

出國報告審核表

出國報告名稱：出席第 41 屆世界核燃料市場組織(WNFM)年會及轉化商 ConverDyn 及製造商 AREVA 庫存查核作業

出國人姓名	職稱	服務單位
余盈穎	採購師	燃料處
出國類別	<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、洽公	

出國期間：103 年 5 月 29 日至 103 年 6 月 7 日  
 報告繳交日期：103 年 7 月 28 日

出國人員 自我審核	計畫主辦 機關審核	審核項目
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.依限繳交出國報告
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2.格式完整(本文必須具備「目地」、「過程」、「心得及建議事項」)
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	3.無抄襲相關資料
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	4.內容充實完備.
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	5..建議具參考價值
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6.送本機關參考或研辦
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7.送上級機關參考
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8.退回補正,原因:
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 不符原核定出國計畫
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(4) 抄襲相關資料之全部或部分內容
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(5) 引用相關資料未註明資料來源
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(6) 電子檔案未依格式辦理
<input type="checkbox"/>	<input 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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 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"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 於本機關業務會報提出報告
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) 其他 _____
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10.其他處理意見及方式:

報告人  
 燃料處  
 核燃料組  
 103.7.29  
 余盈穎

單位  
 燃料處  
 單任經理  
 103.8.1  
 鄭娜麗

燃料處  
 核燃料組長  
 103.8.1  
 任致遠

主管處  
 103.8.4  
 徐振湖

總經理  
 副總經理

副總經理  
 103.8.7  
 林宏遠

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、審核作業應於報告提出後二個月內完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「公務報告資訊網為原則」。

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：出席第 41 屆世界核燃料市場組織(WNFM)年會及轉化商 ConverDyn 及製造商 AREVA 庫存查核作業

頁數 33 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/陳德隆/23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

余盈穎/台灣電力公司/燃料處/採購師/23666757

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他：開會、洽公

出國期間：103 年 5 月 29 日至 103 年 6 月 7 日 出國地區：美國

報告日期：102 年 7 月 28 日

分類號/目

關鍵詞：核能、原料鈾、核燃料、紐約、WNFM

內容摘要：(二百至三百字)

- 一、有關鈾料市場，供應仍然大於需求，市場上大量鈾料庫存無法消耗，鈾料供應過剩之情況可能持續至少 10 年，此情況將視日本核能機組重新啟動之時程，以及中國全力推展核電計畫之腳步，才可望獲得改善，惟各供應商預期仍需要新鈾礦計畫出現方可應付屆時增加之需求。
- 二、有關核燃料製造服務部份，AREVA 之核燃料製成品管嚴格，製成燃料也符合本公司要求，本次查核結果確認製造廠家於製程上或製造成品均符合相關品管要求。
- 三、職參觀本公司儲放於 ConverDyn 廠之原料鈾及轉化鈾庫存，除本公司外，該公司亦儲存其他客戶之鈾料，渠對各客戶之鈾料採分區存放之方式管理，已可確保本公司鈾料庫存之安全性。職本次查證本公司之原料鈾及轉化鈾庫存狀況皆良好，庫存物料數量皆正確。
- 四、此次奉派赴美國拜訪提供本公司核燃料製造服務及鈾轉化服務之二大廠 Areva Richland 廠及 ConverDyn 之 Metropolis 轉化廠，透過實地參訪與廠家面對面討論及交換意見，除提升雙方之互動性，增加友好關係，亦對雙方合約執行之順暢亦有所助益。

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：開會及洽公)

出席第41屆世界核燃料市場組織(WNFM)年會及轉化商 ConverDyn 及  
製造商 AREVA 庫存查核作業

服務機關：台灣電力公司

出國人職稱：燃料處採購師

姓名：余盈穎 (117388)

