

核一廠用過核子燃料乾式貯存設施

乾貯系統再取出實體模擬測試

結果報告

台灣電力股份有限公司

中華民國一〇二年八月

【 文件修訂紀錄表 】

第 1 頁/共 1 頁

文件編號		ISFSI-07-REP-13002-02		修訂日期		102.07.23	
文件名稱		乾貯系統再取出實體模擬測試結果報告		版次	2	變更次數	0
章節	頁次	原文內容	變更內容		變更理由		
4.2	13	新增列	增列經驗回饋		依物管局 F01-001 第 1 次審查意見修訂		
1	1	新增列	增列再取出的作業時機說明		依物管局 S03-006 第 1 次審查意見修訂		
圖 4	17	新增列	標記澆置場位置		依物管局 S06-017 第 1 次審查意見修訂		
圖 11	20	圖片更換	圖片更換		依物管局文圖修正編號 1 第 1 題(1)第 1 次審查意見修訂		
圖 12	21	圖片更換	圖片更換		依物管局文圖修正編號 1 第 1 題(2)第 1 次審查意見修訂		
圖 28	29	圖片更換	圖片更換		依物管局文圖修正編號 1 第 1 題(9)第 1 次審查意見修訂		
全文		銲道切除	銲道移除		依物管局文圖修正編號 1 第 2 題第 1 次審查意見修訂		
2.3	4	...並將用過核子置回...	...並將用過核子燃料置回...		依物管局文圖修正編號 1 第 3 題第 1 次審查意見修訂		
3.3(4) 圖 1	12 14	新增列	增加「拆除環狀間隙注水系統」的步驟		依物管局文圖修正編號 1 第 4 題第 1 次審查意見修訂		
3.2 圖 1	10 14	無	新增有關安裝環狀間隙注水系統之描述		依物管局文圖修正編號 1 第 5 題第 1 次審查意見修訂		

FOM-02-QAP-05020-01-02

目 錄

1. 前言	1
2. 測試程序	3
2.1. 再取出第一階段作業	3
2.2. 再取出第二階段作業	3
2.3. 再取出第三階段作業	3
3. 測試結果	5
3.1. 再取出第一階段作業驗證結果	5
3.2. 再取出第二階段作業驗證結果	7
3.3. 再取出第三階段作業驗證結果	11
4. 結論	13
4.1. 驗證成果	13
4.2. 經驗回饋	13

圖 目 錄

圖 1 再取出作業流程圖.....	14
圖 2 主要工作項目示意圖	15
圖 3 吊離外加屏蔽進行輻射偵檢	16
圖 4 運送路徑管制點.....	17
圖 5 混凝土護箱由貯存場貯存位置移至多軸油壓板車上	17
圖 6 多軸油壓板車駛離貯存場	18
圖 7 運送路徑實施交通管制	18
圖 8 輻防人員隨行量測輻射劑量	19
圖 9 混凝土護箱移至反應器廠房雙重氣密門間	19
圖 10 混凝土護箱移入反應器廠房 1 樓定位	20
圖 11 將混凝土護箱之頂蓋吊離	20
圖 12 準備將混凝土護箱之屏蔽塞吊離	21
圖 13 安裝可遙控脫鉤吊具之吊環於鋼筒上	21
圖 14 於混凝土護箱上安裝銜接器	22
圖 15 以吊軛將傳送護箱吊置於混凝土護箱上	22
圖 16 傳送護箱座妥後放下 2 樓防震裝置	23
圖 17 可遙控脫鉤密封鋼筒吊具穿越傳送護箱內部	23
圖 18 將密封鋼筒吊入傳送護箱內	24
圖 19 準備以吊軛將傳送護箱吊至 5 樓	24
圖 20 傳送護箱與密封鋼筒吊運至 5 樓防震架內	25
圖 21 安裝環狀間隙注水系統作業	25
圖 22 輻防人員進行銲接區域輻射偵測	26
圖 23 結構上蓋銲道切割	26
圖 24 上蓋銲道移除示意圖	27

圖 25	吊離銲道移除設備	27
圖 26	結構上蓋成功吊離	28
圖 27	擦拭及清理屏蔽上蓋表面	28
圖 28	安裝封口蓋銲道切削設備	29
圖 29	移除封口蓋銲道.....	29
圖 31	排氣接頭安裝溫度計、壓力計及排氣處理系統	30
圖 33	持續監測溫度.....	31
圖 34	量測輻射劑量.....	32
圖 35	於灌水系統出水端檢視是否出水	32
圖 36	抽取 260 L 的水.....	33
圖 37	安裝銲道移除設備	33
圖 38	氫氣濃度偵測儀管路接頭	34
圖 39	氫氣濃度偵測儀管線	34
圖 40	進行屏蔽上蓋銲道移除作業	35
圖 41	屏蔽上蓋墊片取出作業	35
圖 42	模擬屏蔽上蓋表面擦拭清潔	36
圖 43	傳送護箱底部防污板安裝完成貌	36
圖 44	下水時傳送護箱表面持續淋濕	37
圖 45	傳送護箱底部通過裝載區框架	37
圖 46	於燃料池中將密封鋼筒屏蔽上蓋吊離	37
圖 47	假燃料移出孔位 DG-1 的連續照片	38
圖 48	於孔位 DC-4(左)與 DD-5 吊運假燃料之測試照片	38
圖 49	傳送護箱底部擦拭除污	38
圖 50	出水後的吊軌與吊勾套袋後收存	39

1. 前言

當用過核子燃料置於密封鋼筒內，併同混凝土護箱送至貯存場，開始進行乾式貯存後，需執行再取出之時機預計為乾式貯存設施進行除役或發生假設性意外事故時，再取出主要分為密封鋼筒之再取出或用過核子燃料之再取出。乾式貯存設施除役時所執行之再取出作業，視其對用過核子燃料之處置而有不同。參考國際現況，若對用過核子燃料之處置係採最終處置之政策者，其乾式貯存設施除役之規劃為：將已裝填用過核子燃料之密封鋼筒由混凝土護箱取出，送至運送護箱（Transport Cask）內，再運送至最終處置場直接進行最終處置，或開啟已封鐳之密封鋼筒，將用過核子燃料取出後，裝入適當容器內以進行最終處置。對用過核子燃料之處置若採再處理之政策者，其作法為開啟密封鋼筒，取出用過核子燃料，以進行再處理作業。而核一乾貯除役之再取出方式將俟我國用過核子燃料處理方案及政策確定後再行決定。

除乾貯設施除役時需執行再取出作業外，另需執行再取出之假想情境為：運貯過程中發生假設性意外事故，造成混凝土護箱喪失屏蔽能力，經評估需執行密封鋼筒之再取出；或發生假設性意外事故，密封鋼筒之密封性雖不受影響，但經評估可能影響原設計 50 年使用壽命時，則將視需要執行用過核子燃料之再取出。

本公司依據行政院原子能委員會放射性物料管理局(以下簡稱物管局)於 101 年 8 月 14 日召開之「用過核子燃料乾式貯存計畫 101 年臨時溝通會議」，會議紀錄結論第 2 點「請台電公司參採核一廠跨機組試運轉經驗回饋，備妥用過核燃料再取出實體模擬測試計畫及模擬動畫，完成模擬測試結果報告後提報原能會核備。」之要求，已先行提出「用過核子燃料再取出實體模擬測試計畫書」（以下簡稱測試計畫書），並經主管機關核備在案。本公司並依據前述會議紀錄結論及

