

2011 年台美民用核能合作年會及美國核管會 Apostolakis 委員訪台側記

壹、前言

2011 年台美民用核能合作年會於 11 月 28 日至 12 月 1 日在台北舉行，由於台美民用核能合作年度合作會議與工作項目進度協調為原能會派駐美國代表處主要工作項目之一，歷年原能會駐美人員均返台出席台美年會。另因美國核管會委員 George Apostolakis 亦於 12 月 5 日至 12 月 9 日訪問台灣，除拜訪蔡春鴻主任委員及發表核安管制之專題演講外，並參訪核能二廠、龍門電廠、清華大學、核能研究所及國家地震中心等，故本次返國亦銜命陪同 Apostolakis 委員之參訪及協調事宜。以下節錄返台期間各項會議及參訪行程摘要及心得。

貳、台美會議紀要

今年台美民用核能合作會議，於 11 月 28 日至 12 月 1 日期間於台北北投龍邦僑園會館舉行，共計大會及分組討論兩天議程，及分別赴龍門電廠及核能研究所的參觀行程。本屆會議美方代表團成員共計 19 人，成員來自美國在台協會(AIT)、國務院、能源部(含國家核子安全局及核能署)、核管會、數個國家實驗室、安德魯基地遙控偵測實驗室(Remote Sensing Laboratory, RSL)等，這些代表成員也是台美合作工作項目目前主要聯繫的單位與對象。經由每年召開一次面對面的交流及討論，對於未來持續推動合作工作事項非常有益。我國各單位參與人員，包括：原子能委員會、核研所、清華大學、台電

總公司及各核能電廠代表等，約 100 人左右與會，也相當踴躍，本次台美會議大合照如下圖。



一、大會開幕及專題報告

由於 2011 年 3 月 11 日於日本福島第一核電廠，因為地震引發海嘯而最終導致嚴重之核子事故，不但使得多重機組及反應爐與燃料池受損，也造成了放射性物質外釋，是 1986 年前蘇聯車諾比爾事件以來最大的核子意外事故，故今年台美雙方的開幕致詞及專題內容，都多少與此主題有關，來探討後福島時期(Post-Fukushima)台美雙方核能政策的概況、如何進行核能電廠安全再評估、提昇緊急應變能力、研究計畫方向變革、用過核燃料之長期儲存及運轉等議題。

此外，在第二天分組討論時，美國核管會也針對各國平行審查美國國家安全報告(Convention of Nuclear Safety, CNS)的結果，整理於第 1 分報告。而從美國安德魯基地 RSL 來的兩位代表則在第 3 分組討論時，展示並說明空中及地面偵測設備 SPARCS (Spectral Advanced Radiological Computer System)，由於其操作便捷及機動性，萬一在發生輻射外釋的狀況時，可

以迅速執行地面及空中偵測作業。本套設備已在日本福島事故及時發揮偵測功能，我方代表團於2011年5月底赴美國內華達州空軍基地 RSL 時，也曾聽取過本設備的功能介紹，認為有助於提昇我國事故後輻射偵測能力，故於本次台美分組討論時，新增一個工作項目，用以後續追蹤未來採購及使用訓練之合作。

二、合作項目分組討論

2011 年台美會議召開前，合作項目共計 64 項，經由三個分組討論後，新增的提案 7 項、結案 6 項、重啟 3 項，故總數增加到 68 項。各分組項目數目統計如下表：

分組	台美會前	新增	結案	重啟	台美會後
I	26	2	5	0	23
II	15	1	0	2	18
III	23	4	1	1	27
Total	64	7	6	3	68

各分組討論之重點結論摘錄如下：

第 I 分組：核能管制及核能研究

1. 核能研究所擬請美方提供 MEOLOR 2.1 及 RADTRAD 3.03 之原始程式碼，但需向美方說明如何使用本程式。
2. 我方在確定龍門電廠緊急應變演習日程之後，應告知核管會此項演習。
3. 明年雙邊技術交流會議初步訂於 4 月份舉行，但確切日期及細節

仍待雙方繼續協商。

4. 核管會同意針對整體管制審查作業(IRRS)進行資訊交流及合作。
5. 雙方同意新增一項日本福島事件後的安全評估經驗交流。
6. 新增一項有關核能電廠老化管理的合作項目，來取代執照更新(或延役)的交流合作。

