

出國報告（出國類別：其他）

參加第五屆東亞防核武擴散核能年度 研討會公差報告

服務機關：核能研究所

姓名職稱：施清芳

派赴國家：韓國

出國期間：98年6月28日~98年7月2日

報告日期：98年7月20日

摘要

國際原子能總署資料顯示，世界核能的使用預期在未來數十年皆呈成長現象，而東南亞已新興數個核能使用國家，至 2030 年發電容量預計從無到 7.4 GW，因此核能、核子燃料再處理、放射性廢棄物之貯存與處置之整體需求甚為強烈。東亞各國在核子燃料循環方面，從確保燃料供應、放射性廢棄物與核子燃料管理、政策與相關基礎建設、研發、工業化、管控與公共建設等都需要完成或提升。雖然東亞各國核能需求增加，但伴隨北韓核子試爆與伊朗添購核子武器計畫等之事實或媒體報導，無不對核武擴散產生恐懼及質疑核能的再復甦，其主要因素是製造核子彈原料的核子物料可由民生用途的核能計畫轉變而來，促使核能與核彈成爲一體兩面的議題。主要的核子燃料循環程序除可提供民生用途外，更可用於產生核子武器。有鑑於東亞新興國家對核能發電需求之殷切，且南韓對於核子燃料再處理的需求亦已在發展中，由南韓發起、美國 Sandia 國家實驗室共同舉辦本次第 5 屆東亞防核武擴散核能年度研討會，藉討論防核武擴散核能之相關議題，回顧各國發展現況、希望能交流增進彼此經驗，促進核能和平使用與東亞區域性經濟之繁榮。本次參加國家包含美國、韓國、日本、台灣、中國、蘇俄、越南、印尼、馬來西亞、泰國、蒙古等。本報告則闡述參與本次會議之觀摩與記錄各國成果現況撰述而成，並提出具體建議，期能藉由未來核子燃料循環整體解決方案之產生，進而對我國核能運用與資源投入有所助益。

目 次

摘 要

(頁碼)

一、目 的	3
二、過 程	7
三、心 得	10
四、建 議 事 項	36
五、附 錄	37

一、目的

國際原子能總署(IAEA)的資料顯示，世界核能的使用預期將從 2007 年的 372 GW 增長到 2030 年的 748 GW，亞洲(不含東歐、蘇俄)更從 83 GW 增長到 268 GW。進一步分析，遠東各國則從 79 GW 增長到最高之 156~220 GW。值得注意的是，東南亞各國則從無到預估 1.2~7.4 GW。因此由核能增長趨勢得知，未來核能之使用、核子燃料再處理、廢棄物之貯存與處置之需求甚為強烈。在核子燃料循環方面，從確保燃料供應、放射性廢棄物與核子燃料管理、政策與相關基礎建設、研發、工業化、管控與公共建設等都需要一一完成或更新。觀察東亞新增使用核能國家，值得我們注意的是防核武之核能的使用要更精確地加以監督，綜觀本區有其特性：

- 核能快速增長
- 核能進步國家與新興國家的差異
- 供應者與使用者的關係：鈾資源、核電廠、核子燃料服務等需求性殷切
- 安全考量：北韓
- 建立無核武區域
- 注意各國歷史背景的不同與發展核能的難易

雖然東亞各國核能與核子燃料需求增加，但伴隨北韓核子試爆與伊朗添購核子武器的計畫等之事實或媒體報導，對於核武擴散之恐懼與核能復甦皆蒙上一層陰影。其中最主要的因素是製造核子彈原料的核子物料可由民生用途的核能計畫轉變而來，促使核能與核彈成爲一體兩面的議題。主要的核子燃料循環程序除可提供民生用途外，更可運用來產生核子武器。自 911 恐怖攻擊事件後，飛機入侵情節已成爲恐怖分子使用的伎倆之一，因此如採取相同方式，難保同樣情節不會發生於主要核子設施而使放射性物質外洩。雖然過去 50 年來並無如上述飛機入侵核能設施之情況產生，但仍有著不確定性的風險存在。核子物料的擴散與相關處理技術的誤用無疑仍是巨大的風險，尤其是在許多仍有恐怖組織且有豐沛核子物料資源的國家更爲如此。就技術層面而言，製造核子彈對擁有核能技術的國家並不困難，僅需於自己國家內擁有充足的鈾原料、高濃縮鈾技術與相關設施即可實行。因此除建立國際性的核子防護

機制外，查緝核子物料的非法交易、核子物料運送的機密性、可能散佈的濃縮與再處理技術上均應建立防止核武擴散的機制。

IAEA 針對鈾鈾於民生和平用途及防止核武擴散已於 1995 年宣示無限期擴展防止核武擴散協定(Nuclear Non-proliferation Treaty, NPT)，其主要目的是要能納入未經公開宣佈的任何核能相關活動。大部分的國家均瞭解擁有核武將威脅到國家的機密性，因此均已聲明退出核武領域且接受 NPT 的承諾與義務，僅將核子物料與技術用於和平用途。NPT 主要目標是防止核武擴散、保證放棄核武的國家擁有機密性、鼓勵國際和平使用核能及對願意消除已擁有核武的國家進行信任談判。可明顯看出最後一個目標是針對核武國家(目前為中國大陸、法國、俄羅斯、英國與美國)而定。在核子防護機制上，核子物料的防護可經由核能供應群組(Nuclear Suppliers Group, NSG)加以管控，而 NPT 的簽約國亦同意接受 IAEA 核子防護機制的規範與量測，同時保有各核能設施運轉維護等相關記錄與核子物料的運送與轉化情形。已有超過 550 個核能設施及數百個非設施區域需以攝影機與偵測儀器檢閱稽核其記錄與核子物料。在上述的核子防護機制上，所有 NPT 簽約國均需配合，同時除了上述提及之中國大陸、法國、俄羅斯、英國與美國以外，印度、巴基斯坦與以色列均需有配合核子設施的核子防護機制。但由於 NPT 非為強制性的國際協定，故如伊朗、北韓等擁有核武的國家則需經由外交、政治與經濟的方式加以限定。即使伊朗、北韓均接受 NPT 協定，其仍可能在某處建造可濃縮至核武等級的濃縮鈾，或藉由研究型反應爐(非商業核電廠)與再處理工廠提煉核武等級的鈾元素。IAEA 已於 1997 年擴充與強化原本的核子防護機制，提出增強協定(Additional Protocol)，截至 2006 年，共有 76 個國家與台灣加入該協定，未來將有 38 國陸續表達意願簽署。除上述 IAEA 增強協定可強化原本的核子防護機制外，針對核能國家發展敏感性核子燃料循環設施與伴隨快速研究型反應器，目前也受到極大重視。美國於 2006 年提出全球核能夥伴(Global Nuclear Energy Partnership, GNEP)計畫，同時與 IAEA 及俄羅斯研議核子燃料的提供與使用，期能促使各國消除自我本土化的核子燃料循環能力。其中包括基於聯合所有權之概念建立非跨國性核子循環設施(濃縮、再處理與用過核子燃料之管理)，同時加強核子燃料市場機制以排除大多數國家建置核子燃料循環設施的可能性。

自 2005 年起，已有超過 20 個非擁有核電設施的國家對增添核電廠表明極高的興趣，其中超過半數的國家集中於中東地區。這些國家中雖部分擁有豐富的油田或油氣資源，但他們仍在找尋其他替代能源。少數中東國家則擔心成為全球氣候變遷之主謀，而增加二氧化碳排放量所導致的碳稅，因此在國與國之間產生新的合作：如阿爾及利亞與利比亞、法國與阿拉伯聯合大公國、美國與約旦，及土耳其與巴林等。此中東地區的核能復甦雖然尚未具體成形，然這些國家將可獲取原先所缺乏的核能專業知識。針對核武擴散部分，地區間鄰國的動態發展亦成為促使擴散的原因。如埃及、印度尼西亞、約旦、馬來西亞、摩洛哥、奈及利亞、越南與波斯灣海灣合作理事會(Gulf Cooperation Council, GCC)之聯盟於 1981 年成立。波灣國家組成之區域性貿易組織，成員包括巴林、科威特、阿曼、卡達、沙烏地阿拉伯與阿拉伯聯合大公國)則擔心彼此間發展核武、新濃縮鈾或再處理技術之發展。由此可知核能之和平使用在全球不同區域可以因資源不同、需求不同進而形成互助、互惠、優勢協助弱勢等或其他合作關係。

在防止核武擴散的機制上，(1)核能反應器的燃料供應、濃縮鈾技術與可能之再處理計畫的管理，均可能凸顯現有基礎建設之片面制度上。再者雖有 NPT 與增強協定存在，短期而言中國大陸與印度逐漸加強核子反應爐的需求，長期來看印度與其他國家亦輸出更多重水式壓水式反應器(防核武擴散效應弱)，前述的伊朗與北韓亦非在 NPT 與 NSG 的規範內(2)雖然 IAEA 已經提出核子防護機制之要求，及藉由國際研討會等方式說明核能基礎建設需求、核子保密與安全防護、實體建設等之必要性。目前與未來的反應器技術、核能計畫發展經驗、人類資源需求與公眾等相關議題，仍需各國配合發展自己本國的國家管控系統(State Systems of Accounting and Control, SSAC)，藉此方可描繪該國核能用途與整合性電力網路。藉由歐洲原子能組織(European Atomic Energy Community, EURATOM)與 IAEA 的雙邊合作關係仍可降低核武擴散的機率。

目前開發中國家因全球氣候變遷與溫室氣體排放之因素，對核能需求遠大於已開發國家，進而造就出核能復甦之景象。核能發展過程中無可避免的均需面對敏感的核能技術與核武擴散的問題，核武擴散的風險主要還是與是否善用核能有關，大多數輕水式反應器對目前

國際間的核子防護機制並無太大的挑戰，唯未來新式核能反應爐與其相關連的濃縮再處理技術將會增強核武擴散的風險。美國提出的 GNEP 概念雖可有限度地限制或降低核燃料循環風險，但仍需美國、俄羅斯或其他擁有貯存或處理國外用過核子燃料的國家配合。更重要的是有計畫性的技術發展，如燃料供應保證、成立少數跨國性的核燃料處理中心、核燃料循環前、後端的有效管理，可免除核武擴散的風險發生。

有鑑於東亞新興的核能國家，包括越南、印尼、馬來西亞、泰國等對核能發電需求殷切，且南韓對核子燃料再處理的需求亦已在發展中，由南韓發起、美國 Sandia 國家實驗室共同舉辦本次第 5 屆研討會，藉討論防核武擴散核能相關議題，回顧各國發展的現況、希望能增進彼此交流經驗，以促進核能之和平使用及東亞區域性經濟繁榮。本次會議計有美國、韓國、日本、台灣、中國、蘇俄、越南、印尼、馬來西亞、泰國、蒙古等國家之不同議題的演講者參加。本次奉派參加此研討會主要在觀摩與記錄各國核能發展、核子燃料循環、實體防護與其它相關成果之現況，並提出具體建議，期能藉由未來核子燃料循環整體解決方案之產生，進而對我國核能管制與相關部門在策略推動與資源運用投入有所助益。

二、過程

(一) 行程

本次研討會公差行程：

日期			內容
年	月	日	
98	6	28	去程：台北－韓國釜山、資料預備
98	6	29	參加第五屆東亞防核武擴散核能年度研討會
98	6	30	參加第五屆東亞防核武擴散核能年度研討會
98	7	1	參加第五屆東亞防核武擴散核能年度研討會
98	7	2	會議記錄整理、回程：韓國釜山－台北

