

行政院原子能委員會
委託研究計畫研究報告

除役期間因廠區設備停用、部分運轉或配置變更之消防危害因子研究

**Research on fire risk factors due to equipment shutdown, partial
operation or configuration changes during nuclear facility
decommissioning**

計畫編號：109B005

受委託機關(構)：社團法人美國消防工程師學會台灣分會

計畫主持人：黃育祥

聯絡電話：0972753061

E-mail address：una459@mail.cpu.edu.tw

顧問：許文勝

研究期程：中華民國 109 年 5 月至 109 年 11 月

研究經費：新臺幣伍拾參萬玖仟元

核研所聯絡人員：胡進章

報告日期：109 年 11 月 24 日

目 錄

目 錄	I
中文摘要	1
英文摘要	2
壹、計畫緣起與目的	4
一、前言	4
二、目的	5
貳、研究方法與過程	6
一、完成核電廠除役期間之區域性火災風險因子變更之分析報告	6
(一) 核電廠除役消防法規法條引用與介紹	6
(二) 各國除役國際經驗之案例分析	34
(三) 反應器廠房與汽機廠房火災風險因子分析	40
二、核電廠除役期間火災風險因子變更相關消防安全評估事項	49
(一) 電氣分析之電纜燃燒風險及拆解與拆除之切割風險分析	49
(二) 終期安全分析報告(Final Safety Analysis Report, FSAR)	60
參、主要發現與結論	61
一、核一廠現場訪查	61
(一) 第一次訪查	61
(二) 第二次訪查	64
二、結論與建議	68
(一) 結論	68
(二) 建議	69
肆、參考文獻	73

中文摘要

我國核一廠自 1978 年底實施運轉，執照期限為 40 年，配合政府非核家園的政策，規劃核一廠進行核電廠除役作業，從 2012 年起開始規劃準備除役作業，至 2018 年開始執行除役作業，而除役作業當中，火災防護將人命安全視為主要目標。各項除役工作中，許多火災風險的預防，亦是執行工作前的首要評估作業；如各項除役法規的應用、全球核電廠除役案例的參考，以及火災安全防護的計畫等。綜合上述，核一廠內部需建立一個符合除役作業標準的火災防護計畫能在維持核能安全上，防止生命財產的損失。

本研究透過國內、外法規綜合分析、國外案例分析與核一廠現場廠勘，初步針對核一廠火災防護歸納出以下六大項，並對除役工作的進行，羅列出火災預防工作的風險性分析，提出除役過程中所須遵守的原則與規範。

一、可燃物管理安全

二、通風與集塵設備安全

三、電氣安全

四、消防安全

五、施工安全

六、人員安全

關鍵字：核電廠除役、火災風險、火災預防

Abstract

The unit 1 of First Nuclear Plant was in operation since the end of 1978, and the license of 40 years. In line with the government's policy of non-nuclear homelands, the unit 1 of First Nuclear Plant was planned to carry out decommissioning. The preparations for decommissioning operations would be planned from 2012 and the decommissioning operations would be implemented in 2018. During decommissioning operations, fire protection regards the safety of human life as the main goal. In various decommissioning work, the prevention of many fire risks are also the primary assessment task before implementation; such as the application of various decommissioning regulations, reference to global nuclear power plant decommissioning cases, and fire safety protection plans. In summary, the unit 1 of First Nuclear Plant needs to establish a fire protection plan that meets the decommissioning operation standards to maintain nuclear energy safety and prevent loss of life and property.

Based on the comprehensive analysis of domestic and foreign laws and regulations, foreign case studies, and site surveys of The unit 1 of First Nuclear Plant, this study initially summarized the following six items for fire protection in The unit 1 of First Nuclear Plant, and listed

the fire prevention work on the progress of decommissioning. Risk analysis, put forward the principles and norms that must be followed in the decommissioning process °

1. Safety of combustibles management
2. Safety of ventilation and dust collection equipment
3. Electrical safety
4. Fire safety
5. Construction safety
6. Personnel safety

Keywords : Nuclear power plant, Decommissioning, Fire risk, Fire prevention

壹、計畫緣起與目的

為強化核電廠於除役期間的火災防護，規劃更完善的火災預防計畫。因此，透過法規與案例分析之探討，以達核能安全的主要目的。

一、前言

有關核一廠除役期間之作業進展及安全性，除針對除役期間所進行的各項工程作業外，最主要的目的是要加強保護反應器廠房的核子反應器機組設施與用過燃料池的安全及避免輻射外洩的風險。本研究的目標，係對反應器廠房與汽機廠房於除役期間過渡階段的火災風險因子進行分析，並完成此兩區域的火災風險因子變更之分析報告。目前根據國際原子能總署（IAEA）統計資料，於 2018 年 12 月底為止，全球共有 172 座核能機組永久停止運轉，其中 17 座已完成除役。因此，顯示國際上在處理核電廠的除役作業，已累積相當多的技術經驗。然而我國核一廠一號機與二號機的運轉執照，分別於 2018 年 12 月 5 日及 2018 年 7 月 15 日相繼到期，而依據我國「核子反應器設施管制法」第 21 條與第 23 條規定，核子反應器設施之除役，應採取拆除之方式，並在主管機關規定之期限內完成；經營者應於核子反應器設施預定永久停止運轉之三年前提出除役計畫。故台電公司於 2015 年 11 月 24 日將核一廠除役計畫函送主管機關原子能委員會審查，並於 2017 年 6 月 28 日獲原能會審查通過。原能會於 2019 年 7 月 12 日核發除役許可，核一廠於 2019 年 7 月 16 日正式除役。在執行除役工作，核一廠除役作業時程的規劃主要分成四階段；包括除役過渡階段(約 8 年)、

除役拆廠階段(約 12 年)、廠址最終狀態偵測階段(約 3 年)及廠址復原階段(約 2 年)，共計 25 年。並依「核子反應器設施管制法施行細則」第 16 條之規定，於取得主管機關核發之除役許可後 25 年內完成除役工作。

二、目的

在核電廠區的火災風險分析中，針對除役過渡階段與除役拆廠階段的過程中，因動火作業的進行，人員與裝備器材的進入，使核電廠內人為因素與可燃物火載量變複雜，相較危害風險提高，而火災風險是針對已存在或尚未存在的人事物，可能導致有發生火災的情形；火災危害則為現場已存在的火災致災因子。面對除役過渡階段的火災風險因子分析，係透過實際至核一廠場勘，從中可以得知反應器廠房與汽機廠房等兩個區域的火災風險因子特性的分析資訊，在除役期間過渡階段的前期，反應器內的燃料束尚未移除，核電廠火災影響核能安全的風險最高；故除役期間過渡階段前期評估時，仍應以運轉中核電廠的規模來做火災防護，進而提供核電廠於除役過程中，針對以上兩個廠區的火災防護、防火安全評估、火災風險因子分析、電氣分析或人為可靠度分析等建議，未來配合進入除役拆廠階段，可整合各項評估分析後，擬定一套除役施工防火作業計畫，以強化各除役工作項目，動態化的實施防火作業，因應區域性火災風險因子變更的特性，以利推動各層級監督與查訪時的標準化流程，達到除役期間施工作業的火災安全為最大目的。

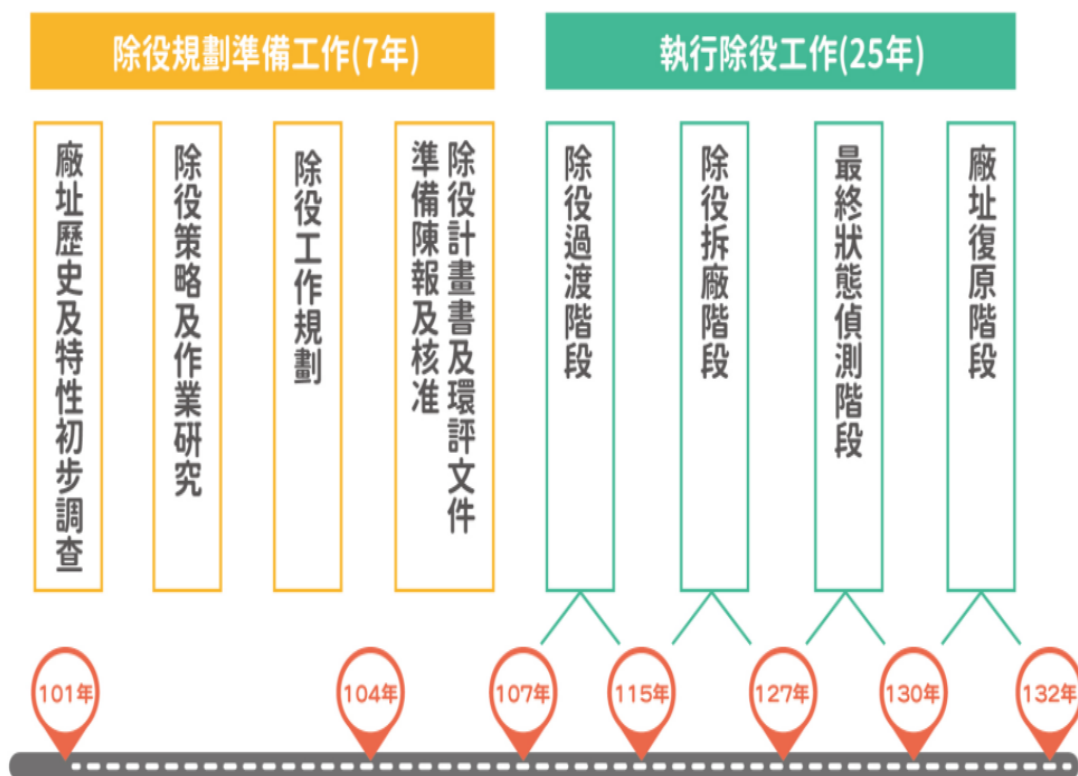


圖 1：國內核一廠除役計畫時序圖

(資料來源：台灣電力股份有限公司核能後端營運)

貳、研究方法與過程

一、完成核電廠除役期間之區域性火災風險因子變更之分析報告

核電廠對除役期間的火災風險因子之控制是相當重要的。透過相關法規的規範，以及施工期間的火災防護措施等探討，以利檢討施工期間的防火區劃破壞變更之規劃、可燃物移除堆積之防護，或是相關動火作業的注意事項等各類除役期間火災風險因子的主要變因。

(一) 核電廠除役期間消防法規、法條的引用與介紹

除役期間過渡階段前期雖然反應器已停止運轉，但針對高階核廢料的暫存於反應器內，所須要火災防護的規格，卻一點

也不亞於運轉中的反應器狀況，甚至可能因施工作業所需，反而有外來火源、火載量之情形，及破壞原防火區劃設計之潛在風險；其在火災風險分析上，可以參考 NFPA 805 所規範的分析情況，針對起火事件，或是曾起火過的組件、區域等，來加以分析；並於除役過渡階段，強化該區域的火災防護，以下為相關核電廠除役所需注意的規範：

1. Appendix D Use of Fire PSA Methods in NFPA 805(Probabilistic Safety Assessment,PSA)

在火災風險分析上，可以參考 NFPA 805 所規範的分析情況，針對起火事件，或是曾起火過的組件、區域等，來加以分析，並於除役過渡階段，強化該區域的火災防護。以下針對火災防護分析相關事項：

(1)起火分析	A.火災初始化分析的目的是為確認火災分析 PSA 的火災場景頻率和物理特性，起火分析應符合以下標準： (A) 場景起火頻率估算可反映核電廠經驗。其分析應考慮可能導致火災並嚴重影響核電廠安全的事件，評估過程的方法和標準如下： a.貝葉斯估計(Bayesian estimation)是一種從經驗數據估計特定區域或特定組件火災頻率的可接受方法。 b.若分析以火災頻率進行畫分，如考慮火災情景中，火災嚴重程度的分佈，則該畫分方法應反映所分析火災情景的物理特徵。 (B) 分析地震引發的火災情況。 (C) 火災場景建模的方式，應可用於預測後續火災的行為： a.應認識不同的啟動機制（如高能量開關裝置故障、電纜過熱）會導致不同的火災情況。
---------	---

	b.當觀察到核電廠條件轉化為與相關的實驗數據一致的場景特性時，此類數據可用於最大預期的火災場景和限制火災場景的可能性，並應考慮所有可能的場景。
(2)火災損壞分析	A.火災損壞分析的目的是確認在給特定火災情況下，在特定模式下可能會損壞的潛在風險，如重大組件（包括電纜）的條件機率。 B.各組件被火災損壞機率等於在成功控制或抑制火災之前超過組件損壞的機率。 (A) 其火災損壞分析應符合以下標準 a.導致起火事件。 b.增強核電廠緩和啟動事件能力，如核電廠安全設施。 c.影響潛在重大風險的設備，如抑制系統。 (B) 應考慮所有損壞機制，包含受熱、煙與抑制劑的影響。 (C) 若無法確定火災條件下的性能標準，應考慮為失效模式，如未知的電纜分佈或電路分析。 (D) 預測核電廠火災行為的模型可用於估計損壞時間，如通風、幾何形狀和障礙物之火災場景的特性、明確解決在隔間起火的可能性、分析電纜損壞溫度參數值、對滅火時間分析反映實際火災事件以及具體情況和特定情況，並分析下列： a.考慮場景特定時間，以檢測火勢時間以及滅火時間。分析應包括自我熄滅、快速探測和抑制，在初期階段的探測和抑制以及在設備損壞之前的結構階段進行介入和抑制的潛在評估。 b.滅火分析中使用的假設應適當反應火災模型，如抑制分析未明確指出探測火災的時間，則火災模型初始條件應反映探測時的火災條件，而不是火災啟動時的

	條件。 c.消防設備的不可用和不可靠特性反映核電廠特定功能，如消防系統的維護和特定場景的條件，如障礙物對自動撒水設備性能的影響。 d.分析環境條件引起的火災，對手動滅火活動效果的影響。 C.分析應考慮自動和手動滅火設備的各種形式間的依賴性，如消防隊的情況。
--	--

2. RG 1.189

1975 年自從美國 Browns Ferry Nuclear Power Plant 一號機發生火災後，調查結果認為純粹防火、人員安全與財產保護概念不足以防護核能安全，經過多年研究後，其檢討改善的問題與漏洞歸納出重要項目：

- (1)要求業主區分防火區
- (2)增強行政管制
- (3)完成 FPP(Fire Protection Program)導則
- (4)出版消防法（ Fire Protection Rule）
- (5)提出消防法規豁免程序
- (6)提供績效導向評估導則
- (7)建立電路分析之風險告知解決方案
- (8)進行一系列電纜防火測試
- (9)火災後安全停機的電路要求

因此 RG 1.189 規範的演進過程解決了美國在核能消防法規繁雜的難題。針對核電廠除役期間火災因子的分析中，可以先從核電廠建築物特殊性探討，再檢討其內部的相關規

定。雖然機組已經停機，但用過燃料仍然保存在反應器內，應該視為正在運轉中的機組來防護；而相對較高風險的電纜與電氣設施造成火災案件的分析，並可針對規範來著手，其中針對運轉中與除役中的規範比較如下：

