

# 新核電幻影-遙遙無期

台灣環境保護聯盟 媽媽氣候行動聯盟

徐光蓉

**2026年3月11日**

## 討論：

1. 甚麼是“新核電”– SMR? 應該不是想延役的舊核電，或第三代EPR，AP1000大型反應爐! SMR 是”新”核電? 不是
2. 新核電便宜，才想發展? 因為具彈性，(小型)容易搬遷?
3. 小核電50-60年代就有, 為何沒繼續發展?  
--- 成本與防止核子武器擴散!
4. 新核電是指核融合? 核融合國際合作，1989年起至今...燒錢
  - 核融合燃料難尋，貴!!
  - 尚未有適合的材料 – 長時間耐極高溫(>一億度)與高輻射
5. 核廢料問題! 小核電產生更多核廢；核融合也會產生核廢!

- 2025/5/17 核三二號機運轉屆滿40年停機, 台灣進入零核電

然:

- 2025/4環境部長:”考量國安應該保留核能”。
- 2026/2卓院長於半導體研發基地動土時提出:”全面接受全世界先進的新式核能技術”。

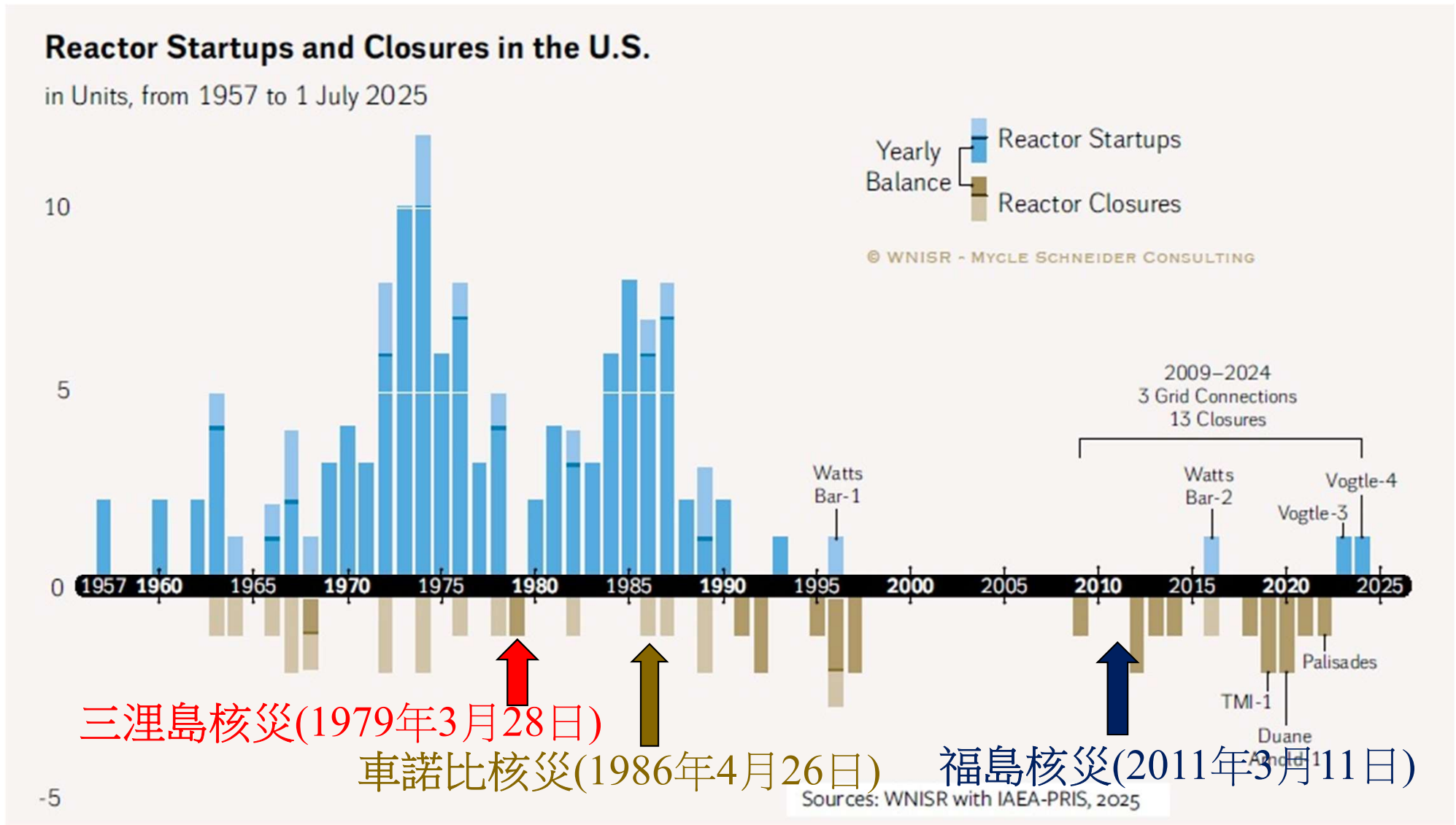
-- 兩項說辭都有問題

-- 執政團隊對核電的想像顯著與長久以來的執政黨立場相左

# 討論前提

- 極力倡議核電的美國，最早開始發展核能，且擁有最多的核電機組，絕大多數為民間擁有，成本高低容易比較。以下討論多以美國案例為重點進行。
- 台灣的核電從設計、組件到燃料都購自美方，成本只會較美國高。
- 為有別於”新式核能”，本文將現有以壓水式、沸水式為主的核電機組統稱為”傳統核電“。

# 傳統核電興建在三哩島核災前已大幅減緩



1974年美國啟用12座新核電機組，之後再也無此榮景。

# 美國核電於1970年起訂單下降

- 核電從訂單－興建－併網，需時3至5年。
- 1974年美國啟用12座新核電機組，之後再也無此榮景。
- 新核電機組訂單在1970年左右達最高峰；在主要核災發生前數年，訂單已逐漸減少。

理由: 成本高!

