

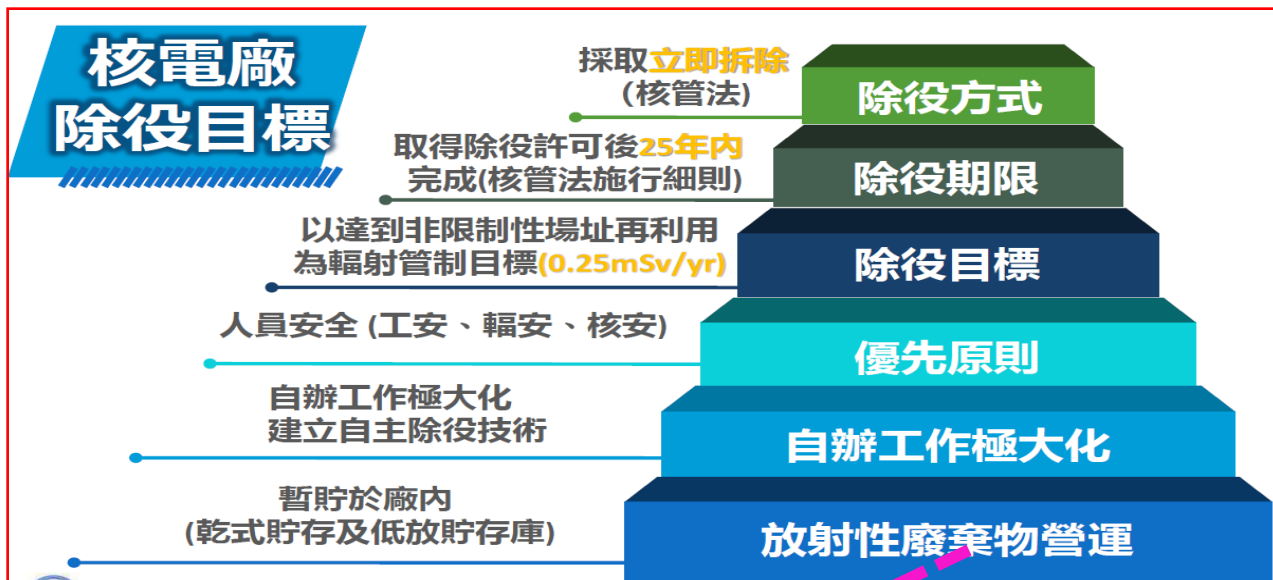
歐-美-台放射性廢棄物法規標準和管理措施差異
對國內核電廠除役廢棄物管理技能發展的探討

陳勝朗 首席顧問

核能科技協進會

2022. 12. 1

台電核電廠除役目標策略



參照 歐洲國家訴求：

- 少量放射性廢棄物的產出——佔拆除物料量的 <6%
- 使放射性廢棄物的產出及盛裝——符合最終處置接收條件

要如何達成 ???
以減低除役成本!

內容綱要

一. 前言	5
二. 歐-美-台 放射性廢棄物分類法規標準	8
1. 國際原子能總署(IAEA) 放射性廢棄物分類	9
2. 西歐核監管機構協會(WENRA) 放射性廢棄物分類	11
3. US 放射性廢棄物分類	14
4. 臺灣 放射性廢棄物分類	15
三. 歐-美-台 放射性廢棄物處置接收準則	20
1. 德國 Konrad 處置場的低放射性廢棄物接收標準	21
2. 美國猶他Envirocare放射性廢棄物處置場接收標準	23
3. 台電公司低放射性能廢棄物最終處置場廢棄物接收準草案)	25
四. 核電廠除役設施區域輻射特性範圍和廢棄物類別	27
1. 核電廠(BWR)的廠房設施環境(廠房立體側視剖面圖)	28
2. 核電廠廠房設施區域輻射特性範圍和廢棄物類別估計示意圖	29
3. 核電廠除役專案作業主要步驟—拆除物料管理	30
4. 台電核電廠除役計畫目標	31
五. 歐-美-台 核電廠除役放射性廢棄物產生量與管理策略探討	32
1. 德國Greifswald / Stade / Grafenrheinfeld 核電廠除役放射性廢棄物 產生量與目標	33
2. 西班牙José Cabrera 核電廠除役產生物料總量結果	36
3. 美國 Vermont Yankee 核電廠除役各類放射性廢棄物產生量	37
4. 歐盟-美國 核電廠除役放射性廢物量估算和實際值比較	38
5. 歐盟-美國 核電廠設施拆除前的除污策略和放射性廢棄物處置策略差異探討	39
6. 臺灣各核電廠停止運轉前除役放射性廢棄物產生量估算探討	40

內容綱要

六. 國際上核電廠除役低放射性廢棄物管理策略和技能方法概要.....	49
1. 歐州經濟合作與發展組織/核能機構(OECD/NEA)核電廠除役低放射性廢棄物 管理策略.....	51
2. 世界各國對於極低微污染金屬無限制再利用的免管制規定.....	52
3. 核電廠除役廢棄物污染金屬處理減量技能方法經驗概要.....	54
1). 方法一 污染金屬噴砂-熔融除污處理技能.....	58
2). 方法二 污染金屬噴砂-化學除污處理技能概要.....	64
3). 方法三 污染金屬噴砂除污處理技能概要.....	69
4). 除役廢棄物污染金屬處理技能評價指南.....	72
4. 污染混凝土除污技能概要.....	73
七. 豁免管制極低微污染廢棄物無限制的再利用範例.....	77
1. 金屬類.....	77
2. 混凝土類.....	80
結語	81
作者簡歷.....	82

一. 前言

迄今，世界上約有500部的核反應爐和核燃料循環設施停止運轉，需要進行除役。其中包括美國16部在內，德國已完成除役及除役中的核能電廠有7部，全世界計有23部商用核電廠已完成除役作業。

各個核電機組除役所需的時間和成本差異相當大，時間上由較短的10年多到較長的30~40年，成本從較少的2億美元到11億美元，固然除役時間與成本和除役採取方式、策略以及機組的運轉時間、大小有關，但除役的技能策劃和執行管理也扮演著非常重要角色。

據經驗結果分析(附表)得知，除役作業成本主要項目內，在設施拆除後，除了用過核燃料外，所產生的廢棄物需要處理和處置費用成本約高達20~30%之間，而該等廢棄物類別中絕大部份為無輻射污染和低微污染物者，在衡量國內自身環境後，若能妥善加以處理回收再利用該等物料，降低送到最終處置場所，當可減低除役成本。

本文主旨，一者提供歐-美國家在核電廠放射性廢棄物法規標準的制定差異性，是如何合理務實管制情形，以及其如何導致深遠影響核電廠的除役作業措施之剖析；二者提出其在除役廢棄物管理技能措施發展方案的經驗反饋探討，期供國內瞭解如何達成減廢目標之道，以資參考。

除役作業主要成本估算表

<u>Cost Category</u>	<u>Estimated Costs (\$ millions)^(a,b)</u>	<u>Percent of Total^(c)</u>
Disposal of Radioactive Materials		
Neutron-Activated Materials	2.300	
Contaminated Materials	4.909	
Radioactive Wastes ^(d)	1.469	
Total Disposal Costs	8.678	24.9
Staff Labor	17.561	50.4
Energy	3.519	10.1
Special Tools and Equipment	2.016	5.8
Miscellaneous Supplies	1.859	5.3
Specialty Contractors ^(e)	0.356	1.0
Nuclear Insurance	0.800	2.3
License Fees	0.051	0.1
Subtotal	34.840	100.0
Contingency (25%)	8.710	
Total, Immediate Dismantlement Costs	43.550	
<u>Other Possible Costs</u>		
Spent Fuel Shipment	3.788 ^(f)	
Facility Demolition and Site Restoration	13.244	
Deep Geologic Disposal of Highly Activated Materials	0.848 ^(g)	
Fuel Channel Disposal	0.617 ^(h)	
Subtotal	18.497	
Contingency (25%)	4.624	
Total, Other Possible Costs	23.121	

Vermont Yankee Nuclear Power Station
除役作業主要成本估算表 (thousands of \$2006)

Facilities Decontamination	10,039
Dismantle Removal	80,287
Waste Packaging	11,981
Waste Transportation	13,075
Waste Disposal	70,476
Off-site Waste Processing	33,761
.....	
Program Management	312,639
Corporate A&G	19,414,
ISFSI Related	127,934
Insurance and Regulatory Fees	24,906
Energy	5,933
Characterization and Surveys	11,138
Miscellaneous Equipment	6,564
License Termination	468,844
.....	
Spent Fuel Management	219,249
Site Restoration	40,053

Total	728,146

(TLG Services, Inc. ,Vermont Yankee Nuclear Power Station ,Decommissioning Cost Analysis for 'the Vermont Yankee Nuclear Power Station, January 2007)

- 經濟部於 109 年9月3日核定後端營運總費用估算約為 4,729 億元
- 民國 76 年至 111 年09 月底止，累計淨值 4,150.38 億元

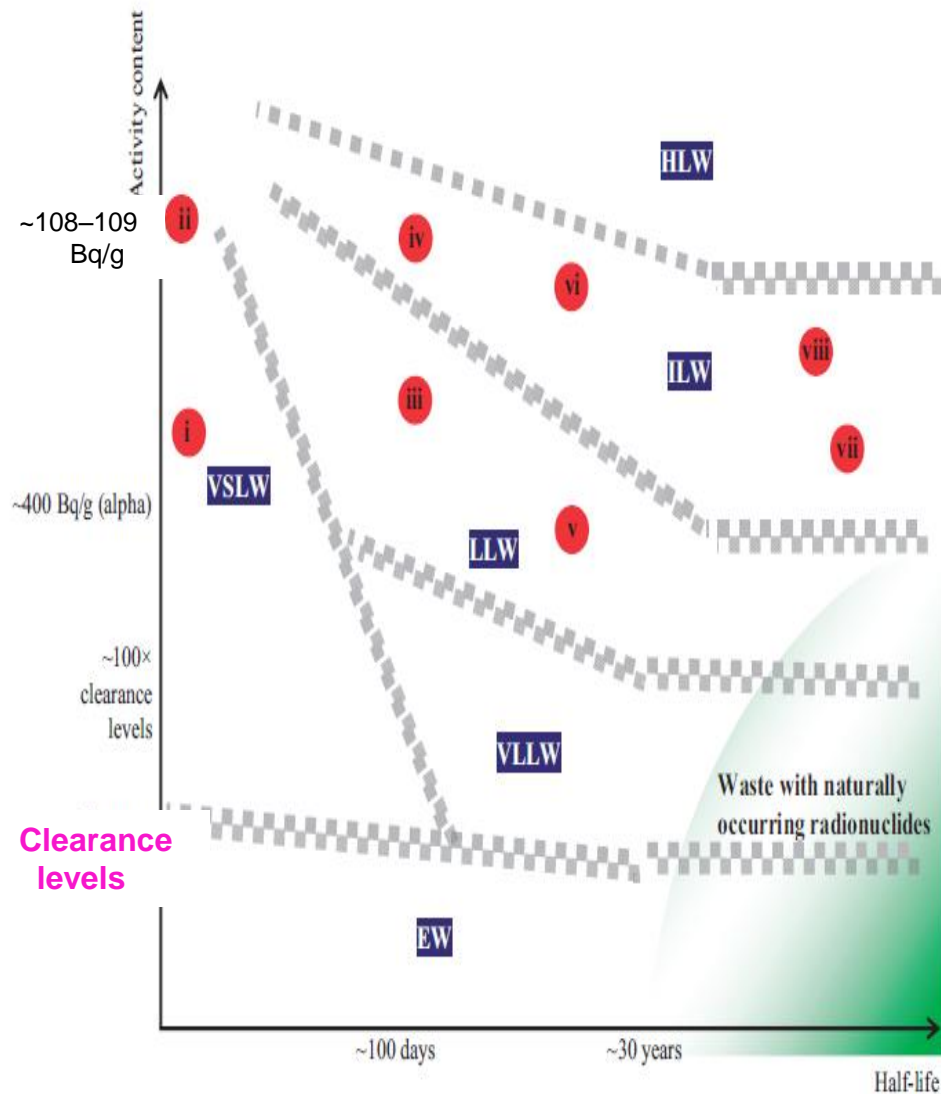
核能後端營運總費用

項目	費用(億元)	百分比(%)
除役拆廠	1,014.29	21.4
乾式貯存	549.38	11.6
低放最終處置	291.97	6.2
低放最終處置應變方案(註1)	381.46	8.1
高放最終處置	1,178.30	24.9
蘭嶼低放貯存	13.60	0.3
地方回饋	307.22	6.5
運輸	159.96	3.4
專責機構(註2)	215.68	4.6
準備金(註3)	616.78	13.0
總費用	4,728.64	100

二. 歐-美-台 放射性廢棄物分類法規標準

1. 國際原子能總署(IAEA) 放射性廢棄物分類標準
2. 西歐核監管機構協會(WENRA) 放射性廢棄物分類標準
3. 美國 (US)放射性廢棄物分類標準
4. 臺灣 放射性廢棄物分類標準

1. IAEA 放射性廢棄物分類 (WASTE CLASSIFICATION OF RADIOACTIVE)



(Ref. IAEA General Safety Guide No.1
CLASSIFICATION OF RADIOACTIVE WASTE)

High level waste (HLW): 放射性濃度水平高到足以由於其放射性衰變過程產生大量熱量的廢棄物或含有大量長壽命放射性核種的廢棄物，此類廢棄物需要設計為最終深層處置。

Intermediate level waste (ILW): 放射性廢棄物濃度由於其含長壽命放射性核種，需要設計為比近地表最終處置提供更大程度的遏制和隔離。

Low level waste (LLW): 高於清潔濃度水平但含有有限數量的長壽命放射性核種的廢棄物。這種廢棄物需要長達幾百年的強大隔離和遏制，並且適合在工程近地表設施中處置。

Very low level waste (VLLW): 未符合豁免管制標準的廢棄物 (EW)，但不需要高水平的圍堵和隔離，因此適合在監管控制有限的近地表設施中最終處置。

Very short lived waste (VSLW): 根據監管機構批准的安排，可以在長達數年的有限時間內最終處置並隨後從監管控制中解除的廢棄物。

Exempt waste (EW) 豁免管制廢棄物: 符合輻射防護監管控制解除、豁免或排除標準的廢棄物

Exempt waste (EW)豁免管制廢棄物標準

核電廠除役放射性污染廢料大致分為兩類：清潔標準 (clearance) 或作為放射性廢物最終處置。

清潔標準和可豁免管制外釋 (clearance and release) 分為三種計有：清潔標準 (可自由放釋)；有條件的清潔；和釋放以作為回收再利用。

符合清潔標準物料一般是可適用於已解除監管控制且對其來使用沒有限制的材料。有關於相關許可級別的建議，國際上是依據原子能總署 (*IAEA RS-G-1.7, Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance*) 和 (*IAEA SRS No. 44 DERIVATION OF ACTIVITY CONCENTRATION VALUES FOR EXCLUSION, EXEMPTION AND CLEARANCE*) (排除、豁免和清潔) 概念的應用規定。大多數國家也有關於可豁免管制外釋限值標準的國家法規，這些法規通常符合 IAEA 的建議。



表 15 大宗物料的排除(exclusion)和豁免管制(exemption)
(清潔標準)濃度限值 (Bq/g)

Radionuclide	Concentration	
H-3	100	
Be-7	10	
C-14	1	
F-18	10	^a
Na-22	0.1	
Na-24	1	^a
Si-31	1 000	^a
P-32	1 000	
P-33	1 000	
S-35	100	
Cl-36	1	
Cl-38	10	^a
K-42	100	
K-43	10	^a
Ca-45	100	
Ca-47	10	
Sc-46	0.1	
Sc-47	100	

Radionuclide	Concentration	
Sc-48	1	
V-48	1	
Cr-51	100	
Mn-51	10	^a
Mn-52	1	
Mn-52m	10	^a
Mn-53	100	
Mn-54	0.1	
Mn-56	10	^a
Fe-52	10	^a
Fe-55	1 000	
Fe-59	1	
Co-55	10	^a
Co-56	0.1	
Co-57	1	
Co-58	1	
Co-58m	10 000	^a
Co-60	0.1	

a: Indicates a half-life of less than 1 d.

