



98年全國能源會議「能源科技與產業發展」議題分組分區會議資料

新核能科技與產業

潘欽

清華大學原子科學院

98年3月3日

目錄

壹、背景說明

貳、問題分析

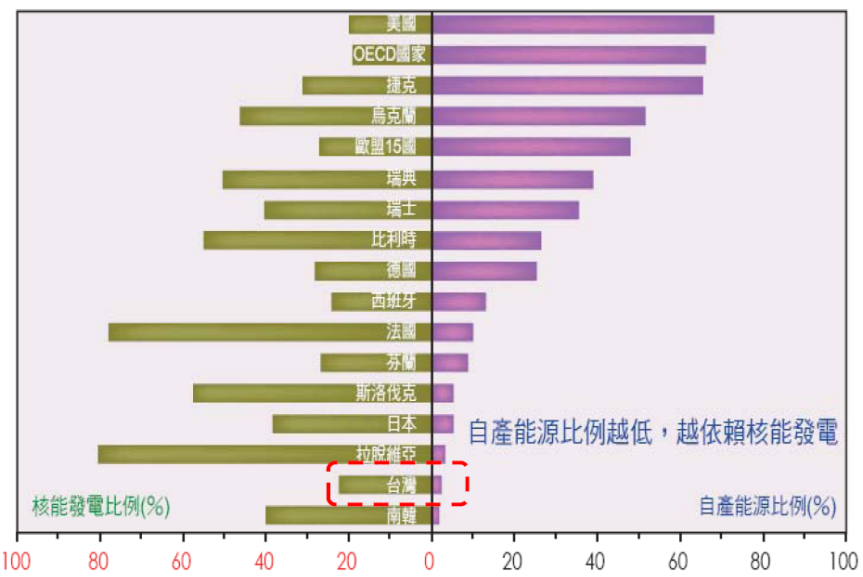
參、因應對策

壹、背景說明

核能發電的重要性

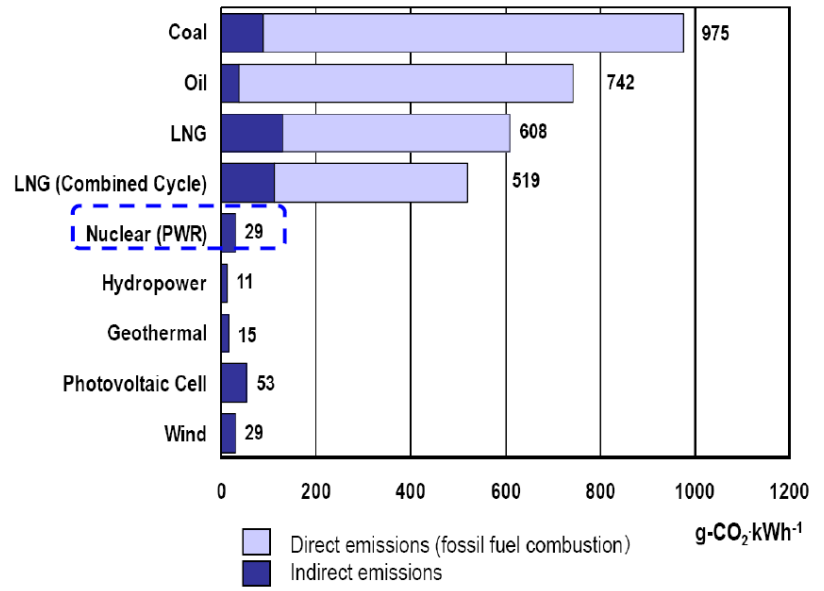
- 核能因具有供應來源穩定、能量密度高、運輸儲存便利等優點，經濟合作暨發展組織(Organization for Economic Cooperation and Development, OECD)國家能源統計時皆將其視為準自產能源。
- 核能發電過程幾無CO₂排放，已被聯合國等重要國際組織視為抑制地球暖化的重要手段。
- 長期以來我國並未將核能列為準自產能源，且是經濟發達國家中，自產能源低、人均CO₂排放量高，卻又不甚積極發展核能的異數。

自主能源比例越低的國家越依賴核能發電



Source: World Nuclear Association, World Nuclear Power Reactors 2003-05 and Uranium Requirements, 2005.