規定	內容
(1)核電廠一般防火規劃	
A.一般建物與建物系統設計	提供廠房配置、建築材料，以及重要高效率防火保護之建物系統設計等導則。
B.建築物可燃性特性	內牆與建物配件、隔熱材料、輻射屏障、及隔音設備均應為不可燃。火災風險分析內應指出電廠 SSCs 與特定防火設施使用可燃材料之處。
C.內部不可燃裝潢	實驗室檢測證明，如.塑膠、隔音塑膠、石膏塑膠板，不論平板牆面或油性、水性油漆、磁瓷磚、瓷片、磚、石、混凝土塊、鋼板與鋁板、平板、油漆、或塗釉者、瓷磚、混凝土之瀝青磚。懸吊式天花板與其支架應為不可燃建物。
D.測試實驗	內裝應為不可燃或為實驗室驗證合格。
E.分隔區、防火地區、與防火	重要 SSCs 必須設計且裝置使火災及爆炸效應減到最低。分隔是以被動防火屏障將電廠分成各區段。
F.防火區域 (Fire Areas)	將核電廠建物用防火屏障與其他地區分隔，這些屏障包括建築組件，如桿柱、欄柵、穿越密封、防火門及防火風門等。
G.防火區 (Fire Zones)	依據火災風險分析確認該區域範圍內有消防系統可提供風險防護，稱為防火區 (Fire Zones)。
H.疏散路徑之設計	應規劃滅火路徑，及安全停機操作人員疏散安全路徑，包括火災與災後人員之可停留、對火災保護或隔離等。

(2)電氣電纜之消防設計	
A.電纜設計	電氣電纜施作應通過 IEEE 383 或 IEEE 1202 之火焰測試 (flame test)。1976 年 1 月前運轉電廠之電纜未能符合 IEEE 383 之測試要求者，所有電纜都要以已核定之防火漆予以被覆且適當降其耐火等級，或者以自動滅火系統保護之。雖然防火被覆之電纜顯示降低火焰擴張，但以 10 CFR 50 APP.R Section III.G.2 的保護要求而言，被覆電纜是被列為可燃性的。此外被覆電纜在火災時是會引火的。新反應器光纖絕緣與被覆也應符合 IEEE 1202 要求。
B.電纜溝槽	電纜溝槽以金屬製造，不能用薄金屬管，電纜溝槽僅能用於裝設電纜。
C.電纜系統防火偵測與滅火	電纜室以外的多重設置電纜系統應互相分離，且要有 3 小時之耐火等級之隔離，有重要電纜地區要有探測器。
D.電氣電纜之隔離	要確保單一系統火災不會損及多重設置系統，RG 1.75 分離導則只適用於火災後安全停機系統之電氣電纜。不能符合 RG 1.75 的電纜，均以防火材料被覆或以自動滅火系統保護。
E.變壓器	有火災風險之重要安全變壓器應符合法規立場 7.3 之要求。
F.電氣開關箱	高壓電氣箱（480V 以上）為關切重點。高壓電氣箱要有適當的空間或實質物理屏障來保護鄰近設備等。有重要安全電氣開關箱之廠房應設全區自動防火偵測、自動與手動滅火系統等保護。
(3)HVAC 通風系統設計	
A.過濾可燃性氣體	有關設備過濾器應符合 RG 1.52 之要求並依照火災風險分析結果予以防護。
B.煙氣控制與移除	煙霧與腐蝕性氣體應直接排出至不影響重要安全的區域，易產生濃煙地區應考慮分離排煙與排熱。

C.適居性 (Habitability)	為確保緊急使用空間的適居性，可考慮下列區域：(A)主控制室。(B)火災後安全停機區域。(C)人員疏散通路及樓梯間煙氣降至最低之可用逃生路線。
D.防火風門	為有效抑制火災傳播，防火屏障之通風管線穿越區域應以自動開關之防火閘門來保護之。
E.爆炸預防	氫氣與爆炸氣體有關的系統應標示爆炸危險並予適當預防。氫氣供應及分配系統要有減輕系統損害之特性設計，周圍有檢測設備之雙層管路，及防高壓破裂膜片等裝置。
(4)建物防火屏障	
A.防火門	防火門應經火災測試合格，具有自動關閉裝置，並每半年檢查。應具備： A. 防火門保持關閉，且在經常有人常駐處監控。 B. 上鎖防火門應每週檢查確認保持關閉。 C. 有自動保持開啟防火門應每日檢查確認無阻礙通行。 D. 保持關閉之防火門，每日檢查以確認保持關閉。
B.牆、地板及天花板組件	牆、地板及天花板組件均應為不可燃材料。
C.防火閘門	通風開口應有經測試之防火閘門防護。
D.貫穿處密封	管路、導管與電纜槽等開口應密封以達到耐火等級區隔。
(5)電氣系統	
A.電纜防火等級	所使用電纜防火等級不會影響安全停機。
B.電纜路徑防火隔離	無自動保護系統之重要安全地區，水平電纜每 6.1m(20ft)應裝置防火隔離設施(Fire Stop)。
C.安全停機成功路徑	新反應器圍阻體內多重設置之安全停機系統應確保至少有一火災後停機成功路徑免於火災之損害，且應合理延伸保護程度。應評估每一包含重要安全 SSCs 之區域，並列出火災後安全停機成功路徑。
D.火災後安全	重要安全停機之 SSCs 火災防護，以確保至少有一自控制

停機績效目標	室或緊急操作站須用來維持停機之成功路徑免受火災損害。目標為：a.達到並維持冷爐停機狀態。b.反應器補水功能。c. RHR 維持餘熱移除功能。d.流程監視功能提供操作控制變數。e.提供安全停機需用輔助功能。
E.安全停機能力之消防保護	多重設置之安全停機系統組件應視需要設置防火屏障或自動滅火系統，或者兩者都設。除非有替代或驗證停機系統，或者因為多重停機及維持停機之設備或電纜全部集中於一次圍阻體外之同一防火區，應用下列方法免受火災損害； A. 以 3 小時等級防火屏障隔離。 B. 以 6.1m(20ft)以上水平距離作為分隔，不可有可燃物或火災風險物品，且該防火區域要有探測器及自動滅火系統。 C. 多重設置之火災後安全停機成功路徑應有 1 小時等級防火屏障，應設置探測器及自動滅火系統並評估是否符合法規要求。
F.控制室火災	在控制室防火區域其電路應有獨立電纜系統及組件。
(6)圍阻體	
A.圍阻體	火災風險分析指出一、二次圍阻體之消防風險應納入保護。圍阻體火災風險包括潤滑油、高壓液、電纜、電氣貫穿、電氣箱等。大修與維護運轉期間，應考慮額外的風險，包括：污染管制及除污材料之供應與管制、鷹架、塑膠片、木板等。火災風險分析應評估一次圍阻體內假設性火災以確認圍阻體保持完整，不致威脅安全停機的目標。
B.圍阻體電氣分隔	二次圍阻體電纜火災之防護，在充氮的圍阻體，應符合下列 A. 電纜水平距離 6.1m(20ft)之間隔，且中間無可燃物或可引起火災危險物。 B. 防火區域內裝設探測器與自動滅火系統。

	C. 以 30 分鐘耐火等級之屏障分隔。
C.圍阻體滅火	依據火災風險分析配置滅火系統，正常運轉期間一次圍阻體無法進入，因此均配置固定自動滅火系統。消防系統運轉不可優先於圍阻體完整性或其他重要安全系統，圍阻體消防行動應配合整體圍阻體要求，圍阻體入口附近備有空氣呼吸器，並清楚標示。
D.圍阻體火災偵測	在控制室內應有警報指示，一次圍阻體內每個防火區域要有探測器，一、二次圍阻體應依火災風險分析決定之型式、位置來裝設適合的探測器。 除一般區域消防偵測能力外，在空氣循環系統過濾器之前端要裝設適當的煙、熱且與環境輻射探測器。
(7)控制室	
A.綜合設施	控制室綜合設施應防止火災損害，並以至少 3 小時耐火等級之防火分隔。控制室周邊空間等應設自動滅火系統，並以 1 小時耐火等級之建物分隔。通風開口應設自動防煙風門，當探測器或滅火系統運轉時關閉。如果使用氣體滅火系統，風門強度應足以支持滅火氣體釋放時之壓力，且氣密足以防止滅火氣體滲入控制室，這些區域不可使用二氧化碳全區放射滅火系統，控制室應備有空氣呼吸器。所有進入控制室之電纜應以控制室為終點，不可穿越控制室再連接出去其他區域。天花板與地板下電纜空間距離應符合消防分隔規定。重要安全設備均應安裝於機台上，控制室要有排水設備。控制室內不可鋪地毯。
B.控制室滅火	應備手動滅火設備能力：a.在電氣箱、控制箱或電纜接頭發生的火災。b.一般區域可燃性引起之火災，控制室應放置 Class A 及 C 手提式滅火器，消防栓應設於控制室內或外面鄰近處，滿足電氣安全要求，並對電氣設備之物理損害影響降至最低。
C.控制室消防	控制室要有煙霧探測器與警報指示。如多重安全停機系統

偵測	設置於控制室內，則要設置額外的消防方式。
D.控制室通風	以正常通風排出火災引起的煙霧是可以接受的，但通風系統要能隔離循環部份。手動通風可由人員操作。
E.電纜室	對每一多重分區 (redundant division) 要設置分離電纜室。電纜室不可共用。每個電纜室要分離，且要與電廠其他地區分隔，其屏障要有 3 小時防火等級以上。電纜室要有下列設施：a.至少有 2 個分開之消防人員入口。b.電纜托架間至少 0.9m(3ft)寬、1.5m(5ft)高之分離通道。c.室外近接處設有消防栓及手提滅火器。d.區域消防偵測。 電纜室應以自動撒水滅火系統為主。每一電纜室通風系統設計要能在區域內氣體滅火系統動作時隔離，要有可自室外操作之獨立排煙設備。
F.電腦室	不在主控制室內而具有重要安全功能之電腦室，應與其他地區分離，其屏障至少為 3 小時耐火等級，要有自動偵測與固定自動滅火設施。 電腦室屬於控制室綜合建物，但又不在控制室內，要按鄰近空間分離防護規定。在控制室內的電腦盤比照控制室內其他設備與電纜等予以防護。控制室外電腦要用 3 小時防火等級屏障與重要安全設備隔離，以免火與煙損及重要安全有關設備。
G.電氣開關室 (Switchgear Rooms)	電氣開關機房要以 3 小時耐火等級屏障與其他設備隔離。現場及控制室皆要設置自動偵測與警報。 手動滅火設備應設於方便操作之處，應考慮附設手動遙控排煙設備。
(8)其他各區域	
A.蓄電池室	蓄電池室要有滅火、防爆保護，應與其他區域有 3 小時以上等級之屏障隔離，電池室內不能有直流開關箱與變電器，具有自動偵測警報指示，應維持蓄電池室氫氣濃度在 2%以下。電池室外設手提滅火器與消防栓。

B.緊急柴油發電機(EDG)室	與其他區域要有 3 小時以上耐火等級之屏障隔離，非重要安全 EDG 要以 3 小時以上耐火等級屏障與重要安全功能之設備與電路隔離。應設自動滅火系統且不影響 EDG 之運轉中滅火。具有自動偵測警報指示。EDG 室外設置水帶箱與手提滅火器。應設消防排水及手動排煙設備。
C.幫浦室	幫浦室應有 3 小時以上耐火屏障與其他廠區隔離，具火災警報指示並備有消防水帶箱與手提滅火器。
D.新燃料區	應配備手提滅火器、水帶箱、地板排水。具自動警報指示，可燃物應減到最少。隨時注意維持消防水的界限。
E.用過燃料區	設水帶箱與手提滅火器，現場與控制室設消防警報指示。
F.廢料廠區及除污區	應以 3 小時耐火等級屏障與其他區域隔離。可使用自動噴灑系統，替代方式可用手動水帶箱及手提滅火器。具自動偵測及警報指示。通風系統要有防止放射性物質擴散之裝置，滅火用消防水應排至液體廢料處理收集系統。含放射性物料應以金屬槽或容器儲存並遠離火源或易燃物，亦注意附近其他區域火災之防護與餘熱移除。
G.水槽	安全停機水源水槽應防火災，戶外不可儲存易燃物料。
H.冷却塔	最終熱沈或消防用水池用應以不可燃材料建造，其位置與消防不致影響重要安全設備。消防用水池因清理而排乾時，要能維持替代供水。
I. 爐水冷却幫浦	如果圍阻體未充氮，而外部爐水冷却幫浦有潤滑油系統，就要配備潤滑油集液設備。要確保不致引起火災或事故的設計，且能承受地震等級安全停機。該收集系統要能收集所有可能之洩漏，以及可容納全部油量之通氣封閉容器。如果潤滑油閃火點特性可能引起回火風險（the hazard of fire flashback）的情形，通風口要有防焰裝置。要準備一個以上油槽以收集所有爐水冷却泵潤滑油，否則要有替代方案。
J. 汽渦輪機與	與附近重要安全設備以至少 3 小時耐火屏障隔離，屏障設

發電機廠房	計甚至在汽渦輪機廠房崩塌情況下，防火屏障結構仍要保持完整。開口與貫穿處應儘量減少，且注意位置特性。應考慮火災風險嚴重性、深度防禦等並加以額外防護，並評估人員維持操控安全停機能力。
K.油系統	汽渦輪機房含大量可燃液體，應以 3 小時耐火等級屏障與重要安全系統隔離，無屏障部份依失火風險需要應加防護。
L.氫氣系統	汽渦輪發電機可能以氫氣冷卻，氫氣儲存應符合法規要求。
M.煙霧控制	應有煙霧控制設備以減輕火災產生之濃煙。
N.廠用變壓器	變壓器應為乾式，或以不可燃液體作為絕緣及冷卻。
O.柴油儲存區	大於 4164 L(1.100 加侖)之柴油槽，不可設置於含有重要安全設備之建築內。地面油槽應距重要安全設備之建築物 15.2m(50ft)，否則要加蓋耐火 3 小時等級之獨立建築物，對可能溢流之油槽應限制或直接移除。室外或建物下直埋式槽可被接受。地面柴油儲存槽，包括獨立建築內之油槽均要有自動滅火系統。
P.可燃氣體儲存與配送	建築物內不可儲放大量可燃氣體，如氫氣應貯儲放室外或獨立建築物內。高壓氣體容器應平行於建物牆面，乙炔-氧氣體鋼瓶不可存放於重要安全設備地區。 在電廠重要安全地區之氫氣供給系統，應裝設限流器或限流閥在管線洩漏時降低風險性，維持氫氣濃度在 2% 以下。

3.RG 1.189 附錄 C TESTING AND QUALIFICATION OF ELECTRICAL RACEWAY FIRE BARRIER SYSTEMS

火災風險因子中，電氣火災中電纜線、電纜托架及其他較易起火的組件，有關 RG 1.189 之電纜托架托架火災測試如下：

項目	內容
(1)電氣起火 測試與鑑定	托架電纜托架和組件的耐火測試驗收標準，其防火系統用於在同一區域火災中分隔安全關閉功能，直接應用於托架托架或管道的防火材料，同時滿足以下三個條件： A.防火系統的平均未暴露側面溫度，在外部托架或組件測得的表面溫度，不超過 139 攝氏度。 B.如果進行防火測試，則不管在防火測試過程中未暴露的側面溫度升高，如樣本電纜或組件，進行目視檢查。當溫度超出標準或發生損壞，組件的可操作性或功能應對耐火測試中經歷的溫度進行評估。 C.電纜不因火災熱效應而導致性能下降的現象，如護套膨脹、分裂、開裂、起泡、熔化或變色，當屏障暴露、導體絕緣層裸露、變色，並且裸露的銅導體裸露時，防火屏障未達到預期的效果防火功能。
(2)著火期間 電纜托架、溝槽 或組件之 防火系統	A.著火期間電纜托架、溝槽或組件防火系統保持完好和經水流測試未發現電纜托架有任何孔隙。 B.由於電纜護套的熱傳導係數低，因此暴露於火災中電纜實際局部溫度有升高情況。 C.監控電纜溫度，低耐火測試中的溫度條件，電纜可能會發生損壞，且不會有溫度過高的跡象。 D.為了測試不損失電路完整性，工作人員以監視電纜溫度來確定電纜托架的防火性能，工作人員已納入了對火災後的電纜進行目視檢查的規定，在外部監控溫度可以更清楚地得知防火性能。 E.亦可在無電纜的情況下執行托架防火系統的耐火性測試。 F.電纜絕緣測試在核電廠主要使用兩種材料：熱塑性材料和熱固性聚合物材料，作為電纜絕緣層和電纜護套。熱塑性材料可以透過加熱和再加熱進行軟化和再軟化，而熱固性電纜絕緣材料通過化學反應固化，並且在加熱時不會軟

