

出國報告（出國類別：其他）

參加OECD核能署舉辦之第十五屆 核設施除役工作團隊(WPDD)會議

服務機關：行政院原子能委員會
放射性物料管理局

姓名職稱：邵耀祖副局長

派赴國家：俄羅斯

出國期間：103年10月13日至10月18日

報告日期：103年12月19日

摘要

國際間為促進經濟合作發展, 1961 年在法國巴黎成立經濟合作暨發展組織 (Organization for Economic Co-operation and Development, 簡稱 OECD)。由於經濟發展涉及能源議題, 其中核能的應用亦為能源的一環, 因此 OECD 將 1958 年在巴黎成立的歐洲核能署(European Nuclear Energy Agency, ENEA)納入其組織, 並於 1972 年日本加入該組織後, 改名為核能署 NEA。NEA 的主要任務為提供各會員國在核能和平應用有關安全、經濟與環保等議題之技術與經驗交流合作, 其下設有核能指導委員會(Steering Committee for Nuclear Energy), 為最高決策單位, 由各會員國代表組成, 並依工作性質設立核設施安全、核能管制、放射性廢棄物管理等七個專業委員會。

NEA為促進各會員國在核設施除役與放射性廢棄物管理之國際合作, 於1975年設立放射性廢棄物管理委員會 (Radioactive Waste Management Committee, 簡稱RWMC)。另為探討核設施除役與拆除有關之政策、策略、法規、財務、除役技術、土地復育及除役廢棄物管理等議題, RWMC於2001年設立核設施除役與拆除工作小組(Working Party on Decommissioning and Dismantling, 簡稱WPDD), 目前參與之國家有美、英、法等19國, 以及國際原子能總署(IAEA)與歐盟執委會(EC)二個國際組織, 羅馬尼亞則以觀察員身分參加。WPDD每年召開一次會議, 會議地點除在NEA巴黎總部外, 原則上每隔二年由各會員國輪流舉辦。

有關核設施除役資訊及技術之國際交流, 除了WPDD以外, NEA於1985年即成立核設施除役合作計畫(Co-operative Programme for the Exchange of Scientific and Technical Information Concerning Nuclear Installation Decommissioning Projects, 簡稱CPD), 提供各國在推動執行核設施除役計畫有關之研究發展、執行及經驗回饋等資訊交流平台。我國核能研究所於2004年1月以台灣研究用核反應器(TRR)之除役計畫, 以中華台北名義加入; 台電公司歷經多年的努力爭取, 於2014年7月獲所有CPD會員國同意, 並於同年8月27日以核一廠之除役計畫成為CPD之會員。

我國核能一廠自1978年12月運轉迄今已邁入36年, 依現行核子反應器設施管制法之規定, 台電公司應於明(2015)年12月提出除役計畫, 向原能會申請核發除役許可。為擴大核設施除役之國際技術與經驗交流, 原能會乃積極爭取參與NEA/WPDD會議。經多方努力, 於今年6月獲NEA同意邀請我方派員出席10月14日至16日於俄羅斯莫斯科舉行之第十五屆會議, 並於會中簡報我國核設施除役現況與規劃。我方代表團為原能會物管局邵耀祖副局長、核研所鄭世中副主任及台電公司核後端處邱顯郎副處長。這是我方第一次在NEA較高層級的會議中, 報告台灣核設施除役規劃, 除可與WPDD各會員國進行除役技術交流, 提昇我國核設施除役作業之安全與效率外, 並為我國未來成為WPDD會員或觀察員邁進重要的一步。

目 次

摘要.....	i
壹、目的	1
貳、過程	3
參、心得.....	9
肆、建議事項.....	36
附錄、我國核能電廠除役概況	40

壹、目的

國際間為促進經濟合作發展議題，於 1961 年在法國巴黎成立經濟合作暨發展組織(Organization for Economic Co-operation and Development, 簡稱 OECD)。由於經濟發展涉及很多能源議題，其中核能的應用亦屬能源的一環，因此 OECD 將 1958 年在巴黎成立的歐洲核能署(European Nuclear Energy Agency, ENEA)納入其組織，並於 1972 年日本加入該組織後，改名為核能署 NEA。截至 2014 年 10 月，NEA 共有 31 個會員國，主要來自歐洲、北美洲及亞太地區。這 31 個國家的核電裝置約佔全球 90%以上，平均約提供 2 成左右的電力供應。

NEA 的主要任務為提供各會員國在核能和平應用有關之安全、經濟與環保等議題之技術與經驗交流合作，現有職員 82 員，其中除少數專職人力外，大部由各會員國派員支援，2013 年的預算約 1, 110 萬歐元，由各會員國認捐而來。NEA 設有核能指導委員會(Steering Committee for Nuclear Energy)，為最高決策單位，由各會員國代表組成，並依工作性質設立核設施安全、核能管制、放射性廢棄物管理、輻射防護與公眾健康、核子科學、核能發展與燃料循環技術及經濟研究、核能法規等七個專業委員會。

NEA為促進各會員國在核設施除役與放射性廢棄物管理之國際合作，於1975年設立放射性廢棄物管理委員會 (Radioactive Waste Management Committee, 簡稱 RWMC)。另為探討核設施除役與拆除有關之政策、策略、法規、財務、除役技術、土地復育及除役廢棄物管理等議題，RWMC於2001年設立核設施除役與拆除工作小組(Working Party on Decommissioning and Dismantling, 簡稱WPDD)，目前參與之國家有美、英、法等19國，以及國際原子能總署(IAEA)與歐盟執委會(EC)二個國際組織，羅馬尼亞以觀察員身分參加。WPDD每年召開一次會議，會議地點除在NEA巴黎總部外，原則上每隔二年由會員國輪流舉辦。WPDD下設有三個任務小組，分別為除役成本估算任務小組 (NEA/RWMC/WPDD/DCEG)、輻射特性與除役任務小組 (NEA/RWMC/WPDD/TG-RCD)、除役研發與創新需求任務小組 (NEA/RWMC/WPDD/DECOM-R&D)。

NEA在促進核設施除役資訊及技術之國際交流方面，除了WPDD以外，早於1985年即成立核設施除役合作計畫(Co-operative Programme for the Exchange of Scientific and Technical Information Concerning Nuclear Installation Decommissioning Projects, 簡稱CPD)，提供各國在推動執行核設施除役計畫有關之研究發展、執行及經驗回饋等資訊交流平台。我國核能研究所於2004年1月以台灣研究用核反應器(TRR)之除役計畫，以中華台北名義加入；台電公司歷經多年的努力爭取，於2014年7月獲所有CPD會員國同意，並於8月27日以核一廠之除役計畫成為CPD之會員。

國內核能一廠一號機自 1978 年 12 月運轉迄今已邁入 36 年，依據我國現行核子反應器設施管制法之規定，核能電廠運轉期限屆滿前三年，應依規定提出除役計畫，向原能會申請核發除役許可；運轉期限屆滿時，若未獲准延長運轉執照期限，核子反應器設施經營者即須依核准之除役計畫執行。為擴大與國際核設施除役技術與經驗之交流，提昇國內除役作業之安全及效率，我國乃積極爭取參加 WPDD/NEA 會議。經多方努力，於今年 6 月獲 NEA 來函邀請我方派員出席 10 月 14 日至 16 日於俄羅斯莫斯科舉行之第十五屆會議，並於會中簡報我國核設施除役現況與規劃。我方代表團為原能會物管局邵耀祖副局長、核研所鄭世中副主任及台電公司核後端處邱顯郎副處長參加。這是我方第一次在 NEA 較高層級會議中正式報告台灣核設施除役規劃，除可與 WPDD 各會員國進行除役技術交流，提昇我國核設施除役作業之安全與效率外，並為我國未來成為 WPDD 會員或觀察員邁進重要的一步。

貳、過程

一、行程概要

日期	地點與行程	工作內容
10月13日(一)	台北-香港-莫斯科	去程
10月14日(二)	莫斯科	參加OECD/NEA舉辦之第十五屆核設施除役工作團隊會議 WPDD-15
10月15日(三)	莫斯科	參加OECD/NEA舉辦之第十五屆核設施除役工作團隊會議 WPDD-15
10月16日(四)	莫斯科	參訪俄羅斯國家研究中心庫爾恰托夫研究院
10月17日(五)	莫斯科-香港	返程轉機
10月18日(六)	香港-台北	返程

二、第 15 屆 WPDD 會議議程

表一：第 15 屆 WPDD 會議議程表

14 OCTOBER 2014 (DAY 1)		
09:00	1.	OPENING THE MEETING <i>Juan-Luis Santiago, Spain, WPDD Chair</i> <i>Evgeny KOMAROV, Russia, Decommissioning Department, Rosatom</i>
09:15	2.	REVIEW AND ADOPTION OF AGENDA <i>Juan-Luis Santiago</i>
09:20	3.	REVIEW AND APPROVAL OF SUMMARY RECORD OF WPDD-14 (2013) <i>Juan-Luis Santiago</i>
	4.	INTERNATIONAL DEVELOPMENTS
09:25	4.a	IAEA – Decommissioning-related activities over the past year <i>Vladimir Michal, IAEA</i>
	5.	DEVELOPMENTS WITHIN THE NEA
09:40	5.a	RWMC <i>Vladimir LEBEDEV on behalf of Michael Siemann, Head of RP & RWM Division, NEA</i>
10:00	5.b	CPD <i>Ivo Tripputi, Italy, CPD MB Chair</i>
	6.	PROGRAMME OF WORK OF THE WPDD
10:15	6.a	Decommissioning Cost Estimation Group (DCEG) <i>by Simon Carroll, Sweden, DCEG Chair</i> <ul style="list-style-type: none"> • <i>The DCEG-7 Meeting and Current Status of Work</i> • <i>Introduction of and discussion on the project on uncertainties in decommissioning cost estimation</i> • <i>Extension of the mandate</i>
10:45		Break
11:05	6.b	Nuclear Site Restoration <i>Peter Orr, UK, TG NSR Chair</i> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Current Status of Work</i> • <i>Discussion</i>

11:25	6.c	<p>Task Group on Radiological Characterisation and Decommissioning <i>Arne Larsson, Sweden, TG RCD Chair</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Proposal of work programme</i> • <i>Discussion</i>
11:55		Lunch
13:30	6.d	<p>R&D needed for D&D the path forward <i>Gérard Laurent, France, EDF</i></p>
	7.	PREPARATION FOR DECOMMISSIONING
13:50	7.a	<p>Invited Presentation: Preparation for Decommissioning of NPPs in Chinese Taipei <i>Yao-Tsu Shao, Chinese Taipei, Atomic Energy Council</i></p>
14:05	7.b	<p>Proposal for establishing the Task Group on Preparation for Decommissioning during Operation and after Final Shutdown <i>Gérard Laurent, France, EDF</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Plan of work, Mandate</i>
14:15	7.c	Discussion on preparation for decommissioning
<p>Topical Session on ‘OPTIMISING MANAGEMENT OF LOW ACTIVITY RADIOACTIVE WASTE AND MATERIALS FROM DECOMMISSIONING’</p>		
<p><i>Session Chair: Frédéric LEGEE, France, ANDRA</i> <i>Rapporteur: Fredrik De la Gardie, Sweden, SKB</i></p>		
14:30	TS1.	<p>INTRODUCTION TO THE TOPICAL SESSION <i>Session Chair: Fredrik De la Gardie, Sweden, SKB</i></p> <p><i>Key issues: clearance, recycling, reuse, decontamination, volume reduction, waste classification and disposal, legal and regulatory challenges, lack of disposal routes, societal aspects</i></p>
14:45	TS2.	<p>IMPORTANCE OF AND CHALLENGES TO OPTIMISATION <i>Ivo Tripputi, Italy, Sogin</i></p>
15:05		Break
15:30	TS3.	<p>OPTIMISATION IN SWEDEN <i>Fredrik De la Gardie, Sweden, SKB</i></p>
15:50	TS4.	<p>OPTIMISATION IN FRANCE <i>Frédéric LEGEE, France, ANDRA</i></p>

16:10	TS5.	OPTIMISATION IN SPAIN <i>Juan-Luis Santiago, Spain, Enresa</i>
16:30	TS6.	ROUND TABLE DISCUSSIONS FOLLOWED BY PLENARY DISCUSSION <i>Led by Session Chair</i>
17:20	TS7.	CONCLUDING REMARKS <i>Session Chair</i>
17:40	TS8.	DISCUSSION ON WAY FORWARD
18:00		CLOSURE OF THE TOPICAL SESSION

15 OCTOBER 2014 (DAY 2)		
Special Session on		
‘DECOMMISSIONING SCENE IN THE RUSSIAN FEDERATION’		
<i>Session Chairs: Vladimir Zimin, Russian Federation, JSC "VNIIAES" and Gérard Laurent, France, EDF</i>		
<i>Rapporteur: Ivo Tripputi, Italy, Sogin</i>		
09:00	TS1.	INTRODUCTION TO THE TOPICAL SESSION DECOMMISSIONING ACTIVITY OF THE STATE CORPORATION "ROSATOM" <i>E.P. EMETS, Rosatom</i>
09:30	TS2.	IMPROVEMENT OF THE RUSSIAN LEGAL FRAMEWORK IN THE AREA OF NUCLEAR FACILITIES DECOMMISSIONING <i>V.V. Bochkarev, FBU "SEC NRS" (Rostekhnadzor)</i>
09:10	TS3.	UPDATE ON FINANCIAL AND ECONOMIC ISSUES OF DECOMMISSIONING FACILITIES IN THE RUSSIAN FEDERATION <i>T.B. Berezovskaya, Rosatom</i>
09:50	TS4.	PREPARING FOR DECOMMISSIONING OF NPP <i>S.A. Nemytov, JSC "Concern Rosenergoatom"</i>
10:10	TS5.	DECOMMISSIONING OF NOVOVORONEZH UNITS 1 AND 2 <i>A.P. Shchukin, JSC "Concern Rosenergoatom"</i>
10:30	TS6.	DECOMMISSIONING OF NUCLEAR FACILITIES OF FUEL COMPANY "TVEL" <i>K.S. Dubovtseva, JSC "TVEL"</i>
10:50		Break

