

出國報告（出國類別：其他）

## 參加第 19 屆太平洋盆地核能會議

服務機關：核能研究所

姓名職稱：陳彥旭 助理研究員  
范勝淵 助理工程師

派赴國家：加拿大

出國期間：103 年 8 月 23 日~103 年 8 月 30 日

報告日期：103 年 9 月 9 日



## 摘要

第 19 屆太平洋盆地核能會議(Pacific Basin Nuclear Conference, PBNC)於 2014 年 8 月 24 日至 28 日於加拿大溫哥華舉辦，本次 PBNC 有超過 20 個國家派員參與，議程包括各國核能發展、增強核能安全與維護、電廠運轉與維護之提升、促進能源政策和全球共識、加強民眾溝通等議程。本所核工組於執行台電公司委託之「核二廠中幅度功率提昇技術服務案」，將其中發展的相關研究技術，如在類似福島事故中反應器降壓與圍阻體通洩策略、用過燃料池熱流分析等應用到國內其他核電廠，將其彙整成論文投稿至 PBNC 發表，本所指派核工組助理研究員陳彥旭與助理工程師范勝淵二員赴 PBNC 進行成果發表，以促進本所與國際間的技術交流，並增進本所在國際間之能見度。

關鍵字：太平洋盆地核能會議、反應器降壓與圍阻體通洩策略、用過燃料池熱流分析。

# 目 次

摘 要 .....	i
一、目 的 .....	1
二、過 程 .....	2
三、心 得 .....	12
四、建 議 事 項.....	14
五、附 錄 .....	15

# 一、目的

本所核工組於執行台電公司委託之「核二廠中幅度功率提昇技術服務案」，將其中發展的相關研究技術應用到國內其他核電廠，如在類似福島事故中反應器降壓與圍阻體通洩策略、用過燃料池熱流分析等技術，並將其彙整成論文投稿至第 19 屆太平洋盆地核能會議(Pacific Basin Nuclear Conference, PBNC)發表，本所指派核工組助理研究員陳彥旭與助理工程師范勝淵二員赴 PBNC 進行成果發表，以促進本所與國際間的技術交流，並增進本所在國際間之能見度。

本次共 3 篇投稿被接受，如下所列。前兩篇由陳員報告，第三篇由范員報告。

(1) PBNC2014-043: Thermal Analyses for the Spent Fuel Pool of Taiwan BWR Plants during the Loss of Cooling Accident，作者為陳柏諺 (Bo-Yan Chen)、葉佳霖 (Chia-Lin Yeh)、魏偉哲(Wei-Che Wei)、陳彥旭 (Yen-Shu Chen)。

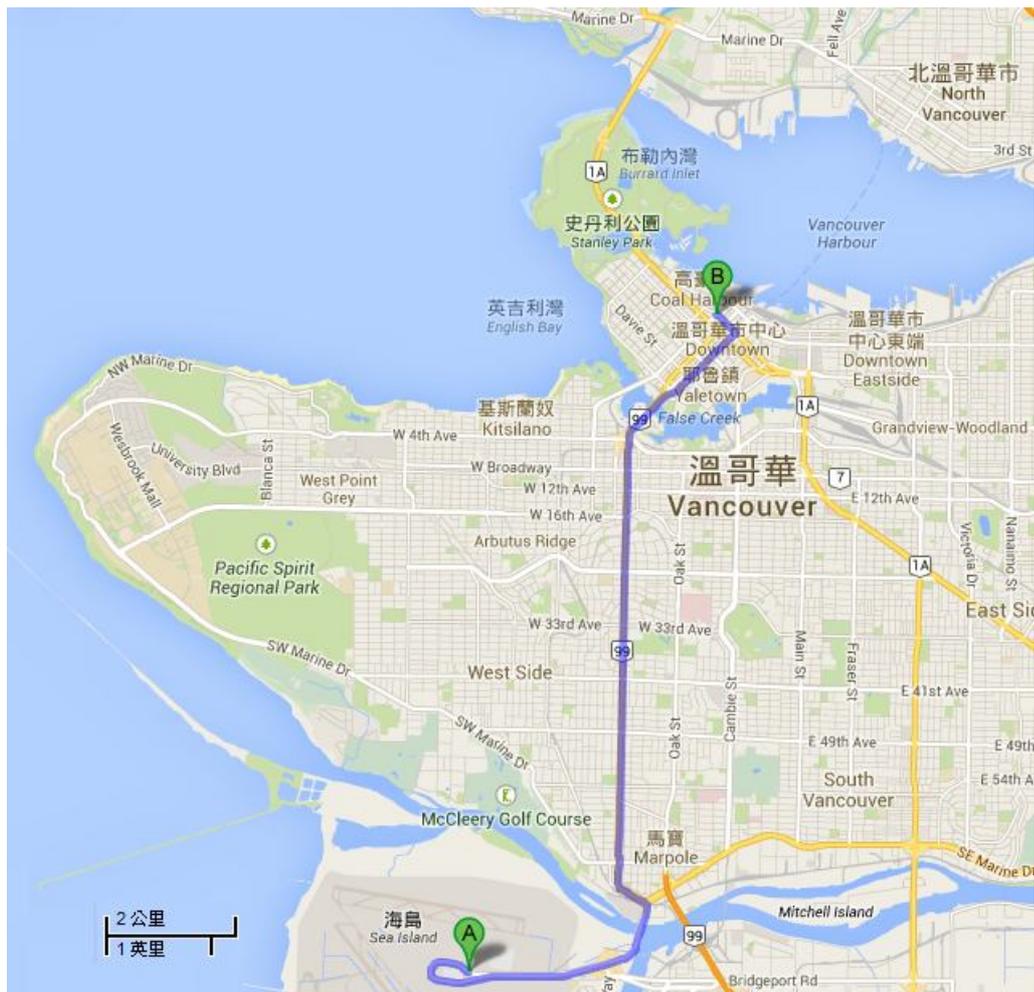
(2) PBNC2014-169: Thermal Analyses for the Rack Design with Spent Fuel Pool during the Loss of Cooling Accident，作者為葉佳霖(Chia-Lin Yeh)、陳彥旭 (Yen-Shu Chen)、陳柏諺 (Bo-Yan Chen)、曾永信(Yung-Shin Tseng)、魏偉哲(Wei-Che Wei)。

(3) PBNC2014-214: A Study of RPV Depressurization and Containment Vent Strategy in Fukushima Like Accident of Chinshan NPP by Using MAAP5，作者為范勝淵 (Sheng-Yuan Fan)與王士珍(Shih-Jen Wang)。

## 二、過 程

### (一)本次公差行程說明

本次公差目的地為加拿大溫哥華(Vancouver, BC, Canada)，PBNC 藉用位於市中心的 Hyatt Regency Vancouver 飯店舉辦，如圖二-1 所示，圖中 A 為溫哥華國際機場，B 為 Hyatt Regency Vancouver 飯店。



圖二-1 本次公差地點(加拿大溫哥華)

### (二) PBNC-2014 會議過程

會議首日為 8 月 24 日，但僅於下午進行與會人員註冊，註冊後發給識別證及一只隨身碟(內含有本次會議論文之電子檔)，如圖二-2 所示。當晚主辦單位邀請 Bruce Power 執行副總裁 Mr. Len Clewett 進行開幕致詞，當日並無正式演講議程。



圖二-2 註冊後發給之識別證及隨身碟

正式議程由 8 月 24 日上午 8 點開始，首先由大會主席 Mr. Frank Doyle 進行 5 分鐘致詞，接下來由各國貴賓致詞，包括 Mr. Jacques Plourde (President, Canadian Nuclear Society)、Prof. Atsuyuki Suzuki (President, Pacific Nuclear Council)、Dr. John Barrett (President & CEO, Canadian Nuclear Association)、Mr. Tim Gitzel (President & CEO, Cameco Corporation)、The Hon. Kelly Block (M.P., Parliamentary Secretary to the Minister of Natural Resources)、Dr. Ron Oberth (Plenary and Keynote Program Chair)等。

接著由能源界重要人士簡介環太平洋各國的核能發展方向，首先由 Dr. Peter Lyons (Assistant Secretary for Nuclear Energy, USDOE)介紹美國的核能發展，二十年來，美國總發電量約有 20%是由核能提供，目前在美國的非溫室氣體排放的發電方式中，核電所佔比重亦最高(約 60%)。美國 Obama 總統在針對氣候變遷的 Climate Action Plan 中亦聲明，美國亦會在世界各國之間以雙邊或多邊的承諾，來推廣核能應用，並符合安全與防止核武擴散的目標，該段原文如後：“The United States will continue to promote the safe and secure use of nuclear power worldwide through a variety of bilateral and multilateral engagements. For example, the U.S. Nuclear Regulatory Commission advises international partners on safety and regulatory best practices, and the Department of Energy works with international partners on research and development, nuclear waste and storage, training, regulations, quality control, and comprehensive fuel leasing options. Going forward, we will

expand these efforts to promote nuclear energy generation consistent with maximizing safety and nonproliferation goals.”該段說明顯示，美國政府仍將核能視為重要項目，以達到該國能源供應、環境與能源安全的需求。

