

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 赴歐洲考察熱流暨能源工程研究及技術發展

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2217-E-002-015-

執行期間：93年09月01日至93年11月30日

執行單位：國立臺灣大學化學工程學系暨研究所

計畫主持人：葛煥彰

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 12 月 3 日

# 「赴歐洲考察熱流暨能源工程研究及技術發展」參訪報告

## 一、參訪團概述

**參訪團領隊：**陳發林教授（台大應力所，熱流與能源學門召集人）

**參訪團成員：**謝曉星教授（中山機械系） 葛煥彰教授（台大化工系）  
潘 欽教授（清大工科系） 陳志臣教授（中央機械系）  
鄧治東院長（中原工學院） 洪振義教授（大葉機械系）  
顏維謀教務長（華梵大學） 林大惠教授（成大機械系）  
張嘉恆先生（熱流與能源學門承辦人）

**參訪主題：**潔淨能源研究

### **參訪行程與單位：**

- 9/20 (一) 參訪團由台北出發（中華航空 CI-0065 班機）。
- 9/21 (二) 轉機前往挪威奧斯陸（荷蘭皇家航空 KL-1145 班機）。
- 9/22 (三) 拜會挪威能源與核能技術研究院。  
(Institute for Energy and Nuclear Technology, IFE)
- 9/23 (四) 搭機前往丹麥哥本哈根（WIDEROE WF-0305）。
- 9/24 (五) 拜會丹麥 RISØ 國家實驗室(RISØ National Laboratory)；  
拜會丹麥工程研究委員會(Danish Technical Research Council, STVF) - 參訪單位地址變更，行程因故取消。
- 9/25 (六) 停留丹麥哥本哈根。
- 9/26 (日) 搭機前往荷蘭阿姆斯特丹（荷蘭皇家航空 KL-1126 班機）。
- 9/27 (一) 拜會荷蘭能源研究中心(Energy Research Centre of the Netherlands, ECN)
- 9/28 (二) 搭乘火車前往比利時布魯塞爾。
- 9/29 (三) 拜會歐盟能源運輸總署 - 新興及再生能源處(European Commission, Directorate-General for Energy and Transport, New and Renewable Energy Resources)；  
拜會駐歐盟兼駐比利時代表處。
- 9/30 (四) 停留比利時布魯塞爾。
- 10/1 (五) 搭乘火車前往荷蘭阿姆斯特丹，搭機返台（中華航空 CI-0065 班機）。

## 二、參訪內容

### 2.1 挪威能源與核能技術研究院

(Institute for Energy and Nuclear Technology, IFE)

時間與地點：2004 年 9 月 22 日(三)；Kjeller, Norway

參訪行程：上午 9:50 參訪團準時到達位於奧斯陸東方 20 公里之挪威能源與核能技術研究院 Kjeller 園區（該研究院另有一園區在 Halden）。辦理參訪手續後，該院執行副院長 Arne Raheim 博士出來迎接，並帶領我們到會議室，立刻開始參訪行程。參訪行程如下所示：

- 10:00-10:20 Welcome and presentation of Institute for Energy Technology (IFE) (Arne Raheim, Exec. Vice President)
- 10:20-10:40 Overview of research on clean energy in Taiwan (Professor Falin Chen, Energy Research Delegation, NSC Taiwan)
- 10:40-11:20 New renewable energy research at IFE and zero emission gas power with integrated hydrogen production (Arne Raheim, Exec. Vice President)
- 11:20-11:50 Hydrogen storage and material science research at IFE (Eva S. Dugstad, Research Director)
- 11:50-12:00 Presentation of a new heat pump concept (Bjarne Horntvedt, Director Hybrid Energy AS)
- 12:00-13:00 Lunch
- 13:00-14:00 Visit to the Jeep II research reactor and laboratory for renewable energy
- 14:00 Summing up, possible cooperation discussion

### IFE 簡介

首先由 Raheim 副院長致歡迎辭並簡報該院。IFE 成立於 1948 年，並於 1953 年建立挪威第一個研究用核反應器，目的在設計核動力船舶。後來，因核動力船舶沒有願景而改變研發方向，但相關的核能研究使 IFE 成為挪威最重要的能源研究機構。目前，IFE 有 550 名員工，每年的研究經費 7 仟萬美金，約 25% 由挪威研究委員會 (Norwegian Research Council) 提供補助，10% 來自於公共基金，來自

挪威工業界及國際間的約定研究案則分別約為 20 及 40%。該院的願景是成為世界領先的能源研究機構。

IFE 設有董事會，現任董事長為 Stig Bergseth，下設院長及執行副院長。現任院長為 Kjell Bendiksen，執行副院長為 Arne Raheim，即今天接待我們的主人。院長下設有五個組，分別為核能技術與物理(Nuclear Technology and Physics)，核能安全與可靠度(Nuclear Safety and Reliability)，核安與人因工程(Safety Man-Technology-Organization)，能源與環境技術(Energy and Environmental Technology)，以及石油工程技術(Petroleum Technology)。其中，與核能安全相關的兩個組均設在 Halden 園區。Arne Raheim 博士也兼任能源與環境技術組的主持人，核能技術與物理組的主持人為 Eva Dugstad 女士，今天也全程參與。

