

出國報告（出國類別：其他）

赴美國參加 IAPSAM 指導委員會會議、  
PSAM12 會議暨參訪麻省理工學院出  
國報告

服務機關：核能研究所

姓名職稱：高梓木 研究員

吳東嶽 助理工程師

派赴國家：美國

出國期間：103 年 6 月 21 日~103 年 7 月 3 日

報告日期：103 年 9 月 2 日



## 摘 要

國際安全度評估與管理會議(International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management, 簡稱 PSAM)係目前量化風險評估(PRA)領域最重要的國際會議,自 1999 年起每兩年召開一次。「第 12 屆量化風險評估與管理」(PSAM12)國際會議於今(2014)年 6 月 22 日至 27 日於美國夏威夷州檀香山市舉行,並為順利籌辦該系列後續會議(PSAM13&14)的運作,PSAM 會議的指導單位 International Association for PSAM (IAPSAM)於今年 6 月 22 日在美國夏威夷州檀香山市召開 IAPSAM 指導委員會會議。因核能研究所(核研所)核儀組研究員高梓木博士自 2006 年起已奉准擔任 PSAM 會議主辦單位 IAPSAM 的指導委員會(Board of Directors)票選委員(任期 8 年,自 2006 年起自 2014 年止),高員參加於 6 月 22 日召開的 IAPSAM 指導委員會會議,受邀擔任 PSAM12 該屆國際會議的技術委員,負責投稿論文的審查;基於技術委員的義務與工作需要,高員並參加 6 月 22 日至 27 日召開的 PSAM12 會議。

PSAM12 會議議程包括工業安全事故分析、壽限與老化管理、外來事件危害分析等,核研所核儀組吳東嶽助理工程師參與其中 IPEEE(Individual Plant Examinations of External Events,廠外事件之個廠評估)、及其他廠外災害分析與評估等相關議題,瞭解國際目前的趨勢脈動,有助於計畫評估作業之進行。

除參加上述會議之外,高員兼核研所諮議會核安領域專責委員,於 6 月 30 日與 7 月 1 日拜訪麻省理工學院(MIT) Neil Todreas 教授,討論目前研發最新型漂浮海上的反應器設計;此一新型反應器設計除可承受海嘯考驗,並可利用海水以防止爐心融損事故。高員並就日本福島核電事故後美國核能的最近發展、新型核電機組設計與建造等議題進行討論。最後高員與吳員並就參加本次國際會議及參訪 MIT 的心得作說明及提出討論與建議。

# 目 錄

	頁碼
一、目的 .....	1
二、過程 .....	2
三、心得 .....	22
四、建議事項 .....	26
五、附錄 .....	29

## 一、目的

國際安全度評估與管理會議(International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management, 簡稱 PSAM)係目前量化風險評估(PRA)領域最重要的國際會議，自 1999 年起每兩年召開一次。「第 12 屆量化風險評估與管理」(PSAM12)國際會議於今(2014)年 6 月 22 日至 27 日於美國夏威夷州檀香山市舉行，並為順利籌辦該系列後續會議(PSAM13&14)的運作，PSAM 會議的指導單位 International Association for PSAM (IAPSAM)於今年 6 月 22 日在美國夏威夷州檀香山市召開 IAPSAM 指導委員會會議。因核研所核儀組研究員高梓木博士自 2006 年起已奉准擔任 PSAM 會議主辦單位 IAPSAM 的指導委員會(Board of Directors)票選委員(任期 8 年，自 2006 年起自 2014 年止)，高員參加於 6 月 22 日 IAPSAM 指導委員會會議，及受邀擔任 PSAM12 該屆國際會議的技術委員，負責投稿論文的審查；基於技術委員的義務與工作需要，高員並參加 6 月 22 日至 27 日召開的 PSAM12 會議。

PSAM12 會議議程包括工業安全事故分析、壽限與老化管理、外來事件危害分析等，核儀組吳東嶽助理工程師參與其中 IPEEE(Individual Plant Examinations of External Events, 廠外事件之個廠評估)、及其他廠外災害分析與評估等相關議題，瞭解國際目前的趨勢脈動，有助於計畫評估作業之進行。

除參加上述會議之外，高員兼諮議會核安領域專責委員，於 6 月 30 日與 7 月 1 日拜訪麻省理工學院(MIT) Neil Todreas 教授，討論目前研發最新型漂浮海上的反應器設計；此一新型反應器設計除可承受海嘯考驗，並可利用海水以防止爐心融損事故。高員並就日本福島核電事故後美國核能的最近發展、新型核電機組設計與建造等議題進行討論。

## 二、過程

高員此次奉派於 6 月 21 日至 7 月 3 日，赴美國夏威夷州檀香山市參加 IAPSAM 指導委員會會議、PSAM12 會議暨赴麻州劍橋市麻省理工學院參訪；吳員則於 103 年 6 月 22 日至 29 日奉派於赴美國夏威夷州檀香山市參加 PSAM12 會議。本次出國含往返旅程共計分別為 13 天(高員)與 7 天(吳員)，行程如下表 1：

表 1. 行程表

行 程					公差地點		工作內容
月	日	星期	地點		國名	地 名	
			出發	抵達			
6	21	六	台北	夏威夷州 檀香山市	美國	夏威夷州 檀香山市	去程(高員)
6	22	日			美國	檀香山市	參加 IAPSAM 指導委員會會議 (高員) & 去程(吳員)
6	23~26	一~四			美國	檀香山市	參加 PSAM12 國際會議(高員 與吳員)
6	27	五	檀香山市	劍橋市	美國	劍橋市	參加 PSAM12 國際會議暨赴 劍橋市往程(高員)
6	28~29	六~日	檀香山市	劍橋市	美國	劍橋市	赴劍橋市往程暨整理資料 (高員) & 6/28 回程(吳員)
6 7	30 1	一~二			美國	劍橋市	拜訪 MIT 之 Todreas 教授 暨進行專題討論(高員)
7	2~3	三~四	劍橋市	台北	美國	劍橋市	回程(高員)

### (一) 參加 IAPSAM 指導委員會會議

第 12 屆量化風險評估與管理(Twelfth International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management，簡稱 PSAM12)」國際會議於 2014 年 6 月 22 日至 27 日於美國夏威夷州檀香山市舉行，為順利籌辦該系列後續會議(Topical PSAM 2015&

PSAM13)的運作 PSAM 會議的指導單位 International Association for PSAM (IAPSAM)於今(2014)年 6 月 22 日(週日)於美國夏威夷州檀香山市召開第 20 次 IAPSAM 指導委員會會議(成員如表 1)；高員參加 IAPSAM 指導委員會會議，除掌握 PSAM12 辦理現況，暨針對 2015 與 2016 年將舉辦之 Topical PSAM 2015 與 PSAM 13 的規劃現狀作檢討。IAPSAM 指導委員會會議由 IAPSAM 現任指導委員會主席即上屆 PSAM11 芬蘭「輻射與核能安全管制局(Radiation and Nuclear Safety Authority, STUK)」的 Reina Virolainen 先生主持，包括 10 位現任委員(應共有 12 位委員；美國的 Andrew Dykes 博士與加拿大的 Philippe Hessel 博士則因生病而未克出席)與 3 位新任委員(2014 年本屆 PSAM12 會議結束後方開始 8 年新任期生效)。本次 IAPSAM 指導委員會會議聽取巴西與韓國提出的規劃報告並進行審查。IAPSAM 的主題會議(Topical meetings)召開時間(奇數年度，如 Topical PSAM 2015)，與 PSAM 召開(偶數年度，如 PSAM 13)錯開，其型態依所提方案後再加以討論後定案。

6 月 22 日上午九時會議(議程如表 2)由現任指導委員會主席 Reina Virolainen 先生主持，與會者全球共 10 位現任指導委員與 3 位新任指導委員出席，指導委員會因原任秘書長「波夕州立大學(Boise State University, BSU)」的副校長 Harold S. Blackman 博士延任至本屆即將辭職，已覓美國愛達荷國家實驗室(INL)「核能安全與管制研究處(Nuclear Safety and Regulator Research)」處長 Bruce Hallbert 博士接任新秘書長。指導委員會財務長美國的 Andrew Dykes 博士因生病需較長復原期請辭，則改由遴選美國 ABSG 公司的副總裁 David Johnson 博士接任。接著指導委員會會議邀請本屆 PSAM12 會議主席美國的 Todd Paulos 博士報告是日下午即將展開會議辦理的現況；是日上午已有 390 位註冊共有 370 篇論文(PSAM 12 原先其財務規劃與會人數逾 300 人即可望達收支平衡)，依新近收到論文摘要篇數已逾 370 篇推估 PSAM 12 最後與會人士可望達 400 人。接著 Luiz Fernando Oliveira 博士提出於 2015 年在巴西里約熱內盧召開 PSAM 的主題會議(Topical meeting)的規劃方案；韓國「原子能研究所(Korea Atomic Energy Research Institute) KAERI」的 Joon-Eon Yang 博士則在指導委員會會議，提出 PSAM13 於韓國首爾舉辦的相關規劃方案簡報；Topical PSAM 2015& PSAM13 簡報其方案與規劃均得到與會 13 位委員的認可。

指導委員團新任財務長美國的 David Johnson 博士接著報告截至 2013 年 12 月底 IAPSAM 經費結餘金額 (IAPSAM 因屬非營利機構，所有經費來源均出自參加 PSAM 會議與會者所收取的註冊費，並須自負盈虧)。原先美國指導委員會成員 MIT 的 George Apostolakis 教授已於 2009 年 10 月 9 日獲美國總統歐巴馬提名，並經於 2010 年經美國參議院同意後於 4 月 23 日正式出任 USNRC 委員(任期至 2014 年 6 月 30 日止);故自 2009 年 10 月 30 日指導委員團會議結束後即辭職;指導委員團為表達對 Apostolakis 教授自 1991 年首創 IAPSAM 及其在 18 年期間持續推動每 2 年舉辦的 PSAM 系列國際會議的卓越貢獻，已於 2010 年通過成立「George Apostolakis 教授獎學金」，將頒發獎勵金給予投入 PRA 領域研究研發的年輕學者，以全額支持參與 PSAM 國際會議，通過並由指導委員團現任主席、輪值 PSAM 會議主席及技術主席共三人組成提名人的審查小組，由申請名單中經討論後通過將全額補助數名的全職學生或年輕學者以涵蓋參與 PSAM12 會議的相關費用，及邀請 Apostolakis 教授親自頒獎。本次 PSAM12 主席決定自行主動涵蓋相關經費，以全額補助全球全職學生或年輕學者參與 PSAM 會議的相關費用。

