

# 輻射防護簡訊 86

中華民國96年8月1日

■出版單位：財團法人中華民國輻射防護協會  
■地 址：新竹市光復路二段295號15樓之1 ■電話：(03)5722224 電傳：(03)5722521  
■編輯委員：王昭平、尹學禮、何 偉、李四海、施建樑、  
翁寶山、張寶樹、董傳中、趙君行、蘇獻章 (依筆劃順序)  
■發行人：翁寶山 ■主 編：劉代欽 ■編 輯：李孝華  
■印刷所：大洋實業社 地址：新竹市建功一路95號  
行政院新聞局出版事業登記證局版北市誌字第柒伍零號

## □輻防消息報導

### ▲96年第2次「輻射防護專業測驗」及「操作人員輻射安全證書測驗」公告 (原能會訊)

行政院原子能委員會委託元培科技大學辦理96年第2次「輻射防護專業測驗」及「操作人員輻射安全證書測驗」，定於96年10月27日(星期六)，分別於台北試區：考試院國家考場(台北市文山區木柵路1段72號)、高雄試區：高雄市國際高級商工職業學校(高雄市苓雅區三多二路84號)舉行，報名日期為96年9月3日至9月10日，相關事項請詳閱簡章。相關訊息可連結行政院原子能委員會網站(<http://www.aec.gov.tw>)查詢。

### ▲國際原子能總署宣告台灣「所有核子物料均用於核能和平用途」 (原能會訊)

今年5月11日國際原子能總署(International Atomic Energy Agency, IAEA)公布2006年度全球核子保防實施總結報告(The Safeguards Implementation Report for 2006)，我國被列入「所有核物料均用於核能和平用途」國家之列。

總署核子保防體系涵蓋全球163個國家；世界各國被宣告成為「所有核子物料均用於核能和平用途」國家之列，必須經過總署一套完整而嚴謹的調查與評估作業，包括相關資料提報、定期視察、無預警視察、現場訪談、環境擦拭取樣等，並須每年審查再確認。2006年之前只有澳洲、日本等24個國家被列入，今年則有中華民國與奧地利等8個國家被總署宣告為「所有核子物料都用在和平用途」國家。

我國自1965年加入總署核子保防體系，雖於1971年退出聯合國，但一直堅持核能和平應用的政策，秉持「防止核子武器蕃衍條約」(Non-Proliferation Treaty, NPT)精神，並依據總署、美國、台灣三邊核子保防協定及其補充議定書

( Additional Protocol)配合總署在台執行核子保防作業，全力防止核子武器蕃衍。

總署此番宣告除了確認台灣有能力確保國內所有核子物料均用於和平用途之外，也消除多年來國內外媒體對台灣有無發展核武的疑慮，再次證明政府「不發展、不生產、不取得、不儲存、不使用」核武的一貫政策。對於國內核子設施的核子保防工作而言，預期將會減少總署來台例行視察的頻次，減少國內相關費用的支出。

### ▲核能研究所建立分子影像技術平台 -開發新藥重要利器 (原能會訊)

核能研究所(以下簡稱核研所)輻射應用科技中心從藥物研發著手開始，到現在新藥開發上市，已有 15 張藥品許可證，每年服務病患 18 萬人次。為加速國內生技製藥新藥開發，近幾年來核能研究所從國外陸續引進 microPET、microSPECT/CT，及自行研發 CT 與 microPET 結合而成 microPET/CT，從這些分子影像設備而建立核心技術，包括 microPET 定量影像技術、microSPECT 定量影像技術、microPET/CT 影像融合技術、藥物動力學造影技術等。為推動非侵入性分子影像技術應用在新藥開發，美國與法國分別於近年成立了非侵入性影像藥物發展學會(Society of Non-Invasive Imaging in Drug Development, SNIDD)與藥物與影像(Médicament & Imagerie, Medim)組織，藉以提升新藥開發效率，縮短藥物開發時程，降低藥物開發成本，同時歐美大藥廠(如 Pfizer, Merck, GSK 等)已將非侵入性分子影像技術納入新藥開發流程，而美國食品與藥物管理局(FDA)於 1999 年宣布臨床前分子影像技術的實驗數據可作為申請新藥查驗登記使用。

核醫分子影像的造影原理在於利用放射性同位素標幟示蹤劑或分子探針(radiotracer 或 molecular probe)對生物體內生理、生化反應的分子交互作用與途徑進行偵測。核醫分子影像技術可以對許多不同的生命現象以非侵入性(noninvasive)的方式，透過核醫示蹤劑或分子探針與其活體內分子標靶(molecular target)的特異性作用，以適當的分子影像設備進行造影，並加以追蹤定量：例如腫瘤細胞葡萄糖代謝酵素的活性(F-18-FDG)、細胞的分裂增生(F-18-FLT)、血流的動態分布(Tc-99m-HMPAO)、專一性受體(receptor)的表現與分布(In-111-DTPA-Octreotide)、神經傳遞物質轉運體(transporter)的功能(Tc-99m-TRODAT-1)，以及某些特定疾病的病理變化等。此外，核醫分子影像技術廣泛應用於追蹤藥物分子在體內分布與藥物動力學研究，這是對開發新藥非常重要之利器。分子影像技術有下列幾個特色：(1)對生物體為非侵入性的即時偵測(real-time imaging)；(2)此影像分析技術具有高靈敏度以及對單一實驗動物可重複造影的特性；(3)減少實驗動物的需求量；(4)可縮短藥物開發時程，降低藥物開發成本。

