



# 核電廠安全嗎?

李 敏

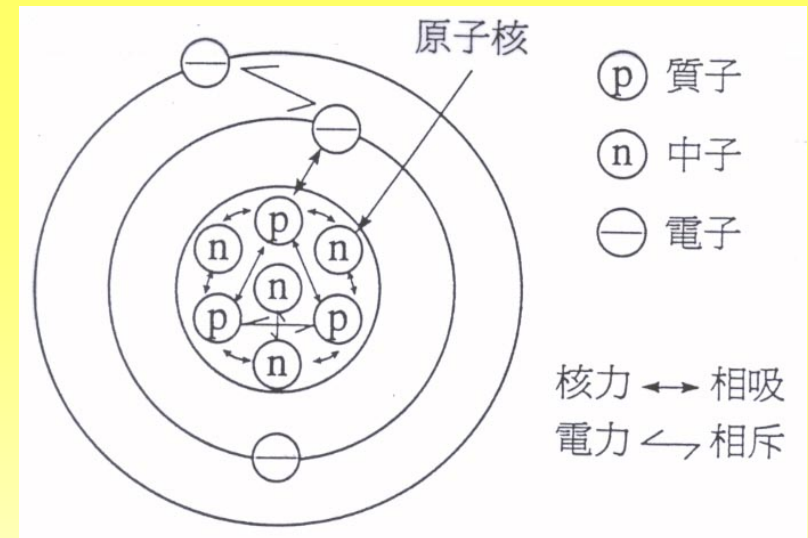
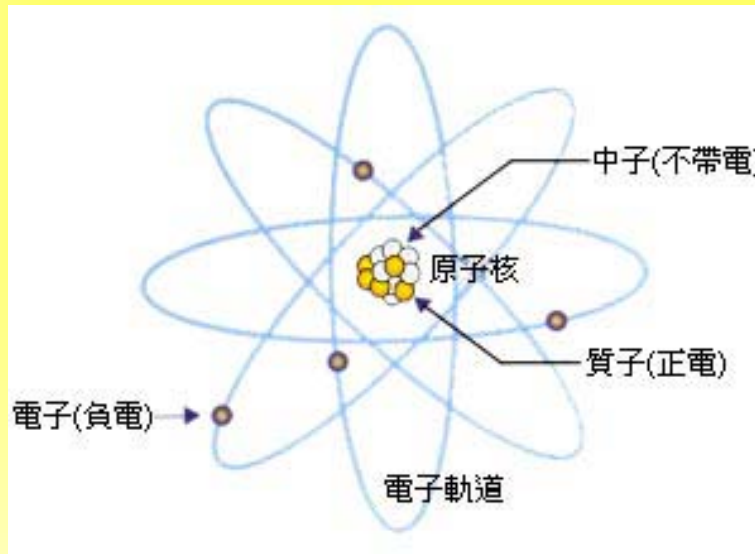
工程與系統科學系

國立清華大學

台北市內湖社區大學  
中華民國 108 年 10 月 30 日



# 原子的構造



## 同位素：

質子的數目決定元素的名稱和它的性質。若某一元素含有不同的中子數目，則稱為該元素的同位素。

## 生活中常見的放射性同位素：

氚( $^3\text{H}$ )、碳14、鈷60、鉀40、鈾235、鈾238。



# 元素週期表

1 New IA Original																		18 VIII A																	
1 氫 Hydrogen 1.00794																		2 氦 Helium 4.002602																	
2 3 鋰 Lithium 6.941																		4 4 鈹 Beryllium 9.012182																	
3 11 鈉 Sodium 22.989770																		12 12 鎂 Magnesium 24.3050																	
4 19 鉀 Potassium 39.0983																		20 20 鈣 Calcium 40.078																	
5 37 鉀 Rubidium 85.4678																		38 38 銣 Strontium 87.62																	
6 55 銫 Cesium 132.90545																		56 56 鋇 Barium 137.327																	
7 87 釷 Francium (223)																		88 88 鐳 Radium (226)																	
3 3 鈾 Uranium 238.02891																		4 4 鈾 Uranium 238.02891																	
5 5 鈾 Uranium 238.02891																		6 6 鈾 Uranium 238.02891																	
7 7 鈾 Uranium 238.02891																		8 8 鈾 Uranium 238.02891																	
9 9 鈾 Uranium 238.02891																		10 10 鈾 Uranium 238.02891																	
11 11 鈾 Uranium 238.02891																		12 12 鈾 Uranium 238.02891																	
13 13 鈾 Uranium 238.02891																		14 14 鈾 Uranium 238.02891																	
15 15 鈾 Uranium 238.02891																		16 16 鈾 Uranium 238.02891																	
17 17 鈾 Uranium 238.02891																		18 18 鈾 Uranium 238.02891																	
19 19 鈾 Uranium 238.02891																		20 20 鈾 Uranium 238.02891																	
21 21 鈾 Uranium 238.02891																		22 22 鈾 Uranium 238.02891																	
23 23 鈾 Uranium 238.02891																		24 24 鈾 Uranium 238.02891																	
25 25 鈾 Uranium 238.02891																		26 26 鈾 Uranium 238.02891																	
27 27 鈾 Uranium 238.02891																		28 28 鈾 Uranium 238.02891																	
29 29 鈾 Uranium 238.02891																		30 30 鈾 Uranium 238.02891																	
31 31 鈾 Uranium 238.02891																		32 32 鈾 Uranium 238.02891																	
33 33 鈾 Uranium 238.02891																		34 34 鈾 Uranium 238.02891																	
35 35 鈾 Uranium 238.02891																		36 36 鈾 Uranium 238.02891																	
37 37 鈾 Uranium 238.02891																		38 38 鈾 Uranium 238.02891																	
39 39 鈾 Uranium 238.02891																		40 40 鈾 Uranium 238.02891																	
41 41 鈾 Uranium 238.02891																		42 42 鈾 Uranium 238.02891																	
43 43 鈾 Uranium 238.02891																		44 44 鈾 Uranium 238.02891																	
45 45 鈾 Uranium 238.02891																		46 46 鈾 Uranium 238.02891																	
47 47 鈾 Uranium 238.02891																		48 48 鈾 Uranium 238.02891																	
49 49 鈾 Uranium 238.02891																		50 50 鈾 Uranium 238.02891																	
51 51 鈾 Uranium 238.02891																		52 52 鈾 Uranium 238.02891																	
53 53 鈾 Uranium 238.02891																		54 54 鈾 Uranium 238.02891																	
55 55 鈾 Uranium 238.02891																		56 56 鈾 Uranium 238.02891																	
57 57 鈾 Uranium 238.02891																		58 58 鈾 Uranium 238.02891																	
59 59 鈾 Uranium 238.02891																		60 60 鈾 Uranium 238.02891																	
61 61 鈾 Uranium 238.02891																		62 62 鈾 Uranium 238.02891																	
63 63 鈾 Uranium 238.02891																		64 64 鈾 Uranium 238.02891																	
65 65 鈾 Uranium 238.02891																		66 66 鈾 Uranium 238.02891																	
67 67 鈾 Uranium 238.02891																		68 68 鈾 Uranium 238.02891																	
69 69 鈾 Uranium 238.02891																		70 70 鈾 Uranium 238.02891																	
71 71 鈾 Uranium 238.02891																		72 72 鈾 Uranium 238.02891																	
73 73 鈾 Uranium 238.02891																		74 74 鈾 Uranium 238.02891																	
75 75 鈾 Uranium 238.02891																		76 76 鈾 Uranium 238.02891																	
77 77 鈾 Uranium 238.02891																		78 78 鈾 Uranium 238.02891																	
79 79 鈾 Uranium 238.02891																		80 80 鈾 Uranium 238.02891																	
81 81 鈾 Uranium 238.02891																		82 82 鈾 Uranium 238.02891																	
83 83 鈾 Uranium 238.02891																		84 84 鈾 Uranium 238.02891																	
85 85 鈾 Uranium 238.02891																		86 86 鈾 Uranium 238.02891																	
87 87 鈾 Uranium 238.02891																		88 88 鈾 Uranium 238.02891																	
89 89 鈾 Uranium 238.02891																		90 90 鈾 Uranium 238.02891																	
91 91 鈾 Uranium 238.02891																		92 92 鈾 Uranium 238.02891																	
93 93 鈾 Uranium 238.02891																		94 94 鈾 Uranium 238.02891																	
95 95 鈾 Uranium 238.02891																		96 96 鈾 Uranium 238.02891																	
97 97 鈾 Uranium 238.02891																		98 98 鈾 Uranium 238.02891																	
99 99 鈾 Uranium 238.02891																		100 100 鈾 Uranium 238.02891																	
101 101 鈾 Uranium 238.02891																		102 102 鈾 Uranium 238.02891																	
103 103 鈾 Uranium 238.02891																		104 104 鈾 Uranium 238.02891																	
105 105 鈾 Uranium 238.02891																		106 106 鈾 Uranium 238.02891																	
107 107 鈾 Uranium 238.02891																		108 108 鈾 Uranium 238.02891																	
109 109 鈾 Uranium 238.02891																		110 110 鈾 Uranium 238.02891																	
111 111 鈾 Uranium 238.02891																		112 112 鈾 Uranium 238.02891																	
113 113 鈾 Uranium 238.02891																		114 114 鈾 Uranium 238.02891																	
115 115 鈾 Uranium 238.02891																		116 116 鈾 Uranium 238.02891																	
117 117 鈾 Uranium 238.02891																		118 118 鈾 Uranium 238.02891																	

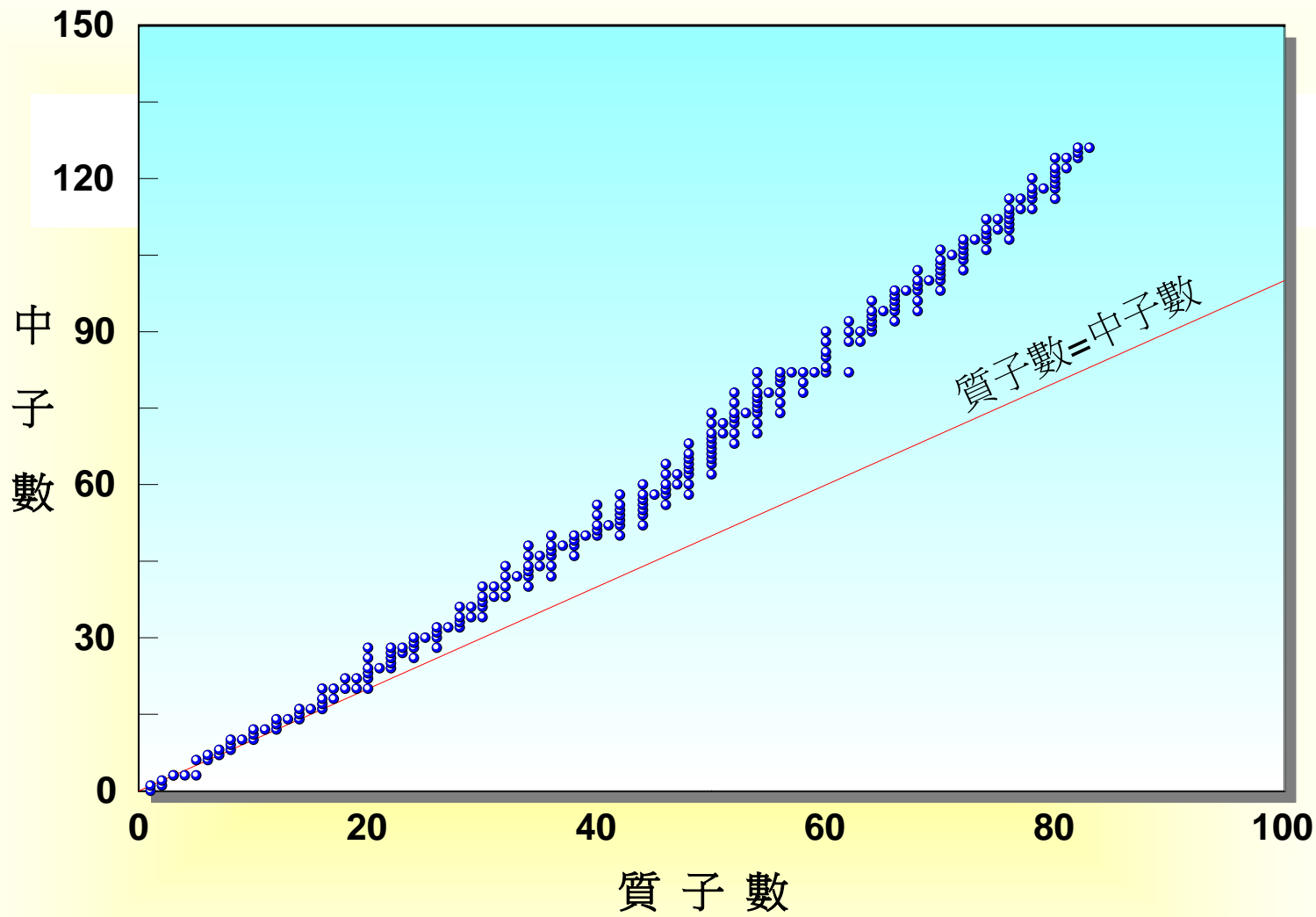
- 碱金属
- 碱土金属
- 过渡金属
- 铜系元素
- 主族金属
- 非金属
- 惰性气体
- C 固体
- Br 液体
- H 气体
- Tc 人工合成元素

Atomic masses in parentheses are those of the most stable or common isotope.

Design Copyright © 1997 Michael Dayah (michael@dayah.com). <http://www.dayah.com/periodic/>

Note: The subgroup numbers 1-18 were adopted in 1984 by the International Union of Pure and Applied Chemistry. The names of elements 112-118 are the Latin equivalents of those numbers.

57 鐳 Lanthanum 138.9055	58 鈰 Cerium 140.118	59 鐳 Praseodymium 140.90766	60 鈰 Neodymium 144.24	61 鈰 Promethium (145)	62 鈰 Samarium 150.36	63 鈰 Europium 151.964	64 鈰 Gadolinium 157.25	65 鈰 Terbium 158.92534	66 鈰 Dysprosium 162.500	67 鈰 Holmium 164.93032	68 鈰 Erbium 167.259	69 鈰 Thulium 168.93421	70 鈰 Ytterbium 173.04	71 鈰 Lutetium 174.967
89 鈰 Actinium (227)	90 鈰 Thorium 232.0381	91 鈰 Protactinium 231.03688	92 鈰 Uranium 238.02891	93 鈰 Neptunium (237)	94 鈰 Plutonium (244)	95 鈰 Americium (243)	96 鈰 Curium (247)	97 鈰 Berkelium (247)	98 鈰 Californium (251)	99 鈰 Einsteinium (252)	100 鈰 Fermium (257)	101 鈰 Mendelevium (258)	102 鈰 Nobelium (259)	103 鈰 Lawrencium (262)



# 天然核種

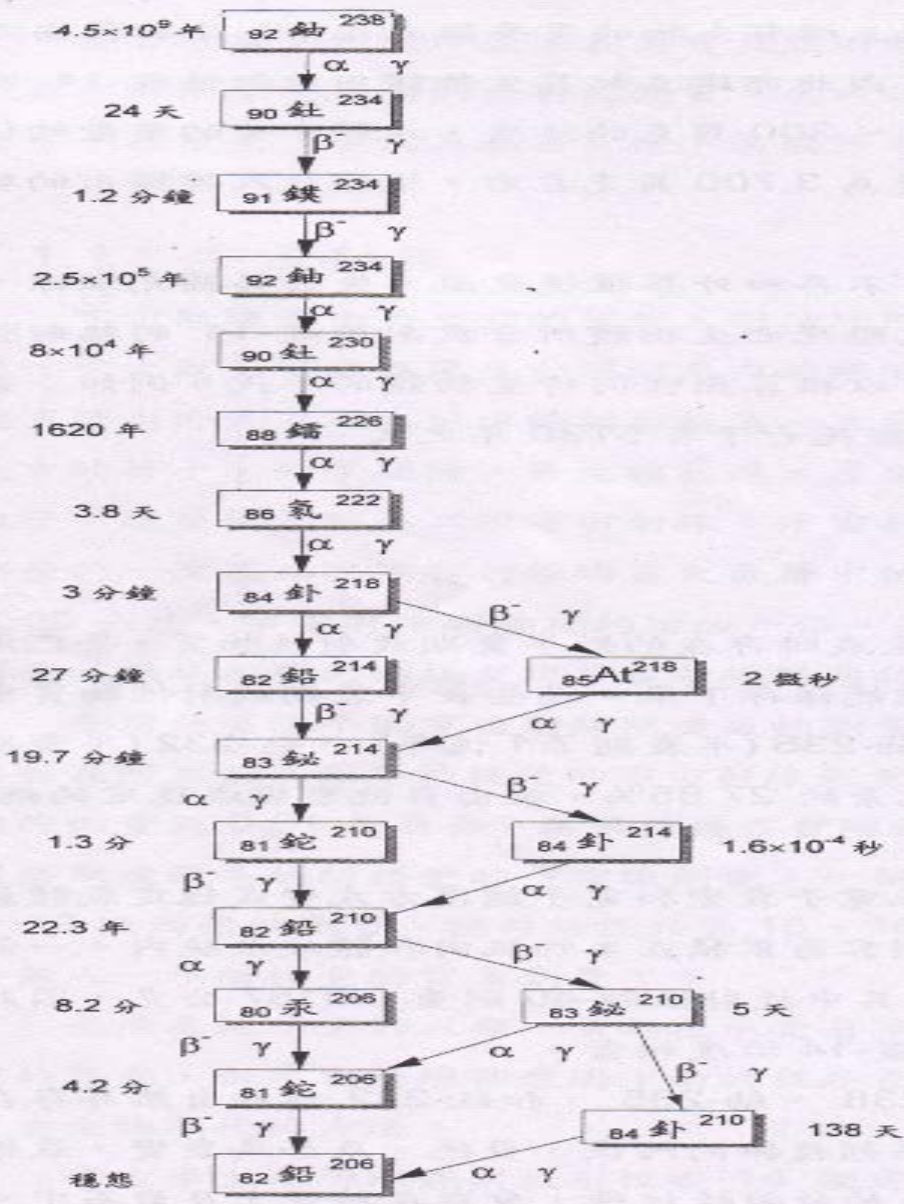


圖 7.1 : 鈾-238 衰變系列。

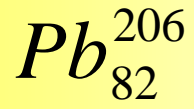
$$U_{92}^{238} \Rightarrow Th_{90}^{234} + He_2^4(\alpha), T_{1/2} = 4.5 \times 10^9 \text{ year}$$

$$Th_{90}^{234} \Rightarrow Po_{91}^{234} + \beta_{-1}^0, T_{1/2} = 24 \text{ days}$$

⋮

$$Rn_{86}^{222} \Rightarrow Po_{84}^{218} + He_2^4(\alpha), T_{1/2} = 3.8 \text{ day}$$

⋮



U-238 (半衰期 45 億年)

U-235 (半衰期 7.1 億年)

T-232 (半衰期 140 億年)

Rb-87 (半衰期 480 億年)

K-40 (半衰期 13 億年)

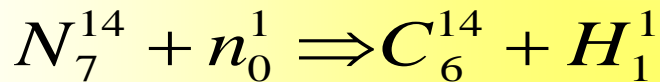
人體 K-40 活度 ~ 4,000 Bq



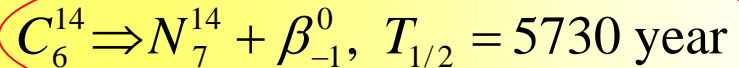
# 自然界中的放射性物質

**宇宙射線**：質子 (~87%)、阿伐粒子 (~11%)、  
較重的原子核 (~1%)、電子 (~1%)

**宇宙射線造成之核種：**



來自宇宙射線



一個70公斤的人，體內碳-14的活度為 3,700 貝克左右，這些自人體釋出的輻射，每年會對人體造成 7 微西弗左右的劑量

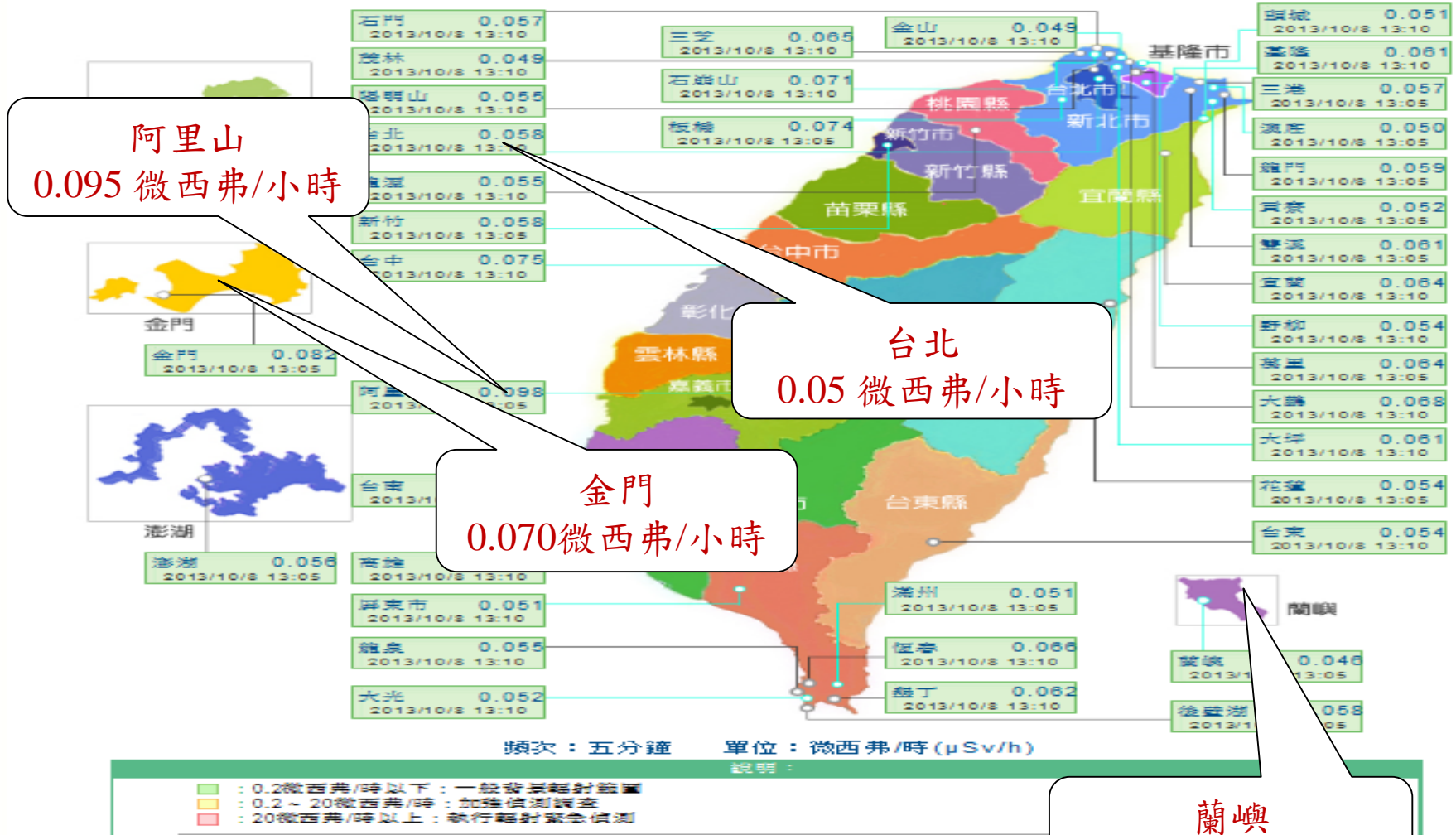
**人工製造的放射性核種：核爆與核子事故的落塵**

Cs-137, Sr-90, Pu-239.....

