

核能安全委員會
委託研究計畫研究報告

112 年用過核子燃料乾貯設施再取出單元及運
送作業安全管理技術精進研析
子項計畫二：用過核子燃料運送作業之安全管
制技術研析

期末報告

委託單位：核能安全委員會
執行單位：工業技術研究院
計畫主持人：李昭仁
子項主持人：張皓評
計畫編號：112FCMA004
報告日期：中華民國 112 年 12 月

用過核子燃料運送作業之安全管制技術研析 期末報告

受委託單位：工業技術研究院

研究主持人：李昭仁

協同主持人：張皓評

研究期程：中華民國 112 年 2 月至 112 年 12 月

研究經費：新臺幣 2,124,000 元

核能安全委員會 委託研究

中華民國 112 年 12 月

(本報告內容純係作者個人之觀點，不應引申為本機關之意見)

摘要

目前，我國核能電廠運轉年限將至，核一廠與核二廠已陸續進入除役階段，除役的關鍵是移出反應器廠房和用過燃料池中的用過核子燃料，才能繼續進行後續的除役拆除工作。針對用過核子燃料的貯存，短中程以廠內乾貯型式為主，中長程以集中式或是最終處置為主；於廠內乾貯時，通過廠內傳送作業，將用過核子燃料從反應器廠房傳送到廠內的貯存設施中，待集中式中期貯存設施或最終處置設施興建完成後，再通過廠外運輸作業，將用過核子燃料運輸至指定地點；因此，用過核子燃料廠外運輸作業是未來會執行的任務之一，為了確保運輸期間貨物、作業人員、一般民眾及環境的安全，有必要針對放射性物質運輸作業之安全標準及安全要求進行研析，厚實並完善必要之運輸安全管制技術。

本年度上半年之研究工作中，藉由彙整國際原子能總署於 2018 年，發佈的 SSR-6 (Rev.1) 放射性物質安全運送規則，掌握最新關於運輸放射性物質的安全標準和安全要求，通過研析美國能源部對於放射性物質運輸管理的規範，了解如何規範涉及與放射性材料運輸相關的活動，包含運輸計畫、路線規劃、緊急應變計畫和保安計畫等等，並彙整國內現行放射性物質運送之安全法規，作為後續研提放射性物質安全運送作業審查及安全管制技術建議的重要參考依據。

關鍵詞：用過核子燃料運送、放射性物質運輸安全規則、放射性物質運輸管理。

Abstract

As the operational lifetimes of our nuclear power plants come to an end, the decommissioning stages of ChinSan and Kuosheng Nuclear Power Plants have been initiated. The key aspect of decommissioning is the removal of spent nuclear fuel from the reactor buildings and fuel pools to proceed with subsequent dismantling activities. Regarding the storage of spent nuclear fuel, short to medium-term storage primarily adopts on-site dry storage, while long-term storage focuses on centralized or final disposal. During on-site dry storage, the spent nuclear fuel is transported from the reactor building to the on-site storage facility through internal transfer operations. Once the consolidated interim storage or final disposal facility is completed, the spent nuclear fuel is transported off-site to the designated location through external transportation operations. Therefore, the off-site transportation of spent nuclear fuel is one of the future tasks to be executed. To ensure the safety of the shipments, operators, members of the public, and the environment during transportation, it is necessary to analyze the safety regulations and requirements for the transportation of radioactive materials and enhance the required transportation safety control technologies.

In the first half year's research work, the latest international regulations and safety requirements for transporting radioactive materials were obtained by consolidating the International Atomic Energy Agency's SSR-6 (Rev.1) "Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material" published in 2018. Through the analysis of the U.S. Department of Energy's order " Departmental Materials Transportation Management", the activities related to the transportation of radioactive materials were understood, including transportation plans, route planning, emergency response

plans, and security plans. The current domestic regulations on the transportation of radioactive materials were also compiled, serving as an important reference for subsequent research and recommendations on the review of safety measures and technical controls for the transportation of radioactive materials.

Key Words: transportation of spent nuclear fuel, regulations for the safe transport of radioactive material, transportation management of radioactive materials

目 錄

摘 要.....	1
Abstract	2
目 錄.....	4
表 目 錄.....	9
圖 目 錄.....	10
1.0 前言.....	11
1.1 研究背景與目的.....	12
1.2 計畫目標與執行項目.....	12
2.0 放射性物質安全運送規則.....	14
2.1 IAEA 放射性物質安全運送規則背景.....	14
2.2 IAEA 放射性物質安全運送規則修訂歷程.....	15
2.3 IAEA SSR-6 (Rev.1)主要修訂內容.....	17
2.4 國內現行用過核子燃料運送安全管制法規.....	20
3.0 美國放射性物質運輸管理規範研析.....	26
3.1 背景.....	26
3.2 DOE O 460.2B 適用性.....	28
3.2.1 豁免貨物及等效性命令.....	28
3.3 名詞定義.....	29
3.4 DOE O 460.2B 規範要求.....	31
3.4.1 一般情況.....	31
3.4.2 程式化.....	32
3.4.2.1 自動化貨物處理.....	32
3.4.2.2 保險.....	32
3.4.2.3 付款審計.....	32
3.4.2.4 合規性評估.....	33
3.4.3 運送危險材料之裝運計畫.....	33

3.4.3.1	運輸計畫	33
3.4.3.2	路線規劃	34
3.4.3.3	公路上安全停車	35
3.4.3.4	貨物安全及保安	36
3.4.3.5	宣傳計畫及公開訊息	36
3.4.3.6	收貨通知及貨物調查	37
3.4.4	承運人及費用選擇	37
3.4.4.1	承運人的選擇	37
3.4.4.2	運輸服務及費用	38
3.4.5	檢查	39
3.4.5.1	一般要求	39
3.4.5.2	放射性物質出發前檢查	39
3.4.5.3	放射性物質抵達後檢查	40
3.4.5.4	用過核子燃料、高放廢棄物及含氙反應器組件	41
3.4.6	操作突發事件和緊急應變	42
3.4.6.1	緊急應變計畫	42
3.4.6.2	運輸用過核子燃料、高放廢棄物及含氙反應器組件天候及路況因素 ...	43
3.4.6.3	緊急通報	44
3.4.6.4	緊急應變	44
3.4.6.5	對未分類的放射性材料進行恢復和清理	45
3.5	權責範圍	45
3.5.1	環境管理辦公室助理秘書	45
3.5.2	核安全局基礎設施和運營副局長	46
3.5.3	能源部、運輸計畫秘書處主管及核安全局副局長	46
3.5.4	各地辦事處主管	47
3.5.5	承包人員	48
3.6	對承包商之要求文件(CRD)	48
3.7	運送貨物之保安措施	48

3.7.1 用過核子燃料(>100 g)、高放廢棄物及含氫反應器組件	48
3.7.1.1 一般要求	48
3.7.1.2 公路運輸	50
3.7.1.3 鐵路運輸	51
3.7.1.4 水路運輸	51
3.7.2 用過核子燃料(≤ 100 g)及 I 類放射源	51
3.7.3 II 類放射源	51
3.7.4 運輸調查	52
3.8 貨物預先通知	52
4.0 美國運輸法規協調內容與運輸準備工作	54
4.1 背景	54
4.2 美國聯邦法規基於 IAEA SSR-6 (Rev.1)之協調內容	57
4.2.1 背景	57
4.2.2 擬定修訂議題	59
4.2.3 與用過核子燃料相關之修訂議題	65
4.2.3.1 運輸包件對日照評估的要求	66
4.2.3.2 納入老化機制評估與維護計畫	67
4.2.3.3 刪除用過核子燃料裝運重複的提前通知要求	67
4.3 美國 NRC 對於大規模用過核子燃料運輸的準備情況	68
4.3.1 評估領域與討論	70
4.3.1.1 用於包件和運輸的法規與指引	71
4.3.1.2 用於貯存的法規與指引	72
4.3.1.3 10 CFR 72.48 中關於變更、測試和試驗的規定	73
4.3.1.4 用於保安的法規和指引	74
4.3.1.5 用過核子燃料用於貯存和運輸的裝載活動	75
4.3.1.6 安全及風險評估	76
4.3.1.7 環境審查	77

4.3.1.8	過往對於法規的評估.....	77
4.3.1.9	過往大規模運輸用過核子燃料的經驗.....	78
4.3.1.10	DOE 運輸與商業運輸用過核子燃料之差異.....	79
4.3.1.11	溝通與擴大服務範圍計畫.....	79
4.3.1.12	具體的資訊要求.....	80
4.3.1.13	待運輸之用過核子燃料現況.....	80
4.3.1.14	聯邦機構監管用過核子燃料運輸的跨機構協議.....	81
4.3.1.15	運輸車隊/載具的現況.....	81
4.3.1.16	運輸路線審查程序.....	82
4.3.1.17	運輸前和運輸過程中的安全監管.....	82
4.3.1.18	運輸前和運輸過程中的保安監管.....	85
4.3.1.19	接收用過核子燃料包件的檢查規定.....	86
4.3.2	建議改進措施.....	86
4.3.2.1	建立新的或加強現有的安全檢查程序.....	86
4.3.2.2	建立新的或加強現有的保安檢查程序.....	87
4.3.2.3	制定檢查排程的指引方針.....	88
4.3.2.4	加強檢查員的資格和訓練要求.....	89
4.3.2.5	制定新的或加強現有的檢查手冊章節.....	89
4.3.2.6	制定溝通策略和擴大服務範圍計畫.....	90
4.3.3	運輸活動中各方的角色與責任.....	91
4.3.3.1	美國 NRC.....	92
4.3.3.2	美國 DOT.....	92
4.3.3.3	美國 NRC 與 DOT 之間的互動.....	93
4.3.3.4	美國 DHS.....	94
4.3.3.5	美國 DOE.....	94
4.3.3.6	運輸路線上的州及部落.....	95
4.3.4	監管路線藍圖.....	95
4.3.5	調查結論與建議.....	98

5.0 放射性物質運送作業安全管制建議.....	101
5.1 現行核子燃料運送安全管制法規與經驗.....	101
5.2 用過核子燃料運送安全管制建議.....	102
5.2.1 概述.....	103
5.2.2 運送設備及吊卸機具.....	103
5.2.3 運送路線.....	105
5.2.4 作業程序.....	105
5.2.5 意外事故評估及緊急應變計畫.....	105
5.2.6 保安計畫.....	106
5.2.7 檢查.....	107
6.0 結論.....	108
7.0 參考資料.....	112
8.0 附錄 A: 現行放射性廢棄物安全運送相關法規.....	114
8.1 附錄 B: 中英對照表.....	117

表目錄

表 1 IAEA SSR-6 (Rev.1)主要修訂段落	17
表 2 「放射性物質安全運送規則」規範用過核子燃料運送作業事項	21
表 3 放射性物質運送計畫及安全管制計畫需載明事項	23
表 4 「核子燃料運作安全管理規則」規範運輸用過核子燃料之事項	24
表 5 放射性物質運輸相關單位與職責	26
表 6 DOE 放射性物質運輸管理規範(DOE O 460.2B)名詞定義	29
表 7 NRC 協調放射性物質安全運輸規則內容與擬定採取方案	59
表 8 NRC 放射性物質安全運輸規則協調內容參考依據	60
表 9 彙整協調法規相關議題與 NRC 擬定修訂之內容	61
表 10 使用於用過核子燃料運輸的保安法規	74
表 11 核子燃料於各階段及運輸活動中各方的角色及責任	91
表 12 INF 船舶分類	104

圖目錄

圖 1 IAEA 安全標準層級.....	14
圖 2 2000 年起 IAEA 放射性物質安全運輸規則修訂歷程.....	16
圖 3 截至 2021 年 6 月美國各州貯存商用用過核子燃料之數量統計.....	54
圖 4 美國水池及乾貯中之用過核子燃料數量及推估總量.....	55
圖 5 運輸活動中各聯邦機構之角色與負責內容.....	96

1.0 前言

在核能電廠除役過程中，關於用過核子燃料的貯存、傳送、運輸及處置等步驟，各國採用的處置流程皆有所不同，根據台電公司目前的規劃，除役期間電廠之用過核子燃料，經由廠內作業程序，傳送至廠址內之乾式貯存設施內，等待中期暫時貯存設施或最終處置場興建完成後，再經由廠外運輸至該地進行貯存或後續處置。關於用過核子燃料乾式貯存設施之管制法規已相當齊備，對於各個階段包含申請執照、運營等皆有相對應管理辦法；在用過核子燃料運輸的流程，可分為廠內傳送及廠外運輸，按照現階段之規劃，廠內傳送作業係依據各電廠既有之「放射性物質及放射性廢棄物廠內運送作業」程序書辦理；廠外運輸作業需符合「放射性物料管理法」、「放射性物質安全運送規則」、「核子燃料運作安全管理規則」等安全法規的規範，並依照各廠規劃之乾貯護箱系統廠外運輸作業辦理。

其中，放射性物質執行廠外運輸規劃及作業時，須依照「放射性物質安全運送規則」辦理[1]，該項規則於 96 年 12 月修正發布，在放射性廢棄物包件的分類、測試及運輸要求等相關規則上，與 2009 年國際原子能總署(International Atomic Energy Agency, IAEA)發布的 TS-R-1 相同；IAEA 針對放射性物質安全運輸規則(Regulations for the Safe Transport of Radioactive Materials)，自 1961 年首次發布第一版後，大約每十年發布一版修訂版，直至 1996 年後，維持每兩年審查一次、每兩到四年發布一修正版，持續到 2012 年，這段期間內共發布 1996、2000、2003、2005、2009 和 2012 年修正版，由於這幾版之間所修訂之內容，對於包裝設計或運輸操作要求的影響較小，因此版本間不需要作過渡安排，而 2018 年六月發布的修正版本 SSR-6(Rev.1)[3]，其中包含多項改變，包含(1)在運輸法規中增加緊急應變的內容、(2)改變專業術語用法、(3)引入貯存後運輸的概念、(4)引入 SCO-III(大型表面污染物體)的要求、(5)在包裝設計中考慮老化機制、(6)在評估含有 UF₆ 的個別隔離包裝時，將插塞(plug)及其他隔離組件納入考量。

由於這一系列改變，2018 年發布之 SSR-6(Rev.1)可被歸類為一新的修正版本，獨立於 1996-2012 年之間所發布之版本，為確保運輸安全相關之資訊與國際規範和法規架構保持一致，有必要掌握該版本的修訂項目內容，並參考國際間對於運

輸用過核子燃料所採用的操作手冊，這對於未來執行運輸用過核子燃料及放射性廢棄物時，相關運輸規劃與作業之安全管制技術和審查有著實質性的助益。

1.1 研究背景與目的

依據放射性物料管理法第 18 條及施行細則第 27 條規定，位於電廠內之乾式貯存設施運轉執照最長為 40 年，可於期限屆滿 2 年前，向主管機關申請換發執照，台電公司已規劃未來乾式貯存設施執照期滿後，將用過核子燃料運輸至集中式中期貯存設施或最終處置設施；關於用過核子燃料的運輸作業及計畫，其需符合「放射性物質安全運送規則」，包括擬定運輸之放射性物質形式、包裝之設計及運送包件設計、製造及試驗等；根據「放射性物質安全運送規則」之發展歷程，其於 1971 年發佈施行第一版，並於 2000 年起依照 IAEA 對放射性物質安全運輸規則 TS-R-1 之修訂版，分別於 2000、2003 及 2007 年發布後續之修訂版，目前現行最新的運送規則版本於 2007 年發布。

因 IAEA 於 2018 年發布之 SSR-6 (Rev.1) 被視為一新修訂版系列之開端，且未來台電公司有用過核子燃料廠外運輸的實質需求，整理現行法規及相關資訊，對比國際運輸規則及法規框架，將有利於對後續運輸計畫之規劃及安全管制技術發展。本計畫將針對 IAEA 於 2018 年發布之 SSR-6 (Rev.1)，以及國際間用過核子燃料運送作業之安全要求研析，並審視現有放射性廢棄物運送之安全法規，針對用過核子燃料在未來進行運輸作業審查時，所需之運輸管理審查要求及安全管制提出建議，作為未來放射性物質安全運送審查作業之參酌依據，並協助管制單位逐步完善放射性物質運送作業審查相關之安全管制技術。

1.2 計畫目標與執行項目

根據現有對於用過核子燃料貯存及處置規劃，將以廠內暫時貯存的方式進行，待集中式中期貯存設施或是最終處置設施興建完成後，再將其移往該地，這亦是目前主流規劃方式之一。關於放射性物質的運輸作業規劃是一項備受注目的活動，在運輸期間確保包件安全與保安要求都是重大任務之一，目前現行法規是依照 IAEA TS-R-1 而制定，其適用於放射性物質經由陸地、水路及空中等運輸方式，以

及運輸過程中使用之輔助設備，並規範運輸作業之安全標準，包括包裝設計、製造、維護、維修，以及放射性物質包件的準備、託運、裝載、卸載和接收等；因IAEA已於2018年，針對放射性物質運輸法規，發布新的系列SSR-6 (Rev.1)，對法規多項內容進行修改，有必要進行調查與研讀，並彙整國際間用過核子燃料運送作業之安全要求，藉由研析國際間放射性物質安全運送規定，強化管制單位對放射性廢棄物運輸管理審查之安全管制技術及要求，確保用過核子燃料運輸作業安全，並依照研究成果，研提放射性物質運送作業之安全管制技術建議，作為未來運輸安全管制及要求之參考依據。

綜上所述，本年度計畫之工作內容要點將包含(1)國際間用過核子燃料運送作業之安全要求資訊研析，以及(2)放射性物質安全運送作業之安全管制精進建議。本年度預定完成之工作項目包含：

[1] 國際間用過核子燃料運送作業之安全要求資訊研析

彙整研析國際間如美國聯邦法規、IAEA SSR-6 (Rev.1)等放射性物質安全運送規則中，對於放射性物質運送作業之安全標準及安全要求等資訊。

[2] 放射性物質安全運送作業之安全管制精進建議

根據研析結果研提放射性物質安全運送作業審查之精進建議，以作為國內未來放射性物質安全運送審查作業之參酌依據。

2.0 放射性物質安全運送規則

2.1 IAEA 放射性物質安全運送規則背景

1957 年國際原子能總署(IAEA)成立，該機構為一聯合國機構，負責促進和監督核能的和平利用，其中一項重要的工作項目為制訂核能與輻射安全標準，並促進核能及相關技術應用之安全發展；為了確保全球範圍內放射性物質的安全運輸，IAEA 制定了一系列標準和指南，在放射性物質的安全和安全運輸方面發揮著重要作用。

IAEA 之安全標準(Safety Standards)在開發及修訂時，會將各會員國對草案之意見納入考慮範圍，確保該安全標準係在取得國際共識之基礎下制定與修正，故在施行時可視為國際上可接受之標準，並作為製定國家核監管框架的指南；安全標準主要分為三個部分，包含安全基本原則(Safety Fundamentals)、安全要求(Safety Requirement)及安全導則(Safety Guides)，安全基本原則規定防護和安全的基本目標和原則，安全要求規定了為確保現在和將來，對一般民眾及環境保護所需滿足的要求，安全導則中詳述如何滿足上述的要求，並提供建議和指導意見；在安全要求中，另分為一般安全要求及特別安全要求，分別適用於所有設施及活動和適用於特定設施及活動，同樣地，在安全導則中，亦分為一般及特別安全導則；如圖 1 所示，按照重要性層級劃分，一共可分為五層，第一至第三層之安全規定屬於基本原則及規範，使用者均需符合才能保證核能安全，而第四及五層屬於建議性質，使用者可視情況儘量符合，



圖 1 IAEA 安全標準層級

關於放射性物質的運輸，IAEA 制定放射性物質安全運輸規則(Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material)，由運輸安全標準委員會(Transport Safety Standards Committee, TRANSSC)負責審查和修訂，該委員會由 IAEA 各成員國專家及相關國際組織代表組成，每次修訂都會被納入聯合國橘皮書中，完成修訂程序後將納入新版的運輸規則中；該規則於 1964 年，經歷過第一次修訂後，被應用於國際運輸中，相關國家亦以此為基礎，修訂各國放射性物質運送法規；由於放射性物質運輸屬於危險貨物運輸範疇，於 1969 起，該規則被與危險貨物運輸相關的國際組織採用，如國際民航組織及國際海事組織等。

2.2 IAEA 放射性物質安全運送規則修訂歷程

IAEA 於 1957 年成立後，於 1958 年發布關於同位素安全處置的安全標準，隨後於 1961 年出版第一版的放射性物質安全運輸規則，並在 1964 年、1967 年、1973 年、1985 年和 1996 年進行了修訂，此段期間(2000 以前)每一修訂版發布時間約間隔 10 年左右。

針對危險物品運輸，聯合國經濟與社會理事會(United Nations Economic and Social Council, ECOSOC)所屬「危險貨物運輸專家分組委員會」制定危險貨物運輸建議書(Recommendations on the Transport of Dangerous Goods)，其因採用橘色封面亦稱為橘皮書，該建議書為各國政府及各國國際機構(國際民航組織及國際海事組織等)有關危險貨物運輸法規的最高指導原則，其中對於危險物品建立了一套分類系統，用於確定和識別不同類型的危險物質，以便在其運輸、存儲和處理過程中，採取適當的安全措施，該建議書之副標題為規章範本(Model Regulations)，意指建議書中為所有的運輸模式包含陸路、水路、空中進行規範；根據該建議書的分類，主要的危險貨物類別包含 9 個類別，分別為(1)爆炸物、(2)氣體、(3)易燃性液體、(4)易燃固體、(5)氧化媒介物及有機過氧化物、(6)毒性及感染性物質、(7)放射性物質、(8)腐蝕性物質以及(9)其他危險性物質，每個類別中還有細分的子類別和相應的編號，以更具體地描述不同類型的危險物質。

因為放射性物質運輸屬於危險貨物分類中的第 7 類，危險貨物運輸專家分組委員會制定危險貨物運輸建議書時，皆採用放射性物質運送規則之內容，為了使

兩者的版本修訂週期能相銜接，自 2000 年起，TRANSSC 委員會根據 IAEA 之建議，縮短修訂時程，改為 2 年一次修訂及審查程序，以配合危險貨物運輸規章範本的修訂時間，並加強國際間運輸規則之間的協調。但實際執行後委員會發現，由於需要同時處理現行版本、修訂版本、審查版本等問題，非常容易導致版本混亂，並且需要增加人力及物力來維護及管理，且放射性物質安全運輸規則僅涉及第 7 類危險貨物，占危險貨物分類中(共 9 類)很小部分；為了避免版本衝突的現象發生，以及節省時間及人力成本，自 2005 年以後，TRANSSC 委員會採用每 2 年審查一次，有必要時才進行修訂的原則，來平衡修訂版本的穩定性及管理成本，啟動修訂程序的標準為，該項修訂對於安全有足夠的重要性，需要提出新的版本，對於制定標準的原則包含(1)最佳化、(2)效率/實用性和法規穩定性、(3)符合劑量限制、(4)社會經濟考慮、(5)使規則協調一致以及(6)澄清/說明。

於 2010 年，IAEA 文件的出版程序經歷了更新，以往的修訂流程由建立 IAEA 安全標準的策略和程序(Strategies and Processes for the Establishment of IAEA Safety Standards, SPESS)取代，其中規定了文件出版的每一步由誰做什麼和如何進行，此後，放射性物質安全運輸規則與相關輔助文件的修訂，皆依照 SPESS 的步驟進行，共有 4 個階段包含 14 個步驟，第一階段為標準計畫與批准(4 個步驟)，第二階段為標準草案(4 個步驟)，第三階段為標準完善(3 個步驟)，第四個階段為核可與印發(3 個步驟)，通常一項標準完成 SPESS 的修訂流程約為 2 年；圖 2 中顯示，歷年 IAEA 放射性物質安全運輸規則已發行的版本，現行版本為 2018 年發行的 IAEA SSR-6(Rev.1)，該版本修訂流程始於 2015 年，主要工作由 IAEA 秘書處聘請專家團隊歷經 3 年完成。



圖 2 2000 年起 IAEA 放射性物質安全運輸規則修訂歷程

2.3 IAEA SSR-6 (Rev.1)主要修訂內容

現行的放射性物質安全運輸規則 IAEA SSR-6 (Rev.1)，於 2013 年週期時(2005 年起開始 2 年一次的審查週期，審視是否需要修訂規則的必要)開始收集問題，於 2015 年週期時進入修訂流程，在此版本因為與 1996 年發布的版本有明顯的改變，可能會影響材料或是包件設計，因此額外增加一套過渡性安排。修訂的主要段落如表 1 所示。

表 1 IAEA SSR-6 (Rev.1)主要修訂段落

修訂段落	101、102、104
	244
	304、305、309
	409、411、413、414、423、424、427
	503、509、510、513-517、520、522-524、527-529、 540、543、546、566、571-573、575、579
	605、617、622、624、626-630、648、659、671、680
	701、716
	809、817、819、820、823、825、832、833、838
新段落	220A
	524A、536A
	613A
	821A、827A
刪除的段落	233
	601

下列就 IAEA SSR-6 (Rev.1)修訂的內容進行討論:

A. 準備緊急應變措施的計畫

在修訂版中增加緊急應變措施的要求，包含:

- 第 104 條目的章節中，增加關於規劃緊急應變措施的敘述，對運輸安全提供進一步的保護。
- 由於運輸作業中，發貨人和承運人是直接執行者，在第 304 條中，除了將緊急情況定義為，放射性物質運輸期間發生核或輻射緊急情況，還要求發貨人或承運人需按照相對應規範，事先規劃與準備緊急應變措施之相關計畫，進一步強化發貨人及承運人的職責和分工。
- 第 305 條中，規定對於事故應變計畫的分級方法與應用。

B. 納入兩用護箱的概念

根據 TRANSSC 及廢棄物安全標準委員會(Waste Safety Standards Committee, WASSC)聯合工作小組的建議，將兩用護箱的概念納入修訂版中，包含:

- 第 106 條描述之範圍章節中，增加「貯存後運輸」的概念。
- 第 503 條中增加項目(e)，對於貯存後擬定運輸的貨物，需確保在貯存期間，遵守 IAEA SSR-6 (Rev.1)相關條款以及適用之許可證規定，對所有包裝部分和放射性內容物進行維護，確保貯存後可運輸。
- 第 809 條中修訂項目(f)以及增加項目(k)，關於 B(U)型和(C)型貨物包件，申請批准用於貯存後運輸的設計時，在安全分析、操作建議以及維護說明中，需考慮老化機制的合理性(f)，並說明差距分析計畫，其中涵蓋定期審視運輸規則變化、技術發展變化和護箱設計狀態變化的計畫(k)。

C. 規範第三類表面污染物(SCO-III)的運輸要求

以往運輸大型表面污染部件時，需要經過特殊安排，此類貨物通常是核設施除役後產生的大型固體放射性廢棄物，由於此類大型物件具有體積大且形狀不規則、重量大、多為表面沉積等特性，使此類貨物無法按照 IAEA 相關規定的要求

實施運輸，隨著國際間相關除役的案例增加，此類大型包件運輸活動越來越頻繁，IAEA 成員國根據以往的運輸經驗，將 IAEA SSG-26 附錄 VII 中規範大型部件運輸安全及監管的要求，納入 IAEA SSR-6 (Rev.1) 中，以避免使用特殊安排，其中包含：

- 第 413 條中增加項目(c)，規範 SCO-III 的要求。
- 第 520 條中增加項目(e)，對 SCO-III 貨物在無包裝的情況下，運輸的要求和安全管制。
- 第 522 條中，允許 SCO-III 貨物運輸時，總放射性活度超過 IAEA SSR-6 (Rev.1)表 6 的限值，但須滿足與該活度相對應的安全水準與要求。
- 第 825 條中增加項目(e)，規定 SCO-III 的運輸需多邊批准。
- 第 827A 條中，規定 SCO-III 運輸批准申請書需準備之文件。

D. 第三型低比活度物質

根據歐洲於 21 世紀開始的調查工作結果，證實 LSA-III 材料瀝濾(Leaching)試驗與事故中材料活度釋放之間沒有關係，故刪除與 LSA-III 在水中浸泡試驗的相關要求，包含第 409 條項目(c)、第 610 條及第 701 條。

E. 名詞定義

刪除第 233 條，增加第 220A 條，以劑量率(dose rate)取代輻射水準(radiation level)。

F. 修改放射性核種的基本值

- 於 IAEA SSR-6 (Rev.1)表 2 中增加 7 個核種的 A1、A2、豁免及運輸豁免活度限值，包含 Ba-135m、Ge-69、Ir-193m、Ni-57、Sr-83、Tb-149 和 Tb-161。
- 於表 2 註腳(a)中，刪除 Ar-42/K-42 和 Te-118/Sb-118，在註腳(b)中，澄清子代核種對母體核種 A1 和 A2 貢獻的處理。
- 天然釷和天然鈾的母核種，分別被澄清為 Th-232 和 U-238。

G. 運輸指數

第 524 條中增加描述，對於單一發貨人的運輸活動，發貨人可以通過直接測量方式確定運輸指數(Transport Index, TI)。

H. 運輸記號

增加第 536A 條，託運貨物上，與聯合國編號和正式運輸名稱無關的標記應予刪除或覆蓋，

I. 運輸劑量率限制

修訂第 566 條關於運輸劑量率限值，僅適用於車輛或貨物容器，規定表面、距離 2 公尺及專用車輛的劑量率限制，對於船舶及飛機並無適用之限值。

J. 老化機制

增加第 613A 條，要求包裝設計需要考慮老化機制，分級方法將會在下一版 IAEA SSG-26 中詳述。

K. 六氟化鈾(UF₆)容器

修訂第 680 條項目(b)，增加對於插塞的描述；對盛裝最高 5% U-235 之 UF₆ 包裝，經過第 685(b)條的測試後，不允許包裝的閘門或插塞與其他組件之間有物理上的接觸。

L. 銜接新版本之過渡安排

- 由於該版本包含多項修訂，在第八章中，刪除沒有對 1996 年版本造成影響的註解。
- 第 819 至 823 條，為 1985、1996 年直到 2012 年的版本做出過渡性安排，原先適用於 1973 年版本之過渡安排已刪除。

2.4 國內現行用過核子燃料運送安全管制法規

國內現行之用過核子燃料之管理策略，短中程以電廠內乾貯為主，中長程以

集中式或是最終處置設施為主，於廠內傳送時，依照現行法規，需依照廠內的運送作業管制程序書辦理，而執行廠外運輸作業時，需要按照相關規範，提交運送計畫書；現行與用過核子燃料運送相關的管制規範包含：

A. 放射性物質安全運送規則

規範用過核子燃料運送作業事項之條文包含第 6、28、29、30、42、44、45、69、71、88、89 條[7]，相關細項彙整於表 2。

表 2 「放射性物質安全運送規則」規範用過核子燃料運送作業事項

條文編號	描述
第 6 條	定義「專用」係指由託運人單獨使用，且其過程係由託運人或受貨人或其代理人在直接監督下裝卸之運送行為。
第 28 條	規範包件在第一次交運前應符合之事項，對乙型或丙型包件，應保證屏蔽、包封容器以及熱傳導性能，均符合設計限值或在指定範圍以內。
第 29 條	與第 28 條不同處在於，該條文規範乙型或丙型包件，於每一次交運前應符合其核准證書上所記載之規定，以及「放射性物質安全運送規則」之相關規定。
第 30 條	放射性物質交運時，託運人應將放射性物質交運文件及物質安全資料表一式二份交付運送人。
第 42 條	<p>規定放射性物質之包件及外包裝的運送指數及核臨界安全指數。</p> <p>規定運送工具之表面劑量率限值</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 表面任一點<2 mSv/h ➤ 距表面 2 公尺<0.1 mSv/h

第 44 條	除專用運輸或專案核准之運送外，規定包件表面之劑量率限值 ➤ 表面任一點<2 mSv/h
第 45 條	規定專用運送包件之表面劑量率限值 ➤ 表面任一點<10 mSv/h
第 69 條	專用運送車輛之表面劑量率限值 ➤ 開敞式，表面任一點<2 mSv/h，距表面 2 公尺<0.1 mSv/h ➤ 備有車廂，可防止人員接近內部，包件表面任一點<10 mSv/h，距表面 2 公尺<0.1 mSv/h
第 71 條	規範駕駛艙人員為駕駛員及助手，乘坐位置之劑量率<0.02 mSv/h，若配戴個人偵測設備則不在此限。
第 88 條	申請乙（U）型包件及丙型包件設計之核准，應檢附之資料。
第 89 條	申請乙（M）型包件，除須符合第 88 條要求外，尚需額外檢附之資料。

B. 放射性廢棄物運作許可辦法

該辦法係依照「放射性物料管理法」第 25 條第一項規定訂定，規定放射性廢棄物之輸入、輸出、過境、轉口、運送、廢棄或轉讓之運作許可申請辦法，其中第三條載明[8]，申請放射性廢棄物之運送許可，應符合放射性物質安全運送規則規定，並由持有人或運送人提出運送計畫，若擬定運送物屬於高放射性廢棄物時，應另外附上安全管制計畫；關於運送及安全管制計畫之要求，合併「放射性廢棄物運作許可辦法」以及「核子燃料運作安全管理規則」載明事項，彙整於表 3。

表 3 放射性物質運送計畫及安全管制計畫需載明事項

運送計畫	安全管制計畫
(1) 放射性廢棄物之種類、性質、數量。 (2) 運送路線、設備、機具、包裝容器及運送作業之可能休息點。 (3) 工作人員之任務編組及通訊方式。 (4) 作業程序。 (5) 輻射劑量評估及輻射防護措施。 (6) 意外事故評估及其應變措施。 (7) 其他經主管機關公告之事項。	(1) 安全管制人員組織及任務說明。 (2) 安全管制人員訓練及講習。 (3) 安全管制措施。 (4) 緊急事件之安全戒護。 (5) 聯絡及通報方式。 (6) 其他經主管機關公告之事項。

C. 核子燃料運作安全管理規則

根據「放射性廢棄物運作許可辦法」第 9 條規定，若經由公路、鐵路或是海運運輸高放射性廢棄物時，需滿足「核子燃料運作安全管理規則」第六、七及八條之規定，該規則是依照「放射性物料管理法」第 15 條第五項規定訂定，規定核子燃料之持有、使用、輸入、輸出、過境、轉口、運送、貯存、廢棄、轉讓、租借或設定職權之安全管理規則[9]，與運輸用過核子燃料相關之細項彙整於表 4。

表 4 「核子燃料運作安全管理規則」規範運輸用過核子燃料之事項

條文編號	描述
第 4 條	<p>1. 由託運人提交申請表，並檢附運送計畫及安全管理計畫，申請表中應包含事項：</p> <p>(1) 種類、數量、性質及用途。</p> <p>(2) 預定運送期間。</p> <p>(3) 運送人。</p> <p>(4) 其他經主管機關公告之事項。</p> <p>2. 於執行運送作業前，託運人應填報交運文件，送主管機關備查。</p>
第 5 條	<p>運輸核子燃料之運送計畫及安全管理計畫所需載明之事項，執行時應同時參照並符合「放射性廢棄物運作許可辦法」第 3 條所規範之內容。</p>
第 6 條	<p>規定執行公路運輸時之安全管理要項：</p> <p>(1) 行車四小時以上，應更換駕駛人。</p> <p>(2) 運送車隊前後應有前導車及護送車押運，每一運送車輛均應由攜帶槍械及通訊設備之警察護送。</p> <p>(3) 預先協調當地及沿途警察機關，實施交通管制及排除道路障礙。</p>
第 7 條	<p>規定執行鐵路運輸時之安全管理要項：</p> <p>(1) 以專列火車或附掛於貨物列車之專車運送。</p> <p>(2) 指派攜帶槍械及通訊設備之警察護送，並於停靠站時下車監視。</p> <p>(3) 預先協調各預定停靠站警察機關派員戒護。</p> <p>(4) 列車抵達目的車站時，提貨前應由攜帶槍械之警察戒護。</p>

第 8 條	<p>規定執行海洋運輸時之安全管制要項:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 包件應置於可隔離並加封條上鎖之船艙或貨櫃內。 (2) 國內航線應指派攜帶通訊設備之人員護送。 (3) 預先通知啟卸港之港務局，並協調警察機關派員戒護。 (4) 船舶抵達目的港埠時，提貨前應由攜帶槍械之警察戒護。
第 9 條	<p>規定執行空中運輸時之安全管制要項:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 以貨機運送。 (2) 包件應置於加封條上鎖之包封容器內。 (3) 預先通知起降地航空站，並協調警察機關派員戒護。 (4) 貨機抵達目的航空站時，提貨前應由攜帶槍械之警察戒護。
第 18 條	<p>核子燃料之運作涉及運送或貯存者，託運人或經營者於申請時，應另檢附履行核子損害賠償之責任保險或財務保證文件正本，或經公證人認證之影本。</p>
第 19 條	<p>核子燃料之運作，若發生以下緊急事項，應於 2 小時內通報主管機管並於 30 日內提交書面報告:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 因天然災害或其他因素，對核子燃料之安全構成實質威脅或妨礙執行安全運作。 (2) 人員接受之輻射劑量或運作過程中外釋之放射性物質，超過游離輻射防護法之規定。 (3) 核子燃料遺失、遭竊或受破壞

3.0 美國放射性物質運輸管理規範研析

3.1 背景

在美國，放射性物質可藉由公路、鐵路、空中及水路進行運輸，運輸時需符合相關規範，以確保駕駛員、一般民眾和環境的安全，且用於運輸放射性物質的包裝需經過相關測試，以確保在發生意外事故時能保證人員安全。每年約有三百萬件含有放射性物質的貨物，於美國境內進行運輸，包含用於醫學、發電、研究、製造和軍事等領域，運輸放射性物質需要受到嚴格的監管，由貨物中的放射性活度和類型決定如何運輸以及受到控制的級別；若放射性活度很低的材料，可在有限的控制下進行運輸；若運輸放射性活度高，或是可能對一般民眾造成危害的材料時，需要對運輸路線、安全措施進行規劃，並通知沿線上的地方政府。

運輸放射性物質時，需要以特定的容器盛裝，使用的包裝類型取決於放射性物質及運輸型態，每種盛裝容器均需進行特定測試，以確保出現意外時能承受相對應的損害；目前，美國大多數的放射性物質皆經由高速公路進行運輸，規劃運輸路線時需評估運輸路線，根據放射性物質活度，避開人口稠密地區，並於執行運輸任務時持續追蹤貨物，必要時視需要提供相對應的安全保護措施。與放射性物質運輸相關之聯邦機構/單位以及主要職責，如表 5 所示。

表 5 放射性物質運輸相關單位與職責

聯邦機構/單位	職責
美國交通部(Department of Transportation, DOT)	DOT 負責監督運輸過程中，包含公路、鐵路、空中、水路運輸危險材料的安全，DOT 的危險材料安全辦公室 (Office of Hazardous Materials Safety, OHM) 與 NRC 合作，確保放射性物質運輸的安全。
美國核能管理委員會 (Nuclear Regulatory	NRC 負責保護一般民眾免於受到，來自核反應器、反應器副產品、用過核子燃料、其他放射性廢棄物

Commission, NRC)	的輻射；NRC 與 DOT 合作制定放射性物質運輸的安全規則，NRC 負責監督運輸放射性材料的包裝設計與使用，DOT 負責監督實際運輸過程中的安全。
美國能源部(Department of Energy, DOE)	DOE 負責運輸高放射性等危險物品，包含用過核子燃料，運輸計畫由 DOE 工作人員規劃與安排。
輻射控制計畫主管會議 (The Conference of Radiation Control Program Directors, CRCPD)	CRCPD 為一個致力於輻射防護的非營利民間專業組織，由各州和地方政府的輻射防護專業人士組成，旨在加強輻射防護和安全監管與管理，並在輻射安全及教育方面發揮領導作用。

根據原子能法(Atomic Energy Act)中賦予 DOE 廣泛的權力，規範由 DOE 或其代表，對涉及放射性材料活動的各個方面進行監管，其中涵蓋運輸環節，因此關於放射性物質運輸作業，主要由美國 DOE 環境管理辦公室負責(Office of Environmental Management, EM)，其業務主要為解決因核武器生產及核能研究，而產生的環境問題，包含處理放射性場所、放射性廢棄物、用過核子燃料、過量的鈾及鈾、受污染之設施、土壤及地下水，主要任務範圍包含(1)核能安全、(2)科學與技術、(3)大量放射性材料和放射性廢棄物管理、(4)核設施停用及除役(Deactivation and Decommissioning, D&D)、(5)高放射性廢棄物解釋、(6)核能材料、(7)包裝與運輸、(8)監管規範合規性、(9)土壤和地下水修復、(10)液態及固態廢棄物處理及處置；而包裝與運輸辦公室(Office of Packaging & Transportation, OPT)主要負責包裝與運輸計畫，通過制定和管理政策、監督計畫、自動化工具和協作平台，實現放射性、危險、非危險材料的安全運輸。

在政策與法規支持方面，包裝與運輸辦公室於 2022 年 6 月 10 日，發布 DOE Order 460.2B 各部門之物質運輸與包裝管理(Departmental Materials Transportation and Packaging Management)命令，該命令包含 DOE 既有之放射性物質運輸操作手冊(Radioactive Material Transportation Practices Manual)內容，並規範所有廠外放射性物質運輸的規劃、參與組織的活動、實施教策的操作流程、保安計畫等，確

立 DOE 包括國家核安全局 (National Nuclear Security Administration, NNSA) 材料運輸的管理要求和責任，確保對放射性、危險和非危險材料進行安全、合規以及高效率的運輸；本案目的之一為研析放射性物質運送作業之安全標準及安全要求，作為未來監管上的參考依據，並精進安全管制技術及審查要項，因此，下列章節將針對 DOE O 460.2B 中，有關於放射性物質運輸計畫及安全管制計畫之內容進行研析。

3.2 DOE O 460.2B 適用性

對於政府部門，除豁免條款外，本命令適用於，所有參與放射性材料廠外運輸相關活動的人員，NNSA 局長需確保 NNSA 的僱員遵守本指令；對於 DOE 的承包商，除豁免條款外，承包商需要符合命令中對於承包商要求文件(Contractor Requirements Document, CRD)的要求，其包含所有涉及與廠外放射性材料運輸相關的活動。

3.2.1 豁免貨物及等效性命令

符合下列條件者可被視為豁免貨物(Exemption)及等效性命令(Equivalency)，或是根據 DOE O 251.1 附錄 E 部門指令計畫(Departmental Directives Program)，提出申請之貨物。

豁免條件及等效性命令:

- 滿足 DOE O 460.1 危險材料包裝和運輸安全(Hazardous Materials Packaging and Transportation Safety)豁免條件之貨物。
- 符合 DOE O 461.1 具有國家安全利益的材料廠外運輸的包裝和運輸 (Packaging and Transportation for Offsite Shipment of Materials of National Security Interest.)的貨物。
- Bonneville 電力管理局之貨物
- 國家核安全局安全運輸辦公室(Office of Secure Transportation)的聯邦代理

人為非商業性政府目的(例如，任務或訓練)，使用政府飛機或車輛運輸第 1 類保護部隊彈藥，若此類運輸是根據 DOE O 473.2 保護部隊行動 (Protective Force Operations)和經過批准的安全、保安計畫進行，可視為豁免貨物

- 為確保美國海軍與能源部海軍核能推進計畫的一致性，負責海軍反應器的主管可視需要，實施和監督與 DOE O 460.2B 號命令有關的要求和實際行動。

3.3 名詞定義

DOE O 460.2B 號命令中，對相關名詞進行定義與解釋，如表 6 所示。

表 6 DOE 放射性物質運輸管理規範(DOE O 460.2B)名詞定義

名詞	說明
承運人(Carrier)	在商業活動中通過車輛、鐵路、飛機或船隻運輸乘客或財產的個人或實體。
射源分類(Category)	根據 IAEA TECDOC 1344 《放射源的分類》中的定義，根據數量、類型和健康影響對放射源進行的指定（1 類、2 類或 3 類）。
收貨人(Consignee)	收貨人是指在運輸文件、包裝、標記或其他媒體上顯示為承運人被指示運輸貨物的地點
政府部門組成 (Departmental element(s))	能源部的計畫、業務執行辦公室、外地/現場辦公室和其他組織單位，包括國家核安全局的單位
限定使用(Exclusive use)	由單一託運人單獨使用的運輸工具
高度關注貨物(High-visibility shipments)	在運輸過程中需要特殊安排，預計可能會引起州、當地政府、部落、其他利益相關者、媒體、公眾異

	常高度的關注或興趣的貨物，此類運輸可能需要額外的宣傳和溝通活動。
大批量運輸貨物(High-volume shipments)	在三個月或更長時間段內，考慮特定的出發地和目的地之間，經由卡車運輸，其頻率為每週平均五次以上之運輸任務；或是，在三個月或更長時間段內，通過鐵路運輸，在特定的出發地和目的地之間每月平均有 60 個或更多趟次之運輸任務。
公路運輸總量控制 (Highway Route Controlled Quantity (HRCQ))	根據 49 CFR 173.403 定義之放射性物質數量。
廠外(Offsite)	在能源部管轄下場地或設施範圍外的任何區域，一般公眾可以自由和不受控制地進入
現場(Onsite)	在能源部場地或設施邊界內的任何區域，公眾對該區域的訪問受到控制或限制。如果公共道路或鐵軌穿過該區域或設施，在執行運輸任務時，該區域暫時被視為現場，公眾進入該區域受到信號、燈光、大門、警衛或類似控制措施的限制。
安全停車(Safe parking)	使用卡車公路運輸時，指在發生運輸業務突發事件時，有一個容易識別和可以進入的地點，在這個地點有保安人員，或者運輸人員可以從這裡通知和等待當地執法部門。而安全停車區是指在與當地天氣、道路狀況或造成意外延誤或緊急情況的因素有關的不同類型的條件下，司機/機組人員可以到達的理想停車地點。
託運人(Shipper)	為材料提供運輸服務的個人或實體

特殊列車服務(Special train service)	託運人指定或鐵路承運人要求操作或處理的列車，這些要求不屬於一般貨運列車的服務類別。
用過核子燃料(Spent nuclear fuel (SNF))	經過輻射照射後，反應器取出之核燃料，並且沒有經過再處理程序而有不同的組成元素。
TRANSCOM	能源部的衛星追蹤和通信系統，用於監控放射性材料的運輸，如特殊核材料、超鈾廢棄物(TRU)、用過核子燃料、外國研究反應器燃料和其他授權的運輸。
運輸緊急準備計畫 (Transportation Emergency Preparedness Program (TEPP))	一個在總部一級管理的國家能源部計畫，與州和部落當局對接並向其提供工具和培訓，以協助準備應對涉及能源部放射性材料運輸的潛在運輸事件。
部落(Tribe)	美國印第安人或阿拉斯加原住民部落、部落、民族、布依族、村莊或社區；美國內政部印第安事務局依照聯邦法，每年公佈聯邦承認的部落名單。
含氚之反應器組件 (Tritium-bearing reactor components)	為生產氚的反應器組件，例如取代正常使用的可燃(burnable)吸收棒（用於捕獲或吸收中子反應器棒）

3.4 DOE O 460.2B 規範要求

3.4.1 一般情況

在一般情況下，各部門之間需按照適用之 DOT 的規定，對適用於本號命令的放射性物質廠外運輸進行管理，除非有另外的規定或是某項要求會侵犯機密訊息，相關規定如下所示：

- 危險材料運輸: 49 CFR Part 40、49 CFR Parts 171-180

- 公路運輸: 49 CFR Parts 350-399
- 管線運輸: 49 CFR Parts 190-193、195、199
- 鐵路運輸: 49 CFR Parts 200-268

關於運輸超鈾廢棄物(transuranic (TRU) waste)至核廢棄物隔離先導型處置設施(Waste Isolation Pilot Plant, WIPP)，或其他目的地的廠外運輸規劃，DOE 已與各州及各部落達成協議，對超鈾廢棄物運輸的要求將通過超鈾廢棄物運輸計畫而實施，各部門間需確保所有的超鈾廢棄物運輸是按照運輸計畫的標準和協議進行，其他未按照超鈾廢棄物運輸計畫執行的超鈾廢棄物、用過核子燃料、高放廢棄物、含氫反應器組件，均需按照本號命令的要求執行運輸計畫。

3.4.2 程式化

3.4.2.1 自動化貨物處理

為促進管理/訊息電子化以及操作自動化，在可行範圍內需使用自動化系統來執行運輸管理業務，包含電子數據交換(electronic data interchange, EDI)交易、付款前後的審計工作以及產生運輸文件，DOE 因應此項要求開發出一套自動運輸物流和分析系統(Automated Transportation Logistics and Analysis System, ATLAS)，該系統是一款使用網路交換資訊的貨運管理系統，其允許使用者管理公路、鐵路和空中的運輸與接收作業；若承運人不使用 ATLAS 或是已具有其他相關物流管理系統，亦可使用承包商自身的管理系統，但需要每季度向環境管理部門的包裝與運輸辦公室提交運輸報告，並採用已批准的範本進行線上填報。

3.4.2.2 保險

美國聯邦政府有一套自我保險的政策，因此相關部門不得再以政府的資金對運輸過程中的損失、損壞或毀壞進行保險，除非該貨物符合特殊情況並獲得批准。

3.4.2.3 付款審計

各部門支付承運人，為運輸美國政府貨物的費用時，於提貨單方面，需要遵

守 41 CFR 第 109-40.50 部分；運輸管理方面，需遵守 41 CFR 第 102-117 部分；運輸付款和審計方面，需遵守 41 CFR 第 102-118 部分；以及聯邦運輸採購法規（49 USC 10721 和 49 USC 13712）的規定。

3.4.2.4 合規性評估

本號命令對於合規性的要求整理如下：

- 各部門至少每三年對所負責之場所/區域/設施的包裝與運輸業務，進行全面的評估。
- 各部門成員需根據現有的場地/設施程序，或既定之運輸合規性自我審查計畫進行評估，以符合 DOE O 226.1 能源部監督政策的實施 (Implementation of Department of Energy Oversight Policy)。
- 各部門需於完成評估後 45 天內，向環境管理辦公室或是 NNSA 包裝與運輸辦公室，提供評估報告並留存備查。

