

出國報告（出國類別：訓練）

低放射性廢棄物最終處置研習計畫

服務機關：台灣電力公司核能後端營運處

姓名職稱：陳智隆課長

楊淳堯課長

劉芳葉專員

派赴國家/地區：法國

出國期間：111年9月19日~111年10月7日

報告日期：111年11月4日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：低放射性廢棄物最終處置研習計畫

頁數 34 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：

台灣電力公司/ 陳德隆/ (02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

台灣電力公司/ 陳智隆/ (02)2365-7210#12333

台灣電力公司/ 楊淳堯/ (02)2365-7210#12325

台灣電力公司/ 劉芳棻/ (02)2365-7210#12334

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 開會 6 其他

出國期間：111.9.19~111.10.7

派赴國家/地區：法國

報告日期：111 年 11 月 4 日

關鍵詞：低放射性廢棄物最終處置、近地表處置、核能後端營運

內容摘要：(二百至三百字)

此次「低放最終處置研習計畫」訓練課程前往法國 2 個單位進行訓練，分別為法國國家核廢料管理局(Andra)及歐安諾集團(Orano)。Andra 的課程中研習低放最終處置場在選址、運轉與長期封閉的安全考量，以及如何執行處置安全分析及安全論證，另外探討廢棄物接收規範的制定方式與重要性，以及瞭解維持處置場記憶的重要性，並在課程中赴法國 2 座低放最終處置場 CSA 與 CIRES 強化處

置概念與理解實際處置場運轉狀態。Orano 的課程從整體廢棄物生命週期的角度切入低放廢棄物最終處置，從廢棄物盛裝容器選擇、廢棄物處理方式到輻射度量，以及興建一座設施在各領域執行考量與界面溝通方式，讓不同領域團隊在合作可更加順利。

目錄

壹、 目的.....	1
貳、 過程.....	2
參、 工作內容.....	4
一、 近地表處置設施基本安全概念.....	4
二、 處置設施設計.....	9
三、 CSA 處置場介紹	15
四、 CIRES 處置場介紹	17
五、 處置場安全論證.....	20
六、 處置場廢棄物接收規範.....	22
七、 Orano 訓練課程	25
肆、 心得與建議.....	32

圖目錄

圖 3.1-1	安全評估執行流程框架	5
圖 3.1-2	法國處置場接收作業流程	6
圖 3.1-3	法國 Cigéo 深層處置概念設計圖	7
圖 3.1-4	選址計畫不同階段之工作內容示意	9
圖 3.2-1	系統範圍邊界	11
圖 3.2-2	處置設施外部組件	12
圖 3.2-3	監管階段之處置設施外部組件	12
圖 3.2-4	興建運轉期間處置設施主要安全功能	13
圖 3.2-5	處置系統封閉覆蓋之 PSB 示意	14
圖 3.3-1	CSA 處置場外觀	15
圖 3.3-2	CSA 處置區操作	16
圖 3.3-3	CSA 混凝土盛裝容器處置流程	16
圖 3.3-4	CSA 金屬類盛裝容器處置流程	16
圖 3.3-5	CSA 覆蓋系統設計概念	17
圖 3.4-1	CIRES 處置場外觀	18
圖 3.4-2	CIRES 處置系統示意圖	18
圖 3.4-3	CIRES 處置壕溝設計演變	19
圖 3.4-4	CIRES 執行處置作業狀態	19
圖 3.5-1	安全論證架構示意圖	21
圖 3.5-2	安全論證評估情節量化分析流程	22
圖 3.6-1	廢棄物接收規範制定流程	23
圖 3.6-2	安全餘裕設計概念	24
圖 3.6-3	Andra 廢棄物非破壞性檢測	25
圖 3.7-1	Orano 參與廢棄物生命週期之相關業務	26
圖 3.7-2	法國廢棄物管理單位與權責	27
圖 3.7-3	法國廢棄物分類與處置規劃	28
圖 3.7-4	法國廢棄物包件使用規劃	28
圖 3.7-5	廢棄物包件墜落數值模擬	29
圖 3.7-6	Orano 設施興建設計概念圖	30
圖 3.7-7	Orano 人因工程討論案例	31

表目錄

表 3.7-1 放射性廢棄物處理示意	29
表 4-1 法國低放最終處置研習計畫之訓練過程照片	33

壹、目的

台灣核能一廠的第一座機組於 1978 年商轉，至此開啟台灣核能發電事業發展的新里程碑，接著於 1981 年核能二廠及 1984 年核能三廠陸續開始商轉。迄今，台灣核能發電事業已餘 40 個年頭，然而隨著台灣能源政策於 2025 年達到非核家園的目標，台灣三座核能電廠於 40 年商轉執照到期後皆傾向不再延役，意味著台灣核能發電事業將進入下一個里程碑「核能電廠除役」，並且需迫切規劃放射性廢棄物最終處置。

依「放射性物料管理法施行細則」第 4 條，放射性廢棄物可區分為高放射性廢棄物與低放射性廢棄物，高放射性廢棄物指用過核子燃料或再處理產生萃取殘餘物，而不屬於前述類型的放射性廢棄物則統稱為低放射性廢棄物。本次「低放最終處置研習計畫」課程著重於學習廢棄物管理、法國近地表處置型態與處置場安全論證執行概念，並藉由實際赴法國 2 座處置場 CSA 與 CIRES 實習，強化處置概念與理解實際處置場運轉狀態。訓練課程分為 2 個單位進行講授：

一、法國國家核廢料管理局(Andra)

Andra 訓練講師講解處置場在選址、運轉與長期封閉的安全考量，以及如何執行處置安全分析及安全論證執行方式，另一個議題則是在探討廢棄物接收規範(waste acceptance criteria, WAC)的制定方式與重要性，以及說明維持處置場記憶的重要性。最後，帶領整個學習團隊前往法國近地表處置場 CSA 與 CIRES，進行實地現場教授。

CSA 為短半化期中低放射性廢棄物(LILW-SL)的地表處置設施，其位於法國東北部的 Aube 地區，由 Andra 自 1992 年起營運至今。占地約 95 公頃，其中 30 公頃用於處置。於 2018 年底，已建造 180 個處置窖，有 143 個已封閉、7 個在運轉中、30 個等待運轉。

CIRES 為極低放射性廢棄物(VLLW)的處置設施，位於 Aube 地區，距離 CSA 幾公里，該設施於 2003 年啟用，在其中進行了分類、處理、貯存及處置等工作。每年約有 30,000 m³ 的廢棄物放入壕溝中。

二、歐安諾公司(Orano)

Orano 公司訓練講師從整體廢棄物生命週期的角度切入低放射性廢棄物最終處置，從廢棄物盛裝容器選擇、廢棄物處理方式到輻射度量，以及興建一座設施在各領域執行考量與交界面溝通方式，讓不同領域團隊在合作可更加順利。

貳、過程

自 111 年 9 月 19 日出發，迄 10 月 7 日返國(共計 17 日)，停留法國巴黎與特魯瓦 (Troyes)，研習行程如下：

時間	地點	工作內容
9 月 19 日(一)	台灣至法國	去程
9 月 20 日(二)	台灣至法國	去程
9 月 21 日(三)	法國巴黎	●Orano 公司拜訪、訓練課程概述及學習目標交流 ●Orano 公司介紹
9 月 22 日(四)	法國巴黎	●Andra 講師授課 ■處置安全一般性考量 ■運轉與長期安全考量 ■場址特徵化程序
9 月 23 日(五)	法國巴黎	●Andra 講師授課 ■安全分析考量與執行方式 ■法國處置設施
9 月 24 日(六)	法國巴黎	例假日，整理訓練課程資料
9 月 25 日(日)	法國巴黎	例假日，整理訓練課程資料
9 月 26 日(一)	法國-巴黎→特魯瓦	●Andra 講師授課 ■廢棄物接收規範研擬 ●交通移動至特魯瓦
9 月 27 日(二)	法國特魯瓦	●Andra 講師帶領至 CSA 與 CIRES 處置場參訪
9 月 28 日(三)	法國特魯瓦→巴黎	●交通移動至 Orano 公司(巴黎) ●Orano 講師授課 ■Orano 核能安全文化與屏蔽計算分析
9 月 29 日(四)	法國巴黎	●Orano 講師授課 ●廢棄物管理策略
9 月 30 日(五)	法國巴黎	●Orano 講師授課 ■設施設計準則與模型建置
10 月 1 日(六)	法國巴黎	例假日，整理訓練課程資料
10 月 2 日(日)	法國巴黎	例假日，整理訓練課程資料
10 月 3 日(一)	法國巴黎	●Orano 講師授課 ■設施基本設計至細部設計 ■輻射偵檢系統介紹
10 月 4 日(二)	法國巴黎	●Orano 講師授課 ■數值模擬介紹 ■設施空間規劃介紹

10月5日(三)	法國巴黎	●Orano 講師授課 ■人因科技導入介紹 ●訓練回饋與交流
10月6日(四)	法國至台灣	返程
10月7日(五)	法國至台灣	返程

參、工作內容

一、 近地表處置設施基本安全概念

處置設施最重要的安全目標為防護人類與環境受到游離輻射危害，防護概念可由以下 3 點達成：

1. 控制人員曝露劑量，並管制放射性物質外釋至環境
2. 限制各種可能導致放射性物質失去控制的事件
3. 倘若災害事件發生，要盡可能抑制災損

在此概念下，處置設施長期安全的 2 個核心防護概念為「圍阻」與「隔離」廢棄物，圍阻是指藉由物理結構或方法來防止或控制放射性物質外釋或擴散，圍阻的直觀想法可以想像成將放射性物質放在一個密封盛裝容器內或工程障壁內，避免與限制放射性物質外釋至環境中；隔離是指將放射性物質存於遠離人類生活圈處，讓人類難以接觸，降低人類無意入侵事件發生。除了處置長期安全的考量外，運轉期間亦要考量運轉期間之工作人員防護與劑量分析。因此，處置計畫的安全評估執行流程框架如圖 3.1-1，藉由安全評估來確保處置設施之設計符合各項安全指標與法規要求，且將安全評估結果回饋至處置設施設計，並藉由不斷的研發、實驗與調查成果，反覆疊代式的執行安全評估，逐步削減各項不確定性因素，論證各項評估依據參數之可靠度，使處置安全系統更加穩健。

此外，當處置進入長期封閉階段時，封閉後安全功能主要仰賴(1)廢棄物體特性、(2)處置工程設計與(3)場址地質環境，透過多重安全功能防護機制，達到深度防禦之目標，使處置安全系統設計更加穩定，同時處置系統設計應盡可能簡單化或模組化，有利於建造或論證各項安全功能。然而，長時間尺度下，廢棄物體與工程障壁提供之安全功能可能逐漸喪失，故在長期安全考量還有一項重要的考量項目為「廢棄物活度總量」，藉由管制活度總量，特別是針對長半化期核種將有助於長期處置安全，因此在研發階段應特別掌握長半化期核種遷移特性。

