

NRD-SER-115-08

核一廠除役階段爐心燃料退至燃料池安全分
析重評申請分析報告

安全審查報告

核能安全委員會
中華民國 115 年 5 月

目 錄

前 言	1
第一章 簡介	2
一、概述	2
二、審查依據與範圍	2
第二章 技術評估與審查發現	3
一、概述	3
二、審查發現	3
2.1 事故分類與應變準則	3
2.2 用過燃料池冷卻、補水與錯火災風險評估	4
2.3 系統重新分類與事故分析	5
2.4 輻射監測與臨界安全	6
三、審查結論	6
第三章 審查總結	8

前 言

核能安全委員會(以下簡稱本會)於113年8月29日接獲台電公司提出核一廠除役階段爐心燃料退至燃料池安全分析重評申請分析報告，說明為因應核一廠除役階段爐心燃料退出至燃料池後之情境，本案係參照美國除役電廠作法，針對美國除役電廠作法及案例，以及核一廠用過燃料池進行安全評估。

本次為台電公司因應除役過渡階段後期爐心核子燃料全部退至用過燃料池之情況下，參考國外核能電廠於永久停止運轉進入除役過渡階段期間之管制作法，提出核一廠除役技術規範(Defueled Technical Specification, DTS)、除役安全分析報告(Defueled Safety Analysis Report, DSAR)及發生燃料吊運事故(Fuel Handling Accident, FHA)之重評安全分析，修訂核一廠DTS、DSAR，作為核一廠除役過渡階段後期安全管制之基準文件。

核安會為周延核一廠除役階段爐心燃料退至燃料池安全分析重評申請分析報告審查，邀請核能安全分析、核能電廠系統及核子反應器安全管制相關領域的學者專家，與本會同仁共同組成審查專案小組，參照美國除役電廠作法及案例，針對核一廠除役過渡階段DTS、DSAR暨安全評估作法等進行嚴格審查，重點包含事故分類、用過燃料池冷卻與補水能力、系統設備重新分類之合理性及輻射防護等。

經本會程序審查確認其送審文件之完整性後，進入實質審查程序。歷經三回合審查會議及5次審查意見嚴密審查後，審查專案小組共計提出12項審查意見，依法規標準及專業判斷，確認台電公司已針對各項提問進行詳細說明並適當修正報告。綜合審查專案小組審查結果，台電公司已就核一廠除役階段爐心核子燃料退至用過燃料池安全分析重評申請分析提出適當評估與說明，經審查可以接受。

第一章 簡介

一、概述

核一廠1號機與2號機分別於107年及108年停機，並進入除役期間。考量核一廠1、2號機進入除役過渡階段後期，反應爐爐心核子燃料已全數移至用過燃料池(Spent Fuel Pool, SFP)之情境，廠內潛在風險型態已由包括反應爐事故轉變為僅用過燃料池相關事故。台電公司參考與核一廠同型之美國BWR-4除役電廠及用過燃料池相關(如 Vermont Yankee 及 Pilgrim)之實務經驗，辦理除役技術規範(Defueled Technical Specification, DTS)及除役安全分析報告(Defueled Safety Analysis Report, DSAR)之修訂，並就部分已無安全功能需求之原安全等級系統進行重新分類。

二、審查依據與範圍

台電公司核一廠除役SFP燃料吊運事故(Fuel Handling Accident, FHA)分析報告，主要依據「核子反應器設施除役許可申請審核及管理辦法」，並參考國際原子能總署IAEA SSG-15及美國核管會NUREG-1738的規定。審查範圍涵蓋：

- (一)SFP 冷卻與補水之多元性。
- (二)SFP 內核子燃料事故分析(如 FHA、銦火災風險)。
- (三)結構、系統設備(SSCs)安全分類調整之妥適性。

第二章 技術評估與審查發現

一、概述

本案主要針對台電公司所提核一廠除役用過燃料池燃料吊運事故(FHA)分析評估報告，包括緣由、美國除役同型電廠作法及案例，如 Vermont Yankee、Pilgrim 及 Millstone、核一廠 DTS/DSAR 暨安全評估作法、結論及參考文獻等要項，包含除役過渡階段後期 SFP 及補水系統之耐震評估、國際除役核電廠 SFP 法規比對如 NUREG-1738 及 FLEX 策略、美國 Millstone 核電廠除役期間長期停機安全貯存(SAFSTOR)模式之留用系統比對等進行審查，以確認核一廠除役過渡階段 SFP 內核子燃料安全能符合法規及安全要求。

本案審查依據「核子反應器設施除役許可申請審核及管理辦法」，並參考國際原子能總署 IAEA SSG-15 及美國核管會 NUREG-1738 對除役核電廠 SFP 潛在事故風險評估之研究結果的規定相關內容。

