

立法院第 8 屆第 1 會期
教育及文化委員會

專 案 報 告

- 核二廠反應爐基座七根螺栓毀損檢討
核電廠運轉安全性
- 臺電公司於花蓮縣秀林鄉進行鑽探取
岩心作業及蘭嶼核廢料處置問題

報告人：行政院原子能委員會
蔡春鴻主任委員

中華民國 101 年 4 月 16 日

目 錄

壹、核二廠反應爐基座七根螺栓毀損檢討核電廠運轉安全性	1
一、事件摘要說明	1
二、原能會管制作為	4
三、小結	9
貳、臺電公司於花蓮縣秀林鄉進行鑽探取岩心作業及蘭嶼核廢料處置問題	10
一、臺電公司於花蓮縣秀林鄉進行鑽探取岩心作業	10
二、蘭嶼核廢料處置問題	12
(一)蘭嶼貯存場檢整重裝作業	12
(二)蘭嶼核廢料後續處置問題	15
三、小結	17
參、結語	17

主席、各位委員先進：

奉 大院要求，謹就「核二廠反應爐基座七根螺栓毀損檢討核電廠運轉安全性及臺電公司於花蓮縣秀林鄉進行鑽探取岩心作業及蘭嶼核廢料處置問題」進行專案報告如下：

壹、核二廠反應爐基座七根螺栓毀損檢討核電廠運轉安全性

一、事件摘要說明

核二廠 1 號機 EOC-22 大修期間，依計畫於 3 月 23 日執行反應爐支撐裙鈹錨定螺栓超音波檢測(UT)前清潔作業時，發現位於裙鈹內側 1 根螺栓斷裂，斷裂位置距螺栓頂部約 18.3 吋。3 月 24 日起執行 UT 檢測，再次發現內側另有 2 根螺栓已近斷裂，另尚有 4 根螺栓有裂紋顯示，裂紋深度約 2.5mm，外側螺栓檢測則無異常。

本會接獲臺電公司通報後，隨即派員進行調查，調查時另確認 3 月 16 日 05:50 核二廠 1 號機進行反應爐模式切換至停機 (S/D) 時，曾造成弱震儀 OSG-XE-109 及強震儀 OSG-XE-105 動作，其中 OSG-XE-105 垂直方向最大加速度達到 0.29g(反應爐支撐裙鈹錨定螺栓及斷裂相關位置圖如圖 1、2、3 及表 1 所示)。

