

出國報告（出國類別：其他）

參加「2011 輕水式核燃料績效會議
(WRFPM)」及「2011 北京核電工業展
覽會」

服務機關：核能研究所

姓名職稱：鄭世中 研究員

派赴國家：中國

出國期間：100年9月11日~100年9月21日

報告日期：100年10月21日

摘要

輕水式核燃料績效會議(WRFPM 2011)今年九月在中國成都舉行，由中國核能學會(CNS)主辦。今年會議主題訂為核燃料的安全與演化(Safety and Evolution of Nuclear Fuel)，就福島核能事故後的核能發展及核燃料安全等議題進行專家討論。會議討論及交流重點包括核燃料元件設計與製造、核燃料性能與運轉經驗、核燃料安全與管制議題、核燃料循環、用過核燃料貯存與運輸、進步型燃料設計技術等項目。會議中與來自世界各國及中國大陸之核能工業與管制單位人員進行意見交流與討論核燃料管制經驗，並蒐集會議相關資訊。本所歷年來均持續派員參加核燃料績效會議，對於世界各國核能產業發展現況了解、掌握核燃料安全與研究方向助益良多。

會議後，主辦單位安排參觀位於四川宜賓市的中核建中核燃料元件有限公司燃料元件廠及輕水式核燃料生產線，對於中國核能發展與產業實現的快速發展，令人印象深刻。

會議結束後，轉赴北京會同莊俊副組長及郭木進先生，參觀 2011 北京核電工業展覽會，會展位於北京市中國國際展覽中心，參展單位包括中國本地之核能產業，以及法國、瑞士、日本...等國核能產業供應商。台灣方面由核能產業學會召集國內廠家共同組團參展。

目 次

摘 要	i
	(頁碼)
一、 目 的	1
二、 過 程	2
三、 心 得	20
四、 建 議 事 項	21

一、 目 的

輕水式核燃料績效會議(WRFPM 2011)今年九月在中國成都舉行，由中國核能學會(CNS)主辦。今年會議主題訂為核燃料的安全與演化(Safety and Evolution of Nuclear Fuel)，就福島核能事故後的核能發展及核燃料安全等議題進行專家討論，共有來自世界各國核燃料專業人士 300 餘人參加。

會議中發表論文 156 篇，歸類如下五大主題：

- 核燃料設計、測試與製造(Fuel Design, Test and Fabrication)
- 核燃料績效與運轉經驗(Fuel Performance and Operational Experience)
- 核燃料暫態行為與安全相關議題(Transient Fuel Behavior and Safety Related Issues)
- 核燃料循環、用過核子燃料儲存與運送(Fuel Cycle, Spent Fuel Storage and Transportation)
- 核燃料技術的先進與創新 (Advances and Innovation in Nuclear Fuel Technology)

會議後，主辦單位安排參觀位於四川宜賓市的中核建中核燃料元件有限公司燃料元件廠及輕水式核燃料生產線，對於中國核能發展與產業實現的快速發展，令人印象深刻。

會議結束後，轉赴北京會同莊俊副組長及郭木進先生，參觀 2011 北京核電工業展覽會，會展位於北京市中國國際展覽中心，參展單位包括中國本地之核能產業，已及法國、瑞士、日本...等國核能產業工應商。台灣方面由核能產業學會召集國內廠家共同組團參展，其中俊鼎公司的乾式貯存設施，係經由本所技術轉移。

二、過 程

(一) 行 程

日 期	地 點	內 容
9 月 10 日	台北-成都	去程
9 月 10-15 日	中國成都	參加 2011 輕水式核燃料績效會議(WRFPM 2011)及參觀中核建中核燃料元件有限公司
9 月 16-18 日	中國成都	蒐集資料整理
9 月 19-20 日	中國北京	參觀 2011 北京核電工業展覽會
9 月 21 日	北京→台北	返程

參加 2011 年核燃料績效會議 (WRFPM 2011)

時間：2011 年 9 月 11 日~2011 年 9 月 14 日

地點：中國四川省成都市金牛賓館

主辦：中國核能學會 (Chinese Nuclear Society)

協辦：美洲核能學會 ANS、歐洲核能學會 ENS、日本核能學會 JAES
韓國核能學會 KNS

贊助：美國西屋公司(W)、法國 AREVA 公司、瑞典 Studsvik 公司、
中國核動力院(NPIC)、上海核工設計研究院(SNERDI)、
中國建中核燃料公司(CJNFC)、日本三菱核燃料公司(MNF)、
加拿大 Ceradyne 公司

● 2011年核AEA Activities in the Area of Fuel Engineering

(國際原子能總署核燃料領域之研究)

國際原子能總署(IAEA)為聯合國下之下的原子能組織，其推動全世界各國核能發展趨勢，並領導進行目前核能界普遍關切的議題。其主導之核動力反應器燃料工程計畫，被容涵蓋核燃料設計與製造的研發、以及爐心行為與運轉經驗整合研究。

核燃料效能與技術之工作小組(TWG)共有25個會員，工作方式是以前舉辦技術研討會、專家審查、領導研發計畫、建立資訊資料庫以及學術會議及工作討論等方式進行。

從2005年以來曾經舉辦過的技術研討會可參閱下圖，技術研討會資訊於會後可經由IAEA網站下載，其內容包含全世界之重要反應器及各國的經驗。

TM title	Host	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Behavior of high corrosion-resistant Zr-based alloys	Argentina									
Modeling under normal, transient and accident conditions and high burnup	UK									
High burnup fuel experience and economics	Bulgaria									
Hot cell PIE and poolside inspection techniques	Argentina									
PHWR fuel modelling	India									
Fuel rod instrumentation and in-pile measurement techniques	Norway									
PHWR fuel design, fabrication and performance	Argentina									
Advanced pellet materials and rod designs	Switzerland									
Current issues in fuel quality and reliability assurance	Vienna									
Water chemistry and clad corrosion including fuel failures	Ukraine									
Hot-cell PIE and pool-side inspection (with HOTLAB Working Group)	Slovakia									
Design, manufacturing and radiation behaviour of FR fuels	Russia									
Fuel behavior and modeling under LOCA and RIA conditions	Japan									
Fuel design and licensing of mixed cores for water-cooled reactors	Vienna									
Fuel integrity during normal operation and accident conditions in PHWR	Romania									
In-core and in-pool behaviour of fuel in Fukushima accident	Japan									
In-pile testing and instrumentation for development of Gen IV materials	Norway									
Advanced fuel cycles in PHWR	Can or Ind									
Modelling of LWR fuel (including severe accidents)	China									
PHWR fuel licensing	Canada									
High burnup economics and operational experience	?									
Examination of 5% enrichment limit	Vienna									

至2011年，專家評估(Export Reviews)可完成四項，另有兩項正進行中。其內容請參閱下圖：

Review title	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Zirconium in nuclear industry								
Activity transport in PWR primary circuit								
Review of fuel failures in water-cooled power reactors								
Structural materials for metal-cooled fast reactor fuel assemblies								
Guide on fuel quality and reliability								
Fuel design requirements for and experience with mixed cores								

