

國家原子能科技研究院
委託研究計畫研究報告

112 年核電廠熱水流安全分析暨管制法規技術精進研究
2023 Thermal-Hydraulic Safety Analysis and Regulation Technical
Improvement for Nuclear Power Plant

計畫編號：112B010

受委託機關(構)：國立清華大學

計畫主持人：曾永信

研究期程：中華民國 112 年 5 月至 112 年 12 月

研究經費：新臺幣 2,462,500 元

國原院聯絡人員：黃智麟

報告日期：112 年 12 月 5 日

目 錄

微生物腐蝕對於除役過渡階段的核電廠系統與組件安全維護的影響.....A

核能電廠除役期間防火視察與火災危害之管制要項研究B

國家原子能科技研究院
委託研究計畫研究報告

112 年核電廠熱水流安全分析暨管制法規技術精進研究-微生物腐蝕
對於除役過渡階段的核電廠系統與組件安全維護的影響

**2023 Thermal-Hydraulic Safety Analysis and Regulation Technical
Improvement for Nuclear Power Plant- Safety and maintenance
impact induces by the microbial corrosion on components of NPP
during decommissioning transition**

計畫編號：112B010

受委託機關(構)：國立清華大學

計畫主持人：曾永信

研究期程：中華民國 112 年 5 月至 112 年 12 月

研究經費：新臺幣 2,462,500 元

國原院聯絡人員：黃智麟

報告日期：112 年 12 月 5 日

目 錄

圖目錄	iii
表目錄	v
壹、計畫緣起與目的	3
貳、研究方法與過程	4
2.1 SRB 菌株活化與培養	6
2.2 實驗系統設置與試片製備	7
2.2.1 試片製備	7
2.2.2 浸沒實驗	8
參、主要發現與結論	10
3.1 溫度梯度對於敏化 304 SS MIC 的影響	10
3.1.1 敏化程度分析	10
3.1.2 溫度 55 度下敏化 304 SS 之質量變化	10
3.1.3 溫度 55 度下敏化 304 SS 之表面形貌	12
3.1.4 溫度 55 度下敏化 304 SS 之電化學行為分析	22
3.1.5 不同溫度下敏化 304 SS 之質量改變差異	25
3.1.6 不同溫度下敏化 304 SS 之表面形貌差異	26
3.1.7 不同溫度下敏化 304 SS 之電化學行為差異	31
3.2 溫度梯度對於 CS MIC 的影響	34
3.2.1 溫度 55 度下 CS 之質量變化	34
3.2.2 溫度 55 度下 CS 之表面形貌	35
3.2.3 溫度 55 度下 CS 之電化學行為分析	44
3.2.4 不同溫度下 CS 之質量改變差異	47
3.2.5 不同溫度下 CS 之表面形貌差異	48
3.2.6 不同溫度下 CS 之電化學行為差異	53

3.3 微小擾動對於敏化 304 SS MIC 的影響.....	55
3.3.1 微小擾動環境下敏化 304 SS 之質量變化.....	55
3.3.2 微小擾動環境下敏化 304 SS 之表面形貌.....	56
3.3.3 微小擾動環境下敏化 304 SS 之電化學行為分析.....	59
3.4 微小擾動對於 CS MIC 的影響.....	62
3.4.1 微小擾動環境下 CS 之質量變化.....	62
3.4.2 微小擾動環境下 CS 之表面形貌.....	63
3.4.3 微小擾動環境下 CS 之電化學行為分析.....	65
肆、研究發現與管制建議回饋	69
伍、參考文獻	70

圖目錄

圖 1、實驗流程圖	5
圖 2、304 不銹鋼 DL-EPR 測試結果	10
圖 3、55 度下敏化 304 不銹鋼的質量改變(mg/cm^2)	11
圖 4、敏化 304 不銹鋼接菌後在不同天數下表面生物膜形貌	13
圖 5、敏化 304 不銹鋼接菌後在不同天數下表面生物膜分布情形	14
圖 6、接菌 15 天後敏化 304 不銹鋼表面生物膜與腐蝕產物 EDS 分析	15
圖 7、15 天測試後，敏化 304 不銹鋼表面 Point-Scan EDS 分析結果	16
圖 8、敏化 304 不銹鋼浸沒測試後利用超音波震盪移除腐蝕產物後的 表面形貌（左為實驗組，右為對照組）	19
圖 9、敏化 304 不銹鋼浸沒利用超音波震盪移除腐蝕產物後之表面形 貌（左為實驗組，右為對照組）	21
圖 10、敏化 304 不銹鋼浸沒利用超音波震盪移除腐蝕產物後，實驗組 之較嚴重孔蝕形貌	22
圖 11、敏化 304 不銹鋼於 SRB 培養基中極化掃描結果	23
圖 12、敏化 304 不銹鋼於接菌 SRB 培養基的 EIS 分析圖	24
圖 13、EIS 分析之等效電路圖	24
圖 14、敏化 304 不銹鋼在不同培養溫度下之質量改變比較	26
圖 15、不同溫度條件下敏化 304 不銹鋼表面生物膜形貌	28
圖 16、不同溫度條件敏化 304 不銹鋼洗去生物膜後之表面腐蝕形貌	30
圖 17、敏化 304 不銹鋼在不同溫度條件下之極化掃描結果比較	31
圖 18、敏化 304 不銹鋼在不同溫度條件下之 EIS 結果比較	33
圖 19、55 度下碳鋼的質量改變(mg/cm^2)	34
圖 20、碳鋼接菌後在不同天數下表面生物膜形貌	37
圖 21、碳鋼接菌後在不同天數下表面生物膜分布情形	38
圖 22、接菌 15 天後碳鋼表面生物膜與腐蝕產物 EDS 分析	39
圖 23、15 天測試後，碳鋼表面 Point-Scan EDS 分析結果	40
圖 24、碳鋼浸沒測試後利用超音波震盪移除腐蝕產物後的表面形貌	

(左為實驗組，右為對照組)	43
圖 25、碳鋼於 SRB 培養基中極化掃描結果.....	44
圖 26、碳鋼於接菌 SRB 培養基的 EIS 分析圖.....	46
圖 27、EIS 分析之等效電路圖	46
圖 28、碳鋼在不同培養溫度下之質量改變比較	48
圖 29、不同溫度條件下碳鋼表面生物膜形貌	50
圖 30、不同溫度條件下碳鋼洗去生物膜後之表面腐蝕形貌	52
圖 31、碳鋼在不同溫度條件下之極化掃描結果比較	53
圖 32、碳鋼在不同溫度條件下之 EIS 結果比較	55
圖 33、微小擾動條件下敏化 304 不銹鋼的質量改變(mg/cm^2)	56
圖 34、微小擾動條件下敏化 304 不銹鋼表面生物膜形貌	58
圖 35、微小擾動下敏化 304 不銹鋼洗去生物膜後之表面腐蝕形貌 ..	59
圖 36、敏化 304 不銹鋼在微小擾動條件下之極化掃描結果比較	60
圖 37、敏化 304 不銹鋼在微小擾動條件下之 EIS 結果比較	61
圖 38、EIS 分析之等效電路圖	61
圖 39、微小擾動條件下碳鋼的質量改變(mg/cm^2)	62
圖 40、微小擾動條件下碳鋼表面生物膜形貌	64
圖 41、微小擾動條件下碳鋼洗去生物膜後之表面腐蝕形貌	65
圖 42、碳鋼在微小擾動條件下之極化掃描結果比較	66
圖 43、碳鋼在微小擾動條件下之 EIS 結果比較	67
圖 44、EIS 分析之等效電路圖	67

表目錄

表 1、 POSTGATE Medium.....	7
表 2、碳鋼及 304 不銹鋼的化學成分表(wt %)	8
表 3、 DL-EPR 數據	10
表 4、55 度下敏化 304 SS 試片的腐蝕速率	11
表 5、敏化 304 不銹鋼在 SRB 培養基中的極化曲線電化學參數	23
表 6、敏化 304 不銹鋼於 SRB 培養基的 EIS 等效元件數據	25
表 7、敏化 304 不銹鋼在不同培養溫度下之腐蝕速率比較	26
表 8、敏化 304 不銹鋼在不同溫度條件下極化曲線電化學參數比較	32
表 9、敏化 304 不銹鋼在不同溫度條件下 EIS 等效元件數據比較	33
表 10、55 度下碳鋼試片的腐蝕速率	35
表 11、碳鋼在 SRB 培養基中的極化曲線電化學參數	45
表 12、碳鋼於 SRB 培養基的 EIS 等效元件數據	47
表 13、敏化 304 不銹鋼在不同培養溫度下之腐蝕速率比較	48
表 14、碳鋼在不同溫度條件下極化曲線電化學參數比較	54
表 15、碳鋼在不同溫度條件下 EIS 等效元件數據比較	55
表 16、微小擾動條件下敏化 304 SS 試片的腐蝕速率	56
表 17、敏化 304 不銹鋼在微小擾動條件下極化曲線電化學參數比較	60
表 18、敏化 304 不銹鋼在微小擾動條件下 EIS 等效元件數據比較	62
表 19、微小擾動條件下碳鋼試片的腐蝕速率	63
表 20、碳鋼在微小擾動條件下極化曲線電化學參數比較	66
表 21、碳鋼在微小擾動條件下 EIS 等效元件數據比較	68

中文摘要

微生物腐蝕為核電廠組件局部腐蝕的機制之一，當金屬表面受微生物催化而產生的化學反應以及其持續累積和濃縮的氯化物或是硫化物影響；尤其是在熱影響區內的不銹鋼材料，更可能因為鉻析出而造成材料敏化，並影響其鈍化層性質。是故，本研究藉由已建立之微生物培養與試片實驗設備及程序，評估在用過燃料池可能遇到的環境條件下，著重於微生物生長與代謝產物對於用過燃料池內襯敏化不銹鋼之鈍化層影響。實驗結果顯示，敏化後之不銹鋼鈍化層雖然受到影響，但考慮核電廠除役過渡階段之仍維持與運轉期間相當之水質，不致對用過燃料池等冷卻水邊界造成顯著之安全疑慮。

關鍵字：微生物腐蝕、除役過渡階段、不銹鋼、熱影響區。

Abstract

Microbial corrosion is one of the mechanisms of localized corrosion of nuclear power plant components. The surface of metal is affected by the chemical reactions catalyzed by microorganisms and the continuous accumulation and concentration of chlorides or sulfides; especially in the area of heat affected zone (HAZ) of stainless steel. In the HAZ, SS 304 may be sensitized and changed its properties of passivation layer. Therefore, an experimentation has been established to evaluate the influence of microbial growth and metabolites on the HAZ of SS 304. Experimental results show that the microbial corrosion mechanism will not cause significant safety concerns for the cooling water boundaries e.g., SFP liner), because the cooling water of decommissioning phase NPP still maintains the same water quality as operation phase.

Keywords: MIC, decommissioning transition phase, SS304, HAZ

壹、計畫緣起與目的

核一廠用過燃料池與爐心所處之環境雖為開放模式而可能藉由機具、操作、補水或是空氣的流動而引入微生物而導致因微生物活動與代謝而產生的腐蝕(Microbiologically-influenced Corrosion, MIC)的議題。用過燃料池內襯的主要材料為 304 不鏽鋼，在延續型計畫中，已針對此材料以及不鏽鋼常見的加工成型方式(如焊接)所導致之敏化熱影響區(Heat Affected Zone, HAZ)進行初步探討。敏化不鏽鋼也可能產生腐蝕，如孔蝕、間隙腐蝕、沿晶腐蝕以及應力腐蝕龜裂等，不鏽鋼發生敏化時因為碳化鉻在晶界上析出使得附近形成鉻乏區，造成抗腐蝕能力減弱。後續因微生物的代謝與催化，進而導致氯化物或硫化物受其生物膜的阻隔而累積、濃縮。微生物可能在不鏽鋼材料上造成孔蝕或是間隙腐蝕現象，即使改善用過燃料池水系統之環境條件，但仍可能因為上述腐蝕與代謝機制仍存在於生物膜下的微環境而使其腐蝕持續發展。因此，雖然透過先前的計畫已有初步研析證實不鏽鋼對 MIC 具有一定程度的抵抗能力，然而在除役過渡期間用過燃料池內襯是否潛在 MIC 之風險，需要更完整的透過其可能遭遇的各種環境條件下進行更進一步的實驗及分析。

本年度的研究主要針對硫酸鹽還原菌(Sulfate Reducing Bacteria, SRB)於敏化後 304 不鏽鋼以進行實驗分析。考量用過燃料池內襯所在之處，可能因為用過核子燃料作為熱源而在內襯的不同位置有溫度梯度的現象，進而影響 SRB 菌之生長，本年度之研究中將在不同溫度條件下進行實驗，模擬用過燃料池內襯菌株之成長與代謝狀況，以針對溫度梯度的影響進行評估，另外，用過燃料池水覆蓋環境亦可能有微小的擾動，因此本年度研究亦透過震盪擾動的施加與否，來分析

擾動因素是否對微生物腐蝕情形造成影響。透過本年度微生物培養與試片加速腐蝕實驗與電子顯微鏡所獲得之表面跡證，研究團隊將可進一步瞭解受焊接熱影響之 304 不銹鋼因微生物誘發腐蝕(MIC)可能對組件材料產生的腐蝕行為與速率，並協助主管機關瞭解除役過渡期間微生物腐蝕對用過燃料池各項組件之影響。

貳、研究方法與過程

為了評估機組在除役過渡階段，冷卻水邊界以及與其有關的系統組件材料是否因為微生物活動而導致微生物腐蝕，並且考慮不銹鋼因焊接程序對基材造成影響，基材因敏化而產生熱影響區。不銹鋼經敏化後往往會使其抗腐蝕能力受到影響，像是核電廠用過燃料池的內襯係以不銹鋼板焊接而成，確實有必要針對用過燃料池不銹鋼內襯是否潛在 MIC 之風險進一步加以探討。而用過核子燃料作為熱源所產生的溫度梯度是否也會對 SRB 菌生長狀態造成影響，進而使得 MIC 對於組件材料產生的腐蝕行為與速率也產生變化，因此透過先前實驗建立的 SRB 菌腐蝕實驗方法[1]，依照圖 1 顯示的實驗流程，從微生物的培養、試片浸沒實驗以及後續試片分析結果等工作進行以提供研究成果之資訊。

為了釐清培養基與微生物對於材料造成的腐蝕行為，進行浸沒實驗時分為兩組，一為對照組（未接菌），另一為實驗組（接菌），實驗條件的測試溫度為 55°C。

試片完成浸沒實驗後，試片分析方式可分為：

- 一、質量改變(Mass Change)測定，後續再進一步計算腐蝕速率。
- 二、使用掃描式電子顯微鏡(Scanning Electron Microscope, SEM)/能量色散 X 射線譜(Energy-dispersive X-ray spectroscopy, EDS)進行表面成分分析，瞭解微生物腐蝕情形，對腐蝕情況進行

研究。

三、使用三極式電化學系統以及電化學工作站進行極化曲線掃描與電化學阻抗頻譜(EIS)分析，瞭解微生物與生物膜於材料上的電化學行為與腐蝕趨勢。

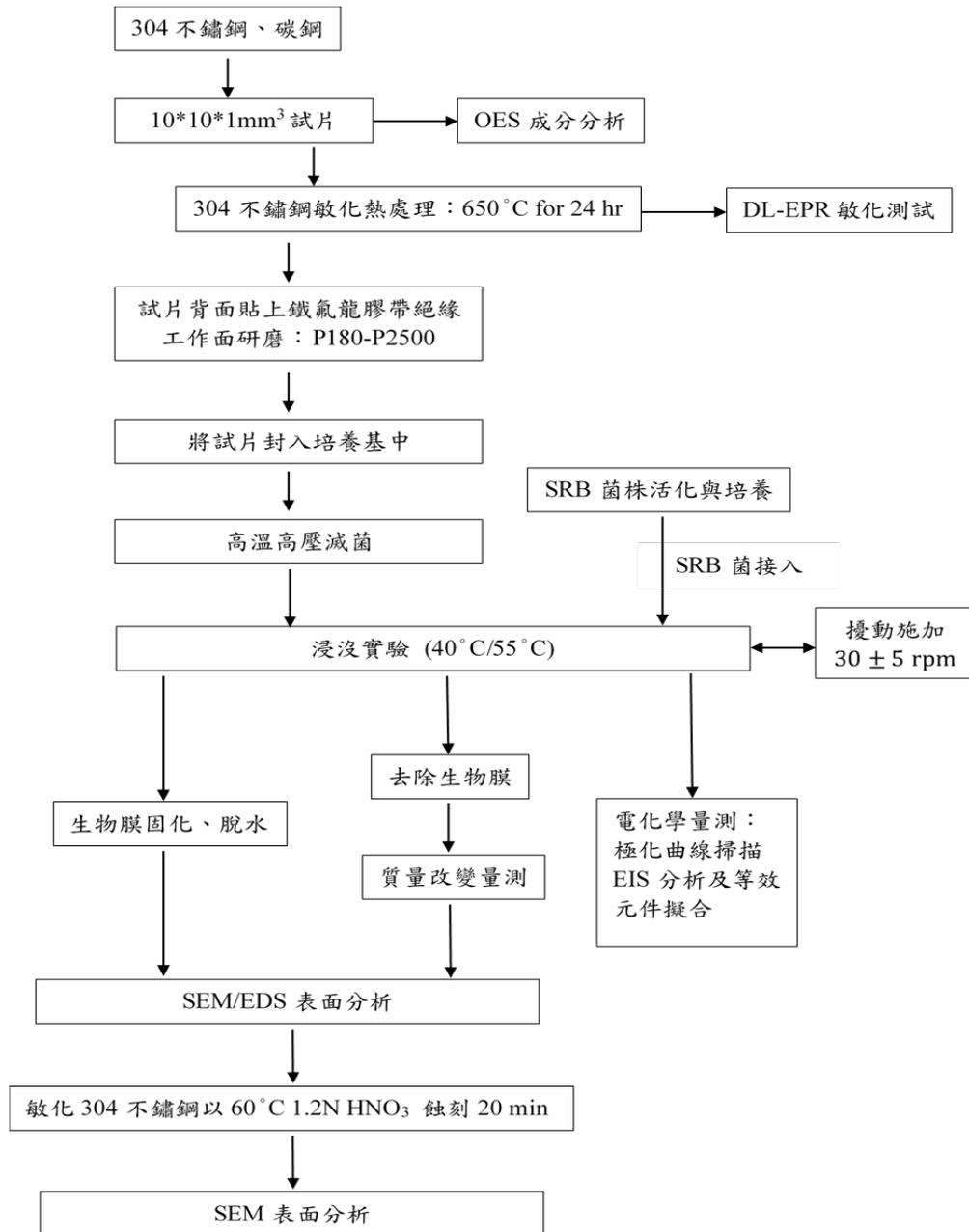


圖 1、實驗流程圖

2.1 SRB 菌株活化與培養

本研究選定的菌株為生物資源保存及研究中心(Bioresource Collection and Research Center, BCRC)所供應的硫酸鹽還原菌菌株，選用的 SRB 為 ATCC 7946 號的 *Desulfotomaculum nigrificans* (*D. n.*)，屬脫硫腸狀菌屬。菌株可於生物安全等級(Biosafety Level)等級為 1 級(含以上)的實驗室進行活化以供後續實驗使用。

SRB 培養基是依據 BCRC 所提供的配方與程序進行製備，是採用 DSMZ 63. *Desulfovibrio* (Postgate) Medium 進行培養，培養基成分如表 1 所示。培養基製備的程序為先將 Solution A 加熱至沸騰並除氧，持續通氮氣，直至冷卻後再加入 Solution B 與 C，再以氫氧化鈉進行 pH 調整至 7.8，之後分裝至血清瓶或試管中後以較高的溫度與壓力 (121 °C /15 psi)持續 15 分鐘滅菌後備用。配製培養基與操作 SRB 試驗期間，使用的器具容器皆須預先以氮氣充填來隔絕氧氣，培養基中添加的厭氧指示劑 Resazurin 在厭氧狀態下為藍色，而有氧狀態則轉為粉紅色，可以協助判斷培養環境是否維持在厭氧的狀態下。

培養基完成配製後再進行 SRB 菌株的解凍活化，在無菌厭氧環境下將冷藏於 4°C 的 SRB 乾燥管取出，活化步驟如下：

1. 以沾有 70% 酒精的棉花擦拭外管，之後在火焰上加熱外管隔熱纖維紙的前端。
2. 立即滴數滴無菌水於加熱處，使得外管頂端產生龜裂，再以鑷子敲破。
3. 取出隔熱纖維紙和內管，以滅菌過的鑷子取出內管棉塞。
4. 以無菌吸管吸取 0.3~0.5 mL SRB 培養基，滴入內管將菌體沖洗下來，可用無菌吸管協助，直至均勻懸浮。

5. 液體培養基從開封至接種完成均需以純氮氣體充填，以保持厭氧狀態。接種完成後在指定溫度下進行培養，若培養基呈現混濁狀態即表示菌株有成功生長。

表 1、 POSTGATE Medium

Solution A: 980 ml + Solution B: 10 ml + Solution C: 10 ml			
Solution A:		Solution B:	
K ₂ HPO ₄	0.5 g	FeSO ₄ x 7 H ₂ O	0.5 g
NH ₄ Cl	1.0 g	Distilled water	10.0 ml
Na ₂ SO ₄	1.0 g		
CaCl ₂ x 2 H ₂ O	0.1 g		
MgSO ₄ x 7 H ₂ O	2.0 g	Solution C:	
Na-DL-lactate	2.0 g	Na-thioglycolate	0.1 g
Yeast extract	1.0 g	Ascorbic acid	0.1 g
Resazurin solution (0.1% w/v)	0.5 ml	Distilled water	10.0 ml
Distilled water	980.0 ml		

2.2 實驗系統設置與試片製備

2.2.1 試片製備

試片的選用是使用 304 不銹鋼以及碳鋼，即用過燃料池內襯及核電廠冷卻水系統管件常用的材料，材料的化學成分(質量百分率,%)如表 2 所示，因本次進行 55°C 實驗與先前 40°C 實驗為不同批次進行之實驗，使用的材料因供應商不同，成分有些微差異，但仍在相同種類材料範圍，詳細數據及差異皆列於表中。浸沒實驗使用的試片大小為 10 mm×10 mm×1 mm，在非測試面以鐵氟龍膠帶進行貼覆以隔絕反應，而電化學測量的試片大小也是 10 mm×10 mm×1 mm，試片背面以 304 SS 導線進行點焊。敏化處理程序是將試片封入石英管後，置於高溫爐管進行 650°C 經過 24 小時爐冷後取出。取出後試片表面以 180~2500 號砂紙進行研磨，再以去離子水沖洗並置於去離子水中

以超音波震盪 15 分鐘後吹乾，置入烘箱中備用。

表 2、碳鋼及 304 不銹鋼的化學成分表(wt %)

實驗 批次	%wt	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Fe
40°C	CS (鼎峰)	0.083	0.025	0.030	0.138	<0.005	0.028	0.006	balance
55°C	CS (偉斯)	0.017	0.003	<0.0005	0.082	<0.005	0.022	0.0134	balance
40°C	304 SS (鼎峰)	0.067	<0.001	0.0213	0.988	0.324	18.37	8.076	balance
55°C	304 SS (偉斯)	0.059	<0.001	<0.001	0.795	0.436	18.05	8.070	balance

2.2.2 浸沒實驗

為研究 *D.n* 生物膜對敏化 304 SS 表面可能造成的腐蝕行為，採用浸沒實驗進行研究。將敏化 304 SS 試片放置於 50 mL SRB 培養基中，再經高溫高壓滅菌。之後將試片分別置入含有 10^8 /mL 濃度 SRB 菌培養基(實驗組)及僅有培養基(對照組) 的測試瓶，每組測試瓶各置三片同材同尺寸的試片，進行為期 1、5、15、30、60、90 與 120 天的浸沒實驗。SRB 培養操作的溫度為 55°C，於恆溫烘箱中進行，後續再與先前 40°C 之結果進行比較。

經過不同天數浸沒實驗的試片取出後，其處理程序是將試片進行固定與脫水處理，後續再以 SEM 進行生物膜觀察。為觀察試片因 MIC 腐蝕的形貌，去除腐蝕產物的後處理有二，一為在去離子水中利用超音波震盪移除腐蝕產物，二是超音波震盪後依照 ASTM G1-03 標準方法[2]。清洗後再以無水酒精進行處理，吹乾後以微量天秤進行秤重，分別紀錄試片於浸沒實驗前後的重量改變並計算其腐蝕速率。

$$\text{腐蝕速率} \left(\frac{\text{mm}}{\text{yr}} \right) = \frac{3650 * \text{失重}(g)}{\text{金屬密度} \left(\frac{g}{\text{cm}^3} \right) * \text{試片面積}(\text{cm}^2) * \text{時間}(\text{day})}$$

另外，針對微小擾動對於 SRB 菌株生長的影響，重複浸沒實驗之製備方式，將 SRB 培養於具有震盪盤的恆溫烘箱中，在培養期間持續使用震盪盤施以轉速為 30 ± 5 rpm 的小擾動，培養操作溫度為 40°C ，並觀察在實驗進行 15 以及 120 天後，與先前未施以微小擾動的實驗結果進行比較，觀察 SRB 成長狀態、生物膜形貌以及微生物腐蝕情形是否有受到影響。

參、主要發現與結論

3.1 溫度梯度對於敏化 304 SS MIC 的影響

3.1.1 敏化程度分析

為確保實驗試片經敏化熱處理後達到重度敏化，遂進行 DL-EPR 量測，其結果如圖 2 與表 3 所示，結果顯示敏化程度 DOS 值為 75.11%，超過 (>7%) 達重度敏化之標準[3]。

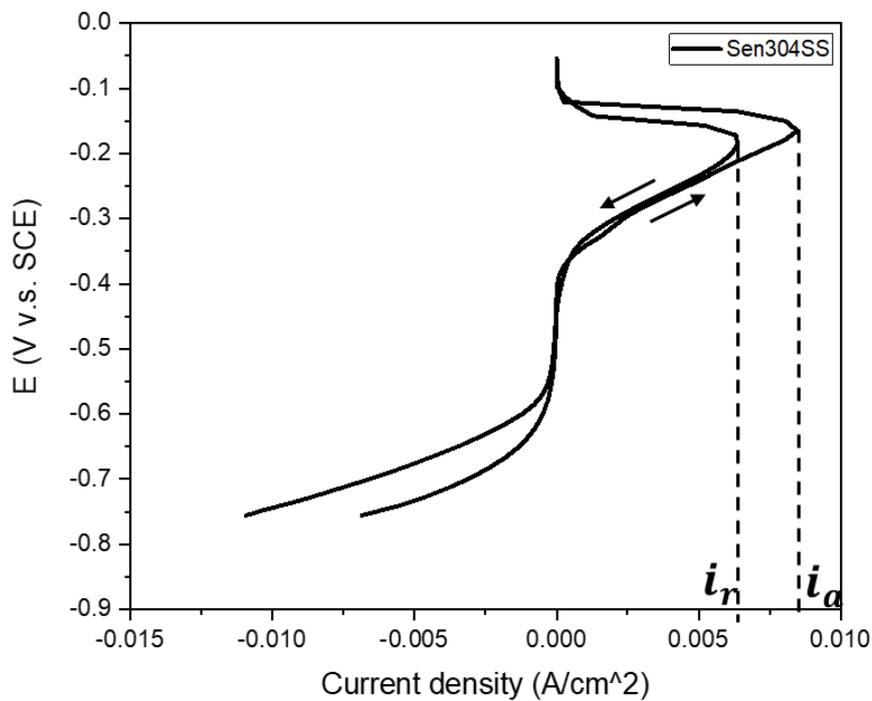


圖 2、304 不銹鋼 DL-EPR 測試結果

表 3、DL-EPR 數據

i_r	i_a	DOS
0.0084709 A/cm ²	0.0063629 A/cm ²	75.11%

3.1.2 溫度 55 度下敏化 304 SS 之質量變化

圖 3 為敏化 304 不銹鋼之質量改變，測試時間包含 1、5、15、30、60、90 與 120 天測試。由結果可知，敏化後 304 不銹鋼實驗前後之質量改變極低，結合 SEM 底下觀察到平整表面，表示 SRB 與生物膜對不銹鋼本身腐蝕性相當低，SRB 對不銹鋼的影響主要來自於培養基的離子與代謝產生的硫離子。表 4 顯示由質量變化換算的腐蝕速率。

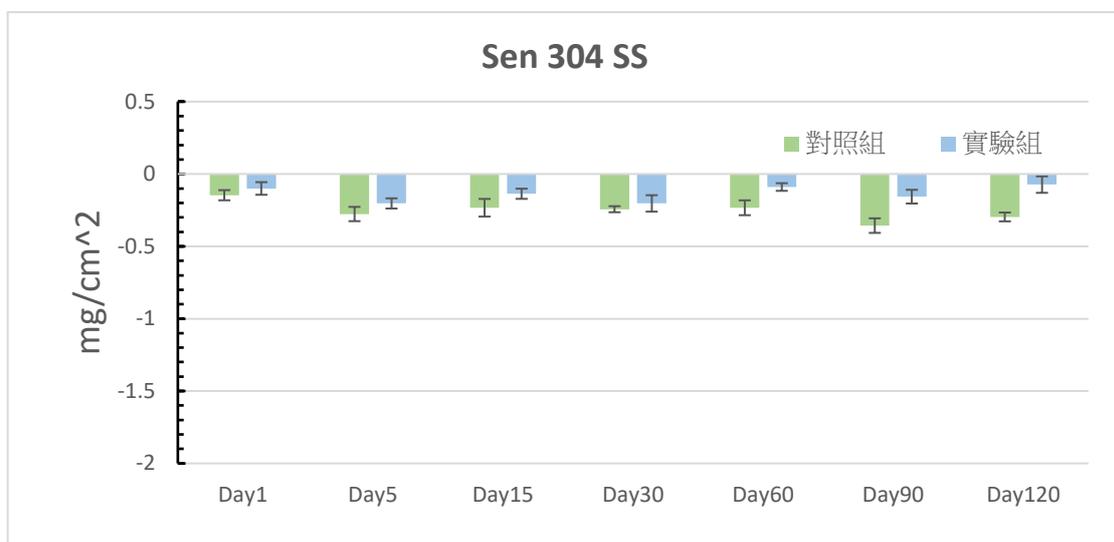


圖 3、55 度下敏化 304 不銹鋼的質量改變(mg/cm²)

表 4、55 度下敏化 304 SS 試片的腐蝕速率

試片種類 Day \ 腐蝕速率 (mm/y)	敏化 304 SS	
	實驗組	對照組
1	0.0460	0.0675
5	0.0187	0.0255
15	0.0042	0.0072
30	0.0031	0.0037
60	0.0007	0.0018
90	0.0008	0.0018
120	0.0003	0.0011

*(density: 7.93 g/cm³)

3.1.3 溫度 55 度下敏化 304 SS 之表面形貌

本實驗時間浸沒時間分別 1、5、15、30、60、90、120 天，經過浸沒實驗後將敏化 304 SS 試片從培養基中取出後，進行固定脫水處理，並使用 SEM/EDS 分析。圖 4 為較高倍率下敏化 304 不銹鋼在 55 度環境下於培養基中浸沒不同天數後生物膜形貌，圖 5 則為低倍率下敏化 304 不銹鋼在 55 度環境下於培養基中浸沒不同天數後的生物膜分布情形，在敏化 304 不銹鋼上，生物膜附著力較弱，易於固化脫水過程剝落，分布情形亦呈現厚度不均勻之現象，生物膜生長狀況大致為第 1 天時，表面僅有培養基在固定脫水過程中附著於表面的磷酸與少量 SRB 附著，從第 5 天生物膜開始成長後，15 至 30 天之間可達到緻密度與覆蓋基材程度的峰值，後續在 60 天時開始因環境營養成分缺乏與細胞分裂於 EPS 中產生的剪應力而剝落，在 90 天後僅觀察到稀疏腐蝕產物與零星生物膜附著，SRB 也在接菌後 60 天內於表面觀察到，但在 90 天後幾乎無出現，故可推論在 60~90 天間將因營養耗盡而使 SRB 數量與活性大幅下降。圖 6 為接菌 15 天後敏化 304 不銹鋼表面生物膜 EDS 分析，硫訊號說明 SRB 於生物膜中具有顯著代謝活動。圖 7 為 15 天敏化 304 不銹鋼表面生物膜覆蓋較鬆散處之 Point-Scan EDS 結果，可證實生物膜中片狀物結晶(Spectrum 1)以磷酸與磷酸鐵組成的磷酸鹽結晶、絮狀物(Spectrum 2) 固定脫水後 EPS。

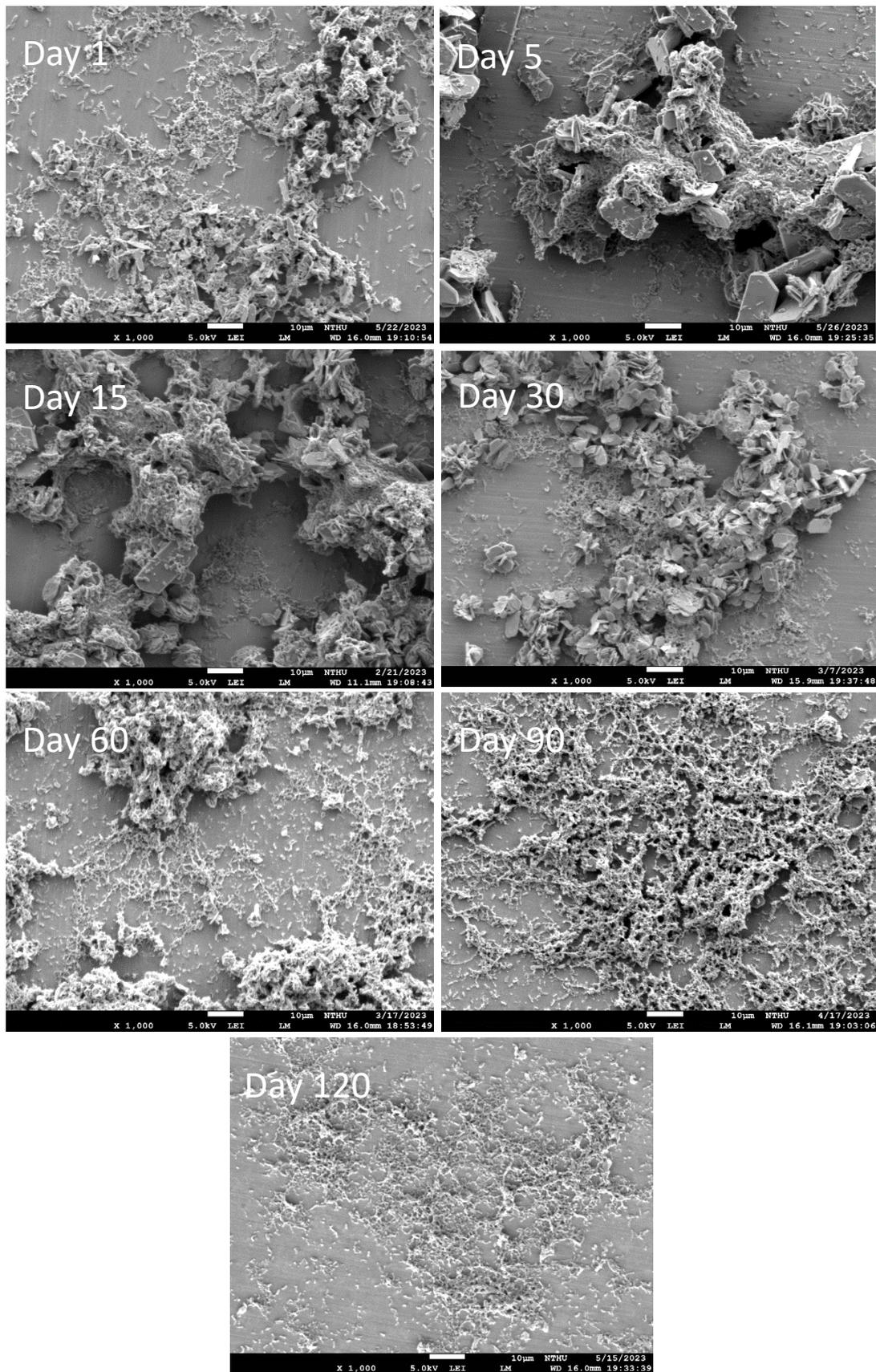


圖 4、敏化 304 不銹鋼接菌後在不同天數下表面生物膜形貌

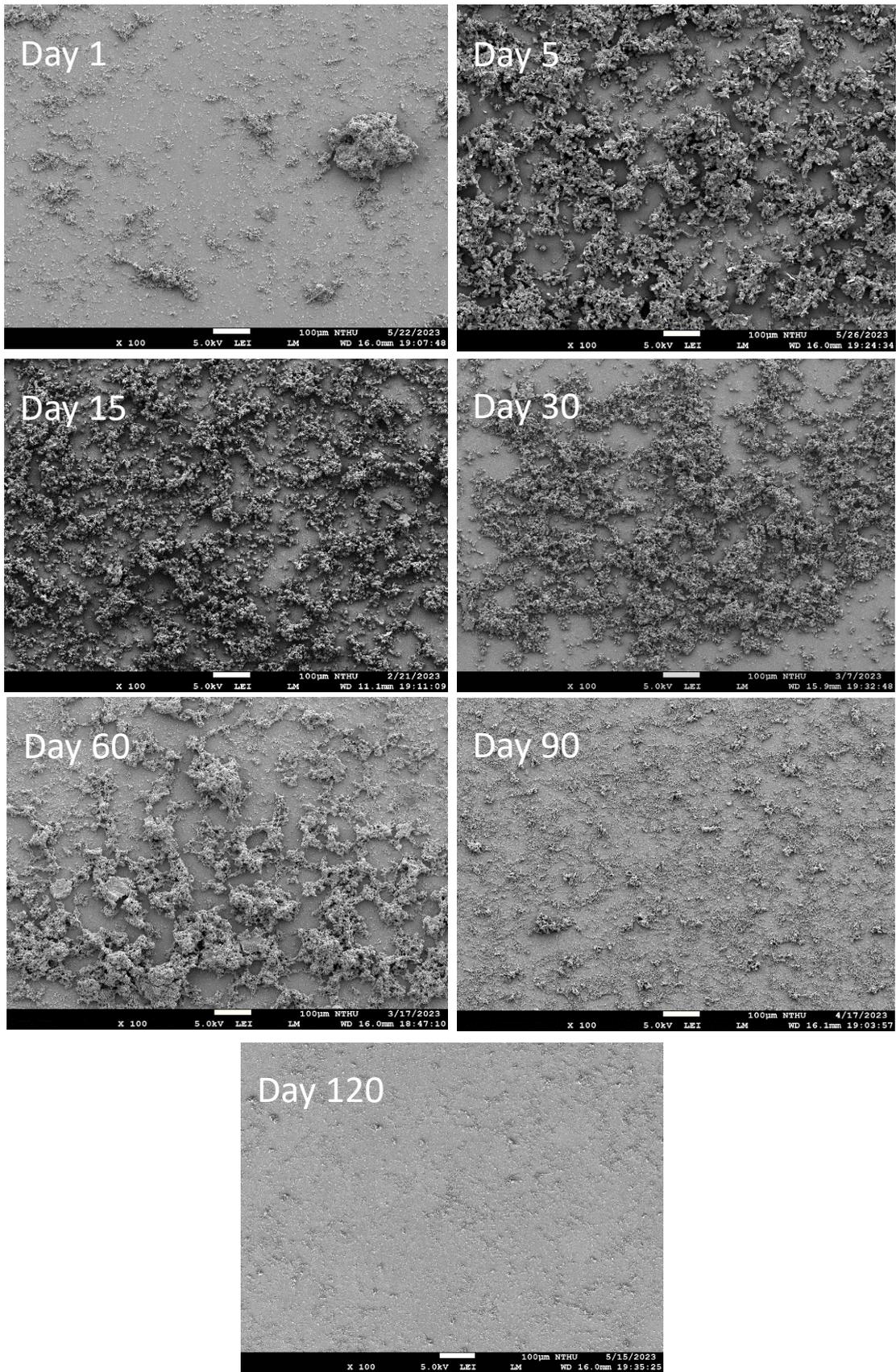


圖 5、敏化 304 不銹鋼接菌後在不同天數下表面生物膜分布情形

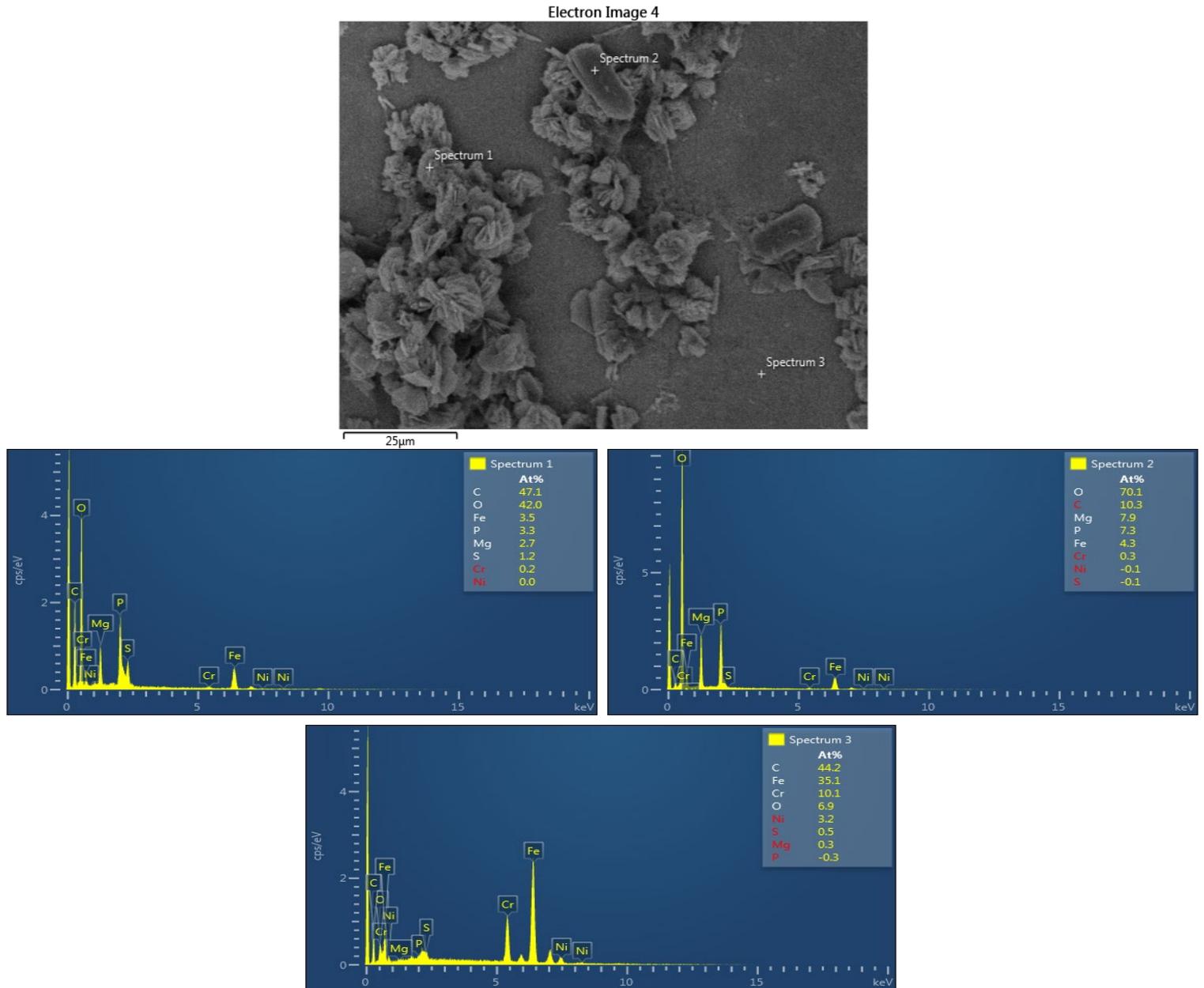
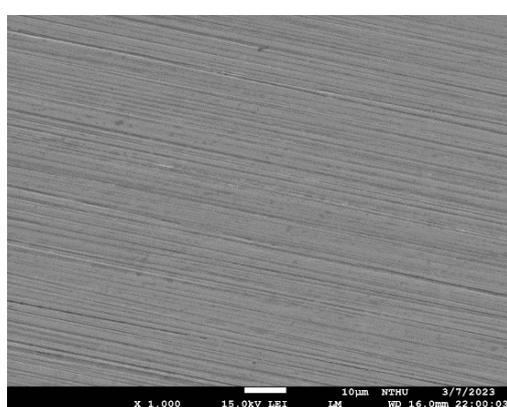
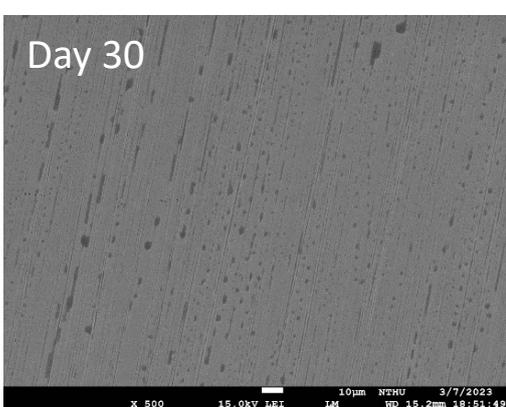
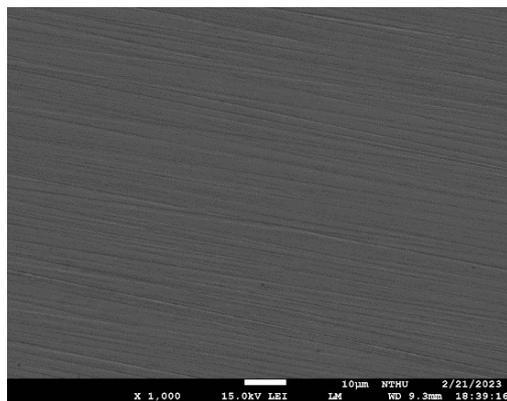
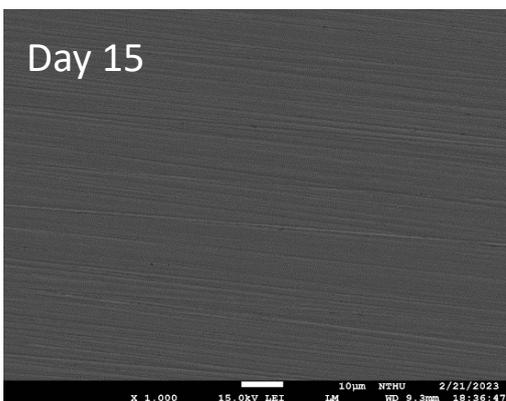
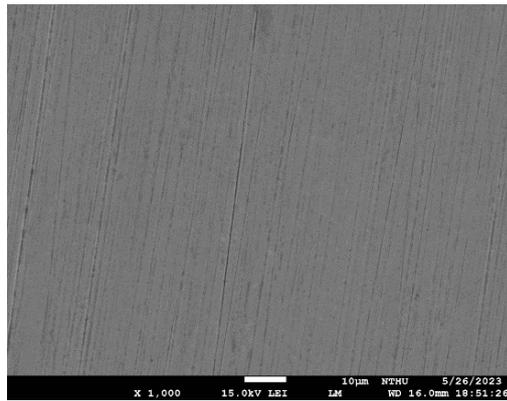
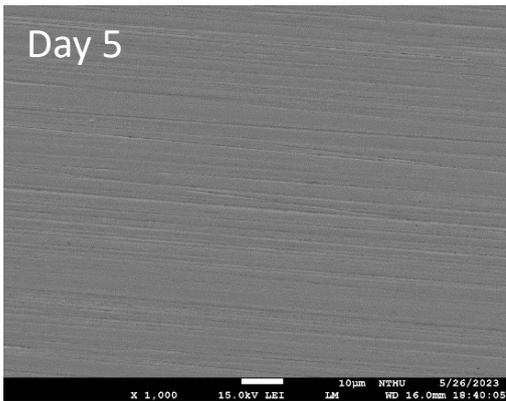
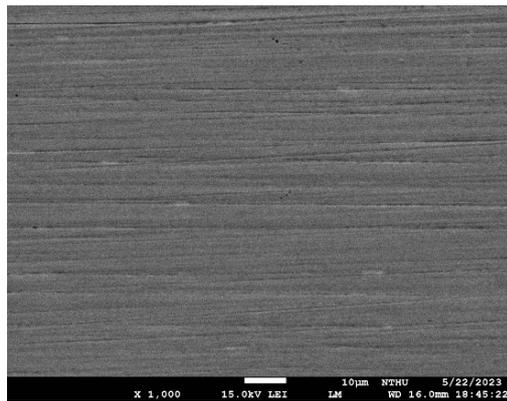
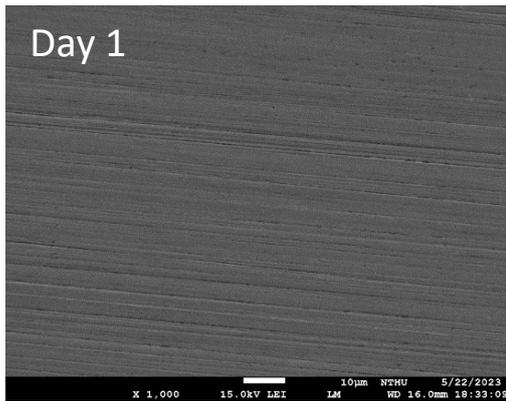


圖 7、15 天測試後，敏化 304 不銹鋼表面 Point-Scan EDS 分析結果

在二次水中利用超音波震盪移除腐蝕產物，再利用 60°C 1.2 N 硝酸清洗，敏化 304 不銹鋼在結束不同時間實驗後利用超音波震盪移除腐蝕產物後的結果如圖 8 所示，敏化 304 不銹鋼超音波震盪後利用硝酸移除腐蝕產物後之表面形貌如圖 9。結果顯示超音波震盪後除了第

120 天實驗組出現明顯腐蝕外，其餘不論有無接菌表面皆相當平整，僅觀察到少量小蝕坑，說明該實驗條件下 SRB 對於 304 不銹鋼的腐蝕情形甚是輕微，無局部腐蝕發生，少量小蝕坑可能是由培養基本身造成。而從利用硝酸清洗後的結果中可以觀察到，在較少天數時尚未形成穩定鈍化層，因此在硝酸清洗後可以看到明顯的沿晶腐蝕，隨著時間增加，在第 30 到 60 天時形成較穩定鈍化膜而沿晶腐蝕較不明顯，然而鈍化層改性作用以及程度亦會隨浸沒時間變長而提高，導致抗腐蝕性下降並在實驗第 90 天後再次出現較明顯的沿晶蝕刻痕跡，並且在第 120 天時，有實驗組可以觀察到如圖 10 的較嚴重孔蝕情況，顯示接菌的影響。



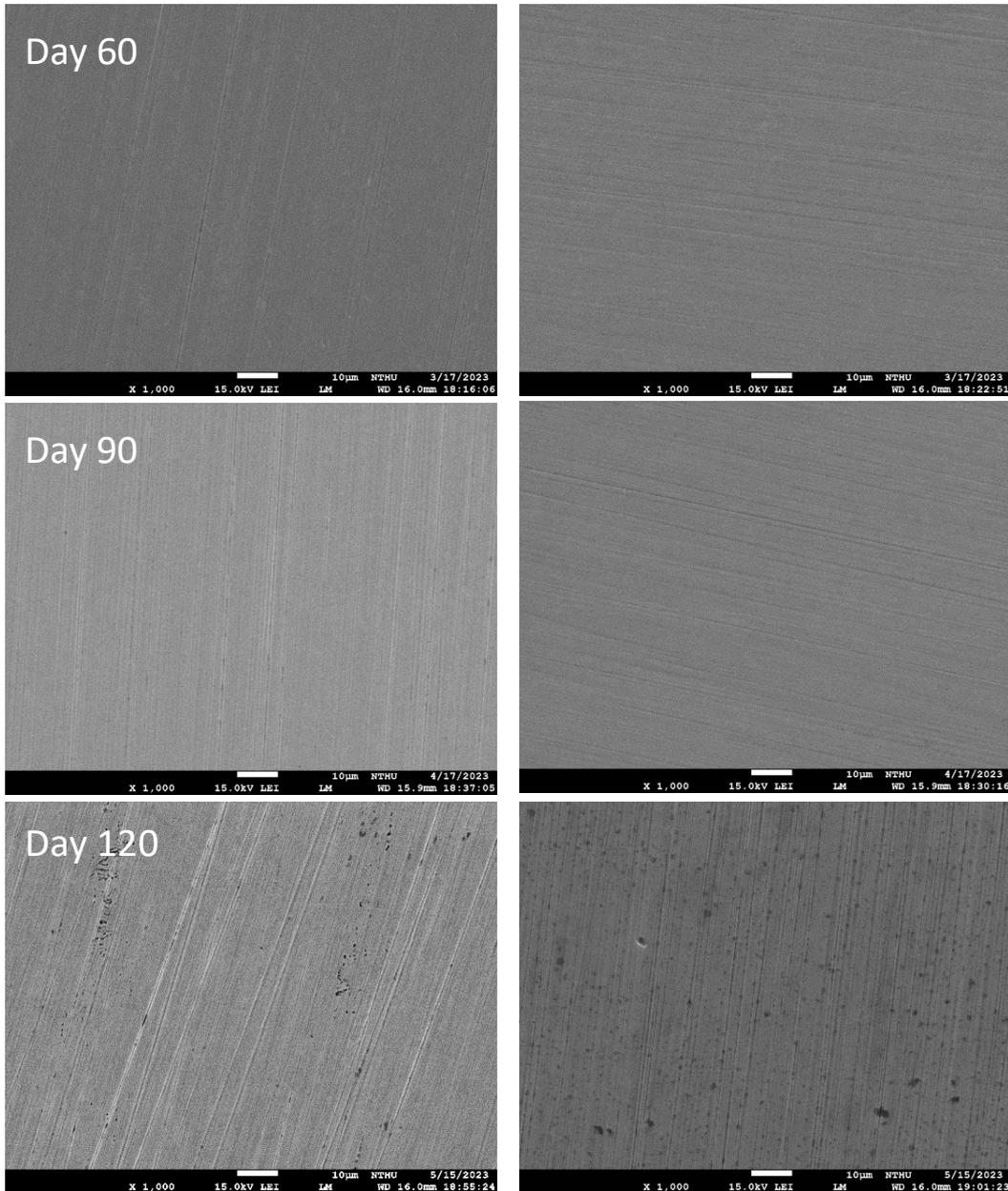
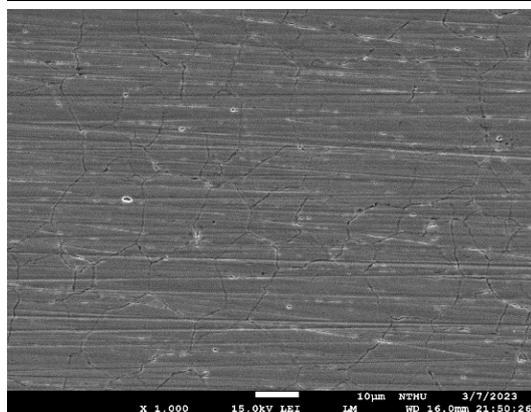
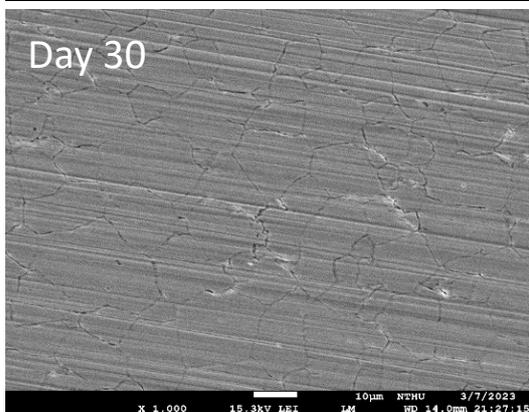
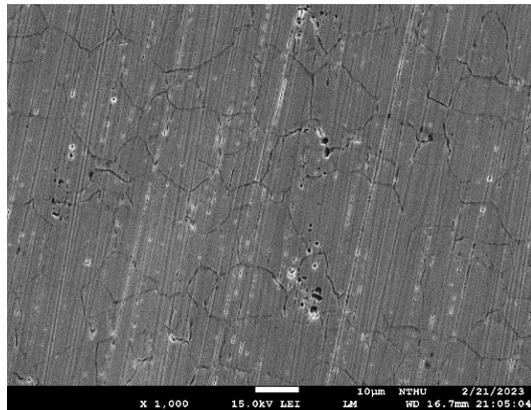
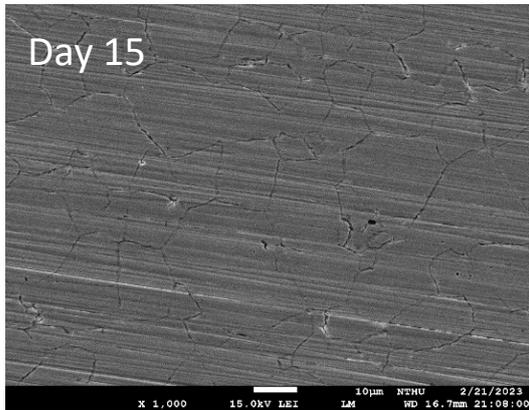
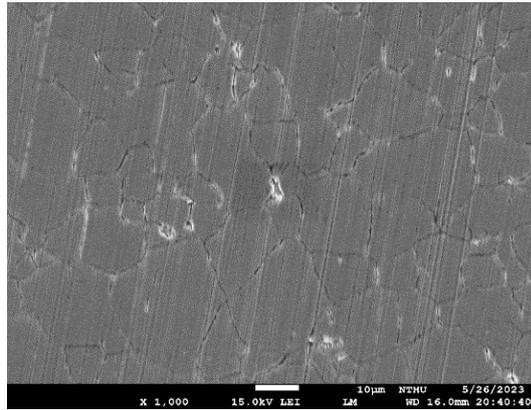
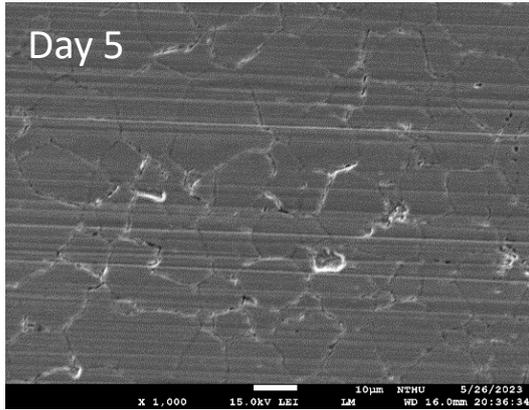
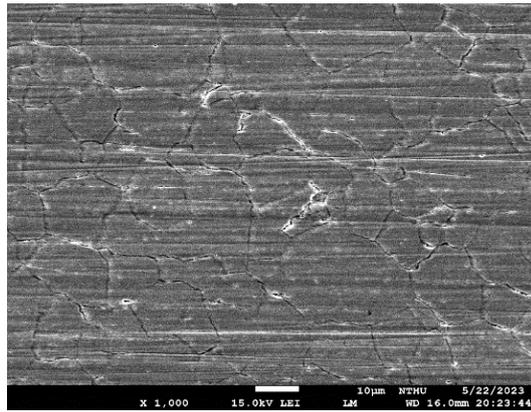
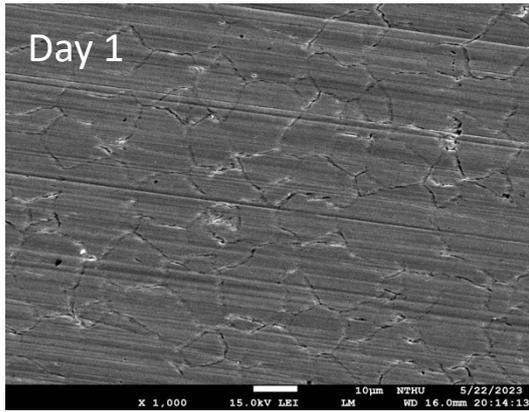