3.4.3 運送危險材料之裝運計畫

3.4.3.1 運輸計畫

若需要對用過核子燃料、高放廢棄物、含氫反應器組件和第 1 類放射源進行非機密運輸時，各部門必須為其制定相對應之運輸計畫，若運輸其他種類之放射性物質，可視情況制定運輸計畫；運輸計畫中必須描述操作策略，並劃定根據適用要求，以及計畫中擬定採取的步驟，具體內容由執行單位決定，並以保安安全為前提，評估運輸計畫中可公開閱覽的內容；一般而言，運輸計畫需包含以下章節：

- A. 組織任務和責任
- B. 擬定運輸之材料
- C. 預計運輸時程
- D. 預估運輸數量

- E. 運輸方式
- F. 擬定使用的包裝
- G. 主要及備用路線
- H. 貨物預先通知
- I. 安全停車安排
- J. 貨物追蹤系統
- K. 緊急準備與應變
- L. 恢復和清理
- M. 保安計畫
- N. 公開訊息

在制定運輸計畫時，相關人員應根據路線規劃，與預計通過的州及部落代表協商，並提供運輸計畫作為參考。

3.4.3.2 路線規劃

對於用過核子燃料、高放廢棄物、含氫反應器組件和第 1 類放射源，以及低放廢棄物、混合低放廢棄物的高容量及高能見度的運輸，各部門需徵求並考慮沿線上各州及部落，對於運輸路線規劃資料的審查意見。

對於用過核子燃料、高放廢棄物、含氫反應器組件的非機密運輸，各部門須遵守以下原則：

- A. 視情況與承運人簽訂合約或是給予指示時，規定使用之路線；
- B. 確保規劃之路線符合 DOE 與各州及部落之間的協議；
- C. 確保擬定之路線使用運輸評估工具進行分析，例如運輸路線分析地理資訊系統（Transportation Routing Analysis Geographic Information System, TRAGIS）、評估放射性運輸的利益相關者工具（Stakeholder Tool for Assessing Radioactive Transportation, START）或其他具有同等能力的工

具；路線分析工具需滿足(1) DOT 法規的相關路線標準，以及(2)經由 DOE 確認之路線因素，來評估和規劃運輸路線。

對於使用鐵路對危險材料進行非機密運輸，各部門須遵守以下原則：

- A. 須確保承運人的路線分析和選擇符合 49 CFR 172.820 的規定。
- B. 評估運輸路線上或周邊地區，對於可能會引起嚴重後果的事件或目標進行評估。

3.4.3.3 公路上安全停車

在公路上進行運輸作業時，必須根據 49 CFR 397.7 中的停車規定，並依照實際情況挑選安全停車區域，考量因素包含：

- A. 考慮當地天氣、道路條件、意外延誤、緊急事故等不同類型條件下，駕駛員及組員能抵達停放區域的能力；
- B. 停車地點應與其他車輛，或是其他含有危險材料的固定地點，保持足夠的距離；
- C. 必要的安全保障(如照明)；
- D. 足夠的駕駛及運輸組員。

在挑選停放區域地點時，在可行的範圍內，應當一併考慮下列因素，但實際情況可能無法滿足所有條件，運輸組員仍需盡量避免，將運輸車輛停放於下列區域：

- A. 人口稠密地區；
- B. 重工業區（如煉油廠）；
- C. 醫院和學校；
- D. 交通不便的地區（例如，沒有空間放置消防設備之區域）；
- E. 擁擠的停車區（例如，購物中心）；

- F. 住宅區；
- G. 高速公路的路肩；
- H. 行人擁擠區域。

3.4.3.4 貨物安全及保安

各部門須按照 49 CFR Part 172 Subpart I 適用 DOE 保安及安全要求，對危險材料制定安全計畫，對於用過核子燃料、高放廢棄物、含氙反應器組件、第 1 及 2 類放射源，需符合本號命令中之特定貨物的保安規定，詳見 3.7 節；對於特殊核材料(Special nuclear material, SNM)和符合 DOE O 474.2 之材料，必須按照適用的 DOE 保安和安全要求加以保護。

3.4.3.5 宣傳計畫及公開訊息

對於用過核子燃料、高放廢棄物、含氙反應器組件的非機密運輸，以及低放廢物或是混合低放廢棄物的高容量及高能見度的運輸，各部門須對有關此類運輸的外部溝通進行管理，要點如下：

- A. 向 DOE 包裝與運輸辦公室一年提供兩次運輸規劃數據，並視情況分發給相關州政府及部落；
- B. 有關部門需與公共事務或是宣傳人員協調，在考慮公佈有關運輸訊息時，採用任何現有的標準化宣傳方式；
- C. 若有關部門確定標準化宣傳方式不足時，須確定是否有必要為特地的貨物制定宣傳計畫；
 - 制定宣傳計畫時，視情況與相關州政府、部落代表以及承運人代表協商。
 - 宣傳計畫須確定部門與託運人、承運人、運輸路線沿線上州和部落、相關聯邦機構、媒體和公眾之間，交換訊息的作用與責任。

- 宣傳計畫須確定 DOE 計畫辦公室、參與之機構、辦事處、相關州和部落的聯絡地點與公開發言人。

D. 有關部門需確認是否提供運輸或裝運的公開訊息，例如概況簡介、簡報、新聞稿、問答手稿等。

- 在發布任何公開訊息時，有關部門需與 DOE 國會和政府間事務和公共事務辦公室進行協調。
- 在可行範圍內，有關部門人員須與各州及部落的對應窗口，協調公開訊息材料的草案內容，於最終確認後，分發予相關州和部落使用。

3.4.3.6 收貨通知及貨物調查

對於裂變材料或乙型(Type B)放射性物質的運輸，負責部門人員需要符合以下要求：

- A. 裝運前：通知收貨人裝運日期、預計到達日期和時間以及任何特殊的裝貨或卸貨指示，並在收到貨物後要求確認。
- B. 發貨後：如果收貨人尚未向託運人提供收貨確認，則通過跟蹤系統或通過與收貨人聯繫，在預計到達日期和時間內確認收貨。
- C. 若發現任何丟失或下落不明的貨物，需要與收貨人協調，展開貨物調查。

3.4.4 承運人及費用選擇

3.4.4.1 承運人的選擇

各部門在選擇承運人時，因以安全及保安為首要考量要素，評估及選擇運輸模式和承運人，通常運輸計畫係根據使用的運輸模式，選擇該模式下的個別承運人，並以最低總價的方式執行運輸任務；此外，還需要根據具體計畫要求或限制

條件來選擇運輸模式及承運人，在某些情況下，最終可能導致只有特定運輸方式或該方式中特定承運人才能符合資格。

除安全及保安考量外，各部門尚需考慮以下因素，以確定承運人或運輸方式能滿足 DOE 對每批貨物運輸服務的要求：

- A. 承運人過往的實際紀錄；
- B. 必要的資格證明(如安全許可證)；
- C. 承運人設備的可用性和對貨物重量和尺寸的適用性；
- D. 承運人在出發地和目的地的裝載設施；
- E. 取貨和送貨服務；
- F. 預計的運輸時間；
- G. 對承運人的基本資料進行審查，包括載具評估程式(Motor Carrier Evaluation Program, MCEP)。

3.4.4.2 運輸服務及費用

公路運輸

- A. 各部門需確保承運人，已按照 DOE 的 MCEP 程式進行評估，其中包含：
 - 向聯邦車輛運輸安全管理局(Federal Motor Carrier Safety Administration)，根據 49 CFR Part 385 E 部分，申請核發危險材料安全許可證(Hazardous Materials Safety Permit)所需要的資料。
 - 根據 49 CFR Part 172 I 部分，準備危險材料安全計畫所需要的資料。
 - 若非運輸甲型(type A)或乙型(type B)，則不需要準備危險材料安全許可證及安全計畫。
 - 若運輸低放射性或混合廢棄物，如低比活度物質(LSA)、表面污染物體(SCO)，或非上述類別中的危險材料，需要使用環境保護局

(Environmental Protection Agency)發布的危險廢棄物清單表單。

- B. 有關部門需要在承運人完成評估後的 45 天內，將 MCEP 評估文件副本提交至環境管理-包裝與運輸辦公室；
- C. 關於運輸費用，有關部門需使用聯邦部門、聯邦機構、州委員會已收錄之費率資料。

鐵路運輸

- A. 各部門需使用經過外地/現場辦事處，或是計畫項目主管核准的特殊列車服務；
- B. 關於運輸費用，有關部門需使用經過協商並被鐵路公司接受的費率，這些鐵路公司被證明符合(1)聯邦鐵路管理局要求、(2)交通部危險物品規範和(3)美國鐵路協會互換標準。

3.4.5 檢查

3.4.5.1 一般要求

當收到運輸後的貨物時，檢查人員應：

- A. 目視檢查貨物並檢查相關運輸文件，用以確定收到的貨物符合描述。
- B. 目視檢查運輸的貨物或設備是否損壞，若損壞需報告補救措施，並視損壞情況提出損失或損壞索賠，此類索賠需依照 41 CFR 102-117.190 的規定執行，並在 41 CFR 102-118.460 規定的時間內提出。

3.4.5.2 放射性物質出發前檢查

當放射性物質裝載前，有關部門應：

- A. 對尚未實施裝載作業的運輸工具進行目視檢查，確保運輸工具可用於擬

定之運輸任務；

- B. 對擬定用於專用運輸放射性物質的運輸工具，在未裝載運輸貨物前，需按照 49 CFR 173.427(b)(4)、173.427(c)或 173.443(b)的規定進行檢查，檢查標準需符合美國國家標準協會(American National Standards Institute, ANSI) N 14.36「包裝物和運輸工具的輻射水準和表面污染的測量」的規定，以確保運輸工具表面上的放射性物質對於 β 、 γ 發射體及低毒性 α 發射體低於 0.4 Bq/cm²，對於其他 α 發射體低於 0.04 Bq/cm²；
- C. 根據 49 CFR 173.443(c)的規定，作為專用運輸放射性物質的運輸工具，將依照 49 CFR 173.427(b)(4)、173.427(c)或 173.443(b)的規定裝載貨物。
 - 運輸工具上的污染值不得超過 49 CFR 173.443(a)中規定的污染控制限值，且根據 49 CFR 173.443(c)貨物運輸時須保持單獨使用狀態。
 - 對於非專用的運輸工具，則不需要進行檢查，除非有其他理由懷疑可能受到污染。

3.4.5.3 放射性物質抵達後檢查

當放射性物質運抵目的地後，有關部門應：

- A. 確保接收貨物時，檢查貨物是否有損壞、丟失或是洩漏的情況；對於放射性材料包件需按照 10 CFR 835.405 的要求進行監測，在貨物進行卸載作業前，需符合 49 CFR 173.443 的污染控制限值；
- B. 對於受到 DOT 專用使用規範約束的放射性物質運輸工具，須確保在後續現場裝卸、傳送等作業中，皆在符合接收地之輻射防護計畫下進行；在卸貨前，放射性物質貨物及專用運輸工具需滿足以下要求：
 - 對貨物包件或運輸工具進行目視檢查，查看是否有外部損壞或是洩漏情形，至少需按照 ANSI N 14.36 進行檢查，以確保調查結果符合 49 CFR 173.441 的輻射劑量限值要求和 49 CFR 173.443 的污染控制要

求。

- 若發現運輸包件或運輸工具的污染值超過限值，應扣留該運輸工具，並通知承運人以及現場負責人，以便對其他可能受到污染的運輸工具進行調查，相關具體應對措施，將遵循現場或該設施作業流程而定。

C. 當專用運輸工具按照 49 CFR 173.427(b)(4)、173.427(c)或 173.443(b)的規定進行運輸時，在完成貨物卸載後，需對其進行檢查:

- 若該運輸工具預計根據 49 CFR 173.427(b)(4), 173.427(c), 或 173.443(b)的專用條款，重新用於放射性材料運輸時，空的運輸工具必須根據 ANSI N 14.36 進行檢查，以確保檢查結果符合 49 CFR 173.443(c)的要求；運輸工具的專用條件，需在運輸前向承運人提出專用使用的調查說明。
- 若該運輸工具將從專用使用，變更為一般使用狀態，必須對空的運輸工具進行調查，以確保其污染限值低於 49 CFR 173.403 中的規定，並符合 DOE、各州、NRC 的調查限值；有關部門需確認，是否依照 DOE O 458.1 或是 10 CFR Part 835 對輻射劑量控制進行審查。

D. 一般商用的運輸設備，不應進入需要進行輻射檢查的區域，包含污染區、高污染區、空氣傳播放射性區域等等，這些區域需要遵守 10 CFR Part 835 的要求。

3.4.5.4 用過核子燃料、高放廢棄物及含氫反應器組件

公路運輸

相關部門於公路運輸時，需確保按照下列規定進行裝運檢查:

A. 在出發前，除了必要情況外，貨物需要給具有商業車輛安全聯盟認證的

- 州或是部落的檢查員，進行檢查；
- B. 除了必要情況外(如已簽訂檢查互惠協議)，運輸途中的檢查可由沿線上各州及部落的法律及規範視情況進行；
 - C. 運輸後的檢查必須由收貨人進行，各州及部落代表可根據自身的法律及規範視情況進行檢查。

鐵路運輸

- A. 在出發前，相關部門必須確保由首發的鐵路承運人，在首發站/設施進行車輛和軌道安全檢查；承運人的檢查可由合格的聯邦鐵路管理局檢查員，或是聯邦鐵路管理局認證的國家動力和設備檢查員進行檢查，檢查人員由聯邦鐵路管理局決定，以確保其符合適用的法規和標準；部落代表可與合格的檢查員參加鐵路檢查，但事先須與檢查員和鐵路所有人就每次檢查達成協議；
- B. 相關部門須確保，放射性物質包件和運輸工具可在首發點和途中，供國家或部落檢查員根據適用規範進行放射性調查/檢查；
- C. 運輸途中的檢查只能在安全的、預定地停靠點進行，例如相鄰的軌道沒有移動，工作人員更換點，燃料加注地點，檢查將由鐵路承運人進行適當的長途檢查，或由聯邦鐵路管理局決定之合格檢查員進行，部落代表可與合格的檢查員協調參加鐵路檢查，但事先須與檢查員和鐵路所有人達成協議。

3.4.6 操作突發事件和緊急應變

3.4.6.1 緊急應變計畫

對於緊急應變計畫的制訂與維護，各部門應：

- A. 保持並定期更新放射性物質運輸的緊急應變計畫；

- B. 緊急應變計畫必須包括：
- 識別危害和威脅
 - 減輕危害
 - 制定和準備應變計畫和流程
 - 確認緊急應變所需之人員、培訓、設備和其他資源。
- C. 該計畫應與國家事件管理系統、國家應對框架和其他現行聯邦緊急應變計畫保持一致；
- D. 視需要與 DOE 的運輸緊急應變準備計畫(Transportation Emergency Preparedness Program, TEPP)進行協調，以確定各州、部落、地方第一反應者的應變計畫和訓練要求。

3.4.6.2 運輸用過核子燃料、高放廢棄物及含氙反應器組件天候及路況因素

運輸用過核子燃料、高放廢棄物及含氙反應器組件時，應參考下列原則考慮運輸路線上天候狀況及路面條件，對運輸貨物的影響。

- A. 如果天候惡劣、預報預測惡劣的天候，或是運輸路線上路面條件不利於運輸，在會影響貨物安全的情況下，該批貨物不得進行運輸；可接受的條件為：
- 前方 200 英里(320 公里)內的道路沒有冰雪
 - 前方 200 英里(320 公里)預測的天氣至少在 4-5 小時內不會有明顯變化
 - 後續的路段的天氣預報，因考量運輸車隊通過的時間段。
- B. 若運輸途中遇到不利情況，駕駛員應根據 3.4.3.3 節之建議事項，尋找安全的停車地點。
- C. 有關部門應考慮各州或部落提供的天氣及道路狀況資訊，並酌情傳達給承運人。

3.4.6.3 緊急通報

- A. 當發生涉及危險材料運輸的緊急事件時，須按照 DOE O 151.1 和 DOE O 232.2 進行通報，並根據 49 CFR 171.15 進行報告；
- B. 除 DOE O 151.1 和 DOE O 232.2 所要求的通報外，仍需進行下列通報：
 - DOE 託運人應立即通報負責的部門單位；
 - 在可行的情況下，於收到事故通報 12 小時內，該部門成員必須對下列單位進行通報：
 - [1] 國家、部落代表或指定之緊急事件發生地聯絡點
 - [2] DOE 輻射援助計畫區域經理進行通報
 - [3] DOE 緊急行動中心
 - [4] 國家應變中心
 - [5] 貨物接收地點
 - [6] 合作協定或運輸計畫中規定通報的單位或組織
 - [7] 其他相關 DOE 的部門
- C. 若被歸類為 DOE O 151.1 的行動緊急情況，相關部門必須遵守 DOE O 151.1 適用的時間表和通報要求。

3.4.6.4 緊急應變

當發生緊急情況時，該部門人員應確保下列應變措施得以執行。

- A. 根據特定事件需要，各州與部落之間與 DOE 持續進行後續溝通，如情況更新、最新進展、復原計畫、事件終止的狀況更新等等；
- B. 根據現場人員的要求，提供特定貨物的緊急訊息，並向 DOE 或是承運人提供技術建議與詳細訊息；

- C. 實施緊急應變作業程序，如啟動現場緊急應變組織或指揮中心、宣佈緊急行動狀態、啟動現場具體的運輸應變計畫，相關具體實施辦法，可於運輸計畫或是特定活動的計畫中解決；
- D. 若有需求，協調 DOE 的資源，提供額外的輻射防護支援與技術支援；
- E. 與 DOE 總部、DOE 辦事處、受影響區域的輻射援助計畫區域經理進行協調，確定現場情況，判定是否適用聯邦計畫(如國家緊急應變計畫、國家應對框架)，因應緊急情況採取應對措施。

3.4.6.5 對未分類的放射性材料進行恢復和清理

有關部門需確保承運人準備有具體的書面程序，當發生事故或意外事件時，能提供恢復和清理作業，或與能提供相對應服務的公司簽訂合約。

3.5 權責範圍

3.5.1 環境管理辦公室助理秘書

DOE 環境管理辦公室的助理秘書的責任包含：

- A. 管理部門的運輸與包裝責任；
- B. 為內部放射性物質運輸管理制訂內部政策與導則，並就相關事項協助有關部門及承包商；
- C. 與其他聯邦單位在運輸業務上代表 DOE；
- D. 協調 DOE 部門參與國際、聯邦、州、部落和地方運輸法規規範審查；
- E. 提交運輸業務規則制定/修正申請
- F. 建立並維持運輸計畫，其中涵蓋：
 - 使用 MCEP 載具評估程式，評估承運人安全運輸 DOE 放射性和危險材料的能力；
 - 就國家運費招標費率進行協商，並維護 DOE 190 號「汽車運費和規

則附表」；

- 執行運輸管理中的自動化運輸物流系統，包含電子數據交換交易、付款前和付款後審計；
 - 用於訓練和協調當地第一反應單位的運輸緊急應變準備計畫 (TEPP)。
- G. 開發、整合、實施和維護數位化系統與工具以支援運輸管理，並管理使用或訪問此類系統或工具的請求；
- H. 審查與運輸事件報告和資訊，分析安全和保安議題、趨勢以及對於運輸業務的潛在影響，並總結經驗教訓；
- I. 從現場蒐集運輸數據，以便對趨勢、設備使用、安全性能建立用以分析的數據庫，並對利益相關者和公眾議題做出回應。

3.5.2 核安全局基礎設施和運營副局長

需與環境管理辦公室協商的內容包含：

- A. 就國家核安全管理局(NNSA)立場，制定廠外材料運輸和包裝管理責任的補充政策與導則；
- B. 與其他聯邦單位在運輸業務上代表 NNSA；
- C. 協調 NNSA 部門參與國際、聯邦、州、部落和地方運輸法規規範審查；
- D. 審查與 NNSA 相關的運輸事件報告和訊息，分析安全和保安議題、趨勢以及對於運輸業務的潛在影響，並總結經驗教訓；

3.5.3 能源部、運輸計畫秘書處主管及核安全局副局長

DOE 與 NNSA 相關部門的主管權責包含：

- A. 確保管轄範圍內的部門單位與承包商，充分執行和遵守本號命令要求；

- B. 協調與計畫相關的運輸計畫、擬定使用的運輸計算系統、運輸系統研究、包裝開發案、環境管理辦公室的訓練計畫/報告/分析，以確保政策的一致性，避免出現重覆執行同項工作的情形；
- C. 指定運輸與包裝作業規劃的聯絡人，並將運輸與包裝的活動納入部門計畫中；
- D. 確保各地辦事處至少每三年對每個設施的運輸與包裝業務，進行整體合規性評估；
- E. 確保將意外事故、事件、緊急情況、緊急通報和報告，匯報給緊急行動中心(Emergency Operations Center, EOC)。

3.5.4 各地辦事處主管

各地辦事處包含業務部門、現地及外地辦公室，其主管權責包含：

- A. 確保業務範圍內的承包商及分包商，於執行或管理運輸與包裝計畫時，充分遵守本號命令的要求；
- B. 就所在地正在修訂的法規、標準、規範等，向 DOE 及 NNSA 機構提供諮詢服務；
- C. 當需要簽發提貨單時，授權承包商在規定範圍內簽發提貨單；
- D. 確保至少每三年對承包商及分包商，就運輸與包裝業務進行一次評估，以確定其符合本號命令要求，視需要向所屬單位請求審查協助；
- E. 要求承包商將 CRD 的要求納入新的合約中，並修訂已取消之命令及要求；
- F. 最大限度確保使用自動化系統，來執行特定的運輸及物流功能；
- G. 確保所有公路運輸之承運人，按照 MCEP 評估程式進行評估；
- H. 確保運輸與包裝辦公室主管協調，與總務管理局(General Services Administration, GSA)審計相關的活動；

1. 對於需要臨時危險分類或是最終危險分類的運輸計畫進行審查，並向 NNSA 運輸與包裝辦公室提交申請。

3.5.5 承包人員

當收到現場/設施管理合約受到本號命令影響的通報後，須根據 DOE O 251.1 將承包商要求文件(CRD)納入受影響的合約中。

3.6 對承包商之要求文件(CRD)

不論運輸任務由哪一單位/機構/公司執行，承包商均有責任遵守承包商要求文件(Contractor Requirements Document, CRD)，同時承包商有義務在必要範圍內，將要求文件傳達給分包商，以確保各級成員皆能遵守該文件要求；本 CRD 要求文件是針對 DOE 及 NNSA 的承包商而制定，內容涵蓋涉及危險材料及非危險材料異地運輸有關的活動，若承包商同時受到 NRC、與 NRC 達成協議的州/地方政府或是 DOT 監管，CRD 中的內容皆無法豁免所適用的監管要求。CRD 的要求與 3.4 及 3.5 節中對於相關部門的要求內容相同，在必要時，承包商需要協助相關部門執行宣傳計畫、緊急通報等行動。

3.7 運送貨物之保安措施

在對用過核子燃料、高放射性廢棄物、含氫反應器組件、第 1 及 2 類放射源進行非機密運輸時，需要同時遵守下列保安要求。

3.7.1 用過核子燃料(>100 g)、高放廢棄物及含氫反應器組件

3.7.1.1 一般要求

對於保安系統的建立與維護，須滿足以下要求：

- A. 對於裝運、出發及抵達時間必須事前規劃好，並與收貨人進行協調；
- B. 必須按照 3.8 節中的規定，提前向州長、部落官員或指定聯絡人，發出

裝運通知；

- C. 必須提供即時或是接近即時的定位追蹤和通報系統；
- 公路運輸時，運輸車輛須要使用 TRANSCOM 系統，負責的部門或承包商必須全天候，持續追蹤 TRANSCOM 的貨物，直到貨物安全交付到目的地；如果負責單位不具備 24 小時全天候監控的操作中心，可使用 DOE 或是 NNSA 的綜合緊急行動中心；
 - 對於鐵路及水路運輸，若可行的情況下，必須使用 TRANSCOM 系統，若不可行時，則須提供相似的追蹤系統，負責部門或承包商需進入承運人的追蹤系統中，以確保承運人維持一個 24 小時全天候的監控中心，並定期向 DOE 通報。
- D. 運輸路線的選擇和運輸計畫必須按照本號命令執行；
- E. 必須制定、維護和實施書面運輸貨物的保安程序，並涵蓋下列議題：
- 對人員訪問敏感訊息進行控管，確保沒有未經授權的人員可以接觸到敏感的訊息；
 - 負責部門或承包商業務中心人員、駕駛員、護送人員和其他人員在貨物安全方面的作用及責任；
 - 根據本號命令及 CRD 報告運輸突發事件；
 - 通訊/安全協議，包含對計畫性停留、繞道和暫時失去通信的管理；
 - 正常情況下的操作程序；
 - 緊急應變及反應程序。
- F. 運輸貨物的保安程序，需要以可檢索的方式，在任務結束後留存三年；
- G. 駕駛員/貨運押運人員須於不超過兩小時間隔內，隨機向監控中心聯繫，並告知公路和鐵路目前貨運狀況，以及船隻停靠碼頭時的水運情況，制定書面保安程序時，需要將若兩小時以上沒有收到通報的處理程序；
- H. 除了本號命令及 CRD 要求的緊急操作程序外，還需要遵守以下緊急應變