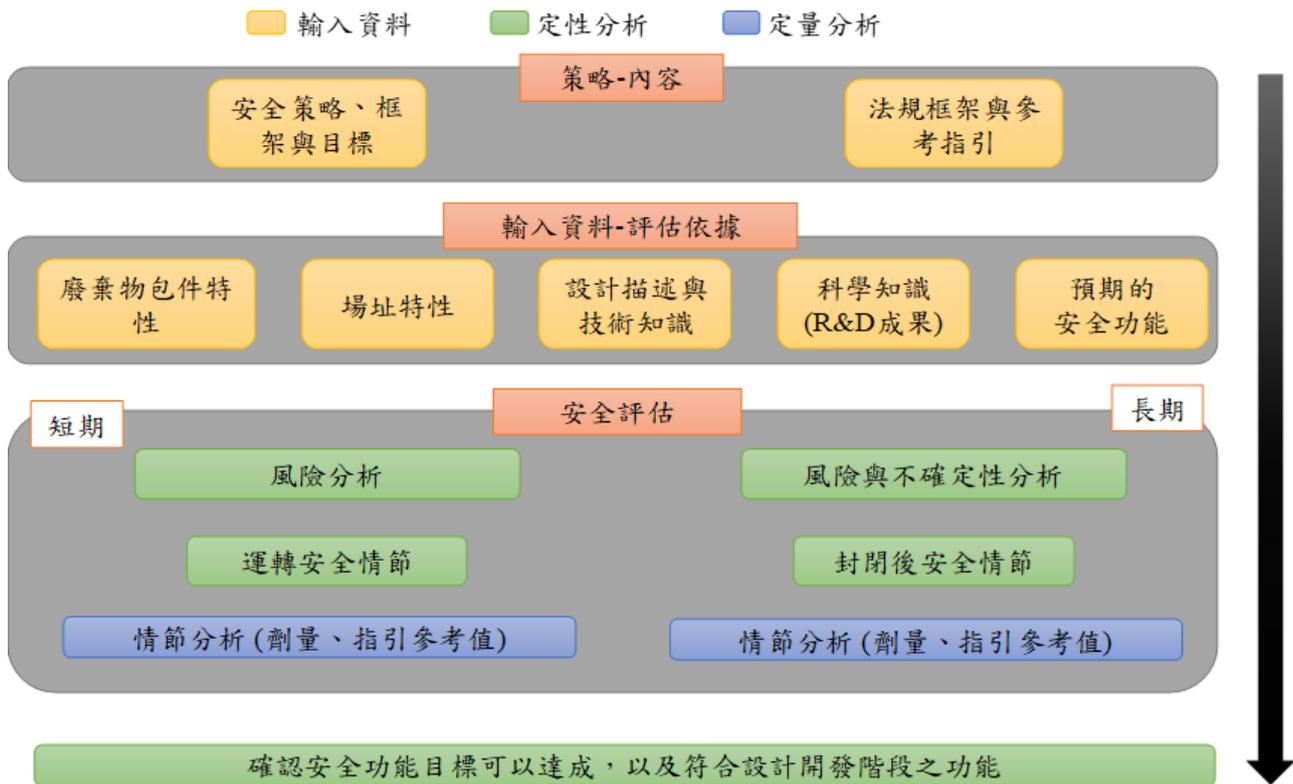


圖 3.1-1 安全評估執行流程框架

(一) 運轉安全

低放處置場運轉安全考量與核能電廠運轉安全相仿，主要考量的安全項目有防止放射性物質擴散風險、避免人類受到輻射曝露與管理輻射裂解氣體，而這些安全項目會受到以下風險類型影響，其中外在因子可藉由在處置場選址過程盡可能避開影響因子，其餘風險因子則在設計階段透過設施功能設計來降低潛在風險：

1. 內部與核能相關風險因子：游離輻射、圍阻性與輻射分解等
2. 內部與核能不相關之風險因子：火災、操作、爆炸、輔助安全功能失效、人為因子等
3. 外在因子：地震、洪水、氣候變遷與飛機失事等



圖 3.1-2)，主要安全風險為廢棄物造成的游離輻射曝露，而造成的災害風險有運送車輛導致失火，或是游離輻射導致相關罹癌風險。對於這些危害風險，可採行的安全防護機制有：

1. 限制曝露源：降低射源活度，例如降低廢棄物裝載量、稀釋、等待活度衰變等
2. 管理事件：估計放射性物質造成的劑量影響
3. 限制災害：使用額外的輻射防護屏蔽

前述所提之安全防護機制為基本概念，整體作法仍需考量整體處置策略，例如限制曝露源雖可有效降低游離輻射曝露源，但卻可能導致廢棄物數量增加、運轉時間增加或是國家法規不允許稀釋作業。

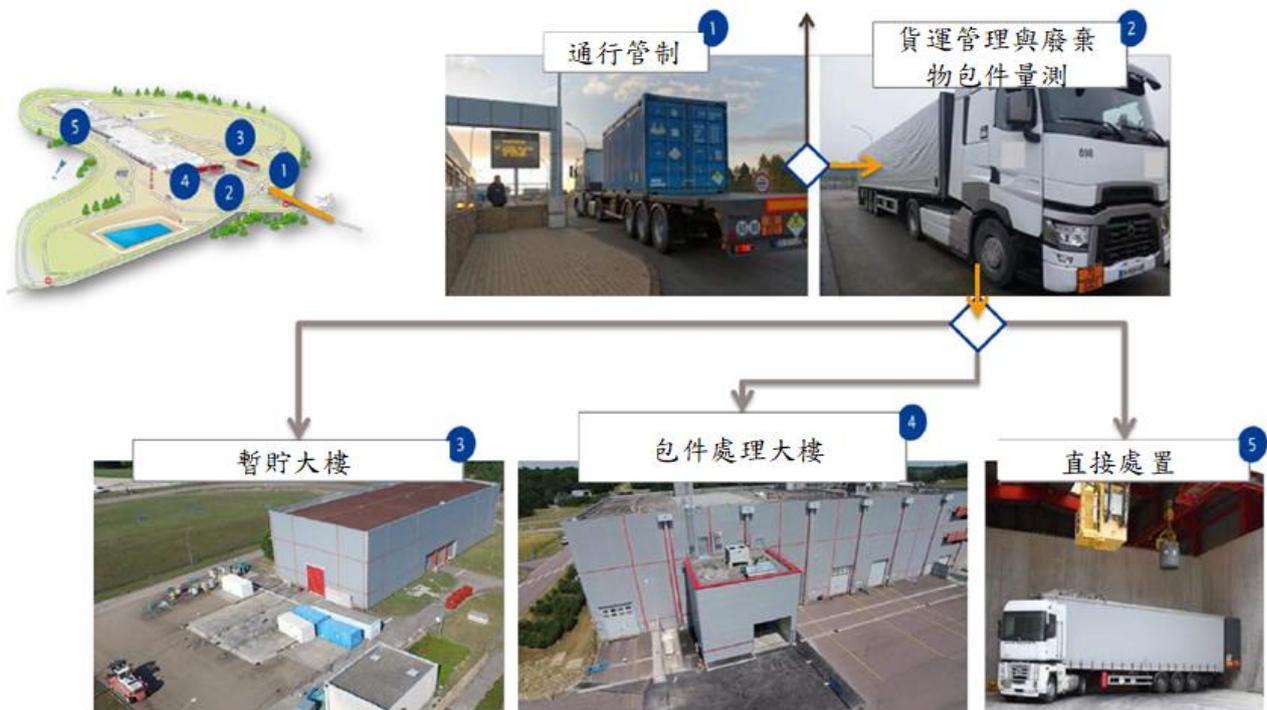
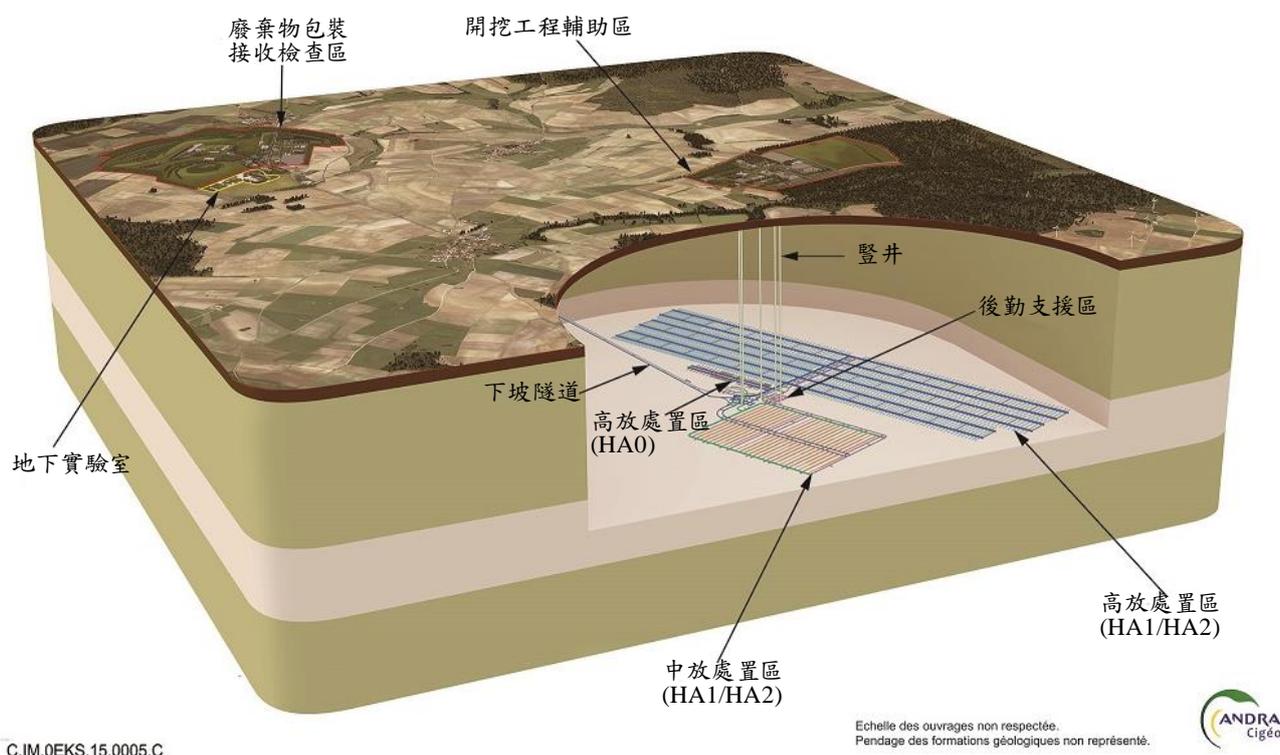


圖 3.1-2 法國處置場接收作業流程

(二) 封閉後長期安全

封閉後的長期安全設計應該盡可能採用「被動防護」設計，代表著當處置場解除監管後，安全功能可不依靠人員維護。因此，透過盡可能將廢棄物「隔離」於人類活動範圍，而不是倚靠主動監管作為是一項重要的被動防護安全功能。對於放射性廢棄物處置，國際原子能總署(International Atomic Energy Agency, IAEA)對於中放射性廢棄物建議採用中深度處置(數十公尺深)，對於高放射性廢棄物採用深地質處置(數百公尺深)，其處置深度之概念即為希望將廢棄物盡可能遠離於人類生活環境，達到廢棄物隔離之安全功能。課程中，

講師以法國 Cigéo 深地質處置作為案例介紹，Cigéo 位於法國東北方，沿著 Meuse 和 Haute-Marne 邊界興建，預定深度為 500 公尺來達成隔離目標，規劃用於處置中放長半化期廢棄物與高放射性廢棄物，設計概念如圖 3.1-3。除了深度考量，在處置場選址程序中，可透過限制處置場設置於人口稠密處，避免處置場受到人類生活影響。



資料來源：修改自 ANDRA (2017)

圖 3.1-3 法國 Cigéo 深層處置概念設計圖

另一項被動防護安全功能為「一、(一)運轉安全」所提到的「廢棄物活度總量」管制，藉以從源頭限制放射性核種遷移至生活圈之總量，此外亦可靠工程障壁(例如建置處置窖、低透水層)與自然障壁(低滲透性、低水力梯度)，延緩核種遷移速度，使遷移至人類生活圈之核種減少，進而降低對人類劑量影響。

(三) 選址計畫

一般而言，選址作業可分為 4 個階段，各階段對應之工作內容示意如圖 3.1-4：

1. 第 1 階段：規劃作業

此階段為對於選址作業進行整體規劃，包含規劃選址進度里程碑與社會參與方式，並且納入想要或排除的場址特徵。對於處置場址位置，或許會直觀認為在既有核能設施附近進行處置，如此便可透過核能設施相關監測與人力來確保處置安全(主動管理方式)，然而核能設施的生命週期為 40 年至 60 年，處置的生命周期卻長達數百年，當核能設施關閉後，處置設施的安全管理將會出現問題。此外，還需考量場址位置可能受到政治或國境邊界的影響。因此，在執行選址規劃作業時，須從不同面向進行通盤考量。

2. 第 2 階段：場址調查

延續第 1 階段對於場址特徵目標，進入調查階段確認潛在場址區域，並以客觀的角度比較成本與時間效益。實際啟動調查前，應先列出「選擇標準」，通常內容包含「禁置標準」與「有利標準」，若能納入廢棄物型態與處置概念將可加速調查規劃。

3. 第 3 階段：場址特徵化

檢查與驗證場址負責的安全功能是否可以實現，同時將調查結果繪製成調查地圖，以及列出潛在影響安全功能的場址不確定性，最後將特徵化資料彙整成處置系統設計所需之參數資料，藉以調整工程障壁設計。

對於場址特徵化，IAEA SSR-5 要求 15「處置設施場址特徵化」提到：「處置設施之場址特徵化必須足夠詳細達到可以支援了解場址一般特性與場址隨時間演化特性，內容應包含(1)現況、(2)可能的自然演變與自然事件，以及(3)在關心的時間尺度內，附近可能影響設施安全之人類計畫與活動。同時，必須具體理解對於與場址和設施相關安全影響的特徵、事件和作用(Features, Events and Processes, FEPs)」。從 IAEA 要求內容可以知道，場址特徵化成果將與處置安全評估息息相關，因此在場址特徵化階段會先執行整體系統初步安全評估，可作為確認安全評估所需之數值模擬參數在場址特徵化階段有完整取得。在場址特徵化階段結束時，對於潛在場址進行排序，並且呈現地質環境、人類活動等資訊供決策使用。