圖 8、敏化 304 不銹鋼浸沒測試後利用超音波震盪移除腐蝕產物後
的表面形貌（左為實驗組，右為對照組）



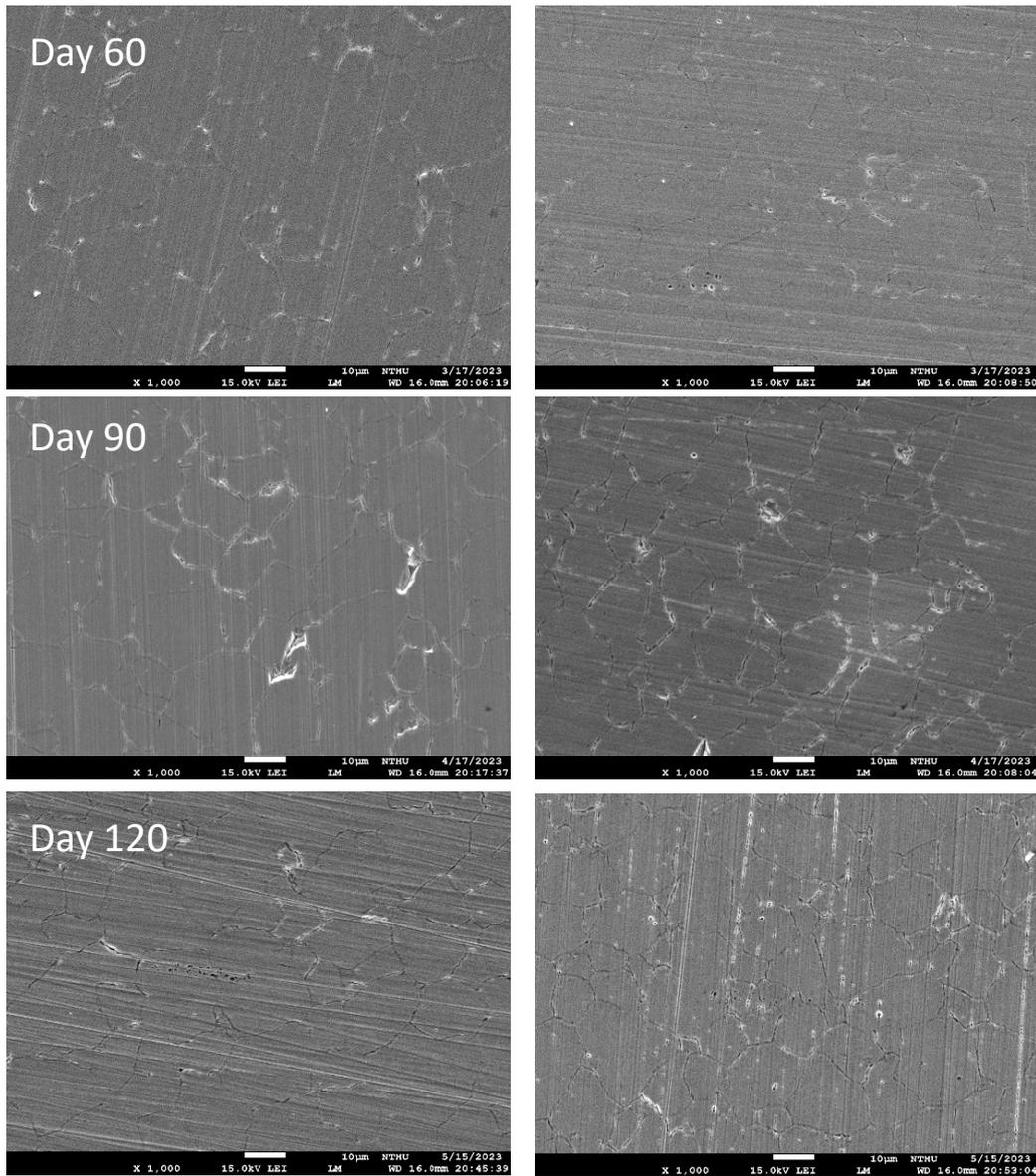


圖 9、敏化 304 不銹鋼浸沒利用超音波震盪移除腐蝕產物後之表面
形貌（左為實驗組，右為對照組）

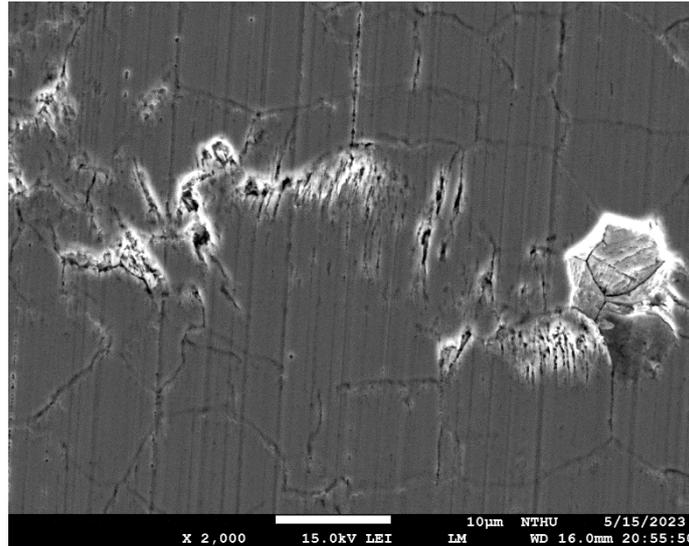
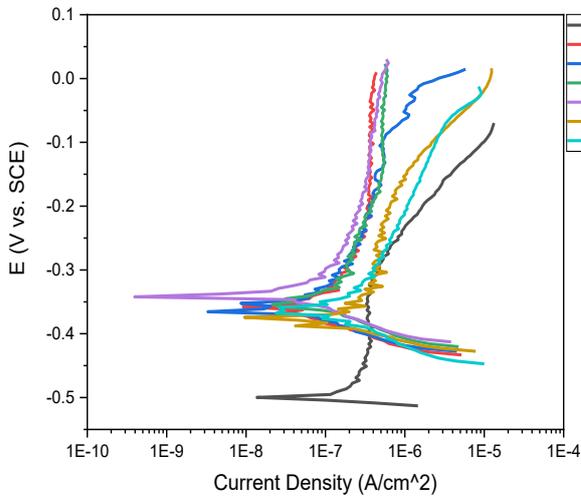


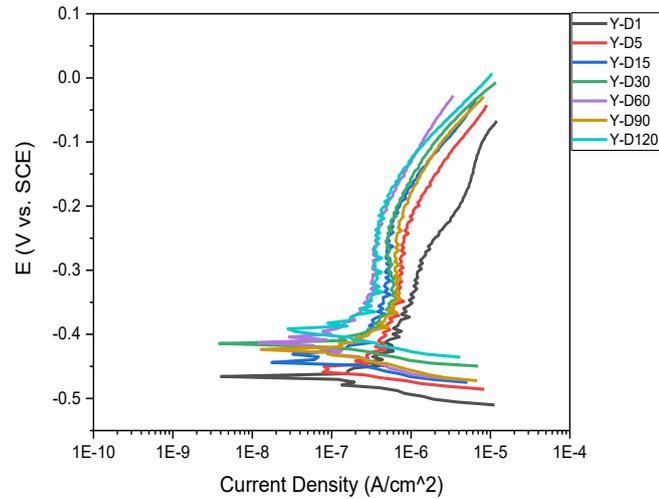
圖 10、敏化 304 不銹鋼浸沒利用超音波震盪移除腐蝕產物後，實驗組之較嚴重孔蝕形貌

3.1.4 溫度 55 度下敏化 304 SS 之電化學行為分析

圖 11 為敏化 304 不銹鋼在浸沒時間分別為 1、5、15、30、60、90、120 天後，使用三極式電極系統進行極化曲線掃描之結果，表 5 則為對應的腐蝕電位(E_{corr})以及腐蝕電流密度(i_{corr})值，圖 11(a)中對照組第 1 天因培養基的腐蝕性環境而有 E_{corr} 下降 i_{corr} 上升的現象，並在 15 天後，因鈍化層生成而 E_{corr} 上升 i_{corr} 下降，後續則維持穩定。圖 11(b)的接菌之實驗組除第 1 天外，皆相較於對照組有更低的 E_{corr} 值與更高的 i_{corr} 值，顯示 SRB 存在的影響。在陽極極化曲線中，高過電位結果顯示實驗組不銹鋼將更快進入活化—鈍化過渡區，說明了鈍化層結構與性質發生改變。PBS 電解液中的氯離子是造成陽極極化曲線出現鋸齒狀的主要原因。



(a) 對照組



(b) 實驗組

圖 11、敏化 304 不銹鋼於 SRB 培養基中極化掃描結果

表 5、敏化 304 不銹鋼在 SRB 培養基中的極化曲線電化學參數

	Day	E _{corr}	i _{corr}
對照組	1	-0.50411	1.02E-07
	5	-0.36696	2.15E-08
	15	-0.36114	1.80E-08
	30	-0.35400	3.47E-08
	60	-0.34654	1.46E-08
	90	-0.38318	4.00E-08
	120	-0.36759	9.37E-09
實驗組	1	-0.4746	8.66E-08
	5	-0.45893	8.77E-08
	15	-0.43953	6.56E-08
	30	-0.42303	4.39E-08
	60	-0.41302	2.23E-08
	90	-0.42803	7.48E-08
	120	-0.40017	8.08E-08

圖 12 為敏化 304 不銹鋼在浸沒時間分別為 1、5、15、30、60、90、120 天後，使用三極式電極系統進行 EIS 掃描並進行等效元件擬合之結果，對應的擬合電路模型如圖 13 所示，其中 R_s 為電解溶液電阻， R_b 為生物膜/腐蝕產物膜之電阻， R_{ct} 為電荷轉移阻抗， CPE_b 為生物膜/腐蝕產物膜之電容， CPE_{dl} 為電雙層電容。表 6 則為等效元件之對應值。圖 12(a)中對照組的 R_b 以及 R_{ct} 值相對穩定，尤其在第 30、60、90 天時， R_{ct} 值變動不大，顯示出腐蝕性環境使穩定鈍化膜生成。圖 12(b)實驗組的 R_b 以及 R_{ct} 值則非常不穩定，顯示不穩定生物膜的存在。

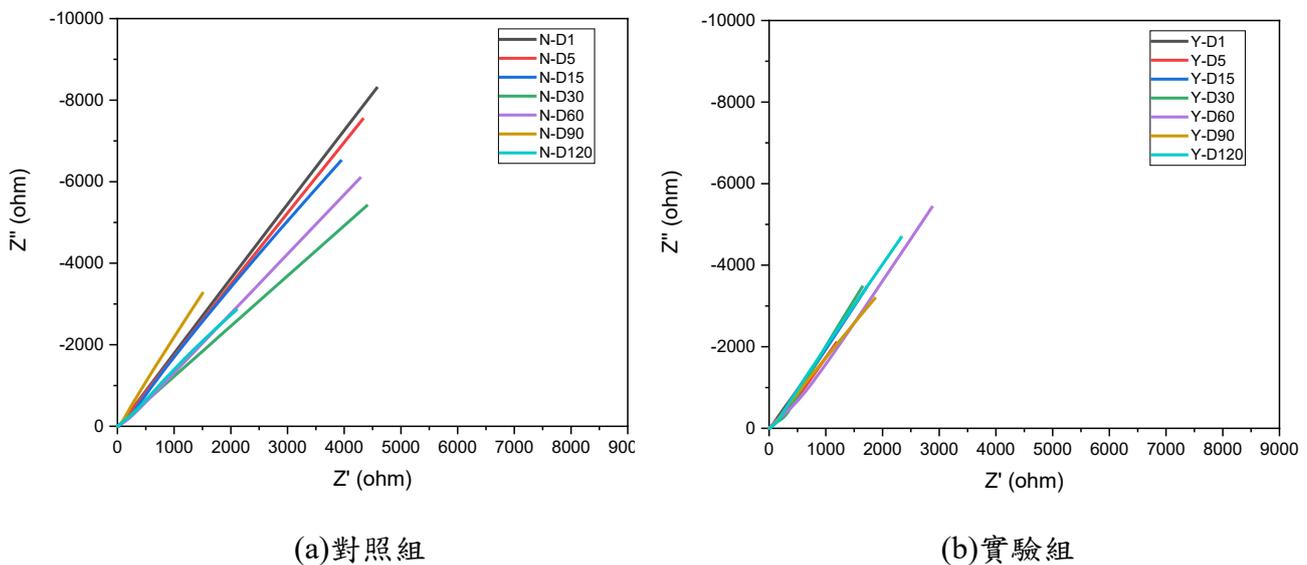


圖 12、敏化 304 不銹鋼於接菌 SRB 培養基的 EIS 分析圖

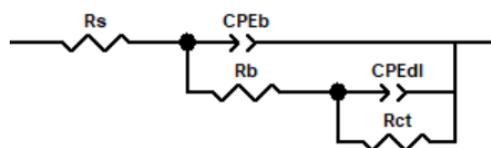


圖 13、EIS 分析之等效電路圖

表 6、敏化 304 不銹鋼於 SRB 培養基的 EIS 等效元件數據

	Day	Rs	CPEb-T	CPEb-P	Rb	CPEdl-T	CPEdl-P	Rct
對照組	1	11.23	0.0004	0.66444	118	0.0003	0.71269	64080
	5	8.111	0.000472	0.6401	196.4	0.00027	0.73897	200780
	15	10.59	0.000563	0.62028	652.7	0.000304	0.83695	72702
	30	4.045	0.0006	0.56036	841.3	0.000547	0.56081	187680
	60	8.119	0.000247	0.65677	240.8	0.000505	0.60267	119790
	90	9.602	0.001354	0.67879	194.7	0.000824	0.87274	120434
	120	9.671	0.001177	0.61659	1368	0.000527	0.77169	44690
SRB	1	10.46	0.001154	0.63393	8.279	0.003416	0.72557	21751
	5	8.019	0.001933	0.68643	1271	0.001066	0.74282	1.52E+20
	15	9.975	0.00127	0.69623	777.8	0.000642	0.77037	8.01E+11
	30	8.75	0.001041	0.66171	816.2	0.001082	0.86983	9.06E+11
	60	11.06	0.000627	0.72812	1223	0.000591	0.70761	145180
	90	7.185	0.001317	0.62988	414	0.000465	0.8646	43252
	120	11.1	0.000849	0.66117	349.7	0.000562	0.83178	263750

3.1.5 不同溫度下敏化 304 SS 之質量改變差異

圖 14 為敏化 304 不銹鋼在不同培養溫度下之質量改變比較，測試時間包含 1、5、15、30、60、90 與 120 天等不同天數。由結果可知雖然敏化 304 不銹鋼實驗前後的質量改變極低，但仍可以觀察到溫度梯度的影響，在 40 度的溫度條件下之質量損失皆較 55 度溫度條件下更大，並且 40 度溫度條件下的數值標準差較大，顯示出此條件下三重複試片的個體差異性較大，表示 SRB 作用以及生物膜附著呈現相對不穩定的狀態(40 度溫度條件下的數值採自[4]分項 B 期末報告)。

表 7 為由質量變化換算的腐蝕速率。

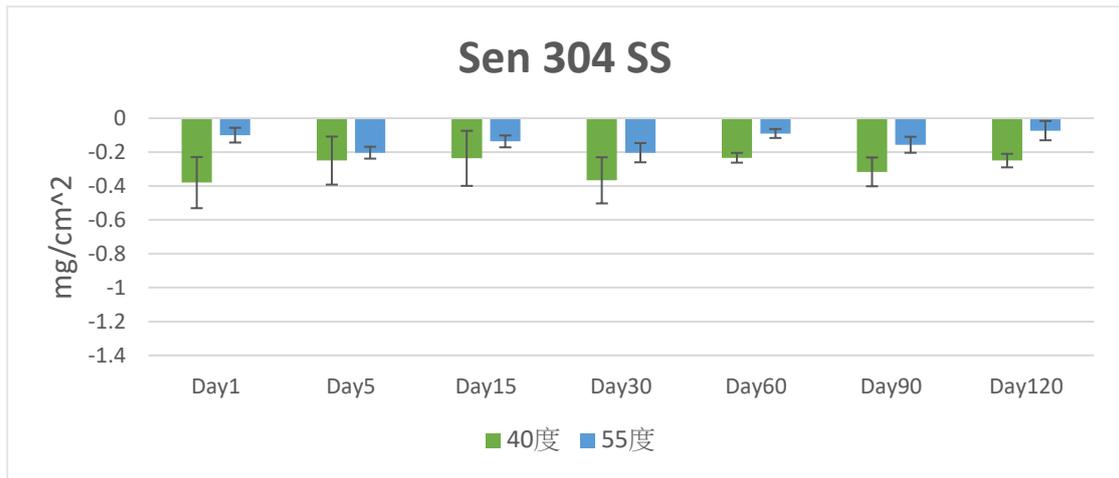


圖 14、敏化 304 不銹鋼在不同培養溫度下之質量改變比較

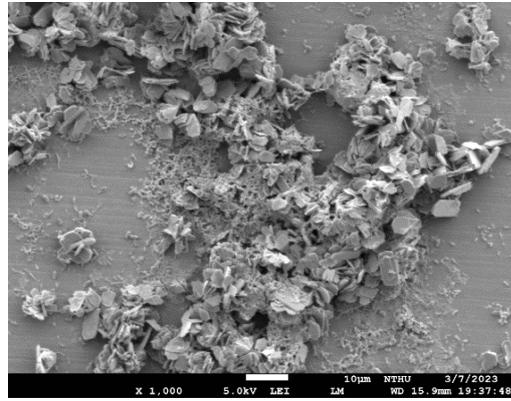
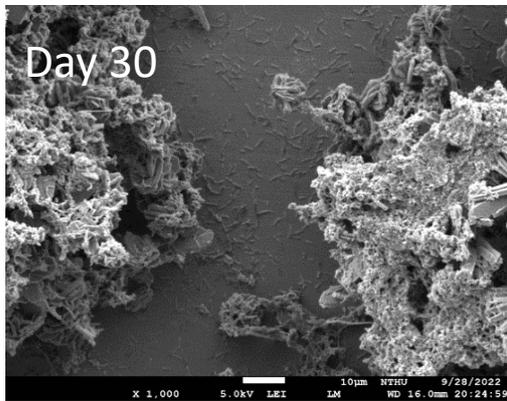
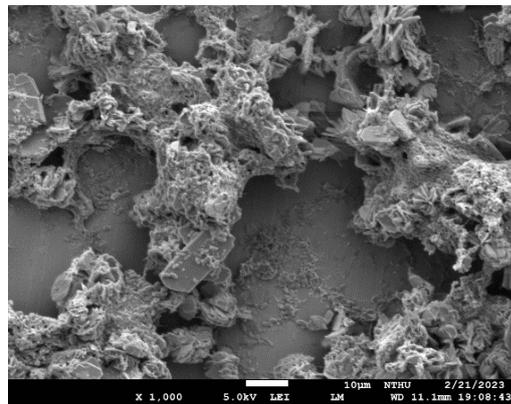
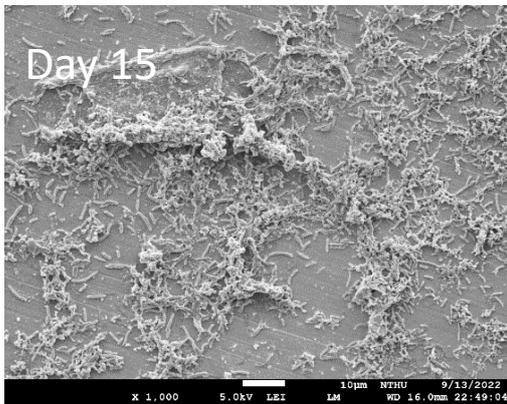
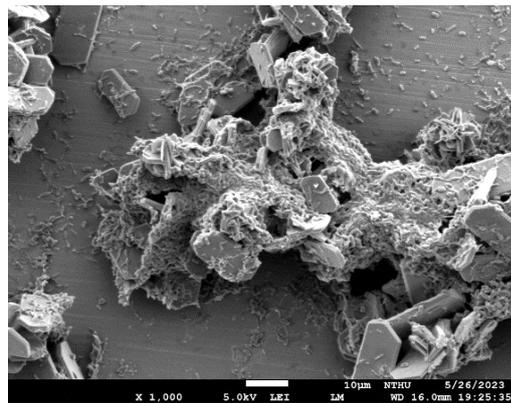
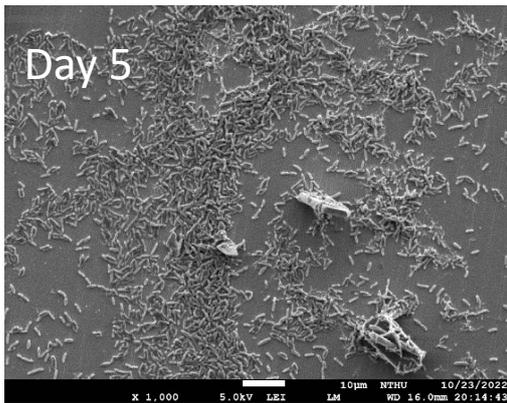
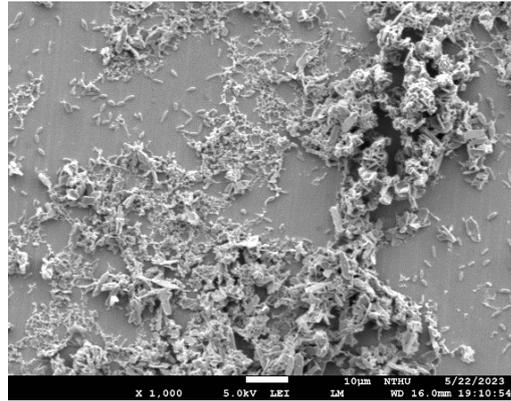
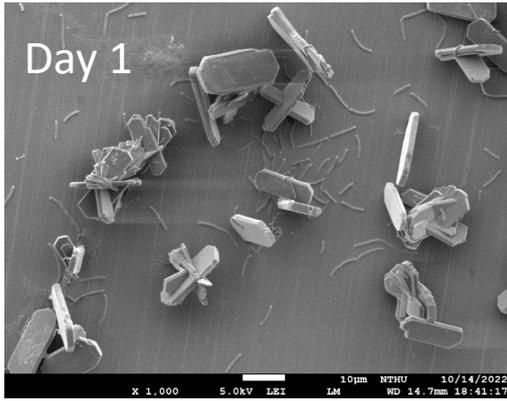
表 7、敏化 304 不銹鋼在不同培養溫度下之腐蝕速率比較

試片種類 Day \ 腐蝕速率 (mm/y)	敏化 304 SS	
	40 度	55 度
1	0.1749	0.0460
5	0.0230	0.0187
15	0.0073	0.0042
30	0.0056	0.0031
60	0.00179	0.0007
90	0.0016	0.0008
120	0.0010	0.0003

*(density: 7.93 g/cm³)

3.1.6 不同溫度下敏化 304 SS 之表面形貌差異

不同溫度培養環境下，比較實驗浸沒時間分別為 1、5、15、30、60、90、120 天之表面形貌差異。圖 15 為生物膜 SEM 影像，其中可以明顯看到 SRB 在 55 度溫度下生長較好，第五天後即有觀察到較厚生物膜的形形成，40 度溫度下則到第 30 天才有較厚的生物膜，反映出 55 度之溫度為 SRB 較適合的生長環境。



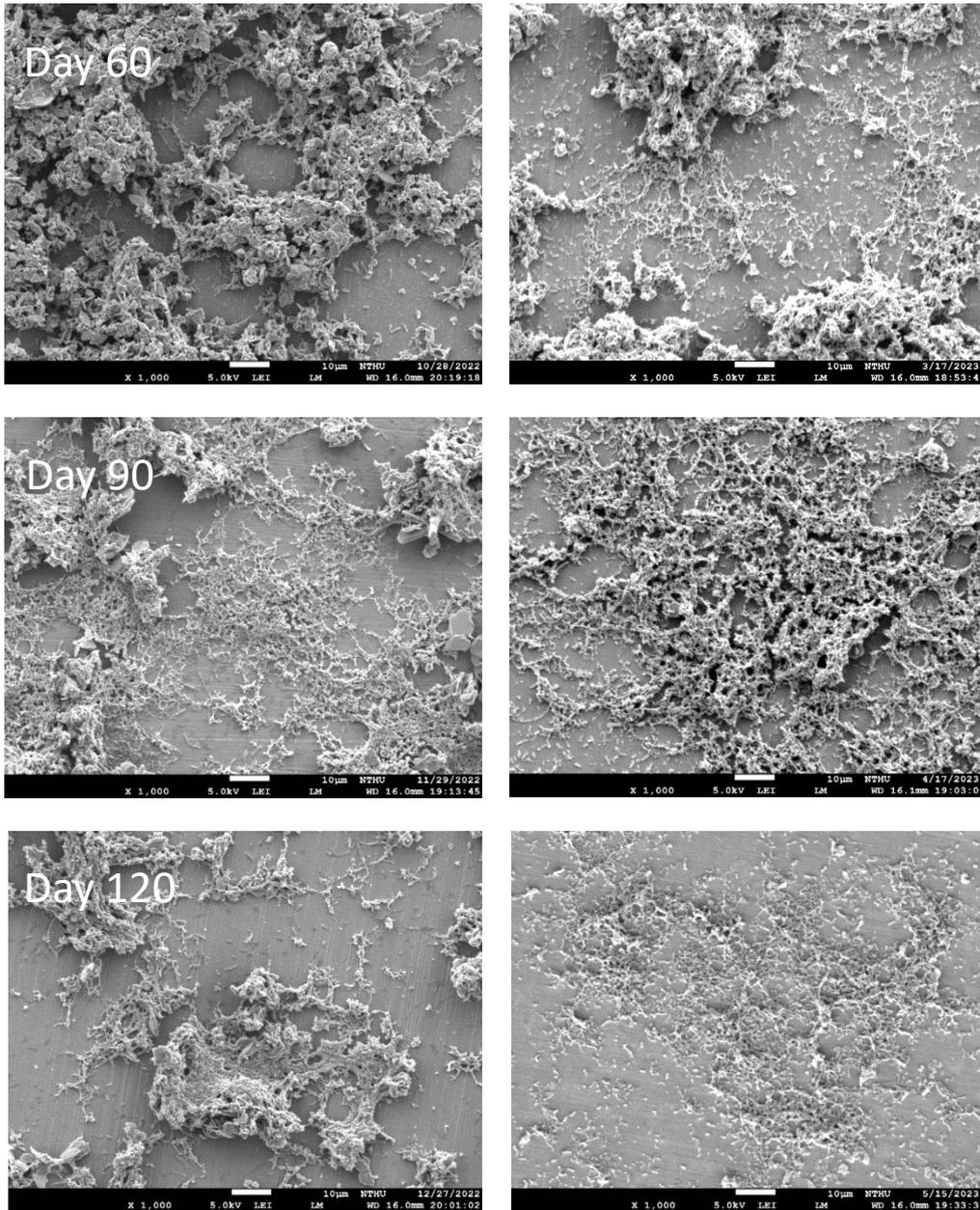
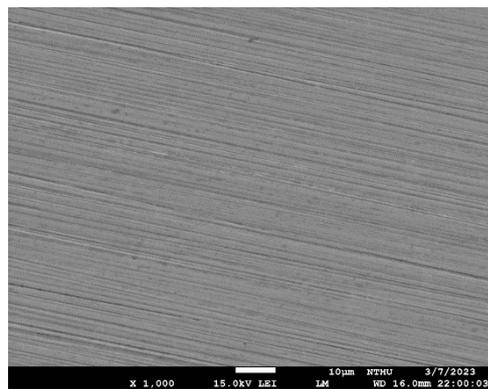
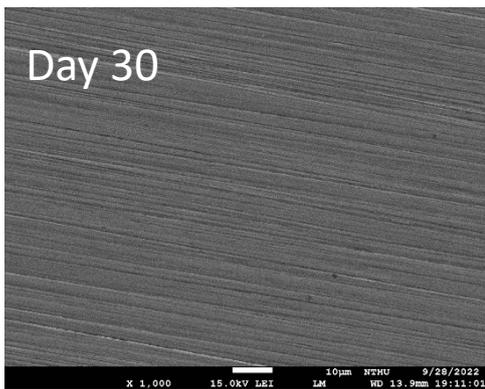
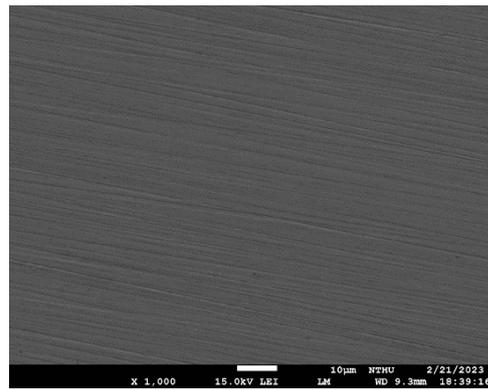
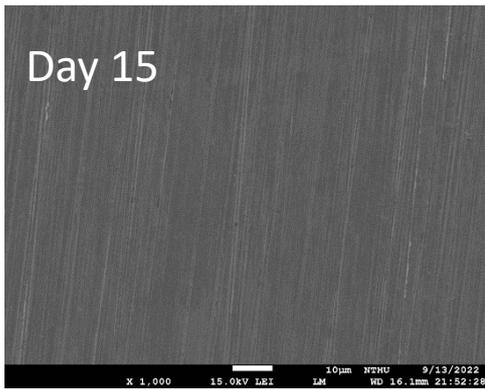
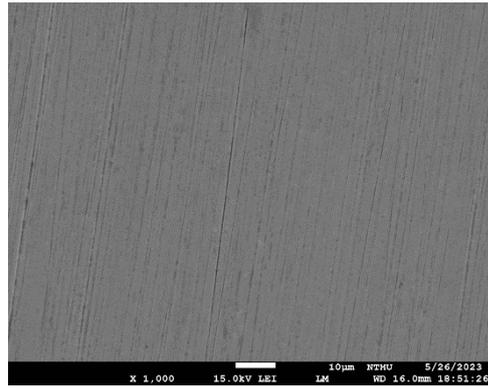
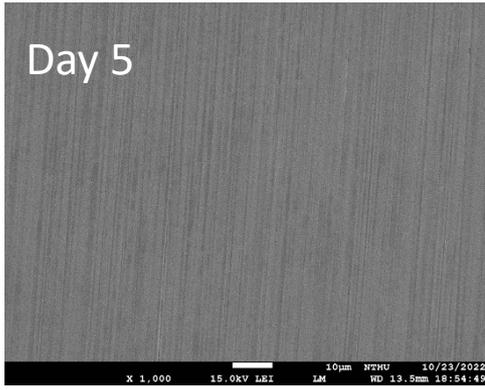
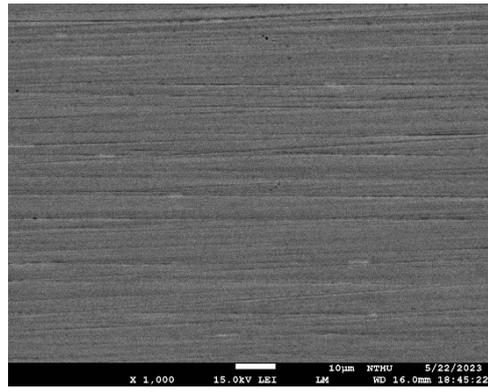
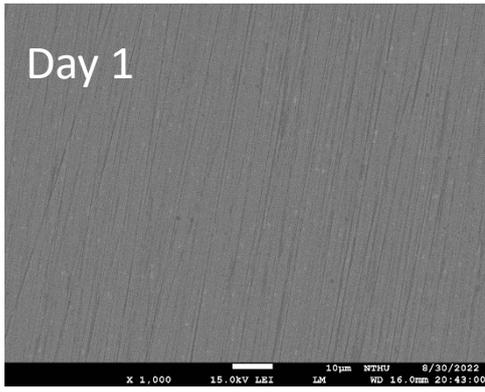


圖 15、不同溫度條件下敏化 304 不鏽鋼表面生物膜形貌

溫度分別為(左)40 度(右)55 度

圖 16 為洗去生物膜後之表面腐蝕形貌，因 SRB 及培養基對敏化 304 不銹鋼作用較小，在不同溫度底下較難以從表面腐蝕形貌判斷腐蝕之嚴重程度差異，僅能在第 120 天時有觀察少量小孔蝕。



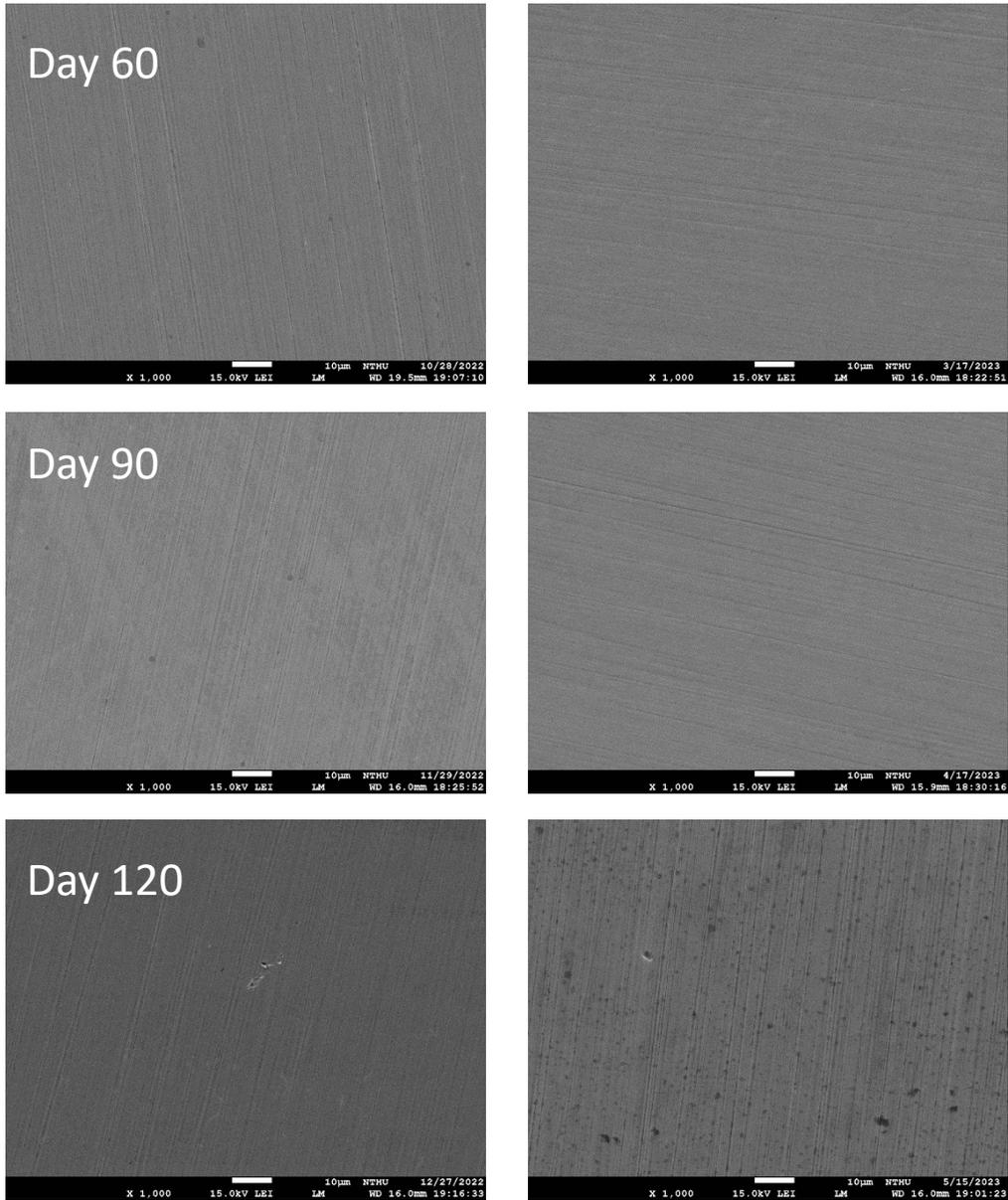


圖 16、不同溫度條件敏化 304 不鏽鋼洗去生物膜後之表面腐蝕形貌

溫度分別為(左)40 度(右)55 度

3.1.7 不同溫度下敏化 304 SS 之電化學行為差異

圖 17 為不同溫度條件下，敏化 304 不銹鋼在浸沒時間分別為 1、5、15、30、60、90、120 天後，使用三極式電極系統進行極化曲線掃描之結果，表 8 為對應的腐蝕電位(E_{corr})以及腐蝕電流密度(i_{corr})值。在敏化 304 不銹鋼材料上，不同溫度條件下 E_{corr} 以及 i_{corr} 之差異並沒有穩定的趨勢呈現，顯示出 SRB 在敏化 304 不銹鋼上的不穩定性，然而 i_{corr} 值在第 15 天後大致有呈現出以 40 度溫度條件下有較大的值，顯示出較強的腐蝕趨勢，符合質量損失之結果。

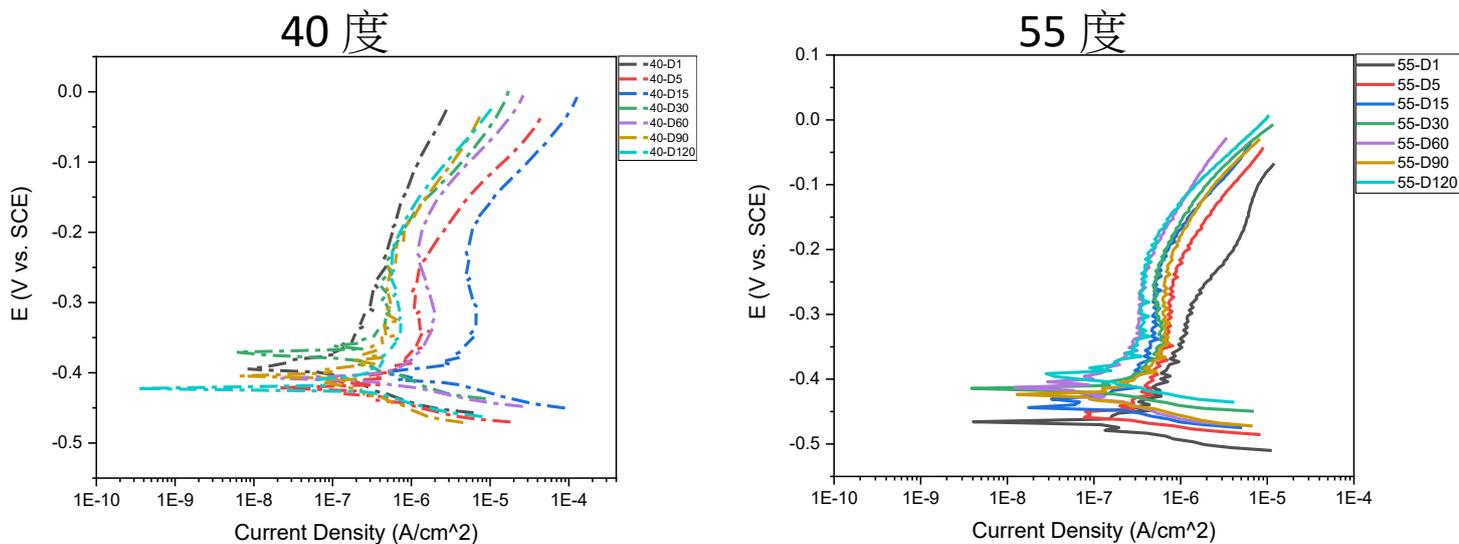


圖 17、敏化 304 不銹鋼在不同溫度條件下之極化掃描結果比較

表 8、敏化 304 不銹鋼在不同溫度條件下極化曲線電化學參數比較

	Day	Ecorr	icorr
40 度	1	-0.39934	1.27E-08
	5	-0.42145	3.13E-08
	15	-0.40598	1.26E-06
	30	-0.37956	1.12E-07
	60	-0.41247	3.64E-07
	90	-0.4134	1.10E-07
	120	-0.42687	2.78E-07
55 度	1	-0.4746	8.66E-08
	5	-0.45893	8.77E-08
	15	-0.43953	6.56E-08
	30	-0.42303	4.39E-08
	60	-0.41302	2.23E-08
	90	-0.42803	7.48E-08
	120	-0.40017	8.08E-08

圖 18 為敏化 304 不銹鋼在浸沒時間分別為 1、5、15、30、60、90、120 天後，使用三極式電極系統進行 EIS 掃描並進行等效元件擬合之結果，對應的擬合電路模型同前述的圖 13。表 9 為等效元件模擬結果之對應值。無論在哪一個溫度條件下， R_b 以及 R_{ct} 值都非常不穩定，顯示 SRB 在敏化 304 不銹鋼上皆為不穩定的生物膜型態。而在 55 度溫度條件下，第 5 天起能夠觀察到明顯較大的 R_b 以及 R_{ct} 值，反映出了較厚的生物膜形成，而此結果與生物膜 SEM 影像相符。

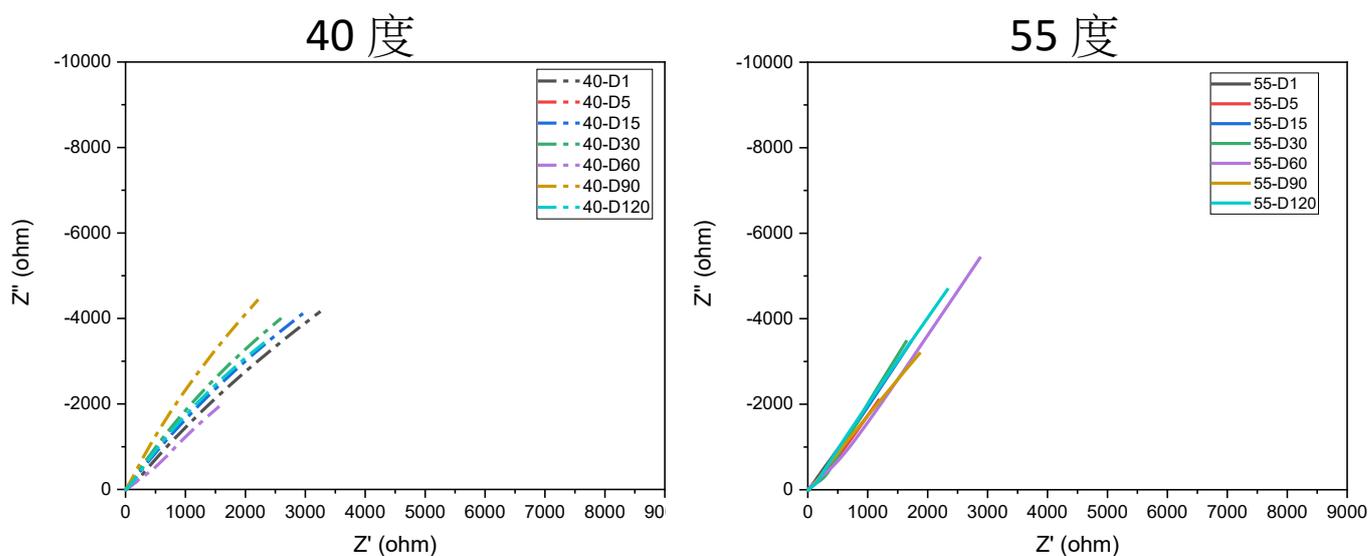


圖 18、敏化 304 不銹鋼在不同溫度條件下之 EIS 結果比較

表 9、敏化 304 不銹鋼在不同溫度條件下 EIS 等效元件數據比較

	Day	Rs	CPEb-T	CPEb-P	Rb	CPEdl-T	CPEdl-P	Rct
40 度	1	5.574	0.000562	0.58434	250.8	0.000533	0.74338	45789
	5	8.077	0.002379	0.68855	36.75	0.001686	0.77057	35115
	15	7.027	0.000495	0.6826	13.19	0.000724	0.6878	34983
	30	9.297	0.000928	0.69949	76.57	0.000546	0.77781	29740
	60	7.723	0.001669	0.55661	4622	0.000815	1.007	62086
	90	6.45	0.001437	0.76083	566.8	0.00026	0.95016	41034
	120	10.91	0.001165	0.67668	468.4	0.000425	0.87527	27690
55 度	1	10.46	0.001154	0.63393	8.279	0.003416	0.72557	21751
	5	8.019	0.001933	0.68643	1271	0.001066	0.74282	1.52E+20
	15	9.975	0.00127	0.69623	777.8	0.000642	0.77037	8.01E+11
	30	8.75	0.001041	0.66171	816.2	0.001082	0.86983	9.06E+11
	60	11.06	0.000627	0.72812	1223	0.000591	0.70761	145180
	90	7.185	0.001317	0.62988	414	0.000465	0.8646	43252
	120	11.1	0.000849	0.66117	349.7	0.000562	0.83178	263750

3.2 溫度梯度對於 CS MIC 的影響

3.2.1 溫度 55 度下 CS 之質量變化

圖 19 為碳鋼質量改變，由結果可知在 60 天後對照組質量損失比起實驗組來的大，這是因為生物膜覆蓋導致均勻腐蝕被抑制，造成整體質量損失較低。而在 30 天之內由於實驗時間較短，故即使有生物膜抑制均勻腐蝕，對照組對碳鋼造成的腐蝕與實驗組相比差異仍不明顯。對於微生物腐蝕之質量改變，由於單一試片質量改變較低與不同批次間培養基調配存在誤差，加上碳鋼在移除腐蝕產物的後處理中常伴隨著快速氧化，導致質量損失中量測與真實數據存在較大誤差，因此相比不同天數，質量損失在相同天數下實驗組與對照組的比較具有參考性。表 10 顯示由質量變化換算的腐蝕速率。

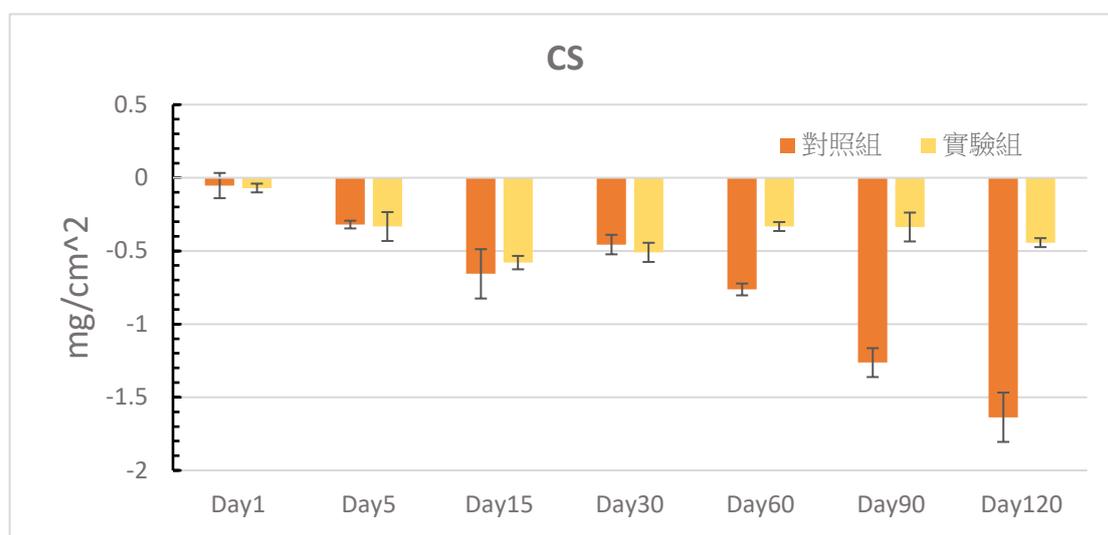


圖 19、55 度下碳鋼的質量改變(mg/cm²)

表 10、55 度下碳鋼試片的腐蝕速率

試片種類 Day \ 腐蝕速率 (mm/y)	CS	
	實驗組	對照組
1	0.0325	0.0248
5	0.0310	0.0298
15	0.0180	0.0204
30	0.0079	0.0071
60	0.0026	0.0059
90	0.0017	0.0065
120	0.0017	0.0063

*(density: 7.85 g/cm³)

3.2.2 溫度 55 度下 CS 之表面形貌

在實驗浸沒時間分別為 1、5、15、30、60、90、120 天後將碳鋼試片從培養基中取出後，進行固定脫水處理，並使用 SEM/EDS 分析。圖 20 為較高倍率下碳鋼在 55 度環境下於培養基中浸沒不同天數後生物膜形貌，圖 21 則為低倍率下碳鋼在 55 度環境下於培養基中浸沒不同天數後的生物膜分布情形。在碳鋼上，生物膜在第 5 天後開始逐漸變得緻密，第 30 天局部厚度變厚，呈現不均勻分布情形，在第 60~90 天時轉而呈現厚度較薄並均勻貼附於金屬上的形貌，對於金屬表面提供了良好的保護效果，並反映在較低的質量損失數據上，第 120 天則再次顯現不均勻現象。圖 22 及圖 23 為第 15 天碳鋼表面生物膜覆蓋較鬆散處 EDS 成分組成分析結果以及 Point-Scan EDS 結果，生物膜的組成成份同樣為磷酸鹽片狀物結晶(Spectrum 1)、EPS 絮狀物

