

出國報告（出國類別：其他）

赴美國除役核電廠參訪及技術研討

服務機關：核能研究所

姓名職稱：王正忠 副研究員

陳鴻斌 研究員

施建樑 研究員

派赴國家：美國

出國期間：102年4月13日~102年4月24日

報告日期：102年5月22日

摘 要

本次出國公差拜訪美國核管會(Nuclear Regulatory Commission, 簡稱NRC)及Fluor、ATL、Exelon、SciTec等工程顧問公司, 討論美國核電廠除役相關規範及蒐集核電廠除役相關技術資料, 有助於提昇本所對核設施除役的技術與尋求國外合作的機會。此外, 行程中亦安排實地參訪美國除役中的Dresden與SONGS核電廠, 以及拜訪美國阿岡國家實驗室(Argonne National Laboratory, 簡稱ANL), 討論核設施除役的實務經驗及輻射特性調查的技術, 有助於未來我國核設施除役研究計畫的推展。

目 次

摘 要

(頁碼)

一、目 的	1
二、過 程	2
三、心 得	29
四、建 議 事 項	31

一、目的

本次奉派美國公差，行程安排拜訪美國核管會(Nuclear Regulatory Commission，簡稱 NRC)及 Fluor、ATL、Exelon、SciTec 等工程顧問公司。此外，亦安排實地參訪美國除役中的 Dresden 與 SONGS 核電廠，以及拜訪美國阿岡國家實驗室(ArgonneNational Laboratory，簡稱 ANL)，此行任務之主要目的如下：

- (一)了解美國核電廠除役現況、法規與團隊人力與能力，用以提昇本所對核設施除役的技術與尋求國外合作的機會；
- (二)參訪幾個美國核電廠除役團隊，告知國內「核一廠除役計畫準備」之現況、困難與需協助事項，並評估各個團隊除役的能力與經驗，以及探詢與本所未來合作之意願與可能性；
- (三)針對本所核設施除役之待解決議題，探詢國外機構可以協助之技術及可行性，期使本所未來核設施除役計畫能更順利的執行。

二、過 程

(一)行程：

此次出國公差其間自民國 102 年 4 月 13 日(星期六)至民國 102 年 4 月 24 日(星期三)，共計 12 天。此行於 4 月 13 日搭乘華航班機自桃園機場出發，經日本大阪機場轉機飛往美國紐約機場，再轉搭美國航空班機飛往華盛頓機場(BWI)。4 月 15 至 16 日於華盛頓地區先後拜訪了美國核管會及 Fluor 與 ATL 等工程顧問公司。然後再於 4 月 17 日搭乘美國航空飛抵芝加哥。4 月 18 至 19 日於芝加哥期間，安排拜訪了 Exelon 工程顧問公司及拜訪美國阿岡國家實驗室，並在 Exelon 人員的帶領下參觀 Dresden 核電廠的除役現況。然後再於 4 月 20 日搭乘美國航空轉往洛杉磯。4 月 21 至 22 日期間，與 SciTek 工程顧問公司主要負責人員討論其在 SONG-1 核電廠除役的經驗，並在 SciTek 公司的安排下參觀 SONGS-1 核電廠的除役現況，以及討論 SONGS-1 核電廠的除役經驗。最後再於 4 月 23 日搭乘華航班機自洛杉磯返回臺灣。上述行程明細及工作內容重點如下：

日期	星期	參訪機構	討論內容重點
4/13	六	TPE-NY(JFK)	去程
		NY(JFK)-DC(BWI)	去程
4/14	日	DC	與吳全富博士討論 NRC 及 ATL 會議規劃
4/15	一	NRC	由 TECRO 科學組副組長趙衛武博士及 ATL 吳全富博士陪同，拜會環境保護與功能評估處廢棄物管理與環境保護組，討論 BWR 電廠除役相關法規與應注意事項。
		Fluor	1.相互簽署 NDA； 2.Fluor 介紹該公司在核設施除役之實績； 3.Fluor 介紹 NuScale 小型模組化核子反應器； 4.雙方洽談未來在本所核設施除役之合作，包括：TRU 廢樹脂處理建議及污染泥土處理建議；
4/16	二	ATL	1.由 ATL 介紹未來在核一廠除役，可提供之技術服務； 2.雙方討論未來之合作方式。
4/17	三	DC(DCA)-Chicago(ORD)	行程
4/18	四	Exelon Nuclear (Cantera)	1.Exelon 介紹其在 Zion 及其他之除役經驗； 2.Exelon 介紹其乾貯計畫； 3.由本所介紹我國乾貯計畫及核一廠除役之現況與需求； 4.雙方討論未來在核一廠除役之合作方式： 核研所提供核一廠除役計畫技術規範與國外廠家技術需求邀請函，Exelon 提出 NDA 範本由雙方檢視後簽署，Exelon 儘速提送 LOI 給核研所，提出 Exelon 提出 Oyster Creek 的技術報告內容目錄表。

4/19	五	Dresden	1.由 Dresden 介紹其 Dresden Unit 1 之除役經驗及乾貯計畫； 2.由 Dresden 帶領參訪其 Dresden Unit 1 turbine building, Unit 1 sphere 之除役現場。
		ANL	1.由 ANL 說明其系列 RESRAD 程式 2.雙方討論未來邀請返台進行 RESRAD 與 MARSSIM 訓練。
4/20	六	Chicago(ORD)-LA(LAX)	行程
4/21	日	SciTek (Marriott)	1.由 SciTek 說明其在 SONGS-1 之除役經驗及成員之專長與除役負責項目，並展示其過去在 SONGS-1 之除役技術報告與照片； 2.由本所介紹核一廠除役之現況與需求； 3.雙方討論未來在核一廠除役之合作方式：請 SciTek 儘速提供 LOI,惟內需檢附過去之核電廠除役經驗，請 SciTek 提供 SONGS-1 除役之技術報告清單及其內容目錄；請 SciTek 提供初步報價，請 SciTek 提供團隊成員名冊及其學經歷。
4/22	一	SciTek (SONGS)	1.SciTek 簡報其在 SONGS-1 之廠址特性評估； 2.SciTek 帶領參觀 SONGS-1 除役現場； 3.核研所提出問題，雙方並討論未來合作模式。
4/23, 24	二 三	LA(LAX)-TPE	回程

(二)參訪機構人員資料

此行拜訪美國核管會(Nuclear Regulatory Commission，簡稱 NRC)及 Fluor、ATL、Exelon、SciTec 等工程顧問公司，實地參訪美國除役中的 Dresden 與 SONGS 核電廠，以及拜訪美國阿岡國家實驗室(ArgonneNational Laboratory，簡稱 ANL)，各參訪機構參與討論的人員資料彙整如下：

NRC(4/15 上午)		Fluor(4/15 下午)	
職稱	姓名	職稱	姓名
Deputy Director Environmental Protection & Performance Directorate Division of Waste Management & Environmental Protection	Andrew Persinko	Sr. Vice President Operations	J. Gregory Meyer
Chief, Special Projects Branch Office of Federal & State Materials & Environmental Management Programs	Lydia W. Chang	Vice President International Environment and Nuclear	Paul Longsworth
Health Physicist Office of Federal & State Materials & Environmental Management Programs	Stephen J. Giebel	Executive Director	Joe Yanek

Project Manager Office of Federal & State Materials & Environmental Management Programs Division of Waste Management & Environmental Protection	John B. Hickman	Director Environmental Remediation	Jyh-Dong (J.D.) Chiou 邱志東
Project Manager Division of Waste Management & Environmental Protection	James (Jim) Shepherd	Executive Assistant New MAGELLIAN Ventures	Cindy Lifan Lee 王麗芬
ATL(4/16)		Exelon(4/18)	
職稱	姓名	職稱	姓名
President, Advanced Technology and Laboratories International, Inc.	Jou G. Huang 黃周洸	Executive Director Business Development Exelon Nuclear Partners, LLC	Bradley F. Lanka
Principal Consultant, Energy and Site Services	Chuan Wu 吳全富	Manager, Spent Fuel & Decommissioning	Jeffrey A. Dunlap
Environmental Health Specialist	Beverly Ausmus Ramsey	PWR Fuel Design Manager	Robert W. Tsai, Ph.D.
Certificated Health Physicist Chesapeake Nuclear Services	J. Stewart Bland	Executive Director of Operations Exelon Nuclear Partners Shift Manager/SRO	David Carlson
		Outage Planning & Services Dry Storage Program Manager	Gabriel Chavez
Dresden(4/19 上午)		ANL(4/19 下午)	
職稱	姓名	職稱	姓名
Unit 1 Senior Project Manager Demark, Inc.	Raymond J. Christensen		余家禮
	Michael Mason		鄭靜枝
SciTek(4/21 下午)		SONGS(4/22)	
職稱	姓名	職稱	姓名
President	Luh, Gary G. 陸國飛	Health Physics Consultant	Michael J. Russell
PE	Lu, Tim 盧時	Health Physics Consultant	Dr. Eric Goldin
Principial Sr. Consultant, PE	Jorge A. Morales	Health Physics Consultant	Steven F. Enright