其中Review of Fuel Failures in Water-Cooled Reactors計畫涵蓋全球百分之九十六的各種樣式動力反應器(PWR, BWR, WWER, CANDU/PHWR)，其結案報告可於下列網址下載：http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1445_web.pdf

內容分爲：

1 INTRODUCTION

2 EVOLUTION OF FUEL OPERATING ENVIRONMENT AND DESIGN FUEL CHANGES

2.1 EVOLUTION OF FUEL OPERATING ENVIRONMENT

2.2 FUEL DESIGN EVOLUTION

2.3 FUEL TYPES IN OPERATION

3 WORLD OVERVIEW ON FUEL FAILURES IN 1994-2006

3.1 INTRODUCTION

3.2 COOLANT ACTIVITY LEVELS

3.3 METHODOLOGY OF FUEL FAILURE RATE EVALUATION

3.4 COLLECTION AND TREATMENT OF FUEL FAILURE DATA

3.5 EVALUATION OF PWR FUEL LEAKERS

3.6 EVALUATION OF BWR FUEL LEAKERS

3.7 EVALUATION OF WWER FUEL LEAK RATE

3.8 EVALUATION OF FUEL LEAKAGE IN CANDU/PHWR

3.9 MULTIPLE FAILURE INCIDENTS/DEFECT EXCURSIONS

3.10 FUEL ROD FAILURE RATES AND FUEL FAILURE CAUSES DURING 1987-2006

3.11 CONCLUDING REMARKS ON CHAPTER 3

4 DETECTION, EXAMINATION AND ANALYSIS OF FUEL FAILURES

4.1 INTRODUCTION

4.2 EVALUATION OF COOLANT ACTIVITY

4.3 LOCALIZATION OF FUEL FAILURES

4.4 FUEL EXAMINATION

4.5 FUEL FAILURE ANALYSIS

5 MECHANISMS AND ROOT CAUSES OF FUEL FAILURE

5.1 INTRODUCTION

5.2 GRID-TO-ROD FRETTING

5.3 FRETTING BY DEBRIS

5.4 CORROSION

5.5 PCI (PELLET-CLADDING INTERACTION)

5.6 MANUFACTURING DEFECTS

5.7 CROSS FLOW/BAFFLE JETTING

5.8 PRIMARY HYDRIDING

5.9 DELAYED HYDRIDE CRACKING (DHC)

6 FUEL STRUCTURAL DAMAGE AND OTHER FUEL ASSEMBLY -ISSUES

6.1 INTRODUCTION

6.2. ASSEMBLY BOW

6.3 MECHANICAL DAMAGE DURING HANDLING

6.4 CRUD & AXIAL OFFSET ANOMALIES (AOA)

6.5 OTHER MISCELLANEOUS DAMAGES

7 SECONDARY FUEL FAILURES

7.1 BACKGROUND

7.2 OBSERVATIONS FROM EXPERIENCES

7.3 DEGRADATION CHARACTERISTICS

7.4 MECHANISMS

8 FUEL FAILURE PREVENTION AND MANAGEMENT IN PLANT OPERATION

8.1 EXISTING OPERATING LIMITS AND RECOMMENDED PRACTICES

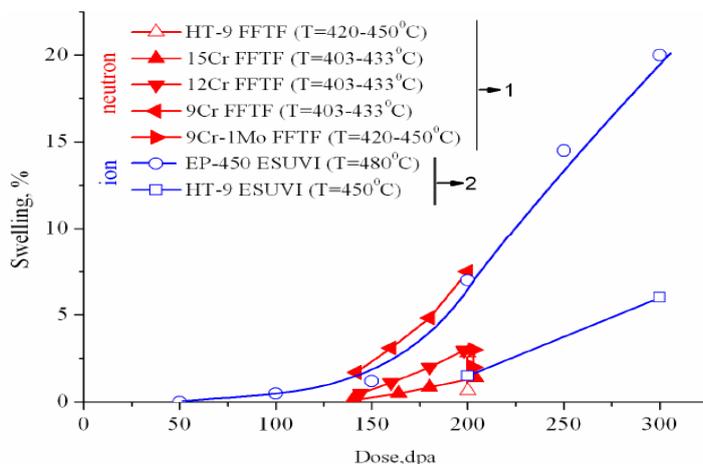
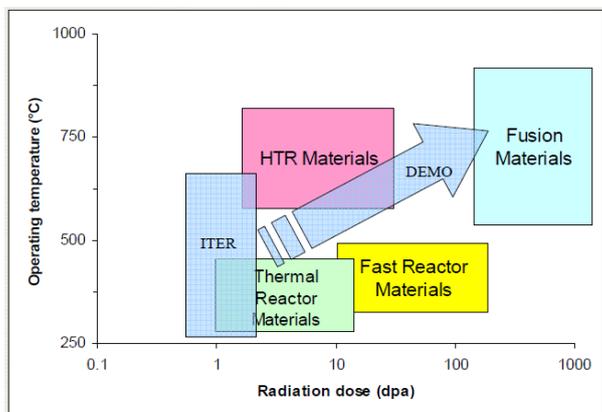
8.2 IMPROVEMENT OF QUALITY DURING MANUFACTURING

9 CONCLUSIONS

由IAEA領導的研發計畫(Coordinated Research Projects, CRP)更是包羅萬象，均為當今核燃料重大關切議題，事實上本所參與NFIR計畫，也從事相關的研究，只可惜台灣非屬聯合國會員，被IAEA排除在外，無法進行技術交流。不過資料的取得上，IAEA倒是十分大方，可以從其網頁下載各種報告與標準規範，提供我們比較的機會，只是無法參與討論，無法將台灣的實力向其他國家展現。

CRP title	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Delayed hydride cracking of Zirconium alloy fuel claddings									
Optimisation of water chemistry for reliable fuel performance									
Fuel behaviour modelling at high burnup									
Accelerator simulation and theoretical modelling of radiation effects									
Use of neutron beams for material research									
Benchmarking of materials for innovative nuclear reactors									
Evaluation of conditions for H-induced degradation of Zr alloys									
Reliability of high power, extended burnup and advanced PHWR fuels									
Examination of advanced fuel and core materials for fast reactors									

結構材料方面IAEA蒐集輕水反應器、高溫氣冷反應器、快中子反應器及核融合反應...等各類行反應器所使用之材料、其爐心材料行爲，建立輻射傷害模式。



● Nuclear Fuel in China (中國核燃料現況)