(二) 參加國家與議題分類

本次會議參加國(圖 1；各圖如附錄)包含美國、韓國、日本、台灣、中國、蘇俄、越南、印尼、馬來西亞、泰國、蒙古等 11 國，說明各國核能發展現況的有韓國、日本、台灣、越南、印尼、馬來西亞、泰國；比較特別的是越南、印尼、馬來西亞、泰國等四個東南亞新興核能國家則報告他們核能電廠建廠規劃與進度。說明核子燃料循環之資源與技術發展的則有韓國、日本、中國、蘇俄、蒙古。美國、韓國與印尼亦說明「實體防護」(Physical Protection[PP])使用於核能設施的成果。美國、韓國則說明「公共與利害關係承諾」(Public and Stakeholder Engagement；PSE)方法應用於核子燃料循環與核能發展之案例。

(三) 議程

本次會議議程列述如下：

June 29 – Plenary Sessions and Updates

0900-0930 Opening Remarks (Plenary Session I)

- Welcoming remarks – M S YANG, President, KAERI
- Welcoming remarks – S DELAND, Sandia National Laboratories

0945-1300 Regional Nuclear Energy Programs Status with a Focus on Future Fuel Cycle Vision(Chair Person: K LEE)

- Regional overview – K S LEE(KAERI ROK)
- Regional nuclear energy program updates: Focus on Fuel Cycle Supply and Demand
 - Status and Plans for Nuclear Energy and Fuel Cycle in the Republic of Korea – Y HWANG(KAERI ROK)
 - Status and Plans for Nuclear Energy and Fuel Cycle in Viet Nam – A HOANG (Vietnam Atomic Energy Commission Vietnam)
 - Status and Plans for Nuclear Energy and Fuel Cycle in Indonesia - Budi BRIYATMOKO (BATAN Indonesia)
 - Research on the Policy for Nuclear Nonproliferation, Transparency & Confidence for Peaceful use of Nuclear Energy in Asia : Cooperation to the Newly Nuclear Developing Countries – H TAMAI(JAEA Japan)
 - Status and Plans for Nuclear Energy and Fuel Cycle – M KOSTOR (Malaysia Atomic Energy Licensing Board Malaysia)
 - Status and Plans for Nuclear Energy and Fuel Cycle in Thailand – P PHRUKSAROJANAKUN (Thailand Office of Atoms for Peace Thailand)
 - Status and Plans for Nuclear Energy and Fuel Cycle – M LEE (National Tsing Hua University Taiwan)

1430-1700 Technical Working Session I (TS I): Physical Protection(Chair Person: S DELAND USA)

- Overview of the Program – M SNELL (Sandia National Laboratories USA)
- Overview of the Korean Approach – W YOON (KINAC ROK)
- Practice on Nuclear Security Upgrade and International Cooperation – KHAIRUL(BATAN Indonesia)
- Best Practices in Performance Test – M SNELL (SNL USA)

June 30 – Technical Working Sessions

0900-1200 Technical Working Session II (TS II): Regional Approach(Chair Person Y HWANG)

- Overview – Y HWANG (KAERI ROK)
- Internationalization of Nuclear Fuel Cycle: A Case for Asia Pacific – J CHOI (University of Tokyo USA)
- Status of Uranium Resources in Mongolia – U AGVAANLUVSAN (Stanford/CISAC Mongolia)
- Russian Approach International Uranium Enrichment Centre – I GORYUNOVA (TENEX RF)
- Chinese Approach – Z GU (CIEA PRC)
- Status and Plans of Nuclear Energy for Fuel Cycle in Japan – T SUZUKI (University of Tokyo Japan)

1330-1500 Technical Working Session III (TS III): Public and Stakeholder Engagement(Chair Person M LEE)

- Overview on International Experiences – Y HWANG (KAERI ROK)
- Progress of the Korean Public and Stakeholder Engagement – Y HWANG (KAERI ROK)

- Public and Stakeholder Engagement: Enhancing Transparency and Public Support, US Experience – R FINCH (SNL USA)

1500-2000 Social Activity

July 1 – Technical Working Sessions and Discussion

0900-0930 Next Generation Safeguards Initiative – A SUNSHINE (NNSA USA)

0930-1145 Summary and Discussions (Chair Person S DELAND)

- Reports from Session I – M LEE (National Tsing Hua University Taiwan)
- Reports from Session II – J CHOI (University of Tokyo USA)
- Reports from Session III – R FINCH (SNL USA)
- Discussions
- Comments – S DELAND (SNL USA)
- Final Remarks – Y HWANG (KAERI ROK)

1200-1300 Discussion and Next steps

Adjourn

三、心得

本報告心得大致上依據議程主題與發表國家順序為單元進行心得之描述，由於本次會議無發行紙本，為研討會之經驗分享，非論文宣讀發表，主要為國之現況與相關議題之說明，大部分發表人皆在發表前才於大會放入簡報檔，故心得之撰述皆賴現場之記錄與會後詢問與修訂而完成。本次核能研究所無發表相關議題，而是以觀察者身分全程參與。

(一) 引言

本次會議的開始由韓國原子能研究所(KAERI)副所長 K.C. Song 代表所長 M.S. Yang 在大會致詞，韓國原子能研究所極力歡迎各國的參與。由於當天 KAERI 所長正與馬來西亞代表對談核能合作事項，因此本次的東亞研討會在實質上已經是一個好的開始。

其次由美國桑迪亞國家實驗室(Sandia National Laboratory, USA [SNL])Dr. S. Deland 代表 SNL 全球性安全計畫主任 Dr. H Abeyta 於本次研討會致詞。她歡迎本次參與者到釜山參加東亞防核武擴散核能研討會，並感謝韓國原子能研究所，特別是主辦人 Dr. Y.S. Hwang 親自共同主辦這個研討會和安排大會的一切，並感謝每一位長途跋涉旅行參加這個研討會的演講者與代表，藉由各國的參與可以適當反應其預期之實質成果和它的歷史成就。

在過去五年，這個研討會為東亞核能領域提供一個防核武擴散專家的論壇，並從東亞國家分享關於核能計畫之運用、擴展、資訊與討論減少核子燃料循環擴散風險的技術合作。這個會議特別可貴的是跨過整個核能發展領域，從國家的角度考慮核能的發展，探討各國核能運用和核子燃料循環發展的廣泛議題。每年結合許多參加者和組織，提供了一個獨特的機會進行東亞區域性之技術開發與合作，且每年展示各國核能更新計畫。經由回顧這些更新資訊，可以分析所有計畫的演變，藉此機會充分開發和探索未來需要與合作的可能性。在持續討論和分析這些更新的核子燃料循環服務和後端用過核子燃料管理資訊是特別有價值的，其中一個關鍵結果是允許參加者進行自由討論，已備未來檢驗來自不同核子燃料循環服務所需之情節與發展。本次研討會內容亦包括討論核能在亞洲的演變和衝擊擴散風險；多年來，研討會從詳細探索不同的方法和量化資料到處理核子燃料循環的安全和擴散風險，及持續發展可靠的核子燃料循環服務、保障和透明化實體防護等，直接擴大討論深度、分享經驗與技術合作。由於全球性金融危機，有些地方也許減慢或延滯新的核能項目發展，但事實上，核能清楚地

扮演減緩氣候變遷的問題和減少導致溫室效應氣體的重要角色。關於防核武擴散核能，目前伊朗的案例和北韓繼續進行的事件是比較嚴重的問題。美國 Obama 總統的核能管理政策仍然在發展中，核能持續的發展是必要的，但核子燃料循環及後端的處理的不確定性值得注意，未來的挑戰將是如何使用核能技術在的和平用途及展現其效益。今年的研討會在核能運用和方法上探討東亞地區不同的選項，及在最小風險下滿足能源需求；包括各國核能發展的更新、實體防護運用的展示、核子燃料循環技術的討論、公共與利害關係承諾概念運用於選址申照及設施管理的經驗分享，最後針對核設施安全防護的作為進行探討。各項主題的題目是非常具時效性的，能作為完成五年回顧的討論空間。會議成果值得未來繼續符合 NEN 會議的目的和擴展其使命。

(二) 區域性發展

韓國

韓國是一個非常依賴重工業的國家，從歷史的資料顯示，單位人口之能源需求與 GDP 比值之成長趨勢與日本非常接近。在 2008 年政府已宣布從 2016 到 2030 年，將建立 10 個新的反應器，到 2022 年將有 32 個反應器，到 2030 年將有 38 個反應器，並供應 59% 之能源，核能委員會將改成綠能源成長委員會。2009 年，韓國成立放射性廢棄物管理機構 KRMC，類似日本 NUMO 與 RWMO 的合併，處理相關之計畫及管理放射性廢棄物基金等，目前該機構約有 200 個成員。在用過核子燃料的研發(R&D)方面，主要目的在放射性廢棄物的減量與有用的物質的利用。綠能源的使用是有必要的，可減低二氧化碳的排放，核能是很好的選項。核子燃料循環，燃料潛能、濃化、貯存、再處理與最終處置是一連貫的議題，核子燃料之濃化(enrichment)服務不是問題，韓國的問題是用過核子燃料的貯存，因次未來將朝向 PSE 的方式處理，降低用過核子燃料的體積與毒性亦是未來的重點，此外高放射性廢棄物或用過核子燃料的最終處置亦會朝向提出科學數據的顯著性與社會經濟的議題發展。因此，韓國國家型的用過核子燃料管理的研發將會啓動，最基本的目標在減少用過核子燃料的體積與處置。爲了要減低最終處置的不利效應，亦即放射性物質外釋與監管期之長期對環境的影響，對高溶解的核分裂產物及超鈾元素的處理則特別重要。另外，在目前的經濟危機之後，韓國已注意

到石油危機的來臨，相關的因應措施已在進行。在保護綠地球的前提下，防核武擴散之用過核子燃料再循環的新技術必定要產生。非常幸運，韓國 AEC 及較高層級已在 2008 年 12 月確認前述的政策。韓國正在準備韓式的 Pyro-processing 設施(圖 2)，稱之 PRIDE(Pyro-processing, Integrated, Inactive, Demonstration Facility)，將進行實驗室級的冷測試，未來將會進入防核武擴散且具經濟價值與可行的工程規模，並且發展出 KAERI Metal Electro-Refining，該技術可有效降低廢棄物的體積。由於 Pyro-processing 不可避免將會產生放射性廢棄物，KAERI 已從直接處置用過核子燃料轉換成處置 Pyro-processing 之廢棄物，相關之地質處置與評估已在發展中。韓國提出 KIEP-21 的觀念，主要是強化 R&D 計畫的透明度，且對象是全球與國內團體，並且以”我們居住的環境”為最高優先度。