IFE 主要的研究活動有三：一、有利潤及環境許可的油氣生產、電力及能源使用技術；二、維持並提昇其在核能安全、輻射防護、同位素與輻射照射技術；三、核能技術與物理研究。其中，有一半為核能技術的研究，30%為石油工程技術、20%為替代能源及環境科技。位於 Halden 園區有關核能安全的研究是挪威最大的國際研究計畫，由 OECD 補助，稱為“OECD Halden Reactor Project”，計畫期間為 2003 2005 年，有 20 個國家會員參與。主要的任務包括：核安知識的傳承、改善東歐及俄羅斯核能電廠的安全、Halden 反應器的運轉、在不同組織中，人 - 機的相互作用(MTO-Studies)。有關改善俄羅斯及東歐國家核反應器安全方面，該計畫已在或即將在捷克、斯洛伐克及俄羅斯的一些核能電廠裝置爐心監測系統(SCORPIO)。在核能技術與物理的主要研究方向為儲氫材料及核醫藥物的開發。在石油工程技術方面，他們以核能技術為基礎，如放射性示蹤技術，從事油田及石油開發技術、化工程序與腐蝕、及流體技術的研發。在能源與環境方面的研究也以核能技術的基礎，進行先進能源系統、燃料電池及 CO<sub>2</sub> 回收再利用的研發。

按照議程，緊接著應由學門召集人陳發林教授介紹台灣及台灣有關潔淨能源的研究，但因電腦介面的問題，一時無法解決。改由 Raheim 博士繼續介紹 IFE 有關能源與環境方面的研究。Raheim 博士是該組的主持人。

### **IFE 的能源與環境研究**

IFE 能源與環境研究的主要方向包括：矽晶太陽能電池、風力、

氫的儲存及以氫為載體之先進能源系統。在矽晶太陽電池方面，他們不但研究，而且有一研發生產線，佔有 20% 的世界市場。現在主要的研究方向為了解太陽電池的特性與機理，以提昇其效率。現在他們生產的矽晶太陽電池的效率約在 13~14%。他們的目標是使 IFE 成為矽晶太陽能電池的國家級與國際級重鎮。

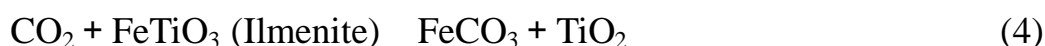
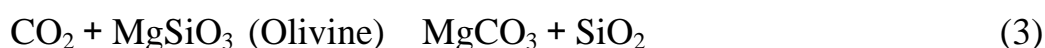
風力發電的主要研發方向包括：與挪威工業界合作探討風力發電廠(wind farm)的最佳條件、風機的空氣動力學、在挪威的一個小島(Utsira Island)建立一個風力與氫能混合系統的獨立發電站(stand-alone power station)。該系統有二個風機、一個氫氣壓縮機，一個氫內燃機及一個燃料電池。系統的發電功率為 1.5 MWe。

IFE 的主要氫能研究方向為氫的生產、儲存及系統整合。在儲氫方面，他們研究金屬及奈米碳材的儲氫系統。他們以 IFE 的中子束及法國葛洛堡實驗室的同步輻射 X 光，探討金屬材料儲氫的結構。IFE 也開發最高壓力 100 bar 及最高溫 200 °C、體積從 75 ~ 500 cm<sup>3</sup> 的儲氫桶。在系統整合方面，他們發展再生能源與氫能的複合系統，擬以風力或太陽能電池電解水產生氫氣再提供燃料電池發電之用。這個觀念在氫能界已被廣泛的研究與討論，IFE 將在上述的 Utsira 島建立一複合系統的獨立發電站。

在環境科技方面，Raheim 博士很自豪地以很大篇幅介紹他們有關 CO<sub>2</sub> 回收再利用的新觀念與方法。該方法已獲專利。他們利用固態氧化物燃料電池(SOFC)的高溫廢熱讓下列兩反應發生：



第一個反應為天然氣的重組產生氫氣，供燃料電池使用。第二個反應則產生固態之 CaO 及高壓的二氧化碳，因此不需要分離 CO<sub>2</sub> 的程序成本。CO<sub>2</sub> 可應用下列兩個反應產生高價值的產品：



利用反應(3)可生產高純度的 MgCO<sub>3</sub> 及 SiO<sub>2</sub>，前者可供造紙業使用。反應(4)則可生產高價值之 TiO<sub>2</sub>。此外，也可利用相同的概念生產 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>。

這個方法的重要研究課題包括：封閉式的熱管理與整合以獲得更高的效率、反應器設計、長期的穩定性與 Sorbent 之壽命。

Raheim 博士也提到他們以天然冷媒（阿摩尼亞及水）發展相當

高溫的吸收式工業用熱泵。此系統也可以 35-60 的廢熱產生 80-100 的高溫。

### **台灣潔淨能源研究現況**

Raheim 再次報告完畢後，一位電腦工程師進來很快的解決了電腦聯結問題。陳發林教授代表國科會介紹台灣的潔淨能源研究現況，包括：台灣的地形、風場的分佈、工研院能資所有關潔淨能源的研究現況。由於 IFE 仍有 50% 的研究能量用於核能技術，潘欽教授簡要的補充說明原子能委員會核能研究所的研究方向，包括：核能安全、能源與環境、及輻射應用，與 IFE 有一些相似之處。

### **IFE 在物理方面的研究**

緊接著，IFE 核能技術與物理組的主持人 Eva Dugstad 女士報告 IFE 在物理方面的研究，包括：材料科學及奈米技術。IFE 材料科學的研究主要以 IFE 之 JEEP II 反應器的 6 個中子束的散射為研究的工具。該反應器為 2MW 重水反應器。有 5 位研究人員及 17 名研究生參與物理相關的研究。研究生只參與研究，仍由原就讀學校頒授學位。材料科學之研究以儲氫金屬之探討為主。儲氫金屬的要求是儲氫容量必須大於 5%，且氫氣必須在 <100 下釋放出來。IFE 曾創下儲氫容量密度的世界記錄，8 倍於液態氫的密度。因此，氫化金屬的結構非常關鍵。利用中子散射可看到氫在金屬內的分佈，利用高能量的 X 光則可看到金屬的位置，兩者重疊即可看到氫化金屬的結構，JEEP II 即提供中子束，而 X 光則利用法國 Grenoble 實驗室的同步輻射 X 光。如前面 Raheim 博士所提及，他們也探討奈米碳材為儲氫材料。他們以放電加工(Arc-discharge)的方法生產多層奈米碳管，並提出利用奈米碳錐(nano-carbon cones)儲氫的構想，並在 2002 年申請了專利。此外，他們也參與了奈米結構的軟物質及複雜材料之國家整合研究。核能技術的研發活動則以核醫藥物的生產為主。

