

出國報告(出國類別：其他)

出席第四屆
可解除管制放射性廢棄物
離廠研討會

服務機關：行政院原子能委員會放射性物料管理局

姓名職稱：鄭維申 技正

派赴國家：德國 漢堡

出國期間：95年03月18日至95年03月24日

報告日期：95年05月11日

摘 要

本次出國目的為參加「第四屆可解除管制放射性廢棄物離廠研討會」(4th International Symposium Release of Radioactive Material from Regulatory Control)，會議地點位於德國漢堡港區之 Hotel Hafen，有二十多個國家之專家、學者與業者近三百人參加。由於國際原子能總署於 2004 年 8 月發佈安全導則 RS-G-1.7 "Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance"，明確建議各核種之標準，使各國在制訂標準時有所依循。該導則並採用各國共同認可之劑量限值標準，"個人年有效劑量限值 10 微西弗"其輻射影響小於天然背景輻射之百分之一至可忽略程度，可視為不必理會的輻射劑量，而集體劑量低於每年 1 人西弗者，並不需要做更進一步的劑量評估分析工作。符合此標準之廢棄物，其所含之核種可免除所有輻射防護管制措施，其後續處理與使用均與非放射性物質相同。由三天的議程，各國之簡報得知，目前國際間對於解除管制的作法均趨向一致。但因各國解除管制標準之訂定與其國情及社會環境有所差異，因此與會人士均表示在國際標準之協調性仍有努力之空間。

本次主辦單位為德國 TUV Nord 公司，其正負責位於漢堡南方 Stade 核能電廠除役規劃與拆除之作業，對於解除管制之規劃與實際運作均有相當程度之瞭解，會議之簡報內容與會後之議題檢討均能切合主題。會議結束後並安排至除役中之電廠實際參觀，更能加深與會人士之印象。

由於我國核能電廠將進入除役規劃範圍，且就國際間之除役經驗來看，近 95% 的除役廢棄物均屬於非放射性廢棄物，為確保民眾健康及環境品質，節省有限的社會資源，審慎推動解除管制之作業與規劃未來核能電廠之除役，將是未來十年之重要工作。

本次會議除聽取各國簡報從中獲得實作之寶貴經驗與建議外，會中並參與討論及其他國家之做法進行意見交換，並與國際原子能總署代表商討 RS-G-1.7 制訂之問題，獲益良多。經由研討會之資料與實地討論的收穫，深信所獲得之資料可做為我國未來推動相關事務之參考。

目 次

摘要.....	i
一、目的.....	1
二、行程.....	2
三、會議議題與心得.....	3
(一) 研討會開幕專題演講	
(二) 研討會議議題內容	
(三) 各國對解除管制之現況	
(四) 解除管制後及回收、處理作業	
(五) 德國核能電廠除役之規劃	
四、我國解除管制規範之制訂.....	20
五、建議事項.....	21

一、目的：

參加「可解除管制放射性廢棄物離廠研討會」(4th International Symposium Release of Radioactive Material from Regulatory Control)的主要目的在於確認我國所制訂「一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法」是否與國際間之做法相類似，且可引進已有實際案例之國家的經驗，做為未來我國執行廢棄物解除管制之參考資料，並可與各國專家與業者交換意見，取得新的想法與管制上的新規劃。

我國主管機關基於維護環境品質、資源回收再利用與未來核能電廠除役會產生大量低於管制值以下廢棄物之考量，在 93 年底訂定可解除管制之標準，協助業者解決不必要廢棄物貯存問題，讓業者及早規劃核能電廠或其他核能設施除役之構想，並可依法規規定減少放射性廢棄物之產量，避免大量且不必要之廢棄物進入最終處置場，降低除役經費過於龐大之問題，同時可避免可回收物質遭到棄置。解除管制標準之建立，可導正輻射防護過去無低限之觀念，說明並非所有輻射源均須受管制，使無安全顧慮的低微輻射源或廢棄物，得以豁免與解除管制。

目前世界核能使用國家，除美國經評估後認定解除管制標準並非急迫性法規外，大部份國家的依國際原子能總署所建議之 RS-G-1.7 號報告之精神與限值，訂定符合該國國情與環境之解除管制法規。國際上已有許多核能設施完成除役作業，這些經驗都是值得學習與分析。國內核能研究所近年來也正進行反應器廠房的除役工作，未來核能電廠也會面臨除役工作，管制機關應先對此相關議題著手收集資料，並對國外經驗的現況綜合瞭解，將有助於未來業者申請時之參考資訊。參加國際性研討會可在短時間內瞭解目前先進國家的做法與考量，藉由討論機會，認識相關之人員，取得後續聯絡之管道，對於解除管制與放射性廢棄物除役推動等做法累積資訊與經驗，做為我國未來推動相關業務之參考。

二、行程：

參加會議行程如表。

日期	行程
3月18日	中正機場 → 德國法蘭克福
3月19日	法蘭克福 → 漢堡
3月20日	參加研討會
3月21日	參加研討會
3月22日	參加研討會
3月23日	漢堡 → 法蘭克福
3月24日	法蘭克福 → 台北

三、會議議題與心得

(一)研討會開幕專題演講

Clearance – Setting the Scene

Challenges to a harmonized approach

Clearance in Germany – The Framework of Regulations

開幕式的專題演講包括解除管制法規訂定之沿革說明、討論國際可接受標準之訂定與德國目前輻防法之規定等，其所涵蓋範圍包括國際原子能總署所發表之各項技術報告、定義與各國在目前或未來進行解除管制時面臨之問題及未來核能設施除役後許多物質進行國際貿易所遭遇之法規問題等。

三篇專題演講均認為對於放射性物質之使用或廢棄，若對民眾所接受之輻射影響，每年小於 0.01 毫西弗或集體之有效劑量小於 1 人西弗者，國際輻射防護相關組織認為其輻射影響是可忽略的。而法規引用之啓始點，應由國際原子能總署對排除管制、豁免管制與解除管制名詞之解釋明顯定義做為分辨：

Exclusion(排除管制)：天然放射性核種在環境中是無所不在的，如鉀 40、鈾 235、鈾 238、釷 232 及其子核種。含這些天然放射性核種之物質，在未經人工濃縮，通常都已長期存在於自然環境中。以管制者的立場，因天然核種無所不在，不宜去管理也不便去管理，所以應排除於游離輻射防護之管制。

Exemption(豁免管制)：因物質所造成輻射劑量未達到輻防法規限值而不予管制，因此尚未進入法規體系。某些非天然放射性物質，其使用或廢棄，經評估後低於每年 0.01 毫西弗，因無輻射安全的顧慮，也無管制之必要，一開始就豁免於管制體系之外，這就是輻射防護法規中所稱之豁免管制。