4. 第 4 階段：確認場址

確認場址負責的安全功能可被實現，並且描述可能影響 1 個或多個安全功能的場址不確定性，並檢核安全論證的穩健性，最後將處置系統最終設計所需之參數定案，並評估工程障壁系統的性能。

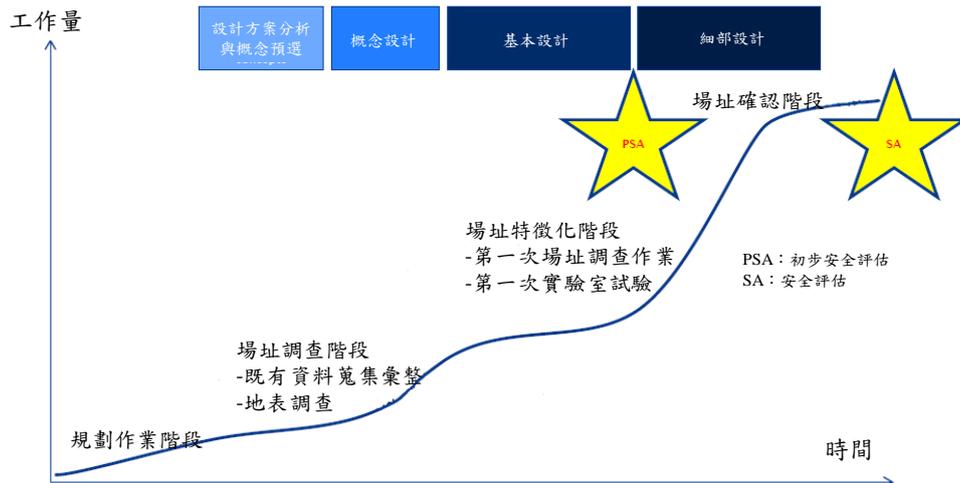


圖 3.1-4 選址計畫不同階段之工作內容示意

場址調查作業是個疊代式循環的過程，每次完成場址調查與特徵化分析後執行安全評估與回饋至工程設計，確認各項參數並擬定下一次循環要著重的調查項目，逐步縮小調查範圍及削減不確定性，最終提出完善的資料供決策者執行決策。

課程中，Andra 講師提到，Andra 依照各項選址策略提出潛在場址供法規單位與當地政府決定，接著進一步針對特定場址進行細部調查後，再給決策者決定最終處置場址。此作業流程與台灣選址程序相似，台灣選址計畫依照相關禁置標準、廢棄物預估數量與處置概念，篩選出建議候選場址供當地政府與當地公民決策，俟決策通過後執行細部調查作業。

二、 處置設施設計

近地表處置設施(Near Surface Disposal Facility, NSDF)之設計是一個管理過程，目的在於：

1. 定義 NSDF 的需求與要求
2. 識別 NSDF 組件，以及在設施生命週期內，這些組件的整體處置系統性能中的作用
3. 識別與收集作為設計與功能評估之輸入資料
4. 提升設計以滿足安全與功能目標

要達成前述目的，可藉由「功能分析(Functional Analysis)」幫助，功能分析與安全評估有密切關連性，並且從處置設施興建、運轉到封閉後全生命週期都可適用功能分析。最後，再藉由將處置設施進行結構分解(Product Breakdown Structure, PBS)，將各個項目拆解後與安全功能整合。

(一) 功能分析

功能分析是一種簡單的方法學，藉由定義功能來設計系統，此方法論的一個要點為區分功能間的差異性，來表達要從「問題的角度」分析所需解決的問題目標，以及從「解決問題的角度」來表達實現這個目標之方法，所需考慮的設計系統範圍包含來自外部與內部所提供的功能。因此，功能分析的好處在於是以描述需求面出發，而不是著重於描述解決問題的技術，減少過程中無效的設計疊代，讓管理者更容易掌握經費預算。

基本的功能分析概念為「辨識目標的預期功能，以發展出符合用戶需求的答案」，其中「需求」指的是開發一個符合客戶需要的成果；「用戶」是指為了個人或團體構想出的成果或系統，而他們會在特定的時間點使用到這個成果或系統至少一項功能；「功能」為系統或子系統預期功能。從這個概念，可以擴展至各項領域使用功能分析，而不僅限於運用在處置領域。功能分析的目標為(1)識別與詳述用戶需求、(2)正式描述這些需求、(3)選擇最佳解，可從不同的角度出發，分析出最佳的選擇，例如從性能與成本的角度探討(產品或成果對功能的價值)，或是從系統整合性探討，或是組織企業文化等，與(4)在成果(產品或系統)與解決方案間建立可追蹤的連結性。

功能分析在執行時，可分為 4 個階段，第 1 階段為蒐集計畫相關資料，例如國際指引 (IAEA 系列報告)、適用的法律與規範、相關限制條件(這些限制條件可能來自於政府、廢棄物產生者或公民團體)，以及安全議題；第 2 階段為規劃準備，例如規劃邀請哪些利害關係人與專家參加、時程規劃；第 3 階段為識別預期功能，這邊是指識別上位的安全功能要求，可藉由功能樹(function tree)、標準、性能程度或功能可變性(flexibility)制定；而最後第 4 階段為提出解決方案、評估解決方案，進而回饋與選擇前進方向。此外，執行功能分析時有一個基本原則是「從最單純的需求面去思考、我想要得到哪些答案，思考過程不要帶入既有的科技限制」，如此才可以獲得最佳成果。

以近地表處置設施執行功能分析為例：

1. 第 1 階段：表達需求

第 1 階段為詳細描述必須為 NSDF 帶來解決方案之需求、限制與要求等條件，這些條件是 NSDF 必須透過設計或組織來實現的功能。收集這些條件的過程必須是具有多領域

專家參與(如法律、處置作業、建築、環境、安全評估等)，並且這些條件必須具備正當性與可追溯性，最後再由工作團隊整合條件，更全面性的檢視條件避免產生條件衝突。

接著，描述輔助識別需求的項目，例如(1)定義處置的廢棄物盤量及型態、(2)處置場廢棄物接收服務方式、(3)廢棄物處置程序(直接處置、暫時貯存或需經過前處理)、(4)處置場建造方式(興建與運轉同時，或是全部興建完成後在運轉)、(5)設施設備維護規劃、(6)處置場人力，以及(7)環境監測作業。

最後，盤點相關要求項目，例如法規單位要求(1)劑量限值、(2)保健物理防護、(3)污水排放管理及(4)設計建造規範等；當地安全性能要求(1)運轉及監管期間限制滲水量、(2)地表水特性、(3)地下水流特性等；運轉要求(1)運送與接收、(2)處置週期與緩衝容量、(3)機具設備與安全性；處置設施結構與性能耐久性要求。

2. 第 2 階段：定義系統

對於 NSDF 定義系統範圍邊界如圖 3.2-1，系統 A 範圍包含廢棄物處理是在核能電廠(off-site)或處置場(on-site)、廢棄物包件運送方式、地表設備與處置設施；系統 B 範圍則較為縮小，限縮至運送方式與處置場間的關聯性；系統 C 則再將範圍縮小至只專注在處置場範圍內，例如處置場廢棄物處理、地表設備與處置設施。

定義系統時，須(1)精確定義廢棄物從產生到處置間之所有步驟，以識別每個操作功能執行位置，以及相關設計限制，並且(2)列出各階段所有的操作，確定處置作業過程所需的功能，以及(3)在所有的操作中，哪一項可以在 NSDF 執行、有哪些選擇性，再逐步定義出系統邊界。

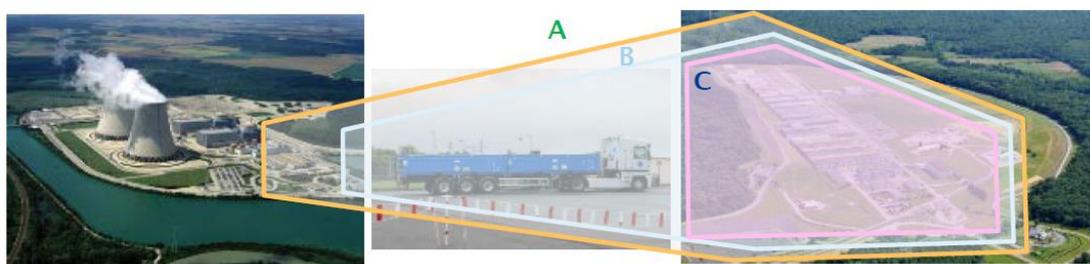


圖 3.2-1 系統範圍邊界

最後，列出每個處置生命週期階段之處置系統外部組件，並且考慮每個組件的角色與屬性在不同階段的變化，識別每個組件與處置系統間的交互關係。處置設施外部組件示意

如圖 3.2-2，而當處置場進入封閉監管階段時，因已不再接收廢棄物，因此廢棄物產生者、貯存與運送這些組件，將不會再與處置設施有關連性，此階段之處置設施外部組件如圖 3.2-3。因此，在定義外部影響組件時，需要能清楚釐清每個組件在這個階段所扮演的角色，方可識別是否仍屬於影響條件。

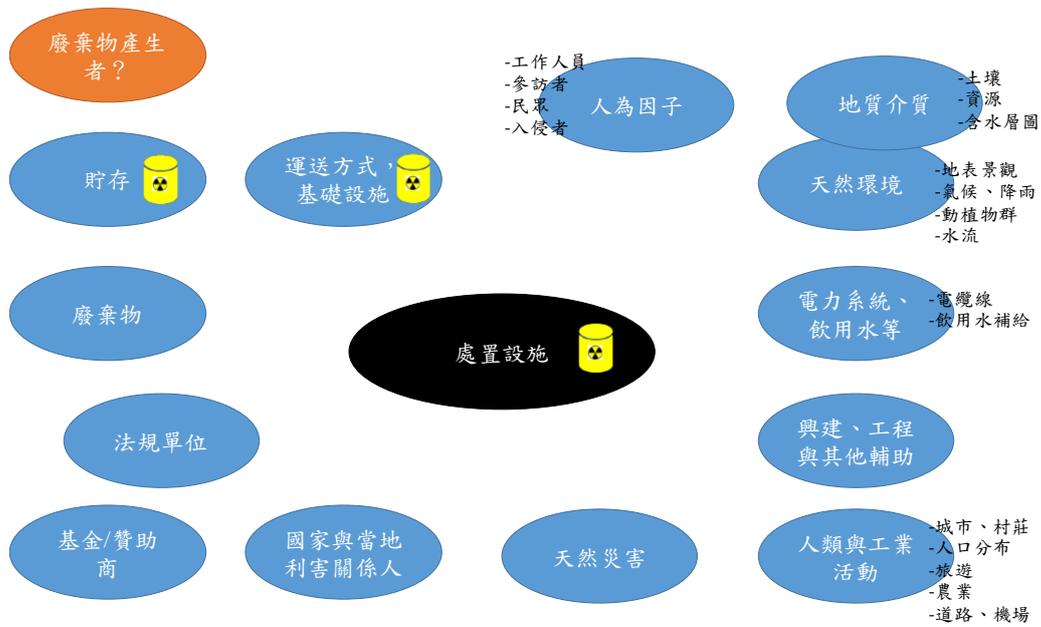


圖 3.2-2 處置設施外部組件

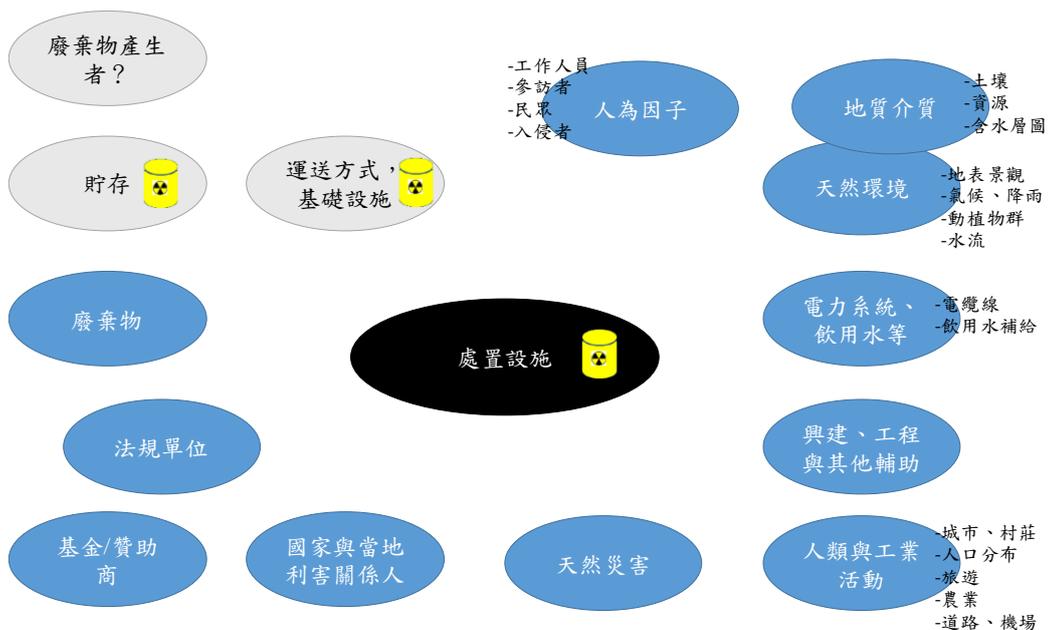


圖 3.2-3 監管階段之處置設施外部組件

3. 第3階段：識別預期系統功能

從處置設施的角度，識別需要提供的功能，例如將前述的外部組件進行分類，在興建與運轉階段(圖 3.2-4)，對於廢棄物體直接相關因子，處置設施需提供的功能與運送、處置相關；對於管制單位與利害關係人者，處置設施需提供的功能為例行性報告；對於可能造成處置設施潛在影響災害的因子，處置設施需提供的功能為抵抗這些災害；對於設施興建與生活所需的因子，處置設施需提供的功能為開發、改善與維護；對於人類與天然環境，處置設施需提供的功能為防護他們受到危害。

