

台電公司第一核能發電廠 輻射特性調查報告

審查結果報告



核能安全委員會
中華民國 113 年 6 月

[在此鍵入]

目 錄

一、前言	1
二、輻射特性調查報告概述	1
三、輻射特性調查報告審查	4
四、審查結論	10

一、前言

台電公司核一廠依據除役計畫第四章重要管制事項提出「核一廠除役廠址輻射特性調查計畫(Site Characterization Survey Plan, SCSP)，以下簡稱輻射特性調查計畫」，其目的是有系統的對核一廠進行整體輻射特性調查、核種清單實測確認及最終狀態偵測計畫所需數據收集，以便能全盤掌握並確認廠址內的可能殘餘之放射性範圍與程度。依前述除役計畫重要管制事項序號4：「於電廠永久停機後規劃『輻射特性調查作業計畫含導出濃度指引基準(DCGL)及輻射特性調查報告』」，提報主管機關審核，並要求於111年12月前提報輻射特性調查報告。依照107年12月11日原能會(現核安會)「除役安全管理專案小組」第9次會議決議(107年12月22日會核字第1070015508號函)：「請台電公司依期限提出廠址輻射特性調查計畫，其內容是可考量燃料移出爐心之時限影響」。核一廠輻射特性調查作業依前述相關管制及規劃採分區域分階段執行，並將階段輻射特性調查報告提報主管機關審查。

二、輻射特性調查報告概述

台電公司提送之輻射特性調查報告共七章，分別敘述本案之調查目的、調查範圍、調查團隊組織架構與分工、分區分階段規劃、品質保證、調查評估結果、結語及相關附件，各章節內容概述如下說明：

- (一) **第一章 調查目的**，主要說明作業目的係有系統的對核一廠進行整體輻射特性調查、核種清單實測確認及最終狀態偵測計畫所需數據收集，以便能全盤掌握並確認廠址內的可能殘餘之放射性範圍與程度。偵測資料供除役計畫中有關輻射劑量評估、拆除工法與除污技術選擇、廢棄物量估算、除役成本評估及最終狀態偵測(Final Status

Survey, FSS)等規劃與考量。

- (二) **第二章 調查範圍**，核一廠除役範圍分為外釋區域及保留區，依輻射特性調查計畫，保留區不執行輻射特性調查作業，但仍須保持符合原有法規之設施管制措施。外釋區域中受輻射影響區的廠址環境及設施，則依照多部會輻射偵檢和廠址調查手冊(MARSSIM)原則、除役計畫、輻射特性調查計畫執行調查偵檢。調查項目依除役計畫第三及四章分類，包含受輻射影響之建物、結構物、設備的表面(A類偵檢包)、受輻射影響的系統管線(C類偵檢包)、可能受輻射影響的環境(R類偵檢包)，另依照輻射特性調查計畫執行 DCGL 敏感參數調查、核種清單確認、比例因數建立取樣分析等。
- (三) **第三章 調查團隊組織架構與責任分工**，台電公司為執行除役輻射特性調查作業，成立廠址輻射特性調查任務小組，其成員涵蓋各單位專家及技術人員，負責規劃、管理與執行輻射特性調查作業計畫。全案由核一廠副廠長督導整體輻射特性調查的規劃與執行，以及所有作業程序及品質文件的核定，並由專案負責人監督所有廠址輻射特性調查作業（含廠址外釋土地偵檢、放射性廢棄物偵檢及作業場所偵檢等）、協調外部資源及支援相關技術組等。
- (四) **第四章 分區分階段規劃**，因核一廠永久停機後，受該廠乾式貯存設施尚未啟用影響，爐心中之用過燃料無法移出，於用過燃料移出爐心前，部分系統仍需維持運轉，且建物亦須維持完整性；依 107 年 12 月 11 日原能會(現核安會)「除役安全管制專案小組」第 9 次會議決議(107 年 12 月 22 日會核字第 1070015508 號函)，輻射特性調查作業計畫考量燃料移出爐心之時限影響，採分區域分階段執行輻射偵