### **IFE 的新型熱泵研發**

上午的最後一場報告是 IFE 研發的一種新的熱泵觀念，由 Hybrid Energy AS 公司的 Bjarne Horntvedt 先生主講。Hybrid Energy AS 為一個一人公司。這個新的熱泵設計採用壓縮機與吸收式的複合系統，冷媒則採用 50/50 比之水及阿摩尼亞，兩者均為天然冷媒，但阿摩尼亞有毒，不適合於家用。該熱泵可使用 35-50 的低溫廢熱，可提供 100 的熱源，其 COP (coefficient of performance)可達到 3.0，他們目前

已研發出 300kW，COP 3.0 及生產 95 熱水的原型機。

### **實驗室參觀**

中午在 IFE 的餐廳用餐並繼續交談。餐後，隨即參觀實驗室。首先是 JEEP II 研究用核反應器，該反應器主要提供中子束供材料學研究之用，其中子通率約為  $10^4 \sim 10^5$  neutron/cm<sup>2</sup>s。此外，他們也利用該反應器做矽晶滲雜(doping 之用)。緊接著參觀生產奈米碳管及碳錐的放電加工設備，每天可生產 10-20 克之多壁奈米碳管。最後，我們參觀了以氫氣為載體的先進能源系統實驗設備。該設備包括一個電源供應器，提供各種波形電源，一個 PEM 電解機(electrolyzer, 1.5kW)，四個有散熱片的儲氫桶及 PEM 燃料電池。

### **未來合作方式**

參觀實驗室之後，我們再度回到會議室討論雙方可能合作的內容，包括：雙方人員學生教授之互訪、技轉等。整個參訪行程在下午 3:00 準時結束，合照之後即搭車回奧斯陸的旅館。



陳發林教授的簡報實況



參訪團與 IFE 人員合影

## **2.2 丹麥 RISØ 國家實驗室**

(RISØ National Laboratory)

**時間與地點：**2004 年 9 月 24 日(五)；Roskilde, Denmark

**參訪行程：**參訪團先搭乘火車再轉公車，於上午 9:30 提前抵達位於 Roskilde 的丹麥 RISØ 國家實驗室。辦理參訪手續後，該實驗室所屬風力能源所的資深顧問 Niels-Erik Clausen 博士，代表該所迎接並帶領我們到會議室，立刻開始參訪行程。參訪行程如下所示：

- 10:00-10:15 Welcome by Erik Lundtang Petersen,  
Head of Wind Energy Department
- 10:15-10:30 Purpose of visit by representative for NSC, Taiwan  
(Professor Falin Chen, Energy Research Delegation, NSC  
Taiwan)
- 10:30-11:30 Presentation of wind energy research at RISØ National  
Laboratory, Professor Jakob Mann and Dr. Kim Branner
- 11:30-12:00 Identification of areas of common interest,  
Dr. Niels-Erik Clausen, Senior Consultant
- 12:00-13:00 Lunch

### **丹麥的風力能源發展**

從最近二十年全世界的風力發電發展來看，到 2003 年的累積發電容量已達 41GW，每一年的增長率約 30-40%，風力發電也擴展到超過五十個國家。丹麥的能源消費有 14% 來自再生能源，其中有十座集中式的生質氣電廠(centralized biogas plants)，廢棄物焚化廠則提供區域熱源(district heating)，至於風力發電則佔丹麥丹麥電力消費的 20%。陸上型(onsshore)風力渦輪機組密密麻麻的散佈整個丹麥地區，總發電量已達 2653MW (截至 2003 年)，離岸型(offshore)風力渦輪機組設置有八處，總發電量達 423MW (截至 2003 年)。

### **RISØ 簡介**

RISØ國家實驗室隸屬於丹麥政府的科學、技術與創新部(Ministry of Science, Technology and Innovation)，建立於1958年，目前大約有780名員工，其中約400名是研究人員。RISØ的主要研究部門，包括：風力能源、系統分析、材料研究、聚合物、光學與電漿、植物研究、輻射研究等。目前的年度經費約75百萬歐元，其中超過30百萬歐元來自政府，其餘經費則由國內外研究合約支持，研究合約分別來自國內機構、國際組織和私人企業。

RISØ國家實驗室的主要任務，係針對能源、工業技術和生技產業等三大方面，藉由研究、教育、革新和諮詢服務，來推動具創新和永續環境(environmentally sustainable)特性的技術發展。RISØ著力於發展環境可承受(environmentally acceptable)的方法，來促進農業和工業生產，以及滿足現代社會的能源需求。RISØ有個特別的任務，係經由統合核能議題的知識庫，來提供政府主管當局在此方面適當的諮



詢與顧問。RISØ與國內外的大學、研究院、技術單位和工業部門建立共同合作關係，特別將重點擺在博士和博士後研究計畫，藉以培育年輕的研究人員。

RISØ國家實驗室最近（2004年）致力於推動能源開發(Energy for Development, EfD)計畫，它是一個新的橫切創新(cross-cutting initiative)方案，藉由發展和利用各式方法和技術，促進開發中國家的永續能源發展。主要工作內容包括：再生能源系統、經費支援、制度建立、能源仲裁(energy interventions)衍生的經濟、社會和環境效應的評估等。RISØ參與EfD計畫的研究部門主要是系統分析、風力能源和植物研究等三個部門。EfD目前在非洲推動一個改善能源輸入(energy access)方案，在西非地區舉辦訓練課程和召開研討會，年底將延伸至非洲東部和南非。這個方案的重點係針對農村地區，推動永續能源和減緩貧窮(poverty alleviation)工作，同時確認特定的活動足以促進歐盟與非洲的合作關係。