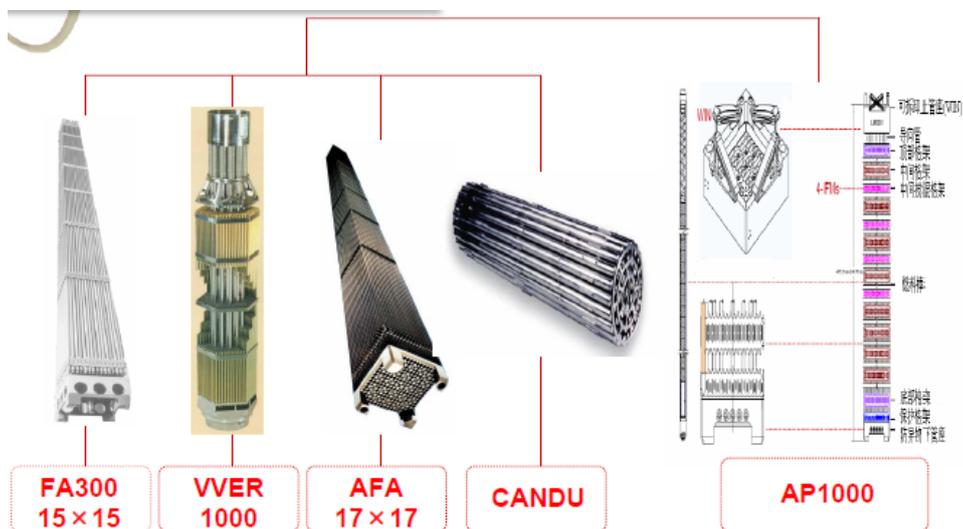
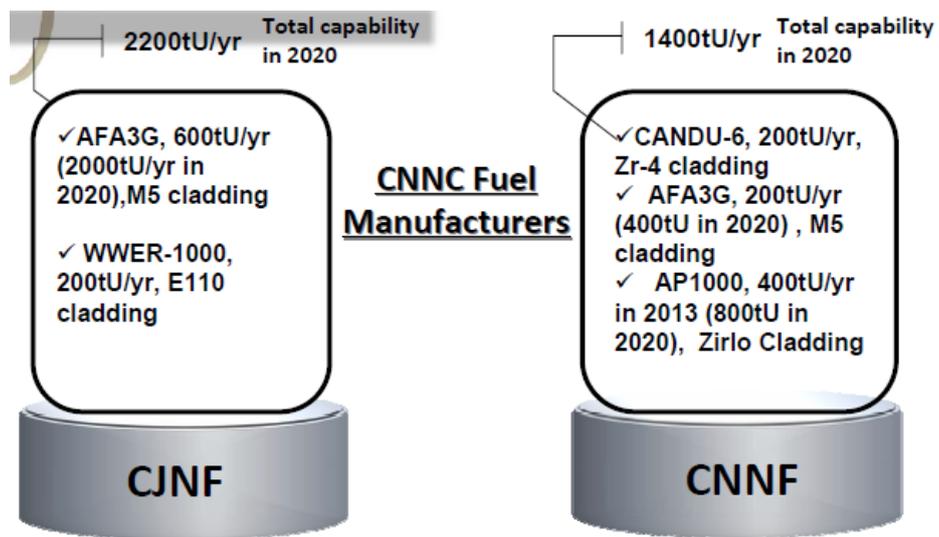
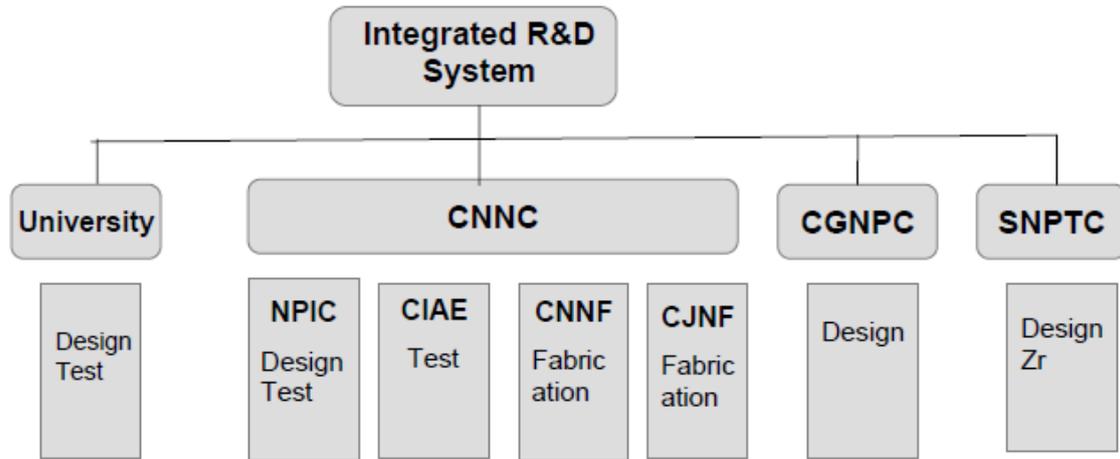
目前中國擁有14座核電站，裝置容量11.2 GW，佔全國電力容量1%，每年生產電力70TWh，佔全國電力生產2%。尚有27座核電站興建中(29.5 GW)。

已運轉的核電站分別在廣東大亞灣、嶺澳、浙江秦山及江蘇田灣，有PWR(10)、PWHR(2)及WWER(2)。

Naps in Operation		Type	Power (MWe)	Commercial	Fuel Assembly	Ave Discharge Burn-up
Qinshan I	Unit 1	PWR	310	1994	15*15 121	33
Qinshan II	Unit 1 & 2	PWR	650	2002 2004	17*17	36
	Unit 3	PWR	650	2010	157	
Qinshan III	Unit 1 & 2	PHWR	720	2002 2003	37 bundles	7.2
Daya Bay	Unit 1 & 2	PWR	984	1994	17*17 157	45
Ling Ao	Unit 1 & 2	PWR	990	2002 2003		44
	Unit 3 & 4	PWR	1080	2011		
Tianwan	Unit 1 & 2	WWER	1060	2007	hexagon 163	41

中國核動力反應器燃料的設計與製造由中國核工業集團(CNNC)統籌，由中廣核電集團(CGNPC)負責核燃料設計，中國核動力院(NPIC)及各大學進行設計測試，

中國原子能研究所(CIAE)近行整體測試，製造生產初期是建立一條法馬通生產線(CJNF)，近期又向西屋公司購入另一條生產線(CNNF)，中國國家核電技術公司(SNPTC)生產鋯管。

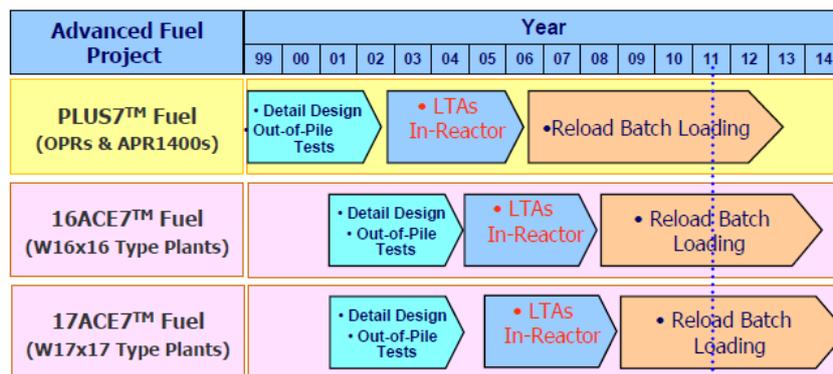


中國計劃到2020年，全國GDP可望達到3000美元，相當於45億噸的碳當量。減碳目標要減少40%~45%碳排放，因此需要設置的非石化能源需達6.75億噸碳當量。核能的裝置目標要到達70~80 GW，可提供相當於1.6億噸的碳當量。

