



# 全面透視核能

趙嘉崇

Presented  
to

中華核能學會

2022年12月23日  
at 張榮發基金會

# 最近演講的結論

- 結論1

核能不是選項，而是人類邁向下一步文明的必經之路

2021 06

- 結論2

世界核能發展的巨輪正向前急駛，台灣不在船上

2022 02



今天的結論

**The fun is yet to begin**

好戲正要上場

# 近兩年核能發展達40年之高峯

- 新議題, 新公司, 新局勢, 新立法
- 世界核能發展-風雲際會百家爭鳴
- 2021-2022尤甚
- 所涉議題廣泛, 今天擇重點討論



# 今天討論的主要題目

1. 核廢處理與消除—核燃料循環  
—與防範核武擴散
2. 核融合的進展
3. 小型模組化核能電廠SMR的考量

很多核能議題沒有包含在今天討論內  
-但歡迎提問

- 核能安全全面觀
- 低劑量輻射的健康效益
- 太空應用
- 新式核燃料
- 其他還有很多議題

# 消除核廢料之理論基礎與工程設計

趙嘉崇

清華大學

李存敏館(綠能館)204會議室

2018年10月31日  
中華核能學會舉辦

Dr Jason Chao October 31, 2018

# 核廢料放你家好不好？

我的回答：沒問題但是我必須要擁有它的主權。

（致富是因為無知的人太多。）

最後，在此讓我回答一個常在網路看到的問題，題目是：「核廢料放你家好不好？」我的回答是：「沒問題，如果鄰居同意，但是我必須要擁有它的主權。」



# 賬目不清, 如何治理能源世界 乏燃料會計學

主要成分	成分比例	資產還是負債
鈾	95%	資產
鈾	1%	資產
高放射性 次鈾系元素	0.1%	可以是資產
核分裂衍生物	4%	負債

# 全面消除核廢要做什麼事

## 沒有遠慮 面臨的都是近憂

有人問處理核廢的問題，是要往東，還是往西？  
答案是黃色的，因為問題的性質都搞錯

- 1核廢處理與消除-2核燃料循環-3與防範核武擴散**
- 這三者一體不可分割
  - 核廢料處理的議題必須受命於其他兩者的**政策方向與採用技術**