(Spectrum 2)以及基材(Spectrum 3)。

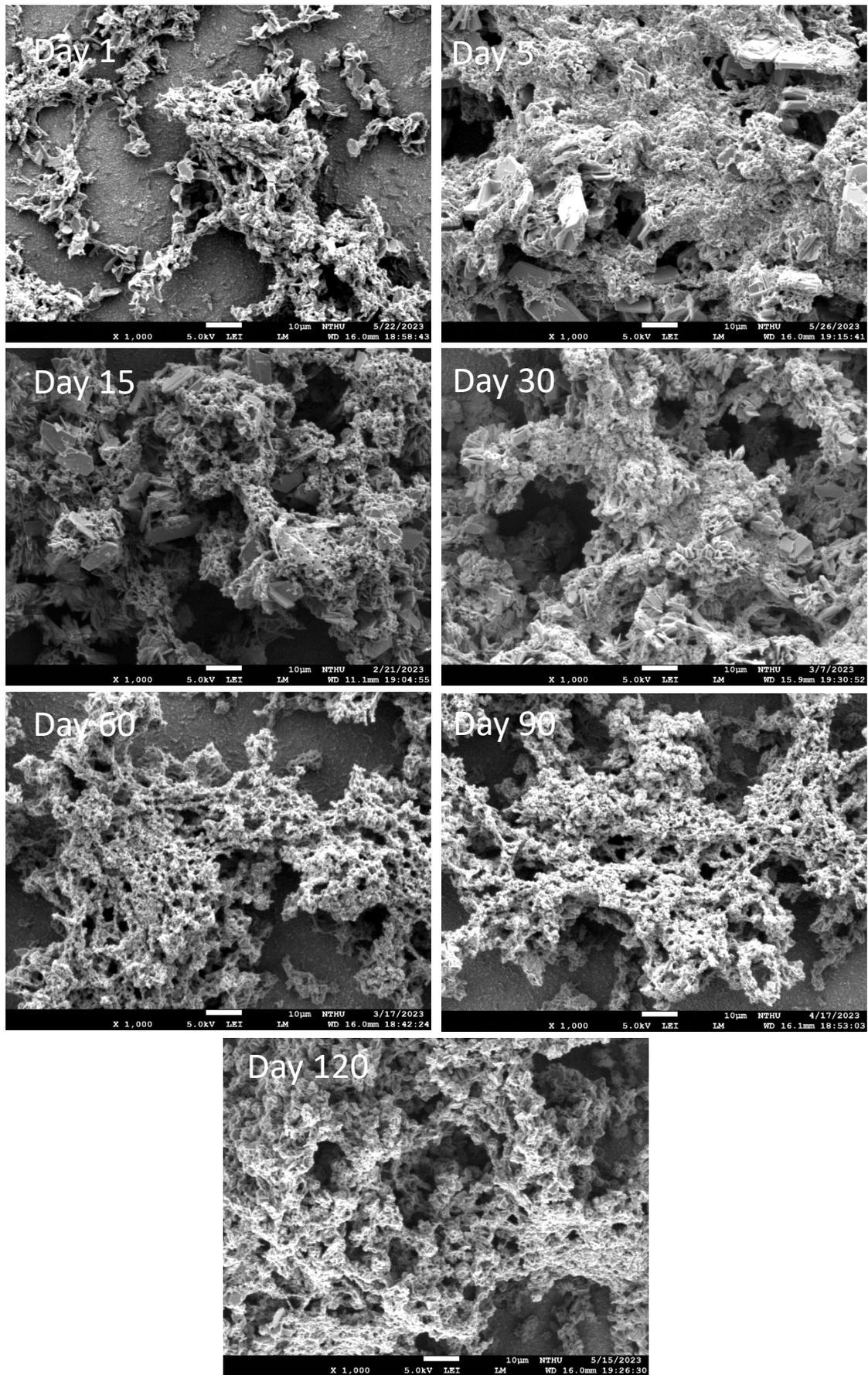


圖 20、碳鋼接菌後在不同天數下表面生物膜形貌

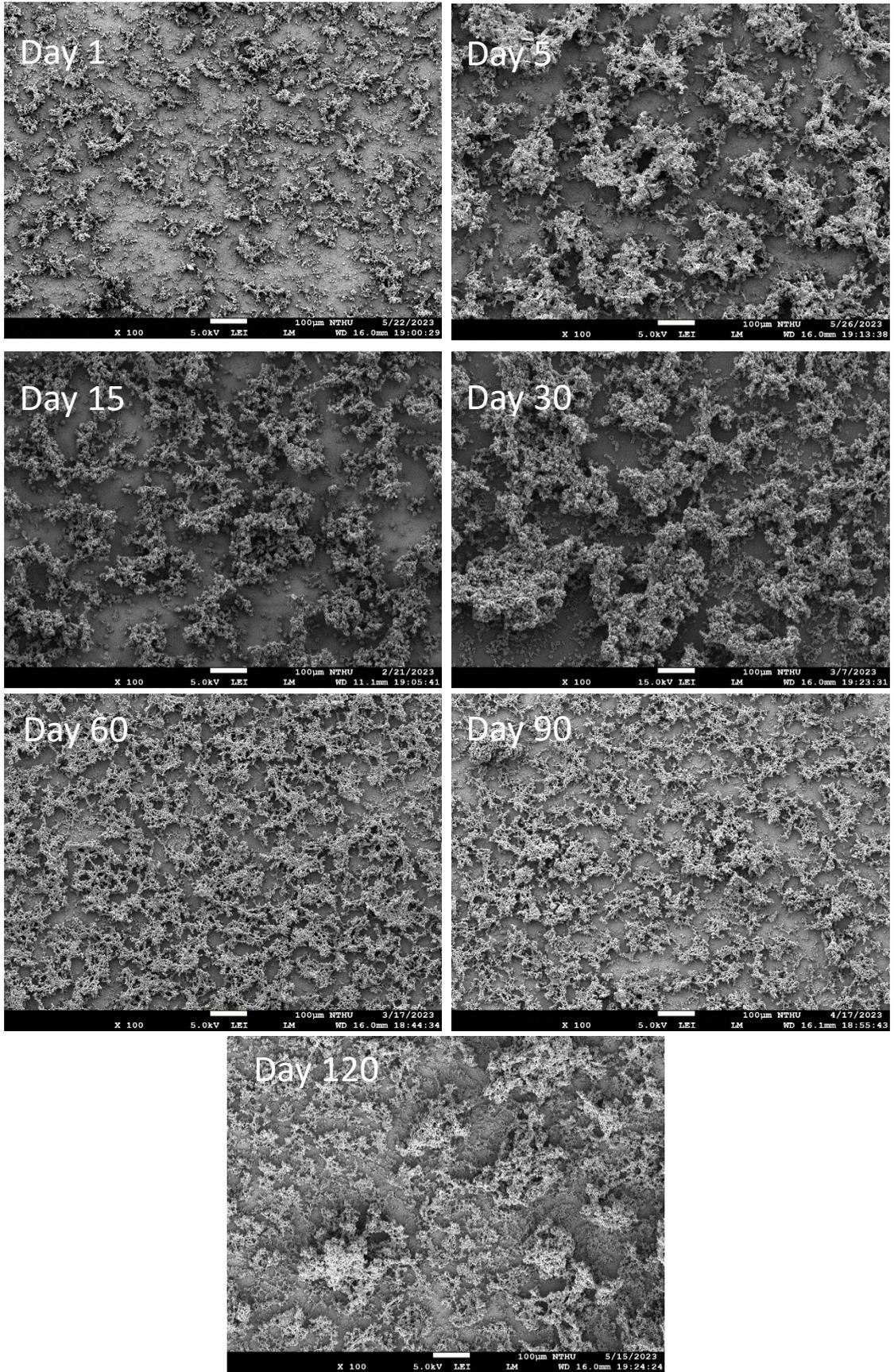


圖 21、碳鋼接菌後在不同天數下表面生物膜分布情形

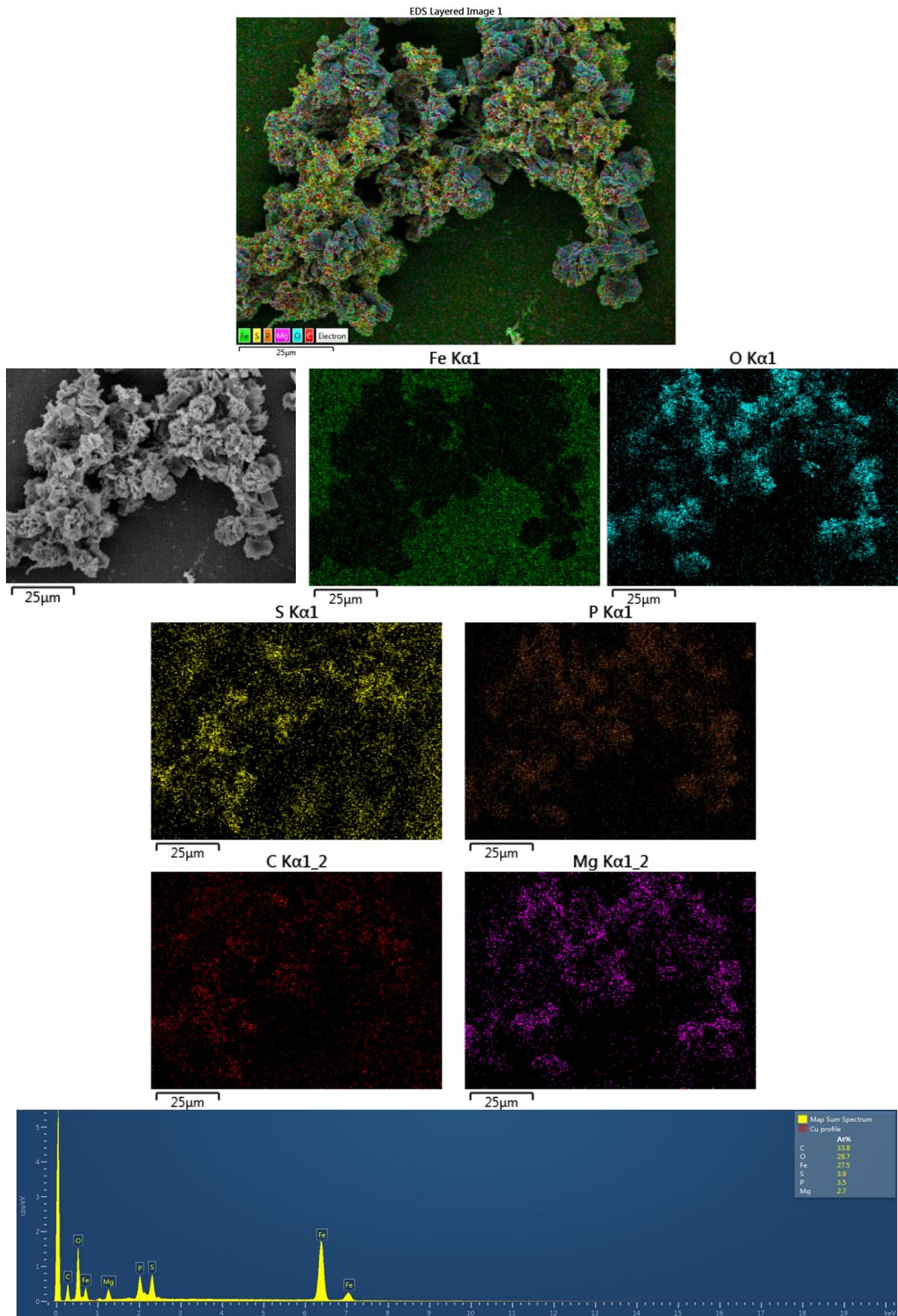


圖 22、接菌 15 天後碳鋼表面生物膜與腐蝕產物 EDS 分析

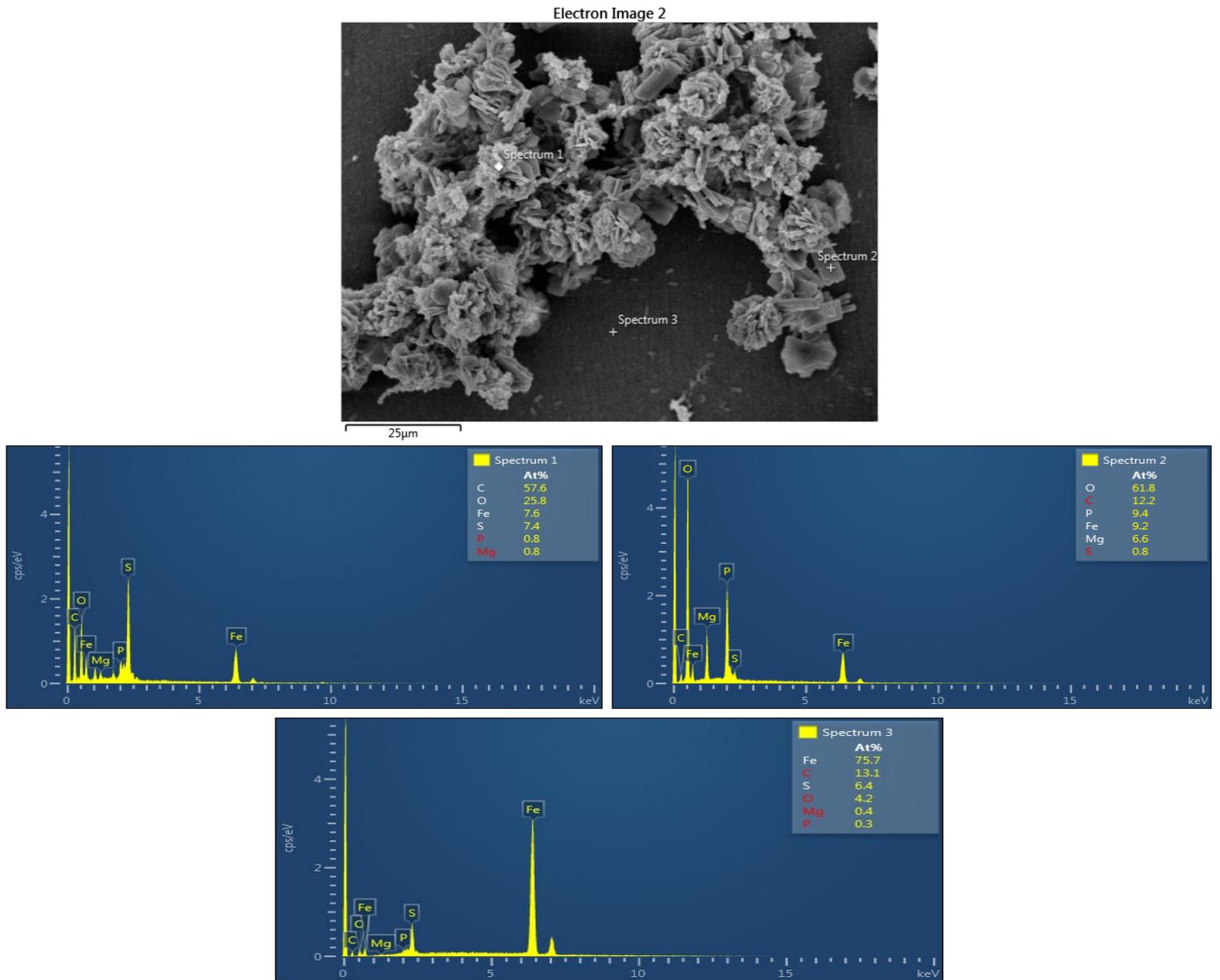
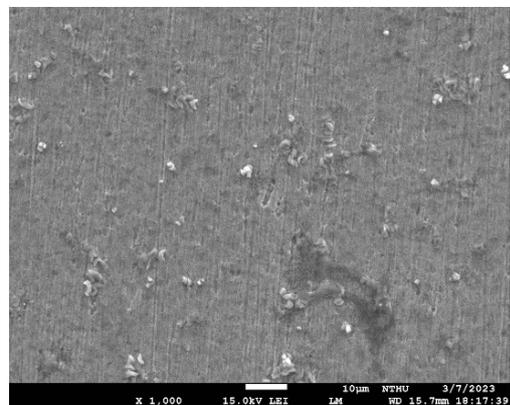
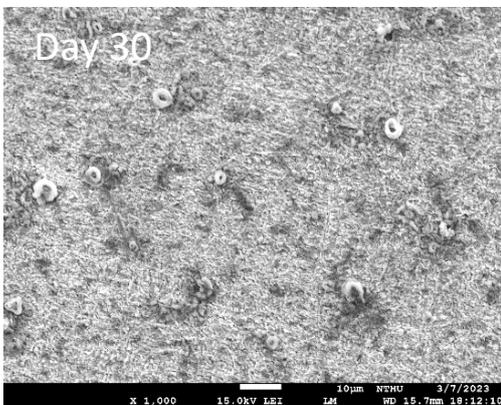
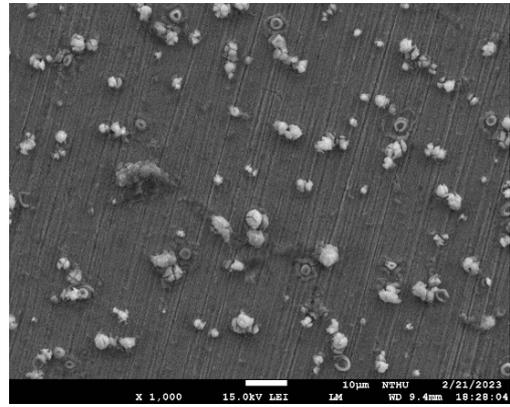
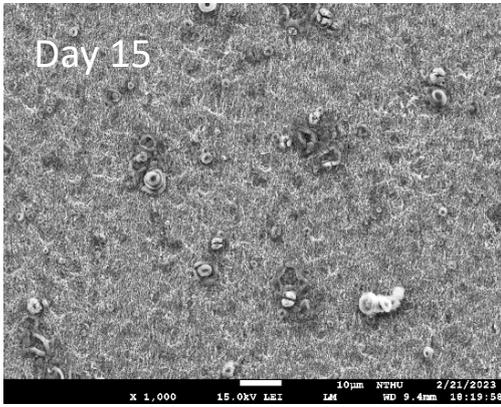
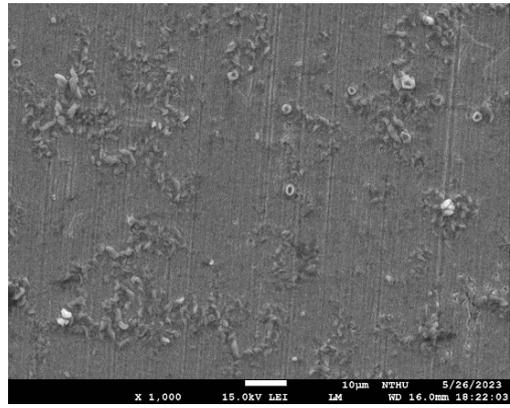
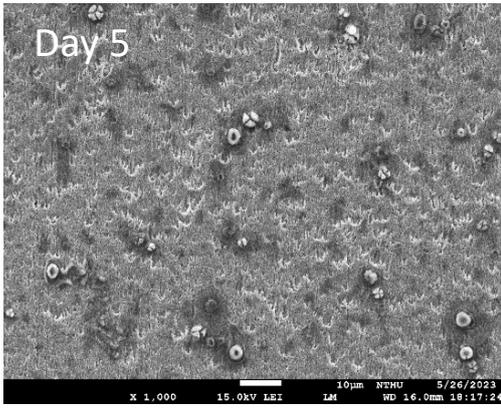
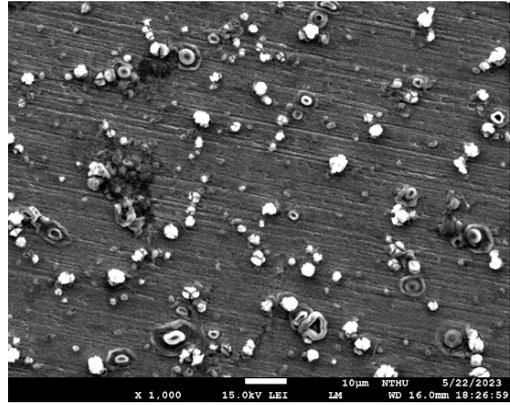
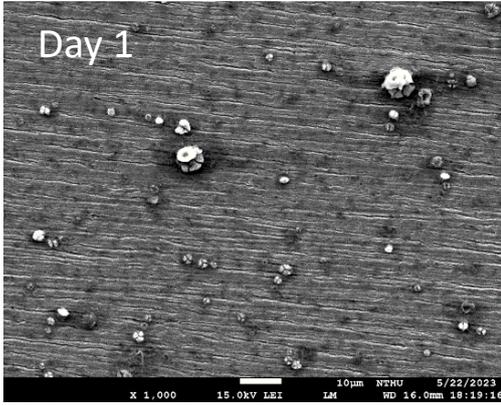


圖 23、15 天測試後，碳鋼表面 Point-Scan EDS 分析結果

圖 24 為碳鋼經過不同實驗時間後洗去生物膜之表面形貌，對於實驗組，可見短天數下表面腐蝕程度輕微，隨著浸泡至 90~120 天，局部腐蝕行為才逐漸明顯，顯示此株 SRB 菌 *D. nigrificans* 在 55 度培養下對碳鋼之局部腐蝕行為在較長時間培養後才出現，而發生原因除了 SRB 本身對碳鋼的電子奪取作用，還有生物膜下有利腐蝕發生之

環境與生物膜不連續造成之結果。對照組呈現出培養基本身對碳鋼腐蝕情形，從第 5 天起即可觀察到均勻腐蝕形貌，並隨培養時間增加，培養基對碳鋼腐蝕程度加大，而在實驗組則始終未觀察到均勻腐蝕之現象，顯示生物膜具有屏障作用，減緩了培養基造成的均勻腐蝕，而不均勻生物膜以及 SRB 作用則促進了局部腐蝕的發生。



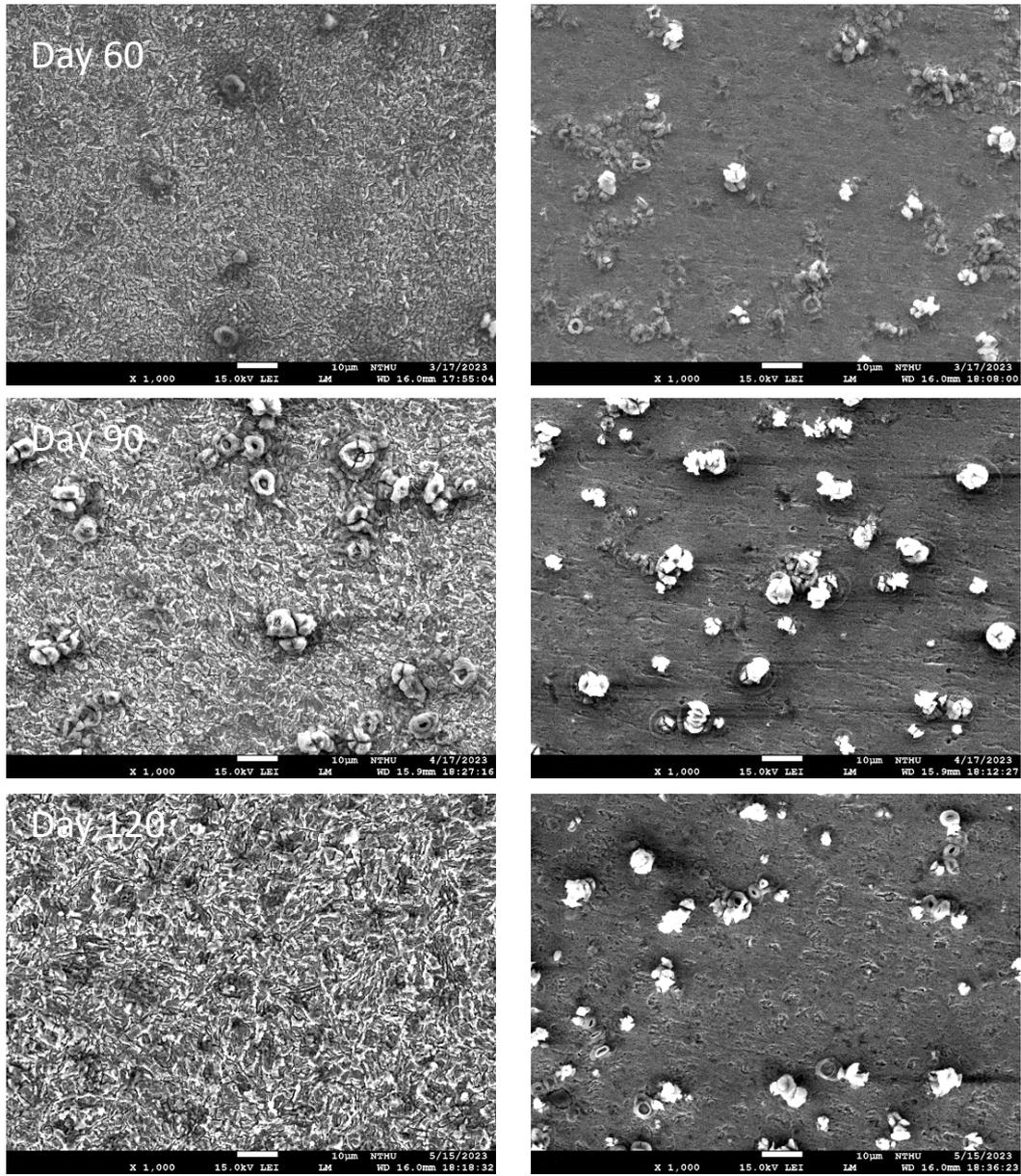
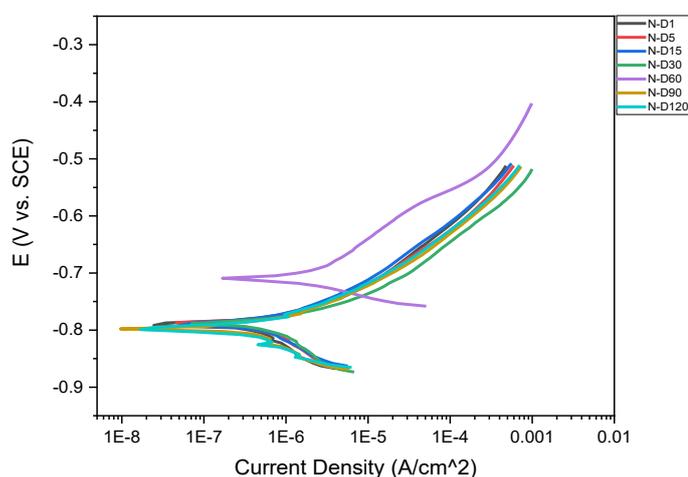


圖 24、碳鋼浸沒測試後利用超音波震盪移除腐蝕產物後的表面形貌

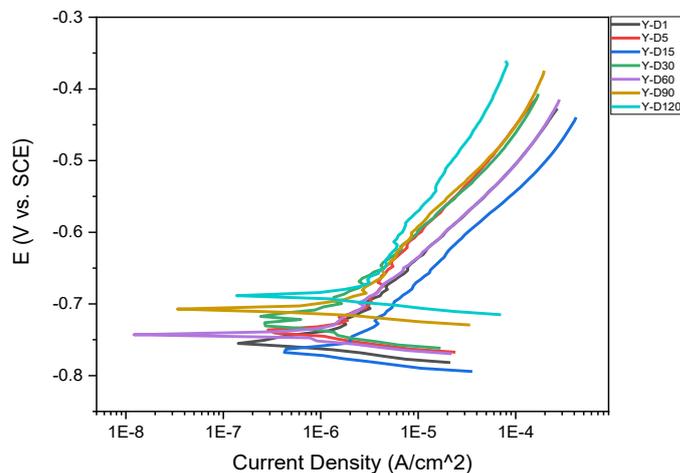
(左為實驗組，右為對照組)

3.2.3 溫度 55 度下 CS 之電化學行為分析

圖 25 為碳鋼在浸沒時間分別為 1、5、15、30、60、90、120 天後，使用三極式電極系統進行極化曲線掃描之結果，表 11 則為對應的腐蝕電位(E_{corr})以及腐蝕電流密度(i_{corr})值，圖 25(a)中對照組除第 60 天出現 E_{corr} 以及 i_{corr} 上升的情況，其餘天數之極化曲線幾乎重合，顯示培養基對於碳鋼之腐蝕性維持穩定，而第 60 天的例外可能僅為電化學量測之誤差。圖 25(b)的實驗組之極化曲線明顯有較高的分散性，詳細對應值也可以看到其相較於對照組大致有更高的 E_{corr} 值與更低的 i_{corr} 值，顯示 SRB 與生物膜的存在為碳鋼表面提供了一定的保護，而有腐蝕趨勢較小的情形。



(a)對照組



(b)實驗組

圖 25、碳鋼於 SRB 培養基中極化掃描結果

表 11、碳鋼在 SRB 培養基中的極化曲線電化學參數

	Day	Ecorr	icorr
對照組	1	-0.79171	2.89E-07
	5	-0.79146	4.53E-07
	15	-0.79175	3.83E-07
	30	-0.78892	5.21E-07
	60	-0.71354	1.02E-06
	90	-0.80226	2.77E-07
	120	-0.80343	2.32E-07
SRB	1	-0.75067	1.71E-07
	5	-0.74074	3.54E-07
	15	-0.76766	3.74E-07
	30	-0.73065	3.19E-07
	60	-0.7429	2.85E-07
	90	-0.70717	3.07E-07
	120	-0.68846	4.48E-07

圖 26 為碳鋼在浸沒時間分別為 1、5、15、30、60、90、120 天後，使用三極式電極系統進行 EIS 掃描並進行等效元件擬合之結果，對應的擬合電路模型如圖 27 所示，其中 R_s 為電解溶液電阻， R_b 為生物膜/腐蝕產物膜之電阻， R_{ct} 為電荷轉移阻抗， CPE_b 為生物膜/腐蝕產物膜之電容， CPE_{dl} 為電雙層電容。表 12 則為等效元件之對應值。圖 26(a) 中對照組的容抗弧半徑相較於圖 26(b) 的實驗組並無明顯增加，而 R_b 加上 R_{ct} 之值可表示對於腐蝕行為的阻抗，可以發現實驗組之阻抗值大致高於對照組，顯示生物膜的存在以及對培養基腐蝕性之阻隔作用。此外在實驗開始後浮游態 SRB 會吸附於碳鋼表面並分泌 EPS 進而形成菌落，由於 EPS 與 SRB 細胞皆具有陰電性，因此可以排斥

如 Cl^- 與 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ 等侵蝕性陰離子進而抑制腐蝕，因此可以觀察到 EIS 容抗因生物膜發展而上升。

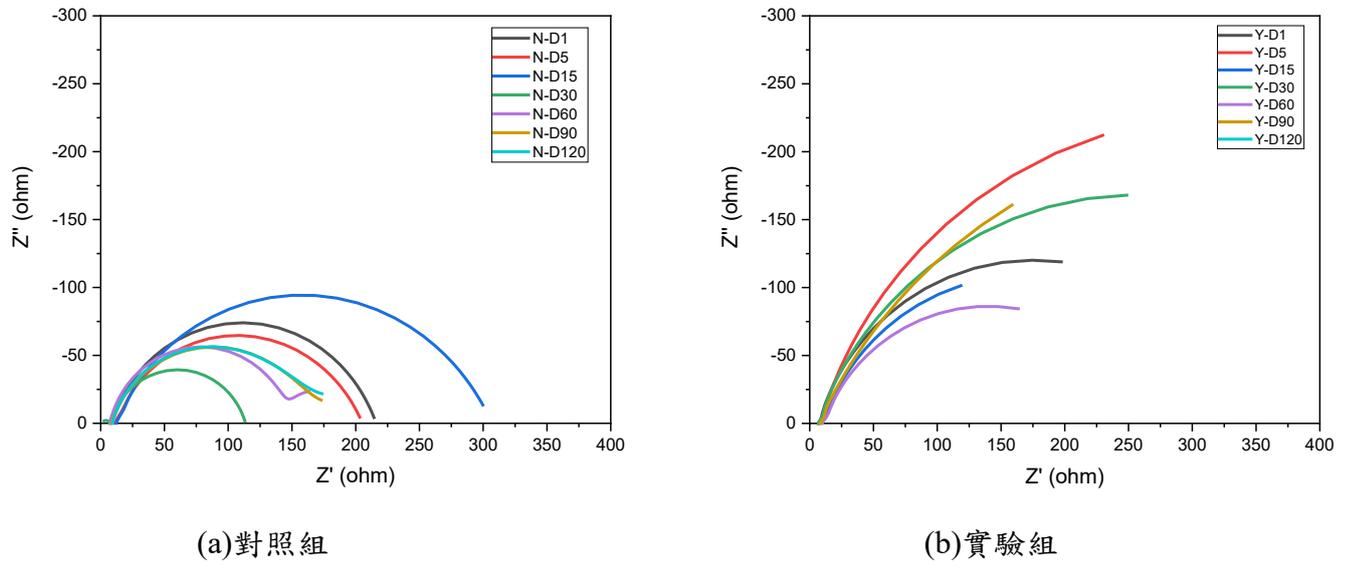


圖 26、碳鋼於接菌 SRB 培養基的 EIS 分析圖

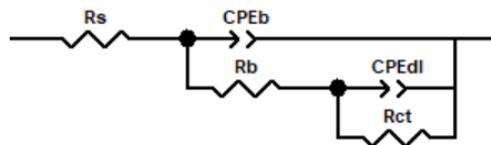


圖 27、EIS 分析之等效電路圖

表 12、碳鋼於 SRB 培養基的 EIS 等效元件數據

	Day	Rs	CPEb-T	CPEb-P	Rb	CPEdl-T	CPEdl-P	Rct
對照組	1	7.597	0.00017929	0.93157	4.205	0.00075547	0.74115	204.3
	5	11.15	0.0010158	0.73074	62.91	0.000053238	1.106	131.2
	15	12.09	0.0013021	0.71732	92.64	0.000026155	1.222	202.1
	30	1.23	8.4263E-06	0.80017	5.763	0.001376	0.81024	106.6
	60	7.197	0.0016766	0.85175	142.2	0.41744	0.94401	46.43
	90	8.559	0.0028562	0.79387	147.1	0.087806	0.26505	1395
	120	9.202	0.0031743	0.82615	123.4	0.035615	0.18836	788
SRB	1	6.648	0.017288	0.74076	9.119	0.0055048	1.026	335.2
	5	7.064	0.014032	0.72666	9.591	0.0077046	0.95708	643.2
	15	8.06	0.022628	0.69724	10.15	0.019559	0.87801	315.4
	30	6.827	0.01559	0.73599	28.45	0.0019509	1.149	475.7
	60	9.72	0.01871	0.69874	21.78	0.0061092	0.99888	244.3
	90	8.299	0.025942	0.70624	48.22	0.0012404	1.382	629.2
	120	8.181	0.02945	0.72885	27.75	0.0069844	0.95096	1024

3.2.4 不同溫度下 CS 之質量改變差異

圖 28 為碳鋼在不同培養溫度下之質量改變比較，測試時間同樣包含 1、5、15、30、60、90 與 120 天等不同天數。由結果可觀察到溫度梯度的影響，在 40 度的溫度條件下之質量損失皆較 55 度溫度條件下更大，並且 40 度溫度條件下的數值標準差較大，顯示出此條件下三重複試片的個體差異性較大，表示 SRB 作用以及生物膜附著呈現相對不穩定的狀態。表 13 為由質量損失計算的腐蝕速率比較。

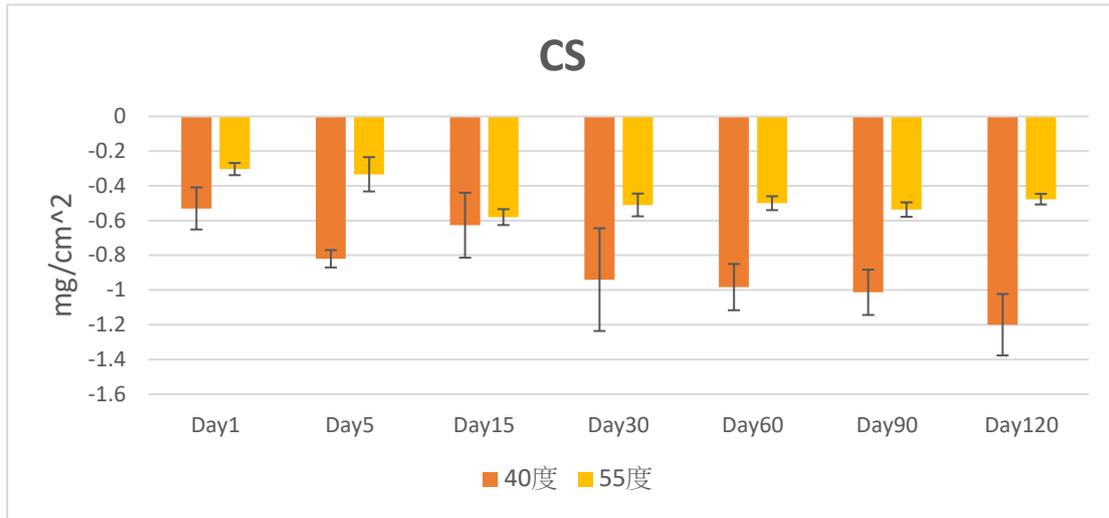


圖 28、碳鋼在不同培養溫度下之質量改變比較

表 13、碳鋼在不同培養溫度下之腐蝕速率比較

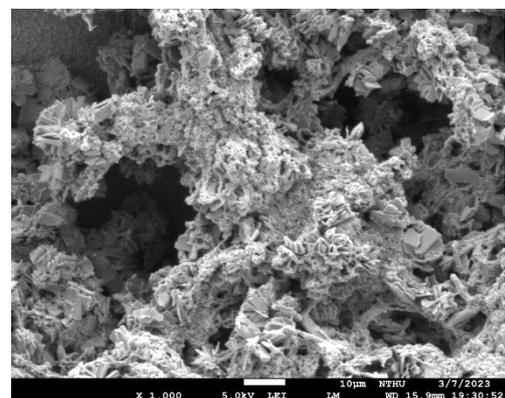
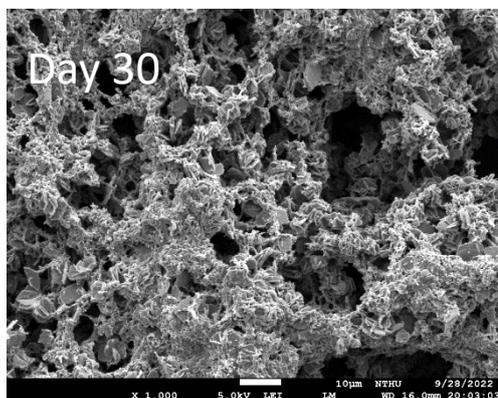
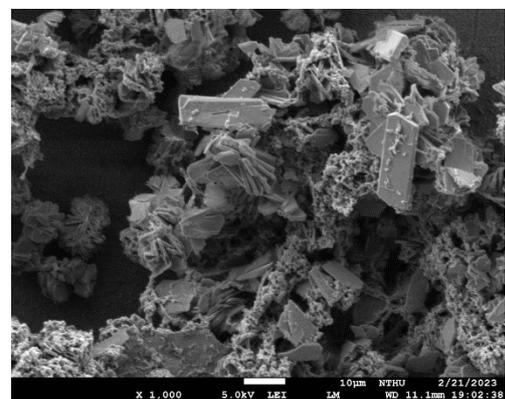
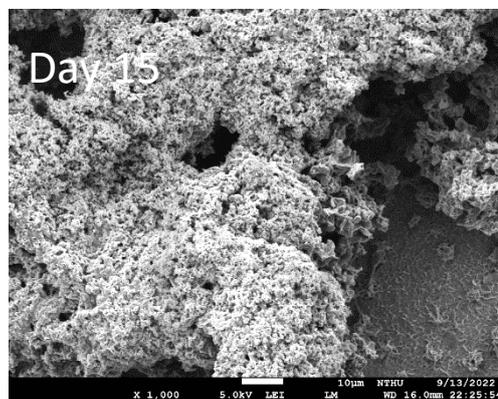
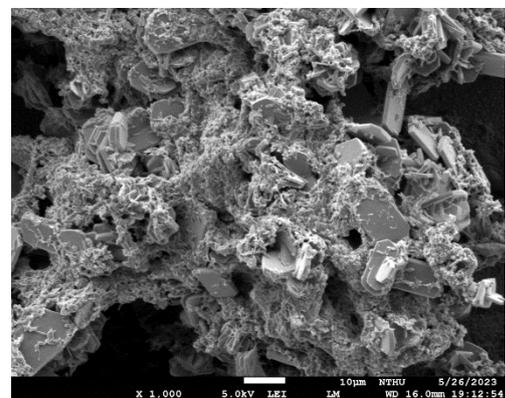
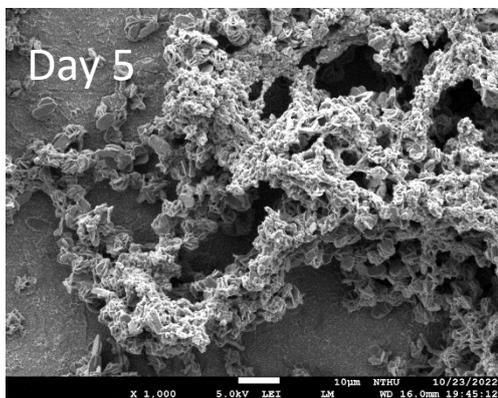
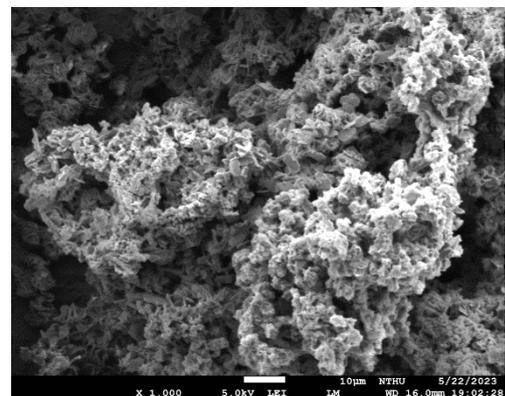
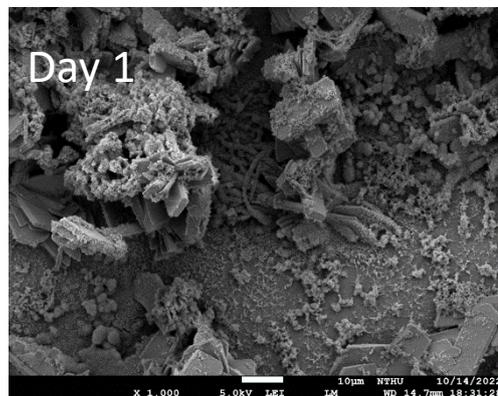
試片種類 Day \ 腐蝕速率 (mm/y)	CS	
	40 度	55 度
1	0.2464	0.1410
5	0.0763	0.0310
15	0.0194	0.0180
30	0.0146	0.0079
60	0.0076	0.0039
90	0.0052	0.0028
120	0.0046	0.0018

*(density: 7.85 g/cm³)

3.2.5 不同溫度下 CS 之表面形貌差異

不同溫度培養環境下，比較實驗浸沒時間分別為 1、5、15、30、60、90、120 天之表面形貌差異。圖 29 為生物膜 SEM 影像，因 SRB 對於碳鋼材料附著能力較好，無論在哪一個溫度的培養之下皆能快速的在碳鋼表面形成具有厚度的生物膜，因此較難以觀察到不同溫度在

生物膜形貌上造成的差異性。



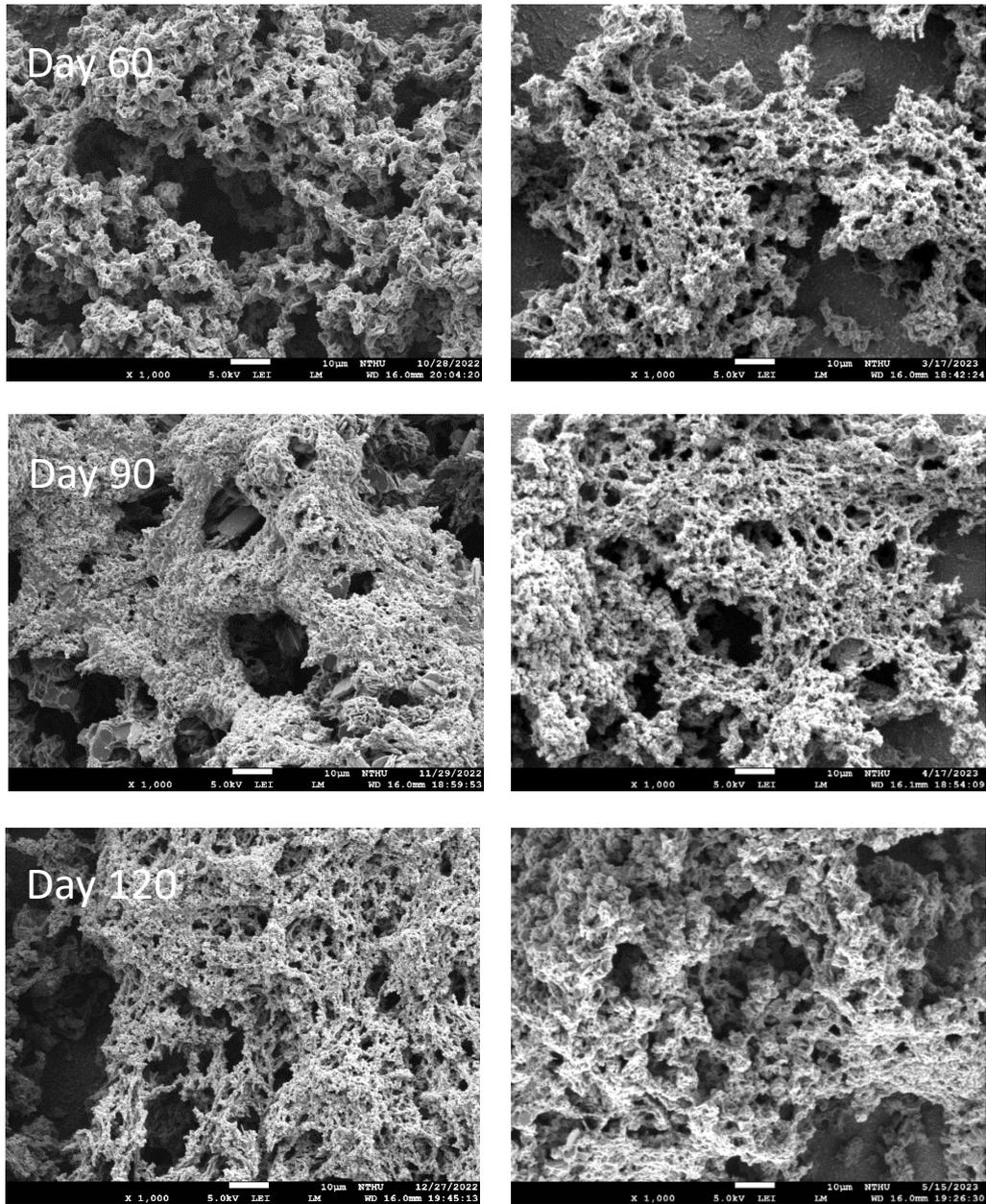
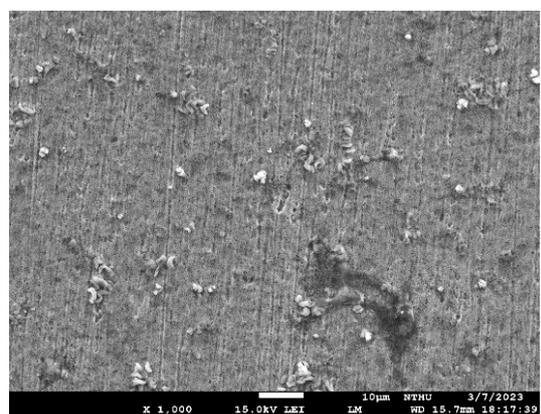
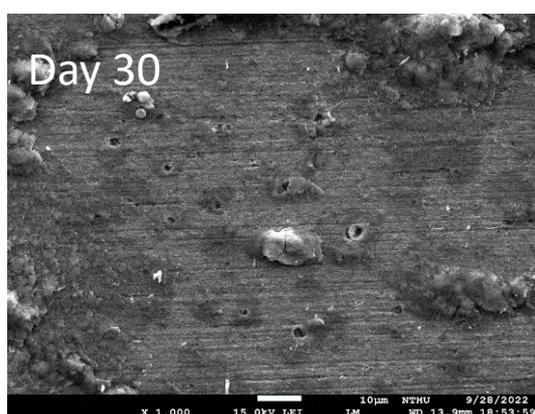
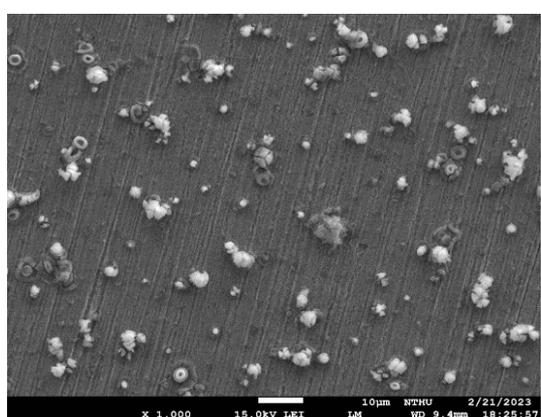
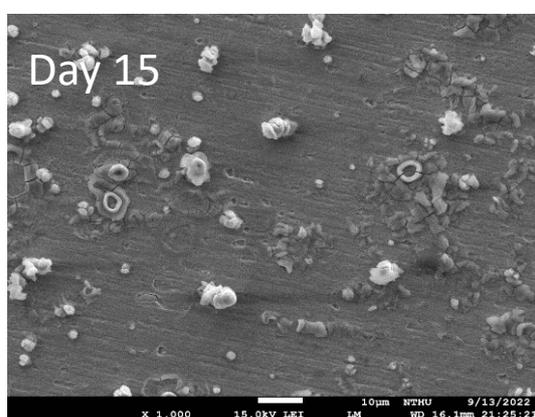
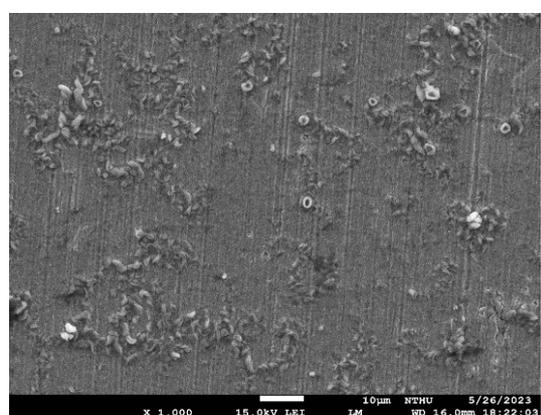
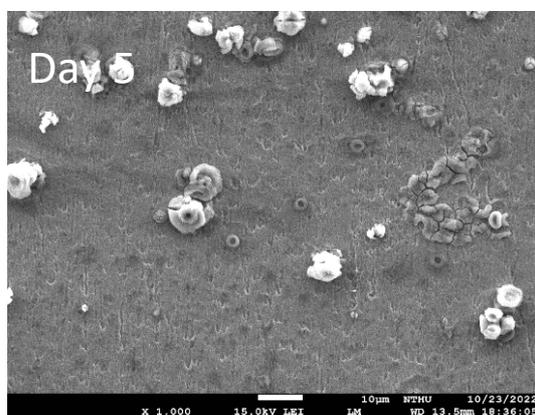
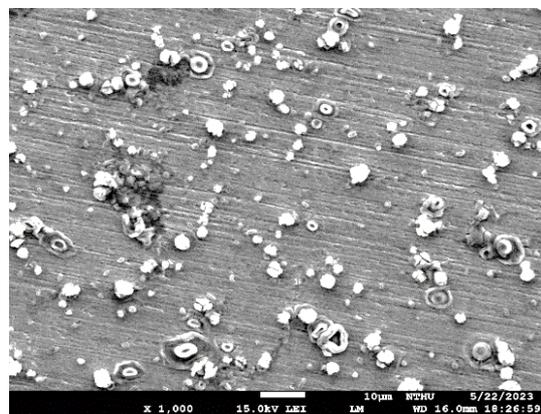
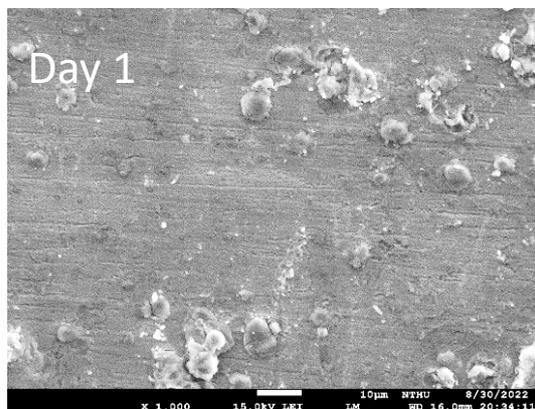


圖 29、不同溫度條件下碳鋼表面生物膜形貌

溫度分別為(左)40度(右)55度

圖 30 為洗去生物膜後之碳鋼表面腐蝕形貌，在不同溫度培養下，較長天數皆可以觀察到局部腐蝕及孔蝕的形成，並且在第 60、90 及 120 天時可以明顯看到 40 度溫度條件下的腐蝕情形較 55 度溫度條件

下更為嚴重。



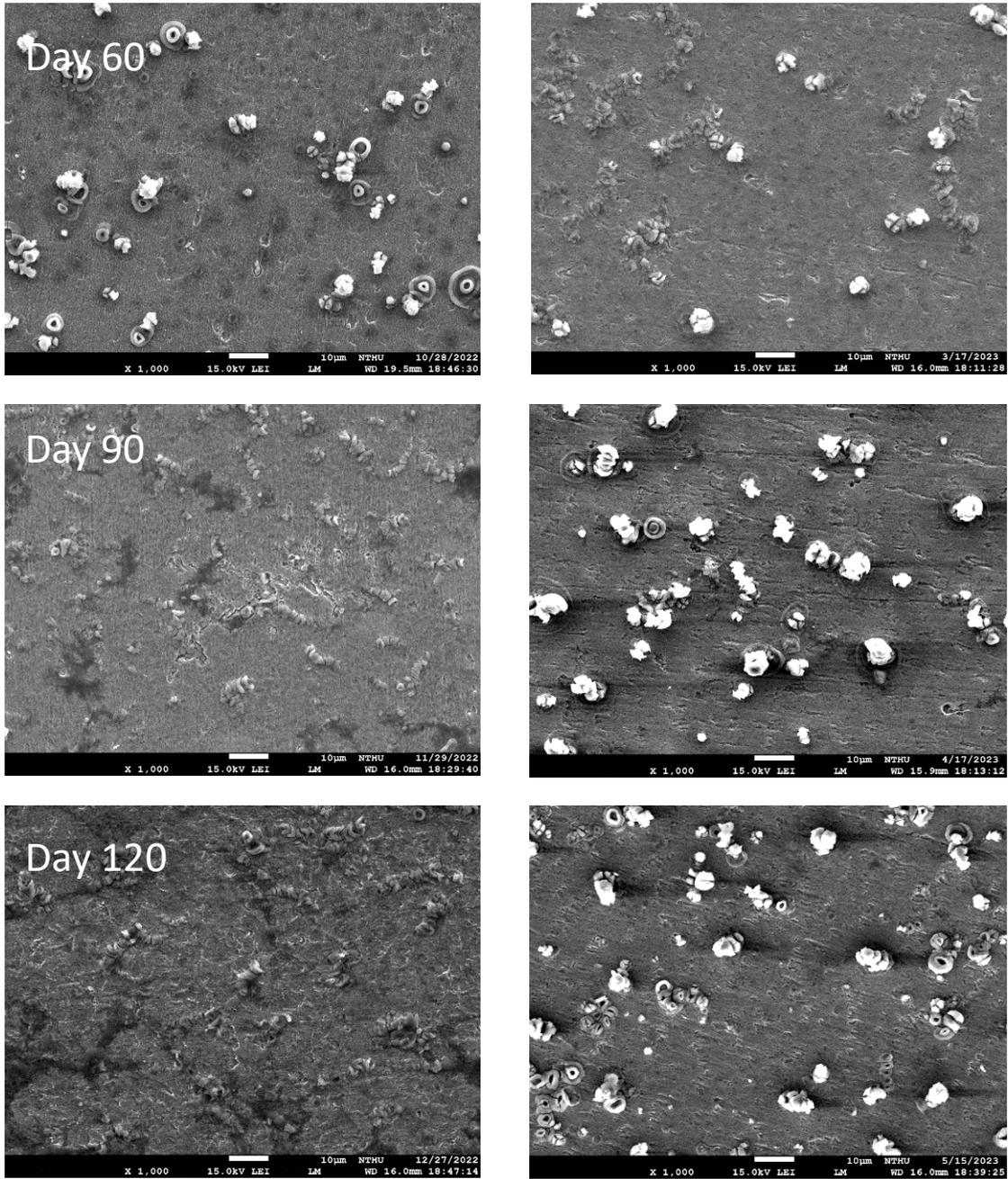


圖 30、不同溫度條件下碳鋼洗去生物膜後之表面腐蝕形貌

溫度分別為(左)40度(右)55度

3.2.6 不同溫度下 CS 之電化學行為差異

圖 31 為不同溫度條件下，碳鋼在浸沒時間分別為 1、5、15、30、60、90、120 天後，使用三極式電極系統進行極化曲線掃描之結果，表 14 為對應的腐蝕電位(E_{corr})以及腐蝕電流密度(i_{corr})值。在不同溫度條件下，碳鋼的 E_{corr} 沒有呈現明顯趨勢， i_{corr} 則整體而言在 40 度的溫度條件下較大，顯示更嚴重的腐蝕趨勢，與重量損失之結果相符。

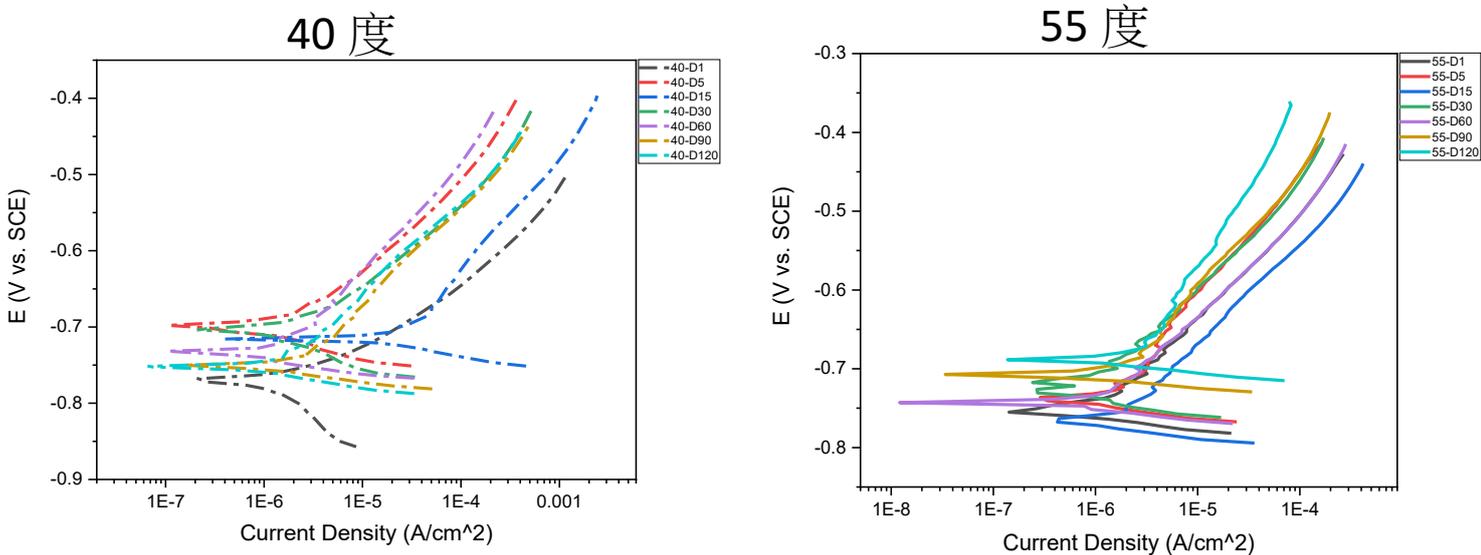


圖 31、碳鋼在不同溫度條件下之極化掃描結果比較

表 14、碳鋼在不同溫度條件下極化曲線電化學參數比較

	Day	Ecorr	icorr
40 度	1	-0.77230	3.84E-07
	5	-0.69780	4.10E-07
	15	-0.72017	1.42E-05
	30	-0.70791	7.40E-07
	60	-0.73614	2.86E-07
	90	-0.75456	9.83E-07
	120	-0.75628	7.26E-07
55 度	1	-0.75067	1.71E-07
	5	-0.74074	3.54E-07
	15	-0.76766	3.74E-07
	30	-0.73065	3.19E-07
	60	-0.7429	2.85E-07
	90	-0.70717	3.07E-07
	120	-0.68846	4.48E-07

圖 32 為碳鋼在浸沒時間分別為 1、5、15、30、60、90、120 天後，使用三極式電極系統進行 EIS 掃描並進行等效元件擬合之結果，對應的擬合電路模型同圖 27。表 15 為等效元件模擬結果之對應值。可以觀察到 55 度溫度條件下的容抗弧半徑明顯較大， R_b 及 R_{ct} 總和值也更大，顯示較大的腐蝕阻抗，即較弱的腐蝕趨勢，此結果同樣符合質量損失結果以及極化曲線之趨勢。