● **R&D Activities on LWR Fuel in Korea (韓國核燃料研發)**

南韓在福島事件發生前剛與阿拉伯聯合大公國簽訂核電廠輸出合約，因此南韓堅持走核能發電的路。目前南韓擁有17座PWR及4座PHWR，核電比例約佔全國電力40%。目前興建中與規劃的有7座，未來將以APR1400為主力機型。

南韓第一座核電廠在1978年運轉，與台灣金山核電廠同年。1989年南韓成立KNF，引進西屋公司與CE公司核燃料設計製造技術。之後持續研究發展，2007年起韓電核電廠已開始使用KNF設計、生產製造之PLUS7 and ACE7型燃料。目前每年可供應400噸PWR燃料及400噸CANDU燃料。



南韓核燃料發展從1997年開始，KAERI核能研究所扮演相當重要的角色。

□ LWR Fuel development

- New cladding alloys (HANA)
- UO2 pellets with optimized grain size
- Fuel performance code for licensing authority
- MOX fuel

□ Fundamental facilities for tests

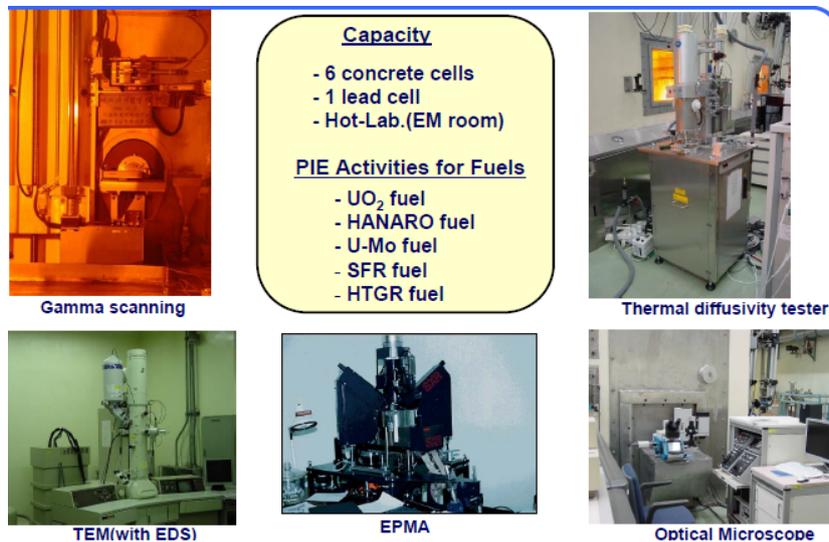
- Facilities for mechanical & hydraulic tests of full sized FA
- Irradiation test loop in a research reactor
- Hot-cell examination

□ Fuel safety

- LOCA/RIA

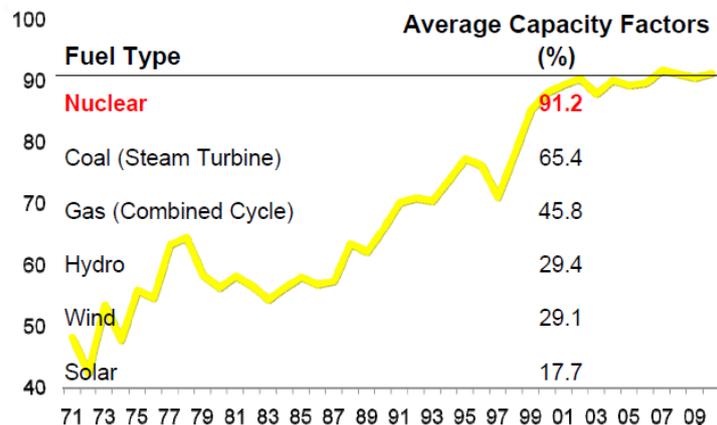
KAERI有兩座熱室：PIEF較舊，可以執行整束PWR燃料檢驗與測試。IMEF較新，主要執行燃料熱室檢驗、HANARO實驗爐燃料製作及其他進步型燃料製作。2008年WRFPM在漢城舉行，作者有機會前往KAERI參觀IMEF，對其設備先進，熱室的明亮與整潔，印象深刻。本所熱室已使用卅餘年，設備老舊，及待更新，以符合未來使用趨勢，KAERI熱室可為借鏡。

南韓發展核能三十年有成，核燃料發展機及參加國際合作計畫，大量引進國外技術，終見開花結果。

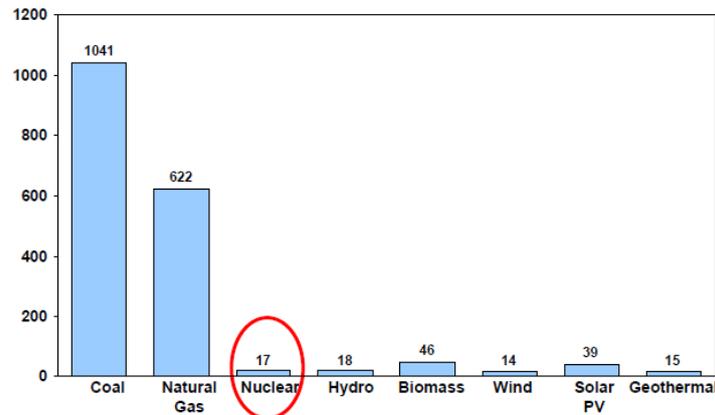


● Future of Nuclear Power in the U.S. (美國核燃料未來發展)