註：表格內容未完整

2. 西歐核監管機構協會(WENRA) (法規根據 IAEA documents (requirements, guidance))

西歐核監管機構協會(WENRA)是一個國際機構，由擁有核電廠的歐洲國家核監管機構的負責人和高級工作人員組成。

WENRA 的主要目標是制定核安全通用方法，提供獨立檢查核安全的能力，並為歐洲主要核安全監管機構提供交流經驗和討論重大安全問題的網絡。為了完成這些任務，在 WENRA 內成立了兩個工作組——反應器協調工作組(RHWG)和廢棄物與除役工作組(WGWD)。

WGWD 在設施安全領域的工作成果和放射性廢物處理實踐目的是根據 RHWG 報告和 IAEA documents (requirements, guidance, etc. 中的做法，為這些設施提供安全參考水平(SRL)。

18 成員國

比利時、保加利亞、捷克共和國、芬蘭、法國、德國、匈牙利、意大利、立陶宛、荷蘭、羅馬尼亞、斯洛伐克共和國、斯洛文尼亞、西班牙、瑞典、瑞士、烏克蘭和英國

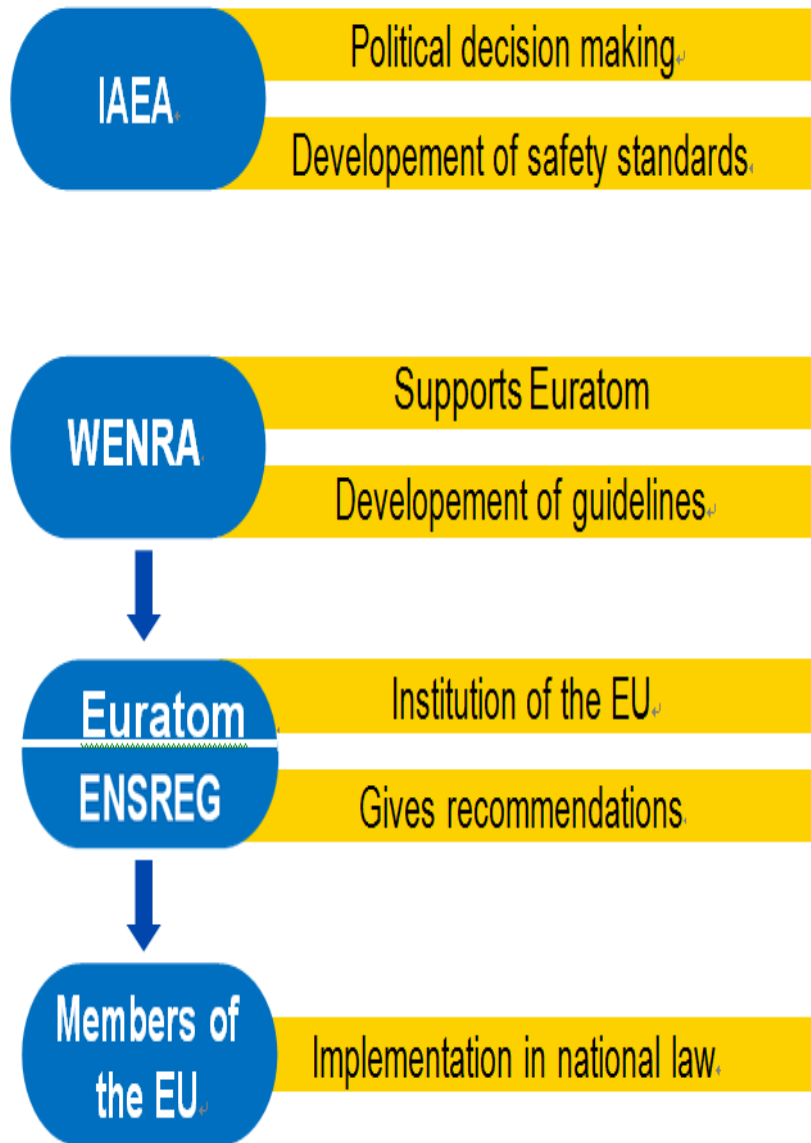
2 相關成員

加拿大和俄羅斯聯邦

12 觀察員國

亞美尼亞、奧地利、白俄羅斯、塞浦路斯、丹麥、愛爾蘭、日本、盧森堡、挪威、波蘭、塞爾維亞和美國

(例) 德國核設施除役廢棄物管理組織和法規



WENRA 是來自使用核能的18會員國家的監管機構的諮詢機構, 成立了兩個工作組 (反應器協調工作組 (RHWG) 和廢棄物與除役工作組 (WGWD))

EURATOM 是歐盟以外的獨立組織, 但與歐盟委員會等所有重要機構共享

ENSREG 歐盟委員會諮詢小組成立了4個工作組 (核安全、放射性廢棄物和除役管理、用過核燃料和國際合作)

BFE 聯邦核廢棄物管理安全辦公室

3. 美國 (US) 10 CFR § 61.55 Waste classification

如果放射性廢棄物僅含有表 1 中所列的放射性核種，分類標準應依據如下方式：

- (i) 如果濃度不超過表 1 中數值的 0.1 倍，則廢棄物物為 **A 類**。
- (ii) 如果濃度超過表 1 中的值 0.1 倍，廢棄物物為 **C 類**。
- (iii) 如果濃度超過表 1，一般不能接受的廢棄物物須要利用近地表最終處置。

.....

如果放射性廢棄物物不包含在表 1 或表 2 中列出的任何核種，

- (i) 如果濃度不超過第 1 列(Col) 中的值，廢棄物物為 **A 類**。
- (ii) 如果濃度超過 第 1 列(Col)，但不超過第 2 列，廢棄物物為 **B 類**。
- (iii) 如果濃度超過第 2 列，但不超過第 3 列，廢棄物物為 **C 類**。
- (iv) 如果濃度超過 第 3 列，廢棄物棄物不能接受為近地表最終處置。此種廢棄物棄物為 **超C類 (GTCC)**。

Table 1

Radionuclide	Concentration curies per cubic meter		
	Col. 1	Col. 2	Col. 3
C-14	8		
C-14 -94 in activated metal	0.2		
Tc-99in activated metal	80		
Ni-59 in activated metal	220		
Nb	3		
I-129	0.08		
Alpha emitting transuranic nuclides with half-life greater than 5 years	100		
Pu-241	3,500		
Cm-242	20,000		

(Units are nanocuries per gram.)

Table 2

Radionuclide	Concentration, curies per cubic meter		
	Col. 1	Col. 2	Col. 3
Total of all nuclides with less than 5 year half-life	700	(1)	(1)
H-3	40	(1)	(1)
Co-60	700	(1)	(1)
Ni-63	3.5	70	700
Ni-63 in activated metal	35	700	7000
Sr-90	0.04	150	7000
Cs-137	1	44	4600

(1) There are no limits established for these radionuclides in **Class B or C wastes**.

註說: 未規定豁免管制廢棄物(EW) 標準

4. 臺灣放射性廢棄物棄物分類(低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則)

- 1) 高放射性廢棄物係指:備供最終處置之用過核子燃料或其經再處理的萃取殘餘物
- 2) 低放射性廢棄物係:高放射性廢棄物以外的所有放射性廢棄物。對低放射性廢棄物依所含放射性活度濃度,由低至高再分為A、B、C及超C(GTCC)等四類,而分別對此四類廢棄物最終處置,規定不同之管理方式

低放射性廢棄物依其放射性核種濃度分類規定如下:

- 一、A類廢棄物:指低放射性廢棄物所含核種濃度低於(含)附表一濃度值之十分之一倍及低於(含)附表二第一行之濃度值者;
- 二、B類廢棄物:指低放射性廢棄物所含核種濃度高於附表二第一行之濃度值且低於(含)第二行之濃度值者。
- 三、C類廢棄物:指低放射性廢棄物所含核種濃度高於附表一濃度值十分之一倍且低於(含)附表一之濃度值者;或高於附表二第二行之濃度值且低於(含)第三行之濃度值者。
- 四、超C類廢棄物:指低放射性廢棄物所含核種濃度高於附表一之濃度值者;或高於附表二第三行之濃度值者。

附表一：單一長半衰期核種濃度值

核種 / 半衰期	濃度值: 10^{12} Bq/m ³
¹⁴ C / 5730 年	0.30
¹⁴ C (活化金屬內) / 5,730 年	3.0
⁵⁹ Ni (活化金屬內) / 5,730 年	8.1
⁹⁴ Nb (活化金屬內) / 7,500 年	0.0074
⁹⁹ Tc / 214,000 年	0.11
¹²⁹ I / 1,600,000 年	0.0030
TRU(半化期大於5年之超鈾阿伐放射核種)	3.7 kBq/g
²⁴¹ Pu / 24,056 年	130 kBq/g
²⁴² Cm / 163 年	740 kBq/g

附表二：單一短半衰期核種濃度值

核種 / 半衰期	濃度值 (10^{12} Bq/m ³)		
	第一行	第二行	第三行
1 半化期小於5年之所 有核種總和	26	註一	註一
³ H / 12.3 y	1.5	註一	註一
⁶⁰ Co / 5.27 y	26	註一	註一
⁶³ Ni / 100 y	0.13	2.6	26
⁶³ Ni (活化金屬內)	1.3	26	260
⁹⁰ Sr / 28.8 y	0.0015	5.6	260
¹³⁷ Cs / 30.23 y	0.037	1.6	170
	註一：B類廢棄物及C類廢棄物並無此核種濃度值之限制。可從實際執行運送、吊卸與最終處置作業時，考量體外輻射與衰變熱，而限制這些核種之濃度。除非由本表內其他核種決定廢棄物歸於C類廢棄物，否則應歸於B類廢棄物。		

臺灣 解除管制放射性廢棄物(外釋)的限值認定標準

(一定活度或比活度以下放射性廢棄物棄物管理辦法)

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)

第 1 條 本辦法依放射性物料管理法第三十一條第二項規定訂定之。

第 3 條 本辦法規定之一定活度或比活度以下放射性廢棄物 (以下簡稱廢棄物) ，指下列規定以外之固體放射性廢棄物：

一、(略)。 二、(略)。

前項廢棄物之限值，依附表之規定。

第 4 條 放射性廢棄物之活度或比活度符合前條規定限值以下者，得予外釋。廢棄物之外釋，申請者應提出載明下列事項之外釋計畫，報請主管機關核准後，始得為之：……

第 6 條 放射性廢棄物依輻射劑量評估，一年內所造成個人之有效劑量不超過 0.01 毫西弗，且集體劑量不超過一人西弗者，經提出輻射劑量評估報告及外釋計畫，報請主管機關核准後，始得外釋。

“一定活度或比活度以下放射性廢棄物外釋計畫導則” (95年)

參考:武及蘭 解除管制劑量評估之輻射曝露情節分析 (95年)

臺灣 解除管制放射性廢棄物(外釋)的限值認定標準 (一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法)

一定活度或比活度以下放射性廢棄物之限值

一、單一核種：廢棄物含單一核種之限值依下列各欄之一

核種 \ 限值	每年外釋廢棄物活度限值 (貝克)	每年外釋超過一公噸之廢棄物比活度限值 (貝克/克)	每年外釋一公噸以下之廢棄物比活度限值 (貝克/克)
H-3	1.E+9	1.E+2	1.E+6
Be-7	1.E+7	1.E+1	1.E+3
C-14	1.E+7	1.E+0	1.E+4
F-18	1.E+6	1.E+1	1.E+1
Na-22	1.E+6	1.E-1	1.E+1
Na-24	1.E+5	1.E+0	1.E+1
Si-31	1.E+6	1.E+3	1.E+3
P-32	1.E+5	1.E+3	1.E+3
P-33	1.E+8	1.E+3	1.E+5
S-35	1.E+8	1.E+2	1.E+5
Cl-36	1.E+6	1.E+0	1.E+4
Cl-38	1.E+5	1.E+1	1.E+1
K-40	1.E+6	1.E+1	1.E+2
K-42	1.E+6	1.E+2	1.E+2
K-43	1.E+6	1.E+1	1.E+1
Ca-45	1.E+7	1.E+2	1.E+4
Ca-47	1.E+6	1.E+1	1.E+1
Sc-46	1.E+6	1.E-1	1.E+1
Sc-47	1.E+6	1.E+2	1.E+2
Sc-48	1.E+5	1.E+0	1.E+1
V-48	1.E+5	1.E+0	1.E+1
Cr-51	1.E+7	1.E+2	1.E+3
Mn-51	1.E+5	1.E+1	1.E+1
Mn-52	1.E+5	1.E+0	1.E+1
Mn-52m	1.E+5	1.E+1	1.E+1
Mn-53	1.E+9	1.E+2	1.E+4
Mn-54	1.E+6	1.E-1	1.E+1
Mn-56	1.E+5	1.E+1	1.E+1

Co-57 ^o	1.E+6 ^o	1.E+0 ^o	1.E+2 ^o
Co-58 ^o	1.E+6 ^o	1.E+0 ^o	1.E+1 ^o
Co-58m ^o	1.E+7 ^o	1.E+4 ^o	1.E+4 ^o
Co-60 ^o	1.E+5 ^o	1.E-1 ^o	1.E+1 ^o
Co-60m ^o	1.E+6 ^o	1.E+3 ^o	1.E+3 ^o
Co-61 ^o	1.E+6 ^o	1.E+2 ^o	1.E+2 ^o
Co-62m ^o	1.E+5 ^o	1.E+1 ^o	1.E+1 ^o
Ni-59 ^o	1.E+8 ^o	1.E+2 ^o	1.E+4 ^o
Ni-63 ^o	1.E+8 ^o	1.E+2 ^o	1.E+5 ^o
Ni-65 ^o	1.E+6 ^o	1.E+1 ^o	1.E+1 ^o
Cu-64 ^o	1.E+6 ^o	1.E+2 ^o	1.E+2 ^o
Zn-65 ^o	1.E+6 ^o	1.E-1 ^o	1.E+1 ^o
Zn-69 ^o	1.E+6 ^o	1.E+3 ^o	1.E+4 ^o
Zn-69m ^o	1.E+6 ^o	1.E+1 ^o	1.E+2 ^o

(內容未完整)

二、多核種：廢棄物含有多核種時，應符合下列公式之要求^o

$$\sum_i \frac{C_i}{C_{i,0}} \leq 1^o$$

式 中^o

C_i : 第 i 核種之活度或比活度。^o

$C_{i,0}$: 附表之一內第 i 核種之活度
限值或比活度限值。^o

n : 所含核種的數目。^o

三. 歐-美-台 放射性廢棄物處置接收準則

1. 德國 Konrad 處置場的低放射性廢棄物接收標準
2. 美國猶他Envirocare放射性廢棄物處置場接收標準
3. 台電公司低放射性能廢棄物最終處置場廢棄物
接收標準(草案)

1. 德國 Konrad 處置場 的低放射性廢棄物接收標準

核電廠運往Konrad repository(康拉德處置場)的低放射性廢棄物(LILW)必須經過適當的調節，並接受聯邦放射性廢物處置公司(BGE)的產品控制，以驗證符合廢棄物接受標準(WAC)。在目前康拉德 WAC 中，規定以下要求 (Brennecke, 2014)：

1. 不同幾何形狀的廢棄物包裝的表面劑量率限制。
2. α 、 β 輻射線的表面污染限值 (100 bq/cm²)。
3. 廢物包裝內的最大壓力不可超過 (1.2 bars)。
4. LILW 分為6類 (APG)：(APG1) 瀝青和塑料、(APG2) 固體、(APG3) 金屬、(APG4) 壓塊、(APG5) 膠結廢物、(APG6) 濃縮物。
5. 僅接受固體穩定 (或固定) 放射性廢棄物。
6. 廢棄物不得在包裝內會產生腐爛或發酵。
7. 液態和氣態廢物不被接受。
8. 不接受易燃及易爆廢棄物。
9. 除天然鈾和貧化鈾外，裂變材料 (例如 233U、235U、239Pu 等) 的數量限制為 0.1 立方米廢棄物中的僅小於50 公克的限制。
10. 廢棄物組的盛裝容器須經 5 m 高處跌墜落和溫度到 800°C 時測試，廢棄物容器必須保持完整。
11. 根據運行階段和運行後階段的安全分析，對 3H、14C 或 129I 等揮發性活性的限制是根據它們從廢棄物中的釋放率來定義的，在 40 年的運營階段，釋放率不得超過廢物庫存的 1%。並限制處置庫運行階段通過空氣通路向公眾暴露。
12. 限制非活性有機和無機材料 (例如 Beryllium 或磷酸三丁酯) 的存量 (即質量)，這些材料可能對當地的循環水造成危害。
13. 為處置的每個廢棄物包須先提出規定文件申請。



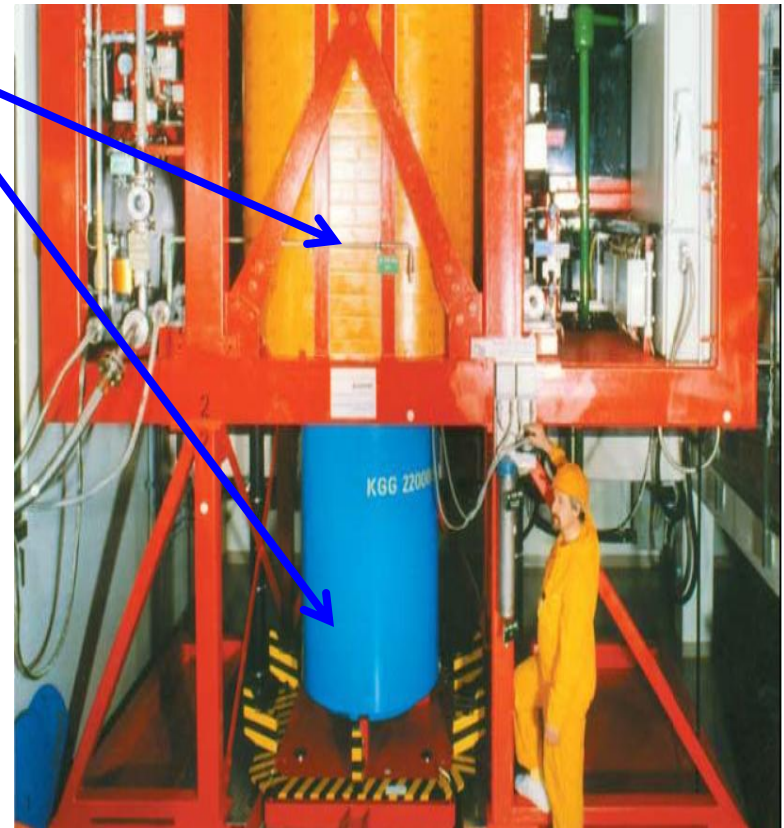
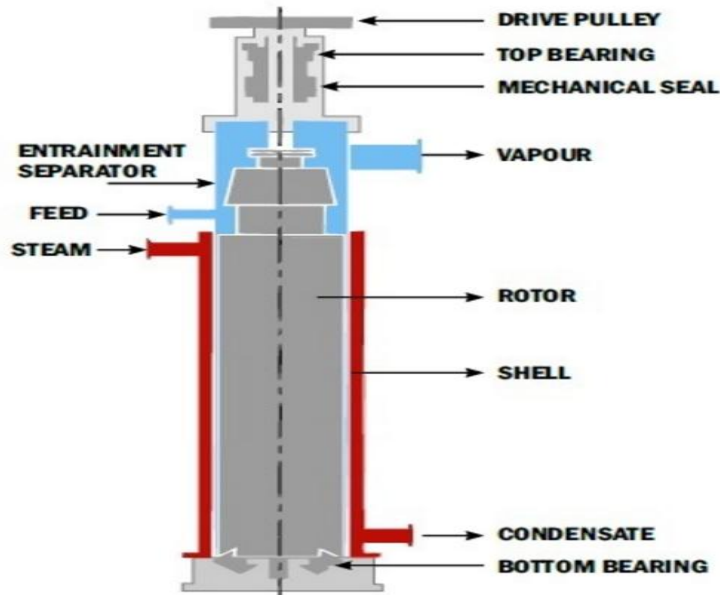
廢液處理系統濾漿直接濃縮蒸乾裝桶(不必水泥固化—增加體積)

