

政府科技計畫成果效益報告

計畫名稱：精進放射性物料安全管制技術發展(1/4)

(環境科技群組)(原子能工程領域)

性質：

☒ 研究型

☐ 非研究型(人才培育、國際合作、法規訂定、產業輔導及推動)

主管機關：行政院原子能委員會

執行單位：放射性物料管理局

目錄

壹、科技施政重點架構圖	3
貳、基本資料	4
參、計畫目的、計畫架構與主要內容	5
一、計畫目的與預期成效	5
二、計畫架構(含樹狀圖)	9
三、計畫主要內容	10
肆、計畫經費與人力執行情形	21
伍、計畫已獲得之主要成果與重大突破(含量化成果 output)....	25
陸、主要成就及成果之價值與貢獻度(outcome)	34
柒、與相關計畫之配合	35
捌、後續工作構想之重點	37
玖、檢討與展望	39
附件一：績效指標(實際成果)	
附件二：佐證資料表	
附件三：重要研究成果摘要	

第二部分：政府科技計畫成果效益報告

壹、科技施政重點架構圖：

策略績效目標——績效衡量指標——執行措施（綱要計畫）

建立與提升放射性物料(包含低放射性廢棄物、用過核子燃料與燃料循環)的相關管制技術，以便於釐清與解決所面臨的技術問題，使核子原燃料管理及放射性廢棄物的處理與處置作業，能確保維護環境品質與公眾安全。

精進放射性物料安全管理技術發展(物管局21,240千元)

精進低放射性廢棄物安全管理技術

KPI：

SCI論文1篇
會議論文1篇
研究報告7篇
技術手冊1篇

- 1-1低放射性廢棄物活度量測追溯管制技術研究(核研所3,600千元)
- 1-2放射性廢棄物處置輻射風險標準研究(核研所3,150千元)
- 1-3低放射性廢棄物處置安全審查關鍵議題研究(核研所2,700千元)

精進用過核子燃料及放射性物料安全管理技術

KPI：

研究報告9篇

- 2-1用過核子燃料貯存安全管理技術發展(核研所1,350千元)
- 2-2核子反應器設施除役審查及驗證技術研究(核研所3,780千元)
- 2-3放射性廢棄物管制作業相關審查導則研究(核研所2,250千元)

- A-1核能電廠除役計畫審查技術之研究(清大700千元)
- A-2用過核子燃料乾式貯存技術規範研析與應用(清大1,275千元)
- A-3複合式災害模擬情節對乾式貯存設施營運影響分析(清大930千元)

貳、 基本資料：

計畫名稱：精進放射性物料安全管制技術發展(1/4)

主 持 人：邱賜聰

審議編號：101-2001-02-04-16

計畫期間(全程)：101 年 1 月 1 日至 104 年 12 月 31 日

年度經費：21,240 千元 全程經費規劃：80,869 千元

執行單位：放射性物料管理局

參、計畫目的、計畫架構與主要內容

一、計畫目的與預期成效：

本計畫總目標在於建立與提升放射性物料(包含低放射性廢棄物、用過核子燃料與燃料循環)的相關管制技術，以便於釐清與解決所面臨的技術問題，使核子原料、燃料管理及放射性廢棄物的處理貯存與處置作業，能確保維護環境品質與公眾安全。由於政府組織改造變革之影響，「放射性物料管理法」將改為「放射性物料管制法」，其後將針對各項管制技術規範進行研議，確保放射性物料安全管制。因此，本計畫擬以委託國內核能專業與學術機構執行分項計畫的方式，推動相關工作。本計畫定位在以適當的經費與人力資源，進行具有急迫性與具有先期科技方案研究價值的研發工作。具體的計畫功能包含以下優點：

- (1)建立放射性廢棄物管制的科學技術資訊，作為施政決策的依據。
- (2)先期研究探討發現問題，提出方案，擬訂解決對策。
- (3)預先規劃建立本土評估分析技術並尋求國際技術合作項目，以解決放射性廢棄物處置問題。
- (4)建立放射性物料管制的技術規範與安全基準。
- (5)在安全的前提下，促進放射性物料設施的管理效能。
- (6)建立公開透明的放射性廢棄物科技資訊，增進公眾的安全信心。
- (7)促進管制人員與專業研究團隊之間的經驗交流。
- (8)確保放射性物料管制品質，以利核能應用正常發展與政府推行「節能減碳」政策。
- (9)因應日本福島第一核能電廠核子事故影響，檢討改進我國放射性廢棄物管制技術。

本計畫架構包括兩個分項計畫下轄共六個子項計畫，主要內容與

成效如下：

1. 「低放射性廢棄物安全管制技術發展」分項計畫(101-104 年)

本分項計畫之預期效益，為針對低放射性廢棄物設施與作業的安全管制技術之需求，尤其是最終處置相關的部份，研討妥適的管制技術與安全標準，提升低放射性廢棄物安全管制的公信力和民眾接受度，有利未來安全審查與檢查作業之進行。

為妥善解決低放射性廢棄物的處置問題，物管局持續對於安全分析報告內有關之安全評估、設施設計及場址特性參數審查等方向進行系統性的研究。以三年期程針對安全評估源項(source term)之管制技術建立放射性量測品質保證之管制技術。而由於核能先進國家對於低放處置是否建立輻射風險標準，作法未趨一致，我國低放處置尚未訂定輻射風險標準，將以二年期程完成我國低放處置之輻射風險標準評估研究，並評估我國低放處置人類闖入潛在曝露情節之輻射安全標準(干預基準)。此外，對於低放處置設施安全審查之關鍵議題，進行為期四年之前瞻性研究，作為精進安全分析報告審查導則或安全管制規範的依據基礎。各計畫工作預期效益如下：

子項計畫 1-1：低放射性廢棄物活度量測追溯管制技術研究(101-103 年)

- (1)建置低放射性廢棄物量測追溯及驗證技術，提升國內廢棄物量測技術水準，確保人員與環境輻射安全。
- (2)建立國內低放射性廢棄物量測技術認證作業規範及體系。
- (3)發展與運用追溯資訊技術於廢棄物管理，以提升低放射性廢棄物資料正確性與完整性。

子項計畫 1-2：放射性廢棄物處置輻射風險標準研究(101-102 年)

- (1)完成我國低放處置之輻射風險標準評估研究，建議符合國情之輻射風險標準。

(2)參考國際核能組織(IAEA、ICRP)之建議，評估我國低放處置人類闖入潛在曝露情節之輻射安全標準(干預基準)。

子項計畫 1-3: 低放射性廢棄物處置安全審查關鍵議題研究(101-104 年)

(1)針對低放處置設施如場址調查參數驗證、安全評估、設施設計及工程障壁材料之管制技術等關鍵議題，進行前瞻性研究，以建立關鍵議題審查技術，作為精進安全分析報告審查導則或安全管制規範的依據基礎。

(2)針對坑道處置如設施結構長期穩定性、耐震安全設計等關鍵議題進行前瞻性研究，以建立關鍵議題審查技術，作為精進安全分析報告審查導則或安全管制規範的依據基礎。

2. 「用過核子燃料及放射性物料安全管制技術發展」分項計畫(101-104 年)

本分項計畫之預期效益，為精進主管機關對用過核子燃料乾式貯存護箱及其設施之安全審查、興建及營運檢查等技術需求，強化國內採用乾式貯存技術之安全保守度(包含耐震與防洪/海嘯安全)，以降低貯存作業不確定性因素，進而達成用過核子燃料之結構完整與安全再取出等安全目標，並有助於提升民眾對該設施之接受度。另針對核子反應器除役有關的管制技術進行研發，包括拆除、除污、輻射劑量評估、放射性廢棄物管理的審查等，以確保作業安全。此外，針對放射性廢棄物管制機制與規範進行研究，掌握國際管制規範發展動態與趨勢，檢視並評估其影響，進行導入國內之研究與評估，並適時建立相關審查導則，提供業者依循，以利業者備妥送審文件資料；另藉由掌握國際放射性物料之管制資訊，針對特殊或特定事件，深入探討，以做為我國事先規劃或防範意外事件發生之準備。各計畫工作預期效益如下：

子項計畫 2-1：用過核子燃料貯存安全管制技術發展(101-104 年)

- (1)如期如質完成核能電廠用過核子燃料乾式貯存設施之建造執照及運轉執照安全審查，以確保用過核子燃料之貯存安全與核電機組持續安全運轉，提供國內經濟且穩定之電力。
- (2)藉由核能電廠用過核子燃料乾式貯存護箱及其設施建造執照、試運轉及運轉執照等申請案之安全審查與平行驗證技術的豐碩經驗，可有效建立完善之審查技術，並擷取國內、外相關設施管制實務經驗以精進之，朝標準化與效率化目標邁進，以有效提升審查技術與品質，確保用過核子燃料之貯存安全。
- (3)蒐集國外用過核子燃料乾式貯存設施營運資訊及績效，定期與我國核能電廠乾式貯存設施之營運監測數據比對研析，精進本土化乾式貯存護箱系統之技術驗證成果，監測資訊亦即時公開透明，以落實安全管制作業透明化，提升民眾對該設施之認同感。

子項計畫 2-2：核子反應器設施除役審查及驗證技術研究(101-104 年)

- (1)蒐集各國核子反應器目前已除役或正在除役所採用一般金屬、一般混凝土、反應器壓力容器(RPV)及生物屏蔽拆除方式及技術，考量輻防安全及工業安全，配合除污程序、廢棄物管理、及減廢需求，以建立最適化拆除程序為訴求，建立拆除技術審查能力。
- (2)參考國內外法規、技術規範、經驗案例等，建立我國核子反應器設施除役審查及驗證技術，確保未來核能電廠除役作業能安全有效的落實。並針對除役技術的管制需求研擬相關技術規範與審查要點，以健全法規體系。

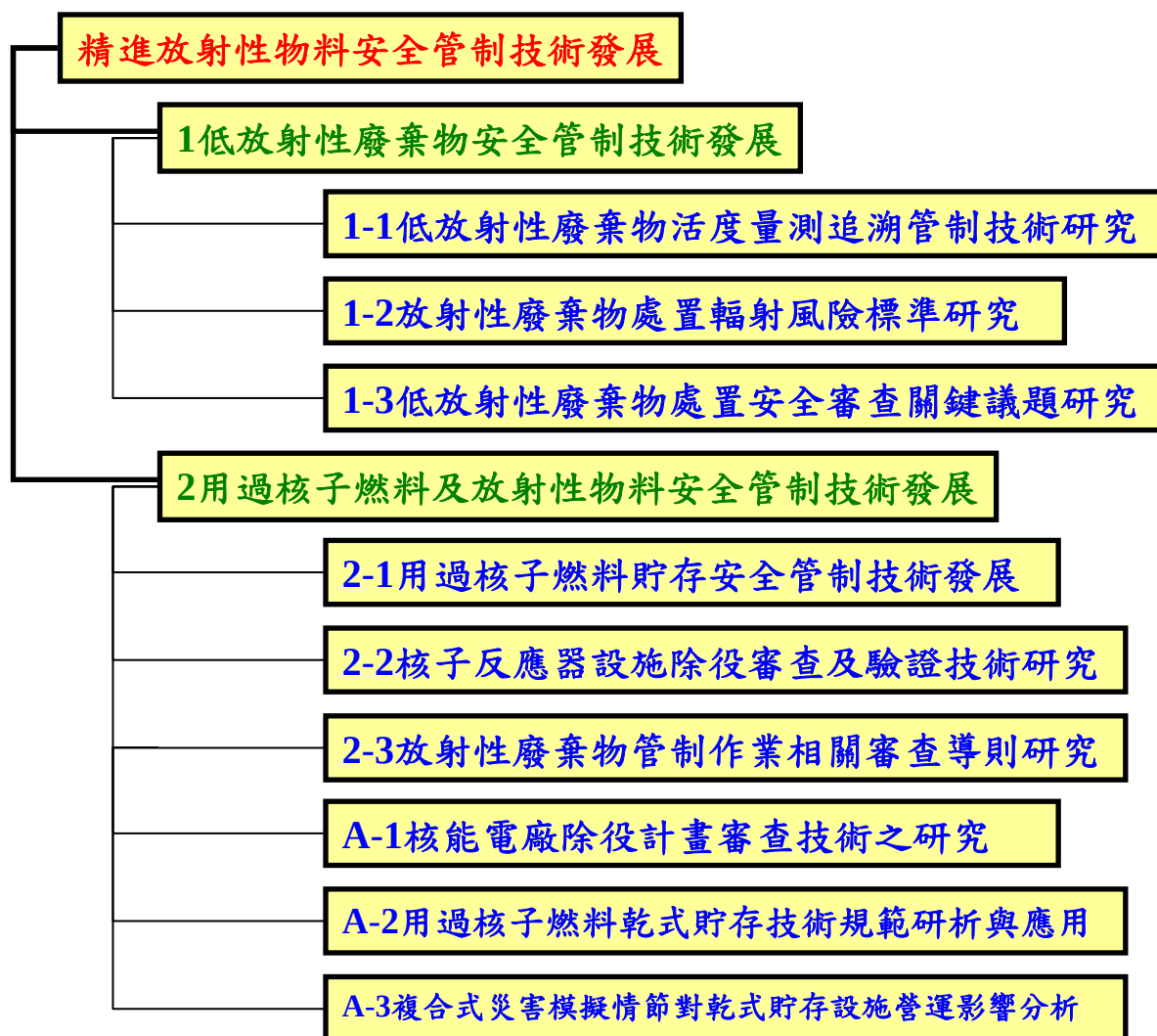
- (3)蒐集國際除役實例與分析技術發展現況，探討爐心周圍中子活化之放射性核種及場址輻射特性對工作人員、環境之劑量影響，建立輻射劑量評估之驗證能力。

子項計畫 2-3：放射性廢棄物管理作業相關審查導則研究(101-104 年)

- (1)蒐集各核能發電國家放射性物料管制法規與其技術發展的背景與沿革，深入探討其管制體系與發展緣由，並檢視我國管制現況，使我國的管制法規體系更臻完善，達成放射性物料安全管制的目的。
- (2)參考國外發展趨勢，探討與研究以建立放射性廢棄物安全管制法規體系，逐步發展使低放射性廢棄物從產生、處理、貯存、運送與處置作業能整合成最有效與合理的管制作業；並將針對特殊低放射性廢棄物建構專門之管制規定與審查導則。

二、計畫架構(含樹狀圖)：

本計畫架構包括兩個分項計畫下轄共六個子項計畫，另包含三個單項委託研究計畫，架構圖如下：



三、計畫主要內容

(一)「低放射性廢棄物安全管制技術發展」分項計畫(101-104 年)

「低放射性廢棄物安全管制技術發展」分項計畫依當前面臨的管制實務關鍵議題擬訂所需發展的管制技術，重點包括低放射性廢棄物活度量測追溯與驗證管制技術、放射性廢棄物處置輻射風險標準研究、低放射性廢棄物處置安全審查關鍵議題研究等，並據以規劃民國 101 年至 104 年之逐年具體工作項目。

子項計畫 1-1 低放射性廢棄物活度量測追溯管制技術研究(101-103 年)

原能會於民國 97 年 10 月 22 日發布「低放射性廢棄物最終處置

及其設施安全管理規則」，其中以重要核種的濃度值作為放射性廢棄物分類的依據。放射性廢棄物核種類別與活度的量測，實務上不僅牽涉廢棄物的分類，更為重要的是影響廢棄物能否被處置設施接收以及處置後的長期安全。本項工作將衡量國內低放射性廢棄物產生、處理、貯存情形，並藉現代化量測儀器及相關技術，建立符合最終處置要求之廢棄物分類方法、量測追溯標準以及驗證制度；以提升低放射性廢棄物產生單位量測能力與公信力，增進民眾對廢棄物處置的接受度。

101 年度完成下列工作內容：

1.建立低放射性廢棄物常用核種活度標準

- (1)建立追溯國家游離輻射標準之桶型常用核種 Eu-152(殼狀 9 支棒組合)與核種 Mn-54(均勻 16 支棒組合)的加馬體射源。
- (2)針對製作完成的棒狀液態射源進行均勻度測試。

2.低放射性廢棄物量測標準桶(205L)及參考物質製作及測試

- (1)製作適用於純鍮偵檢器校正之五種密度單一核種 Eu-152 殼狀與 Mn-54 均勻狀的各標準桶。
- (2)利用校正桶評估量測系統對核種的計測效率。
- (3)以校正後的量測系統進行樣品比活度量測準確度的驗證與結果比較。

3.建立低放射性廢棄物量測不確定度評估規範與追溯體系草案

財團法人全國認證基金會 (Taiwan Accreditation Foundation, 簡稱 TAF)量測不確定度之規定，要求參與認證的分析實驗室對量測不確定度的評估與表示，需採用 ISO 的量測不確定度指引所述方式。本項工作即依據國際標準化組織(International Organization of Standards, 簡稱 ISO)的量測不確定度指引(ISO Guide 98-3, 即 GUM:1995)，並配合國

內現有之放射性廢棄物量測系統與廢棄物桶之特性，內容包括：

- (1)草擬量測不確定度評估方案，用以評估低放射性廢棄物量測系統與量測廢棄物桶的不確定度。
- (2)提出低放射性廢棄物量測不確定度評估規範與追溯體系草案，供國內其他相關之放射性廢棄物量測系統之參考。

