

核二廠一號機第十六次大修管制報告

(用過燃料滑落事件)

壹、背景簡介

核燃料填換挪移作業為核能電廠歲修重要工作項目之一，核二廠大修期間核燃料填換挪移作業為將反應爐爐心內下一週期不再使用之用過核燃料束，利用反應器廠房七樓燃料填換台之吊車，從爐心內吊出並移至反應器廠房七樓上燃料池內之儲存格架暫時儲存，再利用位於反應器廠房七樓上燃料池與燃料廠房三樓下燃料池（用過燃料池）間之斜面燃料傳送機構，將不再使用的用過核燃料束傳送至燃料廠房三樓之下燃料池，再利用燃料廠房三樓燃料處理台之吊車，吊至下燃料池內儲存格架事先規劃的位置上儲存；已事先儲存於下燃料池內新的核燃料束亦利用上述斜面燃料傳送機構傳送至反應器廠房七樓上燃料池暫時儲存，再吊入反應爐爐心內，與在爐心內原有已照射過的核燃料束，依據事先規劃的爐心燃料佈局重新挪移，完成核燃料填換挪移作業。

核二廠燃料填換挪移作業與其相關設備保養維護所依據之營運程序書，包括編號 276「爐心改變」、編號 280「燃料填換模式每值功能查核表」、編號 282「燃料填換」、編號 336.4.1「燃料填換台操作

(反應器間)」編號 336.5「斜面燃料傳送系統之操作」編號 336.6「空燃料組之再裝填」編號 336.7「燃料處理台操作(燃料廠房)」編號 593「斜面燃料傳送系統故障」編號 619.1.1「燃料填換設備連鎖」編號 619.2「用過燃料池燃料操作台功能測試」編號 619.3.1「燃料填換台功能測試」編號 619.7.1「斜面燃料傳送系統運轉性能測試(12小時)」編號 619.7.2「斜面燃料傳送系統每週運轉性能測試」編號 708「上燃料池燃料填換台裝備維護保養」編號 708.1「下燃料池燃料處理台裝備維護保養」以及編號 751.1「斜面燃料傳送系統燃料填換運轉前檢查」等。

核二廠於今年二月二十四日開始一號機第十六次大修，該機組反應爐爐心內共有 624 支核燃料束，此次核燃料填換挪移作業預定填換 192 支新的 ATRIUM-10 核燃料束，繼續使用之已照射過的核燃料束共 432 支，新 ATRIUM-10 核燃料束的比率為 30.77 %。

貳、事件說明

核二廠一號機於三月二日依計畫執行燃料填換挪移作業，於下燃料池進行燃料挪移作業過程中發生吊車電氣設備故障，當時吊車仍吊著用過燃料束(編號 KBF082)。經台電人員檢修後，重新開始燃料挪移工作，然於三月三日凌晨在將該用過燃料束吊至燃料格架 BB52 洞

口後下降至 94 吋高度時，該燃料發生脫接直接滑入 262 吋定位高度（請參考附件一），依據台電人員之說明，約在燃料滑落事件數分鐘後，燃料池旁之區域輻射偵測器出現高警報動作，現場工作人員立即離開工作現場，該警報信號約兩分鐘後恢復正常。現場工作人員依規定離開現場並進行全身計測，依據台電放射實驗室核二廠分隊監測結果顯示，現場工作人員均未接受額外之劑量。

參、 筆因分析

核二廠燃料廠房三樓燃料處理台之吊車，其吊鉤（請參考圖一）是利用壓縮空氣作噚合或鬆開，正常時其儀用空氣必須隨時維持 70 至 110 磅壓力，當吊鉤開關置於噚合位置時，即使燃料處理台控制迴路短暫失電或者壓縮空氣短暫無法維持，吊鉤仍可處於閉合位置；又當吊鉤上吊有燃料束且吊鉤開關置於鬆開位置時，因吊鉤的構造是兩支向上翹起的鉤子，且其活動方向是由外向內鉤起（請參考圖二），因此燃料束把手必須離開吊鉤鉤子向外鬆開活動之範圍，吊鉤才會與燃料束脫離，否則吊鉤鉤子反而會被燃料束把手卡著無法向外鬆開，燃料束因而無法脫離吊鉤。上述吊鉤之設計，可防止燃料束因吊鉤發生意外而脫離，此項安排即所謂的失效安全（Fail Safe）設計。正常吊運燃料束時，當燃料束置入儲存格架且達定位時，吊鉤之纜繩鬆

