

行政院所屬各機關因公出國人員報告書  
(出國類別：其他)

參加第十五屆太平洋盆地核能會議(PBNC)

出國人 服務機關：行政院原子能委員會  
職 稱：局長、副處長、科長、技正  
姓 名：陳煥東、李若燦、牛效中、侯榮輝

出國地點：澳洲

出國期間：95年10月14日至10月21日

報告日期：95年12月21日

## 摘要

太平洋盆地核能會議 (Pacific Basin Nuclear Conference, PBNC) 是在太平洋核能理事會 (Pacific Nuclear Council, PNC) 推動下，由太平洋沿岸國家的學術團體輪流舉辦的國際會議，從 1976 年開始，每兩年召開一次。由於太平洋地區是世界核能發展最為活躍的地區，故 PBNC 在世界核能界極具影響。

行政院原子能委員會由放射性物料管理局陳煥東局長率領本會及附屬單位共 5 人之代表團前往澳洲雪梨，參加 95 年 10 月 15 日至 10 月 20 日第十五屆太平洋盆地核能會議 (15PBNC)。陳局長並以貴賓身份於大會發表專題演講，展現我國核能管制之優良績效。此外，經由參與此會議，可掌握國際核能發展動態，並與核能先進國家人員意見交流，增進聯繫管道，吸取管制經驗。

# 目 錄

摘要

壹、出國目的與行程 .....	4
貳、15PBNC 會議過程紀要 .....	6
參、會議重要內容 .....	24
肆、心得與建議 .....	47
附錄、會議議程 .....	48

## 壹、出國目的及行程

### 一、出國目的:

- (一)、參加民國 95 年 10 月 15 日至 10 月 20 日在澳洲雪梨舉行之第十五屆太平洋盆地核能會議 (Pacific Basin Nuclear Conference, 15PBNC)，物管局陳煥東局長並以貴賓身份，代表歐陽主任委員於大會發表專題演講，展現我國核能管制之優良績效。
- (二)、團員除宣讀論文之任務外，經由參與此會議，可掌握國際核能發展動態，並與核能先進國家人員意見交流，增進聯繫管道，吸取管制經驗。

## 二、出國行程

此次奉派出國，行程如下：

日期	時間	活動內容
10/14(六)	21:45	離開台北
10/15(日)	11:45	抵達雪梨
	17:30~19:00	報到及歡迎晚會
10/16(一)	09:00~18:00	1、開幕大會 2、大會專題演講及分組討論
10/17(二)	08:30~18:00	大會專題演講及分組討論
10/18(三)	08:30~18:00	大會專題演講及分組討論
10/19(四)	09:30~18:00	1、大會專題演講及分組討論 2、閉幕大會
10/20(五)	08:30~18:00	參加大會之 Technical Tour
10/21(六)	11:40	離開雪梨
	19:10	抵達台北

## 貳、15PBNC 會議過程紀要

### 一、PBNC 會議簡介

1976 年，美洲核能協會（ANS）聯合環太平洋地區之核能相關組織在夏威夷舉辦第一屆太平洋盆地核能會議（Pacific Basin Nuclear Conference, PBNC）。之後，每兩年環太平洋地區便舉辦一次 PBNC。1985 年，經 ANS 與韓國核能組織提議，「太平洋盆地核能合作委員會」（Pacific Basin Nuclear Cooperation Committee, PBNCC）應運而生。四年後，PBNCC 經改組而成為太平洋核能理事會（Pacific Nuclear Council, PNC）。當時之創會會員包括美、加(2)、韓、日(2)、墨等五國共七個會員團體。我國與大陸於 1990 年同時加入，澳洲核能協會於 1991 年加入。之後，美洲核能協會拉丁美洲分會與印尼核能學會（1996 年）相繼加入；1998 年泰國核能學會與俄羅斯核能學會以觀察員身份成為 PNC 之新會員，俄羅斯 2002 年成為正式會員。PNC 目前共有 14 個會員團體與 1 個觀察員團體。該理事會設有理事長、副理事長，任期二年。每兩年由理事會選出副（準）理事長，二年後接任理事長。

太平洋盆地核能會議（PBNC）是在太平洋核能理事會推動下，由太平洋沿岸國家的學術團體輪流舉辦的國際會議，從 1976 年開始，每兩年召開一次。我國亦曾成功舉辦過第八屆會議。PBNC 大會的宗旨是促進核能技術的交流，為太平洋地區核能的開發和全世界核能事業的發展作出貢獻。由於太平洋地區是世界核能發展最為活躍的地區，故 PBNC 在世界核能界極具影響。第十五屆太平洋盆地核能會議於民國 95 年 10 月 14 日至 10 月 20 日在澳洲最大城市雪梨舉行。

## 二、出席本次會議之國家名稱問題

原能會出席第 15 屆 PBNC 會議前，為因應大陸可能抗議我國於會議中所使用國家名稱問題，除於會議前積極向大會主辦單位表達我國立場外，本會並於 9 月 25 日拜訪外交部並依該部建議擬妥因應對策及聲明稿，並於 10 月 11 日出席該會議之行前會議中請本會與會人員配合辦理。

第一天(2006 年 10 月 15 日)我代表團報到出席歡迎晚會時，大會發給的名牌明明白白的寫著 TAIWAN R. O. C.(如圖一所示)。與會大陸代表發現後，即向大會提出抗議，大會執行長 Dr. Hardy 隔天(10 月 16 日)向我們提出說明，並非常抱歉地請我們更換名牌，新的名牌改為 TAIWAN(如圖二所示)，之後即未聞大陸代表再抗議，故大會主辦單位對我國展現的友好態度是有目共睹的，分析原因，除大會執行長 Dr. Hardy 與主任委員歐陽敏盛博士有很深厚的友誼外，國科會駐澳代表處科技組組長曾東澤博士在當地的辛苦耕耘，也顯露了成效。

除了個人名牌外，大會提供的出席會議代表團名冊中，我國名稱原亦為 TAIWAN R. O. C.(如圖三所示)，因為報到時，該名冊就已隨資料分送所有與會代表，所以大陸代表也無從抗議。

綜合言之，我國出席第 15 屆太平洋盆地核能會議，大會原以 Taipei, China 稱呼我國，經本會積極協調大會主辦單位、拜訪外交部提供因應對策、召開行前會議統一發言、改由物管局局長代表主任委員宣讀論文等相關措施，會議中大陸代表提出政治性問題干擾下仍成功爭取我國代表以 Taiwan 名稱與會，除保留本會於國際上適當發聲機會外，並成功維護我國尊嚴。

為表示對 Dr. Hardy 之感謝，陳渙東局長特代表歐陽主委致贈禮物予 Dr. Hardy，本會與會人員也把握機會與 Dr. Hardy 合照。



圖一：大會原以 Taiwan R.O.C 稱呼我國



圖二：經大陸抗議後，改為 Taiwan



圖三：大會代表團手冊以 Taiwan R.O.C 稱呼我國





陳煥東局長代表歐陽主委致贈禮物予 15PBNC 執行長 Dr. Hardy



我代表團與 15PBNC 執行長 Dr. Hardy 合影

### 三、會議議程

第 15 屆太平洋核能會議在澳洲最大城市雪梨舉行，超過 1300 人參加這場盛會，共發表 200 多篇的口頭論文與 50 篇的壁報論文。我國與會人員包括原能會四名（陳煥東局長、輻射防護處李若燦副處長、核管處牛效中科長、綜計處侯榮輝技正），核研所一名（同位素組林武智組長），台灣電力公司一名（黃平輝博士），清華大學二名，工研院二名，核能科技協進會一名（樂元琦先生），合計十一名，共發表 6 篇口頭論文，3 篇壁報論文。

本次會議總共有 25 個國家 309 人參加(如表一所示)，除了主辦國澳洲有 91 位代表出席居冠之外，南韓 49 位居次。由此可知，南韓在核能領域上充滿了企圖心，該國不但很多人參加，在現場也擺了一個很有特色的大攤位，另外在會議進行中也提出不少挑戰性的問題，可能是看到核能的復甦，想在國際間建立更高的知名度，以便與歐美先進國家爭食核能工業這塊國際大餅。

表一：出席 15PBNC 國家及人數統計表

國別	出席人數	排 名
澳洲	91	1
韓國(南韓)	49	2
美國	36	3
日本	33	4
俄羅斯	28	5
大陸	18	6
加拿大	17	7
台灣，中華民國	11	8
阿根廷	11	8
英國	6	9
法國	4	10
德國	3	11
匈牙利	3	11

奧地利	2	12
馬來西亞	2	12
墨西哥	2	12
南非	2	12
比利時	1	13
捷克	1	13
埃及	1	13
印度	1	13
印尼	1	13
伊朗	1	13
義大利	1	13
摩納哥	1	13

本次會議主題為「Nuclear Science and Engineering for a Sustainable Society」，大會是以迎接「核能產業大有作為」的心情來舉辦這次的會議。

溫室效應造成全球暖化議題，2005年2月16日京都議定書正式生效，加上自2004年來國際石化燃料能源供應不穩定的壓力(石油、天然氣、煤炭價格飆漲)，再生能源供應仍緩不濟急的情況下，美國總統布希於2005年8月8日簽署新的能源法案，宣示美國將恢復興建核電廠，帶領全球進入核能復甦(Nuclear Renaissance)的時代。美國核能管制委員會將招募600核能專業人才，以因應美國核電廠的興建，其他國家也紛紛增聘人才，因為核能景氣長期疲軟，適當的人才爭求不易，人才的培訓，也是本次大會要推展的目標