測試計畫書所規劃之內容分階段進行相關測試作業，以驗證再取出設備之功能及作業程序之可執行性。本報告即說明於執行再取出實體模擬測試作業之測試過程及結果。

2. 測試程序

依測試計畫書內容，再取出之主要工作大致可分為下列三個階段：「前置作業」與「反應器廠房內吊運作業」、「銲道移除作業」、以及「燃料棒移出作業」與「操作設備存放作業」，相關作業流程如圖 1 所示，圖 2 為主要工作項目與執行位置之示意圖。

2.1. 再取出第一階段作業

第一階段主要作業內容分別為「前置作業」與「反應器廠房內吊運作業」，其主要工作是將混凝土護箱由貯存場運回反應器廠房用過核子燃料池旁。其中「前置作業」工作包括：空傳送護箱吊運至反應器廠房五樓、移除混凝土護箱外之外加屏蔽、以多軸油壓板車將混凝土護箱運至反應器廠房一樓。而「反應器廠房內吊運作業」工作包括：密封鋼筒由混凝土護箱移至傳送護箱內、傳送護箱(內裝密封鋼筒)吊至五樓用過核子燃料池旁操作區定位。

2.2. 再取出第二階段作業

第二階段作業內容為「銲道移除作業」，主要工作是於用過核子燃料池旁操作區，對密封鋼筒進行上蓋銲道移除及執行灌水冷卻，為後續開蓋後密封鋼筒移入用過核子燃料池前預做準備。工作內容包括：安裝環狀間隙注水系統及銲道移除設備、進行銲道移除(含結構上蓋、排水孔蓋、排氣孔蓋及屏蔽上蓋)、氬氣沖灌以冷卻鋼筒內溫度、鋼筒內灌水。

2.3. 再取出第三階段作業

第三階段作業內容分別為「用過核子燃料移出作業」與「操作設備存放作業」，主要工作是將傳送護箱(內裝已開啟屏蔽上蓋之密封鋼筒)吊入用過核子燃料池裝載區、吊開屏蔽上蓋、逐一移

出 56 束用過核子燃料，並將用過核子燃料置回用過核子燃料池中之貯存格架上。「用過核子燃料移出作業」包括：將傳送護箱(內裝已開啟屏蔽上蓋之密封鋼筒)吊至燃料池裝載區上方、淋濕外表面、將環狀間隙注水系統充水、緩慢下降至燃料池裝載區、吊開屏蔽上蓋並將用過核子燃料由密封鋼筒吊至預定之燃料隔架貯放。「操作設備存放作業」包括：將傳送護箱連同空密封鋼筒吊離燃料池裝載區、將傳送護箱及密封鋼筒除污並運送至預定位置存放。但因本次作業為功能驗證，密封鋼筒並未真正裝載與封鋸，故密封鋼筒除污以及後續之護箱包裝貯存等項目並非測試計畫之驗證執行範圍。

3. 測試結果

本章說明各階段功能驗證之結果。

3.1. 再取出第一階段作業驗證結果

本階段主要驗證項目及執行地點包括：於核一廠乾式貯存場執行移除混凝土護箱(不含密封鋼筒)之外加屏蔽、以多軸油壓板車將空混凝土護箱由貯存場運至反應器廠房一樓；以及於反應器廠房內將空密封鋼筒由混凝土護箱移至傳送護箱內、傳送護箱(內裝密封鋼筒)吊至五樓用過核子燃料池旁操作區定位等。本階段驗證執行工作時間總計約 11 小時，各項作業執行情形及驗證結果說明如下：

(1) 移除混凝土護箱監控儀具及進出氣口之護網

101 年 11 月 14 日於核一廠乾式貯存場，利用實體之混凝土護箱與外加屏蔽執行測試，並利用 100 噸移動式起重機將混凝土護箱外之外加屏蔽順利移除，相關過程如圖 3 所示。

(2) 將混凝土護箱運回反應器廠房天井下方之指定位置，將空密封鋼筒送入傳送護箱，再將傳送護箱移至五樓操作區

混凝土護箱移至反應器廠房運送作業，因核一廠乾華溪岸東側道路進行生水管線管溝施工封閉，該路徑封閉影響由乾式貯存場運往反應器廠房之作業，故分兩階段施行。第一階段於 101 年 10 月 1 日演練將混凝土護箱由澆置場移入反應器廠房內之作業；待道路施工完成後，第二階段於 102 年 1 月 22 日演練由乾式貯存場將混凝土護箱移至澆置場之作業，兩階段作業已涵蓋乾式貯存場至反應器廠房整段路徑之運送作業。

102 年 1 月 22 日於核一廠乾式貯存場，將混凝土護箱利

用懸浮氣墊由貯存位置移至多軸油壓板車上，再將混凝土護箱移送至澆置場內。於運送路徑實施交通管制，並有輻防人員隨行量測輻射劑量，其運送路徑相關管制點如圖 4 所示(圖 4 中乾華隧道口在 1 月 22 日當天並非交管點)。核一廠各單位支援項目如下：保警支援前導護送警車 1 輛及管制點交通管制；消防隊支援消防水車 1 輛於運送過程跟隨待命；保健物理組支援圍籬樁 8 支、圍籬繩約 35 公尺、輻射物品標籤 2 張、區域輻射劑量標籤 4 張、偵檢器 1 支、隨行輻防人員 1 位；核技組支援人員升降車 1 輛。運送相關過程如圖 5~圖 8 所示。

101 年 10 月 1 日將混凝土護箱以多軸油壓板車由澆置場送入反應器廠房天井中定位，再將混凝土護箱頂部的上蓋與屏蔽塞取出，相關過程如圖 9~圖 12 所示。101 年 10 月 3 日，進行密封鋼筒由混凝土護箱傳入至傳送護箱作業，先行於密封鋼筒上安裝可遙控脫勾吊具之吊環，再於混凝土護箱上方安裝銜接器。確定銜接器方位正確後，將已安裝二樓防震裝置之傳送護箱吊運至銜接器上。待傳送護箱於銜接器上座妥後啟動二樓防震裝置後，利用可遙控脫勾吊具，穿越傳送護箱內部將密封鋼筒緩慢吊起至傳送護箱內，再將傳送護箱連同密封鋼筒吊回五樓操作區，相關過程如圖 13~圖 20 所示。

前述第(1)項驗證作業(含移除混凝土護箱外加屏蔽)之執行時間總計約 50 分鐘(101 年 11 月 14 日 13:20~14:10)。第(2)項由乾式貯存場將混凝土護箱移至澆置場之驗證作業時間約 2 小時(102 年 1 月 22 日 13:20~15:00)；另混凝土護箱由澆置場送入反應器廠房天井中定位之作業總工時約 2 小時(10 月 1 日 09:50~11:30)；密封鋼筒傳入至傳送護箱之作業時間總計約 6 小時(10 月 3 日 10:00~12:00、13:30~17:22)。

3.2. 再取出第二階段作業驗證結果

本階段主要驗證銲道移除之能力，依據測試計畫書之規畫共有 19 項驗證作業，驗證地點則依作業屬性分別於核一廠及核研所執行。本階段驗證執行工作時間總計約 21.5 小時，各項作業執行情形及驗證結果說明如下，其中除第(19)項驗證作業於核一廠執行外，其餘第(1)~(18)項均於核研所執行。

(1) 偵檢結構上蓋頂部輻射及污染程度

101 年 6 月 26 日利用模擬密封鋼筒(以下簡稱模擬 TSC)、模擬傳送護箱(以下簡稱模擬 TFR)及銲道移除設備執行銲道移除作業。並假設密封鋼筒內部已裝載用過核子燃料，於作業期間持續監測輻射劑量。銲道移除相關過程如圖 22 所示。