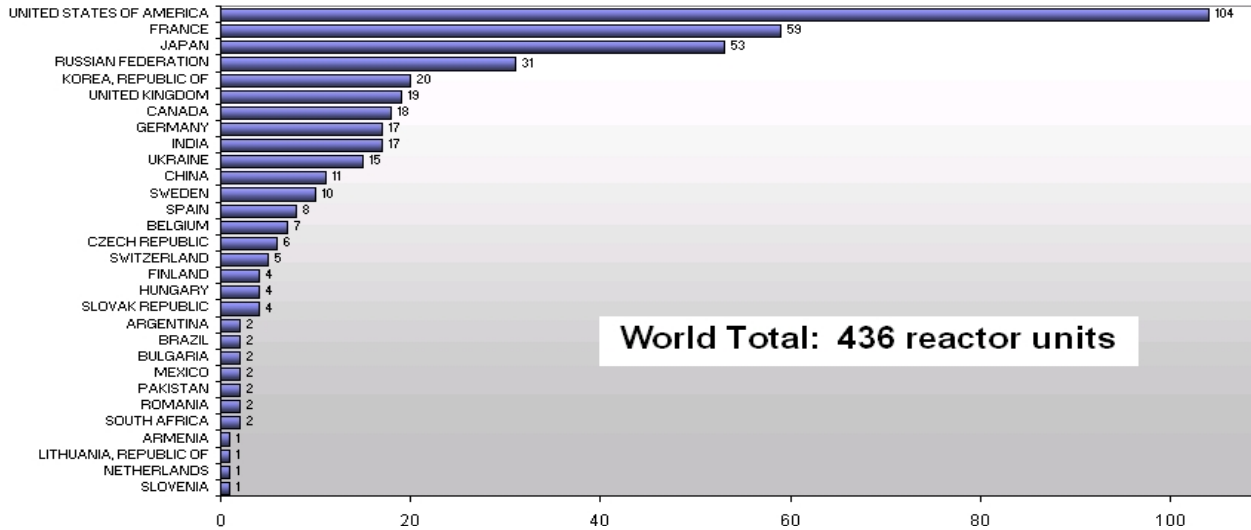
電廠壽命週期 (LCA) 之CO₂排放比較



Source: IEA 2008

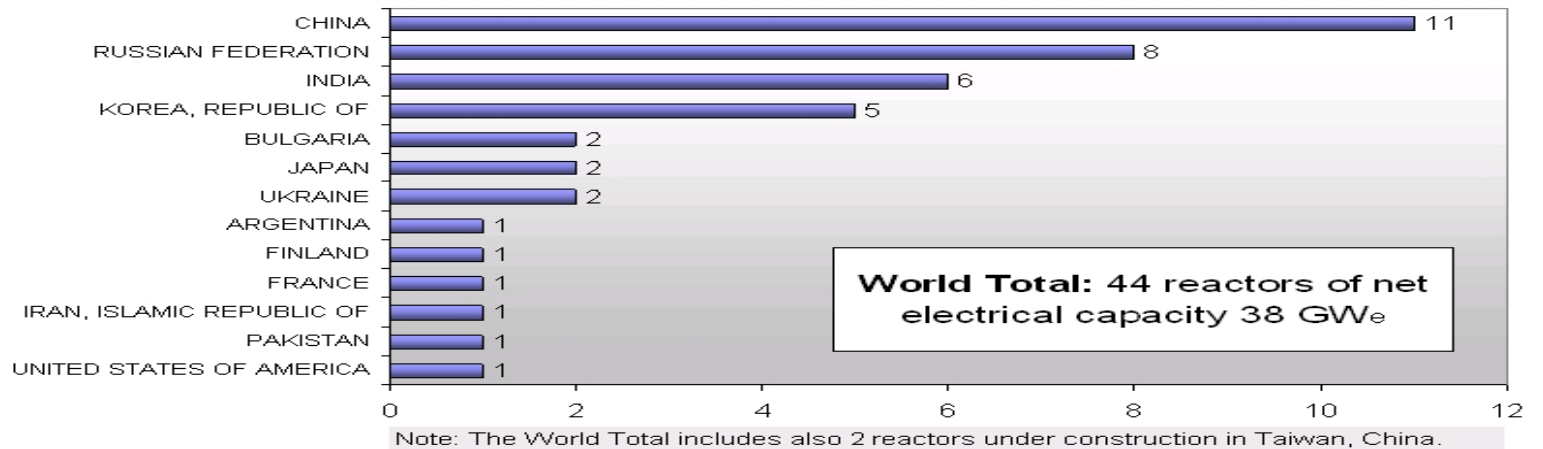
全球核能現況

Number of Reactors in Operation Worldwide



- 436座核能機組運轉中
- 總裝置容量達370 GWe
- 提供17%的電力
- 建造中的機組共44座

Number of Reactors under Construction Worldwide



From: IAEA power reactor information system



部分已採用核能發電國家之核能政策與現況

國家	機組數	裝置容量 (MWe)	2007年總發電TWh (佔比)	興建中機組數	機組容量因子	燃料循環能力 ₂	低放 ³ 處置	長期規劃與政策
美國	104	100,845	806.6(19.4%)	1	80.0	C,E,F	●	機組延役;進步型燃料循環倡議 第四代核能系統倡議 核能產氫倡議 全球核能夥伴計畫
法國	59	63,473	420.1(77%)	1	78.7	C,E, F,R	●	外銷15%的電力至鄰近國家 擁有完整封閉燃料循環技術，能提供MOX燃料再處理與製造的服務 鈉冷卻快滋生反應器;氣冷卻快滋生反應器
日本	53	46,236	267(27.5%)	2	73.2	E,F,R	●	2030年或可達40% 5~10年內預定建造8部機組 封閉燃料循環政策 研發鈉冷卻快滋生反應器，並於2025年測試運轉；核能產氫
南韓	20	17,716	136.6(35.3%)	5	86.7	F	●	於2030年新建11座機組 以燃燒核能公司(CE)之System 80+為基礎發展 KSNP+
中國	11	8,587	59.3(1.9%)	11	84.6	C,E,F	●	2020年核能裝置將可達 40-60 GWe (約40 -60機組), 2050年可達200 GWe 積極推動鈉冷卻快滋生反應器計畫 發展高溫氣冷式反應器(10 MW)

註：0. 歐洲幾個曾訂定「非核政策」的國家（瑞典、瑞士、荷蘭等）已宣布停止非核政策，通過現有核電廠延役或將興建新核能機組；德國與比利時也正在討論終止「非核家園」政策。

1. OECD, 2008, Nuclear Energy Outlook 2008, December, 2008. IAEA PRIS, 2009

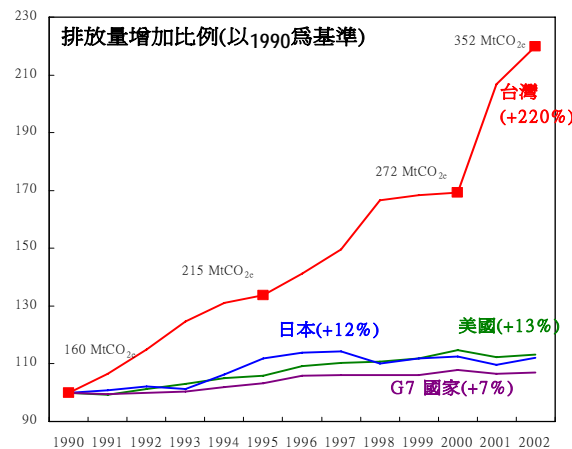
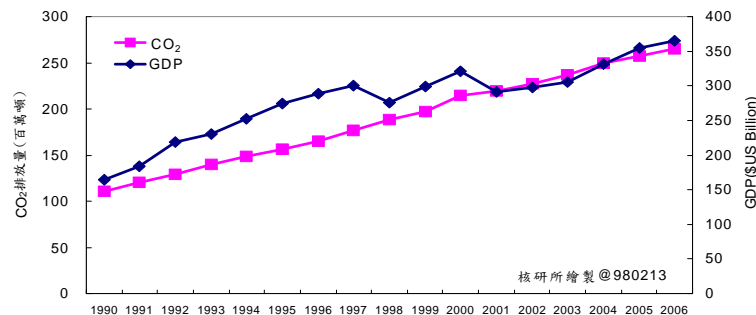
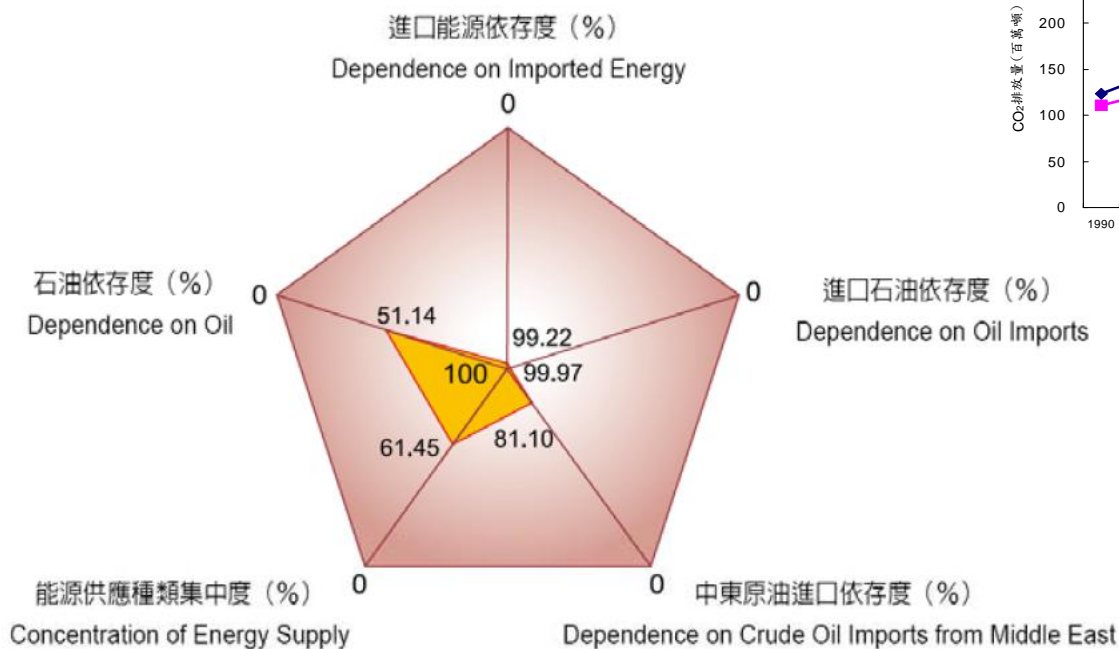
2. C: Conversion, E: Enrichment, F: Fabrication, R: Reprocessing

