



# 核能後端營運簡介

Introduction of Nuclear Backend Management

簡報人：郭振基

簡報日期:115.1.26





# 01

什麼是  
核能 後端 營運

# 核能發電發展歷程

**第一階段：**理論奠基與技術萌芽（19世紀末 - 1950年代）

**第二階段：**示範與商業化推廣（1950年代 - 1970年代末）

**第三階段：**停滯與反思（1980年代 - 2000年代初）

**第四階段：**爭議中復甦與新技術探索（21世紀至今）



# 第一階段：理論奠基與技術萌芽（19世紀末 - 1950年代）

1896年：貝克勒爾發現放射性。

1905年：愛因斯坦提出質能守恆公式  $E=mc^2$ 。

1938年：哈恩、斯特拉斯曼發現核裂變現象。

時代背景：二次世界大戰，曼哈頓計劃（軍事用途為主）

## 里程碑事件：

1951年：美國 EBR-I 實驗增殖反應爐首次利用核能發電。

1954年：蘇聯奧布寧斯克核電站成為世界首座向電網供電的核電站。



## 第二階段：示範與商業化推廣（1950年代 - 1970年代末）

**時代背景：** 石油危機、經濟快速增長，對能源需求迫切。

**技術主流：** 早期商業化反應爐，如壓水式反應爐（PWR）和沸水式反應爐（BWR）

**快速發展：**

美國、蘇聯、西歐、日本大量興建核電廠。

各國提出雄心勃勃的核電發展計劃。

## 第三階段：停滯與反思（1980年代 - 2000年代初）

**轉折點：重大核事故**

**1979年：美國三哩島事故（爐心熔毀，打擊公眾信心）。**

**1986年：蘇聯車諾比事故（最嚴重的核事故，全球震驚）。**

**影響：**

公眾接受度驟降，反核運動高漲。

安全法規趨嚴，導致建造成本與時間大幅增加。

電力市場自由化，核電的巨額投資失去吸引力。

許多國家暫停或取消新核電計劃。

## 第四階段：爭議中復甦與新技術探索（21世紀至今） 復甦驅動力

**氣候變遷：** 核能作為低碳能源的價值被重新審視。

**能源安全：** 減少對化石燃料（特別是天然氣）的依賴。

**新挑戰：**

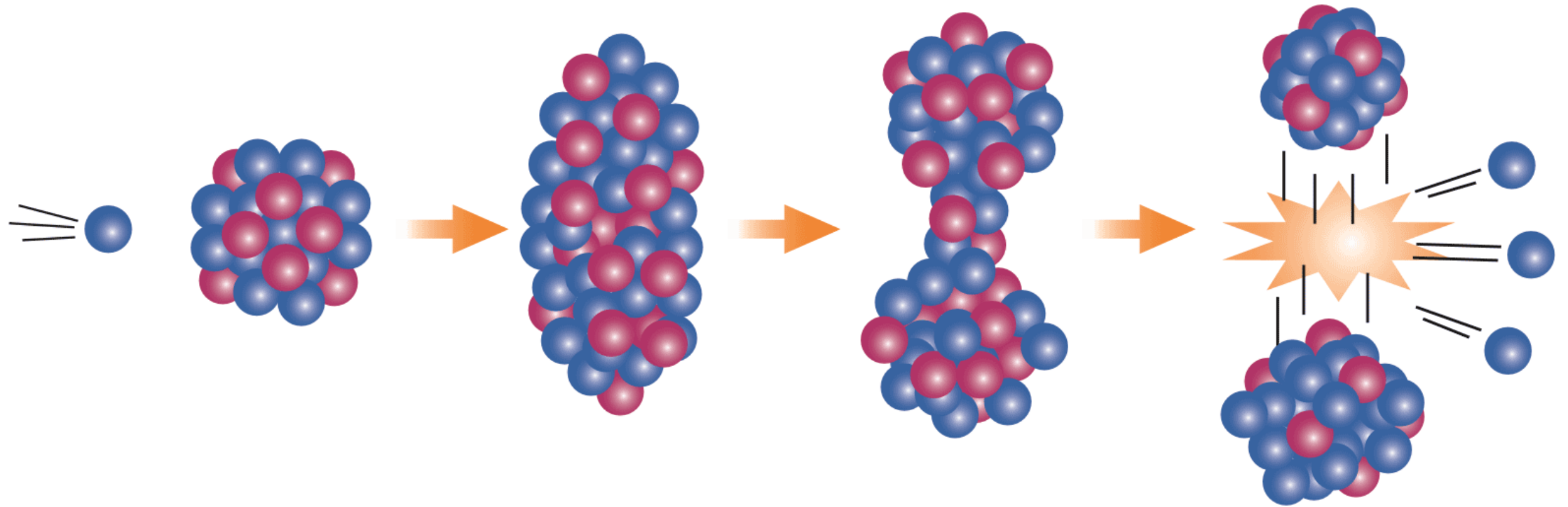
2011年：日本福島第一核電廠事故，再次引發全球對核安全的擔憂，德國等國宣布「廢核」。

