

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	17-6
(一) 偵檢目標與說明	17-7
(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)	17-9
(三) 偵測位置的決定	17-11
(四) 調查基準的決定	17-13
(五) 偵測方法	17-13
(六) 品質保證方案	17-14
(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	17-16
四、 參考文獻	17-17
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	17-23

圖 目 錄

圖 17-1 核一廠除役再利用初步規劃圖.....	17-18
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.....	17-19
圖 17-3 建物與土地污染分級流程(MARSSIM).....	17-20

表 目 錄

表 17-1 核一廠除役後廠址內可能殘留之核種.....	17-21
表 17-2 核一廠除役後廠址環境輻射偵測之調查基準.....	17-21
表 17-3 輻射偵測策略之規劃.....	17-21
表 17-4 Sign Test 檢定對量測數據之結論.....	17-22
表 17-5 WRS 檢定對量測數據之結論.....	17-22

第十七章 廠房及土地再利用規劃

本章主要說明核一廠於除役後，廠址內廠房及土地再利用的範圍，以及再利用的規劃，於實際執行廠址最終狀態偵測前，依據再利用所適用之廠址使用劑量標準推算出導出濃度指引水平(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 MARSSIM 之建議所做的最終輻射偵測規劃。

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」(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。

核一廠未來完成除役後之廠址輻射劑量，將符合非限制性使用標準(不含保留區域)，即對一般人造成之年有效劑量不超過 0.25 mSv，並以此劑量限值推算土地及建物之 DCGL。

(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)」與原能會核定「第一核電廠終期安全分析報告(FSAR)」第二章所定義之範圍一致。核一廠廠區內主要設施區域包括小坑區與乾華區兩個區域，小坑區為放射試驗室、辦公室及倉庫等區域，並無發電所需之相關設備。乾華區主要包括反應器機組、氣渦輪機與開關場等發電相關設備。

核一廠除役後之廠房及土地再利用規劃為：乾華區發電區內 345 kV 開關場以南至廠區西南側用地區域，以及茂林二次變電所為除役保留區域，小坑區之放射試驗室未來將視需要納入除役保留區或遷移，其餘區域將朝

電力事業用途來做規劃，模擬操作中心區域則規劃改建成小型紀念公園，核一廠除役再利用初步規劃，詳如圖 17-1。

(二) 再利用之規劃說明

1. 除役保留區域

核一廠除役後保留區，面積約 98,000 m²，如圖 17-1。保留區內主要的設施包括原有 345 kV 開關場、69 kV 開關場、一號與二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、茂林二次變電所、放射試驗室(視需要保留或遷移)；以及未來規劃興建的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、用過核子燃料再取出設施等。

茂林二次變電所位於二號機北側區域，面積約 6,500 m²，保留開關場與變電所等原有輸變電相關設備，係基於北部地區供電調度之考量，且如廠址轉為電力設施使用時，仍可供利用。而原有低放射性廢棄物貯存設施及用過核子燃料乾式貯存設施，則仍予保留；以貯存運轉期間與未來除役過程中產生之低放射性廢棄物，以及自用過核子燃料池移出之用過核子燃料。以上所述之高/低放射性廢棄物相關貯存設施，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。所貯存之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。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。

除役新建設施之規劃說明如下：

(1) 低放射性廢棄物貯存庫：

規劃在原有氣渦輪機組與貯油槽區域新建低放射性廢棄物貯存庫，貯存庫面積約 6,000 m²，為地下 2 層地上 3 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：

第二期用過核子燃料室內乾式貯存設施，暫定規劃於緊鄰第一期用過核子燃料乾貯設施的廠區西南側用地區域，目前正針對氣渦輪區

廠房地區進行地質探勘調查，未來將視調查結果進行場址評估修訂，用於貯存用過核子燃料。

- (3) 用過核子燃料再取出設施：暫定規劃於現有氣渦輪機廠房及日用油槽區，未來第二期用過核子燃料室內乾式貯存設施場址規劃若有變動，將一併進行調整，供未來乾式貯存設施用過核子燃料之再取出使用。

運轉或除役所產生的超 C 類放射性廢棄物，則規劃貯存於新建低放射性廢棄物貯存庫或第二期用過核子燃料室內乾式貯存設施中，未來將於新建放射性廢棄物貯存設施啟用前，依「放射性物料管理法」第 17 條及第 18 條之規定，另案向主管機關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。