蒸發濃縮器+HIC盛裝容器

(不必水泥固化, 大幅減容!)
可完全符合最終處置場 接受標準

• 能够獲得乾式穩定顆粒固體

Agitated Thin Film Dryer



蒸發器為可拆裝車移動式

2. 美國猶他 Envirocare 低放射性廢棄物處置場的放射性廢物接受準則

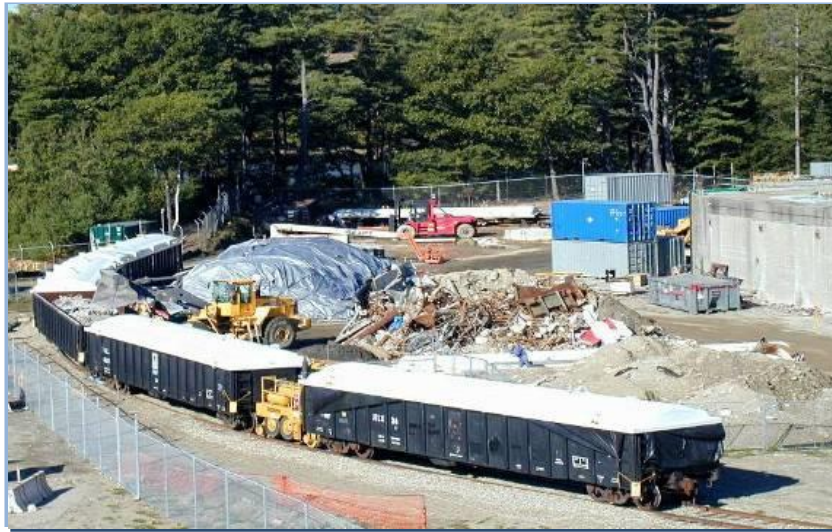
處置場係為地上處置單元性質，處置各單元的設計遵循DOE 和 EPA 規範為VITRO 隕圍方式

- 許可證授權可接受的放射性廢棄物物料為放射性廢棄物土壤和碎屑。
- 許可證的條件為將可壓實土壤定義為 (A)四 (4") 英寸格柵的材料，
(B)體積密度根據 ASTM D-698 (標準) 可更大。
- 同樣的條件將碎片定義包括除役 (清理) 和日常產生的運營廢棄物包括
但不限於放射性污染的紙、管道、岩石、玻璃、金屬、混凝土、木材、
磚塊、樹脂、污泥、尾礦、礦渣、殘渣和個人防護用品符合碎片尺寸要求的設備 (PPE)。
- 這兩種形式的材料之間的主要區別在於它們在處置中的處理方式。
符合土壤定義的廢料可直接放入12 英寸提升並在水分含量高達 3% 的情況下將其壓實至最佳密度的 90%高於最佳濕度的百分比。
碎片需要在處置前進行額外處理取決於材料的大小。碎片根據尺寸大小分為兩大類。第一類是標準碎片包括小於 10 英寸且不超過任何尺寸12 英尺。另外一類為不符合此尺寸限制的碎片被歸類為超大形碎片。



Clive, Utah site (猶他州克萊夫處置場)

可接收來自美國任何地方產生的大部分低放性能廢棄物。
這場地是領有NRC和 猶他州牌照可接收處置C類廢棄物棄物。
目前EnergySolutions 公司接收C類廢棄物的費用標準約為
2,600 歐元/立方公尺。



緬因核電廠(Maine Yankee Plant)

除役A類廢棄物棄物通常以散裝形式運輸 (如圖示) 到EnergySolutions 在猶他州克萊夫的最終處置設施地點以未包裝的方式處置。



低微污染(class A類)

建築物水泥粉粹物裝入太空包後, 可送最終處置場當填充料

---NRC 報告

3. 台電公司低放射性能廢棄物最終處置場廢棄物接收規範(草案) (原能會備查)

壹. 依據

「低放射性廢棄物最終處置場廢棄物接收規範」(草案)

貳. 基本要求

所有放射性廢棄物之品質、包裝、裝載、運輸、及接收必須根據政府機關所頒布或經主管機關核准之適用法規、導則、及標準進行。

參. 廢棄物接收準則

1. 放射性

1.1. 比活度限值：核種之比活度應依「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」中之廢棄物分類最高安全限值，做為各類廢棄物之接收標準，若採混合處置，則以較高類別之限值為主。

1.2. 核種總活度限值(場址選後訂定)

1.3. 進處置場之所有廢棄物包件於無遮罩情況下，其表面外3公尺處之最大輻射劑量率，應小於每小時10毫西弗；運送工具外表面之最大輻射劑量率，不得大於每小時2毫西弗；距外表面二公尺處，不得大於每小時0.1毫西弗。

1.4. 運送至處置場之包件其表面非固著污染，在貝他、加馬發射體及低毒性阿伐發射體之污染限值不得超過4貝克/平方公分，其他發射體污染限值不得超過0.4貝克/平方公分。

2. 結構穩定性

2.1. 廢棄物包件必須具結構穩定性。

2.2. 廢棄物物理特性

2.2.1. 廢棄物均勻固化後，應符合以下之規定：

A. 水泥或電漿熔融固化體單軸抗壓強度，應大於每平方公分15公斤；柏油固化體之抗壓強度以針入度測試，其針入度應小於一〇〇。

B. 滲濾指數應大於六。

C. 經耐水性測試後，應符合前述A條之規定。

D. 經耐候性測試後，應符合前述A條之規定。

E. 經耐輻射測試後，應符合前述A條與B條之規定。

F. 經耐菌性測試後，應符合前述A條之規定。

美國已無此外方面規定！

大陸仍有類似規定：

1. GB 16933-1997 放射性廢物近地表處置的廢物接收準
2. GB 14569.1-11 低、中水準放射性廢物固化體性能要求—水泥固化體

3. 廢棄物化學及生物特性

- 3.1. 自由水之體積不得超過總體積百分之零點五。
- 3.2. 在常溫常壓下不致引起爆炸。
- 3.3. 廢棄物應具耐火性。
- 3.4. 廢棄物不得含有毒性、腐蝕性及感染性之物質。
- 3.5. 不得含有或產生危害人體之有毒氣體、蒸氣及煙霧。
- 3.6. 經均勻固化之廢棄物，應經主管機關核准後，始得進行處置場之接收。
- 3.7. 廢棄物若含有生物、病原體、傳染病毒或用來處理這些物質之設備(如注射器、試管、毛細管)，必須按事業廢棄物處理之要求加以處理，使其潛在危害減至最低程度。
- 3.8. 溼性廢棄物處理前所含有螯合劑之濃度若超過0.1%(以重量計)，則必須固化處理。對於含有0.1%以上螯合劑(以重量計)之廢料必須特別標明，且必須估計螯合劑之重量百分比。螯合劑之定義為聚羧酸胺(如EDTA，DTPA)，羧基酸(如檸檬酸、酚及葡萄糖酸)。

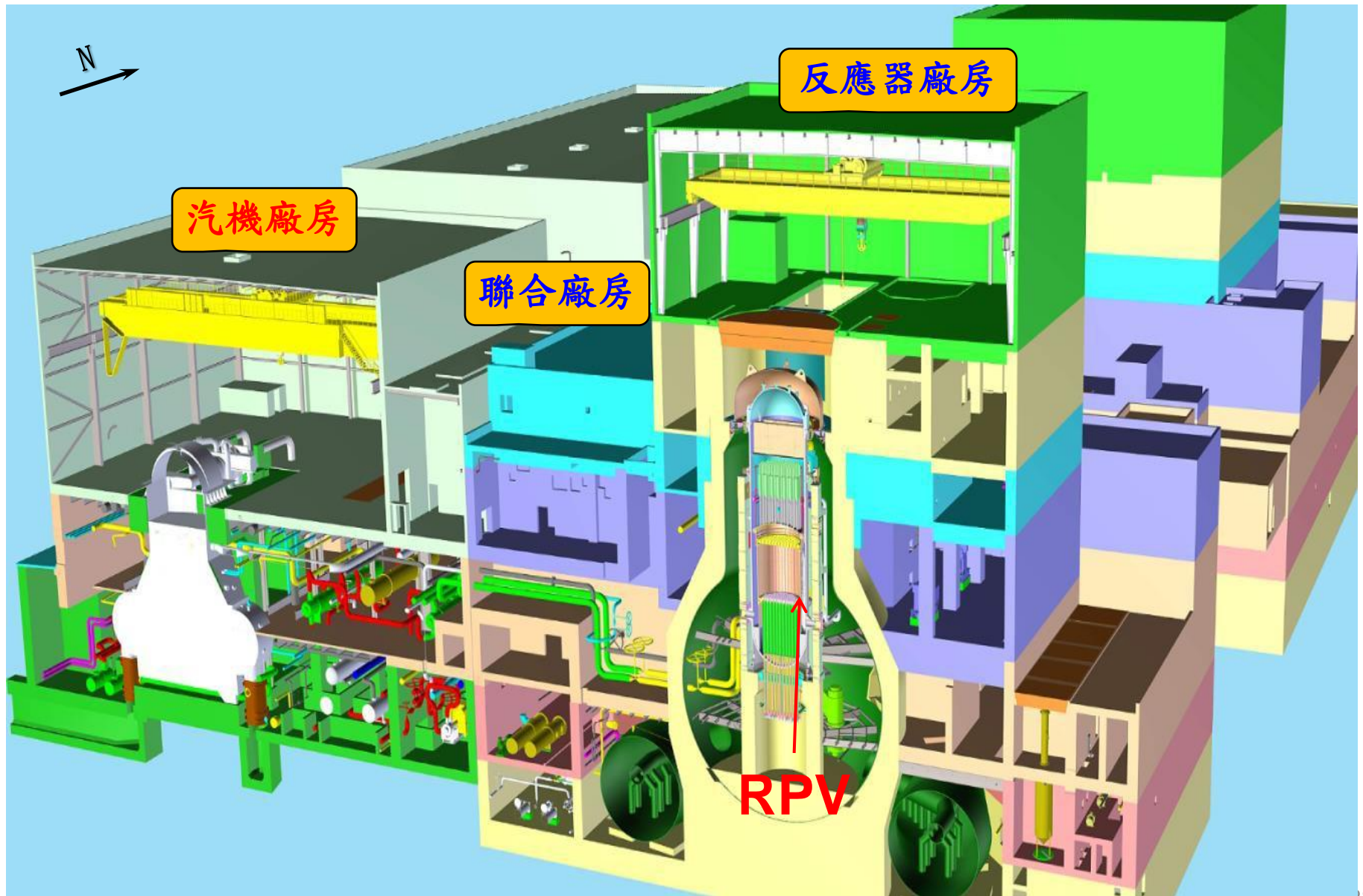
4. 盛裝容器

- 4.1. 放射性廢棄物盛裝容器須向原能會申請核准後，才能使用。
- 4.2. 低放射性廢棄物之盛裝容器，在最終處置場接收時，不得破損、裂縫、鏽蝕、腐蝕等現象，此外並不得出現下列情況：
 - (A)內容物流失
 - (B)由於生鏽或其它會造成容器喪失其完整性的化學作用所引起之劣化。
- 4.3. 廢棄物盛裝容器若採高完整性容器，其結構完整性應至少維持三百年以上。
- 4.4. 廢棄物盛裝容器之標示，應符合原能會「放射性物質安全運送規則」之規定。

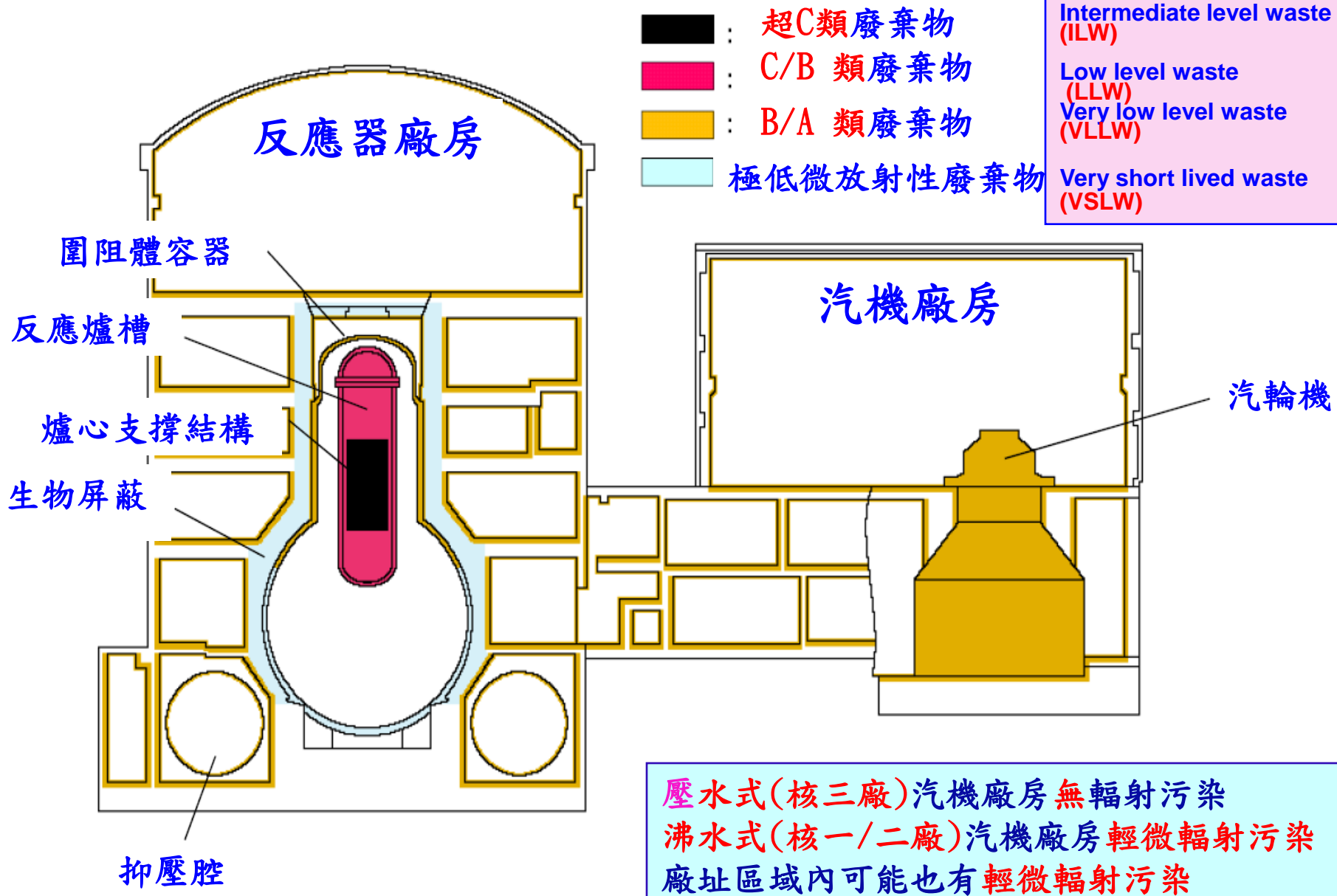
四. 核電廠除役設施區域輻射特性範圍和廢棄物類別

1. 核一廠(BWR)的廠房設施環境(廠房立體側視剖面圖)
2. 核一廠廠房設施區域輻射特性範圍和廢棄物類別估計示意圖
3. 核電廠除役專案作業主要步驟
4. 台電核電廠除役計畫目標

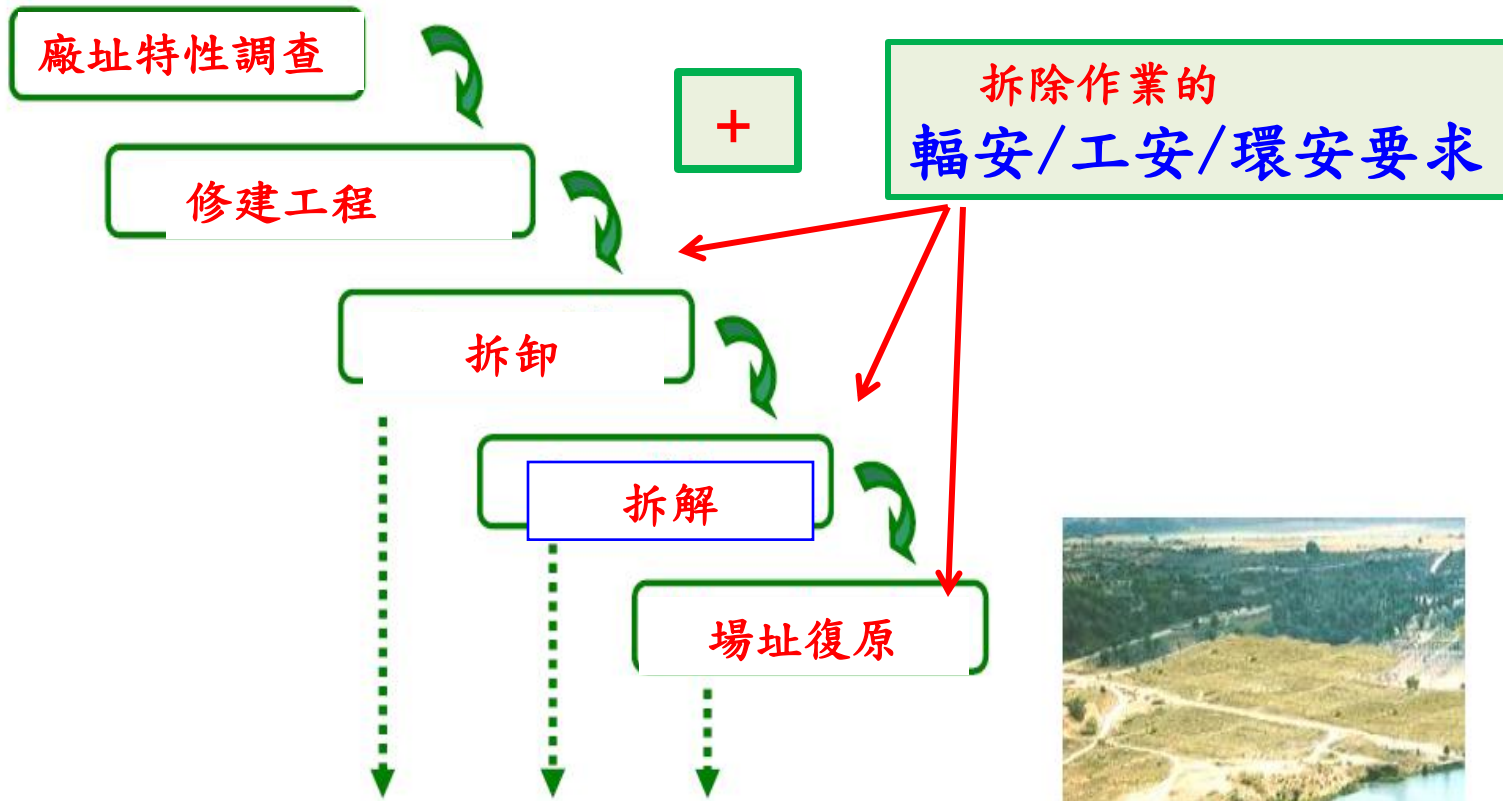
1. 核一廠(BWR)的廠房設施環境(廠房立體側視剖面圖)



2. 核一廠廠房設施區域輻射特性範圍和廢棄物類別估計示意圖



3. 核電廠除役專案作業主要步驟



除役產生大量廢棄物物料管理

4. 台電核電廠除役計畫目標—(2013.5.報告)