11:10	TS7.	DECOMMISSIONING TECHNOLOGY FOR URANIUM-GRAPHITE REACTORS <i>A.O. Pavlyuk, JSC "Pilot Demonstrational Center Uran-Graphite Reactors"</i>
11:30	TS8.	DECOMMISSIONING OF MINING CHEMICAL COMBINE (KRASNOYARSK) SITES <i>D.V. Zhirnikov, FSUE "Mining Chemical Combine"</i>
11:50	TS9.	CONTAMINATED TERRITORIES REHABILITATION IN THE RUSSIAN FEDERATION <i>Sergey Floria, pocatom</i>
12:10	TS10.	FACILITIES FOR RADIOACTIVE WASTE GENERATED DURING DECOMMISSIONING IN RUSSIAN FEDERATION <i>D.A. KUCHEROV, FUSE RosROA</i>
12:30	TS11.	DECOMMISSIONING OF RESEARCH REACTOR MRZ <i>S.G. Semenov, SIC "Kurchatov Institute"</i>
12:50	TS12	EQUIPMENT FOR RW MANAGEMENT DURING DECOMMISSIONING OF THE NUCLEAR INSTALLATIONS, RADIATION SOURCES AND STORAGE FACILITIES IN THE RUSSIAN FEDERATION <i>Dmitry Kucherov</i>
13:10	TS13.	ENGINEERING 3-D MODELLING FOR THE DECOMMISSIONING OF NUCLEAR FACILITIES <i>V.L. TIKHONOVSKV, NEOLANT</i>
13:30		Lunch
15:00		CLOSURE OF THE SPECIAL SESSION <i>Chair: Juan-Luis Santiago, Spain</i>
	8	TECHNICAL DISCUSSION ON DEFERRED DISMANTLING
15:00	8.a	DEFERRED DECOMMISSIONING <i>PETER ORR, UK, NSR</i>
15:20	8.b	Invited Presentation: Optimisation of organisation and cost during period of the safe enclosure <i>Gérard Laurent, France, EDF</i>
15:40		Discussion of deferred decommissioning
	9.	SPECIAL COUNTRY PRESENTATIONS ON DECOMMISSIONING
16:00	9.a	SPAIN <i>José Luis Revilla González, Spain, CSN</i>
16:20	10.	REGULAR COUNTRY UPDATES ON DECOMMISSIONING

		<ul style="list-style-type: none"> • <i>Country delegations, present and non present at the meeting, are invited to submit information on recent developments (during past year) in their country on decommissioning aspects, following the structure of the template for individual country updates.</i>
CLOSING SESSION		
17:30	11.	<p>ANY OTHER BUSINESS</p> <p><i>Juan-Luis Santiago</i></p> <p><i>Any other item raised in the meeting that needs further addressing</i></p>
17:40	12.	<p>DATE AND PLACE OF NEXT MEETING</p> <p><i>OECD/NEA Secretariat</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>WPDD-16 in 2015 will be held in Paris</i>
17:50	13.	<p>REVIEW OF MAIN DECISIONS AND ACTION ITEMS</p> <p><i>Juan-Luis Santiago</i></p>
18:00		ADJOURN

參、心得

OECD/NEA的組織架構中，最高層級為核能指導委員會，第二層級為各個專業委員會，例如放射性廢棄物管理委員會(RWMC)，第三層級為專業委員會下設之工作小組，例如除役與拆除工作小組(WPDD)，第四層級為工作小組下之任務小組，例如WPDD下設有除役成本估算小組(DCEG)、輻射特性與除役任務小組(TG-RCD)及除役研發與創新需求任務小組(DECOM-R&D)。截至2014年10月，參與WPDD之會員國、國際組織與觀察員分別為比利時、加拿大、捷克、芬蘭、法國、德國、匈牙利、義大利、日本、南韓、荷蘭、挪威、波蘭、俄羅斯、斯洛伐克、西班牙、瑞典、英國、美國等19個國家；2個國際組織為國際原子能總署(IAEA)與歐盟執委會(EC)；1個觀察員為羅馬尼亞。

WPDD自2001年成立以來，每年召開1次年會，會議地點除固定在NEA巴黎總部外，隔年會由各會員國輪流舉辦。以往曾分別在英國（2012年）、美國（2010年）、斯洛伐克（2008年）、英國（2007年）、比利時（2005年）、西班牙（2003年）、德國(2002年)等國舉辦。本屆於莫斯科舉行的會議，除地主國俄羅斯及我國外，計有比利時、芬蘭、法國、義大利、日本、挪威、西班牙、瑞典及英國等9個會員國22員出席，IAEA及NEA派3員參加，總計與會人士約50餘名。參與WPDD會議之代表，主要來自各國之管制機關、政府機構、核設施經營者、電力公司及研發單位等。

本屆會議的議程安排，原則上分為經常性業務報告、特定議題討論、主辦國核設施除役管理專題報告、受邀出席國家與單位之專題報告等四部分。會議首先由WPDD主席西班牙籍的SANTIAGO先生(西班牙ENRESA公司除役部門主管)及主辦國俄羅斯代表KOMAROV先生(原子能機構Rosatom除役部門主管)致歡迎詞；接著進行經常性業務報告，包括確認第14屆會議決議、IAEA代表報告最近一年所辦理與核設施除役有關之活動與成效、NEA代表報告RWMC最近一年之重要活動、成效與未來重點工作、CPD主席報告最近一年之活動與成效。接著由四個任務小組包括除役成本估算、核設施場址復育、輻射特性與除役作業及除役與拆除技術之研究發展，分別報告最近一年之活動、成效與未來工作規劃。第一天下午探討核設施除役之準備作業，我國受邀於會中就核一廠除役作業規劃進行報告(報告內容如附件一)，該主題另有法國EDF電力公司的一篇報告。接著進行本屆會議特定議題-除役作業產生低活度放射性廢棄物之最佳化管理，分別由法國、義大利、西班牙等代表提出3篇報告，並進行討論。

第二天上午由主辦國俄羅斯就該國在核設施(包括核電廠、研究用反應器、輻射污染設施、放射性廢棄物貯存設施等)除役作業之規劃管理等相關議題，提出13篇報告。第二天下午討論核設施延遲拆除(Deferred Dismantling)的議題，分別由英、法代表各提出一篇報告。最後由西班牙核安管制機關(Spanish Nuclear Safety Council) REVILLA先生(負責核燃料循環與核設施除役管制之部門主管)，主動分享西班牙對核反應設施除役之管制經驗；接著由與會各國代表補充說明該國過去一年來，在核設施除役及拆除作業管理有關的各項活動；最後綜合本次會議各項主題的討論結果，並暫訂明年會議舉

辦的時間為11月16至20日，於法國巴黎併CPD會議聯合舉行。以下分就二天的會議內容及第三天的參訪心得，詳細說明如后。

一、第十五屆WPDD會議討論內容

(一) 10月14日會議內容

1. IAEA 放射性廢棄物部門代理主任 Vladimir Michal 先生報告過去一年該組織針對核設施除役所辦理之相關活動與成效。
 - (1) IAEA組織中有兩個課負責處理除役有關的議題-放射性廢棄物技術課 (WTS)及放射性廢棄物與環境安全課 (WES)。放射性廢棄物技術課是核能處所屬核子燃料週期及放射性廢棄物技術組轄下的一個課級組織；放射性廢棄物與環境安全課是核子安全及保安處所屬輻射、運輸及放射性廢棄物組轄下的一個課級組織；這個簡報主要是專注在放射性廢棄物技術課過去一年的活動，但與放射性廢棄物與環境安全課共同管理有關過去一年的活動也一起說明。
 - (2) 國際除役網絡系統(IDN)是IAEA技術合作處、核能處、核子安全及保安處的一個聯合提議，擔任“整體網絡系統中的一個網絡子系統”，提高從國家與地區除役計畫及現有網路系統所學習到東西的能見度。其目標有：為使用者提供實際除役經驗及提供以使用者為導向的經驗、促進知識與技術的分享、提升需求體認並促使決策者繼續向前執行除役計畫、吸引額外的資源至除役領域並且加速國際除役的腳步。
 - (3) 2014年與IDN有關的研討會及論壇有：4月份在美國ANL(Argonne National Laboratory)辦理的除役及整治的場址安全評估研討會、羅馬尼亞Buchares辦理的Soviet-type研究用反應器除役研討會、9月份在義大利辦理的除役及整治的場址環境影響評估研討會、10月份在德國Karlsruhe辦理的除役及環境整治技術選擇研討會、12月份國際原子能總署辦理的除役管制單位與營運業者之IDN年度論壇。
 - (4) 2012-2014年技術期刊發表包含：「核能及放射性設施除役的政策與策略」，IAEA NE系列報告編號 NW-G-2.1，2012年；「國際核子設施除役的成本結構 (ISDC)」，由OECD/NEA、IAEA及EC(European Commission)共同合作，2012年由OECD/NEA在巴黎發行；「核子設施除役的規劃、營運管理及組織面向」，IAEA-TECDOC-1702，2013年；「研究用反應器除役的成本預估」，IAEA NE系列報告編號 NW-T-2.4，2013/2014年；「意外事故後核子設施的清理及除役經驗以及所取得的教訓」，IAEA NE 系列報告編號 NW-T-2.7，2014年；相關網站
<http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/Technical-Areas/WTS/decommissioning.html>、

<http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/Technical-Areas/WTS/decommissioning-assistance-publications.html>。

- (5) 準備中的IAEA核能系列報告有：「貯存池設施的除役」、「除役-非預期事件的管理」、「在除役期間著重於動機面向的人力資源管理」、「粒子加速器的除役」、「核子意外事件後的除役：方法、技術、工具及設備」。
 - (6) 修訂IAEA除役安全法規要求有：GSR第6部一般安全要求“設施的除役”，已於2014年3月由聯邦儲備委員會簽署，用來替代WS-R-5（2006年）。
 - (7) 在除役安全方面，正在進行的活動以及期刊草案有：更新兩項設施相關的安全導則（核子設施的除役；醫療、產業以及研究用設施的除役）；除役規劃與執行之安全評估結果應用的安全報告（FaSa）；除役計畫風險的管理（DRiMa）；埋存-法規及安全面向；除役射源項評估的方法（活度計算）；意外事件後核子設施整治（廠區內）及除役的國際計畫（結合WTS/WES兩課）。
 - (8) 進行中的TC計畫有：REG9120（2012-2015年）“使用放射性物質設施之除役支援”；新的國家TC計畫（2014-2015年），開始時原先是專注在喬治亞及印度尼西亞的除役工作，後來持續到希臘、烏克蘭、羅馬尼亞、塞爾尼亞，斯洛伐克…等國。
 - (9) 針對福島電廠除役計畫之國際同儕審查：日本政府及東電委員會採用2011年12月除役中長程因應計劃中所擬定的“中長程計畫”，並分別於2012年7月及2013年6月修訂該計畫；該計畫包括執行福島電廠除役計畫的主要步驟及活動說明；GoJ (Government of Japan) 要求IAEA組織國際同儕審查團隊，針對該中長程計畫進行審查，包含相關個別主題的審查。審查以兩個步驟進行，2013年有兩項任務：
 - A. 第一項任務：於2013年4月15-22日進行，由9位IAEA人員及4位外部專家學者（加拿大、法國、盧安達、美國）組成團隊進行審查，2013年5月22日提交最終審查報告給GoJ，並發佈在：
<http://www.iaea.org/newscenter/news/2013/fukushimareport.html>，報告強調最新9項發現並提供17項對提升現有方式的建議。
 - B. 第二項任務：2013年11月25日至12月4日進行，由11位IAEA人員及5位外部專家學者（OECD/NEA、加拿大、法國、盧安達、美國）及3位曾於福島事件中撰寫IAEA報告的專家共同組成團隊進行審查，向日本經濟產業省(Ministry of Economy Trade and Industry)提出審查報告，包括19項發現以及19項建議重點，並在任務最後一天於IAEA記者會發佈，最終報告公布於：
http://www.iaea.org/newscenter/focus/fukushima/final_report120214.pdf。
2. 放射性廢棄物管理委員會(Radioactive Waste Management Committee, RWMC)年度工作概述（含侯榮輝博士對經濟合作暨發展組織核能署之核設施除役與拆除工

作小組(WPDD)介紹)