核研所除了利用分子影像技術平台致力於新藥開發外，還將此能量釋放出來，目前已服務國內生技研究單位及製藥業（如聯亞生技、台灣醴聯、台灣東洋等）等十項委託技術服務案，提供藥物藥效與藥物動力學資訊。核研所是國內唯一擁有分子影像技術平台服務產業界單位，可縮短藥物開發時程，降低藥物開發成本(臨床前動物實驗可降低 1/4 ~ 1/5 成本)，加速國內生物技術產業研發及新藥開發，使我國在全球新藥研發更具有競爭力。

註：CT：computerized tomography 電腦斷層攝影術。

PET：positron emission tomography 正子發射斷層攝影術。

SPECT：single photon emission computerized tomography 單光子發射電腦斷層攝影術。

micro：微

### ▲鈷-210 研究結果發表

(原能會 王重德)

英國健康保護署(Health Protection Agency, HPA)協同美國研究實驗室籌劃的一項研究，根據這項研究結果發表，攝入 1~3GBq 或更高鈷-210，在假設有 10% (0.1GBq~0.3GBq) 吸收進入血液中前提下，很可能在數週內導致死亡。由於蘇聯情報人員李維南科(Alexander Litvinenko)去年在倫敦被鈷-210 毒害事件，促使這項研究進行，但在這項研究中並未進一步細查是否有其他特殊狀況導致該情報人員死亡。研究人員審視過去累積超過十年來有關鈷-210 生物變化科學證據與其高劑量下有害的效應及其構成致死劑量進行評估。

現在部分針對鈷-210 在人類上引起效應的資訊，是來自於李維南科的案例，不過仍然不是很充分，其原因是這仍是犯罪調查的一部分。此發生在倫敦不幸的死亡事件，引起全世界對於鈷-210 的重視，雖然散佈到環境的量非常少，但在過去的經驗中用鈷-210 做為毒藥卻是史無前例的事。

根據 HPA 研究確定，鈷到達血液中，會迅速沉積在主要的器官及組織，包括肝、腎及紅骨髓， $\alpha$  射線在這些組織中引發肝細胞大量損壞（註： $\alpha$  射線為高線性能量轉移），而迅速導致健康衰退，任何人接受如此高的劑量下，會出現急性輻射症候群及併發症，最後因多重器官衰竭而死亡。臨床治療的策略是在攝入數小時內的情形下，防止一定數量的鈷-210 進入血液並沉積在組織內。

#### 公眾健康議題最新訊息

在李維南科毒害事件後，HPA 藉由警察機關所提供許多相關位置，進行數百位民眾測量，截至 2007 年 3 月 1 日止，其調查已證實在公眾區域沒有對大眾健康有影響，這項測量結果到目前為止顯示出一般民眾在此曝露於鈷-210 事件的風險是非常低的，這項進行研究結果如下：

1. 經量測尿樣共有 581 位民眾調查結果每天在紀錄基準 30mBq 以下，天然鈷-210 在尿液中其數值應在每天 5~15mBq 之間。

2. 經量測尿樣共有 85 位民眾量到每天有 30mBq 活度，經評估其劑量小於 1mSv，對於公眾無健康風險、個人健康沒有影響。推測這些人可能有接觸到鈾-210。
3. 經量測尿樣共有 34 位民眾劑量介於 1mSv 與 6mSv 間，對於公眾無健康風險、個人健康沒有影響，推測這些人可能有接觸到鈾-210。
4. 有 16 位民眾劑量大於 6mSv，在短時間內不足以引發特別的疾病，長期上來說增加之風險可能非常小。

(本文摘譯自 Nuclear News April 2007)

## □會議訓練報導

### ▲96 年度各項訓練班預定開課時間表

(輻協訊)

班 別	組 別	期 別 及 日 期	地 點
放射性物質或可發生游離輻射設備操作人員研習班	(A 組) 36 小時 許可類 設備	A6---8 月 13 日~20 日	(新竹)帝國經貿大樓
		A7---8 月 22 日~29 日	(高雄)輻射偵測中心
		A8---11 月 27 日~12 月 4 日	(高雄)輻射偵測中心
		A9---12 月 11 日~18 日	(新竹)帝國經貿大樓
	(B 組) 18 小時 登記備 查類 設備	B15---8 月 29 日~31 日	(新竹)帝國經貿大樓
		B16---9 月 12 日~14 日	(高雄)輻射偵測中心
		B17---9 月 18 日~20 日	(台北)建國大樓
		B18---10 月 3 日~5 日	(新竹)帝國經貿大樓
		B23---10 月 24 日~26 日	(台中)文大推廣部
		B19---11 月 7 日~9 日	(台北)建國大樓
		B20---11 月 14 日~16 日	(高雄)輻射偵測中心
輻射防護專業人員訓練班	輻 防 師 ( 本 108 小 時 )	師 7 期& 進階 7 (36hr)	(新竹)帝國經貿大樓
		96 年 9 月 14 日	
		96 年 10 月 12 日	
		96 年 11 月 16 日	
鋼鐵建材輻射偵檢人員訓練班		鋼 3--12 月 5 日~6 日	高雄
		鋼 4--12 月 20 日~21 日	(新竹)帝國經貿大樓
九十六年度輻射防護教育訓練		10 月 26 日---3 小時	台北(清華大學月涵堂)
		11 月 13 日---3 小時	(高雄)輻射偵測中心
		11 月 30 日---3 小時	(新竹)帝國經貿大樓
		09 月 28 日---6 小時	台北(清華大學月涵堂)