經濟發展是主要動力

防範核武擴散的考量影響全局大方向

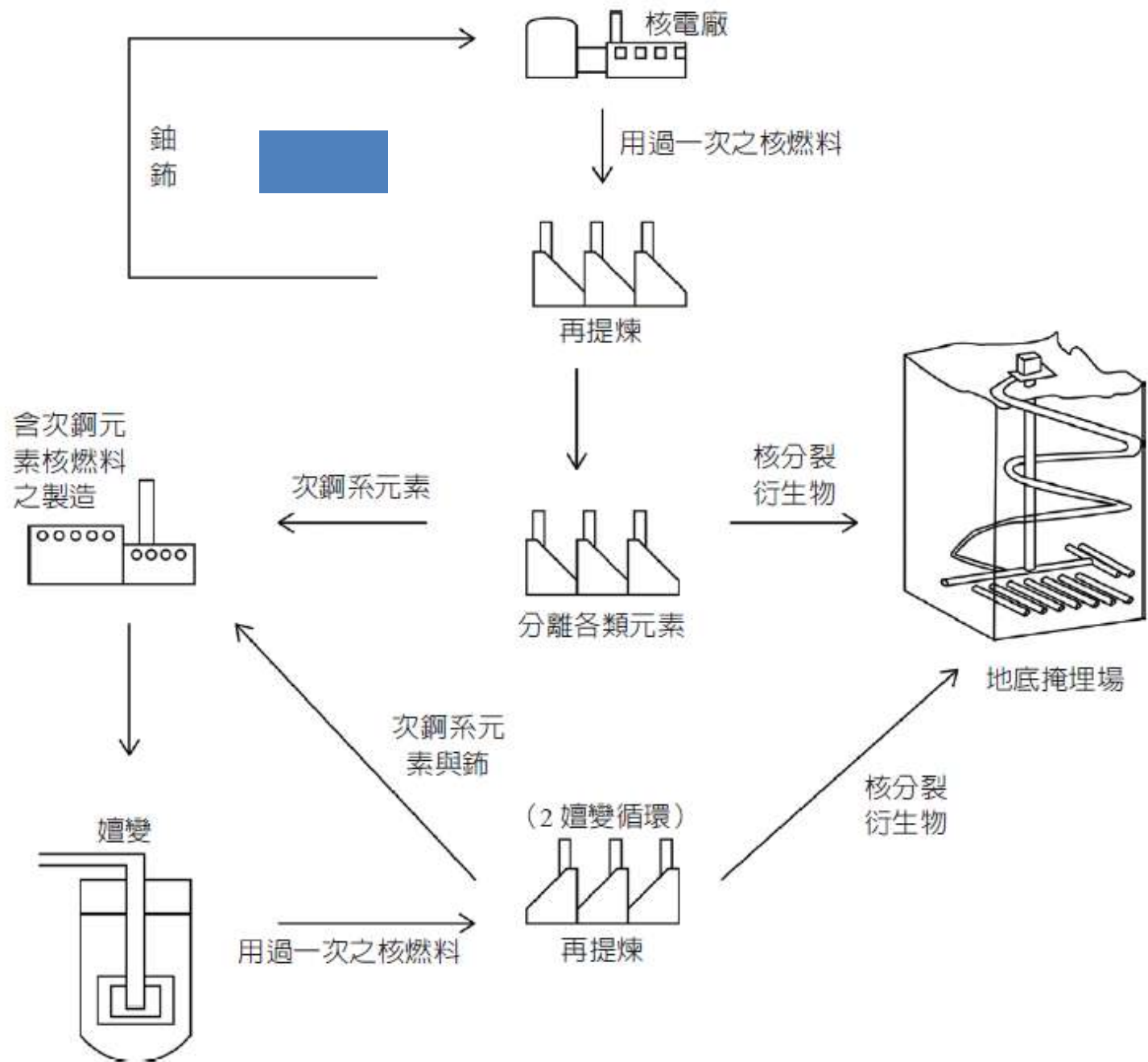


圖6.10 日本採用之雙層次核燃料循環策略

# 核燃料大循環何時開始

- 如果世界走向全面核燃料大循環之路，一個循環之周期大約**五十年**之譜
- 於是**中程暫時性乏燃料核儲存**設備也開始成為矚目議題，以解決核電廠廠區乏燃料暫存容量有限之苦
- **馬上**跟進產生的議題有**乏燃料運輸安全**議題
- 核燃料大循環所需的**提煉技術**已被視為**常用**，但仍須高成本投資與設有防範核武擴散之檢查機制

# 核廢是核武的原料

一般核電廠，產生的核廢料，含有核武原料原料，若提煉出核武原料是世界核武擴散的首要憂慮，世界數百國家都簽署國際防範核武擴散盟約

盟約包括一重要機制

-駐維也納之國際原能總署，可派員到場，或在各核電廠裝置即時監控設備，

- 1.一則防範已用過的核燃料被私下運走，
- 2.再者控管生產於核燃料棒內核武元素的數量

# 快中子核反應爐近年又開始被矚目

以消耗已產出的鈾與高階核廢料為主要目的。

A. 減低核武之危脅

B. 減少地底深層處置核廢之負擔

C. 增加核燃料使用之經濟效率

# 核燃料循環與政治軍事不可分割

核燃料循環與最終處置的區域性國際合作社

- 區域性核電諸國可結盟

- 共同分享核料所有權 共同負擔核廢料責任

- 擇地建立提煉機制與廠房，結盟國家共同分  
享利益共擔經濟責任

- 鈾生產量須有限制根據核燃料有實質使用  
之地而刻意不過量生產

- 違約者依合約接受國際嚴厲制裁

- 以能源市場為依據共進共退

- 結盟國同意國際核能署檢查防範核武擴散

# 一切機制仍需五年至十年始可成熟

國家政策須設置**乏燃料資產管理之行政部門**

- 乏燃料內含之鈾與鈾視之為**資產**
- 乏燃料內含之**核分裂副產品**與最終棄物視之為**負債**
- 總資產之淨值受影響因素有：
  - 鈾之市場價
  - 提煉技術之增進
  - 新進的地底管道埋廢之採用