新興國家推動：中國、印度、俄羅斯、中東國家成為新建核電廠的主力。

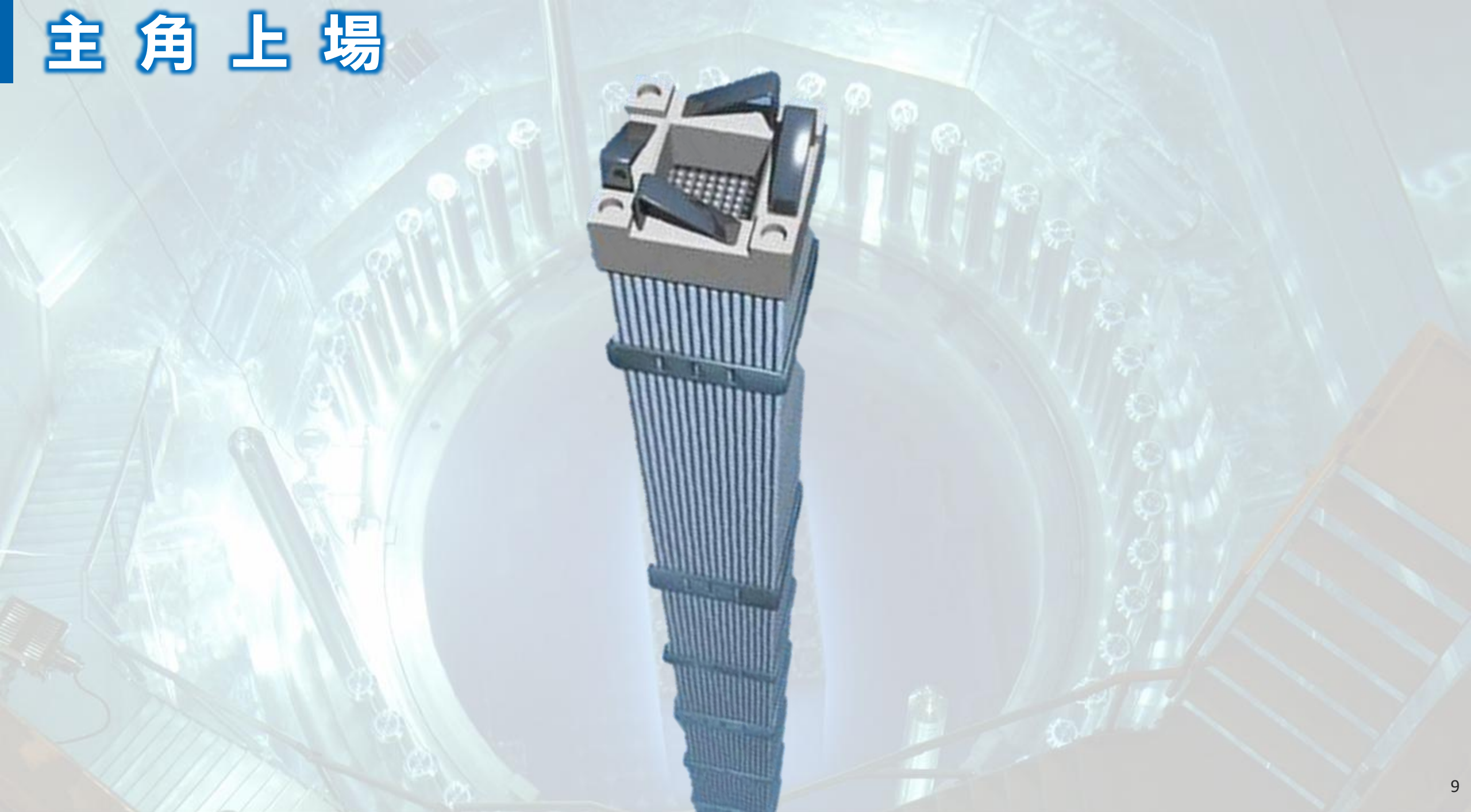
技術多元化：小型模組化反應爐（SMRs）、第四代反應爐等新概念興起。



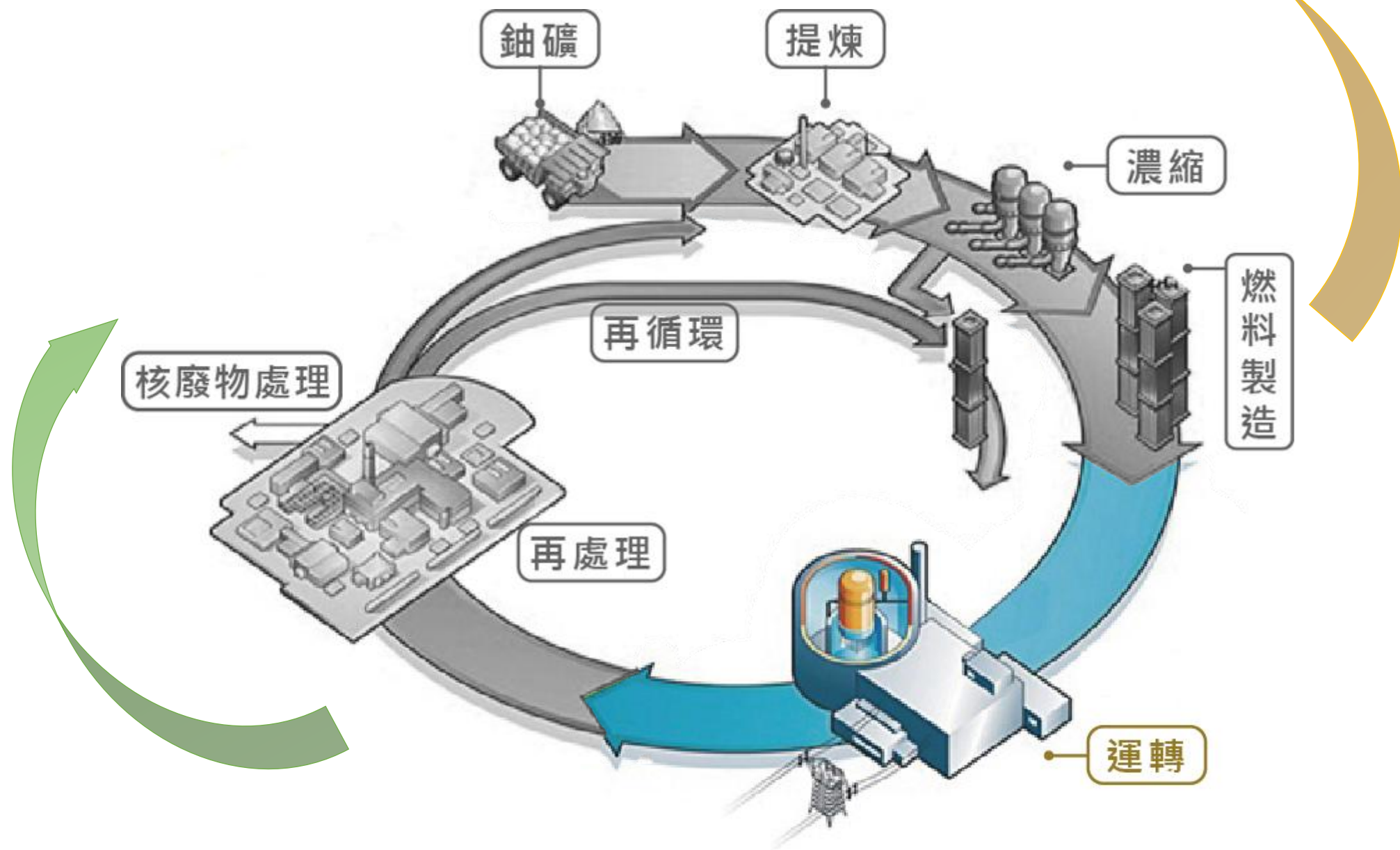
# 核能發電核心原理-核分裂反應



# 主角上場



# 核燃料封閉式循環





# 鈾礦開採

鈾礦露天開採-  
非洲納米比亞湖山鈾礦場露天礦坑





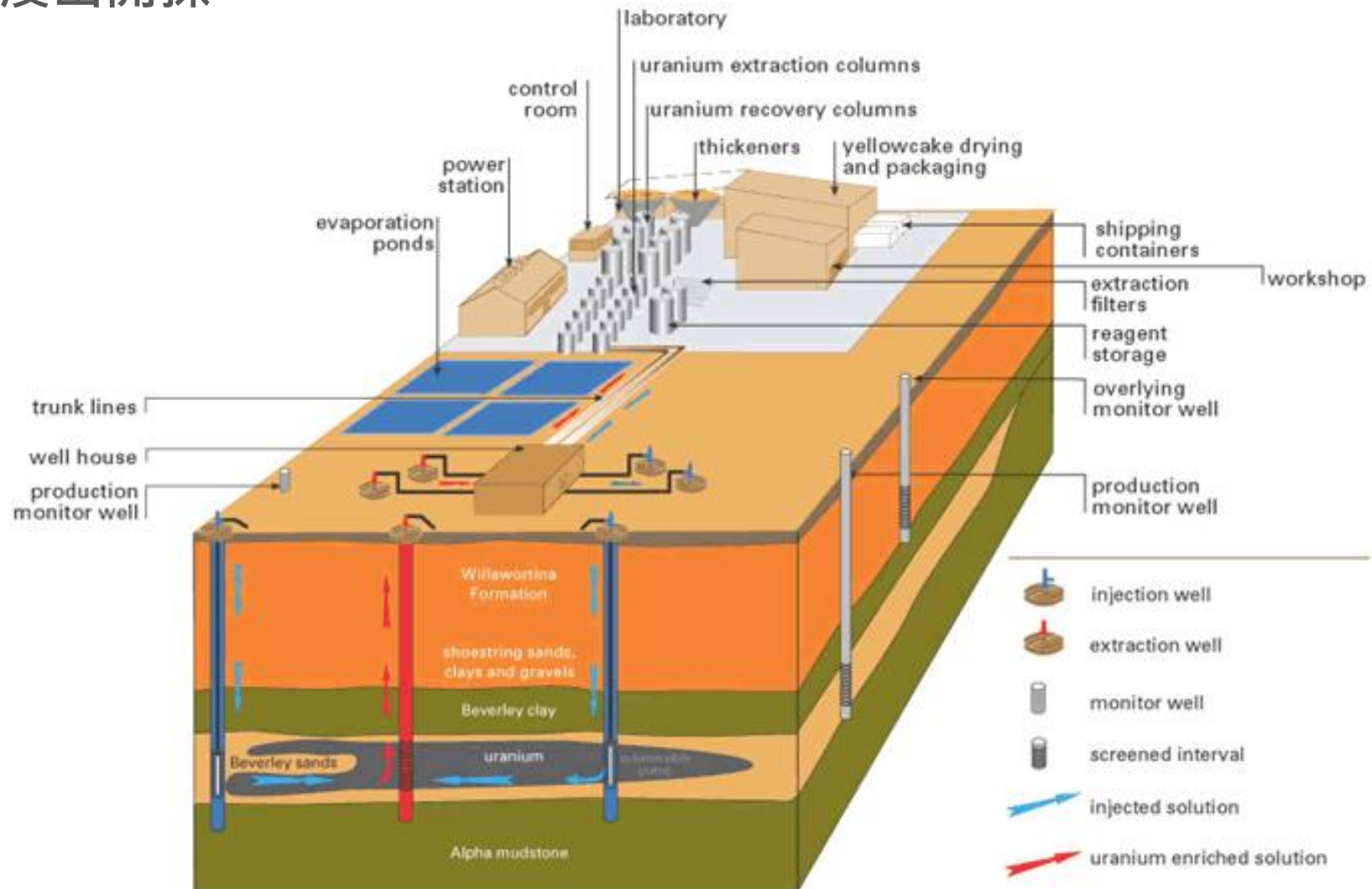
# 鈾礦開採

鈾礦露天開採-  
非洲納米比亞亞湖山鈾礦場



# 鈾礦開採

## 鈾礦原地浸出開採





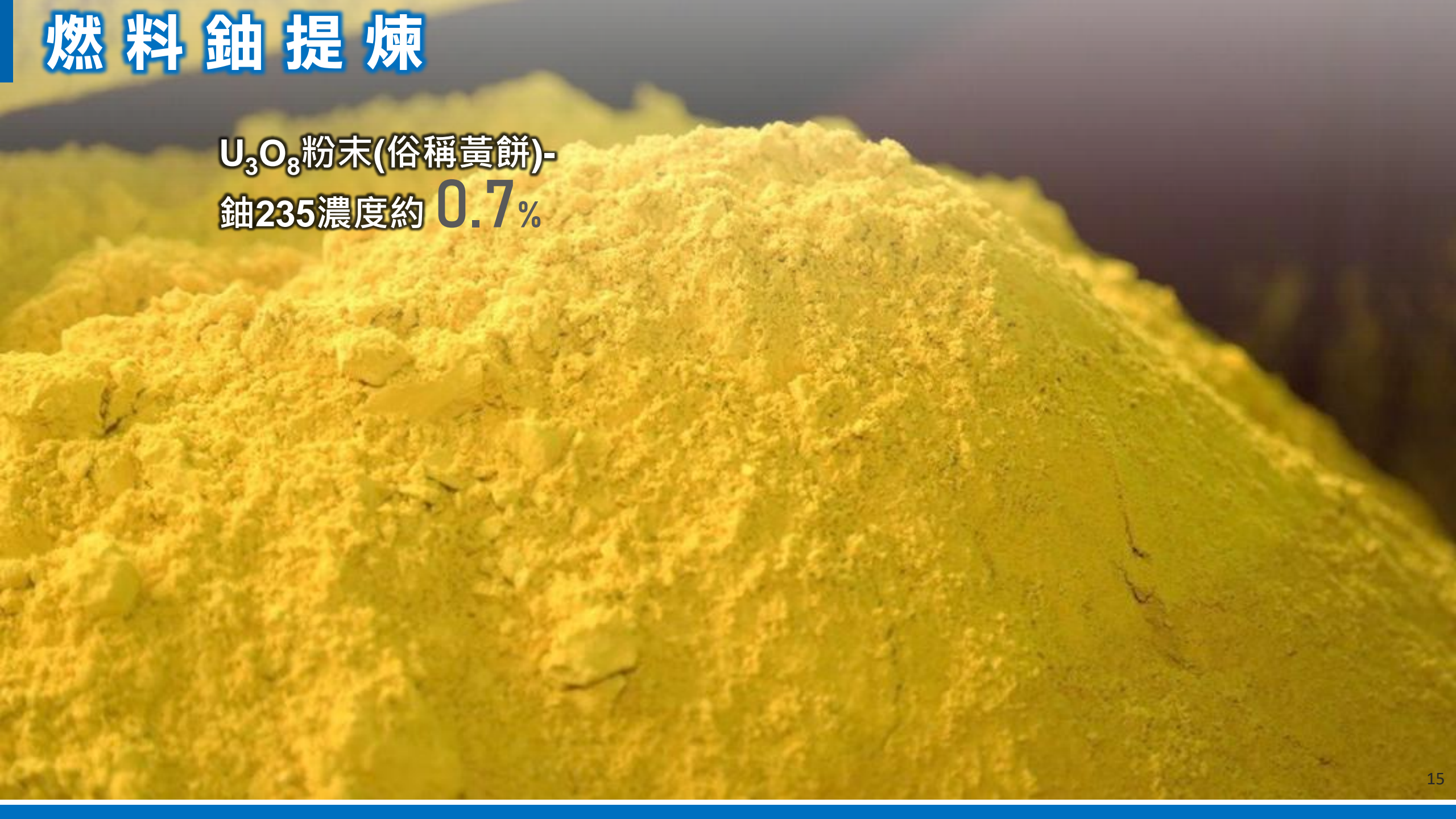
# 鈷 礦 開 採

澳洲  
Honeymoon Project



# 燃料鈾提煉

$\text{U}_3\text{O}_8$  粉末(俗稱黃餅)-  
