

第十章 輻射劑量評估及輻射防護措施

目 錄

第十章 輻射劑量評估及輻射防護措施	10-1
一、 民眾劑量評估	10-1
(一) 除役各階段放射性氣、液體排放之輻射劑量評估	10-2
(二) 除役放射性廢棄物廠內運送之輻射劑量評估	10-12
(三) 除役各階段廢棄物處理與貯存設施之輻射劑量評估	10-15
(四) 除役計畫對民眾輻射劑量影響總結分析	10-25
(五) 輻射管制與監測	10-26
(六) 紀錄保存	10-26
二、 作業人員劑量評估	10-26
(一) 核二廠除役作業人員集體有效劑量評估方法	10-27
(二) 核二廠除役作業篩選與影響來源分析	10-28
(三) 數據收集與假設分析	10-30
(四) 放射性廢棄物處理與貯存設施對作業人員劑量之分析	10-36
(五) 核二廠除役作業人員劑量評估結果	10-38
(六) 核二廠除役作業人員劑量評估結果討論	10-44
(七) 輻射管制作業之管理	10-44
(八) 紀錄保存	10-46
三、 輻射防護措施	10-47
(一) 輻射防護管理組織與權責區分	10-47
(二) 人員防護	10-49
(三) 人員訓練	10-49
(四) 人員劑量	10-50
(五) 醫務監護	10-52
(六) 管制區劃分及區域管制作業	10-52
(七) 除役作業之防護措施	10-60

(八) 放射性廢棄物管制.....	10-64
(九)合理抑低措施.....	10-67
(十)紀錄保存.....	10-70
四、 結語	10-70
五、 參考文獻	10-71
附錄 10.A 核二廠廢氣排放途徑民眾劑量評估使用量因子	10-111
附錄 10.B 核二廠廢液排放途徑民眾劑量評估使用量因子	10-112
附錄 10.C 第十章輻射劑量評估及輻射防護措施之重要管制事項	10-113

圖 目 錄

圖10-1 核二廠102年至106年計5年平均之低塔氣象風花圖	10-73
圖10-2 核二廠熱發光劑量計監測站分佈圖(5 km內)	10-74
圖10-3 核二廠除役各階段輻射防護管理組織圖	10-75

表 目 錄

表10-1 核二廠102年至106年之各放射性氣體排放平均值活度(Bq)及其半化 期.....	10-76
表10-2 除役各階段的預估每年排放至大氣的核種活度(Bq)	10-77
表10-3 除役各階段放射性氣體(惰性氣體)排放造成關鍵群體之有效劑量 (mSv).....	10-78
表10-4 除役各階段放射性氣體(碘、微粒、氬等核種)排放造成關鍵群體之輻 射劑量.....	10-79
表10-5 除役各階段放射性氣體排放造成關鍵群體之有效劑量	10-80
表10-6 核二廠102年至106年之各放射性液體排放平均值活度(Bq)及其半化 期.....	10-81
表10-7 除役各階段的預估每年排放至水中的核種活度.....	10-82
表10-8 除役各階段放射性液體排放造成關鍵群體之有效劑量	10-83
表10-9 除役各階段放射性液體排放造成關鍵群體之器官等價劑量	10-83
表10-10 各種低放射性廢棄物貯存容器之基本資料.....	10-84
表10-11 各種低放射性廢棄物貯存容器於每單次運送對最近廠界處之劑量評 估結果.....	10-84
表10-12 2號低放射性廢棄物貯存庫於正常運轉時對廠界民眾劑量之評估結果	10-85
表10-13 3號低放射性廢棄物貯存庫於正常運轉時對廠界民眾劑量之評估結果	10-85
表10-14 核二廠除役各階段相關處理與貯存設施運轉規劃時程.....	10-85
表10-15 核二廠除役各階段處理與貯存設施運轉對廠界民眾劑量影響彙整 (mSv/y).....	10-86
表10-16 核二廠除役各階段廠界民眾劑量影響彙整(mSv/y).....	10-86
表10-17 核二廠輻射工作人員之劑量限度	10-87
表10-18 除役各階段造成作業人員接受到輻射曝露工作分析表.....	10-88
表10-19 核二廠除役作業分類表	10-90
表10-20 核二廠除役一般性輻射作業需求人時及估算方法	10-91
表10-21 核二廠輻射廠房各樓層空間平均劑量率與空間面積	10-92
表10-22 核二廠除役規劃一般性輻射作業劑量率	10-93

表10-23 核二廠廢棄物分類與拆解人時評估	10-94
表10-24 核二廠放射性廢棄物存放規劃	10-94
表10-25 除役期間相關放射性廢棄物處理與貯存設施對工作人員集體有效劑 量之評估分析表	10-95
表10-26 除役過渡階段所需之人時及集體有效劑量分析表	10-96
表10-27 放射性廢棄物廠內工作人員集體有效劑量評估參數與結果	10-97
表10-28 廢棄物接收作業人員集體有效劑量	10-97
表10-29 除役拆廠階段集體有效劑量分析表	10-98
表10-30 除役計畫各階段輻射作業活動對工作人員輻射劑量評估結果	10-101
表10-31 核二廠除役作業人員集體有效劑量分析表	10-102
表10-32 核二廠地區管制劃分標準	10-103
表10-33 輻射監測/偵測儀器說明	10-104
表10-34 個人輻射監測/偵測儀器說明	10-104
表10-35 參考基準(95年12月15日會輻字第0950035425號同意備查)	10-105
表10-36 台灣電力公司核能發電相關設施監測區試樣放射性分析行動基準 ..	10-110

第十章輻射劑量評估及輻射防護措施

本章主要說明核二廠除役期間各項活動對民眾及工作人員之劑量影響，以及規劃輻射防護措施，以符合游離輻射防護法之規定，並說明除役工作可安全進行且符合輻射防護合理抑低原則，確保廠界外關鍵群體及廠界內工作人員，於除役活動期間之輻射安全，以符合法規要求。

民眾劑量評估將依據本計畫第二章所述之廠址周圍環境、第八章、第九章有關放射性廢氣、廢液處理與低放射性廢棄物處理、運送、貯存之相關規劃，以及第十七章預計之保留區利用規劃，評估除役各階段對民眾關鍵群體的曝露途徑及其輻射劑量影響。工作人員劑量評估則依據第三章、第四章的廠址歷史運轉資料與輻射特性調查結果，並配合第六章、第八章、第九章所規劃的除役作業時程、除污工法及低放射性廢棄物處理、運送、貯存之相關規劃，評估對工作人員之曝露途徑及其輻射影響。

本公司將秉持符合正當性、最適化與合理抑低原則，執行除役各階段之輻射作業，並依據第十二章組織與人員訓練，設置輻射防護管理組織及進行人員訓練；未來將視除役作業之實際情況，依據相關法規提出輻射防護計畫，並辦理放射性物質廢氣、廢液排放紀錄之定期申報作業，並依規定保存相關紀錄。

一、民眾劑量評估

本節說明除役活動進行時，可能的放射性物質排放及貯存設施對於民眾輻射曝露劑量之影響，其中包含了各階段作業對民眾劑量影響來源分析、民眾輻射劑量評估方法與結果、輻射管制與監測作業之管理與紀錄保存。

美國 NUREG-0586(2002)[1]調查統計顯示，核電廠在進入除役活動後，對環境劑量影響將遠低於正常運轉階段，而除役各階段因活動不同，對民眾輻射劑量影響的來源也不盡相同，主要曝露途徑為直接輻射與向天輻射曝露，其次為放射性氣、液體排放。

直接輻射主要考量設施內的輻射穿過建物屏蔽牆對民眾造成之劑量影響，向天輻射主要考量設施內的輻射穿過建物天花板後由天空反射回地面，對民眾造成之劑量影響。在直接輻射與向天輻射曝露影響方面，由於重大組件除污與拆除及廢棄物處理等作業，均在反應器廠房、輔助廠房、汽機廠房區域建物結構內執行，這些廠房均有足夠的屏蔽且與廠外民眾距離夠遠，對於民眾造成直接輻射曝露之影響應可忽略；故主要考量放射性廢棄物於廠內運送及貯存設施貯放，對民眾造成之直接輻射曝露與向天輻射曝露劑量影響。

在放射性氣、液體排放方面，除役初期因系統中仍有運轉期間殘留之惰性氣體與碘等分裂產物，故預期此階段放射性氣、液體排放核種組成將與運轉期間相當，但因反應器內已無核分裂反應，分裂產物及活化產物活度必然隨時間逐漸衰減而大幅降低。當進入除役拆廠階段，廠房內因除役作業所產生廢氣與廢液，預期其放射性核種將以材料析出產物為主，此類核種多半以微粒型態存在，易於濾除；經放射性氣體與液體處理系統處理後，僅有少量之放射性核種排放至環境。故在除役拆廠階段，仍將保留放射性液體處理系統、放射性氣體處理系統與通風過濾系統，直至除役拆廠階段之後期(係指廢氣與廢液處理系統不需維持可用之階段，接近各主要運轉系統與組件皆完成拆除之階段，預計除役進行後第 20 年)。

針對民眾關鍵群體，本計畫將管控放射性物質之運送及貯存作業、減少放射性物質排放，並依據輻射防護計畫建立完善之管理措施等方式，減少民眾接受輻射曝露之可能性，藉此達到民眾輻射劑量合理抑低之目的。

(一) 除役各階段放射性氣、液體排放之輻射劑量評估

由於除役拆廠階段將執行重大組件除污與拆除等作業，放射性液體處理系統、放射性氣體處理系統與通風過濾系統將維持正常運轉直至該階段後期，預期僅有少量放射性氣、液體會排放至環境。前述有關放射性氣體及液體排放，本公司仍將持續遵照核能電廠環境輻射劑量設計規範，以及核能電廠放射性物質排放管理相關規定，在合理抑低原則下排放。除役期間各項作業之放射性氣、液體排放管制劑量限值如下：

- 放射性氣體排放

- 【惰性氣體】

- 惰性氣體造成廠界外非限制區域中任一民眾有效劑量不超過 0.05 mSv/y/機組，皮膚等價劑量不得超過 0.15 mSv/y/機組；空氣中加馬輻射劑量值不超過 0.1 mGy/y/機組，且貝他輻射劑量值不超過 0.2 mGy/y/機組。

- 【碘、氙及微粒】

- 碘、氙及微粒(半化期超過 8 天者)造成廠界外非限制區域中任一民眾器官等價劑量不超過 0.15 mSv/y/機組。

- 放射性液體排放

放射性廢水排放造成廠界外非限制區域中任一民眾有效劑量不超過 0.03 mSv/y/機組，任一民眾器官等價劑量不超過 0.1 mSv/y/機組。

1. 輻射劑量評估方法論

評估設施廠界外民眾輻射劑量之方法，可分為下列兩步驟：

- (1) 放射性物質排放源評估：放射性液體及氣體排放之射源項包括除役初期系統中仍留存運轉期間殘留之惰性氣體與碘等分裂產物，以及進入除役拆廠階段各項作業過程殘留之腐蝕產物。
- (2) 廠外民眾之關鍵群體劑量評估，須考量空浸曝露、地表輻射、呼吸、農作物及肉類食用等關鍵輻射曝露途徑，並依據本公司提報主管機關(原能會)之最新核設施廠址環境民眾劑量評估參數調查報告(依主管機關規定至少每五年重新提報主管機關，核二廠最近 5 年廠址半徑 10 km 內農業產量及分佈(如稻米、蔬菜、奶類、肉類)、漁業產量及分佈(如漁港位置、漁貨種類)，以及廠址半徑 5 km 內之民眾使用量因子(如稻米、蔬菜、水果、肉類、海產類、牛奶等攝入量，詳如附錄 10.A 與附錄 10.B)等資料(另考量當地農牧與漁獲產銷情形予以適當修正)，以評估具有當地居民代表性之假設關鍵群體劑量。

A. 放射性氣體排放對關鍵群體之劑量評估

a. 氣象資料

以核二廠最近 5 年(102 年至 106 年)全年氣象資料,利用美國核管會認可之大氣擴散程式(XOQDOQ-82),計算放射性氣體排放後經由大氣擴散至環境中的空氣及地面沉積濃度分佈。由於核二廠並無可視為高排放之煙囪設備,故本計畫假設所有放射性廢氣均由地面排放(廠房屋頂排放)至大氣,選用低塔氣象觀測資料進行大氣擴散評估。有關核二廠 102 年至 106 年共 5 年平均之低塔氣象風花圖,如圖 10-1。

b. 輻射曝露影響途徑

依最新(103 年)完成「台灣南北部地區居民生活環境與飲食習慣調查計畫-核二廠調查成果報告(修訂版)」,廠界附近北北東(NNE)、東北東(ENE)等方位無居民居住,不納入評估。另因當地並無生產鮮奶之牧場,故剔除攝食奶類之曝露途徑;且核二廠附近無民生飲用水水源,故無須評估飲用水途徑造成之劑量影響。綜上所述,以選擇直接曝露、地表輻射、呼吸、農作物及肉類食用等,符合當地居民生活習慣之關鍵曝露途徑進行輻射劑量評估。

c. 劑量評估程式

依除役各階段放射性廢氣排放源的評估值,利用本公司委託核能研究所發展之廢氣排放劑量評估程式(GASWIN)(*註),考慮體外曝露途徑(空浸曝露、地表輻射)與體內曝露途徑(吸入、農作物、肉類食用),以附錄 10.A 所列之 6 組年齡群之最大可能使用量因子,保守計算各方位空氣及地面沉積濃度最大位置之 6 組年齡群所接受各關鍵曝露途徑的劑量總和,並取各年齡群中數值最大者為假設關鍵群體之年輻射劑量。

B. 放射性液體排放對關鍵群體之劑量評估

a. 放射性液體排放稀釋用水

核二廠兩部機產生之放射性液體,來源為共用之放射性廢液儲存處理系統、雜項廢液處理系統,以及清潔劑廢液系統,處理發電及洗衣過程。放射性液體排放皆採批次排放,正常運轉時放

射性液體排放均由其排放口，與循環海水混合稀釋後排入大海。核二廠之放射性廢液儲存處理系統及清潔劑廢液系統為兩部機共用，其排放口現有 2 條排放路徑可供選擇，正常運轉時由 2 號機海水渠道排放，大修時則改由非大修機組之海水渠道排放，放射性廢液之平均體積排放率為每秒 78.83 立方公尺(約每秒 2,820 立方英呎)。機組停機後，除役初期階段，維持現有用過核子燃料池冷卻系統，並保守考量僅以單一個緊急循環水泵排放，緊急循環水泵可提供 9,500 gpm 的稀釋水源，即為平均體積排放率為約每秒 0.59 立方公尺(約每秒 21 立方英呎)。故放射性液體排放口之各排放核種濃度，應以正常運轉期間放射性液體排放核種濃度與排放流量率之乘積，除以除役期間稀釋水源排放流量率計算。惟在此以過去五年實際排放活度平均值及考量除役期間稀釋水源排放流量率差異，進行民眾劑量評估。

備註：核二廠放射性廢水排放係以批次排放方式執行管制作業，每批次排放前均須取樣品分析再依分析結果估算該批次排放量，並計算與循環海水混合後之放射性濃度，確認符合游離輻射防護安全標準之排放物濃度規定後，於流程輻射監測器監控下排放，與循環海水混合稀釋後之濃度則以環境輻射監測執行海水取樣分析進行平行驗證。

b. 輻射曝露影響途徑

由於核二廠放射性廢液係排放至大海，與農田灌溉與飲水水源無關，並依據最新(103 年)完成之「台灣南北部地區居民生活環境與飲食習慣調查計畫-核二廠調查成果報告(修訂版)」，選擇攝食魚類、無脊椎類與海菜，以及沙灘遊憩、游泳與划船等直接曝露等符合當地居民生活飲食習慣之關鍵曝露途徑進行輻射劑量評估。

c. 劑量評估程式

依除役各階段放射性廢液排放源的評估值，利用本公司委託核能研究所發展之廢液排放劑量評估程式(LQWIN)(*註)，考慮體

外曝露途徑(海濱遊樂、游泳)與體內曝露途徑(魚、無脊椎類、海菜食用),以附錄 10.B 所列之 6 組年齡群之最大可能使用量因子,保守計算出水口位置之 6 組年齡群所接受各可能關鍵曝露途徑的劑量總和,並取各年齡群中數值最大者為假設關鍵群體之年輻射劑量。

*註:關於本公司採用之 GASWIN(氣體)與 LQWIN(液體)等程式,計算原理源自 GASPARI-II(氣體)與 LADTAP-II(液體)兩程式,僅劑量轉換因數修改採用現行游離輻射防護安全標準之規定(即符合 ICRP-60 模式之劑量轉換因數)。而 GASWIN、LQWIN、GASPARI-II 與 LADTAP-II 等程式,其計算原理皆係依據美國核管會(NRC)之法規指引 1.109(RG 1.109)之劑量評估模式所建立,GASPARI-II 與 LADTAP-II 業經美國核管會核准並廣為各國使用。

2. 除役各階段放射性氣體排放量及廠外民眾劑量評估

於核二廠除役之除役過渡階段與除役拆廠階段,放射性氣體排放之來源可能包括:

- (1) 機組運轉執照屆期後,用過核子燃料從反應器移除清空作業。
- (2) 機組運轉執照屆期後,用過核子燃料池安全系統改善與隔離之運轉。
- (3) 機組運轉執照屆期後,需維持運轉系統的定期檢測、維護與修理等作業。
- (4) 機組內運轉廢棄物之清除作業,包含用過離子交換樹脂、珍珠岩與相關沉積物之清理。
- (5) 各類雜項的固體廢棄物處理。
- (6) 系統洩水與系統除污作業。
- (7) 反應器及其內部組件拆除作業。
- (8) 設備、組件或系統拆除與切割作業。
- (9) 建物拆除作業。
- (10) 除役廢棄物包裝作業。

分析核二廠在除役期間之放射性氣體排放來源，與例行運轉期間之差異，包括：

- (1) 因反應器停機後，已無核分裂反應，分裂產物及活化產物活度將隨時間自然衰變。
- (2) 因停止核分裂，分裂產物短半化期之碘族核種的減少(如 I-131 及 I-133)。
- (3) 因中子減少，降低活化反應致每年迅速減少 H-3 的排放。
- (4) 氣溶膠的排放核種逐步變化，如短半化期的核種 Mn-54、Fe-55、Co-58、Fe-59、Cs-134 的減少，故隨著除役的執行，上述核種排放對環境劑量貢獻將逐漸減少。
- (5) 放射性廢氣經處理後，均由廠房屋頂排放至大氣，故均屬地面排放。

參考國際電廠除役經驗，以式 10-1 進行每年放射性氣體之排放活度估算：

$$N_{j2,T_2} = N_{j2,0} \times \exp, (-\lambda_j \times T_2) \quad (\text{式 10-1})$$

N_{j2,T_2} ：為機組運轉執照屆期後 T_2 年排放 j 核種之活度

λ_j ：為 j 核種之衰減常數

$N_{j2,0}$ ：為各個除役活動的核種 j 的初始活度

考量除役期間與例行運轉期間之放射性氣體排放來源之差異，依據 NUREG-0586 Supplement 1[1]報告 Table G-15，大部分除役中電廠，其放射性液體或氣體之排放，皆較例行運轉中的電廠少，故保守以例行運轉的放射性氣體排放量近 5 年(102 年至 106 年)數據之平均值活度(Bq)，作為除役作業之各核種初始活度(Bq)。放射性廢氣經處理後，均由廠房排放口排放至大氣，故本計畫均採地面排放進行大氣擴散評估。除役各階段的初始時間(T_2)依據規劃分別為：除役過渡階段 T_2 (phase1) 為 0 y、除役拆廠階段 T_2 (phase2) 為 8 y、廠址最終狀態偵測階段 T_2 (phase3) 為 20 y、廠址復原階段 T_2 (phase4) 為 23 y。表 10-1 為核二廠 102 年至 106 年之各放射性氣體排放平均值活度(Bq)及其半化期，表 10-2 為除役各階段預估每年排放至大氣中之核種活度，單位為貝克(Bq)。

當核種排放至大氣中，採用本公司依據美國核管會核准之 GASPAR-II 評估程式所開發之 GASWIN 評估程式，將分別計算經不同曝露途徑造成之各年齡群關鍵群體劑量，分述如下：

空浸

放射性氣體中有惰性氣體，可能藉由空浸曝露途徑造成劑量，空浸部分的加馬與貝他劑量為合併計算，如式 10-2 所示：

$$D(r, \theta) = \sum_i \chi_i(r, \theta) DF_i \quad (\text{式 10-2})$$

$D(r, \theta)$ 即為空浸造成的劑量， χ_i 為 i 核種在 r 距離、 θ 方位處半無限雲團之濃度 ($= Q_i \times \chi/Q$)， Q_i 為核種 i 之排放率 [Bq/y]， DF_i 是核種 i 的空浸劑量轉換因子。年平均大氣擴散係數 (χ/Q) 可由 XOQDOQ-82 計算。保守計算核二廠最近 5 年 (102 年至 106 年) 全年氣象資料之年平均大氣擴散係數 (χ/Q) 為下風向 N 方位 600 m 處的 $4.672 \times 10^{-5} \text{ s/m}^3$ ，該位置為核二廠北方廠界附近。

沉積

地表沉積曝露途徑的劑量計算如式 10-3 所示：

$$D_j^G(r, \theta) = S_F \sum_i C_i^G(r, \theta) DFG_{ij} \quad (\text{式 10-3})$$

$D_j^G(r, \theta)$ 即為沉積造成的劑量， C_i^G 為 i 核種在 r 距離、 θ 方位處之單位面積濃度 ($= Q_i \times D/Q$)， DFG_{ij} 是核種 i 的沉積劑量轉換因子， S_F 為住家屏蔽效應，約 0.7。地表沉積的核種濃度 (D/Q) [$1/\text{m}^2$] 可由 XOQDOQ-82 計算。保守計算核二廠最近 5 年 (102 年至 106 年) 全年氣象資料之年平均地表沉積係數 (D/Q)，為下風向 N 方位 600 m 處的 $1.373 \times 10^{-7} / \text{m}^2$ ，該位置為核二廠北方廠界附近。

吸入

吸入劑量的計算比較複雜，因為不同年齡群民眾的劑量轉換因子不同、吸入空氣量不同，將民眾區分為 6 個年齡群進行劑量計算，計算方法如式 10-4：

$$D_{ja}^A(r, \theta) = 3.17 \times 10^{-8} R_a \sum_i \chi_i(r, \theta) DFA_{ija} \quad (\text{式 10-4})$$

$D_{ja}^A(r, \theta)$ 即為吸入造成的劑量， $\chi_i(r, \theta)$ 是空氣中 i 核種在 r 距離、 θ 方位之濃度， DFA_{ija} 是核種 i 、 j 器官、 a 年齡群的吸入劑量轉換因子， R_a 為各年齡的呼吸率。

嚥入

嚥入曝露途徑考量攝食下列食物：一般產品(含非葉菜類蔬菜、水果、穀類)、牛奶、肉類、羊奶、葉菜類蔬菜，計算方法如式 10-5：

$$D_{ja}^D(r, \theta) = \sum_i DFI_{ija} \left[U_a^v f_g C_i^v(r, \theta) + U_a^m C_i^m(r, \theta) + U_a^F C_i^F(r, \theta) + U_a^L f_l C_i^L(r, \theta) \right] \quad (\text{式 10-5})$$

$D_{ja}^D(r, \theta)$ 即為嚥入造成 r 距離、 θ 方位處的劑量， DFI_{ija} 即為 i 核種、 j 器官、 a 年齡群之攝入劑量係數(mSv/Bq)， f_g 、 f_l 即為食用產自本地之作物或蔬菜之比例($f_g=0.76$ ， $f_l=1$)， U_a^v 、 U_a^m 、 U_a^F 、 U_a^L 分別代表 a 年齡群個體一年內食用一般產品、牛奶、肉品、葉菜類蔬菜的量(kg/y 或 L/y)， $C_i^v(r, \theta)$ 、 $C_i^m(r, \theta)$ 、 $C_i^F(r, \theta)$ 、 $C_i^L(r, \theta)$ 則分別是核種 i 在一般產品、牛奶、肉品、葉菜類蔬菜內的濃度。

經上述公式計算後，取最保守的年齡群評估結果作為對關鍵群體的劑量影響值，表 10-3 為除役各階段由放射性惰性氣體排放所造成之關鍵群體有效劑量評估結果列表，表 10-4 為除役各階段放射性碘、微粒、氬等氣體排放，造成關鍵群體之器官等價劑量評估結果列表。表 10-5 為除役各階段放射性氣體排放造成關鍵群體之有效劑量，係指表 10-3 與表 10-4 中有效劑量欄位之總和。

評估結果顯示在放射性空浸、沉積、吸入與攝入曝露途徑下，以北方 600 m 處劑量影響最大，保守預估核二廠廠址(2 部機組)除役的四個階段(除役過渡階段、除役拆廠、廠址最終狀態偵測與廠址復原階段)，因惰性氣體排放造成關鍵群體有效劑量(由於惰性氣體造成之曝露途徑屬於體外曝露，對

於各年齡群之劑量轉換因數相同，而劑量評估結果亦相同，故此處以成人作為代表值。)分別為 1.81×10^{-2} mSv/y、 7.80×10^{-8} mSv/y、 3.59×10^{-8} mSv/y 與 2.95×10^{-8} mSv/y；放射性碘、氬及微粒等廢氣排放於除役四個階段造成關鍵群體器官等價劑量，不同階段最保守的年齡群與器官等價劑量，分別為 7.61×10^{-3} mSv/y (2 至 7 歲兒童、甲狀腺)、 1.19×10^{-4} mSv/y (12 至 17 歲青少年、骨表面)、 6.09×10^{-5} mSv/y (12 至 17 歲青少年、骨表面)與 5.15×10^{-5} mSv/y (12 至 17 歲青少年、骨表面)，皆符合放射性氣體排放管制劑量限值，對民眾劑量影響遠低於環境背景值的劑量貢獻。

而整體放射性氣體排放(惰性氣體與放射性碘、氬及微粒之加總)之劑量結果，於除役四個階段造成關鍵群體之有效劑量，分別為 1.87×10^{-2} mSv/y、 1.17×10^{-4} mSv/y、 5.93×10^{-5} mSv/y 與 5.00×10^{-5} mSv/y。未來本公司在核二廠除役階段，仍將依法定期檢送放射性廢氣排放資料，送主管機關(原能會)審查。

3. 除役各階段放射性液體排放量及廠外民眾劑量評估

核二廠除役之除役過渡階段與除役拆廠階段，放射性液體排放之來源包括：

- (1) 用過核子燃料從反應器移除清空與系統洩水作業；
- (2) 除役期間廢棄物處理系統之運轉，並含該系統之例行維護與測試；
- (3) 機組運轉執照屆期後，用過核子燃料池安全系統改善與隔離後之運轉；
- (4) 用過核子燃料從用過核子燃料池全部移出至乾式貯存設施之作業；
- (5) 其餘特殊工作，如隔離循環迴路及相關電路之洩水作業、循環管路除污等；
- (6) 放射性廢棄物處理之主要作業，包括：
 - A. 用過離子交換樹脂、珍珠岩及沉積物處理，
 - B. 各種放射性廢液處理，
 - C. 各種放射性固體廢棄物處理。

分析核二廠在除役階段中的放射性液體排放來源，其與例行運轉之放射性液體排放來源存在差異，包括：

- (1) 因反應器停機後，已無核分裂反應，分裂產物及活化產物活度將隨時間自然衰變。(如 Mn-54、Co-58、Cr-51、Fe-59、I-131、Zr-95 及 Nb-95)。
- (2) 機組運轉執照屆期後 H-3 的排放將會逐步減少。
- (3) 由核二廠歷年環境監測數據，以及本公司於 106 年大修期間執行本計畫之現場輻射特性調查作業結果，預期核二廠除役期間存在超鈾核種的可能性極低。惟保守起見，將於核二廠進入機組運轉執照屆期後，執行輻射調查作業，以確實分析是否存在超鈾核種，另為確保系統除污作業與拆除作業期間之輻射安全，除役過渡階段與除役拆廠階段仍將比照例行運轉期間，保留廢氣、廢液處理系統。參考國際電廠除役經驗，以式 10-1 進行每年放射性液體之排放活度估算。