日本原子力研究開發機構(JAEA)前理事長與東京大學榮譽教授鈴木篤之(Atsuyuki Suzuki)說明日本面臨核能發展的挑戰，在面臨福島核災之後，光是純粹依靠科學與技術是無法完全預防嚴重事故的發生，為了強化核能安全，科技應要與社會及制度相結合，與外界透明化的溝通及自律是極為重要的，不只對日本而已，這對世界各國的核能發展亦是重要挑戰。

加拿大 Ontario Power Generation 公司的總裁 Tom Mitchell 說明，過去五十年來，核能是加拿大的重要能源之一，Ontario 省有一半的電力來自核能。在福島核災之後，該公司的電廠亦針對此進行強化，加強核電廠安全與保安，以達到環境、經濟、社會的共同福祉。

中國大陸 State Nuclear Power Technology Corporation 副總裁 Suo Wei 表示，至 2014 年 1 月底，中國大陸有 20 座運轉中的核電機組，裝置發電量達 18.05 GWe，占總裝置發電量 1.44%，該 20 座機組在 2013 年無發生任何 1 級以上的事務。中國大陸還要建造 28 座核電機組(裝置發電量達 30.5 GWe)，並規劃至 2020 年的發電量要達到 58 GWe，且正在加速新機組的建造審查核准過程，是目前世界上發展核電最積極的國家。

Korea Atomic Industrial Forum 執行副總 Mr. Kye-Hong Min 亦對南韓國核電發展進行說明，自從第 1 座機組 Kori 1 於 1978 年開始商轉，南韓就開始投入核電的發展，經過長期的努力，已發展出 OPR 1000 及 APR 1400 反應器，而且 APR+反應器(1500 MW)亦接近完成。南韓至今已有 23 座運轉中的商用反應器(20.716 GW)，佔全國電力裝置容量 25%，實際發電量更接近全國總發電量 1/3。在該國的長期能源發展計畫(Long Term Energy Development Plan)中，核電的裝置容量在 2035 年要達 29% (43 GW)。然而在福島和災發生後，南韓政府盡了最大努力在改善核能安全文化、營運管理、及公眾溝通透明化等重要事項，而且在 2013 年啟動用過核燃料的公共委員會(Public Engagement Commission)，目的在提供民眾諮詢討論，並在 2014 年底審查分析用過燃料的管理方式，

將建議提交給政府。南韓有 97%的能源依賴進口，核電對於國家經濟發展已是不可或缺，南韓正針對核電研發投入大量資金，未來核電在該國會越來越重要。

墨西哥 Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares 的 Mr. Javier Palacios 代替 Dr. Lydia Paredes 簡報，目前墨西哥以火力發電為主，約有 50% 電力來自燃氣，12% 電力來自燃煤。墨西哥目前僅有 1 座核電廠(Laguna Verde)，2 座 BWR 機組提供 1,610 MW，即 3.08% 的電力裝置容量與 4.6% 的總發電量。墨西哥 2012-2026 國家能源政策 ENE-2012 提出電力來源多樣化，於 2026 年至少 35% 電力要來自於非石化燃料，因此預期，未來核能在墨西哥也會有所成長。

本次 PBNC 由於投稿量眾多，依論文性質分別於 61 個技術議程(technical session)中發表，每個議程約有 4 至 5 篇論文簡報，地點散佈於 Hyatt Regency 飯店 2 至 4 樓的會議室中，同一時間會有 6 至 10 個技術議程進行，安排相當緊湊。

本次投稿 3 篇論文安排時程分別為：

PBNC2014-043: Thermal Analyses for the Spent Fuel Pool of Taiwan BWR Plants during the Loss of Cooling Accident，安排於 Session 1A1-6，於 8 月 25 日下午 14:00 由陳員負責簡報，簡報檔如附錄(一)。

PBNC2014-169: Thermal Analyses for the Rack Design with Spent Fuel Pool during the Loss of Cooling Accident，安排於 Session 3A5-6，於 8 月 27 日下午 14:40 由陳員負責簡報，簡報檔如附錄(二)。

PBNC2014-214: A Study of RPV Depressurization and Containment Vent Strategy in Fukushima Like Accident of Chinshan NPP by Using MAAP5，安排於 Session 3B1-1，於 8 月 27 日下午 16:40 由范員負責簡報，簡報檔如附錄(三)。

由於該會議的議程安排非常密集，同一時間會有數個技術議程進行，本公差報告僅能就部分技術議程進行簡述。

#### 1. Session 1A1-6： Accident Management – Spent Fuel Pool Safety & Plant Security

該議程如表二-1 所示。

表二-1 PBNC-2014 Session 1A1-6 發表論文

報告時間	題目與作者
14:00-14:20	43. THERMAL ANALYSES FOR THE SPENT FUEL POOL OF TAIWAN BWR PLANTS DURING THE LOSS OF COOLING ACCIDENT C. Bo-Yan, Y. Chia-Lin, W. Wei-Che, and C. Yen-Shu (Institute of Nuclear Energy Research, Taiwan)
14:20-14:40	83. LOSS OF COOLING ACCIDENT SIMULATION OF NUCLEAR POWER STATION SPENT-FUEL POOL M. Lee and K. S. Liang (National Tsing Hua University), K. Y. Lin (Taiwan Power Company)
14:40-15:00	197. FINITE ELEMENT ANALYSIS OF HEAT TRANSFER BETWEEN SPENT CANDU FUEL BUNDLES IN SPENT FUEL POOLS C. Krasnaj and W. Grant (Canadian Nuclear Safety Commission)
15:00-15:20	200. CYBER SECURITY FOR REMOTE MONITORING AND CONTROL OF SMALL REACTORS D. Trask (Atomic Energy of Canada Limited), C. H. Jung (Canadian Nuclear Safety Commission), M. MacDonald (Atomic Energy of Canada Limited)
15:20-15:40	201. DISTRIBUTED SECURITY FRAMEWORK FOR MODERN WORKFORCE G. Balatsky and C. Scherer (Los Alamos National Laboratory)

第 1 篇即為陳員發表之論文，針對用過核燃料在喪失冷卻系統作用時，進行熱流分析評估。第 2 篇為清華大學李敏教授發表之論文，同樣針對用過燃料池在喪失冷卻事故的熱流分析，李教授的團隊使用 RELAP 程式進行，與本所的分析模式與假設不盡相同，但可做為參考之用。第 3 篇是由 Cody Krasnaj 針對 CANDU 反應器的用過燃料，採用有限元素法(finite element)進行熱流分析，CANDU 用過燃料是採水平擺放，與輕水式用過燃料的直立擺放不同，故其內部流場也會有所差異。第 4 篇則是探討小型反應器(Small reactor)遙控的安全性，第 5 篇是由 Los Alamos 實驗室 Balatsky 博士針對美國核電保安與工作人力結構進行探討，因為目前核電業的工作機會並不像早年穩定，工作失誤率也比以前來得高，再加上年輕世代習慣使用電子產品，再加上外包商與短期契約工作者等因素，使得核電廠的保安面臨挑戰，未來核能電廠的安全工作，將會逐漸由一個集中辦公室的少數人員，開始分散到電廠每個員工身上，藉由訓練及落實安全文化，進一步確保核電廠安全。

2.Session Session 1A1-4: ACCIDENT MANAGEMENT - ANALYSIS

議程如表二-2 所示。

表二-2 PBNC-2014 Session 1A1-4 發表論文

報告時間	題目與作者
14:00-14:20	23. IMPROVEMENTS OF INTERFACIAL DRAG MODEL FOR THE RECTANGULAR NARROW CHANNEL REFLOODING SIMULATION BASED ON THE RELAP5/MOD3 S. Liu (Nuclear Power Institute of China), W. Zeng (Nuclear Power Institute of China)
14:20-14:40	. A PROBABILISTICS SAFETY ASSESSMENT OF ULTIMATE RESPONSE GUIDELINES OF MAANSHAN NUCLEAR POWER PLANT P. Y. Wang (National Tsing Hua University), M. Lee ( National Tsing Hua University), C. C. Chao (Institute of Nuclear Energy Research)
14:40-15:00	413. BRUCE NGS A LOSS OF FLOW ANALYSIS FOR EFFECTIVENESS OF LEVEL 2 DEFENCE-IN-DEPTH PROVISIONS W. Won (AMEC NSS), Y. Jiang (Bruce Power), M. Kwee (Bruce Power), J. Xue (Bruce Power)
15:00-15:20	409. COMPARISON OF FUZZY SET DEFINITION FOR HYDROGEN FLAMMABILITY DURING A SEVERE ACCIDENT S. H. Park (Korea Atomic Energy Research Institute), K. I. Ahn (Korea Atomic Energy Research Institute), Y. H. Jin (Korea Atomic Energy Research Institute), E. H. Suh (Mokwon University)

