

國家原子能科技研究院
NARI-LRW-C3 低放射性廢棄物盛裝容器
使用申請書
安全審查報告



核能安全委員會
中華民國114年10月

[本頁空白]

目錄

| | |
|--------------|----|
| 一、前言 | 1 |
| 二、審查過程 | 2 |
| 三、審查發現 | 3 |
| 四、審查結論 | 10 |

[本頁空白]

一、前言

國家原子能科技研究院(下稱國原院)為提升現有低放射性廢棄物盛裝容器單位體積的盛裝效率並增加工作安全性，於 114 年 2 月 14 日提報「NARI-LRW-C3 低放射性廢棄物盛裝容器使用申請書」，送核能安全委員會(下稱核安會)審核。上開使用申請書經核安會程序審查，確認其文件完整性足以進行實質審查，並於 114 年 3 月 4 日展開實質審查作業。

本案申請書之審查係依據「放射性廢棄物處理貯存及其設施安全管理規則」第 9 條，並參考「放射性物質安全運送規則」第二型工業包件(Industrial Package-2, IP-2)之相關規定辦理，應遵循之法規包括「放射性物料管理法」、「放射性廢棄物處理貯存及其設施安全管理規則」、「低放射性廢棄物盛裝容器使用申請書導則」、「游離輻射防護法」及「放射性物質安全運送規則」等，使用申請書之重要接受標準摘要如下：

(一) 依「放射性廢棄物處理貯存及其設施安全管理規則」第 8 條規定，盛裝容器應符合下列規定：

1. 材質、設計及製造，能防止腐蝕與劣化，並可確保設計年限內結構之完整。
2. 考量操作及搬運之便利。
3. 機械強度足以承受吊卸、搬運、貯存或最終處置等作業之負載。
4. 容器封蓋及緊固設備，具操作之便利性，在吊卸及搬運過程中不致動搖或脫落。
5. 容器外表應平整、易於除污並避免頂部積水。

(二) 依「放射性廢棄物處理貯存及其設施安全管理規則」第 9 條規定，盛裝容器使用申請書者應載明下列事項：

1. 適用範圍。
2. 設計基準、詳細工程設計及圖說。
3. 容器材質、組成、尺寸、製造及防蝕方式。

4. 試驗方法、標準及結果。

5. 品質保證。

6. 容器於放射性廢棄物處理、貯存、運送及最終處置作業各階段之技術可行性評估。

7. 其他經主管機關指定之事項。

(三) 依「放射性物質安全運送規則」第 23 條規定，包件中之放射性物質，應受附件七及附件八中相關規定之限制。本案申請書載明 NARI-LRW-C3 低放射性廢棄物盛裝容器做為貯存場所盛裝容器使用時，經保守以 Co-60 核種推算，可允許裝載最大活度為 1.918×10^{12} 貝克之鋼材廢棄物或 1.849×10^{12} 貝克之混凝土廢棄物。

(四) 依「放射性物質安全運送規則」第 43 條規定，託運物品除以專用運送外，其他個別包件或外包裝之運送指數均不得超過十；運送指數在十以上或核臨界安全指數在五十以上之包件或外包裝，應以專用運送為之。本案申請書載明 NARI-LRW-C3 低放射性廢棄物盛裝容器做為運送容器使用時，經保守以 Co-60 核種推算，可允許裝載最大活度為 1.776×10^9 貝克之鋼材廢棄物或 1.880×10^9 貝克之混凝土廢棄物。

(五) 依「放射性物質安全運送規則」第 44 條規定，包件或外包裝除以專用運送，或作專案核定運送外，其外表面上之任一點，最大輻射強度不得大於每小時二毫西弗。

二、審查過程

國原院於 114 年 2 月 14 日提出本案申請，核安會邀請具輻射防護、放射性廢棄物處理、機械工程、高溫腐蝕及結構動力等專家學者及內部同仁共 7 人組成專案審查小組，並於 114 年 7 月 11 日召開審查會議，就審查意見進行溝通及爭點釐清。

本案審查委員共提出 57 項審查意見，經四回合審查後，所有審查意見均獲澄清並為審查委員接受，相關審查流程摘述如下：

(一) 國原院於 114 年 2 月 14 日檢具「NARI-LRW-C3 低放射性廢棄物盛裝容器使用申請書」，向核安會申請審查。

(二) 核安會邀請具輻射防護、放射性廢棄物處理、機械工程、高溫腐蝕及結構動力等專家學者及內部同仁共 7 人組成專案審查小組，於 114 年 3 月 4 日展開實質審查。