	化，而在過度加熱的情況下，熱固性絕緣材料變硬且脆。因此電氣故障可能是由熱塑性材料的軟化和流動引起的。
--	--

4. RG 1.191

除役期間使用聯邦法規的除役規範，透過各廠區特性不同，以此法規當作大原則，再依除役計畫執行各項除役作業：

項目	內容
(1)RG 1.191 除役期間	A.聯邦法規 10 CFR 第 50 部分適合用於核電廠防火計畫，其中與除役認證有關的 10 CFR 50.82 的終止執照，以及 10 CFR 50.48 (f) 要求永久停機核電廠的經營者經營者維持消防計畫，以解決火災風險可能導致放射性物質洩漏的傳播。而消防計畫的目標如下： (A)合理預防火災發生 (B)快速檢測、控制和撲滅發生的火災 (C)盡量減少火災對公眾、環境及核電廠內部人員造成放射性危害的風險。 B.聯邦法規提供了基本性能的消防計畫，可以在除役過程中進行修正，以解決潛在危害風險。運轉中反應器的消防計畫主要目標，是為儘量降低與安全至關重要的結構、系統和組件（Structures, Systems and Components, SSCs）的火災損壞，以確保反應器安全停機的能力，並使其保持安全停機狀態。 C.對於停機後的初期，消防計畫應繼續為核電廠提供火災防護。永久停機的核電廠主要消防注意事項是保護核燃料的完整性，防止或減少放射性物質的洩漏，或涉及 SSCs 或放射性廢棄物的火災。 D.反應器廠房於除役階段的消防計畫，其目標在於核電廠除役期間應提供適當火災風險的深度防禦，涉及全面管理控制程序、防火功能、緊急應變以及對 SSCs 的保護等，以防

	止或減輕放射性物質洩漏之可能性。
(2)防火程序	A.NRC 要求核電廠依 10 CFR 50.48 (f) 執行永久停機核電廠的防火措施，因除役期間屬於動態，經營者的消防計畫應至少每年重新評估一次，並根據需要適時進行修訂，以通過除役各個階段。 防火程序應解決以下性能目標。 (A)防止火災： 實施行政管制，以降低火災發生，如應將可燃物與火源隔離或進行其他物理隔離。 (B)快速檢測： 控制和撲滅可能導致火災的風險。如適當防火等級、包括探測系統、自動或手動滅火系統、供水和火災風險應變能力。 (C)最大限度地減少火災對公眾、環境和核電廠人員的風險，及可能導致放射性物質洩漏情形，如核電廠的 SSCs 對預防或減少火災引起的放射性物質洩漏應有適當的防火等級，且核電廠人員應接受火災事故應變程序的培訓。 B.核電廠營運過渡計畫必須按照 10 CFR 50.48 要求和附錄 A 防火通用設計標準規定制定消防計畫。運轉核電廠的消防計畫主要目標是提供深度防禦功能。而除役是反應器永久停機且核燃料已全數從反應器中移出；然而，運轉核電廠的消防計畫大多仍繼續適用於除役核電廠。除役消防程序的內容，係結合運轉核電廠消防計畫提供的火災風險分析、行政管制、保護功能和緊急應變能力。 C.除役消防計畫之各個階段過程： 除役拆廠階段初階，核燃料已從反應器移出並儲存在燃料池中，應制定並維護全面性除役消防設施程序，以確保火災發生影響核燃料或其他放射物質洩漏危害。隨著除役的進行，核燃料被轉移到獨立的儲存設施或永久性儲存存場，核電廠的防火要求可能會依據放射危害減小的按比例

	限縮。即使在燃料池中沒有核燃料，這項防止因火災引起放射性物質區域洩漏的消防計畫應被持續保持。 D.考慮核電廠除役期間的條件，在遵守 10 CFR 50.48 (f) E. 要求的前提下，經營者可未經 NRC 事先批准，對火災保護程序進行更改，但前提是所做的更改不會減少設施、系統和設備防火的有效性。
(3)火災風險性分析	A.火災風險分析可針對設施的火災風險進行全面評估，對防火能力、保護核燃料能力和其他可能由火災引起放射性物質外洩等風險評估。火災風險分析可將核電廠運轉中場所作為基準，但為除役期間之獨特性或差異性的消防和策略問題應重新評估並修訂。 B.火災風險分析應解決以下問題： (A)火災風險辨識應明確，通常以防火區劃進行風險分析。除役期間的核電廠其火災風險與運轉中的核電廠可能有很大差別，而隨著除役的進行而改變，火災風險分析考慮設備放置、可燃物負載增加的可能性區域、低階核廢棄物堆放和儲存區域，以及去污材料和拆除活動等，在除役期間亦會增加涉及明火或火花的高溫作業。而其他火災風險可能包括臨時結構導致核電廠火災風險系統的影響，如電力、通風設施設備等。 (B)依照核電廠物理配置和條件，其火災風險分析應描述火災分佈、配置和狀況，因而各除役階段核電廠防火區劃應進行更新，如設施結構的拆除或修改停用、改變或拆除核電廠消防系統，皆是可能造成影響的因素。 (C)火災風險分析防火管理，如行政管制、火災探測和滅火系統、排煙系統、防火屏障和任何其他與之相關的行政要素和消防計畫，以防火災發生的風險。 (D)火災風險分析應按防火區劃辨識放射性危害風險，對於重要的放射性危害系統，應適當確認 SSCs 如何防止或

	減少火災時放射性物質的風險，應該考慮控制含放射性物質區域滅火行動的對策。如應對火災中預期的現場和非現場放射性外洩進行量化或參考火災風險分析中的差異結果，隨著除役的進行，核燃料在運到異地儲存設施之前(如從燃料池改為乾式儲存桶，或將核燃料移至 ISFSI 等措施)，放射物質危害可能會隨著區域不同而變化，對結構進行淨化處理，去除受污染的組件，亦可能將核燃料儲存配置更改，系統配置和要求也可能會隨著風險而做變更，故除役期間的各項作業重大變化應適時反映在分析中。 (E)確保核燃料所需的 SSCs，如核燃料池冷卻和補充系統、儀表和控制、通風和電力系統等。 (F)受污染的核電廠區域和低階核廢料之儲存，其火災風險分析應確定核電廠中含有大量有害物質的區域，其可能經火災而外洩或擴散的放射性污染，核電廠去污和拆除的受污染廢器物，如可燃性和潛在被污染性的核電廠電纜設備。火災風險分析應包含該類物質潛在起火特性評估，並提供保護措施，以減少火災引起放射性物質外洩或擴散的可能性。 (G)火災風險分析應評估同一地點或附近設施，考慮火勢從一個設施延燒至另一個設施。除役期間可能需要建立臨時儲存結構來進行除役和拆除活動所產生的放射性廢器物和其他污染物之存放，而這些設施應留意火勢擴散導致放射物質外洩的火災風險。
(4)行政管制涉及企業政策、程序和作法	A.執行必要的消防計畫以確保火災達到保護目標，而必要的防火措施包含維護、測試、檢查和實體火災保護功能及可用性的要求，如屏障、檢測和抑制，在組織職責部分包含一般職員、緊急應變人員及經營者承包商的培訓或資格要求。

B.組織

雖然被許可方的除役組織較小，但對於核電廠來說是必需的。消防計畫應明確規定消防管理和組織實施程序責任，包含被許可承包商的消防責任，且負責防火管理組織與職位：

(A)整體消防計畫的管理。

(B)制訂、維護、更新和驗證防火合法性程序。

(C)要求實施消防計畫（包括政策和程序、培訓、消防控制系統、系統檢查、測試、維護與設計、可燃物控制與動火作業）。

(D)緊急應變小組的指揮（如核電廠消防隊）、人員配備與培訓，以及與異地應變支援者的協議。

(E)負責實施消防計畫的組織應包含具有足夠核能安全和消防知識的工程人員，他們應按照規定執行消防計畫及適用的核電廠標準與 NRC 法規。

C.防火程序

消防程序應提供正式成立組織職責和消防計畫的管理規範，應提供緊急應變程序，如通風系統操作，以減輕火災後果。消防計畫應根據火災地點和所涉及的危害採取適當策略，與協調非現場支援者以及現場火災的指揮結構作溝通連結。除役期間的核電廠拆除作業不斷變化的危害特性，在其環境中不論管理階層、消防人員、核電廠人員和除役承包商應保持足夠的安全性要求，應將防火程序整合工作管制流程，並提供適當的工作審查和授權涉及火災風險或消防系統維護、測試、損傷或失效的方案作法。

D.培訓

被許可方的員工、承包商和緊急應變支援者必須進行培訓，且需具有知識和技能，可正確履行關於消防程序職責。

(A)應告知核電廠人員和承包商員工正確操作火災程序報告。

(B)應告知消防值班人員具體職責和責任。

(C)消防值班人員應接受消防培訓，如滅火器練習滅火。

(D)消防隊和現場支援，其消防職責的核電廠人員應接受與其職責相稱的培訓。消防隊成員和異地應變支援人員應接受有關設施佈署、火災風險、消防腹案，與消防作業有關的消防設備、輻射危害的訓練。應定期進行演習以確保消防隊情況與能力、人員和異地支援者做好準備。核電廠培訓計畫應以書面形式描述，並且所有核電廠消防隊培訓的書面記錄均應保存。

E.可燃材料的管控

可燃材料包括易燃和可燃液體、壓縮氣體、建築材料和廢棄物的使用、儲存和處置方式應使其發生火災的可能性最小化。

(A)暫態可燃物

除役期間若有相關暫時性火災風險，如暫放的可燃物，應在可能的範圍內減至最小，且程序完成後應立即將其移除，下列規定為：

- a.暫放可燃材料數量不應超過實際需求，並且應與發火源分開。可燃廢棄物的堆積和儲存應該最小化。
- b.木材不應永久用於核電廠區域，以免產生潛在的災害。臨時使用木材的情況應盡量減少，如果使用時，木材應添加防火材料。
- c.應盡量減少使用塑料布，並應使用阻燃材質。
- d.放射性污染或著火風險的可燃廢棄物的處理、包裝和儲存應盡量減少火災的威脅。此類廢棄物應通過主動滅火來保護系統。
- e.油性和易燃材料應存放在處置容器，應每天從裝有放射性物質的區域移除。
- f.應保持良好內部管理規範，注意區域含有放射性物質或受污染的廢棄物及設備。堆積的廢棄物和可燃材料應從每個班次工作結束後清除。洩漏可燃或易

	燃液體應為立即進行收容和清理，並適當考慮人員安全性。清潔材料和廢棄物應每天從該區域清除，並且妥善處理。應實施一般的內部管理措施清除垃圾和雜物，並在整體過程中保持通暢的進出路線。 (B) 易燃液體、氣體和易燃壓縮氣體的儲存應放存於重要的 SSCs，較不會被放射性物質污染。 F. 發火源的控制 (A) 熱作業的控制 熱施工作業應控制切割、焊接、研磨和涉及明火的工作，以便不會造成不必要的火災風險。從事熱施工作業應於完成熱工作後至少停工持續半小時。 (B) 臨時或攜帶式發熱設備管控 應於消防計畫明訂必要的措施，以防止攜帶式發熱設備起火，應列出使用的發熱設備。應固定臨時加熱裝置以防止傾倒，並與可燃物、材料、設備和結構表列清單並分開。對於燃油加熱、燃料儲存、運輸和加油系統，以及相關操作應符合適用的 NFPA 標準。使用攜帶式發熱設備，對於放射性材料或系統的暴露風險應控制在安全區域。 (C) 吸菸管制 吸菸僅允許在指定區域進行。允許吸菸的地方，應提供用於吸菸用的安全容器。其他區域應禁止吸菸，尤其在高風險操作、可燃或易燃的區域材料，並在這些區域張貼禁止吸菸標志。 G. 消防系統和設備的控制 (A) 消防設備的控制、消防人員防護裝備，包括空氣呼吸器，應定期進行清單、檢查、測試和維護，以確保適當的表現。應定期清點手動滅火設備，包括滅火器、水帶、噴頭、工具、配件，攜帶式照明設備、通訊和通風設備，進行檢查、測試和維護，以確保在發生火災時正確操作。
--	--

(B)消防系統及其功能的可操作性，檢查，測試和保養以驗證已安裝的消防系統和功能的可操作性。防火功能包括被動防火系統，例如防火組件和防火構造。火災防護系統，包括火災警報系統、滅火系統和消防供水系統。檢查、測試和維護程序應基於供應商建議、保險標準或消防工程判斷，以及核電廠規範和標準。(如 NFPA)檢查、測試和維護應通過書面程序進行記錄。進行檢查、測試和維護已安裝消防設備系統和功能，其人員應經過培訓，並具有資格。

(C)消防系統中斷和損壞的控制

消防系統應提供必要的消防計畫控制措施，施工期間對消防系統中斷和損壞應以最小程度地的影響為之。補償措施包括涉及火災風險除役行動之限制，但不限於進行火警監視巡邏，提供替代火警防護功能。除役期間工作應避免安排以下活動：涉及高溫作業、使用易燃或可燃材料或其他防火系統受損的火災風險。

(D)控制火區邊界或屏障

消防計畫應解決對防火區畫或屏障的控制，以及在除役過程中設施結構拆除的維護。應根據拆除修改後屏障的耐火性和相關的火災風險。除役期間防火安全門、防火牆或隔離物的檢查、測試和維護，應確保這些設備將按預期拆除，屏障控制程序。應考慮到根據設施的變更和危害重新設計，修改或拆除屏障設施（即火災和放射性）。

H.結構和內外部區域管制

(A)臨時結構的管制：

消防計畫應解決因建築和臨時結構的位置。消防計臨時內部和外部的自動或手動滅火系統功能與減少可燃性建築材料的使用。

(B)為防止火災影響結構和材料：

	消防計畫應具控制措施，以保護結構避免暴露放射性可燃物帶來的火災風險，如儲存的材料等。
(5)防火功能快速檢測、控制和撲滅火災能力	A.火災探測和警報系統 在運轉中反應器設施中的檢測系統，通常裝置在對相關設備安全構成著起火後暴露危害的地方。警報系統提供發現火災或使用自動滅火系統時提醒核電廠工作人員。除役期間，火災風險以及相關的檢測和警報要求可能會發生重大變化。保護相關設備安全的優先事項發生變化時，安全停機所必需，以防止放射性物質的外洩或擴散，要求檢測和警報系統的設計進行重新評估，以確保除役期間火災風險得到充分保護。應當在經常有人值守的地方發出火警和監測信號。火災報警系統應提供信號系統，以通知核電廠人員。 B.防火屏障 (A)建立防火區劃是為了防止或限制火災從一個區域蔓延至另一個區域，以保護人員並限制火災結果。用於操作反應器，防火區劃邊界通常隔離和保護安全關閉的必要系統。根據火災風險分析，可重新建立防火區劃，以解決除役過程的風險和保護要求。防火區劃應考慮當前危害，在特定條件下發生火災可能導致放射性物質外洩情況，有效抑制撲滅的能力，並使用手動滅火設備控制火災，以及人員安全撤離的能力。 (B)防火區劃著火應透過防火屏障隔開。屏障耐火等級應與每個防火區劃潛在的火災嚴重程度相同。防火屏障組成包括牆壁、天花板和地板，以及樑，托架等結構支撐。防火屏障的開口應通過安裝防火門、防火窗、防火不滲透材料，並應通過測試合格。 C.滅火系統 (A)在除役期間應維持核電廠消防供水系統，系統應能夠提供自動滅火所需的最大水流量滅火系統和手動滅火。該