本次會議則在主辦國澳洲工業、觀光與資源部長 Ian Smith 代表政府致辭後展開，討論議題包括核能發電、核能科技發展、核燃料循環、安全與管制、研究用反應器設計及應用、非核擴散與核子保防、核子醫學、公眾資訊與教育等8個項目，分為36個技術分組會議進行研討。每一議題都分別安排有邀請演講(invited speech)，一般報告與壁報展示，最後一天(12月20日)安

排 Technical Tour，三者擇一參訪。

1. 澳洲核能科技組織 (Australian Nuclear and Technology Organization, 簡稱 ANSTO)，陳渙東局長參加。
2. 澳洲國家醫用迴旋加速器中心 (National Medical Cyclotron)，李若燦副處長及侯榮輝技正參加。
3. Steritech's 商業用照射場，牛效中科長參加。

#### (一)開幕儀式(10月16日上午)

10月16日上午之開幕儀式在 15PBNC 大會主席 Ian Smith (ANSTO 執行長)主持下，由主辦國澳洲工業、觀光與資源部長致辭，宣達澳洲對能源的重視與對世界能源資源的供應，澳洲擁有全世界鈾存量的 36%，以後還會持續供應原料給各國使用，最重要的訊息是部長宣佈澳洲將建立核能電廠，並進行鈾的濃縮工廠，以供應燃料棒給各國使用，以提高鈾輸出的附加價值。

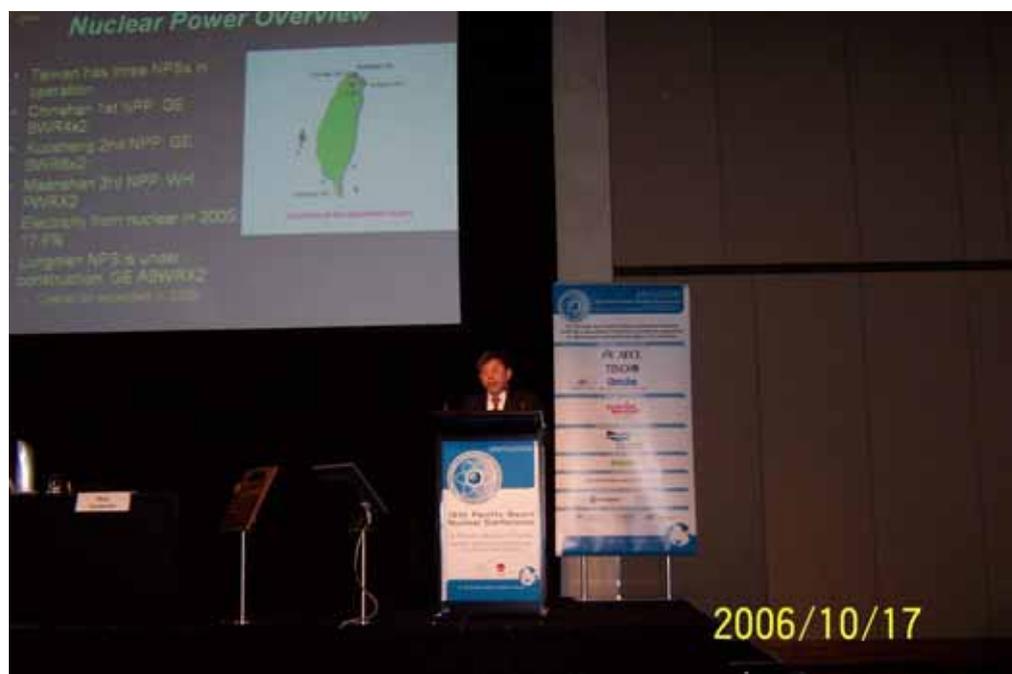
接著由澳洲核能協會主席 John Harries、澳洲工程師協會副會長 Rolfe Hatley、卸任 PNC 主席 Paul Fehrenbach 分別致詞。

#### (二)全體和技術分組會議

此次會議邀請貴賓發表專題演講人數約 30 人，另有口頭發表之技術論文 200 多篇及 50 篇壁報論文。

陳渙東局長代表主任委員應邀於 10 月 17 日上午發表專題演講，題目為「Recent Achievements in Regulating Nuclear Power Activities in Taiwan」，內容精采，博得與會者的好評。與會人員問及，鑑於南亞海嘯事件，我國核四廠耐海嘯設計可否確保核能電廠安全無虞，陳局長表示，核四廠在設計之初即依美國 10CFR50 之規定，將耐海嘯納入考量(核四廠廠址發生海嘯預估最高海潮海拔是 8.57 公尺)，因此可確保核電廠安全無虞。此外，陳局長於 10 月 17 日下午 2 時，擔任研究用反應器及其應用

(Research Reactors and Applications)技術分組的主席。本會人員發表論文題目及時間詳如表二。



陳煥東局長代表主任委員應邀於 10 月 17 日上午發表專題演講

表二 原能會人員發表論文題目及時間一覽表

編號	姓名	發表論文時間	發表論文題目
1	陳煥東局長	① 1030/1017 ② 1400/1017 ③ 1520/1018	① Recent Achievements in Regulating Nuclear Power Activities in Taiwan (代替主委宣讀論文) ② <b>Session Co-Chairman</b> of Research Reactors and Applications - Design and Function ③ Current Status on the Spent Fuel Dry Storage Management in Taiwan
2	李若燦副處長	Poster Number P04	Improvement of ALARA in Taiwan Nuclear Power Plants
3	牛效中科長	1730/1018	Recent Regulatory Experiences on BWR Recirculation System Inspection Findings in Taiwan
4	侯榮輝技正	1440/1018	Nuclear Safeguards Implementations in Taiwan
5	林武智組長	1420/1018	Current Status and Future Prospect of Medical Radioisotope in Taiwan

1. 陳煥東局長於核燃料循環議題中，發表一篇論文，報告我國用過核燃料乾式貯存的管理現況。台電公司為紓解核能一廠用過核子燃料之貯存壓力，於 94 年 7 月委託核研所於廠區內興建乾式貯存設施，核研所經評估後，決定引進具有多年營運實績的美國 NAC 公司混凝土護箱，並依我國環境特性進行部份設計變更，以符合國內需求。台電公司將於最近提出核一廠用過核燃料乾式貯存設施之建造執照申請。預定 2009 年起開始啟用這項貯存方式，2011 年底前設置完成 30 組貯存護箱，可貯存 1680 束用過核燃料，大大紓解濕式貯存槽的存放壓力。

原能會為建立用過核子燃料乾式貯存設施之管制技術，曾委請台灣大學與清華大學等學術機構，進行相關審查技術之研究，並依放射性物料管理法之規定，訂定相關管制法規。於 94 年 9 月起，邀請學者專家組成審查團隊，95 年 5 月間，選定與核能一廠乾式貯存設施系統類似之 NAC-UMS 貯存護箱及加州 Diablo Canyon 核能電廠乾式貯存設施（類似核能一廠環境條件），先後進行審查研究，使相關審查委員能先期瞭解審查內容與法規要求。為確保本案審查之公正、客觀，本會與美國、日本之核能管制機關及研究機構已建立合作機制，審查期間將邀請美國核管會、能源部 Sandia 國家實驗室，以及日本原子力基盤研究機構等國外專家協助審查，保障審查品質，確保設施之安全。

為使審查作業公開透明，本會於接獲台電公司興建申請後，將於本會網站公開相關訊息，並依規定將相關申請文件公告展示、接受民眾意見及舉行聽證，屆時歡迎各界對該設施之設置安全，提供寶貴意見，協助本會嚴密審查該設施之安全，以確保民眾健康與環境品質。

2. 核能管制處牛效中科長在安全與管制議題中發表一篇論文，題目為台灣沸水式核能電廠再循環系統管制經驗，論文作者為核能管制處高斌博士、張欣科長及陳處長宜彬。該篇論文主要為針對沸水式核能電廠再循環管路及噴射泵組件應力腐蝕龜裂議題，說明我國沸水式核能電廠針對該議題之改善做法，以及原能會對此議題之重視及所採取之視察管制作為，論文中並就歷年來核一廠二部機組及核二廠二部機組大修期間，依據營運期間檢測（ISI；Inservice Inspection）計畫以及爐內目視檢查（IVVI；Invessel Visual Inspection）計畫，檢查再循環管路及噴射泵組件之結果及趨勢作一整體性之評估及報告，此外亦就近年來在再循環管路及噴射泵組件所發現應力腐蝕龜裂之案例，說明台電公司之處置方式以及原能會基於管制單位之立場，對於該等案例之安全管制作法及管制方式。

本篇論文報告結束後，各國與會人員提出問題，問題內容包括針對原能會視察人員的作業方式、應力腐蝕龜裂議題是否納入在沸水式核能電廠經驗回饋事項、報告中所提到之檢測作業乃至發現龜裂後覆焊或修理等作業是否有程序書供遵循等事項，經報告人逐項答覆，相信此篇論文在國際會議的場合中發表，以及問題答覆的互動過程中，應可使與會各國代表對於我國核能安全管制工作，乃至於視察作業之執行等方面，有相當程度之認識，此外對我國核能發電現況也能初步有所了解。

3. 輻防處李若燦副處長在核能科技發展議題中有一篇壁報論文，係有關於核能電廠人員劑量合理抑低(ALARA)之成效。原能會將大修人員劑量合理抑低(ALARA)管制列為重點工作項目，請各電廠訂定劑量抑低目標值，研擬具體施行計畫，本會定期追蹤。