越南

越南的面積大約 33 萬平方公里，2008 年的總人口是 8600 萬人，2007 年 GDP 大約是 2200 億美元，能源需求大約是 580 億 KW/h，人均大約是 680KW/h，估計在 2020 年將近需要 490 億 KW/h，因此核能對該國而言是新的解決方案，這解決方案可從四點來進行發展：(1) 國家能源與核能的安全(2)基於能源需求增加因素之考量(3)環境的保護(4)從科學及技術發展的角度進行發展。越南全國有 31 座電廠，水力佔最多，有 13 座，在總能源比例中，水力發電佔 30.65%，其次石油佔 27.8%，總體來看大約在 2000 年以前他們的能源的需求是遲緩的，在 2000 年以後他們的能源的需求就明顯快速增長，從能源的平衡觀點來看，大約在 2015 年產出能源還會比他們的需求略高，大概維持在 200 兆 KW/h，但是在 2030 年以後他們的需求量就會增長到約 600 兆 KW/h，但屆時能源只能維持生產在 400 兆 KW/h。越南發展核能的相關計畫，到目前為止有八個比較重要議題：(1)1996 年~2001 年有許多核能有關的計畫已執行，在許多核能國際組織裡越南也是會員國，近期重要的相關活動包含召開許多研討會、展示會、展覽會、訓練及教育，他們還經由國際原子能總署與核能先進國家支援，進行資源和經驗的交流活動(2)2002 年 5 月政府部門啟動一個核能委員會，這個委員會建立在工業和經濟部門(3)2003 年 5 月成立核能安全控制及輻射防護部門(4)2006 年 1 月越南總理核准一項長期策略發展，已規劃至 2020 年和平使用原子能議題(5)2007 年 7 月總理也核准長期發展策略計畫，

這個計畫包含了所有的核能發展基礎工程和基礎建設，在未來自己處理或運用核能工業的發展(6)越南即將成立跨部會啓動委員會，由副總理當召集人，訂出國家發展方向(7)越南第一座核能電廠初步可行性報告產生，最主要目標是在 2025 年經由政府核准後使用核能，到 2025 年他們準備要有 4000 MW 容量(8)2008 年 6 月原子能法律已被議會核准。

越南整個核能發電里程碑最主要有：(1)2008 年 12 月，收集核能計畫所需基本知識，2009 年 5 月政府就將第一座核能電廠的初步可行性安全分析報告送至議會，希望議會可以核准並且決定可行性計畫可以有 4000 MW 容量。(2)2012 年 11 月第一座核電廠進行投標。(3)2020 年 12 月進行第一座核電廠營運。越南現在準備第一座核電廠，目前已經完成收集足夠相關資料，整個核能電廠所擁的公司 VEN，屬政府機構，第一階段有兩個電廠要完成建造，平均每座電廠 2 發電機組，每個機組有 1000 百萬瓦，第一個電廠希望能在 2020 年可以上機運轉，第二個電廠希望能在 2021 年可以上機運轉，所以整個時程規劃可以分為四個階段，第一階段在 2009-2011 年提出可行性安全分析報告，第二階段 2011-2012 年進行投標及簽約，第三階段 2014-2020 進行建造，第四階段 2020 年核能電廠能夠正式營運。整個核能電廠的建廠原則為(1)採用已被接受或者已正式使用的核能發電技術(2)每個機組容量 1000 百萬瓦(3)冷卻水使用海水(4)電廠壽命為 60 年(5)電力由主要鄉鎮城市優先使用(6)國內投資者依需求選定對象(7)需要國外長期供應燃料(8)目前選定場址有 10 個。

越南自行安全評估核能基礎工程有幾項要點要注意(1)越南原子能委員會計畫之核能基礎工程採自我評估(2)2007 年 12 月-2008 年 12 月評估發展國家基礎建設的條件與狀態，經由國際原子能總署建議訂定評估目標有 19 項(3)由於落後地區較多，希望建立 500K 伏特輸送線，大約從 2005-2025 年之後全國重要電力輸送線流經過 15 個重要城市(圖 3)。越南的國家核能基礎建設規畫已經非常清楚，將分成三個里程碑，已於 2009 年達到第一個里程碑，一些比較小的議題已經於 2009 年上半年已被完成，在第一個里程碑一部份已於 2008 年下半年已經完成，初步可行性安全分析報告將於 2009 年經由國會核可，主要條件在第一個里程碑已經達到，越南已具備核能電廠建廠的一些建廠資訊，政府將證明核能發電是建立在長期、安全與和平使用的原則下進行，一些資深政府單位也在進行核能相關資源、風險的分析及了解。

有關相關計畫及需求，針對第二階段里程碑，政府會在持續準備及確認。有關於輻射源及核能電廠輻射源的合理規劃管理控制及訂定法規，也會在未來第二階段持續評估並加強這部份缺失。另外，對於第二階段希望能達成的相關議題包括是希望送到國會的初步可行性安全分析報告能夠得到建議及進行修訂，核能發電主計畫能經由總理邀集各專家及資深科技人員與國際原子能總署的指導下進行。

總結越南的發展現況(1)在下一階段(第二個里程碑)建立原子能總署協助與合作的管道，主要經由原子能總署提供方法跟指示，建立評估方法，對未來所要做的建造核能電廠需求訂出範圍及議題。審閱國家有關核能發電營運範圍及議題，並反應在主計畫(2)越南政府希望他們有個很強的核能發電發展建構相關資源部門，目的希望在 2020 年第一個核能發電廠安全有效的執行(3)希望在 12 年內準備國家基礎建設，包含時間上有效率、安全上能確保，整個國家的運作能與 IAEA 跟其他先進國家合作(4)得到 IAEA 協助與國際合作，達成安全和反核武擴散之使用核能。

印尼

印尼位在於在菲律賓半島及馬來西亞半島和中南半島的南方，跨越赤道的北邊 5 度、赤道南邊 10 度，印尼總共有 17508 個小島，面積 2 萬平方英里，2006 年統計有 22300 萬的人口，成長率為維持在 1.5%左右，總人口 59%住在爪哇島，爪哇島居住人口佔全國人口 7%，總共有 400 多個火山，有 100 個是活火山，在所有火山當中有 112 火山是在爪哇島，白天溫度維持在 27.6-36.8°C，晚上溫度維持在 14.6-24.5°C，濕度維持在 63-83%，印尼核能政策之產生最主要是因為他們經濟及人口持續在增加，所以能源需求也相對增加，所以核能被考慮在其中。在 2006 年的資料國家法規中顯示，預估在 2025 年整個能源目標，核能部分要分擔 20%主要能源，或者是分擔 4%電力需求，大概是 4000 MW 的容量，第一個核能電廠有 2 個機組，預期在 2020 年可以開始運轉，所以 2005-2025 這段期間都是國家長期規劃發展的階段，全國總能源需求水力發電佔了 4.2 MW，地熱只有佔 0.8，另含小型水力、太陽能、風能等。在 2006 年所推算預期規劃在 2025 年整個石化能源需求會佔 65%，其中包含燃煤、天然氣和

石油，非石化燃料佔 15%含地熱、水力及其他，其他還有小型水力及太陽能、風能、燃料電池等等其他部分大概會佔 2%，全部部份會佔不到 6%，核能部份會佔 2%。所以估計到 2025 年他們需要 4000 MW 的核能電廠，相當於要 4 個機組，一個機組 1000 MW。印尼核能的發展分爲三個里程碑(三個階段)，自 2006~2007 年爲第一階段，第二階段是他們核能計畫決定的時程，第三階段他們稱爲核能電廠處理實際行爲階段也爲建造階段，目前估計在第三階段結束，即 2016-2021 年要開始運轉，從 2006 到第三階段結束前他們預估是 10-15 年，基本上詳細時程可能會根據實際發展可能從 15 年縮短 10 年來處理。目前的階段是在程序決定結束的階段，他們在程序決定的前置階段包含(1)整合能源規劃(2)整個組織和法規架構之建立(3)整個國家基礎建設調查(4)整個國家計畫參予者之規劃(5)場址調查及環境評估規劃(6)人員調查跟發展計畫規劃，已在前三年內完成，接下來的 3-7 年他們會進行計畫決策階段，包括初步可行性的研究、場址選擇及評估、開標規範跟接受投標和邀標審查，擬定對象簽約進行討論，然後會有長期購案的產生，就可準備開始建廠。建廠會維持 3-6 年，主要是場址基礎建設的準備、詳細設計的工程、儀器和組件的製造、建廠、安裝、開始執行任務，核准電廠開始營運，電廠壽命是 60 年，電廠運轉 60 年以後就會有場址的除役，包含除污、所有設施移除、廢棄物的貯存和最終處置。印尼核能電廠的核能工程基礎建設包含 20 個項目(1)國家建造團隊，國家團隊稱爲 P2PLTN(2)國家核能計畫擬定及堆動(3)核能法規及能源法規建立(4)核能法規實體及擬定(5)學術機構和教育機構的訓練(6)經濟的評估(7)經濟效益的評估(8)公共資訊的教育(類似公眾溝通)(9)場址選擇(10)電網的發展(11)交通(12)環境評估(13)電廠發包採購案評估及選擇(14)申照(15)核能緊急事件的籌備及建置(16)核能的研究與發展 R&D 中心建立(17)工程上的預備(18)計畫推動及執行(19)核子燃料的供應問題(20)放射性廢棄物的管理。印尼核能電廠的候選場址目前是在印尼的北邊(圖 4)，因爲整個印尼基本上是從西向東大約像平躺的方式位在接近赤道附近，所以整個島的北邊大概維持在相同緯度，電廠候選場址位在北邊中部處。

印尼在國際核能協議預定及簽訂共有 11 項，在 11 項當中最主要包含安全防護、防核武擴散、核能材料的防護、核能緊急意外事件告知、核能突發事件盡早告知協定、核能意外及放射性緊急事故協助的告知、東南亞核能無核武武器區域的同意、核能安全、用過核子燃料

管理安全問題及放射性廢棄物管理安全問題、IAEA 所訂定核能法規問題、核能破壞的協議事項等共 11 項。印尼在 2003 年 8 月透過 IAEA 有關整合核能使用安全保护的部份有以下同意的內容(1)使用核能要有正確性及完整性，必須要有安全防護的報告、有必要額外的協議書宣告，就是正確性及完整性使用核能(2)核能物質 NM 沒有任何偏移使用，就是和平使用(3)核能物質 NM 的使用均告知 IAEA(4)核能相關議題和活動和行爲是公開的。印尼對燃料的循環的觀念：天然鈾及釷採礦完後經過磨粉(milling)，經過轉化及濃化(enrichment)，送至燃料工廠進行製造燃料。另一部分，天然鈾燃料直接進到燃料工廠進行製造，燃料工廠製造產生後供應給電廠發電，用過的燃料就會放在電廠進行用過核子燃料的暫時貯存，之後送至再處理工廠產生高階放射性廢棄物問題，除此之外，並經過再處理再循環送至燃料工廠製造。重點是在濃化的過程有可能產生核武等級鈾-235 產物，在核子燃料再處理部分亦可產生鈾-239 再循環的使用，產生的過程中就會有重水的產生，最主要在這個過程中鈾燃料的製造，整個燃料的形成之主要程序或設備乃著重於設計、建造、製造燃料、運轉、最後維持這個核能設施的運作。在燃料供應的需求上，他們尋求國際的協助，從 2005 年 2 月到 2008 年都持續進行，從相關資訊看來包含 IAEA、俄國聯邦政府、美國、法國、德國、瑞士的支援，另外還有日本、英國、澳洲、歐盟非正式的支援，共有 13 項核子燃料提供的部份，整個核子燃料提供的形式，包括(1)直接保證的國家和公司有美國-NFB 與 GNEP，另一個就是 DGNYIUEI(2)燃料銀行，主要是經過 IAEA 授權之 LEU 集團，包含 WNA、RANF、澳洲 NMFC，及其他部份提供備份，有英國 EB、NTI、日本 SAS-ANES、德國 MECP/MESP。核子燃料提供稱作 AOS，提出計畫書後，在得到保證提供核燃料有幾個要點要遵守(1)根據 IAEA 的核子安全保护的的使用協議和步驟處理(2)沒有違背使用於核能電廠以外之用途(3)有權支持研發核能科技。以和平使用爲目的，滿足 IAEA 核子安全保护的需求，國家發展核能乃根據整合性安全防護措施進行核能電廠的發展，核子燃料的發展則下列注意事項：屬於國內鈾的開採或轉換，在經濟上有效益的應在國內發展；包含天然鈾的部分和六氟化鈾的轉換，要看應用上的需求來決定；核能放射性廢棄物的管理，亦爲應用上的選項。因此核子循環的選項會朝下列要點去處理：(1)鈾的再處理及轉換的服務(2)鈾濃化的服務(3)核子燃料生成(4)核子燃料貯存(5)放射性廢棄物的服務。在用過核子燃料的管理策略是一次完全使用，在核能電廠的冷卻池貯存及中期貯存。用過核子燃料管理策略是國家型的長期規劃，包含地質的最終處置、長期管理中心，或