當然，不僅僅是處置設施提供的主要安全功能，許多外部組件間也會有相互影響及關連性，例如處置設施用於防止廢棄物對人類與環境造成的危害，這時就將廢棄物、處置設施與人類環境因子建立關聯性。

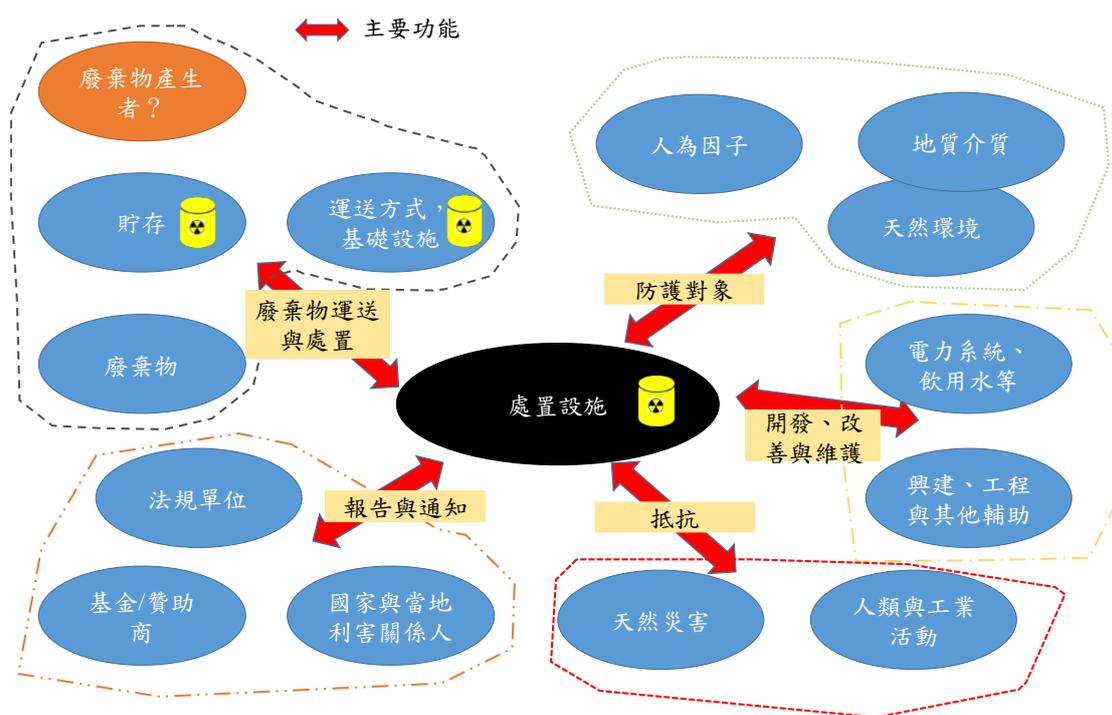


圖 3.2-4 興建運轉期間處置設施主要安全功能

4. 第4階段：分配處置設施組件

此階段為將第3階段列出的上位安全功能逐步拆解，直到每個項目都僅負責單一功能時即可停止，拆解由上至下須想著「該如何將功能拆得更細緻」，而由下而上反饋時須想

著「我為何要做這個功能拆分」，如此反覆思考可讓功能拆解更加完整與具備可追溯性。例如在拆分安全功能時，有幾個要點可以作為參考：

- (1) 專注於「防護」一詞，例如控制處置廢棄物有害物質、隔離與圍阻處置廢棄物有害物質等。
- (2) 專注於「補充」一詞(對於人類與環境)，例如保護工作人員、參訪者、民眾與環境等。
- (3) 專注於「完成」或「作用」一詞，例如防範輻射曝露、防範水污染。

(二) 產品分解結構

產品分解結構(Product Breakdown Structure, PBS)是將主要(或最終)產品列在啟始，在透過有系統性的拆解各個支項，最底層的結構為硬體項目、軟體項目和訊息項目(如文件、資料庫)，每一個底層項目有負責的工程師或經理人，而結構中的分歧點則為顯示底層資料如何彙整至上一階。例如，在討論覆蓋處置設施時，須考慮到覆蓋系統、處置窖、水收集系統與土壤，在針對各個項目去做拆解，概念示意如圖 3.2-5。透過分解結構，可將「參、二(一)功能分析」提到的末端組件安全功能代入，賦予每個結構「為何要這樣拆解與拆解目標」的意義。

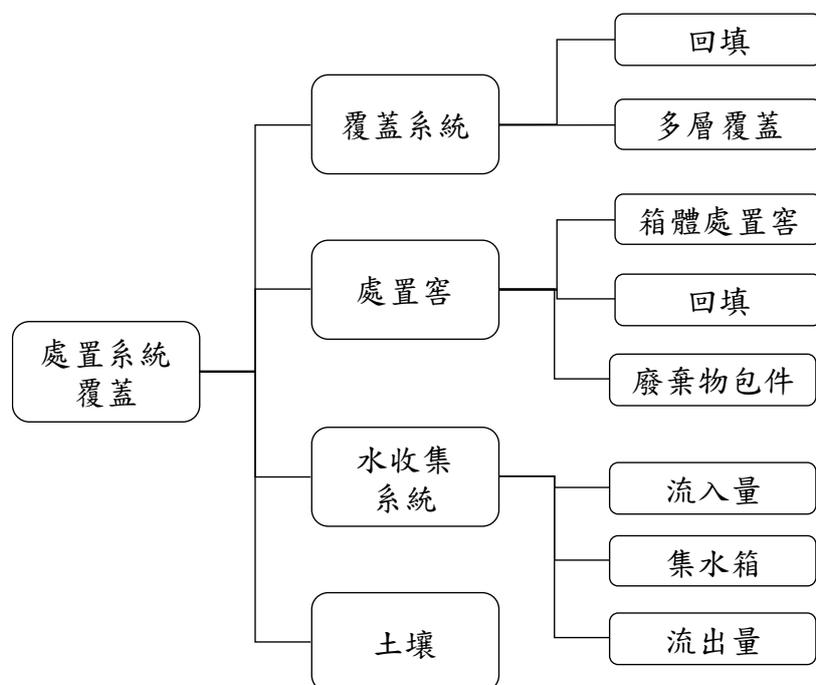


圖 3.2-5 處置系統封閉覆蓋之 PSB 示意

三、 CSA 處置場介紹

法國的近地表處置概念發展從 1984 年開始，當時發展近地表處置目的在於長期處置低放與中放短半化期固化廢棄物，透過多重障壁系統(廢棄物包件、工程障壁與地質環境)來防護人類與環境安全，而處置設施監管期以 300 年為限，並限制 α 衰變核種比活度來確保長期安全。1985 年增訂其他要求，限制只有固化廢棄物可進行處置，並且依照廢棄物特性與活度進行廢棄物處理。

CSA 為法國處置低放與中放短半化期廢棄物，處置場從 1992 年開始運轉接收廢棄物，廢棄物包件設計處置容量為 1,000,000 m³，處置場外觀如圖 3.3-1，處置區之廢棄物處置示意如圖 3.3-2，處置廢棄物時會先將移動式廠房移動至處置窖，避免處置期間雨水進入處置窖，處置窖底層設計些微傾斜角度，讓入滲水可匯流到排水收集系統，廢棄物經由移動式廠房吊車將廢棄物包件逐一吊放至處置窖，混凝土盛裝容器及金屬類盛裝容器的處置流程分別如圖 3.3-3 與圖 3.3-4，較明顯的差異在於放置完一層混凝土盛裝容器後採用砂回填，原因在於混凝土盛裝容器本身有提供安全功能，故僅採用砂回填提供力學穩定。金屬類型盛裝容器因容器在處置安全評估時不具備安全功能，因此以混凝土漿回填提供處置安全功能，回填時採用逐層回填，亦即當處置窖內堆滿第一層金屬容器後即進行回填，回填高度略高於容器，在整平後繼續下一層的堆疊。當處置窖放滿後，會蓋上混凝土封閉板作為屏蔽，等待處置場最終覆蓋作業。

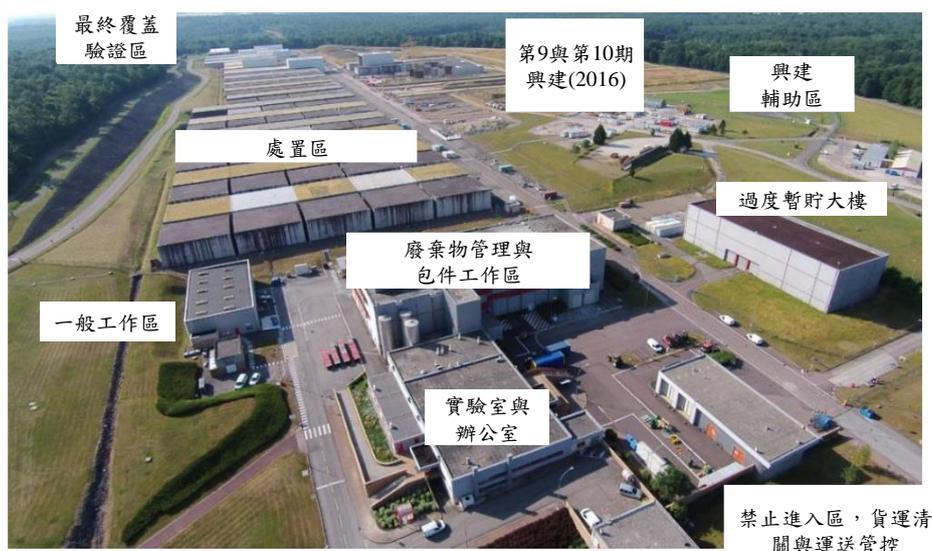


圖 3.3-1 CSA 處置場外觀

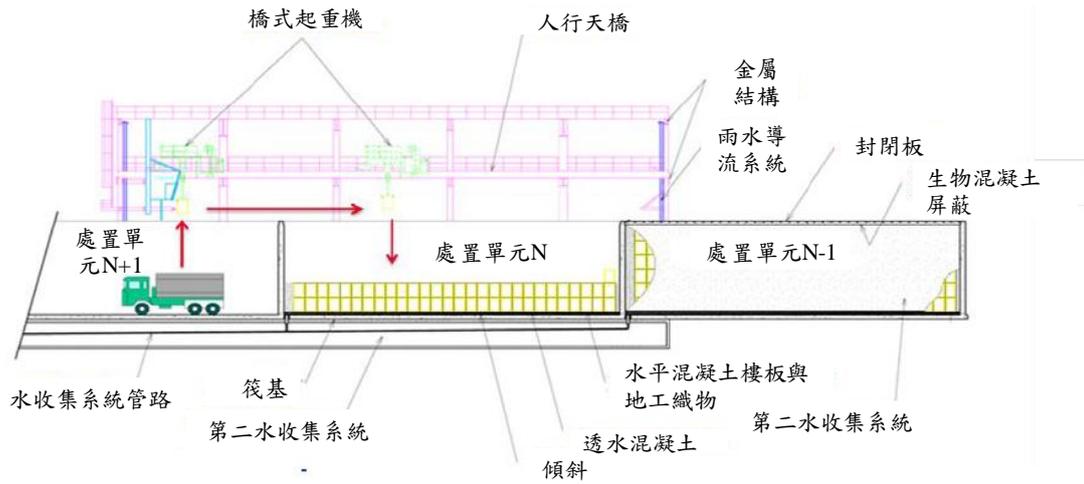


圖 3.3-2 CSA 處置區操作



圖 3.3-3 CSA 混凝土盛裝容器處置流程



圖 3.3-4 CSA 金屬類盛裝容器處置流程

覆蓋層之目的在於避免廢棄物受到不利於長期處置安全之因素影響，例如受到降雨、侵蝕或生物而影響處置安定性。CSA 處置場進入長期封閉後之覆蓋層系統設計規劃如圖 3.3-5，底層以粗粒料提供力學穩定，上層運用多重透水性差異，讓來入滲水不容易進入處置窖，Andra 設計每年的入滲量小於 10 L/m^2 。課程中講師提到，目前法國在思考不採用地工織物作為不透水層，原因在於目前尚無法論證土工織物可維持 300 年的安全功能，同時對於覆蓋層最終的設計方式，目前也還處在各項論證與試驗階段，未來將視論證成果再進行修正。