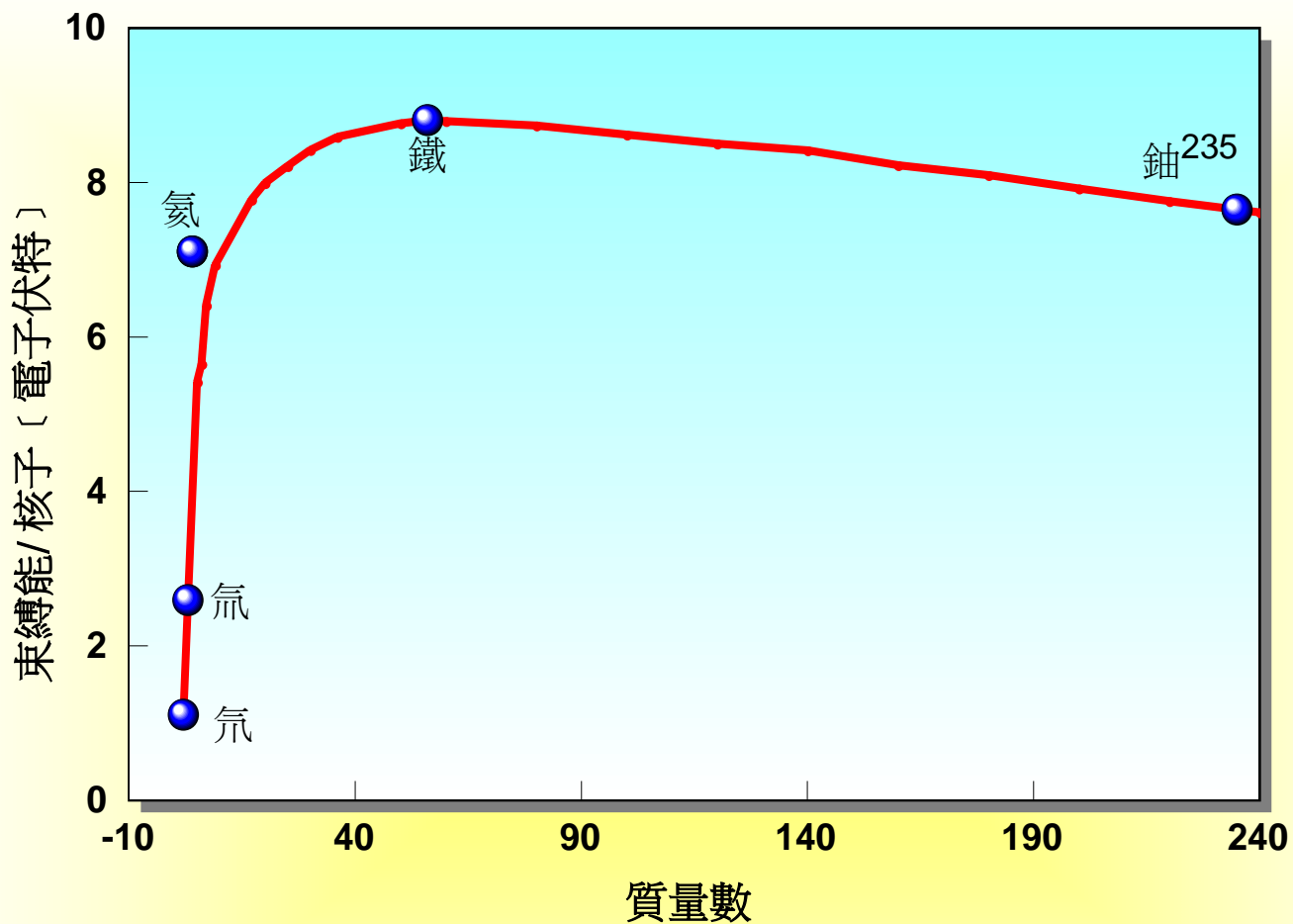
**原生放射性核種**



# 台灣背景輻射 (民國 84年 6月17日 下午 5:25)



<http://www.aec.gov.tw/gammadetect.htm>

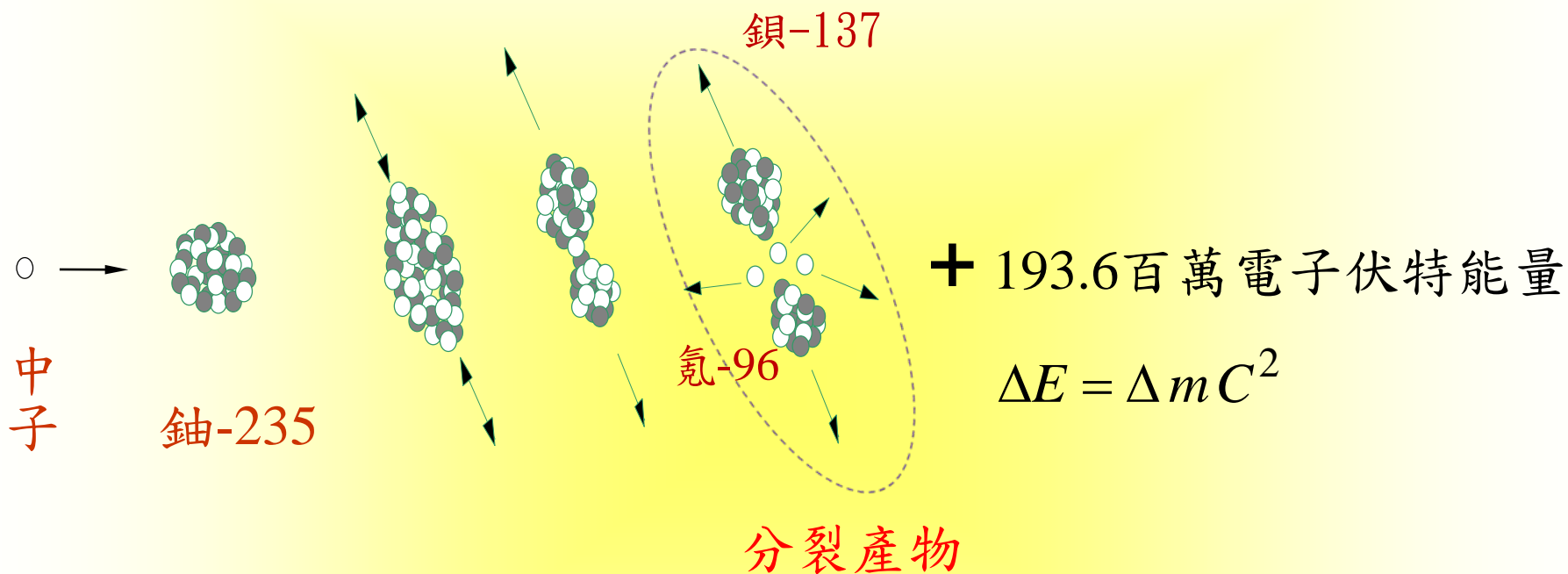


核子平均束縛能與原子核質量數間的關係。輕原子核束縛能隨質量數的增加而迅速增加；鐵-56的平均束縛能達到極大值，之後核子平均束縛能隨著原子核質量數的增加緩緩下降。



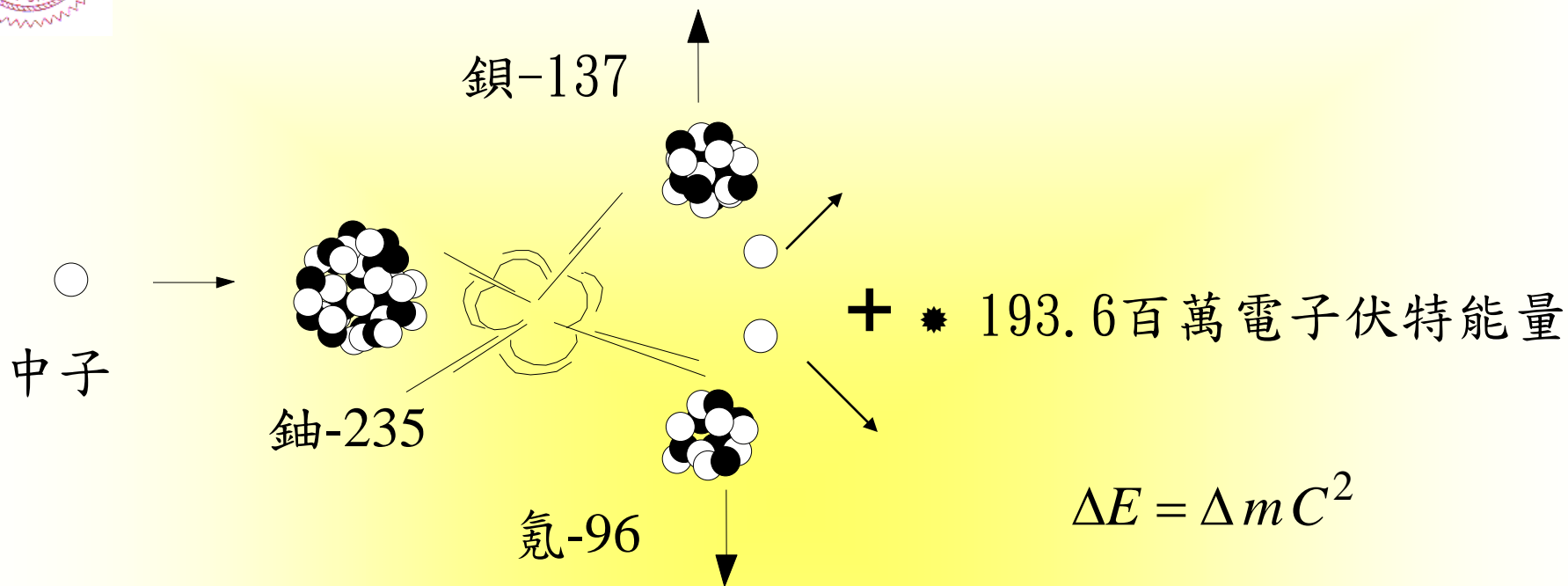


# 核分裂連鎖反應



1克鈾的分裂可產生 23,040 千瓦-小時的能量

1 粒核燃料丸可產生 約2,000度的電力，相當於1 噸的燃煤



1克鈾的分裂可產生 960 千瓦-天的能量  
1公斤鈾的分裂相當於16000噸的黃色炸藥

## 核分裂連鎖反應

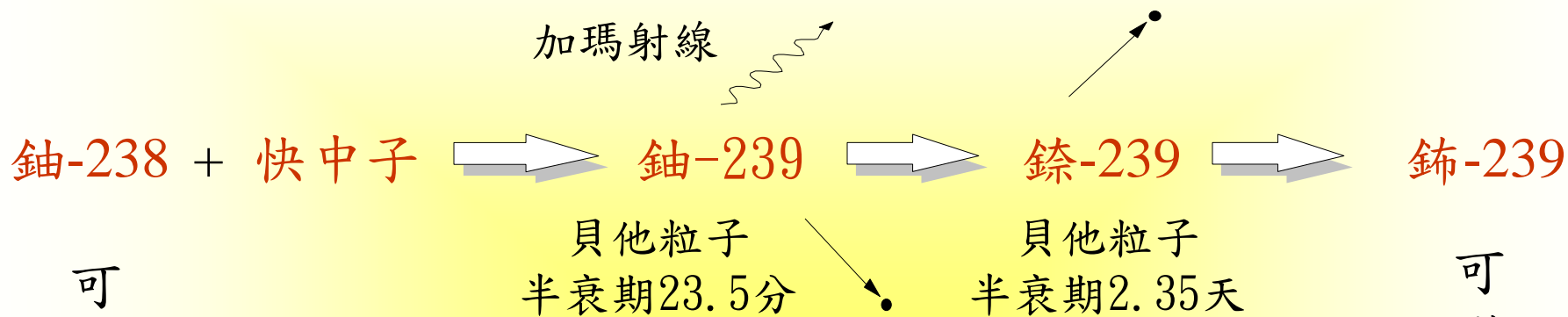


自然界的鈾有兩種同位素; 鈾-235 (0.72%), 鈾-238 (99.28)  
只有鈾-235 可維持連鎖核分裂反應

1941: Seaborg; 發現鈾元素 (Plutonium)

可裂物質 (Fissile): U-235, Pu-239, U-233

可孕物質 (Fertile): U-238, Th-232

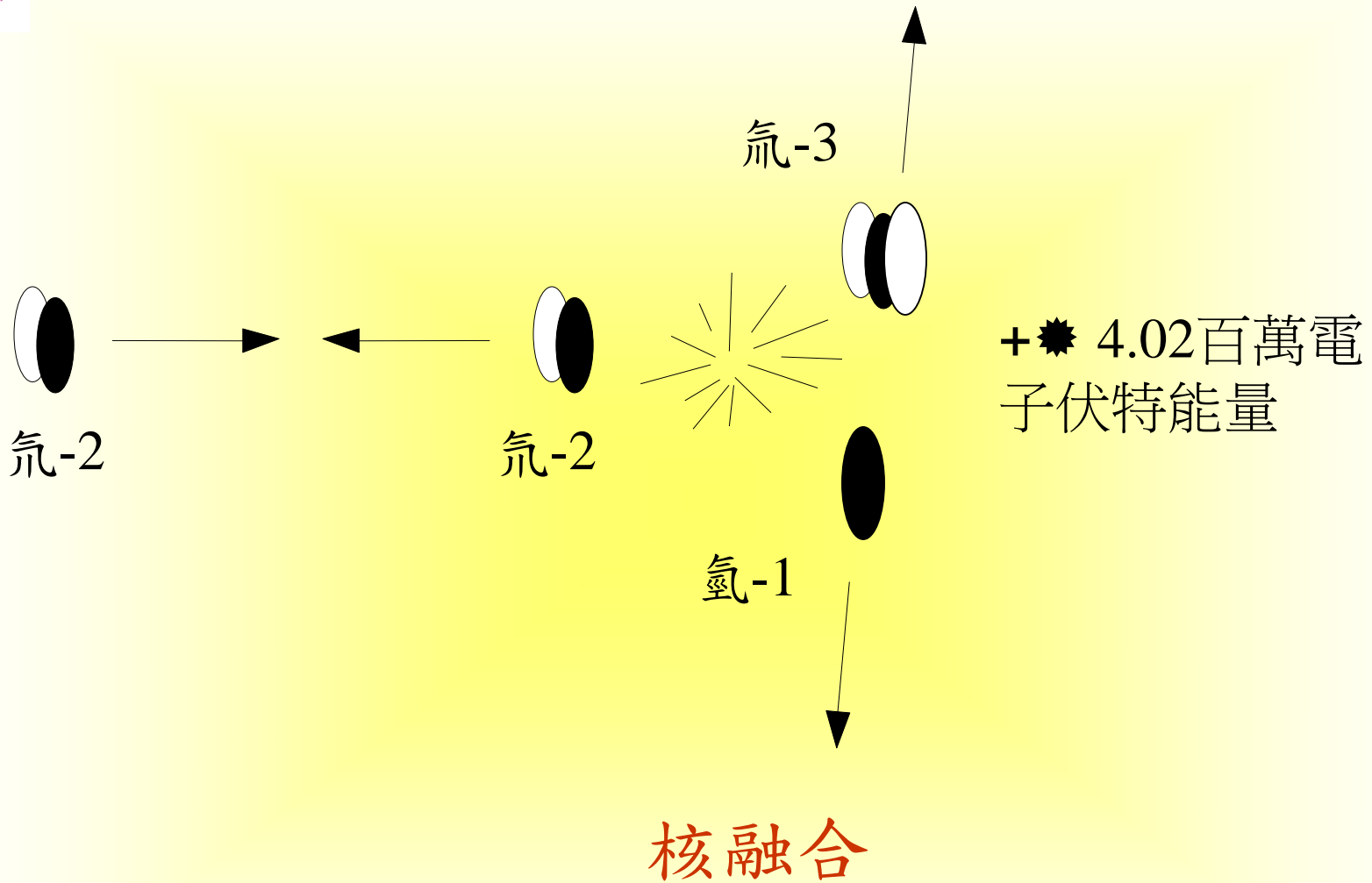


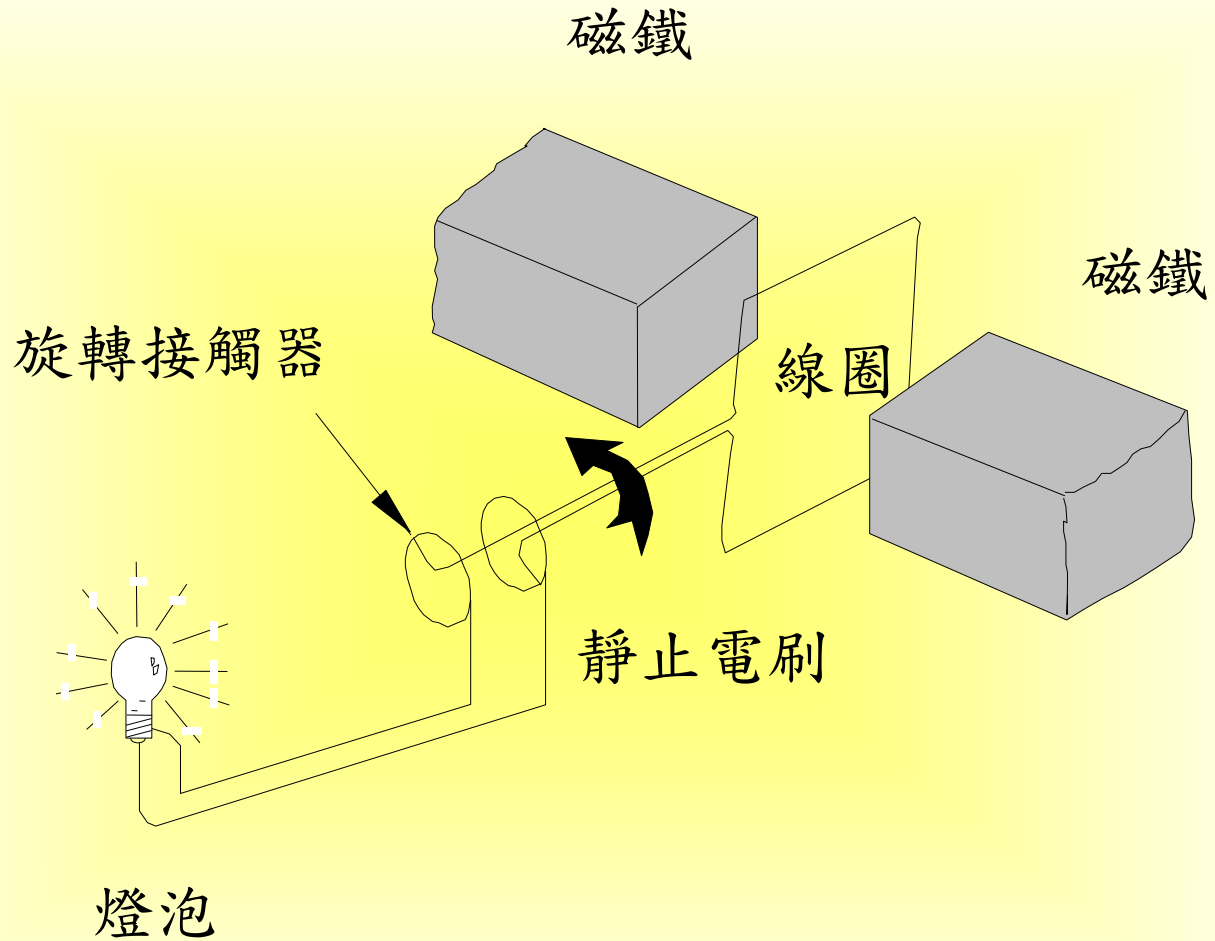
可孕物質

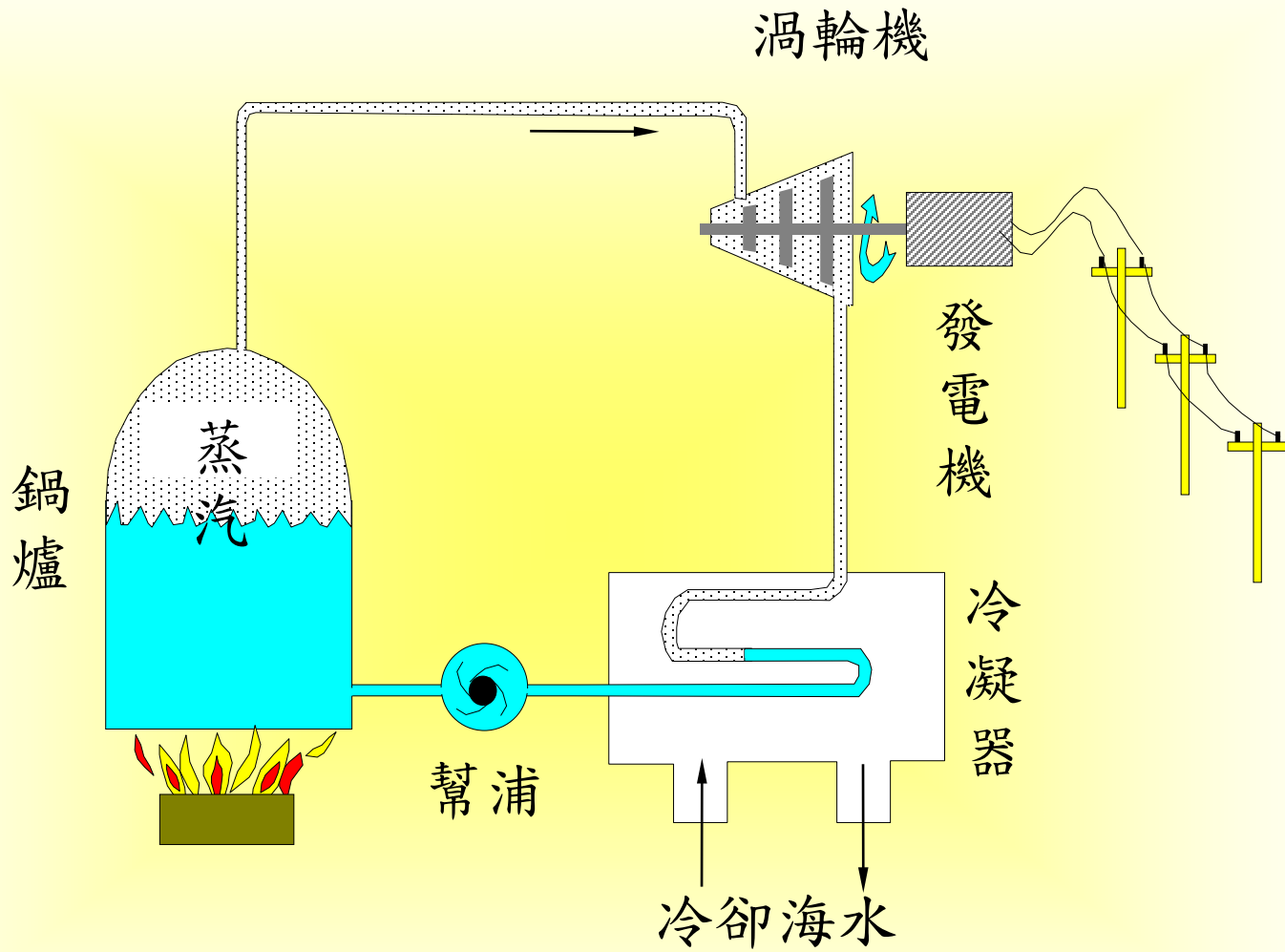
可裂物質

鈾 (Uranium); Uranus (天王星)  
鏷 (Neptunium); Neptune (海王星)  
鈾 (Plutonium): Pluto (冥王星)