子項計畫 1-2 放射性廢棄物處置輻射風險標準研究(101-102 年)

放射性廢棄物最終處置的安全標準，主要為劑量與風險兩種指標，各國依其國情有不同的法規限值。我國目前訂定低放與高放處置設施對一般人造成之個人年有效劑量，不得超過 0.25 毫西弗，並應合理抑低。高放處置設施特別規定對關鍵群體中個人所造成的個人年風險，不得超過一百萬分之一。對於這些標準似仍有檢討的空間，尤其對特定曝露情節(如人類闖入)如何管制等均亟待釐清。本項工作將參考國際輻射防護組織(例如 IAEA、ICRP 等)及歐、美、日等核能科技先進國家，對於放射性廢棄物處置之輻射風險與安全的建議標準，進行我國放射性廢棄物最終處置設施之風險與劑量管制標準的模擬評估研究，使其能更符合我國的放射性廢棄物處置現況。並依據研究結果，實際評估各項放射性廢棄物最終處置輻射曝露情節中有關非自然過程(人類闖入)潛在曝露情節之輻射安全標準(干預基準)，據以提供主管機關訂定我國放射性廢棄物最終處置之輻射安全標準相關規範之參考。

101 年度完成下列工作內容：

1.國際輻防組織與核能先進國家低放處置輻射風險標準研究

- (1)蒐集國際輻射防護組織(例如 IAEA、ICRP 等)及歐、美、日等核能科技先進國家，對於放射性廢棄物處置之輻射風險與安全的建議標準進行研究。

2.我國低放處置輻射風險標準評估研究

- (1)彙整國際輻射防護組織(例如 IAEA、ICRP 等)及歐、美、日等核能科技先進國家，對於放射性廢棄物處置之輻射風險與安全的建議標準。
- (2)進行我國放射性廢棄物最終處置設施之風險與劑量管制標準的模擬評估研究，使其能更符合我國的放射性廢棄物處置現況。

子項計畫 1-3 低放射性廢棄物處置安全審查關鍵議題研究(101-104 年)

我國低放處置設施選址作業積極推動中，經濟部於民國 99 年 9 月 10 日依選址小組委員會建議，公告台東縣達仁鄉南田村、金門縣烏坵鄉小坵村 2 處「潛在場址」，復於 101 年 7 月 3 日公告台東縣達仁鄉南田村、金門縣烏坵鄉小坵村 2 處「建議候選場址」，將依法定程序繼續進行候選場址遴選。若能順利選定場址，台電公司可望於近年內檢附安全分析報告提出建造執照申請。在此之前管制機關亟須針對安全分析報告中的技術要項建立審查規範與接受標準。基於此審查作業實務需求，爰規劃本項工作，針對場址調查、設施設計、安全評估、營運管制及品質保證等相關技術內容進行管制技術研發。

101 年度完成下列工作內容：

1.情節分析審查技術發展

情節分析是處置設施安全評估的首項工作，與處置設施的概念、設計以及場址特性等密切相關，本研究將以管制機關技術審查的角度探討以下的重點：

- (1)特徵事件作用(FEPs)報表建構：瞭解 FEPs 報表的建構過程，包括國外文獻參考以及國內專家審查機制建立；完整的 FEPs 報表，包括 FEPs 篩選辯證以及因素的內涵評析。
- (2)情節建構：分析影響處置設施安全的情節建構方法與篩選過程，包

括與設施概念、設計以及場址特性的關聯；以及設施在施工、營運到封閉各階段分別須確認那些情節如果發生會對處置場造成哪些不同程度影響，而必須在後續的安全分析中予以確認。

- (3)基本情節與變異情節建構：與封閉後處置設施安全分析最相關之基本與變異情節建構說明，包括與設施概念、設計以及場址特性的關聯，基本情節的假設與演化說明。

2.設施安全分析源項審查技術發展

處置設施規劃與設計時，必須瞭解接收廢棄物數量，據以估算所需場址大小及設計容量；瞭解接收廢棄物活度，據以評估工程障壁考量、廢棄物包件設計等；瞭解廢棄物來源與核種種類，據以正確有效率地進行安全評估，針對處置設施安全分析源項審查技術，工作要項包括：

- (1)處置廢棄物總數量、總活度之審查要項評析，著重如何以合理數據、方法推估未來可能產生的低放廢棄物之總數量與總活度；
- (2)廢棄物來源、種類、型態等審查要項評析，著重釐清我國低放廢棄物主要來源(電廠與小產源)之廢棄物種類及特性評析；
- (3)關鍵核種確認，低放廢棄物包含之放射性核種有數百多個，大致上可分為活化產物、分裂產物及阿伐衰變核種等三類，針對這些數量不一、影響程度不同的核種，評估前刪除較不重要核種，可有效節省模式評估之人力與時間。

3.坑道處置設施設計及其穩定性評估之審查技術發展(101 年度工作)

- (1)資訊彙整分析：處置坑道之功能需求不同於一般地下坑道，本項工作將先探討二者設計目標與功能需求之異同，針對其相近部分，彙整國內外既有坑道設計方法、規範與相關準則，探討國內外場址特性的差異，再聚焦於國內場址特性特殊處，探討其對坑道結構安全

與穩定的影響，繼而研究適當的設計考量因素與對策，並建議對應的設計流程。

(2)功能需求分析：針對處置坑道與一般地下坑道功能需求相異之處，基於處置坑道設計、審查技術既有成果增補。針對處置坑道與一般地下坑道功能需求差異較大處，如設計生命周期與障壁功能的要求等，則將基於一般地下坑道設計目前發展與應用的方法，檢討其未臻完善或考量不足之處，除研究修正之建議之外，並將探討平行驗證之技術。

(3)穩定性模擬技術審驗分析：考慮處置作業審查之需求，掌握場址特性描述與設計參數分析所需的調查架構、調查技術、成果的變異性影響因素與因應的率定技術，探討管制與審查作業所需的安全驗證技術。本項審查技術之研發涉及隧道工程設計及穩定分析技術，依據物管局整合國內既有技術之審查會議意見，將委請國內該領域具經驗之專家學者協助執行。

(二)「用過核子燃料及放射性物料安全管制技術發展」分項計畫(101-104年)

本分項計畫依管制實務工作需求分為貯存、除役與安全管制規範三個技術發展領域進行研發，並據以規劃民國 101 年至 104 年之逐年具體工作項目。

子項計畫 2-1 用過核子燃料貯存安全管制技術發展(101-104 年)

目前國際上對於用過核子燃料的管理措施主要有再處理與直接處置兩種方式。對我國而言，在管理策略與實施方法尚未能於短期內明確定案並落實前，暫貯以等待最適策略確定，應為目前須大力推動的方向。現有之濕式暫貯方式，囿於各核電廠原有之燃料池容量很難

再予以大量擴充的事實，乾式貯存已為世界趨勢。至 2005 年止世界上已有百分之十二以上之用過核子燃料以乾貯形式暫貯中。

我國核一廠已啟動乾貯計畫，於民國 97 年取得建造執照後，分別於民國 101 年與 102 年（預定）提出試運轉許可與運轉執照申請。核二廠乾貯計畫亦分別於民國 101 年、103 年（預定）提出建造執照與運轉執照申請。為因應面臨的審查工作，及早建立相關審查技術、特殊議題(如結構與地震分析)平行驗證技術、設施營運監測等技術發展能力，實為刻不容緩的工作。另因應複合性災害(如地震、海嘯)超過設計基準意外事故分析應變措施研究，及未來之可能發展，亦應對通用執照(general license，有別於核一廠與核二廠申請之特定場址執照，site-specific license)以及乾貯設施營運滿十年後之再評估等審查管制工作，進行初步之瞭解。

101 年度完成下列工作內容：

1.用過核子燃料循環管理方案技術可行性研究(101 年度工作)

- (1)蒐集國際重要組織及各國之用過核子燃料循環管理方案最新發展動向等資訊；以國際核能機構技術報告、國際會議期刊及資訊蒐集彙整為主要方法，探討分析世界各國對於用過核子燃料用過核子燃料循環管理方案之最新研究發展與趨勢。
- (2)彙整分析國際組織及各國對於破損及未耗乏用過核子燃料乾式貯存安全管制技術規範，此資訊可供國內後續安全管制作業之參考。
- (3)蒐集國際組織及各國之用過核子燃料乾式貯存技術規範最新發展動向等資訊。
- (4)蒐集國際除役核電廠用過核子燃料貯存安全管制技術規範。

子項計畫 2-2 核子反應器設施除役審查及驗證技術研究(101-104 年)

原子能委員會於民國 92 年 8 月頒布「核子反應器設施管制法施

行細則」，另於民國 93 年 7 月發布「核子反應器設施除役許可申請審核辦法」，明定核子反應器設施除役申請應檢具之申請資料及除役計畫應包括之事項。我國完整的核能電廠除役審查技術，包括除役計畫書導則，除役計畫審查規範，以及除役相關程序中各項技術，如拆除技術、除污技術、廢棄物管理、輻射劑量評估等的審查能力，則有待進一步建立。本計畫之目的為深入研究除役中各項相關專業技術，使我國核子反應器除役計畫得以落實，且經由縝密之規劃，確保我國核設施除役工作進行之安全及順利。

101 年度完成下列工作內容：

1.主要國家核子反應器設施除役相關法規研究

- (1)蒐集主要國家之核子反應器設施除役管制機關之名稱、組織架構與作業職掌等相關資訊，藉以瞭解各國核子反應器設施除役法規體系，可探討國內除役法規體系與各國除役法規體系的差異；此資訊可供國內核子反應器設施除役時各機關權責規劃之參考。
- (2)蒐集主要國家之核子反應器反應器設施除役相關法規、導則、規範等相關資訊，藉以瞭解各國核子反應器設施除役法規需求，可探討國內除役法規與各國除役法規的差異；此資訊可供國內核子反應器設施除役法規劃及研擬之參考。

2.核子反應器設施除役計畫導則研訂

蒐集主要國家之核子反應器設施除役計畫相關資訊，加以分析研究，以美國 NRC 之除役計畫相關文件為範本，日本及德國為輔，依據國內現行法規，並考量國內與主要國家法規上的差異，規劃國內核子反應器設施除役計畫導則；此資訊可供權責機關審查核子反應器設施除役計畫之基礎，及國內核電廠業主規劃核子反應器設施除役計畫之參考。

3.核子反應器設施除役廠址特性調查技術研究

- (1)蒐集與分析國際之電廠除役資料，分析核子反應器設施除役廠址特性調查之內容與要項。
- (2)分析美國多部會輻射偵檢與場址調查手冊(Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual, MARSSIM)，以及歐盟場址環境輻射偵檢與執行手冊(Environmental Radiation Survey and Site Execution Manual, EURSSEM)，研究核子反應器設施除役廠址特性調查技術相關規範

子項計畫 2-3 放射性廢棄物管理作業相關審查導則研究 (101-104 年)

本研究將著重於重要核能發電國家對我國具有參考性價值的資訊彙整分析，包括放射性物料管制法規、管制策略、管制機關與專責機構、處置設施、處置技術發展資訊等。成果有助於配合我國國情，研提我國應建立或更修之規範與準則，掌握國際上特殊或特定事件，以做為我國事先專案規劃或防範意外事件發生之準備，作為公眾溝通素材，提升安全信心等。我國低放射性廢棄物管理實務作業中，有些技術性議題的管制措施，亟待研究釐清，包括盛裝容器、高溫處理設施、包件運送計畫、貯存設施再評估、貯存設施除役計畫等。本項工作針對前述議題擬定四年的工作項目如下，預期可以藉由國際法規分析與技術研討取得國內共識，據以建立相關的技術規範與審查導則。

101 年度完成下列工作內容：

1.國際放射性廢棄物管制機關與管制策略資訊彙整分析

- (1)蒐集國際上重要組織及國家之放射性廢棄物管制機關、營運單位之名稱、組織架構與作業職掌等資訊；涵蓋 IAEA、OECD/NEA、歐（法、德、英、芬蘭、瑞典）、美、日、中國大陸等，並補充其他因特殊案例之需求而須新增的內容；此資訊可供國內設立或進行組

織架構說明或檢討調整用。

- (2)蒐集各國國際組織與各國之管制法規與規範，以英文為主，次之再輔以其他語文，提供各國放射性廢棄物管制法規中文名稱及內容摘譯，及其英文或原文資料，並建立資料庫。各國家之法規將分析繪製中文之法規架構圖並附所蒐集之法令與規範名稱。此資訊可供國內參考比對及未來擬定新法案及標準之參考。
- (3)蒐集國際上重要或報導之放射性物料管制事件資訊，包括增刪修法案、成立新組織、設施建造或啟用及意外事故等，每則報導將摘要編譯中文約 150 字（另附原始文件），每月於 25 日前摘譯國際動態資訊 5 則以上，提供管制機關即時參考。

2.低放射性廢棄物盛裝容器審查導則研究

依據行政院原子能委員會發布之「低放射性廢棄物最終處置盛裝容器審查規範」進行審查技術要點之研究。工作內容包括彙整國際間低放射性廢棄物最終處置盛裝容器(含超 C 類放射性廢棄物處置容器)的相關規範、導則、實務案例等，藉由國際資訊的分析，釐清審查的安全標準與容器審驗的技術要點。具體的容器測試技術方法與標準依容器用途與材質可能包括以下項目：

- (1)廢棄物及環境的腐蝕、化學及生物劣化效應等測試方式；
- (2)力學強度的測試方法與標準；
- (3)熱循環試驗測試方法與標準等。

肆、計畫經費與人力執行情形

一、計畫經費執行情形：

(一) 計畫結構與經費

細部計畫		研究計畫		主持人	執行機關	備註
名稱	經費	名稱	經費			
精進放射性物料安全管制技術發展(1/4)	21,240			邱賜聰	放射性物料管理局	
		主辦機關相關業務計畫	1,505	鄭武昆	放射性物料管理局	
		1-1 低放射性廢棄物活度量測追溯管制技術研究	3,600	武及蘭	核研所	
		1-2 放射性廢棄物處置輻射風險標準研究	3,150	邱鎧盛	核研所	
		1-3 低放射性廢棄物處置安全審查關鍵議題研究	2,700	吳禮浩	核研所	
		2-1 用過核子燃料貯存安全管制技術發展	1,350	邱琬琚	核研所	
		2-2 核子反應器設施除役審查及驗證技術研究	3,780	張淑君	核研所	
		2-3 放射性廢棄物管制作業相關審查導則研究	2,250	陳智隆	核研所	
		A-1 核能電廠除役計畫審查技術之研究	700	白寶實	清華大學	
		A-2 用過核子燃料乾式貯存技術規範研析與應用	1,275	潘欽	清華大學	
		A-3 複合式災害模擬情節對乾式貯存設施營運影響分析	930	施純寬	清華大學	

(二)經資門經費表

會計科目 \ 項目		預算數 / (執行數)			備註	
		主管機關預算(委託、補助)	自籌款	合計		
				金額(元)		占總經費%
一、經常支出						
1.人事費						
2.業務費		21,240,000		20261807	95.39	
3.差旅費						
4.管理費						
5.營業稅						
小計		21,240,000		20261807	95.39	
二、資本支出						
小計						
合計	金額	21,240,000		20261807	95.39	
	占總經費%	100		95.39		

或僅以人事費、業務費(研究設備費、材料與雜費)管理費分類

經費項目		主管機關預算 (委託、補助)	自籌款	合計		備註
				金額	%	
人事費						
業務費	研究設備費	21,240		21240	100	
	材料與雜費					
管理費						

與原計畫規劃差異說明：

本(101)年度至 12 月份計畫經常支出分配數為 21,240,000 元，實際結報數為 20,261,807 元，總執行率達 95.39%，部份委託研究計畫決標金額未達底價，故預算執行率未能達 100%。101 年度未編列資本支出。(實際結報數 20,261,807 元，其中含聘 2 位 NRC 專家來台費用保留款待支付，目前先以 102 年 1 月 10 日 11 點 1 分匯率 29.182 計之，未來實際支付金額以付款日匯率計算)

(三)計畫人力

計畫名稱	執行情形	總人力(人年)	研究員級	副研究員級	助理研究員級	助理
分支計畫：精進放射性物料安全管制技術發展(1/4)	原訂	7.4	0.4	2.3	3.5	1.2
	實際	7.4	0.4	2.3	3.5	1.2
	差異	0	0	0	0	0
分項1：低放射性廢棄物安全管制技術發展	原訂	3.5	0.1	1.1	1.7	0.6
	實際	3.5	0.1	1.1	1.7	0.6
	差異	0	0	0	0	0
分項2：用過核子燃料及放射性物料安全管制技術發展	原訂	3.9	0.3	1.2	1.8	0.6
	實際	3.9	0.3	1.2	1.8	0.6
	差異	0	0	0	0	0
A 委託研究計畫	原訂	7.2	1.2	3.0	1.8	1.2
	實際	7.2	1.2	3.0	1.8	1.2
	差異	0	0	0	0	0

(四) 主要人力投入情形(副研究員級以上)

