

## 出國報告審核表

出國報告名稱：放射性廢棄物集中式貯存技術考察			
出國人姓名 (2人以上，以1人為代表)	職稱	服務單位	
黃秉修	12等核能工程監	台電公司核能後端營運處	
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 實習 <input checked="" type="checkbox"/> 其他 <u>國際會議</u> (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)		
出國期間：105年9月17日至105年9月28日		報告繳交日期：105年10月20日	
出國人員 自我檢核	計畫主辦機 關審核	審 核 項 目	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.依限繳交出國報告	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2.格式完整(本文必須具備「目的」、「過程」、「心得及建議事項」)	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3.無抄襲相關資料	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4.內容充實完備	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5.建議具參考價值	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6.送本機關參考或研辦	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7.送上級機關參考	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8.退回補正，原因：	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 不符原核定出國計畫	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(4) 抄襲相關資料之全部或部分內容	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(5) 引用相關資料未註明資料來源	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(6) 電子檔案未依格式辦理	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9.本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表：	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 辦理本機關出國報告座談會(說明會)，與同仁進行知識分享。	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 於本機關業務會報提出報告	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) 其他_____	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10.其他處理意見及方式：_____	
出國人簽章(2人以上，得以1人為代表)		一級單位主管簽章	林專業總工程師
		蔡副總經理	
		計畫主辦機關 審核人	

說明：

一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。

二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「公務出國報告資訊網」為原則。



## 出國報告（出國類別：其他）

參加第十八屆「國際放射性物質包件與運  
送研討會」【PATRAM 2016】  
與「日本放射性廢棄物容器與運輸會議」

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：黃組長秉修

派赴國家：日本

出國期間：105 年 09 月 17 日～105 年 09 月 28 日

報告日期：105 年 11 月 02 日

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參加第十八屆「國際放射性物質包件與運送研討會」【PATRAM 2016】與  
「日本放射性廢棄物容器與運輸會議」

頁數 50 含附件：■是□否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：

陳德隆/台灣電力公司/23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

黃秉修/台灣電力公司/核能後端營運處/核能工程監/02-23657210 ext:2323

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：2016/09/17-2016/09/28 出國地區：日本

報告日期：2016/11/02

分類號/目

關鍵詞：放射性廢棄物容器運輸

內容摘要：(二百至三百字)

- 一、 赴日本參加由日本機械協會主辦的第十八屆「國際放射性物質包件與運送研討會」【PATRAM 2016】。PATRAM 座談會每三年舉辦一次，是提供來自全世界的政府、工業界及研究機構代表共同探討放射性物質包件與運送的法規、研發與工程、安全、保安及公眾溝通的重要國際會議。
- 二、 之後，赴日本參加日本神戶鋼鐵集團公司所舉辦之「日本放射性廢棄物容器與運輸會議」，就「日本高放射性廢棄物貯存與運輸金屬護箱、運輸計畫之制訂、溝通與應變綜合研究」及「日本核廢料處理、貯存與處置進行國際技術合作之策略」相關主題進行會議研討與神戶鋼鐵製造廠現場參訪。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.nat.gov.tw/reportwork>)

# 目 次

目 次.....	i
壹、目的.....	2
貳、過程.....	3
參、會議內容.....	4
一、    第 18 屆國際放射性廢棄物包裝、容器與運輸會議 (2016PATRAM) .....	4
(一) 包裝設計－包裝及組件技術、工程、材料、測試 .....	4
(二) 用過核子燃料運輸法規 .....	11
(三) 日本用過核子燃料與高放射性廢料之運輸 .....	11
(四) 監管及制度議題－法規、規則及標準、保安、責任、溝通 .....	17
(五) 運輸、貯存及處置相互影響議題－兩用護箱、老化管理、密封間隙分析 .....	20
(六) PATRAM 會議上廠商新產品介紹.....	28
二、    參加日本放射性廢棄物容器與運輸會議.....	32
(一) 目前日本用過核燃料暫時貯存管理 .....	32
(二) 用過燃料貯存設施相關法規概述 .....	32
(三) 日本用過核燃料發展現況 .....	38
(四) 產品介紹 .....	38
肆、心得及建議.....	41
附件 1.....	45
附件 2.....	錯誤! 尚未定義書籤。

## 壹、目的

本處目前正負責規劃及辦理「蘭嶼放射性廢棄物貯存場遷場評估」、「放射性廢棄物集中式貯存設施興建計畫」及「低放射性廢棄物處置計畫」，三項計畫皆牽涉到放射性廢棄物包裝、容器與運輸，參加下列兩項會議可吸取國外有關放射性廢棄物包裝、容器與運輸之最新知識、技術、法規趨勢與實際運輸及運輸溝通經驗，藉此強化相關專案之規劃、管理與技術能力。

一、赴日本參加「第 18 屆國際放射性廢棄物包裝、容器與運輸會議(2016PATRAM)」，會議主題：

- (一) 放射性廢棄物各式容器之設計、製造、測試與法規。
- (二) 放射性廢棄物運輸規劃與運輸應變計畫。
- (三) 放射性廢棄物貯存容器、運輸容器、處置容器之界面轉換。

二、赴日本參加日本神戶鋼鐵集團公司所舉辦之「日本放射性廢棄物容器與運輸會議」，會議主題包括：

- (一) 日本高放射性廢棄物貯存與運輸金屬護箱、運輸計畫之制訂
- (二) 運輸計畫執行、民眾溝通與緊急應變綜合研究
- (三) 日本核廢料處理、貯存與處置進行國際技術合作之策略



## 貳、過程

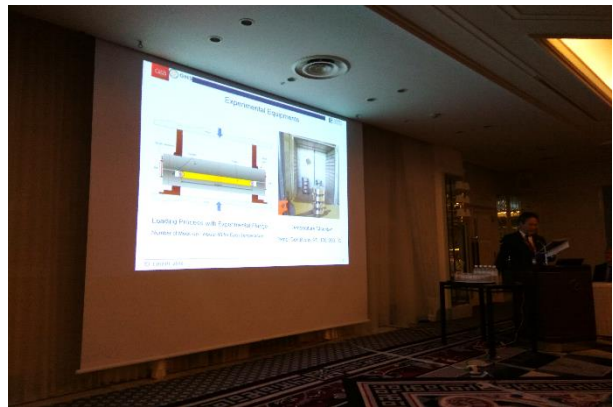
### 一、 行程概要

自 105 年 09 月 19 日出發，迄 09 月 28 日返國（共計 12 天），停留日本。詳細行程如下：

### 二、 會議概要

日期	地點與行程	工作內容
09 月 17 日（六）	台北→日本神戶	去程
09 月 18 日（日）- 09 月 23 日（五）	神戶	參加第 18 屆國際放射性廢棄物包裝、容器與運輸會議 (2016 PATRAM) 為期 6 日。
09 月 24 日（六）- 09 月 25 日（日）	神戶	整理資料
09 月 26 日（一）	日本神戶	參加「日本放射性廢棄物容器與運輸會議」
09 月 27 日（二）	神戶→大阪	1. 參加「日本放射性廢棄物容器與運輸會議」 2. 路程
09 月 28 日（三）	日本→台北	回程

會議議程詳見附件 1



## 參、會議內容

### 一、 第 18 屆國際放射性廢棄物包裝、容器與運輸會議 (2016PATRAM)

本次 PATRAM 討論之議題及其相關論文如下:

#### (一) 包裝設計—包裝及組件技術、工程、材料、測試

#### • 低放射性廢棄物容器資料蒐集及評估

##### 1. 日本

日本原先有 55 部機組，但福島事件後，現在只剩 42 部機組可運轉，總裝置容量降至 40480 MW;目前有 3 部機組興建中，其裝置容量為 3036MW；另外，計劃建造 9 部機組，其裝置容量 12947 MW。由日本原燃(Japan Nuclear Fuel Limited, JNFL) 所興建的低放最終處置場，第一期於 1992 年起開始運轉，可以處置濃縮廢液及固化廢棄物。第二期則於 2000 年起運轉，可以處置乾性廢棄物。

日本低放射性廢棄物盛裝容器的規格詳如表 1，其各核能電廠使用的主要廢棄物容器為 50 加侖的碳鋼金屬桶(圖 1)，另外還有尺寸為 1.3m×1.3m×0.9m 的鋼箱容器(圖 2)，0.9m×0.9m×2.4m 的塑膠板箱容器， $\phi$ 1.3m×0.8m 的太空包，2.25 m×2.25 m×2.20 m 之混凝土箱，以及 3.2 m×1.6 m×1.1 m 之 IP-2 運送貨櫃，每一運送貨櫃可盛裝 8 個廢棄物桶。此種貨櫃乃是日本各電力公司與日本核燃料運輸公司於 1985 開發研究，1991 年開始量產使用。

日本 50 加侖的碳鋼金屬桶是依據 JIS Z1600 規範製造，其使用的桶材包括熱軋鋼板、冷軋鋼板、熱浸鍍鋅鋼板、鍍錫鋼板、電鍍鋅鋼板及鍍鉻鋼板等。其中以冷軋鋼板及熱浸鍍鋅鋼板，較適合製造低放射性廢棄物盛裝容器。日本使用於廢棄物運送的貨櫃屬於 IAEA 規定的 IP-2 型貨櫃，並須符合日本危險物船舶運送規則、IAEA 運送規定及 ISO 相關之規定設計、製造及測試。



表 1：日本低放射性廢棄物使用之盛裝容器

容器型式	桶	箱	箱	太空包	箱	IP-2 貨櫃
材料	碳鋼	碳鋼	塑膠板	織品	混凝土	碳鋼
大約重量	1.6mm,27kg 以上 1.2mm,20kg 以上 1.0mm,17kg	4 MT(總重)	4 MT(總重)	2MT(總重)	25 MT	5 MT(總重) 1 MT(空重)
體積	200 L	1.3m×1.3m ×0.9m	0.9m×0.9m ×2.4m	φ1.3m× 0.8m	2.25×2.25×2.20 m	3.2 m×1.6 m×1.1 m
目的	日本各核能電廠 所使用之主要廢 棄物容器	主要用於裝 載金屬廢棄 物	主要用於裝 載混凝土塊 廢棄物		處置用外包裝 容器，用於套 裝固化體品質 不符合於最終 處置場接受標 準的 200 L 廢 棄物桶。	作為運送 200 L 桶至 最終處置 場之容器， 每一貨櫃 可盛裝 8 個 200 L 低放 射性廢棄 物桶，並適 合於遙控 操作。



圖 1：日本低放射性廢棄物使用之 200L 鋼桶容器



圖 2：日本放射性廢棄物使用之 1.3m×1.3m×0.9m 鋼箱容器

## 2. 德國

德國現有 9 部機組在運作，2011 年以前，原有 17 部，發生日本福島核災後，德國政府宣布停止 8 部機組運轉並永久失效，並修訂「和平使用核能和防止核損害法」，規範所有核能機組於 2022 年以前除役。德國有 4 個低放射性廢棄物處置場，分別為 ASSEII、Morsleben、Gorleben、Konrad，其中 ASSEII、Morsleben 處置場已停止運轉，Gorleben 自 1979 年起做為高放(heat-generating waste)處置預定地開始進行一系列調查研究，然於 2013 年德國高放選址法規正式生效後此區相關計畫隨即終止。德國目前僅 Konrad 於 2007 取得德國聯邦行政法院核發之低放處置場建造暨運轉執照，正進行相關建置作業。

德國容器主要由 GNS 公司開發及設計，表 2 為德國主要放射性廢棄物容器的彙整表，其中 MOSAIK®(圖 3)為鑄鐵材料製造，可以盛裝受污染的低放射性合金廢棄物，且可附加的引線和過濾系統。在運輸方面，其擁有 type B(U)型的批准證書，可作為 IP-2 封裝的容器。Cladded Concrete Shielding(UBA)用來運輸及儲存乾放射性固體廢棄物(圖 4)，為 IP-2 封裝，桶體包含鋼製的內外襯，且塗有防蝕保護層。GNS SBoX®及 GNS Yellow Box® (圖 5 及圖 6)由厚壁鋼板焊接而成，可用於暫時儲存或最終處置。鋼板容器(Steel Sheet Containers)的框架由型鋼及 ISO 夾角接頭組成(圖 7)。PSC-V1 為混凝土製方型容器(圖 8)。另外，CASTOR®及 CONSTOR®為高放射性廢棄物儲存容器(圖 9)。

德國低放射性廢棄物最終處置場對盛裝容器的要求包括(1)尺寸、容積、空重；(2)6 m 堆疊高度，不得對結構和屏蔽完整性造成損害；(3)依盛裝廢棄物的放射性活度，而有不同程度的密封性要求；(4)腐蝕防護措施；(5)不得有機械性或腐蝕性的損傷。德國有兩種不同型號的容器，分別用於盛裝不同的廢棄物，包括 ABK I 用於盛裝低放射性廢棄物，另有 ABK II 則用於盛裝高放射性廢棄物。德國對於盛裝容器或包件的設計，要求須符合運輸安全評估包括墜落試驗、防火試驗等，並須通過堆疊試驗、起重試驗、熱試驗及滲漏驗證等原型容器試驗。

表 2: 德國放射性廢棄物使用容器

容器名稱	容器材質	容器形狀	容器尺寸 (mm)	容器壁厚	容器內部容積	容器重量	最大允許重量	價格	製造廠家	備註
MOSAIK®	鑄鐵	圓柱	Ø1060 *1500	150 mm	Ø740 mm *1140 mm	8.3 t	0.52 t	40~50 T€	GNS	-
Cladded Concrete Shielding(200 L)	混凝土	圓柱	Ø1060 *1460	-	Ø650 mm *1120 mm	-	1500 kg	-	GNS	-
Cladded Concrete Shielding(400 L)	混凝土	圓柱	Ø1060 *1600	-	Ø750 mm *1280 mm	-	1500 kg	-	GNS	-
GNS Yellow Box®	鑄鐵	立方	2000*1600 *1700	150 mm	2.9 m <sup>3</sup>	18 t	1600 kg	-	GNS	-
GNS SBoX®	鋼	立方	2000*1600 *1700	-	-	16500 kg	8500 kg	-	GNS	-
Steel Sheet Containers	鋼	立方	3000*1700 *1460	2 mm	-	-	-	-	GNS	-
PSC – V1	混凝土	立方	1600*1600 *1700	260 mm	-	14.5 t	20 t	15~20 T€	-	-
CASTOR® V/19	鑄鐵	圓柱	Ø2440 *5860	0.25~0.4 5 m	-	-	125.6 t	-	GNS	HLW
CASTOR® V/52	鑄鐵	圓柱	Ø2440 *5450	0.25~0.4 5 m	-	-	123.4 t	-	GNS	HLW
CASTOR® HAW28M	鑄鐵	圓柱	-	0.25~0.4 5 m	-	-	-	-	GNS	HLW
CASTOR® 1000/19	鑄鐵	圓柱	-	0.25~0.4 5 m	-	-	115 t	-	GNS	HLW
CONSTOR®	鋼	圓柱	Ø2700 *4138	-	Ø1740 m* 3242 mm	-	112 t	-	GNS	HLW