### 可裂物質鈾-239製造程序

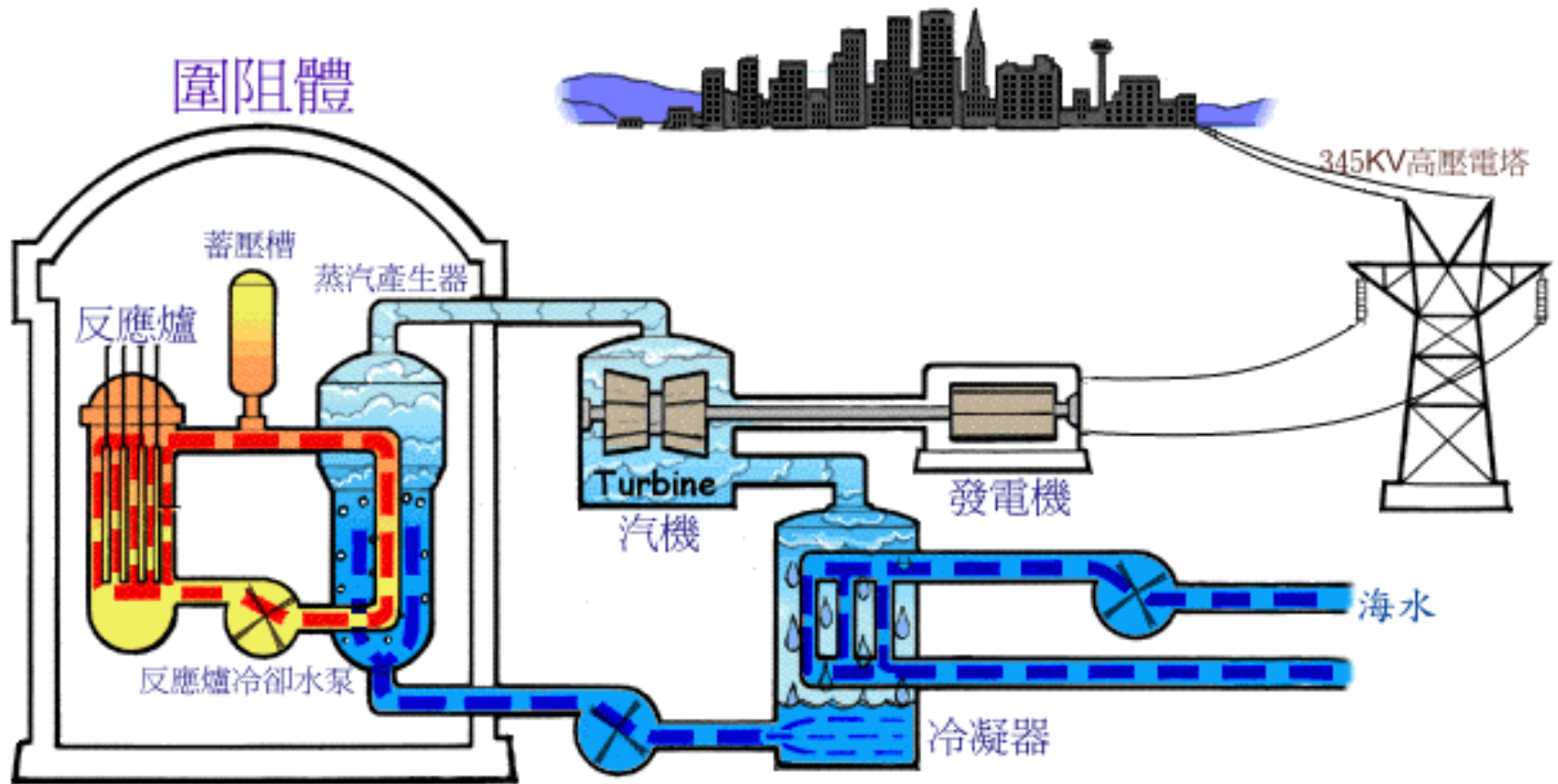




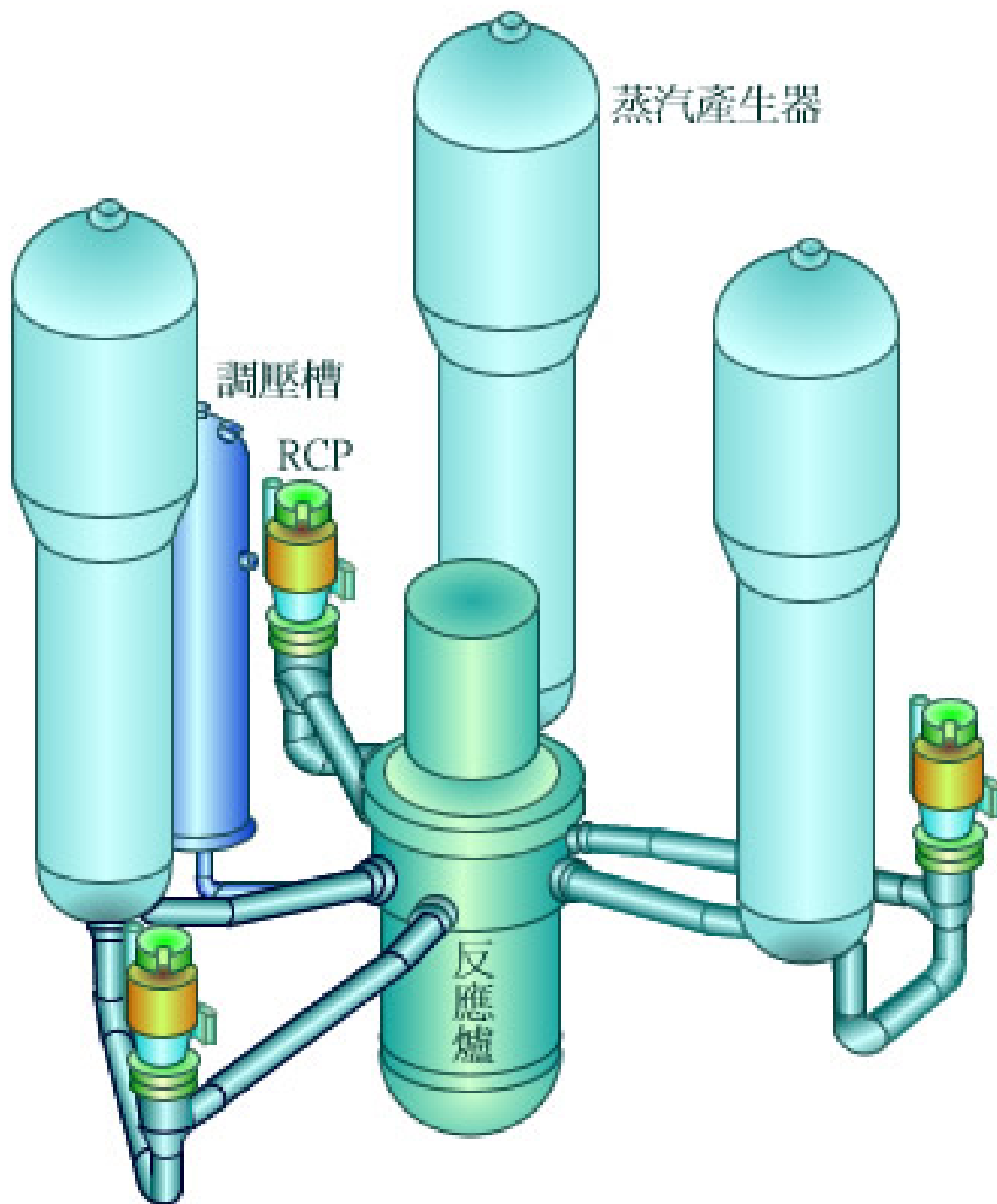




# 壓水式反應器系統介紹

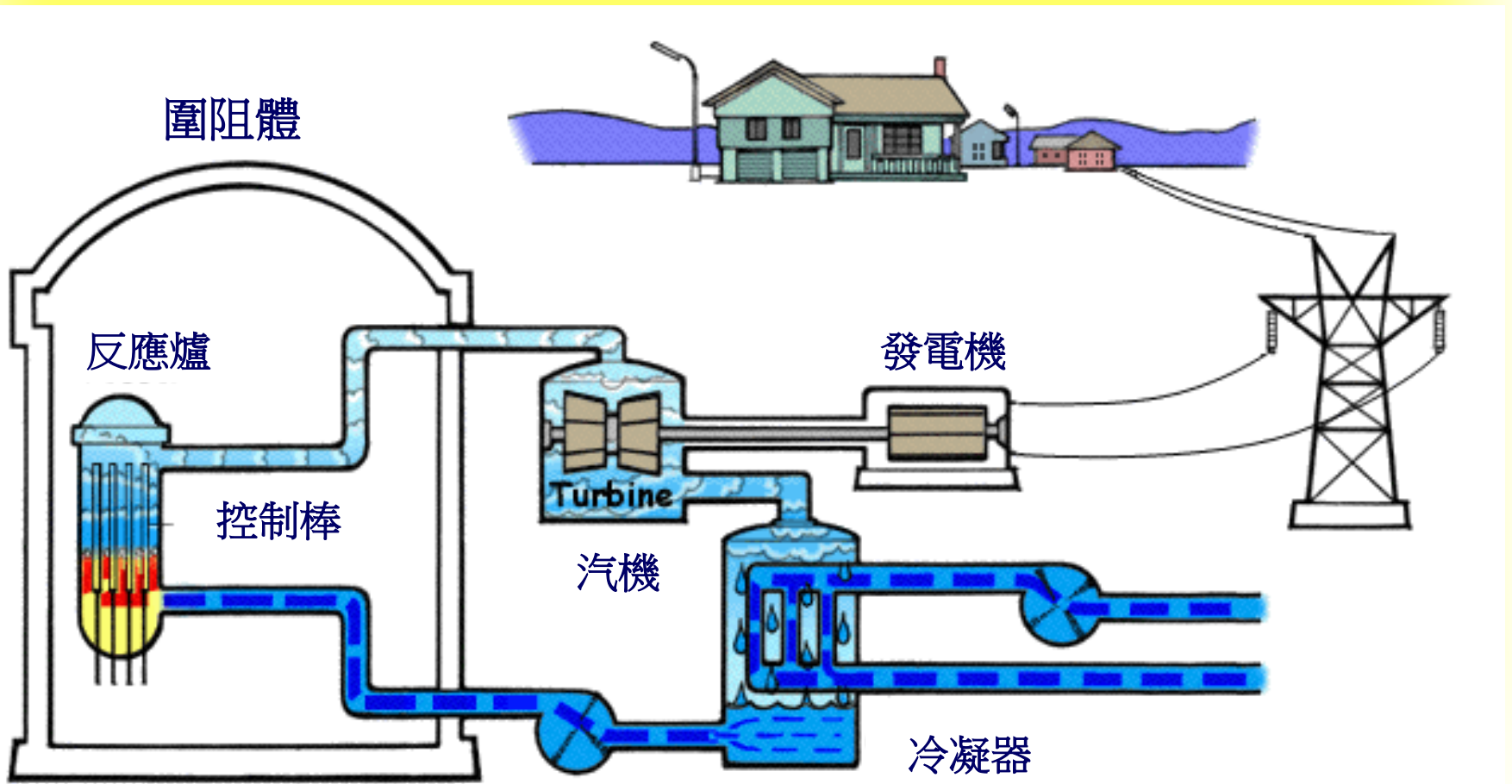








# 沸水式核電廠發電流程圖





# 核子動力反應器類別

	燃料	冷卻劑	緩和劑
快中子反應器(增殖反應器)			
LMFBR	高度濃縮鈾或鈾	液態金屬	-----
熱(慢)中子反應器			
輕水式反應器 (Light Water Reactor)			
壓水式 (PWR)	低度濃縮鈾	普通水	普通水
沸水式 (BWR)	低度濃縮鈾	普通水	普通水
重水式反應器 (Heavy Water Reactor)			
CANDU	天然鈾	普通水	重水
石墨水冷反應器			
RBMK	低度濃縮鈾	普通水	石墨
氣冷式反應器			
GCR	低度濃縮鈾	CO <sub>2</sub>	石墨
HTGR	低度濃縮鈾	氦氣	石墨



核能發電的使用頗具爭議性，反核人士對於輻射的恐懼、核電廠發生事故的可能、核武擴散、核廢料的運輸與最終處置均有疑慮

幾乎每個人都被問過：「你贊成核能、還是反對核能？」，不論他們的答案是提倡或貶抑，都會激起劇烈的辯論；對於這個問題，人們的態度已經變得異常極端化或情緒化，好像只要從這個的反應，就可以看出一個人在政治及哲學上的意識型態。  
— 取自「核能兩面觀」

Jennifer Trainer, Michio kaku 原著(1982)，  
陳晴美翻譯，達流出版社

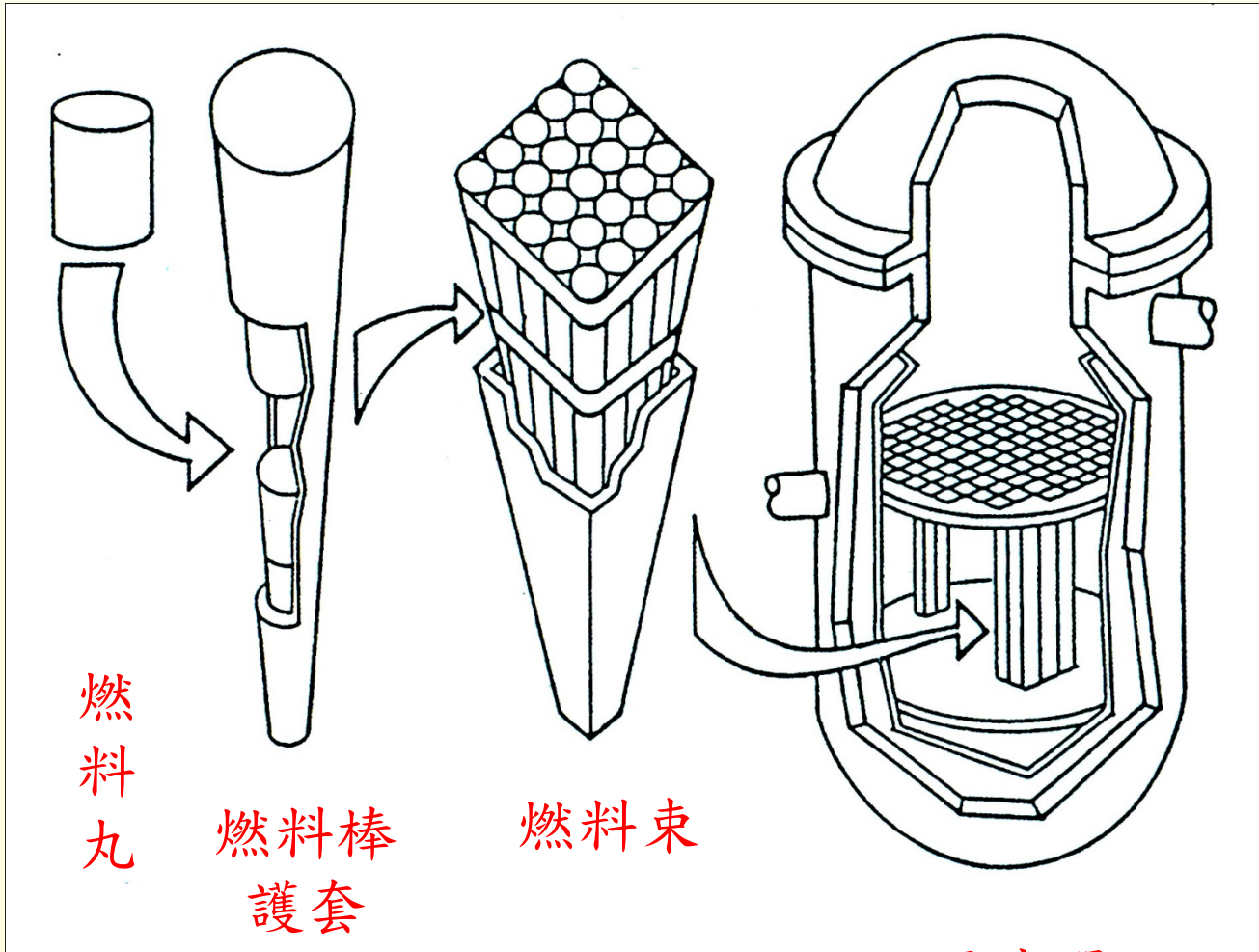


# 核電廠安全



# 核能電廠的安全顧慮與安全設計 (1/2)

- 威脅來自爐心內大量的放射性物質
  - 採用多重屏障，層層局限放射性物質的移動  
(燃料丸，燃料棒護套，封閉冷卻水系統、圍阻體)
- 造成放射性物質外釋的可能機制
  - 核分裂連鎖反應失去控制，產生大量的熱，造成反應器的解體
  - 核分裂反應停止後，放射性物質持續釋出之衰變熱，無法移除，造成多重屏障喪失功能
- 利用多重多樣的安全注水與移熱系統，確保衰變熱的持續移除
  - 所有安全系統均無法發揮功能，爐心熔毀

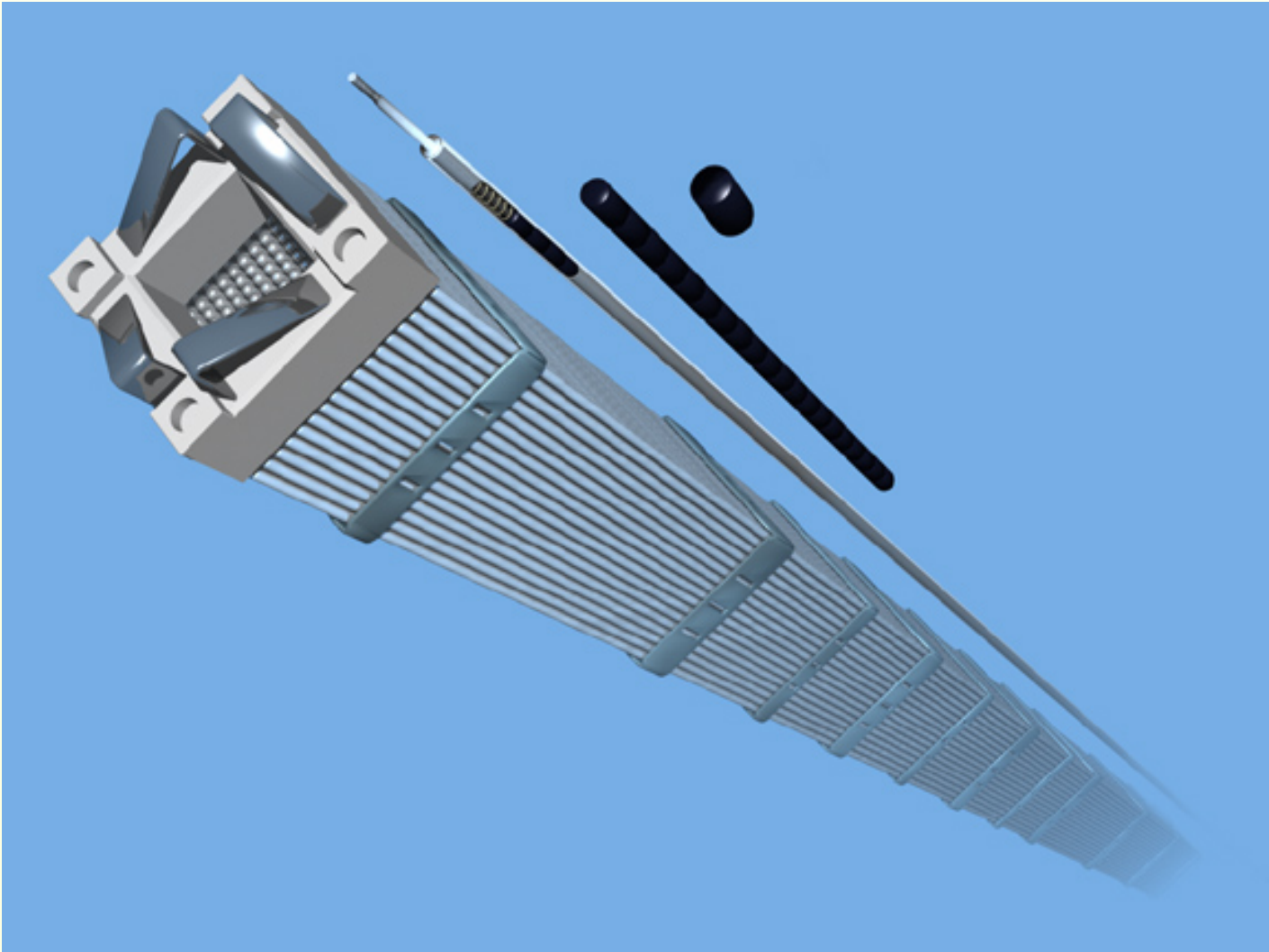


反應器  
壓力槽



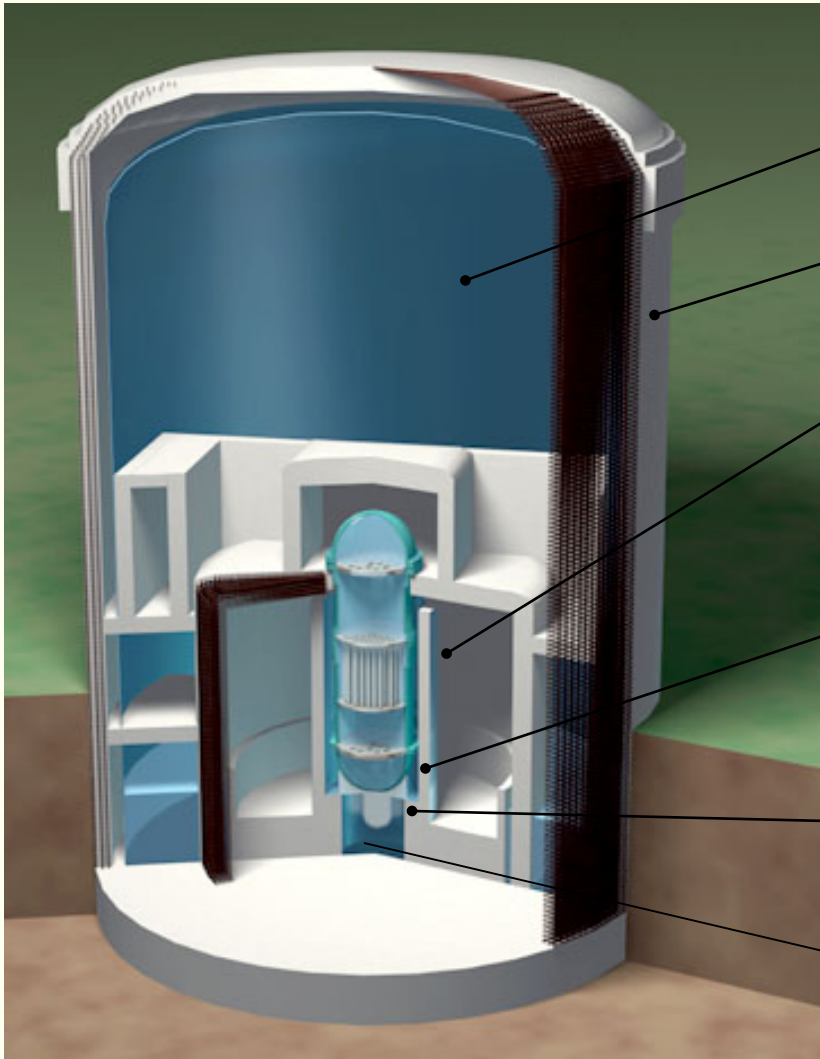
燃料丸; UO<sub>2</sub>; 密度較鉛為大







# 核電廠防止放射性物質外釋之屏障



圍阻體（包封容器）

1.5 英吋之鋼板

圍阻體屏蔽牆

3 英尺厚之鋼筋混凝土  
建築

圍阻體乾井壁

5 英尺厚之鋼筋混凝土

輻射生物屏蔽

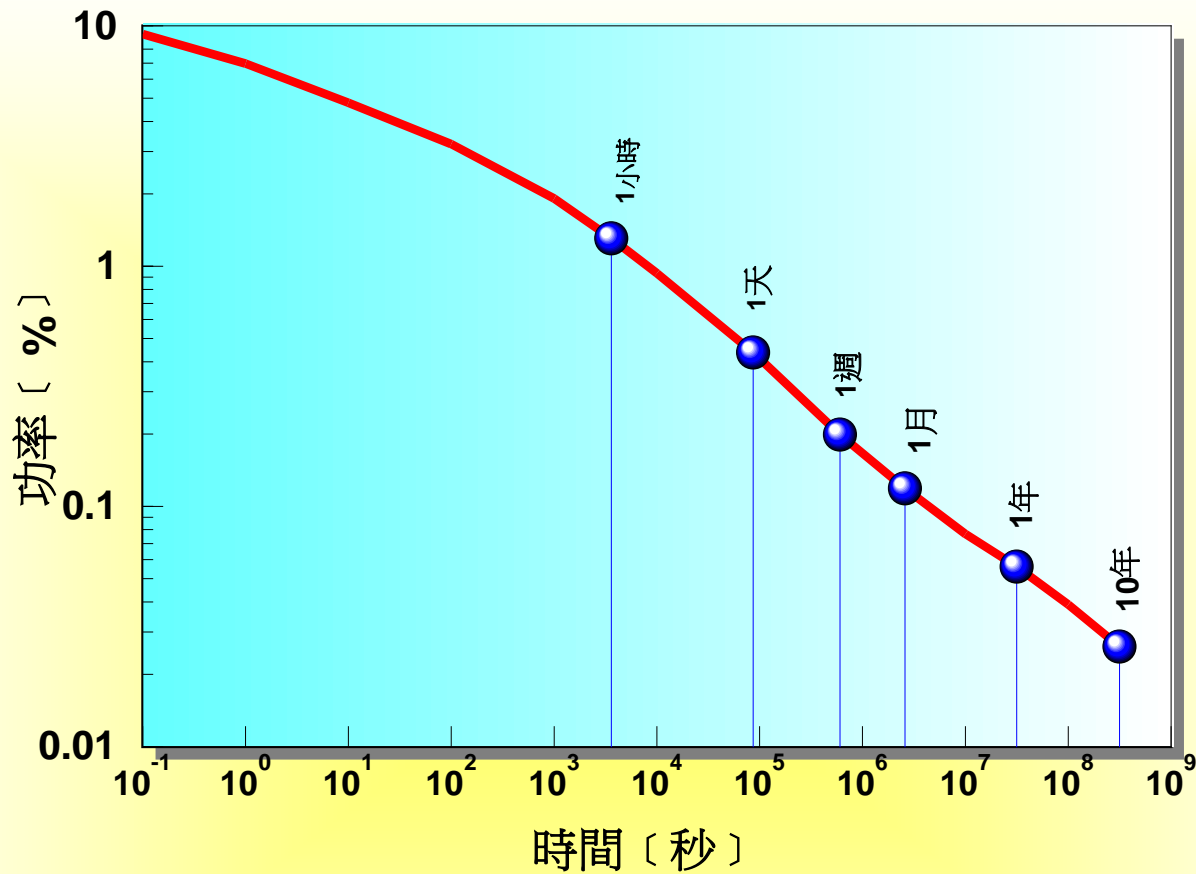
5 英尺厚之灌鉛混凝土  
外覆

1.5 英吋之鋼板

反應器壓力槽

4~8 英吋之鋼板

## 沸水式反應器核能電廠



### 分裂產物衰變熱產生量隨時間之變化圖

反應器停機一個月後，反應器衰變熱  
仍然為正常運轉功率的千分之一左右



## 核能電廠的安全顧慮與安全設計(2/2)

- 針對假想之最嚴重的事故進行安全系統的功能設計
  - 『設計基準事故』
  - 安全停機地震設計值 (電廠機組地基層之加速度)
  - 防火設計
  - 防洪(海嘯)設計
- 在法規管制單位的監督下，依『運轉規範』管理與運轉電廠
- 不排除發生超出設計基準之嚴重事故 (或稱為爐心熔毀事故) 發生的可能性
  - 廠內緊急應變規劃
  - 『嚴重事故處理導則』的研發，訓練，與演習 (採取非常規性之措施，防止事故進一步的惡化)

