

第十七章 廠房及土地再利用規劃

目 錄

第十七章 廠房及土地再利用規劃	17-1
一、 再利用的範圍與規劃	17-1
(一) 除役後廠址內廠房及土地再利用範圍	17-1
(二) 再利用之規劃說明	17-2
二、 復原工作	17-4
(一) 相關法規要求	17-4
(二) 復原作業	17-4
三、 最終輻射偵測規劃	17-7
(一) 偵檢目標與說明	17-8
(二) 偵測設計(包含標準的應用與推導及偵測點數目的決定等)	17-10
(三) 偵測位置的決定	17-12
(四) 調查基準的決定	17-14
(五) 偵測方法	17-14
(六) 品質保證方案	17-15
(七) 偵測結果的評估及廠址使用劑量標準	17-15
(八) 廠址特性輻射偵測期間未考量之殘留放射性活度	17-17
四、 結語	17-17
五、 參考文獻	17-19
附錄 17.A 第十七章廠房及土地再利用規劃之重要管制事項	17-27

圖 目 錄

圖 17-1 核二廠廠界範圍圖	17-21
圖 17-2 廠址歷史評估、再利用規劃及各階段輻射狀態偵測之關聯性	17-22
圖 17-3 建物與土地污染分級流程(MARSSIM).....	17-23

表 目 錄

表 17-1 核二廠除役後廠址內參考核種清單.....	17-24
表 17-2 核二廠除役後廠址環境輻射偵測之調查基準.....	17-25
表 17-3 輻射偵測策略之規劃.....	17-25
表 17-4 Sign Test 檢定對量測數據之結論.....	17-26
表 17-5 WRS 檢定對量測數據之結論.....	17-26

第十七章 廠房及土地再利用規劃

本章係說明核二廠於除役後，廠址內廠房及土地再利用的範圍與規劃，於實際執行廠址最終狀態偵測前，依據再利用所適用的廠址使用劑量標準推算出導出濃度指引基準(Derived Concentration Guideline Level, DCGL)；同時並說明設施除役後，廠址復原工作之規劃，做為廠址最終狀態偵測前污染建物或土地的除污改善依據；最後，說明根據美國多部會輻射偵測與廠址調查手冊(Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual, MARSSIM) [1]之建議所做的最終輻射偵測初步規劃。

由於目前核二廠尚在運轉中，僅能依據現有的廠址歷史資料評估及輻射偵測結果進行最終狀態的初步偵測規劃，詳細的最終狀態偵測計畫及相關的作業程序書，將於除役廠址最終狀態偵測階段實際執行最終狀態偵測前完成。

一、 再利用的範圍與規劃

依據我國「核子反應器設施管制法施行細則」[2](以下簡稱核管法施行細則)第 17 條之規定，設施除役後之廠址應符合下列標準：

1. 限制性使用者：對一般人造成之年有效劑量不得超過 1 mSv。
2. 非限制性使用者：對一般人造成之年有效劑量不得超過 0.25 mSv。

核二廠除役期間廠界劑量設計限值為 0.5 mSv/y；完成除役後，廠址輻射劑量將符合「非限制性使用」之法規標準 0.25 mSv/y，且包含保留區之劑量貢獻。

(一) 除役後廠址內廠房及土地再利用範圍

廠房及土地再利用之「廠界範圍(Site Boundary)」與主管機關(原能會)核定「第二核電廠終期安全分析報告(FSAR)」第二章所定義之範圍一致。核二廠廠區內以西山公園為分界，分為西側的行政管理區及東側的保安管制區，主要核能設施、發電廠房、附屬設施等均在保安管制區域內，有輻射管制需求之廢

棄物貯存/處理設施，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、減容中心亦均座落於保安管制區內。另在行政管理區部分，北側包含北部展示館、模擬操作中心、員工餐廳及宿舍區等，中間有倉庫區，南側則是有行政大樓及 345 kV 與 69 kV 開關場及油槽、生水池、氣渦輪機房等。行政管理區及保安管制區之間以主警衛室進行交通、人員之通行管制。廠區面積約 220 ha，廠界範圍如圖 17-1 所示。

行政管理區北側之北部展示館、模擬操作中心、停車場、會議廳、宿舍區等不在本計畫之除役範圍內，未來將視需要繼續使用或轉做其他用途。

除役範圍內之廠房及土地再利用規劃為：由原三、四號機組預定地之空地至廠區東南側之 2 號低放射性廢棄物貯存庫及減容中心用地區域，將劃為輻射設施保留區域；345 kV 及 69 kV 開關場及貯油槽也要保留，但其非為輻射設施區域；其餘區域將朝電力事業用途來做規劃，核二廠除役再利用初步規劃，詳如第二章圖 2-3。

(二) 再利用之規劃說明

1. 除役保留區域

核二廠除役後既有的 345 kV 及 69 kV 開關場及貯油槽保留，依未來本公司電力政策再決定拆除時機。保留區在其邊界上將設置固定圍籬或圍牆，以防止非工作人員進入。

2 號低放射性廢棄物貯存庫、3 號低放射性廢棄物貯存庫、減容中心及重件倉庫將予以保留，貯存及處理運轉期間與未來除役過程中產生之低放射性廢棄物。

除役期間擬新建設施之規劃說明如下：

- (1) 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))：

規劃在核二廠原三、四號機組預定地新建低放射性廢棄物貯存庫，並於貯存庫內建置新設廢液處理設施及廢粒狀樹脂濕式氧化暨高效

率固化系統；貯存庫為地下 2 層地上 4 層之建物，用於貯存低放射性廢棄物。

(2) 第二期用過核子燃料室內乾式貯存設施(含再取出單元)：

第二期用過核子燃料室內乾式貯存設施(含再取出單元)，目前規劃位於核二廠原三、四號機組預定地東側之空地。未來第二期用過核子燃料室內乾式貯存設施(含再取出單元)將容納第一期用過核子燃料乾式貯存設施與燃料池內所有用過核子燃料。(目前第一期用過核子燃料乾式貯存設施尚未施工，亦未存放用過核子燃料，未來即使順利完工啟用，亦會在第二期用過核子燃料室內乾式貯存設施(含再取出單元)啟用後，將全部護箱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)貯放，原土地則將轉做鋼筋混凝土塊分離場暫存區使用。)