3. ●: 指有處置場並運轉中

貳、問題分析

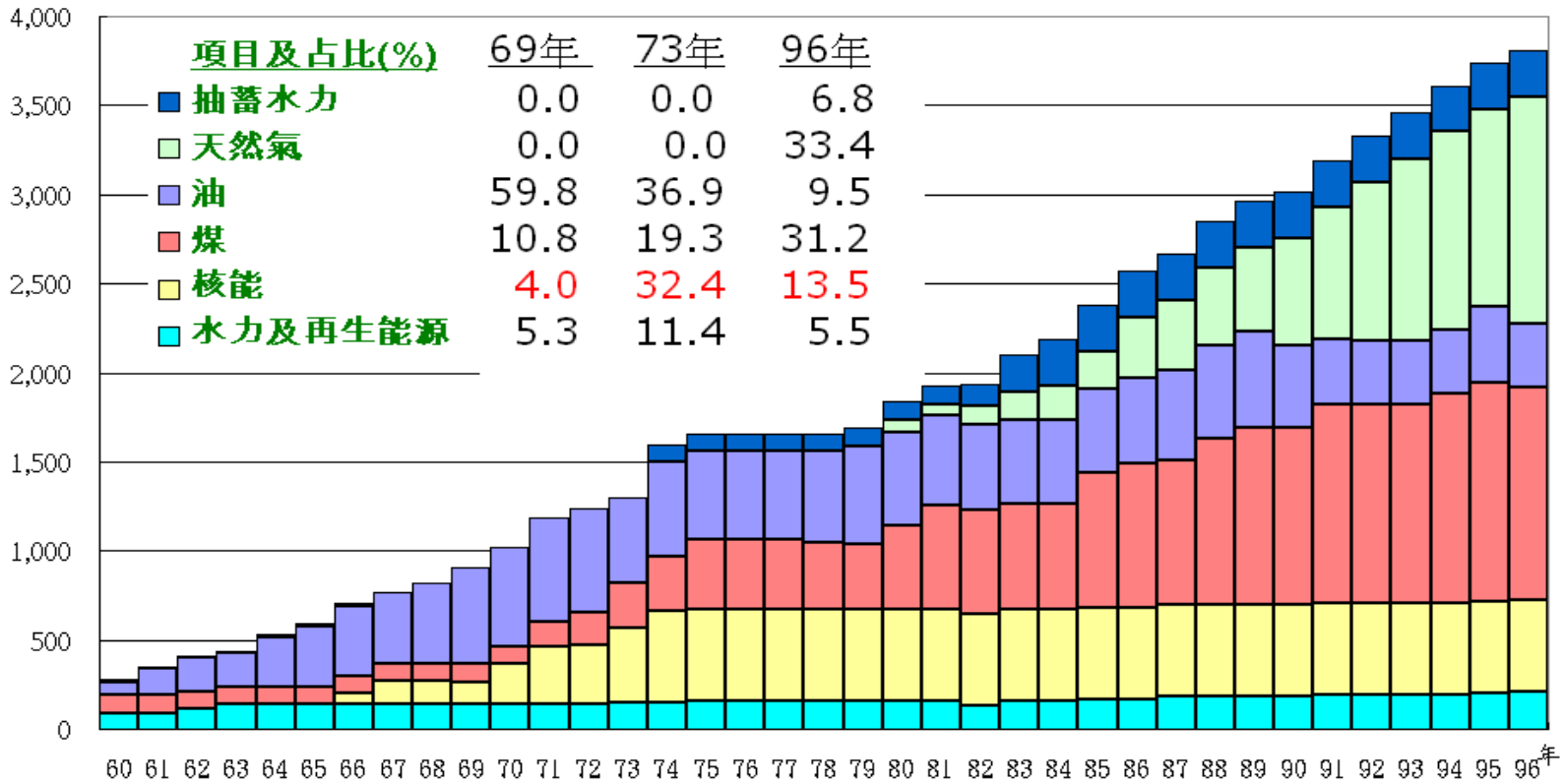
能源安全：我國缺少自產能源(2007年不到1%)，核能能量密度高，運儲方便，安全存量高，發電成本穩定，**可視為準自產能源**；是提昇能源安全必要的一環

GDP年成長未能與能源使用量脫勾：**溫室氣體排放持續攀升**



台電公司歷年各類發電容量演變

萬瓩



- 核能在民國74年（1985年）之後沒有再增加機組
- 石油從民國89年（2000年）以後比例明顯降低；煤與天然氣則增加
- 以民國96年（2007年）為例，火力電廠裝置容量已達4分之3，發電量則超過 80%
- CO₂排放量逐年攀升
- 核能科技長期研發和人才培育減緩