考量除役期間與例行運轉期間之放射性液體排放來源之差異，依據 NUREG-0586 Supplement 1[1]報告 Table G-15，大部分除役中電廠，其放射性液體或氣體之排放量，皆較例行運轉中的電廠少。故保守以例行運轉的放射性液體排放量近 5 年數據之平均值活度(Bq)，作為除役作業之各核種初始活度(Bq)。除役各階段的初始時間(T₂)依據規劃分別為，除役過渡階段 T₂ (phase1)為 0 y、除役拆廠階段，T₂ (phase2)為 8 y、廠址最終狀態偵測階段 T₂ (phase3)為 20 y、廠址復原階段 T₂ (phase4)為 23 y。表 10-6 為核二廠 102 年至 106 年之各放射性液體排放平均值活度(Bq)及其半化期，表 10-7 為除役各階段預估每年排放至水中之核種最大活度。

當核種排放至水中，經由公式(式 10-6)估算年劑量如下：

$$D_{irp} = C_{ip} \cdot U_p \cdot DCF_{irp} \quad (\text{式 10-6})$$

i、r、p＝核種、器官、輻射曝露途徑。

D_{irp}：核種i，輻射曝露途徑p，器官r之年劑量率mSv/y。

C_{ip}：核種i，輻射曝露途徑p之濃度，放射性廢液排放口之各核種排放濃度，應以實際廢液排放活度濃度、排放流量率與其排放時間之

乘積，除以稀釋用水流量與實際廢液排放流量之和計算，單位為 Bq/m^2 、 Bq/m^3 或 Bq/L 。

U_p ：輻射曝露途徑 p 之年使用量因子(Usage Factors)，單位： m^3/y 、 h/y 、 L/y 、 kg/y 。

DCF_{irp} ：核種 i ，輻射曝露途徑 p ，一般人器官 r 之等價劑量係數或有效劑量係數 mSv/Bq 。

考量各類曝露途徑後(如食用海生物、海濱遊憩及游泳等對民眾之影響)，將最保守的年齡群(成人)視為關鍵群體，表 10-8、表 10-9 分別為除役各階段由放射性液體排放所造成之關鍵群體有效劑量與器官等價劑量評估結果列表。

保守預估核二廠兩部機組於除役四個階段(除役過渡階段、除役拆廠、廠址最終狀態偵測與廠址復原階段)因放射性廢液排放造成關鍵群體之有效劑量，最保守年齡群為成人，其年有效劑量分別為 $4.65 \times 10^{-3} \text{ mSv/y}$ 、 $1.43 \times 10^{-3} \text{ mSv/y}$ 、 $3.07 \times 10^{-4} \text{ mSv/y}$ 與 $2.13 \times 10^{-4} \text{ mSv/y}$ ；對於最關鍵之器官等價劑量，最保守年齡群亦為成人，不同階段最保守的器官等價劑量分別為 $6.29 \times 10^{-3} \text{ mSv/y}$ (骨表面)、 $2.29 \times 10^{-3} \text{ mSv/y}$ (皮膚)、 $8.23 \times 10^{-4} \text{ mSv/y}$ (皮膚)與 $6.81 \times 10^{-4} \text{ mSv/y}$ (皮膚)，皆符合放射性液體排放管制劑量限值，對民眾劑量影響均遠低於環境背景值的劑量貢獻。未來本公司在核二廠除役階段仍將依法定期檢送放射性廢液之排放資料，送主管機關(原能會)審查。

(二) 除役放射性廢棄物廠內運送之輻射劑量評估

有關除役作業之放射性廢棄物廠內運送造成民眾輻射劑量影響，依「游離輻射防護安全標準」[2]第 12 條對於一般人劑量限値之規定，即輻射作業對廠界外關鍵群體一年內之有效劑量不得超過 1 mSv ，並且依 13 條之規定以模式計算關鍵群體之個人有效劑量；並且須依據「核能電廠環境輻射劑量設計規範」[3]，廠址內各項輻射作業對廠外民眾之整體劑量不得超過每年 0.5 mSv 之要求，以符合合理抑低原則。

1. 運送輻射劑量評估方法論

放射性廢棄物運送對一般民眾之劑量影響評估模式係參照 NUREG-0170[4]報告，其基礎劑量率公式如式 10-7 所示，可以此公式評估廢棄物表面外不同距離處之輻射劑量率，以確認規劃之運送作業是否符合法規規範：

$$DR(r) = \sum_i F_i \cdot DR_{p \text{ or } v} \cdot e^{-\mu_i r} \cdot B_i(r) \cdot \frac{k_0}{r^m} \quad (\text{式 10-7})$$

其中：

$DR(r)$	距離低放射性廢棄物容器表面 r 處的劑量率(mSv/h)
i	分別為加馬光子射源(g)或中子射源(n)
r	受曝露對象與射源體中心之間的距離(m)
F_i	分別為加馬光子分率(Gamma Fraction)與中子分率(Neutron Fraction)
$DR_{p \text{ or } v}$	在距離包件(p)或運送車輛(v)表面 1 m 處的最大劑量率，亦即運送指數 TI(mSv/h)
$B_i(r)$	加馬光子射線或中子射線之空氣中增建因數
μ_i	加馬光子射線與中子射線的空氣線性衰減係數(m^{-1})
k_0	包件形狀因數 點射源為 $[1+0.5 \times (\text{有效特性尺寸})]^2 (m^2)$ 線射源為 $1+0.5 \times (\text{有效特性尺寸}) (m)$
m	點射源時劑量率與距離平方呈反比，則 $m=2$ 線射源時劑量率與距離呈反比，則 $m=1$

為保守估算，通常將射源體視為等向性點射源或等向性線射源，在簡化分析之模型中，可由包件或運送車輛之最大尺寸來描述虛擬等向性球狀輻射場的半徑，此處之 TI 值為該球狀輻射場表面外 1 m 處的劑量率。但當包件或運送車輛之最大尺寸超過一定程度時，劑量可能高估，可由有效特性尺寸(d_e)來進行修正，如式 10-8：

$$\begin{aligned} d_{p \text{ or } v \text{ or } cv} \leq 4 \text{ m}, \quad d_e &= d_{p \text{ or } v \text{ or } cv} \\ d_{p \text{ or } v \text{ or } cv} > 4 \text{ m}, \quad d_e &= 2 \left(1 + 0.5 \cdot d_{p \text{ or } v \text{ or } cv} \right)^{\frac{3}{4}} - 0.5 \end{aligned} \quad (\text{式 10-8})$$

其中：

$d_{p \text{ or } v \text{ or } cv}$ 包件(p)或運送車輛(v)之最大尺寸，或運送車輛面對駕駛的最大尺寸(cv) (m)

d_e 有效特性尺寸(m)

而針對近距離曝露之情況，以下列方程式決定以點射源或線射源進行劑量評估，如式 10-9：

其中：

$$\begin{cases} r > 2d_e, \text{ 以點射源評估} \\ r \leq 2d_e, \text{ 以線射源評估} \end{cases} \quad (\text{式 } 10-9)$$

其中：

r 車輛/包件中心與受曝露對象的距離(m)。

2. 運送輻射劑量評估結果

核二廠除役所產生之放射性廢棄物數量估算，如本計畫第九章、一節所描述放射性廢棄物之類別、特性與數量，並依據本計畫第九章、四、(一)節之低放射性廢棄物運送規劃，進行對廠界外關鍵群體之劑量影響評估。

除役產生之低放射性廢棄物經除污或包裝處理後，裝入合格之包裝容器，運送至既有或新建低放射性廢棄物貯存庫(含新設廢液處理系統、廢粒狀樹脂濕式氧化暨高效率固化系統(WOHESS))進行貯存，此部分運送將僅限於廠內運送作業，本公司將參考核二廠既有之「370.9 低放射性廢棄物廠內運送作業程序」[5]運送作業程序書辦理。惟目前無法確定未來除役時將採用之包裝容器，本章進行低放射性廢棄物包裝之容器，係依照本計畫第九章、三節、(三)節低放射性廢棄物(含超 C 類)包裝容器規劃，來模擬一組包裝容器，並據以進行作業人員與民眾劑量評估。

其中廠內低放射性廢棄物運送劑量評估，係參考本計畫第九章、四節所規劃的除役低放射性廢棄物將運送至 2 號、3 號低放射性廢棄物貯存庫與新建低放射性廢棄物貯存庫貯存，最長路徑長約為 1,280 m，本計畫第九章、圖 9-14 為運送路線圖，評估時假設所有廢棄物都運送至最遠之 2 號低放

性廢棄物貯存庫，並以每一路段最近廠界處(基金公路)視為關鍵群體，假設廠內運送平均車速 20 km/h，進行經過每段路段長所需時間與劑量率之乘積計算，表 10-10 為上述各種低放射性廢棄物貯存容器基本資料，表 10-11 為各種低放射性廢棄物貯存容器於每單一容器單次運送對最近廠界處之劑量評估結果，分別為：3 m³ 鋼箱： 1.802×10^{-4} μSv/次、7 m³ 鋼箱： 2.215×10^{-3} μSv/次、55 加侖桶： 2.359×10^{-3} μSv/次。

依據本計畫第九章內容描述進行低放射性廢棄物總量估算條件下，盛裝容器所需數量分別為 3 m³ 鋼箱 233 個、7 m³ 鋼箱 4,055 個、55 加侖桶 28,872 個。參考核二廠運轉之低放射性廢棄物廠內運貯程序及國際經驗，分別以貨櫃運送各式容器，每一批次分別可運送 3 m³ 鋼箱 1 個(共計運送 233 次)、7 m³ 鋼箱 1 個(共計運送 4,055 次)、55 加侖桶 15 桶(共計運送 1,925 次)，對民眾劑量影響分別為 3 m³ 鋼箱： 4.2×10^{-5} mSv、7 m³ 鋼箱： 8.98×10^{-3} mSv、55 加侖桶： 4.54×10^{-3} mSv。故除役期間執行廠內運送各式低放射性廢棄物盛裝容器所造成之民眾劑量影響為 1.36×10^{-2} mSv；依本公司規劃廠內運送作業主要於除役拆廠階段 12 年進行，推估廠內運送對民眾平均年劑量影響為 $1.36 \times 10^{-2}/12 = 1.13 \times 10^{-3}$ mSv/y。

(三) 除役各階段廢棄物處理與貯存設施之輻射劑量評估

核二廠目前主要設施包括一號、二號機反應器廠房、輔助廠房、汽機廠房、氣渦輪發電機組、廢料廠房、燃料廠房、低放射性廢棄物貯存庫(包括 1、2、3 號低放射性廢棄物貯存庫)、減容中心；另亦已完成第一期用過核子燃料乾式貯存設施的建造許可申請。核二廠除役階段廠內廢棄物處理與貯存設施包括原有 2、3 號低放射性廢棄物貯存庫與減容中心，以及未來規劃的新建低放射性廢棄物貯存庫及第二期用過核子燃料室內乾式貯存設施(含再取出單元)等，有關 1 號低放射性廢棄物貯存庫，除役期間規劃不使用，所有除役廢棄物將運送至 2、3 號低放射性廢棄物貯存庫與新建低放射性廢棄物貯存庫，1 號低放射性廢棄物貯存庫之廢棄物亦會清除，移至其他貯存庫。

因應除役放射性廢棄物所需之處理、減容、貯存之需求，本公司預計申請興建之設施如第二期用過核子燃料室內乾式貯存設施與新建低放射性廢棄物貯存倉庫。未來相關設施將符合「放射性物料管理法」，另案向主管機關(原能會)提出申請放射性廢棄物處理、貯存設施之興建。

本節依照本計畫第十七章之核二廠保留區規劃，評估對民眾之輻射劑量評估，上述結果須符合「放射性廢棄物處理貯存及其設施安全管理規則」、「游離輻射防護安全標準」、「核能電廠環境輻射劑量設計規範」之規範。

1. 輻射劑量評估方法論

- (1) 廢棄物處理與貯存設施之劑量評估，係針對貯存期間對於廠界外民眾關鍵群體的曝露途徑及其輻射劑量影響評估，主要曝露途徑為直接輻射與向天輻射。
- (2) 本計畫預期興建設施之直接輻射劑量評估，方法主要採用點核仁法，採用商業化工具程式如 QAD-CG 系列與 Microshield 程式。依據 NUREG-1536、NUREG-1567 等報告指出 QAD-CG 系列程式(包含 QADCG/INER-3 與 QAD-CGGP-A)為用過核子燃料乾式貯存設施等屏蔽設計使用；Microshield 程式則為於 EPR、APWR、AP1000 電廠新申請興建之安全分析報告所採用。
- (3) 本計畫預期興建設施之向天輻射劑量評估，方法主要採用係數積分法，採用商業化工具程式如 SKYDOSE 程式與 MicroSkyshine 程式。其中，SKYDOSE 程式為美國核管會所認可之劑量評估程式；而 MicroSkyshine 程式，則於 EPR、APWR、AP1000 電廠新申請興建之安全分析報告所採用。
- (4) 本公司將依據「放射性廢棄物處理貯存及其設施安全管理規則」之規定，處理、貯存設施之輻射防護設計，應確保其對設施外一般人所造成之個人年有效劑量，不得超過 0.25 mSv，並符合合理抑低原則，表示對於核二廠中單一設施，年有效劑量限值係 0.25 mSv/y。

- (5) 本公司將依據「游離輻射防護安全標準」[6]之規定，設施經營者於規劃、設計及進行輻射作業時，對一般人造成之有效劑量不得超過 1 mSv。
- (6) 本公司仍將依據「核能電廠環境輻射劑量設計規範」[3]之規範，任一核能電廠廠址，不論有多少部輕水式核反應器機組及其他附屬設施，其所造成廠界外非限制區域中，任一民眾的年有效劑量評估值總和不得超過 0.5 mSv/y/廠址。
- (7) 本公司因應除役放射性廢棄物所需之處理、減容、貯存之需求，預計申請興建之設施如第二期用過核子燃料室內乾式貯存設施(含再取出單元)、新建低放射性廢棄物貯存庫。本公司對上述設施對民眾影響之年劑量限值將遵照法規要求。
- (8) 本公司因應除役放射性廢棄物暫存所需，設置待外釋廢金屬暫貯倉庫及鋼筋混凝土塊分離場，本公司將依據「一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法」之規定，經提出外釋計畫，報請主管機關(原能會)核准並據以執行後，始得外釋。
- (9) 對於除役期間具有放射性廢棄物之處理/貯存設施及輻射作業，將評估個別其對於最近廠界造成關鍵群體的最高劑量。並確保所有設施與作業對任一民眾的年有效劑量評估值總和，每年不得超過 0.5 mSv/廠址之規定，表示對於核二廠整體廠址(所有設施)，年有效劑量限值係 0.5 mSv/y。
- (10) 對於除役期間仍保留之貯存設施，如 2、3 號低放射性廢棄物貯存庫、減容中心及第一期用過核子燃料乾式貯存設施，其對廠界民眾之劑量估算，沿用過去本公司在新建設施建造與/或運轉申照或十年換照文件中之結果與數據。

2. 核二廠除役期間繼續營運之設施與營運現況

(1) 2 號低放射性廢棄物貯存庫

2 號低放射性廢棄物貯存庫於 77 年興建，並經物管局審查通過於 83 年核准啟用；詳細位置如本計畫第一章、圖 1-2。2 號低放射性廢棄

物貯存庫位於核二廠東南方，為兩層鋼筋混凝土建築(地上二層)，地上一層樓建物之西、南、北方向均埋入山坡土石內。各樓層依各項作業功能需求劃分為：地上二樓為中央控制室、樓梯間與人員通道、廢棄物桶貯存區；地上一樓為廢棄物裝卸區(車道間)、保健物理計測室、貯存區(第 2 貯存區、第 3 貯存區)、檢整區、檢查區、以及待運區(暫存區)。貯存庫內第 1、3 及第 4 貯存區存放表面劑量率 20 mSv/h 以下之廢棄物桶，第 2 貯存區存放表面劑量率 1 Sv/h 以下之廢棄物桶。貯存庫內有四個廢棄物桶貯存區，每一區規劃可貯存 10,000 桶，合計規劃總容量可貯存達 40,000 桶，貯存總活度設計值 1.82×10^{15} Bq (49,286 Ci)。

貯存庫運轉操作採遙控作業方式，操作員可在控制室利用電腦及閉路電視監視貯存作業之進行，並具有遙控存放或取出庫房內廢棄物桶的設計。依據主管機關(原能會)106 年核准之「核二廠二號低放射性廢棄物貯存庫十年再評估報告」[7]，該報告利用 QAD-CG 程式評估在滿貯設計活度的廢棄物時，貯存庫對廠外環境造成的直接輻射劑量，利用 SKYDOSE 程式評估向天輻射劑量，對於正常運轉時廢棄物桶之貯存，評估廠界偵測點位置共有 3 處，包括距離 2 號低放射性廢棄物貯存庫最近之基金公路(2 號低放射性廢棄物貯存庫北方 590 m)、北展館(2 號低放射性廢棄物貯存庫西北方 1,407 m)，以及頂寮(西北方 1,754 m)。表 10-12 為 3 處廠界劑量之評估結果，其中以評估劑量最大之基金公路位置之劑量結果最高，依此位置作為關鍵群體評估點，劑量為 8.48×10^{-4} mSv/y。詳細內容請參閱主管機關(原能會)106 年核准之「核二廠二號低放射性廢棄物貯存庫十年再評估報告」[7]。

(2) 3 號低放射性廢棄物貯存庫

3 號低放射性廢棄物貯存庫於 90 年興建，並於 95 年經主管機關(原能會)核准啟用；詳細位置如本計畫第一章、圖 1-2。3 號低放射性廢棄物貯存庫位於核二廠東南方，其北面向海，南面為減容中心，距南面約 230 m、北面約 300 m 為核二廠廠界。貯存庫面積為 5,000 m² (100 m

× 50 m)，為四層鋼筋混凝土建築結構(地下一層，地上三層)。各樓層依各項作業功能需求而劃分為廢棄物裝卸和檢查區、乾性廢棄物檢整區、外運作業區、公共設施區、人員作業區、保健物理管制站及貯存區。於地面三樓貯存區規劃貯存表面劑量率 ≤ 2 mSv/h 之固化或乾性廢棄物桶，地面一、二樓貯存區規劃貯存表面劑量率 ≤ 20 mSv/h 之固化或乾性廢棄物桶，地下層貯存區規劃貯存表面劑量率 ≤ 500 mSv/h 之廢棄物桶；貯存庫東側地下一樓到地面三樓為挑高之裝櫃區及貨櫃貯存區，規劃貯存貨櫃表面劑量率 ≤ 2 mSv/h 之貨櫃，貨櫃暫存區可置放 20 ft 貨櫃 48 櫃。貯存庫規劃總容量可貯存達 39,133 桶，貯存總活度設計值 5.09×10^{15} Bq (137,457.22 Ci)。

貯存庫運轉操作採遙控作業方式，操作員可在控制室利用電腦及閉路電視監視貯存作業之進行，並具有遙控存放或取出庫房內廢棄物桶的設計。依據主管機關(原能會)106 年核准之「核二廠三號低放射性廢棄物貯存庫十年再評估報告」[8]，該報告利用 QAD-CG 系列程式評估貯存庫在滿貯設計活度的廢棄物時對廠外環境造成的直接輻射劑量，利用 SKYDOSE 程式評估向天輻射劑量，對於正常運轉時廢棄物桶之貯存，評估廠界偵測點位置共有 4 處，包括 3 號低放射性廢棄物貯存庫正南向廠界(3 號低放射性廢棄物貯存庫南方 230 m)、距離 3 號低放射性廢棄物貯存庫最近之基金公路(3 號低放射性廢棄物貯存庫北方 300 m)、北展館(3 號低放射性廢棄物貯存庫西北方 1,318 m)，以及頂寮(西北方 1,662 m)。表 10-13 為 4 處廠界劑量之評估結果，其中以南方廠界位置之劑量結果最高，依此位置作為關鍵群體評估點，劑量為 1.25×10^{-4} mSv/y。詳細內容請參閱主管機關(原能會)106 年核准之「核二廠三號低放射性廢棄物貯存庫十年再評估報告」[8]。

(3) 減容中心放射性廢棄物處理設施

本公司目前於核二廠設有減容中心，其焚化爐處理可燃低放射性廢棄物之容量基準為 100 kg/h，另超高壓壓縮機壓縮能力為 1,500 ton，每小時可處理 5~10 桶廢棄物。

低放射性廢棄物減容設施之設計準則與需求，參考主管機關(原能會)104 年審核同意之「核二廠減容中心放射性廢棄物處理設施安全分析報告」，評估未來核二廠設置低放射性廢棄物減容設施對廠界環境劑量影響，以提升除役計畫規劃之安全可靠度。核二廠減容中心廠房之設計，係以混凝土作為廠房設施主體結構；暫存之放射性可燃廢棄物以 Co-60 為代表核種，並利用 QAD-CG 系列程式與 SKYDOSE 程式進行屏蔽計算及廠界輻射劑量計算，計算結果顯示設施對廠界(北向 580 m 之基金公路)之輻射劑量結果為 2.2×10^{-4} mSv/y，符合法規的設計限值 0.25 mSv/y。

3. 核二廠目前興建中之設施

(1) 第一期用過核子燃料乾式貯存設施

主管機關(原能會)已於 104 年 08 月 07 日核發核二廠第一期用過核子燃料乾式貯存設施之建造執照，本場址西南側鄰近一、二號機組，東南側為三號機預定地，北側跨過小山丘後為基金濱海公路及循環水出水口，場址面積為 0.84 ha，水土保持計畫面積與計畫場址面積相同，包括貯存平台面積約 0.2 ha 及其他草坪面積約 0.64 ha，貯存平台面積可細分為貯存設施基座平台面積 0.11 ha 及進場基座平台面積約 0.09 ha。貯存場設計為可貯存 27 組護箱。

依據「核二廠用過核子燃料乾式貯存設施安全分析報告」[9]，本貯存設施係參考美國 NAC 公司設計之 MAGNASTOR 用過核子燃料乾式貯存系統做為貯存容器，設計壽命為 50 年，規劃設置 27 組混凝土護箱，每一混凝土護箱可裝載 87 束用過核子燃料束，共可提供 2,349 束用過核子燃料之貯存容量。依據本安全分析報告之評估說明，貯存設施裝載之用過核子燃料束，可涵蓋最大燃耗度 35,000 MWD/MTU，最少冷卻時間 20 年，U-235 最大初始平均鈾濃縮度 3.25%之規格條件。於此條件下之每護箱熱負載低於 14.6 kW。

此外，安全分析報告中，亦針對乾貯設施廠界輻射劑量率之設計基準有所規範：對最近廠界造成之輻射年劑量，須低於台電公司之承諾值 0.05 mSv。乾貯設施於屏蔽設計時，核二廠最近廠界為距離約 107.25 m 之舊基金公路。經採用 SAS2H/ORIGEN-S 評估用過核子燃料輻射源項燃料，包括加馬射源、燃料中子射源及其他結構物(Hardware)加馬等射源項，採用三維蒙地卡羅 MCNP(Monte Carlo Neutral-Particle Transport Code System)程式評估護箱表面輻射劑量後，再以 NAC-CASC 程式評估貯存護箱屏蔽需求與貯存設施對廠界民眾輻射影響。評估結果為本公司預計於第一期建造之用過核子燃料乾式貯存設施，對廠界舊基金公路位置造成之年輻射劑量為 $4.58 \times 10^{-2} \pm 4.5\%$ mSv，符合低於 0.05 mSv 之要求。

4. 核二廠除役期間預計興建之設施

(1) 新建低放射性廢棄物貯存庫

配合本公司預估核二廠兩部機組於除役期間所產生的低放射性廢棄物總量，擬申請一座新建低放射性廢棄物貯存庫；將依據本計畫第九章、四節之低放射性廢棄物貯存設施規劃，興建一座貯存容量為 125,000 桶之低放射性廢棄物貯存庫。新建貯存庫規劃座落於東區貨櫃集散區，第二期用過核子燃料室內乾式貯存設施西方，建造六層樓鋼筋混凝土造建物，地下二層及地面四層，尺寸長約 143.6 m × 寬約 106.6 m，設施面積約 15,308 m²，此新建低放射性廢棄物貯存庫設計規劃，與現有之低放射性廢棄物貯存庫的主要差別在於：必須考量貯存 A、B、C 及超 C 類廢棄物，且須因應除役低放射性廢棄物的屬性，存在許多類型、尺寸之低放射性廢棄物；故本公司參照國際經驗，初步選定 55 加侖桶、3 m³ 鋼箱及 7 m³ 鋼箱等，作為未來除役可能採用的低放射性廢棄物盛裝容器(未來有可能會視實際細部計畫變更之)。

於設計準則與需求方面，本公司規劃新建放射性廢棄物貯存庫之廢棄物容器貯存區溫度與濕度控制，將採中央空調設計，以控制廢棄物貯存的空氣環境，防止貯存容器腐蝕，確保貯存廢棄物容器之完整；

並以合理抑低策略及最佳化管理，規劃設計工作人員可能接受的輻射劑量與廢棄物容器的貯存環境，降低對環境安全及工作人員的影響。另新建低放射性廢棄物貯存庫之輻射安全設計，將符合「放射性廢棄物處理貯存及其設施安全管理規則」[10]之規定。

本公司初步依據新建放射性廢棄物貯存庫之需求進行概念設計，在概念設計中，新建貯存庫各樓層所規劃貯存之廢棄物容器除 55 加侖桶裝廢棄物外，表面劑量率須低於 10 mSv/h；超 C 類、C 類及 B 類廢棄物貯存於 3 m³ 鋼箱，並置於地下二樓。分析除役低放射性廢棄物的主要核種為 Co-60、Co-58、Cs-137、Mn-54 等，保守假設以 Co-60 為代表核種進行概念設計分析，分析工具採用 QAD-CG 程式進行屏蔽分析及廠界直接輻射劑量計算，採用 SKYDOSE 程式進行廠界向天輻射劑量計算；計算結果顯示若新建貯存庫外混凝土牆厚度 80 cm、屋頂 80 cm，可提供足夠的屏蔽需求，並使貯存庫的外表面輻射劑量率小於核二廠監測區之劑量率限值(0.005 mSv/h)。採用 QAD-CG 程式評估對廠界(最近距離之基金公路)位置的環境輻射劑量結果顯示，造成廠界環境最近距離位置評估計算結果為 4.67×10^{-2} mSv/y，符合法規設計限值 0.25 mSv/y。

因核二廠目前尚處於運轉階段，於機組運轉執照屆期後會依據停機後輻射特性調查資料，進行核二廠除役低放射性廢棄物數量細部盤點，若屆時評估需興建此貯存庫，本公司將依據「放射性物料管理法」及相關法規之規定，另案向主管機關(原能會)提出申請。

(2) 第二期用過核子燃料室內乾式貯存設施(含再取出單元)

依據除役計畫第九章、五節所規劃之用過核子燃料貯存，將規劃以三、四號機預定地東邊為第二期用過核子燃料室內乾式貯存設施，視目前需求預計可貯存約 11,000 束用過核子燃料及部分的超 C 類低放射性廢棄物。由於未來貯存設施使用之護箱型式未定，本節即以三種不同型態之貯存護箱與配置，配合蒙地卡羅計算機程式，保守評估貯存護箱置於室內建物時，對舊基金公路(玉田路)之廠界輻射劑量率。三種

貯存護箱配置分別為：HI-STORM 100 混凝土護箱(裝載 68 束)、HI-STAR 100 金屬護箱(裝載 68 束)，以及 MAGNASTOR 混凝土護箱(裝載 87 束)，總護箱桶數約為 127~195 組。此三種型式貯存護箱為本節分析假設使用，待貯存護箱型式確定，再修訂除役計畫相關內容。