新建低放射性廢棄物貯存庫興建前，本公司將依「放射性物料管理法」[3]第 17 條及第 18 條之規定，另案向主管機關(原能會)提出建造執照及運轉執照申請，並於相關申請文件中載明欲貯放之放射性廢棄物的種類及數量。

以上所述放射性物質相關處理/貯存設施，未來將持續接受管制單位之管制，本公司將保留適當人力進行管理。其中所貯存之用過核子燃料及低放射性廢棄物將待國內相關處置設施建置完成後，再移至處置場進行處置。依規定在其邊界上設置固定圍籬、圍牆及保安、保防設施，以防止非工作人員進入。未來將根據輻射劑量評估結果，以及本公司管理之方便性妥善規劃邊界及進出動線。

2. 其他區域之規劃

除役範圍內之土地除前述保留區及保留設施外，現有之建物或設施，在除役期間將逐步拆除，其釋出之土地現階段規劃將朝電力事業用途為規劃方向，將俟適當時間配合未來政府政策、公司經營，以及考量地方發展等，進行更深入之規劃。

二、復原工作

核二廠除役階段的復原工作分為廠房與土地復原作業，將在反應器廠房與汽機廠房等主要設施內的設備拆除後開始執行。復原工作須遵循相關法規要求以符合除役後輻射劑量之標準。

(一) 相關法規要求

除役後期需執行「最終狀態偵測」，以確認廠址之輻射劑量是否符合法規之相關規定。目前本公司規劃核二廠除役後之廠址(保留區除外)輻射劑量將符合「核管法施行細則」第 17 條「非限制性使用」標準之規定，即對一般人造成之年有效劑量不得超過 0.25 mSv 之要求外。另本公司亦將依「核子反應器設施管制法」[4]第 28 條之規定，除役後應檢附廠址環境輻射偵測報告，報請主管機關審查。於除役過程中產生之放射性廢棄物，若需進行外釋時，本公司則將依「一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法」[5]第 4 條之規定，提出載明下列事項之外釋計畫，或併入輻射防護計畫內，報請主管機關核准後，執行外釋作業。

1. 管理組織及權責
2. 廢棄物之來源及特性
3. 廢棄物之活度或比活度量測及分析方法
4. 廢棄物之外釋方式及場所
5. 品質保證方案
6. 其他經主管機關公告之事項。

(二) 復原作業

1. 建物及結構

核二廠廠界範圍內之建物，根據 MARSSIM 之建議，經由廠址歷史調查程序，可將廠區建物與土地劃分為不受輻射影響區及受輻射影響區，不受

輻射影響區不需進行輻射偵測。不受輻射影響區的建物與結構之復原，依內政部營建署所公布之「建築物拆除施工規範」[6]要求辦理。

受輻射影響區的建物與土地(未包含保留區域)，則應依再利用的範圍與規劃所使用之法規劑量限值，推算 DCGL，再配合範圍偵測之偵測結果，將殘餘活度遠低於 DCGL 值之地區歸類為第 3 級受輻射影響區。並利用特性調查偵測將其餘受輻射影響區分類為第 2 級與第 1 級受輻射影響區。偵檢區之輻射水平分為三個級別：

- 第 1 級：現在或過去曾經含有高於 DCGL 之放射性核種濃度的污染可能性高、含有小區域高活度的可能性、或沒有足夠證據將此區域歸類為第 2 級或第 3 級者。
- 第 2 級：現在或過去曾經含有高於 DCGL 之放射性核種濃度的污染可能性低、幾乎不會有小區域高活度的可能性。
- 第 3 級：現在或過去幾乎不會有含有高於 DCGL 之放射性核種濃度的污染可能性，但沒有證據可以將此區域列入不受輻射影響區。

第 1 級受輻射影響區為污染活度高於 DCGL 值之區域，需進行除污改善作業，如建物的混凝土表面移除、受污染的土壤移除等，除污改善作業期間，須輔以偵測以監測除污的有效性，並經評估符合導出濃度指引水平後，方能停止除污工作。最後，第 1 級、第 2 級與第 3 級受輻射影響區須進行最終狀態偵測，證實殘餘放射性不超過所定之 DCGL 值，符合廠址使用劑量標準後方可釋出再利用。流程圖如圖 17-2 所示。保留區之放射性廢棄物處理/貯存設施部分，則無需考慮最終狀態偵測。

受輻射影響之建物及結構之復原原則說明如下：

- (1) 移除建物內所有系統及設備，根據不同之系統與設備做適當之處理後移出建物外。
- (2) 建物結構表面除污以移除表面污染物，所移除之污染物依放射性廢棄物相關規定處理，移除方式以移除放射性污染層、減少廢棄物體積、

確保人員作業安全為基本原則，以減少放射性廢棄物數量。根據美國核管會之研究報告 NUREG/CR-6174[7]，核能電廠受污染之混凝土牆壁，平均只要刮除 1 in 厚即可達到無污染層。

- (3) 移除表面污染後的剩餘結構經放射性比活度取樣分析，分析結果需低於所推導之 DCGL 值；為配合回填作業與運出廠外處理作業，尚需符合「一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法」所定之外釋限值，其在地表下 1 m 以上之結構將予以拆除，地表下方 1 m 以下之結構表層經偵測確保低於 DCGL 值，則予以保留；結構物將進行鑽孔以利未來回填後之排水。
- (4) 拆除之混凝土塊，將進行原廠址處置，建物地表 1 m 以下之空間，將以拆除下來且經放射性比活度量測後符合「一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法」之混凝土塊進行回填，回填材料與粒徑則參考我國公共工程委員會「公共工程施工綱要規範-第 02332 章營建剩餘土石方材料回填」之要求，用適當之機具破碎至粒徑 200 mm 以下進行回填，回填後表面上保留 1 m 之空間以無污染之覆土回填至地表。
- (5) 不受放射性污染建物及結構之復原，依內政部營建署所公布之「建築物拆除施工規範」要求辦理外，亦須依循新北市拆除申請管理規定六：建築物拆除工程之規模，除符合「新北市建築管理規則」[8]第三條規定規模(農舍、烏舍、涼棚等)外，應由營造業承攬，並由建築師或營造業之專任工程人員負責監督。

