

行政院原子能委員會  
委託研究計畫期末研究報告

核設施除役之輻射安全技術研究  
**Radiation safety techniques for nuclear facilities  
decommissioning**

計畫編號：

受委託機關(構)：原子能委員會核能研究所

計畫主持人：黃珮吉

聯絡電話：(03)4711400 ext.7972

計畫參與人員：黃文治、王思文、袁明程

聯絡人：簡秀鳳

報告日期：104 年 12 月 25 日

(本頁空白)

## 目 錄

目 錄.....	iii
中文摘要.....	iv
英文摘要.....	v
壹、 前言(計畫緣起).....	6
貳、 研究目的.....	7
參、 研究方法與過程.....	8
肆、 主要發現與討論.....	10
伍、 結論與建議.....	18
附件一、美國核管會第 83890 號檢查程序 (IP 83890).....	23
附件二、美國核管會第 87104 號檢查程序 (IP 87104).....	32
附件三、除役後廠址環境輻射偵測報告審查導則(草案).....	46

## 中文摘要

本計畫係配合核設施除役輻射防護管制業務需求所提出的四年期科技發展計畫，著重在建立及精進核設施除役之輻射偵檢儀器與人員、環境劑量管制所需的校正評估技術，以建構完整的輻射防護管制體系。計畫工作項目包括建立環境級輻射劑量校正系統、除役土壤導出濃度指引水平推導研究、研製環境核種分析儀器校正用參考物質、除役計畫之輻射合理抑低 ALARA (as low as reasonably achievable) 管理與審查技術等，本計畫之目標即在落實輻防管制與劑量合理抑低，確認各種形式除役輻射偵測儀器之使用功能、適用範圍及最佳偵測條件等基本特性，並建立除役土壤導出濃度指引水平推導技術，以保護環境、民眾、工作人員安全。

關鍵字：核設施除役、導出濃度指引水平、參考物質

## 英文摘要

This project is a four-year scientific development project proposed for radiation protection management of nuclear power plant decommissioning. It aims to establish and improve the calibration and evaluation techniques required in controlling radiation detectors, personnel and environmental doses concerning nuclear facility decommissioning to construct a complete radiation protection control system. Task items of this project include the establishment of environmental-level dose calibration system, investigation on DCGL derivation for soil, research on reference materials to be applied in calibration of environmental radionuclide analyzing instrument, management and audit techniques for decommissioning's radiation ALARA (as low as reasonably achievable) etc. The goals of this project are to realize radiation control and dose ALARA, ensure the basic properties of various radiation measurement instruments for decommissioning, establish techniques for DCGL derivation, protect the safety of environment, citizens and staff members.

Keyword : nuclear facilities decommissioning; derived concentration guideline level(DCGL); reference materials

## 壹、前言(計畫緣起)

核設施除役之輻射安全技術研究計畫，係考量除役後之廠址，需依據除役後廠址環境輻射偵測報告導則予以管制，以確保除役後廠址環境輻射造成民眾的劑量符合法規限值要求；且配合除役之廠址環境特性及相關參數分析，應建立除役廠址土壤導出濃度指引水平(DCGL)推導技術，以確保環境、民眾、工作人員之安全。此外，為提供核設施除役輻防管制作業之參考依據，須確認各種型式除役輻射偵測儀器之使用功能、適用範圍及最佳偵測條件等基本特性，並建立最適化之儀器校正技術、標準測試源與性能評估技術，並依據國際標準規範，建立除役之輻射偵測儀器校正系統與量測技術程序，建構完整的儀器檢校追溯體系，確保除役輻射量測之準確度與公信力。

## 貳、 研究目的

依據「核子反應器設施管制法」第二十八條規定<sup>[1]</sup>：核子反應器設施除役計畫執行完成後六個月內，經營者應檢附除役後廠址環境輻測監測報告；另外，「核子反應器設施管制法施行細則」中規定<sup>[2]</sup>，有關除役後廠址環境輻射監測之管制<sup>[3-4]</sup>，將訂定除役後廠址環境輻射監測報告導則。未來十年內，我國將陸續有核能電廠達到預定的運轉年限而必須除役，如何在核設施除役後有效執行廠址環境輻射檢測，評估廠址殘餘輻射對設施外民眾所接受的輻射劑量，係屬主管機關於管制面上將面臨之課題。本計畫將協助主管機關完成除役後廠址環境輻射監測報告審查導則，以確保除役後廠址環境輻射造成民眾之劑量符合法規限值要求；建立核設施除役之輻射偵測儀器校正系統，建構完整的儀器檢校追溯體系與量測技術程序<sup>[5]</sup>；且配合除役之廠址特性環境物質及相關參數分析，建立除役廠址土壤導出濃度指引水平(DCGL)推導技術，提升輻射量測之準確度與公信力，有效確保環境、民眾與工作人員之輻射安全。

## 參、研究方法與過程

### 一、除役後廠址環境輻射偵測報告審查導則研究

為了使廠址外釋時得以符合其使用條件之外釋標準<sup>[6]</sup>，本計畫係針對美國核管會 NUREG-1757 報告及第 87104 與 83890 號檢查程序(Inspection Procedure)中，對於除役廠址之中間過程輻射偵檢(In-process surveys)及複驗輻射偵檢(confirmatory survey)，相關文獻進行彙整與研究<sup>[7-10]</sup>，如附件一及附件二。中間過程輻射偵檢通常是在改善行動中進行，可協助業者確認是否改善行動已完成，以及何時可開始進行最終狀態輻射偵檢。另外當美國核管會接受業者所提送最終狀態輻射偵檢報告(Final Status Survey Report, FSSR)後，美國核管會可能需執行複驗輻射偵檢(confirmatory survey)。美國核管會將可能對公眾健康及安全造成顯著危害之廠址，所執行的複驗輻射偵檢指定為較高優先序位。

此外，當核電廠完成除役後廠址環境輻射監測後，為利於主管機關審查除役後廠址環境輻射偵測報告，將撰擬除役後廠址環境輻射偵測報告審查導則，以確保除役後廠址之殘餘輻射符合法規要求。

### 二、除役作業中場址外之劑量評估審查技術研究

RESRAD-OFFSITE 的地圖定位、大氣傳輸以及地下水傳輸功能，能夠依據不同的場址特性、情節假設來進行劑量評估工作。在 RESRAD-OFFSITE 程式中，使用者除了可使用預設參數獲得初步劑量評估結果外，亦可透過增減曝露途徑或調整參數設定，來評估關鍵群體於不同曝露情節下所接受的輻射劑量。為了能有效應用 RESRAD-OFFSITE 程式，來估算放射性核種在土壤



中所造成的場址內/場址外之人員劑量，並推導出不同情節下的土壤導出濃度指引水平(DCGLs)，本計畫將透過蒐集與研析 RESRAD-OFFSITE 相關文獻與進行示範案例運跑分析<sup>[11-15]</sup>，以評估此程式於核設施除役場址外劑量模擬之應用可行性。

### 三、建立環境級輻射劑量校正系統(Co-60)<sup>[16-26]</sup>

利用平移軌道，將本年度建置的 Co-60 環境級輻射劑量校正系統，與之前建置的 Cs-137 及 Am-241 系統作合併整合，形成三系統共用輻射屏蔽空間環境，創造一低背景干擾與低散射干擾的校正環境，並利用衰減片組做輻射劑量率的轉換，使劑量率能確實向下涵蓋至環境劑量等級(約 0.2  $\mu\text{Sv/h}$ )，另使用 10000 ml 球形電極空氣游離腔作為標準件，進行劑量標準傳遞，將國家標準劑量傳遞至本計畫建置之系統。且為改善環境級 10000 mL 游離腔之訊號與雜訊比，則加裝氮氣填充裝置及清潔內部結構，以降低漏電流雜訊。先將 10000 ml 球形電極空氣游離腔經國家實驗室 Co-60 原級標準系統進行校正，其校正因子為  $3.2734 \text{ kGy/C} \pm 1\%$ ，再使用標準件置於照射箱中央位置進行多個標準輻射場量測，與系統不確定度評估。

## 肆、主要發現與討論

### 一、除役後廠址環境輻射偵測報告審查導則研究

#### 1、除役後廠址環境輻射偵測報告審查導則草案

經蒐集除役後廠址環境輻射偵測相關文獻，並進行彙整與研究後，完成除役後廠址環境輻射偵測報告審查導則草案，如附件三所示。草案內容共分為五個部分，分別為：(一)審查範圍、(二)程序審查、(三)審查要點與接受基準、(四)審查發現及(五)相關法規與技術規範。此草案內容可做為主管機關於除役計畫完成後六個月內，設施經營者所提出除役後廠址環境輻射偵測報告審查之依據。