除役計畫優質訴求目標應是：

- 1). 作業全程充分符合輻安及工安要求——— 零傷害事故
- 2). 少量放射性廢棄物的產出———佔拆除物料量的< 6%
- 3). 使放射性廢棄物的產出及盛裝———符合最終處置接收條件
- 4). 拆除後無污染金屬、電氣及混凝土等物料———得再利用
- 5). 使土地或設施可再利用———(應含公共利益用途)

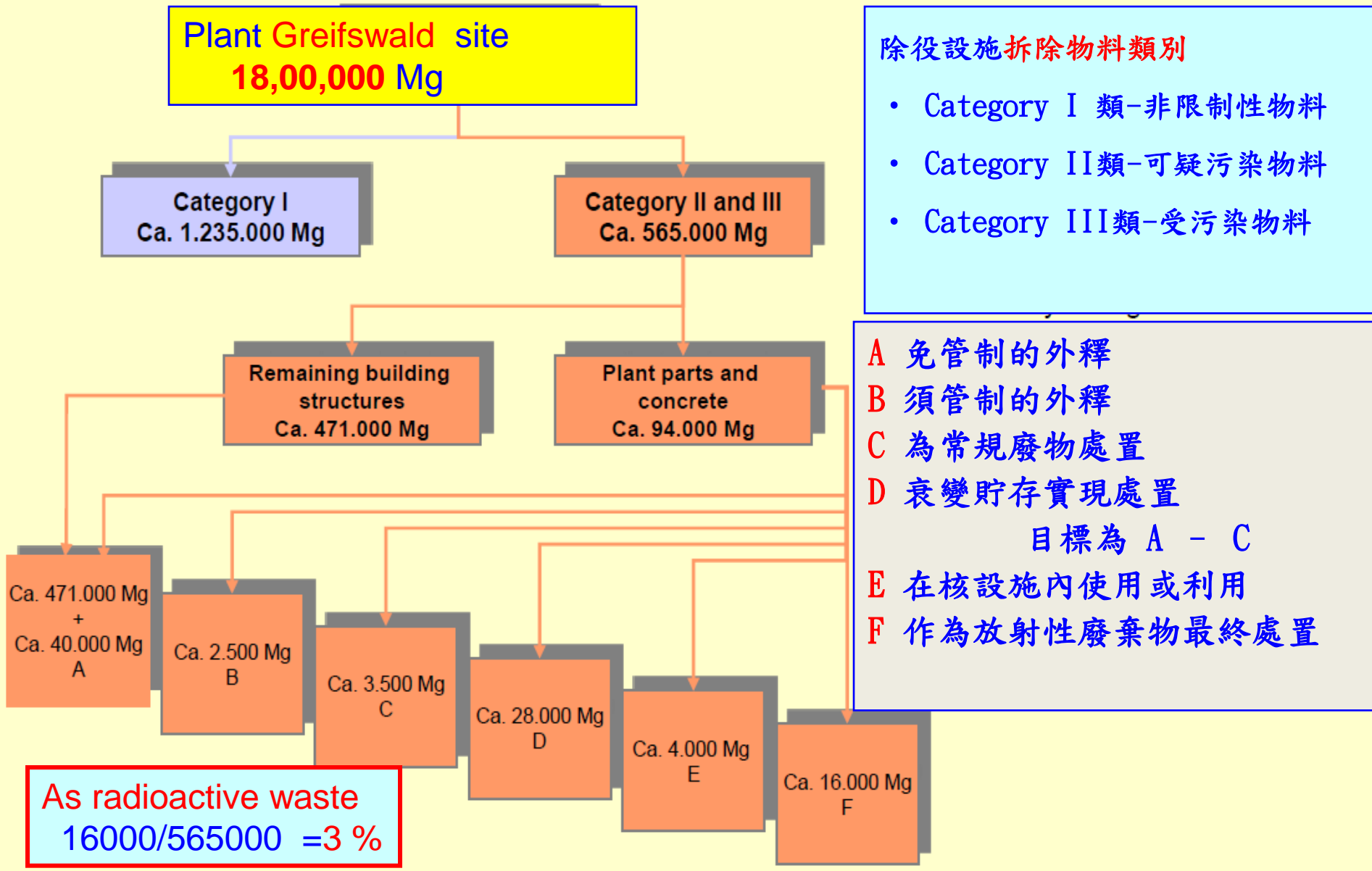
除役作業要求：

- 設施的輻射狀況評估
- 清除核設施的放射性物使廠址符合允許免管制水準
(0.25mSv/y), 獲得終止原許可證
- 證明該設施廢棄物棄物滿足可免除管制釋放的要求

五. 歐-美-台 核電廠除役放射性廢棄物產生量與管理策略探討

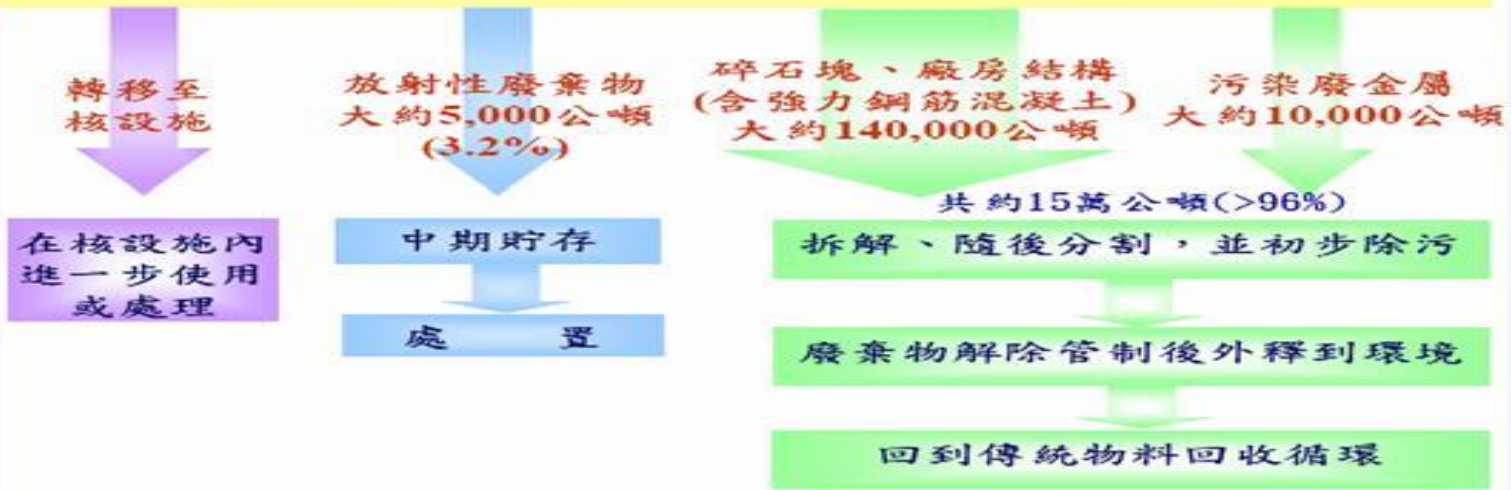
1. 德國Greifswald / Stade / Grafenrheinfeld 核電廠除役放射性廢棄物產生量與目標
2. 西班牙José Cabrera 核電廠除役產生物料總量結果
3. 美國 Vermont Yankee 核電廠除役各類放射性廢棄物產生量
4. 歐盟-美國 核電廠除役放射性廢棄物量估算和實際值比較
5. 歐盟-美國 核電廠設施拆除前的除污策略和放射性廢棄物管理策略差異探討
6. 台電公司各核電廠除役廢棄物分類重量(MT)推估結果
7. 台灣核電廠停止運轉前除役放射性廢棄物產生量估算探討

1. 德國Greifswald(VVER核電廠除役放射性廢棄物產生量與目標



例：PWR核電廠除役物料重量流向（德國經驗）

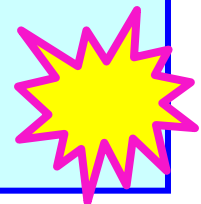
核電廠運轉與除役產生之廢棄物重量約15.5萬公噸



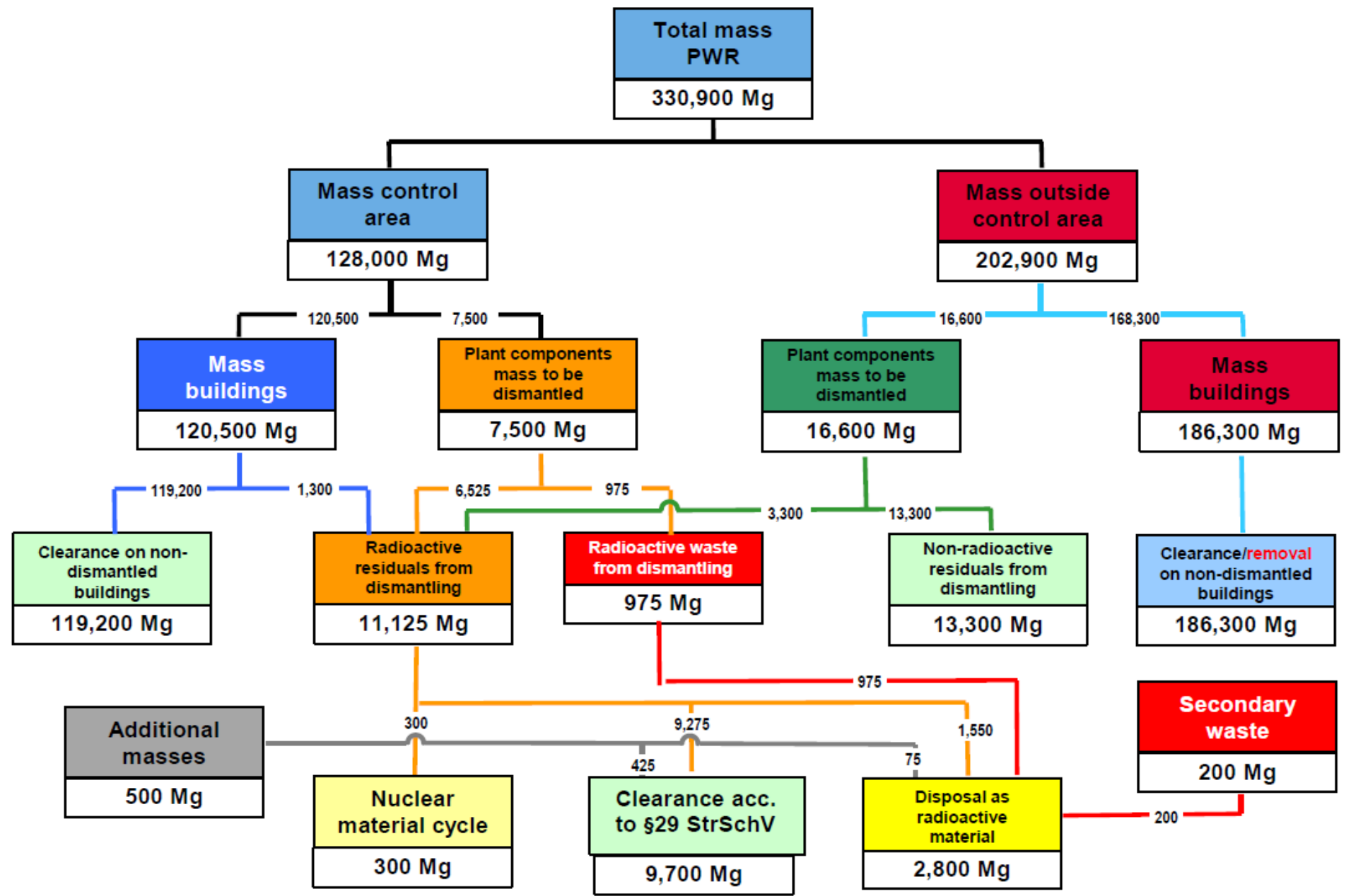
妥善前置規劃後，以德國 Stade (PWR)核電廠除役為例：

核電廠運轉與除役產生之廢棄物棄物重量：約15.5萬公噸，
其中 約15萬公噸 可外釋，
僅約0.5萬公噸 必須最終處置(收費~15萬元/桶)

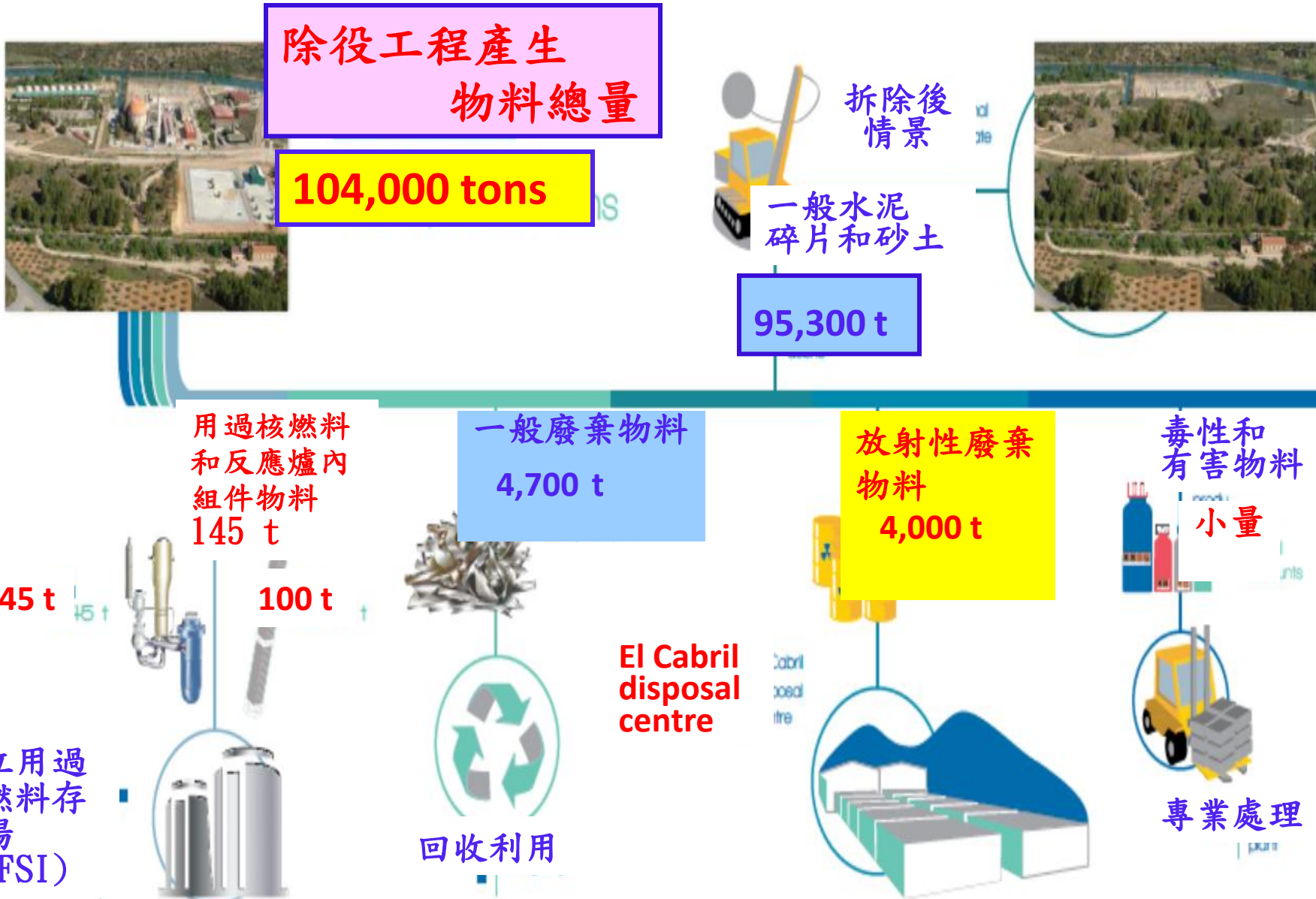
(可豁免管制外釋及回收率 > 96%)



德國 KKG Grafenrheinfeld (PWR) 核電廠除役廢棄物產生量管理



2. 西班牙 José Cabrera (PWR) 核電廠拆除作業執行結果



3. 美國 Vermont Yankee 核電廠除役各類放射性廢棄物產生量

<u>Waste</u>	<u>Class</u>	<u>Waste Volume</u> (cubic feet)	<u>Mass</u> (pounds)
Low-Level Radioactive Waste (near-surface disposal)	A	664,829	43,733,487
	B	1,002	88,330
	C	505	71,287
Greater than Class C (geologic repository)	GTCC	357	65,690
Total		1 666,693	43,958,794

- 根據 49 CFR §173-178 的定義，大多數廢棄物被歸類為含有 A 類低比活度(LSA) 或表面污染物體 (SCO) 物料。運輸容器是工業包裝規格。
- 從輻射管制區域移出後被認為可能受到污染的廢棄物將被送往田納西州的處理設施(污染金屬熔融處理)。預計這些材料大部分在檢測後被認定為非屬放射性物料。之外剩餘的污染廢棄物被送到最終處置。
- 需處置的廢棄物料被送到 Envirocar Utah 處置場。

4. 歐盟-美國 核電廠除役放射性廢棄物量估算和實際比較值

Waste Type (U.S. Classification)	Estimate for Selected <u>European</u> Plants (m ³)	<u>Maine Yankee - US</u> (860 MWe-PWR) (m ³)	<u>Rancho Seco - US</u> (913 MWe-PWR) (m ³)
Very Low Level and Low Level (<u>Class A</u>)	2,911	90,650	17,244
Intermediate Level (Class B and C)	2,459	570	93
Greater Than Intermediate Level (GTCC)	109	Not Available	11
Total	5,479	106,610	17,348
設施拆除前 除污策略	建築物和設備 先盡量除污	建築物和設備 稍去污	建築物去污 設備稍去污



數量差很大

從表中可看出，美國電廠除役產生的大部分放射性廢棄物是低活度的 A 類。

5. 歐盟-美國 核電廠設施拆除前的除污策略和 放射性廢棄物處置策略差異探討

上表中顯示歐洲核電廠除役產生的放射性廢棄物棄物量比美國電廠少很多，其主要原因之一是：

- 美國的除役廢棄物類別中相屬於低水平的廢棄物者，其含有相當數量是符合歐洲的清除標準類別，並可作為常規廢棄物處置。
- 美國已有可接收核電廠大部分低放射性廢棄物最終處置場有：
EnergySolutions/Envirocare - Clive, Utah site ,
Tennessee Licensed Landfills ,
US Ecology 行Idaho Facility ,
Andrews, Texas Site .
- 歐洲的廢棄物最終處置成本與美國相比是要較高的費用，因此，在歐洲不少廢棄物量需被再除污處理到免管制標準以符合“免管制外釋”要求。
- 歐洲核電廠拆除前的建築物和設備除污策略為：
盡力先行除污，美國要求不同。