(2) 安裝銲道移除設備，視需要架設防止污染擴散帳篷

101 年 6 月 26 日利用模擬 TSC 及模擬 TFR 安裝銲道移除設備。銲道移除設備利用氣壓驅動旋轉盤，再利用旋轉盤上之切削刀座刨除銲道或 TSC 外殼，進刀方式為手動進刀，隨旋轉盤轉動逐圈進刀。

(3) 移除結構上蓋銲道。

101 年 6 月 26 日於模擬 TSC 及模擬 TFR 安裝銲道移除設備後，開始進行模擬 TSC 結構上蓋銲道移除作業，本項作業是以機械切削方式移除銲道如，如圖 23 所示。銲接過後之模擬 TSC 開口幾何形狀如圖 24 所示，因模擬 TSC 銲接過後其外殼(圖中紫色部位)會因受熱而向內收縮，而收縮之外殼會阻擋進刀，妨礙模擬屏蔽上蓋銲道移除作業，所以在切削過程中，部分外殼必須先行去除。模擬結構上蓋銲道移除作業共計約 8.5 小時。

- (4) 偵檢後，移開鐸道移除設備，視需要移除帳篷
101 年 6 月 26 日將鐸道移除設備吊離，如圖 25 所示。
- (5) 安裝吊具，將結構上蓋吊離
101 年 6 月 26 日將上蓋吊離，相關過程如圖 26 所示。
- (6) 偵檢屏蔽上蓋頂部輻射及污染，必要時去污並使用臨時屏蔽
101 年 6 月 26 日將模擬屏蔽上蓋上方所殘留之切削液擦拭乾淨，如圖 27 所示。
- (7) 移除排水及排氣封口蓋鐸道
101 年 6 月 26 日將排水及排氣封口蓋鐸道移除設備吊至模擬屏蔽上蓋上方，並用鐸接方式將移除設備固定後再進行鐸道移除作業，如圖 28 及圖 29 所示。
- (8) 移除封口蓋，檢測接頭處有無外洩氣體及輻射強度
101 年 6 月 26 日完成排水及排氣封口蓋鐸道移除，利用手提式吸盤將封口蓋取出，並持續監測輻射劑量，如圖 30 所示。
- (9) 在排水接頭安裝氦氣管，在排氣接頭安裝排氣管溫度計、壓力計及排氣處理系統，排氣並連續偵檢排氣管之輻射強度
101 年 6 月 26 日於排水接頭安裝氦氣管，排氣接頭安裝溫度計、壓力計及排氣處理系統，如圖 31 及圖 32 所示。
- (10) 灌沖氦氣，最少沖刷 10 min，持續監測排氣溫度及輻射強度；停氦氣，將管線由氦氣沖流狀態切換至灌水狀態。注意排氣初溫可能高於 204°C (399.2°F) 以上
101 年 6 月 26 日啟動排氣處理系統，將氦氣灌入模擬 TSC 內部，沖刷約 10 min，並持續監測排氣溫度與輻射強度，如圖 33 及圖 34 所示。

(11) 執行密封鋼筒灌水及冷卻作業，在排水接頭接上溫度高於 21°C (69 °F) 之除礦水源，壓力不大於 25 (+10, -0) psig；在排氣接頭接上可耐高溫高壓附隔熱層之管線，導入用過核子燃料池中。緩慢注入乾淨水或過濾池水至 5 (+3, -0) gpm 流量。持續監測出口壓力，當出口壓力超過 45 psig 時停止注水；待出口壓力降回 35 psig 後再行注水。出口管線一開始會排出熱汽，繼之為熱水

101 年 6 月 26 日開始進行模擬 TSC 灌水作業，使用流量為 6gpm，因模擬作業狀況，其模擬 TSC 內部並無裝載燃料，故出水口並未產生熱汽，如圖 35 所示。

(12) 持續監測出口水溫並記錄，待降至 41°C 時，停止水流，拆除注水管，或水溫降至 93.3°C (200°F) 時，改以 30 gpm 流量，注水 8 小時後停止水流，拆除注水管

101 年 6 月 26 日持續進行模擬 TSC 灌水作業，於確認溫度低於 41°C 後，停止水流如圖 35 所示。

(13) 裝設吸水泵，吸出約 260 L 水；拆除水泵

101 年 6 月 26 日完成模擬 TSC 灌水作業後，將模擬 TSC 內部抽出 260L 的水，以免模擬 TSC 內部水面過高影響模擬屏蔽上蓋鉸道移除，如圖 36 所示。

(14) 安裝鉸道移除設備，架設防止污染擴散帳篷，人員視需要穿戴呼吸裝具，安裝臨時屏蔽

101 年 6 月 26 日將上蓋鉸道移除設備安裝於模擬屏蔽上蓋上，並接妥供氣管線，如圖 37 所示。

(15) 安裝氫氣濃度偵測儀，確認密封鋼筒內氫氣濃度低於 2.4%。若濃度超過 2.4%，則以真空泵排除

101 年 6 月 26 日鉸道移除設備安裝完畢後，隨即進行氫氣濃度偵測儀的安裝，於移除屏蔽上蓋期間全程監測模擬 TSC 內部之氫氣濃度，偵檢設備管線如圖 38 及圖 39 所示。

(16) 移除屏蔽上蓋銲道，全程監測氬氣濃度

101 年 6 月 26 日晚間開始進行模擬屏蔽上蓋銲道移除作業，銲道移除作業期間，因模擬 TSC 外殼於上蓋銲接後變形量較多，故針對變形量之相對位置，特於銲道移除作業前進行討論會議確定進刀位置與切削策略。另外為模擬內部已裝載用過核子燃料，於屏蔽上蓋銲道移除過程中全程監測氬氣濃度，所測得之氬氣濃度為背景值，如圖 40 所示。

(17) 移開帳篷、銲道移除設備、墊片及臨時屏蔽等，安裝屏蔽上蓋吊環及吊具，並加裝輔助索

101 年 6 月 27 日清晨模擬屏蔽上蓋銲道移除作業完成，利用油壓千斤頂頂開 TSC 外殼，並將屏蔽上蓋銲接時所插入之墊片取出，使外殼與上蓋完全脫離，銲道移除設備吊離，清理上蓋移除時所殘留之切削液。墊片取出作業如圖 41 所示。

(18) 移除密封鋼筒內排水管

101 年 6 月 27 日將模擬屏蔽上蓋表面清潔擦拭後，並移除密封鋼筒內排水管，如圖 42 所示。

(19) 安裝環狀間隙注水系統，並視需要加裝臨時屏蔽

101 年 11 月 1 日安裝傳送護箱環狀間隙注水系統並測試管路，管路連接良好無洩漏，系統之水封環能發揮設計功能，注水系統安裝照片如圖 21 所示。

前述第(1)~(5)項屬結構上蓋銲道移除驗證作業，於 101 年 6 月 26 日 08:30 開始執行驗證至 17:00 結束，作業時間總計約 8.5 小時。第(6)~(8)項為孔蓋銲道移除驗證作業，作業時間總計約 3 小時(101 年 6 月 26 日 17:00~19:50)。第(9)~(13)項為氬氣沖流與灌水等相關驗證作業，總計工時約 1.5 小時(101 年 6 月 26 日 19:50~

