

出國報告（出國類別：其他）

「赴美國參加第 9 屆核能電廠儀控暨
人機介面技術國際會議(NPIC&HMIT
2015)並參訪 HFC 公司及南德州電廠」
出國報告

服務機關：核能研究所

姓名職稱：楊智偉 副工程師

曾懋升 助理工程師

江佳應 助理工程師

派赴國家：美國

出國期間：104 年 2 月 22 日~104 年 3 月 6 日

報告日期：104 年 4 月 9 日

摘要

本次公差核能研究所專支人員楊智偉副工程師、曾楸升助理工程師與江佳應助理工程師等 3 員赴美國北卡羅萊納州夏洛特市參加「2015 年第 9 屆核能電廠儀控暨人機介面技術國際會議(The 9th International Conference on Nuclear Plant Instrumentation, Control & Human-Machine Interface Technologies, NPIC&HMIT 2015)」，並參訪 AVANTech、Doosan HF Controls (HFC)等核能技術公司。結束 HFC 公司參訪後，楊員與曾員自 3 月 2 日至 3 月 3 日順道訪問南德州電廠模擬訓練中心，最後，楊員與曾員於 3 月 4 日拜訪 Hurst Technologies 公司。

由美洲核能協會舉辦之 2015 年第 9 屆核能電廠儀控暨人機介面技術國際會議自 2 月 23 日至 2 月 26 日假美國北卡羅萊納州夏洛特市舉行，該會議邀請來自世界各地的核能電廠儀控與人因工程專家分享技術最新狀態、交換資訊與討論產業未來方向，本所派員與會研討核能儀控系統組件與人機介面檢證驗證實務做法並發表「An Investigation of Glare Issues in the Main Control Room of the Advanced Nuclear Power Plant」與「A Lesson Learned from Implementing the Final Plant Human Factors Engineering/Human-Systems Interface Design Verification for an Advanced Nuclear Power Plant」等兩篇論文。

此外，本次公差與受訪單位人員有諸多互動與討論，內容包括：(1)與 AVANTech 公司人員討論應用電解去離子技術及逆滲透技術進行廢液處理之解決方案，以及於福島核電廠之應用；(2)與 HFC 公司人員討論 FPGA Version HFC-6000 Platform 整體架構與配置，及應用 FGPA 技術於韓國 YGN 電廠第 3 與第 4 號機組進行微處理器仿真(Emulator)替代經驗；(3)與南德州電廠模擬訓練中心人員討論人為可靠度資料收集系統導入效益與困難點；(4)與 Hurst Technologies 人員討論核電廠數位更新經驗。

本次公差建議事項主要包括：(1)建議持續蒐集國內外廢液處理系統應用資料與審查標準之發展；(2)建議持續蒐集應用 FPGA 設備進行數位化系統更新資料與經驗；(3)建議持續蒐集國際人為可靠度資料收集系統推廣資料；(4)建議持續蒐集數位儀控系統更新審查經驗與評估技術。

目 錄

摘 要.....	i
一、目的.....	3
二、過程.....	4
三、心得.....	6
四、建議事項.....	29

一、目的

核能研究所專支人員楊智偉副工程師、曾霖升助理工程師與江佳應助理工程師等 3 員於 104 年 2 月 22 日至 3 月 6 日，赴美國參加 2015 年第 9 屆核能電廠儀控暨人機介面技術國際會議(The 9th International Conference on Nuclear Plant Instrumentation, Control & Human-Machine Interface Technologies, NPIC&HMIT 2015)，並參訪 AVANTech、Doosan HF Controls (HFC)、Hurst Technologies 等核能技術公司，此外，本次公差也訪問南德州電廠模擬訓練中心，以及參觀持照人員再訓練課程。

本次公差目的為執行「輻射偵測處理器系統核能同級品檢證案」及「韓國靈光(Yonggwang)電廠第 3 號與第 4 號機組數位儀控系統更新之應用工程服務」計畫，與各國專家分享技術最新狀態、交換資訊與討論產業未來方向，內容包含蒐集數位輻射偵測系統及機組數位儀控系統更新等相關資料，有助提升本所儀控系統數位更新與人機介面技術相關知識。

美洲核能協會所舉辦之 2015 年第 9 屆核能電廠儀控暨人機介面技術國際會議自 2 月 23 日至 2 月 26 日假美國北卡羅萊納州夏洛特市舉行，該會議邀請來自世界各地的核能電廠儀控與人因工程專家分享技術最新狀態、交換資訊與討論產業未來方向，本所派員與會研討核能儀控系統組件與人機介面檢證驗證實務做法並發表「An Investigation of Glare Issues in the Main Control Room of the Advanced Nuclear Power Plant」與「A Lesson Learned from Implementing the Final Plant Human Factors Engineering/Human-Systems Interface Design Verification for an Advanced Nuclear Power Plant」等兩篇論文。

此行，出國公差人員與國外專家研討核能儀控系統組件與人機介面之檢證驗證實務做法，蒐集數位儀控系統應參照之發展活動要求，以滿足用戶需求，有利於計畫工作之執行。此外，獲邀參訪南德州電廠模擬訓練中心，並參與運轉訓練課程，以了解人為可靠度資料收集系統導入效益與困難點，經驗實屬難得。

二、過程

本次出國行程自 104 年 2 月 22 日起至 104 年 3 月 6 日止，為期 13 天，出國行程詳如表一：

表一、核研所人員出國行程

行程					公差地點		工作內容
月	日	星期	地點		國名	地名	
			出發	抵達			
2	22~23	日~一	台灣桃園	美國北卡羅萊納州夏洛特市	美國	北卡羅萊納州夏洛特市	去程(楊智偉、曾楸升、江佳應)
2	23~24	一~二			美國	北卡羅萊納州夏洛特市	參加 2015 年第 9 屆核能電廠儀控暨人機介面技術國際會議(楊智偉、曾楸升、江佳應)
2	25	三	北卡羅萊納州夏洛特市	南卡羅萊納州哥倫比亞市	美國	南卡羅萊納州哥倫比亞市	參訪 AVANTech 公司，討論廢液處理解決方案
2	26	四	南卡羅萊納州哥倫比亞市	北卡羅萊納州夏洛特市	美國	北卡羅萊納州夏洛特市	參加 2015 年第 9 屆核能電廠儀控暨人機介面技術國際會議(楊智偉、曾楸升、江佳應)
2	27	五	北卡羅萊納州夏洛特市	德州達拉斯市	美國	德州達拉斯市	參訪 Doosan HF Controls (HFC)公司，討論 FPGA Version HFC-6000 Platform 整體架構與配置
2	28	六	德州達拉斯市	德州休士頓市 台灣桃園	美國	德州休士頓市	行程(楊智偉、曾楸升) 回程(江佳應)
3	1	日			美國	德州休士頓市	檢討會議及整理資料(楊智偉、曾楸升)
3	2~3	一~二			美國	德州休士頓市	參訪南德州電廠模擬訓練中心，並參與訓練課程(楊智偉、曾楸升)
3	4	三			美國	德州休士頓市	參訪 Hurst Tech 公司，討論儀控系統發展與數位更新審查經驗(楊智偉、曾楸升)
3	5~6	四~五	美國德州休士頓市	台灣桃園			回程(楊智偉、曾楸升)

本次任務於 104 年 2 月 22 日自桃園國際機場出發，經美國紐約甘迺迪國際機場，抵達北卡羅萊納州夏洛特機場，於 2 月 23 日至 2 月 26 日參加 2015 年第 9 屆核能電廠儀控暨人機介面技術國際會議(NPIC&HMIT 2015)，本所楊員、曾員與江員於會議期間(2 月 25 日)受邀參訪南卡羅萊納州 AVANTech 公司，討論應用電解去離子技術及逆滲透技術進行廢液處理之解決方案，以及於福島核電廠之應用。

隨後，楊員、曾員與江員受 Doosan HF Controls (HFC)公司邀請於 2 月 27 日赴美國德州達拉斯市參訪，與該公司人員討論 FPGA Version HFC-6000 Platform 整體架構與配置，以及應用 FGPA 技術於韓國 YGN 電廠第 3 與第 4 號機組進行微處理器(8085)仿真(Emulator)替代經驗。結束 HFC 參訪行程後，江員完成任務，於 2 月 28 日東裝返台。