2. 土地復原

未來於除役廠址最終狀態偵測階段，將會再進行更詳細的輻射偵測。若發現廠區有土壤受到放射性污染，亦即經判定輻射濃度高於導出濃度指引基準(DCGL)者，則將這些受污染之土壤視為放射性廢棄物，移除後裝入廢棄物容器處置。移除區域依「土壤及地下水污染整治法施行細則」[9]辦理回填無污染之土壤，直至該區域輻射偵測值符合廠址使用劑量標準為止。詳細之污染土壤復原方案，請參考本計畫第八章、一、(二)節。

3. 地下水處理

未來於除役廠址最終狀態偵測階段進行輻射偵測後，若發現有地下水污染，將視污染情況參考國外經驗，採用適當之處理方案，如抽出法(Pump and Discharge)、抽出再處理法(Pump and Treat)、覆蓋封頂技術(Capping Technology)、工程包封法(Engineered Confinement)或適合之方式進行處理，直至地下水輻射偵測值符合廠址使用劑量標準為止。詳細之受污染地下水處理方案，請參考本計畫第八章、一、(二)節。

三、最終輻射偵測規劃

由於目前核二廠尚在運轉中，現階段僅能依據 MARSSIM 之建議進行最終狀態的初步偵測規劃，詳細的最終狀態偵測計畫及相關的作業程序書，將於除役廠址最終狀態偵測階段實際執行最終狀態偵測前完成。

根據 MARSSIM 之建議，經由廠址歷史調查程序(請參考本計畫第三章)，可將廠區建物與土地劃分為不受輻射影響區及受輻射影響區(參考本計畫第三章圖 3-3 與圖 3-4)。對不受輻射影響區而言，不需執行輻射偵測；對受輻射影響之建物或土地(不包含保留區)，則應依本章第一節再利用的範圍與規劃所使用之法規劑量限值，推算 DCGL，再配合範圍偵測之偵測結果，將殘餘活度遠低於 DCGL 值之地區歸類為第 3 級受輻射影響區。並利用特性調查偵測將其餘受輻射影響區分類為第 2 級(污染活度高於 DCGL 值的可能性低)與第 1 級(污染活度高於 DCGL 值的可能性高)受輻射影響區，後者須參考本章第二節復原工作之要求，進行除污改善行動(如污染建物混凝土與土壤的移除，或污染地下水的處理作業)，期間配合改善措施輔助偵測以監測除污的有效性，確定其污染程度符合 DCGL 標準，除污工作方可停止。最後，所有受輻射影響區(包含第 1 級、第 2 級、第 3 級)將依最終狀態偵測規劃進行最終狀態偵測，證實殘餘放射性不超過所定之 DCGL 值，符合廠址使用劑量標準，方能將廠址釋出再利用(上述程序如圖 17-3 所示)。

(一) 偵檢目標與說明

最終輻射偵測為確認設施除役後廠址之輻射劑量(或比活度)標準符合法規限值。由於目前核二廠尚在運轉中，僅能依據本計畫第三章設施運轉歷史及曾發生之重大事件與其影響，以及本計畫第四章廠址與設施之輻射特性調查及評估結果，進行廠址最終狀態之輻射偵測規劃，細部之最終狀態偵測計畫、DCGL推算及相關作業程序書，將於除役廠址最終狀態偵測階段實際執行最終狀態偵測前完成。最終狀態偵測計畫應包含下列項目的說明，包含：1.核種之偵測方法與最低可測值；2.量測設備、偵檢方法、校正程序、儀器操作前查驗方式、涵蓋範圍與靈敏度；3.實驗室樣品之蒐集、管理與處理方式等。目前最終狀態偵測之相關規劃說明如下：

執行除役後廠址最終狀態偵測之目的，在於證實各偵檢區域內殘留之放射性物質可滿足法定的廠址使用劑量標準(本公司係採對一般人造成之年有效劑量不得超過 0.25 mSv 之非限制性使用限值)。

廠址最終狀態偵測係由法定之廠址使用劑量標準出發，經由下列三步驟完成結果判定：首先藉由曝露途徑模式，將廠址使用劑量標準轉換為以活度濃度為單位之導出濃度指引基準(DCGL)；其次，經由偵測及取樣分析作業，評估偵檢區域殘餘之輻射水平；最後，利用統計方法，判定廠址能否釋出。

根據 MARSSIM 之定義，若物質中的核種活度濃度會造成與廠址使用劑量標準相同的總有效劑量或風險值，則將該活度濃度值稱為 DCGL。除役後廠址最終狀態偵測(即 MARSSIM 所指之「最終狀態偵測(Final Status Survey)」)之規劃，係針對土地、建物等區域，依據其未來使用之目的，分別推導其 DCGL，藉此可對區域內細部的偵檢單元進行受輻射影響程度的分級，進而有助於規劃量測位置、取樣密度等作業細節。

我國廠址使用劑量標準的單位為劑量值，為便於執行廠址復原及管制作業，廠址使用劑量標準將透過曝露途徑模式，轉換成以活度濃度為單位的 DCGL。核二廠廠址 DCGL 的推導，將採用美國阿岡國家實驗室(Argonne National Lab, ANL)所開發的 RESRAD family 程式。此程式已通過美國核管會的驗證，並為

美國、西班牙等國管制單位所使用。RESRAD family 程式有許多分支，其中 RESRAD 及 RESRAD-BUILD 與廠址除役 DCGL 的推導較為相關，前者係針對土地、土壤的釋出，後者則針對建物、結構物的釋出。

DCGL 的推導分為五個步驟：決定廠址未來用途(與對應之廠址使用劑量標準)、關注核種、曝露情節、曝露途徑及廠址特定參數。

- 決定廠址未來用途

推導 DCGL 時，需先決定廠址未來之用途。本公司基於輻射劑量管制之考量，除役後保留區外廠址將以非限制性使用之廠址使用劑量標準為原則，即對一般人造成之年有效劑量不超過 0.25 mSv。

- 關注核種

推導 DCGL 之第二步驟為判定除役後可能殘留在廠址內的關注核種。由於各核種的物性、化性不同，核種傳輸的速度及對人體的危害也會有所差異，因此，需針對各關注核種，個別評估其 DCGL。關注核種可由核電廠之運轉歷史資料、特性調查結果或廢棄物核種清單等來源評估而得。本公司係參考國內法規[10]、電廠運轉時的低放射性廢棄物取樣分析數據及低放貯存場所貯存之低放射性廢棄物取樣分析數據，評估核二廠除役後可能殘留的關注核種，如表 17-1 所示，未來將配合停機後現場輻射特性調查作業之結果確認/更新。