美國核管會參與討論的人員主要為負責除役的主管部門人員，其中 Lydia W. Chang 女士曾於 2012 年應原能會的邀請來台講授除役相關的研討議題；而美國阿岡國家實驗室的余家禮博士及鄭靜枝博士為 RESRAD 輻射劑量評估程式的專家，亦曾先後多次應邀返台辦理 RESRAD 程式的教育訓練，有助於核設施除役輻射劑量的評估及外釋管制標準的估算，雙方討論未來合作辦理核電廠除役技術訓練的可能性；此外其他工程顧問公司參與討論的人員，有公司核設施除役領域管理人員及具核設施除役實務經驗或資深保健物理的技術人員，經由雙方的討論，尋求未來核設施除役合作的可能性。

(三)參訪過程

1.美國核管會

4月15日上午由我國 TECRO 科學組副組長趙衛武博士及 ATL 吳全富博士陪同，拜會美國核管會環境保護與功能評估處廢棄物管理與環境保護組，討論 BWR 電廠除役相關法規與應注意事項。由於美國的除役法規與我國有極大的差異，在核電廠除役之前，設施經營者只需向主管機關陳報 PSDAR 報告，報告內容僅簡單敘述未來電廠除役的規劃與承諾。因此在美國核管會的討論僅著重在二國法規的交流，並無法由美國核管處獲得本所實際所需的除役相關技術報告。不過，針對國內核電廠除役，美國核管會專家也提出了幾點建議，供我方參考：

- 有關我國未來核電廠除役的規劃可參考美國 Maine Yankee 核電廠的經驗，美國核管會的文件 docket number 為 50-309；
- 核電廠運轉期間的除役規劃可參考美國核管會 Regulatory Guide 4.22 (December 2012), Decommissioning Planning During Operations；
- 有關核電廠除役的法規指引可參考美國核管會 NUREG-1757 V.3 R.1, Consolidated Decommissioning Guidance。



NRC office, Rockville, Maryland



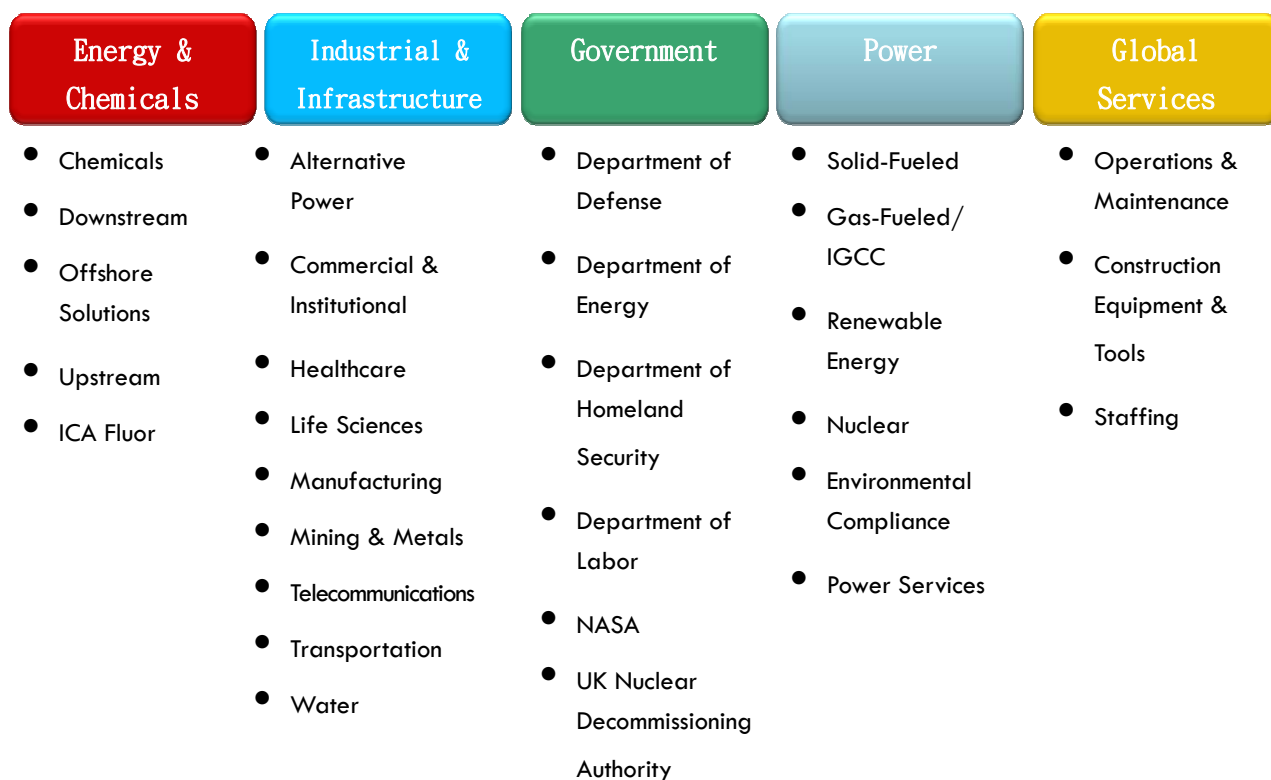
與NRC專家討論

2.Fluor 公司

4月15日下午轉往 Fluor 工程顧問公司拜訪及討論。Fluor 工程顧問公司曾來過臺灣進行研討會議，與本所就核設施的清理曾交換過意見討論，此行主要延續當初的技術合作討論。

Fluor 工程顧問公司於 2011 年為 FORTUNE 500 排名第 124 位的大公司，每年有超過 1,000 計畫執行，在 66 個不同國家為超過 600 家客戶服務。全球有超過 42,000 名的工作人員來執行計畫，辦公室遍佈全球 6 大洲的 28 個國家。公司已成立百年歷史（於

2012 年)，公司年收入\$23.4 billion，公司的營業領域如下：



當日下午核研所與 Fluor 雙方技術討論議題如下：

- 由施建樑代表本所簽署雙方資訊交換 NDA；
- Fluor 介紹該公司在核設施除役之實績；
- 核研所介紹核一廠除役的規劃及技術需求；
- 雙方洽談未來在本所核設施除役之合作，包括：TRU 廢樹脂處理建議及污染泥土處理建議；
- Fluor 介紹 NuScale 公司設計的小型模組化核子反應器（SMR）。

核研所與 Fluor 雙方技術討論議程安排如下所示：

Fluor / INER Meeting
April 15th, 2013 - Washington, DC
AGENDA

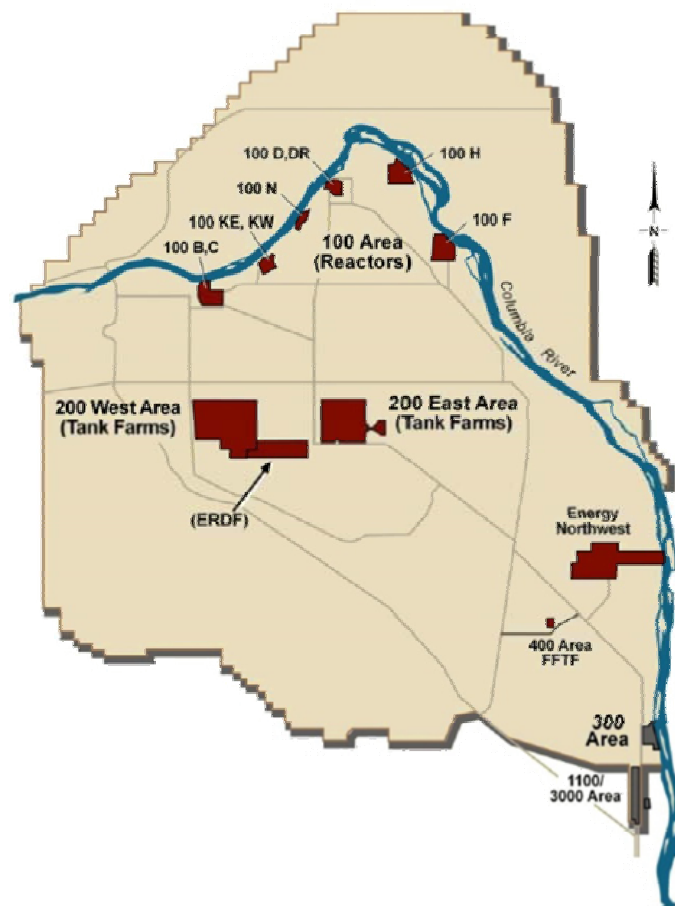
- **Introductions** **Group**
- **Fluor/INER Non-Disclosure Agreement** **Group**
- **INER Decommissioning (D&D)/Remediation Activities** **INER**
 - Identification of Critical Needs
 - Spent Nuclear Fuel Pool
 - DUF6 Disposition
 - Other Areas
 - Priorities for Resolution / Support Needs & Timing
- **Fluor Technical Support Services Update** **Fluor**
- **Fluor Technical Qualifications Review** **Fluor**
 - Spent Fuel Basin and TRU Waste Projects
 - Hanford Site (Washington State)
 - Savannah River Site (South Carolina)
 - International Projects
 - D&D and Environmental Remediation Projects
 - Fernald Project
 - Hanford Site
 - Savannah River Site
 - Portsmouth Project
 - International Projects
- **Perspectives on TaiPower Decommissioning Planning** **INER**
- **Path Forward** **Group**
- *NuScale Small Modular Reactor Presentation (Time Permitting)*