本案台電公司參照美國除役核電廠作法，依爐心核子燃料退至 SFP 後的情境進行篩濾，並針對篩濾後，DSAR 第 15 章 FHA 事件進行分析，相關人員劑量分析結果皆遠小於限值，台電公司據以說明核一廠 1、2 號機除役階段爐心核子燃料退至 SFP 之 DTS、DSAR 安全分析之作法及重評結果，皆與美國同型 BWR-4 Vermont Yankee、Pilgrim 除役核電廠作法一致，符合相關法規及安全要求，可作為核一廠除役階段爐心核子燃料全部退出至 SFP 後管制之基準文件。

二、審查發現

本章依照規定進行審查，共提出12項審查意見，經審視台電公司所提答覆說明及報告修訂內容後，所有審查提問均已釐清且經委員複審同意結案。重要審查發現如下：

2.1 事故分類與應變準則

本案事故分類與應變準則經審查後，審查意見為：(1)有關 DSAR 13.3.2 草案刪除了「全面緊急事故(General Emergency, GE)」之分類，請台電公司澄清說明其合理性並補充評估依據；(2)請台電公司澄清說明本案參考 NUREG-1738 之業界除役承諾(IDCs)及幕僚除役假設(SDAs)之情形。

台電公司答覆：(1)雖然核子燃料已移出爐心，但依據「核子事故分類通報及應變辦法」，若「用過燃料池水位低於核子燃料頂端上方 0.3 公尺且無法在 60 分鐘內恢復」仍屬全面緊急事故。因此，台電公司已於 DSAR-13-07 修訂中恢復全面緊急事故之分類；(2)本案依據 NUREG-1738，除役電廠在停機一定時間後，由於衰變熱降低，發生銼火災的風險大幅度消除，考量核一廠已停機多年，其對廠外民眾之輻射劑量影響遠低於運轉中電廠，但仍保留 10 CFR 50.155 之 FLEX 策略所要求之移動式補水與監測設備，以應對極端事故。針對 SFP 安全，台電公司承諾包含：提供多樣化補水來源、維持 SFP 水位及溫度監測，以及建立緊急操作程序(EOPs)，以應對水位可能下降之境況。

經審查台電公司答覆說明及修正之內容，審查結果可以接受。

2.2 用過燃料池冷卻、補水與銼火災風險評估

本案 SFP 冷卻、補水與銼火災風險評估經審查後，審查意見為：(1)請台電公司澄清說明 SFP 在喪失冷卻且無法補水之極端情況下，燃料護套溫度達到銼火災臨界溫度(900°C)之時間分析；(2)請台電公司澄清 SFP 補水路徑之耐震等級及其多樣性；(3)請台電公司補充說明現場人員執行 SFP 補水操作所需時間；(4)請台電公司補充說明 SFP 正常運轉溫度限值及冷卻喪失後之溫升率計算；(5)請台電公司澄清冷卻系統管路設計規範與美國案例之差異。

台電公司答覆說明：(1)經計算，在核子燃料停機 3 年後，即便發生完全喪失冷卻水之事故，SFP 水位下降至核子燃料頂部上方 0.3 公尺(觸發全面緊急事故)約需 10 小時。台電公司承諾具備於 2 小時內啟動現場補水、

10 小時內由廠外支援之能力。分析顯示，由於核子燃料已衰變超過 3 年，衰變熱已顯著降低，銼火災風險極低；(2) SFP 本體、不鏽鋼襯板及格架均屬安全等級及耐震一級結構，分析指出，在設計基準地震(Design Basis Earthquake, DBE)下，符合耐震一級的 SSCs 不會失效，可排除襯板快速流失池水的情境。SFP 補水路徑包含正常補水系統、利用山上 10 萬噸生水池重力或消防車引接廠房消防水系統，以及移動式泵浦由廠外水源取水，即便在地震後，仍可透過多重補水路徑維持水位。另用過燃料池已依據 EPRI 3002009564 規範及 SSHAC Level-3 機率式耐震危害度進行評估，並參考 NUREG-2161，在核子燃料「1x4」擺放佈局下，即便發生超越設計基準地震且無補水，由於核子燃料已冷卻多年，其衰變熱極低，燃料護套仍可維持完整，無放射性核種外釋風險；(3)電廠已進行現場人員執行 SFP 補水操作演練，從發現水位下降到建立消防補水路徑，所需時間遠短於水位降至臨界高度之 10 小時，具備充足之應變餘裕；(4) SFP 池水行政管制溫度為 60 °C(140 °F)。若冷卻喪失，最高溫升率約為每小時 1.5 °C。電廠已將 SFP 水位計與溫度計訊號引至主控制室，確保即時監測；(5) SFP 冷卻管路符合 ANSI B31.1 標準，且部分關鍵管路維持耐震一級設計，與美國 Vermont Yankee 電廠之 DSAR 3.3.2 節所述做法一致。