楊員與曾員則順道南下德州休士頓市，於 3 月 2 日至 3 日參訪南德州電廠模擬訓練中心，參觀持照人員再訓練課程，並與運轉講師討論人為可靠度資料收集系統導入效益與困難點；最後，楊員與曾員於 3 月 4 日拜訪 Hurst Technologies 公司，與公司人員討論該公司儀控系統發展經驗，以及核電廠數位更新審查經驗。楊員與曾員出國公差行程迄 3 月 6 日返國，共計 13 天。

三、心得

此次參加第 9 屆核能電廠儀控暨人機介面技術國際會議並參訪 AVANTech、Doosan HF Controls (HFC)、Hurst Technologies 等核能技術公司以及參觀南德州電廠模擬訓練中心持照人員再訓練課程。出國公差心得可歸納下列六項：

(一) 參加第 9 屆核能電廠儀控暨人機介面技術國際會議

第 9 屆核能電廠儀控暨人機介面技術國際會議(NPIC&HMIT 2015)適逢華人春節期間，華人發表論文偏少；另外，主辦單位計畫將論文集及簡報檔於研討會結束後，一併於網頁上提供下載，然而截至本出國公差報告完成前，都尚未開放，對於後續資料研讀與彙整相當不便，建議後續如有類似情形，應於事前向主辦單位反應。除了上述美中不足之處，本次會議相當成功，議程涵蓋多項研討議題，為盡量蒐集多方面資訊，楊員、曾員與江員進行議程參與分工，心得說明如下：

1. 核能電廠儀控議程(NPIC)

曾員與江員主要參加核能電廠儀控議程(NPIC)，對於現場可程式規劃閘陣列(Field Programmable Gate Arrays, FPGA)技術於核能電廠相關應用，以及現行法規針對核能電廠系統軟體並軟體工具應用之分析研究有更深入的了解，藉以增進參與研討會之效益與現行工作執行之參考。摘要聆聽演講題目與參加心得如下：

題目：Technical Guidance for the Review of Field Programmable Gate Arrays in the Nuclear Power Industry

心得：本篇論文由 NRC Steven A. Arndt 發表，其簡報重點在於闡述 FPGAs 技術持續應用於現行核能電廠之中，而 NRC 正著手進行關於 FPGA 法規導則之定位與界定。另外，簡報中說明 IEC-62556(Nuclear power plants - Instrumentation and control important to safety - Development of HDL-programmed integrated circuits for systems performing category A functions)已成功使用於核能電廠作為依循，NRC 將持續收集核能電廠關於 FPGAs 應用做為改善現行標準與法規導則的參考資料。

題目：FPGA Implementations in Nuclear Digital IC Applications

心得：本篇論文由 Doosan HFC 公司 Steve Yang 發表，簡報重點在於闡述 HFC 公司的 FPGA 技術發展流程與以微處理器為基礎的軟體發展流程相似，須依循 RG 1.173-1997 及其引用之 IEEE Std 1074-1995 發展生命週期，而軟體驗證與確認亦須依循 IEEE Std 1012。HFC 公司亦對於 FPGA 系統發展並驗證與確認過程中所使用的工具進行評估，並確認與 IEEE Std 7-4.3.2-2003 相符。HF Controls 公司 FPGA 系統亦依據 EPRI TR-107330-1996 通過 EQ 測試。最後， HF Controls 公司分享於韓國電廠應用 FPGA 控制器元件取代過時之 Intel 8085 微處理器控制器之成功案例。

題目：Safety Assessment of Software Tools Used in Nuclear Safety Systems

心得：本篇論文由 NRC Yaguang Yang 博士發表，簡報重點在於闡述軟體工具已廣泛使用於核能電廠儀控系統設計、發展、測試與操作。廠家於發展階段需考量包含軟體工具的設計與應用，以及對於電廠安全的衝擊。然而，針對軟體工具的使用規範，現有的法規導則僅 IEEE 7-4.3.2 有簡短概述，因此，NRC 針對核能(Ex: IEC standard for nuclear industry, IAEA standard for nuclear industry)與非核能產業(Ex: NASA standard for aerospace industry, ISO standard for road vehicle industry, FAA(RTCA) standard for civil flight industry)相關單位所使用的標準與法規，進行研究與分析，作為制定軟體工具法規導則之參考資料。

題目：Cable Aging and Condition Monitoring of Radiation Resistant Nano-Dielectrics in Advanced Applications

心得：本研究是由美國能源部委託美國橡樹嶺國家實驗室(Oak Ridge National Laboratory, ORNL)所進行的研究，由 ORNL 的 Robert C. Duckworth 等人所發表，主要討論核能電廠中抗輻射奈米電介質電纜的老化現象監測。由於電纜所處的環境包含了輻射照射、高溫和潮濕等不良因子，因此希望發展出可以用於核能電廠的複合電介質材料，目前的研究方向是尋找較佳的電纜材質以

及研究輻射劣化機制。

題目：Testing Live Cables in Nuclear Power Plant

心得：本篇論文由 Analysis and Measurement Services Corporation (AMS)的 J. B. McConkey 等人所發表，主要討論核能電廠中電纜的壽命驗證測試。本篇報告介紹該公司在核能電廠電纜壽命驗證所使用的方法，該公司透過外部的電路儀器設備，送出訊號給電纜，再藉由電纜傳回的訊號加以分析，可以迅速的判斷出使用中的電纜老化狀況，提供核能電廠進行電纜管理的解決方案。

題目：Research on Advanced Passive Nuclear Power Plant Cable Aging and Qualification for Harsh Environment in China

心得：本篇論文是由上海核子工程研究設計院(Shanghai Nuclear Engineering Research and Design Institute) Tianyang Lou 等人所提出的研究報告，主要說明有關於中國在核能電廠被動電纜在惡劣環境下的老化和品質驗證。

題目：EPRI Cable Research Supporting Current and Long Term Cable Aging Management

心得：本篇論文是由 EPRI 專案經理 Andrew Mantey 介紹 EPRI 在電纜老化方面的研究現況，及未來繼續研究的課題。EPRI 認為潮濕的地下環境(中壓電纜)和高溫環境(中/低壓電纜)是兩個主要會造成電纜老化的環境因素。由於電纜的老化會造成可靠度的降低和經濟成本的提高，因此 EPRI 希望能提出更詳細的監測和電纜特性研究。EPRI 認為應該要從 3 個方向去思考，一是所有因為長期使用的老化機制是否都已知？如果答案是否定的，那老化效應是否能夠被定義？若是核能電廠要延長運轉 60 年或是 80 年，電纜的老化管理是否足夠確保可靠度？EPRI 目前認為線上連續局部放電監測系統(continuous on-line partial discharge monitoring system)是可以提供中壓電纜一個老化的判斷依據。

題目：A New Test Method for Cable Insulation Degradation Assessment: Capacitive Sensing

心得：本篇論文是由議程主持人美國 IOWA 大學的 Nicola Bowler

教授簡報，提到該實驗室的電纜絕緣劣化評估的新方法。同議程，中國上海電纜研究所(Shanghai Electric Cable Research Inst.) Weixia Zhong 等人也針對 EPR 電纜材料受 Gamma 射線照射後所產生的劣變發表研究成果。

2. 人機介面技術議程(HMIT)

楊員主要參加人機介面技術議程(HMIT)，對於人因工程標準與規範、人因工程分析、設計、驗證與確認方法及工具、人因績效評估、主控制室數位化更新、互動視覺化設計、虛擬與擴增實境等發展趨勢有更深入了解，可作為現行工作執行之參考。摘要聆聽演講題目與參加心得如下：

題目：Handheld Computerized Procedure Systems—Challenges and Solutions

心得：本篇論文由挪威 OECD Halden Reactor Project 的 Svein Nilsen 發表，探討行動化電腦程序書系統的挑戰與解決方案，行動化電腦程序書系統是核電廠程序書的未來趨勢，目前除挪威，美國愛達荷國家實驗室(Idaho National Laboratory, INL)也在能源部支持下積極研究，該實驗室 Aaron Bly 在同一個場次發表 2 篇相關論文，探討行動化電腦程序書架構及可能衍生的人因議題。由於 Aaron Bly 負責 SACADA 人因績效評估系統開發，與楊員熟識，因此，雙方針對本項議題有深入討論。