下午指導委員團接著對已服務屆滿 8 年(2008 年至 2014 年)即將退休的資深指導委員，包括 Reina Virolainen 先生與高員，感謝兩位長期的積極參與 IAPSAM 和其熱忱服務，高員並曾擔任 2008 年在香港召開之 PSAM9 大會技術主席，大會將公開頒發獎牌乙面；高員則於 6 月 27 日上午 9 時在大會上由本屆 PSAM12 會議主席美國的 Todd Paulos 博士頒獎(受獎情形如附件 2)。接著討論新任指導委員(任期自 2014 年起至 2022 年止，取代 2 位任期屆滿八年的指導委員)，包括本屆技術委員團主席美國 INL 的 Curtis Smith 博士 及新任財務長美國的 David Johnson 博士。並廣泛討論 2018 年 PSAM14 回到美國舉辦的合適地點，與將再新選任 3 位(任期自 2016 年起至 2024 年)以取代 2016 年任期將屆滿 8 年的 3 位指導委員，如何提名以涵蓋全球區域性代表的考量及結合其任職期間可順利籌辦 PSAM 系列國際會議；最後並暫訂下次(第 21 屆)指導委員團會議於 2015 年 8 月下旬於韓國首爾召開。

表 1. 第 20 屆 IAPSAM 指導委員會成員

The screenshot shows the website for PSAM 12 (Probabilistic Safety Assessment and Management) held from June 22-27, 2014, at the Sheraton Waikiki in Honolulu, Hawaii, USA. The page features a navigation menu with links to HOME, PAPERS, PROCEEDINGS, PHOTO ALBUMS, ORGANIZATION, SPONSORS, and LOCAL INFO. The main content area is titled "IAPSAM Board of Directors" and lists the following members:

- President:** Reino Virolainen, Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK), Finland
- Secretary:** Harold Blackman, Idaho National Laboratory, USA
- Treasurer:** David Johnson, ABS Consulting, USA

Other board members listed include:

- Vinh Dang, Paul Scherrer Institute, Switzerland
- Druce Halbert, INL, USA
- Philippe Hoesel, CNSC, Canada
- Isu-Mu Kao, INER, Taiwan
- Luiz de Oliveira, DNV, France
- Todd Paulus, Alejo Engineering, USA
- Kurt Petersen, Lund University, Sweden
- Marina Roewekamp, GRS, Germany
- Akira Yamacuchi, Osaka University
- Joon Eon Yang, KAERI, Korea

The website footer includes the IAPSAM logo and copyright information: "Copyright © 2014. All Rights Reserved. Powered by TIGS".

表 2. 第 20 屆 IAPSAM 指導委員會會議議程

AGENDA FOR THE IAPSAM 20th BOARD OF DIRECTORS MEETING		
Sheraton Waikiki Hotel, 2255 Kalakaua Avenue, Honolulu, HI 96815, USA		
Sunday, June 22, 2014 9:00 AM – 6:00 PM		
9:00 – 9:15 AM	Welcome and final report on PSAM 10 by President	Reino
9:15 – 9:30	Discussion and approval of minutes of the Board meeting in Seal Beach	Harold, All
9:30 – 10:00	Treasurer's Financial Report	David
10:00 – 11:00	Report on PSAM 12	Todd
11:00 – 11:45	Topical PSAM 2015 (Brazil)	Luiz

11:45 – 00:30 PM	Report on PSAM 13 (Korea)	Joon-Eon
00:30 – 2:00	Lunch	
02:00 – 02:30	Retirements from the board	All
02:30 – 04:00	Discussion and selection of new Board members	All
04:00 – 05:00	General Discussion for Venue and organizer for PSAM 14 (USA)	All
05:30 – 06:00	Other Board matters and closure of the meeting	All, Reino

## (二) 參加 2014 年美國夏威夷 PSAM12 國際會議

PSAM 國際會議為全球量化風險評估(PRA)及管理領域最大且最重要的溝通論壇，自 1991 年以來每兩年輪流於美國、歐洲、亞洲舉辦，研究主題涵蓋風險評估諸多領域甚具研發與實務應用的參考價值，參加 2014 年美國夏威夷 PSAM 12 國際會議對於相關計畫工作的推展極有助益。高員前已奉准擔任該會議主辦單位 IAPSAM (International Association for PSAM)指導委員團(Board of Directors)的成員，並擔任 PSAM12 本屆國際會議技術委員團成員，負責投稿論文的審查。

本次公差行程為參加第 12 屆國際安全度評估與管理會議，內容分別說明於下。本屆 PSAM 12 會議於 2014 年 6 月 22 日至 27 日舉行，會議議程如附件一，本次會議大會由 PSAM12 會議主席美國的 Todd Paulos 博士主持。

### 1. 專題演講擇要

本屆分別於(1) 6 月 23 日開幕當天由美國核能管制委員會委員 George Apostolakis 博士進行演講，(2) 6 月 25 日由美國 UCLA 大學醫學院內科 Sandeep Bobby Reddy 教授進行演講，(3) 6 月 26 日則由日本原子力發電環境整備機構(NUMO)總裁 Shunsuke Kondo (近藤駿介)博士發表演說，(4) 6 月 27 日由美國太平洋巨災中心(Pacific Disaster Center，PDC)應用科學主任 Heather Bell 博士進行演講；以下就其演說內容摘述之。

(1) 6 月 23 日開幕當天美國核管會委員中以量化風險評估見長之 George Apostolakis 博士，今年以「謹慎作假設：決策與統計 (Beware of the Assumptions: Decision Making and

Statistics)」為題進行 50 分鐘之演講。他首先說明全觀統計(global statistics)與量化風險評估結果，該採用哪一個以及兩者重要性及區別；一般人用統計方法來估計爐心受損頻率及大量外釋頻率，原則是架構於電廠整體基礎上，而量化風險評估是以設備為計算基準，並以已確認之事故序列及統計模式來推估事故發生的頻率。Apostolakis 委員以美國有史以來被暗殺總統的統計與美國航太總署(NASA)飛行員和員警意外死亡率來比較，結果前者要高出許多，然而大家可以理解由於現代安全體系對總統人身種種保護的加強，因此以往較高的被暗殺率，到了今天已不再適用。同樣地，在發生美國三哩島及日本福島意外事故後，核能電廠於制度面與硬體設備設計面採取了許多改善措施，包括：管制法規之改善、業主設立核能發電協會(INPO)、進行廠內及廠外事件安全度整體評估(IPE&IPEEE)、建立嚴重事故之緩和策略及 FLEX 設備等，已能夠反映到各電廠量化風險評估結果之提升(或爐心受損率之降低)。如果仍然使用 1979 年三哩島事故以前的爐心受損率，來推測現在核能電廠發生事故的機率，顯然並不適當。

Apostolakis 委員也強調有關「持續學習」的重要性，他認為三哩島事故後，美國管制單位採取提昇安全設備等級、強化緊急應變計畫法規、要求增加氫氣控制、強化運轉人員訓練及數量、增加適職方案等措施。而在福島事故後，則又再度要求各核電廠提出超過基準事故之緩和策略、考量多機組事故、強化馬克I/II型圍阻體排氣能力、強化並整合緊急和嚴重事故因應程序書等，並重新檢視如小破口爐心失水事故、人因失誤、地震與火災危害、低功率或停機安全等，同時他亦提到即使是相同設計之姊妹機組(sister units)，其風險貢獻度亦須考量電廠之個別特性，這些都屬於持續學習的經驗。另外，核管會在2011年2月成立風險管理專案小組(task force)，由 Apostolakis委員督導，管制研究署(RES)幕僚為主，研議提出「風險管理管制準則」，目標希望核能管制作為能保有足夠的屏障(Barriers)。

在其演說的結論中，Apostolakis 委員再次強調管制決策是基於現有之知識，這包含了設計、運轉、及法規，而且是由科學、工程、經驗(含過往發生的事故)所累積而成的，量化風險評估並未有預測未來的能力，但可以評估潛在的事故狀況，作為決策者之參考。Apostolakis委員最後引用馬克吐溫的名言：Facts are stubborn things, but statistics are pliable. (事實是不容改變的，但統計數據是柔韌的。)作為結語，點出風險評估的特性。

(2) 6 月 25 日由美國 UCLA 大學醫學院內科 Sandeep Bobby Reddy 教授，以「風險評估在癌症治療的新面向：分子醫學紀元 (A New Look at Risk Assessment in Cancer: The Molecular Era)」為題進行 50 分鐘之演講。Reddy 教授首先說明風險是為取得某種事物價值，而有可能喪失其他事物價值的潛在危害，當一種行為、活動寧願冒著風險時，其價值也可能發生相對應的獲得或損失，而該價值可能是身體健康、情緒安穩或是金融財富。因此，風險也可被定義為不確定性下的一種有意的交互作用。

Reddy 教授認為健康為生活根本之道，保持健康就是擁有最大的財富。在醫學史上，醫學的進程發展從迷信，症狀到專業確診。基本上，專家使用數據來分析疾病。當專家透過分析得出結論，風險也就跟著發生，因此為了獲得最後的結論，風險評估成為一個普遍的論點。

而風險評估就是利用數據做出正確決定的一種方法。基本上有四個風險評估方法：

◆ 經驗基礎法則 Experience-based (有限的知識)

這評估法是根據他人已行之有年的經驗，但缺點是缺乏知識基礎。

◆ 共享經驗模型 Shared experience model (專家觀點)