- (1) 經濟合作暨發展組織 (Organization for Economic Co-operation and Development, OECD)於1961年在法國巴黎創設。OECD關注經濟問題，但經濟問題牽涉廣泛，包括能源（含核能）、環境、財稅、人口、性別、勞資關係…等相關議題，是以下設置核能署(Nuclear Energy Agency, NEA)，該署主要任務為研究並出版核能相關報告以供NEA會員國參考運用。
- (2) 迄至2014年7月，NEA共有31個會員國，分別為澳洲、奧地利、比利時、加拿大、捷克、丹麥、芬蘭、法國、德國、希臘、匈牙利、冰島、愛爾蘭、義大利、日本、盧森堡、墨西哥、荷蘭、挪威、波蘭、葡萄牙、南韓、俄羅斯、斯洛伐克、斯洛維尼亞、西班牙、瑞典、瑞士、土耳其、英國、美國。
- (3) NEA設置核能指導委員會(Steering Committee for Nuclear Energy) 直接向OECD 委員會報告，為NEA最高決策單位，由各會員國代表組成，並於每年4月及10月召開指導委員會會議，討論工作方針及決定重大政策。NEA依工作性質在核能指導委員會下設七個專業委員會，分別為：
 - A. 核設施安全委員會 (Committee on the Safety of Nuclear Installations, CSNI)
 - B. 核能管制委員會 (Committee on Nuclear Regulatory Activities, CNRA)
 - C. 放射性廢棄物管理委員會 (Radioactive Waste Management Committee, RWMC)
 - D. 輻射防護與公共健康委員會 (Committee on Radiation Protection and Public Health, CRPPH)
 - E. 核子科學委員會(Nuclear Science Committee, NSC)，下轄資料庫執行小組(Data Bank Executive Group)
 - F. 核能發展與燃料循環技術與經濟研究委員會 (Committee for Technical and Economic Studies on Nuclear Energy Development and the Fuel Cycle, NDC)
 - G. 核能法規委員會(Nuclear Law Committee, NLC)

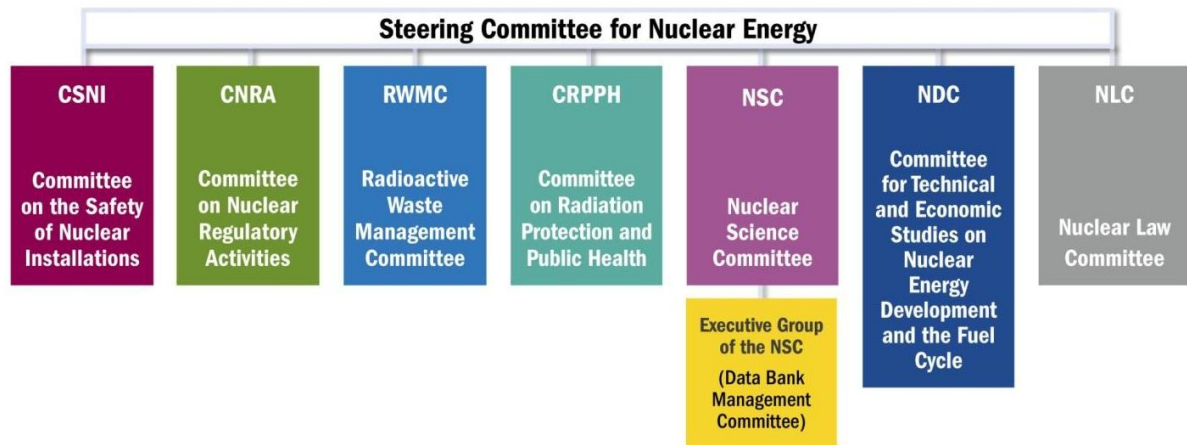
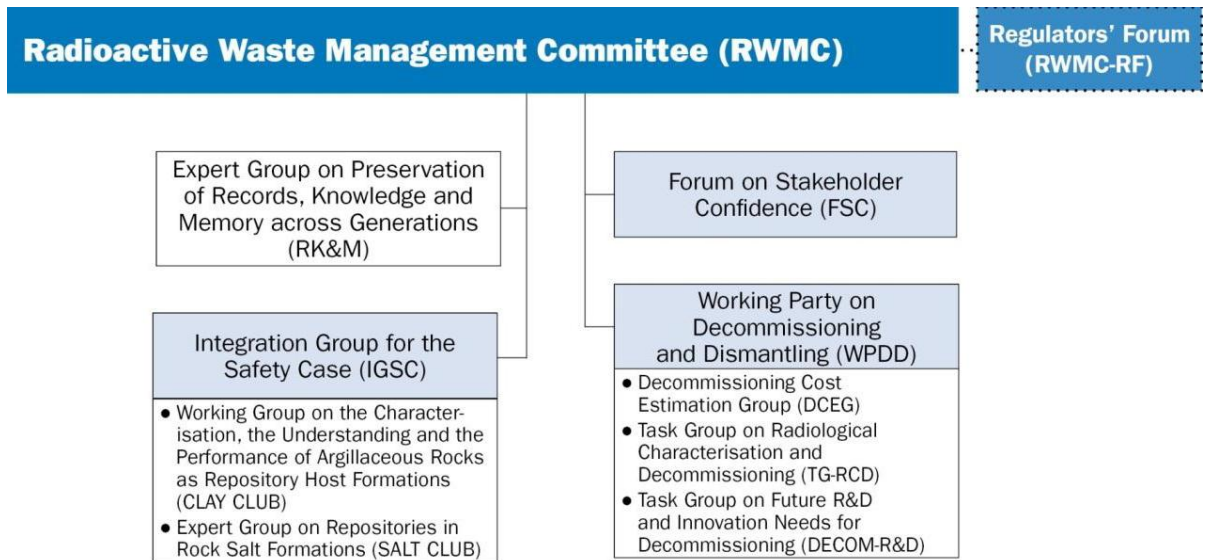


圖 1 核能署核能指導委員會組織架構圖

- (4) RWMC成立於1975年，其成員來自NEA各會員國管制機關、放射性廢棄物管理和除役機構、決策機構、研究發展學術機構之資深代表。
- (5) RWMC旨在促進核設施除役與放射性廢棄物管理之國際合作，下轄五個工作小組，分別為：
- A. 管制者論壇 Regulators' Forum (RF)
 - B. 跨世代紀錄、知識與記憶保存專家小組 Expert Group on Preservation of Records, Knowledge and Memory across Generations (RK&M)
 - C. 利害相關者信心論壇 Forum on Stakeholder Confidence (FSC)
 - D. 安全案例整合小組 Integration Group for the Safety Case (IGSC)，
 - E. 核設施除役與拆除工作小組 Working Party on Decommissioning and Dismantling (WPDD)，其下設有三個任務小組，分別為：
 - a. 除役成本估算小組 Decommissioning Cost Estimation Group (DCEG)
 - b. 輻射特性與除役任務小組 Task Group on Radiological Characterisation and Decommissioning (TG-RCD)
 - c. 除役研發與創新需求任務小組 Task Group on Future R&D and Innovation Needs for Decommissioning (DECOM-R&D)



OECD/NEA joint projects in the radioactive waste management area:

- Co-operative Programme for the Exchange of Scientific and Technical Information Concerning Nuclear Installation Decommissioning Projects (CPD)
- Thermochemical Database (TDB) Project

圖 2 放射性廢棄物管理委員會 (RWMC)所屬各個工作小組架構圖

(6) 與放射性廢棄物管理委員會密切相關之兩個國際合作計畫，分別為：

- A. 核設施除役合作計畫 Co-operative Programme for the Exchange of Scientific and Technical Information Concerning Nuclear Installation Decommissioning Projects (CPD)
- B. 熱化學資料庫計畫 Thermochemical Database (TDB) Project

(7) 管制單位論壇：RWMC預訂於2015年9月召開“針對放射性廢棄物處置場申照、建造及運轉，管制單位所面臨之挑戰”研討會，這研討會由管制單位論壇統籌辦理，但也開放給管制單位以外的其他組織參加；RWMC也關心最新ICRP(International Commission on Radiological Protection)指引導則以及停機期間有關責任轉移議題的未來討論；可能會在2015年4月CRPPH(Committee on Radiation Protection and Public Health)與TS共同辦理的會議期間提出交換意見。

(8) 地質處置場國際研討會方面：下一場由RWMC所贊助的地質處置場國際研討會(International Conference on Geological Repositories, ICGR)將在2016

年由ANDRA(The french national radioactive waste management agency)在法國舉行。

(9) 除役方面：已依據RWMC-47簡報及討論文章，備妥有關除役組織的意見書，並已於10月2日將意見書草稿提交WPDD及CPD審核，而審查評論與意見交換的截止日是10月31日。

3. 核設施除役合作計畫 Co-operative Programme for the Exchange of Scientific and Technical Information Concerning Nuclear Installation Decommissioning Projects (CPD) 年度工作概述

(1) 目前CPD的會員有：

A. 目前參加CPD者計有62個除役計畫，分別屬於13個國家，這62個除役計畫包括：

a. 37個核電廠(含台電公司金山核電廠除役計畫)及研究反應器的除役計畫，其中有25個正在進行除役，包括：PWR、BWR、GCR、AGR、HTGR、VVER、FBR。

b. 25個核燃料循環設施的除役計畫，其中有20個正在進行除役，包括：放射性化學實驗室、燃料貯存壕溝、再處理設施、核燃料廠。

B. 另，丹麥的除役計畫、英國Sellafield公司的新除役計畫即將於11月份由管理委員會核准加入。俄羅斯的 Bochvar Institute 除役計畫亦準備即將加入。

(2) 近期內已辦理或已規劃將辦理的除役計畫技術諮詢小組會議(TAG)

A. 第56次技術諮詢小組會議(TAG-56)，已於2014年5月19-23日在英國Sellafield舉行

a. 會員參觀了Sellafield廠及“隔離區”的除役計畫以及Windscale Advanced Gas-Cooled反應器。

b. 由出席者志願性發表7篇有關放射性廢棄物貯存容器的簡報，該項簡報引起大家濃厚的興趣。

B. 2014年10月的第57次技術諮詢小組會議(TAG-57)，在義大利米蘭舉行。

C. 後續技術諮詢會議：

a. 2015年5月 - 第58次技術諮詢小組會議(TAG-58)將在

AVR(Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor)計畫場址辦理，由EWN(德國)主導。

b. 2015年10月-第59次技術諮詢小組會議(TAG-59)，將在JAVYS(斯洛伐克)或是Belgoprocess(比利時)辦理。

(3) 由主席 Peter Orr 先生所領導的「核設施場址復原 (Nuclear Site Restoration)」任務小組之活動：

- A. 該任務小組的工作已完成並已發行報告。
- B. 該任務小組的目的是經由案例分析(該任務小組成員)來審查OECD成員國核設施場址復原的經驗，並經由調查(經由鎖定的國內專家)、分析其結果、撰寫結論報告及建議，提供給現有及未來參與者。
- C. 已將該結論報告提送到NEA秘書辦公室，並依照規定程序、採納WPDD小組的審查意見後，WPDD核心團隊已核准發行。
- D. 該任務小組的延伸範圍
 - a. WPDD設立任務小組以延伸CPD任務小組的工作，來審查與場址整治/復原有關的策略性議題。
 - b. 新的任務小組也是由Peter Orr領導以確保連續性。
 - c. 許多CPD任務小組成員也加入此任務團隊以維持連續性。
 - d. 增加額外的WPDD成員，包括立法單位成員及管制單位。

(4) CPD的雲端儲存系統

- A. 在現有OECD-NEA網頁中的CPD成員部分，可搜尋到技術諮詢小組會議(TAG)知識庫，包括62項CPD計畫中的36項摘要表。
- B. 目前的儲存方式不安全且資訊非常容易流失。
- C. 現有NEA伺服器不符合安全儲存目的。
- D. 現正考慮建置雲端儲存系統。

(5) 新的工作團隊

- A. 於11月管理委員會時將提議討論增加建立一個有關職業劑量的工作團隊。
- B. 9月已建立一個有關金屬廢棄物回收及與再利用的新工作團隊，其目的為：

- a. 為了增進對主要爭議事項的瞭解，及幫助核子設施除役執行者的利益，針對除役過程所受到輕微污染之物質的外釋，新工作團隊將收集並分析國際上的現有的法規。
- b. 為了達到此目的，主要的工作應直接針對放射性廢棄物建立全球一致的處理標準，例如，針對放射性廢棄物的外釋而言，對於暴露在游離輻射民眾或工作人員使用相同標準，無論是在核能或非核能產業。

(二)、10月15日會議內容

俄羅斯為全世界第一個使用核能發電的國家，自1954年開始運轉Obninsk 核電廠，於2002年停止運轉，現址改建為博物館。該國現有10座運轉中的核電廠，共33部核子反應器機組，總裝置容量為25.2GW，約供應俄國17%的電力。其中17部機組為壓水式反應器(11部VVER-1000、6部VVER-440)、15部石墨反應器(11部RBMK-1000及4部較小型的RBMK設計稱為EGP-6)，還有一部快中子反應器BN-600；興建中的機組有11部(包括2部懸浮式反應器)；除役中的反應器有4部，俄羅斯現有核能電廠統計如表二。