題目：Revision of Human Factors Engineering Guidance for Conducting Safety Reviews of Nuclear Power Plant Control Rooms: A Status Update and Approach

心得：本篇論文由布魯克海文國家實驗室(Brookhaven National Laboratory, BNL)的 John O'Hara 所發表，John O'Hara 是核能人因工程界非常知名的學者，許多目前依循的標準與規範都是他所帶領的團隊起草，如 NUREG-0711、NUREG-0700 等，楊員於簡報結束後趨前致意，並提及核能研究所執行龍門電廠技術服務之實務經驗，John O'Hara 回應目前 NRC 正在積極修訂人因相關標準與規範，如果核能研究所同意的話，請提供實務經驗，以作為

標準與規範修訂的參考。

題目：A Checklist for Integrating and Planning Human Factors Engineering Activities in Control Room Modernization Projects

心得：本篇論文由挪威能源科技研究院 Alexandra Fernandes 等人所發表，針對整合人因工程作業於主控制室數位更新計畫，研發了一套檢核表，以協助人因工程審查。楊員於簡報結束後趨前致意，並交換執行經驗，以作為後續計畫執行與研究交流參考。

題目：Advancing Human Performance Assessment Capabilities for Integrated System Validation-A Human-in-the-Loop Experiment

心得：本篇論文由維吉尼亞大學(University of Virginia)Matthew W. Demas 等人所發表，主要說明由於目前整合系統確認(人因驗證與確認主要活動之一)缺乏人因績效評估的方法，因此，希望透過實驗設計來找出可能的改善方式。會後，楊員與 Matthew W. Demas 交換名片，Demas 教授得知核能研究所曾經參加龍門電廠整合系統確認平行驗證活動，期盼後續保持聯絡，並希望交換執行整合系統確認的資訊及心得。同議程，法國 AREVA 公司與挪威 OECD Halden Reactor Project 也各發表三篇整合系統確認有關論文，大會並邀請布魯克海文國家實驗室(BNL)的 John O'Hara 發表專文，探討整合系統確認的模型、方法及問題。可以發現各國對於整合系統確認的執行方法相當感興趣，而核能研究所具有國際間少有之整合系統確認平行驗證經驗，實屬寶貴知識資產。

題目：Development of Guideline to Collect HRA Data with Simulator Data for HRA Data Handbook

心得：本篇論文由韓國原子能研究所(Korea Atomic Energy Research Institute, KAERI)Sun Yeong Choi 等人發表，韓國在核能人因工程領域的研究長期聚焦於人為可靠度分析(Human Reliability Analysis, HRA)，在國際研討會中積極發表研究成果，因此楊員經常可以看到熟悉的面孔，目前 KAREI 與 NRC 正針對如何應用模擬器進行人為可靠度分析資料蒐集洽談合作，KAREI 於本篇論文中說明資料蒐集活動的規範制定。同議程，韓國科學技

術院(Korea Advanced Institute of Science and Technology, KAIST) Poong Hyun Seong 教授也針對人機介面績效評估發表兩篇論文，Poong Hyun Seong 在 NPIC&HMIT 與 ICONE 等研討會經常有論著發表，也是國際間相當知名的核能人因學者。

題目：Augmented Reality-Informed Procedures for Performing Maintenance in Uncertainty and Hazardous Environments

心得：本篇論文由阿岡國家實驗室(Argonne National Lab, ANL)Young Soo Park 等人所發表，擴增實境是人因工程互動視覺的實踐，近年來由於資訊技術的突破，使擴增實境在各領域的應用得以實現，核能研究所目前也積極進行擴增實境在醫療應用與核電廠應用的研究，同時，與阿岡國家實驗室也在 2014 年簽訂合作備忘錄，未來可以針對擴增實境議題的研究成果相互交換資訊，以及洽談可能合作研究的議題。

表一、研討會主要議程與出差人員分工

編號	主題	分工
NPIC-1	<ul style="list-style-type: none"> • Online Condition Monitoring of Nuclear Plant Structures, Systems and Components • Advances in Monitoring, Diagnostics and Prognostics Technologies • Cable Aging and Cable Condition Monitoring • Cable Aging Management 	江佳應
NPIC-2	<ul style="list-style-type: none"> • Field Programmable Gate Arrays for Digital I&C Applications • I&C Modernization Experience • Cyber Security Issues Related to Digital I&C Systems 	曾楸升
NPIC-3	<ul style="list-style-type: none"> • U.S. Department of Energy Light Water Reactor Sustainability Program • Instrumentation for Advanced Reactors • Wireless Technologies for Nuclear Systems • R&D on Nuclear Instrumentation and Control • I&C Lessons Learned from Fukushima 	江佳應
NPIC-4	<ul style="list-style-type: none"> • SMR Instrumentation and Controls • Application of Digital Control Systems • Digital System Reliability • Use of Simulation for Design, Engineering, and Maintenance • Requirements Management for Digital I&C System Life Cycle 	曾楸升

續表一、研討會主要議程與出差人員分工

編號	主題	分工
NPIC-5	<ul style="list-style-type: none"> • I&C Regulations, Standards and Guidelines • EMC/EMI • Hazard and Failure-Mode Analysis • Safety-Related System Qualification and V&V • Modeling Digital I&C Systems in PRA PSA 	曾楸升
NPIC-6	<ul style="list-style-type: none"> • Research Reactor I&C • General I&C Systems • In-Pile Instrumentation • General Topics in Instrumentation and Controls 	江佳應
HMIT-1	<ul style="list-style-type: none"> • HFE Standards and Guidelines Update • HFE Verification and Validation • Human Factors Lessons Learned from Fukushima Accident • Human Performance Assessment 	楊智偉
HMIT-2	<ul style="list-style-type: none"> • Hybrid Control Rooms • Control Room Modernization Experience • Control Rooms for Small Modular Reactors and Hybrid Energy Systems • Innovative Solutions to Alarm Overload • Group-View Wall Panels 	楊智偉
HMIT-3	<ul style="list-style-type: none"> • Advances in Human-Automation Collaboration • Use of Simulation for Human Factors Engineering • Advances in HFE Design and Analysis Tools • Computerized Operator Decision and Support Systems • Visualization 	楊智偉

(二) 參訪 AVANTech 公司

此次參訪經由 ES&H Solutions 公司吳全富博士協助聯繫，楊員、曾員與江員於 2/25(三)受邀至南卡羅來納州的 AVANTech 公司參訪，AVANTech 公司的宗旨為：依據客戶要求提供創新的技術服務，為客戶提供量身訂做的技術與設備，使客戶的產品獲得具競爭力的優勢。

楊員、曾員與江員於上午 10 點到達位於南卡羅來納州哥倫比亞市的 AVANTech 公司，在表明是來至台灣的參訪人員後，該公司接待人員即引領進入會議室，原定由該公司資深副總裁 Gary Benda 進行介紹與討論，但由於 Gary Benda 臨時有公務前往華盛頓，因此改由該公司專門負責核能部門的副總裁兼首席工程師 Tracy Barker 向參訪人員介紹該公司產品及使用於核能相關產業之經驗。



圖一、江員(右二)詢問 Tracy Barker 如何處理使用過的過濾材質

經過 90 分鐘的介紹與討論後，了解該公司的核心技術與產品主要是利用電解去離子技術及逆滲透技術來進行廢液處理，該公司強調擁有相當專業的工程人員，可依客戶特殊之需求提供不同的過濾系統設備，來進行廢液處理，由於電解去離子技術與逆滲透技術對於要處理的廢液內含物必須要先有一定程度的了解，在挑選適當的過濾材質，如此才能有的發揮過濾功能，使廢液處理後能達到潔淨的要求，否則將使過離子交換器中的離子膜孔隙被汙染粒子阻塞，而使設備毀損，參訪人員提問該公司如何選擇過濾系統設備的過濾材質，Tracy Barker 答覆可依客戶使用之環境及目的，提供不同的過濾器材質來進行廢液過濾處理，該公司由於有相當豐富的經驗與專業人員，因此可以提供過濾系統設備更新服務。