系統應能夠提供至少 2 小時的最大水流量需求。應確定供水是否充足時考慮的因素：

- a. 供水源的可靠性。
- b. 水箱或其他水源，消防泵、消防栓和管線系統的可用性。
- c. 足夠流量和壓力提供自動或手動滅火的水流量需求。
- d. 供水源和管線系統的容量。如供水系統是結合家庭和消防系統，該系統應能夠提供最大每日消耗量或高峰時流量，以較高者為準最大所需流量。

除役活動可能導致隔離、拆除或棄置管線系統的部分。任何系統更改都應進行審核，以確保其餘含有放射性物質的核電廠區域提供足夠的流量和覆蓋範圍，包括減輕放射性物質外洩所需的消防系統。除役期間如果溫度不能保持在 4 度 c 攝氏度（40 華氏度）以上，則水滅火系統應按照適用的 NFPA 的防凍保護進行審查。不允許除役工作影響到水的供應能力，如消防供水和分配系統。

(B) 自動滅火系統

核電廠進入除役階段時，自動滅火系統應於火災危害分析保持可操作性，自動滅火系統應保護核電廠的逃生出口路線，以便在發生火災時疏散核電廠內人員。以下為可能的狀況：

- a. 在使用或儲存易燃或可燃材料及區域應提供自動滅火系統。
- b. 除役可能需要建造安裝新的或臨時系統，以防火災造成放射危害。
- c. 選擇類型要考慮一些因素，如安裝的滅火系統包括火災風險和健康危害類型的抑制劑，以及抑制劑對重要系統、結構和該區域中組件的危害。
- d. 除役期間核電廠區域需要自動消防系統活動可能會改

變，具體取決於在一個區域中執行的操作類型，去除可燃材料、放射性材料，以及污染源。應對核電廠區域進行檢查，以發現自動滅火系統可能影響的需求變化或條件。

(C)手動滅火系統

核電廠應提供手動滅火系統以補強自動消防系統，並於未受自動滅火防護區域提供滅火防護。以下為可能狀況：

a.除役工作可能會更改設備配置和火災風險，可能需要建造臨時圍牆或結構，並可能須隨著設施的拆除或改造而棄置或拆除自動滅火系統。

b.必須提供足夠的手動

滅火能力或根據除役火災風險分析進行維護，以防止火災引起的放射性物質外洩。

c.在手動滅火注意事項：

(a)應維護立管和軟管系統以提供手動滅火能力。

在核電廠附近區域的高或低等級立管和軟管系統應維護，須使用最近的消火栓放置的長軟管，或保持放射性物質所必需的限制。

(b)可提供手動滅火系統以防護自動滅火滅火系統或未安裝自動滅火系統的區域，並不需要迅速控制火勢。只需要手動滅火系統對危害區域發生火災可能導致放射性物質外洩，透過手動滅火系統有效抑制、撲滅和控制火災，並將人員安全撤離該地區。

(D)消防隊和現場消防緊急支援

手動滅火能力應由現場消防隊或異地緊急支援制定消防應變計畫，針對火災警報的應變以及緊急應變人員的職責。手動滅火能力應考慮因素：

a.核電廠區域及其周圍潛在火災的規模和複雜性存在放

	射性物質或污染物 b.隨時為消防隊提供現場支援 c.現場緊急支援的可用性、人員和設備的能力、應變時間、員工的培訓以及對核電廠現場資訊。如核電廠消防系統連接和配件、消防設備的互容性和外部支援的設備。應提供用於手動滅火的滅火設備，包括軟管、噴嘴、防護服、呼吸器、通訊設備、救助設備、梯子、除煙設備、便攜式照明設備、便攜式輻射監控設備、滅火器和其他工具。 定期演習應由現場消防隊和場外進行緊急支援。有關消防隊和消防員的培訓， D.風險管理 (A)人員安全 發生火災時消防程序應確保人員安全。核電廠應保持出口和疏散路線，當配置更改時，應考慮濃煙對人員的影響。應提供緊急照明和警報設備，並適當培訓人員於火災的應變。政策和程序應建立放射物質控制和火災安全緊急疏散方案之執行。 (B)緊急應變 對於運轉中的反應器，可及早發現並應用手動抑制降低對安全停機系統造成火災對於反應器爐心放射性物質外洩的損失。當反應器永久關閉，並將核燃料儲存在核燃料池中或乾式儲存方式存放，火災抑制應變時間並非關鍵。火災應變能力應由火災風險以及可能引起危害的放射性物質所構成。 (C)消防計畫應確定經營者、組織和現場支援者的責任。 (D)雖然訓練有素和配備齊全的核電廠消防隊可執行滅火，並提供初期滅火和火災控制，但裝備齊全的消防單位應是主要力量。 (E)應建立事件管理，包括現場和場外支援者的滅火角色和
--	---

	職責。 (F)應安全控制人員的輻射劑量要求。 (G)經營者和申請人應使用本法規規範。除非申請人或經營者採用可接受的替代方法，以及本規範中採用的評估方法或根據規範中除役消防計畫的更新要求，對最終安全分析報告進行更新。
(6) RG 1.191 附錄 B	選定的火災案例，其描述了核電廠區域結構、系統和組件的防火措施，及可能的放射危害。這些通用案例，並不包含除役核電廠的放射性和火災風險，只提供指導和訊息，並非 NRC 的要求。 A.核燃料池區 如果有潛在暴露風險或可能擴散到核燃料池區域，應對核燃料池區域和鄰近區域的火災風險進行量化，影響火災風險的放射性物質（包括核燃料）。如果暴露於火中，燃料可能導致任何放射性廢棄物外洩或污染。火災引起的放射性物質外洩，不應超過 10 CFR 第 20 部分的限制。 應評估核燃料因火災導致放射性外洩影響，應提供結構、系統和組件（SSCs）的防護，如建築物通風系統，核燃料池冷卻系統，控制儀表與電源。 為了核燃料池的安全操作，防火屏障應進行維護，以區分重大火災風險和重要的 SSCs，若無法提供足夠隔離區域，請應盡量減少使用或存放可燃物的數量。 如果核燃料池區域發生火災，可能會導致正常的核燃料池損失冷卻和補給系統或燃料池結構損失，而維持核燃料的能力應評估完整性，並降低放射性物質外洩的可能性，選擇應該提供冷卻和補給功能。 重新建立冷卻的應變時間，核燃料池的補給能力應根據需要進行量化，以確保燃料完整性，並製定放射線限制，應對緊急反應不超過人員數，包括消防員。

應制定設備配置和必要的程序條件，操作員針對核燃料池區域的火災採取行動，如通風系統，任何其他建築物的開口如檢修門都應配置防止放射性材料。

核燃料冷卻如發生斷電或進行操作電氣和控制系統導致引起的火災，必須從火場外對補償系統。

B.行政管制

暫放可燃物和高溫作業的管理應按照程序且確定核燃料區域，而工作管制程序應確保與核燃料池操作和維護的相關除役活動，包括任何燃料的移動或搬運操作，如桶裝和運輸，需經過適當的防火審查。

應為提供核燃料池區域的偵煙探測和滅火能力。應為人員疏散提供警報和緊急照明。作為最低能力的手動滅火系統應具手提式滅火器和消防立管。手動滅火系統應提供足夠火災風險、疏散路線和火災滅火策略進行防護。水供應應滿足抑制系統的要求。

應為核燃料池區域制定火災計畫，以識別區域格局、出入口滅火系統的類型和位置、重大火災風險、放射性和有毒物質危害，以及對預防或減輕放射性物質的外洩，應避免火災的影響。

應對消防隊與異地支援者進行充分的培訓，並針對核燃料池區域進行預先計畫和一般火災攻擊策略演練。

C.放射性廢棄物儲存和堆積區，包括臨時結構

應提供特定的核電廠區域或單獨的結構來儲存放射性廢棄物。核電廠內的廢棄物堆積區可能對於某些除役活動。每天應將可燃廢棄物從聚集區移走到指定的儲存區域。廢棄物儲存和堆積區域應提供足夠的空間分離和防護廢棄物，避免暴露於火災風險。

提供廢棄物儲存的臨時結構應遵守適當的防火規範，並應設計為防止或最小化火災時放射性物質外洩的可能性。放射性廢棄物儲存和聚集區的火災風險和著火可能擴散到其鄰

近區域的風險應被量化。

應評估火災風險影響放射性物質的可能性。特殊危害，如受污染的電纜和塑料，若點燃可能較困難抑制其釋放出大量刺激性煙霧和有毒氣體，並防止滅火阻礙和疏散工作。

應提供以下限制措施：減輕煙氣中夾帶的放射性物質。儲存廢棄物中放射性物質含量的估計應在調查標準和測量要求上建立，而估算值與該區域的任何污染源結合計算，應被用作估算起火時潛在的放射性物質劑量。潛在外洩放射性物質應通過對與有關火源進行分析量化。

核電廠結構內的放射性廢棄物儲存區應提供足夠的空間防護，以減少起火後放射性物質外洩的可能性。防護放射性廢棄物所必需的 SSCs 應評估並保護其免受火災的影響。SSCs 包括提供隔離和封閉、建築物通風、儀器儀表、電力控制。

應維護防火屏障，使其與火災風險、廢棄物儲存和堆積區域以及安全儲存重要的 SSCs 不受廢棄物污染。如果無法提供足夠的分隔，應盡量減少和使用可燃材料。用於放射性廢棄物儲存區的臨時結構應採用不燃材料。放射性廢棄物包裝應由不燃或耐燃材料製成。

活動和設備應禁止或嚴格管制廢棄物儲存區內潛在的發火源。應在放射性廢料堆積或儲存區域提供偵煙探測和滅火功能。火災警報器和緊急照明應提供人員疏散。手動抑制功能至少需要包括手提式滅火器在內。限制措施應用於控制自動或手動滅火的潛在污染源，包括非故意啟動自動系統。

對於臨時結構，自動或火災風險需要提供手動滅火，或同時提供兩者保持適當的限制，以防止或最小化放射性物質外洩。自動和手動滅火系統應根據火災風險提供足夠的防護範圍、疏散路線和火災滅火策略。供水系統應滿足自動和手動抑制系統的要求。

內部管理，臨時可燃物和高溫作業的管理，其放射性廢棄物的儲存和堆積區域應按程序建立。包裝放射性廢棄物時

	應使用不燃或耐燃材料。 工作管制程序應確保除役活動相關放射性廢棄物清除和儲存，包括包裝和運輸放射性物質，要經過適當的防火審查。放射性廢棄物起火時必要措施的程序應發展儲藏區，如通風系統和任何其他建築開口（例如檢修門）應配置限制和最小化放射性物質向環境外洩的潛在可能性。 應該考慮廢棄物儲存區域的分布和立管的可用性，以利進行滅火活動，並同時保持適當的隔離。應為放射性廢棄物的儲存和堆積區域制定火前計畫。預先計畫應確定區域格局、出入口、類型和位置的抑制系統、放射危害和 SSCs，應避免火災的影響放射性物質。現場起火應對消防隊和異地支援者進行充分的培訓，並針對放射性廢棄物儲存和聚集區域進行預計畫和一般火災攻擊策略演練。 D.監管分析 沒有為該法規指南準備單獨的法規分析。
--	--

(二) 各國除役國際經驗之案例分析

根據國際原子能總署（International Atomic Energy Agency, 簡稱 IAEA）2018 年資料數據統計，全球已有 172 部核能機組永久停機，共 19 個國家，以下為美國、瑞典與西班牙等國除役狀況之介紹：

1.各國除役國際經驗

國家	電廠介紹	除役內容
(1) 瑞典 Barsebäck 核電廠	Barsebäck 核電廠位在瑞典南方，鄰近丹麥首都哥本哈根，提供瑞典南部及	A.瑞典核電廠主要除役政策為核電廠結束營運後能盡快執行拆除，並避免產生長時間處於停機過渡階段。由瑞典核燃料及廢棄物管理公司及電力管理公司組成除役工作組織，制定適用於該核電廠特性的除役作業與策

	丹麥的電力來源，而因美國三哩島核災事件，使瑞典政府展開核電除役議題，最後決議 Barsebäck 核電廠一、二號機分別於 1999 與 2005 年停機進行除役。	略。根據 Barsebäck 一、二號機相關除役計畫期程分為除役前服務作業階段（Service operation period：2006~2021）以及除役拆除作業階段（Dismantling operation period：2021~2029）。除役期間主要為放射性廢棄物管理、運輸、最終處置系統化作業等，除役後產生的中、低階放射性廢棄物之處置，於除役前服務作業階段建造相關存放位置。 B.核電廠內部組件切割、拆除作業採用冷切割、水下機械切割等方法進行，並配合相關吊車設備，可分別同時進行兩側不同組件的切割作業。核電廠除役期間進行反應爐內部組件的拆除切割和廢棄物儲存工作，規劃臨時儲存區域；當中低放射性廢棄物衰退期後，接續運往最終儲存場所。
(2) 西班牙 Vandellòs 核電廠 1 號機	Vandellòs 核電廠 1 號機是 GCR 型反應器，容量為 508 百萬瓦 (MWe)。從 1972 年營運到 1989 年，因汽機廠房發生火災事故導致停機，因修復成本不符合經濟效益，經評估後於 1989 年	A.其除役計畫根據 IAEA 分為三個階段 (A)第一階段：準備階段（調整作業） 1990 至 1998 年由核電廠營運公司 HIFRENSA 執行，從廠區移出使用過核子燃料等高階核廢料，送往法國進行再處理，移除低階核廢料等廢棄物暫存後，廠區內部先拆除一部分之常規性系統設備，如氣體儲存槽或汽機廠房的汽渦輪機發電機組等，核設施除役程序審核及權責權移轉至 ENRESA 的準備工作。 (B)第二階段：除役階段（結構除役與安全儲存準備）

永久停機，該電廠是採用延遲拆除策略的核電廠，且安全封存時間長達 25 至 30 年。而西班牙核電廠停機關閉且獲得拆除授權書後 (dismantling authorisation)，其持有權由營運公司者移轉至 ENRESA(Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S.A)，而 ENRESA 負責該電廠除役以及放射性廢棄物長期管理作業。根據聯邦憲法規範的《核能法》的規定 (Art.38 of Nuclear Energy Act, updated by Law 11/2009)，	1998~2003 年此階段除役工作由放射性廢棄物管理機構 ENRESA 負責執行，除役期間陸續拆除相關建築物、系統管路、以及設備組件，除了反應爐主體以外，除役工作又分成兩階段進行： a.Phase 1 (1998~1999) 進行除役工作項目，設定核電廠中放射性區域拆除作業範圍。 b.Phase 2 (1999~2003) 執行放射性區域的拆除工作計畫，進行方法去管理。另外廢棄物再經過封裝處理後送至處置設施，反應爐主體將被保留，以水泥及建築外殼屏障封存。完成 Phase 2 的階段作業後，剩餘未拆除部分由 ENRESA 持續監控進度，再進行最後拆除作業階段。 (C)第三階段：最終階段(反應器廠房除役) 預估於 2028 年開始進入最終階段，移除安全封存的反應爐本體，完成場址復原、釋出。
--	---

