理廢棄物，可應用的範圍非常廣泛，從都市污泥、軍事領域，乃至核廢料處理都非常適合。一般液體廢棄物，若非太黏稠而不易被微生物分解，就是太稀淡而無法做焚燒處理，INNOVEOX 公司的技術則特別適用於此類廢棄物，在氧化處理過程中亦不會產生氣味、微粒，或排放有毒氣體。同時，該技術並可產生熱能或電力等能源。INNOVEOX 公司的廢棄物處理廠具有佔地小，以及可直接設置在客戶工地的特性，也因此可節省廢棄物運輸的成本及危險性。預期第一個處理廠將在本年 12 月建置完成。該公司預期未來歐洲對於此項技術的市場需求規模約在 2 百萬歐元，全球市場規模則可達 8 百至 1 千萬歐元；因此

可望在未來5年內建置130個處理廠。INNOVEOX公司總裁Jean-Christophe Lépine表示該公司以發揚法國科技，造福全球及提昇人們生活品質為榮。圖十五是INNOVEOX公司100kg/h產量的先導型量產工廠



圖十五 法國 INNOVEOX 公司 100kg/h 產量的先導型量產工廠

此次參加法國阿卡雄的國際碳複合材料研討會可說是受益良多，結論如下所示：

1. 法國斯奈格馬固體推進(Snecma Propulsion Solide)公司專門從事各類型固態火箭噴嘴設計與製造，著名產品是亞利安火箭碳/碳複合材料噴嘴與最新型戰略飛彈M51，該公司使用四維編織法與針軋技術兩種製造方法進行碳/碳複合材料製作，其中浸滲技術使用化學氣相滲入(CVI)進行預成型體滲碳加工，可以讓大型碳/碳複合材料在短時間內可以達到高密度等級。然而傳統液相碳化必須考慮到瀝青液相時溫度與黏滯性係數變化，通常需要使用高壓(~1000atm、~1000°C)一旦浸滲到一定程度時，瀝青便不容易再被滲入微孔洞內，但是氣相碳化的製程，浸滲的碳源一般選擇碳氫化合物(例如甲烷、乙烷、丙烷等)，需要用到高溫(~1000°C)與低壓製程(2~10kPa)，相對於高壓製程而言，顯然氣相碳化製程更為安全性，是一項值得投入研究與開發的浸滲技術。
2. 此次會議中法國三家公司(RECCO Consortium、Compositec、École des Mines d'Albi)分別提出碳複合材料回收技術，提及歐盟已經開始要求境內碳複合材料生產廠商，必須具

備社會道德責任與義務，展開各項碳複合材料回收研究，顯然歐盟已經正式認知到未來的數十年間，大型廢棄複合材料掩埋土地持續增加，將會嚴重影響到人類居住生活環境，因此碳複合材料在結束它們的使用壽命後，不能再以傳統垃圾掩埋來處理廢棄物。國內碳複合材料產業聚落龐大，面對於台灣這塊地窄人稠的環境，勢必未來也會面臨到歐盟同樣的問題，建議本院持續觀察該技術未來的發展，再評估本院是否適合投入這技術的開發。

3. 由法國JEC公司的講員提及瀝青基(pitch-based)碳纖維廠商—日本石墨纖維公司(Nippon Graphite fiber)已經在2010年開出2,450公噸產能，遠大於其它兩家((Mitsubishi Plastic、Cyteck)產能，證實日本公司對產品開發眼界深遠，絕非短淺，雖然初期投資百億日幣並未立竿見影，但是持續不斷精進與研發製程，終究可以享受甜美的果實。根據幾年前中碳公司轉述日本石墨纖維公司投資百億日元於瀝青基碳纖維生產結果失敗，同時促使中碳公司爾後投資研究上更為謹慎，甚至覺得不合宜的計畫便告中止，如活性碳就是其中一個例子。
4. 歐洲航空國防集團(EADS)不僅在航太科技上有傲人的成就—空中巴士(airbus)、阿爾法巴士(Alphabus)，同時也積極地將航太科搬運用於民生產業。此次發表由疊層製造法所開發出來的自行車(Airbike)，不但外形美觀，而且製造方式和材料也很特殊。將尼龍纖維及其它塑料、金屬等先磨成精細的粉末，再依電腦程式導引，先由雷射光將預先研磨好的粉末一一熔化掉，再讓它們依照特定的形狀一層一層地被凝固起來，直到最終完成最後外觀為止。該公司努力將該技術運用於ALM技術運用於輕型客機的製造，達到飛機質輕與節油的目的，該技術值得本院再評估是否適合投入這技術的開發與研究。