近年來我國三座核能電廠人員劑量合理抑低之執行已見成效，其中尤以核一廠具突破性的進步，該廠創新之主動認養服務，更被台電公司選為年度輻安楷模。核一廠 2004 年體劑量值 1.03man-Sv/unit，已進入世界核能發電協會 (WANO) 單年集體劑量指標之前四分之一。2005 年更創下國內所有沸水式(BWR)電廠大修集體劑量最佳成績。

4. 綜計處侯榮輝技正在非核擴散與保防議題中發表一篇論文，題目為台灣核子保防的實踐，闡述我國核子保防的歷史、核子保防的相關法規條文及我國核子保防執行的現況，包括料帳檢查與申報、定期視察、無預警視察、保防協定補充議定書資料申報、補足性進入、透明度訪查、年度核子保防會議及核子保防訓練等事宜。

總署從 1965 年開始，就在我國執行核子保防視察，我國的表現一向良好，獲得總署好評，所有的視察報告也顯示，我國的核子保防作業合乎總署的規定。我國雖於 1971 年 10 月退出聯合國，但仍於同年 12 月 6 日簽訂台、美、總署三邊核子保防協定，繼續接受總署執行之國際核子保防。1998 年 9 月 14 日我國更率先以換函方式與總署完成保防協定補充議定書簽署作業，足證我國雖然被迫無法加入國際組織，但仍善盡地球村一員之義務，防止核武器蕃衍，以及致力核能和平用途之決心。

本篇論文報告結束後，與會人員問及核子保安是否也是原能會的權責，侯技正表示原能會綜計處核子保防科負責全國保防業務，核技處則負責核子保安業務。

5. 本次大會有安排同位素生產應用的一個討論會，由物管局陳煥東局長與阿根廷籍的 Pablo Abbate 博士當主席。核研所同位素

組林武智組長在核子醫學議題上發表一篇論文，題目為”Current Status and future Prospect of Medical Radioisotope Application in Taiwan”，介紹臺灣醫用同位素與相關藥物應用研究發展的情況與將來推展的目標。此外，加拿大、澳洲及印尼也報告了該國的同位素生產應用現狀。

加拿大 Nordion 公司是典型的國際公司，輸出量驚人，佔有歐洲 17%、美國 50%、南美 80%、與日本 85% 的同位素市場。Nordion 公司特別強調其供應的可靠性，具有足夠的彈性空間，現有的設備產能為需求量的兩倍，但為了如期如質，可靠的供應需求，預留維修與臨時當機的調配空間，保證能夠將同位素即時送達。澳洲 ANSTO 屬於政府單位，與核研所的定位相近，ANSTO 佔有澳洲 85% 的市場，澳洲因為只有一部中型迴旋加速器及一核子反應爐，維修與當機無法生產時，可向國外調貨補充，如無法則停止供應，協調取得醫院的諒解。印尼的同位素生產還未成氣候，一切還在努力中。

### (三)、閉幕會議(10月19日下午)

閉幕會議由澳洲核能協會主席 John Harries 主持，由卸任 PNC 主席 Paul Fehrenbach、新任 PNC 主席 Clarence J. Hardy、及下屆 PBNC 主辦單位日本核能協會(Atomic Energy Society)代表 Kazuaki Matsui 分別致詞。下屆 PBNC (16PBNC) 預定於 2008 年 10 月在日本青森舉行，依慣例，由主辦單位代表進行下屆 PBNC 之介紹。茲將歷屆 PBNC 開會時間與地點彙總如表三。

表三 歷屆 PBNC 開會時間與地點一覽表

第一屆	1976	美國夏威夷	第二屆	1978	日本東京
-----	------	-------	-----	------	------

第三屆	1981	墨西哥阿卡普爾科	第四屆	1983	加拿大溫哥華
第五屆	1985	南韓漢城	第六屆	1987	中國北京
第七屆	1990	美國聖地牙哥	第八屆	1992	台灣台北
第九屆	1994	澳洲雪梨	第十屆	1996	日本神戶
第十一屆	1998	加拿大班芙(Banff)	第十二屆	2000	南韓漢城
第十三屆	2002	中國深圳	第十四屆	2004	美國夏威夷
第十五屆	2006	澳洲雪梨	第十六屆	2006	日本青森

#### (四)參訪澳洲核能科技組織(ANSTO)

參觀當天，10 點抵達 ANSTO，由於此機構之研究工作有機密性，不允許帶入手機、相機及電腦設備。首先以 10 分鐘介紹 ANSTO 的組織架構、研究設施、任務及目的，接著以 20 分鐘介紹研究用反應爐 -Open Pool Australian Light-Water Reactor (簡稱 OPAL)。簡介完後，參訪 OPAL 及放射性廢棄物處理中心。

ANSTO 為澳洲國家核能及發展機構，也是澳洲核能人才的中心（類似我國的核能研究所），目前約有 860 位員工，屬於澳洲教育、科學及訓練部(Department of Education, Science and Training, 簡稱 DEST)。

本次參訪的主要設施為最新完工 20MW 研究用反應器 OPAL。OPAL 已於今(2006)年 8 月起開始運轉。自 1958 年來已運轉將近 50 年的 HIFAR (High Flux Australian Reactor)反應器將於 OPAL 正式運轉後，功成身退。

OPAL 重要任務之一，為中子照射產生放射性同位素，也可用於工業界，譬如中子活化分析及輻射照射。另一重要任務，為進行中子束相關之科學研究，為此，ANSTO 於 2002 年起在 OPAL 旁邊成立了 Bragg Institute 進行中子散射的相關研究。目前 OPAL 規劃了八個實驗站，台灣實驗站是現在唯一澳洲以外投資的實驗站，國科會與 ANSTO 簽有「台澳中子散射應用合作合約」。

參訪 OPAL 結束後，緊接者參訪其放射性廢棄物處理中心。ANSTO 有超過 25 年的核廢料固定化技術，可將廢料轉成穩定的固體型態，使核種不致散逸。ANSTO 以特製的陶瓷 (ceramic) 及玻璃陶 (ceramic glass) 的材質，經過特殊處理技術 (共 3 個步驟: 廢料前處理及混合，鍛燒及強化)，將放射性廢料給予固定化。ANSTO 將此具低風險、低成本特色的放射性廢料固定化處理技術，稱為 Low-Risk Nuclear Waste Forms，目前成功的應用有以下四種:

(1) Low-Risk Nuclear Waste Forms for Mo-99 Radiopharmaceutical Production :

ANSTO 已經以反應器照射鈾靶生產 Mo-99 超過 30 年了。ANSTO 已經發展出一種極為耐久的合成岩母體，來鎖住這種生產所導出的鈾廢料，一個用來固定化 ANSTO 從鈾 99 生產所導出的廢料工廠正在發展中。

(2) Low-Risk Nuclear Waste Forms for INEEL SBW & HLW Calcines :

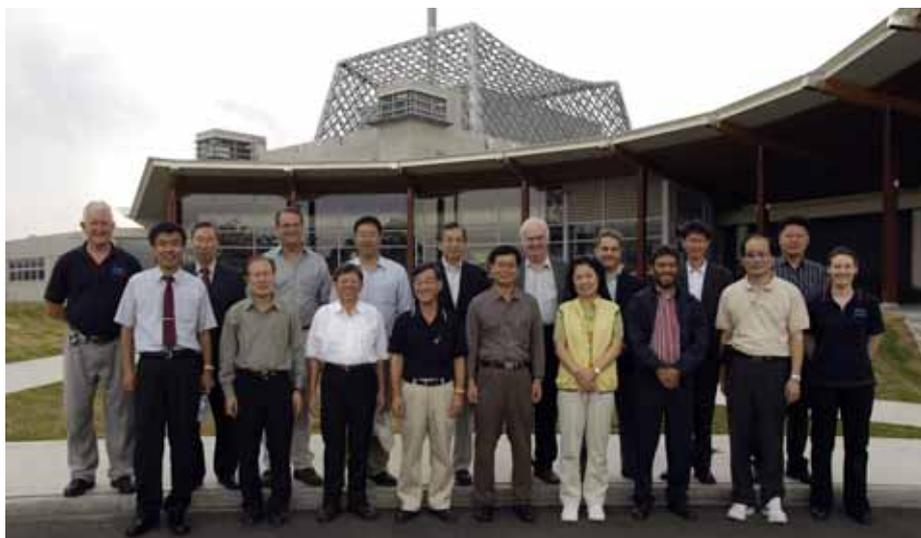
針對 INEEL (Idaho National Engineering and Environmental Laboratory) 實驗室所生含鈉廢料 SBW (Sodium Bearing Waste) 及高放射性廢料鍛燒物，ANSTO 已發展出來一種固定化處理技術，材質為玻璃陶複合材料廢料體。

(3)Low-Risk Nuclear Waste Forms for Technetium, Cesium, Strontium & Iodine :

針對含有鎳、銫、鋇及碘的廢料，ANSTO 已發展出來一種固定化處理技術。

(4)Low-Risk Nuclear Waste Forms for Plutonium & Actinides :

針對含有鈾及錒系元素的廢料，ANSTO 已發展出一種固定化處理技術，材質為鈦酸鹽陶廢料體(titanic ceramic waste form)。



陳煥東局長與參訪 ANSTO 人員之合照

(五)參訪澳洲國家醫用迴旋加速器中心(National Medical Cyclotron)

10/21 星期五早上，由會議地點希爾頓飯店搭乘專車(約 20 分鐘)達國家醫用迴旋加速器中心，該中心隸屬於澳洲核能科技組織(ANSTO)，但位於澳洲雪梨大學的教學醫院 Royal Prince Alfred Hospital(RPAH)內，如此可就近與雪梨附近各醫院之小型迴旋加速器相互競爭，因 ANSTO 至雪梨之距離較遠，對短

