

行政院及所屬各機關出國報告
(出國類別：洽公)

製造商 Westinghouse、AREVA
元件設計與製程審查及
轉化商 ConverDyn 國外庫存查核作業

服務機關：台灣電力公司

出國人職稱：燃料處核燃料組核燃料技術專員

姓名：張庭碩 (043632)

出國人職稱：燃料處核燃料組作業管制專員

姓名：洪紹鈞 (043669)

出國地區：美國

出國期間：104年9月13日至104年9月20日

報告日期：104年11月18日

報告內容

目 錄

壹、出國緣起與任務	1
貳、出國行程紀要及會議議程	2
參、工作內容	3
肆、感想與心得	18

壹、出國緣起與任務

- 一、核燃料製造品質之良窳，直接影響核能電廠運轉之實績與安全。為確實掌握製造廠家於核燃料元件設計與組件製程及組件製造期間各項品質管制作業之執行，並避免核燃料運抵國內開箱檢驗才發現品質缺陷或不符合設計規範，而再行善後補救，本公司均配合製造廠家之實際製造進度，派員前往製造廠執行核燃料元件設計與製程審查及設計變更之驗證，以確保本公司所採購核燃料之品質符合採購規範要求，進而提升核能電廠運轉之可靠性與安全性。
- 二、目前本公司核三廠 2 號機第 23 批次(MS2R23)核燃料元件正於西屋公司位於美國南卡羅來納州之哥倫比亞製造廠製造中，故擬派員前往製造廠，執行該批次核燃料元件設計與製程審查及設計變更驗證。此外，前往位於華盛頓州里奇蘭之亞瑞華公司核燃料製造廠，針對渠今年度提供核一、二廠核燃料元件之製程改善與設計變更及供料情形等進行查驗。
- 三、本公司為確保核燃料供應安全與穩定，訂有庫存政策。其中，原料鈾庫存為至少備有 3 年安全庫存，存放於國外轉化廠與濃縮廠，亦建立部份轉化鈾庫存，以增進供應安全，並有助於實際機組調度。由於庫存鈾料數量龐大(每年約 1,000 萬磅原料鈾相當量)，金額頗鉅(以目前市價原料鈾每磅約 36 美元，初估高達 3.6 億美元，相當於 115 億元新台幣)，為確保本公司權益，定期查看以了解貯存情況確有必要，亟應派員前往實地抽查驗證，以確保庫存物料數量之正確及安全。此外，由於核燃料各階段原料鈾、轉化服務及濃縮服務之交貨皆於國外進行，亦有必要就交貨規格作嚴密之抽查，確認符合規範要求，以保障核燃料使用之安全，故實有必要定期派員實地查驗以確保本公司之權益。

貳、出國行程紀要

時間	工作行程
2015/9/13~2015/9/14	往程：台北—美國舊金山—美國 Metropolis
2015/9/15	轉化商 ConverDyn 庫存查核
2015/9/16~2015/9/17	製造商 Westinghouse 製程審查及庫存查核
2015/9/18	製造商 AREVA Inc.製程審查及庫存查核
2015/9/19~2015/9/20	返程：美國 Richland—美國西雅圖—台北

參、工作內容

一、轉化商 ConverDyn 參訪及庫存查核

本公司目前與 ConverDyn 所簽署之轉化服務契約供應年度為 2013-2021 年(2020 及 2021 為選擇性年度)，每年 360 公噸鈾，並具有 10%之上下數量調整彈性，近期因為龍門電廠封存需求減少，ConverDyn 多以契約下限量提運。本公司今年度交貨配合渠時程調整提前於 6 月交貨，並對應回饋本公司提供價格上額外折扣及 2016 年無數量限制免費鈾料貯存優惠，此作法對雙方皆有助益。2016 年之交貨時程則仍暫規劃於年底交貨。

ConverDyn 公司係建立於 1992 年，由 Honeywell 及 General Atomics 公司各持股 50%而組成，以銷售 UF6 轉化服務給電廠為主。轉化廠係為 Metropolis 廠，原由 Allied 公司擁有，成立於 1958 年，當初係以供應美國原能會 AEC（能源部前身）為主，1959 年開始交運 UF6 迄今已有約 55 年豐富之運轉經驗，該廠曾於 1964 年因 AEC 合約結束而暫時關閉，惟隨即為了供應蓬勃發展之民間核能工業而於 1968 年又恢復運轉，並逐漸擴大產能。廠區位於伊利諾州南方，與原 USEC 之 Paducah 濃縮廠相隔 Ohio 河比鄰而居，所擁有之廠區土地面積達 1100 英畝，惟實際使用面積僅約 60 英畝。該廠目前每年名目產能為 15,000MTU，2014 年之使用率為 70%，故實際年產量約為 10,500MTU。

