

## 出國報告審核表

出國報告名稱：出席世界核能協會 2011 年年會		
出國人姓名	職稱	服務單位
郭巧君	主管核燃料採購	台灣電力公司燃料處
出國期間：100 年 9 月 11 日至 100 年 9 月 18 日		報告繳交日期：100 年 11 月 3 日
出國計畫	<input type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告 <input 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 type="checkbox"/> 3.內容充實完備 <input type="checkbox"/> 4.建議具參考價值 <input type="checkbox"/> 5.送本機關參考或研辦	
主辦機關	<input type="checkbox"/> 6.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 7.退回補正，原因：	
審核意見	<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"/> 內容空洞簡略未涵蓋規定要項 <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 type="checkbox"/> 8.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"/> 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 type="checkbox"/> 其他  <input type="checkbox"/> 9.其他處理意見及方式：	
層轉機關 審核意見	<input type="checkbox"/> 1.同意主辦機關審核意見 <input type="checkbox"/> 全部 <input type="checkbox"/> 部分 （填寫審核意見編號） <input type="checkbox"/> 2.退回補正，原因： <input type="checkbox"/> 3.其他處理意見：	

說明：

- 一、出國計畫主辦機關即層轉機關時，不需填寫「層轉機關審核意見」。
- 二、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。
- 三、審核作業應於出國報告提交後兩個月內完成。

報告人：                      直接                      單位                      總經理  
   :    :    :

  主管                      主管                      副總經理

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

出席世界核能協會 2011 年年會

頁數 48 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：

郭巧君/台灣電力公司/燃料處核燃料組/主管核燃料採購/23666757

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：100.9.11--100.9.18 出國地區：英國

報告日期：100.11.03

分類號/目

關鍵詞：核燃料、原料鈾、轉化服務、濃縮服務、日本福島事故

內容摘要：(二百至三百字)

- 一、世界核能協會(WNA)第 36 屆年會，有來自核能業界各階層超過 500 多人參加。由於日本福島事故是核能歷史上重要的事件，故幾乎成為整個研討會的主題。本年會確實提供了福島事故後核燃料各階段之市場動態與最新發展等資訊，有助於本公司核燃料營運及採購策略之擬訂與推動，也達成派員參與此次會議之任務，爾後仍建議繼續派員參與會議。此外，WNA 之工作小組會議更提供參與者與各國專家共同討論與共事的機會，而職此次參與的幾個工作小組於會中都提到希望有年輕的從業人員參與各項活動，因此建議本公司未來可考慮選派優秀的年輕經辦人員參與會務或工作小組會議，以培養年輕人員之國際觀、新技術及與國際從業人員共事之經驗。
- 二、業界對日本福島事故的省思，除了改善現有電廠的安全設備及於新反應器設計外，更提出改善核燃料設計概念，讓核燃料在面臨重大安全設備失效時也不會熔毀。由於這些新燃料技術或設計有些已經超出本公司現在使用的核燃料技術範疇，建議應有專人追蹤或參與燃料技術工作小組之工作，並蒐集相關新燃料技術資訊及安排訓練，俾使本公司核燃料組之技術及知識能力可與國際並進。
- 三、日本福島事故後新興鈾礦探勘或生產商都面臨資金籌措的困境，鈾礦商間可能會有另一波的購併與整合，並使主要鈾礦商或生產商更具寡占地位，且可能降低本公司長約供應廠商來源及標案競爭性，因此建議本公司未來應特別留意鈾礦商之動態，並適時檢討及調整鈾料長約供應占比，以確保供應安全及有效降低採購成本。
- 四、今年 3 月 USEC 與 TENEX 簽訂自 2013 年起至 2022 年止之低濃縮度濃縮鈾供應契約，供應量約美俄 HEU 協議之半數。由於美國政府對進口俄鈾(含濃縮功)仍有限額，未來 USEC 於銷售此契約下取得之俄濃縮功時，除售予美國電力公司外，可能仍須尋求非美國電力公司之買主，此次會議期間該公司之行銷副總主動詢問本公司購買俄鈾之限制，建議本公司應利用此機會要求 USEC 公司協助突破相關限制或取得俄鈾經美國再移轉至我國之事先同意權。
- 五、日本福島事故已對核工業造成重大影響，部分國家更因此事故決定重新思考能源政策，也連帶影響未來核能裝置容量與核燃料需求之預測。儘管核能發電的未來深具挑戰，但是本次研討會的與會者仍普遍對核能發展深具信心。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網(<http://open.nat.gov.tw/OpenFront/RobtaFront/index.jsp>)

行政院所屬各機關出國報告  
(出國類別：開會)

出席世界核能協會 2011 年年會

服務機關：台灣電力公司  
出國人職稱：主管核燃料採購  
姓名：郭巧君  
出國地區：英國  
出國期間：100.09.11--100.09.18  
報告日期：100.11.03

## 目 錄

壹、出國任務 .....	1
貳、出國行程紀要及會議議程.....	1
參、工作內容 .....	3
肆、感想與心得 .....	45

## 壹、出國任務

出席世界核能協會 WNA 2011 年年會。

## 貳、出國行程紀要及會議議程

時間	工作行程
9/11(日)	往程：台北—倫敦
9/12(一) 9/13(二)	Working Group Meeting: ➤ Sustainable Development Working Group ➤ Fuel Technology Working Group
9/14(三) 09:00-13:00 14:00-15:00 18:00-21:00	◦ Working Group Meeting – Plenary ◦ Member’s Council and Annual General Meeting ◦ Reception
9/15(四) 9:00-10:30	Session I – Opening and keynote addresses <ul style="list-style-type: none"><li>• Welcome to the WNA Symposium 2011</li><li>• Current state of the US nuclear industry</li><li>• The Fukushima accident: overview and lessons learned</li><li>• A stronger post-Fukushima industry and WANO</li></ul>
11:00-12:30	Session II – Keynote addresses continued <ul style="list-style-type: none"><li>• Nuclear power in Korea and a vision for the future</li><li>• Responsible growth for emerging nuclear markets</li><li>• Nuclear sunset in Germany after Fukushima</li><li>• Fukushima in context - the promise of nuclear in troubled times</li></ul>
14:00-15:30	Session III – The WNA Nuclear Fuel Market Report 2011 and developments at the front end of the nuclear fuel cycle <ul style="list-style-type: none"><li>• 2011 WNA Nuclear Fuel Market Report</li><li>• A perspective on supply growth from a new producer</li><li>• Canada’s role in the first step of fuel cycle: past, present and future, including Roughrider</li></ul>
16:00-17:30	Session IV – New Build (policy and need) <ul style="list-style-type: none"><li>• South Africa’s Integrated Resources Plan for electricity generation</li><li>• Poland’s perspective on nuclear energy and plans for new</li></ul>

時間	工作行程
	nuclear build <ul style="list-style-type: none"> <li>● Nuclear new build – India capabilities</li> <li>● Passive safety... naturally</li> </ul>
9/16(五) 9:00-10:30             11:00-12:30             14:00-16:00	Session V – Safety <ul style="list-style-type: none"> <li>● Nuclear R&amp;D in a post-Fukushima world</li> <li>● Expecting the unexpected: applying lessons in safety to the existing fleet and new reactors</li> <li>● The Chinese nuclear safety regulation system: current status and challenges</li> <li>● Overcoming regulatory and nuclear liability obstacles to international safety cooperation and emergency assistance</li> </ul> Session VI – New Build (finance and risk) <ul style="list-style-type: none"> <li>● Nuclear new build: managing opportunities and challenges</li> <li>● Investor perspective on nuclear power in a post-Fukushima environment</li> <li>● Nuclear insurance – an international risk mitigate</li> <li>● Passing the starting line: managing nuclear construction risk</li> </ul> Session VII – Communications <ul style="list-style-type: none"> <li>● Media and communications during the Fukushima emergency: an Australian case study</li> <li>● Fukushima – why the overreaction?</li> <li>● How to motivate people to take up a career in the nuclear field after Fukushima</li> <li>● Korea’s approach to communicating nuclear energy to the public</li> <li>● Now it’s down to you</li> </ul>
9/17(六) - 9/18(日)	返程：倫敦—台北

## 參、工作內容

世界核能協會(World Nuclear Association, WNA)為全世界核能業界最重要的民間國際業界組織，目前會員公司或組織共計 180 餘家，遍佈 30 餘國，會員所屬電力公司之發電量占全球核能發電總量之 95%，而會員公司所生產之原料鈾及轉化、濃縮服務囊括幾近全世界之所有產量，對於核燃料循環工業極具影響力。其定期舉辦之年會向為核能工業最重要的論壇及會議，亦為各會員國相互經驗交流及取得資訊之管道。

WNA 第 36 屆年會訂於今(100)年 9 月 14 至 16 日在協會總部所在地倫敦召開，並於 9 月 12 日至 9 月 14 日召開各工作小組會議 (Working Group Meeting)，本屆年會除討論會務及發表 The Global Nuclear Fuel Market – Supply and Demand 2011-2030 報告外，會議主題則為「核能的未來：我們現在的責任」，討論議題包含(1)核燃料循環前端之發展、(2)核能安全、(3)新建機組之策略、需求、財務與風險及(4)聯繫溝通等。由於 WNA 年會每年僅舉辦一次，本次會議將從未來核能工業發展及核燃料前端循環各階段之供需趨勢和展望，以及日本福島事故對核能政策及經營者之財務風險的影響等角度切入，深入探討核能工業及核燃料循環各階段之市場動態和相關核能安全之最新發展。由於參加會議之成員涵蓋核燃料各階段之供應廠商代表、各國電力公司核燃料採購負責人及市場研究與顧問等，故職奉派出席今年之年會，期可對核燃料各階段之市場動態與最新發展等資訊及其對核燃料市場之影響，有最迅速而直接之瞭解，並藉此機會與世界核能業界直接洽談，有助於本公司核燃料營運及採購策略之擬訂與推動。

## 一、Member's Council and Annual General Meeting

### (一) Annual General Meeting


WNA 依英國公司法召開 Annual General Meeting 討論及決議下列事項：

- 接受及通過 2010 年的年度財務報告。
- 接受及通過 2012 年的預算書以及會費指引(Membership Fee Guidelines)。主席表示 2012 年之會費並未改變收費結構，僅反映英國物價上漲。本公司屬第一級(Band I)會員，會費將由 2011 年的 36,000 英鎊漲為 38,635 英鎊，漲幅約為 7.3%。
- 接受及通過理事會變更組織章程，將理事人數由 15 名擴增至 21 名，並給予主席單次之授權 (one-time authority) 以派任新增的 6 名理事，任期 2 年。

### (二) Member's Council

今年之會員會議沒有重大決議事項，僅由 WNA 秘書處更新會務執行狀況：

- 工作小組架構調整如下，提升 Strategic Advisory Group 位階、新增 Fuel Technology、Nuclear Communicators 及 Energy Futures 等 3 個工作小組：

Strategic Advisory Group (advises WNA Board)		
<b>CORDEL: Design Standardization</b>	<b>Fuel Technology</b>	
<b>Capacity Optimization</b>	<b>Uranium Mining Standardization</b>	
<b>Radiological Protection</b>	<b>Constructors Forum</b>	
<b>Sustainable Development</b>	<b>Nuclear Communicators</b>	
<b>Transport</b>	<b>Supply Chain</b>	
<b>Waste Management</b>	<b>Nuclear Law &amp; Contracting</b>	
<b>Market Report Drafting Group</b>	<b>Energy Futures</b>	
<b>Nuclear Fuel Cycle Plenary</b>	<b>Security of the Nuclear Fuel Cycle</b>	



- 媒體處長(Media Director)說明近期溝通活動，渠表示針對福島事故之說明，溝通及策略建議小組已被提升為 WNA 的首要任務，因此 WNA 建議新成立溝通工作小組，初期任務為福島事故溝通，將來將擴大溝通範疇。
- 說明 2012 年春季大會暨核燃料循環會議(WNFC)規劃，預計將於 2012 年 4 月 17 日當週在芬蘭赫爾辛基舉辦。

## 二、工作小組會議(Working Group Meeting)

### (一) Sustainable Development Working Group

原 WNA 組織下之永續發展與氣候變遷工作小組 (Sustainable Development and Climate Change WG)與鈾組織管理工作小組 (Uranium Stewardship WG)於 2011 年 9 月會議同意合併為永續發展工作小組。本工作小組 2011 年之主要任務為透過 WNA 發起之活動與國際政策制定團體合作，以提昇核能產業在全球永續發展相關事項之定位。今(2011)年本組織之主要活動包括：1.發表核能與其他能源生命週期之溫室氣體排放量分析報告(Comparison of Lifecycle Greenhouse Gas Emissions of Various Electricity Generation Sources)、2.透過 WNA 會員公司推廣最佳永續發展方案、3.參加國際氣候變遷政策相關論壇、活動及展覽等、4.擬定核能於氣候變遷與永續發展扮演之角色的說帖及溝通策略，及 5.檢視核能與其他能源對健康之影響。

本次會議首先由主席 Mr. Jonathan Cobb 簡述與聯合國氣候變化綱要公約組織(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)協商之歷史，以及渠對即將於南非德本(Durban)召開之第 17 屆締約國大會與第 7 屆京都議定書締約國大會(COP 17/MOP 7)的期許。由於京都議定書及其附錄 I 的排放目標(Emission targets)與排放權交易機制相關章節，如 Clean

Development Mechanism 及 Joint Implementation (CDM/JI)，皆將於 2012 年底到期，UNFCCC 原本希望可於 2009 年的哥本哈根會議達成新協議，俾使締約國政府有足夠時間通過新協議，然而 2009 年之會議並沒有達成目標。Cobb 先生表示締約國可能很難於德本會議達成完整協議，屆時可能會有 2 種結果，一是各國政府可能同意暫時延長目前協議之效期，並納入自願性排放目標與排放權交易機制；另一種結果是對延長現有協議效期沒有共識，但可能將新機制納入哥本哈根協議用以限制開發中國家之排放量。考量德本會議可能不會有太多進展，UNFCCC 可能會在 2012 年底第 18 屆締約國大會前召開多次會前會，以期於 2012 年底前達成共同協議。