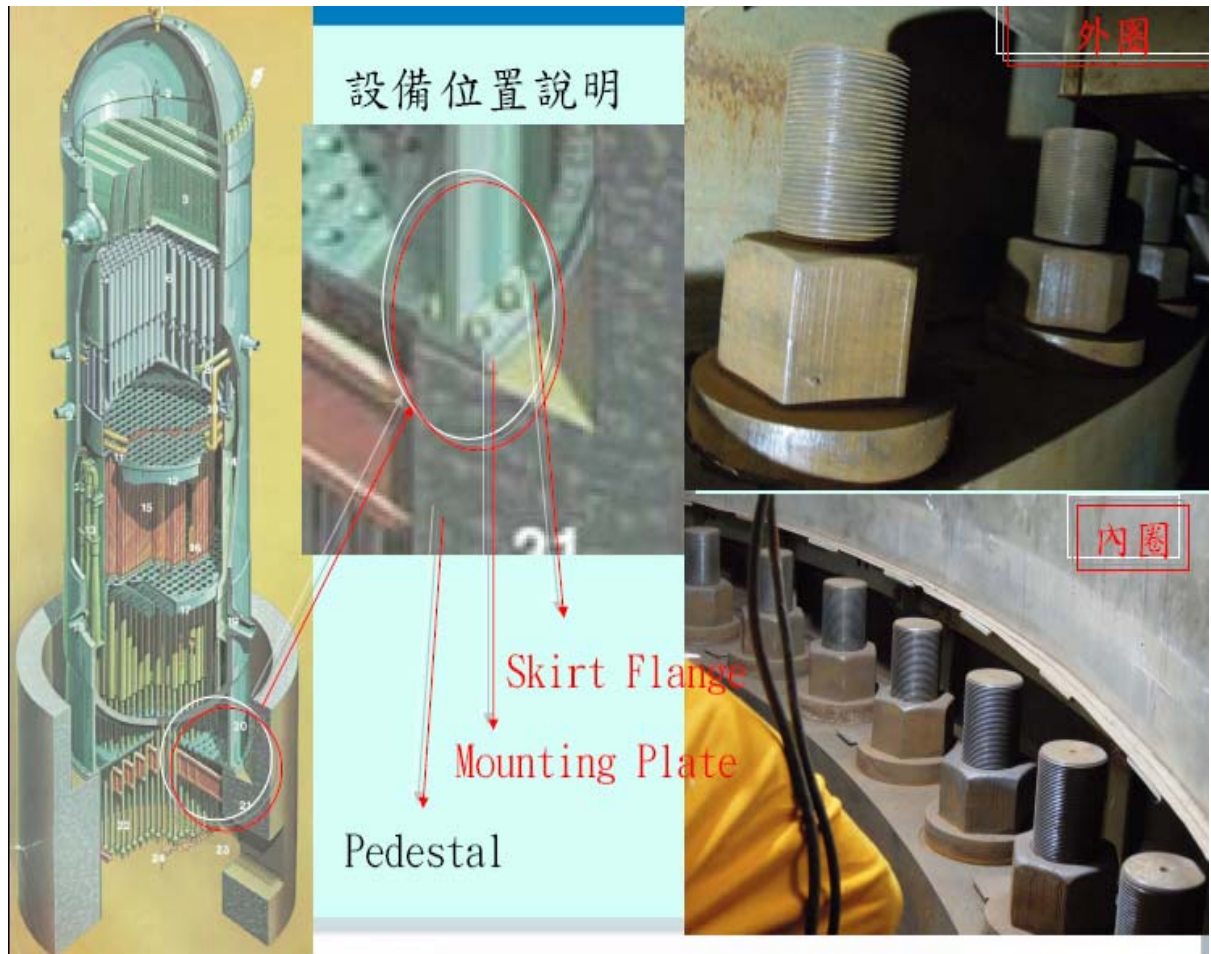


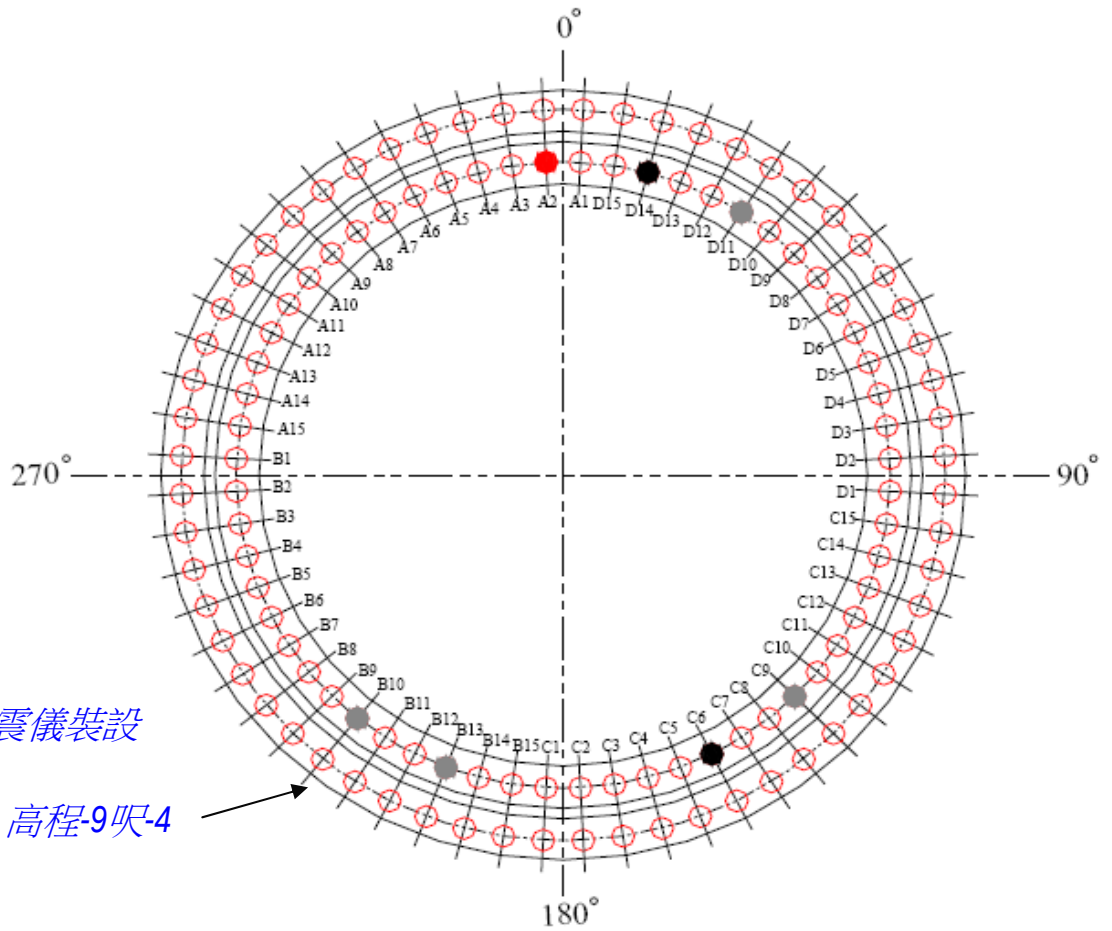
圖 1 反應爐支撐裙鈑錨定螺栓相關位置圖

表 1 不合格螺栓編號及斷裂/裂紋顯示位置

編號	方位度數 (0 度代表南方)	顯示	斷裂/裂紋顯示位置 (距螺栓頂部)
A2	357	斷裂	18.3 吋
C6	153	斷裂	21.7 吋
D14	15	斷裂	20.0 吋
B10	219	裂紋(約 2.5mm)	20.1 吋
B13	201	裂紋(約 2.5mm)	19.8 吋
C9	135	裂紋(約 2.5mm)	19.5 吋