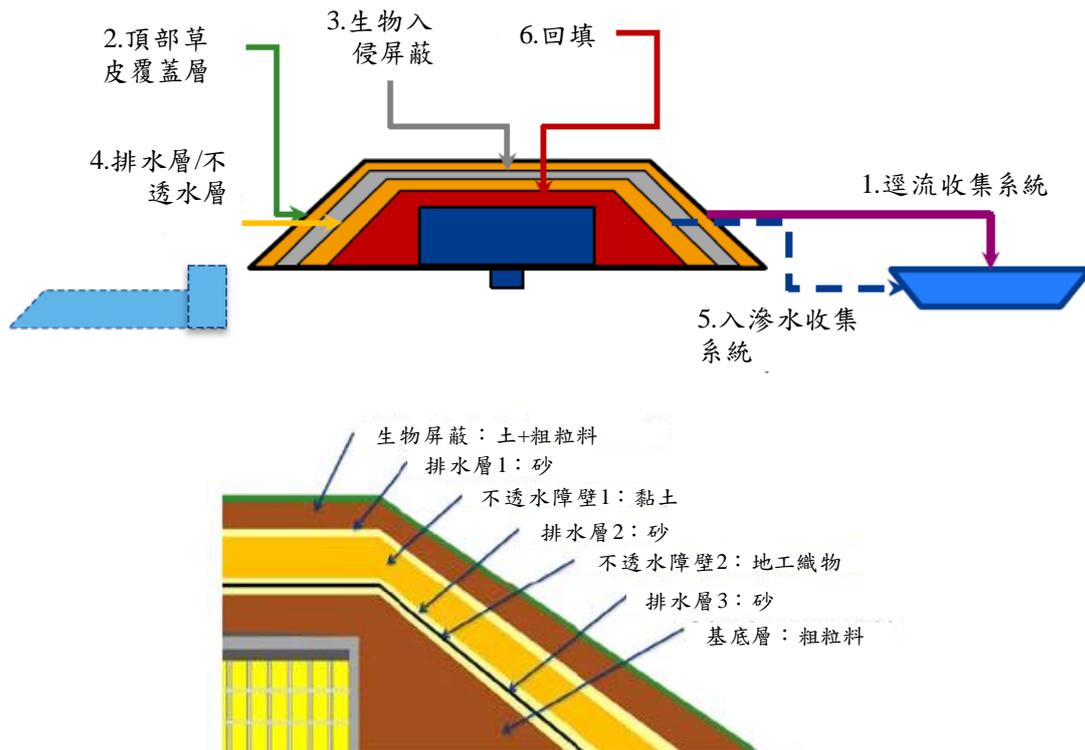


圖 3.3-5 CSA 覆蓋系統設計概念

四、 CIRES 處置場介紹

CIRES 處置場為法國極低放射性廢棄物(Very Low-Level Waste , VLLW)處置場，CIRES 處置場從 2003 年開始接收廢棄物，2012 年開始接收核能設施以外的廢棄物，並且貯存現階段沒有處置方式之廢棄物，於 2016 年開始處理與分類核能設施以外之廢棄物，廢棄物包件設計處置容量為 650,000 m³，CIRES 處置場外觀如圖 3.4-1。

由於 CIRES 處置之廢棄物為 VLLW，廢棄物危害程度較低，因此在工程障壁系統設計與 CSA 有明顯差異，CIRES 為壕溝處置系統，設計概念如圖 3.4-2。壕溝設置於地下水位面以上，底層以黏土層作為天然低透水層，壕溝內運用防水土工織物作為工程障壁，避免水入滲至壕溝內，壕溝設置監測豎井，豎井尺寸為人可進入之大小，作為取樣監測。當壕溝處置之廢棄物量達規劃目標後，會先以臨時性覆蓋層封閉該處置壕溝，待相鄰壕溝完成處置作業後，將進行最終覆蓋層作業，並進入監管階段。



圖 3.4-1 CIRES 處置場外觀

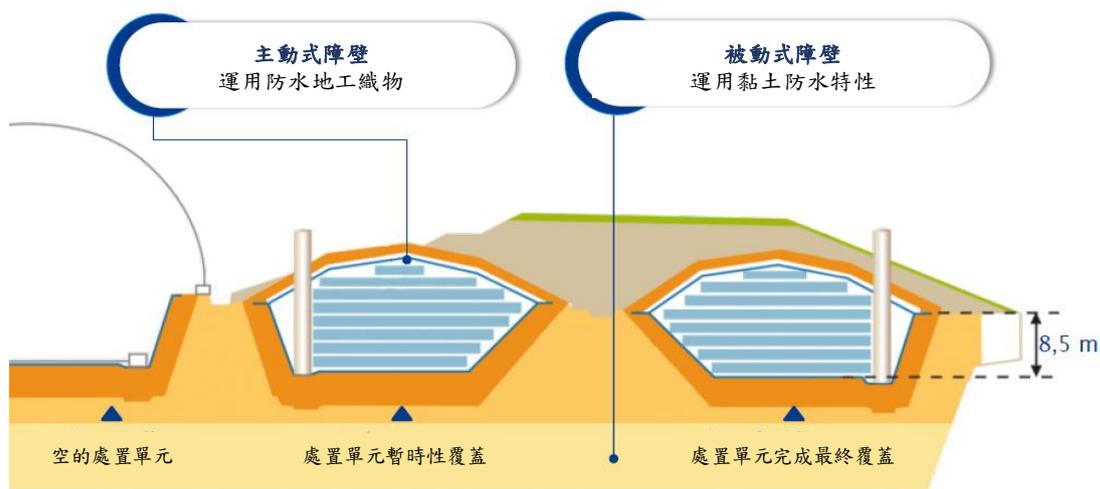


圖 3.4-2 CIRES 處置系統示意圖

CIRES 壕溝隨著不同年代有些許的修正(如圖 3.4-3)，起初 2003 年設計的壕溝長度約為 80 m，壕溝深度約 7.5 m，單一壕溝處置容量為 10,000 m³。然而，到了 2007 年提出將單一壕溝單元長度增加至 176 m，而 2010 年提出將壕溝深度從 7.5 m 增加至 8.5 m，同時將壕溝側壁傾斜角增加至 53°，最後在 2016 年提出新的設計方案為增加地表堆疊高度至 6 m，最終單一壕溝處置容量約為 34,000 m³，為初始設計的 3.4 倍。這個設計變更的過程，

最主要為增加廢棄物處置設計容量，藉以滿足接收廢棄物之需求，同時設計變更過程中藉由安全論證，確保變更結果仍符合各項安全目標。CIRES 實際處置作業狀態如圖 3.4-4。

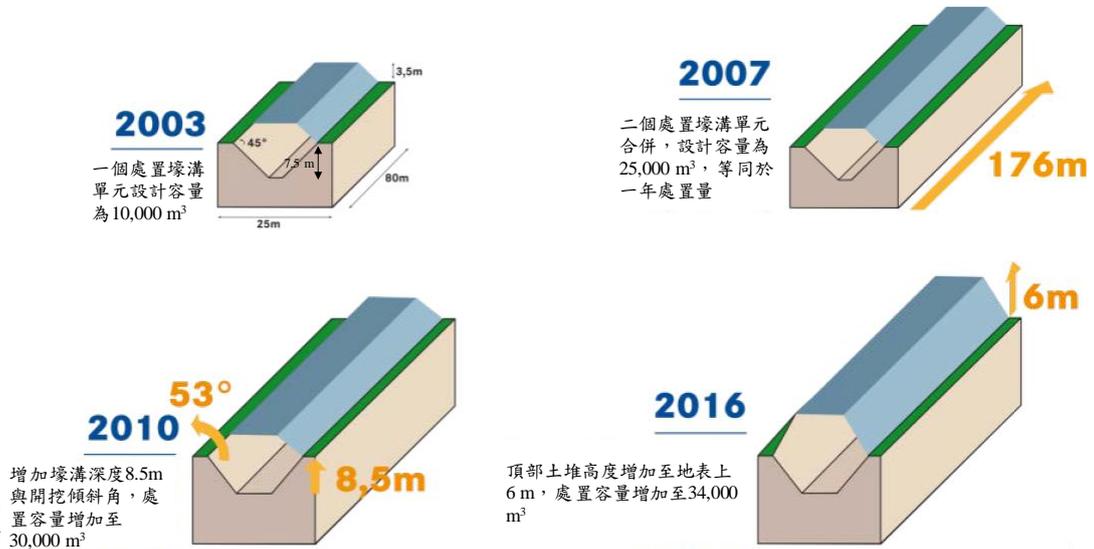


圖 3.4-3 CIRES 處置壕溝設計演變

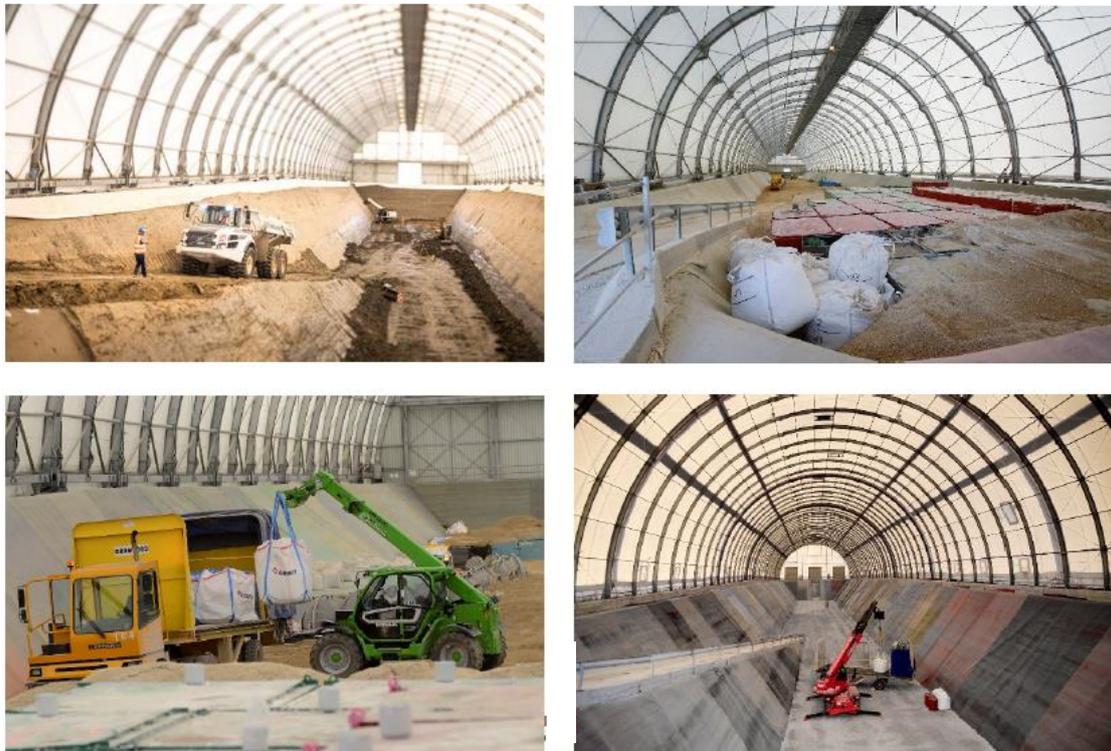


圖 3.4-4 CIRES 執行處置作業狀態

五、 處置場安全論證

安全論證是個彙整各項辯證與證據來證明處置設施的安全性，在整個處置場生命週期都應該進行安全論證，並且依(1)處置設施與運轉狀態、(2)法規符合性與安全證明與(3)設施安全考量程度改變，定期執行安全論證。這個概念如同台灣現階段的低放貯存倉庫每十年需要執行十年再評估，或者是因應日本福島事件後，管制單位有新的安全要求與設施安全性程度變更，需再進行各項論證來確保核能設施安全。