第 II 分組：廢料處理及環境回復

1. 我方將邀請美國核管會派員來觀察核一廠乾式貯存的熱試驗，並請美方繼續提供核能電廠乾貯的資訊。我方則願意在將來提供核一廠乾式貯存之監測結果。
2. 因應我國核能政策的走向，我方將邀請美國核管會辦理核能電廠除役相關的訓練。
3. 我方希望美方能辦理有關如何使用 RESEAD 程式應用於核廢棄處理及核能電廠除役。
4. 我方核能研究所尋求與美國橡樹嶺及愛德荷國家實驗室(ORNL&INL)合作有關熱室處理技術。
5. 核能研究所擬造訪沙凡納河國家實驗室(SRNL)以瞭解除污技術及經驗。

第 III 分組：

1. 美方建議我方於今(2012)年有關實體防護之訓練課程時，邀請清華大學同仁與會，並於 1 月底前告知國務院有關我方參加人員的名單。

2. 有關緊急應變相關的合作案，依據2011年5月份所簽署之合作意向書(Statement of Intention, SOI)，除原先兩個與緊急應變處理及大氣擴散模式之項目外，今年新增緊急支援及空中偵測技術等兩項合作案。
3. 我方清華大學和核能研究所與美方國家實驗室(INL&SNL)，建立一項有關在核子科技教育與訓練方面的交流合作案。
4. 美方新增一項有關核子鑑識(nuclear forensics)相關的合作案。

以上三個分組所做成各項合作案的結論，將成為2012年駐美聯繫的工作重點。

三、參訪龍門核能電廠及核能研究所

本次台美會議期間所安排的現場訪問部分，美方代表團於11月30日來到龍門核能電廠，首先聽取由施工處工管組柯志明經理報告之龍門計畫概況，其次由龍門電廠儀控陳俊宇工程師報告龍門數位儀控系統及模擬器。美方於簡報後的問題詢問中，多半集中在福島事件後，龍門電廠所進行的安全評估及強化措施，以及龍門1號機燃料裝填前預定之重要工作及預估時程。由於現場台電公司人員主要為龍門施工處工管組同仁，再加上少數電廠儀控及核工組成員，較無法及時回答有關上述與台電核技處及龍門試運轉測試小組業務相關的問題，職除充當會議主持並回答部分問題外，於事後再向台電公司索取相關資料，寄送給團長國務院 Dr. Burkart 及核管

會核能管制署安全系統 Division Director, William Ruland，希望能澄清他們的一些疑慮。

在現場實地觀察的部分則包括了：燃料裝填樓層、控制室、汽機廠房、及模擬器訓練中心等處，各點均有台電人員進行詳細的講解，成員均表示收穫良多。不過由於本次參訪團員人數眾多(達18人)，在部分噪音較大的地區(如下圖汽機廠房)，台電公司應事先準備擴音設備，以便能夠使參觀者更清楚地聽到講解與說明。



代表團一行人於12月1日早上抵達核能研究所，除了原先規劃之聽取簡報及參觀各實驗室外，在結束正式行程後，所方亦貼心安排代表團成員到桃園後慈湖參觀，除了忙錄於專業及科技上的交流之外，美方人員也享受了台灣的天然美景，讓本次台美會議劃下一個完美而溫馨的句點。

參、核管會 Apostolakis 委員訪台紀要

美國核能管制委員會 Dr. George Apostolakis 委員與其辦公室幕僚長 Belkys，及國際事務署台灣聯絡人 Danielle 一行三人，於2011年12月5日首先是拜訪原子能委員會蔡春鴻主任委員，綜合交換台美核能管制的經驗及日本福島事故的

各種因應作為。三人隨後接著便展開為期 5 天的訪問行程。



以下摘錄 Apostolakis 委員本次訪問內容：

一、兩場公開演講

Apostolakis 委員分別於 12 月 7 日及 9 日在清華大學及原子能委員會進行了兩次的專題演講，主題分別為(中譯)：「法規不確定性之管理及美國核能電廠執照審查」與「安全度評估發展現況及核管會對於 North Anna 地震及福島事件之處理」。綜觀合兩次演講的內容，主要提到美國核管會自 1995 發表安全度評估政策以來，已大量運用風險告知的觀念於法規中，除可支持傳統深度防禦哲學的管制概念，也用以減少不必要之管制要求。在尚未發生日本福島事故前，2011 年 2 月份核管會就已組成專案小組(task force)來發展更為全面性的風險告知績效基準 (risk-informed performance-based)的法規。福島事故後之近期專案小組(near-term task force, NTTF)在其 12 項主要建議中的一項，也提到要利用風險洞見或所得(risk insights)來增進管制架構，使其更具有邏輯性、系統性、一