6. 台灣核電廠停止運轉前除役放射性廢棄物產生量估算

- 依據『核子反應器設施管制法』第23條 規定
經營者應於核子反應器設施預定永久停止運轉之3年前(註:設施管線系統和設備內仍含有輻射液體)向主管機關提出除役申請。

- 依據「核子反應器設施除役許可申請審核及管理辦法」第2條、第3條之規定,提出核一廠除役計畫。除役計畫,應載明下列事項:

第一章 綜合概述、運轉歷史、曾發生之重大事件及其影響。

第二章 設施系統、設備、組件與材料之放射性活度調查方法及初步評估結果。

第三章 除役目標、時程、使用之設備、方法及安全作業程序。

第四章 除役期間仍須運轉之系統、設備、組件及其運轉方式。

第五章 除役期間預期之意外事件之安全分析。

第六章 除污方式及除役期間放射性廢棄物氣、廢棄物液處理。

第七章 除役放射性廢棄物棄物之類別、特性、數量、減量措施
其處理運送、貯存與最終處置規劃。

第八章 輻射劑量評估及輻射防護措施。

第九章 環境輻射監測

第十章 組織及人員訓練

第十一章 核子保防物料及其相關設備之管理

第十二章 廠房及土地再利用規劃。

第十三章 品質保證方案。

第十四章 保安措施。

第十五章 意外事件應變方案。

第十六章 技術與管理能力及財務基礎報告,並載明負擔設施除役與其所產生放射性廢棄物棄物管理所需經費來源及財務規劃。

第十七章 其他經主管機關公告之事項。

在此設施環境條件
下,要花費如此心
力所獲得數據價值
性實待商榷

核一廠除役計畫 表4-10 A 沸水式(BWR)停爐時反應器廠房 輻射劑量偵測結果

編號	偵檢包	偵檢包名稱	空間劑量率 (mSv/h)	平均劑量率 (mSv/h)	背景劑量率 (mSv/h)	表面活度(Bq/100 cm ²)	
		(廠房區域)				α	β
1	A10100	一號機汽機廠房 17.25'	0.00009 ~ 0.018	0.0022	0.00009	<MDA(0.292)	<MDA(0.311) ~ 7.6
2	A10200	一號機汽機廠房 39.83'	0.0001 ~ 0.0055	0.00077	0.00007	<MDA(0.292)	<MDA(0.311) ~ 2.18
3	A10300	一號機汽機廠房 73.83'	0.00012 ~ 0.013	0.0012	0.00012	<MDA(0.292)	<MDA(0.311) ~ 0.5
4	A10400	一號機反應器廠房 TORUS_-0.83' & 17.33	0.00018 ~ 0.65	0.17	0.00009	<MDA(0.292)	<MDA(0.311) ~ 619
5	A10500	一號機反應器廠房 39.83'	0.0006 ~ 0.11	0.013	0.004	<MDA(0.292)	<MDA(0.311) ~ 91.8
6	A10600	一號機反應器廠房 67.33'	0.0016 ~ 2.2	0.066	0.004	<MDA(0.292)	<MDA(0.311) ~ 76.2
7	A10700	一號機反應器廠房 95.00'	0.001 ~ <u>11.7</u>	0.045	0.12	<MDA(0.292)	<MDA(0.311) ~ 42.6
8	A10800	一號機反應器廠房 10.00'	0.00049 ~ 1.2	0.10	0.004	<MDA(0.292)	<MDA(0.311) ~ 22.2
9	A10900	一號機反應器廠房	~ 0.06	0	0	<MDA(0.292)	<MDA(0.311) ~ 109
10	A11000	一號機廢料廠房 -0.83'	0.0002 ~ 0.56	0	0	703	<MDA(0.311) ~ 915
11	A11100	一號機廢料廠房 17.33'	0.00057 ~ 30	0	0		<MDA(0.311) ~ 63.9
12	A11200	一號機廢料廠房 39.83'	0.00046 ~ 0.4	0.075	0.006	<MDA(0.292)	<MDA(0.311) ~ 92.7
13	A11300	一號機廢料廠房 56.83'	0.0004 ~ 1.4	0.34	0.006	<MDA(0.219)	<MDA(0.320) ~ 42.7
14	A11400	一號機廢料廠房 78.83'	0.0003 ~ 1.2	0.20	0.006	<MDA(0.292)	<MDA(0.314) ~ 57.1
15	A11500	一號機廢料廠房 0.83'	0.00012 ~ 0.0040	0.0022	0.00012	<MDA(0.292)	<MDA(0.311) ~ 2.02

反應器廠房

工作人員作業5小時
就超過安全標準
50毫西弗(mSv)

壓水式(PWR)停爐時反應器廠房 輻射劑量量測結果

1 西弗(Sv) =
100 倫目(Rem)

Measurement Point Prefix	Corresponding Elevation, m (ft)
1A - xx	13.72 (45)
2A - xx	18.59 (61)
3A - xx	23.47 (77)
4A - xx	28.35 (93) - Operating Level

Measurement Point(a)	位置	量測距離	劑量率 Rem/hr
• Reactor Containment Building			
1A-01	Reactor Coolant Pump Bowl	Contact	12-30 ^(c)
1A-02	RCS Piping, cold leg	Contact	0.5-0.6
1A-03	Steam Generators	General Area	0.05-0.4
1A-04	Emergency Personnel Lock	Inside Lock Area	0.001-0.012
1A-05	Floor Drains	Contact	0.1-0.6
1A-22	Pressurizer Area	General Area	≤0.2
2A-02	Regenerative Heat Exchanger (Hx)	Contact	1-15
2A-04	Between Steam Generator (SG) Enclosure and Containment Vessel (CV) wall	General Area	≤0.025
2A-07	Between RCS Pumps and SG's	General Area	0.1-0.9
3A-01	Between Upper Internals Storage and CV Wall	General Area	0.02-0.1
3A-05	Near CV Wall	General Area	0.005-0.02
4A-01	Reactor Cavity, Inside Edge	General Area	0.1-1
4A-03	Steam Generators	General Area	≤0.2
• Auxiliary Building			
1A-30	Component Cooling Water Pumps	General Area	≤0.15
1A-32	Waste Tank Room	General Area	0.2-0.4
1A-35	Treated Waste Monitor Tanks	Contact	0.01-0.3
2A-12	Pipeway	General Area	0.05-0.15
2A-13	Resin Storage Tank	General Area	>0.4
2A-15	Volume Control Tank	General Area	1-3
2A-20	Radwaste Evaporator Room	General Area	0.25-0.5
3A-12	Waste Evaporator Panel	General Area	0.001-0.01
3A-25	Demineralizers	General Area	0.01 -0.2
4A-13	HEPA Exhaust Filters	Contact	≥0.005
• Fuel Building			
1A-27	Waste Holdup Tank Rooms	General Area	2-5
1A-28	Water Heat Exchangers	General Area	0.07-0.14
1A-29	Gas Stripper Feed Pumps	General Area	≥0.025
2A-10	Drumming Room	General Area	0.2-1.5
2A-17	Drumming Room Entrance	General Area	0.2
2A-19	CVCS Monitor Tanks	Contact	≤0.3
3A-08	Boric Acid Evaporator Room	General Area	0.3-0.5
3A-10	Spent Fuel Pool Pump	General Area	≥0.05
3A-14	Spent Fuel Pool Skimmer Filters	General Area	≥0.1
4A-08	Controlled Access Machine Shop	General Area	0.02-0.1
4A-12	Spent Fuel Pit	General Area	≥0.025

人員嚴禁接近

● 原子能委員會安全審查報告

原能會召開核一廠除役計畫綜合審查聯席總結會議，綜合專案小組各分組審結意見、安全審查報告之審查結論及參採公眾意見，決議如下：

為確保核一廠除役計畫如質如期完成，台電公司應依除役實際執行情形，提出除役年度執行報告暨除役計畫修正版，於次年二月底前，提報主管機關審核。

第四章 廠址與設施之輻射特性調查及評估結果(審查主要結論)

核一廠目前仍處於運轉狀態，現階段的廠址與設施之輻射特性調查及評估結果，僅執行部分現場輻射量測及取樣分析。台電公司承諾於永久停機後，會將詳細之輻射特性調查作業計畫，於作業6個月前提報主管機關審核。

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(審查主要結論)

台電公司參考美國核管會報告NUREG/CR-0672、NUREG/CR-6174，以及西屋公司(Westinghouse)之除役經驗，進行核一廠除役期間各類放射性廢棄物產量之盤點，審查結果可以接受。

第十章 輻射劑量評估及輻射防護措施(審查主要結論)

台電公司承諾於拆除作業前，進行細部規劃，以更新工作人員劑量評估。本項列為重要管制事項進行追蹤。

註說：除役計畫章節 在 108.08.14 核子反應器設施除役計畫審查導則 與 107.11.16 核子反應器設施除役許可申請審核及管理辦法 有差異！

核一廠除役

表 9-20 系統除污後金屬廢棄物盤點結果

重量(kg) 活度(Bq)	聯合結構廠房 一號機	聯合結構廠房 二號機	汽機廠房 一號機	汽機廠房 二號機	合計
超 C 類	3.60 x 10 ⁴ 1.14 x 10 ¹⁶	3.60 x 10 ⁴ 1.14 x 10 ¹⁶	0 0	0 0	7.20 x 10 ⁴ 2.28 x 10 ¹⁶
C 類	2.16 x 10 ⁵ 1.35 x 10 ¹⁵	2.16 x 10 ⁵ 1.35 x 10 ¹⁵	1.95 x 10 ³ 2.80 x 10 ¹²	1.95 x 10 ³ 2.80 x 10 ¹²	4.35 x 10 ⁵ 2.71 x 10 ¹⁵
B 類	3.20 x 10 ⁵ 7.33 x 10 ¹³	3.20 x 10 ⁵ 7.33 x 10 ¹³	3.71 x 10 ⁴ 7.23 x 10 ¹²	3.71 x 10 ⁴ 7.23 x 10 ¹²	7.13 x 10 ⁵ 1.61 x 10 ¹⁴
A 類	1.84 x 10 ⁶ 4.56 x 10 ¹³	1.84 x 10 ⁶ 4.56 x 10 ¹³	2.50 x 10 ⁶ 1.28 x 10 ¹²	2.50 x 10 ⁶ 1.28 x 10 ¹²	8.68 x 10 ⁶ 9.38 x 10 ¹³
可外釋 (<100 Bq/kg)	1.06 x 10 ⁶ 1.71 x 10 ¹	1.06 x 10 ⁶ 1.71 x 10 ¹	1.89 x 10 ⁶ 7.80 x 10 ⁵	1.89 x 10 ⁶ 7.80 x 10 ⁵	5.91 x 10 ⁶ 1.56 x 10 ⁶
合計	3.48 x 10 ⁶ 1.29 x 10 ¹⁶	3.48 x 10 ⁶ 1.29 x 10 ¹⁶	5.71 x 10 ⁶ 1.13 x 10 ¹³	5.71 x 10 ⁶ 1.13 x 10 ¹³	1.58 x 10 ⁷ 2.58 x 10 ¹⁶

註：本表數值為各核種衰變至 2018 年 12 月 5 日之推估結果。

表 9-21 混凝土廢棄物盤點結果

重量(kg) 活度(Bq)	聯合結構廠房	汽機廠房	合計
超 C 類	0 0	0 0	0 0
C 類	0 0	0 0	0 0
B 類	0 0	0 0	0 0
A 類	2.59 x 10 ⁶ 6.92 x 10 ¹³	9.61 x 10 ⁴ 6.43 x 10 ¹¹	2.69 x 10 ⁶ 6.98 x 10 ¹³
可外釋 (<100 Bq/kg)	2.34 x 10 ⁸ 0	1.47 x 10 ⁸ 0	3.80 x 10 ⁸ 0
合計	2.36 x 10 ⁸ 6.92 x 10 ¹³	1.47 x 10 ⁸ 6.43 x 10 ¹¹	3.83 x 10 ⁸ 6.98 x 10 ¹³

註：本表數值為各核種衰變至 2018 年 12 月 5 日之推估結果。

核二廠除役

表 9-17 污染金屬廢棄物之初步盤點結果(系統除污後)

重量(kg) 活度(Bq)	反應器 廠房	輔助廠房	汽機廠房	廢料廠房	燃料廠房	控制廠房	其他廠房	合計
超 C 類	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
C 類	0 0	0 0	0 0	3.78×10^4 1.36×10^{13}	0 0	0 0	0 0	3.78×10^4 1.36×10^{13}
B 類	2.21×10^2 4.22×10^9	9.73×10^1 1.31×10^{10}	2.82×10^4 3.08×10^{11}	4.14×10^3 7.70×10^{11}	1.08×10^1 1.55×10^9	0 0	0 0	3.27×10^4 1.10×10^{12}
A 類	2.93×10^6 2.97×10^{13}	1.31×10^6 7.98×10^{12}	8.02×10^6 2.46×10^{13}	1.05×10^6 1.57×10^{13}	1.17×10^6 8.16×10^{13}	1.43×10^3 3.46×10^9	1.77×10^6 1.02×10^{12}	1.60×10^7 1.61×10^{14}
放射性 廢棄物	2.93×10^6 2.97×10^{13}	1.31×10^6 7.99×10^{12}	8.05×10^6 2.49×10^{13}	1.09×10^6 3.00×10^{13}	1.17×10^6 8.16×10^{13}	1.43×10^3 3.46×10^9	1.77×10^6 1.02×10^{12}	1.63×10^7 1.75×10^{14}
可外釋	2.21×10^6 0	6.15×10^5 0	4.95×10^6 4.35×10^5	5.27×10^5 0	2.55×10^5 0	4.89×10^5 0	5.55×10^6 3.36×10^5	1.46×10^7 7.71×10^5
合計	5.14×10^6 2.97×10^{13}	1.93×10^6 7.99×10^{12}	1.30×10^7 2.49×10^{13}	1.61×10^6 3.00×10^{13}	1.42×10^6 8.16×10^{13}	4.90×10^5 3.46×10^9	7.09×10^6 9.45×10^{11}	3.07×10^7 1.75×10^{14}

註 1：本表污染類數值為核二廠兩部機組各核種衰變至 2021 年 12 月 28 日之推估結果。

註 2：可外釋係指各核種的總比活度小於 100 Bq/kg，亦包含管制區內確認無污染之廢棄物。

註 3：其他廠房包含輔助鍋爐間、柴油機機房、洗衣廠房、水處理間及雜項廢液廠房等。

表 9-18 混凝土廢棄物之初步盤點結果

重量(kg) 活度(Bq)	反應器 廠房	輔助廠房	汽機廠房	廢料廠房	燃料廠房	冷凝水 儲存槽 廠房	其他廠房	合計
超 C 類	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
C 類	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
B 類	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
A 類	3.09×10^6 1.40×10^{14}	4.63×10^5 3.02×10^{12}	4.77×10^4 4.12×10^{11}	4.07×10^5 2.01×10^{12}	1.06×10^5 9.29×10^{12}	9.63×10^4 4.16×10^{10}	1.05×10^5 1.16×10^{11}	4.32×10^6 1.55×10^{14}
放射性 廢棄物	3.09×10^6 1.40×10^{14}	4.63×10^5 3.02×10^{12}	4.77×10^4 4.12×10^{11}	4.07×10^5 2.01×10^{12}	1.06×10^5 9.29×10^{12}	9.63×10^4 4.16×10^{10}	1.05×10^5 1.16×10^{11}	4.32×10^6 1.55×10^{14}
可外釋	1.05×10^8 0	1.56×10^8 0	1.74×10^8 0	9.44×10^7 0	6.23×10^7 0	1.26×10^7 0	8.98×10^7 0	6.95×10^8 0
合計	1.08×10^8 1.40×10^{14}	1.57×10^8 3.02×10^{12}	1.74×10^8 4.12×10^{11}	9.48×10^7 2.01×10^{12}	6.24×10^7 9.29×10^{12}	1.27×10^7 4.16×10^{10}	8.99×10^7 1.16×10^{11}	6.99×10^8 1.55×10^{14}

註 1：本表污染類數值為核二廠兩部機組各核種衰變至 2021 年 12 月 28 日之推估結果。

註 2：可外釋係指各核種的總比活度小於 100 Bq/kg，亦包含管制區內確認無污染之混凝土。

註 3：其他廠房包含輔助鍋爐間、柴油機機房、洗衣廠房、水處理間、雜項廢液廠房、控制廠房及一號低放射性廢棄物貯存庫等。

核 三 廠 除 役

表 9-15 污染類金屬廢棄物(含可外釋)之盤點結果(系統除污後)

重量(kg) 活度(Bq)	圍阻體 廠房	輔助廠房	汽機廠房	廢料廠房	燃料廠房	控制廠房	其他廠房	合計
超C類	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0
C類	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0
B類	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0
A類	4.32×10^6	5.67×10^5	0	4.75×10^5	8.31×10^5	3.60×10^2	7.91×10^5	6.99×10^6
	9.33×10^{14}	3.69×10^{12}	0	3.89×10^{12}	3.25×10^{13}	4.41×10^6	3.38×10^{12}	9.76×10^{14}
放射性 廢棄物	4.32×10^6	5.67×10^5	0	4.75×10^5	8.31×10^5	3.60×10^2	7.91×10^5	6.99×10^6
	9.33×10^{14}	3.69×10^{12}	0	3.89×10^{12}	3.25×10^{13}	4.41×10^6	3.38×10^{12}	9.76×10^{14}
可外釋	1.37×10^5	2.08×10^5	0	4.66×10^4	4.35×10^4	3.24×10^3	8.15×10^3	4.47×10^5
	1.02×10^4	6.41×10^4	0	7.30×10^3	3.87×10^3	0	9.37×10^3	9.49×10^4
合計	4.46×10^6	7.75×10^5	0	5.21×10^5	8.74×10^5	3.60×10^3	7.99×10^5	7.43×10^6
	9.33×10^{14}	3.69×10^{12}	0	3.89×10^{12}	3.25×10^{13}	4.41×10^6	3.38×10^{12}	9.76×10^{14}