- 曝露情節

DCGL 推導之第三步為分析曝露情節。曝露情節與廠址未來之用途有關，分析情節一般包含居住農夫、工廠工人等。根據目前廠址再利用規劃策略，核二廠未來將朝電力事業用途為規劃方向，為符合再利用規劃之設計，本公司將採用工廠工人之情節設計來評估 DCGL，並加強分析受曝者之行為模式、習慣等特性。

- 曝露途徑

曝露途徑與受曝者之行為模式及廠址特性有關，可能之曝露途徑包含體外直接曝露，以及飲食、呼吸等體內曝露途徑。

- 廠址特定參數

為評估核種之遷移速度，推導 DCGL 時需要水文及地質參數等與廠址特性相關之資料。為求有效推導 DCGL，本公司將於推算 DCGL 時，對無法取得之特定參數進行靈敏度分析，以鑑別對 DCGL 推算結果影響較為顯著之參數，進而提供對這些參數重要性及精確度需求的掌握能力。

(二) 偵測設計(包含標準的應用與推導及偵測點數目的決定等)

為確認除役後廠址符合土地與建物使用的劑量標準，本公司於執行除役後之廠址最終狀態偵測作業時，將以偵檢單元為個體，並依據統計學原理，規劃具代表性的偵測點數目及點位，確保廠址內的放射性物質均受到偵測，進而證明殘留之輻射水平符合標準。最終狀態偵測設計包含下列步驟：

1. 建立資料品質目標(Data Quality Objectives, 以下簡稱 DQO)

建立 DQO 之目的，在於確保輻射偵測的結果能有充分的品質與數量，可支持最後廠址能否釋出之決定。本步驟有三項要點：

(1) 清楚陳述偵檢目標與假設前提

偵檢目標是要證明殘留的輻射水平可達土地使用的劑量標準，為了證明符合目標，將先訂定虛無假設(Null Hypothesis)與替代假設(Alternative Hypothesis)，從保守的角度出發，虛無假設係假定殘留放射性污染超過廠址使用劑量標準，而替代假設則假定殘留放射性污染符合廠址使用劑量標準。若最後結果判定虛無假設不成立，則表示替代假設成立。

(2) 選擇統計檢定法及誤判容許率

MARSSIM 建議可使用 Wilcoxon Rank Sum(以下簡稱 WRS)及 Sign Test 等兩種非參數(Nonparametric)統計檢定法，評估除役後環境輻射偵測資料。背景中存在關注核種時，採用 WRS 檢定法；背景中若不存在關注核種，則用 Sign Test 檢定法。事實上，不論用何種檢定方法，皆有可能誤判結果，因此，須訂定其誤判容許率，用以界定量測結果

是否確實超出標準。誤判分為偽陽性(False-Positive)與偽陰性(False-Negative)，其對應的誤判容許率分別為 TYPE I 誤差(α)與 TYPE II 誤差(β)，誤判容許率為殘留放射性之函數，可在偵測計畫中以 DQO 作業流程決定。

(3) 偵測設計之最適化

某些偵檢單元，可能在使用現有的資源後，須適時修訂 DQO 的目標，此時便需適當修訂偵測設計。修訂措施包含：

- 考量誤判後果，適量增加誤判容許率。
- 降低灰區下限(Lower Bound of Gray Region, LBGR)，以增加灰區寬度。
- 兩偵檢區若須做不同決定，變更其邊界，便可降低量測成本。

2. 選擇背景參考地區

選擇背景參考地區之目的，在於確定並排除非核電廠之輻射源對廠址造成之輻射影響，如核子武器試爆或已知重大核電廠意外事故所產生之全球性放射性落塵等。選擇背景參考地區時，有兩項基本原則：(1)背景參考地區之物理、化學、地質、放射性、生物學等性質應與廠址之性質相近，若上述性質無法由單一背景參考地區所代表，可能需選擇兩個以上之背景參考地區；(2)理想的背景參考地區應選在不受輻射影響之區域。

3. 決定偵測點數量

偵測點數量之規劃取決於能否符合 DQO 之要求，此與背景中是否存在關注核種及污染之分布有關。當殘餘放射性污染均勻分布於偵檢區時，則依據關注核種存在於背景與否，選擇適當之檢定法(WRS 或 Sign Test)，以決定偵檢區需選取多少量測點，方可滿足統計學上之檢定，再利用計算出之量測點數量決定「系統模式」量測點之間隔(亦可應用 COMPASS 程式輔助最終狀態偵測規劃與設計)。此外，當偵檢區含熱點(Hot-spot)時，使用上述之量測與取樣分析，再配合表面掃描，則可充分保證小面積高污染區域符合廠址使用劑量標準。

(三) 偵測位置的決定

根據本計畫第三章設施運轉歷史及曾發生之重大事件與其影響之評估結果，可將核二廠之建物與土地初步劃分為不受輻射影響區及受輻射影響區(參考本計畫第三章、圖 3-3 與圖 3-4)，而實際偵測位置還需依其可能之輻射水平進行規劃。就偵檢區之輻射水平而言，本公司將參照 MARSSIM 建議，綜合廠址運轉歷史資料、除役階段之偵測作業結果，以及參考本章圖 17-3 之流程，將偵檢區之輻射水平分為三個級別：

- 第 1 級：現在或過去曾經含有高於 DCGL 之放射性核種濃度的污染可能性高、含有小區域高活度的可能性、或沒有足夠證據將此區域歸類為第 2 級或第 3 級者。
- 第 2 級：現在或過去曾經含有高於 DCGL 之放射性核種濃度的污染可能性低、幾乎不會有小區域高活度的可能性。
- 第 3 級：現在或過去幾乎不會有含有高於 DCGL 之放射性核種濃度的污染可能性，但沒有證據可以將此區域列入不受輻射影響區。

對於第 1 級與第 2 級區域，將根據統計檢定所計算的偵測點數，以隨機起點系統模式(Random-Start Systematic Pattern)選取偵測位置。其作法為先選擇佈點方式(如方格式或三角式)，並依規劃之偵測點數，計算偵測點間之距離。再以亂數之方式選擇起點，並於地圖上建立佈點系統。如標示點落在偵檢區外或無法取樣之位置，則須使用隨機方式，選取其他位置作為偵測點，使該偵檢區內之偵測點數量能符合原先規劃。