送回原來的國家。印尼國家在整個核能規劃和策略有以下四點結論(1)根據 IAEA 規劃之里程碑進行建造核能電廠，目前進入第二階段計畫決定的階段(2)目前準備及執行持續性前置投資的研究，包含持續性場址的選擇和評估、核能電廠發包的規範、要標和審標的階段(3)依循反核武的觀念及 IAEA 的核子安全保防的措施，在獲得核子燃料的供應這方面應該不是問題(4)目前在用過核子燃料的管理策略採地質最終處置或送回原燃料提供國家。

馬來西亞

馬來西亞位於印尼北邊，地形緊鄰於印尼，所以有許多措施都仿照印尼，馬來西亞目前進度較慢的。馬來西亞核能電廠的發展預期到 2025 年可以開始，在 2009 年 6 月 2 日的新聞顯示馬來西亞要尋求南韓綠色能源和核能的科技技術協助來發展國內技術，目前狀態根據(1)核能策略(2)最近發展防核武的議題(3)公眾告知部分和人類人口等發展相關核能策略。目前，核子及核能策略均尚在草擬中，核能法規在 2009 年 7 月 6 日在國家會議中討論，核子及核能策略均朝政治、決策與經濟等考量之，最新發展核能則朝向核子防護安全、保護人民、避免核子被誤用等方向進行，所碰到的難題是(1)沒有核子物質處理建造能力(2)暴動和攻擊事件可能造成核能設施的破壞(3)核子物質被竊當做核子武器(4)使用過後的核物質的隨意丟棄。目前面臨的挑戰在核能安全部分有公用核能安全沒有辦法掌握、核子廢料的管理及最終處置、責任問題的歸屬、防止核武擴散的核子保防措施、核子設施的實體上安全性問題、政治和公眾接受的問題，及非常缺乏技術。目前馬來西亞已經召開 22 個會議、協議、討論的議題，探討馬來西亞區域性核能需求的問題，預期與聯合國和 IAEA 規定衝突者，是他們目前需要克服的問題。目前馬來西亞對公眾認知部分的告知用兩種方法，第一用問卷調查，另一個是公開討論會，最近有兩次分別在 2007 年 4 月探討核能部份，2008 年 11 月 5 日則對於整個人力規劃，使用核能設施的人員訓練規劃、操作員的認證等。馬來西亞核能計畫稱為 MP，其中第九個 MP 的計畫將於 2006-2010 年進行合法的基礎建設發展、非合法邊界的輸入點監測、環境輻射監測系統、緊急事件及反應系統的建立、核能監測技術實驗室。新合法之基礎建設對於法規控制的內容進行強化，並被送至 IAEA 審查中。馬來西亞與印尼是相鄰的，在印尼的許多暴動，依據不同特性的暴動，設定不同的偵測點、另外在國家防護監測系統上建立許多

邊境的監測點，監測點包含對車輛的監測點及人民徒步區的監測點，監測人員手提的監測點，還有所謂防護線的建立。目前在西邊對車輛的監測點有 25 個，北邊有 21 個，總共有 46 個點。環境輻射監測系統最主要目的是要監測環境的輻射劑量，與監測其他鄰國產生污染的情況，並反應於國家即時系統。在馬來西亞國家氣象局中有 5 個監測器，在核能機構部門有 1 個監測器。另外有緊急事件準備及反應設施稱為 ERP(圖 5)，ERP 的監測功能有環境輻射監測系統、國家輻射監測系統、緊急事件相對應儀器。緊急反應中心有即時監測系統，即時取樣系統、國家緊急反應隊伍隨時待命。發展核能監測實驗室(NML)，NML 所提供的能力為(1)直接取樣，即直接用塗抹式之核能設施取樣監測，與對環境水與植物之監測(2)搜尋異常地區，主動去搜尋突發點或著是沒有被清理乾淨的地區。NML 的功能有(1)實驗室的建立(2)海洋取樣站(3)實驗室儀器的設置(4)人員訓練(5)整體系統的協調。目前所有計畫與行動都停留在第九個 MP，馬來西亞發展 NML(核能監測實驗室)可得到效益(1)得到較進步監測技術(2)獲得較高科技之儀器建立取樣與分析技術(3)有效的主動參與監測核能相關事件，以確保可以安全使用核能(4)如果第九個 MP 到 2010 年，若經費沒有著落的話，將把 NML 計畫延續到 2015 年。目前馬來西亞的建廠似乎還沒有開始，只停留在周邊設施的發展。

日本

日本和平使用核能及防核武使用核能是建立在下列基礎上：(1)IAEA 有完整可性賴的安全防護記錄(2)在防核武擴散的策略上協助亞洲其他國家有關基礎建設的成效(3)在 2008 年 7 月全球高峰 G8 會議已做宣告，美國總統歐巴馬在 2009 年 4 月演講提到在核能復甦有明顯的未來發展，日本在核能的和平使用努力大約從 1955 年及 1967 年就原子能和平使用和防核武使用的宣告，其次是很明顯對於核能循環有急迫需求。1955 年對於透明化使用原子能策略已有法律加以規定(4)對於 IAEA 核子保防安全防護有完整紀錄，沒有違反規定現象發生(5)對於防核武擴散使用貢獻有先見之明，對國際在防核武使用方面的努力跟 IAEA 的合作、對抗核武及強化防核武的功能，日本是做的很好的，在 IAEA 核子防護保防日本有完整可信賴記錄，早在 1976 年、1977、1999、2004 年對來自 IAEA 的相關評估都是不錯的。日本有關於和平使用和防核武擴散重要的議題及未來發展是成立 JAEA 的機構，其任務是扮演發展全球性科技

基礎的機構，分為兩個部份：(1)建立在長期核能安全度量觀測角色(2)建立較先進之科技，可以與國際各國相匹配的。核能安全部分最主要建立核子燃料循環的運作方式，在安全和保防部分，發展核能安全及防核武和核子安全技術，另外在發展全球可匹配之進步科技，他們主要是發展量子束科技，另外針對核能設施的除役和放射性廢棄物的處置及處理，有非常多學界和國際的合作案例。整個 JAEA 在全日本共有 11 個機構，在美國華盛頓 DC 有一個海外部門，有關於 JAEA 在核能防核武擴散所扮演的角色有四個：(1)支持防核武擴散的策略(2)增進核能在和平的用途功能(3)希望能成為優秀的中心(4)透過國際合作之貢獻。此外 JAEA 在(1)防核武擴散的研究議題(2)防核武擴散技術發展(3)核能材料的管理(4)防核武擴散的技術支援(5)人類發展支援的議題亦有所貢獻。JAEA 之防核武擴散科技中心(NPSTC)的目的(1)技術發展支援(2)核能材料管理(3)環境取樣。日本 JAEA 基礎建設資源對所有亞洲國家推動的情況，在和平使用核能夥伴方面，從防核武擴散角度來看，亞洲部分有四個要點(1)瞭解整個在亞洲各國的需要和在防核武國家架構的需求(2)瞭解各國在聯合國獨立系統，透過法規、法律查驗各國的需求之適當性(3)訂出探討之議題(4)建立各國之防核武擴散系統。JAEA 和亞洲各國的合作關係，主要目的是強化防核武擴散系統在每個夥伴國彼此分享經驗、知識，這些經驗、知識還是著重在安全防護應用和保防需求上。在實際行為上，已有亞洲方面的相關計畫強調上述提到各個作為，其次就是針對亞洲各國安全防護的訓練與透過 IAEA 邀請展開演講和說明。

在亞洲計畫部分：(1)調查核能防核武擴散的相關研究，瞭解各國狀況，包含核能策略發展計畫、核能相關組織及設施、各國對核武擴散的法規、各國完整架構、防核武擴散的挑戰問題。其次，召開防核武擴散議題專家的會議，主要目的是協助友邦瞭解防核武擴散需要之架構，挑出尖銳問題，讓會員國認識及確認各個內涵，發展合作計畫幫助會員國達到這些努力(2)在專家會議中，內容包含整個防核武擴散或者是核能策略整體觀念，即國際架構和國家系統，包含相當多的有關核能部份及核子防護的細節(3)經由工作階程的會議合作交流完成合作關係，透過工作階程的會議為各國量身訂做合作關係和知識基礎，例如越南、泰國、印尼，經由雙方合作關係例行接觸直接進行，不斷探討防核武的功能，並包含安全防護的處理系統(4)則是反覆查驗各國執行之結果。目前，在亞洲合作的國家中越南是做的最完整的，已經進行到第 4 步驟，泰國也已經進行至第 3 步驟，印尼在第 2 步驟，其他國家還在調查中。亞洲

計畫的遠景是透過亞洲計畫達到(1)延伸與達到亞洲夥伴可以包含印度、馬來西亞等(2)在亞洲各國建立強而有利防核武領域的發展(3)經過側向合作可以達到比較寬廣的聯繫(4)針對透明、增加防核武擴散能力、和平用途各方面，將核能建立在非常完整的基礎上，所以希望在所有日本啓動有關防核武擴散核能之被協助國，可以支持發展安全保密、安全防護和防核武擴散之核能基礎建設。另外在安全防護的方面，JAEA 也建立相當多的活動，包含提供從 IAEA 的計畫、國家計畫、更早蘇聯的協助計畫等，透過許多演講進行。總結日本的部分，日本在亞洲各國所做核子安全的協助：(1)致力努力於和平使用核能(2)JAEA 致力於和平使用和防核武。他們支援許多亞洲國家，成立亞洲計畫，經由步階式合作和量身訂做的方式，讓核能使用達到防核武擴散之成長。

泰國

泰國總人口是 6600 萬人口，他們一年內換了四個總理，泰國面積為 513000 平方公里，泰國使用能源方式，最多是使用天然氣佔 57%，其次是褐煤佔 12.6%。在 1969 年成立電廠產生授權機構 EGAT 所產生的能源約佔全國 53%，大概是 158 百萬瓦，在 2008 年 4 月安裝容量有 3 百萬瓦，在泰國最主要有兩大部門在處理電的問題，現在目前是 EGAT，未來將成為核能的授權發電處理機構，其次另一個就是 OAP 核能法規機構，目的在監督和平使用原子能。泰國預期在 2009-2021 年希望總需求可以達到 30 百萬瓦/小時，在 2021 年可以達到核能部分可以提供 2000 百萬瓦/年。泰國的核能基礎建設的整合委員會稱為 MPIPC，他們發展各項計畫包含核能基礎建設和核能機構。目前在泰國已訂定初步里程碑，在初步階段已規劃相關議題及計畫，現已進入第二階段，主要是初步計畫階段，也進行基礎工作的建立、調查潛在場址、可行性分析及公眾資訊參與，將會維持三年到 2011 年。