D11	33	裂紋(約 2.5mm)	19.5 吋

RPV SUPPORT SKIRT ANCHOR BOLTS

反應爐支撐裙板錨定螺栓



PLAN VIEW FROM ABOVE

- 已斷(BROKEN) : A2
- 背波消失(NO BACKWALL REFLECTION) : C6, D14
- 有顯示(INDICATIONS) : B10, B13, C9, D11

(OSG-XE-105地震儀裝設
位置位於217度，高程9呎4
吋)

圖 2 反應爐支撐裙板錨定螺栓斷裂相關位置圖

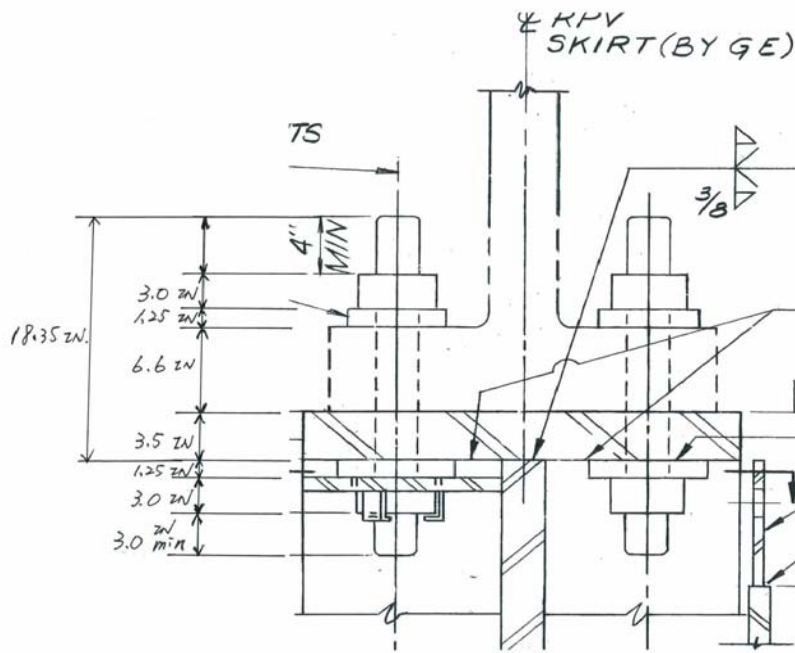


圖 3 錨定螺栓結構尺寸(右側代表內圈)

