

出國報告（出國類別：實習）

## 核一廠除役研習計畫

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：李長慶 廢料處理經理

范振聰 安全管制組長

林正忠 安全評估課長

邱心怡 主辦劑量評估專員

劉紹楷 乾式貯存技術分析專員

派赴國家：英國

出國期間：104年12月05日至

104年12月18日

報告日期：105年01月30日

# 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：除役研習計畫

頁數 37 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/ 陳德隆 / (02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

范振璠/台灣電力公司/核後端處/安全管制組長/ (02)23657210-2203

李長慶/台灣電力公司/核一廠/廢料處理經理/(02) 26383501-3220

林正忠/台灣電力公司/核二廠/安全評估課長/ (02)24985990-2612

邱心怡/台灣電力公司/核發處/主辦劑量評估專員/ (02)23667077

劉紹楷/台灣電力公司/核後端處/乾式貯存技術分析專員/(02)23657210-2222

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：104 年 12 月 05 日至 104 年 12 月 18 日 出國地區：英國

報告日期：105 年 1 月 30 日

分類號/目

關鍵詞：核能電廠除役

內容摘要：

民國 100 年 11 月 3 日，政府發布國家能源政策，在「不限電、維持合理電價、達成國際減碳承諾，積極實踐各項節能減碳措施」的前提下，確定核一、二、三核能電廠在運轉執照有效期限結束後不延役。本公司遵照政府宣佈之新能源政策，既有核能電廠將不再延役，因此核一廠、核二廠及核三廠將依序於 107 年、110 年及 113 年永久停止運轉，並依「核子反應器設施管制法」第 23 條規定，於設施永久停止運轉後三年內，提出除役計畫陳報原能會。考量本公司將首次面臨核能電廠除役工作，須積極汲取國外除役中核能電廠之實際經驗，以進行除役工作之整體規劃，有必要派員赴國外接受核能電廠除役相關課程實習，蒐集最新核能電廠除役資訊，以期培養本公司核能電廠除役種子教師及提升本公司除役相關專業能力。本次實習計畫擬赴英國參加英國核能除役署(NDA)辦理之除役訓練課程，內容涵蓋除污技術、二次廢棄物處理、RPV 切割、除役組織與人力資源規劃、除役成本評估、廢棄物包裝與減容及廢棄物營運策略等 5 天之學理課程，及 3 天的現場作業觀摩，俾參訓人員吸收電廠除役實務經驗，供後續公司進行除役規劃及作業參考。

## 目錄

壹	出國目的 .....	1
貳	出國過程 .....	2
參	實習課程內容摘要 .....	9
肆	心得及建議事項 .....	35
伍	附錄 .....	37

## 圖表目錄

表 1 出國行程摘要 .....	2
表 2 課程大綱 .....	3
表 3 現場參訪大綱 .....	8
圖 1 NDA 之建構 .....	9
圖 2 英國放射性廢棄物處理相關組織之分工角色與職責 .....	10
圖 3 未來 50 年預估除役之機組數量 .....	14
圖 4 美國 Connecticut Yankee 電廠 除役三階段廠區空照圖 .....	15
圖 5 英國 Trawsfynydd 電廠除役廠區示意圖 .....	16
圖 6 美國 Savannah River Site 除役廠區示意圖 .....	17
圖 7 Lifetime Plan .....	18
圖 8 Lifetime Plan 績效評量比較 .....	19
圖 9 英國除役(Safestore) 階段與時程規劃 .....	20
圖 10 NDA 除役架構 .....	21
圖 11 英國電廠運轉至除役時期之轉換 .....	21
圖 12 Trawsfynydd Site 空照圖 .....	23
圖 13 Safe Store-延後拆除(deferred dismantling) .....	24
圖 14 廢棄物綜合管理 .....	25
圖 15 廢棄物管理架構圖像 .....	26
圖 16 廢棄物產生與處理路徑圖 .....	27
圖 17 Waste Management hierarchy .....	28
圖 18 英國 Hunterston A C&M 階段示意圖 .....	31
圖 19 英國 Hunterston A 電廠空照圖 .....	31
圖 20 英國 Sellafield 空照圖 .....	32
圖 21 英國 LLWR 示意圖 .....	33

## 壹、出國目的

- 一 民國 100 年 11 月 3 日，政府發布國家能源政策，在「不限電、維持合理電價、達成國際減碳承諾，積極實踐各項節能減碳措施」的前提下，確定核一、二、三核能電廠在運轉執照有效期限結束後不延役。本公司遵照政府宣佈之新能源政策，既有核能電廠將不再延役，因此核一廠、核二廠及核三廠將依序於 107 年、110 年及 113 年永久停止運轉，並依「核子反應器設施管制法」第 23 條規定，於設施永久停止運轉後三年內，提出除役計畫陳報原能會。考量本公司將首次面臨核能電廠除役工作，須積極汲取國外除役中核能電廠之實際經驗，以進行除役工作之整體規劃，有必要派員赴國外接受核能電廠除役相關課程實習，蒐集最新核能電廠除役資訊，以期培養本公司核能電廠除役種子教師及提升本公司除役相關專業能力。本次實習計畫擬赴英國參加英國核能除役署 (NDA) 辦理之除役訓練課程，內容涵蓋除污技術、二次廢棄物處理、RPV 切割、除役組織與人力資源規劃、除役成本評估、廢棄物包裝與減容及廢棄物營運策略等 5 天之學理課程，及 3 天的現場作業觀摩，俾參訓人員吸收電廠除役實務經驗，供後續公司進行除役規劃及作業參考。
- 二 藉由派員前往實習及訓練，汲取國際核能電廠除役之規劃及執行相關經驗，以強化本公司核電廠除役規劃作業，並有助於本公司核能電廠除役工作之妥適規劃與順利推動。
- 三 本項訓練計核派共計 5 員參加，分別為核能發電處邱心怡主辦；核一廠李長慶經理；核二廠林正忠課長、核後端處范振聰組長及劉紹楷專員。

## 貳、出國行程

本次出國行程，摘要如表 1。

表 1 出國行程摘要

起始日	迄止日	機構名稱	城市·國家	工作內容
1041205	1041206			去程（台北→倫敦(經曼谷)→曼徹斯特）
1041207	1041212	Nuclear Decommissioning Authority	曼徹斯特，英國	參加英國核能除役署辦理之訓練課程
1041213	1041213			中間行程（曼徹斯特→格洛哥）
1041214	1041214	Hunterston A Nuclear Power Plant	格洛哥，英國	至 Hunterston A Nuclear Power Plant 參觀，結束後由格洛哥→曼徹斯特
1041215	1041215	Sellafield	曼徹斯特，英國	至 Sellafield 參訪
1041216	1041216	Low Level Waste Repository	曼徹斯特，英國	至 Low Level Waste Repository 參訪
1041217	1041218			返程（曼徹斯特→巴黎→台北）

詳細課程大綱如表 2。

表 2 課程大綱

Day 1 – 7 <sup>th</sup> December		
Topic Area	Delivered By	Comment
Welcome	Nuclear Decommissioning Authority	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ . Introduce the Taipower delegates.</li> <li>▶ . Booths Hall safety information</li> <li>▶ . Introduction to the UK nuclear industry and its decommissioning</li> </ul>
Introduction to the Training Programme	Amec Foster Wheeler	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ . Introduction to Amec Foster Wheeler</li> <li>▶ . Admin arrangements</li> <li>▶ . Objectives</li> <li>▶ . Course summary</li> </ul>
Policy development and regulatory frameworks (i)	Prospect Law	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ . Decommissioning strategy and planning</li> <li>▶ . International / ICRP/ IAEA guidance</li> <li>▶ . International conventions (e.g. OSPAR, London Dumping Convention)</li> <li>▶ . European Directives (e.g. spent fuel and waste management Directives)</li> <li>▶ . UK law and how European Directives and transposed into UK law</li> <li>▶ . Regulators and roles (ONR and environment agencies)</li> <li>▶ . Devolved Administrations and the differences in England and Scotland.</li> </ul>

Day 2 – 8 <sup>th</sup> December		
Topic Area	Delivered By	Comment
Policy development	Prospect Law	▶ ..Day 1 continued.
Safety and Environmental Impact Assessment	Hydrock NMCL	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ ..Safety Regulatory Requirements – background (International, UK etc.)</li> <li>▶ ..Operator requirements;</li> <li>▶ ..Conventional Safety Requirements</li> <li>▶ ..Requirement to undertake EIA and the different ‘types’ of EIA</li> <li>▶ ..Surface waters</li> <li>▶ ..Case Study – Example from a Magnox site</li> <li>▶ ..Euratom 35 and 37 requirements (and the principles therein)</li> </ul>
Protection and Remediation of the Environment	Hydrock NMCL	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ ..Underlying principles - BAT/ALARP, Precautionary principle</li> <li>▶ ..Operational controls for the still operating plant</li> <li>▶ ..Containment and contamination control for decommissioning activities</li> <li>▶ ..Control of decommissioning effluents</li> <li>▶ ..Sentencing of wastes as non-radioactive</li> <li>▶ ..Land and groundwater contamination assessment and monitoring</li> <li>▶ ..Removal of structures</li> <li>▶ ..Land remediation techniques</li> <li>▶ ..Residual contamination and permitted buried wastes</li> </ul>