表二、俄羅斯現有核能電廠統計表

NPP	Unit	Reactor	Status	Location	MWe	Commissioning date
Balakovo NPP	No.1	VVER-1000	In operation	Balakovo, Saratov Region	1,000	28December1985
	No.2	VVER-1000	In operation		1,000	08October1987
	No.3	VVER-1000	In operation		1,000	25December1988
	No.4	VVER-1000	In operation		1,000	04November1993
Baltic NPP	No.1	VVER-1200	Under construction	Neman, Kaliningrad Region	1,200	
	No.2	VVER-1200	Under construction	Neman, Kaliningrad Region	1,200	
Beloyarsk NPP	No.1	AMB-100	Decommissioned	Zarechny, Sverdlovsk Region	100	26April1964
	No.2	AMB-200	Decommissioned		200	29December1967
	No.3	BN-600	In operation		600	08April1980
	No.4	BN-800	Under construction		800	

Bilibino NPP	No.1	EGP-6	In operation	Bilibino, Chukotka Autonomous Okrug	12	12January1974
	No.2	EGP-6	In operation		12	30December1974
	No.3	EGP-6	In operation		12	22December1975
	No.4	EGP-6	In operation		12	27December1976
Kalinin NPP	No.1	VVER-1000	In operation	Udomlya, Saratov Region	1,000	09May1984
	No.2	VVER-1000	In operation		1,000	03December1986
	No.3	VVER-1000	In operation		1,000	16December2004
	No.4	VVER-1000	In operation		1,000	25September2012
Kola NPP	No.1	VVER-440	In operation	Polyarnye Zori, Murmansk Region	440	29June1973
	No.2	VVER-440	In operation		440	08December1974
	No.3	VVER-440	In operation		440	24March1981
	No.4	VVER-440	In operation		440	11October1984
Kursk NPP	No.1	RBMK-1000	In operation	Kurchatov, Kursk Region	1,000	19December1976
	No.2	RBMK-1000	In operation		1,000	28January1979
	No.3	RBMK-1000	In operation		1,000	17October1983
	No.4	RBMK-1000	In operation		1,000	02December1985
	No.5	RBMK-1000	Construction halted		1,000	
Leningrad NPP	No.1	RBMK-1000	In operation	Sosnovy Bor, Leningrad Region	1,000	21December1973
	No.2	RBMK-1000	In operation		1,000	11July1975
	No.3	RBMK-1000	In operation		1,000	07December1979
	No.4	RBMK-1000	In operation		1,000	09February1981
Leningrad NPP-2	No.1	VVER-1200	Under construction	Sosnovy Bor, Leningrad Region	1,200	
	No.2	VVER-1200	Under construction		1,200	
Novovoronezh NPP	No.1	VVER-210	Decommissioned	Novovoronezh , Voronezh Region	210	30September1964
	No.2	VVER-365	Decommissioned		365	27December1969
	No.3	VVER-440	In operation		440	27December1971
	No.4	VVER-440	In operation		440	28December1972
	No.5	VVER-1000	In operation		1,000	31May1980
Novovoronezh NPP-2	No.1	VVER-1200	Under construction	Novovoronezh , Voronezh Region	1,200	

	No.2	VVER-1200	Under construction		1,200	
Akademik Lomonosov floating NPP	No.1	KLT-40	Under construction	Vilyuchinsk, Kamchatka Krai	35	
	No.2	KLT-40	Under construction		35	
Rostov NPP	No.1	VVER-1000	In operation	Volgodonsk, Rostov Region	1,000	30March2001
	No.2	VVER-1000	In operation		1,000	18March2010
	No.3	VVER-1000	Under construction		1,000	
	No.4	VVER-1000	Under construction		1,000	
Smolensk NPP	No.1	RBMK-1000	In operation	Desnogorsk, Smolensk Region	1,000	09December1982
	No.2	RBMK-1000	In operation		1,000	31May1985
	No.3	RBMK-1000	In operation		1,000	17January1990

WPDD第二天的議程首先由主辦國俄羅斯就該國在核設施除役作業之規劃管理等相關議題，由上午9點至13:30提出13篇報告。下午則討論核設施延遲拆除(Deferred Dismantling)的議題，分別由英、法代表各提出一篇報告；接著由西班牙核安管制機關(Spanish Nuclear Safety Council, CSN)的 REVILLA先生(負責核燃料循環與核設施除役管制之部門主管)，主動分享西班牙在核反應設施除役之管制經驗；接著由與會各國代表逐一補充說明該國過去一年在核設施除役作業有關的各項活動；最後綜合本次會議各項主題的討論結果，並暫訂明年會議舉辦的時間及地點分別為11月16至20日，於巴黎NEA總部併CPD會議聯合舉行。以下就第二天會議的內容重點，說明如下。

1. 俄羅斯各項核設施除役作業之規劃管理

本屆 WPDD 會議，俄國首先安排國營原子能機構 ROSATOM (the State Atomic Energy Corporation) 的代表，簡報俄羅斯核設施除役概況及未來發展。俄羅斯的核能工業從採礦、核燃料製造、核子反應器設施設計、興建與運轉、用過核燃料再處理等，已形成獨立自主的核燃料循環體系，其反應器設計亦有別於歐美國家。由於俄國進入核能領域甚早，且為擁有核武器的國家之一，其過去研發核武過程中所遺留受輻射污染的場所非常多，也遍及全國各地。經統計俄國未來需進行除役或清理的各類核設施總計 300 餘處，估計所需經費高達上千億美金，其中有 7 成屬於政府應負責的老舊設施。因此如何建立足夠的財務基礎，以因應未來除役作業的需求，已成為當務之急。俄國正從法制面著手，訂定核設施經營者應負擔除役所需經費，老舊設施則由政府逐年提撥經費，以建立基金的方式籌措經費。在除役作業管理方面，則訂定除役作業之安全管制規定，建立核設施除役相關背景資訊與資料庫系統，研發除役相關技術，以及建立除役廢棄物之管理架構。

第二篇報告由ROSATOM的代表簡報核設施除役費用及經濟效益的評估，由於俄國核設施種類繁多，如何規劃未來除役的財務準備及提高經濟效益，ROSATOM乃進

行相關研究。在各類設施的除役策略規劃方面，一般核能電廠採延遲拆除策略，於35年內進行拆除；研究用反應器採立即拆除策略，依其功率區分為高功率反應器於20年內進行拆除，低功率反應器則於4年內進行拆除；俄國特有之鈾-石墨反應器採廠內就地處置策略，於20年內進行拆除；核物料貯存設施採立即拆除及廠內就地處置策略，於10年內進行拆除；其它輻射作業場所亦採立即拆除策略，於15年內進行拆除。在評估核設施除役經費方面，主要考量的重點包括建立除役與拆除作業資料庫、核電廠停機前的準備工作、核電廠停機後的保存與隔離作業、選定參考電廠規劃拆除作業、除役作業及管理的費用、核電廠建物及組件拆除的費用、除役作業所需物件的採購、拆除金屬的處理、輻射污染地區的復原作業等。研究評估結果，對各種不同的作業規劃組合，其除役經費可能差異達40%；對於擁有許多待除役核設施的國營事業，若能將其所屬類似的核設施進行整體規劃，其除役所需的費用可能減少1至3成。

俄國在核設施除役的法規體系可分為四層，最上層為法律(Law)，規定核設施除役的管理架構與原則；第二層為授權命令(DELEGATED LEGISLATION)，依據第一層法律授權訂定有關除役作業的管制規定；第三層為聯辦法規(FEDERAL RULES AND REGULATIONS)，主要規範除役作業有關之安全規定；第四層為安全指引(SAFETY GUIDES)，就法規要求的內涵訂定細部的規定，以及對如何執行以符合法規的安全要求提出建議指引，以提供業者參考。俄羅斯在核設施除役有關法制層面的改進部分，由協助俄國核安管制機關執行核設施有關核安與輻安審查與檢查作業的Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety(SEC/NRS)代表於會中進行報告。他說明目前俄國在第一層的法律方面，已規定核設施經營者應負擔除役所需的經費，除役作業亦為核設施生命週期的一環；在核廢料管理方面，則納入除役產生廢棄物的管理。第二層的授權命令部分，除了訂定核設施停止運轉及除役應提送的申請文件及審核規定，另規定成立一特別基金，以支應除役所需研發與作業經費；在第三、四層的聯辦法規與安全指引部分，對各種核設施訂定除役的目標、安全規定及相關作業的建議。目前俄國正在研修核能電廠除役安全規定 (Safety rules in decommissioning of nuclear power plant unit)，預定2015年完成，其中主要包括核能電廠除役計畫的內容、核能電廠除役安全分析報告的架構及內容，以及核能電廠除役有關工程與輻射偵測報告的架構及內容等規定，接著會研訂其它核設施的除役規定，包括核子動力船舶等。

在老舊核電廠除役方面，由負責俄國核能電廠運轉的Rosenergoatom公司代表，介紹Novovoronezh 核電廠1、2號機除役作業情形。該二部機組為俄國最早的VVER210及365機型，分別於1964與1969年啟用，1號機原設計使用20年，2號機設計使用30年。1號機已如期在1984年停機，2號機則因設計缺陷無法符合新法規要求，且改善不符經濟效益等因素，於1990年提前停機。由於這二部機組為俄國最早期的VVER機組，因此自1995年開始進行一系列有關除役作業軟、硬體之規劃與研究，希望能作為未來同類型核電廠除役的範例。在軟體方面，包括除役經費的評估、除役文件與資料庫的建立、系統拆除工法、順序與空間的規劃使用、廠區輻射特性調查與偵測分析、破損燃

料之收集處理及相關除役技術之研發等。在硬體方面，則建立各類型拆除或切割機具與設備、零組件除污系統，以及一座處理中低階核廢料之電漿焚化爐，處理容量每小時約200~250公斤。目前該二部機組雖已停機，但仍適用運轉執照的管制，依俄羅斯的規定，核電廠進行除役前需在地方舉行公聽會，邀請地方民眾進行公開的討論，Novovoronezh 核電廠已分別於2010年11月及2011年12月，與地方民眾討論電廠除役事宜，大部分居民多無反對意見，Rostechnadzor於2013年10月核發該二部機的除役許可。

由於俄羅斯的核能工業具有獨立完整的體系，從鈾礦採礦與冶煉、鈾濃縮、核燃料製造、核反應器設計、製造與運轉，乃至於用過核燃料再處理等，都有相關的設施。相關單位的代表在會議中也一一介紹鈾礦冶煉處理廠、核燃料製造廠、石墨反應器與研究用反應器等設施的除役作業，其中俄羅斯科學中心庫爾恰托夫研究所的MP研究環管反應器的除役作業，主辦單位安排第三天赴該研究所實地參訪，相關內容於下節充再進一步說明。俄方代表於會中介紹俄國在輻射污染地區的復育作業，且提及過去較少為人所知的馬亞客(Mayak)嚴重核事故。俄國目前的輻防管制法規與大多數國家一樣，都引用國際輻射防護委員會(ICRP)的報告或建議，包括1990年的ICRP60號報告及2007年的ICRP103號報告。對各類核設施除役後的輻防管制，俄國規定若對關鍵群體的個人年劑量大於1毫西弗，該設施仍須受到管制；對個人年劑量小於1毫西弗的設施，雖可以解除大部份的管制，惟其中對大於0.3毫西弗/年的地區，政府仍會進行部分干預或限制；年劑量介於0.01~0.3毫西弗/年的地區，則會持續調查偵測達70年，以確認污染源沒有擴散。對輻射污染地區經清理後，依輻射偵測結果，將該土地分為三類，第一類保留劃定為保護區，第二類地區可在一定的管制或處理程序下作特定用途(即限制性使用)；第三類地區可規劃作特定用途而沒有任何限制(即非限制性使用)。統計至2013年底全俄國受輻射污染的土地面積約有103平方公里，包括21處核設施所在地。其中主要的污染地區(約93平方公里)係因1957年9月29日發生的馬亞克事故而起。該事故發生地點為前蘇聯生產核武的工廠，一座貯存放射性廢液桶槽的冷卻系統發生故障，導致內存廢液蒸發後產生化學反應而爆炸，粗估約有 10^{15} 貝克的放射性核種外洩至環境，為核能史上第三嚴重的核事故，事故等級依國際核事件分級為第六級事故。經過5年多的清理後，於2013年底，已清理完成約70平方公里。

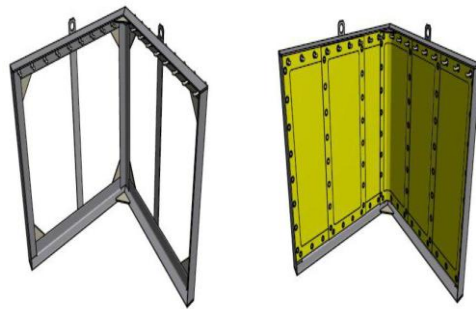
為了確保核設施除役作業的安全及掌握作業時程，使用適當的機具及遙控裝備可大幅提昇工作效率及減少工作人員輻射劑量。因此，俄方也安排相關的報告，介紹俄羅斯相關研究設施進行除役所研發的機具，如下圖一為多功能遙控作業機，可依作業需求更換零組件；圖二為遙控油壓機械手，圖三為移動式屏蔽裝置。



圖一：多功能遙控作業機



圖二：遙控油壓機械手



圖三：移動式輻射屏蔽裝置

俄方的最後一篇報告是由NEOLANT工程公司介紹3D影像技術應用於核設施除役作業，俄羅斯設計的核電廠大多設計使用30年，然後延役20年，接著進行除役作業。由於採延遲拆除策略，因此除役作業的時間大多規劃超過50年。在核電廠拆除作業規劃階段，若能適時引進3D影像工程技術，將準備拆除的各個建築物、系統、組件與管路，從原始設計圖樣結合現場配置圖與照相影像，以及輻射偵測儀器，可以在電腦銀幕中顯現欲拆除系統的現場配置及輻射分布情形。再據以規劃拆除工法、順序，並進行模擬演練及訓練操作人員，可大幅提高除役作業的效率，據瞭解國內核能研究所也投入相關的研究，建立自主技術能力，未來應可協助國內核能電廠的除役工作。