二、原能會管制作為

針對此事件，本會除了立即派員調查外，並邀請專家學者組成「核二廠 1 號機反應爐支撐裙鈹錨定螺栓審查小組」，審查成員專長涵蓋土木、材料、結構及地震等範疇，分別從「運轉中檢測(ISI)計畫與檢測紀錄」、「螺栓斷裂肇因分析」、「結構安全分析」、「周邊組件運轉安全」、「機組起動運轉之安全」、「全面移出爐心燃料」等各方面進行技術性審查。

1. 運轉中檢測(ISI)計畫與檢測紀錄

依據 ASME 法規，反應爐支撐裙鈹錨定螺栓每 10 年應執行目視檢測 (VT-3) 乙次，1 號機在 EOC-21 大修(99 年 10 月)執行時，檢測結果正常。而 2 號機於 EOC-21 大修(100 年 10 月)執行反應爐支撐裙鈹錨定螺栓 VT-3 目視檢測前，進行清潔作業時發現一根螺栓斷裂，隨後以超音波 (UT) 檢測剩餘 119 根螺栓，確認無斷裂或裂紋顯示。本會於今年 3 月 14 日 1 號機 EOC-22 大修前會議中，要求該機組 120 支反應爐支撐裙鈹錨定螺栓，均以超音波 (UT) 執行檢測，檢測結果如前所述。(圖 4 為 A2 螺栓斷面照片，(A) 為原始形貌，(B) 為清理後形貌；I 為破斷起裂源，A 為龜裂成長區，F 為最終拉斷區)

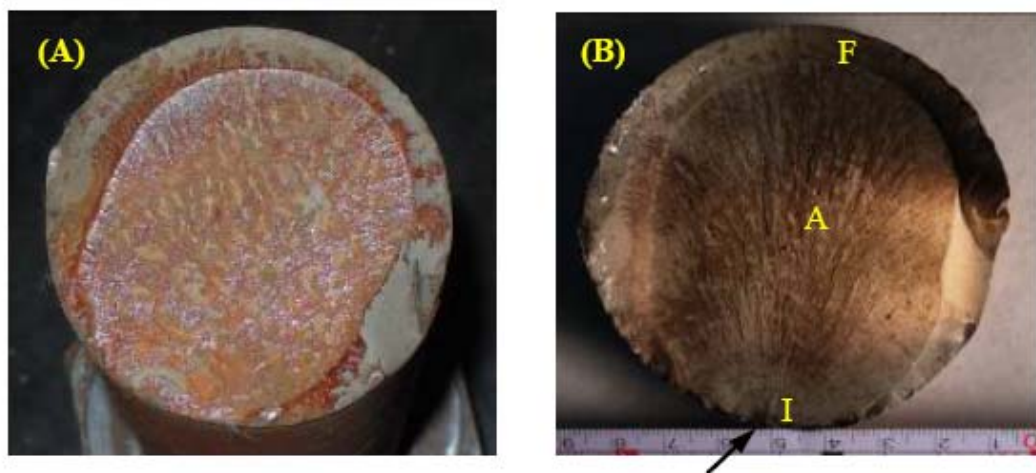


圖 4 A2 螺栓斷面照片

2. 螺栓斷裂肇因分析

反應爐支撐裙板錨定螺栓規格為 ASTM A-540 Gr. B23/B24 Class1，直徑 3 吋，長度 26 吋，下半部錨定於支撐結構混凝土內，上半部以螺帽與墊圈加鎖於反應爐支撐裙板，並施加預拉力 680 kips，錨定數量內、外圈各 60 支，共 120 支。臺電公司應本會有關肇因分析之要求，已將斷裂 3 支（A2、C6、D14）中之 A2 及 C6 送往核能研究所熱室進行檢驗分析，該所經由斷面檢視、微硬度測試、化學成分分析、斷口與起裂源斷貌顯微分析、顯微組織金相分析之結果，並從螺栓負載、材質、施工、運轉等相關因素中進行研判，雖然 A2 和 C6 之分析有些微差異，但經初步綜合研判，可排除腐蝕因素，但有熱處理不當、材質不良、製程瑕疵及因螺桿與載板接觸引發之非預期彎曲力矩等現象，可能為造成 A2 和 C6 螺栓斷裂之原因。