21:15)。第(14)~(18)項屬屏蔽上蓋移除驗證作業，於 101 年 6 月 26 日 21:15 開始執行至 6 月 27 日 05:12 結束，第(19)項安裝環狀間隙注水系統之作業時間約 30 分鐘(101 年 11 月 1 日 10:00~10:30)，工時約 8.5 小時。故加總後本階段驗證執行工作時間約 21.5 小時。

3.3. 再取出第三階段作業驗證結果

本階段主要驗證用過核子燃料之取出作業，驗證地點於核一廠反應器廠房 5 樓。主要驗證內容為將傳送護箱(含加屏蔽上蓋之空密封鋼筒)吊入用過核子燃料池裝載區、吊開屏蔽上蓋、移出模擬燃料束，並將擬燃料束置回貯存格架上。本階段驗證執行工作時間總計約 8.5 小時，各項作業執行情形及驗證結果說明如下：

- (1) 將內含空密封鋼筒之傳送護箱吊至用過核子燃料池上方，淋濕外表，充水至環狀間隙，同時緩慢下降至裝載區，移開傳送護箱吊軌

101 年 11 月 1 日於核一廠燃料池執行水下操作，將傳送護箱吊出五樓防震裝置，移至池邊安裝傳送護箱底部防污板。防污板與傳送護箱結合裝置如圖 43 所示，防污板以快速拆裝之扣夾、蝴蝶螺栓等固定於傳送護箱上。當確定防污板鎖妥之後，將傳送護箱吊至燃料池裝載區上方，對環狀間隙注水系統注入除礦水(DST)，並以 DST 水沖淋傳送護箱底部與側面，如圖 44 所示。降下傳送護箱，使傳送護箱座於燃料池定位中，如圖 45 所示。

- (2) 將屏蔽上蓋吊具掛在吊車吊鉤上，吊開屏蔽上蓋

101 年 11 月 2 日於核一廠燃料池執行水下操作，當傳送護箱底部座妥於燃料池裝載區後，利用吊軌將屏蔽上蓋吊開，吊至燃料池岸邊進行除污套袋，如圖 46 所示。

- (3) 依需求以水底電視錄影檢查燃料外觀是否有異常，若無異常

將用過核子燃料由密封鋼筒吊至預定之燃料架貯放

101年11月1日於核一廠燃料池執行水下操作，利用燃料池內部之假燃料，模擬將TSC內部之燃料移出至燃料水池存放，如圖47及圖48所示。

- (4) 將傳送護箱連同密封鋼筒緩慢吊離用過核子燃料池，執行傳送護箱、密封鋼筒除污及拆除環狀間隙注水系統

101年11月2日於核一廠燃料池岸邊執行，將傳送護箱及密封鋼筒由燃料池裝載區中吊至燃料池岸邊，並進行除污動作，如圖49所示。

- (5) 將傳送護箱及空密封鋼筒(含屏蔽上蓋及結構上蓋)包裝，並移至預定位置儲存，或依核一廠廢棄物處理相關規定處理空密封鋼筒(含屏蔽上蓋及結構上蓋)

101年11月2日於核一廠燃料池岸邊執行，因本次模擬作業並無實際裝載燃料，且密封鋼筒尚未執行封銲作業，將另行放置等待執行正式裝載燃料使用。此項作業只將傳送護箱、屏蔽上蓋及廠房內天車勾頭進行套袋動作，以避免污染擴散，如圖50所示。

前述第(1)項驗證作業時間(將傳送護箱吊入燃料池裝載區定位)總計約2.5小時(101年11月1日09:31~12:09)。第(2)項驗證作業時間(吊開屏蔽上蓋)總計約1小時(101年11月2日09:31~10:24)。第(3)項驗證作業為將密封鋼筒內部之模擬燃料束移出至燃料水池存放，工時總計約15分鐘(101年11月1日13:45~14:00；僅模擬一束)。第(4)項驗證作業為將傳送護箱連同空密封鋼筒吊出用過核子燃料池，驗證作業時間總計約1.5小時(101年11月2日10:30~11:55)。第(5)項驗證作業時間(包裝傳送護箱及屏蔽上蓋)總計約3小時(101年11月2日13:00~15:49)。

4. 結論

4.1. 驗證成果

乾貯系統再取出實體模擬測試報告係依據主管機關審查同意在案之「核一廠乾式貯存系統：再取出操作作業程序書」內容進行驗證，並依據作業特性分階段於不同地點執行。動員人力包含後端處、核一廠、核研所以及承攬商超過 100 人次，出動機具包含移動式油壓起重機、堆高機、空壓機、多軸油壓板車、廠房內固定式起重機、燃料吊車等各式機具。整體驗證工作完整執行再取出相關作業，包括將混凝土護箱回運至反應器廠房中、將密封鋼筒回傳至傳送護箱內、將傳送護箱與密封鋼筒固定於防震架中等相關吊運作業；此外，亦包括上蓋銲道移除、灌氣、灌水等再取出關鍵作業，以及將模擬燃料束自密封鋼筒移出之水下作業。各項驗證工作執行順利，且所有測試項目均為合格。故經本次測試驗證，證實本公司具有將用過核子燃料自乾式貯存系統中再取出之能力。

4.2. 經驗回饋

操作混凝土護箱時，夾鉗區域表面於操作過程發生接觸位置塗裝脫落，已於測試結束後進行塗裝修補。未來作業時應予以適當保護，減少損傷塗裝之情形，若仍有損傷情形應按運貯維護之相關規定辦理。