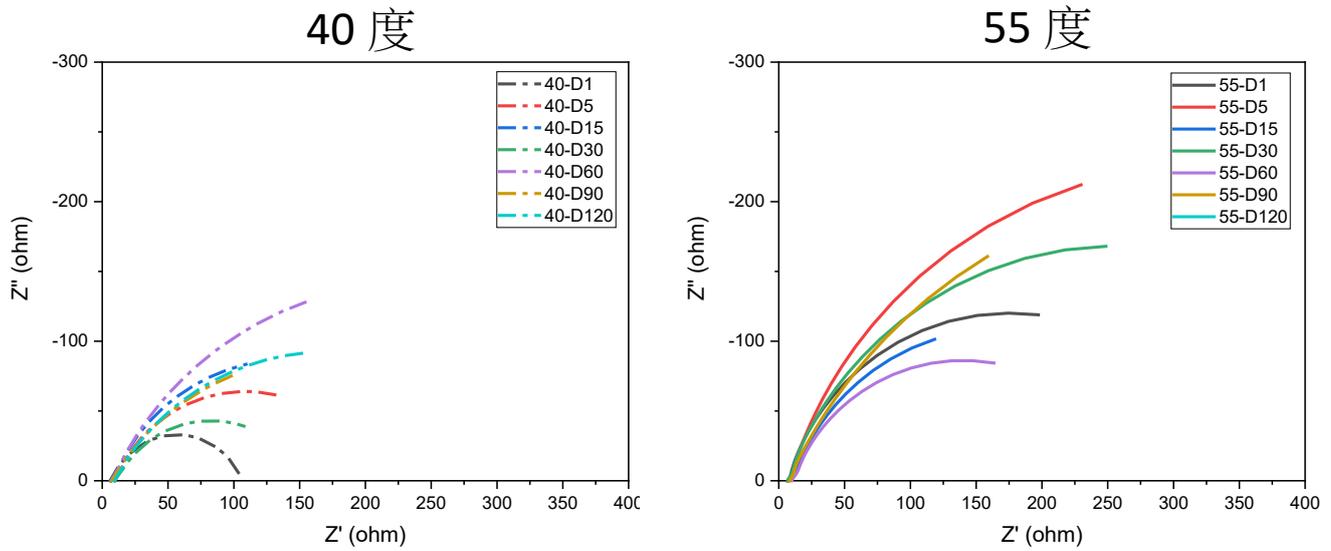


圖 32、碳鋼在不同溫度條件下之 EIS 結果比較

表 15、碳鋼在不同溫度條件下 EIS 等效元件數據比較

	Day	Rs	CPEb-T	CPEb-P	Rb	CPEdl-T	CPEdl-P	Rct
40 度	1	5.822	0.000991	0.71741	9.821	8.31E-05	0.69256	90.72
	5	9.574	0.021444	0.68853	20.61	0.005133	1.048	182.6
	15	6.306	0.028976	0.6758	23.42	0.013533	0.941	255.7
	30	9.23	0.021976	0.65066	29.53	0.027524	0.86566	118
	60	6.951	0.023974	0.68881	63.76	0.002921	1.022	400.3
	90	7.085	0.033156	0.62875	65.51	0.003246	1.07	260.4
	120	9.271	0.022296	0.66094	132	0.001035	1.42	190.5
55 度	1	6.648	0.017288	0.74076	9.119	0.005505	1.026	335.2
	5	7.064	0.014032	0.72666	9.591	0.007705	0.95708	643.2
	15	8.06	0.022628	0.69724	10.15	0.019559	0.87801	315.4
	30	6.827	0.01559	0.73599	28.45	0.001951	1.149	475.7
	60	9.72	0.01871	0.69874	21.78	0.006109	0.99888	244.3
	90	8.299	0.025942	0.70624	48.22	0.00124	1.382	629.2
	120	8.181	0.02945	0.72885	27.75	0.006984	0.95096	1024

3.3 微小擾動對於敏化 304 SS MIC 的影響

3.3.1 微小擾動環境下敏化 304 SS 之質量變化

圖 33 為敏化 304 不銹鋼在微小擾動條件下之質量改變結果，測試時間包含 15 與 120 天測試。可以觀察到在培養基有震盪的環境下(實驗組)，敏化 304 不銹鋼之質量損失相較於沒有震盪的對照組小，並在第 120 天時差異更為明顯，然而，因 SRB 對 304 不銹鋼腐蝕性太低，整體質量損失太小，仍需其他分析以探討腐蝕行為之差異。表 16 為以質量損失結果計算得出的腐蝕速率比較。

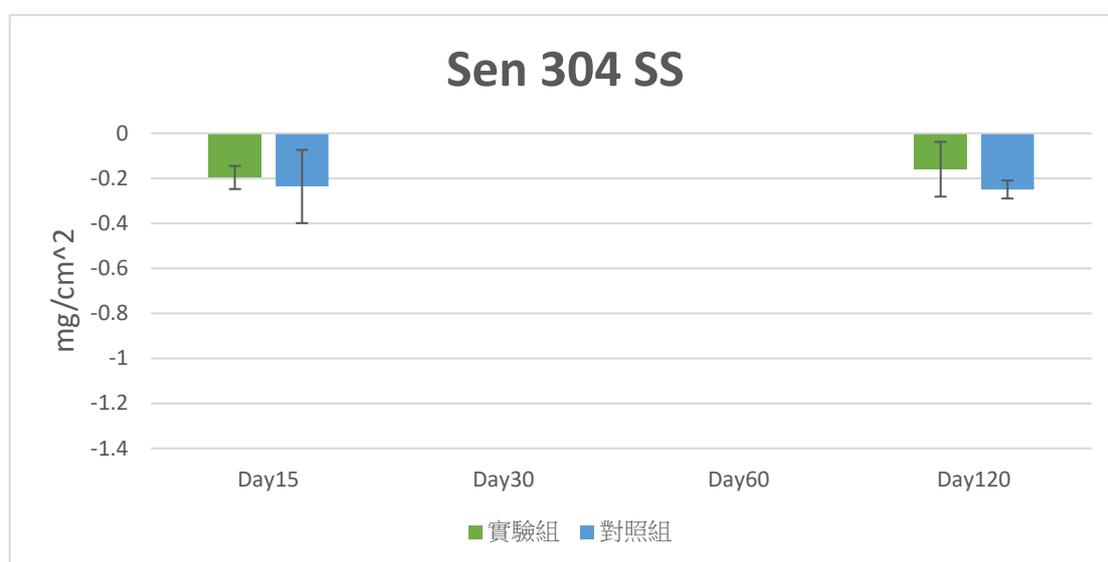


圖 33、微小擾動條件下敏化 304 不銹鋼的質量改變(mg/cm²)

表 16、微小擾動條件下敏化 304 SS 試片的腐蝕速率

試片種類	敏化 304 SS	
	實驗組	對照組
Day \ 腐蝕速率 (mm/y)		
15	0.01197	0.0073
120	0.00137	0.0010

*(density: 7.93 g/cm³)

3.3.2 微小擾動環境下敏化 304 SS 之表面形貌

圖 34 顯示敏化 304 不銹鋼在微小擾動條件以及不同倍率下的生物膜形貌比較，測試時間為 15 與 120 天。在較低倍率的生物膜影像中可以觀察出生物膜分布差異，以有施加震盪擾動的實驗組生物膜覆蓋性較好，即附著力較強，應為在微小擾動環境下，培養基擁有較好的質傳，能夠使營養成分傳遞至內層生物膜，讓貼附於金屬表面的 SRB 擁有更好的作用能力，而能夠有較好的附著性。

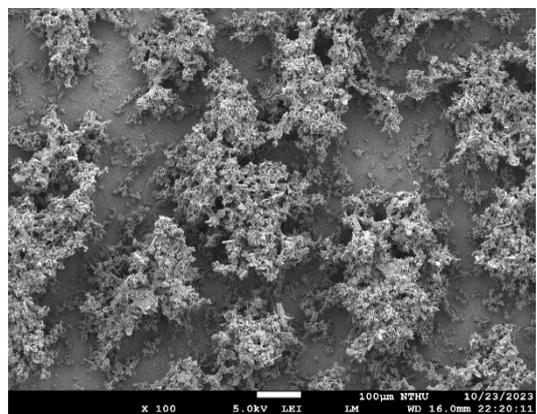
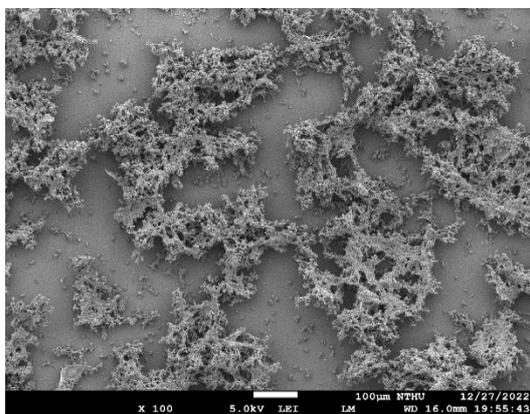
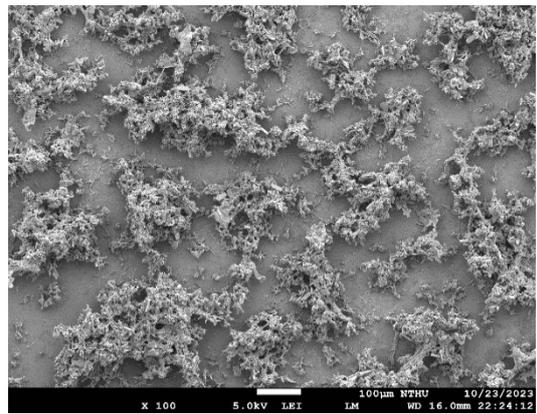
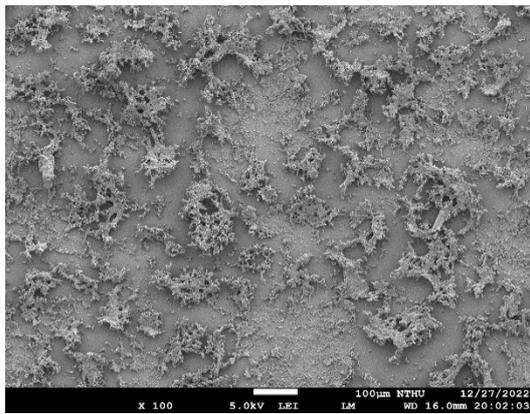
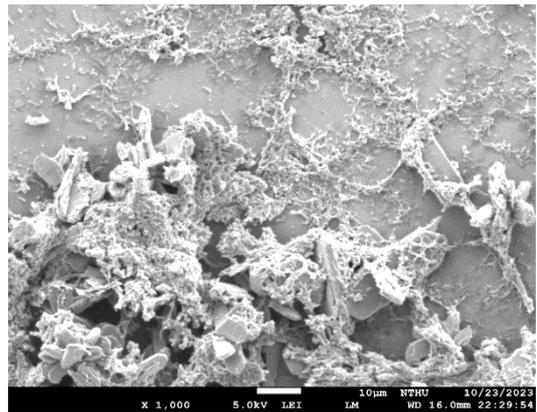
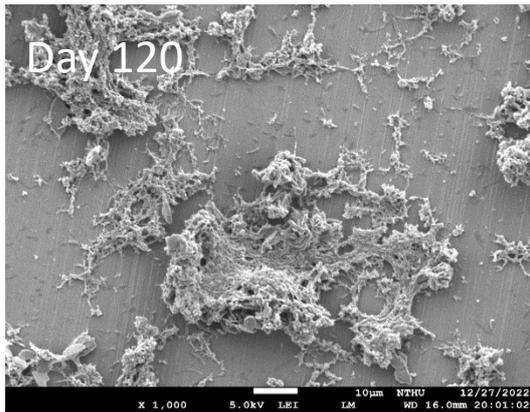
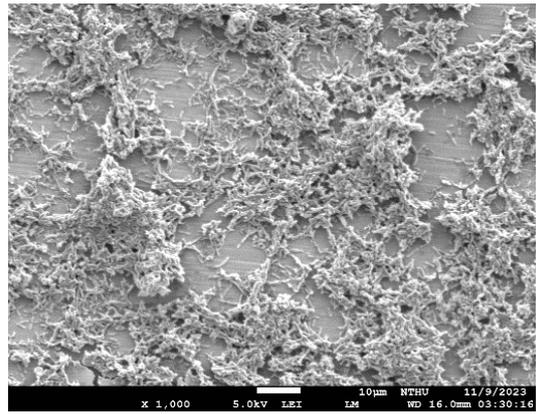
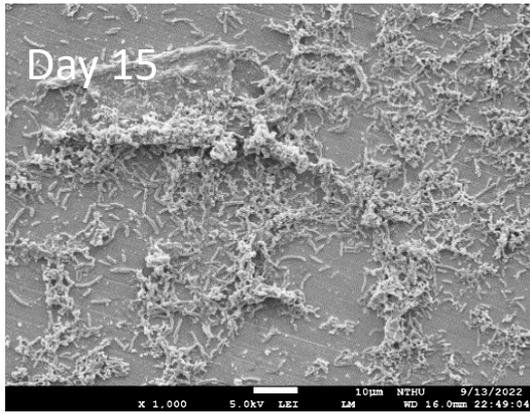


圖 34、微小擾動條件下敏化 304 不鏽鋼表面生物膜形貌

分別為(左)對照組(右)實驗組

圖 35 為微小擾動條件下的敏化 304 不銹鋼在洗去生物膜後的表面腐蝕情形，因 SRB 對於敏化 304 不銹鋼作用較弱，仍然難以觀察出明顯差異。

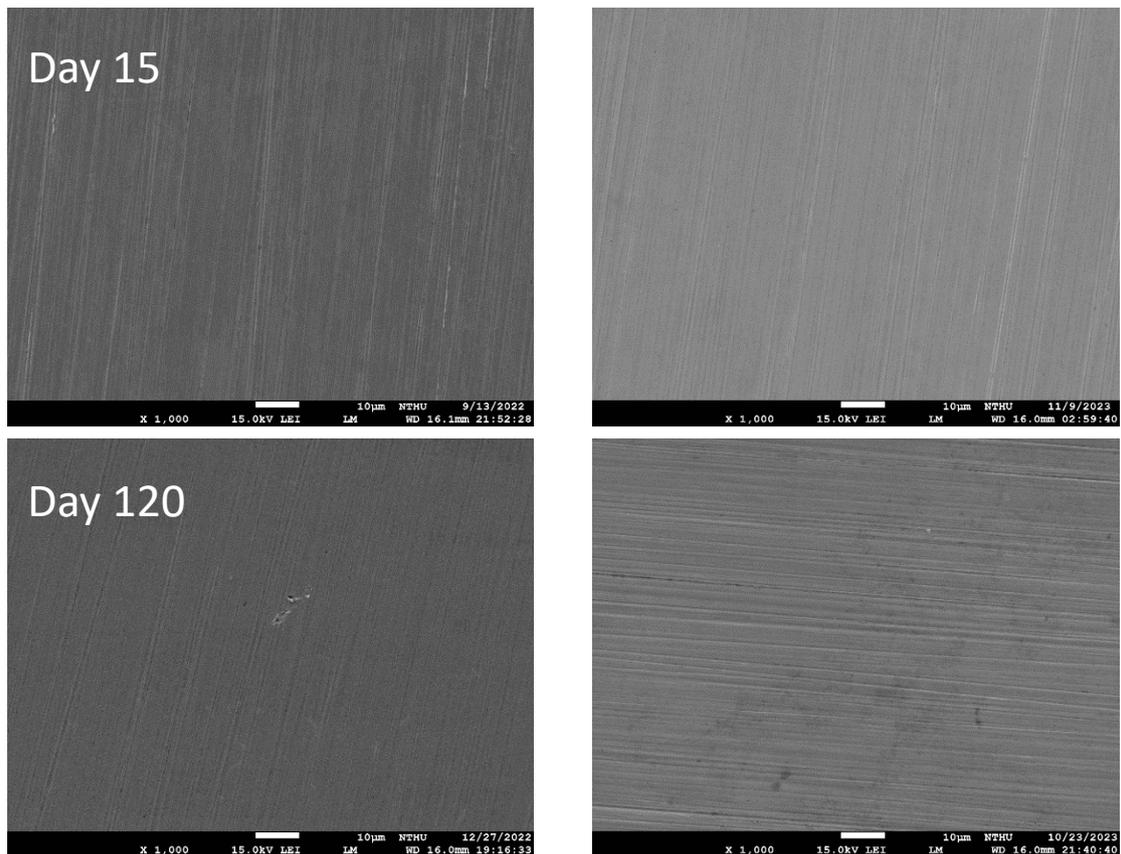


圖 35、微小擾動下敏化 304 不銹鋼洗去生物膜後之表面腐蝕形貌
分別為(左)對照組(右)實驗組

3.3.3 微小擾動環境下敏化 304 SS 之電化學行為分析

圖 36 為微小擾動條件下，敏化 304 不銹鋼在浸沒時間分別為 15 以及 120 天後，使用三極式電極系統進行極化曲線掃描之結果，對應的腐蝕電位(E_{corr})以及腐蝕電流密度(i_{corr})值如表 17 所列。在微小擾動

條件下，敏化 304 不銹鋼的 E_{corr} 有比較明顯的趨勢呈現，第 15 天及第 120 天皆以有施加微小擾動的 E_{corr} 較負， i_{corr} 值則沒有穩定差異。

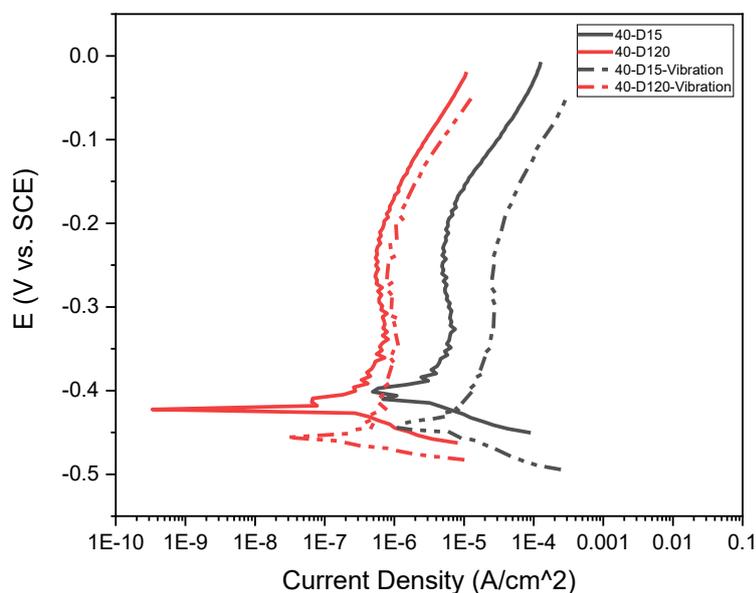


圖 36、敏化 304 不銹鋼在微小擾動條件下之極化掃描結果比較

表 17、敏化 304 不銹鋼在微小擾動條件下極化曲線電化學參數比較

	Day	E_{corr}	i_{corr}
對照組	15	-0.40598	1.26E-06
	120	-0.42687	2.78E-07
實驗組	15	-0.44104	3.88E-06
	120	-0.46043	1.21E-07

圖 37 為敏化 304 不銹鋼在浸沒時間 15 及 120 天後的 EIS 掃描及等效元件擬合結果，對應的擬合電路模型如圖 38。 R_s 為電解溶液電阻， R_b 為生物膜/腐蝕產物膜之電阻， R_{ct} 為電荷轉移阻抗， CPE_b 為生物膜/腐蝕產物膜之電容， CPE_{dl} 為電雙層電容。表 18 則為等效元

件模擬結果之對應值。在敏化 304 不鏽鋼上，生物膜較不穩定，在第 15 天時有施加微小擾動條件的容抗弧較小，第 120 天時，其容抗弧則是較大，表示有微小擾動之實驗組在 120 天後腐蝕趨勢較弱。

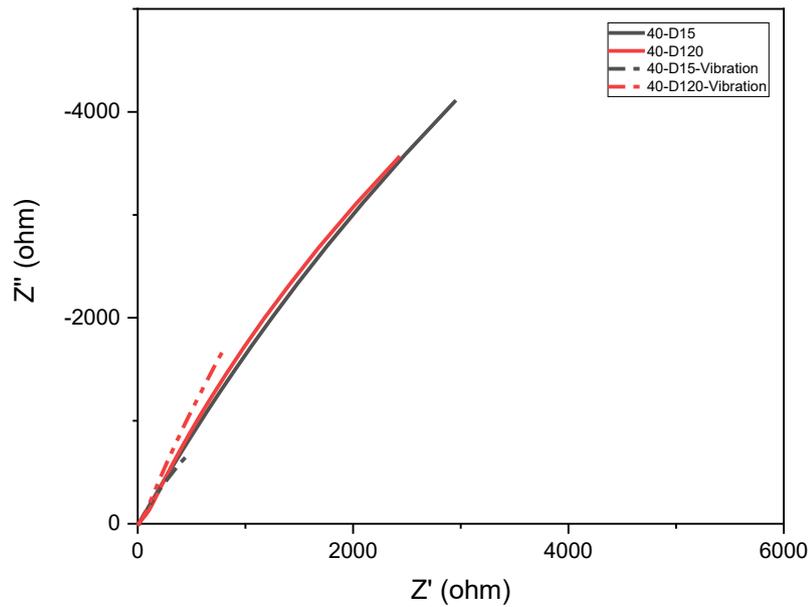


圖 37、敏化 304 不銹鋼在微小擾動條件下之 EIS 結果比較

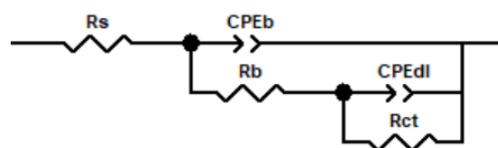


圖 38、EIS 分析之等效電路圖

表 18、敏化 304 不銹鋼在微小擾動條件下 EIS 等效元件數據比較

	Day	Rs	CPEb-T	CPEb-P	Rb	CPEdl-T	CPEdl-P	Rct
對照組	15	7.027	0.000495	0.6826	13.19	0.000724	0.6878	34983
	120	10.91	0.001165	0.67668	468.4	0.000425	0.87527	27690
實驗組	15	7.525	0.002834	0.68263	6.501	0.004795	0.71251	5748
	120	9.249	0.002796	0.71748	222.2	0.001435	0.87132	38627

3.4 微小擾動對於 CS MIC 的影響

3.4.1 微小擾動環境下 CS 之質量變化

圖 39 為碳鋼在微小擾動條件下之質量改變結果，測試時間包含 15 與 120 天測試。結果發現在培養基有微小擾動的環境下，碳鋼的質量損失顯著小於沒有的對照組，尤其在第 120 天時差異非常明顯，結合 SEM 影像可知，原因為明顯的腐蝕型態差異造成的質量損失差異。表 19 為使用質量損失結果計算得出的腐蝕速率。

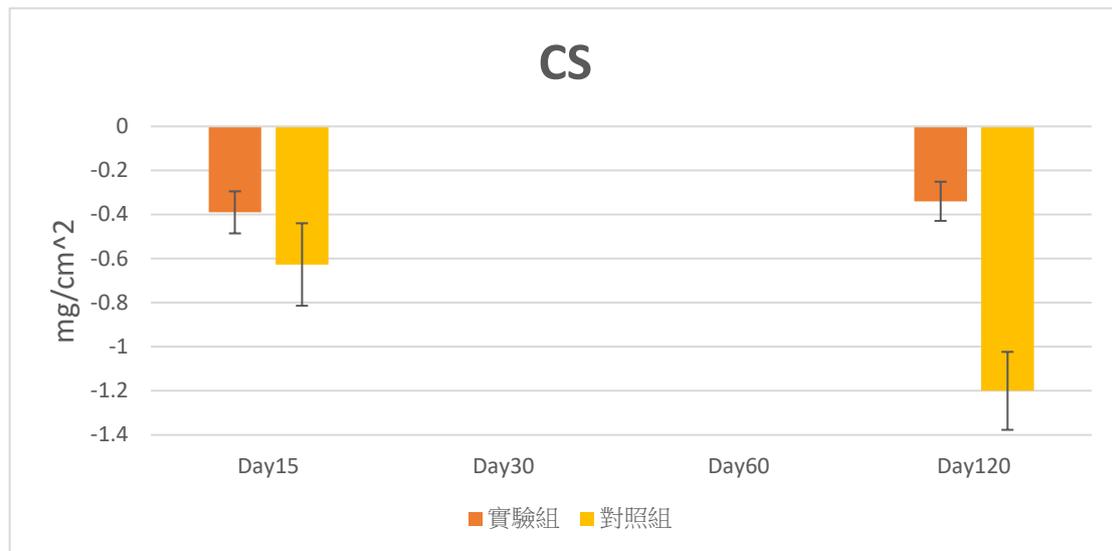


圖 39、微小擾動條件下碳鋼的質量改變(mg/cm²)

表 19、微小擾動條件下碳鋼試片的腐蝕速率

試片種類	CS	
	實驗組	對照組
Day \ 腐蝕速率 (mm/y)		
15	0.0061	0.0194
120	0.0006	0.0046

*(density: 7.85 g/cm³)

3.4.2 微小擾動環境下 CS 之表面形貌

圖 40 顯示碳鋼在微小擾動條件以及不同倍率下的生物膜形貌比較，測試時間包含 15 與 120 天測試。無論在較高倍率或較低倍率下，碳鋼上的生物膜皆呈現非常成熟的形貌，而在不同位置也有不均勻的現象，較難以比較因微小擾動擾動因素所造成的生物膜分布與厚度差異。

圖 41 為微小擾動條件下碳鋼去除表面生物膜後的腐蝕情形，在第 15 天時，SRB 菌的作用還不明顯，微小擾動條件尚未造成明顯差異，而第 120 天時則有非常明顯的腐蝕型態差異，對照組的腐蝕以全面均勻腐蝕為主，有施加微小擾動的實驗組則觀察到許多局部的孔蝕，原因為微小擾動使培養基之營養成分能傳遞至內層生物膜，讓貼附於金屬表面的 SRB 擁有更好的作用能力而形成孔蝕。

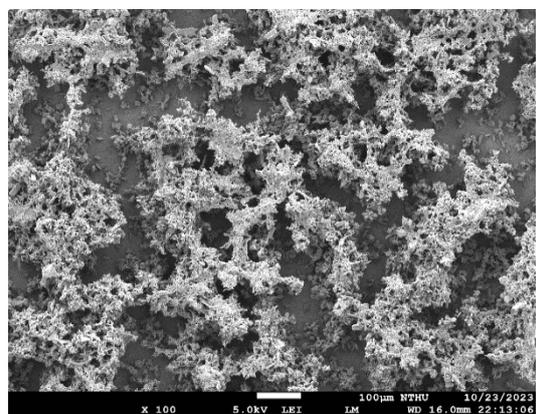
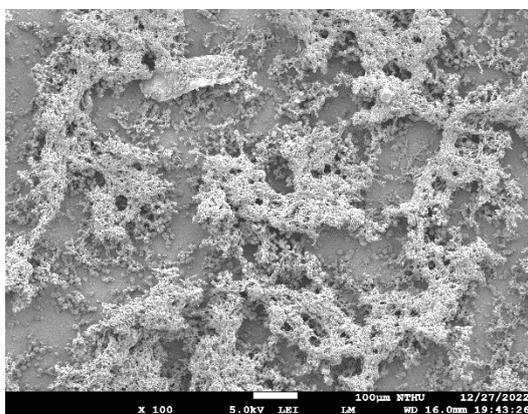
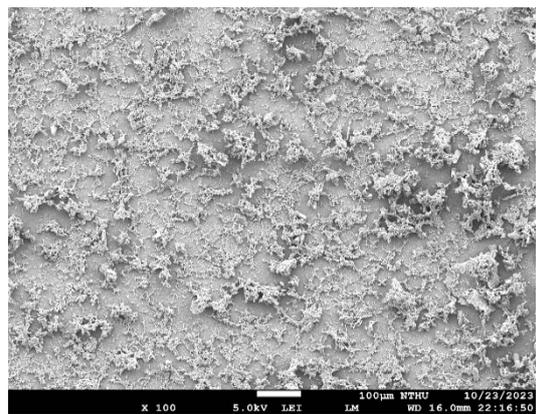
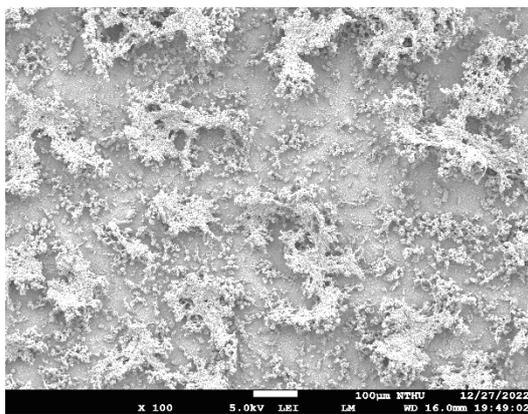
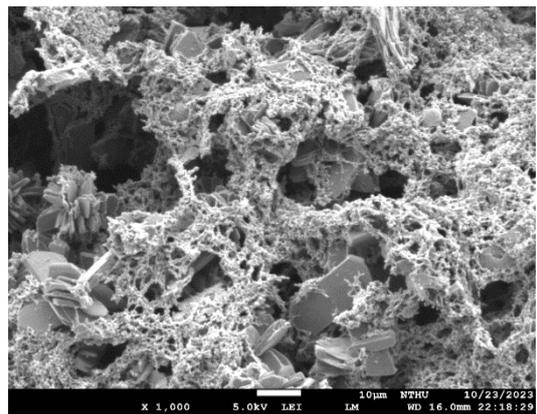
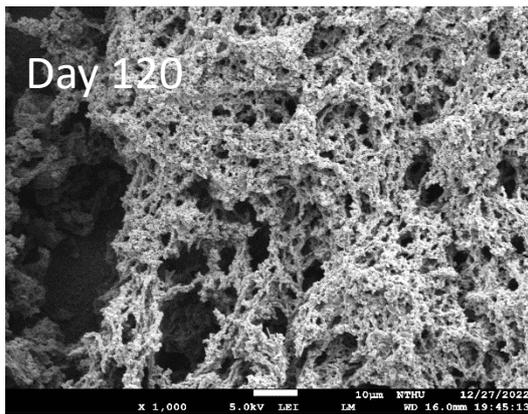
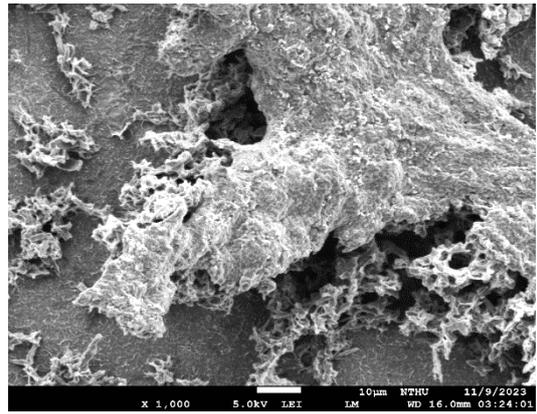
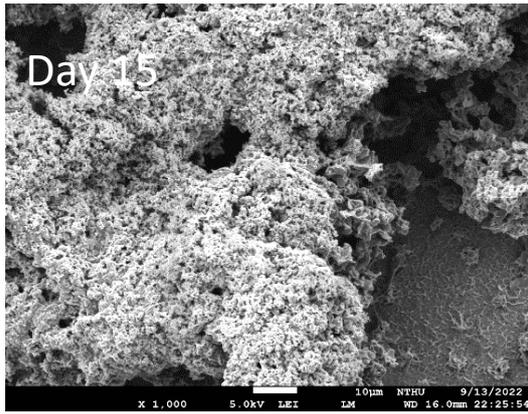


圖 40、微小擾動條件下碳鋼表面生物膜形貌

分別為(左)對照組(右)實驗組

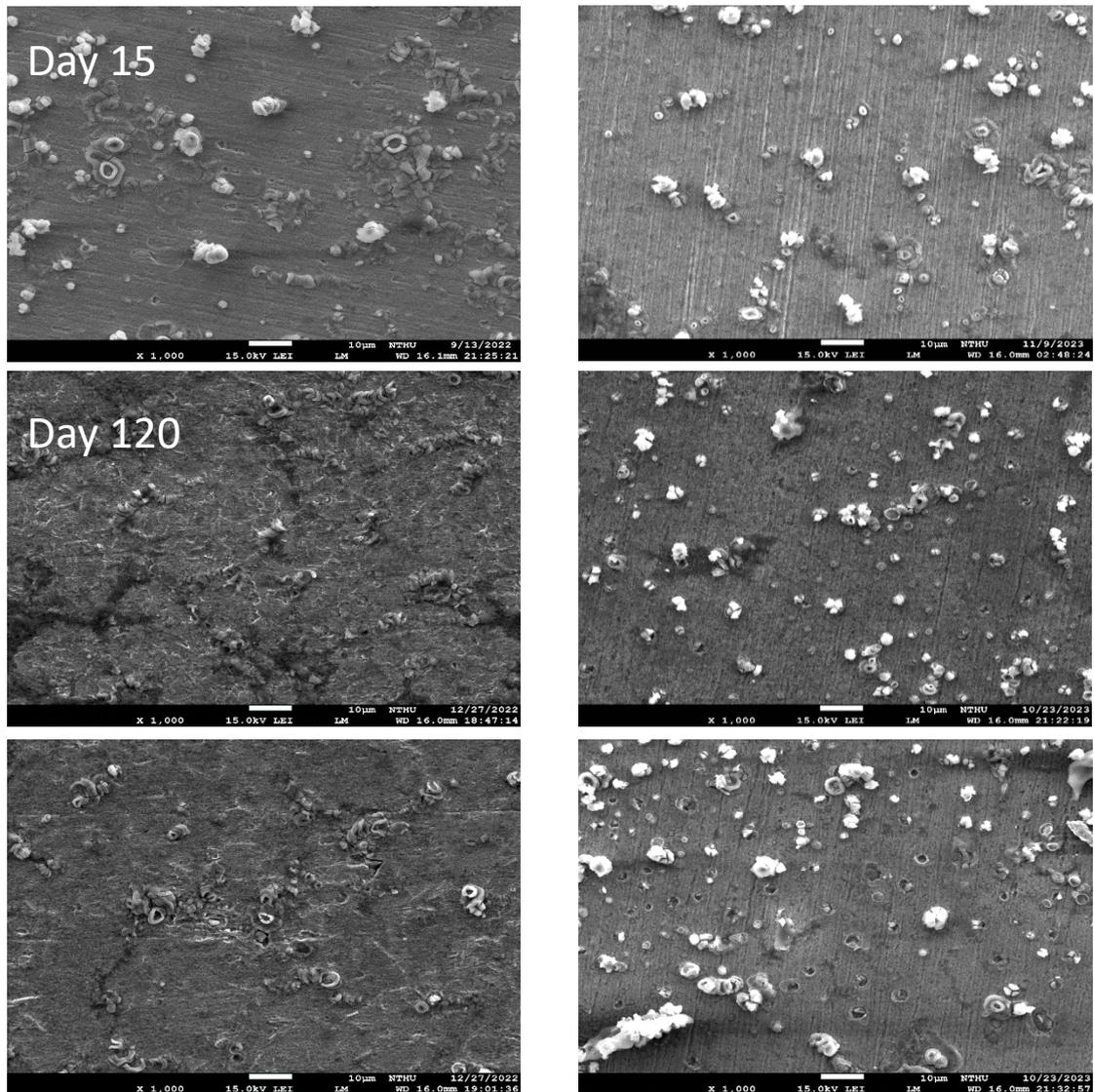


圖 41、微小擾動條件下碳鋼洗去生物膜後之表面腐蝕形貌

分別為(左)對照組(右)實驗組

3.4.3 微小擾動環境下 CS 之電化學行為分析

圖 42 為微小擾動條件下，碳鋼在浸沒時間 15 及 120 天後，使用三極式電極系統進行極化曲線掃描之結果，對應的腐蝕電位(E_{corr})以及腐蝕電流密度(i_{corr})值如表 20 所列。在微小擾動條件下，碳鋼只有第 120 天的 E_{corr} 有較明顯的差異，相比對照組的 E_{corr} 較負，顯示更嚴

重的腐蝕趨勢，與重量損失之結果相符。

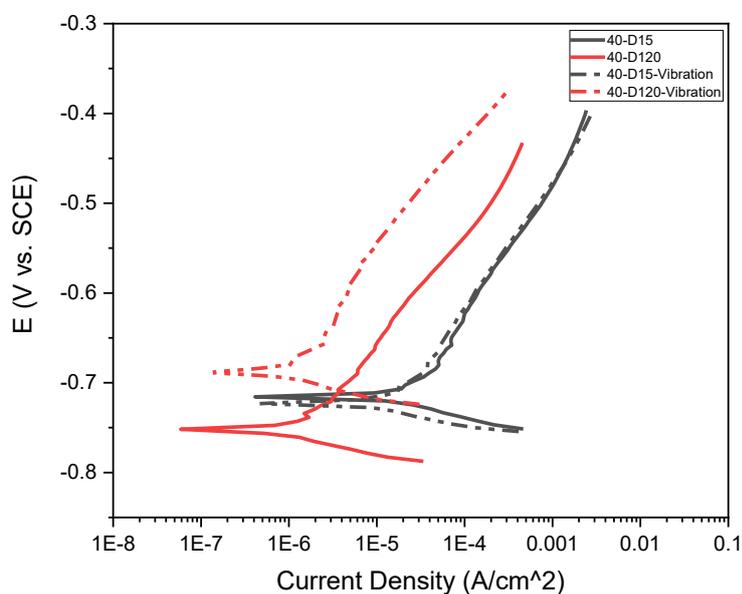


圖 42、碳鋼在微小擾動條件下之極化掃描結果比較

表 20、碳鋼在微小擾動條件下極化曲線電化學參數比較

	Day	E _{corr}	i _{corr}
對照組	15	-0.72017	1.42E-05
	120	-0.75628	7.26E-07
實驗組	15	-0.72318	5.59E-06
	120	-0.68842	5.95E-07

圖 43 為碳鋼在浸沒時間 15 及 120 天後的 EIS 掃描及等效元件擬合結果，對應的擬合電路模型如圖 44。Rs 為電解溶液電阻，Rb 為生物膜/腐蝕產物膜之電阻，Rct 為電荷轉移阻抗，CPEb 為生物膜/腐蝕產物膜之電容，CPEdl 為電雙層電容。表 21 則為等效元件模擬結果之對應值。在碳鋼上，可以觀察到微小擾動因素造成的差異與

趨勢，對照組的容抗弧半徑明顯較小，尤其在第 120 天差異非常明顯，顯示較嚴重的腐蝕趨勢，原因為從 SEM 可以看到對照組的腐蝕型態較為均勻，腐蝕面積也較大，而有施以微小擾動的情況下則以孔蝕為主，腐蝕面積較小，而呈現較弱的腐蝕趨勢。

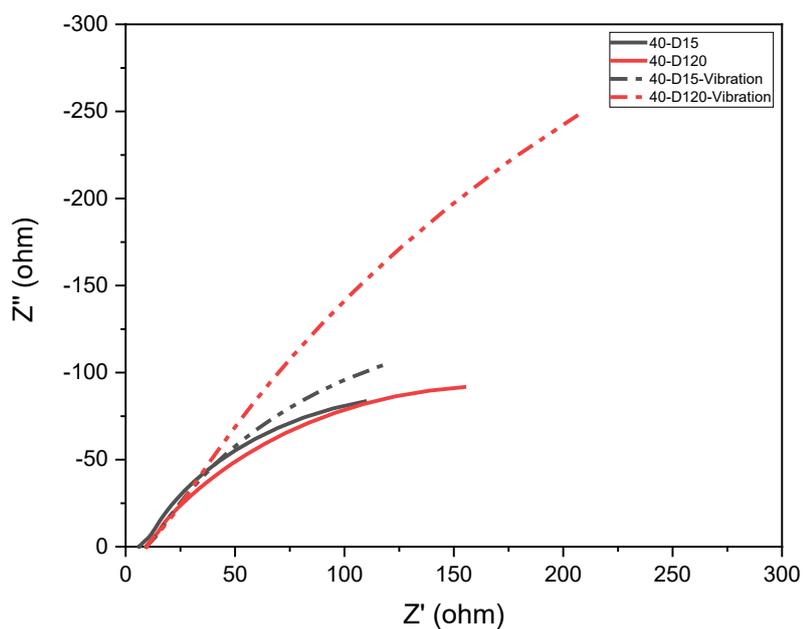


圖 43、碳鋼在微小擾動條件下之 EIS 結果比較

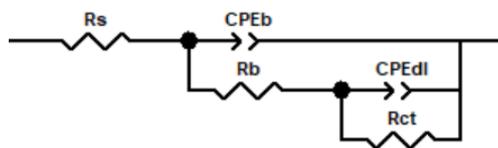


圖 44、EIS 分析之等效電路圖

表 21、碳鋼在微小擾動條件下 EIS 等效元件數據比較

	Day	Rs	CPEb-T	CPEb-P	Rb	CPEdl-T	CPEdl-P	Rct
對照組	15	6.306	0.028976	0.6758	23.42	0.013533	0.941	255.7
	120	9.271	0.022296	0.66094	132	0.001035	1.42	190.5
實驗組	15	9.435	0.024473	0.70164	16.31	0.015926	0.79903	256.8
	120	9.626	0.013129	0.71968	40.58	0.007815	0.75977	1170

肆、研究發現與管制建議回饋

1. 不同溫度條件在碳鋼材料上觀察到較大的差異，敏化 304 不鏽鋼則因為 SRB 對其附著力較差、腐蝕能力較弱而沒有觀察到因溫度造成的明顯差異。
2. 在碳鋼材料上，於 40 度的溫度條件下進行 120 天實驗後，從重量損失、表面形貌以及電化學量測結果中，都可以明顯看到明顯較 55 度溫度條件下更為嚴重的腐蝕情形。
3. 在敏化 304 不鏽鋼材料上，雖在表面腐蝕形貌未觀察到溫度差異的影響，但在重量損失以及電化學的結果中，同樣可以看到 40 度溫度條件下有較嚴重的腐蝕趨勢。
4. 微小擾動可能使培養基中營養成分的質傳較好，使營養能傳遞至生物膜內部，使貼附於金屬表面的 SRB 菌代謝作用較強，並且是以局部孔蝕為主要腐蝕機制。

伍、參考文獻

- [1]曾永信等人，“110 年核電廠熱水流安全分析暨管制法規技術精進研究-微生物腐蝕對於除役過渡階段的核電廠系統與組件安全維護的影響，110B012，中華民國 110 年 12 月。
- [2] ASTM, “Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens,” G1-03(2017)e1.
- [3] M. Momeni et al.,” Tuning DOS measuring parameters based on double-loop EPR in H₂SO₄ containing KSCN by Taguchi method,” Corrosion Science 52 (2010) 2653–2660.
- [4]曾永信等人，“111 年核電廠熱水流安全分析暨管制法規技術精進研究-微生物腐蝕對於除役過渡階段的核電廠系統與組件安全維護的影響，110B008，中華民國 111 年 12 月。

國家原子能科技研究院
委託研究計畫研究報告

**112 年核電廠熱水流安全分析暨管制法規技術精進研究-核能電廠除役
期間臨時火源之火災危害分析與安全管制要項研究報告**

**2023 Thermal-Hydraulic Safety Analysis and Regulation Technical
Improvement for Nuclear Power Plant - Study for the Transient Fire
Hazard Assessment and Management during Decommissioning of a
Nuclear Power Plant**

計畫編號：112B010

受委託機關(構)：國立清華大學

計畫主持人：曾永信

研究期程：中華民國 112 年 05 月至 112 年 12 月

研究經費：新臺幣 2,462,500 元

國原院聯絡人員：黃智麟

報告日期：112 年 12 月 05 日

(本報告內容純係作者個人之觀點，不應引申為本機關之意見)

目 錄

(核能電廠除役期間防火視察與火災危害之管制要項研究)

目 錄.....	I
中文摘要.....	1
Abstract.....	2
壹、計畫緣起與目的.....	4
貳、研究方法與過程.....	6
一、文獻蒐集與研讀.....	6
二、核電廠除役期間重要廠房(防火區)之臨時可燃物火災危害分析.....	46
三、核電廠除役期間防火計畫相關程序書之檢視與探討.....	62
參、主要發現與結論.....	84
一、主要發現.....	84
二、結論與建議.....	87
肆、參考文獻.....	89
附件一 工作內容與本報告章節之對應表	
附錄 A 美國核電廠除役期間視察報告彙整表	
附錄 B 核一、二廠防火計畫相關程序書與 RG 1.191 Rev.1 之比較	
附錄 C 美國 NRC 風險告知相關之視察程序書研析概要	

圖目錄

圖 2-1. 核一廠反應器廠房三樓防火區配置示意圖(95 呎).....	52
圖 2-2. 核一廠反應器廠房二樓防火區配置示意圖(67.33 呎)	53
圖 2-3. 核一廠反應器廠房四樓防火區配置示意圖(110 呎).....	54
圖 2-4. 影響區(Zon of Influence, ZOI)示意圖	55
圖 2-5. 核一廠反應器廠房三樓防火區 2P 之 CFAST 分析圖.....	56
圖 2-6. 核二廠燃料廠房一樓防火區 261A 位置圖((-)40 呎).....	57
圖 2-7. 核二廠反應器輔助廠房二樓防火區 42C-W 位置圖((-)40 呎)	58
圖 2-8. 核二廠廢料廠房二樓防火區 218B 位置圖.....	59
圖 2-9a. 核二廠燃料廠房一樓防火區 261A 之 CFAST 分析圖(前視)	60
圖 2-9b. 核二廠燃料廠房一樓防火區 261A 之 CFAST 分析圖(旋轉 90° 俯視)	60
圖 2-10. 核二廠廢料廠房二樓防火區 218B 之 CFAST 分析圖(俯視)	61

表目錄

表 2-1. Zion 電廠除役期間視察報告摘要結果(5 之 1).....	32
表 2-2. SONGS 除役期間視察報告摘要結果(6 之 1).....	37
表 2-3. La Crosse 電廠除役期間視察報告摘要結果(2 之 1).....	44
表 2-4. 核一廠防火計畫相關程序書除役期間之建議或注意事項 (7 之 1).....	66
表 2-5. 核二廠防火計畫相關程序書除役期間之建議或注意事項 (10 之 1).....	73

中文摘要

核電廠除役期間的主要防火考量為保護用過燃料池中之燃料的完整性，並防止或盡可能降低因火災而導致的放射性物質外釋。本計畫研析 IP 64704 及美國除役電廠之視察報告，了解 NRC 之視察要求、做法，作為管制單位之參考與借鏡。檢視核一、二廠防火計畫相關程序書並 RG 1.191 Rev.1 監管內容比較後，提出不同除役階段之建議或注意事項。

本計畫之主要結論為：(1) 由美國核電廠除役期間之視察報告之火災相關違規事項可知，需注意不同作業間之介面聯繫以及作業期間之督導或監視。(2) 核一、二廠重要廠房/防火區除役期間之臨時可燃物火災危害分析結果顯示，依據程序書與電廠配置圖，用過燃料池冷卻水泵以及其 MCC 或 L.C.所在之防火區皆不適合堆置臨時可燃物；未來因應「建置用過燃料池島區」與「低放射性廢棄物處理區」，相關廠房、防火區應進行詳細之除役期間火災危害分析。(3) 完成核一、二廠火災防護計畫相關程序書之檢視並與 RG 1.191 Rev.1 比對後，提出不同除役階段之管制建議或注意事項。

Abstract

The main fire protection concern for decommissioning nuclear power plants is protecting the integrity of the remaining spent fuel in spent fuel pool and preventing or minimizing the release of radioactive materials resulting from fires. In this study, the procedures related to the fire protection program for Chinshan and Kuosheng nuclear power plants (NPPs) were reviewed. After comparing with the contents of RG 1.191 Revision 1, recommendations and/or precautions for various decommissioning stages were proposed. Additionally, we study Inspection Procedure 64704 and the inspection reports of decommissioned power plants in the United States to understand the NRC's inspection requirements and practices as a reference for the domestic regulatory agencies.

The main conclusions of this study are: (1) It can be seen from the fire-related violations in inspection reports of selected U.S. NPPs that attention needs to be paid to the interface between different activities which related to each other and the supervision or monitoring during activity. (2) The results of the fire hazard analysis of transient combustibles during decommissioning for the important builds (or fire areas) of Chinshan and Kuosheng NPPs show that, according to the procedures and drawings, the fire areas that contain important equipments of spent fuel cooling (i.e., cooling pump) should avoid to store transient combustible materials. In the future, the fire hazard analysis should be reconducted in response to the "built-up spent fuel pool island" and the "low-level radioactive waste treatment area". (3) After accomplishing the review of the procedures related to the fire protection program of Chinshan and Kuosheng NPPs and comparing with RG 1.191 Revision 1, recommendations or

precautions are raised to the domestic regulatory agency.

壹、計畫緣起與目的

本年度(112年)計畫為延續去年之相關工作，今年之研究主題為「核能電廠除役期間防火視察與火災危害之管制要項研究」，主要工作為包括(1) 研析美國核能電廠反應器永久停機後(即除役期間)之火災視察相關程序書與視察報告；(2) 評估核一、二廠重要防火區臨時可燃物火災危害，及檢視核一、二廠火災防護計畫相關程序書並與 RG 1.191 Rev.1^[1] 進行比對。

核一廠與核二廠兩部機組均已進入除役過渡階段前期，雖然核一、二廠之用過燃料池皆有空間不足，以致永久停機後無法將反應爐內之用過核子燃料全數移出至用過燃料池，但若其乾式貯存場可正常運作後，則反應器內之用過核子燃料即可移出至用過燃料池；如此，電廠除役狀態也將符合 RG 1.191 Rev.1 之定義，即反應爐永久停機且用過核子燃料全數移出反應爐。

RG 1.191 Rev.1 對於核能電廠除役期間之火災防護計畫(以下簡稱防火計畫)並非直接沿用運轉期間的防火計畫，而是要求依據除役期間電廠的實際情況，建立適合的防火計畫。但是，允許以運轉期間之相關程序書、防火評估報告作為基礎，經適當之評估、修訂後成為除役期間之防火計畫。本研究團隊去年度已完成核三廠除役期間防火計畫相關程序書之評估，今年度則檢視與探討核一、二廠除役期間防火計畫相關程序書(以電廠狀態符合 RG 1.191 Rev.1 定義之條件)，並與 RG 1.191 Rev.1 監管內容比對後，提出建議或注意事項。

除役防火計畫主要為防止因火災而導致放射性物質外釋。美國 NRC 視察手冊視察程序書 64704 「永久停機反應器火災防護計畫」(Inspection Procedure 64704 “Fire Protection Program At Permanently

Shutdown Reactors”^[2])(2021 年 01 月 01 日生效)說明視察目的、視察要求、及視察導則(包括一般導則與特定導則)等。了解 NRC 之視察要求、視察導則，並蒐集美國除役電廠之視察報告，將有助於精進核安管制技術。

本研究除檢視核一、二廠火災防護計畫相關程序書外，也進行重要廠房(或防火區)臨時可燃物之火災危害分析，了解臨時可燃物對重要廠房(防火區)之潛在火災危害，並提出核安管制建議或注意事項。

透過此計畫之研究成果，瞭解電廠除役作業潛在之火災危害風險，支援管制單位精進核安管制技術，及核安管制品質。

本報告第貳章第一節為文獻蒐集與研讀，說明蒐集之文獻，研析 NRC 視察程序書 64704，並重點摘述美國 Zion、San Onofre、及 La Crosse 核電廠除役期間視察報告之違規事項，做為我國核電廠除役期間安全管制之借鏡；第貳章第二節為核一、二廠除役期間重要廠房(防火區)之臨時可燃物火災危害評估；第貳章第三節為檢視核一、二廠防火計畫相關程序書，並與 RG 1.191 Rev.1 比對後提出建議或注意事項；第參章為主要發現與結論。

貳、研究方法與過程

一、文獻蒐集與研讀

本研究主要蒐集美國核能電廠除役期間火災視察相關文獻，包括 Inspection Procedure 64704 (以下簡稱 IP 64704)、Zion、San Onofre、及 La Crosse 核電廠除役期間之視察報告等。IP 64704 與美國核電廠視察報告之摘要內容說明如下：

(一) NRC Inspection Manual Inspection Procedure 64704 “Fire Protection Program At Permanently Shutdown Reactors” [2]

2021 年 01 月由美國 NRC 發布之視察程序書，說明核電廠除役(永久停機反應器)之防火計畫，包括「視察目標(Inspection Objectives)」、「視察要求(Inspection Requirements)」、「視察指引(Inspection Guidance)」、「資源估算(Resource Estimate)」、及「完成狀態(Completion Status)」等 5 章節。

1. 64704-01 節--視察目標

包括以下項：

- (1) 評估持照業者是否有一個有效的除役防火計畫，確認該計畫得到維護和實施，以解決可能導致放射性物質外釋或擴散的火災。
- (2) 確保除役防火計畫能保護用過核子燃料的完整性，防止或盡可能降低因火災而導致放射性物質從用過燃料池或其他受污染區外釋。
- (3) 確保在用過燃料池中沒有用過核子燃料的情況下，除役防火計畫仍具充分的保護，防止因火災而導致放射性物質從受污染的電廠區域或可燃廢棄物中外釋。

2. 64704-02 節--視察要求

細分為 5 個小節，包括除役防火計畫、消防系統與設備、可燃材料和火源的控制、組織、問題識別與解決，說明如下。

(1) 除役防火計畫

A. 選擇 2 ~ 4 個防火區並查核是否滿足 NRC 要求，包括電廠除役技術規範 (plant defueled technical specifications, PDTS)、停機後除役作業報告 (post-shutdown decommissioning activities report, PSDAR)、除役火災危害分析、消防隊人員配置、消防計劃和滅火程序書。這應包括現場巡訪(walkdown)防火區以驗證現場實際狀態(如電廠組態及實體防火功能)與電廠之文件記錄一致。

B. 根據 10 CFR 50.48(f)(3)考慮電廠條件和除役作業，審查消防計劃的變更(例如，消防隊的變更、消防系統的停用、拆除等)，以確保這些變更不會降低消防設施防止放射性物質外釋的效力。

C. 審查持照業者根據 10 CFR 50.48(f)(2)所進行的防火評估。

(2) 消防系統與設備

A. 選擇 1~3 個已安裝的火災偵測和滅火系統，查核確認該系統獲有效的維護、測試，並且能夠執行其設計功能。驗證認可的廠外應變設備(例如，消防軟管連接、供水壓力等)與電廠設備相容。

B. 選擇 1~3 個防火屏障(fire barrier)組件並驗證它們獲

得有效的維護、測試並且能夠執行其設計功能。

C. 選擇 1~3 存儲區域，並驗證消防隊人員防護設備和手動消防設備是否得到適當的清點、檢查、測試和維護，以確保在發生火災時能夠正常運作。

(3) 可燃物和火源的控制

選擇 2 ~ 4 個防火區，並驗證行政管制是否到位，以盡可能降低火災發生的方式，使用和儲存可燃物質。驗證動火(如焊接、切割、打磨、電焊或相關產生火焰或火花的操作)是否依程序書管制，且已經建立並實施對應的防火監視。

(4) 組織

驗證現場消防隊人員和當地廠外消防部門應變人員的人員配備和訓練是否符合消防計劃和緊急應變要求。

(5) 問題識別和解決

驗證持照業者是否在適當的閾值(threshold)下識別與消防計劃相關的問題，並將其放入矯正措施計劃(Corrective Action Program, CAP)。如果適用，對於矯正措施計劃中記錄的議題，驗證持照業者是否已確定並實施適當的矯正措施。

3. 64704-03 節--視察指引

分為一般指引(General Guidance)與特定指引(Specific Guidance)。

(1) 一般指引

通常，有兩種類型的消防許可：定論式和風險告知績效基準，這兩者都包含在本視查程序書中。定論式防火適用於符合 10 CFR 50.48(a)和 10 CFR 50.48 (b)的電廠。風險告知績效基準的消防適用於已轉換到美國國家消防協會(NFPA)標準 805 2001 年版「輕水反應堆發電廠基於性能的消防標準」；通過 10 CFR 50.48 (c)視察員應審查電廠火災危害分析，以確定電廠為定論式或風險告知績效基準式。

這個視察程序書的主要目標是驗證持照業者確實維護一個除役防火計畫，以解決可能導致放射性物質釋放或擴散的火災危害。永久停機(除役期間)電廠的主要防火考量是保護用過核子燃料的完整性，並防止或最大限度地減少因火災而導致的放射性物質的釋放。

監管指引 1.191 Rev.1，「核電廠除役期間的防火計畫」提供了 NRC 委員可接受的方法，用於遵守 NRC 的消防計劃規定，這些持照業者已證明其電廠已永久停止運轉且燃料已經從反應爐中移除。視察員應根據此監管指引審查持照業者的防火計畫。

如果可以，視察員應在到達現場之前獲取並審查持照業者的防火計畫、除役火災危害分析和相關程序書。視察員還應審查過去 NRC 在消防領域的視察報告，以確定先前審查的範圍和記錄。

視察員不一定需要完成視察程序書中列出的所有檢查要求，如果發現任何額外的安全問題，視察員也不

僅限於列出的檢查要求；但是，應該滿足視察的目標。由於除役策略和時間表的差異，視察範圍未必能夠全面，具體取決於電廠條件和配置。除役作業可能會因以下機制而增加電廠的火災危害，這些機制包括但不限於「增加動火作業」、「增加可燃物負荷」、「安裝臨時結構以支援電廠除役或拆除」，以及「停用或移除電廠系統」。除了電廠的實體變化外，持照業者的組織結構和職責，預計在除役期間也會有所不同，人員配置水平預期將大大低於電廠運轉期間。建議視察員使用風險告知績效基準的方法選擇查核項目，同時也要考慮多樣性。

(2) 特定指引

A. 防火計畫

- a. 除役火災危害分析(defueled fire hazards analysis)
提供了對設施火災危害、危害之相關防火能力，以及保護用過核子燃料和其他放射性物質免受潛在火災導致放射性物質外釋的綜合評估。持照業者應視情況重新評估和修訂除役火災危害分析，以反映與除役相關的消防問題和策略。火災危害通常依防火區來識別。視察員應參照火災危害分析和防火計畫，在完成電廠巡查時驗證防火區的實體布置、組態和條件是否與除役火災危害分析所述相符。視察員應核實持照業者已提供正式建立防火計畫的組織責任和管理措施的程序書。應提供緊急程序書描述緊急應變策略，包括

減輕火災後果所需的救災措施。防火計畫之消防策略應根據火災位置和有關的危害來予以應對。廠內消防隊和當地廠外應變人員的火災應變領導和指揮結構的協調應在程序書中加以說明。