程序:

- 建立、維護並遵循書面緊急應變程序，用以應對與運輸中的用過核子燃料有關的威脅、竊盜和放射性破壞(放射性破壞係指任何針對已獲得 10 CFR 73 許可活動的工廠、運輸工具、或此類活動或工具的組件之蓄意行為，這些行為可能造成的輻射暴露，將直接或間接危害公眾健康和安全。);
- 確保與運輸相關的人員，接受相關且適當的緊急應變和反應訓練；
- 在完成裝運/運輸任務三年內，以可檢索的方式保留緊急應變和反應程序。

3.7.1.2 公路運輸

除了一般要求外，用過核子燃料公路運輸的保安系統應規定:

- A. 除了必要的情況下，貨物的運輸從出發地到目的地應不間斷進行，必要情況包括食物/燃料補給、駕駛員/護送人員輪班、非計畫性維護/維修、緊急情況等；
- B. 運輸車輛需要:
 - 至少兩名人員乘坐，兩名皆為駕駛員，且符合聯邦車輛運輸安全管理局對 24 小時值勤的規定；
 - 由當地執法機構派遣武裝成員，於行經當地時提供護送，若無法護送應由環境管理/NNSA 辦公室安排護送人員；
 - 在車輛停留期間，護送人員及駕駛員需留在運輸車輛旁，以確保貨物安全；
 - 運輸車輛需配備兩種形式以上的通訊設備；
 - 配備 TRANSCOM 追蹤系統；
 - 發生事故時，使運輸車輛的曳引或載貨部分能固定至少 30 分鐘的功

能，或是提高運輸車輛的定位功能，如 TRANSCOM 相連的緊急按鈕。

3.7.1.3 鐵路運輸

通過鐵路運輸的貨物，除了一般的要求外，對於運輸用過核子燃料的保安系統應規定：

- A. 一列貨運車需配備兩名以上的武裝成員，其中至少一名武裝成員駐紮在列車某一位置；
- B. 當地執法部門於可行的範圍內，執行護送任務；
- C. 列車駕駛員和護送人員，需至少裝配兩種形式的通訊設備。

3.7.1.4 水路運輸

經由美國水域的運輸，需於計畫過程中，與環境管理/NNSA 辦公室聯繫，以協調運輸貨物的保安要求。

3.7.2 用過核子燃料(≤ 100 g)及 I 類放射源

對於運輸此類放射性廢棄物，一般要求需符合 3.7.1.1 節 A-C 項、公路運輸須符合 3.7.1.2 節中敘述之要求、鐵路運輸須符合 3.7.1.3 節中敘述之要求。

3.7.3 II 類放射源

對於運輸此類放射性廢棄物，須符合下列要求：

- A. 執行運輸前需與接收方協調貨運抵達時間；
- B. 確保運輸過程中持續的監控，並保持通訊通功能，以便在適當時機尋求援助；
- C. 使用 TRANSCOM 追蹤系統，或是使用承運人的追蹤系統，但需要提出證

明該系統經常被用於運輸有價值的貨物，為了持續追蹤貨物的位置，該系統須能允許負責部門或是承包商，即時追蹤貨物的最新位置以及抵達下一個控制點的預定時間；

- D. 使用承運人以建立的系統時，需要求貨物交付或是退回時有授權的簽名。

3.7.4 運輸調查

若發生貨物丟失或是下落不明的情況，負責的部門人員及承包商應與收貨人進行協調，對該貨物進行調查。

3.8 貨物預先通知

對於運輸用過核子燃料、高放射性廢棄物、含氫反應器組件，以及第 1 類放射源的非機密運輸，除了有另行規定外，需要對下列單位或機構進行通知。

- A. 負責的部門人員或承包商需在州內或是跨越州界之前，向該州州長或是指定聯絡人，提供關於運輸的預先通知。
- B. 在跨越保留地邊界前，負責的部門人員或承包商需要向部落或是指定聯絡人，提供運輸的預先通知。
- C. 為了接收貨物預先通知，指定的州和部落代表需要以書面形式，向 DOE 運輸與包裝辦公室確認，以便加入通知聯繫名單中，並提供電子郵件地址、電話號碼與 TRANSCOM 帳號，若無法提供電子通訊方式，可以紙本方式獲取通知。
- D. 在運輸前或是一系列運輸任務開始前，需與沿線上可能受影響的州及部落代表進行初步溝通，在任務開始前至少兩周傳達運輸訊息。
- E. 在貨物啟運前至少 7 天，向各州及部落發出通知。
- F. 通知的方式以電子郵件為首選，並附上 TRANSCOM 的貨物編號，各州及

部落可由 TRANSCOM 系統，獲取預計運輸貨物的詳細訊息和時間表。

- G. 以電子郵件通知時需有密碼保護，以紙本方式通知為最後一種選擇；其內容將包含：
- 託運人、承運人和收貨人的姓名、地址和電話號碼；
 - 對 49 CFR 172.202 和 172.203(d) 中規定的貨物材料的描述；
 - 列出於州或部落保留地內擬定使用的路線；
 - 預計運輸之時間表，包括從原產地預計出發的時間、進入該區域的預定時間、抵達目的地的時間；
 - 說明根據適用的資訊保護要求，運輸貨物的資訊不被擅自外流的要求。
- H. 如果裝運時間與計畫預計時間相差 6 小時以上，或是貨物運輸計畫取消時，負責的部門人員或承包商需通過電話或是電子郵件，向各州及部落指定的聯絡人發出通知。
- I. 為了維護 DOE 的聯繫名單，環境管理運輸與包裝辦公室將維護一份，包含各州及部落指定聯繫人的名單，並年度調整該名單內容。

4.0 美國運輸法規協調內容與運輸準備工作

4.1 背景

在美國，關於用過核子燃料，包含商業核電廠、核武器計畫和研究反應器等多個來源。商業核電廠發電產生的用過核子燃料多為低濃縮鈾，並放置於不同型式的燃料棒/燃料束中，一個典型的反應器每次運轉，其爐心中約含有 100 公噸的燃料；截至 2019 年，於美國 33 個州 75 個運營或除役的電廠中，現地貯存約 86,000 公噸的用過核子燃料，其分布圖如圖 3[14]所示。根據 Gutherman 技術服務公司的統計(由 Brian Gutherman 成立的顧問公司，專門提供用過核子燃料乾式貯存及獨立貯存設施等諮詢服務)，每年將增加約 2,000 公噸的用過核子燃料，直到 2030 年代末期開始，更多的電廠停止運轉進入除役階段，累積速度才會逐漸趨緩，以現有核電廠運轉執照年限推估，最終用過核子燃料約有 140,000 公噸；用過核子燃料總量統計與預估如圖 4 所示，於 2008/2014/2019 貯存於水池及乾貯設施中的數量分別為 47,500/50,000/45,000 MTHM(metric tons of heavy metal)及 12,000/30,000/39,000 MTHM，總量增長趨勢依照現有 NRC 已核發執照年限推算，待 2040 年之後趨勢才會放緩。

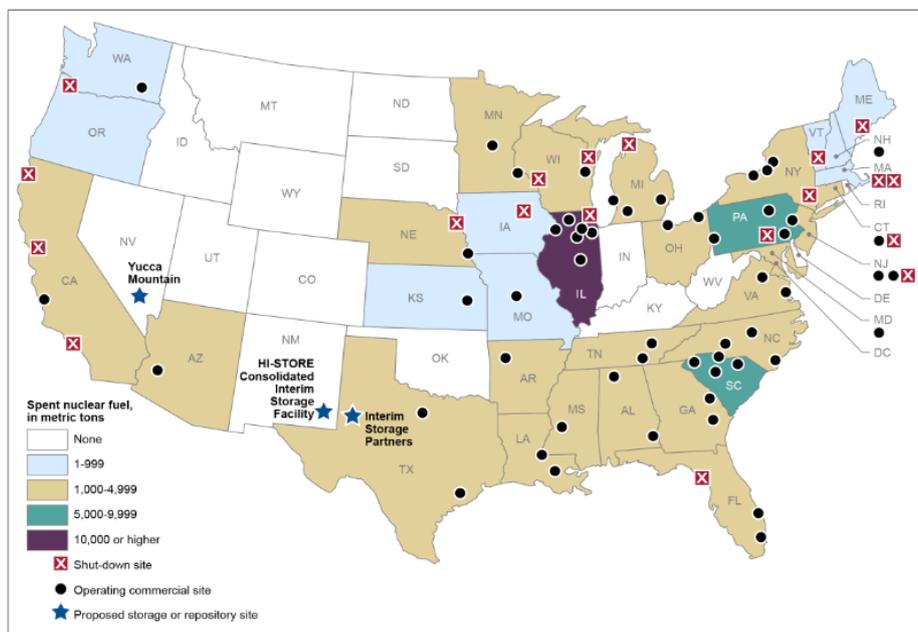


圖 3 截至 2021 年 6 月美國各州貯存商用用過核子燃料之數量統計

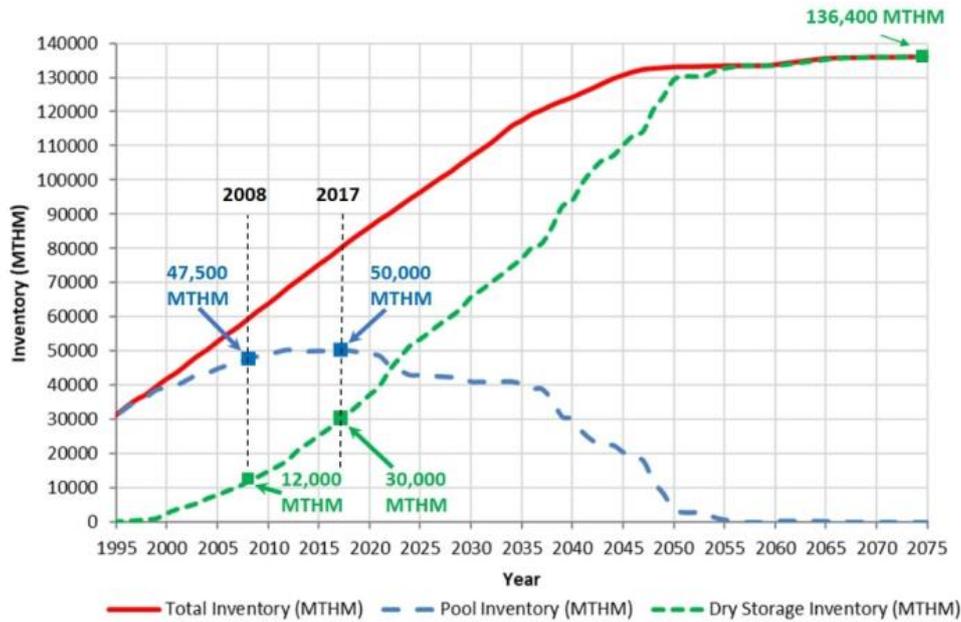


圖 4 美國水池及乾貯中之用過核子燃料數量及推估總量

根據美國目前的規劃，用過核子燃料暫時貯存於電廠內或是電廠附近的乾式貯存設施內，直到獲得批准的集中式中期貯存設施(Consolidated Interim Storage Facility, CISF)或是最終處置設施興建完成後，再通過重型卡車、火車、駁船等方式的搭配，由各地的貯存設施運輸到指定地點。

關於集中式中期貯存設施，目前已有兩處設施獲得 NRC 的批准並核發許可執照，包含(1)位於德州安德魯縣(Andrews Country, TX)由 Interim Storage Partners(ISP)負責運營的 WCS CISF，於 2021 年 09 月取得 NRC 核發的建造和運營許可執照，以及(2) 位於新墨西哥州利縣(Lea Country, NM)由 Holtec International 負責運營的 HI-STORE CISF，於 2023 年 05 月取得 NRC 核發的建造和運營許可執照。

關於 WCS CISF，雖然該設施申請人已於 2021 年 09 月，取得建造與運營許可執照，但由於德州州長 Greg Abbott 於 2021 年 09 月，在 NRC 發布許可證前簽署一項法令(House Bill 7)，禁止高放射性廢棄物進入德州，並且當地環保團體持續向美國巡迴法院提出上訴，因此該設施目前尚未開始動工興建。

於 2023 年 01 月，美國華盛頓特區巡迴上訴法院駁回環保團體的訴訟，該訴訟質疑 NRC 對 WCS CISF 核發許可證的正當性，聲稱許可證違反 1982 年頒布的

核廢棄物政策法(Nuclear Waste Policy Act, NWPA)，並且 NRC 的程序未滿足 NWPA 的要求，但遭到法院駁回，並指出許可證中已明文闡述，用過核子燃料所有權移轉、與 DOE 及私人實體公司訂定合約等相關要求。

於 2023 年 08 月，美國第五巡迴上訴法院對 WCS CISF 當地環保團體及德州州政府提出的案件進行審理，由三名法官組成的小組裁定，NRC 無權根據原子能法(Atomic Energy Act, AEA)及 NWPA 頒發用過核子燃料的貯存許可，小組成員發現 AEA 中有關許可條文只授權為研究、醫療和工業目的所擁有核材料頒發許可證，但並不包含用過核子燃料貯存，且授權條款僅限於所列舉的材料用途和類型，包含轉移、接收、製造、生產、轉讓、獲取、持有、使用、進口或出口工業或商業目的的利用或生產設施，其中並不包括用過核子燃料貯存，因此小組成員得出 AEA 並未授權 NRC 向私人的 CISF 頒發許可證的結論；法院根據上述對法規文本的分析及法論論點，將 AEA 中關於委員會核發許可證的敘述，解釋為不包含授予 NRC 核發私人貯存用過核子燃料設施許可的權力，因此撤銷 NRC 對 WCS CISF 核發的許可證。

對此判決，NRC、美國司法部(Department of Justice, DOJ)以及 ISP 正要求第五巡迴上訴法庭重新審查撤銷 WCS CISF 許可證的決定，於 2023 年 10 月，NRC、DOJ 與 ISP 提交全院庭審的請願書(petitions en banc)，請求法院的所有法官重新審議此案，請願書中提出兩個爭議點包含(1)第五巡迴法院引用 Hobbs 行政命令審查法案(Hobbs Administrative Orders Review Act)的豁免條款，聽取德克薩斯州和 Fasken(Fasken Land and Minerals Ltd. and Permian Basin Land and Royalty Owners)的論點，變相鼓勵訴訟方避開正常的程序，對機構的權威性進行攻擊、(2)第五巡迴法院認為 NRC 並無核發許可證的權力，與 AEA 明文規定相牴觸，違反 NRC 長期以來行使該權力的做法，並與兩個巡迴法院的判決案例存在分歧見解，包括在 Private Fuel Storage 向 NRC 申請在猶他州建設 CISF 的案例中，華盛頓特區和第十巡迴法院均認為 NRC 有權根據 AEA 核發 CISF 的許可證。目前，此上訴案仍在處理中，而關於 WCS CISF 的其他上訴案，尚剩餘一件由新墨西哥州提出的上訴案，由美國第十巡迴上訴法院進行審理。

對應至台灣的情況，放射性物料管理法已於 2002 年修訂，而美國 AEA 於 1946

年發布，並於 1954 年提出修正版後便無修訂；在放射性物料管理法第八條中規定，貯存設施須向主管機關申請，經過審核後由主管機關核發建造執照，在第九條中規定，貯存設施須由主管機關檢查並試運轉合格後，方由主管機關核發運轉執照；上述法條中已詳細規範主管機關的職責範圍，並且明確說明主管機關具有核發建造及運轉執照的權力，因此，美國第五巡迴上訴法院對 WCS CISF 的判例及論述，在台灣發生的情況相當低。

不論集中式中期貯存設施是否能興建並順利運營，目前貯存於各電廠內的用過核子燃料皆需面臨長距離運輸的議題，可能的情境包含(1)由各電廠運輸至最終處置場、(2)由各電廠運輸至集中式中期貯存設施，待最終處置設施開始運營時再運輸至該處。關於運輸法規、需求、能力和管制技術等，可分為幾項討論主題，其中涵蓋：

- A. NRC 根據 IAEA SSR-6(Rev.1)修訂版之協調內容；
- B. NRC 對於大規模用過核子燃料運輸的準備工作，其中包含：
 - 針對現行法規、指南和程序充分性的評估；
 - NRC 對於運輸活動具體訊息的需求；
 - NRC 的監督角色以及與其他聯邦部門的分工和協調；
 - NRC 對於利益相關團體的溝通工作。

下列章節將根據各項議題分別詳述。

4.2 美國聯邦法規基於 IAEA SSR-6 (Rev.1)之協調內容

4.2.1 背景

根據美國 NRC 發布聯邦公報[17]，其中描述 NRC 根據 IAEA 制定的放射性物質安全運輸標準，對 NRC 及 DOT 適用之聯邦法規進行協調的沿革、內容與採取應對方案。因為由 IAEA 所制定的放射性安全運輸國際標準，是與成員國的監管機關及利益團體協商的基礎上而制定，反映了國際上對於放射性物質運輸的共識，以及提高安全水準所需之內容；通過全球性的監管框架，IAEA 所制定的安全標

準，有助於國際貿易涉及放射性物質運輸的進行，NRC藉由定期修改本土的法規，使其與 IAEA 和 DOT 法規保持一致，可以消除國際貿易的不一致性並且有利於跨國及區域運輸活動進行。

在美國境內，放射性物質運輸的監管工作由 NRC 及 DOT 共同負責，對於雙方在運輸共同監管的角色分配上，可追溯至 1979 年發布的合作備忘錄，其後 NRC 與 DOT 根據更新的國際放射性物質安全運輸規則，對相關規則進行修訂。前一次的修訂為 2015 年 06 月，NRC 與 DOT 根據 IAEA TS-R-1 (2009) 的版本，修改 10 CFR 71 及 10 CFR 49 相關內容，使美國的法規與 TS-R-1 (2009) 大致一致。由於評估、協調及修訂等工作牽涉到修訂聯邦法規及跨部會合作，往往需要較多的時間來完成整套流程，因此根據 TS-R-1(2009) 內容完成協調工作的年份為 2015 年，此時 IAEA 已發布了新的版本 SSR-6 2012 年版本，並且準備開始對下一個更新的版本(SSR-6 Rev.1 2018 版本)開始審查，對此 NRC 對 10 CFR 71 部分法規與 SSR-6 (Rev.1) 中更新的內容，評估縮小差距的必要性，使 NRC 法規與 SSR-6 (Rev.1) 保持一致，其中亦包含從 SSR-6 2012 年版本中延續到 SSR-6 (Rev.1) 2018 年版本的變更；同時 DOT 也採取類似的工作，檢視 49 CFR 107 和 49 CFR 171-180 的部分，使其與 SSR-6 (Rev.1) 2018 年版本保持一致。

在制定監管法規修訂草案的過程中，NRC 工作人員擬定四種應對方案，使 NRC 的規範於 IAEA 協調一致，其中包含：

- A. 維持現狀不採取行動；
- B. 發布通用的溝通文件及法規指引；
- C. 發布特定許可證和豁免條款；
- D. 啟動修改 10 CFR 71 的規則修訂流程。

經過審查 SSR (Rev.1) 更新內容後，NRC 工作人員確定 10 項需要與 SSR-6 (Rev.1) 協調的內容，並另外提出 4 項關於 10 CFR 71 的更改，提案內容、公開會議及徵詢公眾意見的文件發表於聯邦公報上[18]；於公開會議後，NRC 收到對於該份文件的評論與建議，對提案有幫助的評論將被納入評估中，除了上述 14 項需協調的內容外，對於其他潛在需要修改的部分，例如為確保與 DOT 規範相容並順利

執行的說明，以及與協約國法規相容性類別的更改，這些將會納入第 15 項修改意見中；根據會議結論與公開徵詢之意見，NRC 於聯邦公報上發布擬議規則的監管草案[19]，並徵詢公開意見，對於每一項議題 NRC 工作人員採用上述四種應對方案進行評估，並估算擬定執行各方案所需之成本，以此建議最有效且成本最低的組合，最大化監管與產業界的共同利益。

4.2.2 擬定修訂議題

美國 NRC 根據 IAEA 放射性物質安全運輸規則的修訂內容，定期檢視並修訂 10 CFR 71 內容，以與國際運輸法規保持一致，在修訂過程中與 DOT 及其危險物質法規進行協調，在與國際運輸法規保持一致的同時，亦滿足本土運輸和包裝的監管框架。擬定修訂的議題以及評估後擬定採取的應對方案，如表 7 所示；協調的過程中考量的因素包含 IAEA 放射性物質安全運輸規則、DOT 危險物質法規，以及利益相關團體要求等，考量因素對應各項議題整理於表 8。

表 7 NRC 協調放射性物質安全運輸規則內容與擬定採取方案

編號	議題內容	擬定採取方案
1	修訂裂變材料豁免	方案 D:修改 10 CFR 71
2	修訂正常運輸條件下減小外部壓力測試試驗	方案 A:不改 變
3	納入丙型(Type C)包件標準	
4	修訂包件評估日照的要求	方案 D:修改 10 CFR 71
4.1	修訂正常運輸條件下的日照單位	
4.2	將日照條件納入假設事故評估中	
5	納入劑量率定義	
6	刪除第三型(LSA-III)低比活度瀝濾試驗	
7	納入大型表面污染物的新定義(SCO-III)	
8	修訂六氟化鈾(UF ₆)包裝要求	
9	納入老化機制評估與維護計畫	

10	修訂過渡安排	
11	修訂盛裝容器內用於液體膨脹的餘裕空間	
12	修訂品質保證計畫兩年報告一次的要求	
13	刪除裂變材料一般許可證中對於甲型(Type A)包件的限制	
14	刪除裂變材料一般許可證中對於 U ²³³ 的限制	
15	其他對於修訂 10 CFR 71 的建議	
15.1	刪除重複報告的要求	方案 D:修改 10 CFR 71
15.2	修訂低比活度定義	
15.3	修訂包含 A1、A2 值以及豁免物質活動和託運限額表格	
15.4	修訂協議州相容性類別	
15.5	刪除用過核子燃料裝運重複的提前通知要求	

表 8 NRC 放射性物質安全運輸規則協調內容參考依據

編號	根據 IAEA 內容協調	根據 DOT 內容協調	其他考量	不採取修改
1	○			
2				○
3				○
4.1	○			
4.2	○			
5	○			
6	○	○		
7	○	○		
8	○			
9	○			
10	○	○		
11	○	○		
12			○	
13			○	
14			○	

15.1			○	
15.2			○	
15.3	○	○		
15.4			○	
15.5			○	

此次 NRC 對於 10 CFR 71 的修改，內容除了對行政、編輯程序、澄清性變更外，還包含對協議州(Agreement States)相容性類別的變更；預計對下列人員/活動產生影響：

- A. 持有由 NRC 核發特定或一般許可證的許可證持有人(其被授權允許接收、擁有、使用或轉移許可的材料)，進行以下活動(1)將該材料交付給承運人進行運輸、(2)按照 NRC 許可證規定將該材料從使用地點運輸到外部、(3)在公共道路上運輸該材料；
- B. 根據 10 CFR 71 持有或申請合格證書的持有人；
- C. 根據 10 CFR 71 品質保證計畫(Quality Assurance Program, QAP)核可的持有人；
- D. 協議州法規相容性有關之要求。

協議州是指已與 NRC 簽訂協議的州(共 39 州)，NRC 授予它們在其管轄範圍內對副產品、源頭或特種核材料進行許可和檢查的權力，除了聯邦機構或聯邦承認的印第安部落之外，任何希望在這些協議州擁有或使用受許可的材料的申請人，應與當地政府聯繫，取得申請準備指導，並向當地政府提出申請。

關於(1)擬定修訂議題的描述、(2)對應之 10 CFR 71 段落，以及(3)NRC 針對協調內容擬定修訂的內容，已彙整於表 9 中，其中就要點概述各項議題及 NRC 擬定行動。

表 9 彙整協調法規相關議題與 NRC 擬定修訂之內容

編號	描述	對應 10 CFR 71 段落	NRC 擬定修訂內容
----	----	-----------------	------------

1	A. SSR-6 新增三項關於裂變材料豁免規定於段落 417(C)、417(d)及 417(e)。	§71.15	在§71.15 中那納入兩項額外的裂變豁免規定： i. 採用 SSR-6 第 417(c)段落規定，但排除第 571(c)中關於 45 克的託運限制 ii. 採用 SSR-6 第 417(e)段落規定，以及 570(e)規定必須以專用方式進行運輸。
	B. 第 417(f)包含獲得主管機關批准的豁免情況	7§1.15	不做改變
	C. SSR-6 第 674 段包含關於臨界安全指數 (Criticality Safety Index, CSI)控制的易裂變材料規定，類似於 10 CFR 71 對於易裂變材料一般許可證的要求。	§71.22 §71.23	不做改變
	D. SSR-6 第 6745 段包含關於非裂變包件中鈾的規定，類似於 10 CFR 71.15(f)中的裂變豁免規定，但 SSR-6 中有考慮累積臨界安全指數。	§71.15	不做改變