2. 核設施延遲拆除(Deferred Dismantling)議題

國際間對核設施停止運轉後，基本上有三種管理策略，立即拆除、延遲拆除及固封。我國、日本等採立即拆除策略，美國、英國、俄羅斯採延遲拆除策略，西班牙採混合策略(立即與延遲併列)，國際間採固封的核設施以曾發生嚴重事故的車諾堡核電廠為代表。第14屆WPDD會議時，與會代表決定進一步探討延遲拆除的管理策略，因此本屆會議請英法兩國出席代表，就該議題提出報告。

首先由來自英國環保署核能管制部門的ORR博士介紹英國採行延遲拆除策略的考量因素，以及與立即拆除的優劣比較。從核設施除役的目的而言，主要考量為土地資源可儘快恢復再利用。為達成該目的，在除役過程中，必須將受輻射污染的建物、系統、零組件及土壤等逐一清理，達到環保及輻防法令規定的安全標準，至於除役的

期程、產生廢棄物的管理及土地復育等，可經由公眾參與決策的程序，充分討論後做成決定。

一般考量延遲拆除的理由主要包括目前沒有高階核廢料或用過核燃料處置場，這些核廢料須要適當的地點進行長期安全貯存；延遲可以讓短半化期核種活度大幅降低，使後續拆除工作有更好的工法選擇且能更安全地進行；對一些由政府以公務預算籌措除役經費的核設施，延遲可以讓政府有足夠的時間籌措經費。另一方面，反對延遲者則提出不同的觀點，包括世代正義問題，延遲拆除將增加後代子孫不必要的負擔；由於除污技術不斷精進的結果，除役工作人員的劑量已可大幅降低，由其歐洲大部分使用壓水式反應器的電廠，其一次側系統可經除污降低劑量，無需延遲等待短半化期核種自然衰減；大部分核設施都有長半化期核種的污染，延遲拆除的結果可能因核種衰變產生 γ 輻射，造成系統較難接近。在延遲拆除管理方面，應該注意的議題包括定期進行安全審視、建立高階核廢料或用過核燃料貯存與處置方案的共識、核設施配置與原系統運轉情形等資訊的保存以及財務規劃管理等。

ORR博士最後提出數項有關延遲除役後續值得進一步探討的議題，供未來WPDD會議討論，包括延遲期間各階段作業的定義及內容、就技術安全與社會經濟的觀點分析延遲的期程、核電廠以外的核設施選擇延遲拆除的合適性，並請WPDD除役成本估算任務小組將延遲拆除的除役費用納入評估範疇。

法國的核設施在運轉期間都有一份除役初步規劃，內容包括該設施未來除役的原則、實施步驟及期程。在永久停止運轉前3年，設施經營者須提出詳細的除役/拆除計畫；完成除役後，原設施部份地區可能需持續管制一段期間，並與地方民眾討論解除管制地區的土地再利用規劃。法國的核能管制機關並未規定核設施完成除役的期限，惟核設施經營者基於現有員工對設施配置及運轉情況最瞭解的考量下，大多採儘速拆除的除役策略。雖然法國並未採行延遲拆除的除役策略，法國電力公司EDF曾蒐集該議題相關國際資訊，並於本屆會議中報告核電廠延遲拆除的組織及運作經費最適化。

核電廠延遲除役並非熄燈關門了事，而是要在法令許可的最長期限內，完成核設施除役。其主要的考量在於安全封存期間，如何以最少的人力與經費，達成安全的目標。在進行安全封存前，需先規劃考量的事項包括儘可能排放輻射污染廢液、清理無污染建物、污染區採清理或隔離方式、評估各系統或組件停止運轉、用過核燃料移除(乾、濕式，廠內、外)、評估大型或被活化零組件的拆除等等。有關停機封存所需的費用，以發生核事故的三哩島二號機為例，其封存期間僅配置二位專職人力，大部份的監控、維修人力由繼續運轉的一號機調度支援，其所需費用每年約1~3百萬美元。

從美國以往核電廠除役的實務經驗顯示，選擇立即拆除作業考量的因素，在作業效益方面包括沿用現職工作人員對電廠系統較瞭解，以及各系統或組件仍能維持較佳的運作；在經濟效益方面可以將電廠土地資源充分再利用；在風險管理方面，儘速拆除可免除長期的責任負擔、有現成的核廢料處置場可以使用且能避免處置成本大幅波

動、儘早動用以往累積提存的除役基金可降低未來除役成本增高的風險；在社會影響方面，儘早除役除了符合大多數民眾的期望，也能減輕來自管制機關的監管壓力。

另外，比較延遲拆除在作業效益方面，美國的經驗顯示系統封存20年後，輻射劑量可降為原來的1/14，可大幅降低除役工作人員的輻射劑量。大部分多機組的核電廠，各機組的運轉期限有所差異，無法同時進行拆除；未來可能會有更先進的拆除技術；部分核廢料還沒有處置場，沒有辦法移出廠外。在經濟效益方面，延遲拆除有更長的期程來積存除役基金，可以紓解核電經營者的財務壓力；對低階核廢料也可因活度衰減而減輕處置的費用。最後，歸納美國核電廠進行長期安全封存的經驗，有幾點值得我們注意的事項，包括用過核燃料濕式貯存期間燃料池水的保存與淨化；清理受污染地區要注意防止污染擴散；封存對長半衰期核種的活度降低影響有限；良好的除役規劃，取決於完整的廠區輻射特性調查；安全封存的期程常因非預期的因素影響而需配合調整。

3. 各國核設施除役經驗分享或現況

(1) 西班牙核設施除役管制經驗分享

本篇報告由西班牙核安管制機關(Spanish Nuclear Safety Council, CSN) REVILLA先生(負責核燃料循環與核設施除役管制之部門主管)，分享西班牙在核反應器設施除役之管制經驗。西班牙共有8座核電廠10部機組，總裝置容量7,739MWe，其第一部機組Jose Cabrera自1968年開始運轉，2006年停止運轉。該廠內已興建完成用過核燃料乾式貯存設施，2010年以前已將燃料池中的用過核燃料移至乾貯設施；ENRESA於2010年獲得除役許可及轉移該廠所有權後，規劃於7年內(2017年)完成拆除作業。1972年運轉之Vandellos 1號機，因汽機廠房於1989年發生國際核事件分級第三級之火災事故，於1990年停機；1995年將用過核燃料移出進行再處理；1998至2004年間，由ENRESA進行部份系統拆除，2005至2027年先進行安全封存，並解除部分地區的管制；2027年以後，再全面執行拆除作業。1972年運轉之Sta. M^o Garoña電廠在2013年已停機，目前仍在評估是否延役或進行除役。其餘7部機組分別於1981至1988年啟用，目前均在運轉中。

西班牙的核能電廠在運轉期間，會提出一份除役規劃，內容包括除役技術文件、核廢料管理及財務計畫。在停止運轉初期仍會受到管制機關的監管，惟執照內容會配合修正；在正式拆除前，核電經營者須將用過核燃料移出燃料池，或向管制機關提出用過核燃料管理計畫送審，並將運轉產生的核廢料進行處理。西班牙法律規定，核電廠除役工作應由ENRESA (Spanish Institutional Waste Agency)負責執行，因此核電廠經營者在停機前會先與ENRESA討論除役執行的策略與細節，並將運轉期間累積的除役經費，以及核電廠的所有權轉交給ENRESA負責後續除役作業。

在除役作業管制方面，西班牙核電廠的除役作業係由ENRESA提出除役申請文件，

經CSN審查通過後，由工業部發給除役許可。其除役申請文件內容包括作業安全分析、引用法規、運轉技術規範(含通風、消防等系統)、品質保證、輻射防護計畫、廠內緊急計畫、核廢料與用過核燃料管理計畫、清潔物品放行管理計畫、廠址復育計畫、財務評估，廠外輻射劑量分析、環境輻射偵測等。管制機關除了審查除役文件外，對於除役作業期間應定期提送的文件、計畫修正或變更，也會進行審查。此外，在核電廠進行拆除作業時，管制機關會派員執行駐廠視察。

核電廠完成除役後，須向管制機關提出執照中止之申請，經CSN完成審查、工業部核准後，解除核電廠部份或全部的管制。有關廠址解除管制的輻防標準，管制機關除訂定劑量評估的準則外，並規定非限制使用之地區，民眾有效劑量應低於0.1毫西弗/年；在限制性使用地區，則應低於1mSv/年。

REVILLA先生最後歸納西班牙在核設施除役的管制實務經驗，與各國與會人士分享，其重點包括建立一套可行的用過核燃料管理策略，在除役期間雖然仍適用大部分安全管制法規，惟有些新增議題需加以注意，例如停機後過渡階段的管制、除役廢棄物管理、清潔廢棄物的外釋與再利用、系統與土地逐步解除管制、安全有關係統運轉規範的修正以及適當的財務規劃準備等。核設施除役就是逐步拆解電廠各系統及管制區，最後中止執照的過程，因此對管制者而言，其管制心態與作法也要配合調整。在輻防管制方面，由於電廠拆解的過程中，部分安全系統或輻射屏蔽須配合拆除，可能對工作人員或環境輻射造成短暫的衝擊，如何在拆除過程中取得平衡，也是管制者須審慎應對的課題。尤其拆解過程面對不斷變動的作業環境與作業方式，與運轉期間穩定的作業場所與重覆的作業程序，有很大的差異，相關人員均需配合調整。因此，業者的自主管理與品保措施就非常重要，尤其對工作人員的訓練方面，要特別注意及落實，以因應各種突發狀況。由於核電廠除役的目標是去除輻射污染，使大部分地區可供再利用，因此對於外釋廢棄物及地區的輻射污染偵測，就非常重要，有關偵測鑑定的過程，也是管制機關應該注意的重點。

(2) 各國核設施除役現況

A. 瑞典

瑞典第一座核能電廠自1972年啟用，至2013年有10機組運轉中，供應瑞典約36%的發電量(2011年)。該國對核電廠除役是採儘速拆除策略，以恢復土地使用於能源工業。Barsebäck二部沸水式反應器，已分別於1999年及2005年永久停止運轉，其用過核燃料已移出廠外，一次系統的除污工作分別於2007、2008年完成；其他組件預定於2015年開始拆除，若其低放射性廢棄物處置場SFR，能順利接收除役廢棄物，該廠預定於2022年完成拆除作業。除了核電廠外，瑞典Studsvik有2部研究用反應器，已於2005年停止運轉，2013年開始拆除，預定2017年完成拆除作業。此外，瑞典有一部早期運轉的高壓重水式反應器Ågesta PHWR，於1974年停止運轉，經地方環境法庭判決同意暫

時封存至2020年後，才著手進行拆除。依據瑞典的法令規定，核電廠經營者必須負責機組的除役及負擔所需的經費。該國於1981年立法要求核電經營者必須提撥經費成立核廢料基金(Nuclear waste Fund)，每3年應檢討重估，以因應核電廠運轉產生用過核燃料、放射性廢棄物之營運管理與最終處置及電廠除役所需費用，另外還包括負責核廢料最終處置營運的專責機構SKB公司的研究發展費用，以及主管機關的監督管制費用。瑞典的核廢料基金由財政部設立的核廢料基金管理會負責管理，屬委員會制，其中二位委員由提撥經費的核設施經營者推薦，委員會運作所需的人力，由財政部所屬法律財務行政服務局派員協助。

B. 法國

法國自1959年開始使用核能發電，截至2011年共有58部機組，由法國電力公司EDF負責運轉，其最近(2006年)獲准於Flammanville興建的EPR反應器，預定於2016年啟用。法國的核設施經營者除了EDF以外，還有負責核燃料製造與再處理等核燃料循環設施的AREVA公司，以及負責軍民用核能研發的CEA。依法國法令規定，核設施經營者應自主成立基金，以支付其設施所產生核廢料營運管理及核設施除役所需的費用；每三年應提出費用檢討重估報告，每年提出基金更新資訊，並由財務評估委員會(National Financial Evaluation Commission, CNEF)負責審核。法國正在除役中的核反應器有9部機組，包括PWR、HWR 與FBR各1部及6部氣冷式反應器。

C. 比利時

比利時第一座核能電廠於1974年開始運轉，至2012年共有7部機組運轉，提供該國53%左右的電力。2003年1月比利時國會通過法案，要求逐步邁向非核家園與停止興建新核電廠，並規定現有電廠運轉期限為40年，惟2012年7月比國政府決定Tihange一號機延後10年停機。如果比國維持非核政策，則其Doel一、二號機將分別於2015及2025年屆期。比國從1987年就投入核設施除役作業的研發，其第一座核設施的除役工作，早於1966至1974年，係拆除一座早期的用過核燃料再處理設施。在核反應器設施拆除方面，比利時自1962年即擁有西歐第一部壓水式反應器BR3，該部機組於1987年停止運轉，1989年歐盟將該廠的拆除作業，列為第三個核電廠除役的5年研究計畫，預定2020年完成拆除作業。在研究用反應器的除役方面，比國Ghent大學有一部250kW的研究用反應器，從1967年啟用，2003年停止運轉，主管機關(Federal Agency for Nuclear Control, FANC)於2012年核發除役許可，預定2013至2015年進行除役作業。比利時另有一座早期配合再處理廠回收再製MOX燃料的工廠，經過20多年的運轉，於2005年決定停止運轉；2008年獲得除役許可，預定除役作業期程自2009迄2015年完成。在核廢料管理及除役經費籌措方面，比國法律規定廢棄物產生者付費原則，依每年核廢料產生量提撥經費，成立長期基金(Long-Term Fund, LTF)，該法案並設立核廢料專責機構ONDRAF/NIRAS，由主管能源政策的部會負責監督。ONDRAF/NIRAS除了負責核廢料的最終處置，也負責處理核電廠以外設施產生核廢料的處理與設施除役等作業。比利