- 1978年在北卡羅南納州動土的Harris NPP是美國最後一個在新廠址蓋的核能電廠!
- 車諾比核災發生後，直到**2009**年，美國沒有新建核電機組計畫。

二十世紀末期，核電業以及國際原子能總署(IAEA)開始醞如何打造“核電美夢”，打破停滯的僵局。

# 美夢1，以大型核電“因應氣候變遷”！

西方國家著手興建第三代反應爐: 以經濟規模降低成本

- **2009/8** 美NRC同意喬治亞州興建2座反應爐 (Vogtle 3 & 4), 預估2016/2017運轉。
- **2012/3** 美NRC同意南卡羅來納州電力公司興建2座反應爐(V.C. Summer 2 & 3)。都是在既有核電廠上加裝機組。
- **芬蘭(OL-3):** 2002年5月芬蘭國會同意興建新核能機組, 認為核能”最具成本效率... 可以減少CO2排放”;
  - **2005年8月**開始興建, 預估2009/5併網供電。
- **法國 (FL3):** 2007年12月開始建與芬蘭同型反應爐，預計2012年運轉。
- **2012/11**英國Hinkley Point C 獲得建核電廠許可; 2017開始興建。

# 大型核電 – 此路不通!

## 芬蘭 (OL3)

- **2005年8月**開始興建，原預計**2009年5月**運轉。
- 160百萬千瓦歐洲壓水式(EPR)反應爐。(turnkey)合約總經費**32億**歐元。
- **2023年4月**併網，經費超過**110億**歐元。(17.6年) 製造商破產!

## 法國 (FL3)

- 2007年12月開始建造同型EPR反應爐，原預計2012年運轉。  
2024年底併網發電。經費爆增至132億歐元。(17年)

## 美國:

- **Vogtle 3&4** 原估計經費140億美金，2016/2017運轉。分別延至2023/4，2024/5併網發電。經費超過350億美金。(14.6年)
- 喬治亞州的**V.C. Summer 2 & 3**計畫於2017/7 蓋一半放棄。
- 缺乏符合核電安全規範的工程施作技術人員與設施供應商。

# 小核電過去很多

小核電有很多：

- 1960年美軍於格陵蘭西北的Camp Century設置10MW PWR。  
◦ 反應爐餘熱造成反應爐室被壓縮，1963年關閉。
  - 1963年8月密西根Fermi 1以液態鈉冷卻的滋生反應爐進入臨界，一直保持在能量級低狀態測試，沒發電，後來出事。
  - 1968/7美國派全球第一艘移動式反應爐Sturgis (10MW, PWR)至巴拿馬運河區協助供電，1976年撤離。2018年才完全除役。
  - 核子潛艇
- 核電發展原本就從小型核電開始，反應機組愈蓋愈大是為了提升安全性與降低成本。

# 格陵蘭Camp Century 小核電



U.S. Army Engineers install move a vapor condenser, part of a portable nuclear power plant.  
Bettmann Archive/Getty Images



U.S. military personnel climb up to an escape hatch to enter Camp Century in June 1959.  
US Army/Getty Images

# “新式核能”

## SMRs不同

小型模組化核電(簡稱SMR)：以「集中興建」為前提，試圖以量產補償因體積縮小、發電量降低導致成本的上升(loss of economies of scale)。

常被提起事業級的SMRs：

- NuScale：現有商業用沸水式反應爐的縮小版, 被視為可能最早實現的版本。
- Gates的泰拉能源(TerraPower) Natrium 是以液態鈉冷卻的快速滋生反應爐(breeder reactor)並以熔鹽(molten salt) 儲熱。
- X-Energy 公司提以氦氣冷卻的球床型反應爐(helium-cooled pebble-bed reactor)。

- Gates的泰拉能源(TerraPower)的Natrium，以液態鈉冷卻的快速滋生反應爐(breeder reactor)並以熔鹽(molten salt) 儲熱。
- 2026/3 美國核能管制委員會(NRC)通過TerraPower 在懷俄明州核電計畫場房動土許可。該地原先是除役的燃煤電廠。
- NRC說明：... 許可不等於委員會同意”任何形式的設計”除非是經過指定要求，並且寫在許可中；目前申請中並沒有此要求”
- TerraPower預估於2030年供電!?

# 最可能的SMR太貴! 合約被終止

- NuScale：2012年美DOE提供2.8億美金，2020起DOE再分年提供14億美金，協助猶他州城市電力系統聯盟(UAMPS)與NuScale合作；預計蓋12座50MW的SMR。
- 2023/1 NRC核准50MW的設計執照。第一座反應爐運轉期從2015延至2029-2030。NuScale自行對外推銷 77MW\*6。
- 2022/12 NuScale接到的UAMPS合約需求僅116MW。遠低於最早估計總需求600MW，或稍晚的462MW。
- 尚未正式開工建造，成本從預估最高每千度US\$58漲至US\$89，(約合每度電2.67NT，尚不含傳輸維修...)，地方難以負擔。
- 2023/11 UAMPS與NuScale合約終止。NuScale股價由合約終止前每股\$15.34跌至\$1.02。
- NuScale的SMR單位成本比剛完工超級昂貴的Vogtle 3 & 4機組貴50% (9.3Busd建造462MW vs 35Busd 建2200MW) – 2023年NuScale成本還不會是最後的數據。