- b. 持照業者可以在未獲得 NRC 事先核准的情況下變更防火計畫，前提是該變更不會降低防火設施的有效性，且同時考慮到除役電廠的條件和作業。視察員應審查防火計畫的變更，以驗證這些變更不會降低防火計畫的有效性。
- c. 運轉中電廠的消防計劃提供電廠火災危害、管理控制、實體防護功能和緊急應變能力的基礎。這些要素，大多都可作為除役期間電廠防火計畫的參考。預期防火計畫將在除役的各個階段有所不同。最初，當用過核子燃料從反應爐中取出並儲存在用過燃料池時，宜制定和維護全面的除役消防計劃，以確保可能影響用過核子燃料或其他放射性物質的火災危害降至最低。隨著除役的進行和用過核子燃料被轉移到獨立的用過核子燃料貯存設施或永久性處置場，電廠的防火要求將根據放射性危害的減少而降低。然而，即使在用過燃料池中沒有用過核子燃料的情況下，也應維持防火計畫，以避免或盡可能降低因火災引起的放射性物質從受污染的電廠區域和可燃廢棄物中外釋。視察員應確認持照業者的防火計畫至少每

年重新評估一次，並根據需要進行修訂，以反映除役各個階段的設施狀況。[10 CFR 50.48(f)(2)]。

B. 消防系統與設備

此視察要求的目的為驗證是否提供了檢查、測試和維護計畫，以驗證消防系統的功能和可操作性。防火功能包括防火屏障組件和防火屏障穿越密封件 (penetration seal) 等被動防火設施。主動消防系統包括火災報警系統 (偵測)、滅火系統 (自動和手動)、消防供水系統。持照業者的檢查、測試和維護計畫應基於供應商的建議，以及行業規範和標準，例如 NFPA 發布的標準。持照業者應有檢查、測試和維護消防系統和設備的程序書。對已安裝的消防系統和設施進行檢查、測試和維護的人員應接受相關訓練，並具資格從事所負責的系統類型。

a. 消防偵測系統

除役期間，火災危害和相關的火災偵測和警報要求將發生顯著變化。從保護安全停機所需的安全相關設備，變為防止放射性物質外釋或擴散的變化，可能需要重新評估火災偵測和警報系統設計，以確保充分解決除役的火災危害。火災警報和監控信號應設置在有人值班的場所。火災警報系統應具有火警信號以告知電廠人員發生火災。火災報警系統應符合以下標準：

- i. 自動消防系統啟動/運轉前，應發出警報。
- ii. 視情況而定，可使用煙霧式、感熱式或火焰偵測器的偵測系統，以確保火災能夠被及早偵測。

視察員應驗證火災報警系統得到有效的維護與測試，並且能夠執行其預期功能。

b. 滅火系統

電廠進入除役階段時存在的自動滅火系統應根據火災危害分析維持運作；這些系統需能夠保護避難疏散路線，以便在發生火災時疏散電廠人員。在使用或儲存易燃或可燃物的地方，應提供自動滅火系統。新建造或臨時結構以支援除役應視需要，並考量放射性危害來安裝自動滅火系統。除役作業期間對廠區自動滅火系統的需求可能會發生變化，這取決於在一個區域中執行的作業類型、可燃物的增加，或放射性材料和污染物的移除等。持照業者應檢查廠區是否存在可能影響自動滅火系統需求的變更條件。視察員應驗證自動滅火系統的安裝、測試和維護是否符合 NFPA 規定，並且能夠有效地控制及/或撲滅相關的火災。視察員應根據 NFPA 法規驗證手動滅火系統是否可用、經過測試和維護，並且可以有效地控制及/或撲滅相關的火災。廠房內應配備手動滅火系統，做為自動滅火系統之後備，並為未受自動系統保

護的區域提供滅火能力。除役作業可能會改變電廠配置和火災危害，或可能需要新建臨時結構，並可能需要在，如拆除或改造設施時，放棄或拆除自動滅火系統。必須根據除役火災危害分析提供或維持足夠的手動滅火能力，以確保防止火災引起的放射性物質外釋。視察員應考慮審查以下手動滅火系統的能力：

- i. 應維護立管(Standpipe)和軟管(hose)系統，以提供手動滅火能力。
- ii. 應維護外部消防栓(outside hydrants)和軟管室(hose houses)，以支援對內部火災的手動滅火，並保護「含有放射性物質」、「含有防止或減少放射性物質外釋所需之 SSCs 的區域」免受外部火災的威脅。
- iii. 如果使用可攜式軟管組，訓練和演習時應與其實際使用相一致。
- iv. 如果廠外消防應變設備被認為可以手動滅火，則其設備應與電廠供水系統相容(例如，水壓要求、連接相容性)。

視察員應根據 NFPA 法規驗證手動滅火系統是否可用、經過測試和維護，並且可以有效地控制及/或撲滅相關的火災。視察員應核實消防水帶站已安裝在指定位置；軟管和軟管站的狀態符合要求(例如，軟管沒有腐蝕、孔洞或擦傷；噴嘴沒

有機械損壞和阻塞；閘門手輪就位)；進入軟管站暢通無阻，測試記錄表明在正常週期內進行測試(如果適用)。此外，視察員應驗證消防水帶是否能夠到達所有必要的火災位置。

c. 消防水供應

除役期間，廠房消防供水系統應進行維護，系統應能提供自動滅火系統和手動滅火所需的最大流量。決定供水是否充足時，應考慮以下因素：

- i. 供水源的可靠性，根據 RG 1.191 Rev.1 C.4.3.1 節提供至少 2 小時的最大流量需求；
- ii. 水槽或其他水源、水泵、消防栓和供水系統的可用性；
- iii. 供水點有足夠的流量和壓力，以滿足自動或手動滅火或兩者兼具的水量需求；和
- iv. 供水來源和供水系統的能力。如果供水系統包含生活、製程和消防系統，該系統應能供應最大的日消耗量或尖峰小時流量(以較高者為準)，加上所需的最大消防流量。

除役作業可能導致部系統的隔離、移除或廢棄。視察員應審查任何系統變更，以確保電廠剩餘的區域(包括含有放射性物質的區域、及減少放射性物質外釋所必需的系統等)具有足夠的流量和覆蓋範圍。視察員應審查除役火災危害分析，以確認持照業者提供之消防水符合規定。如果持

照業者正在使用消防泵，視察員應驗證水泵之操作性以及是否滿足流量和壓力需求。視察員應核實消防栓狀態(例如，機械損壞和腐蝕等物質狀況)，以確保在火災緊急情況下維持可用。有些電廠將消防水用於消防以外的用途(例如，利用消防水泵供水至用過燃料池、某些安全事件的補水)，視察員應驗證任何非滅火使用下，不會影響其滅火設計之要求能力。

d. 防火屏障

設立防火區是為了防止或限制火災從一個區域擴散至另一個區域，保護人員，並侷限火災後果。根據火災危害分析，可以重新設定防火區，以解決除役過程中的獨特危險性和保護需求。防火區的設定應基於對以下危害因素的考慮：(1)特定區域的火災可能導致不可接受的放射性物質外釋、(2)使用手動滅火的方式其有效遏制、撲滅和控制火災的能力；(3)以及人員安全撤離電廠的能力。

防火區應該由具防火等級的屏障來分隔。防火屏障的耐火等級應與每個防火區的潛在火災嚴重程度相稱。防火屏障的構成為牆壁、天花板和地板，以及梁、托梁和柱等結構支撐。防火屏障上的開口應通過安裝防火風門、防火門、防火窗、防火等級的穿越密封和特殊的地板排水來密封。

防火屏障的元件和穿越密封應該通過測試。火災危害分析應確認防火屏障中任何未受保護的開口，並說明理由。視察員應審查防火屏障是否得到有效維護，是否能夠發揮其預期功能。在視察期間，視察員應目視檢查相關的防火屏障，以確保它們處於良好的狀態並確保功能正常。視察員應審查已選定防火門、防火風門和防火屏障穿透密封件，以確保它們得到適當的檢查和維護。

e. 防火設備

消防隊的人員防護設備，包括消防員裝備和自給式呼吸器，應定期清點、檢查、測試和維護，以確保性能正常。視察員應核實持照業者是否根據其消防計劃維護相關防護設備。手動消防設備，包括可攜式和輪式滅火器、消防水龍帶、噴嘴、工具、配件、便攜式照明設備以及通訊和通風設備，應定期清點、檢查、測試和維護，以確保在發生火災時能夠正常運作。視察員應確定消防設備和消防站是否得到適當維護、清點並準備好使用。視察員應驗證手提式滅火器之性能是否符合規定(例如，沒有腐蝕，壓力表讀數在可接受範圍內，測試記錄顯示在正常週期內進行測試)。電廠設備或其他與作業相關的活動應暢通無阻地使用滅火器。視察員應驗證消防水帶是否安裝在指定位置，水帶和水帶站的性能是否符合規定(例如，

水帶上沒有孔洞或擦傷，噴嘴正常沒有阻塞等)。
視察員應驗證在除役作業期間若改變電廠配置則
應考慮執行恢復操作所需的緊急照明和進出路
線。

(註：因視察程序書為遵照 RG 1.191 Rev.1 之監管
原則，故以上方框內之翻譯內容可能與 RG 1.191
Rev.1 之內容相似。)

C. 可燃物與火源控制

應以盡量降低火災發生的方式使用、儲存和處
置易燃材料，包括易燃和可燃液體、壓縮氣體、電
纜、建築材料和垃圾。應盡可能降低與除役作業有
關的臨時可燃物火災危害，並應在作業結束後迅速
移除可燃物。視察員應評估持照業者是否按照其行
政程序管制和儲存臨時可燃物，確保持照業者已將
臨時可燃物(例如，氣溶膠、可燃/易燃物質)儲存在
經核准的容器中，並按照電廠程序書規定的數量儲
存。

視察員應評估持照業者是否按照其防火計畫進
行動火作業(例如，切割、焊接和打磨)。應根據持照
業者的程序書，告知負責動火作業的人員他們的具
體職責和責任。專職消防值班人員不應從事任何其
他活動，並且在動火作業完成後應至少留守30分鐘。
視察員應核實消防值班人員是否接受過滅火器使用
方面的訓練。

在訪查期間，視察員應確認電廠是否保持良好的廠務管理規範，尤其要注意含有放射性物質或受污染的放射性廢棄物和設備的區域。應實施一般廠務管理措施，以清除垃圾和雜物，盡量減少可燃物，並確保整個電廠的疏散通道暢通無阻。視察員應確認臨時可燃物沒有位於火源、加壓電纜，或電氣設備(例如電氣櫃、開關設備、電機控制中心和變壓器)附近。

D. 組織

除役消防計畫應明確訂定管理和實施消防計畫的組織責任，並應確認持照業者之承包商的防火責任。負責實施防火計畫的組織應包括在核安全和消防工程方面均為合格(具有足夠資格)的人員，他們將確保防火計畫的實施符合適用的行業規範、標準、NRC 法規和指引。

視察員應審查持照業者的訓練計劃，以確保持照業者的員工、承包商和緊急應變人員具備必要的知識和技能，以正確執行其在防火計畫中的職責。電廠人員和承包商應被告知通報火災、應變火災警報、預防火災、定位和使用滅火器的正確程序，以及初期滅火的危險。被分配手動滅火職責(使用滅火器和水帶)的電廠人員應接受與其職責相稱的訓練。消防隊成員和廠外緊急應變人員應接受相關「設施配置」、「火災危害」、「火災預防」、「消防設備」、「輻

射危害」以及「與消防作業相關之保健物理學」的訓練。如果當地廠外消防部門被用作主要或支援應變者，應提供有關放射性危害和電廠現場配置的特定訓練。

電廠消防隊演習時當地消防部門應定期參與。這些演習應有效地訓練電廠消防隊和當地廠外應變人員之間的火災事件指揮結構。應結合 10 CFR 50.47 「緊急應變計劃」要求的輻射緊急應變計劃的必要演練，定期測試廠外消防部門的應變能力。視察員應驗證消防隊隊長是否可隨時使用任何鎖著的門的鑰匙。

每年，視察員應核實持照業者是否定期進行消防演習，以確認消防隊人員和當地廠外應變人員的準備情況和能力。電廠訓練計劃應以書面形式描述，視察員應審查電廠消防隊訓練的書面記錄。視察員應核實持照業者已和廠外消防部門之間建立書面互助協議，該協議記入防火計畫並列入除役緊急計畫中。如果使用廠外應變人員，視察員應驗證持照業者是否定期向廠外應變人員提供訓練，並定期邀請廠外應變人員參加現場演練。視察員應核實廠外應變人員進入現場區域的流程，以驗證他們的應變不會被延遲。

E. 問題識別與解決

參考視察程序書 71152 「問題識別和解決」、及

視察程序書 40801「永久停機反應器的問題識別和解決」。

4. 64704-04 節—資源估算

對於所有除役視察，其執行頻率、所需工作量以及評估和驗證的具體視察要求會依據設施除役階段、持照業者的作業範圍及整體除役策略(即 SAFSTOR 或 DECON)而有所不同。IMC (Inspection Manual Chapter) 2561 包含對除役每個階段的預期檢查頻率和資源估算的討論，在規劃執行此視察所需的資源時應該使用。

5. 64704-05 節—完成狀態

視察結果、未解決項目、追蹤項目和結論應根據視察手冊第 0610 章或總部指示進行記錄。因注改(allegation)而進行的檢查將按照管理指令(Management Directive) 8.8 的規定進行記錄和處理。

(二) 美國除役核能電廠火災視察報告蒐集與研析

資料蒐集方法為透過以下兩個美國 NRC 網站網址(1) <https://www.nrc.gov/site-help/search.html?site=InspectReport>、(2) ADAMS 資料庫 <http://adams.nrc.gov/wba/>。以 Zion 電廠為例，由上述第(1)項網站，輸入關鍵字“decommissioning + Zion”，共蒐集 72 筆視察報告，其中有 25 筆(2000 至 2023 年)為火災相關；由第(2)項之資料庫，則依其蒐尋規則輸入蒐集時間(2000 至 2023 年)，亦可取得相同之視察報告。除 Zion 電廠外，本計畫也蒐集 San Onofre 及 La Crosse，共 3 座電廠之視察報告，其中 La Crosse 為 BWR。

對於上述美國核電廠除役期間之視察報告之研析結果彙整如表 2-1~表 2-3，內容包括「視察報告日期」、「ML 編號」、「針對火災」之視察結果、「除火災之外」之視察結果、以及「視察結果摘述」。「針對火災」之視察結果若有違規事項，則於以下各小節詳細說明其違規原因；對於「除火災之外」之視察結果其違規原因與電廠除役作業安全相關者，同樣於以下各小節詳細說明，若與輻射、核子保安相關(如放射性物料、輻射監測、核子保安等)，則僅摘要如表 2-1~表 2-3 最後一欄「視察結果摘述」。為利於閱讀，表 2-1~表 2-3 僅表列發現有違規事項之視察報告，完整視察報告詳見附錄 A 美國核電廠除役期間視察報告彙整表。

Zion、San Onofre 及 La Crosse 電廠之除役期間視察報告研析結果如以下各節所述。

1. Zion 電廠

Zion 電廠 1998 年永久停止運轉，2000 年提送 PSDAR。共蒐集 72 份視察報告，研析結果火災相關之違規事件僅 1 件，詳細說明如下；另外，火災以外的則有 12 件，其中 1 件違規與用過核子燃料護箱焊接時的氫氣監測有關，判定為與火災危害有關，故同樣詳細說明，其餘違規事項之摘要內容如表 2-1 所示。

(1) 未確實執行程序書 ZAP 900-03 管理臨時可燃物

2013 年 3 月 14 日之視察報告(文件編號 ML13077A139)，發現電廠未確實執行程序書 ZAP 900-03 管理臨時可燃物。視察員現場查訪時在用過燃料島(Spent

Fuel Nuclear Island, SFNI)區之匯流排 1 和匯流排 2 的電氣櫃之間的兩個備用斷路器頂部，發現了一塊膠合板 (plywood)(呈矩形，尺寸約為 2 英尺寬 × 3 英尺長 × 1 英寸厚)，這違反了程序書 ZAP 900-03。

程序書 ZAP 900-03 「臨時可燃物火災荷載的防火 (Fire Prevention for Transient Fire Loads)」，修訂版 4，實施了臨時可燃物的防火計畫。程序 ZAP 900-03 步驟 F.3 規定，電廠維護和操作作業所需使用的木材和其他可燃材料的位置，應盡量降低對關鍵設備之潛在火災危險。視察員發現膠合板距離 SFNI 匯流排 1 和 2 的開關設備不到一英尺。因此，兩匯流排的開關設備都位於膠合板的潛在火災的影響範圍內。程序 ZAP 900-03 的步驟 F.5 規定，對於電廠內的工作區域，因作業活動產生的剩餘可燃材料(例如廢料、未使用的材料等)必須在作業完成後，或在輪班結束時清除，以先到者為準。視察員指出，當時該地區沒有任何作業正在進行。

考量現場沒有發現有明火存在，且此項缺失電廠已納入矯正措施計畫，因此，視察員根據 NRC 執法政策 (Enforcement Policy)判定此缺失為非正式提出之違規事件(non-cited violation, NCV)。

(2) 未遵照程序書 ZS-FT-402 執行 TSCDF-30 焊接作業

2014 年 11 月 10 日之視察報告(文件編號 ML14316A214)，發現電廠未確實依程序書 ZS-FT-402 執行焊接作業。

2014年7月27日，參與燃料轉移護箱(fuel transfer cask)操作的工作人員未能遵守程序書，以確保在TSCDF-30焊接作業期間正確控制和監測氫氣濃度。具體來說，電廠工作人員未能遵循程序書ZS-FT-402「移動式儲存罐(Transportable Storage Container, TSC)封閉操作」修訂版15，以確保在焊接作業期間保持氫氣濃度。

NAC MAGNASTOR 最終安全分析報告第5版第9.1.1節「裝載和封閉TSC」要求操作人員確保在焊接作業期間TSC內的氫氣含量保持在2.4%以下，以防止氫氣燃燒。根據FSAR規定「在進行封閉蓋焊接作業之前，對封閉蓋下方空間的氣體進行採樣，並觀察氫氣檢測器的氫氣濃度。監測TSC中的氫氣濃度，直到封閉蓋與外殼的焊接完成為止。」

2014年7月27日，TSC已裝載用過核子燃料，蓋上密封蓋，並將TSC放置在淨化坑內，準備進行焊接作業。工作人員依程序書ZS-FT-402，啟動了TSC的氫氣清除(argon purge)，以排出TSC中的氫氣，並啟動了對TSC內氫氣含量的監測。程序書ZS-FT-402第5.1.4節規定「在TSC密封蓋與外殼焊接之前及焊接期間需要進行氫監測，避免氫在TSC內積聚。」該程序書進一步指示「依以下方式執行氫氣清除(purge)，每15分鐘記錄一次氫氣和氧氣測量值。」

在啟動氫氣清除和氫氣監測後，工作人員開始焊接作業，但焊接系統未能啟動。工作人員試圖排除該問題，

但沒有成功。在等待系統修復期間，工作人員停止氫氣清除並終止氫氣的監測。維修完成後，工作人員重新開始焊接操作，然而，卻未通知負責氫氣清除和氫氣監測的人員。結果，工作人員在沒有重新啟動氫氣清除和氫氣監測的情況下開始進行焊接。焊接作業進行約 41 分鐘後，負責氫氣監測和氫氣清除的人員意識到焊接已重新開始，於是恢復了氫氣清除和氫氣監測。重新執行氫氣監測後，確認氫氣含量未超標，並且從未發生燃燒。

視察員判定，在 2014 年 7 月 27 日焊接 TSCDF-30 期間，電廠未能遵照 10 CFR 72.150, “Instructions, Procedures, and Drawings,” 規定確保氫濃度得到正確監測和維持，這是一種屬於合理可預見和可矯正範圍內的情況，並且應該被預防。如果未能正確監測和維持氫氣濃度，可能會損壞移動式儲存罐 TSC 和容器內的用過核子燃料。視察員根據 NRC 執法政策判定此次事件為非正式提出之違規事件。

2. San Onofre 電廠

2013 年 6 月 7 日，南加州愛迪生公司(Southern California Edison, SCE)宣佈 San Onofre Nuclear Generating Station (SONGS)的 2 號和 3 號機組將永久除役。2013 年 6 月 12 日，SCE 向 NRC 提交了一份永久停止運轉的證明信函，說明 2 號和 3 號機組已永久停止運轉。2013 年 6 月 28 日和 7 月 22 日，SCE 分別證明 3 號和 2 號機組反應爐已永久移除所有核子燃料。2013 年 9 月 3 日，NRC 通知 SCE 開始實施除役檢

查計畫(已停止運轉中反應爐評估計畫)，自 2013 年 7 月 23 日起生效。

共蒐集 70 份視察報告，研析結果火災相關之違規事件有 2 件，詳細說明如下；火災以外的則有 13 件，違規事項之摘要內容如表 2-2 所示。

(1) 未依程序書 SDS-FP1-PCD-0005 執行可燃物管理

2018 年 08 月 10 日之視察報告(文件編號 ML18219B607)，發現電廠未確實依程序書 SDS-FP1-PCD-0005，修訂版 3，第 4.1.1.B 節要求執行可燃物管制作業。

依程序書 SDS-FP1-PCD-0005，修訂版 3，第 4.1.1.B 節要求，「可燃材料，包括但不限於廢棄物、碎片、廢料或包裝材料，應在以下情況下從堆放區域清除：工作完成時或輪班結束時，以先到者為準」；第 4.1.1.D 節要求，「可燃材料不得存放在電纜托網下、垂直電纜托網附近或放置在通電設備旁邊」。

視察員查核電廠程序書的執行情況時，在 3 號機電纜穿越室(penetration room)發現可燃物質放置在通電電纜托網下方的未通電電纜托網上，判定電廠未確實執行管制可燃性和臨時可燃物火載量程序書，此亦違反技術規範第 5.5.1.1.d 節「可燃物質與電纜托網之垂直距離需大於 10 英尺(10 feet vertical separation)」之規範。

此項缺失電廠已納入矯正措施計畫，因此，視察員根據 NRC 執法政策判定此缺失為非正式提出之違規事

件。

(2) 未依程序書 SDS-FP1-PCD-0015 執行火源控制

2022 年 03 月 14 日之視察報告(文件編號 ML22068A233)，發現電廠未確實依程序書 SDS-FP1-PCD-0015，修訂版 8，第 4.1.8 節要求執行火源管制作業。

視察員進行了現場巡視，以確認電廠是否落實程序書管制。特別是，視察員查訪 2 號機和 3 號機圍阻體廠房的 63 英尺高樓層，因大部分作業活動都在那裡進行。視察員發現，電廠沒有按照程序書 SDS-FP1-PCD-0015 要求，有效控制這些區域火源周圍的可燃物。

巡察 2 號機圍阻體期間，視察員在動火作業活動的 35 英尺範圍內發現了多塊 A 類可燃物(Class “A” combustible material)，包括未做防火覆蓋的木材和一個裝有輻射防護垃圾的塑膠袋。視察員還在工作人員進行動火作業活動的鋼板正下方發現了多塊 4 英尺×4 英尺的木板。這些木板沒有用防火毯覆蓋，以防止火花引燃木板。

視察員判定電廠未能落實程序書 SDS-FP1-PCD-0015 「火源管制(Control of Ignition Sources)」修訂版 8，步驟 4.1.8，要求驗證動火作業 35 英尺內的所有 A 類可燃物已被清除，或用焊接簾、焊接毯或焊接墊等耐火物進行防火覆蓋。

此項缺失電廠已納入矯正措施計畫，因此，視察員

根據 NRC 執法政策判定此缺失為非正式提出之違規事件。

3. La Crosse 電廠

La Crosse Boiling Water Reactor (LACBWR)由 Dairyland 電力合作社(DPC)所有並運營。LACBWR 於 1987 年 4 月 30 日關閉。SAFSTOR 除役計劃(decommissioning plan, DP)於 1991 年 8 月 7 日獲得批准。PSDAR 公開會議於 1998 年 5 月 13 日舉行。DPC 設置獨立用過燃料儲存裝置(ISFSI)，並於 2012 年將用過核燃料轉移到 ISFSI。2016 年 6 月 1 日，為完成 LACBWR 的除役工作，運營許可證從 DPC 轉移至 LaCrosse Solutions。

本計畫主要蒐集視察報告共 20 份，研析結果火災相關之違規事件有 2 件，詳細說明如下 3.1 與 3.2 節；火災以外的則有 5 件，違規事項之摘要內容如表 2-3 所示。

(1) 不符合 10 CFR 72.122(c)和 10 CFR 72.212(b)(6)

2012 年 08 月 21 日之視察報告(文件編號 ML12236A129)，發現電廠進行完整之火災危害評估，不符合 10 CFR 72.122(c)和 10 CFR 72.212(b)(6)之規定。

持照業者使用重型拖車將垂直混凝土護箱(Vertical Concrete Cask, VCC)運至 ISFSI 儲存台。拖車具有大量橡膠輪胎，以支撐運輸路徑上的重物。如果在附近發生火災，這些輪胎可能對護箱造成火災危害。NAC-MPC FSAR 沒有評估這種運輸方法的潛在火災危險。藉由審查電廠的火災危害分析報告和詢問相關人員，視察員確定

電廠沒有進行這一項火災危害評估(註：電廠原以行政管制的方法，說明此火災危害可忽略，但不被 NRC 接受。隨後改以機率式評估方法，才被 NRC 接受)。由於持照業者沒有進行充分的評估故不符合 10 CFR 72.122(c)和 10 CFR 72.212(b)(6)之規定。

持照業者未能充分評估與龍捲風/飛射物；火災、爆炸和墜落危害；以及垂直混凝土護箱翻覆等相關因數對廠址的影響，以確定這些因數是符合 MPC-LACBWR FSAR 的規範，以致違反監管要求。電廠已迅速採取矯正措施，以確保符合法規並防止再次發生。此項缺失電廠已納入矯正措施計畫，因此，視察員根據 NRC 執法政策判定此缺失為非正式提出之違規事件。

(2) 不符合 CFR 50.48(f)(3)

電廠未評估取消場址的五個消防栓是否會降低防火計畫的有效性，因此違反了 CFR 50.48(f)(3)。

視察員在現場巡查時發現，LACBWR 的五個現場消防栓已終止使用，並且自 2017 年 6 月 14 日以來便無法使用。視察員認為，永久放棄現場消防栓以及永久使用廠外的 Genoa 消防隊將密西西比河作為主要水源來滅火，代表防火計畫的有效性可能會降低，而持照業者並未對此進行評估，因此違反了 CFR 50.48(f)(3)。視察員判定，該違規行為的嚴重程度超過了輕微違規，因為如果不加以糾正，一旦發生火災，該缺陷可能會導致更嚴重的安全問題。此外，該缺失還影響了 CFR 50.48(f)(1)(ii)中「消

防」的目標，即「迅速發現、控制和撲滅可能導致放射性危害的火災」。

此項缺失電廠已納入矯正措施計畫，因此，視察員根據 NRC 執法政策判定此缺失為非正式提出之違規事件。

(本頁空白)

表 2-1. Zion 電廠除役期間視察報告摘要結果(5 之 1)

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	視察結果摘述
1	2013/3/14	ML13077A139	1 個 NCV	未發現違規	視察報告發現 1 件重要度非常低的非正式提出之違規事件(non-cited violation, NCV)(其為未確實執行程序書 ZAP 900-03 管理臨時可燃物。詳細說明請參閱報告第貳、一、(二)、1.1 節。
2	2001/4/10	ML011000484	未發現火災 危害相關之 違規	1 個 NCV	1 個 NCV： 電廠在得知通往該場址的輸電線上安裝了尺寸過小的電流轉換器後，沒有依照程序書進行矯正措施。
3	2012/12/10	ML12346A156	未發現火災 危害相關之 違規	2 個 NCVs	核子保安視察，查核相關程序書、紀錄、並與電廠人員面談。發現兩個 NCVs，但因涉及核子保安，故沒有更多詳細資料。
4	2013/11/14	ML13319A628	未發現火災 危害相關之 違規	Severity Level IV violation (Notice of Violation)	該違規行為涉及未能進行適當的輻射調查，以識別 2013 年 7 月 19 日參與反應爐內部構件分割工作的人員身上是否存在離散性放射性粒子(Discrete Radioactive Particle, DRP)。反應爐內部構件分割作業會生成以下形式的 DRP：由鈷 60 組成的金屬碎片/粉末，如果沒有得到充分控制和及時識別，可能會給作業人員帶來大量的淺層劑量。如果 DRP 遷移到燃料換填池之外，輻射調查是識別它們是否存在的方法。然而，2013 年 7 月 19 日，輻射調查不足以檢測 2 號機爐穴池外存在的 DRP，包括參與分割工作的人員之皮膚上的粒子。由於電廠所採取之矯正措施尚未足以避免類似的事件再次發生，因此，該違規被認定為等級 IV 之違規舉發(Notice of Violation)。

表 2-1. Zion 電廠除役期間視察報告摘要結果(5 之 2)

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	視察結果摘述
5	2014/2/21	ML14052A359	未發現火災危害相關之違規	輻射相關之 2 個 NCVs	2 個 NCVs 都與未能遵守輻射工作許可有關，1 個為等級 IV(重要度非常低)，另一個重要度更輕微。由於電廠皆已採取適當的矯正措施，故兩者皆歸類為 NCV。
6	2014/8/18	ML14231A033	未發現火災危害相關之違規	1 個 NCV (FHB 區域輻射監測警報)	1 個 NCV： 燃料吊運廠房(Fuel Handling Building, FHB) 配備了兩個 SFP 周邊區域輻射監測器 (Area Radition Monitor, ARM)。10 CFR 50.68(b)(6) 要求在儲存燃料和相關吊運區域提供輻射監測器，以偵測過量的輻射等級並啟動適當的安全措施。安全措施包括立即將人員撤離至 FHB 指定的低劑量區域或建築物。由於 ARM 的警報無法涵蓋 FHB 全區 (包括正在進行的燃料吊運操作期間經常佔用的區域)，並且控制室運轉員可能無法及時應變，因此未達到 10 CFR 50.68 的要求。故視察員認為存在違反 10 CFR 50.68(b)(6)的事項。
7	2014/11/10	ML14316A214	未發現火災危害相關之違規	1 個 NCV (用過核子燃料護箱焊接時的氫氣監測)	1 個 NCV：(詳請參閱報告第貳、一、(二)、1.2 節) 視察員判定，在 2014 年 7 月 27 日焊接 TSCDF-30 期間，電廠未能遵照 10 CFR 72.150, “Instructions, Procedures, and Drawings,” 規定確保氫濃度得到正確監測和維持，這是一種違情況屬於合理可預見和矯正的範圍內，並且應該被預防。如果未能正確監測和維持氫氣濃度，可能會損壞移動式儲存罐 (TSC) 和容器內的用過核子燃料。

表 2-1. Zion 電廠除役期間視察報告摘要結果(5 之 3)

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	視察結果摘述
8	2015/5/8	ML15131A248	未發現火災 危害相關之 違規	1 個 NCV (與防 止工人攝入放 射性物質的控 制措施有關)	1 個 NCV： 10 CFR 20.1701/20.1702 要求持照業者使用工程控制和/或呼吸防護 具來控制空氣中放射性物質的濃度以維持總有效劑量符合 ALARA。電廠未執行輻射評估，以確定 2014 年 12 月 7 日至 10 日 在 2 號機模擬測試區域(sandbox area)進行的清理活動和切割混凝土 的影響。期間，雖然工人攝入量很小，計算劑量比監管限制的 1% 還低，但由於存在的污染程度和所進行的工作活動，工作人員面臨 輻射風險增加。 事件發生後，電廠立即未依矯正行動程序書(CAP)撰寫報告並採取 矯正措施。在與視察員討論後，才完成報告，並採取矯正措施，以 確保與工作人員更好地溝通，改善對現場活動的監督。
9	2015/8/5	ML15218A359	未發現火災 危害相關之 違規	1 個 NCV (沒有 足夠的資訊來 支持持照業者 (Offsite Dose Calculation Manual, ODCM) 的變 更)	1 個 NCV： 由於沒有足夠的資訊說明廠外劑量計算手冊(Offsite Dose Calculation Manual, ODCM)的變更。電廠刪除了十四天的時間限 制，然後允許在不需要輻射監測儀器的情況下從湖釋放槽(Lake Release Tank)進行排放。然而，電廠的技術理由僅說明了通過獲取 槽內容物的兩個獨立樣本來確認排放的有效性，而從未提供有關湖 釋放槽輻射監測儀器狀態。由於未提供足夠的資訊，因電廠未能遵 循其品保方案(Quality Assurance Project Plan, QAPP)。

表 2-1. Zion 電廠除役期間視察報告摘要結果(5 之 4)

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	視察結果摘述
10	2016/2/16	ML16047A092	未發現火災 危害相關之 違規	1 個 NCV (未能 維持從位於獨 立用過核子燃 料儲存設施的 可移動儲存罐 (Transportable Storage Canisters, TSCs) 中卸載 燃料和組件的 程序書)	<p>視察員在 NAC MAGNASTOR 合格證書(CoC) 1031、修正案 3、附錄 A 中發現了一個非正式提出之違規(NCV)，原因是未能維護 ISFSI (Independent Spent Fuel Storage Installation, ISFSI)內 TSC 卸載燃料和組件的計畫。</p> <p>做法： 視察員認定，電廠未能遵循技術規範(TS) 5.2 節之要求來維護卸載燃料計畫，屬於績效缺陷。 NAC MAGNASTOR CoC 1031 修正案 3 附錄 A 的 TS 5.2「TSC 裝載、卸載和準備計畫」規定，「應建立並維護一個計畫，以實施 FSAR 第 9 章關於將燃料和組件裝入 TSC、從 TSC 卸載燃料和組件以及準備 TSC 和混凝土護箱(Concrete Cask) 儲存的要求」。當用過燃料池不再儲存用過核子燃料時，電廠沒有符合這一要求，即維持從用過燃料池卸載燃料和組件的計畫。</p>

表 2-1. ZION 電廠除役期間視察報告摘要結果(5 之 5)

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	視察結果摘述
11	2017/2/16	ML17047A500	未發現火災 危害相關之 違規	2 個 NCV	2 個 NCVs： 1. 視察員發現未符合 10 CFR 50.72(b)(2)(xi)的 NCV，因為電廠未能在通知其它政府機構的事件發生後四小時內通知 NRC。此次為保安相關事件，電廠未能在通知保安機構後的 4 小時內通知 NRC。 2. 未符合 49 CFR 173.427(a)(6)(ii)的要求，即在專用運輸期間不得從運輸工具中洩漏任何放射性物質，因此違反了 10 CFR 71.5(a)的規定。電廠在將 1 號機蒸汽產生器運送到最終處置地點時，未能符合相關規定。
12	2017/7/18	ML17200C932	未發現火災 危害相關之 違規	1 個 NCV	1 個 NCV： 由於在 2016 年度輻射環境作業報告中未提供給 NRC 完整且準確的資料，因此違反了 10 CFR 50.9(a)「資訊的完整性和準確性」的規定，屬於等級 IV 之非正式提出之違規。
13	2023/1/27	ML23024A208	未發現火災 危害相關之 違規	1 個 NCV (視察 員發現在離散 放射性粒子方 面，存在違反 10 CFR 20.1501 (等級 IV 的 NCV)的 情況	1 個 NCV： 視察員確認，在 2021 年 4 月進行風險告知、小範圍 NRC 確認調查期間發現的離散放射性粒子(discrete radioactive particles, DRP)因違反了 10 CFR 20.1501，故為等級 IV 之違規。由於這是在持照業者提交最終狀態調查後發現的(即最終調查報告未發現存在 DRP)，如果 NRC 沒有進行確認調查，將導致 NRC 誤將土地解除管制。不過由於仍有管制措施以阻止民眾進入該地點；因此，歸類為等級 IV 非正式提出之違規。

表 2-2. SONGS 除役期間視察報告摘要結果(6 之 1)

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	視察結果摘述
1	08/10/2018	ML18219B607	1 個 NCV(電廠未能按照技術規範 5.5.1.1.d 的要求實施有關可燃材料的火災防護管制。)	N/A	1 個 NCV： 視察員確定電廠未確實執行管制可燃性和臨時可燃物火載量之程序書 SDS-FP1-PCD-0005，且違反了技術規範第 5.5.1.1.d 節。 詳請參閱報告第貳、一、(二)節第 2.1 小節。
2	03/14/2022	ML22068A233	1 個 NCV(未確實執行防火計畫)	N/A	1 個 NCV： 視察員評估電廠對程序書的實施情況，並確定電廠未能落實火源管制程序書違反程序書 SDS-FP1-PCD-001「火源控制」修訂版 8，步驟 4.1.8，要求驗證動火作業 35 英尺內的所有 A 類可燃物已被清除，或已用核准的焊接簾、焊接毯或焊接墊進行覆蓋。 詳請參閱報告第貳、一、(二)節第 2.2 小節。
3	03/26/2014	ML14085A502	未發現火災危害相關之違規	1 個 NCV(持照業者的緊急應變計畫進行變更之前未能獲得 NRC 的事先批准(根據 10 CFR 50.54(q)(3) 的要求))	1 個 NCV： 根據 10 CFR 50.54(q)(3)的規定，持照業者在變更緊急應變計畫之前未事先獲得 NRC 批准，因此被認定存在 NCV 違規行為。具體而言，持照業者在 2013 年 8 月 20 日進行緊急應變計畫第 34 次修訂和 2013 年 12 月 18 日第 35 次修訂之前，均未事先獲得 NRC 的批准。根據 NRC 執行政策判定為 NCV。

表 2-2. SONGS 除役期間視察報告摘要結果(6 之 2)

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	視察結果摘述
4	06/25/2014	ML14176B030	未發現火災危害相關之違規	2 個電廠自行發現的 NCV	2 個 NCVs： 1. 持照業者在 2014 年 3 月 28 日發現，未能提報異常事件緊急分級通知。未能識別緊急應變級別 HU1.1「地震事件」的進入條件是一項缺失。該問題已納入被矯正措施計劃中。 2. 持照業者發現未依照緊急應變計畫第 8.1.4 節的要求，緊急應變計畫經理應確保按照緊急應變計畫實施規定，維護和清點現場緊急應變設備、用品和設施。未按照電廠程序書的要求進行檢查屬於績效缺陷。該違規已納入矯正措施計畫。
5	05/05/2015	ML15126A420	未發現火災危害相關之違規	1 個 NCV(security 相關)	核子保安視察，查核相關程序書、紀錄、並與電廠人員面談。發現 1 個 NCV，但因涉及核子保安，故沒有更多詳細資料。
6	10/08/2015	ML15274A558	未發現火災危害相關之違規	1 個 NCV(持照業者在對設施進行變更，但未能事先獲得許可)	1 個 NCV： 持照業者在對設施進行變更(即更改了用過燃料池補水系統，包括設計用於耐震 II 級的組件，該耐震設計分類低於更新版最終安全分析報告中所述的抗震設計分類)之前未能事先獲得許可，導致發生故障的可能性增加超過最低限度。
7	04/19/2016	ML16111B327	未發現火災危害相關之違規	1 個等級 IV 的 security 相關違規	核子保安視察，查核相關程序書、紀錄、並與電廠人員面談。發現 1 個 NCV，但因涉及核子保安，故沒有更多詳細資料。
8	05/22/2017	ML17129A617	未發現火災危害相關之違規	1 個 NCV(該違規行為與持照業者未能遵循程序書 HSP-58 要求來有關)	1 個 NCV： 該違規事項為持照業者未能遵循程序書 HSP-58, Exhibit 9.1 “Grout Density and Compressive Strength Confirmation of Design Conformance Form” 之要求來測試密封容器(cavity enclosure containers, CEC)下方的灌漿密度。

表 2-2. SONGS 除役期間視察報告摘要結果(6 之 3)

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	視察結果摘述
9	06/09/2017	ML17158B317	未發現火災危害相關之違規	1 個 NCV(持照業者未能按照技術規範 5.3.2 的要求維持認證燃料處理人員訓練計劃)	1 個 NCV： 違反技術規範第 5.3.2 節規定，電廠未能維持 NRC 核准的認證燃料處理人員訓練以及再訓練計畫。
10	08/24/2018	ML18200A400	未發現火災危害相關之違規	1 個 NCV(與裝載活動相關的重要安全設備進行的現場變更的設計控制有關)	1 個 NCV： 在第一次裝載操作期間，NRC 視察員發現存在違反 10 CFR 72.146 (c)「設計控制」要求的情況。電廠已通過供應商(Holtec)的矯正措施計劃對與運送護箱地震抑制系統相關的重要安全組件進行了修改，但未遵循 SONGS 的工程設計變更流程。電廠未能確保對安全重要組件的設計變更或現場變更採取與原始設計相匹配的設計控制措施。變更的原始文檔未包含嚴格的工程分析來證明變更是可接受的，並且這些變更沒有依照 10 CFR 50.59/72.48 計畫得到適當的實施。
11	11/28/2018	ML18332A357	未發現火災危害相關之違規	共 5 個違規事項	違規事項： (1) 違反 10 CFR 72.172： A. 2018 年 7 月 22 日，工作人員在將 28 號鋼桶(canister)對準以便吊載到 ISFSI 之儲放庫(vault)中時遇到困難(即難以對準(misalignment))。然而，電廠未能將此情況納入其矯正措施計畫，以找出對齊失准問題的原因，並制定矯正措施，防止再次發生。 B. 2018 年 1 月 30 日至 8 月 3 日，在吊載鋼桶期間，鋼桶與儲放庫組件之間經常發生碰觸。電廠未將碰觸情況納入其矯正措施計畫。

表 2-2. SONGS 除役期間視察報告摘要結果(6 之 3)

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	視察結果摘述
11 (續)	11/28/2018	ML18332A357	未發現火災 危害相關之 違規	共 5 個違規事 項(續)	<p>(2) 違反 10 CFR 72.212(b)(3)與技術規範 5.2.c.3： 持照業者未能確保備用防掉落保護功能可用，以防止負載不受控制地下降。具體而言，在將 29 號鋼桶吊入儲放庫時，工作人員無意間停用了備用的重要安全吊索。在大約 45 分鐘的時間內，鋼桶在沒有備用安全吊索支撐的情況下，停放在離完全就位位置大約 17-18 英尺的遮罩環(shield ring)上。</p> <p>(3) 違反 10 CFR 72.192： VCT (Vertical Cask Transporter) 操作訓練課程並沒有建立合適、專業的裝載訓練，於 8/3 吊載 29 號鋼桶發生的 misalignment 事件並未進行事前「模擬演練(dry run)」操作測試。訓練計劃沒有提供一個用來判斷吊裝過程中，rigger/spotter 是否合格的正式的過程。另外，視察中發現，用來模擬訓練操作使用的鋼筒規格與實際有些微不同，該差別並沒有列在任何訓練教材內亦為導致事件成因之一。</p> <p>(4) 違反 10 CFR 72.150： 未適切制定吊索鬆弛判定相關程序書。</p> <p>(5) 上述事件中，用於減輕事故後果的重要安全設備被停用，且沒有其他設備來執行安全功能，持照業者未能按規定於 24 小時內通知 NRC。這一缺失被認定為明顯違反 10 CFR 72.75(d)的要求。</p>
12	12/19/2018	ML18341A172	未發現火災 危害相關之 違規	共 5 個違規事 項	此報告為前述 ML18332A357 報告之更新版，違規事項內容與第 11 項相同。

表 2-2. SONGS 除役期間視察報告摘要結果(6 之 4)

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	視察結果摘述
13	07/09/2019	ML19190A217	未發現火災 危害相關之 違規	5 個 NCV	<p>5 個 NCVs :</p> <p>(1) 違反 10 CFR 72.146，未確保適當的品質標準 SCE 進行設計變更，採用核工程變更套組 (Nuclear Engineering Change Packag, NECP) 0918-64884 「VCT 即時監測系統」修訂版 1 納入新的負載監測設備。視察員發現，NECP 錯誤地將新負載監控設備指定為非安全重要設備。事實上，由於新設備與現有的安全重要設備連結在一起，因此新設備的故障可能會導致鋼筒掉落，因此應根據 SCE 品質保證計劃進行管制並設定為安全重要設備。</p> <p>(2) 違反 10 CFR 72.154，未確保採購設備符合採購規定 Holtec 批准的供應商名單中包含以下限制：「起重設備負載測試必須在 Aston I&I 吊索工廠進行」。視察員發現，新的負載感測卸扣的負載測試證明是在製造商的工廠(StraightPoint)進行的，而不是在 Aston I&I Slings 工廠進行的，這不符合 Holtec 的限制規定。</p> <p>(3) 違反 10 CFR 212，未能確保裝載的運送護箱及其運輸工具根據廠址的設計基準地震(Design Basis Earthquake, DBE)進行評估 電廠未能確保根據廠址的 DBE 對護箱及其運輸進行評估。視察員發現，過去的 VCT 運輸操作未根據廠址 DBE 進行評估，因為這些操作未按照地震評估 HI-2156626 的要求進行。</p>

表 2-2. SONGS 除役期間視察報告摘要結果(6 之 5)

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	視察結果摘述
13 (續)	07/09/2019	ML19190A217	未發現火災 危害相關之 違規	5 個 NCV	(4, 5) 違反 10 CFR 72.48，對於變更未提供充分的書面佐證，及未獲得 CoC 修訂 從 2018 年 11 月 7 日至 2019 年 4 月 15 日，電廠有兩次未保存包含書面評估的變更記錄，而書面評估說明依照 10 CFR 72.48 第(c)(2) 確定變更不需要修訂(Certificate of Compliance, CoC)的依據。具體地說，10 CFR 72.48 關於允許在鋼桶上劃痕的書面評估的前兩次修訂，未能提供足夠的依據來確認該變更不需要修訂 CoC。視察員在作為 10 CFR 72.48 書面評估依據的計算中發現了許多技術錯誤。此外，電廠書面評估的前兩次修訂沒有證明最深的劃痕深度不會超過 ASME 第 111 節規範的限制，而這是一項技術規範要求。
14	11/22/2019	ML19316A762	未發現火災 危害相關之 違規	1 個 NCV	1 個 NCV： 持照業者的 EN #53798 號事件通知記錄了過去的 HI-PORT (low-profile transporter)操作未按照原始的地震評估 HI-2167363 「SONGS 的 HI-PORT 之 HI-TRAC 地震穩定性分析」第 4 次修訂版的要求進行。HI-PORT 有時會在地震分析的 10 英寸行程高度限制之外運行。此外，從燃料廠房到 ISFSI 平臺的運輸路徑上，從未正式列出與鄰近建築物的距離。HI-2167363 號評估報告第 5.0 節「結論」指出，應將已裝載的 HI-PORT 高度設置為卸料台(dropdeck)與運輸路徑之間的最大間隙為 10 英寸，且 HI-PORT 外緣與運輸路徑沿線的相鄰安全相關結構或可能對 HI-PORT 產生不利影響的結構之間應始終保持 32 英寸以上之間隙。 視察員判定，電廠未能根據廠址的設計基準地震對護箱及其運輸進行評估。

表 2-2. SONGS 除役期間視察報告摘要結果(6 之 6)

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	視察結果摘述
15	05/23/2023	ML23131A395	未發現火災 危害相關之 違規	1 個 NCV、1 個 違規舉發 (Notice of Violation)	<p>違規事項：</p> <p>(1) NCV：</p> <p>違規行為涉及 10 CFR 71.107(a)，即被許可人在與 GTCC 廢棄物鋼桶相關的焊接活動中未執行設計控制要求。根據 NRC 執行政策第 2.3.2.a 節的規定，將此違規行為視為非正式提出之違規(NCV)。</p> <p>(2) 違反 10 CFR 50.59(d)(1)，運輸作業期間的龍捲風危害防護：</p> <p>由於該違規行為是在執法指引備忘錄(Enforcement Guidance Memorandum, EGM) 22-001「ISFSI 不遵守龍捲風危害防護要求的執法裁量權」所涵蓋的裁量權期內發現的，並且由於持照業者正在實施補償措施，並且已經採取或計畫採取必要行動已符合規定，因此 NRC 行使執法裁量權，不對該違規行為採取執法行動，並允許繼續 ISFSI 吊運操作。</p>

表 2-3. La Crosse 電廠除役期間視察報告摘要結果(2 之 1)

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	視察結果摘述
1	08/21/2012	ML12236A129	1 個 NCV	2 個 NCV	<p>火災相關 NCV：請參閱報告第貳、一、(二)、3.1 節。</p> <p>2 個非火災 NCVs：</p> <p>持照業者未能確保將設計依據正確地轉化為規格、設計圖、程式書和指引。具體而言，設計變更申請 10-02-B1 中包含了一個尺寸不足的焊接點，這將導致在事故情況下焊接點應力過大。此外，電廠沒有審查臨時單一失效防護(single failure proof)吊升系統的台車能量吸收組件的適用性，該組件的設計目的是在繩索斷裂事故發生時吸收衝擊力。明確地說，持照業者 (1) 未確保台車的能量吸收組件在斷繩事故中具有足夠的吸能能力；(2) 未確保斷繩事故導致的最大繩索拉力轉化為對受斷繩事故影響的所有台車結構部件的評估。電廠已迅速採取矯正措施，以確保符合法規並防止再次發生。</p>
2	06/10/2013	ML13162A115	未發現火災危害	1 個 NCV (未進行輻射劑量評估)	<p>1 個 NCV：未符合 10 CFR Part 20.1501 在用過燃料池區進行作業活動之前，未按照 10 CFR Part 20.1501 的要求進行輻射劑量之評估調查。</p>
3	03/26/2015	ML15085A562	未發現火災危害	共 6 個違規，其中 3 個屬違規舉發，另外 3 個為 NCVs	<p>(1) 三件明顯違反 10 CFR 50.54(q)之事項：</p> <p>A. 未按照 La Crosse 緊急應變計畫的要求確保緊急應變人員配備水準。</p> <p>B. 向 NRC 提交降低緊急應變計畫有效性的變更，但在未獲得核前便先行實施。</p> <p>C. 未按照 La Crosse 緊急應變計畫規定的頻率執行緊急應變演習和演練。</p>

表 2-3. La Crosse 電廠除役期間視察報告摘要結果(2 之 2)

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	視察結果摘述
3 (續)	03/26/2015	ML15085A562	未發現火災 危害	共 6 個違規，其中 3 個屬違規舉發，另外 3 個為 NCVs	(2) 3 個 NCVs： A. 未按照 CFR 10 72.30(b)的要求及時提交 ISFSI 除役資金計畫。 B. 未按照 CFR 10 50.47(b)(2)的要求制定適當的緊急應變人員擴充計畫，以確保緊急應變計畫行動得以完成。 C. 電廠程序書的緊及分類系統與緊急應變計畫中的不一致，不符合 CFR 10 50.47(b)(4)的要求。
4	02/12/2018	ML18043B109	1 個 NCV	2 個 NCV	火災相關 NCV：請參閱報告第貳、一、(二)、3.2 節。 2 個非火災 NCVs： (1) 東貝克儲水槽不慎將受污染的水排放到密西西比河，因電廠未確實執行品質保證計畫，因此違反了 10 CFR 50.54(a)(1)。 (2) 視察員發現電廠在拆除廢棄物處理大樓(Waste Treatment Building, WTB)地基時未進行必要的調查，因此違反了 CFR 20.1501 規定，而這些調查對於持照業者確保遵守 10 CFR 20.1402 ("Radiological Criteria for Unrestricted Use"(不受限制使用的放射性標準))可能是必要的。該標準規定，殘餘輻射與背景輻射的區別是，殘餘輻射為總有效劑量相當於關鍵群體平均成員每年不超過 25 mrem，且符合 ALARA。
5	02/13/2019	ML19045A237	未發現火災 危害	1 個 NCV(未進行輻射調查)	1 個 NCV：10 CFR 20.1302(a) 沒有對排放到非限制區和控制區的污水中的放射性物質進行適當調查，以證明遵守了對公眾個人的劑量限制。

二、核電廠除役期間重要廠房(防火區)之臨時可燃物火災危害分析

核電廠除役期間考量緊急情況下對於用過核子燃料之完整性，因火災而可能導致的放射性物質外洩等為其防範重點，尤其在用過燃料池區域與放射性可燃物儲存區。本計畫主要評估目標為核一、二廠重要廠房/防火區(即燃料廠房、用過燃料池相關冷卻系統、以及放射性廢棄物儲存區)，情境為臨時可燃物之火災，評估方法與結果說明如下。

本分析係以核一、二廠之防火計畫相關程序書(如消防計劃、人員與設備安全、動用火種工作許可證申請/作業程序書、失火對策計劃等)、廠房佈置圖、piping plant 圖、P&I 圖、訓練教材等書面資料為基礎，評估上述區域之臨時可燃物之火災危害或影響。

(一) 核一廠重要廠房/防火區之臨時可燃物火災危害分析

1. 反應器廠房三樓

核一廠用過燃料池位於反應器廠房三樓至五樓(標高 95 呎至 137.5 呎)，火災造成喪失用過燃料池冷卻系統為主要評估目標。依程序書 D529.3.2 反應器廠房失火對策計劃 2，用過燃料池冷卻水泵 P-9-1A、P-9-1B、及 P-9-1C 位於防火區 2P (反應器廠房三樓，一般區域-燃料池及反應器水淨化系統設備)(如圖 2-1 橘色方框處)，冷卻水泵之馬達控制中心(Moter Control Center, MCC) 3A-1 位於防火區 2M (反應器廠房二樓，再循環馬達-發電機組及一般區域)南側、MCC 4A-1 位於防火區 2M 北側，分別如圖 2-1 與圖 2-2 所示。

由圖 2-1 可知，防火區 2P 之形狀近似門字型之大開放空間，長、寬、高約為 30 公尺、20 公尺、4.6 公尺，用過燃料

池冷卻水泵之位置靠近東南側設備通道(equipment hatch)。由於本區東北角之樓梯為開放式(沒有門)，故本區為近似開放空間，故臨時可燃物火災之危害主要為火源之火焰熱輻射區(flame radiation region)(參考 NUREG/CR-6850^[3]圖 F-2，如圖 2-4)，其大小與可燃物之最大熱釋率(Hear Release Rate, HRR)以及計算方式有關，例如利用 FDTs^[4]之 Excel 表或利用 NUREG-2233^[5]提供之公式，可能獲得不同之結果。本研究假設有一臨時可燃物位於冷卻水泵斜前方距離約 4 公尺，以 CFAST^[6]進行火災危害模擬，如圖 2-5 所示。模擬結果(HRR 採 NUREG-2233 建議之 278 kW，火災成長曲線則保守採 t^2 方法計算)，冷卻水泵附近之最高溫度可達約 80°C，因此建議本區不應堆放可燃物。

防火區 2P 如有除役作業需求，臨時可燃物應以防火毯、防火墊覆蓋，並盡可能遠離冷卻水泵，作業完成應立即清理移除可燃物，且作業過程中應嚴格遵守電廠相關防火措施(例如，作業過程中有電廠工安人員督導、落實執行防火作業)。

綜合上述，防火區 2P 之東南側與西南側均不應儲放/堆放可燃物。如有除役作業之需求，經適當之評估並採取對應之防火措施，且不影響避難疏散路徑，則可考慮本樓層(反應器廠房三樓)北側區域。

2. 反應器廠房二樓

由圖 2-2 可知，防火區 2M 為不規則空間。MCC 3A-1 位於本區靠西南側(橘色方框處)，其前方之水平自由空間約 2 公尺；MCC 4A-1 位於本區北側(橘色方框處)。由於前述兩區域

之水平空間狹小，參考防火區 2P 之 CFAST 模擬結果，並考慮避難路徑，該 2 區域(西南側與北側)不應儲放/堆放可燃物，如有除役作業需求，應於作業完成後立即清理移除可燃物，且作業過程中應嚴格遵守電廠相關防火措施。

3. 放射性廢棄物儲存區

考量防火區 2N(反應器廠房三樓污染設備儲存區)及防火區 2Q(反應器廠房四樓，污染設備儲存區)，分別如圖 2-2 與圖 2-3，可能儲存/暫存放射性廢棄物或設備，參照 RG 1.191 Rev.1，除了應為獨立防火區，其外圍附近亦不應堆放可燃物，以免發生火災擴散，導致放射性物質外釋。依程序書 D529.3.2 防火區 2N、2Q 均為獨立防火區且具 3 小時耐火屏蔽，除役期間兩防火區外圍不應堆放可燃物，以符合 RG 1.191 Rev.1 之要求。

(二) 核二廠重要廠房/防火區之臨時可燃物火災危害分析

1. 燃料廠房一樓

用過燃料池冷卻水泵 P-48A 與 P-48B 位於防火區 261A。由圖 2-6 可知，防火區 261A 為矩形空間，大小約為 8m × 16m × 7m。本區為矩形密閉空間，假設有一臨時可燃物距離冷卻水泵約 7 公尺，以 CFAST 進行火災危害模擬，如圖 2-9 所示。在未考慮自動消防系統作動之條件下，模擬結果(HRR 採 NUREG-2233 建議之 278 kW，火災成長曲線則保守採 t^2 方法計算)，冷卻水泵附近之最高溫度可達約 270°C，因此建議本區不應堆放可燃物。如有除役作業需求，臨時性可燃物應以