經審查台電公司答覆說明及修正之內容，審查結果可以接受。

2.3 系統重新分類與事故分析

本案系統重新分類與事故分析經審查後，審查意見為：(1)請台電公司補充說明刪除備用氣體處理系統及控制室緊急通風系統之影響；(2)請台電公司補充說明 SFP 襯板發生嚴重洩漏之可能性及應對措施；(3)請台電公司補充說明用過核子燃料護箱吊掛事故之防範；(4)請台電公司參考美國 Millstone 核電廠除役期間長期停機 SAFSTOR 模式下之留用系統及維護管理作法。

台電公司答覆說明：(1)根據最新的 FHA 分析，即便不依賴備用氣體處

理系統及主控制室緊急通風過濾系統，在核子燃料停機 3 年後，事故釋放之劑量仍遠低於法規限值(禁制區及控制室包封劑量分別低於 0.01 Sv)。因此，這些系統可重新分類為非安全等級；(2) SFP 具備洩漏偵測管路，若發生小規模洩漏，可透過補水維持水位；台電公司已依福島總體檢強化的耐震安全再評估 SSHAC Level-3，進行用過燃料池之耐震評估，仍能確保池體結構之完整性；(3) 本案採用「單一失效準則」之起重機進行護箱吊掛，並依據 NUREG-0612 進行分析。吊掛路徑已避開用過核子燃料貯存區，確保重物跌落不致損傷用過核子燃料；(4) 本案參照美國 Millstone 核電廠在 SAFSTOR 期間案例，考量核一廠 SFP 長期使用情境，將 SFP 冷卻與淨化系統，以及相關輔助支援系統列為除役重要設備(ITDC)，並維持相關系統設備完整性及維護測試等品保要求，以確保除役過渡階段核子燃料安全。

經審查台電公司答覆說明及修正之內容，審查結果可以接受。

2.4 輻射監測與臨界安全

本案輻射監測與臨界安全經審查後，審查意見為：(1) 請台電公司說明在系統重分類後，保留哪些輻射監測器；(2) 請台電公司澄清核子燃料於 SFP 中之臨界安全餘裕。

台電公司答覆說明：(1) 核一廠保留了 SFP 區域輻射監測器及排氣路徑之流程輻射監測器，並維持其警報功能，以確保放射性物質外洩時能及時偵測；(2) SFP 格架設計已考量幾何形狀及中子吸收材料。分析顯示，即便在最極端配置下，有效中子增殖因子(K_{eff})仍維持在 0.95 以下，符合臨界安全要求。

經審查台電公司答覆說明及修正之內容，審查結果可以接受。

三、審查結論

綜合以上審查結果，針對台電公司所提送審報告各章節要項，其內容包含除役過渡階段後期 SFP 及補水系統之耐震評估、國際除役核電廠 SFP 法規比對如

NUREG-1738 及 FLEX 策略、美國 Millstone 核電廠除役期間長期停機 SAFSTOR 模式之留用系統比對進行審查，以確認核一廠除役過渡階段後期 SFP 內核子燃料安全能符合法規要求。

經就台電公司送審報告內容及對審查小組提問之答覆內容進行審查，審查結果可以接受。

第三章 審查總結

綜合本會審查小組，審查台電公司因應除役過渡階段後期之用過燃料池，以及仍暫存於核一廠核子反應器設施內核子燃料安全需求，修訂所提送之「核一廠除役階段爐心燃料退至燃料池「除役技術規範(DTS)」、「除役安全分析報告(DSAR)」暨安全分析重評申請分析」報告，其中核一廠除役技術規範(DTS)之審查結果詳參本會安全審查報告編號NRD-SER-115-06相關內容、核一廠除役安全分析報告(DSAR)之審查結果詳參本會安全審查報告編號NRD-SER-115-05相關內容，以及核一廠除役用過燃料池燃料吊運事故(FHA)分析之審查結果詳參本會安全審查報告編號NRD-SER-115-07相關內容。

台電公司已針對本案安全分析重評申請分析報告12項審查意見提出補充說明，並提供佐證資料或修訂報告內容，審查結果可以接受。以下摘述重要審查結果如下。

- 一、在評估安全性方面，核子燃料於停機3年後其衰變熱已顯著降低，事故分析結果亦顯示對廠外民眾及工作人員之輻射劑量影響遠低於法規限值，審查結果可以接受。
- 二、在救援多樣性方面，用過燃料池具備消防水、生水池及救援設備等多重補水路徑，且其可應變時間明顯大於實際操作所需時間，審查結果可以接受。
- 三、在法規符合性方面，台電公司就核一廠結構、系統及組件之重新分類係參考美國除役電廠之實務作法，並保留關鍵之重要安全設備(ITDC)監測與補水等功能，符合除役過渡階段後期之安全需求，審查結果可以接受。

綜上所述，核一廠1、2號機除役階段爐心核子燃料退至用過燃料池之安全分析報告重評結果及其修正內容已提出適當評估與說明，經審查後符合核一廠除役計畫於除役過渡階段後期安全管制要求，審查結果可以接受。