	其除役的設施以及放射性廢棄物的長期管理權責由該國家承擔。在完成除役前置準備工作後，ENRESA 與營運者進行權責移轉的合約簽署事宜，而 CSN(Consejo de Seguridad Nuclear)核能安全委員會做為西班牙的核能安全管制單位，對核設施拆除計畫進行審核與評估。	
(3) 美國 SONGS	San Onofre (SONGS) 位於南加州是一個關閉的核電廠，臨太平洋海岸，具有兩個半球形安全構造建築物，而建築物的設計目	A.1968 年至 1992 年核電廠 1 號機組開始運轉使用。2 號機組於 1983 年啟動，3 號機組於 1984 年啟動。 B. San Onofre 核電廠多年來一直存在技術問題，如 2008 年，因緊急發電機故障、電池接線不當以及消防安全數據不實等問題。雖然核能管理委員會（NRC）於 2011 年的年度審查中提出，但卻尚未改善。 C.2009 年和 2010 年配合 2、3 號機組 20 年使

	的，防止發電機組運轉中放射性物質外洩的圍阻體結構，該核電廠在更換蒸汽發生器時發生故障後，該核電廠於 2013 年關閉而走向除役作業。	用執照的更新，換裝新的蒸汽產生器。但於 2010 年和 2011 年陸續發現新換裝的蒸汽產生器有 3,000 多個管束，出現磨損情形，並於 2012 年 1 月關閉此兩個反應器機組。 D.2012 年，在備用柴油發電機的機油系統中發現冷卻液，是導致發電機故障的原因。 E.2013 年 6 月，南加州愛迪生分公司宣布永久關閉 2 號機組和 3 號機組，理由如下： (A) SONGS 恢復運轉的不確定性太高。 (B)行政程序與訴訟指出，可能導致暫時性重啟計畫被推遲 1 年以上。 (C)愛迪生分公司表示：實際除役作業將需要多年才能完成。 (D)關於該核電廠設施運轉已數十年，期間產生大量核廢料，而愛迪生公司的核廢料乾式儲存計畫爭議仍舊存在的問題。
--	---	--

2.案例分析 SONGS

項目	內容
(1)介紹	擬議項目將估計 10 年期間（2019 年至 2028 年）內進行除役工作，主要在核電廠臨海岸線的近岸和離岸附近。分析評估擬議項目可能需要增加防火措施及供水系統，以及廢水或固體廢棄物處理能力。
(2)緩解措施分析	擬議項目和建議緩解措施的影響： A.新增或更改的公共服務或政府機構，若影響不大，但仍考慮擬議項目的影響分析評估是否導致與需要新的或政府設施的變更。 B.擬議項目可能會影響緊急應變，包括火災的反應時間與環境影響。應維持可接受的防火措施和緊急應變。擬議項

	目的目的是為安全除役，以拆除 SONGS 2 號和 3 號機組相關設施。 C.除役過程當中涉及大型拆除項目的標準與技術。 D.自 2013 年 6 月起，SONGS 已從運轉狀態轉換為停機狀態。因應除役期間火災緊急應變或其他緊急危險情況，許多放射性物質設備已從核電廠區中清除，且緊急應變計畫進行調整，包括火災應變，以解決可能導致核設施發生意外事件的永久性影響。 E.除役期間有火災或其他緊急情況發生的可能性，SONGS 的應變準備應於除役過程中，隨著現場配置變更，降低高風險性材料數量。 F.愛迪生公司 SCE 執行 NRC 緊急應變計畫 SONGS Permanently Defueled Emergency Plan(PDEP)，該計畫包括： (A)受過緊急應變計畫培訓工作人員應對突發事件，為了現場永久性燃料設施，每週 7 天，每天 24 小時檢查。 (B)現場放射和環境監測，以及 NRC 檢查。 (C)關閉與異地支援的協調和溝通，並參與跨區域計畫委員會。 (D)定期與廠外合作夥伴，準備現場緊急應變演習，如消防、醫療的緊急演練。 G.由 SONGS 現場工作人員和海軍陸戰隊彭德爾頓 MCB CP 部門提供消防，其反應時間目標如下所述： (A)現有的協議備忘錄 MOA，將在收到 SONGS 通知後 30 分鐘內做出回應。 (B)若除役活動引起非放射風險條件進行燃燒，消防人員必須防護、去污和拆除過程中使用易燃材料包括溶劑、油漆、清潔劑、密封劑、酸類、液壓油、機油以及柴油。 H.愛迪生公司 SCE，對於多重風險預防和 SONGS 緊急應變
--	---

	計畫作為擬議項目的一部分進行更新。 I. 隨著 Applicant Proposed Measure (APM-1)的實施，擬議項目導致的危險狀況會對火災風險造成的影響較小。
(3)緩解措施	A.在除役過程中，大型設施設備具典型危險物品的存在(如潤滑油)，增加火災風險。可能導致火災因子累積的項目可能增加火災風險，需要當地緊急應變措施。 B.同時進行大量火災響應，造成相當大的影響，但這種情況不太可能發生，任何情況下都將實施緊急應變計畫。 C.SONGS 的擬議項目，隨著執行所需的緊急情況除役活動的計畫和準備外，其未來在最終狀態除役工作需要消防與供水系統，包括 SONGS 的消防栓應將繼續防護。

(三) 反應器廠房與汽機廠房火災風險因子分析

1.各核電廠區火災因子分析

NFPA 805 更新後 2020 核電廠潛在火災情境分析表

Appendix B Nuclear Safety Analysis，可針對反應器廠房與汽機廠房的火災風險因子依據本表作探討：

可燃物	引火源	區域類型
潤滑油	接觸熱管路表面	容器
燃油	接觸熱管路表面	緊急柴油發電機
汽機潤滑油	接觸熱管路表面	汽機廠房
電纜絕緣材料	內部短路	電纜分配室、電纜通道、電纜穿越區
電線電路、電纜、回路板	電器櫃	控制室
過濾網中的木炭	由於潮濕發熱自燃	主要安全管制過濾站
電纜絕緣材料	開關機櫃內部短路	廠房電源開關
一般可燃物	熱煙、熱作業、移動	

	式加熱器故障	
變壓器油	內部短路原因，導致油洩漏造成變壓器殼破裂而起火	後廠變壓器
氫氣、電纜絕緣、塑膠電池框架	電氣電弧	蓄電池室
核心材料擴散	熱作業	兩棟廠區空間
辦公室物品、室裝及內部線路	熱煙或內部短路	控制室旁的計算室
幫浦馬達線圈	過熱	各種區域
氫氣	電氣電弧	汽機廠房或氫氣儲槽
一般 A 類易燃物	熱煙、熱作業、移動式加熱器故障	辦公室暫時用推車
暫存材料的結構或容器	熱作業	各種區域
潤滑油	接觸熱管路表面	蒸氣幫浦
潤滑油	熱作業	汽機廠房容器儲存室或區域
燃料油	接觸熱金屬表面	消防幫浦室

2.反應器廠房

核一廠的反應器廠房位於聯合結構廠房內，是核電廠的主要核心廠區，共有五個樓層。聯合結構廠房內設有用過燃料池。除役期間用過燃料池內部用過燃料束需經池水冷卻，吸收衰變熱，故用過燃料池應採用適當的冷卻系統抑制水溫。除役期間若因火災導致相關冷卻系統故障，則可能導致池水上升的情形，再加上用過燃料產生的放射性分裂產物，一旦火災事故直接或間接造成空浮放射性物質 (Airborne Rad.)，而污染聯合結構廠房。以下為聯合結構

廠房區域內各項設施設備之火災風險因子應對方式：

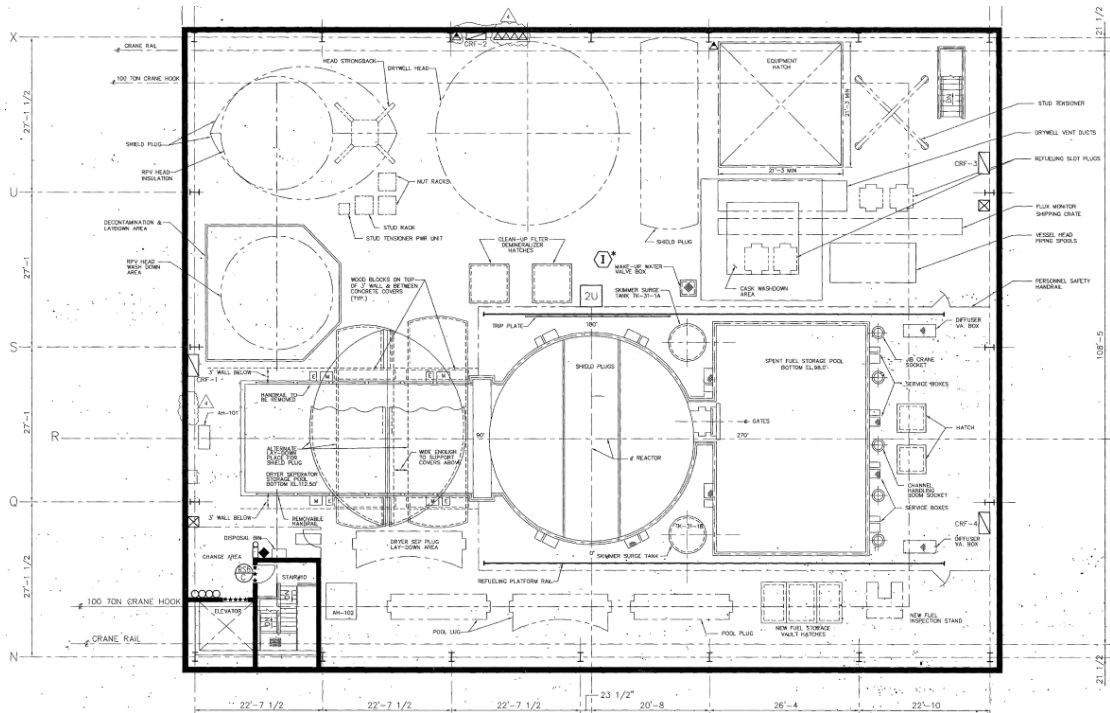


圖 2：核一廠聯合結構廠房平面位置圖

反應器廠房 區域內部空 間設施設備	內容	風險
反應器廠房 基本資料	A.聯合結構廠房可分為地下兩層及地上五層，各層之混凝土結構總體積 51,489 m³，長寬各 65.53m、高 56.81m(地下 12.39m，地上 44.41m)，中央部份是反應器廠房，外圍是輔助設備區、廢料處理設施。鄰近建物包含西側連接的汽機廠房、柴油發電機系統、控制室，北側出入管制區與服務大樓，二次圍阻體卡車雙重門、凝結水儲存槽、日用油槽、酸鹼槽等附屬設備	反應器廠房是核反應爐的主要廠區，從五樓的核燃料池，以依次為主體為中心往下的設施設備，各樓層的高度不一，但大多屬於挑高空間，對於濃煙可以有效蓄積。

	區。 B.其中反應器壓力槽及其內部組件由於長期接受中子照射活化，因此有較高輻射強度，包含反應器壓力槽外殼及其支撐裙板、內部組件，控制棒驅動系統的支撐架等結構。 C.在進行反應器壓力槽切割拆除之前，可先移除大部份的內部組件。而基於輻射安全的考量，內部組件的移除及切割作業多數選擇在水下以遙控方式執行。	
5F(EL137.5呎)-	A.在燃料束尚未自用過燃料池移出之前，用過燃料池的防護等級都是與運轉中的狀態一致。用過燃料利用水冷卻移除其所釋出之衰變熱，維持池水於適當水溫與保持燃料池正常水位，防止過熱及當作輻射屏障，並減低輻射自燃料池中外洩。其中水質的維持可減少腐蝕作用，避免增加燃料池中腐蝕產物和分裂產物濃度，可增加能見度，亦可減少操作失誤的機會。 B.有關壓力槽頂蓋(Vessel Head)，其形狀為含凸緣半球體，頂蓋內表面因經常暴露於高乾度的蒸汽中，較不易腐蝕，是反應器壓力槽拆除時，可列為第一個執行切割作業的組件。先置放壓力槽頂蓋至輻射量較低時，可在空氣中切割，但需搭建	用過燃料池區域配置有手提滅火器及火警探測器等消防設備。該層樓除了燃料池外，還有圍阻體與反應器的頂蓋。現場還有吊掛作業的天車設備，如進行除役工作規劃拆除或切割，須避免火星、火花的掉落，及熱蓄積的風險。

	臨時帳棚，並配備有空氣過濾系統。在切割之前可先進行除污工作，以降低人員之工作輻射劑量及空浮濃度。	
4F(EL110呎)	A.該樓層有備用注礮系統、CSCW Surge Tank,...等。其中反應器壓力槽為主要防護對象，位於乾井內。槽壁周圍連結許多管路，大尺寸有主蒸汽管、飼水管路等，小尺寸有水位儀器、噴射泵儀器管路等。 B.若因除役作業造成防火區劃被破壞，須再次加強檢查與維護其防火填塞。通風系統的風管也是防護重點，不同防火區劃須有風門擋板，以避免若發生火災時，大量濃煙經由通風風管亂竄，導致濃煙經由管道蔓延至其他防火區劃。樹脂是一種有機化合物，具有高度黏性，燃燒時也會產生有毒氣體。	此區域具有通風管線、垂直與水平電纜、潤滑油管線以及樹脂儲存區等的相關配置，是該區域可能因火災發生而導致更大的危害，該層有兩道出口，但皆為單向，除役施工時，管線移除後，可能破壞防火區劃，應適時的採用防火填塞作業，加上通風管線設備，應確認內部是否具有防火防煙閘門的設計，以免導致一旦火災時，管線燒破後，濃煙的流串，可能發生跳層延燒的風險。乾井目前是無使用狀態，人員出入較少，但仍需注意火災發生時，濃煙透過煙囪效應導致的蔓延的危害影響。

3F(EL95 呎)	A.現場拆除切割作業有關管路部分，應依照該管路大小使用適當的切割器材，規劃前勿隨意度動工，當中也要安排防火觀察員注意各項施工管路系統也有分大小口徑，應考量管徑內是否有殘存的輻射，若使用熱切割方法會產生放射性空浮或煙霧，導致施工人員遭受汙染。 B.故管路系統拆除前應完成系統除污工作，有效減少工作人員的輻射劑量之外，在管路切割移除前，先卸除管路系統中的可燃性液體，並先觀察現場環境，移除障礙及規畫人員逃生動線。 C.此外，若有使用化學藥劑會產生酸鹼中和或是氧化還原反應至生成可燃性氣體或是高溫等現象之化學反應，應盡可能取代其他方式或加強防護措施，施工完成後應再次確認藥劑是否有殘存的情形，並予以移除。	對於廠區的自動撒水設備是採用預動式，當探測器動作後，打開電磁閥，管線的水從一次側充滿到二次側，等撒水頭 72 度玻璃球燒破後即可動作，除役工作為移除各項設施設備時，使用切割機具前應做整合性測試，即對所有的切割機具、系統與組件進行完整的試驗，而被切割物件模型的全部或局部結構，均採用全尺寸進行測試，藉以準確描述出真實狀況。
2F(EL67.33 呎)	主要有潤滑油管線與潤滑油槽的配置，電動發電機組，以及各式電纜、生水管線等，空間有大量可燃物，如潤滑油、電纜線，如起火可能引起大量濃煙。	該樓層為延續上面樓層的管線，與下面樓層的延伸，故該樓層應著重於潤滑油管線與電纜線路的火災防護，現場設置移動式與固定式泡沫滅火設備、自動撒

		水設備及推架式與手提式滅火器等消防設備防護。
1F(EL39.83呎)	一樓部分有反應器的圍阻體，與控制棒設備，拆除管線時，應加強反應器的火災防護。最主要是，目前反應器為停止運轉狀態，且反應器貫穿乾井內部的大型通道，加上現場的管線較多，且反應器廠房的入口，因現場歲修維護，故其門蓋尚未密合，應避免熱施工造成的濃煙地流竄。	雖然廠房的構造大多為不燃材料，飼水設備加氫為保護鋼材，因此移除管線時，應確認氫氣是否清除乾淨，避免動火作業導致氫氣燃燒等。