**Day 3 – 9<sup>th</sup> December**

Topic Area	Delivered By	Comment
<p align="center"><b>Decommissioning strategy and planning</b></p>	<p align="center"><b>Amec Foster Wheeler</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ ..Development of lifetime plan</li> <li>▶ ..International context and best practice and fundamental strategies</li> <li>▶ ..Deferred vs prompt</li> <li>▶ ..Clean-up targets/end states</li> <li>▶ ..Cost estimates and funding mechanisms</li> <li>▶ ..Transition from operations to decommissioning mentality</li> <li>▶ ..Training</li> <li>▶ ..Human Resource planning</li> </ul>
<p align="center"><b>Implementation of decommissioning plans and Case Studies</b></p>	<p align="center"><b>Amec Foster Wheeler</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ ..Construction on site</li> <li>▶ ..Surveillance and maintenance</li> <li>▶ ..Safety Management</li> <li>▶ ..Stakeholder engagement</li> <li>▶ ..Supply chain management</li> <li>▶ ..Planning/ Scheduling</li> <li>▶ ..Optimisation</li> <li>▶ ..Quality Assurance</li> <li>▶ ..Case Studies</li> </ul>

**Day 4 – 10<sup>th</sup> December**

Topic Area	Delivered By	Comment
<p align="center"><b>Integrated Waste Strategies – Management and tools</b></p>	<p align="center"><b>Amec Foster Wheeler</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ ..Management (what &amp; why)</li> <li>▶ ..Tools</li> <li>▶ Segregation</li> <li>▶ Characterization</li> <li>▶ Waste hierarchy</li> <li>▶ Fingerprinting.</li> </ul>
<p align="center"><b>Waste repository designs</b></p>	<p align="center"><b>Amec Foster Wheeler</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ ..Waste repository designs for different types of waste</li> <li>▶ ..Repository concepts and designs - different engineered barrier systems (EBS)</li> <li>▶ ..International examples</li> <li>▶ ..Spent fuel management</li> <li>▶ ..Second waste that was produced during the demolition of NPP, and its treatment</li> </ul>

**Day 5 – 11<sup>th</sup> December**

Topic Area	Delivered By	Comment
<p align="center"><b>Technical and Project Innovations</b></p>	<p align="center"><b>Amec Foster Wheeler</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ ..Encapsulation technologies (e.g. SIAL)</li> <li>▶ ..Decommissioning technology</li> </ul>
<p><b>RPV Decom: Introduction to Robotics</b></p>	<p align="center"><b>Amec Foster Wheeler</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ ..General principles of nuclear remote operations.</li> <li>▶ Remote observations (robotics)</li> <li>▶ Cutting and size reduction</li> <li>▶ Challenges</li> </ul>
<p align="center"><b>Lab / Rig Tours</b></p>	<p align="center"><b>Amec Foster Wheeler</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ ..Facilities tour (Labs, ¼ Scale Core Rig, etc.)</li> </ul>

現場參訪行程詳如表 3。

表 3 現場參訪大綱

Day 6 – 14th December		
Topic Area	Delivered By	Comment
Site Visit: Hunterston A, NPP Glasgow	NDA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Itinerary to follow</li> </ul>
Day 7 – 15 <sup>th</sup> December		
Topic Area	Delivered By	Comment
Site Visit: Sellafield,	NDA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Itinerary to follow</li> </ul>
Day 8 – 16 <sup>th</sup> December		
Topic Area	Delivered By	Comment
Site Visit: Low Level Waste Repository Cumbria	NDA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Itinerary to follow</li> </ul>

## 參、實習課程內容摘要

出國報告

DAY 1 - 2015/12/07 Mon

主題(一)

英國除役屬(Nuclear Decommissioning Authority, NDA)簡介

內容簡介:

NDA 成立於 2005 年，為一行政法人(non-departmental public body)，英國政府之能源及氣候變遷部(Department of Energy and Climate Change, DECC)為其主管機關。主要負責工作包括：

1. 接續管理前英國原子能管制局(UKAEA)及英國核能燃料公司(BNFL)之 19 個核能廠址。
2. 完成前述 19 個核能廠址之除役、復原及再利用。
3. 審查英國能源公司(British Energy, 擁有先進氣冷式與壓水式核能機組)之核電廠除役計畫。
4. 發展英國低放射性廢棄物之處理策略及計畫。
5. 英國用過核子燃料與高放射性廢棄物長期營運管理。

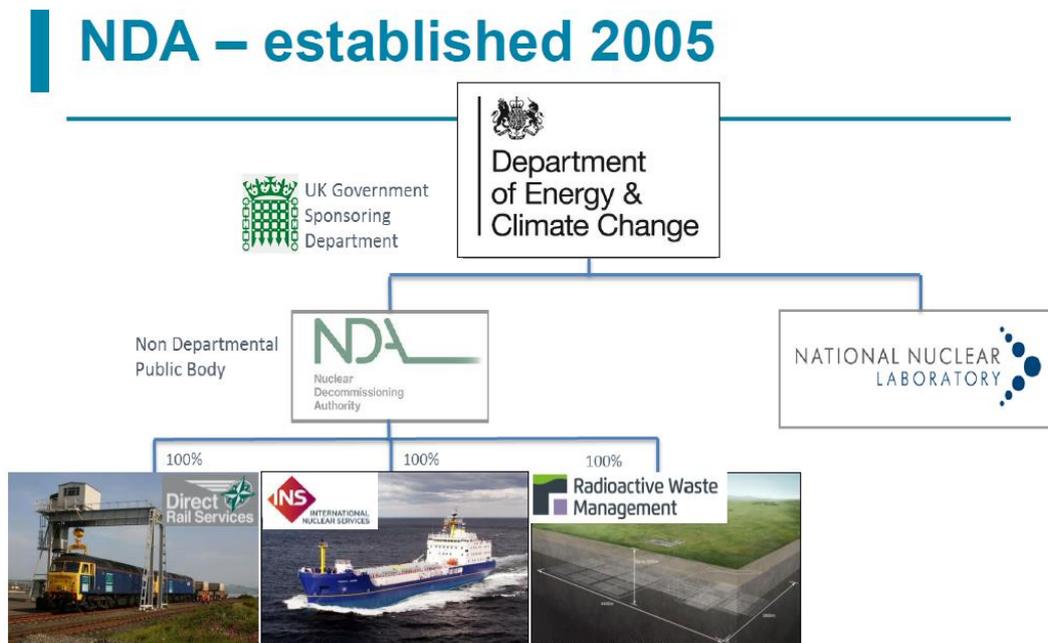


圖 1 NDA 之建構

依英國 2004 年能源法規定，NDA 係定位為策略機構(strategic authority)。因此，NDA 不直接負責營運其所擁有之廠/場址，而係採契約委外方式辦理。NDA 目前負責全英國共 19 個廠址之除役。英國的作法為由政府編預算出資，NDA 負責向國際招商與發包及執行期間之管理。並依待處理廠址之特性，將 19 個廠址加以劃分成六個部門，並經招商與國內外著名專業公司(如西屋、Areva、EnergySolutions 等)簽署協議書作為母公司(PBO)，再由 PBO 出技術與專業人力，與各廠址原運轉員工組成廠址授照公司(SLC)；NDA 則直接與各 SLC 簽約，負責未來之除役相關工作，並將該廠址之證照轉移給 SLC。

## Roles and responsibilities

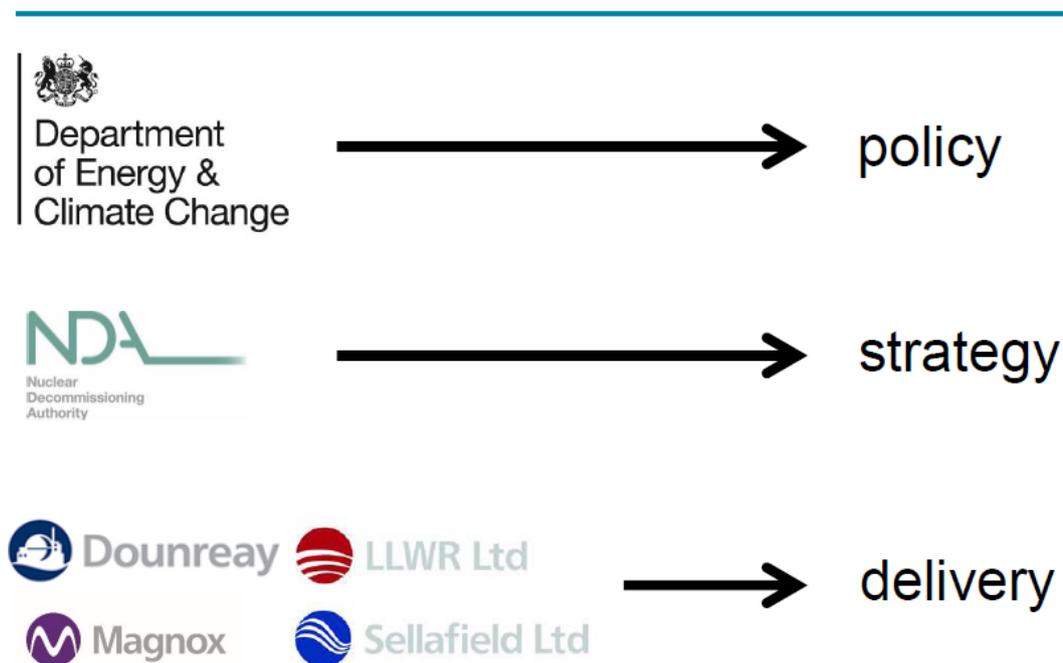


圖 2 英國放射性廢棄物處理相關組織之分工角色與職責

## 主題(二)

### 英國的核能除役管理現況及法規架構

內容簡介:

英國的核能法規體系，可分為兩個層級，基本法（Primary Legislation）及次級法（Secondary Legislation）。英國核能安全主管部門是能源和氣候變遷部（Department of Energy & Climate Change ,DECC），有關民用核能安全事務，亦由 DECC 向國會負責並做報告。英國政府內部涉及核能安全的部門很多，而且錯綜複雜，必須先予釐清，否則無法瞭解其法規體系。另外，英國是歐盟會員國之一，故而歐盟相關法令，英國也必須遵守。

此外，英國依據 2004 年的能源法案（Energy Act 2004）修正案，建立了核能除役署（Nuclear Decommissioning Authority，NDA），它是一個新的非政府部門形式的行政法人，在 2005 年 4 月正式成立。它係經由民事合約的運作方式，接管特定的民用核能設施之除役責任。其目的是希望藉由此一專業機構的設立，發展一個安全、快速、並具成本效益的除役方式。這是世界核能工業界的一項創舉，英國是一個成熟的民主社會，NDA 值得多瞭解也是值得參考學習的目標。

Day 2 - 2015/12/08 Tue

### 主題(三)

#### 授英國的電廠除役環境影響評估及環境整治方法

內容簡介:

英國的環評制度架構，除了台灣熟悉的個案環評(Environmental Impact Assessment, EIA) 外，還有上位的政策環評(Strategic Environmental Assessment, SEA)，通常 SEA 優先於 EIA 執行，目的是要整體且全面的考量開發或除役工作，與利害關係人(Stakeholders)的溝通也在這個階段進行，目的是確保執行方向不因單一個案而有不同結果。採用政策環評有以下好處:提供較佳的環境保護方式、增加溝通和政策透明度、降低長期的支出成本及較溫和且易為大眾所接受等等。一般而言，政策環評一旦做出開發或除役的決定，進一步執行個案環評時僅就工序等細節進行討論，不能再變更開發或除役與否之大方向，這套制度在英國這個實行民主政治制度已久的國家，運作良好，且因政策環評階段所凝聚的共識，亦能受到反對團體的尊重，政府亦有較佳公權力和公信力的基礎。

英國由英格蘭、蘇格蘭和威爾斯組成，其環保機關亦各有不同:

- Environment Agency (England)
- Scottish Environmental Protection Agency (SEPA, Scotland)
- Environment Wales

在除役階段，各廠址因其所在地的不同受到當地議會及環保機關的監督，並且按規定定期呈報相關監管報告。

英國除役階段的環境整治與監測，主要重點著眼於:

- Source term
- Environmental pathways
- Containment principles
- Waste segregation
- Effluent control
- Land quality
- Site redevelopment

這與台灣現行的除役計畫所擘畫的內容相類似，除此之外，英國人更加強調一些危害評估方法(Hazard Assessment Methods)的運用

- Hazard assessment
- HAZID (hazard identification)
- HAZAN (hazard analysis - quantification)
- HAZOP (hazard and operability study)
- PSA (probabilistic safety assessment)
- Severe accident assessment

Day 3 - 2015/12/09 Wen

#### 主題(四)

#### 除役策略與計劃

內容簡介:

預算是除役計劃中最大的問題，因為它只有支出，不會帶來任何營收。

但是除役的市場相當龐大，如圖 1 所示，為預計未來需要除役之電廠（含政策因素）。目前已有超過 150 個機組永久停機，未來 10 年內會有超過 60 個機組永久停機。

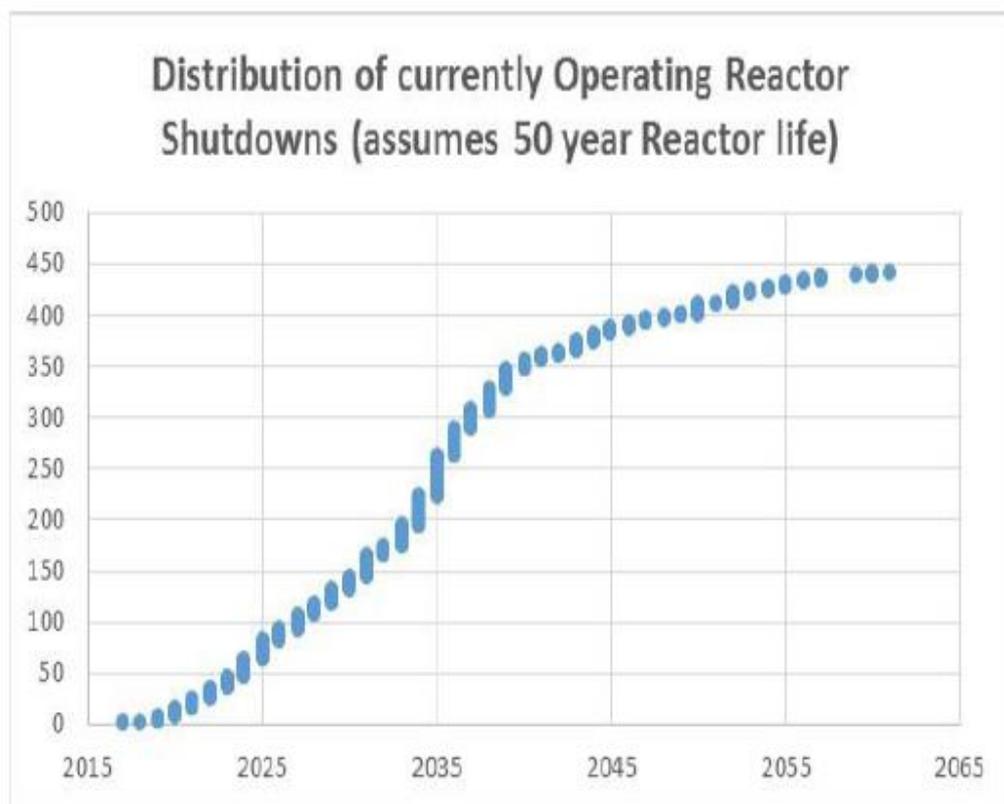


圖 3 未來 50 年預估除役之機組數量

依據 IAEA 的定義，除役作業可分成三種策略，簡述如下：

1. 立即拆除(Immediate-prompt dismantling)

在核能電廠永久停爐後，於兩三年內即進行工程把電廠及廠址中的放射性污染物件拆除。這種方案雖然必須付出較高的輻射劑量，但可以在較短的時間內再使用現有廠址。

以美國 Connecticut Yankee 電廠為例



圖 4 美國 Connecticut Yankee 電廠  
除役三階段廠區空照圖

## 2. 延後拆除(Safestore-deferred dismantling)

後核能電廠停爐後先封閉或安全貯存一段時間後再拆除。鈷-60 為主要放射性污染的一種核種，由於其半衰期不長因此如能在停爐後先封閉一段時間，則因鈷-60 導致的輻射暴露即可降低到原來的 1/500(約 50 年)；基本上封存一段期間，從輻射防護的角度來說，某些拆除工作的進行會較簡單。

