

台電公司第二核能發電廠
輻射特性調查作業計畫
安全審查報告



核能安全委員會
中華民國114年4月

目 錄

摘要	ii
第一章 綜合概述	- 1 -
第二章 廠址環境及建物輻射特性調查偵檢規劃	- 4 -
第三章 輻射特性調查偵檢	- 7 -
第四章 廠址環境及建物輻射特性調查結果評估	- 9 -
第五章 系統/設備/組件放射性廢棄物盤點	- 12 -
第六章 結論	- 14 -
第七章 參考文獻	- 15 -
審查總結	- 16 -

摘要

有關核二廠除役計畫第四章重要管制事項 KS-DP-04：「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」，其管制時程為 113 年 7 月前提報輻射特性調查作業計畫，於 116 年 12 月前提報輻射特性調查報告。台電公司依據 KS-DP-04 之管制時程，於 113 年 7 月 12 日提報核二廠除役廠址輻射特性調查作業計畫(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二廠進行整體輻射特性調查、確認核種清單及規劃最終狀態偵檢計畫(Final Status Survey, 簡稱 FSS)所需之數據，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。

又依 107 年 12 月 11 日行政院原子能委員會(現核能安全委員會，簡稱核安會)「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)：「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」。故核二廠輻射特性調查計畫依前述管制及規劃，採分區域分階段執行。

台電公司提報之輻射特性調查計畫共 7 章，包括綜合概述、廠址環境及建物輻射特性調查偵檢規劃、輻射特性調查偵檢、廠址環境及建物輻射特性調查結果評估、放射性廢棄物盤點與參考文獻等。

本案審查期間共召開 3 次「審查會議」，與 1 次「現場勘查會議」，共提出 101 項審查意見請台電公司進行答覆，全案歷經 3 回合審查，台電公司已就相關意見提出答覆說明，經核安會審查小組審查後可以接受，本案有條件結案，後續核安會提出 5 項管制追蹤事項持續追蹤。

第一章 綜合概述

一、概述

本章說明輻射特性調查計畫之緣由，係參照美國多部會輻射偵檢暨廠址調查手冊(Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual, 簡稱 MARSSIM)原則，針對設備表面與結構、系統及環境等三大類別，依受影響和非受影響進行分類，並以偵檢包(Survey Package)的概念，規劃受影響區域之偵檢作業計畫，其偵檢目的為有系統地調查核二廠廠址內整體輻射特性、確認並調查分析應關注之核種、以及規劃最終狀態偵檢 FSS 時所需之數據，以掌握確認廠址內可能有殘餘放射性之範圍及其程度。

因應核二廠目前仍受爐心內用過核子燃料影響，將廠址環境及設施區分為「受用過核子燃料仍在爐心影響者」與「未受用過核子燃料在爐心影響者」，並規劃分二階段執行調查。未來待用過核子燃料移出爐心前 6 個月，台電公司將更新輻射特性調查計畫期程，向核安會提出審查。

二、審查發現

有關本章調查範圍、專有名詞與引用之法規及準則等，審查意見摘要說明如下：(1) 台電公司應考量乾式貯存設施啟用日期，並於計畫中盤點分區域分階段執行項目與時程；(2) 台電公司應針對 A 類和 C 類偵檢包進行現場偵檢及取樣限制的評估，並提出可能因應替代措施。

台電公司答覆說明：(1) 輻射特性調查計畫執行策略採分區域分階段之原則進行，將廠址環境及設施區分為「受用過核子燃料仍在爐心影響者」(如一、二號機核島區內反應爐，圍阻體等)與「未受用過核子燃料在爐心影響者」，規劃二階段的調查工作，用過核子燃料移除爐心前係第一階段(Phase 1)，用過核子燃料移除爐心後係第二階段(Phase 2)。第一階段先針對未受用過核子燃料在爐心影響之設施執行輻射特性調查；考量室外乾式貯存場已於 114 年 1 月 2 日開始施工，可存放核二廠兩部機反應爐及護箱裝載池之部分用過核子燃料。受用過核子燃料在爐心影響部分則待用過核子燃料移出爐心前 6 個月，更新第二階段計畫期程，再提報核安會審查；(2) 有關 A、C 類偵檢包之調查限制主要來自於部分系統設備尚須運轉或廠房結構安全考量而無法進行破壞性取樣，故將配合爐心燃料退出、系統停用及拆除作業之進度，於第二階段輻射特性調查階段執行。