2	SSR-6 及 DOT(49 CFR 173.412(f)) 降低外部壓力為 60 kPa	§71.71(c)(3)	不做改變，目前對於降低外部壓力的測試要求為 25 kPa，NRC 認為不須提升為 60 kPa。
3	SSR-6 採用丙型(Type C) 包件標準	無	不做改變，NRC 徵詢後認為並無在本土運輸丙型(Type C)包件的需求。
4	A. SSR-6 日照單位與 NRC 不同	§71.71(c)(1)	NRC 提議修訂§71.71(c)(1)中關於日照的單位(g cal/cm ²)，與 SSR-6 使用的單位(W/ m ²)保持一致
	B. SSR-6 要求日照作為測試的條件	§71.73(b)	由於火災可能發生在天氣炎熱、曝曬的情況下，在符合 IAEA 標準下，NRC 提議修訂 71.73(b)中的初始條件，將日照作為所有假設事件條件的初始條件。
5	SSR-6 採用劑量率取代輻射水準	§71.4 §71.43 §71.47 §71.51 §71.64 §71.84	不做改變，在§71.4 中添加一個新定義，闡述劑量率與輻射水準的關係。
6	SSR-6 刪除 LSA-III 關於瀝濾的測試	§71.4 §71.77 §71.100	刪除§71.77 中的瀝濾測試，並對§71.4 及§71.100 做出修改，使其引用§71.77 規定。
7	SSR-6 增加 SCO-III 的類別	§71.4	NRC 及 DOT 皆預計增加 SCO-III 的規定，目前正進行跨部會協調，使 NRC 與 DOT 的規定保持一致。
8	SSR-6 於第 680(b)(i)段落中增加 UF ₆ 的評估要求	§71.55(g)	NRC 提議修訂§71.55(g)(1)，增加關於插塞的規定，要求氣瓶插塞與包裝的任何部分沒有物理接觸，並保持插塞的密封性，因 NRC 對於氣密閥門有要求。
9	SSR-6 增加貯存後運輸	§71.35	由於 10 CFR 71 沒有具體要求老化

	的老化機制與要求	§71.43(d)	影響的評估和維護計畫的描述， NRC 提議修訂§71.43(d)，納入老化影響的評估，並於添加§71.35 中增加申請許可證需包含維護計畫的描述。
10	SSR-6 修訂了版本之間的過渡安排	§71.4 §71.19	NRC 根據修訂的過渡安排，修訂先前依照舊版本核發的包件及包件識別號碼規定。
11	美國現有規範中缺乏對於液體頂部餘裕空間的設計要求	§71.43	雖然 NRC 法規中有規範足夠空間，但有時仍會收到未評估液體容器是存在足夠空間的申請，未明確該項要求，NRC 提議修訂§71.43，增加液體容器包件的設計要求，確保在正常及假設事故條件下，包件內仍有足夠的空間。
12	根據美國現有規範，若未對品質保證計畫進行修正，則不需要每兩年定期提交報告，這與SOCs(Statements of Considerations) 及 RG (Regulatory Guide) 7.10 的規定不一致。	§71.106(b)	NRC 提議修訂§71.106(b)，以澄清即使品質保證計畫沒有發生變化，亦須向 NRC 定期(每兩年)提交報告。
13	10 CFR 71 中裂變材料一般許可證對於重量限制與某些裂變核種的甲型 (Type A) 包件限制不一致。	§71.22 §71.23	NRC 提議刪除並修訂§71.22 及 §71.23 中僅使用甲型(Type A)包件運輸甲型(Type A)材料的限制，即允許使用乙型(Type B)包件運輸；NRC 還對使用§71.23 中的一般許可證進行澄清，只有使用特殊形式的密

			封源方得以適用。
14	澄清對於 U ²³³ 存在的定義	§71.22	NRC 提議修訂§71.22 中對於 U ²³³ 的限制，限制 U ²³³ 的質量低於 U ²³⁵ 質量的百分之一。
15	A. 重複報告要求	§71.95(b)	NRC 提議刪除 71.95(a)(3) 中與 71.95(b) 重複報告的要求。
	B. 關於 LSA 材料的定義	§71.4	NRC 建議修訂§71.4 中關於 LSA 材料的定義，使其與§71.15 中的標題保持一致，並澄清 LSA 包裝件可能含有達到§71.15 豁免限值的裂變材料。
	C. SSR-6 修訂 A1 及 A2 值、豁免材料濃度、豁免材料運輸時放射性活度限值	Appendix A	NRC 提議修改附件 A 中表格，並與 DOT 協調，使其與 49 CFR 173.435 和 49 CFR 173.436 中相對應表格一致。
	D. 協議州法規相容性	§71.109 §71.111 §71.115 §71.117 §71.119 §71.121 §71.123 §71.125	NRC 提議修訂與協議州相容之規範、品質保證計畫規範、包件缺陷的報告等。
	E. 刪除用過核子核燃料裝運前重複的通知要求	§71.97	NRC 提議修訂§71.97，刪除重複報告的要求，使被授權人不需於裝運前提出兩份報告，以滿足(1)§71.97 以及(2)§73.37 或§73.35 提前通知的要求。

4.2.3 與用過核子燃料相關之修訂議題

於 4.2.2 小節中，彙整 NRC 根據 IAEA SSR-6 2012 及 2018 版本，以及與 DOT

協調之結果，並對 10 CFR 71 提出修訂建議，雖然多數修訂適用於裂變材料、低比活度放射物質、表面污染放射性廢棄物以及 UF₆ 容器等，仍有部分內容與用過核子燃料的運輸相關，以下章節就與用過核子燃料相關之議題進行討論。

4.2.3.1 運輸包件對日照評估的要求

在運輸的過程中，包件受到太陽的照射稱為日照，主要對包件的影響是造成包件溫度的升高，NRC 工作人員根據協調結果，擬定對日照單位進行修改，並將日照納入假設事故條件的評估中。

A. 正常運輸條件下的日照單位

現行 10 CFR 71 中的日照單位為 g cal/cm²，根據 IAEA TS-R-1 (1985) 的修訂內容，該版本將正常運輸條件下的日照單位由 g cal/cm² 改為 W/m²，但保留相同的數值，因此使包件上的太陽熱負載增加約 3%，IAEA 當時並未提供相關技術數據，NRC 工作人員觀察到不更動數值可以在規範中保持相對簡潔的數值，惟對包件太陽熱負載產生小幅度的變化。

過往的協調內容中，已將法規與 IAEA TS-R-1 (1985) 版本協調一致，但並未提及修改日照單位，因此日照單位仍舊維持 g cal/cm²；在 SSR-6 2018 年版本中日照單位仍舊維持 W/m²，這使得 NRC 包件批准評估所需的日照條件，會因為單位因素略低於 IAEA 的要求，無法滿足 IAEA 的標準與國際上其他國家主管機關批准的要求。NRC 工作人員提議將 §71.71(c)(1) 中，正常運輸條件下的熱測試日照單位，修改為與 IAEA SSR-6 2018 相同之單位。關於過渡安排，由於單位的修訂僅略微增加日照熱負載，NRC 工作人員預估，包件許可證持有人將能證明其符合修訂後的規定。

B. 假設事故條件的初始條件

在 IAEA TS-R-1 (1985) 版本中，第 628 段規定「就熱試驗的初始條件而言，應基於這樣一個假設來進行合規性證明，即包件在 38°C 的環境溫度下處於平衡狀態。可以在測試前和測試期間忽略太陽輻射的影響，但必須在隨後對包件回應進

行評估時考慮這些影響」；於 1996 年版本中將相關敘述移至第 728 段，於 2018 年版中內容為「試樣必須在環境溫度為 38 °C 的條件下處於熱平衡狀態，同時受表 XI (詳見 IAEA TS-R-1 1996 edition) 中規定的太陽日照條件的影響，以及來自包裝內放射性物質產生的設計最大內部釋熱率的影響。」

NRC 在 2004 修訂 10 CFR 71 時，參考 IAEA TS-R-1 (1996) 版本並協調一致，於 §71.73(b) 中列出試驗的初始條件規定測試環境溫度與初始工作壓力，但並未考慮日照的影響。由於火災可能會發生在日照充足的情況下，在與 IAEA SSR-6 規範保持一致的前提下，NRC 工作人員提議，修改 §71.73(b) 中的初始條件，要求對所有假設事故條件的測試進行日照評估。

4.2.3.2 納入老化機制評估與維護計畫

在現行法規中，NRC 並未明確要求包裝申請須包含老化機制評估與維護計畫，但申請人需要對老化因素對於組件的影響進行評估，以確保不會出現嚴重降解並滿足 §71.43(d) 的要求；對於老化會對包裝性能產生危害的組件，申請人需要提供維護計畫的描述，包含定期測試、評估組件效能、更換或是修復計畫等，以減輕危害的效應，在每次運輸前，根據 § 71.87(b) 的規定，許可證持有人必須確保包裝除了表面缺陷（如印記或凹痕）之外，處於完好無損的物理狀態。在符合法規、維護計畫的定期測試、檢查、更換及修復，NRC 工作人員認為這些措施，應該能夠在老化引起的降解，對運輸安全構成問題之前確定包裝的劣化。

由於 SSR-6 2018 年版本第 613 段中闡述，包裝設計評估必須考慮老化機制，並且在第 809 段中表示，包裝的申請必須包含維護計畫。因為在 10 CFR 71 中，並未明確要求進行老化效應的評估和申請中須包含維護計畫的描述，NRC 工作人員建議修改 § 71.43(d)，以明確包括對老化效應的評估，並在子部分 D 中添加一個新的規定，納入包裝申請必須包含維護計畫的描述，以更好地與 SSR-6 2018 年版本保持一致。

4.2.3.3 刪除用過核子燃料裝運重複的提前通知要求

在 10 CFR 71.97 中要求用過核子燃料運輸前須提前通知，然而提前通知的要

求已經包含於 10 CFR 73 中，其中包括(1)根據§ 73.37(b)(2)的要求，許可證持有人必須提前通知州長和/或部落官員，若任何跨越州或部落邊界的裝運中，包含大於 100 克的用過核子燃料，且外部輻射劑量率在距離表面 1 公尺的地方，於無屏蔽的情況下大於 1 Gray/hr；此外，許可證持有人還必須根據§ 73.72 的規定向 NRC 提供有關此類裝運的通知、(2) 根據§ 73.35 的規定，“運輸中的用過核子燃料(100 克或更少)的保安要求”，當外部輻射劑量率在距任何可接觸表面 1 公尺的地方，於無屏蔽的情況下大於 1 Gray/hr，運輸 100 克或更少的用過核子燃料的許可證持有人，必須依照§ 37.77 的規定提前通知裝運。

於 2013 年設立 10 CFR 73 要求時，並未從 10 CFR 71.97 中刪除相關提前通知的要求；因此，許可證持有人可能需要為單趟裝運活動提交兩份報告，以滿足§ 71.97 和§ 73.37/§ 73.35 的要求。為解決這種潛在的低效率問題，NRC 工作人員提議修改§ 71.97，刪除有關用過核子燃料裝運前提前通知的規定。

4.3 美國 NRC 對於大規模用過核子燃料運輸的準備情況

如 4.1 節中所提及之美國用過核子燃料近況，商用核電廠運轉後產生之用過核子燃料，主要位於運營中或是除役中的電廠廠址內，並貯存於燃料池或是乾式貯存系統內，目前 NRC 已核准 36 個州內共 84 個用過核子燃料貯存設施，貯存超過 3,930 個燃料護箱，這些護箱皆經由廠內傳送(短程陸上運送)的方式，將用過核子燃料傳送至貯存設施中進行貯存。由於最終處置設施的場址及相關規劃 NRC 已核准兩座集中式中期貯存設施，分別為 2021 年核准之 WCS CISF，以及 2023 年核准之 HI-STORE CISF，雖然目前這兩座私人集中式中期貯存設施尚未取得地方政府的興建許可，但若其中一座或是兩座設施開始興建或運營的話，可預期後續將會大規模的用過核子燃料，由各地核電廠經由陸上運輸至集中式中期貯存設施。

根據 1982 年修訂的核廢棄物政策法(NWPA)，美國 DOE 負責興建和運營最終處置設施，其中包含了對於用過核子燃料的運輸工作，為此 DOE 進行了多項支持用過核子燃料運輸的研究，包括對環境影響評估、運輸工作評估以及運輸載具的開發與研究等，雖然最終處置設施的場址尚未明確，但根據美國國家關於用過核子燃料處置的政策規劃，目前仍是採用深地質處置方式，因此 DOE 將持續關

技術開發及相關利益團體溝通等工作，而 NRC 做為監管機構亦持續參與相關利益團體溝通及協調等活動。

面對可預期的大規模用過核子燃料運輸任務，就監管機構的角度，其涉及 10 CFR 71、10 CFR 72、10 CFR 73 以及授權、檢查和其他監管功能的指引(guidance)和程序(procedures)；為此，NRC 相關辦公室合作，成立運輸準備工作小組，並針對以下項目進行評估，包含：

- A. 與用過核子燃料運輸的安全和保安性相關的現行法規、指引和程序之適當性；
- B. NRC 行動的具體資訊需求，以及關於當前和預計的用過核子燃料數量和運輸路線的資訊可用性；
- C. NRC 的監督角色；
- D. 與 NRC 聯邦合作夥伴、各州、部落和公眾的協調、溝通以及擴大服務範圍。

執行運輸任務評估目的是為了驗證機構的準備狀況，並識別和建議潛在增強措施，以進一步確保商用用過核子燃料運輸的透明、堅固和高效監管框架。評估的項目及內容包含：

- A. 用於包件和運輸的法規與指引
- B. 用於貯存的法規與指引
- C. 10 CFR 72.48 中關於變更、測試和試驗的規定
- D. 用於保安的法規和指引
- E. 用過核子燃料用於貯存和運輸的裝卸操作
- F. 安全及風險評估
- G. 環境審查
- H. 過往對於法規的評估
- I. 過往大規模運輸用過核子燃料的經驗
- J. DOE 運輸與商業運輸用過核子燃料之差異
- K. 溝通與擴大服務範圍計畫
- L. 具體的資訊要求
- M. 待運輸之用過核子燃料現況

- N. 聯邦機構監管用過核子燃料運輸的跨機構協議
- O. 運輸車隊/載具的現況
- P. 運輸路線審查程序
- Q. 運輸前和運輸過程中的安全監管
- R. 運輸前和運輸過程中的保安監管
- S. 接收用過核子燃料包件的檢查規定

4.3.1 評估領域與討論

依照目前 NRC 現有的運輸監管框架，其能夠合理確保公眾健康和安全、對環境提供足夠的保護，並共同促進國防及保安的發展；對於用過核子燃料的運輸安全及保安要求，NRC 持續評估並改進相關規範及監管法規，其中包含協調聯辦法規與 IAEA 國際放射性物質運送規範、放射性物質運輸安全以及保安技術研究結果。在大規模用過核子燃料運輸的假設情境中，主要是由各電廠貯存場址運輸用過核子燃料至民營貯存設施中，對此運輸準備工作小組發現，NRC 的監管架構與負責運輸用過核子燃料的其他聯邦機構的框架相互配合得當，包含美國 DOT 及美國國土安全部(U.S. Department of Homeland Security, DHS)，雖然 DOE 在此情境中並無扮演實質角色，但其關於用過核子燃料運輸的研究和開發成果，將有助於用過核子燃料的運輸任務，如 DOE 開發的用過核子燃料專用列車(Atlas Railcar)。

根據調查與評估結果，工作小組主要成果包含：

- A. 確認現有的用過核子燃料運輸法規和監管框架涵蓋(1)保護公共健康、安全、(2)保護環境，以及(3)用過核子燃料運輸的保安；
- B. 描述了不同機構的角色和責任，並制定了用過核子燃料運輸監管的路線藍圖；
- C. 確定並建議了具體的加強措施，以提高 NRC 對大規模用過核子燃料運輸的監管效率；
- D. 確定了未來可能需要 NRC 指引的領域；
- E. 確定了支持 NRC 對運輸活動監管的資訊需求。

下列將分別詳述工作小組，對於各個領域的調查描述與評估內容。

4.3.1.1 用於包件和運輸的法規與指引

工作小組針對 NRC 在美國對於用過核子燃料運輸安全的現行法規、指引，以及法規實施的經驗進行評估，評估的法規及指引包含：

- 10 CFR 71, “Packaging and transportation of radioactive material”
- NUREG-1617, “Standard Review Plan for Transportation Packages for Spent Nuclear Fuel”
- NUREG-2215, “Standard Review Plan for Spent Fuel DSSs and Facilities”
- NUREG-2216, “Standard Review Plan for Transportation Packages for Spent Fuel and Radioactive Material: Final Report”

當運輸放射性物質時，許可證持有人須遵循 49 CFR 及 10 CFR 中關於美國 DOT 及美國 NRC 制定的規範，這些規範涵蓋了少量到大量的放射性物質包件及安全運輸，NRC 與 DOT 之間根據 1979 年簽署的合作備忘錄(44 FR 38690)進行合作，並聯合監管放射性物質的包件及運輸活動。DOT 是負責監管危險物質的包裝及運輸的主要機構，按照聯合國橘皮書的分類，危險物質一共分為 9 類，其中第 7 類為放射性物質，DOT 負責監管範圍為不超過 A 型(type A)數量的放射性物質、低比活度材料及表面受污染的材料；而 NRC 是負責監管裂變材料和超過 A 型數量放射性物質包裝與運輸之主要機構。

工作小組發現 10 CFR 71 的法規，明確規範了許可材料的包件、運輸準備和運輸要求，其適用於(1)任何授權接收、持有、使用或轉移許可材料的被許可人、(2)將許可材料交付給承運人，或(3)將許可材料運出使用地點或在公共道路上運輸的被許可人；另外，10 CFR 71 還規範了對於裂變材料及超過 A 型數量的包件與運輸程序的審查流程及標準，亦即此類放射性物質運輸包件需向 NRC 提出申請，NRC 依照 10 CFR 71.17 的規定進行審查。在 NUREG-2216 中，則包含多份歷年來 NRC 發布之監管指引(regulatory guides, RG)及臨時工作人員指引(interim staff guidance, ISG)，其目的是為了協助申請人、許可證持有人以及審查工作人員進行相關申請的程序。

經過評估後，工作小組發現 NRC 現行的法規和指引足以在用過核子燃料運輸

過程中提供足夠的公共健康、安全和環境保護，且目前尚未需要對現行法規框架進行任何特定的改善，因此得出不須做出改善措施的建議。

4.3.1.2 用於貯存的法規與指引

在該評估項目中，工作小組針對 NRC 在美國對於用過核子燃料貯存的現行法規、指引，以及法規實施的經驗進行評估。

在 10 CFR 72 中明確規範了用過核子燃料、超 C 類放射性廢棄物以及與用過核子燃料貯存相關的放射性材料，在用過核子燃料貯存設施中接收、轉移和持有許可證的要求、程序、標準，以及 NRC 授予許可證的條款和條件，主要目的是在保護公眾和環境免於受到用過核子燃料貯存設施的放射性影響。此外，為了使 10 CFR 72 中要求與其他 10 CFR 文件能得以協同運作，NRC 多次對該法規進行修訂，包含(1)為採用 10 CFR 50 獲得營運許可的設施增加了通用許可、(2)增加了允許許可證持有人和合格證書 (Certificate of Compliance, CoC) 持有人，可根據特定評估標準進行變更、(3)變更、測試和試驗(Changes, tests, experiments, CTE)的要求、(4)對用過核子燃料貯存設施的營運許可期限進行了更改、(5)修改了通用許可程序，允許對現有修訂進行修改等修訂。

為了支援 10 CFR 72 法規的實施，NRC 發布多項公告、行政文件、RGs、ISGs、NUREG 文件和監管問題概述等，其中 NUREG-1536、NUREG-1267 以及相關 ISG 文件中，包含了 NRC 許可證和 CoC 審查的指引，於近期出版 NUREG-2215 中，整合了現有指引，供工作人員在審查用過核子燃料乾式貯存系統和設施的 NRC 許可證和 CoC 申請時使用。

經過評估後，工作小組發現目前尚未需要對 10 CFR 72 及相關指引進行具體的補強，且 10 CFR 72 中的規範要求為貯存系統及設施安全提供了堅實的基礎，並且 NRC 持續進行適當的修訂。此外，NRC 於用過核子燃料貯存設施的監管方面擁有豐富的經驗，監管期間實施了強有力的許可和檢查計畫，以確保設施的安全並持續遵守 10 CFR 72 的規範內容。

4.3.1.3 10 CFR 72.48 中關於變更、測試和試驗的規定

在該評估項目中，工作小組著重於 NRC 現行法規和指引，關於許可證持有人及 CoC 持有人在貯存和運輸包件上具有的靈活性，可以在未經 NRC 事前批准的情況下進行某些變更、測試和試驗。

10 CFR 72.48 中明確規範了，在貯存設施中用過核子燃料貯存設施許可證持有人或用過核子燃料貯存護箱 CoC 持有人，於未經 NRC 事前批准的情況下，可進行變更、測試和試驗的條件，然而，有些測試是需要經過 NRC 的審查與批准的，10 CFR 72.48 為試驗活動提供了法規審查的門檻；相關詳細內容，NRC 已於 NUREG-2216 中澄清了，在無需 NRC 事前批准的情況下，允許的包裝設計變更程度，包括內容物和包裝操作的變更。關於實施指引，核能協會(Nuclear Energy Institute)為此針對許可證及 CoC 持有人，發布一份評估指引，而 NRC 在 RG 3.72 中認可了這份指引。

相較於 10 CFR 72.48 的高靈活性，在 10 CFR 71 第 107 章(10 CFR 71.107)中，為運輸包裝的設計變更提供的靈活性較低，根據 10 CFR 72.48 對雙用途(貯存及運輸)護箱與多用途貯存系統進行的變更、測試和試驗，可能需要在運輸之前進行 10 CFR 71 的 CoC 修訂。面對未來用過核子燃料大規模運輸活動，為了完善監管、許可和檢查資源的準備，需要考量的事項包含：

- 必須了解有多少變更、測試和試驗需要進行 10 CFR 71 的 CoC 修改；
- 對於不需要 10 CFR 71 CoC 批准的變更、測試和試驗，仍需要檢查資源來驗證許可證或 CoC 持有人所提出結論的適當性；
- 對於需要 10 CFR 71 CoC 批准的變更、測試和試驗，將需要進行許可程序。

在監管 10 CFR 72.48 及 10 CFR 71.107 法規實施方面，NRC 分別採用 IP 60857 及 IP 86001 來進行評估審查。

經過評估後，工作小組雖未發現需要具體改進的部分，但提出改進意見，建議 NRC 與業者協調，盤點許可證及 CoC 持有人預期執行 10 CFR 72.48 變更、測試和試驗的數量，特別是需要 NRC 根據 10 CFR 71.107 批准的變更、測試和試驗，

以便於評估 NRC 所需準備的許可及檢查資源。

4.3.1.4 用於保安的法規和指引

在該評估項目中，工作小組著重於 NRC 對於許可證及 CoC 持有人的保安法規與指引，用過核子燃料的保安要求取決於運輸材料的數量和特性，工作小組比較和評估了各種安全要求的適當性，評估範圍包含表 10、現有的檢查手冊章節 (Inspection Manual Chapters, IMC)、許可證持有人的檢查程序 (Inspection Procedure, IP) 以及相關必要之法規。

表 10 使用於用過核子燃料運輸的保安法規

距離用過核子燃料 1m 無屏蔽之輻射劑量	≤ 1 Gray/hr 之戰略特殊用 過核子燃料	> 1 Gray/hr 且 > 100 g
適用於用過核子燃料 運輸保安的法規	10 CFR 73.20 及 10 CFR 73.25-27	10 CFR 73.37

預計從電廠或是用過核子燃料貯存設施運輸至集中式中期貯存設施的用過核子燃料，其重量將會超過 100g，而在距離 1m 無屏蔽情況下的輻射劑量，可能出現兩種情況，包含：

- 高於 1 Gray/hr，普遍發生於現有的用過核子燃料上，適用於 10 CFR 73.37 保安法規；
- 低於 1 Gray/hr，可能發生於早期退出反應器之用過核子燃料上，將不適用 10 CFR 73.37 及 10 CFR 73.6(b) 豁免標準，為應對此問題，許可證持有人可能需要按照戰略特殊用過核子燃料運輸保安要求 10 CFR 73.20 及 10 CFR 73.25-27 來運輸此類貨物。

關於戰略特殊用過核子燃料運輸保安要求，其主要用於運輸重量超過 2 kg 的材料，例如高濃縮鈾或鈾，工作小組委員並未打算將運輸用過核子燃料的活動納

入此類保安要求內，因此建議 NRC 應探索替代方案，並同時保障適當的安全和保護保障。

關於檢查工作，工作人員確定目前現有的檢查手冊章節，都未提供用過核子燃料運輸保安的全面檢查程序，已知有兩個檢查手冊章節，可為未來用過核子燃料安全檢查計畫提供範本，包含：

- IMC 2681, “Physical Protection and Transportation of Special Nuclear Material and Irradiated Fuel Inspections of Fuel Facilities”
- IMC 2600, “Fuel Cycle Facility Operational Safety and Safeguards Inspection Program”