(3) 汽機廠房

汽機廠房主要為蒸氣發電系統。核一廠共有一、二號機組系統，且其設計大致相同。而該系統設備組成包括發電機、勵磁機、汽輪機、冷凝器、變壓器、汽水分離再熱器、蒸汽抽氣與再結合系統及汽封冷凝器排氣處理系統等設備。從反應器廠房所產生的熱蒸氣送至汽機廠房，其輻射劑量雖較輕微，但還是有危害風險存在，因此蒸汽系統的主要設備的火災風險因子防護，應列為重點。

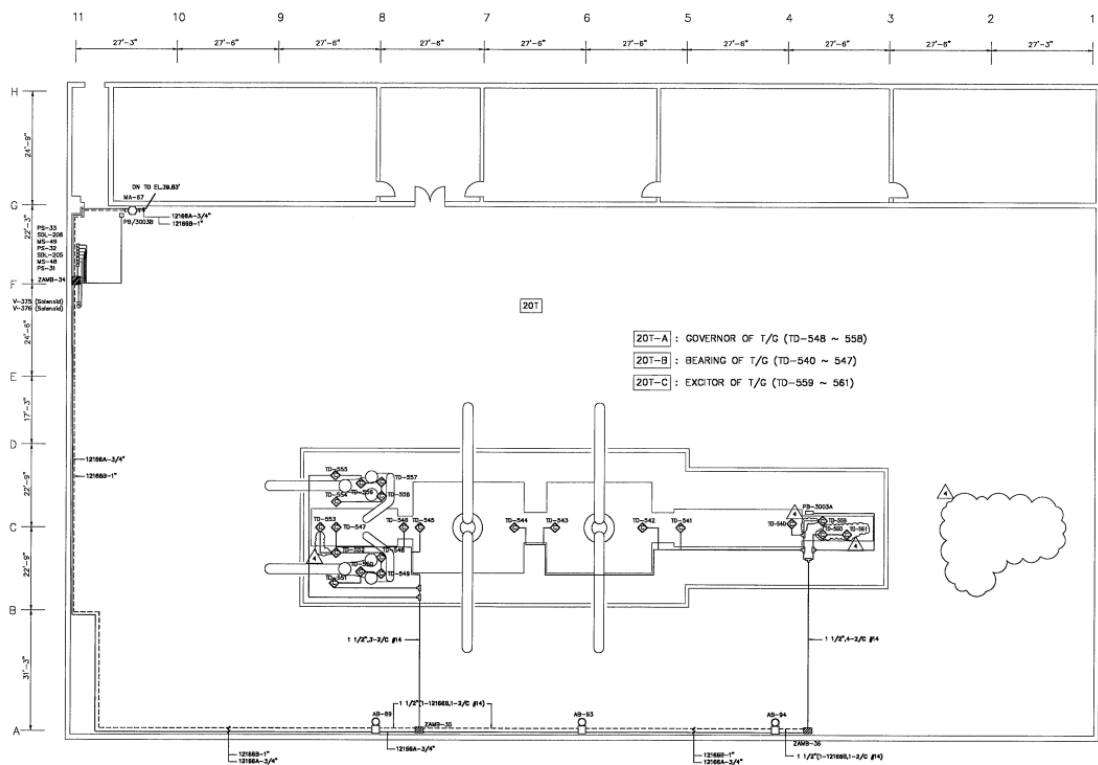


圖 3：核一廠汽機廠房三樓平面位置圖

汽機廠房區域內部空間設施設備	內容	風險
汽機廠房	為地下一層及地上三層。汽機廠房南北向長 85.04m、東西向寬 53.04m、高 45.1m、地下 14.58m、地上 30.57 m，內有主汽機、發電機組、冷凝水泵、飼水泵及飼水加熱器等附屬設備。	汽機廠房空間較為寬敞，且屋頂具有約六個對外的開口，若火災時產生的濃煙，除可以經由開口排出外，亦可以利用大型空間特性，形成蓄煙區，可以增加人員避難時間。

2F 與 3F(標高分別為 39.83 與 73.83 ft)	A.汽機(Turbines)位於汽機廠房三樓，包括一部高壓汽機及兩部低壓汽機串接在一起，在拆除汽機過程中，將依循維護的程序，在汽機開始拆除之前，提供合適的汽輪葉片支撐架，高低壓汽機轉子移除到指定的放置區域之前，必須經過輻射除污。汽機在移除時應考量地板基座上的任何穿透孔，應加以修補。 B.電機(Generator)位於汽機廠房三樓，與低壓汽機串接，而移除工作有可能需要使用外部的移動式起重機，並在汽機廠房牆上挖個新開口。從發電機上移除任何剩餘的輔助設備(勵磁器)與系統連接運往放置區，應經過輻射除污處理。 C.飼水加熱器(Heater)共有 12 個，並置於汽機兩側首先在工作區搭建隔離帳篷及通風系統，藉著吊車的協助拆除高架管路及加熱器。	3F 挑高大空間汽機廠房無設置火警自動警報系統，無自動滅火系統，僅有手提式滅火器，因此如何防護除役期間施工中，該空間帶入之火源及火載量，應列為安全因子的考量，並加強施工防護計畫，而廠區空間較大，容易堆放相關維修備品，以及木質棧板等置放物，因此應適時移除可燃物。
1F(標高 17.25 ft)	A.兩座主冷凝器(Main Condenser)位於汽機廠房一樓，冷凝器形狀複雜，且伴隨輻射污染問題。 B.再循環泵的電動馬達可能有電氣火災風險。 C.發電機發出電力經由汽機廠房外之主變壓器提昇電壓後，再經開關場輸電線路輸出至電力系統。主變壓器位於汽機廠房之外，屬於無放射性污染之	汽機廠房蒸氣經過處理後，輻射量不比反應器廠房大，其該區域特性主要是油類可燃物為主，如潤滑油室與熱交換區域皆存放有數桶 50 加侖廢循

	設備，但具大體積與重量。主變壓器係採強制油循環風扇冷卻，循環絕緣油經油路完成冷卻功能後，回流至收集油槽中，故在拆除變壓器之前，須將集油槽中的絕緣油排出。 D.潤滑油室位於汽機廠房一樓，內部配置大型管線的潤滑油輸出管，其中有 3 個桶裝廢循環機油 50 加侖桶置放於門口附近。 E.汽機廠房冷卻水系統(簡稱 TPCCW)(Turbine Plant Closed Cooling Water System)能供給足量而又能防止管路腐蝕之冷卻水，經過封閉回路以冷卻機組正常運轉中之汽機附屬設備，冷卻水經由水泵外部循環水系統經熱交換器冷卻，而熱交換區附近分別置放 11 桶 50 加侖廢循環機油。	環機油，視為一大風險。 而發電機外的主變壓器絕緣油配置於汽機廠房外，但油路管線可能藉由外部燃燒後，經管路延燒回火等風險。
--	--	--

二、核電廠除役期間火災風險因子變更相關消防安全評估事項

(一) 電氣分析之電纜燃燒風險及拆解與拆除之切割風險分析

針對核電廠火災特性，其中大量電纜線造成核電廠區域設施設備的受損，導致多項設備因斷線、短路產生誤動作或不動作的情形，因此，在核電廠除役階段，對於電纜相關的組件，如電纜線、電纜坑道、電纜托架等，皆可以成為除役期間的火災風險因子的主要一環，因此對於大量的可燃物，可能因為除役動火作業，除應依照除役程序外，現場應留意火源殘留後的熱蓄積，因除役作業造成防火區劃的變更破壞，所以電纜組件的可燃物，可能造成火災風險變大，因此透過電器分析，了解

電纜的特性後，才能加以防範，達到火災防護的成效。

1.電氣分析之電纜燃燒風險以下列各參考文獻提供有關核電廠電氣火災中電纜火災風險的研究分析如下：

文獻作者	著作名稱	內容大綱
Kevin McGrattan,Ed Hnetkovsky,Scott Bareham,Michael Selepak,Morgan Bruns	Response Bias of Electrical Cable Coatings at Fire Conditions (REBECCA-FIRE)	各種具防護塗料措施電纜的燃燒行為，其實驗以點火溫度、控制對流進行測量，並針對有無塗料的水平和垂直火焰蔓延實驗。
Matthias Siemon, Olaf Riese, Burkhard Forell, Dominic Krönung, Walter Klein-Heßling	Experimental and numerical analysis of the influence of cable tray arrangements on the resulting mass loss rate and fire spreading	(1)核電廠建築物的主要火災風險是電氣裝置和電纜托架。確定有關建築物火災的結果，以及相鄰空間和設施事故，瞭解燃燒行為的關鍵參數，並將火勢延燒數值模擬。 (2)電纜火災的研究項目，其測試裝置和測試樣品分配，選擇代表電纜燃料與現代標準和法規相比，通常顯示容量、電纜托架安裝和電纜材料，有特定要求的差異，現有研究數據表示，包覆的狀況對於安裝在電纜托架上的電纜密度對燃燒行為和起火傳播影響很大。
Koji Tasaka	Experimental study of	本文提出了，油類火災其煙霧

Koji Shirai Junghoon Ji Pascal Zavaleta2	smoke effects on energized electrical cabinets located nearby a lubricant oil pool fire	暴露，對附近的三個電氣櫃可能發生故障的潛在影響實驗研究以潤滑油作為火源，三個真實通電的電氣櫃與防火區劃相鄰的房間中暴露煙霧。主要防火特性與火災後果，如氣體溫度和煙霧濃度、熱度，火災持續時間內，釋放速率均約為 500 kW，防火區劃最高氣體溫度達到 300°C，而燃燒室的相鄰房間最高氣體溫度達到 120°C。機櫃內部溫度範圍為 90 至 120°C，煙霧質量濃度範圍為 0.3 至 1 g / m³，三個機櫃連續電氣監控卻沒有發生故障。實驗結束後，對機櫃進行了監控測試，研究潛在的影響。電路隔離的電阻監控期間減少機櫃的提示測試，發現是由煙霧沉積所引起的。
Darko Perovic Patrick Van Hees Dan Madsen Vilhelm Malmborg Louise Gren Joakim Pagels Oriol Rios Saverio La Mendola	Identification and characterization of design fires and particle emissions to be used in performance-based fire design of nuclear facilities	在本文中提供了設計開發歐洲核子研究組織（CERN）電氣機櫃的火源。在美國、芬蘭和法國進行的實驗發現 2 排機櫃，每排可容納 10 個機櫃。針對歐洲核子研究組織（CERN）使用兩種最常見的絕緣油，其結果顯示證明在這些電纜火災中，成帶有核輻射

		煙粒子散發出來，其在低釋熱速率下在外部燃燒時電纜護套具有最後階段燃燒。較高的熱釋放速率下，當內部護套燃燒時煙霧的累積，從遮蔽率測量得出，濃度與煙霧生成率密切相關。
Xianjia Huang He Zhu Lan Peng Zihui Zheng Wuyong Zeng Kun Bi Chihonn Cheng Wanki Chow	Burning behavior of cable tray located on a wall with different cable arrangements	電纜火災風險分析對於核電廠的防火設計非常重要，使用三種不同電纜配置的電纜托架實驗 其結果歸納如下： (1)牆上有多個水平電纜托架的核電廠，在密閉的室內空間進行，以觀察電纜托架的燃燒行為。 (2)側壁和電纜托架形成一個角，熱煙從燃燒的電纜發出熱與光且侷限在角落，然後點燃電纜上的電纜托架底面。 (3)發現對於電纜密集堆積在一起，火焰蔓延到電纜托架的底部，觀察到電纜燃燒過程中電纜燃燒的質量損失增加。 (4)電纜托架火災成長階段，於配置較遠的電纜，從底部到頂部盤架的垂直傳播速度

		很快，為電纜燒毀主要的質量損失。
William Plumecocq Laurent Audouin Pascal Zavaleta	Horizontal cable tray fire in a well-confined and mechanically ventilated enclosure using a two-zone model	電纜托架的防火測試均在開放空間和進入密閉和機械通風的設備。特別是封閉對火焰傳播速度的影響。環境氣體溫度的增加，火焰蔓延速度受火源限制增加，火源透過降低熱量來降低該火焰傳遞速度。CFS 1 到 4 的實驗測試也證明，在圍牆火災中觀察過多熱解氣體，且具有危險性，導致室內燃燒，並產生壓力對消防設備影響的重要性，針對不同通風特徵參數，如換氣率、進風口的位置和消防機房的排氣通風管道，也起著重要的作用部分涉及熱解氣體的生產及其後果。

2.除役期間施工中拆解與拆除之切割風險分析

(1)執行順序與考量

為完成反應器廠房與汽機廠房除役需求，其內部所有設備組件之拆除及混凝土結構物表面污染之剷除以及低放射性廢棄物處理等，其除役階段施工防火作業規畫原則之工作內容包含：

- A.因應除役放射性廢棄物及其他可燃物處理需求，
汽機廠房及反應器廠房部分空間改建為放射性廢

棄物處理區域。

B.建築物內部設施設備拆除之規畫，原則上係以樓層或房間為工作範圍，訂定相對應之工作任務。

C.考量核一廠一號機與二號機之反應器廠房與汽機廠房，其內部系統與組件大致相同，故除役作業排程可以相同執行架構進行規劃。

(2)針對核電廠反應器廠房與汽機廠房兩區域建築物內部之拆除作業，可依火災風險的高低程度，進行先後順序的拆解或移除，以及各階段需考量相關的火災風險分析如下：

執行項目	考量
A.將各系統之管路殘留可燃液體排除乾淨	在除役過程中，應先將非反應器中核燃料或置放核燃料的燃料池的 SSCs 相關設施中的油類，應先將其清除可燃性液體，避免導致可能的延燒風險，並注意可能產生蒸氣性的可燃性氣體。
B.建立監測站及界定污染管制範圍	為儘量減少除役拆除作業時工作人員之劑量，結構、系統及組件之拆除規劃，因減少可燃物堆積所產生的放射物質危害。
C.各廠區輻射偵檢	在各防火區劃內，經過輻射劑量的偵檢後，其相關的易產生除役期間高風險的區域，應加強優先防護，避免火災時夾帶輻射物質的濃煙污染。
D.系統及組件除污，移除其他顯著污染組件	在拆除過程中，應加強動火作業的防火管理，並將事前規劃，拆除下來的低階核廢棄物的臨時置放處，並加以防護。
E.燃料池用過核子燃料移至乾式儲存場	用過燃料從燃料池全部移至用過燃料乾式儲存設施，無須再維持用過核子燃料池之安全運轉，故相關系統可解除，並配合後續之拆除作業，進行相關安全系統之調整建置，如火災警報、電力、通風空調、壓縮空氣、除污

