

出國報告（出國類別：其他）

參訪大陸海陽與石島灣核電廠、中國原子能科學研究院、日本東京工業大學、西屋、東芝及 MUS 公司

服務機關：核能研究所

姓名職稱：詹益光 副研究員

張欽章 研究員

莊俊 研究員

高良書 研究員

派赴國家：中國大陸、日本

出國期間：103 年 9 月 16 日~103 年 10 月 3 日

報告日期：103 年 11 月 3 日

摘 要

在國際經濟競爭中，核能發電被大陸視為發展低碳經濟的選項之一，能緩解對能源依賴、改善能源結構及減少二氧化碳排放。因此，大陸積極發展核電技術，是未來全球核電發展最迅速的國家，興建中的機組規模位居世界第一，預估在 2020 年核能電廠的裝機容量將超過 40 GWe，其興建及規劃中的機組將採用第三代與第四代核電技術來建造機組。此行主要目的是參訪大陸海陽核電廠及石島灣核電廠，除了增進本所瞭解國際新型核電廠之建造現況外，亦進行技術交流，對大陸核能工業有更多認識並強化本所研發方向。

此外，中國原子能科學研究院隸屬於中核集團公司，是大陸具先導性、基礎性及前瞻性的綜合核科研基地，亦是重要科學思想庫、技術儲備庫和人才培養庫，為中核集團公司的研發中心，藉由參訪(1)原子高科股份有限公司(中國原子能科學研究院培育扶植的創新公司)，(2)中國原子能科學研究院反應器工程研究設計所，以及(3)核技術應用研究所，瞭解大陸核能工業在民生用途之應用現況，包含在醫農工業各領域的研發現況、產品化及技術服務能力，對於增進兩岸技術交流及互動瞭解，並做為本所日後研發工作及規劃後續計畫之參考。在海陽核電廠及石島灣核電廠建造初期，討論將本所研發之核廢料處理技術納入規劃設置內，協助本所技轉廠商開拓國外市場。此行亦瞭解原子高科股份有限公司在核醫藥物之研發與產製能力，除討論從大陸進口 Tc-99m 的可能方案外，另研議本所各項核醫藥物推廣至大陸運用之可行性，亦期望有助於雙方在核醫藥物市場端之策略聯盟。

在日本參訪行程部分，包含(1)與東京工業大學澤田哲生(Tetsuo Sawada)教授討論日本有關核電廠管制及核電廠重新啟動議題，(2)參訪西屋東京分公司/東芝公司就後福島事故之改善工程與活動進行討論與交流，(3)參訪 MUS (Marubeni Utility Services)公司就電廠設備性能改善相關議題進行討論與交流。

整體而言，此行赴大陸及日本有助於瞭解 AP1000 核電機組的興建現況、大陸研究用反應器的設計與應用狀況及核醫製藥與同位素照射之現況，瞭解日本核電廠管制議題與政策、核電廠重新啟動現況及後福島事故之核能安全等級提昇與改善工程行動。除了有助於本所日後研發工作之參酌外，亦可供核能管制單位參考。

目 次

摘 要

(頁碼)

一、目 的	1
二、過 程	2
三、心 得	43
四、建 議 事 項	49
五、資 料 蒐 集	51
六、附 錄	52

一、目的

在國際經濟競爭中，核能發電被大陸視為發展低碳經濟的選項之一，能緩解對能源依賴、改善能源結構及減少二氧化碳排放。因此，大陸積極發展核電技術，是未來全球核電發展最迅速的國家，興建中的機組規模位居世界第一，預估在 2020 年核能電廠的裝機容量將超過 40 GWe，其興建及規劃中的機組是採用第三代與第四代核電技術來建造機組。此行參訪大陸海陽核電廠及石島灣核電廠，除了增進本所瞭解國際新型核電廠之建造現況外，亦進行技術交流，對大陸核能工業有更多認識並強化本所研發方向。亦討論藉由海陽核電廠及石島灣核電廠建造初期，將本所研發之核廢料處理技術納入規劃設置內，協助本所技轉廠商開拓國外市場。

此外，中國原子能科學研究院隸屬於中核集團公司，是大陸具先導性、基礎性及前瞻性的綜合核科研基地，亦是重要科學思想庫、技術儲備庫和人才培養庫，為中核集團公司的研發中心，藉由(1)參訪原子高科股份有限公司(中國原子能科學研究院培育扶植的創新公司)，瞭解該公司在核醫藥物之研發與產製能力，除討論從大陸進口 Tc-99m 的可能方案外，另研議本所各項核醫藥物推廣至大陸運用之可行性，亦期望有助於雙方在核醫藥物市場端之策略聯盟。(2)參訪中國原子能科學研究院反應器工程研究設計所，瞭解其研發現況與技術能力，以及研究用反應器之應用現況，以及(3)參訪核技術應用研究所，瞭解大陸核能工業在民生用途之應用現況，包含在醫農工業各領域的研發現況、產品化及技術服務能力，上述參訪可以增進兩岸技術交流及互動瞭解，並可做為本所日後研發工作及規劃後續計畫之參考。

在參訪日本行程部分，(1)與東京工業大學澤田哲生(Tetsuo Sawada)教授討論日本有關核電廠管制及核電廠重新啟動議題，(2)參訪與西屋東京分公司/東芝公司就後福島事故之改善工程與活動進行討論與交流，以及(3)參訪 MUS (Marubeni Utility Services)公司，就電廠設備性能改善相關議題進行討論與交流。

整體而言，此行赴大陸及日本有助於瞭解 AP1000 核電機組的興建現況、大陸研究用反應器的設計與應用狀況及核醫製藥與同位素照射之現況，瞭解日本核電廠管制議題與政策、核電廠重新啟動現況及後福島事故之核能安全等級提昇與改善工程行動。除了有助於本所日後研發工作之參酌外，亦可供核能管制單位參考。

二、過程

(一)行程

此次公差包含大陸及日本行程，大陸行程由 103 年 9 月 16 日起至 103 年 9 月 25 日止，日本行程則由 103 年 9 月 25 日起至 103 年 10 月 3 日。高員與詹員參與全部行程；張員則參加大陸北京及日本行程；而莊員與郭員僅參與大陸行程。高員、詹員、張員及莊員之詳細行程分別如表 1 至表 3 所示。近年來，核研所積極推動 TRODAT-1 技轉及授權民間業者，但業者表達需有穩定且價格合理之 Tc-99m 作為配套，否則其付出高額權利金風險過高，故尋找適當 Tc-99m 合作供應夥伴是民間企業殷切之期盼，也是本所技轉成功之關鍵因素之一。

表 1 高良書與詹益光赴大陸及日本公差行程表

行 程					公差地點		工作內容
月	日	星期	地 點		國名	地名	
			出 發	抵 達			
9	16	二	台北	青島	大陸	青島	去程
9	17-19	三-五	青島	海陽	大陸	海陽	參訪海陽核電廠及石島灣核電廠
9	20	六	海陽	青島	大陸	青島	路程(回青島)
9	21	日	青島	北京	大陸	北京	路程
9	22-24	一-三			大陸	北京	參訪中國原子能科學研究院
9	25	四	北京	東京	日本	東京	路程
9	26	五			日本	東京	參訪東京工業大學
9	27-28	六-日			日本	東京	整理資料
9-10	29-2	一-四			日本	東京	參訪 Toshiba / Westinghouse 公司及 MUS 公司
10	3	五	東京	台北			回程

表 2 張欽章赴大陸北京及日本公差行程表

行程					公差地點		工作內容
月	日	星期	地點		國名	地名	
			出發	抵達			
9	21	日	台北	北京	大陸	北京	路程
9	22-24	一-三			大陸	北京	參訪中國原子能科學研究院
9	25	四	北京	東京	日本	東京	路程
9	26	五			日本	東京	參訪東京工業大學
9	27-28	六-日			日本	東京	整理資料
9-10	29-2	一-四			日本	東京	參訪 Toshiba / Westinghouse 公司及 MUS 公司
10	3	五	東京	台北			回程

表 3 莊俊赴大陸公差行程表

行程					公差地點		工作內容
月	日	星期	地點		國名	地名	
			出發	抵達			
9	16	二	台北	青島	大陸	青島	去程
9	17-19	三-五	青島	海陽	大陸	海陽	參訪海陽核電廠及石島灣核電廠
9	20	六	海陽	青島	大陸	青島	路程(回青島)
9	21	日	青島	北京	大陸	北京	路程
9	22-24	一-三			大陸	北京	參訪中國原子能科學研究院
9	25	四	北京	台北			回程

(二)出國紀要

本次公差包含大陸及日本的參訪行程，在大陸的參訪行程有(1)海陽核電廠，(2)石島灣核電廠，以及(3)中國原子能科學研究院參訪行程。其中，參訪大陸中國原子能科學研究院的行程包含有原子高科股份有限公司、反應器工程研究設計所及核技術應用研究所之參訪。而日本的參訪行程則有(1)東京工業大學，(2)Westinghouse 東京分公司，(3)Toshiba 公司，以及(4)Marubeni 公司等參訪行程，詳細過程說明如下：

1. 參訪海陽核電廠

大陸積極發展核電技術，是未來全球核電發展最迅速的國家，興建中的機組規模位居世界第一，預估在 2020 年核能電廠的裝機容量將超過 40 GWe。參訪海陽核電廠的主要活動包含：西屋公司說明海陽核電廠第三代 AP1000 核電機組建造現況、雙方技術交流，並推廣本所研發之三廢處理技術，期望海陽核電廠建立初期，可以將該項技術納入建置規劃，協助本所技轉廠商開拓國外市場，以及進入海陽核電廠廠區參觀。

西屋公司(Westinghouse) 海陽 AP1000 計畫之現場項目總監(Site Project Director) Mr. Jeff Lamb 簡報(1)Westinghouse AP1000 plant projects update，以及(2)Site pictures and progress。簡報中播放國際上興建中的 8 部 AP1000 機組建造現況及相關圖片，西屋公司海陽工程部副經理蓋金平小姐及西屋公司高級模塊工程師蕭翰澤先生，亦參與簡報會議及討論核安議題。此外，在西屋公司人員陪同下，進入一、二號機廠區，瞭解海陽核電廠的建造現況，以下將說明海陽核電廠及參訪活動內容。

海陽核電廠位於山東省膠東半島，距海陽市 22 公里，距離烟台市及青島市分別約 93 公里及 107 公里。大陸地質調查結果指出，海陽核電廠地質條件優越，廠址的基礎條件優良，非常符合建造核電廠的要求。而成立於 2004 年 9 月的山東核電有限公司為海陽核電廠的業主，該公司由中國電力投資集團公司、山東省國際信託有限公司、煙台藍天投資控股有限公司、中國國電集團公司、中國核工業集團公司、華能核電開發有限公司等單位出資，負責電廠的前期開發、工程建設、生產營運及維護管理。

海陽核電廠採用第三代核電技術，規劃以三期工程建設，建造 6 部百萬千瓦級壓水式反應器機組，廠區並預留 2 部機組擴建廠地。其第一期工程採用美國西屋公司設計的第三代核電技術 AP1000 建造兩部機組(一號機與二號機)，一號機於 2009 年 9 月開始建造，首部機組原預訂於 2014 年 12 月商轉，因組件設計、製造及驗證問題，導致工期延

期，預期將於 2016 年併網發電，商轉後將改善山東電源結構、促進地方經濟發展及達到節能減碳成效。國際上目前興建中的第三代 AP1000 核電機組共有 8 部機組，其中大陸浙江三門及山東海陽核電廠分別建造 2 部機組；另外 4 部機組則在美國境內，分別是 V. C. Summer (2 號機及 3 號機)及 Vogtle 核電廠(3 號機及 4 號機)。

西屋公司表示，與目前全球普遍採用的第二代壓水式反應器技術比較，AP1000 具有非能動安全系統與模塊化施工兩大特色，非能動安全系統在緊急情況下，不需任何外界動力，於 72 小時內無需運轉員操作，其儲備的大量冷卻水利用重力、慣性、對流、蒸發及冷凝等物理原理，自然冷卻將反應器的餘熱移除，不需藉由泵、交流電源、柴油機等外界動力系統之驅動。AP1000 採用先進的數位化儀控系統，採用非能動安全系統，大幅簡化系統設並降低事故發生機率，提高核電廠的安全性與可靠性。此外，AP1000 採用模塊化施工技術，可藉由工廠製造與現場建造同步進行以縮短建設工期。

海陽核電廠的建廠歷程簡要說明如下：1995 年 8 月，海陽核電廠初步可行性研究報告審查通過，確定海陽核電廠為山東省第一個核電廠建造案；2003 年，中電投集團啟動海陽核電廠籌建工作並通過廠址規劃；山東核電有限公司在 2004 年成立，為海陽核電廠的業主單位，全面展開和推動建廠工作，並負責建廠的前期開發、工程建設、生產營運及核安全管理；2006 年 12 月大陸與美國簽署先進壓水式核電技術轉讓備忘錄，確定 AP1000 核電技術；2007 年 12 月海陽核電一期工程獲得開工令，同月 31 日正式啟動；2008 年 7 月海陽核電廠一號機組核島負挖工作正式開工，2009 年 1 月完工，並於 2009 年 2 月通過驗收；2009 年 9 月海陽核電一期工程項目通過國務院批准並取得建造許可證，同月隨著一號機核島底板第一層混凝土澆灌依計畫實現，海陽核電廠一期工程全面進入主體工程建設階段。此外，2009 年 3 月，國家發改委同意海陽核電廠 3、4 號機組依據 AP1000 技術路線展開前期工作。

2013 年 3 月，1 號機鋼製安全殼(圍阻體)頂封頭順利吊裝實現封頂，亦即一號機反應器廠房內部土建施工完成，2014 年 6 月 CB 20 模塊最後一次混凝土澆築完成，海陽核電廠 1 號機組圍阻體順利封頂，核島廠房土建主體工程全部完工。AP1000 鋼製安全殼容器屬核能級設備，由底封頭、4 段筒體和頂封頭 6 大部分組成，直徑 39.6 公尺、高度 65.6 公尺。頂封頭為最後吊裝就位的模塊，由四圈共 64 塊弧形鋼板組合而成。原訂 1 號機於 2014 年正式發電的目標因工程進度延期無法順利達成，預期將在 2016 年正式併網發電。

西屋公司在簡報過程中也說明海陽電廠重要設備之製造商，其中 1 號機主冷卻管道由第二重型機械集團公司自主研發，顯示該公司已掌握 AP1000 主冷卻管道製造核心技術；1 號機一體化爐頂組件由位在美國賓州的 PCC 工廠組裝；1 號機反應爐壓力容器由韓國斗山重工業製造，從鍛件投料階段開始，山東核電有限公司選派優秀技術人員駐廠監造，對整個製造過程之品質嚴格監督，並對焊接、非破壞檢測、水壓試驗及出廠驗收等環節進行重點監督及控制，確保設備質量得到有效控制，歷經近 3 年終於完成反應爐壓力容器的製造，而 2 號機組反應爐壓力容器由美國西屋公司設計，上海電氣核電設備有限公司承製。此外，韓國斗山重工業也承製 1 號機蒸汽產生器。海陽核電廠一期工程循環水泵組由日本荏原製作所承造，在 2011 年 5 月 12 日循環水泵組之性能試驗在日本工廠通過驗收，泵組流量、揚程、效率、噪音和振動等性能指指標部符合技術規範要求。

MSR 設備由哈電集團重裝公司承製，至於在汽輪發電機設備，三門及海陽核電廠的 16 套汽輪機轉子，包括 4 套高壓汽機轉子與 12 套低壓汽機轉子，以及 4 台發電機，則由三菱重工與哈爾濱電氣股份有限公司共同承製。低壓汽輪機為高性能、高效率的大容量機型，其中三菱重工負責汽輪機的整體設計及包括轉子在內的汽輪機本體製造，哈爾濱電氣股份有限公司負責汽缸、配管及其他相關設備的製造。三門及海陽核電廠 1 號機之發電機由三菱電機供貨，而 2 號機則由哈爾濱電氣股份有限公司製造。另外，中核包頭核燃料元件股份有限公司在 2012 年開始建設 AP1000 燃料元件生產線，從歷經生產線基礎建設、設備安裝及調適，到 2014 年 9 月完成首個國產 AP1000 模擬組件的製造，大陸專業設備廠家皆積極投入參與核能工業設計、製造及研發工作。

大陸近年來從西屋公司引進 AP1000 第三代核電技術，藉由技術轉讓、參與機組建造、與國外廠家合作、積極研發與創新，以及有效整合核電產業資源，加快核電產業發展，現階段已逐步掌握相關組件製造技術與能力，並朝向設備國產化目標邁進，其較為完整的核電設備供應體系已然成型。此外，大陸藉由與外專業廠家(美國西屋、EMD、SPX、PCC、日本三菱及韓國斗山重工業等)合作與學習，再經由學習與創新，逐步研發具有自主知識產權的大型先進壓水式核電廠(CAP1400)技術，現階段已完成初步設計，其核電技術創新體系已展現初步成果。

在技術討論交流部分，則是討論 AP1000 相關安全議題，擇要說明如下：AP1000 原始設計是依據 0.3g 進行抗震設計，對於 AP1000 核電廠安全殼上非能動安全殼冷却水

儲存箱的耐震設計議題，據大陸相關研究指出，三門、海陽廠址區域及附近範圍的地質結構不存在發生地震、海嘯及受到地震、海嘯侵襲的可能，而即使在福島事故這種極端外部條件下，AP1000 也具有很强的抵抗事故能力，其安全級 SSC 在 0.52g 的地震下不會發生結構失效。另外，也廣泛討論美國核電廠 AP1000 機組在福島事故後的耐震設計接受準則。