進行懸浮氣墊安裝時，全程應有輻射防護人員配合實施輻射偵測與輻防管制，減少非必要之抬升高度及近身接近操作時間，以維護作業人員輻射安全並確保人員劑量符合法規要求。

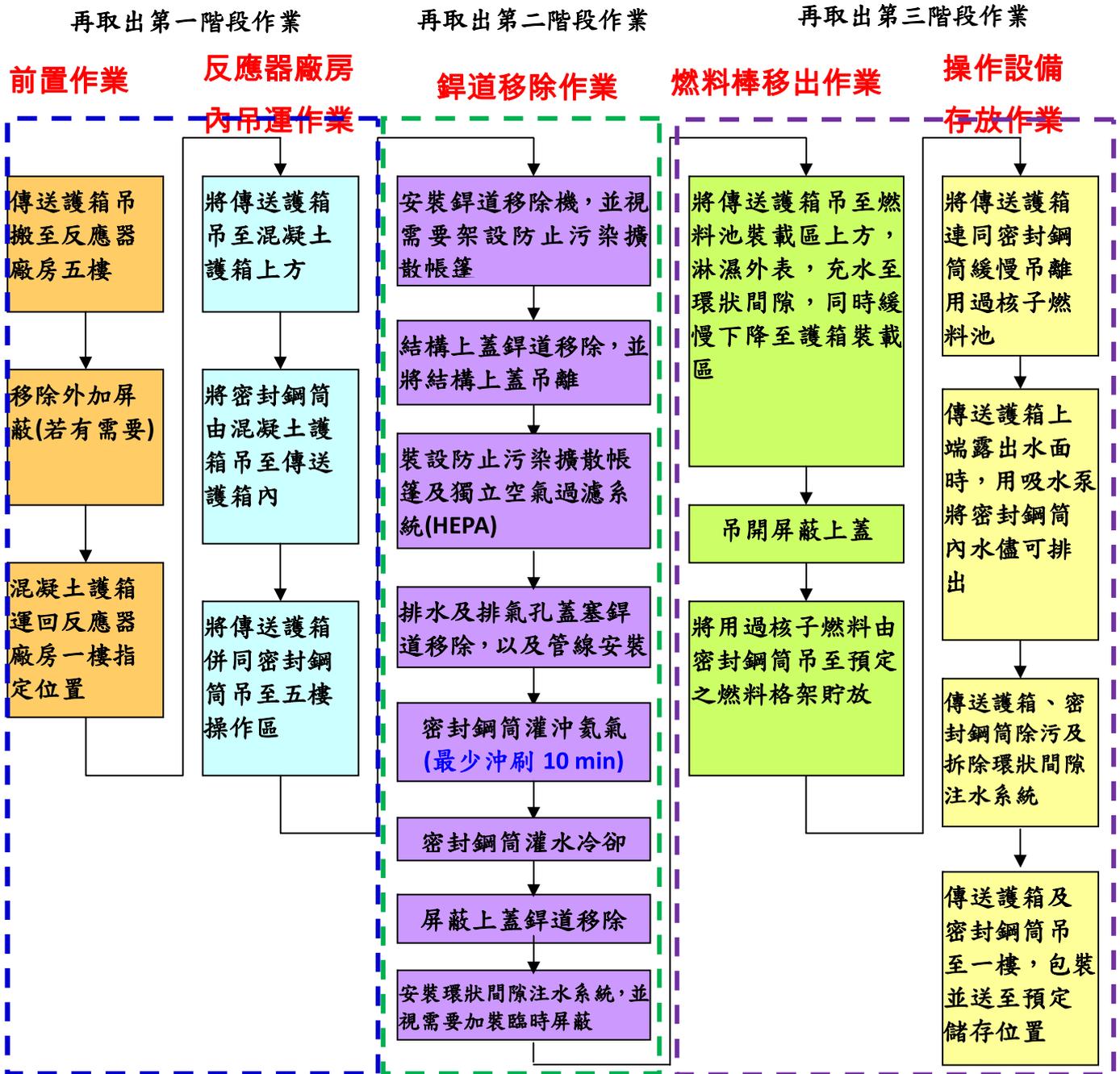


圖 1 再取出作業流程圖

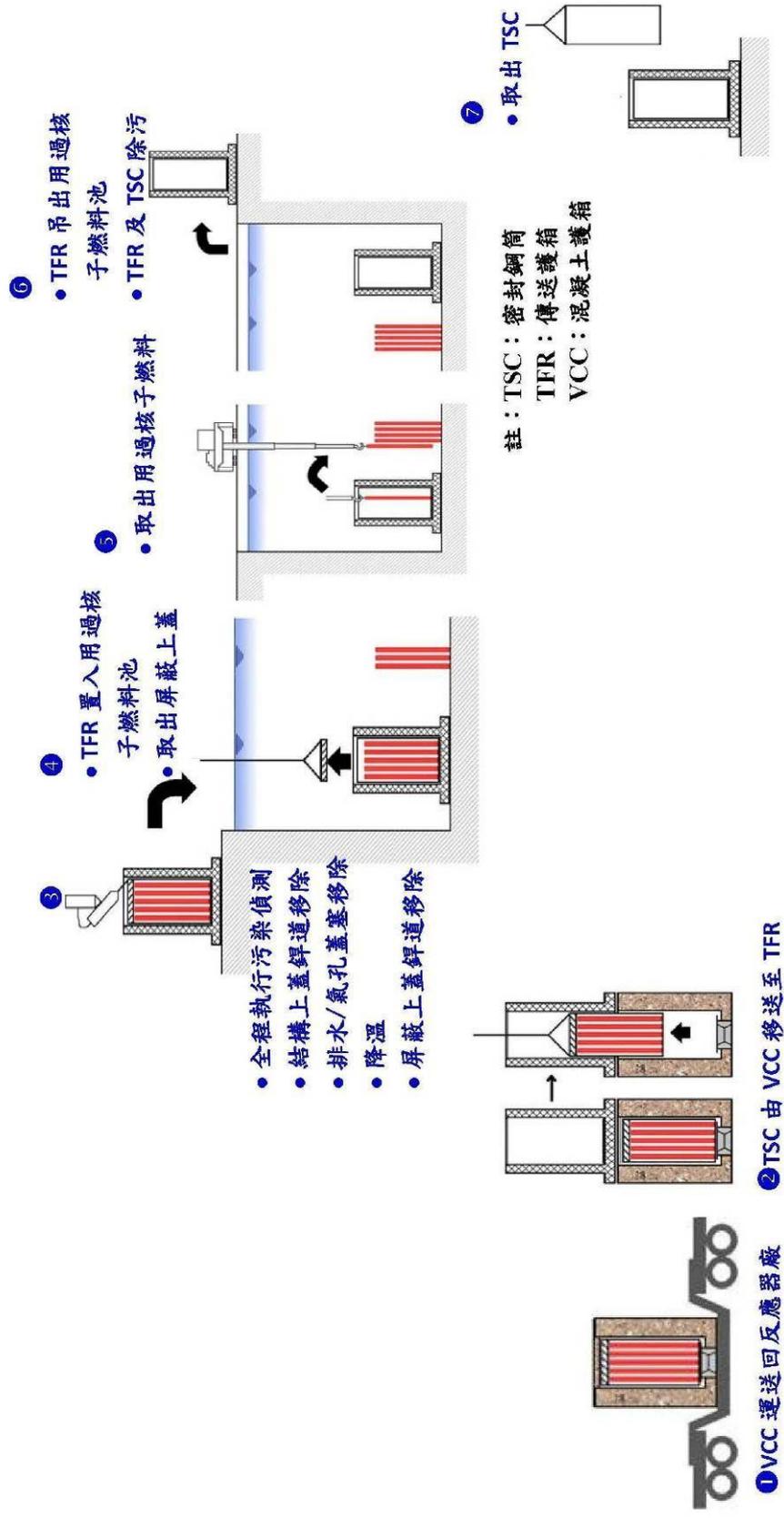


圖 2 主要工作項目示意圖



圖 3 吊離外加屏蔽進行輻射偵檢



圖 4 運送路徑管制點



圖 5 混凝土護箱由貯存場貯存位置移至多軸油壓板車上



圖 6 多軸油壓板車駛離貯存場



圖 7 運送路徑實施交通管制



圖 8 輻防人員隨行量測輻射劑量



圖 9 混凝土護箱移至反應器廠房雙重氣密門間

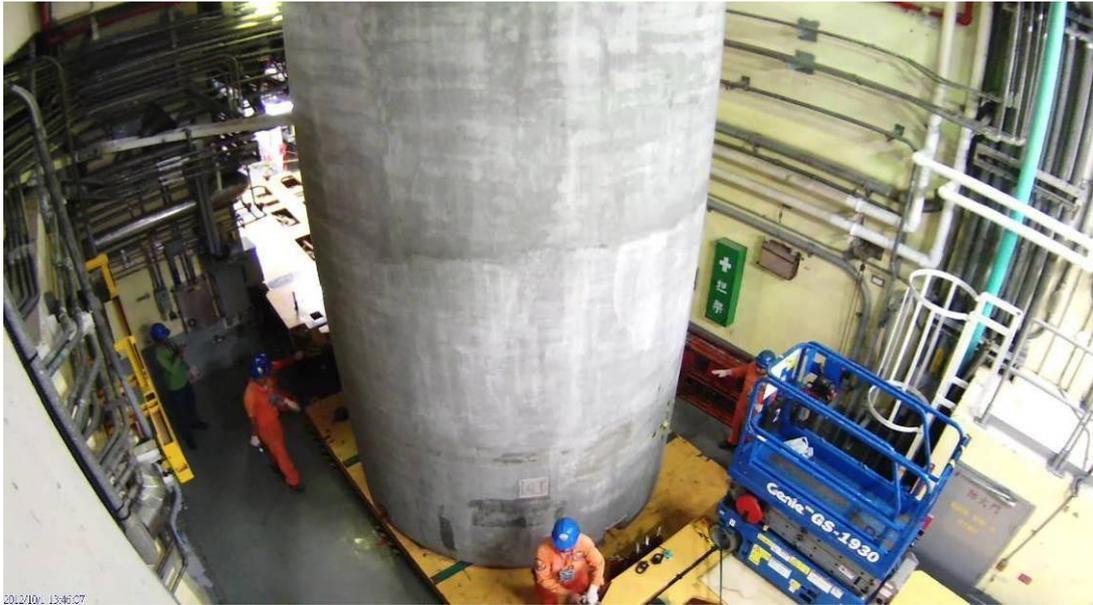


圖 10 混凝土護箱移入反應器廠房 1 樓定位



圖 11 將混凝土護箱之頂蓋吊離



圖 12 混凝土護箱之屏蔽塞吊離



圖 13 安裝可遙控脫鉤吊具之吊環於鋼筒上



圖 14 於混凝土護箱上安裝銜接器



圖 15 以吊軛將傳送護箱吊置於混凝土護箱上



圖 16 傳送護箱座妥後放下 2 樓防震裝置



圖 17 可遙控脫鈎密封鋼筒吊具穿越傳送護箱內部



圖 18 將密封鋼筒吊入傳送護箱內



圖 19 準備以吊軌將傳送護箱吊至 5 樓



圖 20 傳送護箱與密封鋼筒吊運至 5 樓防震架內



(a)



(b)