有關討論議題(2)Fluor 公司在核設施除役之實績簡要說明如下：Fluor 公司曾參與多項 DOE 及國際除役計畫，經驗相當豐富，但多著重再除役的規劃與管理，較少第一線的技術能力，主要參與的核設施除役與清理計畫有：

- Fernald Environmental Remediation Project, U.S. DOE, Ohio, 1992-2006
- Hanford Site Management, U.S. DOE, Washington, 1996-2009
- K Basin Spent Nuclear Fuel & Sludge Removal Project, U.S. DOE, Washington, 1996-2006
- Savannah River Nuclear Site, U.S. DOE, South Carolina, 2008-present
- Portsmouth Gaseous Diffusion Plant D&D, U.S. DOE, Ohio, 2010 Award
- International Decommissioning Projects, U.K. and Russia, 2004-2008

此外 Fluor 公司亦曾負責美國 Hanford Site 的管理合約(1996-2009)，相關細節說明如下：

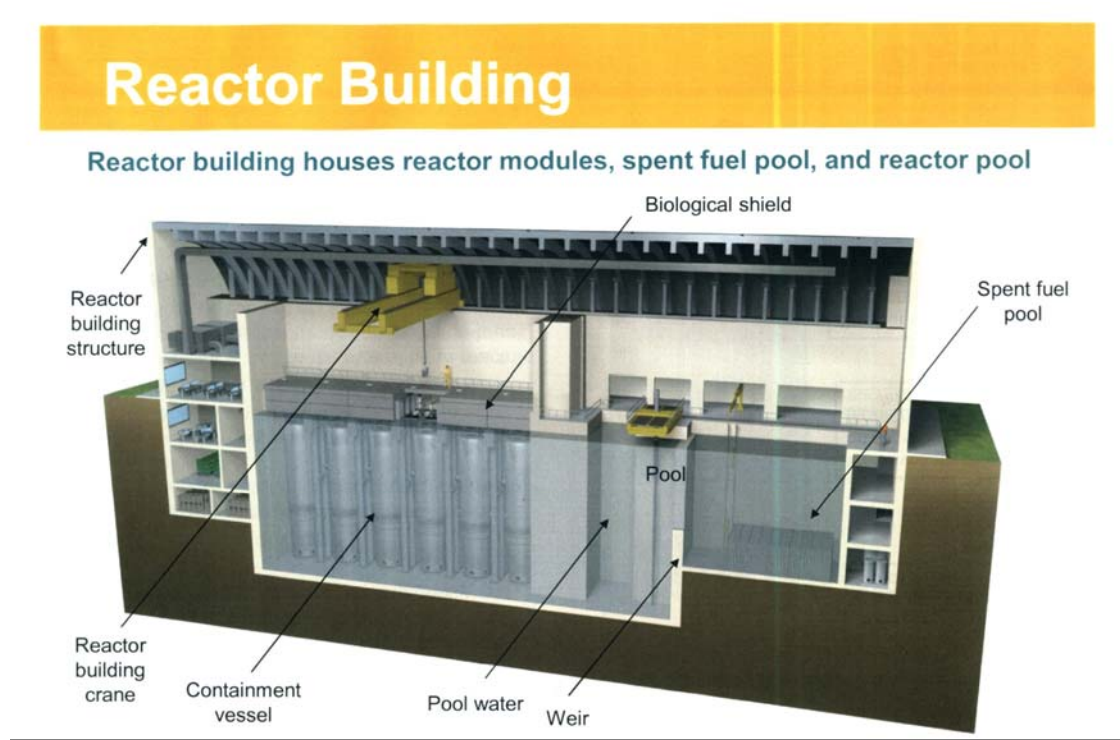
- Hanford Site 涵蓋超過 1000 座設施，包括反應器、試驗設施、實驗室及高階放射性廢棄物槽；
- 移除及處置超過 4.7 百萬噸的污染土壤；
- 204,000 m³的高階放射性廢棄物- 其中有三分之二的量屬於國家產生的廢棄物；
- Fluor 公司的員工（1996 年有 7000 人，2008 年有 4200 人）包含：
 - 安全、衛生、環境、輻射防護
 - 工程師/顧問
 - 土壤與地下水處理及處置
 - 除污、去活化、除役、拆除
 - 核子物質貯存、安定化包封、運輸
 - 高階廢棄物管理，包含液體廢棄物的貯存及處理
 - 用過核子燃料的管理、乾燥、包封、貯存



美國 Hanford Site

而由 NuScale 公司所設計的小型模組反應器(SMR)，單一模組為 45 MWe，總計可擴增至 12 座模組，總計 540 MWe，具有相對安全及彈性的優點。相關之設計與特性請參考如下的圖示：

NuScale SMR(小型模組反應器)



Reactor Module Overview

45 MWe Reactor Module

- Natural convection for cooling**
 - passively safe, driven by gravity, natural circulation of water over the fuel
 - no pumps, no need for emergency generators
- Seismically robust**
 - system submerged in a below-ground pool of water in an earthquake-resistant building
 - reactor pool attenuates ground motion and dissipates energy
- Simple and small**
 - reactor is 1/20th the size of large reactors
 - integrated reactor design, no large-break loss-of-coolant accidents
- Defense-in-depth**
 - multiple additional barriers to protect against the release of radiation to the environment

Additional callouts from the diagram:

- Steel containment *10 times stronger* than typical PWR
- Water volume-to-thermal power ratio is *four times larger* resulting in *better cooling*
- Reactor core has *only five percent* of the fuel of a large reactor



核研所與 Fluor 討論會議

3.ATL 公司

4 月 16 日上午前往 Advanced Technologies and Laboratories International, Inc. (以下簡稱 ATL) 拜訪及討論。

ATL 公司創建於 1989 年，是一家接受全世界政府或私人委託的科技與環境管理顧問公司。辦公室分佈於美國 Maryland(總部)、Washington DC、Ohio、South Carolina、Illinois、Mississippi 及 Washington State。ATL 提供環境管理與規劃、職業安全與衛生、資訊科技、訓練及公眾服務。員工擁有在核子、化學、工業、機械、電子及工程上的證照與經驗；保健與核子物理；工業衛生；毒物學；化學；生物學；生態學；水文地質學；環境科學；公共政策；經濟學；電腦科學與工程；及統計學。此外，ATL 也幫美國能源部 (DOE) 運作一間分析實驗室，進行廢棄物輻射特性調查及放射化學分析。ATL 提供政府設施、工業、建造業及實驗室的職業安全服務。公司團隊成員擁有政府及私人工業的工作經驗。其中在廢棄物管理業務上，ATL 針對美國 DOE、NRC、EPA 及其他政府與商業委託人提供廣泛的廢棄物管理議題之服務，其服務項目如下：

- 放射性及有害廢棄物管理
- 放射分析實驗室服務
- 規劃與政策分析
- 法規指引與符合

ATL 擁有協助客戶針對放射性、有害混合及公共衛生廢棄物的處理、貯存、運輸及處置進行規劃、評估及執行政策與計畫的豐富經驗。ATL 提供廢棄物處置及廢棄物減量之分析及工作人員、民眾與環境之防護的協助。



ATL 公司營業地點

核研所與 ATL 雙方討論經過情形簡述如下：

- ATL 方面除了負責人黃周洸先生及吳全富博士(廢棄物管理專家)之外，另外，找來 J. Stewart Bland 先生(合格保健物理師)及 Beverly Ausmus Ramsey 女士(環境健康專家)共同參與討論；
- 首先由 ATL 方面介紹未來在核一廠除役，可提供之技術服務，包括：計畫策略規劃、計畫管制、QA、紀錄管理、工程與技術選項、放射性廢棄物管理與效能評估、工作人員安全與輻射防護、化學管理、環境風險評估、場址特性調查、民眾溝通、人力資源、法規介面及廢棄物管理；
- J. Stewart Bland 先生提供二款可用於除役的輻射偵檢儀器，供核研所參考；
- 核研所提出未來核一廠除役的規劃及所需要的國外技術服務項目；
- 雙方共同討論未來可能之合作方式。