基於 UNFCCC 第 8 屆以後之締約國大會已經不再像以前的會議透明公開，且非政府組織的活動與展覽也被安排與政府協商分開。此外，自第 8 屆以後之協商一直沒有深入討論核能議題，因此 2010 年的坎昆(Cancun)會議，核能業界之參與團體已銳減，而美國核能協會 (NEI)及歐洲核能公司組織 (FORATOM)亦沒有計畫參與 2011 年德本會議。WNA 也計劃不參與德本會議，但可能會由歐洲核能青年團體 (European Young Generation in Nuclear)代表參與。

考量本工作小組可能不再參與 UNFCCC 會議，未來可能轉向參與各類能源相關會議並於會議中溝通核能議題，因此主席 Cobb 先生提案討論更名成立溝通工作小組 (Communications WG)，惟與會成員多數認為溝通工作小組之任務難以界定，若任務範圍過大則需要將層級提高至可橫向聯繫其他工作小組，似不應由本小組成員自行決定更名，另考量若沒有永續發展工作小組存在，可能讓外界誤解核能在永續發展的貢獻已減小，因此會議決議維持本工作小組之存在，但未來本工作小組將不再每季召開會議，僅

視需要召開不定期會議，並由 WNA 秘書組人員持續提供成員永續發展相關訊息及 UNFCCC 相關會議摘要報告。

本次永續發展工作小組的另一個重點是發表 “*Comparison of Lifecycle Greenhouse Gas Emissions of Various Electricity Generation Sources*” 報告。此報告原始初稿是由 Cameco 公司撰寫，共收集約 83 個各種能源生命週期溫室氣體排放量分析結果，並統計出每單位發電量各類能源之溫室氣體排放量(轉換成二氧化碳相當量)，結果如圖 1 所示，核能之排放量約為 30 ton CO<sub>2</sub>e/GWh，為天然氣發電的 7%，化石燃料電廠的 3%。

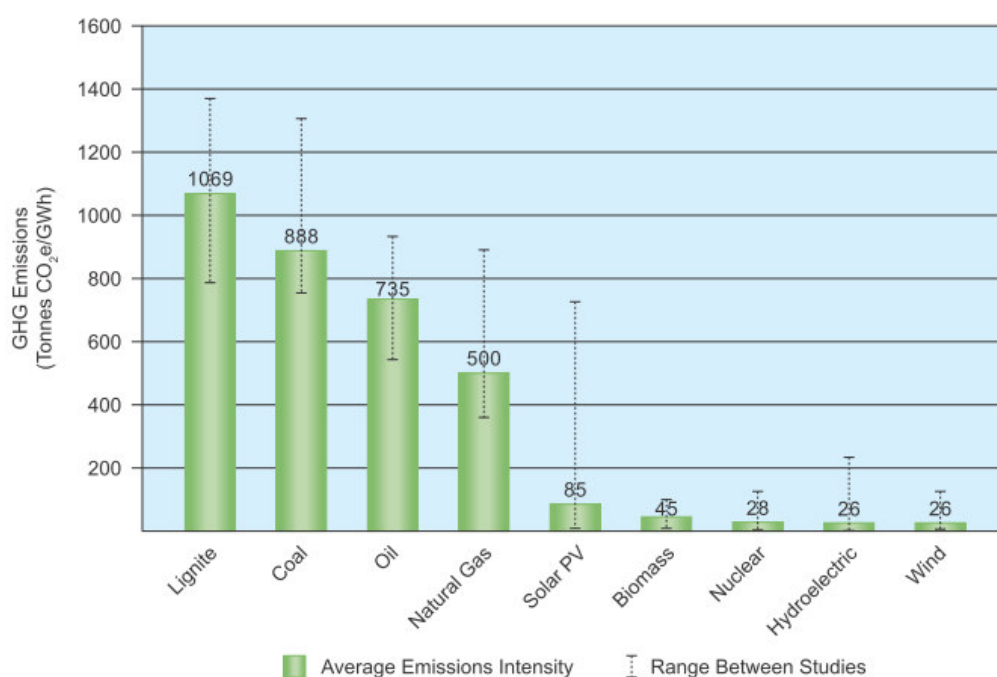


圖 1 各類能源溫室氣體排放量圖

本報告亦將各類分析來源分為學術單位、政府部門及業界組織 3 類交叉比對，結果如圖 2 所示，不同分析單位所得結果並沒有統計學上之明顯差異。

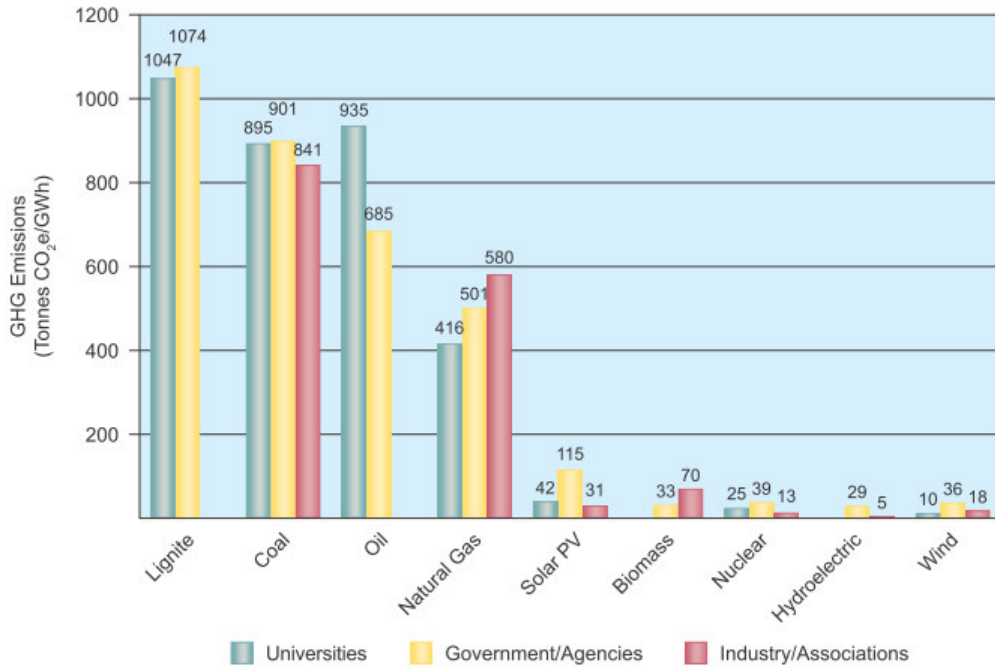


圖 2 分析來源結果比較圖

經由本報告之研究分析，可總結出以下論點：

- 核能發電之生命週期溫室氣體排放量相較於其他發電能源是屬於較低者，其排放量與風力、水力及生質能發電相當。
- 天然氣發電的生命週期溫室氣體排放量約為核能發電的 15 倍。
- 燃煤發電的生命週期溫室氣體排放量約為核能發電的 30 倍。
- 公開發表的各類發電能源生命週期溫室氣體排放量研究結果非常一致。
- 生命週期分析的主要假設會影響研究結果的範圍 (range)，例如假設使用氣體擴散式濃縮或氣體離心式濃縮，就會影響核能發電的生命週期分析結果的範圍。

## (二) Fuel Technology Working Group

鑑於標準的氧化鈾燃料雖然使用績效良好，但在燃料循環成本及安全上皆仍有改善空間，而目前有些輕水式電廠(LWR)及壓力重水式電廠(PHWR)的燃料技術在成本及安全方面可提供更好的

效益，業界對新燃料技術的興趣也持續增加，因此 WNA 於今年新成立燃料技術工作小組，並由前 Exelon 電力公司副總 Mr. Jim Malone 擔任主席。本次會議為此工作小組的第 1 次會議，目標為建立本工作小組之工作計畫，主要討論議題則有 3 項：1. 燃料技術範疇、2. 燃料技術評估及 3. 推動燃料技術商業化。茲將相關討論內容及決議說明如下：

### 1. 燃料技術範疇(Scope of fuel technologies)

工作小組首先列出幾種逐漸趨向成熟且可能於短期內進入商業化的技術，另考量這些燃料技術在製造上的選項及使用再循環鈾與鈾系金屬或鈾的可行性，以找出本工作小組建議的燃料技術範疇。討論的燃料技術及考量項目如表 1 所示。

Primary Fuel Technology Concept	Manufacturing Options	Composition Options		Variants for FTWG Scope (?)
		TRU-bearing	>5%enr <sup>235</sup> U	
Enhanced thermal conductivity UO <sub>2</sub> ceramic fuel containing a BeO or SiC component	PELLETS or VIPAC	No	Yes	- BeO+UOX pellets - BeO+UOX VIPAC
Thoria-based (ThO <sub>2</sub> ) ceramic pellet fuels eg, mixed Th-Pu oxide (Th-MOX)	PELLETS or VIPAC	only Pu initially (>2-phases not readily licensable)	No (Th-U shown as uneconomic)	- Th-MOX pellets
Pelletized-particle fuel for water reactors, ie, fissile TRISO particles embedded in a robust matrix of graphite, thoria, etc	PELLETS	Yes	No	- DU+TRU TRISO in graphite - Th+TRU TRISO in graphite
Ceramic-clad fuel & ceramic-coated fuel capable of extended in-core life. SiC is a preferred material	PELLETS or VIPAC	Yes	Yes	- U-MOX in SiC clad - Th-MOX in SiC clad - UOX in coated zirc clad
All-metal uranium fuels for high-linear power extraction	Extrusion	No	Yes	- U metal rod with Zr/Gd displacer - U met rod & Be displacer
Annular fuel rods with central coolant channel as a 2 <sup>nd</sup> cooling surface	PELLETS or VIPAC	Not excluded, but not for now	Yes	- UOX VIPAC-filled annular-tubes - UOX pellets in annular-tubes

表 1 燃料技術與討論項目表

會議中除討論表 1 所列之燃料技術，亦討論下列幾種燃料相關之優缺點：

- 陶瓷護套或鍍陶瓷護套 (Ceramic Claddings and Ceramic

Coated Claddings): 目前的燃料使用期限(lifetime)主要受限於鈳合金護套在爐心照射後數年之劣化程度，且鈳合金於高溫下會與水反應產生氫氣，故使用低化學反應、高熱傳導及高中子穿透的護套將成為長期運轉安全的選項。目前業界正在研究碳化矽(SiC)陶瓷護套，碳化矽的昇華溫度高達 2700°C，惟若護套碳含量過高，運轉時由快中子產生之能譜轉移(spectrum shift)將不足，無法在週期末產生足夠之鈾，可能需要提高燃料濃縮度。另一種護套選擇是在鈳護套外鍍上陶瓷材料，優點是可降低鈳合金直接與水接觸產生鈳水反應的機率，且運轉中對中子利用率與熱傳的影響則較少。

- 高熱傳導燃料(High Thermal Conductivity Fuel): 傳統二氧化鈾燃料雖然為高強度的陶瓷材質，但是因為熱傳導差導致運轉時燃料丸中心溫度高，且停機後仍有大量熱能儲存於燃料中。若能改善燃料物質的熱傳導率則可使燃料在更高的功率下運轉或增加安全餘裕。燃料中加入氧化鈹(BeO)或碳化矽可改善熱傳導，但仍需要研究這些材料提高熱傳導與降低鈾料使用率間相互抵銷的經濟效益。
- 全金屬高功率密度燃料 (All-Metal High Power Density Fuels): 基於降低儲存能量及燃料溫度的概念，有人提出使用高傳導金屬燃料，惟這類燃料經照射後的長期穩定性仍須進一步研究。另一個概念是使用全金屬護套，例如採用不鏽鋼，因其強度較高，可將護套厚度減為鈳合金護套的一半，但因中子截面較高，則必須提高燃料濃縮度。
- 二氧化鈷燃料(Thoria-based Fuels): 二氧化鈷燃料為強度高的可孕(fertile)燃料，由於其高熱傳導與高熔點特性，故可延長輕水式電廠燃料的燃耗或提高運轉功率。
- 中空燃料棒(Annular Fuel Rods): 使用中空燃料棒，可利用中心冷卻的方式改善熱傳導。這種燃料棒可以由中空燃料丸搭

配內外 2 層護套組成，亦可以使用雙層護套管填入燃料微粒 (particles)組成。目前韓國及美國麻省理工學院都有在做這方面的研究，瓶頸可能在護套管的封焊以及護套不對稱成長。

- 丸狀鍍層燃料(Pelletized Coated-Particle Fuel)：將燃料鍍上用 作緩和劑的碳化粒子層燃料，例如 TRISO 燃料，原係設計 用於高溫氣冷式反應器，這種燃料可達到極高之燃耗且可長 期置放於爐心，另一個優點是可混合再循環超鈾廢料 (transuranic waste)使用，並消耗掉這些廢料元素，因此近年 美國與日本皆有研究將此種燃料概念運用於輕水式電廠燃 料。

經過逐項冗長討論後，工作小組的建議如下：

- 成員認為會中討論的燃料技術皆可列入工作小組的技術範 疇內以便考量所有可能性，惟資料仍須重新整理並納入本次 會議的專家意見。
- 必須考慮電力公司只有在新燃料技術能提供長期燃料完整 性且對電廠營運或規範沒有重大改變的狀況下，才可能接受 使用新燃料型式。
- 須考量各類新燃料技術發展的時間長短。
- 若新燃料技術的使用需要相對提高濃縮度至 5%限值以上， 因此限值為用過燃料管理的重要因素，需一併考量用過燃料 貯存/移動之執照申請等相關問題。此外，須留意自發性臨界 現象，依據 Entergy 公司研究，西屋公司 17x17 沸水式燃料 在濃縮度高達 6.5%以上就會發生自發性臨界 (critical itself) 現象。
- 綜上，本小組未來的相關工作，包括調查改善熱傳導的燃料 發展狀況、調查中空燃料的研發狀況及界定各種新燃料技術 發展的時間範圍等。

## 2. 燃料技術評估(Assessment of fuel technologies)

工作小組接著討論用於評估新燃料技術的客觀準則，儘管會議討論資料草稿列出 5 項準則，包括前端成本之影響、營運成本之影響、後端成本之影響、增加的安全餘裕及其他成本(未依重要性排序)，但是小組成員對新燃料之經濟性沒有太多討論，並認為很難以簡單經濟數字比較不同燃料使用狀況。小組成員則另提出幾項相關建議如下：