半衰期核醫藥物之提供較不利。

該中心的 30 MeV 中型迴旋加速器係比利時 IBA 公司生產 (IBA Cyclone-30) ，自 1992 年 3 月開始運轉(核研所中型迴旋加速器自 1993 年開始)，以質子束照射產生放射性醫用同位素，主要生產鈾-201、鎘-67、碘-123、銦-111(In-111)等單光子放射的放射性同位素(自 1995 年，鈾-201、鎘-67 甚至輸出到紐西蘭)，與氟-18 與碳-11 正子放射性同位素，並利用快速的合成系統合成各種正子核醫藥物如氟-18FDG 及碳-11Acetate。

當天參觀時正好迴旋加速器在定期維修，我們得以進入機房，一窺迴旋加速器之結構，也參觀了靶體室、同位素生產鉛室、無菌試驗室、放射化學純度檢驗室及品管室等。參觀時，請教現場運轉人員，澳洲法規是否規定迴旋加速器運轉人員須領有主管機關所發給運轉人員執照，該運轉人員表示，該國無此項規定，但仍要接受一定時數訓練後使得操作之。比較起來，我國對於迴旋加速器運轉人員資格的要求嚴格多了，須經過原能會主辦之考試，始得領有運轉執照，才可操作迴旋加速器，原能會考試範圍包括理論與實務(現場操作)，亦須具備輻防專業知識。

#### (六)參訪 Steritech's 商業用照射場。

Steritech 公司是澳洲專營消毒除污之公司，自 1970 年代起該公司將加馬 (Gamma) 射線照射應用在消毒除污方面，目前是澳洲唯一僅有的輻射照射私人公司，醫療用品、藥物、化妝品、動物飼料、工業電纜、壓克力玻璃乃至穀物、農產品、草藥及香料等，均為其經營照射服務之物品範圍。該公司目前在全澳洲共營運三所輻射照射場，其中位於墨爾本附近的第一座照射場於 1971 年興建，位於雪梨近郊的第二座照射場則於 1986

年興建，第三座照射場則 2003 年底興建完成，位於布里斯班附近。

本次 PBNC 會議參觀行程於 10 月 20 日上午安排參訪位於雪梨近郊 Wetherill Park 之照射場，抵該照射場時，由外觀看幾乎與一般工廠無異，外圍僅有鐵網欄柵圍籬，亦無明顯名稱標示，進入內部後經過接待處則管制漸趨嚴格，除登錄進入人員姓名及證件外，並要求穿著簡單防護衣及劑量配章，該輻射照射場採用之射源及照射設施係由加拿大 MDS Nordion Ion Technologies 公司所生產，射源為鈷 60，丸狀 (Pellet) 的鈷 60 射源密封裝在不銹鋼圓柱體內，稱做射源筆 (Source Pencils)，射源筆再被排列固定在一個上下可移動的棚架 (Rack) 上，此棚架在備用狀態時下降至照射室下方之儲存水池中，當照射物品由自動化輸送帶輸送至照射定位時，帶有鈷 60 射源之棚架則由監控室控制上升至二排照射物品中間之位置，即開始執行照射作業，照射時間可由監控室調整控制，此外於每一批照射物亦張貼劑量計，以確認實際照射劑量，照射室以厚實之混凝土牆作為屏蔽，內部狀況則透過閉路電視可由監控室觀看。在參觀過程中，陪同人員除進行簡報外，並引導參觀待照射物品區準備區、自動化輸送設施、監控室及照射室等設施，亦展示照射過之成品，並提及在 2000 年前後，該公司籌畫於布里斯班附近之 Narangba 興建第三座照射場，同時首次向澳洲政府相關部門申請將對人類食用之食物進行加馬射線照射之計畫時，引發許多不同意見者聲浪不小之抗爭，後來此抗爭在 2003 年由政府公權力之介入而平息，目前澳洲政府在法規上則明確要求照射過的食物或物品，其外包裝上必須標示出為經過輻射照射之物品，其確保民眾知的權利以及自由選擇的權力之用心

不言可喻，整個參訪行程於下午 1 時左右結束。

## 參、會議重要內容與心得

### 一、核能發展部分

世界核能協會（World Nuclear Association）會長 Ritch, J. 先生於本次會議中，在『加速核能復甦』之演講中提及十年前核能復甦還只是流傳於業界的一個期望而已，如今核能再生已成為全世界共同討論的議題，由下列數項發展即可看出端倪，

- （1）新一代反應爐之研發不斷有進展；
- （2）多國合作研究使技術突飛猛進；
- （3）主要核能使用國家之容量因數及效率達到歷來最高；
- （4）由於全球核安文化之推動造就核能安全之優良記錄；
- （5）廢料深層處置議題在政治上已有所突破；
- （6）在發展中及已發展主要核能國家，相當多的核能興建計畫正在進行或規劃。除了主要經濟強勢國家對於核能之價值加以評估並肯定外，許多目前並未使用核能之國家例如波蘭、土耳其、印尼及越南等對於是否引進核能，已進入最後的決定性階段，至於曾經停止核能發電計畫的義大利，目前也已在重新考慮是否重啟核能大門，而此次 PBNC 會議地主國-澳洲，亦是世界上鈾礦蘊藏量最多的國家，其執政黨亦已於日前宣布將核能列為其未來之能源選項。

Mr. Ritch, J.表示未來雖然可預見還是會有反核的聲音出現，但其很有信心認為此種非理性反核的環保人士聲音終將日漸式微，將會被瞭解核能是提供潔淨、可靠以及大容量能源的理性聲音所取代。而現今真正的環境問題應是核能的發展得太慢了，大量使用石化燃料產生的二氧化碳污染環境，引致無法挽回的溫室效應，因此人類必須體認要完成全球潔淨能源革

命，核能的擴展定是其中的必要手段。

惟 Mr. Ritch, J 也提及在發展核能的同時，有二個重要問題必需考量，其一為業界或政府如何切合反映理性民眾關切的議題，其二為我們現階段必須要做哪些事情以加速核能復甦，民眾關切的議題包括核擴散問題、運轉安全性、發電成本抑低以及廢料處理等問題，至於加速核能復甦現階段要做得事，則包括（1）對於長程氣候變遷，應超越京都議定書建構一個具包容性的全球溫室效應排放制度，以釋放全世界轉向潔淨能源之訊息；（2）藉由塑造國家政策及國際合作，提升核能投資之優先度；（3）政府絕對必要採取鼓勵及支持之手段，積極介入核能人才之培育，以應付核能世紀所需。

經濟合作暨發展組織(OECD) 核能署 Mrs Bertel E.則在此次會議中由核能在經濟方面之競爭力及是否能持續發展發表演說，OECD 最近研究報告主要結論如下：

1. 以基載電力而言，燃煤、天然氣或核能發電並沒有那一種能源技術是絕對最便宜的，因各國家地區之條件或環境而異。
2. 核能的競爭力正在持續增加中。
3. 由於天然氣價格之上升，使得天然氣發電競爭能力已逐漸退讓。
4. 風力發電雖然不斷改進，但仍然缺乏競爭力。

最後在 OECD 報告中提及核能競爭力之增加主要有二個因素，包括核能運轉績效不斷提升以及火力燃料價格之居高不下，特別在大多數國家作為核能主要競爭對手之天然氣電廠，因火力燃料價格之提昇嚴重影響其經濟效益。特別是當未來各國政府積極考慮全球氣候變遷條約以及能確保供給之下，被視為自產及潔淨能源的核能及再生能源，相對於會產生二氧化碳

以及經常需仰賴進口之火力燃料而言，其競爭力將更為強勢。

接著中國大陸核工業集團公司副總裁 Changli Yang 指出，大陸目前有九座核能機組正在運轉中，預計在未來十五年，每年將興建二至三座核能機組。至 2020 年，將可提供 40GWe 的裝置容量，供應大陸百分之四的電力。

此外，日本和韓國亦報告其核能發電現況，已分別供應百分之三十三以及百分之四十的電力。韓國特別指出透過居民投票的方式，已經成功的在 2005 年選定放射性廢棄物最終處置場址，將於 2009 年開始接收廢棄物。

## 二、核能電廠興建部分

美國電力研究院 (EPRI) Sandell L. 於會議以美國新核能電廠研究及發展現況為題發表演講時，亦以下表說明目前許多美國電力公司已經或正準備向美國核管會提出建廠申請，大致的先期廠址許可 (ESP; Early Site Permit) 申請現況及預計未來提出聯合執照 (COL; Combined License) 狀況如下表：

電力公司	廠址	反應器形式	機組數目	ESP 申請	COL 申請
Dominion	North Anna	ESBWR	1	審查中預計 2007年核准	2007年
Duke	William States Lee	AP1000	2	直接申請 COL	2007 / 2008年
Entergy	River Bend	ESBWR	1	同上	2008年
Exelon	Clinton	未定	未定	審查中預計 2007年核准	未定
NuStart (TVA)	Bellefonte	AP1000	2	直接申請 COL	2007年
NuStart (Entergy)	Grand Gulf	ESBWR	1	審查中預計 2007年核准	2007 / 2008年
Progress Energy	Harris Florida(未定)	AP1000 AP1000	2 2	直接申請 COL	2007 / 2008年