於第 3 級偵檢區及背景參考地區所進行之量測與取樣，將採用隨機方式進行選點，其位置係由亂數產生。若選出之偵測點位置落在偵檢區外或該處無法執行偵測，則將以相同的選點方式改選其他位置作為偵測點。

由於核二廠尚在運轉中，僅能參考本計畫第三章設施運轉歷史及曾發生之重大事件與其影響，以及本計畫第四章廠址與設施之輻射特性調查及評估結果

之結論，將曾經或仍進行放射性活動且受到輻射影響之建物與土地區域做初步分類。依據本計畫第三章、圖 3-3 與圖 3-4 所標示之受輻射影響區，初步分類如下：

可能受輻射影響區域：

- 建物/結構：一號機、二號機反應器廠房、輔助廠房、燃料廠房、廢料廠房、控制廠房、汽機廠房、雜項廢液廠房、乾洗衣房、新水洗房、安全釋壓閥測試間、真空除氧泵間、19、27、28、31、37 號倉庫、低微污染器材倉庫、廢棄物壕溝、減容中心、1 號低放射性廢棄物貯存庫、2 號低放射性廢棄物貯存庫、3 號低放射性廢棄物貯存庫、新燃料倉庫及東區貨櫃集散區等受輻射影響建物/結構。
- 土地：上述廠房區域內的土地。

初判不受輻射影響區：

- 建物/結構：第一行政大樓、第二行政大樓、第三行政大樓、資料室、北部展示館、模擬操作中心、消防隊、修配工場、第五台柴油發電機、垃圾焚化爐舊址、重機械場、保警中隊部、海水泵室、緊急泵室、技術支援中心、輔助鍋爐廠房、公務車車庫、IPA 辦公室、員工餐廳及第一大修宿舍、第二大修宿舍、第三大修宿舍、員工活動中心、大門警衛室。
- 土地：上述建物周圍的土地。

實際受輻射影響區的分級(第 1、2、3 級)，仍須以停機後所執行的偵測結果做最後確認。故應於實際進行最終狀態偵測前，根據配合廠址最終狀態及特性調查結果完成 DCGL 值推導並再確認第 1、第 2 或第 3 級之分佈。且最終輻射偵測規劃採用之偵檢單元亦應根據除役拆除作業完成之最終狀態，對不同污染分級區域進行最終狀態之偵檢單元規劃。

(四) 調查基準的決定

調查基準(Investigation Level)係以廠址使用劑量標準為基礎，對特定放射性核種制訂輻射管制值，作為是否採取額外調查行動之指標。一旦量測值超過調查基準時，即表示偵檢區的「分類」不當或儀器失效，偵檢包可能需要重新分類輻射等級或採取改善行動或再偵測。調查基準可採用 DCGL 值。

參考 MARSSIM 建議及核二廠於運轉期間之調查基準，核二廠除役後之調查基準規劃如表 17-2。對於第 1 級與第 2 級區域，調查基準分別為 DCGL，對於第 3 級區域，因預期該區域內不會有高污染，故第 3 級區域的調查基準採用 DCGL 的分率。

(五) 偵測方法

參照 MARSSIM 及國外除役經驗，偵測方法可分為現場調查及取樣分析，而現場調查可進一步區分為直接量測與掃描。掃描作業是使用移動式或手提式輻射偵檢器，對偵檢區內之表面進行快速偵測，以找出輻射異常之位置。表面直接量測係選用適當的偵檢儀器(例如：大面積充氣式比例計數器、閃爍偵檢器或其它具相同功能的儀器)，距受測表面一定距離，進行一定時間之量測。

本公司將按偵檢區輻射水平之差異，進行輻射偵測策略之規劃，如表 17-3。

1. 對第 3 級偵檢區(偵檢包)而言，隨機量測模式可確保量測的獨立性與輔助統計測試的假設。且第 3 級區域含有小面積高活度的機率最小，因此，掃描偵測將依專業判斷，針對最有可能受污染之地區(如角落、溝渠、排水管等)進行。
2. 由於第 2 級偵檢區發現小面積高活度的機率增加，本公司規劃使用系統格子法搭配掃描偵測來進行。掃描偵測係用來補足系統格子模式可能無法偵測到的小面積高活度區域之量測方法。由於掃描偵測規模正比於發現高活度區域之可能性，故本公司將於有最高機率存在高活度之區域執行判斷性掃描，必要時使用系統性掃描以涵蓋偵檢包至少 10%之面積。

3. 第 1 級偵檢區中存在小面積高活度區域之可能性最高，本公司除使用系統格子法量測，亦使用掃描偵測以偵測出無法用系統格子模式量測到的小面積高活度區域，並規劃在偵檢包 100%面積做掃描。

偵測人員需依已核定之程序書執行廠址及結構物之取樣及包裝，並送至實驗室分析其放射性含量。必要時，將選定適當位置進行鑽探，收集鑽心樣品，並逐層切片分析其放射性活度，以決定放射性核種的穿透深度及活度分布。

(六) 品質保證方案

除役廠址環境輻射偵測之相關品保作業，將依本計畫第十五章品質保證方案執行；另取樣送實驗分析作業之相關品質保證規定，係依據實際進行分析作業之實驗室的品質保證方案來執行。於除役廠址最終狀態偵測階段執行偵測作業前，將另制訂最終狀態偵測計畫書及相關程序書據以執行。

(七) 偵測結果的評估及廠址使用劑量標準

執行廠址最終狀態偵測作業之目的係在證實核二廠廠址內之殘留輻射水平可符合廠址使用輻射劑量標準。核二廠完成除役後，對於輻射劑量管制上的考量，請參考本章第二、(一)節相關法規要求所述。

廠址最終狀態偵測作業完成後，須依據偵測結果，確認廠址是否符合廠址使用劑量標準。一般而言，量測結果依其數值高低及分布，將有下列三種情形：

1. 偵檢單元內全部的量測數據均高於 DCGL；
2. 偵檢單元內全部的量測數據均低於 DCGL；
3. 偵檢單元內的量測數據部份高於 DCGL，部份低於 DCGL。