出國地區：美國

出國期間：103年5月29日至103年6月7日

報告日期：103年7月28日

# 報告內容

---

## 目 錄

壹、出國緣起與任務.....	1
貳、出國行程.....	2
參、工作內容.....	3
肆、結論與建議.....	28

## 出國緣起與任務

- 一、世界核燃料市場組織(WNFM)係由美國核能工業界聲譽卓著之顧問公司 NAC International 所經營之組織，成員包括全球電力公司、核燃料循環各階段供應商及代理商等，主要功能在提供會員核燃料市場訊息及交易機會，以促進世界核燃料商務之進行，目前會員公司 93 個，遍佈 20 餘國，本公司亦為該組織成員。今(2014)年第 41 屆年會為 WNFM 成立 40 周年，將於 6 月 1 日至 3 日在美國紐約召開，主題為「40 Years of Nuclear Fuel: 1974-2014」。在當前大眾信心缺乏、新核能機組建廠成本增加、其他發電能源之競爭性，以及政府政策及法規偏好再生能源或其他形式之發電等等因素，使核燃料市場面臨巨大挑戰，但事實上核燃料市場將進入裝置容量及核燃料需求皆大幅成長之時代，與 1970 年代之核能發展興盛時期差不多，故本次亦比較今昔之差異，並探討核燃料市場未來之發展。
- 二、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。另為增進轉化服務供應之穩定性，亦建立部份轉化鈾及製成核燃料庫存，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 30 美元，初估高達 3 億美元，相當於 90 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

時間	工作行程
2014/5/29	往程：台北—美國 Richland
2014/5/30	製造商 AREVA NP 庫存查核
2014/5/31-6/3	世界核燃料市場組織年會(WNFM)
2014/6/4	轉化商 ConverDyn 庫存查核
2014/6/5-6/7	返程：美國 Metropolis-台北

## 參、工作內容

### 一、世界核燃料市場組織(WNFM)年會

世界核燃料市場組織(WNFM)係由美國核能工業界聲譽卓著之顧問公司 NAC International 所經營之組織，成員包括全球電力公司、核燃料循環各階段供應商及代理商等，主要功能在提供會員核燃料市場訊息及交易機會，以促進世界核燃料商務之進行，目前會員公司 93 個，遍佈 20 餘國，本公司亦為該組織成員。今(2014)年第 41 屆年會為 WNFM 成立 40 周年，於 6 月 1 日至 3 日在美國紐約召開，主題為「40 Years of Nuclear Fuel: 1974-2014」。在當前大眾信心缺乏、新核能機組建廠成本增加、其他發電能源之競爭性，以及政府政策及法規偏好再生能源或其他形式之發電等等因素，使核燃料市場面臨巨大挑戰，但事實上核燃料市場將進入裝置容量及核燃料需求皆大幅成長之時代，與 1970 年代之核能發展興盛時期差不多，故本次亦比較今昔之差異，並探討核燃料市場未來之發展。茲分別將 WNFM 會議之會務報告，及提供之各項資訊，較具參考價值之主題及內容摘要如下：

### (一)Cigar Lake 礦區之過去與未來

Cameco 行銷副總 Mr. Tim Gabruch 發表 Cigar Lake 礦區現況及後續發展。

加拿大之鈾礦蘊藏以位居 Saskatchewan 省北方之 Athabasca Basin 區域為最豐富。該區域中 Cameco 所屬之鈾礦包括 Cigar Lake、Key Lake、Rabbit Lake 及 McArthur River 礦區等。其中 Cameco 公司佔有 Cigar Lake 50% 的產權並負責營運（其他股東分別為 Areva Resources Canada Inc. 之 37%，Idemitsu 之 8%，TEPCO 之 5%）。

圖 Saskatchewan 省 Athabasca Basin 礦區

Mr. Gabruch 表示原料鈾市場持續低迷，受日本機組重啟時程不確定之影響，以及次級供應多於預期，目前之鈾市表現並非最佳，這些因素都將影響 Cigar Lake 礦區後續之發展。

Cigar Lake 鈾礦發現於 1981 年，是僅次於 McArthur River，全世界兩處鈾礦品位最高的礦藏之一。Cigar Lake 鈾礦蘊藏於地層下約 410-450 公尺深，本計畫於 1988 年奉核准且於 2005 年開始動工興建，惟 2006 年於興建過程中淹水，因為礦區處於複雜之地層中，鈾礦外層包覆著黏土，又位於砂岩層內，開採過程中極容易滲水。此事件使 Cigar Lake 礦區生產計畫一直延後，直到 Cameco 利用冷凍處理方式”Bulk Freeze”處理淹水問題，自地層表面打入約 350 個垂直管道至礦體周圍，亦自地底分別打入無數垂直管至道礦體周圍，再將攝氏零下 40°C 之濃鹽水(brine)打入這些管道，以冷凍礦體及周圍砂岩層內之水分，Cameco 估計將需耗費約一年之時間完成冷凍。（詳下圖）