J. Stewart Bland 提供二款用於除役的輻射偵檢儀器



核研所與 ATL 討論會議主要人員合影

4. Exelon 公司與 Dresden 核電廠參訪(4/18-19)

(1) 與 Exelon 公司討論

4 月 18 日前往位於芝加哥的 Exelon 公司拜訪及技術研討，並於隔日 4 月 19 日在 Exelon 公司人員的安排下，前往 Dresden 核電廠參訪。

核研所與 Exelon 雙方技術討論議程安排如下所示：

Proposed Benchmark Meeting with Institute of Nuclear Energy Research (INER) Regarding Nuclear Plant Decommissioning and Dry Cask Storage

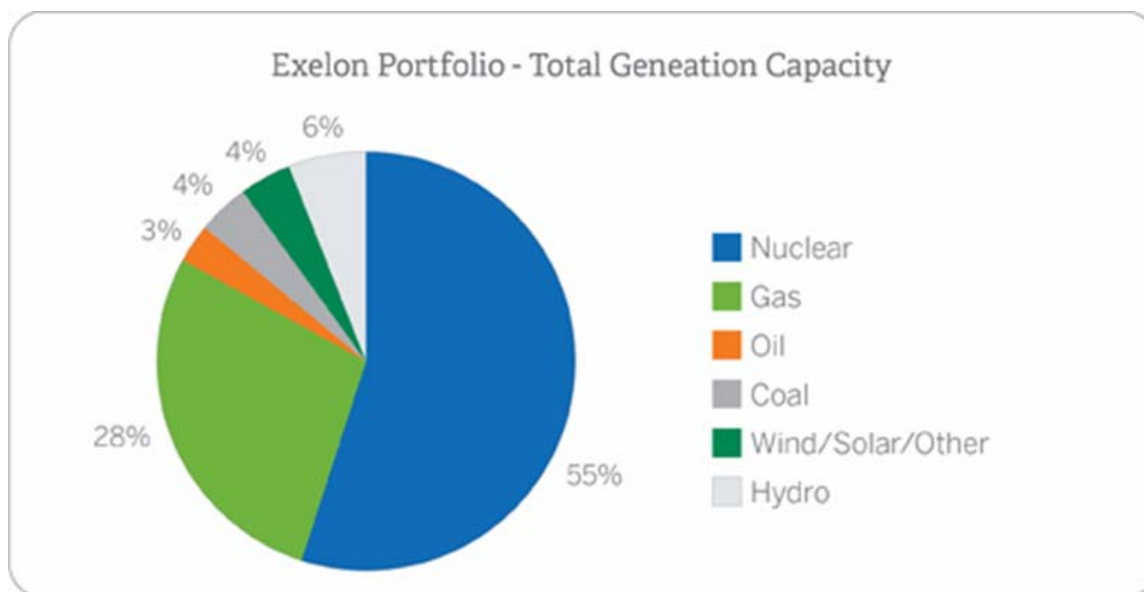
Thursday, April 18 (Cantera)

- 7:30 - 8:00 Visitors Arrive at Cantera (4300 Winfield Road, Warrenville, Illinois) Room 569
- 8:00 – 9:00 Introductions and Introduction to ENP - Brad Lanka/Dave Carlson
- 9:00 – 11:00 Spent Fuel Management and Dry Cask Storage - Kevin Donovan
- 11:00 – 11:30 Exelon Decommissioning Activities at Zion – Brad Lanka
- 11:30 – 12:30 Exelon Decommissioning Activities - Jeff Dunlap
- 1:30 – 2:00 Exelon Decommissioning Activities (Continued) - Jeff Dunlap
- 2:00 – 4:00 Exelon - INER Decommissioning Plan Next Steps – Brad Lanka/John Ryan /Dave Carlson
- 4:00 - 4:30 Questions

Friday, April 19 (Dresden)

- 7:00 Depart for Dresden
- 8:00 - 8:30 Arrive at Dresden – Dave Carlson
Visitor Badging
- 8:30 – 10:30 Tour Dresden ISFSI Yard, Unit 1 turbine building, Unit 1 sphere Mike Mason/
Ray Christensen
- 10:30 – 11:30 Questions
- 12:00 Depart Dresden

Exelon 電力公司為美國具競爭性之能源供應者，年收益約 235 億美元；擁有約 34,700 MW 之總裝置容量。其各種發電方式之佔比如圖所示，約有 55% 屬核能。



Exelon 電力公司電力產生比率

Exelon 電力公司擁有 10 座核電廠 17 部機組及 2 部已退役機組，分布於 Illinois, Pennsylvania, and New Jersey；其總裝置容量佔全美的 20%。相關電廠及機組資料如下表所示：

Name	Type	Status	Location	Reference Unit Power [MW]	Gross Electrical Capacity [MW]	First Grid Connection
THREE MILE ISLAND-1	PWR	Operational	DAUPHIN	819	880	1974-06-19
PEACH BOTTOM-3	BWR	Operational	YORK COUNTY	1138	1182	1974-09-01
PEACH BOTTOM-2	BWR	Operational	YORK COUNTY	1125	1182	1974-02-18
PEACH BOTTOM-1	HTGR	Permanent Shutdown	YORK COUNTY	40	42	1967-01-27
OYSTER CREEK	BWR	Operational	FORKED RIVER	619	652	1969-09-23
QUAD CITIES-2	BWR	Operational	CORDOVA	911	940	1972-05-23
QUAD CITIES-1	BWR	Operational	CORDOVA	908	940	1972-04-12
LIMERICK-2	BWR	Operational	LIMERICK	1134	1194	1989-09-01
LIMERICK-1	BWR	Operational	LIMERICK	1130	1194	1985-04-13
LASALLE-2	BWR	Operational	MARSEILLES	1140	1207	1984-04-20

LASALLE-1	BWR	Operational	MARSEILLES	1137	1207	1982-09-04
DRESDEN-3	BWR	Operational	MORRIS	850	890	1971-07-22
DRESDEN-2	BWR	Operational	MORRIS	883	926	1970-04-13
DRESDEN-1	BWR	Permanent Shutdown	MORRIS	197	207	1960-04-15
CLINTON-1	BWR	Operational	HART TOWNSHIP	1065	1098	1987-04-24
BYRON-2	PWR	Operational	BYRON	1136	1210	1987-02-06
BYRON-1	PWR	Operational	BYRON	1164	1242	1985-03-01
BRAIDWOOD-2	PWR	Operational	BRAIDWOOD	1152	1210	1988-05-25
BRAIDWOOD-1	PWR	Operational	BRAIDWOOD	1178	1242	1987-07-12

4 月 18 日核研所與 Exelon 公司雙方技術討論議題如下：

- Exelon 介紹其在 Zion 及其他之除役經驗；
- Exelon 介紹其乾貯計畫；
- 由核研所介紹我國乾貯計畫及核一廠除役之現況與需求；
- 雙方討論未來在核一廠除役之合作方式；
- 核研所提供核一廠除役計畫技術規範與國外廠家技術需求邀請函，Exelon 提出 NDA 範本由雙方檢視後簽署，Exelon 儘速提送 LOI 給核研所，Exelon 提出 Oyster Creek 的技術報告內容目錄表。



核研所與 Exelon 討論會議與合影

討論議題中的 Zion 核電廠原屬於 Exelon 電力公司，目前正在除役中，Zion 核電廠位於伊利諾州密西根湖西岸的 Zion 社區的東北角，在運轉 20 幾年後，於 1998 年 2 月 13 日永久停機。

Name	Type	Status	Location	Reference Unit Power [MW]	Gross Electrical Capacity [MW]	First Grid Connection
ZION-2	PWR	Permanent Shutdown	ZION	1040	1085	1973-12-26
ZION-1	PWR	Permanent Shutdown	ZION	1040	1085	1973-06-28

其反應器壓力槽（RPV）內用過核子燃料先移往燃料池，1998年3月9日業主提交燃料轉移證明；此外，將燃料池隔離在燃料廠房內成爲“核島區”。自此電廠被安置爲 SAFSTOR 狀態。

業主於 2000 年 2 月 14 日，向 NRC 提交 PSDAR、成本估計及燃料管理計畫。自此除污與拆除之準備工作開始，預計於 2019-2020 年間，執行最終輻射偵測及將執照減爲僅及 ISFSI 範圍。