	供水與吊運設備等系統。移除過程中，移除路徑所需要的火災防護，以及各項的消防設備使用，必須事前準備規劃。
F. 移除反應器壓力槽及其內部組件，並伴隨移除一次系統之管線組件	反應器廠房各樓層之拆解與拆除，應規劃從反應器設備的主體著手，除役拆廠階段為整個除役作業的核心，主要輻射有關作業大部分都在此階段，包含用過核子燃料移置至用過核子燃料乾式貯存設施、輻射污染設備組件拆解與拆除、拆解低放射性廢棄物處理儲存等事宜。反應器廠房為拆解反應器壓力槽及其內部組件，包含反應器壓力槽頂蓋拆解及反應器壓力槽內部組件拆解，反應器冷卻淨化系統等進行洩水與樹脂移除，以及五樓用過核子燃料池與蒸汽乾燥器儲存池清空等，最後為反應器廠房圍阻體混凝土之拆除。當中的核污染物還存在著，故當進行動火作業時，應搭配手動或移動式的消防設備防護，以防火災發生後的煙霧伴隨輻射汙染。針對內部具有一次性的系統組件，應當一併移除，避免延伸額外的可燃物。
G. 移除汽機廠房等其他大型組件，並伴隨移除一次系統之管線組件	汽機廠房各樓層的拆解與拆除，規劃先從汽機廠房內規劃低階核廢棄物處理區域，來處理汽機廠房設備拆解時所產生的低放射性廢棄物，汽機廠房低放射性廢棄物處理區域與汽機廠房設備拆解作業是同時進行，考量合宜作業原則，並於用過核子燃料移置作業完成後，才開始進行拆解與拆除作業，而在拆解的過程中，除注意動火作業外，汽機廠房的設備主要為汽輪機組，包含發電機、高低壓汽機、高、低壓飼水加熱器等。針對汽機廠房各樓層系統與設備執行拆解，將具可燃性氣體管線先行移除，並仔細檢查有無殘留可能性，而各區域通風空調設備、電氣設備與電纜之拆解作業，應注意防火區劃破壞的風險，應設法將其補強。

H.建築物結構拆除與除污	汽機廠房與反應器廠房設備拆解規劃各樓層區域依序拆解與拆除，考量各區域之位置、拆解與拆除困難度及輻射污染特性等因素及廠房內部拆解之低放射性廢棄物的運送路徑，配合拆解與拆除作業，所產生的低階核廢棄物須進一步分類處理，處理完之低階核廢棄物使用已獲許可之儲存容器包裝，並存放於已獲運轉執照之貯存設施。
--------------	--

3.除役施工中之冷熱切割分析注意事項

金屬切割作業	內容	除役期間注意事項
(1)金屬冷切割技術	在切割過程中刀具碰觸工件者稱為冷切割方法，又稱為機械式切割，例如：鋸切、剪切、研磨、鑽石索鋸、銑削、水刀等。 A.剪切：利用機械力使材料分離，油壓剪是常見的剪切工具 B.鋸切：使用多齒刀具切割出狹窄的切縫。 C.鑽石索鋸：其刀刃鑲在鋼索上的鑽石。鋼索利用滾輪導引來改變方向，移動鋼索與工件產生摩擦達到切割的目的。 D.研磨：刀具材料伴配合移動性設備的使用，隨著工件碎屑一併被去除，如砂輪機。 E.銑削：銑削處理程序不是特別適合用於拆除，只適用在特殊的情況下，如零件的整修。 F.水刀切割技術：水刀技術除了用在清潔與切割外，還有其他的應用，如銑削、車削、鑽孔、破碎、表面改質等。水刀中	當使用冷切割時，可能造成金屬間的摩擦，產生微小火源的火星火花，導致廠區的可燃物，可能因此蓄積熱，造成火災風險因子存在機率增高，於施工前備妥手提式滅火器，施工時隨時派人監控，施工後應實施再次冷卻，或是移除可燃物，並將拆除的廢棄物規劃臨時儲存區域。

	不添加任何磨料，可用於切割軟質材料、表面除污及去除表面塗層等工作。水刀技術其主要優點是在切割時，不產生強大的反作用力、振動及熱應力，工具磨損少，適用於易燃易爆的環境。它的缺點是水容易造成交叉污染及產生大量的二次廢棄物。	
(2)金屬熱切割技術	熱切割係以不直接接觸工件的情況下進行切割，相較冷切割是以刀刃切斷工件，熱切割使用介質，聚焦高能量光束(如雷射)或是高溫火焰(如電漿)，使材料融化、昇華、燃燒或弱化，最後解體工件。主要方式可分為化學物質在氧氣中燃燒，如氧氣切割、氧乙炔火炬、爆炸切割等，以及放電作用切割，方法有電漿火炬、放電加工、金屬破碎機等。 A. 氧燃料切割 燃料為乙炔、丙烷或其他可燃氣體，切割過程使氧與被切削材料之間出現放熱化學反應，適用於碳鋼材料，而在切割過程中燃料提供活化能量，而氧氣流動產生的機械能使得工件表面形成切縫，進而將熔融氧化產物(金屬融液)自切縫中移除。 B. 電漿切割(Plasma Cutting) 以可離子化氣體，在電漿火炬與工件之間通過電流，電流持續加熱工作氣體而產生電漿，以高溫高速的電漿流(電離氣體)為熱源，將被切割的金屬局部熔化，同時，利用高速氣流將已熔化的金屬吹走，形成	除役過程的熱切割作業，其實已屬於明火作業的一種，高能量的高溫火焰與放電火花，更可使可燃物起火燃燒，相對的使用明火作業的規範，應更加嚴謹，如人員受訓講習、施工前中後的處理作業，如器具的冷卻、可燃物的防護等，而高溫的明火可能損害鋼材結構，因此許多未移除管線，應同時做好防火措施。施工作業結束後的可燃物儲存、機具的移除、周遭環境的再確

	狹窄切縫進一步的輸送熔融材料。 C.放電加工(Electrical Discharge Machining, EDM) 以脈衝發射出高電壓低電流的火花，火花由電極(通常是銅)射向工件。工件材料被火花熔化或昇華，隨著火花點燃後立即引發氣泡的爆裂，進而對周圍的介質產生衝擊波。其工作原理又可分： (A)金屬破碎機 以放電加工的原理，使用電極，產生高能量、低電壓的熱衝擊。 (B)接觸式電弧金屬切割 以放電加工的原理，透過石墨電極提供切割程序需要的電流。使用低電壓電漿弧，讓能量傳遞。 (C)接觸式電弧金屬研磨 使用電極來傳輸必要的電能以執行切割。 (D)爆炸切割 物質產生非常迅速的化學或物理變化，而在變化過程中迅速地釋放出大量熱量及氣體。	認，應會同廠區與施工人員進行雙重確認。
(3)混凝土切割拆除技術	核電廠廠房建築物拆除混凝土結構(牆壁、地板、天花板與地基) 須利用各種技術，達成下列目標： A.分段拆除：逐段去污，在污染移除後允許無條件釋出。 B.指定區域拆除：可能不會有完全被污染大表面，因此，它只需要移除那些受影響	當有切除混凝土構造時，應保持水冷卻的搭配，避免過熱產生可燃物的熱蓄積，機具的使用，亦是可燃物來源，內部的油

	的區域。 C.限制污染區附近的拆除:選擇性切割允許有秩序的移除，避免交叉污染。 (a)鑽石索鋸 鑽石索鋸可以在牆壁上創造開口與分離大型混凝土結構，切割設備僅需要少量的空間，通常使用水加以冷卻，亦可在乾燥狀況下進行切割。 (b)鏈鋸 由於鏈條長度短及鏈條與導桿之間的摩擦很快發熱，須使用水冷卻。 (c)圓盤鋸 以馬達驅動鋸片，在混凝土地板或牆壁切出一道切縫，大多數混凝土鋸片採用水冷卻以防止變形，水是二次廢棄物，及粉塵污染。 (d)錘擊 拆除大規模建築物，需要液壓錘的技術，但注意安全方面的問題，並以灑水裝置來抑制粉塵的形成。 (e)爆炸 爆炸切割是有限制性的，會影響周圍其他建物的結構完整性，或產生無法控制的放射性材料擴散，必需做好污染控制。 (f)火焰切割 混凝土是採用鋁熱反應程序，鐵與鋁粉末混合物在氧氣中被氧化。噴射火焰的溫度(約 800~900 °C)導致	類、高溫的刀片、馬達電器等，操作人員應使用適時注意機具的狀況，避免有使用過當產生過熱情形。
--	--	--

	混凝土迅速分解，過程中產生大量熱量、煙霧與有毒氣體。	
--	----------------------------	--

(二) 終期安全分析報告(Final Safety Analysis Report, FSAR)

在核電廠除役期間，在使用過的核燃料束，還尚未被移除至安全的存放區域前，皆放在核燃料池降溫，而核燃料池的水位為防護核廢料的安全，因此在核電廠除役期間，最重要的就是反應器廠房的燃料池防護，對於其他風險影響核燃料池應降至最低，國內的「核能電廠用過燃料池貯存格架改裝安全分析報告審查規範」在安全分析報告中，所包含的臨界安全、熱流分析、結構分析、輻射安全與、事故評估等重要事項，而在除役過程中，應避免發生火災發生，可能影響用過燃料的安全貯存，導致安全停機的風險。

除役期間核電廠區域透過動態的火災分析，事前預擬發生火災可能的頻率與所需注意事項，如核電廠特定數據、事故案例分析、火災情境分析等情況，其防護設備及消防警報與滅火設備之功效等進行分析，讓除役期間的防火措施能順應變動的防火區劃格局，進一步得到應有的防護，如 Final Safety Analysis Report (FSAR)所提到的消防系統如下：

- 1.消防系統提供早期發現和抑制火災，而抑制系統可提供可靠的水系統和二氧化碳滅火系統控制和撲滅核電廠區建築物內外的火災。

- 2.水系統包括消防泵，立管，室外消防栓，自動撒水設備和建築物內 CO₂ 系統包括儲存鋼瓶，集合管和噴頭等，用於火災防護。

參、主要發現與結論

一、核一廠現場訪查

火災防護執行方案基本查核事項，如廠房佈置、切割拆除、動火、電纜等火災因子等可能發生因素的防範措施，透過實際勘查後，才能更加瞭解核電廠區各項設施設備的配置與相關火災風險因子的大小要因。因此，針對核一廠除役的特殊性質，在反應器內的燃料束尚未全數移出之前，於除役期間過渡階段的前期應視為運轉中核電廠的安全規格執行相關必要措施，故應遵守除役期間施工中消防計畫，以利確保火災防護，以下為本團隊進行核一廠參訪的各項訪查紀錄：

(一) 第一次訪查

2020 年 08 月 05 日 1340~1600 至核一廠查訪記錄：

項目	回應
1.簡報廠區火警分區及相關應變計畫，摘要如下：	
(1)防火區畫是否會因除役而破壞？	不會因除役施工而破壞，除役分類為 5A 與安全有關者、5B 與安全無關者、5C 雜項類。
(2)應變計畫之更新(含失火對策)/何時修改?修改何？	應滾動式的更新各項應變計畫。
(3)已取得汽機廠房、反應器廠房之上述資料(分多個電子檔)，後續 4 年計畫亦需其它區域之資料。	以利日後各廠房的防火區劃異動之分析。
(4)除役版消防計畫之更新，PDSAR 之除役相關項目與 FSAR 9.5.1 相同，含完整防火區畫編號及火災风险分析資料(電子檔)。	為後續報告可參考資料。

2.核一廠之交流需求	
(1)汽機廠房之 Sensor (Fire detector) 可否減少，因為除役為滾動之檢討防護安全，消防設備之緩和為其重要需求(可節省成本及人力)。	可考量納入原則方向，再由台電委託相關機構評估，目前研究案已有工作項目，可列為後續研究案。
(2)隨除役進度，NFPA,FM,UL 之規定設備可否朝向適用國內法規?(例如：室內消防栓之壓力國外法規要求 4.7kg/cm^2 (已加裝 2 台大型幫浦可達此要求，但測試及維修亦需成本及人力)，國內法規要求 1.7kg/cm^2 (由現有山頂壓力水箱即可達此壓力，扣除摩擦水損亦 OK，不須外加幫浦)	同上題 1 之處理方式。
(3)金屬棒型感溫型 Detector 之校正期限可否由 1 年 1 次，放寬至 2 年 1 次。	同屬成本及人力考量，一併納入後續研究檢討。
(4)拆除順序與消防設備問題，例如主變壓器內含絕緣油，由撒水系統防護，可否隨除役進度，緩和消防設備之要求？(電纜拆除之火載量問題亦同)。	主變壓器內含絕緣油，由撒水系統防護，其目的係為運轉中電廠之安全考量，避免主變壓器火災事故導致發電設備故障，引起一連串跳機事件，現已不發電，可否評估納為一般可燃物之防護對象，緩和其消防設備之要求，可納入後續評估。
(5)2 台消防栓幫浦可否停用，因為測試與維護，亦是成本及人力問題？汽機廠房已改為 1 年 1 次，其它如反應器廠房仍為半年 1 次，可否延長期間為 1 年 1 次？	同上題，一併納入後續研究。原能會導則：須符合相關法規。故須研究評估，才能有緩和現行要求之依據。

另外火警探測器目前依國外規定 4 年半測試 1 次，半年各區抽測 1 次，可否放寬規定？（因為全部要 2 至 4 個月時間才測得完，且須廠方人員陪同消防業者一同，不能任由其自行檢修）	
3.交流回應：	
(1)主變壓器內含絕緣油之火災災例，在一般電線桿變壓器亦有發生，故障或劣化可形成氣體之壓力使絕緣油噴出霧化，充份混合空氣形成可燃性油霧，遇火源（電弧）即成火球燃燒狀態，須小心處理，建議停用之變壓器在尚未拆除前即先將絕緣油抽離保存，避免上述火災風險因子續存廠區。	鑒於除役期間有關可燃物管控作業，應確保各項設施設備能安全地移除，避免後續火災風險影響核燃料池相關保安措施的受損，應於各項除役步驟前，先將各可燃物先行安全移除後，再進行管線系統的除役作業。（是以燃料移除的狀況）
(2)可燃物（火載量）之分析，除上述變壓器絕緣油之火災災例，另有電纜之大量可燃物存在，且貫穿防火區畫之情形，其防火填塞之情形廠方仍維持良好填塞狀態，建議在拆除過程中，亦應注意防火區畫貫穿部之防火填塞，避免施工之火源管制改變，加上防火填塞因拆除導致區畫破壞之變化，造成一連串巧合之意外。	同上
(3)清大、警大路程約 2 小時/下次預計歲休後，9 月初再進現場實勘，	事後再安排下次參訪時間

保持聯絡，可上午訪查，時間留給後續行程。	
----------------------	--

(二) 第二次訪查

2020 年 09 月 16 日 1000~1320 核一廠查訪記錄：

項目	回應
1.簡報廠區規模組成，主席開場、廠區影片與參訪摘要如下：	
(1)行程安排	A.對於蒞廠參訪現場勘查活動，廠裡主管表示誠摯歡迎。 B.貴校一行人將安排在二號機一樓簡報室接待。 C.2020 年 09 月 16 日核一廠行程擬規劃如下： (A)09：50~10：10 核一廠介紹影片及填寫「輻射劑量申請書」。 (B)10：15~11：10 一號機反應器廠房現勘（電廠安排專人引導解說）。 (C)11：15~12：10 一號機汽機廠房現勘（電廠安排專人引導解說）。 (D)12：15~13：00 返回簡報室便餐及意見交流討論。 D.「來賓申請單」請於 2020 年 9 月 3 日確定後 E 傳，俾利辦理進廠手續。 E.當天進廠車輛數量，亦請預先告知，以便安排停車位。 F.若有個人工安鞋可自備穿用，若無則逕穿便鞋亦可。（其他工安防護具由電廠提供）。
(2)開場	A.副廠長開場： 略 B.劉組長簡報： (A)除役執照，有關燃料、程序—消防系統維持系統 (B)除役期間是否有法規放寬可能性，因為人事、維護費用較高。 C.沈老師介紹成員及參訪交流目的： 略
(3)介紹影片	A.深度防禦—多重、多樣、失效但安全

