

# 低放射性廢棄物最終處置技術評估報告

## (2024年版)

### 審查報告



核能安全委員會

中華民國 114 年 12 月

[本頁空白]

## 目 錄

一、前言 .....	1
二、審查過程 .....	1
三、審查發現 .....	2
四、審查結論 .....	10

[本頁空白]

## 一、前言

核能安全委員會(下稱核安會)為積極管制低放射性廢棄物最終處置安全，於 106 年 6 月 3 日「105 年度放射性廢棄物最終處置計畫執行成果報告審查會議」決議要求，請台電公司依照國際原子能總署(IAEA) SSG-23 放射性廢棄物最終處置安全論證(safety case)導則要求，與 SSR-5 放射性廢棄物處置安全第 14 項及 SSG-29 放射性廢棄物近地表處置設施安全技術導則相關規定，與時俱進精進技術，每四年提報更新技術報告送核安會審查，以確保處置技術符合國際水平，確保公眾及環境安全。

後續台電公司依核安會要求，於 110 年 6 月 29 日提報「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告 (2020 年版)」(下稱 2020 年版報告)，核安會歷經約 8 個月的審查作業，期間辦理兩次審查會議，於 111 年 3 月 3 日函同意備查，並請台電公司依審查會議決議辦理，積極精進廢棄物特性、場址特性調查、處置設施設計與操作、安全評估等處置技術，並於 113 年底前提出經國內及國際同儕審查之下階段低放處置技術評估更新版報告，確保處置技術符合國際水平，以提升處置設施的安全性。

台電公司後續依其規劃逐年辦理及精進各項最終處置技術，並分別於 113 年上半年及下半年完成國內專家及國際同儕審查後，業於 113 年底前依限提報「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告 (2024 年版)」至核安會進行審查。

## 二、審查過程

台電公司於 113 年 12 月 30 日以後端字第 1138162488 號函提送「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告 (2024 年版)」，經核安會程序審查後，確認其報告各章節架構符合要求，可執行實質審查。核安會遂於 114 年 1 月 10 日以核物字第 1140000685 號函請台電公司提供場

址特性調查、處置設施設計與安全評估等相關技術支援報告，以確認相關技術及其評估內容，以及國內、國際同儕審查報告俾瞭解其審查情形。

台電公司續於 114 年 1 月 15 日以後端字第 1140001573 號函提送低放射性廢棄物最終處置技術評估報告(2024 年版)及相關補充資料，核安會隨即邀集 9 位相關領域專家學者及業務同仁辦理審查作業，期間歷經 4 回合審查，共提出 258 項審查意見，並辦理三次審查會議。

台電公司於 114 年 11 月 26 日函提送低放射性廢棄物最終處置技術評估報告（2024 年版）修訂五版及資訊公開版，核安會於 114 年 12 月 31 日以核物字第 1140019436 號函同意備查，並請台電公司依照本案審查意見及國際原子能總署(IAEA)相關導則要求，與時俱進精進低放處置相關技術，並於 117 年底前提報下階段經國內及國際同儕審查之技術評估報告更新版，確保處置技術持續精進並符合國際水平，以提升未來處置設施的安全性。

### 三、審查發現

核安會針對低放射性廢棄物最終處置技術評估報告（2024 年版）（下稱本案報告）之審查發現分述如下：

#### （一）整體意見及前言

本案報告與 2020 年版報告之架構及章節名稱上有所差異，應進一步說明調整原因及依據。台電公司說明其原因主要依據技術精進方向而進行調整；經台電公司說明，審查委員認為可以接受。此外，台電公司應進一步說明低放射性廢棄物最終處置計畫下一階段（2025~2028 年）之技術研發目標、重點精進項目及技術建置路徑圖，並持續參酌國際低放處置設施之設計與營運經驗，適時納入報告相關章節。本案報告架構中應說明各章節中所採用之分析方法及

使用之軟體工具，提升技術內容的可追溯性與透明度。台電公司說明將就場址調查與特徵化技術、工程設計技術以及安全論證技術等三大領域進行規劃，並說明下一階段精進研發項目；經台電公司說明，審查委員認為可以接受。