鈾235濃度約 0.7%





# 燃料鈾濃縮

鈾離心機濃縮-  
轉化成氣態六氟化鈾





# 核燃料製造

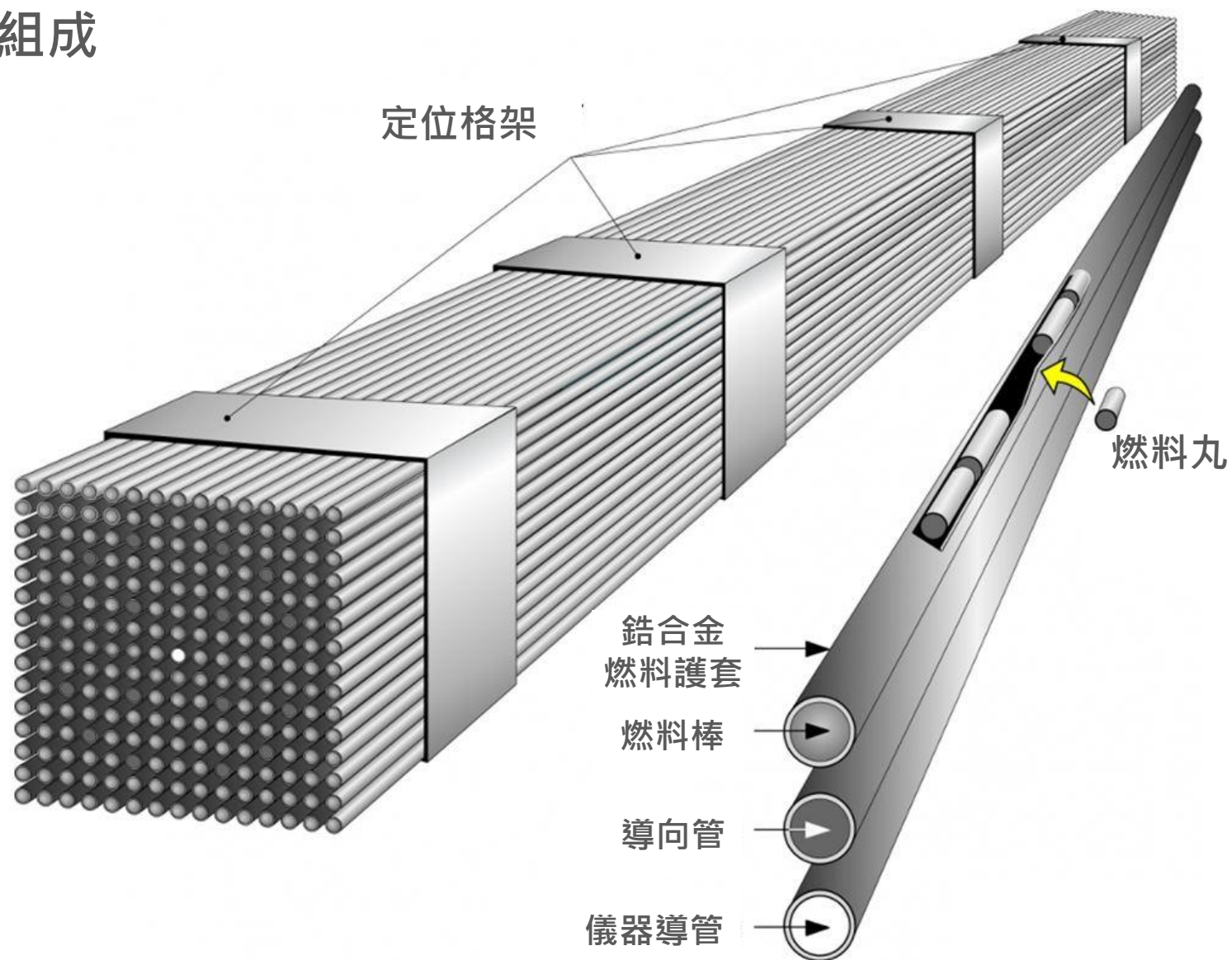
核燃料丸-

鈾235濃度約 3~5%



# 核燃料製造

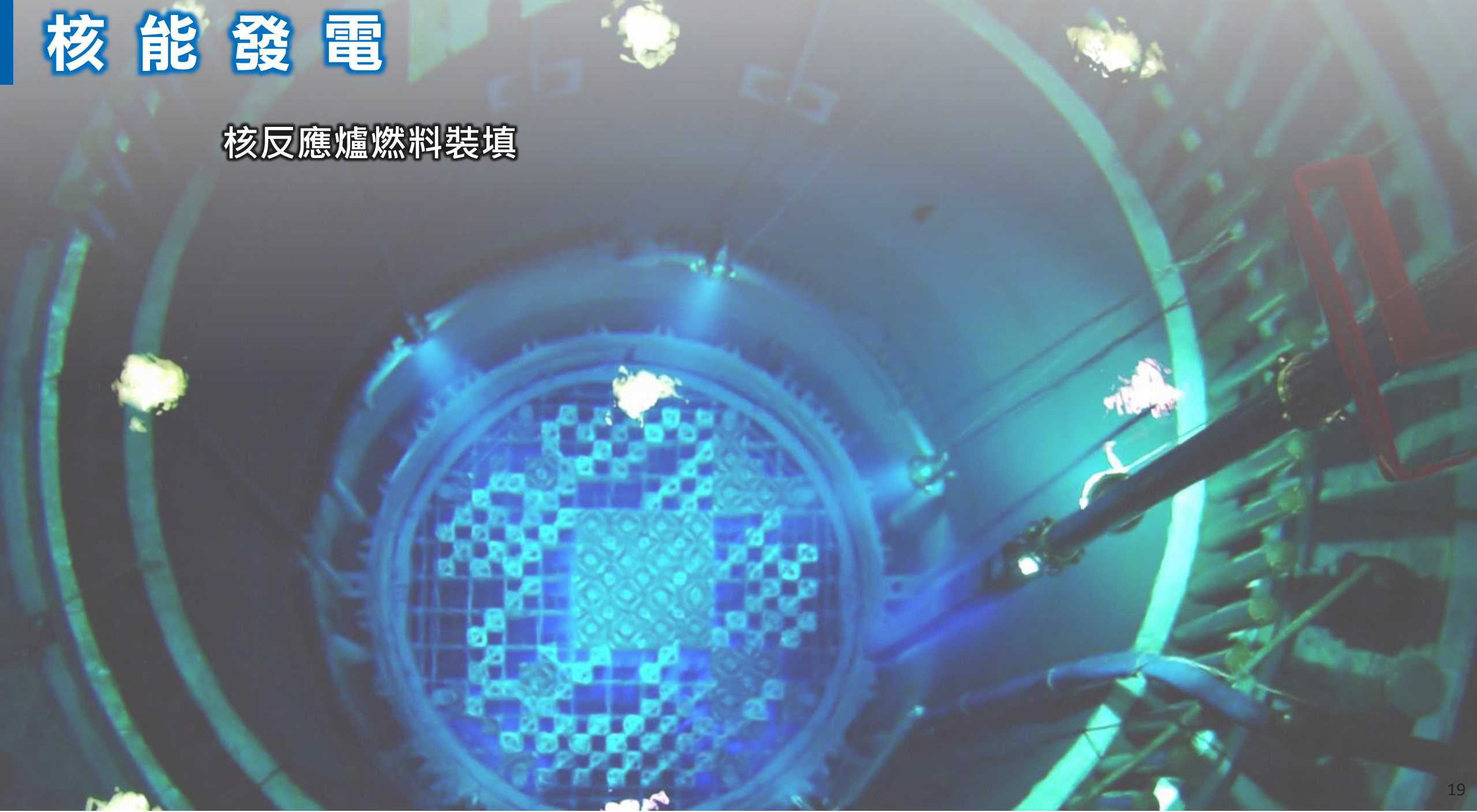
## 核燃料元件組成





# 核能發電

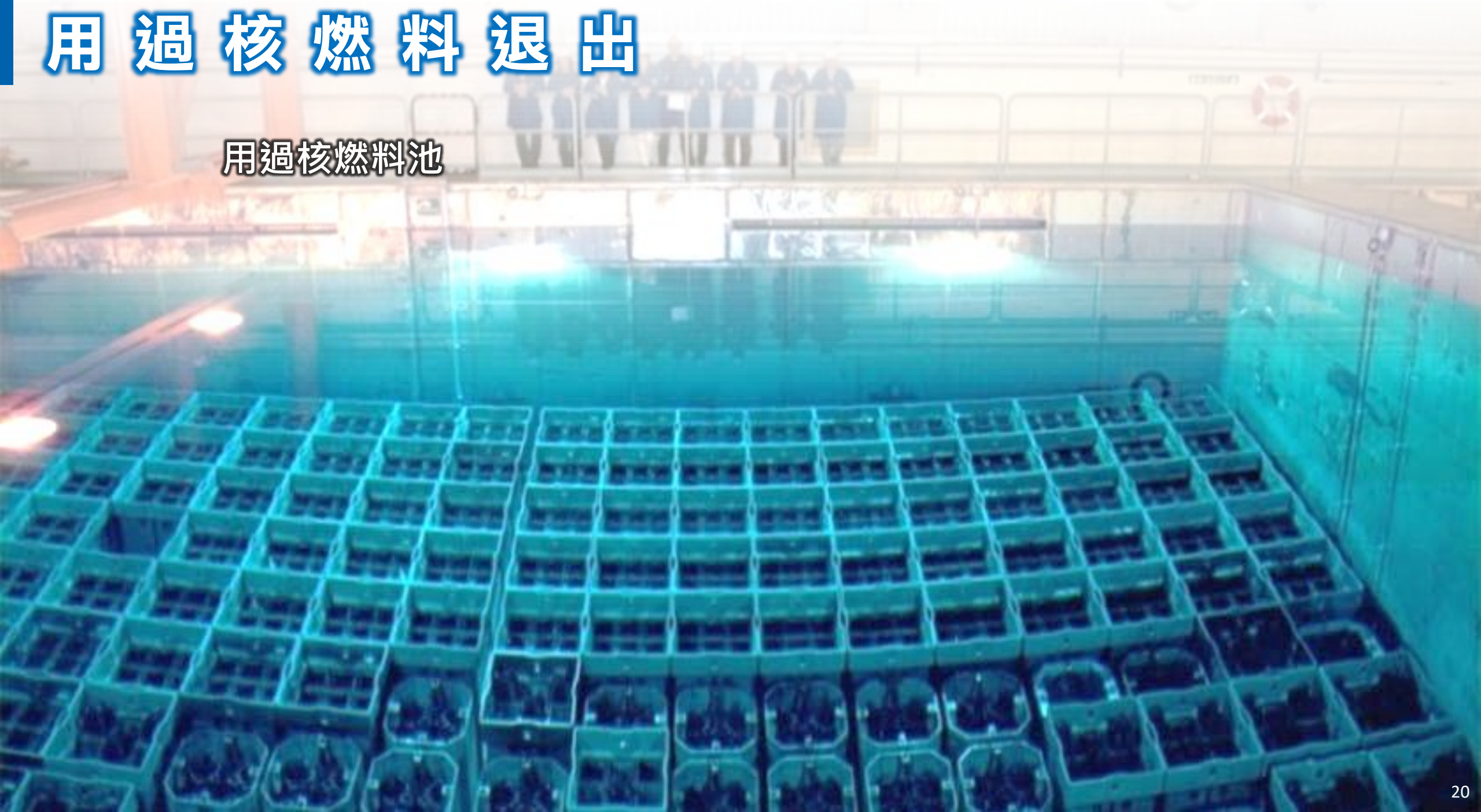
核反應爐燃料裝填





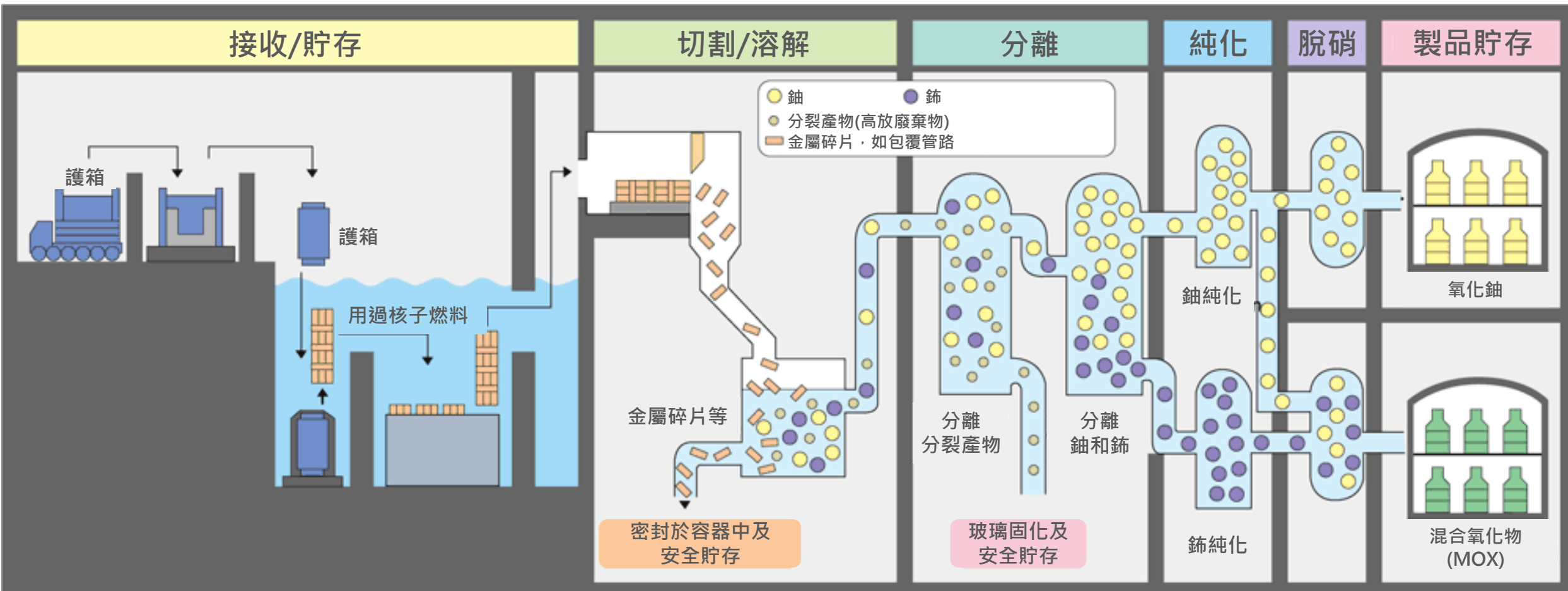
# 用過核燃料退出

用過核燃料池

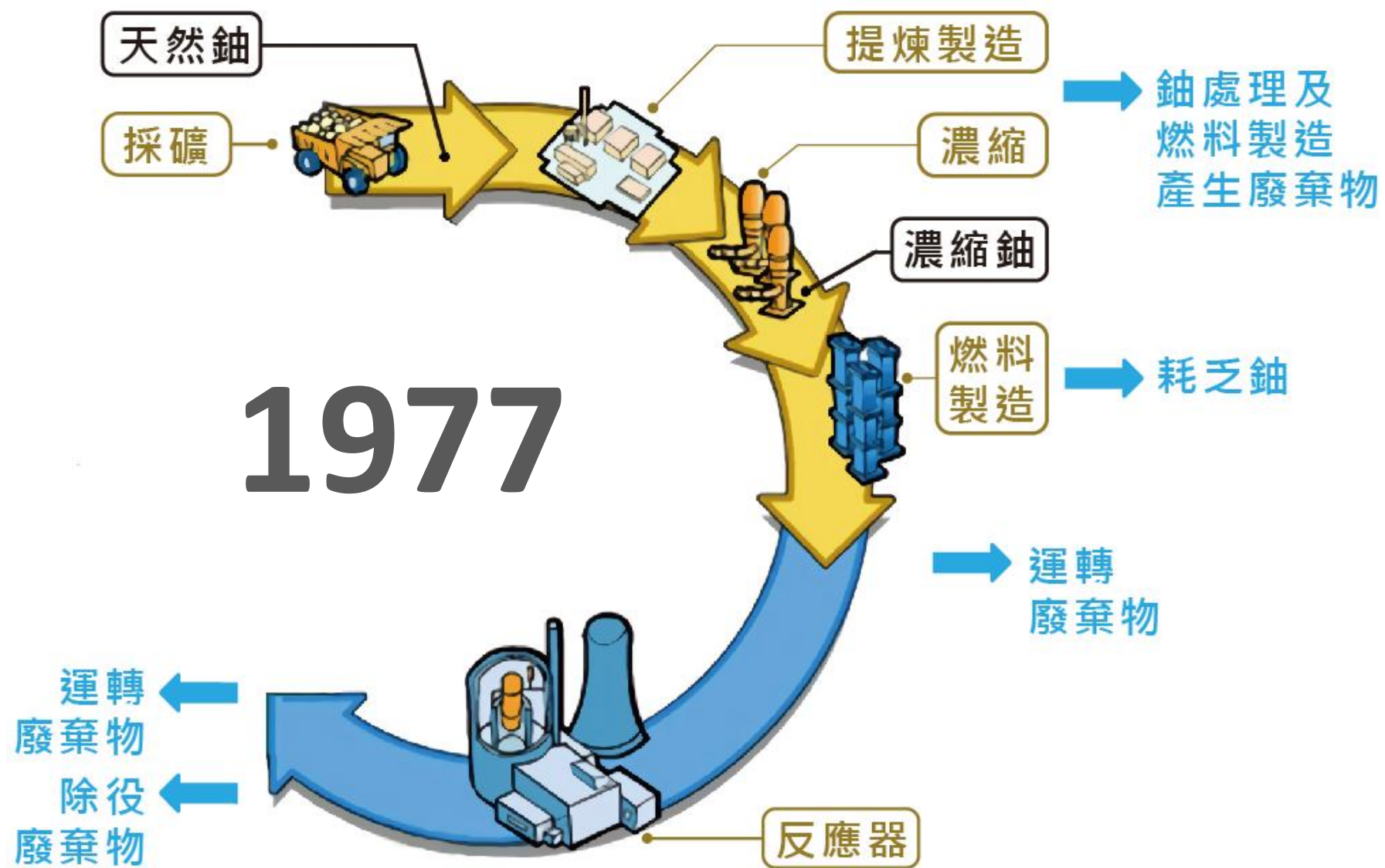




# 用過核燃料再處理流程



# 核燃料開放式循環



# 後端營運業務



低放



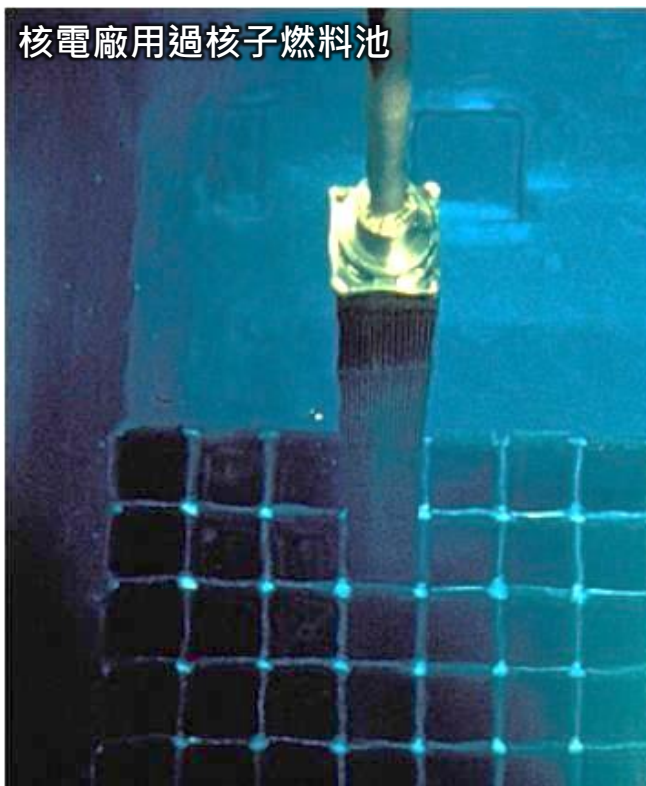
高放



除役