檢作業。各階段已完成及承諾待完成的輻射特性調查事項，台電公司盤點彙整於輻射特性調查報告的表 4-1。

(五) **第五章 品質保證**，輻射特性調查品質保證方案遵循核一廠程序書相關內容，並依除役計畫第十五章「品質保證方案」內容執行各項作業，確保除役輻射特性調查品質。品質保證作業項目包含建立輻射特性調查作業程序書、調查作業人員訓練、輻射偵檢儀器經財團法人全國認證基金會(TAF)認證實驗室進行校正、輻射特性調查樣品及資料保存、取得品質認證與執行量測結果比對、達成最小可測活度(MDA)。

(六) **第六章 調查評估結果**，主要說明可能受輻射影響之建物、結構物、設備的表面(A 類偵檢包)，可能受輻射影響的系統管線(C 類偵檢包)，可能受輻射影響的環境(R 類偵檢包)及比例因數之調查結果。DCGL 敏感參數調查主要分為五大類：1.植物與魚類遷移係數(Plant and Fish transfer factor)、碳-14 排出厚度(Thickness of evasion layer of C-14 in soil)；2.植物根的深度與灌溉率(Depth of roots and Irrigation)；3.污染區厚度(Thickness of contaminated zone)；4.分布係數(Kd 值)(Distribution coefficients)及 5.蒸發散係數及污染區土壤參數(Evapotranspiration coefficient and Contaminated zone parameters)。除污染區厚度將於燃料移出爐心後階段繼續調查外，其餘 DCGL 敏感參數已於 112 年 5 月完成調查。難測核種比例因數於兩部機共建立 8 組比例因數，再加上廠址土地 1 組，總計規劃建立共 9 組比例因數。由於燃料尚在爐心影響，於燃料移出爐心前(Phase 1 階段)已執行主蒸汽及冷凝水系統管路(SF5)及廢氣系統(SF6)取樣及調查，其餘規劃於燃料移出爐心後(Phase 2 階段)執行取樣及調查。

(七) **第七章 結語**，主要說明核一廠自 109 年 2 月起依照核安會核備之輻射特性調查作業計畫開始分區域分階段執行輻射偵檢作業，完成 Phase 1 階段的輻射特性調查，並依照重要管制事項要求於 111 年 12 月提報輻射特性調查報告，後續依分區域分階段規劃調查，並適時更新輻射特性調查報告。

三、輻射特性調查報告審查

核安會審查小組就台電公司提報之輻射特性調查報告進行審查，共提出 86 項審查意見，針對輻射特性調查報告審查關注議題分為七大類，包括：(一) 因應爐心仍有燃料影響，台電公司提出之輻射特性調查分區域分階段規劃，應持續掌握執行進度、(二) 台電公司提出之輻射調查數據，應足以支持除役決策需求，並且數據應有可信度、(三) 台電公司應盤點並檢視輻射特性調查報告是否確實依照輻射特性調查計畫執行、(四) 台電公司應盤點並檢視比例因數是否確實依照比例因數建置計畫執行調查、(五) 台電公司應依輻射特性調查結果，盤點及更新除役計畫中的核種清單、(六) 台電公司應確認廠址特性參數項目並完成參數調查、(七) 台電公司應依廠址特性參數調查結果及保留區情況，滾動修訂 DCGL 評估值。前述各項關注議題審查意見及台電公司答覆說明，分述如下：

(一) 因應爐心仍有燃料影響，台電公司提出之輻射特性調查分區域分階段規劃，應持續掌握執行進度。

審查意見摘要說明如下：(1)請台電公司依調查對象分別列出已執行完成百分比；(2)請台電公司盤點列出輻射特性調查分區域分階段尚待完成項目及期程規劃，並盤點除役計畫本文及已審結意見中承諾於永久停機後再執行的輻射特性調查項目。

台電公司答覆說明：(1)已依委員審查意見於輻射特性調查報告附件 18 列表顯示輻射特性調查各區域執行完成百分比；(2)已盤點列出輻射特性調查分區域分階段尚未完成項目及期程規劃、盤點除役計畫本文及已審結意見中承諾於與永久停機後調查項目，及除役計畫(含審查答覆)的承諾辦理自主管制事項清單，如輻射特性調查報告的表 4-1。

本項關注議題經審查確認台電公司提出輻射特性調查分區域分階段執行項目與時程合理，並已完第一階段(燃料移出爐心前)的輻射偵檢作業。本項列入管制追蹤事項項次 1，要求台電公司持續依分區域分階段規劃執行調查，每季仍應繼續提報進度查核表，並適時更新輻射特性調查報告，至所有分區域分階段項目執行完成為止。