Metropolis 廠區鳥瞰圖

近期新聞：

1. 2012/5/9 起 Metropolis 廠因應 NRC 之安檢結果進行設備升級，經過 14 個月完成作業通過 NRC 之審查於 2013/7/10 恢復生產。

2. 2014/8/1 因 ConverDyn 之 Metropolis 轉化廠因無法與工會勞工達成新的勞資協議，該廠管理階層於 8/2 停工。工會要求增加薪資 5%、提供更多職位以及限制雇用非工會員工，期間由其他非工會且具良好訓練之人員維持非大修期間之運轉，最後於 2015/3/23 與工會代表達成協議，簽署 3 年契約，2015/4 重啟運轉。
3. 2014/10/26 曾發生機械設備故障導致之洩漏，2015/8/1 則因維修程序問題發生 UF6 洩漏，皆已於修訂程序後經由 NRC 審核通過恢復運轉。

因於出國前不久剛發生上述洩漏狀況，職於去程前亦多次聯絡廠家表示關切，確認廠內是否正常運轉，並加強瞭解渠之工安作為。而從進入 Metropolis 廠開始，即感受該公司對工安的嚴格標準，雖轉化廠內主要製程係以化學製程為主，並無與背景輻射不同之劑量分佈，不像進入核能電廠機組內需要穿上防護衣，但所有人仍需穿著類似化學實驗的護目鏡及實驗衣始得進廠作業。在廠內會議室進行簡報的同時，發現其中一個螢幕上突然煙霧瀰漫，經解釋後瞭解原來係廠內針對轉化鈾外洩事故進行演習，屬定期演練作業，從螢幕上可看到人員各司其職完成工作，雖實際事故發生時或許廠內人員並無法完全冷靜動作，但熟練的操作勢必可幫助廠內使洩漏的程度降到最小，對安全有所保證。

職等參觀 Metropolis 轉化廠係由廠長 Mr. Jim Pritchett 及 Operation Manager Mr. David M. Craig 負責接待，渠等詳細為職等解說該廠建廠之相關背景資料，以及從接收並備妥原料鈾，包括如何秤重 (Weighing) 與取樣 (Sampling)、還原 (Reduction)、氫氟酸化 (Hydro-Fluorination)、氟酸化 (Fluorination)、蒸餾 (Distillation) 等轉化作業程序(如下圖)。之後，並陪同職等參觀廠內之佈局與運作情形。

在製程部份，該廠係獨家採用所謂『乾式轉化』的做法，乾式轉化技術是於 U308 轉化為 UF6 後，再以蒸餾法進行去除雜質的工作，相對濕式轉化技術最大之優點為在製程之最後階段，方進行淨化作業，故可避免濕式轉化程序於淨化後之轉化程序中再受污染，亦即乾式轉化方

式可得到較佳品質之產品，此外其所產生之待處理廢料較少，具有先進之環保作法。與 CAMECO 及 AREVA 企業之濕式轉化製程，即先將原料鈾於精煉廠進行取樣分析及饋料準備後，經硝酸溶解、萃取、與冷凝水作用再經水份蒸發得到 UO₃ 粉末，再運到轉化廠進行還原、氫氟化及氟化作業之作法不同。

有關 Metropolis 廠的轉化製程步驟說明如下：

1. 取樣 (Sampling)：

目前該廠之 U308 取樣作業(下圖左)係以一批 50 桶均勻取樣一桶，再分裝六個樣品瓶，由 Honeywell 及鈾礦商各持有兩瓶，另保留兩瓶供爭議發生時之仲裁檢測用。至於 UF₆ 之取樣，則採 99.7%信心度每五只取樣乙只 UF₆ 容器之作法，取樣的目的是為確保黃餅的純度、顆粒大小及密度可供後續製程作業使用。取樣後則送入實驗室進行分析(下圖右)，以確定是否符合純度要求，實驗室以 24/7 全年無休的基準進行，以確保可得到最高品質的 UF₆。

2. Ore preparation and Sizing：

此步驟主要為饋料準備(feed preparation)，利用化學液體使原料鈾混合凝聚結塊，再經乾燥、刮刷及篩濾等過程確保原料鈾顆粒大小相近，使送進流體床(Fluid bed)之原料鈾能具有運轉所需之最佳的粒子大小及密度。