	B.程序書—人員經歷 120 小時訓練 C.核子事故緊急應變計畫 D.高階放射性物料—乾式儲存 E.WANO-世界核能發電協會
(4)管制站	A.D-5 防火門(2 號機) B.R 型總機(共六台—2 台在控制室) (A)上排：CPU 網路卡 POWER。 (B)下排：擴充 POWER。 C.26A 電池。 D.品牌：SIMPLEX，美國麻州生產。 E.警報系統---除役最後階段結束後才拆除。 F.總機電線型號： 600V EPR CONTROL CABLE AWG #14 C1A2 裕光 1999。 G.個人安全裝備：頭盔、耳塞、輻射偵檢器，行程約 2 小時，輻射劑量 0.0002mSr。 H.1F-1999 年建置現場 6 台 R 型火警受信總機 LEDCP-14S 型號 4120-8201 (內含 CPU 卡、網路卡串接、回路卡 250 接點/板、分盤與電池 26A×2)，監控中心另建有圖控電腦，統一監控。進出均須讀卡與 CCTV。 I.1F-R 型火警受信總機旁有 SCBA 與 FM-200 KIDDLE(防護電器室 1F 防火區劃為 4H4I，廠牌為 Simplex，一般消防逆止閥亦有連接 R 型總機定址功能，可發報定位。(以上為 1F 入口處消防設備)。
(5)反應器廠房	A.5F 燃料池 (具輻射背景)：因為目前燃料棒仍在池中，故以注滿水當屏障，理論上，池內之燃料棒滿了即要移出至乾式儲存廠 (因其執照未過，故無法使用)，故核電廠停機。 B.4F (2R) 為硼液區與淨水區，風管貫穿防火區劃，平面圖為兩方向避難設計，但其中一側因第二套燃料池冷卻

	系統設備管制封閉，無法通行。 C.3F 為第一套燃料池冷卻系統與淨化用顆粒狀樹脂，可吸附帶電粒子及雜質，（但是否為可燃性材質需確認？）。 (A)3F 以上為美式螺牙式接頭消防栓（壓力設計 150psi）、CO₂滅火器 15 型、乾粉滅火器 20 型、海龍 15 型。 (B)3F 預動式撒水系統逆止閥，為密閉乾式（空氣密閉監控，與座談時劉先生補充說明），連接光電式分離型火警系統啟動電磁閥，火警系統動作時，水可流入乾式管，其末端熔栓/玻璃球破裂撒水。 D.2F 為水泵用之潤滑油管，具 CO₂ 自動滅火系統、自動撒水系統、室內消防栓與泡沫消防栓，以防護潤滑油火災。 E.1F 冷氣環境供機械設備使用，為氣壓式控制棒（硼酸）系統，以瓶裝氮氣串接（加固定鏈），反應爐高度 1 至 5F，內部阻隔體壓力與水位，其溫控在攝氏 2 百多度，當中發現員工有打赤膊工作之情形。（除 1F 外，工作環境悶熱，可列為人因分析。）
(6)汽機廠房 （與反應器廠房在同一水泥建築內）	A.1F 汽機冷卻器之潤滑油、火警系統、自動撒水系統與室內消防栓 (A)桶裝廢循環機油 50 加侖桶共 3 桶。 (B)另一區（熱交換區）分別有 3 桶與 8 桶，共 11 桶的 50 加侖廢循環機油。 B.3F 為挑高大空間汽機廠房，設置蒸汽風機組與發電機組，各在其內部設有自動滅火系統。 C.3F 挑高大空間汽機廠房無火警系統，無自動滅火系統，僅有移動式滅火器。（如何防護除役期間施工該空間帶入之火源及火載量，列為安全因子，並加強施工防護設規劃）
2.核一廠之交流座談	

(1)是否有消防設備檢修申報機制?	按現行消防設備檢修申報機制辦理，消防局抽查。但因進入除役階段，產生人力短缺之困境。
(2)消防局如何搭配應變?	與消防局訂有支援協定，廠內消防隊 10 分鐘內無法撲滅之火災，則通知 119。第二圍阻體以內之事故，由核電廠指揮；第二圍阻體以外之事故，由消防局指揮。可用消防車接建築物之連結送水管，送水給廠內之冷卻系統、撒水系統及燃料池之補水。
(3)電纜貫穿及風管貫穿防火區劃如何防護?	貫穿防火區劃處單側以防火填塞阻隔，風管內部無閘門設計。
(4)汽機廠房與反應器廠房之外牆是否有逃生設計?	汽機廠房與反應器廠房之外牆有一座逃生梯，廠內門禁有分逃生門、保安管制門、防輻射門，目前以安全逃生門為主要設計考量。
(5)汽機廠房與反應器廠房因地震、海嘯造成供水不正常情況時之補水機制?	曾有演練地震、海嘯造成原供水系統故障之補水機制，可由海邊以 7 台消防幫浦接 63.5mm 口徑之水帶 174 條長距離中繼送水至廠內供燃料池冷卻、撒水系統使用，送水壓力由幫浦取水端 7 kg/cm^2 降至用水端 4 kg/cm^2 。但造成 7 台消防幫浦故障（海水）
(6)爐芯的爐	反應爐爐芯、爐壁破裂---事前防範，一次圍阻體，非破壞

壁破裂風險	性檢測，歷年沒有提到有此風險存在。
(7)最終儲存場進度	最終儲存場因多重因素，目前正在努力爭取中。
備註： (1)因內部不准拍照，於會後請核電廠負責窗口劉先生提供審查合格可同意提供之照片供研究案使用，須續行追縱。 (2)另有尚未詢問之變壓器位置，關乎其絕緣油及電纜之潛在風險評估。	

二、結論與建議

(一) 結論

核電廠運轉執照屆滿後，反應爐內使用過核子燃料棒應將先全部除出，並安全存放於用過核燃料池中是正常除役的流程。但核一廠目前屬於除役期間過渡階段前期，在尚未取得合適的乾式儲存場前，仍應將用過燃料池視為運轉中核電廠的狀態做完整的火災防護，確保貯存用過核燃料的反應器與燃料池，其冷卻系統必須維持安全運轉；故在用過燃料棒尚未移除之前，火災防護是相當重要的，主要目的亦是防止發生火災事故，造成反應器廠房與汽機廠房的相關結構、系統與組件的損壞，或影響反應器與燃料池冷卻系統的運轉，而導致燃料池冷卻系統的運轉，的安全，因此相關的拆除作業必須以此為當作最終目的來做防護。

核一廠除役作業依據各階段之目標及時程應按照除役工作分解架構及作業排程規劃進行。主要作業內容及時程規劃應以除役作業安全性及維護高低階核廢料保護的完整性之為前提，並考量用過核燃料及低階核廢料等儲存處理之特殊因素，

使整體除役時程規劃具可執行性及可達成性，且預計完成時間須符合核一廠除役計畫的承諾與我國法規之規定。而本研究案主要探討核一廠除役作業火災因子，經過與核電廠訪談後表示，先從汽機廠房開始進行拆解與拆除，再來執行反應器廠房設備拆解作業，再評估各建築物適當空間規劃臨時儲存拆除下來的低階核廢料之處理區域。對於兩個廠房的主要系統外，相關零組件之拆除也是在火災防護的重點程序之一，建議採用逐層拆解與拆除之方式進行，再依各樓層空間區域，以防火區劃增減設置之執行拆除作業，可有效降低火災風險因子導致火災發生而影響核安的機率。至於天然災害，如地震、海嘯等引發複合式的火災，考量範圍為核電廠耐震與防震的安全，對於施工中的防火作業與管理應強化施工器具的撤除、固定、與設施設備的耐震補強等措施，防護核能安全的考量眾多，且是環環相扣，如瑞士起司理論，只要各項安全措施與防護出了差錯，哪怕是小缺失，一連串的缺失串在一起，很可能就成了大災難。故在施工前中後的評估與防護，每個環節都不能馬虎，必須層層確認，建立完整的檢核機制與除役作業施工的品質，才能有效確保災害的發生。

(二) 建議

本研究最後歸納出幾項建議重點事項：

項目	內容
1.可燃物管理 安全	(1)除役時先移除該區域可燃物，如電纜。 (2)切割拆除作業應減少二次可燃物，如施工器具。 (3)除役所需切割拆除機具若無法除污則視為放射性廢棄物之可燃物，應妥善儲存。

	(4)具有油類的設備，拆除前應先將油類移除，再進行切割拆除作業。
2.通風與集塵設備安全	(1)在除役作業可能貫穿防火區劃之情況，須請核電廠先確認通風管線內部有無防火或防煙閘門，避免處在較高的火災風險中，當火災煙霧竄進通風管內，可能導致其他樓層的竄燒。 (2)通風系統為負壓，當火災發生時，除了導致流入管線內，很可能透過負壓波及其他的樓層，加速了濃煙的傳遞。 (3)防火填塞的有效性與時效性。當防火塗料或填塞，使用時間較長時，可能無法具備原設計所塗之防火時效。 (4)通風設備的集塵設施應定期清理，避免導致可能的靜電起火。 (5)實施水下熱切割或其他動火作業時，水接觸到高溫而汽化成水蒸氣，夾帶高溫的金屬碎屑，散佈於該區域中，可能導致易燃物熱蓄積而產生火災。
3.電氣安全	(1)現場施工人員使用電氣設備，應遵照使用方法，避免造成危害。 (2)減少靜電物品亦是電氣危害的防範措施，如施工人員服裝、電氣設備接地等，而主要避免施工中人為因素所造成的施工人員疏忽、操作不當或電氣設備安裝不良，或電器設備本身瑕疵等因素，造成可能的危害。 (3)電氣設備使用前應測試檢查各項功能良好狀況，可防止操作人員感電、毀損物品、造成火災、引起爆炸或其他設備意外事故。 (4)避免操作電氣設備環境中充滿爆炸性粉塵、有機溶劑等情事，應先排除狀況後再施工，且採取必要之電氣防爆措施。 (5)使用大型重機具拆除時，因其特性如車輛火警，可能因

	為油類外洩、機械故障或是電氣問題等發生火災，應充分評估與考量防範發生時之滅火防護能力。
4.消防安全	(1)核電廠是特種建築物，除依照建築法第九條以外之主要構造、防火區劃、防火避難設施、消防設備、停車空間、行動不便者使用設施變更，建築物室內裝修，或其他與原許可不合之變更者，該特種建築物之使用單位應報請該直轄市政府或特種建築物之中央目的事業主管機關，審查其變更內容，並應取得工程興建計畫權責機關核定之相關證明文件，其變更之防災計畫或安全防護計畫，應由該直轄市政府或中央目的事業主管機關會同使用單位審查確認。 (2)除役期間的各廠房之系統及設施設備等拆除作業，建議可搭配消防法相關法令與設置標準或其他相關法規進行防火管理。 (3)參考 RG 1.189、RG 1.191、NFPA 805 之除役相關規範之進行。 (4) 可滾動式檢討各項消防設備之增減設置，如增加檢修時程，減少風險低的廠區消防設備之檢修數量、範圍，或是非直接危害核能區域之消防設備停止其防護功能等，相關配套措施與評估，應不得違背持續維持核燃料池安全為目的之行動方案。
5.施工安全	(1)人員的事前訓練，如各項施工器材操作、核能基本防護概念、火災風險因子檢討、火災科學、自衛消防編組訓練，以及建築物既設消防設備的操作等項目。 (2)施工人員對於施工器具的熟練度與其突發狀況排除。 (3)針對動火作業，或相關拆除作業等，應設置防火觀察員之要職，以利作業安全的確保。 (4)加強個人裝備與消防設備之運用，才能應付第一時間的緊急應變措施。

	(5)除了廠區消防隊之外，應針對施工人員成立臨時自衛消防編組之組成。
6.人員安全	(1)編列個人防護設備的成本需求，如空氣呼吸器。 (2)強化人員對於核汙染之除汙作業流程的程序。 (3)在除役期間，對於核安與人命安全考量應視為同等重要，在可控制核能安全的情況下，應著重於人命安全考量。 (4)拆除程序的完整性評估作業，如廢棄物儲存、技術層面、避難安全路徑規劃、建築物的穩定性等，應納入規劃考量。 (5)人為因素可能導致災害發生的主要因素之一，故強化相關人員的安全觀念外，並應落實嚴格的管控。

肆、參考文獻

1. National Fire Protection Association, NFPA 805, Performance-based Standard for Fire Protection for Light Water Reactor Electric Generating Plants, 2020 Edition.
2. Regulatory Guide 1.191-Fire Protection Program For Nuclear Power Plants During Decommissioning And Permanent Shutdown , U.S. Nuclear Regulatory Commission, April 2001.
3. NEI 04-02, Guidance for Implementing a Risk-Informed, Performance-Based Fire Protection Program under 10 CFR 50.48(c), Revision 3, Nuclear Energy Institute, 2016.
4. 10 CFR 50.48, Fire Protection , Code of Federal regulations, U.S. Nuclear Regulatory Commission.
5. NUREG-0800, Standard Review Plan-9.5.1.1 Fire Protection Program, U.S. Nuclear Regulatory Commission, 2009.
6. 葛自祥(民 91)，除役中火災事故之模擬與火災防護計畫之評估，行政院原子能委員會委託研究計畫研究報告。
7. 鄧治東、陳冶均(民 93)，核電廠除役期間煙層行為模擬，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。
8. 白寶實(民 99)，核能電廠防火法規評估，台灣電力公司委託研究計畫。
9. 許文勝(民 101)，國內外核能電廠防火管制技術精進研究(總計畫暨子計畫三)--風險告知應用於核能電廠防火法規研究，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。
10. 沈子勝(民 94)，核電廠火災危害分析技術之研究，行政院原子能委員會委託研究計畫研究報告。
11. Tzu-Sheng Shen, “Will the Second Cable Tray Be Ignited In a

- Nuclear Power Plant?”, Journal of Fire Science, Volume : 24 issue : 4, page(s) : 265-274, July, 2006.
12. California State Lands Commission, Final Environmental Impact Report for the San Onofre Nuclear Generating Station (SONGS) Units 2 & 3 Decommissioning Project , February 2019.
 13. Kevin McGrattan, Ed Hnetkovsky, Scott Bareham, Michael Selepak, Morgan Bruns, Response Bias of Electrical Cable Coatings at Fire Conditions (REBECCA-FIRE), U.S. Nuclear Regulatory Commission, February, 2018.
 14. Matthias Siemon, Olaf Riese, Burkhard Forell, Dominic Krönung, Walter Klein-Heßling, Experimental and numerical analysis of the influence of cable tray arrangements on the resulting mass loss rate and fire spreading, SPECIAL ISSUE PAPER, 27 November 2018.
 15. Koji Tasaka, Koji Shirai, Junghoon Ji, Pascal Zavaleta, Experimental study of smoke effects on energized electrical cabinets located nearby a lubricant oil pool fire, SPECIAL ISSUE PAPER, 4 April 2019.
 16. Darko Perovic¹, Patrick Van Hees, Dan Madsen, Vilhelm Malmberg, Louise Gren, Joakim Pagels, Oriol Rios, Saverio La Mendola , Identification and characterization of design fires and particle emissions to be used in performance-based fire design of nuclear facilities, INTERFLAM2019 : FIRE SAFETY ENGINEERING, 6 June 2020.
 17. Xianjia Huang, He Zhu, Lan Peng, Zihui Zheng, Wuyong Zeng, Kun Bi, Chihonn Cheng, Wanki Chow, Burning behavior of cable tray located on a wall with different cable arrangements, RESEARCH ARTICLE, 2 August 2018.

18. William Plumecocq, Laurent Audouin, Pascal Zavaleta, Horizontal cable tray fire in a well-confined and mechanically ventilated enclosure using a two-zone model, SPECIAL ISSUE PAPER, 17 December 2018.
19. 台灣電力股份有限公司，第一核能發電廠除役計畫，第 5 章除役期間仍須運轉之重要系統、設備、組件及其運轉方式，核能後端營運，2020。
20. 台灣電力股份有限公司，第一核能發電廠除役計畫，第 6 章除役時程、使用之設備、方法及安全作業程序，核能後端營運，2020。
21. 台灣電力股份有限公司，第一核能發電廠除役計畫，第 7 章除役期間預期之意外事件安全分析，2020。