- 評估準則應依重要性排序，並將提升燃料安全餘裕的特性列為首要。
- 福島事故後，另一個促使發展新燃料的動機，即降低嚴重核子事故的威脅(例如：不會產生氫氣及不易熔融等)，應列入準則。
- 可依據 2000 年發表的 NEI/CSNI fuel safety criteria，並將其更新為新燃料型式的準則，因為該準則中明確列出的安全相關準則，例如喪失冷卻水事故 (LOCA)時燃料仍須維持完整，仍然適用於新燃料。
- 燃料安全準則(Fuel Safety Criteria)須列為高位階(high-level)準則或必要(requirements)項目，以強調安全績效的重要性。

## 3. 推動燃料技術商業化(Facilitating fuel technology commercialization)

燃料技術工作小組成立目的，除了提供燃料製造商、核燃料循環投資者及核燃料使用者一個評估及討論近期可發展及運用於輕水式或重水式反應器核燃料技術的論壇外，另一個目標則是找出較明確之技術選項及其測試、執照申請與商業化之方針。

工作小組首先討論新燃料技術商業化的障礙 OECD-NEA 在 2007 年出版的 Innovation in Nuclear Technology 中指出因為以下幾個核燃料技術創新與研發的特性，造成核燃料新技術發展計畫需較長



時間且風險較高：

- 通常需要政府資助或參與。
- 廠商間通常需要成本與風險分擔結盟，才能使長期燃料測試計畫克服疏失或有足夠的資源。
- 需要長期且穩定的資金投入。
- 由於投資報酬時間長，故難以取得純投機資本。
- 配合國家研發獎勵計畫較有可能成功。
- 若新燃料未能適當降低營運成本則很難引起使用者(電力公司)的興趣或參與研發。

然而克服這些障礙並非易事，因此工作小組成員建議先列出議題1中討論的各類燃料新技術及各類技術可能提供的改善特性如：強化運轉可靠度、強化用過燃料完整與可靠度、降低氫氣產生、提高 LHGR、提高 LOCA 抵抗力及提高熔點等)，再找出如何做才能使這些新型式燃料的測試、執照申請及商業運用更簡化。基此，工作小組建議未來工作項目有：1.彙整編輯商業化過程所須之各類工作，包括：可能的照射或製造廠、熱室(hot cell)或照射後檢驗室(post irradiation examination, PIE)，及暫態測試裝置廠等，以及2. 評估各類新燃料之執照申請時程及最終執照申請前的商業照射時程。

### (三) Plenary Section

2008 年 WNA 將歷史悠久之 Trade Issues Working Group (TIWG) 及 Nuclear Fuel Working Group (NFWG) 兩個工作小組正式合併，今年則將此工作小組命名為 Market Report Drafting Group，並於 WNA 年會召開首日在 Nuclear Fuel Cycle Plenary Section 發表 2 年 1 次的市場報告”*The Global Nuclear Fuel Market – Supply and Demand 2011-2030*”。此會議是 WNA 工作小組中參與人數最

多的會議，本小組的主要議題為核燃料之供給與需求，另由核燃料循環各階段會員公司分別報告專題。本年度的主要討論內容概述如下：

1. 本次年會小組會議中，首先由法國電力公司 EdF 的 Ms. Anne Chauvin 及俄羅斯鈾礦商 ARMZ 公司的 Mr. Alexander Boytsov 分別簡單報告 The Global Nuclear Fuel Market 報告之需求及供應預測。該報告參考情境案例預估之原料鈾、轉化及濃縮功供需狀況分別如下頁圖 3~5 所示。原料鈾供需於 2025 年前約略維持平衡；轉化服務則僅於短期內維持供需平衡，且須依類次級供應來源及更多的新產能才能減少供給與需求的不平衡；濃縮功需求將隨新建機組逐年增加，目前濃縮供應商則正進行技術更新，預期新氣體離心廠計畫與擴產，加上俄羅斯產能提昇，應可滿足 2025 年以前之需求。有關該報告之相關詳細內容，將於本報告第三節 WNA 研討會內容中重點摘要。

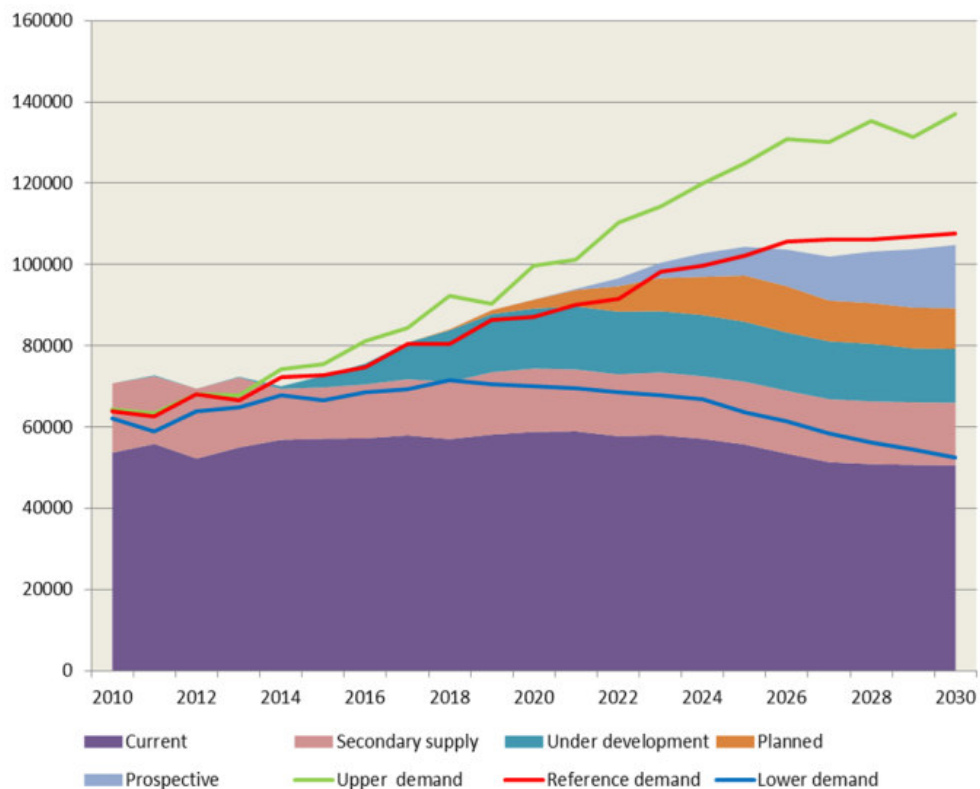


圖 3 原料鈾供需圖(單位: tU)

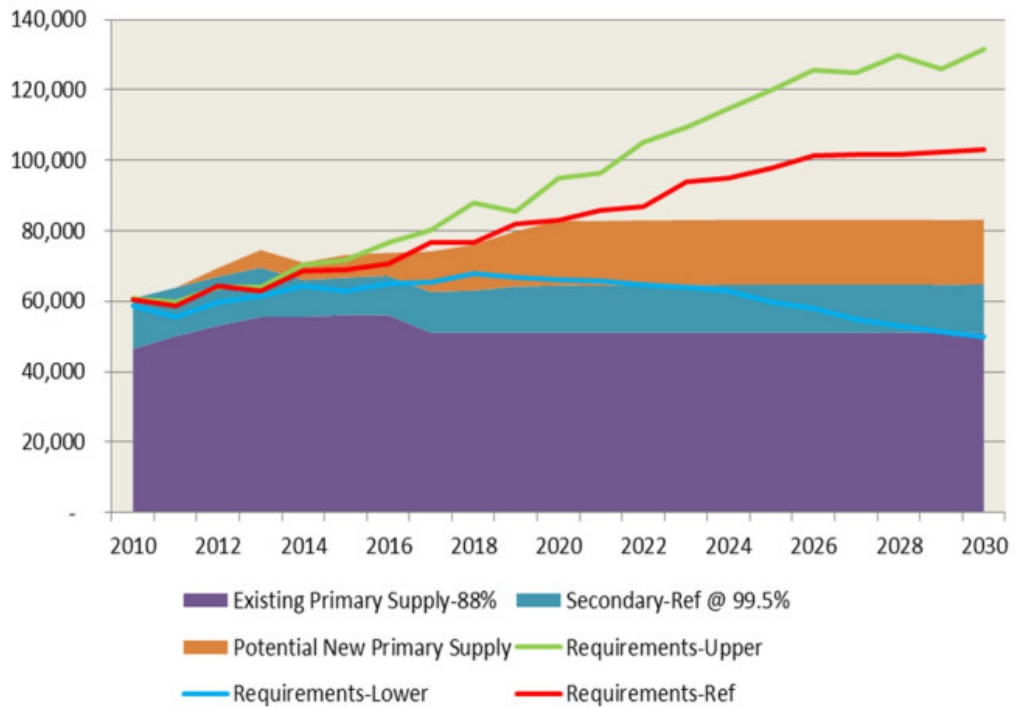


圖 4 轉化供需圖(單位:tU)

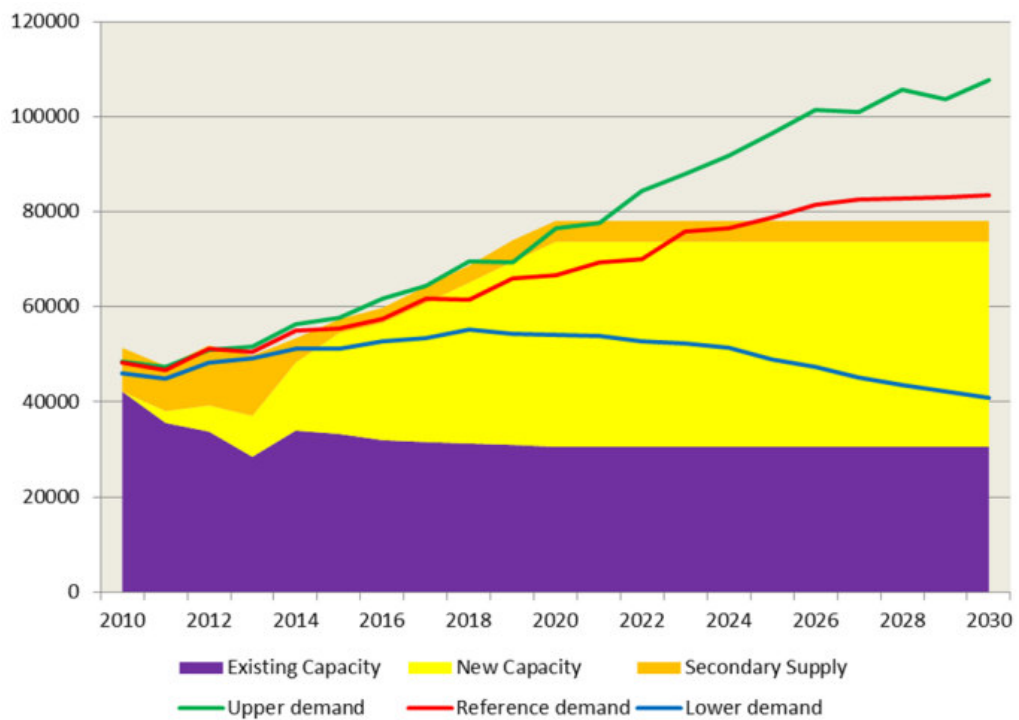


圖 5 濃縮功供需圖(單位:000 SWU)

- 今年援例分別報告國際核燃料循環前端發展狀況，在原料鈾方面，去(2010)年生產量為 53,663 公噸鈾，2011 年初估生產量約為 56,050 公噸鈾，較去年增加約 4%。預期今年產量主要增加區

域為美國、澳洲及哈薩克。預期 2030 年前原料要產量如圖 6，其中彩色區塊為依據生產商資料之供應狀況，惟工作小組另考量各礦區狀況，將擴區分為 4 類並分別假設生產延遲狀況與預期產能(如表 2)，依假設調整後之產量預測則為圖 6 之紅線部分，相較於 2009 年的報告預測(圖 6 黑色虛線)，2021 年前之產量較 2 年前預期低，而 2021 年後則較高。

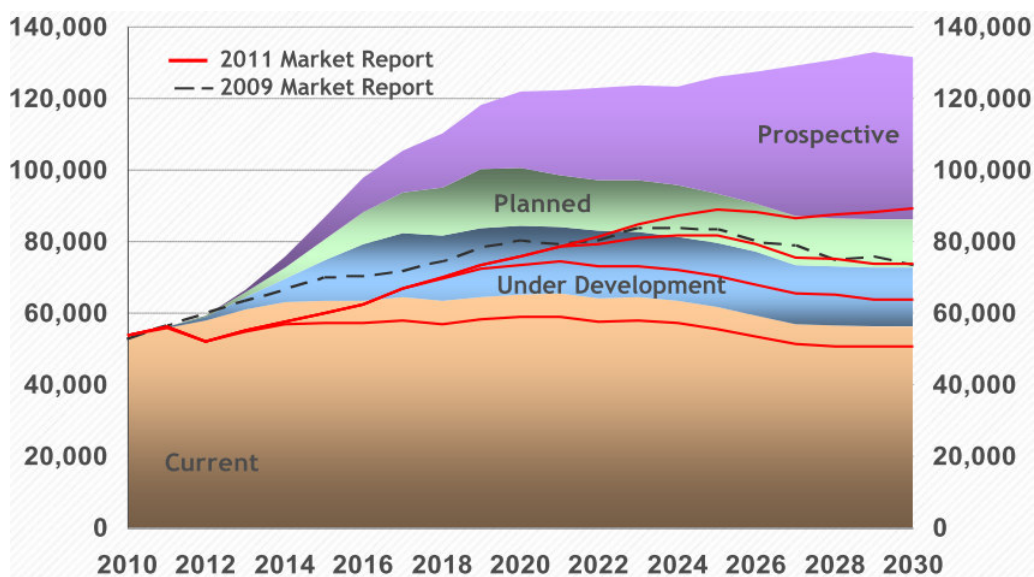


圖 6 原料鈾產量預測比較圖(單位：tU)