審查委員針對本項議題後續建議事項如下：有關 T-box 之相關內容，應依據申請案最新進度進行更新，以反映現況。鑑於各型 T-box 尚未獲准作為處置容器，台電公司應研擬相關因應策略並納入後續規劃。有關兩處建議候選場址之場址特性調查工作，目前推動成效有限，台電公司應強化社會溝通與民眾參與，積極營造溝通互信基礎。低放處置技術須持續規劃及精進，台電公司後續於各階段報告應補充說明相較於前一版之主要差異與技術演進重點、國內及國際同儕審查辦理情形，以及前一階段技術評估報告審查決議之具體回應與處理方式。

## （二）確保處置安全之基本考量

有關工程障壁系統之吸附功能部分，本案報告內應確認提供吸附功能之材料或構件，並補充相關實證研究與技術依據。台電公司列表說明工程障壁系統具吸附功能之材料及構件，並說明其長期安全功能設計考量；經台電公司說明，審查委員認為可以接受。本案報告內所提出 GoldSim 概念模型示意圖，應補充中文名稱與用途，並註明資料來源或參考網址，同時，應說明該模型之主要分析目的、選擇情境作為保守計算基礎之原因，以及是否因幾何結構、材料參數或其他因素所致；並應進一步釐清模型中吸附層與非吸附層之意義。台電公司於本案報告內相關圖說補充簡要說明，並加註使用手冊作為參考文獻，並說明所採用模型為求保守並未考量工程障壁系統功能，環境材料特性採用一般水文地質參數數值且不考慮吸附特性增加其保守度。經台電公司說明，審查委員認為可以接受。

有關處置設施廢棄物分類及數量估算部分，本案報告未依前一階段技術評估報告之廢棄物分類方式進行估算，應補充說明各類廢棄物數量之估算方法與依據，並將相關資料列為正式參考文獻。報告所列低放射性廢棄物預估數量，應參考主管機關網站所公布之「核能電廠低放射性廢棄物貯存現況表」，並針對目前 55 加侖桶的計算依據進行補充與修正。台電公司說明本案報告核電廠運轉廢棄物計算依據與原則，並修正報告內放射性廢棄物預估數量。經台電公司說明，審查委員認為可以接受。

本案報告所列之「廢棄物代表清單」及其所含核種，直接影響廢棄物分類，應進一步說明僅列出 16 個關鍵核種之合理性與依據，並詳述該等核種之篩選原則與目的，以及「廢棄物代表清單」與「關鍵核種清單」之用途、差異與使用時機。另本案報告多數核種初始活度仍低於 2020 年版報告之數值，台電公司應說明原因與其技術合理性。台電公司補充說明「廢棄物代表清單」與「關鍵核種清單」之用途、差異與使用時機，後續將檢討「擬訂接收標準（草案）」，將廢棄物來源所含之核種納入討論。經台電公司說明，審查委員認為可以接受。

審查委員針對本項議題後續建議事項如下：目前低放射性廢棄物最終處置場址雖尚未確定，台電公司仍應秉持自主管理精神，持續研析並精進低放處置設施廢棄物接收規範，以確保能因應實際需求彈性調整。依據國際經驗，國外低放處置設施多面臨容量不足而需擴建或另覓場址，建議台電公司於容量及空間規劃採取保守估算，以因應未來可能變動。

### （三）場址環境特徵化技術

在兩處建議候選場址環境特徵概念模型部分，台電公司應說明場址尺度、區域尺度及設施尺度各自之代表意義，以及範圍邊界劃

分之原則或依據，並說明各尺度間之關聯性。在兩處建議候選場址主動監管期初步設定部分，台電公司應考量場址特性、處置設計及情節建立等因子，並說明其設定參考依據。另岩性概念模型、地質構造模型及水文地質模型間之設定上應該具有一定之合理性與邏輯性，惟各模型之模擬成果均為各自獨立而無相關性，台電公司應再補充說明其差異性及相關性。上述各項建議候選場址環境特徵概念模型相關問題，經台電公司補充說明及修訂本案報告內相關內容，審查委員認為可以接受。