# 只是重複過去設計，沒有解決問題？

- SMRs多是50-60年代實驗型反應爐的翻版，過去各因不同問題被放棄，發生的問題已不存在？
- 部分SMR必須使用高濃度鈾燃料，或產生可用於核武的鈾，如何規範、監督以避免被轉為核子武器？
- 以液態鈉冷卻，可以避免使用耐高壓反應爐，但鈉是極為活潑的金屬，遇水爆炸燃燒；日本失敗的文殊反應爐即相似類型。
- 密西根的Fermi 1 滋生反應爐是美國至今唯一的滋生反應爐；1966/10液體鈉循環被阻塞，導致爐心半毀，差點失控炸毀整個底特律。
- 德國的PBR稱AVR正常運轉21年，關閉後才發現中子反射板破損，燃料卡在縫裡；內部輻射塵的β粒子放射性污染(銿-90)是全球核電廠中污染最高的。

# 美國政府提供核電巨額補貼

美國拜登政府通過兩項重要法案：

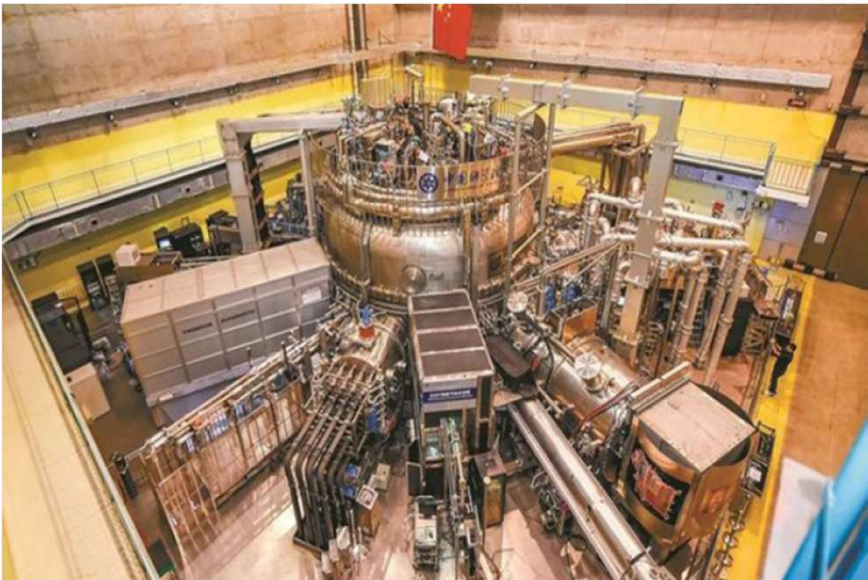
- 2021/11基礎建設投資與工作法(the Infrastructure Investment and Jobs Act, IIJA)及2022/8削減通貨膨脹法(Inflation Reduction Act, IRA) 都包含非常優渥核電補貼方案：
- IIJA提供**60億美元補貼**「**無經濟競爭力**」(老舊)核電廠繼續運轉 + 32億美元資助新核電示範計畫；
- IRA協助核電方案有：**鼓勵既有核電廠發電的獎勵**；新核電機組投資獎勵；**400億美元**新機組計畫貸款擔保以及**2500億美元**對現有機組更新再投資貸款擔保。
- **94座**運轉中核電機組，每機組**至少分到27億美元!**
- 台灣核電期待有遠優於其他發電形式的待遇？

# 為加速核電發展，削弱安全規範？

- 2025/8 美能源部宣布選10個發展中的”新式核能”做實驗計畫 (pilot program)，可以在**無需核能管制委員會授權**情況下製造、測試核電機組與進入臨界，期望於**2026年7月4日**前至少有三座進入臨界。
- 據美國NPR報導，2026年初川普團隊，針對新核電機組修改「核能安全法規」-放寬環境保護與安全規範；新規範只有提供業者閱覽，但沒有對大眾公布。
- 舊規範：必須保護地下水避免被放射性物質污染。
- 新規範：必須**考慮**避免或降低可能的放射性物質污染。
- 原本500多頁的安全規範，修改後只有**23**頁。
- 其他：對於是否能排放污染至公用廢水處理與環境，也有類似的規範修改。
- 修改工作人員的輻射暴露規範。
- 修改員工防火訓練時數，**每週工作最高時數**等。

# 有人說：核融合(Fusion)即將降臨!

- 2022/12美能源部長宣布”NIF核融合實驗有突破性發展”：2.05MJ 能源產生3.15MJ能量(\*1.5)! 不過2.05MJ是實驗花400MJ 能量提供192道雷射與保持設備在絕對零度的高度真空才能產生。
- NIF實驗在測試氫彈所需要的資料，不是為了發電。
- 實驗一天只能進行一次，每次不到一秒鐘。實驗安置燃料的金盒子每個要價約10萬美金，需一周左右製作。能用來發電?