弛指示燈亮 (Slack Cable) 而重量指示錶顯示小於 50 磅之讀數時，吊鉤將自動停止下降，且停止位置正好處於燃料束把手離開吊鉤鉤子向外鬆開活動之範圍，此時操作人員將吊鉤開關置於鬆開位置，吊鉤才會與燃料束脫離。

此事件之肇因主要為維修人員於三月二日檢修吊車電氣設備故障時，同時發現吊車上吊鉤之空氣軟管有兩處破損漏氣，然更換時竟將吊鉤處嚙合與鬆開之兩空氣軟管接反（請參考圖三），在恢復供氣後，使得吊鉤本應處於嚙合位置而變為處於鬆開狀態，然因吊鉤上用過燃料束之重量以及吊鉤鉤子被燃料束把手卡著，吊鉤鉤子無法向外鬆開，因此該用過燃料束仍吊在吊車上沒有滑落；但當該用過燃料束置入儲存格架時，因為水流阻力以及與儲存格架間有摩擦力，使燃料束瞬間下降速度較吊鉤慢，使得燃料束相對於吊鉤產生向上位移，吊鉤鉤子不再被該燃料束把手卡著而可向外鬆開，導致該燃料束脫接直接滑入儲存格架中。

當維修人員發現燃料束出現脫接滑落，約 4 分鐘後燃料池池旁區域輻射偵測器 ARM-132（請參考圖四）發生高警報動作，此 ARM-132 發生高警報動作之原因，經查 ERF 電腦中 ARM-132 之記錄（請參考圖五），劑量率瞬間最高達 0.05764 mSv/h ，大於 ARM-132 警報設定值 (0.052mSv/h) 而啟動警報，隨後即逐漸降至正常範圍。現場核二廠保

健物理人員量測空氣樣品，仍在正常範圍值，經後續核種分析結果顯示並無分裂產物釋出，因此此高瞬間輻射劑量率應不是由燃料束受損所釋出之分裂產物所引起。此外在目視檢查 KBF082 燃料束時，電廠人員發現燃料池內該燃料束附近之燃料束頂部繫板上方有一些積垢，因此台電公司說明 ARM-132 動作之原因，應為燃料束滑落至儲存格架底時，引起水流劇烈向下擾動，使得燃料池池底之積垢隨水流擾動而上升，使 ARM-132 測得由池水中散射出來之輻射劑量率，瞬間超過 ARM-132 警報設定值而啟動警報，但在向上水流隨時間逐漸減小而平穩後，積垢亦因本身重量而再次沈澱至燃料池池底，因池水屏蔽，使得由水中散射出來之輻射減少，ARM-132 量測之劑量率在出現警報後約 2 分鐘，開始下降並逐漸緩降至正常範圍。

肆、事件影響評估

一、現場工作人員所受輻射劑量

當區域輻射偵測器(ARM-132)高警報出現時，現場工作人員依規定離開工作現場，由其隨身所攜帶電子劑量計之讀數與事件後所作全身之輻射計測（請參考表一），經評估屬正常接受劑量值，均未因此事件而接受額外之劑量。

二、環境輻射安全

ARM-132 高警報出現後，約 2 分鐘 ARM-132 劑量率開始下降，並逐漸緩降至正常值 (0.010 mSv/h)。電廠保健物理人員以高流量空氣取樣器收集燃料廠房三樓空氣，量測阿伐及貝它/加馬之比活度，其結果均在正常範圍內，且燃料廠房現場設置之連續空氣監測器 (CAM333-2) 記錄，亦持續保持在正常範圍內，証實作業環境及空氣品質均未受影響。作業區域旁所設活性碳濾罐 (RAS-1) 之加馬核種分析，未發現 I-131 及 Cs-137 等分裂核種，至於用過燃料池池水之活度分析，Cs-134 及 Cs-137 亦無異常濃度變化（請參考表二）。