另外，由介紹內容當中參訪人員也得知該公司曾參與龍門電廠廢液處理系統建置，且該公司的廢液處理系統目前也提供福島電廠進行廢液處理所採用，在進一步詢問該公司廢液系統於福島電廠使用情形，得知該公司使用於福島電廠的廢液系統係一可移動式的廢液處理系統，由於該公司系統為一小型完整的獨立系統，是以過濾槽為主，並將附屬設備（如儀控系統，取樣系統設備）建置成為一個可移動式的設備，因此除了可以處理電廠固定排放的廢液之外，該公司廢液處理系統還可以因應

需要移動至有廢液外洩產生的位置，進行廢液處理，此可移動性的設計與一般電廠的設計不同，但其可移動的特性，則可以在核能電廠行除役時利用，在核能電廠進行除役工作中，核能電廠原本的廢液處理系統要行拆除時，所產生的廢液則可以利用該公司的可移動性系統設備來進行後續的廢液處理。

參訪人員並提問該公司如何處理使用過的過濾材質，Tracy 則答覆，由於該公司過濾材質體積較小，因此當廢液處理過的廢液達不到排放標準時，就表示過濾材質需要進更換，而由於該公司的系統為一獨立完整的系統，因此可以直接更換過濾材質即可，而更換下來的過濾材質則可直接進行貯存監控。

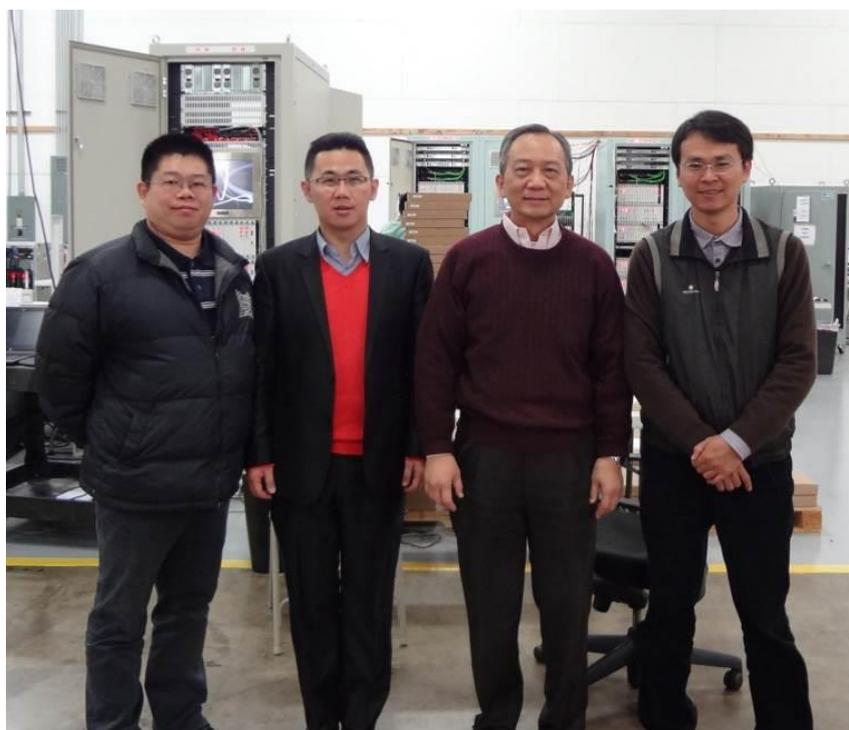
在 Tracy 介紹完後，Tracy 更直接帶參訪人員到 AVANTech 製造工廠現場進行參觀，AVANTech 公司為一符合 NQA 品保要求之核能級產品製造公司，因此設備製造工廠現場除了井然有序之外，還有一個處於高處的品保監視平台，有現場負責的主管由高處向下監看現場所有工作的進行，在參觀完製造工廠現場之後，由領隊楊智偉博士贈送由台灣帶來的禮品給 Tracy Barker，也請 Tracy 轉交一份禮品給未能到場的 Gray Banda，結束了 AVANTech 的參訪行程。



圖二、Tracy Barker 帶領核能研究所人員參觀 AVANTech 製造工廠現場

(三) 參訪 Doosan HF Controls (HFC)公司

楊員、江員與曾員於 2 月 27 日參訪 Doosan HF Controls 公司(以下簡稱 HFC)，由 HFC 執行長 Allen Hsu、V&V 經理 Ivan Chow、核能部經理 J.M. Kim、以及業務工程師張岩 等接待。首先，HFC 執行長 Allen Hsu 於會議中簡報 FPGA Version HFC-6000 Platform 整體架構並 Single Loop Control scheme 與 Centralized CPU scheme 的配置方式。另外，以介紹 HFC 應用 FGPA 技術於韓國 YGN 電廠第 3 與第 4 號機組進行微處理器 (8085)仿真(Emulator)替代。最後，討論雙方於未來如何應用 FGPA 技術與 FPGA Version HFC-6000 平台之推廣(圖三為 HFC 執行長 Allen Hsu 於 FPGA Version HFC-6000 Platform 簡介與討論會議後，進行 HFC 廠房介紹與產品展示)。



圖三、於 HFC 工廠現場合照(右起曾員、HFC 執行長 Allen Hsu、楊員、江員)

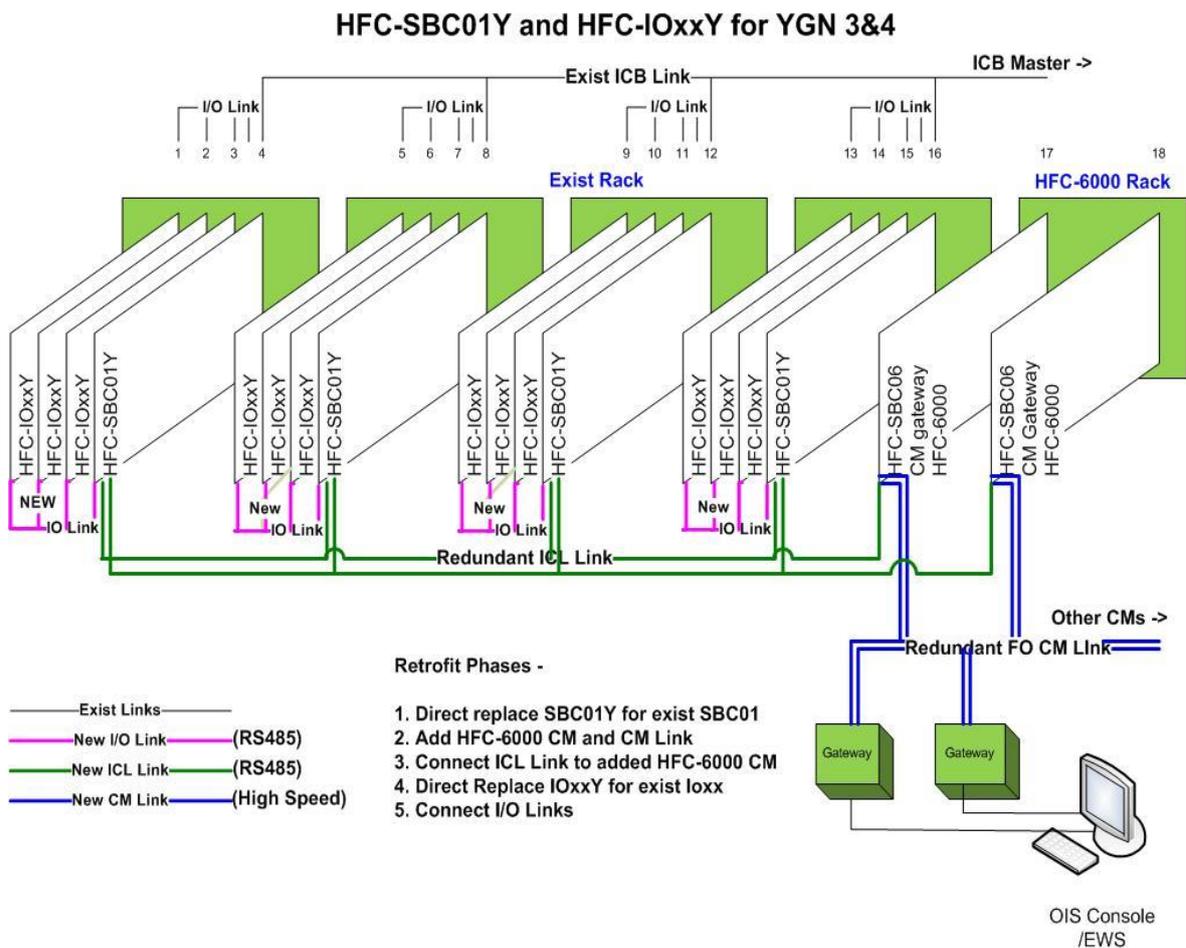
HFC 發展 HFC-6000 平台(如圖四所示)技術主要是由微處理器、DSP 與 FPGA 所組成。該平台已於 2011 年四月為第四家獲得美國核管會(NRC)認可之核能級儀控平台，並於 2010 年與 2013 年獲得 TUV IEC 61508 SIL3 認證。由於 FPGA 硬體特性的關係，FPGA 平台適用於核電廠部分特定的安全控制應用，但是對於美國 NRC 的立場，FPGA/CPLD 的發展設計乃視為系統軟體之發展，並非依硬體發展設計做考量。