	11月02日---6小時	(新竹)帝國經貿大樓
	12月14日---6小時	(高雄)輻射偵測中心

◎ 以上各項訓練班簡章備索詳細內容網址為 [www.rpa.org.tw](http://www.rpa.org.tw)，電話：(03)5722224。◎

## □ 專題報導

### ▲ 法規上新舊呼吸道模型的比較

(輻協 翁寶山)

【接續 85 期】

## 八、結語

新舊呼吸道模型的差異可列表如下：

表 3 新舊呼吸道模型的劑量計算差異

器官和組織	ICRP-30	ICRP-66
源器官(組織)	1. 肺(T-B、P 區及淋巴結) 2. 鼻咽(N-P)不計入 3. 肺視為一個均勻組織	1. 肺(BB、bb、AI)區及胸外區(ET <sub>1</sub> 、ET <sub>2</sub> )以及伴隨淋巴結LN <sub>T</sub> 、LN <sub>ET</sub> 。 2. 荷電粒子對各區上皮組織作詳細分類，組織中的放射核種視為射源。 3. 光子對廓清模型的各隔室(ET <sub>1</sub> 、ET <sub>2</sub> 、LN <sub>ET</sub> 、BB、bb及LN <sub>TH</sub> 視為均勻射源)。
靶器官(組織)	1. 肺(T-B 及 P 區) 2. 鼻咽(N-P 區) 3. 肺視為一個均勻組織	1. 肺(BB、bb、AI)區及胸外區(ET <sub>1</sub> 、ET <sub>2</sub> )以及伴隨淋巴結LN <sub>TH</sub> 、LN <sub>ET</sub> 。 2. 荷電粒子對各區上皮組織作詳細分類，靶組織的設定。 3. 光子對廓清模型的各隔室視為均勻靶組織。

表 4 新舊呼吸道模型在解剖學上的差異

分支編號	解剖學的部位	ICRP 66		ICRP 30	
		呼吸道	淋巴結 隨各區域	呼吸道	淋巴結 獨立器官
—	前鼻道	ET <sub>1</sub>	—	N-P	L
	後鼻道 口腔 咽 喉	ET <sub>2</sub>	LN <sub>ET</sub>		
0	氣管	BB	LN <sub>TH</sub>	T-B	
1	主支氣管				
2-8	支氣管				
9-14	細支氣管	bb			
15	終末細支氣管				
16-18	呼吸細支氣管	AI	P		
19-	肺泡				

註：ET = 胸外區，TH = 胸內區，LN<sub>ET</sub> = 胸外淋巴結，LN<sub>TH</sub> = 胸內淋巴結，L = 淋巴結，

N-P = 鼻咽，T-B = 氣管支氣管，P = 肺。

表 5 新舊呼吸道模型在粒子沉積的差異

比較項目	ICRP-30	ICRP-66
沉積區	3 區	6 區
粒徑範圍	AMAD 0.2-10 $\mu\text{m}$	AMTD 0.0005 $\mu\text{m}$ 至 AMAD 100 $\mu\text{m}$
粒徑設定值	工作人員 AMAD 1 $\mu\text{m}$ 幾何標準差 < 4.5	工作人員 AMAD 5 $\mu\text{m}$ 幾何標準差 2.5 一般人室內外 AMAD 1 $\mu\text{m}$ 幾何標準差 2.47
年齡性別	男性成年人	男女性成年人 男女 15 歲、10 歲、5 歲、 1 歲、3 個月
人種	高加索(白種)	高加索、其他
呼吸習慣	未考慮	考慮鼻和嘴呼吸，以及睡眠、休息、輕度及重度工作情況

註：AMAD = activity median aerodynamic diameter

AMTD = activity median thermodynamic diameter

表 6 攝入鈾 239 後有效劑量係數( $\mu\text{Sv/Bq}$ )在新舊模型的比較

新模型級號	M	M	S	S
AMAD	有效劑量	最高器官劑量	有效劑量	最高器官劑量
1 $\mu\text{m}$	53	1600	16	180
5 $\mu\text{m}$	57	1100	9.2	98
舊模型級別	W	W	Y	Y
1 $\mu\text{m}$	110	2100	81	820

表 7 吸入在肺中沉積量及肺泡初期排泄量在新舊模型的比較

區分	舊模型		新模型			
級別	W	Y	M	S	M	S
粒徑( $\mu\text{m}$ )	1	1	1	1	5	5
肺區的沉積率(%)	33	33	13	13	8.2	8.2
5 日間糞便初期排泄率(%)	38	44	22	23	41	41

表 8 肺計算有效劑量新舊模型的比較(舊模型的有效劑量為 1)

