

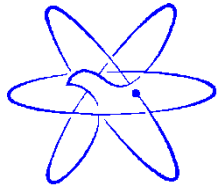
用過核子燃料管理策略探討 (引言)

黃慶村

放射性廢棄物學術委員會召集人

2009年12月16日

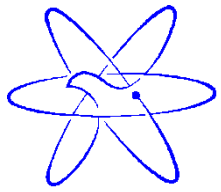




大綱

- 一、國際情勢分析
- 二、台灣的管理現況與策略探討
- 三、結語





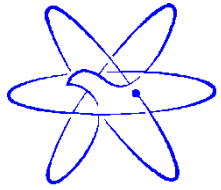
國際情勢分析

- 核電復興-走過污名化與重擊

- 電影「中國症候群 (China Syndrome)」

- 傑克李蒙、珍芳達、邁克道格拉斯主演的影片，1979年3月16日發行
- 劇情：極度誇大的爐心熔毀假想事件
- 加速與擴大反核風潮





國際情勢分析

● 核電復興-走過污名化與重擊

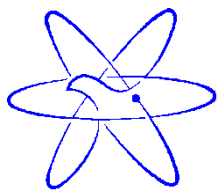
■ 三哩島 (Three Mile Island, TMI)事件

- 1979年3月28日美國三哩島核電廠二號機發生爐心熔毀
- 有小量核種釋出，未造成人員死亡
- 美國核電從此一厥不振

■ 契諾比(Chernobyl)事件

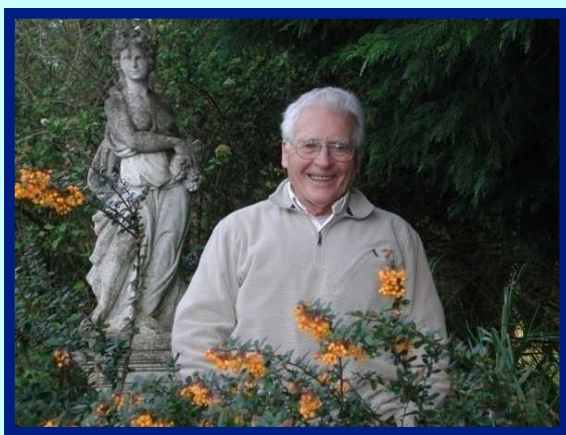
- 蘇聯契諾比核電站於1986年4月25-26日發生爆炸，是史上最大的核電事故
- 爆炸摧毀反應器的鋼筋混凝土蓋，高輻射使30多人立即死亡，周圍20哩半徑13萬5千人疏散





國際情勢分析

- 核電復興-環保巨擘清洗核電的污名
 - James Lovelock: 地球生理學者，蓋亞理論(Gaia theory)之父
 - 氣候改變到了下世紀人們將難以承受高溫環境，最壞的情況是數十億人口將有90%的人難以能倖存，全球只剩5億人。
 - Patrick Moore：激進環保人士，綠精神(Green Spirit)倡導者、綠色和平組織創始人之一
 - 核能是拯救地球免於氣候變遷大災難的能源；三哩島事件是一個成功的故事；美國發生的輻射相關事件未曾造成任何死亡。
 - Christine Todd Whitman：前美國新澤西州州長、環保署署長
 - 「核電是對環境友善、負擔得起、清潔、可靠及安全的」
 - 為美國開發新核反應爐公開辯護



James Lovelock

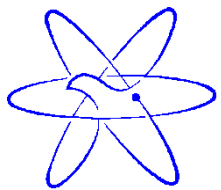


Patrick Moore



Christie Whitman

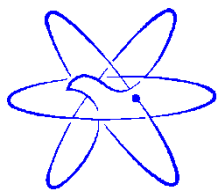




國際情勢分析

- 核電復興-環保巨擘清洗核電的污名
 - **Stephen Tindale**：前英國綠色和平組織常務理事、歐洲綠色和平組織主席，劇烈反核人士
 - 2009年2月與其他3位著名環保人士由反核反轉為擁核(U-turn to Nuclear)
 - 「如果要存活，我們已花不起用150個月時間去辯論人類是不是氣候變遷的元兇」





