

行政院原子能委員會放射性物料管理局
委託研究計畫研究報告

國際原子能總署處置安全導則
SSG-23 與相關管制技術之研究

計畫編號：103FCMA008

報告編號：103FCMA008-1

執行單位：核能研究所

計畫主持人：張淑君

子項工作負責人：吳禮浩

報告作者：吳禮浩

報告日期：中華民國 103 年 12 月

[本頁空白]

Study on IAEA Safety Standards SSG-23 and Releative Regulatory Technical Issures

By

Li-hao Wu

Abstract

The status, international organizations and major nuclear power countries worldwide, of regulations, safety criteria, and practice experiences for safety case of radioactive waste geological disposal is reviewed and summarized in this study. It was based on the contents of the IAEA SSG-23 report, and the additionally relevant technical literature of safety case of radioactive waste disposal to analyze the role and regulatory technique of regulatory body for the safety case. Helps to understand the current practices and technical standards of international commonality, and provide a reference of national regulatory measures. In the future, the native regulations will be more credible when its establishment is based on the international science and technology.

Some observations from this review relevant to major regulatory issues, technical trends, and scientific perspective of safety case are discussed. Based on these study findings, some recommendations are provided for further regulating of radioactive waste geological disposal program in Taiwan.

Keywords: Safety case, Safety assessment, radioactive waste disposal,
Worldwide status

Institute of Nuclear Energy Research

國際原子能總署處置安全導則 SSG-23 與相關管制技術之研究

吳禮浩

摘 要

本報告彙整國際組織 IAEA 與 OECD/NEA 以及主要核能發電國家，對於放射性廢棄物地質處置的安全論證(safety case)與安全評估相關技術要項。以 IAEA SSG-23 的內容為基礎，再分析國際核能機構有關放射性廢棄物處置安全論證的技術文獻，並就安全論證中管制機關所扮演的角色及管制技術進行分析與探討。有助於瞭解當前的國際共通性作法與技術水準，提供我國管制措施參考，未來以國際科技資訊為基礎所建立的在地化管制規範，則將更具有公信力。

本報告資訊彙整成果有助於我國後續放射性廢棄物管制決策與研發工作之參考應用，以加速提昇技術能力，確保管制安全合於國際標準。

關鍵字：安全論證、安全評估、放射性廢棄物處置、國際技術資訊分析

核能研究所

目 錄

| | |
|------------------------------------|----|
| 1. 前言 | 1 |
| 1.1 研究目的 | 1 |
| 1.2 研究內容 | 1 |
| 1.3 報告架構 | 2 |
| 2. 國際資訊來源與彙整方法 | 3 |
| 2.1 資訊與文獻來源 | 3 |
| 2.2 資訊與文獻蒐集方法與範疇 | 3 |
| 2.3 資訊與文獻蒐集成果 | 4 |
| 3. 國際原子能總署處置安全導則(SSG-23)內容概要 | 6 |
| 3.1 背景 | 7 |
| 3.2 目的 | 8 |
| 3.3 範圍 | 8 |
| 3.4 導則架構 | 8 |
| 4. 國際放射性廢棄物處置安全論證研析 | 10 |
| 4.1 國際核能機構 | 10 |
| 4.2 主要核能國家 | 34 |

| | |
|------------------------------|----|
| 5. 國際安全論證管制技術趨勢..... | 67 |
| 5.1 IAEA SSG-23 的管制審查程序..... | 67 |
| 5.1.1 管制審查的目標與屬性..... | 68 |
| 5.1.2 審查程序管理..... | 71 |
| 5.1.3 管制機關分級使用方式..... | 73 |
| 5.1.4 進行審查與報告審查結果..... | 74 |
| 5.2 設施經營者之責任..... | 77 |
| 5.3 管制問題..... | 78 |
| 5.4 安全評估的背景..... | 79 |
| 5.5 安全概念..... | 79 |
| 5.6 評估策略..... | 80 |
| 5.7 指標與規範..... | 81 |
| 5.7.1 安全指標..... | 81 |
| 5.7.2 補充指標..... | 81 |
| 5.7.3 安全功能指標..... | 82 |
| 5.8 系統描述..... | 83 |
| 5.9 系統發展與情節..... | 83 |
| 5.10 模式策略..... | 84 |

| | |
|---|----|
| 5.11 討論 | 85 |
| 6. 國際安全論證經驗回饋 | 87 |
| 6.1 國際安全評估案例經驗分析 | 87 |
| 6.2 國際安全論證發展趨勢與經驗回饋 | 88 |
| 6.3 低放射性廢棄物處置設施安全分析報告審查導則之精進建議 | 91 |
| 7. 結論 | 94 |
| 7.1 研究結論 | 94 |
| 7.2 成果效益 | 95 |
| 7.3 後續研發建議 | 96 |
| 參考文獻與網址 | 98 |
| 附錄：IAEA SSG-23 特別安全導則：「放射性廢棄物處置安全論證與安全評估」(中文翻譯) | 1 |

附 圖 目 錄

| | |
|-------------------------------------|----|
| 圖 2-1：研究流程圖..... | 5 |
| 圖 4-1：IAEA SSG-14 建議之安全評估流程 | 21 |
| 圖 4-2：近地表處置設施開發過程的典型步驟 | 32 |
| 圖 4-3：法國高放處置安全評估的架構 | 42 |
| 圖 6-1：管制機關應用管理體系與利害關係者持續互動之過程 | 90 |
| 圖 6-2：安全評估涵蓋的領域 | 91 |

附表目錄

| | |
|---|----|
| 表 4-1：IAEA SSG-14 第 5 章安全論證與安全評估規定 | 12 |
| 表 4-2：處置設施各階段安全論證與支持其論述的安全評估特徵 | 19 |
| 表 4-3：IAEA SSG-14 附錄 II 封閉後安全評估導則架構 | 20 |
| 表 4-4：IAEA SSG-29 第 5 章安全論證與安全評估規定 | 22 |
| 表 4-5：近地表處置設施各階段安全論證與支持其論述的安全評估特徵 .. | 30 |
| 表 6-1：「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告審查導則」（第 0 版） 修訂草案對照表 | 92 |

[本頁空白]

1. 前言

1.1 研究目的

基於管制業務技術研發需求，行政院原子能委員會放射性物料管理局爰委託核能研究所執行「103 年度精進放射性物料安全管理技術發展」計畫(103FCMA008)。本報告「國際原子能總署處置安全導則(SSG-23)與相關管制技術之研究」即為該計畫所屬子項計畫「低放射性廢棄物處置安全審查關鍵議題研究」之研究工作成果。

本研究藉由國際安全論證(safety case)相關技術文獻彙整分析，闡明 IAEA 安全導則 SSG-23 重點，以及對我國低放射性廢棄物(以下簡稱低放)處置安全評估技術發展與管制措施的可能影響，並將相關成果回饋於低放審查導則(第 0 版)之章節與條文內容修訂。

1.2 研究內容

子項計畫「低放射性廢棄物處置安全審查關鍵議題研究」於 103 年規劃完成「國際原子能總署處置安全導則(SSG-23)與相關管制技術之研究」報告一冊。研究內容包含：

- (1)國際安全論證相關技術文獻蒐集分析，擬包含 IAEA 與 OECD/NEA 等國際機構的導則與專業報告分析。執行方法將分析放射性廢棄物處置設施如何確保安全的全部程序、安全論證準備過程的主要安全原則與安全要求、安全論證的構成要素與其在處置設施發展、運轉與封閉階段的角色，建立安全論證的可信賴度，探討安全論證中處置場封閉後輻射影響評估方法論及安全論證準備中產生的特別議題，說明安全論證文件化及指出處置設施發展安全論證可能用途，提供安全論證法規審查的指引與建議。

- (2)摘述 IAEA 安全導則 SSG-23 重點，並結合前項分析結果，說明對於我國低放處置安全評估技術發展與管制措施的可能影響。
- (3)相關成果回饋於低放審查導則(第 0 版)之章節與條文內容修訂。依據安全論證文獻分析成果，參考國內低放處置現況，研提低放審查導則(第 0 版)配合安全論證議題的可能影響，可採行之章節與條文內容修訂。

1.3 報告架構

報告內容第 1 章說明研究目的、研究內容與報告架構；第 2 章說明國際資訊來源與彙整方法；第 3 章為國際原子能總署處置安全導則(SSG-23)內容概要；第 4 章國際放射性廢棄物處置安全論證研析；第 5 章國際安全論證管制趨勢，第 6 章國際安全論證經驗回饋；第 7 章對研究成果總結說明，並提出建議。另外，附錄為本計畫完成之 IAEA SSG-23 全文翻譯提供參考。