#### 2、廠址中間過程輻射偵檢(In-Process surveys)與複驗輻射偵檢(Confirmatory surveys)研究

除役電廠之改善行動是否完備，主管機關將透過中間過程輻射偵檢來進行驗證。由於業者其持有之許可物質以及執行除污與設施拆除的需求不一，故須依據業者條件來制定合適的檢查方案，其檢查內容應包含業者提供相關紀錄、工作活動直接觀察、人員訪談、藉由工作人員實際操演核管會所指派任務，以及設施輻射狀態的獨立量測。此偵檢結果除了可做為污染物變化量主要評估依據，應用於估算改善行動偵檢單元內，最終狀態輻射偵檢的樣本大小之外，亦為執行最終狀態輻射偵檢的重要依據。

然而，除役設施可能因為一些因素(如無法進行採樣)，而無法執行中間過程輻射偵檢，故主管機關在接受業者提交最終狀態輻射偵檢報告(Final Status Survey Report, FSSR)後，可視其過

往紀錄(是否存在重大且未獲得改善的缺失)與有無適當的中間過程輻射偵檢，來決定是否進行複驗輻射偵檢(confirmatory survey)。複驗輻射偵檢於美國多部會輻射偵檢與場址調查手冊(MARSSIM, NUREG-1575)係定義為一個包含獨立量測、取樣與分析，以驗證最終狀態輻射偵檢執行成效之輻射偵檢。其目的為確認業者是否依照除役計畫來執行最終狀態輻射偵檢，以及廠址除污是否合乎其使用類型的外釋標準。若進行量測分析時發現業者之最終狀態輻射偵檢中，涉及獨特且複雜的技術問題，或預期需超過一周人力來執行場址偵檢與採樣，或是核管會無法在一定的時間內完成優先度較高的偵檢時，只要滿足上述任一項(或多項)條件，即可委請承包商(第三方)來執行複驗輻射偵檢程序。

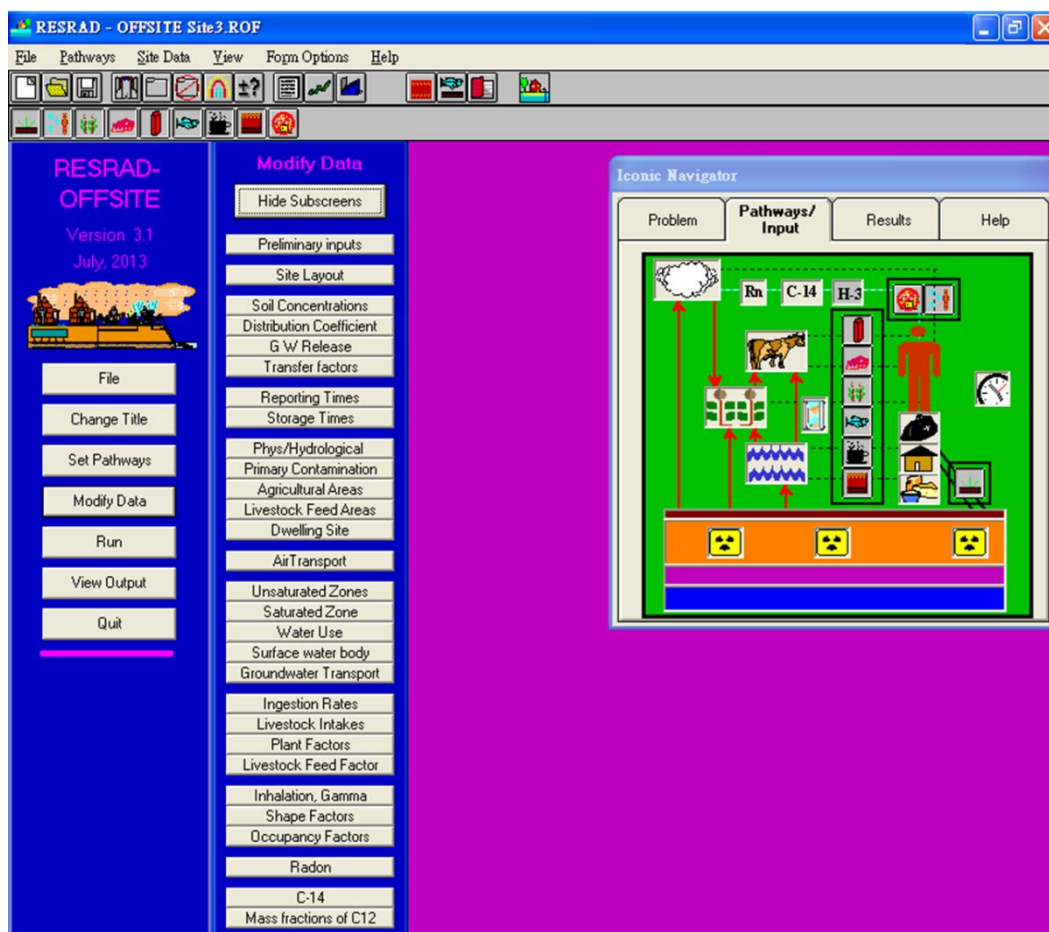
中間過程輻射偵檢已證明將會比一次性複驗輻射偵檢來得更有效率，故在除役過程中，將允許主管機關採用同步量測、收集水樣與土樣，以及早提出偵檢問題。而且使用中間過程輻射偵檢除了可減少成本支出，並確保最終狀態輻射偵檢結果準確性外，還可協助業者得以依照既定行程持續進行場址外釋作業。

## 二、除役作業中場址外之劑量評估審查技術研究

1. 至 RESRAD 網站註冊使用者帳號，下載最新版 RESRAD-OFFSITE 3.1 輻射劑量評估程式，完成程式安裝。RESRAD-OFFSITE 使用者指引(User's User's Guide for RESRAD-OFFSITE, NUREG/CR-7189)及其他文件亦可由網

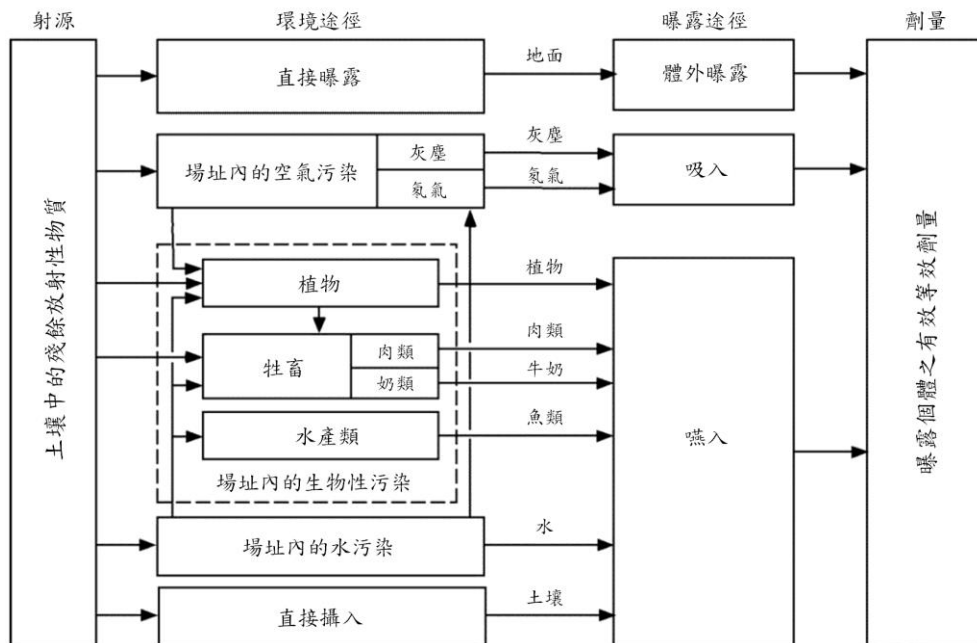
站下載<sup>[11-15]</sup>。

2. 參考 RESRAD-OFFSITE 使用者指引，瞭解程式介面、各參數位於輸入視窗之位置(圖一)。



圖一、RESRAD-OFFSITE 3.1 程式安裝後之主畫面

3. RESRAD-OFFSITE 可應用 RESRAD (onsite)的曝露途徑，說明於圖二，但在 RESRAD-OFFSITE 稍有修改。在 RESRAD-OFFSITE 中，這些曝露模式可應用於更多位置及更多污染途徑—在主要污染及農業與養殖區，有可能因灌溉及粉塵沉積造成污染。