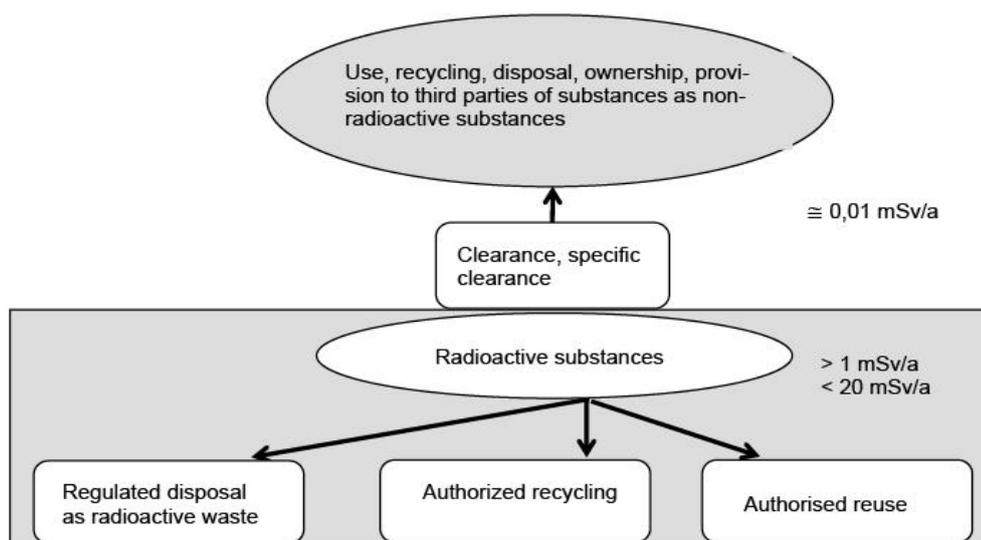
Clearance(解除管制)：放射性物質或固體放射性廢棄物，若一開始就超過豁免管制值，應納入輻射管制體系。當其輻射影響衰減至可忽略程度，經確認其輻射影響小於每年 0.01 毫西弗後，可解除管制，這就是一定活度比活度以下放射性廢棄物管理辦法所規範的範圍。從豁免管制與解除管制的概念，可以清楚地瞭解放射性物質或固體放射性廢棄物解除管制標準，不是用來判定該物質要不要進入管制體系；而是對已進入輻射管制體系之物質，確認其輻射影響為可忽略時，解除其管制。為避免未來作業的困擾，國際原子能總署也建議豁免管制值應大於或等於

解除管制之標準。

雖然目前各國對解除管制之限值，因國情與環境之關係有不同之標準，但為使未來除役作業流程順利，討論建立國際性共通之標準是最終的目標。而目前各國標準不一之情況下，若要進行資源回收之國際貿易，必須以個案方式申請，對於歐盟國家影響頗巨，因此認為持續討論共通之標準將有助於未來工作推行。

德國在解除管制方面德國輻射防護委員會曾在 1995 年批准一批含放射性核種且符合豁免管制標準的物質，可以不受輻防管制而釋出。雖然該作法，在當時並無相關法令可依循，但它卻是後來審核類似案件時之重要參考，符合該解除管制標準之放射性物質，得以解除輻防之管制。

德國依據 EURATOM 的基本安全標準，於 2001 年制定其新的輻射防護法，是最早正式將解除管制標準納入法規的國家。其解除管制標準依各種不同的來源與使用或廢棄，訂定不同的解除管制標準，分別為無條件解除管制、大量建築廢土之解除管制、拆除建物廢棄物回收之解除管制、核能設施之解除管制及處置或焚化爐之解除管制等項目。各項標準的訂定均以個人年有效劑量 0.01 毫西弗及集體年有效劑量 1 人西弗為計算基準考量，制定出符合德國國內所需求之解除管制標準。其分類概念圖如下。



圖一 德國廢棄物解除管制區分概念

(二) 研討會議議題內容：

Section A: Overviews on Countries from the Regulatory Perspective

A-1: Comparison of Clearance Criteria in Different Countries.

A-2: NRC Perspective on Controlling the Release of Solid Material.

A-3: Rules for Clearance and their Verification Methods in Japan.

A-4: Clearance-Contamination control-Removal A Graduated Concept for the Release of Radioactive Material.

A-5: Exemption and Clearance of Waste from ANSTO.

A-6: Regulatory Requirements for the Clearance of Radioactive Material in Canada.

A-7: Proposed New Clearance Regulations in Sweden.

A-8: Regulatory Practices on Clearance of Solid Radioactive Waste Generated from Nuclear Power Plants in Korea.

Section B: Implementation of National Regulations

B-1: Implementation of the Release according to § 29 Radiation Protection Ordinance in Baden-Württemberg.

B-2: Clearance in Germany-Results of a Research Project about a Guideline for Clearance.

B-3: ARPA Partnership Approach in the Clearance Process.

B-4: Measuring Strategies for the In Situ Spectroscopy for Clearance Measurements of Buildings and Sites in accordance with Section 29 of the German RPO.

B-5: National Experience on the Release from Regulatory Control of NORM Contaminated Materials: The Case of a Phosphate Fertilizer Industry.

B-6: NORM-Residues for the German Radioactive Waste Disposal Concept.

Section C: Technical Solutions for Release Measurements

C-1: Probabilistic Uncertainty Estimator for Gamma Spectroscopy Measurement.

C-2: Optimization of Waste Management Procedures- Integration of a Trend-Setting Clearance Measurement System in Customized Waste Data Bases.

C-3: Approach to Safety Margin for Uncertainty in Measurement and Nuclide Spectrum in Clearance Level Inspection.

C-4: Laboratory for Gamma-Spectrometric Clearance Measurement.

C-5: Measurement and Free Release of Low-Level Contaminated Materials from Nuclear Power Plants into Environment.

Section D: Experience in Release Measurements and Procedures

D-1: The CEA Approach to release the Buildings.

- D-2: Radiological Clearance of Large Volumes of Excavated soil during Decommissioning of Nuclear Facilities, taking as an Example the Decommissioning of NPP Rheinsberg.
- D-3: Decommissioning and Dismantling of the German Power Plant Stade: The Licensing Procedure, Phase 1.
- D-4: Automatic Transformation of Sampling Data from the Radiological Characterisation of a Nuclear Installation into Nuclide Vectors.
- D-5: Experiences of the Supervising Authority by the Release of Radioactive Material from Dismantling of a Nuclear Power Plant.
- D-6: Processing of Radioactive Mineral Residues by Activity Separation.