國際情勢分析

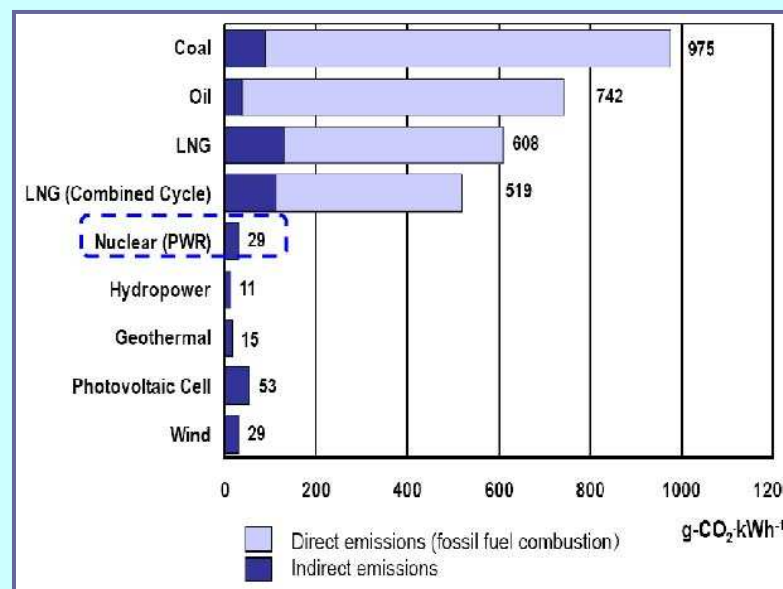
● 核電是人類經過省思後的選擇

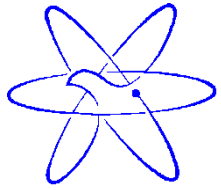
■ 對環境保護的省思

□ 降低二氧化碳排放，
避免溫室效應

■ 對穩定能源的供應的 省思

□ 核電是唯一能大量穩定供應的低碳能源



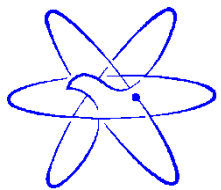


國際情勢分析

- 核電是人類經過省思後的選擇
 - 對經濟發展的省思-提供相對價廉的電力成本
 - 第二代建造費用
 - ✓ 大亞灣2,000 US\$/kwe (1987~1994)
 - ✓ 秦山二期 1,330 US\$/kwe (1994~2002)
 - ✓ 嶺澳一期約1,800 US\$/kwe (1997~2003)
 - ✓ 嶺澳二期約1,500 US\$/kwe (2005~)
 - 第3代建造費用
 - ✓ ABWR(柏崎)：2,000 US\$/kwe
 - ✓ ABWR(龍門)：3,000 US\$/kwe
 - ✓ AP1000：2,000~2,325 US\$/kwe ，建造期程36~39個月
 - 美國對第4代反應器(NGNP)的期望成本
 - ✓ smaller, safer, more flexible, and more cost-effective
 - ✓ 建造費用：US\$1,000/kwe
 - ✓ 發電成本：US\$0.015/kwh



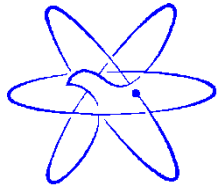
資料來源：WNA



國際情勢分析

- 核電是人類經過省思後的選擇
 - 復興力道強勁、規模急速擴大
 - 國際能源總署(IEA)
 - ✓ 預測至2030年全球電力將成長98%；到2050年增加1.5倍
 - 美國能源資訊局(EIA)
 - ✓ 預測至2030年世界電力將成長85%
 - 日本能源經濟研究院
 - ✓ 預測至2030年亞洲核電裝置容量將由現在82百萬瓩增到340百萬瓩。到2050年全球核電容量將增加到1.5-3.8倍間
 - 大陸
 - ✓ 預估到2020年，將增建高達63,000萬瓩機組，核電達4,000-7,000萬瓩。
 - 台灣
 - ✓ 預估到2025年，將增建1,500-1,600萬瓩電力裝置容量(成長約40%)