(三) 第一回合審查

審查委員共提出 55 項審查意見，核安會於 114 年 4 月 14 日函請國原院答復說明，國原院復於 114 年 5 月 27 日提出第一次意見答復說明。

(四) 第二回合審查

核安會於 114 年 7 月 11 日召開審查會議，邀集國原院及審查委員進行討論，本次會議新增 2 項意見；43 項意見同意結案；餘 14 項審查意見，並於 114 年 7 月 15 日函發第二次審查意見。國原院復於 114 年 7 月 30 日提出第二次意見答復說明。

(五) 第三回合審查

本回合審查 51 項意見同意結案；餘 6 項審查意見，並於 114 年 8 月 29 日函發第三次審查意見。國原院復於 114 年 9 月 17 日提出第三次意見答復說明。

(六) 第四回合審查

全數 57 項審查意見經審查委員複審後，確認均已澄清，國原院答復說明均可接受。

三、審查發現

國原院「NARI-LRW-C3 低放射性廢棄物盛裝容器使用申請書」經審查後，共提出 57 項審查意見，依法規要求概分如下：

(一) 「放射性廢棄物處理貯存及其設施安全管理規則」第 8 條，盛裝容器應符合相關規定(材質、設計、製造、防止腐蝕、結構完整、操作及搬運便利、機械承受負載、容器封蓋、外表平整易於除污、避免頂部積水)。

- (二) 「放射性廢棄物處理貯存及其設施安全管理規則」第 9 條，盛裝容器申請書應符合相關規定(試驗方法、標準及結果、品質保證、各階段技術可行性等)。
- (三) 「放射性物質安全運送規則」第 19 條，有關放射性物質、包裝及包件應符合之相關規定：附件三(包裝及包件之一般規定、乙型包件之規定、工業包件之規定)及附件四(主管機關規定之試驗)。
- (四) 「放射性物質安全運送規則」第 23 條：包件中之放射性物質，應受相關劑量限制；及「放射性物質安全運送規則」第 44 條：包件或外包裝除以專用運送，或作專案核定運送外，其外表面上之任一點，最大輻射強度不得大於每小時二毫西弗之規定。
- (五) 容器耐久性評估及防止容器發生腐蝕的機制與對策。

本案四回合審查意見及國原院答復說明，摘錄重要審查發現如下：

- (一) 「放射性廢棄物處理貯存及其設施安全管理規則」第 8 條，盛裝容器應符合相關規定之重要審查意見：

1. 依低放射性廢棄物盛裝容器使用申請書導則第二章(五)內容，說明容器盛裝、吊卸、搬運、堆疊、貯存及最終處置等各階段作業之負載與強度設計。

國原院答復說明：

- (1) 盛裝階段：容器最大總重 4,500 kg，其中容器淨重約 680 kg，最大廢棄物載重約 3,820 kg。
- (2) 吊卸與搬運階段：設計有 4 個矩形吊孔供吊運使用，並通過 1.5 倍設計總重的吊掛試驗。
- (3) 堆疊階段：可堆疊 5 層，經分析與測試可承受 5 倍設計總重 (22,500kg) 的負載。
- (4) 貯存階段：可滿足 25 年的設計使用年限。
- (5) 運輸階段：滿足容器總重且高度為 1.2 公尺的自由墜落試驗。

(6) 處置階段：C3 容器的設計尺寸與獲核准的 C1 容器相同，符合未來處置場的空間要求。

相關內容已於申請書中敘明。

2. 依低放射性廢棄物盛裝容器使用申請書導則第二章(六)內容，說明容器之密封性能及封蓋方式，包括密封方式、密封材料及密封評估方法。
國原院答復說明：

(1) 密封性能：容器上蓋下方設有厚度 0.6 cm、寬度 1.5 cm 的密封墊，並在四角墊有 0.4 cm 鐵板以限制壓縮量，確保容器本體與上蓋結合時的整體密閉性。

(2) 封蓋方式：上蓋與容器本體透過 28 個 M12 螺栓緊固連接，提供均勻壓力使密封墊發揮作用。容器本體及上蓋均採用連續密封銲接，進一步強化密閉效果。

(3) 密封材料：採用 EPDM 材質的密封環。此材料在低於 52°C 環境下壽命可超過 150 年，遠超容器 25 年的設計壽命，確保長期密封可靠性。

(4) 密封評估方法：依據「放射性物質安全運送規則」，容器通過自由墜落試驗(實際總重 4,640 kg 的面墜落及角墜落)，目視檢查結果為內部盛裝物無洩漏、無貫穿性破壞，符合運輸安全要求。