圖 3：德國低放射性廢棄物使用之 GNS MOSAIK®盛裝容器

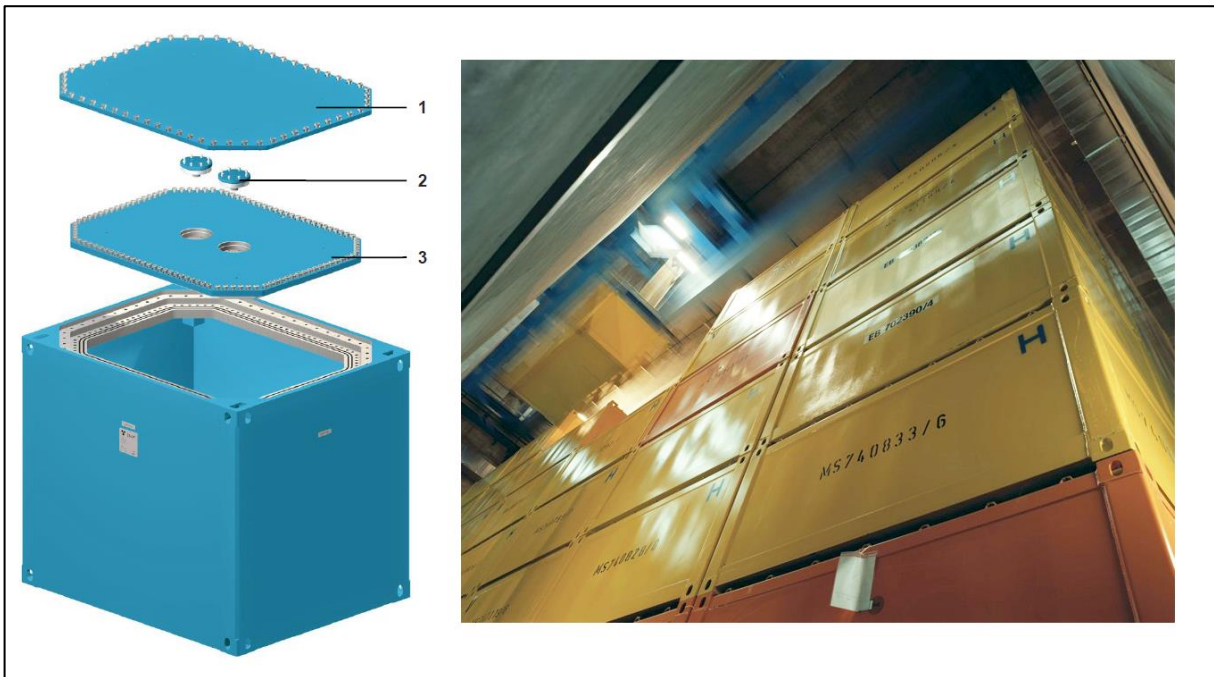


圖 4：德國低放射性廢棄物使用之 GNS Cladded Concrete Shielding 容器



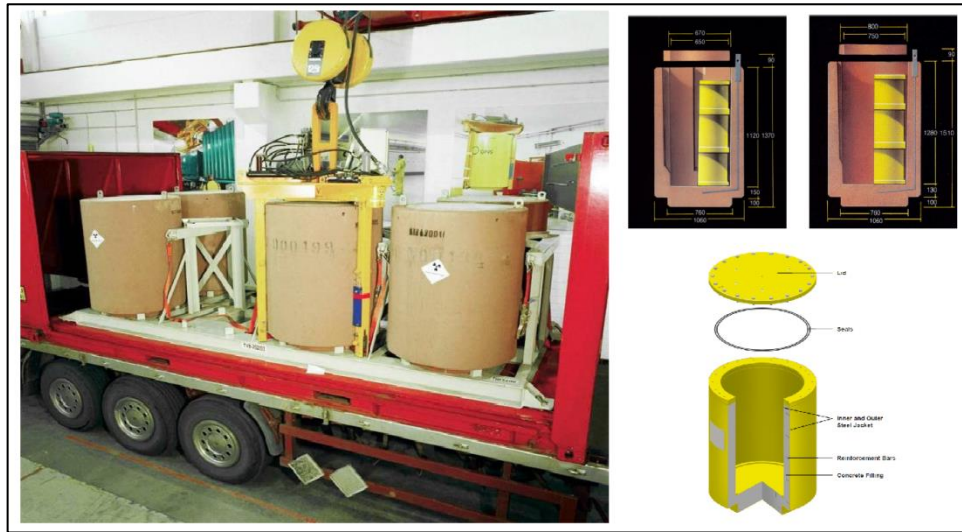


圖 5：德國低放射性廢棄物使用之 GNS SBoX® 容器

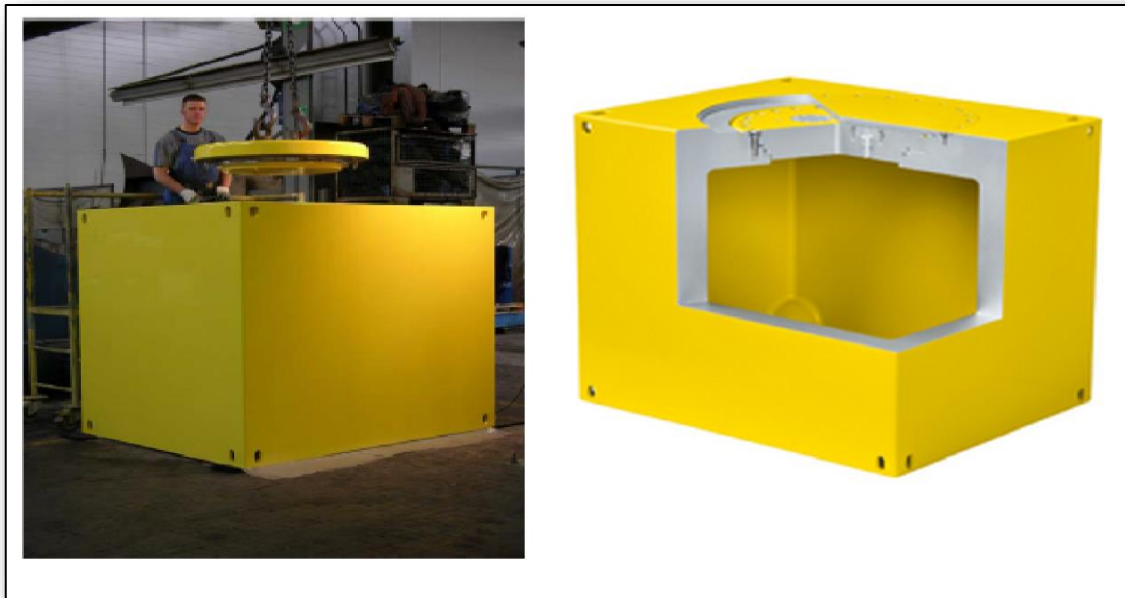


圖 6：德國低放射性廢棄物使用之 GNS Yellow Box® 容器



圖 7：德國低放射性廢棄物使用之 GNS Steel Sheet Containers 容器



圖 8：PSC-V1 容器

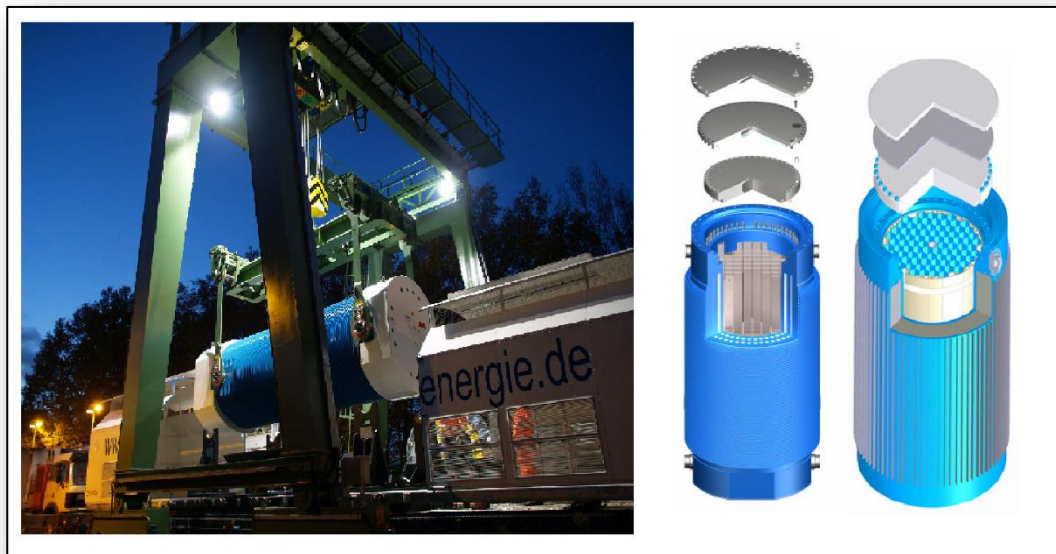


圖 9：德國 HLW 使用之 GNS CASTOR®及 CONSTOR® 容器

## (二) 用過核子燃料運輸法規

目前國際上用過核子燃料和再處理過程所產生廢棄物之運送經驗，以日本 Nuclear Fuel Transport Company Ltd. 和英國 World Nuclear Transportation Institution 兩家公司最具經驗，參考這兩家公司及世界核能先進國家之用過核子燃料及高放射性廢棄物運輸經驗，運輸計畫內容與依據之安全管制法規如下。

### 備妥【運輸計畫內容】

1. 運輸作業概念與評估
2. 各轉運或接收站吊運設備安全評估
3. 裝載容器及運送設備評估
4. 陸運路線安全評估
5. 道路及橋梁承載
6. 海運船舶
7. 預定港口應具備條件
8. 運輸保安與監測計畫
9. 緊急應變計畫

### 依據之【安全管制法規】

1. 國際海運危險貨物規則（ International Maritime Dangerous Goods Code，IMDG Code 2012 edition）
2. IAEA Safety Requirement No. TS-R-1, “Regulations for the safe transport of radioactive Material 2005 edition”
3. 國際海上人命安全公約(International Convention for the Safety of Life at Sea，IMDG Code 2012 edition) 運輸作業－追蹤、路線規劃、緊急準備、輻射保護

## (三) 日本用過核子燃料與高放射性廢料之運輸

### 1. 運輸方式概述

日本與核能相關之燃料、廢棄物等之運輸皆由原燃運輸公司負責，主要利用卡車經由陸上運輸與專用船的水路運輸。

圖 10 為日本核子燃料運輸之安全管理流程，護箱容器於設計、製造階段，若經由

海運，需由**國土交通省**管制，若包含路運，則除了**國土交通省**，還需經**原子力規制委員會**管制。運輸前階段，與運輸物相關之審查單位同設計階段；輸送方法由國土交通省負責；輸送通知部分，路運須通知公共安全委員會、海運則須通知管區海上保安本部；核子保安與保防確認則需原子力規制委員會審查。

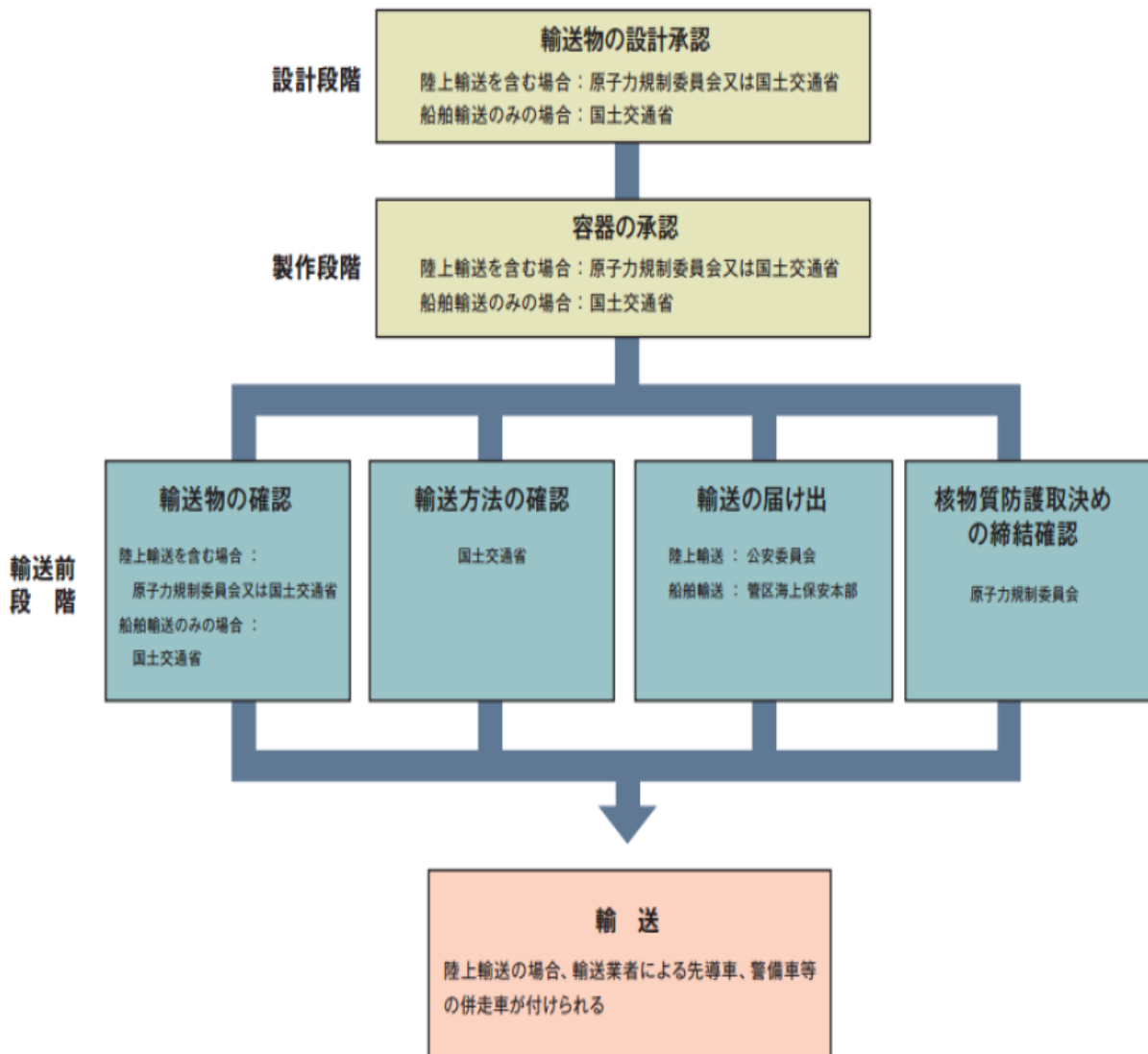


圖 10: 日本核子燃料運輸之安全管理流程



## 2. 日本運輸工具簡介

陸上運輸專用卡車全長約 12 公尺，寬 3.2 公尺，高 1.8 公尺，最大可承載 135 公噸重，一次可運輸一桶燃料護箱。



燃料運輸專用船負責運輸用過核子燃料與高放射性廢棄物，需為符合特殊法令之專用運輸船，船底與船體側面需設計雙層結構，且需有足夠的滅火設備與雷達裝置。

圖 11 為日本用過燃料專用輸送船構造圖，此船需符合國際海事組織（IMO）最高安全標準 INF3 code，並且需設計不易沈船的結構。

圖 12 為日本玻璃固化體專用輸送船構造圖，負責將委託國外再處理的玻璃固化體運輸回日本。此船需符合國際海事組織（IMO）最高安全標準 INF3 Code。此船最重要的設計需有雙層船殼構造以防止碰撞，以及大範圍的滅火設備及安裝防撞雷達。高放射性廢棄物經由此船運輸至青森縣陸奧小川原港後，再藉由專用運輸車輛、經由專用道路運輸至高放射性廢棄物貯存管理中心。