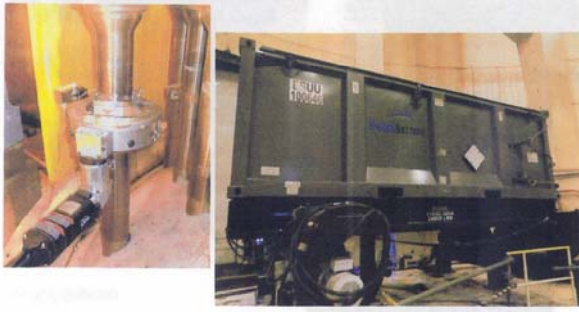
後來花了 4 年時間處理資產轉移協議(Asset Sale Agreement, ASA)，並於 2010 年 9 月 1 日完成，委由 EnergySolutions 執行。根據該協議轉移了除役基金、現職 Exelon 員工租借及電廠資產租借(Exelon 仍擁有資產)。相關除役重大里程碑如下所示：

- LTP 提交 NRC→60 個月內
- 所有用過核子燃料移往乾貯系統→66 個月內
- 大組件拆除→72 個月內
- 計畫完成→144 個月內
- 目前約執行有 2.5 年

Unit 1 Containment

Using WACHS to remove CRDM

Sea land box on rail system for shipment



Exelon

Unit 1

1A RCP Shipment



Exelon

Unit 2 Containment

Unit 2 Reactor Head
Clam Shield in place
Shipped over the road to Clive, Utah



Exelon

Unit 2 Containment CHORCE (seahorse)



Exelon

Unit 2 Containment

Volume Reduction System (VRS)
Blade moves up and down and side to side
Equipment placed in the horizontal position and cut to fit pieces into transfer casks



Exelon

Unit 2 Containment

Bolt Milling Tool (BMT)
Removes rivets from Baffle Plates
Material is Greater than Class C Waste
2 Canisters per unit to hold this waste



Exelon

Zion 核電廠除役

(2)Dresden-1 核電廠除役參訪

4 月 19 日在 Exelon 的安排下，前往參觀屬於 Exelon 的 Dresden-1 核電廠。參訪行程簡述如下：

- 由 Dresden 介紹其 Dresden Unit 1 之除役經驗及乾貯計畫；
- 由 Dresden 帶領參訪其 Dresden Unit 1 turbine building, Unit 1 sphere 之除役現場。

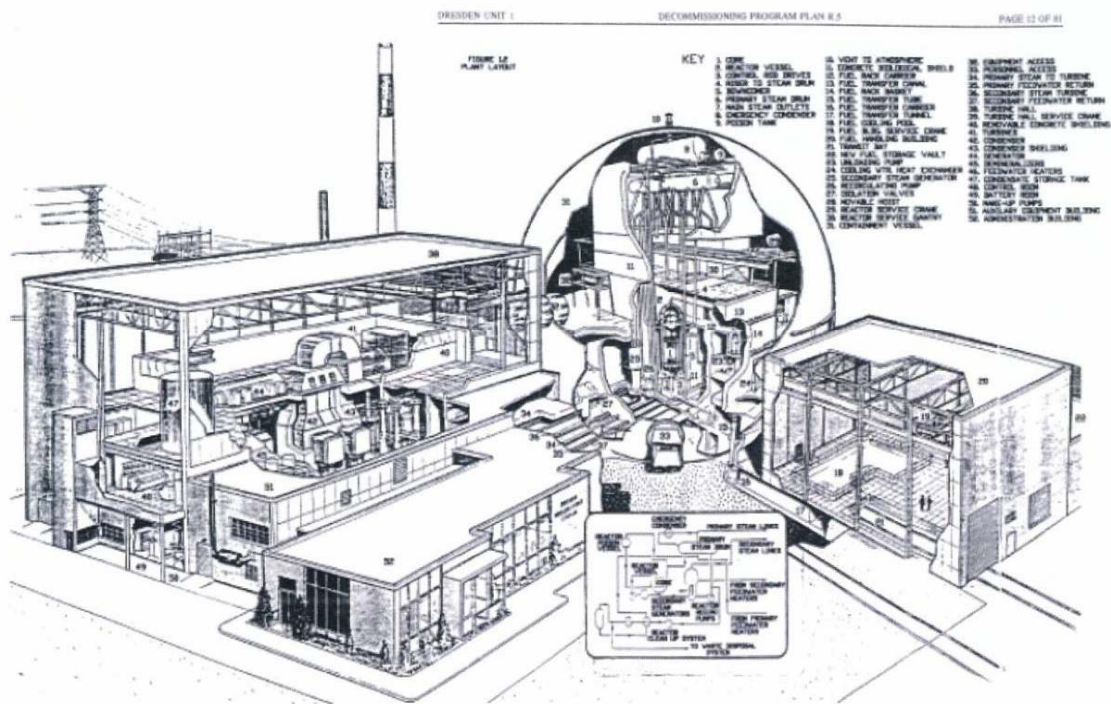
Dresden 電廠原有 3 部 BWR 機組，其中 Unit 1 屬第一代核反應器，為全球第一座商轉電廠。於 1978 年 10 月永久停機，進入 SAFSTOR 狀態，其除役計畫於 1993 年 9 月被核准。

Name	Type	Status	Location	Reference Unit Power [MW]	Gross Electrical Capacity [MW]	First Grid Connection
DRESDEN-3	BWR	Operational	MORRIS	850	890	1971-07-22
DRESDEN-2	BWR	Operational	MORRIS	883	926	1970-04-13
DRESDEN-1	BWR	Permanent Shutdown	MORRIS	197	207	1960-04-15

原先所有 Unit 1 之用過核子燃料分別存放在 Unit 1 燃料池、燃料轉換池及 Unit 2 燃料池中，目前已移至 ISFSI 場；然 Unit 1 的 108 束燃料元件與 1 根燃料棒，仍存放在 Unit 3 燃料池中。Unit 1 在 SAFSTOR 期間(至 2027 年)，將執行定期檢查與監視；包括 ISFSI 監管、環境監測及支持 SAFSTOR 所需之設備保養。

業主規劃包括存放在 Unit 3 燃料池之燃料移除的除污與拆除於 2029-2031 年期間執行，工作包括：NSSS 系統與汽機/發電機將視需要除污並拆除；其他系統與組件亦將拆除、包裝與處置；而相關建物將準備拆除。接著有 4 年的延遲進行復原，並等著 Unit 2, 3 之除污與拆除完成後，這些工作在 2035 年完成。隨著於 2035, 2036 年進行其餘建物結構拆除與污染泥土清除，完成廠址復原。業主將於 2036 年進行最終廠址偵測，並在 SNF 移往 DOE 最終處置場前，執行 ISFSI 場之定期監視與維護。

Dresden Unit 1



Dresden-1 反應器示意圖



核研所於 Dresden 核電廠討論會議

5.阿岡國家實驗室參訪

4 月 19 日下午於參訪 Dresden 核電廠之後，原計畫轉往美國阿岡國家實驗室（Argonne National Laboratory，簡稱 ANL）拜訪余家禮博士，討論 RESRAD 劑量評估程式在核設施除役的應用。但由於近日芝加哥豪雨成災，部分道路淹水封閉，故無法於 ANL 上班時間抵達，經由雙方聯繫安排於傍晚時後聚會並進行議題討論。

ANL 位於美國芝加哥外，是美國能源部最大之從事科學及工程研究的國家實驗室，有超過 1,250 位研究人員與工程師負責來解決美國在能源、環境及國家安全的最重大挑戰。依據 2012 年的資料，ANL 全年經費：\$794 million；人力部分：所有員工：3,456 人、研究人員與工程師：1250 人、博士後研究員：303 人、畢業與在學學生：650 人、參與的大學科系：157 所、設施使用人員：5,204 人；研究部分：14 個研究組(divisions)、6 項國家級科學設施、14 個中心、參與研究所及計畫辦公室、超過 200 項研究計畫、超過 600 家公司、聯邦機構及世界上數以百計的研究機構共同合作。