分類	延遲(年)	預期產能(%)
現有礦區	0	90
開發中礦區	-2	80
計畫中礦區	-6	70
可能礦區	-8	60

表 2 原料鈾產量預測假設

未來幾年各鈾礦來源區域之各計畫起始年度(未標明達量產年度)及可能產能整理如下，圖中各礦區另依開發進度(各類報告提報及執照申請等)由高至低分別以綠色、灰黃色及灰黃色紅框表示。

非洲：雖然礦區計畫很多，但除 Langer Heinrich Stage 3 較確定

外，其餘計畫不確定性仍高，今年之報告預期產量於 2020 年前較 2 年前報告預測低，但 2021 年後則較高。

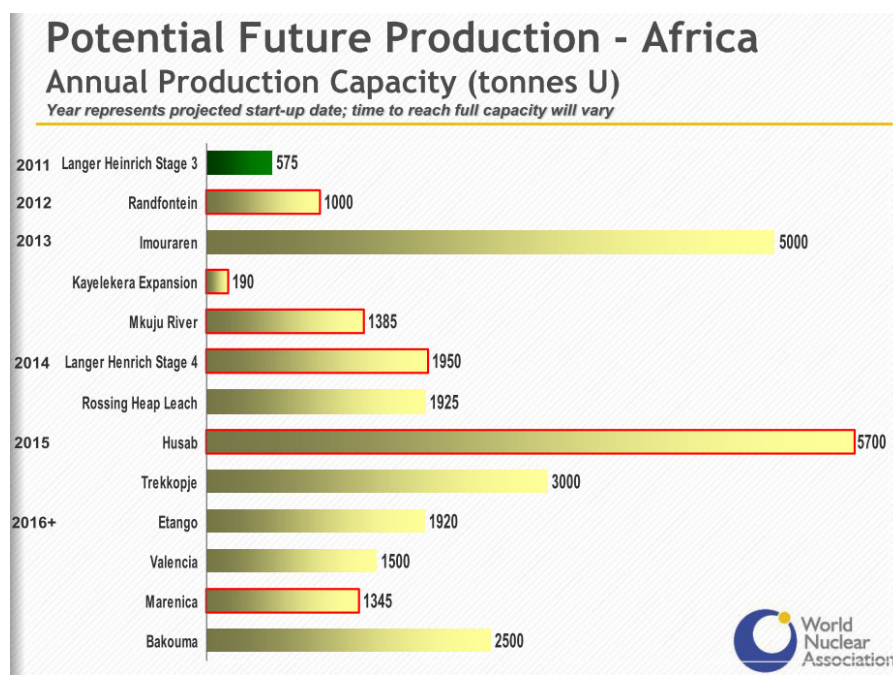


圖 7 非洲原料鈾礦區起始年及產能預測圖

澳洲：除 ODM 計畫較確定外，其餘計畫不確定性仍高，今年之報告預期產量明顯較 2 年前報告預測低。

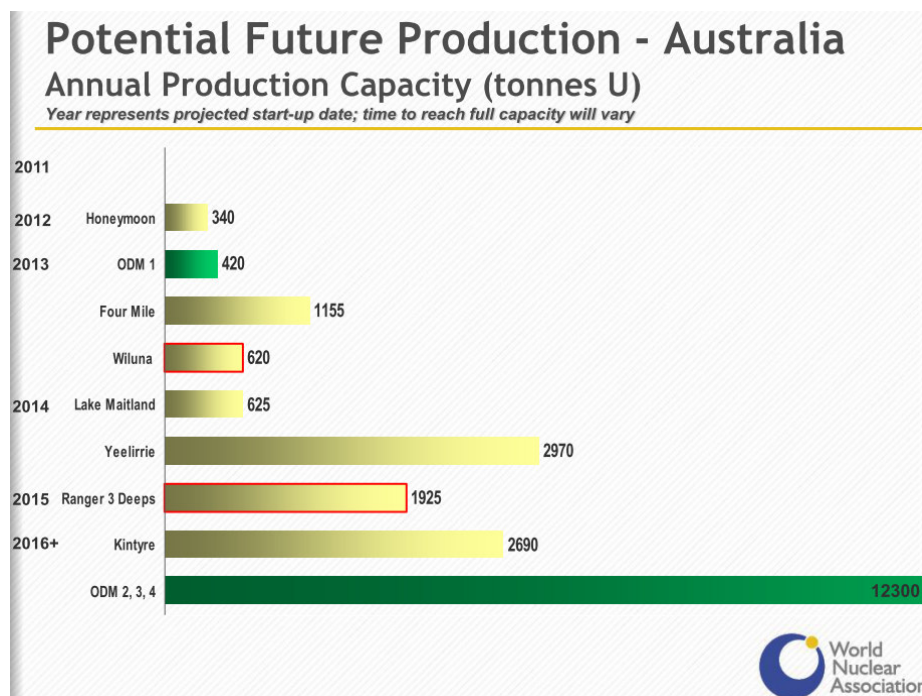


圖 8 澳洲原料鈾礦區起始年及產能預測圖

加拿大：除 Cigar Lake 及 Millennium 計畫較確定外，其餘計畫不確定性仍高，今年之報告預期產量於 2020 年前與 2 年前報告預測約略相當，但 2020 年後則明顯較低。

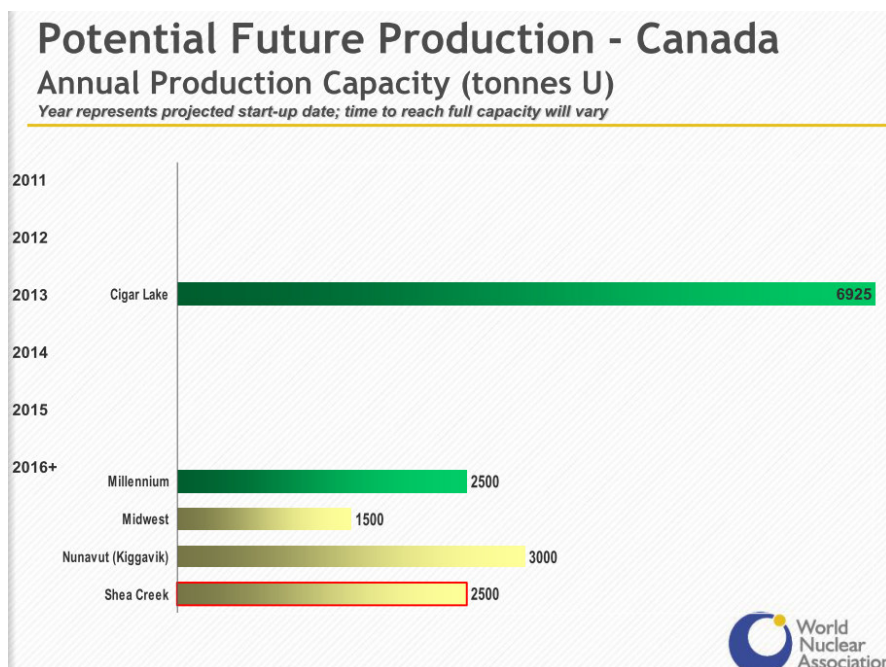


圖 9 加拿大原料鈾礦區起始年及產能預測圖

哈薩克：除 Inkai Expansion 及 Zhalpak 較確定外，其餘計畫不確定性仍高，今年之報告預期產量與 2 年前報告預測約略相當。

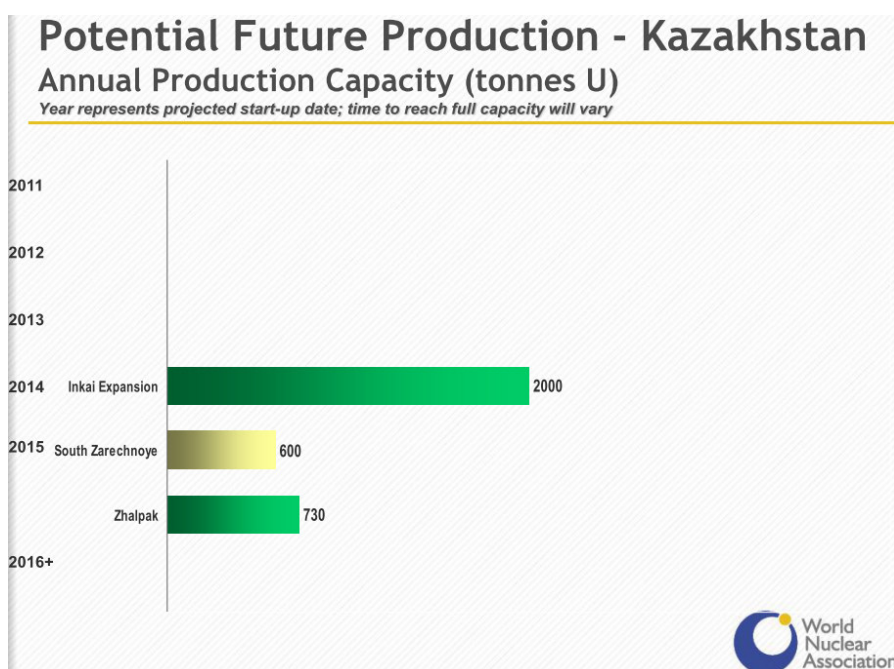









圖 10 哈薩克原料鈾礦區起始年及產能預測圖

轉化服務方面，重要發展狀況包括 Cameco 正計劃更新 Port Hope 廠，且繼續評估與 Kazatomprom 合作之可行性；ConverDyn 則於 2009 年取得 RC 14001 環境管理系統認證及 ISO 9001 品保認證，該公司在 2004-2010 年間已投資 7,500 萬美元更新廠房，未來 5 年將再投資 1 億美元；ARVEA 繼續興建 Comurhex II，預計 2015 年前裝置容量可達 15,000 tU；俄羅斯方面則在與澳洲及與美國間之國際協議有相當進展，另 Rosatom 則迅速擴產並與哈薩克合作以期透過該國打入西方市場，惟目前俄羅斯轉化服務仍皆以含在濃縮鈾成品內之方式供應；中國方面則預期應可自給自足。

濃縮服務方面，USEC 仍與美國能源部協商貸款擔保協議之條款，另該公司已順利與 Toshiba 及 B&W 達成延長凍結協議至 10 月底；AREVA 於歐洲之 GB II 濃縮廠已於 4 月商轉，預期今年年底前可提升產能至 100 萬 SWU，惟該公司於美國之 EREF 濃縮廠計畫則因執照申請延遲，可能會延後數月開始動工；URENCO 集團的裝置容量於 2011 年上半年增加約 4% 至 1,350 萬 SWU；GE-Hitachi 的 GLE 計畫則預期於 2012 年下半年取得美國核管會執照核可；俄羅斯方面，TENEX 與美國電力公司共簽訂 12 筆濃縮鈾長約，今年 6 月完成第一次交運濃縮鈾給 Exelon，此外 Rosatom 計劃投資 55 億盧布將 TVEL 的 ECP 濃縮廠產能提升 50%；中國核工業集團(CNNC)則完成陝西漢中濃縮廠第 4 階段興建工程。WNA 預測未來新增濃縮服務裝置容量將可滿足需求，而各供應商之 2010 年與預測 2020 年有效裝置容量(可於市場買賣之供應量)如圖 11。

## Current & Forecast Enrichment Capacities

Supplier	2010 Marketable Capacity (MSWU)	2020 Forecast Capacity <sup>(1)</sup> (MSWU)
 USEC A United Energy Company	-11.5 (-6 MSWU GDP + 5.5 MSWU HEU <sup>(2)</sup> )	3.8 <sup>(3)</sup> (possible expansion to -7.0 MSWU with license amendment, as required)
 URENCO	12.8	12.3
 URENCO USA	0.2	5.7 (expansion pending license approval)
 TVEL	~ 23 <sup>(4)</sup>	-30 - 35
 AREVA	Georges Besse	- 8.5
	Georges Besse II	na
	Eagle Rock Enrichment Facility	na
 GLEC	na	3.3 (license application resubmitted to expand to 6.6 MSWU, as required)
 CNNC	na	3.0 - 6.0 (pending license approval)
CNNC	1.3	-6.0 - 8.0 <sup>(5)</sup>
Other <sup>(6)</sup>	< 0.1	-2.0
<b>Total Supply</b>	<b>- 57</b>	<b>-74 - 84</b>

(1) WNA has used industry sources to indicate the potential supply range if there are no public supplier announcements  
(2) HEU program ends in 2013  
(3) ACP capacity only. A finite date for GDP closure has not been established  
(4) Excludes HEU blendstock  
(5) Estimate based on domestic plants meeting Chinese nuclear power growth  
(6) Includes domestic programs from Japan, Brazil, and Argentina  
Sources: WNA, USEC, Areva, Urenco

Note: See Dictionary of Terms for acronym definitions




圖 11 濃縮服務有效裝置容量圖

製造服務方面，總裝置容量較前次報告增加，預期中國與韓國之初始爐心需求將增加；次級供應來源方面，因 Sellafield MOX 廠於 8 月停止營運進行整修，全部產能則較前次報告減少 20%。整體來說，亞洲市場將持續成長，西方國家之供應仍較需求多 40%，全球裝置容量仍可滿足包含初始爐心在內的所有需求。

### 3. 今年工作小組邀請到 ESA 的 Dr. Zsolt Pataki 報告”2010 Euratom Supply Agency Annual Report”的重點，該報告的主要結論如下：

- 2010 年實際交運 EU-27 電力公司的原料鈾相當量約為 17,566 tU，小於該年實際燃料填換的鈾當量約 18,122 tU。
- 歐盟電力公司由長約交貨之鈾料約占所有交貨鈾料之 95.9%。
- 長約平均交貨價格為 US\$31.45/lb，較 2009 年上漲 5%；現貨平均交貨價格為 US\$40.53/lb，較 2009 年下跌 3%。
- 2010 年交貨之鈾料來源足夠分散，其中前 5 大來源國為俄羅



斯(28.4%)、哈薩克(16.0%)、澳洲(12.3%)、尼日(11.9%)及加拿大(11.5%)。

- 約 2/3 的濃縮功係由 2 個歐洲濃縮商 (AREVA/Eurodif 及 URENCO)供應。美國濃縮商 USEC 則僅供應歐盟 7%濃縮功。俄羅斯的 TENEX/TVEL 則提供了 33%的濃縮鈾。
- 2010 年底的總體鈾料庫存量為 45,272 tU，可涵蓋超過未來 2 年的預估需求量。