2. 國際資訊來源與彙整方法

2.1 資訊與文獻來源

本研究國際資訊來源主要來自 IAEA 與 OECD/NEA 等國際機構的導則與專業報告分析，另外再分析及整理國際核能機構有關安全論證的技術文獻，並以國際機構與相關管制機關網路發布的最新資訊為準。此外，資料來源亦包含其他的相關機構技術報告、研討會論文集、期刊論文、簡報等。

2.2 資訊與文獻蒐集方法與範疇

針對前述重要資料來源，本研究主要利用網路搜尋技巧做為資訊蒐集的主要手段。包括使用網路搜尋工具以及電子期刊；少數資訊則利用圖書館取得書面紙本。其中於本報告引述的文獻資訊，均儘可能的在本報告的參考文獻處提供網路連結，以利讀者參考，並促進本報告論點之可追蹤性與透明度。其它未直接於本報告引述，但仍具有技術領域參考價值的文獻，則併同期末報告定稿版燒錄光碟，提供計畫委託單位參考應用。本報告之研究方法流程如圖 2-1 所示。

本研究資訊蒐集分析的主題與重要技術名詞說明如下：

- 放射性廢棄物(radioactive waste)：依我國「放射性物料管理法施行細則」第 4 條定義，分類如下
 - 高放射性廢棄物(high-level radioactive waste)：指備供最終處置之用過核子燃料或其經再處理所產生之萃取殘餘物。由於我國目前核能發電產生的用過核子燃料並未經過再處理，所以我國所謂的高放射性廢棄物即為用過核子燃料。

- 低放射性廢棄物(low-level radioactive waste):指前項以外之放射性廢棄物。
- 安全論證(safety case):依國際原子能總署(International Atomic Energy Agency, IAEA)「SSR-5 放射性廢棄物處置特定要求」(IAEA, 2011a)之定義,指一組辯證(arguments)與證據(evidence)的整合,以證明處置設施的安全性。
- 安全評估(safety assessment):對系統的功能進行分析與評估,以研判可能的行為與影響。安全評估為安全論證的主要組成,為相關的辯證與證據提供量化的評估基準。此名詞有時候等同於功能評估(performance assessment),但後者有時候有更狹義的定義,特指評估系統是否能發揮預期的功能。

2.3 資訊與文獻蒐集成果

本研究儘最大的努力蒐集 IAEA 與 OECD/NEA 等國際機構跟本研究主題有關的安全論證與相關管制技術資訊。整體而言,本研究已大致能掌握國際現況趨勢,瞭解國際共通作法,達到供國內參考的計畫預期目標。

國際資訊蒐集為本研究的重點工作之一,計畫執行期間本研究將文獻資訊以檔案資料夾進行分類整理,並上傳雲端,供計畫委託單位即時參考,計畫結案後則另提送成果光碟。

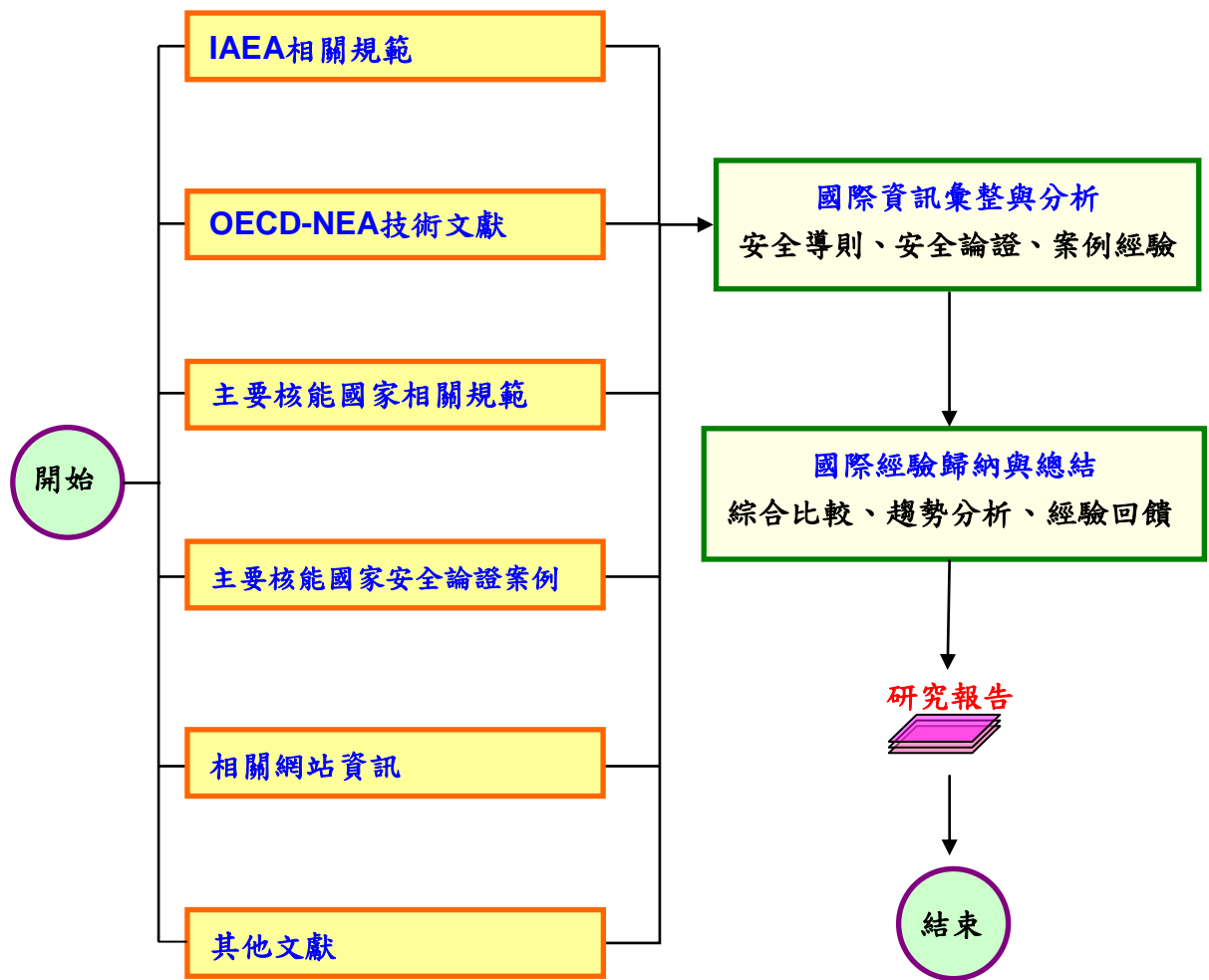


圖 2-1：研究流程圖

3. 國際原子能總署處置安全導則(SSG-23)內容概要

IAEA SSG-23 主要是說明安全論證與安全評估的安全導則，放射性廢棄物處置設施經營者與管制機關可參考相關內容，做為具體提升處置設施安全的依據。

背景：(1) 放射性廢棄物處置代表其管理的最終步驟，基本的安全目標為保護人們與環境免於游離輻射危害；(2) 安全論證集合了科學、技術、管理與經營的辯證，以作為支持處置設施安全的證明，其涵蓋場址與設施設計、建造與運轉的適宜性，輻射安全評估以及所有與處置設施安全相關工作的適當性與品質確認；(3) 安全評估為安全論證不可或缺的部份，透過系統性的輻射危害評估，成為安全論證中的一個重要組成。

目的：(1) 評估、證明與文件化所有類型放射性廢棄物處置設施的安全；(2) 對處置設施安全最重要的考量進行確認；(3) 處置設施經營機構負責準備安全論證；(4) 管制機關負責決定安全論證基礎與範圍的法規與規範指引；(5) 提供管制機關進行安全論證審查的指引。

範圍：(1) 涵蓋安全論證與安全評估的準備作業；(2) 提供處置設施發展所有時期的指引與建議；(3) 重點在於處置設施封閉後的功能及其影響評估；(4) 對涉及關切團體、風險溝通議題及決策制訂方法等方面提供建議；(5) 提供規範程序的指引與建議。