這評估方法是經由專家，透過累積的經驗和良好知識系統進行評估。

◆ 實證基礎模型 Evidence-based model (統計數據)

這項評估只是根據統計數據，沒有任何經驗。

◆ 個人特殊病史 Individual patient data。

該評估依據患者的歷史數據。

分子醫學做為一個新的技術，目前能夠評估哪一個是最適合藥物，來治療患有癌症的疾病，以前的技術有時會引起患者必須承受更大的痛苦。這種新的分子醫學技術可以幫助患者在醫治過程中帶來更多的效率及有效性。

(3) 今年 3 月甫卸任日本原子力委員會(Japan Atomic Energy Commission , JAEC)主任委員的 Shunsuke Kondo (近藤駿介)博士原先為日本東京大學教授，7 月即將接任日本核廢棄物管理組織的「原子力發電環境整備機構(NUMO)」理事長，以「福島核一廠嚴重事故的重要教訓 (Important Lessons Learned from the Severe Accident at Fukushima Daiichi)」為題進行 50 分鐘之專題演講；Kondo 博士說明 311 福島事故以後國內外成立各種事故調查團

隊，大都歸諸於福島核電廠對抗天災設計上的弱點、管制監督、事故管理與緊急反應措施使得事故加倍劣化。事故後日本國會成立了一個獨立於政府、業界之外的國會調查委員會，歷時半年，對於 311 認真做了全盤的檢討並完成「日本事故調查東京電力福島核電廠事故獨立調查委員會(NAIIC)調查報告書」； Kondo 博士並引用 NAIIC 主席東京大學黑川清 (Kiyoshi Kurokawa) 教授的話語：我們必須非常痛苦地承認，這是一場「日本製造」的災難；雖然這些天災觸發了隨後在福島核電廠的事故，卻不能被視為一個天災。如果有一個更有效率的人員反應，其影響應可以得到緩和，這是一個深沉的人為的災難；但日本原先應該可以預見且事先防止。它的根本原因是來自於根深蒂固的日本文化傳統：反射性服從、不願意質疑權威、終身投入同一專案計畫導向、群體主義和孤立偏狹性格。這場事故明顯是「人禍」，歷代與當時的政府、管制主管機關，以及業者的東京電力，都欠缺保護公眾生命與保護社會的責任感。

Kondo 博士進一步提到明明是可預想的事故，為什麼會發生？其根本的原因可以溯及日本經濟的高度成長期，政界、官界、商界沆瀣一氣，將經濟掛帥作為國策朝向共通目標邁進的過程，就形成了利害關係複雜的「制度俘虜 (Regulatory Capture)」。其中包括幾乎 50 年的一黨支配、畢業生一併採用年功序列制、終生雇用制等符合官商利害關係的組織結構，以及將其視為理所當然的日本人的「潛規則(Mindset)」。隨著經濟成長，「自信」逐漸開始變成了「傲慢」。

Kondo 博士也說明光是尋求基於設計基準事故的高可靠度系統尚不足以確保安全，對超出設計基準事故可藉由進行並更新核電廠 PRA 的模型來得知其發生可能性。PRA 是一個透過計算實際數字以估算風險，以達到解決下列三大問題的科學：(1)那裡會出錯(What can go wrong)? (2)出錯的可能性有多高(How likely is it)? (3)出錯會造成什麼樣的後果(What are the consequences)?是以 PRA 可提供核電廠設計及運轉上優勢及弱點的內涵。目前全球運轉中核電廠 PRA 可評估 3 階段的風險，包括：

Level-1 PRA：研討導致爐心熔損(Core Damage)之事故序列(Accident Sequence)並評估其發生率。除了廠內事件(Internal Event)外，地震、颱風、火災及水災等外在環境所造成的事件(External Event)也在評估範圍內。

Level-2 PRA：延伸上述分析，研討圍阻體在爐心熔損事故下能否保持完整，以評估放射性物質外洩之可能性及其數量。

Level-3 PRA：延伸上述分析，研討放射性物質如何由大氣擴散、飄落、及相關緊急應變措施後，其對公眾生命財產所造成的損失以及對環境的衝擊。

其他 311 事故後日本核電業者的改善包括：廠區全黑的設計基準，即喪失交流電源不得逾 30 分；對超出設計基準事故的可能保持高度警覺，勿導致「瀕臨懸崖邊緣效應 (Cliff-edge Effect)」的大量放射性物質外洩後果；加強面對海嘯的深度防禦措施、針對共因失效的分散性預防性措施、嚴重事故管理與緊急應變備妥等等諸多的改善都須深切地加以檢討。

Kondo 主任委員並提到 311 福島事故以後有 8 萬人民被要求離開家裡，而且有 6 萬的民眾自行選擇離開家裡，他們都是因為心理上有恐懼輻射線的暴露、家人的分開、原來社區的瓦解等等的因素。2013 年 12 月以後更有 2,911 位災區民眾因多次不當疏散與安置、與原來社區及家人的分隔等因素而生病致死，其中九成以上年齡均逾 66 歲。

Kondo 博士認為福島一廠核電事故挑戰我們，如果核電工業仍將運作以嘉惠日本，社會必須全神聚焦在核能安全上。Kondo 博士最後引用喬治·桑塔亞那(George Santayana，著名西班牙裔美國哲學家與詩人)最著名的一句話為「Those who fail to learn from history are doomed to repeat it.(那些不能銘記過去的人註定要重蹈覆轍。)」。

(4) 6 月 27 日由美國太平洋巨災中心(Pacific Disaster Center，PDC)應用科學主任 Heather Bell 博士，以「以人為中心之風險與弱點評估的作法 (A People Centered Approach to Risk and Vulnerability Assessment)」為題進行 50 分鐘之演講。

太平洋災害中心(Pacific Disaster Center，PDC) 成立於 1996 年，今日 PDC 透過科技與技術的發展，在降低災害損傷風險的領域上，目前獨佔鰲頭地位。PDC 利用資訊、應用科學和技術，以實證的方式制定有效的方法，推動這些觀念和策略，以降低災害損失風險。PDC 同時提供複合災害預警和提供應變對策、以及藉由關鍵資訊共享，支援有效降低災損的行動。PDC 也透過開發災害資訊管理系統，加強災害管理能力的準備和應變。Bell 博士認為災害風險的可分成經濟面、社會面與環境面三個面向如圖 1 所示；災區可能小至地方，國家，大至區域性或是全球性。同時災難的強度也影響了破壞的程度。災難發生也間接給經濟，社會和環境三個面向帶來影響。因此克服這些問題成為社會和政府必須共同努力的目標。

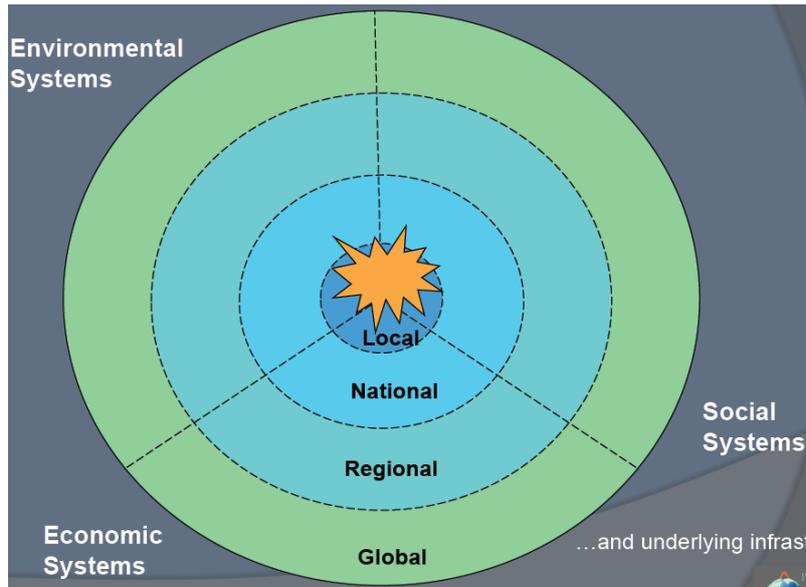


圖 1. 災害風險面向及趨勢

Bell 博士提出當災害事件與人類環境有接觸時，該受暴露影響的區域具有三種特性，如圖 2 所示，分別是危害特性、弱點特性、及應對能力特性。危害特性是一種危險的現象、物質、人類行為、或狀態，會造成人員傷亡或其他對健康的影響，財產、生計和設施損失，社會和經濟混亂的損失或環境破壞的損失；弱點是代表一種容易受到危害、破壞性影響的群體、系統或資產；而應對能力則是對人，組織和系統的能力，可利用現有的技能和資源，去面對和處理不良狀況，緊急情況或災難。因此，PDC 發展一套關切災害模式(Disaster AWARE)，是一個針對災害警告、分析、及風險評估的平台，提供災害管理決策者信息交流的能力，可容易的取得在世界各地發生災難的資訊，同時也提供災害預警功能，歷史災害資料，災害損失和最新情況等消息。