(5) 噴灑試驗定義與結果：噴灑試驗模擬降雨量，法規要求為每小時 5cm，實際試驗以 12 cm/h 的灑水量(經 ISO17025 認證實驗室量杯測量確認)持續 1 小時。試驗後，容器外表無積水，內部無水漬或積水，符合容器密封功能要求。

(二) 「放射性廢棄物處理貯存及其設施安全管理規則」第 9 條，盛裝容器申請書應符合相關規定之重要審查意見：

1. 本容器盛裝脫水粒狀樹脂，或盛裝其他廢棄物後再以水泥漿固結，是否影響本容器之使用年限。

國原院答復說明：

- (1) 本容器裝載廢棄物依據「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」第五條第一款規定自由水之體積不得超過總體積百分之零點五及第四款規定、不得含有腐蝕性之乾性固體低放射性廢棄物。在核安會 101 年「低放射性廢棄物盛裝容器審查導則研究」敘明國際間盛裝容器使用案例：聚乙烯質盛裝容器(polyethylene container)韓國用於裝填廢脫水樹脂。本容器為降低可能腐蝕性疑慮，盛裝脫水粒狀樹脂前，將在本容器內增加鋪設市售聚乙烯(PE)做為內襯，避免脫水粒狀樹脂與本容器間的直接接觸影響本容器之使用年限。鋼板與水泥接觸的這種環境下，可減緩鋼板的腐蝕速度，所以不會減少使用年限。
- (2) 另提供國際期刊論文說明鋼板與水泥接觸的這種環境下，可減緩鋼板的腐蝕速度，所以不會減少使用年限。
2. 申請書敘及製造管制文件、製造前需完成的管制文件、測試及檢查程序書、製造品質紀錄、竣工文件品質紀錄、測試及檢查報告、成品品質控制等品保措施，是否包含自由墜落及堆積試驗。
- 國原院答復說明：
- (1) 依據「放射性物質安全運送規則」，包件申請使用許可時，相關原型須執行並通過自由墜落試驗，證明其功能符合要求，但於量產製造時並無此要求。
- (2) 量產時，要求承製廠商於容器測試前提送「測試及檢查程序書」送審，其程序書之測試及檢查報告涵蓋基本測試項目為容器秤重、容器合蓋功能測試、容器尺寸檢查、容器堆疊試驗與容器吊運孔治具測試檢查。
- (3) 量產時，依據廠商製造前提送之「專案品質保證計畫」和相關程序書，執行品質管制和製程管制，確保後續量產的容器之品質具一致性，滿足相關法規與設計要求。
3. 基於「包件」等於「交運之包裝及其放射性包容物(廢棄物)」，相關「廢棄物」的處置要求，包括法規及處置場接收規範，宜補充說明。

國原院答復說明：

- (1) 申請書內文第 6.4 節修正內容如下：本容器裝載廢棄物進行最終處置交運時符合「放射性物質安全運送規則」附件三「放射性物質、包裝及包件」內容中第壹章「包裝及包件之一般規定」與第伍章「工業包件 IP-2 之規定」外，也依據附件五「運送指數(TI)」、附表十「非專用運送貨櫃及運送工具之運送指數限制」進行包件及外包裝之分類，最後依據附件六「包件及外包裝之分類及標誌」以及附件九「放射性物質交運文件應載明之事項」完成交運前準備工作。
 - (2) 交運後進行最終處置貯放時符合「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」內容中第二章「低放射性廢棄物最終處置要求」之第三條，依廢棄物其放射性核種濃度分類之規定，以及第五條第一~五款低放處置設施最終處置之廢棄物質特性要求。貯放地點參考台電公司 2020 年「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」建議候選場址台東縣達仁鄉、金門縣烏坵鄉處置窖之寬約為 8.5 m、高約為 5.9 m、深度為 16 m，估計可放置本容器 160 個以上。另本容器設計具有吊運功能(起重機)、搬運功能(堆高機)可滿足包件最終處置階段卸載時吊運、搬運、堆疊操作等作業需求。
- (三) 「放射性物質安全運送規則」第 19 條，有關放射性物質、包裝及包件應符合相關規定之重要審查意見：