以英國 Trawsfynydd 電廠為例

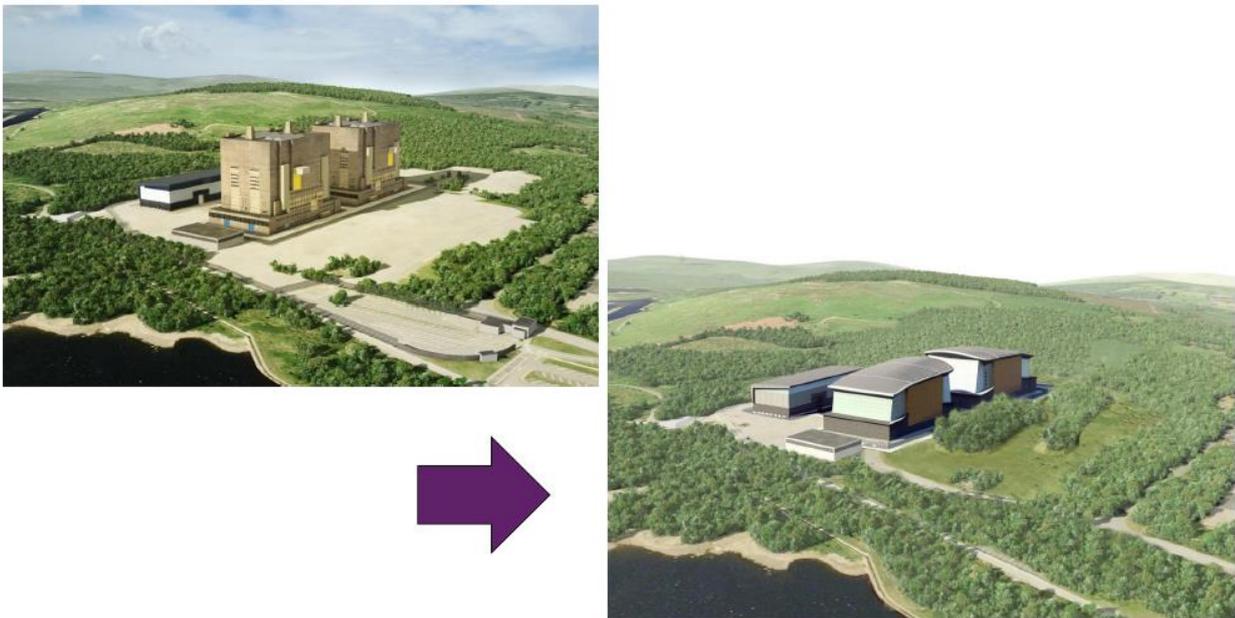


圖 5 英國 Trawsfynydd 電廠除役廠區示意圖

### 3. 固封(entombment)

把放射性物質或物體封存在原先強固耐久的結構體中，直到放射性已衰變到可以使該處無限制使用的地步。這種選擇算得上是一種就地的近地表處置。

以美國 Savannah River Site 為例

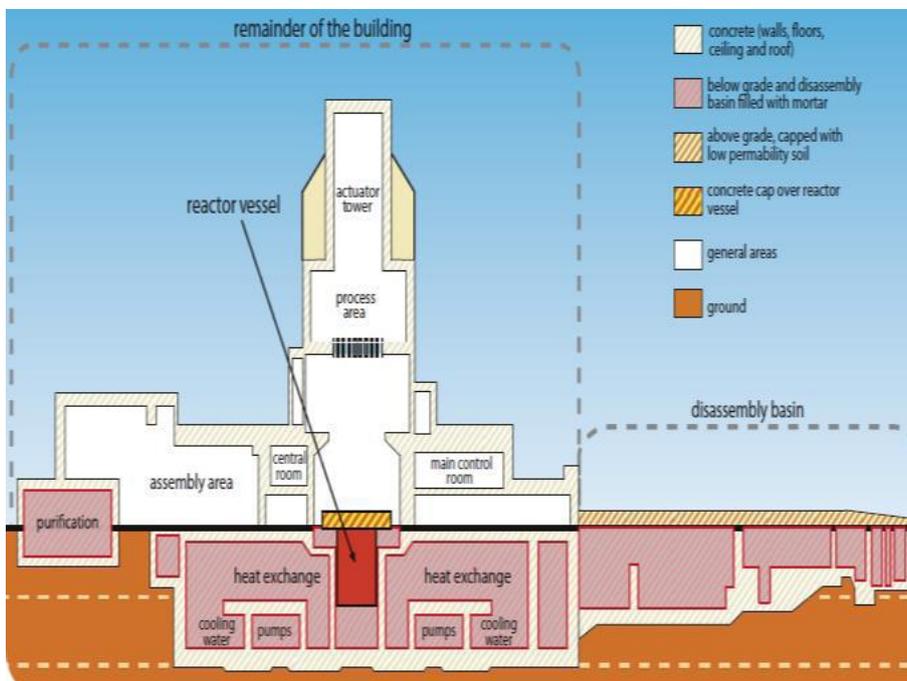


圖 6 美國 Savannah River Site 除役廠區示意圖

國際間之除役策略以立即拆除(Immediate-prompt dismantling)與延後拆除(Safestore-deferred dismantling)為主，約各佔 50%。美國則有 5 個反應器採固封(entombment)之除役策略。

英國目前有 41 個反應器，其除役策略為 40 個氣冷式反應器(含第一代 Magnox 與第二代 AGR)採延後拆除(Safestore)，1 個 PWR 採立即拆除(Immediate)。

### LTP(Lifetime Plan)

包含法規、規定、執照、技術、方法、預算、時程與溝通。

從除役計畫準備階段到廠址復原階段之各項作業，皆須鉅細靡遺分項列表規劃安排。標準化的 Lifetime Plan 架構如下：

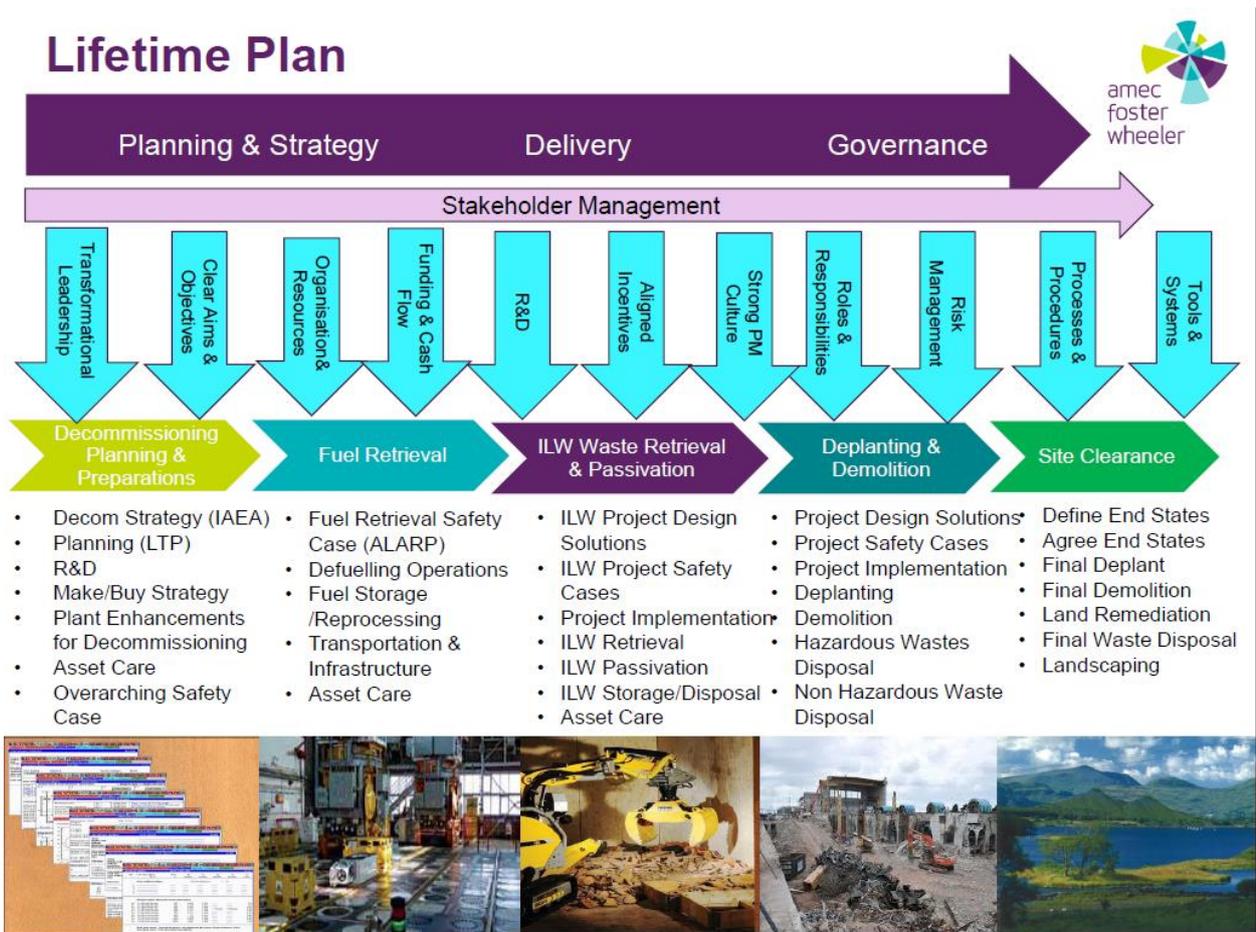


圖 7 Lifetime Plan

Lifetime Plan 之分析與建構應盡早開展，依國際運轉經驗，僅 37%之反應器能運

轉到計畫壽期。

除役期間因除役作業之經驗較少且作業較為龐雜，其績效評量要比運轉期間更為複雜，但仍須持續進行，以有效整合資源，控制除役作業經費。



## LTP Performance Measurement

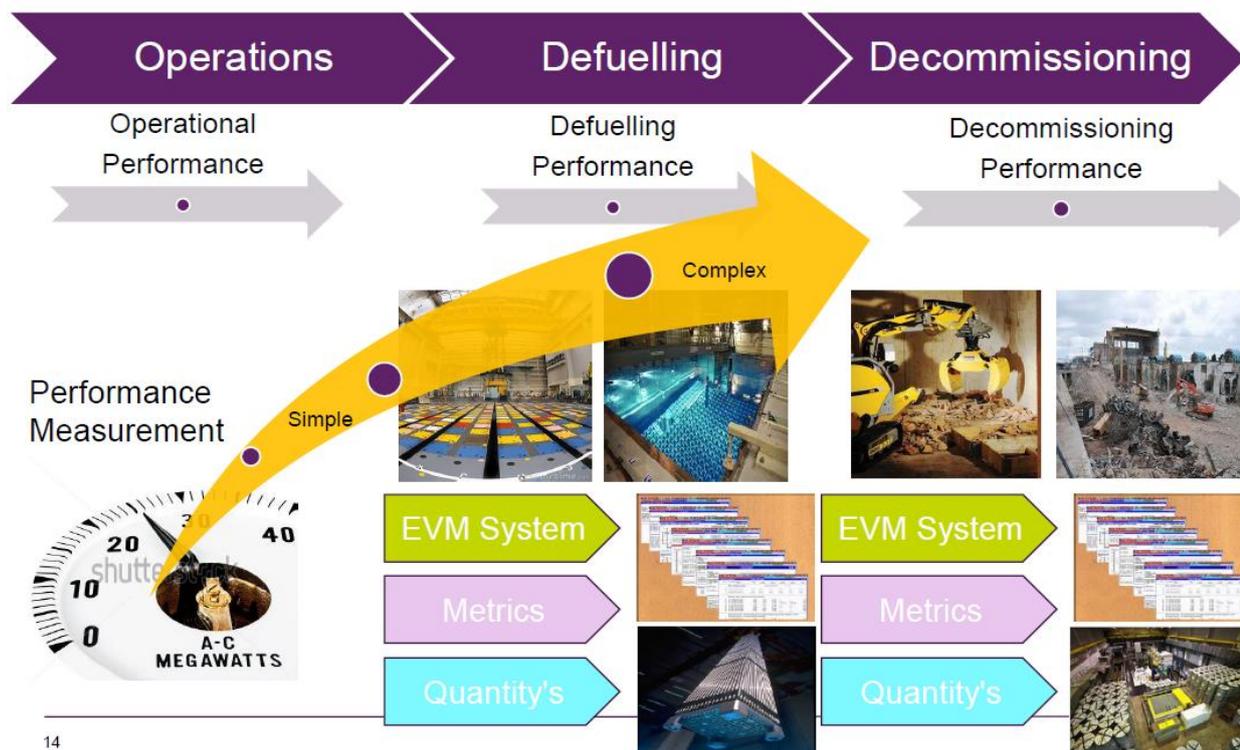


圖 8 Lifetime Plan 績效評量比較

## 主題(五)

### 英國除役經驗探討說明

內容簡介:

英國共有 41 座商用機組，25 部機組正在進行除役，但也有新機組正在計劃。  
英國除役作業(Safestore)之階段與時程規劃如下：

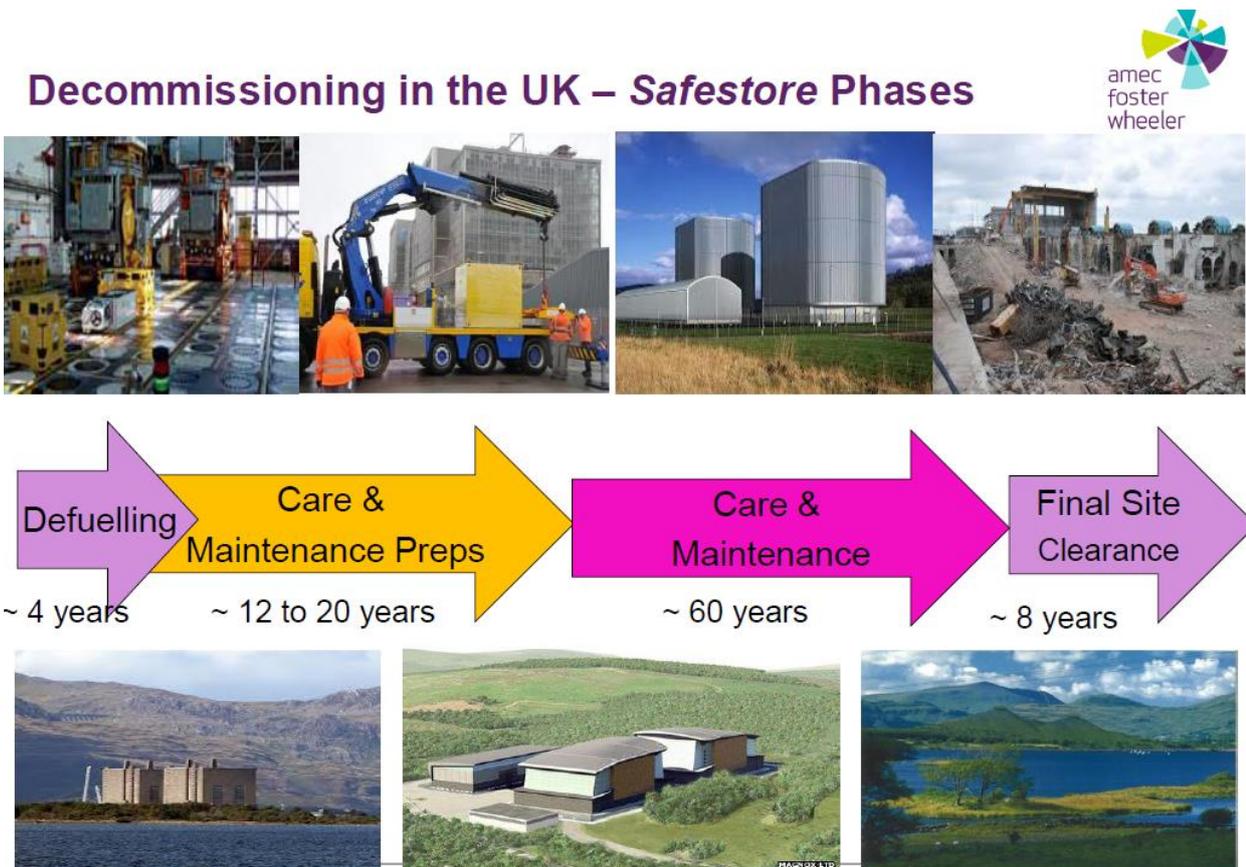


圖 9 英國除役(Safestore) 階段與時程規劃

進入除役作業後分成四個階段

1. 用過核子燃料移除：約 4 年
2. 照護與維護準備期：約 12~20 年
3. 照護與維護期：約 60 年
4. 最終廠區清理期：約 8 年

英國之除役作業由 NDA 負責制定策略。

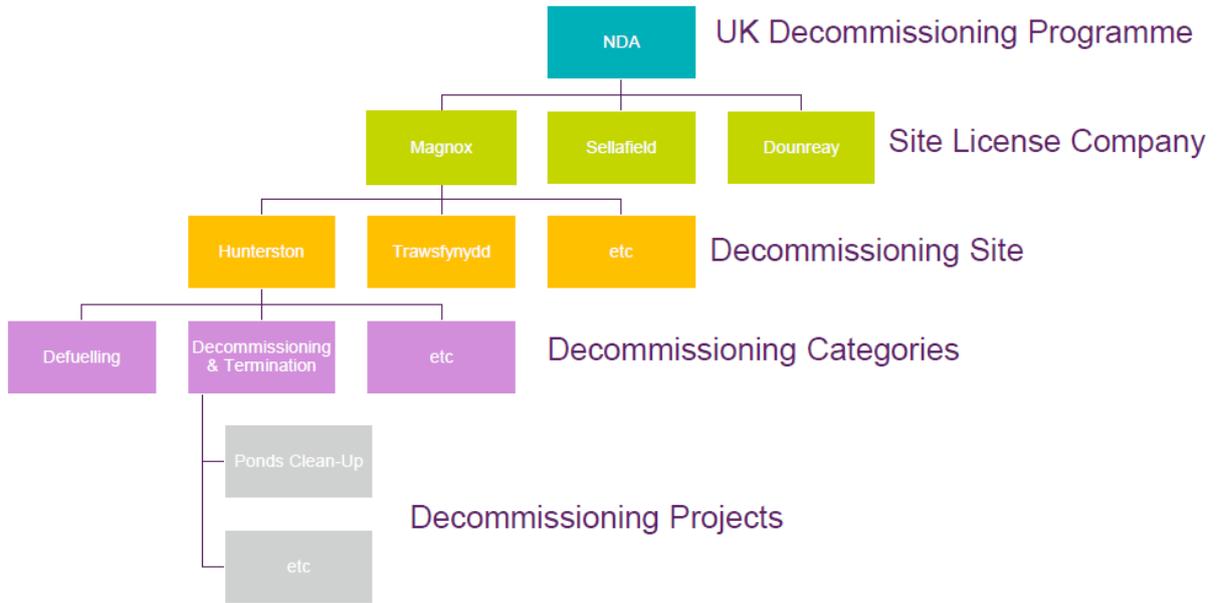


圖 10 NDA 除役架構

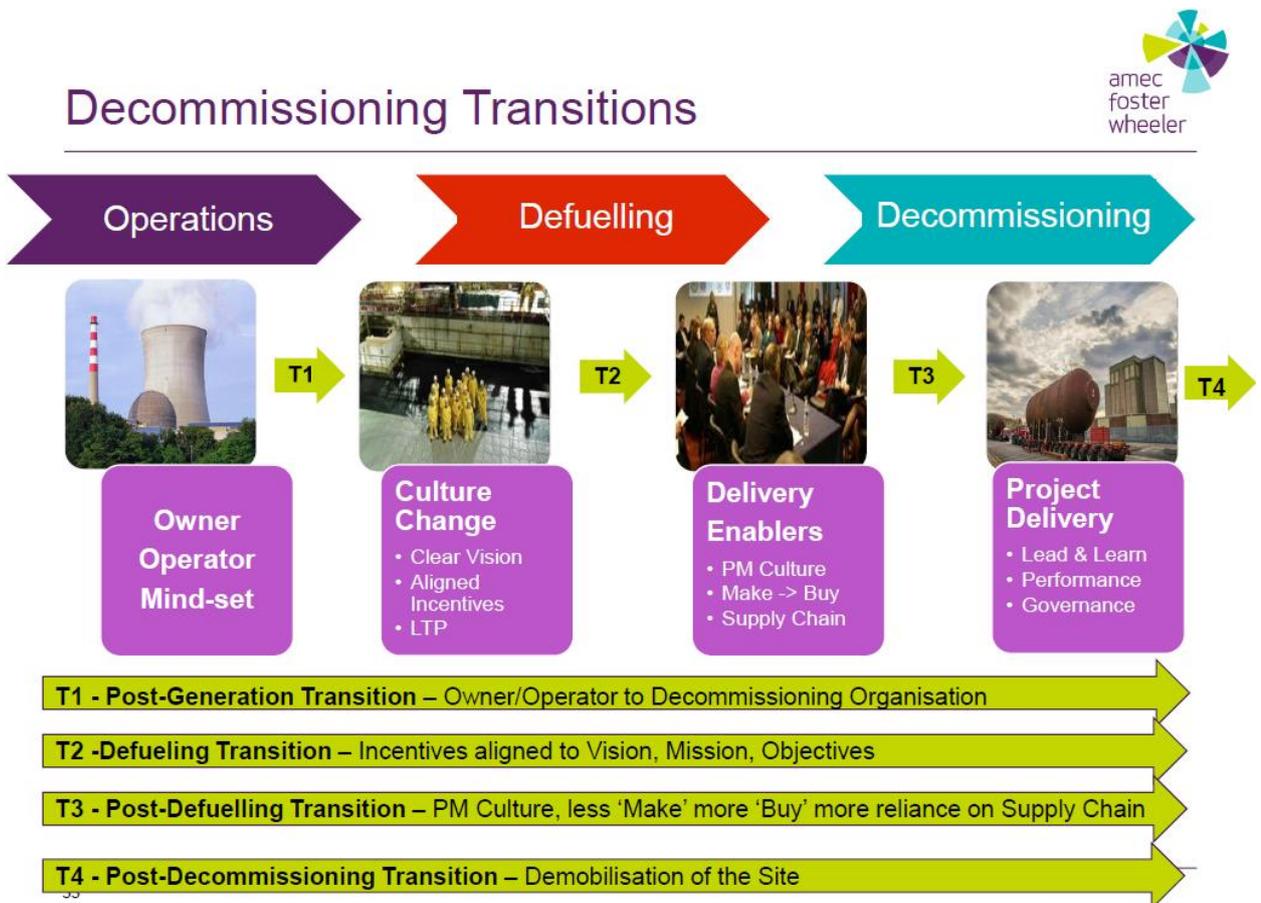


圖 11 英國電廠運轉至除役時期之轉換

## 除役作業的成功關鍵

1. Change Culture from Operations to Project Mind-set
2. Engage Key Stakeholders Early
3. Early Supply Chain Engagement
4. Avoid “Over-Engineering”
5. Promote and Ensure Shared Learning

## 除役作業的重要訓練項目

1. Programme & Project Management
2. Licensing, Environment and Safety Support for Decommissioning
3. Surveys and Characterization
4. Health Physics for Decommissioning
5. Demolition
6. Hazardous Waste Management (e.g. Asbestos)
7. Nuclear Waste Management
8. Decommissioning Planning
9. Cost Estimating
10. Decommissioning Risk (Threats & Opportunities)

## 除役作業可能面臨的共同問題與挑戰

1. How to Ensure the Effective use of Decommissioning and Waste Disposal Funds
2. How to Produce Executable Decommissioning Plans