肆、建議事項

本案是配合100年度「奈米材料及製程技術發展計畫(3/3)」之「奈米精碳產品開發技術」分項計劃中(黃皮書第94頁)，於100年10月23日至10月29日派員前往法國阿卡雄(Arcachon)參加2011年國際碳複合材料研討會。

- 一、藉由此次研討會可以充分瞭解法國碳複合材研究最新動態與技術水準層次，得知化學氣相浸入技術已經大量運用於碳/碳複合材料滲碳製程，相較於傳統液相浸入製程而言，可以縮短滲碳製程次數，得到高密度、高強度之碳/碳複合材料，是一項值得院內投入研究與發展的技術。
- 二、藉由研討會論文得知，碳纖維回收研究已經是歐盟非常重視研究之一，由於碳複合材料在結束它們的使用壽命後，傳統處理方式都是直接以垃圾掩埋方式來處理，往往需要龐大土地來配合，近年來環保意識抬頭與資源回收再利用，許多方法被開發出來回收碳複合材料內高模數碳纖維。國內目前尚無任何資料提及相關技術資訊，對於台灣這塊地窄人稠的環境，勢必未來也會面臨到歐盟同樣的問題，建議本院持續觀察該技術未來的發展，再評估本院是否適合投入此項技術的開發。
- 三、本院既有之奈米精碳關鍵技術能量，可增進對奈米精碳材料及元件特性的掌控，以減少研發過程的試誤，從此次研討會多方訊息得知，國外許多公司與研究單位正努力從技術端朝向產品端發展的趨勢，建議院內研發單位與國內產業界、學術界多方進行交流與研討，儘速將技術轉化成產品，創造精碳計畫更高的附加價值。

附件

¹ 亞利安火箭 (Ariane) 是歐洲太空總署自行研製作為歐洲聯盟各國或其他國家進行航天活動的一次性使用運載系統，此火箭名稱來自神話人物阿麗雅杜妮，法語中該詞也描述某一種蜂鳥。亞利安火箭發射場地位於南美洲法屬蓋亞那境內蓋亞那太空中心。在德法英三國協商後，1973 年末法國提出亞利安系列運載火箭計畫。此計畫是繼歐羅巴運載火箭失敗後西歐國家另一次獨立開發運載火箭系統的嘗試。亞利安火箭代號為 L3S，為第三代替代運載火箭的法語縮寫。歐洲太空總署局任命阿斯特利烏姆公司負責亞利安火箭與其測試設施開發工作。法國國家太空研究中心成立於 1980 年的商業子公司亞利安航天則負責亞利安火箭製造與運營。亞利安系列運載火箭包括五種運載火箭：

- 亞利安一號運載火箭：1979 年 12 月 24 日首次成功發射。
- 亞利安二號運載火箭：1987 年 11 月 20 日首次成功發射(亞利安二號運載火箭首次發射於 1986 年 5 月 30 日，任務失敗)。
- 亞利安三號運載火箭：1984 年 8 月 4 日首次成功發射。
- 亞利安四號運載火箭：1988 年 6 月 15 日首次成功發射。
- 亞利安五號運載火箭：1997 年 10 月 30 日首次成功發射(亞利安五號運載火箭首次發射於 1996 年 6 月 4 日，任務失敗)。

亞利安一號運載火箭是基於飛彈技術研發的三級運載火箭，亞利安二號到亞利安四號運載火箭是其改進型。引擎型號不同是諸型號主要差別，改進的引擎使新型火箭具有更大的第一級和第三級燃料艙，並使火箭具有更大載荷。最新型號可以同時發射兩枚掛在在 SPELDA 載荷艙的人造衛星。新型火箭通常裝備有捆綁式推進器，推進器配置由火箭編號後的數字表示。第一位數字表示推進器總數，其後的字母表示推進器發動機類型。例如亞利安四號 2P 運載火箭攜帶兩個固體燃料推進器，而亞利安四號 4LP 攜帶兩個液體燃料推進器和兩個固體燃料推進器。亞利安五號火箭則是幾乎被完全重新設計的型號。兩個下面級被一個低溫芯級所取代，此更動與單台芯級引擎簡化了箭體設計。由於芯級推力不足以承擔自身重量，亞利安五號火