### **RISØ風力能源研究所**

RISØ國家實驗室的風力能源研究所設置有下列幾個部門：氣動彈力設計(Aeroelastic Design)、氣象學(Meteorology)、風力能源系統（設有RISØ WindConsult諮詢顧問服務）、風力渦輪機、測試和量測、和葉片測試中心（位於Sparkaer）。測試和量測部門主要負責風力渦輪機的測試，但是大型風力渦輪機的測試必須到設置於Høvsøre的測試站。另外，RISØ風力能源研究所尚設置有風力能源教育課程。風力能源研究所不斷地穩定成長，目前有125名專職人員，其中2/3是科學家和工程師。

RISØ風力能源研究所致力於開發和提供風力能源的新知需求。研究所的總體研發目標包括：建立風力能源開發所需的新契機和新技術、提升風力能源的競爭性、促進風力能源的整體應用、提升大氣物理對風力效應的基礎認識。相關研究的進行除了與工業界和其他研究結果使用者合作外，也與國內外的大學、研究機構和組織密切的合作。

風力能源研究所的科學專業領域包括：邊界層氣象學(boundary layer meteorology)、空氣動力學、空氣聲學(aero-acoustics)，流體力學和結構力學、電子設計和控制、以及機械和工程架設技術等。上述的科學專業領域將與現場試驗、實驗室測試和數值模擬配合發展。

目前執行的策略規劃和應用研究較集中於風力氣象學，風力渦輪機技術(wind turbine technology)和風力能源應用的相關課題，例如：

氣動彈力計算；空氣動力學、機翼設計、數值風洞(numerical wind tunnel)和風洞試驗；結構的承載力、安全和設計；建立風力渦輪機及其零組件的測試程序、執行測試（包括：動力性能、結構反應、葉片測試、電力品質、操作功能和安全等）；氣象測量；風力資源評估、風力工程和風力發電預測；風力渦輪機設置、風力發電廠規劃和能源生產評估；電力設計、風力渦輪機控制和電力品質評估；風力發電的整合、風力發電廠和電力系統模型化的模擬；混合系統和高風力能源；標準化、型式認可和認證。

## **重要研究成果**

RISØ風力能源研究所推動工業標準的風圖分析和應用計畫(The Industry-Standard Wind Atlas Analysis and Application Program)，開發WAsP軟體用以估算風力資源分布，目前已有90多個國家，超過1100使用者，利用WAsP來進行風流數據分析、風圖製作、風流氣象預測、風力渦輪機的微觀選址(micro-siting)、風力發電廠的建置和效率估算等。另外，WAsP工程軟體可進一步進行風力渦輪機的負載估算，包括：極端風流氣象(extreme wind climate)狀態、風流剪力和風流曲線、以及紊流等。

為了新近大型風力渦輪機的發展走向，RISØ風力能源研究所特別於Høvsøre建立大型風力渦輪機的國家測試站，設置有五個測試位置，每一位置發電量最高可達10MW，最高高度可達165公尺。

針對風力發電廠、單一的分散式電力系統(isolated decentralized power systems)和風力能源技術中心的需求，RISØ WindConsult可以提供多項諮詢顧問服務，包括：風的量測、風力資源分析、風力發電廠的選址和規劃、技術規範、風力渦輪機測試、性能驗證、電力系統模擬和電力品質評估等工作。

RISØ風力能源研究所推動國際合作不餘遺力，分別於印度的Chennai和埃及的Hurghada建立風力能源技術中心(Wind Energy Technology Center)，不僅設置風力渦輪機測試設備，也興建中心大樓（包括：辦公室、教室和實驗室）舉辦機械、電機講習班。目前已設置示範型風力發電廠（6部300kW風力渦輪機和32部100kW風力渦輪機）。

## **未來合作方式**

有鑒於丹麥風力能源發展的技術水準，以及RISØ風力能源研究

所在印度 Chennai 和埃及 Hurghada 的國際合作成效，參訪團認為有必要於國內成立風力能源研究中心，借鏡於 RISØ，深入且正確地評估台灣的風力能源潛力、發展方式和進程。



Professor Jakob Mann的簡報實況



參訪團於RISØ大門前合影

## 2.3 荷蘭能源研究中心

(Energy Research Centre of the Netherlands, ECN)

**時間與地點**：2004 年 9 月 27 日(一)；Petten, Netherlands

**參訪行程**：參訪團由阿姆斯特丹中央火車站旁的 IBIS 旅館搭乘兩部計程車前往 ECN，上午 9:50 到達 ECN 大門，俟登記來訪資料後，旋即再搭車至 ECN 辦公大樓。Dr. Hein Willems 代表該研究中心迎接並帶領我們到會議室，立刻開始參訪行程。參訪行程如下所示：

- 10:00-10:15 Arrival
- 10:15-11:00 Introduction to ECN  
by Dr. Hein Willems (manager of knowledge agency)
- 11:00-12:30 Wind energy  
by Ir. Jos Beurskens (unit manager of wind energy)
- 12:30-13:30 Lunch
- 13:30-14:00 Sun energy  
by Dr. Paul Wyers (unit manager of solar energy)
- 14:00-15:00 Visit to Sun Laboratory
- 15:00-15:30 Remaining questions  
by Dr. Hein Willems (manager of knowledge agency)
- 15:30 Departure