2. 其他區域之規劃

除了除役保留區外，部分區域預定保留原有之設施包括：生水池、35,000 公秉油槽、進出水口以及渠道、石門風力發電站，以供後續規劃之使用。

除保留區及保留設施外，小坑區與乾華區現有之建物或設施，在除役期間將逐步拆除，其釋出之土地將朝電力事業用途為規劃方向，並視本公司經營策略需要分期釋出。模擬操作中心區域，規劃興建成小型紀念公園，原模擬操作中心則可配合未來再利用規劃作為展館等用途，開放提供一般民眾做為休憩娛樂場所。

核一廠之廠房及土地於完成廠址復原後，為達美化景觀之目的，初步規劃範圍內將予以植生綠化。

由於核一廠廠址除役後土地將視需要分期釋出，故本節所述之除役後廠址規劃，為現階段規劃方案，本公司未來將配合政府政策、公司經營策略，以及考量地方發展等，進行更深入之規劃。

二、復原工作

核一廠於除役階段之廠房及土地復原作業，將於聯合結構廠房及汽機廠房等主要設施內之系統及設備拆除完成後開始執行。為符合設施除役後之輻射劑量(或比活度)標準，本節將說明復原工作之相關法規要求，以及復原作業之執行方式。

(一) 相關法規要求

除役後期需執行「最終輻射偵測」，以確認廠址之輻射劑量是否符合法規之相關規定。目前本公司規劃核一廠除役後之廠址(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」(以下簡稱核管法)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」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

核一廠廠內之建物及結構，主要可概分為受輻射影響及未受輻射影響二類。

(1) 受輻射影響之建物及結構之復原原則說明如下：

- A. 拆除建物內所有系統及設備。
- B. 進行建物結構表面除污，以移除表面污染物，所移除之污染物將

以放射性廢棄物處理方式處理。放射性廢棄物處理包括前處理、處理、安定化及包裝程序，處理的基本原則為：(1)減少體積、(2)移除放射性核種，以及(3)改變廢棄物特性，使放射性廢棄物能達到穩定狀態，相關內容請參考本計畫第九章、三節除役期間低放射性廢棄物之處理規劃。

- C. 剩餘結構經放射性比活度取樣分析後，符合「一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法」者(殘餘核種比活度值)，其在地表下 1 m 以上之結構將予以拆除，地表下方 1 m 以下之結構經除污再偵測確保無污染後，則予以保留，且結構物將進行鑽孔以利未來回填後之排水。
- D. 拆除之混凝土塊，將進行原廠址處置，即建物地表下 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，用適當之機具破碎至一定粒徑以下進行回填。
- E. 回填後表面再以 1 m 之無污染之覆土覆蓋後夯實。

有關建物內部設備及系統移除前之除污作業，請參考本計畫第八章、一、(二)、2.節污染系統之除污規劃。在廠房建物內部設備組件完成移除後，將對建物結構進行除污，建物除污作業，請參考本計畫第八章、一、(二)、3.節污染結構及組件之除污規劃。

- (2) 未受輻射污染之建物及結構之復原，則依內政部營建署所公布之「建築物拆除施工規範」要求辦理。
- (3) 如有受輻射污染之建物，經評估後規劃於核一廠除役後，保留移作他用者，將進行除污及清理復原作業，並依本章、三節最終輻射偵測規劃，進行偵測，經評估符合導出濃度指引水平後，方可釋出使用。
- (4) 各復原工作將採用之輻射防護方法及管制程序，請參考本計畫第十章。

2. 土壤復原

依據本計畫第三章核一廠運轉歷史及初步輻射特性調查之土地分級結果，未來於除役停機過渡階段及廠址最終狀態偵測階段，將會針對受到污染之土地區域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，會將受污染之土壤移除，移除土壤將以放射性廢棄物之方式處理，直至該區域輻射偵測值符合廠址使用劑量標準為止。針對挖除的區域，再以無污染之土壤回填。詳細之污染土壤復原方案，請參考本計畫第八章、一、(二)、1.(1).節所述。

3. 地下水處理

依據核一廠運轉歷史及初步輻射特性調查之資料顯示，核一廠廠界內之地下水並無遭受到放射性污染。未來於停機過渡階段及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)，或工程包封法(Engineered Confinement)等方式進行處理，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)、1.(2).節所述。