中國 2021/12

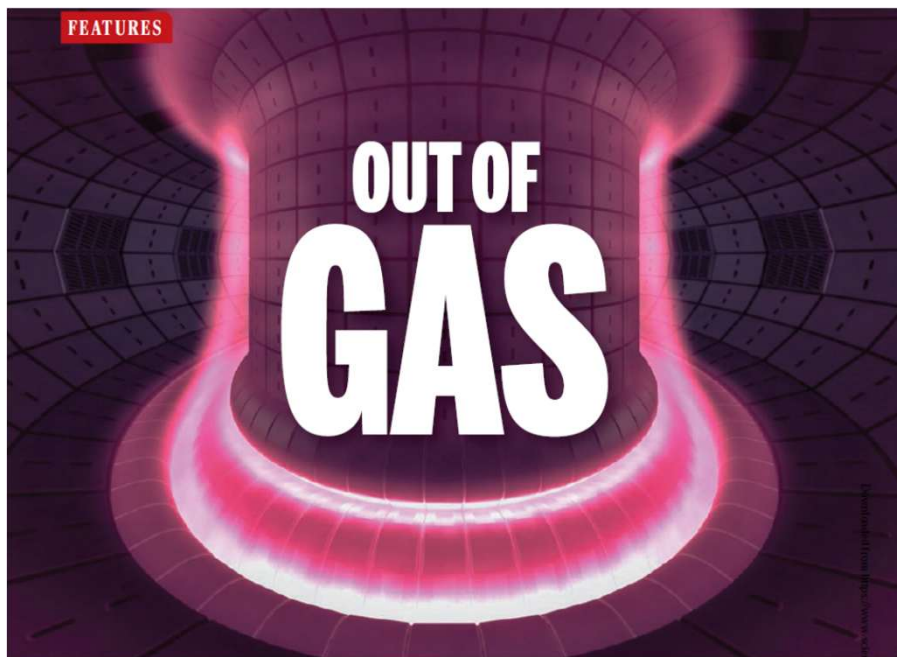
PhantomNewNukes-



# 國際核融合 ITER發展

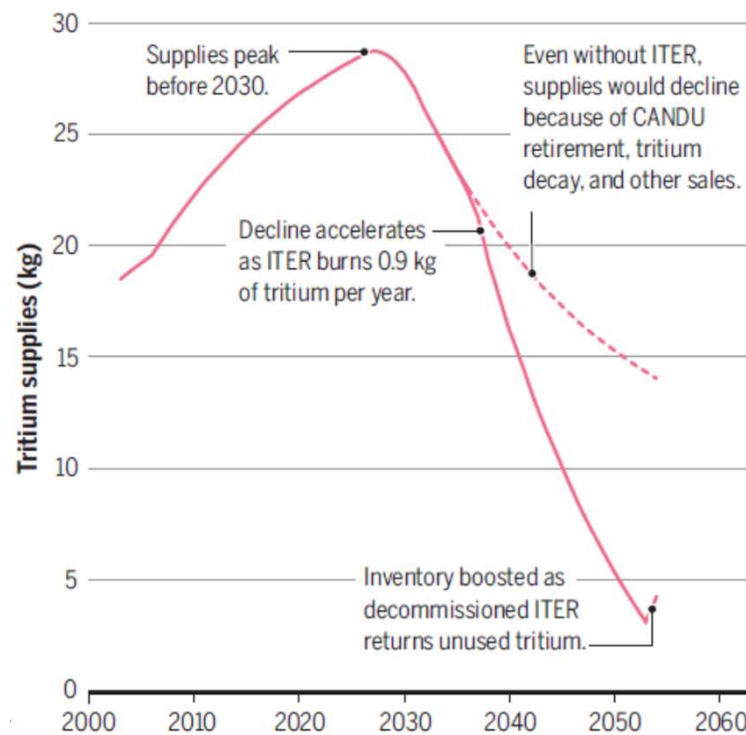
- ITER: international thermonuclear experimental reactor
- **1989** 美、日、俄、歐盟共同研究, 預算由6.5億美金追加一倍, 1999美國退出。2001重新設計, 預算<60億美金。美重加入, 增印度、中、南韓, 七國合作計畫。
- 2006年簽約; 2008年於Cadarache, France 起造
- 反應爐心是甜甜圈式 – Tokamak
- D, T 加熱至攝氏1.5億度, 以強大磁場控制、壓縮
- 目標: 核融合發生至少持續**500**秒; 以50MW input產生500MW output (不是發電!) – 僅計融合反應能量進出
- 原預算**50億歐元**, 2021年估計花費**>220億歐元**; 歐盟負責45%; 其餘六國各約9%。90%由各國處理, 不知實際會花多少。
- 30年計劃: 10年建造, 運轉20年; 計畫從原定2018年完成, 延至~~2025年底(2039年後)測試~~ (~~Nature 2021~~, 公視 July 2024)
- 又延了31年!

# 核融合的困難!



## The dwindling tritium supply

The few kilograms of commercially available tritium come from CANDU plants, a type of nuclear reactor in Canada and South Korea. According to ITER projections, supplies will peak this decade, then begin a steady decline that will accelerate when ITER begins burning tritium.



燃料不足：目前最佳燃料是氘(D)與氚(T)各半，

- T: 放射性物質(半衰期12.3年)，每公克3萬美金! 主要是加拿大重水反應爐副產品，但這幾個(>50歲)反應爐即將除役。
- ITER實驗至少一年需1公斤T。估計2035年開始運轉，20年左右用盡，其他核融合反應爐要用甚麼燃料?

材質：長期足夠耐大量高速+高溫中子撞擊的設備與儀器

高階核廢料：受撞擊的設備，轉換成高放射性物質...

# SMR

- 舊問題沒解決。
- 貴! 許多需要特殊燃料; **SMR**估計成本為每度電在3.1至6.6NT，而風、太陽光電+4小時儲電每度成本可在0.75至1.1NT。
- 未經測試機組, 可能新安全疑慮; 高鈾助長核武擴散!
- **產生更多核廢料!** 最新研究報告：若以等發電裝置比較，SMR產生的核廢料可能將是舊型核反應爐的**2-30**倍!