## ECN 簡介

荷蘭能源研究中心(Energy research Centre of the Netherlands, ECN)係荷蘭最大的能源研究機構，該中心位於荷蘭首都阿姆斯特丹北方 70 公里處的小村莊 Petten。進入 ECN 首先見到辦公大樓，該大樓的屋頂及窗戶裝設有太陽能板裝置，一樓處展示有 ECN 近來的研究成果。此次 ECN 主要接待人員為 Hein Willems 博士。上午 10:15 首先由 Hein Willems 博士綜合簡報 ECN 的現況及未來，由簡報中得知，ECN 成立於 1955 年，最初任務為核能研究，並以 RCN (Reactor Centrum Nederland)稱之，1976 年改名為現在的名稱 ECN，目前擁有員工 650 人。有關風力能源及太陽能部門於 1977 年及 1989 年分別成立。1998 年有關核能研究的部門則完全併入 KEMA 單位，自此，ECN 不再設有核能研究部門。

2003 年 ECN 的經費為 6 千 6 百萬歐元（約新台幣 27 億元），主要來自政府補助（2 千 5 百萬歐元）及工業界（3 千 1 百萬歐元），屬性很像國內工研院能資所。ECN 研究領域主要為三大領域，分別為：(1)提供荷蘭政府有關能源政策的擬定、發展及評估；(2)提供荷蘭國內合作廠商有關能源相關的技術及推展；(3)提供荷蘭政府與國內外大學、研究機構合作研究能源相關領域之橋樑。

ECN 目前研究部門有 8 個，分別為能源政策研究、工業能源效率提升，太陽能、風力能源、環境再生能源、生質能、潔淨石化燃料、燃料電池等部門。其中，風力能源及太陽能部門分別擁有 55 位及 50 位員工，該二研究部門除積極推動荷蘭國內大學、工業界有關風力能源及太陽能相關研究及技術移轉外，亦努力與國外大學、研究機構進行國際合作研究。

## ECN 的風力能源研究

早上第二場簡報係報告 ECN 風力能源部門的現況及未來。風力能源部門成立於 1977 年，目前有 55 位員工，研究領域主要有(1)風力發電場設計，(2)風力發電渦輪機技術，(3)風力發電場整體操作，(4)風力發電相關量測及測試。而研究重點在於(1)增加風力發電公園的整體效能，(2)開發大葉片風力發電技術，(3)減少風力發電期間的運轉成本，(4)測試及量測風力發電之元件及葉片的特性。

簡報中亦述及目前全世界風力發電之總安裝發電量為 41GW（4 千 1 百萬瓩），多數的風車機台安裝於陸地，而少部份安裝於海底 5 10 公尺深的近海岸處（Offshore），其總發電量僅為 613MW。目前

世界前六大的風力發電國分別為德國（16GW）、美國（6.5GW）、西班牙（6.5GW）、丹麥（3.2GW）、印度（3.2GW）及荷蘭（1GW），佔世界風力發電量的 80%。而荷蘭 2020 年的風力發電國家目標為 7.5GW，佔再生能源的 16%，其中陸上風力發電為 1.5GW，離岸近海的風力發電量為 6GW，而目前荷蘭國內的風力發電為 1GW（風車機台有 500 台），由簡報得知，荷蘭風力發電成長率近 3 年快速成長，且風力機台朝離岸近海安裝。相較於丹麥，荷蘭風力發電尚屬成長期，其風力能源技術較丹麥落後，惟荷蘭 ECN 風力能源部門中的風力測試及測量（例如 WMC 及 EWTW），可作為台灣推動風力能源時之重要參考。

### **ECN 的太陽能研究**

下午 1:30 前往 ECN 太陽能研究院部門參訪，首先由太陽能矽晶體光電技術實驗室主任 Paul Wyers 博士，簡報該研究部門的現況及未來。由簡報得知，ECN 太陽能研究部門擁有 50 位員工，主要研究如何由太陽能轉換成電能所需的光電(Photovoltaic)材料、製程技術、電池及模組設計等。該研究部門主要研究領域包括有(1)矽晶體光電技術(Crystalline Silicon PV Technology)，(2)薄膜光電技術(Thin-Film PV Technology)。目前 ECN 太陽能部門已能提供製程快速的矽晶體光電材料，惟光電效率低及成本高的問題，尚需解決；而有關薄膜光電技術方面，ECN 已能製造世界先驅的薄膜 PV 材料，惟光電效率及成本仍是待加強的問題。

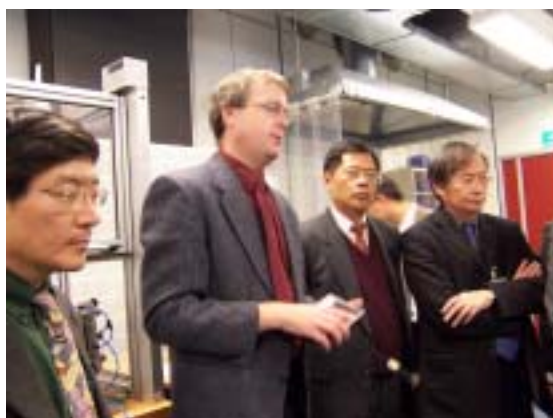
### **實驗室參觀**

聽完 Paul Wyers 博士簡報後（下午 2:00），由 ECN 太陽能部門中的矽晶體及薄膜 PV 技術實驗室的研究員，帶領前往參訪該二實驗室。由簡報及參訪行程中得知，太陽能 PV 製程技術類似半導體製程，國內已擁有非常好的半導體工業，未來朝太陽能光電材料及製程發展是非常有希望的。事實上，9 月 29 日早上拜會比利時歐盟運輸能源總署時，亦得到類似印證（目前國內茂迪公司為世界第二大太陽能板生產公司）。目前太陽能發電成本過高是全世界共同的問題，但由參訪得知，各種 PV 製程技術及電池效率的提升，已使太陽能發電成本快速下降。目前太陽能發電的每度電成本為 10-30 元台幣，2010 年預測降為 6 元，2020 則降為 2 元，已接近目前火力發電的成本。