以下為 IAEA SSG-23 第 1 節簡介的內容。

3.1 背景

(1.1.) 放射性廢棄物之處置代表其管理的最終步驟，而處置設施的設計、運轉及封閉應提供必要的圍阻與隔離作用以確保安全。基本的安全目標為保護人類與環境免於游離輻射危害，並依循以下的原則：

"放射性廢棄物必須加以管理，以避免強加過度的負擔到未來世代，亦即本世代對其所產生放射性廢棄物的長期管理，應尋求與使用安全、務實以及環境可接受的解決方案。"

(1.2.) 至於涉及放射性物質和輻射的所有設施和活動，處置設施經營者對其安全負有主要基本責任，且必須評估設施安全，並證明設施的設計與運轉符合相關安全要求。放射性廢棄物處置所需的安全要求中，尤其是安全論證必須連同支持其論述的安全評估一起發展。

(1.3.) 安全論證集合了科學、技術、管理與經營的辯證，以作為支持處置設施安全的證明，其涵蓋了場址與設施設計、建造與運轉的適宜性，輻射安全評估以及所有與處置設施安全相關工作的適當性與品質確認。安全評估為安全論證不可或缺的一部份，透過系統性的輻射危害評估，成為安全論證中的一個重要組成。後者涉及起因於處置設施輻射劑量與輻射危害的量化分析，及與劑量和危害標準進行比較，並在考慮放射性廢棄物仍有危害的各個時間範圍，提供處置設施在正常狀況與擾動事件下行為的瞭解。安全論證與支持其論述的安全評估提供安全證明與核發執照的基礎。他們將隨處置設施的發展而展開，而且將協助與指引選址、設計及運轉的決策。安全論證也將成為與關切團體進行對話、意見交流及發展處置設施安全信賴度的主要基礎。

(1.4.) 本安全導則提供符合關於安全論證安全需求以及支持其論述的放射性廢棄物處置安全評估的指引與建議。

3.2 目的

(1.5.) 本安全導則的目的為提供如何評估、證明與文件化所有類型的放射性廢棄物處置設施安全。當評估放射性廢棄物處置設施封閉後的安全時，能對一些最重要考量進行確認，另外執行這種評估與呈現安全論證時，適切的指引能提供實務上最佳結果。本導則與負責準備安全論證的營運機構，以及負責發展決定安全論證基礎與範圍的法規與規範指引之管制機關有關。本安全導則也提供安全論證管制機關對於審查的指引，以建立規範所需的後續配套程序。

3.3 範圍

(1.6.) 本安全導則涵蓋所有類型放射性廢棄物特定處置設施所需的安全論證與支持其論述安全評估之準備作業。本安全導則提供處置設施發展所有時期的指引與建議。所強調的重點在於處置設施封閉後的功能及其影響評估。其他相關面向，例如運轉安全和非輻射學上的風險，有說明但不詳細討論。保安方面也不詳細討論，雖然有提出符合推動措施建議，以確保放射性廢棄物處置的安全措施與核子保安措施之整合性作法。

(1.7.) 本安全導則也針對涉及關切團體、風險溝通議題及決策制訂方法等方面提供建議，因為這些是安全論證運用於決策制訂過程中，基本不可或缺的構成要素。本安全導則亦提供管制程序的指引與建議。

3.4 導則架構

(1.8.) 本安全導則的第 2 節討論證明一個放射性廢棄物處置設施安全的全部程序。第 3 節概述在安全論證準備中會遇到的主要安全原則與安全要求。後續各節的所有目標將提出符合前述要求的指引。第 4 節詳盡闡述

安全論證概念。亦描述安全論證的構成要素與其在處置設施發展、運轉與封閉中的角色。另建立安全論證信賴度的可能性也在此節討論。第 5 節說明形成第 4 節所描述安全論證核心元素的封閉後輻射影響評估方法論。概述並詳細討論程序中各式各樣的步驟。特別是針對輻射影響評估中的不確定性管理提供指引與建議，也可用於評估結果與評估準則之比較。第 6 節討論安全論證準備中產生的特別議題。第 7 節說明安全論證文件化，和指出處置設施發展中安全論證之可能用途。第 8 節提供安全論證管制審查的指引與建議。

4. 國際放射性廢棄物處置安全論證研析

本章研究分析國際核能機構與主要核能國家對於放射性廢棄物處置的安全論證技術要點。相關重要內容說明如後。

4.1 國際核能機構

國際原子能總署與放射性廢棄物處置安全論證有關的重要規範包含「SSR-5 放射性廢棄物處置特定要求」(IAEA, 2011a)、「SSG-14 放射性廢棄物地質處置設施特定安全導則」(IAEA, 2011b)。

(1) IAEA SSR-5

IAEA 在 2011 年發布放射性廢棄物處置安全要求(SSR-5)，主要目的是規定所有類型放射性廢棄物處置的安全目標和標準，為了論述的方便，將處置設施概分為運轉前、運轉期、封閉後 3 個階段，SSR-5 的內容，在很多方面皆有論及安全論證，較為重要的包括：(1) 在處置設施建造過程中，同時編寫設施安全論證文件（意即收集能證明處置設施安全性的辯證和證據）；同時也為有關設施建造、運轉和封閉的決策提供依據；(2) 對於處置設施經營者，要求必須對處置設施安全負責。設施經營者必須進行安全評估並編寫和保持安全論證文件，並根據國家政策和遵照管制機關要求進行場址選擇和評估、設計、建造、運轉、封閉，以及必要時進行封閉後監管的一切必要活動；(3) 編寫安全論證文件和進行安全評估以供管制機關審查，是放射性廢棄物處置設施建造、運轉到封閉的核心工作。安全論證文件使處置設施的安全具體化，並有助於建立對處置設施安全的信任度；安全論證文件是對處置設施相關所有重要決定的一項基本資訊；安全論證文件必須為瞭解處置系統和處置系統隨

時間的演化行為提供依據；安全論證文件必須涉及場址問題和工程問題，並為設施設計提供邏輯性和合理性依據，而且必須以安全評估為佐證；安全論證文件還必須涉及已實施的管理系統，以確保所有安全重要問題的品質。相關重要內容說明如後。

(2)IAEA-SSG14

國際原子能總署「放射性廢棄物地質處置設施」特定安全導則 SSG-14，其中對於安全論證與安全評估於第 5 章有詳細規定(IAEA, 2011b)。由於該規範是對各會員國均適用之國際共通性導則，意義重大，故本研究特別翻譯相關內容如表 4-1，以供國內依循。該章節內含處置設施各階段安全論證與支持其論述之安全評估的特徵說明表，本報告將之中文化為表 4-2。

此外，SSG-14 附錄 II 對於處置設施封閉後的安全評估提出建議性的作法。SSG-14 附錄 II 的內容架構整理如表 4-3，可藉以瞭解安全評估的重點要項。另外對於該規範所建議之安全評估流程，經本研究中文化為圖 4-1。

表 4-1：IAEA SSG-14 第 5 章安全論證與安全評估規定

5.安全論證與安全評估

5.1.安全論證是辯證與證據的集合，用來驗證場址內一處特殊設施、設施的部分、或活動的安全性。至少應該於地質處置設施發展、運轉、與封閉的各個主要步驟準備安全論證，且可能包含某些或所有提報給管制機關的書件，以尋求核准繼續進行下一個步驟。安全論證將隨著設施的發展、運轉與封閉而逐漸強化，以便將所有安全相關的事件與採取的補救措施做成紀錄，並隨時備妥一套最新的文件用來證明設施的安全性，以及預期設施在長期內仍然安全。本節內文將分別使用運轉期安全論證與封閉後安全論證兩個名詞。而在實務上，這兩者可能是分離的實體，亦或者是設施整體安全論證的一部分。

5.2.安全論證應包含安全評估的產出，並配合額外的資訊，包含支持設施健全性與可靠性的證據與理由、設計、設計邏輯、以及安全評估品質與基本假設。安全論證亦可能包含放射性廢棄物處置相關的一般辯證與資訊，使得安全評估的結果能做全面性的觀察。此辯證包含預測核種釋出與曝露於天然背景濃度及輻射程度的比較，以及跟天然類比的比較。設施發展中任何步驟或運轉或封閉時所留存的不確定性與任何未解決的議題，必須於安全論證中確認。未解決的議題若對安全評估具有影響，則有可能必須進一步的說明。

5.3.安全評估是使用適當的系統性方法以分析設施相關風險，以及場址能力與設施設計是否符合安全要求的過程。地質處置設施安全評估應包含功能整體程度的定量分析、相關不確定性的分析、以及相關設計要求與安全標準的比較...。安全評估亦應判定可能影響結果的任何科學認