致性、及易懂性。

對於福島事故後的美國因應作為，除了公佈在網站上核管會近期專案小組的初步結論及各項建議案的近況外，Apostolakis 博士提出其個人觀點，認為此次事件並非「極低機率」也不是「想不到的」，而是因為日本電廠設計基準低估了海嘯的危害度、重要設備放在電廠較低處而造成後續嚴重的狀況，若以往曾利用水災風險分析(flooding risk)，應當可以指出其前述的(防洪)弱點。他也認為，與其花費大量的資源在分析極少發生的事件及採取因應措施上，倒不如每個電廠都仔細地再審視其設計基準是否正確。

除以專題報告之外，Apostolakis 委員在兩場演講中都不約而同提到，在日本福島事故之後，各國應更為冷靜面對，在情況沒有完全明朗之前，不要急於訂定核能政策的重大改變。言下之意，似對我國能源政策在事件發生不久後就有明顯的變化，感到有所保留。

二、參訪核能二廠及龍門電廠

在核能發電設施的參訪部分，核管會三位人員於 12 月 6 日及 8 日分別造訪了核能二廠及龍門電廠，兩個電廠均安排了簡報及現場的參訪活動。簡報共通性的部分，是有關日本福島事故後，國內核能電廠總體檢之相關設計基準安全評估及加強事故減緩(mitigation)能力，補強現有設施(如核二廠緊急海水泵室隔離)以及發展最終斷然處置作業(Ultimate Response Guidelines)程序書，一旦在發生有可能危

害反應爐的事件時，電廠人員將利用各種可能的水、降低反應爐壓力、開啟圍阻體釋壓閥等措施，以防止類似日本核子事故的狀況。Apostolakis 委員對於我國電廠的做為感到印象深刻，但也詢問核能電廠工作同仁是否有將風險評估的概念，應用於如何強化各種減緩措施中，這部分可能未來尚需原能會及台電公司再檢討如何適當地運用安全度評估這項工具來進一步有效降低危害機率及後果。核能二廠的簡報中有提到我國參考歐盟的做法，將實施壓力測試(stress test)，會利事件樹(event tree)的概念，發展在天然災害(地震，海嘯等)之事故演進，找出各成功冷卻途徑的最小安全餘裕及所有成功冷卻途徑的最大安全餘裕。由於美國並不實施歐盟的壓力測試，故我國運轉核能電廠執行的成果，可提供美方參考或做為雙方後續交流的項目。

至於在龍門電廠 1 號機現況的部分，係由台電公司龍門試運轉排程小組進行報告，在日本顧問的協助下，龍門電廠目前發展出各系統及整體性測試的時程。不過因為數位儀控的現場問題(field problem)甚多，而廠商解決速度卻是呈現牛步化，故排程經常會需要變動，預估燃料裝填的日期也變得困難重重。雖然簡報中台電公司預期 2012 年可以裝填燃料，但除非有測試進度或問題解決的速度上有重大的突破，要達成此目標的困難度相當高。

在龍門電廠現場參觀的部分，除了已在測試階段的 1 號機廠內，觀察控制室、燃料裝填樓層之外，廠方特別安排 Apostolakis 委員至施工階段的 2 號機，參

觀控制室及下乾井控制棒驅動裝置(如下圖)的安裝現況。由於美國並沒有進步型沸水式反應器，且已很久沒有全新電廠的興建，2011 年底雖已通過新建 4 部 AP-1000 安全審查，但預計最快須於 2012 年才準備要開始興建，在台美合作工作項目(AE-NR-JJ1)下，未來仍有許多機會讓雙方視察員交流互訪。



三、參訪核研所及國家地震中心

12 月 7 日下午參觀核能研究所的行程，首先由馬殷邦所長以英文多媒體的方式，介紹核研所的沿革、任務、研究工作等重點，然後由核技術中心高梓木副主任報告核研所自日本福島事故的研究計畫變化情形，由事故前後研究計畫的比較圖可以看出，原先各電廠執照更新(或延役)、中大幅度功率提昇、第三+代及第四代反應器技術研發、用過核燃料及混合氧化鈾燃料技術研究等，已轉向中功率功率提升、安全度評估運用於多重災害分析、除役技術研究等，的確是反應了 2011 年 11 月我國政府宣示，未來在核四(龍門電)廠穩定運轉的條件下，將逐漸停止三個電廠運轉中電廠之政策。至於隨後的現場各實驗室參觀的部分，則分別包括了：地震測試平台、數位儀控實驗室、電漿減容實驗