圖四、HFC-6000 平台實景照片

HFC 當前 HFC-6000 平台發展目標主要區分成以下三項：(1)以 HFC-6000 FPGA 技術為基礎發展通用型 FPGA 核能安全儀控平台；(2)以 FPGA HFC-6000 設計文件作為當前欲修訂 SER 報告的補充文件；(3)獲取美國 NRC 修訂後的 SER 報告(認可 HFC-6000 FPGA Version 平台)。現在美國 NRC 審查 FPGA 技術應用的導則為 NUREG/CR-7006，該文件中列出適用的標準包括：IEEE 1012-2004 (V&V)，IEC 61508 (Functional Safety)與 IEEE 7-4.3.2 (Safety Digital Systems)，而 HFC 的 FPGA 技術開發過程皆符合上述所有的法規導則和標準。

HFC 的 FPGA 技術主要包含以下兩項之應用發展：(1) 利用 FPGA 技術作為處理器(Microprocessor)仿真(Emulator); (2) HFC-6000 FPGA Version 平台。HFC 採用 FPGA 技術仿效當前為處理器執行處理的程序，而當前 FPGA 的技術可透過模擬既有的微處理器程序並解譯 CPU 的應用程式，因此所有的網路通訊與控制演算軟體可以迅速並容易地運用於處理器的仿真(Emulator)，且適合於系統的改造計畫。HFC 公司以 YGN 電廠第 3 與第 4 號機組為例，使用 FPGA 控制器元件取代過時之 Intel 8085 微處理器控制器，以 FPGA 模擬目前 YGN 機組使用之微處理器與解譯 CPU 的應用程式，所以既有的通訊網路與控制演算法軟體可以容易與迅速地替代。在 2009 年開始，HFC 發展的 FPGA 控制器(SBC-01Y)已成功地直接替換超過 160 套在 YGN 電廠第 3 與第 4 號機組使用的 Intel 8085 微處理器控制器，而 SBC-01Y(FPGA Version)是可以完全仿效 SBC-01 (Intel 8085)的所有功能(如圖五所示)。



圖五、HFC 發展的 FPGA 控制器(SBC-01Y)

該更新案分為以下五個階段：

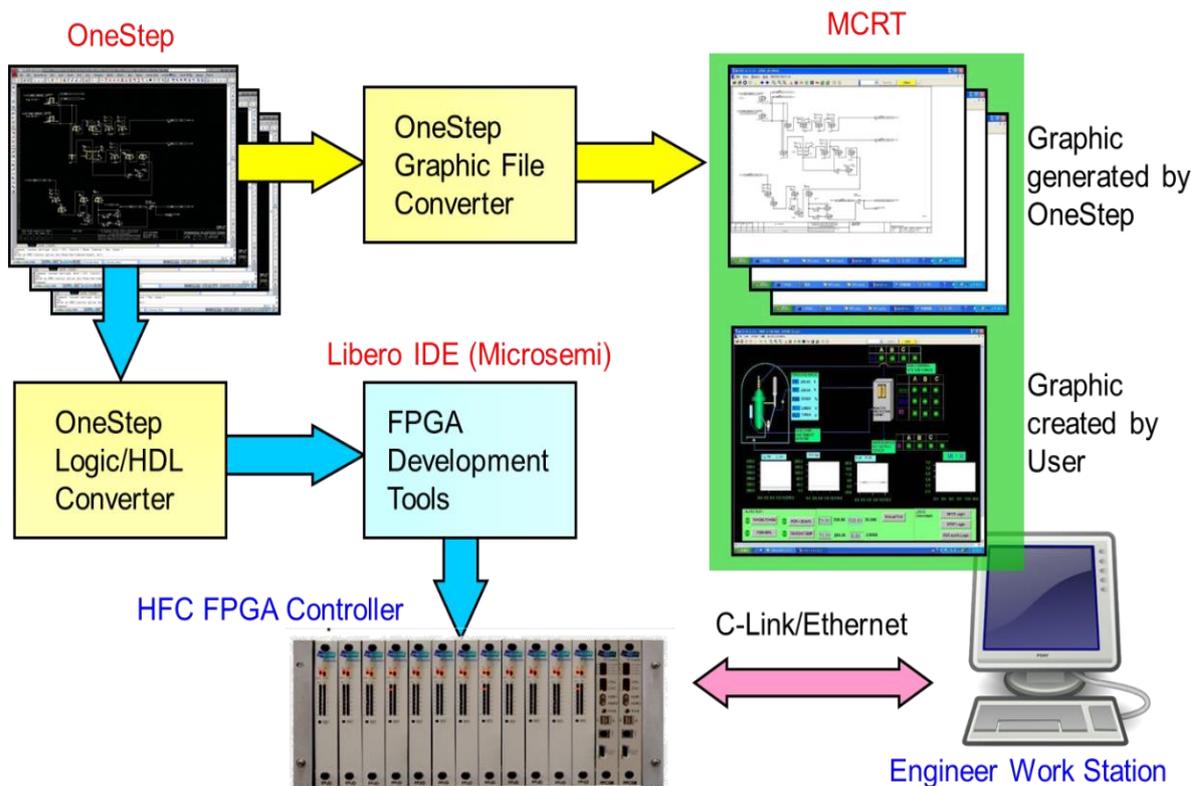
1. 以 SBC01Y 控制器卡片取代既有的 SBC01 控制器卡片。
2. 加入 HFC-6000 通訊主導網路(Communication Master Link, CM-Link)。
3. 連接 ICL 連線(Intercommunication Link)到 HFC-6000 通訊主導網路。(建立 SBC01Y 控制器與 SBC06 閘道控制器的通訊)。
4. 以 IOxxY IO 卡片取代既有的 IOxx IO 卡片。
5. 將 IOxxY IO 卡片連接到 IO 連線(IO Link)。(建立 SBC01Y 控制器與 IOxxY IO 卡片的通訊)。

HFC-6000 FPGA Version 平台主要配置於標準 HFC-6000 19” 機架，機架中的所有 FPGA 處理單元(FPGA version Processing Units, FPU)模組可透過背盤接線與令牌傳遞協議(Token-Passing protocol)(類似於 HFC 的 C-Link 通訊)互相傳輸通訊。而 12.5 MB 傳輸速度的 FPGA Link(F-Link)允許所有 FPU 模組進行其 I/O 狀態與內部資料交換。每一個 HFC-6000 FPGA 平台於 2 個機架中至多可連接 26 個 FPU 模組作為單一 FPGA 的節點(Node)。

另外，HFC-6000 FPGA Version 平台可配置成單一迴路控制、二重化迴路控制與三重化迴路控制。並依迴路控制的方式，HFC-6000 FPGA Version 平台可區分為：(1)單一迴路控制方式(Single loop control scheme); (2)集中式邏輯控制器方式(Centralized logic controller scheme)。單一迴路控制應用於核能安全儀控應用設計係採用包含 I/O 通道的 FPU 模組，每一個 FPU 處理單元透過模組上的 I/O 通道或透過 FPGA 通訊連結(F-Link)傳輸，執行應用邏輯運算與處理，而 F-Link (二重化 12.5 MB RS-485 bus) 於 2 個機架中至多可連接 26 個 FPU，利用令牌傳遞(Token Passing)方式的執行速度可低於 10 msec。集中式邏輯控制於核能安全儀控應用設計係採用集中式邏輯控制器(HFC-FCPU)並與其他 I/O 模組連結進行訊號傳輸通訊。所有 FPU 模組可做為單純的 I/O 模組與集中式邏輯控制器連結進行訊號傳輸，而 F-Link 做為 HFC-FCPU 控制器與 FPU I/O 模組的通訊介面連結。