國際情勢分析

● 核電是人類經過省思後的選擇

■ 亞洲是今後核電發展最快的地區

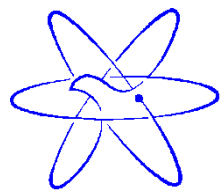
狀態	運轉中 機組數	新機組數			
		建造中	已計畫	計畫中	總數
全世界	436	53	93	218	347
大亞洲	105	20	57	113	190

資料來源：WNA (June 9, 2008)

狀態	運轉中 機組數	新機組數			
		建造中	已計畫	計畫中	總數
全世界	436	50	137	295	482
大亞洲	109	32	85	124	241

資料來源：WNA (Sep 1, 2009)





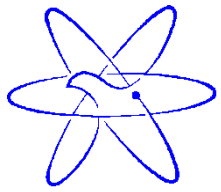
國際情勢分析

● 用過核燃料管理策略觀察與分析

■ 開放循環或封閉循環仍然莫衷一是

國家	直接處置	再處理	處置日期	處置政策現況
中國		✓	2050年	研發中
日本		✓	2030年代	選址中
南韓		傾向	未定	地下坑道研發中
法國		✓	未定	地下試驗室研發中
英國		✓	未定	研發及政策研議中
西班牙	✓	1989年前少量再處理	2050年	研發但2010年前不決策
瑞典	✓	1982年前少量再處理	2023年	場址選定Forsmark
瑞士	✓	2006年7月起10年內不再處理	未定	地下試驗室研發中
德國	✓	至2005年為止	2030年	研發及政策研議中
美國	✓	?	原訂2011	YMP場址再議
比利時	✓	至2001年為止	未定	地下試驗室研發中
加拿大	✓		未定	研發及政策研議中
芬蘭	✓		2020年	選定場址Olkiluoto
荷蘭		早期少部分再處理	未定	長期貯存100年



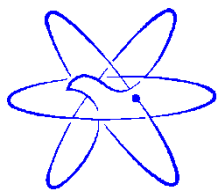


國際情勢分析

- 最終處置成本不易比較
 - 尚無實際案例；計算基準差異
 - 地質條件以及技術性與非技術性影響大

國家	處置量(tU)	處置總費用 (佰萬-2008.2.27)	折合台幣 (億)	處置費用 (台幣億/噸)
SNF				
美國	65,852	US\$58,000	20,271	0.308
瑞士	4,400	CHF12,975	3,902	0.887
瑞典	9,000	SEK45,117	1,778	0.198
西班牙	7,000	€10,000	4,461	0.637
芬蘭	5,500	€ 3,000	1,338	0.243
匈牙利	1,320	HUF359,300	446	0.338
HLW				
日本	6,000(m ³)	¥2,891,200	10,405	1.73

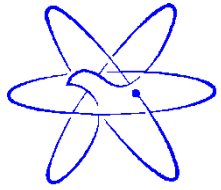




國際情勢分析

- 國際處置合作只聞樓梯響
 - 2003年IAEA總署長向聯合國大會報告
 - 「應考慮多國性的SNF與HLW的管理與處置途徑」
 - The Pangea proposal
 - 1990 Pangea Resource檢列澳洲、南非、阿根廷與中國西部地區等具有合適的深層地質處置條件。
 - 澳洲政府禁止輸入核廢棄物，其他國家未表態
 - 蘇俄的動向
 - 2001年國會通過允許輸入核廢棄物法令
 - 2006年 Rosatom宣佈不接受外國產的用過核燃料
 - SAPIERR Project I & II (歐洲區域處置先導啟動支持行動計畫)
 - 2003年歐洲21組織共同成立，推動歐洲區域處置合作
 - 以成立歐洲多國處置合作組織為目標