姓名	計畫職稱	投入主要工作及人月數	學、經歷及專長	
邱賜聰	綱要計畫總主持人	0.5	學歷	碩士
			經歷	放射性物料管理局局長
			專長	保健物理、放射性物料管理
鄭武昆	業務計畫負責人	0.5	學歷	碩士
			經歷	放射性物料管理局組長
			專長	核子工程、放射性物料管理
周鼎	分項計畫主持人	2.4	學歷	碩士
			經歷	核研所簡任副研究員
			專長	土木工程、地震工程
紀立民	分項計畫主持人	4.8	學歷	碩士
			經歷	核研所薦任副研究員
			專長	工程地質

姓名	計畫職稱	投入主要工作及人月數	學、經歷及專長	
鄭世中	研究人員	1.2	學 歷	博士
			經 歷	核研所簡任研究員
			專 長	核子工程
武及蘭	1-1 子項計畫主持人	6.0	學 歷	學士
			經 歷	核研所薦任副研究員
			專 長	保健物理
邱鎧盛	1-2 子項計畫主持人	4.8	學 歷	碩士
			經 歷	核研所薦任助理研究員
			專 長	保健物理
吳禮浩	1-3 子項計畫主持人	8.4	學 歷	碩士
			經 歷	核研所薦任助理研究員
			專 長	工程地質
邱琬琚	2-1 子項計畫主持人	6.0	學 歷	碩士
			經 歷	核研所助理工程師
			專 長	核子工程
張淑君	2-2 子項計畫主持人	2.4	學 歷	碩士
			經 歷	核研所薦任副研究員
			專 長	保健物理
陳智隆	2-3 子項計畫主持人	6.0	學 歷	碩士
			經 歷	核研所助理工程師
			專 長	水文地質
林琦峰	研究人員	6.0	學 歷	博士
			經 歷	核研所副研發師
			專 長	保健物理
黃珥吉	研究人員	4.8	學 歷	博士
			經 歷	核研所副研發師
			專 長	保健物理
白寶寶	A-1 委託	1.2	學 歷	博士

姓名	計畫職稱	投入主要工作及人月數	學、經歷及專長	
	計畫主持人		經 歷	清大原子科學技術發展中心主任
			專 長	核子工程
許文勝	A-1 委託計畫研究人員	3.0	學 歷	博士
			經 歷	清大原子科學技術發展中心副研究員
			專 長	火災模擬、核電廠火災風險評估
潘欽	A-2 委託計畫主持人	3.0	學 歷	博士
			經 歷	國立清華大學工程與系統科學系特聘教授
			專 長	沸騰熱傳、雙相流、核子工程、燃料電池
施純寬	A-3 委託計畫主持人	4.8	學 歷	博士
			經 歷	清華大學核工所教授
			專 長	熱流分析、計算流體力學、核能安全分析

與原計畫規劃差異說明：

計畫執行期間助理研究員級 1 員請育嬰假，經指派其他相當職級人員代理研發工作，人力並無差異。符合原計畫規劃。

伍、計畫已獲得之主要成果與重大突破(含量化成果 output)

本計畫主要成果及重大突破說明如下，另績效指標(實際成果)參見附件一，佐證資料表參見附件二，重要研究成果摘要參見附件三。本計畫所屬子項研究計畫與委託研究計畫均屬於原子能工程領域。

1.學術成就

1-1 子項：低放射性廢棄物活度量測追溯管制技術研究

已於 5 月 29 日在「WiN Global Congress 2012 國際會議」發表「利用低放射性廢棄物進行 ISOCART 系統效能評估」會議論文一篇；另於 9 月底投稿「Low-level radioactive waste measurement comparison of two gamma-ray counting systems」SCI 期刊論文一篇。

2.技術創新

1-1 子項：低放射性廢棄物活度量測追溯管制技術研究

建立不同密度 205 L 標準桶、Mn-54 與 Eu-152 棒狀射源與大型低放射性廢棄物加馬活度量測技術。

- 製作完成塑膠閃爍體偵檢器使用之 16 支棒狀體射源，以及採用單一核種 Eu-152 製作純鍺偵檢器使用之 9 支棒體射源。建立的五種桶型密度體射源的核種計測效率，適用於閃爍體偵檢器與純鍺偵檢器量測解除管制試樣的比活度。本研究自製與 Canberra 公司製造的桶型五種密度核種 Eu-152 效率的比較，自製品密度 0.48 g/cm^3 及 Canberra 密度 0.52 g/cm^3 的低至高 9 個能量的效率差異皆甚小。

- 初步建立適合我國低放射性廢棄物活度量測之追溯體系，並且依據國際標準化組織(ISO)出版的量測不確定度表示方式指引，說明評估量測不確定的方法，如 A 類不確定度、B 類不確定度、擴充不確定度等，其次再逐項說明低放射性廢棄物量測之不確定度評估方法，並附上相關之範例。

1-2 子項：放射性廢棄物處置輻射風險標準研究

比較與分析各國的低放處置輻射風險標準，依照我國低放射性廢棄物處置數量與活度預估及未來放射性廢棄處置場址/設施與方式，進行我國放射性廢棄物最終處置設施之風險與劑量管制標準的模擬評估研究，使其能更符合我國的放射性廢棄物處置現況。

1-3 子項：低放射性廢棄物處置安全審查關鍵議題研究

- 參考 IAEA 低放處置之 FEPs 報表，再考量我國實況建構低放處置 FEPs 報表。過程中之影響因子篩選與情節建構技術有助於我國放射性廢棄物處置之推動。本研究分析三種主要的情節分析方法，並說明其優缺點。建議我國進行低放射性廢棄物最終處置安全分析的評估情節包括：正常演化情節、人類入侵、地震與海水面上升。
- 考量權責機關進行低放處置設施安全分析報告審查的需求，將實際低放處置場設計簡化成概念模型，考量不同核種的衰變鏈特性、各核種在不同介質內的擴散特性和吸附特性，並以飲水情節將不同核種對人體影響的劑量轉換因子納入考慮分析，運用 GoldSim 平台進行參數採樣機率式分析，最後依各核種重要性權重進行排序，求得簡化分析

模式的重要核種。結果顯示當參數採樣次數超過 250 次時，分析結果已趨於一致。本研究成果與文獻彙整的重要核種比較，顯示本分析模式在部分核種的分析上，如 K-40、Ho-166m、Cl-36、Ca-41 等，因欠缺相關的參數資訊，使得分析結果顯得過於保守，但其他核種如 I-129、Am-241、C-14、H-3 和 Sr-90 等的分析結果，顯示這些核種的重要性排名確實在前，此結果與文獻彙整的重要核種吻合，顯示本分析方法的可行。

- 完成蒐集國內外既有坑道設計方法、規範與相關準則、設計目標、穩定與服務功能需求之彙整。完成國內外坑道結構穩定與服務功能異常現象之蒐集彙整，並透過既有地下坑道洞室襯砌損傷與異狀資料，提出坑道穩定影響因素含外力及環境因素，其中包括地震引致地盤震動可能導致處置坑道襯砌受力在特定位置大幅增加、大地材料依時變形及弱軟化行為可能導致處置坑道周圍應力趨於異向、襯砌受力緩慢增加，影響處置設施的長期穩定。

2-1 子項：用過核子燃料貯存安全管制技術發展

本研究彙整分析國際主要核能國家用過核子燃料資訊及其管理方案最新動態；因應電廠除役需求，研究國際間對於破損燃料乾式貯存相關的管制或審查規範；國際用過核子燃料乾式貯存技術最新發展趨勢，包含美國電力研究所延期貯存合作計畫工作報告研析及乾式貯存管制法規更新資訊。本研究成果有效掌握國際研發趨勢及參考國際管制資訊與安全標準，可加速國內用過核子燃料管理策略研發技術發展及提升國內管理安全水準，確保處置安全合於國際標準。

2-2 子項：核子反應器設施除役審查及驗證技術研究

- 探討美國核管會(NRC)在核子設施除役執照審查過程中的相關法規需求及導則，藉由瞭解國外除役相關法規的要求，提供國內逐漸展開的各項除役活動一個參考的資料平台。
- 參考國際規範與經驗，首次研擬完成我國「核子反應器設施除役計畫導則(草案)」之擬訂。對於核能電廠除役安全具有重大意義。
- 摘譯美國 MARSSIM 與 EURSSEM 除役技術手冊有關場址歷史評估與輻射特性調查方法，並摘錄國外電廠之相關經驗，提供國內核設施除役作業之參考。

2-3 子項：放射性廢棄物管理作業相關審查導則研究

- 彙整國際組織 IAEA 與 OECD-NEA 以及各核能發電國家對於放射性廢棄物管制機關與營運單位的資訊，包括中英文名稱、網址、法源、單位性質、成立時間、上級單位、業務職掌、員額、年預算、組織架構等資訊。本報告亦依據前述單位資訊蒐集各國放射性廢棄物管理相關法規，並摘譯法規的要點。資訊彙整成果有助於我國放射性廢棄物管制決策與研發工作之參考應用，以加速提昇技術能力，確保管制安全合於國際標準。
- 研析國際間低放射性廢棄物盛裝容器的相關使用案例，包括韓國、捷克、德國和美國 Bondico 公司等，以及國際間相關盛裝容器之使用規範，如 IAEA 和中國；報告中討論我國低放射性廢棄物盛裝容器法規的適用性，並針對混凝土盛裝容器進行耐久性研討，此外有以金屬(碳鋼或不銹鋼

等)、塑膠等其他材質作為盛裝容器者，亦一併蒐集相關資訊。成果可提供管制單位對於不同材質的盛裝容器之審查參考。

A-1 子項：核能電廠除役計畫審查技術之研究

- 完成期末成果報告一份，內容彙集國際間包括：日本、美國、英國、法國、德國及義大利等具核電廠除役經驗國家的相關審查項目與要求，其實務經驗有助於我國未來進行除役審查之作法與制度擬定。
- 本計畫藉蒐集國外電廠的除役經驗，並經內部討論後，初步針對未來國內管制單位進行核能電廠除役計畫在審查方面的初步建議，包括：(1)審查團隊應同時納入國外專業顧問團隊及國內核能相關領域的學者共同參與、(2)若將來台電公司委託國外專業顧問負責核一廠之除役規劃書，則應至少有一位專家熟悉該外國顧問公司當地的除役管制作法，以便使審查委員內部的溝通工作更加順暢、(3)管制單位所組成的審查團隊應除了專業代表性之外，亦應考量其立場的客觀性。

A-2 子項：用過核子燃料乾式貯存技術規範研析與應用

- 彙整分析國際主要核能國家用過核子燃料資訊及其管理方案最新動態；因應電廠除役需求，研究國際間對於破損燃料乾式貯存相關的管制或審查規範；國際用過核子燃料乾式貯存技術最新發展趨勢，包含美國電力研究所延期貯存合作計畫工作報告研析及乾式貯存管制法規更新資訊。本研究成果有效掌握國際研發趨勢及參考國際管制資訊與安全標準，可加速國內用過核子燃料管理策略研發技

術發展及提升國內管理安全水準，確保處置安全合於國際標準。

- 針對美國核能管制委員會出版之用過核子燃料貯存設施審查導則的第一次修訂版(NUREG-1536, Revision 1) 中文版文件內容作進一步審訂。本計畫亦針對美國核能管制委員會對用過核子燃料乾式貯存所提出之 24 項內部審查導則(ISG)文件作重點整理與撰寫。此外，並進一步研析美國 NAC 公司用過核子燃料乾式貯存護箱 MAGNASTOR 系統的審查評估報告(SER)內容並提出其重點摘要，可以作為我國審查用過核子燃料乾式貯存護箱的重要參考。本計畫參與人員針對日後我國用過核子燃料乾式貯存安全分析報告(Safety Analysis Report, SAR)關鍵議題技術提供諮詢與分析重點。

A-3 子項：複合式災害模擬情節對乾式貯存設施營運影響分析

- 在熱流分析技術的創新方面，本計畫利用計算流體力學分析技術發展了新式的乾貯系統熱流分析技術，以作為乾貯設施面臨複合式災害事故的分析工具。此一工具發展期間藉由嚴謹的驗證程序反覆驗證其可靠性，所得技術之模擬誤差小於 0.5%。本技術可用於分析複合式災害下的各種狀況，並估算各個元件的溫度趨勢，以作為安全管理之參考依據。

3.經濟效益

1-3 子項：低放射性廢棄物處置安全審查關鍵議題研究

完成國內坑道異常情況資料的蒐集，藉由資訊分析可以釐清

破壞機制進而確認處置坑道的功能需求，成果能有效減少處置坑道的建造費用並提升安全性能。

2-2 子項：核子反應器設施除役審查及驗證技術研究

完成「核子反應器設施除役計畫導則(草案)」之擬訂，藉由良好的除役管制體系可達到除役階段之集體劑量合理抑低、廢棄物產量最小化及除役後原場址釋出、再利用，減低社會成本付出、貫徹國土復育發展與維護自然資源。

4.社會影響

1-1 子項：低放射性廢棄物活度量測追溯管制技術研究

完成低放射性廢棄物量測不確定度與追溯體系草案。成果有助於建立符合本土化的量測認證制度，不僅可提升量測能力與公信力、更可增進民眾對廢棄物處置之接受度。

1-2 子項：放射性廢棄物處置輻射風險標準研究

完成 IAEA 相關選址與處置安全規範之蒐集研析。成果有助於釐清一般公眾(場址附近居民)、工作人員、無意闖入者受處置場影響之輻射劑量和輻射風險限值。

2-2 子項：核子反應器設施除役審查及驗證技術研究

經由本計畫進行國內除役法規安全體系的適用性分析，研析國際除役經驗，可落實健全國內之除役管制技術與安全評估，確保：(1)除役階段中對工作人員、民眾及環境之保護；(2)除役階段中對反應器設施之安全維護與保安管制；(3)除役後放射性廢棄物處理與處置之安全；(4) 除役後場址釋出與再利用之安全。

A-2 子項：用過核子燃料乾式貯存技術規範研析與應用

- 完成美國針對用過核子燃料乾式貯存設施審查導則相關之技術文件研析。成果可作為我國審查用過核子燃料乾式貯存護箱的重要參考，確保國內乾式貯存安全審查符合國際標準，保障環境永續及一般公眾與場址附近居民及工作人員的健康與安全。
- 本計畫執行所得的相關分析結果，充分證實乾貯系統的安全性；研究結果乾貯系統可確保在遭受最嚴重的假設情節掩埋事故時，可有一個月內持續保護用過核子燃料的完整性以為因應，亦可有效防止其內含放射物質的外洩。本計畫亦利用計算流體力學分析技術發展了新式的乾貯系統熱流分析技術，可提供未來乾貯設施意外事故的分析工具。

5.非研究類成就

2-3 子項：放射性廢棄物管理作業相關審查導則研究

完成核能發電國家放射性廢棄物管制機關與管理作業單位、管制法規之基本資料蒐集，建立文獻資料庫。並逐月蒐集國際動態資訊，建立資料檔案，對於掌握國際趨勢有重大效益。

6.其它效益

1-1 子項：低放射性廢棄物活度量測追溯管制技術研究

建立低放射性廢棄物活度量測系統不同密度之標準桶和校正射源棒，未來可協助國內各單位進行校正與比對，建立國內之量測追溯體系。

1-2 子項：放射性廢棄物處置輻射風險標準研究

促進我國放射性廢棄物處置安全標準的釐清與規範的建立。

1-3 子項：低放射性廢棄物處置安全審查關鍵議題研究

釐清低放射性廢棄物處置安全審查相關的議題，建立技術性準則，確保審查作業的正確性與有效性。

2-1 子項：用過核子燃料貯存安全管制技術發展

釐清國際用過核子燃料貯存安全管制技術現況，特別是針對破損燃料的管制措施，以應用於國內之實務作業。

2-2 子項：核子反應器設施除役審查及驗證技術研究

可掌握各階段反應器設施拆除之安全議題重點，明確建置合理、適切及有效管制方案，完善國內除役法規安全體系之建置。

2-3 子項：放射性廢棄物管理作業相關審查導則研究

彙整國際管制機構與法規資訊，提供決策參考。

蒐集國際規範資訊與實務經驗，研擬我國盛裝容器規範，以供管制作業需要。

A-1 子項：核能電廠除役計畫審查技術之研究

為了因應公告實施「核子反應器設施除役計畫導則」共 17 章之審查項目，透過本研究徵詢相關領域的專家學者，初步擬定審查團隊名單，以期協助未來之審查與檢查各項除役作業計畫。

A-2 子項：用過核子燃料乾式貯存技術規範研析與應用

提供日後我國用過核子燃料乾式貯存安全分析報告關鍵議題技術提供諮詢與分析重點，並提供用過核子燃料乾式貯存安全管制的基礎。

A-3 子項：複合式災害模擬情節對乾式貯存設施營運影響分析

建立相關嚴重災害下的熱流分析能力，並提供具體的事故救

援建議，以作為未來緊急救援措施之發展基礎。

陸、 主要成就及成果之價值與貢獻度 (outcome)