第 2 項量測結果表示偵檢單元符合廠址使用劑量標準。若發生 1 或 3 的情形，應再進行改善措施或除污並再進行量測分析，以確保該區域符合 DCGL 標準。

為確認量測數據是否正確，本公司將依 MARSSIM 之建議，使用資料品質評估(Data Quality Assessment, DQA)程序進行確認，其程序包含下列五個步驟：

1. 審查 DQO 與偵測設計

DQA 程序中，首先要審查 DQO 的輸出，以確保其適用性。例如偵檢單元分級為第 3 級，但量測數據顯示此偵測單元為第 1 級，則原始 DQO 應改正為正確之分類。並將 DQA 程序產生之回顧檢定力(Retrospective Power)與 DQO 程序產生之預期檢定力(Prospective Power)比較，藉此證明此偵測作業能否符合偵測設計目標。檢定力不足，將可能導致誤判。

2. 執行數據的初步審查

量測數據之基本統計量有平均值、標準差、中數值。若背景中不存在關注核種，但偵檢單元之量測數據平均值超過 DCGL，便清楚顯示偵檢單元不符合廠址使用劑量標準；又若每個量測數據都低於 DCGL，則顯示偵檢單元符合廠址使用劑量標準。

量測數據的標準差(σ)為相當重要之指標，若該值遠大於原先之估計值，可能表示實際量測點數量不足，無法達到預期之檢定力。中數值為數據群之中間值。當平均值與中數值出現差別時，顯示數據分布出現偏斜情形，在直方圖中亦會表現出來。最後檢查數據之最大值、最小值與變異範圍，可以提供額外有用之資訊。

3. 圖形資料審查

圖形資料至少要有位置圖與直方圖，前者可顯示數據的空間分布，後者可檢查數值的分布型態。

4. 選擇統計檢定

MARSSIM 建議使用 WRS 及 Sign 檢定等兩種非參數統計檢定法，此種檢定法為針對中數值之統計檢定。若數據呈現對稱分布，且中數值與平均

值相近，此時亦可視為平均值的統計檢定。假如違反對稱假設，中數值之非參數統計檢定仍可適切地近似平均值之統計檢定，換言之，即便是針對偏斜的數據分布，非參數統計檢定亦可正確判定平均濃度值是否超過 DCGL。

5. 證實統計檢定的假設與結論

統計檢定僅適用於在不同位置執行量測所得到之量測數據。若背景中不存在關注核種，則採 Sign 檢定；若背景中存在關注核種，便採 WRS 檢定，相關量測數據之檢定結論，說明於表 17-4 及表 17-5。

(八) 廠址特性輻射偵測期間未考量之殘留放射性活度

如圖 2-3 所示，放射性廢棄物貯存設施(包含 2 號、3 號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)，將在核二廠除役後仍被保留，這些設施內殘留的放射性活度，雖未在廠址特性偵測期間加以考量(不屬於最終輻射偵測的範圍)，但在核二廠除役後，這些設施仍將劃為管制區，並按相關程序書執行監測，確保該區輻射水平可符合「核子反應器設施管制法」、「游離輻射防護法」[11]及「放射性物料管理法」等法規之相關規定。

四、結語

核二廠可初步分為西側的行政管理區及東側的保安管制區，行政管理區包含主要核能設施、發電廠房、2 號低放射性廢棄物貯存庫、3 號低放射性廢棄物貯存庫、減容中心及附屬設施等；行政管理區部分，北側包含北部展示館、模擬操作中心、員工餐廳及宿舍區等，中間有倉庫區，南側則是有行政大樓及 345 kV 與 69 kV 開關場及油槽、生水池、氣渦輪機房等，廠區面積約 220 ha，行政管理區北側之北部展示館、模擬操作中心、停車場、會議廳、宿舍區等不在本計畫之除役範圍內，未來將視需要繼續使用或轉做其他用途。

而除役範圍內之廠房及土地再利用規劃為：由原三、四號機組預定地之空地至廠區東南側之 2 號低放射性廢棄物貯存庫及減容中心用地區域，將劃為輻射設施保留區域；345 kV 及 69 kV 開關場及貯油槽也要保留，但其非為輻射設施區域，其餘區域將朝電力事業用途來做規劃；2 號低放射性廢棄物貯存庫、3 號低放射性廢棄物貯存庫、減容中心及重件倉庫將予以保留，貯存及處理運轉期間與未來除役過程中產生之低放射性廢棄物。而除役期間擬新建設施之規劃說明如下：

- (1) 新建低放射性廢棄物貯存庫(含新設廢液處理設施、廢粒狀樹脂濕式氧化暨高效率固化系統)：

規劃在核二廠原三、四號機組預定地新建低放射性廢棄物貯存庫，並於貯存庫內建置新設廢液處理設施及廢粒狀樹脂濕式氧化暨高效率固化系統；貯存庫為地下 2 層地上 4 層之建物，用於貯存低放射性廢棄物。

- (2) 第二期用過核子燃料室內乾式貯存設施(含再取出單元)：

第二期用過核子燃料室內乾式貯存設施(含再取出單元)，目前規劃位於核二廠原三、四號機組預定地東側之空地。未來第二期用過核子燃料室內乾式貯存設施(含再取出單元)將容納第一期用過核子燃料乾式貯存設施與燃料池內所有用過核子燃料。(目前第一期用過核子燃料乾式貯存設施尚未施工，亦未存放用過核子燃料，未來即使順利完工啟用，亦會在第二期用過核子燃料室內乾式貯存設施(含再取出單元)啟用後，將全部護箱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)貯放，原土地則將轉做鋼筋混凝土塊分離場暫存區使用。)

目前因核二廠尚在運轉未永久停機，僅能參考本計畫第三章設施運轉歷史及曾發生之重大事件與其影響，以及本計畫第四章廠址與設施之輻射特性調查及評估結果之結論，將曾經或仍進行放射性活動且受到輻射影響之建物與土地區域做初步分類。初步分類如下：

可能受輻射影響區域：

- 建物/結構：一號機、二號機反應器廠房、輔助廠房、燃料廠房、廢料廠房、控制廠房、汽機廠房、雜項廢液廠房、乾洗衣房、新水洗房、安全釋壓閥測試間、真空除氧泵間、19、27、28、31、37 號倉庫、低微污染器材倉庫、廢棄物壕溝、減容中心、1 號低放射性廢棄物貯存庫、2 號低放射性廢棄物貯存庫、3 號低放射性廢棄物貯存庫、新燃料倉庫及東區貨櫃集散區等受輻射影響建物/結構。
- 土地：上述廠房區域內的土地。