國際情勢分析

● 再處理面臨的問題

■ 核武擴散與環保問題

□ 發展與應用仍然受到核武擴散問題的牽制，環保問題也受關切

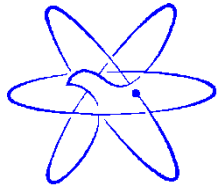
■ 技術與成本問題

□ 技術門檻高、投資風險大

■ 第四代反應爐的影響

□ 將使再處理發生量變與質變

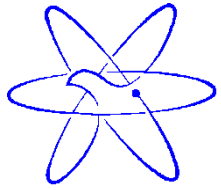




國際情勢分析

- 用過核燃料管理策略觀察與分析
 - 美國採取重新計議、整裝再發的策略
 - 擱置GNEP
 - 擱置亞卡山處置場建造
 - 不再推動國內再處理計畫
 - 積極進行第四代反應爐的發展

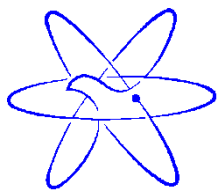




國際情勢分析

- 用過核燃料管理策略觀察與分析
 - 防止核武擴散依然是最優先的考量
 - 解決用過核燃料問題會是新建核能機組的前提?
 - 美國反對用過核燃料再處理的立場已見改變
 - 台灣可有「再處理」的選項



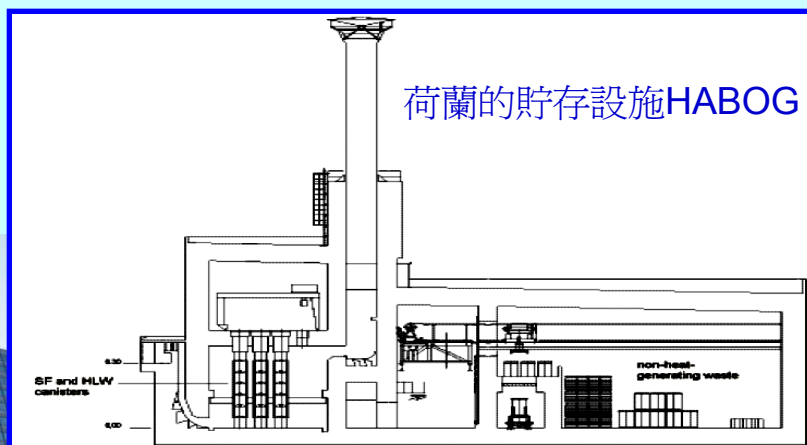


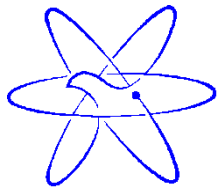
國際情勢分析

● 用過核燃料管理策略觀察與分析

■ 渾沌不明中的選擇-先做百年期的長期貯存

- 荷蘭在2003年9月啟用貯存設施HABOG，貯存至少100年再作後續決定，但最後仍將進行地質處置
- 美國也探討100年貯存的方案，其政府責任辦公室 (Government Accountability Office, GAO) 並預估廠內貯存成本遠比在亞卡山貯存為低-
Washingtonexaminer.com, 2009/12/4消息





台灣的管理現況與策略探討

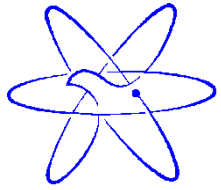
● 台灣用過核燃料產量之估算

■ 規模與瑞典、西班牙相當

役期	電站	1號機		2號機		合計
		燃料量 (束)	鈾燃料重 (kgU)	燃料量 (束)	鈾燃料重 (kgU)	鈾燃料重 (kgU)
40年	核一	3,760	669,280	3,772	671,529	7,346,919
	核二	5,772	969,350	5,772	974,256	
	核三	1,917	815,032	1,925	817,201	
	龍門	6,604	1,215,136	6,604	1,215,136	
60年	核一	5,152	917,056	5,164	919,347	10,185,823
	核二	7,932	1,332,101	7,884	1,330,741	
	核三	2,685	1,141,555	2,693	1,143,232	
	龍門	9,244	1,700,896	9,244	1,700,896	