請依前述重要成果及重大突破說明其價值與貢獻度如：

- 一、 學術成就(科技基礎研究)(權重____%)
- 二、 技術創新(科技整合創新)(權重____%)
- 三、 經濟效益(產業經濟發展)(權重____%)
- 四、 社會影響(民生社會發展、環境安全永續)(權重____%)
- 五、 非研究類成就(人才培育、法規制度、國際合作、推動輔導)
(權重____%)
- 六、 其它效益(科技政策管理及其它)(權重____%)

註：若綱要計畫期程為4年期第1年執行者，請明確寫出本綱要計畫為第1年執行，固無主要成就及成果之價值與貢獻度；其他非第1年執行者請填寫起始年累積至今主要成就及成果之價值與貢獻度(例如：執行期程為第3年之綱要計畫即寫第1年到現在所有成果之 outcome)。

本計畫為4年期第1年執行，依規定暫無須填報主要成就及成果之價值與貢獻度。

柒、與相關計畫之配合

1-1 子項：低放射性廢棄物活度量測追溯管制技術研究

- 主要研發工作委託核研所執行。
- 與國家游離輻射標準實驗室共同開發 205 L 校正標準桶與 Mn-54、Eu-152 參考物質。

1-2 子項：放射性廢棄物處置輻射風險標準研究

- 主要研發工作委託核研所執行。

1-3 子項：低放射性廢棄物處置安全審查關鍵議題研究

- 主要研發工作委託核研所執行。
- 處置坑道穩定性專業分析另委託台北科技大學執行。

2-1 子項：用過核子燃料貯存安全管理技術發展

- 主要研發工作委託核研所與清華大學執行。

2-2 子項：核子反應器設施除役審查及驗證技術研究

- 主要研發工作委託核研所執行。
- 「核子反應器設施除役計畫導則(草案)」之擬定已初步徵詢相關單位意見並進行多次專業討論。

2-3 子項：放射性廢棄物管理作業相關審查導則研究

- 主要研發工作委託核研所執行。

A-1 子項：核能電廠除役計畫審查技術之研究

- 主要研發工作委託清華大學原子科學研究發展中心執行。
- 初步擬定國內管制單位未來之除役計畫審查團隊建議名單

A-2 子項：用過核子燃料乾式貯存技術規範研析與應用

- 主要研發工作委託清華大學執行。

- 相關配合之計畫：「核二廠用過核子燃料乾式貯存護箱系統輻射屏蔽安全驗證研究」(許榮鈞教授主持)、「核二廠用過核子燃料乾式貯存設施熱傳安全驗證研究」(施純寬教授主持)，以及「核二廠用過核燃料乾式貯存核臨界安全驗證分析」(薛燕婉教授主持，台電計畫)相互配合。

A-3 子項：複合式災害模擬情節對乾式貯存設施營運影響分析

- 主要研發工作委託清華大學執行。
- 相關配合之計畫：「用過核子燃料乾式貯存技術規範研析與應用」(潘欽教授主持)、「核二廠用過核子燃料乾式貯存護箱系統輻射屏蔽安全驗證研究」(許榮鈞教授主持)、「核二廠用過核子燃料乾式貯存設施熱傳安全驗證研究」(施純寬教授主持)，以及「核二廠用過核燃料乾式貯存核臨界安全驗證分析」(薛燕婉教授主持，台電計畫)相互配合。
- 與屏蔽分析小組充分討論不同事故狀況下的情境。

捌、 後續工作構想之重點

本計畫 102 年度計畫工作架構規劃如下：

(一)「低放射性廢棄物安全管制技術發展」分項計畫

1. 低放射性廢棄物活度量測追溯管制技術研究(101-103 年)

(1)建置 205L 桶形校正系統及測試

(2)建立低放射性廢棄物量測實驗室品質認證相關規範草案

(3)建立低放射性廢物整桶活度量測能力試驗技術及試運轉

2. 放射性廢棄物處置輻射風險標準研究

有關低放處置輻射劑量標準，國內已有研究及標準，故本計畫將不再進行進一步研究及未來計畫。

3. 低放射性廢棄物處置安全審查關鍵議題研究

(1)核種外釋傳輸機制評估之審查技術發展

(2)坑道處置設施設計及其穩定性評估之審查技術發展(2/2)

(二)「用過核子燃料及放射性物料安全管制技術發展」分項計畫

1. 用過核子燃料貯存安全管制技術發展

(1)用過核子燃料循環管理方案技術可行性研究(2/2)

(2)除役相關之乾貯策略研究

(3)乾貯系統於假設複合式災害情節之熱流分析暨內部對流監測機制研究

(4)不銹鋼材料應力腐蝕劣化資訊研析與對策探討

2. 核子反應器設施除役審查及驗證技術研究

(1)核子反應器設施除役計畫審查規範研訂

(2)國際核設施除役案例經驗回饋探討

(3)拆除方式及技術發展之國際資訊研究

(4)除役場址內殘留輻射之劑量評估審查技術研究

(5)核能電廠除役計畫審查技術與重要管制議題之研究

3. 放射性廢棄物管理作業相關審查導則研究

因應業務需求考量，102 年度不執行本計畫（放射性廢棄物管理作業相關審查導則研究）研發工作。

玖、 檢討與展望

一、「低放射性廢棄物安全管制技術發展」分項計畫

- 低放射性廢棄物活度量測追溯管制技術研究：本子項計畫各項年度工作成果符合預定規劃目標。後續年度將藉由與國家游離輻射標準實驗室共同開發低放射性廢棄物加馬活度量測技術，並與國內相關機構之量測技術進行比對試驗，以期建立國內低放射性廢棄物活度量測標準與技術。
- 放射性廢棄物處置輻射風險標準研究：本子項計畫各項年度工作成果符合預定規劃目標。後續年度研發重點將針對 ICRP 技術指引中產生的議題進行釐清，包括：哪些人應在闖入處置場的事件中受到保護而免受危害-住在場址附近的居民、闖入者及/或本地闖入者(在近地表處置場的情況下，這兩者可能無法區別)。有意或無意闖入與蓄意或非蓄意闖入之間是否有區別？這些闖入潛在影響應如何受到保護，並在這種情況下訂出適合劑量標準呢？在人員闖入模式中，地質處置與近地表處置之間有明顯的差異存在。未來會在處理地表與地質處置人員闖入情節中討論。
- 低放射性廢棄物處置安全審查關鍵議題研究：本子項計畫各項年度工作成果符合預定規劃目標。期末成果完成針對情節分析與低放源項特性審查議題之分析探討，亦蒐集我國坑道異常破壞的案例。並針對所蒐集的資料進行研究，建立所需技術、釐清相關機制，進而釐清安全審查所需要的技術準則。

二、「用過核子燃料及放射性物料安全管制技術發展」分項計畫

- 用過核子燃料貯存安全管制技術發展：本子項計畫各項年度工作

成果符合預定規劃目標。完成研析國際延期乾式貯存差異分析等相關文件並持續蒐集彙整國際用過核子燃料乾式貯存技術最新發展及國際除役核電廠用過核子燃料貯存安全管制技術規範。美國對於用過核子燃料延期乾式貯存的研究持續進行並鼓勵國際合作，我國可積極參與國際合作，針對其研究議題整合國內研究資源提出研究計畫，吸收經驗與技術交流，俾能將有限的國家資源作最大的效益利用。國際上對於破損用過核子燃料的乾式貯存經驗仍是很少，德國政府宣布停止核能後，其國內核能電廠將陸續除役，其經驗可供國內參考。

- 核子反應器設施除役審查及驗證技術研究：本子項計畫各項年度工作成果符合預定規劃目標。計畫主要目標為比較參考國內外法規、技術規範與吸收國際經驗案例經驗回饋，以明確建立國內除役申報程序，並需釐清各除役階段之重要管制議題，同時亦需建立我國核子反應器設施除役審查及驗證技術，確保未來核能電廠除役作業能安全有效的落實。
- 放射性廢棄物管理作業相關審查導則研究：本子項計畫各項年度工作成果符合預定規劃目標。期末成果完成對國際放射性廢棄物管制機關與法規的資訊進行系統性的資料蒐集與整理，可供管制機關參考應用。在盛裝容器導則研擬方面則完成 IAEA 法規、韓國、美國等技術經驗分析，並考量國情研擬我國適用之審查要點。
- 核能電廠除役計畫審查技術之研究：本項委託研究計畫各項年度工作成果符合預定規劃目標，計畫主要目標為掌握各國核子反應器設施之除役法規、實務經驗及關鍵安全問題與評估技術，並建立一套完善之除役計畫審查機制及有學術專長之審查團隊，以協助物管局未來進行核能電廠除役管制作業之參考。透過本研究已

徵詢國內相關領域的專家學者，初步擬定審查團隊名單，以因應管制單位即將公告之「核子反應器設施除役計畫導則」的審查項目。

- 用過核子燃料乾式貯存技術規範研析與應用：本項委託研究計畫各項年度工作成果符合預定規劃目標，研究報告可提供 NUREG-1536 (Revision 1) 對於原始中文版文件內容審訂。本研究發現相對於 NUREG-1536，NUREG-1536 (Revision 1) 修改的幅度相當大，除原第 14 章「除役」刪除、第 8 章「材料評估」新增外，各章節都有很大幅度的修改、新增或刪減。本研究也針對美國核能管制委員會用過核子燃料乾式貯存內部審查導則(Interim staff guidance, ISG)審視與重點整理，並提出部分建議。此外，本計畫參與人員針對物管局所提出之用過核子燃料乾式貯存安全分析報告(Safety Analysis Report, SAR)關鍵議題技術提供諮詢與分析重點。研究成果可作為我國審查用過核子燃料乾式貯存護箱的重要參考，確保國內乾式貯存安全審查合於國際標準，保障環境與人員的健康與安全。
- 複合式災害模擬情節對乾式貯存設施營運影響分析：本項委託研究計畫依據原計畫書中所訂定之工作項目與時程之規劃，順利地完成了包括：複合式災害資訊的蒐集、重要事故的推演與模式發展與案例計算等所有的原訂工作項目。並成功地獲得 INER-HPS 與 KSDSS 兩套乾式貯存系統於掩埋事故下的熱流現象；此成果不僅可作為未來管制之依據，其所建立之分析技術更有助於提升未來與乾貯相關之審驗及管制作業的嚴謹性。此外，有鑒於未來可能遭遇之高衰變熱燃料、破損燃料乾貯以及強化乾貯系統安全監測等議題，本計畫亦擬持續進行相關分析技術的發展與現象探

討，以期建立一套比歐美日等國家現有法規更適合本國國情之乾貯分析與管制能力。

填表人：蔣焜淵 聯絡電話：02-2232-2318 傳真電話：02-2232-2308
E-mail：kyc@aec.gov.tw

主管簽名：邱賜聰

附件一：績效指標(實際成果)

請選擇合適綱要計畫評估之項目填寫初級產出、效益及重大突破(填寫說明如表格內容，未使用之指標及填寫說明文字請刪除)

屬性	績效指標	原訂值	初級產出 量化值	效益說明	重大 突破
學術成就(科技基礎研究)	A.論文	3 篇 期刊論文 (SCI)、1 篇會議論文	1 篇 SCI、2 篇會議論文	藉由論文發表與國際交流，確認研究結果之公信力，提升國際知名度。	
	B.研究團隊養成	3 組(乾式貯存、處置、輻射量測團隊)	4 組(乾式貯存、熱流分析、處置、輻射量測團隊)	所養成之專業團隊可作為放射性廢棄物管制之專家幕僚，提供政策諮詢及後續研究服務。	
	C.博碩士培育	1 人	6 人	培育博碩士研究生，使特殊技術得以傳承。	
	D.研究報告	15 篇	16 篇	彙整研究成果與心得發現，傳承專業技術，並作為放射性廢棄物管制之科學參考依據。	
	E.辦理學術活動	辦理 1 場研討會	辦理 1 場研討會	辦理輻射量測、處置或放射性物料管制、乾式貯存等之研討會，促進國內產官學研界之交流合作。	
	F.形成教材	出版 1 本研討會論文集	出版 1 本研討會論文集	出版論文集可供學校或管制單位進行教學與教育訓練參考。	
	其他	無	研擬審查團隊建立方案一件	蒐集國際上核電廠除役經驗的相關案例，並提出未來管制單位組成審查團隊時的建議事項。	
技術創新	H.技術報告	1 篇	1 篇	建立技術手冊，使放射性廢棄物管制之管制技術得以傳承。	
	I.技術活動	專案講座 2 場次 技術研討會 1 場次	辦理 4 場次專案講座、4 場技術研討會、	藉由講座與研討會議的舉辦促進專業技術交流與意見溝通	
經濟效益	O.共通/檢測技術服務	建立活度量測系統 1 組	建立活度量測系統 1 組	可有效量測低放射性廢棄物重要核種 ^{152}Eu 與 ^{54}Mn 活度	
	T.促成與學界或產業團體合作研究	委託研究 2 個分項計畫	委託研究 2 個分項計畫，另獨立委託計畫 3 件	促進研究單位與學術機構之合作交流，整合意見凝聚共識	
社會影響	民生社會發展	Q.資訊服務	無	每月蒐集國際管制動態資訊於網站發布	促進公眾對於國際概況的認知
	民生社會發展	W.提升公共服務	彙整國際廢棄物管制資訊 1 件	彙整國際廢棄物管制資訊 1 件	促進公眾對與放射性廢棄物管理資訊的瞭解。

屬性	績效指標		原訂值	初級產出 量化值	效益說明	重大 突破
	環境安全永續	V.提高能源利用率	落實核一廠乾貯設施審查，維繫我國總發電量約 5%。	落實核一廠乾貯設施審查，維繫我國總發電量約 5%。	核一廠裝置容量為 1,272 千瓦，核能發電約佔我國發電總量 20.7%。核一廠建立乾貯設施容量，可確保核能電廠的正常營運與維持能源的穩定供應	
		其他	核一、二廠乾貯設施安全管制各 1 處 低放處置場設置安全管制 1 處	核一、二廠乾貯設施安全管制各 1 處 低放處置場設置安全管制 1 處	放射性廢棄物集中管理與管制，維護環境安全品質	
非研究類成就	法規制度	7. 先進國制度蒐集及研析	無	國際核能發電國家廢棄物管制法規資訊研析 1 件	彙整核能發電國家廢棄物管制法規資訊，可確保我國管制標準合於國際水準。	
		9. 法規草案確定	無	核子反應器設施除役計畫導則(草案)1 件	核子反應器設施除役計畫導則訂定有助於我國核電廠除役工作之安全管制	
其他效益	K. 規範/標準制訂		低放處置輻射風險標準與盛裝容器審查導則草案 2 件	低放處置輻射風險標準、盛裝容器審查導則草案研究等 2 件	研議低放射性廢棄物處置輻射風險標準、研究盛裝容器審查導則要點，建立具體的審查標準	
	Y. 資料庫		無	放射性廢棄物管制機關與管制法規資料庫 1 件	完成核能發電國家之管制資訊文獻資料庫建立	

附件二：佐證資料表

(請選擇合適之佐證資料表填寫，超過1筆請自行插入列繼續填寫，未使用之指標資料表請刪除)

【A 學術成就表】(論文)

序號	題名	第一作者	發表年	文獻類別	引用情形	獲獎情形	論文出處
			(西元)				
1	Low-Level Radioactive Waste Measurement Comparison of Two Gamma-Ray Counting Systems	黃珏吉	2012	c	N	N	國際期刊
2	日本放射性廢棄物處置風險標準研究	邱鎧盛	2012	e	N	N	2012 游離輻射量測能力試驗暨放射性廢棄物處置風險評估研討會
3	利用低放射性廢棄物進行 ISOCART 系統效能評估	黃珏吉	2012	f	N	N	WiN Global Congress 2012 國際會議

註：文獻類別分成 a 國內一般期刊、b 國內重要期刊、c 國外一般期刊、d 國外重要期刊、e 國內研討會、f 國際研討會、g 著作專書；引用情形分成 Y1 被論文引用、Y2 被專利引用、N 否；獲獎情形分成 Y 有獲獎、N 否；論文出處列出期刊名稱，卷期，頁(如科學發展月刊，409 期，頁 6-15)

【B 研究團隊表】

團隊名稱	團隊所屬機構	團隊性質	成立時間 (西元年)
低放射性廢棄物活度量測追溯與驗證研究團隊	核能研究所 保健物理組	e	2011
放射性廢棄物處置與環境復育技術研發團隊	核能研究所 化學工程組	a、e	2012
核能電廠除役計畫審查團隊	國立清華大學核子工程與科學研究所	a、b	2012
用過核子燃料乾式貯存技術研究團隊	國立清華大學 工程與系統科學系	a、b	2011
乾貯系統熱流分析技術研發與應用團隊	清華大學 核工所	a、e	2011

註：團隊性質分成 a 機構內跨領域合作、b 跨機構合作、c 跨國合作、d 研究中心、e 實驗室

【C 培育人才表】

序號	姓名	學歷	機構名稱	指導教授
1	詹尚書	a	國立臺北科技大學，資源工程研究所	王泰典副教授
2	辜郁庭	a	國立清華大學，工程與系統科學所	施純寬教授
3	王惠偵	b	國立清華大學，核子工程與科學研究所	施純寬教授
4	林高平	b	國立清華大學，核子工程與科學研究所	江祥輝教授
5	陳偉昇	a	國立台灣海洋大學，材料工程研究所	開物教授
6	吳芄豪	b	國立台灣海洋大學，材料工程研究所	開物教授
7	鄭伊芸	大學	國立清華大學工程與系統科學系	施純寬教授