時除了成立LTF外，還有二個由廢棄物產生者支付的特殊基金，一為破產償債基金 (Insolvency Fund)，其設置目的為防止核廢料產生者意外破產時，仍有足夠的經費讓 ONDRAF/NIRAS處理其核廢料；另一個基金稱為中期基金(Medium-Term Fund, MTF)，係專用於中低階核廢料處置場設置地點的補助地方經費，約1.3億歐元，由使用該處置場的核廢料產生者按比例分攤。

D.芬蘭

芬蘭自1977年開始使用核電，現有2座核電廠(Olkiluoto及Loviisa)共4部核電機組，每年約提供1/3的電力，另有1部1,600MWe的EPR機組正興建中，預定2016年運轉；芬蘭國會於2010年原則同意未來將再興建2部核電機組。核電廠經營者每6年應更新其除役計畫，送主管機關審查。Olkiluoto核電廠最近的除役計畫為2008年版，規劃安全封存30年後再進行拆除；Loviisa電廠為2012年版，規劃採儘速拆除的策略。在政府管理體系方面，芬蘭的經濟勞動部(Ministry of Employment and Economy)負責制定與監督執行核廢料管理政策，並負責管理核廢料管理基金(State Nuclear Waste Management Fund)；輻射及核安管理局(Radiation and Nuclear Safety Authority, STUK)負責執行核照及安全管制作業。芬蘭法律規定核廢料營運管理及核電廠除役所需經費，應由核電經營者提撥支付，依據2013年的評估結果，未來核廢料管理及核電廠除役所需經費約需23億歐元，而截至2013年底，該筆基金已累積至22.7億歐元。

會議最後由WPDD主席西班牙籍的SANTIAGO先生，歸納本次會議各項主題的討論結果，並暫訂明年會議的時間為11月16至20日於巴黎舉辦，並將併CPD會議聯合舉行。

三、參訪俄羅斯國家研究中心庫爾恰托夫研究院

會議第三天安排參訪活動，前往位於莫斯科西北郊約半小時車程的庫爾恰托夫研究院(Kurchatov Institute, KI)參觀。由於台灣與俄羅斯政治與地緣的長期疏離，國內俄文人才缺乏，加以雙方核電系統與核能管制體系的不同，以往對於俄羅斯的資訊蒐集不易，研究也較缺乏。此次能有機會前往參觀，機會殊為難得，由於核能工業事涉敏感，俄方要求事前提出申請，參訪過程均未提供資料，下列資料乃是藉由網路搜尋所得，再與參訪時見聞結合，始能稍稍揭開庫爾恰托夫研究院的神秘面紗，對其有點瞭解。



庫爾恰托夫研究院入口大門及接待中心



庫爾恰托夫研究院行政中心

庫爾恰托夫研究院成立於 1943 年，最初是為了核武器發展，在蘇聯科學院時代稱為“實驗室 B”；1960 年改名為庫爾恰托夫原子能研究院，以紀念俄國原子彈之父伊戈爾·庫爾恰托夫(Игорь Васильевич Курчатов, 1903-1960)，1991 年轉變成為俄羅斯科學中心，管理者由原子能部改隸直屬俄羅斯總理府，2010 年成為國家研究中心 (National Research Center)。該院占地約一百公頃、員工約 5000 名，其中有 2000 名研究員、900 名博士，還包括 21 位俄羅斯科學院院士。

大多數蘇聯的核反應器(研究型、動力型)都是由 KI 所設計，坐落於此地的 F1 核反應堆是美國以外的第一個核反應器 (1946 年)。KI 其他成就還包括：蘇聯首次原子彈試爆 (1949 年)、世界第一次氫彈試爆 (1953)、世界第一座核電廠-奧布尼斯克核電廠 (Obninsk) (1954)、第一座核融合托可馬克裝置 (1955 年)、核子動力破冰船 (1957 年)、核子動力潛艇 (1958 年)、俄羅斯第一個同步輻射光源 (1999)。

在解決了冷戰期間核武器設計和製造的問題，打破美國壟斷核子技術之後，KI 在 20 世紀 50 年代開始原子能和平應用和熱核能源的研究和開發，60 年代研究超導應用問題，70 年代成為微電子新技術發展的先驅，80 年代研究資訊技術及網際網路，2000 年後開始積極發展納米技術

目前庫爾恰托夫研究院是俄羅斯四大核物理研究院之一：庫爾恰托夫研究院，實驗和物理理論研究院 (莫斯科)，高能物理研究院 (Protvino)，聖彼得堡康斯坦丁諾夫核物理研究院 (加特契納)。作為跨學科的國家級實驗室，期許來朝向成為一個全球研究中心，實現了 21 世紀科學技術的全球性挑戰的典範。擁有的設施與設備包括：

- 5 座核研究用反應器；
- 14 座臨界反應器組件；
- 專用同步輻射光源；
- 核融合托可馬克設施；
- 材料科學實驗室與“熱室”，研究材料輻射效應；
- 同位素分離設施；

- 綜合物理，化學和放射化學實驗室；
- 群集處理線製造的集成電路；
- 超級計算機數據處理中心（以 120 萬億次浮點運算的峰值性能）；
- 基因工程和合成細胞實驗室；
- 蛋白質和納米生物製造中心。

按照俄羅斯聯邦科學和技術發展的優先次序，基礎研究和應用中心的主要研究領域有：

1.工業納米系統和材料：納米生物技術，納米材料和納米系統。

2.能源和節約能源：

- 核電工程和潛在的能源技術；
- 熱核聚變和離子等離子體技術；
- 防擴散，康復和物理保護；
- 核醫學，同位素分離技術。以及：
- 納米，生物，信息和認知科學和技術的融合；
- 跨學科的基礎研究；
- 信息技術和系統；
- 參與全球國際項目（國際熱核實驗反應堆（ITER）、歐洲 X 射線激光自由電子（XFEL）、大型強子對撞機（CERN）、歐洲反質子和離子研究中心（FAIR）、歐洲同步輻射中心（ESRF）等）。

其中重要領先的科學任務是納米，生物，信息和認知(NBIC)科學與技術的融合，旨在建立一個新的基本研究、技術和人力資源基礎設施，該系統為一種新型的跨學科科學家的培訓，由庫爾恰托夫研究院和俄羅斯一些指標性的大學共同合作成立研究。這是相當前衛新興的科學研究，融合物理、化學、生物、醫學、社會科學...等學科最新發展的領域，相當前瞻且超越的挑戰，

本次 KI 安排的參訪設施與實驗室包括有：

- Reactor F-1 (Реактор Ф-1) 俄羅斯第一座核子反應器
- Kurchatov complex of synchrotron-neutron research 同步輻射中心
- Reactor MR 除役中的研究用反應器
- Recultivated territory of the radioactive waste temporary storage 放射性廢棄物掩埋處理的土地復育

庫爾恰托夫研究院的 Ф-1 研究型反應器是俄羅斯第一座維持鏈鎖反應的核反應堆，六十八年前，俄羅斯科學家以極短的時間完成 Ф-1 反應堆的建造，在東西方冷戰中取得與美國“核均勢”抗衡的支撐。在 1946 年 12 月 25 日臨界，功率 24 kw。目前它

仍然在運作，被金氏紀錄列為世界上維持運轉最久的核反應器。在 Φ -1 反應器中進行的各種研究工作，用以澄清核物理常數、輻射屏蔽計算，並據以設計和建造其他類型的核反應器。目前擔任核能人才訓練之用。

Φ -1 反應器類似芝加哥費米反應堆(Fermi Pile)，以石墨塊堆疊而成，每個石墨塊中有三個圓孔，金屬鈾棒插於其中，石墨作用為中子減速，有一支鎊棒做為控制棒。由於功率僅 24 kw，沒有冷卻系統，藉空氣散熱，自臨界以來仍無需更換燃料，控制室的儀器仍然使用古老真空管儀器及紙帶式紀錄器。

從網路上找到 4 張 Φ -1 反應器的照片，包括反應器廠房、控制室、爐底石墨堆、爐頂實驗裝置，參訪當時都曾經到達這些地方參觀，當聽到 Φ -1 反應器仍然在運轉時，不由對於俄羅斯產生一絲敬意。

運轉員桌旁有一本來賓簽名冊，有幸能到此造訪，也很慶幸人類最終自我克制，避免核子大戰爆發，免除地球浩劫。科技的發展終究還是提供人類生活的幸福，希望將來台灣第一座原子爐—清華水池式反應器(THOR)也能被如此善待，保留作為時代的紀念。

[Реактор \$\Phi\$ -1](#) 這個連結是庫爾恰托夫研究院 Φ -1 反應器的影片，雖然是俄文配音，但可以看到更多反應器內部的介紹。



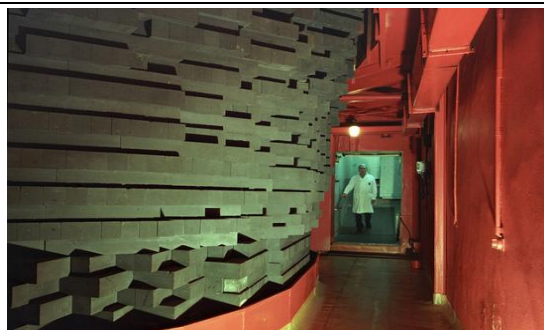
Φ -1 反應器廠房



Φ -1 反應器控制室



Φ -1 反應器頂部實驗設施

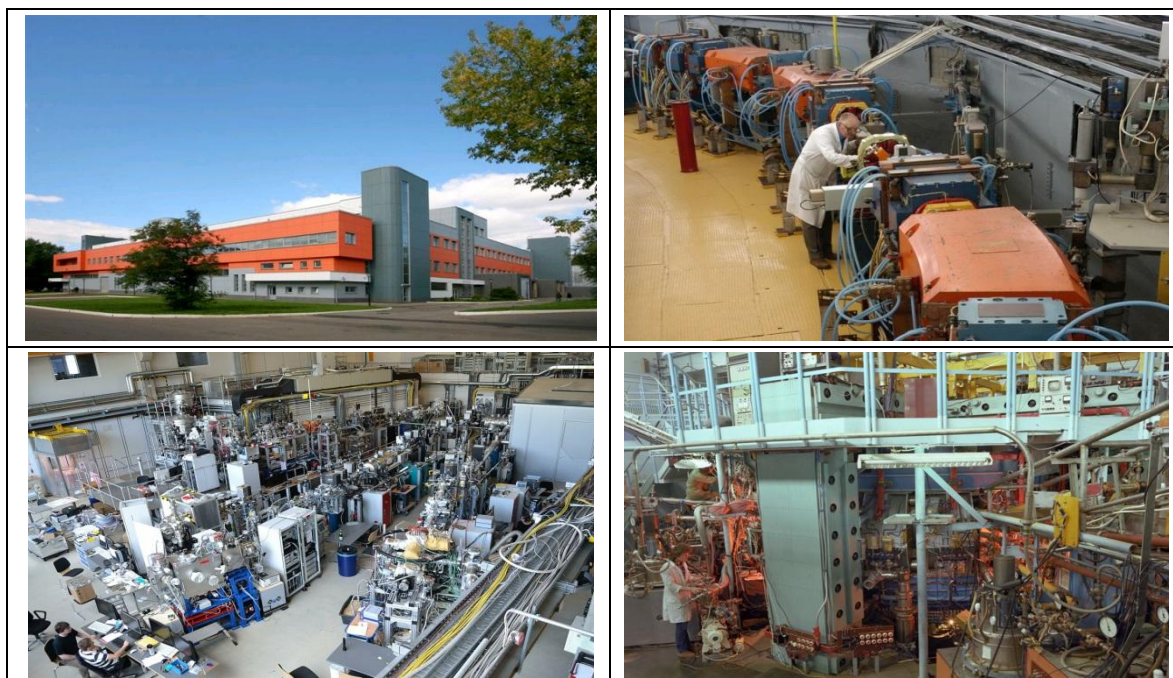


Φ -1 反應器底部石墨堆

庫爾恰托夫同步輻射及奈米技術中心(The Kurchatov Center for Synchrotron Radiation and Nanotechnology, KCSRNT)於 1999 年啟動。這是唯一在俄羅斯的專門同步輻射光源。它結合了同步輻射的各種性質，例如：高通量、準直、偏極化，以及自紅外線到硬 X 光的寬廣波長範圍光源，使得它成為極有用處的研究工具，可適用在物理、化學、生物、材料科學與奈米技術等各方面。