有關水文地質概念模型部分，本案報告亦僅依據地球物理之調查結果進行間接之推估，其適用性及空間解析度上之不確定性有待商榷，我國本土的現地調查與資料搜集，應有其必要性。兩處建議候選場址及代表場址之水文地質概念模型，其參數之設定應確認其代表性，參數設定之不確定性影響水文地質概念模型之有效性與正確性。地下水水流場模擬分析成果應說明是否能反映處置設施在封閉後地下水位的變化，並說明處置設施封閉後需要幾年才能達到再飽和狀態；相關之水文地質分層與厚度，以及裂隙帶寬度均需要進一步說明其設定依據，邊界之劃定與邊界條件之設定亦須明確說明。地下水水流場模擬結果顯示，本案報告分析出達仁鄉的地下水水流速較2020年版報告所得結果更快，應說明造成此差異的原因。上述各項水文地質概念模型相關問題，經台電公司補充說明及修訂本案報告相關內容，審查委員認為可以接受。

有關地球化學概念模型部分，現階段地球化學參數僅參考日本的相關研究報告，應說明在本土之適用性，建議應有屬於本土的相關地球化學資料，以供後續之分析。兩處建議候選場址及代表場址之地球化學模型資料之差異極大，除因地質條件差異之外，應強化說明其參考與假設之依據。台電公司說明地球化學本土化參數後續將採用現場調查取得的參數進行疊代式更新，並進一步校正模型參

數，提升分析結果的準確性與可靠度。經台電公司說明，審查委員認為可以接受。

審查委員針對本項議題後續建議事項如下：有關場址環境特徵化分析參數部分，許多分析成果仍係依據假設與類比推估或引用所蒐集相關之報告文獻而得，其未經驗證且具有高度不確定性，建議台電公司在下階段報告改善與精進，將地下地質的調查與相關資料蒐集列為首要的工作項目之一，並將下一期成果之目標設定在不確定性分析及降低各模型及參數之不確定性。有關生物環境概念模型部分，目前無具體成果，建議台電公司應在處置設施各階段視需要評估新增各生物環境監測項目，並完善生物環境概念模型的參數與模擬，進一步細化生物環境模型，以提供更完整的核種傳輸與生態影響評估。在場址環境特徵監測作業規劃部分，建議台電公司後續應研擬兩處建議候選場址之監測作業規劃內容及列出監測項目，並說明監測涵蓋範圍與下一階段所需完成之工作項目。

#### (四) 處置設施概念設計

有關達仁鄉與烏坵鄉兩處建議候選場址之設施概念設計部分，應說明各項設計參數之依據原則如幾何形狀、流量設計、邊坡設計等，以確認設計之合理性與正確性。多數單元項目均以混凝土材料作為吸附核種功能，應說明相關機制或實驗驗證，並應考慮長期作用下核種穿透之疑慮。台電公司說明各項設計參數主要依據前期2020年版報告中所使用的尺寸進行規劃，本案報告並重新進行應力分析，確保處置窖在不同階段的力學穩定性，並符合長期安全的要求；台電公司另補充說明混凝土材料吸附核種機制。經台電公司說明，審查委員認為可以接受。

有關處置單元運轉設施部分，次地表基礎型處置區採用200MT移動式起重機與架空吊車作為處置容器的吊掛運送及堆置設備，應

再考量處置坑道作業空間是否足夠。台電公司說明處置區運轉設備規劃已考量 200 噸移動式起重機的作業半徑、作業揚程及作業空間等需求，並進行了相應的空間規劃。經台電公司說明，審查委員認為可以接受。

審查委員針對本項議題後續建議事項如下：目前 T-Box 規劃為處置盛裝容器之一，惟尚未建立篩濾機制評估容器設計的完整性與後續技術適應性，可能影響堆疊穩定性與核種遷移風險，建議後續應再評估 T-Box 堆疊影響、回填材料的施工方法及基礎設計，以提升處置系統的長期穩定性。有關興建與運轉階段之監測作業規劃部分，建議台電公司後續應妥善規劃處置窖的外觀目視檢查、處置坑道穩定性監測及環境特徵監測之監測頻率，並考量處置設施運轉年限，依據實際使用的監測設備性能、耐用年限以及監測需求進行調整與規劃。有關監測作業及安全措施規劃部分，建議應強化運轉期間監測與安全措施及封閉後長期監測系統與安全措施之規劃，並預先擬定遭遇不確定性因素時所對應之緊急應變措施。有關處置設施監管期之設定，應再蒐集並補充國際間之法規及案例作為參考。有關處置封閉概念設計部分，應再持續檢討坑道尺寸、基礎層厚度及混凝土側壁等設計項目，以達成設計最佳化之目標。