3. 結構安全分析

因為錨定螺栓為反應爐底座(pedestal)與反應爐裙板密接的重要組件，負有兩者間負荷傳遞及將反應爐穩固座落在反應器廠房土木結構上之

功能。因此錨定螺栓結構完整性有可能影響反應爐在各種運轉狀態中之支撐穩定性。依原設計基準係針對此項結構在 Faulted Condition(包括 SSE 及 LOCA)之嚴苛運轉條件下之承載能力進行分析，即 Faulted condition 所引發之 overturning moment、thermal circumferential moment 及垂直上揚力(vertical upward force)等均須低於螺栓 90%降伏強度受力 804.6 kips 之設計基準。目前刻正由審查小組審查中，審查重點在確認在各種設計運轉條件下，反應爐支撐裙鈹法蘭與基座載鈹接觸面之摩擦力是否足以抵檔各種運轉條件下之剪力，符合原設計要求，而無滑移之疑慮。

4. 周邊組件運轉安全

反應爐周邊連接著相當多且重要的管嘴/管路、控制棒驅動機構等，由於強震儀 OSG-XE-105 曾有垂直方向最大加速度達到 0.29g 之紀錄，因此已要求臺電公司針對該等管路加強檢查。經臺電公司採超過運轉基準地震(OBE)之大修現場查證(walkdown)規定，包括爐內檢測、焊道（與反應爐相連之管嘴焊道 29 口）、管路（與反應爐相連之管路焊道 30 口）等，查證結果均正常，並於 4 月 12 日加壓反應爐執行洩漏測試，確認和

反應爐相連接管路/管嘴之完整性。

5. 機組起動運轉之安全

鑑於核二廠 1 號機反應爐支撐裙鈹錨定螺栓斷裂問題，截至目前資料顯示：臺灣為首例，因此 4 月 3 日本會已正式通知臺電公司，核二廠 1 號機非經本會同意，不得再起動。本會目前正仔細評估，並要求臺電公司就未檢出有瑕疵之 113 支螺栓是否符合原設計之標準（ASTM A-540 B23 Class 1 如表 2、3）之說明，並提出螺栓修復後起動運轉之安全性分析。

表 2 化學成分要求

元素	化學成分要求（%）
C	0.37-0.44
Mn	0.60-0.95
P	0.25（max）
S	0.25（max）
Si	0.15-0.35
Cr	0.65-0.95
Ni	1.55-2.00
Mo	0.20-0.30

表 3 機械性質

Grade	Class	尺寸 (in)	硬度 最低 最高	最低降伏 (ksi)	伸長量 (% in 2 in)
	1	3 in	321 415	150	10
B23	Class	尺寸 (in)	衝擊試驗 v-notch -12.2°C	最低抗拉 (ksi)	最低可減少面積 (%)
B23	1	3 in	NA (<4in)	165	35

6. 「全面移出爐心燃料」之評估

有專家學者提出審查意見，認為應估算反應爐壓力槽因支撐裙鈹錨定螺栓破損所減少之耐震度，並考慮全面移出爐心燃料之必要性。本會將考量修復期間之長短等因素，評估是否須要求核二廠將 1 號機之爐心燃料全面移出。

三、小結

本案尚在本會審查中，無論肇因分析、機組起動運轉安全、與修復過程之安全均尚待澄清。確保核能安全為本會之首要職責，本會向來均以最謹慎的態度，嚴密把關。面對此次核二廠 1 號機反應爐基座七根螺栓毀損問題，亦是如此。

貳、臺電公司於花蓮縣秀林鄉進行鑽探取岩心作業及蘭嶼核廢料處置問題

至於有關花蓮縣秀林鄉鑽探取岩心作業，係臺電公司為執行用過核子燃料最終處置計畫第一階段，建立處置技術有關之地質研究，與蘭嶼貯存場核廢料處置問題並無關連，謹分別報告如下：

一、臺電公司於花蓮縣秀林鄉進行鑽探取岩心作業

我國對於用過核子燃料的管理，經參酌國際發展趨勢及學者專家評估結果，決定採行「近程以核電廠內水池式貯存，中程推動廠內乾式貯存，長程發展最終處置技術」之管理方案。在用過核子燃料最終處置技術發展方面，國際間一致規劃採行深層地質處置方式，將高放射性廢棄物或用過核子燃料埋藏於地下數百公尺穩定的地層中，使其與人類生活環境隔離。