S.C. E&G / Santee Cooper	Summer	AP1000	2	同上	2007年
Southern Co.	Vogtle	AP1000	未定	2006年送審 中	2008年
UniStar Constellation	Calvert Cliffs 或NMP	EPR	未定	設計審查併 COL申請	2008年
NRG Energy	South TexasB Project	ABWR	2	直接申請 COL	2007年
Amarillo Power	Amarillo附近	ABWR	2	預計2006年	ASAP
Florida Power & Light	未定	未定	未定	直接申請 COL	2009年
Duke	Davie County	AP1000	未定	未定	未定
Duke	Oconee	AP1000	未定	未定	未定

EPRI 報告中指出由於美國已相當長時間沒有新核能電廠興建之作業，因此使得核能工業界長期以來已被侷限在現有電廠的維護方面，工業界對於興建新核能電廠工程、製造、建築、供需等所需之人力及投資等資源都尚待考驗，而管制新核能電廠所需人力資源亦是另一個待克服之議題，因此核能工業的復甦現階段仍有技術、財務及管制方面之障礙有待適當解決，在其他與會人員之演講中，亦有多人提及類似問題，例如貝泰公司中國分公司副總裁王定南先生在其演講中亦提及，興建新核能電廠，仍有三領域值得注意，(1) 技術人力之來源，其中包括核能電廠所需的工程師運轉員保健物理技術人員等，顧問公司則需要設計建造及工程背景人員，核島區供應商需要設計及工程人員，管制單位亦有增加執照審查人員及建廠期間視察人員之需求，這些人員均需經相當時間之培養及招募，人才之供需管道是一大挑戰；(2) 設備供應之問題，特別是需有核能標誌 (N-STAMP) 之核能等級組件設備，是否有足夠之製造廠家以及其製造能量、品質等都值得重視；(3) 一旦新核能電廠大量興建運轉，現有核子燃料製造廠家之供應量以及其價格，

也是影響核能發展之重要因素。

EPRI 現階段主要為協助西屋 AP1000 及奇異 ESBWR 解決技術上之議題，例如在西屋 AP1000 方面，已獲得 ESP 的三個 AP1000 廠址中，其中有部分廠址在地震頻譜高頻部分超過 AP1000 廠房原始設計，EPRI 正協助解決此議題。另外 EPRI 亦參與協助西屋公司建立 AP1000 起動及運轉前測試計畫以及執行模擬器人機介面測試等事項，以能協助 AP1000 順利申請 COL。在奇異 ESBWR 方面，EPRI 曾參與其圍組體高溫效應之研究，現階段及未來，EPRI 亦將協助 ESBWR 取得核管會設計認可（DC；Design Certification）及後續申請 C O L 之作業。

### 三、新一代核能技術研發計畫

由於現階段世界各國對於新一代核能技術之興趣與日俱增，促使多項國際合作之研發新一代核能技術之計畫成型，本次 15 屆 PBNC 會議中，OECD/NEA 人員 Marcus G H. 於會中發表論文就目前進行中或發展中之主要研發計畫及 OECD 在其中所扮演之角色進行介紹。

在現有核能科技已提供人類所需能源多年之後，基於諸多因素之考量，例如核能安全性與經濟性進一步之提升、廢料處理所遭遇政治上之困擾、長程鈾礦資源之可用性以及對於防核擴散等，許多國家在近幾年來已體認到新一代革命型核能新技術之發展之必要性。在 OECD 報告中提及新的核能技術必須考慮下列因素：(1) 小型模組化以考量小容量電力系統之運轉經濟性；(2) 降低前端費用（front end costs）以增加核能在電力市場自由化下之競爭力；(3) 技術健全使得開發中國家在運轉上不需要太多之外來技術；(4) 機組可長期運轉不需填換核燃料，除減少所需 ON-SITE 專業技術外，並可降低核子擴散之可

能性；(5) 較高之輸出溫度配合製造氫氣或其他製程所需；(6) 更有效利用鈾之能源，除增進能源使用效率外並可減少處理廢料之困難度；(7) 增進燃料循環之防核子擴散能力。

根據 OECD 報告目前國際間主要有四個與新核能技術研發相關的計畫正在進行或籌畫中，包括第四代反應器國際論壇（GIF；the Generation IV International Forum），全球核能夥伴計畫（GNEP；the Global Nuclear Energy Partnership），國際核反應器及燃料循環創新計畫（INPRO；the International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles）及多國設計審核計畫（MDAP；the Multinational Design Approval Program）。

GIF 始於 2000 年初，由歐盟及阿根廷、巴西、加拿大、法國、日本、南非、南韓、瑞士、英國及美國等十個國家參與，GIF 主要為發展具有經濟性、安全性、持續性（指資源有效利用及廢料抑減）並兼有防核子擴散及具實體保護之新核子反應爐技術，該計畫目前已鎖定六種新技術作為其未來可能研發之選擇，初步達成協議由法國、日本及美國在現有技術基礎上研發液態鈉反應器。

GNEP 是由美國於 2006 年初所提出，主要為結合國際合作力量共同發展具防核子擴散及減少廢料負擔特性，並兼有可靠性之國際核燃料供應系統，此計畫兼具新燃料循環技術以及相關 BURNER 反應器之研發，此計畫與 GIF 之差異在於其著眼於 BURNER 反應器之使用，而 GIF 則希望藉由滋生反應器達到持續的核燃料循環，另外 GNEP 之時程較 GIF 短，因此其重點將擺在短期內能發展之設計概念上。

INPRO 由國際原子能於 2000 年底所發起，目前有 24 個國家加入，INPRO 計畫發展一種評估方法，參與會員國可由此方

法評估其本國對於核能技術之需求性以及界定最適合該國電力環境（例如電力系統規模等）之技術，目前已由部分會員國利用此方法開始進行評估，例如加拿大、日本、南韓等國正聯合進行使用快中子反應器搭配閉路燃料循環之評估，印度正在進行使用高溫反應爐之評估，而法國則亦進行由輕水式反應器轉換為第四代快中子系統之研討。

MDAP 由美國核管會於 2005 年倡議成立，主要為結合各國核能管制單位共同進行新反應器技術之設計審查工作，並共享資源，目前第一階段已成型，由於美國、法國及芬蘭均有應用 EPR 技術建廠之計畫，相關之國家均已雙邊協定方式達成設計審查資源共享之共識。第二階段則期望更多國家加入共同執行其他新一代反應器技術（例如 PBMR）審查工作。

#### 四、核電廠之安全管理

本次會議中國際原子能總署（IAEA）人員 Mr. Vincze, P. 發表演說介紹 IAEA 目前正在發展中之一套安全標準，該標準藉由引用整體管理系統（Integrated Management System）針對核子設施及其作業建構相關規定並提供指引，此套安全標準將取代 IAEA 過去所發行的核能電廠及核子設施品保法規 50-C-Q 以及其他於 1996 年發行的 50-C/SG-Q 系列指引。

根據 Mr. Vincze 表示，雖然近年來核能電廠可用率及運轉績效不斷提升，但仍有一些相當嚴重的事件陸續發生，針對這些事件分析結果顯示，技術上的問題往往並不是事件的癥結所在，而且這些技術上的問題通常在其他電廠過去均曾發生過類似狀況或較輕微之情形，絕大部分應可以現有科技適當的解決，事件的發生追根究底往往是夾雜管理上的問題，而讓狀況變的更複雜難以處理，經常是管理上、知識管理系統或是經驗

回饋等方面作的不夠確實，這些分析顯現的結果促使 IAEA 決定推動由傳統品保作業方式演進至整體管理系統，並據以建立一套安全標準，取代舊有的品保法規，Mr. Vincze 並以下表顯示管理上常見之缺失及可能顯示出徵兆。

	肇 因	說 明
1	管理階層過於自信或自滿。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 此通常發生在機組長期穩定運轉後。</li> <li>• 作業或計畫中未將工業界優良經驗持續納入。</li> <li>• 未曾與其他績效優良設施比較優劣點。</li> <li>• 忽視小問題或未評估其負面影響。</li> </ul>
2	改正行動計畫失效。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 未鼓勵工作人員發現及解決問題。</li> <li>• 管理階層對發現問題不重視，導致工作人員停止提出管理階層應注意之問題。</li> <li>• 小問題未經仔細評估其可能後果，導致未全面展開及納入相關之計畫或作業中。</li> </ul>
3	對於運轉經驗的評估及應用不足。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 其他電廠所發生的事件或議題未仔細評估以及經驗回饋未納入相關之計畫或作業中。</li> </ul>
4	對於廠外稽查人員、視察人員或管制單位的發現不作改進或甚至不接受。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 管理階層或許認為廠外人員發現不會如描述的嚴重，潛意識認為描述有偏差。</li> </ul>
5	管理階層過於重視績效，有時甚至忽視安全影響。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 對於增加績效之作法未詳細評估其對風險增加之影響。多重作法造成對風險影響之放大效應未能有透徹之評估及瞭解。</li> </ul>

IAEA 將建立新的安全標準分為三部分，包括 (1) 安全要求 GS-R-3：此文件將於 2006 年發行，其中明確描述核子設施及作業管理系統之規定；(2) 安全指引 GS-G-3.1：此份文件亦將於 2006 年發行，其針對 GS-R-3 每一項規定對應提出指引；(3) 安全指引草案 DS349：此文件預計於 2007 年發行，將針對核子設施管理系統提出特定指引。IAEA 建構此新的安全標準其目標希望能夠協助核子設施建構一套達到下列目的之有

效管理系統：

- 整合管理核子設施各方面之要求於一體，包括核安、保安、環境、品質、人員健康及安全等。
- 能持續推動改善。
- 清楚明列計畫性及系統化之作業，且確信透過這些作業將使得相關規定及要求均能夠符合。
- 協助強化及改善安全文化及組織文化。