級別	M (W)		S (Y)	
	有效劑量	最高器官劑量	有效劑量	最高器官劑量
AMAD				
1 $\mu\text{m}$	1.2	1.9	0.48	0.53
5 $\mu\text{m}$	1.4	2.1	0.46	0.48

表 9 糞便生化分析計算有效劑量新舊模型的比較(舊模型的有效劑量為 1)

級別 AMAD	M (W)		S (Y)	
	有效劑量	最高器官劑量	有效劑量	最高器官劑量
1 $\mu\text{m}$	0.82	1.30	0.39	0.43
5 $\mu\text{m}$	0.31	0.49	0.12	0.13

#### 參考文獻

1. International Commission on Radiological Protection, Limits for the intake of radionuclides by workers. Part I. ICRP Publication 30, **Annals of the ICRP 2** (3/4), (1979)
2. International Commission on Radiological Protection, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 26, **Annals of the ICRP 1 (3)**, (1977)
3. International Commission on Radiological Protection, 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60, **Annals of the ICRP 21 (1-3)**, 1991
4. International Commission on Radiological Protection, Human respiratory tract model for radiological protection, ICRP Publication 66, **Annals of the ICRP 24 (1-3)**, (1994)
5. International Atomic Energy Agency, International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources, **Safety Series No. 115**, IAEA, Vienna, Austria (1996).

#### ▲全球核能伙伴計畫－防止核擴散與推展再處理的矛盾

(清華大學 許俊男)

美國政府為恢復 30 年來中止的用過核子燃料再處理的開發，於 2006 年 2 月 6 日發表「全球核能伙伴」(Global Nuclear Energy Partnership, GNEP)計畫，並向國會提出了 2 億 5 千萬美元的預算案。此計畫的目的在以先進的「再循環技術」取代法、日等國現有傳統的 7 再處理廠，針對放棄擁有濃化·再處理設施之國家，保證供應其所需的核子燃料，並進一步回收其用過的核子燃料，藉以強化核擴散防止制度和開拓美國的核能市場。提出此計畫的背景說起來有點複雜，國際上有伊朗和北韓的核問題，在美國則是內華達州雅卡山的高放射性廢棄物處置計畫遇到瓶頸。

#### 1.GNEP 計畫的背景

在 2002 年由國會所決定的雅卡山處置場，其所能處置的用過核子燃料上限

為 6 萬 3 千噸。雖然預定 2012 年開始運轉，但已可預期很快在 2010 年的實際累積量就要達到上限。美國能源部雖有過提出需再興建第二處置場的報告，但未見政府有進一步尋找處置場的動作。另一方面美國的用過核子燃料持續累積，須靠核能工業的再生以解決用過核子燃料的問題。2006 年 11 月美國參眾兩院針對能源·水資源預算案，協議要求能源部提出再處理計畫，並對該部附有於 2010 年開始「建造一個以上的綜合性用過核子燃料再處理設施」的義務。布希政府在國際上另有伊朗和北韓的核問題待解決，早於 2001 年 5 月提過「開發更清潔、廢棄物更少、核擴散防止性更高的再處理·燃料處理技術」的國家能源政策。美國政府在綜合上述各項因素之後，提出此 GNEP 計畫。

## 2. 分解 GNEP 的構成要素

GNEP 係由下列要素所構成。

- (1) 穩定供應可防止核擴散的燃料的計畫(構想核子燃料庫)。
- (2) 核擴散的防止與銷售反應器用過核子燃料的回收·再處理計畫。
- (3) 銷售發展中國家用小型反應器的開發計畫。
- (4) 解除處置場不安問題的再處理推動計畫。
- (5) 以解除處置場問題為前提的美國核能推動計畫。
- (6) 為解除再處理時的核擴散問題而開發新的再處理技術的計畫。
- (7) 燃燒含再處理所分離鈾在內的超鈾元素用的先進型燃燒爐開發計畫。
- (8) 先進型燃燒爐所生用過核子燃料的再處理開發計畫。

也就是透過取得國際性的合作方式，執行這些有相互矛盾的要素。合作國家的意圖也必定吳越同舟--不會一致。就俄羅斯言，針對伊朗的 Bushehr 核電廠有過類似 項(1)和項(2) 的提案。對日本來說，在六所村正式運轉能分離鈾的再處理廠，一面要單獨分離純鈾，一面又要參與核子燃料供應國先進再處理技術的開發，即使徵得美國的同意，國際社會的反應又將如何？

限於以現有的核能發電為前提，項(1)的附帶條件應給予評價，且可行性相當高。像伊朗這類國家，有關項(2)回收燃料的再處理勢將引起議論。又由美國回收，與成為項(4)的原因的處置場問題，在根本上是矛盾的。

就核子擴散防止性和解除處置場問題面來說，要一舉突破而進入其效果尚未驗證的新的再處理之路，在美國國內受到強烈的批判。有關美國國內的處置場問題，以提案中間貯存作為目前解決政策的專家居多。

## 3. 與先進燃料再循環優先計畫的關係

先前美國能源部有過「先進燃料循環倡議」(Advanced Fuel Cycle Initiative, AFCI) 的計畫，並於 2001 年的國家能源政策(NEP)強化過。這次把 AFCI 定位為 GNEP 重要的一環，以進行新的再處理技術和先進型反應器的計畫。