### 廠外緊急應變規劃



**多樣性**: 用不同的系統達到相同的功能;

例如: 爐心急停: 控制棒, 液態硼酸注入系統

緊急交流電源: 柴油發電機, 汽渦輪發電機

注水系統: 高壓注水系統, 低壓注水系統,

馬達帶動輔助飼水系統, 汽機帶動輔助飼水系統

**多重性**: 相同的設備不止一套; 以備故障時可有備份

例如: 台灣的核電廠有五拾柴油發電機

## 獨立與分離的設置

**失效安全**: 設備故障不會使機組處於不穩定狀態

例如: 控制棒失效時會自動插入爐心

**可測試性**: 備用安全系統於正常用轉時並不使用, 為確保於需要時可以發揮功能, 故必須能夠測試其功能



# 核能電廠事故



# 美國賓州哈里斯堡三哩島核電廠事故 (1979)

- 1979年3月28日凌晨四時，位於美國賓夕凡尼亞州哈里斯堡的三哩島核能電廠二號機發生跳機，**處置不當，長期喪失冷卻，造成爐心熔毀事故，圍阻體發揮阻絕功效**，並未造成放射性物質的大量外釋
- **事故中沒有任何工作人員或民眾受到輻射傷害**
- 事後對該廠周圍80公里地區內300萬人口進行輻射劑量偵測，平均每人輻射劑量為0.1~1.6毫西弗(美國民眾每年平均全身接劑量2.13毫西弗)，平均而言當地每人因癌症而死亡者，機率增為800萬分之一
- **1975年美國核能管制單位的研究報告(RSS)曾預測此類型的事故發生的可能性**



# 美國賓州哈里斯堡三哩島核電廠事故

## 事故發生原因

- **機組設備與系統長期運轉在劣化狀況**
- 控制室人機介面設計不當
- 事件導向緊急運轉程序書與相關訓練程序書不妥適，無法處理復雜參數。欠缺程序書處理未分析之狀況
- **運轉人員的訓練與甄選不適當**，欠缺對機組現象的基本了解，尤其是蒸汽與水的熱力性質，阻礙對反應爐系統狀況正確分析。導致釋故中致力處理非重要機組設備，欠缺對反應器冷卻水無解釋狀況的注意
- **業者的經驗沒有相互交流的途徑**





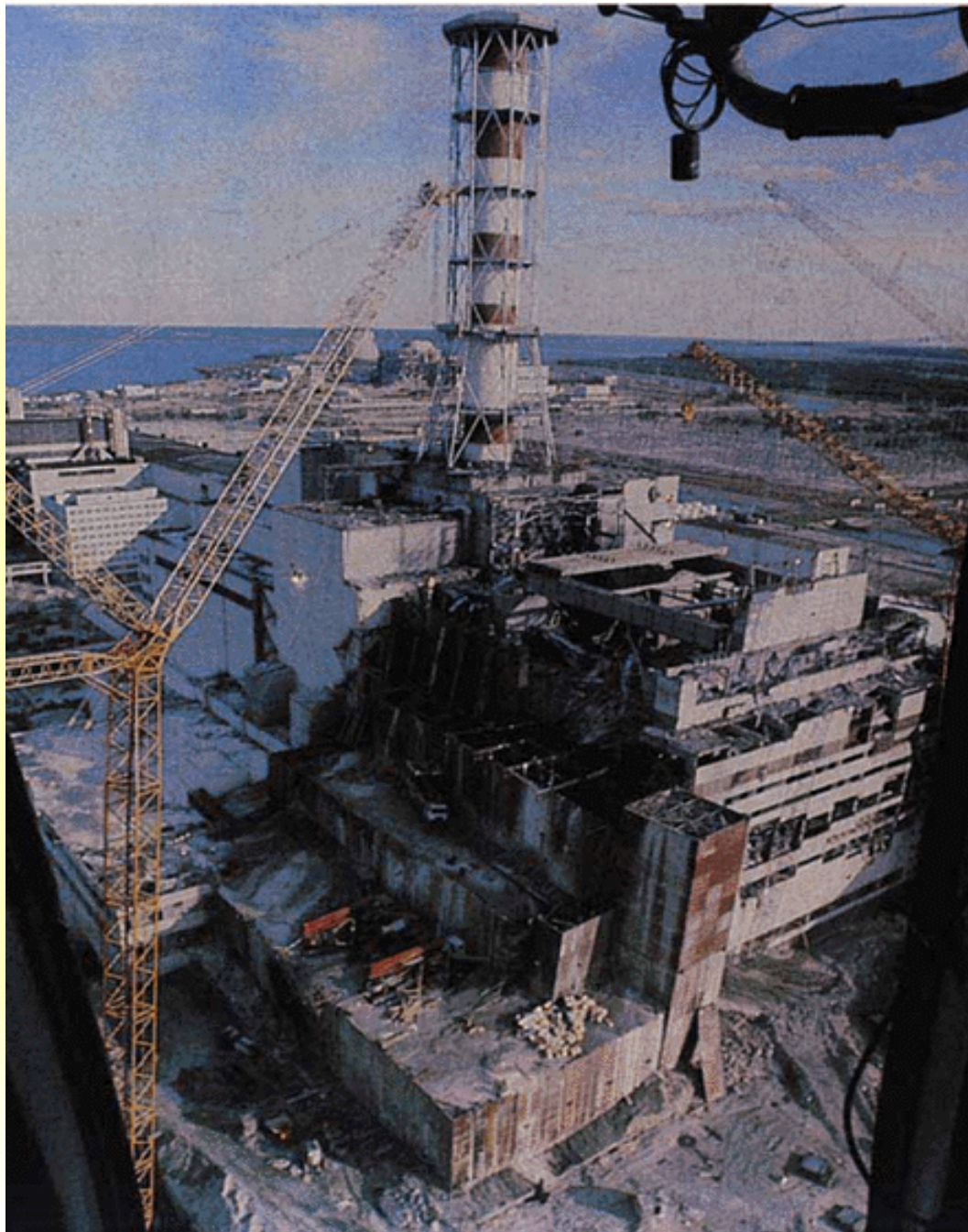
# 三哩島事故的衝擊

- **三哩島事件震驚了世界！核能界一直不願意面對的反應器爐心熔毀事件終於發生了。但後果並沒有像反核人士所說的造成毀滅性災難**
- 三哩島事件使得核能界了解到：運轉人員的臨場應變對核能電廠安全的重要性，電廠控制室的人機介面也需要適當的改善，以及電力公司間運轉經驗相互交流的必要性
- 從安全的角度來看，三哩島事件對核能電廠安全所帶來的衝擊是正面的，它促成了核能界全面檢討核能電廠的安全運作模式，發覺許多隱藏性盲點，進而提出相當多的改善方案，這些改善措施直接提昇了電廠的安全
- 理論上來說，類似三哩島事故的核電廠意外再發生的可能性不能排除；但過去39年中，**累積超過15,000 反應器-年未再發生類似事故**
- **『前事不忘，後事之師』**，劍及履及與持續不斷的改善，是此項安全績效的主要原因



# 前蘇聯車諾比爾核能電廠災變 (1986)

- **1986年4月26日凌晨**，前蘇聯車諾比爾核能電廠的4號反應器發生水蒸氣及氫氣爆炸。蘇聯政府迅速的疏散了車諾比爾區域的5萬居民
- **設計不當，爐心功率有失去控制的可能**
- 設計不當，控制棒的設計有嚴重的缺陷
- **反應器處於非常態之運轉**，實驗程序未經核能專業核可
- **嚴重違反運轉規範**，將反應器至於低功率狀態，並將控制棒抽出超越下限值
- **核分裂連鎖反應失去控制，造成反應器於瞬間解體**
- **放射性物質外釋的量非常的龐大**。包括3~4%的燃料碎片，100%的惰性氣體，與20~60%的揮發性核種。石墨於事故中火燃燒，溫度高達5000度。在長達數天的燃燒中，造成大量的揮發性核種外釋

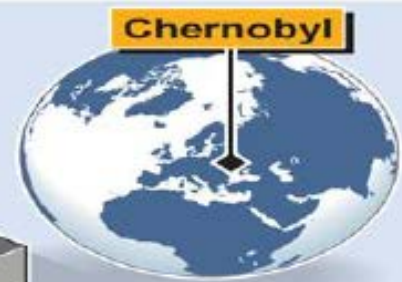
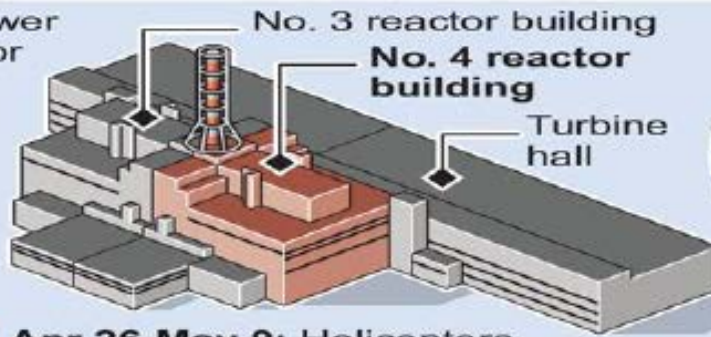




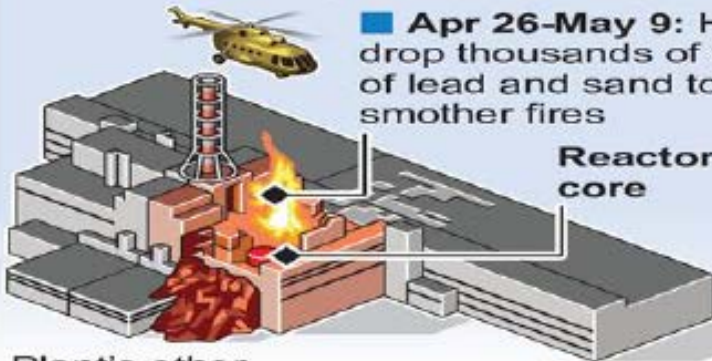
[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Chernobyl\\_Disaster.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Chernobyl_Disaster.jpg)



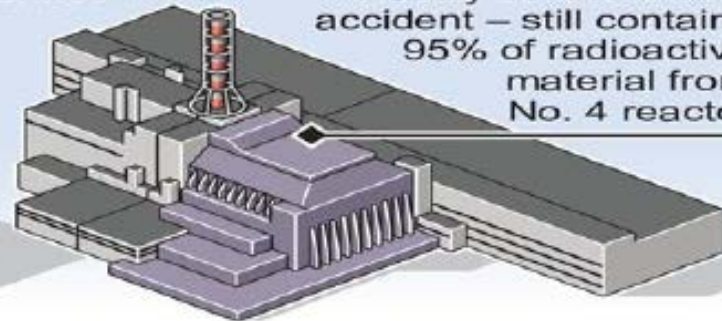
■ **Apr 26, 1986:** Power surge in No. 4 reactor causes explosions, destroying core and blowing off building roof. Radioactive cloud causes 4,000 cancer deaths in Ukraine, Belarus, Russia and Europe



■ **Apr 26-May 9:** Helicopters drop thousands of tonnes of lead and sand to smother fires

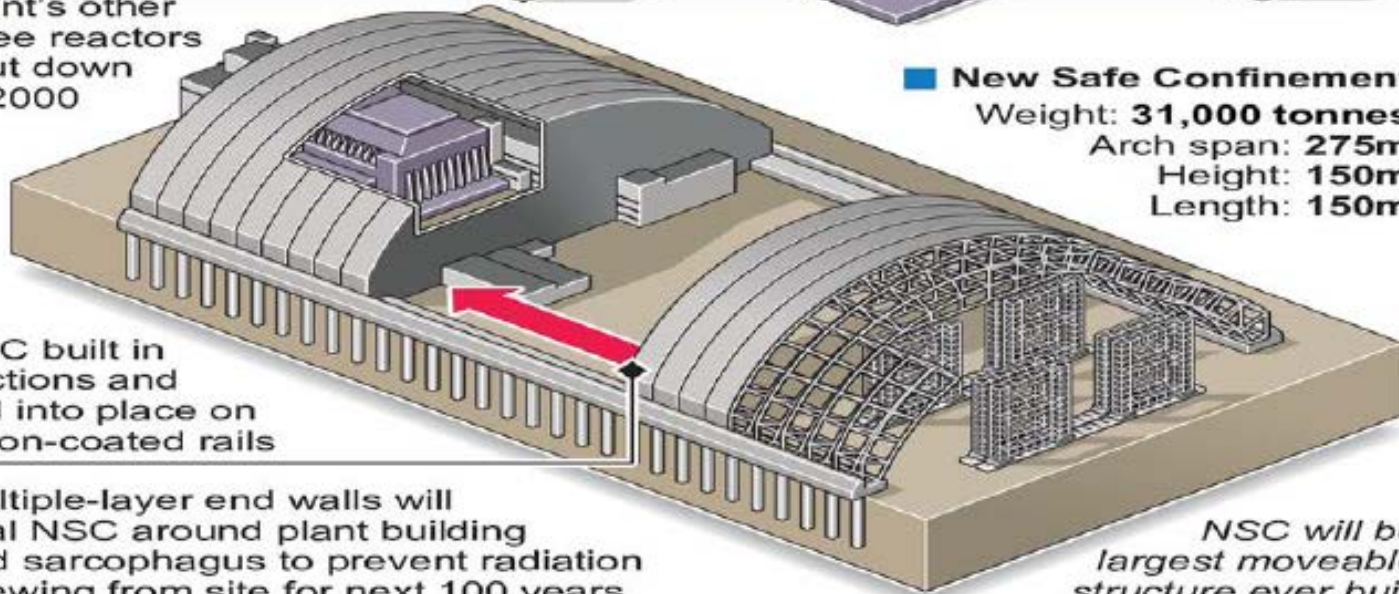


■ **Sarcophagus**  
Hastily built following accident – still contains 95% of radioactive material from No. 4 reactor



Plant's other three reactors shut down in 2000

■ **New Safe Confinement**  
Weight: **31,000 tonnes**  
Arch span: **275m**  
Height: **150m**  
Length: **150m**



NSC built in sections and slid into place on teflon-coated rails

Multiple-layer end walls will seal NSC around plant building and sarcophagus to prevent radiation spewing from site for next 100 years

NSC will be largest moveable structure ever built

Sources: WHO, Novarka

© GRAPHIC NEWS



# *Chernobyl Disaster*



## *The New Safe Confinement (NSC) of Chernobyl Unit 4*



# 車諾比爾核能電廠災變的衝擊

- 目前廣泛使用的**輕(普通)水式反應器**與車諾比爾電廠使用的**石墨水冷反應器**的物理特質完全不同，**絕對不可能發生類似的災變**
- 石墨水冷反應器會發生類似的故事，在1975年出版的教科書中已有明確之描述**
- 共興建24部機組：蘇俄(18)、烏克蘭(4)、立陶宛(2)；目前蘇俄還有15部機組運轉中**



# 日本福島核能一廠事故

- **地震發生後 (3月11日 14:46) ，造成四座核電廠 11部機組跳機，控制棒成功插入爐心，終止核分裂連鎖反應**
  - 福島核能一廠 (三部運轉，三部停機維修)
  - 福島核能二廠 (三部機)
  - 女川核電廠 (四部機)
  - 東海核電廠 (一部機)
- 地震造成電廠喪失廠外電源
- 緊急柴油發電機正常啟動
- **高達14公尺的海嘯，沖毀福島核能一廠的緊急柴油機的供油設備，電廠喪失全部電源 (電廠全黑事故)**
- 三部跳機後的機組依靠蒸汽驅動注水設備維持爐心水位



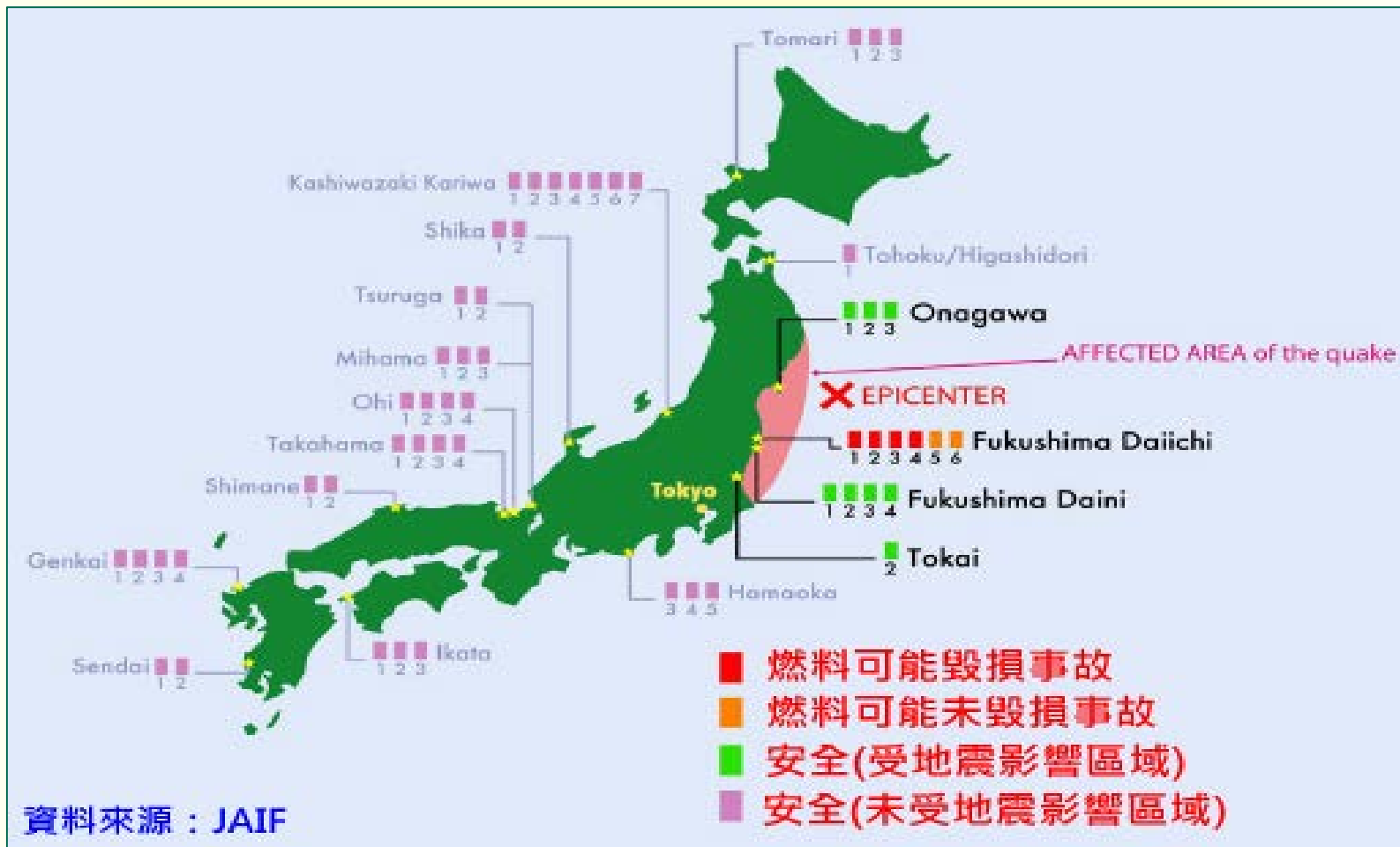


# 日本福島核能一廠事故說明

- 蒸汽驅動注水設備僅能補水，無法將讓排出系統；熱累積於圍阻體內，圍阻體壓力上升；為避免圍阻體因過壓喪失功能，須以圍阻體排氣釋出能量
- 電池電力耗盡後，注水功能完全喪失，冷卻水逐漸蒸發，水位下降，終致燃料不再為水淹蓋，爐心裸露
- 爐心裸露後，燃料棒護套溫度上升，鋯與水蒸汽發生劇烈反應，產生氫氣；部分揮發性較高的放射性物質 (銫-137, 碘-131, 惰性氣體) 自燃料丸釋出，進入圍阻體
- 正常運轉時，馬克一型圍阻體內部充氮氣，故沒有氫爆的顧慮
- 運轉人員為避免圍阻體因過壓喪失功能，進行圍阻體排氣