除了 IAEA 外，PNC 亦體認核能法規及標準之重要性，於 2000 年末期成立任務小組，其目的即希望透過檢視各會員國所使用之核能法規及標準，加以調整建立一套核能法規及標準提供會員國及其他非會員組織參考使用，該任務小組已於 2000/2001 年間開始運作，2005 年末，PNC 進一步成立工作小組以涵蓋更廣的需求，工作小組未來必須針對設計與研發、工程、採購、製造、測試、運轉、維護、廢料管理、除役及管理等方面發展出合理及一致性準則，並鼓勵太平洋盆地之核能電廠引用，以達到下列目標：

- 在核能及其他和平用途之核技術領域，推動一致化之安全、品質、環境及管理標準。
- 鼓吹 PNC 會員國率先引用
- 降低製造、施工、測試、運轉及維護成本
- 促進及推動備品之共用
- 促使與其他地區或國際標準與準則之一致化
- 準備及執行訓練及講習研討會，以加強太平洋盆地國家對這套一致化之法規、標準及準則應用之了解。

本次 PBNC 會議中，工作小組召集人加拿大籍之 Mr. S.S.Dua 說明進度及現況，其指出由於 IAEA 同時亦在建構新

的安全標準，因此 IAEA 即將辦理一系列之講習研討會，PNC 在 2006 年 6 月亦提出計畫，將在 2007/2008 間與 IAEA 舉辦國際聯合講習研討會。此外，PNC 工作小組已召開過數次講習研討會或會議，其中亦包括與美國國家標準局 (NIST) 之核子設施標準委員會 (Nuclear Facility Standards Committee) 會談，在與一些 PNC 會員國討論後目前確認二個重要之標準，包括 IAEA 發展的安全標準 GS-R-3 以及美國機械工程師學會 (ASME) 鍋爐與壓力容器法規，由於多國參與發展或因已廣泛被引用，因此將考慮納入範疇內，最後，Mr. S.S.Dua 則指出，核能法規及標準是核能工業界維持安全、可靠及品質不可或缺之要件，因此 PNC 及此工作小組鼓勵會員國踴躍參與此項核能法規與標準之相關活動。

美國核能管制委員會(NRC) 委員 Mr. Peter Lyons 應邀在會中表示，美國近年來為了因應核能工業的挑戰所採取的措施如下：

(一)採取以風險為導向的管制(Risk-Informed Regulation)，

其三項原則為：

■ 洞悉風險(Risk Insights)

■ 縱深防禦(Defense in-Depth)

■ 安全餘裕(Safety Margin)

(二)為了達成有效管制(Effective Regulation)，以維持設施的安全營運，採取以下的作法：

■ 訂定技術上合理(Technically Sound)的法規。

■ 鼓勵民眾參與(Public Participation)，聽取民眾或利害關係人的對法規或管制的意見。

以上的措施可簡化現有核能電廠與未來新建核能電廠的

管制與核發執照作業，放寬不必要的管制，對核能電廠的發展極具正面效益。NRC 採取的作法頗值得國內採行應用於核能安全與輻射防護的管制。

## 五、輻射防護部分

澳洲輻射防護及核能安全局(ARPANSA) Dr. Peter Burns 介紹 ICRP 2006 年建議報告摘要，在致命癌症及遺傳效應的風險比以往所估計的稍為降低，並採用修訂的組織權重因素 (Weighting Factors)，乳房的權重因素自 0.05 增加至 0.12，生殖腺的權重因素則由 0.20 降低至 0.08。ICRP 2006 年建議報告強調劑量約束(Dose Constraints)的觀念，劑量約束是輻射防護的最基本的層次，可用在預期輻射劑量以及最適化管理。劑量約束值分為三個劑量區：1 毫西弗(mSv)以下；1 毫西弗至 20 毫西弗；20 毫西弗至 100 毫西弗。劑量約束的管理架構詳述於附表。設定劑量約束可保護工作人員使其接受的劑量在 100 毫西弗以下，緊急救災人員的劑量並無限度，但應儘可能抑制在 1000 毫西弗以下(理想是在 100 毫西弗以下)，以防止嚴重的身體組織傷害。又在民眾曝露方面，具有代表性的個人(Representative Individual)將取代過去關鍵群體的觀念。此外，ICRP 2006 年建議報告強調最適化管理可預防輻射曝露於未然，設施經營者與主管機關都有責任採用最適化原則，並積極的展開對話，以提昇安全文化。

在低劑量輻射效應的研究方面，此次 PBNC 會議已是連續第二次將低劑量輻射效應列入為專題討論，顯示主辦單位對此領域的重視。美國華盛頓大學的 Dr. A Brooks 的論文指出需要大量的輻射才可能誘發癌症，並導致致癌率增加。在比較輻射曝露族群與對照族群的致癌率時，輻射曝露族群與對照族群的

差異性，例如非健康員工效應(unhealthy worker effect)或其他未知的因素，可能是顯示較高致癌率的主因。因此，在接受低劑量輻射後，輻射劑量與癌症的關連性不易建立。

加拿大研究學者 Jerry Cuttler 接下來指出，採用過於嚴格的輻射防護標準將增加民眾對輻射的恐懼，例如會增加民眾對於輻射彈(Dirty Bomb) 的恐慌，不願接受核能發電產生所少量的放射性廢棄物可能導致的微量風險，而使得民眾對於輻射的認知難以改變。Cuttler 亦引用 Dr. Theodore Rockwell 的一段話，認為核能界與外界的溝通能力不足，是一項基本的問題。如果我們認為核能事故會導致數以千萬計的民眾死亡，或相信極小量的輻射會引起危害，核能界的信任度(Credibility)將因而受損。

澳洲輻射防護學會的 Mr.Higson 亦撰文指出：依據低劑量輻射效應與氬氣劑量的研究顯示，吸煙是一個重要的混淆因素(Confounding Factor)，對吸煙者而言，吸煙易與輻射產生協同效應(Synergistic Effect)而影響致癌風險的估算。澳洲輻射防護學會並於會議中準備的聲明中指出對於數百毫戈雷(100mGy)的加馬與貝他輻射而言，會產生兩種生物效應，一種會引起細胞的損害而導致癌症，另一種會啟動細胞保護機制，包括防止、修復以及損害移除作用，以防止細胞受損，這種現象稱為調整性反應(Adaptive Response)。由動物實驗顯示，大於 100mGy 的劑量，對細胞的損害將會增加。該聲明中強調低劑量輻射效應必須徹底加以瞭解，並以科學的證據協助制定適當的法規，並協助社會作出技術上的決定。

加拿大 McMaster 大學的研究學者 K. Schnarr 認為每個人對輻射的反應並不相同，對輻射敏感者而言，其修復與去除受

損細胞的能力較一般人為低，研究輻射照射後的細胞自毀作用 (Apoptosis)，即可分辨個人的輻射敏感度。研究顯示約有百分之五至十的病人在接受輻射照射後顯現輻射敏感的負面反應，這種現象對輻射防護管制及放射治療深具意義。澳洲 Flinders 大學醫學中心的 P.J. Sykes 指出，研究細胞突變的方法不少，但是能偵測細胞在接受極低劑量輻射後，DNA 突變的頻率的方法卻很少，由於接受極低劑量輻射後，正常細胞 DNA 突變的頻率非常低，因此須要偵測極為大量的細胞。如果採用 DNA 自然突變的頻率較高的細胞作偵測對象(例如前列腺組織細胞)，就比較容易偵測到極低劑量輻射對人體細胞的正面或負面作用，僅須偵測少量的細胞即可達到研究目的。Sykes 發現 pKZ1 活體偵測技術可成功的用在接受低劑量輻射(1 或 10 毫戈雷 mGy) 後 DNA 突變頻率的變化，對研究低劑量輻射的生物效應助益很大。

附表：ICRP2006 年建議報告工作人員及民眾之劑量的約束架構

預期有效劑量- 緊急或每年(毫西弗 mSv)	情況特性	輻射防護規定	案例
20 至 100	在失控情況下，民眾受曝於輻射源的劑量。 輻射曝露通常由曝露途徑加以控制。 個人不一定因曝露情況而受益。	應設法抑低劑量。 應告知個人接受的輻射風險及抑低劑量的行動等資訊。 應評估個人所接受的劑量。	緊急輻射事故需疏散時的劑量約束。
1 至 20	個人因曝露情況而受益(並非直接因曝露而受益)。曝露可由輻射源或曝露途徑加以控制。	告知民眾抑低個人劑量的資訊。 在計畫的情況下，應採個人劑量監測並接受訓練	在計畫的情況下，職業曝露的劑量約束。 住宅內氡氣的劑量約束。

1 以下	個人並未因曝露於一輻射源而直接受益，但社會因而受益。可由預先規劃的輻射防護要求控制射源。	應備妥輻射曝露的資訊。定期檢視輻射曝露的途徑以查核曝露程度。	在計畫的情況下，民眾曝露的劑量約束。
------	--	--------------------------------	--------------------

## 六、核子保防

Los Alamos 國家實驗室 Mr. Klasky 的論文介紹用過核燃料再處理廠的核子保防作業。由於美國及國際原子能總署對於用過核燃料再處理設施內，核物料料帳之正確性要求提高，故該論文對再處理設施之核子保防作業提出了所謂「縱深防禦」(Defense-in-Depth) 的觀念，共分五層：

- 核物料衡算(Nuclear Material Accountancy)
- 提高圍阻 / 監視及問卷設計資料之查證(Enhanced Containment and Surveillance and Design Information Verification)
- 提高處理程序之監控(Enhanced Process Monitoring)
- 確保鈾(Curium) 料帳之平衡(Complete Curium Inventory and Balance)
- 增加資料採礦(Enhanced Data Mining)