泰國核能電廠發展有三個里程碑(1)促進各類核能知識法規建立和技術上的瞭解(2)招標(3)定在 2020 年開始運轉。核能電廠目前有 14 個潛在場址，分布在六個省，到 2009 年 9 月可以選出 5 個候選場址，希望在 2009 年 12 月選出 3 個最期待候選場址(圖 6)，然後由 EGAT 來決定最後候選場址，並送至國會核准。泰國核能法規是由 OAP 來產生，在 1961 年就有對

核能使用宣示進行，且已在 1965 提出，最重要是與大學學術機構做合作，有申照、選址、輻射防護、緊急事件之準備工作等，都是在 OAP 內進行。除此之外，對環境衝擊分析、燃料循環、運轉、用過核子燃料和放射性廢棄物、安全管理、未來運轉能源取得執照、除役等等議題都有發展。

台灣

由清華大學李敏教授引用該校 2007 年之能源資料，針對國內的部份說明目前台灣能源現況及能源使用情況。此外，對二氧化碳排放情況、電廠發電容量及台灣電力公司電力發電所需費用等提出說明。台灣 51%使用燃油，在核能部份只有佔 8%。由於台灣不同執政團隊轉換執政因素，所以從非核家園到核能如何轉變亦做出相關說明，提到對非核家園環境保護法的規定要求，對比較有衝突的部分提出說明。2009 年能源會議提出之議題，有相當多的議題尚在進行，他認為國家能源會議有關之再生能源似乎效益沒有這麼高，但是對核能的需求是很殷切的。最後，他認為台灣核能發電產生之能源，其實已經顯著對台灣經濟成長有很大的貢獻，扮演很重要的角色，未來亦是如此，是比較可靠之能源，可以減少二氧化碳的排放。目前台灣正在啓動第二階段核能發展計畫，但他認為缺乏一個具可行性與可靠度高之管理計畫，很可能會阻礙執行。

(三) 核能設施實體防護

美國

美國桑地亞國家實驗室在核能設施和材料設施實體防護(PP)的計畫，最主要是展現實體防護的功能、運用國際目前比較好的儀器設備與美國的案例進行說明。PP 可有二種作法(1)以未來為基礎的 PP，根據設施場址的需要而決定，屬比較特定的或局部的規格，以未來為保護的對象，基本上會有入侵的偵測器、入侵者移動的評估，通常設立於大門或入口(2)功能性的 PP，最主要是達到整體系統的效益性，以設計入侵或威脅之情節作為評估，並以機率式來決定入侵之案例。功能性 PP 的好處是提供完整系統入侵度量的量測，可以有效的完成系統之

實體防護之查驗，因為是整體系統設計，所以所有資源皆被集中使用，實體防護之信賴度就會提高。

目前國際針對核子物料、核子材料及核能設施的 PP，國際是由 UNSCR1540 規範(第 4 版)。PP 系統的一般性目的(1)描述這個 PP 系統所需負的責任，並查驗入侵威脅之情節(2)考慮緊急應變之能力及控制程度(3)設計入侵情節，即要常常依據實際情況變化，以處理緊急應變計畫。UNSCR1540 第 4 版之 INFCIRC2225 規範包含法規需求、可性賴程度、PP 量測評估。其最主要的特定需求(1)查驗系統必須整個安裝在控制區域或保護區域內，要針對整個區域邊界做偵測(2)如果以功能性為目標的話，還需要有武裝人力在一定時間內抵達發生地點(3)中心的警報系統可完全反應任何入侵情況，所以要對警衛及反應武裝人力進行定期演練，查驗和測定警衛人員防護能力，並測定核能設施、運送設施操作人員或控制人員之監督及技術能力。整個評估系統包含偵測查驗、通訊系統評估、實體防護程序處理方法的審查等，經由練習、測試、訓練，評定武裝人員即時反應能力。緊急應變練習測驗，對於申照者而言必須提供(1)系統必須是可操作和具備一定功能(2)有效率，準備待命情況是可以馬上被通知(3)安全警衛和反應能力必須能達到一定的規定(4)對申照者做自我檢定評定。對查驗申照者之監督者必須(1)反覆查驗執行能力(2)審查硬體、文件或通訊系統處理方式(3)回覆訓練計畫的執行結果(4)監督者的再評估，必須對整個測試組織技術提供完善回饋。所以總括 PP 的特定練習就是 ON 或 OFF，即達到或沒有達到，並符合(1)可操作能力與功能(2)效率、待命與準備性(3)標準功能測試(4)模擬侵入試驗(5)端點測試，從啟動到結束要做完整測試(6)警報系統反應(7)有限度目標的功能測試，對某些較小的必要措施或步驟，需要單獨查驗。PP 實體防護功能試驗應該記載的事實應包含(1)申照者自我測試(2)監督者查驗申照者的試驗結果；每個要項又分為功能、監測、延遲與應變測試。此外針對申照者和監督者，都要進行功能性、監測性、延遲性、反應性等四項之程度測試。SNL 認為最好的功能測試還要下列特點(1)要有品質計畫(2)要有完整的文件記載(3)全系統週期性的執行(4)測試每個子系統測試和單獨功能(5)自我測試的設備，就是申照者或監督者有自己單獨測試系統(6)未來可能真實實驗項目的測試(7)實體防護系統之操作，調查任何失敗情況，並回饋於系統。

最佳的 PP 練習的訓練包含：

- (1) 執行 QA 計畫，須有一定的品質系統及政策上的支持，由監督者執行，也需由申照者和

監督者一起規劃建立共同方法，所負的責任和授權也要在文件上記載清楚。

- (2) 針對 PP 必須發展完整的文件，完整的文件必須包含①功能性實驗計畫，必須載明功能實驗目的、測試查驗項目、查驗內容的執行、查驗頻率②如何規劃查驗程序、如何執行查驗程序、如何去記載查驗結果③查驗報告和資料庫要確實記載查驗結果。
- (3) 必須非常嚴厲實行週期性的全系統查驗，包含①確保人員儀器狀態正常②查驗最弱處③非強迫性的查驗，即針對裝載武器的部份不需要實際去做，採靜態查驗即可，或使用警衛對警衛的武力演練就可達到，不需直接施展武力進行查驗。
- (4) 基於考量全系統測試花費較高，因此優先查驗需要性較高的子系統功能，基本上可以先從比較有用的步驟先做(1)持續查驗需要性高的單獨功能測試，例如攝影機在潮濕天氣下的狀況(2)盡早規劃單獨週期性查驗，於執行後擬定評估報告。
- (5) 由監督者建立單獨查驗設施進行，基本上是與申照者及操作員無關，單獨查驗設施由專家決定其查驗的技術，鑑別比較弱的缺點給核設施運轉人員。SNL 提供的案例包含偵測系統、電燈、接觸式感應器，並所有元件連接整合，資料收集系統後回饋給監管系統人員，針對此結果進行分析、報告，及查驗系統之完整性。
- (6) 模擬未來可能會發生之不同情節、現象、入侵。
- (7) 明確調查所有實體防護系統試驗可能之失敗，以便回饋給系統監督者進行改善。

SNL 針對 PP 實體防護提出第四版 INFCIC225 的參考文獻，他在 INFCIC 之第 4.2.5.2、4.2.5.3、6.2.1.4、6.2.1.6、6.2.20、6.2.21、6.2.6 各節裡面有非常詳細之基本規定及參考文獻。

韓國

韓國之實體防護最主要根據實體防護及輻射應變法規(LPPRE)，其目的為處理暴動或恐怖攻擊，在韓國早期是常發生這樣的情況。實體防護計畫大約在 1982 年開始，至 2006 年有 8 個計畫在進行，實體防護的法律依據在 1995 年已列入於原子能法規，2004 年 LPPRE 強迫執行之。實體防護的定義在法規上就是商業用的反應器或超過 100 瓦容量的教育和學術用反應器，還有與核能有關離開韓國的船隻(不包含戰爭)。韓國有 20 個電力反應器、1 個研究用

反應器、1 個核子燃料產量公司、2 個大尺度輻射設施都為實體防護的設施。韓國大部分的核能電廠都分布在東邊、東南邊和西南邊，另外在中部大田，及首爾 2 個研究機構，基本上都含在 PP 的對象。韓國在執行查驗和審驗的相關順序上必須要有品質上的要求。以 IAEA 所提到 PP 的功能為基礎，基本上目前是以 INFCIRC/225 為核能安全文件，即以 INFCIRC225 之第 4.1.4.4、5.2.3.16、5.2.4.14 等節說明 PP 之功能需求。韓國的實體防護演練，主要在發展攻擊情結，經由弱點測驗進行風險評估與查驗 PP 的功能。

韓國發展 SAPE 系統分析程式進行實體防護模擬，目的是分析核能設施脆弱途徑，目前顯示有 10 種最脆弱途徑，可建立連結圖與展示 PP 系統功能目標及敏感度分析。未來的改進版本是增加計算速度，並把程式放在新的測試平台進行測試，測試平台就是建立實體防護測試圍籬和 CCTB 攝影機，目前測試平台包含 CCTB 攝影機兩台，偵測範圍是 500 米，三個主動式紅外線偵測儀，三具 250 瓦的 225 伏特燈泡。未來韓國將朝向國家級的核子實體防護功能為最終目標。

印尼

核能對印尼非常重要，雖然目前沒有核能電廠，但是已經對其它核子設施發展相關實體防護措施，早在 1978 年開始就已經規定核能使用於和平用途。印尼的 PP 由國家提供計畫執行，有三個核能研究中心，在 2003 年簽約彼此合作，2006 年對 PP 系統有任務上的更新，對 2007-2010 年之計畫亦進行修訂。

印尼核能研究機構集中在爪哇島西部與中部偏西處(1)1965 年建立之 BANDUNG，目的是作一般核能放射性研究(2)YOGYAKARTA 反應器中心，建立於 1974 年，有 100KW(3)SERPON 核能研究中心，其任務在執行核能科學方面科技和研究發展和工程，具有 30 百萬瓦，為多用途研究用反應器。印尼進行 PP，必須有設計基礎，即敵人入侵設計基礎，設計基礎必須由國家監督單位加以認定，即如何利用實體防護設施削減入侵者攻擊，計畫之設計基礎要不斷的被審閱和評估，直到所有可以削減敵人侵入的行為都是最新的可能發生情

況，假設的案例為 2001 年 911 入侵事件、2007 年南非暴動事件、2002 和 2005 年峇里島暴動。整合 PP 的方法，首先決定 PP 實體防護需求、設計 PP 實體防護特性、分析相關硬體、軟體跟情節，最後執行之。印尼之實體防護計畫與 IAEA 有合作關係，及與 USA 有雙邊合作關係，2004 年 SNL 進行設計 PP 的審閱會議，2007 年與 IAEA 召開國際訓練課程，並於 2009 年召開核能安全反應器研討會，參與者包含法律人員、訂定法規人、運轉人員、政府人員跟軍人等。最早建立 PP 有關的法規是 1997 年，並陸續於 2005、2009 年有更新的討論和訂定法律的議題。

從印尼總理於 2005 年 5 月 17 日峇里島發表談話得知，該國在面對國家許多的犯罪行爲和暴行，非常重視新的安全作爲，並希望能跟俄國、中國、美國、澳洲、印度、菲律賓等國家能合作。面對未來的挑戰是他們會很擔心未來建廠後會有暴力的行爲，而這些行爲該如何處理，希望在 2017 年建立核能電廠能建立法規後可以避免與防護核電廠可能受到的威脅，連接 PP 的作爲以確保整個國家的核能安全，與先進國家進行多重合作、雙邊合作，最後希望能建立一個核能安全的國家。