(二)台電公司提出之輻射調查數據，應足以支持除役決策需求，並且數據應有可信度。

審查意見摘要說明如下：(1)請台電公司說明輻射特性調查結果用以支持那些除役決策，並且證明目前規劃的調查項目及數據量已足夠；(2)請台電公司證明如何確保調查數據的可信度；(3)台電公司應於報告中列表盤點後續各項除役作業，說明目前輻射特性調查的項目及結果是否滿足後續各項除役作業所需，並補充輻射特性調查項目及參數完整性評估；(4)請台電公司說明輻射特性調查數據是否建置資訊庫，且相關成果是否已用於廢棄物估算、建立廠房劑量分布圖、評估或抑低工作人員劑量等應用。

台電公司答覆說明：(1)輻射特性調查偵檢結果可用於作業人員劑量評估、除役作業廢料產生量預估及廠址最終狀態調查規劃等項目。(2)調查點數係參照 MARSSIM 建議，使用 Sign test 方式計算，第 I 形及第 II 型誤差皆為 0.05，並使用網格布點。針對數據可靠度，台電公司依核備之「核一廠廠址輻射特性調查計畫」編寫發行各類偵檢包作業程序書，作業人員參與專業訓練，儀器亦經 TAF 認證之實驗室校正。調查

結果需經公司內部審查，調查作業由核一廠品質組進行查證，核安處駐廠安全小組執行稽查，確保輻射特性調查執行結果正確性與數據的可信度。(3)參考美國核能管制法規指導文件 NUREG-1757 輻射特性調查查核表，盤點輻射特性調查報告已涵蓋其述內容，包含偵測範圍及標的的描述、現場儀器及實驗室儀器的描述、調查結果的呈現、受影響區及未受影響區的呈現、比例因數建立等。(4)核一廠已建立除役規劃階段資訊整合系統，該系統具輻射特性調查、廢棄物管理及輻射防護等功能頁面，可提供輻射特性調查數據庫建立、廢棄物管理及工作人員劑量管理等應用；以主發電機及其附屬設備拆除計畫為例，拆除作業計畫表列廢棄物之分類、重量及材質等資訊，已輔以輻射特性調查資訊執行初始評估，並進行廢棄物評估。除役規劃階段資訊整合系統可產出各廠房偵檢包之劑量分布圖，並且工作人員集體劑量亦依輻射特性調查結果計算各項作業之集體劑量。

本項關注議題經審查確認台電公司提出之輻射特性調查結果可應用於後續除役作業決策，且已建立品質保證制度確保輻射特性調查執行結果正確性與數據的可信度，經審查可以接受。

(三)台電公司應盤點並檢視輻射特性調查報告是否確實依照輻射特性調查計畫執行。

審查意見摘要說明如下：(1)應於報告中列表逐一盤點確認輻射特性調查作業確依計畫內容執行。(2)說明如何確保輻射特性調查結果之正確性。

台電公司答覆說明：(1)核一廠依核定之輻射特性調查計畫執行調查，並盤點輻射特性調查計畫之作業內容確認調查執行狀況，每季持續提報進度查核表，查核表說明輻射特性調查作業調查項目及完成百分比。並依核備之「核一廠廠址輻射特性調查計畫」編寫發行各類偵檢包作業程序書，完成人員專業訓練，儀器亦經 TAF 認證之實驗室校正。

(2)輻射特性調查結果需經公司內部審查。調查時由核一廠品質組進行查證，核安處駐廠安全小組執行稽查，確保輻射特性調查執行結果正確性與數據的可信度。

本項關注議題經審查確認台電公司提出之輻射特性調查報告已依核定之輻射特性調查計畫執行調查，並盤點說明輻射特性調查作業項目及完成百分比，經審查可以接受。

(四)台電公司應盤點並檢視比例因數是否確實依照比例因數建置計畫執行調查。

審查意見摘要說明如下：(1)台電公司應於報告中列表逐一盤點確認比例因數調查作業，確依比例因數建置計畫執行，並且說明取樣位置是否符合核定之比例因數建置計畫要求。(2)請台電公司證明比例因數計算結果已將取樣不確定度及分析量測系統等不確定度保守納入考量。