初判不受輻射影響區：

- 建物/結構：第一行政大樓、第二行政大樓、第三行政大樓、資料室、北部展示館、模擬操作中心、消防隊、修配工場、第五台柴油發電機、垃圾焚化爐舊址、重機械場、保警中隊部、海水泵室、緊急泵室、技術支援中心、輔助鍋爐廠房、公務車車庫、IPA 辦公室、員工餐廳及第一大修宿舍、第二大修宿舍、第三大修宿舍、員工活動中心、大門警衛室。
- 土地：上述建物周圍的土地。

實際受輻射影響區的分級(第 1、2、3 級)，仍須以停機後所執行的偵測結果做最後確認。故應於實際進行最終狀態偵測前，根據配合廠址最終狀態及特性調查結果完成 DCGL 值推導並再確認第 1、第 2 或第 3 級之分佈。

五、參考文獻

1. MARSSIM. Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual (Revision 1). Nuclear Regulatory Commission NUREG-1575 Rev. 1, Environmental Protection Agency EPA 402-R-97-016 Rev. 1, Department of Energy DOE EH-0624 Rev. 1, August 2002.
2. 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。
3. 中華民國行政院原子能委員會，「放射性物料管理法」，91 年 12 月 25 日。

4. 中華民國行政院原子能委員會，「核子反應器設施管制法」，92年1月15日。
5. 中華民國行政院原子能委員會，「一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法」，93年12月29日會物字第0930047668號函發文實施。
6. 內政部營建署所，「建築物拆除施工規範」，99年7月1日。
7. NUREG/CR-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.
8. 新北市政府，「新北市建築管理規則」，100年6月8日。
9. 行政院環境保護署，「土壤及地下水污染整治法施行細則」，99年12月31日。
10. 中華民國行政院原子能委員會，「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」，92年9月10日。
11. 中華民國行政院原子能委員會，「游離輻射防護法」，91年1月30日。