礦體周圍冷凍完成後，於礦體下方冷凍過後之岩層開挖一條平行隧道，將所稱”Jet Boring”之開採機器置入隧道內，該機器自下往上打出可供噴射水注(jet water)管道通過之管道，再以噴射水柱將鈾礦打落，鈾礦隨著水一起落下並收集起來，在地底下將鈾礦處理成泥漿狀(slurry)再打至地面上用特殊運輸容器載運至精煉場。Jet Boring 將沿著礦體進行開採，開採後之凹洞將用水泥補起來以防地層下陷。(簡單開採圖片詳見下圖)

Cameco 用此方法而順利於 2014 年 3 月重新恢復生產，鈾礦將運至鄰近 McClean Lake 精鍊廠進行精鍊。預計 2018 年產能可達 18 百萬磅。

因應目前全球經濟發展需求，以及低碳、乾淨、可靠之基載電力需求，Cameco 預估全球核電將成長約 4%，其中成長最多的為中國大陸，原料鈾耗用量亦將自 2014 年之 170 百萬磅增加至 2023 年 240 百萬磅。

圖 Cameco 預測未來全球核電成長

另外 Cameco 認為在目前現有的礦區加上 Cigar Lake 以及次級供應之狀態下，未來約 15%之鈾需求仍需要新供應來源滿足。

圖 Cameco 預測之原料鈾供需

## (二)Kazatomprom 現況與未來發展

Kazatomprom 為哈薩克國營鈾礦公司，幾乎掌握哈薩克全部之原料鈾供應，依據 2013 年之統計，哈薩克/Kazatomprom 之原料鈾產量為全球第一，占比約 30-35%。哈薩克鈾礦資源及蘊藏量約為 1.7 百萬噸鈾(約 4,425 百萬磅)。

### 圖 哈薩克鈾礦源及蘊藏分布圖

Kazatomprom 近幾年來與其他鈾礦公司如 Cameco、AREVA 等合資投資開發礦區，隨著產能逐漸增加，自 1997-2013 年，總產量已超過 135 千噸鈾(約 353 百萬磅)，約相當於 5% 之已確認鈾資源，Kazatomprom 估計，依上述之蘊藏量以及此開發速度，預計仍可開採 80-90 年。

展望未來，Kazatomprom 表示將與 Cameco 合作建立轉化設施、與 Rosatom 發展鈾同位素之分離技術，以及與 AREVA 合作發展核燃料製造技術等核燃料前端之自有技術。

### (三) AREVA 原料鈾業務之發展

AREVA 公司 Mining Business Group 副總 Mr. Jean-Michel Guiheux 因應本屆議題，簡述了法國近 40 年來核能之發展。

首先，第二次世界大戰後，法國核能管制協會(French Atomic Commision)開始探勘法國國內之鈾礦，法國第一個鈾礦被發現於 1940 年代，並於 1950 年代開始生產，而於接下來 10 年內，法國政府密集進行探勘，除法國境內更甚至擴展到非洲(馬達加斯加、尼日及加彭)及加拿大。1970 年代因第一次全球石油危機，更加速了法國探勘及生產之腳步；1980 至 2000 年，為鈾礦生產比較艱困的時代，當時法國之鈾礦生產已達高峰並趨於衰落，故加速 AREVA 於加拿大鈾礦之發展，如 McClean Lake 礦區及 McArther 礦區，皆為當時極興盛之礦區。另外此階段 AREVA 亦經由 HEU Agreement 之簽訂成功獲得額外鈾料。進入 2000 年代，為核燃料極度興盛之時代，當時稱之為”Renaissance”，即堪稱與文藝復興相當。此時，AREVA 開始與哈薩克合作，使用 ISR 方式開採鈾礦，獲得良好的成效並開始生產；自 2010 年福島事件後，需要調整原料鈾相關計畫，AREVA 轉致力於主要礦區(尼日 Imouraren 礦區及 Cigar Lake 礦區 )之生產、銷售非計畫性資產如非洲 Millenium 礦區，已及將某些計畫如澳洲之 Midwest 礦區及納密比亞 Trekkopje 礦區列為後備計畫。

AREVA 表示未來仍將繼續投資及開發新計畫。

圖 AREVA 鈾礦生產之軌跡

#### (四)原料鈾市場展望

顧問公司 NAC International 展望核能之未來發展。NAC 表示福島事件減少近期原料鈾及濃縮服務之需求，而低濃縮服務需求則造成因多用濃縮功而少用饋料之現象，故造成更多原料鈾供應量。同時，原料鈾產量亦增加，過去 7 年來原料鈾產能共成長約 50%，預期目前過剩產能情形至少將延續到 2020 年。NAC 預測，在現有的供應產能、次級供應量，再加上 Husab 及 Imouraren 礦區以及其他正在興建中之礦區，原料鈾供應量將足夠全球機組需求使用直到 2024 年。