知、資料、或分析的顯著不足之處。

- 5.4.安全評估應由設施經營者提供輸入資訊給進行中的決策，例如有關於研究、場址特性調查、設施設計、資源分配、以及廢棄物接收準則發展等主題之決策。安全評估包含判定關鍵不確定性與安全相關作用的分析。這些分析可促進對地質處置設施功能的瞭解，並因而有助於做為安全論證中提出安全辯證的基礎。
- 5.5.設施經營者發展的安全論證，應提供給其他有興趣的團體，例如國家與地方政府，以促進相關決策過程，使設施經營者能夠繼續推動設施發展或運轉的下一個步驟。

安全論證與安全評估的準備、核准、與使用

SSR-5 要求12：處置設施安全論證與安全評估的準備、核准、與使用
設施經營者必要時應在處置設施發展、運轉、與封閉後各個步驟，準備與更新安全論證與支持其論述的安全評估。安全論證與支持其論述的安全評估應提報管制機關核准。安全論證與支持其論述的安全評估應足夠詳細與全面性，以提供各個步驟管制機關與決策所必要的技術資訊。

- 5.6.安全論證應於地質處置設施發展的早期準備，以導引研究與發展、場址特性調查、設計與規劃活動。安全評估過程應使用計算方式以評估預定概念模式的健全性，瞭解其符合管制要求的潛能，並決定必須進一步確認的相關核種、途徑、與釋出機制，以及其中應注重者。範疇界定計算通常根據有限的資料，例如，從文獻研究、材料規格、實驗室研究、天然類比研究、初步場址調查、以及廢棄物特性調查。資料的獲取將逐步持續於整個過程直到處置設施永久封閉，或預定的概念確定為不可接受的。

5.7.安全論證應隨著專案計畫的進展而逐步發展與闡明，以提供地質處置設施發展關鍵步驟的執照申請基準。管制機關可能會在做出地質處置設施發展與運轉的下一步驟決策前，要求更新或修訂安全論證。安全論證的正式性與技術詳細程度，將取決於專案計畫發展的階段、當前的決策、資訊公開的對象、以及特定國家要求。

安全論證與安全評估的範疇

SSR-5 要求13：安全論證與安全評估的範疇

處置設施安全論證應說明所有安全相關方面的場址、設施設計、管理措施、與法規管制。安全論證與支持其論述的安全評估應驗證保護人類與環境的程度，並應向管制機關與其他有興趣的團體保證將可符合安全要求。

5.8.安全評估結果應能驗證個別系統組成的功能。以容易實行的模組化作法進行模擬分析是值得的。各個組成預期行為的驗證與組成設計的反覆改進，或組成預期行為的確認，可確保其有效功能，增加對於整個系統功能的信心程度。

5.9.地質處置設施安全論證包含對於運轉時期與封閉後時期的安全評估。針對運轉時期的安全論證與支持其論述的安全評估，設施的安全將依靠主動與被動措施，然而針對封閉後的安全論證與支持其論述的安全評估，設施安全將僅能依賴被動障壁。此外，整個運轉時期設施將處於管制稽查與輻射監測。因此，運轉時期與封閉後時期存在發展管制準則與安全論證與支持其論述的安全評估之差異，並據以驗證不同階段的安全性。

5.10.地質處置設施運轉時期的安全論證應說明所有運轉作業，包含廢棄物置放、置放與回填期間任何地下施工作業、設施封阻與封閉等相關的

輻射曝露。若意圖在廢棄物完成置放後設施仍開放一段長時間，則運轉時期的安全論證應包含考慮此時期必要的設備裝修與更換。必要時亦可能包含設施仍開放時廢棄物再取出的安全性。

5.11.應考慮正常運轉與預期運轉情況導致的職業曝露與公眾曝露...。頻率較低但有顯著放射性後果的事故(亦即短期內可能使輻射劑量超過年劑量限值的事務...),應考慮其發生的可能性與可能輻射劑量的規模。

5.12.封閉後時期安全論證應說明極長時間下(例如相較於此時間範圍內廢棄物仍具有危害性),地質處置設施與其區域性環境較有可能的演變情節,以及可能影響設施功能的較不可能事件。對於地質處置設施,為了符合要求,需要的安全論證與支持的評估如下:

- (a)提出充分瞭解顯著影響地質處置系統的關鍵特徵、事件、與作用,以及可能演變的情節是正確產生之證據;
- (b)提出地質處置系統功能符合所有相關安全要求之評估計算;
- (c)判定與提出相關不確定性之分析。

5.13.封閉後時期安全論證應根據定量分析並應進一步受到定性辯證的支持。其可能包含例如根據天然類比研究與古水文地質研究所提出的多種理由。安全論證的主要部分為關注於驗證所有重要不確定性之考慮。

5.14.管制機關應規定或提供關於時間尺度的導則以進行安全評估。管制要求得指定針對劑量限值或風險限值進行劑量或風險的計算比較,評估時間至少達數千年且可能延長超過此時間尺度,例如估計達尖峰劑量的時間。然而,有人認為時間尺度超過數千年時,考慮未來地質圈與生物圈情況的不確定性,根據適當的簡化假設進行參考計算可能就已足夠,所以可考慮處置系統天然特性化的演變情節以及人類行為與特

性的「典型化」作法(亦即在某些特定條件下)，例如，使用參考生物圈。

5.15. 封閉後時期的安全評估，應分析預期演變以及某些特定性但不太可能的演變與事件下的地質處置系統功能。應進行敏感度分析與不確定性分析，以獲得一系列演變與事件下對地質處置系統與其組成功能之瞭解。應探究具有潛在重大後果影響的低機率情節，以瞭解處置系統之健全性。安全評估應包含人類無意侵入封閉後處置設施後果的某些典型化計算。相似的，典型化作法亦能採用於生物圈計算。

5.16. 當適合時，應儘可能減少考慮處置系統封閉後演變的複雜作用之需要性。場址選擇與設計特徵應儘可能避免複雜作用，無須在複雜性中考慮不必要的被動特徵。複雜作用的避免可以減少發展安全評估模式時的耦合作用；此外，也可能可以限制在複雜環境中對於影響處置系統演變的其他因子之考慮。若能避免複雜的作用，則在相對簡單的環境中，可以更明確的提出所需考慮特徵、事件、與作用的空間與時間變異性。用這種方法，安全評估所需的關鍵參數數量可能會減少，且可使用較簡單的模式進行安全評估。雖然簡單性是一項可取的特徵，場址天然特性所能提供的圍阻與隔離能力仍占有主要的重要性，且此應做為場址選擇的決定性準則。

5.17. 管制要求指定的時間範圍內與曝露情節應進行劑量及/或風險計算。管制準則通常會指定曝露群體或個人的特性，以使用於劑量計算(關鍵群體與關鍵群體中的平均個人概念，被某些國家用於指定的曝露情節)。對於極長時間尺度下的劑量估計可能會非常的不確定，此時補充的辯證可能有助於說明安全性，例如，使用安全指標如天然核種的濃度與流通量。

5.18.安全論證應包含設施的封閉計畫。此應配合場址特性調查以及處置設施建造與運轉期間獲得的資訊進行更新與精進。授權開始將廢棄物置放於處置設施將同時包含初步封閉計畫的核准，同時認知到這些計畫將隨著運轉而繼續更新。若有可能，封閉設計與計畫應在相關設施情況下進行測試。

5.19.安全論證與支持其論述的安全評估應隨著地質處置設施的發展與運轉而更為詳細與全面性。安全論證與支持其論述的安全評估的逐步發展說明於表1(譯註：即本報告表4-2)。

安全論證與安全評估的文件編製

SSR-5 要求14：安全論證與安全評估的文件編製

處置設施安全論證與支持其論述的安全評估應做成文件，詳細程度與品質應足以提供資訊與支持各個步驟做出決定，並允許進行安全論證與支持其論述的安全評估的獨立審查。

5.20.安全論證與支持其論述的安全評估設定的文件範疇與結構，取決於地質處置設施計畫所處的階段與國家要求。此應包含對於不同利害相關團體資訊需求的考慮。安全論證文件化的重要考量為決策的正當性、推理的可追溯性、以及資訊的透明度。根據不同利害相關團體的資訊需求，文件可能需要以各種不同的詳細程度與類型進行準備。