# 重大概念

- 核燃料之循環, 乏燃料之儲存, 與終極核廢料之地底處置  
都需要與世界接軌為前提

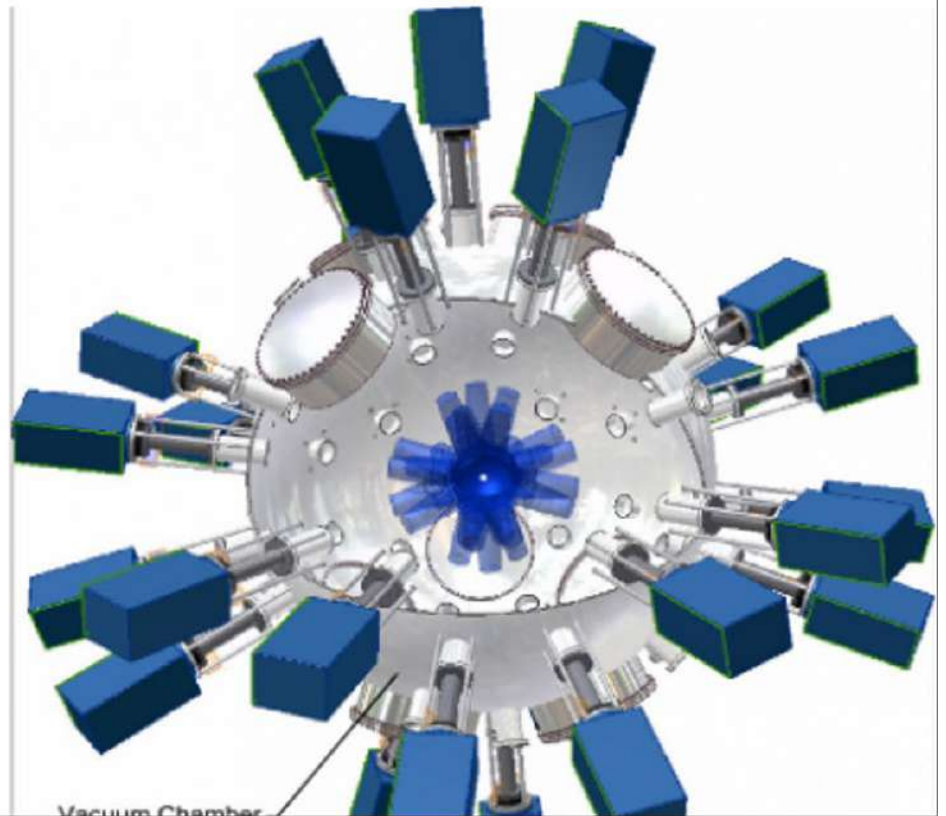
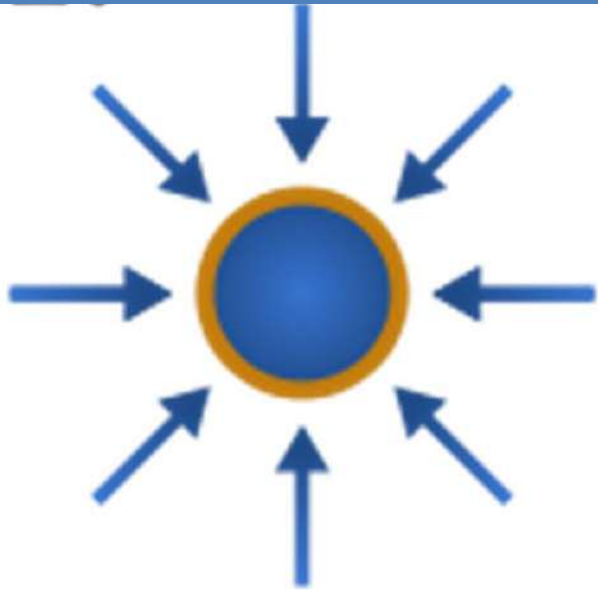
# 各型核融合方式

- Magnetic fusion 磁場圍束法
  - Tokamak 托卡馬克
  - Stellarator 恆星型
- Inertial Confinement 慣性圍束法
- Cold Fusion 冷聚變
- Lattice Confinement Fusion 晶格束縛核融合
- Field Reverse Configuration 電磁場反饋效應裝置
  - Alpha Ring
  - TAE Technologies
  - Helion

# Initial Confinement Fusion 的突破

美國能源部於2022年12月13日宣布Lawrence Livermore Labs 在 Initial Confinement Fusion 的突破.輸入能量2.05MJ.核融合能量3.15MJ.