永續能源政策綱領與核能發展

- 政府於2008年6月訂定「永續能源政策綱領」，其中揭櫫「促進能源多元化，提高低碳能源比重，並將核能作為無碳能源的選項；發電系統中低碳能源佔比由40 %增加至2025年的55 %以上」
- 2008年8月通過「能源安全策略報告」，規劃逐年將自產再生能源及準自產核能佔總供給的比例，由2007年的9 %大幅提高至2025年的18 %。並擬定二氧化碳減量目標為「於2016至2020年回到2008年排放量，並於2025年回到2000年排放量」

長期核能政策不明確，影響國家永續能源發展與產業建立，並衝擊核能科技長期研發與人才培育

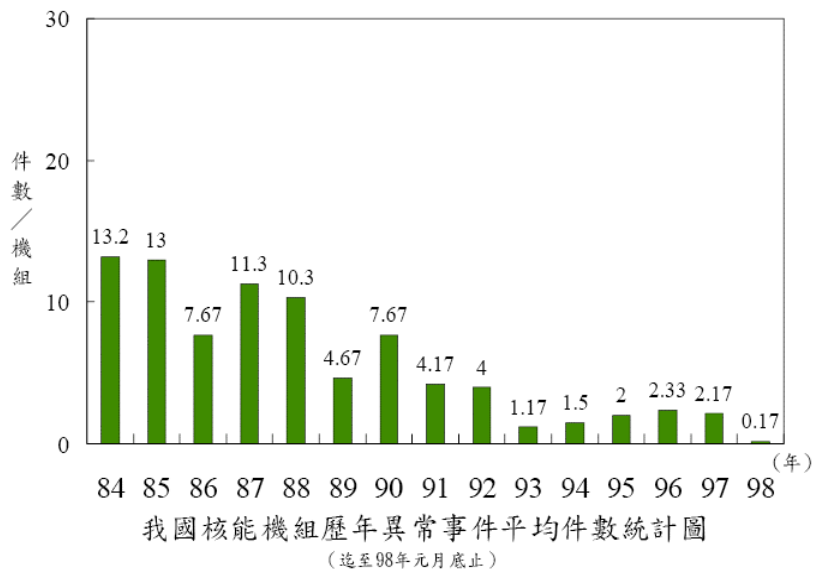
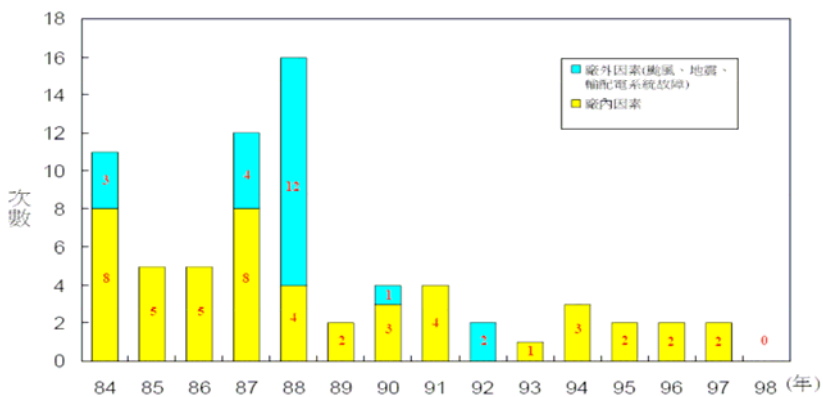
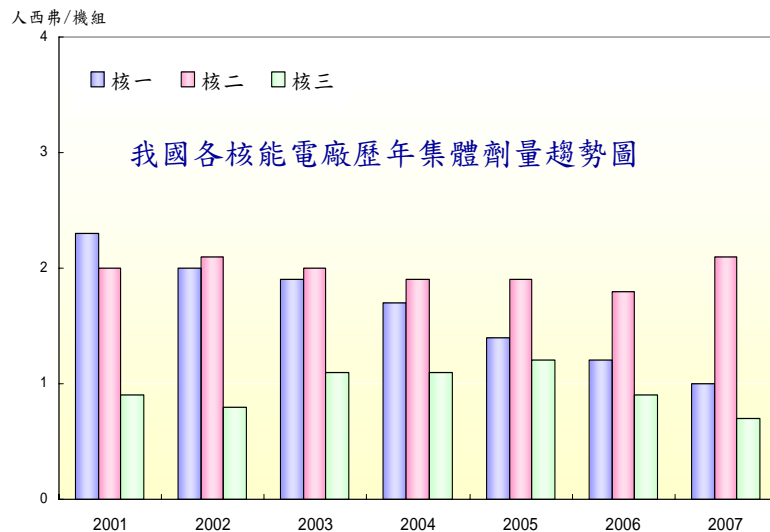
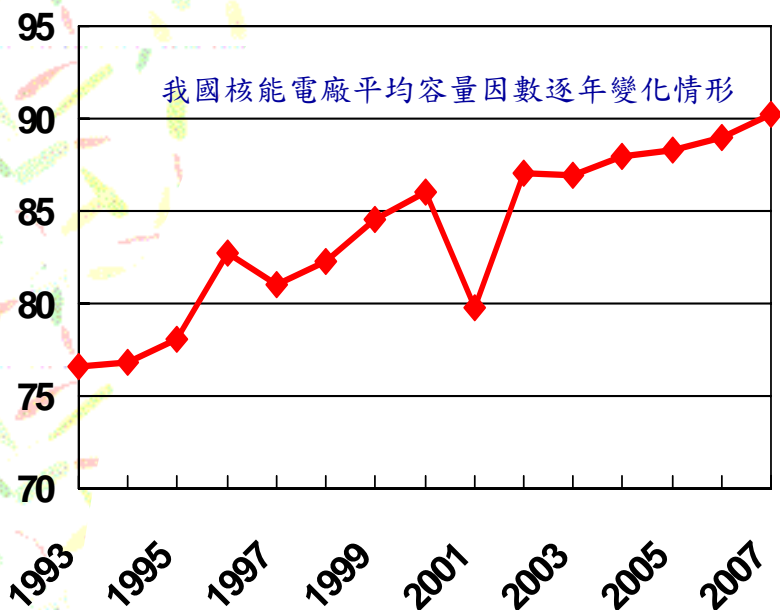
- 6部機組運轉中(4 BWRs + 2 PWRs)
- 提供16.7%的電力(佔8%的能源)
- 2部機組建造中(第III代核能反應器)