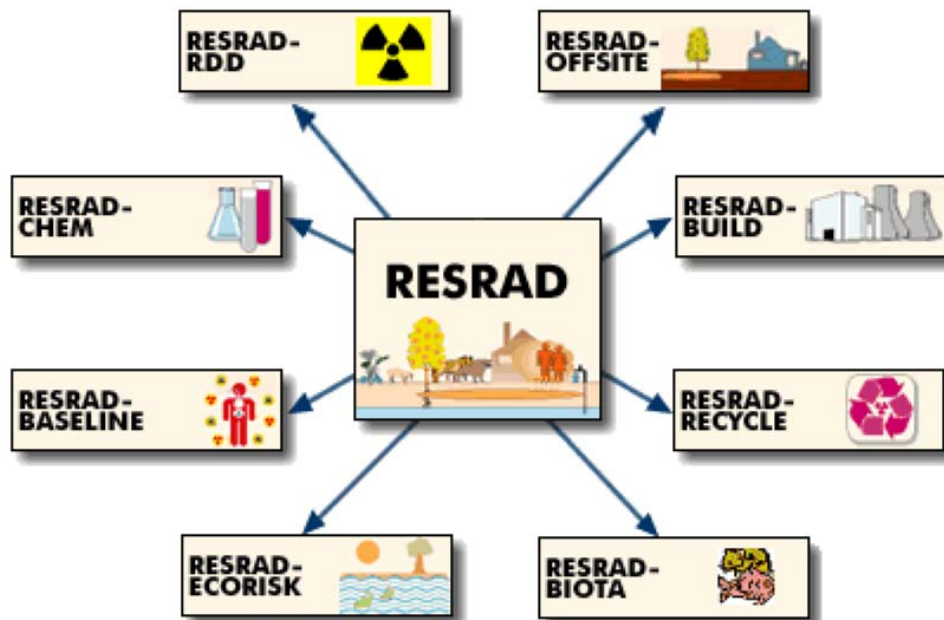


阿岡國家實驗室

此行拜訪 ANL 的主要目的，在和 ANL 的余家禮博士討論 RESRAD 程式(RESidual RADioactivity 的簡稱)在除役上的應用。RESRAD 程式最早是 1989 年美國 Argonne 國家實驗室(ANL)依據 DOE Order 5400.5(8)而發展用來協助建立殘留放射性物質指引。ANL 利用 1980 年代早期 DOE 及其他國家實驗室努力發展的模式來開發 RESRAD 電腦評估程式，目前已被使用於超過 300 個場址的風險評估。NRC 也核准使用 RESRAD 程式進行核設施的劑量評估；EPA 則使用該程式來評估清理計畫。

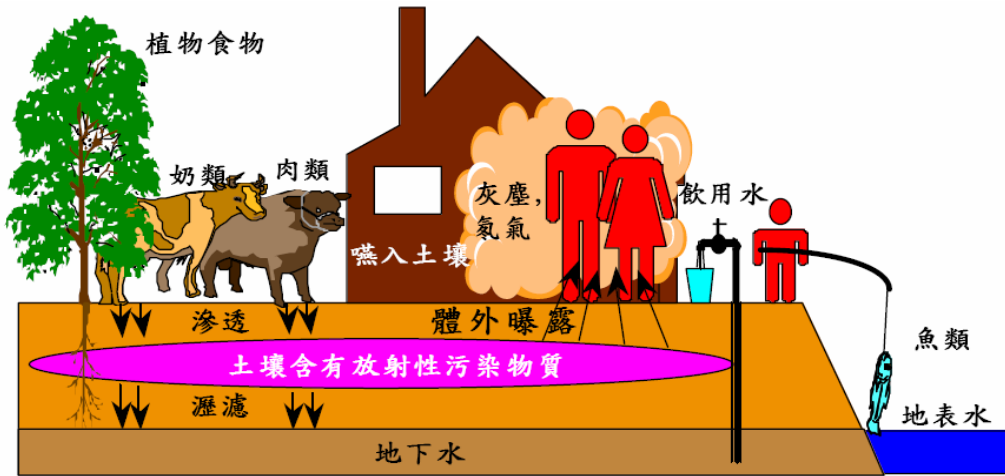
RESRAD 程式包括一個基本的劑量途徑主程式及八個特定途徑子程式：

- RESRAD-RDD
- RESRAD-Offsite
- RESRAD-Chem
- RESRAD-Build
- RESRAD-Baseline
- RESRAD-Recycle
- RESRAD-Ecorisk
- RESRAD-Biota

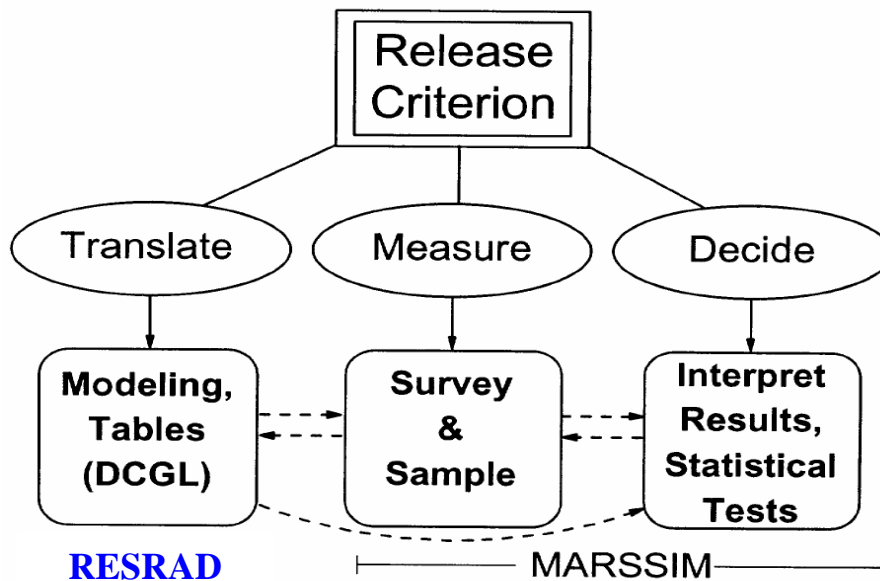


RESRAD 系列程式

RESRAD 依據場址上假設的居民及工作者所計算的劑量來決定特定場址殘留放射性物質清理指引基準，並經由曝露途徑估算關鍵人口群體的輻射劑量與致癌風險。程式中可考量九種環境曝露途徑，包括：直接輻射曝露、吸入灰塵、氬氣，與攝食植物食品、肉類、牛奶、水生食物、飲水，以及土壤。



RESRAD 可以藉由加入或刪除途徑及輸入適當的佔用因子與攝食量來模式化許多情節。其中最主要的決定在於土地與建築物除役後的未來用途，此決定將有助於定義所需要的污染清除基準(或稱：DCGL)，並有助於定義場址劑量評估重要的情節、途徑及關鍵群體。



RESRAD 在核設施除役的應用

核研所與 ANL 雙方討論過程如下：

- 首先 ANL 的余家禮博士(RESRAD 程式開發者)說明其系列 RESRAD 程式的應用。
- 核研所提問 RESRAD 相關環境參數要如何決定？余博士答覆，必須先進行靈敏度分析，找出最關鍵的環境參數，再進行場址的環境參數調查研究，並不一定所有的參數都要自己做，也可參考國際上(例如 IAEA)已發表之類似特性的環境參數，其餘較不靈敏的環境參數則可以選擇程式的內建值。
- 此外，余博士提到 ANL 每年會辦理除役相關的訓練課程，雙方討論未來邀請余博士及相關人員返台進行 RESRAD 與 MARSSIM 的教學訓練事宜，余博士稱在時間許可之下願意配合辦理。
- 最後，余博士開車帶領核研所一群參訪人員繞行 ANL，並做地理環境介紹，並在院區合影留念，結束參訪。



核研所與 ANL 人員討論及合影

6.SciTek 公司及 SONGS 核電廠參訪

4 月 21 日轉往位於洛杉磯的 SciTek 公司拜訪及技術研討，並於隔日 4 月 22 日在 SciTek 公司人員的安排下，前往 SONGS 核電廠參訪。核研所與 SciTek 雙方技術討論及核電廠參訪議程安排如下所示：

SciTek 公司討論及 SONGS 核電廠參訪議程

4/21/2013 (Sun.)

Time	Activities	
01:00	-Meeting at Hotel/INER, Jorge, Tim, Gary	
02:00	-SciTek/Introduction of SciTek/Gary, Jorge, Tim	
03:00	-INER/Introduction of INER	
04:00	-Presentation/Tim	
	-Discussion/INER & SciTek working together	

4/22/2013 (Mon.)