## 雷射核融合示意圖



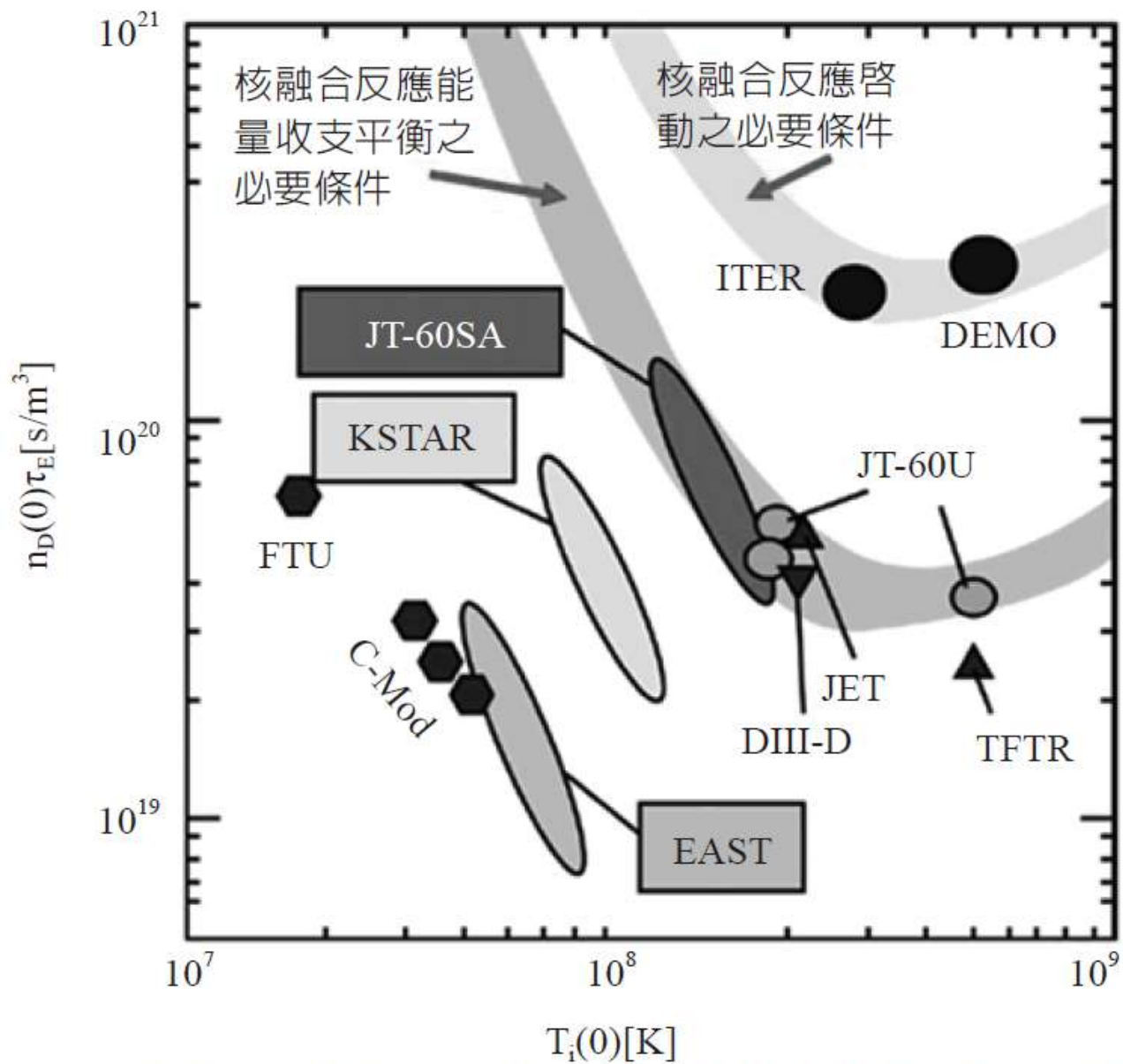


圖9.3 核融合反應能量收支平衡之必要條件與各國實驗進度之展示

# 核融合何時可以商業運轉

達到核融合商業運行的四大要件，依順序為：

- 1. 証實了核融合物理反應
- 2. 輸出能量大於輸入能量
- 3. 找到可以**控制**連續釋核融合能量  
的**物理法則**
- 4. 全型商業運轉電廠之設計