	機組別	額定功率 (百萬瓩)	正式運轉	執照期限
核一廠 ^a	1號機	0.636	1978.12.06	2018.12.05
	2號機	0.636	1979.07.16	2019.07.15
核二廠 ^a	1號機	0.985	1981.12.28	2021.12.27
	2號機	0.985	1983.03.15	2023.03.14
核三廠 ^a	1號機	0.951	1984.07.27	2024.07.26
	2號機	0.951	1985.05.18	2025.05.17
核四廠	1號機	1.35	2009.07.15 ^b	2049.07.14
	2號機	1.35	2010.07.15 ^b	2050.07.14

a:目前正在規劃延役20年；b:預計商轉日期，以目前狀況判斷，還會再延後。



核能安全與運轉績效優且資訊透明 惟社會對國內放射性廢棄物處理及核安仍有疑慮



我國核能機組歷年自動急停次數統計圖

(迄至98年元月底止)

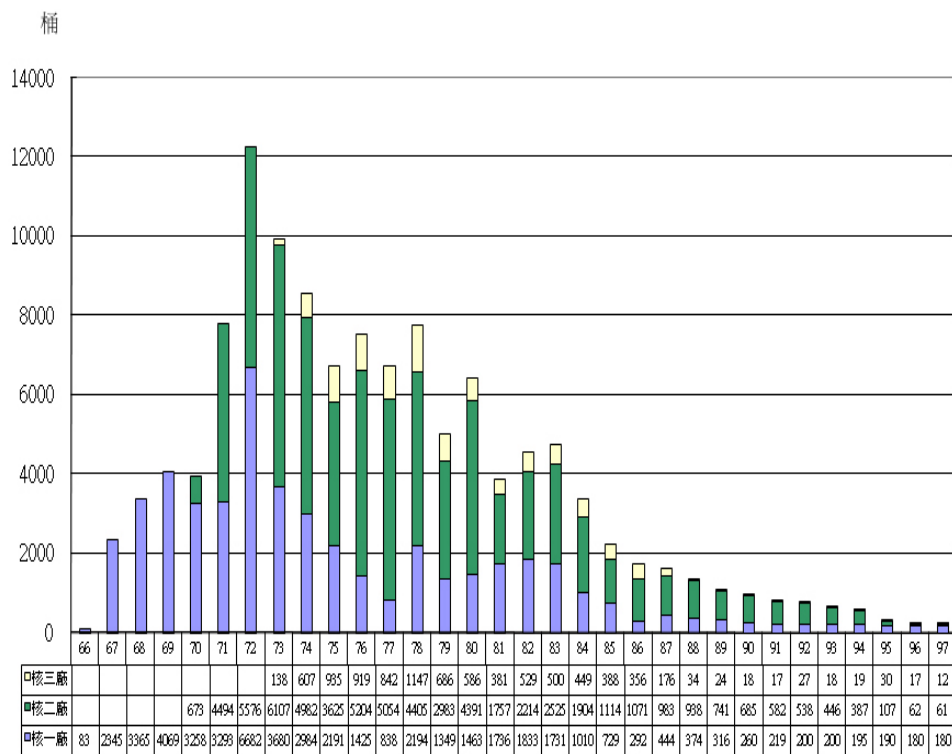
我國核能機組歷年異常事件平均件數統計圖

(迄至98年元月底止)



採用本土研發技術，我國低放射性固化廢棄物減量績效傲視全球，惟處置場尚未能定案

- 1983年: 12258桶
- 核三、二廠分別於1998年12月及2006年5月，採用核研所研發的「高減容固化技術」使其固化廢棄物年產量降低至原來的1/6及1/3。
- **2008年: 253桶;比1983年降低了98%**
- 2008年12月底止，六個機組總計產生**192,898桶**



原能會物管局，2009，2008年12月核能電廠管制動態資訊

• 儲存: 蘭嶼, 97,960桶;核一廠, 40,400桶;核二廠, 47,091桶;核三廠, 7,447桶



用過核子燃料的產生統計

■ 台電公司各核電廠用過核子燃料貯存統計表

電廠	燃料池容量 (燃料束)	用過核子燃料 至2008年10月 底之貯存量(燃 料束)	40年運轉後 之用過核子 燃料產生量 (燃料束)	40年運轉後 用過核子燃 料產生量(tU)	燃料池容量 不足數(燃 料束)
核一廠	3,083 × 2	5,206	7,532	1,341	1,366
核二廠	5,026 × 2	6,864	11,544	1,947	1,564
核三廠	2,151 × 2	2,127	3,842	1,633	0
核四廠	8,261 × 2	0	13,808	2,430	0
總計	37,056	14,197	36,726	7,351	2,930

- 核一、二、三廠每年運轉產生之用過核子燃料每年分別為40、50及45公噸。
- 提高功率運轉與執照更新則將增加用過核子燃料的產量。

核一廠用過核子燃料乾式貯存設施 正由國內團隊自行製造中

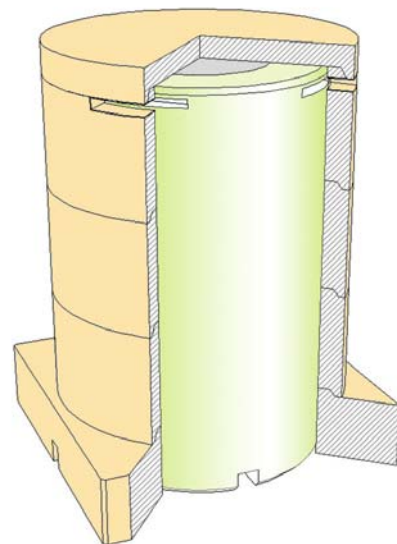
◆密封鋼桶 (TSC)：含燃料提籃

傳送護箱 (TFR)

