

出國報告（出國類別：其他）

參加經濟合作發展組織/核能署
(OECD/NEA)第17屆核設施除役工作
小組(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：劉文忠副局長

派赴國家：義大利羅馬

出國期間：105年10月22日至10月30日

報告日期：105年12月30日

摘要

依照「2025 非核家園」新能源政策，既有核能電廠將不再延役，因此核一廠、核二廠及核三廠將依序於 107 年、110 年及 113 年永久停止運轉，並依「核子反應器設施管制法」第 23 條規定，於設施永久停止運轉前三年，提出除役計畫陳報原能會。台電公司已於 104 年 11 月 24 日向行政院原子能委員會(簡稱原能會)提報「核一廠除役計畫書」，申請除役許可，正由原能會進行審查中。另亦正進行「核二廠除役計畫書」之相關準備及規劃作業，並將於 107 年 12 月前向原能會提報「核二廠除役計畫書」，申請除役許可。

我國首次執行核能電廠除役作業，必須積極參與國際核能除役組織，汲取國外的除役經驗，俾便未來能順利執行除役作業。經濟合作暨發展組織(Organization for Economic Co-operation and Development, OECD)所屬核能署(Nuclear Energy Agency, NEA)，依工作性質在指導委員會下設立七個專業委員會，其中放射性廢棄物管理委員會(Radioactive Waste Management Committee, RWMC)，亦負責除役與拆除工作團隊(Working Party on Decommissioning and Dismantling, WPDD)，是專責核設施除役與拆除的技術研發創新與任務需求的工作小組。

WPDD 係提供全球核設施在除役拆除方面交流之平台，關注重點在除役政策、策略及管制之分析，且包括物料管理、基金與成本估算、廠址建物除役後釋出等議題，成立於 2001 年。主要目的為探討核能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，以促進國際間在核設施除役與放射性廢棄物管理之國際合作。目前參與之國家有美、英、法等 21 國，以及國際原子能總署(International Atomic Energy Agency, IAEA)與歐盟執委會(European Commission, EC)二個國際組織。WPDD 每年召開一次會議。

為擴大核設施除役國際經驗的交流與技術分享，我國積極爭取參加 NEA/WPDD 會議。經多方努力，於 2014 年 6 月首次獲 NEA 來函邀請我方派員出席在俄羅斯莫斯科舉行的 2014 WPDD 會議，次年亦獲邀參加在巴黎舉辦的 2015 WPDD 會議。第 17 屆 WPDD 會議於今(105)年 10 月 25 至 27 日在義大利羅馬舉行，經由我國駐 NEA 代表林繼統技正積極爭取，以觀察員身份再次受邀為第三年參與 WPDD 會議。我方代表團為原能會物管局劉文忠副局長、台電公司核一廠除役專案副召集人潘維耀副廠長及核能後端處范振璵組長參加。另義大利為最早採行非核家園的國家，藉由此次 WPDD 會議在義大利羅馬舉行，亦順道訪問義大利除役專責機構(SOGIN)，以吸取其核電廠除役的實務經驗。期藉由參與本次會議及參訪，與 WPDD 所有會員國進行除役技術交流，共享各國所累積的除役經驗，並吸收核電廠除役先進國家經驗，以提昇我國核設施除役作業之安全與效率。

目 次

摘 要.....	i
目 次.....	ii
壹、目的 (含緣起).....	1
貳、過程	3
參、心得	5
肆、建議事項	28

附件一 NEA WPDD-17 會議議程

壹、目的 (含緣起)

民國 100 年 11 月 3 日，政府發布國家能源政策，在「不限電、維持合理電價、達成國際減碳承諾，積極實踐各項節能減碳措施」的前提下，確定核一、二、三核能電廠在運轉執照有效期限結束後不延役。台電公司依照「2025 非核家園」新能源政策，既有核能電廠將不再延役，因此核一廠、核二廠及核三廠將依序於 107 年、110 年及 113 年永久停止運轉，並依「核子反應器設施管制法」第 23 條規定，於設施永久停止運轉前三年，提出除役計畫陳報原能會。台電公司已於 104 年 11 月 24 日向原能會提報「核一廠除役計畫書」，申請除役許可。目前正進行「核二廠除役計畫書」之編寫及相關規劃作業，將於 107 年 12 月前向原能會提報「核二廠除役計畫書」，申請除役許可。

依據國際原子能總署統計資料，截至 2016 年 10 月止，全球有 157 部核能機組永久停止運轉，分布於 19 個國家，其中美國 33 部；英國 30 部；德國 28 部；法國 12 部；日本 16 部；加拿大 6 部；俄羅斯 5 部；保加利亞、義大利與烏克蘭等國各 4 部；斯洛伐克與瑞典等國各 3 部；立陶宛與西班牙等國各 2 部；阿美尼亞、比利時、哈薩克、荷蘭與瑞士等國各 1 部。我國首次執行核能電廠除役作業，必須積極參與國際核能除役組織，汲取國外的除役經驗，俾便未來能順利執行除役作業。國際間為促進經濟合作發展議題，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, OECD)。另因為經濟發展過程需要能源協助，其中核能的應用亦屬能源的一環，為此 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，1972 年因日本加入該組織後，改名為核能署(Nuclear Energy Agency, NEA)。目前 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 86% 以上，平均提供這些國家約 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，2016 年的預算約 1,110 萬歐元，是由各會員國認捐而來，現有職員 108 人，除少數專職人力外，大部由各會員國派員支援。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。

核能設施除役與拆除工作小組(Working Party on Management of Materials from Decommissioning and Dismantling, WPDD) 屬於經濟合作暨發展組織核能署專業委員會下的工作小組，成立於 2001 年。主要目的為探討核能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，以促進國際間在核設施除役與放射性廢棄物管理之國際合作。目前參與之國家有美、英、法等 21 國，以及 IAEA, EC 二個國際組織。WPDD 每年召開一次會議，會議地點除在 NEA 巴黎總部，此工作小組會議原則上每隔二年由各會員國輪流舉辦。

WPDD 成立 16 年來，有許多工作成果。包括：對於核能設施及除役時所產生的廢金屬回收再使用、除役設施的核種特性調查研究、各會員國除役工作經驗交流、除役設施

經費之估算、核能設施運轉期間與停機後對除役工作的準備、及除役後設施土地再利用的研究等，均分由各個工作組進行研究。另外每年均設定有一主題研究，協助會員國針對除役工作需要，互相研究探討。

有關核設施除役資訊及技術之國際交流，除了 WPDD 以外，NEA 早於 1985 年即成立核設施除役合作計畫(Co-operative Program for the Exchange of Scientific and Technical Information Concerning Nuclear Installation Decommissioning Projects, 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，並於當年 8 月 27 日以核一廠之除役計畫成為 CPD 之會員。

我國亦積極爭取參加 NEA/WPDD 會議，經我國派駐巴黎經濟合作暨發展組織核能署代表多方努力，於 2014 年 6 月獲 NEA 來函邀請我方派員出席在俄羅斯莫斯科舉行之第十五屆會議，並於會中簡報我國管制機關核設施除役規劃與管制準備。2015WPDD 會議，我方分別由核研所簡報我國核能研究所除役與除污技術發展，台電公司報告核能一廠除役規劃兩項簡報，亦獲與會代表的熱烈討論和肯定。

第 17 屆 WPDD 會議於今(105)年 10 月 25 至 27 日在義大利羅馬舉行，經由我國駐 NEA 代表林繼統技正積極爭取，以觀察員身份再次受邀為第三年參與 WPDD 會議。我方代表團為原能會物管局劉文忠副局長、台電公司核一廠除役專案副召集人潘維耀副廠長及核能後端處范振聰組長參加。另義大利為最早採行非核家園的國家，藉由此次 WPDD 會議在義大利羅馬舉行，亦順道訪問義大利除役專責機構(SOGIN)，以吸取其核電廠除役的實務經驗。期藉由參與本次會議及參訪，與 WPDD 所有會員國進行除役技術交流，共享各國所累積的除役經驗，並吸收核電廠除役先進國家經驗，以提昇我國核設施除役作業之安全與效率。

貳、過程

一、行程

日期	地點與行程	內容
10月22日(六)	台北->義大利羅馬	去程
10月23日(日)	台北->義大利羅馬	去程
10月24日(一)	義大利羅馬	經濟合作發展組織核能署(OECD/NEA)人員會談
10月25日(二)	義大利羅馬	參加第17屆核設施除役工作小組(WPDD)會議
10月26日(三)	義大利羅馬	參加第17屆核設施除役工作小組(WPDD)會議
10月27日(四)	義大利羅馬	參加第17屆核設施除役工作小組(WPDD)會議技術參訪
10月28日(五)	義大利羅馬	訪問義大利 SOGIN 除役專責機構
10月29日(六)	義大利羅馬->台北	返程
10月30日(日)	義大利羅馬->台北	返程

二、本次參加 WPDD-17 會議於 10 月 25~27 日在義大利羅馬舉辦。會議前先與我國駐 NEA 代表林繼統技正，就 NEA 未來主要活動與發展方向、我國在 NEA 的主要工作重點及發展，以及參加 WPDD-17 會議事宜等進行會商。本屆 WPDD-17 會議的議程分為 NEA 發展與活動近況說明、WPDD 各專案工作報告、國際發展現況、各國除役現況資訊更新報告、核設施除役管理專題、義大利除役現況專題報告、WPDD 未來發展與作業包括新的技術議題、WPDD 工作會議及受邀出席國家與單位之專題報告等。WPDD-17 會議議程詳如附件一，10 月 27 日技術參訪義大利 Latina 核能電廠除役作業。10 月 28 日順道前往總部設在羅馬的 SOGIN 公司拜訪，希望可了解義大利核能設施除役作業之策略及推動現況， SOGIN 公司參與此次討論的有 Mr. Ivo Tripputi：資深顧問(Senior Advisor)，Mr. Mario Lazzeri：國際事務部處長(Director, International Affairs Department)及 Mr. Marco Del Lucchese：廢料營運與除

役處處長(Director, Waste Management & Decommissioning Division)等，進行技術交流活動。

參、心得

一、經濟合作發展組織核能署(OECD/NEA)人員會談，本次參加 WPDD-17 會議，於會前與我國駐 NEA 代表林繼統技正，就 NEA 未來發展方向與重點、NEA 技術協助我國核廢料安全管理及參加 WPDD 會議事宜等進行會商。

有關 NEA 未來發展方向與重點方面，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，2016 年的預算約 1,110 萬歐元，是由各會員國認捐而來，現有職員 108 人，除少數專職人力外，大部份由各會員國派員支援。目前全球可運轉的核電機組共 450 部，各國所擁有的可運轉的核電機組數量排名，前 5 名分別為美國 (99)、法國 (58)、日本 (42)、中國(36)和俄羅斯 (36) 及韓國(25)。中國大陸可運轉的核電機組數已達 36 部，僅次美國、法國，日本與俄羅斯並列全球第 4，就機組發電裝置容量而言，中國大陸為 31GW 則勝於俄羅斯的 27GW。中國大陸興建中的核電機組達 20 部，更居世界首位，占全球在建核電機組數的 4 成。目前中國大陸核電僅佔電力需求的 3%，而美國核電約佔 20%，長程而言中國大陸核電機組數量將超過美國成為世界首位的核電國家。因 NEA 的人力和經費來自會員國，基本上是依各國核能機組及發電總量計算認捐，NEA 積極爭取中國大陸加入 NEA 是必然的趨勢，相對對我國參與 NEA 活動的挑戰有可能會日益增加。