### 核物料衡算

核子保防的兩項基本措施是核物料衡算(Nuclear Material Accountancy, 簡稱 NMA)及圍阻 / 監視 (Containment and Surveillance, 簡稱 C/S) ，內容包括查證核物料、定期結算核物料實物存量、監控核物料流程中之測量或關鍵點。

NMA 重要概念為，基於物質守恆原理，在核物料平衡區

(Material Balance Area)中，不明物料量(Material Unaccounted For，簡稱 MUF，係指帳面存量減去目前實物存量的結果)在正常情況下應為零，若是出現非零情況，總署將評估其嚴重性，雖並不表示有不當轉用核物料情形，但至少顯示其可能性。

測量核物料方法可分為破壞性量測分析法(Destructive Assay，簡稱 DA)與非破壞性量測分析法(Nondestructive Assay，簡稱 NDA)，其中 DA 法分析結果通常比 NDA 法精確但是卻很費時。

NMA 的觀念對再處理設施及一般核設施是一樣的，但本論文強調，在再處理設施中以破壞性量測分析法(DA)度量核物料時，應加強其時效性。

#### 提高圍阻/監視及問卷設計資料之查證

總署對核物料料帳管理的查證過程中，圍阻與監視(Containment and Surveillance 簡稱 C/S)可減少總署視察頻率以節約經費，也可減低總署視察員輻射劑量以及減少干擾設施運轉等目的。圍阻及監視主要目的，是監視所有挪用路徑或可能的秘密接觸等，以確保只有宣告核物料移轉流動及核設施裝置沒有不當使用。例如核電廠大修時錄影監視爐心燃料裝填等活動，或是在用過燃料池安裝攝影裝置定時拍照並定期查看影像。常見的作為安裝籤封(seal)、透過視訊錄影監控及使用輻射儀器偵測。

本論文強調，在再處理場中，提高圍阻與監視作為是，若某個流程不可能有可分裂核物料(如 Pu)之出現，則應透過非破壞性量測分析方法(NDA)來確認之，以避免核物料的不法移轉。相對的，如果某個流程會產生可分裂核物料(如 Pu)，可透過破壞性量測分析方法(DA)或非破壞性量測分析方法(NDA)度量

之，該論文認為所有方法中，吸收光譜法（Absorption Spectrophotometry）最值得推薦的。

### 提高處理程序之監控

處理程序之監控可確保整個再處理過程是在可掌控的環境範圍內進行，譬如溫度、pH 值及濃度等參數。如果再處理過程不在原預設定參數範圍內進行，或有不正常之操作，此程序監測系統可發現之。

### 確保鈾(Curium) 料帳之平衡

透過全球核能夥伴計畫（Global Nuclear Energy Partnership, 簡稱 GNEP）新開發的用過核燃料再處理技術 UREX (URanium Extraction, 鈾元素的萃取)，其最終產物之一是 Pu/Cm(鈾)/Am/Np 的混合體。但由於鈾放出中子的量遠比其他三個核種多，所以可透過非破壞量測分析方法量測到鈾，其他三個核種因放出的中子量太少而無法量測。此外，透過用過核燃料的燃耗(burn-up)程度，可由鈾量推估 Pu 及 Np 的量。在整個再處理過程中，如果核物料被不法移走，鈾也會被移走；故若整個流程中，鈾量可達到平衡，那表示核物料沒被不當挪用。

### 增加資料採礦(Enhanced Data Mining)

資料採礦(Data Mining)就是用來將資料中隱藏的資訊挖掘出。這篇論文述及，在一些案例中，總署可利用現存的一些資料來提高核子保防效能(以往總署卻不知道可利用這些資料)。譬如，當用過核燃料進入再處理設施後，可透過所度量的總體中子量(gross neutron)來推估用過核燃料的燃耗，如此總署可比較設施運轉人員所宣告的用過燃料燃耗與總署所推估燃耗的差異程度，以了解經再處理後核物料量的可能範圍。

Los Alamos 國家實驗室另一篇論文(作者為 Mr. Schanfein)

介紹總署的無人看管監測系統(Unattended Monitoring System, 簡稱 UMS)現況。圍阻與監視(C/S)是核子保防措施之一，主要目的是監視所有核物料移轉流動，確保核設施裝置沒有不當使用。C/S 作法除使用封籤，以錄影帶監視外，這篇論文介紹目前總署發展的無人看管式監視系統(UMS)。

無人看管式監控系統(UMS)，常針對特殊的核設施而設計，並採用 NDA 方法進行核物料量測。UMS 的特色為，可一天運轉 24 小時，甚至全年無休地連續監控核物料之移動，以確保核子保防作業之實踐，若核設施有狀況，也可及時採取因應措施。

為確保 UMS 的穩定，該系統配置有多重(redundant)的感應器(sensor)及數據貯存庫，以及不斷電系統。總署正朝建置 UMS 標準化的軟硬體設備努力，以減少總署的維修及訓練費用。此外，為了確保傳輸過程資料之正確與保密，總署也正進一步發展相關技術中。

除了可長期監控核設施活動外，UMS 的主要優點如下：

- 可減少總署的視察人力及資源。
- 在惡劣及高輻射性的工作場所中，可減少總署視察人員及核設施工作人員的輻射暴露劑量及工作危險性。
- 減少對核設施工作人員的干擾。

常見的 UMS 系統如下：

#### ATPM(Advanced Thermo-hydraulic Power Monitor)

該系統可藉由度量主冷卻水的流量與溫度，來監控研究用反應器的輸出功率(power output)，以確認該設施之輸出功率與所宣告者是否相同。

#### ENGM (Entrance Gate Monitor)

該系統為被動式中子偶合柱型偵檢器(Passive Neutron Coincidence Collar Detector, PNCL)，安裝於 Pu 燃料反應器設施，可監測含 Pu 的新燃料束。新燃料進入核設施前一定要經過 ENGM，以偵測 Pu 含量。

#### REPM(Reactor Power Monitor)

該系統為中子監測系統，常被安裝於反應器生物屏蔽牆外，以偵測反應器的運轉功率。

#### UFFM (Unattended Fuel Flow Monitor)

無人看管式的燃料流程監視系統(UFFM)利用中子與 gamma 輻射偵測器，可監控新燃料進入反應器，用過核燃料離開反應器到用過燃料池，及用過核燃料離開燃料池等活動。

#### CONS (Input Flow Verification System)

為一輻射監測系統，常被安裝於大型的用過核燃料再處理設施，用以追蹤所有照射過燃料的移動情形。

#### VIFM(VXI-based Flow Monitor)

為一輻射監測系統，可計數多少照射過燃料束退到用過燃料池或監測照射過燃料束退出爐心之情形，具有高可靠度、偵測靈敏度大及不受運轉功率影響等優點。該系統目前大都安裝於 CANDU 設施，有二種不同型式之設計：VIFB(CANDU Spent Fuel Bundle Counter) 及 VIFC(CANDU Core Discharge Monitor)。

總署自 1980 年代就開始安裝 UMS，由於軟硬體科技的快速進步，從 2000 年到 2004 年，IAEA 每年約建置 10 個新的系統，至 2004 年 8 月止，於 22 個國家，44 個核設施中，共安裝了 90 個 UMS。因核設施類型與活動種類的不同，總署必須開發各式特殊之監視設備，且這些設備須具有高可靠度，才能符

合需要。

## 七、放射性廢料管理

瑞士 ARIUS 協會 (Association for Regional and International Underground Storage) Mr. McCombie 於受邀專題演講中，提到核能復甦(nuclear renaissance)與放射性廢料之關係。有些原本要除役的核電廠，也考慮提出延役，像瑞典、比利時、及德國等，雖然已有核能復甦的跡象，但如此更顯示出核廢料管理的重要性，尤其是用過核燃料處置部分，他預測未來全世界會投入更多經費於放射性廢料之處理、貯存及處置等。

目前全世界的用過核燃料絕大部分暫存於臨時貯存設施中，等待再處理或深層地質處置，但並非每個國家均有適合的地質條件，或是充足的財力來做深層地質處置，另外對一些使用核能較少國家而言，也不符成本，故用過核燃料的處置可透過國際或區域合作的方式來解決。除了經濟效益外，因場址由數國共有，場址變得較少，可更有效地執行處置場之建造、使用與監督。此外，由於處置過程的透明度極高，可以降低核子擴散的可能性，達到國際原子能總署核子保防的目的。

Mr. McCombie 表示，過去幾十年來，輻射安全及環境影響等議題對放射性廢料管理及核能發電的影響很深遠，而這些議題也影響各國對建核電廠及處置場的投入程度，相對地也影響了國際合作的可能性，此外各國對放射性廢棄物輸出入規定亦不盡相同，如進行國際合作，法規亦應配合修訂。

他的演講介紹了一些放射性廢料管理區域或國際合作的過去與現況，譬如盤古計畫(The Pangea Proposal)、防止核子擴散信託計畫(Non-Proliferation Trust International, NPTI)、

SAPIERR 計畫(Support Action: Pilot Initiative for European Regional Repositories)。

加拿大用過核燃料管理機構(Nuclear waste Management Organization, 簡稱 NWMO) 執行長 Mr. Shaver 發表一篇論文,說明 NWMO 已於 2005 年 11 月提出用過核燃料管理方針,供加拿大政府決策參考。