圖 21 安裝環狀間隙注水系統作業



圖 22 輻防人員進行銲接區域輻射偵測



圖 23 結構上蓋銲道切割

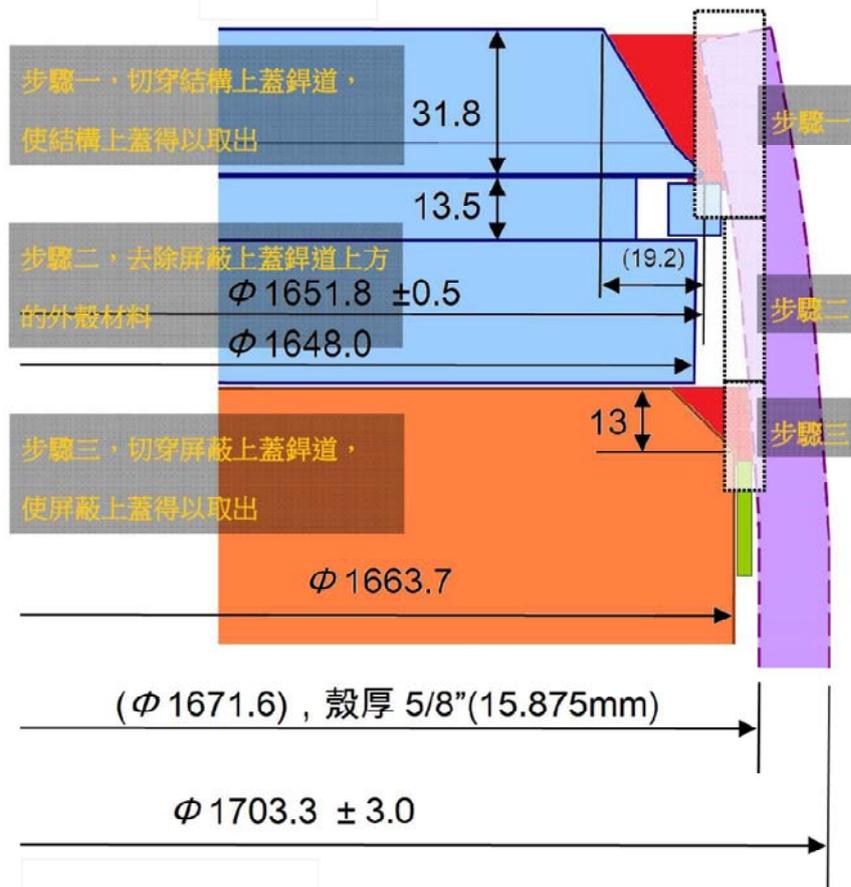


圖 24 上蓋銲道移除示意圖

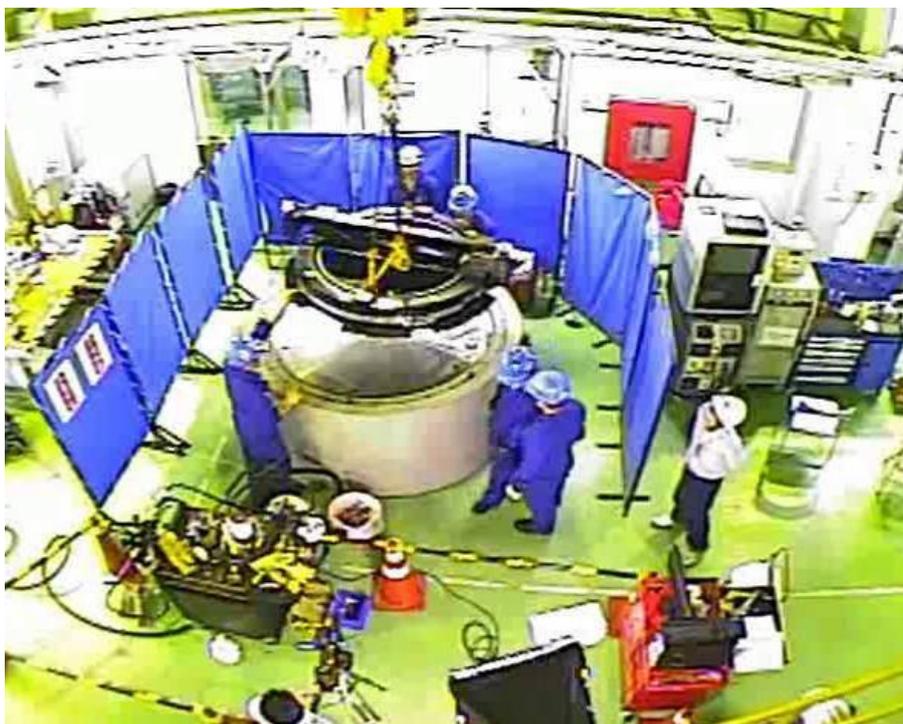


圖 25 吊離銲道移除設備



圖 26 結構上蓋成功吊離



圖 27 擦拭及清理屏蔽上蓋表面

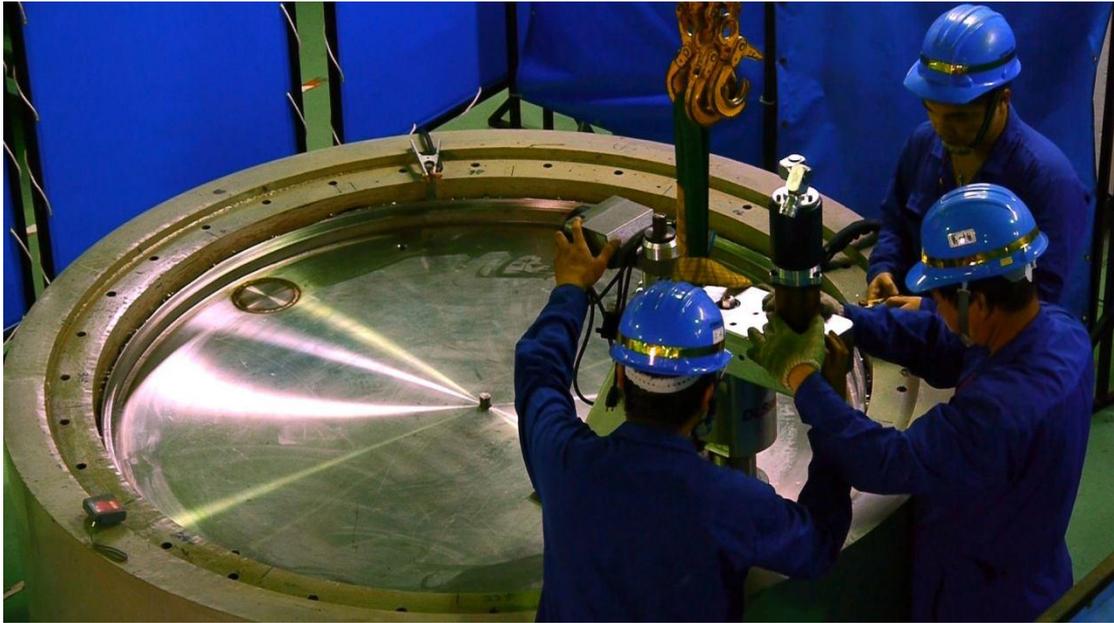


圖 28 安裝封口蓋銲道切削設備



圖 29 移除封口蓋銲道



圖 30 取出封口蓋



圖 31 排氣接頭安裝溫度計、壓力計及排氣處理系統