NEA 近年來將民眾參與列為重點工作，其經驗可供我國參考之處。NEA 認為核廢料為高度鄰避(Not In My Back Yard, NIMBY)設施，民眾參與為妥善解決核廢料的關鍵所在，NEA 放射性廢物管理委員會 (RWMC)，在 2000 年成立利害關係者信任論壇 (Forum Stakeholder Confidence, FSC)，以促進學習相關利害關係者交流對話，以及如何發展共享信任，建立共識和接受放射性廢物管理解決方案。參與此論壇來自 NEA 成員國的政府決策官員、管制機關人員，專家學者，經營者、環保團體及核廢料設施的地方代表。他們共同研討並提出將廢物管理規劃，納入管理決策及未來的願景的建議。FSC 定期前往不同的國家辦理研討會，分享及吸收各國的民眾參與做法和經驗，並前往核廢料設施所在地社區訪問，直接和民眾進行對話。2016 年 RWMC 辦理過 10 次 FSC 研討會，並經由出版品與會員國分享民眾參與的經驗，基本上民眾參與會依設施特性、地方文化及發展需求及溝通對象不同，而有不同的民眾參與方式。近年來 NEA 鑑於民眾參與的重要性，FSC 除核廢料外加入除役和核電廠選址二項新的課題，並加入 NEA 的核能安全人文方面 (Human Aspect of Nuclear Safety, HANS)部門共同參與，詳如圖 1。我國除了核廢料問題外，核電廠的除役工作將陸續展開，有必要加強民眾參與，以順利推展核電廠除役並解決核廢料問題。

2014 年 WPDD-15 會議，我方受邀專題報告我國管制機關核設施除役規劃與管制準備，2015 年 WPDD-16 會議，我方於會議中由核研所專題報告我國核能研究所除役與除污技術發展，台電公司專題報告核能一廠除役規劃，深獲與會代表

的熱烈討論與肯定。本次 WPDD-17 會議，大會邀請英國、德國、瑞典、法國、加拿大及義大利等國分別就安全管制及除役作業進行專案報告，我方這次大會未安排專案報告，我國駐 NEA 代表林繼統技正建議於會中以簡報說明我國除役最新現況，除強化我國在 WPDD 的參與度外，亦可增加我國在國際會議的能見度。

NEA Structure and Technical Committees

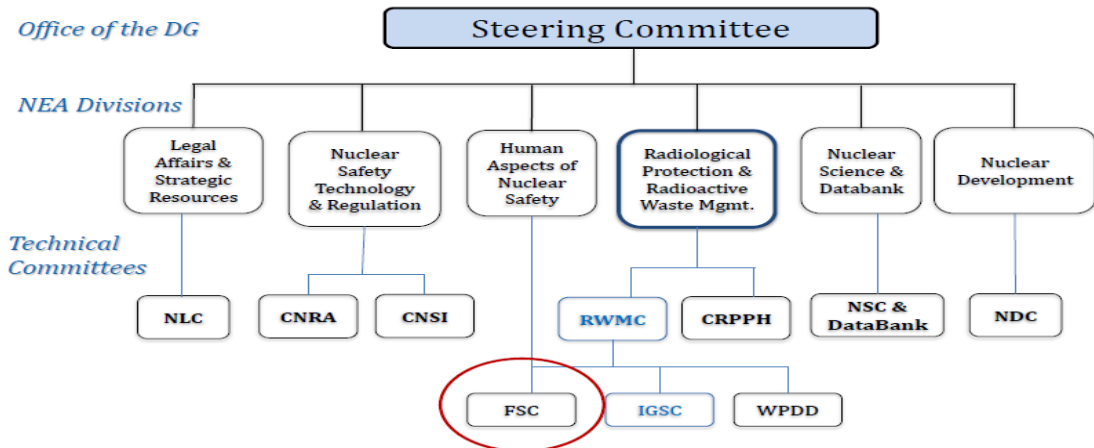


圖1 NEA及利害關係者信任論壇(FSC)組織架構圖

二、除役與拆除工作團隊(WPDD-17)會議

在OECD/NEA的組織架構中，最高層級為核能指導委員會，其次為各專業委員會，例如放射性廢棄物管理委員會(Radioactive Waste Management Committee, RWMC)，專業委員會下設工作小組，例如除役與拆除工作小組(WPDD)，WPDD工作小組之下設有除役成本估算任務小組(Decommissioning Cost Estimation Group, DCEG)、輻射特性與除役任務小組(Task Group for Radiological Characterization in Decommissioning of Nuclear Facilities, TGRCD)、運轉中與停機後核設施除役準備任務小組(Task Group on Preparing for Decommissioning during Operation and after Final Shutdown, TGPFDD)，以及除役低放射性廢棄物最佳化管理工作小組(Task Group on Optimizing Management of Low-level Radioactive Materials and Waste from Decommissioning, TGOM)。參與WPDD之會員國共有21個OECD會員與觀察員，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、羅馬尼亞、俄羅斯、斯諾伐克、西班牙、瑞典、英國、美國等；2個國際組織為國際原子能總署(International Atomic Energy Agency, IAEA)與歐盟執委會(European Commission, EC)。

WPDD自2001年成立以來每年召開一次會議，會議原則上一年在NEA總部所在地法國巴黎舉辦，次年會議地點則在其他會員國輪流舉辦。以往曾分別在俄羅斯(2014年)、英國(2012年)、美國(2010年)、斯諾伐克(2008年)、英國(2007年)、比利時(2005年)、西班牙(2003年)、德國(2002年)等國舉辦。本屆例行性會議，在義大利羅馬舉行，由義大利國營除役機構 SOGIN 公司負責舉辦，與會代表主要

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。除我國外，計有波蘭、捷克、斯洛伐克、俄羅斯、美國、瑞士、荷蘭、芬蘭、德國、法國、義大利、日本、韓國、挪威、西班牙、瑞典及英國等國及IAEA與NEA，總計與會人士達到60餘人。

本屆WPDD-17會議的議程分為 NEA 發展與活動近況說明、WPDD 各專案工作報告、國際發展現況、各國除役現況資訊更新報告、核設施除役管理專題、義大利除役現況專題報告、WPDD未來發展與作業包括新的技術議題、WPDD工作會議及受邀出席國家與單位之專題報告等。

WPDD-17會議第一天首先由西班牙籍 WPDD 主席 Juan-Luis Santiago先生開場，然後由此次 WPDD-17 之東道主義大利除役專責機構SOGIN 公司 CEO Luca Desiata先生及義大利環境保護研究所 Lamberto Matteocci先生致歡迎詞。然後由 WPDD 主席 Juan-Luis Santiago先生確認本屆會議議程及前一屆(WPDD-16)的會議決議事項。

NEA輻射防護及核廢料管理 (Radiation Protection and Radioactive Waste Management, RPRWM)組長Michael Siemann進行經常性業務報告，包括組織近況更新：1.新任副處長暨CNO (Chief Nuclear Officer)由法國籍的Dr. Daniel Iracane擔任，2016年5月就任；2. NEA新辦公室於2015年12月啟用，地址是46 Quai Alphonse le Gallo 92100 Boulogne-Billancourt, 巴黎。另 NEA於2016年4月20-21日召開之 132屆指導委員會有以下討論重點，包括：1. 2017-2022 NEA之策略計畫強調要增進「除役」相關的努力；2.進行除役財務相關的討論，共有瑞典、瑞士、加拿大、美國及法國等提出報告；3.介紹NEA之新進成員，其中包括新派駐在 OECD-NEA接替侯榮輝博士的林繼統先生，後續與 OECD-NEA 相關之活動與資料蒐集皆可請林先生協助等。

大會與會代表亦就國際核電廠除役產業前景發表看法，目前全球有450部核反應器運轉中，可提供約11%的全球電力，為僅次於水力發電的第二大低碳能源。商用核能設施的使用已進入第六十個年頭，已達或將至除役期的反應器數量日益成長，在19個國家中有157部民用核能反應器停止運轉，其中美國33部，英國30部，德國28部，法國12部，日本16部，加拿大6部及俄羅斯5部。這157部反應器大多數為商用反應器，另有約30部原型反應器及15部研究用反應器，這些反應器按照規劃期程停止運轉，或因財政、政策或其他考量而提早停止運轉。

近年來，有兩個不同的趨勢可能影響反應器停止運轉而進入除役期的時間，一來在某些國家中，特別是在美國的電廠運轉執照使用期限由40年延長為60年，亦有受日本福島核災事故影響，而決定走向非核家園者，如我國與德國。政策及經濟狀況的轉變也會影響反應器運轉的時間。然而，核電廠運轉年限一般以40年居多，目前核電廠的平均壽命約為30年，壽命超過40年的約有75部，壽命超過30年的已有250部，這250部核電機組若未來40年到期後不再延役而進行除役，加上現有已永久停止運轉約150部機組共400部機組，每部機組除役費用100~200億元，估計未

來20年間國際上約有近10兆的市場商機，世界各大核能機構莫不爭相投入。因此WPDD會員積極爭取在NEA成立除役委員會，而非在放射性廢物管理委員會（RWMC）下設立一個工作小組，目前NEA考量將RWMC擴大參與加入除役部份，或可改成核廢料及除役委員會，此次大會WPDD會員和NEA當局就此議題深入交換意見。

大會亦就WPDD 2017~2020年工作事項的優先度進行討論，列為優先度高的有除役成本、社會與經濟因子的整合及公民參與、除役策略、除役法規、除役計畫管理及經驗交流分享，優先度高的有核廢料長程管理、核子設備、系統及設施的除污、場址污染整治及除役活動整合等，較低優先度為設施設計、興建及運轉的除役考量。

大會另請NEA CPD (Co-operative Program for the Exchange of Scientific and Technical Information Concerning Nuclear Installation Decommissioning Projects, CPD)主席 Ivo Triputti先生報告，CPD目前有68個研究計畫仍在進行中，其中39個核反應器和29個核燃料循環設施，計有14個國家與歐洲經濟體及我國於2014年加入會員參加。目前最大工作在於研商過去研究成果的保存方式，工作組正探討利用新的伺服器或雲端硬體，在可確保安全的前提下，讓會員分享所累積的資訊。2015(去)年TAG(Technical Advisory Group)58次工作會議於5月18-22日在德國舉行，討論議題為核能設施除役作業安全認可程序。TAG59次工作會議於10月12-16日在斯諾伐克舉行，討論議題為核能設施除役期間異常事件與意外事故案例分析，2016年5月及10月將在比利時與日本舉辦兩次會議，就兩國核設施除役經驗、最近進展及對福島核電廠除役採用的最新技術進行研討。另CPD主席亦期望加強WPDD的分工及合作。NEA WPDD和CPD相互關係組織架構詳如圖2。