5.21.安全論證文件詳細的程度應能將辯證、推理、與支持證據以另人信服的、透明的、與可追溯的方式提出。相似的，安全評估文件的編製應能促進對模式、資料、假設、與定性辯證的瞭解。

5.22.當文件接受未直接參與發展、運轉、或管制處置設施的專家或非專家審查時，文件透明度是特別重要的。關鍵性的辯證、決策、與假設應以高層級文件提出，而非僅提供非常詳細的技術文件給少數非專家讀

者。

5.23.對於品質保證而言可追溯性是重要的，特別是當改變設計、程序、模式、資料、或假設時。可追溯性亦有必要，可使管制機關、獨立審查者、與其他人能夠衡量辯證的深度與關鍵資料的品質。

5.24.安全論證與安全評估文件的數量及其長度將隨著整個處置設施的生命時期而增加。此應在擬訂文件結構與設定準備與完成文件的導則時銘記在心。過於複雜的文件階層與缺少注意簡潔，有可能會隨著設施發展造成問題的增加。

對安全的瞭解與信心

SSR-5 要求6：處置設施與安全信心的瞭解

處置設施經營者應適當發展對設施與其所處環境的特徵，以及長時間後影響封閉後安全因素的瞭解，為了能夠達成足夠程度的安全信心。

5.25.處置系統功能的瞭解與其內部與外部特徵、事件、與作用對設施演變的依賴性，將會累積更多的資料與發展科學知識。在概念發展的早期，所獲得的資料與所瞭解的程度須能保證足夠的信心，以投入資源做進一步的調查。建造開始之前，置放與設施封閉期間，瞭解的程度應足以支持安全論證，使得以促進決策的過程並獲得管制核准以繼續下一步驟。

5.26.判定與說明不確定為封閉後評估的主要部分。應使用各種技術評估封閉後設施功能的不確定性。處置系統特定部分的詳細模式與特定的事件與作用應使用於調查作業，並用來決定如何處理全系統安全評估中的系統組成與特徵、事件、與作用。敏感度分析、不確定性分析、與邊界計算應能夠使用於詳細層級與系統層級。機率式與定率式計算應能夠進行時間變化與穩態狀況分析。分析的目標應盡可能減少安全相

關的不確定性，且當無法做到時，應將不確定性的特性進行定量或定性分析。對於極長時間造成不確定性使得準則可能不再適於做為決策基準時，則應小心測驗應用準則的適用性。

資料來源：譯自IAEA(2011b) SSG-14。

表 4-2：處置設施各階段安全論證與支持其論述的安全評估特徵

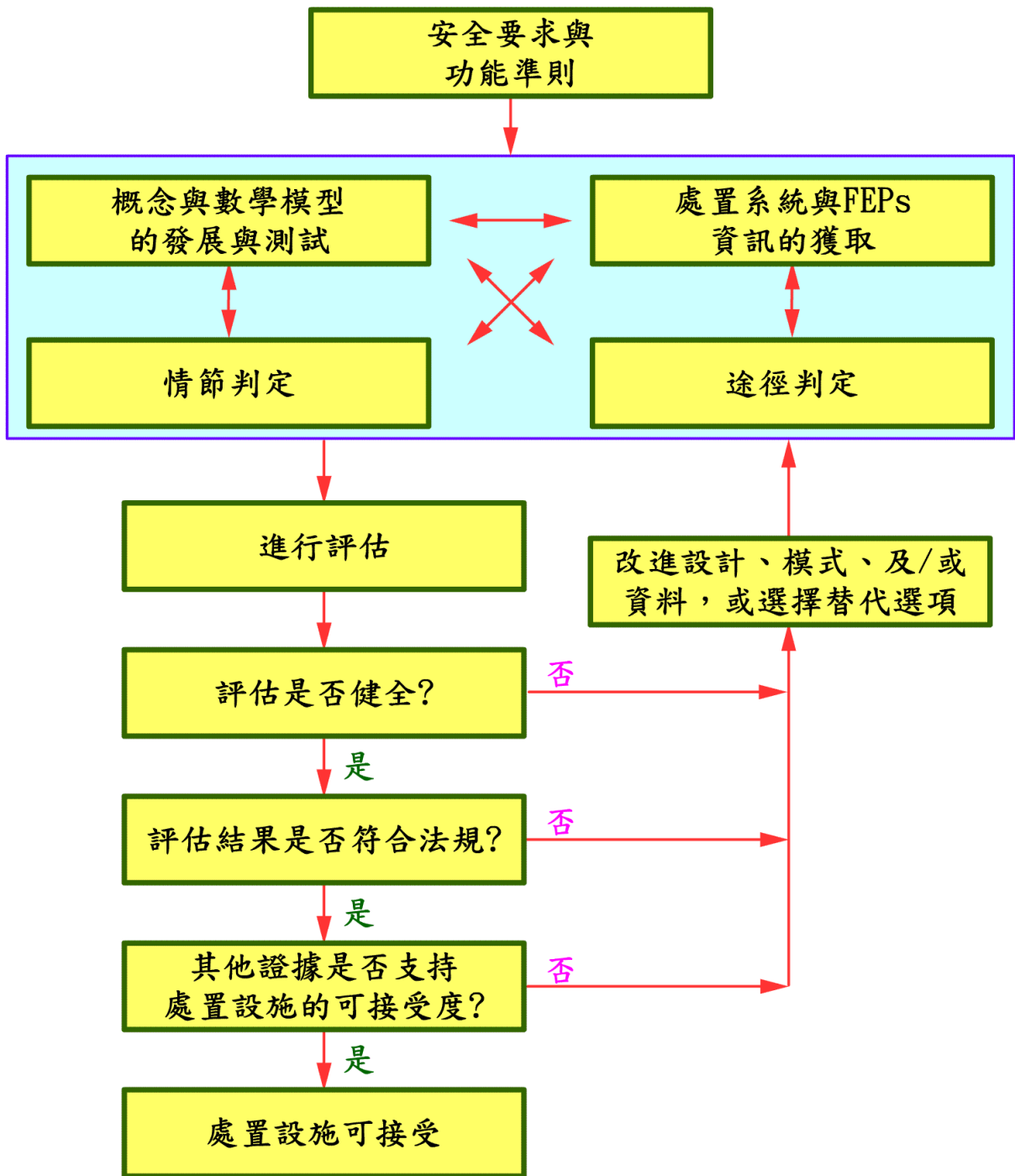
| 設施階段 | 安全論證特性 | 安全評估基準 |
|---------------|---|--|
| 初期場址調查與初步設施設計 | 運轉安全論證的概述，初步封閉後安全論證。 | 來自初期場址調查的資料；初步設計研究與封閉計畫；廢棄物存量；材料行為的概略資料；來自類似場址與作用的資料與觀察。 |
| 場址特性調查與確認 | 中期運轉與封閉後安全論證，詳細程度足供做為建造決策的基準。 | 來自地表與地下調查的詳細場址調查資料；設施設計與建造的詳細計畫；廢棄物存量；特定場址的材料行為資料；運轉計畫與封閉計畫。對於建造的管制決策。 |
| 建造 | 最終運轉的安全論證與精進封閉後安全論證，詳細程度足供做為調試與運轉決策的基準。 | 建造期間獲得的場址資料；廢棄物存量；任何廢棄物置放測試；固有的設計；運轉期間將測試的封閉計畫；詳細的運轉的計畫。對於運轉的管制決策。 |
| 運轉 | 視需要定期更新運轉安全論證，使用調試與運轉的經驗與資料。最終封閉後安全論證足供做為封閉決策的基準。 | 使用來自調試與運轉的經驗與資料更新運轉與封閉後的安全評估(包含來自現地測試、監測與實驗與封閉計畫測試的資訊)。對於封閉的管制決策。 |
| 封閉後 | 選擇性額外的封閉後安全論證，以繼續保證處置系統的行為如預測。 | 封閉後安全評估的選擇性更新，若發現安全論證相關的新科學證據。 |