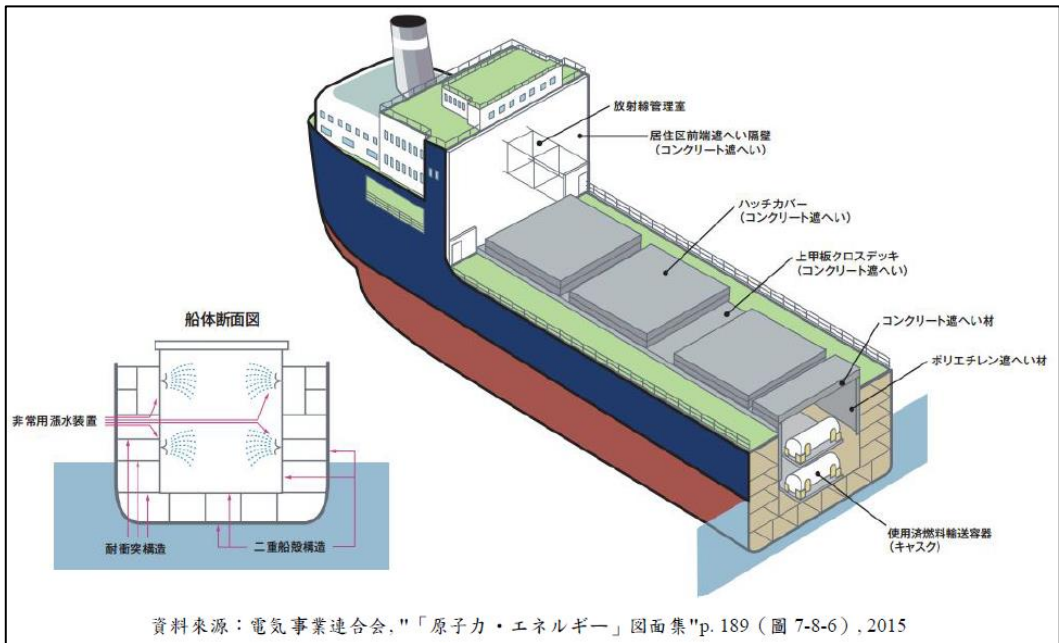


圖 11: 日本用過燃料專用輸送船構造圖

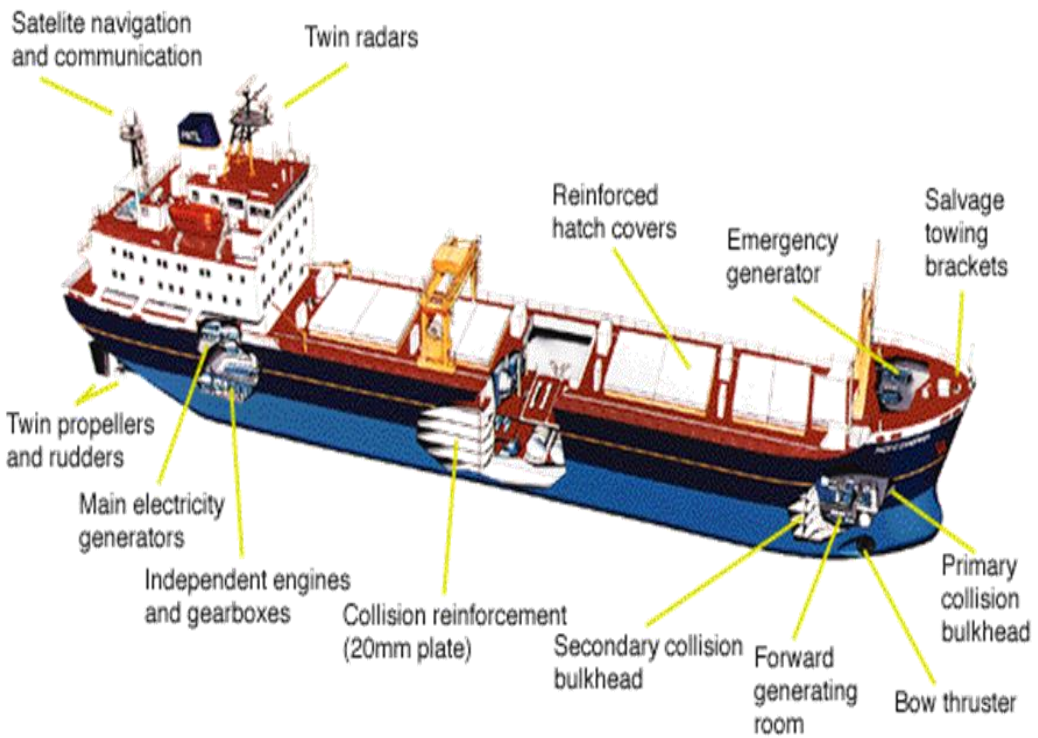


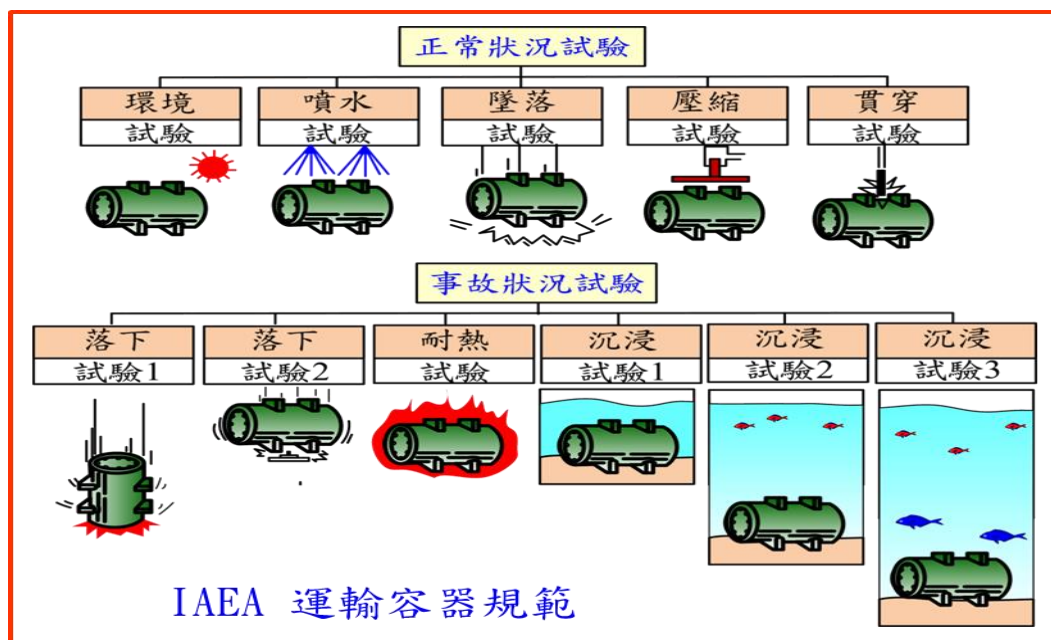
圖 12: 日本玻璃固化體專用輸送船構造圖

### 3. 運輸護箱簡介

為確保用過核子燃料於陸運及海運過程的安全順利，運送過程中必須選擇符合法規規定之裝載容器及運送設備，如運輸護箱、運輸車輛、運輸船舶、防撞緩衝器、吊運機具等，所需裝載容器及運送設備須獲得相關主管機關核發的使用執照。

運輸包件其包裝要求極為嚴格，且每一包件上均有一辨識條碼，此條碼可提供該包件之詳細資料，包括包件之型式（如金屬桶 Canister、金屬箱 Metal Cask、或混凝土容器 Concrete Cask 等）、廢棄物之來源以及其特性（放射性廢棄物之種類、活度及劑量率）等。密封鋼筒與運輸護箱必須符合該國及 IAEA 有關放射性物質安全運送規則之包件規定，必須能承受在最嚴重之事故下仍不會有放射性物質外逸。運輸護箱必須進行下列存活試驗(survive tests)，以證明其在最嚴重事故下仍可確保用過核子燃料之安全，存活試驗包括：

- (1) 兩種墜落測試：一種是由 9 公尺高墜落在平坦表面，另一種是由 1 公尺高墜落在鋼棒上；測試時必須考量各種角度及最壞之情節。
- (2) 耐火測試：運輸護箱完全沉浸在液態化石燃料中燃燒 30 分鐘。
- (3) 沉浸測試：沉浸在水下 200 公尺深處 1 小時。



並需符合「放射性物質安全運送規則」規定之試驗，包件試驗包括機械試驗、熱體試驗、浸水試驗、漏水試驗(裝有可分裂物質之包件)。

而運輸護箱(Transportation Cask)之保養，舉法國經驗為例，法國採取三級保養制，

第一級是每次運送前後之檢查，第二級是每隔 3 年或 15 次運輸後進行中級保養，第三級是每隔 6 年或 60 次運輸後進行大保養，運輸護箱之保養執行的主要項目可參考 IAEA 「Operation and Maintenance of Spent Fuel Storage and Transportation Casks/Containers」

### 3.2 規定。

另外，專供廠內運輸之傳送護箱(Transfer Cask) 廠外運輸之運輸護箱 (Transportation Cask)或之維護保養程序應該考慮定期檢查和測試，項目包括：

- (1)一般情況，特殊結構部分檢查:如預防意外或功能提升之組件檢查，如吊耳；
- (2)結構完整性檢查、抗壓(力)測試及吊耳的負載測試；
- (3)密封性測試(包括氣密與水密)；
- (4)各組件的功能測試；
- (5)確認熱傳性能和輻射屏蔽的性能。

圖 13 為日本使用的用過燃料專用運輸護箱之一種(TN-24)，用過燃料在核電廠的燃料池中經過一定時間的冷卻後，安置於此護箱藉由海路運輸至再處理工廠最近的港口。此運輸護箱有防止掉落、火災等安全構造，總重約可達 155 噸左右。

圖 14 為用過燃料再處理後玻璃固化體專用運輸護箱，為具有阻隔輻射及耐熱性之堅固容器。需符合 IAEA 與國家制訂的安全標準，即使運輸途中遭遇火災、掉落、沈船等事故也不會造成輻射外洩。

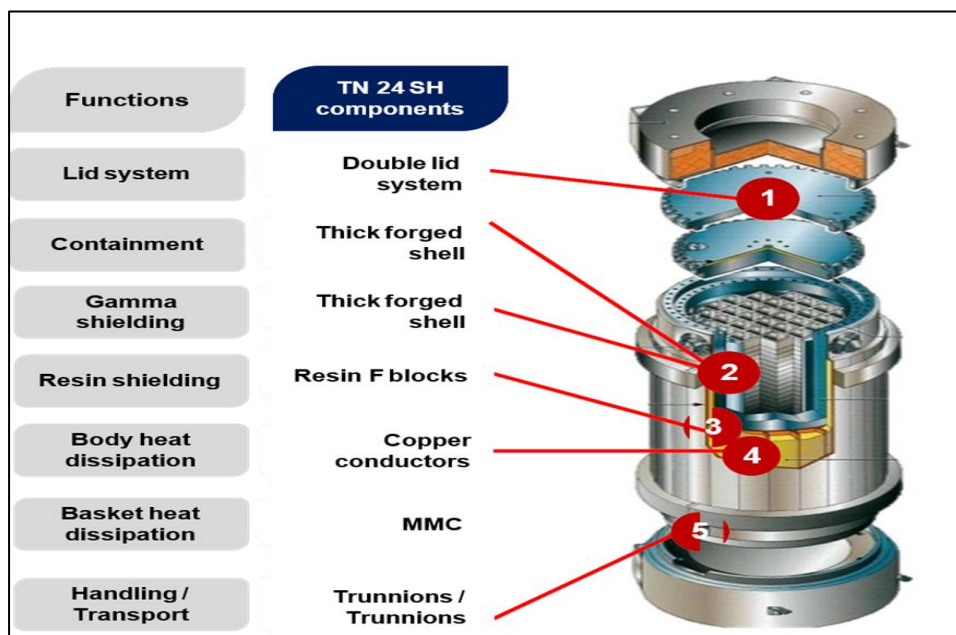


圖 13: 日本用過燃料運輸護箱 (TN-24 型)



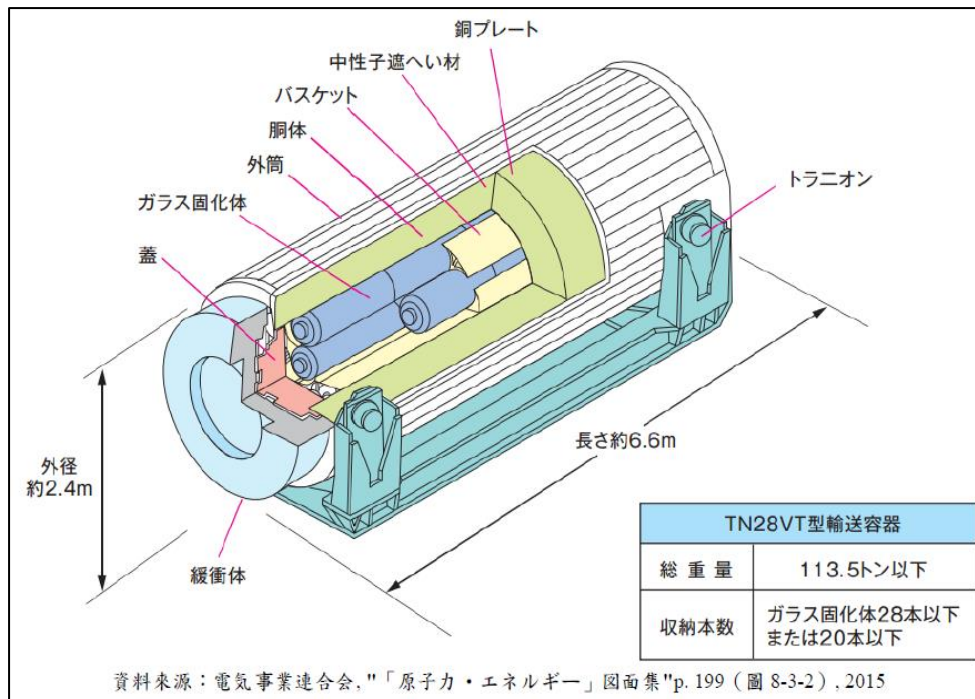


圖 14: 日本玻璃固化體運輸護箱 (TN28VT 型)

#### (四) 監管及制度議題—法規、規則、標準、保安、責任及溝通

##### • 德國用過燃料集中式貯存法規概述

###### 1. 成立核廢料管理委員會

聯邦環境、自然保護及核安部(Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, BMU)內部須成立核廢料管理委員會(Nuclear Waste Management Commission, ESK)

###### 2. 中期貯存規劃

- 金屬護箱需兼具貯存與運輸雙重功能(Dual Purpose)
- 在燃料護箱貯存、操作、運輸、卸載期間，護箱組件之結構及幾何形狀必須確保。
- 為封住放射性物質、穩定移除衰變熱、維持次臨界及防止不必要的輻射暴露，可使用巨型的延展性鑄鐵(Ductile Cast Iron)或鍛鋼(Forged Steel)製之金屬護箱。這些金屬護箱的蓋子可以是以耐用螺栓鎖住或以銲接方式密封。
- 金屬護箱存放用過核子燃料，需以可監測的雙蓋密封系統或銲接上蓋(第三蓋)來確保密封邊界。雙蓋密封系統包括兩個獨立的密封蓋(第一密封蓋系統及第二密封蓋系統)，這些物件都是以螺栓鎖在護箱上，且須使用含金屬外殼的耐用強化金屬彈簧密封墊圈(O-ring Gasket)。

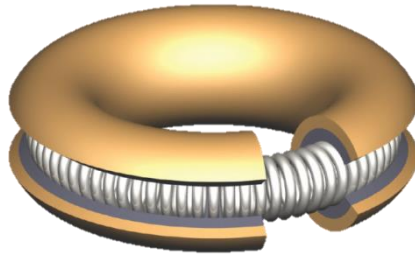


圖 金屬彈簧密封墊圈(O-ring Gasket)