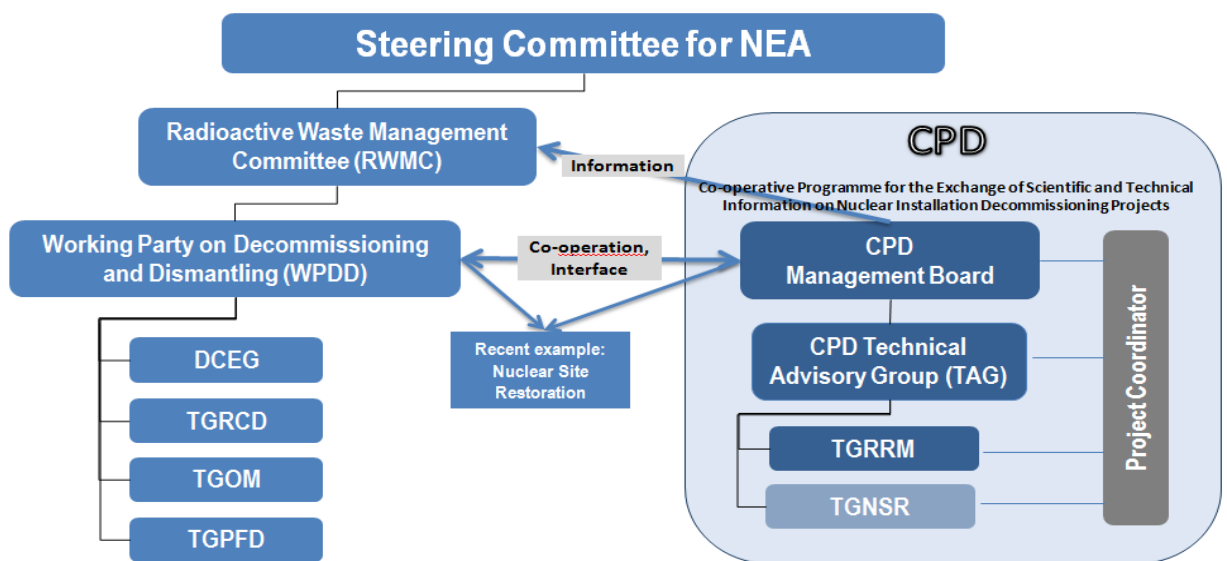


圖 2 NEA WPDD 和 CPD 相互關係組織架構圖

大會接著由WPDD四個任務小組就除役成本估算、核設施場址輻射特性與除役作業、運轉及最終停機後之除役準備與除役期間低階放射性廢棄物最佳化管理之研究發展，分別報告最近一年之活動成果與未來工作規劃。下午由 EC 及 IAEA 代表報告最近一年辦理與核設施除役有關之活動與成效、NEA代表及瑞士報告第一部分之國際合作案例。第一天之議程在各國除役現況資訊更新報告後結束。

第二天上午進行的討論主題為各國核設施除役作業管制專題，分別由英國、德國、加拿大及瑞典之管制單位代表及核設施經營者代表進行專題報告。下午由瑞典、義大利及 NEA代表報告第二部分之國際合作案例，然後進行義大利除役現況專題報告。最後進行 WPDD 會務工作會議，會議中並宣布明年會議(WPDD-18)預定於10月份在加拿大渥太華(Ottawa)舉行。第三天安排前往義大利 Latina 核電廠參訪。

三、WPDD 各工作小組報告

(一)除役成本估算任務小組 (Decommissioning Cost Estimation Group, DCEG)報告

DCEG任務小組最初於2007年11月7日至9日在WPDD-8會議上成立。最初規劃在WPDD-10會議完成最終報告，然因議題需求，在第11次，13次和15次會議提出任務延長並獲同意。此次WPDD-17會議再建議將其任務期限延長兩年，至2018年12月31日。近期的成果包括：

1. 2012年與IAEA及EC共同完成ISDC國際核子設施除役成本架構(International Structure for Decommissioning Costing of Nuclear Installation)報告。
2. 2014年完成核子設施除役成本國際同儕審查指引(Guide for International Peer Review of Decommissioning Cost Studies for Nuclear Facilities) 報告。
3. 2015年完成核子設施除役成本估算實務(The Practice of cost estimation for Decommissioning of Nuclear Facilities)報告。

目前進行中的工作是進行除役成本估算之不確定性處理監事(Addressing Uncertainties)探討，以提升成本預估的品質，預定今年底可完成最終報告，2017年初可公開發行。此次會議建議將任務期限延長兩年，至2018年12月31日，將聚焦在“基準校驗(Benchmarking)”，主要原因下：

1. 除役成本估算與除役實際發生成本之間差異有明顯提升。
2. 針對除役計畫之財務規劃是否充足待進一步驗證。
3. 如何提升除役作業績效，確保除役計畫經費之有效運用須繼續探討。

然而本項任務的可能挑戰，包括核子設施類別、立即或延遲除役策略、處

置設施是否備妥、技術與人工成本、除役成本資料蒐集不易、基準校驗 (benchmarking)的資料庫不充分等，整體除役計畫成本的基準校驗較不可行，但個別作業事項成本的基準校驗將較具義意。

(二)輻射特性與除役任務小組 (Task Group on Radiological Characterization and Decommissioning, TGRCD)報告

NEA WPDD自2010年，起動核子設施除役輻射特性調查策略 (Strategies for Radiological Characterization in Decommissioning of Nuclear Facilities) 計畫，分二階段建立核能設施除役輻射特性調查策略有關的法規、標準與導則等，第一階段已於2013年完成，隨後進行第二階段工作，目標為放射性廢棄物及物質最終狀況的分析。

本計畫共有12個組織與國家參與研究，包括美國、義大利、法國、英國、瑞士、德國、西班牙、比利時、日本、挪威、瑞典及EC，參與成員涵蓋獨立驗證專家、除役作業團隊、管制單位、核設施營運業者、處置場營運業者、放射性廢棄物處理業者及特別顧問團等。其主要工作項目由研討不同法規、標準與導則著手。

第二階段之工作目標是「策略擬定、蒐集業界典範、需重視之議題與面對風險」首先必須確認3W及1H：What: 應收集那些資料（類型，質量，數量）及其考量及可能變異等？ Why: 為什麼需要那些資料？ When: 何時應該收集資料？ How：如何收集和管理資料？目標在2017年4月完成最終報告2017年中可公開發行。

(三)運轉中與停機後核設施除役準備任務小組 (Task Group on Preparing for Decommissioning under Operation and after Final Shutdown, TGPFDD)

此任務小組於2014年WPDD-15會議中成立，原任務期間至2016年底，目前預定將展延至2017年底。目前共有9個國家包括瑞士、加拿大、法國、德國、韓國、西班牙、瑞典、英國、美國等19個國家或組織參與此任務小組。此小組主要聚焦在核設施拆除相關作業準備之最佳化研究。針對除役作業準備之五大方向，歸納涵蓋主題及擬定建議事項，包括 1.除役準備的策略制定；2.管制監管方法；3.利害相關者參與；4.組織管理；5.除役規劃和拆除活動等，目標在2017年9月完成最終報告，2017年底前可公開發行。TGPFDD任務小組之初步結論如下：

1. 核設施除役策略的選擇，取決於核設施從運轉到除役過渡期的影響及對除役核廢料限制條件的了解及掌握。
2. 儘早和管制機關及政府有關單位進行磋商，澄清疑義以順利推展除役作業。
3. 儘早與利益相關者包括核設施員工、當地居民及利益相關團體溝通，以降

低除役的不確定性。

4. 除設計畫具有不確定性，計畫修正難免，應保持計畫彈性。
5. 設施永久停止運轉後，立即採行除役必要安全措施可有效降低危害風險，將可顯著節省後續設施的維護成本。

另TGPFDD任務小組主要面對的挑戰，包括：

1. 除役項目中複雜的相互關係了解，以採行安全和符合成本效益的除役方法；
2. 廢棄物管理和處置途徑的可用性、除役資金充分性及相關資源的可用性；
3. 管理責任和文化的變化及技術解決方案的成熟度等。

(四) 除役階段低階放射性物質與廢棄物之最佳化管理任務小組 (Task Group on Optimizing Management of Low-level Radioactive Materials and Waste from Decommissioning, TGOM)

放射性廢物營運管理是除役作業的一個重要課題，在制定與優化放射性廢物營運管理策略時，必須將除役作業與放射性廢物營運之強烈關聯性納入考量，有效利用現有資源，即以最佳方式管理除役作業產生之低階放射性材料和廢棄物，對於可安全且具有成本效益的完成除役作業至關重要，以免對後代造成不必要的負擔。

除役作業產生之低階放射性材料和廢棄物只佔核設施的放射性貯存庫的一小部分。因除役作業產生之大量材料，在經過除污程序後可免除管制。放射性材料和廢棄物免除管制之相關管制法規因國而異。放射性廢棄物處置的能力，由於社會支持和對土地資源的越來越大的壓力，增加新的處置設施變得越來越困難。

低階放射性物質與廢棄物之最佳化管理議題於2013年WPDD-14會議被提出，此任務小組在2014年WPDD-15會議中經熱烈討論成立。目前共有11個國家(包括美國、瑞典、西班牙、義大利、韓國、日本、法國、德國、英國、斯洛伐克、加拿大)之25國家及組織，以及IAEA與EC參與此任務小組，任務期間至2018年。此小組之開案(Kick-Off)電話會議在2016年10月5日召開，首次面對面“TGOM會議，將在2017年2月21-23日舉行。本小組之主要任務，包括：

1. 分享知識包括國際經驗，策略方法，概念；
2. 按國家/地區確定/描述不同的方法/注意事項；
3. 評估/分析不同的策略方法；
4. 蒐集並提出優良典範；

5. 提出現況報告，聚焦在策略方法等。

四、各國除役現況資訊更新報告

各國除役現況資訊更新報告，本次提交更新報告的國家有法國、加拿大、捷克、芬蘭、德國、韓國、瑞典、日本、斯洛伐克及我國等。會議中並請各國與會代表簡述各國除役現況，我國代表團由台電公司核能後端處范振璽組長代表報告(圖3)，報告資料如下：

1. 政府採行2025年非核國家政策，我國核能一、二、三電廠分別在2019年，2023年，2025年運轉執照到期後如期除役。
2. 核能一廠除役計畫(DP)已於2015年11月提交原子能委員會審查，原能會預定於2107年6月完成審查。
3. 核能一廠除役計畫(DP)環境影響評估已確定進入第二階段審查，並依法舉行公開聽證會。
4. 原能會在網站上公布了核能一廠除役計畫，並辦理訪查活動和審查說明會，加強民眾參與，徵求利害關係者意見。
5. 台電公司已辦理核二廠除役計畫許可申請之招標委託作業。



圖3 原能會物管局劉文忠副局長、台電公司核一廠除役專案副召集人潘維耀副廠長及核能後端處范振璽組長出席WPDD-17，范振璽組長簡報我國核電廠除役現況

捷克Dukovany和Temelin核電廠分別有4部及2部反應器，預定分別延役至

2025~2028及2042~2041，目前並無核電廠處於除役階段。捷克對核廠除役並未制定專法，而於原子能法中規定，核電廠生命週期各個階段（即選址，建設，首次將核燃料裝入反應器，運轉）要求須有除役規劃及除役財務文件。原子能法亦規定核電廠除役須提出除役計畫送交核能安全主管機關(SÚJB)批准，並要求每五年一次定期更新除役計畫和相關的除役費用。捷克核電廠除役可由電力公司選擇立即拆除或延遲拆除策略，另核電廠除役亦須提報環境影響報告，送交環境主管機關審查，並辦理公聽會。