原能會對於「用過核子燃料最終處置計畫」之管制，秉持目標導向的原則，要求臺電公司按部就班執行處置計畫。臺電公司業已完成「2009年我國用過核子燃料最終處置初步技術可行性評估報告」，並依據「放射性物料管理法施行細則」第37條規定，提報「2010年用過核子燃料最終處置計畫書修訂版」，此二項報告均經原能會物管局

邀集學者專家審查後，完成審查並公開於原能會網站上。

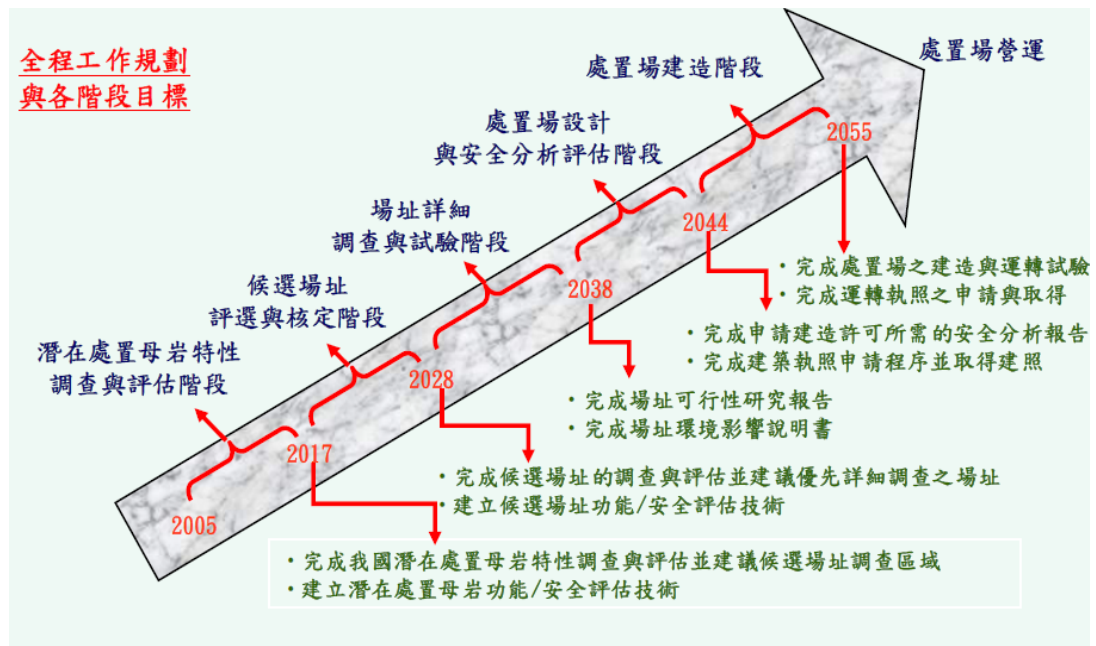


圖 5 臺電公司用過核子燃料最終處置計畫全程規劃

以圖 5 臺電公司用過核子燃料最終處置計畫全程規劃，分為「用過核子燃料最終處置技術可行性評估報告」、「候選場址評選與核定」、「詳細場址與試驗」、「處置場設計與安全分析評估」、「處置場建造」等五個階段，處置設施預定 2055 年開始使用。

該計畫第一階段(2005~2017 年)「潛在處置母岩特性調查與評估」階段，將在 2017 年完成「用過核子燃料最終處置技術可行性評估報告」，並須經國際同儕審查，確認其技術品質符合國際水

平。臺電公司執行第一階段期間，將規劃於花蓮縣秀林鄉建置地質實驗室，以取得處置技術有關之地質調查參數及地工技術，並未涉及後續階段之場址評選、場址調查情事。

臺電公司考量技術發展驗證、母岩特性調查、人員培訓等需求，初步規劃建置水平深入岩體百公尺以上、直徑約 6 公尺之試驗坑道。秀林鄉之地質實驗室並非特定場址，而係僅供深地層處置技術發展及驗證用之一般性地下實驗場所。

臺電公司規劃之地質實驗室完成後，可執行處置技術相關之地質調查及地工技術研究，除可提升 2017 年終處置技術可行性報告內容外，亦有助於增進未來最終處置長期安全之確保。