Time	Activities	
08:00	-Check-out hotel/INER, Gary -Leaving for SONGS	
09:00	-Arrive @ SONGS -Badging	
09:30	-SciTek Presentation/INER, Jorge, Gary, Steve, etc.	
10:00		
11:00		
01:00	-Site tour	
02:00	-Continue Discussion if any -Q&A	
03:00	-Leaving SONGS	

(1) SciTek 公司討論

SciTek 公司前身爲 1998 年成立的“Science Technology International”，爲一第三者 AE 提供核安全第一級相關設備、產品與工程設計服務；其中以地震結構分析、土壤結構互制(SSD)與設備地震品質分類等爲主。2005 年，爲因應工程界之變化，於紐澤西州改組成立“SciTek International, Inc.”。

SciTek 公司是由一群自美國核電廠、AE 公司退休之計畫主持人或工程師所組成，其近期最主要之參與計畫為自 2000 年開始的 SONGS-1 除役計畫。其主要成員如下：

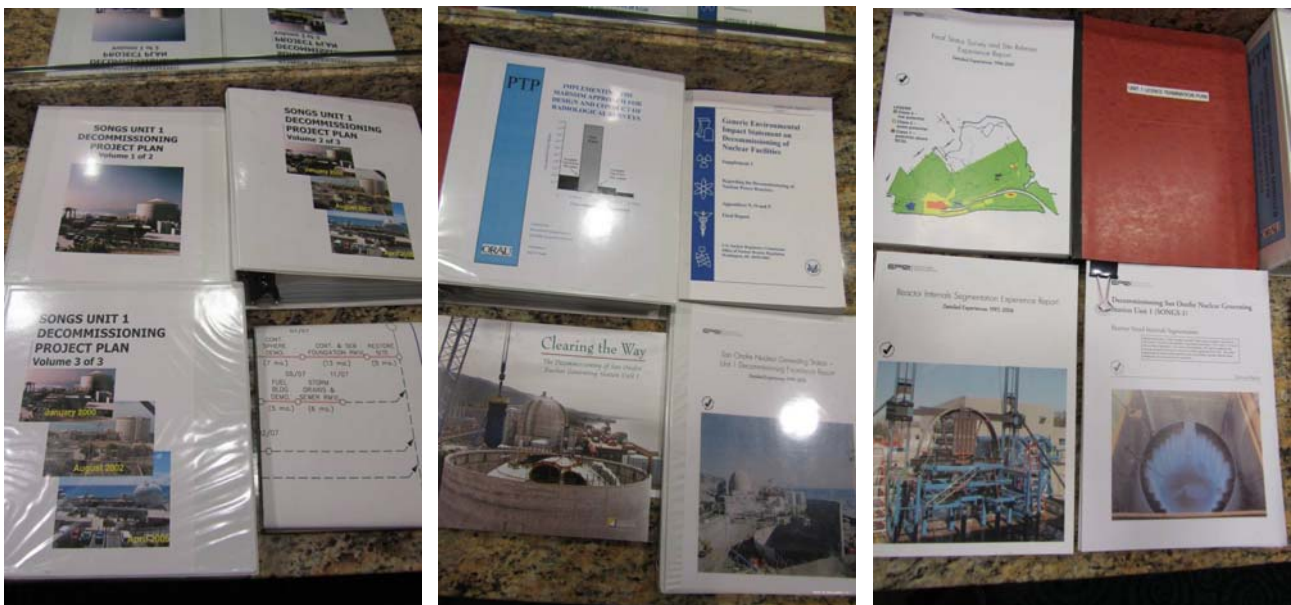
職稱	姓名	參與計畫	備註
President	Luh, Gary G. 陸國飛	<u>Hope Creek-1 and Salem-1&2 - PSEG 主任工程師</u> <u>核電廠延役, 核廢料乾式貯存, SG 更換</u> <u>Spent Fuel Pool Upgrade, Fukushima Seismic and Flood Walkdown, EPRI GIP, etc.</u>	Principal Nuclear Engineer and Program Mgr. for programs: Seismic II/I, Equipment Seismic Qualification, Nuclear Coating, DCP' s - Digital FW, Rx Head Replacement, NRC GL 87-02 A-46, etc.
Principal & Sr. Consultant	Lu, Tim 盧實	<u>SONGS-1 除役 - Sr. Engineering Consultant</u> <u>SONGS-2&3 SG Replacement - Sr. Engineering Consultant</u> <u>Engineering Oversight and Field Support to Operations</u>	Regulatory Compliance, DSAR Maintenance, Containment Opening Eval., Large Component Rigging & Removal, Engineering Tech. Spec. and Cost Estimate, etc.
Principal & Sr. Consultant	Jorge A. Morales	<u>SONGS-1 除役 - 除役計畫</u> <u>Director in Charge</u> <u>Southern California Edison - Director for all large capital projects</u>	Development, Licensing, Planning, Cost estimate, implementation, etc.
Health Physics Consultant	Michael J. Russell	<u>SONGS-1 除役 - 除役計畫</u> <u>(DP) Author & HP Consultant</u> <u>EPRI - Alpha Particle Monitoring Guideline</u> <u>Committee</u> <u>NEI - Radiation Protection Task Force</u> <u>Millstone and Connecticut Yankee - Health Physics Standard Development Project</u>	Specialist in Alpha Particle Emission, Monitoring and Exposure Controlling, etc.
Health Physics Consultant	Eric Goldin	<u>SONGS-1 除役 - 除役計畫</u> <u>Project Director</u> <u>NEI - Decommission & Licensing Termination Standard. Task Force</u>	Decommission Radiation Safety Program, Regulatory and Tech support, etc.
Health Physics Consultant	Steven F. Enright	<u>SONGS-1 除役 - Site HP Mgr.</u> <u>Site Characterization, MARSSIM, LLRW, etc.</u>	Demolition & LLRW Cost Comparison, Site Remediation Plan, LLRW Management, Packaging, Shipping, etc.
Project Manager	John Bock	<u>SONGS-1 除役 - Mgr. of Decommission Project-Schedule</u> <u>Project Management Work Control</u>	Project Schedule and Work Control, WSB, Project Oversight, etc.
Project Manager	Kristi DeBoi	<u>SONGS-1 除役 - Project Engineer-ISFSI/DCS</u>	Planning, scheduling and installation of ISFSI and Dry Cask Storage Facility, etc.

4月21日核研所與 SciTek 公司雙方討論議題如下：

- 由 SciTek 說明其在 SONGS-1 之除役經驗及成員之專長與除役負責項目，並展示其過去在 SONGS-1 之除役技術報告與照片；
- 由本所介紹核一廠除役之現況與需求；
- 雙方討論未來在核一廠除役之合作方式；
- 請 SciTek 儘速提供 LOI，惟內需檢附過去之核電廠除役經驗，請 SciTek 提供 SONGS-1 除役之技術報告清單及其內容目錄；請 SciTek 提供初步報價，請 SciTek 提供團隊成員名冊及其學經歷。



與 SciTek 團隊成員開會(Marriott Hotel)



SciTek 團隊過去在 SONGS-1 除役之相關技術報告

(2)SONGS-1 核電廠除役參訪

4 月 22 日在 SciTek 公司人員的安排下，前往 SONGS 核電廠參訪，參訪議程安排如下所示：

- SciTek 簡報其在 SONGS-1 之廠址特性評估；
- SciTek 帶領參觀 SONGS-1 除役現場；
- 核研所提出電廠除役相關技術問題，雙方並討論未來可能的合作模式。



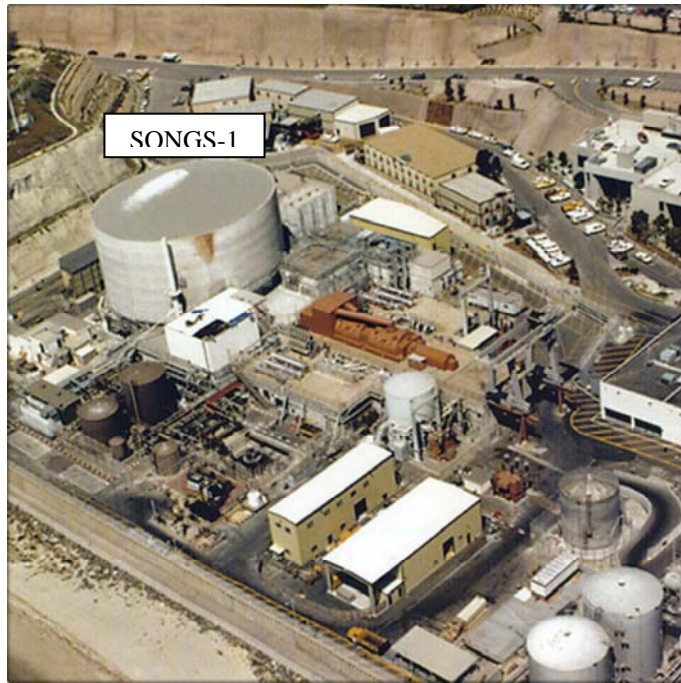
與 SciTek 成員在 SONGS 核電廠開會

San Onofre (SONGS) 核電廠屬南加州愛迪生電力公司(SCE)所有；位於洛杉磯南方約 100 公里處，有三部 PWR 機組；Unit 1 於 1968 年商轉，1992 年 11 月永久停機，而 Unit 2, 3 則預計運轉至 2022 年。1994 年 11 月 3 日，SCE 提交 DP 準備將 Unit 1 進行 SAFSTOR。

1998 年 12 月 15 日，NRC 更新除役法規，SCE 提出 Unit 1 的 PSDAR (停機後除役活動報告書)，自 2000 年起積極執行 DECON。

目前 Unit 1 之拆除已完成，其汽機廠房之結構移除至地下 8 呎，RPV 內部組件已切割並將其以 GTCC 裝載至 2 組乾貯系統內。RPV 則內填充低密度水泥漿，並以鋼製容器包裝，但由於尺寸與重量過大，目前在電廠運轉執照有效前，只能暫貯於廠內。SNF 則以 TN 的 NUHOMS 模組，貯存在廠內。Unit 1 的拆除前、中、後對照如下圖所示。