圖二、RESRAD-OFFSITE 曝露途徑概圖

4. 曝露情節是指人類活動的型式，會影響放射性活度由污染區釋出和接受曝露量。廠址的真實情節取決於許多因素，包含廠址位置、土地的區域劃分、廠址物理性質等。使用者可以根據廠址實際情況，於 RESRAD-OFFSITE 程式內以開關的方式修改曝露途徑。
  - i. RESRAD-OFFSITE 的主要曝露情節係根據 RESRAD (onsite) 建立的。
  - ii. 主要的四個情節為：鄉村居住農夫、城市居民、(辦公室、工廠、建築)工作者及休閒者。
5. RESRAD-OFFSITE 場址佈局中的地圖介面可用於定位，並訂出關注物件的尺寸及方向(如主要污染、場外住所、井、表面水體、農地、地下水流方向與北面方向)，對應這些物件的圖

案可拖曳或調整大小，甚至可加入由 GoogleMap、MapQuest、TopoZone、TerraServer 等地圖網站上擷取的地圖背景影像。另一方面，也可連結至由各圖案代表的指定場所的細節輸入表格，如圖三所示。

The screenshot displays the RESRAD-OFFSITE software interface, divided into several sections:

- Map Interface (Top Left):** Shows a schematic site layout with a central blue circular area representing a water body, and various icons representing different site features like buildings, fields, and a radiation source. A Y-axis is indicated.
- Site Layout (Top Right):** A configuration panel with the following settings:
  - Bearing of X axis (clockwise angle from North): 60 degrees
  - X dimension of Primary Contamination: 100 meters
  - Y dimension of Primary Contamination: 100 meters
- Location Table (Middle Right):** A table defining site locations by X and Y coordinates.
 

Location	Smaller X Coordinate	Larger X Coordinate	Smaller Y Coordinate	Larger Y Coordinate	Unit
Fruit, grain, non-leafy vegetables plot	34.375	65.625	234	266	meters
Leafy vegetables plot	34.375	65.625	268	300	meters
Pasture, Silage growing area	0	100	450	550	meters
Grain fields	0	100	300	400	meters
Dwelling site	34.375	65.625	134	166	meters
Surface-water body	-100	200	550	850	meters
- Map Interface (Bottom Right):** A satellite map view of the site area with a scale bar set to 100 meters and various navigation controls.
- Legend Table (Bottom Left):** A table mapping icons to site features.
 

圖案	格式
N	場址佈局
輻射	主要污染
乳牛	畜牧生長區域
果葉	農地
房屋	場外住宅區
井	飽和帶水文
藍圓/橢圓	表面水體
GW	地下水傳輸

圖三、RESRAD-OFFSITE 的場址佈局與地圖介面

- 藉由設定佔用因子(Occupancy)相關參數，可用於決定人員於場址內、場址外以及不同農耕區內的活動時間，如圖四所示。

Occupancy

**Fraction of Time spent on PRIMARY CONTAMINATION (whether cultivated or not)**

In <u>do</u> ors	0
Out <u>do</u> ors	0

**Fraction of Time spent in OFFSITE DWELLING SITE**

In <u>do</u> ors	.5
Out <u>do</u> ors	.1

**Fraction of Time spent in FARMED AREAS (including Primary and Secondary contaminated areas)**

Fruit, grain, and Nonleafy fields	.1
Leafy vegetable fields	.1
Pasture and silage fields	.1
Livestock grain fields	.1

If part of a farmed area lies on the Primary Contamination, the time fraction spent in that part of the area should be included in both the farmed area occupancy and the primary contamination occupancy.

Save      Run

Cancel

圖四、佔用因子設定視窗

7. 在大氣傳輸(Air Transport)模擬設定上，可直接套用程式內建美國各主要城市氣候資料檔案，當中包含了該地區風速、風向與穩定度等資訊；在地形的描述上，可於場址外高程參數中設定各個不同農耕區與主要污染區的相對高度。為了獲得更為精確的大氣傳輸數據，可藉由設定場址之網格間距(Grid Spacing)，將分析區域細分，再進行結果統合，其相關設定如圖五所示。

Atmospheric Transport

Release height: 1 meters  
 Release heat flux: 0 cal/s  
 Anemometer height: 10 meters  
 Ambient temperature: 285 Kelvin  
 AM atmospheric mixing height: 400 meters  
 PM atmospheric mixing height: 1600 meters

Dispersion Model Coefficients:  
 Pasquill-Gifford Coefficients  
 Briggs Rural Coefficients  
 Briggs Urban Coefficients

Windspeed Terrain:  
 Rural  
 Urban

Offsite location: Fruit, grain, non-leafy vegetables plot; Leafy vegetables plot; Pasture, silage growing area; Grain fields; Dwelling site; Surface water body

Elevation of offsite location, relative to ground level at primary contamination: 0, 0, 0, 0, 0, 0 m

Grid spacing for areal integration: 10 m

Read Meteorological STAR file

Wind speed: 0.89, 2.46, 4.47, 6.93, 9.61, 12.52 m/s

Stability class: Joint frequency of wind speed and stability class for wind from S to N

Stability class	0.89	2.46	4.47	6.93	9.61	12.52
A	1	0	0	0	0	0
B	0	0	0	0	0	0
C	0	0	0	0	0	0
D	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	0	0
F	0	0	0	0	0	0

Save  
Cancel

圖五、大氣傳輸參數設定視窗

8. 利用 3.1 版 RESRAD-OFFSITE 程式來進行場址內土壤導出濃度指引水平(DCGLs)模擬運算，以及場址內(onsite)與場址外(offSite)人員劑量評估，透過示範案例運算分析，以評估此程式於核設施除役場址外劑量模擬之應用可行性。

### 三、建立環境級輻射劑量校正系統(Co-60)

由於環境級低劑量率系統，在操作過程中常有信號微弱導致量測困難現象發生，目前雖已解決局部關鍵問題，仍有下列干擾因素導致量測準確度降低，其中包括：

- (1) 背景輻射：高能宇宙射線可輕易穿透屏蔽成為背景雜訊降低訊雜比率。
- (2) 漏電流率：係指計測系統組成物質本身或計測腔體所含放



射性物質造成背景雜訊增加，以及系統組件訊號導線或電容元件本身電阻等，都會造漏電流增加。

為改善系統漏電流現象，目前整體系統以增加氮氣填充輔助裝置，來去除標準游離腔內空氣中所含水氣及些微放射性核種，以降低漏電流雜訊，提升訊號與雜訊比；並使用電量計屏蔽箱來避免量測儀器受環境因素的干擾與變動、縮短導線長度以降低阻抗減少漏電流雜訊，藉由相關物理方法來去除雜訊干擾，降低漏電流雜訊，提升訊號與雜訊比。

低劑量率鈷-60 量測與校正系統，在距離射源 230 cm 處經四種(0 cm、3.5 cm、7.0 cm、9.0 cm)不同厚度銅阻擋片，可提供四種不同強度輻射場，強度分別為  $1.5913 \times 10^{-9}$  Gy/s、 $2.0826 \times 10^{-10}$  Gy/s、 $2.5309 \times 10^{-11}$  Gy/s、 $7.7075 \times 10^{-12}$  Gy/s。並採用 ISO GUM 規範評估不確定度，輻射場擴充不確定度分別為：1.26%、2.50%、5.77%、10.1%。

## 伍、 結論與建議

### 一、除役後廠址環境輻射偵測報告審查導則研究

本計畫係針對美國核管會之輻射偵檢程序中，中間過程輻射偵檢及複驗輻射偵檢之執行程序進行研究，並提供簡要執行方法說明。執行中間過程輻射偵檢已證實可降低除役之成本，並確保業者提交之偵檢結果的準確性，而且不會影響業者廠址外釋作業的進行。除此之外，還可及早發現偵檢問題，利於業者進行改善作業。複驗輻射偵檢則可利用獨立的量測分析，來對最終狀態輻射偵檢之執行成效進行驗證，將有助於主管機關確認業者執行之最終狀態輻射偵檢，是否符合廠址外釋之相關標準。此外，為確保除役後廠址周圍民眾與環境之安全響，進而擬定除役後廠址環境輻射偵測報告審查導則，可作為主管機關審核業者提送除役後廠址環境輻射偵測報告之依據。

### 二、除役作業中場址外之劑量評估審查技術研究

RESRAD-OFFSITE 與 RESRAD-ONSITE 同樣為美國阿崗國家實驗室 (Argonne National Laboratory, ANL) 所開發之劑量評估軟體，在 RESRAD-OFFSITE 程式中，參數設定上多了場址布置 (Site Layout)、大氣傳輸 (Air Transport) 及地下水傳輸 (Groundwater Transport) 部分，而在關於曝露途徑參數的設定上也較多元詳細，故預期進行場址之劑量風險評估時，使用 OFFSITE 程式能更有效反映場址的實際曝露情況。