# 高低放分類定義

## 高放射性廢棄物





# 營運策略



低放 40~50年



高放 70~80年



除役 30年

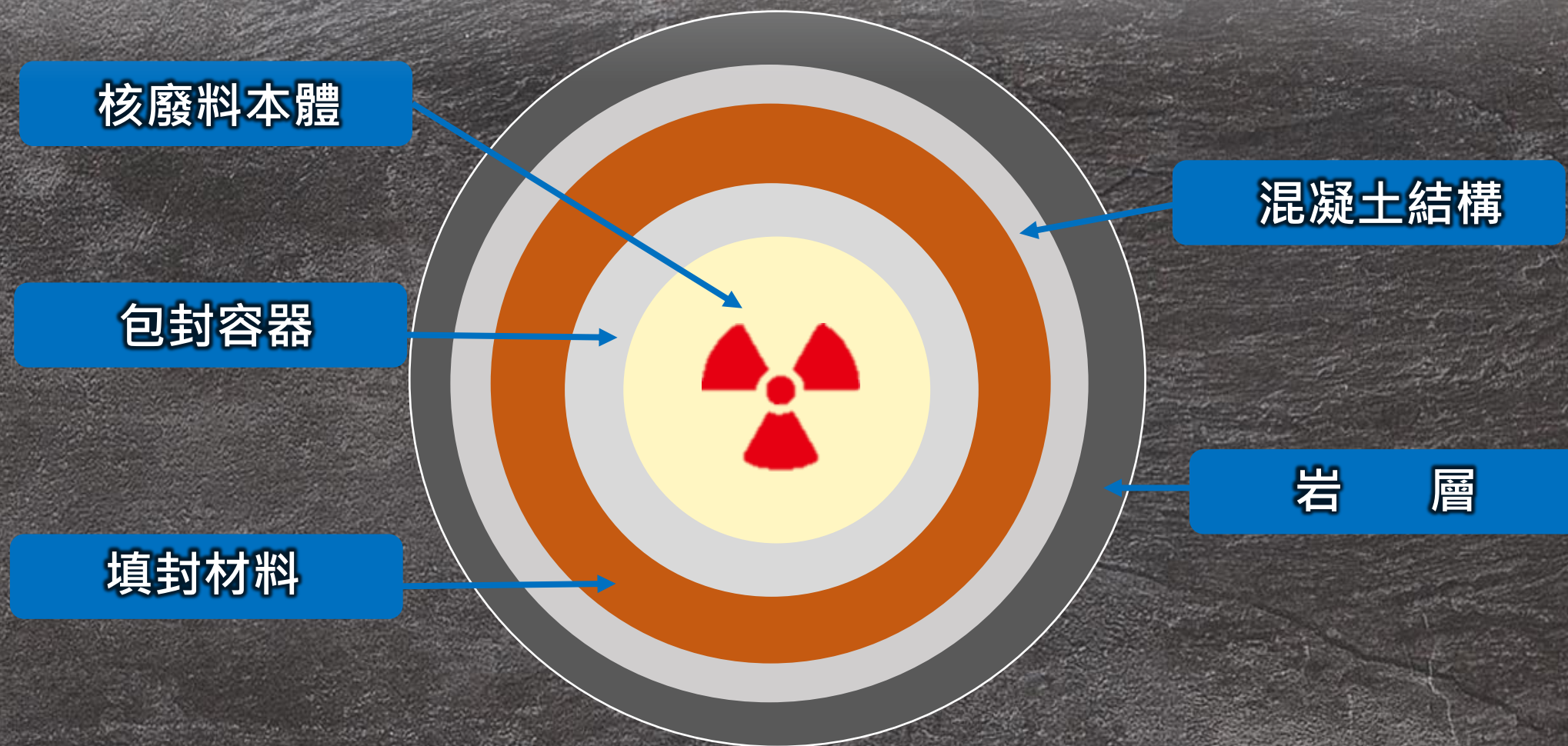


## 整體規劃執行 滾動檢討調整





# 多重障壁







# 02

## 如何處理 低放射性廢棄物

# 低放處理及貯存



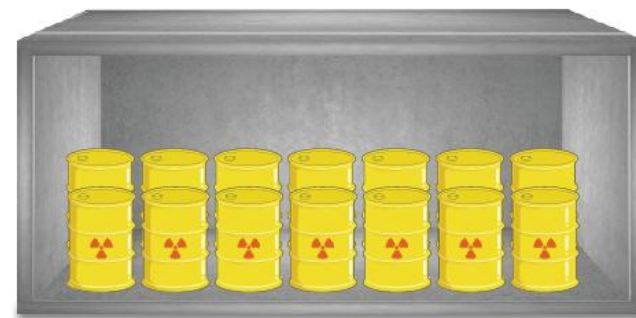
可燃廢棄物焚化



可壓廢棄物壓縮



濕性廢棄物固化



暫時貯存



最終處置場

# 焚化爐系統

運到減容中心的低放射性可燃廢棄物，必須先用X光機剔除不可燃的物質，才能投入焚化爐焚化，減容比約30:1。





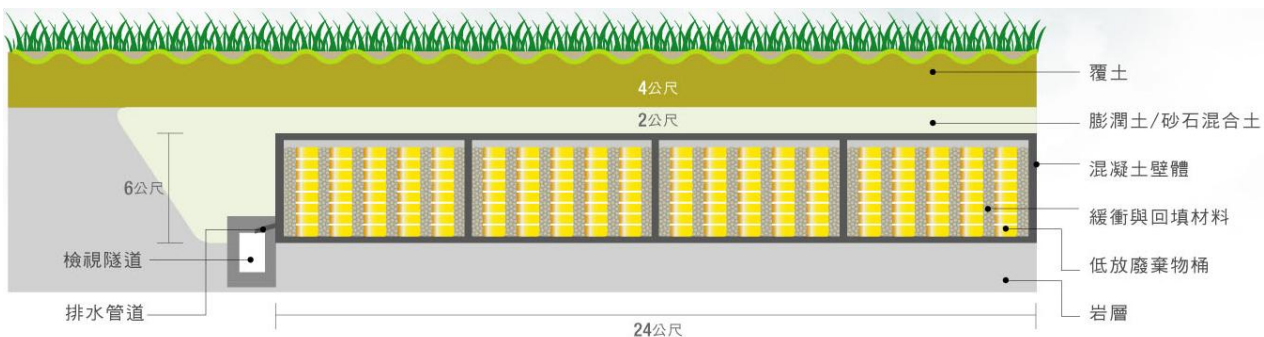
# 超高壓壓縮機

可壓縮廢棄物盛裝於180公升鋼桶中，須先經過表面輻射劑量量測和拭跡偵測，以確定桶表面的輻射與污染符合規定，經輸送帶輸送到超高壓壓縮系統壓縮(出力1500噸)，減容比3~5：1。