南韓管制機關要求核設施營運者必須在永久停機後2~5年內提出除役申請，申請時業者須提出除役計畫書(初版)、品質保證計畫及民眾溝通紀錄。在管制者須確認除役報告書內容有匯總民眾對核設施除役的意見。另規定營運者除役期間需每半年需提出除役及組件拆除狀況說明，輻射管制狀況及放射性廢棄物處理狀況等工作結果。韓國古里核電廠1號機延役10年，至2017年6月將永久停機，月城核電廠1號機自2015延長至2022年11月到期。韓國核能安全主管機關NSSC並未制定除役專法，主要公布核設施無限制或限制使用場址輻射標準。古里1號機的立即除役，同時考慮到古里2號機的安全。在除役準備期間貯放在古里1號機的所有用過核燃料，應在開始拆除作業前5年前移出。

芬蘭除役的國家政策在核能法第6節a中規定，芬蘭核能產生的核廢料應在芬蘭進行處理，貯存和永久處置。電力公司必須每六年更新核電廠的除役計畫送交主管機關審查，最新的除役計畫更新於2012年完成，下一次更新將於2018年。芬蘭核電廠除役策略，Fortum / Loviisa核電廠經過50年的運轉後立即拆除。機組停機後用過核子燃料貯存在廠內，直到所有用過核子燃料運送到Olkiluoto進行處置。TVO / Olkiluoto 核電廠，電廠1號機和2號機延遲拆卸，3號機採立即拆除，即所有的三個機組全部停機後才正式開始除役作業。除役和拆除整個過程將受到輻射和核安全局(STUK)的審查和檢查。芬蘭核電廠除役亦須提報環境影響報告(EIA)，送交主管機關審查並辦理公聽會。

法國致力於繼續使用核能，期望能再使用既有核電廠址以建造新核能設施，因而法國將原採用延遲除役策略改採用立即拆除策略，同時法國目前已有低放射性廢棄物最終處置場及極低微放射性廢棄物最終處置場在運轉，可供處置除役所產生的低放射性廢棄物及極低微放射性廢棄物。法國政府在2009年對於除役政策向業者提出建議，要採用立即除役的方案。2014年在頒布的能源轉換法條中宣示，核設施除役採用立即拆除已經確定，永久停止運轉前1年經營者需向主管機關申請除役執照。

法國第一代之八部核反應器於1973-1994年間相繼永久停止運轉，法國電力公司(EDF)考量輻射暴露及經費需求，原規劃於50年內除役(例如Chooz A, Chinon核能電廠)，包括10年除污作業、封存20-30年，再於10年內完全拆除。然基於法國政府持續支持核能發電、圍阻體及內部組件之長期完整性難以驗證、民眾疑慮政府無

處理能力之觀感、所累積之除役經驗，並預期將可用於2020年大量停役之壓水式反應器等考量，法國電力公司(EDF)於2001年變更策略為：所有第一代核能電廠及1997年停止運轉的快滋生反應器，都將於25年內拆除完畢。

但對於業者的考量卻有所不同，法國原子能及替代能源機構 (French Alternative Energies and Atomic Energy Commission, CEA)對於除役的目標訂在使設施安全停機，並就除役經費與時程考量除役作業之執行。而策略則以立即且完全拆除核設施為主，如果無法完全清理場址的危險物質，則採場址土地限制性使用。由於法國的核能管制機關並未規定核設施完成除役的期限，但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，多決定採儘速拆除的除役策略。

日本政府政策上決定文殊快中子反應器除役計畫送交主管機關審查。福島第一核電站1-6號機、濱岡1-2號機、東海1號機及普賢等10部機組進行除役作業。東海核電廠除役已經進行主體切割作業。濱岡1號和2號除役第2段計畫已經核准，並開始進行反應器周圍設備拆除作業。敦賀1號機、玄海1號機、美濱1&2號機、伊方1號機及島根1號機等共6部機組永久停止運轉，提出除役計畫及運轉安全變更計畫。2016年6月六個所村低放射性廢物近地表處置設施後期計畫已進行地方公眾意見徵詢，反應器組件中高強度廢棄物的處置概念計畫已得到核准。廢棄物清潔外釋方法申請及量測評估作業在相關除役核電廠亦逐步的進行。

會議期間另與參加會議日本原子力規制委員會(NRA)高橋博士，進行除役管制意見交流。日本的除役在核子原料、核燃料材料和反應器法中規範，2005進行法案修訂，將核電廠除役計畫申報備制修正為許可制，即核電廠開始除役作業前應報安全主管機關核准。

濱岡核電廠1、2號機與我國核一廠兩部機關均採用沸水式(BWR) MARK-1機組，其除役分為4個階段，詳如圖4。第1階段(2009~2014)為準備作業期5年，包括提出除役計畫報請安全主管機關核准、移出用過核燃料、運轉安全條件變更申請、輻射特性調查、系統除污及核廢料處理等；第2階段(2015~2022)反應器周邊區域拆除作業7年，進入第2階段前須提出除役計畫更新版送請安全主管機關核准，主要除役作業為繼續輻射特性調查、系統除污，並進行部份反應器周邊設備和廠房如汽機廠房拆除，以及核廢料管理。第3階段(2023~2029)為核反應器區拆除作業7年，主要是拆除反應器區組件和部份廠房及核廢料管理。第4階段(2030~2036)為核反應器廠房拆除作業8年，主要作業為核反應器廠房拆除及核廢料管理。濱岡核電廠除役規劃時程共27年，我國核電廠除役時程規定為25年，另要求永久停機前3年提報除役計畫共28年，兩者時程極為相近。濱岡核電廠1、2號機的用過核子燃料早期有送往六個所村再處理廠用過燃料池存放，其餘均已移出至3~5機組的用過燃料池存放，未來再送至六個所村再處理廠。除役產生的低階放射性廢棄物則將暫存於廠內，俟日後再直接送往最終處置場。

Hamaoka (Units1&2)

Hamaoka Unit 1

- Power output: 540 MWe
- Type: BWR, Mark-1
- Final Shutdown: 2009, January 30

Hamaoka Unit 2

- Power output: 840 MWe
- Type BWR Mark-1
- Final Shutdown: 2009, January 30

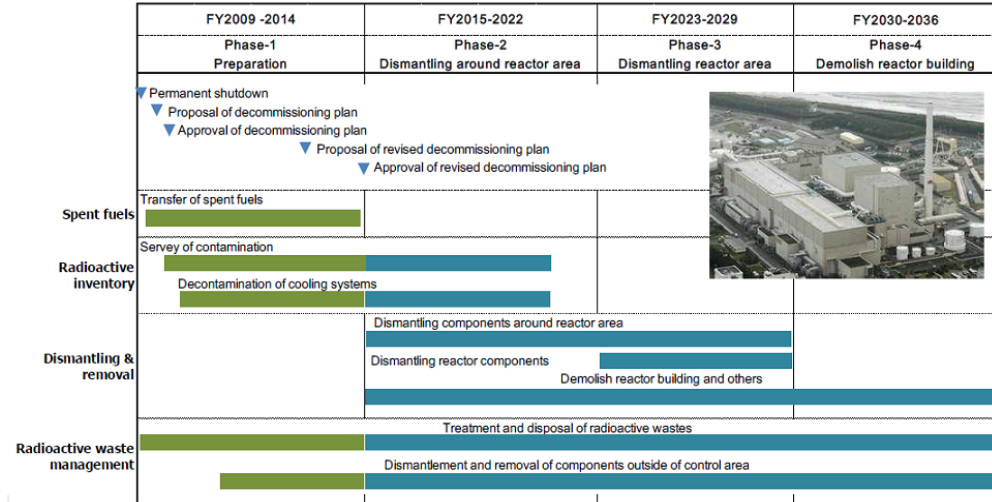


圖4 濱岡核電廠1、2號機除役計畫時程

五、管制法規專題報告

WPDD運轉中與停機後核設施除役準備任務小組(TGPF)研究建議，經營者應與管制機關及早進行溝通，以釐清除役作業各階段的安全管制要求，方能順利推展除役作業，大會特別安排美國、德國、英國等國進行專題報告，由美國核管會(NRC)負責除役管制計畫的Abu-Eid總物理科學家主持專題報告，並說明美國除役管制規定。

美國早期除役核電廠，電力公司為增加除役基金經費及等待亞卡山處置場，有13部核子反應爐採取延遲拆除方式，但後因用過核子燃料乾式貯存技術已經成熟及普遍使用，有16部採取立即拆除方式，已完成除役或正在除役中。例如Fort St. Vrain、Shippingport、Yankee Rowe、Maine Yankee、Connecticut Yankee、Humboldt Bay 3、LaCrosse、Zion 1 and 2、Shoreham、Pathfinder、Haddam Neck、Trojan、Big Rock Point等核能機組，皆採取立即拆除方式。

依據美國核管會規定，當經營者決定永久停止運轉時，除役程序開始。除役程序由數個主要步驟所構成，包括通知、停止運轉後除役活動報告(PSDAR)提交與審查、執照終止計畫提交與審查、執照終止計畫執行及除役完成。執行初始活動及主要除役與貯存活動的方法及步驟，須依法規指引R.G.1.184之規定。核管會核能電廠除役申照步驟，如圖5。美國法規規定核能電廠永久停止運轉後60年內必須完成除役。

美國核能電廠一旦永久停止運轉，經營者必須在30日內向NRC提出永久停止操

作書面證明，放射性用過核子燃料一旦永久移出反應器壓力槽，經營者必須向核管會提出另一書面證明，放棄其運轉反應器或裝載燃料至反應器壓力槽的權利，此消除一些在反應器運轉期間所需的義務遵守要求。

美國電廠經營者在提交永久停止運轉證明後兩年內，必須向核管會提交停止運轉後除役活動報告(Post Shut Down Activities Report, PSDAR)，此報告提供規劃的除役活動與完成除役活動時程及預期費用預估等的描述，PSDAR必須討論就特定廠址除役活動相關環境衝擊已涵蓋於以往環境分析的理由，否則，經營者必須要修訂執照供活動核准，同時向核管會提交除役對環境額外衝擊報告。NRC在收到PSDAR後，會在聯邦公報刊登收到通知，讓報告供民眾閱覽與建議，並舉辦公聽會。

美國NRC接到PSDAR後90天，無須核管會核准，經營者可以開始主要除役活動，這些活動包括主要組件如反應器壓力槽、蒸汽產生器、大管線系統、泵與閥的永久移除。擁有者只能使用基金的3%來完成除役規劃，提交PSDAR後90天可使用基金另外的20%，剩餘除役信託基金必須待擁有者人向核管會提交詳細的特定廠址費用估算後方可使用。