箭裝備了兩個固體推進器。這些推進器可被回收以進行檢驗，但無法再次使用。上面級使用 Aestus引擎，耐儲存並可二次啓動。2007年5月4日一枚亞利安五號ECA運載火箭攜帶合計9.4噸的兩顆衛星進入軌道，創造了新的商業載荷紀錄。

² 歐洲航空防務和航天公司(EADS)是一個全球性的泛歐洲航空航天和防務公司和全球領先的國防和軍事承包商。該小組包括空中巴士公司(Airbus)，是商用飛機的先驅，軍事領域包含運輸和任務的飛機；歐洲直升機公司作為世界上最大的直升機供應商；阿斯特利烏姆(Astrium)公司的航天計劃從歐洲領導人阿麗亞娜以伽利略和凱西迪亞公司(Cassidian)作為一個對供應商空中、陸地、海軍和平民的安全應用程序的全面和綜合的系統解決方案。Cassidian公司是在歐洲戰鬥機的主要合作夥伴以及主要利益相關者在導彈系統供應商MBDA公司。EADS公司成立於2000年7月10日由法國航天製造公司，法國馬特拉、德國戴姆勒-克萊斯勒宇航公司(DASA)和西班牙Construcciones Aeronáuticas SA(CASA)的合併。總體而言，該公司開發和銷售民用和軍用飛機以及通信系統、導彈、航天火箭、衛星及相關系統。EADS集團2010年營收達458億歐元，全球員工總人數為122,000人。EADS集團旗下包括全世界排名第一的商用飛機製造商(Airbus公司)，生產空中加油機、運輸機和任務機；歐洲第一大及全球第三大的衛星承包商(Astrium公司)；Cassidian公司提供最先進的安全系統方案使EADS成為歐洲戰鬥機(Eurofighter)聯合承攬團隊的主要合作成員，同時也是飛彈系統商MBDA公司的主要股東；以及全世界排名第一的直昇機供應商歐洲直昇機公司(Eurocopter)。其中；Astrium公司屬EADS公司獨資所有，致力於提供民用及防衛航太系統和服務。2008年，Astrium公司營業額達43億歐元，在法國、德國、英國、西班牙、荷蘭雇有15,000多名員工。其三大業務的分工為：Astrium航太運輸部門負責發射裝置和軌道基礎架構，Astrium衛星部門負責太空船和地面部分，Astrium服務部門負責開發和交付衛星服務。EADS公司是航太、防禦和相關業務領域的全球領導廠商。

³ 法國兩大工業巨擘 SAGEM 與SNECMA於2004年10月29日宣佈合併，SAGEM是法國第一大行

動電話及國防設備製造商，SNECMA 是法國最大飛機引擎製造商，兩大集團合併後集團名稱改為SAFRAN Group。SAFRAN Group旗下分為四大部門，分別為通訊(Communication)、航太設備(Equipment)、國防安全設備(Defense Security)、飛機發動機(Propulsion)四大領域。其中斯奈格馬公司(SNECMA)是一家在世界上居首要地位的航空航太工業集團公司，其航空航太推進技術在歐洲及世界居領先地位。是世界上唯一一家在民用飛機、戰機、訓練機、運輸機、直升機、火箭、無人駕駛飛機、衛星及運載火箭等方面均擁有完整的先進推進技術的集團公司。主要經營飛機發動機。該集團為其全世界客戶提供飛機、直升機發動機的維修保養全天候服務。該集團推進技術方面的主要公司：SNECMA MOTEURS，SNECMA SERVICES，TURBOMECA，TECHSPACE AERO和SNECMA PROPULSION SOLIDE等。該集團的航空航太工裝備技術亦居世界領先水準，居歐洲第一位。如：發動機裝備、發動機艙、著陸制動系統、電氣系統和混合材料等方面。該集團還擁有一個專家網路，有著陸、制動系統的維修保養專家 1200 多名。該集團主要著名的裝備公司：HISPANO-SUIZA, HUREL-HISPANO, MESSIER-DOWTY, MESSIER-BUGATTI, MESSIER SERVICES, LABINAL, CINCH, GLOBE MORORS TM等。

附註：附件 1~3 原件存於本院第五研究所高溫材料組運用。