#### 4.美國再處理政策經緯

美國於 1974 年印度剛開始進行核試爆時，對於再處理可能造成給予核擴散的影響議論紛紛，最後由卡特總統基於核擴散防止政策而於 1977 年決定無限延期商用再處理。之後雷根政府雖予解除，工業界的興趣雖仍不高，但研究活動並未中斷。這次在 GNEP 計畫上所提的「先進循環技術」，乃基於 1980 年代所開發出來的技術。克林頓政府雖也採取含軍用在內的完全停止再處理活動，但再循環技術仍以「廢棄物處理技術」名義以繼續進行。布希政府迄今仍反對「純鈾分離」。一般來說，再處理是一律不予認可的，但這次的政策卻對於一部分的國家，允許其進行核擴散防止性高的再處理，顯然矛盾。

#### 5.法日的鈾鈾萃取法

因為法、日兩國現在所採用的核子燃料再處理方式--鈾鈾萃取法 (PUREX)，與核擴散很容易連結在一起，所以需要「先進的」再處理法。此乃因鈾鈾萃取法係用來生產核武時分離純鈾之用。從美國 30 年來再處理的重啟動作來看，法、日的再處理政策毋寧是正確的，但顯然與美國的主張不一樣。

誠如之後所將述及的，於再處理所取出的鈾，如以混合氧化物(MOX)燃料方式僅再一次用於輕水式反應器，則此方法就降低處置場所需的空間及從鈾的有效利用面來看，其效果是不大的。MOX 燃料是否誠如日本政府回答美國議員的，因係將鈾鈾氧化物混合在一起用而可解決核的擴散顧慮？國際原子能總署 (IAEA)的看法是：二者混不混合都應視為可直接利用的特殊核分裂性物質。原因是將其轉換成核爆所需的金屬，只要 1-3 周就夠了。

#### 6.「先進的」再處理法可否順利進行？

「先進的」再處理法認為可大大減少處置場所需的面積，是基於未經驗證的技術研發已可順利進行的假定。又「先進的」再處理法其核擴散防止性並不如所預期的那麼高。有專家指出，將用過核子燃料直接放著其核擴散防止性最高。

#### 7.GNEP 首頁所列舉的優點

- 不會排放二氧化碳和溫室效應氣體並提供豐富的能源。
- 再循環核子燃料，可將廢棄物量減到最低，並降低核擴散的疑慮。
- 可滿足開發中國家發展所需安全又確實的核能。
- 可從仍具價值的用過核子燃料回收最大限度的能量。
- 使在本世紀內美國所需的地層處置場數只要一個就夠了。

#### 8.進一步的訴求與評論

- 核能在美國應用的擴大。
- 驗證核擴散防止性強的再循環技術。

- 將核廢棄物減到最小限度。
- 開發先進型燃燒爐。
- 確立足以信賴的核子燃料服務。
- 驗證小型核反應器。
- 意圖提升保防措施。

## 9.美國能源部長的重點談話

GNEP 計畫對於經濟發展中國家，不但可減少核擴散的威脅，而且對於環境可約束在虛擬的無限能源 (virtually limitless source of energy) 的優質環境形態之下。GNEP 計畫如果實現的話，可以讓這個世界變成更美好、更乾淨、更安全的場所。

## 10.傳統鈾鈾萃取法的問題所在

在 GNEP 首頁，其說明如下：

- (1) 鈾以外的超鈾元素－銻、錒、錒－變成廢棄物。這些雖可作為能源，但其毒性強，對處置場的設計造成不良影響。
- (2) 由鈾鈾萃取法取出的純鈾可用於核武器。
- (3) 鈾鈾萃取法雖可溶解目前用於核反應器的氧化物燃料，但作為 GNEP 一環的先進型燃燒爐 (advanced burner reactor, ABR) 的候補燃料等他型燃料並不能溶解。

鈾鈾萃取法的殘餘物中鈾除外的超鈾元素 (稱迷你鈾，minor actinides)，壽命長、毒性高且發熱量大。所需的處置場面積，不只是依廢棄物的量，而且也要依發熱量加以決定。如果將超鈾元素集中取出，則除了可減少所需的處置場面積之外，而且由於鈾混有迷你鈾使得難以用於核武器，且將如此作成的核子燃料置於所謂 ABR 特殊核反應器中燃燒 (以中子照射使其轉換) 而「消除」掉。

日本的鈾熱利用 (plutonium thermal use，簡稱為プルサーマル，pluthermal) 係將鈾置於輕水反應器燃燒的過程，因加有鈾，所以迷你鈾也會大量產生。如要將此用過燃料再進一步處理，在技術上有其困難。如將此用過燃料直接處置，則較一般的用過燃料其發熱量更大，所需的處置面積也變大，因此在最初預期再處理可節約下來的空間也無法達成。

## 11.GNEP 所謂「先進的」再處理技術

有在日本六所村再處理廠所用技術延伸的鈾萃取加法 (uranium extraction plus, UREX<sup>+</sup>) 和與此完全不同的高溫再處理法 (pyroprocessing，即乾式再處理法) 兩種。相對於鈾鈾萃取法和 UREX<sup>+</sup>法的均用酸在水溶液中的化學處理，高溫再處理法顧名思義係在高溫下將金屬熔融，利用電極加以分離。後者因不用水而稱高溫再處理法。