本計畫係參照國外核電廠除役經驗與相關文獻，應用 RESRAD-OFFSITE 程式來進行特定曝露情節及途徑之劑量模擬。透過實際範例演練分析，證明此程式除了可計算出殘餘放射性物

質對場址內或場址外人員所造成輻射劑量，亦可用於推導出土壤導出濃度指引水平(DCGLs)。

### 三、建立環境級輻射劑量校正系統(Co-60)

環境級 Co-60 輻射劑量校正系統建立完成後，形成環境級輻射劑量校正系統於高、中、低之光子能量範圍內接建構完整量測與校正服務，可提供真正環境劑量等級的輻射偵測儀器校正或測試服務，可解決輻射偵測儀器於量測環境輻射劑量時的差異問題，降低環保團體與政府之間，對環境劑量量測差異所造成的衝突。

## 參考文獻

1. 核子反應器設施管制法。
2. 核子反應器設施管制法施行細則。
3. 環境輻射監測規範。
4. 輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則。
5. 環境輻射監測品質保證規範。
6. 10 CFR 20, Standards for Protection Against Radiation, Subpart E-Radiological Criteria for License Termination.
7. U.S. Nuclear Regulatory Commission Guidance, NUREG-1757 Vol. 1, Rev. 2, Consolidated Decommissioning Guidance, Decommissioning Process for Materials Licensees, Sep. 2006.
8. U.S. Nuclear Regulatory Commission Guidance, NUREG-1757 Vol. 2, Rev. 2, Consolidated Decommissioning Guidance, Characterization, Survey, and Determination of Radiological Criteria, Sep. 2006.
9. U.S. Nuclear Regulatory Commission Guidance, NRC Inspection Manual, Inspection Procedure 87104, Decommissioning Inspection procedure for Materials Licensees, Jul. 2002.
10. U.S. Nuclear Regulatory Commission Guidance, NRC Inspection Manual, Inspection Procedure 83890, Closeout Inspection and Survey, May 2002.
11. U.S. Nuclear Regulatory Commission Guidance, NUREG/CR-7189, User's Guide for RESRAD-OFFSITE, April 2015.
12. U.S. Nuclear Regulatory Commission Guidance,

- NUREG/CR-7127, New Source Term Model for the RESRAD-OFFSITE Code Version 3, Dec 2013.
13. EPRI Report # 1025315. “Technical Bases for the Development and Application of Derived Concentration Guidance Levels for Decommissioning and License Termination of Nuclear Power Plants”, September 2012.
  14. U.S. Nuclear Regulatory Commission Guidance, NUREG/CR-6697, Development of Probabilistic RESRAD 6.0 and RESRAD-BUILD 3.0 Computer Codes, Dec 2000, (ML010090284).
  15. Yu, C., et al., 1993a, Data Collection Handbook to Support Modeling the Impacts of Radioactive Material in Soil, ANL/EAIS-8, Argonne National Laboratory, Argonne, Ill., Apr.
  16. X and  $\gamma$  reference radiations for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy, ISO 4037-1 December 1996
  17. Medical electrical equipment –Dosimeters with ionization chambers as used in radiotherapy , IEC 60731 , 1997-07
  18. Paul J. Lamperti, Thomas P. Loftus, Robert Loevinger, “Calibration of X- and gamma-ray measuring instruments at NBS” NBS, 1987 April
  19. 蘇水華、曾洪隆、朱健豪 “ISO 窄能譜 X-射線空氣克馬率量測與校正系統”，INER-4962，2007。
  20. 日本同位素協會，“同位素手冊”，1980。
  21. Frank Herbert Attix “Introduction to Radiological Physics and

Radiation Dosimetry”

22. 蘇水華 “球形電極游離腔研製”， INER-4281R， 2006。
23. 林炯榆、蘇水華、陳俊良、陳勝基、李振弘、黃文松 “035 館<sup>60</sup>Co 空氣克馬率校正系統”， INER-2323， 2003。
24. Christian Klinck. “ $\alpha$ -decay of  $^{241}\text{Am}$ . Theory – A lecture course on radioactivity”, University of Technology Kaiserslautern. Retrieved 28 November 2010.
25. Guide to the expression of uncertainty in measurement, ISO/TAG 4/WG3, June 1992
26. 校正領域量測不確定度評估指引，TAF-CNLA-G16(1)，2008。

## 附件一、美國核管會第 83890 號檢查程序 (IP 83890)

### 完工檢查與輻射偵檢

#### 83890-01 檢查目的

01.01 確認業者是否已依據除役計畫擬定內容來執行最終狀態輻射偵檢。

01.02 確認場址已除污至可符合限制性使用或非限制性使用之劑量標準。

#### 83890-02 檢查要求

##### 02.01 初步審查

審查業者提供的除役計畫，以確認場址污染範圍，並同時審查業者所提出的除污和最終狀態輻射偵檢計畫是否合理可行。

##### 02.02 檢查最終狀態輻射偵檢與放射性物質處置規劃

- a. 透過檢查業者執行最終狀態輻射偵檢結果，來確認最終狀態輻射偵檢結果之完整度與可接受度。請參閱附錄A中"最終狀態輻射偵檢計畫檢查區域"，以取得最終狀態輻射偵檢計畫詳細檢查清單。
- b. 透過檢查相關紀錄 (例如：庫存、轉移或處置等)，確認放射性物質是否已被轉移至合格接收單位進行處理。
- c. 透過檢查相關紀錄，確認放射性物質與設備已依據相關法規規定完成外釋。
- d. 通過檢查確認設施中已無使用或存放放射性物質、污染之設備與廢棄物。上述工作則需遵循10 CFR 30.36、40.42及70.38規定內容來執行。

##### 02.03 複驗輻射偵檢

複驗輻射偵檢於 "美國多部會輻射偵檢與場址調查手冊"(MARSSIM, NUREG-1575)中定義為，一個包含獨立(第三方)量測、取樣與分析，

以驗證最終狀態輻射偵檢執行成效之輻射偵檢。在業者進行最終狀態輻射偵檢時，應同時進行偵檢與取樣工作。檢查人員應與業者同步進行樣本收集，或是將樣本分離以便於進行量測比對。此外，還需比較場內量測儀器之讀值與靈敏度。實際上，由業者預先蒐集並進行樣品計測亦是合理可接受的。某些無法執行中間過程輻射偵檢作業或樣本收集的區域，可能得以於事後執行複驗輻射偵檢與採樣。若於最終狀態輻射偵檢計畫中，核管會已透過中間過程輻射偵檢與採樣分析，確認該場址無顯著缺失存在，則可能不需事後再執行偵檢與採樣。然而，對於先前已確認有未解決的顯著缺失存在，或重複發生違規行為之場址，事後則可能需要執行複驗輻射偵檢。業者透過執行充分數量的複驗輻射偵檢與採樣分析，以便於主管機關(美國核管會)認可該偵檢計畫結果具一定可信度。使用中間過程輻射偵檢可減少成本支出，並可確保最終狀態輻射偵檢結果準確性，以及協助業者得以依照既定行程持續進行場址外釋作業。

美國核管會將逐一審查業者所提出關於場址除役、替換或終止運轉執照之申請，以決定執行複驗輻射偵檢的必要性。並依據下列準則，進行個案審查。

- a. 符合以下條件之設施，將不需要執行複驗輻射偵檢：
  1. 已充分執行過輻射偵檢之區域。
  2. 使用微量之放射性核種，其半衰期小於/等於120天。
  3. 僅使用密封射源(洩漏測試值 $<0.005 \mu\text{Ci}$ )。
  4. 所使用放射性物質數量有限，且對民眾產生健康與安全風險很小。
  
- b. 符合以下條件之設施，則需要進行複驗輻射偵檢：
  1. 部分場址外釋過程中，並未確實執行中間過程輻射偵檢。
  2. 重複發生違規行為之場址。
  3. 民眾或國會對於場址的除污成果缺乏信心。
  4. 於業者之最終狀態輻射偵檢計畫中，確認該場址中有顯著、



未解決缺失區域存在。

#### 02.04 複驗輻射偵檢之執行

若某設施必須執行複驗輻射偵檢，則須確認業者之輻射偵檢數量及偵檢結果，是否符合核管會相關要求。

#### 02.05 報告與紀錄

- a. 透過審查確認業者所提報紀錄或報告，是否符合相關規定，其中包含：
  1. 當設施運轉執照過期或終止時，須依據10 CFR 20.2206之要求提報人員歷年輻射曝露與監測報告至核管會；
  2. 對於離職或是不再接觸放射性物質的員工，則須依據10 CFR 19.13之規定將人員輻射曝露報告提交給核管會及該名員工。
- b. 確認哪些計畫或安排的制定，是為依據10 CFR §§ 20.2102-20.2110要求而保存相關產出紀錄。