核一廠用過核子燃料乾式貯存設施示意圖



混凝土護箱 (VCC)：含外加屏蔽

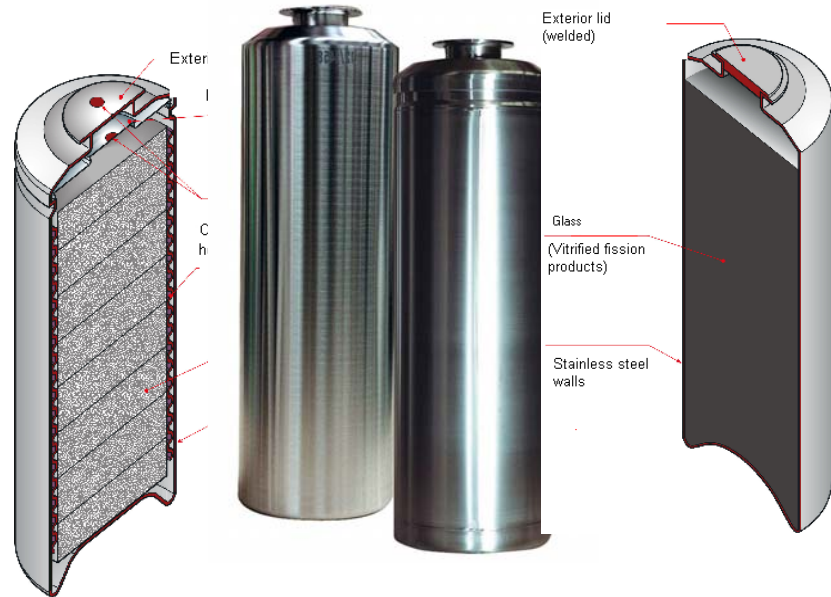


用過核子燃料處置

- 原能會於2006年7月核定台電公司「用過核子燃料最終處置計畫書」
 - 2005~2017：潛在處置母岩特性調查與評估階段
 - 2018~2028：候選場址評選與核定階段
 - 2029~2038：場址評估調查與試驗階段
 - 2039~2044：處置場遴選階段
 - 2045~2055：預定於2055年展開用過核子燃料最終處置作業
- 台電公司將於2009年底提出「用過核子燃料最終處置初步技術可行性評估報告」送審。
- 台電公司每四年檢討修正計畫並送原能會審查，以確保該計畫之執行符合國內需求及國際發展趨勢。

用過核子燃料處置之新思維

- 用過核子燃料若使用一次即當廢棄物處置，只用到全部能量理論值約1%，需處置的重量與體積皆大。
- 現在的技術可將用過核子燃料再處理並製成MOX再利用，對缺乏資源的我國是寶貴之自主能源，且需處置的高放射性廢棄物體積可減少為原來的十分之一，顯著減少處置場所的需求。比用過核子燃料直接處置更穩定。
- 利用第四代核電廠之核子燃料循環技術，發展高放射性廢棄物燃燒器 (burner)，可望進一步將再處理過之核子燃料的高放射性廢棄物經核子轉換為短半衰期高放射性廢棄物。



玻璃固化後之高放射性廢棄物儲存鋼筒體積可減少為原來的十分之一

參、因應對策

中長程永續能源政策之核能配比與能源安全度分析

		2007年	2025年	
			BAU	新核
國家安全	進口能源依存度(%)	99.2	97.9	96.2
	進口能源依存度(%) (核能視為準自產能源)	91.2	94.5	75.8
	能源供應種類集中度(%)	61.5	60.6	52.3
	石化能源依存度(%)	92.1	94.7	74.4
經濟發展	能源密集度 (公升油當量/千元)	9.10	7.7	5.8

資料來源：核能研究所MARKAL-MACRO的分析，假設滿足永續能源發展政策綱領2025年之二氧化碳減排要求

- 假設新核情景：現有機組延役且自2020年起每年新建一部核能機組至2025年，**新建機組每部1.35GW**。
- 國家安全：如將核能視為準自產能源，2025年新核情景的進口能源依存度將降低至**76%**，遠低於2007年之**99%**；新核情景的能源供應種類集中度將降低至**52%**，對於石化能源的依存度也將降低至**74%**，將有效提升國家能源安全度
- 經濟發展：能源密集度新核情景明顯改善，可提供較為充裕的能源供社經的發展



「永續能源政策綱領」下之核能配比

- 2025年提升核能發電裝置容量比例至20%到25%；2025年之後，以增加至30%以上為目標
- 現有運轉中之核能機組延役，自2020年起在現有廠址每年新建一部核能機組
- 制定「能源政策基本法」，規範我國長期能源政策之訂修程序，以落實「永續能源政策綱領」
- 定義能源安全度，建立國家能源安全指標(紅黃綠燈)制度

資訊公開與透明化提高民眾對核能發電信賴度

- 原能會建構全球網際網路網站(<http://www.aec.gov.tw/>)：
 - 提供核安管制動態、輻防管制動態、放射性物料管制動態、核子事故緊急應變、環境輻射偵測、核四興建監督、原子能法規、核一廠用過核子燃料乾式貯存設施建造執照審查、節能減碳等資訊及便民服務。
 - 截至98.2.4已有超過**202,781**以上人次點閱瀏覽

- 台電核能資訊透明化
 - 台電公司全球網際網路網站(<http://www.taipower.com.tw>)內已建置「核能資訊透明化資訊系統」(<http://wapp4.taipower.com.tw/nsis/>)提供電廠運轉即時資訊、核安管制、環境輻射偵測、環境保護、蘭嶼廢棄物桶檢整重裝統計及低選址作業等民眾關心之重要資訊。自93年4月啟用以來，截至 98.2.4已有超過**84,665**以上人次點閱瀏覽
 - 於核電廠所在地鄉鎮公所(金山鄉、萬里鄉、恆春鎮)及台電北部、南部展示館，設置互動式展示機供民眾查閱相關資訊
 - 核能相關文宣不定期送至鄰里長供民眾閱覽

強化國際合作提昇核能發電安全

- 台電公司與WANO、INPO合作機組營運：業界同業評估、技術支援、派駐人員
- 台電公司與EPRI技術合作：參加EPRI研發專案，引進新的檢測技術或評估方法，目前均運用於核一、二、三廠，技術水準與世界同步以確保核能安全
- 原能會與美國核管會合作核能管制議題
- 原能會與國際原子能總署(IAEA)合作核子保防，2007年5月及2008年8月總署公布2006年及2007年總結報告，均宣告台灣「所有核物料均用於核能和平用途」

INPO : Institute of Nuclear Power Operations (核能運轉協會)

WANO : World Association of Nuclear Operators (世界核能發電協會)

EPRI 視察核一廠反應爐頂現場 Institute (美國電力研究協會) 視察核二廠用過燃料池偵監設備



加強溝通尋求共識

解決低放射性廢棄物場址問題

- 自1958年以來，有34個國家，共79座低放射性廢棄物最終處置場，多年來均持續安全運轉中，證明處置場的設置能夠做到安全的保障
- 低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例於2006年5月完成立法並公佈施行
- 經濟部於2006年7月指定台電公司為選址作業者，並於2006年8月組成選址小組
- 選址小組於2008年評選出並公告台東縣達仁鄉、屏東縣牡丹鄉及澎湖縣望安鄉三處潛在場址
- 主辦機關於2009年2月底前提出建議候選場址遴選報告，公開徵詢各界意見；2010年6月辦理地方性公投，再依公投結果核定候選場址
- 如能獲得各界共識可望於2011年擇定場址，2016年開始處置。
- 建議提高公投與溝通作業層級