Section E: Ways of Reuse / Recycling of Radioactive Material

- E-1: Contamination Control for Scrap in the Steel Industry.
- E-2: New Possibilities for Free-Release of in Studsvik Treated LLW-material.
- E-3: Recycling of Ferrous Metal Scrap from Nuclear Facilities by Melting.
- E-4: The Role of Clearance in the Management of Future Fusion Reactors Radioactive Materials.
- E-5: Harmonisation of Clearance Levels and Release Procedures.

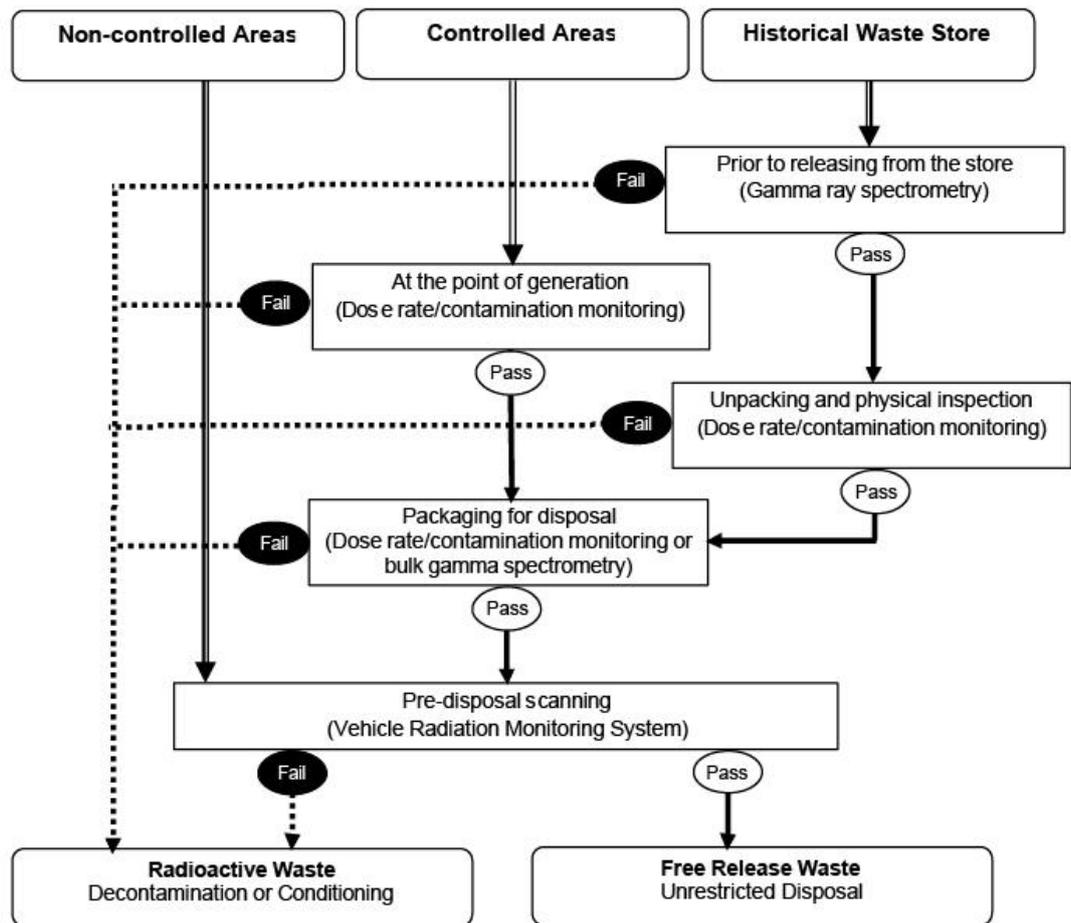
(三) 各國對解除管制之現況

澳大利亞：

澳洲對豁免管制限值除聯邦法規定外，各地區也制訂有不同之規範。至 2005 年澳洲核能科學與技術協會引用國際原子能總署 RS-G-1.7 建議值，制訂可用於大量廢棄物之豁免及解除管制規範，並將各法規限值做一比較，採用較嚴格之限值，符合解除管制的物質雖然可免除輻防法規之規範，但仍須受環保法規規範，他們稱此管制為” defence in depth” 的觀念。由於這個制度的建立，讓原本被分類為低放射性廢棄物，因其活度低於法規限值，得依一般廢棄物外釋，大量減少須進行最終處置的廢棄物量。

對於可解除管制廢棄物之偵測，其儀器採用手提式掃描偵檢器、Canberra 的 Q2 箱型偵檢器、用於偵測運送車輛之 Exploranium AT-900 偵檢器等，作業方式與我國核能電廠之放行偵檢作業相似。並將作業區分為三階段，第一階段為現場分類，區分為放射性廢棄物即可解除管制廢棄物。第二階段將可解除管制廢棄

物移至低輻射背景區域暫存 3-6 個月後，以手提式偵測器初步掃描，再裝入 55 加侖桶偵測確定後準備外釋。若偵測未達標準者則再存放以待放射活度衰減。第三階段即為廢棄物裝車後，再以車輛輻射偵檢器做最後之確認，只要無異常現象，廢棄物即可無條件外釋。



圖二 澳洲放射性廢棄物管制流程

加拿大：

加拿大之核能法規中並無解除管制之標準，目前各種解除管制作業均以個案方式申請。據簡報表示，加拿大正引用國際原子能總署 Safety Guide RS-G-1.7 之活度濃度值著手解除管制標準，預定於 2007 年完成。