資料來源：譯自IAEA(2011b) SSG-14。

表 4-3：IAEA SSG-14 附錄 II 封閉後安全評估導則架構

- 安全評估的一般考量
 - 安全議題
 - 安全評估的使用
- 安全評估的引導
 - 一般
 - 安全評估的反覆精進作法
 - 定義目標
- 安全評估的資料要求
 - 運轉前的監測資料
 - 運轉與封閉後監測資料
- 系統定義
 - 概念模型的發展
 - 數學模式的發展
 - 特徵、事件、與作用的分析
 - 情節分析
 - 途徑的判定
- 後果分析
 - 模式計算
 - 不確定性的來源
 - 敏感度分析
 - 不確定性分析
- 安全評估結果的提出
 - 一般
 - 比較管制標準
 - 系統組成的功能
 - 未來放射性影響
 - 表達的程度
- 信心建立
 - 模式的驗證、校驗、與確認
 - 天然類比
 - 管理系統
 - 同儕審查
- 額外的考量

資料來源：整理自 IAEA(2011b) SSG-14 附錄 II。



資料來源：譯自IAEA(2011b) SSG-14附錄II

圖 4-1：IAEA SSG-14 建議之安全評估流程

(3)IAEA-SSG29

國際原子能總署「放射性廢棄物近地表處置設施」安全導則 SSG-29，其中在第 5 章對於安全論證與安全評估有詳細規定(IAEA, 2014)。由於該規範是對各會員國均適用的國際共通性導則，意義重大，故本研究特別將相關內容整理如表 4-4，以供國內依循。該章節內含近地表處置設施各階段安全論證與支持其論述之安全評估的特徵說明表，本報告將之中文化為表 4-5。

該導則指出在處置計畫發展期間應考慮新的資訊，且至少在設施壽命期間的各主要決策步驟(圖 4-2)，如何進行安全論證的準備與更新。從一個主要決策步驟進入下一步驟時，安全論證應提交管制機關核准。設施經營者負有安全論證演變所有步驟計畫與執行的角色，管制機關則依據設施經營者提出的計畫做出決策。

表 4-4：IAEA SSG-29 第 5 章安全論證與安全評估規定

5.安全論證與安全評估

5.1.安全論證是辯證與證據的集合以證實處置設施的安全性。安全評估為安全論證發展的主體，並涉及處置設施輻射劑量及/或風險的定量評估，及其與SSR-5所設定劑量與風險準則的比較。近地表處置設施的安全論證應包含運轉安全與封閉後安全二者的說明，雖然有時候會被分開表示為‘運轉安全論證’(亦即驗證運轉期間設施的安全性)與‘封閉後安全論證’(亦即驗證設施封閉後的安全性)。安全論證的綜合指引提供於IAEA安全標準叢書SSG-23。

安全論證的準備

SSR-5 要求12：處置設施安全論證與安全評估的準備、核准、與使用

“設施經營者必要時在處置設施開發時的各階段、運轉期間、與封閉後，應準備與更新安全論證與支持的安全評估。安全論證與支持的安全評估應提交管制機關核准。安全論證與支持的安全評估應足夠詳細與全面性的提供必要之技術內容，以滿足管制機關與決策在各階段所需的必要資訊。”

5.2. 應在處置計畫發展期間考慮新的資訊(例如來自廢棄物存量、場址特性調查、工程與設施設計、與監測的新資訊)，且至少在設施壽命期間的各主要決策步驟(圖4-2)，進行安全論證的準備與更新。從一個主要決策步驟進入下一步驟時，安全論證應提交管制機關核准。隨著建造、運轉、與封閉的進行，安全論證須漸進的強化，以使所有安全相關議題的判定與所採取的行動能被加以紀錄。安全論證的最新文件版次應能隨時備妥，以證明設施安全性且能如預期的維持長期安全，以及能指引處置設施的管理與運轉。

5.3.SSR-5第4.8與4.9段陳述如下：

“4.8.安全論證須包含安全評估結果的產出…，連同額外的資訊，包含支持的證據與設施健全性與可靠性的論斷、設計、設計邏輯、及安全評估與相關假設的品質。

“4.9.安全論證亦得包含有關放射性廢棄物處置的更多一般辯證，與全面瞭解安全評估結果的資訊。”

此辯證包含預測核種釋出所造成的曝露與天然背景濃度與輻射強度的比較。仍留存的不確定性與“設施開發或運轉或封閉各步驟的任何未解決議題均應在安全論證中確認”(SSR-5第4.9段)。對於未解決的議題若對安全有顯著影響者，必要時應進一步研究說明。

- 5.4.安全論證的典型主要讀者為管制機關。管制機關將以安全論證作為管制決策的基準。然而，安全論證與支持的安全評估亦可能被其他人所使用與關注，因此在論述時亦應考慮其他可能的讀者。安全論證由設施經營者提出，應能讓其他利害關係人獲得，例如國家與地方政府，以便於促進相關的決策過程，俾使設施經營者能進行下一步驟的設施開發、運轉、或封閉。
- 5.5.如SSR-5所述，安全論證與支持的安全評估可提供依據給設施經營者對所面臨的事項進行決策，包含研究、場址特性調查、最適化設施設計、資源分配、與廢棄物接收準則發展。安全評估應能系統性的評估輻射危害，且應提供處置設施在一系列預期與較不可能情節下的行為瞭解，包含放射性廢棄物在仍具危害性時間尺度下的正常狀況與破壞性事件。安全評估應包含結構性的不確定性分析。這些不確定性分析應有助於瞭解處置設施的行為與功能，並進而有助於在安全論證中做為陳述安全辯證的基準。應執行敏感度研究以判定與安全有關的過程。
- 5.6.近地表處置設施開發早期應準備初步的安全論證以指引所有未來的作業。在發展的早期階段，設施經營者應規劃即將到來的過程(例如管制機關與利害關係人的互動)，且安全論證應專注於所欲達成的目的(例如擬處置的廢棄物類型)與可能使用的安全策略與處置概念，以及判定所需要的進一步研究與發展。在此早期階段，運轉安全論證可能是相當的一般性，直到有更進一步的設施設計發展。安全論證應漸進的發展並隨計畫的進行逐步鋪陳，以提供做為處置設施開發與管理基準，以及提供做為處置設施開發、運轉、與封閉關鍵步驟之管制審查與執照申請。隨著時間的進展安全論證應進行改版與漸進的強化，應依據更詳細的設施設計更專注於處置系統的瞭解與評估。一旦設施開始運

轉，安全論證應納入新的場址特性調查、廢棄物接收與預期的廢棄物存量、完工的設施設計等資訊，定期更新。安全論證與支持的安全評估亦應反映新增的廢棄物與處置設施與其周圍環境如何演變之知識(例如科學與技術知識)。

5.7. 管制機關在進行處置設施開發、運轉、與封閉的下一步決策前，可能需要更新或改版安全論證。安全論證的嚴謹性與技術詳細程度通常可反映危害的程度、計畫進展的階段、當前的決策、以及特定的國家要求。在某些國家，管制機關僅在處置設施的開發、運轉、與封閉的後期階段才正式涉及計畫，例如在接受設施建造申請時。在這些情況下，應有允許管制機關與設施經營者能在早於正式提出執照申請前，交換資訊與觀點的安排。

5.8. 安全論證與支持的安全評估必須足夠全面與詳細，以便支持考慮中的決策步驟。一旦完整發展，安全論證應包含：

- 處置系統的系統性描述；
- 判定可能影響設施功能與演變的各種特徵、事件、與作用；
- 判定場址演變的情節；
- 處置系統相關部分的概念、數值、與電腦模式(例如近場內的廢棄物、工程障壁、母岩、以及設施的地表環境)。

安全論證亦應將所用資料作成書面紀錄，且應提供相關情節與曝露途徑對潛在接受者(例如曝露與潛在曝露的個人與群體，以及在某些情況下，人類以外的物種)所造成劑量及/或風險的結果。

5.9. 在近地表處置設施開發的早期階段，安全論證是相當一般性的，且由於受限於特定場址資料與特定廢棄物資料未能取得，安全評估計算可能僅是初步的與簡化的(利用範圍設定進行計算)。在此早期階段評估，

得使用針對該主題來自廣泛文獻的資料與模式。若處置設施獲得管制機關核准進行建造與運轉，則藉由逐步發展的過程應持續獲取額外的資料，直至撤除主動監管為止。

5.10. 依據安全評估的目的，評估結果應與國家規定的相關劑量限值與風險準則相比較。不同的法規準則可能適於不同的情節與曝露。例如，人類入侵潛在後果之評估結果可與SSR-5的準則相比較。然而如前面所述，從前一步驟進入下一步驟的決策不應僅依賴此數值的比較或僅符合此定量準則就做出決定；而是應考慮包含定性準則在內的一系列因素，進行更廣泛的判斷。