安全論證的執行架構如圖 3.5-1 所示，論證的過程是一個疊代式過程，透過這個過程來管理與削減不確定性因子，同時經由管制單位與利害關係人參與，可將這些特殊要求納入論證考量，整體論證與評估過程須納入管理系統，確保各項品質。以下對於論證架構內的幾項關鍵項目進行說明：

1. 安全論證背景

安全論證背景是將國家規範、國際要求、財務規劃與財務保證納入考量。

2. 確保安全策略

確保安全策略是實踐安全的方法，在此定義主要的安全原則與安全功能的重要性，並且探討實現各項安全目標之方式，確保處置概念與自然環境系統可以相互結合，以提供人類健康與環境安全。

3. 系統描述

系統描述內容包含自然環境、工程設計、廢棄物特性與相關不確定性。

4. 安全評估

安全評估是將處置系統對人類與環境造成潛在曝露影響的量化評估，評估內容須包含場址特性、所有安全功能與輻射風險，評估過程需考慮不同安全組件間之交互影響，並呈現這些交互影響後的評估成果，最後探討結構、系統與組件之穩健性。

5. 限制、管制與條件

指的是設施運轉與封閉須符合的各項限制、管制與條件，這些符合項目可能來自於管制單位或設施經營者承諾。

6. 整合性安全辯證

安全論證本質上就是一種整合性安全辯證，此項目的在於確認成果符合各項安全策略、強化安全信心，並且規劃下一個安全論證要解決的問題。

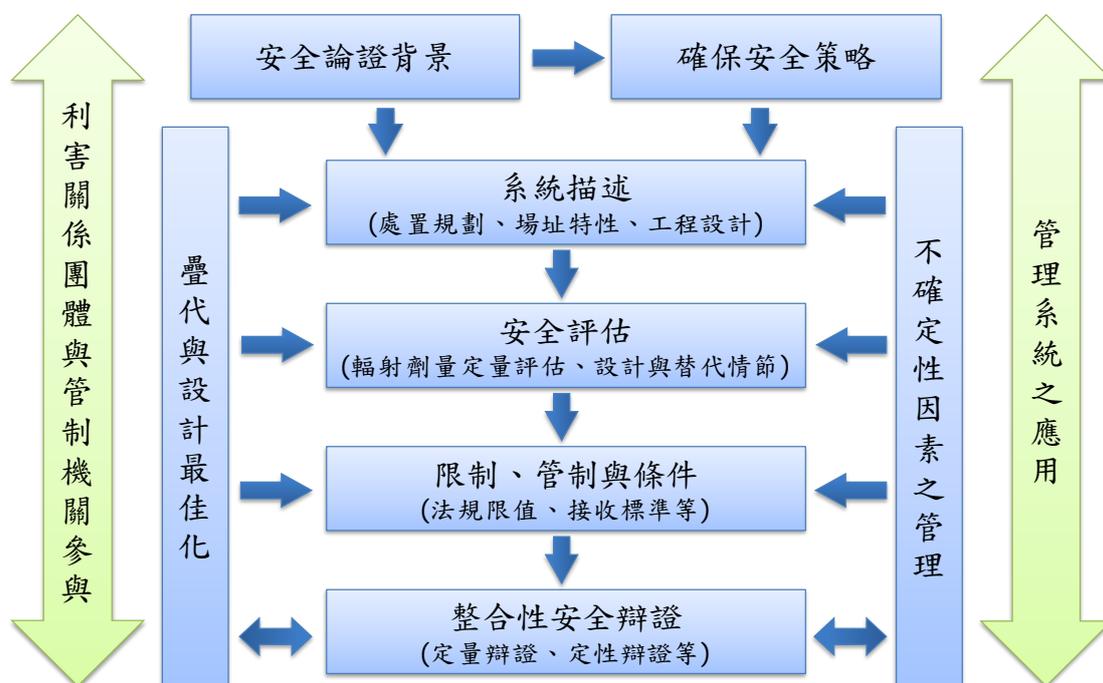


圖 3.5-1 安全論證架構示意圖

安全評估依照處置生命週期可區分為運轉期間安全評估與封閉後長期處置安全評估，運轉期間的安全評估因運轉週期一般設計為 40 年至 60 年，在這個時間尺度下屬常規工程可控範圍，且在確認掌握廢棄物與運轉作業流程的狀態下，無論是對於輻射曝露評估、土木工程建築或工程障壁執行安全評估皆相對容易。然而，封閉後長期處置安全評估，評估標的是驗證處置系統符合各項安全目標，展示處置安全系統的穩健性，因評估尺度長達數百年或數千年，因此安全評估時是基於「情節(scenario)」執行。

情節可以理解成處置系統從初始狀態開始演變的簡化描述，過程應簡單描述放射性核種如何從廢棄物體遷移至人類環境，考量遷移過程中經過的每一個組件，這些組件功能隨時間的變化，並將這些考量納入安全評估的模型與評估資料。情節制定可透過系統性的探討設計功能與安全功能，並基於現在科技、知識水平與相關不確定性，提出各種情節的可能性，再進行情節篩選。在法國情節制定中，對於極低發生率之情節，但又有可能發生的

狀態，法國以「假設情節(what if scenario)」作為評估，例如人類無意入侵情節、廢棄物包件、工程障壁系統損壞情節或低機率自然事件等。

情節制定完成後，藉由將情節各種現象概念化描述後，建置各種安全評估模型與整合性評估模型，透過數值模擬分析，探討分析成果是否符合安全設計條件。由於評估過程經過多次概念化與整合，因此須特別注意過程中的不確定性管理，並與各領域專家進行探討，分析概念如圖 3.5-2。

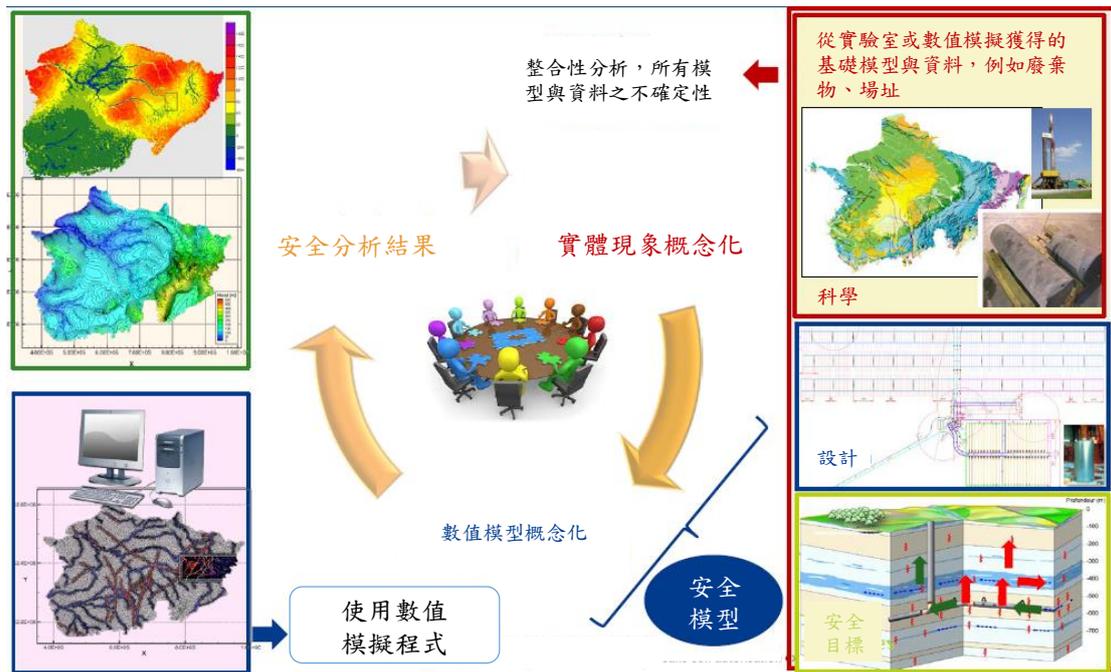


圖 3.5-2 安全論證評估情節量化分析流程

六、 處置場廢棄物接收規範

廢棄物接收規範(Waste Acceptance Criteria, WAC)確保在整個處置生命週期間，無論是短期的廢棄物處置操作作業或是長期廢棄物處置，都可以符合處置安全要求。每座處置場之接收規範皆為獨一無二，原因在於接收規範在制定過程會考量場址特性、設施設計、管制單位要求、廢棄物產生者需求與處置廢棄物特性等條件，再經由安全分析檢核是否符合各項處置安全指標與利害關係人需求。廢棄物接收規範依管理特性，可分為概分為三項：

1. 廢棄物之物理或化學型態：例如限制自由水含量、限制有毒或有害物質、限制化學組成等。

2. 廢棄物包件輻射特性：例如限制表面劑量率、限制最大活度、限制表面污染、廢棄物活度均勻性等。
3. 廢棄物包件：須為處置場認可接收之包件。

廢棄物接收規範制定程序如圖 3.6-1，首先基於廢棄物盤量與特性，透過功能分析(3.2.1 節提到)定義設施設計需要的安全功能，進而完成初步設施設計(圖中①)，並且基於廢棄物源項特性進行初步安全分析(圖中②)；第二階段為將設施概念設計成果作為評估參數，納入安全分析計算(圖中③)，並將分析結果回饋給設施設計，探討是否需要再次調整設計以強化安全功能(圖中④)；第三階段為將處置設計成果與安全分析成果回饋至廢棄物盤量(圖中⑤與⑥)，探討是否須將廢棄物盤量與特性進行限制，例如設施設計僅可吊運 25 噸的重量，因此廢棄物包件重量不得超過 25 噸，又或是安全分析結果顯示僅可接收 VLLW 廢棄物，進而限制廢棄物核種盤量；第四階段為確認廢棄物盤量與特性、設施設計與安全分析之間，是否還有額外的規範或安全準則須要納入考慮(圖中⑦)；第五階段為將前述各階段分析條件與要求彙整後，制定廢棄物接收規範(圖中⑧)；最後第六階段為一個疊代機制考量，當設施產生設計變更或接收廢棄物型態、盤量改變時，須重新檢討廢棄物接收規範之合適性(圖中⑨)。

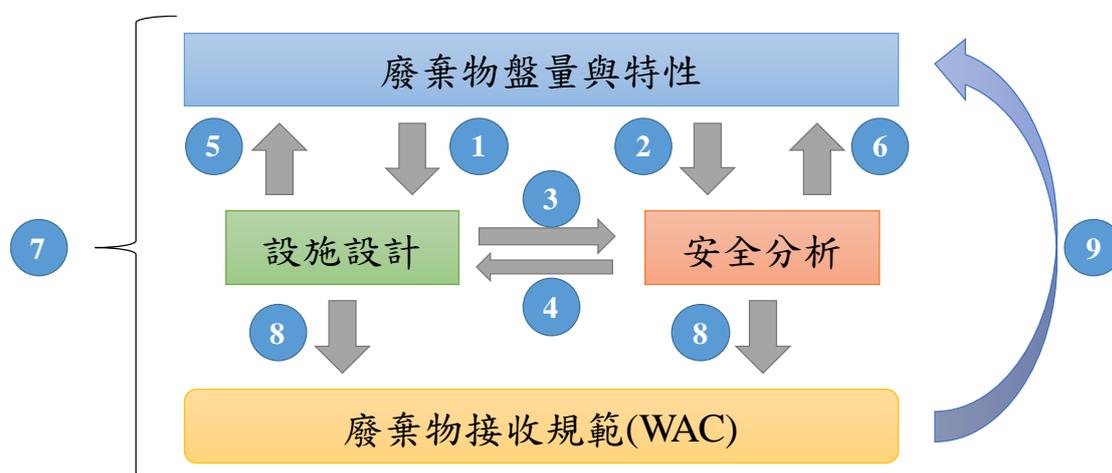


圖 3.6-1 廢棄物接收規範制定流程

廢棄物接收規範在訂定時，會將安全餘裕納入考慮，舉例來說，假設接收規範要求 55 加侖桶內之 ^{14}C 活度不得超過 10^4 Bq ，但今天接收的 55 加侖桶內是含有 ^{14}C 活度達到 $5.0 \times 10^4 \text{ Bq}$ ，那是否意味著這個 55 加侖桶就不能接收？Andra 講師提到，大多正常狀態下，