註 1：本表污染類數值為核三廠兩部機組各核種衰變至 2028 年 05 月 17 日之推估結果。

註 2：可外釋係指各核種的總比活度小於 100 Bq/kg。

註 3：其他廠房包含柴油發電機廠房、核機冷卻水廠房、開關廠房、輔助鍋爐機房、進出管制廠房等及熱修配廠房。

表 9-16 各廠房混凝土廢棄物(含可外釋)之盤點結果

重量(kg) 活度(Bq)	圍阻體 廠房	輔助廠房	汽機廠房	廢料廠房	燃料廠房	控制廠房	其他廠房	合計
超C類	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0
C類	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0
B類	5.02×10^5	4.63×10^5	0	2.65×10^4	2.47×10^4	0	0	1.02×10^6
	7.87×10^{12}	7.26×10^{12}	0	4.15×10^{11}	3.87×10^{11}	0	0	1.59×10^{13}
A類	2.20×10^6	3.05×10^5	0	2.23×10^5	6.66×10^4	0	3.39×10^4	2.83×10^6
	1.04×10^{14}	2.39×10^{11}	0	1.75×10^{11}	5.22×10^{10}	0	2.66×10^{10}	1.05×10^{14}
放射性 廢棄物	2.70×10^6	7.68×10^5	0	2.50×10^5	9.13×10^4	0	3.39×10^4	3.85×10^6
	1.12×10^{14}	7.50×10^{12}	0	5.90×10^{11}	4.39×10^{11}	0	2.66×10^{10}	1.21×10^{14}
可外釋	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	2.70×10^6	7.68×10^5	0	2.50×10^5	9.13×10^4	0	3.39×10^4	3.85×10^6
	1.12×10^{14}	7.50×10^{12}	0	5.90×10^{11}	4.39×10^{11}	0	2.66×10^{10}	1.21×10^{14}

註 1：本表污染類數值為核三廠兩部機組各核種衰變至 2028 年 05 月 17 日之推估結果。

註 2：可外釋係指各核種的總比活度小於 100 Bq/kg。

註 3：其他廠房包含進出管制廠房及熱修配廠房。

國內各核電廠除役產生低放射性廢棄物各類數量含可外釋)之盤點結果(系統除污後)

廢棄物類別標	核一廠 (單位:MT)	核二廠 (單位:MT)	核三廠 (單位:Kg)
1. 超 C 類	金屬:7.20X10 ⁴ 混凝土: 0	金屬: 0 混凝土: 0	金屬: 0 混凝土: 0
2. C 類	金屬:4.35X10 ⁵ 混凝土: 0	金屬:3.78X10 ⁴ 混凝土: 0	金屬: 0 混凝土: 0
3. B 類	金屬:7.13X10 ⁵ 混凝土: 0	金屬:3.27X10 ⁴ 混凝土: 0	金屬: 0 混凝土:1.0X10 ⁶
4. A 類	金屬:8.68X10 ⁶ 混凝土:2.59X10 ⁶	金屬:1.60X10 ⁷ 混凝土:4.32X10 ⁶	金屬:6.99X10 ⁶ 混凝土:2.83X10 ⁶
5. 放射性廢棄物	金屬:8.79X10 ⁶ 混凝土:2.59X10 ⁶	金屬:1.63X10 ⁷ 混凝土:4.32X10 ⁶	金屬:6.99X10 ⁶ 混凝土:3.85X10 ⁶
6. 可外釋類 (小於 100 Bq/Kg)	金屬:5.91X10 ⁷ 混凝土:2.34X10 ⁸	金屬:1.46X10 ⁷ 混凝土:6.95X10 ⁸	金屬:4.47X10 ⁸ 混凝土: 0
放射性廢棄物量佔 拆除物料量的 (%)	金屬: 14 % 混凝土: 1 %	金屬: 52 % 混凝土: 0.6 %	金屬: 0.2 % 混凝土: 100 %

核一廠除役目標訴求之一

少量放射性廢棄物的產出———佔拆除物料量的 < 6%

- 除役開始前三年的輻射背景調查而規劃的除污、廢棄物產量等應已失真。
- 若等用過核燃料室內乾貯可用（預估核一廠 117/12 啟用，核二廠118/12 ），則距停止運轉已近10 年之久，其輻射、污染度應大幅降低，因此全廠的輻射強度、廢棄物數量宜進一步重估 !!

六. 國際上核電廠除役低放射性廢棄物管理要求和技能概析

1. 歐州經濟合作與發展組織/核能機構(OECD/NEA)核電廠除役
低放射性廢棄物管理策略
2. 世界各國對於極低微污染金屬無限制再利用的免管制規定
3. 核電廠除役廢棄物(污染金屬)處理減量技能方案經驗概要
 - 1). 污染金屬噴砂-熔融除污處理技能概要
 - 2). 污染金屬噴砂-化學除污處理技能概要
 - 3). 污染金屬噴砂除污處理技能概要
 - 4). 除役廢棄物(污染金屬)處理技能指南

六. 國內外除役低放射性廢棄物管理策略 (續)

- **廢棄物管理路徑**，即管理所產生廢棄物的作業者和流程，是除役專案的關鍵點。它確定從拆除物料源到設想的廢棄物最終處置的路徑。除役中廢棄物**作業路線的選擇取決於幾個因素**，特別是：
 - 包括處置在內的總廢棄物管理成本。應包括間接成本，例如對除役計劃的影響以及對基礎設施和組織的投資。
 - 從實際、監管和公眾的溝通。
 - 放射性廢棄物管理和處置的國家計劃，包括最終處置場的可用性。
 - 有專門的外部廢棄物處理設施。此外，應考慮可減少需要作為放射性廢棄物處置的體積的處理（如去污和熱處理）。
- **廢棄物特性**、**物流挑戰**以及監管和利益相關者的要求，需要多種廢棄物管理路線考慮。鑑於特定的廢物路線可能暫時或永久不可用，建議在實際可行的情況下，應為每種廢棄物至少開放有兩條路線。**廢棄物管理優化應側重於減少處置的廢物量**。廢棄物層次、策略、時間表、風險分析和可用資源有助於確定適當的廢棄物管理路線考量。廣泛的廢棄物路線在範圍內可用和使用。對於某些國家和地區，選擇可能僅限於幾條路線，或者對於某些廢棄物類別，甚至是一條路線。優先選擇以盡可能低的總成本實現最終狀態的最有效途徑，同時考慮短期和長期風險和後果（包括環境影響）

1. 歐州經濟合作與發展組織/核能機構(OECD/NEA)核電廠 除役低放射性廢棄物管理策略

- 除役專案工作內容很大程度上是廢棄物管理作業的專案。
除役專案的每一個主要步驟都涉及或需要考慮廢棄物管理方面。廢棄物管理問題對除役作業有強烈的影響，在許多情況下對時程和除役成本會產生很大的影響。
- 在廢棄物管理策略上，必須確定和確保潛在訴求的最終狀態，充分瞭解初始資訊條件，並在此基礎上規劃廢棄物管理路線。
即充分瞭解廢棄物處理減量要求標準，如實施拆除、除污和廢棄物處理時，符合清除(解控)標準是關鍵成功因素。
- 同時，要作出的策略決定也包含：
 - 現場既有廢棄物處理的功能程度，及盡可能使用；
 - 廢棄物處理中心的設置利用廠區設施改建(如利用汽機廠房原設備拆除後場所)；
 - 承包廢棄物處理作業或建立自我執行組織。
- 拆除廢棄物物流管理規劃，需要避免因拆除廢棄物而導致除役作業過程中出現瓶頸，因在廢棄物管理作業時可能會影響拆除活動的推展，從而妨礙了拆除工作的進度。廢棄物物流管理概念中的基本決定與以下方面直接相關：
 - 將廢棄物處理與拆解活動脫鉤；
 - 確保足夠的存儲容量，包括緩衝存儲容量和空間；
 - 為處理過的廢棄物制定品質標準（符合監管框架和儲存庫的廢棄物驗收標準）；
 - 放射性廢棄物運輸法規要求；
 - 廢棄物處理減量設施的位置（在現有設施內或現場新設施內，將非現場送至專門的設施或中心、運送方法，以優化處理設施的位置和能力）。

2. 世界各國對於極低微污染金屬無限制再利用的免管制規定

比活度限制 (Bq/g)	國家	Additional information
0.10	Germany	Specific activity limit regardless of type of emission Applied to scrap metal originating from nuclear installations
1.00		一般熔融設施中金屬的外釋再利用限制標準
0.10–2.00		Specific activity limit for beta–gamma emitters
0.10	Slovakia	Specific activity limit for beta–gamma emitters
0.10	Sweden	Specific activity limit regardless of type of emission Over and above the natural activity that occurs in similar materials outside the nuclear installation (primarily used for limiting the activity in materials that, having been melted down, can be reused in new products) Applied to radioactive substances originating from application in nuclear energy production
5.00		Specific activity limit for beta–gamma emitters (artificial activity)
0.40	UK	Specific activity limit regardless of type of emission Total activity for solids, other than closed sources, that are substantially insoluble in water
1.00	Belgium	Specific activity limit for beta–gamma emitters
1.00	Italy	Specific activity limit for beta–gamma emitters
無規定	USA 	未制定或批准任何限制標準規定

表面污染限值 (Bq/cm ²)	國家	Additional information
0.37	Germany	Averaged over 100 cm ² for fixed and removable contamination and for each single item Applied to scrap metal originating from nuclear installations
0.50		Applied to scrap metal and concrete originating from nuclear installations
0.37	Slovakia	Case by case decision on materials from decommissioning, 100% direct surface measurements
0.40	Finland	Removable surface contamination over 0.1 m ² for accessible surfaces Applied to radioactive substances originating from application in nuclear energy production
0.40	Belgium	Mean value for removable surface contamination over 300 cm ² , for beta-gamma emitters and alpha emitters with low radiotoxicity
0.83	USA	背景以上表面污染不超過 1 平方米，如果污染面積不超過 100 平方米，則背景上方最大污染為 2.5 Bq/cm ²
1.00	Italy	Case by case decision for a limited amount of material from decommissioning
1.00	Canada	Averaged over 100 cm ² for total contamination, 100% survey of all surfaces
3.70	France	Materials from decommissioning, 100% direct surface measurements
4.00	Sweden	Mean value for removable surface contamination over 100 m ² , with a maximum of 40 Bq/cm ² if the contaminated area does not exceed 10 cm ²



3. 核電廠除役廢棄物(污染金屬)處理減量技能方案經驗概要

- 1). 方法一 污染金屬噴砂-熔融污處理技能概要
- 2). 方法二 污染金屬噴砂-化學除污處理技能概要
- 3). 方法三 污染金屬噴砂除污處理技能概要
- 4). 除役廢棄物(污染金屬)處理技能指南

4. 污染混凝土除污技能概要

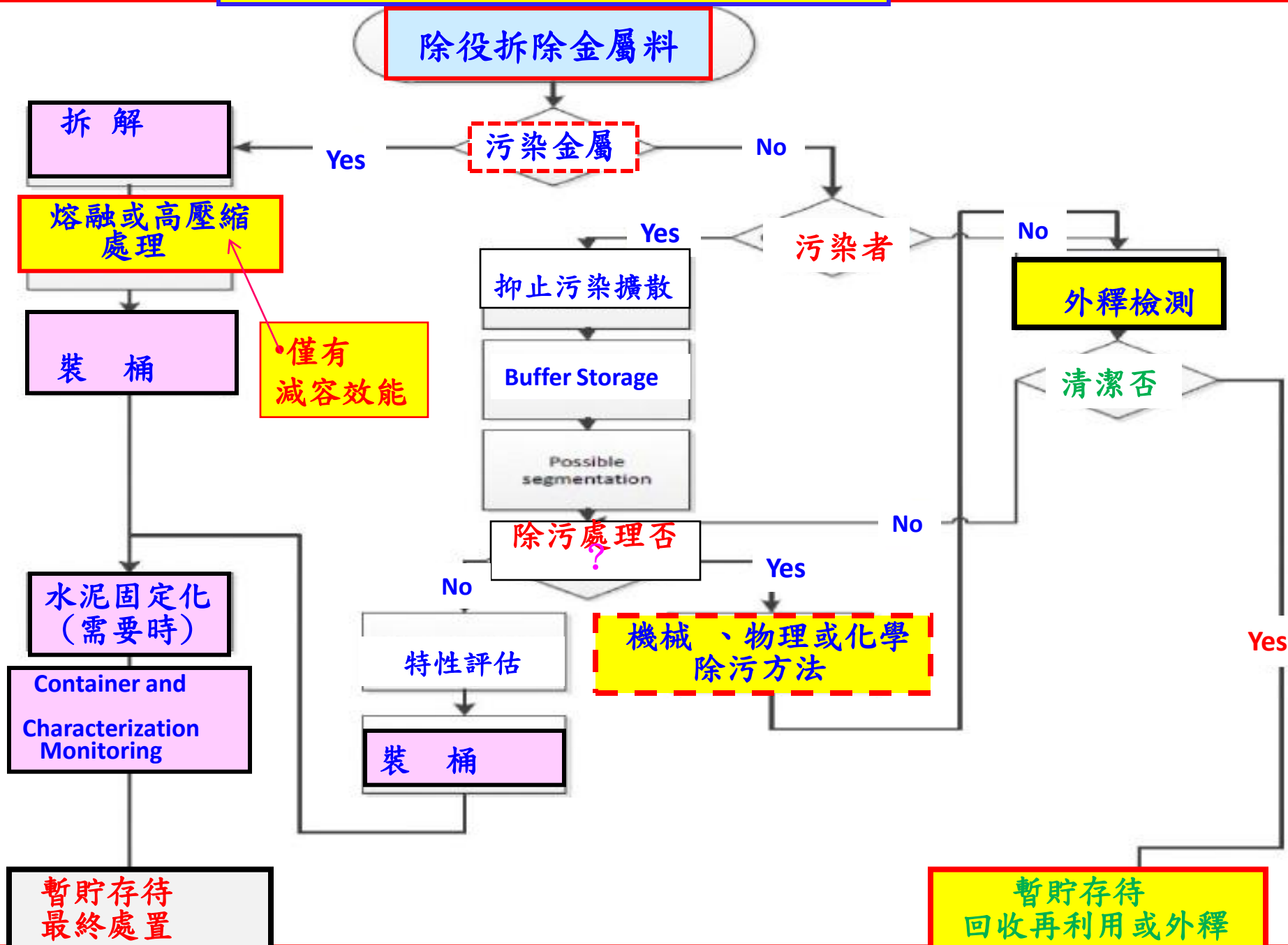
3. 核電廠除役廢棄物(污染金屬)處理減量技能方案經驗概要(續)

除役廢棄物 (污染金屬)除污減量處理技術的選擇

處理技術的選擇除**進度**和**成本**外，核電廠除役產生的材料和廢棄物的**處理技術的選擇**還基於以下因素評量：

1. 產生的廢棄物形式盡可能需要滿足所選**處置場所**的廢棄物接受標準。
2. 所選**作業流程**應足夠靈活，以管理不同種類的進入廢棄物及其特定處理目標（回收和再利用、包裝、重新分類）。
3. 所選擇的**作業技術程序**應該能夠根據進入的放射性廢棄物的特性進行調整。
4. 選定的工藝應將放射性廢棄物的體積降至最低。

污染金屬除污處理減量方法流程



除役廢棄物(污染金屬)除污減量處理技術

<u>Area</u>	<u>Technology</u>	<u>Remarks</u>
Sorting	Mono-material sorting	Sorting criteria: Steel types Combustible, non-combustible Activated, non-activated
	Post-segmentation	Targets of post-segmentation: Removal of hazardous materials Separation of plastic from metals Disassembly of control cabinets, valve , etc.
Segmentation / Decontamination	Mechanical processes	Sawing Milling Grinding Mechanical cutting High-pressure water cutting Abrasive blasting
	Thermal processes	Autogenous cutting Plasma cutting
	Chemical Processes	Electrochemical decontamination Ultrasonic polishing (normally in combination with electrochemical decontamination)
	Volume Reduction	Compaction In-drum compaction (100-500 kN) Low pressure compaction (500-5000 kN) High force compaction (> 5000 kN) typically 20,000 kN Metal melting Stationary systems
Conditioning	Solidification	Embedding in cement matrix Embedding in epoxy resin matrix Grouting of bulk material
	Packaging	For interim storage (drums, boxes) Waste package for final disposal (steel container, concrete container, high integrity container, etc.)

1). 方法一 污染金屬噴砂-熔融除污處理技能概要

金屬熔融除污方法評量的關鍵因素

What are they?

熔渣是熔融氧化物的混合物，如 Al_2O_3 、 CaO 或 SiO_2 。凝固後，熔渣是固體合成礦物。

What do they do?

熔渣與液態金屬相互作用，能分離金屬內放射性物種，將放射性核種熔合入凝固渣的穩定結構中。

How do they do it?

許多污染金屬的放射性核種是穩定的氧化物。需要時通入氧氣，可形成穩定的氧化物，然後分離到渣中。

What does their efficiency depend on?