為確保用過核子燃料乾式貯存設施對環境的影響符合法規規範值，本公司初步依據第一期用過核子燃料乾式貯存護箱設計概念，包括混凝土護箱及金屬護箱，採用室內貯存概念設計方案進行相關劑量評估。分析方法係以 SAS2H/ORIGEN-S 程式進行用過核子燃料射源項分析，初步將用過核子燃料區分為 A、B、C 三類，包含燃料型式、燃耗、鈾濃縮度、冷卻時間等數據，彙整分析後製作成輸入檔，經計算模型之建立及程式運跑後，即可得到各種類射源項之強度與能量分佈；再以 DORT 程式計算護箱表面劑量率，由貯存護箱資訊，包含尺寸、材質、屏蔽設計等，彙整後建立護箱之計算模型，配合前述所得之射源項，經程式運跑後可以獲得貯存護箱頂端與側邊穿出護箱之各項粒子資訊，包含強度與能量分佈等；最後以 SCALE 程式之 MARVIC 模組計算採用室內貯存概念設計時對廠界造成之劑量影響，蒐集各種類護箱配置，並預先決定室內乾式貯存建物之位置、尺寸、材質與屏蔽厚度等，彙整後建立廠界輻射劑量率之計算模型，配合護箱頂端與側邊各種類粒子資訊作為射源項，經程式運跑後，可得各種類之射源項對廠界輻射劑量率之劑量率貢獻。

依據第一期用過核子燃料乾式貯存設施之安全分析經驗，預估金屬護箱具備高傳導熱的能力但其護箱表面輻射劑量率較高，而混凝土護箱與混凝土模組則呈現相反的趨勢。據此，第二期用過核子燃料室內乾式貯存設施採用金屬護箱的設計概念，進行輻射劑量影響評估可為具保守性之衡量指標。此外，考慮到未來貯存設施使用之護箱型式未定，本公司亦將混凝土護箱納入評估。各系統乾式貯存設施在設置適當混凝土建物外牆及屋頂之厚度後，對舊基金公路(玉田路)之廠界輻射劑量率評估結果分別為：

- 若 HI-STAR 100 金屬護箱之混凝土建物外牆厚度為 120 cm、屋

頂厚度為 50 cm，廠界輻射劑量率為 0.0438 mSv/y。

- 若 HI-STORM 100 混凝土護箱之混凝土建物外牆厚度為 60 cm、屋頂厚度為 45 cm，廠界輻射劑量率為 0.0345 mSv/y。
- 若 MAGNASTOR 混凝土護箱之混凝土建物外牆厚度為 60 cm、屋頂厚度為 45 cm，廠界輻射劑量率為 0.0413 mSv/y。

由上述結果可知，各系統乾式貯存設施在具備足夠之混凝土建物外牆及屋頂厚度後，其最近廠界造成之輻射劑量率均可符合法規的設計限值 0.25 mSv/y。

因核二廠目前尚處於運轉階段，於機組運轉執照屆期後會依據實際用過核子燃料數量，評估第二期用過核子燃料室內乾式貯存設施之設計基準。未來若有需要，本公司將依據「放射性物料管理法」及相關法規之規定，另案向主管機關(原能會)提出申請。

(3) 待外釋廢金屬暫存倉庫/鋼筋混凝土塊分離場/土石堆置場

依據國際核電廠除役案例經驗，絕大多數除役廢棄物可以依據「一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法」及遵循「一定活度或比活度以下放射性廢棄物外釋計畫導則」申請廢棄物外釋，確保達到廢棄物減量及資源再利用，故本公司規劃設置待外釋廢金屬暫存倉庫，執行廢金屬外釋前偵檢量測作業，另規劃設置鋼筋混凝土塊分離場，處理鋼筋混凝土分離作業及外釋前偵檢量測作業。上述二設施處理的廢棄物均為可外釋之廢棄物，其對廠界外民眾劑量影響應可忽略。

土石堆置場堆置土石依作業規劃，其活度將低於 100 Bq/kg，於保守估計下，對於廠界不會造成輻射劑量影響。

4. 除役各階段處理與貯存設施對廠外民眾劑量之預估分析

表 10-14 為核二廠除役各階段相關處理與貯存設施運轉規劃時程，在除役過渡階段規劃貯放除役廢棄物之既有設施如：2 號低放射性廢棄物貯存庫、3 號低放射性廢棄物貯存庫、減容中心及第一期用過核子燃料乾式貯存設施，如本章第一、(三)節所述之核二廠既有貯存設施與營運現況，加總各設施最

大貯存量與安全評估計算值，合計對最近廠界位置之民眾劑量影響為 4.7×10^{-2} mSv/y。在除役拆廠、廠址最終狀態偵測與廠址復原三階段，如本章第一、(三)節所述，若以最大可能性規劃興建運轉設施如：新建低放射性廢棄物貯存庫、第二期用過核子燃料室內乾式貯存設施(含再取出單元)，以及待外釋廢金屬暫存倉庫/鋼筋混凝土塊分離場，再加上既有之 2、3 號低放射性廢棄物貯存庫、第一期用過核子燃料乾式貯存設施及減容中心之輻射貢獻，合計對最近廠界位置民眾劑量影響為 1.37×10^{-1} mSv/y。最後，彙整核二廠除役各階段相關處理與貯存設施運轉，對廠界民眾年劑量影響如表 10-15，顯示各階段不僅各設施之廠界民眾劑量，均低於法規限值 0.25 mSv/y/設施，且各階段所有設施對廠界關鍵民眾之總輻射影響值，分別為 4.7×10^{-2} 、 1.37×10^{-1} 、 1.37×10^{-1} 及 1.37×10^{-1} mSv/y，亦均低於對一般民眾及廠界周圍環境輻射劑量影響限值 0.5 mSv/y。

(四) 除役計畫對民眾輻射劑量影響總結分析

核二廠除役各階段活動對民眾輻射劑量影響包括：放射性氣、液體排放、低放射性廢棄物廠內運送及相關放射性廢棄物處理與貯存設施，彙整評估結果如表 10-16。

有關關鍵群體分析結果，以 102 年至 106 年惰性氣體、放射性碘、氬及微粒廢氣排放影響，假設關鍵群體係落於北方 600 m 處廠界附近，而放射性廢液排放影響之假設關鍵群體則位於出水口附近；低放射性廢棄物廠內運送劑量影響之假設關鍵群體位於基金公路；核二廠既有與除役計畫預計興建之放射性廢棄物處理與貯存設施劑量影響之假設關鍵群體，係位於各設施距離最近之基金公路。分析核二廠除役計畫對民眾劑量影響，以廠內既有與預計興建之放射性廢棄物處理與貯存設施為主要來源，故在民眾劑量影響分析上，保守假設以關鍵群體接受各貯存設施、運送作業及氣、液體排放之輻射曝露最大劑量，除役計畫四個階段活動對關鍵群體劑量影響評估結果，分別為除役過渡階段： 7.03×10^{-2} mSv/y、除役拆廠階段： 1.40×10^{-1} mSv/y、廠址最終狀態偵測階段： 1.37×10^{-1} mSv/y，以及廠址復原階段： 1.37×10^{-1} mSv/y。

(五) 輻射管制與監測

核二廠除役計畫將符合「游離輻射防護法」[11]、「核子反應器設施管制法施行細則」[12]、「放射性物料管理法施行細則」[13]、「輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則」[14]、「環境輻射監測規範」[15]之規定，定期執行核二廠環境輻射監測作業，並將參照核二廠既有之輻射防護作業程序辦理，確切掌握廠區各處之輻射與污染狀況，而予以有效管制。

圖 10-2 為本公司在核二廠熱發光劑量計監測站分佈圖(5 km 內)，以確保核二廠運轉期間周圍民眾的輻射安全。本章節所涉及之輻射管制與監測主要針對核二廠廠區內進行，且相關管制措施將於本章第三節進行詳述。廠區外之相關作業，則由本計畫第十一章完整論述。

(六) 紀錄保存

依據「游離輻射防護法」[11]、「游離輻射防護法施行細則」[16]、「輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則」[14]、「放射性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法」[17]等規定訂定，核二廠有關輻射工作場所內規劃之各項輻射防護、偵測及監測紀錄應予以保存。

輻射工作場所須保存輻射防護作業的相關紀錄，保存項目與期限請參考本章第三、(十)節。

二、作業人員劑量評估

本節說明除役活動進行時，各項涉及輻射作業除役活動對於作業人員輻射曝露劑量之影響，其中包含了作業人員劑量評估方法、作業人員劑量影響來源分析、評估數據收集與假設分析、作業人員輻射劑量評估結果及輻射管制作業之管理與紀錄保存。

作業人員劑量，係指在除役各階段，作業人員進行各類除役活動，包含特性調查、除污、拆解、包裝及廢棄物處理等活動時，所接受到之輻射劑量值。該集體有效劑量與除役活動採用之各項工法、拆解流程及作業區域輻射特性有

關。因此，作業人員劑量評估將依據本計畫第三章、第四章完成的廠址歷史運轉資料與輻射特性調查結果，並配合第六章、第八章、第九章所規劃的除役作業時程、除污工法，以及低放射性廢棄物處理、運送、貯存之相關規劃，評估對作業人員之曝露途徑及其輻射劑量。

本公司在執行除役期間，對於作業人員劑量管理，將依據本計畫評估結果及「游離輻射防護法」[11]相關輻射安全規定，並依輻防計畫監督管制，確保所有作業人員接受之輻射劑量符合法規限值，如表 10-17 所示，有效劑量限值為每連續 5 年週期內不得超過 100 mSv，且期間任何單一年內不得超過 50 mSv；眼球水晶體每年不得超過 150 mSv 及皮膚或四肢等價劑量每年不得超過 500 mSv。

(一)核二廠除役作業人員集體有效劑量評估方法

核電廠除役作業人員劑量之評估依據，包括核電廠運轉資料、放射性核種活度與分佈資料、放射性廢棄物數量及除役拆除之策略等資料；再配以拆除之工法、時程與輻射防護因素，以保守方法假設相關參數，評估除役過程各項作業之輻射影響。核二廠除役作業人員集體有效劑量評估公式的建立，係依據 NUREG/CR-0672[18]報告中，說明評估核電廠除役作業人員劑量，應考量在內的相關因素，包含：

1. 除役過程臨時屏蔽的使用
2. 遙控拆除技術的使用
3. 除污作業後，輻射劑量率的下降
4. Co-60 為主要劑量貢獻核種，須考慮隨時間衰變之劑量率下降

因此，參照 NUREG/CR-0672[18]建議應考量之參數，建立核二廠除役作業人員劑量評估公式：

$$D = \sum_i \dot{D}_i \times d_i \times df \times s \times t_i \times 10^{-3} \quad (\text{式 10-10})$$

其中：

D：除役作業人員集體有效劑量，單位為 man-Sv。

$\dot{D}_i$ ：工作項目 i 之預估劑量率，單位為 mSv/h。

d_i ：工作項目 i 之輻射劑量率隨時間衰變下降修正項。

df：除污後劑量率下降修正項。

s：採用臨時屏蔽作業後，劑量率下降修正項。

t_i ：工作項目 i 之預估輻射作業人工時，單位為 man-h。

10^{-3} ：單位轉換，Sv/mSv。

(二)核二廠除役作業篩選與影響來源分析

根據 NUREG/CR-6174[19]，沸水式核電廠若採取立即拆除之除役策略，造成作業人員劑量之主要除役作業可分為用過核子燃料相關處理作業(SNF Management)、除污作業(Other Decontamination Activities)、SSCs 拆除作業(Systems, Structures, and Components Removal)、大型組件拆除作業(Large Component Removal)，以及低放射性廢棄物包裝與運輸作業(Package & Transportation)。除役四階段中，因拆除作業主要於除役拆廠階段進行，作業時間較長且接觸放射性組件的可能性較高，因此，該階段之輻射劑量影響貢獻最大。

除役作業人員接受曝露之途徑分析，依據 NUREG/CR-6174[19]及國際核電廠除役經驗：除役期間對於作業人員造成輻射曝露來源主要為體外曝露。對於可能造成放射性空浮之除役作業，如拆解、除污與廢棄物處理作業時，若均先對作業人員進行防護整備(如穿著防護衣、佩帶合適面具及預作空氣過濾設備與隔離帳篷等)，並執行即時監控；而任務完成後進行全身計測等體內曝露相關偵檢作業。作業人員預期並不會有明顯體內曝露。因此，本章之人員劑量來源與分析，將僅考量直接輻射體外曝露，關於體內曝露之作業防護將描述於本章第三節之輻射防護措施。

以下參照本計畫第六章規劃之核二廠除役工作分解架構(WBS)、除役工法及作業特性，篩選可能造成作業人員曝露的除役活動，並分析各類別活動對作業人員之劑量影響來源。

1.輻射作業篩選

在除役各階段中造成工作人員曝露之工作，主要為除役過渡階段與除役拆廠階段。為分析除役工作是否可能造成作業人員曝露。將除役工作分解架構之除役活動，依照”是否於管制區內作業”與”是否直接處理放射性廢棄物”兩項標準，鑑別工作項目是否有可能造成作業人員輻射曝露。表 10-18 為核二廠除役輻射作業鑑別。各工作項目若在管制區內作業或直接處理放射性污染物質之作業者，則將進行劑量評估，表內”O”符號者代表有可能發生，”X”符號表示不可能發生。對於可能造成放射性空浮之除役作業，如拆解、除污與廢棄物處理作業時，若均先對作業人員進行防護整備(如穿著防護衣、佩帶合適面具及預作空氣過濾設備與隔離帳篷等)，並執行即時監控；而任務完成後進行全身計測等體內曝露相關偵檢作業，以因應空浮之防範作為。

2.輻射作業分類與影響來源分析

核二廠除役作業，因作業特性與曝露來源不同，可區分為一般性輻射作業、接觸性輻射作業、反應器壓力槽與內部組件拆解作業及低放射性廢棄物處理作業四類。以下依照四種作業類型，說明作業特性與曝露來源：

一般性輻射作業：為作業人員在各輻射管制區內執行偵檢、除污、巡視、檢查、系統調整與準備等非定點式作業，且預期不會直接處理具放射性的組件。此時作業人員接受輻射曝露來源，為作業空間中具有放射性之系統、設備與組件的直接曝露而造成劑量，包括用過核子燃料、被活化之反應器壓力槽與其內部組件及受放射性污染之系統、設備、組件等。

接觸性輻射作業：為作業人員在作業過程中預期將直接處理放射性組件，如組件之拆解、量測、處理/判別及整理/分類等作業。此時，作業人員接受來自處理之放射性組件直接輻射曝露。

反應器壓力槽與內部組件拆解作業：依據本計畫第六章規劃，反應器壓力槽與內部組件拆解作業將以遙控方式，於水下執行拆解等作業。此時，作業人員接受來自反應器壓力槽、內部組件與其他活化組件的直接輻射曝

露。惟本項作業，因採水下遙控切割，預估水體將提供大部分屏蔽效果，且可增加作業人員與高輻射廢棄物的距離。

低放射性廢棄物處理作業：廢棄物處理作業，意指拆解廢棄物時，執行包含組件除污、包裝等廠房內作業、運送作業及低放射性廢棄物貯存庫之接收作業。此時，作業人員接受來自廢棄物直接輻射曝露。核二廠除役作業分類如表 10-19：

(三) 數據收集與假設分析

一般性輻射作業、接觸性輻射作業、反應器壓力槽與內部組件拆解作業及低放射性廢棄物處理等作業人員劑量評估所需各項參數，係收集本計畫第四章所述之廠址與設施輻射特性調查結果、第六章工作分解架構等資料。再依據本章第二、(一)節之評估公式進行參數假設與計算。本節將說明在評估此四類型工作之作業人員集體有效劑量時，所需要之數據收集及相關假設參數。

1. 一般性輻射作業

(1) 一般性輻射作業人時

一般性輻射作業人時評估，對於部分作業於核電廠運轉時已有執行經驗，將參照核二廠歷年大修報告、作業程序書等既有報告。其他除役作業則依據核一廠除役計畫中，西屋公司參考國外核電廠除役之經驗，對於各項除役作業所提供之人力需求經驗值；對於同一作業類型執行時，依核一廠與核二廠之廢棄物重量比例或各廠房區域面積比例等，推估核二廠各項作業執行人時。據此原則，核二廠一般性輻射作業之作業人時需求與估算方法，如表 10-20 所示。

例如廠址輻射特性調查(工作編碼 1.1.3)為核電廠輻射廠區之量測作業，其作業時間與量測面積為正比關係。因此，估算核二特性調查作業所需人時，即以(核一廠作業人時)乘上(核二廠與核一廠輻射污染廠房面積比例)。

(2) 一般性輻射作業劑量率

一般性輻射作業代表劑量率，係執行核二廠二號機輻射特性調查時，所獲得的各廠房樓層區域之地面 1 m 處位置劑量率量測數據(因為核二廠執行特性調查之時間點，二號機停機時間較久，其結果較符合除役停機後的量測結果，故兩部機組之作業劑量率以二號機量測劑量率作為代表)。依據輻射特性調查作業，各區域內之偵檢位置佈點；採均勻佈點方式執行；且除役一般性輻射作業特性，為在各作業區域執行偵檢、除污、巡視、檢查、系統調整與準備等非定點式作業。因此，各區域代表劑量率，以該區域量測之平均劑量率來代表。而上述區域劃分，因特性調查作業執行，各區域受限於劑量率量測限制；各區域內佈點在平均佈點前提下，不同區域偵檢點密度不同。為避免因佈點不同造成平均劑量率偏差，區域輻射範圍依照核二廠輻射管制區域劃分為非示警區及輻射區。

核二廠除役作業工作項目，大部分作業為橫跨各廠房、樓層不同輻射區域範圍來執行。跨區作業之代表劑量率評估，依據一般性輻射作業之非定點式作業特性，假設面積越大之區域，其作業時間越長。因此，跨區作業之一般性劑量率，以各區域加權劑量率評估；亦即面積越大的區域，其輻射劑量率的影響越大。核二廠各區域代表劑量率與作業面積，如表 10-21。

例如，汽機廠房除役需求設備修改(工作編碼 1.1.6)預期於汽機廠房各樓層進行。依據表 10-21，其作業橫跨汽機廠房一至四樓，共計 4 個非示警區域。在評估除污作業劑量率時，採各區域面積加權計算其平均劑量率為 6.3×10^{-3} mSv/h。表 10-22 為核二廠除役一般性輻射作業劑量率。

(3) 一般性輻射作業劑量率修正係數假設

A. 放射性核種衰變

參考 NUREG/CR-6174[19]之建議，除役作業人員劑量評估，應考慮放射性衰變造成劑量率下降。惟核二廠除役作業於除役過渡階

段執行期間，一般性輻射作業橫跨時間長，為保守評估；一般性輻射作業劑量率，將不考慮放射性核種衰變。

B. 除污後劑量率下降

除役過渡階段執行拆除前之除污，包含一次系統除污、其他系統初步除污、廠房初步除污等作業。對於一次系統除污使用化學方法，根據本計畫第八章、一、(二)節之規劃，系統除污因子最低要求為 10；其他除污採用高壓水沖洗之機械除污方法，依照國外除污經驗，除污因子介於 1~5。因此，在各污染系統經除污後，來自污染系統之直接曝露劑量率應大幅下降。另外，根據 NUREG/CR-0672[18]，在人員劑量評估相關章節提及拆除前的除污效率應大於 10。本計畫考量除污造成直接曝露劑量率下降，保守對執行除污後之各項作業，假設除污因子為 5 以對相關工作劑量率進行修正。

C. 架設臨時屏蔽

一般性輻射作業為非定點式作業，為保守考量，評估時不考慮臨時屏蔽對劑量率影響。

2. 接觸性輻射作業

(1) 接觸性輻射作業人時

接觸性輻射作業人時評估，係依據本計畫第九章核二廠規劃拆解之放射性廢棄物盤點結果，參照西屋公司於 Forsmark 與 Oskarshamn 電廠，拆解各類廢棄物之人力需求經驗公式，評估拆解核二廠各項廢棄物所需人時與人員組成。西屋公司評估拆解設備人時考量各類別組件之拆解步驟、各步驟工作難易度(生產率)、不同類別人員需求等參數。依此評估模式可各別計算本計畫第九章廢棄物盤點之各項組件，執行拆解所需人員組成及人力需求。核二廠拆解不同廢棄物所需人時，如表 10-23。

(2) 接觸性輻射作業劑量率

接觸性輻射作業為作業人員近距離處理放射性廢棄物。因此，接觸性輻射作業劑量率評估參照本計畫第四章對於規劃拆解個別組件距離 30 cm 劑量率特性調查量測結果，來評估拆解各項設備時，不同類別人員接受的輻射劑量率。

(3) 接觸性輻射作業劑量率修正係數假設

A. 放射性核種衰變

除役各階段工作對於人員劑量影響最甚者，為除役拆廠階段。而除役拆廠階段於停機後 8 年開始執行。放射性物質經長時間的衰變後，劑量率數值將會下降。因此，對於各放射性物質衰減之假設，參考 NUREG/CR-0672[18]以劑量主要貢獻核種 Co-60 之半化期 5.23 年來計算。對於衰減之修正，為保守評估，對於除役拆廠階段所進行之所有除役工作，則假設放射性物質均僅經過 8 年衰變，衰減修正為 0.349，係指 Co-60 衰變 8 年造成劑量率下降的比例，為 $e^{-0.693/5.26*8}=0.349$ 。

B. 除污後劑量率下降

停機階段執行拆除前之除污，包含一次系統除污、其他系統初步除污、廠房初步除污等作業。對於一次系統除污使用化學方法，根據本計畫第八章、一、(二)節之規劃，系統除污因子最低要求為 10；其他除污採用高壓水沖洗之機械除污方法，依照國外除污經驗，除污因子介於 1~5。因此，在各污染系統經除污後，來自污染系統之直接曝露劑量率應大幅下降。根據 NUREG/CR-0672[18]，在人員劑量評估相關章節提及拆除前的除污效率應大於 10，因此，本計畫考量除污造成直接曝露劑量率下降，仍保守假設除污因子為 5，對相關工作劑量率進行修正。

C. 架設臨時屏蔽

在近距離拆解各輻射污染廠房中，具放射性之組件作業時。對於劑量率較高的組件，為達成輻防 ALARA 原則。依照國際除役經驗，皆會於組件熱點架設臨時屏蔽，以降低作業人員拆解時之集體

有效劑量。在核二廠除役作業中，將考量除了反應器壓力槽與其內部組件之拆除以外(活化組件拆除主要屏蔽為水，並非臨時屏蔽，故此處不包含反應器壓力槽與內部組件)，其他廠房中之高放射性組件設備於拆除時，若考量除污作業及核種衰變造成劑量率下降後，其劑量率仍高於核二廠非示警區上限標準(0.05 mSv/h)之組件設備，則考量作業特性、工法、人力規劃等因素，採取適當之屏蔽措施。其屏蔽措施降低劑量率之修正，參考日本濱岡核電廠使用臨時屏蔽之經驗，作業人員拆解設備時距離 30 cm 處劑量率，假設可降低 50%。

3. 反應器壓力槽與內部組件拆解作業

(1) 反應器壓力槽與內部組件拆解人時

反應器壓力槽及其內部組件拆解，屬除役計畫的主要拆解工作項目，因核二廠與核一廠在個別組件切割、包裝、運送作業工法規劃，皆採遙控方式進行。因此，核二廠壓力槽與內部組件人時推估，參考核一廠除役計畫之作業人時，以反應器壓力槽與內部組件廢棄物重量比例，推估此項工作人時為 48,515 man-h。

(2) 反應器壓力槽與內部組件拆解劑量率

反應器壓力槽與內部組件拆解劑量率評估，依據西屋公司於國際核電廠除役或延役電廠更換內部組件經驗，提供之拆解劑量率經驗值。依據西屋公司提供經驗，拆解上半部壓力槽與內部組件，作業人員接受平均劑量率為 0.02 mSv/h、拆解下半部壓力槽與內部組件，作業人員接受平均劑量率為 0.1 mSv/h、而廢棄物運送作業，作業人員接受平均劑量率為 0.05 mSv/h。

4. 低放射性廢棄物處理作業

低放射性廢棄物處理係指廢棄物在拆解後，於廠房內之處理作業、運送與低放射性廢棄物貯存庫接收作業，以及後續之低放射性廢棄物貯存庫管理作業。依照本計畫第九章估算與規劃，除役低放射性廢棄物之總量與裝載容器規劃，如表 10-24。對於各種容器裝載規劃，為保守評估皆採用表 10-24

其所規劃表面最高劑量率為計算基準(惟 55 加侖桶之表面劑量率參照例行運轉數據，依據核二廠 3 號低放射性廢棄物貯存庫例行廢棄物接收紀錄，可依樓層將廢棄物分為三類：3F<2 mSv/h、2F 及 1F<20 mSv/h 與 B1<500 mSv/h 三類；而其中又以<2 mSv/h 占超過 70%之比例為最多，因此，55 加侖桶之裝載劑量評估上，將採用表面劑量率 2 mSv/h 來進行計算)。關於各項作業之劑量評估說明如下：

(1) 廠房內作業

放射性設備、組件與污染混凝土拆除產生之廢棄物，將進行廢棄物之量測、處理/判別、整理/分類、減容、組件除污、包裝運送等作業。廠房內作業造成作業人員曝露之來源，為放射性廢棄物對作業人員造成之直接曝露。由本計畫第九章規劃，除役計畫所使用的低放射性廢棄物貯存容器共有 3 種。

A. 依照各種容器表面劑量率，以 Microshield 軟體模擬四種容器於 5 m 處作業人員停留位置之可能最高劑量率：則 3 m³ 鋼箱劑量率為 3×10^{-2} mSv/h、7 m³ 鋼箱劑量率為 5.29×10^{-1} mSv/h、55 加侖桶劑量率為 6.92×10^{-3} mSv/h。

B. 對於每批次作業能處理數量：3 m³ 鋼箱一批次可處理 1 箱、7 m³ 鋼箱一批次可處理 1 箱、55 加侖桶一批次可處理 3 桶。

C. 廠房內作業所需人時，假設每一批次預估作業人時為 1 man-h。

(2) 運送作業

放射性廢棄物之運送作業人員劑量率，以放射性物質安全運送規則中對於運送司機之劑量率限值 2.0×10^{-2} mSv/h 來進行評估。依照廢棄物處理規劃，運送 3 m³ 鋼箱約 233 批次、7 m³ 鋼箱 4,055 批次、55 加侖桶 1,925 批次。又每批次由三人作業 30 min，因此，工作人時規劃約為 9,320 man-h。

(3) 廢棄物接收作業

廢棄物接收作業：廢棄物裝桶後由廢棄物處理廠房運送至貯存庫，工作包括桶污染擦拭偵測、桶表面劑量率偵測、記錄、桶吊入貯存區

暫存、搬運、貯存等作業。廢棄物接收作業主要可能造成曝露之工作為：廢棄物移入貯存庫時檢視、偵測檢查。廢棄物接收作業劑量評估，參照核二廠例行接收作業評估方式：為降低作業人員之輻射劑量，作業均全面採用遙控自動化設備設計，考量距離及堆高機屏蔽之輻射抑減效果，保守假設人員以遙控方式接收放射性廢棄物，人員接受之劑量率為廢棄物表面劑量率之 1/1,000，接收每批次廢棄物需要 1 人時。

(四)放射性廢棄物處理與貯存設施對作業人員劑量之分析

1. 放射性廢棄物貯存庫管理作業

本節對核二廠除役期間相關之放射性廢棄物處理及貯存設施運轉對作業人員劑量進行評估，對應之工作項目為「低放射性廢棄物處理/貯存設施運轉(工作編碼 2.6)」，表 10-25 為除役期間相關放射性廢棄物處理與貯存設施對作業人員集體有效劑量之評估分析表，各處理或貯存設施對作業人員輻射劑量影響與評估說明如下：

(1) 低放射性廢棄物貯存庫/處理設施

低放射性廢棄物貯存庫包含 2 號、3 號、新建低放射性廢棄物貯存庫與減容中心。造成作業人員曝露主要為管理工作。貯存庫管理作業，作業人員進行一般管理作業位置於控制室，對於管理工作：依據現行管理情形，核二廠低放射性廢棄物貯存庫監控作業，每年為 2,000 man-h 計。而管理作業人員工作位置為各低放射性廢棄物之控制室；控制室之設計基準劑量率為 1.00×10^{-3} mSv/h。因此，對於 2 號、3 號與新建低放射性廢棄物貯存庫，於除役期間進行管理作業 25 年，造成之輻射曝露集體有效劑量，皆為 5.5×10^{-1} man-Sv。對於新建低放射性廢棄物貯存庫，係由除役拆廠階段開始進行約 17 年管理作業，其所造成之作業人員集體有效劑量約為 3.74×10^{-1} man-Sv。對於減容中心，由除役過渡階段開始運轉至除役完成約 25 年管理作業，所造成之作業人員集體有效劑量亦約為 5.5×10^{-2} man-Sv。