圖 17-1 核二廠廠界範圍圖

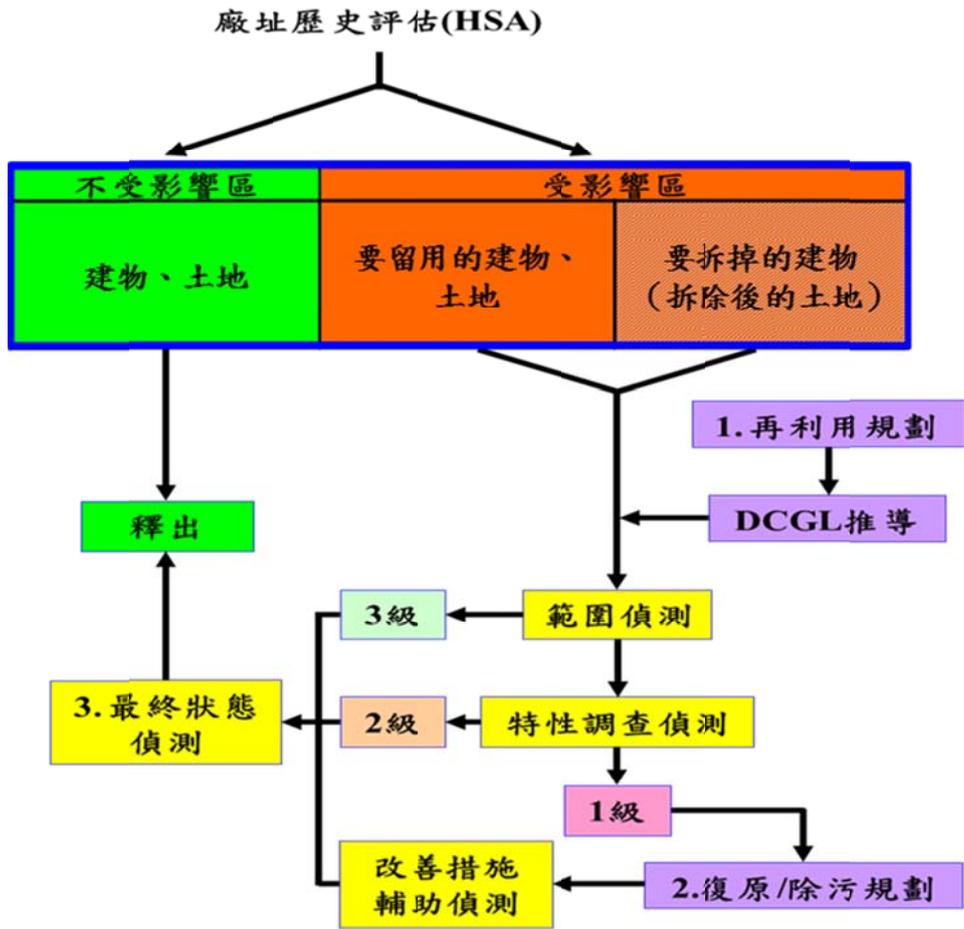


圖 17-2 廠址歷史評估、再利用規劃及各階段輻射狀態偵測之關聯性

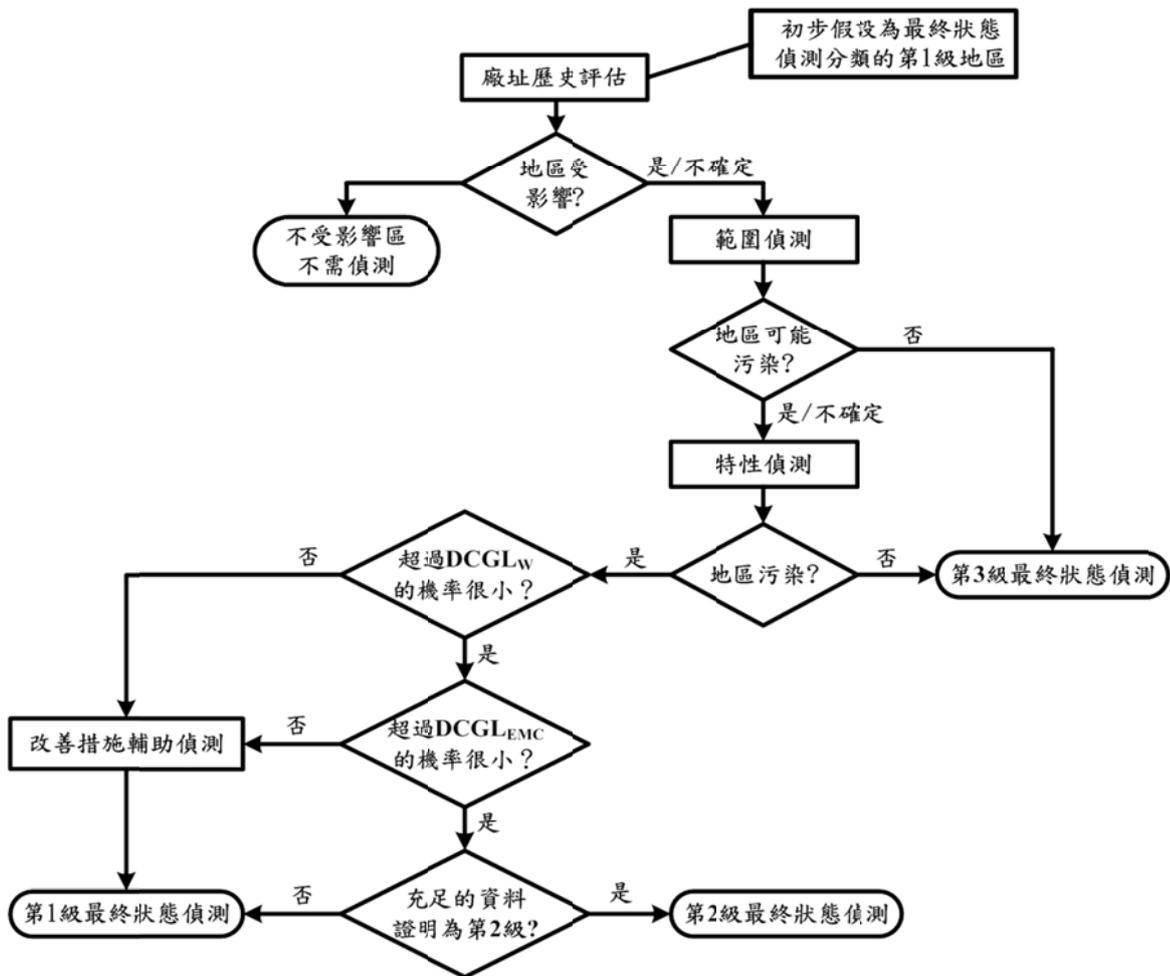


圖 17-3 建物與土地污染分級流程(MARSSIM)

MARSSIM 流程係初步假設所有地區皆為最終狀態分類的第 1 級。由廠址歷史調查程序劃分受輻射影響區域；不受輻射影響地區可不需偵測，受輻射影響地區依範圍偵測結果，將無污染地區歸類為最終狀態分類的第 3 級。污染地區依特性調查偵測結果，將污染低於 $DCGL_w$ 值之地區分類為最終狀態分類的第 2 級；若污染高於 $DCGL_w$ 、 $DCGL_{EMC}$ 值或無充足資料證明為第 2 級之地區，應進行改善措施、輔助偵測並劃分為最終狀態分類的第 1 級。

表 17-1 核二廠除役後廠址內可能殘留之核種

核種類型(數量)	核種清單
易測核種(17)	H-3、Co-60、Cs-137、Mn-54、Cr-51、Co-57、Co-58、Fe-59、Zn-65、Zr-95、Ag-110m、Sn-113、I-123、Sb-124、Sb-125、Cs-134、Ce-144
難測核種(12)	C-14、Ni-63、Sr-90、Tc-99、I-129、Pu-241、Cm-242、Fe-55、Pu-238、Pu-239、Am-241、Cm-244

*註：難測核種為進行度量前需由化學或物理方式進行前處理的相關核種，因無法直接進行輻射量測，故稱為難測核種；而容易由一般非破壞技術量測之核種，則可稱為易測核種。

表 17-2 核二廠除役後廠址環境輻射偵測之調查基準

偵檢區輻射等級	直接量測 / 樣品分析	掃 描
第 1 級	DCGL _{EMC}	DCGL _{EMC}
第 2 級	DCGL _w	DCGL _w
第 3 級	$(0.1 \sim 0.25) \times DCGL_w$	MDC

*註：DCGL_w：用於廣域統計測試的 DGCL 值，w 表示廣域(wide area)。

DCGL_{EMC}：用於與小範圍高活度(hot spot)區域測量結果比較的 DGCL 值。

表 17-3 輻射偵測策略之規劃

輻射水平 等級	輻射偵測策略	
	掃 描	直接量測 / 取樣分析
第 1 級	100%	由統計檢定決定點數，並對高活度局部區域進行進一步的量測。
第 2 級	10~100%，並配合先前的偵測結果，判定需進行偵測的位置。	由統計檢定決定點數。
第 3 級	配合先前的偵測結果，判定需進行偵測的位置。	由統計檢定決定點數。

*註：掃描比例係指在偵檢包執行之面積比例

表 17-4 Sign Test 檢定對量測數據之結論

量測數據結果	結 論
所有的量測數據皆低於DCGL	偵檢單元符合廠址使用劑量標準。
量測數據的平均值大於DCGL	偵檢單元不符合廠址使用劑量標準。
有任一量測數據大於 DCGL 但全部數據的平均值小於DCGL	環境背景不存在關注核種，執行Sign 檢定。

表 17-5 WRS 檢定對量測數據之結論

量測數據結果	結 論
偵檢單元的最大量測值與背景參考區的最小量測值間的差值低於DCGL。	偵檢單元符合廠址使用劑量標準。
偵檢單元的平均量測值與背景參考區的平均量測值之間的差值大於DCGL。	偵檢單元不符合廠址使用劑量標準。
偵檢單元的任一量測值與背景參考區的任一量測值間的差值大於DCGL，但偵檢單元的平均量測值與背景參考區的平均量測值間的差值小於DCGL。	環境背景存在關注核種，執行WRS檢定。

附錄 17.A 第十七章廠房及土地再利用規劃之重要管制事項

項次	內 容	管制時程
17-1	廠址最終輻射偵測作業計畫提報主管機關審核。	131.01 (廠址最終狀態偵測階段前一年)