台電公司答覆說明：(1)核一廠依核定之比例因數建置計畫執行調查，盤點作業項目如輻射特性調查報告第六章第四節比例因數建立之各小節項目，取樣位置符合核定之比例因數建置計畫要求，相關評估計算內容亦呈現於第六章第四節(七)實測建立之比例因數清單，另依審查意見列表呈現輻射特性調查各區域執行進度。(2)依比例因數建置計畫針對取樣數量，參考 ISO 21238 之公式，增加取樣不確定度修正項計算；針對不同取樣位置的差異，參考 EPRI 於 1999 年發布的 TR-109448 報告以 Root-Mean Dispersion (D_{SF}) 進行評估，並結合實驗室核種分析不確定度，以誤差傳遞公式計算絕對不確定度，因此難測核種比例因數保守評估結果可涵蓋至 95%分布上限。

本項關注議題經審查發現，「廢氣系統(SF6)」比例因數不確定度過大，超出國際文獻的可接受範圍，且台電公司未能澄清在考量比例因數不確定度後，對放射性廢棄物分類造成的影響。本項列入管制追蹤

事項項次 2，要求台電公司持續建立難測核種比例因數，並對「廢氣系統(SF6)」比例因數不確定度分析結果持續精進，適時提出輻射特性調查報告更新修訂。輻射特性調查比例因數於核安會核定前，原核定之除役計畫第九章之比例因數持續有效。

(五)台電公司應依輻射特性調查結果，盤點及更新除役計畫中的核種清單。

審查意見摘要說明如下：(1)台電公司應依輻射特性調查結果盤點除役計畫中的核種清單並提出增刪修訂。(2)請台電公司說明若未執行背景參考區域之關注核種存量調查，如何得知背景濃度達顯著比例的 DCGL，而須改以 WRS Test (Wilcoxon Rank Sum)方法評估。

台電公司答覆說明：(1)除役計畫為初始關注核種清單，核一廠依實測建立之比例因數對初始關注核種清單進行修訂，先刪除未測得的核種，再刪除低劑量貢獻之核種，總刪除核種劑量貢獻占 10%以下，並修訂輻射特性調查報告內文，第六章第四節(七)內文增加「未來現場量測時，如刪除劑量貢獻不顯著之核種，該等核種劑量佔比應從劑量標準上限中扣除」。(2)目前核一廠規劃採用較為保守之 Sign Test 為單樣本檢定，即不需要與背景(參考區域)做對照，如未來需使用 WRS Test，需進行背景參考區域調查，扣除背景貢獻。

本項關注議題經審查確認台電公司規劃關注核種清單盤點作法與關注核種存量調查作法可以接受。本項列入管制追蹤事項項次 3 與項次 4，分別要求台電公司對核一廠廢棄物與土地的關注核種清單，未來如刪除劑量貢獻不顯著之核種，該等核種劑量佔比應從劑量標準上限中扣除。如最終狀態偵測使用 WRS Test，需於最終狀態偵測階段前，完成背景參考區域調查。

(六)台電公司應確認廠址特性參數項目並完成參數調查。

審查意見摘要說明如下：(1)請台電公司說明預定執行 DCGL 敏感性參數分析及補充調查的時程。(2)請台電公司補充除已執行的機組區域外，受影響土地污染層深度的調查規劃及時程。(3)針對廠址地下水文特性有關之參數，應採室內試驗或現地試驗方式求得各廠真實特定參數，以真正反應現地之狀況。

台電公司答覆說明：(1)依委員審查意見於輻射特性調查報告增訂 Phase 2 需執行項目及期程規劃，包括 A 類偵檢包、C 類偵檢包、R 類偵檢包、DCGL 敏感性參數分析及補充調查、比例因數建立取樣分析，詳執行項目及期程規劃如輻射特性調查報告附件 13、14、15、16、17。(2)依委員審查意見補充其它受影響土地規畫於 Phase 2 執行土壤受污染深度調查項目與預估期程，如輻射特性調查報告表 4-1。(3)依委員審查意見針對水文地質敏感性參數，已委託地質專業學術單位執行調查，土壤取樣採用機械式鑽孔以減少人為破壞結構風險，後續將更新相關水文地質調查參數如密度、孔隙率、土壤指數參數、導水度等，並與初始數值進行比對。