第一篇演講者缺席，第二篇又因清華大學李敏教授參加 session1A1-6，因此延至最後。李教授主要介紹台電公司之斷然處置(URG)措施，於 PWR 電廠依據 URG 執行蒸汽產生器二次側洩壓，對爐心熔損機率(CDF)減少程度。韓國原子能研究所(Korea Atomic Energy Research Institute, KAERI)JIN 報告 KAERI 嚴重事故處理指引(SAMG)，並利用 FUZZY 方法與規則分析電廠氫氣可燃燒區間之正確位置。

### 3. Session 1B8-12 : Public Acceptance

該議程如表二-3 所示。

表二-3 PBNC-2014 Session 1B8-12 發表論文

報告時間	題目與作者
16:00-16:20	58. IT TAKES A COMMUNITY TO ENGAGE A COMMUNITY: A MODEL FOR PUBLIC ENGAGEMENT ABOUT THE IMPACTS OF NUCLEAR RESEARCH AND DEVELOPMENT M. Dalzell, M. Main and J. Root (Sylvia Fedoruk Canadian Centre for Nuclear Innovation)
16:20-16:40	59. NUCLEAR 101, A COURSE ON THE NUCLEAR SECTOR FOR WORKERS IN THE NUCLEAR SECTOR J. M. K. C. Donev (University of Calgary), D. Boreham, S. Day (McMaster University), R. Dranga (Atomic Energy of Canada Limited), J. Krasznai, R. Matthews (retired), J. Whitlock (Atomic Energy of Canada Limited)
16:40-17:00	155. THE UNIQUE ROLE OF A PUBLIC POWER AGENCY IN NUCLEAR COMMUNICATIONS L. Scheele and J. Dobken (Energy Northwest)
17:00-17:20	6. NUCLEAR KNOWLEDGE, TRUST, AND PUBLIC ACCEPTANCE OF NUCLEAR DEVELOPMENTS L. Berdahl, S. Bell, M. Bourassa, and J. Fried (University of Saskatchewan)
17:20-17:40	10. SMALL MODULAR REACTORS (SMRS) –THE KEY TO INCREASED SOCIAL ACCEPTANCE OF NUCLEAR POWER? H. Sam-Aggrey (Atomic Energy of Canada Limited)

該議程是這次研討會中較為特殊的議程，不以研究技術為主，而是以核電的公眾接受度為主的相關研究。第 1 篇是 Fedoruk Centre 在去年舉行“nuclearFACTS”討論會的經驗分享，因 Fedoruk Centre 有得到政府研究經費，因此爭取一般民眾認同也是其目標，“nuclearFACTS”討論會讓技術專家與一般民眾有機會針對核醫藥物、能源安全、材料研究、社會環境等專業議題進行溝通，讓民眾瞭解相關研究的發展，進而擴大公眾的接受度與認同。在該討論會中觀察到，增加民眾提問答覆時間，展出一般性技術簡介的海報(非深入技術探討)等，都會提高一般民眾的參與程度。

第 2 篇由加拿大 University of Calgary 物理教授 Jason Donev 簡介 Nuclear 101 方案，目前在加拿大核能設施相關的工作人員約有 66000 人，因為工作環境的關係，在日常生活會較容易被詢問到核能相關問題，然而大部分人員並非技術專家，不見得能給予妥適的回應，Canadian Nuclear Society 在 2012 年進行了 Nuclear 101 方案，在 2 日課程中提供核能設施工作人員一般的核能知識，該課程分為 3 部分：第 1 部分簡介核燃料與反應器，

第 2 部分回顧加拿大核能發展的歷史，第 3 部分則是輻射與保健物理的介紹。該課程不但可增長參與者的基礎知識與瞭解，即使是技術專家，也可以藉由該課程更加全面地瞭解相關議題。

第 3 篇由美國 Energy Northwest 公司 Laura Scheele 說明電力公司在於核能議題溝通上的重要性，Energy Northwest 在美國西北的華盛頓州擁有風力、水力、太陽能等發電設施，更擁有核電廠(Columbia Generating Station)，在華盛頓州的電力相關組織會依靠 Energy Northwest 提供核能的相關資訊，包括發電量、輻射效應、甚至核子災害訊息，電力公司不只提供資訊給相關單位進行決策，並發展電力相關組織對於核能議題的溝通機制，甚至透過傳播媒介直接與社會大眾進行溝通。第 4 篇則是 University of Saskatchewan 的研究團隊針對當地民眾進行的調查，雖然當地沒有核電廠，但 Saskatchewan 盛產鈾礦，為該地之重要經濟來源，該研究指出，若核能政策想得到更多支持，重點在於強化民眾的信任度，而對於核能法規與安全措施的民眾教育會有助於此。第 5 篇是 AECL 的 Horatio Sam-Aggrey 博士針對小型模組反應器(Small Modular Reactor)可否增進核電的社會接受度進行研究，小型模組反應器的設計會較以往電廠安全，也會產生較少廢料，甚至建廠成本等經濟優勢，都有助於社會大眾對於核電的接受度。

#### 4. Session 2B1-2: SEVERE ACCIDENTS

議程如表二-4 所示。

第一篇是介紹加拿大電廠 CANDU6 型反應器，在嚴重事故救援中二次側補水措施，是一項極為重要的方法。該機構利用 MAAP4.0.6 程式，模擬在全黑事故下利用圍阻體冷卻噴灑系統(containment dousing spray system)執行二次側補水之能力。藉以檢視圍阻體冷卻噴灑系統水量是否足以避免爐心熔損。

第二篇介紹韓國電廠以全面加裝被動氫氣再結合器(Passive Autocatalytic Hydrogen Recombiner (PAR))，有些電廠與點燃器合併可達到接收 100%爐心產生氫氣量。利用解析方式分析在嚴重事故後 PAR 之位置與效能是否可達設計標準。

第三篇為李敏教授簡報，介紹沸水式反應器業主(BWROG)發展之緊急/嚴重事故處理指引(EPG/SAG)之最小蒸氣冷卻水位(Minimum Steam Cooling Water Level, MSCWL)物理意義，並利用 RELAP3D 程式，依據不同壓力槽壓力下分析 MSCWL 實際位置。

本 SEESION 最後一篇，是運用 LIVE 程式，研究輕水式反應器在喪失冷卻水下，槽內熔渣床之熱通量等議題。並比較 2D 模型與 3D 模型在熔渣床頂部熱傳之表現。

表二-4 PBNC-2014 Session 2B1-2 發表論文

報告時間	題目與作者
10:20-10:40	70. MAAP4-CANDU SIMULATION RESULTS FOR CANDU 6 ACCIDENT MANAGEMENT MEASURE: STEAM GENERATOR SECONDARY SIDE WATER MAKE-UP FROM DOUSING TANK FOR THE STATION BLACKOUT SCENARIO S. Petoukhov (Atomic Energy of Canada Limited)
10:40-11:00	72. ANALYSIS METHOD FOR THE DESIGN OF A HYDROGEN MITIGATION SYSTEM WITH PASSIVE AUTOCATALYTIC RECOMBINERS IN OPR-1000 C. H. KIM (Korea Hydro and Nuclear Power Co, Ltd.), J. J. Sung (Korea Hydro and Nuclear Power Co, Ltd.), S. J. Ha (Korea Hydro and Nuclear Power Co, Ltd.), I. S. Yeo (KEPCO Engineering and Construction Co. Ltd.)
11:00-11:20	78. MINIMUM STEAM COOLING WATER LEVEL OF BOILING WATER REACTORS M. T. Huang (National Tsing Hua University), M. Lee (National Tsing Hua University)
11:20-11:40	82. EXPERIMENTAL RESULTS OF IN-VESSEL MELT POOL BEHAVIOUR WITH SURFACE INSULATION AND SURFACE COOLING CONDITION FROM LIVE-3D AND LIVE-2D FACILITIES X. Gaus-Liu (Karlsruhe Institute of Technology), A. Miassoedov (Karlsruhe Institute of Technology), B. Fluhrer (Karlsruhe Institute of Technology), T. Cron (Karlsruhe Institute of Technology)