控制室於 ARM-132 高警報發生後，亦立即檢視控制室背盤上燃料廠房三樓內其他區域輻射偵檢器 (ARM-115、ARM-137 與 ARM-138，請參考圖四) 之記錄，ARM-115 瞬間最高劑量為 0.015 mSv/h；而 ARM-137 與 ARM-138 分別為 0.006 與 0.008 mSv/h，均未超過燃料廠房三樓兩台緊急通風系統之啟動設定值 (> 1.0 mSv/h)，因緊急通風系統沒有啟動，其出口之流程偵測器亦均未動作。

此外檢視廠區及廠外非限制區所設置之十個環境連續輻射監測站以及五個連續空氣樣品監測站之結果，記錄值均屬於背景變動範圍內而無任何異常變化。經由原能會現場查證與審查相關資料後，同意台電公司對本次事件並無輻射外釋問題與環境未受到輻射污染之說明。

三、用過燃料 KBF082 掉落影響

用過燃料束 KBF082 是屬於 ATRIUM-9B 燃料（請參考圖六），為本週期大修時從反應爐爐心吊出，下一燃料週期不再使用之用過燃料束，因此對下一週期之爐心燃料佈局沒有影響。事件後曾對此燃料束作初步目視檢查且錄影存證，由上方觀察發現該燃料束頂部繫板與燃料匣鎖緊裝置皆正常，燃料匣上方本來焊有供作脫除工具支撐用的兩片三角墊片（請參考圖七），有一片上面裝有燃料匣鎖緊裝置的還存在，然對角另一片因燃料匣受到撞擊已斷落；燃料束繫棒上之旋轉螺帽本應在頂部繫板內，現已卡在頂部繫板外，顯示頂部繫板下方燃料棒上的彈簧受到擠壓，因旋轉螺帽卡著頂部繫板上而無法伸展；除燃料匣表面有輕微刮痕與燃料底部繫板在進水孔附近有明顯撞擊痕跡外（請參考圖八），其他未發現有異常之撞擊痕跡；又該燃料束置於儲存格架時，較附近之燃料束低約一吋（請參考圖九），可能原因為燃料棒上的彈簧受到擠壓，以及儲存該燃料束之儲存格架底部受到撞擊而凹下，究竟是何者則有待進一步檢查。

由前述核種分析及目視檢查結果顯示，目前該燃料束置於用過燃料池之儲存格架內，並不會對現場工作環境造成輻安影響，然因該燃料束滑落撞擊其儲存之儲存格架底部，由該燃料束外表受損情形知其撞擊力不小，因此原能會認為對該燃料束內部、儲存格架與燃料池底

部等有必要作進一步檢查。

伍、 安全管制作業

本次事件發生後，除原能會駐廠視察員就近於現場瞭解狀況與執行查證工作外，原能會並執行下列相關安全管制作業

一、 暫停核二廠一號機燃料廠房三樓之燃料挪移作業

原能會於三月三日下午發備忘錄（請參考附件二）至核二廠，要求電廠提出事件之肇因說明及因應措施，相關疑慮未獲澄清前，暫停核二廠一號機燃料廠房三樓之燃料挪移作業，並請電廠於三月四日上午到原能會報告事件始末，及澄清相關疑點。

此外依據核子反應器管制法第十四條規定，在暫停核二廠一號機燃料廠房三樓之燃料挪移作業之處分後七日內，於三月五日以書函檢送停止燃料廠房燃料挪移作業之處分書（請參考附件三）至台電公司。

二、 召開事件檢討會與現場查證

「燃料滑落事件檢討會」於三月四日上午 9：30 在原能會召開，會中台電公司核安處、核發處與核二廠相關人員說明事件經過、事件影響與評估、原因分析以及檢討與改善措施，然仍有一些疑點未能澄清，如相關程序之適切性、燃料束受損情形、改善措施、取樣結果等，

因此要求核二廠補提相關資料，該次會議之會議記錄請參考附件四。

在此同時，原能會亦派員至核二廠進一步瞭解事件發生前之維修執行程序、事件發生當時工作人員與現場之狀況、事件後燃料池旁各區域輻射偵測器指示、控制室流程輻射偵測器是否動作和工作人員之全身計測以及燃料受損情形等。經由深入查證後發現：本次事件中維修人員更換空氣軟管工作前，並未依據程序書編號 1102.01「設備檢修工作管制程序」之規定，開立設備請修單與檢修工作連絡書；又檢修工作前所召開之工具箱會議，未能發現當時吊車仍吊著用過燃料之可能潛在危險；此外按程序書之規定，維修之後必須執行測試，但當時因吊鉤掛有燃料，以致未能執行必要之維護後測試工作，針對此問題現場工作人員亦無研擬替代之措施。