## 12. UREX+法 又是什麼？

在 GNEP 首頁，其說明如下：

「現在國際上所用的分離法為 PUREX 法，可製出純鈾的產品。GNEP 獎勵的是先進的分離法—例如 UREX<sup>+</sup>。此法係以集中取出超鈾元素—Np、Pu、Am、Cm—為目標。如此使得超鈾元素的再利用成為可能，並使廢棄物減到最低，且不能分離純鈾，因此比之 PUREX 法其核擴散防止性較高。

GNEP 要的不只是 UREX<sup>+</sup>法，一般也追求先進循環技術。但是，UREX<sup>+</sup>法已在實驗室規模成功地分離鈾，且集中回收了超鈾元素。

開發程序的下一步驟是為取得作為商用電廠設計及運轉指針的成本及績效數據，而進行工程規模上的驗證 (ESD = engineering-scale demonstration)」。又 ESD 也可提供測試先進型燃燒爐 (ABR) 燃料用的分離超鈾元素。」

## 13. GNEP 的計畫概要

GNEP 為了驗證新的再處理技術，將提出今後 10 年的計畫，但在現階段只見諸文字。

2008 年：先進模擬研究所 (ASL) 開始運作

2010 年：設計先進燃料循環設施 (AFCF)

2011 年：先進 ESD 燃料再循環工廠開始運轉

2016 年：最初的 ACFE 模組開始運轉

美國能源部說明如下：「ESD 運轉一旦成功，可於商業規模的工廠進行每年約 2000 噸用過核子燃料 (相當於從美國現有 103 機組的核子反應器所產生的量)的處理。在開發這些技術時，將嘗試與其他的核子燃料供應國合作。」

## 14. 乾式再處理

在 GNEP 首頁，其說明如下：

高溫再處理法 (即乾式再處理法) 雖在解決上述二問題，但就對象言，與 UREX<sup>+</sup> 所處理的是不同形態的燃料。乾式再處理並不是使用酸溶液，而是在高溫熔融鹽中將用過核子燃料溶解。這雖然不適用於作為現行核能電廠的氧化物燃料，但適用於作為先進型燃燒爐用燃料的主要候選金屬。乾式再處理在萃取鈾的同時，也可將其他所有的超鈾元素一起萃出。與 UREX<sup>+</sup> 相同的，乾式再處理也不將鈾單獨分離。

## 15. 再處理技術如開發成功是否問題就全部解決？

事情並不那麼簡單。即使依照推動派的理論，取出超鈾元素的處置技術如果開發不成功的話，其意義也就跟著消失了。在 2005 年 6 月 16 日美國眾議院下的科學委員會能源小組再處理公聽會的計畫文件裡，有了如下的說明：

「再處理只不過是對治核廢棄物問題中所用的幾個措施之一。將鈾系的超

鈾元素從廢棄物源流分離之後，用所謂的核轉換過程 (transmutation) 再作進一步處理。需要用與現行核能電廠不同型的核反應器 (例如快中子核反應器) 來核轉換，可一邊減少鈾系元素的毒性，一邊發電。核轉換又可使廢棄物的溫度降低，這點具有重要意義。其理由是像雅卡山那樣的處置場，除了考量廢棄物本身的量外，也因為受限於熱而須限制其容量。目前核轉換技術在有關廢棄物源流的其他因素上尚未開發。

限於美國的核轉換技術尚未活用，再處理的優點也會跟著變少。再處理雖可提升核子燃料的利用效率，並可減少廢棄物的量，但如無核轉換，則無法充分降低廢棄物的溫度(熱負荷)，在雅卡山處置場所能接受的核能發電副產物，就無法延長其使用年限。」

主張推動再處理的阿岡國家實驗室的 Phillip 博士在公聽會報上作證說：「法、日的作法是鈾在目前的核反應器只利用一次，電力的淨成本將上升數個百分點，處置場的空間利用也不見明顯改善，且利用天然鈾也是如此。」

## 16.先進型燃燒爐

在公聽會的文件指的是用於處置超鈾元素的核反應器。從廢棄物處理的觀點，先進型燃燒爐係將問題較多的超鈾元素集中回收之後，作為燃料予以燃燒的核反應器。利用的是快中子。快滋生式反應器係將鈾 238 置於反應器爐心的圍包，使其逐步產生鈾，但此燃燒爐的目標是使淨超鈾元素減少。

在 GNEP 首頁，其說明如下：

「ABR 是用來破壞在電廠所產生而存於用過核子燃料的超鈾元素，以將此具有輻射、高放射毒性、發熱量大、且需在地層處置數十萬年才能衰變掉的物質讓其消失。為「燃燒」此物質，ABR 利用高能的快中子，使長壽命的超鈾元素分裂。於此所稱的「燃燒」，並非指一般的燃燒，而是指將超鈾元素核轉換成短壽命的同位素。相對於作為超鈾元素淨生產爐的輕水爐，ABR 為超鈾元素的消費爐。ABR 也可推展為作經濟性生產之用的模組型。」