全球首台 AP1000 核電機組建設施工延期的原因，一是受日本福島核事故影響，設計施工及設備製造放慢速度，同時按照大陸管制單位要求進行評估驗證安全性；二是關鍵設備施工設計、製造及驗證等問題導致工程延期，如反應爐冷卻泵的設置問題，目前大陸國家核電、業主、西屋及施工單位一起攜手努力，達成世界首座 AP1000 機組(三門 1 號機)在 2015 年底運轉的目標努力。此外，大陸四座 AP1000 機組在飼水環路上將裝設超音波飼水流量計，藉由更為精確之飼水流量量測技術，降低飼水流量量測不準度，計算較精確之爐心熱功率，為後續可能執行之功率提昇預做鋪路。

核研所人員指出，本所協助台電公司完成三座核能電廠(共六部機組)順利達成小幅度功率提昇運轉，以及協助核一、二廠執行中幅度功率提昇的成果，對提升台電公司核電廠整體營運績效有顯著貢獻，在執行功率提昇計畫之工程評估、安全分析及電廠實務等工作都是屬於特廠(Plant-Specific)之工作。西屋公司對龍門電廠的現況及國內機組延役議題表現高度興趣，也對原能會、核研所的組織及經費來源頗感興趣，另外，介紹核研所研發成果如三廢處理技術擁有 16 國專利，並已在台灣核三廠運用多年，建議西屋公司考慮將此項技術納入規劃中。

在廠區參觀過程中，西屋公司人員特別提到廠區附近的山東核電設備製造有限公司參與 AP1000 的建造，經查詢得知該公司成立於 2007 年 7 月，是由國家核電技術公司控股籌建的大陸首家 AP1000 核電鋼製安全殼、結構模塊、機械模塊及一體化頂蓋組件等設備的專業製造公司，參與 AP1000 核電關鍵設備國產化與自主化的任務。

最後，也到重件運輸碼頭參觀，以及瞭解海堤工程建造。海陽電廠的廠區頗大，可供後續機組擴建場地需求。此外，亦明顯看出其外部電網之輸電線鐵塔亦完成建置。海陽核電廠之工程建造單位的辦公室，採用一般行政大樓方式建造，其注重外觀設計，藍白色的外牆，給人良好印象。圖 1 為西屋 AP1000 機組廠房配置示意圖；圖 2 與圖 3 為山東海陽核電廠；圖 4 為與西屋相關人員合照。

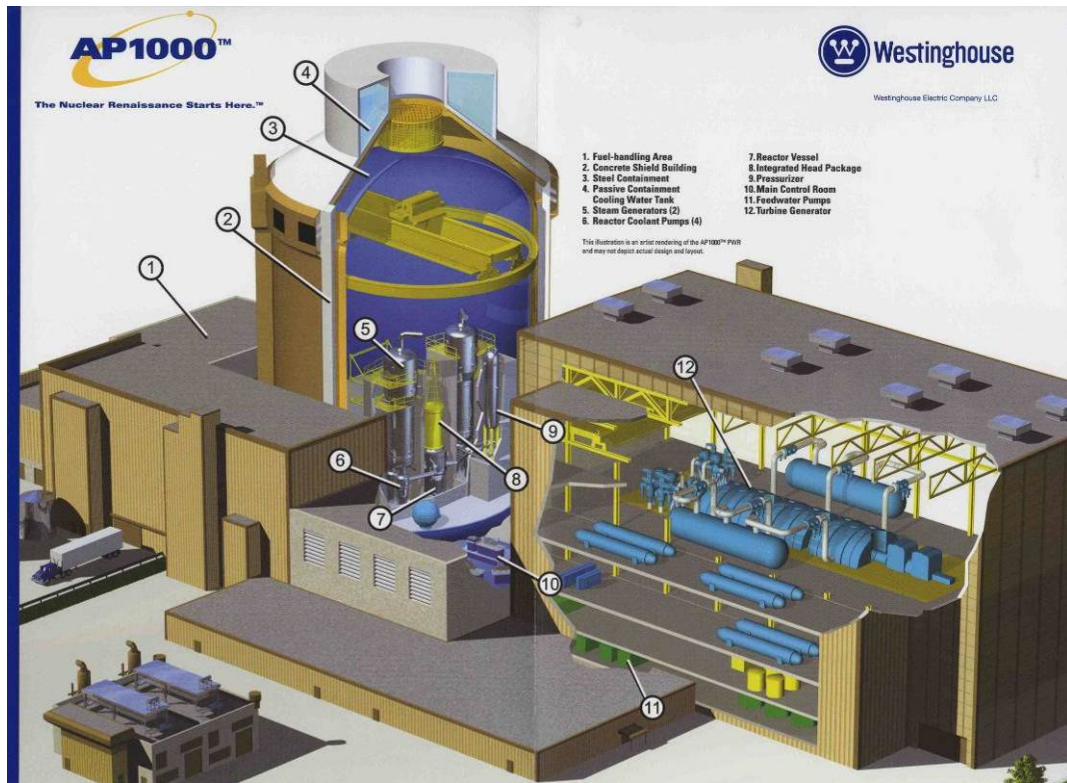


圖 1 西屋 AP1000 機組廠房配置示意圖



圖 2 參訪山東海陽核電廠



圖 3 海陽核電廠廠區



圖 4 與西屋公司人員合影

2. 參訪石島灣核電廠

石島灣核電廠位於山東省威海市所轄榮成市境內，距青島市與烟台市分別約 185 公里及 120 公里，被稱為中國迄今最大的核電興建基地，是全球首座採用第四代核電技術的示範電廠。石島灣高溫氣冷式核電示範廠由華能集團、中國核工業建設集團及清華大學投資興建，清華大學負責高溫氣冷式反應器核電廠示範工程技術支援與研發工作，中國核工業建設集團負責工程建設，華能山東石島灣核電有限公司則為管理機構。其一期工程將建造 2 部擁有自主創新技術的 20 萬千瓦級第四代高溫氣冷式機組，並做為示範電廠，兼具科研性、工程性和商業化三大特點，是全球首次將四代核電技術商業化，對全球核電產業意義重大。若將來示範電廠完成建造並順利運轉，可在國內外進行推廣複製，使大陸在核電技術及施工建造進入世界先進行列。

衡量第四代核電技術最重要的指標為安全性與經濟性。高溫氣冷式核電廠具固有安全性、系統較為簡化及發電效率較高，其整體發電效率比第三代壓水式核電廠高，更具經濟競爭優勢，在國際上受到廣泛重視，是能適應未來能源市場需求的第四核電技術選項之一。由大陸清華大學自主設計建造的 10 MWt 高溫氣冷式實驗核電廠，於 2003 年 1 月實現滿載運轉發電，為世界第一座具有模塊式高溫反應器的實驗電廠，提供高溫氣冷式反應器核電廠示範工程技術支援。

示範工程自主發展技術，採用球床模塊式高溫氣冷式反應器，發電功率高於 20 萬千瓦、發電效率高於 40%、機組利用率高於 80%、設備國產化高於 75%及達到第四代核電技術安全目標。示範工程已於 2012 年 12 月開工建造，預期將於 2017 年併網發電。

大陸為推動具有自主知識產權的高溫氣冷式核電廠商業化示範工程，歷經國家核安全局、環保部、發改委等相關部門及業內專家的論證、審查，並仔細評估廠址、技術、安全性及施工建造，初期評估及選址等籌備時間長達 8 年之久，在產學研密切合作下，持續發展關鍵核心技術，其技術研發、安全防範、裝備研製、人才培育及基礎建設等方面都獲得重要階段成果。大陸 2006 年將高溫氣式核電廠示範工程列入國家科技重大專項；國務院在 2006 年 6 月成立了大型先進壓水式及高溫氣冷式反應器重大專案領導小組；2007 年 9 月，高溫氣冷式核電廠重大專案總體實施方案通過專家審核；自 2008 年以來，石島灣核電廠一直在進行前期籌備工作，但一直沒有獲得建造許可証。2008 年 2 月，國務院常務會議審查通過了重大專案實施方案，進入啟動實施階段。2008 年 4 月石

島灣高溫氣冷式機組之核島區基坑負挖工作完成，並通過國家核安全局檢查驗收，核島區底板鋼筋綁扎也已完成，為工程開工及澆築混凝土做準備。原定於 2011 年展開建造，但 2011 年 3 月福島核電廠事故，大陸對核設施全面進行安全檢查並暫停核電廠新項目的審查與批准。2012 年 10 月，大陸國務院審查批准核電安全規劃及調整後的核電中長期發展規劃，重啟新反應器項目的審查與批准，2012 年 12 月，華能山東石島灣核電廠高溫氣冷堆核電廠示範工程獲得國家核安全局建設許可後，其核島底板開始進行混凝土澆築，並於 2013 年 1 月初完成第一層混凝土澆築，未來兩年內的主要工作仍是土建工程，預期 2015 年以後，示範工程才會進入實際的安裝階段。

反應爐壓力容器、金屬爐內組件、主氦風機、控制棒系統、燃料卸料裝置等關鍵設備的設計與製造，是高溫氣冷式反應器示範工程順利推展建立的基礎，其中主氦風機為關鍵設備，其功能相當於壓水式反應器的主泵，機組啟動、功率運轉及停機等狀況下，需提供足夠流量的氦氣，冷卻反應爐爐心產生的熱量或餘熱，主氦風機工程之原型機在上海電氣鼓風機廠完成 100 小時額定功率連續運轉試驗，是自主創新的重大突破，國家能源局組織業內專家對其成果鑑定，認為主氦風機的運轉測試條件符合石島灣 20 萬千瓦級高溫氣冷式反應器示範工程的技術要求。據了解，石島灣核電廠團隊曾模擬過假想事故，包括喪失所有外部電源等事故，在極端事故條件下，即使不採取任何人為及外部操作，仍能使爐心處於安全狀態，並將餘熱移除，不會造成放射性物質外釋。

因一期工程機組發電規模小，難以發揮經濟效益，因此在石島灣核電廠第二期工程規劃中，將採用第三代核電技術增建 8 部機組，包含 2 部 CAP1400 示範工程，以達擴大發電規模及經濟效益。屆時石島灣核電廠將成為集三、四代核電技術為一體的先進大型核電基地，建設週期長達 20 年。CAP1400 機組功率 1500 MWe，可利用率高達 93%，機組設計壽命 60 年，顯示大陸已逐步掌握以非能動技術為設計特色的第三代核電技術，並研究開發出具有自主知識產權的大型先進壓水式核電機組，提昇大陸核電設計、製造、建造及運轉技術實力，首部機組預定於 2018 年商轉。

CAP1400 示範工程是大陸國家中長期科學和技術發展規劃綱要(2006-2020)確定的國家科技重大計畫之一，與華能集團在石島灣核電廠建造的高溫氣冷式反應器示範工程同屬於一個計畫。為促進 CAP1400 示範工程的實施，華能集團與國家核電技術公司合作，在石島灣核電廠址利用各種資源條件合作建造 CAP1400 示範工程。為更有效地加快推展石島灣核電基地開發，華能集團與國家核電技術公司簽訂了合作協議，確定雙方

做為 CAP1400 示範工程兩台機組的投資主體，促進核電產業發展及提昇技術。CAP1400 示範工程可行性研究報告已通過審查，為前期準備工作的重要里程碑，並具備在年內開工建設首台機組的條件，對提昇大陸核電產業技術具有重要指標意義。

目前石島灣核電廠之建造主要是進行土木興建，且未來兩年內的主要工作仍是土建工程。預期 2015 年以後，示範工程才會進入實質性安裝階段，不過，以目前進度看來，預期的商轉時間極有可能延期，圖 5 為參訪石島灣核電廠拍攝之照片。



圖 5 參訪石島灣核電廠

3. 參訪中國原子能科學研究院

中國原子能科學研究院的參訪行程包含(1)原子高科股份有限公司，(2)反應器工程研究設計所，以及(3)核技術應用研究所。中國原子能科學研究院創建於 1950 年，隸屬於中國核工業集團公司，是大陸核科學技術的發源地，具先導性、基礎性及前瞻性之綜合研究基地，也是技術儲備庫與人才培養庫中心，現有職員 3000 餘人。

中國原子能科學研究院位於北京房山區，設有 5 個研究所，分別是核物理研究所、反應器工程研究設計所、放射化學研究所、同位素研究所及核技術應用研究所；8 個工程技術和研究部：串列加速器升級工程部、串列加速器升級工程技術部、中國實驗快中子增殖反應器工程部、中國先進研究用反應器工程部、核燃料後處理放化實驗設施工程部、反應器工程設計部、放射性計量測試部、輻射安全研究部；另有北京原豐科技開發總公司、實驗工廠、電子儀器廠等 20 個產業實體。

六十多年來，中國原子能科學研究院為大陸國防建設、經濟建設及核科學技術的發展做出重要貢獻，形成了核物理、核化學與放射化學、反應器工程技術、加速器技術、核電子與探測技術、同位素技術、放射性計量、核保障技術、輻射防護技術等眾多學科領域的技術和專門人才，並形成了以同位素輻射技術為主導的一批新技術和產品，獲致良好的經濟效益和社會效益。未來，中國原子能科學研究院以中國先進研究用反應器、中國實驗快中子增殖反應器、北京串列加速器升級工程和核燃料後處理放化實驗設施四大工程為科技創新平台，以國防科技、核電基礎和先進核能、核基礎科技、核技術應用及產業化為主要方向。以下將說明參訪過程：

(1) 參訪原子高科股份有限公司(以下簡稱原子高科)

在原子高科郭春生總裁的接待下，首先由李洪玉小姐簡報原子高科的組織及其核醫藥物發展與產品研發歷程，接著是雙方技術交流與相關議題的討論，最後，參觀其核醫製藥廠。

原子高科是由大陸原子能科學研究院為主要發起人，聯合多家單位共同發起設立的技術企業，成立於 2001 年 5 月 18 日。2003 年原子能科學研究院將同位素產業重組併入原子高科，使公司業務拓展至同位素技術與輻射技術領域。2005 年初，公司完成增資；2006 年 7 月成為中核集團公司核技術應用系統第一家在股份代辦轉讓系統掛牌的公司；2011 年 5 月，原子能科學研究院持有的原子高科股權轉讓到中國同輻股份有限公司，

原子高科控股股東變更為中國同輻股份有限公司。原子高科以市場為導向，持續進行技術創新及制度創新，強化核心競爭力，編制員額 750 人，16 個子公司遍佈大陸地區，核醫藥物在大陸地區市占率約 70%，是大陸最大核醫藥物公司，近年來營收及利潤持續成長。

原子高科主要從事放射性同位素技術、輻射技術的應用研究及產品生產與銷售，生產體內診斷與治療用放射性藥物、體外免疫分析試劑盒、各種放射源與放射性醫療設備、放射性標記化合物及示蹤劑，以及放射性參考標準物質等共 70 餘種核素，300 多種產品。在放射性同位素技術應用領域，擁有大陸目前規模最大、產品覆蓋面最廣、同時具有反應器與加速器放射性同位素綜合研製、生產基地，以及大陸科技部批准的同位素工程技術研究中心；在輻射技術應用方面，則擁有自屏蔽電子束滅菌加速器系統、高能大功率輻照加速器，非破壞性檢測用直線電子加速器，鈷 60 輻照裝置，以及裝箱檢查系統的核心技術與專業化設計、製造能力，可為用戶客製化各種產品，提供完整解決方案。

在醫用 Tc-99m 發生器及配套試劑盒方面，原子高科擁有從反應器照射濃縮 U^{235} 中提取 Mo^{99} 的生產技術和設施，年產能力大於 5,000 條 Tc-99m (鎝-99m)發生器的生產線和 50,000 瓶 Tc-99m 藥盒的生產線。近年來，Tc-99m 藥盒的生產線已經通過國家 GMP 認證。原子高科可生產不同裝量的多種高活度 Tc-99m 發生器和近 10 種 Tc-99m 藥盒，其中腦顯影劑 HMPO、ECD 及心肌顯影劑 MiBi 等藥盒已被國家藥品監督管理局批准為國家新藥。其正式生產產品有：注射用亞錫甲氧異腈(MiBi)、注射用亞錫噴替酸(DTPA)、注射用亞錫亞甲基二磷酸鹽(MDP)、Tc-99m、甲氧異腈注射液(Tc-99m-MIBI)、Tc-99m 亞甲基磷酸鹽注射液(Tc-99m-MDP)、 ^{99}Tcm 噴替酸鹽注射液(Tc-99m-DTPA)、Tc-99m 雙半胱氨酸注射液(Tc-99m-EC)、Tc-99m 雙半胱乙脂注射液(Tc-99m-ECD)、Tc-99m 硫丁鹽酸注射液(Tc-99m-DMSA)、Tc-99m 聚合蛋白注射液(Tc-99m-MAA)等。開發研製產品則有：可用於腫瘤顯像的亞錫二巰基丁二鈉(DMSA)、可用於心血池顯像的亞錫焦磷酸鈉(PYP)、可用於肝臟顯像的亞錫植酸鈉、可用於淋巴顯像的亞錫右旋糖酐(Dx)、注射用亞錫依沙美肅(HMPAO)、注射用亞錫半胱乙脂。

原子高科擁有一台具國際先進水準的強流質子迴旋加速器及生產中短壽命放射性同位素的生產線，可根據使用者需求為國內外市場提供多種重要的醫用加速器核素 F^{18} 、 Co^{57} 、 Ga^{67} 、 Pd^{103} 、 ln^{111} 、 Ti^{201} 及 Ge^{68} 等，還研製生產多種加速器核素製品：如用於