#### 02.06 廢棄物掩埋

確認是否有廢棄物掩埋於場址內。若確有掩埋事實存在，則需對該掩埋場之歷史評估、特性描述、輻射偵檢以及劑量模擬結果進行審查。業者應以先前掩埋場為案例進行模擬，以驗證是否符合10 CFR Part 20, Subpart E之管制要求。

#### 02.07 最終檢查報告

依據核管會Manual Chapter 0610之要求，來撰寫最終檢查報告書，報告內容需包括此檢查程序下所採取的行動、調查發現以及檢查人員之評估結果。

### 83890-03 檢查指引

#### 03.01 初步審查

對設施歷史運轉紀錄，及關於終止執照相關管制規定進行審查。

### 03.02 最終狀態輻射偵檢檢查

對任何與設施除污方案、除役計畫、任何經批准的最終狀態輻射偵檢方案，以及/或最終狀態輻射偵檢報告之核定狀態進行審查。並應於業者執行最終狀態輻射偵檢的過程中，對最終狀態輻射偵檢計畫展開檢查作業。此類於最終狀態輻射偵檢過程中(in-process)之檢查，其目的是為了提供業主於其偵檢結果準確性及對設施瞭解全面性上，有充足的信心。關於業者執行最終狀態輻射偵檢所需檢查清單，參見附錄A"最終狀態輻射偵檢計畫之調查區域"。

### 03.03 複驗輻射偵檢準備

審查相關的許可紀錄，例如除役計畫中用於場址內之放射性物質種類、任何與重大安全性議題相關事件，以及任何利益攸關者對於場址所提出意見。同時亦需審查NUREG-1575(MARSSIM)文件。

### 03.04 執行複驗輻射偵檢

對美國核管會或其承包商而言，除了中間過程輻射偵檢所獲得的發現外，在業者完成最終狀態輻射偵檢後進行複驗輻射偵檢，可確保偵檢結果的準確度，及對設施的污染狀況有全面性的瞭解。然而全面性複驗輻射偵檢，僅在對業者提出最終狀態輻射偵檢結果存有顯著疑慮時才需執行。舉例來說，如果業者在執行最終狀態輻射偵檢計畫過程中，鑑定出①明確且本質上非屬管理層面產生之缺失(例如：量測結果及/或土壤中核種活度無法達到外釋標準、污染區域未適當分類或儀器未妥善進行校正)、②業者有重複發生違規的經驗而減低核管會對於偵檢結果之信心、③民眾與國會對於場址除污成效缺乏信心，或④對於中間過程輻射偵檢而言，該場址面積過小(例如：僅部分場址外釋)，上述狀況下，都需執行複驗輻射偵檢。請注意，檢查員可於業者執行最終狀態輻射偵檢計畫時，進行有限的測試(例如：分離樣本、同時或直接量測等)，做為中間過程輻射偵檢的一部分。舉凡建築物、房間、家具、系統及設備、通風管線、過濾

器、水槽、下水道、排水管與污水坑、高架燈具、牆壁與地板等，在檢查期間都應視為需要偵檢的區域。

### 03.05 報告與紀錄

雖然有些業者不需要提報相關人員輻射曝露資料，然而當許可執照自管制規定中排除時，仍需按照 10 CFR 20.2101-20.2110 之要求進行紀錄保存等義務，並強烈建議告知業者應繼續保存這些相關紀錄。且理應告知業者關於除役記錄保存之規定。

### 03.06 最終檢查報告

最終檢查報告將成為管制放射性物質處置之官方認證依據，並以此文件為基礎，做為除役與最終處置之許可及檢驗文件。

## 附錄A

### 最終狀態輻射偵檢計畫視察區域

#### I. 最終狀態輻射偵檢調查設計上的考量

- A. 業者是否已將最終狀態輻射偵檢報告提交至核管會？
- B. 業者提送之最終狀態輻射偵檢計畫是否已事先經過審查？
- C. 若尚未提交最終狀態輻射偵檢報告，是否代表正在進行最終狀態輻射偵檢？
- D. 最終狀態輻射偵檢計畫是否已提送核管會，並通過核管會之審查？

#### II. 業者之最終狀態輻射偵檢檢查區域

- A. 應依據業者於除役計畫書與最終狀態輻射偵檢計畫書(在除役計畫書審查期間，所批准之最終狀態輻射偵檢計畫)中的承諾進行檢查。
- B. 對於需要付出較多努力進行除污之設施而言，下面所列區域應於業者執行最終狀態輻射偵檢計畫時進行檢查。若某設施不需進行太多除污工作，則該設施之檢查工作，可能須等到業者完成最終狀態輻射偵檢計畫，並將最終狀態輻射偵檢報告提交給核管會後，才有可能執行。
- C. 業者執行最終狀態輻射偵檢結果之檢查，可能由核管會視察員或其承包商進行獨立複驗輻射偵檢。複驗輻射偵檢範圍以及是否需要委託承包商來執行，則取決於Section II.B所討論的種種因素。一般而言，有限數量的複驗輻射偵檢應是足夠的。
- D. 針對每個檢查工作，檢查員應確認檢查範圍為何(如下所述)。

#### III. 業者之最終狀態輻射偵檢計畫與執行情序

- A. 確認是否有發現潛在性污染。
- B. 針對其組織與職責進行充分性/完備性的審查：
  - 1. 偵檢計畫相關文件
  - 2. 偵檢人員的職責與資格

- C. 針對品質保證與品質管制進行充分性/完備性的審查：
1. 組織架構
  2. 品質保證計畫
  3. 文件管制/記錄保存計畫
  4. 設備維護與管制計畫
  5. 稽查與改正措施計畫
- D. 確認實驗室的分析程序，包括品保/品管是否為可接受的，以及相關結果已完成詳細文件記錄。
- E. 確認業者是否按照指引文件，來進行最終狀態偵檢(FSS)計畫的準備。
- F. 確認現地量測用及實驗室用，或規劃將使用儀器，對於掃描、直接量測與分析關注放射性核種(ROCs)為適切可用。
- G. 確認關注核種於校正過程中所佔的比例。
- H. 審查關注核種、區域分類及偵檢單元面積大小，估算其平均值與標準差。
- I. 審查最終狀態輻射偵檢計畫中，用於說明影響多種關注核種影響之方法。
- J. 審查儀器使用程序：
1. 最低可測濃度(MDC)的計算方式
  2. 實際與所需掃描偵檢靈敏度
  3. 多核種校正結果與任何可能影響儀器性能之環境因子
- K. 選擇用於複驗輻射偵檢之偵檢單元/區域：
1. 基於分類結果決定掃描範圍
  2. 審視用於量測關注核種之分析程序
  3. 交互比對最終狀態偵檢數據與計畫要求成果之差異
- L. 對土壤採樣而言，確認採樣深度與採樣間隔。另外至少應從異常或其他具爭議區域中採取樣品，並連同業者封存樣品進行複驗輻射偵檢。其他隨機/系統性的特定樣品，則應用資料品質目標(Data Quality Objectives, DQO)程序，來獨立進行評估。
- M. 對於建物表面，至少應包含異常、具爭議及用於比對量測區

域，來進行直接量測。其他隨機/系統性的特定樣品，則應用 DQO 程序，來獨立進行評估。

- N. 如果計畫文件記錄已是完整的、準確的，並可充分描述目前相對於外釋標準的殘餘污染狀態，則建議為合格可驗收；反之，則需提供技術上建議。
- O. 計算於複驗輻射偵檢期間，所鑑定出異常區域之行動基準。
- P. 評估於複驗輻射偵檢期間，判斷為異常區域是否皆符合法規要求。
  - 1. 其相對大小與濃度是否為可接受的？
  - 2. 業者是否已將其妥善解決？
  - 3. 是否界於兩種偵檢單元分類之間？
- Q. 針對兩種偵檢結果(複驗輻射偵檢與業者提報場址偵檢結果)一致之場址進行審查。
- R. 針對系統隨機取樣與專家判定取樣之樣品，若其兩者量測值皆小於導出濃度指引水平(DCGL)時，則需進行審查。

#### IV. 核管會之複驗輻射偵檢

- A. 審查執行複驗輻射偵檢之正當性
  - 1. 在業者最終狀態輻射偵檢計畫進行期間，發現有顯著且未解決缺失存在。
  - 2. 重複違規發生。
  - 3. 民眾或國會顯著關注。
  - 4. 部分場址外釋過程中，無法進行中間過程輻射偵檢之區域。
- B. 若執行複驗輻射偵檢是有正當性的，確認是否應委託承包商來執行。若承包商符合下列三個準則中一個或多個項目，則評定其符合資格。
  - 1. 業者所最終狀態輻射偵檢中，涉及獨特且複雜的技術問題。
  - 2. 預期需超過一周人力來執行複驗輻射偵檢，以完成場址偵檢與採樣。
  - 3. 複驗輻射偵檢為高度優先執行計畫，而核管會無法在一定的