(四) 核子燃料循環

綜觀

韓國綜觀報告有關於用過核子燃料再循環相關議題。基本上一個濃化後鈾的直徑大約和粉筆一樣，可以貯存能量相當於是 2205 磅燃煤所產生的能量，一般來說對一個濃化處理設施的能力，4000 噸的天然鈾可以產生 4% 之 500 噸低濃化鈾，相當於是每一年 2900 噸的分離單位，大約是 10 萬個分離單位 SWU 濃化鈾，一年可以產生 1000 MW 的電力。對於核子燃料的管理，基本上近期是貯存的問題，中期是再循環的問題，終期目標是最終處置。對整個區域和國際性合作機構而言，前端有 IAEA 的 MNA、IUEC、MESPINTI 等，後端燃料循環則有 ARAUS 和 PANGEA，最近 SKB、SNL、韓國、日本亦都持續在發展中。以美國爲例，YMP 計畫目前已不是一個選項，所以讓許多國家對 HLW 最終處置開始產生分歧想法，因而衝擊到全球核能擴展。美國的一些國會議員亦開始擔心，最終處置的政策若是沒有一個具體

的目標，將會讓即將要申請的 26 個反應器的申請者開始著急，問題將會越來越嚴重。在蘇聯，有許多核子彈頭被再循環成 LEU 低濃化鈾，USDC 打算要把這樣的一個來源當做美國核能電廠使用的燃料，345 公噸的原子彈等級的高濃化的鈾，可以再循環為 10010 噸的低濃化的鈾，此相當於讓 13795 個核子彈頭消失。

URENCACO 燃料處理機構，其濃化廠位於英國、德國、瑞士，LES 為 URENCACO 之子公司，目前在美國新墨西哥州建立一個濃化廠，希望能在今年 2009 年可以運轉。IUEC 規劃要建造的 EAGLE 計畫，有 20 億美金的資金，在未來這個廠每一年生產大概是 300 百萬的分離鈾燃料，可以符合市場的要求。USECACP 的機構，USEC 現在正在進行展示下一代美國最近的濃化技術，展示離心設施展示每一不同階段鈾燃料，他們估計每一年產生 380 萬的分離單位。

國際化

日本東京大學蔡祝山教授介紹亞洲太平洋國家概況的，他提到亞洲太平洋國家佔了非常大的區域，在人口方面中國和印度大概佔全世界人口 45% 左右；蘇俄、美國、中國在地理型態上是佔了比較大的核能武器國家，澳洲、加拿大及哈薩克是主要鈾礦產生者，主要的核能公司包括 TOSHIBA、Westinghouse、Hitachi 等公司。

主要三個核能市場是美國、中國、印度，主要涵蓋核能潛在使用的國家包括東南亞的越南、印尼、泰國、馬來西亞；中亞則是哈薩克和蒙古；中東就是土耳其、約旦、沙烏地阿拉伯等等。2009 年 3 月在東京大學舉行區域性網絡核子燃料循環設施研討會，參加國計有中國、日本、哈薩克、蒙古、韓國、新加坡、台灣、美國、越南等，其中介紹中國目前有個非常大核能建造計畫；日本對核能有非常大的貢獻在核能燃料循環保護之努力；哈薩克其實是一個潛在產生燃料且野心勃勃的國家；蒙古在產生鈾礦方面是非常有潛力的國家；南韓是在延伸自己的核能計畫，說服公眾可以在用過核子燃料再處理的 R&D 上有所發展；新加坡考慮比

較關心的是其鄰國的核能發展的情況；台灣要自己處理核子燃料，美國也是如此；越南基本上是非常有興趣建造核能電廠，但是比較擔心的是可靠鈾燃料的供應。所討論的問題還包括中國是否可以協助台灣的用過核子燃料問題；美國是否欲協助處置其他國家用過核子燃料，是要用混合式的，還是只包括貯存；ASEAN 組織對核能發展的情況是否可以幫助其會員國，還有新產生燃料的國家之核子燃料該如何處理。2009 年 4 月 28 日英國劍橋大學有針對國際性研討會提到核能事務是有求多於供應的情況，所以核子燃料的需求是非常急迫的，但是因為核子燃料還是牽扯到核子安全的問題，所以有政治考量。

事實上有一半的濃化燃料需求，在美國已經由美國和蘇聯的高濃化協議支持，並且計畫在 2013 年結束。已知世界各國 40%的鈾資源來自澳洲、加拿大和哈薩克等三個國家，濃化技術由六個機構處理，我們可以知道提供燃料的國家很有限且組織也很少，所以我們更需要在製造標準化上更有要求，因此前端的核子燃料的產生是可行的，但是必須經由市場機制進行控制。以全球來看，2006 年所每年需要產生的 5400 百萬分離單位，需求是 4800 百萬分離單位，預估到 2015 年每年可以產生超過 6680 百萬分離單位，預估需求是 5700 萬-6300 萬百萬分離單位。2009 年 5 月 12-13 日在 AAAS 會議提到有關核子燃料未來發展及新區域導向，發現許多較不穩定區域的國家，比較有興趣發展核能電廠，並提到目前的挑戰是，有些國家認為對使用核燃料技術是他們所不能奪取的權利，比如像伊朗事實上是一個有潛在擁有核武的國家，對這樣的挑戰我們應該如何來因應；對這些國家用過核子燃料的管理，事實上我們的影響是非常有限的。

此外，2009 年 6 月 11-12 日在美國有個非核武跟安全挑戰的緊急核能研討會，主題是

- (1) 有許多國家已經打算永久放棄發展鈾濃化和用過核子燃料再處理的權利；
- (2) 沒有任何機制或政策可以確保核能供應機構可以提供所有需要者的需要；
- (3) 許多核能使用的國家，燃料提供機構是否可提供用過核子燃料最後去處的保障，是許多核能使用國家越來越關心更勝於要在取得供應商的保證，意思就是說他們現在越來越關心用過核子燃料是否能在提供機構可以負責幫他們處理或處置；

事實上，許多國家政治問題對用過核子燃料的阻礙影響最大，在核子燃料循環不管是前端或者是後端都有基本上都有很大的限制，比如說前端有核能電廠運轉所需要的核子燃料製造，基本上也被政治與安全性的考量限制，後端則有再處理或者是最終處置場的限制，基本上跟燃料一樣有政治問題的限制。新的用過核子燃料服務觀念是建立一個核能聯合國的概念，意味著核能聯合國有專業人員來處理燃料製造組裝的過程，及相關的處置，搜尋需求者搜尋可以服務的機構、國家或者是單位，不管是前端或後端，燃料的需求或者是燃料最終的歸屬，基本上由這個核能聯合國來處理。其效益是在核能急需緊迫的國家可以很快的從市場價格程度取得核能，如此核子燃料供應因為是全球性的，所以價格是非常有競爭性的。在比較不穩定的區域，用過核子燃料可以被送回原來國家、處置或定時間的終期貯存，這些國家就比較不需考量發展核子製造和用過核子燃料再處理的技術。從搖籃到墳墓的一連貫技術，燃料服務的循環處理可以透過聯合國加以控制，蔡教授認為這並不限制國家發展自己的核燃料循環方式，也可以增進非核武擴散並且提高放射性廢棄物管理的效能。若有國家打算要發展自己的濃化技術和再處理，就要處理非核武擴散和廢料議題，保證其在國際間的安全防護是可以按照國際標準進行的。在核能聯合國內是需要有合作關係的，每個合作關係有其扮演的角色和責任，提供整個完整核能需求處理行為，確保對核武及用過核子燃料最終處理都符和平的基本原則。目前，蘇聯共和國和俄羅斯都有協助其他國家取回用過核子燃料和貯存的案例；美國也有接受其他國家研究用之用過核子燃料反應器，這對核能聯合國構想之實現可以給予很大的鼓勵。

蒙古

蒙古語語言從第13世紀就已開始，包括朝鮮語，愛沙尼亞語，匈牙利語和芬蘭語及其他的烏拉爾-阿爾泰地方的語之一。本區人口：280萬，面積1,566,000平方公里(610,740平方的mi)。邊界8158公里，與俄羅斯相臨有3485公里，與中國則有4,673公里(圖7)。平均高度海拔1580公尺。在西部和南部西方，佔有巨大沙漠及山，Gobi沙漠在東南方。人口中，喀爾喀蒙古人佔86%，哈撒克人佔6%，其餘其他蒙古族。使用的語言包含蒙古語、哈撒克語、俄語及漢語，英語也被廣泛在城市地區使用。本區人民的宗教包含西藏佛教(50%)、回教(4%)、

基督教徒和薩滿教(6%)。人民識字比率約83%。蒙古的核工業的鈾和開始起源於在蘇聯時代期間Dornod 省的一座鈾礦，該礦區被蘇聯完全操作，礦石被直接送去蘇聯Priargunsky濃化廠處理。蒙古共產主義未落後，自由市場經濟發展緩慢。蒙古被發現擁有世界較大的鈾礦區位於戈壁沙漠至阿爾泰山區之間。近年來發現鈾採礦和調查探活動正在增加，新的礦區逐漸被發現。蒙古政府正在考慮自己進行鈾採礦和處理，以備建造核發電廠，進行核能之開發。2007年12月起，已有來自蒙古、加拿大、蘇俄、中國、馬來西亞、美國、百慕達、英國、新嘉坡及法國等之104個鈾礦探採執照之申請。目前，已和蘇俄簽署雙邊協議進行鈾礦探採，區域位於Gurvanbulag and Dornod礦區。

蒙古的核能委員會建立於1962年之教育與文化部，2008年則提昇到國會，目前該委員會獨立，並由總理當主席。核能法規監督機構於1983年與1987年分別建立輻射安全標準與射源運送法規，其中後者以1985年IAEA的標準為依據。下列是蒙古許多要考慮核能政策議題：

1. 核能安全協定
2. 用過核子燃料管理安全和放射性廢棄物管理安全的共同協定
3. 核能材料的實體防護的協定的改正
4. 維也納會議核能損害責任
5. 與維也納會議和巴黎公約之共同協議

蒙古的核能法規包含

1. 2001 與 2003 年之輻射防護與安全法規
2. 上述法規之 2008 年修訂版
3. 2003 與 2005 年之災害防護法規
4. 2000 年之無核武宣示法規
5. 1983 年之輻射安全標準法規
6. 1983 年之輻射環境衛生法規
7. 1987 年之射源運送法規

目前蒙古國會正在審議核能法，蒙古最大的政治團體是蒙古人民革命黨(Mongolian People's Revolutionary Party)。蒙古政府成立 MonAtom 公司發展與處理核燃料基礎建設，目前已有超過 12 個相關機構擁有執照股權。鈾礦估計保有 65000 噸，推測的還有 130 萬噸。鈾礦資源的發展對蒙古的經濟影響甚大。未來，蒙古將和蘇俄保有雙邊協議，極有可能在濃化處理技術與 IUEC 進行合作。蘇俄的核能反應器採 VVER-1200 封閉式循環之設計，提供鈾濃化技術與燃料，燃料為租賃並可取回，並提供長期貯存與再處理服務。