核醫學診斷的放射性顯像劑 F^{18} -FDG 注射液、 Tl^{201} 注射液、 Ga^{67} -Citrate 注射液及 In^{111} -DTPA-Octreotide，用於腫瘤內植入治療的 Pd^{103} 醫用種子源、 Pd^{103} 放射性心臟支架等，具有顯著的社會效益及經濟效益。已生產供應產品則有 F^{18} -FDG 注射液與 Tl^{201} 注射液，而開發研製產品則有 $G^{68}e$ - ^{68}Ga 溶液、 In^{111} -DTPA-Octreotide、 Pd^{103} 心臟支架、 Co^{57} 溶液及 Co^{57} 點源等。

另外，原子高科的依託單位中國原子能科學研究院是大陸最早從事放射性藥物研究、生產單位，研究開發了用於甲狀腺癌、骨癌轉移、腎上腺嗜鉻細胞瘤、肝癌及風濕性關節炎的放射性治療藥物，並可提供放射性治療用核素的發生器，已展開放射性核素標記多肽的研究與發展，為腫瘤等病症的治療提供新方法。正式生產供應的主要產品：用於甲狀腺癌治療： NaI^{131} 口服液、用於甲狀腺癌診斷：碘 $[I^{131}]$ 化鈉膠囊(診斷)/ 碘 $[I^{131}]$ 馬尿酸鈉注射液、用於骨轉移癌治療： Sm^{153} 注射液、碘 $[I^{125}]$ 化鈉溶液、磷 $[P^{32}]$ 酸鈉口服液、膠體磷 $[P^{32}]$ 酸鉻注射液。

中國原子能科學研究院亦是大陸最早從事放射免疫分析試劑盒研究與生產的單位。免疫分析具有靈敏、特異及快速等特點，被廣泛應用於生物與醫學等領域，成為臨床醫學診斷多種疾病的重要方法。目前，原子高科可為臨床檢測提供甲狀腺功能、腫瘤、腎功能、糖尿病、生理生殖、性激素及肝炎等八大系列近百種螢光試劑盒和用於食品安全、藥物濫用監測的鹽酸克倫特羅(瘦肉精)、冰毒、嗎啡等免疫分析試劑盒。

此外，中國原子能科學研究院是大陸主要醫用放射源研究生產基地。近年來，成功開發 I^{125} 、 Pd^{103} 、 Au^{198} 、 Yb^{196} 及 Ir^{192} 等密封種子源，為臨床治療腫瘤等疾病提供了一種更安全、有效的方法。其中碘 $[I^{125}]$ 密封籽源在 2003 年 11 月通過國家食品藥品監督管理局檢驗審查，批准註冊。放射性密封籽源是通過物理和化學方法將放射性核素(目前主要採用 I^{125} 和 Pd^{103})做成源芯，密封在 0.8mm x 4.5mm 的鈦管中，用於治療腫瘤屬於放射治療學中近距離內照射治療，其基本方法是在 CT 引導下經皮穿刺或手術中將密封籽源植入進入體的腫瘤組織內，由於密封籽源射線能量低且植入前有精確的治療計畫，對周圍正常組織的損傷很小。同時由於鈦殼很好的人體組織相容性，一般不會引起人體的排斥反應。人體各個部位的腫瘤基本上都可以採用放射性密封籽源治療，特別是前列腺癌、肺癌、胰臟癌、腦部腫瘤，肝癌等實體腫瘤。目前國內已有數十家醫院展開此項治療，顯示良好的發展前景。

原子高科批量生產用於臨床治療和核醫學儀器檢查刻度用 Co^{60} 、 Co^{57} 、 Sr^{90} 、 Ir^{192} 、 Cf^{252} 等醫用密封放射源，用於腫瘤植入治療的 Au^{198} 、 I^{125} 、 Ir^{192} 等醫用種子源和用於冠狀動脈再狹窄治療的 Pd^{103} 支架、 $\text{Sr}^{90}/\text{Y}^{90}$ 前列腺增生治療機、 $\text{Sr}^{90}/\text{Y}^{90}$ 眼科及 Am^{241} 骨密度源等。其中， $\text{Sr}^{90}/\text{Y}^{90}$ 前列腺增生治療機為中老年前列腺增生症患者提供了一種新的治療手段，具有安全、可靠、簡便、有效及省時等特點，尤其適用於心腦血管合併症及高齡高危病人，前列腺增生治療機在 2011 年 11 月獲國家藥品監督管理局頒發的註冊(准產)證，已在大陸一百餘家醫院使用，取得良好的醫療效果和經濟效益。

H^3 、 C^{14} 、 P^{32} 、 S^{35} 及 I^{125} 等放射性標記化合物被廣泛應用於醫學、生命科學、新藥研發及中藥現代化領域，原子高科用先進的合成技術與標記方法開發出得一系列高品質放射性標記化合物，其中部分產品已經出口到美國。此外，還可根據客戶需要，對創新藥物進行 H^3 、 C^{14} 標記。

尿素[C^{13}]膠囊呼氣試驗藥盒是原子高科與臨床醫療專家合作，經多年試驗的科研成果，2001 年 11 月 14 日國家藥品監督管理局批准進入臨床研究，2005 年 2 月 21 日獲得新藥證書，已進行生產供應產品，用於診斷幽門螺桿菌感染所致的疾病，如慢性胃炎、消化性潰瘍、功能性消化不良及胃癌等。

由高科分子的簡報可以了解其製造核醫藥物及研發具有相當的實力，核醫藥品 Tc-99m 是鉬的子核種，半衰期約 6 小時，具有 γ 放射性，廣泛用於臨床核醫學顯影劑，如骨骼腫瘤、心肌、甲狀腺之影像檢查，而鎝-99m Trodat-1 則可以提供臨床醫師用來瞭解病患多巴胺轉運體退化之相關資訊，做為帕金森氏症及其他運動失調疾病之診斷評估。1973~1988 年間，核能研究所使用 40 MW 台灣研究用反應器(Taiwan Research Reactor, TRR)產製 Mo (鉬)-99，並於 1987 年取得衛生署頒發 $\text{Mo-99}/\text{Tc-99m}$ 發生器之藥品許可證後開始推廣應用。在 1988 年核研所 TRR 停機後，國內核醫藥品 Tc-99m 必須仰賴加拿大、澳洲等國進口，且泰半從加拿大進口，因加拿大生產的核子反應爐關閉，造成 Tc-99m 經常性的全球缺貨，除了貨源不穩定外，價格亦隨之上漲，使核醫藥物的成本費用增加，造成國家醫療費用增加。

因此，此行與原子高科討論有關 Tc-99m 發生器的產製能力、數量及輸出至臺灣的可能性，原子高科表示，大陸早在 1976 年就自主開發，成功產製第一個 Tc-99m 發生器，對於大陸 Tc-99m 的市場需求，目前大陸自製 95% Tc-99m ，其餘 5% 從國外進口，據高科表示，並不是大陸無法供應國內市場需求，進口 5% Tc-99m 主要是市場考量策略運

用，原子高科也表示，可經由加班或其他方式產製 Tc-99m 符合台灣需求數量。不過因 Tc-99m 半衰期只有 6 小時，要考慮核醫藥物運送及國內藥物許可證等議題。另外，有鑑於大陸核醫藥物市場深具吸引力，且高科有通路銷售據點，也討論兩岸市場合作將本所核醫藥物銷售至大陸的可能性。最後，參觀原子高科 Tc-99m 發生器及碘 131 核醫藥物製藥中心，對製藥中心的設施及整潔的環境留下深刻印象。圖 6 為參訪原子高科合照；圖 7 參訪原子高科核醫製藥廠。

此外，核能研究所研發之 Trodat-1 腦造影劑，目前已銷售給台灣近 20 家醫院使用，亦外銷中東地區與巴西，每年銷巴西數量達 1000 劑以上。而大陸北京師大亦研發 Trodat-1，唯製程無法達到 90%以上純度，故無法製造生產。原子高科郭總裁期望本所能技轉該項藥品，本所人員表示，本所僅將技術技轉國內廠商，並由廠商製造與生產，本所建議將製造完成之藥品由原子高科代銷，惟此事應由本所技轉後，由原子高科與本所技轉廠商自行協商。



圖 6 參訪原子高科



圖 7 參訪原子高科核醫製藥廠

(2) 參訪中國原子能科學研究院反應器工程研究設計所

參訪反應器工程研究設計所技術交流與討論相關議題，以及參觀中國先進研究用反應器(China Advanced Research Reactor, CARR)。首先，反應器工程研究設計所工程師們詳細說明該所的發展歷程：

反應器工程研究設計所(Department of Reactor Engineering Research and Design, DRERD)是大陸最早建立的反應器工程研究設計基地，於 20 世紀 50 年代中期建立，經過近 60 年的發展與建設，反應器工程研究設計所已逐步發展為以先進反應器工程技術研究與設計、特殊材料生產、核電技術服務及研究用反應器綜合利用為主體的大型先進反應器工程研發基地，全所職員約 400 餘人(行政人員約占 10%)，附錄 1 為其組織圖。過去，反應器工程研究設計所為大陸培育大批核能科學家，為反應器工程技術體系的創建與發展、核電事業順利起步與發展做了大量開創性的工作。

反應器工程研究設計所自行設計建造水池式輕水反應器，自行研製微型中子源反應器，曾替國內外共建造多座商用微型反應器，先後建成輕水、重水、快中子、固態及鈾溶液等類型零功率反應器，並曾援助阿爾及利亞多用途重水研究用反應器與伊朗重水式零功率反應器之建造。此外，為大陸商業反應器與核電廠的設計、建造及運轉完成大量科研與技術服務工作。

反應器工程研究設計所現有大型研究用反應器 2 座、微型反應器 1 座及零功率反應器 4 座，有各類型反應器爐內實驗設施及反應器外綜合實驗檯架，各種熱功水力實驗回路、大型熱室、各種核材料試驗與檢測裝置。具有完備與先進的反應器物理設計及計算、反應器熱功水力分析計算、燃料元件性能分析、結構力學計算、反應器安全分析程序及配套數據庫。此外，新建完成的先進研究用反應器應用綜合平台，裝設中子散射、中子活化分析、中子照相、反應器內實驗設施及多功能熱室群、同位素輻射照射生產和單晶矽中子摻雜生產線等研究，是功能更為強大的綜合核科技研發平台。

反應器工程研究設計所也肩負國防科研、先進研究用反應器的設計與建造、先進核能技術開發、反應器運轉研究與同位素生產，以及民生應用產品開發等任務。其主要研究方向：

- a. 反應器工程設計(包括先進研究用反應器及核電廠反應器)
- b. 反應器物理、熱功水力分析與驗證

- c. 燃料與材料研發(包括燃料元件設計與研究、燃料與材料研究、性能分析、檢測及輻射照射後檢驗、核電廠水化學、腐蝕防護及特殊材料研製)
- d. 反應器安全分析及嚴重事故研究
- e. 研究用反應器之應用(包括中子活化分析、中子照相、中子治癌技術、同位素、單晶矽及寶石輻射照射技術)
- f. 反應器除役技術研究
- g. 熱電轉換技術研究及中高溫熱管研發

反應器工程研究設計所具有大陸頒發之從事反應器工程(含核電廠反應器)設計證書、國家質量技術監督局頒發的壓力容器設計批准書、以及國家核安全局頒發的民用核承壓設備設計資格許可證。

位於中國原子能科學研究院內的中國先進研究用反應器，其工程建築面積約 18,000m²，占地面積約為 2.3 公頃。中國先進研究用反應器是迎向 21 世紀科學技術發展需要，參考國內外研究反應器發展的成功經驗，由原子能科學院自主研發、設計和建造，具有自主知識產權並形成了多項自主創新技術成果，反應器主要設備的設計、建造及調試，皆由中國原子能科學研究院負責，藉由組織國內相關廠家共同技術合作，設備國產化達到 90%，其中燃料元件、反應器本體及爐心壓力容器、控制棒驅動機構、全數位化控制及保護系統、反應器密封操作大廳、裝卸料機械等技術在大陸皆為首次研製應用。該反應器的成功建造，不僅提升了大陸核反應器的研發設計水準，也促進設備國產化、建造自主化能力的提昇。其歷程如下：

中國先進研究用反應器工程於 2002 年 8 月正式開工，2005 年 12 月主廠房封頂，2007 年完成主要系統安裝，2008 年下半年開始綜合調試，2010 年 5 月實現首次臨界，2012 年 3 月實現滿載功率運轉。中國先進研究用反應器的成功建造為大陸核科學研究及核技術開發應用提供了重要科學實驗平台，也是大陸核科學技術研究能力達到較高水準的重要里程碑，用來替代舊型研究用反應器，可展開核物理與核化學等基礎科學研究、中子散射實驗、反應器材料及核燃料試驗、中子活化分析，並應用於放射性同位素生產及單晶矽中子摻雜等研究。主要設計參數：反應爐熱功率 60MWt，爐心最大熱中子通率為 $1 \times 10^{15} \text{ n}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ ；重水反射層最高熱中子通率為 $8 \times 10^{14} \text{ n}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ ；19.75 wt% U²³⁵ enrichment，在同類中子通量研究用反應器中其主要技術指標位居世界前列，亞洲第一，是一座高性能、多用途及安全可靠的核反應器裝置，並配備先進研究設施。

中國先進研究反應器可用於新一代核電廠核燃料測試和大型機械件探傷。此外，它提供一個反應器環境，讓材料接受輻照照射試驗。從美國引進的 AP1000 技術，其燃料材料，就在此反應器進行測試。另外，先進研究用反應器可用來研究原子內部結構、以及用於大型機械設備探測，例如大型汽機發動機葉輪，要觀察焊接等方面是否有潛在缺陷。

2009 年，在原子能科學研究院、其參股企業北京凱佰特科技有限公司及中原公司建成了世界首台基於微型反應器的硼中子捕獲治療(BNCT)，這是大陸自主建成的世界首台醫院中子照射器，對挽救腫瘤患者的生命、造福人類有重要意義。反應器工程研究設計所提供下列技術服務：

- a. 大型研究用反應器工程設計與建造
- b. 微型中子源反應器設計與建造
- c. 單晶矽中子摻雜研究，其特點為摻雜均勻，目標電阻率可控制
- d. 中子活化分析
- e. 機械設計、化工設備設計及壓力容器設計
- f. 渦流檢測、非壞檢測及熱室分析檢查技術
- g. 如反應器金屬焊接、電子束焊接、微型組件焊接等高難度銲接技術
- h. 反應器物理、熱功水力、安全和燃料元件計算機軟體開發
- i. 核電廠及核反應器嚴重事故失效分析

反應器工程研究設計所工程師表示 CARR 有熱室，但未裝設 BNCT 設施，主要是跟廠房佈局有關，將來也有可能裝設 BNCT，目前 BNCT 裝設在其他小型研究用反應器設施來進行相關研究。在反應器設計所使用的程式部分，因管制單位審查及認證程式需要長時間，有時會緩不濟急，因美國開發的程式已獲得認證，因此主要是從美國引進設計軟體，如 MCNP 程式等，僅少部分自行開發分析工具，如燃耗分析之程式開發，但仍要大陸管制單位審查認證。另外，也談論到近年來頗受期待的小型模組化反應器(Small Modular Reactors, SMRs)之設計與發展，雖然小型模組化反應器具發展前景與優勢，他們表示大陸包含他們在內的相關一些研究機構都有進行研究，但大陸目前看來的問題是，業主、市場、廠址，以及管制單位的安全審查等實質面問題，特別是市場面的需求仍未顯現，使其發展暫時受挫。反應器工程研究設計所建置大型研究室參與 AP1000 相關議題研究，如 LOCA、熱傳流力及運轉暫態等研究，以及參與 CAP1400 的工程驗證、設計

程序之改進等研究，至於經費的來源，目前主要是由大陸國家當局提供經費，向外界爭取研發經費是未來趨勢。

中國原子能科學研究院運轉中的研究用反應器均建於 20 世紀中葉，不久後將陸續除役，不論選用何種除役模式，安全和環境一直都是大眾及社會關心的焦點。因此也正在研究除役的策略、方法與工程相關議題，在研究用反應器的除役需符合相關法規。核設施除役工程涵蓋層面及技術非常廣泛，且每座核設施特性不同，需面對的社會環境也不同，因此必須針對每座核設施發展合適的除役計畫。

最後，則是進入 CARR 廠房現場參觀設施，首先是 CARR 模型的展示與講解，工程師詳細解說其設計參數及冷卻散熱機制，再來是參觀 CARR 設施，現場並有研究學生在 CARR 人員的指導及陪同下進行實驗及調校實驗儀器。圖 8 至圖 13 為參訪反應器工程研究設計所拍攝的照片。