#### 5. Session 3A5-6 : Advanced Fuel for New Build

該議程如表二-5 所示。

第 1 篇論文是關於韓國 KEPCO 針對自行研發之 HIPER16 燃料的實驗測試驗證，KEPCO 已於 2010 年成功發展出 HIPER16 燃料，測試燃料束已裝填入 HANUL Unit 6，預計放置 3 個週期(2011 至 2015)。第 2 篇論文則是探討 CANDU 反應器使用之 TRUMOX 燃料中的放射性元素組成，若能將用過燃料中的放射元素分離出，則用過燃料釋放的輻射劑量與衰變熱功率就能減少。第 3 篇則是陳員報告的論文，藉由增加燃料格架之間的

空間，來增加自然對流的散熱效果。第 4 篇是 Royal Military College of Canada 關於  $UMoO_6$  液化合成的研究，雖目前還無法合成高純度  $UMoO_6$ ，但已有所進展。

表二-3 PBNC-2014 Session 3A5-6 發表論文

報告時間	題目與作者
14:00-14:20	130. VERIFICATION OF HIPER16(TM) FUEL DESIGN FOR 16X16 CE-NSSS TYPE NUCLEAR POWER PLANTS S. Y. Jeon, J. M. Suh, J. I. Kim, and K. L. Jeon (KEPCO Nuclear Fuel)
14:20-14:40	176. THE EFFECT OF ACTINIDE COMPOSITION ON TRANSURANIC MIXED OXIDE FUEL LATTICE PHYSICS PARAMETERS IN CANDU A. C. Morreale (Atomic Energy of Canada Limited), J. C. Luxat (McMaster University)
14:40-15:00	169. THERMAL ANALYSES FOR THE RACK DESIGN WITH SPENT FUEL POOL DURING THE LOSS OF COOLING ACCIDENT C. L. Yeh, Y. S. Chen, B. Y. Chen, Y. S. Tseng, and W. C. Wei (Institute of Nuclear Energy Research)
15:00-15:20	144. THE AQUEOUS SYNTHESIS OF $UMOO_6$ AND ITS SIGNIFICANCE TO NUCLEAR FUEL R. A. Barry, J. Scott (Royal Military College of Canada), I. Korobkov (University of Ottawa), J. Deveau, and E. C. Corcoran (Royal Military College of Canada)

會議最後一日的上午安排各國核管單位的代表進行簡短演說，包括 Dr. Michael Binder (President, Canadian Nuclear Safety Commission)、Dr. Un Chul Lee (Chairman, Nuclear Safety & Security Commission, Korea)、Mr. Juan Eibenschutz (Director General, CNSNS, México)、我國原能會黃慶東副主委、Mr. William Ostendorff (Commissioner, USNRC, USA)。在福島核災發生後，各國不但致力要求改善核電廠針對類似福島事故進行安全改善，更對於核能議題的公眾溝通高度重視，以增進民眾對於核能的信心。

### 三、心得

(一)本次 PBNC-2014 國際研討會於加拿大溫哥華舉行，總與會人數多達數百人，且不乏各國核管單位與核能公司高層人士。藉該會議與核能界相關人士進行技術交流，有助於提昇本所國際間能見度。

(二)許多與會國家，包括地主加拿大、美國、墨西哥、中國大陸、南韓等，皆表示看好核電在該國未來的發展。其中企圖心最強的即為中國大陸，因為經濟成長明顯帶動電力需求，目前已規劃了 28 座反應器機組準備興建，亦是全世界未來核電成長幅度最大的區域。而南韓發展核電的企圖心亦不在話下，南韓第一座核電機組商轉時間與我國核一廠 1 號機相仿(1978 年)，經數十年發展技術，現已成為核電技術輸出國，具備 OPR1000 反應器設計製作能力，更進一步發展 APR1400 反應器。

(三)核能界與一般民眾的溝通極為重要，本次研討會數篇相關論文皆展示，加拿大核能界相當重視與公眾之間的溝通，政府出資進行 nuclearFACTS、Nuclear 101 等方案，讓專家學者將正確知識傳播給一般民眾，避免使用晦澀的專業用語，以淺顯易懂的方式和民眾交流，不但直接加強與民眾的溝通，Nuclear 101 方案更是將在核設施的工作人員視為種子培育，藉由溝通交流增進公眾對於核能的信心。反觀我國並未能與一般民眾達到有效溝通，新聞媒體與社群網路上亦有眾多未經證實、甚至是假造的核能謠言四處流竄。馬總統亦在 8 月 4 日指出，只有 16% 民眾知道台灣逾九成能源是依賴進口，代表不只是核能知識而已，我國對於民眾科普知識的傳播有極大改善空間。

(四)該會議在每日早上 7 點到 8 點時，會另在邀請當日要簡報的演講者與主席進行早餐討論，讓各議程主席與演講者可先行認識，並可趁此交代相關事項，讓議程能更順利進行。之前本所亦有投入大量人力進行國際研討會 NUTHOS-9，未來亦有可能辦理大型國際研討會，早餐討論的安排可作為參考，有助於會議進行。

(五)在議程開始時，主席會先告知聽眾安全門的位置與逃生路線，此為加拿大消防法規的要求。未來本所在邀請所外人士舉行會議時，也應考慮落實相關措施，先公開告知與會人士安全門位置與逃生路線，以減少意外災害後果。

(六)會議舉辦地點位於溫哥華市中心，周邊多為高樓大廈，經觀察後發現，辦公大樓即使在夜間也燈火通明，是因為保險公司要求，也便於保全人員夜間巡視。相關規定在台灣就不合適，在無人的大樓內徹夜開啟照明，一方面增加企業營運成本，另一方面會增加用電碳排放量，而且也與傳統節約觀念有所抵觸。

(七)觀察溫哥華市中心，大部分計程車已改為油電混合車，部分停車場對環境友善之車種給予優惠費率，還有些停車場加裝付費之汽車充電設備。對鼓勵使用低排放之車輛的政策此點值得我國借鏡。

## 四、建議事項

(一)PBNC 是會有核管單位與核能公司高層出席的重要國際會議，本次核工組僅派陳員與范員兩位技術人員出席，略為可惜。若國外公差額度足夠，建議日後的大型國際研討會可多派員參與，以增進國際交流。

(二)國內核能界過去一向以技術為主要考量，甚少思考與一般民眾的有效溝通。我國民主觀念逐漸深化，過去政府對民眾的單向宣導已不是有效的溝通方式。然而自日本福島核災發生，至現今核四廠存廢爭議不斷，在在顯示核能界與公眾溝通的重要性，台電公司因而成立溝通小組，原能會與本所亦開始注意與一般民眾的溝通交流，建議可參考加拿大 nuclearFACTS 或 Nuclear 101 等方案，藉由淺顯平易的用語，向一般民眾溝通正確的能源知識。

(三)在核能設施或機關工作的人員並不一定有基本的核能概念，以本所為例，除了與核能安全和輻射應用領域直接相關的功能組以外，其餘功能組與研支單位人員在工作業務上不太需要核能的基礎概念。然而對外界而言，會認為核研所的工作人員都具備相關的認知，若在詢問後無法得到合適回應，無形中會對本所專業形象造成傷害。本所目前會定期開設核能的基礎課程，但純粹的課堂講授對於學員的實質幫助，其成效難以確認，建議可參考加拿大 Nuclear 101 方案，在過程中加強講師與學員的雙方互動，並可考慮建立事後追蹤機制，以確認學習成效，也會有助於建立本所的專業能力形象。

## 五、附 錄

### (一) PBNC2014-043 簡報內容

The 19<sup>th</sup> Pacific Basin Nuclear Conference (PBNC 2014)

PBNC2014-043

# Thermal Analyses for the Spent Fuel Pool of Taiwan BWR Plants during the Loss of Cooling Accident



Bo-Yan Chen, Chia-Lin Yeh, Wei-Che Wei, and Yen-Shu Chen  
Nuclear Engineering Division, Institute of Nuclear Energy Research, Taiwan



Hyatt Regency Hotel, Vancouver, British Columbia, Canada, August 24-28, 2014.



## Outline

- Introduction
- Analysis models
  - Lumped calculation of pool temperature and water level
  - CFD model to calculate the fuel temperature
- Results
- Conclusions



1



## Introduction

- After the Fukushima accident, the safety of the spent fuel pool (SFP) has become an important concern.
- Thermal analysis of the SFP under a loss of cooling accident is performed.
- The BWR spent fuel pools in Taiwan are investigated
  - Chinshan plant
  - Kuosheng plant
  - Lungmen plant
- The transient pool temperature and level behaviors are calculated based on lumped energy balance.
- The peak cladding temperature is predicted by the Computational Fluid Dynamics (CFD) analysis



Institute of Nuclear  
Energy Research  
Atomic Energy Council,  
Executive Yuan

2



## Loss of cooling accident for SFP

- The cooling systems of the SFP are assumed inoperable during a full-core discharge.
- The pool water temperature starts to rise because of the decay heat generated by the spent fuels.
- While the pool temperature reaches the boiling point, the pool water level begins to drop.
- If the pool level drops below the spent fuels, the fuel temperature increases dramatically because they are uncovered by liquid water.