熔融過程中化學反應的速度取決於時間和溫度，但其他因素也很重要。渣可以化學優化，以捕獲特定的放射性核種。

國內外污染金屬熔融處理設施技術與經驗回饋

世界上已設有使用熔融技術處理受污染的金屬工廠，包括：

- CARLA Plant, Siempelkamp , Germany
- STUDSVIK Melting Facility, Sweden
- Waste Volume Reduction Facility(WVRF), Japan
- Energy Solutions Melting Facility, USA
- INFANTE Plant, Marcoule , France
- Science Ecology Group (SEG) Plant, Oak Ridge, USA
- Capenhurst Melting Facility, United Kingdom
- Manufacturing Science Corporation (MSC), USA

所有熔融設備均在安全管制區域內作業，包括通風過濾系統和保健物理人員監督。

熔融減量處理的優點是它對有30年半衰期的Cs-137具“除污和減容”效應，因其在較高溫時會揮發移除。而在熔錠中剩餘的核種（對於大多數放射性廢棄物料）佔主導地位的是Co-60。這同位素的半衰歲只有5.3年。其他剩餘的核種的半衰期甚至更短。因此，在可預見的時期，活性濃度相當低的熔錠可以免管制或外釋再利用。

過濾器中收集的溶渣和灰塵均視為放射性廢棄物處理。

“CARLA” Melting Plant



Charging the furnace



Pouring liquid iron to granules



Ingots storage for recycling

技術規格 (Technical Data):

- Melting unit—3.2 to MF induction-furnace
- Equipment with a 3-step filter unit in 2 line
- Mechanical and thermal cutting facilities available
- Pre-decontamination by blasting
- Melting and pouring to 1 ton metal block or to granules
- Storage of metal blocks for decay
- Release of metal for recycling or waste for disposal

接受物料限值

(Acceptance Limities):

- Specific total activity
<1,000Bq/g
- For the nuclides H-3, C-14,
Fe—55, Ni-63, **< 10,000Bq/g**
in total

Studsvik 對於不同材料類熔融鑄錠的核種含量測量結果。

Material Category	Weight, tonne	Measured nuclide content, % of total activity									
CS and SS**	27 749	Co-60	Mn-54	Sb-125	Zn-65	Ag-110m	Ru-106	Uranium	Other alpha	Others	
		96%	1.1%	0.7%	0.5%	0.3%	0.3%	0.2%	0.1%	0.4%	
Aluminium*	772	Co-60	Zn-65	Uranium	Mn-54	Cs-137	Cr-51	Na-22	Sb-125	Others	
		62%	11%	6.4%	5.6%	4.6%	4.2%	1.4%	1.1%	2.8%	
Lead*	395	Sr-90	Ag-110m	Cs-137	Co-60	Ag-108m	Am-241	Pu-239	Sb-125	Others	
		52%	17%	5.8%	5.5%	5.0%	3.9%	1.3%	6.3%		

Samples from all ingots are measured with gamma spectrometry, and most of the ingots (by alpha spectrometry, depending on the origin) are also analyzed

世界上國家對於污染金屬的除污清潔標準主要核種規定 (單位:Bq/g)

Country	3H	14C	63Ni	60Co	137Cs	90Sr	235U	241Am	239Pu
Belgium	100			0.1	1	1	1	0.1	0.1
Finland	10	10	10	1	1	1	0.1	0.1	0.1
Germany	1000	80	300	0.1	0.5	1	0.5	0.05	0.1
Japan	100	1	100	0.1	0.1	1	—	10	0.1
Netherlands	10 ⁶	10 ⁴	10 ⁵	1	10	100	10	1	1
Spain	100	10	100	0.1	1	1	1	0.1	0.1
Sweden	(0.5 Bq/g for beta/gamma emitters)					0.1 Bq/g for α-emitters)			
For ingots:	1000	100	10 000	1	1	10	1	1	1
UK	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4.
USA	(未規範)								
台灣	100	1	100	0.1	0.1	1	1	0.1	0.1

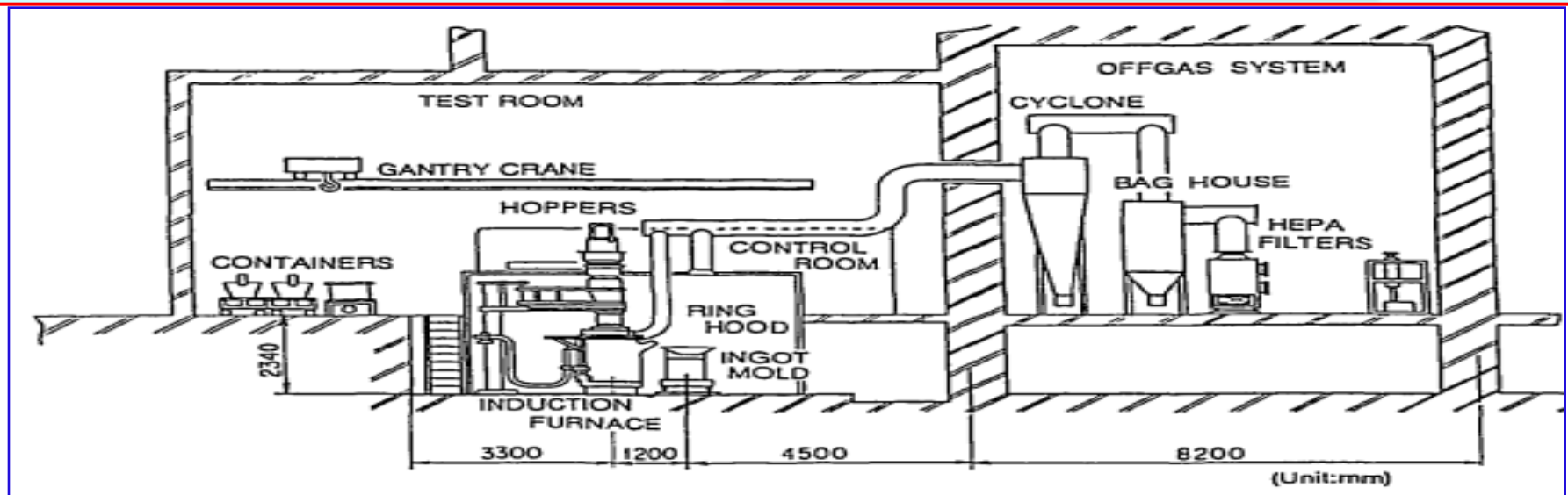
註:1. 核能研究所總比活度全量量測符合標準採0.1 Bq/g；各類廢金屬經分析僅測有Cs-137核種
2. 每年外釋超過一公噸之廢棄物比活度限值(貝克/克)

國內核能研究所熔融設施技術概況

核能研究所自行設計興建一座容量1,000公斤之污染金屬廢棄物專用感應熔爐，完成核一般廠銅管金屬熔融 700噸，熔融處理後之輻射劑量率平均約為 $1 \mu\text{Sv/hr}$ ，鑄錠回收率大於90%（材質均勻，可在核設施內再利用），剩餘熔渣廢料小於10%。

良好的耐火爐襯(坩堝)維修實務可延長爐襯壽命，減少二次污染廢棄物的產出；熔鑄時嚴密的通風過濾系統與污染防治控制作為，以防止污染物與輻射核種的釋出；充分的技術累积與良好經驗回饋

- Co-60污染鋼鐵熔融時，添加氧化铝可將其構成三相物至熔渣中，與鑄錠分離，才更有除污效能，惜未掌握此條件。
- 曾另案處理部份污染金屬廢棄物表面含有油漆塗層，另外增設前處理熔爐。
- 運轉期間，爐體曾經因坩堝龜裂致冷凝鐵管熔穿發生爆炸意外事故。



核能研究所放射性污染金屬熔融除污設施

註說：1. 原研發/規劃/設計者已退休 2. 除污效能(DF)結果論證待探討

2). 方法二 污染金屬噴砂-化學除污處理技能概要

Turbine deck-eL.60m

磷酸除污區

不可外釋
物料區

噴砂除污區

污染物料
暫停區

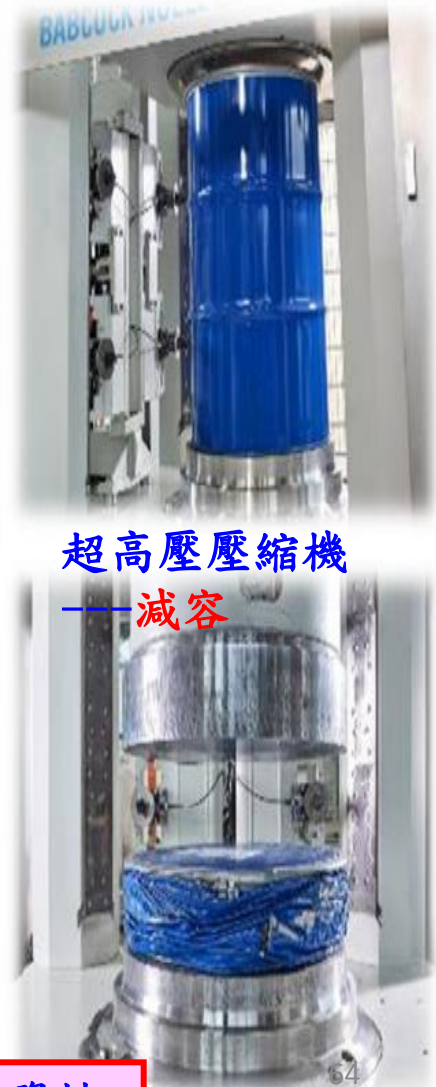
電梯

PHADEC Area
--磷酸除污

REF.: NPP Caorso, Italy



高壓水刀—除污



超高壓壓縮機
—減容



參考:德國BILFINGER NOELL GMBH 資料

MECHANICAL DECONTAMINATION UNITS—by brushing and grinding until their contamination is below the limits for free release



PHADEC™ process (Phosphoric Acid Decontamination) has been especially for the decontamination of steel scrap. Scrap treated will be free released and conventionally recycled .



The sorting stations can be equipped with the shredding of material as well as the in-drum compaction.

Super-Compactors have a capacity up to 20,000 kN for the volume reduction of solid waste



PHADEC TREATMENT MAIN RESULTS

化學(磷酸)除污處理後，測量結果表明，在磷酸中浸泡 20 至 60 分鐘（取決於處理的組件）足以達到清潔標準，符合意大利和國際規則，有效去污

參考核電廠：

NPP Gundremmingen , Germany
NPP Grafenrheinfeld, Germany
NPP Beznau, Switzerland
Ignalina, Lithuania
NPP Caorso, Italy

台電出國報告：赴義大利參加核能電廠除役研習計畫

劉純光 / 台灣電力公司 / 第一核能發電廠 / 一號機反應器值班主任

林義翔 / 台灣電力公司 / 核能後端營運處 / 除役計畫 課長

黃郁凱 / 台灣電力公司 / 核能後端營運處 / 除役技術發展 專員

出國期間：105.11.05 ~ 11.18

地點：

義大利 SOGIN(Società Gestione Impianti Nucleari, SOGIN)公司之核能廢棄物管理學校(Radwaste Management School, RMS)為受訓地點，內容包括除役策略與技術、輻射特性調查、拆除策略與技術、廢棄物棄物管理等6天課程，課程講師自除役規劃至除役作業活動均有相當完整經歷及豐富之應用實例，另有3天安排前往除役中之Caorso電廠之作業現場進行參訪SOGIN公司是義大利在1999年成立的放射性廢棄物棄物管理、核子設施除役的國營公司

服務機關：行政院原子能委員會放射性物料管理局

姓名職稱：陳文泉簡任技正(現任副局長)、馬志銘技士

派赴國家：義大利

出國期間：105年11月5日至11月18日

地點：同上

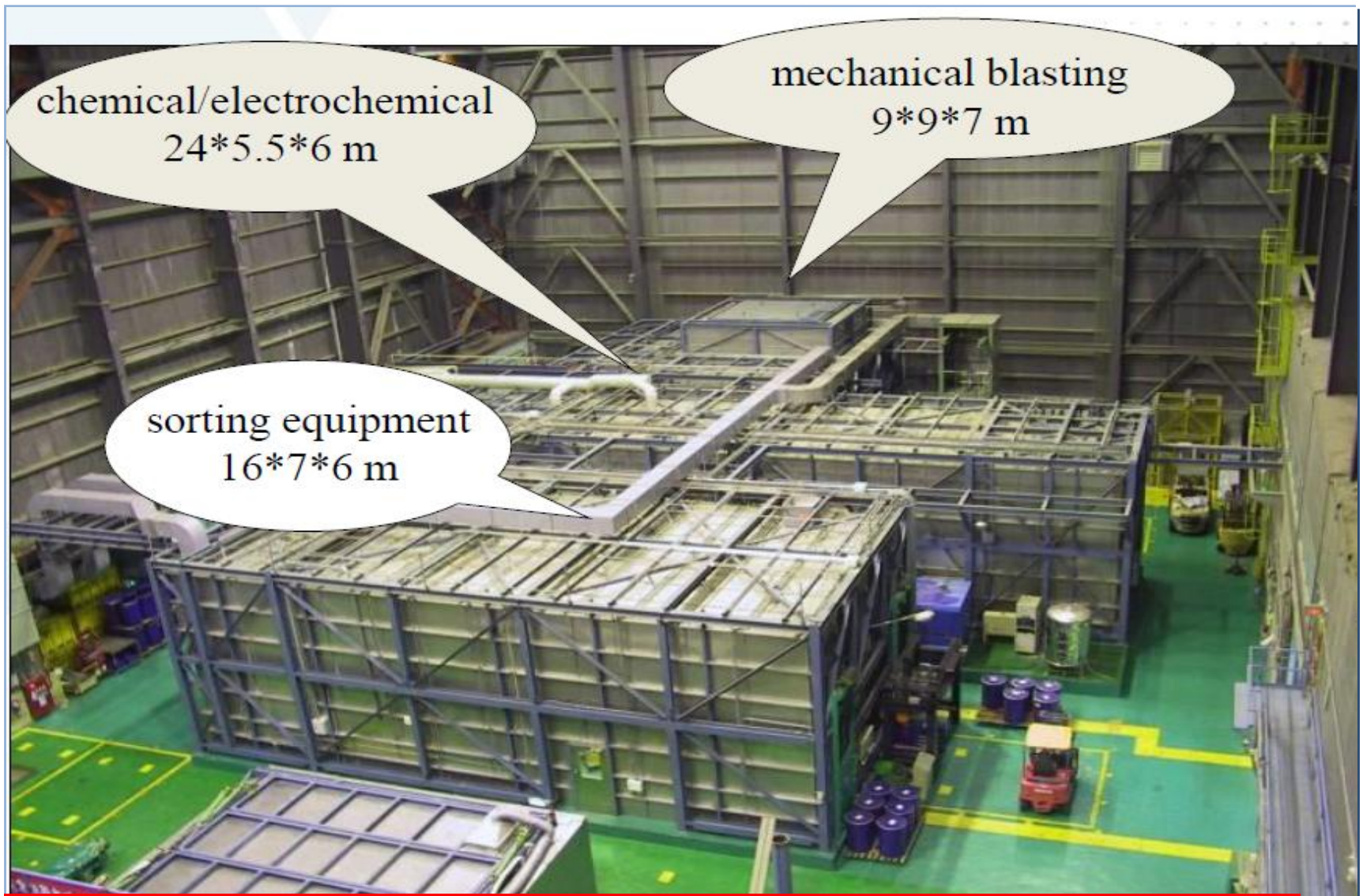


廢棄物棄物管理訓練課程

1. Radioactive waste management: Treatment/conditioning process of the radioactive waste
2. The Waste Management Facility: Design, optimization, equipment, operation
3. Waste minimization techniques
4. Storage and Disposal of RW
5. Waste Acceptance Criteria for the disposal of radioactive waste
6. NPP radiological characterization
7. Waste Characterization
8. Characterization of material for clearance: Final site survey for site release

核能研究所污染金屬化學(磷酸)除污技能和經驗

The decontamination facility establishment for metal scraps at INER



註說：1. 原研發/規劃/設計者已退休 2. 除污效能(DF)結果論證待探討

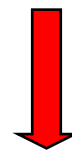
污染金屬組件物料廢棄物除污處理流程



廢物倒入滾桶
噴砂機除污



除污後裝入
內籃由運送
箱送出



吊起內籃上架後處理



再經水洗或
化學/電化學除污

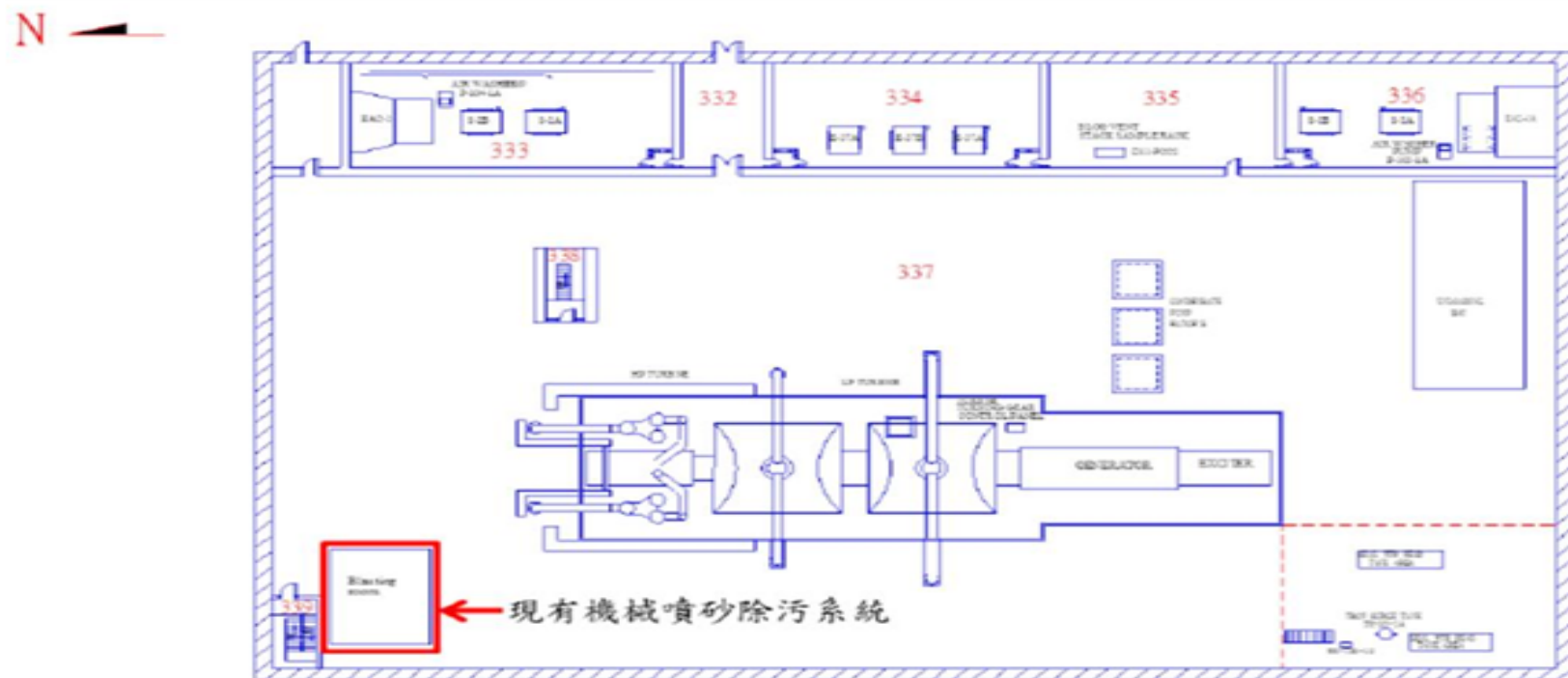


經污染檢測後外釋或再回送處理

3). 方法三 金屬噴砂除污處理技能概要

據知核一廠在除役時，配合拆除作業產生的大量廢金屬除污，預定再採用噴砂技術。

核一廠在運轉時已設有乾式除污噴砂設備，設置於汽機廠房(標高 73.83 ft)處，相對位置如圖所示，利用磨料進行物件之表面除污，其砂料重複回收使用。依據核一廠的空間，可將噴砂研磨除污區域設於聯合結構廠房，如有需要則可搭配廠內原有廢液及廢氣處理系統，進行二次廢棄物之處理。機械除污區域必要時應裝設獨立式(Self-Contained)排氣設備及HEPA，並在作業區內維持負壓，避免空浮污染的情況發生。具放射性的廢棄物以機械式的方式分離(如旋風分離、離心或過篩)收集，而廢水可以過濾並循環利用。