# 低放最終處置技術

## 淺層處置



日本青森縣六個所村低放射性廢棄物最終處置場剖面圖

資料來源: 日本JNFL

## 隧道處置





# 國際經驗

法國盧伯L'Aube  
-淺地層處置







日本六所村  
-淺地層處置



# 國際經驗

## 瑞典SFR -海床坑道處置





# 國際經驗



瑞典SFR  
-海床坑道處置



## 法國芒什La Manche -封閉監管



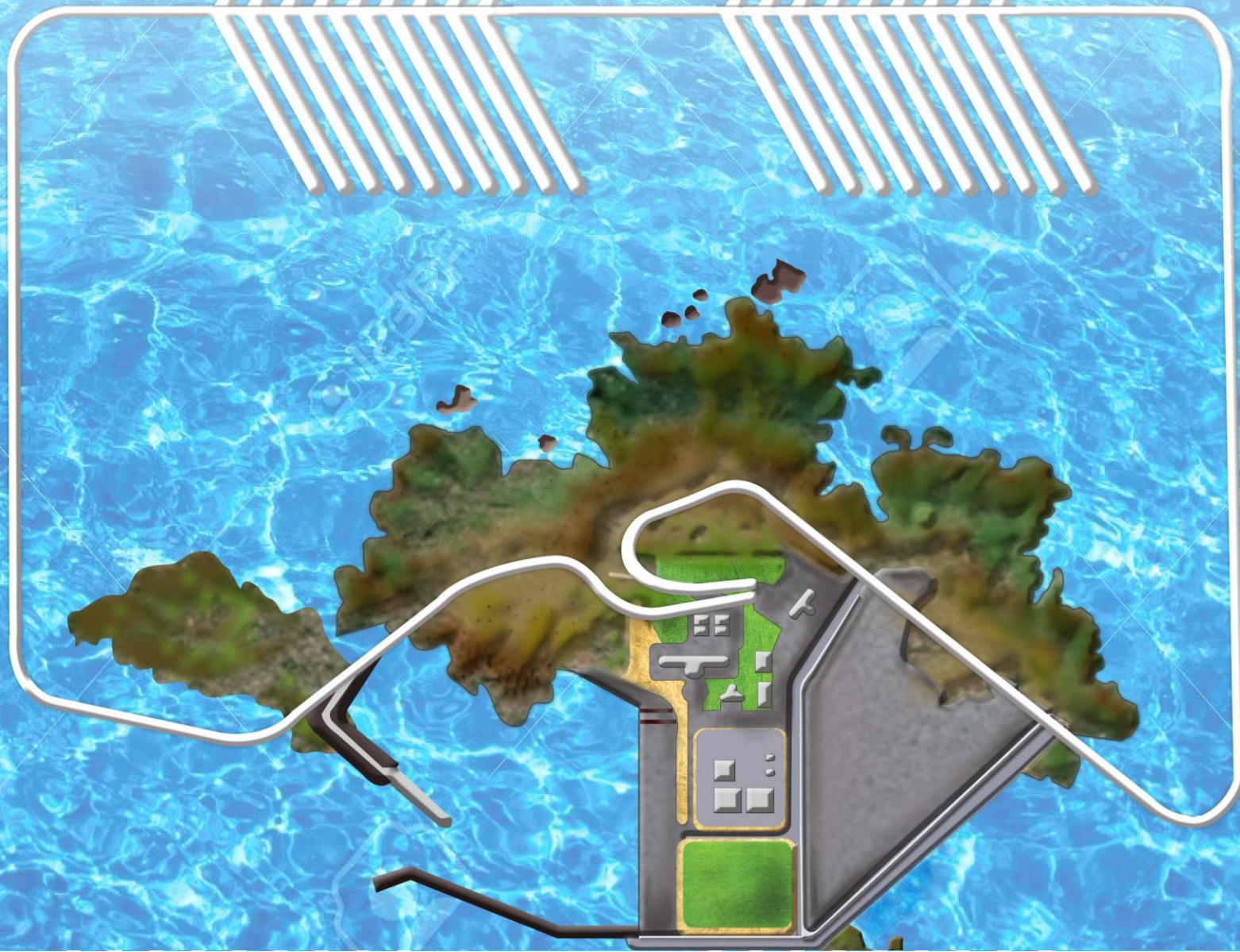


# 台東達仁-山洞隧道處置





# 金門烏坵－海床隧道處置





# 集中式中期暫存設施





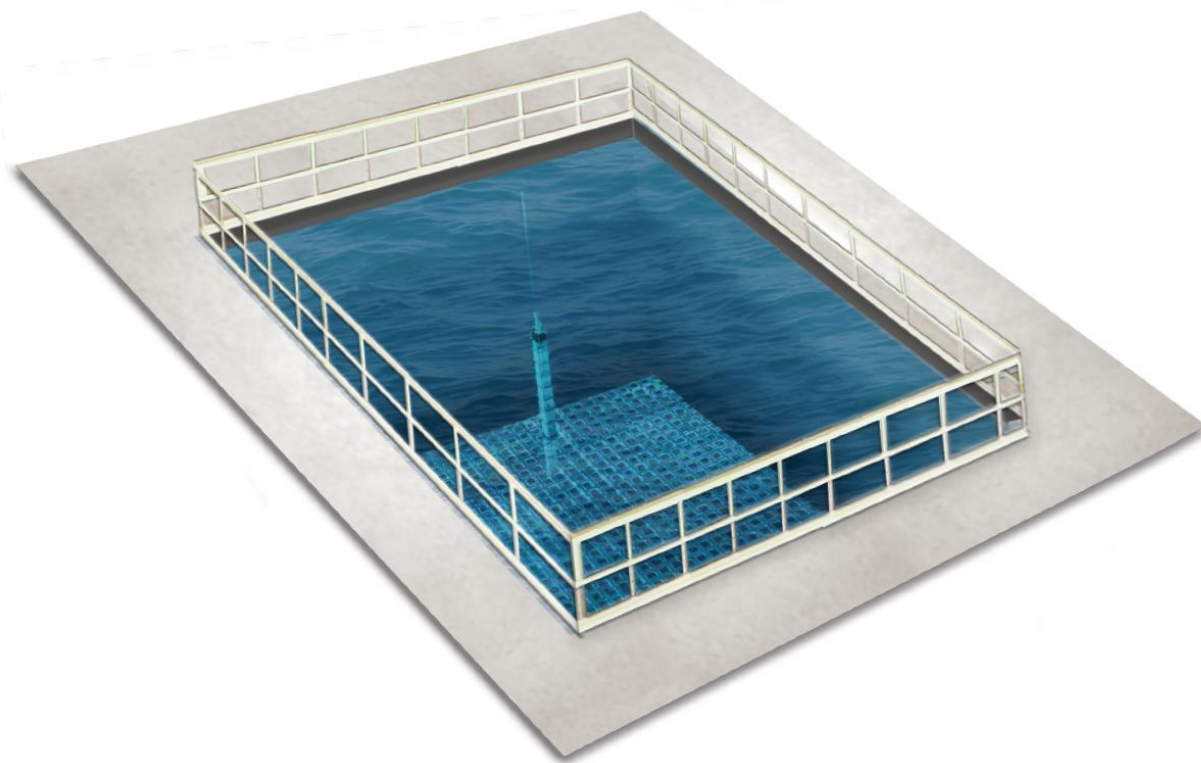


# 03

## 如何處理 高放射性廢棄物

# 高放貯存分類

濕式貯存



乾式貯存





# 高放貯存分類

集中式貯存



分散式貯存



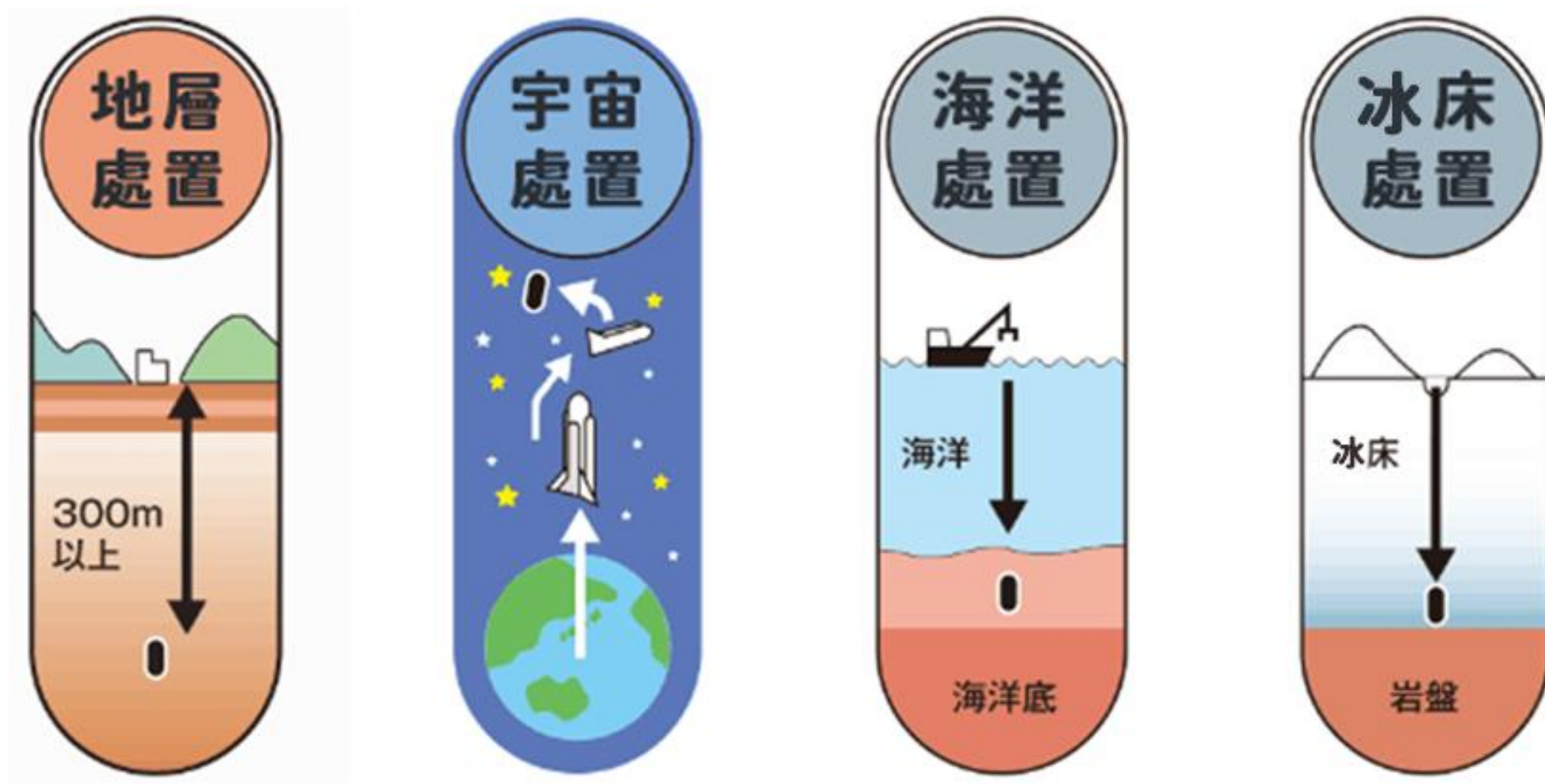
# 高放貯存國際經驗



荷蘭高放貯存設施 HABOG

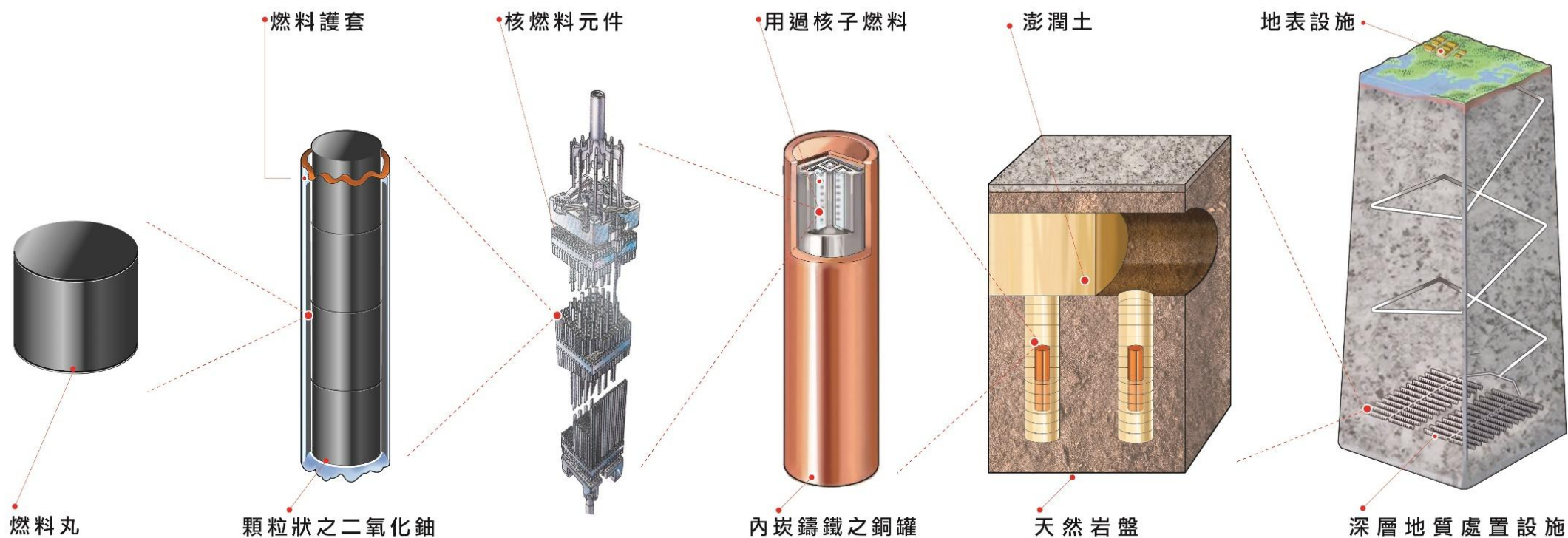


# 高放處置方案



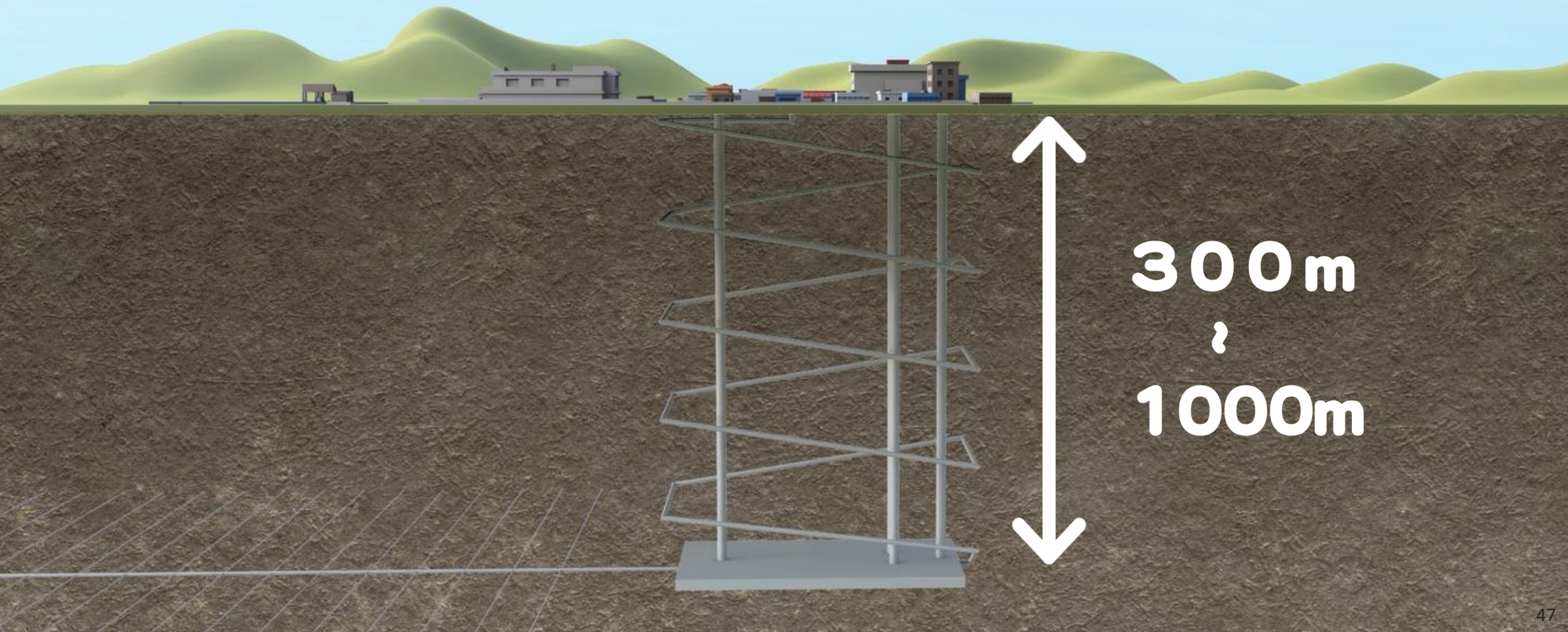
# 高放深層地質處置

所謂 **深層地質處置**，是將用過核子燃料(高放射性廢棄物)埋在深約300 公尺至1,000公尺的穩定地質環境中，再配合金屬廢棄物罐、緩衝與回填材料等工程障壁系統，藉由人工與天然障壁構成之多重障壁系統，讓用過核子燃料所含放射性物質在到達人類生活圈之前，其輻射強度已衰減至可忽略程度。





# 最終處置場示意圖





# 多重障壁之天然類比

## 大自然的例子



加拿大鈾礦物放大圖

### 加拿大鈾礦物

位於加拿大中部平原的鈾礦，是世界上最大最豐富的鈾礦床，已存在了十萬年以上。

這個鈾礦床在岩層430公尺之下，被含有豐富鈾的岩石所圍繞，藉著這些岩石的屏障，阻止了地下水透過礦石。因此，今天從礦石層6公尺以內所採到的水樣分析顯示，所含的各種成分，尤其是鈾的含量，都合乎飲用水標準。同時，鈾礦物所含的主要成分為類似用過核燃料的二氧化鈾，它們難溶於含氧濃度的水中。雖然鈾礦床自形成以來就與地下水，但是因為這些水與周圍岩石交互反應產生了含氧濃度低的水，而阻止了含氧濃度在水質的遷移。

從鈾礦床的現象可以了解到，大量的二氧化鈾是可以藉著天然阻障物，在核燃料處理時長度才受到保護。不過這並不代表鈾礦床是位於含大量鈾的多孔砂岩內，而我們將來選擇的核燃料處理場址，則是孔隙性低且含水量低的岩石。因此，深層地質處置方式將比目前的核燃料處理更為穩健、安全，更確定深層地質處置是可行的。