**PNAS**

RESEARCH ARTICLE

ENVIRONMENTAL SCIENCES

OPEN ACCESS



## Nuclear waste from small modular reactors

Lindsay M. Krall<sup>a,1,2</sup>, Allison M. Macfarlane<sup>b</sup>, and Rodney C. Ewing<sup>a</sup>

Edited by Eric J. Schelter, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA; received June 26, 2021; accepted March 17, 2022 by Editorial Board Member Peter J. Rossky

level waste streams. Results reveal that water-, molten salt-, and sodium-cooled SMR designs will increase the volume of nuclear waste in need of management and disposal by factors of 2 to 30. The excess waste volume is attributed to the use of neutron reflectors

**Allison M. Macfarlane 前  
NRC 主席**

# 台灣高階核廢集中反應爐旁，超危險

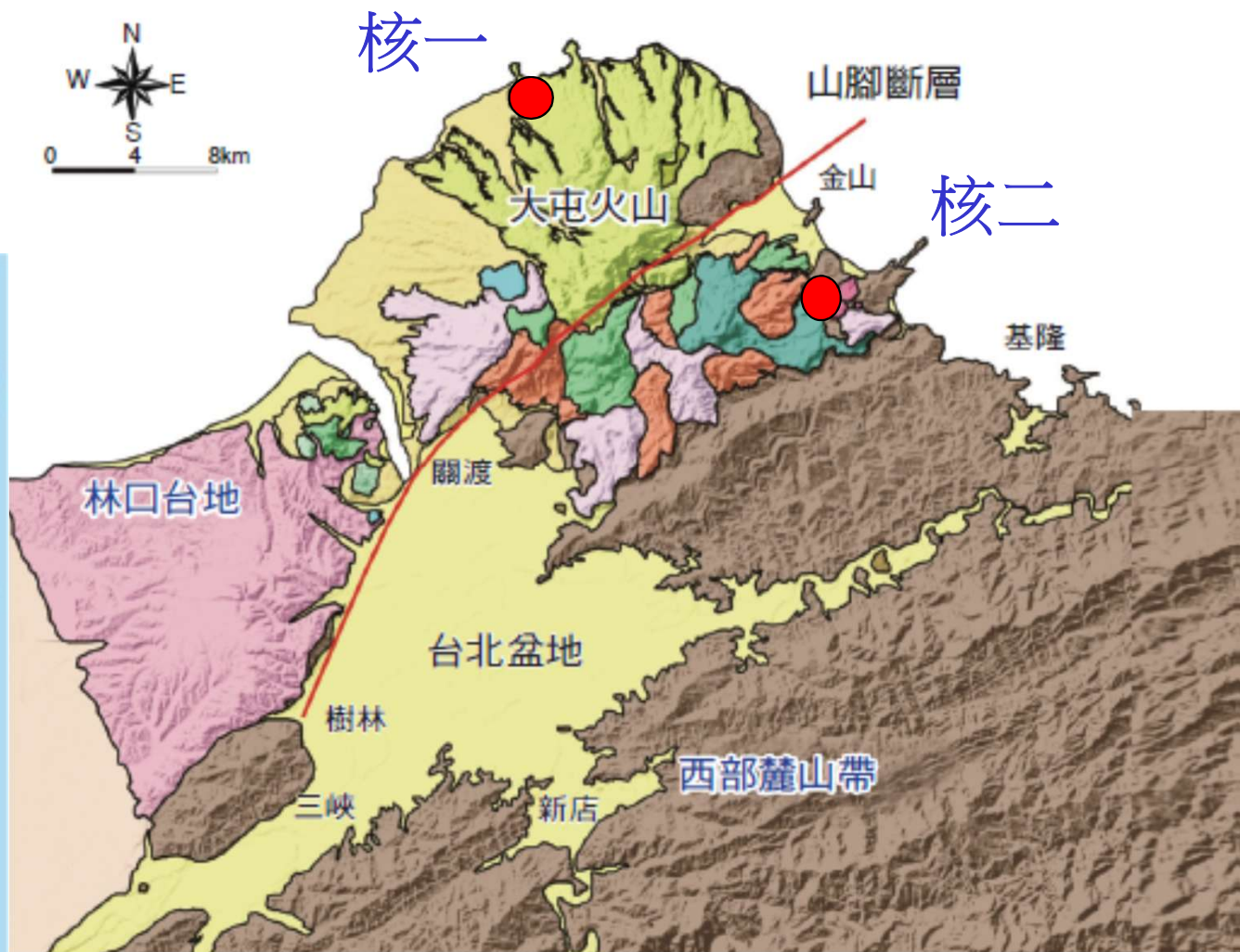
	容量 (束)	儲存量		福島電廠	事故時
		(束)	鈾 (噸)		鈾 (噸)*
核一一號機	3083	3054	504	1號機	48
核一二號機	3083	3022	507	2號機	97
核二一號機	4838	4808	793	3號機	85
核二二號機	4838	4812	794	4號機	220
核三一號機	2160	1879	687	5號機	156
核三二號機	2160	1906	734	6號機	145
合計		19,481	4,019	公用池	1052

核安會資料, Feb. 2026 核災時，福島電廠總計高階核廢733噸。四號機220噸高階核廢可能暴露在空氣中，日本政府曾考慮疏散東京。

# 台灣核電廠 都緊鄰斷層



恆春斷層，41公里，從核  
三廠區內穿過



山腳斷層，> 114公里長，距核一 7公里，  
距核二 5 公里。

(km) between	台灣大學	台北 101	總統府
核一	30.5	27.4	28.5
核二	24.8	28.2	24.0

# 台灣核電廠不符合國際耐震要求...

- 核一、二、三與四的設計的「安全停機地震」分別為0.3g, 0.4g, 0.4g, 與0.4g; -- 重要核能設施在福島核災後並未強化耐震

## EU Peer Review Report of the Taiwanese Stress Tests

2013/11 歐盟  
壓力測試報告

- November 2013 p.30
- “Information provided by AEC indicates that NPPs are built on soft rock.” (軟質岩層, 非“堅硬岩盤”)
- “The PRT was explained that the possible increased ground shaking hazard caused by site amplification (放大) due foundation on soft rock have been considered in the design analysis as well as the updated new seismic hazard analysis.”
- “The current DBE does not meet international state-of-the-art requirements (不符合國際最新耐震要求); especially it does not meet the requirement that the level to cope with external hazards shall be consistent with a non-exceedance probability of  $10^{-4}$  per year.”