三、 審查結果

本章經台電公司答覆說明澄清後，已修訂「輻射特性調查偵檢計畫調查期程規劃說明」之附件，並於輻射特性調查計畫中敘明 A、C、R 類偵檢包之分類依據、偵檢位置以及偵檢規劃，可作為計畫執行之參考，台電公司亦承諾會定期執行品質查證與品保稽查，經審查可以接受。

本項列入管制追蹤事項表之項次 1 及項次 2，要求台電公司自開始執行核二廠輻射特性調查偵檢作業，應於核安會每季定期視

察前提交查核表，概要說明作業執行進度；台電公司應依據核二廠輻射特性調查計畫，於用過核子燃料移出爐心 6 個月前，更新受燃料仍在爐心影響之輻射特性調查項目執行期程規劃，後續依期程規劃於調查項目先備條件滿足時，即執行調查並更新輻射特性調查計畫報核安會。

第二章 廠址環境及建物輻射特性調查偵檢規劃

一、概述

本章說明輻射特性調查計畫之偵檢規劃，係參照核二廠除役計畫第三章及第四章之結論，著重於受影響的建物或土地之調查偵檢規劃。配合爐心內用過核子燃料移出時程分二階段執行調查。

針對核二廠除役計畫第四章區分的受影響之建物、結構物、設備的表面(A類偵檢包)與受影響的系統管線(C類偵檢包)執行輻射偵檢及取樣分析。調查結果提供後續除役相關工作之人員劑量評估參考，與推估廢棄物產量及活度估算。

而對於受影響的環境(R類偵檢包)，目的在於評估受影響區域土地的污染程度及範圍，針對準備外釋之廠址土地，將符合非限制性使用標準，即對一般人造成的年有效劑量不超過 0.25mSv，依此劑量限值推算土壤的導出濃度指引基準(Derived Concentration Guideline Level, 簡稱 DCGL)與設置調查之第 1 級、第 2 級與第 3 級行動基準。調查結果提供後續土地整治與最終狀態偵檢 FSS 之規劃參考。

二、審查發現

有關本章輻射特性調查行動、放射性資訊清單、DCGL 推導、輻射特性調查統計參數與輻射特性調查偵檢方案等，審查意見摘要說明如下：(1) 台電公司應說明初始篩選出的關注核種有哪些，以及如何獲取各核種的相對活度與劑量比；(2) 應詳細說明或列出

被刪除的初始關注核種的原因及依據；(3) 澄清篩濾方法論中移除相對活度與劑量率小於 Co-60 的核種之篩選條件，所採用的比率為 0.1%或 0.01%，並補充說明此篩濾機制之評估方法；(4) 核二廠將生物屏蔽之活化混凝土視為廢棄物來源，應澄清活化混凝土是否會進行解除管制評估。

台電公司答覆說明：(1) 初始依據低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則、核二廠 FSAR 及運轉期間測得核種、核二廠爐心組件及生物屏蔽活化評估計算結果、NUREG/CR-3474、WINCO-1191 等國際文獻、以及型態相似之瑞典 Forsmark Nuclear Power Plant 1、2 號機等資料，建立出共有 136 個核種的初始清單。經篩濾機制後最後可篩濾出 27 個關注核種；(2) 篩濾評估機制說明及結果新增附件 2「核二廠關注核種清單篩濾方法論」。(3) 有關移除相對活度與劑量率小於 Co-60 的核種之篩選條件，經比較美國 Zion 電廠與 HBPP 電廠，各採用不同篩選條件，Zion 電廠僅針對相對活度進行篩選，並未對劑量貢獻進行評估，採用核種相對活度為總活度之 0.01%作為篩濾標準；HBPP 電廠，則使用兩項篩選條件，除針對活度進行評估外，亦考慮核種之劑量貢獻，採用占總活度或總劑量之 0.1%作為篩濾標準，台電公司考量各核種之活度造成之劑量貢獻不同，採用 HBPP 電廠之篩濾機制，且台電公司補充說明核二廠採用相對 Co-60 活度或劑量小於 0.1%作為篩濾標準，因相對活度或劑量小於 Co-60 之 0.1%的核種，其活度對於總活度或總劑量的佔比也必定小於 0.1%，故核二廠關注核

種的篩濾標準比上述兩間電廠更加嚴格。(4) 參考國際相關作法，核二廠活化混凝土如規劃作為放射性廢棄物處置時，則 Ca-41 及 Eu-154 不列入該類廢棄物及土地之自主調查範疇；如規劃解除管制並回填時，則活化混凝土及土地樣品需進行 Ca-41 及 Eu-154 之自主調查。