4. Uranium One 的 Mr. Fletcher Newton 則報告美國 ”2010 EIA Uranium Report”重點，摘要如下：

- 原料鈾長約與現貨交貨量分別為 3,790 萬磅及 820 萬磅，長約供應量約占 82%。
- 2010 年採購及交貨量約 4,650 萬磅，大於該年實際燃料填換的鈾當量 4,430 萬磅。
- 長約平均交貨價格為 US\$50.43/lb，較 2009 年上漲 10%；現貨平均交貨價格為 US\$43.99/lb，較 2009 年下跌 5%。
- 美國生產商購買之非美國原料鈾平均價格為 US\$41.30/lb；電力公司購買之非美國原料鈾平均價格為 US\$51.69/lb；貿易商或中間商購買之非美國原料鈾平均價格為 US\$41.23/lb。
- 美國電力公司購買鈾料之前 5 大來源國為俄羅斯(22.6%)、加拿大(22.0%)、澳洲(15.3%)、哈薩克(14.7%)及那密比亞(10.5%)。
- 2010 年底供應商與電力公司總商業庫存量為 11,227 萬磅原料鈾相當量。

5. 那密比亞礦業商會的 Mr. Wotan Swiegers 則報告那密比亞鈾礦開發的近況，渠預期該國 2020 年前開始營運的礦區將提升至 5~7 個，2015 年前原料鈾產量可達每年 10,000 公噸，僱用員工可於 2013 或 2014 年達到 8,500 人，往後年度則維持於 7,000 人左右，

用水需求於 2020 年前達到每年 3,000 萬立方公尺，尖峰電力需求約 300 MW。那密比亞鈾礦開發近 2 年(2010-2011)的主要挑戰包括：福島事故造成的衝擊、業界與政府合作關係不確定性高(政策不明確)、稅賦改革仍在進行，及缺少技術性員工。此外，整個產業面臨之挑戰則包括：須於自然公園內開採、缺乏環境與健康的基本資料、缺乏土地開發策略、基礎建設貧乏，以及可能對環境、社會及健康造成衝擊。整體而言，Mr. Swiegers 認為福島事故將使那密比亞未來幾年的鈾礦開發成長減緩，那密比亞政府則須與鈾礦業界合作以維持那密比亞鈾的名聲，且雙方皆須致力遵循 Strategic Environmental Management Plan，鈾礦管理委員會則須接受 WNA、IAEA 及 ICMM 等組織之指導。

6. Itochu 的 Mr. Theodore Weber 報告日本核能的現況。截至 9 月 5 日止，日本 54 座核電廠僅 11 座運轉中，福島事故前已停機之電廠皆未起動，事故後則有 14 部機組停機檢修未起動(不包括東京電力與東北電力在地震時受損之機組)，而日本的地方政府，尤其是縣政府仍強烈反對核電廠起動運轉。儘管日本前首相要求所有電廠重新起動前皆須通過壓力測試(Stress test)，但是測試內容卻不清楚。日本於 2010 年訂定的能源政策原計劃於 2030 年前興建 14 部核能機組，福島事故後至報告前政府仍未提出正式的能源政策，惟新任首相已表示所有機組應在完成起動測試後運轉供電，且應於預期年限到期時除役。日本經濟貿易工業部長則表示新能源政策將於今年底完成。東京電力因福島事故造成之財務淨衝擊約為損失 10,400 億日圓，預期政府將於 9 月底完成東電的資產及變現計畫，應會出售價值約 2,000 億日圓的 KDDI 集團股票，是否會出售鈾料庫存則仍未知。此外，Reuters 報導則指出日本政府可能會分割東電，將核能國營化且出售輸配電部門，僅保留火力及水力發電廠予東電。

7. ConverDyn 的 Mr. Malcolm Critchley 則報告該公司計畫引進之電子鈾料倉儲管理措施，使用這套系統的廠商會有獨立的實體物料儲存場地，與現行混合存放(commingled storage)有所區別，握有抬頭的廠商可自行透過使用該系統的中間商交易、開戶及製發買賣票據，並受統一商法(Uniform Commercial Code, UCC)規範，以後將不需由 ConvenDyn 處理各類通知事宜，該公司僅接收每日貿易報表。會中 Exelon 的 Dr. Kim Haksoo 特別詢問若這些獨立存放的 Cylinders 於天災(如水災)中受損，是否握有抬頭的廠商須承擔損失，Mr. Critchley 則表示保險公司會負責。

### 三、WNA 研討會(Symposium)

本次於英國舉行之 WNA 第 36 屆年會及研討會，有來自核能業界各階層超過 500 多人參加。本次年會除發表 The Global Nuclear Fuel Market – Supply and Demand 2011-2030 報告外，會議主要議題包含(1)核燃料循環前端之發展、(2)核能安全、(3)新建機組之策略、需求、財務與風險及(4)聯繫溝通等。由於日本福島事故是核能歷史上重要的事件，故幾乎成為整個研討會的主題，儘管如此，核能業界仍對核能發展極有信心，因為仍然有很多國家在該事故發生後還是繼續發展核能。茲將會議內容或討論之重點摘要如下：

#### (一) 專題發表

此次會議首先由 WNA 的 Director General Mr. John Ritch 報告會務及工作小組組織，其報告內容與本出國報告一(二)Member's Council 內容約略相同。此外，Ritch 先生強調 WNA 的重要任務即在提升公眾對核能業界的了解，渠同時表示日本福島事故對核能業界及政府都是重要課題，此事故提醒我們營運安全的重要，更提醒我們用以支持核能發展的公眾認知仍然很脆弱，因此渠認

為業界應該支持任何提升公眾認知的努力。其餘專題發表則簡述如下：

## 1. 美國核能產業現況

Exelon 的營運長 Mr. Christopher Crane 報告美國核能產業現況。核能發電仍約占美國電力供應的 20%，美國核電廠仍維持良好安全紀錄，2010 年 104 部核能機組總發電量達 8,070 億度，容量因數平均超過 90%，現有核能發電仍維所有發電來源成本最低者。核能發電的成長主要來自機組延役、功率提昇及有限的新建計畫。核能機組延役方面，共有 71 部機組已取得延役執照，13 部機組則正在申請延役。功率提昇方面，則總共增加 6,000 MW，另有 3,200 MW 正在審核中，新建計劃則有 Watts Bar 2、Bellefonte 1、Vogtle 及 V.C. Summer。日本福島事故後，美國核管會已完成 90-day task force 報告，美國核能業界則會依據此事故經驗改善電廠安全，而目前公眾支持度也在回升當中。

## 2. 福島事故之回顧與省思

日本原能會委員 Mr. Akira Omoto 報告福島事故之回顧與省思。今年 3 月 11 日發生於日本東北海域的地震是日本史上前所未見的，而隨後發生的海嘯則造成數座核能電廠喪失電源及最終熱沉，而即時洩壓及使用儲存電力啟動的低壓注水系統並無法避免福島一廠 1~3 部機組的爐心熔損，超過 8 萬居民被迫疏散，電廠半徑 20 公里內之區域目前仍須淨空。Omoto 先生整理出受地震影響之 14 部機組在設計上及最後結果的差異如下頁圖 12，渠認為可用電源(包括：廠外電源、緊急柴油發電及廠內電源)及嚴重核子事故指引(SAM)的使用是決定性因素，例如：女川及東海 2 電廠則因足夠高的廠址及阻隔，因此能有效避免海嘯衝擊；福島一廠 6 號機及 5 號機，則分別因使用非海水冷卻的緊急電源及依

據 SAM 連結鄰近機組的電源而倖免於難；福島二廠亦因依 SAM 連結使用廠外電源安全將機組冷停機。

14 NPPs affected by Tsunami: What made differences?			
	Tsunami Inundation height	SBO	Isolation from UHS
Onagawa (3 units; 2 in operation)	GL>Tsunami	Power available	Not completely
Fukushima-I (6 units; 1,2,3 in operation)	GL(10-13m) < Tsunami (11.5-15.5m)	- All offsite Pwr& EDG were lost except for 1F6 air-cooled EDG -1F5 power supplied from 1F6	Completely isolated from the sea
Fukushima-II (4 units in operation)	GL(12m) < Tsunami (12-14.5m)	-One offsite power was available	Almost complete isolation
Tokai (1 unit in operation)	GL>Tsunami		Not completely

圖 12 日本 14 部受海嘯影響機組差異

Omoto 先生指出福島事故突顯福島一廠的 3 個主要弱點：1.對天然災害或人為造成的系統共因事件沒有充分的保護對策、2.嚴重核子事故指引仍無法有效地包含所有內在、外在及保安事件，及 3.氫氣洩漏及爆炸。日本政府已於 9 月初向國際原子能委員會 (IAEA) 提出報告，該報告指出 5 個領域(嚴重事故預防、嚴重事故管理、緊急反應、安全設備及文化)共 28 項經驗回饋與執行狀況，其重點內容包括：

- 對抗天然災害之設計考量。
- 對抗電廠全黑(SBO)及喪失最終熱沉之設計考量。
- 完成嚴重核子事故指引或提升其效能。
- 緊急事件管理。
- 安全法規與安全文化。
- 同廠址多機組。
- 用過核燃料池設計。
- 外在因素。

### 3. 福島事故後之再造與 WANO

本專題由國際核能組織(World Association of Nuclear Operators, WANO)的 General Director Mr. George Felgate 報告 WANO 在福島事故後所做的努力與改變，以期使核能產業在福島事故後能變得更強壯。WANO 係於 1989 年基於車諾比事故成立的非營利組織，所有民用核能電廠營運者皆為其成員，該組織除倫敦辦公室外，另有巴黎、亞特蘭大、莫斯科與東京等 4 個區域中心，其主要任務有同儕審核(Peer review)、技術支援(Technical support)、運轉經驗 (Operating experience)及專業與技術發展 (Professional and technical development)。Felgate 先生於報告中比較了美國三哩島、蘇聯車諾比及日本福島事故(如圖 13)，儘管福島事故的肇因尚未確認，但卻可總結出幾個結論：(a)安全評估(PSA)有其限制、(b) 3 個事故中有 2 個係因為無法移除衰變熱、(c) 3 個事故中有 2 個係因為人為疏失，及(d)業界需學習福島經驗但亦不能忘記三哩島與車諾比事故。

Compare	
<ul style="list-style-type: none"><li>● Three Mile Island<ul style="list-style-type: none"><li>✦ PWR</li><li>✦ New plant</li><li>✦ Removal of decay heat</li><li>✦ Core destruction</li><li>✦ Nearly no release to the environment</li><li>✦ No fatalities</li><li>✦ Event initiator: Human performance</li><li>✦ Root cause: Training</li></ul></li><li>● Chernobyl<ul style="list-style-type: none"><li>✦ RBMK</li><li>✦ New plant</li><li>✦ Management of stored energy</li><li>✦ Reactor destruction</li><li>✦ Large release to the environment</li><li>✦ Several fatalities</li><li>✦ Event initiator: Human performance</li><li>✦ Root cause: Safety culture</li></ul></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● Fukushima<ul style="list-style-type: none"><li>✦ BWR</li><li>✦ Old plant</li><li>✦ Removal of decay heat</li><li>✦ Multiple reactor destruction / fuel pool damage</li><li>✦ Large release to the environment</li><li>✦ No fatalities</li><li>✦ Event initiator: External event</li><li>✦ Root cause: ??</li></ul></li></ul>



圖 13 核能事故比較表

WANO 的管理會(Governing Board)已於 3 月 30 日召開日本福島事故因應會議，並建議修改任務與組織，而委員會則會完成這項工作與修正，並於 10 月份的 BGM 對所有會員發表，內容可能包括發展 WANO 的完整緊急應變策略、同儕審核範疇可能納入緊急計畫與事故管理、改善 WANO 產品與服務，以及增加同儕審核頻率。WANO 亦已於 3 月 17 日發布福島一廠重大運轉經驗報告(Significant Operating Experience Report) SOER 2011-2，並於 9 月初發布燃料池冷卻 SOER。Felgate 先生認為目前核能安全的主要挑戰則包括：福島事故後的處理經驗、福島事故引起的焦慮、66 部機組正在興建(啟動測試經驗)，以及經驗傳承。Felgate 先生建議業界學習福島經驗但仍應反思三哩島與車諾比事故，業界也必須認知到人為績效仍是爐心熔毀的主要肇因，且思維應由以前的”預防”轉為”預防與降低損害”。

#### 4. 韓國之核能發電

韓國 KHNP 的執行長 Mr. Jong-Shin Kim 報告韓國之核能發電。韓國自 1971 年開始興建古里 1 號機起，至今已發展核能 40 年，該國更發展出 OPR1000 及 APR1400 之反應器模組，其發展核能的決心及經驗已使該國在核電興建及運轉上皆能不需倚賴他國。2010 年韓國之核能機組裝置容量為 17,716 MW 占該國總裝置容量之 23.3%，發電量為 148,596 GWh 占該國總發電量之 31.3%。截至 2011 年 2 月，該國共有 21 部運轉中機組，總裝置容量為 18,716 MW，興建中機組則為 7 部共 8,600 MW，計劃中機組 6 部共 8,400 MW。韓國更計劃於 2030 年前將核能機組提升為 40 部機，使核能發電占比由現今之 31%提升為 59%。日本福島事故後，KHNP 更計劃於未來 5 年內投資 10 億美元執行 46 項改善案，以提升電廠安全。除核能電廠營運外，韓國還有強大的核能工業，因其自 1970 年代起未曾中斷核電廠興建，故擁有

完整的供應鍊。此外，使用標準化模組設計，其興建電廠的時間約可縮短 18%，並降低成本約 34%，Mr. Kim 認為這也是韓國可以贏得 UAE 核能電廠興建標案的主因。

## 5. 新興國家之核能發展

Rosatom 的 Deputy Director General Mr. Kirill Komarov 報告新興國家之核能發展。Komarov 先生表示目前全球約有 70% 的人口面臨電力短缺的狀況(如圖 14 紅色區域)，對這些國家而言，核能可能是促使社會與經濟成長的重要因素。在福島事故後，全球有 39 個國家仍然決定繼續發展核能，其中有 14 個國家來自這些尚未有核能機組的新興區域，Komarov 先生認為，因為發展核能對這些國家而言，除了提供電力以外，還會帶來其他如發展科學與教育、提升稅賦收入、增加就業率、提升基礎建設及經濟成長等好處。