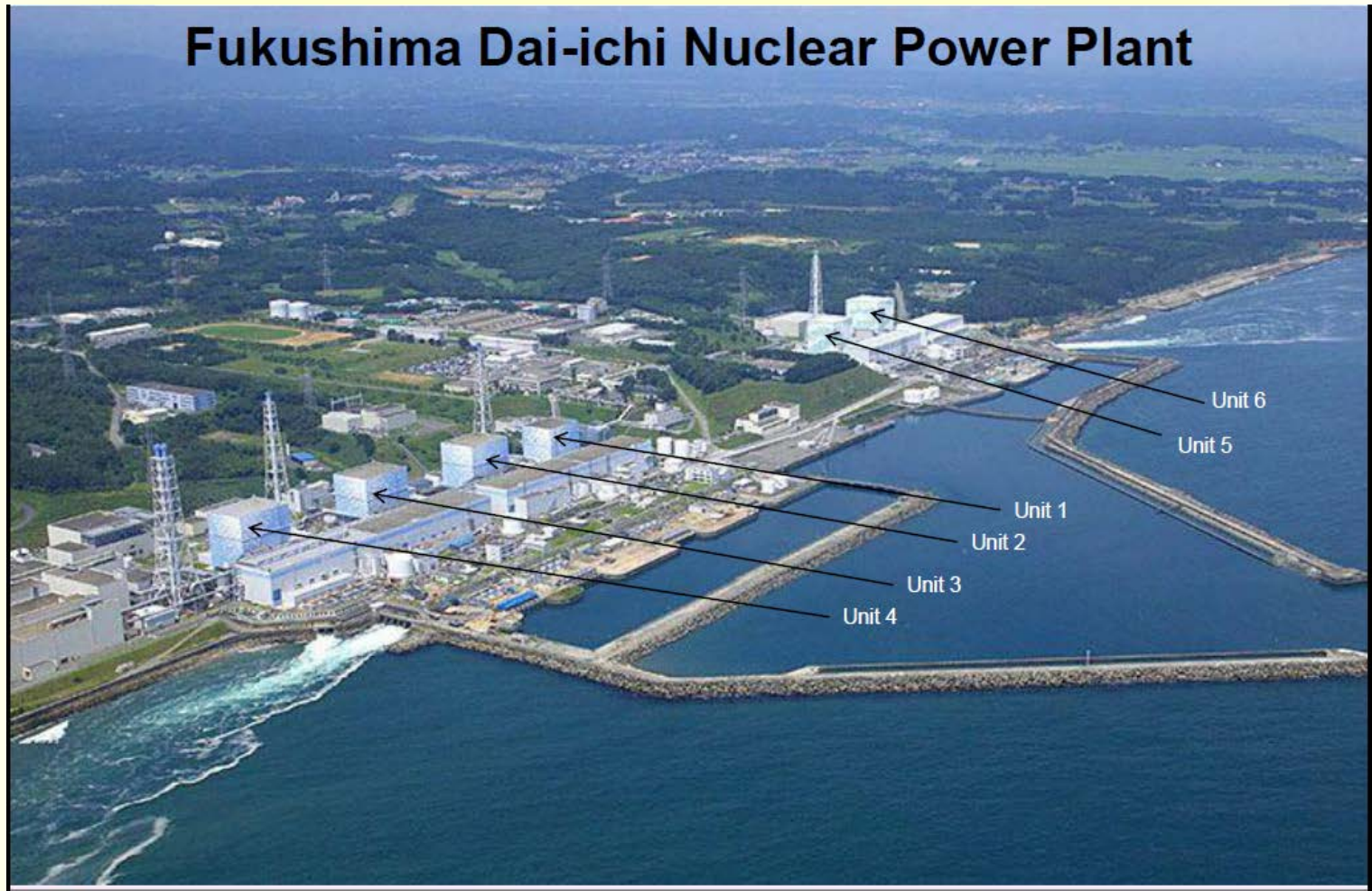


# 日本福島核能一廠事故





# 日本福島核能一廠

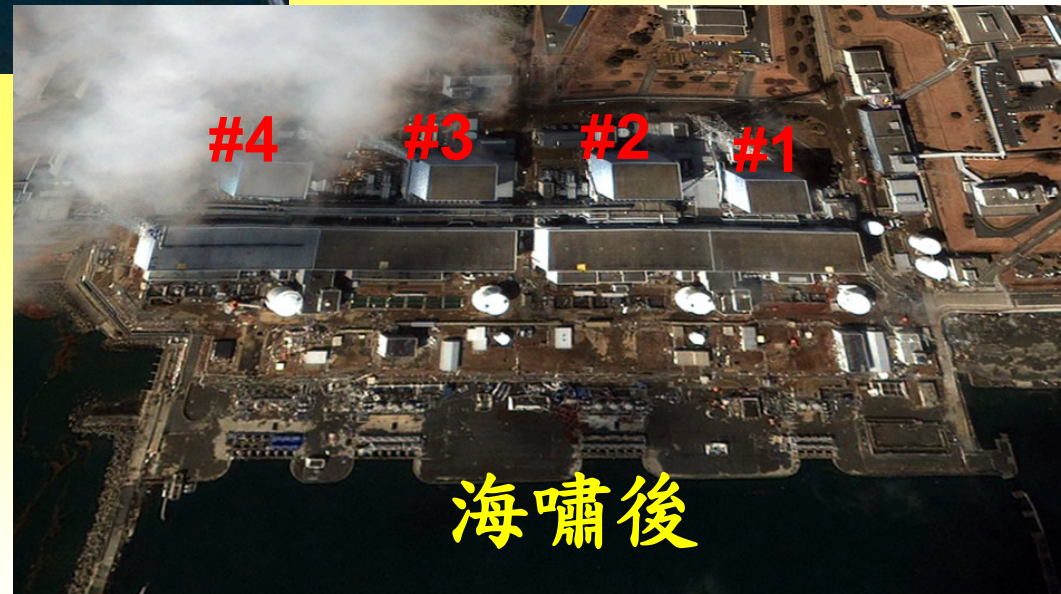




# 福島一廠海嘯前後空照圖



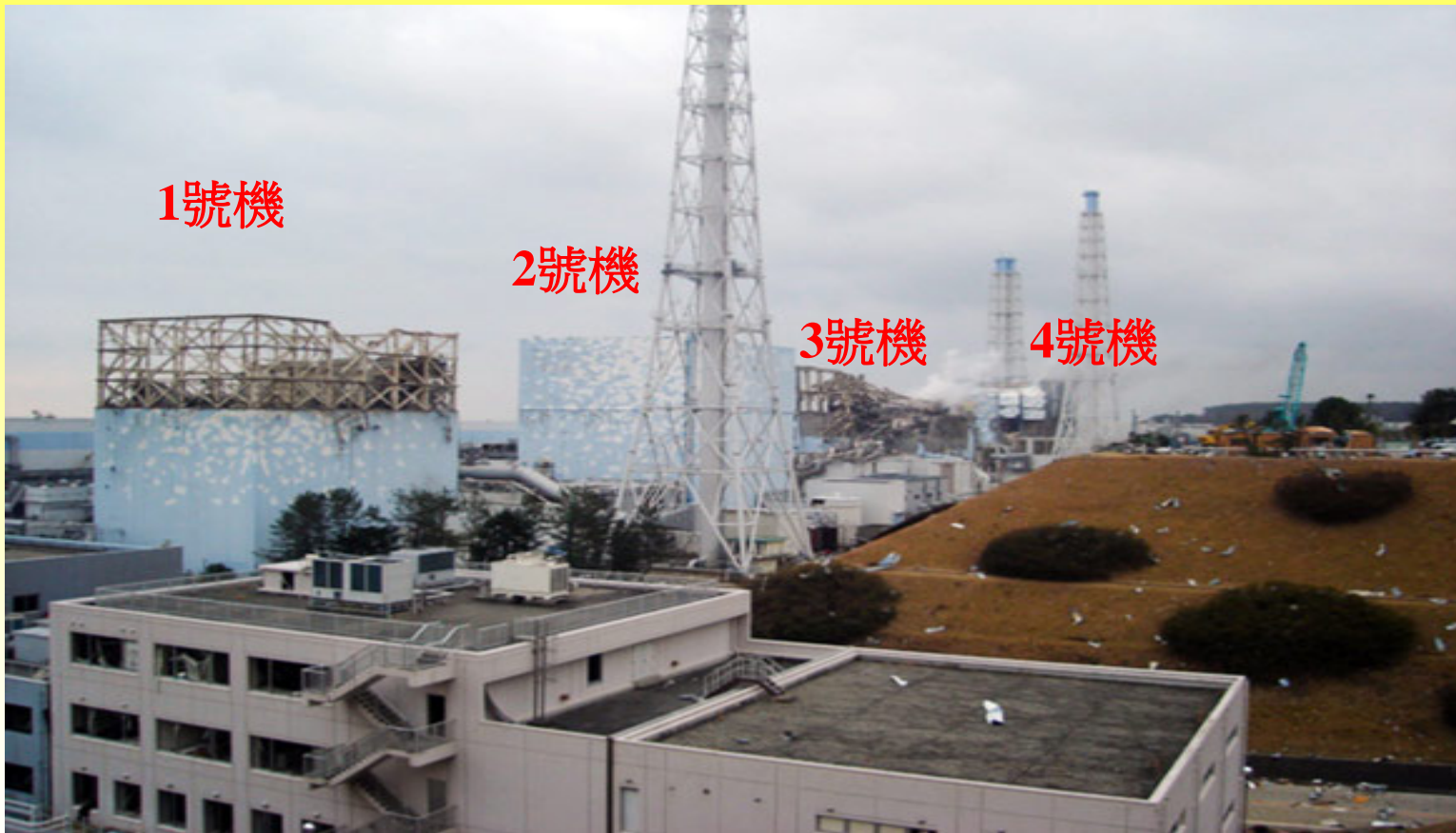
海嘯前



海嘯後



# 福島核能一廠 (2011-3-16)







# 日本福島事故對全球健康影響

Energy & Environ. Sci期刊, 2012年5月

研究方法：利用全面禁止核子試驗公約組織(Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization, CTBTO)於全球各地監測站所測得放射性核種濃度，逆向推估福島核電廠事故發生後一個月內放射性I-131與Cs-137之排放率，其值為 $6.526 \times 10^{16}$ 貝克/天(I-131)與 $1.696 \times 10^{16}$ 貝克/天(Cs-137)。

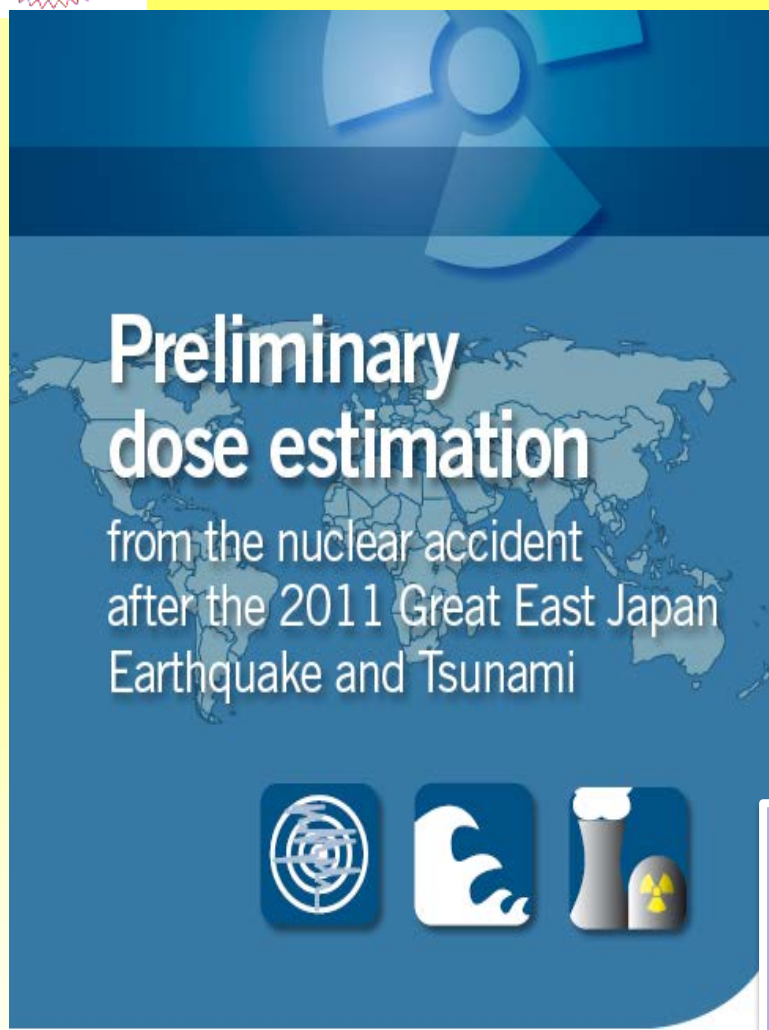
	預估總罹癌致死病例			預估總致癌病例		
攝入、吸入放射性核種以及地表、大氣中放射性核種體外曝露，導致全球健康效應總和	15 - 125 - 1110 (下限-最佳估計-上限)			24 - 178 - 1800 (下限-最佳估計-上限)		
I-131總排放量加倍	-	×1.18	×1.16	-	×1.22	×1.35
考慮I-131以80% (氣態分子)/20%(固體微粒)形式存在	-	×1.09	×1.05	-	×1.09	×1.02
全球健康效應總和	15 - 160 - 1300			24 - 240 - 2500		

「本報綜合外電報導」日本福島核災，核電廠的輻射外洩


- 福島事故對全球致癌風險，遠低於車諾比事故的數千人
- 致癌和罹癌致死病例大部份發生在日本境內，例如160人罹癌致死病例有130人發生在日本，和日本總人口數每年數十萬人癌症死亡率比，乃「微不足道」



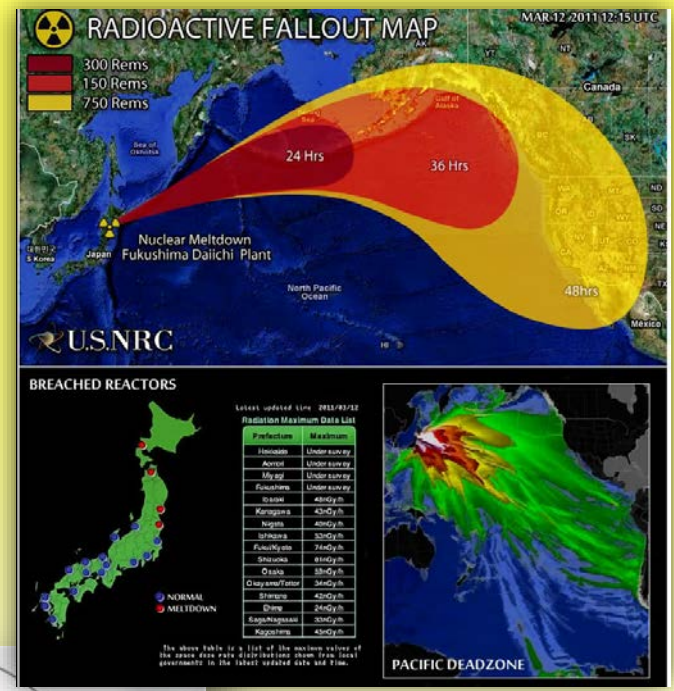
# 日本福島事故對全球健康影響



**Preliminary dose estimation**  
from the nuclear accident  
after the 2011 Great East Japan  
Earthquake and Tsunami



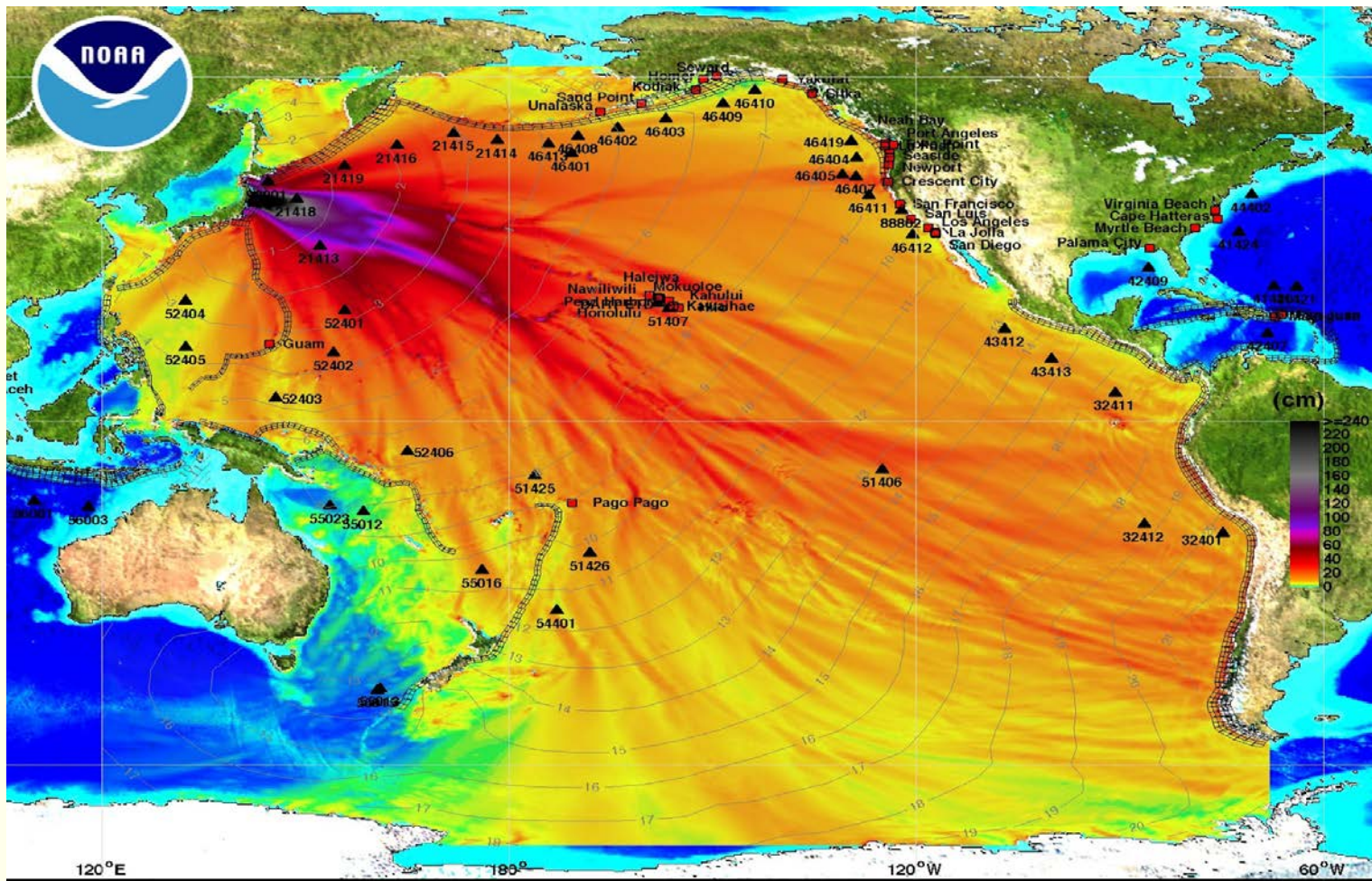
2012年5月  
WHO報告



福島核災事故導致日本境外國家接受到有效劑量小於0.01毫西弗。

國際輻射防護組織認為低於0.01毫西弗的劑量符合豁免管制量。





網路上說這是福島輻射汙染的擴散圖？  
事實上是地震造成海嘯之浪高的分佈圖！



類似福島核電廠事故的災難會發生在台灣嗎？



# 類似福島核電廠事故的災難會發生在台灣嗎？

台灣核電廠的現存狀況是否符合原先之『設計基準』

-- 核電廠安全總體檢

台灣本島或附近海洋發生超大規模地震的可能性

地震發生後引發海嘯的規模

台灣核電廠的『設計基準』是否足以因應前述之海嘯與地震

提升電廠因應『超越設計基準事故』的能力

-- 核電廠壓力測試

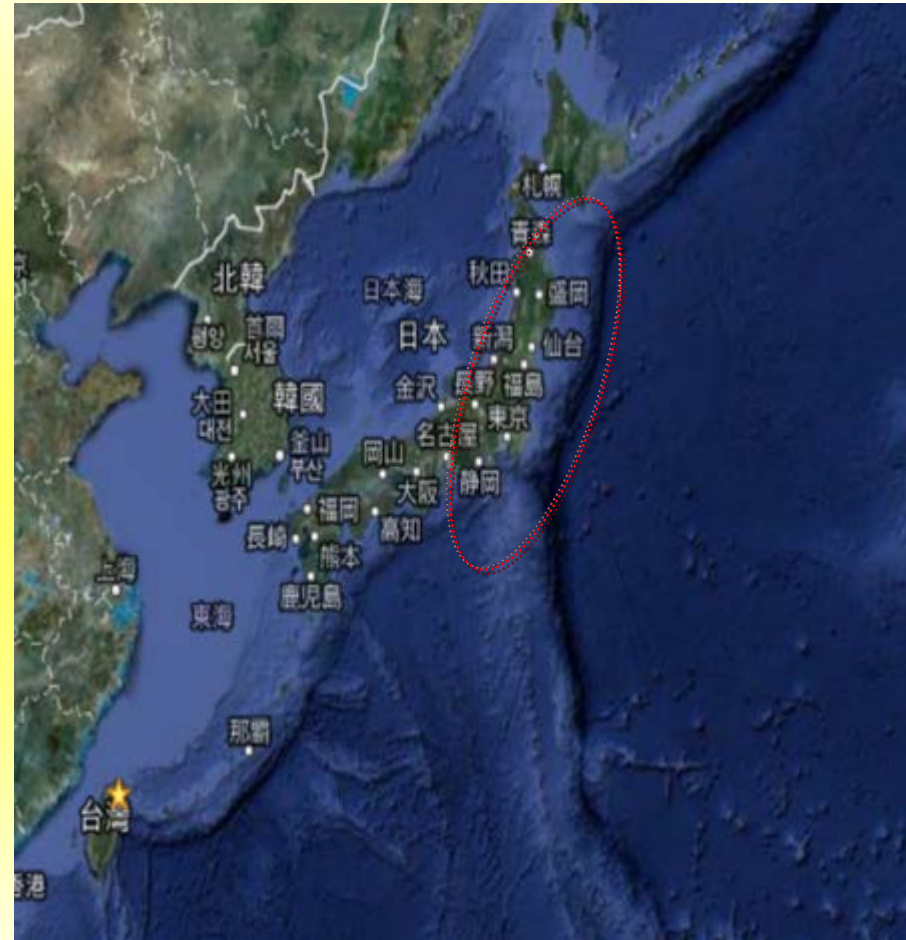
## ➤ 『斷然處置措施』的規劃

-- 以電廠的經濟價值，換取放上射性物質的外釋



# 台灣與日本的海嘯因子分析

- 台灣外海並無東日本大海嘯之斷層及近海地形
  - 海嘯源自海中的大地震，大地震又來自大斷層，且該大斷層必須和海岸線為平行線
  - 東日本大海嘯是與東日本海岸平行的歐亞和太平洋兩大板塊的大斷層地震所造成，日本最大地震約芮氏規模9
  - 台灣外海斷層為由歐亞和菲律賓兩大板塊形成
  - 東部琉球海溝與東海岸並不平行，南部馬尼拉海溝亦僅北端與南部海岸平行，其斷層和平行距離均遠不及東日本外海的大斷層，台灣最大地震約芮氏規模7，比日本約小100倍能量



國科會資料



# 台灣與日本的海嘯因子分析

- 近海長遠寬廣的平坦地形為形成巨大海嘯的原因
- 台灣近海地形的海嘯形成因子僅為東日本三~四分之一
- 日本福島核電廠海嘯15 m，若發生在台灣海岸地形約5 m，而台灣核電廠防海嘯高程均在10 m 以上



## 日本和台灣最大海嘯比較

國科會資料

	發生年份	發生地點	芮氏規模	海嘯高度
台灣	1867年	基隆外海	7.0	約6.0~7.5m
日本	1993年	日本外海	7.6	約30m



# 斷然處置措施

因應『超過設計基準事故』策略的一環

發生『超過設計基準事故』，且判斷爐心熔毀不可避免時；

**及時**的運用非常態的設施或系統，利用**任何可用**之水源，  
將水注入爐心，防止放射性物質的外釋量造成**廠界劑量超過**  
**全面緊急事故的基準**

## Ultimate Responses Guidance

核電廠是否絕對安全?!

如果不是；核電廠運轉對電廠附近  
民眾的風險

風險三要素： 事故序列，發生的頻率，  
災害後果

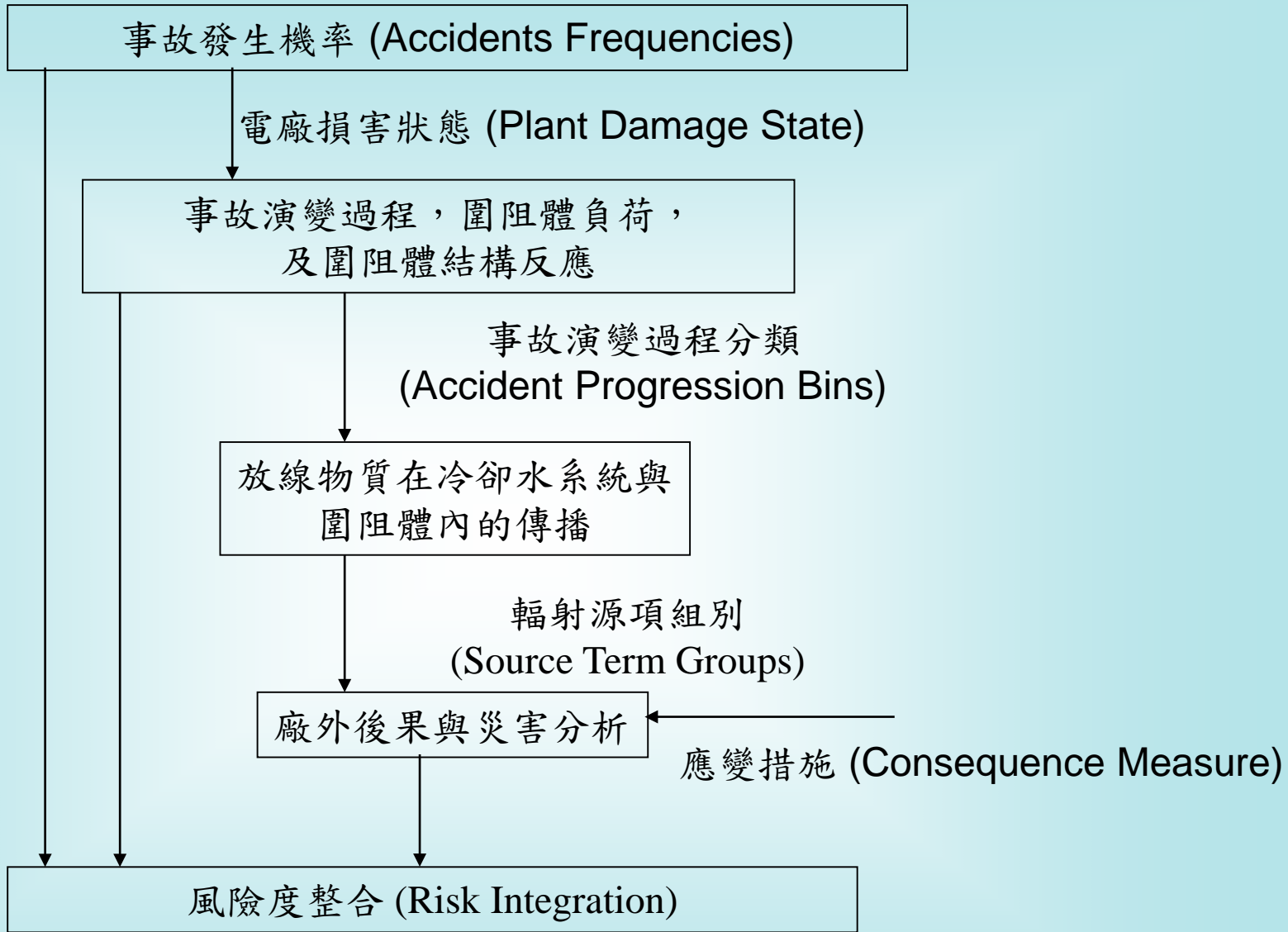
核電廠安全度評估方法  
(probabilistic Risk Assessment)

WASH-1400, Reactor Safety Study (1975)  
NUREG-1150 (1989)