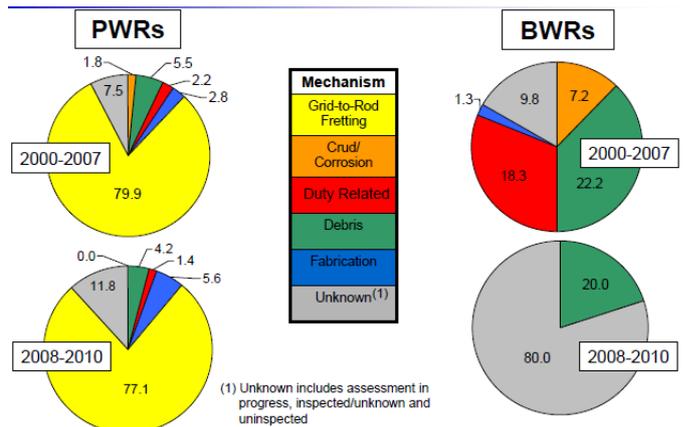
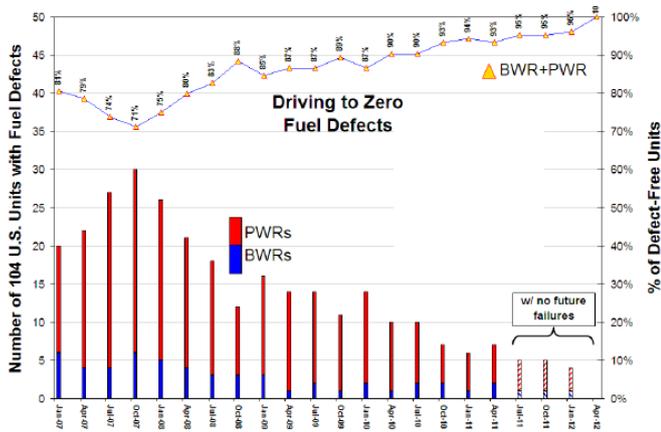
美國有104座核能機組，平均容量因子達91.2%，遠高於其他發電形式。核能發電燃料所佔的比例約30%，相較於天然氣90%，受到燃料價格影響的程度較輕。



從二氧化碳釋放的角度，核能為每1000度電(GW_eh)產生17噸碳當量，僅略高於風能，與水力發電相當，可以視為綠色能源的一種。



EPRI推動的ZERO by 2010，核燃料可靠度提升已見成效，在美國2010年沒有破損燃料的機組比例達96%，(台灣6部機組從2008年起已無燃料破損案例發生)。主要破損機制在PWR為GRF(格架磨耗)，在BWR仍是爐屑磨耗。

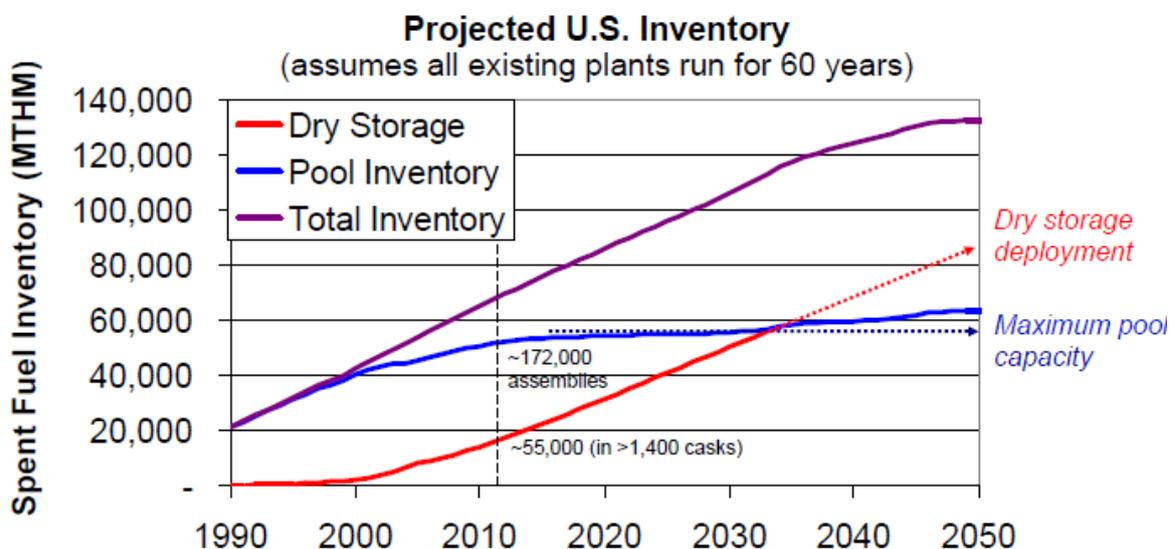


美國核管會(NRC)對於今年度，日本311地震，海嘯造成福島一號電廠重創，向各電廠提出建議如下：

Specific NRC Recommendations

- Extended station blackout
- Seismic and flooding hazard update and inspection
- Reliable and accessible venting capability for BWR Mark I and Mark II containment plants
- **Orders for spent fuel pools**
- Integration of procedures
- Emergency preparedness orders and rulemakings

用過核子燃料池的存放次序議題被要求需要重新考量。用過核子燃料總產出量在2030年前，成長速率與目前相當，燃料池容量已嚴重不足，乾式貯存為目前主要處理選項，可取代約1/3的用過核子燃料，壽命為50年，(台灣為40年)。



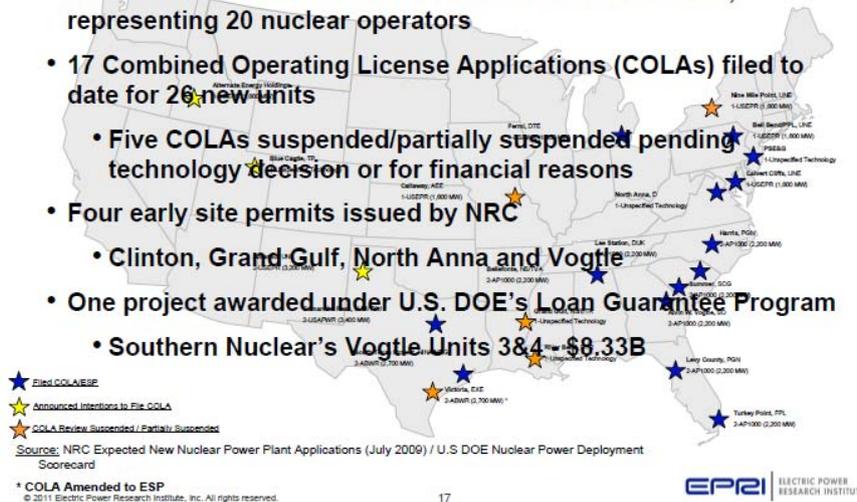
然而加速處理乾式貯存，產生的一連串影響，供給鏈短期內成長3~4倍，(俊鼎公司應加速擴展，爭取這一階段供給的空窗，其他國內廠商也可積極投入，本所應扮演重要技術引進的角色)。用過核子燃料提前改換乾式貯存，增加人員劑量與工作壓力。另外因應福島事件，建造與運轉執照的重新檢討，勢必會帶來許多新的議題。(原能會、台電及核研所開始了嗎?)。

乾式貯存的新議題包括運送高燃耗用過核子燃料的銦合金氫化物重排(Hydride reorientation)，用過核子燃料池的PRA評估，新型核子燃料護套(Ceramics, refractory materials and composite cladding)。

美國在福島事件前共有20個電廠，32座機組考慮興建，其中26座機組已提出17件建造運轉執照申請日期規劃，美國核管會批准4處先期廠址許可，Southern Nuclear's Vogtle Units 3&4已獲得能源部的貸款保證計畫。此外第四代反應器，小型模組化核反應器設計也提出許多構想。核能是未來能源供應的重要一環，主要取決與安全與經濟。小型模組化核反應器會開創一個新的市場，全球共同合作研發將是一種趨勢。

New Nuclear Plants Under Consideration in U.S.