經過評估後，工作小組發現兩項需要精進之處，包含：

- A. 需要評估如何運輸早期用過核子燃料的包件，因其不符合 10 CFR 73.6(b)的豁免標準，也不屬於 10 CFR 73.37 的範圍；
- B. 需要修改或制定新的檢查手冊章節和檢查程序，以應對保安檢查。

對於檢查手冊章節，其中應該提供用過核子燃料運輸保安監督的指引，包含：

- 目的、目標及定義；
- 用過核子燃料運輸保安檢查計畫的目的、目標、責任、權限和基本要求；
- 檢查程序列表和每項檢查程序的實施頻率；
- 執行計畫的檢查人員的訓練要求參考資料；
- 實施檢查手冊章節所需的資源估算。

4.3.1.5 用過核子燃料用於貯存和運輸的裝載活動

在該評估項目中，工作小組著重於用過核子燃料於貯存及運輸的裝載活動，具體而言，用過核子燃料的裝載活動必須安全且依照書面程序執行，在貯存環節須符合 10 CFR 72.150 之規定，在運輸環節須符合 10 CFR 71.111 之規定。

關於用過核子燃料的裝載活動是特定於乾式貯存系統、乾式貯存設施或相關

的運輸包件，因此，法規中並不包含特定活動的要求，而是根據 CoC 中設計基礎以及法規中的具體要求來制定詳細的程序，在用於貯存和運輸的標準審查計畫中 (NUREG-2215 與 NUREG-2216)，提供有關用過核子燃料裝載到包裝中，進行貯存或運輸的工作人員審查附加訊息。

NRC 對於裝載活動的監管實施方式，主要是通過 NRC 督察員在現場觀察這些活動來執行；對於乾式貯存系統的檢查，是在整個生命週期中實施定期檢查來進行，從乾式貯存系統製造、安裝、測試、實際裝載用過核子燃料、裝載到運輸工具上等，由 NRC 區域和總部督察員組合進行。

經過評估後，工作小組未發現有關用過核子燃料裝載到運輸工具上，以進行貯存及運輸的活動需要加強的措施，惟面對大規模的運輸活動，可能需要額外的檢查資源。

4.3.1.6 安全及風險評估

在該評估項目中，工作小組聚焦於多年來，NRC 進行與運輸安全有關的研究成果與報告。自 1977 年以來，NRC 已發布數份 NUREG 文件，彙整所進行的研究以及對於放射性廢棄物乙型(type B)的監管活動，其中亦包含用過核子燃料，這些研究的主題涵蓋：

- 放射性物質運輸對公眾的風險
- 運輸包件對公路和鐵路事故狀況的反應
- 用過核子燃料運輸風險估算
- 用過核子燃料運輸風險與後果分析
- 涉及嚴重火災的運輸事故評估

這些研究成果顯示，用過核子燃料運輸對公眾造成的風險很低，且當運輸包件在符合運輸法規及 Type B 包件的 CoC 要求時，NRC 的運輸法規足以確保在運輸過程中的安全性，並且保護公共健康、安全和環境。

工作小組的評估範圍包含 NUREG-0170、NUREG/CR-4829、NUREG/CR-6672、

NUREG-2125、NUREG-0725、NUREG/BR-0111 以及 NUREG/CR-7209；經過評估後，工作小組並未發現需要補強及精進的地方，意即這些運輸法規用於商業用過核子燃料運輸活動時，可以為公眾健康及環境提供足夠保護，且這些法規的適當性，得到了 NRC 多年來的放射性物質運輸研究和經驗的證明。

4.3.1.7 環境審查

在這項評估項目中，工作小組聚焦於 NRC 對於環境審查的法規，主要收錄於 10 CFR 51 以及 10 CFR 73 中，其中包含：

- 10 CFR 51.20(b)(9)中要求，針對根據 10 CFR 72 核發的用過核子燃料貯存設施，需要準備環境影響聲明；
- 10 CFR 51.22(c)(13)中規定，用於運輸已獲得許可材料的包裝設計審查，被歸類為不需進行環境評估的活動；
- 10 CFR 73.37(a)中規定，對於運輸路線的審查與和核准，需要符合 10 CFR 51.22(c)(12)的環境評估範疇；

關於指引，NRC 於 2003 年 08 月發布 NUREG-1748，其中包含了符合 NRC 環境法規的指引，該文件適用於用過核子燃料貯存與運輸，且包含特定於環境審查中考慮運輸影響的指引。

經過評估後，工作小組並未發現需要對環境影響評估法規或是法規實施層面，進行精進及改善的措施，並且發現工作人員經常使用 NUREG-1748 中現有指引來進行涉及用過核子燃料貯存及運輸的審查，其中包含 WCS CISF 及 HI-STORE CISF 所提出的申請案中；因此，工作小組得出之結論，認為這些法規和相關指引是足夠的。

4.3.1.8 過往對於法規的評估

在此項評估項目中，評估範圍涵蓋過往 NRC 對於法規的評估，目的為評估目前用過核子燃料運輸檢查計畫的準備情況，工作人員對核材料安全與保障辦公室 (Office of Nuclear Material Safety and Safeguards) 於 2019 年運輸檢查計畫準備情況

進行了詳細的回顧，對於該份評估後得出以下結論：

- 商業用過核子燃料將從三種不同的設施中進行運輸，三種不同的設施分別屬於 NRC 三種不同的業務範圍：
 - 遠離反應器的用過核子燃料貯存設施
 - 已除役的反應器
 - 運轉中的反應器
- 對於每種類型的設施，運輸檢查程序充分覆蓋了進行乙型(type B)運輸所需的活動；
- 對於用過核子燃料而言，例如 10 CFR 72.48 的修訂、貯存/雙用途或多用途貯存系統的選擇，應被考慮添加到當前的運輸檢查程序中；
- 檢查員的訓練可以考慮補充；
- 作為替代方案，也可以對用過核子燃料檢查員進行特訓，特訓內容包含文件的培訓和資格認證計畫，使其有資格在所有許可證持有人的設施中，使用特定的用過核子燃料檢查程序進行檢查。

經過評估後，工作小組並未發需要補強及改善的地方；經過回顧過往的評估結果後，工作小組基本同意上述的結論，惟工作小組指出，現有的運輸檢查程序並非專門針對於用過核子燃料的運輸，因此，工作小組建議應針對用過核子燃料的檢查程序進行補強，相關描述詳見 4.3.1.17 節。

4.3.1.9 過往大規模運輸用過核子燃料的經驗

在此項評估項目中，工作小組著重於先前大規模運輸用過核子燃料的經驗；截至目前為止，美國境內尚未進行過大規模商業用過核子燃料運輸活動，僅進行過小規模的運輸活動，若放眼全球已進行的運輸活動，則有相當豐富的經驗。

美國 DOE 於 2016 年發布關於用過核子燃料安全運輸歷史回顧的報告[20]，其中統計了全球範圍內已公開的核廢棄物運輸活動，從 1962 年至 2016 年，全球一共進行至少 25,400 次核廢棄物運輸，美國境內及出口運輸佔總數約 10~17%。

經過評估後，工作小組認為在全球範圍內，有豐富關於安全運輸核廢棄物的

經驗，根據回顧已公開的訊息，核廢棄物的運輸任務已在世界各地被安全的執行數十載，因此，工作小組並未對此項評估提出精進建議及補強措施。

4.3.1.10 DOE 運輸與商業運輸用過核子燃料之差異

該項評估中聚焦於美國 NMPA 第 42 章 10101 節之內容，比較由美國 DOE 運輸用過核子燃料與商業運輸用過核子燃料的監管和法規差異，主要差異包含：

- 運輸是否需要符合 NMPA 第 302 條規定的標準合約；
- 是否提供資金來培訓用過核子燃料運輸所通過地區及部落的公共安全官員；
- 路線批准；
- 保安要求。

經過評估後，工作小組並未發現該項目需要加强的部分，對於不同的要求與責任澄清和解釋，預計作為公共宣傳計畫的一部分。

4.3.1.11 溝通與擴大服務範圍計畫

在該項評估中，工作小組著重於評估 NRC 現有與利益相關團體，以及合作夥伴的溝通與擴大服務範圍計畫，其中包含美國 DOT、其他聯邦機構、地方政府、部落、NRC 許可證持有人及公眾。此項評估的目的是辨別並發揮良好運作的溝通做法，找出其他可能需要改進及補强的地方，確保所有做法在以下方面進行有效、高效、開放和透明的溝通：

- NRC 在保護公共健康、安全和環境方面的監管角色，以及其在用過核子燃料運輸的安全和保安方面的責任；
- NRC 在用過核子燃料包裝和運輸的安全和保安方面的紀錄；
- NRC 對用過核子燃料運輸包裝設計規則的穩定性；
- NRC 在用過核子燃料運輸活動中履行其監管/監督角色和責任的準備情況；
- 商業運輸和能源部運輸之間的差異。

經過評估後，工作小組發現有需要改進與利益相關者的溝通和擴大服務範圍

的必要性，相關內容於 4.3.2.6 節中詳述。

4.3.1.12 具體的資訊要求

在該項評估中，工作小組主要聚焦於與 NRC 在用過核子燃料運輸活動中，扮演監督角色相關的資訊要求，工作小組確定了用過核子燃料運輸監督可能需要的資訊，包含：

- 全美運輸活動的聯絡人；
- 如果 CISF 獲得許可並完成興建，從現有貯存地點運輸到 CISF 的時間表；
- 根據 10 CFR 72.48，許可證和 CoC 持有人需對貯存系統進行變更、測試和試驗的數量，特別是需要根據 10 CFR 71.107 獲得 NRC 核可的變更、測試和試驗；
- 根據 10 CFR 71，CoC 持有人合格證更新和修訂請求；
- 目前裝載於護箱中的用過核子燃料數量；
- 來自美國 DOE 的「用過核子燃料-貯存、運輸和處置分析資源和數據系統」(Used Nuclear Fuel - Storage, Transportation and Disposal Analysis Resource and Data System (UNF-ST&DARDS)) 數據庫資料；
- 如果預期有海運運輸，因其受到海岸警衛隊管轄，則需了解美國海岸警衛隊的安全政策，並瞭解用過核子燃料運輸活動中是否包含海運運輸。

4.3.1.13 待運輸之用過核子燃料現況

在此項評估中，工作小組聚焦於待運輸的用過核子燃料現況、目前貯存地點的訪查，以及用於裝載和運輸用過核子燃料的可用性及準備情況。工作小組發現，美國 DOE 已經針對 16 個現有的貯存地點進行訪查，其中包含已除役的場址；對於後續在制定具體運輸計畫和路線規劃時，許可證持有人及承運人需要對各個場址的進出和運輸方式進行評估。

經過評估後，工作小組並未確定任何建議及補強措施；至於用於用過核子燃料運輸和運輸包裝的訊息，可用於支持監管與監督上，其中包含：

- 貯存設施現有已貯存用過核子燃料的護箱清單；
- 運輸包裝的可用性；
- 用於運輸包裝的裝載紀錄；
- 出發地點的鐵路、重型運輸卡車、海運以及跨模式和多模式運輸基礎設施的狀態；
- 在用過核子燃料貯存設施中的裝載設備和其他貯存護箱處理設備的可用性。

如 4.3.1.5 節中所提到的，未來對已認證運輸包裝設計的修訂請求的頻率和數量應當進行估算，以利於 NRC 能夠正確評估及估算其資源和預算。

4.3.1.14 聯邦機構監管用過核子燃料運輸的跨機構協議

在此項評估中，工作小組主要審查現有跨機構的協議與合作備忘錄，其中規定了執行用過核子燃料運輸活動時，聯邦機構之間的角色、責任和協調工作。工作小組評估的範圍包含：

- NRC 於 1979 年與 DOT 簽署的合作備忘錄（44 FR 38690）；
- NRC 於 2015 年與美國 DHS 和 DOT 簽署的合作備忘錄（ML15057A336）
- 美國國家應對框架的核能/輻射事故附件

經過評估後，工作小組未發現這些文件需要增進的措施，並確定各個聯邦機構在用過核子燃料運輸方面的角色與責任已充分界定。

4.3.1.15 運輸車隊/載具的現況

在此項評估中，工作小組檢查了用於運輸用過核子燃料工具的狀態，包括公路和鐵路載具，以及可能的海上運輸及海上保安要求；雖然運輸車隊的可用性是偏向物流調配的議題，但這些相關訊息有助於 NRC 的檢查計畫。

假設一個 CISF 獲得許可並完成興建，當即將展開運輸工作時，有關運輸車隊及載具的規劃將會逐漸清晰並容易獲取相關訊息，NRC 可從對運輸路線的審查、與外部工作小組的溝通以及正式/非正式的會議中蒐集相關資訊，就 NRC 執行審

查角色與監管職責而言，關於物流的規劃預期不需大量人力物力投入。

經過評估後，工作小組未對此項目提出建議；雖然目前關於運輸車隊及工具的具體狀況和相關訊息仍不確定，可預計屆時 NRC 將依照物流時程安排，確定檢查所需的時間和資源。

4.3.1.16 運輸路線審查程序

此項評估項目中，工作小組檢視 NRC 審查的審查程序，包含 10 CFR 71、10 CFR 73 以及 NUREG-0561 等法規與指引。

在 NUREG-0561 中提及，於 10 CFR 73.37(b)(1)(vi)中要求許可證持有人，需要提前獲得 NRC 對運輸用過核子燃料的路線許可，包含公路、鐵路及可能的船舶運輸，對此，NRC 期望許可證持有人至少於計畫運輸日期六個月前提交運輸路線的申請，以便於 NRC 工作人員有足夠的時間審查與核可所申請的運輸路線規劃。

根據 10 CFR 73.37(b)(1)(vi)中之規定，NRC 要求用於運輸用過核子燃料的路線須符合 NRC(如 10 CFR 71.5)及 DOT(如 49 CFR)的規定；對於鐵路運輸，有關 DOT 對放射性材料運輸的要求，包含在 49 CFR 172 及 49 CFR 174 和 49 CFR 209 內，對於公路運輸，有關 DOT 對放射性材料運輸的要求，包含在 49 CFR 172(I)及 49 CFR 397(D)內。而 NRC 工作人員則依據 NUREG-0561，對許可證持有人提出的運輸路線進行審查，包含查看路線、道路運輸的潛在安全避難點以及車隊集結地點等。

經過評估後，工作小組未對該項目提出任何建議及待補強措施，目前 NRC 審查路線的程序是根據 NUREG-0561 執行，未來的更新需求可能與運輸早期用過核子燃料活動及相關決定有關。

4.3.1.17 運輸前和運輸過程中的安全監管

NRC 通過其檢查計畫，使用檢查手冊章節中提供的檢查程序，來驗證許可證持有人是否遵守安全法規。目前，沒有一個單一的檢查手冊章節涵蓋用過核子燃料運輸的安全監管；而是由各個檢查手冊章節中關於一般核材料運輸監管指引組

成，這些指引可用於過核子燃料的運輸。工作小組已確定商業用過核子燃料將從三類設施中運出，包含：

- 遠離反應器的用過核子燃料貯存設施
- 已除役的反應器
- 運轉中的反應器

不同設施的檢查員使用各自的檢查手冊章節中，與之對應的檢查程序來執行檢查作業，下列描述已完成與檢查計畫相關的評估的摘要和結果，其中涵蓋檢查程序、檢查頻率、檢查員資格和檢查手冊章節指引：

A. 檢查程序

為了確認現有檢查技術是否足夠，工作小組首先確定了 NRC 管轄範圍內的安全檢查項目，並分類為以下檢查重點項目：

- 設施修改和評估
- 包裝變更
- 包裝內容
- 包裝裝載
- 裝運準備和紀錄
- 多聯式運輸
- 管理控制
- 接收檢查

工作小組根據這些重點項目，評估了現有的檢查程序，以確定每個檢查重點程序的適當性；其中，多聯式運輸(Multimodal Transport)是指在運輸過程中，利用多種的運輸方式的搭配，以達到在較經濟的情況下提供運輸服務。經過評估後，工作小組認為建立新的檢查程序或是增加現有的檢查程序，對於用過核子燃料運輸的安全檢查是有益的，可能實施修訂的方向包含：

- 結合檢查程序 IP 60854 及 IP 60855 的內容，但需要對設施修改、包裝變

更、包裝內容和包裝裝載等項目的指引進行修訂；

- 結合檢查程序 IP 71124.08 及 IP 86740 的內容，為裝運準備、管理控制和多聯式運輸提供指引；
- 提供關於接收檢查的指引，或更新對應至 CISF 的檢查程序；
- 應根據檢查範圍，明確定義現場檢查所需的適當工作量。

B. 檢查頻率

依照當前的檢查程序的審查中，工作小組發現根據 IMC 2515 進行的運輸安全檢查是每兩年進行一次，而根據 IMC 2561 進行的運輸安全檢查是每年進行一次，至於在 IMC 2690 的規定下，則不進行運輸安全檢查；此外，工作小組審查了 IMC 2690 的用過核子燃料貯存設施檢查計畫，以確定其檢查的時間和頻率的方法，是否適用於運輸安全檢查。

經過評估後，工作小組認為根據 IMC 2690 中用於用過核子燃料貯存設施檢查的方法，修訂用過核子燃料運輸安全檢查的頻率是有益的，可能實施修訂的方向包含：

- 在參與運輸活動的場地進行運輸安全檢查；
- 預操作檢查應為後續檢查的設定基準；
- 建立具備靈活性的常態檢查頻率，可根據許可證持有人裝運的頻率進行調整。

C. 檢查員資格

工作小組根據現有的用過核子燃料運輸檢查員資格手冊，評估每個項目中資格手冊的適當性。經過評估後，工作小組建議加強檢查員的資格和訓練要求，因為工作小組發現單獨的人員資格訓練手冊並不足以提供足夠的訓練，用以進行用過核子燃料運輸的安全監管，相關人員資格訓練手冊包含：

- IMC 1246 附錄 B3，用於用過核子燃料貯存設施檢查員訓練；
- IMC 1248 附錄 F，用於除役電廠檢查員訓練；

- IMC 1245 附錄 C3，用於輻射防護檢查員訓練。

工作小組指出，不論使用何種方式整合人員資格訓練手冊，其中應當清楚界定執行檢查辦公室及地區的責任。

D. 檢查手冊章節

工作小組除了評估與用過核子燃料運輸相關的補強措施，包含檢查程序、檢查頻率及檢查人員資格，還評估了現有適用的檢查手冊章節是否能提供足夠的指引，並將上述部分彙整成一個有效且一致的檢查計畫。

經過評估後，工作小組認為有必要對 IMC 2515、IMC 2561 以及 IMC 2690 進行修訂，或是根據用過核子燃料的運輸需求，制定一個新的 IMC，用以描述運輸安全檢查的目的、目標、定義、責任、權限和基本要求。

4.3.1.18 運輸前和運輸過程中的保安監管

此項評估項目中，工作小組專注於用過核子燃料的運輸前及過程中的保安檢查，其中包含：

- 現有 NRC 的地區性檢查程序；
- 關於設施保安修改、在用過核子燃料裝載過程中考慮的補償措施以及多聯式運輸等的保安檢查程序指引。

NRC 通過檢查計畫並搭配使用不同的檢查程序，來驗證許可證持有人是否遵守保安法規，目前沒有一個單一的檢查程序可以涵蓋用過核子燃料的保安監管，而是由各個檢查程序中關於一般核材料運輸監管指引組成，因其可應用於用過核子燃料的運輸監管上；對此，工作小組建議，應該開發一個新的檢查程序，以及一個新的檢查手冊章節，用於監管用過核子燃料的保安工作上。

關於檢查程序，其應提供有關多聯式運輸的保安指引、接收檢查的指引以及用於 CISF 的指引，並根據檢查範圍界定檢查的適當工作量；至於檢查手冊章節，其應描述用過核子燃料運輸保安檢查計畫的目的、目標、定義、責任、權限和基

本要求，並提供所需檢查程序的列表、檢查頻率、執行檢查計畫人員所需的訓練要求以及參考訊息等。

4.3.1.19 接收用過核子燃料包件的檢查規定

此項評估項目中，工作小組專注於根據檢查手冊章節對收到用過核子燃料包件所進行的檢查，以驗證許可證持有人是否遵守安全法規。在貯存和運輸的標準審查計畫中(NUREG-2215 及 NUREG-2216)，分別對相關活動提出指引，而 CISF 的許可證持有人在設計操作程序中，亦考慮適用的法規要求。

經過評估後，工作小組提出一項精進建議，即建立接收的檢查程序或在 CISF 的檢查程序中提供關於接收的指引。

4.3.2 建議改進措施

經過評估後，工作小組總結成果並提出六項具體建議事項，可分為三個領域包含(1)保安，其中包含保安檢查的指引及程序、(2)安全，其中包含安全檢查的指引及程序，以及(3)溝通和擴大服務範圍的活動。工作小組認為實施這些補強措施將提高 NRC 在全美用過核子燃料運輸活動中，所需執行監管職責的效率及效能，並建議在運輸活動開始前，完善下列補強措施。

4.3.2.1 建立新的或加強現有的安全檢查程序

關於驗證許可證持有人是否遵守安全規範，NRC 係通過檢查計畫實施相關檢查程序而完成；然而，目前沒有一個單獨的檢查程序可完整涵蓋用過核子燃料運輸安全的監管工作，而是依靠分散於各個檢查程序中對於核材料運輸的指引執行相關監管任務，這些檢查程序雖非專門為用過核子燃料運輸包件監管而撰寫，但可用於用過核子燃料運輸活動中。工作小組根據(1)設施修改和評估、(2)包裝變更、(3)包裝內容、(4)包裝裝載、(5)裝運準備和紀錄、(6)多聯式運輸、(7)管理控制，以及(8)接收檢查等領域，進行相關檢查程序的評估工作。

經過評估後，工作小組確定每個領域檢查程序的適當性，並認為建立專門用

於用過核子燃料運輸的指引，將有助於監管單位執行監督任務；此外，由於關於完整檢查的要求和指引被分割至各檢查程序中，因此現階段所使用的檢查程序，將會降低大規模運輸活動中的使用效率；基於上述原因，工作小組認為應該開發新的檢查程序或是對現有檢查程序進行修訂，在每次運輸的出發地及目的地，可執行有效且統一一致的用過核子燃料運輸安全檢查；其具體建議事項包含：

- A. 將用於用過核子燃料貯存設施操作前測試檢查程序(IP 60854)及操作檢查程序(IP 60855)合併，並修改有關設施改造、包裝更改、包裝內容物、包裝裝載的運輸指南；
- B. 將關於放射性固體廢棄物處理和放射性材料處理、貯存和運輸的檢查程序(IP 71124.08)及關於運輸活動的檢查程序(IP 86740)合併，並將該指引用於運輸準備和管理控制；
- C. 提供關於多聯式運輸的新指引；
- D. 提供關於接收檢查的指引，或是補充於 CISF 的檢查指引中；
- E. 定義現場檢查所需的適當工作量或是工作時數。

總結上述評估結果，工作小組建議需要創建新的檢查程序或增強現有的檢查程序，以實現更有效率和一致的用過核子燃料運輸安全檢查，包含在每次運輸的出發地及目的地執行檢查。

4.3.2.2 建立新的或加強現有的保安檢查程序

目前美國境內現有的商業用過核子燃料貯存於運行中或是除役電廠的廠址內，這兩種類型的貯存地點對於保安檢查有不同的檢查程序及檢查手冊章節，由於目前的檢查手冊章節中，並未提供用過核子燃料運輸保安的整體性檢查程序，因此，工作小組建議審查和調整相對應的檢查手冊章節，並通過建立新的或是修訂現有的檢查程序，以確保檢查方法的一致性；此外，更新的檢查指引還應包含早期的用過核子燃料運輸保安要求，這些用過核子燃料不符合 10 CFR 73.6(b)的豁免標準，也不屬於 10 CFR 73.37 的保安範圍。基於上述原因，為了精進在大規模運輸運動中的保安檢查效率，以及用過核子燃料運輸保安檢查計畫的協調性，工作小組建議 NRC 工作人員採取以下措施：

- A. 合併或加強運輸保安檢查程序，包含：
- 用於輻照燃料運輸的物理保安檢查程序(IP 81310)；
 - 用於保安訊息的保護(IP 81810)；
 - 用於保安事件的報告(IP81402)；
- B. 為檢查人員開發用於協调用過核子燃料運輸的安全及保安檢查清單

總結上述評估結果，工作小組建議需更新上述檢查程序，以提高用過核子燃料運輸保安檢查計畫的協調性。

4.3.2.3 制定檢查排程的指引方針

如 4.3.2.1 節中所述，目前用於安全的檢查程序是適用所有核材料運輸，並非專門用於用過核子燃料的運輸，且檢查程序的頻率會因為貯存地點的不同而有所差異，例如檢查手冊章節(IMC 2202)中提到，關於除役電廠中的保安檢查計畫是視需要而實施，由此可見，此類規範並不適用於大規模的運輸活動中；造成此種現象的原因是因為現行針對用過核子燃料安全及保安檢查頻率的指引，並不是針對大規模的運輸活動而設計的，故工作小組建議 NRC 工作人員為這類活動建立檢查頻率的指引方針。