KCSRNT 的研究重點在於：

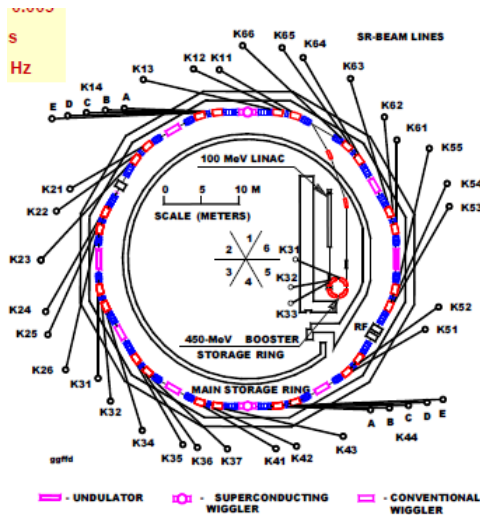
- 新材料設計開發之材料次原子結構診斷
- 薄膜奈米結構研究
- 醫學診斷新方法
- 發展深度 X 光蝕刻技術、用於光學、微機電、生醫技術等學科
- 精密化學分析用於生態之研究



同步輻射中心實驗室、光源加速與繞射儀設備

KCSRNT 的輻射光源組成擁有一個線性加速器、一組小儲存環 Siberia-1 可提供高能同步電子束、及 VUV 到 soft X-ray 範圍的光源、一組大儲存環 Siberia-2 提供波長自 0.1 到 2000 Å X 光源。

KI 相當自豪這座同步加速器，將它列在外賓參訪必經路線，是 KI 近年來研究的重要工具，半數以上的研究產出都與它有關聯，目前與國外研究機構的合作研究也相當大宗。下圖表示庫爾恰托夫同步輻射光束線，及兩座儲存環的基本參數。



The accelerator complex in KCSR

Main parameters of Siberia-1 and Siberia-2 rings		
Parameter	Siberia-2	Siberia-1
Energy	2.5 GeV	0.45 GeV
Circumference	124.13 m	8.68 m
Optical structure	Modified DBA	FODO
Superperiods	6	1
Bet. tunes: n_x, n_y	7.772; 6.692	0.793; 0.895
Mom.compaction	0,0104	1,64
Damping x, y, s, ms	3.04; 3.17; 1.49	7.15; 7.15; 3.57
Hor. emittance	78-98 nm-rad	880 nm-rad
RF harmonic	75	1
Energy spread	0,000953	0,00034
Dipole field: B_y	1.7 T	1.5 T
ID space	2x3m($\eta=0$) 5x3.2m($\eta \neq 0$)	
Bunch length:		
sigma (without IDs)	1.84 cm	30 cm
SR pulse duration	0.14 ns FWHM	2.35 ns FWHM
SR pulse spacing	5.5-414 ns	28.9 ns

庫爾恰托夫同步輻射光源

Reactor MR

因為這次是藉 WPDD 會議才得以參訪庫爾恰托夫研究院，因此俄方特別安排參觀除役中的研究用反應器 Reactor MR、還有附近的放射性廢料掩埋處理設施的土地復育。KI 內部曾經擁有 12 座反應器以及用過核子燃料貯存設施，至今仍有 5 座反應器在運轉。今天的 KI 已經位於城市之中，附近公寓鱗次櫛比，反應器除役已到了迫在眉睫，刻不容緩的時刻。因此在 2000 年，俄羅斯政府獲得英國商務部財務資助，開始 KI 反應器除役計畫。除役計畫主要項目包括：

- 發展核子設施除役概念及整體規劃內容
- 審視反應器狀況、廠房輻射污染調查
- 準備主要除役設計及拆除
- 開發燃料設備降低活度除污之方法與設計
- 開發輻射防護程序
- 準備安全評估報告

MR 反應器 1963 年開始運轉、1993 年終止運轉、為 6 座除役反應器中最大的一環。功率為 50MW、水池式+壓力管反應器、以水/鈹作為冷卻劑/緩衝材、擁有 9 個材料及燃料試驗環路、同建築內還附設熱室及用過核燃料貯存窖、共用廢水及排氣系統；這些都是要一併除役。

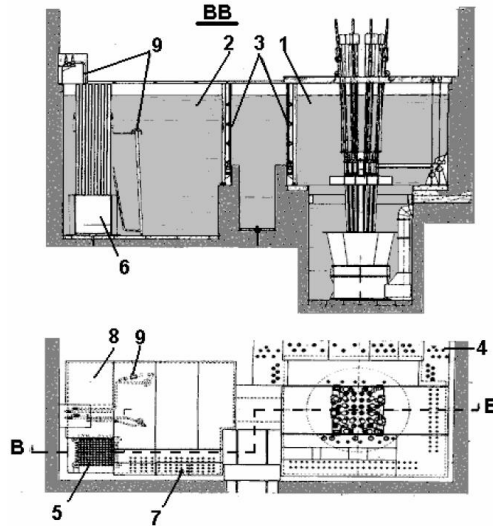
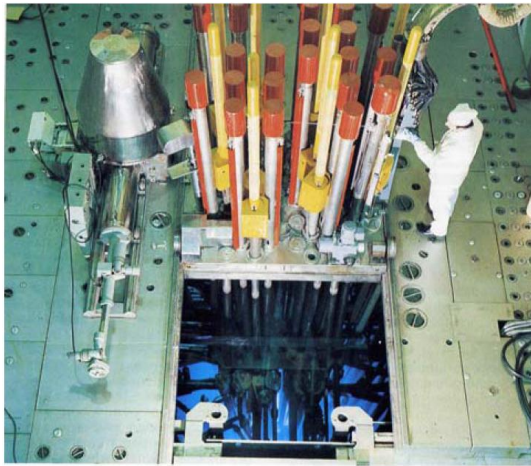


Fig. 2. MR reactor: left - view from above; right – plan and horizontal cross-section of reactor pool and storage pool (1 – reactor pool; 2 – storage pool; 3 – lock gate; 4 – shielding slabs over loop channel connections with the loop; 5 – gamma irradiator tube plate; 6 – gamma irradiator chamber; 7 – FA channel retrieved from reactor; 8 – tank containing equipment for underwater cutting of channels of any type; 9 – loop FA channel retrieved from reactor).

設備及房間的分污染類

設備分成高污染(劑量率 $> 2 \times 10^4 \mu\text{Sv/h}$)、中污染(劑量率 $> 2 \times 10^3 \mu\text{Sv/h}$)、低污染(劑量率 $< 2 \times 10^4 \mu\text{Sv/h}$)，房間分成 Type I(只有 β 和 γ 污染)和 Type II(有 α 污染)。下表是 MR 反應器各個廠房內的房間及污染情形。

Table 2. Lists of Plant in Each Building of the MR Facility

Building	Plant	Radiological Hazard
37/1	Reactor hall, reactor pool with in-vessel devices, cooling (storage) pool, storage of control rods, plant rooms of primary circuit and loops; the hot cell, intended for work with the irradiated fuel, vault of RFT reactor with in-vessel devices	Yes
37/3	Systems of special ventilation and drainage, plant for collection, clearing and removal of liquid radioactive waste (LRW): settling tanks No. 1 - 4 for gathering and storage of contaminated water; monteuses No. 1 - 2 for gathering radioactive water from reactor buildings through natural flow special drainage; plant for the special ventilation system of building 37/1; purification system for water from the sediment bowls; high-voltage switchboard for power supply for Buildings 37/1, 37/3 and 37/4.	Yes
37/4	LRW processing system plant: sediment bowls No 5-6 and monteuses No 3-7	Yes
	Pipelines and the devices of secondary and ternary coolant circuits.	No
37/5	Sanitary check point	No
37/6	Ventilating stack	Yes
37/7	Tanks of artesian water	No
37/8	Storage of low level radioactive waste	Yes
94	Reserve units of power supplies	No

MR 整體規劃是將除污視為未來核設施除役的先導計畫，所有房間將被除污到可以再使用作為核能用途設施場所，其他的反應器除役不會做到廠房拆除，抑或是土地復原。未來 MR 的反應器大廳將用做其他反應器用過核子燃料暫存使用，下表是所有房間待除污設備清單。

Table 3. Items of Plant to be decommissioned

Building	Location	Plant
37/1	Reactor Hall	<ul style="list-style-type: none"> loop installations in cooling pool control rod drives in-vessel plant of the RFT reactor in-vessel plant of reactor pool (reactor core components) primary circuit pipework and loop installations in reactor hall sumps
Loop installations	50, 51, 52 45, 46 67, 67a 63 64 57, 58 49, 53 66, 66a, 66b 59, 59a, 60 41, 69, 71	PVTs-1 (boiling water) PVK (boiling water) PV (pressurized water) PVO (pressurized water) POV (pressurized water) PVU (pressurized water) AST (PVTs-2) (boiling water) PG (helium) PVM (lead-bismuth) Primary circuit
37/4	Additional Building	Secondary and ternary circuit plant (heat exchangers, pipes, pumps etc.)

其他的除役作業內容還包括：

- 利害關係人溝通
- 在組織、管理及表現方面維持功能與責任
- 在除役作業延遲時，維持運轉執照有效
- 將工作依據作業階段維持穩定、連續的功能
- 維持成本效益
- 區別緊要目標
- 儘可能使用簡單、已被證明有效的技術
- 逐漸縮減污染區域
- 廢棄物生成減量
- 最佳化利用園區其他核設施，減少設置新設施
- 維持園區處於被動安全狀態(passively safe condition)
- 遵循ALARA，減少職業暴露
- 保持對公眾與環境的影響在可被接受的水平
- 善用運轉經驗與員工知識
- 人事資源最佳化
- 定時檢視除役策略與外在環境變化
- 安全保存一手文件，建立完整資料庫

MR除役作業順序：

- 準備階段 (2008~2010)：
 - 拆除用特殊工具的設計製造；
 - 運送與貯存用廢料包裝容器的設計製造
 - 設備拆除的除污技術的建立
- 設備拆除：
 - 反應器廠房大廳設備拆除清理 (2011~2012)

- CPS trolley;
- header of cooling circuit;
- upper support with upper slab;
- upper ring;
- reactor vessel;
- slab and protector;
- grate and support for cadmium cans;
- graphite cooling pipelines;
- lower support;
- equipment and pipelines in the reactor hall pits (under flooring);
- equipment of the storage pool and sluice (except for sluice gates).
- 環路設備拆除清理 (2013~2014)
 - pipeworks and equipment of the reactor first circuit;
 - loop rigs PG, AST, PVM, PVU, POV, PVO, PV, PVK and PVTs.
- 廠房除污 (2015) :
 - decontamination of the process rooms and loop rigs;
 - decontamination of engineering systems providing reactor operation.
- 最後偵測 (2015)
- 廠址輻射偵測與土地復原 (2015)
- 解除核能管制 (2015)

當我們參訪時，MR已按照預定進度進行到爐體底部及環路部分的拆除工作，整個廠房給我們的印象是，拆除作業仍由原先的運轉人員擔任，沒有外包廠商，廠房內的工作人員並不多，作業機具都是停止運轉狀態，這和四月時在西班牙ZORITA電廠除役現場看到的不同，不知道是不是因為當天要應付參訪，暫時停止作業。廠房內維持相當乾淨，即使到作業大廳參觀，也不必穿輻射防護衣，出來時進行手足偵測都是無污染。廠內有許多作業機具都是經改裝，具有遙控作業功能，可減少作業人員劑量，詢問結果這些都是俄羅斯國內廠商開發的機具，他們已經在規劃將來的經營模式，未來會協助其他獨立國協會員國的蘇聯型式反應器的除役作業。整個拆除作業井然有序，作業領班對於工作內容都能掌握，介紹時雖然必須藉由翻譯，但可以感受到他的自信，這一點不由令人對俄國人佩服，他們的技術還是有相當的水準，不必仰賴國外。

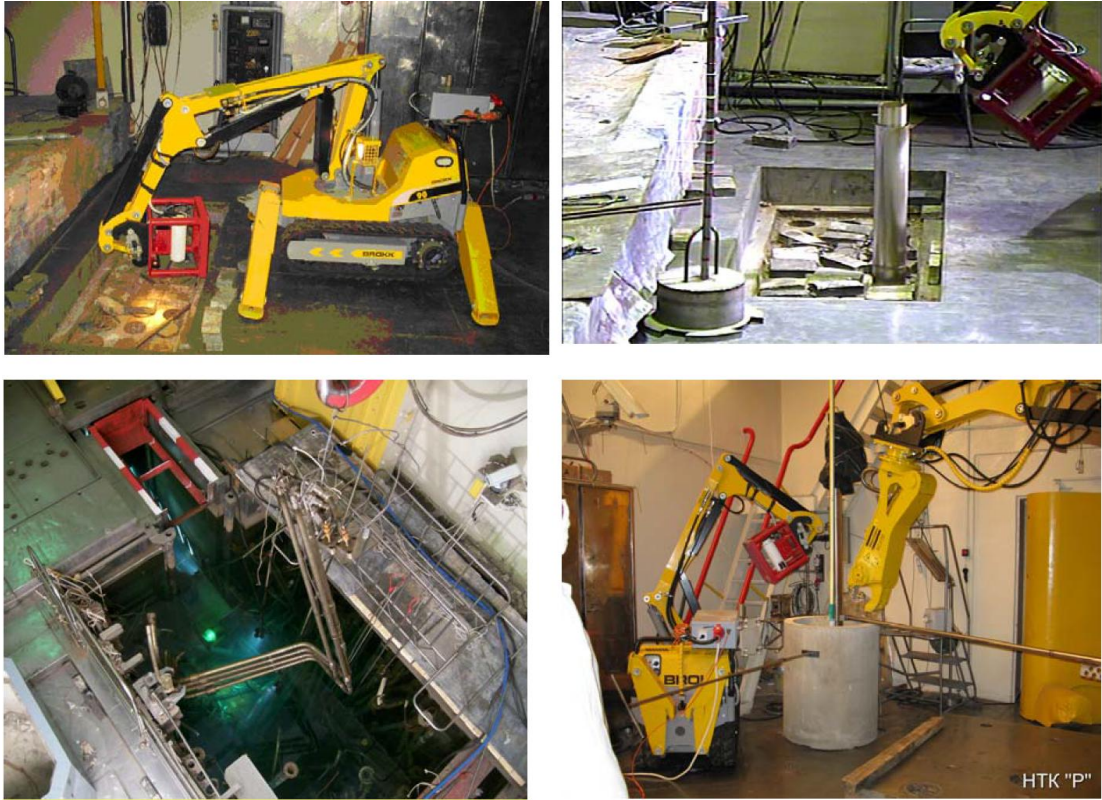


Fig. 2. Radiation survey of SNF repository and the removal of spent fuel from it and from the reactor pool.