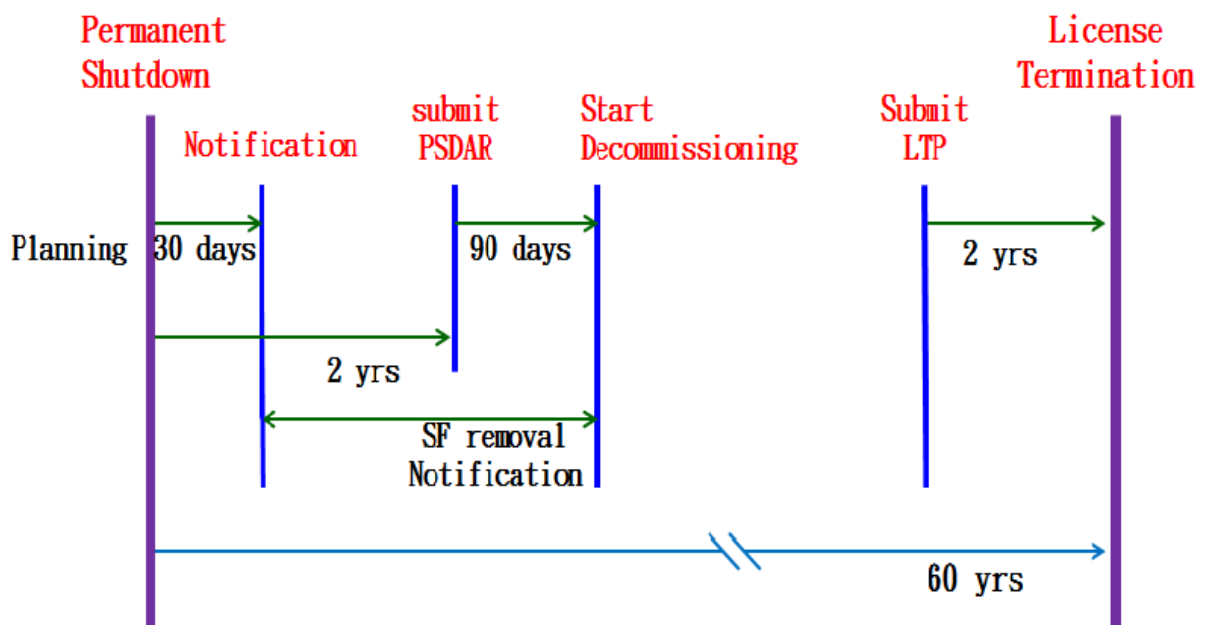


圖5 美國核能電廠除役管制規定及時程圖

美國電廠經營者必須至少在預期執照終止的兩年前提交執照終止計畫(License Termination Plan, LTP)，該計畫涉及的項目包括廠址特性調查、剩餘廠址拆除活動確認、廠址復育規劃、廠址釋出最終輻射調查細部規劃、驗證執照終止條件的輻射標準的方法、更新特定廠址剩餘除役費用預估，以及將任何新資訊或與擁有者研擬廠址終止活動相關的重大環境改變補充至環境報告。對釋出廠址供無限制使用時任何殘留輻射，必須低於核管會限制值0.25毫西弗(mSv)/年，符合此條件的廠

址核管會不再列為管制。擬釋出廠址供限制使用的任何計畫必須描述廠址終端使用、民眾諮詢文件、機構管制及財務保證等，這些需符合執照終止供限制釋出的要求。

美國NRC接到PSDAR後90天在無具體核管會核准的情況下，經營者能開始主要除役活動，這與其他國家的除役計畫須先經安全主管機關審查核准有所不同，NRC亦已提出法規修正案，改採PSDAR須先經NRC審查核准後才能開始除役活動，以強化NRC對核電廠除役的管制作業。

德國共有36部機組，目前僅有8部運轉，28部機組永久停止運轉，19部核電廠已開始進行除役或除役完成，其中11部是採取立即拆除方式，包含Greifswald、Niederaichbach、Kahl核電廠及Gundremmingen A。德國原子能法允許已永久停止運轉的核設施立即拆除或延遲拆除，不允許採用就地處置。核設施或依據原子能法第二章第7條，部分設施除役、安全封存與拆除的申照程序是基於核能申照程序條例，核能申照程序條例提供指引如申照程序、公眾參與及環境影響評估原則。核設施經營者必須對核設施除役與拆除負完全責任，經營者決定除役策略與時間表及執照申請範圍。

德國原子能法第7條授權政府公布與核設施除相關的除役指引，除役指引亦為聯邦環境、自然保育暨核能安全部(BMU)主導的行政規則，由聯邦環境、自然保育暨核能安全部，會同聯邦州核能委員會反應器安全技術委員會中的除役工作委員會共同擬訂。除役指引分布在各式各樣法規文件描述除役準備作業及應用，除役指引亦包括核設施除役實際方式規劃書與申照手續。依據德國環境影響評估法、原子能法第2a條及核能申照程序條例等之規定，核能電廠除役必須進行環境影響評估。

核能電廠永久停止運轉前要提出除役申請，永久停機後進入後運轉過渡期，運轉執照仍然有效，過渡階段一般歷時約5年，用過核子燃料與爐心組件自反應器池移走與傳送至廠內貯存設施，核電廠取得除役執照後，除污與除役活動直接開始，採階段性拆除作業方式，完成後依原子能法申請解除管制，如圖6。拆除前無需支援除污與除役的輔助系統停止運轉，並與操作系統分離、淨空(若有需要)、清理及永久隔離，控制界面與文件化。依據德國輻射防護法規，廠址特性調查必須達到所有設施、建物與地區有關參數深入與仔細編目/登記，以及設備與建物材料分類至解除管制類別。

依據德國原子能法，停止運轉後的核能電廠可立即拆除或封存一段時間後再拆除，核設施擁有人須完全負責核設施除役與拆除，德國大型除役計畫拆除策略採用由先拆外部再拆除內部。例如德國Stade核能電廠除役第一階段先拆除污染系統與組件，第二階段移除大型組件，第三階段移除活化系統與組件，第四階段移除殘留系統與組件及準備清潔供無條件釋出。

德國核能電廠經營者決定採用立即拆除策略，主要考量為既有技術支援系統可用於拆除前工作，例如放射性量測、電廠不同區域特性調查及電廠與設備項目量測；有經驗運轉人員知識能被利用，重要記錄遺失風險能被最小化。

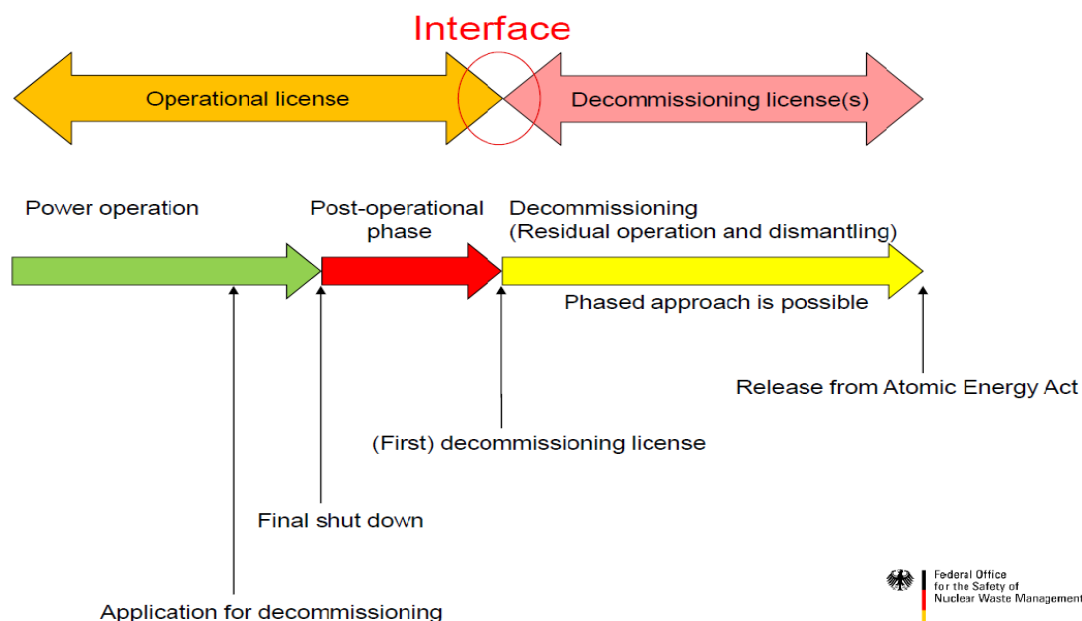


圖6 德國核電廠除役作業管制

德國對除役廢棄物產生量最小化及物質循環與再利用非常重視，物質、建築物及廠址自核管制釋出很重要。依據原子能法第9條，德國放射性物質與拆除裝置組件需循環或以放射性廢棄物作適當處置。2001年8月1日公布之新輻射防護條例，對物質、建築物及廠址自管制到釋出，有詳細與一致性定量與定性放射性核種數據，可作為依循。依據德國新輻射防護條例第29條，以劑量為基礎的廠址釋出標準與固體物質解除管制標準採相同標準，亦即廠址釋出標準為個人有效劑量小於10 $\mu\text{Sv/y}$ ，此劑量不到天然曝露的1%因而可忽略不計。

英國共有12個核電廠共45部核電機組，目前英國有30部反應爐永久停機，英國反應爐主要為氣冷式石墨反應器採取延遲拆除方式為主，目前僅有一部Windscale完成除役作業。另英國根據2004年的能源法，於2005年成立新的後端營運專責機構核能除役局（NDA），負責英核電廠除役基金管理及核廢棄物長期營運管理，其除役及處置執行則採委託辦理方式。英國用過核子燃料採再處理策略，英國在Sellafield廠區有兩部用過核子燃料再處理廠由NDA營運，用過核子燃料可移出核電廠，因採取延遲拆除方式，另Drigg低放射性廢棄物最終處置設施亦可接收核電廠的低放廢棄物。核電廠永久停機後看守與維護(Care & Maintenance)作業為主，英國為強化除役電廠之管制，2016年環境保護部門研定核設施場址解除管制規範(Requirements for Release of Nuclear Sites from Radioactive Substances Regulation)，主要管制的重點在於場址的解除管制輻射防護和除役廢棄物的管理，如圖7。

英國Windscale進步型氣冷式反應器(WAGR)是發展商業化進步型氣冷式反應器的原型工業規模反應器，WAGR於1957年開始建造，1961年完成，1981年停止運轉。英國原子能管理局(UKAEA)於1981年決定WAGR進行除役至廠址無限制再利用，英國WAGR除役於1982年開始將核燃料自爐心移出，1983年完成，歷經12年完成反應器壓力槽與爐心的拆除(Halliwell, 2012)。英國WAGR除役計畫包括遙控拆除反應器內容物與壓力容器，電腦控制遙控拆除機器使用立體電視攝影機以協助拆除程序。Windscale進步型氣冷式反應器(WAGR)已於2011年5月底完成全部除役作業。