Institute of Nuclear  
Energy Research  
Atomic Energy Council,  
Executive Yuan

3



## Loss of cooling accident for SFP

- At 7 days after shutdown, a full core discharge to the SFP occurs.
- In this study, the pool temperature and water level are calculated by lumped energy balance.
- After the fuels are uncovered by water, a detailed model to calculate the fuel temperature is developed using ANSYS FLUENT.



## Nuclear Power Plants in Taiwan

- Chinshan: 2 BWR/4 units
- Kuosheng: 2 BWR/6 units
- Maanshan: 2 PWR units
- Lungmen: 2 ABWR units





## Analysis Model

- Decay heat calculation: ASB 9-2 (NUREG-0800, chapter 9.2.5, Rev. 2, 1981)
- The transient pool temperature is obtained by energy balance:

$$P(t) = \rho C_p V \frac{dT}{dt}$$

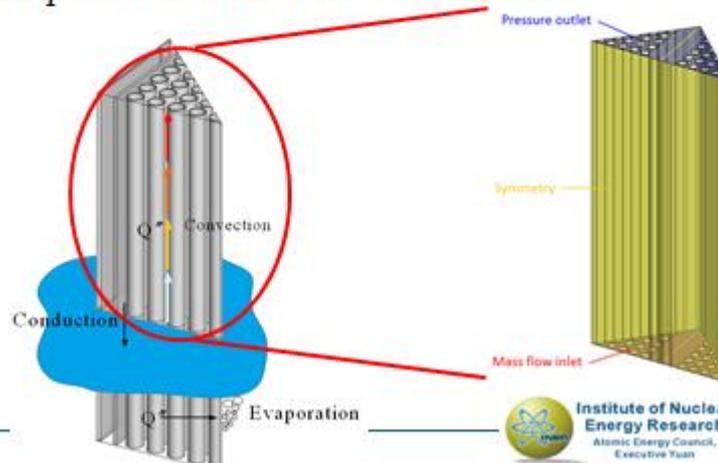
- After the boiling temperature is reached, the pool level can be obtained by:

$$\frac{P(t)}{H_{fg}} = -\rho A_{pool} \frac{dh}{dt}$$



## Analysis Model

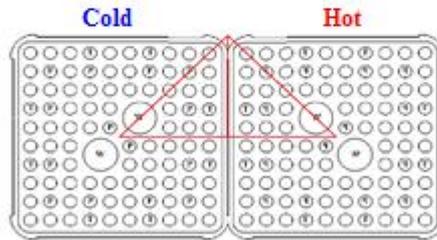
- After the fuel is uncovered by liquid water, the peak cladding temperature is solved by CFD
- Only the parts above the water is considered.





## Analysis Model

- One of eight sections is included in the CFD domain
- Checkerboard arrangement (alternatively arrange the latest fuels with the old fuels) is investigated.

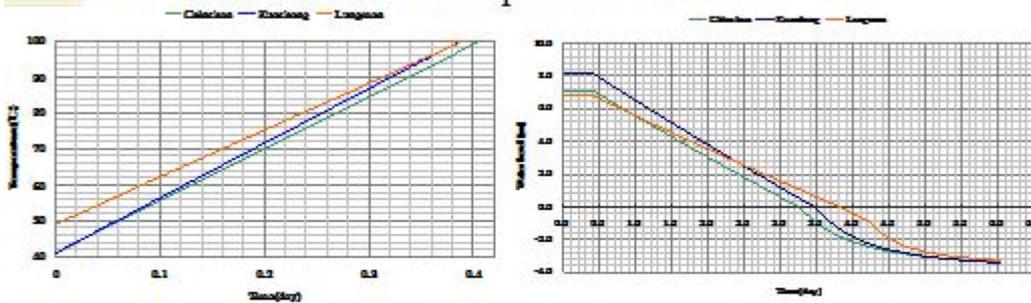


8



## Results

- The calculated SFP temperature and water level:



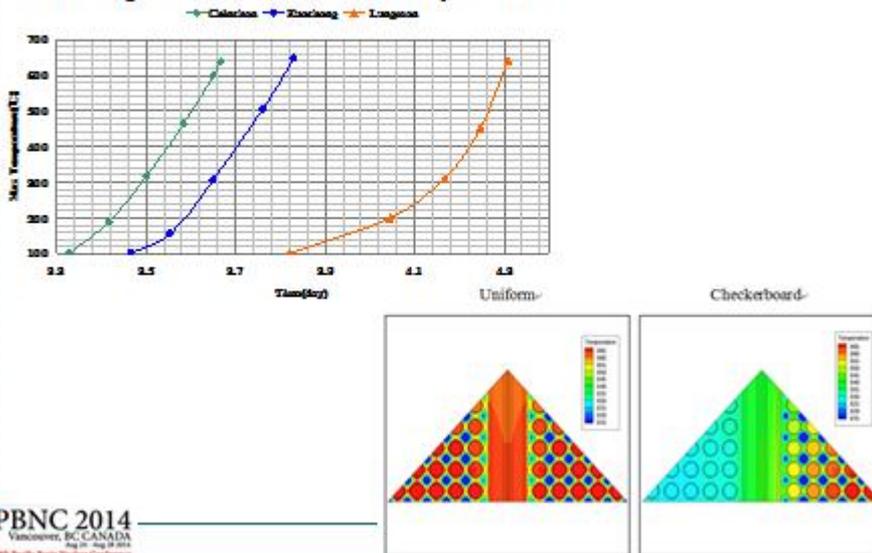
	Time to boil (days)	Time for water level reaching the top of the fuel (days)
Chinshan	0.41	3.33
Kuosheng	0.39	3.46
Lungmen	0.38	3.82



9

## Results

- Temperature calculated by CFD:



## Conclusions

- Thermal analysis of the SFPs in Taiwan during the loss cooling accident are performed.
- The pool temperature and water level are evaluated by the lumped energy balance.
- After the fuels are uncovered by water, the peak cladding temperature is calculated using CFD method.
- For the Chinshan, Kuosheng, and Lungmen plants, the boiling time is no sooner than 0.38 day and the fuel uncover time is no sooner than 3.33 days.



## Conclusions

- After the fuels are not covered by liquid water, the peak temperature reaches 600°C at 7 hours.
- The checkerboard arrangement for the fuels can enhance lateral heat transfer. However, the influence the peak temperature is minor for the conditions of this study.



# *Thank You!*

Comments are welcome.

Yen-Shu Chen: [yschen@iner.gov.tw](mailto:yschen@iner.gov.tw)

## Thermal Analyses for the Rack Design with Spent Fuel Pool during the Loss of Cooling Accident



Chia-Lin Yeh, Yen-Shu Chen, Bo-Yan Chen, Yung-Shin Tseng and Wei-Che Wei

Nuclear Engineering Division, Institute of Nuclear Energy Research, Taiwan



INER Institute of Nuclear Energy Research

Hyatt Regency Hotel, Vancouver, British Columbia, Canada, August 24-28, 2014.



## Outline

- Introduction
- Analysis models
- Results
- Conclusions



Institute of Nuclear Energy Research  
Atomic Energy Council,  
Executive Yuan



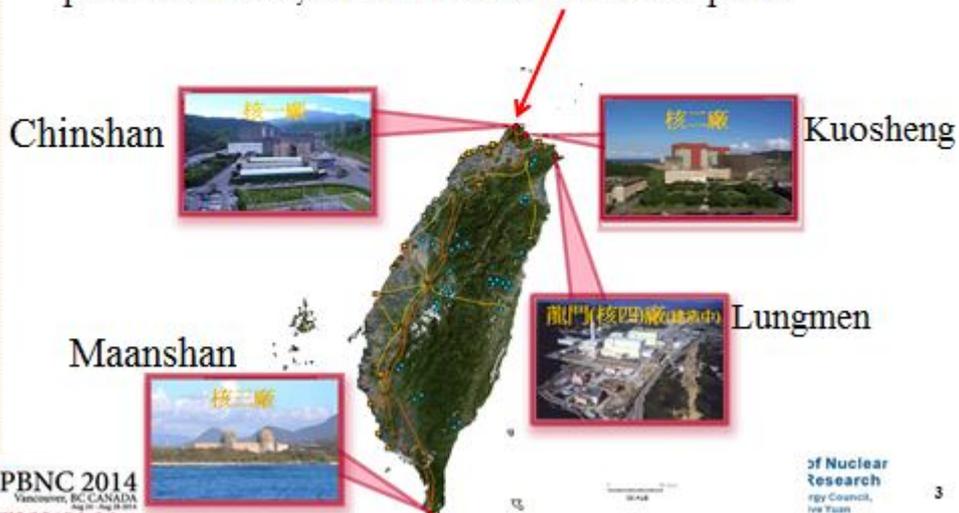
## Introduction

- After the Fukushima accident, safety of the spent fuel pool has become an important issue.
- If the spent fuels are not covered by liquid water, the natural convection is the most important heat removal mechanism.
- More space between the racks can enhance the natural circulation effect.
- The cooling improvement by separating the racks is investigated by using Computational Fluid Dynamics (CFD).