時間內完成偵檢。

## 附件二、美國核管會第 87104 號檢查程序 (IP 87104)

### 87101-01 檢查目的

01.01 確認除役活動是否以保障工作人員與一般大眾之健康與安全方式來進行。

01.02 確除役計畫是否已依據美國核管會的要求來執行。

01.03 為需要進行除役工作、以及該除役計畫可能需經由核管會批准之設施，提供可能需要的檢查要求與指引。

### 87104-02 檢查要求

許可除役活動之審查，將與業者提送除役計畫之範圍與所伴隨的風險相稱。關於安全性與符合NRC管制要求之確認，除了可透過審查業者提供相關紀錄來達成之外，亦可依據(1)工作活動直接觀察、(2)工作人員訪談、(3)藉由工作人員實際操演核管會所指派任務以及(4)設施殘餘輻射之獨立量測來完成。

所有透過業者及其承包商所執行的除役活動，均應考慮進行檢查。在業者許可執照及監管下，對於所有承包商進行除役活動之檢查結果，均應對照業者提出除役計畫內容來加以紀錄。若無法釐清承包商之除役活動是在那個輻射安全計畫管制下來進行，則應對該項除役活動進行檢查，並視該項除役活動已脫離業者執照所允可範圍。

在討論有關業者與審查紀錄之議題時，需將前次檢查結果納入考量。在某些必要狀況下(例如：歷史意外事故、違規事件或高輻射曝露事件)，應審查前一次檢查紀錄或議題。

每個檢查方案均應根據場址特性來制定。大部分放射性物質持有者，將不需提供正式除役計畫(DP)供核管會審查並取得批可。例如



醫療學家、地下井鑽探家與放射技師，均不需對其設施進行任何實際拆除或除污活動。此類放射性物質持有者僅需進行部分除污工作，則檢查員可依據第83890號檢查程序(closeout)來進行檢查。

然而對於可能需要進行大規模改善行動及詳細最終狀態輻射偵檢之場址，如放射性化學藥品製造商及某些研究機構，則需提升檢查監管之層級。針對這些業者，檢查員可利用本檢查程序(IP 87104)及附錄A與B中現場紀錄內容來進行檢查。

#### 02.01 由例行運轉計畫中找尋適用的檢查需求

檢查員應審視所有適用於業者例行運轉計畫中的檢查程序，並選出可持續適用於業者除役計畫中的部分。檢查員應著重於顯著影響設施周圍工作人員、民眾與環境健康和安全之例行作業，制定一套檢查計畫。放射性物質持有者請參考檢查手冊章節(Inspection Manual Chapter, IMC) 2800，及87100系列檢查程序。

重要的檢查要素應包括：污染物質監管；工作人員輻射防護；放射性廢棄物生產、儲存、運送與處置；液體排放與環境監測；組織管理；職業安全與健康；支援除役必要的系統與設施及最終狀態輻射偵檢。

除了上述的檢查活動之外，檢查員亦應使用美國核管會用於例行檢查之檢查手冊的其他部分進行檢查，這些內容均以含括在檢查手冊章節2800與87100系列檢查程序中。

#### 02.02 關鍵除役行動之檢查

檢查員應制定一套檢查計畫，用來觀察業者與其包商所執行之關鍵除役行動。關鍵除役行動可存在於除役過程中的任何階段。對於需

付出較多心力進行除役活動之設施而言，如建物整治與拆除、土壤移除及地下水整治，其可能包含關鍵除役活動則條列如下：

a. 拆除前檢查作業

此階段屬於電廠停止運轉後、進行拆除與整治作業前之除役規劃階段。此階段關鍵行動可能包含：確認除役計畫已通過審查並批准(若需要)；對於僅部分需進行除役之設施，確認並界定仍在運轉中或進行除役作業中之區域範圍；移除設施中放射性物質(若必要)；驗證污染物質之監管符合10 CFR 20.1801與20.1802規定要求；驗證是否符合除役時效性要求；驗證是否符合除役期間記錄保存要求；業者除役組織的執行情況；場址特性描述；及用於支援除役作業所建造功能型結構。

b. 拆除與整治期間的檢查作業

此階段正值場址進行除役作業的活躍期。其關鍵行動包含：污染物質監管；結構除污與拆除；土壤、沉積物、地表水源及地下水之整治；偵檢量測與分析方法、廢棄物管理與場內儲存；廢棄物運送與場外處置；廢棄物場內處置；場址復原及在審查業者除役計畫期間所確認檢查活動的確認。檢查員應考慮使用中間過程偵檢(in-process inspections)。中間過程偵檢已證明比一次性複驗偵檢(confirmatory surveys)來得更有效率。使用中間過程偵檢可使美國核管會在除役過程中，採取同步量測、收集水樣與土樣並及早提出偵檢相關問題。

### c. 整治後檢查作業

此階段的關鍵行動包含：業者最終狀態輻射偵檢；美國核管會複驗偵檢及確認場址最終殘餘輻射狀態。

## 87104-03 檢查作業指引

### 一般性

針對業者正在進行除役行動、使用設備、使用區域及與批准除役計畫與程序所進行的觀察，都將成為業者其整體輻射安全計畫品質之主要指標。

審查業者與除役關於紀錄，這對評估業者除役計畫也有所幫助。審查相關記錄時，尋找劑量上升、排放廢水或地下水污染之趨勢，這些都可能為潛在污染的區域。可隨機檢查輻射偵檢、廢棄物處置、廢水排放、放射性物質接收與運送、人員訓練、儀器校正、射源測試、品保/品管稽核、使用日誌與空氣採樣等紀錄，直到檢查員對於紀錄維護度與完整度感到滿意為止。其他與健康和 safety 更為相關紀錄，如個人劑量監測記錄與意外事件調查報告，都應作更詳盡的檢查。

現場檢查之執行與規劃需與核管會持有執照計劃管理人(Licensing Project Manager)、各區域檢查人員管理人，以及其他設施運轉相關管制機關互相進行協商。其他更詳盡內容請參考第2602號檢查手冊章節(Inspection Manual Chapter, IMC) 及第93001號檢查程序(IP 93001)。

許多除役期間所需執行的檢查行動，均與設施例行運轉期間所執行之檢查行動相似。因此本章節中所提供的指引，將包含核管會相關

檢查手冊中與放射性物質除役相關章節內容。檢查員應參考第2602號檢查手冊章節(IMC 2602)內容，以取得除役期間一般性檢查行動之政策與指引。

檢查行動中最主要部分，在於評估業者依據核管會管制規定，所提出場址外釋再利用前最終狀態輻射偵檢計畫。對於需進行最終狀態輻射偵檢之場址，檢查員需與場址特性輻射調查階段，即開始檢查其最終狀態輻射偵檢計畫，以確認業者隨後即將進行場址整治活動，是否遵循核管會相關規定及除役計畫內容來執行。此時，可能需由檢查員或核管會委託單位來進行複驗偵檢。此外，檢查員應考量是否需採用中間過程偵檢。因為採取中間過程偵檢，已被證明比採用複驗偵檢來得更有效率。採用中間過程偵檢，可使核管會檢查人員與業者進行除役期間，同步進行量測、水與土壤樣品採樣與及早發現有問題輻射偵檢程序。複驗偵檢所需執行內容與範圍，將取決於檢查員及持有執照計劃管理人，對於業者提出最終狀態輻射偵檢計畫品質之信任程度。當業者已透過核管會檢查程序或其他方式，證明所提出的最終狀態輻射偵檢計畫具備全面性規劃、良好文件記錄與執行成效高品質時，此時則不需或僅需進行小規模複驗偵檢即可。

### 03.01由例行運轉計畫中找尋適用的檢查需求

許多檢查活動將直接採用業者與設施例行運轉期間所使用的檢查活動。針對業者所提出之除役計畫，以及與設施例行運轉計畫所採用相似活動進行審查。並由例行運轉計畫中找尋適用於設施除役之檢查活動，剪裁後制定出一套適合場址特性之檢查計畫。可參考第2800號檢查手冊章節(IMC 2800)，與放射性物質安全檢查方案相關檢查程

序。

設施例行運轉計畫中，可延續至除役期間的檢查行動，如下所述：

#### a. 污染物質監管

場址內放射性物質必須依照10 CFR 20.1801與20.1802管制規定來進行監管。確認污染物質在整個除役期間，是否依據除役計畫內容來進行監管。確認所有污染物質是否依據10 CFR 20.1902管制規定來進行公告。污染物質承裝容器應依據10 CFR 20.1904與20.1905管制規定來進行標示。建物內所存放之污染物質應由業者進行監管，以防止人員闖入或竊取放射性物質。