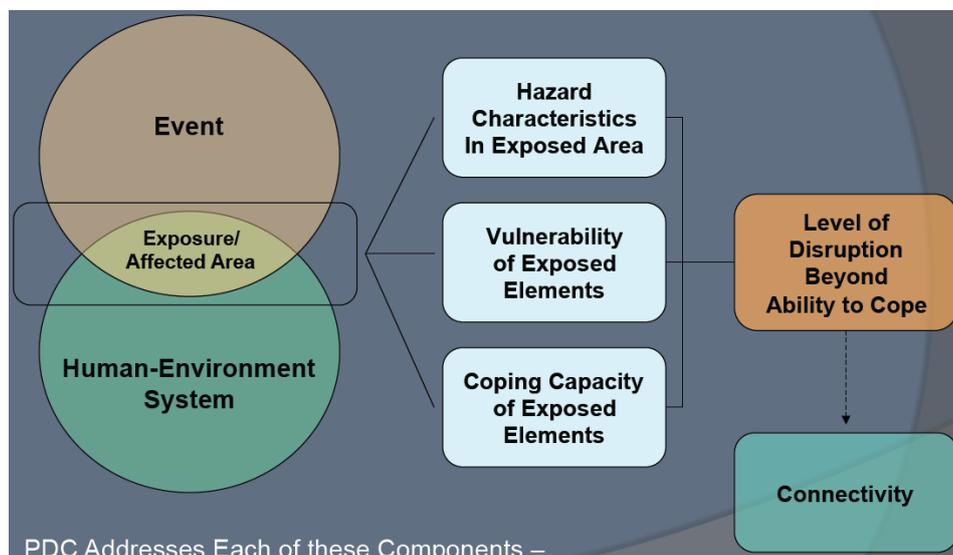


圖 2. 災害組成示意圖

## 2. 技術研討會

本屆國際量化風險評估與管理會議共有 88 個分組專題討論議題，其內容涵蓋所有當前機率性安全評估及管理的事項，包括：影響模式與管理、數位 I&C 軟體可靠度、企業風險管理、環境建模、消防建模與模擬、人因可靠度分析、工業安全與事故分析、壽限及老化管理、外來事件危害分析等等。以下就部份關切技術議題之內容續述於下：

### (1) Earthquake Risk Perception The Case of Mexico City (地震風險認知-以墨西哥城為例)

鑑於社會對於自然災害的關注，現今風險認知和溝通的分析在決策的制定中扮演重要的角色。例如保護市民的制度制定。風險認知與溝通的分析，不僅只視為用科學計算方法呈現出風險值，而應也是廣泛被討論的社會議題。本議題展現墨西哥人們對於地震風險認知學習的初步研究發現。希望此研究計畫的結果可以有助於了解，墨西哥人們在地震風險認知以及防範知識的瞭解程度，以減輕地震所帶來的影響。

地震可以視作是地球上最致命的自然災害之一。由於其破壞力量可在幾秒鐘內讓數千人的生命失去。根據所記載的數據，自 1900 年以來，預計每年世界各地的地震，其芮氏規模達 8 級或以上的地震有 1 個，芮氏規模 7-7.9 的地震有 15 個，134 個芮氏規模 6-6.9 的地震。這也被認為是大地震的數目一直保持相對恆定；然而，較小的地震觀測數（芮氏規模比 6 小的）卻逐年增加。

自然災害不僅是一場災難，當它影響到人類社會時，更是暴露且脆弱的，具體的危險是指人類、基礎設施、建築、公用設施等而言。社會的弱點特性則是“各項元素或組成元素之間，其喪失的程度多寡”。此外，某些學者認為“地震是可以預先準備的事件”。各國政府、當地社區和社會組織都應該對大型地震採取措施。個人也應透過學習在地震期間，採取了各種人身安全的措施，以減輕地震災害的影響。

總體而言，危險、危險認知、和危險溝通已經從不同的觀點得到處置。斯洛維克學者從不同的來源描述了危險認知，例如：地理學，社會學，政治學，人類學和心理學。從地理的觀點著眼，試圖了解自然災害對人類行為的影響；並利用社會學和人類學的方法，從另一方面，顯示社會和文化因素的影響。

最後，在心理層面利用個人的資源和信心，解決地震事件所引發的恐懼。斯洛維克學者認為，危險認知是三個主要因素組成：恐懼、熟悉和曝露。其他學者發現影響危險感知的因素通常不是獨立的，而是處於不同的災害類型與個人而有所變化。

全球已進行了許多文獻研究，以指出地震的危險性、地震危險應有的觀念，以及採取主動行為，以減少地震危險的辦法。然而，卻沒有類似像墨西哥這樣相關的研究。在墨西哥城及該國其他區域的研究小組，正在進行地震的危險認知、危險通報以及地震危險性的研究。

該議題是利用藉由設計廣泛問題的形式，進行問卷調查訪談，以滿足一些之前預先測試所得到的結論。調查結論說明如下：

- A. 調查參與者沒有預防地震危害相關的觀念。
- B. 地震期間有關正確行為的知能不足。
- C. 沒有學會基本經驗教訓。
- D. 綜觀以上，受訪者對地震危害事件並無作好準備。

## (2) Insights from the Analyses of Other External Hazards for Nuclear Power Plants (核電廠外部災害的分析見解)

未來可能發生超過核電廠最終安全分析報告 (FSAR) 所評估事件的更大危害，因此需要再評估更大災害對電廠的影響，尤其是天災的發生所造成的傷害。所以需要重新分析及定位未來自然災害威力的最大值，並且確認可能帶來的最大傷害。然而，從案例中可看到要確立大自然所造成的傷害極限值是有其困難度的。其中一種量化危害的方式是透過爐心融損以及早期輻射大量外釋頻率做為最大損害參考。這將需評估危害發生頻率，並對於自然災害發生最大強度頻率進行估計。這種估計可能遠高過過往歷史紀錄。此外，一些外部事件並不能僅評估其發生的頻率，因此，仍需確立選定災害的風險評估標準。該議題集結數種外部災害的討論主題進行分類，並探討其特質、PRA 評估方法，及外部災害的其他觀點。

自然現象中許多其他外來危害，通常會在 FSAR 進行評估，可視為核電廠使用執照過程的一部分。一般情況下，在 FSAR 使用的方法是從歷史記錄中指定一個可能最大事

件（即最大可信事件），證明該電廠設計可承受選出可能最大事件之影響。但由於福島事故，被選擇的這些可能最大事件卻未必是最大的事件，仍然有可能，這些可能最大事件會在未來被更嚴重的事件超過。因此，有必要重新審視其他外來風險，尤其是與自然現象有關的復甦活動。

確認其他外來危險的可能最大強度並應用在核電廠的設計分析，其中一個方法是確認危害的物理極限強度參數。然而，在一些情況下，難以確認選定的自然災害相關的物理極限參數值。為了讓電廠能承受這些高強度的危害，需要為電廠設計足夠的強度，但不能設計不合理的高強度計畫，使得電廠無法被經濟地設計。

為解決超出可能最大事件的問題，其中一種方法是評估反應爐心損壞之量化風險，或因特定外來危險影響，而使大量早期外釋的頻率。這需要評估危害頻率。而有可能去對特定有限強度的自然現象其發生頻率進行評估，在評估以往歷史事件範圍外的各種事件強度之發生頻率，其不確定性可能令人感到非常不安。

此外，一些外來危害的出現頻率可能並不適合進行簡單的評估。例如，某些危害只會發生在具有特定地質或土壤條件的地點。因此，危害頻率不能容易地確定，因為在該特定位置的危害頻率，沒有適用的數據。因此，仍需要特定的危害事件之風險評估來決定標準。

鑑於上述考慮，該議題將危害事件分成數種事件並說明及討論其特色，以及進行 PRA 評估與探討。其中共分為飛航器影響、生物事件、外部火災、天文事件、極端氣候、地質/土壤事件、重負荷掉落、工業意外、閃電、海陸運輸意外、廠址水災、汽機發電機拋射、最終熱沉劣化損失、颶風等外來危害事件。其中針對廠址水災事件之範疇，主要為外來水災、漲潮、暴雨、湖震、海嘯所造成的危害。而外來水災的主要分析方法，則是評估水位高程，確認電廠重要廠房之最高設計水面高程是否超過實際洪水入侵高度。而海嘯肇因則來自於海洋地震、山崩、與火山噴發，因海嘯引起的水災而導致的邊坡滑動，多受限於局部區域，受影響範圍小。多數電廠位置則處於遠離地層隱沒帶、山崩及火山活動區域。

由於有部分其他外來危害事件的影響，不適用於量化的頻率分析，必須採用確定論和機率學相結合的方法來進行其他外來危害評估。僅利用量化頻率分析特定的其他外來危害事件可能會涉及很大的不確定性。另外，因各種自然現象的組合皆可能發生，因此

核電廠的安全運行需挑戰最嚴重的影響，所以複合性事件的評估是外部災害評估重要的一部分。

### (3) Seismic PRA for Kashiwazaki-Kariwa NPP (柏崎刈羽地震研究)

地震風險評估是為了確保柏崎刈羽電廠（簡稱 KK-NPS）在施行地震相關措施下之有效性。其用意是提高安全性和建立經驗教訓，從 2007 年新潟中越地震(NCO)以及 2011 年日本關東北地震中，該 KK 電廠位處於易震地區。福島電廠一號機事故的教訓，和東日本大地震反映出在 Seismic PRA (SPRA)中之危害評估以及序列評估。因此須確認 KK 電廠在地震安全相關措施的漏洞，以及應變措施的有效性。

KK 電廠面對日本海，位於新潟縣的刈羽村和柏崎市的沿岸，擁有七個核反應爐（1-5 機組：BWR5，6,7 機組：ABWR，共 8,212 兆瓦）。該電廠分為南側的 1-4 機組和北側為 5-7 機組（如圖 3）。



圖 3. Kashiwazaki-Kariwa 核電廠位置圖

針對 2011 年東北發生的大地震與 2007 年的 NCO 地震，KK 電廠已從這些經驗教訓獲得許多經驗和學習，並對此採取了各種安全措施。在這項研究中，針對 KK 電廠 7 號機組（ABWR, 1356MWe）進行了地震的 PRA，以量化確認安全措施的有效性，同時了解 KK 電廠於地震發生時可能擁有的風險。依據“日本原子能學會（AESJ）頒布的核電廠標準地震概率安全分析（PSA）程序”執行了 PRA 分析。然而，日本去年才開始修訂該