1. 說明「放射性物質安全運送規則」附件四之三、(二)1、(2)關於規定自由墜落分析時如何考量角墜落以及其角度之定義。

國原院答復說明：

依據「放射性物質安全運送規則」附件四，第二型工業包件需經「證明具有承受一般運送狀況能力之試驗」中所規定之自由墜落試驗及堆積試驗並通過檢覈，其針對自由墜落試驗規定，包件質量於 5000 公斤內，自由墜落距離為 1.2 公尺；此外墜落角度為角落尖端與整體

重量質心處與地板之垂直方向，此角度為墜落造成結構受力最大處，為最保守之分析方式。

2. 角墜落分析中在碰撞發生後的第 0.015 秒時，容器結構發生最大等效應力約達 341.7 MPa，小於檢覈標準(400 MPa)，惟未分析「輻射強度增加量」，請補充說明。

國原院答復說明：

- (1) 以點射源計算本容器鋼鐵厚度 5 mm 與無鋼鐵屏蔽(假設點射源完全裸露)概略估算，本容器鋼板厚度 0 mm(無屏蔽)比鋼鐵厚度 5 mm 輻射強度增加 17%($2^{5/22}=1.17$)，估算結果低於「放射性物質安全運送規則」所述包件外表面上任何一點之輻射強度增加量，在原數值百分之二十以下。

- (2) 本容器的分析與試驗結果顯示，容器在碰撞後，材料不會有破壞發生，所以容器的密封完整性與屏蔽功能不會受到影響。基於點射源估算本容器屏蔽能力與試驗後實際結果，無需進一步分析或驗證「輻射強度增加量」低於原數值百分之二十以下。

- (四) 「放射性物質安全運送規則」第 23 條：包件中之放射性物質，應受相關劑量限制；「放射性物質安全運送規則」第 44 條：包件或外包裝除以專用運送，或作專案核定運送外，其外表面上之任一點，最大輻射強度不得大於每小時二毫西弗之規定之重要審查意見：

1. 申請書內文中第 1.3 節，適用範圍，敘及：(2)...若容器表面輻射劑量率超過 2mSv/h，將使用外加屏蔽或遙控等方式進行搬運。上段敘述合於法規要求且更嚴謹。惟較限縮現場作業彈性。請斟酌參考法規之用詞：裝有放射性廢棄物之盛裝容器表面輻射劑量率超過每小時二毫西弗者，應「採遙控或在加強輻射防護管制下操作」。

國原院答復說明：

已依審查意見修正：「(2)...若容器表面輻射劑量率超過 2 mSv/h，將在加強輻射防護管制下操作或遙控等方式進行搬運。」。

- (五) 容器耐久性評估及防止容器發生腐蝕的機制與對策之重要審查意見：

1. 容器材質使用 SS 400 或 A36，A36 對於 Si 含量之規定為 0.40 max。
請問本案對於這兩材料的 Si 含量有沒有更詳細的規定。

國原院答復說明：

- (1) 根據國際期刊研究，當矽含量在 0.06~0.10%或大於 0.25 wt%時，將導致鋼材在熱浸鍍鋅的過程中反應性遽增，導致鋅層厚度約為正常厚度的三倍，外觀上暗無光澤且有粗糙的斑點並且容易剝離，本容器原型使用鋼板與鋼管之 Si 含量為 0.01%，屬正常反應區間。
 - (2) 此外為確保熱浸鍍鋅品質，製造時將視實際需求於每批第 1 只製造容器，準備材料試片隨附於該只容器進行熱浸鍍鋅作業，完成後，品管人員對試片依 CNS 1247「熱浸法鍍鋅檢驗法」進行密著性檢驗，確保鍍鋅品質。
2. 申請書提到塗裝前需經過 SSPC 標準的表面清潔要求。對於塗裝，從文字上看起來，似乎是只有用單一油漆？一般的防蝕塗裝系統，都會包含底漆、中塗、面漆，並且各有施工的要求，但在本文中並沒有看到。建議應依(1) ISO 9223 (CNS 13401)先了解貯放地點之大氣腐蝕分類；(2)依大氣腐蝕類別、預計使用年限在依 ISO 12944 (CNS 16174)系列標準的建議，去規劃塗裝系統以及施工程序。