HFC-6000 平台應用程式撰寫主要是以 HFC 控制邏輯發展軟體 OneStep 編寫。OneStep 軟體是一套自動化程式碼產生器，此軟體透過 AutoCAD 與 Promise (AutoCAD 外掛元件)軟體，利用圖形化的介面編寫控制邏輯、文件報表與產生人機介面等。另外，HFC-6000 FPGA 控制器的開發工具，是以 OneStep 整合原廠 FPGA 發展工具自動產生之控制邏輯(FPGA Code)，於 FPGA 開發環境下進行編譯、合成、模擬、測試與執行檔燒錄等動作(如圖六所示)。

本次參訪，核能研究所人員透過 HFC 執行長 Allen Hsu 親自講解 HFC-6000 安全控制系統發展過程，進一步瞭解以 FPGA 實現安全控制系統之設計。然而，目前國內尚未建立以 FPGA 設備進行數位化系統更新之經驗，建議應蒐集相關資料並累積相關經驗，有助於未來國內核電廠以 FPGA 設備進行數位化系統更新，未來更可進行 FPGA Version HFC-6000 平台於國內電廠系統或其他類似產業系統更新之技術推廣與應用。



圖六、以 OneStep 整合 FPGA 發展工具自動產生之控制邏輯，於 FPGA 開發環境下進行編譯、合成、模擬、測試與執行檔燒錄等動作

(四) 參訪南德州電廠

此次參訪經由美國核能管制委員會核能管制研究署張永賢博士協助聯繫，楊員與曾員於 3 月 2 日至 3 日受邀參訪南德州電廠(South Texas Project, STP)，參訪期間由南德州電廠運轉訓練經理(Operations Training Manager) Gregory Janak 與運轉講師(Operations Instructor) Todd Madary 全程接待與講解。

南德州電廠目前擁有 2 部單機淨容量 1,268 MWe 的壓水式機組(PWR)，分別自 1988 年 8 月與 1989 年 6 月商轉，如圖七所示。2006 年，南德州電廠創下全美營運成本最低的記錄，發電成本為 1.356 美分/度(0.45 元台幣/度)。而且營運、維護與燃料綜合支出也創下聯邦能源管制委員會(Federal Energy Regulatory Commission)轄下 58 座機組的最低記錄。該廠由南德州核能營運公司(STP Nuclear Operating Company, STPNOC)負責營運，由 NRG Energy、CPS Energy 與 Austin Energy 等 3 家電力公司以 44%：40%：16% 持股比例組成。

2009 年，南德州電廠經過長達 3 年的縝密評估，CPS Energy 電力公司確定南德州電廠增建 3、4 號核電機組，以滿足 San Antonio 地區長期電力多元化需求。該計畫原先選定 GE-Hitachi 的 ABWR，後改用 Toshiba 的設計，單機容量 1,358 MWe。NRG Energy 原本預估可望於 2012 年獲得核管會核准，並希望能在 2010 年展開建廠初期工程，於 2014、2015 年相繼完成商轉。2011 年 3 月 21 日，NRG 基於核能法規可能會有變更，宣布暫時停止南德州電廠增建 3、4 號核電機組的作業。

美國核能管制委員會自 2011 年開始與南德州核電廠合作開發適合於訓練課程現場即時收集人因績效資料的人為可靠度資料收集系統，命名為演練序列設計、表徵挑戰、評估應用(Scenario Authoring, Characterization, & Debriefing Application, SACADA)系統。經由 SACADA 系統所收集到的人因績效資料不僅能夠輔助南德州核電廠改善運轉員訓練品質，美國核能管制委員會也能夠經由人因績效資料的累積，改善人為可靠度的分析品質。由於 SACADA 系統資料收集方式與南德州電廠現行訓練程序一致，資料由訓練講師或者運轉員持續性的輸入，因此，具有資料收集持續性。



圖七、南德州電廠 2 部壓水式機組

楊員曾於今年(104年)2月2日參加於台電總處舉辦之 SACADA 系統簡介及座談會，會議決議核能研究所派員赴美國拜會南德州電廠時，請協助釐清台電關切系統導入議題，並蒐集南德州電廠導入經驗。

楊員與曾員經過事前與美方張永賢博士及南德州電廠運轉訓練經理 Gregory Janak 與運轉講師 Todd Madary 密集聯繫，決定參訪流程安排如下：

104年3月2日星期一

06:00-09:30 觀察模擬器訓練課程

09:30-10:30 參加訓練結果績效評估會議

10:30-11:30 南德州電廠 SACADA 系統簡介

12:30-15:00 問題與討論

104年3月3日星期二

06:00-09:30 觀察模擬器訓練課程

09:30-10:30 參加訓練結果績效評估會議

10:30-11:30 南德州電廠 SACADA 系統導入經驗分享

12:30-15:00 問題與討論

1. 觀察模擬器訓練課程

楊員與曾員於每日上午 5:30 抵達南德州電廠後，隨即進入模擬訓練中心(如圖八)，所有持照運轉員(1 位值班經理、1 位運轉值

班主任、1 位電氣值班主任、1 位反應器運轉員、1 位反應器助理運轉員) 連同 1 位運轉講師、1 位模擬器講師及 1 位觀察員於上午 6 點就定位(如圖 9、圖 10)。本次演練劇本涵蓋程序書編號 RST 215.01~05。



圖八、南德州電廠模擬訓練中心



圖九、模擬器訓練課程(左起反應器助理運轉員、反應器運轉員、電氣值班主任、模擬器講師、運轉值班主任、值班經理、觀察員、觀察員)



圖十、模擬器講師操作台

2. 參加訓練結果績效評估會議

訓練課程結束，所有人員稍事休息後，隨即進行訓練結果績效評估，比較特別的是南德州電廠將評估場所布置成像家中客廳一般，所有人員坐在沙發上像聊天一樣，針對演練過程中表現優劣的部分進行討論，討論時，由運轉講師將 SACADA 系統投射在大螢幕上，並請值班主任針對觀察重點先提供初步判斷(包括 SAT+, SAT(預設), SAT Δ , UNSAT)，一般由反應器助理運轉員進行資料輸入，如圖十一所示。在一個小時的訓練結果績效評估會議中，由值班經理主持討論，必要時輸入補充意見，所記錄的補充意見大多為 1 至 2 句陳述，如圖十二與圖十三所示。

3. 南德州電廠 SACADA 系統簡介與導入經驗分享

楊員與曾員於觀察訓練結果績效評估會議後，參加「南德州電廠 SACADA 系統簡介與導入經驗分享」座談會，參加成員包括：南德州電廠運轉講師 Todd Madary、愛達荷國家實驗室(Idaho national, INL)SACADA 系統發展團隊以及 INL 進步型實驗反應器(Advanced Test Reactor, ATR)運轉及訓練團隊。



圖十一、南德州電廠模擬器再訓練課程結果績效評估會議

Position	Expected Response	Sat?	Comments/Notes
US/RO	Directs/Commences a power reduction to < 50% per addendum 3	SAT	
SM	Notifies Co-Owners	SAT	
US/RO	Directs/Performs the following: • Commences Boration • Checks Rods in AUTO • Energizes PZR heaters • Places Main Turbine in Imp In (if desired) • Maintain MVARs < 450 • Monitor Rod control controlling Tave • Maintain Pressurizer level • Maintain Pressurizer pressure • Maintain SG levels	SAT	
CREW	Lowers power to maintain DA level > 30% to prevent manual Rx Trip	SAT	
CREW	Makes appropriate Notifications	SAT+	Good teamwork to ensure emergency boration was terminated when it was no longer required.