三、 審查結果

本章經台電公司答覆說明澄清後，表明針對關注核種，新增「核二廠放射性廢棄物自主調查核種」之表格，可對於活化混凝土及土地樣品進行 Ca-41 及 Eu-154 之自主調查；並針對關注核種篩濾方法，新增「核二廠關注核種清單篩濾方法論」之附件，未來將依據取樣分析結果，持續滾動檢討，經審查可以接受。

本項列入管制追蹤事項表之項次 3，要求台電公司應依據核二廠輻射特性調查計畫關注核種清單與自主調查核種清單之規劃，進行取樣分析，並依取樣分析結果，滾動檢討關注核種清單。

第三章 輻射特性調查偵檢

一、概述

本章說明供輻射特性調查偵檢執行之偵檢方法，用以確切掌握廠址內各處之輻射與污染狀況，提供除污、拆除、廢棄物盤點及廠址外釋等除役作業所需之參考資訊，本章亦敘述輻射偵檢儀器選擇及注意事項，並兼述相關輻射特性調查偵檢作業的品質保證方案，以確保偵檢作業執行程序和結果文件得以完備。

二、審查發現

有關本章偵檢方法、土壤樣品作業程序、儀器的需求與使用等，審查意見摘要說明如下：(1) 台電公司應說明各類偵檢包之偵檢方法是否有根據 MARSSIM 的建議進行規劃；(2) 有關儀器的需求與使用乙節，台電公司應增加列出核種能量、儀器能依性、適用劑量率範圍等更多具體資訊。

台電公司答覆說明：(1) 各類偵檢包之偵檢方法，有參考 MARSSIM 原則，統整於輻射特性調查計畫「表 3.1 偵檢包及偵檢單元偵檢方法分類表」，R 類偵檢包規劃之偵檢方法為掃描測量及取樣分析，直接測量部分僅 A 類與 C 類偵檢包須執行，掃描測量係用於土地外釋前，尋找有較高污染之熱點，當作輔助取樣分析之保守性作為，來增加取樣點位置，即增加熱點處之取樣數量；(2) 增列儀器適用的能量與劑量率範圍等資訊，修訂「表 3.2 輻射特性調查計畫規劃使用儀器」，並註明各儀器之詳細量測能力、

適用能量範圍及其量測誤差範圍，可以參照儀器使用手冊以及校正報告。

三、 審查結果

本章經台電公司答覆說明，已依據審查意見修訂「表 3.1 偵檢包及偵檢單元偵檢方法分類表」、「表 3.2 輻射特性調查計畫規劃使用儀器」及品質保證方案，其內容經審查可以接受。

第四章 廠址環境及建物輻射特性調查結果評估

一、概述

本章說明輻射特性調查計畫之取樣及分析設計、結果之數據評估驗證、統計檢定假設驗證等流程作業。

二、審查發現

有關本章取樣設計確認、DCGL 數據評估方法、統計與假設檢定方法與區域分級統計假設驗證等，審查意見摘要說明如下：(1) 請明確列出各級區域劃分與所訂誤差率(5%~20%)、異常判斷離群值等參數引用之參考依據；(2) 有關核二廠 DCGL 推導引用輸入之實際調查參數，請說明數量是否足夠；(3) 請說明核一、二廠 DCGL 評估結果中 Pu-240 核種的數值差異原因；(4) 請澄清核二廠雙機組污染帶之地下水污染區厚度，有否進行靈敏度分析；(5) 請補充核二廠與美國 YNPS 電廠(Yankee Nuclear Plant Station)之作法對於選用不同的 DCGL 評估方法，在 Cs-137、Co-60 及 C-14 這三個核種的 DCGL 評估結果的差異原因。

台電公司答覆說明：(1) 各級區域劃分之驗證誤差率及異常判斷離群值主要目的在於縮減區域量測數據的樣本標準差，以降低相對偏移值，達到良好的區域分級，2 個標準差已涵蓋百分之 95% 以上，將超出 2 個標準差的區域分離可以有效降低區域樣品標準差；(2) 參考美國 YNPS 電廠 DCGL 推導作法，核二廠現階段初步使用 49 項實際調查參數，進行 DCGL 推導，並規劃後續進行更多