## Nuclear Power Plants in Taiwan

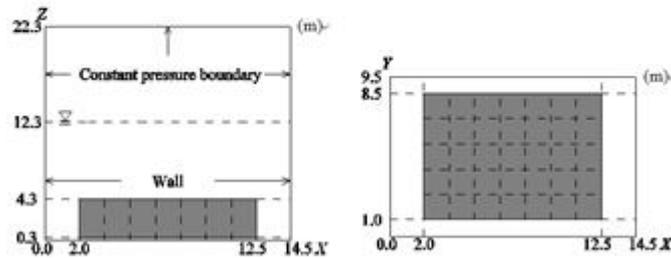
- The reference plant of this study is the Chinshan plant in Taiwan, which is a BWR4/Mark I plant.





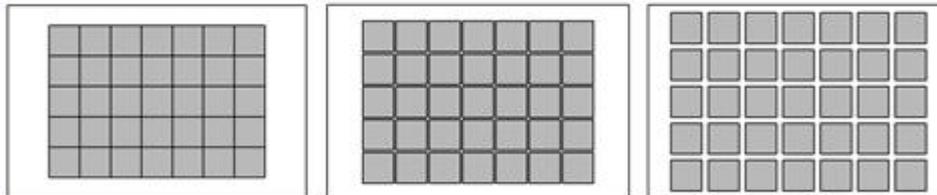
## Analysis models

- Overall pool dimensions :14.5 m x 9.5 m x 12.3 m
- The fuel region is modeled by the porous media.
- 100 racks are lumped into one block. There are total 35 blocks in the pool.



## Analysis models

- Distance between the rack blocks is 10 cm in one case and 30 cm for the other case.
- Top view of the domain:

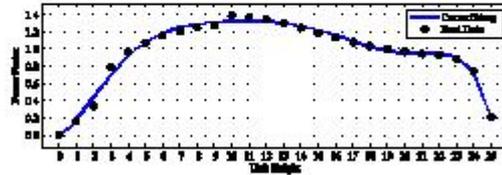


- Steady-state solutions with air in the domain (all water is lost).
- The metal-water reaction is not considered.

## Analysis models

- Decay heat generated by the spent fuels is determined by ASB 9-2 (NUREG-0800, chapter 9.2.5, Rev. 2, 1981).

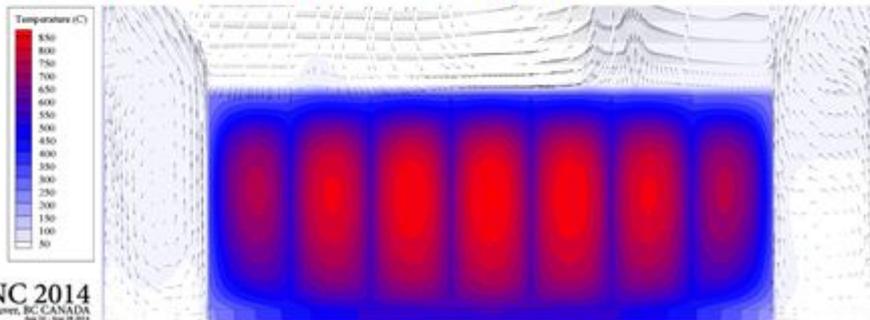
- Axial power distribution:



- Assuming the SFP is filled with the spent fuels with the shut-down time of 2 years. The total decay heat is 1.57 MWt.

## Results

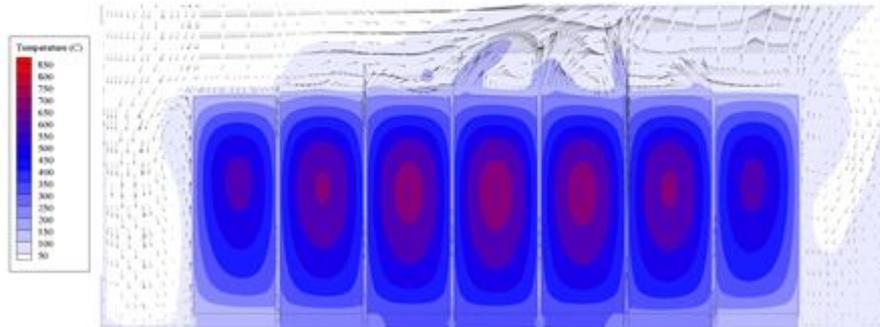
- The main heat transfer mechanism is the natural convection.
- Air cannot enter the central fuel region easily. The concentrated heat source results in a maximum temperature of 848 °C.
- The maximum temperature then occurs in the assembly located in the middle of the fuel region.





## Results

- With the gap of 10 cm, air can enter the gaps between the racks and the maximum temperature is then reduced to 647 °C.

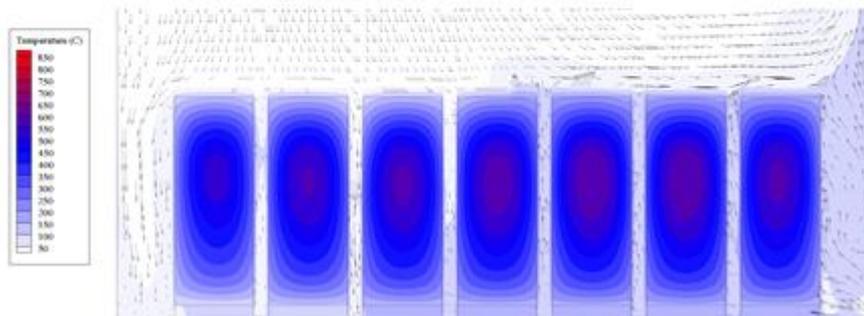


8



## Results

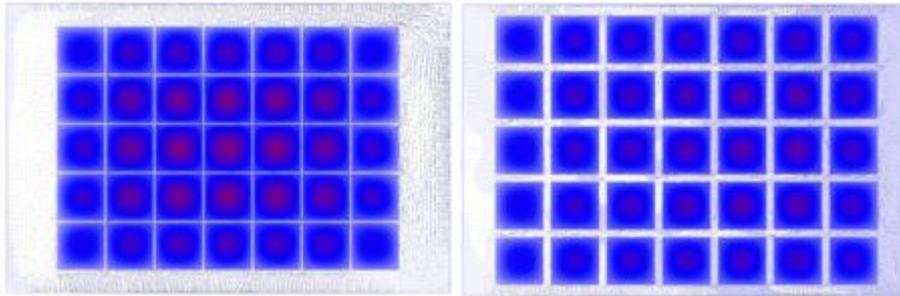
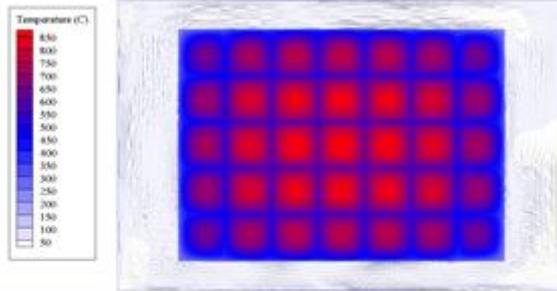
- If the gap is further increased to 30 cm, the fuel temperature can be further reduced to 596 °C.



9

# Results

- Top view:



# Results

- Maximum temperature

case	max temperature (°C)	Temperature reduction (%)
no splitting	848	--
10 cm	647	23.7
30 cm	596	29.7



## Conclusions

- The thermal effect of separating the racks in the SFP is investigated.
- Separating the racks creates gaps that allow the natural air circulation between the fuel assemblies.
- The maximum temperature can be reduced by 23.7% with a splitting distance of 10 cm. With an extended distance of 30 cm, the fuel temperature can be further reduced by 29.7%.
- Since the SFP has been significantly concerned after the Fukushima accident, the future design of the racks may take the enhanced heat transfer effect into account.