二、蘭嶼核廢料處置問題

(一)蘭嶼貯存場檢整重裝作業

蘭嶼貯存場自民國 71 年啟用至 85 年 5 月止，累計貯存放射性廢棄物固化桶共 97,672 桶。由於蘭嶼地區天候高溫、潮濕、多鹽份，加上早期廢棄物桶表面並無鍍鋅防蝕處理，貯存多年後有部份桶身出現鏽蝕破損，且有少數廢棄物桶因固化體品質不良而有破碎情形。蘭嶼貯存場設計採多重障壁的安全概念，即以水泥固化為第一道

障壁，廢棄物桶為第二道障壁，置放之混凝土壕溝構成第三道障壁。固化體品質不良或廢棄物桶鏽蝕會影響第一、二道障壁功能，惟固體廢棄物係封存於混凝土壕溝(第三道障壁)內，仍可與環境隔離，加上貯存溝集水池採活度零排放策略，仍可阻絕核種外釋至周圍環境。

原能會物管局於 81 年開始要求臺電公司進行檢整重裝技術研究等相關作業。由於國際間並無類似規模之廢棄物桶檢整重裝經驗，故須周全規劃準備。85 年 12 月經原能會物管局核備臺電公司所提廢棄物桶試驗性檢整重裝工作計畫書，至 86 年 10 月止，臺電公司完成 600 桶廢棄物檢整，同時臺電公司除執行試驗性檢整重裝作業，另建立檢整技術與研發新重裝貯存容器，至 95 年 2 月為止，總計檢整完成 8,684 桶。96 年 12 月臺電公司正式全面執行檢整重裝作業，於 100 年 11 月底全部完成，共回貯 100,277 桶廢料桶至貯存壕溝。

為確保廢棄物桶貯存及檢整作業之安全，原能會加強下列安全監督管制工作：

1. 加強貯存壕溝密封作業及結構安全檢查
2. 嚴格管理貯存壕溝入滲雨水之處理與再利用
3. 加強環境輻射監測維護民眾健康
4. 加強物品進出管制，防止放射性物品外釋

5. 要求落實檢整作業之工安與輻安管理

6. 落實管制資訊透明化

在環境監測方面，原能會輻射偵測中心自民國 68 年起執行蘭嶼地區之環境輻射背景調查工作。民國 71 年 5 月起開始貯存低放射性固體廢棄物後，定期實施蘭嶼地區全面性的環境輻射例行監測作業，以確保輻射安全。監測項目包括環境中直接輻射的度量，定期採取飲用水、地下水、農漁產物、土壤、海水、岸沙等等，每年取樣數超過五百餘個。蘭嶼貯存場檢整重裝期間，並加強監測，以歷年來環境輻射監測結果，均符合安全標準。

有關媒體報導蘭嶼貯存核種外釋乙案，經查 100 年第一季中央研究院地球科學研究所扈治安研究員在蘭嶼貯存場雨水排水道外潮間帶附近採取之樣品，偵測到有微量銫 137 及鈷 60。原能會研判銫-137 核種除來自早年核爆落塵外，蘭嶼貯存場進行檢整作業時，亦可能有微量放射性粉塵飄落場區所致。原能會確認該數據遠低於法規之調查基準(740 貝克/公斤)，對環境影響極輕微，並評估該沉積物的放射性物質可能造成之民眾年劑量為 0.00129 毫西弗，僅為游離輻射防護安全標準一般民眾輻射限值 1 毫西弗的千分之 1.3，不會影

響民眾之健康安全。蘭嶼貯存場已於 100 年 11 月底完成檢整重裝作業，並將廢棄物桶全數回貯壕溝，已無微量粉塵外釋的可能。

(二)蘭嶼核廢料後續處置問題

依據 95 年 5 月公布施行之「低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例」(以下簡稱選址條例)，經濟部為主辦機關，並指定臺電公司為選址作業者，提供經濟部有關處置設施選址之資料，並執行場址調查、安全分析、公眾溝通及土地取得等工作。

依據選址條例規定之程序，經濟部成立選址小組及核定選址計畫後，應循序執行公告潛在場址、遴選建議候選場址、辦理地方性公民投票等作業，詳如圖 6 選址作業流程。

經濟部於 98、99 年辦理選址作業期間，曾因澎湖縣政府將東吉嶼劃設為「澎湖南海玄武岩自然保留區」，致經濟部未能核定 2 處建議候選場址，須重新遴選其他合適場址。