3. How to Transition from an Operations Culture to a Decommissioning Organisation
4. Understanding the Demographics and Motivation of the Workforce
5. How to Manage and Develop Resources (Utility and Supply Chain) to maximise delivery.

## 6. How to Maintain Stakeholder Trust and Confidence during the entire Decommissioning Programme

英國除役計劃，以 Trawsfynydd Site 為例



圖 12 Trawsfynydd Site 空照圖

於 1959~1965 年建造，1965 年開始運轉至 1991 年。2 座 390MWe 的機組，是英國唯一內陸的 Magnox 電廠。1993~1995 年，已把用過核子燃料全數運至 Sellafield。

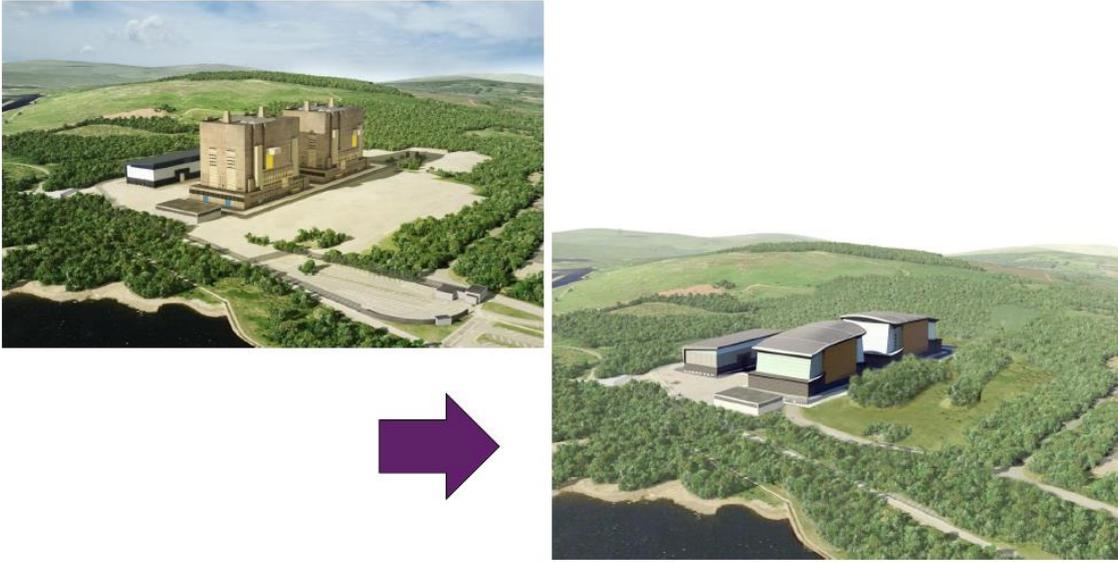


圖 13 Safe Store-延後拆除(deferred dismantling)

#### 監測與維護計劃

監測：在廠區內所有的設備、設施與結構等等，都需要符合環境和安全的法規與要求。

維護：在周期性的預防保養、維修計畫，讓設備、設施與結構等等維持應有之功能。

Day 4 - 2015/12/10 Thu

## 主題(六)

### 廢棄物綜合管理

內容簡介:

廢棄物的管理需要全面性的考量。從運作與除役上作規劃，並分類不同廢棄物的特性，針對不同類型之廢棄物，做不同方式之處理。

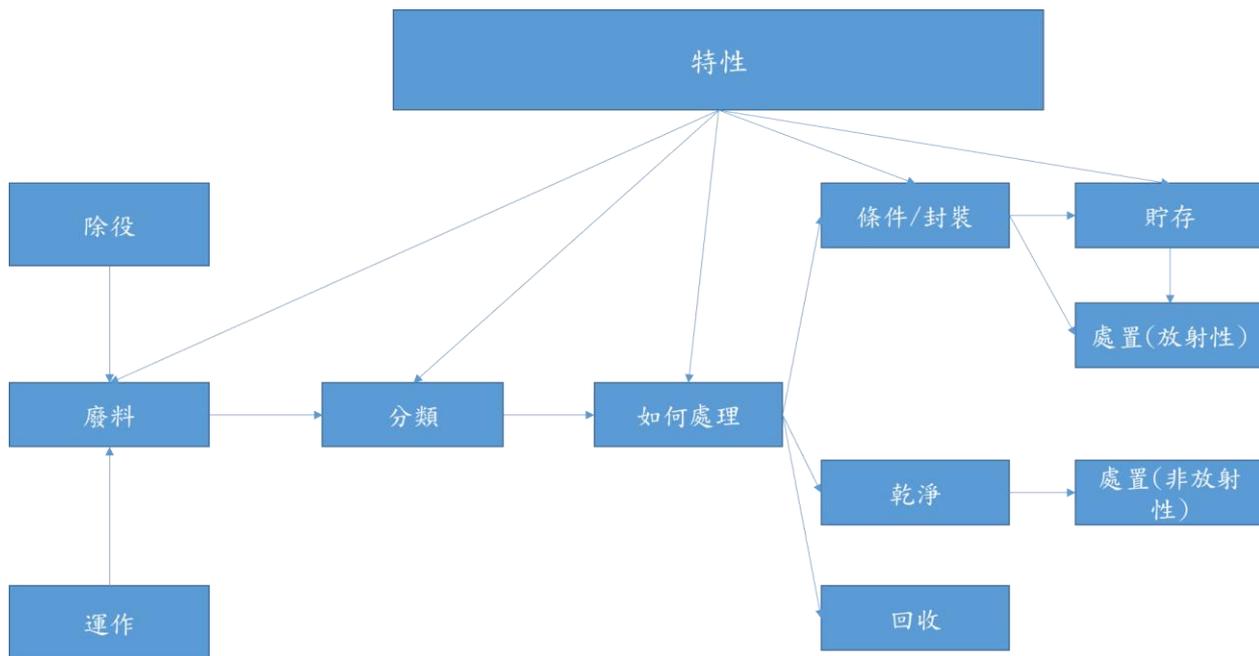


圖 14 廢棄物綜合管理

- 廢棄物的循環
- 廢棄物管理與除役：可行性、安全、環境、預算
- 廢棄物的清單調查
- 廢棄物的特性
- 廢棄物的分類與處理
- 選擇處理的方式

主旨就是使用 4 個 w：怎麼做、如何做、什麼時候做、哪個地方做。

整體的廢棄物管理：

- 除設計畫與廢棄物管理計畫須同時建構，以確保兩者之關聯性已整合考量。
- 所有廢棄物的產生與處理路徑皆要追蹤
- 估計廢棄物的容量、種類與隨時間的增加量。
- 乾淨(法規值以下)的廢棄物處理是最便宜的。
- 廢棄物的封裝一定要考量到要適合處置。