### **未來合作方式**

實驗室參訪後（下午 3:00），回到早上簡報的會議室討論台灣與荷蘭 ECN 未來可能合作的方式。經過雙方熱烈討論之後，雙方可合作之方案及方式有(1)台灣可經由國科會千里馬方案，送研究生至 ECN 短期研究；(2)國內學者準備計畫書直接向 ECN 申請，即可至 ECN 短期研究；(3)雙方可經由國科會執行國際合作研究計畫；(4)ECN 同意接受台灣邀請，參訪台灣相關研究機構。

有關荷蘭 ECN 的對外窗口為 Heis Willems 博士，E-mail 地址為 willems@ecn.nl；ECN 網址為：<http://www.ecn.nl/main.html/>。



參訪團參觀ECN實驗室



參訪團於ECN風力渦輪機前合影

## 2.4 歐盟能源運輸總署 - 新興及再生能源處

(European Commission, Directorate-General for Energy and Transport, New and Renewable Energy Resources)

**時間與地點**：2004 年 9 月 29 日(三)；Brussels, Belgium

**參訪行程**：參訪團一行十人與中華民國駐歐盟兼駐比利時代表處科技組三人（許榮富組長、蔡玲琳秘書、魯汶大學機械所醫工組博士生 Mr. Hsiao-Wei Tang）同抵位於比利時布魯塞爾市之歐盟能源運輸總署 - 新興及再生能源處，與該處人員交換對於新興及再生能源之意見，並論及未來的合作構想，會議歷時兩小時。參訪行程如下所示：

10:00-10:15 Welcome words by Mr. Karl Kellner (Head of Unit D2, Management of Energy RTD Programmes), Professor Falin Chen, and Dr. Joseph Hsu

10:15-11:15 Presentations headed by DG TREN/D2  
- Introduction, by Mr. Karl Kellner

- Wind energy, by Mr. Roberto Gambi, (Administrator, Management of Energy RTD Programmes)
- Biofuels and hydrogen, by Mr. Inigo Sabater Eizaguirre
- Solar energy, by Pietro Menna (National Expert to the E.C., New and Renewable Energy Sources)

11:15-11:45 Discussion

12:00-14:00 Lunch

### **新興及再生能源處簡介**

歐盟的永續能源(sustainable energy)發展涵蓋(1)提升能源使用效率(包括建築物能源使用效率), (2)再生能源, (3)燃料管理, 包括: 生物燃料、熱電共生(cogeneration of heat and power), 和(4)永續能源整合方案(integrated approach)等四個方面。藉此, 歐盟的要求方案(initiatives)包括: (1)藉改善適切永續能源提供之服務, 去除貧窮並永續發展, 此將涉及歐盟間的合作, 以及歐盟各國和發展中國家間的互動; (2)增加再生能源之使用量; (3)降低對化石燃料之運輸量; 和(4)提升新能源技術, 期能對能源產業及其終端使用者提供更具競爭力、更具經濟效益(more competitive and more affordable)的能源使用。

在提升能源轉換效率方面, 短期內著重於生物燃料(biofuel)之使用, 長期方面則將著重於氫能之使用。能源策略之施行, 除了重視策略與目標之立法外, 也積極執行市場之開發、認證、規劃、財務及宣導等工作。目前第六架構計畫(Framework Programme 6, FP6)的執行目標在於研究、開發並展示新能源技術, 此計畫將於五年內(自2002~2006年)提供8億歐元經費。若擬加入FP6, 需於明年3月前提出計畫案。相關資料可得自以下網站: [www.managenergy.net](http://www.managenergy.net) 或 [www.trem-fp6@cec.eu.int](mailto:trem-fp6@cec.eu.int)。

### **歐盟的風力能源發展**

風力發電目前有6項計畫在進行中, 其所探討內涵相當接近市場需求, 包括: 風力機之設置、原型(prototype)風力機之開發(此項工作已相當完備)、風力電廠(wind farm)中風力機之設計、風力機之測試(此項亦已相當完備)等。目前世界的風力發電廠歐洲佔有80%, 以德國、丹麥、西班牙三國居首, 現在的風力發電量為30GW, 未來的目標為75GW。風力發電的優先研發項目為大型風力機(每部4~5MW), 擬開發創新材料(innovative materials), 質輕而耐用; 同時

探討基座之建置、結構體之維修、電力網之接置、連結及穩定性(grid accessibility, connection and stability)等相關課題。此外，風力機市場之預測、離岸風力機之建構（包括近海、深海，如 North Sea 及 Baltic Sea）使用海上鑽油平台以建構並維修離岸風力機、以及電力網之聯結等亦是重要的探討項目。整體而言，針對風力發電所需探討的項目，應包括：技術、經濟、財務等各個層面。台灣所需風力發電機的研發方向可能需考慮暴風雨或極端(stormy or extreme)環境下運轉的小型風力機。歐盟對台灣加入研發的策略採開放方式，歡迎參與。

### **歐盟的替代燃料發展**

歐盟對石油的依賴度有 50%石油來自進口，如此高進口量的石油供應致使歐盟成為不安全國家(insecurity countries)；因此，歐盟的規劃目標預計到 2020 年時，20%燃油要以替代燃料取代之。考量替代燃料的原因除了燃油的安全供應(security of supply)外，二氧化碳的排放量也是重要的考量原因。替代燃料短期內以生質燃料(biofuels)為主，中期目標是天然氣，長期目標則以氫氣為主。歐盟規劃於 2005 年時，2%燃油可以生質燃料取代，2010 年時，此取代比率至少要達 5.75%，但期待未來可以高達 15%。目前燃油的混合比為 5%之生質柴油(biodiesel)或 5%之乙醇(ethanol)。