(2) 高放射性廢棄物貯存設施

A. 第一期用過核子燃料乾式貯存設施

第一期用過核子燃料乾式貯存計畫共貯存 27 組混凝土護箱之用過核子燃料。依「核二廠第一期用過核子燃料乾式貯存設施安全分析報告」評估結果。設施運轉期間，每年之作業人員集體有效劑量約為 1.453×10^{-3} man-Sv (評估之劑量不含處理異常或事故之劑量)。因此，評估第一期用過核子燃料乾式貯存設施管理作業，將以此年集體有效劑量評估。第一期用過核子燃料乾式貯存設施於除役過渡階段開始運轉，保守假設除役期間管理為 25 年(燃料移置規劃時機，按實際核二廠一期乾貯計畫執行進度而定)。因此，第一期用過核子燃料乾式貯存設施於除役期間之管理作業，對於作業人員集體有效劑量約為 3.63×10^{-2} man-Sv。

B. 第二期用過核子燃料乾式貯存設施

對於第二期用過核子燃料室內乾式貯存設施，規劃貯存共 100 組混凝土護箱之用過核子燃料(不包含後續規劃由一期移置的 27 組護箱)。對於例行運轉期間，每年之作業人員集體有效劑量以第一期乾貯評估之劑量 1.453×10^{-3} man-Sv/y，以貯存混凝土護箱比例 $(100/27=3.7)$ 估算為 $1.453 \times 10^{-3} \times 3.7 = 5.38 \times 10^{-3}$ man-Sv/y。而二期用過核子燃料室內乾式貯存設施於除役拆廠階段開始運轉，保守假設除役期間管理為 17 年。因此，第二期用過核子燃料乾式貯存設施於除役期間之管理作業，對於作業人員集體有效劑量約為 9.15×10^{-2} man-Sv。

(3) 待外釋廢金屬暫存倉庫/鋼筋混凝土塊分離場

對於待外釋廢金屬暫存倉庫與鋼筋混凝土塊分離場，因廢棄物劑量率與背景值相當。在管理上不考量其造成之作業人員劑量。

(五)核二廠除役作業人員劑量評估結果

1. 除役過渡階段

依據表 10-18，主要造成人員輻射曝露的工作項目為除役作業準備(工作編碼 1.1)。其項下的工作細項，包括設施停止運轉(工作編碼 1.1.1)、廠址輻射特性調查(工作編碼 1.1.3)、除污作業(1)(工作編碼 1.1.5)、汽機廠房除役需求設備修改(工作編碼 1.1.6)。本階段有曝露可能之作業皆屬於一般性除役作業；主要為在管制區域內作業，但非直接接觸放射性污染設備，對於各區域劑量率採用特性調查資料進行評估。

另外，關於除污作業(1)(工作編碼 1.1.5)與除污作業(2)(工作編碼 2.1.2)為延續性作業，由除役過渡階段與除役拆廠階段延續執行。而依照作業規劃，又以除役過渡階段為主要，因此於核二廠除役計畫合併於除役過渡階段進行評估。

表 10-26 為除役過渡階段集體有效劑量分析表，各個工作細項對作業人員輻射劑量影響與評估分析說明如下：

- (1) 設施停止運轉(工作編碼 1.1.1)，包括進行機組停機與檢查、停止運轉系統洩水與電力設備隔離及設施再利用調查等作業，參考核一廠除役計畫之作業人時，以核一廠及核二廠放射性系統廢棄物重量比例，推估此項工作人時為 614 man-h。本項作業地點在輔助廠房、反應器廠房與汽機廠房內，但預期不會有人員直接接觸或操作具放射性物件，此時作業人員假設接受來自輔助廠房、反應器廠房與汽機廠房等一般區域之平均空間劑量率，估計為 3.77×10^{-2} mSv/h。本項工作所造成之作業人員集體有效劑量約為 $3.77 \times 10^{-2} \times 614 \times 10^{-3} = 2.31 \times 10^{-2}$ man-Sv。
- (2) 廠址輻射特性調查(工作編碼 1.1.3)，執行反應器壓力槽與其內部組件輻射特性調查、其他廠區區域特性調查及放射性廢棄物數量盤點，參考核一廠除役計畫之作業人時，以核一廠與核二廠廠區面積比例，推估此項工作人時推估為 3,568 人時。停機後廠址輻射特性調查標的物為具污染組件設備廠房，因此假設作業人員接受來自輔助廠房、反應

器廠房與汽機廠房等一般區域之平均空間劑量率，估計為 3.77×10^{-2} mSv/h。本項工作所造成之作業人員集體有效劑量，約為 $3.77 \times 10^{-2} \times 3,568 \times 10^{-3} = 1.345 \times 10^{-1}$ man-Sv。

- (3) 除污作業(工作編碼 1.1.5&工作編碼 2.1.2)，執行一次系統除污、其他系統初步除污、廠房初步除污、系統液體清除、可燃物質清除及其他設施運轉廢棄物清除等作業，參考核一廠除役計畫之作業人時，以核一廠與核二廠系統廢棄物重量比例，推估此項工作人時推估為 9,819 man-h。保守以特性調查反應器廠房、輔助廠房一般區域之平均空間劑量率 2.51×10^{-2} mSv/h 來評估執行系統除污之作業人員集體有效劑量；核二廠除役之除污作業，橫跨除役過渡階段及除役拆廠階段。為保守考量，不考慮於除役拆廠階段時，放射性物質的衰變。本項工作所造成之作業人員集體有效劑量，約為 $2.51 \times 10^{-2} \times 9,819 \times 10^{-3} = 2.465 \times 10^{-1}$ man-Sv。
- (4) 汽機廠房除役需求設備修改(工作編碼 1.1.6)，參考核一廠除役計畫之作業人時，以核一廠與核二廠系統廢棄物重量比例，推估此項工作人時推估為 1,441 man-h。此時作業人員假設接受來自棄機廠房空間劑量率 6.3×10^{-3} mSv/h。本項工作所造成之作業人員集體有效劑量約為 $6.3 \times 10^{-3} \times 1,441 \times 10^{-3} = 9.1 \times 10^{-3}$ man-Sv。

2. 除役拆廠階段

本階段時程規劃 12 年，預估此階段是造成作業人員集體有效劑量的主要曝露來源，此階段可能造成作業人員接受到輻射曝露的工作分析如表 10-18 除役各階段造成作業人員接受到輻射曝露工作分析表，依據分析結果，造成人員輻射曝露的工作項目有：除役作業準備(工作編碼 2.1)、燃料廠房用過核子燃料池島區貯存(工作編碼 2.3)、放射性廢棄物處理區域準備(工作編碼 2.5)、拆解與拆除(工作編碼 2.7)項下的工作細項，包括反應器與其他廠房除役需求設備修改整(工作編碼 2.1.3)、燃料廠房用過核子燃料池島區貯存(2)(工作編碼 2.3.1)、放射性廢棄物處理區域準備(工作編碼 2.5)、汽機廠

房設備拆解(工作編碼 2.7.1)、輔助與反應器廠房設備拆解(工作編碼 2.7.2)、燃料廠房設備拆解(工作編碼 2.7.3)、廢料廠房設備拆解(工作編碼 2.7.4)、控制廠房設備拆解(工作編碼 2.7.5)、拆除範圍內廠房污染混凝土拆除(工作編碼 2.7.6)、拆除範圍內廠房設備拆除(工作編碼 2.7.7)。

除役拆廠階段有曝露可能之作業包含除役一般性輻射作業與接觸性輻射作業。關於本階段一般性輻射作業將個別評估、說明；關於接觸性輻射作業，主要為各廠房設備拆解作業(包含汽機廠房、輔助廠房、反應器廠房、燃料廠房、廢料廠房、控制廠房)。將依照本計畫第九章廢棄物盤點結果一併計算。

表 10-29 為除役拆廠階段集體有效劑量分析表，各個工作細項對作業人員輻射劑量影響與評估說明如下：

- (1) 反應器與其他廠房除役需求系統調整(工作編碼 2.1.3)，因應用過核子燃料已全部移至乾式貯存設施，無須再維持用過核子燃料池之安全系統運轉，因此調整相關安全系統之配置，以作為後續拆除作業之準備，參考核一廠除役計畫之作業人時，以核一廠與核二廠放射性系統廢棄物重量比例推估此項工作人時為 1,441 man-h。作業地點為反應器與其他廠房內，但預期不直接接觸或操作具放射性物件，此時作業人員假設接受來自反應器與其他廠房一般區域之空間劑量率，估計為 7.24×10^{-2} mSv/h。本項工作考量除污修正項(5)與放射性物質衰變(0.349)，本項工作所造成之作業人員集體有效劑量： $7.24 \times 10^{-2} \times 1,441 \times 0.349(\text{衰變})/5(\text{除污}) \times 10^{-3} = 7.3 \times 10^{-3}$ man-Sv。
- (2) 燃料廠房用過核子燃料池島區貯存(2) (工作編碼 2.3.1)，包含用過核子燃料池島區貯存，以及用過核子燃料搬移至第二期用過核子燃料乾式貯存設施兩項。本項作業之劑量評估，主要參照核二廠大修報告及核二廠一期乾式貯存設施安全分析報告。

A. 用過核子燃料池島區貯存(2)，作業人員集體有效劑量評估參照核二廠 105 年~107 年大修紀錄。對於歷年大修燃料移置爐心燃料數量 1/3 時，平均集體有效劑量為 2.6×10^{-1} man-Sv。而除役時移置全爐

心之燃料數為大修之 3 倍，故評估其集體有效劑量為 0.78 man-Sv。

B. 用過核子燃料搬移至第二期用過核子燃料乾式貯存設施，作業人員集體有效劑量評估參照核二廠第一期用過核子燃料乾式貯存設施安全分析報告。作業人員執行裝填燃料與安裝密封上蓋、傳送護箱移出燃料池、銲接密封上蓋、排水、乾燥及充填氬氣、銲接排水與排氣接頭封口蓋及氬氣測漏、傳送護箱運至貯存場、密封鋼筒傳入混凝土護箱等作業，由核二廠第一期用過核子燃料乾式貯存設施安全分析報告之估算，每一護箱裝載作業所造成之人員集體有效劑量約為 2.189×10^{-2} man-Sv；若以本公司預估第二期用過核子燃料室內乾式貯存設計裝載量為 127 組混凝土護箱，據此推算用過核子燃料由用過核子燃料島區移至室內乾式貯存設施作業，將造成作業人員集體有效劑量為 $2.189 \times 10^{-2} \times 127 = 2.781$ man-Sv。

(3) 放射性廢棄物處理區域準備(工作編碼 2.5)，工作內容包含在輔助、反應器與汽機廠房內規劃低放射性廢棄物處理間，來處理各廠房設備拆解時所產生的低放射性廢棄物，參考核一廠除役計畫之作業人時，以核一廠與核二廠放射性系統廢棄物重量比例，推估此項工作人時為 892 man-h。此項作業地點依據本計畫第九章放射性廢棄物處理間區域規劃，分別採用各廠房放射性廢棄物處理間空間劑量率 6×10^{-3} 及 2.5×10^{-2} mSv/h 進行評估。本項工作將考量除污修正項(5)與放射性物質衰變(0.349)，且兩廠房作業特性相同。經計算後本項作業所造成之作業人員集體有效劑量為 $(6 \times 10^{-2} \times 446 + 2.5 \times 10^{-2} \times 446) \times 0.349$ (衰變)/5(除污) $\times 10^{-3} = 1.2 \times 10^{-3}$ man-Sv。

(4) 低放射性廢棄物處理/貯存設施運轉(工作編碼 2.6)，此項工作內容包含處理/貯存設施之低放射性廢棄物接收與管理作業。本項作業將併同本節低放射性廢棄物處理於本章第二、(四)節分別評估。

(5) 拆解與拆除(工作編碼 2.7)為除役期間之主要作業，包含放射性系統與廠房混凝土拆解及拆解後之廢棄物處理作業。依照其作業特性，可區分為四類作業：反應器壓力槽與內部組件拆解、污染廠房內設備拆解、放射性

混凝土拆除，以及低放射性廢棄物處理與管理。以下將分別評估作業人員集體有效劑量。

- A. 反應器壓力槽與內部組件拆解：反應器壓力槽及其內部組件拆解，屬除役計畫的主要拆解工作項目，參考核一廠除役計畫之作業人時，以核一廠與核二廠放射性系統廢棄物重量比例，推估此項工作人時為 48,515 man-h。依照西屋公司之評估，反應器壓力槽與其內部組件之拆除包含：上半部分拆除、下半部分拆除與廢棄物運送。上半部分之拆解劑量率為 2.00×10^{-2} mSv/h；下半部分之拆解因底層組件之劑量率較高且無上半組件之屏蔽，劑量率為 1.00×10^{-1} mSv/h；包裝與運送劑量為 5.00×10^{-2} mSv/h。經計算後本項作業所造成之作業人員集體有效劑量約為 2.814 man-Sv。
- B. 污染廠房內設備拆解：本項作業包含核二廠所有污染廠房內之放射性廢棄物之拆解。本計畫評估拆解設備之輻射劑量率，主要依據本計畫第九章放射性廢棄物分類及盤點結果，並參照設備特性調查劑量率結果，逐項評估各項廢棄物之拆解集體有效劑量。本類作業之作業人時評估，主要依據本計畫第九章廢棄物盤點結果，參照西屋公司拆解各類廢棄物之人力需求經驗公式，評估拆解核二廠各項廢棄物所需人時與人員組成。而接觸性輻射作業之作業劑量率，則參照各設備特性調查表面 30 cm 劑量率結果評估。本項工作將考量除污修正項(5)與放射性物質衰變(0.349)；另對於考量衰變、除污修正後，劑量率仍高於核二廠非示警區標準(0.05 mSv/h)之設備，將規劃架設臨時屏蔽，並以屏蔽修正評估劑量率；經計算後本項作業所造成之作業人員集體有效劑量約為 5.1 man-Sv。
- C. 放射性混凝土拆除：本項作業包含生物屏蔽、反應器圍阻體與其他受污染混凝土拆除。參考核一廠除役計畫之作業人時，以核一廠與核二廠混凝土廢棄物重量比例，推估此項工作人時推估為 26,844 人時。因核二廠規劃拆除混凝土重量約 8 成以上皆為生物屏蔽、反應器圍阻體，故本項作業之作業劑量率，將以本項作業執行時工作人

員作業位置反應器廠房 7 樓之空間劑量率 7.24×10^{-2} mSv/h 代表。
本項工作將考量除污修正項(5)與放射性物質衰變(0.349)，經計算後
本項作業所造成之作業人員集體有效劑量約為 $7.24 \times 10^{-2} \times 26,844 \times$
 $0.349(\text{衰變})/5(\text{除污}) \times 10^{-3} = 1.36 \times 10^{-1}$ man-Sv。

(6) 低放射性廢棄物處理：

A. 廠房內作業

低放射性廢棄物廠房內作業人員劑量評估依照表 10-27，3 m³
鋼箱、7 m³ 鋼箱、55 加侖桶 5 m 處劑量率，處理總批數與每批次
作業人時。估算廢棄物於廠房內作業造成之人員集體有效劑量約為
2.35 man-Sv。

B. 運送作業

放射性廢棄物之運送作業人員劑量率，以放射性物質安全運送
規則中對於運送司機之劑量率限值 2.0×10^{-2} mSv/h 來進行評估。
依照廢棄物處理規劃，運送 3 m³ 鋼箱約 233 批次、7 m³ 鋼箱 4,055
批次、55 加侖桶 1,925 批次(每一批次分別可運送 3 m³ 鋼箱 1 個、
7 m³ 鋼箱 1 個、55 加侖桶 15 桶)。又每批次由三人作業 30 min，
因此，工作人時規劃約為 9,320 man-h，評估本項作業所造成之人
員集體有效劑量約為 1.86×10^{-1} man-Sv。

C. 廢棄物接收作業

廢棄物接收作業係指廢棄物裝桶由廢棄物處理廠房運送至貯
存庫後之接收作業，包括桶污染擦拭偵測、桶面劑量偵測、記錄、
桶吊入貯存區暫存、搬運、貯存等作業。廢棄物接收作業主要可能
造成曝露之工作為廢棄物移入貯存庫時檢視、偵測檢查。廢棄物接
收作業劑量評估參照核二廠例行接收作業評估方式：每一批次分別
可處理 3 m³ 鋼箱 1 個、7 m³ 鋼箱 1 個、55 加侖桶 3 桶；為降低作
業人員之輻射劑量，作業均全面採用遙控自動化設備設計，考量距
離及堆高機屏蔽之輻射抑減效果，保守假設人員以遙控方式接收放
射性廢棄物，人員接受之劑量率為廢棄物表面劑量率之 1/1,000，

廢棄物表面劑量率保守以容器劑量率範圍最高值來評估。依照工作人時規劃，評估本項作業所造成之人員集體有效劑量約為 8.14×10^{-2} man-Sv，如表 10-28。

(六)核二廠除役作業人員劑量評估結果討論

表 10-30 彙整除役各階段執行除役活動之作業人員集體有效劑量分析表，結果顯示核二廠除役作業人員集體有效劑量約為 11.87 man-Sv。除役拆廠階段之 11.459 man-Sv 為主要來源。表 10-31 為除役對作業人員集體有效劑量分析表，結果顯示以拆解與拆除，亦即進行輔助反應器廠房設備拆解工作，為主要對作業人員集體有效劑量來源，預估集體有效劑量為 7.914 man-Sv；另預期在低放射性廢棄物處理，也將造成作業人員集體有效劑量約為 2.6 man-Sv。報告評估除役各項作業對作業人員的集體劑量影響，結果可供後續除役人力規劃參考。對於除役各項作業，可能接受最大曝露劑量率為用過核子燃料搬移至第二期用過核子燃料乾式貯存設施，平均為 0.204 mSv/h，拆解廢棄物作業在考量除污、屏蔽與衰減因數後最大為 0.05 mSv/h。對於個別人員的劑量管理，將依據輻射防護法與相關子法規定辦理。

(七)輻射管制作業之管理

核二廠除役作業對於作業人員造成之曝露，應符合「游離輻射防護安全標準」[6]規定職業曝露之劑量限值。另參照現行之輻射曝露行政限值，適當管制日劑量、週劑量與年劑量，確保作業人員之曝露符合法規限值。

為確保作業人員職業曝露不超過劑量限值，本公司於除役期間依規定執行人員劑量監測，隨時掌握輻射作業人員劑量分析統計資料，並藉工作之調整以防止輻射劑量過於集中於部分輻射作業人員。

對於個人劑量監測部分所使用設備為熱發光劑量計、電子劑量計與其他輔助劑量計，用以監測作業人員接受加馬輻射、貝他輻射及中子輻射之體外曝露劑量值。並以全身計測及生化樣品分析估算體內曝露。

為掌握除役期間廠區內各處輻射情形與污染狀況，並控制廠區內可能造成之輻射曝露與體內外污染，根據作業區域建立監測站執行區域監測，並設計、製造特別屏蔽，界定污染管制範圍。對於廠內設備、區域進行監測包含直接輻射偵測、表面污染偵測、抽氣偵測及對於特定工作進行偵測。以上偵測頻率與紀錄之保存，將參照核二廠輻射防護作業程序與主管機關(原能會)規定辦理。

核二廠於除役期間採取之除污作業，包含拆除前之系統除污與拆除後之組件除污。拆除前之除污目的為降低作業人員於拆除作業時之輻射曝露，而拆除後之組件除污目的為降低其污染程度，以達到廢棄物減量及再利用之目標。

對於拆除前與拆除後之除污工作，作業人員並不直接接觸高劑量率之系統與廢棄物，因此，預期作業並無高劑量率之曝露可能。對於除污作業之輻射防護，將依照核二廠輻射防護作業程序之相關規定辦理。

核二廠除役過程中產生之放射性廢氣主要來源，為拆除、切割核設施等作業產生之煙霧氣體。而放射性廢液來源為系統/組件除污作業所產生之除污廢液、牆面/地面清洗與槽溢流等所造成之地面洩水、切割作業所產生之二次廢液、系統運轉時所產生之設備洩水、放射化學分析實驗所產生之實驗室廢液、廢液處理系統過濾器與離子交換樹脂之沖洗廢液及輻射防護衣物與除污工具之清洗廢液。

對於預期會產生空浮之作業區域搭建隔離帳篷，視需要架設移動式空氣過濾設備，並維持負壓梯度及設置防止回流裝置，將排風口導入廠內通風系統，經過過濾設備處理後排放，必要時作業人員應配戴適當之呼吸防護裝具。

放射性廢氣於收集後將依現有放射性廢氣處理系統處理。除役中產生的廢液，大部分為化學除污過程中所產生的除污廢液與機械除污過程中所產生的廢液；化學除污主要應用於系統除污與組件除污，系統除污產生的除污廢液活度較高。因此，須先經由除污系統本身之淨化系統處理後，再排放至廠內高活度廢液集水池，如設備洩水集水池(Equipment Drain Sump)，並輸送至設備洩水廢液收集槽(Waste Collector Tank)進行處理。對於放射性廢氣與廢液之處理，預期人員在採行適當防護措施下不會有明顯之體內曝露發生。且大部分作業，

人員無需直接處理放射性廢棄物，因此，廢棄物處理過程中所接受之曝露來源為系統中具放射性之設備、組件所造成的空間輻射。

除役過程中對於廢棄物處理作業包含拆除的一次廢棄物，例如拆解之金屬廢棄物、混凝土廢棄物與拆除過程中所產生的二次廢棄物，例如濕性廢棄物主要來自於除污廢液及系統洩水處理過程，產生廢棄物之種類包括濃縮底泥(Concentrator Bottoms)、酸鹼中和污泥(Neutralization Sludge)、過濾污泥(Filter Sludge)及廢離子交換樹脂等，其處理程序需進行固化後裝桶，而對於乾性廢棄物主要為擦拭紙、維修工具、實驗室固體廢棄物、空氣過濾器、防護衣、鷹架、保溫材等，其處理為壓縮減容後送往處置場，可燃之廢棄物則進行焚化減容。廢棄物之固化、減容作業，作業人員以遙控操作，並不會直接接觸放射性物質。主要可能接受曝露之工作為運送過程中對運送人員造成之曝露。廢氣或廢液所含之放射性核種，來自於處置之系統中所含之放射性物質，其分佈組成，詳述於本計畫第九章除役放射性廢棄物之類別、特性、數量、減量措施及其處理、運送、貯存與最終處置規劃中，其中廢氣與廢液的處理作業對作業人員之輻射安全防護措施，將依照核二廠輻射防護作業程序之相關規定辦理。

核二廠於除役期間，所有作業將符合除役之輻射防護計畫，以確保作業人員於除役期間接受之輻射劑量符合「游離輻射防護安全標準」[6]規範之輻射作業人員職業曝露之劑量限度，並依據合理抑低之原則執行所有除役作業。

(八)紀錄保存

除役作業期間包含個人及環境之劑量監測結果，應依游離輻射防護安全標準記錄並保存。對於廠區內執行直接輻射偵測、空氣濃度、試樣採集之各種偵測報表、偵測紀錄均應陳核後歸檔保存，保存年限至少 3 年。對於個別人員劑量之監測結果，應自該作業人員離職或停止輻射作業起至少保存 30 年並保存至 75 歲。

三、輻射防護措施

本章節說明除役活動進行時，各階段設施除役之作業及處理放射性廢棄物，其相關輻射防護作業與措施。前述作業說明包含輻射防護管理組織與權責區分、人員防護、人員訓練、人員劑量、醫務監護、管制區劃分及區域管制作業、輻射監測、執行除役作業時之防護措施、除役作業及放射性廢棄物管理之輻射管制、合理抑低原則等作業。

各階段設施除役作業之輻射防護作業與措施，將依據「游離輻射防護法」[11]、「游離輻射防護法施行細則」[16]、「游離輻射防護安全標準」[6]、「核二廠輻射防護計畫」[5]與相關規定規劃管制。

(一) 輻射防護管理組織與權責區分

核二廠將因應除役各階段工作需求變化調整組織架構、任務編組、權責。依據「游離輻射防護法」[11]第七條第一項「設施經營者應依其輻射作業之規模及性質，依主管機關之規定，設輻射防護管理組織或置輻射防護人員，實施輻射防護作業」之規定，核二廠廠長應設輻射防護業務單位並負有輻射防護之責任。

核二廠除役計畫之拆除、運送、貯存及其為維護運轉等相關之輻射防護作業將由保健物理組之輻射防護人員負責執行。各階段除役作業計畫之輻射防護，將參考核二廠輻射防護作業程序之輻射安全規定，並依輻防計畫監督管制實施，工作人員所受輻射劑量應符合法規規定。核二廠除役各階段輻射防護管理組織如圖 10-3 所示。

1. 管理組織架構圖

如圖 10-3 核二廠除役各階段輻射防護管理組織圖。

(1) 核二廠除役工程輻射防護業務單位主管

核二廠除役輻射防護業務單位為保健物理組，保健物理組經理為輻射防護業務單位之主管。

(2) 核二廠除役輻射防護管理委員會之組成

依輻射防護管理組織及輻射防護人員設置標準第十二條第一項規定，設置輻射防護管理委員會，核二廠輻射防護管理委員會之委員由下列人員組成：

- A. 核二廠廠長或其指定之代理人。
- B. 保健物理組經理、保健物理組課長及至少二名以上相關專職輻射防護人員。
- C. 經核二廠廠長指定擔任之各技術組(輻射作業單位)等部門主管(或代理人)。
- D. 輻射防護管理委員會應至少每六個月開會一次，並由廠長擔任輻射防護管理委員會會議主席。

2. 權責與任務區分

(1) 輻射防護業務單位之指揮與監督：

- A. 核二廠廠長為場所主管，督導訂定核二廠輻射防護計畫及與輻射作業有關之重要事項，陳報主管機關(原能會)核定後督導實施。
- B. 核二廠保健物理組為直屬核二廠廠長指揮監督之部門或任務編組。

(2) 保健物理組執行之輻射防護管理業務：

輻射防護業務單位(即保健物理組)，應依執行下列輻射防護管理業務：

- A. 釐訂輻射防護計畫、協助訂定輻射安全作業程序及緊急事故處理措施，並督導廠內有關部門實施。
- B. 規劃、督導輻射防護監測、輻射防護教育訓練、輻射工作人員健康檢查、輻射工作人員劑量之輻射防護管理。
- C. 建立及執行人員曝露與廠區環境監測作業之紀錄、調查、干預基準，以及應採取之因應措施。
- D. 管理輻射防護相關報告與紀錄。

(3) 輻射防護管理委員會之任務：

研議輻射防護業務單位執行輻射防護管理業務內容執行情形及下列事項：

- A. 對個人及集體有效劑量合理抑低之建議。
- B. 輻射工作人員劑量紀錄。
- C. 意外事故原因及應採行之改善措施。
- D. 設施內設備、物質及人員證照是否符合相關規定。
- E. 輻射安全措施是否符合法規規定。
- F. 輻射防護計畫。
- G. 廠長交付之輻射防護管理業務。
- H. 其他主管機關(原能會)及本公司相關規定及注意事項。

(二) 人員防護

1. 從事或參與輻射作業之人員，以年滿十八歲者為限。未滿十八歲者不得進入核二廠管制區工作。
2. 懷孕女性工作人員參與輻射作業之限制。對告知懷孕之女性輻射工作人員，須即檢討其工作條件，以確保胚胎或胎兒所受曝露不超過游離輻射防護安全標準之規定。有超過之虞者須調整其工作。
3. 人員(含廠外人員及交付承攬商)進入輻射管制區從事輻射工作，須接受輻射防護教育訓練及測驗合格、審查體格及健康檢查紀錄與安排全身計測、人員輻射劑量之授權管制，始得發給劑量佩章及從事輻射作業。
4. 輻射工作人員應實施輻射劑量監測。實施輻射劑量監測之人員，須記錄其終身職業曝露歷史紀錄，並逐年記錄每一輻射工作人員之年職業曝露紀錄。

(三) 人員訓練

1. 輻射工作人員應定期實施從事輻射作業之防護，以及預防輻射意外事故所必要之教育訓練，並保存紀錄。
2. 核二廠對新進之輻射工作人員，應於首次指派工作前施予從事輻射作業之防護及預防輻射意外事故所必要之教育訓練，並保存紀錄。對在職之輻射工作人員，亦應定期每年一次實施從事輻射作業之防護及預防輻射意外事