接收的廢棄物都要符合 WAC，因為 WAC 已經是基於處置安全、管制單位要求與廢棄物製造者需求經協商後訂定，因此基本上不能有任何理由不遵守。然而，針對這些少部分不符合接收規範之廢棄物狀態，Andra 在收到廢棄物處置申請時，會透過安全評估作業，確認是否仍在處置場設計安全餘裕的考量範圍內，若符合設計安全餘裕範圍內，則仍可以接收此廢棄物，若不符合則不接收此廢棄物。這種安全餘裕的設計概念如圖 3.6-2 所示，Andra 會要求廢棄物製造者對於包件所有的管理條件，而在廢棄物接收規範制定會在管制單位要求與廢棄物製造者之間取得一個平衡，藉以因應少部分不合規的廢棄物包件。然而並非所有的接收規範條件皆可放寬，例如對於自由水的含量，因為水是處置安全考量重要的議題，因此對於自由水的含量，可能管制單位要求、WAC 規範與廢棄物產生者包件條件可能非常的相近，是沒有保留任何的餘裕空間。

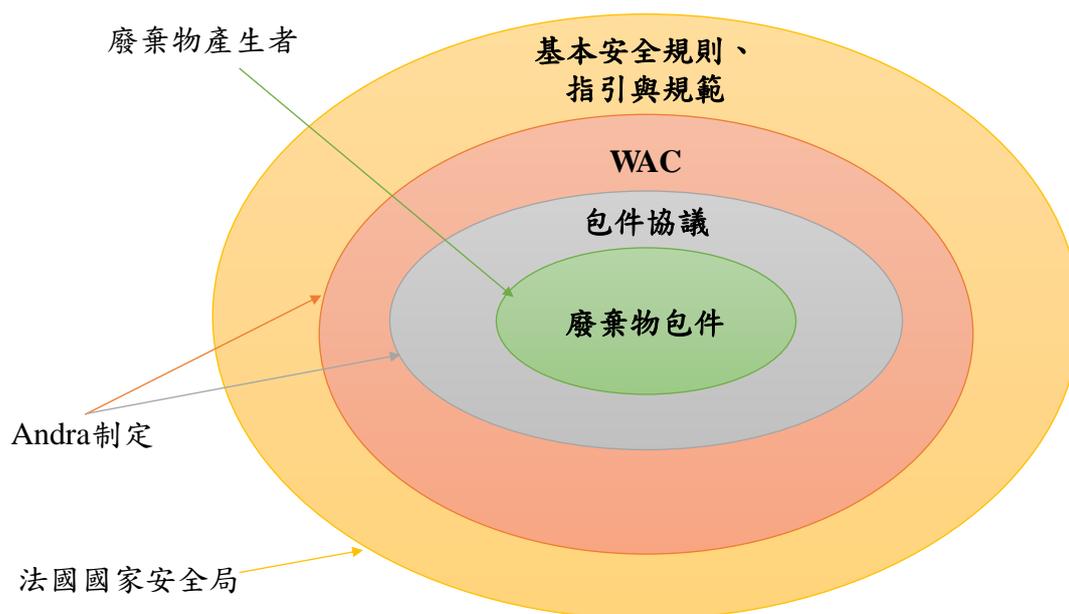


圖 3.6-2 安全餘裕設計概念

送到處置場之廢棄物，Andra 會進行廢棄物包件品質檢驗，以 CSA 處置場為例，會透過檢視廢棄物盛裝容器外觀完整性、X 光或 γ 射線斷層影像檢視內容物之異質性與均勻性、或是執行輻射度量這些非破壞性檢測(如圖 3.6-3)，或是年度隨機取樣進行破壞性檢測分析，確認廢棄物產生者送出之廢棄物是否符合規範。



備註：由左至右，分別為廢棄物包件外觀完整性檢測、X 光透視檢測與輻射度量。

圖 3.6-3 Andra 廢棄物非破壞性檢測

對於送出不符合接收規範之廢棄物產生者，Andra 也有懲罰機制，Andra 會要求廢棄物產生者提出檢討報告，釐清發生問題的原因與改善措施，並將廢棄物產生者列為觀察名單，若再持續發生廢棄物處理不符合接收規範，將對廢棄物產生者終止處置作業服務，需再重新取得廢棄物處理驗證。這對廢棄物產生者是個非常嚴厲的懲罰，主因在於廢棄物產生者要獲得這項驗證，通常需要耗費 1 至 3 年的時間，過程非常繁複，且須接受 Andra 的各項稽核與文件往來審核作業，而期間廢棄物產生者需暫時性自行貯存廢棄物，將可能影響貯存空間是否足夠或需要執行更嚴格的廢棄物管理程序。因此，就 Andra 提出的經驗，一般廢棄物產生者都會非常認真的正視廢棄物處理，確保廢棄物處理成果可符合處置場要求。

七、Orano 訓練課程

Orano 為法國能源公司，前身為阿海瑛公司(Areva)，於 2018 年正式改名為 Orano，主要業務專注於核能產業，具備鈾礦開採、用過核子燃料再處理、核能電廠運轉、廢棄物管理、核能電廠拆除作業與核子醫學等經驗，並協助法國運轉 CSM 處置場，具備從核能事業前端至後端之各項實務經驗，並參與廢棄物生命週期各項業務(圖 3.7-1)。

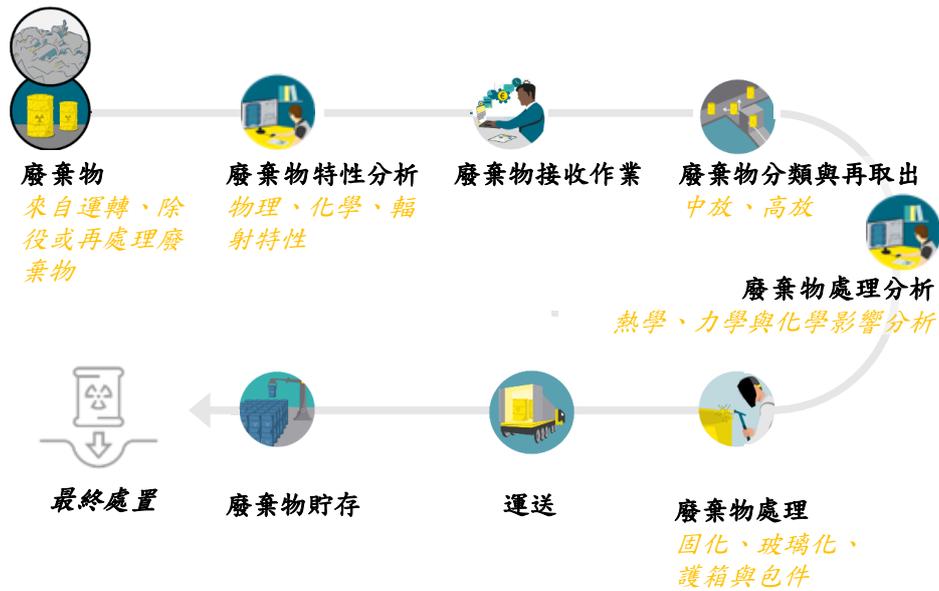


圖 3.7-1 Orano 參與廢棄物生命週期之相關業務

Orano 訓練課程相當豐富，依照課程屬性可概分為二大類：

1. 廢棄物管理議題

Orano 具有運轉電廠與用過核子燃料再處理廠之身份，本身為廢棄物產生者，因此對於廢棄物處理、盛裝容器選擇與開發，以及輻射度量等廢棄物管理議題具有相當多經驗，訓練課程中分享 Orano 如何管理廢棄物之經驗與作法。

2. 設施興建設計議題

設施興建設計是從另一個角度切入廢棄物管理，探討興建一座核能相關設施，從概念設計、基本設計至細部設計間須考量的差異性，以及各個領域團隊如何在同一個溝通平面上執行，降低相互衝突，以及如何解決衝突之經驗分享。

(一) 廢棄物管理議題

法國廢棄物管理可分為 3 個單位，第 1 個為安全管理單位(ASN)負責貯存與處置管制標準，以及核種廢棄物盛裝容器，並對廢棄物產生者定期檢查；第 2 個為廢棄物產生者，負責廢棄物處理、運送與依照個別需求提出盛裝容器申請；第 3 個為 Andra 負責處置相關業務，包含選址、設計、運轉規劃與安全評估。這 3 個單位間之相互關係如圖 3.7-2。

法國對於放射性廢棄物分類區分為極低放射性廢棄物(VLLW)、低放射性廢棄物(LLW)、中放射性廢棄物(ILW)與高放射性廢棄物(HLW)，再依廢棄物所含核種半化期特

性，分為極短半化期(主要核種半化期小於 100 天)、短半化期廢棄物(SL，主要核種半化期小於等於 31 年)與長半化期廢棄物(LL，主要核種半化期大於 31 年)。對於這些廢棄物之處置規劃，極短半化期廢棄物採用就地掩埋的方式，讓廢棄物自然衰變至無害；VLLW 廢棄物送至 CIRES 處置場進行處置；LILW-SL 廢棄物送至 CSA 處置場處置；LLW-LL 目前規劃採用地表處置，但仍處於研究規劃階段；ILW-LL 與 HLW 規劃採用地質處置(Cigéo)，但仍處於研究規劃階段，各類廢棄物與對應之處置方式如圖 3.7-3。

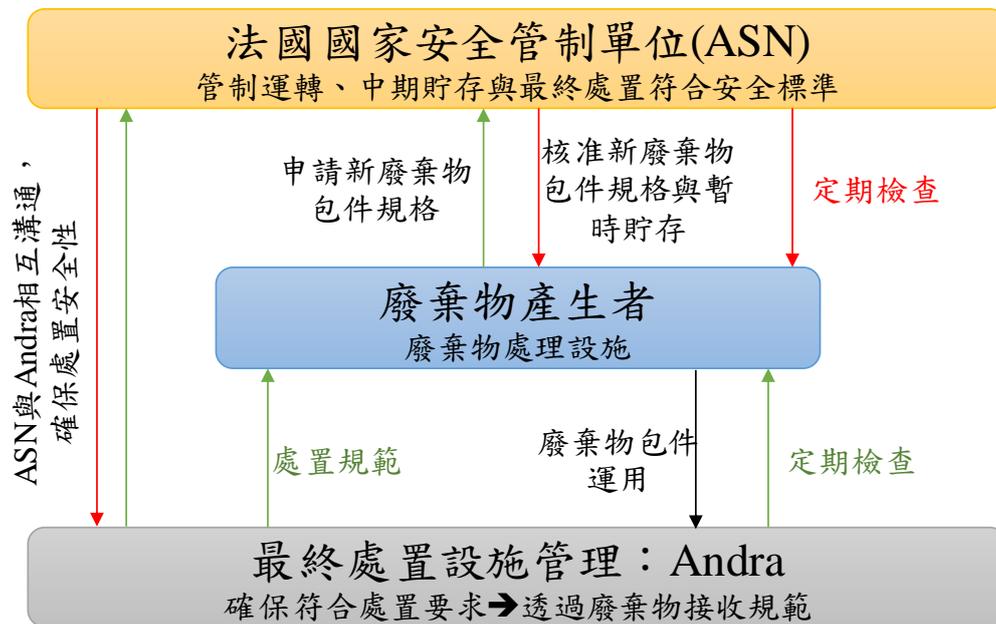


圖 3.7-2 法國廢棄物管理單位與權責

	極短半化期廢棄物，含有放射性核種半化期<100天	短半化期廢棄物，一般主要核種半化期≤31年	長半化期廢棄物，一般主要核種半化期>31年
極低放射性廢棄物(VLLW)	根據核種半化期管理 VLSL W	地表處置(CIRES廢棄物收集、貯存與處置設施) VLLW	
低放射性廢棄物(LLW)		地表處置(CSA處置設施) LILW-SL	近地表處置(研究中) LLW-LL
中放射性廢棄物(ILW)			ILW-LL
高放射性廢棄物(HLW)	不適用(0.2%)	HLW	地質處置(研究中)