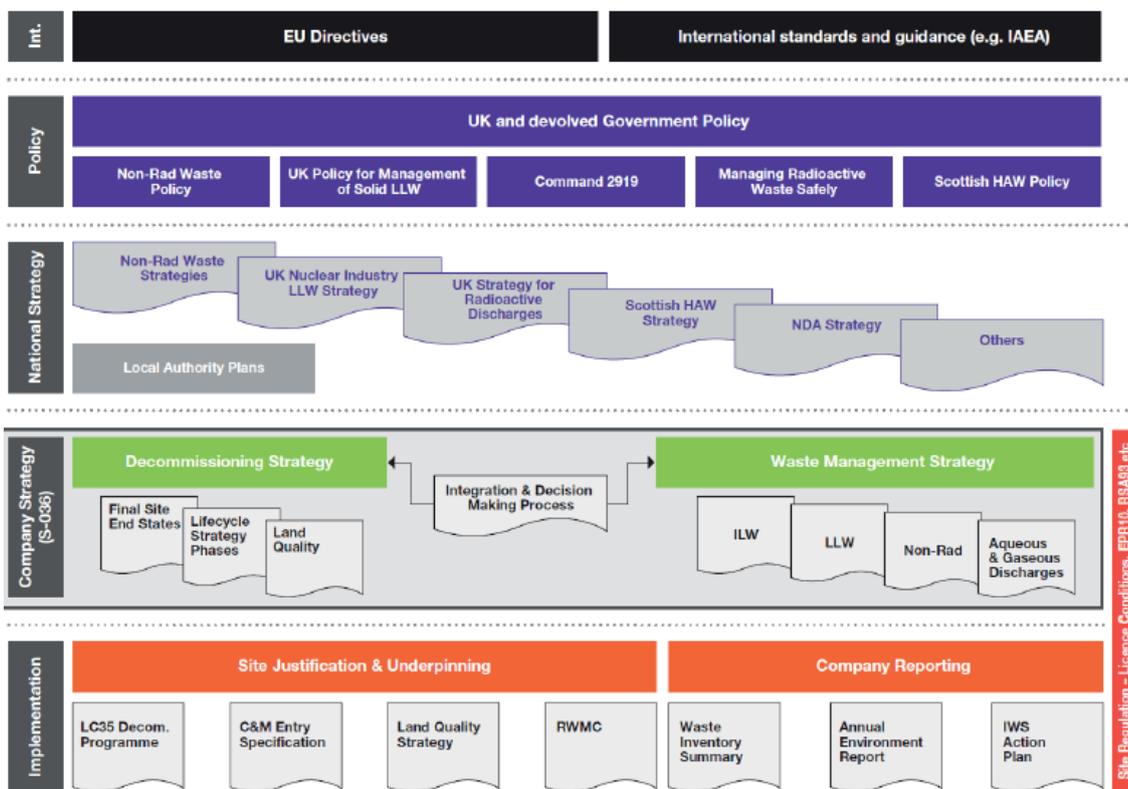


圖 15 廢棄物管理架構圖像

What wastes? When will they be produced? From which buildings?

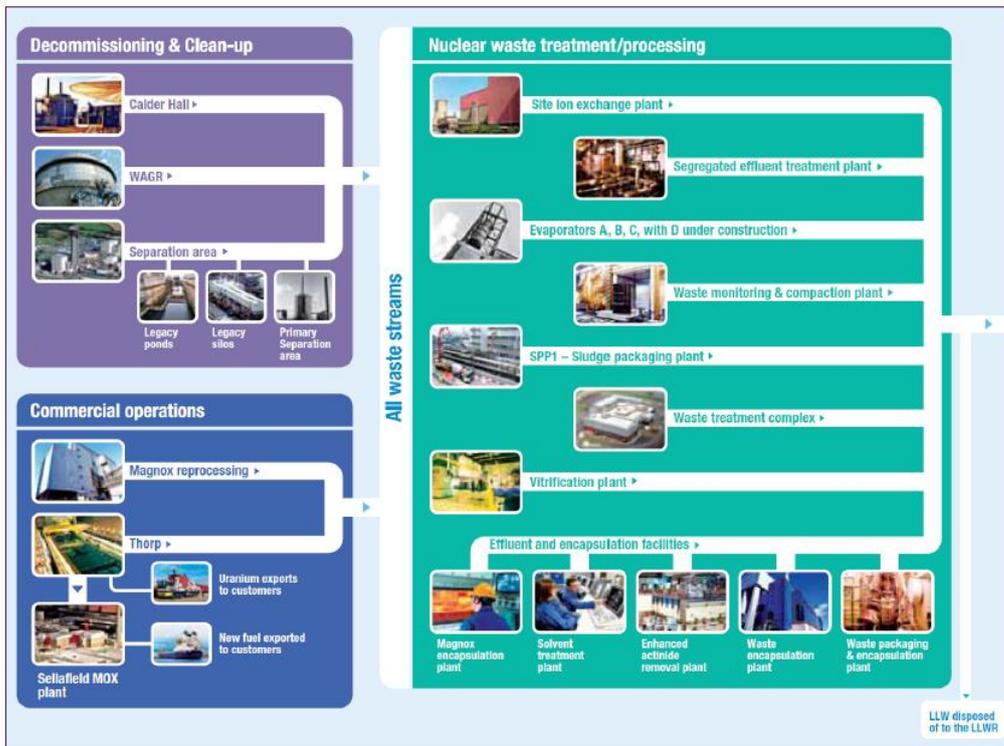


圖 16 廢棄物產生與處理路徑圖

廢棄物管理計畫可能的驅動力與阻礙

- ▶ Decommissioning lifetime plan
  - ▶ when wastes will arise, what type and how much
- ▶ Laws and conventions
  - ▶ national and international (what must be done or not)
- ▶ Regulations
  - ▶ set strict requirements and limits (e.g. safety, environment)
- ▶ Government policy
  - ▶ what Government expects but is not usually law
- ▶ Technical
  - ▶ resources, experience, physical limitations
- ▶ Public and stakeholders
  - ▶ usually have no formal role but can influence decisions

### 廢棄物處理層次：

1. 永遠要把廢棄物的產量與最終處置 (dispose) 的量降至最低
2. 前述之廢棄物管理作為的減量，除可減少對環境的衝擊外，同使也可降低總成本及付出的努力。
3. 最終處置是最後一個選項。

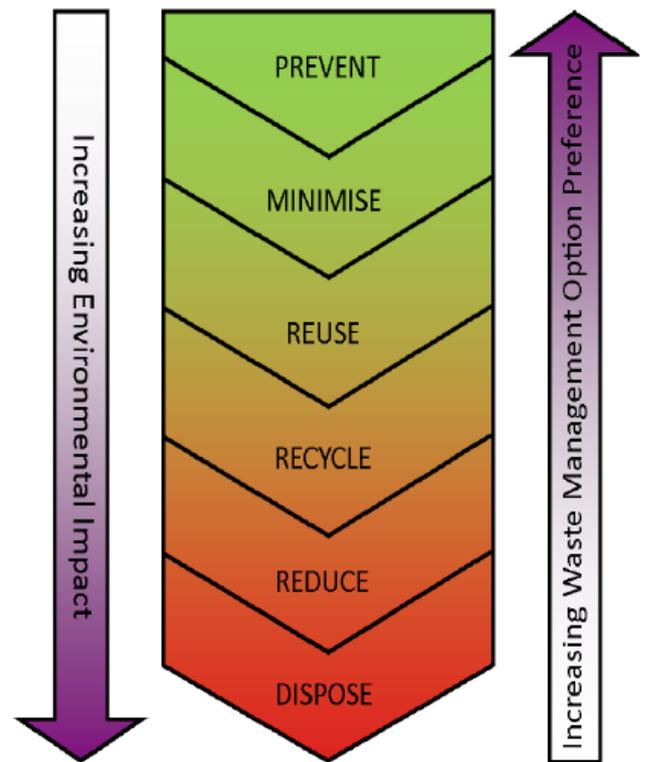


圖 17 Waste Management hierarchy

### 主講者針對發展整體廢棄物管理策略(Integrated waste strategy, IWS)的建議事項：

1. 整體廢棄物管理策略(IWS)應與除役計畫同時建構，以確保兩者之關聯性已整合考量。
2. 整體廢棄物管理策略(IWS)應務實估算廢棄物總量。包容積，總類及產生時間。
3. 應盡可能釐清廢棄物不屬放射性廢棄物，因非放射性廢棄物之處理較簡單也較便宜。
4. 所有廢棄物處理與包裝都應盡可能符合最終處置之要求。

Day - 5 2015/12/11 Fri

### 主題(七)

#### 遙控機械的使用

內容簡介：

使用遙控機械的理由：

1. 作業太脆弱，如：微型手術、精細珠寶等。
2. 作業重複性高
3. 工作空間太小、太大或太遙遠
4. 工作環境太危險，如：海面下、爆炸性環境、外太空或高輻射等。