標準，並且有部分相關知識是取得 2007 年經驗教訓，而東北大地震相關的知識經驗，目前才正要被納入修訂。

KK 電廠經歷 NCO 大地震（發生地點離 KK-NPS 約 16Km，地震釋放能量為 6.8MW）。地震的震動遠遠超過了 KK 電廠的設計基準，所以 NCO 大地震後，KK 核電廠修訂的其設計基準，並增強許多不同類型的抗震設備，如管路和電氣管路支撐（如圖 4 所示）與電源供應車輛(如圖 5 所示)。隨後，在 2011 年日本東北大地震引發的巨大海嘯，造成福島電廠第 1 機組的反應爐爐心損壞事件，因此 KK 電廠逐一加強各項設備措施，以抵抗外來事件的危害。因為海嘯是福島嚴重事故的主要因素，為此針對海嘯的防範措施，實施水閘門和海邊堤防的安裝。然而，為有效對抗地震危害，提高與廠外電源相關設施的抗震性（即開關站，變壓器，電纜通道等）。



圖 4. 新增管路支撐



圖 5. 電源供應車輛

依據 AESJ 標準，執行地震 PRA 的管制程序，而 這些程序基本上包括以下四個步驟。

- A. 收集工址和電廠的訊息，事故情景的設定參數
- B. 地震危害性評估
- C. 建築和設施的脆弱性評估
- D. 事故序列評估

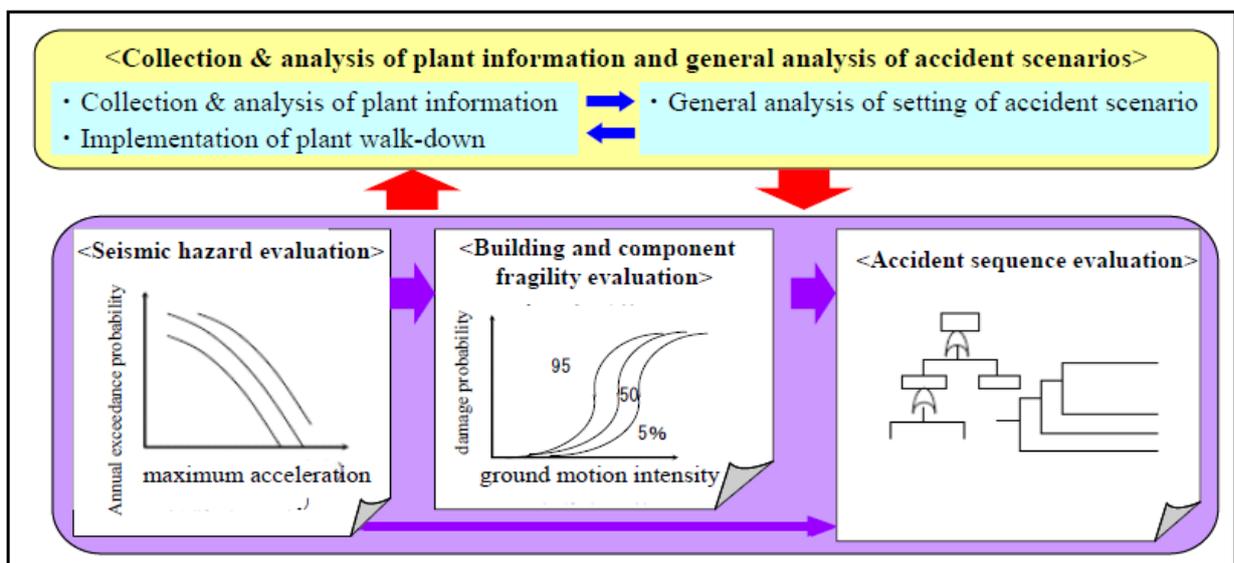


圖 6. 地震 PRA 評估程序

在 AM (Accident Management) 措施之前，針對 KK 電廠的 7 號機組進行地震 PRA 分析(如圖 6 所示)，確認電廠的脆弱區域。基於 7 號機組所發現的風險特徵和趨勢，及吸

取了福島意外事件經驗下，確認藉由不同的 AM 措施，能有效的針對地震進行反應。然而，為了實現更有效的應對措施，目的應是不斷提高安全性，而不是僅簡單地為了 CDF（Core Damage Frequency）值。目前 KK 電廠將針對可攜式 AM 設備，持續研究脆弱性評估方法，以及評估 KK 電廠其他機組的 SPRA 對策，另外亦計劃把重點延伸至用過燃料池（SFP）評估。

#### (4) Tsunami PRA for Kashiwazaki-Kariwa NPP (柏崎刈羽海嘯研究)

福島電廠在 2011 年 3 月 11 日受到日本關東大地震所引發之大海嘯侵襲。在這寶貴的一課中，體悟到「面對海嘯，深度防禦已然不夠」。因此，柏崎刈羽核電廠正在補強對於海嘯的安全措施，並對海嘯的 PRA 進行研究，評估海嘯應對措施的有效性。該研究依據日本原子能學會於 2012 年二月所發行之“核電廠之海嘯風險評估”指引。主要研究海嘯發生前後的應變措施，以評估應變措施的有效性。

在 2011 年 3 月 11 日，日本東北大地震產生的海嘯，在太平洋沿岸侵襲福島第一核電廠，它幾乎造成所有的岸邊洪水氾濫，並圍繞著主要建築物的周圍。然後造成電廠全黑（SBO），並引發最終熱沉的損失（LUHS），導致了嚴重的事故。藉由福島事故經驗教訓，因應防禦海嘯深度打擊的對策，需增強 KK 電廠每一階層的安全。由於目前新的核能管制法規已逐步被討論，除了現有存在的事故序列外，核能管制機構指定的重要序列群組也需要被確認。

在日本，於福島第一核電站事故的教訓發生後，直接加快海嘯 PRA 方法的發展，AESJ 在 2012 年 2 月發出海嘯 PRA 的指引，東京電力公司即開始進行海嘯 PRA，以評估海嘯應對措施的有效性。在實施海嘯對策之前，假設發生超過建築物的一樓高度的海嘯，由於沒有手段來防止洪水淹沒廠房及導致重要設備的功能失效，只能簡易的執行每次洪水漫延的評估與脆弱性的評估，並計算每次事故序列的爐心損壞頻率（CDF）值。而海嘯 PRA 分析評估的內容及項目包括以下四個步驟。

- A. 海嘯危害性評估
- B. 海嘯脆弱性評估
- C. 事故情境確認
- D. 事故序列評估

KK 電廠正在部署各種安全對策，增強抵抗海嘯和供應電力的措施，對於重要設備機房建立堤防和水密門，如 RCIC 室和 TB 廠房的修繕或維護之艙口。當低壓注水系統因海嘯超過堤防高度失去性能時，可以通過位於高海拔的消防車注入水。在反應爐廠房高樓層，藉由額外蓄電池的存放，加強 DC POWER 的供應，及安裝小型發電機以維持 DC Power 裝置，來延伸蓄電池的容量。

在 KK 電廠的 7 號機組所進行的海嘯 PRA 分析研究發現，若發生災難性的海嘯事故，其洪水可能導致反應爐損壞。在未實施海嘯對策狀態前，此時 CDF 值為  $2.1E-4$  (/RY)；而經海嘯對策實施後，此時 CDF 值為  $1.0E-7$  (/RY)。KK 電廠已證實，通過比較這兩個 CDF 值，可證明實施海嘯對策的有效性。而東京電力公司將繼續評估外來事件的危險，包括於海嘯發生時採用 PRA 方法，以及利用上述結論，以增強 KK 電廠的安全性。

### **(三) 拜訪 MIT 之 Todreas 教授暨進行專題討論**

除參加上述會議之外，高員兼核研所諮議會核安領域專責委員，於 6 月 30 日與 7 月 1 日拜訪麻省理工學院核子科學與工程系所 Neil Todreas 教授（曾擔任過核工系系主任），討論目前研發最新型漂浮海上的反應器設計；此一新型反應器設計除可承受海嘯考驗，並可利用海水以防止爐心融損事故。高員並就日本福島核電事故後美國核能的最近發展、新型核電機組設計與建造等議題進行討論。

Todreas 教授首先說明最近 MIT 核子科學與工程系所的研究人員已經提出了另一種核能電廠 - 一個漂浮在海面上的反應器設計(如圖 7 所示)。雖然浮動核能電廠在海上有一定的好處，但對周圍海洋生物和恐怖主義的威脅，在後福島時代仍受到全球的關注。

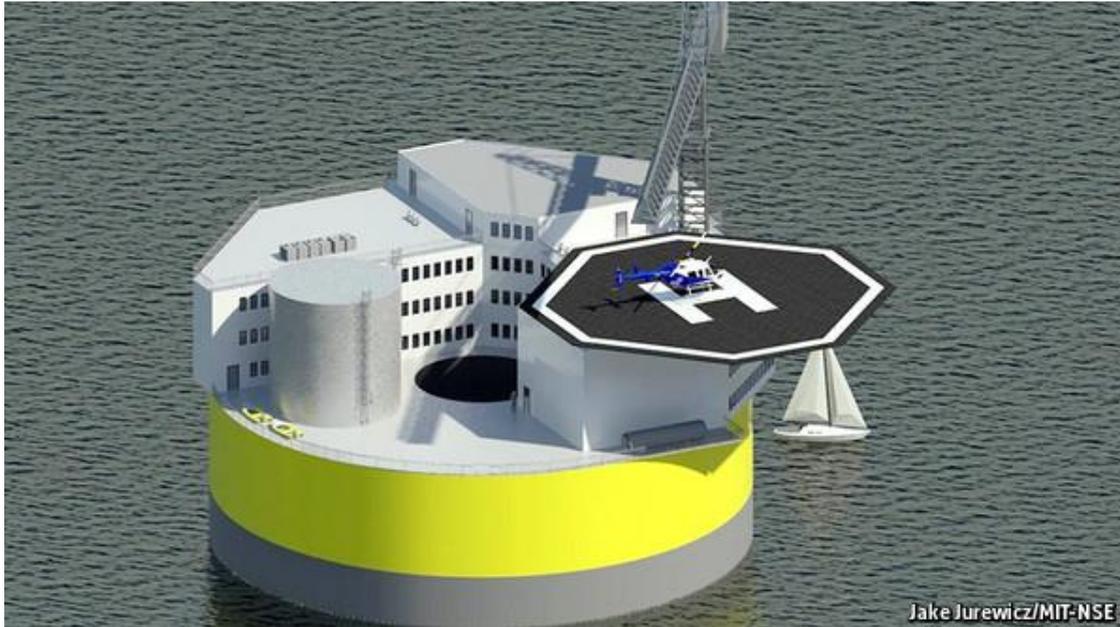


圖 7. 漂浮在海面上的反應器設計

三年前，繼 1986 年車諾堡核子事故後 25 年期間，核能電廠的持續安全運轉提供許多工業化國家的基本負載電力的穩定來源，然而 2011 年 3 月 11 日日本福島核能電廠第一核電站其中 4 個機組為 15 米高的海水淹所沒後，導致其中 3 個機組的爐心融損。