2002 年 11 月生效之加拿大用過核燃料法(Nuclear Fuel Waste ACT, 簡稱 NFWA)要求成立用過核燃料管理機構(NWMO),該機構由加拿大三家核電公司出資於 2002 年底成立。2002 年底,國會通過法案,規定 NWMO 應於 2005 年 12 月 15 日前提出用過核燃料長期管理方案、執行計畫與時間表。

自 2003 年起,NWMO 即啟動一個為期 3 年的計畫,除了技術、社會、環境及經濟層面的考量,並透過充分的民意溝通後,NWMO 於 2005 年 11 月底前如期地提出一個稱為可調整多階段性的用過核燃料長期管理方案(Adaptive Phased Management),其彈性原則為:由於未來處置技術及民意的變化均難以預測,此方針也保留給後代子孫得以重新檢視這一代所做決定的彈性。該方案重點為:

- 對人類及環境應善盡保護之責任,不僅考慮到這一代,也考慮到後代子孫。
- 由於未來處置技術及民意的變化均難以預測,此方針也保留給後代子孫得以重新檢視這一代所做決定的彈性。
- 透過階段性的用過核燃料管理決策以保留彈性。
- 邀集專家、利害關係人(stakeholder)及民眾(含原住民),一起討論溝通,以更多的資訊、更透明的決策,讓民眾有信心。

- 最終會將所有核反應器廠址的用過核燃料集中到一深層地質處置場包封及隔離，該處置場的岩石特質為 Canadian Shield(加拿大地盾，Canadian Shield 為地質學上世界最大的大陸盾之一)的結晶岩或 Ordovician 沉積岩。
- 在深層地質處置場運轉前，將提供一個淺層地下的貯存設施作，以便將所有核反應器廠址的用過核燃料集中臨時貯存(與深層地質處置場同一場址)，或將用過核燃料續貯存於各核反應器廠址。
- 持續的技術研發，達到比法規更嚴之標準。
- 深層地質處置場運轉後，持續作監測，以確保處置場的效能與安全。
- 保留可回收用過核燃料的彈性，除非後代子孫已決定要將深層地質處置場完全封閉。

該方案分為三個階段，茲簡述如下：

第一階段：集中式用過核燃料管理(central used fuel management)的準備階段(為期約 30 年)，其重點如下：

- 將用過核燃料繼續貯存於各核反應器的現有廠址，並持續監測以確保安全。
- 邀集民眾(專家、潛在場址的民眾與社團)參與選址作業，並執行場址特性分析、安全分析及環境影響評估，以便為將來的淺層地下貯存設施、地下實驗設施及深層地質處置場，選擇一個適合的集中式場址。
- 向管制機關諮商，以便進行執照申請之先期作業。
- 對用過核燃料管理進行持續性的研究。
- 發展用過核燃料的傳輸容器與用共核燃料裝卸技術。
- 取得地下實驗設施的建廠執照。

- 決定是否建造淺層地下貯存設施。
- 如果最終決定要建造一個淺層地下貯存設施，應於此階段內取得建廠及運轉執照。

### 第二階段：集中式的貯存及技術(下一個 30 年)

- 如果決定要建造一個淺層地下貯存設施，應開始將用過核燃料由各反應器廠址運送到該貯存設施。
- 如果決定不要建造一個地下淺層貯存設施，應將用過核燃料續貯存於各核設施廠址，直到深層地質處置場可用。
- 在地下實驗設施執行研究及測試，以驗證深層地質處置的技術能力。
- 邀集民眾參與深層地質處置場的評估，並決定何時建造之。
- 完成最終的設計與安全分析以取得深層地質處置場運轉執照。

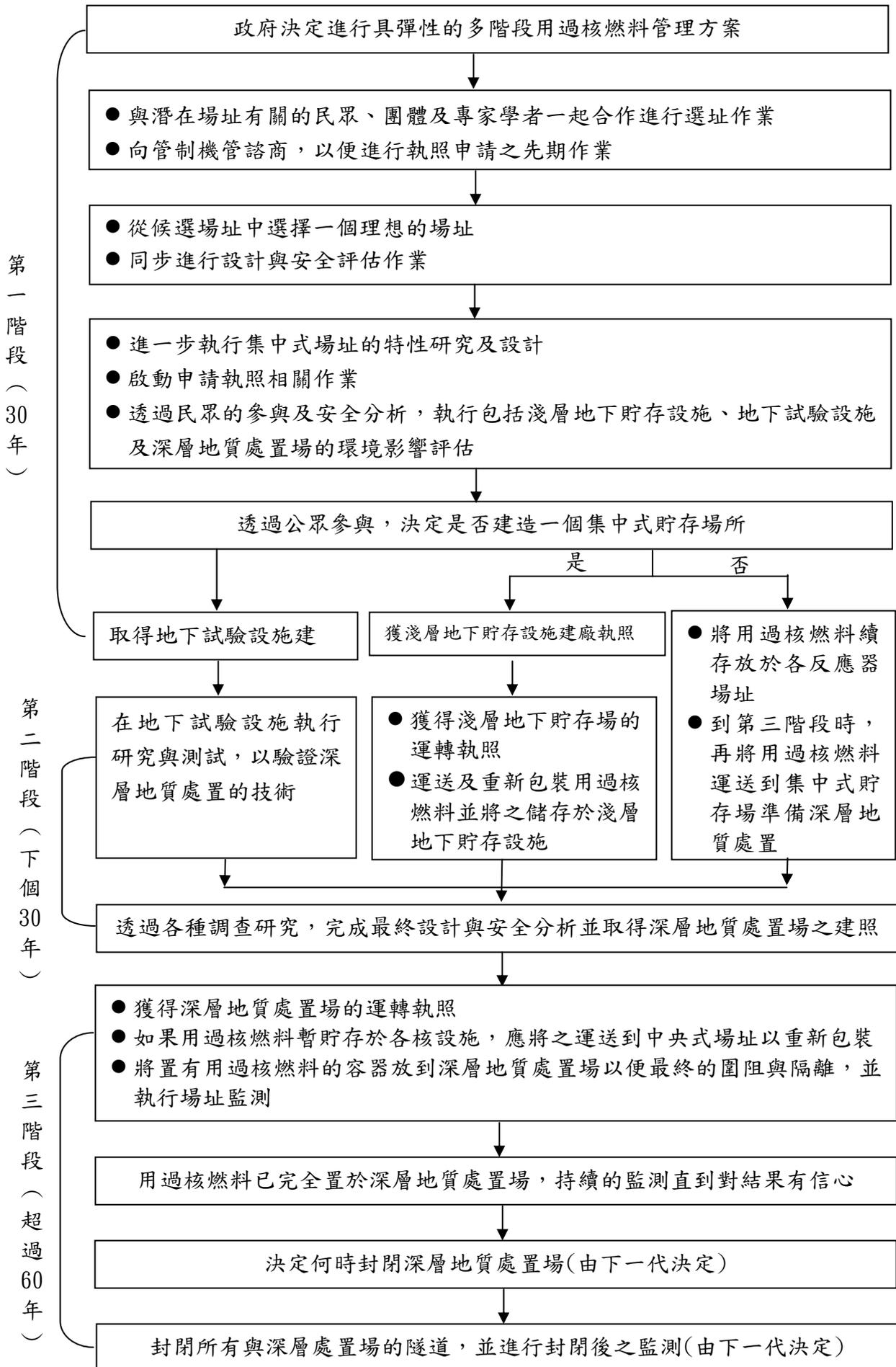
### 第三階段：對用過核燃料進行長期的圍阻、隔離與監測(此階段超過 60 年)

- 如果用過核燃料是暫貯存於地下淺層貯存設施，應將之取回收並重新包裝，並置於可長期存放用過核燃料的容器內。
- 如果用過核燃料暫貯存於各核設施廠址，應將之運送到集中式場址以重新包裝。
- 將置有用過核燃料的容器放到深層地質處置場以便最終的圍阻與隔離。
- 將淺層地下貯存設施除役。
- 持續對深層地質處置場作一段期間的監測，以評估該處置場的效能與安全性，並保留可再回收用過核燃料的彈性。

- 邀請民眾持續的監測。
- 未來的後代可決定何時將地下實驗設施除役，何時將深層地質處置場關閉。

最後，茲附上加拿大具彈性的多階段用過核燃料管理方案 (Adaptive Phased Management) 的架構流程圖。

## 加拿大具彈性的多階段用過核燃料管理方案(Adaptive Phased Management)



#### 肆、心得與建議：

- 一、在世界核能復甦跡象日益明朗之際，許多國家或組織已注意到面臨核能相關人才供需瓶頸問題，國內核能界不論管制單位、台電公司或研究單位亦均面臨人員老化問題，宜及早規劃補充新血，方可維持目前國內核電穩定發展之狀況。
- 二、未來一旦國外核能電廠大量興建，核燃料及相關重要組件、設備之市場勢必由目前買方市場轉為賣方市場，國內現有運轉中電廠如何保持核燃料及組件設備、備品之適當供給，是維持核電廠安全穩定運轉之重要因素，應預先加以注意考量。
- 三、除美國、加拿大、法國及德國等傳統核能國家持續發展核能新技術外，東亞地區日本、南韓等國除積極參與國際計畫外，其工業界、研究單位及學術單位等亦均致力研發核能相關技術，其所展現出強烈的企圖心，實值得國內參考借鏡。
- 四、加拿大用過核燃料管理機構(NWMO) 所提出的「具彈性的多階段用過核燃料管理方案」，透過階段性的用過核燃料管理策略以保留彈性(因應未來處置技術及民意的變化，保留給後代子孫得以重新檢視這一代所做決定的彈性)，值得我們參考。