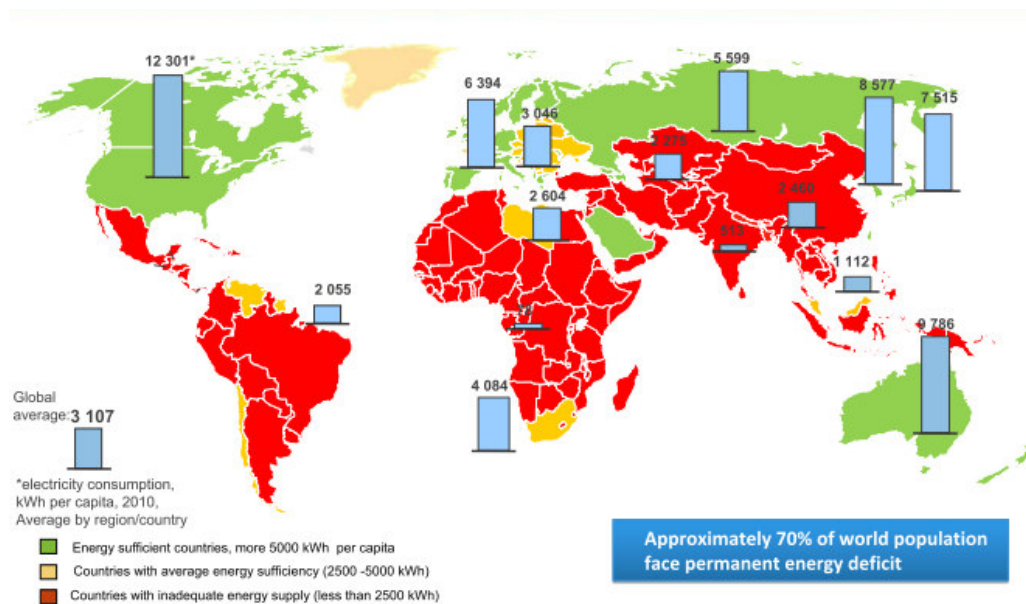


圖 14 面臨電力短缺國家

Komarov 先生認為要協助這些新興國家發展核能，核電機組供應商除了須能提供較安全的 Generation III plus 反應器外，還應提供如下頁圖 15 所列的全生命週期完整解決方案。



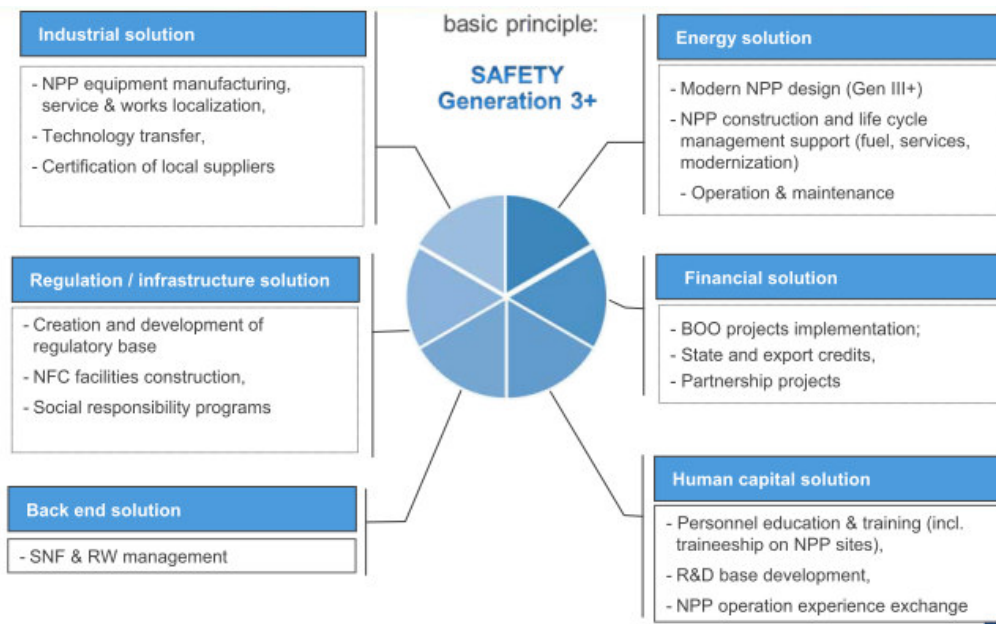


圖 15 反應器供應商提供完整方案概念圖

## 6. 德國之核能發電與政策

德國核能論壇的總經理 Mr. Ralf Güldner 報告德國的核能發電與政策。Güldner 先生表示德國的核能發電政策在車諾比事故後，一直充滿政治爭議，且隨著政黨輪替改變。2002 年政府通過原子能法(Atomic Law)計劃逐步於 2021/2023 年前廢止核能發電，然而反對黨則認為應該延長運轉期限，以減緩電價上漲並爭取更多時間制訂更完備的能源發展政策。2009 年政黨輪替後，延長電廠運轉年限再度被提出來討論，政府終於在 2010 年 9 月決定延長電廠運轉年限平均 12 年，但同時提高核燃料稅以用於能源與氣候變遷基金，此政策轉換前後之各電廠停役年度如下頁表 3。福島事故後德國政府則又改變政策，決定立即停止 7 部機組運轉，加上原本已停機之機組，共計 8 部機組裝置容量約 8.8 GW，新政策下各機組停役年度如下頁表 4。新政策直接造成德國輸電系統壓力升高，因為可用裝置容量有區域不平衡的狀況，尖峰時間輸電系統失效的機率提高；德國亦成為電力淨輸入國；基載電力價格則上漲 10~15%。依據瑞士顧問公司 Prognos 最近

的研究報告顯示，相較於不廢核方案，新政策將使德國 2023 年的大盤電價由原估算之€58/MWh 漲為€68/MWh，約上漲 17%，而新政策出爐前的大盤電價則約為€45~50/MWh。新政策亦會使最高的消費電價 因大量使用 再循環發電，將由目前的 23.5 ct/kWh 漲至 2023 年的 28.6 ct/kWh，工業用電則由目前的 6.8 ct/kWh 漲至 2023 年的 9.6 ct/kWh。此外，碳權交易價格亦可能增加€4/t CO<sub>2</sub>。

	operating since	phase-out of 2002	life-time extension
Biblis A	1975	2011	2019
Neckarwestheim 1	1976	2011	2019
Biblis B	1977	2013	2021
Brunsbüttel	1977	2013	2021
Isar 1	1979	2011	2019
Unterweser	1979	2012	2020
Philippsburg 1	1980	2012	2020
Krümmel	1984	2020	2034
Grafenrheinfeld	1982	2015	2029
Gundremmingen B	1984	2020	2034
Philippsburg 2	1985	2018	2032
Grohnde	1985	2018	2032
Gundremmingen C	1985	2020	2034
Brokdorf	1986	2019	2033
Isar 2	1988	2021	2035
Emsland	1988	2021	2035
Neckarwestheim 2	1989	2022	2036

	operating since	end of operation
Biblis A	1975	2011
Neckarwestheim 1	1976	2011
Biblis B	1977	2011
Brunsbüttel	1977	2011
Isar 1	1979	2011
Unterweser	1979	2011
Philippsburg 1	1980	2011
Krümmel	1984	2011
Grafenrheinfeld	1982	2015
Gundremmingen B	1984	2017
Philippsburg 2	1985	2019
Grohnde	1985	2021
Gundremmingen C	1985	2021
Brokdorf	1986	2021
Isar 2	1988	2022
Emsland	1988	2022
Neckarwestheim 2	1989	2022

表 3 2002 案與 2010 案運轉年限

表 4 2011 案運轉年限

## (二) 核燃料市場供需

### 1. 2011 年 WNA 核燃料市場報告

今年研討會的另一個重要議題即是發表 2011 年的核燃料市場報告。今年是自 1975 年來的第 15 次報告，報告的預測期間至 2030 年。和過去報告相同，此報告主要針對核燃料循環前端市場分別分析供應與需求之高案、參考案及低案幾種可能情境。

#### 需求

本報告重新檢視個別國家及區域之運轉中電廠容量因素，並重新

預測新加入核能發電國家之計畫，然而決定未來核能發電需求大小的國家還是局限於美國、中國、印度及俄羅斯。今年報告的參考案各國核能發電假設如下頁圖 15。

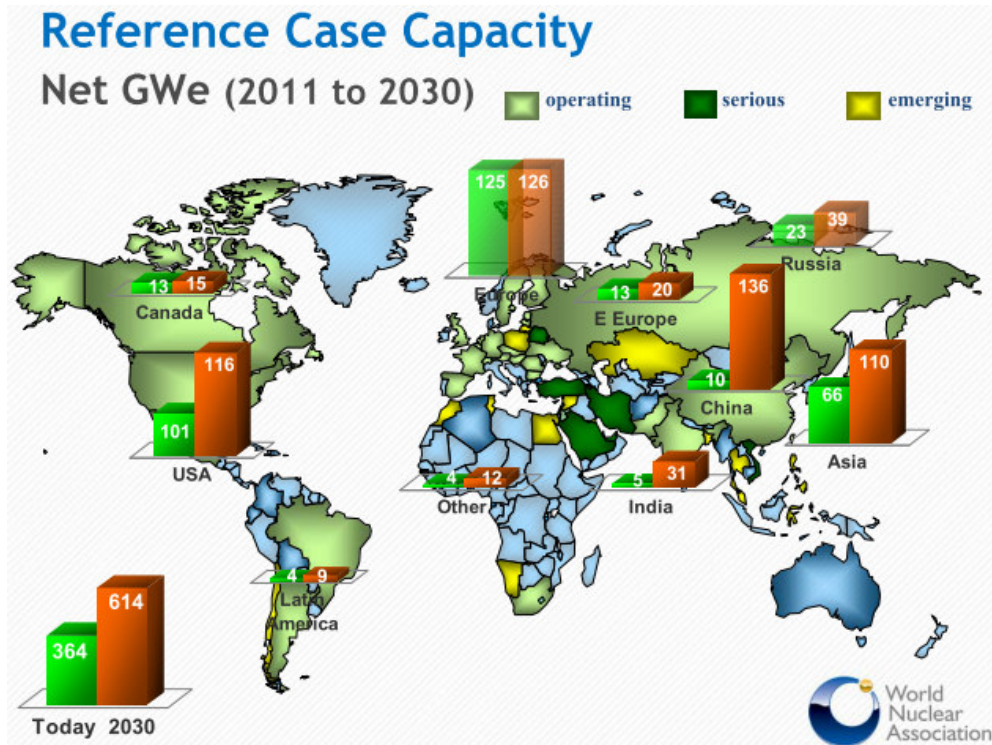


圖 15 參考案核能裝置容量假設

自 2009 年前次報告發表後到今年 3 月福島事故前，全球核能發展持續成長，福島事件後各國則於能源政策中更強調電源供應安全及環境影響。儘管福島事故對日本及德國之核能發電造成傷害，但是預期中國、印度、南韓及美國的新建機組計畫仍會持續。相較於 2009 年的報告，本報告的高案假設之核能發電低於前次報告，而參考情境則與前次報告相當，雖然福島事故後有些電廠將除役或提早停役，但是自 2009 年前次報告到今年，中國亦大幅提高計畫裝置容量，因此 2 項效應在預測上相互抵銷。此外，濃縮下腳濃度為預測各階段市場需求時的另一個重要假設，由於目前的最佳下腳濃度低於 0.25%，本報告假設所有電廠需求的下腳濃度為 0.22%，2009 年的報告則是假設俄羅斯設計電廠需求

之下腳濃度為 0.15%，西方設計電廠需求的下腳濃度為 0.25%。

### 供應

原料鈾供應方面，本報告共檢視 101 個礦區計畫，其中 51 個為營運中礦區，12 個為開發中礦區，11 個為計劃中礦區(已完成可行性評估)，27 個可能礦區(已公開發表)，並依這 4 類礦區特性假設實際量產時程較廠商公開資料延遲時間 (年)及產能利用率 (%)，同樣分成高案、參考案及低案，相關假設如下表。

	Reference		Upper		Lower	
	Delay	% Expected	Delay	% Expected	Delay	% Expected
<b>Current Capacity*</b>	0	90%	0	90%	0	90%
<b>Mines Under Development</b>	-2	80%	-1	80%	-2	40%
<b>Planned Mines</b>	-6	70%	-4	80%	0	0%
<b>Prospective Mines</b>	-8	60%	-6	80%	0	0%

原料鈾供應的參考案預測原料鈾生產量在未來 10 年會大幅成長並在 2020 年前達到 75,000 tU，但 2025 年起則會因現有礦區資源耗竭不再成長；高案則預測 2020 年前產量將成長 3,000 tU，之後則微幅成長；低案則預測 2020 年前產量達 65,000 tU，之後產量則下跌。與 2009 年報告預策相比，除可能礦區的產量大幅下修外，其他 3 類礦區預測則差異不大。

轉化服務、濃縮服務及製造服務則是依據各供應商之裝置容量擴增計畫及過去運轉績效等假設不同的生產率。

### 供需平衡

原料鈾市場供需則如 14 頁圖 3，2010~2011 年市場供過於求，2010 年主要生產商供應 53,664 tU，次級生產商供應 17,091 tU，總供應量為 70,755 tU，大於實際需求 63,824 tU，其合理解釋為中國大量採購庫存，2011 年至 2025 年供需約略維持平衡，2025 年起

需求仍持續成長，原料鈾產量提升可能跟不上需求成長。

轉化服務市場供需如 15 頁圖 4，僅於短期內維持供需平衡，且須依類次級供應來源及更多的新供應才能減少供給與需求的不平衡。供應短缺狀況將隨著時間成長，因此除維持現有產能外，仍需要有新的裝置容量。

濃縮服務市場供需如 15 頁圖 5，濃縮功需求將隨新建機組逐年增加，目前濃縮供應商則正進行技術更新，預期新氣體離心廠計畫與擴產，加上俄羅斯產能提昇，應可滿足 2025 年以前之需求。