### 巴西摩洛、杜、費洛與歐薩姆、巫住密鈾礦

摩洛、杜、費洛是地球表面最具有放射性的地殼之一，在接近地表的地層中含有大約二萬萬鈾與五萬萬鈾的鈾元素，它們都具有放射性，經過兩年半的地下水取樣分析，驗證了每年從地下水帶走的放射性核素含量不到十億分之一，是美國飲用水容許濃度的二十分之一。

在美國南方6公里的地方是歐薩姆、巫住密的鈾礦床，環境了豐富的鈾、鈾、鈾、鈾等礦物。因為岩石有許多裂隙，使得含有大量氧氣的水能滲入岩層，而與不同的礦物質進行氧化還原反應。氧化還原反應會沿著地下水的通道而形成，使溶解於地下水的鈾在經過氧化還原反應後，會沉澱在裂隙壁上，而留在原地不動。

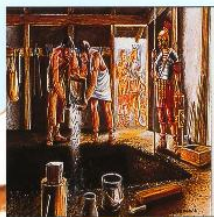
以上的研究，在關鍵的地質化學的過程上，提供了重要的資料，有助於瞭解地下水與礦物質間的化學作用如何隔離放射性物質。



### 克羅南戰艦的銅砲

公元1676年瑞典戰艦克羅南號，在斯堪的納維亞外海爆炸沉沒，考古學家找到一個半徑在海床中大約三百年之久的大砲，大砲的合金材料中含有百分之九十五的銅，海床的淤泥保護了這種合金而未曾遭破壞。經過計算，大砲埋在淤泥中的部份所失去的銅，三百年來只有百分之十五公厘。

目前國際利用金屬合金作為用過核燃料及高放射性燃料之材料，羅馬鐵釘和克羅南大砲的例子告訴我們，銅和鋼等金屬可以作為長期的人工屏障。



### 羅馬軍營的鐵釘

在公元87年時，阿格利古拉的古羅馬軍營被解嚴後，在阿格利古拉軍營時，他們將多達12噸、相當於一百萬根以上的鐵釘，進入43公尺深的戰壕裡，以防止落入敵人手中，這些鐵釘覆蓋著一層厚土的鐵釘，在戰壕的環境中埋藏了幾千年之久，一直到現在才被發現，考古學家發現只有最外層的鐵釘遭到腐蝕，大部分的鐵釘依然保持著良好狀況，經測試發現仍可正確的使用。



### 義大利杜那羅巴村的樹樁

公元1980年在安布利亞的杜那羅巴村附近的熱土墳地，發現了許多巨大的直立樹樁，這些古代樹樁因深埋於熱土層下，與大氣隔離得很好，所以依舊保存得很好，並沒有發生木質腐壞或礦物化為化石，充分地驗證了熱土的絕佳隔離能力，而與典型地層處置場設計上，在處置核燃料後，即以高密度熱土作為圍障材料，將核燃料封鎖。

### 核燃料週期的完整呈現—加彭奧克路鈾礦的天然核反應器

許多年以前，在非洲加彭共和國的奧克路鈾礦地底深處的一千公尺的天然鈾礦中，發現了一座遠古時代的天然核反應器，有一部分鈾礦，在一億八千萬年前，在自然狀態下發生核分裂反應長達五十萬年之久，期間至少消耗了十萬的鈾，產生類似人為核分裂反應後所殘餘的放射性物質，經過那漫長的時期後，絕大部分的放射性物質仍留在原地，演變成與天然環境共存、無害的物質，對地表環境並未造成不良影響。

奧克路的例子，證實了一種地下處置場，確實可在所要求的時間內，安全的隔離放射性核素。



### 羅馬神廟的水泥建築

從羅馬時代至今，許多巨大的建築都存留下來，例如由羅馬執政官馬克·阿奎巴在公元前27年所建造的羅馬神廟，這座神廟的圓頂，是由厚層和混凝土環境所支撐，迄今已屹立了兩千年之久，可以驗證水泥與混凝土等材料是適合用於深層地質處置場結構的建築。