資料來源：台電公司，2006。

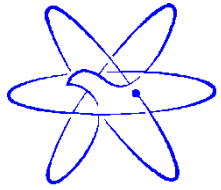




台灣的管理現況與策略探討

- 現行的用過核燃料管理政策
 - 以用過核燃料直接處置為原則
 - 近程採廠內燃料池貯存
 - 中程採廠區乾式貯存
 - 長程推動最終處置
 - 沒有排除再處理的硬性規定
 - 保留因應情勢變化的彈性調整空間





台灣的管理現況與策略探討

● 現行的用過核燃料管理政策

■ 再處理的基本前提

□ 符合國際公約與管制規範

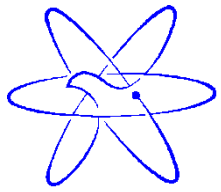
- ✓ 防止核子武器擴散條約
- ✓ 與美國及IAEA等的雙邊與多邊協議

□ 充分的財務支持

- ✓ 產生者負管理責任，採取的措施必須具備完善的財務配套；現行的後端基金額度需調整

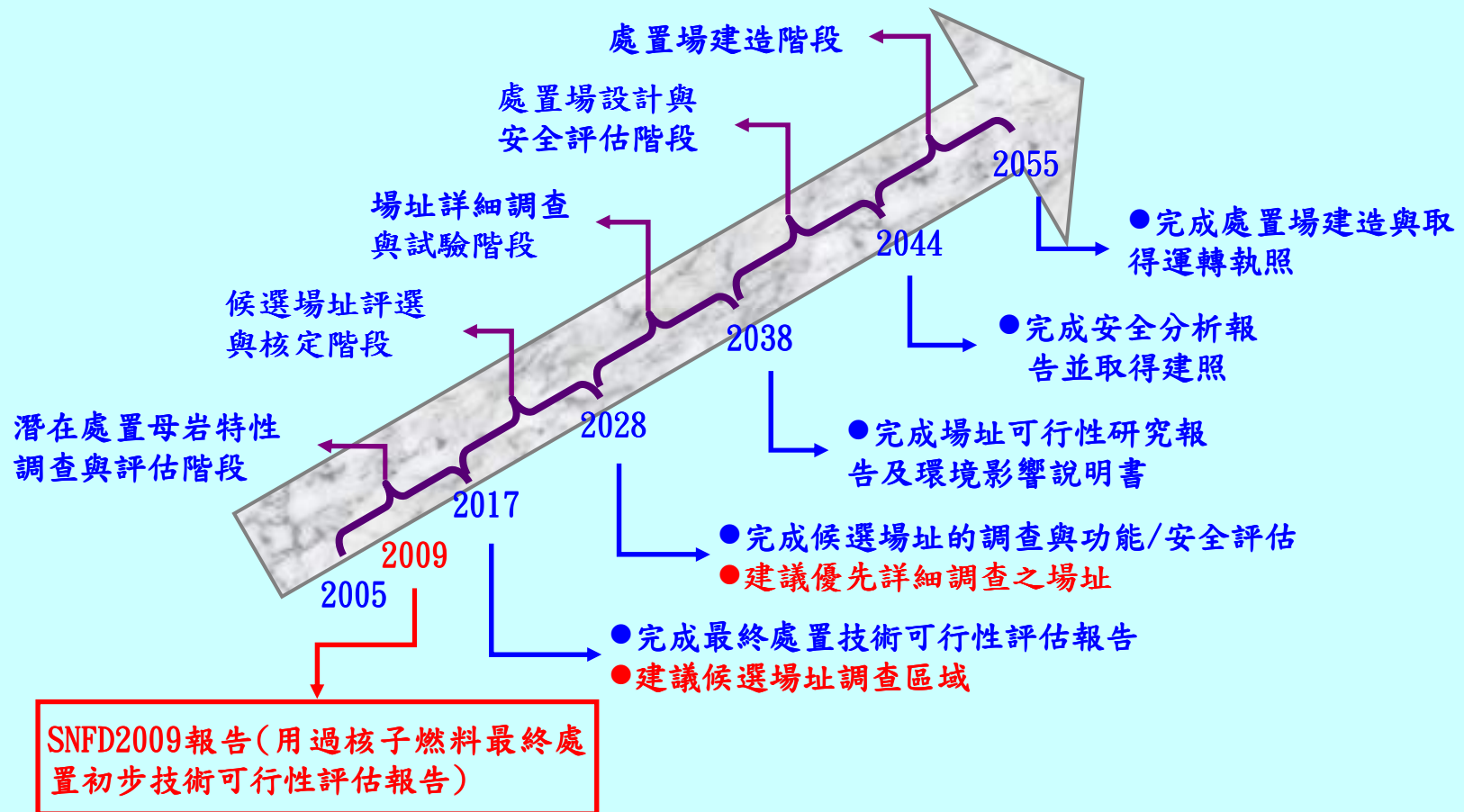
□ 對環境與公眾安全的保護

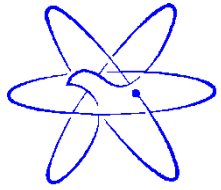




台灣的管理現況與策略探討

● 用過核燃料處置計畫





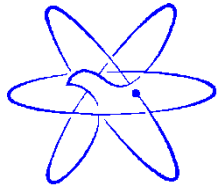
台灣的管理現況與策略探討

● 用過核燃料處置計畫推行現況

■ 執行潛在處置母岩特性調查與評估

- 執行成果可同時應用於用過核燃料或高放廢棄物之最終處置
- 期程：2005~2017
- 任務
 - ✓ 完成SNF處置之技術可行性評估
 - ✓ 建議候選場址調查區域
- 工作項目
 - ✓ 初步地質調查與少部份地點之地質鑽探
 - ✓ 處置場功能/安全評估技術之建立
 - ✓ 2009完成初步技術可行性評估報告
 - ✓ 2017完成技術可行性評估報告





台灣的管理現況與策略探討