### 總結

- 儘管福島事故發生，預測全球新建機組仍持續成長。
- 依據參考案預測，原料鈾需求將於 2030 年達到 107,600 tU，較 2010 年需求成長 70%。原料鈾生產則至少需較目前產量成長 2/3。
- 市場寄望原料鈾新礦區生產及倚賴次級來源的時間將持續更長。
- 轉化、濃縮及製造等服務之裝置容量應可隨需求成長並滿足需求。然而短期內至新建投資開始生產年，轉化廠須致力於維持高營運可靠度。預期濃縮商可於 2020 年前逐步以氣體離心技術取代氣體擴散技術。製造服務則因裝置容量遠大於需求，市場競爭激烈。
- 2030 年以後，核燃料市場有可能因新機組採用目前尚未完全知悉的第 4 代反應器而完全改觀。

## 2. 新興鈾生產商對供應成長的展望

Paladin Energy 的執行長 Mr. John Borshoff 報告新興生產商對原料鈾供應的展望。在 100 多個新興礦業探勘公司中，Paladin

Energy 以 8 年的時間成功在非洲的那密比亞及馬拉威開發 2 個礦區，並成為新生產商。Borshoff 先生表示該公司因使用新技術與創新，因此是近 20 年來第 1 個開發傳統礦區並生產的廠商，該公司的 Langer Heinrich 是第 1 個使用鹼性溶劑瀝浙(leach)的傳統礦區，而 Kayelekera 則是第 1 個採用現代化 resin-in-pulp 處理設施的礦區。該公司更已規劃在澳洲及加拿大進行一連串的开发案。該公司目前在非洲的名目產能約為 850 萬磅，如果經濟狀況允許的話，將有可能再進一步提升為 1,400 萬磅。Borshoff 先生表示原料鈾礦商與核燃料循環其他階段產商不同，這些供應面臨的是非常競爭的環境，主要係因為這些礦商必須和所有礦業商競爭，爭取資金與技術性勞工等，但相對於其他金屬價格自 2009 年 1 月至 2011 年 9 月持續成長 110%，同時期原料鈾價格僅在福島事故前成長 42%，現在則回到零成長，在金屬礦業界因高風險而要求高投報率的狀況下，多數新礦商可能被迫轉而開發其他礦區。因此 Borshoff 先生認為原料鈾在短期內仍可能面臨供應短缺，目前的原料鈾價格將無法激勵新生產與供應，亦無法確保現有高成本礦區持續生產。

### (三) 核能安全

#### 1. 福島事故後之核能研發方向

美國電力研究所(EPRI)的核能部門副總 Mr. Neil Wilmshurst 報告該研究所在福島事故後的研究方向。Wilmshurst 先生表示福島事故讓我們認知到超出設計基準的事件並不是不會發生，現在的電廠設計基準大部分還是正確的，然而可接受的標準可能會改變。因此渠認為業界更應該要找出電廠的弱點、量化其重要性及發展降低事件損害的策略與能力，故 EPRI 未來的研發方向將包括：事故後評估與重塑、系統與風險分析、嚴重事故減緩、燃料設計與用過燃料池處置、強化設備與系統效能及廢料減量與處置等。

## 2. 中國之核安管制體系

UxC 顧問公司的特別顧問 Dr. Yun Zhou 報告中國安管體系。Zhou 博士表示中國雖然是核能擴展最主要的國家，但是在核能業界的經驗卻相對年輕，相較於其他核能大國，中國安管單位的經驗稍顯不足，主因為各國的安管系統之責任各自完全獨立。福島事故後，中國已開始重新評估其安管體系的適用性與能力。事故後中國即刻停止新建電廠的審核，同時重新評估其第 2 代反應器的安全設計，而新安全標準也將在年底與原子能法草案一起提出。Zhou 博士認為中國政府已開始重視公眾安全及輿論，並將安全視為第一要務，但是中國政府仍將面對的挑戰包括：核能管制專家不足、在審核與評估新設計時缺乏足以找出相關技術問題的研發能力、安全文化與品保問題、缺乏適當的緊急應變計畫與演練、尚未完全融入國際安全體系、缺乏公眾參與，以及影響安全的電廠營運與供應商品管問題。Zhou 博士認為中國的電廠興建計畫可能因此有所延遲，但是這將有助於改善其安全標準，並獲得公眾長期的支持。

## 3. 法規與核子責任

Pillsbury Winthrop Shaw Pittman 法律事務所的合夥人 Mr. James Glasgow 則探討法規與核子責任對核能安全的影響。Glasgow 先生認為福島經驗告訴我們核能安全合作的法律架構有必要重新審視，讓確保核電廠設計與運轉安全的不必要障礙可被移除。這些安全合作的主要法律障礙為出口許可要求及國際核子責任體系不健全。例如美國與其它供應國的出口許可要求，阻礙了安全相關技術與支援的輸出，但卻沒有達到核武禁衍的目的，因此有必要修正或訂定新條款以使安全合作更容易，而因核子責任法或條約而造成的合作顧慮也應該一併處理。

#### (四) 新建機組

##### 1. 南非、印度與波蘭之新建計畫

###### 南非

南非 NECSA 公司的執行長 Mr. Rob Adam 表示南非政府於 2011 年 3 月 11 日通過該國電源開發的新整體資源計畫 (Integrated Resources Plan)，儘管該計畫是在福島事故後 5 天通過的，該國還是計畫在 2030 年前達成核能 23%、再生能源 42%、天然氣 15%、燃煤 15% 及水力 5% 之裝置容量配比。該計畫將使燃煤配比由現行之 90% 大幅降低，以期達到減少溫室氣體排放量 34% 之目標。為達計畫目標，該國將於 2030 年前新建 6 部核能機組，將核能發電裝置容量自目前之 1.8 GWe 再提升 9.6 GWe。

###### 印度

印度 Larsen & Toubro 公司的董事長 Mr. Madhukar Kotwal 說明印度的核能產業狀況，目前印度有 20 部核能機組，其中 18 部為壓力重水式電廠 (PHWR)，2 部為沸水式電廠 (BWR)，總裝置容量 4,780 MWe，占印度電源裝置容量配比約 3%，該國目前主要電源仍為燃煤，裝置容量約占 55%，水力、油氣與再生能源則分別占 21%、11% 及 10%。為滿足該國未來之電力需求，該國計畫以 3 階段方式發展核能，第 1 階段仍使用鈾原料之 PHWR 及輕水式電廠，第 2 階段則開發使用燃燒鈾的快滋生電廠 (FBR)，第 3 階段則開發使用燃燒 U233 的快滋生電廠。印度計畫於 2032 年前在新建 53 部機組，共 68.6 GWe。

###### 波蘭

PGE Energia Jadrowa 的營運長 Mr. Jacek Cichosz 說明該公司在波蘭的核電計畫。PGE 為波蘭的主要電力公司，在波蘭之發電



占比約 41%，輸配電占比約 26%，為全歐洲第 12 大電力公司，擁有電廠總裝置容量 12.4 GWe。Cichose 先生表示由於波蘭電力需求持續成長，考量歐盟對氣候變遷的要求，核能因不會產生二氧化碳、灰塵及二氧化硫等優點，在波蘭受到政府與民眾的支持。儘管福島事故後公眾對安全議題更感興趣，但在部分有可能成為電廠廠址的區域對核能的支持度仍高達 70%以上，該國民眾對核能的支持度則約 57%，贊成興建新核能機組的比例則為 52%。此外，PGE 認為福島事故後該公司將可出口電力至德國，故為同時兼顧維持低成本電力及提升電源供應，PGE 公司計畫發展核能且將發電配比由目前的褐煤 67%、燃煤 27%、燃氣 4% 及再生能源與其他 2%，逐步在 2025 年前調整為褐煤 33%、燃煤 33%、燃氣 14%、核能 10%及再生能源與其他 10%。目前該公司正進行第 1 部核電機組的可行性評估，預期年底發佈 3 個可能廠址，2013 年完成反應器供應商與技術選擇，2014 年完成投資與籌資等相關事項。

## 2. 天生的被動安全(Passive safety)

GE Hitachi 的資深副總 Mr. Danny Roderick 報告新反應器安全設計的概念。Roderick 先生認為目前核能業界的挑戰為重建公眾對核能的信任、對未知做好準備及重新思考深度防禦或創新防護概念。而新一代的反應器設計應同時具備安全、簡單及可預測 3 種特性，該公司基於這樣的理念，採用被動式安全設計(即利用自然對流、重力等天然力)所發展出的精簡型沸水式電廠(Economic Simplified Boiling Water Reactor, ESBWR)，其爐心熔毀機率可大幅降至  $1.7E-8$ ，在喪失所有交直流電源後仍可維持 6 天不致爐心熔毀，超過 6 天所需的備用冷卻系統也僅須 9kW/12HR 的幫浦。

Westinghouse 的 AP1000 計畫經理 Mr. Simon Marshall 認為福島

事故讓我們學到對未知做好準備，例如：增設燃料池緊急冷卻系統、確認用過燃料池有足夠的保護、增加備用冷卻水來源及評估運轉員訓練計畫等。此外，福島事故更增加了使用被動式安全系統的價值。西屋公司 20 年前發展 AP600 反應器時即引用此種設計概念，現在更將電廠營運經驗應用到 Gen III + 反應器設計。西屋公司新設計的反應器，在電廠全黑的狀況下，不需運轉員操作及使用交流電亦可於 72 小時內安全停機；3 天後只需要少量的運轉員操作，這些被動式安全系統即可使反應器與用過燃料池維持長久冷卻。

### 3. 財務與風險

MSCI ESG Research 的資深分析師 Mr. Jérôme Le Page 表示全球資產所有者或經理人已愈來愈關心環境、社會與政府 (Environment, Social and Government, ESG) 對其投資組合之風險與價值的影響，為協助投資者追蹤及分析投資標的 ESG 風險，摩根史坦利建立一套評估標準及 MSCI ESG 指數，該研究中心在分析各電力公司及各種發電能源的風險暴露時，會分析碳排放、耗水量及水污染、有毒物質排放或廢料產生、再生的機會及人力資本等 5 項相關議題。此外，Page 先生認為福島事故對電力公司造成的長遠影響，包括溝通壓力增加、財務壓力增加、需更專注於災害預防及須加速放射性廢料貯存發展計畫。

Pinsent Masons 公司的 Mr. Colin Read 表示在核能發電持續成長的同時，這個產業將需要全球保險與再保險業協助向政府、主管機關與投資者說明保險可以降低風險承擔。而有效地規劃保險對有效使用營運資金也非常重要。日本福島事件已經衝擊全球保險與再保險業的獲利與保險承擔能力。核能保險需要倚賴跨保險業共同基金且須透過再保增加承擔能力，即使在福島事故前此共同基金已因 Paris and Brussels Convention 的修訂而面臨極大壓力與

責任，因此渠認為核能業界應該要更廣泛地了解核能保險與其他保險的相互關係、保險來源及如何執行。

#### 4. 管理新建計畫

ERNST & YOUNG 的顧問 Mr. Tim Cooper 報告興建電廠的風險與管理。Cooper 先生表示雖然核能工業在計畫延遲與超預算已聲名狼藉，然而卻非唯一。在該公司追蹤的計畫中，約 50% 超預算，58% 超時，42% 在完成後仍有瑕疵。Cooper 先生依據計畫的遠景與方向、規劃、執行、委任與交接及評估追蹤等 5 階段，共列出 38 項造成阻礙計畫的原因，這些原因包括：未明確定義目標、缺乏溝通、權責單位與組織架構不明確、排程與成本品質無法匹配、合約條款不明確、決策不一致、缺乏專案管理能力及專案人員異動頻繁等。Cooper 先生亦針對籌資、主動管理、風險管理、應變計畫與經營模式、外包策略、專案管理、品質與安全文化及財務管等領域共提出 27 項可促使計畫成功的注意事項。

#### (五) 研討會結論

今年度的 WNA 研討會反映出全球對核能安全相關的疑慮及對核能發電的看法。日本福島事故已對核工業造成重大影響，部分國家更因此事故決定重新思考能源政策，也連帶影響未來核能裝置容量與核燃料需求之預測。儘管核能發電的未來深具挑戰，但是本次研討會的與會者仍普遍對核能發展深具信心。

#### 四、廠商會談

日本福島事故後，本公司因政府能源政策尚未確定而暫緩辦理中的鈾料採購案及規劃中的濃縮服務採購案，本次會議期間大部分廠商與職見面時都會詢問本公司的核能政策。職已告知台電公司

的狀況，由於本公司係國營企業必須依據政府的能源政策制定公司決策，因此本公司的核能政策須等到政府發布新能源政策後才會較明確，預期新能源政策出爐的時程可能會在年底前，待能源政策確定後會讓廠商了解本公司未來核能發電的規劃。其他與廠商洽談的相關事項簡述如下：

### AREVA

洽談人員有 Mr. Vincent Maureaux 及 Mr. Patrice Caumartin。由於 WNA 會議前本公司已發函邀請 AREVA 參與轉化服務標案，因此職告知不能協商標書內容或商談其他應保密事項，僅能回答投標程序之疑問，而 AREVA 人員詢問了 2 項投標注意事項，其中有關複數決標的程序，職已口頭敘述，而另一項有關是否可同時提報美元及歐元報價，因職並不清楚標書詳細內容，故請渠於標書所述請求釋疑期限前正式發函詢問。此外，AREVE 告知鑑於市場轉化服務之需求受日本福島事故影響而減少，該公司計劃於本(100)年 11 月及 12 月暫停 Comhurex 轉化廠(Malvesi 及 Tricastin) 運轉 2 個月。至於美國濃縮廠計畫則預期可於年底前取得 NRC 執照核可(註：已於 10 月初取得)，AREVA 人員表示儘管該公司董事長換人後應會重新檢討公司投資案，但美國 EREF 濃縮廠計畫因已取得包括政府貸款擔保及州政府支持之電價優惠等，應會繼續進行。AREVA 人員於閒談中，對 WNA 本次會議安排 GE 及 Westinghouse 簡報新反應器設計，但未對等安排 AREVA 簡報該公司之新反應器設計似乎有所不滿，渠等亦表示很多美國電力公司對 WNA 改變會員收費架構大幅提高電力公司會費仍有異議，尤其是美國核能協會(NEI)也可提供類似服務與需求，因此可能會重新評估是否持續參加 WNA 會員。基此，且為拓展美國市場，AREVA 未來可能將比較積極參加 NEI 每年 10 月在美國主辦的核能協會核燃料會議。