日本六所村放射性
廢棄物處置場



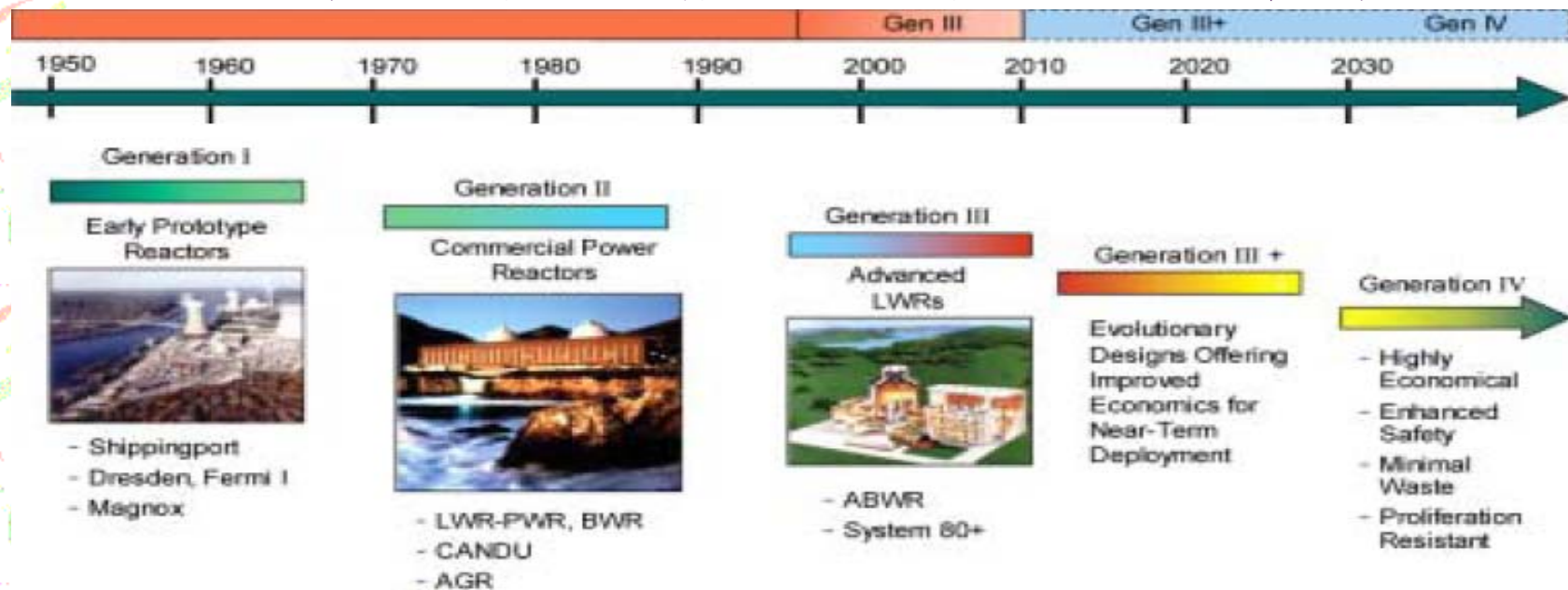


推動用過核子燃料境外再處理，尋求區域合作，研發高放射性廢棄物燃燒器

- 持續推展用過核子燃料乾式中期貯存計畫，以因應短期內貯存水池容量不足之需求。
- 主動與美方溝通，討論現行之「核子保防三邊協定」，爭取美方同意並支持我國推展將目前貯存在電廠燃料池中的部份用過核子燃料，送到國外進行再處理之先導型計畫
- 主動與法國、日本及英國之用過核子燃料再處理設施之經營廠商接觸，探討合作的可行性
- 除現有直接處置的計畫外，應即着手規劃再處理後高放射性廢棄物的處置，並研發高放射性廢棄物的熔鹽式燃燒器
- 依既訂規劃，於國內尋找高放射性廢棄物最終處置場場址
- 透過國際合作，探討於北美洲、歐洲、亞洲地質與環境適當地點設置區域高放射性廢棄物最終處置場

積極研發新型核能電廠科技

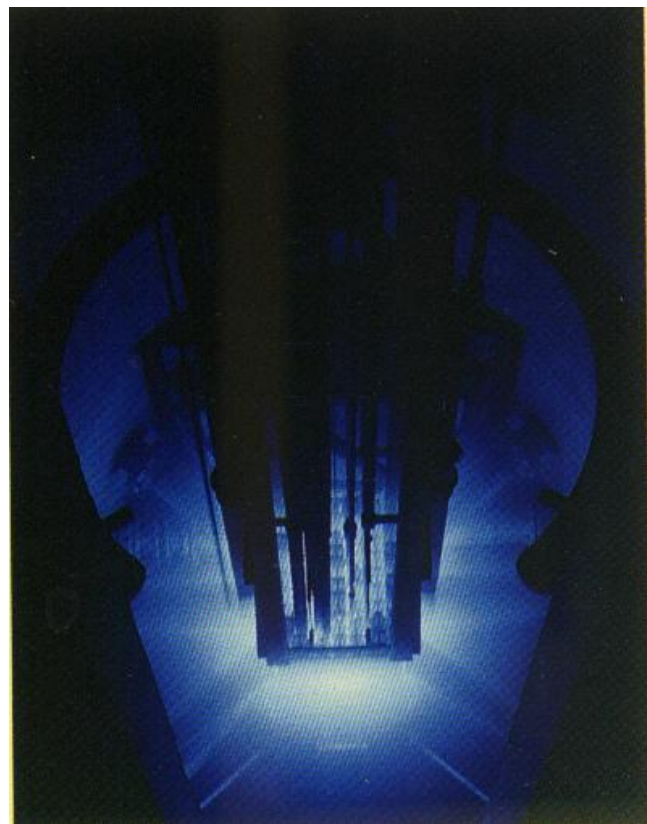
- 新建核能機組可能採納第三代改良式(Gen-III+)核能電廠
- 2030年後則可能採用第四代(Gen-IV)核能電廠
- 第四代核能科技的發展兼具了高安全性、防止核武擴散、高經濟價值及最有效使用核燃料資源與產生最少放射性廢棄物等朝向永續能源發展等優勢，因此相當值得地少人稠的我國將其列入未來的發展目標。
- 2005年2月28日第四代核反應器國際論壇參與國家包括加拿大、法國、日本、歐盟與美國等10個國家，現已擴展至14個國家，包括中國、印度等。