歐盟自 1999 年至 2002 年於第五架構計畫(FP5)中，共投入 1.45 億歐元，以支持 70 個關於氫能及燃料電池之計畫案。燃料電池所使用的燃料為氫氣、甲烷及甲醇(methanol)。冰島(Iceland)的 300 萬居民將以氫能為其再生能源之未來目標。影響氫能未來發展的主要考量因素包括：不易攜帶(difficult to handle)或儲存、高生產成本(costly to produce)、以及其來源是否潔淨(clean from source)。歐盟期待在各主要城市皆設有氫氣充填站(H<sub>2</sub> filling stations)，同時氫能使用之研發工作從示範(demonstration)階段至市場(market)推廣皆需要考量，此一系列的研發工作需藉實驗室之各項實驗來細緻地建立各項技術(laboratories to fine tune the technologies)。

目前歐盟大力投入能源發展，包括：可再生之能源載具(energy carriers by renewable)、取代石油(replace oil)之能源、能源補充(complement of energy)以及建立技術平台(technology platform)，其對象涵蓋石油、汽車、能源、化工等產業及各國政府。至於運輸用能源的主要考量，目前較重視替代燃料(alternative fuels)、高效率引擎(energy efficient engines)和混合動力車(hybrid cars)引擎效率等方面。



## **歐盟的太陽能發展**

歐盟支持太陽能相關發展已超過 20 年之久，其間每 4~5 年即有一期架構計畫(framework programme, FP)，第五期(FP5)計畫中光電(photovoltaic, PV)能之研發經費總共達 1 億 1 千萬歐元，目前正在進行第六期計畫(FP6)，自 2002 年至 2006 年。光電能達經濟效益之規模(economy of scale achievable)主要是置於房屋屋頂的光電能設備，通常必須在房屋建構之前，建商與購屋者先進行規劃，以展示其創意(demonstration of innovative concepts)於建築相關事項，如：屋頂之形狀，房屋四周曝光之牆壁(facades)等，此類創意大多需要使用大尺度系統(large-scale systems)。

太陽能發電的研發考量項目包括：全套的光電能系統(complete PV system)、降低生產成本(cost reduction)、簡化轉換技術(simpler inverter technology)等。歐盟有關太陽能計畫主要有三類：(1)集中型太陽能計畫案，藉來自太陽光的直接照射，特別適用於沙漠中的太陽能。(2)太陽能與熱能計畫案，係指以太陽能產製熱水或提供冷卻功能，以達到商業化所需項目之研發。去年歐洲熱浪侵襲，太陽能冷卻遂成為重要議題。此類研究也探討如何將多餘的太陽能轉至當地電力網以降低全黑(blackout)之可能性，以及太陽能提供工業製程所需之熱能(heat for industrial processes)。(3)光電能計畫案，藉建築物之外表及其屋頂以集存光電能。一般而言，歐洲地區的光電能並不受塵埃與氣候之影響。台灣係屬光電能高度發展國家之一，很多台灣製的光電板已銷售至歐洲及世界其他國家，在光電能實質的發展上，台灣應具相當之實力。

## **綜合討論**

Mr. Karl Kellner 再次強調歐盟在再生能源的重點考量項目為：地熱、建築物相關節能與能源、CONCERTO、光電能/太陽能、生質能等；其中，生質能研發係屬落後(lacking behind)狀態，需提出行動方案(action plans)，並於 1 年內（至明年 10 月前）擬定計畫案，重點將以生質能發電或進行加熱功能。台灣為高度開發國家(fully-developed countries)，歐盟歡迎台灣參加歐盟研究，屆時台灣研發經費由台灣出資 100%，而歐盟所出資金將全數為歐盟國家所屬機構使用。

陳發林教授指出台灣再生能源的發展項目有：風能、光電能、生質能和氫能（長程計畫）等；明年初國內的再生能源政策制定、預算編列並立法通過後，將建議政府成立一再生能源研究中心，針對再生

能源各項議題進行研究,而以建置(installation)再生能源並促成再生能源產業(industry)為目標。未來國內將整合政府(國科會)研究機構(各大學、工研院)及電力生產事業(台電公司),共同致力於成立再生能源研究中心,並進行整合及進深的各項能源研究。

許榮富組長提及國科會將支持獲得通過與歐盟合作之國際合作案,每案每年 7 萬歐元,為期三年,此項研發經費補助,應具吸引力。



參訪團與歐盟能源運輸總署新興及再生能源處的相關人員討論實況

### 三、心得與建議

1. 有鑒於丹麥風力能源發展的技術水準,以及 RISØ 風力能源研究所在印度 Chennai 和埃及 Hurghada 的國際合作成效,參訪團認為有必要於國內成立風力能源研究中心,借鏡於 RISØ,深入且正確地評估台灣的風力能源潛力、發展方式和進程。
2. 台灣和荷蘭、丹麥類似,國土小資源不足,所以能源政策宜多變化,此亦是國內能源的既定政策。但值得注意的是,丹麥和荷蘭均積極推動陸上及離岸風車場,目前成效卓著,其原因在於他們重視在地的能源特性。陸上及離岸風車是否適合國內?則需針對台灣的風能及風向進行完整的研究。由風力特性及國內產業需求,來選舉合適的陸上或離岸,安裝適當的風力發電機組。
3. 台灣電業除了走向自由化及民營化外,區域能源和產業需求也是值得深思及推動,在地化的區域供電和能源應用值得推動及考慮。
4. 邀約國內學者專家有興趣於再生能源研發工作者,向歐盟提出 FP6 (第 6 架構計畫)合作計畫案,以研究、開發並展示新能源技術,此計畫將於五年內(自 2002~2006 年)提供 8 億歐元經費。若擬加入 FP6,需於明年 3 月前提出計畫案。
5. 明年初國內的再生能源政策制定、預算編列並立法通過後,建議