- 以雙蓋系統進行屏蔽，需同時有一可持續監視的系統以確保密封氦氣的功能未失效。
- 為避免雙蓋密封系統的密封效果衰減，運轉文件需包含密封系統修復計畫，以確保整個系統的特殊密封性。
- 用過燃料貯存護箱於貯存時，必須同時俱備有運輸執照。

### 3. 臨界安全法規要求

- 用過燃料貯存時，中子增值因數  $k_{eff}$  不得超過 0.95。
- 為避免用過燃料在乾貯護箱中臨界，貯存時需滿足以下一項或多項條件：
  - (1). 不論是否有考量燃料的燃耗、可裂材料、分裂產物及鋼系元素的中子吸收效應，都必須考慮限制被貯存燃料的濃縮度上限。
  - (2). 須分析燃料提籃(Basket)中的燃料擺放尺寸、數量及擺放方式。
  - (3). 須分析中子減速劑(Neutron Moderator)的量，特別是確保護箱中不能有水殘留，且要存放在維持乾燥狀態的貯存空間。
  - (4). 在燃料提籃或燃料組件上設置中子吸收材料。

### 4. 餘熱移除

- 尤其是輕水式反應爐之燃料棒溫度應盡可能抑低，以避免燃料棒護套的功能失效(燃料棒護套溫度上限是 400°C)。
- 建築物裝設排熱設備是為了確保建築物內的溫度不會超過設計耐熱上限。
- 當貯存區域未存放護箱、或只存放發出少量衰變熱的護箱，只要不造成散熱效能大幅降低，則建築物的進氣口及出氣口可保持關閉。為優化必要的空氣交換率及安全的餘熱移除，在操作手冊中應有詳細的規定。

### 5. 游離輻射屏蔽

- 除了護箱以外，應有貯存設施建築物來保護一般大眾及從業人員免於輻

射傷害。

- 對一般大眾來說，個人年有效劑量限值是 1mSv (註:台灣法規是 0.25 mSv/yr)，場內的非屬職業曝露人員同樣適用此標準。上述年有效劑量的計算需考慮貯存設施的直接輻射及散射輻射，以及場地內所有核設施的排放、直接輻射、散射輻射及各項作業的劑量貢獻。對於一般大眾在貯存場的曝露時間，只要沒有明確證據可限制時間，應假設該人員是 24 小時且每天持續的受到曝露。
- 運輸護箱用於貯存時，其設計結合貯存設施，其兩者結合之屏蔽效果必須維持從業人員及一般大眾的輻射暴露低於法規值(註: <1mSv/yr 台灣法規值為<0.25mSv/yr)。

## 6. 輻射防護監測

- 貯存設施是按照輻射防護要求被劃分成輻射保護區與管制區，並對輻射保護區進行相應標記，輻射保護區不同於管制區，避免保護區域的輻射劑量高到需要建置劑量監測的標準。
- 在輻射防護區內，除了每次貯存量改變時需量測外，每年需至少量測並記錄一次區域劑量及區域劑量率。量測可選在具有代表性的量測點進行，加馬射線及中子的劑量率皆需記錄。可使用移動式偵檢器進行額外偵測，尤其是進行維護作業時。
- 貯存設施環境監控系統應依規定設置。

## 7. 貯存設施結構規範

- 貯存設施在預期使用期間，其材料組件合用且耐久。
- 貯存設施需加裝適當尺寸的通氣出、入口以移除衰變熱。
- 需考慮護箱逸散的熱導致建築老化的問題。
- 需預設護箱撞擊問題，建築須維持其功能及保持可修復的可能。需有特別措施使護箱及建築結構可以吸收撞擊所引起的衝擊量。
- 除了除污塗料及防水結構以外，接收及貯存區建築材料也需防火。
- 貯存設施的設計須確保起火時的穩定。
- 建築須提供雷擊接地及雷擊防護系統。
- 貯存設施需要可以防範洪災。
- 貯存設施須確保地震時的穩定。

## 8. 輔助設施

- 貯存場起重機需俱備有限制提升高度、掛載重量和預選安置位置的功能。萬一遇到運轉干擾，需備妥因應措施。
- 所有的護箱所在位置需能藉由被動設施(自然對流)移除衰變熱。
- 萬一發現護箱維護區的被動冷卻功能不足以移除衰變熱時，則須提供主

動通風系統。

- 關於貯存區域的空氣交換，需避免冷凝水形成，因此，空氣交換率需配合護箱的散熱能力。
- 若護箱維護站的被動冷卻不足以移除衰變熱，則需設置主動冷卻系統。位於護箱維護站的工作隨時可能被中斷，因此要有一套簡易的標準操作流程，於異常情況發生時將護箱切換至被動冷卻。
- 因為無法避免護箱維護工作中釋出放射性或其他有害氣體，需設置一套可靠的排氣系統。
- 貯存設施的電力供給須包含一般電力、備用電力及不斷電的電力系統。
- 不斷電系統需連接保安系統、緊急照明設備、照明標誌、重要資訊系統及輻射偵檢系統。
- 起火時及起火之後須確保放射性物質的圍阻功能及屏蔽功能。
- 在可排除貯存物質被引燃的狀況下方可貯存可燃物質。
- 除了貯存區域外，建物裡的逃生路徑長度不可超過 50 公尺。而在貯存區域內，可接受的最長步行距離為 120 公尺。
- 為在失火初期就即時處理，建物內部應分散佈置可移動式滅火系統，這樣的設置也能暫時性的提升處理火災的能力。選擇滅火器種類時，應考量是否會對設施造成腐蝕等問題，另外，運轉人員應受初期火災的消防訓練。

## 9. 品質保證

- 燃料護箱於裝填燃料前，必須出具運輸許可執照，及各重要組件之製造合格證明。

### (五) 運輸、貯存及處置相互影響議題－兩用護箱、老化管理、密封間隙分析

#### • 德國放射性廢棄物長期貯存後之延長貯存:

##### 1. 概述

目前德國境內大部分貯存護箱的貯存期限皆為 40 年，目前已證明可適當存放超過 20 年，但因最終處置時程實際情況與預估有落差，且德國政府剛通過一項法令，透過重新選址建造最終處置場，場址的探勘及研究預計要再花 30 年以上(2045 年為目標)，故貯存期限之延長勢在必行。

在德國，用過核燃料(Spent Nuclear Fuel)及其經再處理後的高活度玻璃固化放射性廢棄物(High Active Vitrified Radioactive Waste, 以下簡稱 HLW)，貯存於可

用於運輸及貯存之金屬兩用護箱(Dual Purpose Casks)中。金屬兩用護箱可使電廠靈



活的解決用過核燃料存放問題。

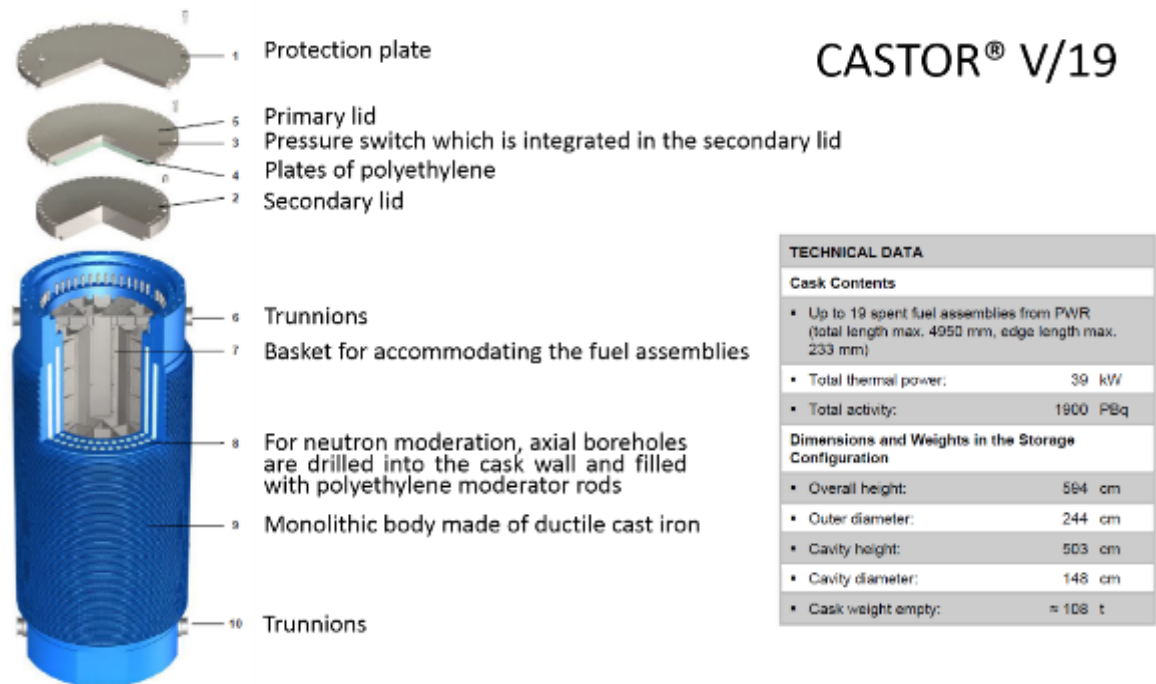


圖 15 德國 GNS 公司金屬護箱(CASTOR® V/19)示意圖

最初德國於 1980 年代建造了 2 座集中式貯存設施，分別為 Ahaus 及 Gorleben，後因運輸過程可能造成污染之議題，導致現場貯存設施概念的出現，現場貯存為直接於電廠鄰近地區建造乾式貯存設施，共有三種設計，分別為兩種 WTI 型及 STEAG 型(室內貯存設計(如圖 16)及 Neckarwestheim 貯存設施的坑道設計(如圖 17)。

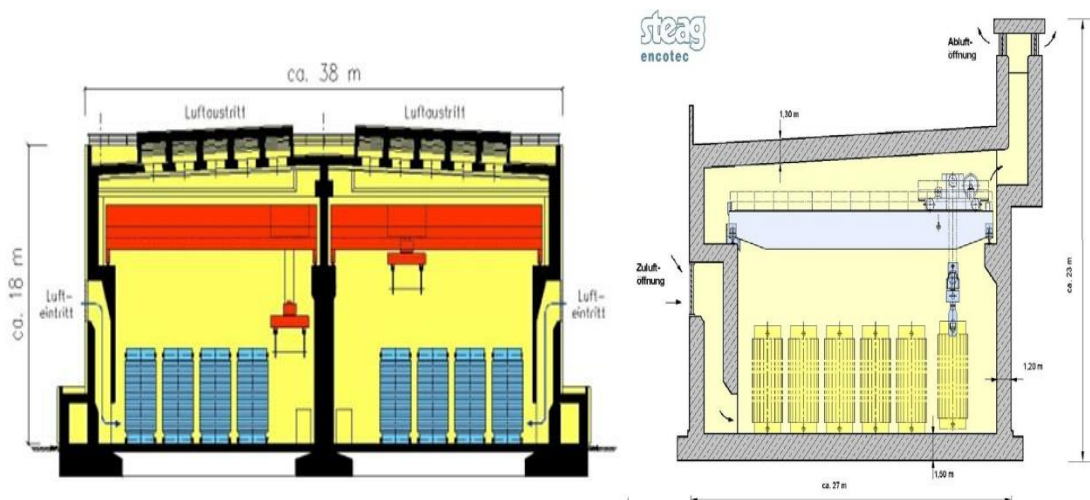


圖 16 德國 WTI 型(左)及 STEAG 型(右)集中式貯存設施設計圖

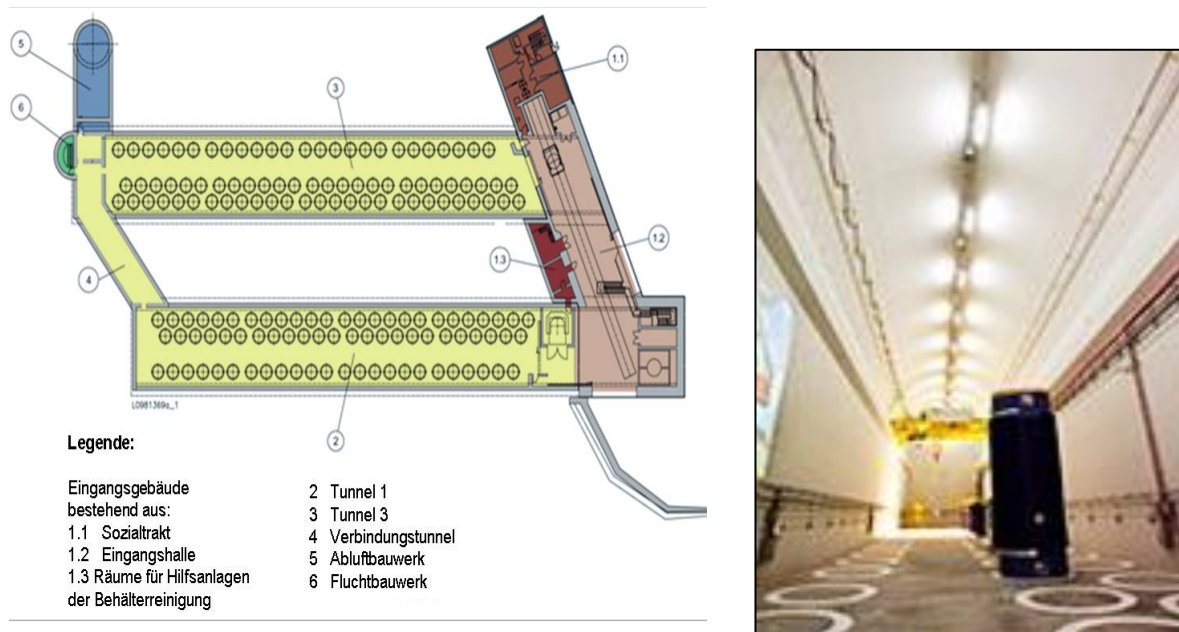


圖 17 德國 Neckarwestheim 坑道集中式貯存設施設計圖

## 2. 乾貯設施執照

德國自 2005 年 7 月 1 日起禁止用過核燃料再處理運輸，故用過核燃料必須貯存於中期貯存設施，直至深地質處置設施完成。德國貯存設施執照核准主管當局為聯邦輻射防護局(federal office for radiation protection, 以下簡稱 Bfs)；而德國聯邦材料與測試研究所(Federal Institute for Materials Research and Testing, 以下簡稱 BAM)，負責所有品質保證措施評估之設計測試。貯存執照與運輸執照是分開申請的，圖 18 為貯存執照及 Type B(U) 包件運輸執照之申請比較。運輸執照包含了貯存前運輸及貯存後運輸，由於貯存後運輸之法規要求，各金屬護箱皆須單獨進行運輸包件設計的實地測試，以核發運輸執照。

除上述兩項執照外，貯存廠房的建築許可由當地政府根據聯邦法令核准。貯存設施包含了所有運轉操作所需的設備、技術及安全基礎設施、承載放射性內容物及惰性氣體之金屬護箱、容納這些護箱的外部貯存廠房、以及維修、監控設備。