參數之實際調查作業，以得到更具有廠址代表性之 DCGL；(3) 核一廠及核二廠 DCGL 運算受廠址特性不同、各年齡群之使用量不同、保留區劑量貢獻不同而有所差異，本次核二廠 DCGL 計算中 Pu-240 之差異，主因為核二廠劑量評估已納入地下水途徑；(4) 經靈敏度測試，若污染區厚度越深，則阿伐核種(如 Am-241)與貝他核種（如 Sr-90）之總劑量將會增加，而加馬核種(如 Co-60)劑量主要以直接輻射為主，較不受污染區厚度影響。依據核二廠歷年環境輻射監測報告之水樣監測結果，以及「核二廠地下水防護方案」等地下水監測井監測資料，均遠低於調查基準，故估算 DCGL 時採用之污染區厚度，以 0 到地下水位線平均值，已足夠保守，未來將實際調查污染區厚度後修正；(5) 針對 C-14、Co-60 及 Cs-137 關鍵群體之分析採用美國 YNPS 電廠的方法，對於 PRCC>0.25 的靈敏參數找出 25 或 75 百分位數的單值，將單值輸入模型，執行分析，經檢視運跑結果，Co-60 及 Cs-137 核種於兩種方法運算結果無顯著差異原因，主要為發生峰值劑量時間均為 $t=0$ 。對於 C-14 核種於兩種方法運算結果出現差異原因，主要為發生峰值劑量時間不為 $t=0$ 所致。查 RESRAD 程式手冊，C-14 在食物中濃度主要與根吸收機制有關，而根吸收與土壤中的放射性核種濃度成正相關，因此將「污染區厚度」調整為較保守之 75 百分位數，會得到較高的劑量值。

三、 審查結果

本章經台電公司答覆說明，針對 DCGL 評估，已有參考核一廠

經驗，並部分採用實地調查參數，未來承諾將配合關注核種清單之特性，以及國外實務經驗之評估實績，持續滾動檢討，經審查可以接受。

本項列入管制追蹤事項表之項次 4，要求台電公司應依據滾動檢討關注核種清單之特性，持續調查 DCGL 之重要參數，並參考國外實務經驗以及核一廠之經驗回饋，重新針對機率性分析與確定性分析分別進行評估，並於完成輻射特性調查作業報告中敘明結果。

第五章 系統/設備/組件放射性廢棄物盤點

一、概述

本章說明核二廠除役期間可能產生之低放射性廢棄物，針對來源區分為中子活化廢棄物、放射性污染廢棄物，與其他等三類；針對類別型態依材料特性區分為金屬廢棄物、混凝土廢棄物，與其他等三類，並說明預估放射性廢棄物的數量及活度。

二、審查發現

有關本章放射性廢棄物來源、放射性廢棄物特性、放射性廢棄物盤點評估方法與比例因數之建立等，審查意見摘要說明如下：

(1) 請補充說明未來如何利用本計畫的輻射特性調查結果來更新核二廠相關廢棄物的總量；(2) 有關「表 5.1 核二廠除役廢棄物總數量推估結果」，相較於除役計畫第九章表 9-19 之總數量推估結果，請說明為何 B 類、C 類低放射性廢棄物推估數量各別增加約 4.7 倍以及 2.1 倍，對於原除役計畫對未來廢棄物貯存規劃是否有實質影響；(3) 台電公司應說明輻射特性調查計畫中品質保證方案的具體措施。

台電公司答覆說明：(1) 輻射特性調查後所得之輻射資訊與比例因數，未來將應用於低放廢棄物活度評估、除役廢棄物及土地解除管制；(2) 本計畫「表 5.1 核二廠除役廢棄物總數量推估結果」係依據最新版比例因數修正，故與除役計畫第九章除役廢棄物總量推估結果不同。台電公司為因應未來核二廠除役拆除工

作，目前刻正規畫興建除役低放射性廢棄物貯存庫，以台電公司特製容器盛裝除役期間所產生之低放射性廢棄物，該貯存庫設計容量除參照原除役計畫廢棄物產量估算數外，亦保留相當空間餘裕；除役廢棄物總量推估經本次比例因數修正後，其結果並無大幅度變動，僅核種濃度類別有數量上差異，B 類、C 類低放射性廢棄物之推估產量增加，而 A 類低放射性廢棄物之推估產量減少，廢棄物裝填作業依據容器設計活度進行填裝即可，故對原貯存規畫無明顯實質影響；(3) 有關輻射偵檢儀器部分，將定期委由具財團法人全國認證基金會(Taiwan Accreditation Foundation, 簡稱 TAF)認證之校正實驗室辦理儀器校正；有關土壤樣品、系統取樣及難測核種分析之樣品分析部分，委託具 TAF 測試實驗室認證之放射試驗室或國內其他具同等能力之認證實驗室辦理。