室、乾式貯存箱實驗室、核醫藥物成果展示間等多處設施，使 Apostolakis 委員瞭解我國核能研所各項研究的重點所在。

由於台灣位置地震帶，民國 88 年 921 大地震之後，全國各地方建築物的耐震係數也多有檢討或加以補強，而核能電廠的耐震安全，自然也是一向重要的課題，故本次參訪行程，也安排了國家地震中心做為參觀的地點之一。12 月 5 日下午的行程，首先由張國鎮主任報告國家地震中心的主要任務及功能，也提到在一個四年計畫中(2009-2013)，所有學校的建築物都要經過評估並根據結果進行補強，以 2010 年高雄甲仙發生規模 6.4 的地震為例，附近一所已進行補強的學校，安然度過這次考驗，而另一所鄰近學校，尚在等待補強作業，就受到很大的損壞。至於在核能電廠的部分，目前北部核一、二廠附近的山腳斷層，其延伸到海中的部分尚調查中，一旦確定其長度並經過計算後，很可能提高核一、二廠耐震設計基準(例如由 0.3g 升高到 0.4g)，屆時台電公司就非得執行補強才行。簡報過後，張主任也帶領三位核管會的官員參觀地震中心工廠內的各種實驗設施並合影留念。



四、與原能會核管處座談

由於過去數年間，原能會核管處曾多次邀請美國核管會人員來台，執行訓練及視察協助等工作，雙方均有不少收穫，故於 12 月 9 日上午由核管處陳宜彬處長主持 1 小時的交流會議，由陳處長及核研所周鼎副研究員分別報告(中譯)：「AEC-NRC 交流重點概況及獲益」及「從核三廠及 North Anna 電廠經驗談地震停機及再起動」，雙方開會討論的情形如下圖。



陳處長首先向 Apostolakis 委員感謝美國核管會過去對原能會安全管制業務的大力支援，從雙邊會議、視察員訓練、總部人員互訪、現場訪查、專業訓練、及資訊交流等，雙方往來密切，不但美方提供最新管制資訊或視察經驗，我方也能夠提出對應的一些管制作為及心得，彼此均希望能持續下去並相互獲益。其次核管處整理了近年來重要的交流及收穫，包括：「2010 年數位儀控訓練」使我國能瞭解美方最近的儀控法規、「2010 年風險告知消防法規訓練」提供制定我國核能電廠法規的基準、「2011 年龍門電廠燃料裝填前整備視察之先期查證」提供雙方未來聯合視

察的合作基礎、「2011 年核能電廠事故減緩訓練」則提供後福島時期應變強化能力之管制。上述各訓練的講師或視察員在台期間，也提供了不少法規基礎或管制要求的解答，或在現場查證中發現一些需要檢討改進的地方，提供原能會管制的參考。例如核管會講師在事故減緩訓練中講解用過燃料池替代補水量 500 GPM 及 200 GPM 噴灑的基準，係因管路使我國得以參考遵循，又如美方視察員在龍門電廠輻射管制區發現一些管路端包覆著鐵弗龍(telfon)，這程狀況是不被允許的，故原能會於查證後，已要求台電公司改進以符合規定。

核研所周副研究員則以 2006 年恆春地震對核三廠的影響，以及 2011 年 8 月在美國維吉尼亞洲地震，瞬時(約 2-3 秒)超過 North Anna 電廠運轉基準地震(Operating Basis Earthquake, OBE)，從事後收集到的地震頻譜及現場設備查證，歸納出現行判斷地震是否超過 OBE 條件之一的 CAV(Cumulative Absolute Velocity)為 0.16 g-sec，就台灣地區而言顯得太過保守，加上我國核能電廠均已加裝自動急停裝置，他建議可以提高到約 0.75 g-sec。據瞭解周副研究員此論文曾發表於 Nuclear Engineering International (May 29, 2009)，具有相當的學術價值。