8	蔣宇	大學	國立清華大學工程與系統科學系	施純寬教授
9	楊子毅	大學	國立清華大學工程與系統科學系	施純寬教授

註：學歷分成 a 博士、b 碩士

【D 研究報告表】

序號	報告名稱	第一作者	出版年 (西元年)	出版單位
1	建立低放射性廢棄物量測不確定度評估規範與追溯體系草案	黃珏吉	2012	核能研究所
2	建立低放射性廢棄物常用核種活度標準	葉俊賢	2012	核能研究所
3	國際輻防組織與核能先進國家低放處置輻射風險標準研究	黃友禮	2012	核能研究所
4	我國低放處置輻射風險標準評估研究	李碧芬	2012	核能研究所
5	情節分析審查技術發展	吳禮浩	2012	核能研究所
6	設施安全分析源項審查技術發展	陳智隆	2012	核能研究所
7	坑道處置設施設計及其穩定性評估之審查技術發展(101 年度工作)	王泰典	2012	核能研究所
8	用過核子燃料循環管理方案技術可行性研究(101 年度工作)	邱琬琚	2012	核能研究所
9	主要國家核子反應器設施除役相關法規研究	蔡雨恬	2012	核能研究所
10	核子反應器設施除役計畫導則(草案)	張淑君	2012	核能研究所
11	核子反應器設施除役廠址特性調查研究	武及蘭	2012	核能研究所
12	國際放射性廢棄物管制機關與管制策略資訊彙整分析	紀立民	2012	核能研究所
13	低放射性廢棄物盛裝容器審查導則研究	陳智隆	2012	核能研究所
14	核能電廠除役計畫審查技術之研究	白寶實	2012	清大原科中心
15	用過核子燃料乾式貯存技術規範研析與應用	潘欽	2012	清大工程與系統科學系
16	複合式災害模擬情節對乾式貯存設施營運影響分析	施純寬	2012	清大核工所

【E 學術活動表】

研討會名稱	性質	舉辦(起-迄)日期 (YYYY/MM/DD)	主/協辦單位
清華阿岡諾反應器 (THAR)除役回顧	a	3 月 8 日	物管局
水鍋式反應器除役實務經驗	a	4 月 19 日	物管局
臺灣研究用反應器 (TRR)除役作業	a	4 月 27 日	物管局
處置技術研討會	a	5 月 29 日	核能學會/物管局
101 年度放射性廢棄物 最終處置技術訓練	a	9 月 10 日	物管局
2012 地下環境基準案 例模擬國際研討會	b	10 月 29 日至 11 月 1 日	中央大學/物管局等
2012 用過核子燃料乾	b	11 月 8 日至 11 月 9 日	物管局

式貯存及最終處置技術研討會			
2012 核能電廠除役審查及管制研討會	b	11 月 12 日至 11 月 14 日	物管局

註：性質分成 a 國內研討會、b 國際研討會、c 兩岸研討會

【F 製作教材表】

教材名稱	教材類別	發表年度（西元年）	出版單位
處置技術研討會論文集	a	2012	核能學會/物管局
2012 用過核子燃料乾式貯存及最終處置技術	a	2012	物管局
2012 核能電廠除役審查及管制	a	2012	物管局

註：教材類別分成 a 文件式、b 多媒體、c 軟體、d 其他

【K 規範標準表】

名稱	類別	參與性質	應用範圍
核子反應器設施除役計畫導則(草案)	a	a	b

註：類別分成 a 規範、b 標準、c 法規、d 政策；參與性質分成 a 參與制定、b 共同發表；應用範圍分成 a 機構內、b 國內、c 國際、d 未發表

【Y 建置資料庫表】

資料庫名稱	資料庫內容	資料庫類別	資料筆數
放射性廢棄物管制機關與管制法規料庫	核能發電國家管制資訊	Text	483

註：資料庫類別分成 Bibliography、Numerical、Factual、Multimedia、Text

附件三：重要研究成果摘要

1-1 子項計畫「低放射性廢棄物活度量測追溯管制技術研究」

本研究完成之「低放射性廢棄物量測標準桶(205L)及參考物質製作及測試」技術手冊，研究結論如下：

- (1)製作完成塑膠閃爍體偵檢器使用之 16 支棒狀體射源，以及採用單一核種 ^{152}Eu 製作純鍺偵檢器使用之 9 支棒狀體射源。
- (2)建立的五種桶型密度體射源的核種計測效率，適用於閃爍體偵檢器與純鍺偵檢器量測解除管制試樣的比活度。
- (3)本實驗室(INER)自製與 Canberra 公司製造的桶型五種密度核種 ^{152}Eu 效率的比較，INER 密度 0.48 g/cm^3 及 Canberra 密度 0.52 g/cm^3 的低至高 9 個能量的效率差異皆甚小。

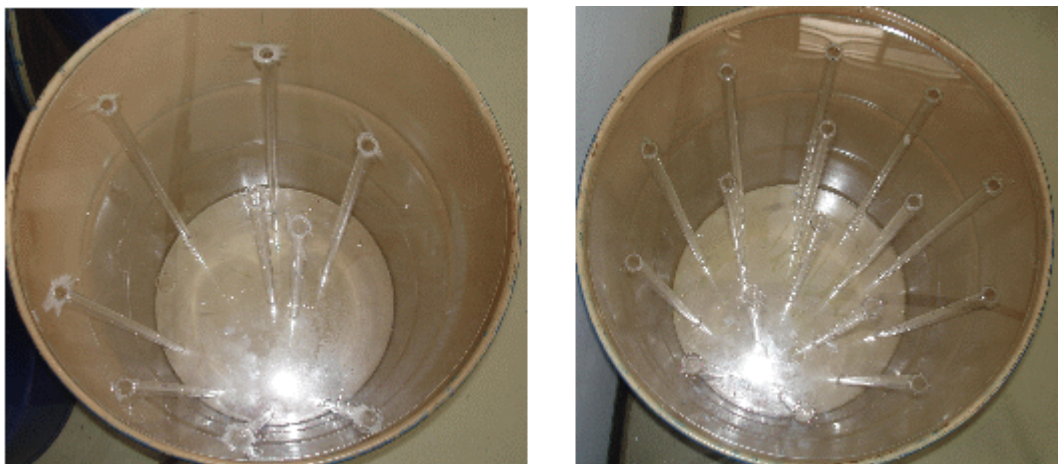


圖 1-1-1：桶型 9 支棒(左圖)與 16 支棒(右圖)水溶液體射源製作

1-1 子項計畫「低放射性廢棄物活度量測追溯管制技術研究」

本研究完成之「建立低放射性廢棄物量測不確定度評估規範與追溯體系草案」成果報告，研究結論如下：

低放射性廢棄物活度量測過程中通常需經稱重、量測體積、計測等步驟，才能求得廢棄物中放射性核種的比活度，在這些過程中每一步驟都可能引入一些不確定度。評估分析結果的總不確定度就是要針對各別的分項分別評估其不確定度，然後再彙整成為組合不確定度，最後視信賴水平的需求，再乘以涵蓋係數，即可求得擴充不確定度。本報告敘述了不確定度可能的來源及評估的方法，以及移動式加馬活度量測系統之不確定度評估結果；然不確定度評估並非一單純的數學工作，整個評估是否完整與合理，與所從事的量測儀器與方法及每一步驟的過程是否詳細了解有密切的關係。因此實驗室對每一種分析結果的不確定度評估，仍需視其實際的方法與過程謹慎進行之。

另外以低放射性廢棄物核種活度量測技術而言，國內多數放射性廢棄物產生機構、廢棄物貯存/處置場及協助主管機關進行查驗之專業機關皆設置有放射性廢棄物活度量測系統，然而實驗室內部例行之儀器性能測試無法有效證明其量測結果之準確性與可追溯性，若能透過參與外部公正單位所舉辦之比較試驗或能力試驗來證明其量測技術與能力，將有助於有效落實放射性物質處置與安全管理。

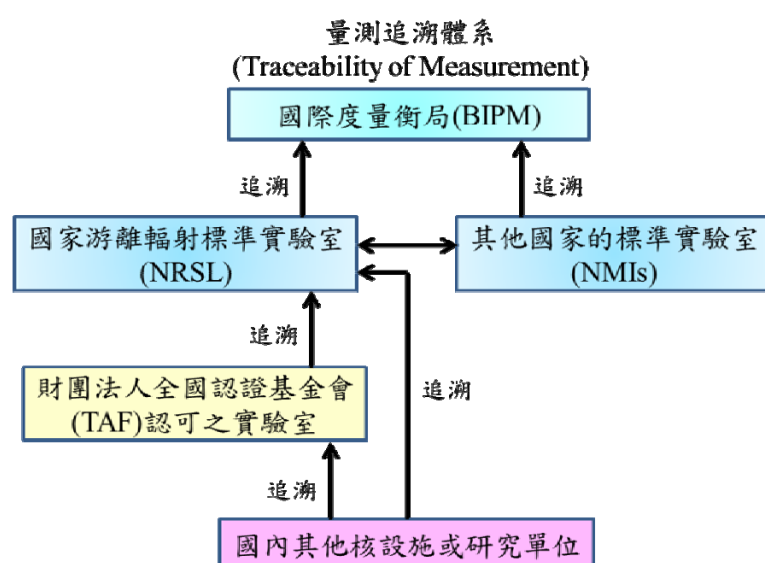


圖 1-1-2：低放射性廢棄物量測追溯體系示意圖

1-1 子項計畫「低放射性廢棄物活度量測追溯管制技術研究」

本研究完成之「Low-Level Radioactive Waste Measurement Comparison of Two Gamma-Ray Counting Systems」國際期刊論文，研究結論如下：

In this study, the possibilities of using a single HPGe detector in a fixed position to measure the activity of ^{137}Cs in thirty-eight radwaste drums were evaluated. This movable gamma-ray spectrometry system was compared to the capabilities of counting systems using three HPGe detectors. From the measurements results of the thirty-five low-level radwaste drums, it was found that there was no significant difference among these two counting systems. This means that the movable gamma-ray counting system is comparable to the well-known multi-detector-based counting systems. Moreover, due to its movable character and low cost for system maintenance, this counting system is suitable to the in-situ gamma-ray measurements of low-level ^{137}Cs radwaste produced from nuclear power facilities. The relative combined standard uncertainty of the drum counting system was about 11% evaluated for low-level radwaste measurement of ^{137}Cs .

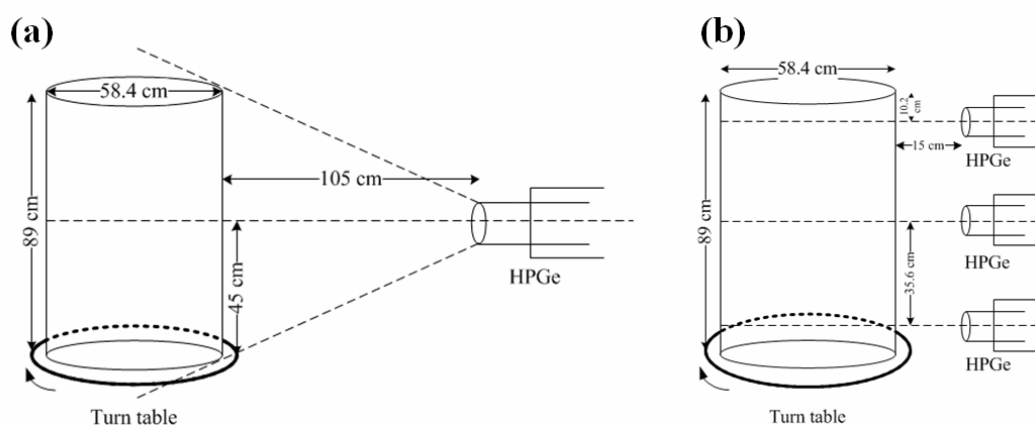


Fig. 1-1-3 Illustration of the measurement geometries of (a) system I and (b) system II, for 208-Litre drums

1-1 子項計畫「低放射性廢棄物活度量測追溯管制技術研究」

本研究完成之「建立低放射性廢棄物常用核種活度標準」成果報告，研究結論如下：

- (1)製作完成塑膠閃爍體偵檢器使用之 16 支棒狀體射源，以及採用單一核種 ^{152}Eu 製作純鍺偵檢器使用之 9 支棒狀體射源，適用於閃爍體偵檢器與純鍺偵檢器量測解除管制試樣的比活度。
- (2)驗證製作桶型 16 支棒密度體射源的核種計測效率，量測 2 部閃爍體偵檢器的整桶標準溶液活度最大差異，核種 ^{137}Cs 及 ^{60}Co 分別為 5.3 %及 6.6%。
- (3)驗證製作桶型 16 支棒的 5 種密度體射源的核種計測效率，量測 2 部閃爍體偵檢器的整桶 16 支棒標準溶液(密度 1g/cm^3)活度最大差異，核種 ^{137}Cs 、 ^{54}Mn 及 ^{60}Co 分別為 11.1 %、12.8 %及 8.0 %。



圖 1-1-2：液態棒狀射源



圖 1-1-3：ISOCART 移動式量測系統

1-2 子項計畫「放射性廢棄物處置輻射風險標準研究」

本研究完成之「國際輻防組織與核能先進國家低放處置輻射風險標準研究」成果報告，研究結論如下：

放射性廢棄物的存在是既成的事實，來自醫、農、工、研業者的放射性廢棄物與未來核能電廠除役拆廠產生的廢棄物，均須予以妥善處置。日本NSC考量處置的長期安全，具有很高之不確定性，為了讓放射性廢棄物處置安全評估更具科學的合理性，參酌採用風險機率概念方式，進行放射性廢棄物處置的安全評估，依不同發生頻度的事件之對應情節，採取不同的劑量限值，唯，由於未來人類行為的不可預測性與氣候變遷自然災害發生機率估算之困難，欲對風險加以評估，在執行上恐難落實。

比較各國低放處置輻射風險標準，來作為本國訂立低放處置輻射風險標準的參考。低放處置輻射風險標準訂立優點，是考量機率性事件之機率及其後果，合理化安全標準，並提供不同情節重要性的比較基礎。但缺點是事件機率值的設定困難，含有不準度相同風險的不同事件，民眾仍將較為關切高劑量低機率的事件，這將導致發生機率與造成劑量分開討論。尤其是人類闖入情節因為對於人類未來行為無法量化機率，沒辦法訂立其風險標準，而對於自然事件引發的低放處置潛在曝露風險，可從以往地質歷史中，預估其風險適合訂立風險標準。可在低放最終處置場的選址過程中，選擇潛在曝露風險低的場址設立。

放射性廢棄物處置的基本原則，為下一個世代由今日放射性廢棄物處置行動所受到的保護水平應等同於這個世代所受到的保護水平，此意味著要使用現有自健康損傷推導出的風險和劑量標準，所以應將這些劑量或風險標準應用至適當定義臨界群體的未來劑量預估值，以實現對下一個世代的保護，這些評估不應視為對未來數百年健康效應的量度，對於更長的時間，它們代表處置系統能夠承受的防護指標。另，參酌美、法、日諸國均未訂立低放處置風險標準，且人類闖入情節因為對於人類未來行為無法量化機率，沒辦法訂立其風險標準，建議我國應效法日本建立人類闖入與自然過程情節的低放處置輻射劑量標準，而非低放處置輻射風險標準，以利低放處置之推展；有關低放處置輻射劑量標準，國

內已有研究及標準，故本計畫將不再進行進一步研究及未來計畫。

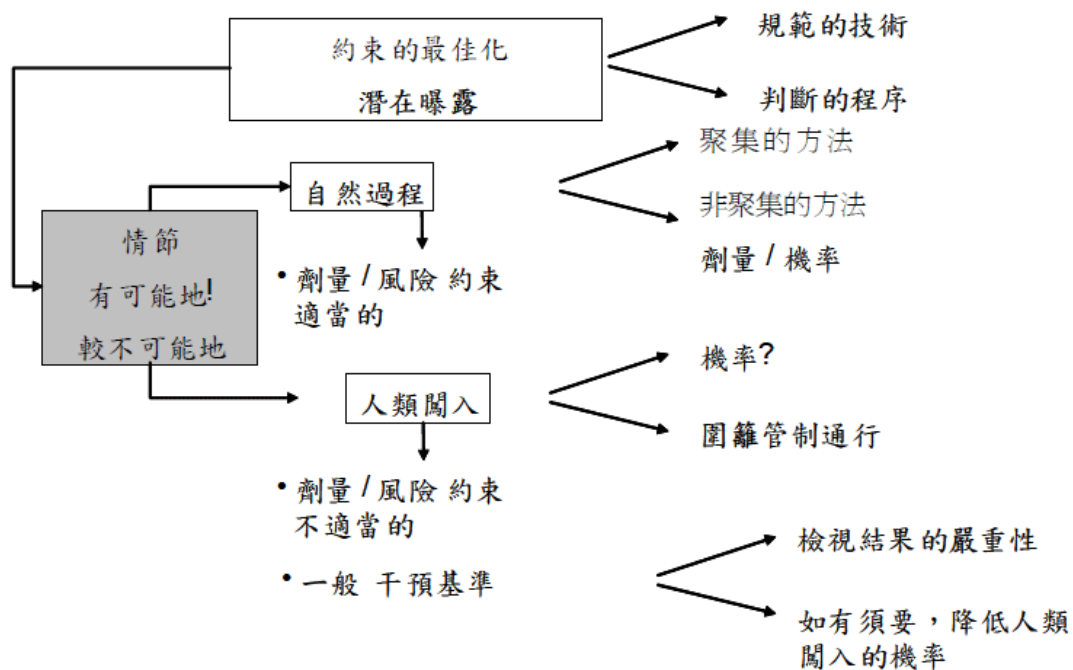


圖 1-2-1：曝露風險決策方法選擇

	劑量標準(mSv/y)	風險標準(y ⁻¹)
IAEA、ICRP	0.3	10 ⁻⁵
美國	0.25	-
法國	0.25	-
日本	0.01(基本情節) 0.3(變動情節) 10~100(人為或稀有事件 情節)	-
韓國	0.1	10 ⁻⁶
中華民國	0.25	-