# 台灣核電廠耐震係數，短時間內大幅改進

<b>2013/5/28</b>	核一	核二	核三	核四
	<b>0.3g</b>	<b>0.4g</b>	<b>0.4g</b>	<b>0.4g</b>
原能會“Taiwan Stress Test National Report for Nuclear Power Plants”, p.16, 2013年5月28日出版				
原能會Q&A	<b>0.51g</b>	<b>0.67g</b>	<b>0.72g</b>	
原能會Q&A	已於 <b>2014年6月</b> 前完成補強作業	已於 <b>2014年6月</b> 前完成補強作業	已於 <b>2014年6月</b> 前完成補強作業	??

**Note: EU Peer Review Report of the Taiwanese Stress Tests, November 2013** 仍用舊資料，歐盟壓力測試時未曾聽說耐震升級

○

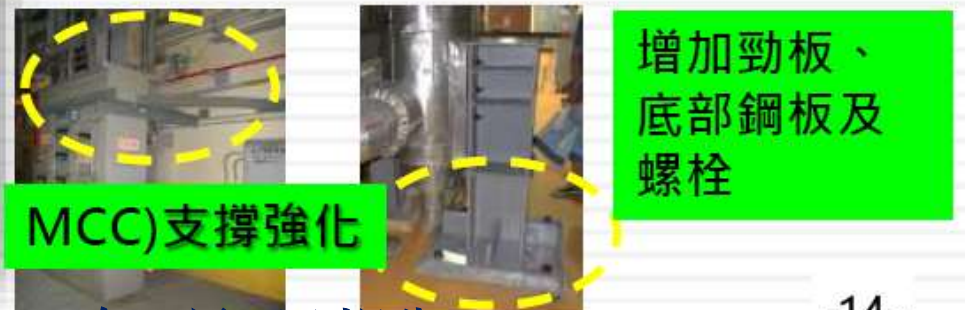
# 台電公司沒有強化核島區

## 1.耐震能力(續)

提升兩串安全注水路徑上所有設備管路耐震能力1.67倍

	安全停機可承受地震力
核一廠	0.3g→0.51g
核二廠	0.4g→0.67g
核三廠	0.4g→0.72g

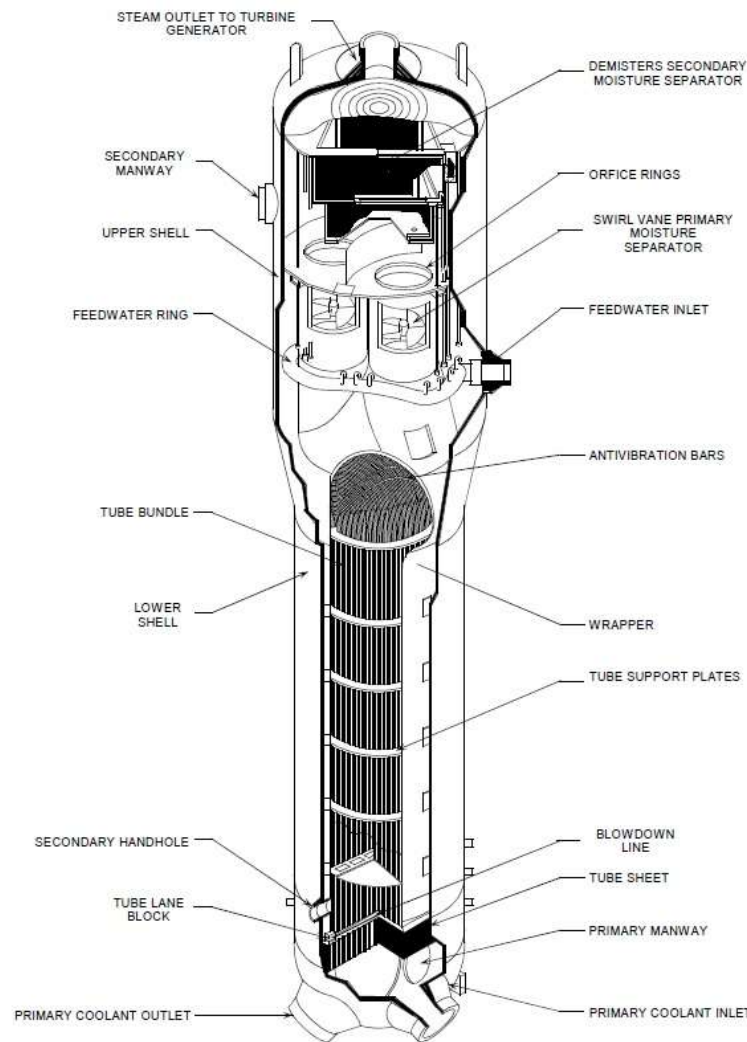
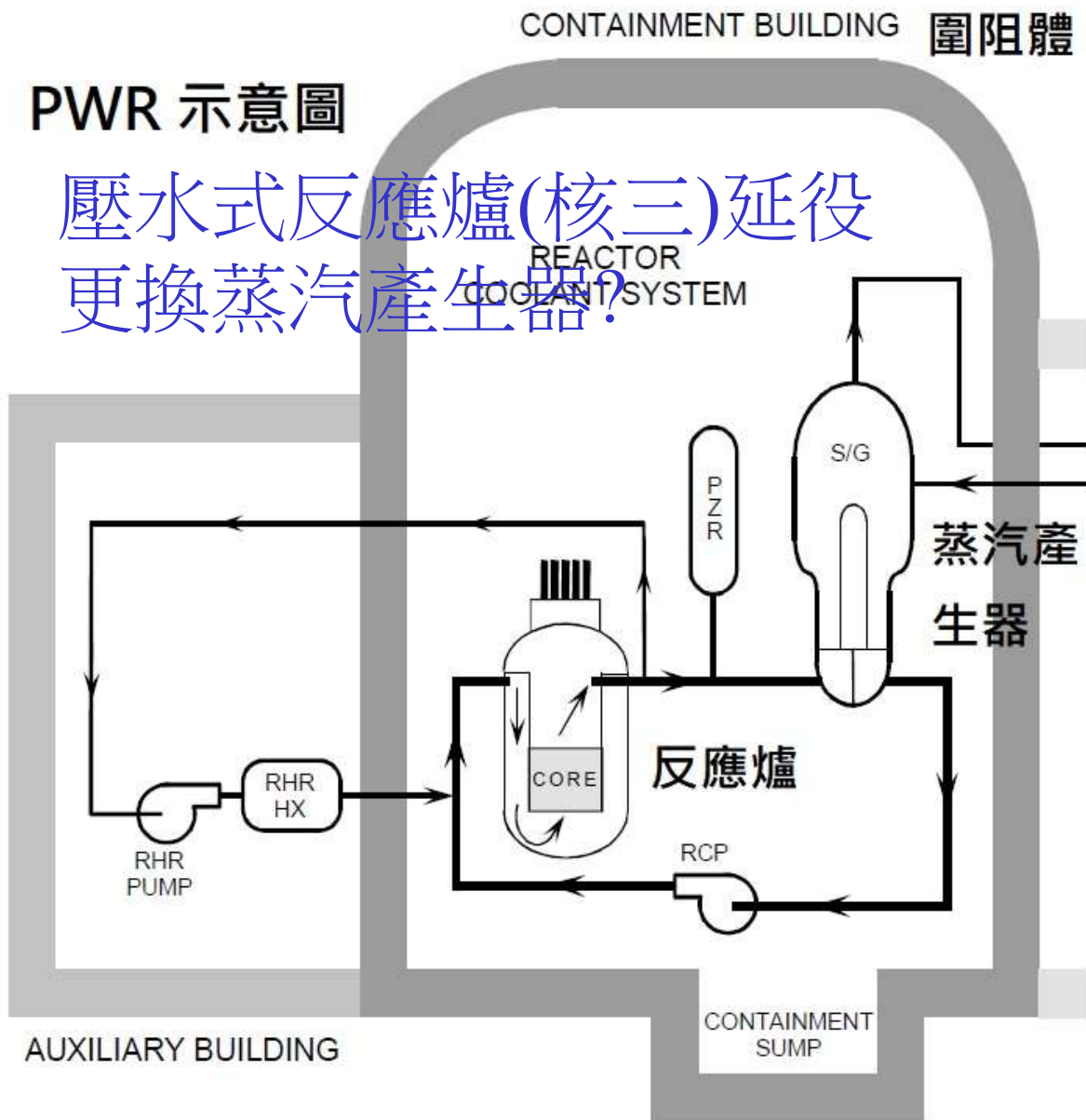
廠別	設備類	儀電類	其他類	總計