本項關注議題經審查確認台電公司規劃廠址特性參數調查項目與作法可以接受。本項列入管制追蹤事項項次 5 至項次 7，分別要求台電公司於廠址特性參數完成調查後，重新評估 DCGL 並執行靈敏度分析，檢視敏感性參數項目是否變更，如有缺漏或新增，須補充參數調查。未來於 Phase 2 執行污染區厚度調查時，如表土至 15 cm 深處仍具污染時，繼續污染區厚度調查並依實際調查結果進行參數修正。執行核一廠廠區水文地質參數調查與試驗，取得廠址特性參數，建立符合核一廠特性及合理性之 DCGL。

(七)台電公司應依廠址特性參數調查結果及保留區情況，滾動修訂 DCGL 評估值。

審查意見摘要說明如下：(1)核一廠之保留區範圍請參照核三廠除役計畫對保留區之定義進行修訂，並確認輻射特性調查作業範圍，更新輻射特性調查報告。(2)DCGL 評估所需廠址特性參數並未全部完成調查，保留區範圍亦須進行修訂，且新建 3 號貯存庫及 2 期室內乾貯安全分析報告，對於廠界劑量評估模式及結果均尚未審定，在前述條件完成前，不同意提出 DCGL 評估值修訂。

台電公司答覆說明：(1)後續依核一廠保留區修訂結果及核安會審查意見，據以納入 Phase2 調查範圍及修訂輻射特性調查報告內容。(2)依委員審查意見進行相關調查與修訂作業，俟新建 3 號廢棄物貯存庫、2 期室內乾貯設施劑量評估結果審竣後再一併提出修訂。

本項關注議題經審查確認台電公司規劃修訂 DCGL 評估值之時程可以接受。本項列入管制追蹤事項項次 8，要求台電公司對 DCGL 評估值，俟新建 3 號廢棄物貯存庫、2 期室內乾貯設施、保留區劑量評估結果審竣後再一併提出修訂。

四、審查結論

- (一)台電公司已就第一階段(燃料移出爐心前)完成分區域分階段執行輻射偵檢作業及完成用過燃料移出爐心前輻射特性調查報告修訂及相關審查意見答覆。
- (二)台電公司將依輻射特性調查報告結果進行後續除役作業規劃，可符合核一廠除役計畫及相關法規要求，本階段審查結果可以接受。
- (三)第二階段(燃料移出爐心後)輻射特性調查作業尚未執行完成，經審查有條件結案之管制追蹤事項如下表，已要求台電公司依據輻射特性調查計畫進行後續分區域分階段規劃調查，並適時更新輻射特性調查報告。

表、第一核能發電廠輻射特性調查報告管制追蹤事項

項次	對應審查意見編號	內 容
1	RP-01、 RP-41	持續依分區域分階段規劃執行調查，每季仍應繼續提報進度查核表，並適時更新輻射特性調查報告，至所有分區域分階段項目執行完成為止。
2	F-04	持續建立難測核種比例因數，並對「廢氣系統(SF6)」比例因數不確定度分析結果持續精進，適時提出輻射特性調查報告更新修訂。輻射特性調查比例因數於核安會核定前，原核定之除役計畫第九章比例因數持續有效。
3	RP-05、 RP-34	廢棄物與土地的關注核種清單，未來如刪除劑量貢獻不顯著之核種，該等核種劑量佔比應從劑量標準上限中扣除。
4	RP-32	如最終狀態偵測使用 WRS Test，需於最終狀態偵測階段前，完成背景參考區域調查。
5	RP-06	廠址特性參數完成調查後，重新評估 DCGL 並執行靈敏度分析，檢視敏感性參數項目是否變更，如有缺漏或新增，須補充參數調查。
6	RP-25、 RP-02	未來於 Phase 2 執行污染區厚度調查時，如表土至 15 cm 深處仍具污染時，繼續污染區厚度調查並依實際調查結果進行參數修正。
7	NR-04	執行核一廠廠區水文地質參數調查與試驗，取得廠址特性參數，建立符合核一廠特性及合理性之 DCGL。
8	RP-07、 RP-60、	DCGL 評估值，俟新建 3 號廢棄物貯存庫、2 期室內乾貯設施、保留區劑量評估結果審竣後再一

	NR-01、 NR-02、 F-03	併提出修訂。
--	--------------------------	--------