故所必要之教育訓練，並保存紀錄。

3. 本公司其他單位支援或參與輻射工作之交付承攬商人員，在從事輻射作業前應完成教育訓練。
4. 對輻射工作人員實施之教育訓練，應依輻防法施行細則之規定，每人每年接受訓練時數須為三小時以上，並保存紀錄，規劃訓練項目內容：
 - (1) 輻射基礎課程。
 - (2) 輻射度量與劑量。
 - (3) 輻射生物效應。
 - (4) 輻射防護課程。
 - (5) 原子能法規及相關管制規定等。
 - (6) 各階段設施除役相關規定之安全作業程序及工作守則。
 - (7) 主管機關(原能會)及本公司提供之相關資訊。

(四) 人員劑量

核二廠除役計畫之輻射工作人員劑量管理，規劃依據「游離輻射防護安全標準」[6]第四條第一項規定，有效劑量，得以度量或計算強穿輻射產生之個人等效劑量及攝入放射性核種產生之約定有效劑量之和表示。同條第二項規定，強穿輻射產生之個人等效劑量或攝入放射性核種產生之約定有效劑量於 1 年內不超過 2 mSv 時，體外曝露及體內曝露得不必相加計算。

除役工程輻射作業，應防止確定效應之發生及抑低機率效應之發生率，且符合下列規定：

- 利益須超過其代價。
- 考慮經濟及社會因素後，一切曝露應合理抑低。
- 個人劑量不得超過游離輻射防護安全標準之規定值。

1. 輻射工作人員職業曝露之劑量限度(含行政管制規定)

- (1) 核二廠輻射工作人員之劑量限度如表 10-17。
- (2) 女性輻射工作人員，其懷孕期間下腹部表面之等價劑量，不得超過 2 mSv，且攝入體內放射性核種造成之約定有效劑量不得超過 1

mSv。

2. 職業曝露之劑量監測與評定

- (1) 對輻射工作人員所受體外劑量定期評定原則如下：
 - A. 以每月定期實施評定為原則。
 - B. 跨越年度時，均應於新年度換發法定劑量計，列入下一年度劑量管制。
- (2) 工作人員體外劑量評定，對加馬輻射及貝他輻射以熱發光劑量計為法定劑量偵測設備，作業環境中有中子時應加用中子劑量計。現場工作得以電子劑量計或其他適當之人員輔助劑量偵測設備，以作為劑量管制之用。
- (3) 對於從事四肢或眼球水晶體等部位可能近接射源之特定作業，其體外劑量監測，除對執行個人等效劑量加以監測外，並應採行下列措施：
 - A. 四肢接受單次輻射曝露之等價劑量如可能大於 5 mSv 及 2 倍強穿輻射之個人等效劑量(HP(10 mm))時，應監測肢端之弱穿輻射個人等效劑量(HP(0.07 mm))，並據以登錄為法定劑量紀錄中之皮膚及四肢之等價劑量。
 - B. 眼球等價劑量可能大於強穿輻射之個人等效劑量(HP(10 mm))之 3 倍，應局部監測考慮眼球水晶體曝露之個人等效劑量(Hp(3 mm))，並據以登錄為法定劑量紀錄中之眼球等價劑量。
- (4) 工作人員體內曝露之評定，應依下列原則辦理：
 - A. 放射性核種攝入之評定，以全身計測為主要方法，必要時得增加生化分析。
 - B. 體內曝露之評定原則上每年實施一次，必要時得增加頻度。
 - C. 短期赴各設施從事輻射工作之人員，體內曝露之評定，應於工作開始(到差(職))，工作完成(離差(職))時分別辦理。
 - D. 如發現有污染時，依照現行程序書；必要時執行全身計測、尿樣生化分析，評估體內污染核種，活性分析，並推算攝入量後，依游離輻射安全標準附表三，以及核二廠現行輻射防護程序書，進行體內

劑量評估。

(五) 醫務監護

本章內容依「游離輻射防護法」[11]、「游離輻射防護法施行細則」[16]、「游離輻射防護安全標準」[6]、及輻射工作人員特別健康檢查項目等規定訂定。當工作人員因意外或緊急曝露所受一次劑量超過 50 mSv 以上時，應予以特別醫務監護，包括特別健康檢查、劑量評估、放射性污染清除、必要治療及其他適當措施。

1. 一般規定

- (1) 核二廠依輻防法第十六條之規定對於新進輻射工作人員實施體格檢查；對在職之輻射工作員工實施定期健康檢查，並依檢查結果為適當之處理。核二廠若將輻射作業交付承攬、再承攬或與承攬人或再承攬人共同作業時，應要求承攬人或再承攬人在派遣工作人員前，務必遵守體格檢查及定期健康檢查之要求。
- (2) 經體格檢查或健康檢查合格之人員始得進入管制區從事游離輻射作業。

2. 特別醫務監護與特別健康檢查

- (1) 輻射工作人員一次曝露接受有效劑量超過 50 mSv 以上時，須接受特別健康檢查、劑量評估、放射性污染清除、必要的治療及其他適當措施之特別醫務監護。
- (2) 特別健康檢查項目及檢查參考時機，依據主管機關(原能會)與衛生署會銜公告之輻射工作人員特別健康檢查項目及其附註說明之規定辦理。

(六) 管制區劃分及區域管制作業

核二廠除役計畫依輻射防護法之規定與輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則之要求，依核二廠輻射工作場所之設施、輻射作業特性及輻

射曝露程度，劃分輻射工作場所為管制區及監測區。管制區內應採取管制措施及防止放射性污染擴散；監測區內應做必要之輻射監測。

1. 管制區劃分

- (1) 核二廠廠界線內視為輻射狀況需經常處於監督下之地區，劃歸為監測區，並採取必要之輻射監測。監測區內之輻射工作場所劃分為管制區，管制區內應採取輻射防護管制措施，以規範輻射作業及相關防護管制規定。核二廠地區管制劃分標準，如表 10-32 所示。
- (2) 核二廠對管制區與監測區之劃定，應依輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則之規定如下：
 - A. 對於輻射工作場所內，為規範輻射作業、管制人員和物品進出，以及防止放射性污染擴散之地區，應劃定為管制區。
 - B. 管制區外，輻射狀況需經常處於監督下之地區，應將其劃定為監測區。
- (3) 管制區內又劃分為非示警區及示警區；示警區內因輻射強度及污染狀況不同，可區分為下列特定區域：
 - A. 輻射區
凡周圍等效劑量率大於每小時 0.05 mSv(以距離輻射源或其表面 30 cm 之偵測結果為準)之區域劃定為輻射區。
 - B. 高輻射區
凡周圍等效劑量率超過每小時 1 mSv(以距離輻射源或其表面 30 cm 之偵測結果為準)之區域劃定為高輻射區。
 - C. 極高輻射區
凡輻射之吸收劑量率超過每小時 5 Gy(以距離輻射源或其表面 1 m 處之偵測結果為準)之區域均劃定為極高輻射區。
 - D. 空浮放射性區
空浮濃度可能使工作人員未佩戴呼吸防護面具之情況下，在一週工作時間(40 h)內之攝入超過 0.6%年攝入限度(ALI)或 12 DAC-小時(Derived Air Concentration，推定空氣濃度)之區域。

E. 污染區

表面污染程度拭跡結果，阿伐非固著性污染超過 $1 \text{ Bq}/100 \text{ cm}^2$ ，或貝他/加馬非固著性污染超過 $10 \text{ Bq}/100 \text{ cm}^2$ 之區域，須劃定為污染區。

F. 高污染區

表面污染程度拭跡結果，阿伐非固著性污染超過 $37 \text{ Bq}/100 \text{ cm}^2$ ，或貝他/加馬非固著性污染超過 $370 \text{ Bq}/100 \text{ cm}^2$ 之區域，須劃定為高污染區。

G. 放射性物質區

凡使用或貯存放射性物質之相當數量(參考美國聯邦法規 10 CFR 20 附錄 C 放射性物質應標示之量，超過 10 倍)之區域，須劃定為放射性物質區。

H. 特殊輻射狀況

高輻射點：凡接觸位置之周圍等效劑量率超過每小時 1 mSv 且比周圍之劑量率高五倍以上者為高輻射點。

熱粒子區：凡含有熱粒子之區域屬之。熱粒子指粒徑自 $1 \text{ }\mu\text{m}$ 至數百 μm 間之高活度微粒，帶電、鬆動、難以氧化且易造成污染之轉移與散佈。

2. 區域管制

(1) 管制區之圍籬與示警、監測區邊界之標示

A. 輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則之規定，管制區劃定應設置實體圍籬，並於進出口處及區內適當位置，設立明顯之輻射示警標誌及警語。

B. 監測區邊界之劃定以核二廠財產界為準，於人員得進出處所之適當位置應設立標示牌。

(2) 輻射安全管制站設立

A. 管制區入口應設置輻射安全管制站，或依作業需要在適當地點再設置臨時輻射安全管制站。

B. 輻射安全管制站於人員進出管制區的安全防護管制作業，依相關程序書之規定提供必要之輻射安全防護措施。

(3) 核二廠輻射工作人員，進入管制區從事輻射作業，應確保符合下列規定：

- A. 體格檢查或健康檢查結果符合規定，且在有效期限內。體格檢查或健康檢查紀錄過期、未完成體格檢查或經醫師評定為不宜進入管制區者，不得允許其進入管制區。
- B. 輻射防護教育訓練完訓紀錄、全身計測及面具測試在有效期限內。
- C. 提供其適當之人員劑量計、輻射防護裝具和資訊，並使其正確使用。
- D. 確實管制及監測其個人劑量，俾使其所受劑量符合劑量限度之規定。
- E. 接受放射性人工核種醫療、治療或檢查之工作人員，除當事人應主動告知核二廠保健物理組及接受適當之管理外，其身上之放射性核種輻射程度於治療或檢查後之殘餘量，未衰減至人員及私有衣/物出管制區之污染放行標準者，不允許其進入管制區。

(4) 非核二廠輻射工作人員(含本公司外、公司內其他單位人員及設施將輻射作業交付承攬或共同作業之承攬人或再承攬人所僱用之人員)，進入管制區從事輻射作業，應確保符合下列規定：

- A. 體格檢查或健康檢查結果符合規定、輻射防護教育訓練完訓紀錄、全身計測及面具測試等在有效期限內。
- B. 確認其已依輻防法第十四條第四項之規定接受輻射防護教育訓練，完訓紀錄在有效期限內。未完訓者或紀錄過期者，不得允許其進入管制區。
- C. 審查其過去之職業曝露劑量紀錄及原屬單位或雇主開立之授權劑量證明，確認其在本管制週期內之劑量未達劑量限度。核二廠以外之公司內人員若原單位無法填發授權劑量者，則可由核二廠之保健物理組依相關規定核定授權劑量並管制之。

- D. 經審查前述文件，符合進入管制區者，始得允許其進入管制區，且提供其適當之人員劑量計、輻射防護裝具和資訊，並使其正確使用。
- E. 確實管制及監測其個人劑量，俾使其所受劑量不超過授權劑量。
- F. 接受放射性人工核種醫療、治療或檢查之工作人員，除當事人應主動告知核二廠保健物理組及接受適當之管理外，其身上之放射性核種輻射程度於治療或檢查後之殘餘量，未衰減至人員及私有衣/物出管制區之污染放行標準者，不允許其進入管制區。
- G. 依輻射工作人員認定基準完成輻射工作人員認定。

(5) 一般人員(臨時工作人員)進入管制區之防護與管制措施

經審查同意進入管制區之一般人員，須以提供適當之人員劑量計、輻射防護裝具與資訊，使其正確使用，並派員引導陪同。進入輻射管制區應依符合下列規定：

- A. 臨時工作人員不得單獨進入管制區，應由輻射防護講習合格之人員陪同。在管制區停留期間毋須佩戴熱發光人員劑量計(TLD 佩章)，惟應佩戴電廠提供之輔助劑量計，並於進出輻射安全管制站時依規定登記劑量計讀數。
- B. 臨時工作人員：偶因工作或作業需要赴廠內管制區或示警區執行公務、工作，一個月內不超過七天，預估七天累計有效劑量不超過 0.3 mSv，單日有效劑量不超過 0.1 mSv。
- C. 臨時工作人員進入管制區工作，應遵守核二廠各項輻射安全防護管制規定。

(6) 訪客進入管制區參觀應依下列規定：

- A. 未滿十八歲之訪客不得進入管制區。
- B. 應至少由一位輻射防護講習合格之人員工全程陪同，參觀行經路線及停留位置，應以非示警區為限，訪客不得進入示警區；亦無需換穿電廠輻射防護衣物。
- C. 訪客在輻射管制區內參觀，應遵守核二廠各項相關規定。

(7) 放射性污染管制

管制區內依輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業之規定，採取下列措施，以防止放射性污染：

- A. 禁止將飲料、食物、香煙、化粧品、檳榔、口香糖及其它非工作必要物品攜入管制區。
- B. 攜出管制區之物品應實施放射性污染偵測。
- C. 人員離開管制區應實施放射性污染偵測，若發現污染，應予適當除污。當人員偵測到遭受污染時，應迅速通知保健物理人員處理，如經研判為熱粒子污染，即依熱粒子管制有關程序規定處理，人員除污，應在保健物理人員指導下進行之；如有體內污染，應依體內污染處理有關程序規定處理。

(8) 空浮放射性區管制

作業場所防護措施

- A. 進入空浮放射性區除應遵守各該相關管制規定外，並應穿著適當呼吸防護裝備措施。
- B. 適時偵測污染管制區內空氣污染程度，確保工作人員安全。
- C. 作業過程，適時執行工作區域內之空氣污染監測、空氣取樣計測之污染管制。
- D. 作業過程，視需要於特定區域架設防止污染擴散之帳篷，以期減少污染擴散。
- E. 作業過程，視需要安裝設置使用移動式高效率空氣過濾(HEPA)設備或真空吸塵器，減少污染擴散。

人員體內曝露防護措施

- A. 進入空浮污染管制區內及作業過程，人員須佩戴適當面具、著裝適當防護衣物、鞋套、手套、帽套，避免污染擴散，確保工作人員安全。
- B. 離開空浮污染管制區及作業結束後，務必洗手或淋浴，離開前自行偵檢全身手足、物品，必要時鼻孔取樣偵測，防止污染擴散，確保工作人員安全。

C. 如發現有污染時，工作人員再自行沐浴更衣及污染清除，必要時全身計測、尿樣生化分析，評估體內污染核種，活性分析。

D. 體內污染者之輻射劑量，並依其程度予以適當工作管制及處理。

(9) 進出管制區/示警區之規定

A. 進出管制區之規定：

進出固定管制區，除有緊急處置之必要外，應經由輻射安全管制站進出管制，並依規定申請核准。

B. 進出示警區之規定：

進入：

經輻射工作許可證申請核准者，方可進入指定示警區。示警區內作業之人員，應依輻射工作許可證上所指示執行輻射防護措施之要求。

離去：

離開污染地區前，應依規定脫除防護裝具、衣物。在出口處設置污染隔離墊與盛裝防護衣物之容器，以防止污染散播。

(10) 高輻射區與極高輻射區管制

高輻射區與極高輻射區應設置必要之門鎖或電子門禁等措施，以防止人員不當進入。人員進入高輻射區、極高輻射區或高污染區域時，其作業場所負責人應通知輻射防護人員並接受輻防安全防護指導。

(11) 放射性污染設備之管理

A. 在管制區內使用之設備或工具，如因工作需要必需經常在污染區或高污染區使用者，得依其非固著污染程度，在污染或高污染區內置工具箱存放，惟高污染(阿伐 $>37 \text{ Bq}/100 \text{ cm}^2$ ；貝他/加馬 $>370 \text{ Bq}/100 \text{ cm}^2$)者，應置於高污染區。如係固著性污染者；貯存時其固著污染程度應符合貯存區域輻射強度限值規定。

B. 放射性污染設備，儲存於戶外(電子圍籬內)並曝露於大氣中，表面污染程度經拭跡取樣，若阿伐非固著性污染超過 $1 \text{ Bq}/100 \text{ cm}^2$ ；貝他/加馬非固著性污染超過 $2 \text{ Bq}/100 \text{ cm}^2$ 時，應裝入耐風雨材料所製成之容器內，以免造成污染之散播。其表面輻射程度應符合存放地區規定之管制限值。

C. 搬移放射性污染設備，須經保健物理人員核准及採行必要之輻防程序後始得為之。

(12) 管制區內一般輻射安全注意事項

A. 工作時，儘量避免不必要之輻射曝露，並符合合理抑低(ALARA)之原則。

B. 人員所佩戴之熱發光劑量計佩章及輔助劑量計，不得任意取下或隨地放置。

C. 經申請核發輻射工作許可證後，始得進入示警區工作。以備有完整之進出管制及劑量紀錄。

D. 工作時應遵守輻射工作許可證上或其他示警標誌上之指示。

E. 凡在管制區內使用過之各式裝備，未經偵測，不得帶出管制區。

F. 非經許可，不得移去任何屏蔽物及輻射示警設備。

G. 非在污染地區，未經保健物理人員許可，不得穿著防護衣物。

H. 將所有受到污染之防護衣物、裝備及廢棄物，分別裝於指定容器內。

I. 任何具有放射性或受放射性污染物品之搬移、貯存，應先經保健物理人員偵測認可。

J. 隨時注意自己輻射劑量狀況，並避免超過曝露限值。

K. 勿在示警區徘徊或逗留，必要時儘量在輻射較低之區域等候。

L. 在示警區受傷時，請立即通知保健物理人員或醫護人員。

M. 在管制區內，嚴禁吸煙、飲水、嚼檳榔、口香糖及進食。

N. 遇意外時，服從保健物理人員之指示，迅速停止工作並緊急疏散。

3. 輻射監測

(1) 監測區內之輻射監測

A. 依輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則規定，於監測區選擇適當地點及監測頻次，實施定期或連續性輻射監測、連續空氣監測及表面、土壤與草樣等放射性污染監測。

B. 監測區監測作業依頻次區分為定期偵測及不定期偵測兩類，定期偵

測依輻射分佈之特性與危險之可能性原則上分為每日、每週、每月及每季偵測。不定期偵測則視需要實施。定期偵測之地點及頻次及不定期偵測之實施時機應明訂於程序書中據以施行。

- C. 監測區輻射劑量管限制值，其空氣中的放射性核種濃度不應超過游離輻射防護安全標準公布的推定空氣濃度的 1/10，周圍等效劑量率每小時不得超過 0.005 mSv，表面污染以污染拭跡結果，阿伐非固著性污染不得超過 1 Bq/100 cm²，貝他/加馬非固著性污染不得超過 2 Bq/100 cm²，貝他/加馬之固著性污染在距離 1 cm 處，其周圍等效劑量率應維持在高於背景值每小時 0.001 mSv 以內。

(2) 管制區內之輻射監測

依輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業規定，視輻射作業性質及曝露程度，訂定管制區之輻射監測之作業程序。輻射監測應包括測定曝露程度、評定放射性污染、鑑定輻射及核種。在執行實務上分為能譜度量、輻射偵測、污染偵測、空氣偵測及熱粒子偵測。

4. 輻射監測儀器之設置

- (1) 環境監測區內之輻射偵測器及輻射作業區(管制區)內之區域監測器與空浮監測器、煙囪排放放射性核種與活度監測器、其他輻防偵測儀器等，輻射防護作業主管須指派專人操作、記錄、測試、維修、汰換並依相關規定定期校驗等運轉管理。
- (2) 各項輻射監測儀器及加馬、中子輻射劑量率量測儀器、 α 、 β /污染偵測儀器如表 10-33 與表 10-34 之個人與輻射監測/偵測儀器說明。

(七) 除役作業之防護措施

核二廠除役工作如本計畫第一章、二、(二)節之敘述，主要可區分為四個階段，包括：除役過渡階段、除役拆廠階段、廠址最終狀態偵測階段及廠址復原階段。各階段之主要作業詳細說明請見第一章、二、(二)節。以下將分別敘述各階段作業之輻射防護措施：

1. 除役過渡階段

主要需考量輻射防護之作業包括：

(1) 用過核子燃料從反應器移除清空作業

本項作業類似於運轉期間更換燃料之作業，其作業程序可參考核二廠現行作業程序書辦理，其作業相關之輻射防護措施參考核二廠輻射防護作業程序[2]辦理。

(2) 停機後現場輻射特性調查作業

本項作業類似於運轉及大修期間之輻射特性調查作業，其作業程序可參考核二廠現行作業程序書辦理，其作業相關之輻射防護措施規定參考核二廠輻射防護作業程序辦理。

2. 除役拆廠階段

主要需考量輻射防護之作業包括：

(1) 系統洩水與系統除污

本項作業類似於運轉期間系統洩水與除污之作業，作業規劃詳述於本計畫第八章除污方式及除役期間放射性廢氣、廢液處理中，主要包含組件之化學除污、電化學除污及機械除污等，其作業程序可參考核二廠現行作業程序書。

本項作業主要需進行之輻射防護考量如下：

A. 化學除污：

係利用化學溶劑清洗污染區域或設施以達到除污的目的。化學除污過程中，主要偵測管制二次廢棄物的產生，以及廢液外釋排放監測措施。另若除污劑使用揮發性物質，將可能產生放射性懸浮物，則需考量偵測管制廢氣外釋監測措施。除污作業時，人員須配戴適當防護裝具，避免吸入放射性懸浮物，造成體內污染。

B. 電化學除污：

係利用電解反應，使表面污染的放射性核種進入電解槽中，達到除污的目的。除污過程中產生之放射性廢液及廢氣，需管制減少二次

電解廢棄物的產生及落實相關輻射防護所需之收集、再處理、監測管制等措施。

C. 機械除污：

機械除污法(又細分為表面淨化與表面移除)有吸塵、機械擦拭、高壓噴射、磨料噴射表層剝離，對污染物進行物理效應的處理，以達到表層淨化與移除的目的。除污噴射、剝離研磨過程中，需偵/監測管制產生煙塵之放射性懸浮物和粉塵集塵過濾防護措施，避免造成二次污染擴散。除污作業時，人員須配戴適當防護裝具，避免吸入放射性懸浮物，造成體內污染劑量。

為保持除污工作場地之輻射安全及避免空浮現象，視需要於現場架設密閉性施工區及/或移動式之排風過濾系統等，以維持工作環境負壓狀態。另外，並搭配區域輻射監測、場所輻射偵檢等防護措施。上述作業相關之輻射防護措施，參考核二廠輻射防護作業程序辦理。

(2) 用過核子燃料從燃料池全部移出至乾式貯存設施

本項作業類似同於核二廠第一期乾式貯存移出用過核子燃料至乾式貯存設施之相關規劃，其作業相關之輻射防護措施可依「核二廠用過核子燃料乾式貯存設施安全分析報告」第七章「輻射防護作業與環境輻射監測計畫」、「核二廠用過核子燃料乾式貯存系統輻射防護作業程序」執行辦理。

(3) 汽機廠房大型組件拆除

本項作業類似於運轉期間汽機廠房組件拆除維修之作業，作業規劃詳述於本計畫第六章、二、(二)節中，其組件拆除、切割、清理、吊運等作業程序之安全防護可參考核二廠現行作業程序書。

本項作業主要需進行之輻射防護考量為拆除過程中產生之人員劑量、放射性污染、放射性空浮，其作業相關之輻射防護措施參考核二廠輻射防護作業程序辦理。

(4) 反應器超 C 類內部組件移除

本項作業之規劃詳述於本計畫第六章、二、(一)節中，主要包含

頂部導板及爐心側板之移除。此二類內部組件之拆除規劃為以遙控方式進行水下切割，主要需進行之輻射防護考量為拆除過程中導致池水污染程度的上升，進而影響池邊工作人員之劑量。其作業相關之輻射防護措施參考核二廠輻射防護作業程序[2]辦理。

(5) 反應器及其內部組件拆除

本項作業之規劃詳述於本計畫第六章、二、(一)節中，主要包含規劃以遙控方式進行水下切割之蒸汽乾燥器、汽水分離器與側板頂蓋、爐心底板、飼水噴嘴等反應器壓力槽內部組件，以及於空氣中切割之壓力槽頂蓋及反應爐壓力槽。以遙控方式進行水下切割之反應器內部組件主要需進行的輻射防護考量為拆除過程中產生之放射性廢液、於空氣中切割之壓力槽頂蓋及反應爐壓力槽則主要需考量其拆除過程中產生之放射性空浮，其作業相關之輻射防護措施，參考核二廠輻射防護作業程序辦理。

(6) 反應器蒸汽系統管路拆除

本項作業類似同於運轉期間蒸汽系統管路拆除維修之作業，其作業程序可參考核二廠現行作業程序書，其作業相關之輻射防護措施，參考核二廠輻射防護作業程序辦理。

(7) 用過核子燃料池拆除

本項作業之規劃，主要需進行之組件拆除、切割、清理、吊運等，拆除過程中產生之人員劑量、放射性污染、放射性空浮等作業輻射防護考量，其作業相關之輻射防護措施，參考核二廠輻射防護作業程序辦理。

(8) 一次圍阻體拆除

本項作業之規劃詳述於本計畫第六章、二、(二)節中。主要需進行之組件拆除、切割、清理、吊運等，拆除過程中產生之人員劑量、放射性污染、放射性空浮等作業輻射防護考量，其作業相關之輻射防護措施，參考核二廠輻射防護作業程序辦理。

(9) 其他輻射污染系統及設備的拆除

本項作業類似同於運轉期間系統及設備拆除維修之作業，作業規

劃詳述於本計畫第六章除役時程、使用之設備、方法及安全作業程序中，其作業程序可參考核二廠現行作業程序書。

本項作業主要需進行之組件拆除、切割、清理、吊運等，拆除過程中產生之人員劑量、放射性污染、放射性空浮等作業輻射防護考量，其作業相關之輻射防護措施，參考核二廠輻射防護作業程序辦理。

(10) 其他建物的除污

本項作業規劃詳述於本計畫第八章、一、(二)節中，主要為進行結構機械除污之作業。

本項作業主要為清理除污，對於作業過程中預期產生之空浮，除考量裝設粉塵收集設備及過濾系統外，其餘作業相關之輻射防護措施，參考核二廠輻射防護作業程序辦理。

3. 廠址最終狀態偵測階段

本階段作業已不涉及有輻射污染之建物、系統、組件、設備，以及管路等，僅於保留區內維持必要之輻射防護措施。

4. 廠址復原階段

本階段作業已不涉及有輻射污染之建物、系統、組件、設備，以及管路等，僅於保留區內維持必要之輻射防護措施。

(八) 放射性廢棄物管制

除役作業所產生之各類放射性廢棄物，其污染程度可歸因於各系統組件所受中子活化，以及活化腐蝕產物、分裂產物沉積程度的差異。源自中子活化所產生之放射性廢棄物，主要為反應器壓力槽、反應器壓力槽保溫材(RPV Insulation)、爐心內部組件，以及生物屏蔽、反應器一次圍阻體鋼構與其周圍的混凝土。對於污染放射性廢棄物之來源主要可分為兩種，第一種是活化腐蝕產物(Crud)，第二種污染源為燃料破損所造成分裂產物釋放沉積在一次側管路系統內。由此可知，沸水式反應器電廠除役放射性廢棄物的分佈範圍，涵蓋反

應器廠房、主圍阻體、輔助廠房、廢棄物廠房與控制廠房與汽機廠房的管線與設備，以及這些廠房結構進行表面除污移除的受污染表面混凝土等。

1. 產生放射性廢棄物來源與型態

除役過程中產生之廢棄物除前節所述之金屬類廢棄物外，其他放射性廢棄物尚包括濕性廢棄物及乾性廢棄物。其中濕性廢棄物之來源主要來自除污廢液及系統洩水處理過程。乾性廢棄物之組成主要是擦拭紙、維修工具、實驗室固體廢棄物、空氣過濾器、防護衣等。

2. 低放射性廢棄物管理分類

- (1) 除役作業所產生之各類低放射性廢棄物，需遵循廢棄物管理分類程序妥善歸類與處理，以確保儲運安全管控。
- (2) 廢棄物處理前先依其形態區分成液體類或固體類廢棄物，並按照其表面劑量率/比活度高低類別加以分類、記錄與管理，以方便後續各種處理技術、方法之實施。