核一廠	熱交換器:8項	電解: 24個	空心磚牆:66項	116
	桶槽:6項	馬達控制中心:2項	天花板:2項	
	空調箱:4項	變壓器: 4個		
核二廠	泵浦:16項	馬達控制中心:6項	NA	40
	桶槽:8項	控制盤面:2項		
		液位開關:8項		
核三廠	熱交換器:2項	馬達控制中心:20項	NA	42
	泵浦:8項			
	桶槽:8項			
	空氣分離器:4項			
總計	64	66	68	198



# 延役是否要更新老舊設備？

## PWR 示意圖

壓水式反應爐(核三)延役  
更換蒸汽產生器?



Cutaway View of A Westinghouse Steam Generator

蒸汽產生器用久因破損而堵塞，該管功能喪失。

# 福島核災損失，民眾負擔

- 2019日本經濟研究中心估計福島核災損失在 35-81兆日圓  
**(3000至7000億美元!)**
- 2011年3月底, 日本銀行團主動貸款2兆日圓給東京電力
- 2011年9月東京電力開始接受賠償申請, 但先必須看160頁說明, 填60頁申請書。不斷抗議後才改。
- 2012年2月東京電力公司調高電價。不然?
- 日本政府提高所有民眾年可接受輻射劑量20倍(與核電廠員工同!)
- 受災民眾付錢, 賠償自己所受損失? 房價歸零還需持續付貸款?
- 臺灣核災 理賠上限 **42億台幣 (1.4億美元)**—與「發電成本」相關!
- 核電 – 穩賺不賠!?! 政府和業者站同邊，不是為人民服務

# 俄羅斯入侵 烏克蘭

“考量國安應該保留核能”  
- 嗯!是指哪國的國安?