該核能電廠設計上可以承受的相當規模的地震，但廠址高度不足以抵擋洶湧的海嘯。備用電源是可以運轉的冷卻水泵，但是當海嘯淹沒水泵及備用電源，泵失去動力，因此循環水喪失冷卻核反應爐爐心的能力。所以引起爐心的核燃料融化和輻射的外洩，導致廠區附近區域的立即疏散和後續一連串事件的演變，最終日本不得不關閉其所有仍然運轉的核能電廠。德國，另一個使用核電的主要國家則在日本福島核電事故後，永久關閉了 17 個核能機組的其中 8 個機組；其他有的歐洲國家則擱置本身的核電計劃，核能似乎逐漸在走下坡。

儘管核電支持者視福島核電事故僅為少數的個案，仍相信核電是安全的；反對核電者緊咬住福島等重大事故，如三哩島核電事故，作為以陸地為基地核能電廠具毀滅性危險的例證。現在，另一種選擇是在被麻省理工學院的研究人員提出，結合美國威斯康辛大學和芝加哥橋樑和鋼鐵跨國建築公司的研究人員組成一團隊，該團隊已經提出了一種新型漂浮在海上核能電廠的概念。由核子科學與工程學系所 Neil Todreas 與 Jacopo Buongiorno 教授的帶領下，這個概念是建立一個類似於海上石油鑽井平台的浮動平台上的核電廠。該核電廠將在船廠進行製造，然後被拖出海，在外海它將被固定在海底。水

下電纜將電力傳送回陸地，還有內置近廠生活區，就像一個海上鑽井平台。核能電廠壓力容器內反應器爐心屬容易過熱的一部分，將經圍阻體所包圍，嚴重核子事故發生時有必要可進而為海水所淹沒。

相較於常規型態的核能電廠，雖然目前漂浮海上的反應器僅有 300 百萬仟瓦(MWe) 功率的核反應器設計，產生的較陸地商用核能電廠較小的能量，但將來可望發展至 1,000 MWe 以上核能機組的潛力。在美國最小的核反應器是 502MWe，而最大的是在亞利桑那州的帕洛貝爾德核能電廠，三個核能機組共可發出約 3,937MWe 的總發電容量。

雖然這個概念的浮動核能電廠並非完全為世界首創，事實上俄羅斯已新建類似浮動核能電廠，以大型駁船運送一對發出 70MWe 的總發電容量核反應器(名為 Akademik Lomonosov)，足以提供小型城鎮所需電力，並計劃將於 2016 年完工；而美國麻省理工學院為首的原型是第一個與核電廠結合的石油鑽井平台的設計，與俄羅斯核能電廠設計非常靠近海岸，屬不同概念設計，OSMRs（離岸小型模組化核能電廠）將被拖至遠海。

麻省理工學院的研究人員在最近的一次會議上提出這樣的想法，OSMRs 比傳統的陸基核電廠至少有 3 個優點；首先，OSMRs 座落位於遠在深海的基地上，使核能電廠更不容易受到地震和海嘯的衝擊，因為深海的海浪不致於因地震而大到會淹蓋整個 OSMR 頂端，即地震波會被海洋所吸收。

第二，用海水作為冷卻劑，對爐心融損的可能性將大大地降低。Todreas 教授表示：「海洋本身可以用作一個無限大的散熱器，即使在反應器停機的核燃料產生的衰變熱，也可以無限期地移走」。

第三，小的浮動核能電廠可以安裝在易受海嘯影響的脆弱地區，如東南亞，或沿海人口眾多但僅有限能源資源的地區。一旦達到核能電廠的生命結束時也可以拖上岸並執行除役作業。

雖然 OSMRs 的優點顯然多於缺點，也有一些懸而未決的問題；一旦污染的爐心融損危機發生在海上時，周邊海洋生命應該會發生什麼樣的影響？另一種是恐怖主義的威脅；麻省理工學院的研究人員聲稱，海上浮動核能電廠會更難以攻擊，但另一方面，防守也將是頗為艱難的。Todreas 教授指出防衛由艦艇和潛艇的恐怖襲擊這些「海上核島」，需要一些創意式的謀略；包括早期偵檢系統，並利用自動武器以排除小型攻擊船隻或武器入侵的考量。

在後福島的世界，前述考量雖會挫傷發展浮動核電廠的創意與積極性。然而我們已經有開採小行星的技術，發現失蹤客的洋底製圖技術，載平民到月球飛行器的技術。Todreas 教授認為如果 OSMRs 技術可以減少核安的風險，浮動核電廠可以幫助核電的重建，並成為提供能量供應的另一種方式，可望能重新爭取已渾身是傷核電形象的公眾信任。

除拜會 Neil Todreas 教授，高員順道拜會 Mujid Kazimi 教授(亦擔任過核工系系主任)，現任進步能源系統中心主任；Kazimi 教授提及在日本福島核電事故後美國核能新型核電機組設計方向，除 Todreas 教授的 OSMR 設計外，他新近研議整個反應器座落在近海海床上的初步構想，然恐需再一些時間方有具體設計細節。高員亦就我國在日本福島核電事故後核能的最近發展，包括運轉中 6 部機組與建造中兩部機組封存的現況等議題進行說明與討論。

### 三、心得

(一) 此次大會由現任美國核管會委員 Apostolakis 教授頒發獎學金給四位在風險評估領域表現傑出之研究人員，未來 PSAM 會議將持續選出表現卓越之研究人員，頒發獎學金。2009 年原任 IAPAAM 指導委員團秘書長的 USNRC 委員 George Apostolakis 博士，在擔任 MIT 教授期間的 1999 至 2009 年十年內曾有逾五年期間獲邀擔任核研所 PRA 相關計劃的顧問工作，後於 2009 年 10 月 9 日獲美國總統歐巴馬提名，參議院同意後於 2010 年 4 月出任 USNRC 委員。Apostolakis 委員在今(2014)年 6 月 25 日上午邀高員與其面談，他先向高員再次表達對我國原能會蔡主任委員於 2011 年 12 月間他訪台灣時之熱忱接待事宜表示感謝；並表示為 2012 年原能會核管處陳宜彬處長原擬邀請 Apostolakis 委員撥冗參與我國「第 9 屆核電廠熱流、運轉與安全國際會議 (NUTHOS-9)」且大會將頒發核安獎牌事宜，他因行程過於緊湊故不克參加，表達歉意。Apostolakis 委員並告知高員，因未獲美國總統歐巴馬提名續任，故其任期至今(2014)年 6 月 30 日止將離開 USNRC。

(二) 量化風險評估與管理(PSAM)系列國際會議已成為世界上規模最大的量化風險評估與管理學術會議，會中發表的論文題目涵蓋層面非常廣，有甚多值得借鏡的論文；持續參加 PSAM 系列會議發表論文及蒐集會議資料，對於核研所日後相關研發工作

的方向規劃與推展將甚有助益。透過國際性研討會的平台，發表核研所研發成果並擔任重要職務，除可發揮我國 PRA 技術的影響力外，有助於增加核研所在國際會議上領導地位、學術能見度及未來 PRA 研發工作的推廣，另可了解大型國際會議籌辦，在技術論文研發趨勢與財務規劃上運作全貌。參與 PSAM 國際研討會的機會，可藉此與世界各地的風險評估領域專家交流，對個人而言是一個很好的學習與成長的機會。除會議過程中可瞭解當今國際上風險機率研究的趨勢、方法與現況。在休息時間以及會後的各項活動中，亦有許多機會可與其他學者進行相當多的溝通及互動，可增進彼此相互研究的了解與情誼，實為此行非常重要的收穫。另外，對於一些個人鮮少應用到的相關領域也有粗略的認識與瞭解，對於今後的研究和學習上亦提供了莫大的幫助。然而，最重要的是藉由此機會認識了一些風險評估相關的研究學者，透過彼此持續保持聯繫，相互切磋交流，可培養其在國際之能見度。

(三) 由於核電廠的廠外事件 PRA 標準正在更新，在 PRA 評估所包括的相關重要技術環節，國內宜持續關注美國在標準的更新及先導研究的現況，並持續與累積最多核電廠運轉實績的美國核電業界或研究機構做資訊與經驗回饋的交流，以因應未來風險告知應用時對於 PRA 模式品質需求的考量，並深入瞭解採用 PRA 模式風險洞見為基礎的各種指標在應用的精神及其適切性，以及在 IPEEE 的應用，乃至第三階(Level 3)PRA 的全面研發。

(四) 2015 年與 2016 年將分別舉辦的 2015 PSAM Topical 與 PSAM 13 國際會議均已擇定適當地點；巴西 Luiz Fernando Oliveira 博士將主辦於 2015 年在里約熱內盧召開 PSAM 的主題會議( Topical meeting)，韓國 Joon-Eon Yang 博士將在首爾主辦 2016 年 PSAM13 會議；下次(第 21 屆)IAPSAM 指導委員團會議則暫訂於 2015 年 8 月下旬於韓國首爾召開。顯見 PSAM 系列的國際會議，已屬於 PRA 領域舉足輕重最大型的國際學術會議。此次高吳兩員藉由參加國際會議暨及擔任指導委員工作，保持與各國技術專家的溝通管道，並交換工業安全事故分析、壽限與老化管理、外來事件危害分析、核能 PRA、數位儀控 PRA、IPEEE (Individual Plant Examinations of External Events，廠外事件之個廠評估)、及其他廠外災害分析與評估、人因分析技術在核電的應用等等相關議題，瞭解國際目前的趨勢脈動，有助於計畫評估作業之進行與核安領域研發資訊及分享研發成果，及 PRA 與 IPEEE 研發工作的規劃與推廣。