- 32 nuclear units under consideration at 21 nuclear sites, representing 20 nuclear operators
- 17 Combined Operating License Applications (COLAs) filed to date for 26 new units
 - Five COLAs suspended/partially suspended pending technology decision or for financial reasons
- Four early site permits issued by NRC
 - Clinton, Grand Gulf, North Anna and Vogtle
- One project awarded under U.S. DOE's Loan Guarantee Program
 - Southern Nuclear's Vogtle Units 3&4 \$8.33B



● Fuel Design and Fabrication Technology for LWR MOX Fuel in Japan

日本JNFL(*Japan Nuclear Fuel Ltd.*)於2010年10月開始建造鈾鉚混核燃料製造工廠(JMOX)，預計於2016年三月開始生產，提供日本國內BWR 8X8 及9X9燃料，以及PWR 17X17燃料。

JMOX建造於六所村燃料再處理廠(RRP)隔壁，以地道相連，方便MOX粉末運送。燃料廠每層樓85平方米，兩層地上，3層地下建築。最大產量每年130噸HM

MOX燃料製造技術與 UO_2 燃料製造技術相同，JMOX技術自AREVA NC MELOX廠引進。所使用的MH-MOX粉末，成分為50%Pu及50%U，使用微波加熱將鈾及鈾的氮化物去氮，微波加熱法(MH)為JAEA專利。在2002~2007年間，JNFL已完成MOX粉末實驗室規模及大量生產的試驗，並完成最適化處理。

為維持與 UO_2 燃料相同的反應度，MOX燃料的Pu從數個%到16%，PWR燃料數為整束皆為MOX燃料棒，然而BWR則是混合MOX燃料棒與 UO_2 燃料棒。

燃料製造過程如下圖，可翻為粉末程序、燃料丸程序、燃料棒程序、燃料數程序及運送。

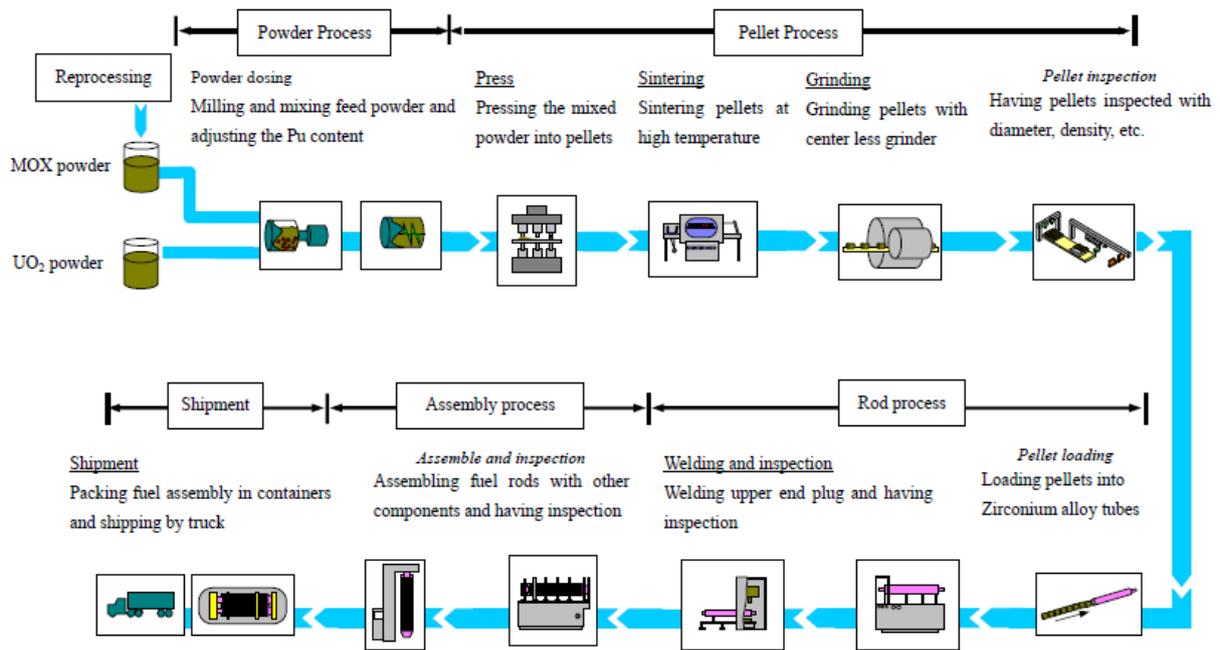


Fig.1. Process Flow of J-MOX

粉末處理及燃料丸壓製步驟須在手套箱內進行，粉末來自不同生產線，因此要經過冗長的反覆驗證，證實粉末均勻分布。

● EPRI BWR Channel Distortion Program

過去10年，約有35個BWR被燃料匣彎曲議題所困擾，因此EPRI成立此計畫參加的會員包括電力公司、EPRI、燃料廠家、INPO及BWROG，目的在希望能提供電廠一套有效的燃料匣彎曲管理工具，讓電廠能夠具以管理燃料營運，並減少燃料匣彎曲影響，並督促廠家澄清肇因，並發展更好的燃料匣材料，避免燃料匣彎曲。

傳統燃料匣彎曲是由於爐心中子通量梯度所造成，另外Shadow Corrosion使得護套鋁合金大量吸收氫氣，產生不均勻的照射成長也是主要原因之一，這些效應會因護套材料不同而有所區別。