# 核電廠安全度評估方法

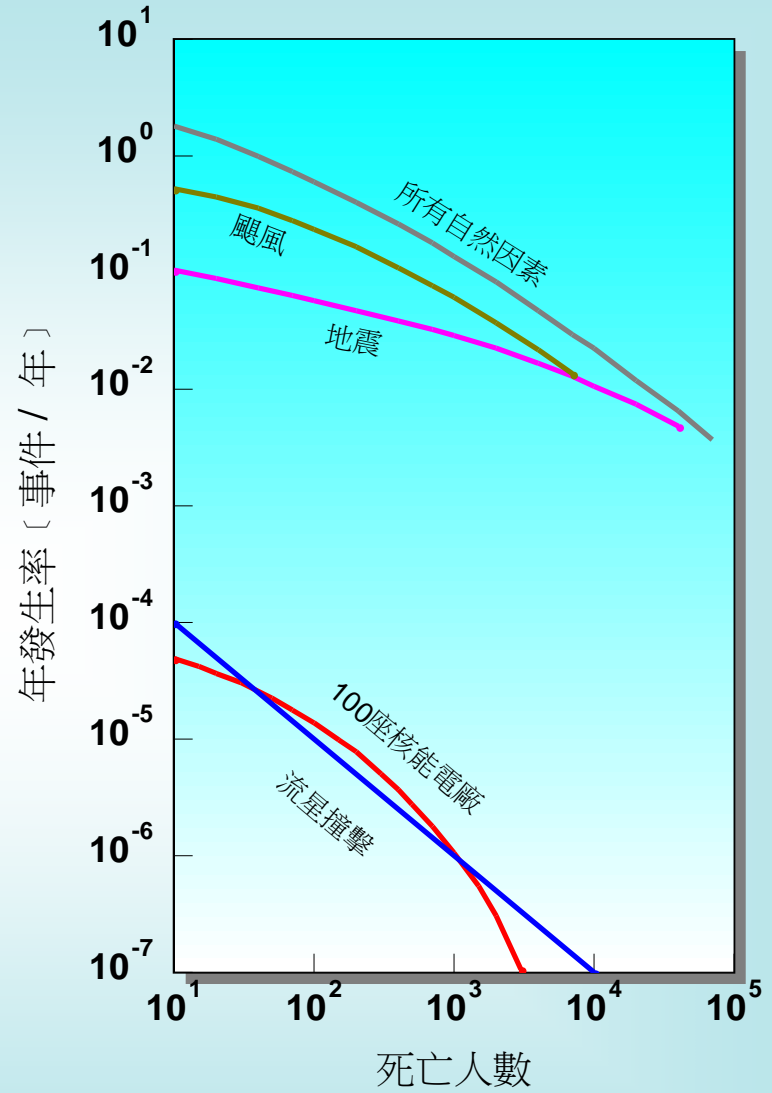
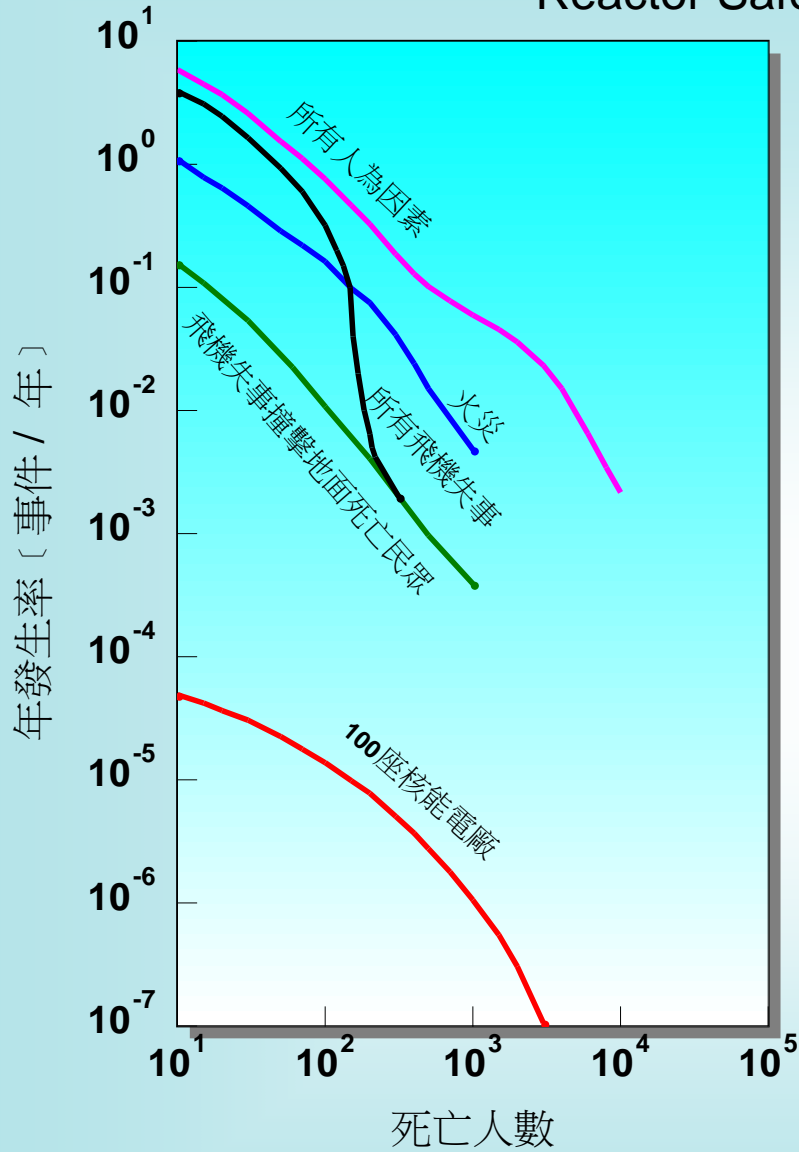
- 以機率與統計理論為基礎，利用事件樹與故障樹方法，找出爐心熔毀事故的事故序列，及該事故發生的頻率
- 分析該事故中，圍阻體喪失功能的機率以及放射線物質外釋的狀況
- 依據電廠附近之氣象狀況，估算放射性物質於大氣中擴散，計算民眾的劑量與健康效應
- 量化核電廠運轉對民眾帶來之風險
- 分析結果用於決定核電廠緊急應變計畫區的大小
- 核電廠安全度評估技術已被廣泛的用於電廠的日常運轉，找出電廠的弱點，以提升電廠的安全





## NUREG-1150 執行步驟

# Reactor Safety Study, WASH-1400



核能事故風險和自然災害風險比較



# Nuclear Power Plants in Taiwan

In 2011  
Nuclear Installed Capacity  
5,144 MWe

**Chinshan Nuclear Power Plant (1st)**

GE BWR-4

636 MWe x 2

Commercial Operation Date :

# 1 Dec. 1978

# 2 July 1979

**Chinshan**

**Kuosheng Nuclear Power Plant (2nd)**

GE BWR-6

985 MWe x 2

Commercial Operation Date :

# 1 Dec. 1981

#2 Mar. 1983

**Kuosheng**

**Lungmen**

**Lungmen Nuclear Power Plant (4th)**

GE ABWR 1,350 MWe x2

**Maanshan Nuclear Power Plant (3rd)**

W PWR

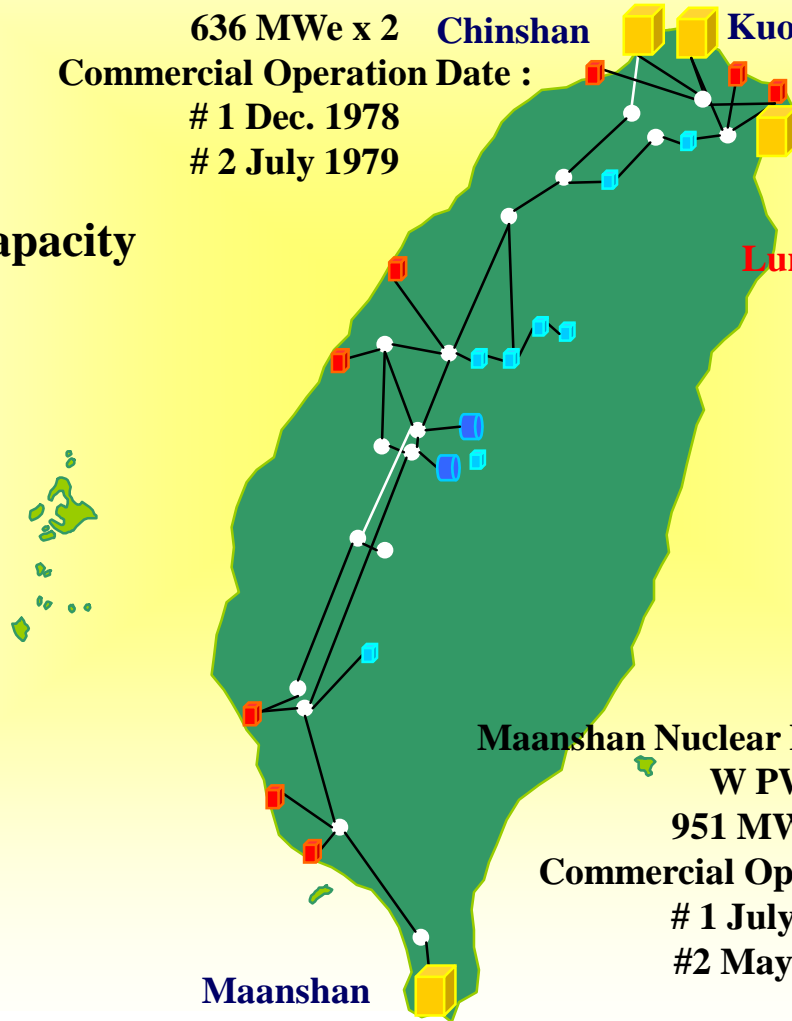
951 MWe x 2

Commercial Operation Date :

# 1 July 1984

#2 May 1985

**Maanshan**





核四廠變更設計  
 核四廠興建過程的瑕疵  
 偷工, 減料是使網的

# 核四廠安全嗎?

核四廠  
 媒體  
 核四廠承包商低價  
 核四廠興建期過長  
 大小事故層出不窮  
 博言類  
 商認可



- 『安全』是個人對外在情況的感覺，
- 『安全』是一種行為模式的描述，
- 『安全』是對**公共設施**存在狀態的說明。

『安全』是『**主觀的認知**』，還是『**客觀的認證**』

對前兩者而言，『安全』是主觀的認知，主觀認知與個人的人格特質、宗教信仰、身家狀況、知識與常識、經驗等因素相關。

**依第三個定義，為了保障民眾與投資者，『安全』必須是依據法規之客觀的認證。**



馬英九總統、政府單位、與台電公司都說沒有核能安全就沒有核能發電；做不到安全，核四就不會運轉；他們所謂的安全是指經由法規認定的『客觀安全』，不是反核人士或政治人物口中的『主觀安全』。

大家也許對自己國家的管制體系沒有信心，希望透過外來和尚的嘴來保證台灣核能電廠的安全，恐怕也是緣木求魚。工業設施安全的認定是內政問題，其他國家或國際組織的專家，最多只會說『核四的狀況或台灣管制措施與國際要求一致』，或者『沒有發現重大瑕疵』等無法滿足噬血媒體的聲明。

**就如同所有設施的安全都是由相關主管單位根據法規來判定的一樣，個人認為核四安全與否必須回到體制面，由法規管制單位依據制度、法條、與規範獨立的判定核四是否可以運轉。但是對核能有意見的人永遠可以說核四不安全，因為他們對安全的認知是主觀的。**



幾乎所有的缺失都可以透過完整與妥善的測試程序排除

若所有的測試結果都能獲得原能會認可，核四廠就是安全的電廠

2011年N **核四廠的安全是可以期待的！** 專績  
效，在2010全球排名第2。

2011年世界核能發電協會(WANO)的評比中，關於核能安全的幾項重要指標，如機組能力因數(代表機組發電績效)、臨界7000小時非計劃自動急停(代表機組跳機指標、安全系統績效(機組安全指標)、燃料可靠度等，台電的平均值亦名列前茅。

台灣有成熟與完整的核能電廠運轉能力，以及法規管制機制與能力。



# 核電廠執照更新

依美國法規，核電廠運轉執照核發年限為40年

- 立法精神：反托勒斯 (Anti-Trust)

核能電廠首重安全，執照到期前一天仍要符合  
所有法規的要求

核電廠延長使用年限的可能性

美國於1980年代末期開始推動，將核電廠  
使用年限延長為60年，超過90%的機組提出申請，  
獲得核定

目前已有兩個電廠4部機組提出執照延長到80年  
的申請



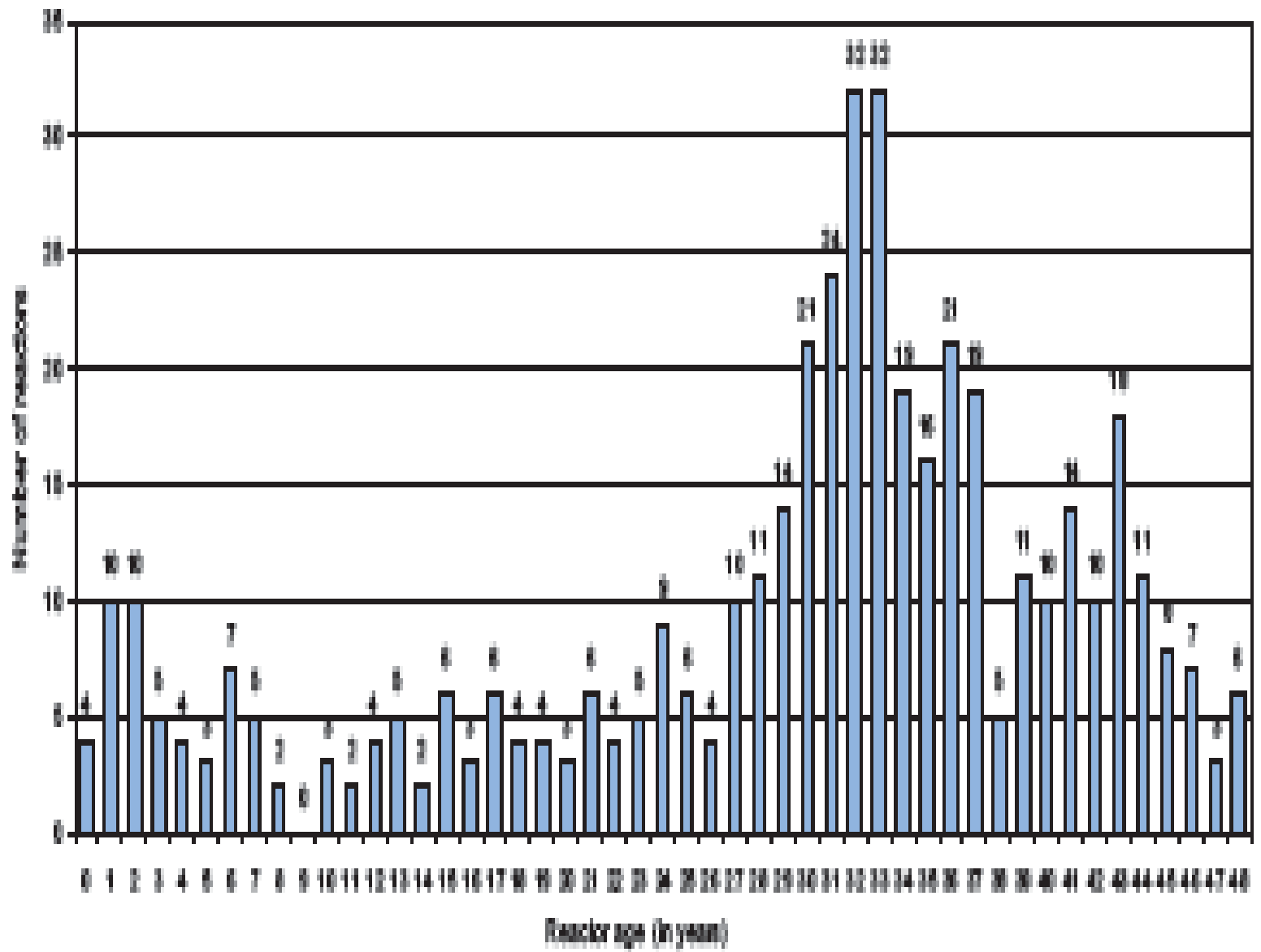


Figure 6. Number of operational reactors by age (as of 31 Dec 2017).

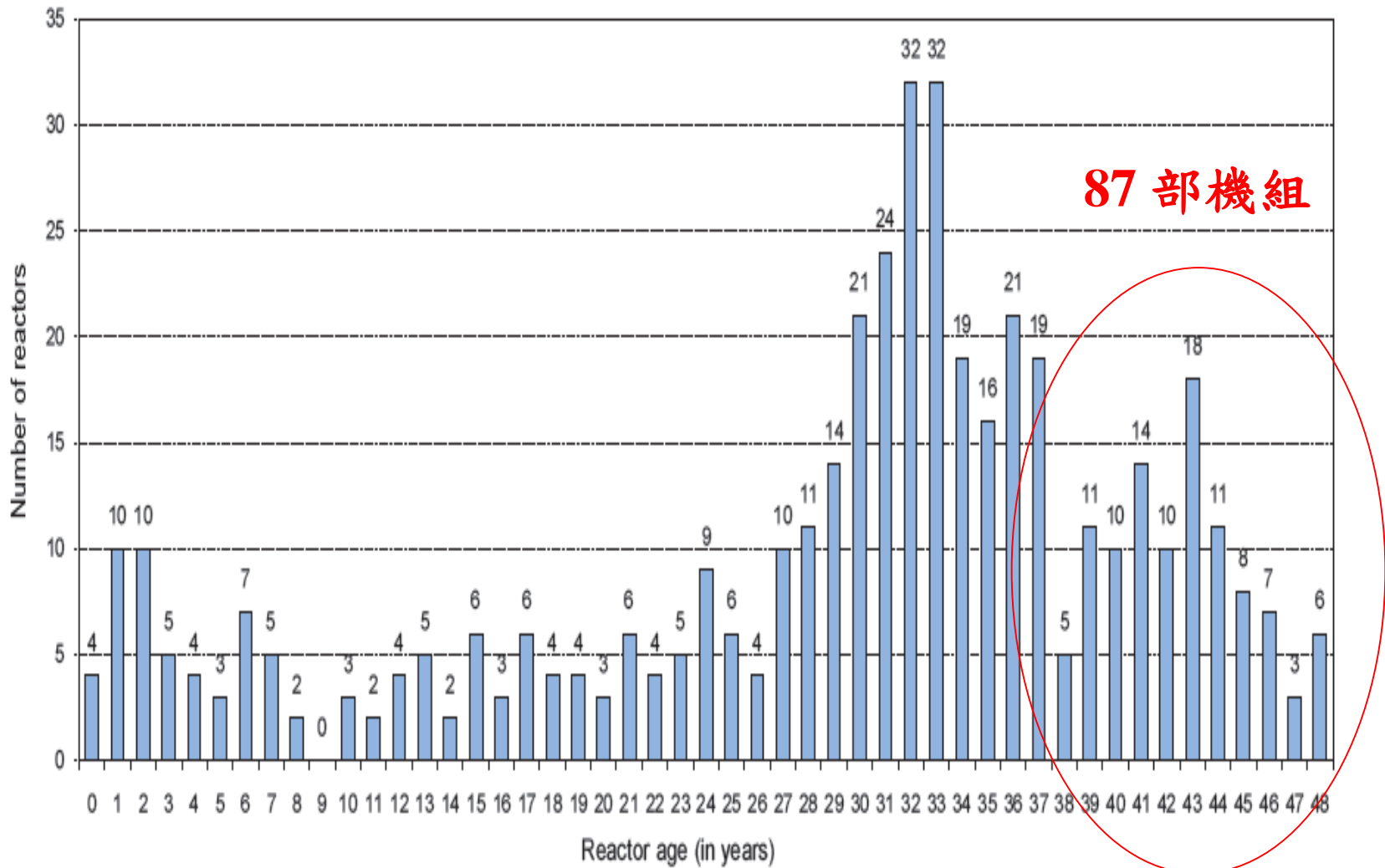
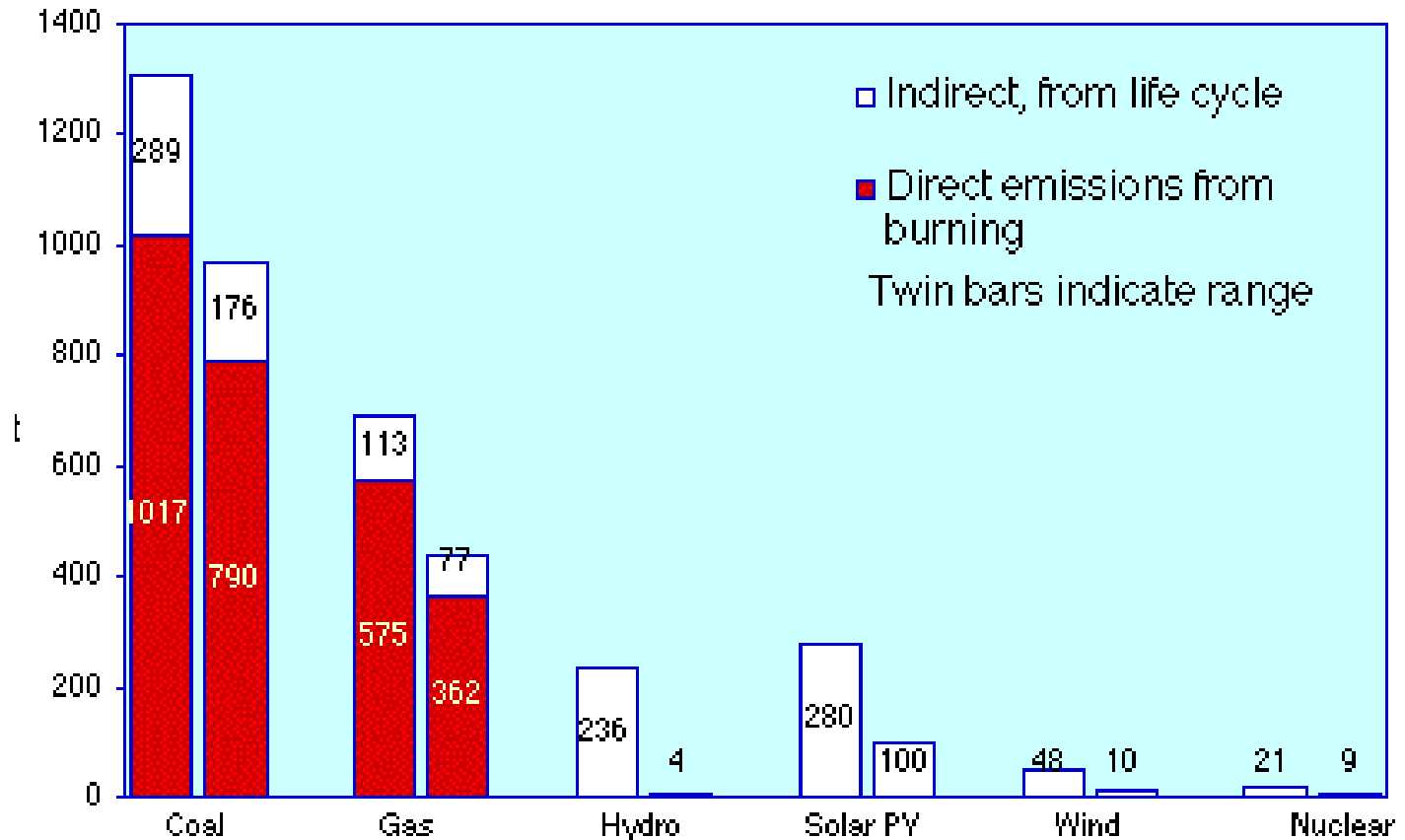


Figure 5. Number of operational reactors by age (as of 31 Dec. 2017).