而加拿大在執行解除管制時會遭遇下列幾項問題：

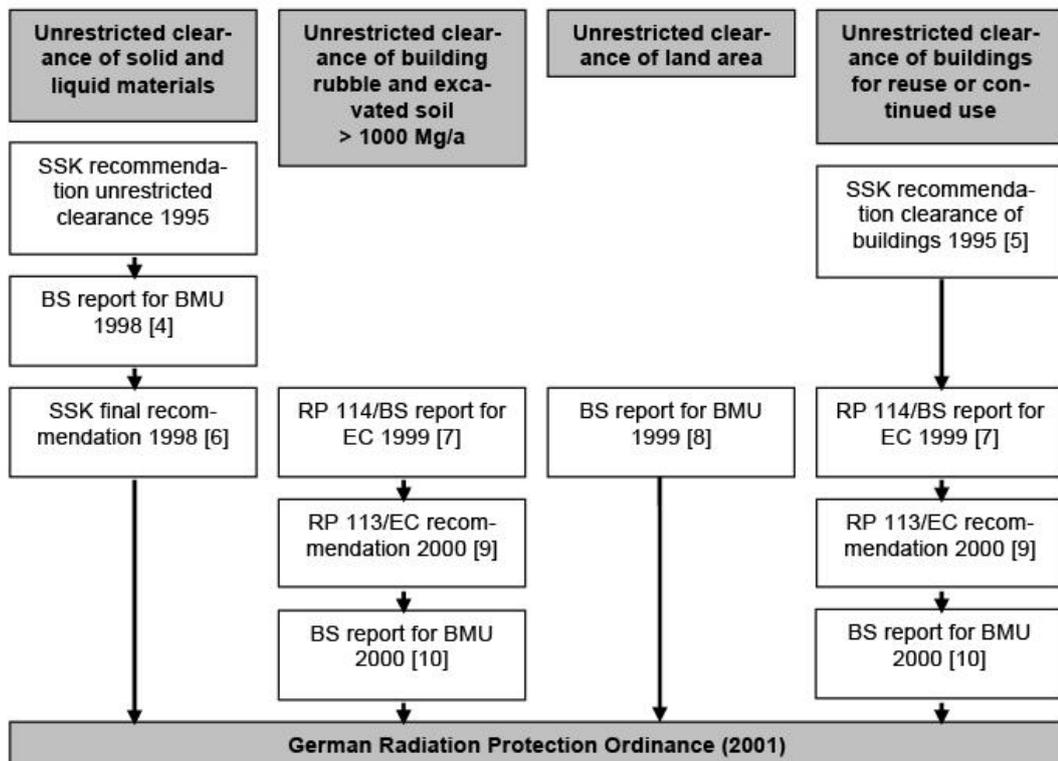
1. 土壤中所含銫 137 之濃度可達 0.21Bq/g，比 RS-G-1.7 的 0.1Bq/g 高出許多。
2. 許多解除管制之限值不易量測。

3. 須發展新的偵測儀器。
4. 監測外釋物之作業將會增加許多負荷
5. 須建立新的低背景度量設施。

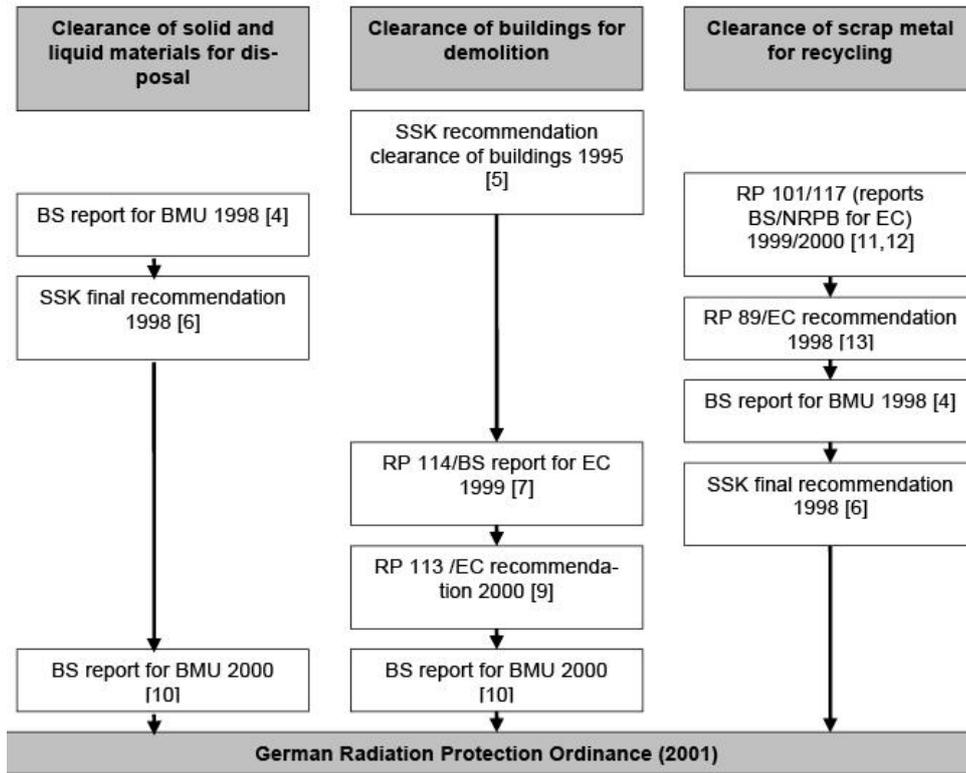
上述意見在法規未訂定前，業者認為解除管制的作法將比貯存或處置放射性廢棄物所需之經費為高；在沒有規範導則的情形下，解除管制廢棄物處置之場址特性調查與規劃將更為困難；民眾之接受意願難以配合等問題將會產生。

德國：

德國自 2001 年所制訂之 Radiation Protection Ordinance (RPO) 對解除管制各項限值有完整的規範，此法規限值完全依照歐盟的建議值。範圍包括固體、液體廢棄物；建築廢土、核能設施除役；建物再利用與廢金屬回收與廢棄物處置等規範。因原先各項規範之法源各有不同，經整理後如下兩圖所示，其最後之標準均列於 PRO (2001)。



圖三 非限制性解除管制標準制訂沿革 (一)



圖四 解除管制標準制訂沿革 (二)

德國認為其所制訂之解除管制限值所考慮之範圍已足夠達成保護民眾與環境之目的，且可符合個人年有效劑量 0.01 毫西弗之建議，因此雖然其限值與 RS-G-1.7 之限值有所差異，但因國情與環境之考量，將暫不考慮完全引用國際原子能總署之建議值。

表一 德國解除管制標準與 RS-G-1.7 之比較

Nuclide	Clearance level (Bq/g)		Ratio StrISchV/RS-G-1.7
	RS-G-1.7	StrISchV	
³ H	100	1,000	10
¹⁴ C	1	80	80
⁵⁵ Fe	1,000	200	0.2
⁶⁰ Co	0.1	0.1	1
⁹⁰ Sr	1	2	2
¹³⁷ Cs	0.1	0.5	5
¹⁵⁴ Eu	0.1	0.2	2
²³⁴ U	-	0.5	-
²⁴² Pu	0.1	0.04	0.4
²⁴¹ Am	0.1	0.05	0.5

義大利：

依照義大利放射性物質解除管制規範，只要核種濃度低於 1Bq/g 及半化期低於 75 天者即可解除管制，不受輻防規定管制。其餘之解除管制均須以個案申請方式，在獲得主管機關許可後才能外釋。而主管機關的認定標準則為外釋所造成個人年有效劑量小於 10 微西弗(μSv)，及集體年有效劑量低於 1 人西弗者或業者經由評估後可證明豁免管制是最佳選擇時得以外釋。

而依據 1999 年義大利生產部的國家核能政策導則說明，義大利將於 2020 年完成所有核能設施的除役工作。為因應此政策，生產部於 2003 年擴大解除管制之範圍，提出下表之限值，做為核能設施除役之參考。對於廢金屬鑄錠之回收，要求各熔鍊廠必須以 1/10 的配比混合回收與無污染鑄錠熔製成品，可再降低解除管制後回收金屬之核種活度。