維修人員完成更換空氣軟管工作後，未依據程序書編號 169「自我查證」之規定，以發覺錯接空氣軟管，且更換空氣軟管時，其對應接頭處沒有明顯標示，以避免新空氣軟管接錯。再者，此空氣軟管曾於九十一年十二月二十六日由包商更換過，然程序書編號 708.1 未將空氣軟管檢修納入檢驗點，因此核二廠檢驗員未能及早發現包商更換時之安裝缺失，導致空氣軟管在短時間內即因與相鄰盛水盤摩擦而破皮漏氣。

事件發生時，燃料廠房三樓吊運燃料之值班員只有一位，而持有

高級運轉員執照的值班運轉員當時在燃料廠房七樓，現場並沒有其他值班運轉員幫忙執行燃料吊運作業，而臨時由電氣課及機械課維護人員共二名在旁執行雙重確認工作。經查程序書編號 282、336.7 與 336.4.1 只提及燃料填換挪移作業之最少人力需求為一個持有高級運轉員執照的主控制室值班主任（於主控室）一個持有高級運轉員執照的運轉員（於燃料填換台當指導者）其他運轉人員、核工人員與保健物理人員，對於燃料操作處理台與燃料填換台操作上之人力配置與責任劃分並沒有清楚說明，鑑於燃料吊運作業之重要性，因此相關程序書有待進一步檢討。

三、 開立違規

此事件之主要肇因為維修人員錯接空氣軟管，明顯為人為疏失所致，鑑於核二廠二號機最近之大修時亦發生幾次人為疏失，為使核二廠能有效防範人為疏失，以維護核能安全，原能會依「核能電廠違規事項及注意改進事項處理作業程序書」之規定，於三月七日上午召開違規事項處理審查會議，建議依核能電廠違規事項處理作業要點之附件「違規事項之類級區分」一、反應器運轉三級違規之第 9 項，開立三級違規，且以備忘錄將「核二廠違規事項處理表」（請參考附件五）電傳至台電公司與核二廠。

四、 事件檢討報告審查

台電公司於三月十四日將「核二廠一號機 EOC16 大修中用過燃料滑落事件報告」(請參考附件六)函送原能會，針對事件肇因、改善措施及對人員劑量與環境之影響提出說明，經原能會相關業務處會同審查後，針對報告中之疑點提出審查意見(請參考附件七)，請台電公司進一步澄清。台電公司於三月十八日提審查意見之答覆說明(請參考附件八)，經原能會再次審查後，由於各項疑慮均已澄清，而受損燃料之後續檢查須較長時間規劃執行，以及該燃料儲存格架與燃料池底部之檢查工作，待燃料廠房恢復燃料挪移作業後再進行，因此原能會乃同意該事件報告。

五、同意復工與後續管制措施

依據台電公司之上述事件報告及原能會人員之查證，此次用過燃料滑落事件之肇因，主要是人為及管理疏失，包括檢修時錯接吊車上吊鉤之空氣軟管、未依程序執行自我查證、未確實執行外包工作之檢驗程序、檢修作業前未開立設備請修單及檢修工作聯絡書、相關作業程序書有缺失、以及工具箱會議不夠落實等，上述缺失核二廠已於報告中加以檢討並提出改善措施，包括防止空氣軟管接錯的機制、執行維修與驗收的程序、相關程序書的修改、工具箱會議指引的增列、燃料吊運作業的雙重確認等。基於台電公司之說明與改善措施，已經涵括此次事件的發生肇因，故原能會於三月十九日發函同意

台電公司恢復核二廠一號機燃料廠房三樓之燃料挪移作業，並將針對其承諾之後續工作及改善情形持續追蹤管制，包括執行受損燃料之後續檢查與燃料滑落撞擊力之評估、燃料儲存格架與燃料池底部之檢查工作、以及將執行燃料吊運作業時，工作人員之責任區分與資格條件納入核二廠運轉程序書中（請參考附件九）。