防火毯、防火墊覆蓋，並盡可能遠離冷卻水泵。

2. 反應器輔助廠房二樓

用過燃料池冷卻水泵 1P-48A 之負載中心(Load Center, L.C.) 1B7 位於西南側(防火區 42C-W)，如圖 2-7 所示。本區為類似狹長型通道(走道約 4.5m~5m 寬、高約 5m)空間，火災之危害主要為火源之火焰熱輻射區。由於本區空間結構較為複雜，CFAST 不易模擬，參考核一廠防火區 2P 與前述防火區 261A 之分析結果，並考量避難路徑，建議本區不應堆置可燃物。如有除役作業需求，臨時性可燃物應以防火毯(防火墊)覆蓋並盡可能遠離 L.C. 1B7，且應遵守電廠相關防火措施。

3. 廢料廠房二樓

用過燃料池冷卻水泵 1P-48B 之 L.C. OB2 位於西側(防火區 218B)，如圖 2-8 所示。本區為狹長型通道(約 5m 寬、高約 5m)空間，火災之危害主要為火源之火焰熱輻射區。本區左右連接防火區 218A 與防火區 218C，形成一個近似 H 型之空間。假設有一臨時可燃物距離 L.C. OB2 約 3 公尺，以 CFAST 進行火災危害模擬(HRR 採 NUREG-2233 建議之 278 kW，火災成長曲線則保守採 t^2 方法計算)，如圖 2-10 所示。在未考慮自動消防系統作動之條件下，模擬結果 L.C. OB2 附近之最高溫度可達約 90°C，考量空間大小，以及避難路徑，本區不應堆置可燃物。如有除役作業需求，臨時性可燃物應以防火毯(防火墊)覆蓋，並盡可能遠離 L.C. OB2，且應遵守電廠相關防火措施。

4. 放射性廢棄物儲存區

考量廢料廠房防火區 222 (除污區(decontamination area)) 及防火區 223D (設備除污區(equipment decontamination area))，可能儲存/暫存放射性廢棄物或設備，參照 RG 1.191 Rev.1，除了應為獨立防火區，其外圍附近亦不應堆放可燃物，以免發生火災擴散，導致放射性物質外釋。依程序書 500.25 防火區 222、223D 均為獨立防火區，除役期間兩防火區外圍不可堆放可燃物，以符合 RG 1.191 Rev.1 之要求。

(三) 結果與建議

除役期間火災防護為防止因火災而導致放射性物質外釋，因此在爐心用過核子燃料完全移置用過燃料池後，用過燃料池區及其冷卻系統相關區域，以及儲存放射性廢棄物之區域為火災防護之重點區域。

針對臨時可燃物之火災危害，核一廠反應器廠房防火區 2M 北側與南側區域、2P 東側區域、及 2N 與 2Q 區域之外圍均不宜堆置/儲放可燃物，如因除役作業所需，則可燃物須以防火毯、防火墊等耐火材料覆蓋，作業完成立即清除可燃物，作業期間電廠工安人員應確實監督動火作業。

核二廠燃料廠房一樓防火區 261A、反應器輔助廠房二樓防火區 42C-W，以及廢料廠房二樓防火區 218B，臨時可燃物之火災危害分析結果，均不宜堆置/儲放可燃物。同樣，如因除役作業所需，則可燃物須以防火毯、防火墊等耐火材料覆蓋，作業完成立即清除可燃物，作業期間應確實遵照電廠防火管制措施。

儲存放射性廢棄物之區域參照 RG 1.191 Rev.1 之要求，除了應為獨立防火區，其外圍附近亦不應堆放可燃物，以免發生火災擴散，導致放射性物質外釋。核一廠防火區 2N 與 2Q，及核二廠防火區 222 與 223D 均為獨立防火區，又其外圍亦皆為走道空間，同時考量避難疏散之要求，不可堆放可燃物，以符合 RG 1.191 Rev.1 之要求。

本年度計畫重點為除役過渡階段與除役拆廠階段針對臨時可燃物對於用過燃料池區之火災危害。整個除役期間對於含有放射性物質或放射性廢棄物之廠房/防火區之火災危害，建議未來以系統性之分析方式，例如以整體安全評估計畫之範圍界定分析，篩選出除役期間所有可能貯存或暫存放射性物質/廢棄物之區域(廠房/防火區)。再依除役不同階段，各廠房/防火區所含放射性物質含量及/或其周圍/鄰近設施之潛在火災危害(例如可燃物火載量、動火作業頻率等)，運用風險矩陣方法分析風險高低。管制單位於安排視查時，可以就不同除役階段潛在風險較高之區域，進行較高強度之管制查核。

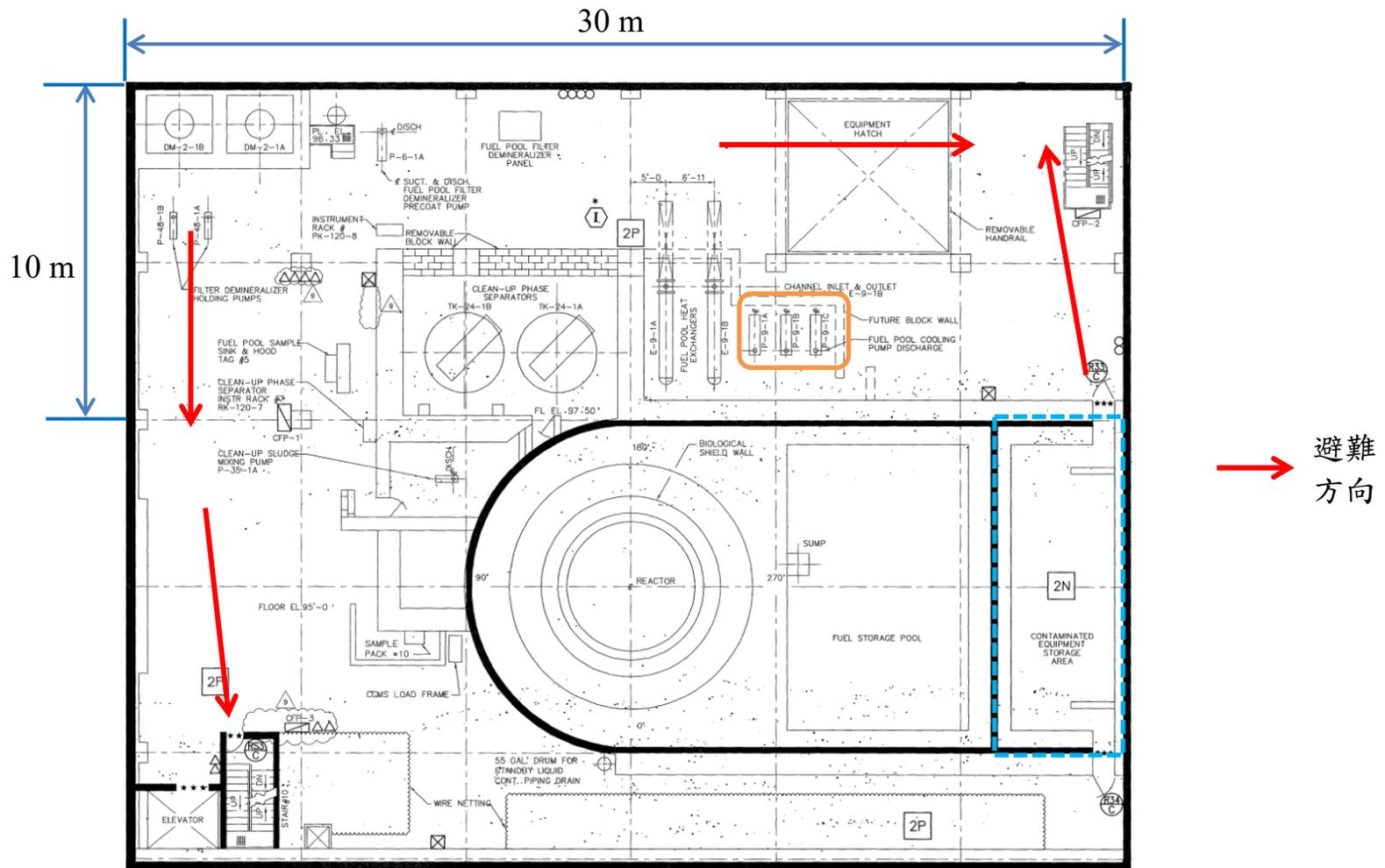


圖 2-1. 核一廠反應器廠房三樓防火區配置示意圖(95 呎)

資料來源：核一廠反應器廠房失火對策計劃 2

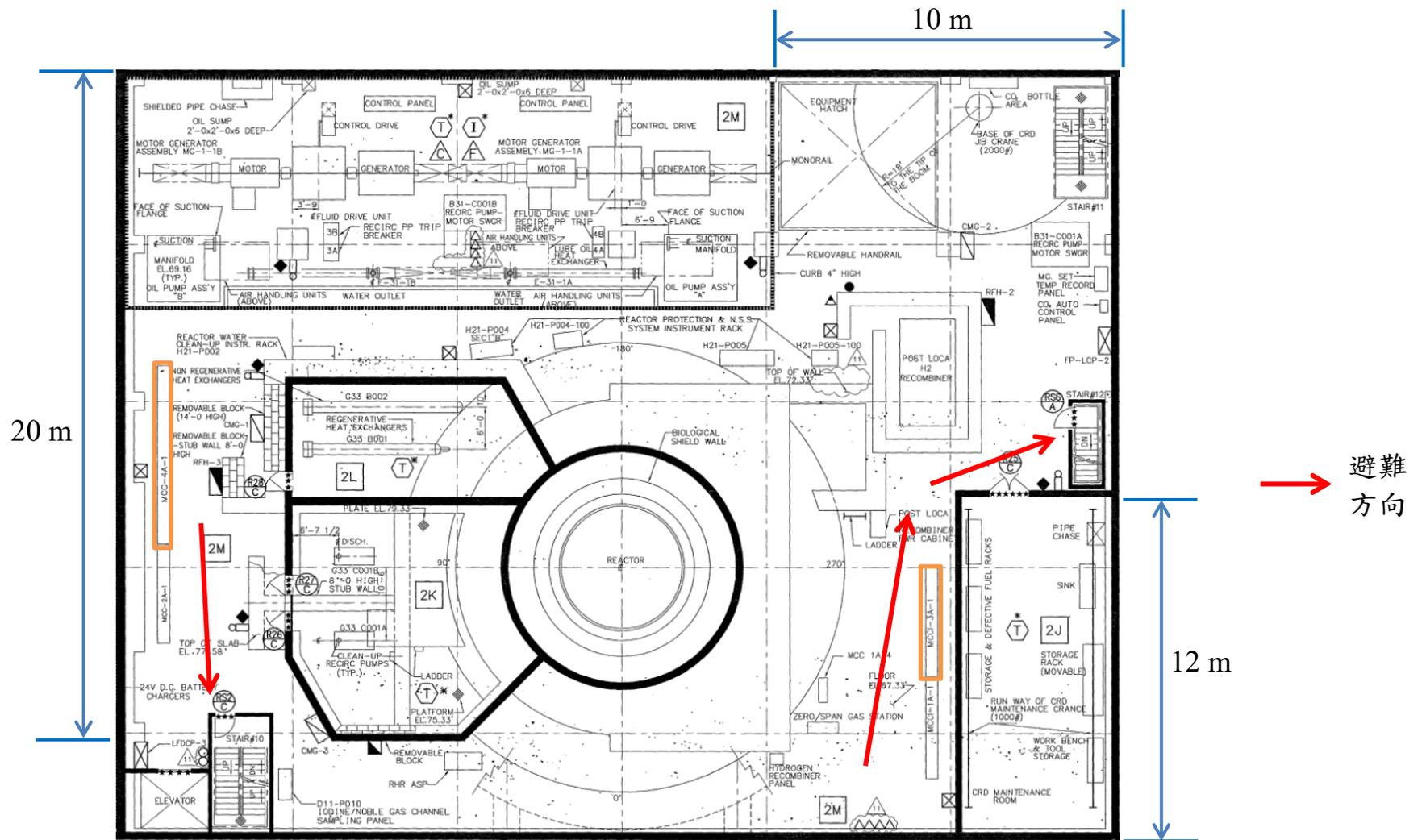
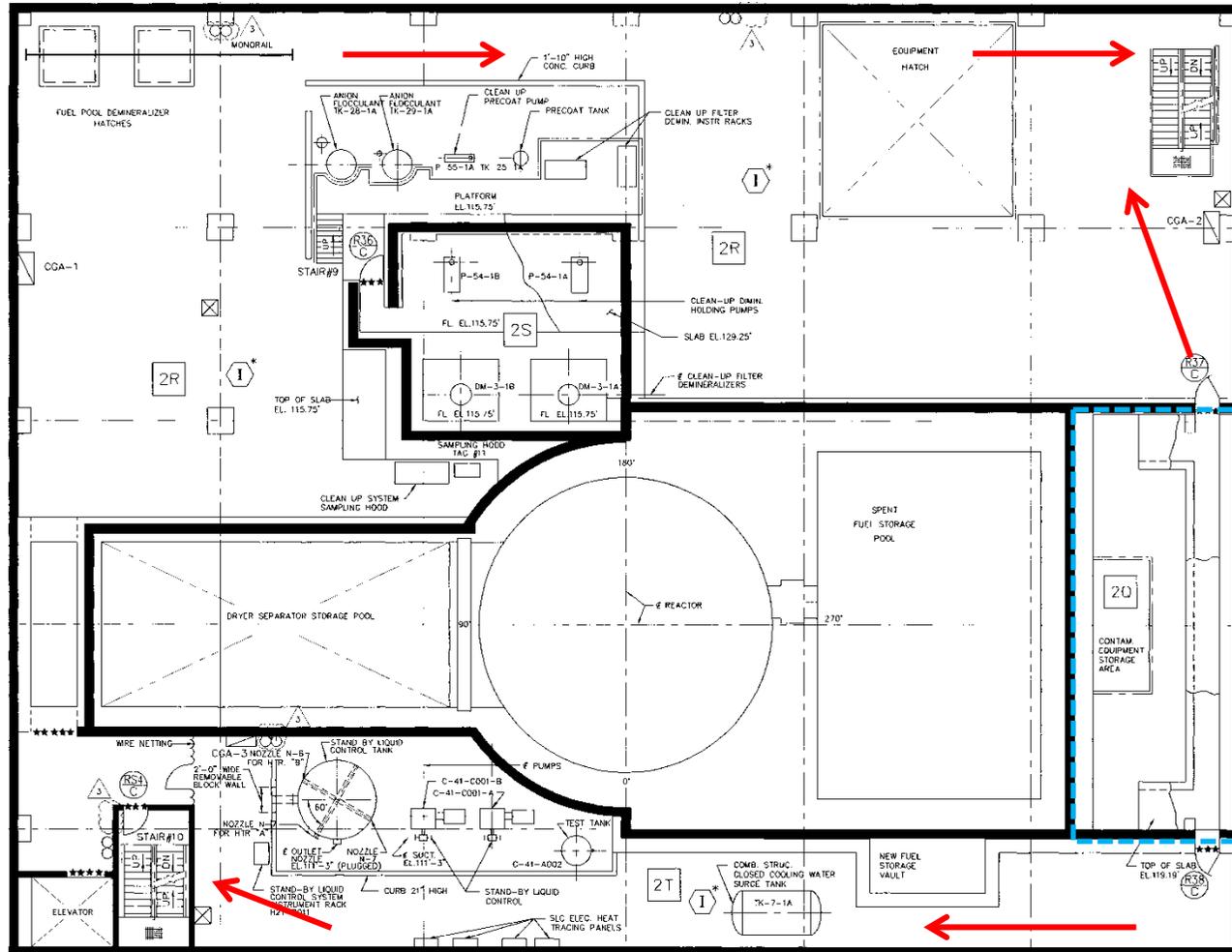


圖 2-2. 核一廠反應器廠房二樓防火區配置示意圖(67.33 呎)

資料來源：核一廠反應器廠房失火對策計劃 2



→ 避難方向

圖 2-3. 核一廠反應器廠房四樓防火區配置示意圖(110 呎)

資料來源：核一廠反應器廠房失火對策計劃 2

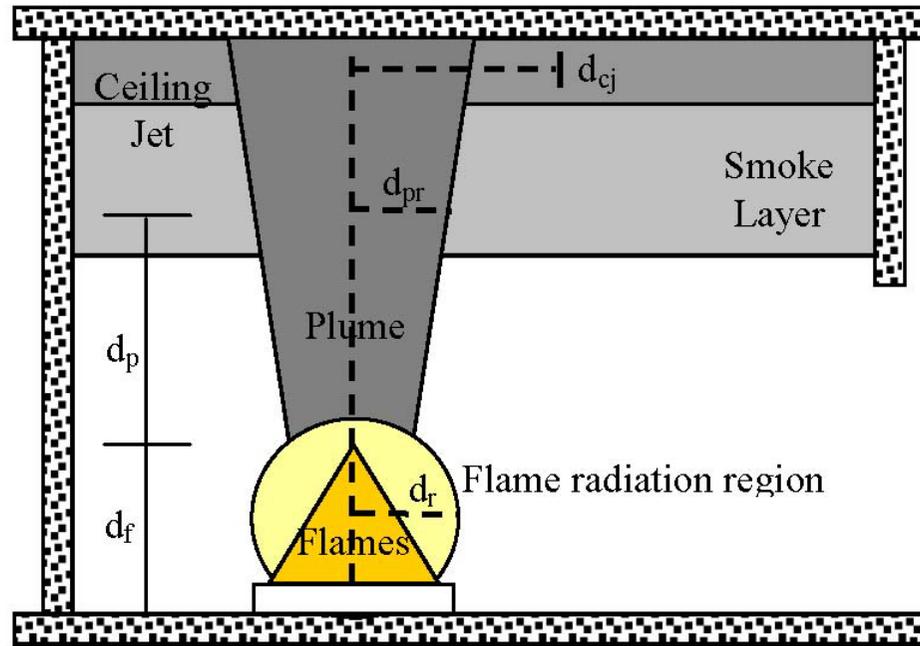


圖 2-4. 影響區(Zon of Influence, ZOI)示意圖

資料來源：NUREG/CR-6850 volume2 圖 F-2

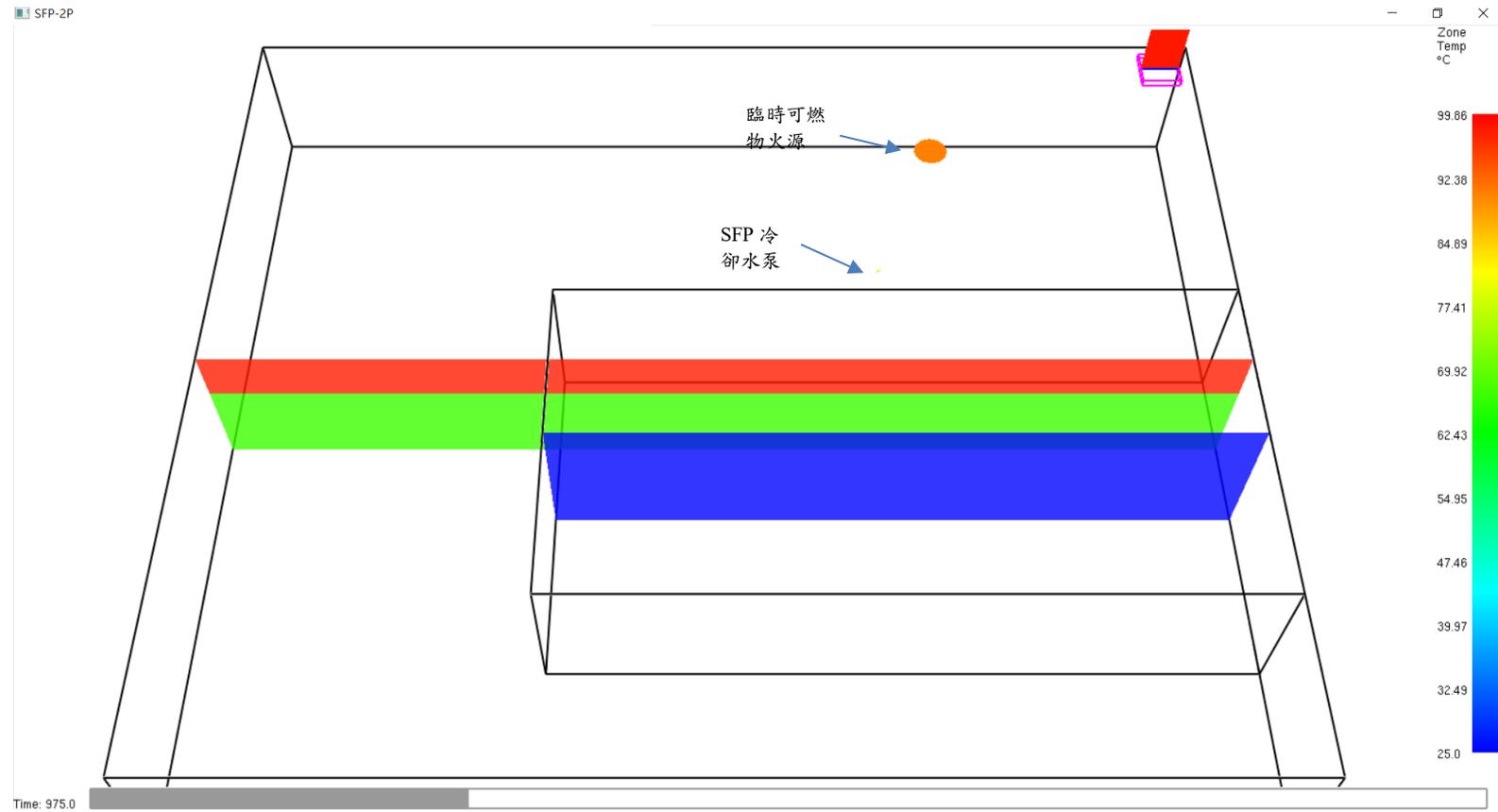


圖 2-5. 核一廠反應器廠房三樓防火區 2P 之 CFAST 分析圖

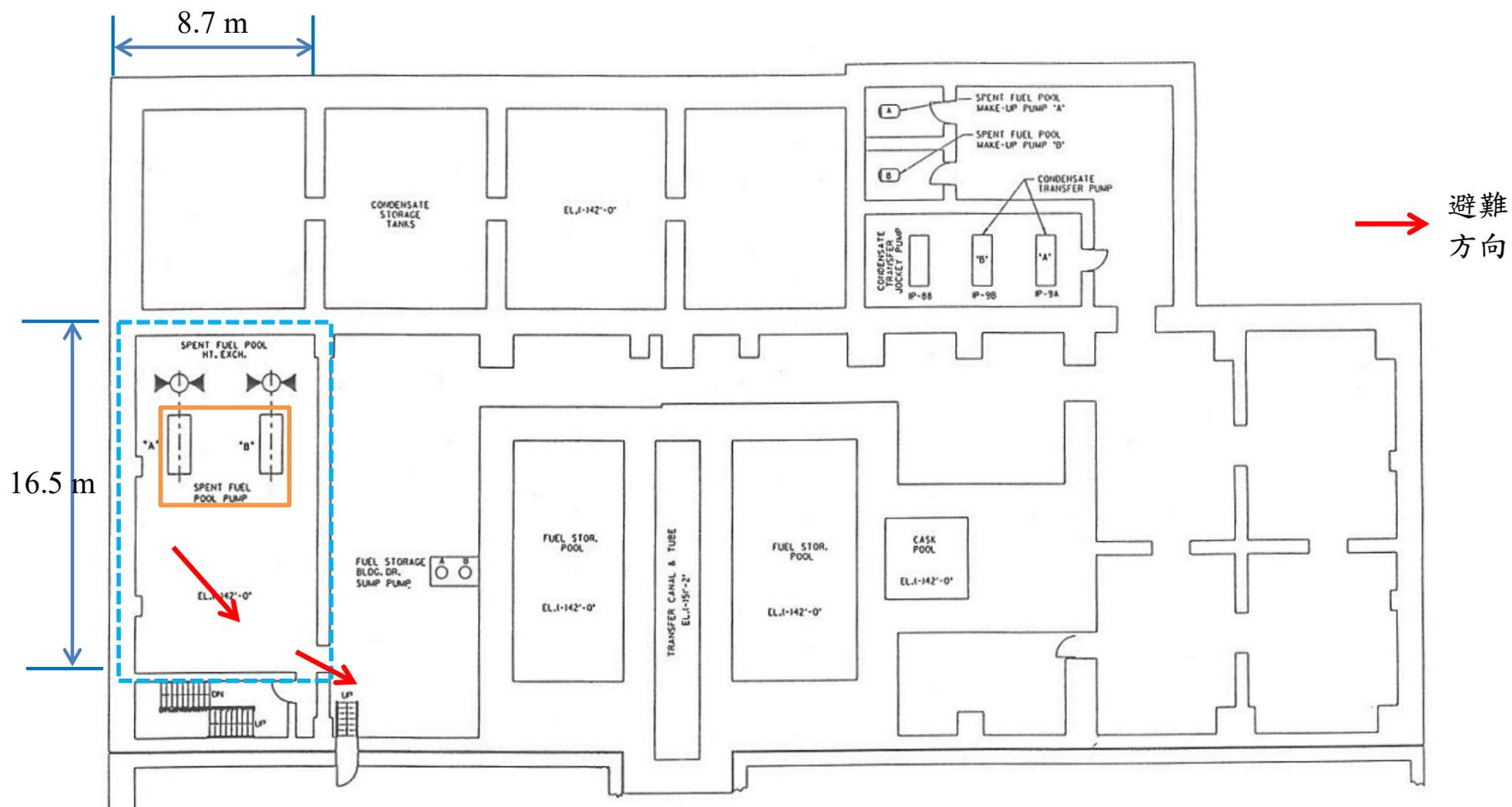


圖 2-6. 核二廠燃料廠房一樓防火區 261A 位置圖((-40 呎)

資料來源：核二廠廠房佈置圖

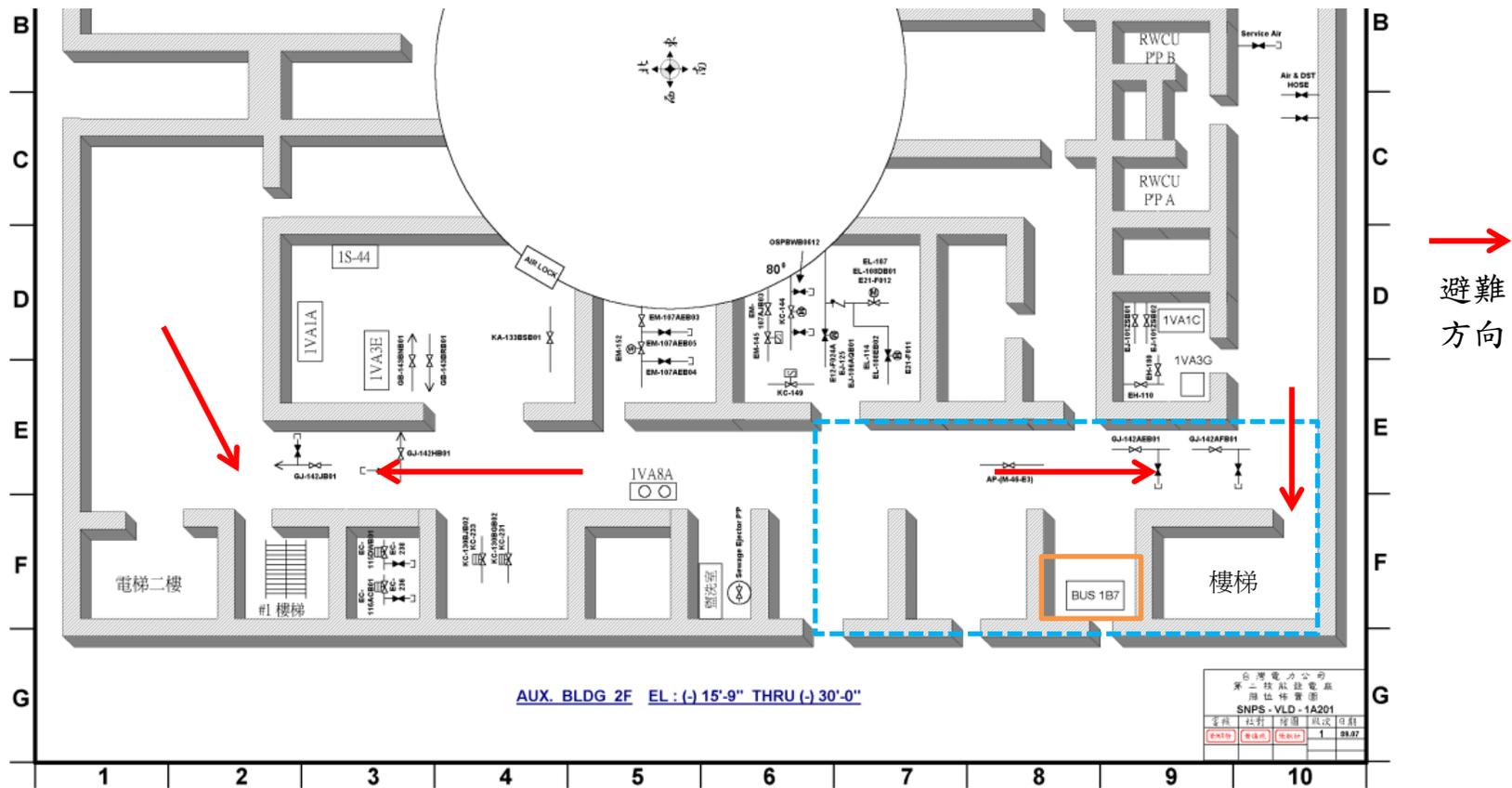


圖 2-7. 核二廠反應器輔助廠房二樓防火區 42C-W 位置圖((-)40 呎)

資料來源：核二廠廠房佈置圖

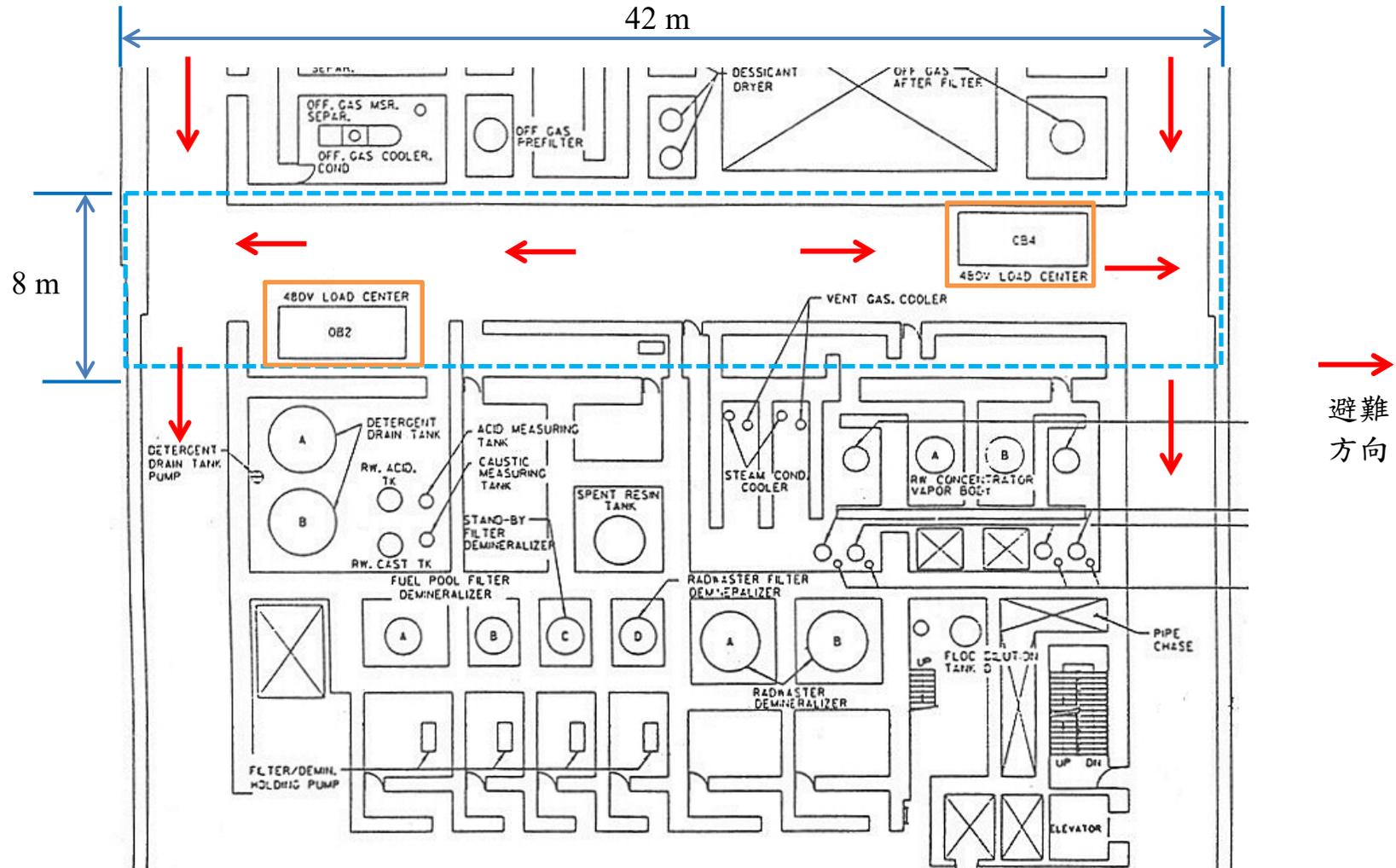


圖 2-8. 核二廠廢料廠房二樓防火區 218B 位置圖

資料來源：核二廠廠房佈置圖

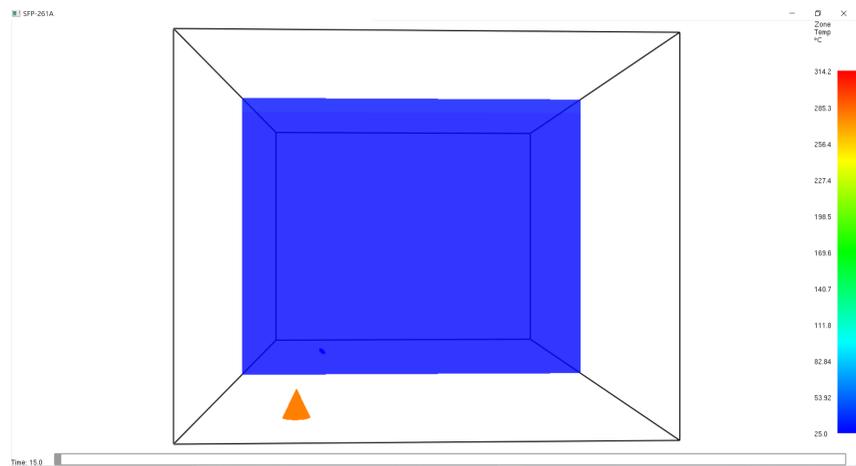


圖 2-9a. 核二廠燃料廠房一樓防火區 261A 之 CFAST 分析圖(前視)

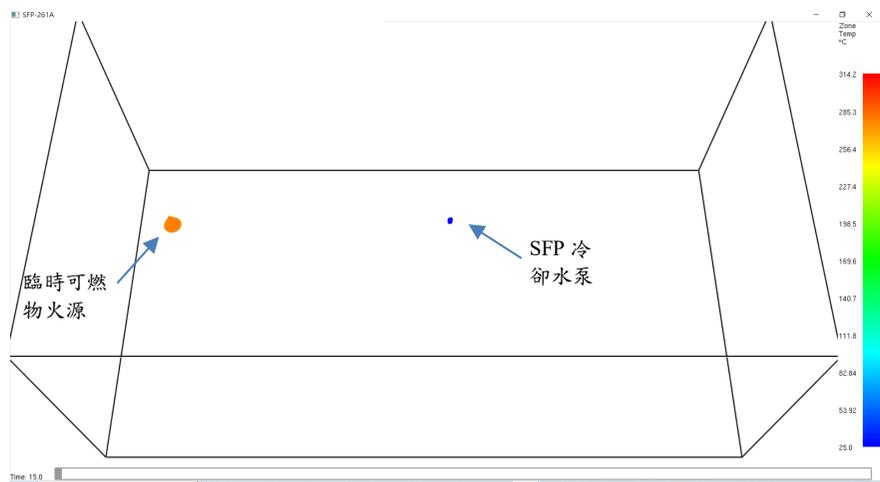


圖 2-9b. 核二廠燃料廠房一樓防火區 261A 之 CFAST 分析圖(旋轉 90° 俯視)

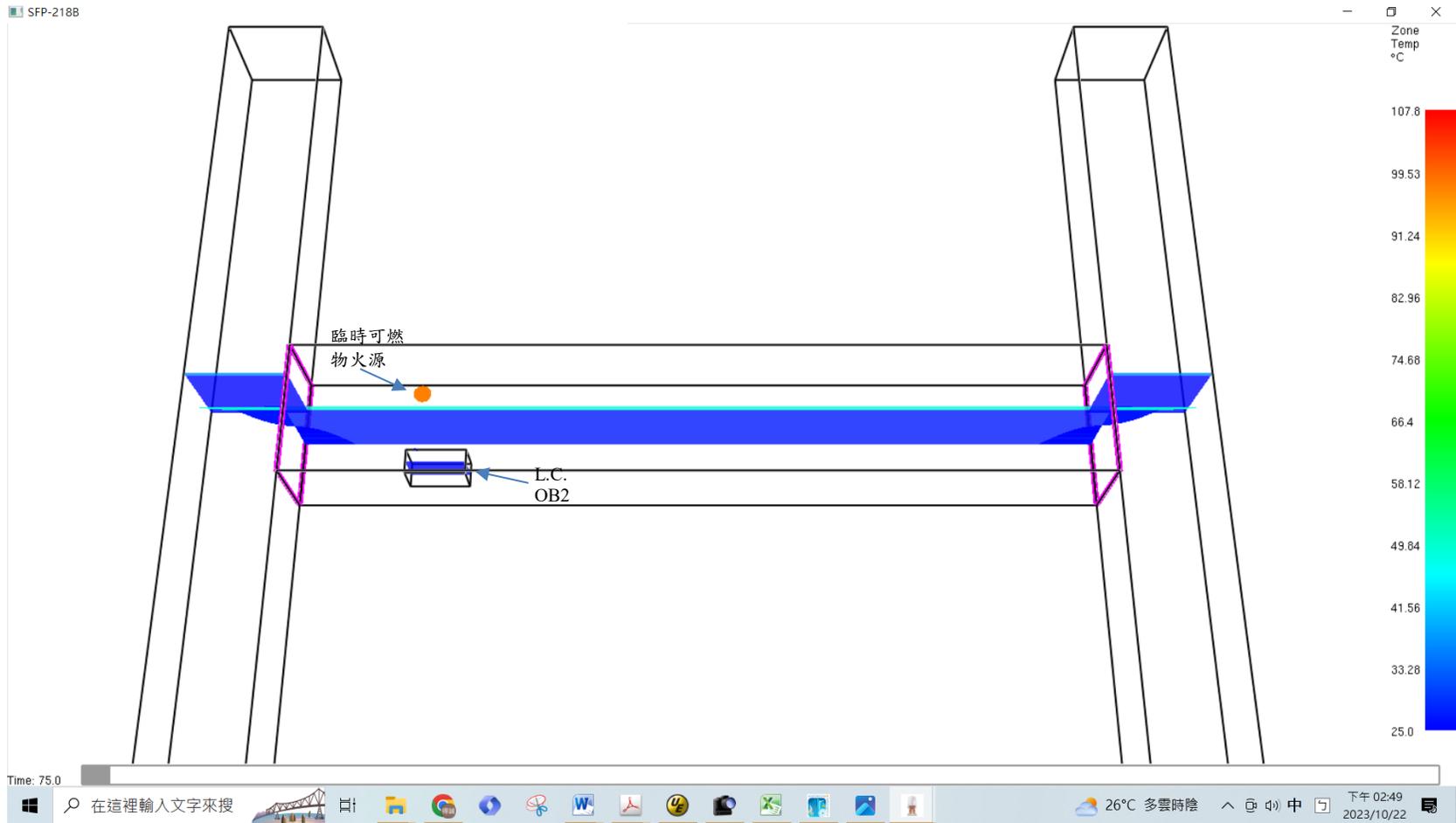


圖 2-10. 核二廠廢料廠房二樓防火區 218B 之 CFAST 分析圖(俯視)

三、核電廠除役期間防火計畫相關程序書之檢視與探討

根據 RG 1.191 Rev.1，除役電廠之防火考量為保護用過燃料池中之燃料的完整性與含有放射性廢棄物之區域/廠房，防止或儘可能降低因火災而造成的放射性物質外釋；此考量與運轉中核電廠維持機組安全停機之目標明顯不同。

隨著除役作業推展，不同除役階段之除役作業，其火災危害亦可能不同。依據 RG 1.191 Rev.1，對於防火計畫，應至少每年重新進行評估，並在必要時進行修訂，以反映電廠不同除役階段的狀況。

本節檢視核一、二廠防火計畫相關程序書並與 RG 1.191 Rev.1 進行比對，為避免報告內文過於冗長，以下分別表列核一、二廠比對結果之建議事項或注意事項，如表 2-4 與表 2-5 所示，詳細之比對檢視請參閱附錄 B。

(一) 核一廠防火計畫程序書檢視比對結果

本節為檢視核一廠防火計畫相關程序書，包括 105「人員與設備安全(第 36 版)」、107.2「消防防護計畫(第 04 版)」、107.2.1~107.2.12 火災消防系列、107.3「廠內及廠區消防水栓使用申請(第 01 版)」、107.5「動用火種工作申請作業程序(第 01 版)」、309.13「火災偵測警報系統(第 16 版)」、509.7「消防水供給不足(第 13 版)」、D529.3 系列(D529.3.1~D529.3.15)「失火對策計劃(第 0 版)」、1420「消防程序(第 03 版)」等，並與 RG 1.191 比對後，提出相關之修訂建議或安全注意事項，供管制單位參考。

比對結果以表格方式呈現，如表 2-4 所示。為利於閱讀與表

格排版，第二欄「章節」為 RG 1.191 Rev.1 Section C 之編號，第三欄為「建議或注意事項」包括除役過渡階段及除役拆廠階段。

以對照 RG 1.191 Rev.1 section C 第 2.1 節(電廠除役期間之火災危害可能與運轉中的電廠的有很大的不同，火災危害分析應考慮到來自設備擺設區、廢棄物堆積和儲存區以及支援除污和拆除作業所需材料等可燃物負荷增加的可能性)為例，不同階段之建議或注意事項說明如下。

1. 除役過渡階段

核一廠程序書 107.2.7「火災災害分析與影響評估」為運轉期間之評估，而除役過渡階段涉及除污、拆除前之設備建置等，故建議程序書 107.2.7 針對除污、拆除等作業，檢視、更新火災災害分析與影響評估。另外，也建議程序書 105 適當修訂針對「支援除污和拆除作業所需材料等可燃物負荷增加」加強管理。

2. 除役拆廠階段

依除役計劃第六章「因應除役放射性廢棄物處理需求，汽機廠房及聯合結構廠房部分空間改建為放射性廢棄物處理區域。」改建作業可能涉及動火管制、臨時可燃物管理、防火區可燃物負荷、消防救災/避難疏散動線變更、防火區劃大小變更等，故程序書 105、107、D529.3 系列等應適度修訂說明因應除役作業之應變措施。

(二) 核二廠防火計畫程序書檢視比對結果

核二廠防火計畫相關程序書，包括 105「人員與設備安全(第

42 版)」、107「消防計劃(第 29 版)」、151「動火許可証申請程序書(第 19 版)」、500.25「失火對策計劃參考使用程序書(第 16 版)」(註：失火對策計劃並無程序書編號，需至核二廠網頁「核安文化」下載)、791「員工消防訓練程序(第 14 版)」、617.5.6.3「員工消防訓練程序(第 16 版)」、1420「消防救火程序(第 15 版)」等，比對結果以表格方式呈現，如表 2-5 所示。

(三) 結果與建議

運轉中核電廠防火計畫的目標為確保機組安全停機，核電廠除役期間則為防止或儘可能降低因火災而造成放射性物質外釋，兩者目標顯著不同，因此，防火計畫相關程序書之作業管制、緊急應變措施等亦應隨之調整。此外，再考慮不同除役階段之火災危害特性可能因除役作業而有所變化，相關程序書應定期(如每年)重新檢視，以確保管制措施之有效性。

本研究檢視核一、二廠防火計畫相關程序書並與 RG 1.191 Rev.1 Section C 之監管指引內容進行比對。由於功率運轉期間電廠已有良好之防火計畫，因此許多管理措施在除役期間可以沿用。但某些監管項目，例如電廠組態與條件、可燃物管制、防火區邊界或屏蔽之控制等，可能因建置低放射性廢棄物處理區設備、建置用過燃料池島區、除污與拆除等作業而導致火災危害情境與功率運轉期間不同。

本研究依據核一、二廠除役計畫，提出「除役過渡階段」(核二廠則再細分用過燃料池島區建置及用過燃料池島區運轉)與「除役拆廠階段」防火計畫相關程序書(如 105、107、107.2、151 等)之修訂建議或安全注意事項，詳請參閱表 2-4 與表 2-5。

(本頁空白)

表 2-4. 核一廠防火計畫相關程序書除役期間之建議或注意事項 (7 之 1)

項目	章節 ^a	建議或注意事項	
		除役過渡階段	除役拆廠階段
1	1.1~1.3	新建放射性廢棄物管理設施及配合拆除作業設置之放射性廢棄物處理區域應納入程序書管理。	因應除役放射性廢棄物處理需求，汽機廠房及聯合結構廠房部分空間改建為放射性廢棄物處理區域；熱處理設施廠房增設低放射性廢棄物減容與處理設施。程序書 107.2、107.8、107.9、D529.3 系列需對應檢視修訂消防設計；建置期間之消防逃生通道、避難路線等是否因建置作業而有更動，程序書亦須有管制、管理計畫。
2	1.4	對於不同除役階段之防火計畫酌情修訂，且應至少每年檢視一次。	程序書 107.2.7 針對除污、拆除等作業，更新火災災害分析與影響評估。防火區劃變更，程序書 D529.3 系列應定期檢視/更新可燃物危害、救災/避難動線等之管理、管制措施。

表 2-4. 核一廠防火計畫相關程序書除役期間之建議或注意事項 (7 之 2)

項目	章節 ^a	建議或注意事項	
		除役過渡階段	除役拆廠階段
3	2.1	建議程序書 105 適當修訂針對「支援除污和拆除作業所需材料等可燃物負荷增加」加強管理；程序書 107.2.7 針對除污、拆除等作業，更新火災災害分析與影響評估。	依除役計畫第六章「因應除役放射性廢棄物處理需求，汽機廠房及聯合結構廠房部分空間改建為放射性廢棄物處理區域。」 改建作業可能涉及動火管制、臨時可燃物管理、防火區可燃物負荷、消防救災/避難疏散動線變更、防火區劃大小變更等，故程序書 105、107、D529.3 系列等應適度修訂說明因應除役作業之應變措施。
4	2.2	建議定期檢視電廠組態變化，特別是儲存放射性核子燃料、廢棄物有關之區域或廠房。	依除役計畫第六章「因應除役放射性廢棄物處理需求，汽機廠房及聯合結構廠房部分空間改建為放射性廢棄物處理區域。」防火區劃、配置如有變更程序書 107.2、D529.3 系列需對應修訂，並應有對應之防火管制、管理說明。

表 2-4. 核一廠防火計畫相關程序書除役期間之建議或注意事項 (7 之 3)

項目	章節 ^a	建議或注意事項	
		除役過渡階段	除役拆廠階段
5	2.3	因應一次系統除污、其他系統初步除、廠房初步除污等作業，防火計畫相關程序書如 105、107.2.7、107.5 應定期檢視、修訂。	因應汽機廠房及聯合結構廠房部分空間改建為放射性廢棄物處理區域、拆除作業，程序書 107.2.7、107.5、D529.3 系列應定期檢視、修訂。
6	2.4.1	用過燃料池區域及其冷卻水系統、補水系統相關設備所在防火區之消防系統應檢視評估確認消防設備能力、防火區火載量等。	無
7	2.4.2	無	對於電廠污染區與廢棄物儲存區，程序書 107.2.7 需有相關之評估。程序書 107、D529.3 系列則定期酌情檢視可燃物火載量、廢棄物儲存量。
8	2.5	因應除役作業而新建之廠房/設施應與其他廠房/設施保持足夠之分隔距離，避免火災延燒擴散。	同左
9	3.1	因應除役組織變動，相關消防通報程序如有更動，程序書需隨之更新修訂。	同左

表 2-4. 核一廠防火計畫相關程序書除役期間之建議或注意事項 (之 4)

項目	章節 ^a	建議或注意事項	
		除役過渡階段	除役拆廠階段
10	3.2	考慮除役不同階段之可能之危害差異，建議火災防護計畫與除役作業管控流程相結合。	同左
11	3.3.3	除役期間「用過燃料池區域及堆積或儲存放射性廢棄物之區域」應列為安全重要區域，防火計畫相關程序書應酌情定期檢視訓練、演習情境。	同左
12	3.4.1	除役期間「用過燃料池區域及堆積或儲存放射性廢棄物之區域」應列為安全重要區域；因應除污而可能增加之可燃物，程序書 105、107.5 應有對應之管理、管制措施。	因應除役拆解拆除作業，程序書 105、107.5、107.2.8、107.2.9 應定期檢討並有對應之管理、管制措施，避免放射性物質外釋。
13	3.4.2	除役期間「用過燃料池區域及堆積或儲存放射性廢棄物之區域」應列為安全重要區域；因應除污而可能增加之可燃物，程序書 105、107.5 應有對應之管理、管制措施。	因應除役拆解拆除作業，程序書 105、107.5、107.2.8、107.2.9 應定期檢討並有對應之管理、管制措施，避免放射性物質外釋。
14	3.5.2	建議於程序書 105 或 107.5 增加相關規定。	同左

表 2-4. 核一廠防火計畫相關程序書除役期間之建議或注意事項 (之 5)

項目	章節 ^a	建議或注意事項	
		除役過渡階段	除役拆廠階段
15	3.6.3	建議於程序書 105.17 節增加除役期間之相關管理、管制措施。	同左
16	3.6.4	除污、拆解前準備等工作若涉及防火區邊界、或屏障暫時變更，程序書 107.2 應有相關之管制、管理對應措施。	除役作業應檢核防火屏蔽破壞對鄰近廠房、設施之潛在火災擴散危害。
17	3.7.1	建議依 RG 1.191 新增程序書，並依臨時結構物之位置、性質、潛在火災危害、設置自動或手動消防設施。	同左
18	3.7.2	程序書 105、107.2.7、D529.3 系列應考慮因除役作業所需之臨時結構或臨時可燃物對相鄰結構/設施之潛在火災危害，確認消防設施之性能足以應付。	應確認因除役除污、拆除作業而增加之可燃物不會超過該區域之消防設施性能；並應確認對相鄰的結構(尤其是含有放射性物質)所可能導致的火災危害。

表 2-4. 核一廠防火計畫相關程序書除役期間之建議或注意事項 (7 之 6)

項目	章節 ^a	建議或注意事項	
		除役過渡階段	除役拆廠階段
19	4.1	建議重新評估用過燃料池區及其冷卻系統相館設備所在之防火區之偵測和警報系統的設計、程序書 309.13、107.2.8、107.2.9、D529.3.1、D529.3.2 應適當修訂，以確保除役期間的火災危害得到適當的控制。	由於「因應除役放射性廢棄物處理需求，汽機廠房及聯合結構廠房部分空間改建為放射性廢棄物處理區域」，建議檢視相關廠房(防火區)之消防偵測和警報系統之設計，程序書 309.13、107.2.8、107.2.9 需對應進行適當修訂，且新建放射性廢棄物廠房也應納入。此外，需避免因拆除作業導致鄰近廠房/防火區之消防偵測/警報系統不可用。
20	4.2.1	若防火區劃大小因除役作業而有變更，火災負荷、防火屏蔽等級應重新計算評估。	同左
21	4.3.1	因應除役新建放射性廢棄物處理設施、除役作業可能會導致供水系統的一部分被隔離、拆除或廢棄，故應審查任何組態配置、系統變化，以確保能提供足夠的流量和覆蓋廠區範圍。建議程序書 107、或 509.7 新增章節說明因應部分隔離、暫時隔離、或誤隔離等情況之因應與預防措施。	同左

表 2-4. 核一廠防火計畫相關程序書除役期間之建議或注意事項 (7 之 7)

項目	章節 ^a	建議或注意事項	
		除役過渡階段	除役拆廠階段
22	4.3.2	為支援除役而建造的新結構或臨時結構，及與儲存放射性廢棄物有關之區域，皆應檢視設置自動消防系統之必要性。	同左
23	4.3.3	注意除役作業(如除污)是否會影響立管(Standpipe)和軟管(hose)之可用性或可靠性(消防水流量)。	同左
^a RG 1.191 Rev.1 Section C “Staff Regulatory Guidance”。 註：本表除役作業之進程為根據公布於核安能會網站之「核一廠除役計畫第六章」。			

表 2-5. 核二廠防火計畫相關程序書除役期間之建議或注意事項 (10 之 1)

項目	章節 ^a	建議或注意事項		
		除役過渡階段後期		除役拆廠階段
		用過燃料池島區建置	用過燃料池島區運轉	
1	1.1~1.3	因應用過燃料池島區之建置，裝載池復原等除役作業，燃料廠房之消防救災、避難路線等是否因除役作業而有更動，程序書 107、失火對策計畫應有相關之管制、管理計畫。	因應用過燃料池島區之建置，程序書 107、失火對策計畫，有關燃料廠房各防火區之可燃物負載量、消防系統設計、火災危害分析等應重新檢視。	因應新建廢棄物處理/貯存設施及配合拆除作業設置之汽機與反應器廠房低放射性廢棄物處理區，程序書 107、失火對策計畫、消防訓練等需定期檢視並酌情修訂。
2	1.4	對於用過核子燃料池島區之建置，應針對建置期間之防火計畫(失火對策)酌情修訂，且應至少每年檢視一次。	建議另外制訂一份用過核子燃料池島區之防火計畫及/或相關程序書。	因應除污及廠房拆除作業，應定期檢視、修訂防火計畫相關程序書。

表 2-5. 核二廠防火計畫相關程序書除役期間之建議或注意事項 (10 之 2)

項目	章節 ^a	建議或注意事項		
		除役過渡階段後期		除役拆廠階段
		用過燃料池島區建置	用過燃料池島區運轉	
3	2.1	建置作業可能涉及動火管制、臨時可燃物管理、防火區可燃物負荷增加、消防救災、避難疏散動線變更、防火區劃大小變更等，故程序書 105、107、151、500.25 等應適度修訂說明因應除役作業之應變措施。	因應建置後之變更，燃料廠房防火區可燃物負荷、火災危害應重新評估，故程序書 107、500.25 等應酌情修訂。	建議程序書 105、151 適當修訂或新增章節針對「支援除污、拆除作業所需物料等可燃物負荷增加」加強管理。因應配合拆除作業設置汽機與反應器廠房低放射性廢棄物處理區，需檢討對消防設施設計、防火區變更對火災危害之影響。
4	2.2	因應用過燃料池島區建置可能改變防火區之大小、設置、配置等情況，程序書 107、500.25 等需有對應之修訂更新。	因應用過核子燃料池島區建置及作為低放射性廢棄物處理區域，失火對策、消防計畫等程序書需有對應之管理、管制措施。	除役計畫第六章「因應除役低放射性廢棄物處理需求，反應器廠房及汽機廠房部分空間改建為低放射性廢棄物處理區域」。針對改建作業，應檢視防火區劃是否改變，程序書 105、151、107、500.25 並酌情修訂管制措施。

表 2-5. 核二廠防火計畫相關程序書除役期間之建議或注意事項 (10 之 3)

項目	章節 ^a	建議或注意事項		
		除役過渡階段後期		除役拆廠階段
		用過燃料池島區建置	用過燃料池島區運轉	
5	2.3	<p>因應用過核子燃料池島區建置作業，程序書 105、107、151、500.25 等有關燃料廠房部分需有對應之管理、管制措施。</p> <p>失火對策計畫對於建置用過燃料池島區、護箱裝載池復原作業可能之影響(如救災與避難疏散動線、可燃物總量、自動/手動消防設施)，及應變措施，需檢視相關之管理措施。</p>	<p>因應用過核子燃料池島區運轉，建議有獨立之程序書執行管理、管制措施。</p>	<p>因應除污、拆除作業，程序書 105、151、107、500.25 等需有對應之加強管理、管制措施。</p>
6	2.4.1	<p>因應護箱裝載池復原、用過核子燃料池島區建置，相關程序書(如 107、500.25)需對應檢視、修訂失火對策等管理、管制措施。</p>	<p>檢視用過燃料池區與其冷卻系統，以及相關支援系統之消防系統性能，相關程序書如 107、500.25 對應更新修訂。</p>	<p>無</p>

表 2-5. 核二廠防火計畫相關程序書除役期間之建議或注意事項 (10 之 4)

項目	章節 ^a	建議或注意事項		
		除役過渡階段後期		除役拆廠階段
		用過燃料池島區建置	用過燃料池島區運轉	
7	2.4.2	程序書 105、107、151、500.25 等有關燃料廠房，以及放射性廢棄物儲存區(含新建廠房)應有檢核管理措施，確保包括臨時可燃物、或因除役產生之廢棄物不會增加火災引起放射性物質外釋或擴散之風險。	同左	同左
8	2.5	因應除役而新建之廠房/設施應與其他廠房/設施保持足夠之分隔距離，避免火災延燒擴散，尤其是鄰近機組共用區域設施(如廢料廠房、核機冷卻水系統、正常冷凍水系統等)。	同左	同左