圖 NAC 供需展望

另外，NAC 預估，未來原料鈾市場之發展，將受到下列三項原因之影響：

##### 1. 中國需求

目前中國已建立大量鈾料庫存，故於 2033 年前將不需進場購買，除非中國欲建立策略性庫存。

##### 2. 原料鈾生產大國如哈薩克有關生產技術之進步

2020 年起應可望有額外新礦區開始生產。

##### 3. 是否需要新產能

未來 5 年內仍將需要大量新產能加入以滿足需求，亦可能因為額外之供應中斷而提前需要新產能上線補足需求，惟買家必須與供應商簽訂滿足投資及風險且有足夠利潤之合約以促使新產能開始生產。

但 NAC 亦提及，若要原料鈾價格上漲，供應減產為必須，目前低價持續越久，減產現象將越快發生，故 NAC 建議買家與賣家盡快協商新的價格機制。

#### (五)WNFM 會務報告

WNFM 北美地區以及非北美地區各有一理事任期於今(2014)年 6 月屆滿，故今年 4 月份請各會員投票，並於 6 月 WNFM 會議中宣布選舉結果，非北美地區區新任理事為 AREVA 公司 Mining Business Group 副總 Mr. Jean-Michel Guiheux，北美地區則美國電力公司為 Mrs. Susan Hoxie-Key。

## 二、製造商 AREVA Inc.參訪及庫存查核

本次職參訪之製造廠為 AREVA，其為分別供應核一廠及核二廠所有核燃料之廠家。職本次前往 AREVA 集團位於美國華盛頓州 Richland 之核燃料製造廠，由專案經理 Mr. Robert Follett 及合約經理 Mrs. Kris A. Mitchell 接待，實地了解製成核燃料之製造流程。

### (一)AREVA Inc.概述

法國 AREVA 集團前身為 COGEMA 及 FRAMATOME-ANP，提供核燃料循環全範圍之服務(包括原料鈾、轉化服務、濃縮服務、製造服務、爐心營運支援及後端營運)及核反應器與其他發電設備與服務供應。

其中有關 AREVA 集團 BWR 核燃料製造部份，該集團全球共擁有 4 座核燃料相關組件之製造廠，其分別為：(1) Richland 製造廠, U.S.A. (2) Romans 製造廠, France.(3) Lingen 製造廠, Germany.(4) Dessel 製造廠, Belgium.；而目前本公司核一、二廠所使用之填換燃料，即全部由 Richland 核燃料製造廠生產製造。

其中 Richland 核燃料製造廠建於 1969 年。其製成核燃料所需之裝配組件除了在此廠區內製造外，亦自美國及德國供應相關之配件，如燃料護套(cladding)、spacer、handle casting 等。另為求多角化經營，渠除了銷售核燃料元件外，亦尋求各種機會將所生產之燃料丸(pellet)及二氧化鈾粉末銷售至其他廠家。RICHLAND 廠之 BWR 燃料製造產品項目如下：

1. BWR 上下燃料繫板(upper and lower tie plates)
2. BWR 燃料隔板(spacer grids)
3. Top and bottom end plugs (BWR)
4. 燃料丸 (Pellet)

5. 燃料棒組裝 (Fuel Rod Assembly)
6. BWR 格架組裝 (cage Assembly)
7. BWR 燃料束組裝 (Fuel Assembly)

Richland 廠依製程順序主要生產流程為：

1. Dry Conversion Procoss(乾式轉化)：

將 UF<sub>6</sub> 粉末轉化為 UO<sub>2</sub> 粉末，其程序係將蒸發之濃縮 UF<sub>6</sub> 加高溫水蒸氣，進行除氟化 (de-fluorination) 程序產生二氧化鈾氟化物 (UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>)，而後再與氫氣反應作最後之除氟化，產生二氧化鈾粉末，放入圓筒(DRUM)內搬運(如下頁圖)。Richland 製造廠年產量受限於乾式轉化程序，目前產能約為 1,200Mt，24 小時運轉。