圖 8 參訪反應器工程研究設計所



圖 9 中國先進研究用反應器(CARR)外觀



圖 10 與反應器工程研究設計所工程師合影

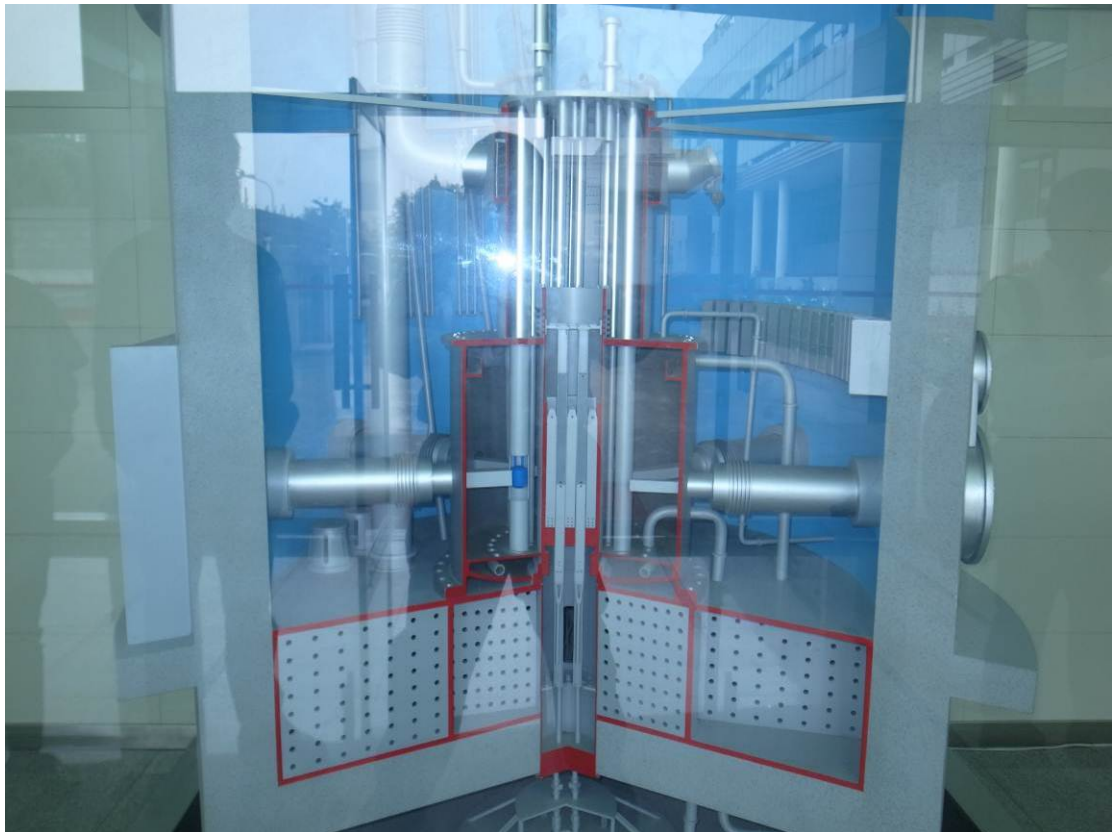


圖 11 中國先進研究用反應器模型展示



圖 12 反應器工程研究設計所工程師簡介 CARR 設計



圖 13 參觀 CARR 後之合照

(3) 參訪核技術應用研究所

參加討論人員有王國寶所長及張立鋒、曾自強及朱志斌等人，並簡報中國原子能科學研究院加速器發展現況。

核技術應用研究所於 1986 年創建，1998 年為了發揮綜合技術優勢，深化組織改革，將原核技術應用所、電物理與激光所、計算機應用所整合成核技術應用研究所，期望藉由將放射線技術、探測技術及計算機技術緊密結合，提昇科技研發能力。全所職員 230 多人。在加速器、強激光應用、核探測技術、網絡與測控工程等領域具有相當的研究開發、專業化、工程化能力。是集科研、開發、生產及服務於一體的高科技綜合性研究所，專注於輻射技術應用研究與開發，為大陸及用戶提供先進的核技術及產品，朝向應用與市場需求發展。

2002 年中國原子能科學研究院成功研製大陸第一台用於普通信件和特快專遞的自屏蔽式電子束消毒滅菌裝置，是世界上重量最輕、體積最小的自屏蔽加速器裝置，具備提供成套自屏蔽電子束消毒滅菌技術與裝備的研製能力，擠身國際行列。2007 年自主設計研製 10MeV/15kW 高能大功率電子輻照加速器裝置並投入運轉，是大陸使用能量最

高、功率最大的電子輻照加速器裝置，廣泛應用於食品保鮮、醫療用品消毒及海關檢疫等領域。

核技術應用研究所的核心技術與能力包含(1)加速器技術，(2)核探測技術，(3)激光核物理技術，(4)反恐技術，以及(5)核信息技術，具有 50 多年設計、製造、運轉及生產加速器的經驗，是大陸加速器綜合性研究基地，具有迴旋加速器、直線加速器、脈衝功率加速器、單腔電子輻照加速器、串列加速器、靜電加速器及高壓倍加器設計製造能力。其主要研究及開發產品項目如下：

- a. 加速器設計製造、工程化、生產能力；
- b. 核探測器及核電子學設計、研製能力；
- c. 激光核物理創新研究能力；
- d. 反恐裝備與技術開發、研製能力；
- e. 工業核儀器儀表開發、研製能力；
- f. 數字化虛擬測控技術開發、研製能力；

高能電子束輻照特點：(1)與傳統的同位素放射源比較，電子加速器更安全和環保，(2)高能大功率電子輻照加速器更適合工業化大批量輻射加工，生產能力強，(3)電子加速器產生的射線具有可控、能量高、無核廢物、不危害環境，是符合可持續發展要求的理想輻射源。此外，在輻照裝置發展應用已經證明，採用高能大功率電子加速器作為輻照裝置是輻射加工產業發展的必然趨勢，(4)冷殺菌、冷處理，(5)不改變外形，(6)良好的保鮮效果，(7)輻照處理食品能耗低，以及(8)對環境的污染小。

簡報資料指出，核技術應用研究所在 10MeV 大功率電子輻射照射加速器的整機設計有下述經驗，2007 年 12 完成高能大功率電子輻射照射示範工程之建置並開始運轉，該加速器已經累計運轉超過 72 個月，展開醫療器械、泡麵調料、保健品等物品工業化輻照加工，創造較好的經濟與社會效益，經運轉證明系統有高可靠性、穩定性，並滿足工業化生產要求。

多能量電子直線加速器研製目的，主要是建立一個能夠進行輻射加工吸收劑量校準的電子束參考輻射場，用於丙氨酸劑量計、薄膜劑量計等電子束劑量計的校準，以及新型標準劑量體系的研究與校準工作。建立新的劑量標準與校準技術，用於輻射效應研究，確保受照材料的吸收劑量的準確性。因抗輻射總劑量研究的劑量範圍在輻射加工劑量一般為 0.5-50 kGy，需要建立輻射加工劑量水平電子束參考輻射場才能有效而準確地

展開抗輻射研究。建立多功能電子直線加速器研究平台，主要是做為大陸電子束劑量標準研製、劑量校準新技術研究、抗輻射電子學，以及放射生物學等相關領域的綜合性研究基地，以適應國防科技、工業發展及國民經濟建設對電離輻射劑量的需求。其建立 12MeV 電子直線加速器為了符合輻射應用研究，需要達到以下技術指標：電子束能量：6、8、10、12MeV 分 4 段可調；束流功率：直立出口掃描，10MeV 時最大束平均功率大於 4kW，且束平均功率 1~4kW 可調；重複頻率：50-350Hz；直立出口掃描寬度：600~800 mm；能量不穩定度、掃描不均勻度及束流不穩定度分別小於 3%、5%及 5%。

12MeV 電子直線加速器是一台綜合的機電設備，採用射頻型加速結構，包含電子直線加速器，加速管與電子槍、高壓電源系統、微波系統、束流測控系統、控制系統、真空機械系統、恆溫水冷系統、輻射防護與安全等裝置。電子束流在加速管內與射頻加速電場相互作用而獲得能量，被加速到 12MeV，通過束流管道進入掃描盒後，由掃描磁鐵將電子束掃描成電子簾，穿過鈦窗後對被照物進行輻照。

此外，核技術應用研究所近年來也發展其他輻射照射加速器，2012 年 11 月，哈爾濱工程大學與中國原子能科學研究院簽訂了輻照加速器合約，替哈爾濱工程大學研製小型電子直線加速器。也與浙江大學簽定了電子直線加速器採購合約研製 10MeV/12MeV 多能量高能大功率電子直線輻照加速器。據指出這台加速器是浙江大學投資建設最大的設備，對於浙大科研能力提升具有重要意義。

大陸許多加工企業採用輻照技術處理寵物食品，通過射線消滅有害微生物與病菌，完全達到進口國對寵物食品衛生質量的要求。實驗結果顯示，輻照劑量為 4 kGy 時殺菌率達到 92%以上；輻照劑量為 6 kGy 時殺菌率達 99%以上；8 kGy 時，檢測的各項微生物指標均符合國家食品衛生標準要求；10k Gy 即可達到完全滅菌的效果。4~10kGy 輻照後，寵物食品中水分、脂肪、蛋白質、粗纖維、碳水化合物、除了鈣以外的礦質元素及 17 種氨基酸的含量與對照相比差異均不顯著，顯示所用劑量範圍的輻照對寵物食品的營養品質影響很小，在此劑量範圍內，樣品輻照前後的色澤、風味與滋味也沒有明顯變化。因此，確定寵物食品適宜的輻照劑量範圍為 4~10 kGy。

核技術應用研究所在有關工業無損檢測(探傷)加速器的研發歷程說明如下，1986 年加速器應用得到大陸當局支持，就工業上急需使用的無損檢測加速器進行開發，1989 生產的全國第一台探傷加速器(4 MeV)問世，主要用於火箭發動機、巨型砲彈、大型鍋爐及化工容器的探傷。後續成功研製 14 MeV 大電流短脈衝電子直線加速器，3 MeV、4MeV、

6MeV、9MeV 無損檢測電子直線加速器及 2MeV 自屏蔽電子直線加速器等多台大電流加速器設備，亦成功研製不同技術規格的中低能直線加速器。近年來，研製開發可線上切換實現兩種能量的直線加速器，有 2/4MeV、3/6MeV、4/6MeV、6/9MeV 等，滿足無損檢測行業電子直線加速器的應用需求。研製雙能無損檢測的應用層面：(1)射線照相的需求：針對不同的工件採用適當的能量，滿足更好的靈敏度，(2)對同樣等效鋼厚的工件，在滿足效率的前提下，降低能量可提高靈敏度、減少洩漏劑量，(3)對厚度差異大的工件，通過不同能量的射線照相、比較其差異可得到更好的質檢評價，(4)採用適用的能量可提高質檢效率。

此外，雙能量研製的優點：雙能 X 射線源可得到兩套圖像，便於處理鑑別細節，可在軍工產品、核電設備及民間企業應用，另外，在安檢領域(海關、航空行李、車輛出入口安檢及鐵路安檢)也可發揮功能做為替代射源使用。核技術應用研究所在研究、設計、製造及調試 RF 型電子直線加速器方面積累了豐富的經驗，促進了加速器裝置在輻照加工行業和無損探傷行業的產業化應用。圖 14 至圖 17 為參訪核技術應用研究所拍攝的照片。



圖 14 參訪核技術應用研究所



圖 15 直線加速器之控制室

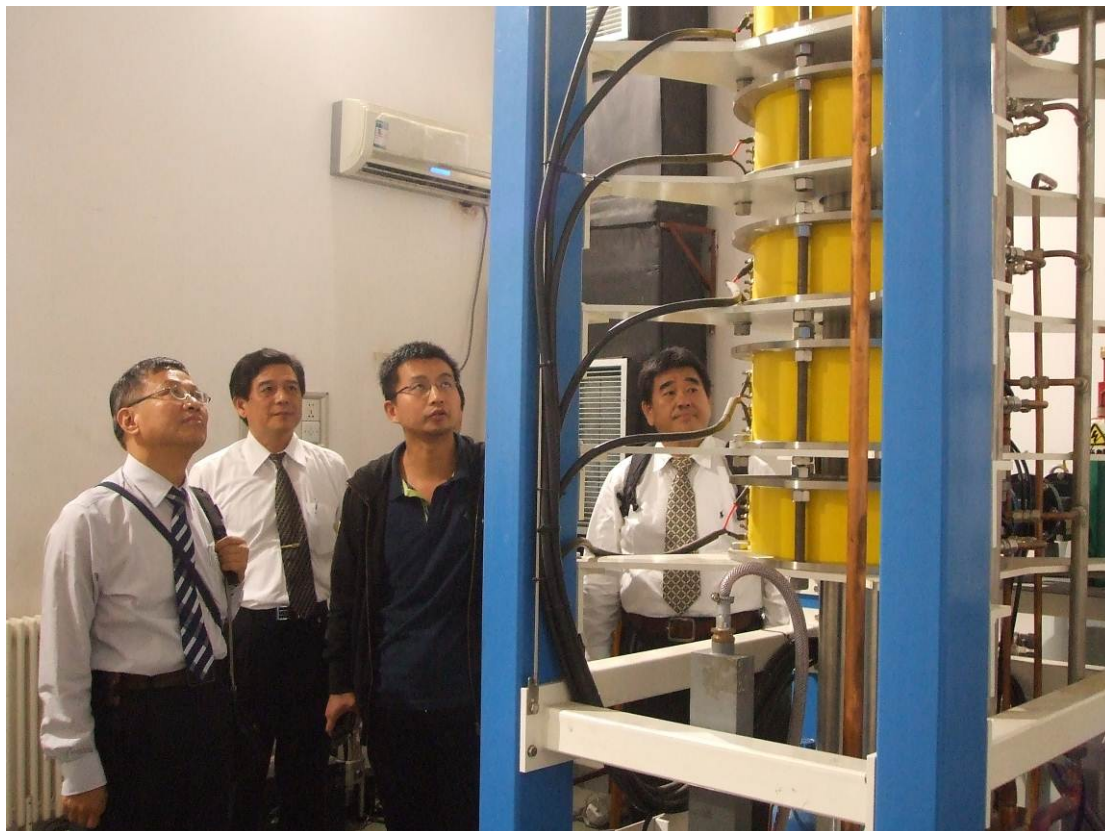


圖 16 參觀直線加速器



圖 17 輻射照射設施

4. 參訪東京工業大學

拜訪東京工業大學(Tokyo Institute of Technology)澤田哲生(Tetsuo Sawada)教授，就日本核電廠因應核電管制新標準重啟核能機組的現況，以及如何促進民眾對於核電之接受度等議題進行討論。此外，澤田哲生教授也提到日本電價制度及零核電造成電價上漲等議題。

東京工業大學是日本頗富盛名的國立大學，學校歷史超過 130 年。東京工業大學有三個校區，主校區是位於東京都目黑區大岡山的大岡山(Ookayama)校區，另外兩個校區分別是位於東京都港區的 Tamachi 校區，以及位於橫濱的 Suzukakedai 校區。此行我們來到大岡山校本區拜訪澤田哲生教授，大岡山校本區位於電鐵東急目黑線大岡山駅斜對面，約 1 分鐘步行路程。

2011 年福島核事故，造成世界各國對核能發電產生疑慮，在當時核事故肇因不明的情況下，許多國家暫緩核能政策，隨著福島核事故真相的釐清，世界各國有逐漸恢復核能發展趨勢，就連零核電的日本，也在經濟與民生的壓力下，重新檢討能源政策，有條件推動核電廠的重啟。日本原子力規制委員會(Nuclear Regulation Authority, NRA)是 311 地震後，日本政府新設的核能管制機構，獨立行使核能管制職權，確保核電安全。

位於日本鹿兒島縣，由九州電力公司(Kyushu Electric Power)營運的川內核電廠(Sendai Nuclear Power Plant)最快今年冬天重啟，川內核電廠一、二號機分別於 1984 年及 1985 年商轉，供應全九州近一成電力。該電廠的安全報告今年 7 月通過原子力規制委員會的審查，成為新安全標準實施以來第一座通過審查的核電廠，為重啟核能發電邁出第一步。不過，川內核電廠只是通過了第一關，接下來規制委員仍要到廠內現場勘查其硬體改善工程是否符合規定，而重啟核電廠的最後決定權在地方政府，在徵得地方政府同意核准下，川內核電廠一、二號機才能重新啟動，因此地方政府勢必要考慮民意，這才是最大的難關與挑戰。

雖然專家們瞭解核災的真實情形和核電廠的安全性，惟民眾卻仍然對核電及輻射感到恐慌。接下來，地方政府將對市民召開說明會，並徵詢市民的意見(包含疏散計畫等議題)。據指出，在環境有利因素的條件下，預期川內核電廠一、二號機最快將於今年冬天重啟，這無疑是日本福島核事故後，日本在能源政策上的一大進展。若恢復商轉，則能緩解九州電力公司連續虧損 3 年的財務危機，並可望紓解九州的供電需求。而下一個有可能通過原子力規制委員會審查，重啟運轉的核電廠則是隸屬於關西電力公司的 Takahama 核電廠。

311 福島核災發生前，全日本約 30%電力來自核能發電，2011 年福島核事故後，日本陸續關閉核電機組，電力缺口只能靠進口大量昂貴的石油、煤、液化天然氣來填補，造成發電成本大幅增加，已經到了電力公司財務無法負荷的程度。日本有 10 電力公司，除了沖繩電力公司未有核能機組外，其餘 9 家電力公司申請核電機組重啟，不難想像其財務壓力。九州電力公司為了使川內一、二號機重啟已投入鉅款來改善硬體工程，提昇其整體安全等級，但投資的金額遠比使用其他昂貴能源來的便宜。

另外，澤田哲生教授也提到日本在節約能源的成效，日本福島核電事故後，零核電造成電力供應不足及電價上漲，促使日本政府與民間發動節能減碳措施，為了深化電業自由化，未來將把電力公司切割為發電與輸電兩大業務範疇，連下游的零售電力到消

費電力之間，都是改革的對象，對於消費端來說，其選項增多，可促使電費更便宜。澤田哲生教授也說明福島核電廠現況、除役計畫、東京電力公司對當地居民的賠償措施，以及遷村計畫等議題。圖 18 為與澤田哲生教授在東京工業大學原子爐工學研究所前合影。