國原院答復說明：

- (1) 本容器使用年限是依據鍍鋅層的能力而設定，塗層僅為識別用，故不規定塗層道數與膜厚。於採購時，會敘明塗裝須通過 CNS10757 的附著性測試，以及表面不可有明顯的流滴、殘渣、起泡、砂孔等瑕疵為合格標準。
- (2) 未來本容器將貯存於國原院或核電廠的室內貯存設施，貯存環境需滿足 ISO 9223 的 C3 環境要求。依據 2024 臺灣大氣腐蝕劣化因子調查研究(年報)，國原院所在的龍潭地區符合 C3 的環境要求，核電廠所在區域雖屬 C5 的環境，但相關貯存設施為室內且具溫濕度控制，因此，只要室內溼度超過 80% RH 的時間低於 250

小時/年，即可符合 C3 的環境要求。在 C3 的環境下，鋅的腐蝕速度不超過 $2.1\mu\text{m}/\text{yr}$ ，由於本容器的熱浸鍍鋅層厚度超過 $65\mu\text{m}$ ，所以可提供容器 $65/2.1=30.9$ (年)以上的保護，此外，為確保 EPDM 密封墊的壽命，環境溫度應控制在攝氏 50 度以下。其可確保容器之熱浸鍍鋅膜厚滿足 25 年的使用壽命。

四、審查結論

- (一) 國原院 NARI-LRW-C3 低放射性廢棄物盛裝容器使用申請書，係依「放射性廢棄物處理貯存及其設施安全管理規則」第 9 條之規定，並參照「低放射性廢棄物盛裝容器使用申請書導則」要求進行編撰，審查結果可以接受。
- (二) NARI-LRW-C3 低放射性廢棄物盛裝容器使用申請書於第 2 章「容器設計」說明容器材質採 ASTM A36 鋼材，外表面經熱浸鍍鋅及塗漆處理，具防蝕、抗劣化及易於除污之功能，可確保設計年限內結構完整；容器設計採長方體結構，具搬運、吊卸、堆積功能，並說明密封、操作便利性及吊掛安全性之設計考量；符合「放射性廢棄物處理貯存及其設施安全管理規則」第 8 條規定，審查結果認為可以接受。
- (三) NARI-LRW-C3 低放射性廢棄物盛裝容器使用申請書依「放射性物質安全運送規則」相關規定進行盛裝容器試驗(含噴灑試驗、振動、吊掛、堆積、吊掛孔荷重及自由墜落等試驗)，經查試驗均依相關測試及檢查程序書規定執行，測試結果符合接受標準，試驗紀錄完整，審查結果認為可以接受。
- (四) NARI-LRW-C3 低放射性廢棄物盛裝容器做為貯存場所盛裝容器使用時，經保守以 Co-60 核種推算，可允許裝載最大活度為 1.918×10^{12} 貝克之鋼材廢棄物或 1.849×10^{12} 貝克之混凝土廢棄物，符合「放射性物質安全運送規則」第 23 條，對於包件中放射性物質劑量限制之規定，審查結果認為可以接受。
- (五) NARI-LRW-C3 低放射性廢棄物盛裝容器做為運送容器使用時，經保守

以 Co-60 核種推算，可允許裝載最大活度為 1.776×10^9 貝克之鋼材廢棄物或 1.880×10^9 貝克之混凝土廢棄物，符合「放射性物質安全運送規則」第 43 條，託運物品除以專用運送外，其他個別包件或外包裝運送指數均不得超過十之規定，審查結果認為可以接受。

(六) NARI-LRW-C3 低放射性廢棄物盛裝容器考慮可能發生腐蝕的機制，採用目前工業界常用的熱浸鍍鋅法，並於可與環境接觸的表面皆鍍上一層厚度 65 微米的熱浸鍍鋅層，經保守評估可有效避免全面腐蝕的發生，符合「放射性廢棄物處理貯存及其設施安全管理規則」及「低放射性廢棄物最終處置盛裝容器審查規範」之相關規定，審查結果認為可以接受。

(七) 國原院 NARI-LRW-C3 低放射性廢棄物盛裝容器使用申請書，經邀聘專家組成審查小組進行審查，所有審查意見均經所有審查委員逐項確認並接受，「NARI-LRW-C3 低放射性廢棄物盛裝容器使用申請書」亦依據審查意見完成修正，可做為後續之管制依據。

(八) 國原院「NARI-LRW-C3 低放射性廢棄物盛裝容器使用申請書」，經核安會審查後，確認符合「放射性物料管理法」、「放射性廢棄物處理貯存及其設施安全管理規則」、「低放射性廢棄物盛裝容器使用申請書導則」、「游離輻射防護法」及「放射性物質安全運送規則」之規定，修訂內容經審查委員確認後，認為可安全執行，本案併予同意核備。