Zaporizhzhia plant

核電廠成為俘虜  
核災隨時可能發生  
佔領核電廠、駐紮、建工事、發動攻擊

# 核電並沒有想像的可靠!

Availability of the French Nuclear Fleet Over the Year, 2015–2022

in GW



法國核電機組平均每年無法供電天數：96 (2019), 115 (2020), 104(2021)與**152(2022)**天! 風力或太陽光電會這樣?

# 有錢的開發中國家不適合發展SMR

許多開發中國家寄望小核電希望：

1. 獲得低廉的電力。實際情況是大型核電廠昂貴，小型核電更貴；NuScale在美國以外只會更貴。
  2. 參與核電興建計畫。此想法與SMR宣稱的量產方式完全違背。只會讓SMR更貴。
- SMR 不是成熟的技術：目前只有非常少數的SMR興建或運轉，現有運轉的SMR表現也不佳；任何成熟的設備必須經過實際運轉證實。SMRs不可能在近期內被列為成熟的技術。
  - 核子武器擴散：部分SMRs 在發電後，產生的核廢料是武器級的鈾。部分SMRs想提高萃取的能源，將進行用過燃料棒再處理(reprocessing)，追蹤、量測這些由”眾多的”SMRs產生的各類可分裂(fissile)物質是怎樣處理，非常困難。
  - 以上因素造成SMRs產生的分裂物質，很容易被有核武野心的國家(...)、組織或恐怖分子轉移成製作核武。

美國希望開發中國家**1. 分攤核電發展成本**，**2. 並可藉此重建核子武器的能力(人力、供應鏈...)**，不會落後俄羅斯與中國。但，會不會隨時翻臉？

# 1985年55位立法委員認為核電： 危險、不具經濟效益、顧慮被美方操控

立法院公報 第七十四卷 第二十九期 院會紀錄

一一一

(二十四) 本院王委員清連、蔡委員勝邦等五十五人，為請行政院慎重考慮嚴加評估為什麼要一再反對增建核能四廠之理由，是否等候美日先進國家對核能發電及廢料處理全把握後再予興建，以保障人民生命安全，特向行政院緊急質詢。

王清連	蔡勝邦	林基源	林庚申	郭林勇
黃河清	林聯輝	吳賢二	蕭瑞徵	許張愛廉
李宗仁	簡又新	吳海源	黃主文	蘇火燈
冷 彭	孫禮光	張平沼	李英明	吳勇雄
曾燕山	周文勇	簡漢生	賴晚鐘	謝生富
鍾榮吉	劉碧良	謝美惠	劉興善	張堅華
陳進興	林坤鐘	吳金贊	溫錦蘭	紀 政
羅傳進	吳德美	廖福本	王金平	劉松濤
洪玉欽	楊傳廣	葉詠泉	郭瑞訓	林仲 麟
王瑞武	梁永榮	湯煥暉	朱建人	陶 鑾
周庭和	陳錫淇	黃正安	蔡慶祝	林永瑞

## 為什麼要反對增建核能四廠！(提要)

### 一、核能電廠具有隱藏性危機

(一)核能電廠具有高度安全顧慮。

美國三哩島核能發電廠，日本大阪原子能電力公司核能發電廠，韓國漢城核能電廠及蘇俄卡託核電具有高度安全顧慮。

(二)核能廢料，廢核電廠最後處理為各國最頭痛問題。

核能廢料仍含有輻射性，必須埋藏在六一〇公尺至一二〇〇公尺地下穩定岩層裏，至少在一萬年無法找到是類藏放地點，目前多藏於廠內，且已達飽和狀態，危險堪虞。

退役後核能廢廠未有妥善處理方法。

(三)人為因素及天然災害足以導致核能災禍。

臺灣位於地震地帶及火山羣邊緣，天然災害足以導致核能災變，人為因素如陰謀份子的破壞以人為攻擊，以電廠為目標，不能不有所顧慮。三個核能電廠密集一處，可能發生連鎖反應的災害

### 二、核能發電不具有真實的經濟效益

(一)真實的核能發電成本應包括社會成本。

核能發電除本身原料及運轉成本外，應包括社會成本，即預防災變、排除危害及補償損失之成本，廢核電廠及其用地之有效處置以及災害發生後之清除污染及損害補償。

(二)其他之負擔或損失亦應併於成本計算。

尖峰、離峰時間電力調整作業，增加之成本，核能電廠輸電線路延長電力之消耗以及線路維護之成本，由日本電力負載曲線圖顯示，我國如增建核能四廠，發電量將達總裝載量五〇%，在離峰時間部閒置，造成能源鉅大浪費。

### 三、政治性的顧慮：萬一國際局勢發生重大變化，美國禁止供應我國核能原料，則我國電力供應，將

核能四廠應暫緩進行，俟核能先進國家，對核能有澈底瞭解及有效控制安全後，跟隨美、日適量

增建小型火力電廠以應需要。

# 能源'聖杯'就在天空 為何不好好利用？

- IEA: 2022年全球用電增加90%是由增加的再生能源(太陽光電與風電)滿足的! (IEA CO2 Emissions in 2022)
- 同時期, 因極端天氣、設備故障等因素許多核電機組關閉。
- 風、光電與水力能量都源自太陽，捨近求遠為哪樁？

# 早年對核能所知有限，今天還要回到過去？



學童核分裂教具

It was characterized in the early 1950s as the most complex Atomic Energy Lab that was used for educational purposes. It contained ore samples that had Uranium that made it a perfect fit to be categorized as highly dangerous for kids.