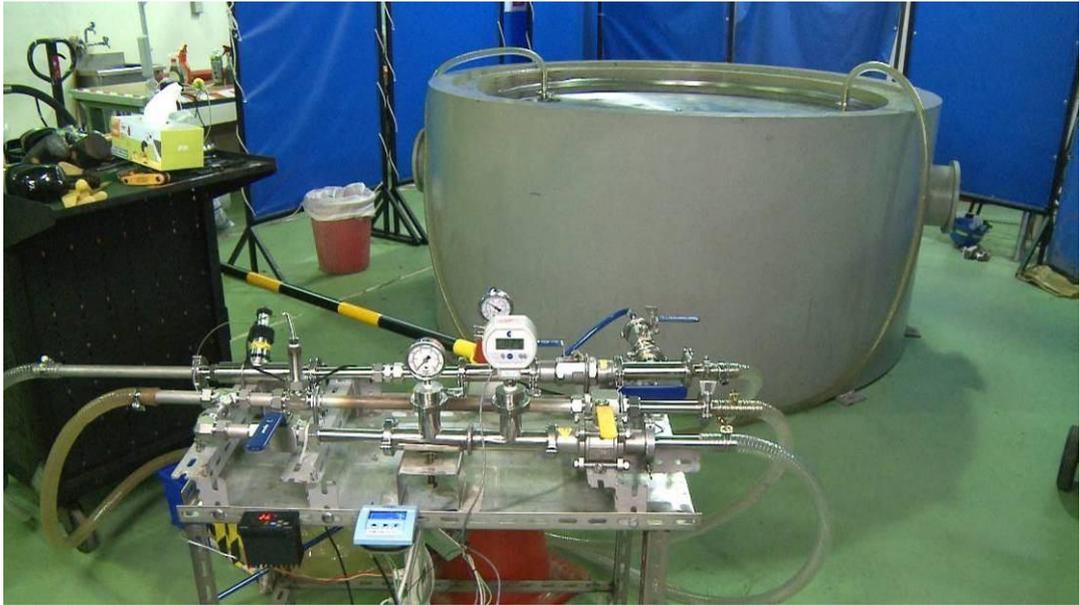


圖 32 氮氣沖流與灌水作業操作管路



圖 33 持續監測溫度



圖 34 量測輻射劑量

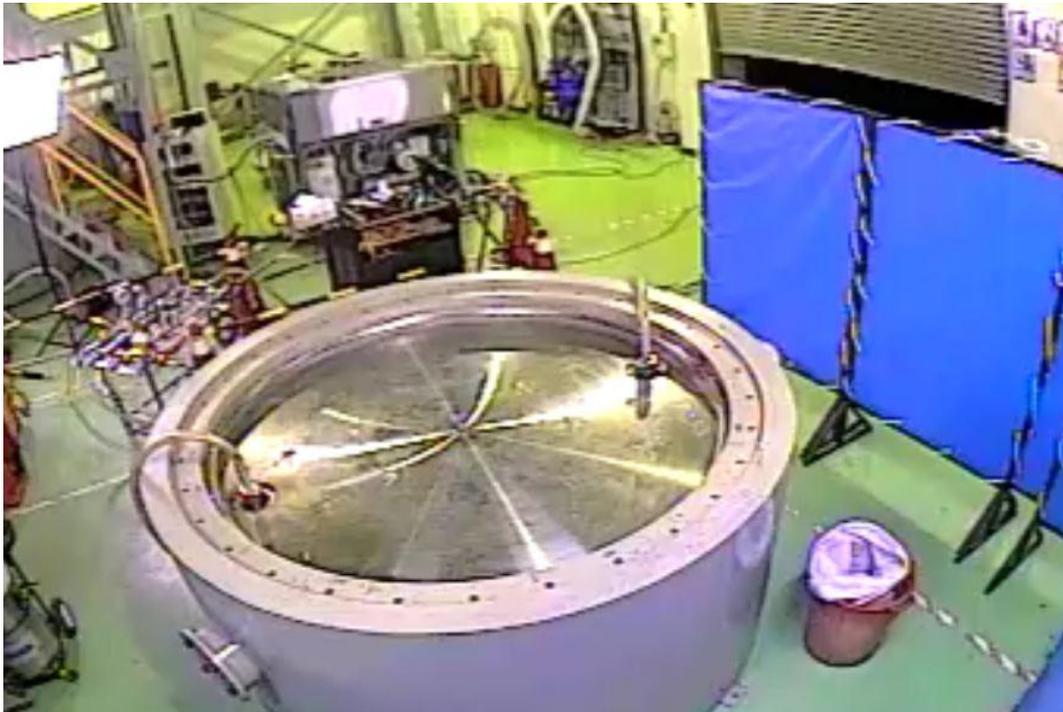


圖 35 於灌水系統出水端檢視是否出水



圖 36 抽取 260 L 的水

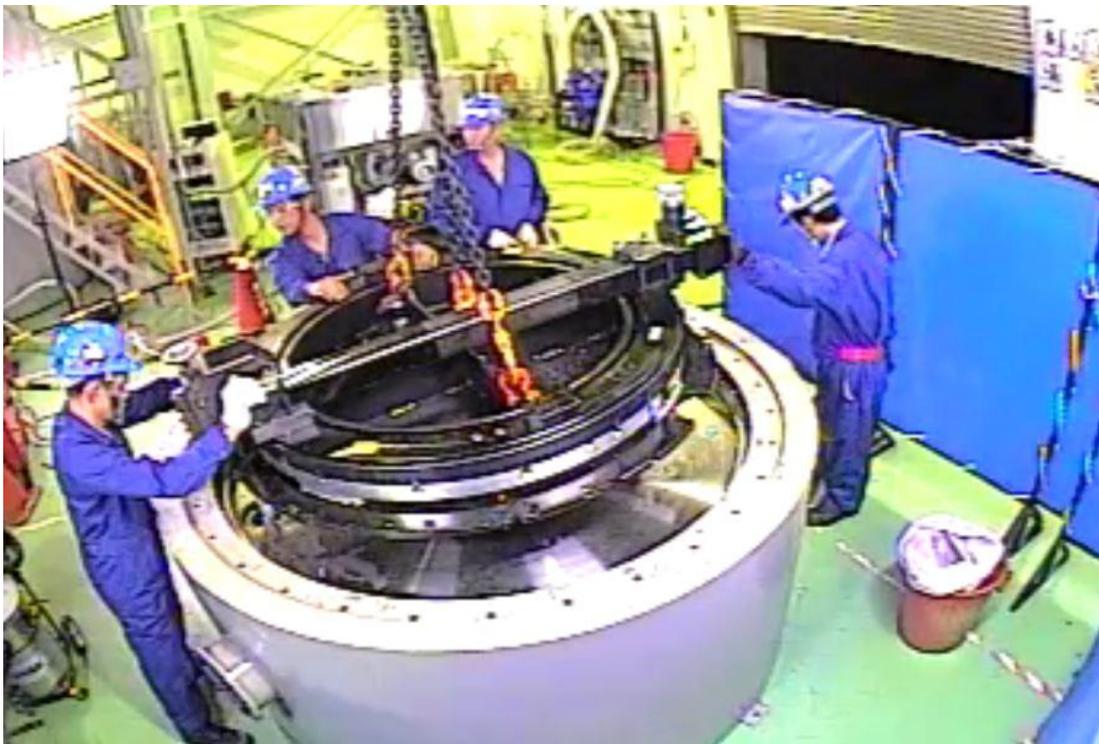


圖 37 安裝銲道移除設備

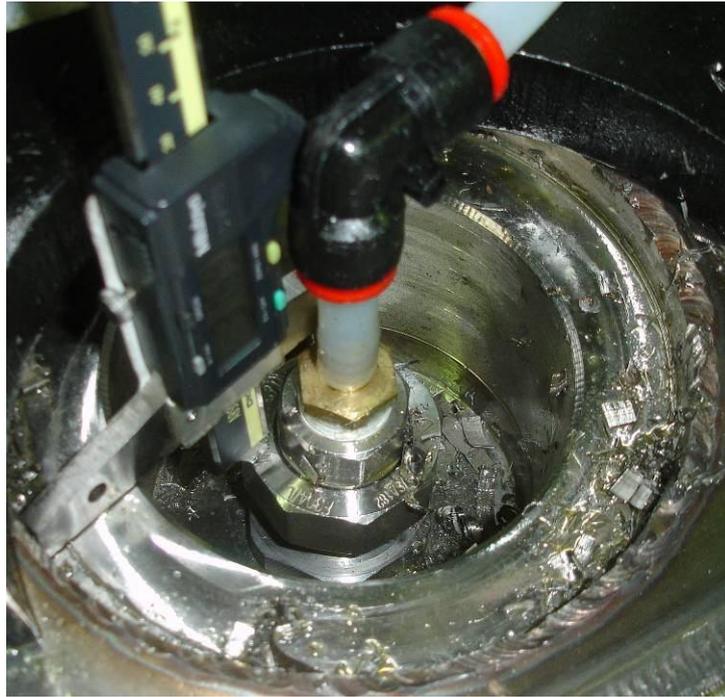


圖 38 氫氣濃度偵測儀管路接頭

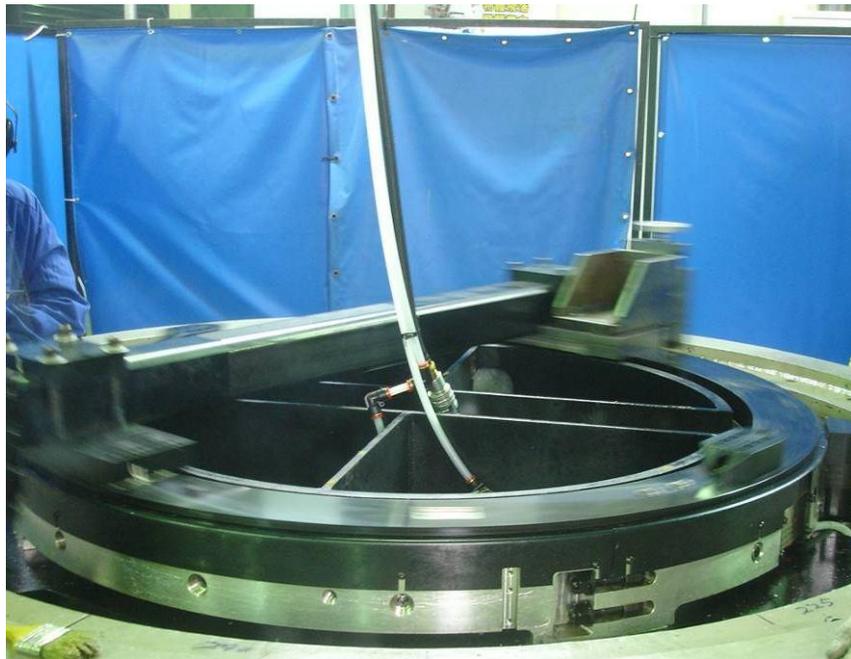