三、最終輻射偵測規劃

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影響區及受影響區(參考本計畫第三章圖 3-4 與圖 3-5)。對不受影響區而言，不需執行輻射偵測；對受影響之建物或土地(不包含保留區)，則應依本章一、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 級受影響區。並利用特性調查偵測將其餘受影響區分類為第 2 級(污染活度低於 DCGL 值)與第 1 級(污染活度高於 DCGL 值)受影響區，後者須參考本章、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，或污染地下水的復原作業)，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 17-2 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。由於目前核一廠尚在運轉中，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，將於除役第三階段實際執行最終狀態偵測前完成。最終輻射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。

目前最終輻射偵測之相關規劃說明如下：

執行除役後廠址最終輻射偵測之目的，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)。

廠址最終輻射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水平(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。除役後廠址最終輻射偵測(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。核一廠廠址 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)、關鍵核種、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。

- 關鍵核種

推導 DCGL 之第二步驟為判定除役後可能殘留在廠址內的關鍵核種。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，需針對各關鍵核種，個別評估其 DCGL。關鍵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。本公司係依據目前暫貯於蘭嶼貯存場之核一廠低放射性廢棄物資料，評估核一廠除役後可能殘留的關鍵放射性核種，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。根據目前場址再利用規劃策略，核一廠廠區未來應為電力事業使用，為符合再利用規劃之設計，本公司將採用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輻射偵測作業時，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。最終輻射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，將先訂定無效假設(Null Hypothesis)與替代假設

(Alternative Hypothesis)，從保守的角度出發，無效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。若最後結果判定無效假設不成立，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。背景中存在關鍵核種時，採用 WRS 檢定法；背景中若不存在關鍵核種，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，仍無法達到 DQO 的要求，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)背景參考地區應選在未受輻射影響之區域，且不可選在輻射偵檢單元之範圍內。

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鍵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，則依據關鍵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，可將核一廠之建物與土地初步劃分為不受影響區及受影響區(參考本計畫第三章、圖 3-4 與圖 3-5)，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：現在或曾經含有高於導出濃度指引水平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：現在或曾經含有高於導出濃度指引水平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：現在或曾經幾乎不會有含有高於導出濃度指引水平之放射性核種濃度的污染可能性，或沒有證據可以將此區域列入

未受影響區。

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。

由於核一廠尚在運轉中，僅能依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 3-4 與圖 3-5 所標示之受影響區，初步分類如下：

第 1 級受影響區：

- 建物/結構：一號機聯合結構廠房與汽機廠房、二號機聯合結構廠房與汽機廠房。
- 土地：上述廠房區域內的土地。

第 2 級受影響區：

- 建物/結構：主煙囪與煙道。
- 土地：第 1 級受影響區周圍的土地、煙囪周圍的土地、核一廠東南方之「已停用清潔焚化爐旁空地內之廢土掩埋區」。

第 3 級受影響區：

- 建物/結構：廢氣廠房、放射試驗室、洗衣房、27 號倉庫、28 號倉庫、29 號倉庫、廢棄物壕溝、一號低放射性廢棄物貯存庫、二號低放射性廢棄物貯存庫等受影響建物/結構。
- 土地：上述建物/結構周圍的土地。

實際受影響區的分級(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，根據配合場址最終狀態及特性調查結果完成 DCGL 值推導並再確認第一、第二或第三級之分佈。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 建議及核一廠於運轉期間之調查基準，核一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，故此處的調查分析與掃描採將較嚴格的調查基準。

(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，且掃描的位置將依儀器之靈敏度作調整。

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質保證作業，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。於除役第三階段執行偵測作業前，將另制訂最終輻射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

執行廠址最終輻射偵測作業之目的係在證實核一廠廠址內之殘留輻射水平可符合廠址使用輻射劑量標準。核一廠完成除役後，對於輻射劑量管制上的考量，請參考本章、二、(一)節相關法規要求所述。

廠址最終輻射偵測作業完成後，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。

前 2 項量測結果，分別表示偵檢單元超過及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。若背景中不存在關鍵核種，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 Test 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。若背景中不存在關鍵核種，則採 Sign 檢定；若背景中存在關鍵核種，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 17-1 所示，放射性廢棄物貯存設施(包含一號、二號低放射性廢棄物貯存庫及用過核子燃料乾式貯存設施等)，將在核一廠除役後仍被保留，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)，但在核一廠除役後，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、游離輻射防護法及物管法等法規之相關規定。