圖 18 與澤田哲生教授在東京工業大學原子爐工學研究所前合影

5. 參訪 Westinghouse 東京分公司

西屋公司為全球著名的電力設備與核子反應器製造商，此行參訪西屋公司位於東京的分公司，與其東京分公司副總裁及兼任台灣業務管理執行長 Mark W. Fecteau (Vice President & Managing Director Taiwan)就日本核電廠在後福島事故之硬體改善工程與強化措施、台灣有關機組延役及功率提昇計畫進行廣泛討論。

西屋公司東京分公司在天王洲駅附近，位於 Tennozu First Tower 的第 13 樓，從車站出口即可依循 Tennozu First Tower 的指標抵達其辦公室，從品川車站步行約 20 分鐘也可抵達西屋辦公室。Mark W. Fecteau 除了負責西屋公司在日本的業務外，也督導西屋台灣辦公室有關核電廠之業務。核研所過去與西屋公司曾共同執行計畫，如核三廠小幅度功率提昇計畫及熱流安全分析相關計畫，對提昇台灣核電廠的營運績效、節能減碳及安全分析技術有所助益。

Mr. Fecteau 首先說明西屋公司的組織，接著說明大陸及美國 AP1000 的建造現況，並說明比原預期商轉時程延後，我們表示前幾天剛到海陽核電廠訪問西屋公司海陽 AP1000 計畫之現場項目總監 Mr. Jeff Lamb，且參觀 AP1000 的興建現況。Mr. Fecteau 說明日本核電管制單位以福島核事故為鑒，採取更嚴格的核電管制新標準，提昇核電廠設計基準及緩抑嚴重事故，來深度防禦外部事故(海嘯與地震天然災害)及防範嚴重事故的威脅，因此電廠需投入更多時間及金錢來加強核電廠的「安全升級」作業。如強化核電廠防海嘯設計(防波堤、檔水牆等)、設置替代補水與冷卻設備、增加冷卻系統的備用電源、提昇耐震等級等。就提昇耐震等級而言，每個電廠依其廠址地質條件的不同，其耐震強度從 0.3g 或 0.4g 提昇到更高耐震等級，有些電廠甚至提昇到 0.8g 或是更高等級。

此外，因日本核電管制新標準很嚴格，也廣泛討論其相關議題，如嚴重事故下使用之圍阻體過濾排氣系統(Filtered Containment Venting System, FCVS)與氫氣再結合器 Passive Autocatalytic Recombiner (PAR)、電廠全黑(Station Black Out, SBO)、喪失終極熱沉(Loss of Ultimate Heat Sink, LUHS)、Specialized Safety Facilities (SSF)、Fire Protection 及用過燃料池相關議題。

Mr. Fecteau 提到西屋目前暫停 SMR 發展計畫，主因是市場端的需求問題，目前 SMR 主要仍是應用在海軍之動力需求。也說明美國因頁岩氣的開採技術提昇，促使能源價格下降，核能發電因而受到影響，並提到美國境內核能機組的關閉，並非核電安全議題因素，主要是因為經濟因素與考慮財務風險評估結果。

本所人員也說明台電公司曾檢討現有機組因應類似福島電廠事故之能力，實施核能電廠全面安全體檢，包括地震、海嘯危害的防範、廠區基礎設施檢討、氫氣偵測及防爆、用過燃料池冷卻、長期喪失廠區交流電源、嚴重事故的處理及安全文化等。而 Mr. Fecteau 也關心國內核電廠延役問題。圖 19 為參訪西屋日本東京分公司之照片。



圖 19 參訪西屋日本東京分公司

6. 參訪 Toshiba (東芝)公司

東芝創建於 1875 年，是一家有近 140 年歷史的知名跨國企業集團，現任總裁及執行長為 Mr. Hisao Tanaka，全球員工約 200,000 人。其事業群非常廣泛，包含有雲端科技解決方案事業群、能源與基礎設施事業群、醫療保健系統與服務事業群、電子裝置與零組件事業群及家用電器等事業群。其中能源與基礎設施事業群的營收占東芝公司營收比例最大，能源與基礎設施事業群包含有 Power System Company 與 Social Infrastructure System Company，而核能系統部門隸屬於 Power System Company，其涵蓋研發、設計、重要組件製造、核電廠建造及運轉與維護等，而主要業務有 Uranium/Fuel Manufacturing, Light Water Reactor (LWR) Construction, LWR Maintenance Service, Nuclear Fuel Cycle, Fast Reactors, Hydrogen Production, and Nuclear Fusion 等。Toshiba 核能基地的設計與研發中心，員工數約 2,000 人，日本目前核能工業處境較為艱辛，有待開拓國外市場。Toshiba 是世界上唯一可提供 BWR (ABWR)及 PWR (AP 1000)兩種類型核電廠之製造商，也參與 International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER)計畫有關硬體設備之製造，目前核能事業體中，運轉與維護項目是主要營收來源。

此行參訪 Toshiba 公司的主要活動包含(a)參訪 Toshiba 的 Nuclear Engineering Center，由原子力事業部課長 Mr. Takeshi Suzuki 簡報 Toshiba Nuclear Business 及 Nuclear Engineering Center，(b)展示 Computer-Aided Design (CAD) System，(c)參觀東芝公司實驗設

施、先進維修技術發展及模擬測試設施，(d)Toshiba Nuclear Energy System & Services Division 資深研究員 Mr. Takeo Shimizu 簡報 Fukushima Accident and Nuclear Policy in Japan，以及(e)參訪其生產製造基地京濱事業所(Keihin Product Operations)。圖 20 為參訪 Toshiba 公司之照片。

(a)參訪 Toshiba 的 Nuclear Engineering Center

Toshiba Nuclear Business 及 Nuclear Engineering Center 的簡報資料分別如附錄 2 及附錄 3 所示。Toshiba 除了持續發展 BWR(ABWR)與 PWR(AP1000)核電技術外，對於運轉中的核電廠，也持續致力於提昇其可靠度及協助電廠降低運轉成本。

(b) 展示 Computer-Aided Design (CAD) System

東芝公司展示的主題為 Technological Innovation of 3D CAD，包含災區現場實境勘查技術及電廠建造模擬軟體 6D CAD™ Concept 等內容，部分內容以立體電影的方式呈現，對於其研發的電腦輔助設計軟體頗為驚艷。Toshiba 開發配備有大量攝影機之機器人，搭配小型遙控車輛，可在核電災區現場勘查受廠實境，將現場影像傳回控制中心，可供救災及除役之決策判斷。另外東芝開發的建廠技術軟體 Six-dimensional Computer-Aided Design (6D CAD™)，係得自日本境內的電廠興建經驗，以及從世界各國興建電廠所學到的知識所開發的軟體，提供最佳化的電廠興建計畫。其在 3D CAD 資料庫(設計輸入)的基礎下，藉由模組化製造、安裝及詳細規劃與模擬電廠建造流程，並藉由有效規劃人力，可同時進行互不干擾的工程施工，以達到縮短工期的目標。Toshiba 用該軟體來建立電廠的建造計畫，藉由平行展開互不干擾的工作，來增加模組化的安裝過程及縮短建廠工期。Toshiba 指出，他們已提供國內外用戶使用這種先進的電廠建造技術的模擬。

(c) 參觀東芝公司實驗設施、先進維修技術發展及模擬測試設施

參觀東芝公司實驗設施、先進維修技術發展及模擬測試設施，包含 TIGER (Toshiba Innovative Geminant Test Loop for Reactor Safety System)設施、水中雷射束焊接設備、4 足行動機器人(Quadruped Walking Robot)及小型遙控操作車輛(Remote Operated Vehicle)等，簡要說明如下：

東芝公司建造 TIGER (Toshiba Innovative Geminant Test Loop for Reactor Safety System)設施，模擬測試設施上裝設有水平式被動式圍阻體冷卻系統(Passive Containment Cooling System, PCCS)及 Core Catcher。TIGER 之高度為全尺寸、縮小體積(1/250)、操作壓力 1 MPa。

用來研究雙相流及 BWR 與 ABWR 電廠安全系統的有效性。據瞭解，在 TIGER 測試設施執行的實驗已驗證 PCCS 的熱移除能力及其性能，實驗結果顯示 PCCS 具有良好的熱移除能力。

東芝公司成功開發可在水中作業之雷射束焊接設備，該設備可在水中作業，不需將水排乾，即可進行焊接作業。例如用來焊接壓水式核電廠反應爐壓力槽之管嘴(管嘴因應力腐蝕龜裂需進行焊接)。東芝公司開發的 4 足行動機器人，可應用在高風險性的工作場所，例如福島核事故現場，可用來攜帶工具、執行災區調查與復原工作，其開發的 4 足行動機器人具有下列能力：(1)使用 4 足步行，能適應不平的地板及攀爬樓梯，(2)能在不平的地板上攜帶重物並保持平衡，(3)可藉由配備其他設備(機械手臂與如小型遙控操作車輛)，適應不同類型之工作需求，以及(4)體積小巧化。此外，其不僅能前後移動，也能左右移動，並且在窄小空間內活動具靈敏性。此外，東芝公司發展的小型遙控操作車輛(Remote Operated Vehicle)，裝設有抗輻射攝影機與機械手臂，具有易組裝、各種不同移動模式、小巧化，可直接到達目標區域。

(d) Mr. Takeo Shimizu 簡報 Fukushima Accident and Nuclear Policy in Japan

簡報內容包含福島核事故的主要肇因、福島第一核電廠現況，以及日本的核能管制政策。簡要說明如下：

2011 年 3 月 11 日，日本東北發生強震，是觀測史上規模第 4 大地震，後續引發海嘯，海嘯對福島核電廠造成的災害遠大於地震的威力，進而導致嚴重的核子事故。地震發生時，所有運轉中的機組都自動停機，但地震造成外電喪失，廠內配置的緊急柴油發電機在海嘯抵達前雖適時啟動，但後續因海嘯侵襲導致緊急柴油發電機與海水泵失效，使機組喪失終極熱沉，機組喪失餘熱移除能力。因電廠全黑導致包含緊急爐心冷卻系統在內的所有馬達操作泵無法正常運轉，進而導致爐心冷卻能力失效，亦即電廠全黑及/或喪失終極熱沉造成嚴重事故。

接著說明福島第一核電廠現況及未來復原行動之規劃，目前將機組維持在冷停機穩定狀態並持續監控，後續復原行動包含用過燃料池中的燃料棒移除工作、建造 Multi Radionuclide Removal System (MRRS) 用來將殘餘的放射性物質移除、圍阻體修復與注水、以及反應器除役等，部分先期工作已展開。

最後則是說明日本核能政策，日本的新成立的核能安全管制單位為原子力規制委員會，並於 2012 年 9 月正式運作，其取代原設置於經濟產業省(Ministry of Economy, Trade & Industry)下的原子力安全保安院(Nuclear & Industrial Safety Agency, NISA)的任務，與原管制單位比較，可獨立執行專業職權。而更嚴格的核電管制新標準於 2013 年 7 月 8 日生效，提昇核電廠設計基準及緩抑嚴重事故，機組重啟必須符合管制新標準，且其安全評估需經原子力規制委員會審查核可。

核電管制新標準係基於深度防禦理念，電廠提昇安全等級的硬體改善包含有 FCVS 與氫氣排放系統、防海嘯牆、強化檔水牆底座之密封、用過燃料池液位監測系統、抑制飛行物墜毀的替代飼水注水系統、防範電廠全黑的電力供應、移動式餘熱移除系統、Air Fin Cooler 及移動式消防車等。在電廠全黑及喪失直流電源狀況下，以車載方式提供移動式交直流電源，裝設 Turbine Water Lubricated (TWL) Pump，在爐心隔離冷卻系統及高壓注水系統不可用狀況下替代其功能，以維持反應爐在高壓下的冷卻能力。

(e) 參訪其生產製造基地京浜事業所(Keihin Product Operations)

Toshiba 京浜事業所(Keihin Product Operations)為東芝公司電力設備生產製造基地，員工約 2,335 人。其品質保證獲 ISO9001 認證及美國機械工程學會(ASME)認證，另有環保 ISO14001 認證，除了生產火力電廠、核能電廠、地熱發電廠、水力電廠等重要組件設備，也有研發部門從事上述產品之開發，有爐心側板、汽機、氣輪機、汽水分離再熱器、熱交換器、冷凝器、除氣器、蒸汽乾燥器及發電機等。京濱事業所除了播放影片簡介京浜事業所製造的產品外，也帶領本所人員到工廠實地參觀燃料交換機器(Fuel Handling Machine)、圍阻體事故過濾排放系統(Filtered Containment Venting System, FCVS)及 Core Barrel 的製造現場，我們先換裝、配戴安全帽與護目鏡，再進入製造現場參觀，說明如下：。

(1) 燃料交換機器(Fuel Handling Machine)

東芝、西屋公司與美國廠商合作，協力設計、製造的燃料交換機器，與吊車、運送儲槽、攝影機及控制系統整合，藉由遙控操作方式，可將用過燃料池中的燃料棒移出。此系統未來將實際應用在 Fukushima Daiichi 3 號機，將用過燃料池中的燃料棒移出。Toshiba 表示，將於明年下半年訓練東京電力公司員工，並預訂於 2015 年底展開燃料棒移除作業，並預定於 2016 年完成燃料棒移除作業。現場的燃料交換機器，除了繼續測

試其設計功能外，也用來執行教育訓練及模擬任務。另外，因 3 號機用過燃料池中的燃料棒上方散落一些雜物(如管路、支架及碎屑等)，因此，此系統也要將燃料棒上方的雜物清除後，才能順利將燃料棒移出。

(2) 圍阻體過濾排氣系統(Filtered Containment Venting System, FCVS)

圍阻體過濾排氣系統係在嚴重事故狀況下使用，主要功能是防止輻射物質外釋到環境中，以保護公眾安全。Toshiba 解說人員表示，現場機臺上的 FCVS 已近完工，將安裝在 Hamaoka (浜岡)核電廠 4 號機(BWR)，其外徑約 4.7 公尺、高約 12 公尺，結構體龐大。該系統由 Areva 設計、Toshiba 負責製造，並表示福島事故後日本核電廠管制單位要求 BWR 電廠需裝設 FCVS，雖然沒有強迫要求 PWR 電廠安裝 FCVS，但 PWR 電廠也考慮安裝 FCVS 的可能性。解說員表示目前 Toshiba 共接獲國內 BWR 電廠 4 組訂單，將負責現場組裝與測試工作，並進一步表示 Toshiba 製造一組 FCVS 的工期約 15 個月。

(3) Core Barrel：

Toshiba 為美國 V. C. Summer 兩部機組製造 Core Barrel，而美國另一個興建中的 Vogtle 電廠則是採用 Westinghouse 製造產品。

京浜事業所是 Toshiba 公司電力設備製造基地，製造現場的環境整齊、清潔、安全防护措施完善，員工穿裝整齊畫一，非常重視工安，現場標示的動線非常明確。圖 21 為參訪 Toshiba 京浜事業所之照片。

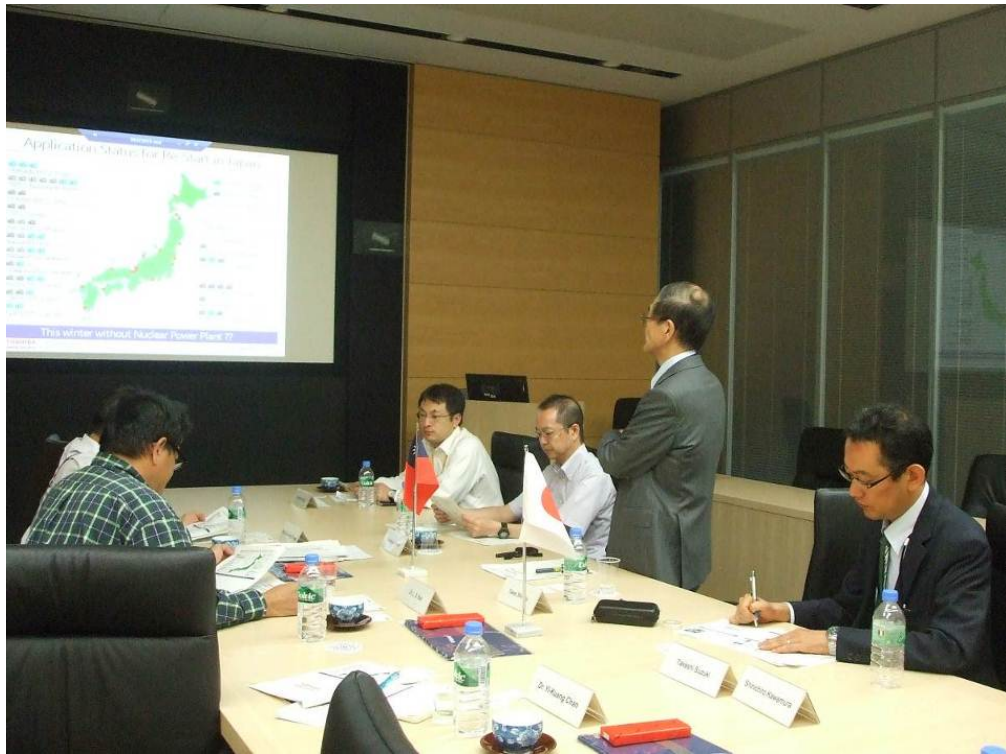


圖 20 參訪 Toshiba 公司



圖 21 參訪 Toshiba 京浜事業所

7. 參訪 MUS 公司(Marubeni Utility Services, Ltd.)