圖十二、SACADA 系統訓練結果績效評估畫面(輸入 SAT+意見)

Position	Expected Response	Sat?	Comments/Notes																
RO	Verify Turbine Trip	SAT																	
US	Enters 0POP04-TM-0003	UNSAT	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Type</th> <th>Sub Type</th> <th>Cause</th> <th>Remediation</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Monitoring/Detection</td> <td>Other: Did not verify <50% pwr before tripping the rx</td> <td>Overarching Issues: Habit Infrusion</td> <td>Required: Remediation/Performance/Product etc. Technical Knowledge</td> </tr> <tr> <td>Fundamentals</td> <td>Recovery</td> <td>End Result</td> <td>Required: Remediation/Performance/Product etc. Technical Knowledge</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Unrecovered</td> <td>Executed undesired action: Unnecessary Initiation</td> <td>DD Remediation, Technical Knowledge, Informal On The Spot Correction</td> </tr> </tbody> </table>	Type	Sub Type	Cause	Remediation	Monitoring/Detection	Other: Did not verify <50% pwr before tripping the rx	Overarching Issues: Habit Infrusion	Required: Remediation/Performance/Product etc. Technical Knowledge	Fundamentals	Recovery	End Result	Required: Remediation/Performance/Product etc. Technical Knowledge		Unrecovered	Executed undesired action: Unnecessary Initiation	DD Remediation, Technical Knowledge, Informal On The Spot Correction
Type	Sub Type	Cause	Remediation																
Monitoring/Detection	Other: Did not verify <50% pwr before tripping the rx	Overarching Issues: Habit Infrusion	Required: Remediation/Performance/Product etc. Technical Knowledge																
Fundamentals	Recovery	End Result	Required: Remediation/Performance/Product etc. Technical Knowledge																
	Unrecovered	Executed undesired action: Unnecessary Initiation	DD Remediation, Technical Knowledge, Informal On The Spot Correction																

圖十三、SACADA 系統訓練結果績效評估畫面(輸入 UNSAT 意見)

4. 問題與討論

問題：南德州電廠有多少運轉團隊，每組運轉團隊有多少成員？

回答：13 組運轉團隊，每組 6 位，包括 1 位值班經理、1 位運轉值班主任、1 位電氣值班主任、1 位反應器運轉員、1 位反應器助理運轉員、1 位電氣運轉員。

問題：導入 SACADA 系統後，所需花費的時間為何？

回答：所需花費的時間分成兩個部分，包括輸入演練劇本的時間與課後評估的時間，分別為一小時，與導入前所花費的時間一致，且劇本不需一次完成輸入，只要在訓練前幾週完成即可，待大部分劇本均完成後，後續維護只要拖曳方式，並進行細部調整即可，花費在劇本的編輯時間需求應該能夠下降，如果希望一次將所有劇本輸入也可以，以 22 個劇本為例，應該需要 22 個小時，也就是四到五個工作天可以完成。

問題：導入 SACADA 系統自今，是否所有運轉團隊均接受？

回答：事實上，沒有一個系統能夠為全體成員所接受，決策者考量的是效益，以及關鍵對象的認同。就效益來講，透過資料分析對講師發現運轉上的潛在議題確實有助益，例如，從數據上來看可以發現運轉團隊內部氣氛是否融洽與開放；另外，而對南德州電廠而言，關鍵對象是值班經理，因為訓練結果績效評估由值班經理所主導，因此，值班經理認同最為重要。

問題：導入 SACADA 系統時，是否擔心資料被不當引用？

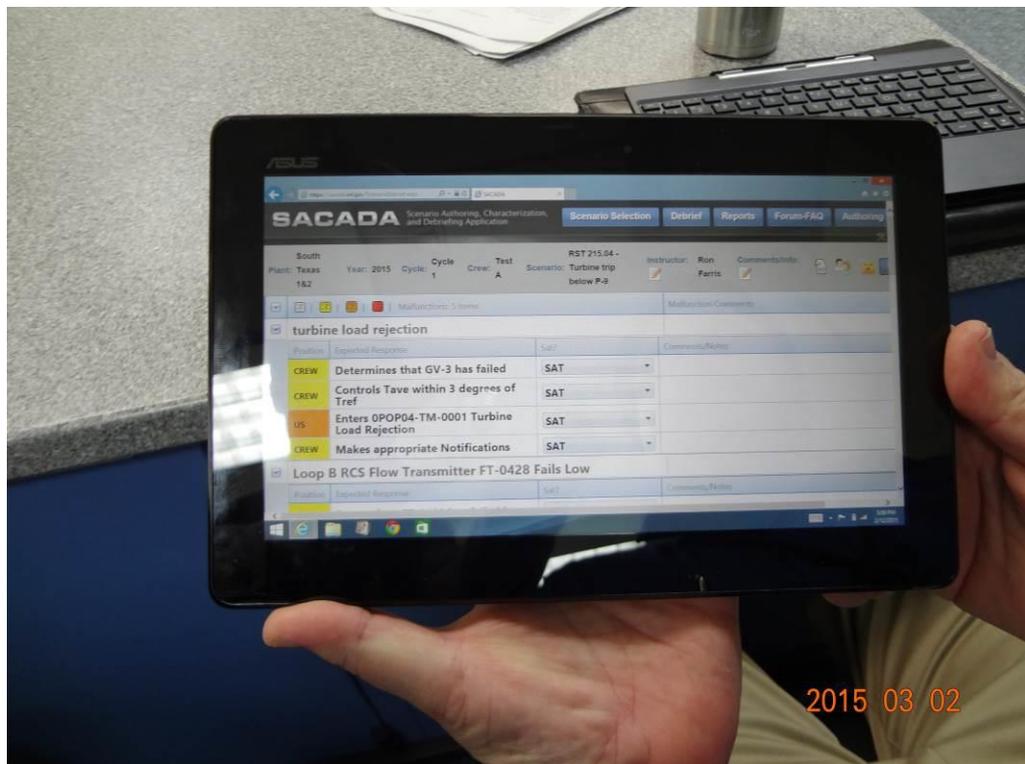
回答：確實曾擔心，不過因為合作對象為核能管制研究署，性質為研究單位，並且於合作協定上簽署相關資料僅供研究使用，不作為管制使用，而後歷經數年，也確實未有不當引用的情形，因此，運轉員在資料輸入上也逐漸放心，但是，信任確實需要基於對象、合約與時間才能慢慢建立。

問題：導入 SACADA 系統自今，對系統功能有何建議？

回答：由於核能管制研究署希望與南德州電廠進行長期資料收集合作，因此，委託愛達荷國家實驗室配合南德州電廠進行功能與介面的客製化設計，未來，南德州電廠希望透過持續改善介面，

使劇本編輯更為快速。

另外，目前的訓練結果績效評估的作業方式，是在訓練結果績效評估會議時進行資料輸入，需花費一些時間回想與討論當時狀況是否滿足要求表現，南德州電廠提出如果能夠在現場即時的進行重點記錄，將能使後續討論更有效益，因此，目前正在與愛達荷國家實驗室共同發展適用於平板電腦的版本，同時，未來會加入記錄時間的功能，使講師在演練過程中能夠即時進行初評，並記錄關鍵作業的時間，好處在於對考照而言，可以針對時間進行改善，而對人為可靠度分析而言，也能夠提供可驗證的時間參考，如圖十四所示。



圖十四、SACADA 系統(平板電腦版本)

問題：目前台電公司正考慮試用 SACADA 系統，強化持照人員再訓練品質，請南德州電廠進行經驗分享。

回答：歡迎加入 SACADA 系統的使用行列，由於 SACADA 系統能夠客製化，因此，若台電試用後，提出南德州電廠目前尚無的客製化功能，南德州電廠也能夠從中獲益。如果需要了解其他問題，南德州電廠人員也樂於協助回覆。

(五) 參訪 Hurst Technologies 公司

楊員與曾員於公差行程安排時，將 3 月 4 日班機安排於晚間，以利把握於美國德州停留最後一天的時間，順道拜訪位於休士頓附近的 Hurst Technologies 公司。Hurst Technologies 公司為儀控專業顧問公司，提供儀控與監測等工業與核能級系統設計整合、工程與現場輔助顧問服務，服務對象包括核能產業、石化產業、交通產業、民生基礎產業等，目前該公司約有七成計畫來自美國，三成計畫來自國際，未來希望拓展中國以及印度等亞洲市場。