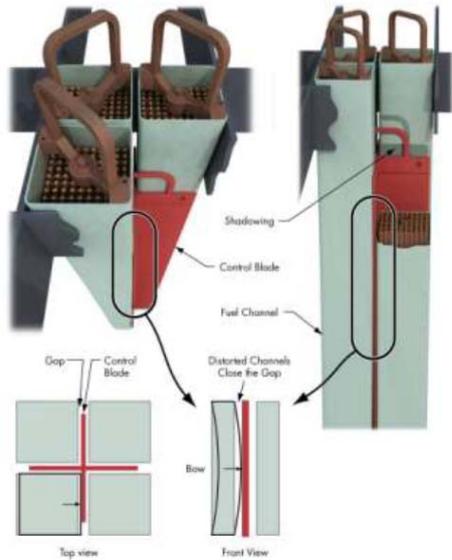


Figure 1: Graphical illustration of BWR channel bow issue

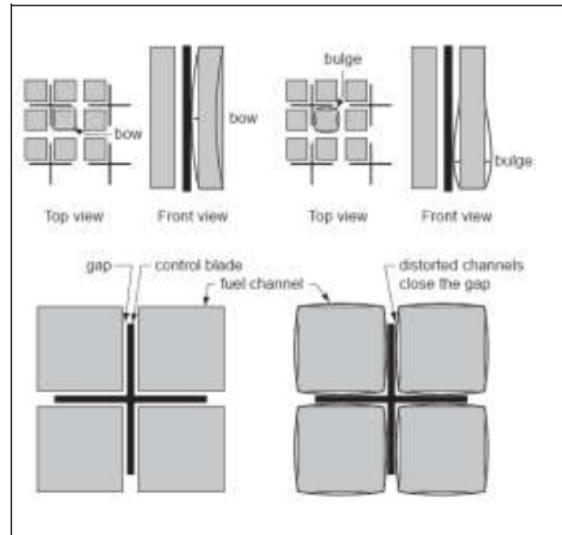
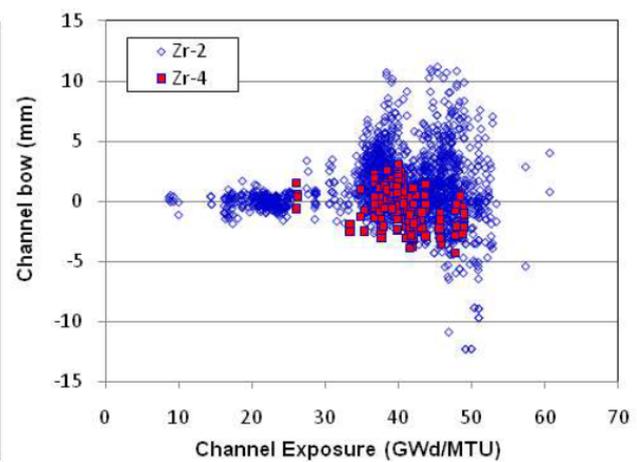
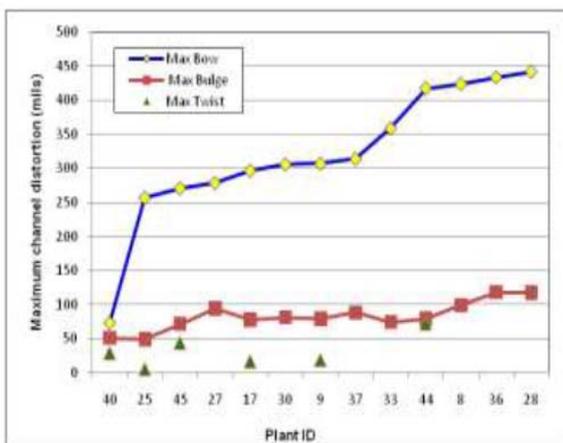


Figure 2: Graphical illustration of channel bow and bulge

燃料束彎曲主要原因：

- fluence-gradient bow (“classic channel bow”)
- shadow corrosion-induced bow (“enhanced channel bow”)
- hydrogen pickup
- alloy dependence
- plant dependence(Lattice Type)



EPRI 建議之燃料匣彎曲預測模式，提供電廠做為營運管理模式，台電公司已經由FRP獲得，本所可協助台電公司使用此模式，解決之燃料匣彎曲的困擾。

參觀中核建中核燃料元件有限公司(CJNF)

中核建中核燃料元件有限公司，隸屬中國核工業集團公司，建於1965年，原名國營建中化工總公司宜賓核燃料元件廠。公司總部位於四川省宜賓市。現以核電燃料元件為主導產業，是中國壓水堆核電燃料元件主要生產供應廠商，還有香料、鋰鈣、鋰電池...等民生產業，擁有中國最大的鋰金屬與鋰電池生產線。

中核建中核燃料元件有限公司現有資產總額28.3億人民幣，員工5800餘人，專業技術人員約1700人。企業各主要生產線均已通過品質體系ISO9000認證，ISO14001環境管理體系認證。

中核建中核燃料元件生產線於1986年建成，適中國自行設計、建造的中國第一條核燃料元件生產線。90年代初，從法瑪通公司引進了AFA 2G 17×17燃料元件設計與製造技術，為大亞灣核電站提供燃料元件。90年代末又引進法國法瑪通AFA 3G高燃耗燃料元件製造技術，從南非引進含鈾燃料生產線。2005年引進了全M5 AFA3G燃料元件製造技術。

二氧化鈾粉末生產採用ADU和IDR技術，年產能250噸鈾。ADU法是將原料UF₆通過汽化、水解、沉澱、乾燥為重鈾酸銨(ADU)粉末，然後再通過煨脫氟還原成UO₂粉末。而IDR法則是將原料UF₆在乾式轉化爐中汽相水解後直接還原成UO₂粉末，具有流程短、自動化程度高、產量大、廢水廢物量少、產品性能穩定和活性較高等優點。

現有三條燃料丸生產線，利用粉末壓制、燒結和產品檢驗設備，可生產實心、帶中心孔、倒角、含鈾等各式燃料丸。採用粉末冶金方法，將UO₂粉末與各種添加劑混料均勻後，再預壓、制粒、球化後壓制成UO₂生坯，然後在連續推舟式燒結爐中高溫燒結。

燃料束零組件生產，具有完整的格架、上下管嘴、連接柄等零部件生產線和冷沖模具生產線，配備有先進的高精度數控機械加工設備和品質檢測裝置。具有生產結構特殊的燃料棒、燃料元件及相關元件的零部件和專用模具的能力。

中核建中現具有300MWe、600MWe和900MWe系列燃料元件製造能力，以及VVER-1000燃料元件生產線，可以生產CFA300型、AFA2G、AFA3G、全M5 AFA3G

及VVER-1000型燃料元件。生產能力可達每年400噸鈾的燃料元件，提供中國動力核電站機組燃料更換。中國最近從美國西屋公司引進另一條PWR燃料生產線，建於內蒙包頭CNNF公司，專門生產AP1000燃料，供其新一代反應器使用。

本次會議中核建中公司相當於是地主，故安排與會人士參觀，但由於涉及核能工業，中國官方要求參訪者須於兩個月前申請，並經行文請示中核集團公司批復同意後，共有13個國家共42名會議代表參觀。



參觀2011北京核電工業展覽會

中國展開其能源佈局，用以確保能在全球的環保要求與自身的經濟發展中達到雙贏，由於核能技術的日趨成熟，提供更安全的機組設計及運轉，中國大陸將核能發電列入潔淨能源開發之重要選項之一，近年來更積極投入核能發電之研究開發。

因應中國大陸龐大的核能市場，同時扶植台灣本土核能零組件與各項核能技術之自製生產能力規劃，國內具有生產核能零組件之公司，透過鄰近的中國大陸作為首站，積極拓展外銷，逐步推廣至國際。相關核能設施之興建與一般工程無異，均需要機、儀、電及土木等技術；且核能電廠興建，依其特性及施工性質分為核島區、常規島區及土建三部，國際間所稱之核能產業是指核電機組之最重要部份，即核島區之各組件、設備與系統的製造。而核能設施興建所需之機、儀、電及土木，由於所要求的品質十分嚴格，也逐漸發展出嚴謹的品質檢證制度，故同樣的商業級組件，在經過核能體系認證成為核能級組件後，價格即呈數倍成長。