## (五) 安全評估

有關正常運轉及異常事件之處理時間估算，應再說明各情節評估時間之參考依據。有關異常運轉情節輻射劑量影響評估部分，應再加強說明各部分異常情節之輻射計算方式，並強化數據的可靠性與進行保守估算。台電公司就各項異常運轉情節可能情境演變及對周圍居民劑量影響之計算進行補充說明。經台電公司說明，審查委員認為可以接受。

有關地質環境、水文地質與地球化學環境演化部分，應補充說

明長期演化之論述及推演分析之依據，以強化資料完整性。台電公司就各環境長期演化之論述及推演分析之依據進行補充說明及修訂本案報告相關內容，審查委員認為可以接受。

有關劑量評估結果部分，在設計情節下在封閉後 8,000 年時，達仁鄉建議候選場址 I-129 較 C-14 之最大個人年有效劑量高出約 4 個級數，烏坵鄉及代表場址 I-129 較 C-14 則均為相近，評估結果應再補充說明原因。台電公司就各項異常運轉情節可能情境演變及對周圍居民劑量影響之計算進行補充說明。經台電公司說明，審查委員認為可以接受。

審查委員針對本項議題後續建議事項如下：有關異常運轉情節評估部分，建議後續對「嚴重天然災害意外事件」之情節進行評估，以利對外說明及紓解公眾疑慮，另在火災情節且發生地點為坑道內或封閉狀況下，建議後續應增加考量火災應變相關作業風險評估。有關工程障壁系統演化盛裝容器 T-Box 部分，台電公司後續應再進行 T-Box 包件圍阻失效之分析，評估 T-Box 包件無功能時對於處置安全之影響，台電公司後續並應規劃進行場址地球化學特性調查，依據場址現地地球化學數據及材料劣化模型評估及驗證。有關 T-Box 相關異常事件之處理時間，未來應配合 T-Box 實體操作與異常事件應變演練結果進行調整。有關封閉後安全評估情節分析部分，在模式計算之參數或預測之變數設定，未來在進場調查取得場址相關參數後，應結合敏感度分析篩選重要影響因子進行不確定性分析，以評估各變數對劑量預測結果之影響範圍，提升評估結果的穩健性與可信度。有關特徵、事件、作用(FEPs)篩選與分析部分，現階段建立之 FEPs 清單後續仍須調整，而目前被排除在外的項目除應再加強說明排除原因，未來進入場址調查階段後，應須再重新審視 FEPs 的考慮或排除。有關環境特徵參考演化部分，目前各類演化評估多採用單一演化概念，然而演化過程中包含相當多的不確定性，建議

未來可以針對演化不確定性進行評估，或以不同情境進行情境的不確定性評估，以提供安全評估之重要參考。

## (六) 敏感度與不確定性評估

在敏感度與不確定性分析部分，應說明敏感度與不確定性分析之差異，並說明各項評估之關鍵因子考量主要因素。在關鍵因子分析部分，考量台灣特殊的地質環境，應將天然障壁系統之裂隙相關參數納入考量。台電公司針對敏感度與不確定性分析之差異進行補充說明，並說明待場址選定後，將進一步結合現地調查資料與水文試驗成果，針對裂隙幾何與水力性質進行現地校正，以強化天然障壁系統模擬之準確性與場址代表性。經台電公司說明，審查委員認為可以接受。

有關達仁鄉與烏坵鄉場址地下水水流場模擬部分，地下水水流為後續相關模擬與分析之基礎，惟目前水文地質相關參數無法進行不確定性分析，應說明後續模擬分析之意義，並將現地調查數據蒐集列為後續重要工作項目之一。台電公司說明相關分析流程、數值模式選用以及技術評估等內容仍須持續進行，以確保分析技術上可行，且具有可靠度。未來待正式進場調查後，便可依照所發展之技術進行相關安全論證。經台電公司說明，審查委員認為可以接受。