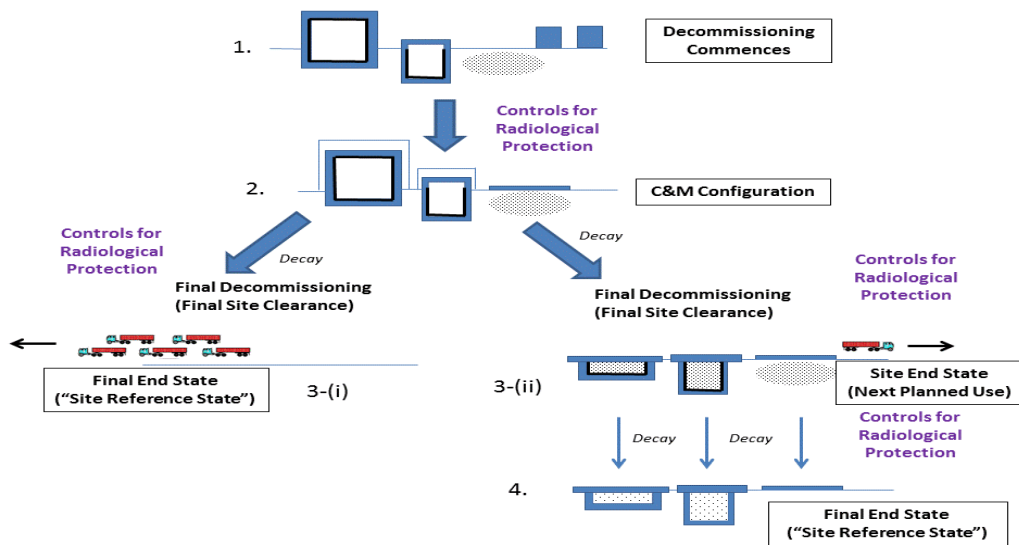


圖7 英國核電廠除役階段管制要求

六、義大利 Latina 核能電廠除役作業及技術參訪

大會第三天安排前往義大利 Latina 核電廠參訪，故請義大利除役專責機構 SOGIN 專題報告 Latina 核能電廠除役作業。

Latina 核能電廠為氣冷式反應器(GCR)，額定功率為160MWe，是義大利第一個動力用反應器，是由英國製造的石墨氣冷式 Magnox 動力用反應器。自1958年開始興建，1963年開始發電，曾經是歐洲最大的核能發電廠。義大利政府在1987年，車諾比核子事故後隔年舉辦了公投，公投結果決定放棄使用核能發電，Latina 核能電廠永久停機。在九十年代初期，所有用過核子燃料皆被運送到英國進行再處理。處理後產生之放射性廢棄物將送回義大利貯存。

2002年由 SOGIN 提報立即除役申請，預計2017年核准。完成的重要作業包含下列各項工作：

1. 拆除氣體管路與蒸氣產生器的絕熱材料；
2. 拆除一次迴路；

3. 拆除汽機廠房；
4. 拆除二氧化碳輔助管路；
5. 燃料池除污作業：三座燃料池中已有兩座燃料池已完成刮除與清除工作；牆面除汙作業前污染程度約為 $3000\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，除汙作業後則小於 $1\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，如圖8；
6. 產生2.4噸混凝土廢棄物，貯存於14桶220公升金屬桶中。
7. 用過核子燃料運往英國再處理；
5. 建造低放射性廢氣固化處理系統及中期貯存設施。



圖8 Latina核能電廠用過核子燃料池除污作業

義大利低放射性廢棄物處置場仍在選址階段，尚未備妥，Latina核電廠為了處理用過核子燃料池底之污泥，另興建了一間固化處理設施，如圖9；另為暫存電廠運轉及除役階段產生之放射性廢棄物，興建了兩座低放射性廢棄物貯存庫供暫存，如圖10。Latina核能電廠目前除役作業最棘手的問題是約有2000噸中高強度放射性的石墨待處理，這也是Magnox石墨氣冷式動力用反應器除役作業要共同面對的議題，我國採用輕水式BWR和PWR核電廠，並無放射性的石墨問題。



圖9 Latina核電廠用過核子燃料污泥固化處理系統



圖10 Latina核電廠新建低放射性廢棄物貯存庫

七、義大利除役專責機構 SOGIN 技術交流訪問

此次在參加WPDD-17會議後，順道前往總部設在羅馬的 SOGIN 公司拜訪，希望可了解義大利核能設施除役作業之策略及推動現況， SOGIN 公司參與此次討論的有Mr. Ivo Tripputi：資深顧問(Senior Advisor)， Mr. Mario Lazzeri：國際事務部處長(Director, International Affairs Department)及Mr. Marco Del Lucchese：廢料營運與除役處處長(Director, Waste Management & Decommissioning Division)等。

(一) 義大利核電發展及除役策略

義大利核能工業自1960年代開始發展，總計有四部動力型反應器商業運轉(Latina、Trino、Garigliano、與Caorso)、兩部研究型反應器(CIRENE、PEC)、鈾燃料製造廠(FN、IFEC)、鈾燃料製造廠(Plutonium Plant)、與再處理廠(EUREX、ITREC)，如圖11。動力型反應器資料如表1所示。

1986年車諾比核子事故震撼了全世界，隔年義大利政府即舉辦了第一次公投，藉由公投表達了反對核能發電的意願。後續不但發展新國家能源計畫(National Energy Plan)要求放棄使用核能發電，議會亦決定Latina、Trino、與Caorso核能電廠永久停機。此時，經濟規劃委員會(CIPE)要求國家電力公司(ENEL)負責核能電廠除役作業，該公司於1990年提出安全貯存的除役申請。

近年，義大利重新思考核能發電的方案。2008年義大利政府規劃變更其原有政策，提案與法國EDF公司合作建造四部核能發電機組。然而2011年舉辦第二次公投後，仍然反對使用核能發電。



圖11 義大利動力型反應器位置圖

表1：義大利動力型反應器資料表

名稱	類型	功率(MWe)	停機(年)	除役因素	場址外釋(年)
Caorso	BWR	882	1990	國家政策	2026
Garigliano	BWR	160	1982	技術問題	2025
Latina	GCR	160	1987	國家政策	2035
Trino	PWR	270	1990	國家政策	2024

放射性廢棄物處置等相關決定持續延宕，使得核能電廠永久停機後初期階段決定實施延後除役(deferred decommissioning)策略。然而相關決策停滯多時的狀況下，許多利害關係者考量下列因素，思考過去選擇延後除役的適宜性，包括

1. 自永久停機後，輻射劑量未如預期般顯著降低；
2. 場內須維持足夠的營運人員；
3. 當地政府要求盡速使場址作為其他用途。

此外，部分利害關係者亦要求除役策略的選擇上應有一個積極的角色，而非僅依設施經營者的需求而決定。經濟發展部基於此樣態度於1999年底為過去核能活動發布策略導則，概述如下：

1. 承諾將妥善處理廠內貯存的放射性廢棄物；
2. 為選擇中、低放射性廢棄物處置以及用過核子燃料暫時貯存的場址啟動協商程序；
3. 所有永久停機的核能電廠將放棄過去的延後除役策略而改採立即除役策略(immediate decommissioning)；
4. 成立核能電廠管理公司(SOGIN)為所有永久停機核能電廠的受讓人，負責立即除役策略。

義大利經濟發展部依該策略發布命令，要求SOGIN實施四座核能電廠的立即除役策略直到場址非限制性外釋，並安全管理用過核子燃料與放射性廢棄物。2002年，SOGIN向經濟發展部提交四部動力型反應器的立即除役申請，目前Garigliano、Caorso及 Trino 核能電廠均已取得除役許可，而Latina核能電廠則於審查的最後階段。依據SOGIN簡報說明(SOGIN, 2013)Latina核能電廠預計於2017年核發除役許可。

(二)義大利核電廠除役組織架構和管制法規

經濟發展部(Ministry of Economic Development)：義大利核發除役許可機關，核准依據係基於ISPRA的技術建議，以及環境影響評估的評核。此外，亦要求內政部、勞動部、與衛生部提供相關建議。國家環境保護與研究署(National Institute for Environmental Protection and Research, ISPRA)：除役管制機關，主要負責核設施評估與視察作業。核能電廠管理公司(Società Gestione Impianti Nucleari, Sogin)：義大利國營公司隸屬於經濟與財政部(Ministry of Economy and Finance)，主要負責所有核能電廠除役與放射性廢棄物管理，包含處置設施選址、設計、建造、與營運，以及放射性廢棄物長期貯存與處置作業。創新技術、能源、與永續經濟發展國家機構(Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development, ENEA)：義大利國立研究機構，主要研究議題包含能源效率、再生能源、核能、氣候和環境、安全與健康、創新技術、與電力系統研究。

核能電廠除役許可申請程序主要規範於Legislative Decree n. 230/1995第55-57條。該法令規定，除役作業前須獲得經濟發展部核准，而ISPRA將對該除役申請案提供技術建議，包含核准除役申請的技術規範，並考量環境部(Ministry of Environment)、內政部(Ministry of Interior)、勞動部(Ministry of Labor)、衛生部(Ministry of Health)、與當地地區所表達的意見。環境影響評估的評核主要由環境與領土部(Ministry of Environment and Territory)執行，該部亦將與內政部、勞動部、衛生部、ISPRA、以及當地地區協商。

當設施經營者向各主管機關申請除役許可時，須敘明放射性物質貯存量、各階段設施狀態描述、執行相關操作的安全分析、放射性物質的規劃、除役作業對環境的輻射影響評估、與輻射防護計畫等主要資訊。收到除役許可申請後，各主管機關將提供ISPRA對該申請案的評論，而ISPRA則考量這些評論、特定條件、與規範後，擬定有關安全與輻射防護的評估。後續由各主管機關考量ISPRA的評估後，擬定最後評論，並由ISPRA向經濟發展部提送最後的建議與技術規範。最後由經濟發展部核發除役許可，代表符合ISPRA建立的技術規範。除役作業進行時，由ISPRA肩負監管責任，而除役作業完成後，經營者須向ISPRA說明作業評估、場址與環境狀態，並由ISPRA擬定評估報告提交各主管機關提供建議。當經濟發展部接收ISPRA與各主管機關的評估報告與建議後，若符合技術規範要求則核准場址外釋。

(三)義大利Caorso沸水式核能電廠除役作業

義大利Caorso核能電廠與我國核能一、二廠同為沸水式反應器(BWR)，額定功率為882 MWe，自1981年商業運轉並於1990年永久停機。Caorso NPP於1997年申請延遲拆除(SAFESTORE)之除役執照，因政府部門於2000年8月要求加速進行除役作業，故於2001年7月重新申請立即拆除(DECON)之除役執照，並於2014年2月取得除役執照許可。在取得除役執照許可前，已被授權開始執行下列作業。基於初步除役許可所執行的作業包含：

1. 完成循環管路的除污；
2. 完成RHR冷卻塔、汽機廠房、廢氣廠房(off-gas building)的拆除作業；
3. 建置廢棄金屬除污廠房，以40%磷酸進行化學除污作業，使廢棄金屬除污至解除管制標準；
4. 1,032束用過核子燃料運往法國再處理；
5. SOGIN與瑞典Studvick公司簽屬合約，將355噸低活度(1.84 GBq)放射性廢棄物運往瑞典進行焚化作業。2013年完成作業後，以水泥固化裝桶後運回義大利；
6. 目前計有2,490立方公尺放射性廢棄物貯存於三座貯存設施中。

用過核子燃料在1998年11月移出爐心。政府部門於2006年11月決定用過核子燃料要進行再處理，Caorso 核能電廠之用過核子燃料於2010年6月已全數運送至法國進行再處理。共計1,032束用過核子燃料經陸運與船運送抵法國再處理廠。Caorso核能電廠的重要組件的拆除作業如圖12~13。