根據以上各國所進行的天然類比研究結果，核燃料處理可由合適的合金材料包裝、熱土質圍障材料的包裹、水泥或混凝土所構築的結構設施，以及深入地底300到1000公尺並呈規模化遠境環境的巨大岩層的屏障，將它們與環境完全隔離，最後變成與環境共存而無害的物質。

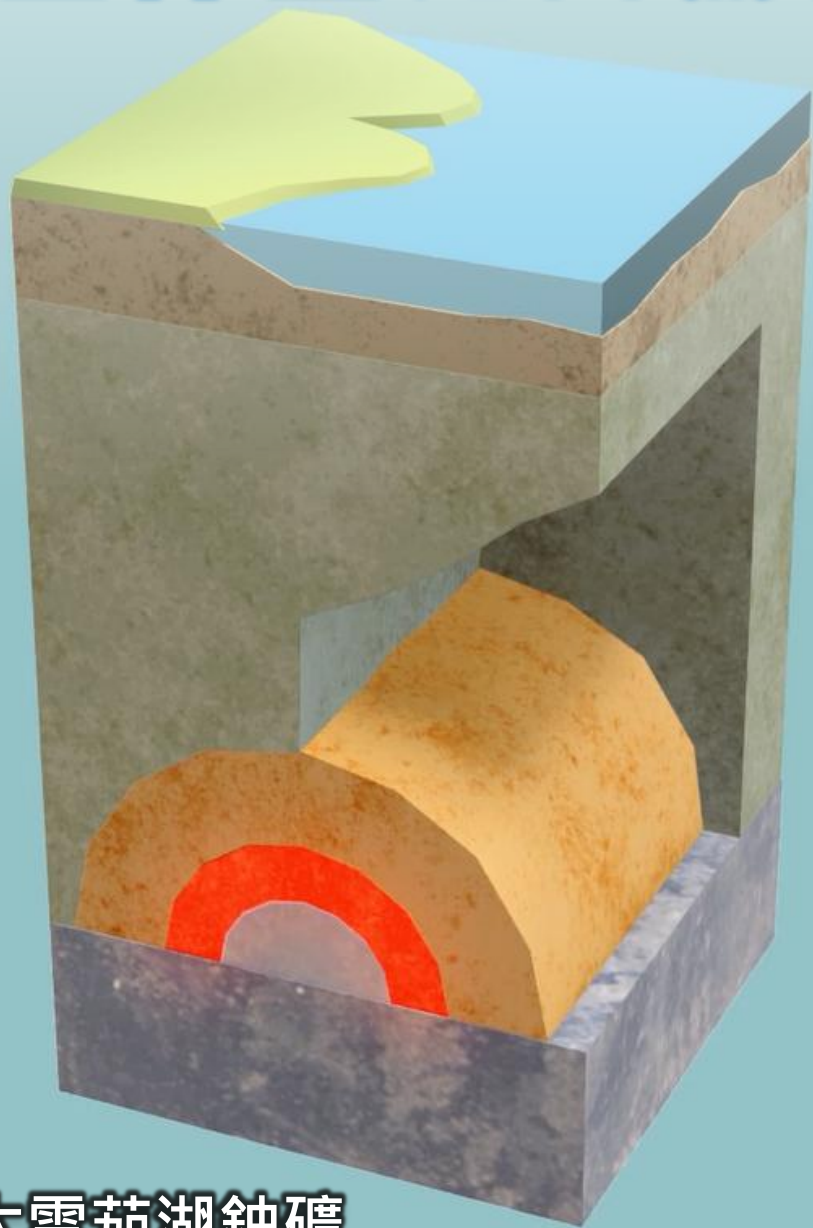
### 深地層處置天然類比的多面向研究

沒有一個天然系統可以精確地與我們設計的處置場完全符合，因此，我們必須藉由探討不同的天然系統，來了解深地層處置場各層障壁的設計上所需考慮的事項。

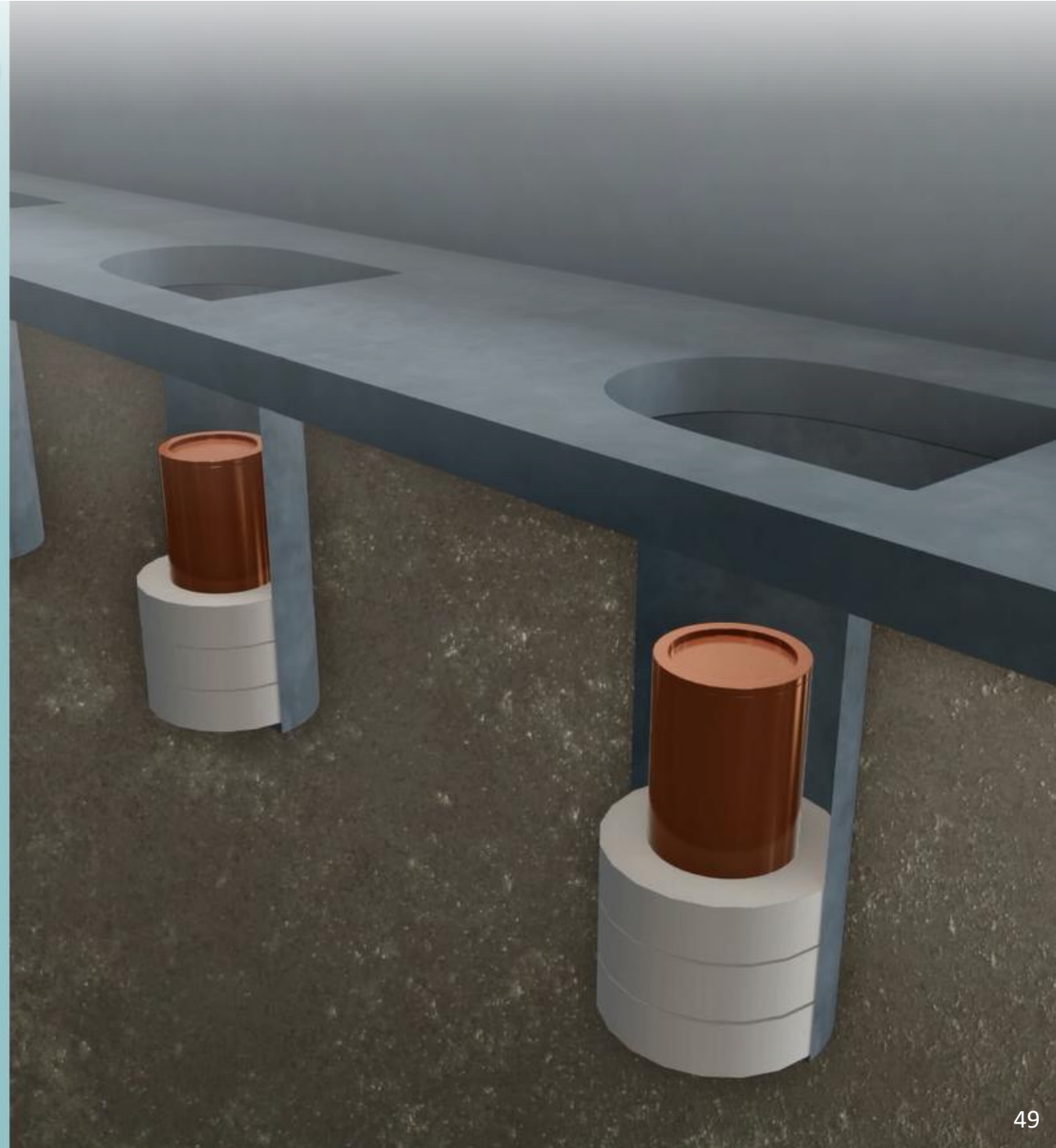
目前在各國的處置場設計概念中，大塊的、低透水性的岩石結構等天然屏障，是與人工的屏障物混合使用的，例如高密度的黏土、水泥、混凝土、鋼鐵及銅等，因此我們需要瞭解這些物質深埋於地底時，能否在經過千百年甚至萬年後仍然能維持其原功能。



# 多重障壁之天然類比



加拿大雪茄湖鈾礦





# 04

## 除役 策 略



# 核電廠除役策略

## 立即拆除 DECON ( Immediate dismantling ) :

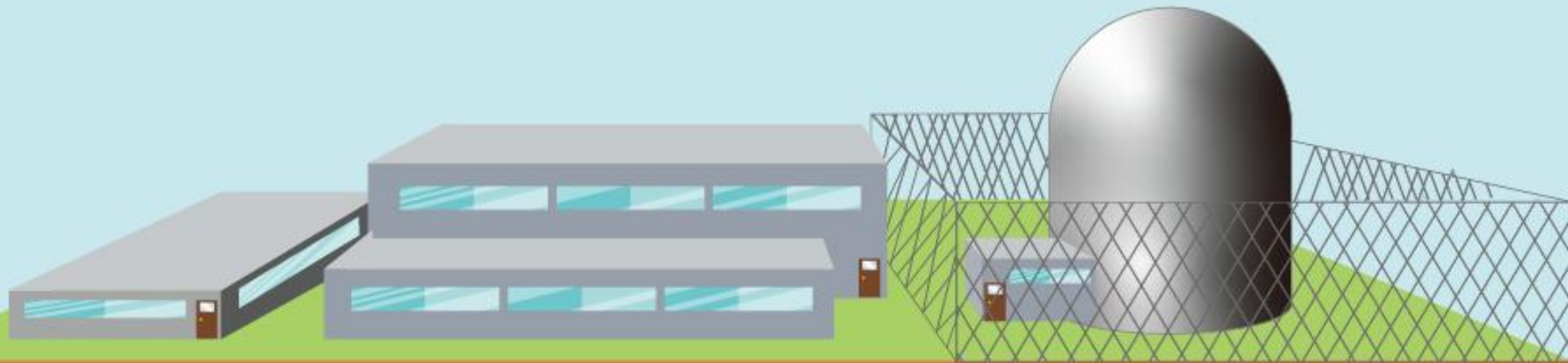
在核子設施停機關閉後不久，有放射性汙染的設備、結構、以及部分設施將會被拆除或除汙，以確保廠址在停止運轉後不久即能釋出土地，且土地使用不受限制。



# 核電廠除役策略

## 延遲拆除 SAFSTOR ( SAFe STORage ) :

核子設施在停機關閉後不立即拆除，經過一段時間的維護及監測後，使設施內之放射性衰變至可接受之水平，再將各組件進行除汙、拆除並移出廠區，使廠址能釋出土地，土地使用不受限制。