3. 還原 (Reduction)：

此步驟係將 U308 加入氫氣後加熱到約 538°C (1000°F)以上之環境中產生化學反應而還原脫出 UO₂ 及水，並將雜質部分由廢氣系統帶走並移除。

4. 氫氟酸化 (Hydro-Fluorination)

此步驟係將前步得到的 UO₂ 與氫氟酸(HF)加熱進行反應，以產生俗稱綠鹽(Green salt)

的中間介質 UF4 並移除部份雜質，再度進行純化。

5. 氟酸化 (Fluorination):

UF4 與氟(F₂)於高溫氣態環境中進行反應，產生 UF₆ 氣體，經過氣體過濾後再冷凝成為 UF₆ 液體。其中該廠內具有全球最大的氟氣存量，係由氟化氫鉀內之 HF 經由電解而得，並由真空吸引取出氟氣，強化作業之安全性。

6. 蒸餾 (Distillation):

此步驟乃將 UF₆ 氣體利用兩階段蒸餾系統移除不純物質使之純化，並將純化之 UF₆ 氣體冷凝液化後裝入 14 噸(48Y)不鏽鋼圓筒。最後將圓筒送至廠區中的貯存場冷卻 4~5 天，使 UF₆ 固化。而 UF₆ 之實體運送出廠必須等到固化後才可進行。再次的純化使得 Metropolis 廠能夠產出 99.99%以上純度的 UF₆，受到下游的濃縮服務廠商喜愛。

由於本公司有原料鈾及轉化鈾庫存於該廠，職一併參觀原料鈾及轉化鈾貯存場地。廠長 Mr. Jim Pritchett 帶領職等參觀廠區各部門，特別說明鈾礦經開採、碾磨、萃取及精鍊成原料鈾後，其化學成分為 U₃O₈，一般係黃色粉末固體，俗稱黃餅。惟實際上，來自不同礦區及鈾礦精煉廠之 U₃O₈，會因氧化程度差異而致顏色不同，如加拿大或俄羅斯之鈾礦為接近黑色，精煉時溫度較高，其密度相當高，因此 U₃O₈ 中之 UO₂ 成分相當高，而使得 50 加侖桶裝之 U₃O₈ 可能重達 8000 磅，而一般”黃餅”則僅重約 5000 磅。為了使整個生產流程順暢一致，於前面進行饋料準備作業時，來自各區域之原料鈾必須經過結塊 (agglomeration)、切割之 U₃O₈ 準備程序控制輸入流程中之 U₃O₈ 尺寸。

也看到廠內之原料鈾貯存場大約兩個操場大，原料鈾貯存區放置不同顏色的原料鈾桶 (Drum)，不同礦區之以不同顏色區分。圓桶可互相堆疊，惟最高僅能放置三層(如下圖)，以防止過重造成箱子損壞或傾倒。

轉化鈾貯存場放置許多 48Y 之運輸箱，大部分直接放置於地面，少部分置於運送平板，但不可堆疊，因為冷卻後之轉化鈾非常的重，會壓迫到下層之運輸箱使之變形(詳下圖)。

另外，據瞭解廠內自 2012 至 2013Q2 間進行的新設備採購及製程升級，以符合福島事件過後美國 NRC 對耐震強度及天災的要求進行補強，可見到建築各處有與本公司電廠類似之外牆加固。職亦於進廠時發現該廠內亦設有防止龍捲風出現時之人員緊急庇護所，希望該庇護所可以僅作為預防而無需有使用的一日。同時職亦詢問渠廠內是否會有擴產的打算，渠表示 ConverDyn 在理論上可辦到但就目前之市場行情來看暫無此打算，且在前述的設備更新作業部份已投入相當資金，若要決定擴產也需要相當的前置期進行規劃，故短期內不會進行。