表 2-5. 核二廠防火計畫相關程序書除役期間之建議或注意事項 (10 之 5)

項目	章節 ^a	建議或注意事項		
		除役過渡階段後期		除役拆廠階段
		用過燃料池島區建置	用過燃料池島區運轉	
9	3.1	因應除役組織變動，相關消防通報程序如有更動，程序書需隨之更新修訂。	同左	同左
10	3.2	建議程序書 105、107、151 適當修訂，結合除役作業管控流程，例如機電及設備建置作業之管控與動火作業、緊急消防計畫結合。	同左	同左
11	3.3.3	因應不同除役階段之電廠組態變化，相關程序書如 107、500.25、1420 應酌情定期檢視訓練、演習情境。	同左	同左
12	3.4.1	建議程序書 105 將「用過燃料池區域及含有放射性物質、廢棄物之區域」列為特別管制區或新增章節加強管制說明。	建議程序書 105 適當修訂或新增章節針對「支援除污和拆除作業所需材料等可燃物負荷增加」加強管理。	同左

表 2-5. 核二廠防火計畫相關程序書除役期間之建議或注意事項 (10 之 6)

項目	章節 ^a	建議或注意事項		
		除役過渡階段後期		除役拆廠階段
		用過燃料池島區建置	用過燃料池島區運轉	
13	3.4.2	建議程序書 105 適當修訂或新增章節針對「支援除污和拆除作業所需材料等可燃物負荷增加」加強管理，特別是含有放射性物質、污染物或對防止或減輕放射性物質外釋有關之 SSCs 的區域。	同左	同左
14	3.5.2	建議於程序書 105 或 151 增加可攜式加熱設備之相關規定。	同左	同左
15	3.6.3	盡量避免核准在消防系統受損的防火區安排涉及長時間之動火、使用易燃或可燃材料或其他高火災危害的作業。	同左	因應除役拆除作業，程序書 105 第 6.11 節之巡視路線須酌情定期檢視是否需要調整。

表 2-5. 核二廠防火計畫相關程序書除役期間之建議或注意事項 (10 之 7)

項目	章節 ^a	建議或注意事項		
		除役過渡階段後期		除役拆廠階段
		用過燃料池島區建置	用過燃料池島區運轉	
16	3.6.4	建置作業可能涉及防火區邊界、或防火屏蔽變更，程序書 617.5.6.1、失火對策應有相關之檢查、維護管理措施。	同左	除役作業應檢核防火屏蔽破壞對鄰近廠房、設施之火災擴散危害。 因應除役低放射性廢棄物處理需求，反應器廠房及汽機廠房部分空間改建為低放射性廢棄物處理區域，程序書 617.5.6.1、失火對策需相關之檢查、維護管理措施。
17	3.7.1	建議依 RG 1.191 新增程序書，並依臨時結構物之位置、性質、前在火災危害、設置自動或手動消防設施。	同左	同左

表 2-5. 核二廠防火計畫相關程序書除役期間之建議或注意事項 (10 之 8)

項目	章節 ^a	建議或注意事項		
		除役過渡階段後期		除役拆廠階段
		用過燃料池島區建置	用過燃料池島區運轉	
18	3.7.2	應考慮因用過核子燃料池島區建置而新增之機電與設備、或可能之防火區劃改變，需確認程序書 107、500.25 等消防設施之性能足以應付火災危害。	應考慮因除役作業所需之臨時結構或臨時可燃物對相鄰結構/設施之潛在火災危害，確認消防設施之性能足以應付。	程序書或除役作業流程需確認因除役除污、拆除作業所產生之可燃廢棄物其火災危害不會危及鄰近結構(尤其是含有放射性物質)，即應確認消防設施之性能足以應付。
19	4.1	建議檢視或重新評估用過燃料池島區、及儲存或堆積放射性廢棄物相關之廠房(防火區)之消防偵測和警報系統之設計。程序書 396.1~396.4 並對應進行適當修訂。	程序書或除役作業流程管控應有檢核、管理措施，避免因拆除作業導致鄰近廠房/防火區之消防偵測/警報系統不可用。	同左

表 2-5. 核二廠防火計畫相關程序書除役期間之建議或注意事項 (10 之 9)

項目	章節 ^a	建議或注意事項		
		除役過渡階段後期		除役拆廠階段
		用過燃料池島區建置	用過燃料池島區運轉	
20	4.2.1	若燃料廠房防火區劃大小因除役作業而有變更，火載負荷、防火屏蔽等級應重新計算評估。	同左	因應除役低放射性廢棄物處理需求，反應器廠房及汽機廠房部分空間改建為低放射性廢棄物處理區域，防火區劃如有變更，則火載負荷、防火屏蔽等級、消防設計等應重新檢視，程序書 500.25 需對應修訂。
21	4.3.1	除役作業可能會導致供水系統的一部分被隔離、拆除或廢棄。應審查任何系統變化，以確保能提供足夠的流量和覆蓋廠區範圍。建議程序書 107、或 527 新增章節說明因應部分隔離、暫時隔離、或誤隔離等情況之因應與預防措施。	同左	同左

表 2-5. 核二廠防火計畫相關程序書除役期間之建議或注意事項 (10 之 10)

項目	章節 ^a	建議或注意事項		
		除役過渡階段後期		除役拆廠階段
		用過燃料池島區建置	用過燃料池島區運轉	
22	4.3.2	為支援除役而建造的新結構或臨時結構，及與儲存或堆積放射性廢棄物有關之區域，應重新檢視設置自動消防系統之必要性。	同左	同左
23	4.3.3	依火災危害分析，注意建置作業是否會影響立管(Standpipe)和軟管(hose)系統之可用性或可靠性。	同左	應先評估拆除作業是否會影響手動消防系統功能，增加火災危害風險。

^a RG 1.191 Rev.1 Section C “Staff Regulatory Guidance”。

註：本表除役作業之進程為根據公布於核安能會網站之「核二廠除役計畫第六章」。

(本頁空白)

參、主要發現與結論

一、主要發現

本計畫根據核一、二廠除役計畫、電廠程序書及 RG 1.191 Rev.1 等資料，檢視核一、二廠之火災防護計畫相關程序書，並提出未來因應不同階段除役作業之建議或注意事項，供管制單位參考。

透過研析 IP 64704 及美國除役電廠視察報告，了解除役過程中曾出現的火災相關違規事項，作為我國電廠除役期間之安全管制借鏡。此外，也進行重要廠房(防火區)臨時可燃物火災危害分析。研究成果說明如下：

(一) 研析 US NRC IP 64704 及美國核電廠除役期間視察報告

本計畫蒐集並研析美國 Zion、San Onofre、與 La Crosse 等三個核電廠之除役期間視察報告，摘要重點如下：

1. 審查項目包括，安全審查、設計變更和修改、稽核和矯正措施、程序書、用過燃料池安全、維護和監測、用過核子燃料安全和輻射安全、除役績效和狀態審查、ISFSI、放射性廢棄物處理、廢水及環境監測等。
2. 視察員在發現問題時會先判別違規程度(例如等級 IV)，然後依持照業者(或電廠)對於該問題現況與處理方式(是否已採取矯正措施)再判定是否給予違規舉發。
3. 大多數的違規電廠都已採取適當之矯正措施(CAP)，因此 NRC 視察的結果多以非正式提出之違規事件(NCV)結案。
4. 火災相關違規事項：三個電廠皆有 2 個 NCVs (違規嚴重程度均為等級 IV)

(1) Zion 電廠：

- A. 違反程序書 ZAP 900-03 規定，在 SFNI 匯流排 1 和 2 的電氣櫃之間發現了一塊膠合板(plywood) (距離不到一英尺，尺寸約為 2 英尺寬 × 3 英尺長 × 1 英寸厚)。
- B. 違反程序書 ZS-FT-402 規定，在執行 TSCDF-30 焊接作業期間未正確控制和監測氫氣濃度。(在 TSC 密封蓋與外殼焊接之前及焊接期間需要進行氫監測，避免氫在 TSC 內積聚。)

(2) San Onofre 電廠：

- A. 違反程序書 SDS-FP1-PCD-0005 規定，在 3 號機電纜穿越室(penetration room)未通電之電纜托網(cable tray)上發現可燃物(其上方為通電之電纜托網)。同時，這也違反技術規範第 5.5.1.1.d 節「必須將可燃物質移至電纜托網 10 英尺外」。
- B. 程序書 SDS-FP1-PCD-0015 規定，動火作業 35 英尺內的所有 A 類可燃物已被清除，或已用核准的焊接簾、焊接毯或焊接墊進行防火覆蓋。

(3) La Crosse 電廠：

- A. 不符合 10 CFR 72.122(c)和 10 CFR 72.212(b)(6)。持照業者使用重型具有大量橡膠輪胎之拖車將垂直混凝土護箱(Vertical Concrete Cask, VCC)運至 ISFSI 儲存台。這些輪胎可能對護箱造成火災危害，但電廠沒有進行相關火災危害評估。

B. 不符合 CFR 50.48(f)(3)。永久放棄現場消防栓並永久使用廠外的 Genoa 消防隊將密西西比河作為主要水源來滅火，代表防火計畫的有效性可能會降低，而持照業者並未對此進行評估。

5. 視察做法多為：審查防火計畫相關程序書、確認涉及設計變更時，電廠文件與實際現場狀態相符、SFP 及其冷卻系統符合法規規範、現場巡查並與電廠人員訪談，確認除役作業之實際執行情況。

(二) 重要防火區臨時可燃物火災危害分析

核一廠反應器廠房防火區 2M 北側與南側區域、2P 東側區域因含有用過燃料池冷卻系統重要設備(冷卻水泵、電氣設備等)，根據 CFAST 分析結果並考量避難疏散路徑，除役期間不應堆置可燃物。核二廠燃料廠房防火區 261A、反應器輔助廠房防火區 42C-W 及、廢料廠房防火區 218B，因含有用過燃料池冷卻系統重要設備(冷卻水泵、電氣設備等)，依火災危害分析結果並考量避難疏散路徑，除役期間不宜堆置可燃物。上述區域如因除役作業所需，則可燃物須以防火毯、防火墊等耐火材料覆蓋，作業完成應立即清除可燃物，且作業期間應有電廠工安人員監督動火作業。

(三) 檢視防火計畫相關程序書並與 RG 1.191 比對

因核電廠除役期間的主要防火考量與運轉中顯著不同，因此，防火計畫相關程序書之作業管制、緊急應變措施等亦應隨之調整。若再考慮不同除役階段之火災危害特性，則相關程序

書應定期(如每年)檢視，以確保管制措施之有效性。

檢視核一、二廠防火計畫相關程序書且與 RG 1.191 Rrv.1 Section C 監管指引內容比對。比對結果詳見附表 A-1，電廠現有程序書大多可做為參考基礎，但因應除役期間主要保護目標為用過燃料池與含有放射性物質之區域(而非確保反應爐安全停機)，故程序書之保護目標應加以修訂。此外，因除役所需，電廠組態與條件、可燃物負荷、防火區邊界或屏蔽之控制等，可能因除役作業(如建置用過燃料池島區、低放射性廢棄物處理區、搭設臨時結構等)，以致火災危害發生改變(如可燃物負荷增加)、消防救災/避難疏散動線須因應調整等情況，因此相關程序書也需要更新修訂。另外，含有放射性物質、廢棄物或設備之區域，其原消防設計性能也需重新檢視。

二、結論與建議

從 Zion、San Onofre、La Crosse 電廠視察報告的違規事項中可以發現，電廠程序書雖有規定，但現場實際作業時可能因除役作業期程長、承包作業人員心態輕忽、電廠督導(監視)、巡查未落實等因素而導致火災危害。建議管制單位在視察時，除應掌握電廠執行除役作業與核准的規劃作業之一致性外，對於人員(包括承包商)之管理、訓練，視察時也可多加留意。另外，有鑑於國外電廠之程序書對於可燃物與火源兩者間之距離有明確的要求(例如動火作業之 35 呎範圍內不得有 A 類可燃物(有合格的防火覆蓋除外))，建議管制單位可參考 NFPA 51B “Standard for Fire Prevention During Welding, Cutting, and Other Hot Work” 定訂類似之規範，以利管制與視察工作之進行。

核一廠反應器廠房二樓防火區 2M、三樓防火區 2P 與核二廠燃料廠房一樓防火區 261A、反應器輔助廠房二樓防火區 42C-W、廢料廠房二樓防火區 218B 等防火區，因含有用過燃料池冷卻水系統重要設備(如冷卻水泵) 故除役期間不應堆置、存放臨時可燃物。若因除役作業所需，應以防火毯(防火墊)覆蓋，且在電廠工安人員管制下，作業完成立即清理移除可燃物。

如因除役作業需(短期)堆置臨時可燃物，則該區域應有進一步的評估佐證其適切性以及行政管制的因應措施。依除役計畫「因應除役低放射性廢棄物處理需求，將於汽機廠房...等設置數個低放射性廢棄物處理區域」，此類變更如有增加相關機電設備或涉及防火區劃大小改變，則應重新進行火災危害分析，防火計畫相關程序書亦需適當更新修訂。

檢視核一、二廠防火計畫相關程序書並與 RG 1.191 Rev.1 監管指引內容進行比對，研析結果某些監管項目，例如電廠組態與條件、可燃物管制、防火區邊界或屏蔽之控制等，可能因建置用過燃料池島區、建置低放射性廢棄物處理區、除污與拆除等作業而導致火災危害特性不同，因此相關程序書(核一廠如 105、107.2、107.5、529.3 系列；核二廠如 105、107、151、500.25、617.5.6.1) 等，需因應電廠除役之性特與狀態調整管理、管制措施。針對不同除役階段，相關建議或注意事項，詳如表 2-4 與表 2-5 所示。

肆、參考文獻

1. RG 1.191 Revision 1, “Fire Protection Program For Nuclear Power Plants During Decommissioning,” U.S. Nuclear Regulatory Commission, January 2021.
2. NRC Inspection Manual Inspection Procedure 64704 “Fire Protection Program at Permanently Shutdown Reactors”, Effective Date: 01/01/2021.
3. NUREG/CR-6850, “EPRI/NRC-RES Fire PRA Methodology for Nuclear Power Facilities,” U.S. Nuclear Regulatory Commission, September 2005.
4. “Fire Dynamics Tools (FDTs) Quantitative Fire Hazard Analysis Methods for the U. S. Nuclear Regulatory Commission Fire Protection Inspection Program,” U.S. Nuclear Regulatory Commission, July 2013.
5. NUREG-2233, “Methodology for Modeling Transient Fires in Nuclear Power Plant Fire Probabilistic Risk Assessment,” U.S. Nuclear Regulatory Commission, October 2020.
6. R. Peacock, G. Forney, and P. Reneke, P., “CFAST—Consolidated Model of Fire and Smoke Transport (Version 7), Volume 2: User’s Guide,” National Institute of Standards and Technology, 2019.
7. 核一廠除役計畫，台灣電力公司。(公布於核能安全委員會網站之「核一廠除役計畫」)
8. 核二廠除役計畫，台灣電力公司。(公布於核能安全委員會網站之「核二廠除役計畫」)
9. 台灣電力公司第一核能發電廠程序書。
10. 台灣電力公司第二核能發電廠程序書。

11. 台灣電力公司第一核能發電廠訓練教材。
12. 台灣電力公司第二核能發電廠訓練教材。

附件一 工作內容與本報告章節之對應表

依合約規範之工作內容與本報告章節之對應表，如下所示。

工作內容與本報告章節之對應表

工作內容	對應本報告章節
1. 完成研析美國 NRC Inspection Procedure 64704 " Fire Protection Program At Permanently Shutdown Reactors "與相關除役電廠火災視察程序書或視察報告。	第貳、一節
2. 完成核一、二廠除役期間(除役過渡階段、除役拆廠階段)臨時可燃物之火災危害分析，及對火災防護計畫之影響(如火災偵測、行政管制、救援應變)。 (完成核一、二廠除役除污與拆除(decontamination and dismantling, D&D)期間臨時火源之火災危害評估及對火災防護計畫之影響分析)	第貳、二節與第貳、三節
3. 將上述 1、2 項成果彙整成成果報告，並提出管制建議回饋。	第參節

附錄 A 美國核電廠除役期間視察報告彙整表

附錄 A 美國核電廠除役期間視察報告彙整表

本計畫蒐集 Zion、San Onofre 及 La Crosse 等 3 座美國核電廠除役期間之視察報告，如主報告第貳、一、(二)節所述，本附錄表列 3 座電廠視察報告之摘要結果，分別如表 A-1、表 A-2、及表 A-3 所示。「針對火災」之視察結果如有違規事項，其說明詳見主報告。對於「除火災之外」之視察結果其違規原因與電廠除役作業安全相關者，其說明同樣詳見主報告；若與輻射、核子保安相關(如放射性物料、輻射監測、核子保安等)，則僅摘要如表 2-1~表 2-3 最後一欄「視察結果摘述」。對於該次視察結果沒有任何違規事項者，則簡要說明該次視察之項目與做法。

表 A-1. Zion 電廠視察報告研析結果摘要彙整

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	Zion 視察結果摘述
1	2000/2/29	ML003692912	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規(No violations or deviations were identified)	項目：電廠之管理和管制、除役作業、用過核子燃料安全和輻射安全等進行審查。 做法： 1. 審查除役技術規範(Defueled Technical Specifications)、除役作業報告、防火計畫、偵測試驗報告。 2. 確認輻射防護計畫符合 ALARA 要求等，並進行現場巡查。
2	2000/5/11	ML003715801	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：電廠之管理和管制、除役作業、用過核子燃料安全和輻射安全等進行審查。 做法： 1. 審查 SFP 之 SSCs 完整性、確認拆除之設備不影響電廠安全。 2. 確認防火計畫與相關程序書與電廠實際狀態一致、確認輻射防護計畫符合 ALARA 要求等，並進行現場巡查。
3	2000/7/25	ML003746044	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：電廠之管理和管制、除役作業、用過核子燃料安全和輻射安全等進行審查。 做法： 1. 審查 SFP 之 SSCs 完整性、確認 SFP 池水品質與池水溫度符合要求。 2. 確認除役作業進行前有確實執行工作會議確保作業安全。 3. 確認電廠有適當的儀器監測放射性廢水等，並進行現場巡查。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	Zion 視察結果摘述
4	2000/11/27	ML003782091	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：電廠之管理和管制、除役作業、用過核子燃料安全和輻射安全等進行審查。 1. 審查除役緊急計畫。 2. 確認為 SFP 島區提供加熱，以確保冷卻系統之設備能夠承受極度低溫的情況。 3. 審查程序書並確保 SFP 處於安全狀態、確認符合 ALARA 要求等。
5	2001/2/23	ML010540247	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：電廠之管理和管制、除役作業、用過核子燃料安全和輻射安全等進行審查。 做法： 1. 審查 SFP 之 SSCs 完整性並查核廠務管理成效。 2. 確認 SFP 池水品質與池水溫度符合要求。 3. 確認電廠已制定冷卻水塔清潔預防性維護計畫，確保冷卻水塔濾網不會堵塞。 4. 確認輻射防護計畫符合 ALARA 要求等，並進行現場巡查。
6	2001/4/10	ML011000484	未發現火災危害 相關之違規	1 個 NCV (non-cited violation)	1 個 NCV： 電廠在得知通往該場址的輸電線上安裝了尺寸過小的電流轉換器後，沒有依照程序書進行矯正措施。
7	2001/6/7	ML011580369	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：電廠之管理和管制、除役作業、用過核子燃料安全和輻射安全等進行審查。 審查程序書、報告、現場巡查並與電廠人員面談。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	Zion 視察結果摘述
8	2001/8/23	ML012390360	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：電廠之管理和管制、除役作業、用過核子燃料安全和輻射安全等進行審查。 1. 審查電力系統程序書、確認 SFP 冷卻與通風系統符合要求。 2. 現場巡查並與電廠人員面談。
9	2002/1/30	ML020320284	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：電廠之管理和管制、除役作業、用過核子燃料安全和輻射安全等進行審查。 1. 審查輻射管制程序書、確認用過核子燃料有適當的監測與維護。 2. 現場巡查並與電廠人員面談。
10	2002/3/12	ML020850805	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：電廠之管理和管制、除役作業、用過核子燃料安全和輻射安全等進行審查。 做法： 1. 審查 SFP 之 SSCs 完整性、確認廠務管理符合程序書要求。 2. 確認除役作業對 SFP 之影響符合法規要求。 3. 確認輻射防護計畫符合 ALARA 要求等，並進行現場巡查及與電廠人員面談。
11	2002/5/20	ML021520003	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：電廠之管理和管制、除役作業、用過核子燃料安全和輻射安全等進行審查。 做法： 1. 審查程序書、確認電廠已制定程序書，防止用過燃料池發生虹吸現象。 2. 查核用過燃料池內襯和輸送管道內襯的洩漏量是可以接受的。、現場巡查並與電廠人員面談。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	Zion 視察結果摘述
12	2002/7/12	ML021960461	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：電廠之管理和管制、除役作業、用過核子燃料安全和輻射安全等進行審查。 做法： 審查輻射管制程序書、確認用過核子燃料有適當的監測與維護、現場巡查並與電廠人員面談。
13	2002/9/18	ML022690610	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：電廠之管理和管制、除役作業、用過核子燃料安全和輻射安全等進行審查。 做法： 1. 審查維持安全儲存用過燃料所需之 SSCs 之完整性、 2. 確認用過核子燃料有適當的監測與維護、現場巡查並與電廠人員面談。
14	2003/2/6	ML030370482	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：電廠之管理和管制、除役作業、用過核子燃料安全和輻射安全等進行審查。 做法： 查核維持安全儲存用過燃料所需之 SSCs 之完整性、確認廠務管理與消防設施符合規定、確認輻射管理符合 ALARA、現場巡查並與電廠人員面談。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	Zion 視察結果摘述
15	2003/5/5	ML031260632	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：電廠之管理和管制、除役作業、用過核子燃料安全和輻射安全等進行審查。 做法： 1.查核電廠人員配置滿足現場工作的需要，電廠人員資格和訓練符合技術規範要求。 2.確認廠務管理與消防設施符合規定、確認電廠有效控制輻射曝露，並保持有效的污染控制流程。 3.現場巡查並與電廠人員面談。
16	2003/7/16	ML031990088	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：電廠之管理和管制、除役作業、用過核子燃料安全和輻射安全等進行審查。 做法： 審查程序書、報告、現場巡查並與電廠人員面談。
17	2003/10/24	ML032970614	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：電廠之管理和管制、除役作業、用過核子燃料安全和輻射安全等進行審查。 做法： 審查程序書、報告、現場巡查並與電廠人員面談。
18	2003/12/2	ML033630756	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	核子保安視察，查核相關程序書、紀錄、並與電廠人員面談。
19	2004/2/20	ML040510355	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	電廠之管理和管制、除役作業、用過核子燃料安全和輻射安全等進行審查。 做法： 查核用過燃料池島區之安全維護符合相關規定、確認用過核子燃料有適當的監測與維護、現場巡查並與電廠人員面談。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	Zion 視察結果摘述
20	2004/3/16	ML040760539	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	核子保安視察，查核相關程序書、紀錄、並與電廠人員面談。
21	2004/9/14	ML042600265	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：本次審查聚焦於(1) SFP 安全、(2) 維護與監測作業。 做法： 1.視察員查核用過燃料池島區之運轉包括電力系統可靠度，及 審閱相關文件與程序書、 2.查核與用過核燃料安全儲存有關的維護工作是否依重要性是 當安排優先順序。
22	2004/10/6	ML042810050	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：電廠之管理和管制、除役作業、用過核子燃料安全和輻 射安全等進行審查。 做法： 審查程序書、報告、現場巡查並與電廠人員面談，確認廠務管 理、除役作業、用過燃料池監測等均符合相關規定。
23	2005/7/1	ML051820446	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：電廠之管理和管制、除役作業、用過核子燃料安全和輻 射安全等進行審查。 做法： 審查程序書、報告、現場巡查並與電廠人員面談，確認廠務管 理、除役作業、用過燃料池監測等均符合相關規定。
24	2005/10/21	ML052940327	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：電廠之管理和管制、除役作業、用過核子燃料安全和輻 射安全等進行審查。 做法： 審查程序書、報告、現場巡查並與電廠人員面談，確認廠務管 理、除役作業、用過燃料池監測等均符合相關規定。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	Zion 視察結果摘述
25	2006/5/3	ML061250155	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：電廠之管理和管制、除役作業、用過核子燃料安全和輻射安全等進行審查。 做法： 審查程序書、報告、現場巡查並與電廠人員面談，確認廠務管理、除役作業、用過燃料池監測等均符合相關規定。
26	2006/9/28	ML062730010	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：電廠之管理和管制、除役作業、用過核子燃料安全和輻射安全等進行審查。 做法： 審查程序書、報告、現場巡查並與電廠人員面談，確認廠務管理、除役作業、用過燃料池監測、用過燃料貯存等符合相關規定。
27	2006/5/3	ML063180343	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：電廠之管理和管制、除役作業、用過核子燃料安全和輻射安全等進行審查。 做法： 1. 審查程序書、報告、現場巡查並與電廠人員面談。 2. 確認廠務管理、除役作業、用過燃料池監測、用過燃料貯存等符合相關規定。
28	2006/11/29	ML063410554	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	核子保安視察，查核相關程序書、紀錄、並與電廠人員面談。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	Zion 視察結果摘述
29	2007/4/6	ML070960520	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：電廠之管理和管制、除役作業、用過核子燃料安全和輻射安全等進行審查。 做法： 1. 審查程序書、報告、現場巡查並與電廠人員面談， 2. 確認廠務管理、除役作業、用過燃料池監測、用過燃料貯存等符合相關規定。
30	2007/9/20	ML072630562	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	電廠之管理和管制、除役作業、用過核子燃料安全和輻射安全等進行審查。 做法： 1. 審查程序書、報告、現場巡查並與電廠人員面談。 2. 確認廠務管理、除役作業、用過燃料池監測、輻射安全等符合相關規定。
31	2007/10/9	ML072851187	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	核子保安視察，查核相關程序書、紀錄、並與電廠人員面談。
32	2008/4/2	ML080930452	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：電廠之管理和管制、除役作業、用過核子燃料安全和輻射安全等進行審查。 做法： 審查程序書、報告、現場巡查並與電廠人員面談，確認廠務管理、除役作業、用過燃料池水位與水溫監測、輻射安全等符合相關規定。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	Zion 視察結果摘述
33	2008/10/1	ML082750103	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：電廠之管理和管制、除役作業、用過核子燃料安全和輻射安全等進行審查。 做法： 審查程序書、報告、現場巡查並與電廠人員面談，確認廠務管理、除役作業、用過燃料池水位與水溫監測、輻射安全等符合相關規定。
34	2009/3/26	ML090860846	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：電廠之管理和管制、除役作業、用過核子燃料安全和輻射安全等進行審查。 做法： 審查程序書、報告、現場巡查並與電廠人員面談，確認廠務管理、除役作業、用過燃料池水位與水溫監測、輻射安全等符合相關規定。
35	2009/9/30	ML092730639	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：電廠之管理和管制、除役作業、用過核子燃料安全和輻射安全等進行審查。 做法： 1. 審查程序書、報告、現場巡查並與電廠人員面談。 2. 確認廠務管理、除役作業、用過燃料池水位與水溫監測、輻射安全等符合相關規定。
36	2009/12/10	ML093441652	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	核子保安視察，查核相關程序書、紀錄、並與電廠人員面談。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	Zion 視察結果摘述
37	2010/5/11	ML101320708	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：電廠之管理和管制、除役作業、用過核子燃料安全和輻射安全等進行審查。 做法： 審查程序書、報告、現場巡查並與電廠人員面談，確認廠務管理、除役作業、用過燃料池水位與水溫監測、輻射安全等符合相關規定。
38	2010/10/6	ML102800318	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：電廠之管理和管制、除役作業、用過核子燃料安全和維護與監測等進行審查。 做法： 1. 審查程序書、報告、現場巡查並與電廠人員面談。 2. 確認廠務管理、除役作業、用過燃料池水位與水溫監測、輻射安全等符合相關規定。
39	2011/1/6	ML110060682	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：本次視察重點為電廠之管理組織、人員配置和資格、設施修改和相關安全審查、問題識別和解決方案，以及輻射防護計畫等。 做法： 1. 審核電廠組織、人員資格等是否與 DSAR 一致。 2. 審查技術規範、停機後除役作業報告(PSDAR)、DSAR 和緊急應變計畫中的要求（和承諾）。 3. 審查技術文件、程序書，並與電廠人員面談以確定是否符合規定。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	Zion 視察結果摘述
40	2011/3/13	ML111330338	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	<p>此次視察系針對 2011 年 3 月日本福島核電廠發生的問題，評估了 Zion 電廠 SFP 對設計基準和超越設計基準事件的應變能力。檢查重點為面對電廠全黑、地震、龍捲風、水災和火災等事件時的救援措施的能力。</p> <p>這些 SFP 安全視察結果以及對美國運轉中核電廠的類似檢查結果將用於評估美國核工業應對類似事件的準備情況。美國 NRC 還將使用該結果來確定是否需要採取額外的監管行動。</p>
41	2011/8/18	ML11231A641	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：審查電廠除役項目的準備工作和執行情況，重點關注設施設計修改和相關安全審查、職業輻射安全和儀器校正計劃，以及電廠對惡劣天氣引起之事件的應變。</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 審查現場組織和人員配置的變化，並評估部分輻射防護 (RP) 工作人員的資格。 2. 審查電廠安全評估和設計變更評估的流程，以確定是否符合 10 CFR 50.59 的要求。 3. 對控制室進行巡查，審查選定系統的運作情況，這些系統用於監測與用過燃料安全儲存相關的參數，並監測除役所需之安全系統。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	Zion 視察結果摘述
42	2012/8/7	ML12222A405	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：審查電廠除役項目的執行情況，重點關注輻射洩漏的監測和控制、用過燃料池安全以及輻射防護計劃的實施情況。</p> <p>做法：</p> <p>審查 SFP 相關系統設計圖，確認與 DSAR 一致，同時進行現場查訪，查核是否有新的虹吸現象或其他可能途徑導致池水洩漏。</p> <p>審查監測用過燃料池參數的程序書，並查訪了控制室以觀察 SFP 監測設備。</p>
43	2012/12/10	ML12346A156	未發現火災危害 相關之違規	2 個 NCV (non-cited violation)	<p>核子保安視察，查核相關程序書、紀錄、並與電廠人員面談。</p> <p>發現兩個 NCVs，但因涉及核子保安，故沒有更多詳細資料。</p>
44	2013/2/13	ML13046A140	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	<p>核子保安視察，查核相關程序書、紀錄、並與電廠人員面談。</p>
45	2013/3/14	ML13077A139	1 個 NCV	N/A	<p>視察報告發現 1 件重要度非常低的非正式提出之違規事件 (non-cited violation, NCV)(其為未確實執执行程序書 ZAP 900-03 管理臨時可燃物。</p> <p>詳細說明請參閱報告第貳、一、(二)、1.1 節。</p>
46	2013/4/24	ML13115A272	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：視察電廠除役項目的執行情況，重點關注職業輻射暴露監測計劃、審查護箱中放射性廢棄物(Radwaste)的運輸以及矯正措施計劃的實施。</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.進行現場巡查，觀察現場情況，與工作人員討論作業安全，並評估作業活動對除役安全的影響。 2.審查程序書與評估體外輻射危害的做法，以及監測人員劑量

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	Zion 視察結果摘述
					的做法。
47	2013/11/14	ML13319A628	未發現火災危害 相關之違規	Severity Level IV violation (Notice of Violation)	該違規行為涉及未能進行適當的輻射調查，以識別 2013 年 7 月 19 日參與反應爐內部構件分割工作的人員身上是否存在離散性放射性粒子(Discrete Radioactive Particle, DRP)。反應爐內部構件分割作業會生成以下形式的 DRP：由鈷 60 組成的金屬碎片/粉末，如果沒有得到充分控制和及時識別，可能會給作業人員帶來大量的淺層劑量。如果 DRP 遷移到燃料換填池之外，輻射調查是識別它們是否存在的方法。然而，2013 年 7 月 19 日，輻射調查不足以檢測 2 號機爐穴池外存在的 DRP，包括參與分割工作的人員之皮膚上的粒子。由於電廠所採取之矯正措施尚未足以避免類似的事件再次發生，因此，該違規被認定為等級 IV 之違規舉發(Notice of Violation)。
48	2013/11/20	ML13325A898	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：查核新的獨立用過燃料儲存裝置 (ISFSI) 儲存襯墊和垂直混凝土桶 (Vertical Concrete Casks, VCC) 的設計和施工，以確保符合法規和設計規範。 做法： 審查程序書、報告、現場巡查並與電廠人員面談。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	Zion 視察結果摘述
49	2013/12/26	ML13360A293	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	核子保安視察，查核相關程序書、紀錄、並與電廠人員面談。
50	2014/1/24	ML14028A207	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：視察 ISFSI 試運轉測試作業，審查了與用過核子燃料的安全裝載、儲存和卸載有關的程序書和工程評估。 做法： 1. 審查測試作業的程序書，確認程序書內容完整。 2. 審查 ZNPS 72.212 評估報告，確認評估內容完整性並符合法規要求。
51	2014/2/21	ML14052A359	未發現火災危害 相關之違規	輻射相關之 2 個 NCV (non-cited violation)	2 個 NCVs 都與未能遵守輻射工作許可有關，1 個為等級 IV(重要度非常低)，另一個重要度更輕微。由於電廠皆已採取適當的矯正措施，故兩者皆歸類為 NCV。
52	2014/3/6	ML14066A087	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	核子保安視察，查核相關程序書、紀錄、並與電廠人員面談。
53	2014/5/19	ML14141A123	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：視察除役項目的執行情況，重點關注用過燃料轉移作業、職業輻射暴露控制計劃、矯正措施計劃的實施情況以及電廠液體放射性廢棄物之管理、監測和排放計劃。 做法： 1. 查核用過燃料組件從用過燃料池 (SFP) 到移動式儲存罐 (Transportable Storage Container, TSC) 的裝載情況。 2. 查核用過燃料轉移操作程序書、監督以及相關工作組之間的溝通和協調。審查裝載和監控程序書，並評估持照業者對這些程序書的遵守情況。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	Zion 視察結果摘述
54	2014/8/18	ML14231A033	未發現火災危害 相關之違規	1 個 NCV (FHB 區域輻射 監測警報)	1 個 NCV： 燃料吊運廠房(Fuel Handling Building, FHB) 配備了兩個 SFP 周邊區域輻射監測器 (Area Radition Monitor, ARM)。10 CFR 50.68(b)(6) 要求在儲存燃料和相關吊運區域提供輻射監測 器，以偵測過量的輻射等級並啟動適當的安全措施。安全措施 包括立即將人員撤離至 FHB 指定的低劑量區域或建築物。由 於 ARM 的警報無法涵蓋 FHB 全區(包括正在進行的燃料吊運 操作期間經常佔用的區域)，並且控制室運轉員可能無法及時 應變，因此未達到 10 CFR 50.68 的要求。故視察員認為存在 違反 10 CFR 50.68(b)(6)的事項。
55	2014/11/10	ML14316A214	未發現火災危害 相關之違規	1 個 NCV (用過核子燃料 護箱焊接時的氫氣監測)	1 個 NCV：(詳請參閱報告第貳、一、(二)、1.2 節) 視察員判定，在 2014 年 7 月 27 日焊接 TSCDF-30 期間，電廠 未能遵照 10 CFR 72.150, “Instructions, Procedures, and Drawings,”規定確保氫濃度得到正確監測和維持，這是一種違 情況屬於合理可預見和矯正的範圍內，並且應該被預防。如 果未能正確監測和維持氫氣濃度，可能會損壞移動式儲存罐 (TSC) 和容器內的用過核子燃料。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	Zion 視察結果摘述
56	2015/2/6	ML15037A539	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：審查電廠除役項目的執行情況，重點關注放射性廢水的採樣、分析和監測、緊急應變演練/演習表現、用過核子燃料搬移操作、職業輻射安全計畫，以及矯正措施計畫的實施情況。</p> <p>做法：</p> <p>查核工作人員是否遵照輻射工作許可證(Radiation Work Permit, RWP)指引，並了解工作區域的輻射狀況。</p> <p>查核在正在進行的用過核子燃料貯存裝載作業中對多個貯存罐的裝載情況，以驗證其是否符合合規證書、技術規範、法規和相關程序書。</p>
57	2015/5/8	ML15131A248	未發現火災危害 相關之違規	1 個 NCV (與防止工人攝入放射性物質的控制措施有關)	<p>1 個 NCV：</p> <p>10 CFR 20.1701/20.1702 要求持照業者使用工程控制和/或呼吸防護具來控制空氣中放射性物質的濃度以維持總有效劑量符合 ALARA。電廠未執行輻射評估，以確定 2014 年 12 月 7 日至 10 日在 2 號機模擬測試區域(sandbox area)進行的清理活動和切割混凝土的影響。期間，雖然工人攝入量很小，計算劑量比監管限制的 1% 還低，但由於存在的污染程度和所進行的工作活動，工作人員面臨輻射風險增加。</p> <p>事件發生後，電廠立即未依矯正行動程序書(CAP)撰寫報告並採取矯正措施。在與視察員討論後，才完成報告，並採取矯正措施，以確保與工作人員更好地溝通，改善對現場活動的監督。</p>

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	Zion 視察結果摘述
58	2015/8/5	ML15218A359	未發現火災危害 相關之違規	1 個 NCV (沒有足夠的資訊來支持持照業者 (Offsite Dose Calculation Manual, ODCM) 的變更)	1 個 NCV： 由於沒有足夠的資訊說明廠外劑量計算手冊(Offsite Dose Calculation Manual, ODCM)的變更。電廠刪除了十四天的時間限制，然後允許在不需輻射監測儀器的情况下從湖釋放槽 (Lake Release Tank)進行排放。然而，電廠的技術理由僅說明了通過獲取槽內容物的兩個獨立樣本來確認排放的有效性，而從未提供有關湖釋放槽輻射監測儀器狀態。由於未提供足夠的資訊，因電廠未能遵循其品保方案(Quality Assurance Project Plan, QAPP)。
59	2015/11/4	ML15309A341	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：查核(1) 1、2 號機組蒸汽產生器切割除役作業、(2) 1 號機反應器冷卻水泵清理、及(3)用過燃料架切割作業，進行了審查。視察人員還審查了持照業者識別和矯正問題的能力，以及緊急演習的執行和評估過程。 做法： 視察員透過審查文件、現場查訪、與電廠人員面談等，確認電廠有適當的個人防護、劑量評估等，符合 ALARA。 查核的演練情境足以證明其保護公眾健康和安全的的能力。此外，在緊急演習後進行檢討時，充分展示了發現弱點環節的能力。發現的弱點已酌情納入矯正措施計畫。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	Zion 視察結果摘述
60	2016/2/16	ML16047A092	未發現火災危害 相關之違規	1 個 NCV (未能維持從位於獨立用過核子燃料儲存設施 (Independent Spent Fuel Storage Installation, ISFSI) 的可移動儲存罐 (Transportable Storage Canisters, TSCs) 中卸載燃料和組件的程序書)	視察員在 NAC MAGNASTOR 合格證書(CoC) 1031、修正案 3、附錄 A 中發現了一個非正式提出之違規(NCV)，原因是未能維護 ISFSI 內 TSC 卸載燃料和組件的計劃。 做法： 視察員認定，電廠未能遵循技術規範(TS) 5.2 節之要求來維護卸載燃料計劃，屬於績效缺陷。NAC MAGNASTOR CoC 1031 修正案 3 附錄 A 的 TS 5.2 「TSC 裝載、卸載和準備計劃」規定，「應建立並維護一個計劃，以實施 FSAR 第 9 章關於將燃料和組件裝入 TSC、從 TSC 卸載燃料和組件以及準備 TSC 和混凝土護箱(Concrete Cask)儲存的要求」。當用過燃料池不再儲存用過核子燃料時，電廠沒有符合這一要求，即維持從用過燃料池卸載燃料和組件的計畫。
61	2016/5/6	ML16127A612	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：審查(1)電廠識別和矯正問題的能力、(2) 乏燃料池除水(dewatering)和清潔相關的除役作業、(3) 2 號機蒸汽產生器廢棄物特性和運輸、(4) 渦輪機廠房潤滑油室的最終狀態調查，以及(5) 嵌入式管件(pipping)調查程序書。 做法： 1. 審查文件、並電廠人員面談，確認 2 號機蒸汽產生器廢棄物已正確分類，並按照所有適用的運輸部法規進行運輸。 2. 審查渦輪機廠房潤滑油室的輻射源項調查(Source Term Survey, STS)結果。 3. 審查使用伽瑪偵測器測量管道內表面的測量儀器校準。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	Zion 視察結果摘述
62	2016/6/10	ML16165A414	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	核子保安視察，查核相關程序書、紀錄、並與電廠人員面談。
63	2016/8/15	ML16228A187	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：審查 ISFSI 用過核燃料貯存有關的許可作業、緊急應變演習實行、職業輻射安全暴露以及最終狀態調查。 做法： 審查與乾式貯存相關的監測和維護計劃，以驗證其是否符合適用的法規、許可證和技術規範。視察員查訪 ISFSI，視察日常監測作業，與電廠人員面談並審查選定的文件。 對於緊急應變，視察員審查文件、與電廠人員面談並，並視察緊急應變演習的情況。
64	2017/2/16	ML17047A500	未發現火災危害 相關之違規	2 個 NCV	2 個 NCVs： 1. 視察員發現未符合 10 CFR 50.72(b)(2)(xi) 的 NCV，因為電廠未能在通知其它政府機構的事件發生後四小時內通知 NRC。此次為保安相關事件，電廠未能在通知保安機構後的 4 小時內通知 NRC。 2. 未符合 49 CFR 173.427(a)(6)(ii) 的要求，即在專用運輸期間不得從運輸工具中洩漏任何放射性物質，因此違反了 10 CFR 71.5(a) 的規定。電廠在將 1 號機蒸汽產生器運送到最終處置地點時，未能符合相關規定。
65	2017/7/18	ML17200C932	未發現火災危害 相關之違規	1 個 NCV (提交給 NRC 的 2016 年度輻射環境操作報告中未包含完整且準確的信息)	1 個 NCV： 由於在 2016 年年度放射環境作業報告中未提供給 NRC 完整且準確的資料，因此違反了 10 CFR 50.9(a) 「資訊的完整性和準確性」的規定，屬於等級 IV 之非正式提出之違規。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	Zion 視察結果摘述
66	2018/2/13	ML18044A577	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：查核與最終狀態調查、放射性物質運輸、環境監測和廢水排放以及輻射安全相關的許可作業。</p> <p>做法：</p> <p>1.NRC 視察員和核物料安全與保安(Nuclear Material Safety and Safeguards, NMSS) 人員審查了 345 kV 電塔混凝土基座的最終狀態調查結果。</p> <p>2.NRC 視察員和 NMSS 人員審查了南最終處置場雨水集管的最終狀態調查結果。</p> <p>3.查核電廠管制、監測和量化環境中的放射性物質，以確保廠外劑量符合監管規定並且符合 ALARA。</p>
67	2018/9/28	ML18271A122	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：審查除役相關的最終狀態調查、放射性物料運輸、環境監測和廢水排放等許可作業，以及與 ISFSI 運作有關的活動。</p> <p>做法：</p> <p>審查程序書、文件報告、現場巡查並與電廠人員面談，確認相關除役作業符合法規規定。</p>
68	2019/11/19	ML19323D024	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	ISFSI 之核子保安視察，查核相關程序書、紀錄、並與電廠人員面談。
69	2021/1/21	ML21021A093	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：審查 ISFSI 設施的運營績效、最終狀態調查、放射性材料運輸、環境監測相關的許可作業。</p> <p>做法：</p> <p>審查監測計劃、輻射監測、品保計劃、及現場巡查並與電廠人員面談，以確認相關除役作業符合法規規定。</p>

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	Zion 視察結果摘述
70	2022/2/22	ML22053A278	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	項目：本次例行性視察包括 (1)與自我評估、稽核和矯正措施相關的許可作業；(2)除役績效；(3)職業輻射暴露；(4)補正和最終調查；(5)放射性廢棄物處理、廢水和環境監測；(6)固體放射性廢物管理和放射性物料的運輸。 做法： 視察員進行現場巡查、審查文件並與工廠人員面談，以確認相關除役作業符合法規規定。
71	2022/3/14	ML22068A046	未發現火災危害 相關之違規	未發現任何違規	ISFSI 之核子保安視察，查核相關程序書、紀錄、並與電廠人員面談。
72	2023/1/27	ML23024A208	未發現火災危害 相關之違規	1 個 NCV (NRC 檢查員在 2021 年 4 月進行風險告知、小範圍調查期間發現單獨的放射性粒子 (discrete radioactive particles, DRP) 方面，存在違反 10 CFR 20.1501 (等級 IV 的 NCV) 的情況。)	1 個 NCV： 視察員確認，在 2021 年 4 月進行風險告知、小範圍 NRC 確認調查期間發現的離散性放射性粒子(DRP)因違反了 10 CFR 20.1501，故為等級 IV 之違規。由於這是在持照業者提交最終狀態調查後發現的(即最終調查報告未發現存在 DRP)，如果 NRC 沒有進行確認調查，將導致 NRC 誤將土地解除管制。不過由於仍有管制措施以阻止民眾進入該地點；因此，歸類為等級 IV 非正式提出之違規。

表 A-2. San Onofre 電廠視察報告研析結果摘要彙整

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	San Onofre 視察結果重要摘述
1	11/04/2013	ML13308C438	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>本次為 NRC 通知 SCE 開始進行除役視察的第一份視察報告，時間為 2013/9/17~2013/9/23。</p> <p>項目：視察員查核電廠基礎安全狀態，包括救援系統、圍阻體完整性等。</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 選擇部分對電廠安全重要度高的系統進行現場查訪，並審查操作程序書、系統流程圖、新版最終安全分析報告、技術規範、以及正在進行的作業活動對重覆串設備的影響。 2. 查核確認爐心用過核子燃料已全數移至用過燃料池、驗證永久停止運轉工作不會影響運轉員操作用過燃料池冷卻系統的功能。 3. 確認按照技術規範的要求維持二次圍阻體。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	San Onofre 視察結果重要摘述
2	11/07/2013	ML13311B007	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：評估消防計畫的充分性和執行情況、評估 SONGS 的防火狀況和能力，以核實防火、偵測和救援功能的能力是否足以確保安全地開展除役作業，以及在電廠發生火災時最大限度地減少和控制污染的擴散。</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 審查防火計畫、火災危害分析、及防火相關程序書。 2. 進行現場查訪，觀察和評估可燃物的儲存情況，並評估現場條件是否準確反映了火災危害分析和程序書要求。 3. 巡視電廠消防供水系統，包括消防泵、消防儲水箱、相關管道和閥門，以確定消防設備和消防站是否得到妥善維護、清點並可供使用。 4. 檢查立管和軟管、可攜式滅火器和防火包覆的材料狀況和功能。 5. 評估防火屏障功能的標準，並檢查電纜托網和導管、穿越器密封、防火門和防火風門，以確保具足夠的保護和功能。 6. 與電廠人員訪談，以確定現場消防培訓和資格的有效性。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	San Onofre 視察結果重要摘述
3	02/03/2014	ML14036A431	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：查核以下事項，組織、管理、與成本控制；安全審查、設計變更和修改；自我評估、稽核和矯正措施；用過燃料池安全；維護和監測；防火計畫；除役績效和狀態審查；以及固體廢棄物管理和運輸。</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 審查電廠除役組織架構、人員配置、人員資格、緊急應變計畫等，確認符合法規要求。 2. 審查程序書、設計變更文件、並與工作人員訪談，確認符合法規規定。 3. 審查海水冷卻系統、設備冷卻水系統、SFP 冷卻系統和 SFP 設計圖，並對 SFP、SFP 冷卻系統管線和 SFP 補充水管線區域進行了現場查訪，以評估是否存在虹吸或排水路徑。 4. 現場查訪，觀察現場作業環境、與工作人員討論作業安全、審查現場作業對除役安全的影響。 5. 觀看消防演習、觀察消防隊滅火準備情況、查核確認 <ol style="list-style-type: none"> (1) 正確佩戴自給式呼吸器； (2) 消防水帶的正確使用和佈置； (3) 採用適當的消防技術； (4) 現場配備充足的消防器具； (5) 消防隊通信、指揮和控制的有效性； (6) 搜尋遇難者； (7) 排煙作業； (8) 使用預先計劃的策略； (9) 遵守預先計劃的演練情境； (10) 演練目標。 6. 審查關於存儲、封裝和運輸運轉和除役期間產生的放射性廢棄物的計劃。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	San Onofre 視察結果重要摘述
4	02/13/2014	ML14045A317	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	目標：針對 ISFSI (Independent Spent Fuel Storage Installation)進行視察。 做法：審查的文件包括質量保證、放射性條件、糾正措施、技術規範的合規性、最終安全分析報告等。
5	03/13/2014	ML14059A197	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	核子保安視察，查核相關程序書、紀錄、並與電廠人員面談。
6	03/26/2014	ML14085A502	未發現火災危害相關之違規	1 個 NCV(持照業者的緊急應變計劃進行變更之前未能獲得 NRC 的事先批准(根據 10 CFR 50.54(q)(3) 的要求))	1 個 NCV： 根據 10 CFR 50.54(q)(3)的規定，持照業者在變更緊急應變計畫之前未事先獲得 NRC 批准，因此被認定存在 NCV 違規行為。具體而言，持照業者在 2013 年 8 月 20 日進行緊急應變計畫第 34 次修訂和 2013 年 12 月 18 日第 35 次修訂之前，均未事先獲得 NRC 的批准。根據 NRC 執行政策被判定為輕微違規行為。
7	04/30/2014	ML14120A514	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	項目：安全審查、設計變更和修改；稽核和矯正措施；程序書；用過燃料池安全；維護和監查；除役績效和狀態審查；放射性廢棄物處理、廢水及環境監測。 做法： 1. 查核程序書、設計變更文件、技術規範、矯正措施等，並與電廠工作人員訪談，確認符合法規要求。 2. 審查 SFP 儀器、警報、洩漏偵測、水質管控、以及反應度控制。 3. 查證系統之維護與監測是否符合技術規範要求。 4. 審查除役相關文件、現場查訪、與人員訪談，確認電

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	San Onofre 視察結果重要摘述
					廠有進行適當的除役管理與監督。
8	06/25/2014	ML14176B030	未發現火災危害相關之違規	2 個電廠自行發現的 NCV	<p>2 個 NCVs：</p> <p>1. 持照業者在 2014 年 3 月 28 日發現，未能提報異常事件緊急分級通知。未能識別緊急應變級別 HU1.1「地震事件」的進入條件是一項缺失。該問題已納入被矯正措施計劃中。</p> <p>2. 持照業者發現未依照緊急應變計畫第 8.1.4 節的要求，緊急應變計畫經理應確保按照緊急應變計畫實施規定，維護和清點現場緊急應變設備、用品和設施。未按照電廠程序書的要求進行檢查屬於績效缺陷。該違規已納入矯正措施計畫。</p>
9	08/11/2014	ML14223B217	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：例行視察矯正措施與稽核、除役績效與狀態審查。</p> <p>做法：審查電廠文件、程序書、矯正措施計畫、現場查訪、及與工作人員訪談。</p>

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	San Onofre 視察結果重要摘述
10	11/17/2014	ML14321A900	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：查核以下事項，組織、管理、與成本控制；自我評估、稽核和矯正措施；用過燃料池安全；除役績效和狀態審查；職業輻射曝露，以及放射性廢棄物、廢水與環境監測。</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 查核電廠組織結構，確認符合法規要求，特別是人員配置是否足以應付電廠實際運作以及緊急應變之需求。 2. 審查電廠文件、行政管理程序書、與人員訪談，確認是否確實執行矯正措施、行政管理等。 3. 審查海水冷卻系統、設備冷卻水系統、SFP 冷卻系統和 SFP 設計圖，並對 SFP、SFP 冷卻系統管線和 SFP 補充水管線區域進行了現場查訪，以評估是否存在虹吸或排水路徑。 4. 審查 2014 年放射性廢棄物的運輸情況。
11	02/06/2015	ML15040A060	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：查核以下事項，組織、管理、與成本控制；自我評估、稽核和矯正措施；用過燃料池安全；除役績效和狀態審查；以及實施輻射防護計畫。</p> <p>做法：</p> <p>查核緊急應變程序書、燃料吊運計畫程序書、矯正措施執行成果；審查用過燃料池水質監測相關程序書、輻射防護相關程序書，以及現場巡查與訪談。</p>