5.11. 任何特別決策步驟的安全論證之詳細程度，必須協商決定並經管制機關核准。在任何情況下，設施經營者應發展安全論證達到適當的詳細程度，以便能清楚顯示處置設施的安全性。管制機關應要求安全論證能提供充足資訊，以足夠進行具公信力與嚴格的審查。未促成此目的，設施經營者應致力以清楚的、全面的、可追溯的、與透明的方式呈現安全論證與支持的安全評估。在某些情況下，管制機關得藉由重複某些計算或自行進行評估，以瞭解處置的行為、釐清不確定性、或評估替代的選項，進而驗證設施經營者提出的評估結果。

安全論證與安全評估的範疇

SSR-5 要求13：安全論證與安全評估的範疇

“處置設施的安全論證應說明場址所有安全相關的事項，包含設施設計、管理控制措施、與法規管制。安全論證與支持的安全評估應證明所能提供保護公眾與環境的程度，且應向管制機關與其他利害關係人提供保證能符合安全的要求。”

5.12. 安全論證與安全評估的主要組件，如IAEA安全標準叢書SSG-23。

- 5.13.證明保護公眾與環境程度的要求，表示於安全辯證的整合。連同分享給管制機關與其他利害關係團體的安全論證，亦代表提供保證給管制機關與其他利害關係團體的要求。
- 5.14.運轉與封閉後時期的安全論證與支持的安全評估應說明所有的管制要求與準則，且應包含與使用各種辯證與作法進行評估。安全論證亦須說明將用於確保符合相關法規管制的管理控制措施。
- 5.15.對於運轉與封閉後的安全均須仰賴主動與被動措施，但在封閉後的安全論證應特別注重達成安全的被動措施。而封閉後監管仍為提供安全保證的重要因素。另外，對整個運轉時期，以及可能情況下的部份封閉後時期(取決於設施與國家法規)，設施應進行監視與監測。
- 5.16.近地表處置設施運轉的安全論證，應考慮所有在場址內或附近造成輻射曝露的運轉相關事項。包含廢棄物的接收、特性調查、處理、固化、包裝、與置放，及設施運轉與廢棄物置放期間同時進行的建造工作。此外任何回填作業期間與設施封阻與封閉期間的安全論證亦應參照辦理。運轉安全論證亦應考慮任何規劃的更新工作或設備置換。必要時亦可能需證明廢棄物在設施運轉時仍可被安全的取出(例如置放後發現有不合格廢棄物包件的情況)。此種再取出作業應能安全的進行且不會顯著危害設施的長期安全。
- 5.17.如SSR-5中所述，須考慮處置設施壽命期間正常運轉與預期運轉事件可能造成職業曝露與公眾曝露的狀況。相同的，亦須考慮具有顯著放射性後果的潛在事故，其發生的可能性與可能的輻射劑量規模。在某些國家，國家法規要求安全論證須考慮與適當的評估化學毒性相關議題。
- 5.18.封閉後安全論證應釐清處置設施與其周圍環境一系列隨時間演變的

可能情節，在該時間內廢棄物仍存在潛在的顯著危害，或者該時間為某些國家法規所規定應進行評估的時間尺度。應考慮預期的情節(正常演變情節)與不太可能的情節。情節應包含可能影響處置系統功能(例如廢棄物與障壁劣化)的作用，以及可能影響設施圍阻與隔離功能的事件(亦即地震、暴雨、洪水、山崩、與侵蝕)。人類活動的潛在效應(亦即人類無意入侵事件)與其後果亦應考慮。此種侵入性的人類活動更有可能影響近地表處置設施相對於地質處置設施，且可能對近地表處置設施所處置的廢棄物類型與作業安全造成顯著的限制。應依據未來技術跟現代一樣的假設，考慮一系列的典型情節來進行人類入侵事件的後果評估。此種‘未來狀態’的假設立論，在於不可能去預測未來人類行為的細節，且此作法可避免對可能發生的侵入活動做無謂的推測。亦應說明額外的‘萬一發生(what if)’情節，以允許對例如不同的廢棄物存量或替代的設計選項與處置方法進行評估。

5.19.應採用情節發展的正規作法。情節得使用數種補充方法進行判定、建構、與說明。這些方法可以開始於發展與考慮特徵、事件、與作用的列表，再根據列表將相關的事件與作用結合產生情節(由下而上的作法)，或可以從考慮處置系統關鍵組件(例如設施覆蓋層)的安全功能開始，隨後再判定可能影響或削弱處置系統組件執行安全功能的能力之作用與事件(由上而下的作法)。

5.20.安全論證應說明情節，且應在支持的安全評估中依據一組適宜的情節來評估處置設施的功能。可將相似的情節結合成一組以減少安全評估必要的計算次數。雖然安全評估中應評估足夠大範圍的情節，以便於掌握處置系統未來演變所伴隨的不確定性。然而實務上，有可能毋須考慮大量的情節，惟須將情節考慮為‘一套’可能潛在影響處置設施

的不同情況。

5.21. 封閉後安全論證應包含定量安全評估，即在特定的廢棄物存量、設計、選址、與管理下，考慮與設施安全相關的不確定性與定性辯證。亦應包含多路線的推理，例如評估替代的概念模式、考慮替代的障壁功能假設、替代的參數值、研究適當的天然類比、與簡化的法規符合性計算，以及其他事項等。安全論證的主要部份應顯示已考慮所有安全相關的不確定性與重要的安全功能，且亦將會適當的加以管理。

5.22. 應藉一系列的情節、概念模式、與參數對不確定性進行結構化的分析，以獲得對處置系統與其組件功能的瞭解。亦應執行敏感度分析以判定對處置設施功能有最大影響的作用與參數。敏感度分析與不確定性分析亦應用於顯示僅做微小改變時，並無參數或作用會顯著影響安全性。

5.23. 應考慮一系列的相關曝露途徑(例如由廢棄物與所考慮的潛在場址，通過空氣及/或地表水與地下水傳輸)與一系列的曝露個人或群體，依據管制要求進行潛在劑量及/或風險計算。在極長的時間尺度下，當對於人類行為與生物圈特性之假設有相當的不確定性時，應使用補充辯證以顯示安全，例如考慮天然核種的濃度與流通量。

5.24. 應依據管制機關的相關要求提出安全評估計算的結果。安全論證應說明相關的管制要求與解釋為遵守要求而採取的作法。在某些國家，有必要將不同的情節結合為安全評估結果並評估風險。將人類入侵情節跟其他‘未干擾’功能情節的安全評估計算結果分開表達與考慮是可被接受的。

5.25. 安全評估結果與管制要求劑量或風險準則的比較，其評估的時間尺度可能需數千年甚至更久，例如為了計算尖峰劑量時。然而，一般認為

對於太長的時間尺度(亦即超過數萬年)由於考慮未來狀況的不確定性，因此使用簡化的計算與比較可能就已足夠。

5.26.處置設施安全論證的改版應配合開發、運轉、與封閉進行，且應包含廢棄物管理、設施開發、設施封閉與監管的計畫。例如，封閉計畫應有封閉作業與時程安排的說明與可行性的證明。封閉計畫應依據處置設施場址特性調查、設計最適化、建造與運轉所取得的資訊進行更新與改善。初步封閉計畫應考慮廢棄物開始置放的核准，雖然這些計畫可能隨著運轉的進行而改變。