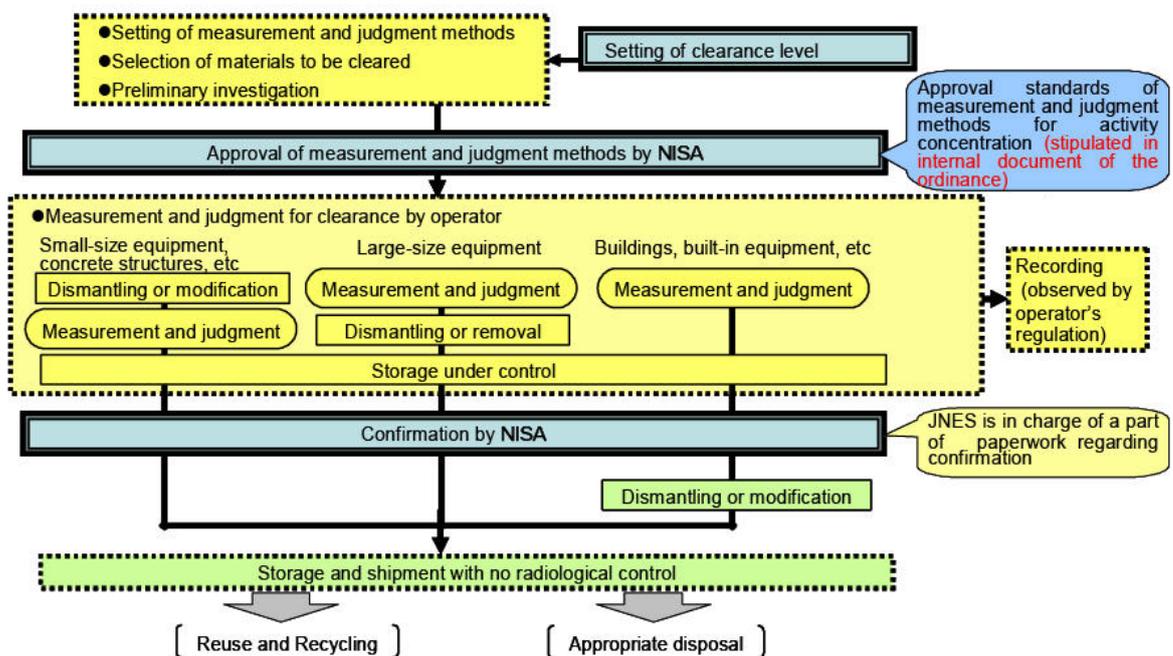
表二 義大利解除管制標準

Nuclide	Metal material		Building rubble		Other materials
	Bq/g	Bq/cm ²	Bq/g	Bq/cm ²	Bq/g
H3	1	10000	1	10000	0.1
C14	1	1000	1	1000	0.1
Mn54	1	10	0.1	1	0.1
Fe55	1	1000	1	10000	0.1
Co60	1	1	0.1	1	0.1
Ni59	1	1000	1	10000	0.1
Ni63	1	1000	1	10000	0.1
Sr90	1	1	1	100	0.1
Sb125	1	10	1	1	0.1
Cs134	0.1	1	0.1	1	0.1
Cs137	1	10	1	1	0.1
Eu152	1	1	0.1	1	0.1
Eu154	1	1	0.1	1	0.1
α emitters	0.1	0.1	0.1	0.1	0.01
Pu241	1	1	1	10	0.1

日本：

日本自 1997 年即著手進行解除管制標準研訂的討論，其研究之基礎以國際原子能總署 TECDOC-855 的建議，均以固體廢棄物為主，如核能設施拆除產生之混凝土、金屬等。其設定共有七十三種曝露途徑，搭配日本實際的自然與社會人文參數為基礎，挑選來自核能設施之 21 種核種及輻射偵檢設施之 49 種核種為參考核種，並以個人年有效劑量限值 $10 \mu\text{Sv}$ 為估算值。原先之估算結果與國際原子能總署 855 號技術報告相等，但於 RS-G-1.7 號報告公佈後，為達到國際標準，日本於 2005 年 12 月公佈新法規，其標準完全採用 RS-G-1.7 之建議值，對解除管制作業制定如下圖之標準流程。

日本認為解除管制標準的建立，將使極低微放射性且沒影響環境的廢棄物得到正確的處置方式或回收使用，符合日本 21 世紀之國家資源再利用政策。日本將所有解除管制作業制度化的結果，可用於目前正規劃除役的東海核電廠之實際作業，除驗證其規範與評估是否正確，也可讓日本民眾瞭解核能設施除役之作業安全性。



圖五 日本廢棄物解除管制流程

瑞典：

瑞典過去對於解除管制均依據其 SSI FS 1996:2 規範辦理，為符合國際原子能總署之建議值，目前正修訂此範圍之規範，新規範將包括所有可解除管制之物質、核能設施或非核能相關之建物等，預計於 2007 年會公佈。

其修正之主要原因為：

1. 因國際上解除管制規範之建立，已影響目前放射性廢棄物之處理方式。
2. 目前法規並未規範核能設施除役產生之大量廢棄物。
3. 尚未建立非核能設施之解除管制規範。
4. 需要配合歐盟及國際原子能總署之建議，建立解除管制之國際標準。

英國：

英國於 1993 年發布放射性物質法 (The Radioactive Substances Act 1993, RSA 93)，規範放射性物質的使用與處置。任何放射性物質(除了原先已排除在管制法規之外者)，若須排除原廢棄物分類管制時，必須取得環境管制單位或蘇格蘭環境保護單位的同意。這些已排除或豁免的物質，放射性濃度或放射活度必須低於該法管制值，也必須符合其它法規之要求。RSA93 採取 IAEA 與 ICRP 之建議，用 0.01 毫西弗/年與 1 人西弗之個人與集體劑量標準，並考量英國國情之曝露情節，計算各核種之無條件解除管制標準。共計算 330 個核種，經統計分析後將其分為三類：第一類（清潔標準小於或等於 0.1 Bq/g）：主要為加馬射線能量大於 0.5MeV 之加馬核種；第二類（解除管制標準為 1 Bq/g）：阿伐核種、大部份之貝他核種與加馬射線能量小於 0.5MeV 之加馬核種；第三類（解除管制標準大於或等於 10 Bq/g）：低能量之純貝他（如 ^3H 、 ^{14}C ）與電子捕獲核種。根據相同劑量標準，亦建議天然放射性核種解除管制標準，並考量鈾、鈾等子核種之貢獻。