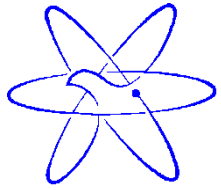
● 用過核燃料處置計畫推行現況

■ 替代方案之研究(核研所：2007~2009)

□ 用過核燃料長期貯存之可行性研究

- ✓ 提供用過核燃料管理決策參考，必要時作為處置前的過渡方案
- ✓ 工作內容
 - » 國際長期貯存研發概況分析
 - » 廠房式與坑道式長期貯存概念研究
 - » 安全性、技術性、經濟性、社會影響性之初步研究





台灣的管理現況與策略探討

● 用過核燃料處置計畫推行現況

■ 國際區域合作

□ 技術交流普獲共識

✓ 與歐、美、日、韓的交流疏密不一

✓ 兩岸的交流才要開始

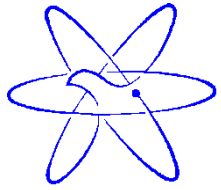
✓ 交流平台的建立與加強

» 台、日、韓與大陸共同參與東亞放射性廢棄物
管理論壇

□ 實質的處置合作尚無端倪

✓ 先從交流開始





台灣的管理現況與策略探討

● 台灣用過核燃料管理的相關議題

□ 缺乏策略性研究

- ✓ 導致共識不足，以致言人人殊
- ✓ 缺少全盤性、長遠性的策略與規劃，影響推行之穩定性

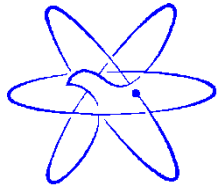
□ 投入不足

- ✓ 技術研發的深度與廣度有待加強
- ✓ 人力流動性高，人才培養不易

□ 執行體系不符世界潮流與實際需要

- ✓ 國營企業擔負國家責任，推動不易
- ✓ 無專責機構，執行層級太低、牽制太多

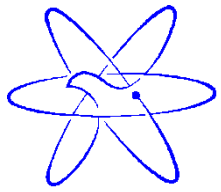




台灣的管理現況與策略探討

- 台灣用過核燃料管理的相關議題
 - 封閉循環或開放循環的政策面考量
 - 符合國際公約與管制規範方面
 - ✓ 開放循環符合條件
 - ✓ 封閉循環只能進行境外再處理，HLW須回運，MOX不能回運