Fig. 3. Removal of loop channels from the reactor pool.

Recultivated territory of the radioactive waste temporary storage

KI處理除役產生的放射性廢棄物時，先是將廢棄物裝桶，暫存在院區一角，外面以塑膠布帳篷覆蓋，我沒有詢問俄國法規的限制值，相信一定會有劑量與污染的限制。在MR廠房附近，我們被引導到一片草地旁邊，KI人員告訴我們在這片土地下方是放射性廢棄物淺層掩埋，上方種草復育。我們只覺得驚訝，KI附近人口稠密，俄羅斯土地幅員遼闊，何以會選擇原地進行放射性廢棄物掩埋，對於地下水與土壤難道不會污染嗎？如果是可以外釋的廢棄物，又何需掩埋，增加未來二次處理的成本，國內核研所及核電廠應該不會做如此處理，俄國人的做法著實讓人心中充滿疑問。庫爾恰托夫研究院在進行院區內反應器除役工作，並不假手外部廠商支援，而是藉由自己原有員工來工作，利用這些人的知識與經驗，一步步仔細規劃，落實工作。他們的目標很明確，就是要未來能掌握全面技術，爭取將來的反應器除役計畫。

肆、建議事項

- 一、依據我國核子反應器設施管制法之規定，台電公司核一廠一號機應於2015年底提出除役計畫，向主管機關申請除役許可。由於國內以往並無核能電廠除役的審查與管制經驗，未來應多方派員參與國際間有關核電廠除役的研討會，以擷取國際實務經驗，提昇國內核電廠除役作業效能與安全。
- 二、本屆WPDD會議在原能會派駐OECD/NEA代表侯博士的努力奔走下，終於獲得NEA/RWMC同意以中華台北的名義出席會議。該會議係目前國際間探討核設施除役最廣泛的國際會議，包括從除役法規與管理體系、經費估算、拆除技術與實際作業及核設施土地復育及再利用等議題，迄今已連續舉辦了15年。目前探討的四項焦點議題包括除役成本估算、廠區輻射特性調查與除役作業規劃、核設施場址復育、以及除役技術與拆除作業之研究發展，均為我國未來除役作業規劃與管理的重點工作。該會議值得我方積極努力爭取成為會員或至少為觀察員，並由產、官、研等單位每年派員出席會議，並參與其任務小組的活動。
- 三、本屆會議期間，負責核設施場址復育任務小組之召集人，來自英國核能管制單位的ORR博士，曾邀請我方派員參與該任務小組下一階段的活動。由於該任務小組探討之議題，有益於國內未來核電廠除役後的土地復育作業，且有助於我國爭取加入WPDD成為觀察員或會員。而國內目前核能研究所正在進行台灣研究用反應器TRR的除役作業，以往核研所在核設施污染復育方面亦曾進行相關研究。建議我方宜應允參與該任務小組，並由核研所指派研究人員，參與該任務小組的活動。
- 四、本次會議各國探討的除役議題中，很多集中在除役經費的籌措與準備，而且會影響到該國的除役管理策略。各國對核設施除役及核廢料營運管理所需的經費，大都規定「經營者或產生者負責原則」，且多以建立基金的制度，定期提出經費累積與未來須支付經費的檢討評估報告。建議國內可參考國際間的作法，要求核設施經營者定期(建議每三~五年)提出核後端營運經費檢討評估報告，並向外界公開。
- 五、核設施除役工作最在意污染控制與工作人員劑量。善用機械工具進行遙控作業可以加速工作進行，並減少人員劑量。由於除役場地狹隘，必須使用輕巧機具，與一般工地見到的大型機具不同。建議國內相關研究單位考量結合有能力的廠商，引進國外已經發展成熟的機具設備，例如輕巧型拆除機具的設計、製造，並輔以電視監控與遙控功能，以及輻射環境偵測的自動化與遙測儀器，以應用於未來核電廠的除役作業。



Overview of Decommissioning Tasks on Nuclear Power Plants in Chinese Taipei

15th Annual Meeting of the Working Party on Decommissioning and Dismantling of the OECD NEA Radioactive Waste Management Committee
Moscow, Russian Federation

14 October 2014

1

Chinese Taipei

AREA	36,193 km ²	(136th)
POPULATION	23,373,517	(52nd)
GDP	\$484.700 billion	(26th)

一起來瘋FIFA~



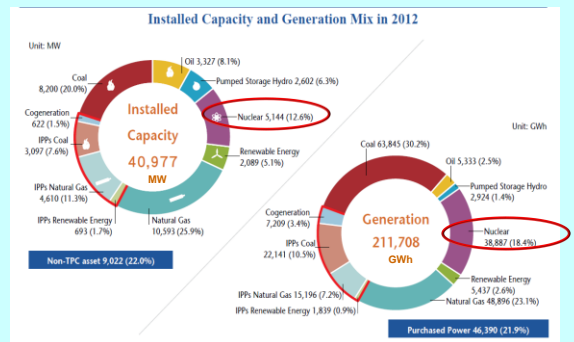
Operation and Decommissioning Timetable of TPC's NPPs



3



Chinese Taipei Power System 2012



TPC is a major electric power supplier in Taiwan

4



Basic Information of TPC's NPPs

Chinshan NPP
GE BWR4 636MWe × 2
Commercial in Dec. 1978

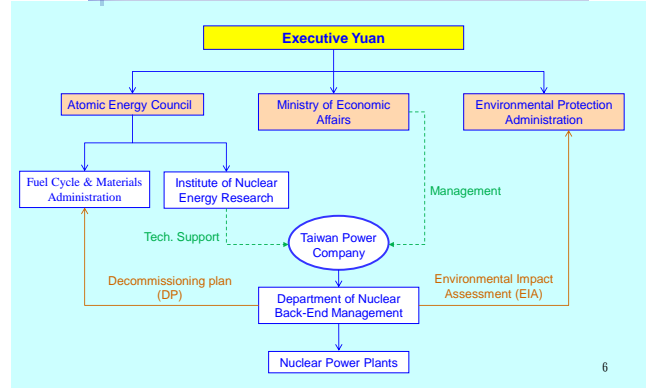
Kuosheng NPP
GE BWR6 985MWe × 2
Commercial in Dec. 1981

Maanshan NPP
WH PWR 951MWe × 2
Commercial in July 1984

Lungmen NPP
GE ABWR 1350MWe × 2
Start construction in 1999
Deferred



Organizational Chart of Nuclear Management Body



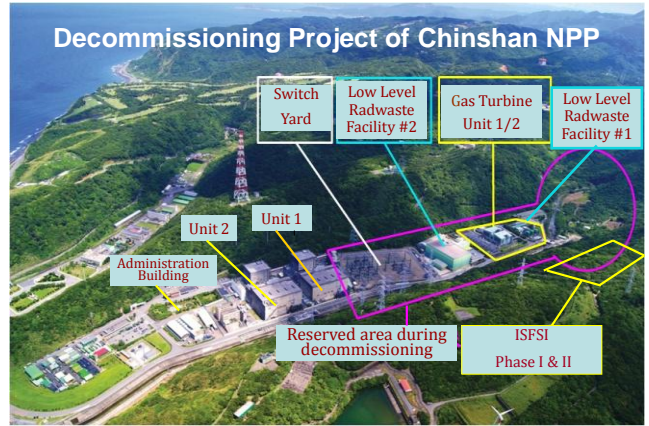
6



Decommissioning Regulations

- **Nuclear Reactor Facilities Regulation Act (NRFRA)** promulgated in January 2003, of which from Article 21 to Article 28 stipulate decommissioning activities of nuclear reactors.
- **Enforcement Rules of NRFRA** promulgated by AEC in August 2003.
- **Regulation for the Review and Approval of Decommissioning Applications for Nuclear Reactor Facilities** promulgated by AEC in July 2004, which stipulates procedures to apply for decommissioning permits.
- **Standard Format and Contain of decommissioning plan** promulgated by FCMA in December 2012.
- **Standard Review Plan of Decommissioning Plan** promulgated by FCMA in December 2013.

7



Overview of Chinshan NPP

8



Decommissioning Schedule of Chinshan NPP

2012~2018 Preparation Phase (7 years)	2012~2015	Decommissioning strategy and technique research programs Preliminary investigation and site radiological characterization Preparation of decommissioning plan (DP) and environmental impact assessment (EIA)
	2016~2018	Submission of DP and EIA for approval (3 years)
2019~2043 Execution Phase (25 years)	2019~2023	Transitions after plant shutdown (5 years)
	2024~2038	Decontamination and dismantling (15 years)
	2039~2041	Final site radiation survey (3 years)
	2042~2043	Site remediation and restoration (2 years)

9



Preparation Phase (~2018)

- Organize a task force for the decommissioning program
- Prepare the bidding specification for DP & EIA
- Estimate decommissioning cost
- Estimate radwaste inventory
- Technology transferring and training
- Participate in international decommissioning programs

To be done

- Conduct new R & D programs
- Prepare DP and EIA
- Attend OECD/NEA-CPD Projects

10



R & D Programs for Decommissioning Project of Chinshan NPP

- One of the major tasks is to build a **strategic and technical basis** in order to facilitate the decommissioning project during the preparation phase
- **38 R & D programs** for NPP decommissioning include assessment, analysis, and research

11



R & D Programs for Decommissioning Project of Chinshan NPP

- **Value-added information** presented in WPDD meetings will include the following topics:

- I. System Reclassification and Safety Assessment after Permanent Shutdown
- II. Study in Dismantling Process and Sequence
- III. Decommissioning Waste Management
- IV. Radiological Safety Assessment
- V. Decommissioning Information Management System (IMS)

12



System Reclassification and Safety Assessment after Permanent Shutdown

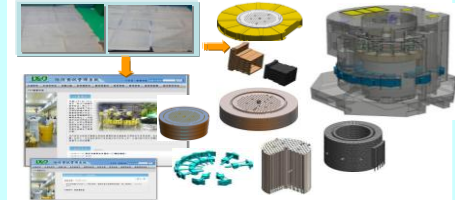
- Safety assessment of independent spent fuel pool
- Safety analysis of criticality and thermal flow
- Safety analysis of radiology
- Safety assessment of structural integrity
- Safety assessment of Seismic
- Safety analysis of severe accidental conditions (e.g. tsunami, thunderstorm, and mudslide)

13



Study in Dismantling Process and Sequence

- Engineering management and work schedule (WBS)
- Dismantling sequence for large components and RC structures
- Establishment and application of 3-D models for systems, structures and components
- 3-D modeling simulation of RPV segmentation



14



Decommissioning Waste Management

Classification, decontamination, volume reduction, packaging, interim storage and process planning

- In-site storage of low level radioactive waste (LLRW)
- Processing facility for LLRW
- Design and development of LLRW containers
- Evaluation on retrieval of spent fuel from ISFSI
- GTCC waste transportation & storage
- Storage site planning and conceptual design of waste soil

15



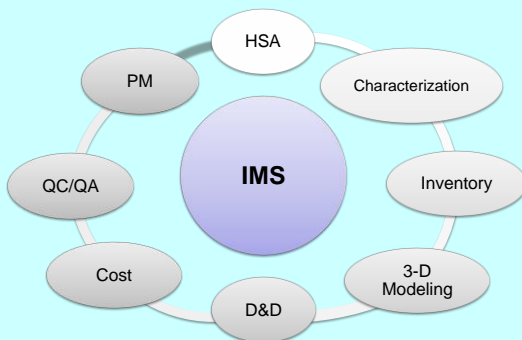
Radiological Safety Assessment

- Study on worker radiation exposure and radiation protection measures during decommissioning
- Assessment on worker radiation exposure under abnormal conditions during decommissioning
- Environmental radiation impact assessment under normal and accidental conditions of decommissioning
- Development of environmental radiation surveillance program during decommissioning

16



Decommissioning Information Management System



17



Presentation in TAG meetings to share research results and exchange information with WPDD members in the future

Please support Chinese Taipei to be one member of WPDD substantially, and sincerely welcome all WPDD members to visit Taiwan and Chinshan NPP.

18