2. Pelletizing Process(燃料丸製程)：

將經過乾式轉化後所得到之 UO<sub>2</sub> 粉末，以高壓至幾成為圓柱狀之顆粒(Rotary Press)，經壓丸燒結(sintering)後成陶瓷型態，再研磨(Grinding)成所需尺寸，即是所稱之燃料丸(Pellet)，並同時以雷射機檢查其尺寸是否符合規格，最後將燃料丸放至於平盤以供檢驗人員檢查，詳細流程如下圖所示：

### 3. Rod Fabrication Process(燃料棒製程)：

將上述至成之燃料丸以振動式裝填(vibratory pellet loading)至燃料棒(Fuel Rod)，並焊接(Welding)兩端，即完成燃料棒之製造，並將製造完成之燃料棒再經過氦氣室檢測銲接是否完整。詳細流程如下圖所示。另外，其燃料護套(cladding)目前主要來自其集團內下德國之下包商 Duisburg，進口後於製造廠銲接加工。

#### 4. Bundle/Cage Process :

廠內有機械房專門加工製造核燃料各種組件，組裝時全長之燃料棒係依電腦指示自動裝填，將燃料棒及各種組件加以組裝，而組裝部份長度燃料棒時則改為半自動，由人工輔助裝填，裝填前須將燃料棒上之條碼掃描輸入電腦，以確認與設計資料相符，不致有人為疏失虞。燃料元件組裝完成後，尚需目視檢查、清洗、烘乾才算真正完成。

製成最後之燃料元件(Fuel Assembly)，經過檢查包裝後再送至倉庫或裝櫃，其詳細流程如下圖所示：

## (二)參訪心得

因職工作負責核燃料採購及合約執行，較少與製造服務廠商接觸。本次到訪 AREVA Richland 之製造廠，整個工廠乾淨明亮，所有職員都著正式制服，動作迅速確實，也有一個個團隊進行工作討論，呈現一種嚴肅的工作氣氛，對職提出之問題亦不吝講解。本次確實提升職對於核燃料製程之瞭解，亦增加不少製成核燃料相關知識，實際到訪工廠觀看燃料束製作流程，近距離目視製成核燃料零件及燃料棒，職相信對往後進行採購或是合約執行，助益甚大。

### 三、轉化商 ConverDyn 參訪及庫存查核

本公司與 ConverDyn 公司(以下稱 ConverDyn)簽有鈾轉化服務合約，供應本公司所需鈾轉化服務至 2019 年，且依本公司之庫存政策，本公司有部分原料鈾及轉化鈾庫存於 ConverDyn 位於美國之 Metropolis Works 轉化廠。該廠為實際進行轉化服務之加工廠，ConverDyn 公司則為渠全屬之銷售公司，並據以與本公司簽訂銷售合約。茲分別簡介 ConverDyn 及 Metropolis Works 轉化廠，並將職與渠洽談內容摘要如下：

#### (一)ConverDyn 公司簡介

1. ConverDyn 為一美國註冊公司。主要由 General Atomic(GA)及 Honeywell 兩家公司合夥成立，其中 GA 為一私人企業，而 Honeywell 則為一上市公司，因此有關 ConverDyn 的營運狀況則可由 Honeywell 之財報略知一二。1992 年 11 月 GA 關閉 Gore 轉化廠後，GA 與 Allied Signal (渠於 1999 年被 Honeywell 併購，現為 Honeywell)合夥成立 ConverDyn 公司，各持股 50%，負責銷售及管理 Metropolis 轉化廠所生產之轉化服務。
2. 目前 ConverDyn 與本公司有一轉化服務長約 TPC-CON-1321-CVD(以下簡稱”ConverDyn 合約”)，供應期限自 2013 年至 2021 年(2020 年及 2021 年為選擇性年度)共 9 年，每年供應量為 360 噸 UF<sub>6</sub>，並有±10%之彈性加減量(亦即±36 噸 UF<sub>6</sub>)。

#### (二)Metropolis Works 轉化廠簡介

本次職拜訪 ConverDyn 位於美國伊利諾州 Metropolis 的轉化廠。Metropolis 廠鄰近俄亥俄河河畔，與 USEC Paducah 濃縮廠相隔 Ohio

河比鄰而居，該廠區遼闊，可接收、儲存及轉化各種不同生產來源之鈾料。

職本次參訪，主要是由該廠的廠長 Mr. Jim Pritchett 及 Operation Manager Mr. David M. Craig 負責介紹及帶領廠區參觀。