圖 1-2-2：國際低放處置輻射風險標準比較

1-2 子項計畫「放射性廢棄物處置輻射風險標準研究」

本研究完成之「我國低放處置輻射風險標準評估研究」成果報告，研究結論如下：

放射性廢棄物的管理應參照國際能總署(IAEA)的安全原理(The Principles of Radioactive Waste Management, Safety Series No. 111-F)與安全標準(Near Surface Disposal of Radioactive Waste, Safety Standards Series No. WS-R-1)執行。IAEA「放射性廢棄物近地表處置的安全評估之安全指引」規範涉及近地表的安全性評估之放射性廢棄物的處置。在此針對如何滿足在近地表處置放射性廢棄物的安全要求，提供一些建議；在安全評估和在近地表處置設施的情況下，進行安全評估的方法之指引。

該安全導則涵蓋近地表處置庫的安全評估，固體的放射性廢棄物的處置。它的範圍包括運轉階段和封閉後階段，但強調封閉後的問題。此處所列的指南，包括安全評估相關的近地表處置方案指南，主要活動包括安全評估。此外，信心建立和基礎發展和合理的確認所必須的活動，已達到廢棄物處置系統的監管標準。

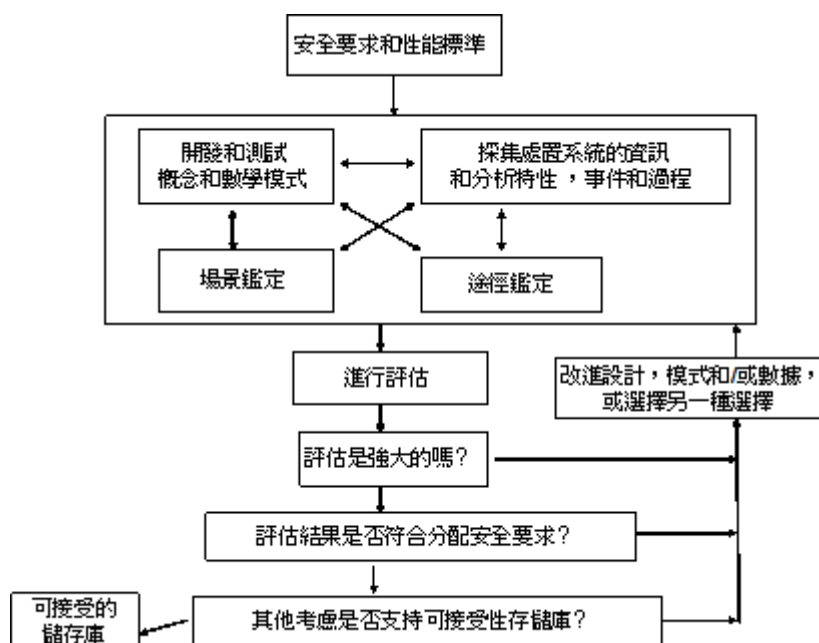


圖 1-2-3：疊代方法的安全性評估

1-3 子項計畫「低放射性廢棄物處置安全審查關鍵議題研究」

本研究完成之「情節分析審查技術發展」成果報告，研究結論如下：

低放射性廢棄物處置場的建造，無論是在選址或建造執照申請，安全評估都扮演相當重要角色，安全評估必須證明處置場在場址、設計、運轉等方面都能符合法規要求。在我國「放射性廢棄物處理貯存最終處置設施建造執照申請審核辦法」暨「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告導則」中，已規定低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告應有內容，其中對於安全評估的工作項目亦多所著墨，而「情節分析」在安全評估工作項下，居於優先位置，為安全分析審查重點。

本報告依據管制機關審查需求，完成情節分析審查相關技術的研究，內容包括：

- (1)情節分析的首項工作是建立 FEPs 報表，報表內的每個條目都是可能影響處置系統安全的因素，本報告建議 FEPs 報表建立最可行的方法是參考國際已有的 FEPs 報表，IAEA FEPs 報表具相當國際公信力，再加入依國內環境現況增加的安全因素，可作為現階段進行安全評估的參考依據。另外對於該報表的每個因素，本報告也詳盡說明其意涵以及對處置系統的影響，並初步予以篩選，成果可做為 FEP 審查參考依據。
- (2)在情節建構技術方面，闡述「事件或故障樹分析」、「影響圖」及「岩石工程系統」等常用方法、內容要項響並分析優劣。
- (3)在情節分析審查技術方面，參考導則規定研析審查技術要項，包括核種傳輸機制、傳輸路徑分析以及正常演化情節與變異情節應描述要項，並說明審查重點。

雖然我國低放射性廢棄物最終處置場址仍未定案，但參酌台灣地區環境現況以及國際趨勢，本研究建議台灣地區低放處置設施安全評估需要考量的變異情節包括人類入侵、地震與海平面上升。

表 1-3-1 評估情節的外釋路徑與曝露方式

情節	外釋路徑	曝露方式
正常演化情節	源項→地下水→人類	由飲用水吸收
	源項→地下水→地表水(→食物鏈)→人類	由飲用水(食物)吸收
人類入侵	源項→人類	表面接觸
	源項→空氣→人類	由空氣吸入
	源項→地下水→地表水(→食物鏈)→人類	由飲用水(食物)吸收
飛機墜落	源項→空氣→人類	由空氣吸入
	源項→地表水→人類	由飲用水吸收
	源項→地下水→地表水(→食物鏈)→人類	由飲用水(食物)吸收
地震	源項→地下水→人類	由飲用水吸收
	源項→地下水→地表水(→食物鏈)→人類	由飲用水(食物)吸收
海水面上升	源項→地下水→人類	由飲用水吸收

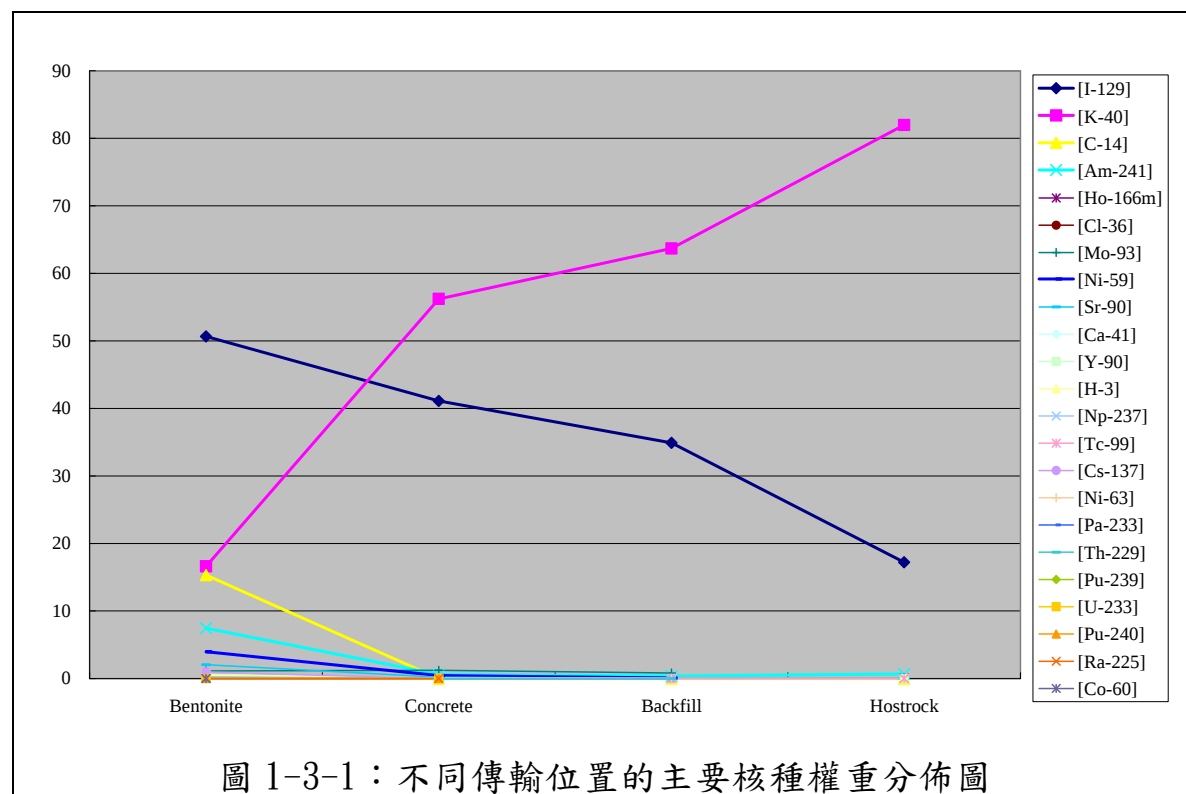
1-3 子項計畫「低放射性廢棄物處置安全審查關鍵議題研究」

本研究完成之「設施安全分析源項審查技術發展」成果報告，研究結論如下：

本研究根據簡化模式，考量不同核種的衰變鍊特性、各核種在不同介質內的擴散特性和吸附特性，並以飲水情節將不同核種對人體影響的劑量轉換因子納入考慮分析，運用 GoldSim 平台進行參數採樣機率式分析，結果顯示：

- (1)對本研究模式而言，當參數採樣次數超過 250 次時，分析結果已趨於一致，因此無需運跑過多的採樣次數。
- (2)觀察傳輸路徑上不同觀測位置的核種重要性可發現，不同位置上的重要核種變化程度不大，而重要核種在不同位置上的重要性亦可由此方式更容易明白。
- (3)本研究成果與文獻彙整的重要核種比較，顯示本分析模式在部分核種的分析上，如 K-40、Ho-166m、Cl-36、Ca-41 等，因欠缺核種的擴散係數與吸附係數，該類核種於分析時採用保守的係數值，以致導致部份結果過於保守，但其他核種如 I-129、Am-241、C-14、H-3 和 Sr-90 等的分析結果，顯示這些核種的重要性排名確實在前，此結果與文獻彙整的重要核種吻合，顯示本分析方法的可行。對於欠缺相關的參數資訊部分可加強文獻資料蒐集或委請研究單位進行參數取得。

由本研究可知，如何取得合理的核種參數或假設的核種參數不致過於保守，是進行核種劑量評估所需面臨的一項重要的挑戰。



1-3 子項計畫「低放射性廢棄物處置安全審查關鍵議題研究」

本研究完成之「坑道處置設施設計及其穩定性評估之審查技術發展」成果報告，研究成果如下：

- (1)完成蒐集國內外既有坑道設計方法、規範與相關準則之彙整。
- (2)完成處置坑道與一般地下坑道於設計目標、對於坑道穩定與服務功能需求之彙整。
- (3)完成國內外坑道結構穩定與服務功能異常現象之蒐集彙整，並透過既有地下坑道洞室襯砌損傷與異狀資料，提出坑道穩定影響因素含外力及環境因素，其中包括地震引致地盤震動可能導致處置坑道襯砌受力在特定位置大幅增加、大地材料依時變形及弱軟化行為可能導致處置坑道周圍應力趨於異向、襯砌受力緩慢增加，影響處置設施的長期穩定。且坑道的結構功能減降亦可能誘發周圍地質材料應力應變持續調整。
- (4)透過我國天然障壁與處置技術先進國家相異處管制技術相應審查要項的探討顯示，有關設施設計之設計目標與功能需求之審查要項需強化有關影響長期穩定性因素之建議，如外力因素中地震作用，環境因素中地質障壁依時性變形與弱軟化行為對坑道處置設施之長期穩定影響，亟需進一步評估分析。

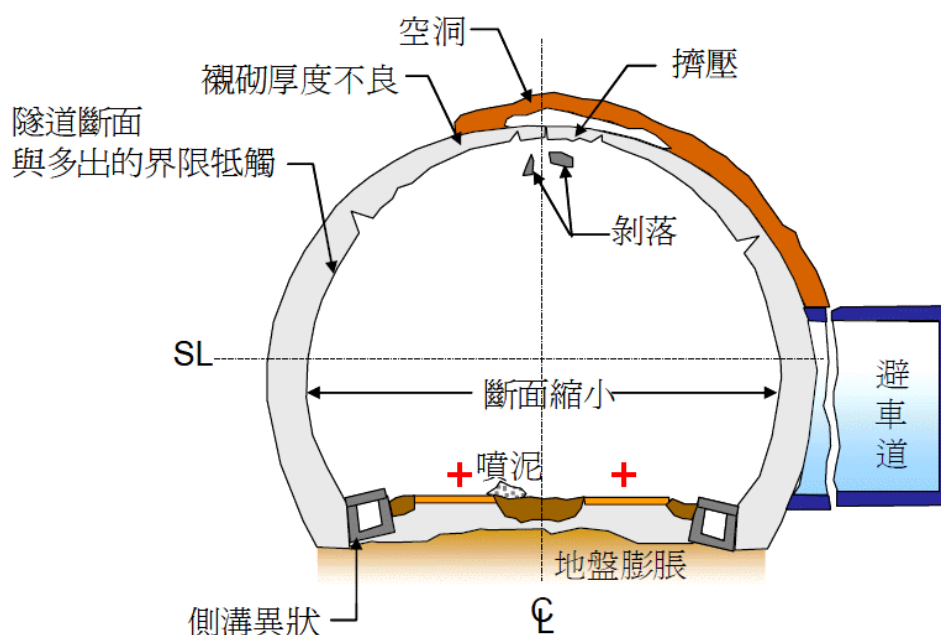


圖 1-3-2：山岳隧道異狀現象模式圖(日本土木學會，2005)

2-1 子項計畫「用過核子燃料貯存安全管制技術發展」

本研究完成之「用過核子燃料循環管理方案技術可行性研究」成果報告，研究結論如下：

本計畫第一年度工作完成國際用過核子燃料循環管理方案最新動態彙整分析、國際破損用過核子燃料乾式貯存管制法規研究、美國電力研究所延期貯存合作計畫工作報告研析、美國乾式貯存管制法規更新資訊及美國除役核電廠用過核子燃料貯存安全管制規範與案例蒐集。

日本 311 福島事件之後，各國對於用過核子燃料安全貯存與管理更為重視，根據匯整國際資訊，除法國採用再處理方式不變之外，其餘各國用過核子燃料/高放射性廢棄物的處置時程延宕，貯存時間延長，長期(延期)貯存成為一主要趨勢，由美國提出的國際合作，可達到整合國際資源，提供共同研究平台，讓福島事件後受限的核能資源有最大的利用價值。

由於美國藍帶委員會提出設置一處以上的集中貯存場址建議，使得用過核子燃料經過長期貯存後的運輸問題成為另一個關鍵議題，本計畫後續將持續蒐集國際間相關資訊及分析美國核管會之用過核子燃料運輸安全度評估報告(NUREG-2125)，冀能提供國內相關研究及管制單位參考應用。

破損用過核子燃料乾式貯存目前國際實際案例並不多，IAEA 與美國核管會所提出的判斷破損燃料準則及後續處理方式仍多屬於概念方式，並無明訂詳細規範。且因應我國後續可能的除役工作，用過核子燃料貯存安全與管理成為重點工作，美國 Zion 電廠規劃明後年將進行破損用過核子燃料裝罐乾貯作業，本計畫將蒐集後續裝罐相關資訊、研析美國核管會除役電廠用過燃料池潛在事件風險評估報告(NUREG-1738)及乾式貯存設施安全度評估報告(NUREG-1864)管制資訊，以提供我國管制機關最新的國際資訊，藉助國際經驗，作為國內後續安全管制之參考依據。

國家	破損燃料定義	處理方式
美國	具有比小破洞(pinhole)或髮絲裂縫(hairline crack)大的缺陷,詳細請參考 ISG-1 Rev.2 文件	乾式貯存時需放入特殊罐子中
德國	具有任何缺陷	破損燃料不得乾式貯存
英國	沒有明確定義缺陷大小,除非是很明顯全面的缺陷	裝罐後送到再處理廠
烏克蘭	主要區分為燃料棒是否有分裂氣體釋出或進水,護套完整性共分為 4 類,缺陷則分成 12 類型	
斯洛維尼亞	根據是否有分裂氣體釋出	
保加利亞	根據啜吸檢驗結果判斷是否有破損	貯存於密封容器內