政府成立一再生能源研究中心，針對再生能源各項議題進行研究，而以建置(installation)再生能源並促成再生能源產業(industry)為目標。未來國內將整合政府（國科會）研究機構（各大學、工研院）及電力生產事業（台電公司），共同致力於成立再生能源研究中心，並進行整合及進深的各項能源研究。

6. 未來與各個參訪單位的雙方合作方案及方式，可考慮(1)台灣可經由國科會千里馬方案，送研究生至合作單位進行短期研究；(2)國內學者準備計畫書，直接向合作單位申請進行短期研究；(3)雙方可經由國科會執行國際合作研究計畫；(4)邀請合作單位相關人員，參訪台灣相關研究機構。

#### 四、誌謝

此次「赴歐洲考察熱流暨能源工程研究及技術發展」參訪團順利完成參訪任務，首先需感謝國科會的經費補助，領隊陳發林教授的事前規劃和全程督導，以及學門承辦人張嘉恆先生的行政支援，使得參訪規劃得以付之實現並且圓滿達成。當然，參訪團成員於參訪行程中的同心協力和分工合作，使得此次參訪行程除了潔淨能源科技的觀摩學習外，更增添了不少歡樂。

參訪團於兩週內走訪挪威、丹麥、荷蘭和比利時等四國的多個研究單位，參訪行程的規劃、聯繫和接待工作，巨細靡遺皆有賴我國駐外代表處工作同仁的辛勞協助，特此敬表謝意。謹此感謝：挪威代表處黃旭甫代表及李四平組長，丹麥代表處張平男代表及蔣士煌組長，比利時代表處徐勉生副代表及許榮富組長，以及參與協助工作同仁。其中，許榮富組長從頭幫到尾，前後至少三個月時間在處理本團訪問事宜，在比利時又幾乎傾全科學組的人力，安排全團的食衣住行和參訪事宜，真是感激不盡。

#### 五、攜回資料名稱及內容

##### 挪威能源與核能技術研究院

1. Arne Raheim, “Energy Research at Institute for Energy Technology,” Institute for Energy Technology, Norway, Sept. 22, 2004.
2. “Research for a Better Future – IFE Annual Report 2003,” Institute for Energy Technology, Norway.

##### 丹麥 RISØ 國家實驗室

1. Erik Lundtang Petersen and Peter Hauge Madsen, “Wind Energy Department, RISØ National Laboratory,” Wind Energy Department, RISØ National Laboratory, Sept. 24, 2004.
2. Jakob Mann, “Meteorology and Aerodynamics,” Wind Energy Department, RISØ National Laboratory, Sept. 24, 2004.
3. “RISØ WindConsult,” RISØ National Laboratory, Jan. 2001.
4. “RISØ Annual Report 2002,” RISØ National Laboratory, April 2003.
5. “RISØ Annual Report 2003,” RISØ National Laboratory, April 2004.

### **荷蘭能源研究中心**

1. Hein Willems, “ECN - The Challenge of Sustainable Energy,” Energy Research Centre of the Netherlands, ECN, Sept. 27, 2004.
2. Jos Beurskens, “Wind Energy and ECN,” Energy Research Centre of the Netherlands, ECN, Sept. 27, 2004.
3. Paul Wyers, “Solar Energy,” Energy Research Centre of the Netherlands, ECN, Sept. 27, 2004.
4. “Annual Report 2003,” Energy Research Centre of the Netherlands, ECN.

### **歐盟能源運輸總署 - 新興及再生能源處**

1. Karl Keller, “Sustainable Energy Systems – General Introduction,” Info Day, Brussels, Directorate General for Energy and Transport, European Commission, Sept. 22, 2004.
2. Kyriakos Maniatis and Inigo Sabater, “Sustainable Energy Systems – Alternative Motor Fuels,” Info Day, Brussels, Directorate General for Energy and Transport, European Commission, Sept. 22, 2004.
3. William Gillett, “6<sup>th</sup> Framework Programme (2002-2006): Sustainable Energy Systems – Third Call for Proposals,” “Short to Medium Term” Info Day, Brussels, Directorate General for Energy and Transport, European Commission, Sept. 22, 2004.
4. “Wind Energy – The Facts: An Analysis of Wind Energy in the EU-25,” The European Wind Energy Association, Renewable Energy House, Feb. 2004.
5. “European Fuel Cell and Hydrogen Projects 1999-2002,” Project Synopses, Community Research, European Commission, 2003.

6. "European Hydrogen and Fuel Cell Projects," Project Synopses, Sixth Framework Programme, Community Research, European Commission, 2004.
7. "European Bio-Energy Projects 1999-2002," Project Synopses, Community Research, European Commission, 2003.
8. "European Photovoltaics Projects 1999-2002," Project Synopses, Community Research, European Commission, 2003.
9. "Clean Urban Transport for Europe (CUTE): A Fuel Cell Bus Project in 9 European Cities," European Communities, 2002.
10. "Clean Urban Transport for Europe ( CUTE): A Fuel Cell Bus Project in 9 European Cities – Hydrogen Supply Infrastructure and Fuel Cell Bus Technology," European Communities, 2004.
11. Joseph Ron-Fu Hsu, "Current Situation of EU-Taiwan Science & Technology Cooperation," Science and Technology Division, Taipei Representative Office in Belgium, Sept. 9, 2004.