ConverDyn Metropolis 轉化廠的歷史始於 1950 年代中期，美國原能會(AEC)開始籌劃興建鈾轉化廠以供應核能電廠需求，1958 年該廠興建完畢。2011 年提供之轉化服務全球市占率約 19%，共提供東亞地區 30%之轉化服務，為東亞地區主要轉化服務供應商。其他主要供應商為俄國 Rosatom (28%)、加拿大 Cameco (24%) 及法國 Areva (21%)，此 4 家主要供應商共計供應全世界轉化服務之 92%。該廠除提供鈾轉化服務外，還提供原料鈾重量量測及取樣服務，另外還生產 SF<sub>6</sub>、IF<sub>5</sub> 及 SbF<sub>5</sub> 等氟化物。

Metroplis 轉化廠近期重大事件:

1. 2003 年 UF<sub>6</sub> 外洩，關廠 8 個月。
2. 2010 年勞資爭議及設備故障關廠 3 個月，但勞資爭議已於 2011/8/3 達成協議。
3. 該廠原預期於 2012 年 7 月 1 日自例行性大修重新運轉，但因應 NRC 之設備安全升級而延遲。已於 2013 年 7 月升級完畢，經 NRC 核准重新運轉生產。

ConverDyn 的 Metropolis 轉化廠為全球唯一採用乾式轉化程序之轉化廠，其處理步驟及時間則較一般轉化廠採用之濕式程序簡短，此乾式轉化程序包含 6 個主要步驟(詳下圖)：Sampling、Sizing、Reduction、Hydrofluorination、Fluorination 以及 Distillation。



Metropolis 轉化廠採用之轉化程序各步驟說明如下：

### 1. Sampling

當黃餅(Yellow Cake)即 U3O8 運至轉化廠，在開始進行轉化程序前，裝黃餅的桶子會先進行精密的測重，再利用取樣系統對每桶進行取樣，通常取樣會分裝成六罐 150 公克樣品，其中 2 罐樣品進行鈾品質及水分含量等分析，2 罐送原料鈾供應商，另 2 罐則作為爭議判斷用。取樣之目的為確保黃餅之純度，顆粒大小及密度可供後續轉化使用。

## 2. 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、刮刷及篩濾等過程將過大或過小之原料鈾粒子轉化成相近大小，確保送進流體床(Fluid bed)之原料鈾具有該流體床運轉所需之最佳的粒子大小及密度。

### 3. Reduction

此步驟利用  $U_3O_8$  與  $H_2$  在加熱到約  $538^{\circ}C$  ( $1000^{\circ}F$ )以上之環境中產生化學反應而轉化為  $UO_2$  及水。

#### 4. Hydrofluorination

此步驟乃利用  $\text{UO}_2$  與  $\text{HF}$  在加熱到約  $482^\circ\text{C}$  ( $900^\circ\text{F}$ ) 以上之環境中產生化學反應而轉化為俗稱綠鹽(Green salt)的中間介質  $\text{UF}_4$  及水，並移除部份不純物質。

## 5. Fluorination

此步驟乃利用 UF<sub>4</sub> 與氟氣在加熱到約 400°C (750°F) 以上之流體床環境中再氟化為 UF<sub>6</sub> 氣體。

## 6. 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。

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廠。

該貯存廠大約兩個操場大，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)。

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)。

職本次亦剛好看到剛裝箱之轉化鈾，與已冷卻後之轉化鈾不同，因運輸箱為不銹鋼材質，可感受到非常燙，且會有"逼逼啵啵"冷卻的聲音，Mr. Pritchett 說明大約放置 4-5 天待轉化鈾固化後才可以進行運輸作業。

對於運輸至歐洲之運輸箱，為符合法規規定，須於運輸箱外加裝護箱，反之美國國內運輸則不需加裝護箱。運輸方式除以卡車運至濃縮廠或港口，亦以駁船將貨物沿著密西西比河運至紐奧良港口，運送路線多元，應可確保本公司歐洲轉化鈾之供應交貨。

另外，於參觀該廠區時，職被要求穿戴安全防護裝備，如護目鏡、防塵衣，可丟棄式膠鞋等等，離開該廠區還必須洗手及通過輻射偵檢系統，此偵檢器較本公司核電廠使用之全身偵測系統簡化，僅檢測腳底及手部劑量且無柵欄攔阻，但有警衛在一旁看管，顯示該廠在輻射防