2001年安全主管會議要求全面檢討1992年HASOEM的決議文件，並強調增加解除管制標準物質之定義及其使用範圍。本次修訂之參與單位除核能工業代表外，管制機關與環保機關均參與工作。2003年五月工作組發表解除管制及豁免管制法規之期中報告(Clearance and Exemption Code of Practice)，主要是為使放射性物質解除管制判定流程明確化，這項法規將建立核能工業所使用的放射性物質或其

廢棄物之解除管制。十多年以前，許多核能工業廢棄物爲了作業上的方便，大部分均被視爲放射性廢棄物直接送至處置場處置。而依據新分類標準的定義，核能設施產生之廢棄物並非完全是放射性廢棄物，其中也有可解除管制或可豁免管制之廢棄物，可以回收再利用或可依一般廢棄物處理，相對的放射性廢棄物最終處置場將可更有效運用。

英國引用低活度物質豁免命令(Substances of Low Activity (SoLA) exemption order)，當人工核種含量低於 0.4 Bq/g 時將其視爲無污染物質並以一般傳統廢棄物方式處理，建議之新解除管制標準仍在討論修訂階段。

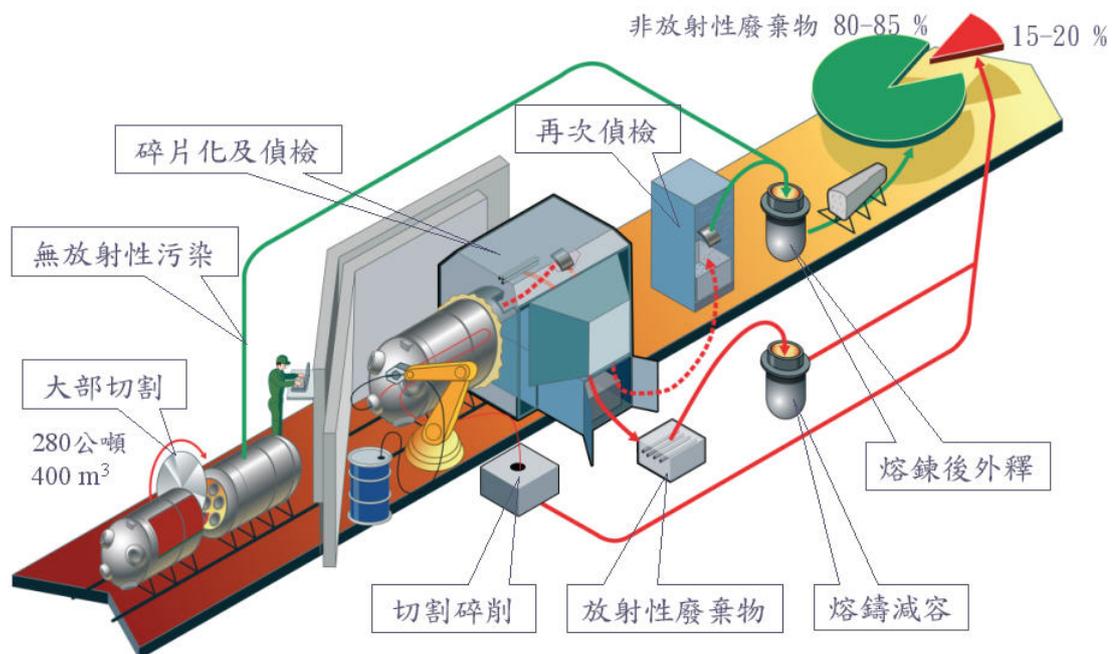
美國：

過去多年來，美國核管會曾提出可忽略微量之定義，並嘗試利用多項選擇的方式進行解除管制的研究，其考慮的回收物質包括銅、鋁、鋼及水泥等，而劑量評估方面則採用 EPA, DOE 及 IAEA 之計算方法。核管會於 1999 年 3 月出版 NUREG-1640 號報告，該報告僅提出各種計算結果，建議核種解除管制標準，但並未進行歸納整理。其後美國核管會徵詢各方意見，包括工業界、保健物理機構、環保團體與各州相關單位等，但所得到之結果卻是工業界與環保團體首度聯合反對規範之建立，而地方政府與保健物理界贊同，由於牽涉範圍過大，核管會將此法規建議案送國會審理後，國家科學研究機構之結論報告認爲核管會目前之管制已符合作業之需要與保護民眾健康之要求，並且認爲核管會所提之解除管制做法不夠一致性，並缺乏整體風險評估之基礎資料。核管會於 2005 年提送法規修訂案至委員會討論，其結果認爲此法規並不具急迫性而遭擱置。目前核管會仍採個案審查方式，尙未規劃出訂定解除管制標準的時程。而外釋的標準只要符合目前所規定放射性物質之認定標準限值以下，即可排除相關法規之管制。