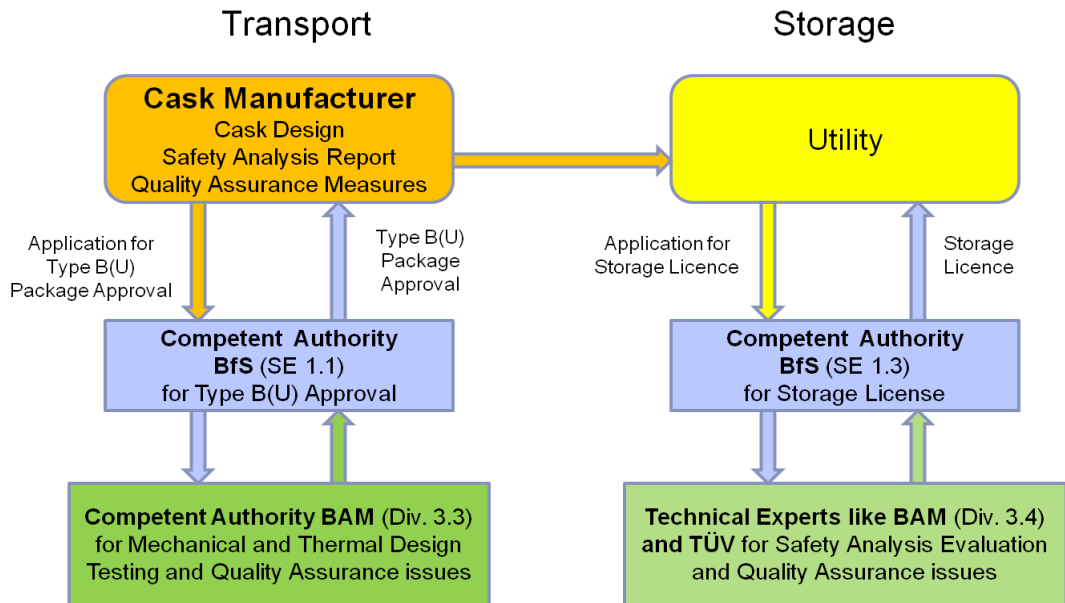


圖 18 德國用過核燃料護箱運輸及貯存執照申請流程

### 3. 場址特性安全評估

場址之評估須因地制宜，不同場址須因其不同特性進行安全評估(Specific Safety Evaluation)及一般通用(Generic Safety Evaluation)之安全評估包含：

#### (1). 餘熱移除

所有的貯存設施皆要在各種情況，無人員干預下，以自然對流的方式進行衰變熱移除。對於廠房式貯存，空氣由廠房進入後，由天花板釋出；坑道式貯存則有通風豎井散熱。

#### (2). 屏蔽

廠房的混凝土牆及金屬護箱的厚壁可有效將外釋之劑量降至法規限定值之下，並保護從業人員及大眾之安全；坑道式貯存則輔以周圍之岩層做為有效屏蔽。

#### (3). 安全封閉

無論是設計基準事故或超出設計基準的事件，包含外部危害及內部危害，德國乾式貯存皆以最高等級的安全措施因應，以外部廠房及金屬護箱，並佐以被動安全系統，提供有效的防護措施；坑道式貯存則在坑道內有額外設計保護措施防止外部危害。

#### (4). 次臨界

在貯存期間、護箱處理過程、設計基準事故或超出設計基準的事件，都必須確保

中子臨界的安全。例如，必須考慮中期貯存時中子吸收材料安裝必要。

#### 4. 護箱特性安全評估

測試由 BAM 主導，測試內容為設計基準事故的相關測試，例如刺穿、掉落、火災等項目。經由測試經驗大量的累積，BAM 能夠挑選最嚴重的形式進行護箱測試。

另一項安全評估重點為貯存期間之護箱系統及組件的長期表現，包含了雙蓋系統功能的正常運作、組裝及裝載程序與護箱作業等，所有的護箱必須符合法規規定及測試計畫。

#### 5. 延長執照首例

德國前 Jülich AVR 石墨球床反應爐，護箱型號為 152 CASTOR® THTR/AVR 的中期貯存，其執照只有 20 年，並在 2013 年 6 月到期。執照的延長必須考慮各方面的安全並佐以最先進的實地測試，包含以最新的安全評估標準及法規，最主要議題為改善後事故分析、評估方法及貯存期間老化影響考量。

若必須移動護箱放置他處貯存時，則必須另外考慮：

- 有效的 Type B(U) 運輸護箱設計許可
- 週期性檢查文件
- 用於運輸的屏障蓋子系統(Shock Absorber)有充分保護第一層蓋及第二層蓋系統氣密性之證明
- 成功的裝載測試
- 護箱外部表面無污染
- 充足的屏蔽及熱移除
- 次臨界
- 事故安全
- 第一層蓋及第二層蓋系統在運輸後貯存前能維持氣密性功能完整

審查結果認為過去 20 年之貯存對於護箱運輸功能並無影響。

#### 6. 老化管理議題

護箱進行長期貯存後，會影響老化的因素包含了：

- $\gamma$  輻射
- 中子輻射
- 衰變熱
- 外部腐蝕(濕氣、空氣汙染)
- 螺栓系統、封蓋系統、燃料提籃、燃料棒發生結構鬆弛、護套潛變、材料腐蝕

為了因應將來的執照延長及國外的建議，BMU 及德國廢棄物管理委員會(German Waste Management Commission, ESK)製作了新的老化管理週期性安全檢查導則及建議，將檢查週期由 10 年改為 2 年，圖 19 為老化管理法規架構。

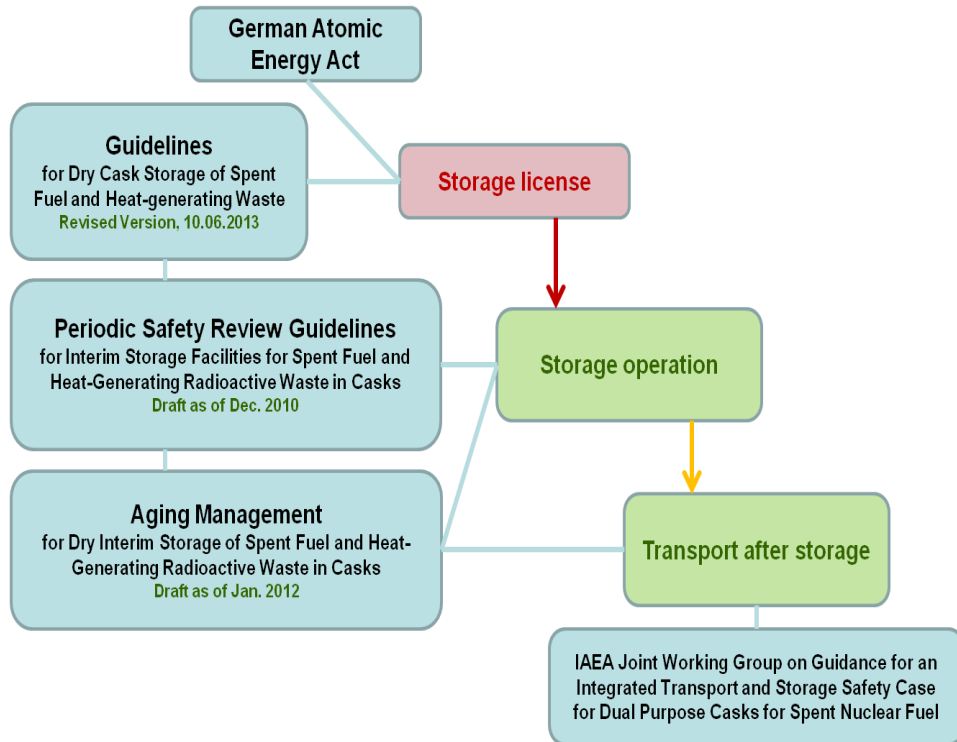


圖 19 德國中期貯存老化管理法規架構

## 7. 評論

目前德國中期貯存已證明雙用金屬護箱可維持 20 年功能完整，運轉及事故情況皆經過相關安全法規評估。由於德國高放最終處置選址的延後造成未來中期貯存執照延長是不可避免的。首次執照延長經驗是在護箱型號為 152 CASTOR® 的中期貯存 20 年運轉執照到期。

BAM 為德國負責運輸及貯存許可機構，已經著手進行金屬密封、中子輻射屏蔽、彈性密封材的測試，並致力於全球相關延長執照各項老化議題研究及貯存、運輸執照延長法規的擬定與推動。

### • 美國放射性廢棄物容器發展現況:

#### 1. 老化管理

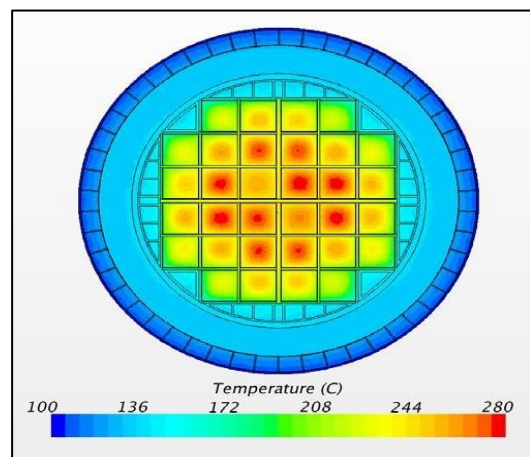
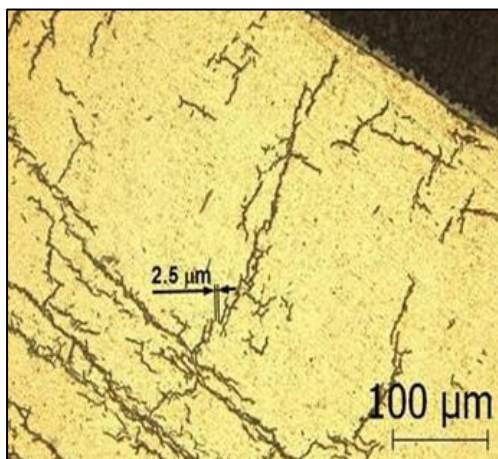
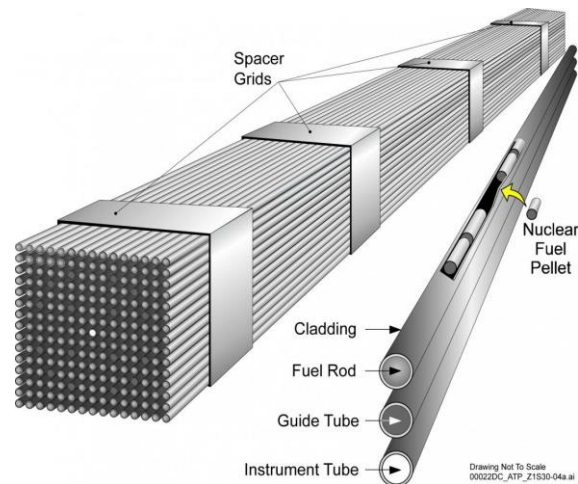


美國能源部有鑑於全球用過核燃料乾式貯存設施將被廣泛使用，於是委託美國 Sandia(桑迪雅)國家實驗室就用過核燃料延長貯存及延長貯存後之運輸進行相關議題的研究，包括下列議題：

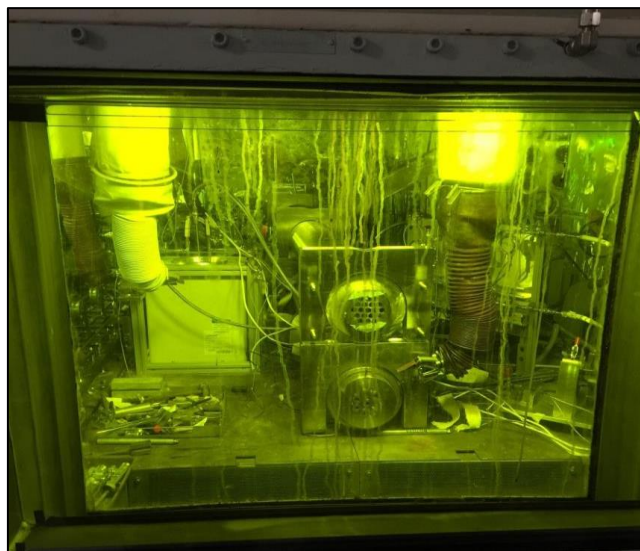
(1). 燃料於延長貯存後的完整性，初步討論如下：

燃料貯存時護套的溫度愈低，其可貯存的年限比當初預定的更長，當初認定在400°C以下的護套應該可以至少貯存100年，但美國Sandia(桑迪雅)國家實驗室的研究發現，貯存年限似乎可以比100年更長，理由有三：

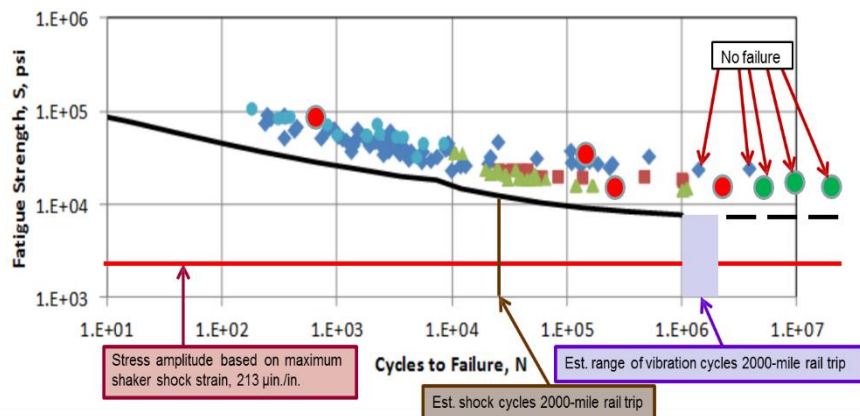
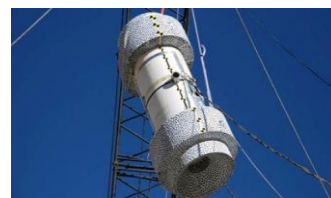
- 燃料護套的強度超過原先預期。
- 燃料護套在400°C以下的護套內部環向氫沉積轉變為徑向氫沉積的進程低於預期(徑向氫沉積會產生氫脆現象·加速護套應力龜裂腐蝕Stress Corrosion Crack)。



- Sandia正進行對已乾式貯存達10年的高燃耗燃料進行護套完整性檢查及強度測試；粗初步結論是樂觀的。

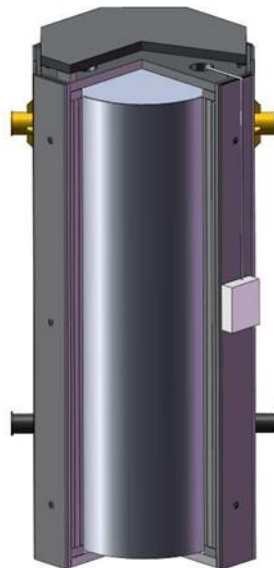
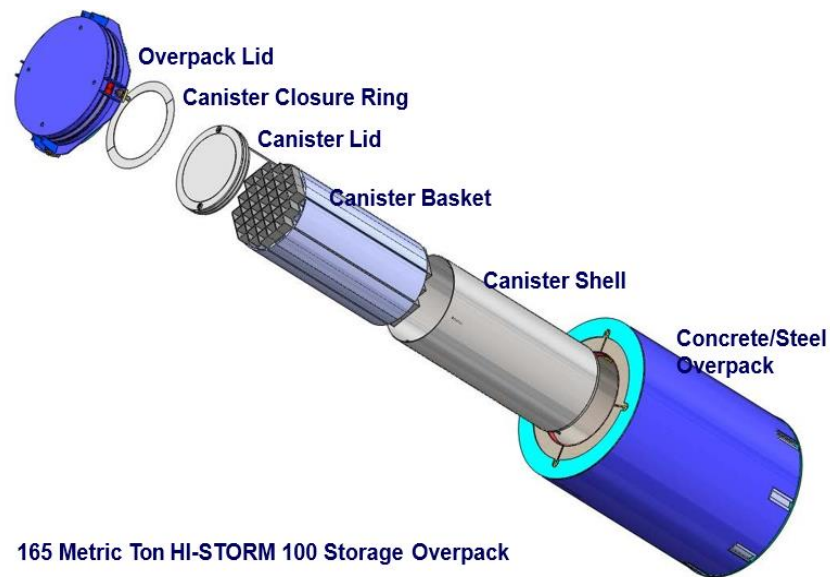