蘇俄

IUEC 是蘇俄一家國際鈾濃化中心，它在 Angarsk 亦有低濃化鈾(LEU)的銀行。在 March 17, 2009. International Nuclear Fuel Cycle Conference, London，各國都瞭解到核能計畫的重要性。正如英國總理 Gordon Brown 提到的，使用核能所顧慮的三點(1)核武的威脅(2)使用核能使得秘密發展核武的風險(3)面對氣候變遷考慮核能之急迫需求。英國始終是贊成在 IAEA 監督下核燃料循環可採多國合作，以建立核燃料循環銀行方式，可確保燃料的提供無虞。2009 年 4 月 1 日之 G20 London 高峰會，蘇聯總理 Dmitriy Medvedev 與美國總統 Barack Obama 亦提到在 IAEA 監督下核燃料循環可採多邊合作，以增進效益，確保延伸使用核能的計畫，及保有使用之權力與義務。IUEC 的成立就與上述理念不謀而合。參予成為 IUEC 的會員，必須有下列條件：

1. 承諾核能的使用，必須為防核武目的
2. IUEC 會員國須與 IAEA 合作
3. 須使用 IUEC 在蘇俄製造的任何鈾原料(粉末、顆粒、燃料組件等)
4. IUEC 會員國須主要採用 IUEC 的燃料，而自己並不發展製造技術

成為 IUEC 會員也必須是股東之一：

1. 以市場價格獲得燃料的保證，增進能源產出的安全性
2. 保證取得鈾濃化後的燃料，以作為產能之來源

3. 根據蘇俄法律，保有各項權利
4. 防核武使用之領域

佔有不同股東百分比可享不同的權利，若欲取得全部 16 項明列的權利，該股東須佔有超過 75%之股份。想申請成爲新的會員，需由現有的會員國行使同意，會員維持的期間爲 10 年，新申請之股份交易，需由蘇聯政府的投資機制控制，並由蘇聯總理核可。目前 IUEC 在中期的發展計畫(2010-2015)包含建立 LEU 燃料銀行、增募新的會員國、評估與決定投資計畫、提供新產品給股東；長期計畫(2016-2030)則是讓 LEU 燃料銀行可以待命啓動與執行投資計畫。

中國大陸

中國大陸(中國)的人口佔世界第一，其天然資源之大宗屬水力，蘊藏 400GWe，佔世界第一，燃煤蘊藏大於 1000 Gt，佔世界第三。燃煤、石油、天然氣之人均量分別有 90 t、2.6 t、1074 m³，亦分別爲世界平均值的 2/3、1/9、1/23。其國內的能源供應可以符合 94%之需求。預計 2020 年，總能源需求爲 3.0 Gtec，電力需求 1250 GWe。能源使用最嚴重的問題是石化燃料佔大宗 77%，造成二氧化碳排放的問題，再生能源只佔 0.8%不敷使用。因此，發展能源貯存技術、拓展水力發電、鼓勵再生能源的使用(特別是風能)、加速發展核能，已成爲能源使用的國家重要事項。2008 年的暴風雪災害損害了燃煤的交通，此舉催化核能的加速發展。預計 2020 年，將有 40 ~ 70 GWe 的需求，並可負擔超過 5%之電力需求。2006 年中國有三個核能電廠，11 座機組，總載 9 GWe，未來的需求更明顯增加。從 2004 年 9 月起至 2008 年 11 月止，已建廠之規畫電力有 41.2 GWe/40 個機組，持續(2009~2010 年)在內陸要建造的則有 18 GWe/3 個機組。

中國發展核能的主要問題則包括人力資源的品質、儀器製造的能力、核能安全的監控系統的改善，及核子燃料循環策略。中國即將建立整合核子燃料循環的問題，以有效解決核能使用的問題。目前，核子燃料循環的後端是核能工業的弱點，一座 50 tHM/a 之先導型用過核

子燃料再處理廠已完成初步測試，許多研究計畫正協助該廠未來之穩定化運轉。商業化之再處理廠預計 2025 可以完成建造，燃耗度可達 45 MWd/kg。目前的核能電廠中，絕大部分是以熱中子式鈾-235 核分裂為能源。有鑑於地球上的鈾礦資源畢竟有限，美、法、英、日、德、俄等核能工業較先進國家，更進一步的研究發展出可以較經濟利用鈾燃料的快中子滋生式反應器（FBR），簡稱為快滋生反應器。快滋生反應器可將熱中子反應器無法利用的鈾-238，利用高能量中子撞擊轉化為鈾-239，繼續作為核燃料。「滋生」是轉化出來的燃料鈾-239，比消耗掉的鈾-235 還要多，「滋生」可讓鈾燃料充分利用率，達到輕水式反應器的 60 倍。唯目前最領先的快滋生反應器法國「超級鳳凰號」（Super Phenix）電廠，除在技術上尚有部份地方待改進外，其經濟性與可靠性亦無法與輕水式核電廠相抗衡。未來計畫之 FBR 核能電廠更倡議將燃料儲存、再處理、製作與組合及廢料處理等集中於核能電廠內進行，以收便於經營與安全可靠的效益，因此中國已推動商業化快滋生反應器之建造。用過核子燃料最終處置計畫已於 2006 年擬定，2020 年將完成建造地下實驗室，預期 2060 年可以進行地質最終處置。由於中國採取封閉式核子燃料循環，高濃化鈾(HEU)、分離鈾及部分技術牽涉核武擴散敏感技術，因此中國仍需尋求國際合作，並承諾防核武的和平用途。目前，IAEA(2006 年)、蘇俄(2006 年)與美國 GNEP(2006 年)等國際性用過核子燃料循環的構想皆為中國可以依循的。發展核能之同時，使用核子燃料”從搖籃到墳墓”的觀念，對許多使用核能的小國家與欠缺良好處置母岩的國家而言，是最被容易接受的。與其它國家類似，中國對核子燃料循環的發展，仍在技術可行性、經濟競爭性、政治議題與公眾接受等方面，尋求國際的對話與合作進行之；因此，中國支持 IAEA 所提的核子燃料的取得是基於核子燃料架構 3 個階層的協議下 (Framework of 3 level arrangement)與蘇俄之國際鈾濃化中心的觀念。在後端的部份，中國支持在 IAEA 的監督下採取安全性的區域合作，亦支持用過核子燃料送回原來國家的觀念，這對一些急需核能的國家，是一個吸引的選項，國際社會需要對此再討論。

在防核武使用核能之技術，例如離心與雷射技術，當有能力產生 4%之濃化鈾，就有可能生產 HEU 的風險。再處理技術中，一般是避免產生純鈾的產物(如法國的 COEX)，及鈾與 MAs 及 FPs 的混合產物(美國 UREX+)。只要能獲得鈾-鈾產物，就很輕易可以獲得純鈾。若能將鈾再循環使用，即使用現代的熱中子反應器或未來的快中子反應器即能破壞分離出來的

銻。中國將對用過核子燃料與可能分離出來的銻善盡管理之責、強化國際的監督機制與發展安全防護的技術。

日本

日本在 2009 年 4 月商業化的輕水式反應器共 53 座，提供 47.9 GWe 電力，達到總需求電力之 25%。預計在 2020 年運轉之 3 個輕水式反應器(3.7 GWe)已在建造中，及另 10 個輕水式反應器(13.6 GWe)亦已在規畫中。日本 METI 在 2009 年 6 月宣布(1)到 2020 年核能將負擔 40% 的能源，並可符合負擔 50% 之非碳能源(2)現存核能電廠使用最大化，即法規允許工業在提升自我效益下提高電力負載(3)減少對核電廠投資的風險(4)安全管理用過核子燃料之貯存容量(5)整合管理國際核能事務之機構，併入類似委員會的組織。目前日本的核燃料管理由 JNFL 執行，位置位於青森縣六所村。自 1966 年起至 2049 年，合計與預計產生 63600 tU 之用過核子燃料，除了 8100 tU 已由英國、法國、日本再處理完，另 32000 tU 將在未來 40 年內進行再處理。此外，依據每年 900 tU 用過核子燃料之產生，核電廠只剩約 8 年的貯存量。日本約需 12 年才能消耗現存的 31.8 t 之分裂銻。鈾之再處理的運轉從 2006 年 3 月 31 日啓動，425 t 之用過核子燃料已在 2008 年再處理，將回收 364 tU，分裂之銻有 2.3 t，用於 MOX 燃料之製造。目前玻璃固化程序暫時保留，需要更多 R&D 協助。在六所村的 MOX 製造廠，每年消耗 130 tHM，預計在 2015 年商業運轉。日本發展自己的離心技術以濃化鈾，濃化鈾純度將小於 5%，目前產能 1050 tonSWU/yr，預計 2020 年將達 1500 tonSWU/yr。低放射性廢棄物在 2008 年將累計 208107 桶(200 liter /桶)，最終將達 3 百萬桶(~600000 m³)。高放射性廢棄物自 1995 年已確認將貯存 50 年，目前容量已達 1440 罐(HLW canister)，已在六所村建造貯存設施中。高放射性廢棄物最終處置技術已在日本中部岐阜縣東濃與北海道幌延等二個場址進行。原型快滋生反應器(FBR; Monju, 280 MWe)已在 1995 年因鈉外釋而關機，目前研究的技術問題尚未被克服，仍未被核准啓動，截至 2006 年，快滋生反應器的總經費只達全部核能研究經費之 1/3。

綜觀之，日本仍需規畫核能與核子燃料循環長期工作，用過核子燃料再處理與銻存量及 FBR 的問題進展並不很順利。未來，日本核子燃料循環將推動 3 個原則與 3 個方式，分別為國際化、透明化、經濟可行性，與無過剩敏感物質、善用核子燃料循環選項及銻存量處理，

與國際銻貯存概念。

(五) 公共與利害關係承諾

韓國 KAERI 與美國 Sandia National Lab.說明之「公共與利害關係承諾」(PSE)方法應用於核子燃料之管理。韓國的引言特別提到加拿大與英國等 8 個國家(機構)的發展，並舉例加拿大 NWMO 與英國 CoRWM 的概念。韓國 KAERI 自 2006 年即已開始 PSE 相關的研究，成員包括大學團體、KAERI、KINS、KHNP 與其他機構，主要是肩負韓國政府以 PSE 達成對核子燃料管理的責任。利害關係人理論(Stakeholder theory)是一個組織管理和商業道德的理論，用於解決組織管理中的道德和價值問題。將利害關係人的概念與理論帶入企業管理的領域內，首先要界定「利害關係人」是在一個組織中會影響組織目標或被組織影響的團體或個人，因此，一位企業的管理者如果想要企業能永續的發展，那麼這個企業的管理者必需製定一個能符合各種不同利害關係人的策略才行。舉例而言，若從核子燃料循環管理觀點提出國家的經營策略來看，國家除了注重使用核子燃料的效益外，必需同時關注社會、經濟、環境及所有的國民或團體才行，類似以國家擁有者為核心的一個同心圓，層層向外擴散，社會、經濟、環境及所有的國民或團體皆為利害關係對象與人。

韓國特別說明他們對使用核子燃料的前、後端的各種選項(不同再處理、放射性廢棄物貯存與處置方式等)對於資訊公開程度、費用的分析等提出說明。美國則特別從法規、申照程序、資訊公開等說明高放射性廢棄物與用過核子燃料的管理、YMP 與 WIPP 的案例等說明 PSE 的應用。簡單而言，對核子燃料管理的「公共與利害關係承諾」即是國家(或對應的權責單位)若能透過法規的明確性、資訊公開、技術審議監督、經濟效益、社會與環境的保護等角度說明使用核子燃料正面價值超過負面，而值得作為能源選項，故能延伸對核子燃料循環管理之必要性與合適性作出最有依據的說明。