因此在除役中，有許多地方，因為空間問題與輻射安全之問題，要使用機械的處理。最常使用在監視與切割上的作業。

但是自動機械還有一些缺點，這些缺點有待改進

- 穩定與耐用
- 操作
- 移動能力

### 主題(八)

#### amec foster wheeler 實驗室廠區參訪

內容簡介：

為一家有 150 多年歷史的工程顧問公司，全球 55 個國家，約有 4 萬多名專業技術人員。主要的工程服務為 1.石油與天然氣 2.礦業 3.環境與基礎設施工程 4.清潔能源。在清潔能源這個領域，有三個主要項目，再生能源、生質能與核能。其中在核能方面，amec 公司為英國氣冷式電廠，發展了許多工程解決方案，雖然與主流上所用的 BWR 與 PWR 電廠有所不同，但有很多相似處，因此可以為借鏡，如：自動機械上的使用。目前在亞洲的發展主要是日本與大陸，未來希望能與台灣有更進一步的合作。

## 現場參訪

Day 1 - 2015/12/14 Mon

### Hunterston A

#### 背景介紹:

Hunterston A 核電廠為第一代氣冷式電廠(Magnox)，為在蘇格蘭的北艾爾郡，於1964年開始商轉，有兩部機組，功率為各為150 MWe。1990年陸續停爐，目前歸屬於NDA，持續進行除役作業。

#### 參訪經過及心得:

1. 用過燃料池底部參訪：花了約30分鐘，穿著數層防護衣並戴呼吸器，進入已洩水之燃料池底。目前燃料池仍在進行除污作業，使用自動化刮刀，把高污染的燃料池壁一層層磨下來，底下的污泥水再蒐集起來處理。參觀後，花10幾分鐘脫除身上裝備，並進行簡便淋浴。英國早期用過燃料池之設計，池壁並無內襯鋼板，似乎無法完全防止池水流失。



Hunterston A ponds pontoon.

2. 遠端遙控操作處理燃料廢棄組件：因為燃料組件皆為高污染組件，因此使用遙控手臂，去做分類與運輸之工作。
3. 保安密碼出入廠：在保安措施有非常特別的方法，除了一班的識別卡外，每人都需要輸入一組獨特密碼，在重要區域中，除了要刷識別卡進出外，還要搭配此密碼才能通行，因此如果發生識別卡被偷或者遺失，偷竊者或者撿到之人也無法使用這識別卡進入管制區域。



... Hunterston A ILW ISF.

Care and Maintenance (C&M )

圖 18 英國 Hunterston A C&M 階段示意圖



圖 19 英國 Hunterston A 電廠空照圖

Day 2& 3 - 2015/12/15&16 Tue&Wed

## Sellafield & LLW Repository

### 背景介紹:

Sellafield 核工業園區是目前全世界最複雜的核工業基地，接續二戰中的兵工廠而被建造起來。在二戰後，基於迎頭趕上美國的核子軍事技術，英國加緊努力地發展核武器，建造核電廠、用過燃料再處理廠，一開始的著眼點就是為了取得鈾 Plutonium。Sellafield 自 1940 年代以來，就在核工業扮演著樞紐的角色，它在 2 平方哩範圍內，提供了核子燃料再處理、核子燃料製造及核子物料與放射性廢棄物之貯存，亦存放某些有害廢棄物。

在 Sellafield 廠址亦座落著 Calder Hall 核電廠，為第一座併網供電者；另擁有 3 部反應器之 Windscale 核電廠，其中一部在 1957 年因火災而嚴重損毀，因而增加除役之額外挑戰

目前每日約有 1 萬人在 Sellafield 左右工作，其中大約有一半的工作人員是忙著拆除過去發生事故和屆齡除役的核子反應器，這種拆除作業估計將超過 100 年以上的時間。



圖 20 英國 Sellafield 空照圖

## 低階放射性廢棄物貯存場(Low Level Waste Repository, LLWR)

Low Level Waste Repository (LLWR) Ltd 是隸屬於英國除役署(Nuclear Decommissioning Authority, NDA)之低階放射性廢棄物貯存場。此設施位於近 Drigg 的 West Cumbria，自 1995 年開始啟用接收低放射性廢棄物，已運作超過 50 年。主要以鐵路運自 Sellafield 的廢棄物；英國其餘核設施及如醫用、研究用非核設施的廢棄物則以陸運。負責貯存核工業、軍事用途、非核工業及教育/醫療/研究等，產生之低階放射性廢料。距離 Sellafield 廠址僅約 20 分鐘車程之低放射性廢棄物處置場，該場由 NDA 委託低放處置場公司(LLW Repository Ltd.)負責營運。

目前貯存區域已開發至 Vault 9。在興建 Vault 前，使用 Trenches 1 to 7 為壕溝方式處置之區塊，來貯存低階放射性廢料。Trenches 1 to 7，均已完成覆蓋及植生並進入長期監測期。自 1988 年起，改採地窖處置方式 (surface disposal vault)，Vault 8 及 Vault 9 為水泥結構之露天貯存區。



圖 21 英國 LLWR 示意圖

1. Rail Sidings
2. Grouting Facility
3. Vault 8
4. Trenches 1 to 7
5. Vault 9

### 參訪經過及心得:

在 Sellafield 參觀的設施主要有 B6 Pile Chimney、B204 Primary Separation Plant、除役中的 WAGR 和 B229 Analytical Laboratories。參訪過程中對於工作中大量運用遠端遙控的機械手臂進行現場撿拾、分類，印象深刻，這樣的作業可以免除不必要的人員劑量。此外，對於廢料裝桶的方式，英國是採用正立方體的方式灌漿預鑄水泥桶，再進行堆疊存放，這樣可以利於搬運和減少貯存空間之浪費。

目前 LLW Repository 每年接收 300~500 只內裝低放射性廢棄物之半高型 ISO 容器，其中約 66 % 係來自 Sellafield。

本公司蘭嶼貯存場之貯存區設計與 LLWR Trenches 1 to 7 類似，為壕溝式設計並有覆蓋以降低水分進入。而 Vault 8 及 Vault 9 則為露天貯存區設計，與外界環境並未完全阻隔，在參訪期間便發現水鳥自由停留在貯存貨櫃上。

## 肆、心得及建議事項

### 綜合心得：

1. 開始即為最終，除役工作不能想到那裡作到那裡，在確定除役工作最終的願景後，整體的工作即須朝目標前進，儘管除役工作是件世代交替的長期工作，中間也須分階段進行各階段之策略整合，惟本次上課的講師群強調，最初建立的最終願景不能輕易被改變，以免造成後續人力、物力和各項資源的浪費。
2. 可靠及充足的資金來源是在除役工作的關鍵，後端基金乍看似有千億基金，但若缺乏無長期的管控，除役工作即會成為下一代的負擔。
3. 除役工作須及早規劃準備，以英國的經驗為例，只有 32% 的反應爐是如期除役(其他為提早除役)，因此，除役能及早規劃是有備無患。
4. 除役工作慎防「太過樂觀」：在英國，因早期對除役工作時程及預算的低估，惟過程中因時代觀念及作法的改變增加了除役的複雜度，導致後來政府管制機關及民眾對除役工作降低信心，甚而會影響對現行核能的觀感。
5. 除役工作每一個階段的銜接都要有過渡階段的準備，在英國現場參訪已執行除役作業電廠 Hunterston A 為例，對一個早已習於運轉中核電廠運作的工程師，的確很難接受一下子看到除役後空洞蕭條的除役電廠。因此各個過渡階段的準備，除了各項硬體的銜接準備外，各項軟體的過渡管理運作皆須考量，才能保證除役工作的長期執行。
6. 作好公眾溝通，避免僅從工程師的視野來作說明。一如台電公司早期被批評工程師文化一般，英國核能業界早期也經歷此段溝通不良的陣痛，因此本次上課，各階段講師皆強調各項工作都要作好溝通，並且說明：溝通是從最初到最後的每一階段都要作好的工作。

## 建議事項：

1. 經過這次訓練的了解，英國核能設施的型式與除役作業的策略，與本國有相當大的差異。但由英國除役署(NDA)以下所建構的除役專業技術群，仍有許多專業領域值得本公司長期參與培訓，以建立自有技術能力。例如：除役作業 Lifetime Plan 之建立與整體廢棄物管理策略(IWS)的建構。
2. 儘速建立除役願景：核能一廠曾經為台灣十大建設之一，在台灣經濟起飛的發展史上，自有其不可磨滅的歷史貢獻。另一方面，結合著北海岸的觀光及臨近著名的十八王宮廟，核能一廠的除役願景應該朝著類似核能歷史展覽館的觀光方向來作規劃。台電公司有著國內最近的先例，例如北部發電廠變身為海科館，若能以著第一座國內進行的除役工作的核一廠，變身成為北海岸石門的核能歷史示範區，即應能具有向民眾作核能溝通及核電教育的功能。
3. 以此除役遠景與外溝通：當確定了核能一廠的除役遠景後，以此版本即可用以對外強力溝通。由於長久以來國內民眾對核能的誤解，核能溝通的工作在國內向來可謂是筭路褴褛，而今有著提昇地方觀光核能歷史示範區版本的建立，應能降低核能對外溝通的阻力。
4. 用溝通成果回饋核能營運：在提出建立核能歷史示範區願景的同時，也可同時對外介紹現行各項核能營運的解說，達成核電營運資料透明化的效果。另以此建立的溝通成果，對現行核二、核三乃至龍門的核能營運，也皆應能有所助益與回饋。
5. 核電廠的保安措施可試情況增設個人密碼裝置，增進保安的強度。

伍、附錄  
略