護及工安方面也做的很確實。

### (三)與廠商洽談內容

1. 職與 Mr. Berklite 確認本公司於 Metropolis 廠之庫存，渠表示，由於實體庫存總量每天會隨 Metropolis 廠對所有客戶之實體交貨量變動，所以會和帳目庫存量有些許出入，本公司存放之庫存帳目皆符合要求，然而實際上有可能因有部份仍在處理過程中之物料已在帳目中轉為轉化鈾，所以實體庫存轉化鈾量可能會與帳目有些許出入。
2. 另因本公司即將辦理 2016 年之濃縮服務新約，職洽詢目前 UF6 交貨至 URENCO 位於美國新墨西哥州之 Louisiana Energy Services, LES 濃縮廠之狀況，渠表示一切順利，未來進行 UF6 交貨應無問題，故未來 LES 若取得本公司新濃縮服務長約或中短約，由 ConverDyn 交貨轉化鈾饋料應無疑慮。

(四)參訪心得：

除了熟知的轉帳交貨外，本次實地接觸原料鈾及轉化鈾實體儲存設備及相關運輸工具，了解轉化商實際執行實體運輸及交貨安排，對日後合約執行方面有關與廠商洽談交貨事宜將更有概念。另外，看到實際之原料鈾(黃餅)，原來黃餅依不同礦區不同精鍊廠產出之黃餅有不同顏色，不完全一定是黃色，且精煉出來之黃餅顆粒大小不完全相同，ConverDyn 採用混拌之方式以調校出渠最需要之比例(下圖)。

## 肆、結論與建議

- 一、有關鈾料市場，供應仍然大於需求，市場上大量鈾料庫存無法消耗，鈾料供應過剩之情況可能持續至少 10 年，此情況將視日本核能機組重新啟動之時程，以及中國全力推展核電計畫之腳步，才可望獲得改善，惟各供應商預期仍需要新鈾礦計畫出現方可應付屆時增加之需求。有關 Cigar Lake 礦區，7 月份 Cameco 發布新聞表示為增加冷凍周圍含水層之時間以更進一步防止淹水，將延後至 2015 年初開始生產，預期將無法達到 2014 年之生產目標。在目前鈾價如此低的情況下，Cigar Lake 礦區是否會如期開始生產並達到生產目標，或是同其他礦區暫停生產，有待觀察，惟均不影響 Cameco 未來幾年之原料鈾交貨。
- 二、有關核燃料製造服務部份，AREVA 之核燃料製程品管嚴格，製成燃料也符合本公司要求，本次查核結果確認製造廠家於製程上或製造成品均符合相關品管要求。
- 三、ConverDyn 為本公司原料鈾轉化服務長約 2 家供應商之一，除了為本公司原料鈾及轉化鈾庫存儲放場所，其轉化服務之品質對後續之濃縮服務與核燃料製造之最終品質有相當大之影響。Mr. Jim Pritchett 表示雖然相較其他轉化商所需成本較高，因產出之轉化鈾純度高品質優良，仍深受下游濃縮商喜愛。URENCO 公司代表 Mr. Tony McCormick 曾表示 URENCO 確實較喜歡使用 ConverDyn 之轉化鈾作為饋料使用。職本次查核轉化鈾之交貨規格，確認符合規範要求，可保障核燃料之使用安全。

另外，職亦參觀本公司儲放於該廠之原料鈾及轉化鈾庫存，除本公司

外，該公司亦儲存其他客戶之鈾料，渠對各客戶之鈾料採分區存放之方式管理，已可確保本公司鈾料庫存之安全性。職本次查證本公司之原料鈾及轉化鈾庫存狀況皆良好，庫存物料數量皆正確。

四、最後，相當感謝長官給予職如此可貴之出國洽公及開會之機會，可以參訪高度工業化與科技化之美國公司，學習美國人敬業及安全第一的工作態度，亦可同時接觸不同文化等等。職進入公司以來從事核燃料採購及合約執行之相關工作，與廠商間來往多為書面資料(如交貨通知及付款作業等)，相關資訊亦僅能從書面得知，此次奉派赴美國拜訪提供本公司核燃料製造服務及鈾轉化服務之二大廠 Areva Richland 廠及 ConverDyn 之 Metropolis 轉化廠，透過實地參訪與廠家面對面討論及交換意見，除提升雙方之互動性，增加友好關係，亦對雙方合約執行之順暢亦有所助益。