3. 固體低放射性廢棄物之處理與貯存

- (1) 固體低放射性廢棄物(含放射性化學濃漿)，先適當分類與包裝後再送至處理單位。固體低放射性廢棄物須經適當處理，並貯存於核二廠特定之貯存設施內。
- (2) 固體低放射性廢棄物處理設施之作業區主管，須定期(每季)將現況、異動及處理紀錄，陳報主管機關(原能會)備查
- (3) 執行「一定活度或比活度以下混凝土塊及廢金屬外釋」前，應撰寫外釋計畫，送主管機關(原能會)審查同意後執行相關作業，作業期間保健物理組應派員檢查並副知主管機關(原能會)以利查核。

4. 低放射性廢氣、廢水之排放管制

- (1) 為確保核二廠除役作業所產生之低放射性廢氣及廢液排放，造成關鍵群體中個人於一年內所接受之劑量符合「游離輻射防護安全標準」第十二條之規定，應依「游離輻射防護安全標準」之規定，訂定適當管

制程序，使核二廠排放至環境之廢氣及廢液的放射性核種濃度符合「游離輻射防護安全標準」訂定之排放物濃度。

- (2) 依「游離輻射防護安全標準」之規定，輻射工作場所排放含放射性物質之廢氣或廢水，造成邊界之空氣中及水中之放射性核種年平均濃度不超過「游離輻射防護安全標準」附表四之二規定之排放物濃度。
- (3) 排放至環境之廢氣及廢水所含的放射性核種均須依程序書規定進行取樣、分析、記錄、統計與輻射安全評估。
- (4) 為確保核二廠排放至環境之廢氣及廢水的放射性核種濃度符合所定之排放物濃度標準限值，於各排放口適當位置裝置連續式輻射監測器，並具警報設定，以確實掌握廢氣及廢水的排放濃度變化。當排放口連續輻射監測器達警戒設定值時，應立即查明升高原因，採取必要措施。
- (5) 管理低放射性氣、液體排放管制計畫，重點應包括：
 - A. 低放射性廢氣廢水來源、處理系統及流程
 - B. 低放射性廢氣廢水排放管制作業程序
 - C. 低放射性廢氣廢水排放濃度取樣作業及流程監測系統
 - D. 低放射性廢氣廢水排放定期報表格式與呈報程序
 - E. 異常排放處理與陳報程序

5. 放射性物質之運送

- (1) 核二廠於設施外運送放射性物質時，應遵守放射性物質安全運送規則及道路交通安全有關法令之規定。
- (2) 核二廠放射性物質在廠內或貯存場所範圍內之運送，得免適用放射性物質安全運送規則之規定。
- (3) 對於符合規定之放射性物質運送作業，須訂定適當之執行及管制作業程序據以施行。
- (4) 放射性物質於設施外運送應注意事項：
 - A. 放射性物質之運送，應依放射性物質安全運送規則及訂定之作業程序之規定辦理。兼具有其他危險性之放射性物質，除應遵守本規則

外，並應遵守其他有關危險物運送之規定。

- B. 運送之放射性物質務必依規定標示，及應備交運之相關文件。
- C. 與放射性物質運送人員應依規定接受相關訓練、人員劑量監測及劑量限制。
- D. 放射性物質運送容器及工具，應依規定偵測及除污，以防止污染擴散。
- E. 放射性物質運送作業過程中，應注意輻射安全，以保障工作人員及民眾之接受曝露符合法令規定。
- F. 放射性物質運達目的地搬至存放場所後，應即依規定劃定適當管制區域，並採取輻射示警措施。
- G. 放射性物質運送發生意外事故，應依有關法令規定及意外事故緊急處理計畫審慎處理。

(九)合理抑低措施

本章內容主要依據「游離輻射防護法」[11]、「游離輻射防護法施行細則」[16]、「游離輻射防護安全標準」[6]、「輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則」[14]等規定訂定。依「輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則」第十五條規定，核二廠規劃之各項偵測及監測，應制訂紀錄基準、調查基準及干預基準。其偵測及監測之結果超過紀錄基準者，應予記錄並保存之；其結果超過調查基準者，應調查其原因；其結果超過干預基準者時，應立即採取必要之應變措施。依「游離輻射防護安全標準」第六條第一項規定，核二廠輻射作業應防止確定效應之發生及抑低機率效應之發生率，且符合下列規定：

- 利益須超過其代價。
- 考慮經濟與社會因素後，一切曝露應合理抑低。
- 個人劑量不得超過游離輻射防護安全標準之規定值。

在任何輻射區與高輻射區內之除役作業，均將參考核二廠「輻射曝露之合理抑低計畫(ALARA)」之相關規定執行與監督劑量合理抑低措施。

1. 合理抑低措施

- (1) 為增進輻射安全，各輻射作業之規劃與管制，需考慮輻射工作人員有效劑量及集體有效劑量之合理抑低措施。
- (2) 任何在輻射區與高輻射區內之作業，必須由輻射防護人員依輻射工作許可證內容，評估該項作業可能造成之集體有效劑量。
- (3) 任何單項作業預估集體有效劑量達 50 man-mSv 以上時，應指派專人負責該項工作有關合理抑低措施之作業規劃與管制，預估集體有效劑量達 100 man-mSv 以上時，應由保健物理部門召集相關作業部門就該一單項工作之有關資料加以審查檢討，進一步規劃具體合理抑低措施及提出必要的建議或改進事項。作業部門應遵守有關之合理抑低措施之要求與規定。預估集體有效劑量達 250 man-mSv 時，應送輻射防護管理委員會審議通過後，始得進行該項作業。對於本計畫評估之輻射劑量率較高的作業，已依據國外除役經驗，規劃實施除污作業、臨時屏蔽、自動化拆解使用等措施，於本章第二節之作業人員劑量評估，亦考量上述措施造成之劑量率下降，惟部分作業因時間長、廢棄物類別多，故在集體劑量上會高於 100 man-mSv，例如全廠區除污、拆解切割全廠放射性廢棄物等，在這些工作前，將依據評估結果再行實施人力配置。並於人力規劃上，確保個別輻射作業人員所接受的劑量不超過游離輻射防護標準所規範之劑量限值。
- (4) 作業後檢討與改善：各項工作於完成後，如實際造成之集體有效劑量與預估集體有效劑量值相差超過 25%時，應作業後檢討與改善審查，檢討執行成效，並設專檔備查，以供日後參考。
- (5) 作業過程中，因作業區之輻射狀況或作業程序有重大改變，作業部門之主管或參與作業之輻射防護人員，應即要求暫停作業，待重新修正之合理抑低措施方案核定後，再按更新之管制程序繼續執行。
- (6) 合理抑低措施計畫、管制及檢討等相關文件其保存年限規定如下：
 - A. 實際集體有效劑量達 50 man-mSv 以上者，至少保存三年。
 - B. 實際集體有效劑量達 100 man-mSv 以上者，至少保存五年。
 - C. 其保存年限自作業後審查會議紀錄核定之日起算。

2. 除役實務合理抑低措施

依據國際除役經驗，收集並規劃核二廠未來除役採用之合理抑低措施以及其劑量抑低效果如下：

- (1) 遙控設備的使用：在處理高活度放射性設備/組件時，為避免人員接受過高的輻射劑量率曝露，在 NUREG/CR-6174 及國際上實務經驗，皆建議採取遠端遙控方式執行包含壓力槽與內部組件、其他高活度金屬組件切割、高活度混凝土刨除等作業。遙控設備使用可增加人員與處理之放射性設備/組件的距離，在劑量率抑低的效果與實際距離成平方反比。一般情形下，使用後，作業人員的輻射劑量率可降為該區域的背景輻射劑量率。
- (2) 除污：依國際除役經驗，即建議在停機後盡速採行除污措施，以去除系統管路內放射性核種；以此除了可降低高活度廢棄物產量，更可進一步抑低後續作業人員的輻射劑量。因此，本公司規劃在除役過渡階段採行系統化學除污與廠房機械除污等作業。依照實務經驗，化學除污可降低放射性活 10 至數 10 倍、機械除污亦可降低約 5 倍。
- (3) 放射性衰變：核電廠停機後，放射性核種即開始衰變；其劑量率亦開始降低。因此，國際部分電廠在除役策略上，選擇停機後一段時間再進行實際拆除。在核二廠除役計畫中，為降低作業人員的輻射劑量，實際的拆除作業規劃在停機 8 年後始進行。依據主要劑量貢獻核種 Co-60 估算，劑量率約可降低 0.349 倍($e^{-0.693/5.26 \times 8}$)。
- (4) 臨時屏蔽的使用：電廠在營運期間，已廣泛使用屏蔽的方法降低輻射劑量率。例如在處理高輻射組件時，架設鉛毯、隔離架，及在運送廢棄物時，使用臨時屏蔽桶；皆為常見的作法。在除役期間，將沿用這些方法，以降低人員與民眾的輻射曝露。臨時屏蔽的效果依屏蔽的材料及厚度而定，依據日本濱岡電廠使用鉛毯的經驗，至少降低一半的空間劑量率。

本公司於除役計畫中，採用國際已採用的合理抑低措施包含遙控設備的使用、除污的規劃、帶放射性衰變後執行拆除放射性組件與使用臨時屏蔽。

以確保作業人員與民眾的輻射曝露為合理抑低。未來並將持續收集國際經驗，將實務可行措施納入輻射措施與合理抑低規劃。

3. 參考基準

參考基準指對輻射防護計畫或程序中規劃的偵測與監測所制定的行動基準。合理抑低措施計畫所規範的各項偵測及監測結果，依合理抑低措施參考基準，超過紀錄基準者，須予記錄；超過調查基準時，須調查其原因，並檢討改進；超過干預基準時，須另行採取劑量管制或醫務監護。各參考基準處理原則，如表 10-35 參考基準、表 10-36 台灣電力公司核能發電相關設施監測區試樣放射性分析行動基準。

(十)紀錄保存

關於除役相關技術、分析、測量及其他文件、資料之保存年限將依「核子反應器設施除役許可申請審核及管理辦法」之第十四條：「除役計畫與其相關送審文件、資料及依本辦法提報之各種報告或紀錄，經營者應永久保存；其餘除役相關技術、分析、測量及其他文件、資料，經營者應訂定類別清單及保存期限，並報主管機關備查」辦理。

四、結語

本章節針對核二廠除役期間，各項活動可能對民眾及電廠工作人員造成之輻射劑量影響，進行完整之評估與說明；並以合理抑低概念為原則，提出適當之輻射防護措施與規劃，確保相關除役活動能符合游離輻射防護法之規定。

在射源項部分，本章節羅列除役期間可能造成之放射性氣、液體排放，以及各類型已存在或因應除役活動所新興建之貯存設施；在評估工具方面，透過點核仁法、分格座標法、蒙地卡羅法等國際輻防組織認可之計算機程式工具，完整評估在不同除役階段不同距離與屏蔽設計下之最大可能輻射曝露劑量；另

佐以適當之輻射管制措施與建議，在正當化與最適化原則下，做出可達合理抑低之通盤考量。

本公司透過上述方法，完整而詳實考量核二廠除役活動期間之民眾與工作人員劑量，確保核二廠在除役期間對一般民眾及廠界周圍環境輻射劑量影響限值低於 0.5 mSv/y/廠址；以及所有工作人員所接受之有效劑量連續五年內不超過 100 mSv，任何單一年內不超過 50 mSv 之法規限值。

五、參考文獻

1. U.S. NRC, NUREG-0586 “Final Generic Environmental Impact Statement on Decommissioning of Nuclear Facilities,” October 2002.
2. 台灣電力公司核二廠，“核二廠 902 程序書「輻射防護安全標準」”，98 年。
3. 中華民國行政院原子能委員會，核能電廠環境輻射劑量設計規範，79 年。
4. U.S. NRC, NUREG-0170 “Final Environmental Statement on the Transportation of Radioactive Material by Air and Other Modes” 2006.
5. 台灣電力公司核二廠，「台灣電力公司第二核能發電廠輻射防護計畫」，104 年。
6. 中華民國行政院原子能委員會，「游離輻射防護安全標準」，94 年 12 月 30 日。
7. 台灣電力公司，「核二廠二號低放射性廢棄物貯存庫十年再評估報告」，106 年。
8. 台灣電力公司，「核二廠三號低放射性廢棄物貯存庫十年再評估報告」，106 年。
9. 台灣電力公司，「核二廠用過核子燃料乾式貯存設施安全分析報告」，97 年 11 月。
10. 行政院原子能委員會，放射性廢棄物處理貯存及其設施安全管理規則，97 年。
11. 中華民國，「游離輻射防護法」，91 年 1 月 30 日。
12. 中華民國行政院原子能委員會，「核子反應器設施管制法施行細則」，92 年 8 月 27 日。

13. 行政院原子能委員會，「放射性物料管理法施行細則」，98 年 4 月 22 日。
14. 中華民國行政院原子能委員會，「輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則」，93 年 10 月 20 日。
15. 行政院原子能委員會，「環境輻射監測規範」，19 年 01 月 08 日。
16. 中華民國行政院原子能委員會，「游離輻射防護法施行細則」，97 年 2 月 22 日。
17. 行政院原子能委員會，「放射性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法」，92 年 01 月 22 日。
18. U.S. NRC, NUREG/CR-0672 “Technology, Safety and Costs of Decommissioning a Reference Boiling-Water Reactor Power Station,” December 1990.
19. U.S. NRC, NUREG-6174 ” Revised Analyses of Decommissioning for the Reference Boiling Water Reactor Power Station – Effects of Current Regulatory and Other Considerations on the Financial Assurance Requirements of the Decommissioning Rule and on Estimates of Occupational Radiation Exposure”,1995.

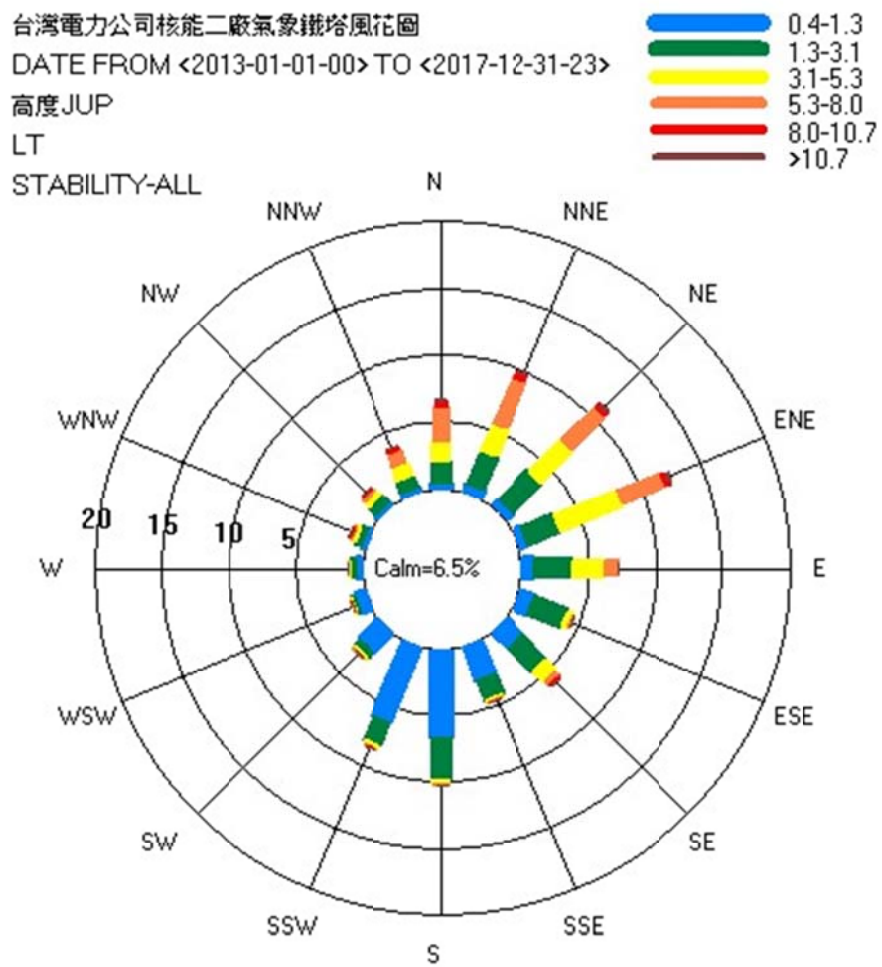
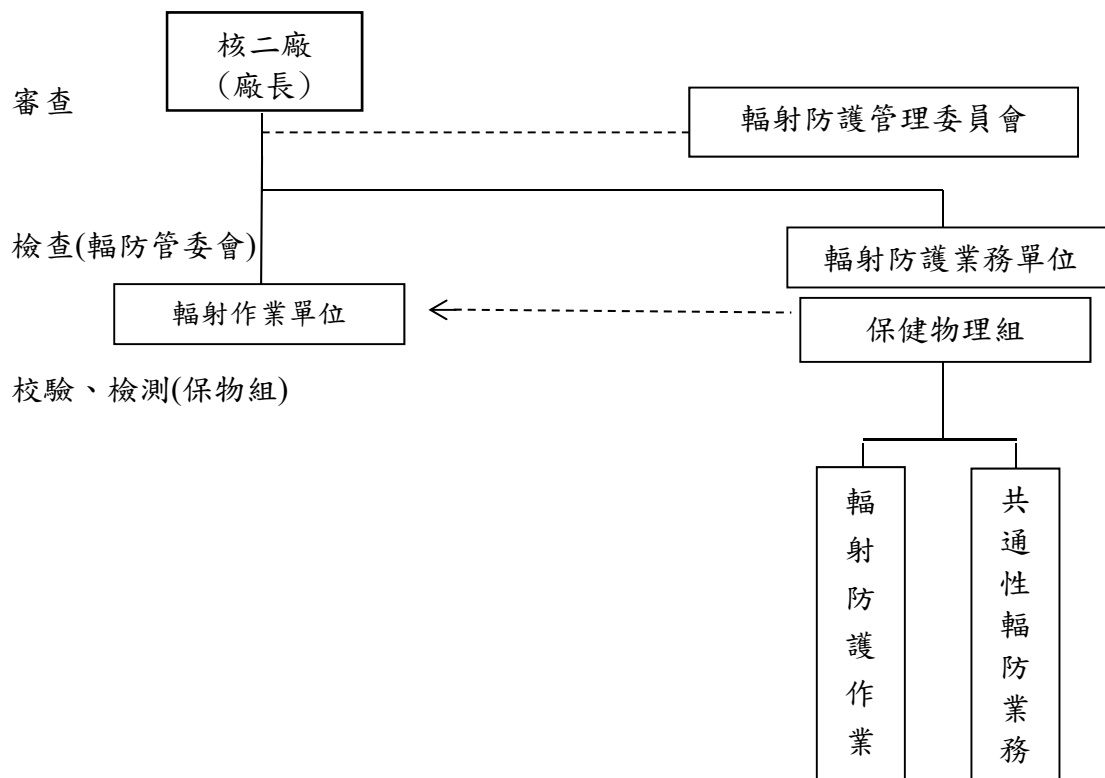


圖 10-1 核二廠 102 年至 106 年計 5 年平均之低塔氣象風花圖



圖 10-2 核二廠熱發光劑量計監測站分佈圖(5 km 內)



備註：(輻射作業單位)

- 1.除役過渡階段：供應組、工安衛生組、品質組、保健物理組、核能技術組、運轉組、環保化學組、機械修配組、電氣儀控組、廢料處理組及訓練組、基礎設施組、拆除技術組、工程管理組。
- 2.除役拆廠階段：供應組、工安衛生組、品質組、保健物理組、環保化學組、廢料處理組及訓練組、除役工程組、大型組件組、工程管理組。
- 3.廠址最終狀態偵測階段：供應組、保健物理組、廢料處理組、除役工程組、品質組、工安衛生組、工程管理組。
- 4.廠址復原階段：供應組、保健物理組、廢料處理組、除役工程組、品質組、工安衛生組、工程管理組。

圖 10-3 核二廠除役各階段輻射防護管理組織圖

表 10-1 核二廠 102 年至 106 年之各放射性氣體排放平均值活度(Bq)及其半化期

核種	半化期	102 年	103 年	104 年	105 年	106 年	平均值
一、分裂及活化氣體							
Ar-41	1.83 h	2.32×10^{11}	2.90×10^{11}	5.46×10^{11}	2.74×10^{11}	1.84×10^{11}	3.05×10^{11}
Kr-85	10.70 y	2.80×10^{10}	0**	0**	3.04×10^{10}	0**	1.17×10^{10}
Kr-85m	4.48 h	6.75×10^9	4.88×10^{11}	6.59×10^{11}	1.11×10^{12}	1.28×10^{12}	7.09×10^{11}
Kr-87	1.27 h	2.26×10^{11}	5.16×10^{11}	3.01×10^8	1.95×10^{11}	8.70×10^{10}	2.05×10^{11}
Kr-88	2.84 h	2.05×10^{10}	1.54×10^{11}	2.23×10^{11}	2.81×10^{11}	3.06×10^{11}	1.97×10^{11}
Kr-89	3.15 m	4.80×10^{11}	4.39×10^{12}	0**	0**	4.79×10^6	9.74×10^{11}
Xe-133	5.24 d	2.09×10^{11}	3.03×10^{11}	5.96×10^{11}	7.87×10^{11}	8.29×10^{10}	3.96×10^{11}
Xe-133m	2.19 d	0**	0**	2.60×10^9	3.55×10^7	0**	5.27×10^8
Xe-135	9.10 h	9.80×10^{11}	1.43×10^{12}	1.68×10^{12}	1.43×10^{12}	8.43×10^{11}	1.27×10^{12}
Xe-135m	15.30 m	2.64×10^{12}	5.45×10^{12}	3.00×10^{12}	4.47×10^{12}	3.96×10^{12}	3.90×10^{12}
Xe-137	3.82 m	8.45×10^{12}	3.85×10^{13}	4.27×10^{13}	2.70×10^{13}	1.95×10^{13}	2.72×10^{13}
Xe-138	14.20 m	6.05×10^{12}	1.19×10^{13}	5.25×10^{12}	8.85×10^{12}	6.38×10^{12}	7.69×10^{12}
二、碘							
I-131	8.04 d	3.57×10^8	1.77×10^8	2.60×10^8	8.37×10^8	1.40×10^8	3.54×10^8
I-132	2.30 h	2.08×10^7	7.40×10^6	3.50×10^6	1.44×10^7	4.34×10^6	1.01×10^7
I-133	20.80 h	2.04×10^8	1.92×10^8	1.13×10^8	2.41×10^8	1.37×10^8	1.77×10^8
I-134	0.88 h	1.43×10^7	2.35×10^6	1.49×10^6	5.04×10^6	2.54×10^6	5.14×10^6
I-135	6.61 h	6.92×10^7	4.07×10^7	8.28×10^6	3.75×10^7	1.54×10^7	3.42×10^7
三、微粒							
Co-60	5.27 y	0**	0**	0**	0**	2.55×10^5	5.10×10^4
Rb-89*	0.25 h	0**	1.86×10^7	9.91×10^5	1.53×10^7	1.51×10^7	1.00×10^7
Sr-89	50.50 d	1.61×10^6	2.68×10^6	1.28×10^6	2.97×10^6	1.64×10^6	2.04×10^6
Sr-90	29.10 y	6.66×10^5	2.24×10^5	7.85×10^4	1.08×10^5	1.31×10^5	2.42×10^5
Sr-91*	9.50 h	2.54×10^7	4.69×10^7	9.09×10^6	2.29×10^7	1.63×10^7	2.41×10^7
Sr-92*	2.71 h	0**	0**	0**	1.13×10^5	0**	2.26×10^4
Tc-101*	0.24 h	0**	0**	0**	0**	0**	0**
Te-132*	0.21 h	8.83×10^4	0**	0**	0**	0**	1.77×10^4
Cs-134	2.06 y	0**	0**	0**	0**	2.20×10^5	4.40×10^4
Cs-137	30.00 y	0**	2.84×10^5	5.43×10^4	4.18×10^2	2.76×10^5	1.23×10^5
Cs-138*	0.54 h	4.36×10^7	8.36×10^7	3.65×10^7	6.69×10^7	6.87×10^7	5.99×10^7
Ba-139*	1.38 h	2.93×10^8	4.52×10^8	1.95×10^8	2.57×10^8	2.31×10^8	2.86×10^8
Ba-140	12.70 d	7.06×10^6	1.40×10^7	2.45×10^6	1.24×10^7	7.48×10^6	8.68×10^6
La-140*	1.68 d	1.28×10^7	2.40×10^7	6.16×10^6	1.83×10^7	9.59×10^6	1.42×10^7
四、氫							
H-3	12.30 y	5.98×10^{11}	8.33×10^{11}	9.89×10^{11}	7.28×10^{11}	3.05×10^{11}	6.91×10^{11}
五、氮							
N-13	9.97 m	2.33×10^{12}	1.91×10^{12}	2.01×10^{12}	1.63×10^{12}	5.44×10^{10}	1.59×10^{12}
合計		2.23×10^{13}	6.62×10^{13}	5.77×10^{13}	4.68×10^{13}	3.30×10^{13}	4.52×10^{13}

註*：核種半化期小於 8 天之微粒核種，不納入本報告之劑量評估。

註**：表示經評估活度小於 10 的負 15 次方。

表 10-2 除役各階段的預估每年排放至大氣的核種活度(Bq)

核種	半化期	除役過渡階段 T ₂ =0 年	除役拆廠階段 T ₂ =8 年	廠址最終狀態偵 測階段 T ₂ =20 年	廠址復原 階段 T ₂ =23 年
Ar-41	1.83 h	3.05×10^{11}	0**	0**	0**
Kr-85	10.70 y	1.17×10^{10}	6.96×10^9	3.20×10^9	2.63×10^9
Kr-85m	4.48 h	7.09×10^{11}	0**	0**	0**
Kr-87	1.27 h	2.05×10^{11}	0**	0**	0**
Kr-88	2.84 h	1.97×10^{11}	0**	0**	0**
Kr-89	3.15 m	9.74×10^{11}	0**	0**	0**
Xe-133	5.24 d	3.96×10^{11}	0**	0**	0**
Xe-133m	2.19 d	5.27×10^8	0**	0**	0**
Xe-135	9.10 h	1.27×10^{12}	0**	0**	0**
Xe-135m	15.30 m	3.90×10^{12}	0**	0**	0**
Xe-137	3.82 m	2.72×10^{13}	0**	0**	0**
Xe-138	14.20 m	7.69×10^{12}	0**	0**	0**
I-131	8.04 d	3.54×10^8	0**	0**	0**
I-132	2.30 h	1.01×10^7	0**	0**	0**
I-133	20.80 h	1.77×10^8	0**	0**	0**
I-134	0.88 h	5.14×10^6	0**	0**	0**
I-135	6.61 h	3.42×10^7	0**	0**	0**
Co-60	5.27 y	5.10×10^4	1.78×10^4	3.68×10^3	2.48×10^3
Rb-89*	0.25 h	1.00×10^7	0**	0**	0**
Sr-89	50.50 d	2.04×10^6	7.99×10^{-12}	0**	0**
Sr-90	29.10 y	2.42×10^5	1.97×10^5	1.48×10^5	1.38×10^5
Sr-91*	9.50 h	2.41×10^7	0**	0**	0**
Sr-92*	2.71 h	2.26×10^4	0**	0**	0**
Tc-101*	0.24 h	0**	0**	0**	0**
Te-132*	0.21 h	1.77×10^4	0**	0**	0**
Cs-134	2.06 y	4.40×10^4	2.98×10^3	5.26×10^1	1.92×10^1
Cs-137	30.00 y	1.23×10^5	1.02×10^5	7.74×10^4	7.23×10^4
Cs-138*	0.54 h	5.99×10^7	0**	0**	0**
Ba-139*	1.38 h	2.86×10^8	0**	0**	0**
Ba-140	12.70 d	8.68×10^6	0**	0**	0**
La-140*	1.68 d	1.42×10^7	0**	0**	0**
H-3	12.30 y	6.91×10^{11}	4.40×10^{11}	2.24×10^{11}	1.89×10^{11}
N-13	9.97 m	1.59×10^{12}	0**	0**	0**
合計		4.52×10^{13}	4.47×10^{11}	2.27×10^{11}	1.92×10^{11}

註*：核種半化期小於 8 天之微粒核種，不納入本報告之劑量評估。

註**：表示經評估活度小於 10 的負 15 次方。

表 10-3 除役各階段放射性氣體(惰性氣體)排放造成關鍵群體之有效劑量(mSv)