職亦於詢問有關 Metropolis 轉化廠是否可提供製造廠天然鈾之實體交貨辦理情形，CONVERDYN 的副總 Mr. Berklite 說明主要的考慮仍為轉化鈾使用 48X/48Y 空箱，濃縮鈾則使用 30B 空箱，空箱規格不相同及接收設備不同的問題，基於業務需求不同，一般而言，製造商僅擁有 30B 之空箱與設備，轉化商則僅擁有 48X/48Y，濃縮商則同時具備二者，惟 Metropolis 亦有裝填(filling)轉化鈾與濃縮鈾不同空箱的設備，但是不能同時運作，必須停止轉化鈾之處理後才能進行，影響轉化廠之一般運轉，且製造所需之轉化鈾，數量很小，無法納為常規生產，ConverDyn 建議，考量經濟性與生產效益，故交貨時程必須特別安排，最好是集中處理。此外，NRC 所發給 Metropolis 轉化廠執照為天然鈾轉化為轉化鈾之處理，U235 濃度上限為 0.711W/O，為避免受來自製造廠之濃縮鈾空箱內殘存濃縮鈾之污染，渠已採購一些 30B 空箱^註，專供製造商租借，目前正與特定製造廠家協談中，本公司若有此需求可請製造商(AREVA

Inc.)直接與他們連絡。

註：Cylinder Model 30B，此箱可裝載濃度在 5.0W/O 以下之轉化鈾。

二、 製造商 Westinghouse 製程審查及庫存查核

本公司目前與 Westinghouse 所簽署之核三廠核子燃料製造服務契約係於 2007/4/27 簽訂，契約量包含 2 部機組各 5 批固定批次(MS1R19-MS1R23，MS2R18-MS2R22)及 2 批選擇性批次 (MS1R24-R25，MS2R23-MS2R24)，其中固定批次部分已全數執行並交貨完畢，選擇性批次部份分別於 2014/9/3 執行 MS2R23、2015/8/28 執行 MS1R24 等 2 批選擇性批次，後續 2 批次則待應通知前再行討論執行方式。

Westinghouse 創立自 1886 年，而渠之核能部門於 1957 年建成首部美國首部核能機組，開始提供商用 PWR 之核燃料，後 Westinghouse 核電事業經過數度易手，近期於 2006 年由日本東芝公司收購。近期內大力推動第 3+代反應器 AP1000 為渠新機組之主力，目前美國國內興建中之新電廠 Vogtle 與 V.C. Summer 皆屬該機型，並已將技術輸出近年內核電蓬勃發展的中國大陸，無論 Westinghouse 設計之 AP1000 或是中國大陸獲得技轉後所建之 CPR、Hualong 機型皆有類似的設計理念，相較於 GE 之 ABWR 系列目前僅有 2 部機組、AREVE 之 EPR 在芬蘭之 Olkiluoto 3 機組經過數次延期目前仍在興建中，Westinghouse 之 AP1000 型號目前在 3+代反應器中取得高度的市占率。

西屋公司之核能系統部門，除了賓夕法尼亞州的匹茲堡總部(headquarters)負責核心設計及爐心營運相關，以及南卡羅來納州的哥倫比亞製造廠(Columbia Fuel Fabrication Facility, CFFF)負責核燃料製造服務加工外，尚有美國境外，位於瑞典的Västerås Plant 及英國的 Springfields Facility 製造廠；此外，生產鋯合金材料及相關組件(Zirconium products) 的 Western Zirconium Plant 位於 Ogden, UT、生產燃料護套(cladding) 的 Specialty Metals Plant 位於 Blairsville, PA，以及專門負責生產 CE (Combustion Engineering)燃料元件及相關控制組件的 Windsor Fuel Facility 則位於 Windsor, CT。

本次造訪 Westinghouse 於南卡羅萊納州之 Columbia 製造廠，由客戶專案經理 Mr. Stephen Nance 接待，負責替職等進行廠內製造產線之介紹及回覆製造與運輸相關之問題。在進行廠

內製程參訪前，Mr. Stephen Nance 再三強調在過程中勿離開他的視線範圍，可見目前渠廠內之人員管制確實嚴格，且於廠內稽核的各廠家，主要皆集中於入口處附近之各個小會議室內，本次也正好看到來自中國大陸之人員，據了解係為海陽核電廠之職員，到廠稽核渠將使用於 AP1000 反應器之燃料。

而進入製程產線後，首先大致瞭解廠內進行的各階段作業，包含燃料丸的製造、燃料棒、燃料組件等的組裝，並於各階段皆有把關檢驗後，通過後才能完成廠內使用的燃料組件。

首先介紹燃料丸之製造作法，係選擇所要的 U235 濃縮度混合 UO₂ 粉末，再與燃料丸回收處理所獲之 U308 粉末混合，而後研磨成粒狀(Pre-compaction & Granulation)，再加入潤滑劑粉末(Lubricant Adding)後加以冷壓(Pellet Pressing)、燒結(Pellet Sintering)、研磨(Grind Pellet)、乾燥以及最後之表面缺陷檢查等五個程序。而其中若屬 IFBA 可燃毒物燃料丸，則送往進行 ZrB₂ 之鍍膜，以紫外線爐加熱固化後，成為外觀略微灰色之 IFBA 燃料丸，目前 IFBA 燃料丸檢查系統係採用西屋公司最新之自動化檢查系統 APVIS。