在某些情況下，防止人員闖入污染物質貯存設施或竊取放射性物質的唯一方法，就是將所有入口加以上鎖。然而，通常需依據場址天然條件來設計防止進入設施，如設施物理上布置及設施內人員動線。其他對於防止人員竊取放射性物質之防禦機制，則是現場設立保全人員防止物質被竊取。在審查完業者除役計劃細節後，必須基於個別案例來確認是否有必要採取封鎖進入放射性物質入口之措施。

正在進行除役之場址，對於場址外所存放污染物質，可能需要透過設置圍籬、土壤覆蓋或其他方式來進行監管。一般可接受以使用三至四英尺厚度的土壤來覆蓋污染土壤、礦渣或是尾礦。

只有獲得許可之人員，才允許進入存放污染物質的建物、房間或室內和室外區域。詳見第83822號檢查程序(IP 83822)關於輻射防護之說明，與87100系列檢查程序相關章節內容。

#### b. 工作人員輻射防護

檢查業者所擬定現場作業輻射防護程序，確認是否依據預定計畫來執行以及可能接受潛在曝露之風險程度。特別針對可能會有潛在曝露之區域，制定一套合適檢查程序。詳見第83822號檢查程序(IP 83822)關於輻射防護之說明。

#### c. 液體排放/環境監測

確認業者場址外輻射監測及採樣位置與頻率是否充足，以符合10 CFR 20附錄B中排放物質管制限值。除役期間場址外放射物質排放可能性，可能比例行運轉期間來得低，但除役期間仍應針對場址外物質排放持續進行偵測，並確認量測儀器是否有依照要求進行校正。詳見第84750號檢查程序(IP 84750)關於放射性廢棄物處理、排放與環境監測之說明。

#### d. 組織管理

針對業者依據核准計畫內容所執行活動、管制需求與設施除役組織管理部分執照狀態進行審查，其中包括：針對除役計畫所設定管理組織、輻射安全管理人員指派與資格檢定、品保計畫與年度審查、記錄管理與保存、內部審查與稽查、安全委員會、清理程序之管控與所執行除役相關程序。

#### e. 支援除役行動必要的系統與設施

透過現場觀察與審查業者相關紀錄，確認用來進行除污與拆除的輔助系統功能是正常的。這些系統包含：電力系統、加熱裝置、抽氣與空調系統、供水系統、場內通信系統、液體和固體污染廢棄物系統與場內照明系統。

#### f. 職業健康與安全

除役過程中某些作業活動並無放射性物質危害存在，如深層開挖與建物拆除。核管會檢查員雖然非屬職業安全衛生(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)檢查員，但仍需知會業者與OSHA除役過程中，可能產生非放射性安全危害。可參考第1007號檢查手冊章節(IMC 1007)中，關於核管會與OSHA地方辦公室間互動活動內容。

#### g. 檢查活動文件記錄

依據第87104號檢查程序(IP 87104)所產生田野筆記-完整文件記錄；或針對複雜場址，將所有除役過程中訪查與檢查紀錄完成調查報告。當場址內存在可能對公眾造成健康與安全危害之放射性物質時，文件紀錄活動將持續至場址完成整治且運轉執照終止為止。可參考第0610號檢查手冊章節(IMC 0610)中，關於檢查活動報告內容。

### 03.02 關鍵除役活動之檢查

在場址進行整治之前、執行期間與整治完成後，均需確認業者除役期間所有關鍵行動。針對可能對人員健康或安全造成顯著危害之關鍵活動，制定一套檢查計畫。另依據各個除役活動性質來決定檢查頻率。典型的除役關鍵行動條列如下：

#### a. 拆除前檢查行動

##### 1. 設施狀態

在實際進行場址整治活動前，確認所有要求已準備就緒，包括：

除役計畫已完成審查與批准(若需要)、例行運轉期間所使用放射性物質已從設施中移除(依據場址狀態判定是否需要)、確認業者已完成除役規劃與準備階段所需相關執照之準備，以及支援除役活動行動所需系統與設備已準備就緒。

## 2. 時效性要求

確認除役時程已依據10 CFR 30.36、40.42與70.38要求進行規劃，或其他經核管會核准之替代時程規劃。

## 3. 記錄保存

確認與除役活動之安全性與有效性相關文件紀錄，已依據10 CFR 30.35、40.36與70.25規定進行保存。

## 4. 財務保證

確認財務保證需求已依據10 CFR 30.35、40.36與70.25規定來進行維護。

## 5. 場址特性描述

確認場址特性描述行動已依據適當輻射防護程序來執行。當業者正在進行特性輻射偵檢時，核管會檢查員可能需要進行檢查相關活動。倘若可行，與業者進行同步量測並採取獨立量測比對業者量測分析結果。在某些特殊情況下，檢查員應與業者均分樣品來確認業者量測結果的適切性與有效性。妥善評估場址特性輻射偵檢作業內容，使場址整治行動與最終狀態輻射偵檢能順利完成。



檢查員應要求業者對放射性物質使用紀錄、安全相關報告、場址空照圖、設施建造繪圖與藍圖等歷史紀錄進行審核，這將有助於確認場址殘餘污染的程度。與現任與離職員工進行面談，也可助於確認以往使用放射性物質相關作業內容與處置地點。

#### 6. 支援除役工作所建造輔助設施

確認新的卸貨平臺、道路、鐵路支線、排水溝、美國環保署規定雨洪管理設施，以及其他用於支援除役工作輔助設施，是否均符合除役計畫預定要求來執行，以確保不會對工作人員與民眾之健康與安全造成危害。

#### 7. 其餘執照持有狀態與已核定計畫

確認業者所進行活動符合特定執照、已核准除役計畫，以及業者自訂計畫與程序之規定來執行。針對可能有高度風險的作業進行稽查。

#### 8. 設施資源保護與回收規定

檢查員應特別注意那些正依據美國環保署危害性與固體廢棄物修正法(Hazardous and Solid Waste Amendments, HSWA)規定，進行資源保護與回收研究之場址，確認放射性物質外釋至土壤與表水的可行性。

### b. 拆除與整治期間檢查行動

#### 1. 結構除污與拆除

透過現場觀察與紀錄審查，確認業者所執行結構除污與拆除行

動，是否依據核管會所批准計畫來執行。對於不需擬定除役計畫的設施，確認其整治行動已依據核管會相關法規與導則來執行。這裡的結構包含了建築、地表與地下結構設施、處理水池，以及其他業者曾使用的人造建物。

## 2. 土壤、沉積物、地表水與地下水的除污與整治

透過現場觀察與紀錄審查，確認業者所執行土壤、沉積物、地表水與地下水的除污與整治行動，是否依據核管會所批准計畫來執行。對於不需擬定除役計畫的設施，確認其整治行動已依據核管會相關法規與導則來執行。針對那些曾經可能因輻射作業而污染的區域(場址內與場址外)進行檢查。

## 3. 放射性廢棄物管理

確認業者對於其所排放廢液、廢氣與固態廢棄物，已有妥善管理與管制措施。除役期間所產生的放射性廢棄物，須經核管會批准才可進行處置。除役期間產生的放射性廢棄物包含：建材、加工與處理設備、混凝土瓦礫、過濾器、垃圾與污泥、廢棄物處理池產生廢棄物、土壤及蔬菜、地下水以及地表水。參考第84850號檢查程序(IP 84850)中，關於放射性廢棄物管理相關內容；以及10 CFR 20與10 CFR 61中，關於廢棄物生產者檢查要求。

## 4. 低放射性廢棄物貯存

除役期間所產生的大型低放射性廢棄物，在運送至永久處置設施前可暫存於場址內。確認放射性廢棄物已依據相關規定，及第84900號檢查程序(IP 84900)規定方式進行貯存。

## 5. 廢棄物運送

依據廢棄物包封與運送特性進行審查，以確認該作業適用下列何種檢查程序，包括：第86740號檢查程序(IP 86740)-運送活動之檢查；第84850號檢查程序(IP 84850)-放射性廢棄物管理；10 CFR 20與10 CFR 61-廢棄物生產者檢查要求。對於有大量污染物質需要運送場外設施而言，可能整個除役過程中都持續在進行污染物質運送。需場址外處置之放射性物質，其包封方式應依據40 CFR Parts 171-178與10 CFR Part 71中規定來進行。此外核管會Regulatory Guide 7.1中亦提供有關放射性物質包封與運送之指引。