MUS 公司位於東京都千代田區 Palace Side Building 2F，其業務幾乎涵蓋核能所有領域，包括代理核子反應器、汽輪機、ECCS 組件、飼水超音波流量計及冷凝器等設備進出口業務，並協助設備安裝及維修等服務，也提供熱效率監測軟體(PEPSE、PMAX)及程序控制軟體(R*Time)及教育訓練服務等，此行參訪 MUS 公司就電廠設備性能改善議題進行討論與交流。

MUS 公司由原子力第二部門部長 Mr. Norihiro Moroishi 接待，並說明該公司業務，Mr. Norihiro Moroishi 也邀請 GE 公司量測與控制部門 Mr. Satoru Tanabe 及 Mr. Takumi Watanabe 一起參與討論，此外，Mr. Satoru Tanabe 也簡報 Smart Signal 軟體及其在工業界的應用現況。

MUS 公司代理美國 Cameron 公司的超音波飼水流量計系統，並說明日本目前僅有浜岡核電廠(Hamaoka Nuclear Power Plant)4 號機(BWR)與 5 號機(ABWR)裝設超音波飼水流量計系統(Clamp-on 型式)，為後續可能向管制單位提出功率提昇計畫預作準備，但截至目前為止，日本尚未有核電廠執行功率提昇的實施案例。核研所人員說明國內三座商轉中的核電廠都安裝 Cameron 公司製造的超音波飼水流量計系統，該公司的超因波飼水流量計系統需以切管焊接的方式安裝，雖然安裝程序較複雜但其穩定度較佳。此外，亦說明台灣電力公司核電廠執行功率提昇的現況及核研所參與功率提昇計畫之執行。Mr. Norihiro Moroishi 對於台灣核電廠執行功率提昇，增加電廠營運績效及節能減碳表示肯定，並期望日本核能管制單位能核准功率提昇實施案例。此外，其對核研所的組織表示高度興趣，本所人員亦詳細說明。

核研所曾協助國內運轉中的三座核電廠開發熱功性能分析系統，使用 PEPSE 軟體來計算電廠的整體熱功性能，雙方也就 PEPSE 軟體的應用進行廣泛討論。接著 GE 公司 Mr. Satoru Tanabe 簡報 Smart Signal 軟體及其在工業界的應用現況，說明如下：

Smart Signal 軟體被 40 幾個專利保護，其主要功能是監測設備的運轉是否有異常狀況，可達到早期預警功能並提供警告訊息，讓業主得以在設備失效前，及早做出因應對策。Smart Signal 主要是以組件歷史運轉趨勢當作基礎，故需要建立組件歷史運轉數據，依據其演算法則與邏輯來判斷實際測量值是否與預期的運轉值有明顯偏差，再根據實際值和估計值間的差異，做出決策判斷。該軟體之優點有(1)改善系統可利用率及可靠度

，(2)減少停機次數及降低系統發生失效，(3)降低對重要設備的危害，(4)降低維護及能源成本，以及(5)強化安全。

至於 Smart Signal 的應用現況，主要是在美國市場，包含火力電廠、航空業、石油鑽井平台及製造業，例如有 Delta 公司，使用該軟體應用在飛機起飛、穩定飛行及降落等各種不同飛行模式下引擎運轉狀況之監測，Entergy 電力公司、韓國及馬來西亞電廠亦使用該軟體來監測設備(如汽機)之運轉狀況。GE 公司人員表示，其在日本市場亟待積極開拓。圖 22 為參訪 Marubeni 公司之照片。



圖 22 參訪 Marubeni 公司

三、心得

(一)參訪海陽核電廠及石島灣核電廠

在國際經濟競爭中，核電是大陸發展低碳經濟的優先選項之一，能緩解對能源的依賴、改善能源結構及減少溫室氣體排放。因此，大陸積極發展核電技術，興建機組規模位居世界第一。大陸近年來從西屋公司引進 AP1000 第三代核電技術，在浙江三門及山東海陽核電廠分別興建 2 部 AP1000 機組，藉由技術轉讓、參與機組建造、向國外廠家學習與合作、積極研發與創新，以及有效整合核電產業資源，加快核電產業發展，現階段已逐步掌握相關組件製造技術與能力，並朝向設備國產化目標邁進，其較為完整的核電設備供應體系已然成型。此外，大陸藉由多方面的合作管道，再經由學習與創新，逐步研發具有自主知識產權的大型先進壓水式核電廠(CAP1400)技術，現階段已完成初步設計，其核電技術創新體系已展現初步成果，大陸發展核能自主工業企圖與決心非常強烈。

而石島灣核電廠為中國迄今最大的核電興建計畫，其一期工程將建造 2 部擁有自主創新技術的 20 萬千瓦級第四代高溫氣冷式機組，是全球首座採用第四代核電技術的示範電廠，並且兼具科研、工程和商業化三大特點，對全球核電產業意義重大。大陸方面表示，將來示範電廠建造完成並順利運轉，可在國內外進行推廣複製。由此可見大陸在核電技術發展及工程施工、建造之企圖心，亦期望能擠身世界核能先進國家，並向海外核電設備市場擴展。能參訪海陽核電廠及石島灣核電建設基地，是非常難得的機會，可增進本所瞭解新型核電廠建造現況，並瞭解大陸核能工業的方展方向與趨勢，以及與大陸核電專家就安全議題與進展廣泛進行技術交流。

三門 1 號機組為世界首部建造之 AP1000 機組，大陸其他三部 AP1000 機組之建造也成功吸收其經驗與回饋，使得建設過程較為順利。美國西屋公司曾表示 AP1000 機組在中國大陸三門核電廠及海陽核電廠的施工經驗，已經回饋到美國 Vogtle 和 V. C. Summer 核電廠 AP1000 機組上。雖然大陸 AP1000 機組的建造進度因國外下包商設計問題及驗證造成工程延期，預期三門 1 號機將於 2015 年底併網發電；而海陽 1 號機則預期在 2016 年併網發電。建議持續密切注意 AP1000 機組的建造動態及將來運轉情況。

大陸核電設備歷經約 30 年的發展，從無到有，在國家積極培養具備核心技術與競爭力的設備供應團隊聯合開發攜手努力下，藉由技術引進、吸收，以及學習美國西屋、EMD、SPX、韓國斗山重工業及日本 Mitsubishi 等國之先進技術與經驗等階段，逐步邁向自主核科技工業體系目標前進，為 AP/CAP1000 系列第三代核電發展提供設備支撐，國家核電正往自主知識產權的 CAP1400 型第三代完全非能动壓水式反應器核電技術發展建立基礎。其核電設備製造業國產化有三個層次：一是對設備的設計國產化，亦即設備製造的研發設計能力；二是設備的製造能力，有此能力並不代表完全自主化，有些設備的一些材料與組件必須向國外購買；三是原材料的國產化能力，即為真正的自主化能力，涉及到國家材料研發、製造能力，不僅限於核電工業，與國家整體工業產業(包括材料工業、機械製造業等)的核心競爭力。

大陸以浙江三門與山東海陽 4 部機組做為大陸核電自主化項目，據指出 4 部機組的平均國產化達到 55%，第 4 部機組國產化率預計將達到 70%。首部國產的反應爐壓力容器、蒸氣產生器、反應爐爐內組件、控制棒驅動機構等都陸續完成。預期 CAP1400 的國產化率將超過 80%，國家核電設備供應商約有 109 家，其中 90 多家是國內供應商，10 家左右來自國外。

大陸積極發展核電，也重視與民眾溝通核電安全議題，並藉由科普活動提昇核能安全意識與共識，為核電的長遠發展創造較好的社會環境與氛圍。從山東核電有限公司網站得知，位於煙台市的山東核電科技館是山東核電有限公司精心打造的核電公眾科普宣傳展覽館，有展覽區、公共服務區、管理保障區、4D 影院等功能區域，其中展覽區包含(1)人類與能源，(2)神奇的核能，(3)走進核電廠，以及(4)未來能源之路四大主題展區，是大陸首座以核電為主題，面向公眾尤其是青少年群體，系統性地宣傳和介紹核能及其應用的科技館，向社會大眾宣傳核能及核電專題知識科普與教育，讓大眾認識核電、走進核電、感受核電、了解核電及支持核電。

大陸在日本福島核事故後，對核設施進行安全檢查，暫停對核電新項目的審批，2012 年 10 月，大陸國務院常務會議審查批准核電安全規劃及調整核電中長期發展規劃，核電新項目建設重新啟動。大陸在其東南沿海建造大量機組，亦應強化核電廠安全監督管理機制，確保核電廠安全運轉無虞，且核安資訊即時傳遞及運轉資訊透明化也是非常重要的一環，我國亦應嚴密觀察大陸核電廠之運轉資訊。

(二)參訪大陸原子高科股份有限公司

核研所長期與國內外研究團隊合作，發展相關的放射性同位素生產及其應用技術，對於核醫造影新藥之開發不遺餘力。核醫藥品 Tc-99m 是鉬的子核種，半衰期約 6 小時，具有 γ 放射性，廣泛用於臨床核醫學顯影劑，如骨骼腫瘤、心肌、甲狀腺之影像檢查，而鎝-99m TRODAT-1 則可以提供臨床醫師瞭解病患多巴胺轉運體退化之相關資訊，做為帕金森氏症及其他運動失調疾病之診斷評估。1973~1988 年間核能研究所使用 40 MWt 研究用反應器生產 Tc-99m，並於 1987 年取得衛生署頒發鉬-99/Tc-99m 發生器之藥品許可證後開始推廣應用。在 1988 年核研所 TRR 核反應器停機後，Tc-99m 必須仰賴國外進口，因 Tc-99m 經常性的全球缺貨，除了貨源不穩定外，價格亦隨之上漲，使核醫藥物的成本費用增加，造成國家醫療費用增加。

大陸原子高科股份有限公司在放射性同位素技術應用領域，擁有大陸目前規模最大、產品覆蓋面最廣、同時具有反應器與加速器放射性同位素綜合性研製、生產基地及大陸科技部批准的同位素工程技術研究中心。該公司在醫用 Tc-99m 發生器及配套試劑盒生產線展現相當能量與實力，且 Tc-99m 藥盒的生產線已經通過國家 GMP 認證。核研所與大陸原子高科股份有限公司可持續洽談合作引進 Tc-99m 發生器，惟 Tc-99m 半衰期僅 6 小時，應詳加考慮運送方式及藥物輸入許可證之取得。此外，有鑑於大陸核醫藥物之市場深具吸引力，可持續討論將核研所研發的核醫藥物推廣銷售至大陸的合作管道，例如考慮在市場端採取策略聯盟的合作方式，應是可行的方案選項之一。

(三)參訪大陸反應器工程研究設計所

中國原子能科學研究院自主研發、設計及建造之 CARR，是一座高熱中子通率之高性能、多用途，具國際水準之先進研究用反應器(60 MWt)，並裝配先進實驗設施，為大陸基礎科學研究、核科學研究及核技術開發應用提供綜合科技研發平台，並使用該設施進行 AP1000 與 CAP1400 相關技術研究。對大陸基礎科學研究、核能科技應用發展、建立自主核電廠設計能力及培植科技人才，以及協助學術界從事研發工作都極有助益，對深植核能相關專業技術奠定良好基礎。國內曾於民國 87 年期間執行台灣研究用反應器改善計畫(或稱第二代台灣研究用反應器 TRR-II)，將 TRR 改建為進步型且兼具多功能之研究用反應器，原本為原子能科技發展的重要設施建置計畫，規劃提供高品質中子束進行繞射散射應用、活化分析與中子照相、硼中子

捕獲治療技術、以及矽晶植磷在半導體產業的應用等主要方向，也規劃同位素生產、爐心水化學和核燃料及材料照射的實驗，並與學術界共同進行人才的培訓與先期研究的工作。不過，民國 91 年因政策考量，行政院核定停止興建。

近年來，有關 CARR 設計參數、實驗設施與研究設備的論文，陸續在國際期刊及國際會議中發表，提昇其國際知名度與能見度。其主要設計參數如表 4 所示，可供國內參考。

反應器工程研究設計所也參與小型模組化反應器的研究工作，小型模組化反應器發展具前景，其體積小且廠家可在工廠內組裝完成後，再運送到廠址安裝，使用上具有隨插即用(Plug and Play)的特性。因此小型模組化反應器的發展受到全球矚目，先前有多家廠家積極投入研發，若技術發展更成熟，將大幅擴展核電的應用範圍，可克服興建大型核電廠龐大廠址需求、縮減興建電廠的資金成本與建造工期、減緩輸電系統擴建需求及降低輸電損失，非常適合當作獨立型供電系統及遙控供電，因此具有彈性運用的特性。大陸原子科學研究院反應器工程研究設計所相關人員表示，雖具有發展優勢，但現實存在業主投資興建意願、市場需求、廠址選定，以及管制單位的安全審查等實質面問題，特別是市場需求面，使其發展暫時受挫。

(四)參訪核技術應用研究所

核技術研究所是大陸加速器綜合研究基地，在輻射加速器(高能電子束)的研發、設計製造及運轉具核心技術與能力，亦逐步建立客製化量身訂製加速器之研製能力；並開發工業探傷加速器，應用在國防工業與壓力容器之檢測。不僅研究加速器在醫農工等民生有關使用放射性物質終端應用技術，亦積極進行輻射加速器及探傷加速器的開發，並以產業化為目標，其對整體輻射照射的應用發展值得國內關注。

(五)參訪東京工業大學

澤田哲生教授長期關注核能安全文化，其在 2012 年有鑑於日本即將以原子力規制委員會取代原子力安全保安院，肩負核能安全管制的職權，因此在 2012 年 6 月發表文章，指出事故總是在未預見到的環境中發生，並以 1992 年 7 月瑞典 Barsebäck 核電廠因反應爐安全釋壓閥誤開，隨後蒸汽噴出，造成現場保溫層剝離，更進一步造成緊急爐心冷卻泵取水口側的部分濾網堵塞為例做說明，呼籲提昇對核能安全文

化的重視，並指出原子力規制委員會即將成立，應盡快落實 IAEA 對福島核事故的評估建議，具體的改善行動將是重新獲得日本民眾與國際信任之基礎。

也指出核能安全管制的要點包含(1)積極參與新管制議題研究，(2)定期審視現行的安全管制法規是否完備，以及(3)在討論過程中，應有專家與意見領袖表達不同意見。另外，監督管制單位負責人與資深專職人員應具備足夠的專業技術以履行職責，但僅靠專業知識仍嫌不足，整體而言，應考慮專業能力、人格特質、社交能力、前瞻策略及團隊合作等各層面。過去原子力安全保安院平均約每 2 年更換負責人(主席)，不利核能監管任務及職權的執行，因此應慎重考慮核管單位負責人的任期。此外，也指出外部諮詢機構進行的評估，應考慮其專業能力，且有嚴格的審查機制，最後則是提到核能安全不容許政治力干預。

表 4 中國先進研究用反應器主要設計參數

熱功率	60MW
活性區中央最大熱中子通率	$1 \times 10^{15} \text{ n / cm}^2 / \text{s}$
重水反射層最大熱中子通率	$8 \times 10^{14} \text{ n / cm}^2 / \text{s}$
爐心冷卻劑入口/出口壓力	0.793/0.127 MPa
爐心冷卻劑入口/出口溫度	35/56.2 °C
主回路流量	2386 m ³ /h
燃料組成形式	平板型
燃料組件數量	21 盒
燃料芯體材料	U ₃ Si ₂ -Al
U ²³⁵ 富集度(enrichment)	19.75 wt %
包殼材料	6061 鋁合金
活性區高度/等效直徑	850/399.2 mm
池水深度/內徑	15.0/5.5 m
重水反射層內/外直徑	479/2200 mm
控制棒材料	鈰
調節/補償棒根數	4 根
安全棒根數	2 根

(六)參訪西屋/東芝公司

日本核能管制單位以福島核事故為鑒，採取更嚴格的管制新標準，提昇核電廠的安全等級，來深度防禦外部事故及防範嚴重事故的威脅。申請重啟的機組必須提昇安全

等級以符合核電管制新標準，以及通過原子力規制委員會的審查與地方政府的核准，最後才能重新啟動。川內核電廠一、二號機為新安全標準實施以來第一座通過原子力規制委員會審查的機組，為重啟核能發電邁出第一步，最快今年冬天重啟。建議持續關注日本核電廠提昇安全等級之改善工程及核能機組之重啟狀況。

而美國各核能業者也配合美國核管會以日本福島經驗回饋的後續措施，採取安全改進措施或提出實施計畫等，也整合現有之規定及因應福島事故管制措施，以符合福島事故經驗回饋的安全重要事項，如地震水災現場勘查及再評估、全黑事故法規修訂、緊急應變組織、燃料池增設量測儀器等議題。

東芝公司參與福島第一核電廠之復原行動，包含用過燃料池中的燃料移除工作、廠區高輻射區域之勘查等相關工作。東芝公司開發 4 足機器人與精巧化的檢測車輛，將其結合用來現場勘查福島第一核電廠 2 號機 Containment Vessel 上 8 個排氣管路是否有洩漏情況，並達到預期功能。此外，東芝公司也設有展示模型，向學生、社會人士乃至國外參訪貴賓，提昇民眾對核能發電之接受度。

(七)參訪 Marubeni 公司

反應爐冷卻泵為壓水式核電廠重要組件，亞利桑那公共服務公司所屬之 Palo Verde 壓水式核電廠，工程師使用 Smart Signal 開發反應爐冷卻泵軸封監測系統，以監測其軸封狀況，俾便在其劣化前，早期提供預警並適時採取措施。電廠工程師指出傳統的監測技術要在壓力達 10~15 psi 的偏差才能確認軸封劣化，而使用 Smart Signal 可在壓力 5 psi 偏差下，即可正確預警軸封已發生劣化狀況，大約比傳統的監測技術早 2 個月提出預警。