核二除役惰性氣體造成之有效劑量	除役過渡階段	除役拆廠階段	廠址最終狀態偵測階段	廠址復原階段
關鍵群體所在方位	北方 600 m 處	北方 600 m 處	北方 600 m 處	北方 600 m 處
年齡群	成人	成人	成人	成人
曝露途徑：空浸				
有效劑量 (mSv/y/廠址)	1.81×10^{-2}	7.80×10^{-8}	3.59×10^{-8}	2.95×10^{-8}
法規限值 (mSv/y/廠址) (註*)	0.10	0.10	0.10	0.10
空氣加馬輻射 (mGy/y/廠址)	2.65×10^{-2}	4.78×10^{-8}	2.20×10^{-8}	1.81×10^{-8}
年設計限值 (mGy/y/廠址)	0.2	0.2	0.2	0.2
空氣貝他輻射 (mGy/y/廠址)	3.15×10^{-2}	5.43×10^{-6}	2.50×10^{-6}	2.05×10^{-6}
年設計限值 (mGy/y/廠址)	0.4	0.4	0.4	0.4

註*：核二廠之廠址有 2 座機組，原始法規限值係限制單一機組，本表格係計算全廠址的劑量影響，故引用法規限值標準為單一廠址，為單一機組之 2 倍。

表 10-4 除役各階段放射性氣體(碘、微粒、氬等核種)排放造成關鍵群體之輻射劑量

核二除役碘、微粒、氬等核種造成之輻射劑量	除役過渡階段		除役拆廠階段		廠址最終狀態偵測階段		廠址復原階段	
關鍵群體所在方位	北方 600 m 處		北方 600 m 處		北方 600 m 處		北方 600 m 處	
年齡群	2 至 7 歲兒童		12 至 17 歲青少年		12 至 17 歲青少年		12 至 17 歲青少年	
器官	有效劑量 (mSv)	甲狀腺 等價劑量 (mSv)	有效劑量 (mSv)	骨表面 等價劑量 (mSv)	有效劑量 (mSv)	骨表面 等價劑量 (mSv)	有效劑量 (mSv)	骨表面 等價劑量 (mSv)
地面沉積	7.32×10^{-5}	7.19×10^{-5}	9.46×10^{-7}	3.82×10^{-6}	2.05×10^{-7}	2.27×10^{-6}	1.44×10^{-7}	2.06×10^{-6}
農作物	2.01×10^{-4}	3.71×10^{-3}	1.56×10^{-5}	1.55×10^{-5}	7.98×10^{-6}	7.88×10^{-6}	6.75×10^{-6}	6.65×10^{-6}
肉類群	3.00×10^{-5}	4.29×10^{-4}	5.77×10^{-6}	5.76×10^{-6}	2.94×10^{-6}	2.94×10^{-6}	2.48×10^{-6}	2.48×10^{-6}
呼吸	2.73×10^{-4}	3.40×10^{-3}	9.43×10^{-5}	9.39×10^{-5}	4.81×10^{-5}	4.78×10^{-5}	4.06×10^{-5}	4.03×10^{-5}
合計	5.77×10^{-4}	7.61×10^{-3}	1.17×10^{-4}	1.19×10^{-4}	5.92×10^{-5}	6.09×10^{-5}	5.00×10^{-5}	5.15×10^{-5}
法規限值(註 1) (mSv/y/廠址)	-(註 2)	0.30(註 3)	-(註 2)	0.30(註 3)	-(註 2)	0.30(註 3)	-(註 2)	0.30(註 3)

註：

1.依「核能電廠環境輻射劑量設計規範」規定：

(1)惰性氣體造成廠界外非限制區域中任一民眾有效等效劑量(現行輻射防護法規稱為有效劑量)不超過 50 微西弗/年/機組(即 0.05 毫西弗/年/機組)。

(2)放射性碘、氬及微粒(半化期超過 8 天者)造成廠界外非限制區域中任一民眾其任一器官的年等效劑量(現行輻射防護法規稱為等價劑量)每年不得超過 15 毫侖目(0.15 毫西弗/年機組)。

2.依「核能電廠環境輻射劑量設計規範」規定，碘、微粒、氬等核種對於民眾造成之有效劑量並無法規限值，故以「-」符號表示。

3.因本表係評估核二廠廠址 2 部機組之放射性廢氣排放劑量貢獻，故所對應之設計限值係指單一機組惰性氣體造成之有效劑量設計限值與碘、微粒、氬等核種造成之器官等價劑量設計限值之 2 倍。

表 10-5 除役各階段放射性氣體排放造成關鍵群體之有效劑量

核種類別	核二除役之各階段有效劑量 (mSv/y.廠址)			
	除役過渡階段	除役拆廠階段	廠址最終狀態偵測 階段	廠址復原階段
惰性氣體	1.81×10^{-2}	7.80×10^{-8}	3.59×10^{-8}	2.95×10^{-8}
碘、微粒、氫	5.77×10^{-4}	1.17×10^{-4}	5.92×10^{-5}	5.00×10^{-5}
合計(註)	1.87×10^{-2}	1.17×10^{-4}	5.93×10^{-5}	5.00×10^{-5}

註：由於惰性氣體造成各年齡群劑量相等，於除役過渡階段中，表 10-3 之成人有效劑量與 2 至 7 歲兒童有效劑量相等，故表 10-3 有效劑量可與表 10-4 有效劑量加總，其他除役階段以此類推，皆可將表 10-3 與表 10-4 有效劑量相加。

表 10-6 核二廠 102 年至 106 年之各放射性液體排放平均值活度(Bq)及其半化期

核種	半化期	102 年	103 年	104 年	105 年	106 年	平均值
Ag-110m	249.79 d	0*	0*	0*	0*	0*	0*
Ce-144	284.89 d	0*	0*	0*	0*	0*	0*
Co-58	70.86 d	2.25×10^6	7.07×10^6	8.86×10^5	4.72×10^6	6.34×10^5	3.11×10^6
Co-60	5.2714 y	1.43×10^7	4.48×10^7	3.57×10^7	4.91×10^7	1.21×10^8	5.30×10^7
Cr-51	27.7025 d	2.27×10^5	8.00×10^5	0*	5.75×10^4	3.02×10^5	2.77×10^5
Cs-134	2.0648 y	1.38×10^5	1.33×10^6	5.05×10^4	5.50×10^6	8.17×10^7	1.77×10^7
Cs-137	30.07 y	2.56×10^7	4.71×10^7	1.68×10^7	5.79×10^6	9.94×10^7	3.89×10^7
F-18	109.77 m	0*	3.01×10^5	0*	0*	0*	6.02×10^4
Fe-55	2.73 y	7.70×10^7	2.28×10^6	1.67×10^7	3.25×10^7	1.36×10^8	5.29×10^7
Fe-59	44.503 d	7.47×10^6	0*	0*	0*	3.66×10^5	1.57×10^6
I-131	8.021 d	0*	0*	0*	3.37×10^7	7.25×10^5	6.89×10^6
I-132	2.295 h	9.20×10^7	1.37×10^8	3.96×10^7	0*	0*	5.37×10^7
I-133	20.8 h	0*	0*	0*	5.54×10^6	0*	1.11×10^6
I-134	52.5 m	0*	0*	0*	0*	0*	0*
Mn-54	312.3 d	0*	0*	0*	5.18×10^7	1.22×10^8	3.48×10^7
Mn-56	2.5785 h	0*	0*	0*	0*	0*	0*
Nb-95	34.975 d	0*	0*	0*	0*	0*	0*
Sr-89	50.53 d	3.40×10^6	4.30×10^7	1.65×10^7	0*	0*	1.26×10^7
Sr-90	28.79 y	0*	0*	0*	0*	0*	0*
Zr-95	64.02 d	0*	0*	0*	0*	0*	0*
Sb-124	60.20 d	0*	0*	0*	0*	0*	0*
Xe-135	9.14 h	0*	0*	0*	0*	0*	0*
H-3	12.33 y	6.93×10^{10}	7.96×10^{10}	9.69×10^{10}	1.26×10^{11}	3.51×10^{11}	1.45×10^{11}
Np-239	2.3565 d	0*	0*	0*	1.43×10^6	0*	2.86×10^5
合計		6.95×10^{10}	7.99×10^{10}	9.70×10^{10}	1.26×10^{11}	3.52×10^{11}	1.45×10^{11}

註*：表示經評估活度小於 10 的負 15 次方。

表 10-7 除役各階段的預估每年排放至水中的核種活度(Bq)

核種	半化期	除役過渡 階段 $T_2=0$	除役拆廠 階段 $T_2=8$ 年	廠址最終狀 態偵測階段 $T_2=20$ 年	廠址復原 階段 $T_2=23$ 年
Ag-110m	249.79 d	0*	0*	0*	0*
Ce-144	284.893 d	0*	0*	0*	0*
Co-58	70.86 d	3.11×10^6	1.23×10^6	0*	0*
Co-60	5.2714 y	5.30×10^7	1.85×10^7	3.82×10^6	2.57×10^6
Cr-51	27.7025 d	2.77×10^5	0*	0*	0*
Cs-134	2.0648 y	1.77×10^7	1.21×10^6	2.15×10^4	7.87×10^3
Cs-137	30.07 y	3.89×10^7	3.24×10^7	2.46×10^7	2.29×10^7
F-18	109.77 m	6.02×10^4	0*	0*	0*
Fe-55	2.73 y	5.29×10^7	6.94×10^6	3.30×10^5	1.54×10^5
Fe-59	44.503 d	1.57×10^6	2.78×10^{-14}	0*	0*
I-131	8.021 d	6.89×10^6	0*	0*	0*
I-132	2.295 h	5.37×10^7	0*	0*	0*
I-133	20.8 h	1.11×10^6	0*	0*	0*
I-134	52.5 m	0*	0*	0*	0*
Mn-54	312.3 d	3.48×10^7	5.33×10^4	3.20×10^0	2.81×10^{-1}
Mn-56	2.5785 h	0*	0*	0*	0*
Nb-95	34.975 d	0*	0*	0*	0*
Sr-89	50.53 d	1.26×10^7	5.06×10^{-11}	0*	0*
Sr-90	28.79 y	0*	0*	0*	0*
Zr-95	64.02 d	0*	0*	0*	0*
Sb-124	60.20 d	0*	0*	0*	0*
Xe-135	9.14 h	0*	0*	0*	0*
H-3	12.33 y	1.45×10^{11}	9.22×10^{10}	4.70×10^{10}	3.97×10^{10}
Np-239	2.3565 d	2.86×10^5	0*	0*	0*
合計		1.45×10^{11}	9.23×10^{10}	4.70×10^{10}	3.97×10^{10}

註*：表示經評估活度小於 10 的負 15 次方。

表 10-8 除役各階段放射性液體排放造成關鍵群體之有效劑量

核二除役造成有效劑量之關鍵曝露途徑	除役過渡階段 $T_2=0$	除役拆廠階段 $T_2=8$ 年	廠址最終狀態偵測階段 $T_2=20$ 年	廠址復原階段 $T_2=23$ 年
年齡群	成人	成人	成人	成人
魚類	1.88×10^{-4}	4.70×10^{-5}	2.20×10^{-5}	1.97×10^{-5}
無脊椎生物	1.83×10^{-4}	3.54×10^{-5}	6.99×10^{-6}	5.21×10^{-6}
海藻	2.67×10^{-6}	4.68×10^{-7}	1.58×10^{-7}	1.29×10^{-7}
海濱遊樂	4.27×10^{-3}	1.35×10^{-3}	2.77×10^{-4}	1.88×10^{-4}
游泳	6.92×10^{-6}	1.71×10^{-6}	3.42×10^{-7}	2.30×10^{-7}
划船	2.64×10^{-7}	6.53×10^{-8}	1.30×10^{-8}	8.76×10^{-9}
合計 (mSv/y/廠址)	4.65×10^{-3}	1.43×10^{-3}	3.07×10^{-4}	2.13×10^{-4}
有效劑量之年設計限值 (mSv/y/廠址) (註*)	0.06	0.06	0.06	0.06

註*：核二廠之廠址有 2 座機組，原始法規限值係限制單一機組，本表格係計算全廠址的劑量影響，故引用法規限值標準為單一廠址，為單一機組之 2 倍。

表 10-9 除役各階段放射性液體排放造成關鍵群體之器官等價劑量

核二除役造成器官等價劑量之關鍵曝露途徑	除役過渡階段 $T_2=0$	除役拆廠階段 $T_2=8$ 年	廠址最終狀態偵測階段 $T_2=20$ 年	廠址復原階段 $T_2=23$ 年
年齡群	成人	成人	成人	成人
最大等價劑量之器官	骨表面	皮膚	皮膚	皮膚
魚類	2.36×10^{-4}	2.98×10^{-5}	1.76×10^{-5}	1.61×10^{-5}
無脊椎生物	2.39×10^{-4}	1.36×10^{-5}	3.82×10^{-6}	3.08×10^{-6}
海藻	1.59×10^{-6}	2.36×10^{-7}	1.02×10^{-7}	8.78×10^{-8}
海濱遊樂	5.80×10^{-3}	2.24×10^{-3}	8.01×10^{-4}	6.61×10^{-4}
游泳	1.08×10^{-5}	2.18×10^{-6}	4.90×10^{-7}	3.50×10^{-7}
划船	4.11×10^{-7}	8.30×10^{-8}	1.87×10^{-8}	1.33×10^{-8}
合計 (mSv/y/廠址)	6.29×10^{-3}	2.29×10^{-3}	8.23×10^{-4}	6.81×10^{-4}
器官等價劑量之法規限值 (mSv/y/廠址) (註*)	0.2	0.2	0.2	0.2

註*：核二廠之廠址有 2 座機組，原始法規限值係限制單一機組，本表格係計算全廠址的劑量影響，故引用法規限值標準為單一廠址，為單一機組之 2 倍。

表 10-10 各種低放射性廢棄物貯存容器之基本資料

項目容器	3 m ³ 鋼箱	7 m ³ 鋼箱	55 加侖桶
長/直徑 (mm)	1,720+2,080 (overpack)	2,847	570
寬 (mm)	1,720+2,080 (overpack)	2,197	--
高 (mm)	1,245+1,675 (overpack)	1,090	890
除役容器數量需求	233	4,055	28,872
表面最大劑量率 (mSv/h)	< 10	< 10	< 200
TI (mSv/h)	< 1.00×10^{-3}	< 1.00×10^{-3}	< 2.00×10^{-2}

表 10-11 各種低放射性廢棄物貯存容器於每單次運送對最近廠界處之劑量評估結果

低放射性廢棄物貯存容器	每單次運送對最近廠界處之劑量評估 (μ Sv)
3 m ³ 鋼箱	1.802×10^{-4}
7 m ³ 鋼箱	2.215×10^{-3}
55 加侖桶	2.359×10^{-3}

表 10-12 2 號低放射性廢棄物貯存庫於正常運轉時對廠界民眾劑量之評估結果

廠界位置點	直接輻射 (mSv/h)	向天輻射 (mSv/h)	合計 (mSv/y)	劑量限值 (mSv/y)
基金公路註	7.43×10^{-8}	2.25×10^{-8}	8.48×10^{-4}	0.05
北展館	5.31×10^{-12}	2.29×10^{-12}	6.66×10^{-8}	0.05
頂寮	4.42×10^{-13}	7.88×10^{-14}	4.56×10^{-9}	0.05

註：該處為最近之廠界點

表 10-13 3 號低放射性廢棄物貯存庫於正常運轉時對廠界民眾劑量之評估結果

廠界位置點	直接輻射 (mSv/h)	向天輻射 (mSv/h)	合計 (mSv/y)	劑量限值 (mSv/y)
南方廠界(註)	8.92×10^{-9}	5.39×10^{-9}	1.25×10^{-4}	0.05
基金公路	3.24×10^{-9}	4.09×10^{-9}	6.42×10^{-5}	0.05
北展館	1.98×10^{-16}	1.83×10^{-14}	1.62×10^{-10}	0.05
頂寮	3.62×10^{-17}	5.13×10^{-16}	4.81×10^{-12}	0.05

註：該處為最近之廠界點

表 10-14 核二廠除役各階段相關處理與貯存設施運轉規劃時程

設施	除役過渡 階段	除役拆廠 階段	廠址最終狀 態偵測階段	廠址復原 階段
第一期用過核子燃料乾式貯存設施	既有設施			
第二期用過核子燃料乾式貯存設施 (含再取出單元)		✓	✓	✓
2 號低放射性廢棄物貯存庫	既有設施			
3 號低放射性廢棄物貯存庫	既有設施			
新建低放射性廢棄物貯存庫		✓	✓	✓
減容中心	既有設施			
待外釋廢金屬暫存倉庫/鋼筋混凝土塊分離場		✓	✓	

表 10-15 核二廠除役各階段處理與貯存設施運轉對廠界民眾劑量影響彙整(mSv/y)

處理與貯存設施	對廠界位置之劑量影響評估(mSv/y)			
	除役過渡階段	除役拆廠階段	廠址最終狀態偵測階段	廠址復原階段
第一期用過核子燃料乾式貯存設施	4.58×10^{-2}	4.58×10^{-2}	4.58×10^{-2}	4.58×10^{-2}
第二期用過核子燃料乾式貯存設施 (含再取出單元)	-	4.38×10^{-2}	4.38×10^{-2}	4.38×10^{-2}
2 號低放射性廢棄物貯存庫	8.48×10^{-4}	8.48×10^{-4}	8.48×10^{-4}	8.48×10^{-4}
3 號低放射性廢棄物貯存庫	1.25×10^{-4}	1.25×10^{-4}	1.25×10^{-4}	1.25×10^{-4}
新建低放射性廢棄物貯存庫	-	4.67×10^{-2}	4.67×10^{-2}	4.67×10^{-2}
減容中心	2.20×10^{-4}	2.20×10^{-4}	2.20×10^{-4}	2.20×10^{-4}
待外釋廢金屬暫存倉庫/鋼筋混凝土塊分離場	可忽略	可忽略	可忽略	可忽略
合計	4.70×10^{-2}	1.37×10^{-1}	1.37×10^{-1}	1.37×10^{-1}

表 10-16 核二廠除役各階段廠界民眾劑量影響彙整(mSv/y)

除役各階段	除役過渡階段	除役拆廠階段	廠址最終狀態偵測階段	廠址復原階段
放射性氣體排放(惰性氣體與碘、微粒、氫等核種)	1.87×10^{-2}	1.17×10^{-4}	5.93×10^{-5}	5.00×10^{-5}
放射性液體排放	4.65×10^{-3}	1.43×10^{-3}	3.07×10^{-4}	2.13×10^{-4}
低放射性廢棄物廠內運送	0	1.13×10^{-3}	0	0
處理與貯存設施運轉	4.70×10^{-2}	1.37×10^{-1}	1.37×10^{-1}	1.37×10^{-1}
合計	7.03×10^{-2}	1.40×10^{-1}	1.37×10^{-1}	1.37×10^{-1}

表 10-17 核二廠輻射工作人員之劑量限度

劑量限度類別	劑量限度
有效劑量	每連續五年週期內不得超過 100 mSv，且期間任何單一年內不得超過 50 mSv
等價劑量 眼球水晶體 皮膚或四肢	每年 150 mSv 每年 500 mSv
說明：(1)輻射工作人員有效劑量限度於 92 年 1 月 1 日起算，每連續五年為一管制週期；其他限度以年為管制週期。 (2)背景輻射與醫學診斷、治療之輻射劑量，不列入管制範圍。	

表 10-18 除役各階段造成作業人員接受到輻射曝露工作分析表

工作 編碼	工作名稱	管制區 作業	是否接觸 放射性廢 棄物
1	除役過渡階段		
1.1	除役作業準備(1)		
1.1.1	設施停止運轉	O	X
1.1.2	主管機關(原能會)核備作業(1)	X	X
1.1.3	廠址輻射特性調查	O	X
1.1.4	現場作業準備(1)	X	X
1.1.5	除污作業(1)	O	X
1.1.6	汽機廠房除役需求設備修改	O	X
1.2	各除役作業項目的規劃與發包(1)	X	X
1.3	第一期用過核子燃料乾式貯存設施測試	O	X
1.4	第二期用過核子燃料室內乾式貯存設施(含再取出單元)申照與興建(1)	X	X
1.5	燃料廠房用過核子燃料池島區貯存(1)	O	X
1.6	廢棄物處理與貯存設施準備與興建	X	X
2	除役拆廠階段		
2.1	除役作業準備(2)		
2.1.2	除污作業(2)	O	X
2.1.3	反應器與其他廠房除役需求設備修改	O	X
2.2	各除役作業項目的規劃與發包(2)	X	X
2.3	燃料廠房用過核子燃料池島區貯存(2)		
2.3.1	用過核子燃料池島區貯存(2)	O	X
2.3.2	用過核子燃料搬移至第二期用過核子燃料室內乾式貯存設施(含再取出單元)	O	X
2.4	第二期用過核子燃料室內乾式貯存設施(含再取出單元)申照與興建(2)	X	X
2.5	放射性廢棄物處理區域準備	O	X
2.6	低放射性廢棄物處理/貯存設施營運	O	X
2.7	拆解與拆除		
2.7.1	汽機廠房設備拆解	O	O
2.7.2	輔助&反應器廠房設備拆解	O	O
2.7.3	燃料廠房設備拆解	O	O

工作 編碼	工作名稱	管制區 作業	是否接觸 放射性廢 棄物
2.7.4	廢料廠房設備拆解	O	O
2.7.5	控制廠房設備拆解	O	O
2.7.6	拆除範圍內廠房污染混凝土拆除	O	X
2.7.7	拆除範圍內廠房設備拆除	O	O
註	低放射性廢棄物處理與管理	O	O
3	最終廠址偵測階段	X	X
4	廠址復原階段	X	X

註：低放射性廢棄物處理與管理工作內容為拆解後之廢棄物進行廠內處理後，包裝運送至低放射性廢棄物貯存庫之作業。此項工作包含所有放射性污染廠房之廢棄物處理。

表 10-19 核二廠除役作業分類表

工作編碼	工作名稱	作業分類
1	除役過渡階段	
1.1	除役作業準備	
1.1.1	設施停止運轉	一般性輻射作業
1.1.3	廠址輻射特性調查	一般性輻射作業
1.1.5	除污作業(1)	一般性輻射作業
1.1.6	汽機廠房除役需求設備修改	一般性輻射作業
2	除役拆廠階段	
2.1	除役作業準備	
2.1.2	除污作業(2)	一般性輻射作業
2.1.3	反應器與其他廠房除役需求設備修改	一般性輻射作業
2.3	燃料廠房用過核子燃料池島區貯存(2)	
2.3.1	用過核子燃料池島區貯存(2)	一般性輻射作業
2.3.2	用過核子燃料搬移至第二期用過核子燃料乾式貯存設施	一般性輻射作業
2.5	放射性廢棄物處理區域準備	一般性輻射作業
2.6	低放射性廢棄物處理/貯存設施營運	一般性輻射作業
2.7	拆解與拆除	
2.7.1	汽機廠房設備拆解	接觸性輻射作業
2.7.2	輔助&反應器廠房設備拆解 反應器內部組件 反應器壓力槽 輔助廠房設備拆解各樓層設備拆解與拆除 反應器廠房設備拆解各樓層設備拆解與拆除	反應器壓力槽與內部組件拆解作業 反應器壓力槽與內部組件拆解作業 接觸性輻射作業 接觸性輻射作業
2.7.3	燃料廠房設備拆解	接觸性輻射作業
2.7.4	廢料廠房設備拆解	接觸性輻射作業
2.7.5	控制廠房設備拆解	接觸性輻射作業
2.7.6	拆除範圍內廠房污染混凝土拆除	一般性輻射作業
2.7.7	拆除範圍內廠房設備拆除	接觸性輻射作業
註	低放射性廢棄物處理與管理	低放射性廢棄物處理作業

註：低放射性廢棄物處理與管理工作內容為拆解後之廢棄物進行廠內處理後，包裝運送至低放射性廢棄物貯存庫之作業。在表中彙整各輻射廠房的低放射性廢棄物處理與管理為一個工作項目。此項工作包含所有放射性污染廠房之廢棄物處理。

表 10-20 核二廠除役一般性輻射作業需求人時及估算方法

工作編碼	工作名稱	人力需求 (man-h)	估算方法
1.1.1	設施停止運轉	614	以核一廠與核二廠處理之系統廢棄物重量比例推估
1.1.3	廠址輻射特性調查	3,568	以核一廠與核二廠輻射廠房之面積比例推估
1.1.5&2.1.2	除污作業(1)(2)	9,819	以核一廠與核二廠處理之系統廢棄物重量比例推估
1.1.6	汽機廠房除役需求設備修改	1,441	以核一廠與核二廠處理之系統廢棄物重量比例推估
2.1.3	反應器與其他廠房除役需求設備修改	1,441	以核一廠與核二廠處理之系統廢棄物重量比例推估
2.3.1	用過核子燃料池島區貯存(2)	3,440	依照核二廠大修報告推估
2.3.2	用過核子燃料搬移至第二期 用過核子燃料乾式貯存設施	13,652.5	依照核二廠一期乾貯安全分析報告推估
2.5	放射性廢棄物處理區域準備	892	以核一廠與核二廠輻射廠房之面積比例推估
2.7.6 註	放射性混凝土拆除	26,844	以核一廠與核二廠污染混凝土重量比例推估

註：放射性混凝土拆除包含工作編碼 2.7.6 拆除範圍內廠房污染混凝土拆除以及其他輻射作業廠房設備及污染混凝土拆除。

表 10-21 核二廠輻射廠房各樓層空間平均劑量率與空間面積

廠房區域	輻射區面積 (m ²)	非示警區面積 (m ²)	輻射區 平均劑量率(mSv/h)	非示警區 平均劑量率 (mSv/h)
二號機反應器&輔助廠房 1 樓	503.91	1,614.06	0.0831	0.0107
二號機反應器&輔助廠房 2 樓	541.16	1,501.96	0.0751	0.0059
二號機反應器&輔助廠房 3 樓	497.89	1,832.29	0.0034	0.0014
二號機反應器&輔助廠房 4 樓	266.2	1,698.84	0.5230	0.0037
二號機反應器&輔助廠房 5 樓	28.63	1,363.48	0.4240	0.0008
二號機反應器&輔助廠房 6 樓	184.16	1,328.575	0.0449	0.0172
二號機反應器&輔助廠房 7 樓	-	933.739	-	0.0063
二號機汽機廠房 1 樓	-	3,654.41	-	0.0019
二號機汽機廠房 2 樓	-	578.09	-	0.0020
二號機汽機廠房 3 樓	-	2,652.79	-	0.0006
二號機汽機廠房 4 樓	-	6,327.37	-	0.0003
二號機燃料廠房 1 樓	448.01	773.61	0.1100	0.0160
二號機燃料廠房 2 樓	37.28	704.5	0.1040	0.0307
二號機燃料廠房 3 樓	13.19	774.32	0.0098	0.0022
二號機乾井	2,140.6	-	0.3440	-

註：1.符號-表示該區域不具有此區域劃分與劑量率參數。

2.二號機燃料廠房 1 樓、2 樓、3 樓因輻射區域無法進入量測，於現階段以該樓層量測最高劑量率代表。

表 10-22 核二廠除役規劃一般性輻射作業劑量率

工作編碼	工作名稱	劑量率 (mSv/h)
1.1.1	設施停止運轉	0.0377
1.1.3	廠址輻射特性調查	0.0377
1.1.5&2.1.2	除污作業(1)(2)	0.0251
1.1.6	汽機廠房除役需求設備修改	0.0063
2.1.3	反應器與其他廠房除役需求設備修改	0.0724
2.3	燃料廠房用過核子燃料池島區貯存(2) ^註	
2.3.1	用過核子燃料池島區貯存(2)	註 1
2.3.2	用過核子燃料搬移至第二期用過核子燃料乾式貯存設施	註 1
2.5	放射性廢棄物處理區域準備	
2.5.1	汽機廠房低放射性廢棄物處理間	0.006
2.5.2	輔助&反應器廠房放射性廢棄物處理間	0.025
2.7.6 註 2	放射性混凝土拆除	0.0724

註：

- 1.獨立用過核子燃料池島區貯存劑量率為依照核二廠一期乾式貯存安全分析報告及大修報告估算。
- 2.放射性混凝土拆除包含工作編碼 2.7.6 拆除範圍內廠房污染混凝土拆除以及其他輻射作業廠房設備及污染混凝土拆除。