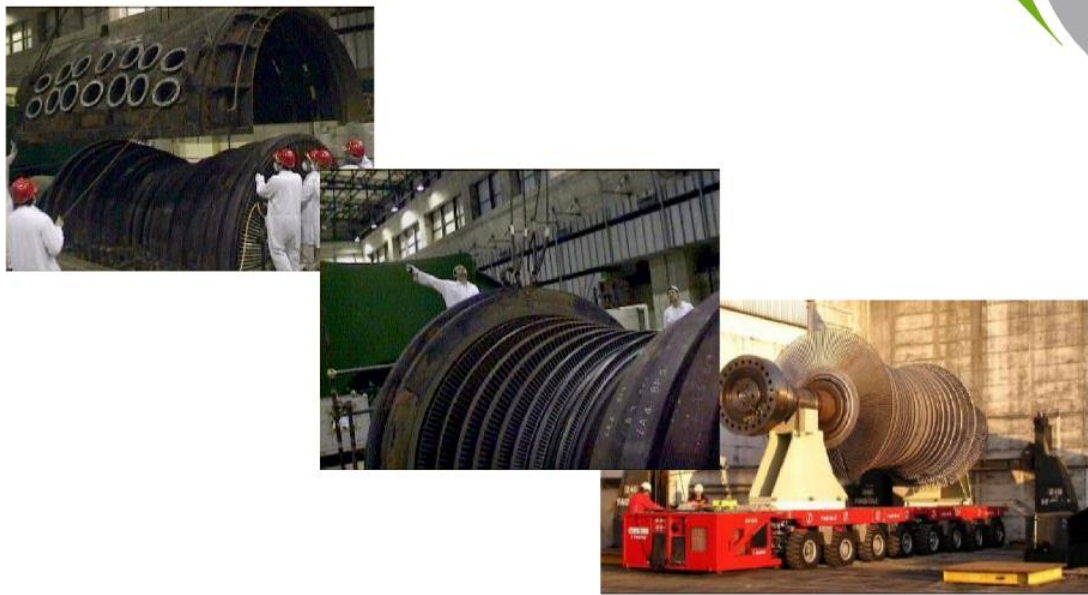


圖12 Caorso核能電廠除汽機/發電機拆除作業(2004-2006年)



圖13 Caorso核能電廠除廢氣處理廠房拆除(2007-2010年)

核島區系統除污作業，建置On-line化學除污作業系統，針對反應爐再循環系統及爐水淨化系統進行全系統除污。Caorso核電廠於2008-2009年間，在汽機廠房建置廢料處理管理設施(The Waste Management Facility, WMF)，以集中管理除役拆除作業產生之廢棄物。執行組件拆解切割及金屬材料之除污(含噴砂)作業。共有25名工作人員負責營運。Caorso核能電廠除役廢棄物，一般廢棄物271,700噸

(84%)，一定比活度以下外釋廢棄物48,000噸(15%)，放射性廢棄物2,900噸(1%)。Caorso核能電廠除役廢棄物的處理設施、廢棄物產生量及貯存設施如圖14~17。



圖14 Caorso核能電廠汽機廠房建置廢料處理管理設施

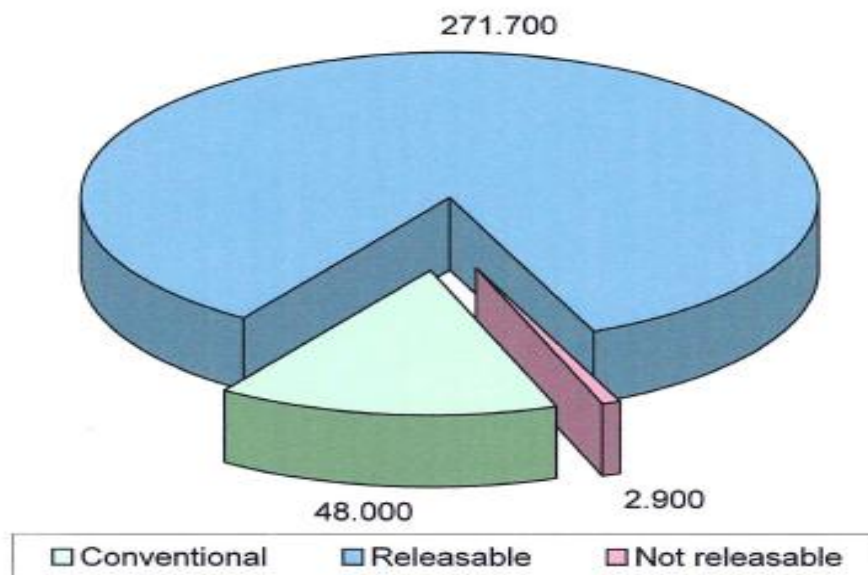


圖15 Caorso核能電廠除役廢棄物，一般廢棄物271,700噸(84%)，一定比活度以下外釋廢棄物48,000噸(15%)，放射性廢棄物2,900噸(1%)。



圖16 Caorso核能電廠低階放射性廢棄物貯存庫

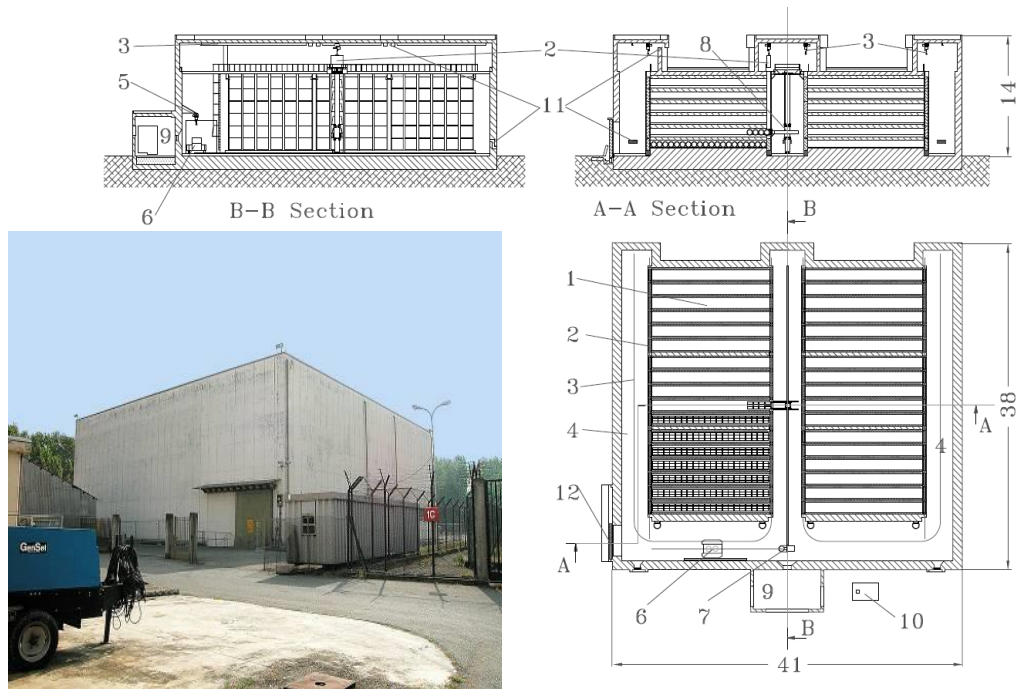


圖17 Caorso核能電廠中階放射性廢棄物貯存庫

肆、建議事項

- 一、近年來 NEA 鑑於民眾參與的重要性，FSC 除放射性廢棄物外，加入除役和核電廠選址二項新的課題，並加入 NEA 的核能安全人文方面部門共同參與，基本上民眾參與會依設施特性、地方文化及發展需求及溝通對象不同，而有不同的民眾參與方式。我國核電廠的除役工作將陸續展開，有必要加強民眾參與，目前安全主管機關原能會，在辦理核一廠除役計畫審查作業期間，除已在網站公開除役計畫書，亦請地方政府提供意見，另辦理核一廠除役計畫訪查活動及地方審查說明會，聽取社會各界及地方民眾意見等。但國際上核電廠除役作業的民眾參與，經營者是責無旁貸，台電公司除依環評法辦理除役說明會和公聽會外，亦應更主動積極辦理民眾參與活動，特別是如何保有現有電廠員工及參與核電廠工作地方居民的工作機會，以順利推展核電廠除役計畫。
- 二、放射性廢物營運管理是除役作業的一個重要且關鍵課題，應安全且妥善解決核廢料，以免對後代造成不必要的負擔。世界各國的核電廠除役作業，都必須先將用過核子燃料自核反應器廠的燃料池移出，方能執行除役作業。除少數用過核子燃料再處理的國家，必須採用過核子燃料中期貯存，國際間以乾式貯存最為普遍可行。我國核電廠內的用過核燃料乾貯設施，是核電廠除役作業必要設施，若無則核電廠之用過燃料池無法清空，整體除役工作將無法進行。目前原能會已同意核一廠第一期用過核子燃料乾式貯存設施熱測試及核二廠第一期乾式貯存設施興建執照，惟因地方民眾及政府反對而未能執行，後續有待台電公司積極溝通，與地方居民和政府建立共識，方能推展核電廠除役作業。
- 三、核電廠除役策略亦是 WPDD 長期關注的課題，世界各國對於核能電廠之拆除，早期採用延遲拆除較多，近年來則改採立即拆除為主。以義大利四座核能電廠為例，原先是採取延遲拆除方式，但政府考量自永久停機後，輻射劑量未如預期般顯著降低；廠內須維持足夠的營運人員；地方政府要求儘速使場址作為其他用途等因素，1999 年義大利改採立即拆除方式。國外部份核電廠為多機組的規模，各機組的運轉期限差異較大，為避免除役作業影響運轉機組，亦可能考量併同除役而延遲永久停止運轉機組的除役作業。芬蘭 TVO 位於 Olkiluoto 核電廠 1 號機和 2 號機延遲拆卸，3 號機採立即拆除，即所有的三個機組全部停機後才正式開始除役作業。惟國內各核能電廠的機組運轉年限僅相差 1 年，情境不同並不適用。延遲拆除仍需仰賴核電廠相關技術人才，長期使用核能國家相關技術人才並不匱乏，惟採行非核家園的國家，相關技術人才可能快速流失，延遲拆除數十年，將須百年樹人重新培養相關人才或完全仰賴技術人力，將不利於核電廠除役作業之順利完成。採行非核家園的德國完全採行立即拆除，即是藉重現有核電廠技術人力，並減低核電廠附近居民的就業衝擊，可作為我國核電廠除役策略之參考。
- 四、核電廠除役法規是這次 WPDD-17 會議探討的主題，基本上各國作法並不一致，法規並未要求提出除役作業許可申請之時間，也未限定完成除役作業之年限，美國則未

要求須提出除役作業許可之申請，除役作業之年限擇定在 60 年。美國核能電廠一旦永久停止運轉，經營者必須在 30 日內向 NRC 提出永久停止操作書面證明，在提交永久停止運轉證明後兩年內，必須向核管會提交停止運轉後除役活動報告(除役計畫)，美國 NRC 接到 PSDAR 後 90 天在無具體核管會核准的情況下，經營者能開始主要除役活動。法國於反應器永久停止運轉前 1 年經營者，須向主管機關申請除役執照，而日本則在反應器永久停止運轉後才提出除役執照申請，德國在永久停止運轉提出除役計畫，在用過核燃料移除後，才會正式核發除役執照。我國除役法規包括核子反應器設施管制法及其施行細則、「核子反應器設施除役許可申請審核辦法」、「核子反應器設施除役計畫導則」及「核子反應器設施除役計畫審查導則」，除役管制法規體系相對周全。我國依核子反應器設施除役許可申請審核辦法，核能電廠除役計畫應於永久停止運轉前三年提出，並經原能會審查後核發除役許可，相對於其他國家是較為嚴謹，有利於週延除役計畫規劃作業。另德國和日本則加強除役計畫的階段性管制，可作為我國核電廠除役作業之參考。