台灣的管理現況與策略探討

● 台灣用過核燃料管理的相關議題

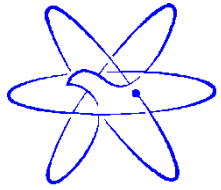
■ 封閉循環或開放循環的政策面考量

□ 充分的財務支持：封閉循環成本遠高於開放循環，採取封閉循環，後端基金需重新估算徵收

	SNF直接處置		再處理 + HLW處置	
運轉年限	40	60	40	60
處置量	7,347 tU	10,186 tU	882 m ³	1,222 m ³
處置容器數量(桶)	3,652 ⁽¹⁾	5,063	5,880 ⁽²⁾	8,147
預估處置費用(億台幣)	1,910 ⁽³⁾	2,648	1,526 ⁽⁴⁾	2,114
預估再處理費用(億台幣)	---	---	3,120 ⁽⁵⁾	4,303
費用合計(億台幣)	1,910	2,648	4,646	6,417

備註：(1)假設每個處置容器約可裝填2tU之SNF；(2)假設每個處置容器約可裝填0.15m³之HLW；(3)依據台電公司2004年估算6機組營運40年所需處置總經費為1279億新台幣，以tHM之比例換算為8機組營運40年(6機組為4917tHM，8機組為7347tHM)所需經費為1911億新台幣，換算每tU SNF處置費用為0.260億新台幣；(4)HLW處置費用參考日本案例，假設每立方公尺約1.73億台幣；(5)再處理費用採2003年MIT評估之US\$1,300/kgU，折合台幣約42,250元/kgU。

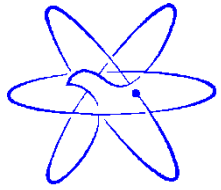




台灣的管理現況與策略探討

- 台灣用過核燃料管理的相關議題
 - 封閉循環或開放循環的政策面考量
 - 對環境與公眾安全的保護
 - ✓ 封閉循環
 - » 用過核燃料再處理國內難行
 - ✓ SNF與HLW之最終處置
 - » 國境內雖有花崗岩、泥岩與中生代基盤岩等三種處置潛在母岩地質，惟條件是否合適尚待進一步調查
 - » 境內處置可行性受到部份人士之質疑

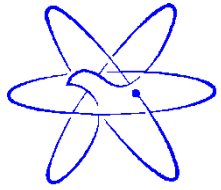




台灣的管理現況與策略探討

- 台灣用過核燃料管理的相關議題
 - 封閉循環或開放循環的實務面考量
 - 國際因素
 - ✓ 技術發展趨勢
 - ✓ 區域處置合作
 - 國內因素
 - ✓ 公眾接受度
 - ✓ 資源利用
 - ✓ 可行性(政治、社會、經濟)

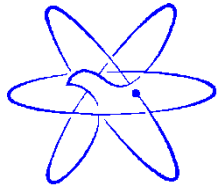




台灣的管理現況與策略探討

- 台灣用過核燃料管理的相關議題
 - 具備妥善的用過核燃料管理方案是興建新核電機組的前提？如何因應？
 - 國際進行區域處置合作的可行性與影響？亞洲地區有否實現區域處置合作的可能？我們的機會在那裡？

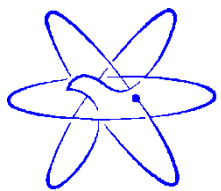




台灣的管理現況與策略探討

- 台灣用過核燃料管理的相關議題
 - 台灣用過核燃料管理的最佳方略為何?
 - 管理政策
 - 管理架構與組織
 - 研發策略
 - 資源運用
 - 公眾接受度提昇
 - 替代方案

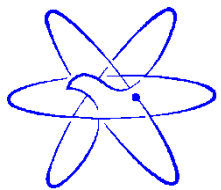




結語

- 解決用過核燃料問題是核電發展的關鍵，台灣面臨的限制多，政策上宜有彈性，以因應情勢之演變。
- 集思廣益、從長計議、建立共識、加強研究，並籌劃長期的因應方案，應為解決台灣用過核燃料問題之道。





敬請指教