圖 2-1-1：國際破損燃料定義與處置方式

2-2 子項計畫「核子反應器設施除役審查及驗證技術研究」

本研究完成之「主要國家核子反應器設施除役相關法規研究」成果報告，研究結論如下：

本研究共彙整 IAEA 與美國、德國、加拿大、日本等國之除役法規，報告共分為六個部份進行說明分析。

PART A 美國核管會（NRC）核子設施除役法規探討

PART B 使用放射性物質設施的除役 (IAEA Safety Requirements No. WS-R-5)

PART C 德國定義於原子能法第 7 條有關 - 除役、安全封存及設施或其部分拆除導則

PART D 加拿大除役計畫導則

PART E 日本的除役安全法規

美國核管會（NRC）在核子設施除役執照審查過程中的相關法規需求及導則，包括：10 CFR 20、10 CFR 30.36、10 CFR 30.51、10 CFR 40.42、10 CFR 50、10 CFR Part 50.59、10 CFR Part 50.82、10 CFR Part 50.83、10 CFR 70.38、10 CFR 72.54、NUREG-0586、NUREG-1700 等條文之探討。

IAEA 規範則針對 Safety Requirements No. WS-R-5 進行研討。除役可以區分為準備階段與執行階段，二者均在本報告中做討論。除役準備包括除役策略的發展、初始除役規劃及設施輻射特性調查。除役執行包括準備最終除役計畫並陳報主管機關獲授權或核准、計畫的管理與執行、廢棄物的管理及證明場址符合計畫所定義的最終狀態標準。本報告的目的在於針對設施終止作業及解除法規管制時，建立於規劃及執行除役期間所必須滿足的基本安全要求。

德國除役法規係定義於原子能法第 7 條有關除役、安全封存及設施或其部分拆除導則。

加拿大核能安全委員會 (CNSC) 為授權核准之除役作業，發布關於除役計畫預備工作之導則。此外亦在法規指引 G-206 (Financial Guarantees for the Decommissioning of Licensed Activities) 中明定計算財務保證之基礎。

日本原子力安全委員會制定的 2001 年核設施拆除時之安全保證基

本概念中提及，在拆除時應考慮以下五點：

(1) 反應器功能關閉措施的理想方法

應自反應器的爐心移除所有核子燃料與中子源，那些要移除的核子燃料應自核設施移開或存放在貯存設施中。

(2) 在拆除期間反應器設施維護管理的理想方法

在拆除期間，應防止有第三者非法進入的反應器設施。應適當劃分管制區，以防止輻射工作人員不必要的輻射曝露。為防止反應器設施系統中殘留的放射性物質洩漏，該系統應適當隔離或密封。

(3) 拆除活動安全保證的理想方法

應評估殘留放射性材料與廢棄物的產生量。拆解活動的程序與方法選擇的同時，應留意除污、安全防護等議題。公眾安全亦應確保，以減少由設施釋放出放射性塵埃等。

(4) 確認完成拆除的理想方法

所有的核子燃料已移除，且放射性廢棄物應被妥善處置。

(5) 減少曝露

拆除反應器，安全保證應基於ALARA的原則概念(合理抑低：在考慮到經濟與社會因素下，所有曝露必須儘可能合理抑低輻射劑量)，它是由國際輻射防護委員會(ICRP)提出的劑量限制系統基礎之一。

2-2 子項計畫「核子反應器設施除役審查及驗證技術研究」

本研究完成之「核子反應器設施除役計畫導則(草案)」成果報告，研究結論如下：

本報告主要為針對「核子反應器設施除役計畫導則(草案)」研擬沿革之重點整理。核子反應器設施永久停止運轉前三年所提出的除役計畫，由於其內容受到當時所能取得的資料與數據、以及當時的可行技術限制，直至設施永久停止運轉、執行除役作業、經過現場實際作業後，才會陸續獲得更為精準、確切的評估結果，因此除役計畫內諸項，如：人員劑量評估、廢棄物數量預估、甚至後續廢棄物的貯存、處置規劃等，均可能有所變化而須調整。參考美國核能管制機構對於除役活動一般區分為三大階段進行管制（NRC，2012），分別為：

(1)初始活動（Initial Activities）：自「決定欲永久停止運轉」至「永久移出用過核子燃料」止。

(2)主要除役活動/貯存及拆除或ENTOMB之準備活動（Major Decommissioning Activities/Preparation for Storage, Dismantlement or Entombment）：自「永久移出用過核子燃料」至「向主管機關遞交執照終止計畫（License Termination Plan，LTP）」止。

(3)最終場址偵測及清理（Final Site Surveys and Cleanup）：自「向主管機關遞交執照終止計畫」至「執照終止」為止。

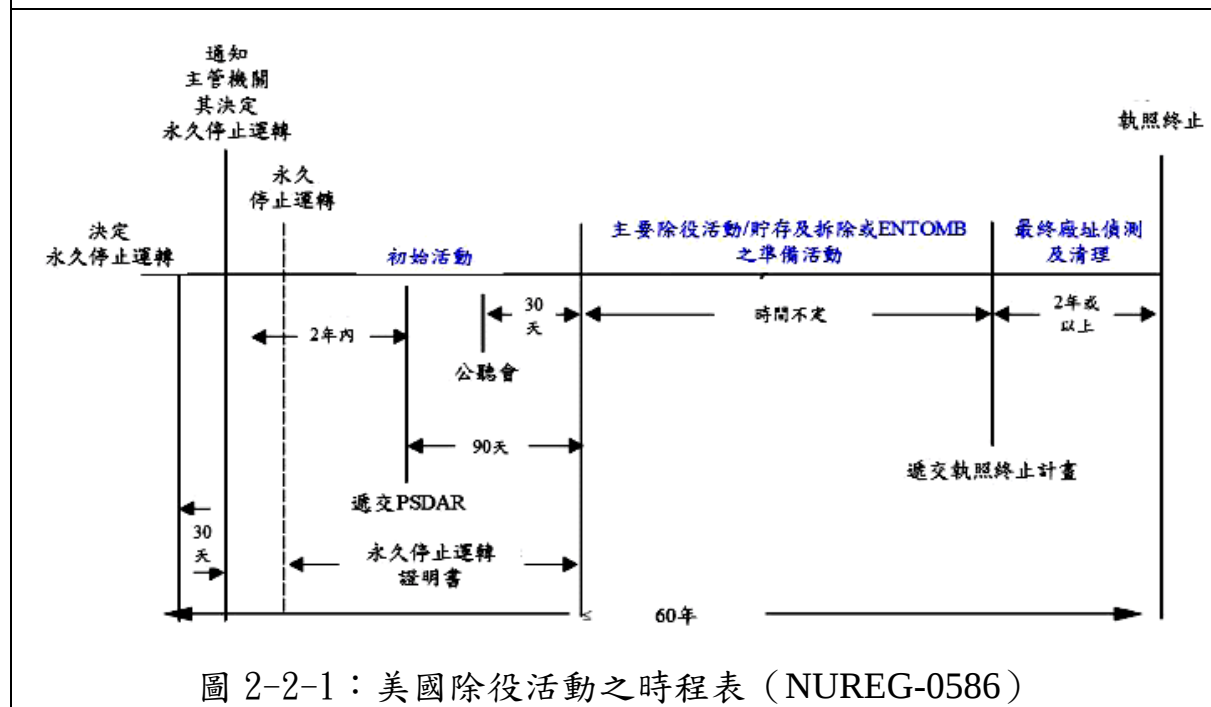
在「永久停止運轉」之前或「永久停止運轉」後2年內，設施經營者必須遞交一份「停止運轉後除役活動報告」（Post-Shutdown Decommissioning Activities Report，PSDAR）予NRC。此報告內容主要為設施經營者規劃之除役活動說明（包含完成重大里程碑之時程、預期成本之評估等），以及與特定廠址除役活動相關之環境影響評估。NRC在收到「停止運轉後除役活動報告」後，會針對其內容進行檢查，但並不會針對其報告進行「批准」的動作；設施經營者於NRC收到「永久停止運轉的證明」、「自反應器槽永久移除燃料的證明」，並在收到「停止運轉後除役活動報告」90天後，即可開始進行重大的除役活動。

另外，在「永久移出用過核子燃料」之後，設施經營者可針對其「終期安全分析報告」（Final Safety Report，FSAR）進行更新修改，並遞交修

改後之「移除燃料後之安全分析報告」(Defueled Safety Report, DSAR)予NRC進一步進行審核，以根據除役活動時的活動範圍及深度調整管制的標準。此設施經營者所遞交的「移除燃料後之安全分析報告」和「終期安全分析報告」一樣，需要定期向NRC進行內容的更新。

最終，在設施經營者完成主要除役活動之後，向NRC遞交「執照終止計劃」，並進行最終廠址偵測；在NRC完成相關審查後終止其執照，完成整個除役過程。

由於我國對於核子反應器設施除役活動的管制主要為「除役計畫」及「環境影響評估報告」的審核，對於除役計畫執行過程中是否需要定期針對計畫內容進行更新較無明確的規定；但核子反應器設施的除役活動會隨著當時可以獲得的資訊、測量結果、可以實行的技術工法等而有所改變。為了能貫徹除役活動過程中的相關管制，建議主管機關能建立「除役計畫內容定期更新及審查」的制度，並將其法制化，以確保能確實管制核子反應器設施之除役活動。



2-2 子項計畫「核子反應器設施除役審查及驗證技術研究」

本研究完成之「核子反應器設施除役廠址特性調查研究」成果報告，研究結論如下：

本報告摘譯 MARSSIM 與 EURSSEM 手冊有關場址歷史評估與輻射特性調查方法，並摘錄國外電廠之相關經驗，可供國內核設施除役作業之參考。

MARSSIM 建議之核設施除役作業的輻射偵檢與場址調查(Radiation Survey and Site Investigation, RSSI)作業流程如圖 2-2 所示，調查過程採用循序法，首先進行場址歷史評估(Historical Site Assessment, HSA)，之後再進行各項輻射偵檢，包括範圍輻射偵檢(Scoping Survey, SS)、特性輻射偵檢(Characterization Survey, CS)、改善措施輔助輻射偵檢(Remedial Action Support Survey, RASS)以及最終狀態輻射偵檢(Final Status Survey, FSS)。

輻射偵檢與場址調查 (Radiation Survey and Site Investigation - RSSI) 過程的偵檢方式包括範圍、特性、改善行動輔助與最終狀態偵檢。輻射偵檢規範目的在於協助使用者於執行偵檢作業時，事先規劃出一套可達終極目標的策略，證實可符合導出濃度指引水平 (Derived Concentration Guideline Levels - DCGL)。

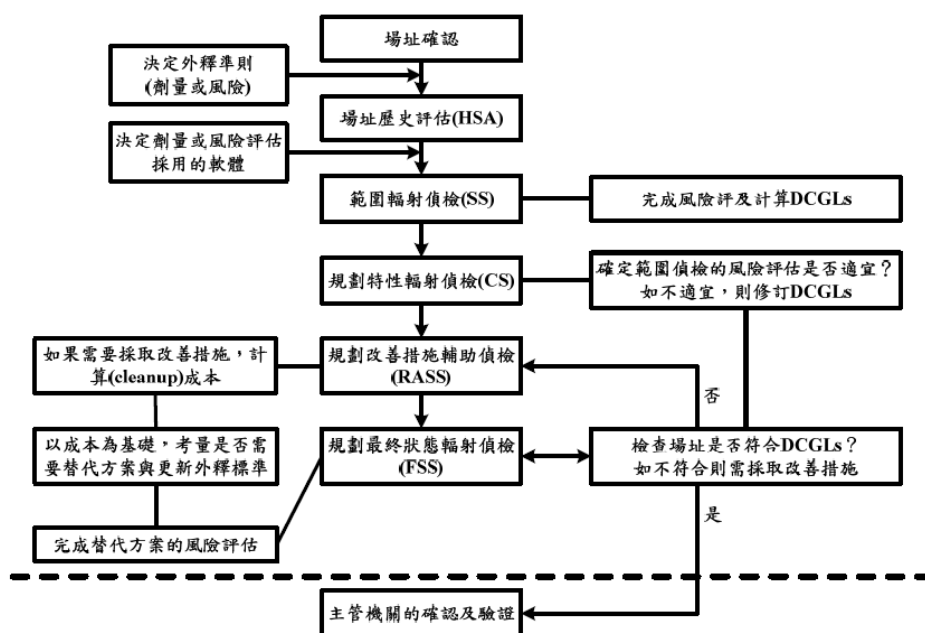


圖 2-2-2：輻射偵檢與場址調查(RSSI)作業流程

2-3 子項計畫「放射性廢棄物管理作業相關審查導則研究」

本研究完成之「國際放射性廢棄物管制機關與管制策略資訊彙整分析」成果報告，研究結論如下：

各核能發電國家莫不致力於強化放射性廢棄物之安全管制工作，我國核能管制機關在面臨組織改造的同時，若能藉助國際經驗釐清管制重心，必能加速相關工作推動與提昇品質。本報告彙整國際資訊概況，冀能提供放射性廢棄物管制機關參考應用。主要研究心得與結論如下：

(1) 本研究以系統性、完整性、更新性的方法，彙整核能發電國家放射性廢棄物管制機關與營運單位的資訊。內容涵蓋中英文名稱、網址、法源、機構性質、成立時間、上級單位、職掌、員額、年預算、組織架構等。成果對於我國放射性廢棄物管制與決策極具參考價值。

(2) 國際資訊的彙整分析遇到下列困難：

- 國際資訊蒐集的困難度與時效性限制；
- 國際資訊分析須投入大量人力與時間；
- 資料龐雜與語言隔閡可能導致疏漏；
- 國情差異導致部分資訊不一定能對比。

但對我國管制機關與相關研發單位而言，仍應持續定期進行資訊蒐集與更新，以掌握國際情勢。

(3) 核能發電國家放射性廢棄物管制機關與營運單位國際資訊，包括以下特點：

- 核能產業的持續成長，相對應的使得放射性廢棄物安全管制問題，亦更顯重要，近年來各國仍亦持續進行相關的組織改造與法規修訂；
- 各國因國情差異管制機關的業務範圍略有不同，但基本上仍以核安管制與輻射防護為主。且不論機關位階為何，均強調其專業性與獨立性；
- 專責機構的設置有助於整合放射性廢棄物管理事權，並促進公眾溝通。目前多數核能發電國家已設置專責機構負責相關業務。

表 2-3-1：核能發電國家放射性廢棄物管制機關與營運單位彙整表

2012.09.01 更新

國家	機構性質與名稱	
阿根廷	管制機關	Nuclear Regulatory Authority, ARN
	營運單位	National Atomic Energy Commission, CNEA
亞美尼亞	管制機關	Armenian Nuclear Regulatory Authority, ANRA
	營運單位	Armenian NPP
比利時	管制機關	Belgian Nuclear Safety Authority (BELV)
	營運單位	Belgian National Agency for Radioactive Waste and Enriched Fissile Materials, NIRAS/ONDRAF
巴西	管制機關	National Commission for Nuclear Energy, CNEN
	營運單位	Eletrobras Termonuclear SA
保加利亞	管制機關	Bulgarian Nuclear Regulatory Agency, BNRA
	營運單位	State Enterprise “Radioactive Waste”, SE RAW
加拿大	管制機關	Canadian Nuclear Safety Commission, CNSC
	營運單位	Nuclear Waste Management Organization, NWMO
中國	管制機關	環保部國家核安全局 National Nuclear Safety Agency, NNSA
	營運單位	中国广东核电集团有限公司電力公司 中国核工业集团公司
捷克	管制機關	State Office for Nuclear Safety, SÚJB
	營運單位	Radioactive Wastes Repository Authority, SÚRAO
芬蘭	管制機關	Radiation and Nuclear Safety Authority, STUK
	營運單位	Posiva Oy
法國	管制機關	French Nuclear Safety Authority, ASN
	營運單位	National Radiactive Waste Management Agency, ANDRA
德國	管制機關	Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, BMU Federal Office for Radiation Protection, BfS
	營運單位	German Company for the Construction and Operation of Waste Repositories, DBE
匈牙利	管制機關	Hungarian Atomic Energy Authority, HAEA
	營運單位	Public Limited Company for Radioactive Waste Management
印度	管制機關	Atomic Energy Regulatory Board, Government of India, AERB
	營運單位	Nuclear Power Corporation of India Limited, NPCIL
伊朗	管制機關	Iranian Nuclear Regulatory Authority, INRA
	營運單位	Nuclear Power Production & Development Co. of Iran, NPPD
義大利	管制機關	Nuclear Safety Agency (ASN, Agenzia per la Sicurezza Nucleare)
	營運單位	Societa Gestione Impianti Nucleari S.p.a., Sogin
日本	管制機關	Nuclear Regulation Authority, NRA
	營運單位	Japan Nuclear Fuel Limited, JNFL Nuclear Waste Management Organization of Japan, NUMO
哈薩克	管制機關	Kazakh Atomic Energy Agency, KAEA
	營運單位	National Atomic Company, KAZATOMPROM