肆、心得與建議

綜合以上參訪過程紀要，整理心得及建議如下：

1. 台美雙方自 1984 年簽訂台美民用合作

協定以來，持續召開之年會是台美核能交流最重要的一項活動，所以事前之準備及規劃向來是原能會國際事務科及駐美同仁的工作重點，今年又加上後續一周核管會 Apostolakis 委員的訪問，本會同仁在事務繁多而人力資源有限的情況下順利完成任務，實屬難能可貴。

2. 每年出席台美會會議的美方代表成員，除了依大會主題報告而前來者之外，主要是以年度內各工作項目執行或聯繫熱絡的狀況，來決定參加的人選。以本屆會議美方代表團成員 19 人中，主要為過去一年經常聯繫之國務院、核管會及國家核子安全局成員為主，相較之下國家實驗室及能源部環境管理署(EM)成員的聯絡較顯得不足，故參與討論的項目也較為侷限，如何能加強與這些單位聯繫，將是未來工作的重點。
3. 台美工作項目由原先的 64 項增加到 68 項，但重點不在於數字而在於實質上的合作，故未來重要工作的是要如何能夠活化這些事項，使台美雙方人員能達到充分交流的目的。未來之近程工作重點首先會從本次赴台參與會議的人員做好聯繫工作著手，並緊密追蹤各工作事項的進度，以達成各項目設定的目標，達到實質合作的目的。
4. 日本福島事故的影響是全球性，在各國紛紛採取必要的安全評估之際，我國也進行了核能總體檢及仿照歐盟的壓力測試。在國際現實及壓力下，有時爭取國際合作及分享安全評估經驗時會受

到一些侷限，但至少美國對我國表現十足的友善，本次台美會議上亦新增一項與福島事故安全評估檢討之合作案，未來亦將持續雙方的合作，分享並汲取管制經驗，以進一步確保核能電廠的安全性。

5. 有關核子事故後之緊急應變支援及管理，在日本福島事故後變得相當重要，尤其去年我國原子能委員會與美國核子安全局簽訂合作意向書以來，根據該局所規劃的工作計畫，不但在原有兩個台美工作事項中加強各式訓練合作、演習觀摩、大氣擴散模式預測外，並新增緊急支援及空中與地面移動式偵測技術兩項合作，足見未來一年雙方將有頻繁和緊密的合作，職亦將努力做好雙方聯繫的任務。
6. 本次台美會議期間所安排龍門電廠的現場訪問部分，美方代表團 18 人到現場參觀，其中亦不少是核能相關領域的專家，相對來說，台電公司僅派出施工處工管組經理負責接待，層級顯然不足，而且因為沒有長官出面，還得由職權充主持人，在接待方面確實有檢討改進的空間。此外由於龍門電廠是進步型反應器，美國尚無經驗，故參觀人員基本上均會問到龍門電廠施工及測試狀況，以及與時程相關的問題。此外日本福島事故後，如何進行各電廠的評估與改進，亦是參訪者關切的重點，然而本次美方於簡報後的問題詢答中，台電公司準備及人員均不充足，無法及時回答相關問題，是另一項值得改進之處。

7. 美國核管會 Apsotolakis 委員有關福島事故之演講，提到委員會(Commission)目前已核准近期專案小組各項建議事項中，第一優先(Tier 1)的 7 個項目(含地震及水災再評估、全黑事故法規再檢討、減緩事故設備之保護、Mark-I 圍阻體排氣管閥之可靠性、廠內緊急應變能力及程序書等)需儘早開始著手，未來職仍將密切收集在核管會所舉辦相關會議及資訊，提供國內參考使用。
8. 由於 Aposotolakis 委員係安全度評估方面的專家，故亦鼓勵國內核能界繼續推廣使用，對於台灣目前由核研所同仁主要負責安全度評估之研究，各核能電廠卻相對顯得投入風險評估人力不足的情形，表示仍有改進空間。未來職將再視國內的需求，或由國內派員前來受訓，或透過台美民用合作的管道，聯繫核管會講師赴台辦理安全度評估及應用方面的講習。
9. 我國原能會與美國核管會向來交流熱絡，除了台美年會及合作事項之推動外，近些年分別有核管會前主席 Dale Klein、核管會前委員 Peter Lyons、及現任 George Apostolakis 委員訪問台灣，經由雙邊技術交流會議也提供一個很好的平台，讓雙方持續針對核能安全管理事項交換心得，美方也一再展現對我國友好及強力支持，我國實應把握已建立好的機制及管道，繼續進行雙方互惠的各項聯繫及合作。