五、目前國內核研所 TRR 研究反應器除役計畫及台電公司核一廠除役計畫均加入 NEA 的 CPD，將可有助於對國際除役技術的最新發展有所掌握。惟我國核電廠除役採立即拆除作業，相對的延遲拆除之輻射劑量可有效降低，因而可抑低除役工作人員的輻射劑量。近年科技發展快速，先進核電廠除役國家，利用廠房結構 3D 繪圖軟體，可有效定位高輻射位置，再採機器人遙控操作，輻射工作人員的輻射劑量管控漸不成問題。我國核能研究所雖有研究用反應器的經驗，但核電廠除役作業首次進行，其高輻射作業亦較研究用反應器為高，國內仍應持續與國際核電廠除役先進國家加強技術交流，強化除役技術以妥善除役作業。

附件一 NEA WPDD-17 會議議程

25 October 2016 - (Day 1)		
Chairperson: Juan Luis SANTIAGO		
09:00	1.	<p>OPENING THE MEETING</p> <p><i>Juan-Luis SANTIAGO, Spain, WPDD Chair</i></p>
09:05	2.	<p>WELCOME REMARKS FROM THE HOST</p> <p><i>Luca DESIATA, CEO Sogin</i></p>
09:10	3.	<p>WELCOME REMARKS FROM ITALIAN REGULATORY AUTHORITY</p> <p><i>Lamberto MATTEOCCHI, Director ISPRA</i></p>
09:15	4.	<p>REVIEW AND ADOPTION OF AGENDA</p> <p><i>Juan-Luis SANTIAGO</i></p>
09:20	5.	<p>REVIEW AND APPROVAL OF SUMMARY RECORD OF WPDD-16 (2015)</p> <p><i>Juan-Luis SANTIAGO</i></p>
	6.	<p>DEVELOPMENTS AND ACTIVITIES WITHIN THE NEA</p>
09:25	6.a	<p>Overview of recent activities with NEA</p> <p><i>Michael SIEMANN, Head of Division RPRWM</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ● Radioactive Waste Management Committee (RWMC) ● NEA Steering Committee ● Division of Radiation Protection and Radioactive Waste Management (RPRWM)
09:45	6.b	<p>Co-operative programme on decommissioning (CPD)</p> <p><i>Ivo TRIPPUTI, Italy, CPD Management Board Chair</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ● Achievements and Plans ● Role of the CPD Programme ● Presentation of upcoming report “Recycling and Reuse of Material” endorsed by WPDD for publication
	7.	<p>PROGRAMME OF WORK OF THE WPDD</p>
10:10	7.a	<p>Decommissioning Cost Estimation Group (DCEG)</p> <p><i>Simon CARROLL, Sweden, DCEG Chair</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ● DCEG-9 meeting ● Achievements and current status of work ● Agreement on procedure for approval of report (see below) ● Focus of Work 2017-2019: Benchmarking ● Extension of Mandate ● Discussion

25 October 2016 - (Day 1)		
Chairperson: Juan Luis SANTIAGO		
11:00	7.b	Task Group on Radiological Characterisation and Decommissioning (TGRCD) <i>Arne LARSSON, TGRCD Chair</i> <ul style="list-style-type: none"> ● Achievements and current status of work ● Extension of mandate ● Discussion
11:30	7.c	Task Group on Preparing for Decommissioning under Operation and after Final Shutdown (TGPFDD) <i>Boris BRENDEBACH, TGPFDD Chair</i> <ul style="list-style-type: none"> ● Achievements and current status of work ● Extension of mandate ● Discussion
12:00	7.d	Task Group on Optimising Management of Low-level Radioactive Materials and Waste from Decommissioning (TGOM) <i>Fredrik DE LA GARDIE, TG Chair</i> <ul style="list-style-type: none"> ● Terms of Reference ● Achievements and current status ● Discussion
12:30	7.e	Future Programme of Work WPDD WPDD Chair, NEA Secretariat <ul style="list-style-type: none"> ● Discussion ● Approval of Programme of Work WPDD

PLENARY SESSION		
Chair: Juan Luis SANTIAGO		
	8.	INTERNATIONAL DEVELOPMENTS
14:15	8.a	EC – Decommissioning-related activities over the past year <i>Joanna METAXOPOULOU, EC [to be confirmed]</i>
14:30	8.b	IAEA – Decommissioning-related activities over the past year <i>Vladimir MICHAL, IAEA</i>
	9.	COOPERATIONS and NEW INITIATIVES – Part 1
14:45	9.a	Initiative “Principles Guiding Decision Making Process in Radioactive Waste Management” <i>Michael SIEMANN, NEA</i>
15:05	9.b	ISOE Working Group on Radiological Protection Aspects in Decommissioning (WGDECOM) <i>Erwin NEUKÄTER, Switzerland</i>

	10.	COUNTRY UPDATES ON DECOMMISSIONING
15:15	10.a	Invited Presentation: EC Nuclear decommissioning assistance programmes (NDAP) – One example <i>Gianfranco BRUNETTI, EC</i>
15:50	10.b	Country Update Special: France <i>Dorothee CONTE, ASN, France</i>
16:05	10.c	Country Updates on Decommissioning <ul style="list-style-type: none"> ● Country Update Report: Country delegations, present and non-present at the meeting, are invited to submit information on recent developments in their country on decommissioning aspects, following the structure of the template for individual country updates. The completed template should be provided to katia-karina.lebot@oecd.org at least by 18th October for later distribution. ● At the meeting: Delegations are invited to present max. four key points from the recent developments in their countries on decommissioning aspects highlighting one major R&D initiative in their countries.
17:50	11.	CLOSING OF DAY 1 <i>Juan Luis SANTIAGO, WPDD Chair</i>

26 October 2016 - (Day 2)		
TOPICAL SESSION on ‘Regulation of Decommissioning’		
Session Chair: Rateb (Boby) ABU-EID		
Rapporteur: Simon BONIFACE		
09:00	TS1.	OPENING <i>Session Chair</i>
09:10	TS2.	Case Study 1 UK: Regulator’s perspective <i>Phil HEATON, Environment Agency, UK</i>
09:25	TS3.	Case Study 1 UK: Implementer’s perspective <i>Paul HUNT, Magnox Ltd., UK</i>
09:40	TS4.	Case Study 2 Germany: Regulator’s perspective <i>Bernd REHS, BfE, Germany</i>
09:55	TS5.	Case Study 2 Germany: Implementer’s perspective <i>Michael BÄCHLER, Vattenfall, Germany</i>
10:10	TS6.	Case Study 3 Sweden: Regulator’s perspective <i>Mathias LEISVIK, SSM, Sweden</i>
10:25	TS7.	Case Study 3 Sweden: Implementer’s perspective <i>Thom RANNEMALM, OKG, Sweden</i>
11:15	TS9.	Case Study 4 Canada: Implementer’s perspective <i>Don JARRON, Ontario Power Generation, Canada</i>

26 October 2016 - (Day 2)		
11:30	TS10.	PANEL DISCUSSION
12:45	TS11.	CONCLUDING REMARKS <i>Session Chair</i>
PLENARY SESSION		
Chair: Juan Luis SANTIAGO		
14:30	12.	OPENING <i>Juan Luis SANTIAGO, WPDD Chair</i>
	9.	COOPERATIONS and NEW INITIATIVES - Part 2
	9.c	Outcomes of the International Conference on Financing of Decommissioning – Joint Initiative <i>Simon CARROLL, SSM, Sweden</i>
	9.d	NEA Expert Group on Legacy Management <i>Massimo ALTAVILLA, ISPRA, Italy</i>
	9.e	Graphite Management <i>Inge WEBER, NEA Secretariat</i>
SPECIAL SESSION on ‘DECOMMISSIONING SCENE IN ITALY’		
Session Chair: Francesco TROIANI, Sogin, Italy		
Rapporteur: Ivo TRIPPUTI		
15:00	CS1.	OPENING <i>Session Chair</i>
15:05	CS2.	Overview of the Decommissioning in Italy <i>Domenico PILORUSSO, Sogin</i>
15:25	CS3.	PPDI – Physical Progress Decommissioning Index <i>N.N., Sogin</i>
15:30	CS4.	Decommissioning Regulatory Regime <i>Fabrizio TRENTA, ISPRA</i>
16:05		Innovative Technical Solutions
	CS5.	Overview of irradiated graphite processing approaches and invitation at Latina NPP for in-depth study <i>Gianluigi MIGLIORE</i>
	CS6.	Examples of applications of finite element analysis in decommissioning of nuclear power plants <i>GERARDINI, LORENZO</i>
	CS7.	Dismantling of contaminated stack at Garigliano Nuclear Power Plant <i>ANDREANI</i>
16:20	CS8.	Italian experience in decommissioning research reactors and other

26 October 2016 - (Day 2)		
		contaminated facilities <i>Alessandro DORADO, NUCLEO</i>
16:35	CS9.	Questions & Answers
17:00	CS10.	CONCLUDING REMARKS <i>Session Chair</i>
PLENARY SESSION		
Chair: Juan Luis SANTIAGO		
17:10	13.	WPDD GOVERNANCE
	13.a	WPDD Bureau <i>Inge WEBER, NEA Secretariat</i> <ul style="list-style-type: none"> ● Renewal of mandate for Mr. Andrew SZILAGYI (DOE USA) and Mr. Rateb (Boby) ABU-EID (NRC, USA) as Bureau members ● Candidate for vacant Bureau position: Mr. Michel PIERACCINI (EDF, France)
	13.b	Recommendations for RWMC on future of WPDD <i>Michael SIEMANN, Inge WEBER</i> <i>Basing on discussions during the meeting, WPDD is invited to make recommendations to the RWMC to enhance the role of decommissioning within NEA.</i>
17:25	14.	ANY OTHER BUSINESS <i>Any other item raised in the meeting that needs further addressing</i>
17:35	15.	DATE AND PLACE OF NEXT MEETINGS <ul style="list-style-type: none"> ● WPDD-18 in 2017: Ottawa, Canada [tbc] ● WPDD-19 in 2018: [to be done]
17:40	16.	REVIEW OF MAIN DECISIONS AND ACTION ITEMS <i>Juan-Luis SANTIAGO, WPDD Chair</i>
17:50	17.	Practical Information for the Technical Tour <i>Gianluca ROSSI, Sogin</i>
18:00		CLOSURE OF THE MEETING / ADJOURN

27 October 2016 - (Day 3)	
TECHNICAL TOUR to Latina NPP	
08:00 – 09:30	Transfer to Latina NPP – Bus leaving at 08:00 from the Venue - (Hotel Ripa – Via degli Orti di Trastevere, 3, 00185 Rome)
09:30 – 10:00	Registration at Latin NPP
10:00 – 10:30	Presentation of Latina NPP Decommissioning program <i>By Domenico PILORUSSO and Agostino RIVIECCIO</i>
10:30 – 11:30	Innovative technical solutions on Latina NPP Decommissioning <i>By Domenico PILORUSSO and Agostino RIVIECCIO</i>

11:30 – 13:00	Visit to Latina NPP
	Transfer to Rome City Centre and Rome Fiumicino Airport