圖 39 氫氣濃度偵測儀管線



圖 40 進行屏蔽上蓋銲道移除作業



圖 41 屏蔽上蓋墊片取出作業



圖 42 模擬屏蔽上蓋表面擦拭清潔



圖 43 傳送護箱底部防污板安裝完成貌



圖 44 下水時傳送護箱表面持續淋濕



圖 45 傳送護箱底部通過裝載區框架



圖 46 於燃料池中將密封鋼筒屏蔽上蓋吊離

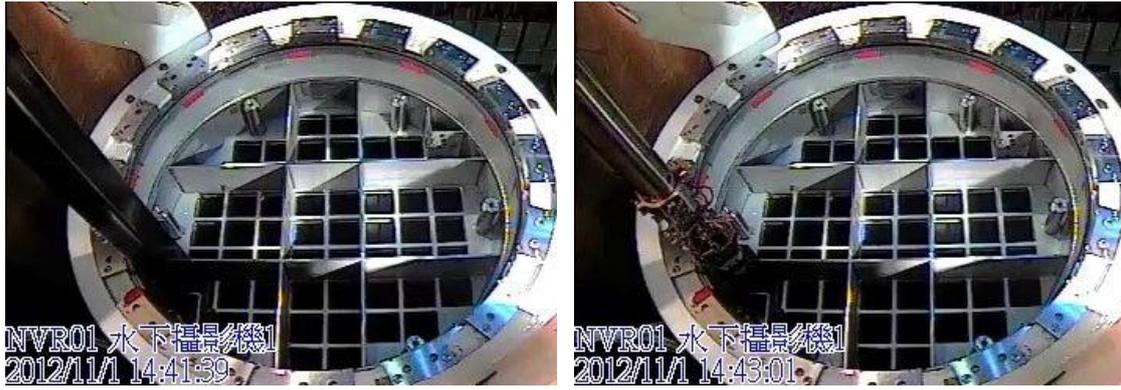


圖 47 假燃料移出孔位 DG-1 的連續照片



圖 48 於孔位 DC-4(左)與 DD-5 吊運假燃料之測試照片



圖 49 傳送護箱底部擦拭除污



圖 50 出水後的吊輓與吊勾套袋後收存