表 10-23 核二廠廢棄物分類與拆解人時評估

污染盤點表編號	組件類別	總人時 (man-h)
T10	管件	432
T20	管件	16,900
T21	管件	84,729
T22	閥件	20,713
T08	汽機組件	4,241
T11	內襯鋼板	72,388
T12	泵	11,154
T16	槽	72,321
T19	雜項	28,580
T23	通風元件	44,954
T05	熱交換器	201,989

表 10-24 核二廠放射性廢棄物存放規劃

項目/容器	提籃+ 3 m ³ 鋼箱+外箱	7 m ³ 鋼箱	55 加侖桶
除役容器數量需求	233	4,055	28,872
表面最大劑量率 (用以作為劑量評估)	10 mSv/h	10 mSv/h	2 mSv/h
規劃裝載廢棄物的種類	超 C、C 及 B 類廢棄物	A 類廢棄物	保溫材

表 10-25 除役期間相關放射性廢棄物處理與貯存設施對工作人員集體有效劑量之評估分析表

處理與貯存設施	工作人員輻射劑量評估(man-Sv)				
	除役過渡 階段	除役拆廠 階段	廠址最終狀態 偵測階段	廠址復原 階段	合計
高放射性廢棄物					
第一期用過核子燃料乾式貯存設施	1.16×10^{-2}	1.74×10^{-2}	4.36×10^{-3}	2.91×10^{-3}	3.63×10^{-2}
第二期用過核子燃料乾式貯存設施	-	6.46×10^{-2}	1.61×10^{-2}	1.08×10^{-2}	9.15×10^{-2}
低放射性廢棄物					
2 號低放射性廢棄物貯存庫	1.76×10^{-1}	2.64×10^{-1}	6.6×10^{-2}	4.4×10^{-2}	5.5×10^{-1}
3 號低放射性廢棄物貯存庫	1.76×10^{-1}	2.64×10^{-1}	6.6×10^{-2}	4.4×10^{-2}	5.5×10^{-1}
新建低放射性廢棄物貯存庫	-	2.64×10^{-1}	6.6×10^{-2}	4.4×10^{-2}	3.7×10^{-1}
減容中心	1.76×10^{-1}	2.64×10^{-1}	6.6×10^{-2}	4.4×10^{-2}	5.5×10^{-1}
其他					
待外釋廢金屬暫存倉庫/鋼筋混凝土塊 分離場	-	忽略不計	忽略不計	-	-

表 10-26 除役過渡階段所需之人時及集體有效劑量分析表

工作編碼	工作名稱	劑量率(mSv/h)	人時 (man-h)	除污因素	屏蔽因素	衰變因素	工作集體有效 劑量 (man-Sv)
1.1.1	設施停止運轉	0.0377	614	不考慮	不考慮	不考慮	0.0231
1.1.3	廠址輻射特性調查	0.0377	3,568	不考慮	不考慮	不考慮	0.1345
1.1.5&2.1.2	除污作業(1)	0.0251	9,819	不考慮	不考慮	不考慮	0.2465
1.1.6	汽機廠房除役需求設備修改	0.0063	1,441	不考慮	不考慮	不考慮	0.0091

表 10-27 低放射性廢棄物廠房內作業之工作人員集體有效劑量評估參數與結果

	5 m 推估最高劑量率(mSv/h)	數量/批	總批數	每批作業人時(man-h)	集體有效劑量(man-Sv)
3 m ³ 鋼箱(A1)	3.00×10^{-2}	1	233	1	6.99×10^{-3}
7 m ³ 鋼箱	5.29×10^{-1}	1	4,055	1	2.15
55 加侖桶	6.92×10^{-3}	3	9,624	1	2.00×10^{-1}
合計				13,912	2.35

備註：低放射性廢棄物廠房內作業，係指拆解後廢棄物之量測、處理/判別、整理/分類、減容、組件除污、包裝及廠房內運送等作業。

表 10-28 低放射性廢棄物接收作業人員集體有效劑量

容器類型	廢棄物桶表面劑量率(mSv/h)	人員接受之劑量率(mSv/h)	每批作業人時(man-h)	桶數/批	批次	工作人員集體有效劑量(man-Sv)
3 m ³ 鋼箱	10	0.01	1	1	233	2.33×10^{-3}
7 m ³ 鋼箱	10	0.01	1	1	4055	4.06×10^{-2}
55 加侖桶	2	0.002	1	3	9,624	1.92×10^{-2}
共計						8.14×10^{-2}

表 10-29 除役拆廠階段集體有效劑量分析表

工作 編碼	工作名稱	劑量率(mSv/h)	人時 (man-h)	除污 因素	屏蔽 因素	衰變 因素	工作集體 有效劑量 (man-Sv)
2.1.3	反應器與其他廠房除役需求設備修改	0.0724	1,441	5	-	0.349	0.0073
2.3	燃料廠房用過核子燃料池島區貯存(2)						
2.3.1	用過核子燃料池島區貯存(2)	-	-	不考慮	不考慮	不考慮	0.780
2.3.2	用過核子燃料搬移至第二期用過核子燃料乾式貯存設施	-	-	不考慮	不考慮	不考慮	2.781
2.5	放射性廢棄物處理區域準備						
2.5.1	汽機廠房低放射性廢棄物處理間	0.006	446	5	不考慮	0.349	0.0002
2.5.2	輔助&反應器廠房放射性廢棄物處理間	0.025	446	5	不考慮	0.349	0.001
2.7	拆解與拆除						
2.7.1	汽機廠房設備拆解	參照特性調查各項設備 30 公分量測結果	4241	5	不考慮	0.349	0.003

工作 編碼	工作名稱	劑量率(mSv/h)	人時 (man-h)	除污 因素	屏蔽 因素	衰變 因素	工作集體 有效劑量 (man-Sv)
2.7.2	輔助&反應器廠房設備拆解						
	反應器內部組件						
	上部內部組件	0.02	11,162	不考慮	不考慮	不考慮	0.223
	下部內部組件	0.1	11,162	不考慮	不考慮	不考慮	1.116
	內部組件運送	0.05	5,581	不考慮	不考慮	不考慮	0.279
	反應器壓力槽						
	上部壓力槽	0.02	8,244	不考慮	不考慮	不考慮	0.165
	下部壓力槽	0.1	8,244	不考慮	不考慮	不考慮	0.824
	壓力槽運送	0.05	4,122	不考慮	不考慮	不考慮	0.206
	輔助廠房設備拆解各樓層設備拆解與 拆除	參照特性調查各 項設備 30 公分量 測結果	554,159	5	0.5	0.349	5.100
	反應器廠房設備拆解各樓層設備拆解 與拆除			5	0.5	0.349	
2.7.3	燃料廠房設備拆解			5	0.5	0.349	
2.7.4	廢料廠房設備拆解			5	0.5	0.349	
2.7.5	控制廠房設備拆解			5	0.5	0.349	
2.7.7	拆除範圍內廠房設備拆除			5	0.5	0.349	
2.7.6 註 1	拆除範圍內廠房污染混凝土拆除	0.0724	26,844	5	不考慮	0.349	0.136

工作 編碼	工作名稱	劑量率(mSv/h)	人時 (man-h)	除污 因素	屏蔽 因素	衰變 因素	工作集體 有效劑量 (man-Sv)
註 2	低放射性廢棄物處理與管理						
	廠房內作業	0.000169	13,912	不考慮	不考慮	不考慮	2.350
	運送作業	0.00002	9,320	不考慮	不考慮	不考慮	0.186
	接收作業	0.00000346	23,536	不考慮	不考慮	不考慮	0.081

註：

- 1.放射性混凝土拆除包含工作編碼 2.7.6 拆除範圍內廠房污染混凝土拆除以及其他輻射作業廠房設備及污染混凝土拆除。
- 2.”低放射性廢棄物處理與管理” 包含拆解後之放射性廢棄物處理、包裝、運送與完成貯庫接收之所有作業。

表 10-30 除役計畫各階段輻射作業活動對工作人員輻射劑量評估結果

除役各階段	除役過渡階段	除役拆廠階段	廠址最終狀態偵測階段	廠址復原階段	合計
工作人員總人時 (man-h)	15,445	682,860	---	---	698,302
工作人員集體有效劑 量 (man-Sv)	0.413	11.459	環境背景值 變動範圍	環境背景值 變動範圍	11.87

表 10-31 核二廠除役作業人員集體有效劑量分析表

工作 編碼	工作名稱	集體有效劑量 (man-Sv)
1.1.1	設施停止運轉	0.023
1.1.3	廠址輻射特性調查	0.135
1.1.5&2.1.2	除污作業 (1)(2)	0.247
1.1.6	汽機廠房除役需求設備修改	0.009
2.1.3	反應器與其他廠房除役需求設備修改	0.007
2.3.1	用過核子燃料池島區貯存(2)	0.78
2.3.2	用過核子燃料搬移至第二期用過核子燃料乾式貯存設施	註 1
2.5.1	汽機廠房低放射性廢棄物處理間	0.0002
2.5.2	輔助&反應器廠房放射性廢棄物處理間	0.001
2.7.1	汽機廠房設備拆解	0.003
2.7.2 註 2	輔助&反應器廠房設備拆解	7.914
2.7.6 註 3	放射性混凝土拆除	0.136
註 4	低放射性廢棄物處理與管理	2.617
合計		11.87

註：

1. 依據國際除役經驗，用過核子燃料搬移至第二期用過核子燃料乾式貯存設施不列入劑量加總討論。
2. 輔助&反應器廠房設備拆解，係指壓力槽與內部組件拆解、所有污染廠房之放射性廢棄物設備拆解。
3. 放射性混凝土拆除包含工作編碼 2.7.6 拆除範圍內廠房污染混凝土拆除以及其他輻射作業廠房設備及污染混凝土拆除。
4. 低放射性廢棄物處理之集體有效劑量為本報告三、(三)、4.之三項作業(廠房內作業、運送作業、廢棄物接收作業)評估結果加總。

表 10-32 核二廠地區管制劃分標準

環 境	指電廠財產界線以外，一般人可自由出入之地區。	
監 測 區	指電廠財產界線內，管制區以外之地區。	$< 5 \mu\text{Sv/h}$ 附著性污染： α 污染 $< 1 \text{ Bq}/100 \text{ cm}^2$ ， β/γ 污染 $< 2 \text{ Bq}/100 \text{ cm}^2$ 固著性污染：在距離 1 cm 處，其深部等效劑量率應維持在高於背景值每小時 0.001 mSv 以內。
管 制 區	(非示警區)	
	$< 0.05 \text{ mSv/h}$ $\alpha < 1 \text{ Bq}/100 \text{ cm}^2$ ， $\beta/\gamma < 10 \text{ Bq}/100 \text{ cm}^2$	
	示 警 區	輻射區
		$\geq 0.05 \text{ mSv/h}$ ， $< 1 \text{ mSv/h}$ (以距離輻射源或其表面 30 cm 之偵測結果為準)
		高輻射區
		$\geq 1 \text{ mSv/h}$ (以距離輻射源或其表面 30 cm 之偵測結果為準)
		極高輻射區
		$\geq 5 \text{ Gy/h}$ (以距離輻射源或其表面 1 m 之偵測結果為準)
		空浮放射性區
		空浮濃度可能使工作人員未佩戴呼吸防護面具之情況下，在一週工作時間(40 h)內之攝入超過 0.6% 年攝入限度(ALI)或 12DAC- 小 時 (Derived Air Concentration，推定空氣濃度)之區域
		污 染 區
		$\alpha \geq 1 \text{ Bq}/100 \text{ cm}^2$ $\beta/\gamma \geq 10 \text{ Bq}/100 \text{ cm}^2$
		高污 染 區
		$\alpha \geq 37 \text{ Bq}/100 \text{ cm}^2$ $\beta/\gamma \geq 370 \text{ Bq}/100 \text{ cm}^2$
		放射性物質區
		> 10 倍 美國聯邦法規 10 CFR 20 附錄 C-放射性物質應標示之量。

表 10-33 輻射監測/偵測儀器說明

偵檢器種類	型號	偵檢頭	最低可測值	精確度
中子輻射偵測器	Radeye NL	氦	0.5μSv/h	±15%
加馬輻射偵測器	Tellectector6112	蓋革偵檢器	1 μSv/h	±15%
加馬輻射偵測器	RadEye PRD	碘化鈉(鉍)偵檢器	0.05 μSv/h	±15%
加馬輻射偵測器	6150AD6	蓋革偵檢器	0.1 μSv/h	±15%
α、β/污染偵測計測系統	LB4100	比例型低背景計測器	α 0.14 Bq β 1.0 Bq	±15%
連續式空氣監測器	333-2	餅型蓋革偵檢器	β 10 cpm	±15%
區域輻射監測器	PM-1000	蓋革偵檢器	1 μSv/h	±15%
說明：精確度為符合美國國家標準 ANSI 規定。				

表 10-34 個人輻射監測/偵測儀器說明

偵檢器種類	型號	偵檢頭	最低可測值	精確度
門型人員污染偵測儀	LUDLUM 53	塑膠閃爍型偵檢器	3,700 Bq	±15%
個人電子劑量計(EPD)	DMC-2000S	固態 Si 半導體偵檢器	1 μSv	±15%
說明：精確度為符合美國國家標準 ANSI 規定。				

表 10-35 參考基準(95 年 12 月 15 日會輻字第 0950035425 號同意備查)

項目	基準類別	基準水平	應採行動	備註
1. 工作人員 職業曝露 劑量	紀錄基準	凡大於最低可測值者均應記錄。	未達最低可測值者應以 < LLD 或 0 記錄之 (Lower Limit of Detection, 最低可測值)。	
	調查基準	工作人員單次接受之強穿輻射之個人等效之劑量 $H_p(10)$ 超出日行政曝露限值達 1 mSv 者(2% 年劑量限度)。	應調查原因，了解是否有作業上的疏失，尋求改善途徑，並留存書面紀錄備查，同時陳報核發處核備。	1. 本基準為「核能電廠安全績效指標 (KPI)」項目。 2. 在完成超曝露申請，則改以申請核准之劑量值作為日行政曝露限值。
	干預基準	工作人員所受之有效劑量在年度內累積已達 18 毫西弗或眼球水晶體或四肢、皮膚之等價劑量在年度內累積已達年劑量限度之 9/10。	應暫時停止進入輻射管制區工作，如確有必要，應工作人員所屬部門經書面提出申請，經保健物理組審查後，由廠長或授權主管人員核准後始得繼續進入輻射管制區內工作。	
2. 工作人員 體內攝入 量	紀錄基準	0.1 % 年攝入限度。	應予記錄。	
	調查基準	工作人員之體內污染值達 2 % 年攝入限度(ALI)。	1. 應調查原因並檢討是否有作業上之疏失及尋求改善途徑，並留存書面紀錄備查，同時陳報核發處核備。 2. 評估體內劑量送主管處核轉放射試驗室登錄劑量。	本基準為「核能電廠安全績效指標 (KPI)」項目。

項目	基準類別	基準水平	應採行動	備註
	干預基準	工作人員在年度內累積之約定有效劑量達 1.8mSv。	1.應檢討防範一旦體內及體外曝露劑量合併計算時，將造成年劑量超過年行政管制值。 2.一旦體內外曝露劑量合併計算達年行政管制值，未經申請核准不得再進入管制區。	
3-1. 監測區 樣放射 分析	紀錄基準	達核能發電相關設施監測區試樣放射性分析行動基準規定之紀錄基準要求	若度量分析結果低於紀錄基準(儀器之最低可測量(MDA)),紀錄上應載明低於 MDA，並註明 MDA 值；若度量分析結果大於或等於儀器之 MDA 者應確實記錄度量分析結果，並註明 MDA 值。	左列基準係依輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則第 15 條第 2 項及第 3 項規定訂定。
	查驗基準	達核能發電相關設施監測區試樣放射性分析行動基準規定之查驗基準或取樣分析結果出現未訂定查驗基準之核種	1.取樣分析結果達查驗基準時，應調查肇因，及研議改善措施予以降低，並留存紀錄備查。 2.取樣分析結果出現未訂定查驗基準核種時，應調查原因妥為因應，並留存紀錄備查。	左列基準係依輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則第 15 條第 2 項及第 3 項規定訂定。
	調查基準	達核能發電相關設施監測區試樣放射性分析行動基準規定之調查基準或取樣分析結果出現未訂定調查基準之核種	1.取樣分析結果達調查基準時，應即應調查肇因，及研議改善措施予以降低，並於 30 日內以書面提報管機關。 2.取樣分析結果出現未訂定調查基準之核種時，應調查原因妥為因應，並留存紀錄備查。	左列基準係依輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則第 15 條第 2 項及第 3 項規定訂定。

項目	基準類別	基準水平	應採行動	備註
	干預基準	達核能發電相關設施監測區試樣放射性分析行動基準規定之干預基準或取樣分析結果出現未訂定干預基準之核種	1.取樣分析結果干預基準時，除依達調查基準之規定辦理外，並應立即對影響範圍採取下列措施： (1)適當之清理或降低污染措施。 (2)確認影響範圍的輻射狀況是否符合監測區之規定，若超過監測區規定之標準，應依管制區之規定採取圍籬、示警、管制及必要之防護措施。 2.取樣分析結果出現未訂定干預基準之核種時，應調查原因妥為因應，並留存紀錄備查。	左列基準係依輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則第15條第2項及第3項規定訂定。
3-2. 監測區空氣監測管制及因應行基準	紀錄基準	儀器之最低可測量(MDA)	1.所有依據廠區環境監測計畫執行例行空氣監測及依據本要點執行之空浮取樣分析結果，均應留存紀錄備查。 2.若度量分析結果低於儀器之最低可測量(MDA)者，紀錄上應載明低於MDA，並註明MDA值；若度量分析結果大於或等於儀器之MDA者應確實記錄度量分析結果，並註明MDA值。	1.左列基準係依輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則第15條第2項及第3項規定訂定。 2.放射性氣體排放管道之流程輻射偵檢器警報動作時在未具關斷連鎖保護之放射性氣體排放管道，其流程輻射偵檢器警報動作時，應
	查驗基準	0.03DAC	監測區空氣中放射性濃度達左列標準者應採取下列措施： 1.應立即進行單位內部	

項目	基準類別	基準水平	應採行動	備註
			查證，並留存紀錄備查。內容應至少包括：日期、時間、地點、升高或超限原因、空浮濃度、空浮限值，處理經過及改善辦法等項目。 2.異常空浮影響範圍應採適當告示，提醒輻射工作人員非有必要，不要在該範圍停留或活動，並禁止一般人在該範圍停留或活動。	立即確認監測區監測站設置之連續空氣監測顯示情況，如無異常，即無需進行進一步措施；若有異常升高現象，最遲應於4小時內執行監測區空氣取樣分析，確認空浮放射性物質濃度，分析結果若達左列之行動基準，依規定採取必要之設施。 3.監測區監測站未設置連續空氣監測設備者，應依前項規定執行取樣分析及相關措施。 4.前項取樣及分析作業，依本廠相關作業程序執行。
	調查基準	0.1DAC	監測區空氣中放射性濃度達左列標準者應採取下列措施： 1.應於30日內以書面報告送主管機關備查。內容應至少包括：日期、時間、地點、升高或超限原因、空浮濃度、空浮限值，處理經過及改善辦法等項目。 2.異常空浮影響範圍劃定為管制區，依管制區規定執行輻射安全管理。	
	干預基準	0.3DAC	監測區空氣中放射性濃度達左列標準者應採取下列措施： 1.2小時內先行以電話及傳真方式通報主管機關，並於30日內以書面提報主管機關備查。內容應至少包括：日期、時間、地點、升高或超限原因、空浮濃度、空浮	

項目	基準類別	基準水平	應採行動	備註
			限值，處理經過及改善辦法等項目。 2.異常空浮影響範圍依管制區規定劃定為空浮放射性區，並執行示警、輻射安全管制及必要之防護措施。	
4. 環境試樣 放射性分 析之行動 基準	紀錄基準	依環境輻射監測規範中之規定。	應予記錄	
	調查基準		應依「輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則」第 20 條規定辦理。	

表 10-36 台灣電力公司核能發電相關設施監測區試樣放射性分析行動基準
(依據輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則第 15 條第 2 項及第 3 項規定訂定)

試樣別基準 核種	水樣 (Bq/L)				草樣 (Bq/kg-wet)				土樣(污泥) (Bq/kg-dry)			
	紀	查	調	干	紀	查	調	干	紀	查	調	干
Mn-54	MDA	3.7×10^1	1.5×10^3	5.0×10^3	MDA	3.7×10^1	1.5×10^3	5.0×10^3	MDA	7.4×10^1	4.4×10^3	1.5×10^4
Fe-59	MDA	1.5×10^1	6.0×10^2	2.0×10^3	MDA	3.7×10^1	1.5×10^3	5.0×10^3	MDA	—	—	—
Co-58	MDA	3.7×10^1	1.5×10^3	5.0×10^3	MDA	3.7×10^1	1.5×10^3	5.0×10^3	MDA	7.4×10^1	4.4×10^3	1.5×10^4
Co-60	MDA	1.1×10^1	4.4×10^2	1.5×10^3	MDA	3.7×10^1	1.5×10^3	5.0×10^3	MDA	2.0×10^2	4.4×10^3	1.5×10^4
Zn-65	MDA	1.1×10^1	4.4×10^2	1.5×10^3	MDA	3.7×10^1	1.5×10^3	5.0×10^3	MDA	—	—	—
Sr-89	MDA	—	—	—	MDA	—	—	—	MDA	—	—	—
Sr-90	MDA	—	—	—	MDA	—	—	—	MDA	—	—	—
Zr-95	MDA	1.5×10^1	6.0×10^2	2.0×10^3	MDA	—	—	—	MDA	—	—	—
Nb-95	MDA	1.5×10^1	6.0×10^2	2.0×10^3	MDA	—	—	—	MDA	—	—	—
I-131	MDA	2.0	1.5×10^1	5.0×10^1	MDA	2.0×10^1	1.5×10^2	5.0×10^2	MDA	—	—	—
Cs-134	MDA	2.0	4.4×10^1	1.5×10^2	MDA	7.4	1.5×10^3	5.0×10^3	MDA	7.4×10^1	3.0×10^3	1.0×10^4
Cs-137	MDA	3.7	7.4×10^1	2.5×10^2	MDA	2.6×10^1	3.0×10^3	1.0×10^4	MDA	7.4×10^2	3.0×10^4	1.0×10^5
Ba-140	MDA	7.4	3.0×10^2	1.0×10^3	MDA	—	—	—	MDA	—	—	—
La-140	MDA	7.4	3.0×10^2	1.0×10^3	MDA	—	—	—	MDA	—	—	—

註：1.紀：紀錄基準、查：查驗基準、調：調查基準、干：干預基準。

2.取樣分析結果達查驗基準時，應調查肇因，及研議改善措施予以降低，並留存紀錄備查。

3.取樣分析結果達調查基準時，即應調查肇因，及研議改善措施予以降低，並於 30 日內以書面提報主管機關(原能會)。

4.取樣分析結果達干預基準時，除依達調查基準之規定辦理外，並應立即對影響範圍採取下列措施：

(1)適當之清理或降低污染措施；(2)確認若超過監測區規定之標準，應依管制區之規定採取圍籬、示警、管制及必要之防護措施。

5.本表所定各項基準係為預警作用所設之數值而非安全標準或法定限度。

附錄 10.A 核二廠廢氣排放途徑民眾劑量評估使用量因子

	關鍵群體使用量因子(最大值)						民眾平均使用量因子(平均值)					
年齡群	≤1 歲	1-2 歲	2-7 歲	7-12 歲	12-17 歲	>17 歲	≤1 歲	1-2 歲	2-7 歲	7-12 歲	12-17 歲	>17 歲
呼吸量(m ³ /y)	1,400	1,400	3,700	3,700	8,000	8,000	1,400	1,400	3,700	3,700	8,000	8,000
農作物(kg/y)	37.16	85.68	116.02	150.71	175.53	186.92	12.48	31.18	53.09	65.01	77.11	81.18
葉菜(kg/y)	20.04	55.59	76.9	94.9	116.36	125.06	7.23	18.82	34.33	43.16	52.83	53.49
奶類(L/y)	300.09	274.72	193.56	107.98	105.1	102.83	102.47	76.93	45.33	28.44	27.84	24.1
肉類(kg/y)	7.46	20.78	34.13	45.69	54.69	53.17	3.46	7.76	16.35	21.07	24.82	22.78

註：

- 1.原始數據為依 103 年獲核備之「台灣南北部居民生活環境與飲食習慣調查報告」。
- 2.依上述調查，葉菜、根菜、水果、稻米、肉類及奶類之當地產量未達自給自足，故依環境輻射監測規範中附件四「體外及體內劑量評估方法」，評估此等食物攝取之約定有效劑量時，另須考量市場稀釋因子進行修正。核二廠 10 公里範圍內無畜牧業發展，奶類市場稀釋因子取為 0.0，其餘由當地農牧產品的產銷情形，葉菜、根菜、稻米、水果、雜糧、茶葉及肉類之市場稀釋因子分別取為 0.047、0.177、0.150、0.002、0.787、0.040 及 0.328。
- 3.農作物係採 RG 1.109, table E-4、table E-5 建議為 22%水果攝取量、54%蔬菜(包括葉菜、根菜及茶葉)及 24%穀類(包括稻米與雜糧)之加總。
- 4.本表空氣呼吸量引用自美國 R.G. 1.109。
- 5.市場稀釋因子=(當地總產量)/(當地總產量+外地輸入量)。

附錄 10.B 核二廠廢液排放途徑民眾劑量評估使用量因子

	關鍵群體使用量因子(最大值)						民眾平均使用量因子(平均值)					
年齡群	≤1 歲	1-2 歲	2-7 歲	7-12 歲	12-17 歲	>17 歲	≤1 歲	1-2 歲	2-7 歲	7-12 歲	12-17 歲	>17 歲
魚類(kg/y)	9.03	32.77	44.38	55.93	63.94	70.85	4.13	11.00	19.62	25.28	28.82	28.39
無脊椎類(kg/y)	4.00	10.22	15.92	23.94	28.60	26.54	1.75	3.86	6.94	8.93	10.84	10.02
海菜(kg/y)	3.38	5.80	10.16	13.30	16.21	16.31	1.18	2.24	4.00	4.88	5.81	5.85
沙灘停留(h/y)	0	0	97.50	87.10	130.00	1820.00	0	0	60.67	57.78	72.04	92.19
游泳(h/y)	0	0	254.15	260.00	546.00	1,820.00	0	0	136.50	110.50	178.65	76.16
划船(h/y)	0	0	0	208.00	208.00	416.00	0	0	0	208.00	124.80	108.95

註：

- 1.原始數據為依 103 年獲核備之「台灣南北部居民生活環境與飲食習慣調查報告」。
- 2.依上述調查，魚類及海菜之當地產量未達自給自足，故依環境輻射監測規範中附件四「體外及體內劑量評估方法」，評估此等食物攝取之約定有效劑量時，另須考量市場稀釋因子進行修正，魚類、無脊椎及海菜之市場稀釋因子分別取為 0.387、0.208 及 0.006。
- 3.沙灘停留、游泳：關鍵群體使用量因子，>17 歲年齡層為沙灘從業人員，其他年齡層則選擇居民沙灘停留時間分佈之 97.5th 百分位數；民眾平均使用量因子，則取遊客沙灘停留時間之平均值。
- 4.划船：關鍵群體使用量因子，選擇居民划船時間分佈之 97.5th 百分位數；民眾平均使用量因子，取居民划船時間之平均值。
- 5.市場稀釋因子=(當地總產量)/(當地總產量+外地輸入量)。

附錄 10.C 第十章輻射劑量評估及輻射防護措施之重要管制事項

項次	內 容	管制時程
10-1	除役期間之輻射防護計畫含廠區監測區監測計畫，應於除役執行前提報主管機關審核，並適時修訂。	110.12~137.03 (配合除役進度)
10-2	核設施廠址環境民眾劑量評估參數調查報告提報主管機關。	110.12~137.03 (至少每五年)
10-3	除役期間輻射劑量應合理抑低，其評估報告並須適時更新，並提報主管機關審核。	110.12~137.03 (配合除役進度)
10-4	拆除作業計畫含輻射劑量合理抑低，提報主管機關審核。	110.12~137.03 (除役拆除作業前一年)