(六) 下次會議建議議題

大會在結束各項議題之演講及討論後，提出下次會議建議議題，包含：

- (1) 國家核能政策之更新

- (2) 品保記錄的發展
- (3) 核能設施安全防護
- (4) 國家核能政策選項之量化模擬
- (5) 核能設施參訪
- (6) 協助核能新興國家的過程
- (7) 知識管理
- (8) 核子燃料的供應
- (9) 用過核子燃料的後端管理
- (10) 公共與利害關係承諾方法應用案例

會議議題的發表則採下列方式進行議程分類：

- (1) 實用性
- (2) 即時性
- (3) 技術分類
- (4) 透明化

(七) 結語

本次會議本所已全程參與會議議題之發表，藉討論防核武擴散核能相關議題，瞭解各國發展的現況，會議上與會議後的討論皆能展示經驗之分享，本次會議在會議間或散會後，已與美國、韓國、日本、台灣、中國、蘇俄、越南、印尼、馬來西亞、泰國、蒙古等國家之不之演講者有所談論與交流，確實觀摩與記錄各國核能發展、核子燃料循環、實體防護與其它相關成果現況等。此外，特別與東亞新興的核能國家，包括越南、印尼、馬來西亞、泰國等有更深的交流，期於未來有機會能在最終處置的研究經驗上有所分享。本報告將綜合心得與交流成果等，於最後之建議事項中提出具體建議，期能藉由未來核子燃料循環整體解決方案之產生，進而對我國核能管制與相關部門在策略推動與資源運用投入有所助益。

四、建議事項

本次會議在瞭解與記錄東亞各國之核能發展現況已說明如前，在會議期間與各國演講者討論相關議題及建立未來聯絡管道，綜合所獲心得，建議如下：

- (1) 我國核能電廠用過子燃料在未進入乾式貯存前，暫時於核電廠冷卻池存放。目前台灣電力公司已展開用過核子燃料乾式貯存設施之建造工作，並直接進入地質最終處置之研發階段，後者經費主要投入潛在處置母岩之現地調查與實驗，預計 2055 年進行最終處置；在此發展期間視國際情勢仍不排除再處理之可能性。惟現階段之再處理選項與目標並不明確，最終處置在本地廢棄物罐、緩衝材料研究甚為缺乏，主要經費直接投入不確定性甚高的場址調查，並忽略國內社經因素與民眾接受的議題。因此，建議應全面分析與正視核子燃料循環前端與後端的問題與選項，從國際政治現實、國家能源策略、經費、公共接受與利害關係承諾等，比較各類方案，作為國家核能運用之方針與資源的投入。目前看來，尚欠缺核子燃料循環前端與後端的整體解決方案，故相關經費的投入應審慎規劃為之，發展策略是否應修訂定位在”核子燃料循環管理與研發”，而不是”最終處置”，此宜再檢討。更甚者，應考慮擬定國家級的核子燃料循環發展策略，以供國內全面發展之導引。
- (2) 目前東亞之新興核能國家，包括越南、印尼、馬來西亞、泰國等對核能發電需求殷切，建廠計畫已分別推動中，本所近年來在最終處置之功能安全評估已獲得具體成果，建議可推動交流進行展示，以作為我國在核子燃料循環管理後端部分的貢獻。在會議期間與各該國演講者已有溝通與初步想法，皆願意接受我國成果展示或推動交流。
- (3) 日本在協助亞洲各國之防核武擴散核能之和平使用不遺餘力，南韓在發展和平使用核能再處理技術政策之推動甚具說服力，其作為與方法皆值得我國在推動核能相關政策之參考。
- (4) 蒙古鈾礦區的發展，亦值得我國未來考量最終處置替代方案之可能性。
- (5) 未來的會議我國應持續參與，並發表有關核子燃料循環管理策略與技術成果。本次會議建立之聯絡管道應繼續保持，以獲得未來各國發展現況資訊及，並推動與東亞各國交流與合作之可能性。
- (6) 主辦人 Dr. YS Hwang 已在會場當面邀請，若有機會希望我國與南韓可進一步交流最終處置之研發成果。本所近年來在最終處置獲得功能安全評估成果應可與南韓交流與展示。

五、附 錄

圖 1、各國參加者之合照



圖 2、韓國：再處理

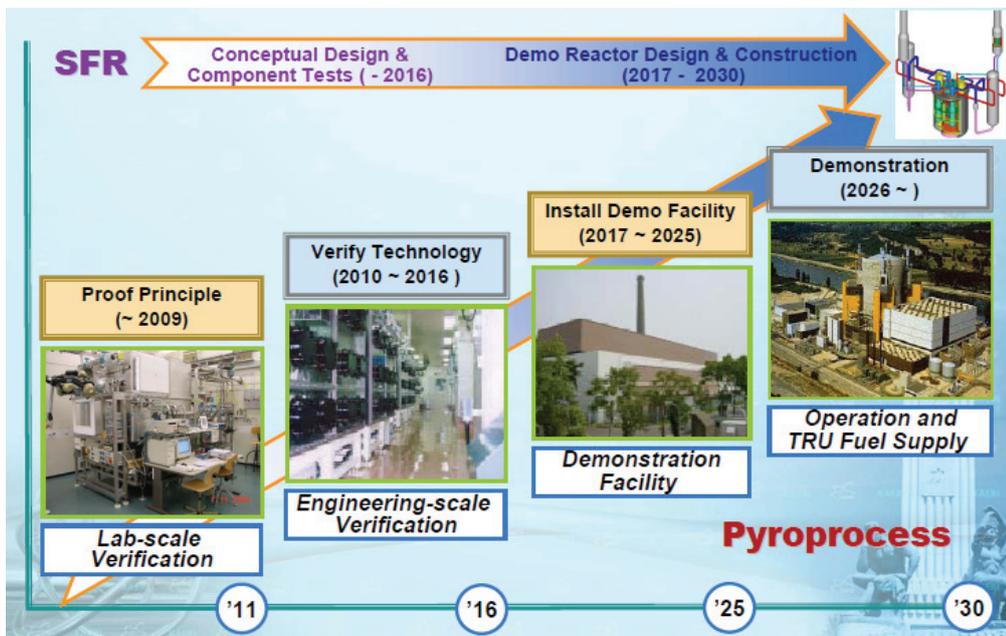


圖 3、越南：電網之規劃

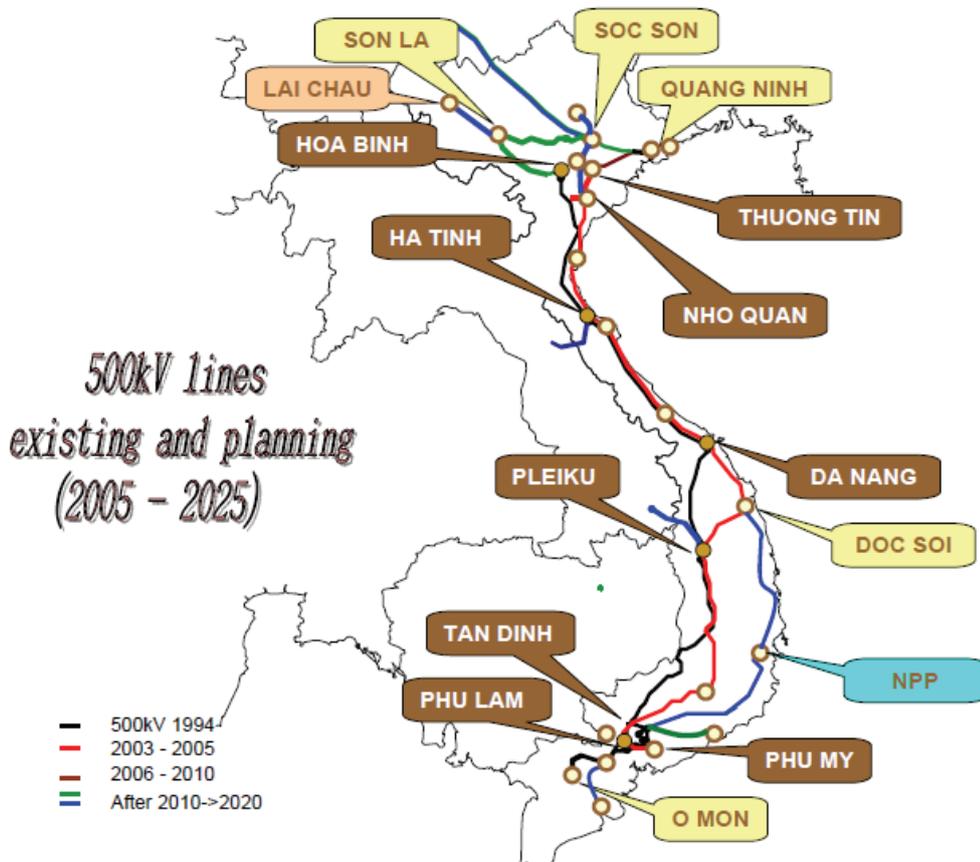


圖 4、印尼：核電廠廠址

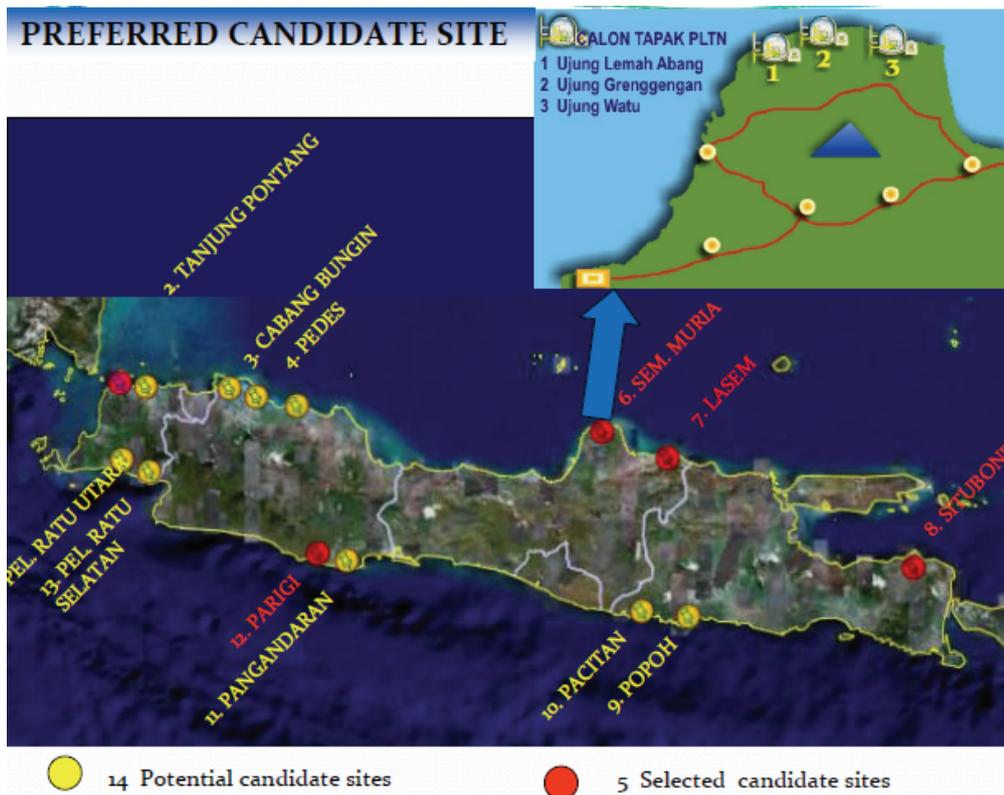


圖 7、蒙古：地理位置