From: Y. Sagayama, Proc.Global 2005

新核能科技研發策略與方法

- 整合並提昇國內產官學研的研發能量，建立核能工程的基礎研發架構與環境。
- 積極培育核能工程的人才，建立核能工程永續發展的人力資源。
- 建立核心實驗室，使資源的使用更為有效。
- 與國外機構合作，從事前瞻核能科學與技術研究。



核能電廠與周邊零組件產業

蒸汽產生器(PWR)

- 管材腐蝕影響評估
- 管板除垢設備研製
- 即時水質監測系統研發
- 化學清洗材料影響評估
- 管與管板間結垢研究

再循環管(BWR)

- 應力腐蝕影響評估
- 化學除污腐蝕監測
- 水化學對材料影響評估
- 應力腐蝕監測

管路

- 管路系統沖腐蝕評估
- 列陣式非破壞檢測引進
- 核能級管件系統研製
- 腐蝕監測系統安裝/分析

汽機

- 應力及疲勞影響分析
- 汽機轉子壽命評估
- 非破壞檢測技術改進

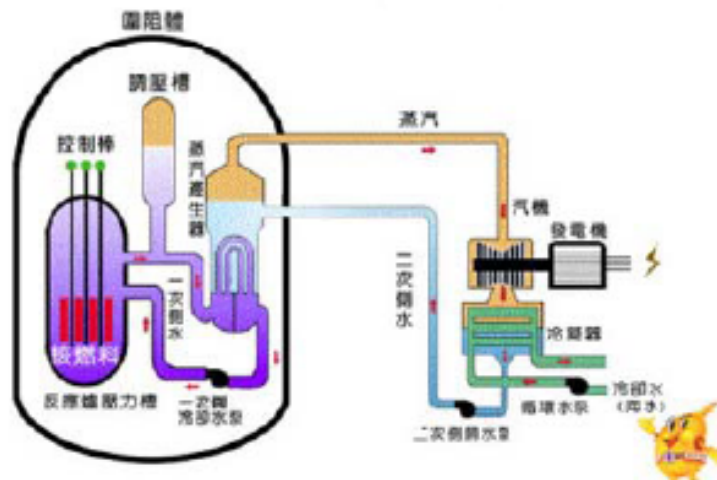
反應器及內部組件

- 老化及使用壽命評估
- 應力腐蝕/疲勞影響評估
- 加氫水化學效應評估
- 貴金屬添加效應評估
- 爐內材料拋光評估/處理

其他

- 電廠延役申請資料準備
- 材料諮詢系統開發
- 電廠組件破損肇因分析
- 電廠大修人力支援
- 大修用耐燃橡膠開發
- 微生物腐蝕研究
- 絕緣礙子國產化研發
- 異質金屬焊接程序開發
- 避震器測試機研製

壓水式電廠流程



海水循環系統

- 腐蝕影響評估
- 材料選用建議
- 陰極防蝕設計
- 核能級組件更新

冷凝器

- 防蝕系統設計
- 資料庫系統建立
- 自動化渦電流檢測研發

閘/泵

- 自動焊補系統研發
- 低合金鋼覆焊程序開發
- 老化分析及監測

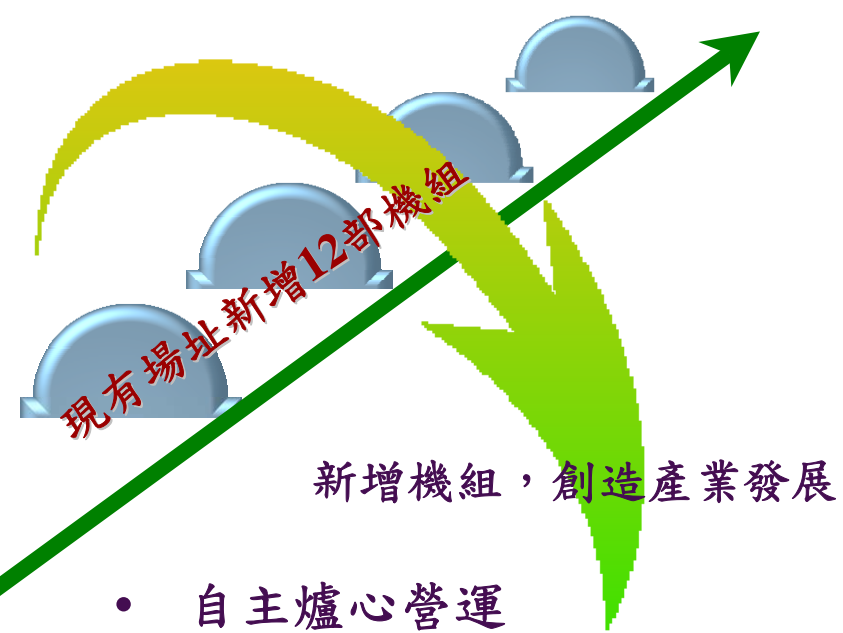
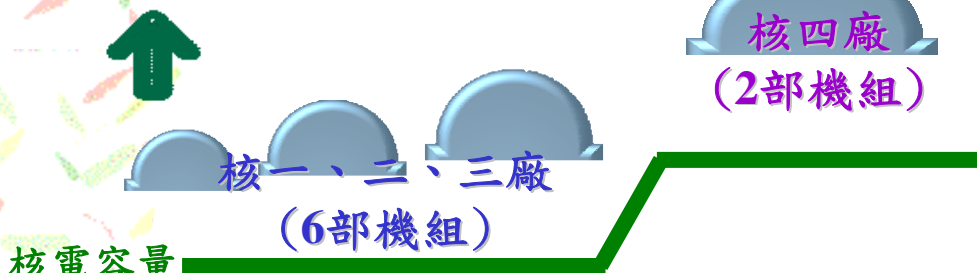
預熱器/熱交換器

- 孔蝕生成預測研發
- 渦電流檢測技術改善

儲槽及地下管線

- 全廠陰極防蝕設計
- 老化評估
- 防水塗裝材料選用/施工
- 內襯材料選用/施工

產業化發展模式



- 自主爐心營運
- 自主營運技術服務
- 自主型核能儀控
- 核能級零組件產業
- BOP零組件產業
- 燃料設計



以核四工程評估核能產業之規模
 新建機組：年產值為370~460億元
 核能級組件輸出：年產值為~600億元

敬請指教