(五)考量福島事故後各國核電政策變化；全球 31 個擁有運轉中機組的國家中，福島事故後，德國與瑞士改採放棄核電政策，比利時則維持 2003 年聯邦廢核法。其他國家則大多維持現有核電政策，並加強核電廠安全檢查與相關措施。目前沒有核電的國家，但有核電發展計畫，福島事故後，仍然維持既有核電發展計畫的國家有白俄羅斯、土耳其、阿拉伯聯合大公國、越南、波蘭、印尼。核電計畫延後或暫緩則有泰國與義大利。日本雖然國內存在一些反核的壓力，但是因日本投入太多資金在核電工業上，且核電為減碳能源的重要過渡選項；福島事故後日本原先表示未來能源選項 (Energy Mix) 將不包括核能，但前年安倍政府重新掌政後，決定還是繼續使用核能。目前大多數國家先暫緩核能供電的腳步，但是誠如於 2011 年 12 月間訪問我國的美國能源部(DOE)副部長丹尼爾•伯納曼(Daniel B. Poneman)在台灣大學進行「迎接明日的能源挑戰」的專題演講指出，美國歐巴馬總統在福島核災事故後立即澄清，美國依然認為核能在分散的低碳能源供應上扮演重要的角色。

(六)緊急柴油發電機在絕大多數美國及我國核電廠的安全分析(PRA)中都是很重要的安全設備，但在多數日本電廠分析結論中緊急柴油發電機的重要性卻大為降低。此原因即日本電廠對「喪失廠外電源」的機率給定極低值（日方對其輸電系統可靠度評估遠高於美國及我國）。福島事故證明日本核能界在某些方面是過度自信。美國核電廠安全評估在福島事故前不為日本核能界採用的有：電廠全黑導則，地震風險分析，嚴重事故處理導則(Severe Accident Management Guideline 相當於「斷然處置」前身)等等。日本雖然為一科學先進的已開發國家，但由於過度自信而隔絕核電量化風險評估於外，則需付出極大代價。我國雖在科技上和日本有一定的距離，但在許多核安要求上台灣是比日本周全的。

(七) 拜訪美國麻省理工學院 Neil Todreas 教授討論目前研發最新型漂浮海上的反應器設計；此一新型反應器設計除可承受海嘯考驗，並可利用海水以防止爐心融損事故。高員並將就日本福島核電事故後美國核能的最近發展、新型核電機組設計與建造等議題進行討論。有助於本所現有核能領域計畫的規劃，與美國專家就地震與 PRA 的議題、日本福島核電事故後續因應與處理過程的資訊、日本福島核電事故對我國與日本核電的核安改善措施經驗分享與核電發展的衝擊等議題、及最近核能研發與核

安管制的趨勢等主題進行討論，除可了解並借鏡相關專家在前述領域的看法與對未來應用的展望，對於日後核能研發相關研發工作的方向規劃與推展將甚有助益。

- (八) 發生在 2011 年 3 月 11 日的福島核電廠事故，經「日本事故調查東京電力福島核電廠事故獨立調查委員會(NAIIC)」全盤的檢討並完成相關調查報告書；NAIIC 主席東京大學黑川清教授直指這是一場「日本製造」的災難，這是一個深沉的人為的災難，並深刻檢討肇因於日本文化傳統的積習。期望日本核電文化能有洗面革心、大刀闊斧的改善並仍有重新出發與再生的契機。

## 四、建議事項

### (一) 持續參與國際會議以廣泛收集日本福島核電廠事故經驗回饋

因應日本福島核災事故後，我國在 100 年 11 月間政府已頒佈新能源政策，雖國內現行運轉中六部核電機組將陸續除役，建議仍應維持核研所核安領域在核電廠維護運轉上適當研發能量；美國能源部副部長丹尼爾·伯納曼在 100 年 12 月 13 日在台灣大學進行「迎接明日的能源挑戰」的專題演講指出，美國歐巴馬總統在福島核災事故後立即澄清，美國依然認為核能在分散的低碳能源供應上扮演重要的角色。

我國在福島核災事故，應沈澱一段時期後，採取更穩健腳步，再重新考量研發方向的調整。另德國在 2012 年 5 月間評估因非核政策，導致原先固有輸配核電的電力系統須更新，將依新能源供電處所重新鋪建全德四大電力系統；預估十年內需投入總經費 2 佰億歐元(相當於 7500 億台幣，可以蓋類似龍門電廠規模共六部機組)，我國減核並未納入此一龐大費用的估算。

量化風險評估與管理(PSAM)系列國際會議已成為世界上規模最大 PRA 技術與應用管理的會議，會中發表的論文題目涵蓋層面非常廣，有甚多值得借鏡的論文，建議持續派員參加(PSAM) 國際會議，發表論文及蒐集會議資料，以利於日後相關研發工作的方向規劃與推展。另建議鼓勵同仁多加投稿並擇優轉投 SCI 期刊，以發表同仁研發工作的成果；除可實踐知識管理與經驗傳承外，透過國際性研討會的平台發表核研所研發成果並擔任國際會議重要職務；除可發揮我國 PRA 技術的影響力，將有助於維繫核研所在 PRA 領域國際會議上的領導地位與學術能見度，並可了解大型國際會議籌辦情形、技術論文研發趨勢與財務規劃運作的全貌。建議針對核研所目前在核能、石化、關鍵基礎設施防護的 PRA 實績、風險告知應用相關技術及管制個案等面向，持續積極參與國際會議，建立經驗回饋及數據資料收集管道，並藉由經驗的分享，充分運用有限的研究資源，以獲取 PRA 技術應用與推廣的最大效益。

面對數月後的組改，核研所改隸經濟及能源部，在中下游的研發工作量上可能會有相當幅度的增加，然而核研所仍應投入部份研發人力於上游前瞻性的基礎研究上，以厚植中下游相關技術的基礎；另與其花費過多研發資源在稀有事件分析上，我國應更聚焦於確保既有核一、二、三核電廠符合設計基準的必要矯正措施上。日本福島核

電廠事故其經驗回饋深值得我國學習，乃至應用到我國核電生命週期全面擘劃的參考。

## **(二) 以國家層級進行核電廠除役相關技術與產業的規劃**

全球核電機組至 2030 年前將有逾 200 部機組因不延壽而停止運轉，2019 年將有逾 21 部機組除役達最高峰，2025 年將有 19 部機組、2015 年則將有 18 部機組進行除役。故我國在福島核災事故，應沈澱一段時期後，採取更穩健腳步，再重新考量研發方向的調整。如果國內現行運轉中六部核電機組確定將陸續除役，則建議可在 3 至 5 年內整合國內外機構的力量，以國家層級進行核電廠除役相關技術的規劃，並建構我國核電廠除役技術產業化策略。

## **(三) 妥適考量核電在我國能源結構配比的必要性**

能源結構配比一直是各國能源安全的核心。為了確保能源安全，各國均盡量在能源種類上採行多元化的策略。然而多元化只是一個籠統的概念。在實踐上，如何在各種能源種類中，取得最適合的結構比例，並規畫達成此一結構的策略，成為各國能源政策的最高目標。

我國廢核爭議引發各界對能源安全問題的重視，並激起對我國適當的能源結構配比的討論。事實上，廢核與否基本上是一個能源結構配比的調整問題，如果廢核成功表示核能在我國的能源比例將調整為零；其他能源種類的比例勢必增加。

為因應各種能源挑戰，我國亦須設立此一最高統籌單位。一方面在我國能源政策即將面臨解構與重組時，凝聚各方意見，制定長期的能源安全策略及最適的能源結構；另一方面在充滿風險與不確定的國際局勢中，制訂並統籌協調國際能源合作與能源外交策略之執行。由於我國既非總統制亦非內閣制，總統與行政院各有職司，為了達到有效統合的目的，我國國家能源委員會應可考量直屬總統府。

## **(四) 積極培養研究新血增進學術研究國際能見度**

此次 PSAM12 會議我國出席人員僅本報告兩位作者(高員、吳員)，然而中國大陸卻有將近 20 位研究人員與會；據瞭解，目前中國大陸學者出席國際研討會人數日益增加，並且是有計畫、大規模派員出席相關會議。一般而言通常由教授帶領整個實驗室

或研究室的學生參加，此舉不僅藉由團隊出席提升中國大陸的能見度，並可提高中國大陸在國際間的研發人脈與能量。反觀我國亦宜提攜年輕學子出席相關重點國際會議，以增廣見聞，廣結國際同儕學者專家，將有益學術發展，及有助於培養年輕學子其在國際之能見度。

## 五、附錄

### (一) 附錄一、參考資料

1. PSAM 12 Program Book (議程資料), June 22-27, 2014, Sheraton Waikiki Hotel, Honolulu, Hawaii, USA. (存核研所圖書館及核儀組)。
2. PSAM 12 Proceedings Material with Full Papers Stored on a USB Memory Stick (論文集), June 22-27, 2014, Sheraton Waikiki Hotel, Honolulu, Hawaii, USA. (存核研所核儀組)。
3. A Proposed Risk Management Regulatory Framework (NUREG-2150), USNRC, April 2012, USA (存核研所核儀組)。
4. Offsite Small Modular Reactor (OSMR): an Innovative Plant Design for Societally Acceptance and Economically Attractive Nuclear Energy in a Post-Fukushima, Post -9/11 World, Proceedings of the ASME 2014 Small Modular Reactor Symposium, Arril 15-17,2014, Washington, DC, USA. (存核研所核儀組)。