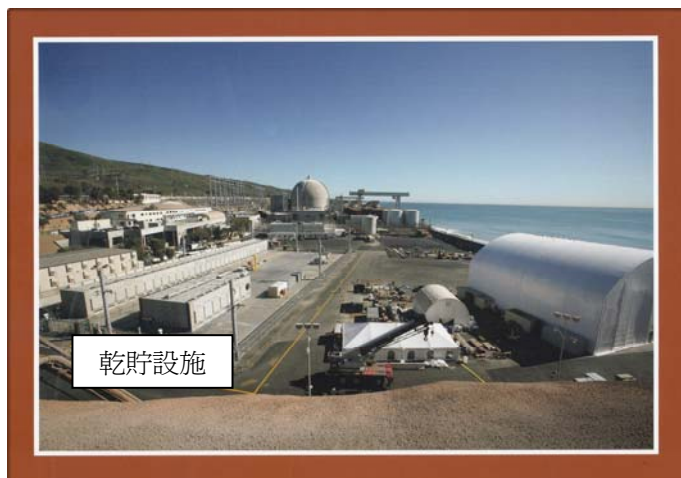
Name	Type	Status	Location	Reference Unit Power [MW]	Gross Electrical Capacity [MW]	First Grid Connection
SAN ONOFRE-1	PWR	Permanent Shutdown	SAN CLEMENTE	436	456	1967-07-16
SAN ONOFRE-2	PWR	Operational	SAN CLEMENTE	1070	1127	1982-09-20
SAN ONOFRE-3	PWR	Operational	SAN CLEMENTE	1080	1127	1983-09-25



SONGS-1 核電廠除役前



SONGS-1 核電廠除役中



SONGS-1 核電廠除役後

三、心得

此次代表核能研究所赴美國公差，除拜訪美國核管會及與除役相關工程顧問公司進行討論之外，並實地參訪美國除役核電廠，有幾點公差心得敘述如下：

(一)拜訪美國核管會以及和 Fluor、ATL、Exelon、SciTec 等工程顧問公司討論核電廠除役相關規範及蒐集核電廠除役相關資料，有助於提昇本所對核設施除役的技術與尋求國外合作的機會。此外，實地參訪美國除役中的 Dresden 與 SONGS 核電廠以及美國 ANL 國家實驗室，討論核設施除役的實務經驗及輻射特性調查的技術，有助於未來研究計畫的推展。

(二)除了核設施除役討論議題的資訊交換之外，相關單位亦表達參與未來本所用過燃料、廢棄物處理及核一廠除役的興趣，分述如下：

- 1.Exelon 及 SciTek 表達有意願參與核研所，執行核一廠除役規劃案，將提供 LOI。
- 2.ATL 亦表達有意願配合核研所參與核一廠除役計畫。
- 3.Fluor 與本所討論後，列出本所未來核設施除役技術需求優先順序，其中 TRU 廢樹脂處理建議及污染泥土處理，希望本所能與 Fluor 簽訂合約，由 Fluor 協助提出建議。
- 4.ANL 余家禮博士則了解國內需求，將配合來台進行 RESRAD 系列程式之訓練課程；並表示亦可協助 MARSSIM 訓練。

(三)此次訪美公差，觀察到美國之現有核電廠除役團隊有：

美國具除役經驗之團隊	參與除役電廠			除役經驗/人力/狀態
EnergySolutions	Zion 1 and 2	PWR 3,250MWt	DECON	除役規劃(Cost estimation) 除役計畫管理 目前進行拆除 Zion 電廠
SciTek	San Onofre 1	PWR 1,347 MWt	DECON	除役規劃 除役計畫管理 於 2000-2007 完成 SONGS-1 除役
	Rancho Seco	PWR 2,772 MWt	ISFSI Only	
	San Onofre 3	PWR 2,772 MWt	Operation	
Exelon	Oyster Creek	BWR 1,930 MWt	Operation	除役規劃文件
	Dresden 1	BWR 700 MWt	SAFESTOR	

整個參訪行程之後，將各個團隊依其特性與屬性及除役經驗進行分析，分析結果彙整如下表：

團隊名稱	除役經驗
EnergySolutions	◆ 有 Zion-1,2 正除役中
SciTek	◆ 近 5 年內團隊成員有 SONGS-1 除役經驗，擁有完整除役技術報告
	◆ SONGS-3 有可能因為 SG 問題提前除役，將會由其成員參與
	◆ 所要求經費較有彈性

Exelon	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 總部有除役組織，負責管理 Zion-1,2 除役 ◆ 有曾協助 Dresden-1 SAFSTOR 規劃與執行之成員 ◆ 轄下之 Oyster Creek (BWR-3, MARK-1)電廠曾進行除役規劃，並完成 DP,未來可能提前除役
--------	--

(四)依據美國除役法規的規定，一般核電廠除役除了少數選擇立即拆除（DECON）之外，大部分均選擇先行安全貯存（SAFESTOR）一段時間，SAFESTOR 的優點是可以大幅降低除役的輻射劑量，減少低放廢棄物的產生量，以及降低對環境與工作人員的輻射安全影響，有利 D&D 及廢棄物貯存與處置的規劃與執行，但其缺點是 SAFESTOR 期間的設施及安全維護會增加除役的人力與經費。而我國的法規規定，核反應器永久停機之後，必須於 25 年內除役完畢，亦即我國只允許 DECON 的除役方式，此點與美國有很大的差異。

(五)依據我國除役法規的規定，在核反應器永久停止運轉之前 3 年，必須向主管機關陳報詳細的除役計畫書。但此時電廠仍在運轉，無法進行詳細的整廠輻射特性調查，對於污染與活化情況、輻射劑量評估及廢棄物的盤點僅能概略粗估，且有可能與反應器真正停機時的現況有很大的落差，後續除役計畫書有可能必須經過不斷的補充修正的程序。而現行美國除役法規只規定，在反應器停機之後的 2 年內只需向主管機關陳報簡要的 PSDAR（停機後除役活動報告書），內容只有除役單位對於未來除役活動的說明與承諾，主管機關並不作實質審查，90 天之後除役單位即可開始進行除役活動，並在完成除之前 2 年向主管機關陳報 LTP（執照終止計畫），由除役規劃到完成除役年限為 60 年。由此觀之，我國與美國主管機關對於核電廠的除役專注的重點有所不同。

四、建議事項

此次代表核能研究所赴美國公差，除拜訪美國核管會及與除役相關工程顧問公司進行討論之外，並實地參訪美國除役核電廠，有幾點建議敘述如下：

- (一)經由對各個除役團隊的除役經驗得知，各個團隊參與核電廠除役的專門領域各有不同，除役的經驗也不相同，有的參與規劃，有的具有現場的工作經驗。因此建議，未來如何選擇合作團隊，可視任務及資格的要求，分別做不同的應用。
- (二)此行觀察到美國部份核電廠可能因經濟因素，而決定提前除役的可能性提高(例如：Oyster Creek 及 SONGS-3)，美國對於 D&D 的需求可能會增加，將使得有經驗的除役團隊及人力成爲稀有資源，建議應該持續與美國除役團隊保持聯繫，關注未來是否仍有餘力協助我國進行核電廠的除役。
- (三)我國核一廠二座反應器將分別於民國 107 年及 108 年永久停止運轉，依據規定必須於停止運轉前 3 年提出除役計畫。有鑑於我國法規的規定必須於 25 年內立即拆除，且可能缺乏相關的處置設施，因此建議除了 D&D 的技術之外，相關的廢棄物貯存及用過燃料的處置技術，亦必須預作規劃。
- (四)美國法規允許進行安全貯存 (SAFESTOR) 的除役方式，可大幅降低除役的輻射劑量，減少低放廢棄物的產生量，以及降低對環境與工作人員的輻射安全影響，有利 D&D 及廢棄物貯存與處置的規劃與執行，而我國的法規只允許立即拆除 (DECON) 的除役方式。建議在國情允許及無適當的放射性廢棄物處置設施的情況下，可以考慮參考美國的作法，於法規增訂可以選擇 SAFESTOR 的除役方式及延長除役年限。
- (五)我國法規規定必須在核反應器永久停機之前 3 年，陳報詳細的除役計畫書，但此時電廠仍在運轉，無法進行詳細的整廠輻射特性調查，對於污染與活化情況、輻射劑量評估及廢棄物的盤點可能與反應器真正停機時的現況有很大的落差。建議可參考美國除役法規的規定，在電廠除役之前只需向主管機關陳報簡要的除役規劃書 (類似美國的 PSDAR)，並在除役後的一段時間內 (例如：2 或 3 年)，陳報較爲詳細除役計畫書，較能符合除役的現況。