## 6. 場址復原

確認業者已依據相關規定完成場址復原工作。

## 7. 除役計畫審查期間所確認關鍵行動

針對業者除役計畫中所確認其他關鍵行動進行檢查。

### c. 整治後檢查行動

#### 1. 廢棄物處置檢定

確認所有放射性物質處置紀錄已依據10 CFR 30.36、40.42與70.38之要求，完成核管會314格式文件或等同文件記錄，並提送主管機關審查。

#### 2. 最終狀態輻射偵檢計畫

業者的最終狀態輻射偵檢計畫中有許多要素均需要進行檢查，此檢查應於業者正在執行最終狀態輻射偵檢計畫期間來進行。最終狀態輻射偵檢之中間過程偵檢執行目的，則是為業者所進行偵檢結果之準確性與全面性提供信心。詳見第83890號檢查程序(IP 83890)中，關於完工檢查與輻射偵檢之說明。

### 3. 複驗偵檢

除了中間過程偵檢的發現外，核管會檢查員或其承包商亦可透過執行複驗偵檢，取得其他輔助資料，以確認業者提報偵檢結果之正確性與全面性。然而，只有在對業者最終狀態輻射偵檢結果有顯著疑慮存在下，才有執行全面性複驗偵檢的必要。

當業者正在進行最終狀態輻射偵檢時，檢查員可透過切分樣品分析或直接同步量測，來做為最終狀態輻射偵檢之中間過程偵檢。此類中間過程偵檢所需取樣數量，則應比傳統複驗偵檢要少的許多。對於面積較大的場址而言，進行中間過程偵檢會更有效率。對小場址而言，最終狀態輻射偵檢期間所獲得資料可能就已足夠，並且可能僅需花費數天時間就可完成。在這個狀況下，檢查員應在業者完成最終狀態輻射偵檢且提送偵檢報告後，再進行複驗偵檢。然而，檢查員仍需全面審查業者除役計畫，並依據複驗偵檢結果所發現缺失，進行小規模場址之檢查。

### 4. 限制性使用場址之維護

如果該場址未來將外釋做為限制使用，確認所有場址限制使用條件，均符合相關規定之要求。

## 5. 場址無限制外釋再利用之條件

確認所有無條件外釋場址之使用條件，均符合相關規定之要求。

### 附件三、除役後廠址環境輻射偵測報告審查導則(草案)

#### 一、審查範圍

審查人員參考除役後廠址環境輻射偵測報告導則，進行除役後廠址環境輻射偵測報告審查，包含設施內、外之偵測項目、偵測方法、偵測對象、目的、取樣地點、取樣頻率、活度單位等內容。

#### 二、程序審查

審查人員應查核除役後廠址環境輻射偵測報告內容，是否符合上述審查範圍所規定之基本要求，並決定資料的詳細程度是否能足以讓審查人員進行細節技術審查。審查人員應確認除役後廠址環境輻射偵測報告之內容包含以下資訊：

- (一) 環境輻射偵測範圍包含氣象資料、釋放核種類別、活度與氣、液體擴散模式、人口分布與居住狀況、土地利用、原排放口位置、鄰近水文狀況及其他經主管機關指定之因子等環境偵測相關資料。
- (二) 環境輻射偵測報告內容應提及偵測之目的、項目、方法及取樣位置圖、偵測結果及分析、輻射劑量評估、品質保證及品質管制執行方法說明及其他經主管機關指定之事項。
- (三) 說明所有環境輻射偵測取樣點的位置(應以地圖標示)。
- (四) 說明設施內、外之偵測項目，應包括環境直接輻射之偵測、環境試樣取樣與放射性活度分析、氣象觀測作業等。並說明環境輻射監測作業所規劃之偵測方法、偵測對象、目的、取樣地點、取樣頻率、活度單位及重要之附記等。

#### 三、審查要點與接受基準

除役後廠址環境輻射偵測報告之內容應符合以下要求，方能被審查同意：

- (一) 除役後廠址環境輻射偵測報告之內容是否詳細說明，並確保除役後廠址之殘餘輻射對一般人所造成之輻射強度與水中及空氣中所含放射性物質之濃度，不超過「游離輻射防護安全標準」之限值，以符合「游離輻射防護法」第 8 條之規定。
- (二) 環境輻射偵測之範圍是否依據「除役後廠址環境輻射偵測報告導則」第 3 條之規定，參酌下列因子進行評估評估：(1) 氣象資料；(2) 釋放核種類別、活度與氣、液體擴散模式；(3) 人口分布與居住狀況；(4) 土地利用；(5) 原排放口位置；(6) 鄰近水文狀況；(7) 其他經主管機關指定之因子。
- (三) 除役後廠址環境輻射偵測計畫之內容應依「除役後廠址環境輻射偵測報告導則」第 4 條之規定，載明下列事項：(1) 偵測項目，包括連續性環境直接輻射偵測、累積劑量之環境直接輻射偵測及廠址除役後放射性物質可能擴散途徑之環境試樣，且敘明試樣種類、取樣頻次、取樣地點(應以地圖標示)、取樣方法試樣保存、分析方法、偵檢靈敏度及相關參考文件；(2) 偵測結果評估方法，包括飲水，食物攝食量等劑量評估參數與劑量評估方法；(3) 品質保證及品質管制執行方法說明；(4) 對周圍環境影響之說明；(5) 其他經主管機關指定之事項。另說明本章環境輻射監測計畫如變更，應提前提報之時程。
- (四) 除役後廠址環境輻射偵測報告之內容應對環境輻射偵測結果之提報有明確之規定(完成除役計畫後六個月內，提報除役後廠址環境輻射偵測報告)，以符合「核子反應器設施管制法」

第 20 條之規定。

- (五) 環境輻射偵測作業執行單位必須通過主管機關指定機構之認證，以符合「除役後廠址環境輻射偵測報告導則」第 23 條之規定；環境輻射偵測試樣分析能力應符合主管機關公告之可接受最小可測量的規定，以符合「除役後廠址環境輻射偵測報告導則」第 24 條之規定。
- (六) 環境輻射偵測相關紀錄的保存期限應有明確的規定，以符合「輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則」第 24 條之規定：環境輻射偵測分析數據，除放射性廢棄物處置場外，應保存 3 年。
- (七) 除役後廠址環境輻射偵測報告之品質保證作業內容，得依環境輻射監測品質保證規範或國際標準化組織中品質保證之規定執行，以符合「除役後廠址環境輻射偵測報告導則」第 23 條之規定。
- (八) 環境輻射偵測有關人口分布、土地利用、設施當地居民生活、攝食量及飲食習慣等評估民眾劑量所需之重要參數，得採國內相關機關（構）公布之資料，以符合「除役後廠址環境輻射偵測報告導則」第 26 條之規定。
- (九) 設施經營者應參考主管機關訂定之環境輻射監測規範，擬訂除役後廠址環境輻射偵測計畫，以符合「除役後廠址環境輻射偵測報告導則」第 4 條之規定。
- (十) 設施經營者之環境輻射監測規劃，須使用根據主管機關及其他國際專業游離輻射防護組織認可指引文件之方法或程序。
- (十一) 設施經營者應對所有環境輻射偵測取樣點位置進行說明，



以符合「除役後廠址環境輻射偵測報告導則」第 5 條與第 13 條之規定。

(十二) 對於連續的外釋，在每一處外釋地點應連續取樣；對於批次外釋，應採取每一批次的代表性樣品。如果以定期取樣代替連續取樣，應說明如何證實樣品具有實際外釋的代表性。

(十三) 設施經營者應詳實說明除役後廠址之偵測項目，包括環境直接輻射偵測、環境試樣取樣與放射性活度分析、氣象觀測作業等。並說明環境輻射偵測作業所規劃之偵測方法、偵測對象、目的、取樣地點、取樣頻率、活度單位及重要之附記等。環境輻射偵測作業有關之管制標準，如可接受最小可測量要求，應依「除役後廠址環境輻射偵測報告導則」第 24 條之規定執行。

(十四) 前述環境試樣取樣宜包含空浮微粒、水樣(含飲用水、河川水及地下水)、乳樣、農產品、稻米、蔬菜、草樣及沉積物(含底泥或岸沙)等。

#### 四、審查發現

審查人員應確認申請者所提出的環境輻射監測規劃，符合「游離輻射防護法」相關環境輻射監測的要求，並足以保護除役活動期間之工作人員、民眾與環境的輻射安全。

#### 五、相關法規與技術規範

- (一) 游離輻射防護法。
- (二) 游離輻射防護法施行細則。
- (三) 游離輻射防護安全標準。
- (四) 輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則。

- (五) 環境輻射監測規範。
- (六) 核子設施廠(場)區試樣放射性分析行動基準。
- (七) 環境輻射偵測品質保證規範。
- (八) 放射性液、氣體排放輻射劑量限值規定。
- (九) 環境輻射監測試樣分析能力應符合可接受最小可測量。