另一方面，反應爐冷卻泵的維修，需在大修前數個月就開始規劃，包含採購作業及組件交貨期程，使用此預警系統可獲得較充裕的準備時間。若無預警產生，當反應爐冷卻泵發生洩漏或損壞時，勢必動用更多人力及維護費用。此外，Palo Verde 核電廠運用 Smart Signal 監測反應爐冷卻泵，可做為反應爐冷卻泵相關組件維修更換之依據。

四 建議事項

(一)持續觀察大陸新型電廠之建造動態及核電技術發展

大陸積極發展第三代與第四代核電技術，藉由技術轉讓、參與機組建造、與國外廠家合作、積極研發與創新，並有效整合核電產業資源，加快核電產業發展，並朝向設備國產化目標前進，其核電技術創新體系已然形成，大陸發展核能自主工業的企圖與決心值得國內發展核能產業之借鏡。此外，藉由參加在大陸舉辦之國際核工會議應是瞭解大陸核電發展並提供經驗與技術交流的最佳平台。

(二)鼓勵同仁參訪先進核能電廠及核能設備專業製造廠家

能參訪海陽核電廠及石島灣核電建設基地，是非常難得的機會，可增進本所瞭解國際新型核電廠建造現況，並瞭解大陸核電技術的方展方向與趨勢，以及與大陸核電專家就核能安全議題廣泛進行技術交流，促進海峽兩岸核電經驗交流。此外，鼓勵同仁參訪先進核能國家(1)新電廠的建造現況，(2)核能相關組件之專業製造廠家，藉由實地參訪行程除了可以深入瞭解核電廠設施及重要組件之設計與製造技術、品質及討論相關議題外，更可以學習較為完整的技術與經驗，對本所在核能相關技術之提昇有實質助益。

(三)與大陸核醫藥物產製機構在市場端策略聯盟

大陸近年來積極發展核醫藥物，已累積相當的成效。原子高科掌握大陸核醫藥物 80%市場，其中以 Tc-99m 為最大宗，而在心臟造影檢測方面，則以 MiBi 為檢測項目，因此，本所研製之 MiBi 可和原子高科合作，推廣應用至大陸市場；另外，大陸產製之 Trodat-1 效率差，原子高科郭總裁希望能與本所合作，將 Trodat-1 銷至大陸使用。除了持續與大陸相關公司洽談引進 Tc-99m 核醫藥物，以因應國內醫療需求外，亦有鑑於大陸核醫藥物市場深具吸引力，可考慮與大陸具規模之核醫藥物公司，並具有研發、產製藥品及掌握通路銷售據點之公司，在市場端採取策略聯盟方式，將本所研發的核醫藥物推廣銷售至大陸。

(四)重視核能工業的民生應用

大陸積極投入研究用反應器之設計建造、核醫藥物的開發研製、輻射加速器(高能電子束)研發，以及輻射照設在醫農工業之應用，已累積豐富的技術、經驗及展現相當

的成果。在核能工業的民生應用相關領域，核研所雖有競爭優勢，仍應積極發展，持續保有競爭優勢。

(五)推廣本所研發之核廢料處理技術

大陸近年來對於核廢料處理已進入執行階段，目前更規劃每個核電廠應各自設立儲存場所。而本所研發之三廢技術可以濃縮至原來的 1/6 倍，若能加以推廣，大陸每個核電廠均設置一套三廢處理設備，其產值達 50 億人民幣以上，能提昇我國核能產業價值，建議加強推廣，使大陸核能電廠均能運用本所已技轉國內廠商技術。

(六)持續關注日本核電廠提昇安全等級之改善工程及核能機組之重啟狀況

日本核電管制單位以福島核事故為鑒，採取更嚴格的管制新標準，提昇核電廠設計基準及緩抑嚴重事故能力，來深度防禦外部事故及防範嚴重事故的威脅。申請重啟的機組必須提昇安全等級以符合核電管制新標準，以及通過原子力規制委員會的審查與地方政府的核准，最後才能重新啟動。川內核電廠一、二號機為新安全標準實施以來第一座通過原子力規制委員會審查的機組，為重啟核能發電邁出第一步，最快今年冬天重啟。建議持續關注日本核電廠提昇安全等級之改善工程及核能機組之重啟狀況。

五、資料蒐集

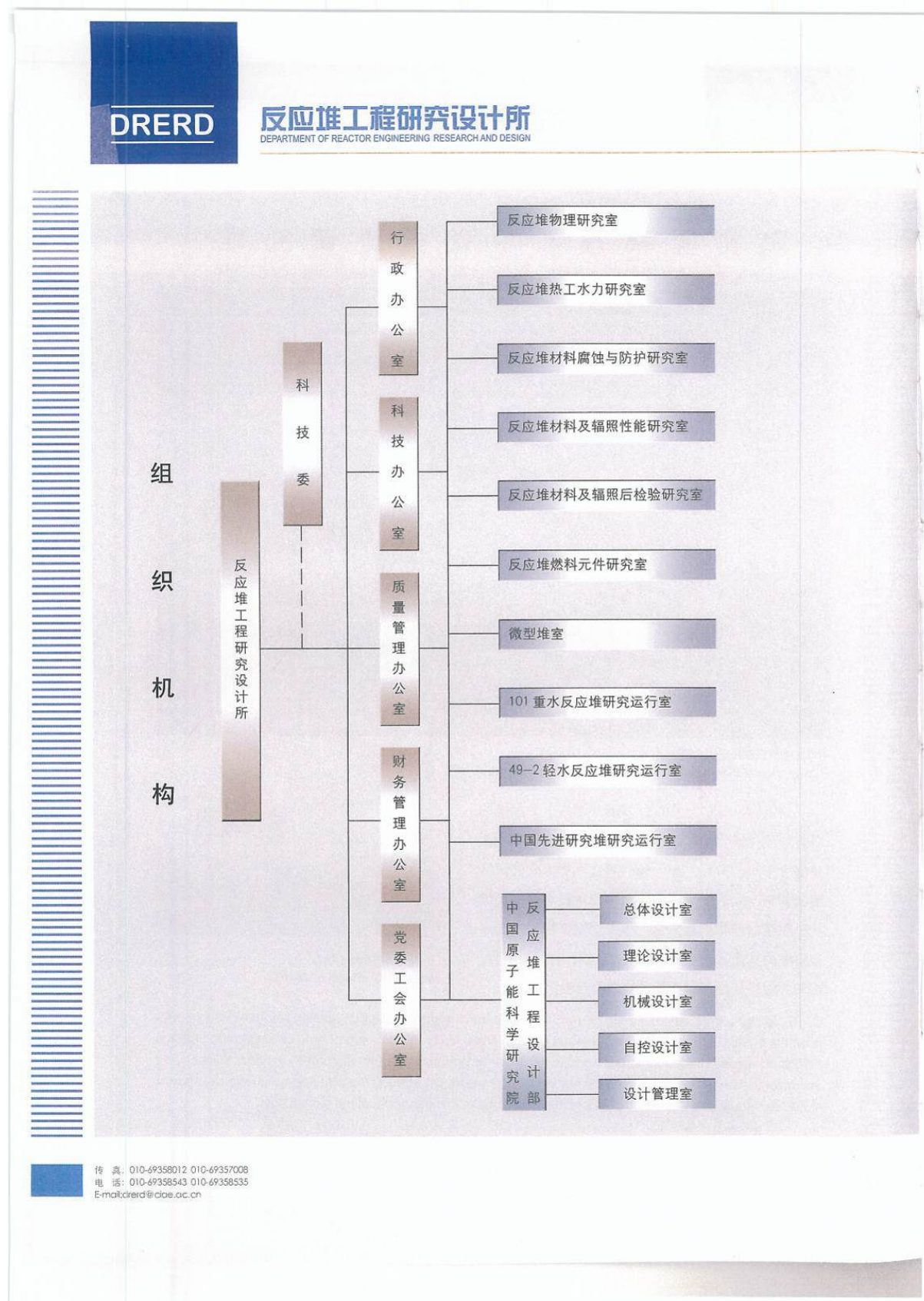
- (一) 原子高科股份有限公司醫用同位素產品簡介(存核工組)。
- (二) 中國原子能科學研究院反應器工程研究設計所簡介(存核工組)。
- (三) 放射線便利帳，日本國立保健醫療科學院(存核工組)。

六、附錄

附錄 1 中國原子能科學研究院反應器工程研究設計所組織及 CARR 簡介

附錄 2 Toshiba Nuclear Business

附錄 3 Toshiba's Capabilities



中国实验快堆和中国先进研究堆

China Experimental Fast Reactor (CEFR) and China Advanced Research Reactor (CARR)



中国先进研究堆外景 (CARR)

Outside View of the China Advanced Research Reactor (CARR)

CARR是一座安全可靠、高技术性能、多用途的研究性反应堆，核功率为60MW，最大未扰热中子注量率大于 $8 \times 10^{14} \text{ n}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ ，将进入世界先进研究堆的前列。它的建成将为我国核科学技术研究提供一个重要的科学实验平台，极大地增强我国在核科技领域的基础研究能力以及核工业的综合研发实力，推动并促进我国核科学技术的开发与应用。



中国先进研究堆主控室

Main Control Room of CARR

CARR will be a safe, reliable, high performance and multi-purpose research reactor. The designed nuclear power is 60MW, and the maximum thermal neutron flux is up to $8 \times 10^{14} \text{ n}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$. Ranking among the top advanced research reactors in the world, CARR will provide an important platform for nuclear science and technology research, thus enhance the fundamental research capability in the field and comprehensive power in nuclear industry in China, and promote the utilizations of nuclear science and technology.



TOSHIBA
Leading Innovation >>>

PEX-2014-000108 Rev.0
(PSNN-2014-0938)

TOSHIBA Nuclear Business

TOSHIBA Corporation Power Systems Company
Nuclear Energy Systems & Services Division
Sep. 30th, 2014

© 2014 Toshiba Corporation

1/13

TOSHIBA's Profile

Established	In 1875 by Hisashige TANAKA
President and CEO	Hisao TANAKA
Employees	Approx 200,000 Worldwide *
Sales	USD 63,180 million*
Total Assets	USD60,645 million*
Shareholder's Equity	USD11,942 million*



TOSHIBA Building (Headquarter)

As of March 31, 2014, consolidated basis, 1USD=¥102.92

President & CEO



Hisao TANAKA

- Cloud & Solutions Company
- < Energy & Infrastructure Group >
 - Power Systems Company**
 - Social Infrastructure Systems Company
- < Community Solutions Group >
 - Community Solutions Company
 - Toshiba TEC Corporation
- < Healthcare Systems & Services Group >
 - Healthcare Company
 - Toshiba Medical Systems Corporation
- < Electronic Devices & Components Group >
 - Semiconductor & Storage Products Company
 - Materials & Devices Division
 - ODD Division
- < Lifestyle Products & Services Group >
 - Personal & Client Solutions Company
 - Toshiba Home Appliances Corporation

As of July 1, 2014

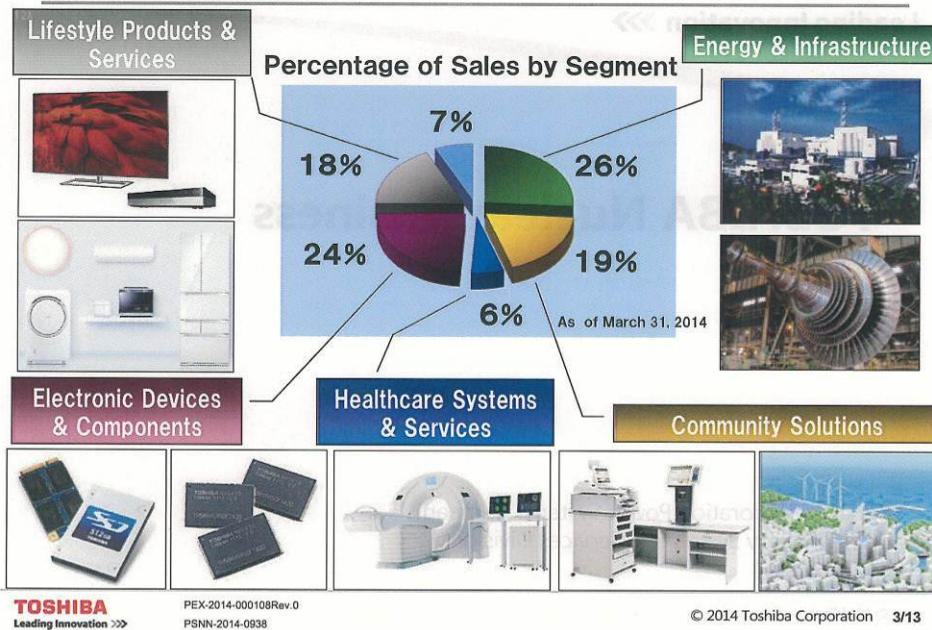


TOSHIBA
Leading Innovation >>>

PEX-2014-000108 Rev.0
PSNN-2014-0938

© 2014 Toshiba Corporation 2/13

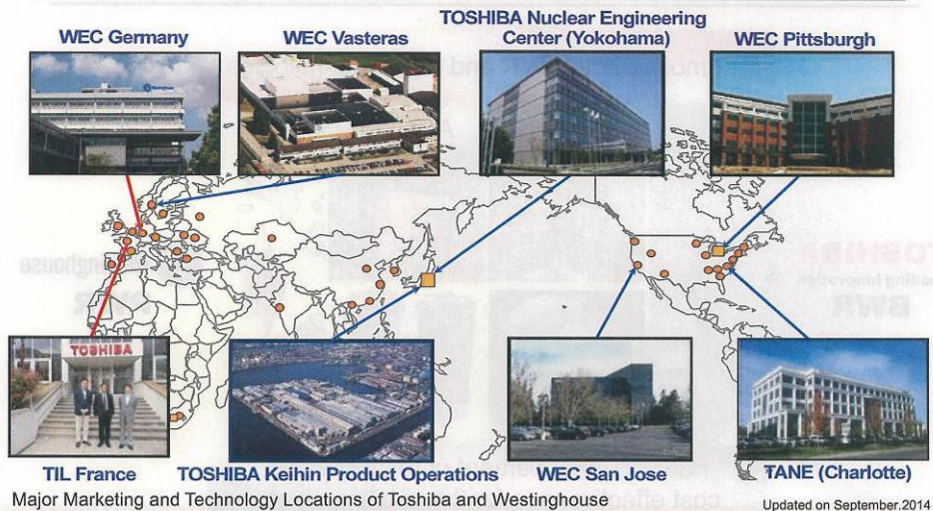
TOSHIBA's Products



TOSHIBA Nuclear Organization



TOSHIBA Group Global Network



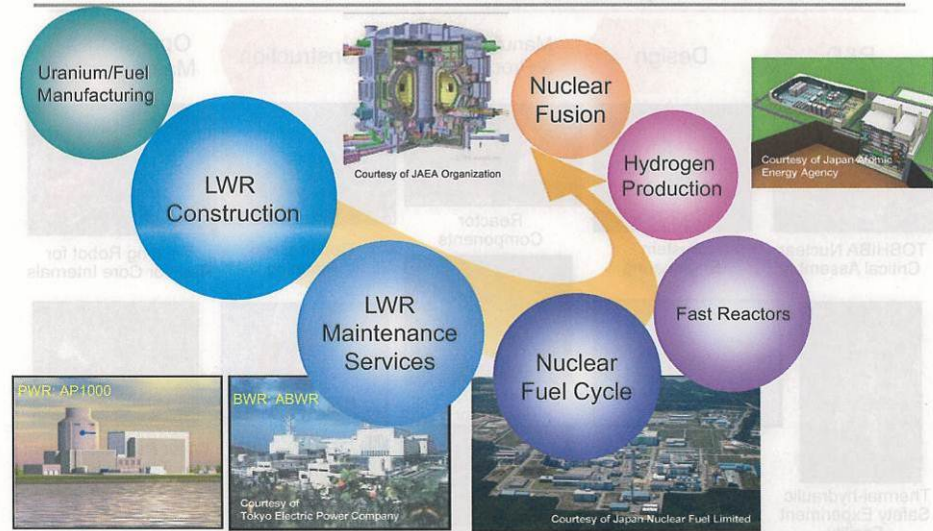
**74 bases in 21 countries for
Engineering, Procurement & Construction**

TOSHIBA
Leading Innovation >>>

PEX-2014-000108Rev.0
PSNN-2014-0938

© 2014 Toshiba Corporation 5/13

TOSHIBA's Nuclear Business Domain



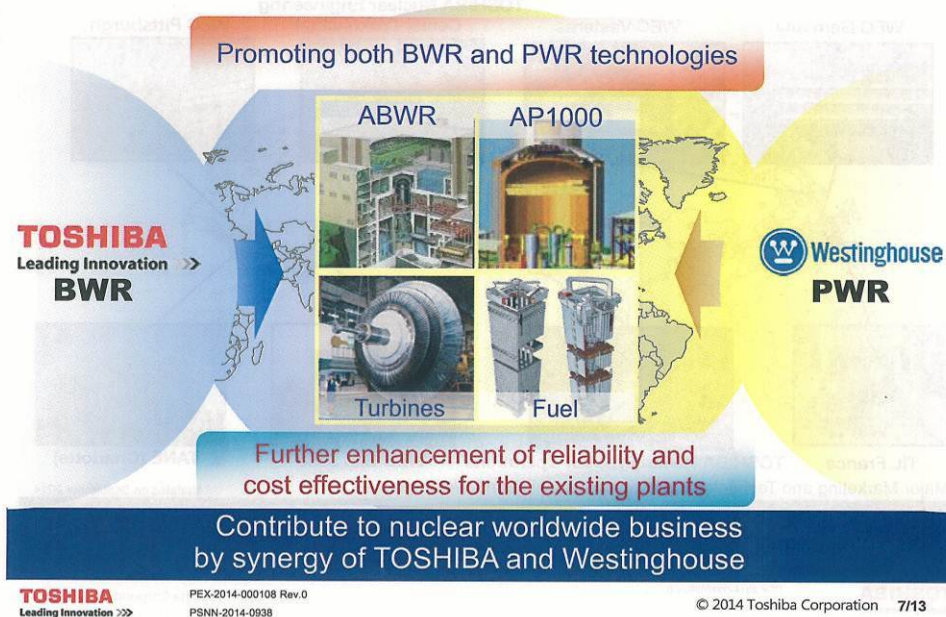
From nuclear power plants to future energy development