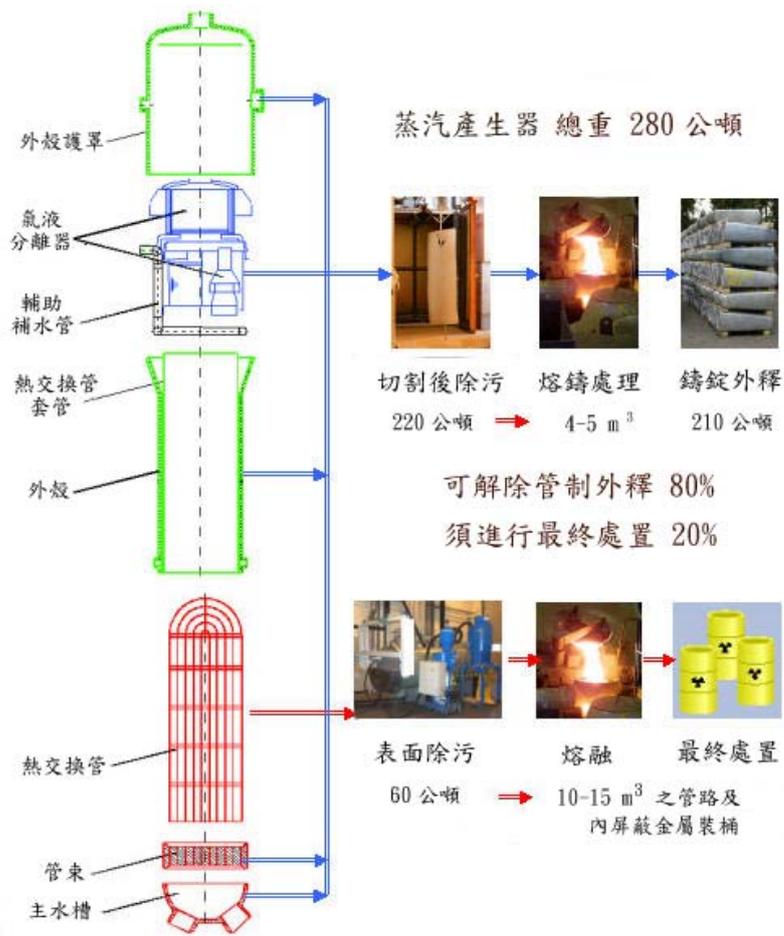
(四) 解除管制後回收、處理作業

瑞典 Studsvik 廠在代處理受放射性污染的廢金屬回收，已有多年國際商務經驗，且可代處理國外核能電廠之大型渦輪機、蒸汽產生器等。在渦輪機方面，先拆解葉片除污再進熔爐處理，而軸心因無活化問題，於表面除污後，以電鋸分割成可運送之大小，不必熔融處理。蒸汽產生器則分成外殼、交換管路及不同材質分開處理，無法解除管制的廢金屬與低微污染的廢金屬也分開處理，其所熔融廢金屬除了爐渣等二次廢棄物外，技術上已可將鑄錠達到金屬回收使用的解除管制標準(圖六、七 蒸汽產生器分解處理回收示意)。Studsvik 廠所回收之金屬並不限於鐵或鋼材，鋁、銅及鉛均可處理，這項技術在國內核能研究所也已建立，目前國內三個核能電廠也委託核研所進行廢金屬熔鑄，以達減容之目的，只是鑄錠仍暫存在各廠的廢棄物倉庫中。根據瑞典之經驗，含鈷 60 平均活度在 2-4Bq/g 之鑄錠，在兩個半化期後即可解除管制，視為一般金屬回收使用。

另外對於熔爐所產生之爐渣，因其含有大部分之放射性核種，為達再次減容效果，瑞典特別將這些爐渣送入金屬粉碎機再次減容裝桶後，送回原廢棄物產生單位處置。



圖六 蒸汽產生器回收處理作業



圖七 蒸汽產生器分解處理回收示意



圖八 爐渣再減容作業

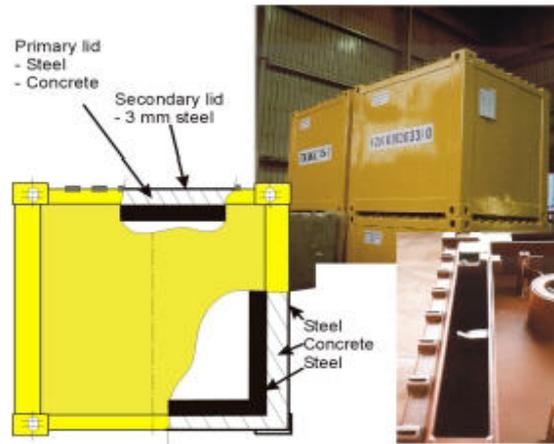
德國 Siempelkamp 核能技術公司也提出德國回收廢金屬的做法，德國在 1989 年建造 CARLA 廠，專門處理受輻射污染之廢棄金屬。其處理容量為每小時 3 噸，全廠分有分類、切割、熔爐及貯存等區域，全廠之通風均經過袋式過濾器與高效率過濾器處理，符合輻射防護之法規要求。此廠廢金屬之接收標準如下表，整個鑄造過程之監控方式由熔漿、爐渣及集塵灰取樣偵測，確定成品所含核種狀況，再決定鑄錠之後續處理。而爐渣、爐灰等二次廢棄物則運回委託單位進行最終處置，低於輻防法規限代之廢棄物，可依一般事業廢棄物處置。

表三 廢金屬之接收標準

核 種	接收標準
總活度 (含 α,β,γ)	200 Bq/g
C-14, H-3, Ni-63, Fe-55	2,000 Bq/g
可裂物質 (U-233,U-235, Pu-239, Pu-241)	< 15g/100kg 廢金屬

自 1989 年啓用以來，已處理 17500 公噸廢金屬，其中有 9100 公噸回收使用在核能設施。這些鑄錠包括製造 MOSAIK 金屬桶每個桶重 6 噸共 5100 個，可做為放射性廢棄物之屏蔽桶，佔回收量 25%。另鑄造 145 個箱型容器，佔回收量 15%。其設計如圖九。而含有鎳或鉻的廢金屬因會影響鑄鐵之延展性，則利用造粒技術將廢金屬熔融後與高壓水注混合製成直徑約 1mm-8mm 之顆粒，做為重砂水泥漿之骨材，增加輻射屏蔽之效果(圖十)。

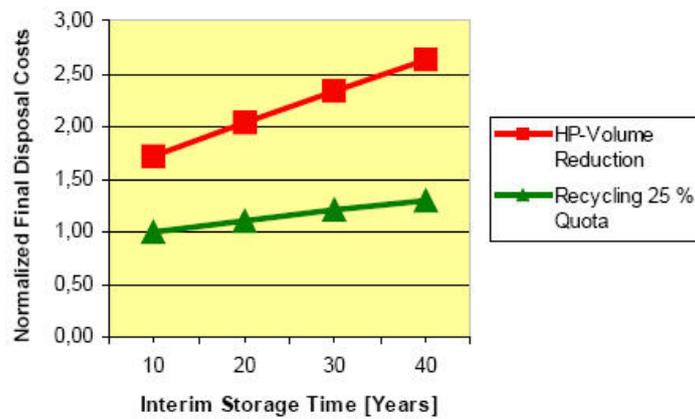
德國聯邦政府於 2000 年更新最終處置計畫，須在 2030 年才會有處置各類放射性廢棄物之處置場。先前使用做為處置場之 Morsleben 鹽礦，已於 1998 年關場進行封閉作業中。而目前所使用之中期貯存場之容量，依目前各廠放射性廢棄物產量估計只能使用到 2013 年。因此若將廢金屬經過處理回收，根據過去經驗，僅會有 5%二次廢棄物須進行最終處置，經濟效益評估之結果如圖十一。



圖九 回收金屬製作貯存容器設計圖



圖十 回收金屬所製作各型屏蔽貯存容器



圖十一 廢金屬壓縮處置與回收之經濟效益評估

(五) 德國核能電廠除役之規劃

目前德國有多座核能電廠因使用年限或原設計不合法規要求而停止運轉，準備進行除役工作。本次研討會特別安排至漢堡南方 Stade 電廠參觀，並於現場解說其除役規劃與作業進度。

Stade 電廠於 1972 年運轉，是德國第一座用於商業發電之壓水式核能電廠，發電容量為 630MW。經過三十年運轉後，於 2003 年停止運轉，負責運轉的公司隨即進行燃料取出作業，並規劃五階段除役作業，預計在 2015 年完成除役。第一階段(2004-2007)將對週邊二次側非反應爐相關設施、輔助廠房及開關場等設備進行拆除，並移除管制區內所有非放射性或未受污染之設備及物品。為存放除役所產生之放射性廢棄物，在廠區內興建一座長 73 公尺、寬 25 公尺、高 13 公尺的放射性廢棄物貯存庫。