工作小組審查用過核子燃料貯存設施的檢查計畫，以確定其檢查排程、頻率和方法是否適用於用過核子燃料的運輸活動；經過評估後，工作小組認為這類檢查程序提供了一個模板，為用過核子燃料運輸檢查頻率提供基本的一致性及靈活性，並建議下列事項：

- A. 於擬定運輸的出發地實施用過核子燃料的運輸檢查；
- B. 初始的檢查應作為未來檢查的基準，以保持一致性；
- C. 制定定期檢查的頻率，並保持靈活性，可根據許可證持有人執行運輸的頻率、運營經驗和相關風險訊息等進行頻率的修訂；
- D. 確立標準，以便在出現性能下降或是出現運輸異常狀況跡象時，進行反應式檢查。

有鑑於擬定運輸的目的地尚未完成興建，且運輸的時間表仍具有高度不確定性，用過核子燃料可在單一運輸任務大規模運輸，也有可能分散式運輸，因此，工作小組認為現階段保持檢查頻率的靈活性是有益的，但仍需注意，檢查應以一致的頻率進行。

為滿足上述要求，工作小組建議制定相關指引，以支持對用過核子燃料運輸活動進行安全及保安檢查，並包含風險告知的綜合計畫。

4.3.2.4 加強檢查員的資格和訓練要求

如 4.3.1.17 項目 C 中提到的內容，工作小組建議 NRC 工作人員應修訂的檢查手冊章節包含(1)IMC 1246 附錄 B3、(2)IMC 1248 附錄 F，以及(3)IMC 1245 附錄 C3，這些修訂的附加訓練要求，可以成為執行運輸安全檢查的工作人員進行補充訓練。

工作小組對現有的檢查員資格指引的手冊進行評估，並確定每個領域的資格手冊的適用性後，發現單一的檢查員資格訓練手冊，並不能為用過核子燃料運輸活動提供完成的訓練指引，但只需要對 IMC 1246 附錄 B3、IMC 1248 附錄 F，以及 IMC 1245 附錄 C3 進行小幅度的修訂，即可滿足 4.3.2.1 節中建議的變更項目；另外，建議根據需要審查和更新有關運輸安全指南的資格文件，以滿足 4.3.2.2 中建議的運輸保安檢查程序變更。

總結上述評估結果，工作小組建議增強檢查員執行用過核子燃料運輸安全和保安的資格與訓練要求。

4.3.2.5 制定新的或加強現有的檢查手冊章節

此項建議措施主要針對檢查手冊章節，以納入 4.3.2.1~4.3.2.4 節中對於檢查程序的建議措施。

在 NRC 為檢查手冊章準備、修訂和發佈的文件中(IMC 0040)，將檢查手冊章節定義為包含書面行政或檢查計畫陳述的文件，其中列明檢查計畫的目的、目標、

定義、責任、權限和基本要求，檢查計畫的檢查手冊章節通過檢查程序的列表，對檢查計畫定義，而某些於保安相關的檢查程序是非公開的。

目前 NRC 工作人員將按照以下的檢查指引，在用過核子燃料裝運前，對許可證持有人的設施進行檢查：

- A. IMC 2515，用於輕水式運營階段反應器檢查計畫；
- B. IMC 2561，用於除役階段反應器檢查計畫；
- C. IMC 2690，用於用過核子燃料、相關超 C 類放射性廢棄物和適用於 10 CFR 71 運輸包裝的檢查計畫；
- D. IMC 2201，用於運行中商用核能發電廠的保安檢查計畫；
- E. IMC 2202，用於已除役核能發電廠的保安檢查計畫；
- F. IMC 2681，用於特殊核材料和用過核子燃料物理保安與運輸的設施檢查。

總結上述評估結果，工作小組建議對上述的檢查手冊章節進行修訂或是創建新的檢查手冊章節，以便於修訂後的檢查程序可呼應建議之精進措施 1 到 4 項 (4.3.2.1~4.3.2.4 節)。

4.3.2.6 制定溝通策略和擴大服務範圍計畫

由於商業用過核子燃料運輸是一項引人注目的活動，其中利益相關團體包含 (1)美國國會、(2)聯邦機構、(3)可能受影響的州、部落、(4)NRC 許可證持有人，以及(5)公眾，這些利益相關團體希望確保政府有足夠的監督量能，以確保在整個運輸活動中確保公共健康和 safety、安全和環境保護。雖然確保用過核子燃料的安全和保安運輸的責任，最終歸於 NRC 的許可證持有人，但 NRC、其他聯邦機構、地方政府以及部落也有在其中扮演重要角色。

為了增加透明度，工作小組建議加強(1)有關用過核子燃料的溝通策略，以及(2)擴大服務範圍，相關計畫將建立在現有的各機構協議和合作備忘錄的基礎上，並利用現有的溝通途徑和平台，包含 NRC 網站、社交媒體、傳統會議以及說明會等。

總結上述評估結果，工作小組建議針對用過核子燃料運輸活動，制定一個綜合的溝通策略和擴大服務計畫，其中包含各個面向，如(1)NRC 和其他機構的角色和責任、(2)過往運輸的安全紀錄、(3)有關運輸危害和風險的技術研究成果，以及(4)對公眾提出的問題的回應。

4.3.3 運輸活動中各方的角色與責任

關於商業用過核子燃料運輸的監管牽涉多個聯邦機構的協調，包含美國 NRC、美國 DOT 及美國 DHS；在 DOT 內，管道和危險物品安全管理局、聯邦鐵路管理局以及聯邦車輛運輸安全管理局，於用過核子燃料進行公路及鐵路運輸方面扮演重要角色；在保安方面，美國海岸警衛隊及聯邦緊急事務管理局在中具有重要角色；在聯邦機構之外，各州、部落及地方政府也參與用過核子燃料運輸路線規劃。雖然根據 NWPA 法案，DOE 在商業場所之間用過核子燃料運輸活動中，沒有直接角色，但 DOE 對用過核子燃料的最終處置負有責任，因此，DOE 在用過核子燃料運輸方面，持續進行相關的研究和工具開發工作。核子燃料於各階段及運輸活動中，負責的機構以及各方的角色，彙整如表 11 所示。

表 11 核子燃料於各階段及運輸活動中各方的角色及責任

單位/部門/機構	運轉階段	貯存階段	運輸階段	處置階段
各電廠	燃料供應商	護箱供應商	護箱供應商	無直接參與
	核設施		用過核子燃料所有權人 承運人	
NRC	核發電廠運轉許可執照	核發貯存許可執照	核發運輸許可執照	核發處置設施許可執照
DOT	無參與	無參與	廠外道路運輸	無參與
DHS	無參與	無參與	水路運輸及保安任務	無參與
DOE	燃料相關研發工作	貯存相關研發工作	總體研發工作(包含運輸)	總體研發工作(包含處置)

4.3.3.1 美國 NRC

除了建立和維護運輸包裝的法規(10 CFR 71 及 10 CFR 73)外，NRC 在用過核子燃料運輸的監管方面，主要的責任包含：

- A. 根據 10 CFR 71 對運輸包裝進行認證；
- B. 根據 10 CFR 50、10CFR 52 及 10 CFR 72，監管於許可證持有人的場地，準備或接收的運輸活動；
- C. 審查與核可根據 10 CFR 73 所制定的運輸保安計畫及運輸路線規劃；
- D. 與其他聯邦機構、合作夥伴、利益相關團體和公眾協調。

具體而言，NRC 的工作內容包含：

- A. 審查裂變材料和乙型(Type B)運輸包裝的設計；
- B. 監督與運輸相關的許可證持有人活動；
- C. 制訂與建立和用過核子燃料運輸包裝有關的設計標準(10 CFR 71)；
- D. 制訂與建立和用過核子燃料運輸物理保安有關的要求(10 CFR 73)；
- E. 評估、核可、授權使用運輸包裝設計，並核發合格證書；
- F. 要求許可證持有人在運輸前發布通知，並與各州、部落及當地執法機構協調；
- G. 檢查並監督許可證持有人、包裝製造商和許可證持有人的運輸活動；
- H. 與聯邦、州和部落政府會面，討論用過核子燃料的運輸相關細節。

4.3.3.2 美國 DOT

美國 DOT 負責商業領域範圍規範內危險物質的安全及保安運輸，其中包含用過核子燃料，具體執行的工作內容包含：

- A. 制定和執行有關運輸危險物質的法規和標準，包括第 7 類（放射性）物質；
- B. 監管運輸車輛安全、路線、運輸文件、危險告示（如標誌、標籤、標牌）、緊急應變和託運人訓練；
- C. 監管運輸業者和運輸方式，包含鐵路、道路、空中，以及水路。

4.3.3.3 美國 NRC 與 DOT 之間的互動

用過核子燃料的運輸活動由 NRC 與 DOT 共同管理，1979 年發布的合作備忘錄中，明確規定了雙方的責任；具體而言，NRC 和與用過核子燃料有關的 DOT 機構互動如下：

A. 管線和危險物質安全管理局

- 制定和執行有關運輸危險物質的法規和標準，包括第 7 類（放射性）物質；
- 監管運輸車輛安全、路線、運輸文件、危險告示（如標誌、標籤、標牌）、緊急應變和託運人訓練
- 監管運輸業者和運輸方式，包含鐵路、道路、空中，以及水路。

B. 聯邦鐵路管理局

- 制定和執行鐵路運輸危險物質的標準；
- 建立運輸高放射性物質(如用過核子燃料)所需的額外標準；
- 維護安全合規性監督計畫(Safety Compliance Oversight Plan)，以支持鐵路用以大規模運輸用過核子燃料；
- 根據 49 CFR 172.820，強制執行鐵路運輸高放射性物質(如用過核子燃料)所需的額外安全要求；
- 與 NRC 和 DHS 密切合作，就鐵路運輸安全要求進行協調；
- 履行多個監督角色，包括包裝準備、運輸前檢查、託運人、提供人/承包商訓練、途中檢查和運輸後檢查。
- 與 DOE、州和部落一同對除役或已關閉的廠址進行協調與實地考察，以制定可能的運輸活動策略。

C. 聯邦車輛運輸安全管理局

- 制定並強制執行有關州際貨物和乘客運輸的標準和法規；

- 制定並強制執行有關道路運輸危險物品的標準，包括根據 49 CFR 385 part E 對州際和州內承運業者運輸的危險材料安全進行監管及監督；
- 與各州合作夥伴合作，開展機動車輛安全援助計畫和商用車輛安全聯盟的第六級檢查，檢查超鈾廢棄物和高速公路路線控制第 7 類(放射性)材料的數量。
- 維護用於運輸放射性和非放射性危險物品的公路路線資料庫。

4.3.3.4 美國 DHS

NRC 與 DHS 相關的辦公室互動，這些辦公室負責保安與意外事件應變的職能，並參與了用過核子燃料的運輸活動，其中包含：

A. 美國海岸警衛

- 通過美國的湖泊和河流以及水道運輸危險物品的主要機構；
- 制定和執行危險物品的海上運輸標準，包含第 7 類(放射性)物質；
- 根據 49 CFR 176 以及 M 子部分，執行船舶運輸的額外要求；
- 管理美國 EPA 的國家應變中心，該中心是指定的聯邦聯絡點，負責在美國境內或其領土的任何地方通報石油、化學、放射性、生物和病原體物質排放到環境中的情況。

B. 聯邦緊急事務管理局

- 在事故和災難中為市民和急救人員提供支援；
- 主導組織國家層面對所有事件的應對工作，如根據國家應對框架 (National Response Framework) 的核子 / 輻射事件附件 (Nuclear/Radiological Incident Annex)。

4.3.3.5 美國 DOE

於 NWPA 法案中，指定美國 DOE 負責最終處理商業用過核子燃料以及國防高放射性廢棄物，依照目前的規劃是預計採用深層地質處置的方式，在 NWPA 中

還建立了相關運輸、貯存場及處置場的要求，包含提前運輸通知，以及向運輸路線上的州政府、部落提供訓練支持等，但這些並不適用於商業用過核子燃料運輸到商業貯存設施(如 CISF)的活動；由於 DOE 為負責處置高放射性廢棄物的機構，DOE 仍在為用過核子燃料最終的運輸活動開展相關工作，其中包含：

- A. 通過 DOE 的(1)國家運輸利益相關團體論壇、(2)參與州的區域小組以及(3)相關部落輻射材料運輸委員會，與州和部落的合作夥伴定期保持互動；
- B. 開發專門用於用過核子燃料運輸的鐵路車廂，如 Altas Railcar；
- C. 評估現有貯存燃料設施地點和 Morris 用過核子燃料貯存設施中，場內及場外運輸基礎設施；
- D. 開發用於運輸路線和潛在環境影響的分析工具，如 TRAGIS 分析工具；
- E. 更新 DOE 的系統分析能力和用過核子燃料庫存訊息。

4.3.3.6 運輸路線上的州及部落

於用過核子燃料運輸活動中，預計從各電廠中的貯存設施內，將用過核子燃料運輸至 CISF 貯存，擬定運輸路線上的州及部落，將根據需要和適當的情況參與運輸活動，以支持地方層面的運輸監管活動，尤其是實施緊急應變計畫時，參與範圍包含運輸排程時間表到運輸過程中發生意外或是異常事件時，提供的第一應對支援。

於 NWPA 法案中，僅對由 DOE 主導的運輸活動，明確規範州和部落需要參與，對於商業用過核子燃料運輸到商業貯存設施中，並無明確規範其限制。雖然如此，NRC 仍規定許可證持有人，需要在運輸車隊穿越或跨越任何州邊界之前提前通知各州，至於部落可以選擇於保留地內或跨越保留地邊界之前接收通知；為了持續精進對外溝通方式與管道，NRC 工作人員正在研擬超出規定要求的協調方式，並與各州、部落以及地方政府進行相關合作。

4.3.4 監管路線藍圖

工作小組總結調查及評估結果，對用過核子燃料運輸制定監管路線藍圖，其中內容包含：

- NRC 和其他聯邦機構的監管角色和責任；
- 運輸沿線上的州、部落和當地政府；
- 提前為運輸監管做的準備工作；
- 起點、運輸過程中和目的地貯存設施的檢查和其他監管活動。

A. 角色與責任

參與運輸的聯邦機構包含 NRC、DOT 以及 DHS，還有沿線上的州、部落和當地政府；NRC、DOT 及 DHS 主要負責的工作內容，已分別於 4.3.3.1、4.3.3.2，以及 4.3.3.4 節中描述，並彙整要點於圖 5 中。



圖 5 運輸活動中各聯邦機構之角色與負責內容

NRC 與其他聯邦機構之間的協調，主要依據包含 1979 與 DOT 簽署的合作備忘錄(44 FR 38690)，以及 2015 年與 DHS 簽署的合作備忘錄(ML15057A336)；由於運輸活動牽涉場外運輸和相關保安工作，NRC 與其他聯邦單位之間的協調與合作，對於能否成功完成運輸任務至關重要，因此，除了合作備忘錄外，聯邦機構之間亦有其他合作框架來促進協調，其中包含 DHS 與 NRC 合作成立專門負責商業用過核子燃料運輸保安的工作小組、國家緊急應變中心，以及 DHS 和聯邦緊急事務管理局的應對框架等。

B. 參與之州與部落

如 4.3.3.6 節所述，運輸路線上途徑之州和部落，將根據需要和適當情況參與活動，以支援地方層面的運輸監管工作，參與範圍涵蓋運輸時程安排到運輸路線上發生意外或異常事件時，提供當地初級反應支持。

C. 事先準備

為確保運輸準備就緒並提高效率，應在運輸活動開始前完成以下準備工作：

- 完成檢查程序、檢查手冊章節及相關指引的修訂；
- 確保檢查人員經過訓練，並符合修訂後的程序/指引所要求的資格；
- 準備一個綜合的溝通策略和對外聯繫計畫，用於和聯邦機構、各州、部落、許可證持有人和公眾的溝通工作；
- 制定易於一般用戶使用的資料庫，以便促進用過核子燃料運輸的監督，其中包括與其他機構的聯繫信息、貯存護箱中用過核子燃料的裝載資料，以及乾式貯存系統和運輸包件的合格證書與修訂紀錄；
- 在適當時機取得許可證持有人提供的運輸時間表和路線規劃；
- 確認許可證持有人了解提前通知和使用預先批准的路線的要求；
- 與 DHS 和 DOT 合作，並與核准的路線上的州、部落和地方政府協調，就運輸過程中可能發生的意外事故或異常事件之情況，協調各方角色和責任；
- 實施擴大服務計畫，通知公眾並確認與合作夥伴的關係；
- 規劃和分配適當的預算與資源，用於上述的準備工作中。

D. 檢查和法規監管活動

關於運輸前的監管活動包含：

- NRC 於運輸起點檢查從貯存系統中，傳送密封鋼筒至運輸護箱的操作作業，並確認運輸包件和包裝的規格，是否符合法規對於安全及保安的要求；

- NRC 確認發貨人已按規定，發布必要之運輸提前通知；
- NRC 通過審查和核准運輸計畫中的路線規劃，以支援 DOT 的監管工作。

關於運輸期間的監管活動包含：

- 在運輸過程中，由 DOT 下轄的管線和危險物質安全管理局、聯邦鐵路管理局和聯邦車輛運輸安全管理局，負責鐵路和公路的運輸監管工作；由 DHS 下轄的美國海岸警衛隊，負責船舶和港口設施的海事安全要求；
- NRC 根據 10 CFR 73 監管運輸過程中的保安工作；
- DOT 和 DHS 根據需求，負責與州、部落和當地政府協調應對運輸過程中，可能發生意外事故或其他異常事件的情況。在大多數情況下，州、部落或當地政府，將為運輸事故或其他事件做出初級反應，再通知相關聯邦機構。

關於抵達目的地後的監管活動包含：

- NRC 監管許可證持有人是否遵循相關程序來驗證包件運輸的狀態，以及接收的用過核子燃料是否可以放入貯存護箱中；
- NRC 監管許可證持有人將用過核子燃料傳送至貯存系統中的操作。

4.3.5 調查結論與建議

A. 工作小組評估後發現

- NRC 建立的法規框架，可提供對公共健康、安全和環境的合理保護以及促進運輸用過核子燃料保安工作的開展；
- NRC 的法規框架與負責用過核子燃料運輸活動的聯邦機構相符，主要機構為 DOT 和 DHS；
- 工作小組目前未確定需要對現有的法規進行修訂，但建議內容對指引及檢查文件進行精進；NRC 工作人員將根據確立的程序，對可能需要制定規則或是委員關心的議題，進行後續處理；

- 聯邦機構之間在監管放射性物質的運輸，包括用過核子燃料運輸方面，建立了穩健且強大的合作關係，如 NRC 與 DOT 和 DHS 均有簽訂合作備忘錄；
- NRC 和其他聯邦機構持續參與利益相關團體的活動，促進政府透明度並共享相關信息，並支持用過核子燃料運輸的安全及保安活動進行；
- DOE 持續在用過核子燃料運輸領域進行研究和開發工作，相關研究成果有助於用過核子燃料運輸的監管活動；
- 根據過往公開的紀錄顯示，放射性物質(包含用過核子燃料)已在全球範圍內以非常低的風險進行運輸，並未對公共健康和環境造成嚴重危害，且在一致的法規框架下，預期未來也可維持運輸的安全及保安性；
- NRC 持續評估和改進其法規和法規監管框架，以確保持續對放射性物質(包含用過核子燃料)的安全及保安性進行協調，以符合國際運輸規則的變化，並彙整與安全及保安相關之技術研究和評估報告的結果。

B. 工作小組建議總結

- 評估並制定針對某些特定包裝的保安要求，以及相關問題的解決方案，這些包裝包含早期用過核子燃料，其可能不符合 10 CFR 73.6(b) 的豁免標準，並且超出 10 CFR 73.37 的保安範圍，需要視實際情況修訂 NUREG-0561，以說明該議題之解決方案；
- 制定並實施一個全面的溝通計畫，與公眾分享相關訊息，以此促進聯邦機構、各州、部落和其他利益相關團體之間的協調與互動；
- 建立新的或是修訂現有的檢查程序，以利有效且一致地執行用過核子燃料運輸的安全和保安檢查；

- 修訂檢查手冊章節 (IMC 2515、IMC 2201、IMC 2202、IMC 2561、IMC 2681 和 IMC 2690)，或建立一個新的檢查手冊章節，專門用於管理用於用過核子燃料的檢查程序，以增強安全和保安檢查；
- 制定或修訂相關風險告知的綜合計畫時程表，用於用過核子燃料運輸活動的安全和保安檢查；
- 建議 NRC 委員更新於 1984 發布的運輸政策聲明(49 FR 12335)，包含納入核/放射性事件附錄(Nuclear/Radiological Incident Annex, NRIA)和美國國家應變框架(National Response Framework, NRF)，以認可聯邦政策的變化。

5.0 放射性物質運送作業安全管制建議

5.1 現行核子燃料運送安全管制法規與經驗

現階段國內與用過核子燃料運送安全管制相關之規範，已於彙整於 2.4 節中，下列擇要點說明各項規則之內容：

A. 放射性物料管理法

該管理法設立之目的為了，確保對放射性物料的安全管理、控制和監管，以保護公眾、工作人員和環境免於受到放射性物質的危害，其中規範執行核子燃料運輸及貯存等作業時，各方的角色與責任。

B. 放射性物質安全運送規則

該規則設立之目的是為了，確保放射性物質在運輸過程中的安全性，以保護公共健康和環境不受不當風險；其中規範執行用過核子燃料運送作業時，運輸前準備工作、運輸包件、運輸車輛、運輸工作人員等所需遵守的事項。

C. 放射性廢棄物運作許可辦法

該許可辦法的設立目的是為了，管理和監督放射性廢棄物的處輸入、輸出、過境、轉口、運送、廢棄或轉讓之運作流程，以確保公共安全、環境保護和放射性廢棄物之安全；其中規範相關許可規定，包含運送計畫及安全計畫需涵蓋之內容，以及緊急事件通報規定。

D. 核子燃料運作安全管理規則

該規則的設立目的是為了，確保核子燃料運作的安全運營，以防止意外事故和核洩漏，並保護公共健康、環境和核燃料安全；其中規定運送核子燃料所需遵守的相關規定，包含申請人須提交之計畫，以及經由陸、海、空運輸時，所需符合的規定。

關於國內目前運輸核子燃料之經驗皆為新核子燃料，相關運送計畫及安全管

制計畫皆依照「放射性廢棄物運作許可辦法」以及「核子燃料運作安全管理規則」中載明之規範進行，其適用範圍包含(1)核子燃料輸入及運輸作業、(2)各電廠之間核子燃料運輸、(3)境內港口之間轉運作業，以及(4)將核子燃料退運回原製造廠家。除了根據上述許可辦法與管理規則制定計畫外，台電公司對於廠區至碼頭之間的運輸作業，依照實際作業需要提出相關實務規劃，其中內容涵蓋：

A. 作業計畫

- 參與單位及權責
- 運輸前勘查、準備工作及工作人員訓練
- 運輸中陸運作業規劃、港口接收及裝載作業

B. 安全管制措施

- 運輸前安全檢查
- 運輸中保安部署
- 接收區安全及保安管控

C. 緊急應變措施

- 運送計畫及安全管制計畫中，包含緊急意外事故應變措施及相關作業規定。
- 應對民眾突發事件及處理措施
- 應對可能突發違法行為
- 對外應對措施及發言窗口
- 天候因素影響及應變機制

D. 保密措施

- 依據 IAEA「核物料和核子設施實體防護核子保安規範」(INFCIRC225 Rev.5) 規範，要求運輸作業相關訊息之保密措施。

5.2 用過核子燃料運送安全管制建議

根據「放射性廢棄物運作許可辦法」以及「核子燃料運作安全管理規則」之規定，持有人或是運送人須向主管機關提出運送計畫和安全管制計畫，運送計畫

所需涵蓋之事項，已於「放射性廢料運送計畫書導則」中呈現；台電公司已執行多次運輸新燃料至各核電廠以及退運回原製造廠的任務，關於核子燃料運送計畫及安全管制計畫已有既定框架和實務經驗，運輸用過核子燃料與之最大不同之處在於(1)單一運輸包件總重量超過 100 公噸、(2)用過核子燃料具有高放射性，以及(3)運輸護箱需符合乙型包件要求，下列將假設用過核子燃料需要進行廠外運輸之情境，根據第 3 章及第 4 章之研析內容，針對運送計畫及安全管制計畫，提出需要額外注意之事項與相關精進建議。

5.2.1 概述

- A. 對運送計畫提出綜合性概述。
- B. 說明運輸活動中參與之單位，以及各單位之權責。

5.2.2 運送設備及吊卸機具

A. 運輸包件

- 密封鋼筒與運輸護箱須符合「放射性物質安全運送規則」中乙型包件試驗相關規定。
- 運輸包件表面輻射強度，應符合「放射性物質安全運送規則」中之規定。
- 確保運輸包裝設計納入老化機制評估，並提出維護計畫。

B. 陸運機具

- 用過核子燃料運輸包件總重量預期超過 100 公噸，需採用合適之載具。
- 裝載運輸護箱之載具，其輪胎軸重須符合 AASHTO HS20 的標準，方得以行駛於符合「公路橋梁設計規範」中 HS20-44(AASHTO)設計標準之道路；若超過設計標準，須提出可行之道路和橋梁補強及改善方案。