TOSHIBA
Leading Innovation >>>

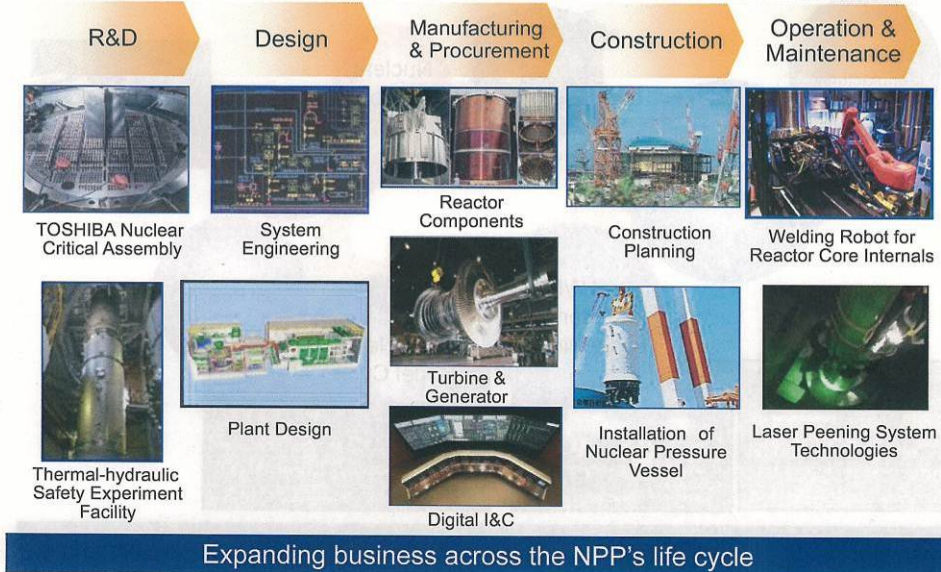
PEX-2014-000108Rev.0
PSNN-2014-0938

© 2014 Toshiba Corporation 6/13

TOSHIBA Group's Nuclear Power Plant Business

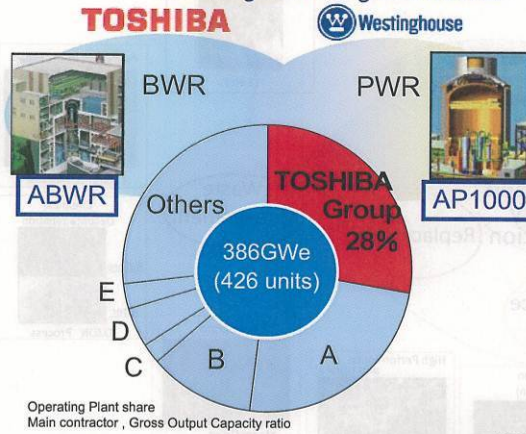


TOSHIBA's Capabilities



World Share in Nuclear Power Plants

<TOSHIBA Group Retains World No.1 Share>
- Promoting both BWR and PWR technologies in the global market -



TOSHIBA Group's Construction Experiences

	USA	62
	Japan	21
	Sweden	10
	Korea	6
	Spain	5
	Switzerland	2
	Finland	2
	Slovenia	1
	Brazil	1
	Taiwan	2
	Total	112

PWR 86plants
BWR 26plants

Source: World Nuclear Power Plants 2014, Japan Atomic Industrial Forum, Inc.

Global No.1 share & rich construction experiences

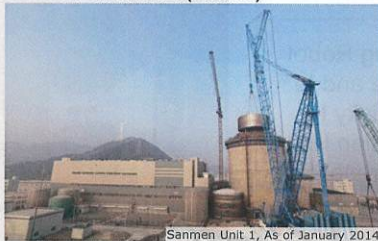
TOSHIBA
Leading Innovation >>>

PEX-2014-000108 Rev.0
PSNN-2014-0938

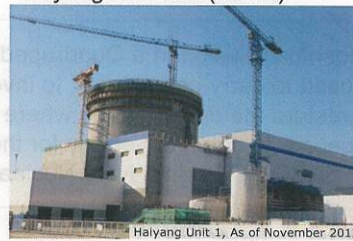
© 2014 Toshiba Corporation 9/13

AP1000® Plant Project Update

> Sanmen Unit 1&2 (China)



> Haiyang Unit 1&2 (China)



> Vogtle Unit 3&4 (The U.S.)



> V.C. Summer Unit 2&3 (The U.S.)



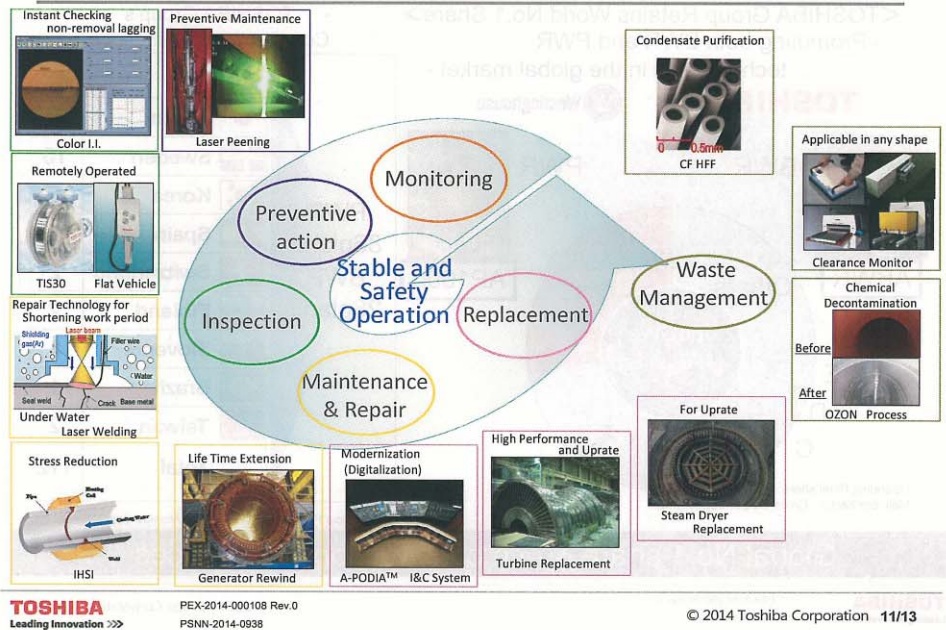
Construction in the U.S. & China

TOSHIBA
Leading Innovation >>>

PEX-2014-000108 Rev.0
PSNN-2014-0938

© 2014 Toshiba Corporation 10/13

TOSHIBA Nuclear Power O&M Technology



Quadruped Walking Robot

Toshiba developed a Quadruped Walking Robot used to carry heavy tools, to investigate and to restore the disaster area where is too risky for people to enter, especially for the condition like TEPCO Fukushima No.1 Nuclear power plants.



Quadruped Walking Robot is able to :

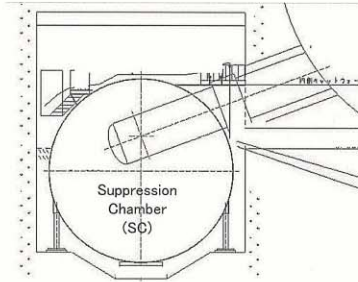
- Walk with its 4 legs which have high adaptability to uneven floor
- Carry heavy objects on uneven floor by keeping its balance
- Contribute to various restoration work by adding optional equipment (such as vehicle and manipulator) .
- Move not only forward and backward, but also right to left and diagonal which greatly helps to access hard-to-reach area in narrow space.
- Be controlled easily with joypad.

Restoration work at Fukushima No.1 Nuclear Power Plant Unit 2

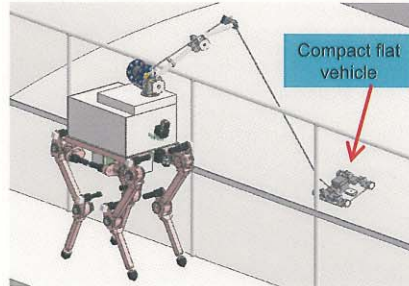
Investigate the leakage from the lower vent pipes

Quadruped Walking Robot:

- carries a compact flat vehicle which is less than 50mm in height with camera
- walks on the catwalk and release the vehicle which goes across SC to investigate the leakage of lower vent pipes.



Leakage Investigation of the lower vent pipes



Robot accessing from catwalk outside

TOSHIBA
Leading Innovation >>>

PEX-2014-000108 Rev.0
PSNN-2014-0938

© 2014 Toshiba Corporation 13/13

TOSHIBA
Leading Innovation >>>



Leading Innovation >>>

DOC. No. IEC-KG-017 Rev0
PSNN-2014-0926

Welcome to Nuclear Engineering Center (IEC)

TOSHIBA Corporation
Power Systems Company
Sep 30, 2014

The information contained in this document is confidential and proprietary to TOSHIBA CORPORATION. Therefore, please kindly observe the followings. It shall not be traced, otherwise copied, nor used any other purpose, nor communicated to any other person without our written permission.
TOSHIBA CORPORATION

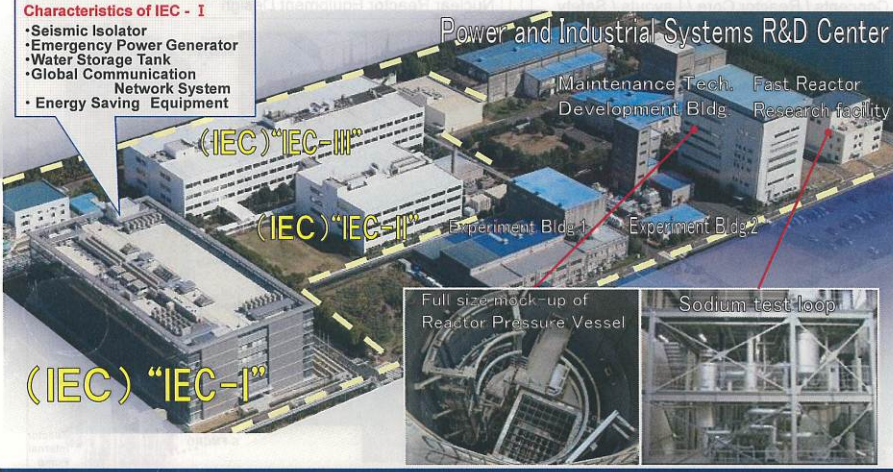
Copyright © 2014 TOSHIBA Corporation. All rights reserved.

1/8

TOSHIBA's Nuclear Base for Design and R&D

Characteristics of IEC - I

- Seismic Isolator
- Emergency Power Generator
- Water Storage Tank
- Global Communication Network System
- Energy Saving Equipment



Integration of design work and R&D

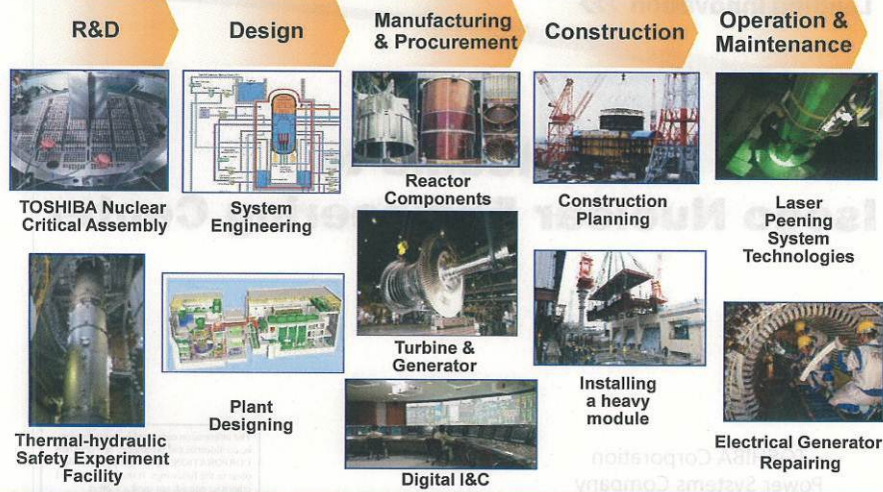


Leading Innovation >>>

Copyright © 2014 TOSHIBA Corporation. All rights reserved.

2/8

TOSHIBA's Capabilities



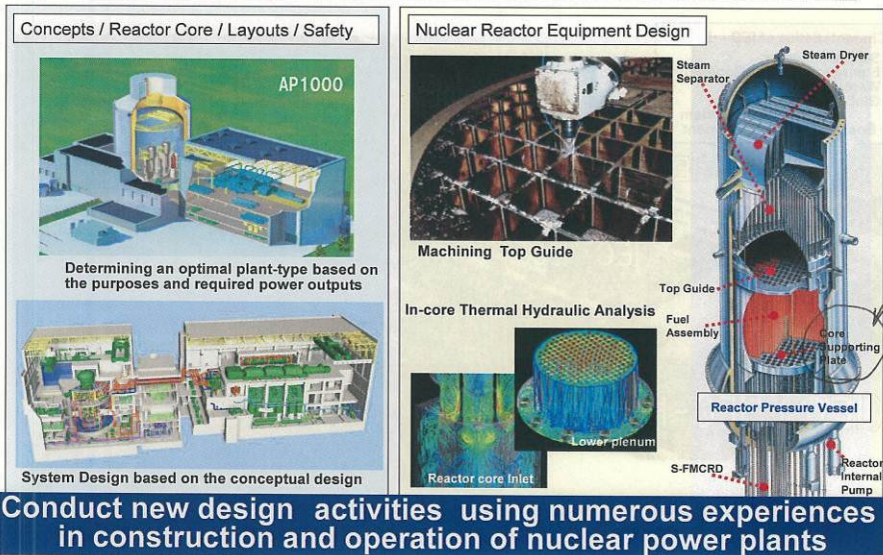
Covering a broad range of nuclear business

TOSHIBA
Leading Innovation >>>

Copyright © 2014 TOSHIBA Corporation. All rights reserved.

3/8

Plant and Nuclear Reactor Equipment Design



Conduct new design activities using numerous experiences in construction and operation of nuclear power plants

TOSHIBA
Leading Innovation >>>

Copyright © 2014 TOSHIBA Corporation. All rights reserved.

4/8

Turbine and Generator / I&C Design

Turbine and Generator Design  Making High-Efficient Turbines  Making High-Efficient Generators	Instrumentation and Control Design Plant Operation and Monitoring Level  Plant Computer System Integrated Digital Control and Monitoring System <A-PODIA>  System Control and Protection Level  FPGA circuit Local Control Level  Local Instrument System Design for I&C Systems
--	--

Continue to improve high-efficient turbines, generators, and establish the highest reliable I&C systems for plant operations and maintenance

TOSHIBA
Leading Innovation >>>

Copyright © 2014 TOSHIBA Corporation. All rights reserved.

*Field Programmable Gate Array

5/8

Construction / Operation and Maintenance

Construction Construction Planning with 6DCAD™ 6DCAD™: 3DCAD + ① + ② + ③  3DCAD ① Quantities ② Time ③ Resource  247 ton heavy module integrated with steel frame, piping, instruments, etc	O&M Monitoring / Testing  Ultrasonic Sensor Installed at the pump Ultrasonic Vibrometer Preventive Maintenance  Laser Scanning Equipment 3D image after installing a piping support 3D image created from Scanning data Repairing  Underwater Laser Beam Welding Equipment Replacement  Electrical Generator Repairing
---	--

Using these efficient tools, advanced plant construction planning, supporting stable plant operations are conducted

TOSHIBA
Leading Innovation >>>

Copyright © 2014 TOSHIBA Corporation. All rights reserved.

6/8

Efforts for the restoration at Fukushima

Restoration works

- Work out stable cooling and Cold Shut down for Reactor and SFP
- Work out stable operation of Accumulated water treatment system
- Improvement of working Environment, Exposure dose reduction

Efforts towards Convergence

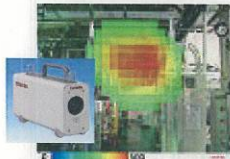
- ◆ On-Site
 - Spent Fuel / Debris Fuel Removal, PCV Repair
 - Gathering plant data, Decontamination
 - Utilize technology towards Greenfield
- ◆ Off-Site
 - Decontamination, Monitoring and radiation management



JAPAN - USA joint PJ



SARRY Adsorption Tower



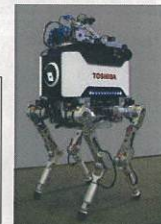
Screen display with High-dose point by Gamma camera



Fuel Removal from Spent Fuel Pools



Multi Radioactive nuclide Removal System (MRRS)



Quadruped walking Robot

Toshiba contributes to recovery activities of Fukushima

TOSHIBA
Leading Innovation >>>

Copyright © 2014 TOSHIBA Corporation. All rights reserved.

7/8

Promotion for Public Acceptance



Full-scale model of RPV



ABWR RCCV Cataway model



VIPs from overseas



Visitors from local communities

PA activities for Visitors from school students to foreign VIPs

TOSHIBA
Leading Innovation >>>

Copyright © 2014 TOSHIBA Corporation. All rights reserved.

8/8

TOSHIBA
Leading Innovation >>>