六、結論

核二廠一號機於此次大修中發生用過燃料滑落事件，其肇因主要是人為及管理疏失，包括檢修時錯接吊車上吊鉤之空氣軟管、未依程序執行自我查證、未確實執行外包工作之檢驗程序、檢修作業前未開立設備請修單及檢修工作聯絡書、相關作業程序書有缺失、以及工具箱會議不夠落實等。經事後深入查證，可以確認事件過程中，現場工作人員以及廠區與廠外環境，均未受到輻射影響。台電公司對此事件亦詳細加以檢討並提出改善措施，原能會將持續追蹤管制台電公司之改善措施，期能防範事件再發生，以維護核能安全。

綜合而言，由此次事件可以顯示，核二廠在安全文化上仍必須再加強。誠然大修期間燃料填換挪移作業是一項相當繁重，並且已執行多年的例行性工作，但在吊有燃料之情況下，不應進行與吊鉤有關的維修工作，此類事項即使沒有明訂於程序書中，也應該是核能安全保

守性思維的必要本質。在此事件發生後，原能會所執行相關安全管制作業，包括暫停核二廠一號機燃料廠房三樓之燃料挪移作業、召開事件檢討會與現場查證、開立違規等，其目的在於希望核二廠能確實在人員作業的習慣上，注入更良好的核能安全習性，期望核二廠同仁能由此次事件中汲取珍貴的經驗，反映在未來的作業品質上，共同為提升核二廠的安全體質而努力。

註：1. 本報告之附件，因篇幅過多，故於上網報告中從略。

2. 本案若有疑問，請洽本會張欣科長，電話：(02)2232-2130。

表一 工作人員輻射安全監測結果

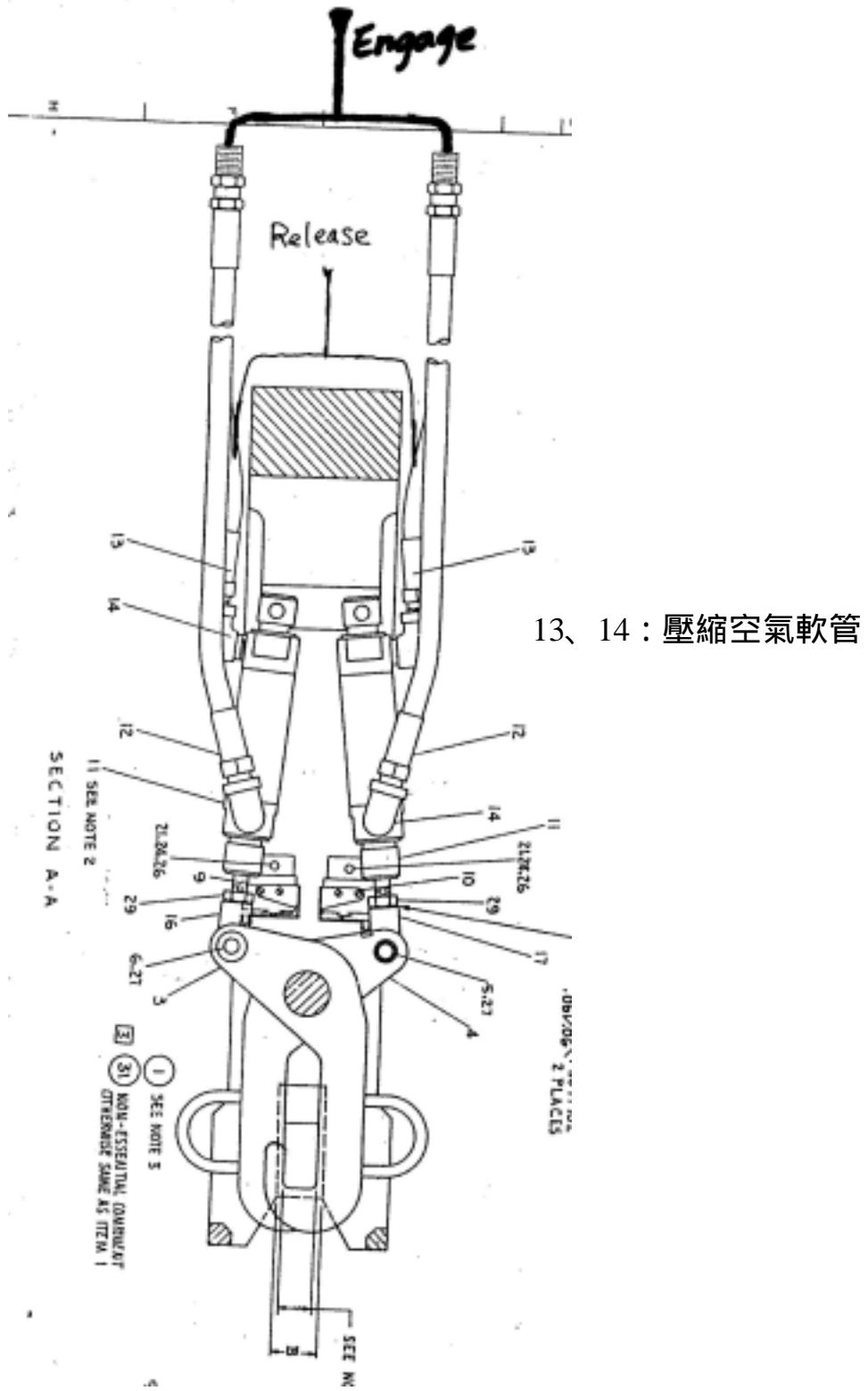
單位	姓名	電子劑量計讀數	全身計測結果 (3/3 日計測)	體表偵測
值班	蔡成木	0.003 毫西弗	正常 體內無積存任何核種	無污染
電氣課	何太田	0.006 毫西弗	正常 體內無積存任何核種	無污染
機械課	王萬預	0.005 毫西弗	正常 體內無積存任何核種	無污染
保健物理課	游竣傑	0.001 毫西弗	正常 體內無積存任何核種	無污染
榮福公司	陳欽安	0.004 毫西弗	正常 體內無積存任何核種	無污染