## BHP Billiton

會面人員有 Mr. Dan Zavattiero、Mr. Cathal McSwiney 及 Mr. Sean Nicolson。BHPB 人員表示該公司於南澳的 ODM 礦區的擴產計畫有可能於近期取得政府核可(註：已於 10 月初取得許可)，由於南澳政府非常支持鈾礦開採，因此該公司近年的開發重點仍會放在 ODM 且會如計畫進行擴產，而位於西澳的 Yeelirrie 則會較原先規劃延後開發，但該公司仍會持續進行該計畫。職則請教 BHPB 在擬定開發計畫時是否只考量銅礦的經濟效益及該公司是否有對銅礦進行避險，渠等表示雖然鈾礦為 ODM 的副產品，但是在考量開發計畫時還是會一併納入考慮；有關避險問題，渠等表示該公司並未對任何產品進行避險，因為其主要投資人都認同金屬礦業的高風險與高獲利關係，因此願意承擔價格波動的風險。BHPB 人員另表示該公司仍非常願意繼續參與本公司鈾料採購標案並延續合作關係。基於 BHPB 過去曾參與本公司標案的人員多已離職，因此職同意寄送本公司鈾料採購案的標書範本供渠等參考以了解相關採購程序規定。

## Cameco

職於會議期間抽空參加 Cameco 的說明會，此會議由 Cameco 的新任執行長 Mr. Tim Gitzel、資深行銷副總 Mr. Ken Seitz 及資深營運副總 Mr. Bob Steane 共同簡報該公司的營運現況與長期計畫及該公司對全球原料鈾與轉化服務市場的展望。Cameco 的營運現況與鈾礦開發的長期計畫方向並沒有重大改變因此不再敘述，值得注意的是 Cameco 執行長在簡報中表示因受福島事故影響，目前的轉化服務價格並無法支持轉化商擴產或投資新建廠房，此外，由於成本上漲率可能超過價格上漲率，使得該公司與 Springfield 的供應契約變得不具經濟效益，因此該公司將不再繼續商談 2015 年契約到期後的新約，屆時轉化服務的供應將減少

6,000 tU。由於原協議多年後才到期，職認為 Cameco 於此時宣布此事有可能是想拉抬轉化服務之市場價格或其他協商談判的策略考量。原料鈾市場展望方面，Cameco 認為福島事故將使鈾供應商更難取得所需資金，尤其是新興礦商，因此可能造成部分礦區生產計畫延遲或取消，該公司預期 2011~2020 年累計的需求量會超過現有礦區及次級供應來源的供應量，約有 27,000 萬磅須由新礦區供應。

簡報後 Cameco 還特別安排職與該公司執行長及歐洲主要電力公司人員同桌討論，Mr. James Israel 表示該公司的高層主管非常重視與台電的關係，渠還表示該公司會盡可能參與本公司的轉化服務標案，但是本公司最後決定的價格機制與該公司預期的相差甚遠(職認為 Israel 先生可能在暗示報價會較高)，職則告知因未參與該標案且標案正在進行無法與其討論。Israel 先生則另表示將派人來台參加開標以了解開標程序，職則提醒渠留意招標須知中有關參與開標的相關規定。

### ConverDyn

會面人員有 Mr. Ganpat Mani 及 Mr. Malcolm Critchley。Mani 先生表示該公司所屬集團 General Atomics 公司研發的遙控無人直升機係福島事故後第 1 個用於取得事故電廠正上方影像的設備，此外，同集團 Honeywell 公司製造之 T-Hawk<sup>TM</sup> MAV 遙控飛行錄影器，雖然原設計用於軍事用途，但是由於具有遠端遙控且體積小的優點，在福島事故後，該公司即以這套設備支援福島電廠了解事故機組爐心及用過燃料池狀況，渠認為該設備適合核電廠作為緊急備用設備，因此提供 T-Hawk<sup>TM</sup> MAV 遙控飛行錄影器簡介資料供本公司參考。Mani 先生另外表示，核能業界提供轉化服務的廠商中僅 ConverDyn 是單純專注於轉化服務業務，其他廠商因可與上、下游階段結合，所以在提供報價時會較 ConverDyn 有彈性或有較多策略

應用，因此希望未來本公司辦理標案時應特別考量這些市場狀況。職則表示，本公司單獨辦理轉化服務標案即是為了避免限制競爭也是考量市場的供應狀況因此希望 ConverDyn 也能排除困難持續參與本公司採購案，以維持良好合作關係。

### Itochu

職於工作小組 Plenary Section 會議的休息時間巧遇 Mr. Tamaki (Tom) Kanemori，並感謝該公司於會議中分享日本核能發電在福島事故發生後的狀況。職亦洽詢渠對東京電力將如何處理鈾料庫存的想法，渠表示東電的鈾料庫存大約 3~4 年，這些鈾料的數量應該不少，他認為東電應不會想在此時出售庫存，但是處理庫存的問題還是會取決於日本政府對東電如何支付賠償 所做的決定，渠認為出售與否的機率各約一半。渠亦詢問本公司的狀況，職告知不論新能源政策為何，本公司在 2016 年後都有濃縮服務需求，故新能源政策發佈後，應該會先進行濃縮服務採購，再視市場狀況辦理鈾料採購。Kanemori 先生則表示該公司在日本有代理 URENCO 業務，URENCO 雖然沒有直接供應福島一廠濃縮功，但是因為日本停機檢修的核能電廠大修後起動時間皆延後，且何時可起動都尚未確定，所以預期 URENCO 最近幾年的供應也會被影響。此外，Kanemori 先生特別提醒本公司留意 USEC 的籌資狀況，渠表示雖然 Toshiba 同意凍結投資協議且尚未退出該投資案，但是據渠由日本電力公司得到的消息，Toshiba 核能部門的營收受到福島事故影響很大，是否還能繼續投資 USEC 的 ACP 計畫可能是個變數。

### Uranium One

職於會議期間巧遇 Mr. Scott Melbye，並告知渠該公司一直是本公司鈾料長約採購的邀標廠商，可惜該公司過去可能因不了解本公司採購程序一直未參與本公司的標案，希望 Melbye 先生到

Uranium One 任職後可以促使雙方未來有機會合作。Melbye 先生表示渠有計畫與 Uranium One 的同事拜訪本公司只是時間一直無法排定，Melbye 先生並留下新的聯絡資料希望可以與本公司保持聯繫。

## USEC

會面人員有 Mr. John Donelson 及 Mr. James Komosinski。Komosinski 先生首先簡介該公司 ACP 計畫之進展，因內容與該公司提供本公司之訊息相同，未有更新資料，故不再敘述。Donelson 先生詢問有關本公司使用俄羅斯鈾料之限制，職則告知於美俄簽訂核能合作協議後，俄羅斯鈾料若要經美國再移轉至台灣可能須要取得俄羅斯政府的事先核可，由於俄國因政治考量，一向不願意在正式文件中(尤其是出口相關文件)提到台灣，由於 USEC 公司可銷售 HEU 協議下取得的俄羅斯 SWU，且將來還可能銷售 TENEX 的濃縮鈾，因此希望 USEC 可以協助本公司了解美俄協議的詳細限制內容。Donelson 先生則表示由於該公司近期才和 TENEX 簽訂銷售合約，因此只要本公司願意透過該公司採購俄羅斯鈾料，該公司願意出面處理俄羅斯鈾料再移轉相關事宜。職亦告知，如果 USEC 可以取得俄國的再移轉事先同意，我們在規劃 2016 年以後的新採購案時會將 USEC 的建議列入考慮。

## 中廣核大亞灣核電營運管理公司

會議期間由 TradeTech 顧問公司的王茹嫣女士介紹認識中廣核大亞灣核電營運管理公司的劉達民副總。劉副總表示渠在其他國際會議中認識一些本公司的工程師，也非常希望有機會可以來台灣和本公司作技術交流。職則建議渠透過核能學會等民間組織安排，然而劉副總表示，事實上真正限制渠等赴台交流或是加入國際協會會員的瓶頸還是在北京政府。渠表示中廣核其實在核燃料



供應及技術交流方面都比較開放，也比較希望國際化，然而所有的活動還是要經過北京方面的同意，因為距離較遠他們其實也常常弄不清楚北京政府的考量或 CNNC 及 CNEIC 在這中間扮演的角色。劉副總還提到該公司要加入 WNA 或其他國際核能組織之會員等，北京也曾以台灣已加入不符合一中原則為理由反對。職則提醒劉副總這是非政府組織，而台灣電力公司就是我們公司的名稱，不應該用政治來評量，渠雖也表示同意，但似乎也無能為力。

## 肆、感想與心得

- 一、 本次於英國舉行之世界核能協會(WNA)第 36 屆年會，有來自核能業界各階層超過 500 多人參加。由於日本福島事故是核能歷史上重要的事件，故幾乎成為整個研討會的主題。日本福島事故已對核工業造成重大影響，部分國家更因此事故決定重新思考能源政策，也連帶影響未來核能裝置容量與核燃料需求之預測。儘管核能發電的未來深具挑戰，但是本次研討會的與會者仍普遍對核能發展深具信心。
- 二、 今年之 WNA 年會確實提供了福島事故後核燃料各階段之市場動態與最新發展等資訊，有助於本公司核燃料營運及採購策略之擬訂與推動，也達成派員參與此次會議之任務，爾後仍建議繼續派員參與會議。此外，WNA 之工作小組，除提供各類技術與市場發展動態服務外，其小組會議更提供參與者與各國專家共同討論與共事的機會，而職此次參與的幾個工作小組於會中都提到希望有年輕的從業人員參與各項活動，因此建議本公司未來可考慮選派優秀的年輕經辦人員參與會務或工作小組會議，以培養年輕人員之國際觀、新技術及與國際從業人員共事之經驗。

- 三、日本福島事故後業界對此事故的省思，除了改善現有電廠的安全設備及於新反應器設計中納入更安全的被動式設計外，更有人提出改善核燃料設計，讓核燃料在面臨重大安全設備失效時也不至於熔毀，因此 WNA 也成立了燃料技術工作小組，美國電力研究所(EPRI)於 9 月底至本公司報告時亦提到類似的研究案。由於這些新燃料技術或設計有些已經超出本公司現在使用的核燃料技術範疇，建議核燃料組應有專人追蹤或參與燃料技術工作小組之工作，並蒐集相關新燃料技術資訊及安排訓練，俾使核燃料組之技術及知識能力可與國際並進。
- 四、日本福島事故後新興鈾礦探勘或生產商都面臨資金籌措的困境，鈾礦商間可能會有另一波的購併與整合，並使主要鈾礦商或生產商更具寡占地位，然而本公司鈾料長約採購案基於供應安全考量僅邀請鈾礦商或生產商參與，這類礦商購併案可能降低本公司長約供應廠商來源及標案競爭性，另考量本公司鈾料中短期契約採公開招標較具競爭性，且供應期限超過 1 年，性質與定期契約相當，應可促使鈾礦商與貿易商或其他廠商共同競標，因此建議本公司未來應特別留意鈾礦商之動態，並適時檢討及調整鈾料長約與中短期契約供應占比關係，以同時確保供應安全及有效降低採購成本。
- 五、美國濃縮商 USEC 公司遲遲未能與美國能源部達成貸款擔保協議，其新建濃縮廠 ACP 計畫也一再延遲，儘管該計畫之其他投資公司如 B&W 及 Toshiba 同意凍結投資協議且尚未退出該投資案，然而日本福島事故及近期之全球經濟問題都可能影響該計畫參與投資公司的財務狀況，若這些公司退出投資可能會使 ACP 計畫更進一步延遲或中止，並影響 2016 年以後美國的濃縮市場之供應量及廠商競爭關係，考量本公司現有濃縮服務契約將於 2015 年到期，因此建議未來規劃新濃縮服務採購案時，

除應特別留意 USEC 之 ACP 計畫進度外，也應留意 USEC 之籌資狀況及參與投資公司 B&W 及 Toshiba 之財務狀況。

今年 3 月 USEC 與 TENEX 簽訂自 2013 年起至 2022 年止之 10 年期低濃縮度濃縮鈾供應契約，供應量約美俄 HEU 協議之半數，雙方並有選擇權增至與該協定相當之供應量。由於美國政府對進口俄鈾(含濃縮功)仍有限額，未來 USEC 於銷售此契約下取得之俄濃縮功時，除售予美國電力公司外，可能仍須尋求非美國電力公司之買主，此次會議期間該公司之行銷副總 Mr. John Donelson 主動詢問本公司購買俄鈾之限制，建議本公司應利用此機會要求 USEC 公司協助突破相關限制或取得俄鈾經美國再移轉至我國之事先同意權。

六、日本福島事故後即宣布逐步廢除核能發電的國家，如德國及義大利，多曾因政治時空背景不同而反復修正其核能政策，儘管部分與會人士仍認為這些國家未來在面臨其他經濟壓力時可能會再修改政策，但是這類政治性的不確定因素已經造成核能發電成本難以估計而阻礙核能發展，由於本國之新能源政策至今尚未正式公布，且附帶條件的廢核政策也可能因條件無法達成而充滿不確定因素，未來本公司於規劃核燃料之各階段採購案時，應審慎分析各種狀況或案例，並於採購數量、採購年限及契約條款等保留適當彈性，以因應不確定之政策性轉變。

七、儘管 WNA 為非政府組織，然而從過去 WNA 出版報告之表格編排方式及中廣核大亞灣核電營運管理公司劉達民副總的談話都可看出中國政府仍企圖以政治干預組織運作，近年來由於中國在核能發電方面大幅成長，並為未來核能發展的主要國家，因此中國之核能相關公司都成為 WNA 極欲爭取成為會員之對象，WNA 自去年起開始在中國辦理研討會，在此同時，本公司應更積極參與 WNA 會務並留意其發布之各項訊息，以確保

本公司應有之公平待遇與會員權益。