護套的部分係於渠設於匹茲堡之工廠製造完成，本公司目前使用的係為 Zirlo 材質，在 Columbia 製造廠內接收後，每根燃料護套會先進行雷射標示(Barcoding)，確認重量後再進行下端塞圍焊。下端塞圍焊之步驟為利用氬氣清潔燃料護套管內部，利用棉線清潔焊接端，插入下端塞，進行圍焊及超音波檢測，完成後在燃料護套的下端約 6 吋部位做熱處理增建氧化膜(coater)及熱處理後之裸視檢查(Visual Inspection);護套管下端增建氧化膜的目的是提升該部位抗外物撞擊(fretting) 的能力，增進燃料護套管的可靠度。

接下來介紹燃料棒製程，西屋公司係採振動式自動燃料丸裝填，作業員以條碼機讀取燃料護套之雷射條碼後，從品管人員已放行之燃料丸車架上取出燃料丸並放置在裝填台上後再以自動裝填機之振動力將燃料丸推進燃料護套內，直到填足後由作業員以量規確認後才放行至下一站進行氣室彈簧填裝。先裝填底部 (Blanket) 2.6% (鈾濃縮度) 之中空燃料丸 (6 吋)，

再裝填 4.95%或 4.6%之燃料丸（約 132 吋），後再裝填頂部（Blanket）2.6%之中空燃料丸（6 吋）。當中作業員會以量規確認燃料丸裝填總長度，太長則用吸氣頭吸出，否則補充燃料丸。並且於燃料丸裝填長度、數量等確認無誤後，以棉線清潔端口，裝填氣室彈簧後，進行上端塞圍焊，充入氬氣後封焊，至此可以見到可用之單一燃料棒。

燃料棒上端塞焊接後，其焊道均以超音波檢驗(UT)設備執行 100%之缺陷檢測。超音波檢測設備具有自動檢測及缺陷自動偵測並剔除之功能。並於 UT 檢測後進行 100%之 Gamma Scan。Gamma Scan 係針對燃料棒有效燃料長度、氣室長度等作一確認，並以相對比較方式核對燃料丸密度、平均 U235 濃度等。每根燃料棒做完 Gamma Scan 之檢測記錄均自動存入電腦，有問題之燃料棒會被自動偵測出，並再進行一次相同之檢驗以防止機器之誤訊號，連續兩次皆發現 Defect 時機器會自動將此 Rod 挑出，再由 QA 工程師進一步檢驗，若確定有 Defect，此燃料棒將會被 Scrap 掉。在前項檢查過關者，才會進入尺寸及外觀檢查作業(100%查驗)，主要是以量規(Ring Gage)量測端塞焊道外觀尺寸、燃料棒長度及以放大鏡檢視焊道之顏色、刮痕、凹陷、裂紋及燃料護套之刮痕、凹陷與清潔度等，並藉著目視標準規 (Visual Standard) 比對缺陷尺寸，如發現不合規範要求，即依照其缺陷代碼輸入系統，加以管制。各項皆合格後才放行進入組裝作業階段。

接下來看到的是燃料束骨架及燃料束組裝之製程，渠作法係先定位下端板及各個燃料格架後，開始插入各個儀器管及導管，燃料束組裝採用自動化的 Rod Loading Machine，依預先設定好的程式配合現場以掃描器讀入每一支燃料棒之編號後，自動牽引每一支燃料棒至定位，同時在西屋之製程中可以看到渠係以一層一層的燃料棒水平排好，確認位置無誤後一次拉入燃料束，特別可以注意的是，為了整體的平衡，係以上下各排交錯拉入的方式進行。

在完成組裝後尚須經過燃料束清洗的過程，並在最後再次由人工進行清潔檢查，通過後即用塑膠套披覆，吊掛於渠之燃料貯存區。

Westinghouse 製造廠生產及檢驗之自動化程度很高，各項控制與管理、檢驗結果與記錄均是電腦化管理。電腦化管理程序係於燃料製造前先將各主要零組件規範輸入中央控制電腦，實際製造時，再由與中央控制電腦連線之工作站擷取有關的燃料製造資料，諸如燃料組件規範、品質檢驗程序書和作業程序書等，同時亦可將最新之燃料製程狀況上傳至中央控制電腦。而亦可由各工作站直接進行製程與檢驗數據之核對等品管作為。