(2). Sandia 國家實驗室，將於 2017 年開始針對用過核燃料長期貯存後，於長途運輸過程，包括公路、鐵路運輸及海運是否導致護箱內燃料破損進行研究，美國 Sandia 實驗室目前取得的鐵路運輸實驗數據認為鐵路運輸過程的應力應不足以造成燃料破損。



## (六) PATRAM 會議上廠商新產品介紹

1. 美國 Holtec 公司 HI-STAR 100 [金屬外箱+金屬罐系統] 有 2 種 Type，一種為 Storage Type，另一種為 Dual Purpose Type，對於 Dual Purpose Type，雖然內部金屬罐是不鏽鋼焊接材質，但因有氦氣填充，所以不會有應力腐蝕的問題；但法國 Areva TN 公司開發的 NOVA 系統也是(金屬外箱+金屬罐系統)，但 NOVA 純為 Storage Type，也無氦氣填充。

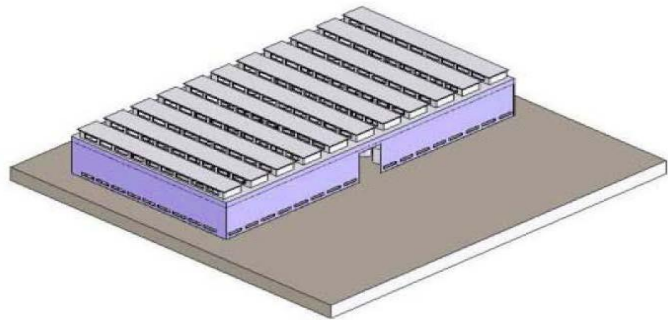
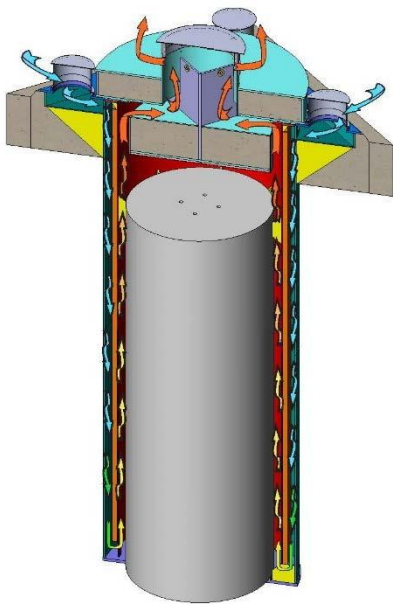


Areva TN公司開發的NOVA系統

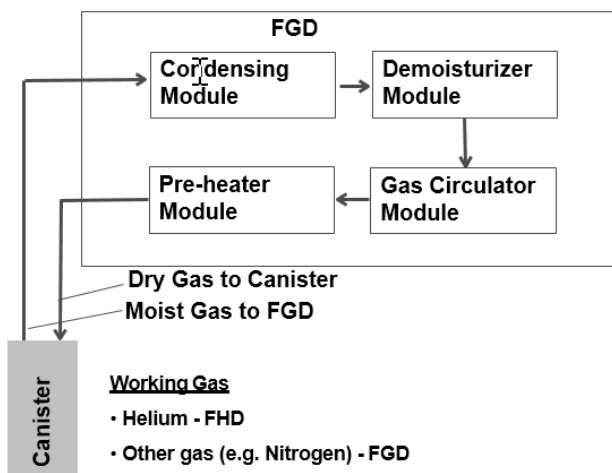
2. Holtec 公司發展地下窖是水泥乾貯系統，可搭配輕鋼架結構物，使成立室內型乾



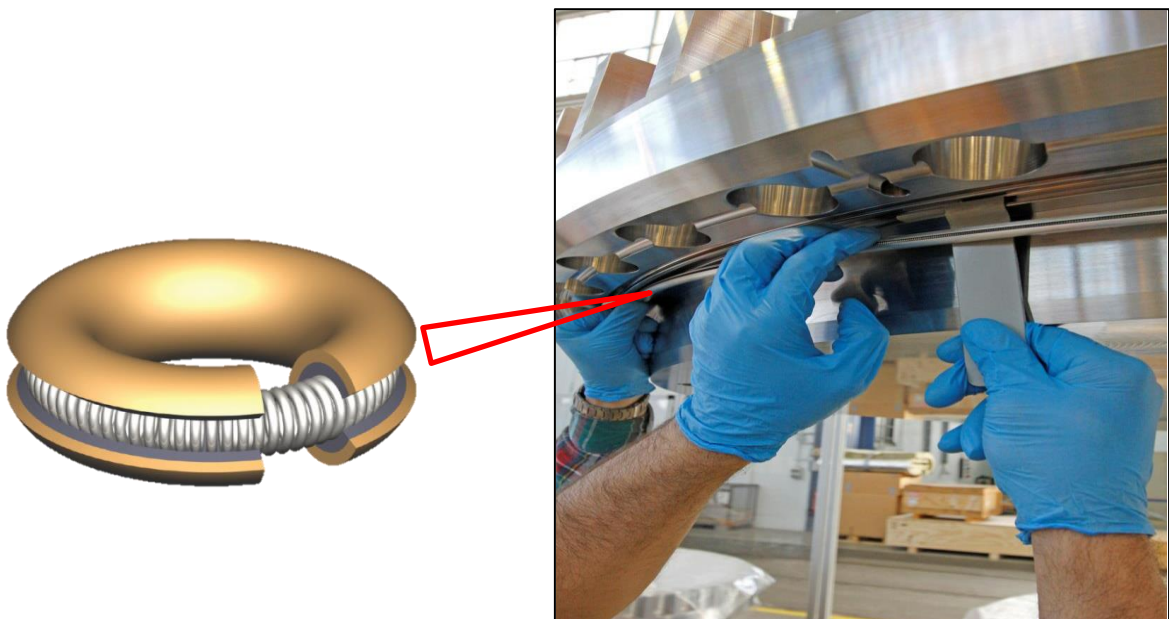
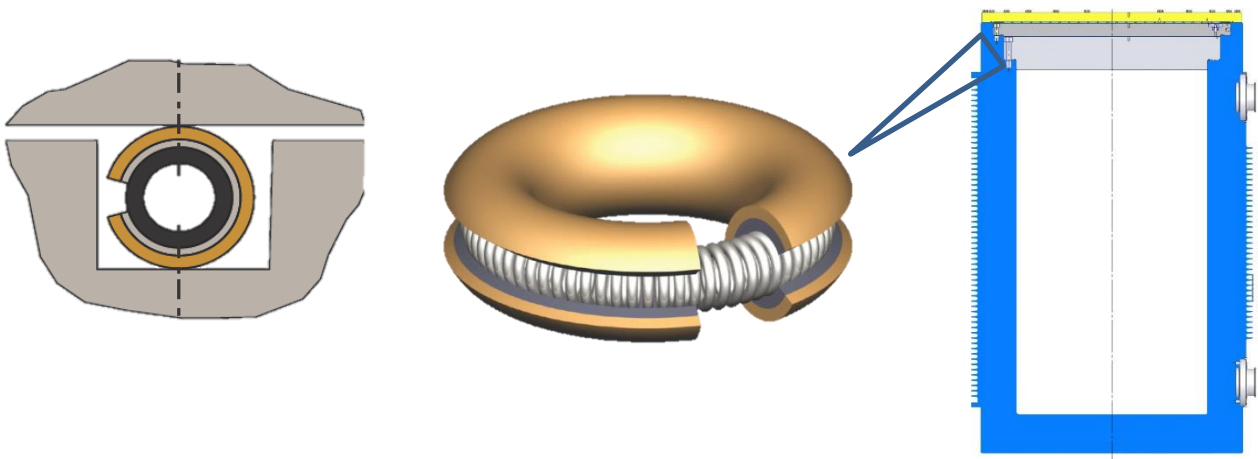
貯系統，輻射劑量可達目前業界最低。



3. 目前乾貯業界紛紛提出效果更佳的乾貯金屬罐(或金屬護箱)的乾燥除水系統，使用氦氣或氮氣強制循環去除水分，效果較過去真空除濕方法更好，可節省除濕時間4-12小時，如果裝填的燃料有破損，此項強制除濕循環設備，可以除去破損燃料內的水分。

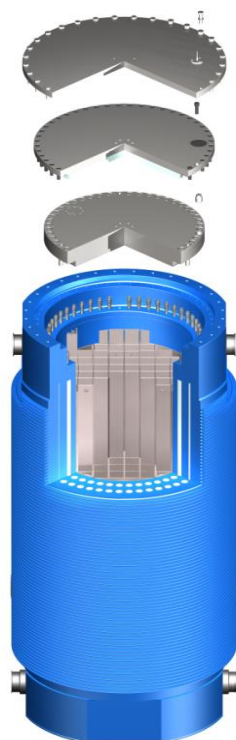


4. 目前用過燃料金屬護箱(Metal Cask)或金屬外箱(metallic Overpack)之密封墊圈產品，皆採用Technetics集團的Helicoflex® metal gasket，此產品經老化測試結果，耐用程度經評估可超過100年，故目前30年的使用經驗包括日本、德國、瑞士、法國、美國皆未有洩漏情形發生。



5. 德國GNS公司金屬護箱CASTOR 52為一體成型鑄鐵護箱，過去只提供德國市場使用，

目前為強化本產品全球競爭力，將改款推出CASTOR geo 69產品，本產品可收納BWR 69束或PWR 32束燃料，但此產品目前尚未進行執照申請。



## 二、 參加日本神戶鋼鐵舉辦之放射性廢棄物容器與運輸會議

### (一) 目前日本用過核燃料暫時貯存管理議題

2012 年 6 月，日本在「原子力規制委員會(Nuclear Regulation Authority, 以下簡稱 NRA)建立法案」中增修了核原料物質、核燃料物質及核反應爐管制法(以下簡稱核反應爐管制法)。針對動力反應爐設施的安全標準及核燃料 (包含用過核燃料貯存) 設施，於 2013 年 7 月發佈管制標準，並於同年 12 月實施。新的用過核燃料貯存安全標準基本遵循前原子力安全委員會(Nuclear Safety Commission, 以下簡稱 NSC)及前原子力安全保安院(Nuclear and Industrial Safety Agency, 以下簡稱 NISA) 的安全檢核導則。

### (二) 用過燃料貯存設施相關法規概述

#### 1. 適用範圍

用過燃料貯存設施的位置，結構及設備的標準之規則(原子力規制委員會在 2013 年 11 月 27 日公佈)，適用於國內用過燃料貯存設施的設計、材料的選定、製造以及檢查。

#### 2. 定義

- 「金屬護箱」是確保用過燃料在運輸及貯存安全性的乾式金屬護箱，護箱內以惰性氣體充填。
- 「安全功能」是指為確保用過燃料貯存設施的安全性，所必要的功能
- 「基本安全功能」是指安全功能中，揭示以下功能的總稱：
  - (1). 防止臨界功能(防止用過燃料臨界的功能)
  - (2). 輻射屏蔽功能
  - (3). 圍阻功能
  - (4). 熱移除功能

#### 3. 防止用過燃料臨界

- (1). 用過燃料貯存設施金屬護箱，在收納用過燃料的條件下，根據技術上假設的任何情況，設計上要防止用過燃料達到臨界狀態。
- (2). 金屬護箱內部的提籃為構成防止臨界功能的一部份，在貯存期間，要保持其完整性。

- (3). 用過燃料貯存設施應考慮設施內金屬護箱中子相互影響的問題，在技術上假設的任何情況下，設計上要能防止燃料重回臨界狀態。
- (4). 臨界評估要考慮在次臨界有顯著影響之因子，包含以下的事項:
- 燃料配置・結構物形狀
  - 中子吸收材料的效果
  - 緩和劑(水)的影響
  - 燃料燃耗的影響
- (5). 金屬護箱收納用過燃料的時候，關於考慮臨界評估因子事宜，採取必要措施，不要偏離其安全分析條件或範圍。

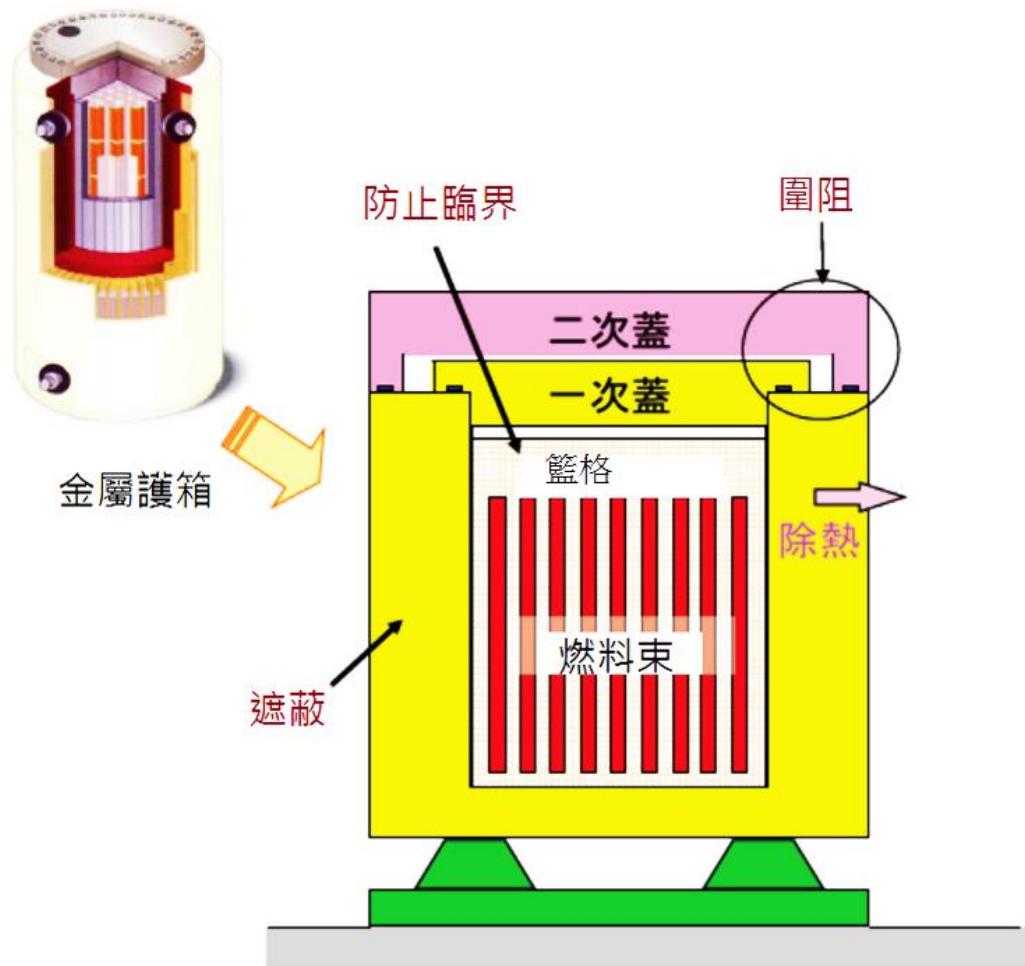


圖 20 金屬護箱組成架構及相關功能示意

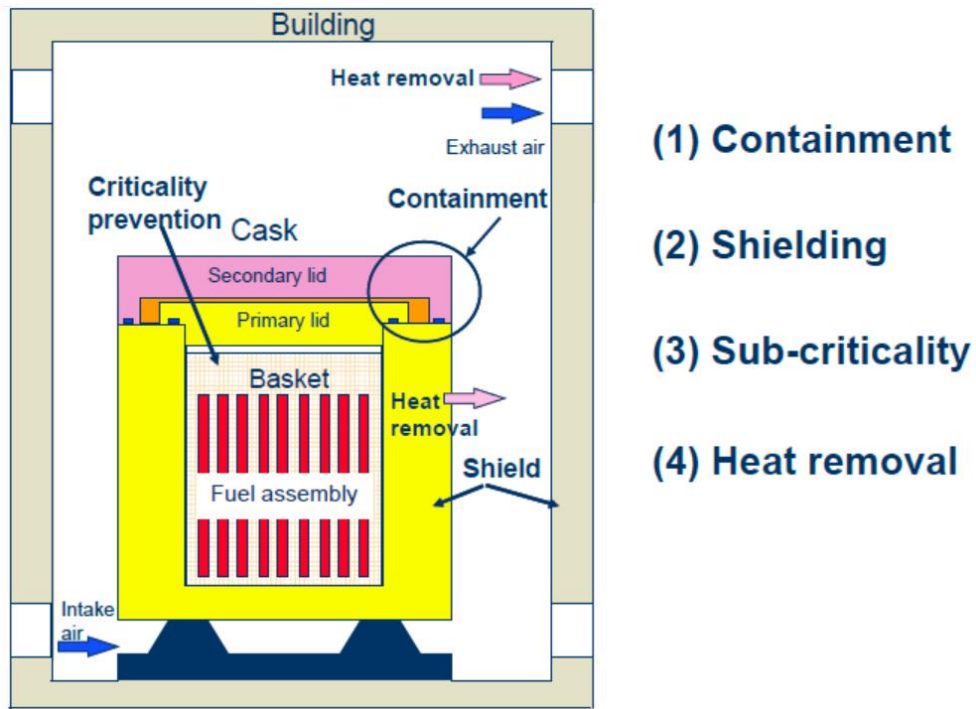


圖 21 中期貯存設施架構及相關功能示意

#### 4. 輻射屏蔽

須讓輻射劑量充分減低，採取屏蔽與其他適切的措施，如下：

- (1). 就設施周邊而言，基於法令所規定的劑量限度不予曝露的設計，在考量儘可能抑低程度(As Low As Reasonably Achievable, ALARA)之下，設計上需儘可能合理達成減低放射線曝露。
- (2). 金屬護箱收納用過燃料時，考慮用過燃料燃耗對應有關屏蔽功能事宜，採取必要的措施，不能偏離該用過燃料安全評估的條件或範圍。