三、 審查結果

本章經台電公司答覆說明，放射性廢棄物的數量及活度已有重新進行產量推估；針對輻射偵檢儀器、土壤樣品、系統取樣及難測核種分析之樣品分析，制定品質查證與品保稽查機制，確認計畫執行時會委由具 TAF 測試實驗室認證之實驗室進行分析，經審查可以接受。

本項列入管制追蹤事項表之項次 5，台電公司應持續建立各系統、混凝土及土地之難測核種比例因數，並且應確保分析實驗室具備相關核種檢測分析能力與分析量能。

第六章 結論

一、 概述

本章說明輻射特性調查計畫之規劃重點，並就設備表面與結構、系統及環境等三大類的調查標的，以偵檢包概念，規劃系統化的輻射偵檢工作，相關作業皆依程序書執行，以便取得完備之調查結果。

二、 審查發現

審查小組未對本章提出審查意見，惟本章相關內容均依各章審查發現一併修訂。

三、 審查結果

台電公司依除役計畫 KS-DP-04 之重要管制事項要求，提報本輻射特性調查計畫進行審查，針對廠址環境及建物輻射特性調查偵檢規劃、輻射特性調查偵檢等內容均已於計畫中說明，審查結果可以接受。

第七章 參考文獻

一、 概述

本章說明前述各章節引用之參考文獻。

二、 審查發現

審查小組未對本章提出審查意見，惟本章相關內容均依各章審查發現一併修訂。

三、 審查結果

台電公司提出之參考文件與附錄、附件，足以佐證本輻射特性調查計畫之規劃完整性，審查結果可以接受。

審查總結

核安會審查小組就台電公司提報之輻射特性調查計畫進行審查，針對輻射特性調查計畫本文的七個章節、五項附錄與二項附件，審查小組共提出 101 項審查意見，經由台電公司答覆說明與修改計畫內容後，審查結果可以接受，重要審查結論與本案有條件結案之追蹤管制事項彙總如下：

- (一) 由於現階段核二廠用過核子燃料仍在爐心，輻射特性調查計畫必須採取分區分階段之執行策略進行，故第一階段輻射特性調查時，將先針對未受用過核子燃料在爐心影響之系統、設備及建物進行調查；受用過核子燃料仍於爐心影響之部分，則待用過核子燃料移出爐心前 6 個月，台電公司應更新輻射特性調查計畫期程，提報核安會審查。
- (二) 台電公司規劃之輻射特性調查計畫以進行後續除役作業，可符合核二廠除役計畫及相關法規要求，本階段審查結果可以接受。
- (三) 經審查有條件結案之管制追蹤事項如下表 1，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計畫。

表 1、第二核能發電廠輻射特性調查作業計畫管制追蹤事項

項次	對應審查 意見編號/ 計畫頁碼	內 容
1	特調計畫 第 105 頁	台電公司自開始執行核二廠輻射特性調查偵檢作業，應於核安會每季定期視察前提交查核表，概要說明作業執行進度。
2	特調計畫 第 133 頁	台電公司應依據核二廠輻射特性調查計畫，於用過核子燃料移出爐心 6 個月前，更新受燃料仍在爐心影響之輻射特性調查項目執行期程規劃，後續依期程規劃於調查項目先備條件滿足時，即執行調查並更新輻射特性調查計畫報核安會。
3	審查意見 編號 23	台電公司應依據核二廠輻射特性調查計畫關注核種清單與自主調查核種清單之規劃，進行取樣分析，並依取樣分析結果，滾動檢討關注核種清單。
4	審查意見 編號 94	台電公司應依據滾動檢討關注核種清單之特性，持續調查導出濃度指引基準(DCGL)之重要參數，並參考國外實務經驗以及核一廠之經驗回饋，重新針對機率性分析(核一廠之作法)與確定性分析(美國電廠 Yankee Nuclear Plant Station 之作法)分別進行評估，並於完成輻射特性調查作業報告中敘明結果。
5	特調計畫 第 73 頁	台電公司應持續建立各系統、混凝土及土地之難測核種比例因數，並且應確保分析實驗室具備相關核種檢測分析能力與分析量能。