另該公司於 2014 年也針對燃料底部之爐屑過濾底部管嘴(debris filter)提出設計變更，該設計變更是阻擋爐屑(debris)自底部進入燃料格架，可降低燃料破損機率，維持運轉績效，職等此次亦前往查證該項設計之製程，並經查證後無誤。

在進行參觀的同時，看到西屋公司曾推薦本公司使用之 Traveller 運輸箱，Mr. Stephen Nance 表示渠曾為該項目之負責人，負責設計該種運輸箱，使用狀況良好，目前已用於渠國內外之交運作業。同時，Mr. Stephen Nance 亦表示目前本公司所使用 MCC 系列運輸箱仍可使用，且西屋公司具有延長 MCC 系列運輸箱使用執照年限之計畫，將持續與本公司更新執照狀況，若一旦要採新款 Traveller 運輸箱，渠口頭表示同意將提供該款運輸箱作為本公司人員訓練之用，且將派員至台灣進行訓練，惟並未提到費用部分，將待實際須更換運輸箱時再行與西屋公司洽談。

經過參訪後，職等亦與 Mr. Stephen Nance 針對近期與西屋公司之各項議題進行討論。首先有關於 Gamma Scan 部分，西屋曾於 2014/8/25 來信通知在本公司 MS2R22 批次中包含 1 隻燃料棒涉及氣室長度偏差事件，西屋報告指稱總共有 12 支燃料棒涉及此事件，該 12 支燃料棒於初次 Gamma Scan 被” Reject” ，技術員執行再確認掃瞄後，結果為可接受，但未能將記錄上傳存檔。經檢查廠內所剩之 1 支燃料棒後判定合格，且其他燃料棒在送到其他廠家後皆已接受西屋之技術報告，且西屋公司提出流程改善後此問題應不再發生，經各單位審核過後同意該燃料未來並無使用限制。

本次進廠時適逢進行本公司 MS2R23 批次之製造，雖燃料組件成品在參與電廠燃檢、大修時都有看過實體，但各部分之實際製造狀況、檢驗方式則是藉著這次計畫才能看到，即使無法僅

以目視來判別產品之好壞，至少可使得與廠家現場工作人員交流更為容易，在面對類似設計變更或製程出現問題時能較易理解問題來源。

三、 製造商 AREVA Inc. 製程審查及庫存查核

本公司目前與 AREVA Inc. 所簽署之核一、二廠核燃料製造服務契約皆於 2008/4/11 簽訂，契約量包含 2 部機組各 5 批固定批次(CS1R25~CS1R29，CS2R24~CS2R28，KS1R21~KS1R25，KS2R21~KS2R25)及 3 批選擇性批次(CS1R30~CS1R32，CS2R29~CS2R31，KS1R26~KS1R28，KS2R26~KS2R28)，其中固定批次部分目前餘 CS1R28，CS1R29，KS1R25，KS2R25 批次尚未交貨，惟此 4 批次皆因目前核一、二廠因用過燃料池將滿之議題而延後交貨，未來交貨時程將視狀況而定。

AREVA 公司總部設立於巴黎，其集團前身為 COGEMA 及 FRAMATOME-ANP，目前集團持股主要為 CEA 與法國政府，提供服務遍及原料鈾、轉化服務、濃縮服務、製造服務、爐心營運、後端營運、反應器及其他發電設備供應等全範圍服務。其製造廠共有法國的 Romans 廠，德國的 Lingen 廠及美國的 Richland 廠。職此次前往位於美國華盛頓州之 Richland 製造廠，該廠區建於 1969 年，佔地約 404,000 平方呎，目前員工約 800 人，主要專事 BWR 與 PWR 燃料生產。職此次前往該廠，是由其核心設計專案工程師 PATCHANA Thongchai，合約執行專案經理 Robert Follett，BWR 產線經理 Steven Cole 以及合約與客服經理 Kris Mitchell 陪同。

Romans, France

Lingen, German

Richland, USA

主要製程：

1. 乾式轉化(dry conversion process: UF₆->UO₂)：

目前該廠之裝置容量為 1800MTU，但根據 ERI 之報告，2014 年之產量僅 850-900MTU，約 50% 的產能，其主因是自福島事件以來，部份國家提出減核政策以及日本停止國內核能電廠自福島事件之後尚未重啟影響，需求減少之故。