圖 3.7-3 法國廢棄物分類與處置規劃

法國對各種放射性廢棄物所採用的廢棄物包件已有明確的制定(圖 3.7-4)，因此一般而言，廢棄物產生者都依循這些規定裝載，確保處置場可以接收廢棄物。然而因應特殊需求，或者是有新的廢棄物型態產生，廢棄物產生者可向管制單位提出容器使用申請，並提供相關容器安全佐證資料，例如墜落對廢棄物包件的影響(圖 3.7-5)，法國管制單位可以接受採用數值模擬的方式分析墜落造成的影響，原因在於分析軟體在過去已透過試驗驗證，確認模擬正確性。



圖 3.7-4 法國廢棄物包件使用規劃

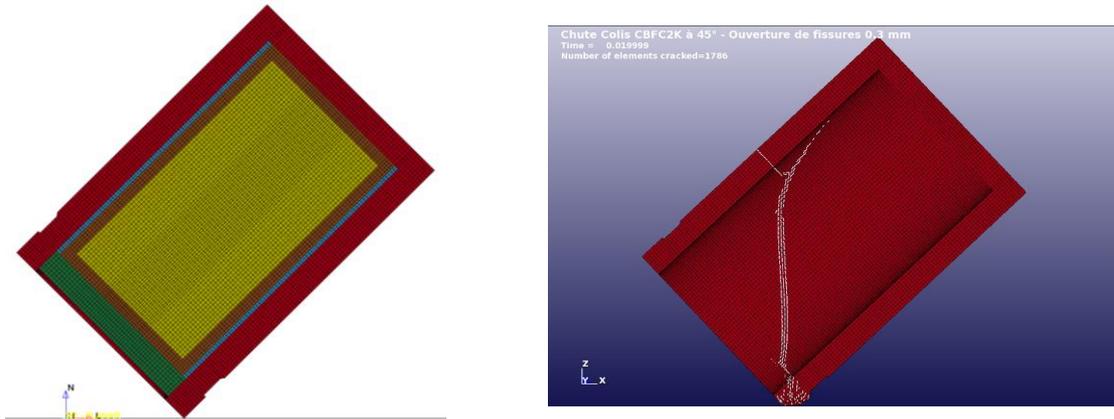


圖 3.7-5 廢棄物包件墜落數值模擬

在放射性廢棄物處理方面，可減容類型的廢棄物將進行壓縮、燃燒或熔融(melting)以降低廢棄物體積；固體廢棄物則放至盛裝容器內進行固化(通常以水泥固化)；液體或粉狀廢棄物則與其他固化劑混合後放入盛裝容器內。盛裝後的廢棄物將進行廢棄物度量，確認廢棄物所含核種、活度與表面劑量率，相關示意圖如表 3.7-1。對於廢棄物處理，台灣在廢棄物處理之作法與法國相同，透過焚化與壓縮達到廢棄物減容，而核能研究所亦有發展電漿焚化熔融作業，惟因成本與其他考量因素，目前並未廣泛使用，而固化類廢棄物則以水泥進行固化混合。

表 3.7-1 放射性廢棄物處理示意

	
<p>金屬熔融作業</p>	<p>壓縮減容作業</p>
	
<p>壓縮固化成果</p>	<p>輻射度量設備</p>

另外，Orano 為了確認廢棄物固化後之均勻性與度量的精準度，發展出特殊度量設備，採用度量與 3D 影像呈現結合的方式，分析盛裝容器內之廢棄物密度差，藉以評估是否達到均勻混合，或是度量結果是否須因廢棄物密度衰減而進行校正。

(二) 設施興建設計議題

這項議題相關的課程內容，在學習過程比較是以站在「計畫管理」的角度，去學習每個專業領域分工與能夠達到的目標，以及在一個設施興建設計過程該如何執行，Orano 執行概念如圖 3.7-6。這個執行概念與台灣相同，以要設計一個低放貯存庫為例，在基本設計階段會考量所有的設計準則與使用者需求，依照設施預定場址大小進行空間配置，並對於排水、結構、大地工程等領域進行初步檢核，確認布置與安全可行性；進入到細部設計後，建置各項細緻模型、管線配置與詳細計算分析確認安全性，並將模型整合建置在建築資訊模型(Building Information Modeling, BIM)，確認是否有設計衝突產生；對於非標準規格設備，提出製造規範供承攬商製作；最後再經由整合性安全分析成果，再次檢核設計符合各項準則。

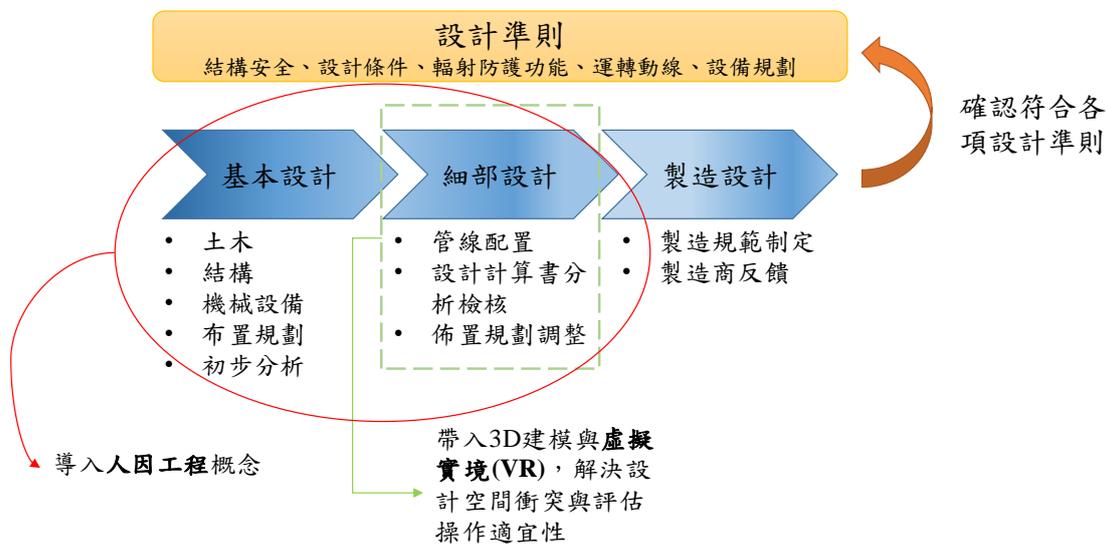


圖 3.7-6 Orano 設施興建設計概念圖

Orano 與台灣建築設計具有明顯差異的地方有幾項：

1. 虛擬實境的運用角度

台灣在建築工程虛擬實境的運用，比較常著重在展示成果、體驗或試運轉操作，然而 Orano 在虛擬實境比較常用於設計空間檢核，例如當完成一個操作空間設計，透過虛擬實境評估空間是否足以操作，或是會限制操作者身高體型；或是當兩個工作團隊對於空間設計彼此意見僵持不下時，透過虛擬實境去評估合適性。

2. 人因工程的導入

台灣在建築設計人因工程的角度，比較常是站在「稽查檢核」的角度執行，以專家或使用者經驗去評判設計的合適性，在基本設計與細部設計階段，設計相關團隊通常是以「規範符合性」的角度進行設計，而不會納入人因考量。然而，Orano 則是將人因考量獨立納入設計規劃中，在執行設計期間透過大量的訪談與經驗回饋，將人因的條件納入設計準則中，確保設計更符合人性，進而提升安全度，執行方式如透過 3D 實體模型、虛擬實地場景或虛擬實境的方式進行評估。

圖 3.7-7 呈現一個人因工程討論案例，這是一個要調整布置操作試規劃的案例，透過 3D 列印或簡易紙本模型(圖左)，接著邀請使用者參與模擬情境遊戲(圖中)，再以虛擬實地場景邀請使用者使用，藉以從中蒐集各項使用者經驗回饋，而納入設計考量。這個過程是個簡易且不須太多花費即可達成，但卻可讓設計更加完善與貼近使用者。



圖 3.7-7 Orano 人因工程討論案例

3. 整合分析模型軟體

由於不同領域數值分析模型軟體採用的建模方式並不完全相同，然而為了能快速整合或減少建模轉換的時間，Orano 除了透過建模流程與統一使用特定分析軟體作為溝通整合外，亦耗費大量研發人力自行開發模型尺度轉換工具，這將有利於節省建模耗費的人力成本。

肆、心得與建議

本次法國「低放最終處置研習計畫」透過一系列的課程內容，完整探討放射性廢棄物整個生命週期，以及學習廢棄物在不同生命週期位置所需考量的狀態，同時藉由實際赴處置場現地教授，強化對處置設施作業的理解，訓練過程照片如表 4-1。

一、心得

(一) 廢棄物接收規範的重要性

廢棄物接收規範為確保處置場長期安全的重要項目，廢棄物接收規範的制定從廢棄物源頭產生的核種盤量、廢棄物處理方式至盛裝容器選擇有完整的要求，為廢棄物產生者與處置場接收間之遵循橋樑，同時也是處置場與管制單位間證實廢棄物管理符合長期安全之溝通管道。

廢棄物接收規範制定需因地制宜，依照場址特性、廢棄物特性、處置型式、障壁系統設計等條件，經由安全評估確認符合各項安全目標後加以制定此規範，同時應依照處置運轉現況與需求或要求性改變時，進行接收規範檢討。

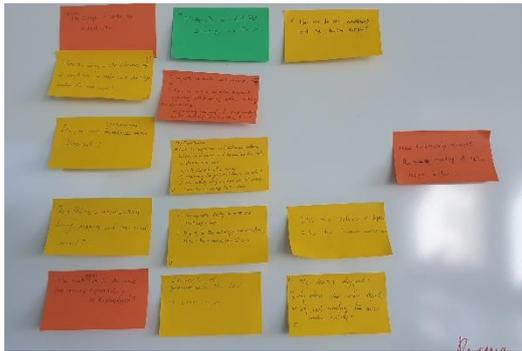
(二) 疊代式安全論證作業

處置安全評估並非為僅作一次性的評估確認安全後即可完成，處置系統是個須確保數百年至數千年安全之評估，因此隨著新的事證、新的科技發展與新的要求出現時，應再週期性的執行安全評估，藉以降低各項不確定性因子，論證處置安全系統的可靠度。同時，藉由每次處置安全評估成果，擬定下階段研究調查方向。以法國 CIRES 處置場為例，Andra 為了增加處置場設計容量這項要求，在設施完成安全評估與運轉後，仍不斷執行各項設計與論證安全性及可行性。

(三) 廢棄物管理通盤性考量的重要性

過去廢棄物管理多以核能電廠運轉的角度出發，追求高效減容的廢棄物管理方式，降低廢棄物產量與減少廢棄物貯存空間的需求，然而這項作法卻會造成廢棄物單位體積(或重量)之活度上升，導致需要採用較強壯的處置設施障壁系統，進而增加處置成本。因此對於廢棄物管理策略，在規劃思考上應更加全面，從廢棄物產生端至處置端都納入考量，從中在安全、數量與經費之間取得最佳化平衡點。

表 4-1 法國低放最終處置研習計畫之訓練過程照片

	
<p>工作坊型式，受訓前藉由回饋預期學習目標，讓講師有機會調整課程重點</p>	<p>訓練合影</p>
	
<p>訓練課程結束回饋</p>	<p>處置場現地教學</p>

二、建議

(一) 規劃廢棄物源項分析執行

廢棄物處置目的在於確保人類與環境長期安全，但在規劃上需先知道處置的廢棄物狀態，方可提出因應的安全設計，以避免過度設計導致處置成本大幅度上升。現階段，台灣低放射性廢棄物已針對低放貯存場廢棄物及核能電廠運轉期間固化廢棄物進行廢棄物核種分析，然而仍有廢棄物源項特性未完全掌握，例如樹脂、可燃、可壓、其他、除役廢棄物與小產源廢棄物。因此，對於這些源項特性尚未掌握的廢棄物，應規劃度量與分析方式，以確保處置設計規劃符合安全目標。

(二) 工程障壁系統試驗論證規劃

處置安全論證過程需要有佐證資料藉以證明評估正確性與合理性，然而因台灣處置進程仍處於選址階段，許多與現地環境相關的試驗項目仍無法進行。因此，對於工程障壁系統設計，與場址環境相依性較低的論證項目可先行規劃，例如設施最終覆蓋系統、混凝土

處置窖設計特性等，特別是部分試驗項目是需要長期觀察變化性。透過這些工程項目試驗，讓我國安全評估具備技術基礎作為支撐，降低論證過程的不確定性，並確保處置安全與可行性。