## 發電之二氧化碳排放

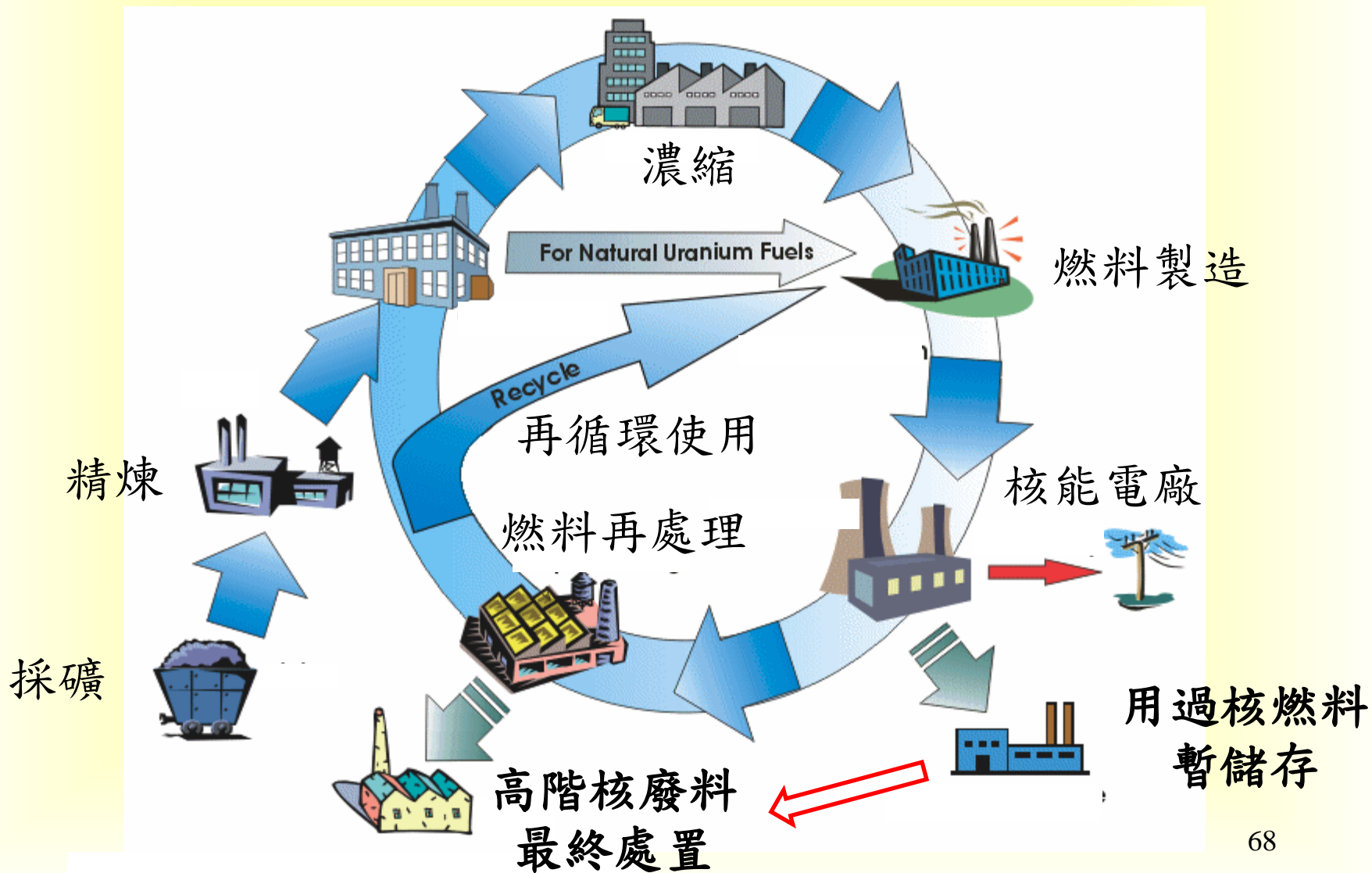
克/度

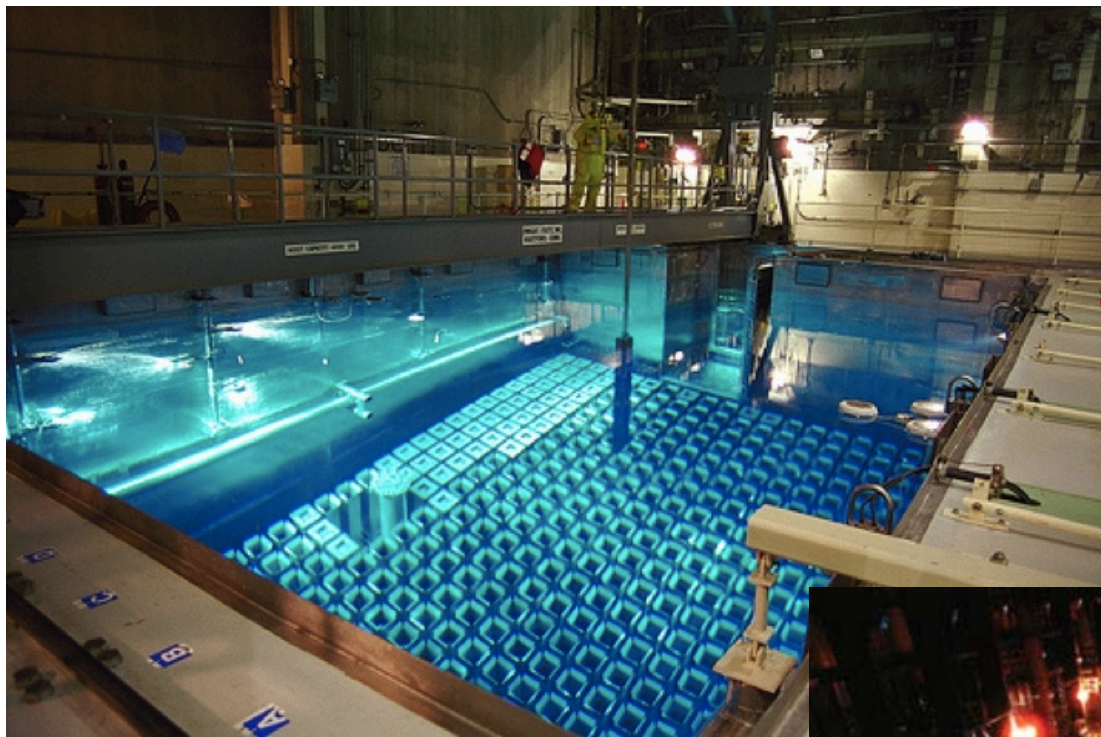


Source: IAEA 2000

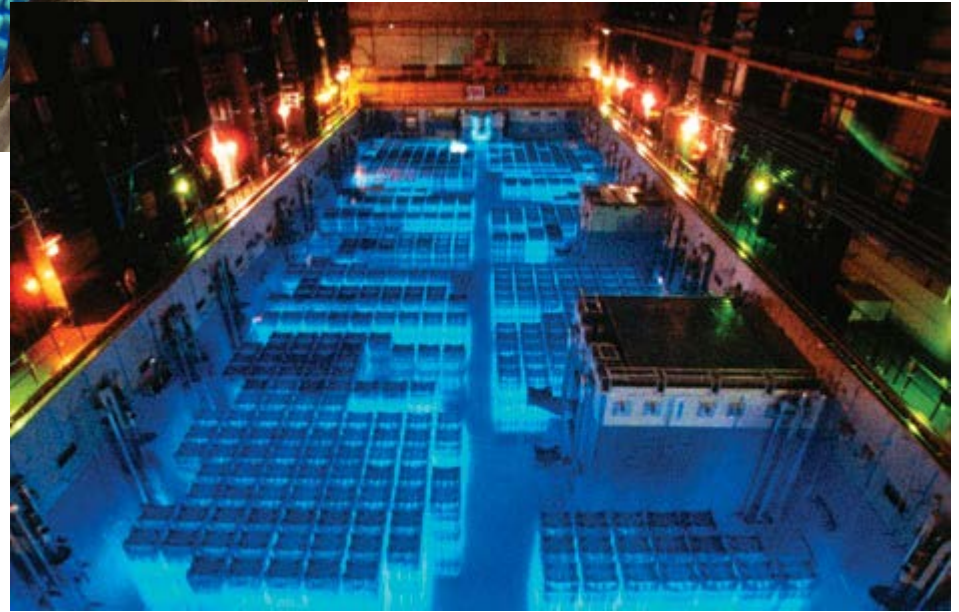


# 核燃料循環 Nuclear Fuel Cycle



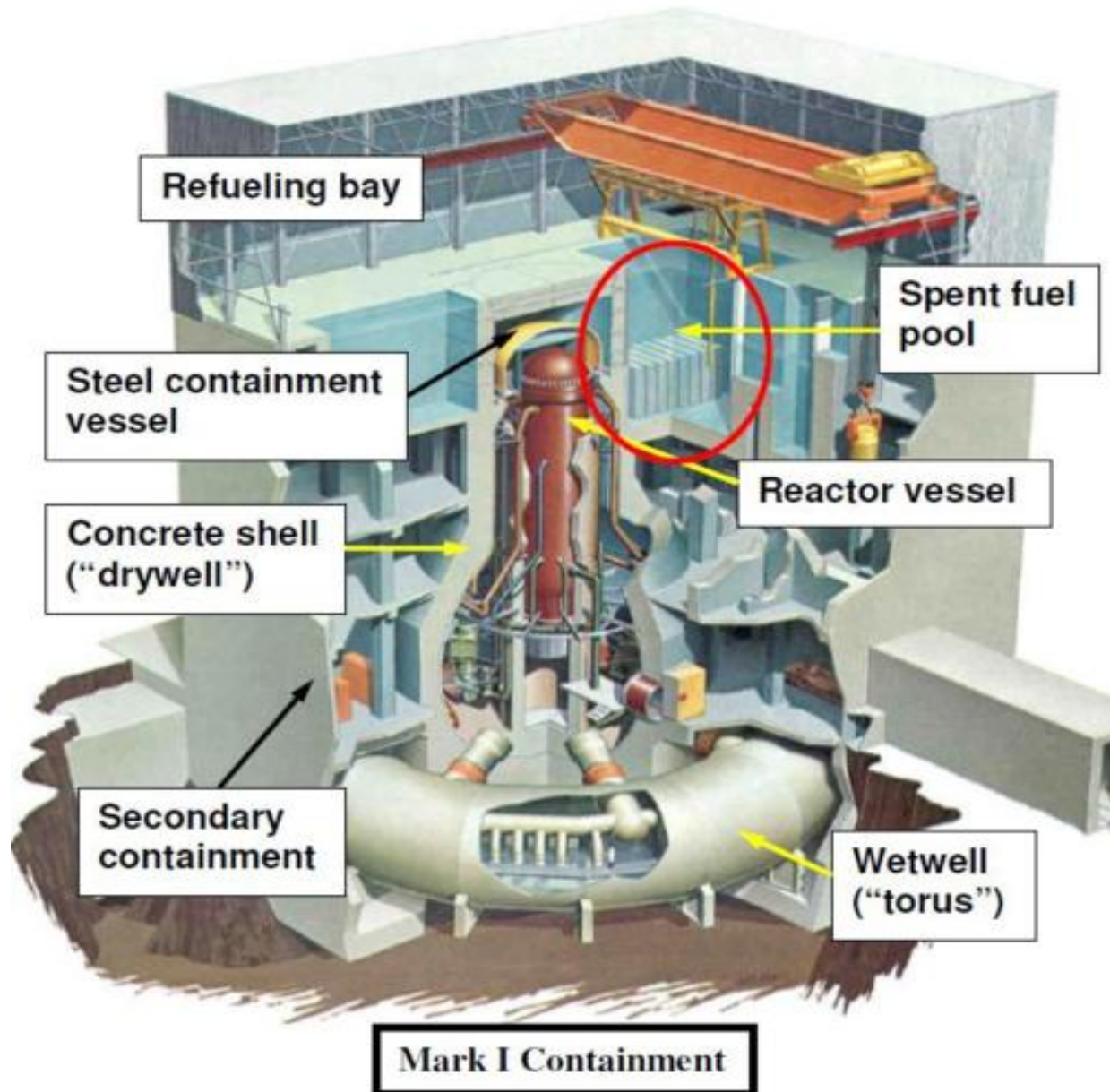


用過核燃料儲存池



*Spent Nuclear Fuel Pool*

# 用過核燃料儲存池



# *Dry Storage Cask Facility*

## *用過核燃料乾式儲存*



Maine Yankee Nuclear Power Station



Connecticut Yankee Nuclear Power Station



# Dry Storage Cask of Chinshan Nuclear Power Station



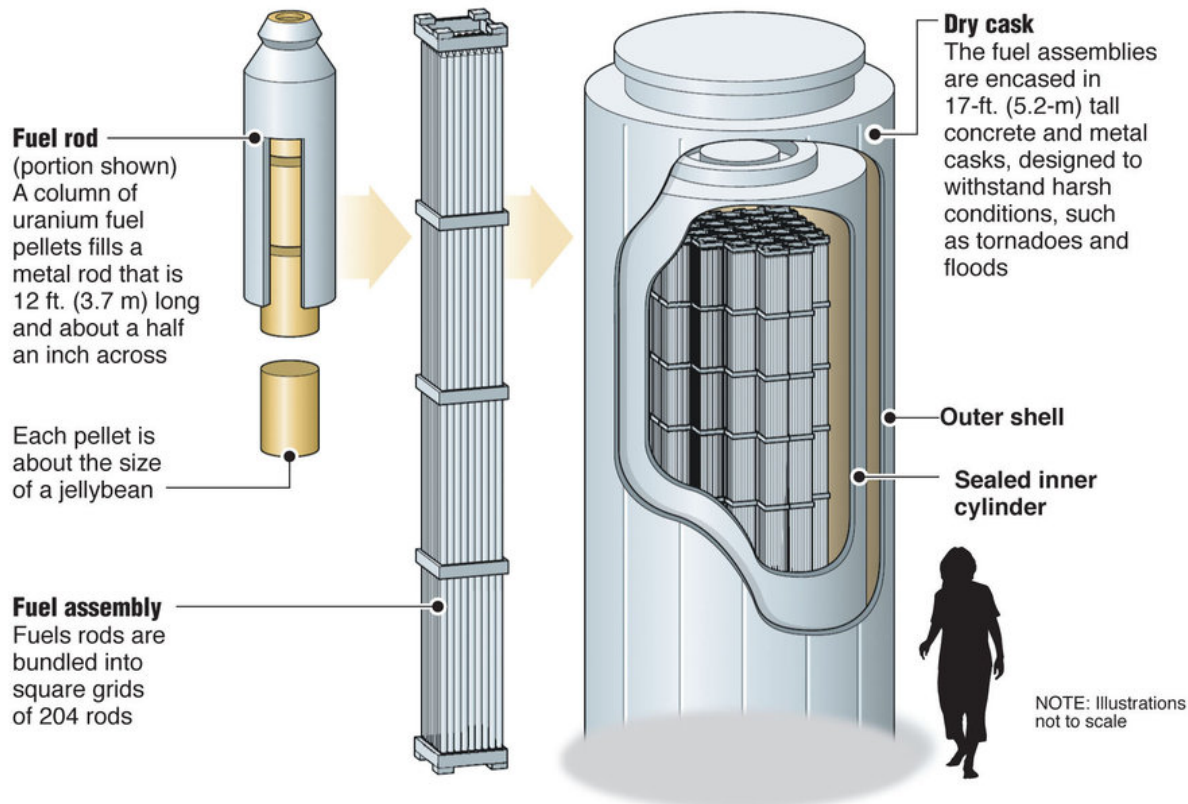


# Dry Storage Cask Facility

## 用過核燃料乾式儲存

### Dry cask storage

When nuclear fuel is spent or no longer useful for generating electricity, it is placed in pools of water and boric acid for at least five years until it is cool enough to be moved into long-term storage. Critics have questioned the safety of such pools and want to see more spent fuel moved into bunkerlike dry casks, which they say are safer.



Source: Exelon Corp., Westinghouse Electric Co., U.S. Nuclear Regulatory Commission  
Graphic: Chicago Tribune

© 2011 MCT

# *Dry Storage Cask of Chinshan NPP*



**TSC**

(Transportable Storage Canister)

Outside diameter : 1.70 m

Height : 4.84 m

Weight : 16.65 t



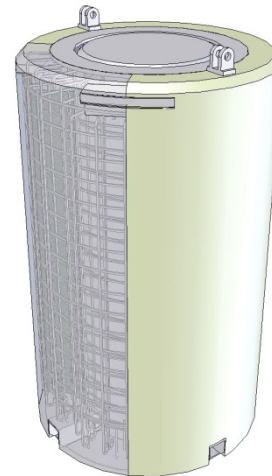
**TFR**

(Transfer Cask)

Outside diameter : 2.12 m

Height : 5.13 m

Weight : 46.18 t



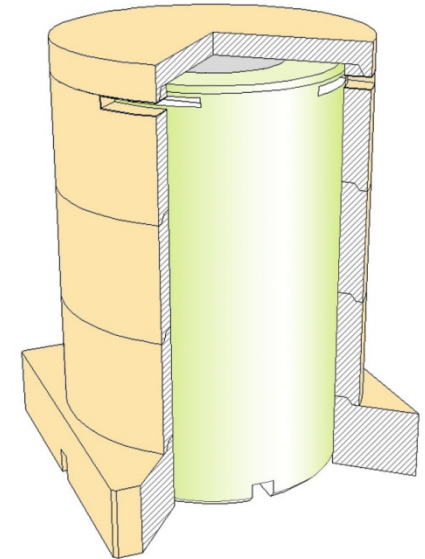
**VCC**

(Vertical Concrete Cask)

Outside diameter : 3.45 m

Height : 5.70 m

Weight : 112.73 t



**AOS (Add-On Shield)**

Outside diameter : 4.20 m

Height : 6.03 m

Weight : 81.20 t

movie

56 assemblies/cask

# *Dry Storage Cask Facility*





# 用過核燃料的最終處置

- 視為廢棄物 (高階核廢料),  
直接拋棄, 置於地質條件  
適合得處置場  
(Direct Disposal)
- 進行燃料在處理, 分離出可用的鈾  
與鈾, 以及真正的高階核廢料  
(Reprocessing)

# Spent Fuel Management in Different Country

	Deferred decision	Direct disposal	Reprocessing
Argentina	x		x
Belgium	x		x
Brazil			x
Bulgaria	x		x
Canada	x		
China			x
Czech Republic	x	x	
Finland		x	x
France			x
Germany		x	x
Hungary	x		x
India	x		x
Italy	x		x
Japan			x
Korea, Rep. of	x		
Lithuania	x		
Mexico	x		x
Netherlands			
Pakistan	x		
Romania	x		
Russian Federation			x
Slovakia		x	x
Slovenia	x		
South Africa	x		
Spain		x	x
Sweden		x	
Switzerland	x		x
UK	x		x
Ukraine	x	x	x
USA		x	

Note: Some Countries have different spent fuel management approaches for different fuel types. In some countries one spent fuel management approach is being followed but future options, involving application of different approaches, are being evaluated.

# *Permanent Disposal of Spent Fuel*

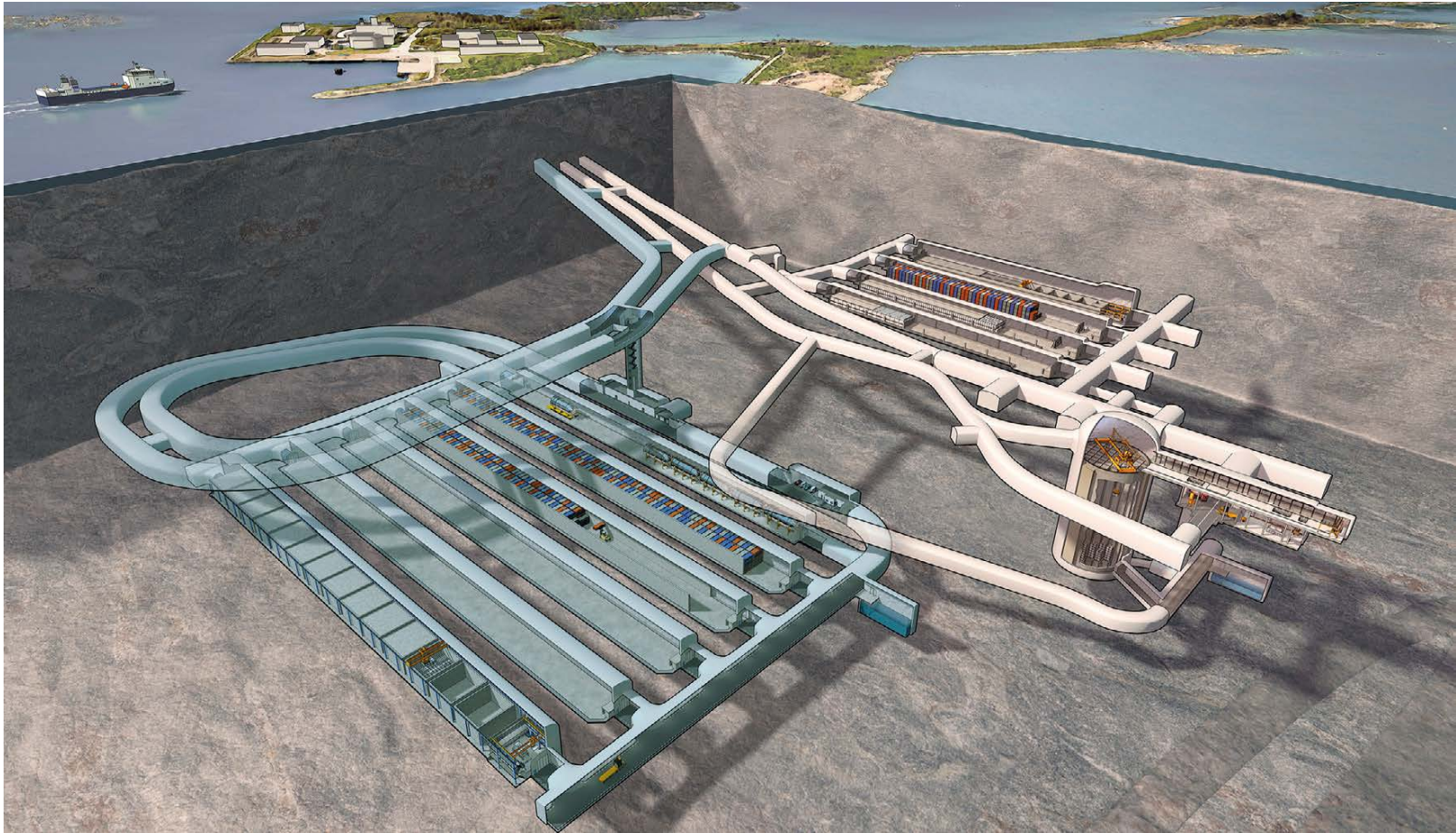
*Sweden*

**SFR – Final Repository for Radioactive Operational Waste**



# *Permanent Disposal of Spent Fuel*

*Sweden*



Repository for Spent Nuclear Fuel at Forsmark

Repository for short lived radioactive waste at Forsmark

# *Permanent Disposal of Spent Fuel*

*Sweden*

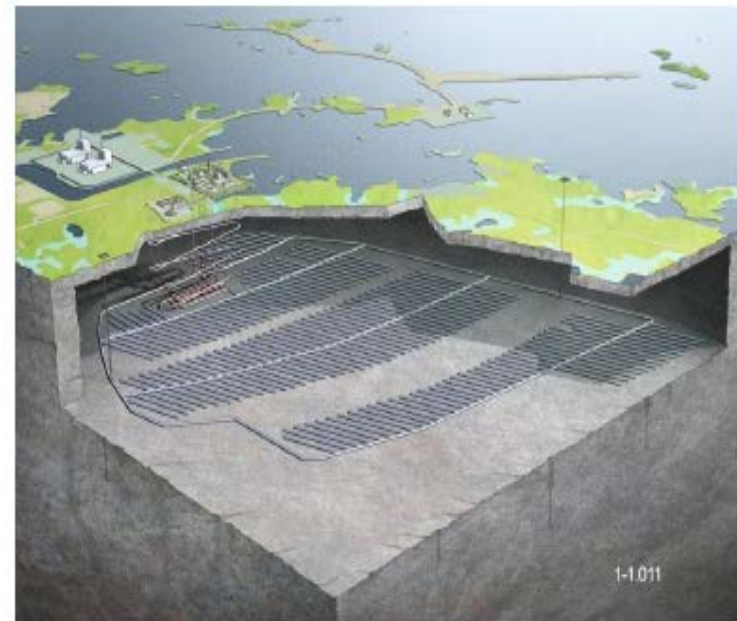
## Repository for spent nuclear fuel at Forsmark

**Construction 2015 - 2022**



**Construction of SNF repository: 500 pers.**

**Operation 2023 - 2070**



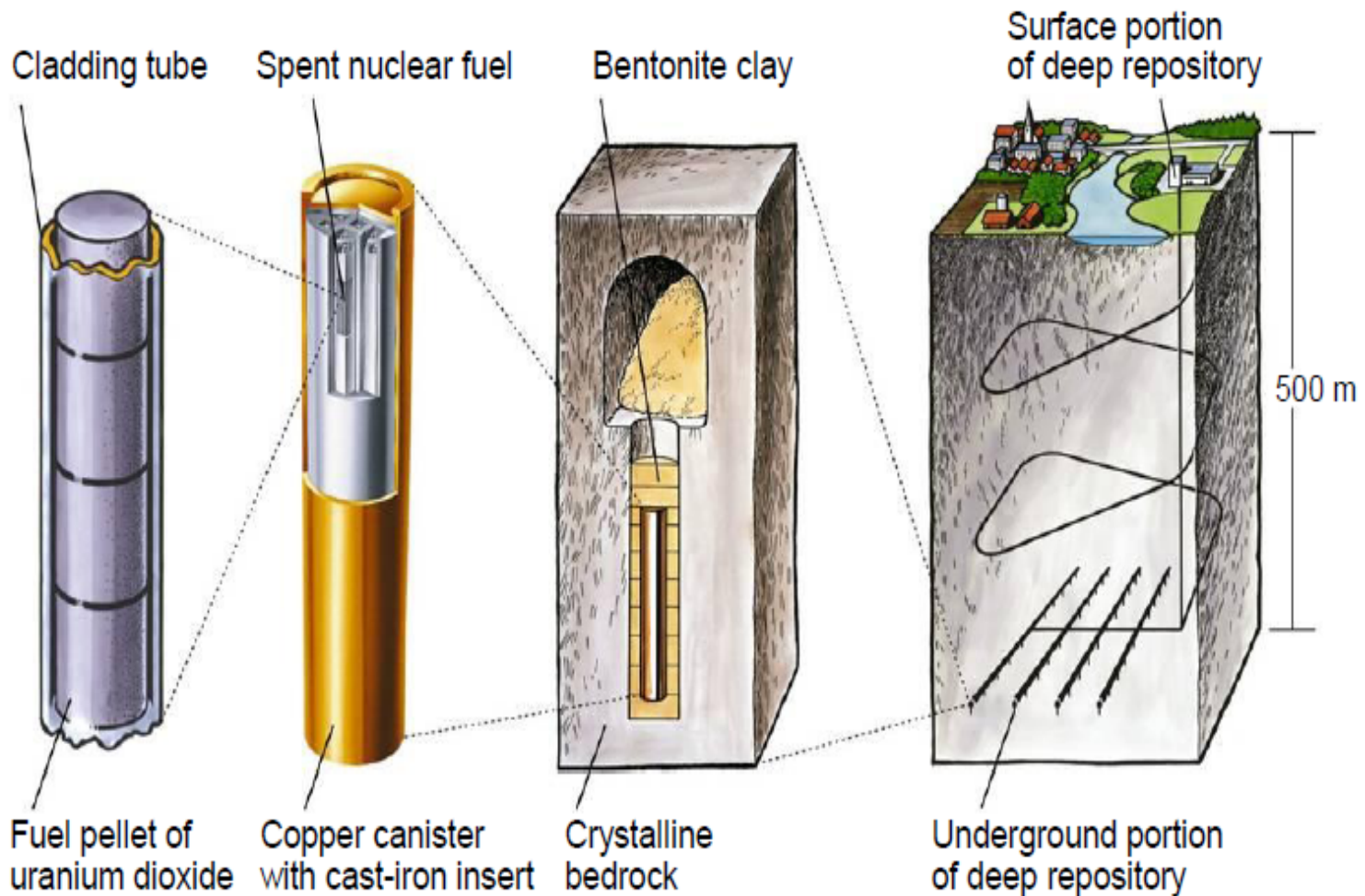
**Operation of SNF repository: 250 pers.**