原能會分別於 98 年 12 月、99 年 6 月發函，促請經濟部及臺電公司積極趲趕選址作業。經濟部於 99 年 9 月重新遴選潛在場址，續於 100 年 3 月遴選臺東縣達仁鄉及金門縣烏坵鄉為建議候選

場址，並公告「建議候選場址遴選報告」，以及徵詢各界意見。原能會已於今(101)年 2 月及 4 月二次發函促請經濟部儘速核定公告 2 處建議候選場址，並與場址所在地方政府協商，籌辦地方性公民投票，以選定候選場址。

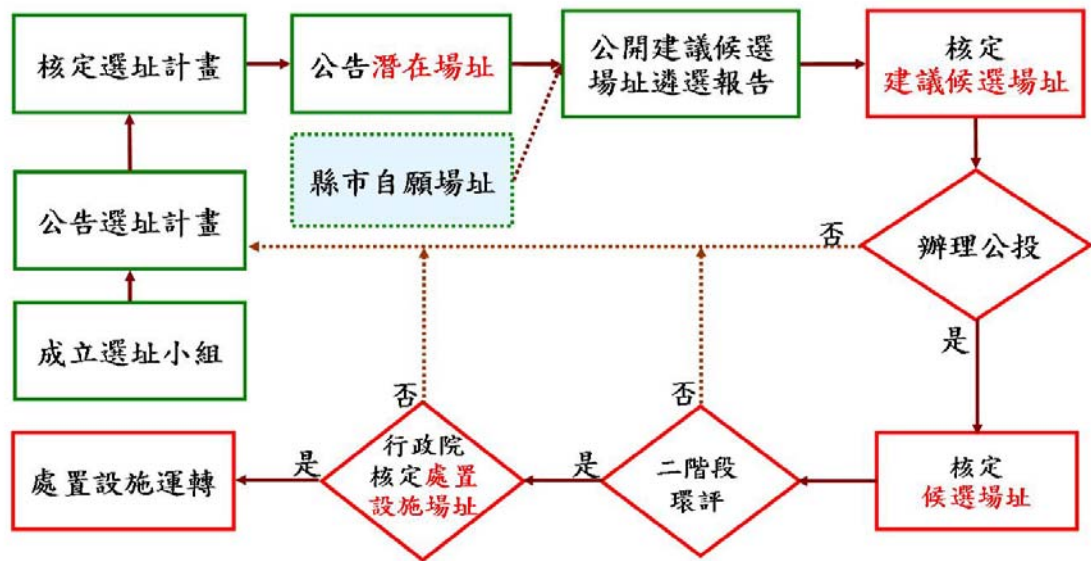


圖 6 低放處置選址作業流程圖

經濟部核定建議候選場址後，若順利完成地方公投選定候選場址，臺電公司仍需執行二階段環境影響評估，經環評主管機關審核通過後，再由經濟部核轉行政院核定場址。依臺電公司規劃，預定於 105 年完成選址作業並提報行政院核定，最終處置設施可於 110 年完工啟用。

有關蘭嶼核廢料何時可以遷離，應由經濟部及臺電公司通盤考量，原能會為安全監督機關，

只要其提出之遷移方案符合安全法規，原能會並無預設立場。在蘭嶼核廢料未遷離之前，原能會將繼續嚴格管制蘭嶼貯存場作業，並監測蘭嶼地區之環境輻射，確保蘭嶼當地的環境輻射品質，請民眾放心。

三、小結

對於原子能應用所產生的放射性廢棄物，原能會亦責無旁貸嚴格執行相關安全把關的任務。蘭嶼貯存場所有廢料桶已完成檢整重裝作業，可確保貯存安全，本會將繼續督促經濟部及臺電公司依法積極選定場址及籌建處置設施，以徹底解決放射性廢棄物問題。

參、結語

原能會為我國核能安全管制機關，對於涉及國內各核電廠運轉安全、用過核子燃料及低放射性廢棄物安全管理等議題，均會以嚴格的態度依法進行安全監督。在相關業務執行過程中，亦感謝各位委員先進的指導及支持。上述兩項專案報告，敬請各位委員先進惠予指教。謝謝！