# 小型模組化核電廠

- 近五年SMR的各項進展，包括設計，實驗，模型示範，執照申請，與市場推廣達高峰
- 每年增加為數不少的新公司

# 小型模組化核電廠的一些優勢

- 1.容易管理電力需求的配合
- 2.建廠擇址條件適合散裝多數小型廠房,勝過集中少數大型廠房
- 3.緊急疏散區小
- 4.容易設計防地震所需結構
- 5.冷卻水需要量少容易覓址
- 6.近年軟體發展迅速,促使模組化的設計可以執行到位
- 7.組裝本身具重複性經濟效益
- 8.組裝本身具量產性經濟效益

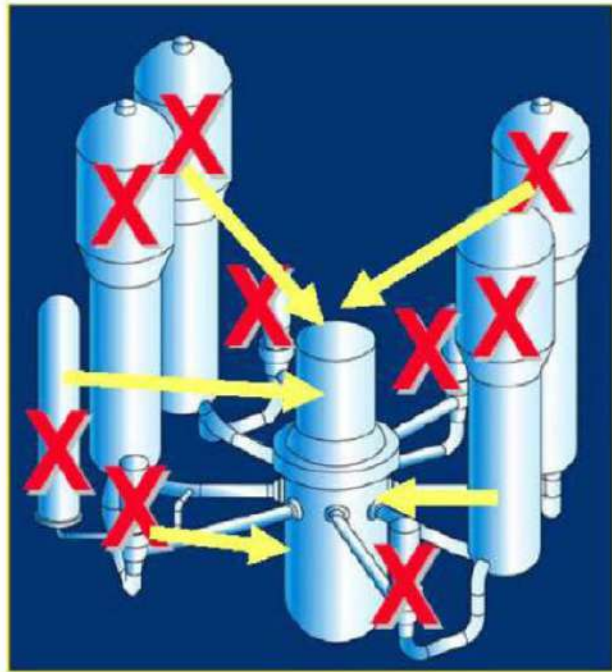
# 小型模組化核電廠的重要優勢

## 為何小型模組化核電廠更安全？

- 蛻變熱少，所需排熱機制的要求變小
- 內部體積小，容易設計出讓冷卻水自然循環的幾何分佈



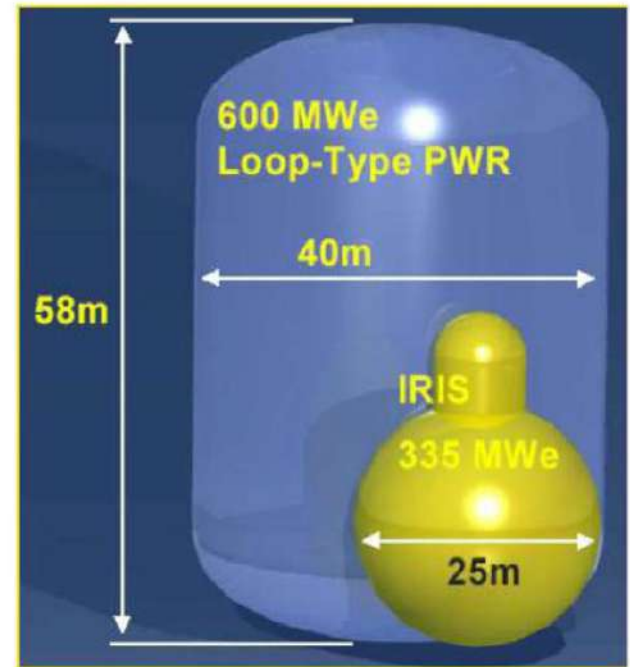
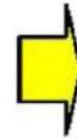
# 容易設計出讓冷卻水自然循環 的幾何分佈



(a)



(b)



(c)

Large LWRs with loop configuration (a) and SMR (IRIS) integral primary circuit configuration (b), and the overall containment size (c)

# 結論

- 世界核能發展當下已形成四十多年空前盛況
- 國家要富強必須要有核能
- 所有富強的國家都有核能
- 核能發展要在國際上要積極爭取權益機會與合作
- 國內積極培養核能人才
- 小型模組化核能電廠是一個難得的機會，不但可以解決缺電問題，更可以在核能發展上做跳躍式的邁進