C. 海運船舶

- 船舶建造及運營，其中包含船舶建造、設備、人員配置和運營等考量因素，除了須符合船隻所有國之法令外，因海運船舶多於公海航行，亦須

符合相關國際法，包含「國際生命安全公約」(International Convention for the Safety of Life at Sea, SOLAS)、「國際防止船舶污染公約」(International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, MARPOL)和「國際海上危險貨物規則」(International Maritime Dangerous Goods Code, IMDG)。

- 國際海事組織(International Maritime Organization, IMO)針對 IAEA SSR-6 提出關於海上運輸的補充規定，即「船舶上運載包裝受輻射核燃料、鈾和高放射性廢物的安全規範」(International Code for the Safe Carriage of Packaged Irradiated Nuclear Fuel, Plutonium and High-Level Radioactive Waste on Board Ships)，簡稱為 INF code；由於 INF code 對運輸放射性材料的船舶規定更嚴格，因此符合 INF code 的船舶須要遵守 INF、IMDG、MARPOL 及 SOLAS 的要求。
- 關於 INF code 的分類如表 12 所示，運輸用過核子燃料之船舶須符合 INF 2 或是 INF 3 之規定。

表 12 INF 船舶分類

船舶	INF 1	INF 2	INF 3
分類標準	放射性材料總活度 <4,000 TBq	<ul style="list-style-type: none"> • 受輻射照射核燃料或高放射性廢棄物總活度 <2,000,000 TBq • 鈾總活度 <200,000 TBq 	運輸超過 INF 2 之放射性材料，總活度不受限制。

- 確認選用船舶或是接駁船之規格，可符合外運、接駁及接收碼頭之尺寸及水深等基礎設計規格與維護現況。

D. 吊裝機具

- 運輸包件總重預期超過 100 公噸，採用之吊裝機具需能滿足荷重，並且保留足夠的餘裕。
- 確認吊裝機具使用場景，其中可能包含運輸前吊裝、處理運輸中發生之意外情況、碼頭吊裝、接駁區吊裝、接收區接收吊裝作業等。

- 各情境使用之吊車型式可能不相同，如移動式吊車、固定式吊臂、船用船吊等，應確保各使用場景下之作業安全以及使用規劃。

5.2.3 運送路線

A. 路線規劃

- 確保擬定之路線使用運輸評估工具進行分析，其中可能包含運輸路線地理資訊分析，以及放射性影響評估等，以符合相關道路安全及放射性運送安全規則。

B. 安全停車

- 計畫性停留時，車輛應根據「道路交通安全規則」規定停放車輛，在考量天氣、道路條件、緊急事故等情況下，挑選可抵達停放之區域，並避免停放於人口稠密地區、工業區、醫院、學校、住宅區、擁擠區域等地方。

5.2.4 作業程序

A. 貨物通知

- 確保收發貨通知程序；於裝運前，發貨人應通知收貨人裝運日期、預計抵達時間和相關訊息，並要求收到後確認貨物訊息；發貨後，由託運人提供貨物實時訊息或使用追蹤系統確認貨物狀態。

5.2.5 意外事故評估及緊急應變計畫

A. 意外風險評估

- 評估運輸過程中對於公眾的影響。
- 評估運輸包件遭遇運輸意外事故的影響。
- 估算運輸風險。
- 分析運輸風險及後果。

- 評估嚴重災害/事故的影響。

B. 緊急應變計畫

- 定期更新運輸用過核子燃料的緊急應變計畫。
- 確保緊急應變計畫至少包含(1)識別危害和威脅、(2)減輕危害、(3)制定和準備應變計畫和流程，以及(4)確認緊急應變所需之人員、培訓、設備和其他資源。
- 運輸包件總重預期超過 100 公噸，須確保緊急應變計畫中所需之人力及物力資源，如救援人員訓練、大型機具、事故排除所需之工具等，可滿足應變計畫之規劃。
- 陸地運輸途中若遭遇不利情況，須按照安全停車之建議事項尋找停車地點。

5.2.6 保安計畫

A. 檢查程序

- 由於運輸活動之保安檢查程序，涉及貯存端、運輸端及收貨端之查驗，為了確保檢查方法的一致性，建議建立一運輸保安檢查框架，並將相關程序納入其中，以實現保安檢查計畫的一致性及協調性。
- 針對檢查程序的修訂，建議審視檢查員的資格與所需之訓練要求。

B. 一般要求

- 為了確保可追蹤運輸包件動態，可使用即時或是接近即時的定位追蹤及通報系統，並制定暫時失去通信的處理程序。
- 陸運及海運運輸途中，駕駛員或押運人員需於固定間隔時間內通報目前貨運狀態，並制定未收到通報之處理程序。

C. 陸運運輸

- 以不做計畫性停留之路線規劃為首要考量。
- 運輸車輛由武裝警力押運，並配備兩種形式以上的通訊設備，以及定位追蹤系統。

5.2.7 檢查

A. 檢查程序

- 由於運輸活動相關檢查，涉及貯存設施之檢查程序、包裝維護計畫檢查程序、運輸前檢查程序、運輸活動檢查程序、多聯式運輸(轉換運輸工具)檢查程序、收貨端檢查程序等，建議建立一檢查程序框架，將各個檢查程序納入其中管理，以對用過核子燃料運輸安全實施高效率且一致的檢查流程。
- 針對檢查程序的修訂，建議審視檢查員的資格與所需之訓練要求。

B. 一般要求

- 當收貨人收到貨物後，工作人員應查驗相關運輸文件，確認收到的貨物符合描述。
- 工作人員應對貨物及設備外觀進行目視檢查，確認貨物表面完整。

C. 運輸前檢查

- 工作人員於裝載前，對運輸工具進行目視檢查，確保運輸工具可用於擬定之運輸任務。
- 完成裝載後，依照相關規定檢查，確認包件表面劑量率及表面非固著污染低於限值。

D. 運輸後檢查

- 卸貨前應對運輸包件進行目視檢查，並確認包件表面之劑量率及污染值低於限值。
- 完成卸載後，需對已卸載的運輸工具進行檢查，確認表面劑量率及非固著污染低於規定限值。

6.0 結論

本子計畫之預定工作項目與內容，主要涵蓋 IAEA SSR-6 (Rev.1)及國際間用過核子燃料運送作業之安全要求研析，彙整國內現行放射性物質運送安全管制法規，並審視已有之放射性物質運輸經驗，根據研析成果對放射性物質運送作業安全管制技術，以及審查作業提出精進建議。已完成項目包含(1)對 IAEA 放射性物質運輸規則進行研析、(2)彙整現行放射性物質運送安全管制法規的工作、(3)參考美國 DOE 對於運輸放射性廢棄物的實際操作規劃與規範要求，包含裝運計畫、檢查、緊急應變計畫、承運人要求以及運輸安全管制計畫等、(4)蒐集美國商用用過核子燃料現況，以及集中式中期貯存設施許可證法院審理進展、(5)針對美國聯邦法規，根據 IAEA SSR-6 (Rev.1)與利益相關團體的訴求所做出的修訂內容進行研析、(6)彙整美國 NRC 為因應大規模用過核子燃料活動所做的準備，以及運輸活動中各單位的角色與責任，並研析調查小組提出之建議改善措施。

面對未來的用過核子燃料廠外運輸需求，已將所蒐集之用過核子燃料安全管制技術及相關法規以及研析成果，對比已有之放射性物質運輸規劃，針對用過核子燃料運送作業之安全管制技術與安全審查，提出具體精進建議事項；相關彙整資料與研析成果，亦可用於未來放射性物質安全運輸審查工作的參考依據。

本計畫各工作項目的總結彙整如下：

A. IAEA 放射性物質運輸規則研析

由於 IAEA SSR-6(Rev.1)為一個新系列的開端，對於放射性物質運輸的安全標準和要求有多項修訂內容，有必要對進行調查與研讀，目前已針對 IAEA 放射性物質安全運輸規則的背景及修訂歷程進行調查，對於 IAEA 修訂運輸規則的流程有初步的瞭解，目前最新的版本為 2018 年發布的 IAEA SSR-6(Rev.1)。對該版本進行研析後，發現更新內容涵蓋章節包含(1)目的、(2)範圍、(3)定義、(4)緊急應變、(5)放射性物質分類、(6)裝運前的要求、(7)表面污染物運輸的要求和管理、(8)運輸指數的確定、(9)運輸標記/標籤/掛示牌、(10)運輸和途中貯存、(11)對包裝和貨物的一般要求、(12)對盛裝易裂變材料的包裝要求、(13)包裝設計審批的要求以

及(14)裝運審批的要求，涉及各類放射性廢棄物、包裝設計要求以及緊急應變計畫等；與用過核子燃料運輸相關的修改項目包含：

- 準備緊急應變措施的計畫 - 要求發貨人及承運人建立緊急應變計畫
- 納入兩用護箱的概念 - 增加「貯存後運輸」的概念、要求及安全分析
- 改變專業術語用法 - 由劑量率取代輻射水準
- 運輸指數、運輸記號 - 規範運輸指數測量方式及運輸標記
- 運輸劑量率限制 - 規範車輛及包裝容器表面劑量限值
- 老化機制 - 因貯存後運輸概念引入，規範包裝設計需要考慮老化機制

B. 彙整國內現行放射性物質運送安全管制法規

與用過核子燃料運輸安全管制相關之法規包含「放射性物質安全運送規則」、「放射性廢棄物運作許可辦法」及「核子燃料運作安全管理規則」，已彙整各規範中關於用過核子燃料之(1)運送作業事項、(2)運送計畫需載明之事項、(3)安全管制計畫需載明之事項、(4)公路、鐵路、海運及空中運輸之安全管制要項。

C. 美國放射性物質管理規範研析

由於現行法規中，對於運送計畫及安全管制計畫之要求，屬於概念性規範且範圍較廣，僅對原則性事項做規範；因此，參考美國包裝與運輸辦公室於 2022 年，發布的 Order 460.2B 命令(各部門之物質運輸與包裝管理)，該命令包含 DOE 既有之放射性物質運輸操作手冊內容，適用範圍包含所有涉及與放射性材料運輸相關的活動，其中亦涵蓋用過核子燃料的運輸任務，該命令規範所有設施外放射性物質運輸計畫、參與單位的活動、緊急應變計畫、操作程序、保安計畫等，總結要求內容如下：

- 運輸計畫 - 確定運輸需求後，按照運輸計畫要求章節，提交運輸規劃。
- 路線規劃 - 規範陸上運輸路線規劃的原則及評估工具的要求。
- 公路上安全停車 - 規範中途安全停車區域的選擇，以及緊急情況下停車需避免之區域。
- 保安措施 - 規範運輸貨物保安的一般要求、公路運輸路線規劃/車輛/發

生事故時之要求、鐵路運輸沿線及列車上之要求、水陸運輸之要求。

- 公眾溝通 - 規範運輸規劃外部溝通、宣傳計畫、公開訊息之管理要點。
- 貨物通知 - 規範對於貨物裝運前及發貨後的作業要求。
- 承運人選擇 - 規範選擇承運人及其提供運輸模式之考量因素。
- 檢查 - 規範運輸貨物檢查的一般要求、出發前之要求、抵達後之要求、公路及鐵路運輸前、中、後之要求。
- 緊急應變計畫 - 各單位對於緊急應變計畫的制定與維護策略。
- 運輸過程突發事件 - 運輸過程中需考量之天候及路況因素。
- 緊急通報 - 當涉及緊急事件時之通報流程及需通知之單位。
- 緊急應變 - 發生緊急情況時，需採取之應變措施。
- 權責範圍 - 規範政府各單位、地方辦事處及承包人員之權責範圍。
- 貨物預先通知 - 規範對於非機密運輸需通知的單位或機構、通知方式、通知內容等。

D. 美國聯邦法規協調內容

美國 NRC 根據 IAEA 放射性物質安全運輸規則的修訂內容，定期檢視並修訂 10 CFR 71 內容，並與 DOT 及其危險物質法規進行協調，與國際運輸法規保持一致的同時，亦滿足本土運輸和包裝的監管框架。NRC 工作人員根據 IAEA SSR-6 (Rev.1)之修訂內容，確定 10 項需要與之協調的內容，並依照本土利益相關團體的訴求，提出 4 項關於 10 CFR 71 的修訂；其中與用過核子燃料相關之修訂議題包含：

- 運輸包件對日照評估中關於正常運輸條件下的日照單位，以及假設事故初始條件
- 納入老化機制評估與維護計畫
- 刪除用過核子燃料裝運重複的提前通知要求

E. 美國 NRC 對於大規模運輸用過核子燃料之準備

面對可預期的大規模用過核子燃料運輸任務，就美國 NRC 監管機構的角度，其涉及 10 CFR 71、10 CFR 72、10 CFR 73 以及授權、檢查和其他監管功能的指引

和程序，NRC 成立工作小組對運輸安全相關的規範、運輸數量、運輸路線、各單位角色與職責，以及和外界溝通與合作的規劃進行評估與調查，內容包含(1)用於包件和運輸的法規與指引、(2)用於貯存的法規與指引、(3)10 CFR 72.48 中關於變更、測試和試驗的規定、(4)用於保安的法規和指引、(5)用過核子燃料用於貯存和運輸的裝卸操作、(6)安全及風險評估、(7)環境審查、(8)過往對於法規的評估、(9)過往大規模運輸用過核子燃料的經驗、(10)DOE 運輸與商業運輸用過核子燃料之差異、(11)溝通與擴大服務範圍計畫、(12)具體的資訊要求、(13)待運輸之用過核子燃料現況、(14)聯邦機構監管用過核子燃料運輸的跨機構協議、(15)運輸車隊/載具的現況、(16)運輸路線審查程序、(17)運輸前和運輸過程中的安全監管、(18)運輸前和運輸過程中的保安監管，以及(19)接收用過核子燃料包件的檢查規定；工作小組調查後，對溝通計畫、檢查程序、安全和保安檢查，以及風險評估等。提出具體建議事項，詳細內容已彙整於 4.3.5 節中。

F. 用過核子燃料運送安全管制建議

彙整(1)現階段國內與用過核子燃料運送安全管制相關之規範，以及(2)台電公司過往運送放射性物質之經驗後發現，台電公司已執行多次運輸新燃料至各核電廠以及退運回原製造廠的廠外運輸任務，關於核子燃料運送計畫及安全管制計畫已有既定框架和實務經驗；建議內容以用過核子燃料進行場外運輸為假設情境，提出需要注意之事項與相關精進建議，具體建議事項詳見 5.2 節。

7.0 參考資料

- [1] 核能安全委員會，“放射性物料管理法”，中華民國 91 年 12 月。
- [2] 10 CFR Part 71, “PACKAGING AND TRANSPORTATION OF RADIOACTIVE MATERIAL”.
- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, IAEA Safety Standards Series No. SSR-6 (Rev.1), IAEA, Vienna (2018).
- [4] European PDSR Guide ISSUE 2 .
- [5] Federal Register. “Harmonization of Transportation Safety Requirements With IAEA Standards,” September 12, 2022.
- [6] IAEA. Manual for the review process for draft Nuclear Security Series Publications and for the application of SPESS A for the IAEA Safety Standards(Version 3. 0) [R] . Vienna:IAEA,2017.
- [7] 核能安全委員會，“放射性物質安全運送規則”，中華民國 96 年 12 月。
- [8] 核能安全委員會，“放射性廢棄物運作許可辦法”，中華民國 103 年 09 月。
- [9] 核能安全委員會，“核子燃料運作安全管理規則”，中華民國 98 年 10 月。
- [10] DOE O 460.2B, “Departmental Materials Transportation Management”.
- [11] DOE M 460.2-1A, “Radioactive Material Transportation Practices Manual”.
- [12] DOE O 460.2A, “Departmental Materials Transportation and Packaging Management”.
- [13] DOE, “PACKAGING, TRANSPORTATION AND STORAGE OF RADIOACTIVE MATERIALS”.
- [14] GAO, “COMMERCIAL SPENT NUCLEAR FUEL,” GAO-21-603, United States Government Accountability Office, September, 2021.

- [15] NWTRB, "SIX OVERARCHING RECOMMENDATIONS FOR WASTE MANAGEMENT PROGRAM FORWARD," U.S. Nuclear Waste Technical Review Board, April 2021.
- [16] NRC, "Issues Paper on Potential Revisions to Transportation Safety Requirements and Harmonization with International Atomic Energy Agency Transportation Requirements," ML16299A298, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C..
- [17] NRC, "Harmonization of Transportation Safety Requirements With IAEA Standards," 87 FR 55708, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C..
- [18] NRC, "Revisions to Transportation Safety Requirements and Compatibility With International Atomic Energy Agency Transportation Standards," 81 FR 83171, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C..
- [19] NRC, "Harmonization of Transportation Safety Requirements With IAEA Standards," 84 FR 14898, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C..
- [20] Kevin J. Connolly, and Ronald B. Pope, 2016. "A Historical Review of the Safe Transport of Spent Nuclear Fuel." August 31.
- [21] NWTRB. 2019. Preparing for Nuclear Waste Transportation. Arlington, VA: Nuclear Waste Technical Review Board. September.
- [22] U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC), 2021. "NRC's Regulatory Readiness for Oversight of Large-Scale Commercial Transportation of Spent Nuclear Fuel." October 22.

8.0 附錄 A: 現行放射性廢棄物安全運送相關法規

現階段與用過核子燃料運輸有關之規範包含:

A. 放射性物料管理法 - 規定主管機關定之角色

段落編號	描述
第 15 條	<p>主管機關負責:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 核子原料或核子燃料之持有、使用、輸入、輸出、過境、轉口、運送、貯存、廢棄、轉讓、租借或設定質權的許可，以及物料紀錄備查與檢查。 ➤ 制定核子原料或核子燃料運作之安全管理規則。

B. 放射性物質安全運送規則 - 規定用過核子燃料運送作業相關事項

段落編號	描述
第 28 條	規範包件在第一次交運前應符合之規定，保證屏蔽、包封容器、熱傳導性能符合設計限值。
第 29 條	規範包件在每一次交運前應符合之規定，保證符合核准書上之規定。
第 30 條	規定放射性物質運輸前需提交之文件。
第 42 條	規定運送工具之表面劑量率限值 (任一點 <2 mSv/h，2 公尺 <0.1 mSv/h)。
第 44 條	規定包件之表面劑量率限值 (任一點 <2 mSv/h)。
第 45 條	規定專用運送包件之表面劑量率限值 (任一點 <10 mSv/h)。
第 69 條	整合第 42、44 及 45 條，分別對備有車廂及開敞式運輸型式規範劑量率限值。
第 71 條	規範駕駛艙人員為駕駛員及助手，乘坐位置之劑量率 <0.02 mSv/h。
第 88 條	申請乙 (U) 型包件及丙型包件設計檢附資料。
第 89 條	申請乙 (M) 型包件，除須符合第 88 條要求外，尚需額外檢附之資料。

C. 放射性廢棄物運作許可辦法 - 規定放射性廢棄物之輸入、輸出、過境、轉口、運送、廢棄或轉讓之運作許可申請辦法

段落編號	描述
第 3 條	載明核子燃料之運送計畫及安全管理計畫事項。
第 4 條	規範包件在無屏蔽的情況下 <ul style="list-style-type: none"> ➤ 距表面 3 公尺之劑量率<10 mSv/h
第 5 條	除專案申請外 <ul style="list-style-type: none"> ➤ 運輸工具表面之劑量率<2 mSv/h； ➤ 具表面 2 公尺之劑量率<0.1 mSv/h； ➤ 駕駛艙之劑量率<0.02 mSv/h。

D. 核子燃料運作安全管理規則 - 規定核子燃料持有、使用、輸入、輸出、過境、轉口、運送、貯存、廢棄、轉讓、租借或設定質權之安全管理

段落編號	描述
第 4 條	申請書檢附運送計畫及安全管理計畫，規定申請書須包含之事項。
第 5 條	載明核子燃料之運送計畫及安全管理計畫事項。
第 6 條	規定執行公路運輸時之安全管理要項： <ul style="list-style-type: none"> ➤ 單一駕駛不得連續駕駛四小時以上。 ➤ 運輸車隊前後由配備槍械及通訊設備之員警護送。(適用 6-9 條) ➤ 對預定路線實施交通管制及排除道路障礙。
第 7 條	規定執行鐵路運輸時之安全管理要項： <ul style="list-style-type: none"> ➤ 以專用列車運輸。
第 8 條	規定執行海洋運輸時之安全管理要項： <ul style="list-style-type: none"> ➤ 包件應置於可隔離並加封條上鎖的貨艙內。
第 9 條	規定執行空中運輸時之安全管理要項： <ul style="list-style-type: none"> ➤ 以貨機運輸。 ➤ 包件應置於可隔離並加封條上鎖的容器內。

彙整項目 D 及 E 中對於運送計畫及安全管制計畫之要求，如下表所示：

運送計畫	安全管制計畫
<ol style="list-style-type: none"> 1. 放射性廢棄物之種類、性質、數量 2. 運送路線、設備、機具、包裝容器及運送作業之可能休息點 3. 工作人員之任務編組及通訊方式 4. 作業程序 5. 輻射劑量評估及輻射防護措施 6. 意外事故評估及其應變措施 7. 其他經主管機關公告之事項 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 安全管制人員組織及任務說明 2. 安全管制人員訓練及講習 3. 安全管制措施 4. 緊急事件之安全戒護 5. 聯絡及通報方式 6. 其他經主管機關公告之事項

E. 核子保防作業辦法 - 規定核子保防物料之作業辦法

段落編號	描述
第 4 條	規定核子保防物料，其持有、使用、輸入、輸出、過境、轉口、運送、貯存、廢棄、轉讓、租借或設定質權，應依相關規則向主管機關提出申請。

8.1 附錄 B: 中英對照表

英文	中文
American National Standards Institute (ANSI)	美國國家標準協會
Atomic Energy Act	原子能法
Automated Transportation Logistics and Analysis System (ATLAS)	自動運輸物流和分析系統
Commercial Vehicle Safety Alliance (CVSA)	商業車輛安全聯盟
Contractor Requirements Document (CRD)	承包商要求文件
Criticality Safety Index (CSI)	臨界安全指數
Departmental Materials Transportation and Packaging Management	各部門之物質運輸與包裝管理
dose rate	劑量率
Electronic data interchange (EDI)	電子數據交換
Emergency Operations Center (EOC)	緊急行動中心
Environmental Protection Agency (EPA)	環境保護局
Equivalency	等效性
Exemption	豁免
Federal Motor Carrier Safety Administration	聯邦車輛運輸安全管理局
General Services Administration (GSA)	總務管理局
Hazardous Materials Safety Permit	危險材料安全許可證
Inspection Manual Chapters (IMCs)	檢查手冊章節
Inspection Procedure (IP)	檢查程序
International Atomic Energy Agency (IAEA)	國際原子能總署
International Maritime Organization (IMO)	國際海事組織

International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS)	國際生命安全公約
International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL)	國際防止船舶污染公約
International Maritime Dangerous Goods Code (IMDG)	國際海上危險貨物規則
Leaching	瀝濾
Motor Carrier Evaluation Program (MCEP)	載具評估程式
Nuclear/Radiological Incident Annex (NRIA)	核/放射性事件附錄
National Nuclear Security Administration	美國核能安全局
Nuclear Regulatory Commission (NRC)	美國核能管理委員會
National Response Framework (NRF)	美國國家應變框架
Office of Environmental Management	環境管理辦公室
radiation level	輻射水準
Radioactive Material Transportation Practices Manual	放射性物質運輸操作手冊
Radiological sabotage	放射性破壞
Recommendations on the Transport of Dangerous Goods	危險貨物運輸建議書
Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material	放射性物質安全運輸規則
Quality Assurance Program (QAP)	品質保證計畫
Safety Compliance Oversight Plan	安全合規監督計畫
Special nuclear material (SNM)	特殊核材料
Stakeholder Tool for Assessing Radioactive	評估放射性運輸的利益相關者

Transportation (START)	工具
Strategies and Processes for the Establishment of IAEA Safety Standards (SPESS)	建立 IAEA 安全標準的策略和程序
Transport Index (TI)	運輸指數
Transport Safety Standards Committee (TRANSSC)	運輸安全標準委員會
Transportation Emergency Preparedness Program (TEPP)	運輸緊急應變準備計畫
Transportation Routing Analysis Geographic Information System (TRAGIS)	運輸路線分析地理資訊系統
Transuranic (TRU) Waste	超鈾廢棄物
U.S. Department of Energy (DOE)	美國能源部
U.S. Department of Homeland Security	美國國土安全部
U.S. Department of Transportation (DOT)	美國交通部
Used Nuclear Fuel—Storage, Transportation and Disposal Analysis Resource and Data System (UNF-ST&DARDS)	用過核子燃料-貯存、運輸和處置分析資源和數據系統
United Nations Economic and Social Council (ECOSOC)	聯合國經濟與社會理事會
Waste Isolation Pilot Plant (WIPP)	核廢棄物隔離先導型處置設施
Waste Safety Standards Committee (WASSC)	廢棄物安全標準委員會