同時該廠亦提供 UF₆→UO₂ 轉化服務予日本 NFI(Nuclear Fuel Industries)，但目前亦因福島事件導致相關服務暫緩。

2. 燃料丸製程(pelletizing process)：

將經過乾式轉化後所得到之 UO₂ 粉末，以高壓製擠成為圓柱狀之顆粒 (Rotary Press)，這些圓柱體即為燃料丸 (Pellet)，再將燃料丸送至高溫之熔爐燒結 (Sintering) 成陶瓷型態，再依據不同燃料形式研磨 (Grinding) 成所需尺寸，並以雷射機檢查其尺寸是否符合規格，最後將燃料丸放置於平盤以供檢驗人員 (分初檢人員及複檢人員) 檢查。

3. 燃料棒製程(Rod fabrication process)：

將上述通過檢驗的燃料丸放置於工作平台上，以震動(vibration)方式填裝入燃料套管(tube)內，並焊接(welding)兩端，即完成燃料棒的製造。

燃料丸放置平台

4. 燃料骨架製程(Bundle process)：

核燃料的各種組件在此進行組裝，製程最後之燃料束(fuel assembly)，然後經過外觀檢查，高溫水洗及風乾後，進行最後包裝及裝入運送箱(container)內。

製成燃料棒暫存格架與燃料棒加工台

燃料束組裝平台

製成核燃料最終檢查，水洗風乾與最後裝箱過程

此外，由於核二廠 KS1R22、KS2R22 及 KS1R24 批次燃料於廠內開箱燃檢時均發現燃料隔架(spacer)有部份異常現象，惟經廠商檢修確認後已恢復原狀。故職等此次特別注意其組裝或最後封裝作業，並請 AREVA 專案經理 Robert Follett 陪同觀看 2 束核燃料組裝，及查看高溫水洗燃料之過程，其中廠商均按程序作業，經職等查證後並無發現任何異常。

5. 近期之設計變更

AREVA 公司於此次出差前提交一份設計變更(CS/KS-10401)之申請予本公司，內容說明 Atrium-10 新設計的 blanket pellet 之長度將與一般燃料丸之長度一致(原 blanket pellet 之長度為 $0.551" \pm 0.078"$ ，更改後之長度為 $0.413" \pm 0.078"$)，渠表示因為 blanket pellet 長

度較長，因此檢查燃料丸長度之機台常因靈敏度問題而將部份正常之 blanket pellet 退回重製，為減少此類之錯誤判讀狀況發生，遂將 blanket pellet 之長度縮短至一般燃料丸相同之長度，其專案經理 Robert Follett 並於廠內說明該機台的檢查機制，以及退回後重製的流程供職參考，經查證後無誤，的確可減少誤判之情形，提高燃料束製造效率，後核發處與核安處亦表示接受該設計變更。

6. 核燃料運輸之相關議題：

職於核燃料技術課除負責核燃料技術相關業務外，亦負責核燃料運輸之相關業務，因此亦藉由此次機會與 AREVA 專案經理 Robert Follett、執照維護經理 Loren Maas 及核燃料運輸專案經理 Scott Edwards 討論目前核燃料運輸之現況。

其中討論到目前核一二燃料所採用之 SP 運輸箱(containers)維護部分，本公司表示於運送箱運至廠內後皆依循 AREVA 提出之規範貯存、維護，惟 AREVA 表示可能因台灣氣候因素且因運送箱自抵達本公司電廠至送返 AREVA 製造廠時程較長，仍使部分運輸箱狀況老舊，有鏽蝕狀況，若持續裝載本公司核燃料將可能造成鏽屑，劃破燃料塑膠護套，進而造成新燃料損傷，或造成部份鏽蝕碎屑卡在燃料隔架或上下繫板等燃檢時難以檢查的地方，造成爐心異物入侵(debris)，影響電廠營運，此部分運輸箱之維護整理作業依契約應由 AREVA 負責，故此議題，職等請 AREVA 無論是將現有運送箱進行檢修整理，或是全面淘汰 SP 運送箱使用 RAJ-II 之運送箱，都盡早進行規劃，本公司亦確保運送箱於本公司使用期間之維護有達到渠所要求之標準，並於燃料檢查結束後，儘可能安排運輸箱及早返回 AREVA 製造廠並進行檢整。