# *Thank You!*

Comments are welcome.

Yen-Shu Chen: [yschen@iner.gov.tw](mailto:yschen@iner.gov.tw)

## A Study of RPV depressurization and Containment Vent Strategy in Fukushima Like Accident of Chinshan NPP by Using MAAP5



Sheng Yuan, Fan

August 27, 2014



行政院原子能委員會核能研究所



## OUTLINE

- Fukushima accident
- Ultimate Response Guideline (URG, DIVing plan)
- Chinshan NPP Description
- MAAP5 Modeling of ChinShan NPP and assumptions
- Results and Analysis
- Conclusion





## Fukushima Daiichi NPP Accident

- M 9.0 Earthquake
- Tsunami
- SBO
- Loss of Heat Sink

行政院原子能委員會核能研究所



## Ultimate Response Guideline

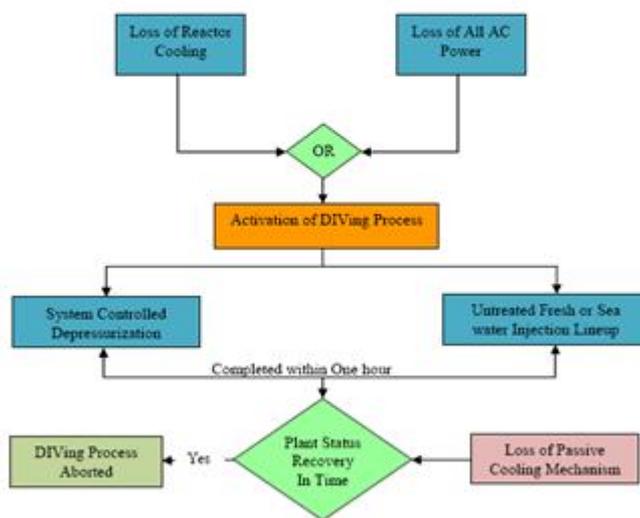
- DIVing plan
  - RPV Depressurization,
  - Water Injection
  - Containment Venting
- Controlled Depressurization to goal 1.45 MPa
- Preparing an Alternative Water Supply <1 hr
- Open ADS after Loss RCIC
- Injecting Fresh or Sea Water
- Venting Containment

行政院原子能委員會核能研究所





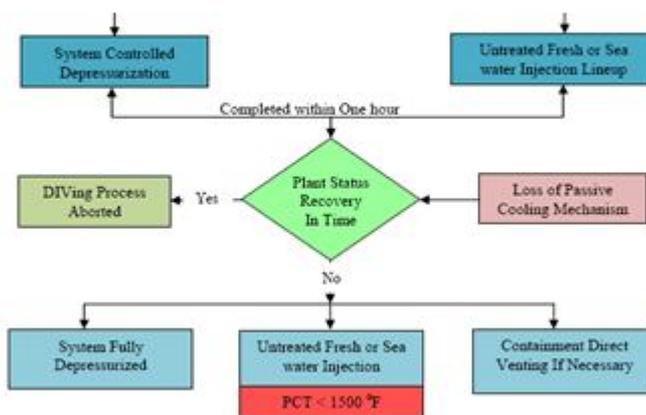
## 按一下以新增標題



行政院原子能委員會核能研究所



## 按一下以新增標題



行政院原子能委員會核能研究所





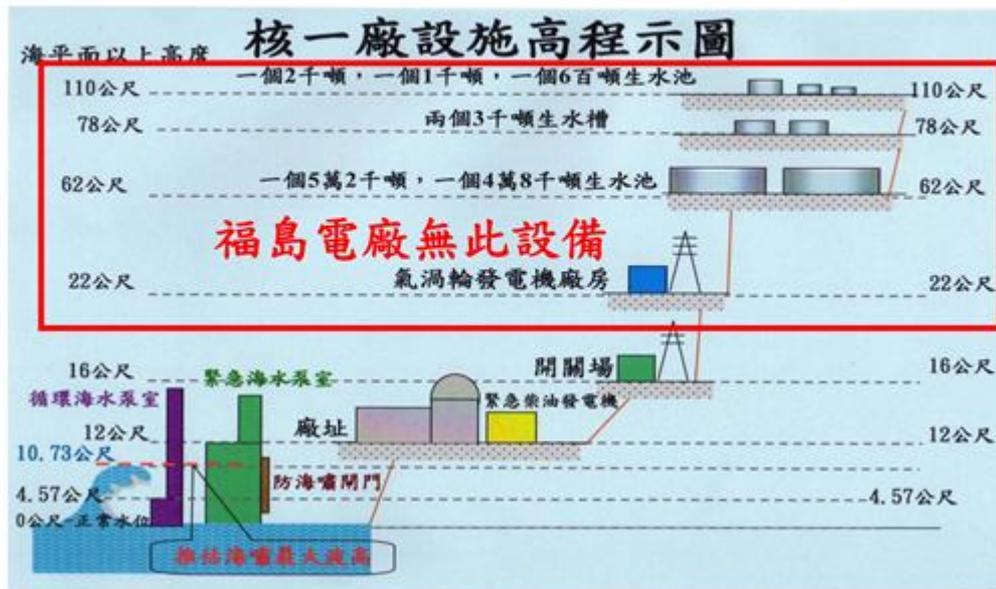
## Chinshan Plant

- BWR 4 RPV
- Mark-I containment
- 1,775 MW
- hardened vent pipe
- an untreated fresh (Raw) water reservoirs

行政院原子能委員會核能研究所



## 按一下以新增標題



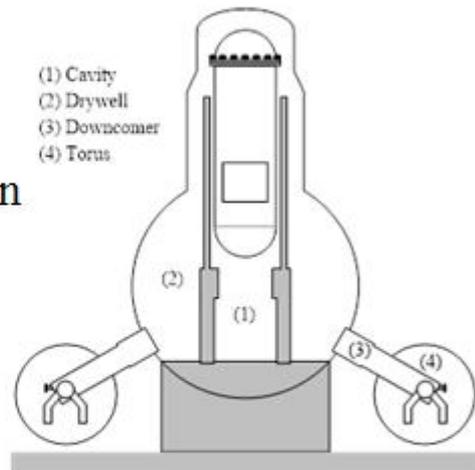
行政院原子能委員會核能研究所





## MAAP modeling and assumption

1. T=0, SCRAM(earthquake)
2. T=10 min, Controlled Reactor Depressurization
3. T=20 min, Tsunami (SBO)
4. T=1 hr, Loss RCIC



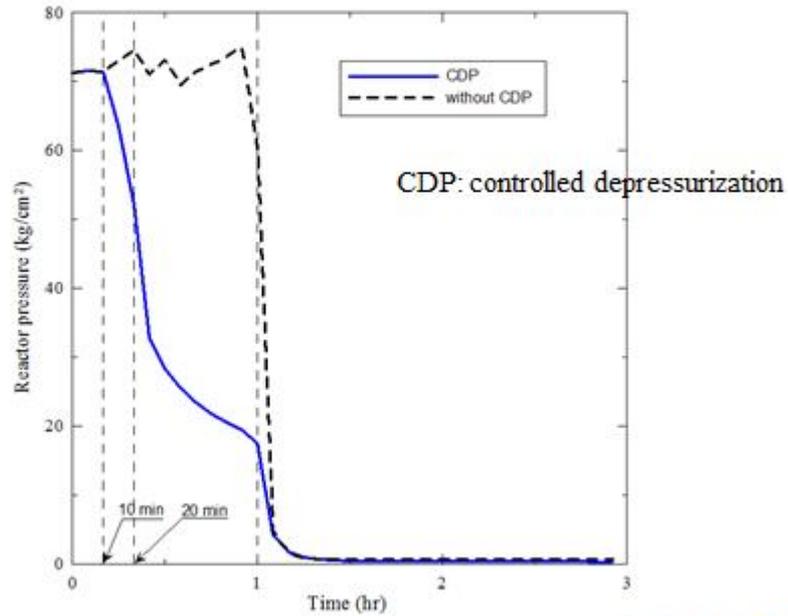
## Results and Analysis

- After 10 min , controlled reactor depressurization to  $35 \text{ kg/cm}^2$
- 20 min, (SBO) controlled reactor depressurization to  $15 \text{ kg/cm}^2$
- Loss RCIC, opening all ADS valves, in order to inject raw or sea water into the reactor.