韓國	管制機關	Atomic Energy Bureau /Ministry of Education, Science and Technology, AEB/MEST Korea Institute of Nuclear Safety(KINS)
	營運單位	Korea Radioactive waste Management Corporation, KRMC
立陶宛	管制機關	State Nuclear Power Safety Inspectorate, VATESI
	營運單位	Radioactive Waste Management Agency, RATA
墨西哥	管制機關	National Commission for Nuclear Safety and Safeguards, CNSNS
	營運單位	Comision Federal de Electricidad, CFE
荷蘭	管制機關	Department for Nuclear Safety Security Safeguards & Radiation Protection (KFD)
	營運單位	Central Organization for Radioactive Waste, COVRA
巴基斯坦	管制機關	Pakistan Nuclear Regulatory Authority, PNRA
	營運單位	Pakistan Atomic Energy Commission, PAEC
羅馬尼亞	管制機關	National Commission for Nuclear Activities Control, CNCAN
	營運單位	Nuclear Agency and for Radioactive Waste, ANDR
俄羅斯	管制機關	Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service, Rostekhnadzor
	營運單位	National Operator for Radioactive Waste Management
斯洛伐克	管制機關	Nuclear Regulatory Authority, ÚJD SR
	營運單位	Nuclear and Decommissioning Company, JAVYS
斯洛維尼亞	管制機關	Slovenian Nuclear Safety Administration, SNSA(URSJV) Slovenian Radiation Protection Administration, SRPA
	營運單位	Agency for Radwaste Management, ARAO
南非	管制機關	National Nuclear Regulator, NNR
	營運單位	South African Nuclear Energy Corporation Limited, Necsa
西班牙	管制機關	Nuclear Safety Council, CSN
	營運單位	Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S.A., ENRESA
瑞典	管制機關	Swedish Radiation Safety Authority, SSM
	營運單位	Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co, SKB
瑞士	管制機關	Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate, ENSI
	營運單位	National Cooperative for the Disposal of Radioactive Waste, Nagra
烏克蘭	管制機關	State Nuclear Regulatory Committee of Ukraine, SNRC
	營運單位	National Nuclear Energy Generating Company Energoatom, NNEGC Energoatom
英國	管制機關	Heath and Safety Executive, HSE
	營運單位	Nuclear Decommission Authority, NDA
美國	管制機關	Nuclear Regulatory Commission, NRC South Carolina Energy Office Utah Division of Radiation Control (DRC) Washington State Department of Ecology Texas Commission on Environmental Quality (TCEQ)
		Department of Energy, DOE Chem-Nuclear Systems
		US Ecology Waste Control Specialists
		Cedar Mountain Environmental

資料來源：

1. IAEA: Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management 各簽署國的國家報告。
2. IAEA: Power Reactor Information System, <http://pris.iaea.org/pris/>
3. IAEA: Net-Enabled Radioactive Waste Management Database (NEWMDB), <http://newmdb.iaea.org/>
4. 表列各相關機關/機構/公司網站。

2-3 子項計畫「放射性廢棄物管理作業相關審查導則研究」

本研究完成之「低放射性廢棄物盛裝容器審查導則研究」成果報告，研究結論如下：

- (1)盛裝容器試驗主要測試項目分成兩部份，一為基本物理試驗，另一為環境曝露後的物理特性。基本物理試驗包括拉伸試驗、壓縮試驗、撓曲試驗、潛變特性、熱膨脹試驗、硬度試驗等。而環境曝露後的物理特性試驗包括：熱循環試驗、伽馬射線和紫外線照射試驗、真菌和細菌降解試驗以及外部與內部化學物質曝露試驗。另外，在原型原尺寸測試，則包括：壓縮試驗、浸水試驗、氣密性測試、穿透試驗、運輸振動測試、墜落試驗、被動排氣測試以及起重減速測試等。
- (2)盛裝容器相關規範要求，主要根據 IAEA 放射性廢棄物包件規範和放射性物質安全運輸條例，在放射性物質安全運輸條例中亦制定不同型式包件的相關試驗方式，包括衝擊試驗、撞擊試驗、彎曲試驗、耐熱試驗、噴水試驗、自由跌落試驗、堆積試驗和貫穿試驗。
- (3)對於我國低放射性廢棄物之盛裝容器相關法規的研析可知，在「放射性廢棄物處理貯存及其設施安全管理規則」定義了『盛裝容器：指用於貯存或處置放射性廢棄物之容器。』，而對於未明確定義盛裝容器的「低放射性廢棄物盛裝容器使用申請書導則」而言，若要申請使用貯存或處置用之盛裝容器應可依循該導則進行。另外，針對前述之盛裝容器中特別用於盛裝未固化之 A 類廢棄物之至少能維持一百年結構完整容器或屬於可維持三百年結構完整之高完整性容器者，即所謂的處置容器，則申請此類處置容器時，相關內容除應符合「低放射性廢棄物盛裝容器使用申請書導則」外，亦應注意「低放射性廢棄物最終處置盛裝容器審查規範」相關說明。若規劃作為運輸用等多功能盛裝容器，則需依循「放射性物質安全運送規則」對於包裝、包件及試驗之規定。
- (4)對於混凝土質盛裝容器的耐久性分析可知，混凝土耐久性試驗主要包括氯離子入侵試驗、硫酸鹽侵蝕試驗、碳化試驗、溶出失鈣試驗以及滲透試驗等。中國住房和城鄉建設部發行之「混凝土耐久性檢驗評定標準」則說明混凝土耐久性檢驗評定項目包括：抗凍性能、抗水滲透

性能、抗硫酸鹽侵蝕性能、抗氯離子滲透性能、抗碳化性能和早期抗裂性能等。

耐久性	測試項目	固化基質				貯存容器		
		水泥	瀝青	玻璃	聚合物	鋼	混凝土	聚合物
機械耐久性	抗壓強度	×		×	×	×	×	×
	抗拉強度	×					×	×
	孔隙率	×	×				×	
	滲透係數	×					×	
	微裂隙	×		×		×	×	×
	均質性	×	×	×	×			×
	楊氏模數	×					×	
化學耐久性	腐蝕	×				×	×	
	鈣浸出率	×					×	
	矽浸出率			×				
	廢棄物與基質的化學相互作用	×	×	×	×			
微生物效應	氣體產生	×	×				×	×
	化學交互作用	×	×				×	×
輻射穩定性	氣體產生	×	×					
	交聯作用		×		×			×
熱穩定性	熱循環作用	×			×	×	×	×

圖 2-3-1：固化基質與貯存容器耐久性功能評估項目

A-1 子項計畫「核能電廠除役計畫審查技術之研究」

本研究完成之「核能電廠除役計畫審查技術之研究」成果報告，研究結論如下：

- (1) 蒐集國際間，包括美國、英國、法國、德國、義大利及日本等相關核能電廠除役法規及除役審查案例，透過其在除役計畫申請書的內容說明，可獲知各國核能管制單位對除役的相關審查項目與要求；另根據日本獨立行政法人原子力安全基盤機構（JNES）於平成 21 年 11 月（2009 年）所發行的核能電廠除役相關調查報告【附冊】除役手冊內容，除可一窺日本對整個除役法規的沿革及發展，亦可參考其它國家相關的除役管制法規及審查作業規範。

(1-1) 東海發電廠：

除役工程的全工期約 17 年，其中自 2001 年度算起約 10 年的期間，設定為反應器區域的安全貯存期間，自 2011 年度起約 7 年的期間，設定為反應器區域解體拆除及建築等解體拆除，預定結束時期則設定在 2018 年 3 月。

除役的基本工作為分解並移除反應器及其附屬設備與建築，並將土地恢復至未建廠的狀態。除役期間，輻射等級較高的部分侷限在反應器區域，且必須事先進行約 10 年的安全貯存期，讓反應器區域的輻射衰減，各建築除去污染後，始解除管理區域，進行解體拆除。

在安全貯存期間的先行解體方面，第 1 期係進行附屬設備等的拆除、第 2 期係進行熱交換器等拆除、第 3 期則為確保反應器區域的解體廢棄物搬出路徑、器材保管場所，以及作業量的均衡化；另除役計畫書應記載電廠區域之公眾承受劑量的安全評估，一般公眾對氣體廢棄物的有效承受劑量為 0.002 毫西弗/年，對液體廢棄物的有效承受劑量為 0.006 毫西弗/年，而事故對一般公眾所造成的有效劑量最多約 0.007 毫西弗。

(1-2) 普賢發電廠

除役對象設施的解體方法分 4 階段實施，包括(1) 用過核子

燃料搬出期間、(2) 反應器區域設備解體拆除期間、(3) 反應器本體解體拆除期間、(4) 建築解體期間

(1-3) 濱岡核能發電廠 1、2 號機

除役對象設施的解體方法，除了冷凝水排水渠要作為雨水等排水渠繼續使用外，其餘設施均為解體對象除役實施時，應以安全確保為最優先，並符合相關法令之要求，除役對象設施的解體方法亦同樣分成 4 階段實施。

(1-4) 美國除役案例：

法定除役時間為 60 年內完成，近年來，有部分的核能電廠為趕在熟悉電廠設備及操作方面的專業人員退休前，而決定提前除役。

(1-5) 英國除役案例：

由英國核能除役署 (NDA：Nuclear Decommissioning Authority) 作為管理核能設施除役的公家機構，並制定核能設施除役及淨化方面適用於全英國的重要導則，另在考量英國民生用核能遺產設施的安全防護及成本效益下，以公正且資訊透明的方式，制定國際間通用的除役計畫，並提出縮短除役期間的策略。

(1-6) 法國除役案例：

早期要求在電廠永久停止運轉後，即迅速進入「安全貯存」階段，而為使輻射等級降低，執行為期 50 年的安全貯存期間；但目前管制的策略則是在可行情況下儘快完全拆除核能電廠，法國電力公司 (Électricité de France, EDF) 在 2011 年時，決定將第一代核能電廠的除役時程縮短 20 至 25 年。

法國電力公司 EDF 以 Bugey 核能電廠為除役的示範電廠，檢討高溫氣冷式反應器的拆除方法，從中汲取經驗與施工技術，應用於其它高溫氣冷式反應器的除役措施上，計畫在 2025 年以前將完成所有氣體反應器的拆除工作。

(2) 評估我國學術機構與研究單位之專長，規劃合理之除役計畫審查團隊。由於清華大學在核能領域上長期投入學術研究工作，不僅培養核工方面的專業人才，亦經常關注國內外重大核能議題，並與核能管制單位維持良好的溝通及交流管道。透過本計畫徵詢

國內相關領域的專家學者意見，以協助物管局進行除役計畫審查前，擁有健全之審查技術與團隊，有助益未來核能電廠除役管制作業之順利進行，並可因應即將公告之「核子反應器設施除役計畫導則」共 17 章之審查項目。

(3) 提出適合我國核能電廠除役計畫之審查技術建議。藉由本計畫蒐集國外電廠的除役經驗，可以瞭解各國在審查方面都各有不同的組織、程序和作法，難以一概而論，經彙整及內部討論後，針對未來國內管制單位進行核能電廠除役計畫在審查方面提出初步建議，包括：

(3-1) 國內截至目前為止，尚未進行過核能電廠除役的相關實務作業，因此在技術上勢必高度仰賴國外曾經有過除役經驗的專家，且屆時核一廠作為國內首座面臨除役的電廠，其動見觀瞻必定更受外界矚目，故在將來必須組成審查團隊時，建議應同時納入國外專業顧問團隊及國內核能相關區域的學者共同參與審查，此舉不僅更能涵蓋審查項目的重點，並能將國外的除役經驗充份回饋運用，同時亦有助於提升國人對整體除役作業的安心感。

(3-2) 上述提及應搭配國外專家共同組成審查團隊，而考量到台電公司亦可能委託國外專業顧問負責規劃並撰寫核一廠之除役規劃書，為避免將來在審查單位及送審單位中，因各該國家所採取的除役措施迥異，而出現溝通上之困難，故建議在組成審查團隊時，至少要有一位專家熟悉該外國顧問公司當地的除役管制作法，以便使審查委員內部的溝通工作更加順暢。

(3-3) 除役工作必須完全依照除役規劃書及相關之法規規定來進行，此外，管制單位所組成的審查團隊應除了專業代表性之外，亦應考量其立場的客觀性。

(4) 除役期間必然涉及到核子廢棄物處理的相關議題，本研究藉由蒐集並翻譯日本對於核燃料或其污染物質的廢棄物掩埋相關規則作為期末成果報告附件，可作為日後國內訂定相關法條之參考依據，包括：

(4-1) 核燃料物質或核燃料物質污染物的廢棄物管理事業相關規則

(4-2) 核燃料物質或核燃料物質污染物的第一類廢棄物掩埋事業相

關規則

(4-3) 核燃料物質或核燃料物質污染物的第二類廢棄物掩埋事業相關規則

(4-4) 特定廢棄物掩埋設施或特定廢棄物管理設施的設計及工程方法的技術基準相關規則

A-2 用過核子燃料乾式貯存技術規範研析與應用

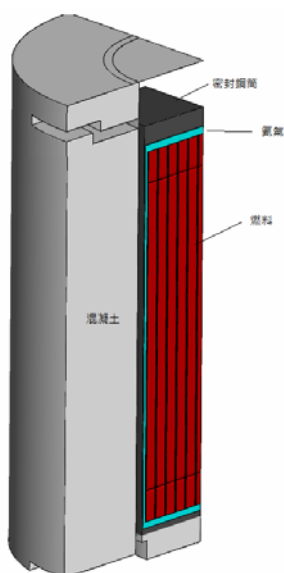
本研究完成之「用過核子燃料乾式貯存技術規範研析與應用」成果報告，重點研究成果說明如下：

- (1) NUREG-1536 (Rev.1) 中文版文件內容審訂：研究發現 NUREG-1536 (Rev.1) 相較於 NUREG-1536 修改幅度相當大，除原第 14 章除役刪除、第 8 章材料評估新增外，各章節都有很大幅度的修訂。本研究則完成 NUREG-1536 (Rev.1) 第 1 章至第 13 章中文版文件內容審訂。
- (2) Interim staff guidance (ISG) 審視與重點整理：ISG 重點摘要依文件內容區分，主要包含：背景介紹、管制基礎、接收標準、技術審查、應用範圍、定義、討論、建議事項、其它意見等等，本研究完成 ISG 重點摘要文件。
- (3) MAGNASTOR 系統審查評估報告(SER)內容審視其重點摘要：本研究審視 MAGNASTOR 系統審查評估報告(SER)內容後提出：(1)美國核管會審查發現；(2)重要內容整理研析之重點摘要。其中，美國核管會審查發現為原始文件中美國核管會所提出之評估結論。第二部分則是本研究審視文件後，所提出重點內容及相關建議。
- (4) 用過核子燃料乾式貯存安全分析報告(SAR)關鍵議題技術的諮詢與分析重點：本研究研析用過核子燃料乾式貯存安全分析報告(SAR)，提出「國內用過核子燃料乾式貯存設施安全管制之研究發展要項與方向」、「混凝土護箱溫度正常操作條件下，平均溫度低於 93.3°C (200 °F)，局部最高溫低於 149°C (300 °F)之限制條件，應考量安全因素」及「MAGNASTOR 護箱系統採用氦氣作為熱移除機制之一，應考量安全因素」之三大關鍵議題諮詢與分析重點建議。

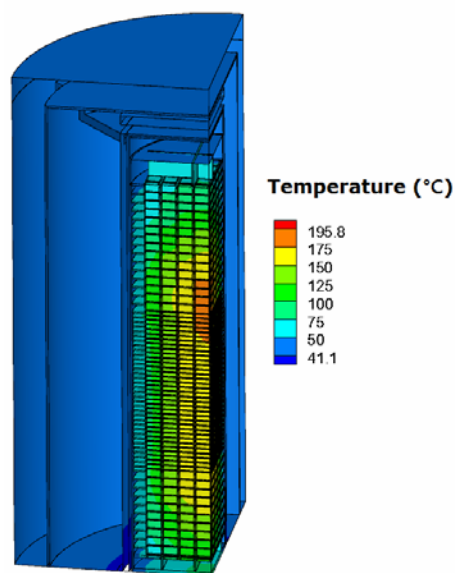
A-3 複合式災害模擬情節對乾式貯存設施營運影響分析

本研究藉由假設之複合式災害情節，探討天然災害對乾貯設施運轉之影響程度。進行各種天然災害之影響評估，藉以建立各種事故情境與分析案例。以計算流體技術為基礎，建立案例分析模式及相關邊界，以模擬事故情境。

本研究完成分析模式發展、分析技術校驗及掩埋類型案例計算，並根據計算結果，彙整審查要點，以提供其它領域(例如，燃料完整性以及密封鋼筒結構應力分析)作為參考依據。根據研究結果建議，在評估設施對複合式災害之承受能力時，應將場址與機具納入考量，以確保相關設施之可用性。此外，可於乾貯設施納入灑水冷卻之處置設備與作業程序，以精進對複合式災害之應變能力。



圖一 乾貯系統分析模型



圖二 通道受阻案例之乾貯系統溫度分佈