資料來源：核二廠

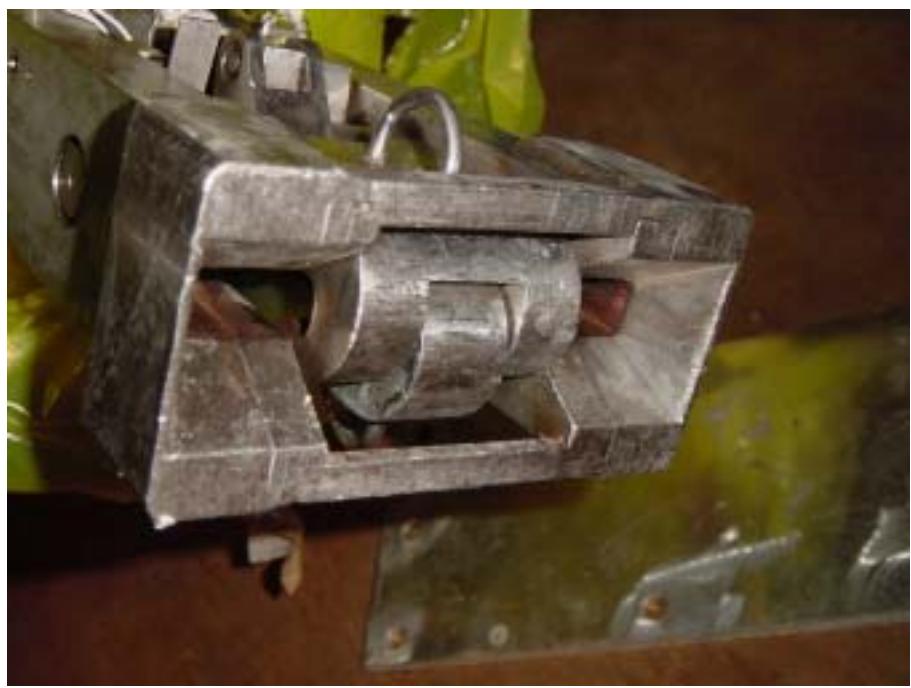
表二 作業環境輻射監(偵)測結果

事項	狀況	結果
作業區域清潔區樓面比活度	< 7.2 Bq/100cm ²	屬清潔標準之範圍
連續空氣濃度監測	500 cpm	監測值正常，無任何峰度
空氣抽氣取樣	/ : 135 Bq/m ³ : 32 Bq/m ³	屬該區域正常範圍
連續活性碳監測 (2/25-3/3 08:48)	所分析及記錄核種為 Bi-214、Pb-214、U-239	無異常 此等均屬惰性氣體 氡-222 之子核種(Bi、Pb) 及天然存在核種