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	San Onofre 視察結果重要摘述
12	05/05/2015	ML15126A420	未發現火災危害相關之違規	1 個 NCV(secutrity 相關)	核子保安視察，查核相關程序書、紀錄、並與電廠人員面談。發現 1 個 NCV，但因涉及核子保安，故沒有更多詳細資料。
13	07/10/2015	ML15191A223	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：用過燃料池安全；除役績效和狀態審查；除役緊急計畫評估；職業輻射曝露。</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 審查 2 號機 SFP 和相關冷卻系統，以確保電廠按照技術規範、持照業者管制規範 (licensee controlled specifications, LCS) 和程序書之要求進行維護。 2. 查核電廠員工和外包合約商是否依除役相關規範進行除役作業，如電廠特性調查、人員訓練。 3. 緊急應變計畫第 38 和 39 次修訂版進行了現場審查。在這兩次修訂中，電廠(1) 將運轉部門的持證操作員轉為經認證的燃料吊運操作員；(2) 停止其原消防隊的工作，並實施依靠廠外消防隊支援的初期消防隊；(3) 加強緊急應變組織通訊員的職責。視察員審查包括燃料移除後值班人員配置分析報告、關於實施初期消防隊的 CFR 50.58(f)分析報告，以及修訂版 38 和 39 的 CFR 50.54(q)分析報告。
14	08/04/2015	ML15216A615	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	此份視察報告已被刪除。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	San Onofre 視察結果重要摘述
15	10/08/2015	ML15274A558	未發現火災危害相關之違規	1 個 NCV(持照業者在對設施進行變更，但未能事先獲得許可。	1 個 NCV： 持照業者在對設施進行變更(即更改了用過燃料池補水系統，包括設計用於耐震 II 級的組件，該耐震設計分類低於更新版最終安全分析報告中所述的抗震設計分類)之前未能事先獲得許可，導致發生故障的可能性增加超過最低限度。
16	10/05/2015	ML15278A382	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	項目：審查緊急應變計畫相關事項 做法： 視察 2013 年 10 月 23 日進行的緊急應變計畫演習，以確定緊急應變組織是否熟練掌握關鍵技能，是否有能力執行緊急應變計畫。關鍵技能包括識別緊急事件、通知廠外當局、為公眾制定保護行動建議、輻射評估、保護緊急應變工作人員以及採取廠內行動緩解事故。視察員還將以往演習中的表現與此次的演習表現進行了比較，並觀察電廠在演習後的檢討，以確定電廠是否適當地發現並修正了缺點和其他問題。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	San Onofre 視察結果重要摘述
17	12/16/2015	ML15350A205	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：組織、管理、與成本控制；用過燃料池安全；除役績效和狀態審查；放射性物料處理；運輸作業。</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 審查管理組織和管制措施，以確認電廠對除役作業保持有效監督。 2. 對 2 號機和 3 號機 SFP 水位、化學成分和相關冷卻系統進行了審查，以確保電廠按照技術規範和程序書要求維護這兩個 SFP。 3. 審查放射性物料處理計劃(含技術規範、監測計畫等)，以確認電廠是否正確處理、包裝和儲存放射性物料。
18	04/19/2016	ML16111B327	未發現火災危害相關之違規	1 個等級 IV 的 security 相關違規	核子保安視察，查核相關程序書、紀錄、並與電廠人員面談。發現 1 個 NCV，但因涉及核子保安，故沒有更多詳細資料。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	San Onofre 視察結果重要摘述
19	05/05/2016	ML16127A580	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：除役績效；用過燃料池安全；放射性物質和污染的控制、調查和監測；安全審查、設計變更與修改；以及 ISFSI 運作。</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 審查程序書、現場查訪並與工作人員訪談，評估電廠及其外包商是否按照程序書和監管要求進行除役作業。對正在進行的工作進行了詳細的現場巡查，並審查了各種 cold and dark 修改項目的狀況。 2. 對 2 號機和 3 號機 SFP 島區設備進行了審查，以確保電廠按照許可證、技術規範和程序書要求進行建造和操作。將 SFP 島區之系統組件與供應商提供的設計規範進行比較，兩部機的系統均已經建成並開始使用。將來，SFP 島區系統都將永久化，現有系統和設備將不再運轉並最終除役。 3. 審查電廠的放射性廢水和環境監測計畫，以驗證這些計畫的實施符合技術規範和 ODCM 要求。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	San Onofre 視察結果重要摘述
20	07/08/2016	ML16190A400	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：除役績效；用過燃料池安全；職業輻射曝露；以及放射性物質和污染的控制、調查和監測。</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 審查程序書、現場查訪並與工作人員訪談，評估電廠及其外包商是否按照程序書和監管要求進行除役作業。 2. 對 2 號機與 3 號機 SFP 進行現場巡查，確認池水水位、水質、水溫符合技術規範要求；對 2 號機與 3 號機 SFP 支援系統進了現場巡查，以確保符合程序書要求。 3. 審查電廠的人員輻射暴露監測計劃，以確保其符合 10 CFR 20 的規定。
21	07/17/2016	ML16201A058	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	核子保安視察，查核相關程序書、紀錄、並與電廠人員面談。
22	08/03/2016	ML16216A364	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	NRC 發現編號 ML16127A580 的視察報告存在小錯誤。此篇視察報告的第 5、7、10 和 20 頁為相關之勘誤。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	San Onofre 視察結果重要摘述
23	10/14/2016	ML16287A735	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：除役績效；用過燃料池安全；火災防護；以及緊急計畫。</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 視察員在輻射限制區內進行實地考察，確認電廠是否按照輻射防護程序書和監管要求對這些區域進行維護。電廠安裝了大流量補給泵 2(3)MP-015，以支援用過燃料池補水，並支援對涉及用過燃料池池水流失的超出設計基準事件之救援措施。 2. 對 2 號和 3 號機的用過燃料池進行審查，特別是水位、水質和相關冷卻系統，以確保電廠有按照技術規範和程序書要求進行相關維護。 3. 評估電廠防火計畫(包括火災危害分析)的整體充分性和實施情況，並將防火計畫與 RG 1.191 監管指引內容進行了比較。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	San Onofre 視察結果重要摘述
24	03/02/2017	ML17059D526	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：除役績效；用過燃料池安全；組織與管理；以及維護與監測。</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 視察電廠對物質排放工作計劃(material release work plan)的執行情況，並確認是否遵照工作計劃及程序書 SO123-VII 20.9.2 「物質排放調查」與 SO123-VII-20.9.3 「液體、污泥、泥漿和沙子排放調查」。 對 2 號和 3 號機的用過燃料池進行審查，特別是水位、水溫、水質(如硼濃度)和相關冷卻系統，以確保電廠有按照技術規範和程序書要求進行相關維護。 審查電廠的管理組織，以確保其反映監管要求以及員工關心計劃的實施情況。
25	05/22/2017	ML17129A617	未發現火災危害相關之違規	1 個 NCV(該違規行為與持照業者未能遵循程序書 HSP-58 要求來有關。)	<p>1 個 NCV：</p> <p>該違規事項為持照業者未能遵循程序書 HSP-58, Exhibit 9.1 “Grout Density and Compressive Strength Confirmation of Design Conformance Form” 之要求來測試密封容器(cavity enclosure containers, CEC)下方的灌漿密度。</p>
26	06/09/2017	ML17158B317	未發現火災危害相關之違規	1 個 NCV(持照業者未能按照技術規範 5.3.2 的要求維持認證燃料處理人員訓練計劃。)	<p>1 個 NCV：</p> <p>違反技術規範第 5.3.2 節規定，電廠未能維持 NRC 核准的認證燃料處理人員訓練以及再訓練計畫。</p>
27	08/25/2017	ML17236A496	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	此份視察報告已被刪除。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	San Onofre 視察結果重要摘述
28	09/26/2017	ML17268A393	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：除役績效與狀態審查；用過燃料池安全；放射性廢棄物處理、廢水及環境監測；安全審查、設計變更與修訂；火災防護；除役緊急計畫情境審查與演習評估；以及除役緊急計畫評估。</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 現場查訪，觀察了支持用過核子燃料安全儲存的結構、系統和組件的材料狀況，以及電氣開關室和支援消防系統的設備狀況。 2. 審查 2 號機與 3 號機 SFP，確認池水水位、水質、水溫，以及警報、監測系統等符合技術規範與法規要求。 3. 審查電廠的 2016 年度環境輻射報告(Annual Radiological Environmental Operating Report)。 4. 查核安全審查流程、程序書和訓練，以驗證是否符合 10 CFR 50.59、10 CFR 50.71、10 CFR 72.48 和 10 CFR 50 附錄 B 的要求，並確保安全審查計畫能夠有效地保護環境、以及公眾健康與安全 5. 評估電廠防火計畫(包括火災危害分析)的整體充分性和實施情況，並將防火計畫與 RG 1.191 監管指引內容進行了比較。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	San Onofre 視察結果重要摘述
29	12/13/2017	ML17345A924	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：除役績效與狀態審查；用過燃料池安全；組織與管理；維護與監測；自我評估與矯正措施；以及惡劣天候防護。</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 查核區域輻射狀況以及相關的標示和標籤，並確認電廠是否適當執行 10 CFR Part 20 的監管要求。 2. 審查 2 號機與 3 號機 SFP，確認池水水位、水質、水溫，以及警報、監測系統等符合技術規範與法規要求。 3. 審查電廠的除役總承包商(SONGS Decommissioning Solutions, SDS)的組織和整體結構，包括以前由 SCE 管制的某些項目的過渡和實施、人員配置、資格和訓練。 4. 與工作人員討論惡劣天氣的準備工作和相關的經驗教訓，特別是關於採取的行動，以確保那些對除役安全重要的系統在季節性極端天氣條件（主要是風和雨）期間不會受到影響。
30	03/08/2018	ML18061A013	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：除役績效與狀態審查；用過燃料池安全；組織與管理；維護與監測，以及自我評估與矯正措施。</p> <p>做法：</p> <p>例行性視察，審查程序書、進行現場巡查、觀察現場情況，與工作人員討論作業安全，並評估作業活動對除役安全的影響。</p>
31	04/02/2018	ML18092A119	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	核子保安視察，查核相關程序書、紀錄、並與電廠人員面談。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	San Onofre 視察結果重要摘述
32	05/08/2018	ML18128A367	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	核子保安視察，查核相關程序書、紀錄、並與電廠人員面談。
33	08/24/2018	ML18200A400	未發現火災危害相關之違規	1 個 NCV(與裝載活動相關的重要安全設備進行的現場變更的設計控制有關。)	1 個 NCV： 在第一次裝載操作期間，NRC 視察員發現存在違反 10 CFR 72.146 (c)「設計控制」要求的情況。電廠已通過供應商(Holtec)的矯正措施計劃對與運送護箱地震抑制系統相關的重要安全組件進行了修改，但未遵循 SONGS 的工程設計變更流程。電廠未能確保對安全重要組件的設計變更或現場變更採取與原始設計相匹配的設計控制措施。變更的原始文檔未包含嚴格的工程分析來證明變更是可接受的，並且這些變更沒有依照 10 CFR 50.59/72.48 計畫得到適當的實施。
34	08/10/2018	ML18219B607	1 個 NCV(電廠未能按照技術規範 5.5.1.1.d 的要求實施有關可燃材料的火災防護管制。)	N/A	1 個 NCV： 視察員確定電廠未確實執行管制可燃性和臨時可燃物火載量之程序書 SDS-FP1-PCD-0005，且違反了技術規範第 5.5.1.1.d 節。 詳請參閱報告第貳、一、(二)節第 2.1 小節。
35	11/19/2018	ML18323A024	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	項目：除役績效與狀態審查；用過燃料池安全；放射性廢棄物管理與運輸，以及緊急應變計畫評估。 做法： 例行性視察，審查程序書、進行現場巡查、觀察現場情況，與工作人員討論作業安全，確認電廠是否依相關程序書進行用過燃料池維護、放射性廢棄物之管理與運輸。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	San Onofre 視察結果重要摘述
36	11/28/2018	ML18332A357	未發現火災危害相關之違規	共 5 個違規事項	<p>違規事項：</p> <p>(1) 違反 10 CFR 72.172： A. 2018 年 7 月 22 日，工作人員在將 28 號鋼桶(canister)對準以便吊載到 ISFSI 之儲放庫(vault)中時遇到困難(即難以對準(misalignment))。然而，電廠未能將此情況納入其矯正措施計畫，以找出對齊失准問題的原因，並制定矯正措施，防止再次發生。 B. 2018 年 1 月 30 日至 8 月 3 日，在吊載鋼桶期間，鋼桶與儲放庫組件之間經常發生碰觸。電廠未將碰觸情況納入其矯正措施計畫。</p> <p>(2) 違反 10 CFR 72.212(b)(3)與技術規範 5.2.c.3： 持照業者未能確保備用防掉落保護功能可用，以防止負載不受控制地下降。具體而言，在將 29 號鋼桶吊入儲放庫時，工作人員無意間停用了備用的重要安全吊索。在大約 45 分鐘的時間內，鋼桶在沒有備用安全吊索支撐的情況下，停放在離完全就位位置大約 17-18 英尺的遮罩環(shield ring)上。</p> <p>(3) 違反 10 CFR 72.192： VCT (Vertical Cask Transporter) 操作訓練課程並沒有建立合適、專業的裝載訓練，於 8/3 吊載 29 號鋼桶發生的 misalignment 事件並未進行事前「模擬演練(dry run)」操作測試。訓練計劃沒有提供一個用來判斷吊裝過程中，rigger/spotter 是否合格的正式的過程。另外，視察中發現，用來模擬訓練操作使用的鋼筒規格與實際有些微不</p>

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	San Onofre 視察結果重要摘述
					<p>同，該差別並沒有列在任何訓練教材內亦為導致事件成因之一。</p> <p>(4) 違反 10 CFR 72.150： 未適切制定吊索鬆弛判定相關程序書。</p> <p>(5) 上述事件中，用於減輕事故後果的重要安全設備被停用，且沒有其他設備來執行安全功能，持照業者未能按規定於 24 小時內通知 NRC。這一缺失被認定為明顯違反 10 CFR 72.75(d)的要求。</p>
37	12/19/2018	ML18341A172	未發現火災危害相關之違規	共 5 個違規事項	此報告為前述第 36 項報告之更新版，違規事項內容與第 36 項相同。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	San Onofre 視察結果重要摘述
38	02/21/2019	ML19044A506	未發現火災危害相關之違規	2 號機與 3 號機無違規事項	項目：除役績效與狀態審查；用過燃料池安全，以及惡劣天候防護。 做法： 例行性視察，審查程序書、進行現場巡查、觀察現場情況，與工作人員討論惡劣天候之應對措施，確認除役作業對安全的影響。
39	03/18/2019	ML19071A349	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	項目：除役績效與狀態審查；用過燃料池安全；組織與管理，以及維護與監測。 做法： 例行性視察，審查程序書、進行現場巡查、觀察現場情況，與工作人員討論作業安全，並評估作業活動對除役安全的影響。
40	05/30/2019	ML19141A296	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	項目：自我評估、稽核與矯正措施。 做法： 確認持照業者的管理、承包商監督和現場審查委員會是否遵照 SONGS 除役品質保證計畫的規定執行。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	San Onofre 視察結果重要摘述
41	07/09/2019	ML19190A217	未發現火災危害相關之違規	5 個 NCV	<p>5 個 NCVs :</p> <p>(1) 違反 10 CFR 72.146，未確保適當的品質標準 SCE 進行設計變更，採用核工程變更套組 (Nuclear Engineering Change Packag, NECP) 0918-64884 「VCT 即時監測系統」修訂版 1 納入新的負載監測設備。視察員發現，NECP 錯誤地將新負載監控設備指定為非安全重要設備。事實上，由於新設備與現有的安全重要設備連結在一起，因此新設備的故障可能會導致鋼筒掉落，因此應根據 SCE 品質保證計劃進行管制並設定為安全重要設備。</p> <p>(2) 違反 10 CFR 72.154，未確保採購設備符合採購規定 Holtec 批准的供應商名單中包含以下限制：「起重設備負載測試必須在 Aston I&I 吊索工廠進行」。視察員發現，新的負載感測卸扣的負載測試證明是在製造商的工廠(StraightPoint)進行的，而不是在 Aston I&I Slings 工廠進行的，這不符合 Holtec 的限制規定。</p> <p>(3) 違反 10 CFR 212，未能確保裝載的運送護箱及其運輸工具根據廠址的設計基準地震(Design Basis Earthquake, DBE)進行評估 電廠未能確保根據廠址的 DBE 對護箱及其運輸進行評估。視察員發現，過去的 VCT 運輸操作未根據廠址 DBE 進行評估，因為這些操作未按照地震評估 HI-2156626 的要求進行。</p>

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	San Onofre 視察結果重要摘述
					<p>(4, 5) 違反 10 CFR 72.48，對於變更未提供充分的書面佐證，及未獲得 CoC 修訂</p> <p>從 2018 年 11 月 7 日至 2019 年 4 月 15 日，電廠有兩次未保存包含書面評估的變更記錄，而書面評估說明依照 10 CFR 72.48 第(c)(2)確定變更不需要修訂(Certificate of Compliance, CoC)的依據。具體地說，10 CFR 72.48 關於允許在鋼桶上劃痕的書面評估的前兩次修訂，未能提供足夠的依據來確認該變更不需要修訂 CoC。視察員在作為 10 CFR 72.48 書面評估依據的計算中發現了許多技術錯誤。此外，電廠書面評估的前兩次修訂沒有證明最深的劃痕深度不會超過 ASME 第 111 節規範的限制，而這是一項技術規範要求。</p>
42	07/15/2019	ML19197A048	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	核子保安視察，查核相關程序書、紀錄、並與電廠人員面談。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	San Onofre 視察結果重要摘述
43	08/05/2019	ML19221B645	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	核子保安視察，查核相關程序書、紀錄、並與電廠人員面談。
44	09/25/2019	ML19267A078	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：除役績效與狀態審查；職業輻射曝露；放射性廢棄物處理及廢水與環境監測；放射性固體廢棄物管理與運輸，以及除役緊急應變計畫審查與演習情境評估。</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 查核電廠除役作業是否與 PSDAR 所述一致、對於外包商之作業是否依程序書規定進行監管。 2. 查核是否遵照程序書與法規要求執行 ALARA。 3. 查核是否符合技術規範 5.5.2 適當維護與實施廠外劑量計算書(ODCM)，以便監測、管制放射性氣體或液體之排放與劑量計算。 4. 與電廠工作人員面談，確認是否遵照程序書執行放射性固體廢棄物之管理。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	San Onofre 視察結果重要摘述
45	11/22/2019	ML19316A762	未發現火災危害相關之違規	1 個 NCV(<p>1 個 NCV：</p> <p>持照業者的 EN #53798 號事件通知記錄了過去的 HI-PORT (low-profile transporter)操作未按照原始的地震評估 HI-2167363「SONGS 的 HI-PORT 之 HI-TRAC 地震穩定性分析」第 4 次修訂版的要求進行。HI-PORT 有時會在地震分析的 10 英寸行程高度限制之外運行。此外，從燃料廠房到 ISFSI 平臺的運輸路徑上，從未正式列出與鄰近建築物的距離。HI-2167363 號評估報告第 5.0 節「結論」指出，應將已裝載的 HI-PORT 高度設置為卸料台(dropdeck)與運輸路徑之間的最大間隙為 10 英寸，且 HI-PORT 外緣與運輸路徑沿線的相鄰安全相關結構或可能對 HI-PORT 產生不利影響的結構之間應始終保持 32 英寸以上之間隙。</p> <p>視察員判定，電廠未能根據廠址的設計基準地震對護箱及其運輸進行評估。</p>
46	12/09/2019	ML19337C188	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：除役績效與狀態審查；用過燃料池安全，以及惡劣天候防護。</p> <p>做法：</p> <p>例行性視察，審查程序書、進行現場巡查、觀察現場情況，與工作人員討論惡劣天候之應對措施，確認除役作業對安全的影響。</p>

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	San Onofre 視察結果重要摘述
47	02/20/2020	ML20049G943	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：ISFSI 操作；ISFSI 程序書修訂。</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 審查了選定的程序書、矯正措施報告和記錄，以查核 ISFSI 的運作符合許可證技術規範和 Holtec UMAX FSAR。 2. 審查 ISFSI 計畫中的程序書修改和設計變更是否符合 10 CFR 72.48。
48	02/25/2020	ML20054A940	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：組織、管理與成本控制；維護與監測，以及安全審查、設計變更與修改。</p> <p>做法：</p> <p>審查程序書、進行現場查訪、與工作人員訪談，確認相關除役作業均遵照程序書規定、用過燃料池之監測與維護符合法規要求。</p>
49	04/28/2020	ML20119A876	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：ISFSI 操作；ISFSI 程序書修訂。</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 審查了選定的程序書、矯正措施報告和記錄，以查核 ISFSI 的運作符合許可證技術規範和 Holtec UMAX FSAR。 2. 審查 ISFSI 計畫中的程式書修改和設計變更是否符合 10 CFR 72.48。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	San Onofre 視察結果重要摘述
50	07/20/2020	ML20188A388	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：稽核與矯正措施；用過燃料池安全，以及用固體放射性廢棄物管理與運輸。</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 審查電廠文件與工作人員面談，確認除役作業遵照程序書執行並符合法規要求。 2. 查核電廠是否依程序書與技術規範監測、維護用過燃料池。 3. 審查程序書、運輸文件、與工作人員面談，確認放射性廢棄物之管理、運輸符合法規要求。
51	08/04/2020	ML20217L386	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：ISFSI 操作；ISFSI 程序書修訂。</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 審查了選定的程序書、矯正措施報告和記錄，以查核 ISFSI 的運作符合許可證技術規範和 Holtec UMAX FSAR。 2. 審查 ISFSI 計畫中的程序書修改和矯正措施是否符合 10 CFR 72.48。
52	08/05/2020	ML20218A592	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	核子保安視察，查核相關程序書、紀錄、並與電廠人員面談。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	San Onofre 視察結果重要摘述
53	09/14/2020	ML20258A141	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：ISFSI 操作；ISFSI 程序書修訂。</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 審查了選定的程序書、矯正措施報告和記錄，以查核 ISFSI 的運作符合許可證技術規範和 Holtec UMAX FSAR。 2. 審查 ISFSI 計畫中的程序書修改和矯正措施是否符合 10 CFR 72.48。
54	10/22/2020	ML20296A533	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：除役績效與狀態審查；職業輻射曝露；以及放射性廢棄物處理及廢水與環境監測。</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 查核電廠除役作業是否與 PSDAR 所述一致、對於外包商之作業是否依程序書規定進行監管。 2. 查核是否遵照程序書(SDS ALARA 計畫程序書 SDS-RP2-PGM-1000)與法規要求執行 ALARA。 3. 查核是否符合技術規範 5.5.2 適當維護與實施廠外劑量計算書(ODCM)，以便監測、管制放射性氣體或液體之排放與劑量計算。
55	12/18/2020	ML20353A172	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：除役績效與狀態審查，以及維護與監測。</p> <p>做法：</p> <p>例行性視察，審查程序書、進行現場巡查、觀察現場情況，與工作人員討論作業安全，並評估作業活動對除役安全的影響。</p>

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	San Onofre 視察結果重要摘述
56	03/03/2021	ML21062A152	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：除役績效與狀態審查；固體放射性廢棄物管理與運輸，以及火災防護計畫。</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 審查程序書、進行現場巡查、觀察現場作業情況，與工作人員討論作業安全。 2. 審查放射性廢棄物管理程序書 (SDS-WM1-PGM-0001)、運輸文件，確認電廠依程序書操作且符合法規要求。 3. 參照 RG 1.191 進行火災防護計畫審查，包括火災危害分析、消防人員配置、消防系統之維護與監測等。
57	07/06/2021	ML21181A393	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：除役績效與狀態審查，以及安全審查、設計變更與修改。</p> <p>做法：</p> <p>例行性視察，審查程序書、進行現場巡查、觀察現場作業情況，與工作人員討論作業安全，並評估作業活動對除役安全的影響。</p>
58	07/20/2021	ML21200A062	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	核子保安視察，查核相關程序書、紀錄、並與電廠人員面談。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	San Onofre 視察結果重要摘述
59	09/22/2021	ML21251A584	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：除役績效與狀態審查；職業輻射曝露；以及放射性廢棄物處理及廢水與環境監測。</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 查核電廠除役作業是否與 PSDAR 所述一致、對於外包商之作業是否依程序書規定進行監管。 2. 查核是否遵照程序書與法規要求執行 ALARA；審查 2020 年度輻射防護計畫報告。 3. 查核是否符合技術規範 5.5.2 適當維護與實施廠外劑量計算書(ODCM)，以便監測、管制放射性氣體或液體之排放與劑量計算。
60	12/03/2021	ML21334A538	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：除役績效與狀態審查以及固體放射性廢棄物管理與運輸。</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 審查程序書、進行現場巡查、觀察現場作業情況，與工作人員討論作業安全。 2. 審查放射性廢棄物管理程序書 (SDS-WM1-PGM-0001)、運輸文件，確認電廠依程序書操作且符合法規要求。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	San Onofre 視察結果重要摘述
61	03/14/2022	ML22068A233	1 個 NCV(未確實執行防火計畫)	N/A	<p>1 個 NCV：</p> <p>視察員評估電廠對程序書的實施情況，並確定電廠未能落實火源管制程序書違反程序書 SDS-FP1-PCD-0015「火源控制」修訂版 8，步驟 4.1.8，要求驗證動火作業 35 英尺內的所有 A 類可燃物已被清除，或已用核准的焊接簾、焊接毯或焊接墊進行覆蓋。</p> <p>詳請參閱報告第貳、一、(二)節第 2.2 小節。</p>
62	05/12/2022	ML22130A803	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：除役績效與狀態審查；問題識別與解決，以及安全審查、設計變更與修訂。</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 查核電廠除役作業是否與 PSDAR 所述一致、對於外包商之作業是否依程序書規定進行監管、現場查訪圍阻體內近期之相關作業(如內部混凝土地板切割)。 2. A. 根據品質保證 (QA) 計畫和 10 CFR 50 附錄 B 的要求，評估電廠在發現、解決和糾正問題方面的控制措施的有效性；B. 確定是否根據品質保證計畫和監管要求進行了稽核和評估；以及 C. 確認電廠已建立、實施和執行了對具有安全意識的工作環境的管理審查。 3. 查核電廠的安全審查程序是否按照 10 CFR 50.59「變更、測試和實驗」的要求執行。
63	07/26/2022	ML22207B861	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	核子保安視察，查核相關程序書、紀錄、並與電廠人員面談。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	San Onofre 視察結果重要摘述
64	07/26/2022	ML22215A202	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：除役績效與狀態審查以及職業輻射曝露。</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 參加電廠會議，包括討論除役作業以及每天的況狀。視察員查訪廠內設施、放射性廢棄物及安全設備廠房、及 2 號機與 3 號機圍阻體廠房。 2. 審查電廠文件記錄、程序書 SDS-RP2-PGM-1000、與工作人員訪談，確保電廠人員與外包商均有適當的輻射防護並進行輻射劑量監測。
65	09/26/2022	ML22255A150	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：除役績效與狀態審查；職業輻射曝露以及放射性固體廢棄物管理與運輸。</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 參加電廠會議，包括討論除役作業以及每天的況狀。視察員查訪廠內設施、及 2 號機與 3 號機圍阻體廠房，並確認廠務管理之實施情況。 2. 審查電廠文件記錄、程序書 SDS-RP2-PGM-2000、與工作人員訪談，確保電廠人員與外包商均有適當的輻射防護並進行輻射劑量監測。 3. 查核電廠對於處理、處置、儲存和運輸放射性材料計畫的有效性；審查程序書 SDS-WM1-PGM-0001，並確認工作人員是否遵照程序書執行相關作業。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	San Onofre 視察結果重要摘述
66	11/17/2022	ML22311A482	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：除役績效與狀態審查、補正和最終調查之檢查以及放射性廢棄物處理、廢水與環境監測。</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 審查了相關的反應器內部切割工程，並與的工作人員進行了面談。查訪 2 號機和 3 號機的圍阻體，查核正在進行的作業和最近完成的工作。這些工作包括切割內部混泥土地面和牆壁，以及堆放受污染的設備和放射性垃圾。 2. 審查承包商的施工說明，與工作人員面談，並觀察施工進度。 3. 審查電廠的廢水和環境監測計畫，包括 ODCM、最近的放射性廢液排放記錄、廢水和環境監測報告以及地下水保護。視察員還審查了相關的程序書，並與負責執行的工作人員進行了面談。
67	12/15/2022	ML22348A041	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：除役績效與狀態審查以及固體放射性廢棄物管理與運輸。</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 審查程序書、現場巡查 SFP、觀察現場作業情況，與工作人員討論作業安全。 2. 審查了兩個放射性廢棄物運送，一個是 B 類，一個是 A 類。相關操作、文件紀錄均符合程序書要求。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	San Onofre 視察結果重要摘述
68	02/22/2023	ML23046A379	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：除役績效與狀態審查、固體放射性廢棄物管理與運送，以及補正和最終調查之檢查。</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 審查程序書、現場查訪圍阻體內近期之相關作業、觀察現場作業情況，與工作人員討論作業安全。 2. 審查電廠文件紀錄，查核 GTCC 工作進展情況、SFP 儀器架拆除和裝運作業、及運送作業。。 3. 審查電廠的廢水和環境監測計畫，包括 ODCM、最近的放射性廢液排放記錄、廢水和環境監測報告以及地下水保護。視察員還審查了相關的程序書，並與負責執行的工作人員進行了面談。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	San Onofre 視察結果重要摘述
69	05/23/2023	ML23131A395	未發現火災危害相關之違規	1 個 NCV、1 個違規舉發 (Notice of Violation)	<p>違規事項：</p> <p>(1) NCV： 違規行為涉及 10 CFR 71.107(a)，即被許可人在與 GTCC 廢棄物鋼桶相關的焊接活動中未執行設計控制要求。根據 NRC 執行政策第 2.3.2.a 節的規定，將此違規行為視為非正式提出之違規(NCV)。</p> <p>(2) 違反 10 CFR 50.59(d)(1)，運輸作業期間的龍捲風危害防護： 由於該違規行為是在執法指引備忘錄(Enforcement Guidance Memorandum, EGM) 22-001「ISFSI 不遵守龍捲風危害防護要求的執法裁量權」所涵蓋的裁量權期內發現的，並且由於持照業者正在實施補償措施，並且已經採取或計畫採取必要行動已符合規定，因此 NRC 行使執法裁量權，不對該違規行為採取執法行動，並允許繼續 ISFSI 吊運操作。</p>
70	05/31/2023	ML23146A162	未發現火災危害相關之違規	未發現任何違規	<p>項目：除役績效與狀態審查、固體放射性廢棄物管理與運送，以及職業輻射曝露。</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 審查電廠文件紀錄、程序書、現場查訪圍阻體內近期之相關作業、觀察現場作業情況，與工作人員面談。 2. 審查了兩個放射性廢棄物運送，一個是 B 類，一個是 A 類。審查承包商支援放射性廢棄物管理和運輸部分的工作人員訓練計畫。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	San Onofre 視察結果重要摘述
					3. 審查電廠文件紀錄、程序書，與工作人員面談，確保輻射監測與人員劑量符合法規要求。

表 A-3. La Crosse 電廠視察報告研析結果摘要彙整

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	La Crosse 視察結果重要摘述
1	06/02/2011	ML11154A031	未發現火災危害	未發現任何違規	核子保安視察，查核相關程序書、紀錄、並與電廠人員面談。
2	07/01/2011	ML11187A117	未發現火災危害	未發現任何違規	<p>項目：設施管理與管制、輻射安全，以及用過核子燃料安全做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 審查對獲准在無人陪同的情況下進入限制區工作的外包商的一般員工訓練。 2. 進行現場巡視，以評估現場狀況和除役作業，並確保放射性污染區域得到良好管制。 3. 審查 2010 年 10 月 25 日至 2011 年 6 月 10 日期間護箱池、閘門和支撐結構裝設過程中的輻射曝露記錄。 4. 審查為確保用過核子燃料在燃料元件儲存井（Fuel Element Storage Well, FESW）中的安全濕式儲存而進行的作業，包括核查水溫、水位、監測要求(技術規範 5.1.2)，以及程序書 HSP-7.2 的水化學和清潔度管制要求。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	La Crosse 視察結果重要摘述
3	07/05/2012	ML12192A223	未發現火災危害	未發現任何違規	<p>項目：輻射安全，及用過核子燃料安全</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 審查 2011 年 9 月至 2012 年 3 月期間反應器廠房的直接輻射測量和污染採樣結果。 2. 審查區域輻射監測儀和中子監測儀的校準程式書和記錄。 3. 審查為確保用過核子燃料在燃料元件儲存井 (FESW) 中的安全而進行的作業，包括核查水溫、水位、水質監測，確保符合法規要求。
4	08/21/2012	ML12236A129	1 個 NCV	2 個 NCV	<p>火災相關 NCV：請參閱報告第貳、一、(二)、3.1 節。</p> <p>2 個非火災 NCVs：</p> <p>持照業者未能確保將設計依據正確地轉化為規格、設計圖、程式書和指引。具體而言，設計變更申請 10-02-B1 中包含了一個尺寸不足的焊接點，這將導致在事故情況下焊接點應力過大。此外，電廠沒有審查臨時單一失效防護(single failure proof)吊升系統的台車能量吸收組件的適用性，該組件的設計目的是在繩索斷裂事故發生時吸收衝擊力。明確地說，持照業者 (1) 未確保台車的能量吸收組件在斷繩事故中具有足夠的吸能能力；(2) 未確保斷繩事故導致的最大繩索拉力轉化為對受斷繩事故影響的所有台車結構部件的評估。電廠已迅速採取矯正措施，以確保符合法規並防止再次發生。</p>

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	La Crosse 視察結果重要摘述
5	11/09/2012	ML12314A427	未發現火災危害	未發現任何違規	<p>項目：ISFSI 運作</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 查核並評估電廠首次進行用過核子燃料貯存裝載作業的情況，以確認是否符合、技術規範、法規和相關程式書。 2. 查核將用過核子燃料元件從燃料元件貯存井（FESW）裝入可運輸貯存鋼桶（TSC）的情況。 3. 巡訪反應器廠房內的重物搬運，包括：吊掛和安裝鋼桶起重機橫樑、將用過核子燃料元件從燃料元件儲存井吊裝到鋼桶之準備區。
6	06/10/2013	ML13162A115	未發現火災危害	1 個 NCV (未進行輻射劑量評估)	<p>1 個 NCV：未符合 10 CFR Part 20.1501</p> <p>在用過燃料池區進行作業活動之前，未按照 10 CFR Part 20.1501 的要求進行輻射劑量之評估調查。</p>
7	10/30/2013	ML13304B405	未發現火災危害	未發現任何違規	<p>項目：設施管理與管制及輻射安全</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 進行現場巡視，以評估現場條件和除役作業，並確認放射性污染區域得到良好管理與控制。 2. 審查低壓渦輪機拆除過程中的空氣採樣結果。 3. 審查低壓渦輪機拆除前的特徵調查，以確定輻射工作許可是否適當。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	La Crosse 視察結果重要摘述
8	01/14/2015	ML15014A157	未發現火災危害	未發現任何違規	<p>項目：設施管理與管制及輻射安全</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 進行現場巡視，以評估現場條件和除役作業，並確認放射性污染區域得到良好管理與控制。 2. 審查 2014 年第一、第二和第三季度的外部輻射曝露記錄。 3. 審查反應爐淨化系統、強制循環泵和控制棒驅動裝置拆除期間的空氣採樣結果。
9	03/26/2015	ML15085A562	未發現火災危害	<p>共 6 個違規，其中 3 個屬違規舉發，另外 3 個為 NCVs</p>	<p>(1) 三件明顯違反 10 CFR 50.54(q)之事項：</p> <ol style="list-style-type: none"> A. 未按照 La Crosse 緊急應變計畫的要求確保緊急應變人員配備水準。 B. 向 NRC 提交降低緊急應變計畫有效性的變更，但在未獲得核可前便先行實施。 C. 未按照 La Crosse 緊急應變計畫規定的頻率執行緊急應變演習和演練。 <p>(2) 3 個 NCVs：</p> <ol style="list-style-type: none"> A. 未按照 CFR 10 72.30(b)的要求及時提交 ISFSI 除役資金計畫。 B. 未按照 CFR 10 50.47(b)(2)的要求制定適當的緊急應變人員擴充計畫，以確保緊急應變計畫行動得以完成。 C. 電廠程序書的緊及分類系統與緊急應變計畫中的不一致，不符合 CFR 10 50.47(b)(4)的要求。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	La Crosse 視察結果重要摘述
10	10/20/2015	ML15295A111	未發現火災危害	未發現任何違規	<p>項目：設施管理與管制及輻射安全</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 進行現場巡視，以評估現場條件和除役作業，並確認放射性污染區域得到良好管理與控制。 2. 審查廢樹脂槽、液體廢棄物槽和集水池清理期間的外部輻射曝露和空氣採樣結果。
11	7/27/2016	ML16210A435	未發現火災危害	未發現任何違規	<p>項目：ISFSI 運作及自我評估、稽核與矯正措施</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 審查電廠文件記錄、與電廠人員進行面談，並進行現場巡查，以確認電廠是否遵照程序書執行例行性安全測試、輻射監測等作業。 2. 查核對於 ISFSI 是否進行例行性調查和環境輻射監測。 3. 審查電廠文件記錄、與電廠人員進行面談，以確認電廠是否遵照程序書進行識別、評估和解決問題的行動、品質保證人員對除役狀況的變化和電廠組織進行稽核

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	La Crosse 視察結果重要摘述
12	03/16/2017	ML17080A143	未發現火災危害	未發現任何違規	<p>項目：設施管理與管制、輻射安全、以及最終狀態調查。</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 進行現場巡視，以評估現場條件和除役作業，並確認放射性污染區域得到良好管理與控制。 2. 審查與設施除污有關的作業指引、ALARA 作業前審查、輻射作業許(radiation work permits, RWPs)，以符合未來露天拆除的污染辨識調查(contamination verification survey, CVS)限制。 3. 在本次檢查中，ORAU (Oak Ridge Associated Universities)人員對其中幾個非影響區域進行了確認性調查。在這些調查過程中，視察員還參觀了幾個未受影響的區域。
13	10/12/2017	ML17285B121	未發現火災危害	未發現任何違規	核子保安視察，查核相關程序書、紀錄、並與電廠人員面談。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	La Crosse 視察結果重要摘述
14	02/12/2018	ML18043B109	1 個 NCV	2 個 NCV	<p>火災相關 NCV：請參閱報告第貳、一、(二)、3.2 節。</p> <p>2 個非火災 NCVs：</p> <p>(1) 東貝克儲水槽不慎將受污染的水排放到密西西比河，因電廠未確實執行品質保證計畫，因此違反了 10 CFR 50.54(a)(1)。</p> <p>(2) 視察員發現電廠在拆除廢棄物處理大樓(Waste Treatment Building, WTB)地基時未進行必要的調查，因此違反了 CFR 20.1501 規定，而這些調查對於持照業者確保遵守 10 CFR 20.1402 ("Radiological Criteria for Unrestricted Use"(不受限制使用的放射性標準))可能是必要的。該標準規定，殘餘輻射與背景輻射的區別是，殘餘輻射為總有效劑量相當於關鍵群體平均成員每年不超過 25 mrem，且符合 ALARA。</p>
15	02/13/2019	ML19045A237	未發現火災危害	1 個 NCV(未進行輻射調查)	<p>1 個 NCV：10 CFR 20.1302(a)</p> <p>沒有對排放到非限制區和控制區的污水中的放射性物質進行適當調查，以證明遵守了對公眾個人的劑量限制。</p>

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	La Crosse 視察結果重要摘述
16	10/21/2019	ML19294A284	未發現火災危害	未發現任何違規	<p>項目：設施管理與管制、輻射安全、以及最終狀態調查。</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 審查電廠文件記錄、與電廠人員進行面談，並進行現場巡查(查訪臨時廢液系統)，以確認電廠是否遵照程序書執行例行性安全測試、輻射監測等作業。 2. 審查與反應器廠房附近用於儲存反應爐拆除過程中產生的廢料的帳篷區的除污相關作業指引、ALARA 作業前審查和輻射作業許可。 3. 視察員觀察電廠進行最終狀態調查的情況，並審查 reactor bowl、鄰近反應器廠房的前帳篷區、和周圍斜坡區以及包括雨水管道在內的空地的採樣結果。
17	10/08/2020	ML20282A553	未發現火災危害	未發現任何違規	<p>項目：設施管理與管制、輻射安全、以及獨立用過燃料儲存設施。</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 審查電廠文件記錄並與電廠人員進行面談，以評估行政管理程序書是否規定了辨認、評估和解決問題的行動。 2. 進行現場查訪，訪查期間電廠沒有輻射相關作業。 3. 截至 2019 年 10 月，該場址已完成現場退役工作，除 ISFSI 外，終止了所有污水和環境監測。

項目	日期	ML 編號	針對火災	除火災之外	La Crosse 視察結果重要摘述
18	01/07/2022	ML22005A144	未發現火災危害	未發現任何違規	<p>項目：設施管理與管制、輻射安全、以及最終狀態調查。</p> <p>做法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 查核在 NRC 對最終狀況調查報告進行審查期間，電廠對許可區域是否進行了良好的管控。 2. 行現場查訪，訪查期間電廠沒有輻射相關作業。
19	06/01/2022	ML22151A328	未發現火災危害	未發現任何違規	核子保安視察，查核相關程序書、紀錄、並與電廠人員面談。
20	12/27/2022	ML22356A186	未發現火災危害	未發現任何違規	<p>項目：設施管理與管制、輻射安全、以及最終狀態調查。</p> <p>做法：</p> <p>已完成所有除役工作，NRC 正在審查最終狀態調查報告。視察員確認現場已無除役相關作業。</p>

**附錄 B 核一、二廠防火計畫相關程序書與 RG 1.191 Rev.1
之比對**

附錄 B 核一、二廠防火計畫相關程序書與 RG 1.191 Rev.1 之比對

本附錄檢視核一、二廠防火計畫相關程序書並與 RG 1.191 Rev.1 進行比對，比對結果以表格方式呈現，如表 B-1 所示。第二欄「章節」為 RG 1.191 Section C “Staff Regulatory Guidance”、第三欄為 RG 1.191 該節之摘要內容(詳細內容請參閱「111 年核電廠熱水流安全分析暨管制法規技術精進研究-核電廠除役期間臨時火源之火災危害分析與安全管理要項研究報告」第貳、一、貳節)、第四欄為核一、二廠程序書內容之比對結果概述、第五欄則為核一、二廠簡要之建議或注意事項。

(本頁空白)

表 B-1. 核一、二廠防火計畫相關程序書與 RG 1.191 之比對結果

項目	章節 ^a	內容摘要	程序書比對說明		建議或注意事項	
			核一廠	核二廠	核一廠	核二廠
1	1.1~1.3	防火計畫目的--永久停機(除役) 電廠的主要防火考量為保護用過燃料池中之燃料的完整性，並防止或儘可能降低因火災而導致的放射性物質外釋。	目的--確保安全停機及人員與設備之安全。	同左	程序書主要對象為反應爐，並非用過燃料池與其他含有放射性物質之區域。雖然大致可沿用運轉中之管理策略，但未來新建廢棄物廠房及配合拆除作業設置之暫貯區應納入程序書管理。	同左
2	1.4	除役電廠之火災防護計畫--10 CFR 50.48(f)(2)規定，「持照業者應在設施除役的各個階段酌情修訂計畫。」	現有文件可作為基礎。	同左	建議未來應針對不同除役階段酌情修訂。	同左
	2	火災危害分析				
3	2.1	火災危害--除役中的電廠之火災危害可能與運轉中的電廠的有	程序書 105、107.2、107.2.7、107.5 可作為	程序書 105、107 可作為基礎。	應檢視因除役作業而增加火載量(特別是臨時可	同左

項目	章節 ^a	內容摘要	程序書比對說明		建議或注意事項	
			核一廠	核二廠	核一廠	核二廠
		很大的不同，火災危害分析應考慮到來自設備擺設區、廢棄物堆積和儲存區以及支援除污和拆除作業所需材料等可燃物負荷增加的可能性。	基礎。		燃物)與火災危害，相關程序書亦需對應檢視消防設施與失火對策，尤其與用過燃料池及其冷卻系統有關之區域。	
4	2.2	電廠組態與條件--火災危害分析應描述電廠防火區之設置、配置和狀況，並應更新以反映各個除役階段發生的任何重大改變。	現有文件可作為基礎。	同左	消防防護計畫、失火對策計畫應對於「因應除役放射性廢棄物處理需求，汽機廠房及聯合結構廠房部分空間改建為放射性廢棄物處理區域」、除役拆廠等重大改變，應檢視可能之影響及其應變措施。	建議將失火對策計畫改為程序書(給予程序書編號)，以利與程序書 107「消防計劃」之避難路徑、救災動線等對應，且便於因應不同除役階段所需之檢視、修訂。
5	2.3	防火計畫要件--應描述行政管制、防火設施、排煙系統、緊急應變能力等。	現有文件可作為基礎。	程序書沒有各防火區之詳細敘述。	針對不同階段之除役作業，防火計畫要件應定期檢視、修訂。	同上

項目	章節 ^a	內容摘要	程序書比對說明		建議或注意事項	
			核一廠	核二廠	核一廠	核二廠
	2.4	放射性危害與安全重要系統--隨著除役工作的進展，放射性危害可能會隨著區域和結構的除污、污染組件/設備的移除、用過燃料貯存配置的改變以及污染廢棄物的積累而發生變化。				
6	2.4.1	用過核子燃料--應確認保護用過燃料所需的 SSCs，包括用過燃料池、燃料護箱、用過燃料池冷卻和補給系統，以及任何必要的支援系統，如儀控、通風和電力系統。	現有文件可作為基礎。	同左	「因應除役放射性廢棄物處理需求，汽機廠房及聯合結構廠房部分空間改建為放射性廢棄物處理區域」相關程序書(如 107.2、D529.3)需對應檢討、修訂失火對策等管理、管制措施。	因應「護箱裝載池復原」、「用過核子燃料池島區建置」相關程序書(如 107、500.25)需對應檢討、修訂失火對策等管理、管制措施。
7	2.4.2	電廠污染區與廢棄物儲存區--隨著電廠的除污和拆除，受污染的廢棄物(包括可燃和受污染的電廠設備，如電纜)可能會積累。火災危害分析應包括評估這些廢棄物捲入火災的可能性，以及盡可能地減少因火災而引起放射	現有文件可作為基礎。	同左	因應新建廢棄物廠房及配合拆除作業設置之暫貯區等，用過燃料池區及其冷卻系統之滅火、失火對策等管理、管制措施應針對各除役階段酌情修訂。	同左

項目	章節 ^a	內容摘要	程序書比對說明		建議或注意事項	
			核一廠	核二廠	核一廠	核二廠
		性物質外釋或擴散所需的保護措施。				
8	2.5	共用區域設施之風險--應考慮到火災對多機組共用系統的影響，以及火災從一個設施擴散到另一個設施的可能性。	除第五台柴油發電機外，兩機組無共用區。	現有文件可作為基礎。	因應除役而新建之廠房/設施應與其他廠房/設施保持足夠之分隔距離，避免火災延燒擴散。	因應除役而新建之廠房/設施應與其他廠房/設施保持足夠之分隔距離，避免火災延燒擴散。
	3	行政管制				
8	3.1	組織--除役消防計畫應確定並明確規定管理和實施消防計畫的組織責任。	現有文件可作為基礎。	同左	因應除役組織變動，相關消防通報程序如有更動，程序書需隨之更新修訂。	同左
9	3.2	防火程序書--應說明與廠外救援人員的協調，以及現場消防隊和廠外救援之領導和指揮結構；火災防護計畫應與除役作業管控流程相結合。	現有文件(如程序書107.2.3、1420)可作為基礎。	現有文件(如程序書107、1420)可作為基礎。	考慮除役不同階段之可能之危害差異，建議火災防護計畫應與除役作業管控流程相結合。	同左

項目	章節 ^a	內容摘要	程序書比對說明		建議或注意事項	
			核一廠	核二廠	核一廠	核二廠
	3.3	訓練--確保持照業者的員工、承包商和緊急應變人員具備必要的知識和技能來正確執行各自的職責。				
10	3.3.1	一般訓練--電廠人員和承包商雇員應被告知通報火災的正確程序、對電廠火災警報的反應、預防電廠火災、定位和使用滅火器，以及初期滅火的危害。	現有文件(如程序書107.2.10、113.3)可作為基礎。	現有文件(如程序書107、791)可作為基礎。	無	無
11	3.3.2	防火巡視(Fire Watch)--應告知電廠和動火作業的防火巡視人員他們的具體職責。	程序書 105、107.5 有相關規定。	程序書 105、151 有相關規定。	無	無
12	3.3.3	消防隊與廠外支援--消防隊成員和廠外緊急應變人員應接受相關設施配置、火災危害、消防設備、輻射危害等相關訓練。	現有文件(程序書107.2.5、D529.3 系列、1420)可作為基礎。	現有文件(如程序書107、500.25、1420)可作為基礎。	因應不同除役階段之電廠組態變化，程序書107.2.5、D529.3 系列、1420 應酌情定期檢視訓練、演習情境。	因應不同除役階段之電廠組態變化，相關程序書如 107、500.25、1420 應酌情定期檢視訓練、演習情境。
	3.4	可燃物管制--可燃物質，包括易燃和可燃液體、壓縮氣體、建築材料和垃圾，應以盡可能避免發生火災的方式使用、儲存和處置。				

項目	章節 ^a	內容摘要	程序書比對說明		建議或注意事項	
			核一廠	核二廠	核一廠	核二廠
13	3.4.1	臨時可燃物--應盡可能地降低與除役作業有關的臨時火源火災危害，並在作業結束後迅速移除可燃物質。	程序書 105、107.2、107.5 可作為基礎。	程序書 105、107 可作為基礎。	除役期間「用過燃料池區域及堆積或儲存放射性廢棄物之區域」應列為安全重要區域，防火計畫相關程序書應酌情定期檢討修訂。	同左
14	3.4.2	易燃和可燃液體與氣體的儲存--存放的地方應為，不會對含有放射性物質、污染物或對防止或減輕放射性物質外釋有關之 SSCs 的區域構成火災風險。	程序書 105、107.2、107.5 可作為基礎。	程序書 105、107 可作為基礎。	建議程序書 105 適當修訂或新增章節針對「支援除污和拆除作業所需材料等可燃物負荷增加」加強管理。	同左
	3.5	點火源之管制				
15	3.5.1	管制動火作業--在動火作業期間和動火作業完成後的至少半小時內，應配置合格的防火巡視人員。	程序書 105、107.5 有相關規定。	程序書 105、107、151 有相關規定。	無	無
16	3.5.2	管制臨時或可攜式加熱設備--在	程序書沒有相關規	同左	建議於程序書 105 或	建議於程序書 105

項目	章節 ^a	內容摘要	程序書比對說明		建議或注意事項	
			核一廠	核二廠	核一廠	核二廠
		具有放射性危害，與大量可燃物對放射性物質或安全重要系統造成潛在危害的區，應管制使用可攜式加熱設備。	定。		107.5 增加相關規定。	或 151 增加相關規定。
17	3.5.3	管制吸菸--只應在指定區域允許吸煙。在允許吸煙的地方，應提供安全的吸煙材料容器。	程序書 105 第 105.2 節有相關規定。	程序書 105 有相關規定。	無	無
	3.6	消防系統與設備之管理				
18	3.6.1	管理消防設備--消防隊的人員防護裝備，包括消防衣和自給式呼吸器，應定期進行清點、檢查、測試和維護，以確保性能正常。	現有文件可作為基礎。	同左	無	無
19	3.6.2	消防系統和功能之可操作性檢查、測試和維護--應提供檢查、測試和維護的計畫，並驗證已安裝的防火系統和功能的可操作性。	現有文件(107.2.9、測試、維護程序書)可作為基礎。	同左	無	無

項目	章節 ^a	內容摘要	程序書比對說明		建議或注意事項	
			核一廠	核二廠	核一廠	核二廠
20	3.6.3	消防系統中斷和損壞的控制--防火計畫應提供必要的管制，以儘量減少消防系統受損的時間和影響。除役期間應避免在消防系統受損的防火區安排涉及動火、使用易燃或可燃材料或其他高火災危害的作業。	現有文件(程序書105、107.5、509.7)可作為基礎。	現有文件(程序書105、107、151)可作為基礎。	除役期間應避免核准在消防系統受損的防火區安排涉及長時間之動火、使用易燃或可燃材料或其他高火災危害的作業。	同左
21	3.6.4	防火區邊界或屏蔽之控制--防火計畫應說明防火區邊界或屏蔽的管制問題，以及在設施改建或除役期間拆除時對這些結構的維護。應制定並實施檢查、測試和維護防火門、防火風門和防火牆、地板、天花板或防火區隔的計畫，以確保這些被動式屏蔽能發揮預期的作用。	現有文件(程序書105、D529.3系列)可作為基礎。	現有文件(程序書105、107、500.25)可作為基礎。	除役作業可能涉及防火區邊界、或防火屏蔽變更，程序書105、D529.3系列應有對應之管制、管理對應措施。	除役作業可能涉及防火區邊界、或防火屏蔽變更，程序書107、500.25、617.5.6.1、失火對策應有對應之管制、管理對應措施。
	3.7	結構、廠房、和外部區域之管理				

項目	章節 ^a	內容摘要	程序書比對說明		建議或注意事項	
			核一廠	核二廠	核一廠	核二廠
22	3.7.1	臨時結構或廠房之管理--防火計畫應涵蓋建造臨時廠房和結構時可能之火災危害。防火計畫應評估每個臨時建築內、外對自動或手動滅火能力的需求。	尚無相關程序書。	同左	建議依 RG 1.191 新增程序書。	同左
23	3.7.2	避免結構或材料曝露於火災--防火計畫應確定管制措施，以保護含有放射性物質的結構免受火災危害的影響。應考慮臨時可燃物，包括儲存的材料、垃圾、植被和附近或相鄰的結構所可能導致的火災危害。	現有文件(如程序書 105、107.2.7、D529.3.1~D529.3.5)可作為基礎。	現有文件(如程序書 105、107、500.25)可作為基礎。	程序書 105、107.2.7、D529.3.1~D529.3.5 應考慮因除役作業所需之臨時結構或臨時可燃物對相鄰結構/設施之潛在火災危害，確認消防設施之性能足以應付。	程序書 105、500.25 應考慮因除役作業所需之臨時結構或臨時可燃物對相鄰結構/設施之潛在火災危害，確認消防設施之性能足以應付。
	4	實體防火功能				
24	4.1	火災偵測與警報系統--在除役期間，火災危害和相關的偵測和警報主要為避免或降低放射性物質的外釋或擴散，因此可能需要	現有設計、文件(如程序書 309.13、107.2.8、107.2.9、D529.3.1~D529.3.5)可作為基礎。	現有設計、文件(如程序書 396.1、396.2、396.3、失火對策)可作為基礎。	由於「因應除役放射性廢棄物處理需求，汽機廠房及聯合結構廠房部分空間改建為放射性廢	因應除役所需，與用過燃料池和儲存放射性廢棄物相關之廠房(防火區)之消

項目	章節 ^a	內容摘要	程序書比對說明		建議或注意事項	
			核一廠	核二廠	核一廠	核二廠
		重新評估偵測和警報系統的設計，以確保除役期間的火災危害得到適當的控制。			棄物處理區域」，建議檢視相關廠房(防火區)之消防偵測和警報系統之設計，程序書 309.13、107.2.8、107.2.9 需對應進行適當修訂，且新建放射性廢棄物廠房也應納入。	防偵測和警報系統應重新檢視評估，程序書 396.1、396.2、396.3、失火對策需對應進行適當修訂，且新建放射性廢棄物廠房也應納入。
	4.2	防火屏蔽				
25	4.2.1	設立防火區--設立防火區是為了防止或限制火災從一個區域擴散至另一個區域，保護人員，並侷限火災後果。	現有設計可作為基礎。	同左	若防火區劃大小因除役作業而有變更，火災負荷、防火屏蔽等級應重新計算評估。	同左
26	4.2.2	防火屏蔽要求--火災區域應該由具防火等級的屏蔽來分隔。防火屏蔽的耐火等級應與每個火災區域的潛在火災嚴重程度相稱。	現有設計可作為基礎。	同左	無	無

項目	章節 ^a	內容摘要	程序書比對說明		建議或注意事項	
			核一廠	核二廠	核一廠	核二廠
	4.3	消防系統				
27	4.3.1	消防水供應--在除役期間，應維護電廠的消防水供應系統，該系統應能供應自動滅火系統和手動滅火所需的最大流量。	現有設計可作為基礎。	同左	除役作業可能會導致供水系統的一部分被隔離、拆除或廢棄。應審查任何系統變化，以確保能提供足夠的流量和覆蓋廠區範圍。	同左
28	4.3.2	自動消防系統--為支援除役而建造的新結構或臨時結構建議根據結構的防火和輻射危險性來安裝自動系統。	現有設計可作為基礎。	同左	為支援除役而建造的新結構或臨時結構，及與儲存放射性廢棄物有關之區域，皆應檢視設置自動消防系統之必要性。	同左
29	4.3.3	手動消防系統--應根據除役火災危害分析提供或維持足夠的手動滅火能力，以防止火災引起放射性物質外釋。	現有設計可作為基礎。	同左	注意除役作業(如除污)是否會影響立管(Standpipe)和軟管(hose)系統之可用性或可靠性	同左

項目	章節 ^a	內容摘要	程序書比對說明		建議或注意事項	
			核一廠	核二廠	核一廠	核二廠
					(消防水流量)。	
30	4.3.4	現場消防隊與廠外緊急應變單位--應制定火災緊急應變計畫，說明對火災警報的反應和緊急應變人員的責任。	現有文件(如程序書107.2.3、107.2.5、1420)可作為基礎。	現有文件(如程序書107、1420)可作為基礎。	無	無
	5	風險管理				
31	5.1	人員安全--消防計畫應保護在發生火災時的人員安全。出口和疏散路線應明確建立，並隨著電廠配置的變化而保持。程序書應建立在火災緊急疏散情況下實施的輻射控制和安全措施。				
32	5.2	緊急應變--電廠消防隊可以撲滅小型火災，並對較大的火災進行初步滅火和控制，但裝備齊全的消防隊應該是撲滅大型火災的主力。	現有文件(如程序書107.2、113.1、1420)可作為基礎。	現有文件(如程序書107、500.25、1420)可作為基礎。	無	無

項目	章節 ^a	內容摘要	程序書比對說明		建議或注意事項	
			核一廠	核二廠	核一廠	核二廠
^a RG 1.191 Section C. Staff Regulatory Guidance 註：「無」代表核一、二廠現有設計基礎或文件滿足 RG 1.191 之監管精神。						

附錄 C 美國 NRC 風險告知相關之視察程序書研析概要

附錄 C 美國 NRC 風險告知相關之視察程序書研析概要

美國 NRC 2021 年 01 月發布之視察程序書 64704 第 03 節之一般指引中，建議視察員使用風險告知績效基準的方法，選擇該次視察之查核項目。本附錄為依照第二次進度會議之審查意見，蒐集並概要說明有關使用風險告知績效基準之視察手冊(Inspection Manual)、視察程序書(Inspection Procedure)。

本計畫已蒐集 2 篇視察手冊(IMC 2561、IMC 2800)及 3 篇視察程序書(IP 37801、IP 40801、IP 87141)。3 篇視察程序書之重要內容將於下個年度之研究計畫中呈現，2 篇視察手冊有關風險告知之內容簡要說明如下。

視察手冊章節 (Inspection Manual Chapter, IMC) 2561 “Decommissioning Power Reactor Inspection Program”，其目的為制定核電廠除役檢查的政策和指引。此視察手冊有四個目標，其中之一為「核查：(1)持照業者在停機過渡、除役和許可證終止方面的程序書、流程和計畫是否充分；(2)從運轉進入除役是否有符合監管要求的必要計畫；(3)運營期間建立的安全文化是否得以保持。這些除役計畫通過對以下方面的檢查進行評估：電廠狀態、設計變更、維護和檢測、問題識別和解決、火災防護、以及輻射防護」。手冊第 04 節，對於風險告知方法(Risk-Informed Approach)之定義為「一種理念，將風險洞視與其他因素一併考慮，以確定聚焦於與持照業者被核可之計畫相稱的視察作業。風險可通過評估三個問題(即風險三要素)的綜合答案來評定：(1) 可能什麼出錯？(what can go wrong)、(2) 出錯的可能性有多大？(how likely it is)、(3) 可能產生的後果？(what its consequences might be)。」第 6.1 節提到，由於除役和安全考慮的範圍相當廣泛，此手冊提供必要的視

察要求和指引，以確保：(1) NRC 的管制監督有助於保護公眾健康和
安全；(2) NRC 人員的監督和視察資源為有效、一致和適當集中的。除
役視察計畫將以風險告知的方式實施，視察重點聚焦於高安全重要度
之除役作業，以保護工作人員及環境。

IMC 2800 “Materials Inspection Program”，其目的為替獲得 NRC 核
准持有、使用、儲存、運送和處置與各類用途（如工業、學術、研發、
製造、等等）相關的放射性材料，以及與此相關之運輸的持照業者
制定視察計畫。此視察手冊有五個目標，其中第二個為「描述風險告
知、績效基準的視察方法」；第四個為「建立對持照業者進行例行視察
的風險告知之相對優先順序，以及根據持照業者的表現延長或縮短視
察間隔的標準。」第 3.14 節對於風險告知方法(Risk-Informed Approach)
之定義與 IMC 2561 相同。NRC 在其物料視察計畫中採用了基於績效
的風險告知方法。優先次序為，非例行性視察(手冊第 07 節)最為重要，
其時程安排與議題的健康、安全或保安之重要性相稱(依手冊第 03.06
節之定義，除役中之核電廠屬於此類)；其次是初次視察(手冊第 05.02
節)；最後是基於視察優先順序的例行性視察(手冊第 05.03 節)。

3 篇視察程序書皆適用於上述 2 篇視察手冊，相關內容均值得未來
詳細研析，作為管制單位執行除役期間視察時之參考。