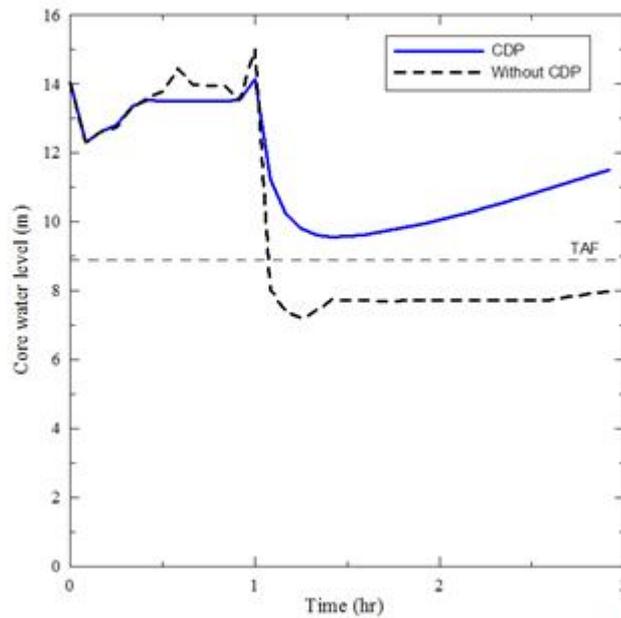
## The response of reactor pressure.



行政院原子能委員會核能研究所



## The response of core water level.

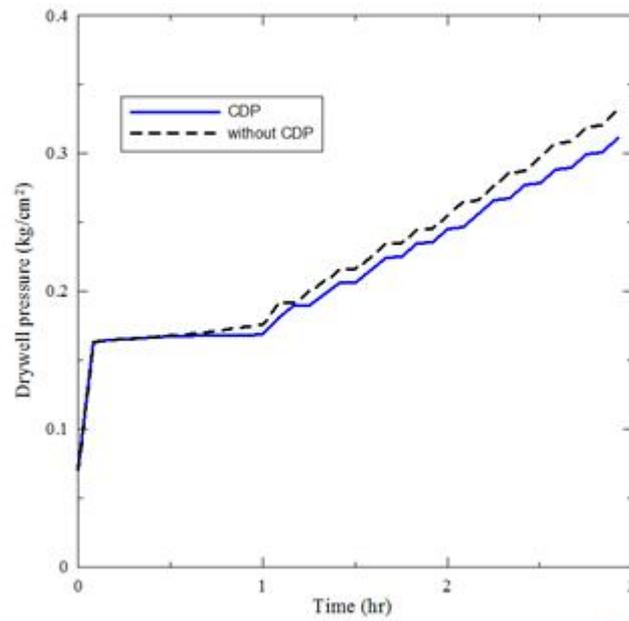


行政院原子能委員會核能研究所





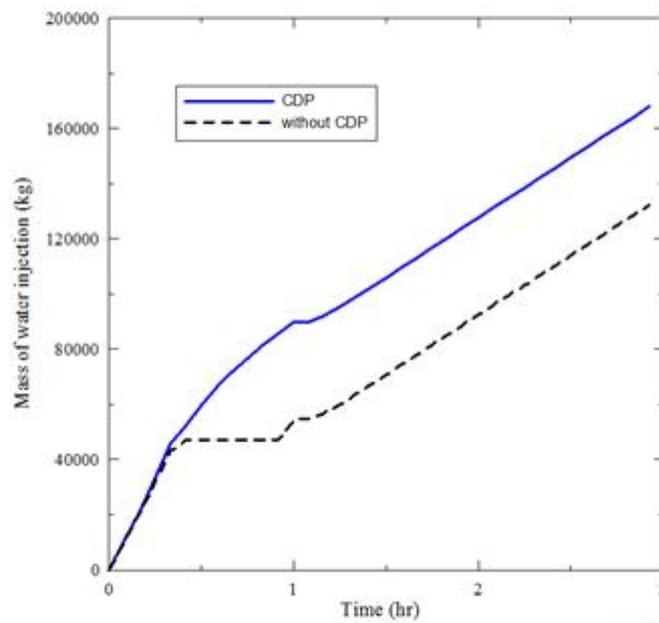
## The response of drywell pressure.



行政院原子能委員會核能研究所



## The mass of water injected into the RPV

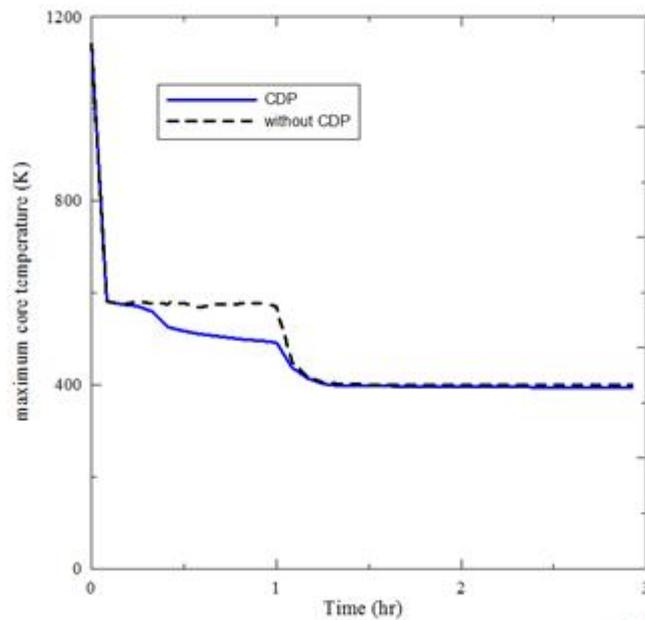


行政院原子能委員會核能研究所





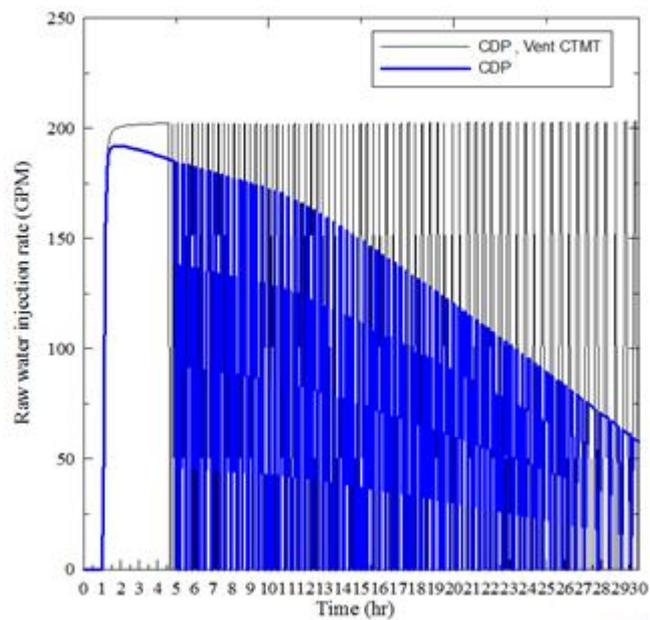
## Maximum core temperature



行政院原子能委員會核能研究所



## RPV injection rate

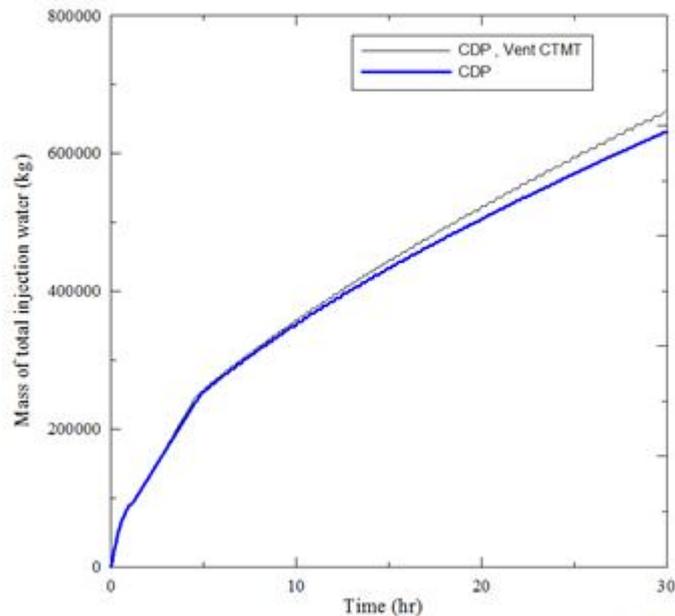


行政院原子能委員會核能研究所





## Total mass of water injected into the RPV



行政院原子能委員會核能研究所



## Conclusion

- In this study MAAP5 was used to simulated the strategy of the DIVing plan. The following features are worthy of note:
  - performing a controlled depressurization could maintain the RCIC operation. And after emergency depressurization it could reduce the amount of reactor water inventory dumped into the torus pool.
  - performing direct containment venting could increase the water injection rate into the RPV .

行政院原子能委員會核能研究所