另 AREVA 亦提出 Physical Protection Plan 草案，該草案是 AREVA 預期未來 NRC 將依據法規(10 CFR 73.67, 73.73, Appendix E to Part 73)，請 AREVA 提供核物料(nuclear material)之運輸安排與相關通報之佐證資料，內容包括美國內陸運輸與海運安排、美國內陸運輸與海運承攬商資料、發生事故之緊急連絡人以及通報程序等等，由於該草案涉及規範本公司核燃料運送承攬商及其下包商之權力與權益，故職於會場並未直接應允未來同意該草案，並委請 AREVA 將相關資料寄送本公司，與主管討論利弊後再行回覆 AREVA。

肆、感想與心得

- 一、 首先感謝公司能提供此機會給職等在進入公司 2~3 年即有機會出國洽公，與本公司契約相關之 ConverDyn、Westinghouse 及 AREVA 公司學習，瞭解轉化及製造服務的實地作業情形，並學習渠等高度技術化、自動化之技術，更重要的是渠等執行任務的工作態度，讓我們即使遠在太平洋的對岸仍可放心與渠等公司合作，使得前端供應無虞。現地的訪問及意見交換，對現場的瞭解並與原本有些僅從 email 溝通的人員面對面建立友誼，理解渠等可協助本公司之事項，使得後續的契約執行能更為順暢溝通。此外，在行程安排上，職等原計劃充分利用本次出國機會，儘可能參觀各設施，惟實際上受限於天候與機場調度，事與願違，由於核能相關設施要求較為嚴謹，均遠離人口稠密區，以 Metropolis 廠為例，進出若搭乘飛機則需經芝加哥機場轉機前往肯塔基州之 Paducah 機場，每天僅有各 2 班之往返班機，像本次遇到班機延誤使得當天無法依原訂計畫進行後續行程，使得接下來在 Westinghouse 公司的行程受到擠壓，實屬可惜，故建議未來安排出國計畫時應盡量留有足夠的轉機及適當的緩衝時間，避免一旦人為或非人為的疏失造成行程延誤，無法有效達成任務目的。
- 二、 本次參訪 ConverDyn 公司之 Metropolis 廠，除可瞭解渠所提供之轉化服務製程品質，確保製程安全外，亦可查看本公司之原料鈾及轉化鈾庫存，經確認相關作業程序及交貨規格均符合相關品管要求，可保障本公司核燃料之供應。
- 三、 職等於參觀 Westinghouse 的 Columbia 製造廠時，該公司的專案經理帶領我們從濃縮鈾轉化製程，核燃料相關元件檢驗與加工，到最後核燃料組裝加工封裝，全自動化的製造流程令職等留下深刻的印象，未來將持續與該公司保持聯繫，密切注意其新型燃料元件之設計與各電廠使用動態，以及持續追蹤燃料運送箱之使用年限以及執照更新等議題。
- 四、 AREVA 公司美國 Richland 製造廠在燃料設計、製程及檢驗上都有不斷加強改善，惟

最近發生間隔板受損之偶發狀況，經職等現場針對其製程與作業程序進行查證後均無誤，後續追蹤也未再聽聞相關狀況，因此派員現場執行查驗工作的確有其必要性，故為確保燃料品質與提升整體營運績效，未來仍應定期派員前往執行製程查驗工作。另關於部份核燃料運送箱(SP containers)的箱體老舊鏽蝕的狀況已通知 AREVA 公司相關人員處理，雖目前核一二廠未來交貨時程暫不確定，但為避免未來燃料使用需求激增或核一、二廠密集交貨，屆時再維修運送箱或找使用 RAJ-II 運送箱支應，恐都緩不濟急，因此擬將此議題列入追蹤並與該公司及核一、二廠保持聯繫。

- 五、 由於核三廠於正常除役前尚有 5 批次燃料製造服務需採購，為確保燃料品質以及提高競爭性，未來仍需密切注意各燃料廠家之各項燃料元件新型設計與運轉經驗，並建議仍需定期派員前往製造廠家進行各項製程查證與實地會談，方能有效提高採購績效。
- 六、 為使職等能儘可能於本次洽公行程中獲得更豐，感謝單位長官特地安排將元件設計與製程審查及庫存查核作業兩案一併執行。藉此機會，職等發現由兩人合力進行，除兩人可於事前分工準備資料，增加實地查驗的深度與廣度，兩人一同參訪廠區，也可以分工參觀不同區域，並分別與廠商進行會談後交換意見，收穫更大。因此建議未來相關查證作業仍可考慮指派兩人同行，以確保順利且平安達成任務，效率亦佳。