四、參考文獻

1. 周鼎，「核子反應器設施除役廠址特性調查研究」，行政院原子能委員會放射性物料管理局委託研究計畫研究報告，101 年 12 月。
2. 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. 行政院原子能委員會，「放射性物料管理法施行細則」，92 年 7 月 30 日。
4. 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。
5. C. R. Bayliss and K. F. Langley, “Nuclear Decommissioning, Waste Management, and Environmental Site Remediation” Ch.25-Technologies for Remediating Contaminated Land, 2003.
6. Rancho Seco License Termination Plan, Ch.4-Site Remediation Plan.
7. K. Kim and R. McGrath, “Groundwater and Soil Remediation Guidelines for Nuclear Power Plants” EPRI 1023464, July 2011.
8. 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.

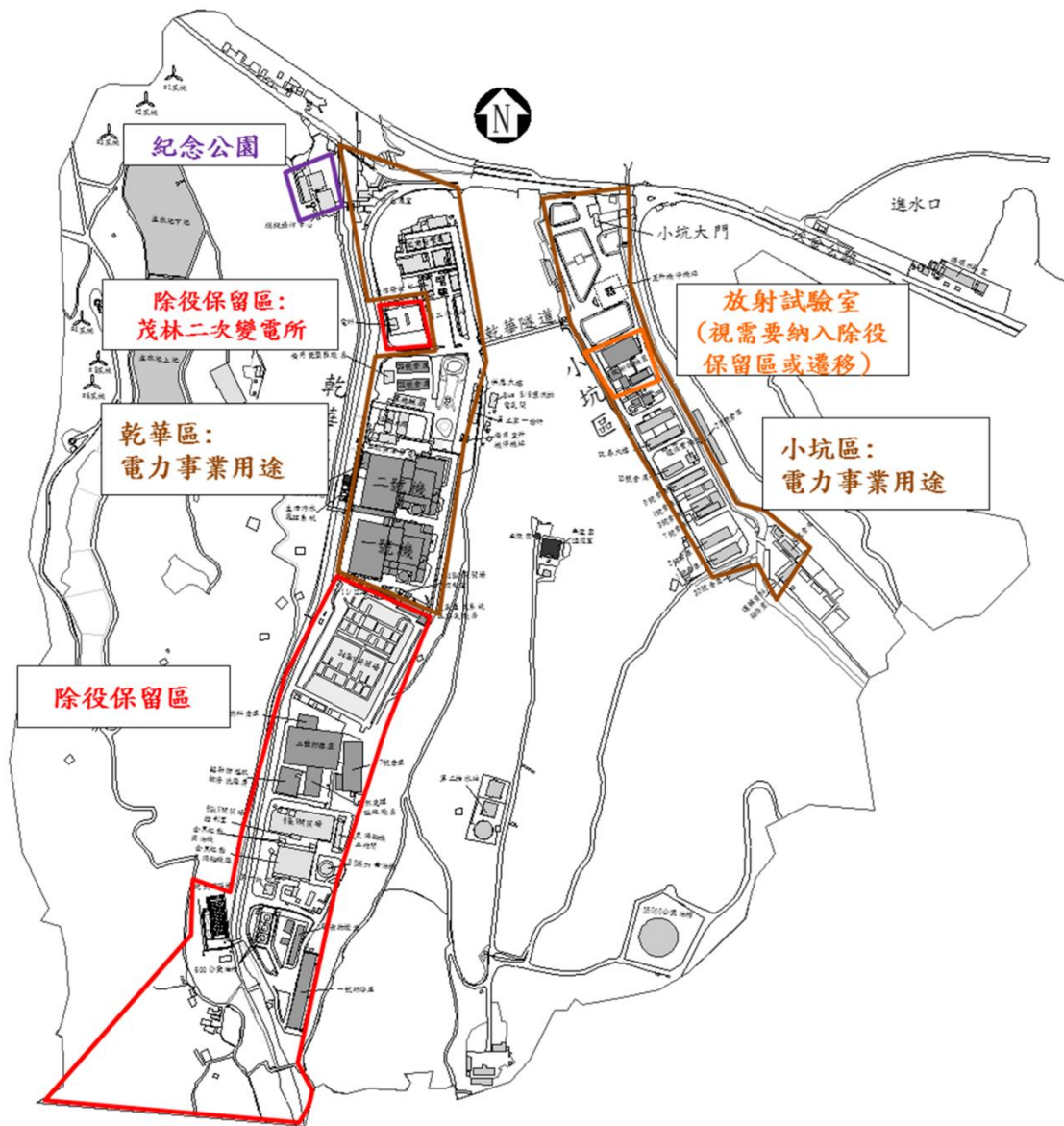


圖 17-1 核一廠除役再利用初步規劃圖

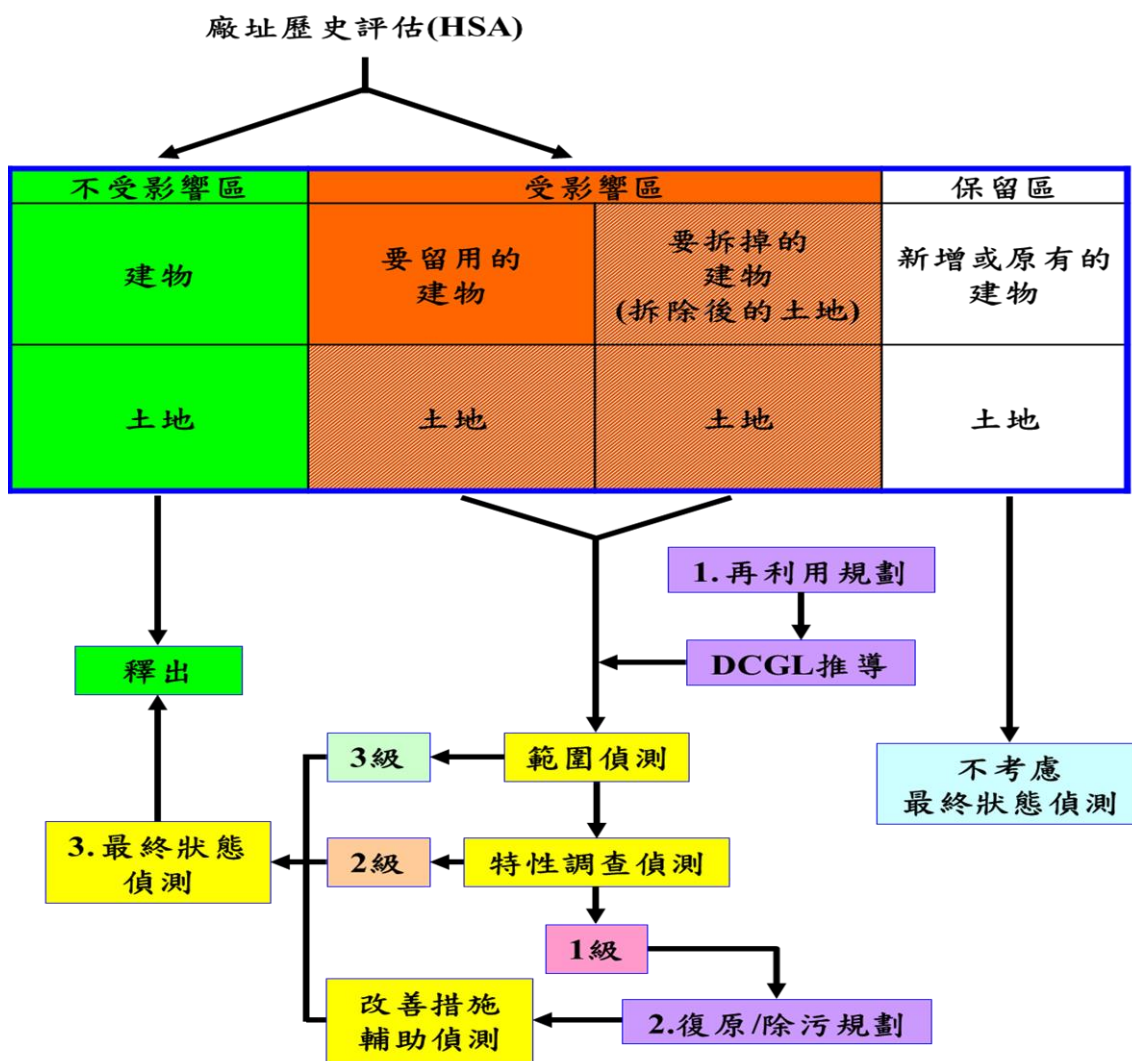


圖 17-2 廠址歷史評估、再利用規劃及各階段輻射狀態偵測之關聯性

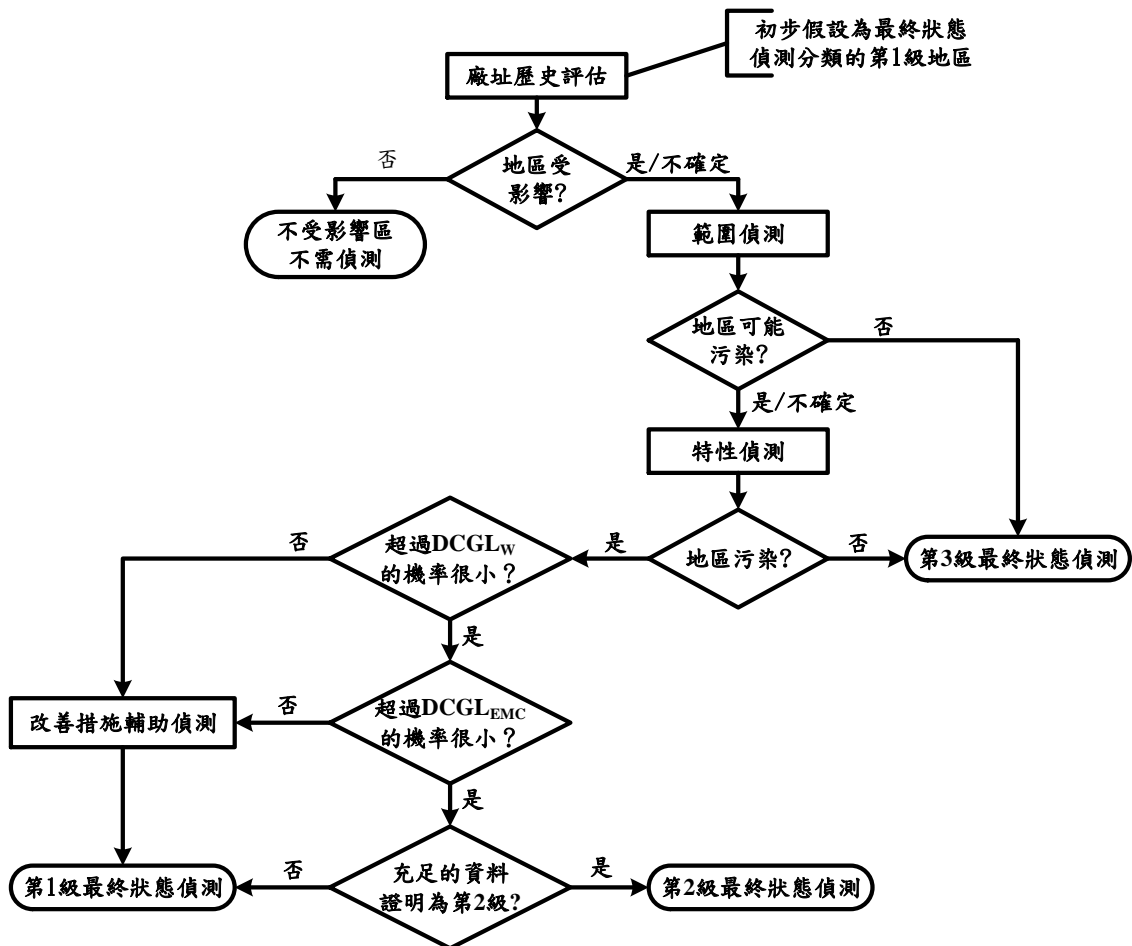


圖 17-3 建物與土地污染分級流程(MARSSIM)

MARSSIM 流程系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影響區域；不受影響地區可不需偵測，受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 核一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：參考蘭嶼暫貯之核一廠放射性廢棄物的關鍵核種。

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 核一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 × 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。

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	環境背景不存在關鍵核種，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。	環境背景存在關鍵核種，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。	127.06 (廠址最終狀態偵測階段前 1 年)