本次「2011中國國際核電備展覽會」由大陸中國機械工業聯合會、中國能協會主辦；中國電工技術學會、中國動力工程學會等為協辦單位，並邀請中國國家發展和改革委員會、國家能源局、國家核電技術公司、中廣核集團及中核總集團共同支

援辦理。

參展範圍包括1.核島區、2.常規島區、3.操作與維護設施、4.廢物處理、5.核電站基礎建設等如下述：

- 1.核島區部份：反應堆及其冷卻系統、堆芯燃料、核燃料組件、穩壓器、反應堆堆內構件、反應堆壓力容器、控制泵驅動機構、蒸氣發生器、反應堆冷卻劑泵、密閉殼、ECCS 等。
- 2.常規島區部份：渦輪發電機、汽輪機、發電機變壓器、凝汽器、汽水分離熱器、葉片、儀表控制、保溫材料、空調系統、核空氣淨化與通風濾器設備、生物工程學在反應器控制中的應用、數位控制系統與軟件資質、電氣系統、電線電纜與橋架、母線、新型緊急供電系統、新型高壓設備、輸配電設備、核電塗料、核電防腐材料、防腐設備、核電電池、核電油漆、塗料、泵及閥門、承壓容器、核級石墨、核電站與電算化管理中的計算機輔助設備、焊接、機械加工等等。
- 3.操作與維護設施部份：檢查設備、設備維護機器人、核事故緊急處理通訊設備、核設備標準化規劃、NPP 的 URD、EURD 系列開發、核安全保護設備及材料。
- 4.廢物處理部份：固體廢物處理、液體廢物處理、氣體廢物處理、放射性廢棄物處理。
- 5.核電站基礎建設部份：核電站工程建築模板及腳手架、水泥、混凝土降溫片等。

本屆展覽會以核電裝備、電力設備為主要展示內容，並搭配各發電廠所需之零組件廠商及核電應用之技術，並舉辦多場的配套活動(如中外核電行業與企業等相關機構之技術交流、貿易合作平台之建立、貿易合作合約之說明等等)吸引大量國內外核電領域的廠商參展、技術交流和貿易談判。

參展的企業包括來自台灣、日本、韓國、美國、加拿大、法國、德國、英國、西班牙、荷蘭、奧地利、瑞士及中國大陸等21個國家，300餘家廠商，其中外國企業參展達70餘家。

台灣由TNA會員組成參與展覽，廠家計有榮剛科技、常熟華新特殊鋼、國森企業、亞炬企業、俊鼎機械、益鼎工程、工業技術研究院、南寧工程、中鋼機構、福臨與台灣端板鋼鐵企業等11家廠商參與展覽，其中亞炬、南寧、俊鼎、益鼎等企業為本所技轉及長期合作廠商。

由於本次參與展覽廠家眾多，主辦單位於展覽口設置說明，並妥適安排，將核島展示廠商、常規島展示廠商、操作與維護廠商等，依不同性質彙集在一起，讓參觀人員能明確依循指標尋找目的地，除縮短時間外，並能順利與目標廠商溝通、詢問；

而台灣參展之11家廠家則承租一起，抬頭為「台灣核能級產業發展協會」，其規劃設計具吸引目光，11家參展廠商分別派專業人員現場解說，其中亞炬公司及南寧公司為本所技轉「高效率固化技術」廠商，具國際性，大陸核電站分別派人詢問。

大陸市場未來10年將規劃建造完成30部核能機組，其市場零組件(包括閥門、泵、管件等等)及核能技術，確實具有巨大想像空間，若能提早佈局，引導國內企業投入生產，對國內企業幫助不少。





三、心得

以下就本次參加會議及訪問所得之心得摘要敘述如下：

1. 核燃料實績會議自 2003 年起輪流在美、歐及亞洲每年舉辦，論文來自燃料廠家、電廠、核管單位、學術界及國家研究所，內容包括最新核燃料議題，為當今核燃料界最重要的會議。本屆會議在中國成都舉辦，2012 年將在英國曼徹斯特舉辦，建議派員參加，並擬將目前熱室 TRR 燃料安定化計畫與作業向大會投稿。
2. 然而台灣因為不屬於聯合國會員，被拒絕參與 IAEA 舉辦之研究計畫及技術會議，讓台灣在資訊交流上受到阻礙，殊為可惜。目前原能會有派駐國際原子能總署代表(現任為洪煥仁博士)，負責與國際原子能總署連繫，推動核子保防業務。台灣應積極做為，力求突破，讓台灣能重新活躍世界舞台。
3. 中國積極發展核能，視核能為主要綠色能源，並極力發展自主技術。台灣目前領先的優勢將會很快被超越，並被拋於塵後。台灣能源政策若是一再用模糊空間，將是讓國家空轉，空留於嘆。
4. 中國發展核能，積極向外徵才，許多資深美裔華人專家均返回中國，台灣核能人才也是其吸收的目標，國內應給與核能專業人才更多的照顧，以免人才流失。
5. 中國發展核能發電起步較晚，但是器度之大令人瞠舌。和中國技術人員交流，卻感覺他們想以躍進方式追趕，卻不思腳踏實地，對於細節掌握度仍嫌不夠。
6. 日本雖遭受如次巨大災變，但是日本人認為這是一個改變的契機，相當正面的

思考，從新檢視核能的未來，勇敢提出改善的方法，沒有逃避，不放棄核能，仍然認為今天不可能向核能說不。

7. 韓國投入核能，卅年有成，目前已擠身核能機組輸出國（美、法、俄、加）。核燃料有能夠完全自行設計。當年 KNF 第一次燃料裝填，幾乎全部破損，成為國際笑柄，但是今天韓國人可以抬頭挺胸，睥睨全球。
8. 美國核能復甦腳步雖然緩和下來，但是仍然以穩健步伐邁進。當前美國首要目標是從福島事件中學到教訓，改變核能安全的舊思維，強化現有機組安全，對於核能的前景仍然樂觀。
9. 歐洲國家法國與東歐國家仍積極發展核能，但是北歐、英國、德國則顯的退縮。德國將核電廠停役，目前已面臨缺電危機，綠色能源一時間供應不及，被迫向國外購電。捷克擬在德國邊境興建核電廠，售電給德國，其結果德國依然無法置身於核能之外。

四、建議事項

1. 2012 年的輕水反應器核燃料績效會議，預定 9 月 2~6 日將在英國曼徹斯特舉行，建議派員參加，以維持本所對於國際核能研發方向與產業情勢的了解與掌握。
2. 雖然台灣對核島區之核能產業供應較弱，但是核島以外的設備供應仍是台灣企業的強項，政府應該積極輔導產業，拓展國際市場。乾式貯存技術由本所技轉俊鼎公司，本所仍可和俊鼎公司攜手進軍國際市場。