#### • 降低劑量

- (1). 就管理區域而言，放射線事務從事人員接受的劑量，不能超過放射線從事人員的劑量限度。
- (2). 管理區域以外的人進入，這些滯留的人員的劑量，要在公眾的劑量限度以下。



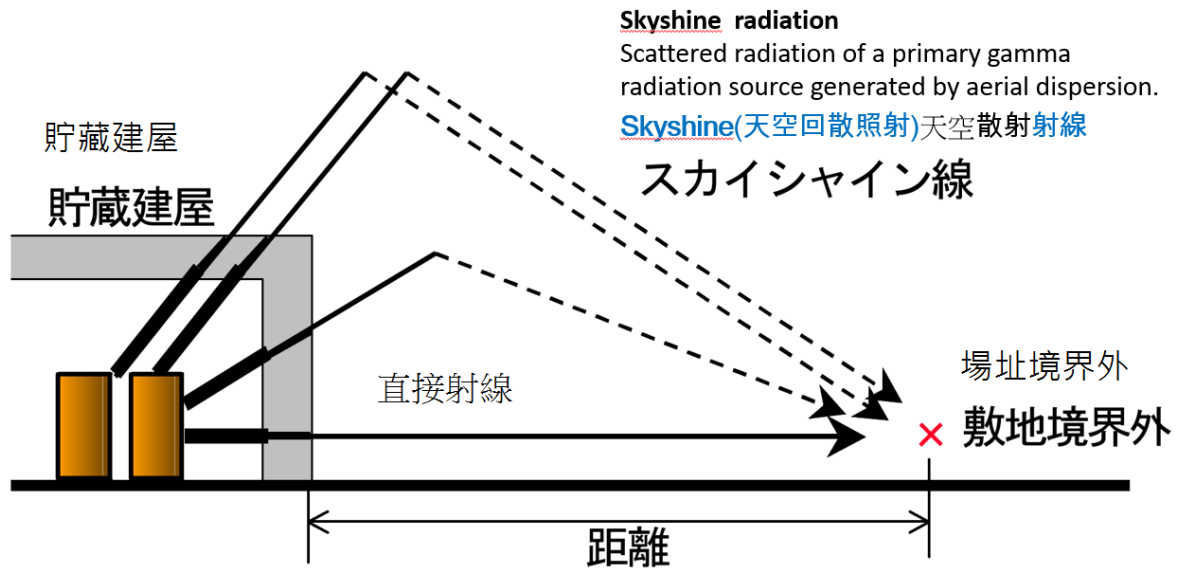


圖 22 中期貯存設施對大眾之影響

## 5. 圍阻功能

限制區域必須確實地保持圍阻功能，如下。

- (1). 金屬護箱需經過設計，在貯存期間，要能讓用過燃料所處之內封的空間維持絕對負壓(約 0.7bar)；雙蓋之間為絕對正壓(約 7bar)。
- (2). 金屬護箱因有多重圍阻功能的雙蓋設計，設計上能雙重隔離用過燃料之內封空間與護箱外部。
- (3). 金屬護箱在貯存期結束後，有關金屬護箱圍阻功能的檢查，萬一雙蓋的圍阻功能異常，其前提為不打開金屬護箱的第一個蓋子(內蓋)；須考慮能更換第二個蓋子的密封墊，或追加焊接第三個蓋子之結構等設計。
- (4). 需考慮用過燃料貯存設施的操作過程所可能伴隨產生的二次放射性廢棄物的處理設施，並考慮防止二次放射性物質的擴散事宜。

## 6. 燃料餘熱移除功能

• 須能將衰變熱確實地除去，如下。

- (1). 為防止護套的潛變破損及護套的機械強度特性的過度下降，用過燃料護套的溫度設計要能維持在限制值以下。
- (2). 金屬護箱的溫度須能維持基本的安全功能，設計要能維持在限制值以下。
- (3). 貯存建物之設計不能阻礙餘熱移除功能。另外，貯存建屋的給、排氣口設計不能有積雪等閉塞事宜。

- (4). 用過燃料貯存在金屬護箱的時候，不能偏離除熱功能的安全評估所假設的對應配置或參數範圍，若有偏離，須採取必要的措施。

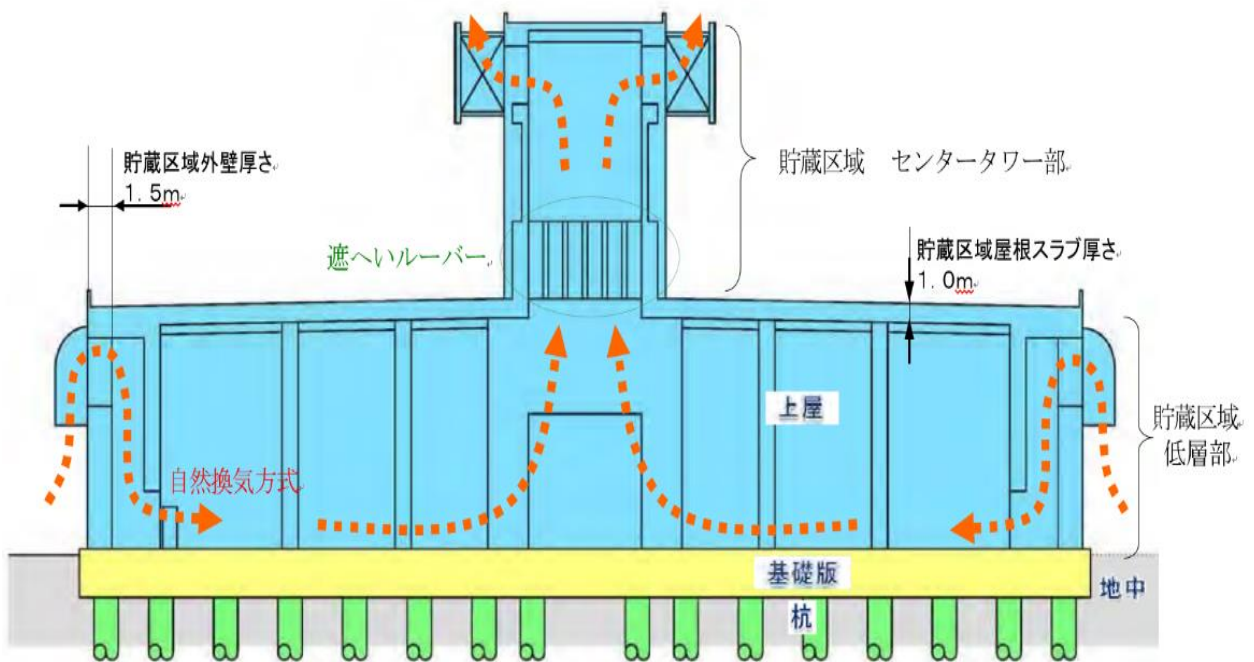


圖 23 中期貯存設施之熱移除功能

## 7. 監測與控制系統相關設施

• 設施須有能確實監測之功能，如下

- (1). 能監控蓋子的氣密功能。
- (2). 能監視貯存設施周遭的溫度有沒有異常上升。
- (3). 為評估用過燃料及金屬護箱的溫度維持在限制值以下，利用必要的測量方法取得必要的資料。



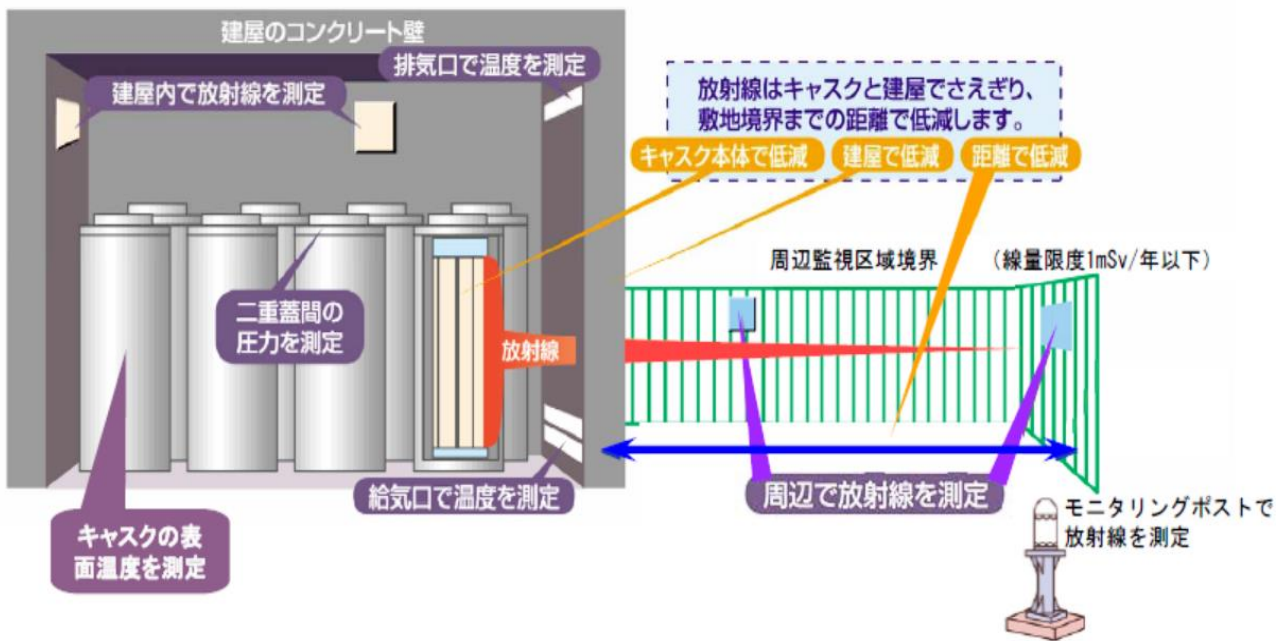


圖 24 中期貯存設施之監測系統

日本用過核燃料暫時貯存管理法規除了上列敘述項目需評估之外，仍有下列項目需進行評估：

- (1). 火災防制
- (2). 貯存設施地質條件
- (3). 地震防制
- (4). 海嘯防制
- (5). 保安功能-人為非法入侵防制
- (6). 設計基準下最大意外事故輻射外洩之評估與防制
- (7). 金屬護箱功能
- (8). 接收用過燃料設施
- (9). 二次放射線廢棄物處理設施
- (10). 不斷電系統與預備電源
- (11). 通信連絡設備

日本中期貯存法規明定了許多中期貯存相關細節，未來台灣若要朝金屬護箱乾式貯存方向發展，則本法規值得公司未來規劃設計參考。

### (三) 日本用過核燃料發展現況

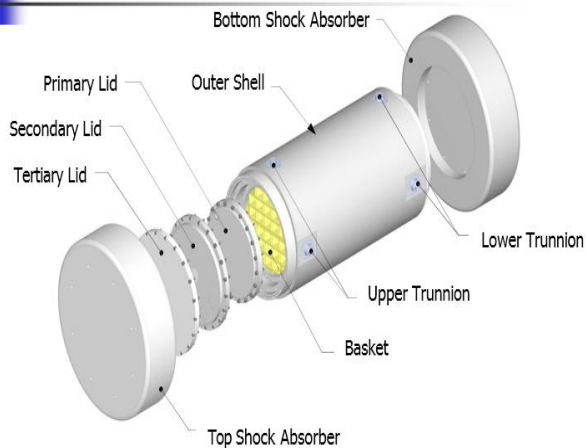
1. 乾貯水泥護箱金屬罐(Canister)焊接後之殘留張應力有引起應力腐蝕龜裂(SCC)或加速氯引應力腐蝕龜裂(Chloride Induced Stress Corrosion Crack CISCC)速度之風險，避免應力腐蝕龜裂或氯引應力腐蝕龜裂之方法包括：

	預防方式	建議作法
含鹽環境	阻隔氯離子	表面塗層、抗腐蝕電鍍
	減少鹽分沉積	蒐集冷卻空氣中的鹽顆粒
	保持乾燥	控制環境濕度
殘餘應力	減少殘餘應力	鐳射焊接
	應力釋放	熱處理，如退火
	施加壓應力	採用(水注汽泡)噴丸法
材料特性	採用抗腐蝕材料	高合金不鏽鋼
	採用無 SCC 材料	採用如鈦金屬等材料

### (四) 產品介紹

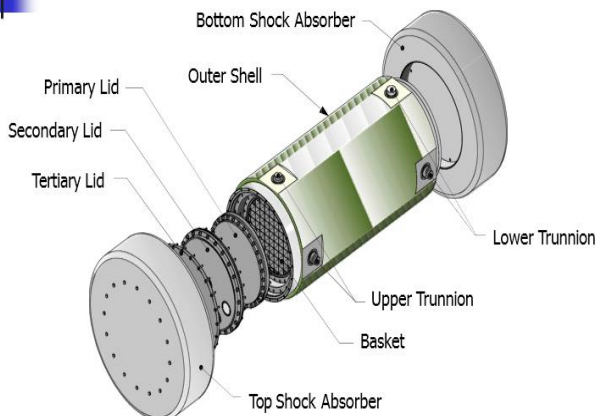
1. 日本神戶鋼鐵公司與法國Areva Trans Nuclear公司合資組成Transnuclear Tokyo公司，簡稱TNT，持股各占52.5%與47.5%。神戶鋼鐵技術技轉Areva TN-24金屬護箱技術，並轉為日本TK-69(BWR)及TK-26(PWR) Dual Purpose金屬護箱製造，專供日本市場使用。