Hurst Technologies 公司總裁 Timothy Hurst 曾受邀於台灣三座運轉中核電廠講解儀控系統數位更新重點與規範，會議中楊員與曾員提到前兩天曾經拜訪南德州電廠，Timothy Hurst 創業前曾經擔任南德州電廠儀控經理，後續仍與南德州電廠保持密切互動，例如：2006 年 6 月南德州電廠向美國核能管制委員會遞交建廠意向書，計劃興建 2 座機組容量 1,358 MW，由 GE-Hitachi 所設計的先進沸水式反應器(Advanced Boiling Water Reactor, ABWR)機組，但後改用 Toshiba 的設計。為此，南德州電廠委託 Hurst Technologies 公司協助進行終期安全分析報告第七章、第十五章與第十八章請照資料審查與回應管制單位議題。

Timothy Hurst 也分享近期受美國某機場管理公司委託，發展登機門排程儀控系統，改善傳統登機門由各航空公司自行管理，使登機門即便沒有航班也無法開放給其他航空公司使用的問題。Hurst 表示透過該公司研發的登機門排程儀控系統，降低登機門準備時間，並提高使用率，使機場管理公司與航空公司更有效的管理登機門，降低等待時間與成本。

最後，Timothy Hurst 關心台灣核電廠發展現態，並提出核電廠使用數位化儀控系統是全球趨勢，將現有運轉中核電廠漸趨老化的類比儀控系統替換，使用數位儀控系統是無法避免的情勢。在此替換的過程中，許多問題均需審慎的評估及考量，如台電公司電廠維護及運轉人員對未來整廠儀控系統軟硬體之願景、使用及更換數位化儀控系統相關管道流程或運轉操控的範圍、費用、相關核能主管機關的審核、數位系統設備的使用年限及週期、現有的操作運轉及維護人員對更換後數位儀控系統之技術訓練等。

數位化儀控系統的使用需符合一般性數位儀控平台網路與通訊整合設計、數位儀控軟體可靠度與軟體安全及主控制室人因工程整體規劃等相關法規。Timothy Hurst 認為核電廠儀控系統數位化更新，是一種跨系統的整合性更新，因此，核電廠對於儀控系統數位化更新的態度，較為謹慎，不希望更新之後的衝擊太大，如何在更新與保留中達到平衡，既能享有數位化的優點，又能減低磨合時期的風險，是儀控系統數位化更新時的關切重點。

Timothy Hurst 與台灣關係良好，認為台灣核電廠有優良運轉經驗，且認為台灣核能專業人員有豐富經驗，這些經驗是台灣核能技術的競爭優勢，如果未來台灣能將這些知識經驗輸出，協助積極發展核能產業的新興大國，如能源需求孔急的中國、印度，則過去台灣在核電廠興建與運轉的投入，將能創造更佳的投资報酬，許多公司，如 Hurst Technologies 公司也希望能夠與台灣合作進行核能技術的交流。

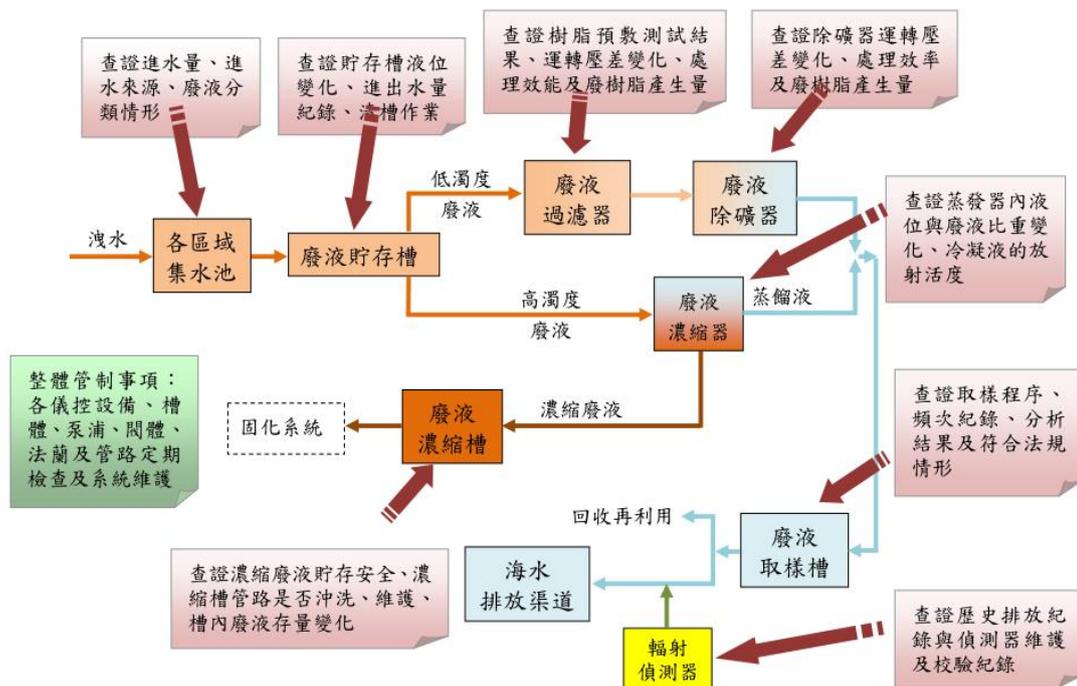


圖十五、Hurst Technologies 公司總裁 Timothy Hurst(照片座位中間)率兩位資深副總 Thomas L. Sarver(照片座位右邊第一位)與 Darrell W. Cooksey(照片座位右邊第二位)親自進行公司簡報

四、建議事項

本次參加 2015 年第 9 屆核能電廠儀控暨人機介面技術國際會議 (NPIC&HMIT 2015)，並參訪 AVANTech、Doosan HF Controls (HFC)、Hurst Technologies 公司等核能技術公司，並順道訪問南德州電廠模擬訓練中心。建議事項包括：

(一)放射性廢液處理系統的安全管制相當重要，從洩水到各區域及水池開始，流程中有將近八項查證與相關偵測(如圖十六)，整體管制事項涵蓋各儀控設備、槽體、泵浦、閥體、管路等，本次出國公差拜訪 AVANTech 公司，了解該公司技術可大幅降低廢液放射性活度，此外，除核能產業外，該公司技術也應用於石化及高科技產業，在應用領域及成本上具有競爭力，建議持續蒐集國內外廢液處理系統應用資料與審查標準之發展。



圖十六、放射性廢液處理系統之安全管制重點示意圖

(二)本次公差藉由廠方人員簡報 HFC-6000 安全控制系統發展過程，以及工廠實地觀察，瞭解以 FPGA 實現安全控制系統之設計。然而，目前國內尚未具有以 FPGA 設備進行數位化系統更新之經驗，建議應蒐集相關資料並累積相關經驗，有助於未來協助國內核電廠或石化等相關產業利用 FPGA 設備進行數位化系統更新。

(三)美國核能管制委員會自 2011 年開始與南德州核電廠合作開發適用於訓練課程現場即時收集人因績效資料的人為可靠度資料收集系統 (SACADA)。經由 SACADA 系統所收集到的人因績效資料，不僅輔助南德州核電廠精進運轉員訓練品質，美國核能管制委員會也能夠經由人因績效資料的累積，改善人為可靠度的分析品質。美國核能管制研究署與愛達荷國家實驗室均表示如果台電公司參與試用，可依台電需求適度客製化介面。核能研究所站在鼓勵國內運轉中電廠積極與國際具指標性代表單位合作精進運轉員訓練品質的角度，建議持續蒐集國際人為可靠度資料收集系統推廣資料。

(四)台灣核電廠有優良運轉經驗，且台灣核能專業人員有豐富經驗，這些經驗是台灣核能技術的競爭優勢，長期來看，如果未來台灣能將這些知識經驗輸出，協助積極發展核能產業的新興大國，如能源需求孔急的中國、印度，則過去台灣在核電廠興建與運轉的投入，將能創造更佳的投資報酬，許多公司，如 **Hurst Technologies** 公司也希望能夠與台灣合作進行核能技術的交流。而就目前來講，建議持續蒐集數位儀控系統更新審查經驗與評估技術，累積知識經驗與競爭優勢。