資料來源：核二廠



圖一 吊車之吊鉤



吊鉤鉤子處於嚙合位置

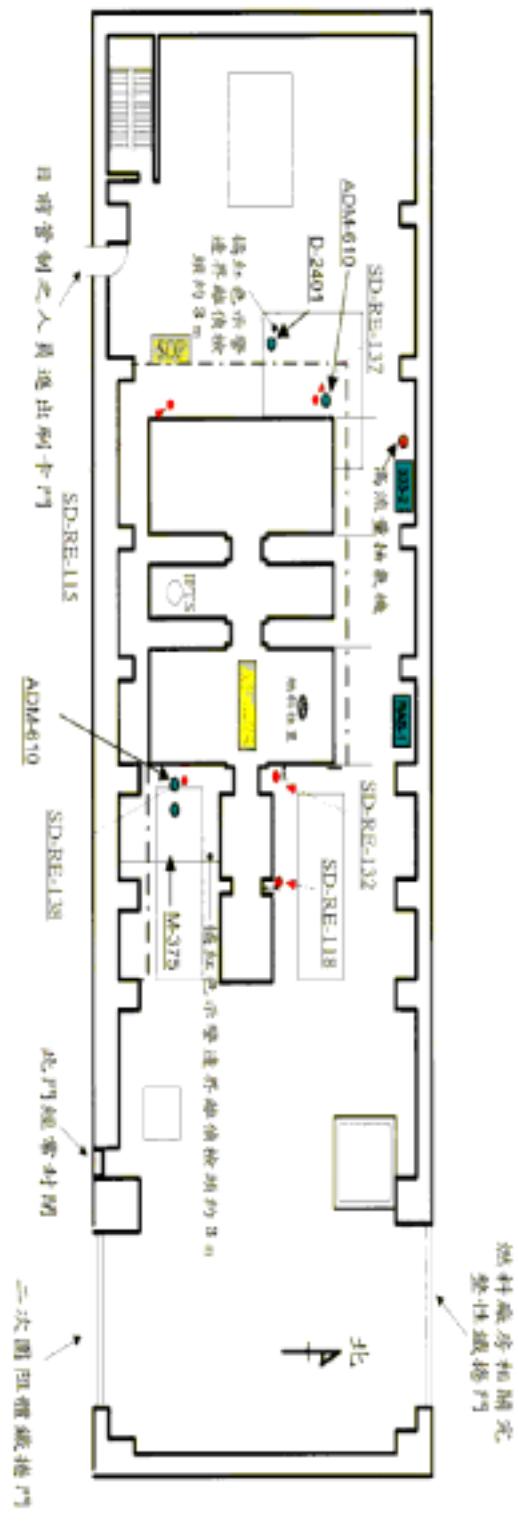


吊鉤鉤子處於鬆開位置

圖二 吊鉤鉤子的構造與其活動方向



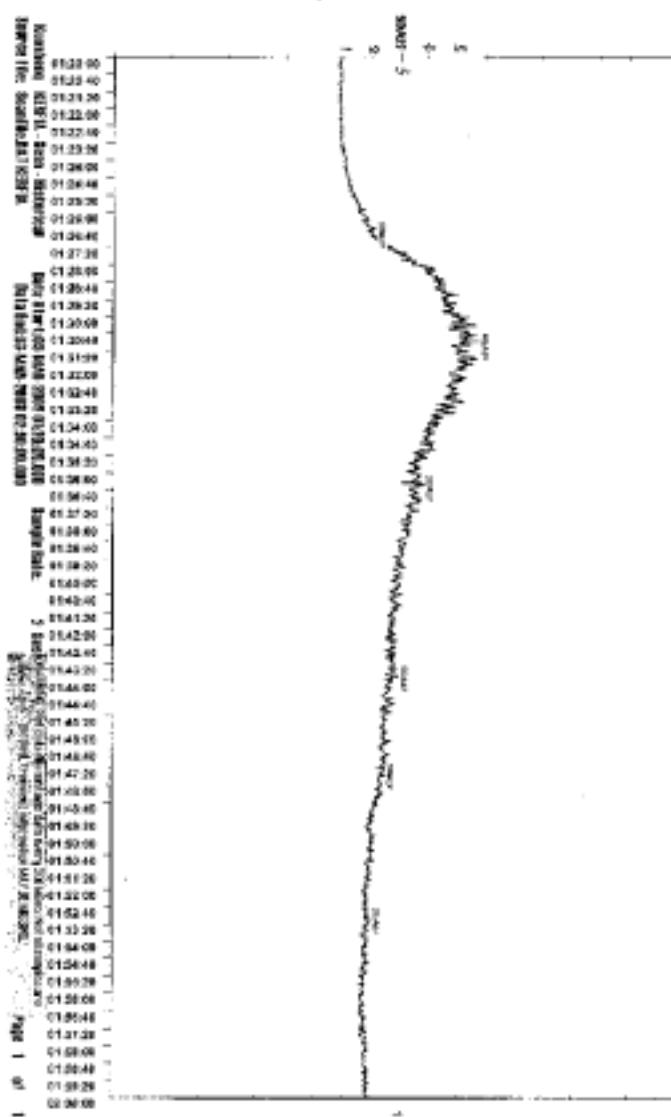
圖三 壓縮空氣軟管接反處



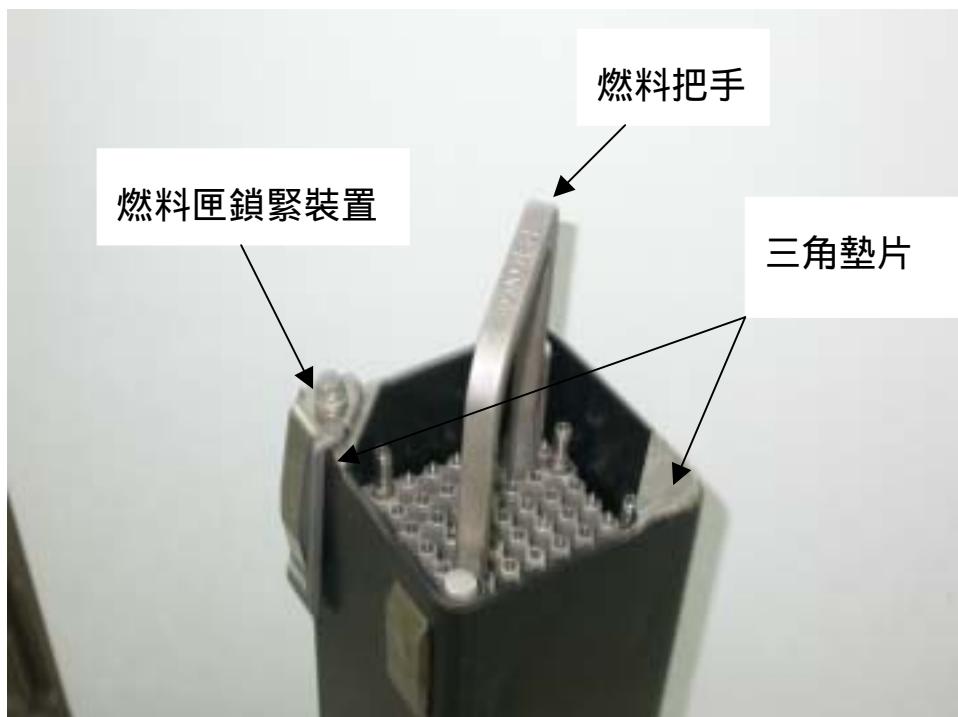
圖四 燃料廠房三樓平面圖

Report Time: 00:00:00 AM (EST) 03/03/2011
ARM# 132 03/03/2011 10:59:59
ARM Type: External Min Max
ARM Name: External ScanPointList

Online ScanPointList Group 1



圖五 核二廠三月三日 1:20 至 2:00 燃料池池旁區域輻射偵測器 ARM-132



圖六 ATRIUM-9B 燃料束



圖七 用過燃料束 KBF082



圖八用過燃料束 KBF082 底部繫板



圖九 用過燃料束 KBF082 置於儲存格架