第二階段進行一次側大型組件如蒸汽產生器拆除作業。

第三階段進行反應器壓力槽體與生物屏蔽之混凝土牆等拆除作業。

第四階段進行所有管制區內受放射性污染之物品的移除，包括所有建築物及電廠範圍之設施等。

第五階段也是除役最後階段，除了原先建造暫存放射性廢棄物之中期貯存倉庫須待最終處置場完成外，進行其餘建築物之拆除作業。

此電廠目前正進行第一階段工作，新建中之貯存庫可存放除役所產生之放射性廢棄物，總活度 10^{17} Bq。而此階段解除管制作業分為：

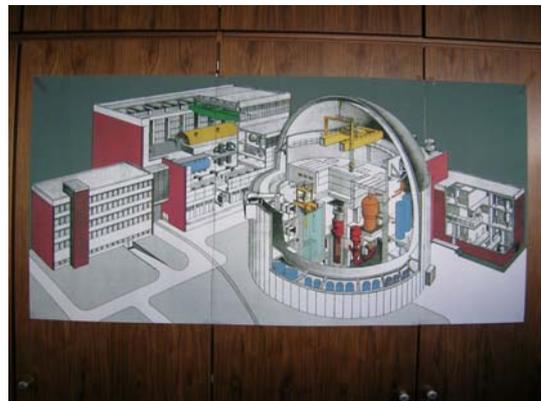
1. 除役廢棄物放射性核種特性區分。經過核種分析可以得知廢棄物內之核種分佈情況，所有作業之計算均由儀器直接作業，並可做成統計資料。
2. 擬定拆除計畫。此項作業包括依取樣分析結果，確定拆除作業方式、拆除管制及輻射防護管制作業程序等。
3. 拆除與處理階段。在拆除計畫獲得主管機關批准後，即進行各項作業，在拆除階段視需要可再次取樣，以保存最佳之取樣紀錄。在拆除及除污後，所有物品均經過計測，以確保污染偵測分佈之均勻性。
4. 解除管制偵測。接著可解除管制之物質再進行低背景之偵測，以確定符合解除管制限值。

5. 外釋。在所有偵測作業完成後，做成紀錄保存，經過主管機關認可後，即可依一般廢棄物外釋或回收再利用。

另外，訂定作業程序、規範，如輻防管制、消防計畫、拆除、除污及處理作業及解除管制流程也是此階段必須進行之工作。解除管制作業在除役計畫中佔有舉足輕重之成份，依已除役設施之經驗，近 95%以上之廢棄物是屬非放射性物質，但若事先之規劃不夠嚴謹，可能造成廢棄物混合，形成許多可回收物質受污染而成爲放射性廢棄物必須送至最終處置場。所以在規劃設施拆除時，必須詳加考量。



圖十二 除役電廠外觀



圖十三 除役電廠剖面圖



圖十四 解除管制之外釋偵測儀器



圖十五 興建中除役廢棄物貯存庫

四、我國解除管制規範之制訂

對於解除管制法規的研究，我國原子能委員會放射性物料管理局自 1990 年起即已著手規劃研究解除管制之標準，並與國內學術機構合作進行研究計畫。

1997 年 6 月原子能委員會物管局擬定“可忽略微量放射性之固體廢料及廢金屬暫行管制規範”。

1998 及 1999 年核能電廠依據該暫行管制規範提出廢土、廢金屬及海砂之申請案，經過多次審查與確認，核准解除管制作業，但考量外界接受度，仍採取廠內處置作業，並未外釋。1999 年延長暫行管制規範延長兩年。

2002 年 12 月為落實法制基礎，「放射性物料管理法」公佈施行，該法第 31 條規定“一定活度或比活度以下之放射性廢棄物”不受物管法之相關管制規定。並授權訂定管理辦法，以管理具極低微放射性廢棄物。並將先前使用之「可忽略微量放射性廢棄物」改為「一定活度或比活度以下放射性廢棄物」。另低於一定活度或比活度以下含放射性物質之廢氣或廢水，其排放在游離輻射防護法第九條已有規定，故本辦法僅規範固體放射性廢棄物。

2003 年 12 月物管局擬定「一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法草案」，並經原能會法規會審查原則通過，但要求解除管制標準應再會商相關單位。

2004 年 4 月 IAEA 解除管制標準草案(DS-161)發行，物管局初步建議參考該標準；針對小產源則參考 IAEA TECDOC-1000 解除管制標準，與施行中之輻防法豁免管制標準接軌。同年八月 IAEA 公佈 RS-G- 1.7 號報告，物管局經多次討論與外界溝通後，決定採行該標準，並於同年十二月審議通過「一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法」同時公佈實施。

由於我國對解除管制之作法已完全與國際同步，未來在執行方面應可順利進行各項外釋工作。

五、建議事項

本次研討會的各项簡報其內容十分明確，均針對解除管制提出各國的作法與現況說明，由解除管制的法規到實際作業的探討與後續工作項目均有深入討論。加上除役工作之規劃、執行與解除管制之配合情形，對我國在核子設施除役等資料之收集有莫大幫助。國外之作法與我國法規及導則之規劃幾乎相似，顯示我國在訂定此法規時已配合國際趨勢與作法，因此未來執行解除管制時應可順利進行。

關於瑞典對於爐渣再粉碎之做法，可做為我國金屬熔爐處理後廢渣減容之參考。在廢金屬回收再利用方面，部份國家提出運用於核能工業之作法，因我國核能使用規模小，缺乏適當之工廠可處理放射性廢金屬，回收用於核能界，在我國不易執行。至於大型蒸汽產生器之分解處理，因蒸汽產生器所佔用之貯存空間頗大，各電廠未來也會面臨存放之困擾，建議應即早規劃，以助廢棄物之解決。

各國之解除管制限值雖然目前尚不一致，但因我國已採用國際原子能總署之建議限值，未來在廢金屬回收或資源再利用時產生的國際貿易行為，應不會遭遇困難。

研討會中曾與美國核管會代表討論美國對於解除管制之偵測問題，兩位專家的回答均一致「美國核管會並未規定核電廠外釋作業之偵測儀器，只要符合該核電廠所提送之輻射防護計畫中的各項偵測儀器，其偵測結果顯示無反應(No detectable)之廢棄物，均可無條件外釋。」依我國在進行法規制訂時，曾赴各設施與實驗室進行偵測瞭解，例如核電廠之主要核種，鈷 60 或銻 137 限值 0.1Bq/g，其偵測結果均遠低於背景值，所以此規定限值比 no detectable 還來得嚴格，外釋作業應可獲得民眾接受。