GNEP 計畫如下：

2014 年：先進型燃燒測試爐 (ABTR) 開始運轉，規模為核能電廠的 1/10。

2023 年：ABR 標準型電廠開始運轉，發電容量等同核能電廠。經驗證後隨即展開商業用的 ABR。

【下期待續】

- 1.歡迎賜稿，稿件請寄新竹市光復路二段 295 號 15 樓之 1 或電傳(03)5722521 輻防協會編輯組收。來稿一經刊登，略致薄酬(政令宣導文章，恕不給稿酬)。
- 2.本刊因篇幅限制，新聞類每則請控制在 500 字以內，專題類每篇以 2000 字內為佳。
- 3.歡迎訂閱(每年六期 180 元)。請洽：李孝華小姐 TEL：(03)5722224 轉 314。

## 17.美國物理學會的意見

剛開始可不必聚焦於再處理，先予中間貯藏，然後進行研究。如果再處理真的可以，屆時再作下去。如果有問題，則可從最終處置場再取出就可以了。

「即使雅卡山處置場再怎麼推遲，在乾式護箱的中期貯存—置於現在的電廠場址、幾個地區性的設施、或者單一的全國性設施—至少 50 年期間，可以安全且經濟的形態進行貯存。再者，置於雅卡山處置場的用過核子燃料，即使經數十年，也可維持於可回收的形態供再處理。就美國而言，開始再處理、開發下一個國家處置並不存在緊迫性。」

## 18.用過核子燃料的「自我防衛」

用過核子燃料即使取出數十年，人如果在距 1 米處，於 1 小時內就會死亡。

當用過核子燃料在 1 米處的距離放出劑量率 1 戈雷/小時的輻射時，被認為具有「自我防衛性」。至少有 100 年係處於這種狀態。

## 19.由 UREX+法 回收之鈾的「自我防衛」

美國能源部 AFCI 的 Collins 博士指出，即使以 UREX<sup>+</sup>法 一起回收鈾和其他的超鈾元素，也不具「自我防衛性」。超鈾元素距離 1 米的劑量率為 0.01 西弗/小時，為上述 1 西弗/小時的 1/100。是取出後 50 年用過核子燃料劑量率的 1/1000。

也就是說，於再處理回收的超鈾元素混合物到手之後，以化學處理單獨分離出鈾並非難事。也有論文指出，在高溫再處理法以分裂產物生成的鐳系元素雖也一併取出，但因其中較長壽命的銻 154 (Eu-154) 並未一起取出，所以核擴散防止性並沒那麼高。

## 20.「自我防衛」高是否就好？

對於提高到具有實質意義的「自我防衛」能力以前，能源部 AFCI 的 Collins 博士指出，「核子燃料製造·搬運的成本已有相當大上漲。」又同為能源部 AFCI 的 Magwood 指出，「對於鈾與其他幾種物質一起分離的化學技術，並不確信其具有核擴散防止性高的形態，也不認為在經濟上可用可行的形態加以應用。」

## 21.混合的超鈾元素是否就絕不能用於核武器？

Lawrence Livermore 國家實驗室主任 Bruce Goodwin 指出，因為幾乎所有的超鈾元素都是由核爆所引起，隨著高科技的擴散，從混合的超鈾元素也不難製造核武器。

## 22.從搖籃到墳墓

GNEP 計畫提出將世界分成「燃料供應國」與「核反應器使用國」兩個群組。使用國使用由供應國所提供的核子燃料，其用過核子燃料再送回供應國的所謂租賃體系(lease system)。使用國交換放棄與核擴散有連帶關係的鈾濃縮與再處理，接受穩定的燃料供應，但對於用過核子燃料再處理之後的頭痛問題如何解決並未觸及。供應國回收用過核子燃料後予以再處理而作成「再循環」燃料，以供其先進型燃燒爐之用。但是，如前所提，此先進型燃燒爐迄今並未誕生。俄羅斯在「國際燃料庫構想」中指出，再快也只是開始接受用過核子燃料。但是，畢竟直接面臨處置場問題的美國，接受用過核子燃料的有效利用、大幅減量廢棄物的目標迄未建立，也無從開始接受用過核子燃料。法、日兩國是要加入供應國群組，還是加入使用國群組而將用過核子燃料委由供應國處理，處置將面臨抉擇。

在 GNEP 首頁，有如下的說明：

「在從搖擺到墳墓的燃料接收方法，供應國之這一方提供置於使用國的另一方之一般型核能電廠新的燃料。在典型的作法上，就是進行鈾濃化。這些所謂的一般型核能電廠，包含既有的核能電廠、下一代核能電廠（例如核四的 ABWR）、或者在 GNEP 計畫下所開發的新小型核能電廠。其用過核子燃料則送回燃料循環國，使用不能生產分離鈾的程序予以再循環。經再循環的燃料，可在燃料供應國的先進燃燒爐使用。

將來在再循環技術完全驗證可行的階段，如果用過核子燃料被同意回收，則在經濟上有相當的誘因。原因是核反應器使用國無論在價格上、安全性上、或保障措施上可避免多重的重大負擔。