核一廠既有機械噴砂除污系統位置圖

噴砂除污可以說是化學去污的替代或補充。與化學去污相比，噴砂除污具有一定的優缺點。

其中的優點是：

噴砂除污幾乎適用於所有表面。實際上，去除表面越困難，物理去污就越不利。例如，雖然去除石膏或灌漿表面相當容易，但去除鋼表面變得更加困難和昂貴。

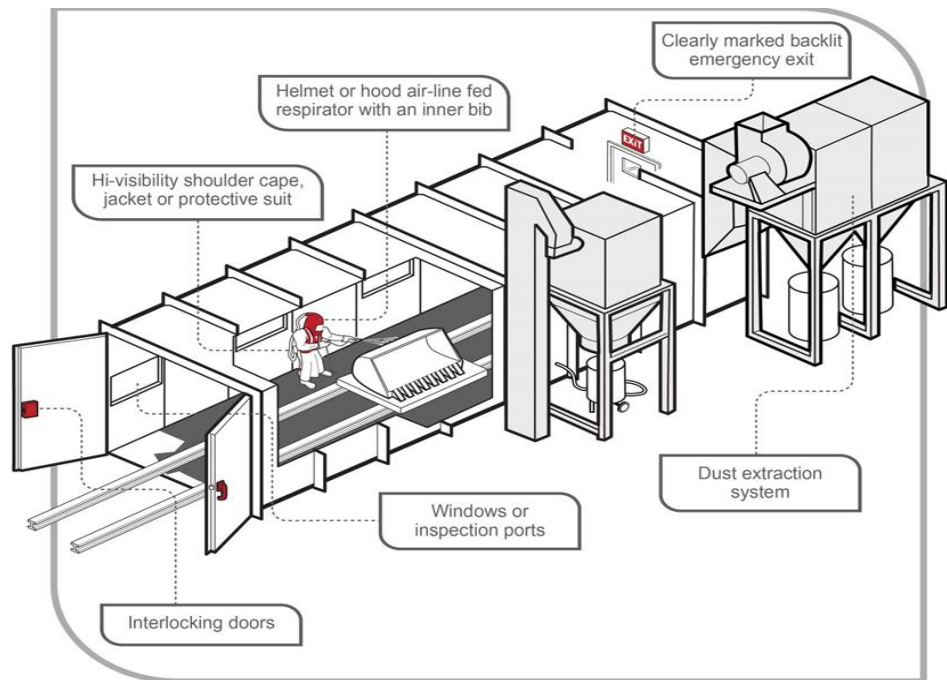
- 噴砂除污通常可以達到比化學去污更高的去污係數，這僅僅是因為它能夠完全去除被污染的表面。
- 表面處理通常不是物理去污技術的問題，因為整個表面被移除。
- 廢棄物管理趨於簡單，因為去除的表面材料可以直接收集並送至廢棄物棄物處理，而不需要離子交換劑等二次處理等等

噴砂除污的缺點包括：

- 噴砂除污技術，就其本質而言，不含放射性核種或化學物質特異性。
- 噴砂除污物理去污技術，就其本質而言，對被清潔的表面具有破壞性，因此要么不適用於需要重複使用的設施或設備，要么需要進行後續的表面修整操作。
- 由於噴砂除污通常通過表面的物理磨損來發揮作用，因此磨損顆粒的空氣排放是一個操作問題，必須通過該技術或輔助措施直接解決。
- 接觸表面及其複雜的幾何形狀可能是機械除污技術應用中的一個重要問題。即使表面污染可以通過物理去污方法，當表面偏遠（例如，長而細的管道內部）或複雜的幾何形狀（例如，具有裂縫和接頭的設備部件）時，該技術的應用可能會受到不利影響。
- 噴砂除污技術往往更“親力親為”，要求工人在受污染表面附近操作工具，因此由於劑量較高，因此需要更加普遍地關注安全和健康問題。
- 二次廢棄物量大於化學去污，尤其是在需要深度去除表面或涉及大量添加劑（如磨損介質）時。
- 儘管使用噴砂除污技術更容易進行表面處理，但必須適當準備進行去污的直接環境，如果噴砂除污技術需要平坦、無阻礙的表面，包括移除障礙物或阻礙物，例如管道或導管。

這種技術使用懸浮在介質中的研磨材料，該介質投射到被處理的表面上，可以均勻地去除表面污染。壓縮空氣或爆破渦輪機通常用於運送磨料。將去除的表面材料和磨料收集起來並放入適當的容器中進行處理和/或處置。

磨料的再循環可以最大限度地減少二次廢棄物。噴砂主要系統架構示如下圖。

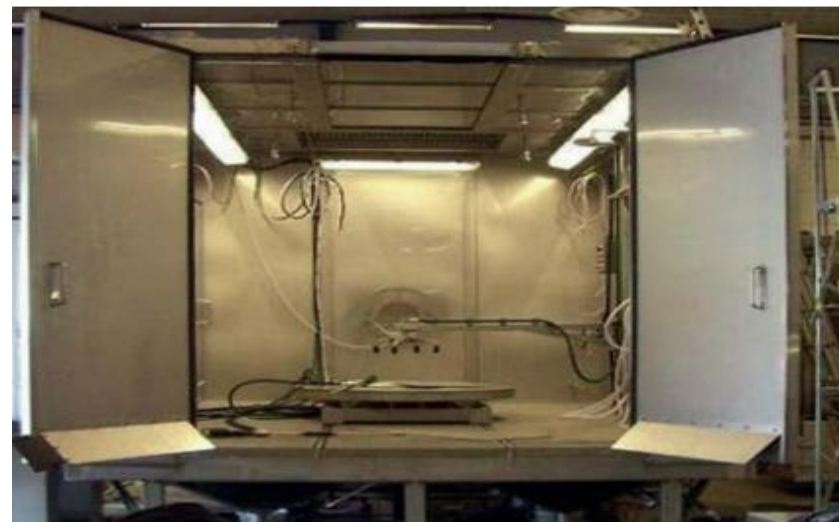


Blasting chambers



Sandblasting Turntable and Track System

This **Code of Practice** on how to manage the risks associated with **abrasive blasting** is an approved code of practice under section 274 of the **Work Health and Safety (WHS) Act**.



Decontamination 作業櫃

4). 除役廢棄物(污染金屬)處理技能指南

本指南是美國 USEPA 制定，旨在可用於證明對除役廢棄物(污染金屬)處理技能的完整資訊要點：

- 設施處理能力和能量, 介紹可提供處理效能目標和每日作業能量,
- 技術描述, 其中簡要介紹了技術, 但並非詳盡無遺,
- 目標污染物, 如果合適, 描述具體的放射性核種或污染物宿主基質,
- 適用的介質和表面特性, 其中的性質 (例如孔隙率或化學特性) 描述了承載污染的表面的幾何形狀。
- 廢棄物流和二次廢棄物管理問題, 其中關於初級和次級廢棄物棄物的信息、廢棄物數量、圍堵要求和任何非典型廢棄物處理、處置, 或提供其他管理問題。需要注意的是, 某些物品, 例如使用過的個人防護設備, 是幾乎所有技術的常見廢棄物元素, 尚未包含在每個部分中, 除非供應商特別指出了該問題。
- 操作特性, 其中有關工人考慮的信息 (例如, 任何非典型或專業所需的工人技能或培訓, 任何非典型的工人安全要求), 任何必要的表面預處理、設備便攜性或移動性、設備重量、功率要求、安裝要求, 通常與主題一起應用的其他補充技術、特殊監管問題或許可要求, 或任何其他操作限制或提出了擔憂。
- 性能, 其中記錄的性能信息 (可處理性研究或其他放射性去污項目); 性能指標 (例如, 設置時間、去污因素、去除效率、污染深度或表面去除、所需操作人員數量、清潔障礙物周圍的能力, 使用後易於技術設備去污); 對績效的影響; 以及任何其他技術限制或提出未來發展的需求。
- 資本和運營成本, 其中有關購買、租賃、運營成本、實際報價的信息項目、與基準技術的比較以及廢棄物管理。
- 採用本技術參考核電廠, 提供參考核電廠的聯繫信息。

4. 污染混凝土除污技能概要

在核電廠房內的不同地方,被污染的混凝土表面需要清除。其需要各種除污技術。這主要包括兩個類別:1). 去除混凝土表層的技術;2). 清除大塊混凝土的技術,例如在污染滲透相當深的情況下,必須清除整個結構。

據知,已有各種各樣的表面混凝土拆除技術,獲得相當程度的成功。在某些情況下,對這些技術進行了調整,以提供適合大面積區域的快速技術和適用於較小規模、較慢的技術。

主要的表面混凝土拆除除污技術為:

- 1). 手動操作技術(Manual Techniques)
- 2). 高壓水噴射清洗(High Pressure Water Washing)
- 3). 刮板剷除機(Scabbling)
- 4). 針型剷除刀(Needle Scaling)
- 5). 地板剃削刀(Concrete Shaving)

此外,也有利用遙控污染混凝土表層和池壁清理除污裝置

混凝土表層除污技術機具

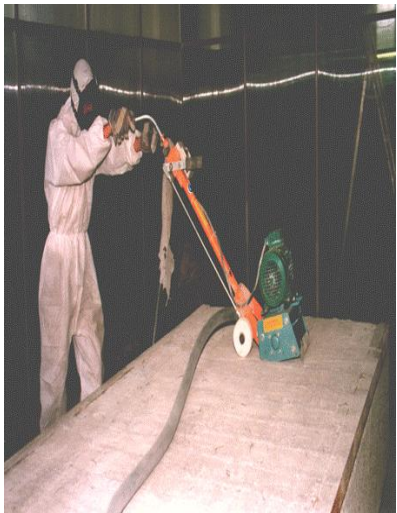
☐ 混凝土表層除污

- Scabbling
- Shaving
- Milling
- Cutting/sawing
- Grinding
- Sand blasting / (Wet abrasives)

☐ 混凝土建築物拆除

- Jackhammer
- Drill/spalling
- Explosives

☐ Some “Innovative” techniques



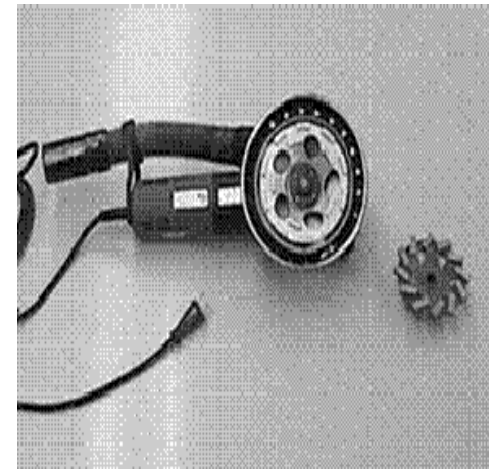
scabblers



floor shaver



Milling cutter
Allows single pass for
thick (**several cm**) layer
removal



grinding



刨削後場地表面

刨削機(Floor Shaver)

Floor Shaver(刨削機)
mounted on **Brokk 250** for 牆面去污



在美國影響建築物拆除混凝土低微污染清除的考慮因素--EPRI

--class A類 廢棄物低處置收費成本(一般<40 NT\$ /Kg)

當處置場回填料

--釋放限制(DCGL-derived concentration guideline leveled):在某些情況下很難

--最終狀況調查 - 耗費時間和金錢

--廠址儘快解除管制:清理放射性廢棄物儘快處置

--電廠業者一般決定去除污染，和保留可用建築物

美國:廠房結構表層除污後 在底層部份挖空,再以炸藥爆破

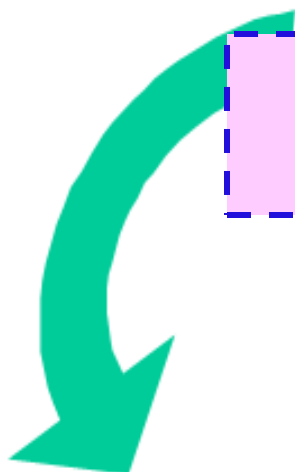
七. 國內外核電廠除役金屬和混凝土類廢料回收和再利用範例

1. 金屬類

清潔解控
金屬



在核產業中**優先**以身作則
使用回收或再利用金屬製品
免除公眾疑慮



再利用

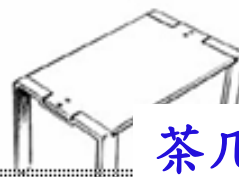
屏蔽塊

Shielding blocks



鐵棒

Reinforcing iron rods



茶几

Reception table

鋼鐵產業 \Rightarrow 鑄造材料、鐵棒等 \Rightarrow 民生製品

- 核能研究所依據“一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法”，於96～98年間分4批完成我國首例**110公噸**金屬廢棄物之解除管制外釋。本例是以**一般廢金屬標售**方式完成外釋。（台電核能月刊 346期 100年10月）
- 日本東海(Tokai)發電廠將低於清潔解控標準以下等級的金屬作為**鑄造材料回收利用**案例。



日本Ningyo-Toge 中心的花壇由除污過的鋁管構成

(設置所屬產業內場所裝置)

鋼鐵是除役廢物中含量最豐富的金屬，也是最常見的回收金屬，其他金屬也可以回收。

銅因其相對較高的價值而被回收。

鉛和鋁也被回收，因為它們的固有特性在放射性廢物的儲存庫及最終處置場中是不受歡迎的（分別是化學毒性和氫氣產生問題）。因此，放射性廢物的驗收標準強制限制鉛和鋁的含量。例如，**比利時**的驗收標準將裝有未經處理的廢物的桶中的鋁量限制為 10 公斤，以限制氫氣的產生。其他處置庫，如**英國**低放廢物處置庫，也有類似的限制性廢物接收標準。

2. 混凝土類

無污染者可製作為消波塊或粉碎為級配料

美國
低微污染(class A類)
水泥粉碎
物裝入
太空包後
可送最終處置場當填充料

---NRC 報告

超級大塑膠袋裝入運送工業貨櫃



綜析上述資訊得知：

- 歐美國家對於放射性廢棄物法規和標準的差異，主要為，
 1. 美國在放射性廢棄物類別法規未有豁免管制項，以致除役廢棄物產生量A類很多，但其設置處置場的接收標準條件有較為方便的可運作性，有利於除役作業時程的及早達成。
 2. 歐洲國家在放射性廢棄物類別法規依循IAEA規定，設有廢棄物可供回收再利用的豁免管制項，再者，其處置場的接收標準條件較為嚴謹和較高成本費用，以致對於除役產生的低放射性廢棄物的減量減容技能發展，提出數種方式寶貴經驗供參考。
 3. 台灣台電公司早於97年間曾就提出〈低放射性能廢棄物最終處置場廢棄物接收規範(草案)〉，並報請原能會備查在案，就今日環境安全要求而言，較之歐美標準確實欠缺務實，就除役作業配合度也不合理，宜協商有關機構修訂，期符合運作合理性和避免浪費社會成本。

- 對台灣核電廠除役廢棄物管理技能發展的啟示
 1. 台灣在放射性廢棄物法規標準業經多年頒布運作，深盼有關機構和專家同行也能瞭解歐美和國內措施差異依據特性，貢獻有價值心力和高見。
 2. 除役專案作業內容很大程度上是產生大量廢棄物管理的技能措施，台電核電廠除役目標訴求之一是設定要參照歐洲國家訴求，即少量放射性廢棄物的產出---佔拆除物料量的 <6% ，務必深為評量如何正確選擇對象(和尚)借力使力達成。
 3. 建議師法OECD/NEA核電廠除役低放射性廢棄物管理策略，本人也略為貢獻有限心力彙整國際上對於核電廠除役污染金屬處理減量技能方案經驗概要資訊，以供參考，是祈！



- 現 職：核能科技協進會 首席顧問 (2008.7-迄今)
- 職務經歷：原子能委員會核能研究所簡任研究員兼主任秘書、所務發展諮議委員會執行秘書、核能安全委員會執行秘書、化工組組長、主任工程師、助理研究員 (1967.1-2008.7)
- 榮譽：中國工程師學會 十大傑出工程師獎 (1998年)
- 學歷：美國田納西大學化工碩士 (1970.6) / 中正理工學院化工學士 (1967.1)
- 經歷：1. 先後參與數項制程及相關單元設備之開發，並參與其試驗工廠、先導工廠及生產工廠的設計、安裝建造、試車等督導工作 (1970.6-1982)
2. 國防大學理工學院化工系兼任講師講授「程序設計」課程 (1973-1978)
3. 臺灣化學工程學會邀請在北、中、南部講授「建廠工程基本設計方法」課程 (2000/2001)
4. 南非原子能委員會邀請講授「核反應器設施基本設計方法」課程 (1987)
5. 原子能委員會「核能四廠環境影響評估」技術評審委員 (1983)
6. 清華大學工科系講授「放射性廢物管理」短期課程 (2004)
7. 大陸寧德、石島灣、海陽核電廠講授「操作員安全文化」研習課程 (2010/2011/2012)
8. 核能科技協進會講授「放射性廢物管理」、「核能電廠除役技術」研習課五班次 (2013/2014)

近年來大陸交流的經歷 (2017-2019):

1. 2019.10.12 獲上海英致公司邀請講授《核電廠除役策略與技能自主化》研習課
2. 2019.9.20 獲上海英致公司邀請於上海講授「核電廠放射性廢物管理與處置的實踐與發展」研習課程
3. 2018.12.5 獲邀參加由中國核學會和核能科技協進會在臺北市主辦，〈第十七屆兩岸核能學術交流研討會〉，約百餘人參加
4. 2018.11.26 獲邀參加由中國核能行業協會和核能科技協進會主辦獲邀參加由中國核能行業協會和核能科技協進會主辦《大陸核電管理人員赴台培訓》課，獲聘講授《核電廠固體放射性廢料管理與挑戰和放射性廢料減源（減廢）管理》兩專題報告
5. 2018.10.30 獲邀參加由中國核能行業協會主辦，山東核電公司和核能協會技術公司在煙台承辦《第三屆核電廠放射性廢物管理研討會》，提出報告《核電廠放射性廢物減源（減廢）管理及技術實踐》
6. 2018.9.12 獲邀參加由中國核能行業協會和核能科技協進會主辦，中國核動力研究設計院在成都承辦的〈第六屆海峽兩岸核能合作研討會〉，提出報告《臺灣核電廠除役與技能自主化戰略》，約百餘人參加，並於9.13獲邀赴中國核動力研究設計院交流核廢料治理和除役技能議題

出版書籍：【核電廠除役技能和核廢料管理(講義)叢書 90冊】 / 【建廠工程基本設計方法概論】

電 郵：johnslchen@yahoo.com.tw

手 機：+886 912 250 780