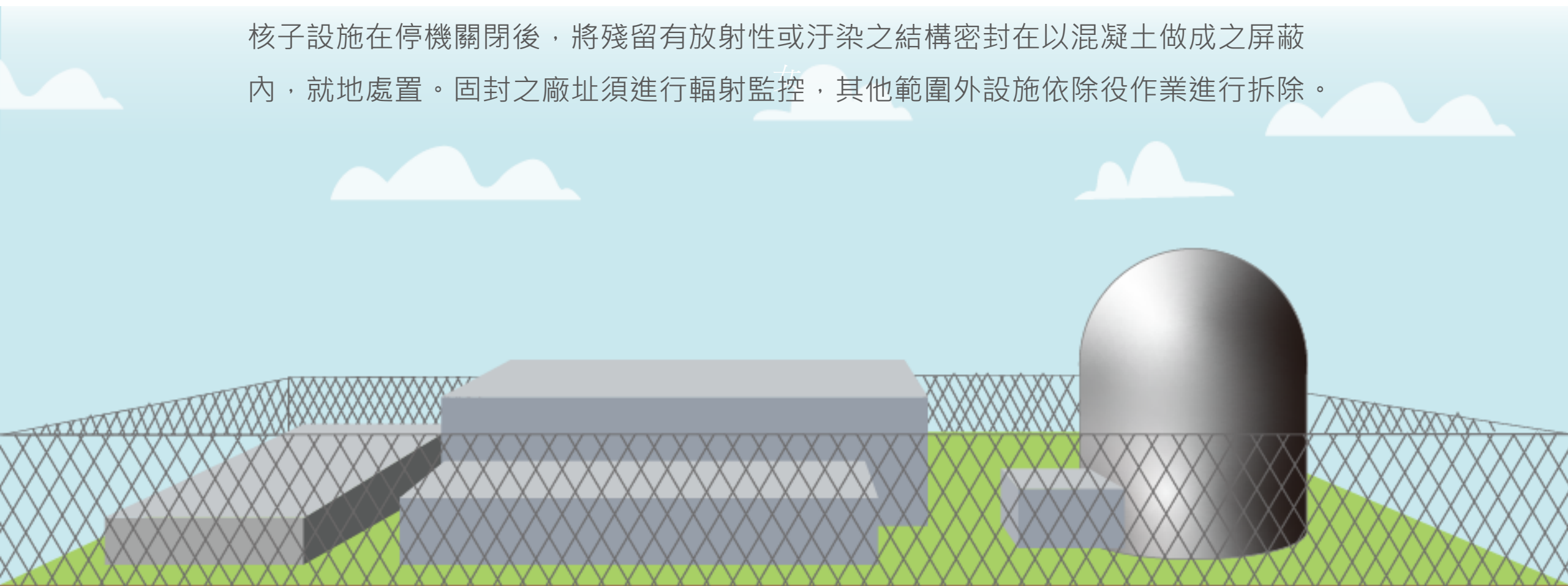




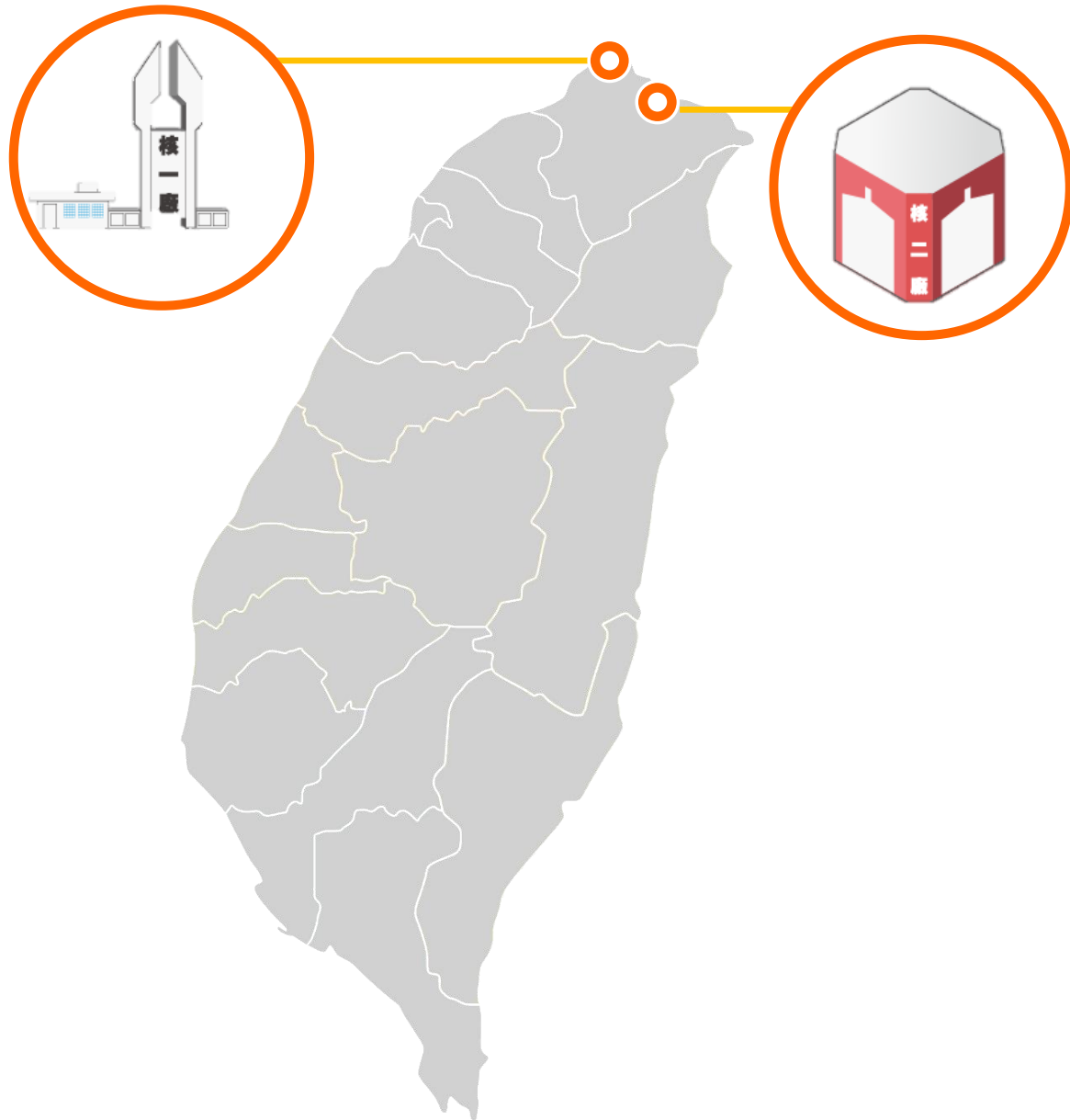
# 核電廠除役策略

## 固封除役 ENTOMB ( Entombing ) :

核子設施在停機關閉後，將殘留有放射性或汙染之結構密封在以混凝土做成之屏蔽內，就地處置。固封之廠址須進行輻射監控，其他範圍外設施依除役作業進行拆除。



# 核電廠除役策略

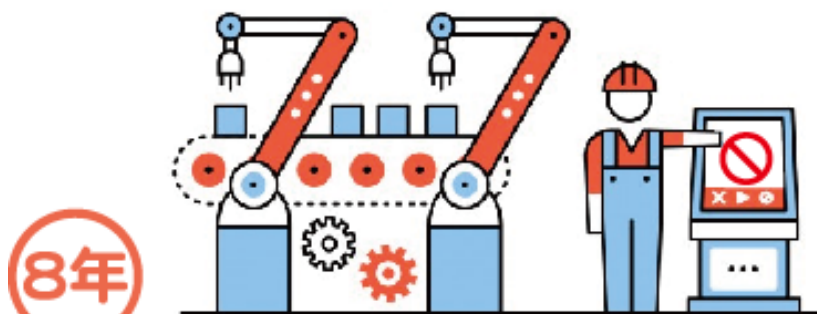


22  
11  
台灣00年  
立即拆除



# 核電廠除役四階段

## 除役過渡階段



## 除役拆廠階段



## 最終偵測階段



## 復原階段



# 怎麼拆

德國

VS

台灣







誰 來 做 ？

# 核廢料管理架構圖





# 專責機構



# 專責機構



公司組織



法人組織



政府組織





# 06

提 錢 準 備

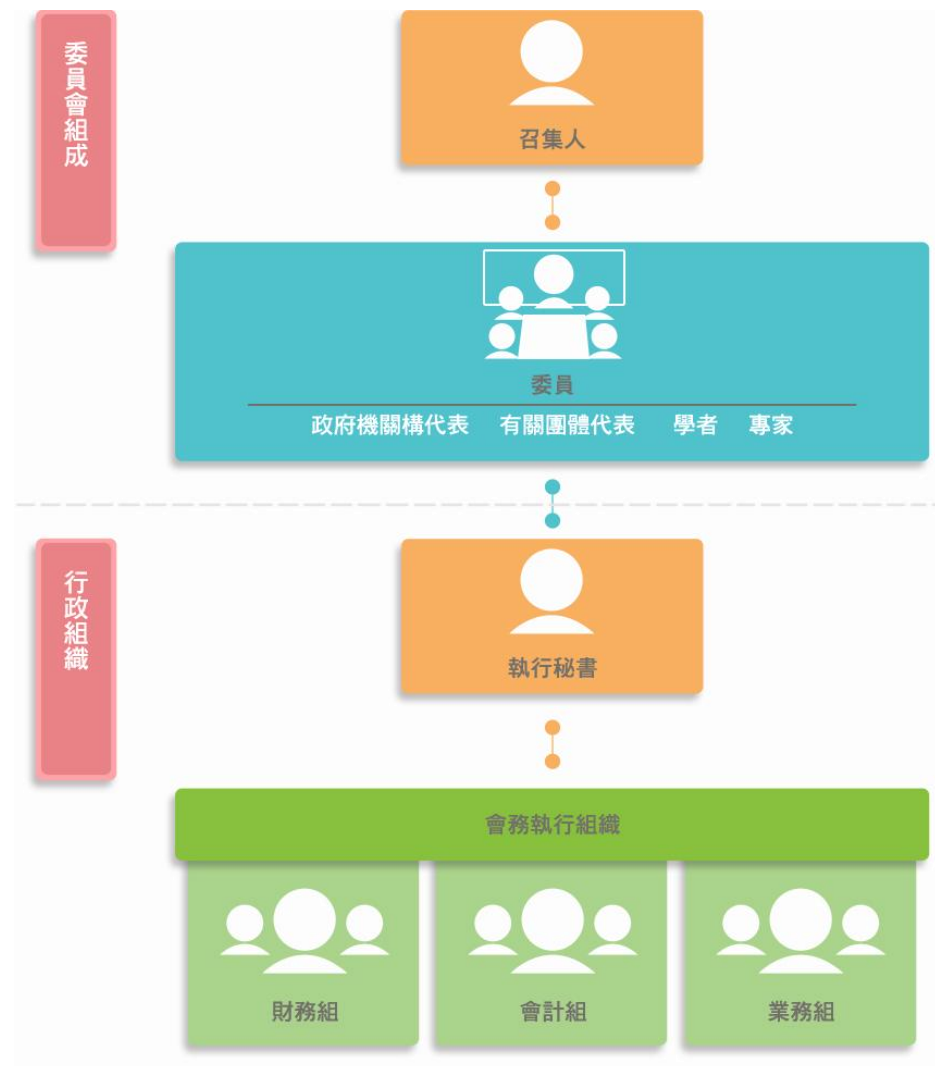
# 核能發電後端營運基金管理會

## 76年成立

基於使用者付費的原則，台電公司於76年報奉行政院核定，成立「核能發電後端營運費用基金」，從每一度核能發電攤提後端營運費用。

## 88年改制

自民國88年會計年度預算起，改制為經濟部主管之非營業基金，更名為「核能發電後端營運基金」，並設「核能發電後端營運基金管理會」。





# 後端基金累計情形

民國76年至114年11月底止，後端基金累計淨值5,070.68億元，其來源：

項目	金額
台電提撥給後端基金	4,398.36億元
加：基金孳息等收入	1,414.64億元
減：各業務計畫等支出	678.59億元
減：所得稅	63.73億元
基金餘額	5,070.68億元



# 後端營運總費用估算

經濟部於114年10月20日核定核能後端營運總費用估算約為新台幣5,069.3億元(111年版)，各分項費用估算如下表：

項目	費用(億元)	百分比(%)
1.核能電廠除役	1,706.00	33.7%
2.蘭嶼低放貯存	17.6	0.3%
3.乾式貯存	550.7	10.9%
4.(集中式)中期暫時貯存	589.9	11.6%
5.低放最終處置	247.6	4.9%
6.高放最終處置	1,402.0	27.7%
7.回饋金	425.3	8.4%
8.營運管理	130.3	2.6%
總費用合計	5,069.3	100%



# 後端基金提列方式

每度核電攤提改為分年攤提

76年

按每度核能發電量  
提列後端基金

109年

分年攤提

114年

足額完成提撥



給核廢一個家



核能後端營運專屬網站