對於貢獻「燃料庫」表示關心的已有多個國家。因為開發支撐在 GNEP 計畫所構想「從搖擺到墳墓」的燃料接收方法所需的技術需要時間，美國為了沿襲 GNEP 的目的欲建構暫定的可信賴的燃料服務而徵求國際性伙伴的合作。」

### 23.我國的因應之道

無疑的台灣是屬於 GNEP 的計畫中所分類的「核反應器使用國」，依現有國情推測，在可預見的未來，台灣建造新核能電廠的可能性不大，所面臨的是由目前買斷核子燃料所生的既有用過核子燃料，而非在租賃體系下新購核子燃料產生的。此既有的用過核子燃料將來如何處理和處置，以及如果 GNEP 計畫可行的話，其處置是擺在該計畫的那一階段，恐都不是我們現在檯面上的人所能恭逢其盛的。比較可能的是對美國較有商業利益的新電廠先賣，其他有求於美國的既有用過核子燃料則慢慢談。可以想見的，越往後推遲則美國所能要到的價碼就越高，因為這時是屬於美方或「燃料供應國」所壟斷的市場。不論是高或低放射性廢棄物的處置，「使用者付費」以及「自己的廢棄物自己處置」是目前世人的最大共識，所以 GNEP 計畫下的用過核子燃料（高放射性廢棄物的一種，另外一種為用過核子燃料經再處理後的殘餘物）將來如何處置還有得「喬」。因為對美國人來說，台灣的用過核子燃料是屬於外國的高放射性廢棄

物。如果美國開的是天價，高放射性廢棄物處置在台灣是不是就完全排除也未免太武斷。就像前此在核能界談再處理就色變一樣，認為台灣的用過核子燃料再處理是不可能的事。還有，當大眾逐漸正確瞭解放射性廢棄物之後，不再把放射性廢棄物視為洪水猛獸之時，也有可能化阻力為助力。當年曾經認為美國不可能賣 F-16 戰機給台灣，可是當 IDF 研發成功之後，卻變為可能。也就是說，世事沒有什麼是不可能的。還有，等我們那一天需要與美國談判用過核子燃料處置費用時，如果我們沒有這方面的人才，也就是什麼都不清楚，是不是就準備當劊子？還有，當 GNEP 計畫有些選項時，我們是不是要有自己的決策能力？

台灣是一個小型海島，凡事講求立竿見影之效，只著眼於解決眼前的問題，例如中小型企業間橫向的合作無間，創造了今天新竹科學園區的成功經驗模式。特點是應變能力強，但也因此常缺乏有深度的思考和永續經營的規劃。這次美國 GNEP 計畫一提出，立刻見識到決策單位應變之快，翻臉如翻書，令人訝異。但可預期的是，將來如又有風吹草動，又要跟著變，永無寧日。GNEP 所畫的餅如果能實現，固然是美事一樁。但是我們是不是可以先冷靜下來把事情弄清楚，然後集思廣益地加以分析，擬訂出一套穩紮穩打、可大可久的永續核後端營運政策。在這過程中，如果夾雜著本位的門戶之見及/或個人不相關領域發展的考量，勢將無法客觀地擬出良好的永續經營政策。

經歷了七年的「非核家園」非理性紛擾，好不容易地於歐陽主委的努力之下(至歉在此點名，但因已交棒，可以無欲則剛了)，在給足了執政黨「面子」的技巧下無聲無息地轉換成「非核害家園」，但代價是台灣因核四的停建損失了數千億台幣，以及這七年來核能人才培育的後繼無力。

在核的這塊領域裡好像很窄，但其實因為它是一門分工很細又高度整合的科技，所以隔行如隔山這句話在此也應該適用。也就是說即使是核能圈內人，每個人所看到的其實也只是他個人領域的一部分，對非自己領域部分，不見得有深入的瞭解，所以在擬定政策的過程，參與的每個人懷抱著謙卑的心情、虛心地去集思廣益至為重要。

在這資通爆炸的時代，眼前世界的瞬息萬變勝過過去幾世紀的改變。歷史是延續與傳承的，無法用孫子兵法裡所謂的鋸劍法予以切割，也不是核廢棄物的禍延子孫。每個人都在享受前人努力的成果，並踏著前人的肩膀像爬樓梯似地往上爬。在核後端營運上，既然在每度電費上都有後端營運基金的徵收，我們是不是也應該早日擬定一個不變的政策，例如不應該把後端營運基金用於解決與後端營運無關的計畫上或問題上，或者不應該抱著只要在我任內不出紕漏而採拖延政策地把核廢棄物的解決，寄望在比我們更聰明的後代子孫身上。因為這種努力應是有延續性的、經驗累積、與傳承性的，而不是可切割的、可中斷的。所謂滾動的石頭不生苔，如果政策缺乏延續性與傳承性，則以前所有的努力都將是以作虛工一場而結束，形成國家資源一再浪費的惡性循環，懇請有權決策者三思。大象踩到一隻螞蟻是沒有感覺的，但踩死一隻螞蟻是事實，居

高者怎能不如覆薄冰、謹言慎行，以天下蒼生為念？

(本文改寫自網路 <http://kakujoho.net/rokkasho/GNEP.html>

日本 核情報：国際原子力パートナーシップ(GNEP)構想--米国核拡散防止政策  
と再処理推進の矛盾，謹此致謝)