(二) 附錄二、IAPSAM 與 PSAM 2014 國際安全度評估與管理會議相關照片



附圖 1. IAPSAM 指導委員會會議情形



附圖 2. 6 月 23 日開幕當天 IAPSAM 指導委員會主席 Reina Virolainen 先生致辭



附圖 3. PSAM 2014 國際安全度評估與管理會議大會開幕式情形



附圖 4. 6 月 23 日開幕當天由美國核能管制委員會委員  
George Apostolakis 博士發表專題演講



附圖 5. PSAM 2014 國際安全度評估與管理會議大會專題演講情形



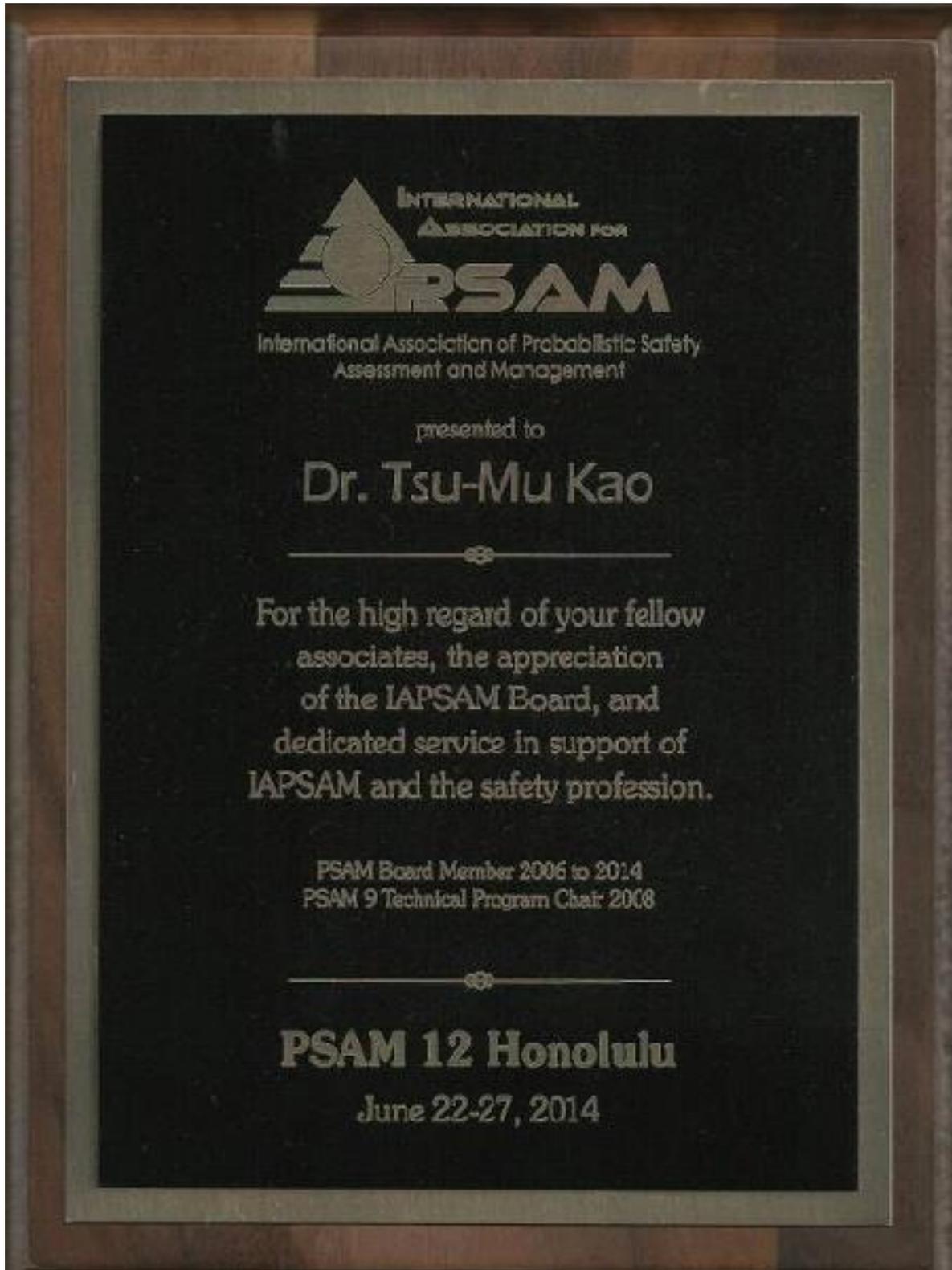
附圖 6. 6月26日日本原子力發電環境整備機構(NUMO)  
總裁 Shunsuke Kondo (近藤駿介) 博士發表專題演講



附圖 7. PSAM 2014 國際安全度評估與管理會議個別場次會議情形



附圖 8. PSAM12會議主席美國的Todd Paulos博士在大會公開頒發獎牌乙面予高員



附圖 9. 大會頒發因高員8年來長期積極參與IAPSAM和其服務熱忱獎牌乙面

Time	Room	Monday - June 23	Tuesday - June 24	Wednesday - June 25	Thursday - June 26	Friday - June 27
09:00-10:00	Plenary	George Apostolakis	John O'Donnell	Sandeep Reddy	Shunsuke Kondo	Heather Ball and Ray Shirkhoda
10:00-10:30		AM Break				
10:30-12:00	Honolulu	M01 Consequence Modeling and Management	T01 Aviation and Space I	W01 Aviation and Space II	Th01 Nuclear Engineering II	F01 Human Reliability Analysis VI
	Kahuku	M02 Digital I&C and Software Reliability I	T02 Fire Modeling & Applications	W02 Reliability Analysis and Risk Assessment Methods V	Th02 Reliability Analysis and Risk Assessment Methods VI	F02 Reliability Analysis and Risk Assessment Methods VII
	O'ahu	M03 Enterprise Risk Management	T03 Reliability Analysis and Risk Assessment Methods II	W03 Human Reliability Analysis III	Th03 Human Reliability Analysis V	F03 Revision of Seismic PRA Standards of Japan
	Weialua	M04 Environmental Modeling	T04 The Petro-HRA Project: Adapting SPAR-H to a Petroleum Context I	W04 Marine Engineering	Th04 Shipping and Offshore Oil & Gas I	F04 Transportation and Storage
	Wai'anae	M05 Fire Modeling and Simulation	T05 Risk Management Methods and Applications for Asset Management	W05 Uncertainty, Sensitivity, and Bayesian Methods I	Th05 Uncertainty, Sensitivity, and Bayesian Methods III	
	Ewa	M06 Human Reliability Analysis I	T06 Aging Management Issues for Nuclear (Spent) Fuel and HLW Transport and Storage Installations I	W06 Aging Management Issues for Nuclear (Spent) Fuel and HLW Transport and Storage Installations II	Th06 Nuclear Engineering III	
	Kona	M07 Industrial Safety and Accident Analysis I	T07 Dynamic Reliability I	W07 Dynamic Reliability II	Th07 Maintenance and Availability Modeling	
12:00-01:30		Break	Luncheon Speakers: Steve "Woody" Epstein & Jerzy Grynbilet	Break		
01:30-03:00	Honolulu	M11 Lifetime and Ageing Management	T11 Reliability Analysis and Risk Assessment Methods III	W11 Digital I&C and Software Reliability II		
	Kahuku	M12 Maintenance Modelling and Optimisation I	T12 Application of Probability and Physics for NASA Risk Assessment Applications	W12 Safety Assessment Software and Tools I	Th12 Safety Assessment Software and Tools II	
	O'ahu	M13 Occupational Safety and Management	T13 External Events Hazard/PRA Modeling for Nuclear Power Plants I	W13 External Events Hazard/PRA Modeling for Nuclear Power Plants II	Th13 External Events Hazard/PRA Modeling for Nuclear Power Plants III	
	Weialua	M14 Operational Experience and Data Analysis	T14 Cyber Security and Digital I&C	W14 Safety Management and Decision Making I	Th14 Safety Management and Decision Making II	
	Wai'anae	M15 Phenomena Modeling	T15 Reliability of Passive Systems I	W15 Reliability of Passive Systems I	Th15 Shipping and Offshore Oil & Gas II	
	Ewa	M16 Policy Making and Legislative Issues	T16 Human Reliability Analysis II	W16 Uncertainty, Sensitivity, and Bayesian Methods II	Th16 SOARCA Uncertainty Analyses	
	Kona	M17 Low-power and Shutdown	T17 Integrated Deterministic and Probabilistic Safety Assessment I	W17 Integrated Deterministic and Probabilistic Safety Assessment II	Th17 Nuclear Engineering IV	
03:00-03:30		PM Break				
03:30-05:00	Honolulu	M21 Reliability Analysis and Risk Assessment Methods I	T21 Reliability Analysis and Risk Assessment Methods IV	W21 Human Reliability Analysis IV	Th21 External Events Hazard/PRA Modeling for Nuclear Power Plants IV	
	Kahuku	M22 Dependent Failure Modeling I	T22 Dependent Failure Modeling II	W22 Nuclear Engineering I	Th22 Crisis and Emergency Management	
	O'ahu	M23 Risk and Hazard Analyses I	T23 Risk and Hazard Analyses II	W23 Industrial Safety and Accident Analysis II	Th23 Risk and Hazard Analyses III	
	Weialua	M24 Risk Governance and Societal Safety I	T24 Risk Governance and Societal Safety II	W24 Digital I&C and Software Reliability III	Th24 Digital I&C and Software Reliability IV	
	Wai'anae	M25 Risk Informed Applications I	T25 Risk Informed Applications II	W25 Risk Informed Applications III	Th25 Nuclear Fuel Analysis	
	Ewa	M26 Risk Informed Licensing and Regulation I	T26 Fire and Combustibles Analysis	W26 Risk Informed Licensing and Regulation II	Th26 Safety Integrity Level (SIL)	
	Kona	M27 Automotive Engineering	T27 The Petro-HRA Project: Adapting SPAR-H to a Petroleum Context II	W27 Benchmark Problem #1 - A Space Propulsion System	Th27 Safety Culture and Human & Organizational Factors	

**PSAM 12 Program Outline**

附圖 10. PSAM 2014 國際安全度評估與管理會議議程