審查委員針對本項議題後續建議事項如下：在不確定性分析方法部分，建議後續可導入 Monte Carlo 模擬或其他機率性分析方法，評估各種可能情境的發生機率，並針對關鍵參數建立機率分布及進行劑量之機率範圍估算，以做為後續場址設計與風險評估的重要參考依據。

## (七) 綜合評估

審查委員針對綜合評估部分後續建議事項如下：有關低放射性

廢棄物最終處置各項技術綜合評估之 T-Box 碳鋼製盛裝容器部分，建議後續 T-Box 容器長期功能劣化特徵研究，或可研析國外處置的實務案例供參照及佐證。有關不確定性部分，建議未來針對相關不確定性事項進行進一步評估與探討，後續之技術精進應著重於不確定性之分析，如何確立重要關鍵因子的不確定性，如何透過更多的現地資料來抑低關鍵因子的不確定性，應該列為後續重要工作項目之一。

#### 四、審查結論

本案報告經核安會審查，認為台電公司低放射性廢棄物最終處置技術經多年發展，後續仍須持續強化，故核安會要求台電公司依照本案審查意見及國際原子能總署(IAEA)相關導則要求，與時俱進精進技術，每四年提報經國內及國際同儕審查之「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」更新版，以確保台電公司相關處置技術可達最佳現有技術且符合國際水平，以提升未來處置設施的安全性，確保公眾及環境安全。本案審查結論說明如下：

- (一) 請台電公司依據本案審查意見，規劃下一階段技術研發方向與執行策略，並綜整前期成果與評估結果，明確提出後續技術精進重點與研究推動計畫，持續提升我國低放射性廢棄物處置技術之成熟度與安全性，並請於 117 年底前提報經國內及國際同儕審查之低放處置技術評估報告更新版。
- (二) 有關處置安全之基本考量方面，工程障壁吸附功能之材料與構件應持續明確化，並補充相關實證與試驗成果。廢棄物分類、接收規範、數量估算及核種代表清單部分，應持續研析並加強估算方法及依據，並強化技術透明度與可追溯性。
- (三) 有關場址環境特徵化技術方面，應明確標示各項分析參數來源，並

明確說明區域、場址與設施等不同尺度概念模型之範圍、關聯性與整合架構。另應進一步評估地震對場址安全性影響，並持續將現地應力量測、水文地質調查及地球化學取樣納入工作項目。

- (四) 有關處置設施概念設計方面，應再進一步探討混凝土吸附核種功能之機制與驗證資料，並明確說明及精進處置坑道幾何結構、施工穩定性與排水設計依據，並將氣候變遷影響納入模擬分析。監測作業規劃宜依運轉年限及設備性能進行合理設計，以確保長期監測效能。
- (五) 有關安全評估方面，各場址設計與替代情節之差異應具體說明原因，並建立滾動式檢討機制，以確保場址參數設定之合理性。輻射劑量評估部分，應再檢討各場址參數設定之合理性，並強化評估方法及保守性論述。另封閉後之安全評估後續應納入不確定性與敏感度分析。
- (六) 有關敏感度與不確定性評估部分，應明確區分兩者目的與適用方法，並補充關鍵因子篩選原則與評估依據。另應建立輻射劑量之分布範圍與風險評估架構，作為提升模型可靠度與支援風險決策的重要基礎，並作為後續安全評估的重要依據。
- (七) 有關綜合評估方面，應考量降低不確定性與確認關鍵影響因子，並持續蒐集現地監測與調查資料，以提升模型之可靠性與預測能力。另依處置概念特性，逐步建置及驗證場址特徵參數與資料庫，以提升分析結果與技術基礎之合理性。
- (八) 低放處置計畫推動的關鍵在於有效的公眾溝通與形成社會共識。請台電公司持續參考國際成功案例，強化公眾溝通策略，定期公開低放處置技術評估進展與成果，並加強與地方政府及民眾溝通宣導，以強化民眾對於國內最終處置的信心。