## TK-26 for PWR Fuels



Specification of TK-26			
Fuel Specification	Fuel type (PWR)		15 $\parallel$ 15, 17 $\parallel$ 17
	Maximum burnup		48,000 MWD/t
	Minimum cooling time		15 years
	Maximum enrichment of $^{235}\text{U}$		4.2 %
Dimension	Outer diameter	Transport condition	Approx. 3.5 m
	Outer diameter	Storage condition	Approx. 2.6 m
	Length	Transport condition	Approx. 6.5 m
	Length	Storage condition	Approx. 5.1 m
Weight	Transport condition		Approx. 133 ton
	Storage condition		Approx. 118 ton
Number of fuel assemblies			26

## TK-69 for BWR Fuels



Specification of TK-69			
Fuel Specification	Fuel type (BWR)		High burnup 8 $\parallel$ 8
	Maximum burnup		43,000 MWD/t
	Minimum cooling time		16 years
	Maximum enrichment of $^{235}\text{U}$		3.7 %
Dimension	Outer diameter	Transport condition	Approx. 3.5 m
	Outer diameter	Storage condition	Approx. 2.5 m
	Length	Transport condition	Approx. 6.8 m
	Length	Storage condition	Approx. 5.4 m
Weight	Transport condition		Approx. 133 ton
	Storage condition		Approx. 118 ton
Number of fuel assemblies			69

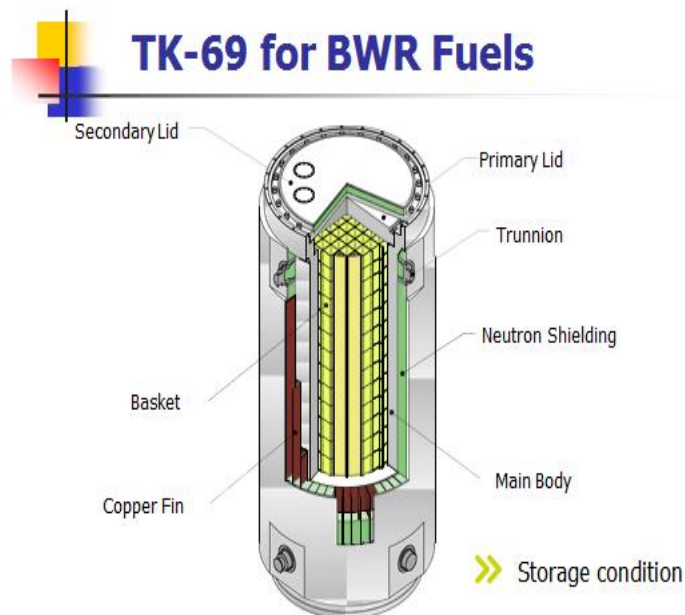
- 日本神戶鋼鐵公司參與日本陸奧(Mutsu)高放廢棄物集中貯存設施設計與設備供應工作，但311福島事件後，日本核能安全管理單位【原子力規制委員會(NRA)】提出更嚴格的法規需求，故日本陸奧高放廢棄物集中貯存設施目前仍未啟用。日本陸奧高放廢棄物集中貯存設施可貯存288個用過燃料金屬護箱，沒有用過燃料再取出設施，意即集中貯存設施並沒有熱室設計。



## 肆、心得及建議

### ◎心得方面

- 一、低放射性廢棄物容器，由於設計與製造的門檻較低，各核能使用國家都自行開發與生產相關容器，但高放射性廢棄物，也就是用過核燃料貯存容器，則設計與製造門檻非常高，目前國際上的大廠商有美國Holtec、NAC公司、德國GNS公司、法國的Transnuclear公司,西班牙Ensa公司,日本的神戶鋼鐵、三菱與日立-奇異等大公司。美國主流之貯存系統為水泥護箱+金屬罐，歐洲與日本的市場為金屬護箱或金屬護箱搭配金屬罐。

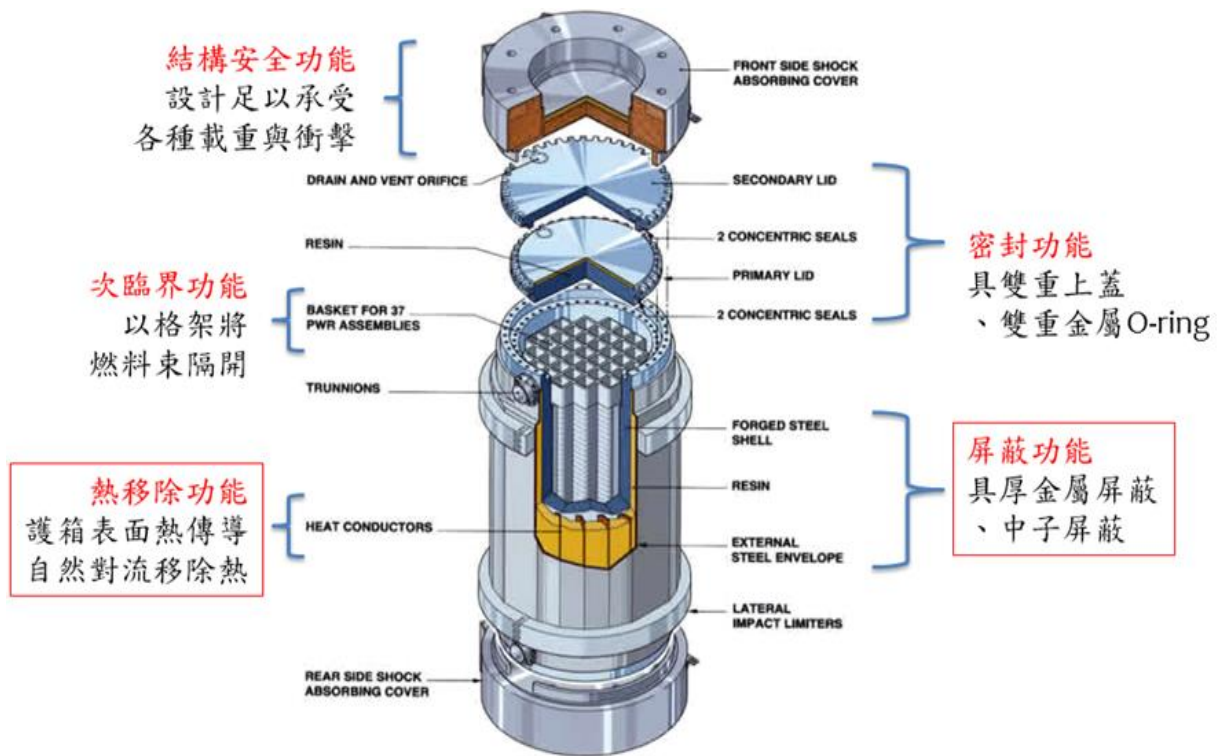


- 二、所有採用用過燃料乾貯系統的電力公司，都保守認為燃料乾貯系統的使用有可能超過40年，所以乾貯系統的老化評估與管理的研究成為本次兩個會議的熱門討論主題，從美國桑迪亞實驗室的初步結論來看，用過燃料在氦氣的環境保護下，只要燃料護套表面溫度能在一開始就控制在400度之下，則用過燃料乾貯系統的100年貯存似乎沒有問題；但包括德國與美國，都傾向燃料一旦進入乾貯系統，不要輕易去再取出，除非要進行用過燃料再處理或進入最終處置。

### ◎建議方面

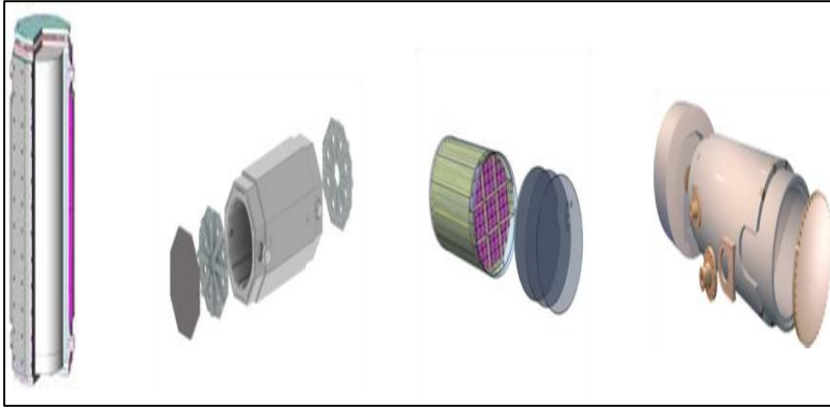
- 一、用過核子燃料金屬護箱貯存系統-初步安全評估項目包括:





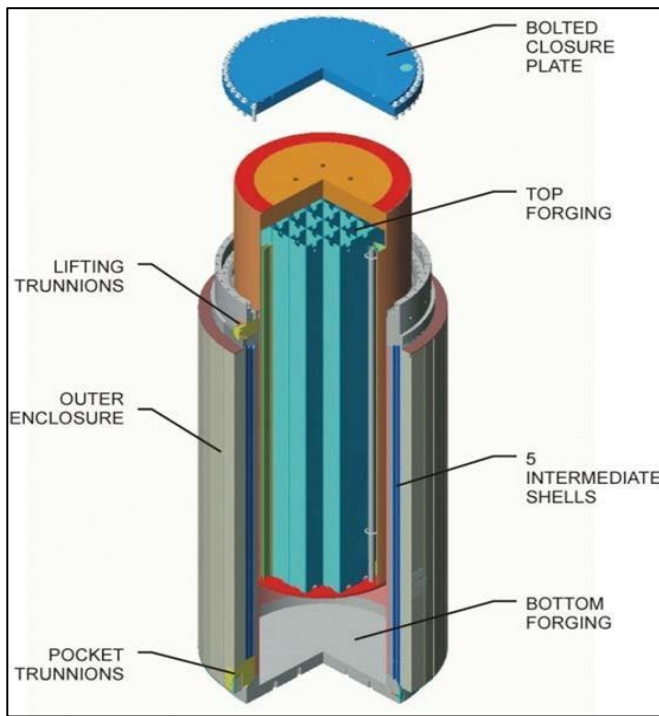
採用用過核燃料乾貯系統時，必須針對下列項目進行思考與評估：

1. 材料的選擇—輻射屏蔽效果、熱傳效果、抗腐蝕能力。
2. 抗老化能力與管理對策—貯存系統使用年限，非常有可能遠遠超過40年，老化議題的管理必須事先考慮。
3. 燃料護套的表面溫度：護套的表面溫度愈低，貯存的用過核燃料的結構完整性可以延長的更久。
4. 如何確保乾貯系統保護用過核燃料的氬氣不外洩，雙重蓋+雙重氣密設計(歐、日規範)或單蓋雙重氣密(美國規範)設計孰優?萬一氬氣外洩，管理對策是否備妥。
5. 乾貯系統製程、品管與製造時間。
6. 乾貯系統表面劑量是否夠低?如果是使用金屬護箱，表面中子輻射劑量是否夠低?。
7. 在燃料池裡的最少冷卻時間是否滿足護套溫度限制。
8. 乾貯系統容器是否有可能直接轉成為最終處置容器。
9. 是否要採用貯存兼運輸Dual Purpose乾貯系統?或只是貯存用乾貯系統以降低貯存成本。



Fuel assembly parameter	61 BTH	69 BTH
Number of assemblies	61	<b>69</b>
Maximum Heat Load per canister (kW)	31	32 35 in US
Maximum Heat Load per fuel assembly (kW)	0.7	0.7
Number of fuel assemblies with maximum Heat Load	16	20
Maximum average burnup (GWd/MtU)	62	62
Highlights	<b>Compatible with low crane capacity</b>	<b>High capacity</b>

**AREVA TN NOVA™**



一、日本用過核燃料中期貯存管理法規有下列項目需進行評估:

- (1). 防止用過燃料臨界
- (2). 輻射屏蔽
- (3). 圍阻功能
- (4). 燃料餘熱移除功能
- (5). 監測與控制系統相關設施火災防制
- (6). 貯存設施地質條件
- (7). 地震防制
- (8). 海嘯防制
- (9). 保安功能(人為非法入侵防制)
- (10). 設計基準下最大意外事故輻射外洩之評估與防制
- (11). 金屬護箱功能
- (12). 接收用過燃料設施
- (13). 二次放射性廢棄物處理設施
- (14). 不斷電系統與預備電源
- (15). 通信連絡設備

日本的中期貯存法規明定了許多中期貯存相關細節，未來台灣若要朝金屬護箱乾式貯存方向發展，則本法規值得公司未來規劃設計參考；但日本與德國都沒有要求用過核燃料中期貯存設施需具備有用過核燃料再取出設施。

附件 1

PATRAM2016 Preliminary Program

as of 30 June, 2016

	SUNDAY	MONDAY	TUESDAY	WEDNESDAY	THURSDAY	FRIDAY
07:00		Speakers' Breakfast	Speakers' Breakfast	Speakers' Breakfast	Speakers' Breakfast	Speakers' Breakfast
08:00		Exhibition Open, Registration	Exhibition Open, Registration	Exhibition Open, Registration, Poster Display (- 16:00)	Exhibition Open (- 13:00) Registration	Registration (- 11:00)
08:15 - 08:45			Morning Plenary	Morning Plenary	Morning Plenary	Morning Plenary
09:00 - 10:40		Welcome Addresses	S09) Programatic Storage, Transport and Disposal Interactions #1 S10) Criticality Analysis S11) Regulatory Guidance S12) Packaging Material #1	Poster Session	Panel Discussion 1 - Delay and Denial of Shipment - 10 :20	Panel Discussion 2 - Worldwide Perspective on Regulatory Views from Type B Packagings - 10 :20
		Opening Plenary				
		Coffee break				
11:00 - 12:40		Opening Plenary	S13) Ageing Management #1 : Gap Analysis S14) SF Structural Performance in NCT S15) Regulatory and Institutional National Issues #1 S16) Design Improvements #1	S25) Fukushima Lessons Learned S26) SF Package Design S27) Systems for Transport, Storage and Disposal #2 S28) Regulatory and Institutional Regional Issues	10 :40 - S37) Thermal Analysis S38) Transport Security S39) Ageing Management #3 S40) Basic Radionuclide Values	10 :40 - S49) Regulatory and Licensing Aspect of Dual Purpose Cask S50) UF6 Transport S51) Design Improvements #2 S52) Risk Assessment
		Lunch break				
14:00 - 15:40	Registration for Delegates, Exhibition Setting	S01) Package Design #1 S02) Burnup Credit S03) Management System #1 S04) Waste and NORM Transport	S17) Lessons Learned from Experience S18) Shielding Analysis S19) Regulatory and Institutional National Issues #2 S20) Systems for Transport, Storage, Disposal #1	S29) Structural Analysis – Drop Events S30) Package Design #2 S31) Ageing Management #2 S32) Licensing and Approval Issues	S41) IAEA Transport Regulations #1 S42) Testing #2 S43) Spent Fuel Transport S44) Security: Addressing the Challenge	13:00 - 18:00 Technical Tour - Earthquake Museum (Disaster Reduction and Human Renovation Institution) - E-Defense (National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)
		Coffee break				
16:00 - 17:40	At 17:00 Welcome Reception	S05) Testing #1 S06) Structural Benchmarking S07) Management System #2 S08) Content Specific Safety Aspects	S21) Emergency Preparedness S22) Structural Analysis Guidance S23) Regulatory and Institutional National Issues #3 S24) Programatic Storage, Transport and Disposal Interactions #2	S33) Structural Analysis S34) Special Design Issues S35) Maritime and Rail Transport S36) Communication and Training Poster Dismantle	S45) IAEA Transport Regulations #2 S46) Content Specific Design Aspect S47) Packaging Materials #2 S48) Analytical Techniques	
19:00 - 22:00					Symposium Bauquet	