**Head office functions: 100 pers.**



# Sweden *Permanent Disposal of Spent Fuel*

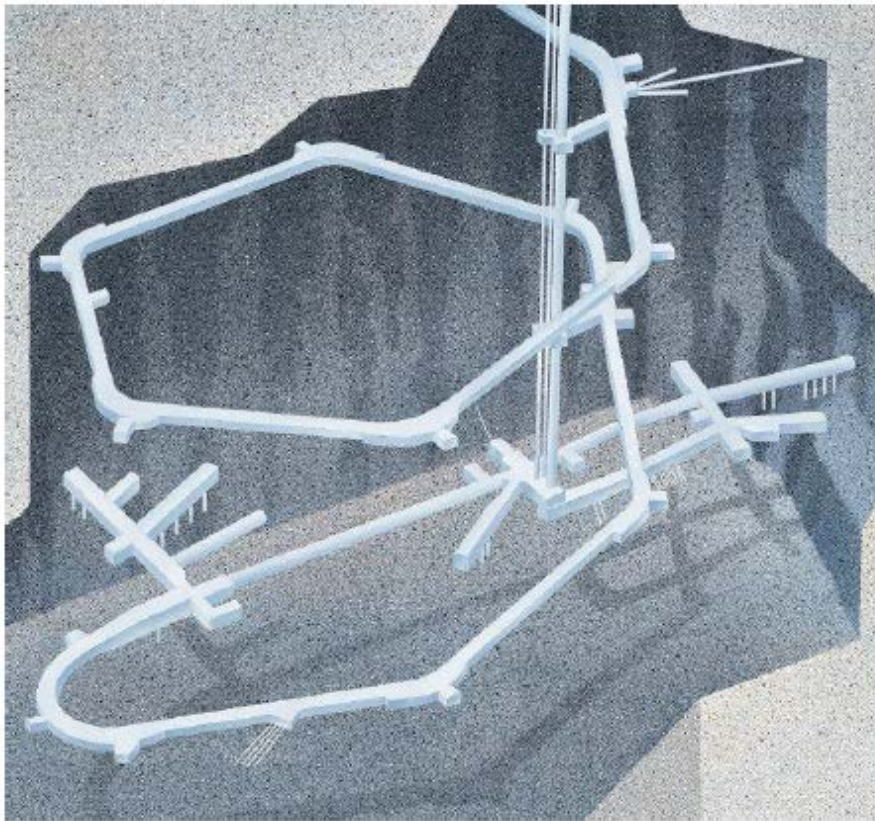
## The KBS-3 Concept (1983)



# *Permanent Disposal of Spent Fuel*

Sweden

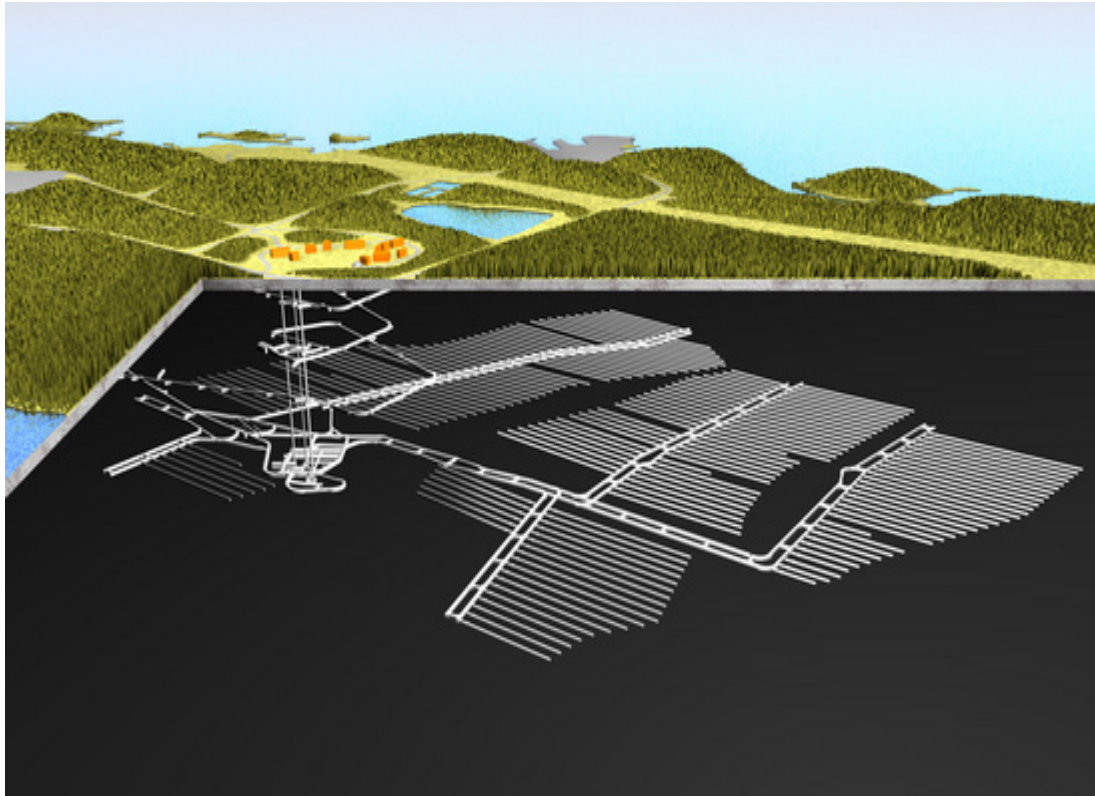
## The Äspö Hard Rock Laboratory (1995)



The Äspö Hard Rock Laboratory is situated in the Misterhult Archipelago close to the Oskarshamn nuclear power plant. [Click on the image for a larger version.](#)

# *Permanent Disposal of Spent Fuel*

*Finland*



*Finland Onkalo*

*Final disposal of nuclear fuel  
and long term safety*

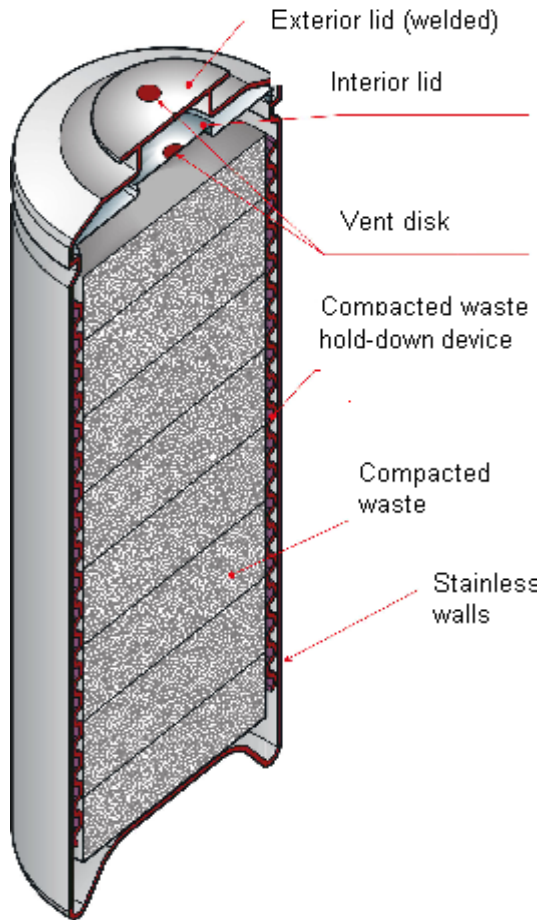
The deposition tunnels are located at a depth of about 400-450 meters inside the Olkiluoto bedrock. Tunnels will be excavated inside the rock, and the final disposal canisters will then be placed in holes drilled in those tunnels.

[https://www.youtube.com/watch?v=A9vWhoT\\_45s&index=4&list=PLzFr\\_hn5mPF5c8Ucu6YaL\\_AQSZJ\\_U4GbL](https://www.youtube.com/watch?v=A9vWhoT_45s&index=4&list=PLzFr_hn5mPF5c8Ucu6YaL_AQSZJ_U4GbL)

[https://www.youtube.com/watch?v=kVPBWQxG-o8&list=PLzFr\\_hn5mPF5c8Ucu6YaL\\_AQSZJ\\_U4GbL&index=2](https://www.youtube.com/watch?v=kVPBWQxG-o8&list=PLzFr_hn5mPF5c8Ucu6YaL_AQSZJ_U4GbL&index=2)

# 高階核廢料

## Compacted Structure Material of Assembly



## Vitrified Fission Products



# Storage of High Level Waste at La Hague Reprocessing Plant of France



# Storage of High Level Waste at La Hague Reprocessing Plant of France



# *Waste Isolation Pilot Plant*



***Carlsbad New Mexico U.S.A***

***Disposal Site for TRU Waste***

[http://www.wipp.energy.gov/general/general\\_information.htm](http://www.wipp.energy.gov/general/general_information.htm)

# Waste Isolation Pilot Plant







# Status of Spent Nuclear Fuel Storage

Up to September 2017

		com m.	Capacity	Stored	Date the Pool is Full	Estimated 40 years of operation
Chin shan	Unit 1*	1978	3,083	3,074	2017/10	3,390
	Unit 2	1979	3,083	3,076	2017/07	3,484
Kou sheng	Unit 1	1981	4,838**	4,548	2016/11	5,462
	Unit 2	1983	4,398	4,388	2017/06	5,462
Maan Shan#	Unit 1	1984	2,160	1,379	2035	1,189
	Unit 2	1985	2,160	1,407	2035	1,913

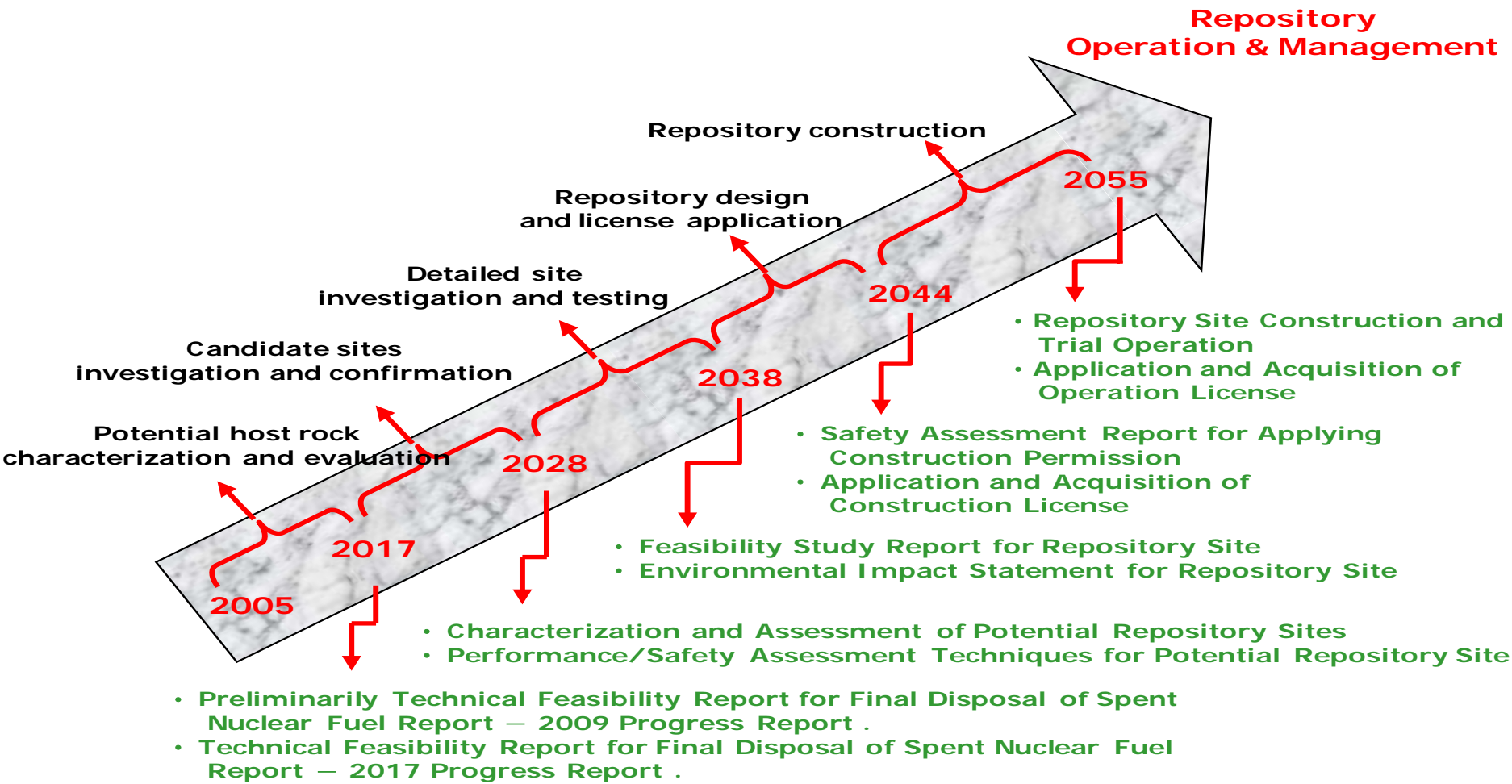
\* Unit 1 of Chinshan is not in operation.

\*\* Pool of storing fresh fuel is allowed to store spent nuclear fuel.

# The operating license expires 2025



# FINAL DISPOSAL (Cont'd)



# 低階核廢料處置場

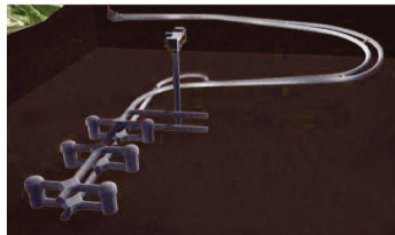
國別	最終處置方式	處置場所	啓用 / 封閉年代
印度	淺地層處置	Trombay	1954年啓用
英國	淺地層處置	Drigg	1959年啓用
俄羅斯	淺地層處置	Sergiev Posad, Moscow reg.	1961年啓用
美國	淺地層處置 淺地層處置	Barnwell Envirocare	1971年啓用 1988年啓用
南非	淺地層處置	Vaalputs	1986年啓用
日本	淺地層處置	Rokkasho-Mura	1992年啓用
西班牙	淺地層處置	El Cabril	1992年啓用
法國	淺地層處置 淺地層處置	Centre de L'Aube Centre de L'Manche	1992年啓用 1994年封閉
中國大陸	淺地層處置	北龍, 廣東	2001年啓用
瑞典	海底隧道處置	Forsmark	1988年啓用
芬蘭	豎坑處置 豎坑處置	Olkiluoto Loviissa	1992年啓用 1999年啓用
德國	深地層處置 廢鐵礦坑處置	Morsleben Konard	1978年啓用 2002年取得執照
瑞士	洞穴處置	Wellenberg	(場址選定)
南韓	洞穴處置	慶州市	預定2009年啓用

# LLW Repository

## Korea



▲ 慶州處置場位於新月城核能電廠#1、#2機組旁，佔地約2平方公里。



▲ 慶州處置場方式採地下隧道設計，總容量為60萬桶。



▲ 大雁池已成為慶州旅遊不可錯過的代表性景點。



▲ 石窟庵、佛國寺及慶州歷史遺跡地區被聯合國教科文組織登錄為世界文化遺產。

項目	慶州	群山	盈德	浦項
選舉人數	208,607	196,960	37,536	374,697
投票人數	147,636	138,192	30,107	178,586
通訊投票	70,521	65,336	9,523	63,851
在籍投票	77,115	72,856	20,584	114,735
投票率%	70.8	70.2	80.2	47.7
贊成率%	89.5	84.4	79.3	67.5

▲ 2005年11月2日  
韓國中區放核終處置場址公投結果

# KOREA



France

# LLW Repository



已結束運作進入封場監測狀態的法國芒什處置場



被森林圍繞的法國盧伯處置場



# FRANCE



日本六所村核燃循環設施



Low-level and intermediate-level waste repository at Olkiluoto in Finland (Posiva)



# Estimated Total Amount of Low Level Nuclear Waste drums

		Type A	Type B	Type C	Type C+	Sum
operation	Chinshan	46,993	1,106	630	584	49,313
	Kuosheng	62,255	481	840	59	63,635
	Maanshan	10,416	75	62	0	10,553
	Lan Yu	94,969	811	4,359	138	100,277
	Research Institute	18,432	153	843	32	19,460
	Sum	233,065	2,626	6,734	813	243,238
decommission	Chinshan	55,471	3,906	2,100	314	61,791
	Kuosheng	85,910	6,049	3,252	486	95,697
	Maanshan	141,661	1,735	144	1,012	144,552
	Lan Yu	11,000	0	0	0	11,000
	Research Institute	31,627	479	258	39	32,403
	Volume Reduction Facility	1,106	0	0	0	1,106
	sum	326,775	12,169	5,754	1,851	346,549
Total		559,840	14,795	12,488	2,664	<b>589,787</b>





90 km



Area 48.4 km<sup>2</sup> ,  
Population: 5,036 (9,2012 )



Area: 0.7 km<sup>2</sup>

Operation starts:  
May 1982

Last Shipment:  
February 1996

Total Storage:  
97,672 drums

## Lanyu Low Level Nuclear Waste Storage Site of Taipower









Slide 13



# 台東縣達仁鄉



達仁鄉





對絕大多數的民眾而言，  
安全是持續使用核能的前題！

要不要使用核能是技術問題！

是政治問題？

還是哲學問題！？



# 造成傷害的不是無知，而是錯誤的認知

## - 馬克吐溫

沒人敢說的事實，陳立誠先生著

[que\\_sera\\_sera.mp4](#)



# 核能與再生能源(風力與太陽能)的比較

**全力發展再生能源是無悔的政策，但必須認知下面的現實**

- 再生能源發電之裝置容量不等於發電量
- 再生能源發電的發電量無法預測，幾乎無法調度
- 再生能源無法持續穩定的發電，比例過高時，會衝擊電網的穩定性
- 再生能源發電可能無法與負載同步；  
    白天~夜晚，夏季~冬季
- 再生能源發電需要搭配其他發電方式，維持穩定的供電  
    丹麥的風力發電依靠挪威、瑞典、與德國的水力與核電來平衡
- 獨立電網能夠承受再生能源的比例更低
- 再生能源需要較廣大的土地



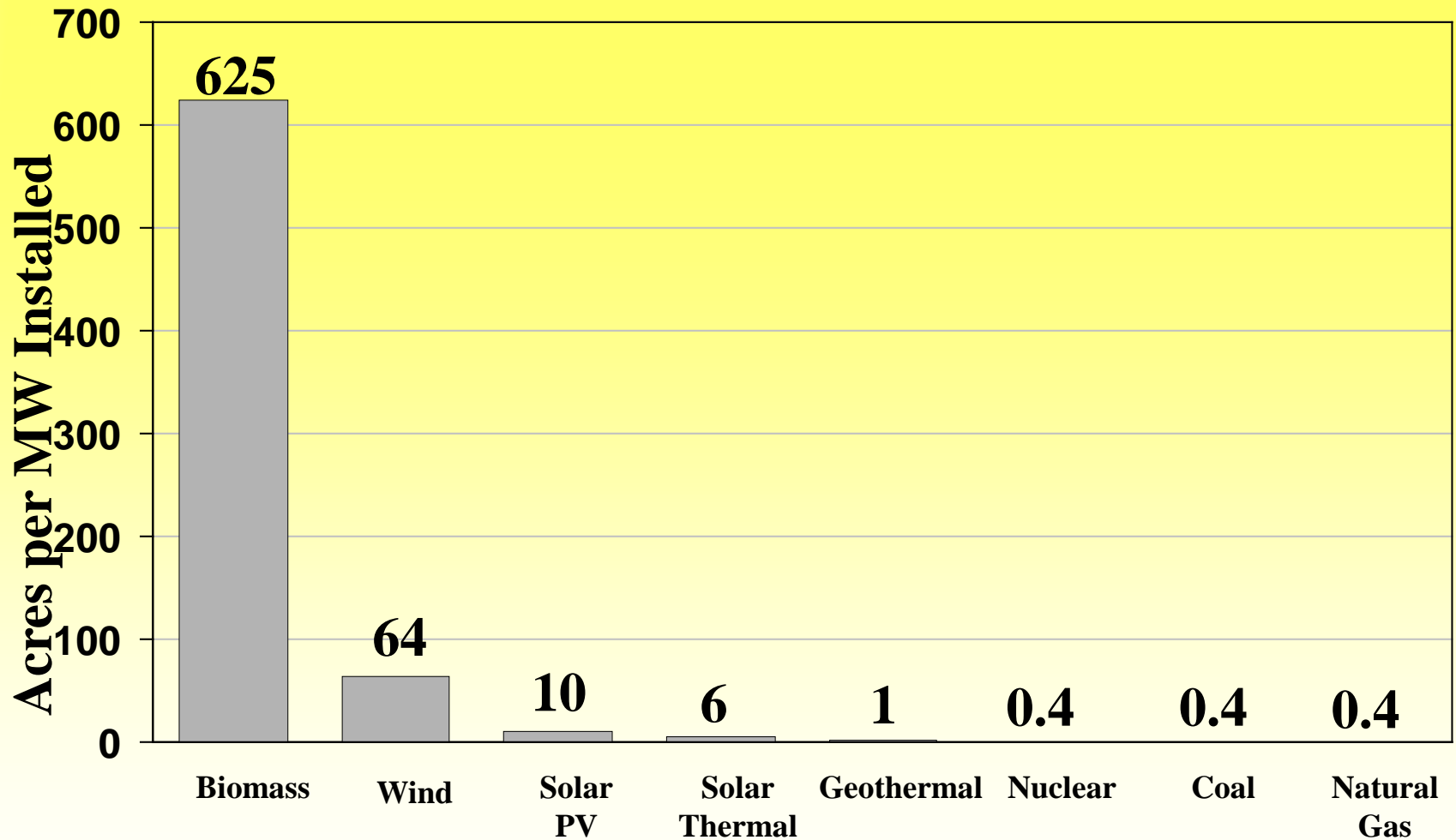
## 台灣與丹麥的比較

	丹麥	台灣	
土地面積(平方公里) <sup>1</sup>	43,094	35,980	1.20 倍
人口總數 <sup>1</sup>	5,515,575	23,024,956	24%
電力裝置容量(萬瓩) <sup>2</sup>	1,210	3808.1	31.8%
風力發電裝置容量(萬瓩) <sup>2</sup>	312	18.1	17.24 倍
總發電量(度, KWh) <sup>2</sup>	392 億	2018.6	19.4%
風力總發電量(度, KWh) <sup>2</sup>	72 億 (18%)	4.3 億	16.74 倍
電力出口(度, KWh) <sup>2</sup>	114 億	0	
電力進口(度, KWh) <sup>2</sup>	104 億	0	
售電平均價格 <sup>2</sup>	0.396 US\$/度	2.1484 NT\$/度	5.53 倍

1. 美國 [www.cia.gov](http://www.cia.gov) 網站 the World Factbook
2. 2007 年數據, 丹麥資料取自 WNA 網站, 台灣資料由台電提供



# 發電之土地使用



Source: Electricity Industry Center of Carnegie Mellon University