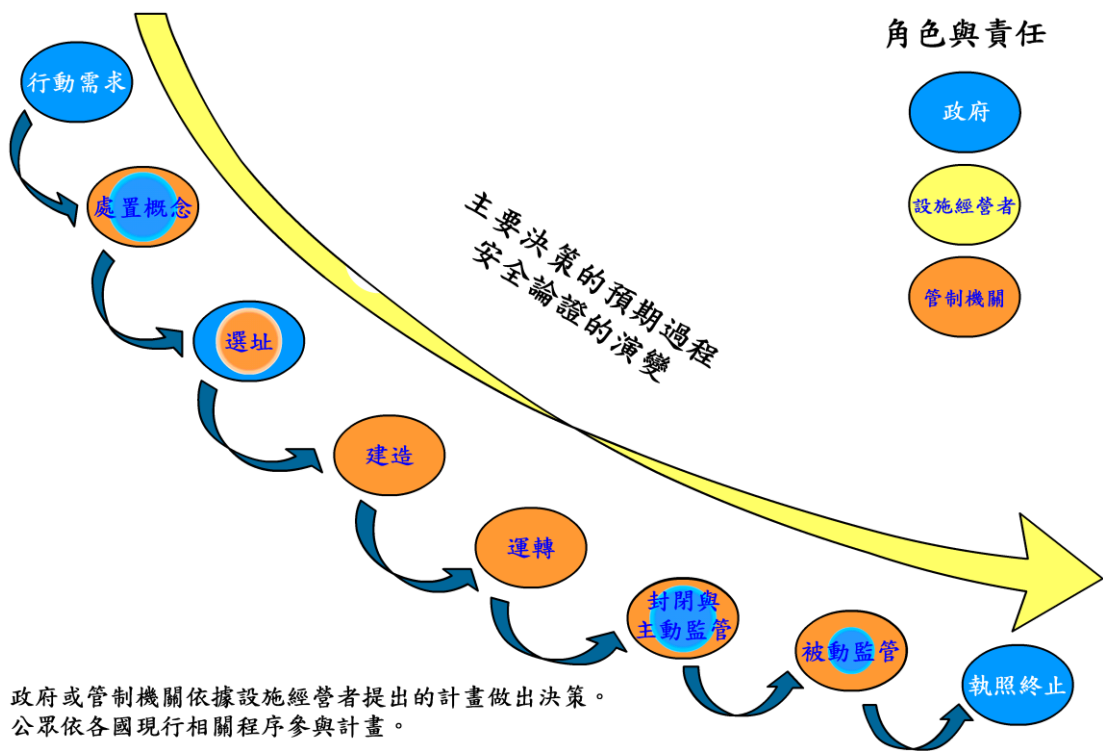
5.27.近地表處置設施進行發展與運轉時，安全論證與支持的安全評估應更為詳盡與全面性。安全論證與支持的安全評估其漸進發展過程如表4-5所示。

表 4-5：近地表處置設施各階段安全論證與支持其論述的安全評估特徵

| 設施階段 | 安全論證特性 | 安全評估基準 |
|---------------|--|---|
| 初期場址調查與初步設施設計 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 運轉期安全論證綱要 ▪ 依據廢棄物存量進行初步封閉後安全論證 ▪ 一個或多個初步處置概念 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 初始場址調查獲得的資料 ▪ 初步設計研究與封閉計畫 ▪ 概要的廢棄物存量與物料行為資料 ▪ 類似系統、場址、與作用的觀察資料 |
| 場址特性調查 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 運轉與封閉後的期中安全論證，詳細程度足以做為是否進行建造的決策基準 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 地表與地下的詳細場址調查資料 ▪ 設施設計與建造的詳細計畫 ▪ 特定場址的廢棄物存量與物料行為資料 ▪ 運轉計畫 ▪ 封閉計畫 |
| 建造 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 運轉與封閉後的期末安全論證，詳細程度足 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 準備建造期間獲得的場址資料 ▪ 廢棄物存量、廢棄物置放測試、設 |

| | | |
|------|--|---|
| | 以做為確定運轉的限制與條件以及開始運轉準的的決策基準 | 計驗證 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 運轉期間將測試的封閉計畫 ▪ 詳細運轉計畫 |
| 運轉 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 定期更新安全論證以提供做為廢棄物接收與進行中設施管理的基準(此更新得依國家法規要求辦理或者更為常態的由設施管理推動) ▪ 使用來自調試與運轉，以及調整設施、廢棄物存量、與作業程序的經驗與資料更新運轉安全論證 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 已接收廢棄物的資料 ▪ 未來廢棄物存量的資料 ▪ 已竣工設施的資料 ▪ 場址特性與監測的資料 ▪ 安全評估中對特徵、事件、作用的研發的瞭解 ▪ 場址開發、封閉、與監管的改進計畫 |
| 封閉後 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 額外的封閉後安全論證以持續確保系統行為能符合預期 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 更新封閉後安全評估以反映監測資料與其他安全論證相關的科學新事證 |
| 執照終止 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 確保設施與場址能結束主動監管的規定，以做為執照終止的依據 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 更新封閉後安全評估以反映安全論證各方面所有的知識現況 |

資料來源：譯自IAEA(2014) SSG-29。



資料來源：譯自 IAEA(2014)

圖 4-2：近地表處置設施開發過程的典型步驟

(4) OECD/NEA 6405

嚴格來說，經濟合作發展組織-核能總署(Organization for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency, OECD/NEA)並無發布所謂的規範，該組織的作法多以研究小組執行專案計畫的方式提出技術性報告，供其會員國參考。近年來發布而跟本研究主題有關的重要文件為「NEA 6405：放射性廢棄物地質處置法規與導則」報告(OECD/NEA, 2010)。

NEA 6405 報告主要是針對過去數十年來，有關地質處置法規領域的技術發展進行探討。其與安全論證有關的主要結論如下(OECD/NEA, 2010)：

- 僅以嚴格要求的定量限值做為證明長期安全以達到保護目標的作法，日漸受到質疑，特別是在極長時間情況下。對於時間尺度的處理與可能截切時間的要求宜進一步澄清。長期安全的證明擴大到需要各種來源的證據與信心建立的辯證。除了法規嚴格規定外，較柔性的作法例如良好的選址、設計與工程、最適化議題、使用最佳可獲得的技術、推動適當的管理原理等，亦日益重要。除了保護人類外，環境保護亦可能被明確的要求。
- 功能評估(performance assessment)被放在更廣泛範疇的全面性安全論證(safety case)之下。安全論證的定義為所有辯證與證據(包含功能評估的結果)之整合。功能評估的分析結果(計算劑量/風險)可能在數百年後喪失其預測的特性，因此對於較長的時間尺度，此結果應視為隔離有效性的指標。針對處置場與其安全論證的發展，逐漸廣泛的被接受採用階段性決策的程序，亦即通常在執照終止之前個別步驟具有可逆的選項。利害關係者與一般公眾應能夠參與決策過程。
- 處置場安全與潛在輻射曝露的最適化原理跟決策過程密切連結。最適化的理念與應用於輻射防護的合理抑低原理相似，但現今將之用於更廣泛的範疇，例如要求使用先進的技術與方法，以及持續強化處置場系統的安全性。防護的最適化是前瞻性反覆精進的過程，目的在於防止或減少未來的曝露。不確定性的處理應密切檢驗。在安全論證中應顯示不確定性是如何被處理的(證明評估的健全性)。然而這個觀念在各國法規中尚未能良好定義且仍有某些基本問題。

4.2 主要核能國家

本節蒐集分析各主要核能國家放射性廢棄物處置安全論證的技術要點，提供國內參考。

(1) 加拿大

加拿大對於放射性廢棄物處置安全評估的作法，已形成管制規範「G-320：放射性廢棄物管理的長期安全性評估管制導則」(CNSC, 2006)。其技術要點摘述如下：

(A) 發展長期安全論證

(a) 安全評估

- 合理確保處置安全須由安全論證來證明。安全論證包含安全評估及根據其他額外的辨證：
 - 適當的選擇與應用評估策略。
 - 系統健全性的驗證。
 - 使用補充的安全指標。
 - 可提升信心的任何其他證據。
- 長期安全評估係根據場址與設施預期的情節演變，分析可能的核種傳輸途徑，以預測：
 - 污染物的釋出。
 - 污染物的傳輸。
 - 接受者所受到的曝露。
 - 曝露所導致的潛在效應。

(b) 評估策略的使用

- 長期安全評估可以有各種不同的評估策略，包含但不限於：

- 進行範疇界定評估(scoping assessments)，以釐清對長期安全有重大影響的因子。
- 進行邊界評估(bounding assessments)，以顯示潛在影響的限制範圍。
- 進行廢棄物管理系統功能的真實性最佳估計之計算，或者故意進行潛在影響的保守最惡劣情況之計算。
- 根據評估目的，以及反映資料的不確定性，進行定率式(deterministic)或機率式(probabilistic)計算。

(c)健全性與天然類比

- 設施經營者應能證明處置系統的健全性(robustness)，亦即在極端狀況、破壞事件、不預期的功能失效、乃至於人類無意侵入情況下，仍能維持整體安全性與可靠性。
- 天然類比是證明系統健全性的方法之一，藉由對長期自然現象的瞭解，有助於提升公眾對安全的信心。

(d)使用補充的安全指標

- 除了法規明定的劑量限值外，亦可使用補充的安全指標以提升信心。例如：
 - 廢棄物罐腐蝕速率。
 - 廢棄物溶解速率。
 - 地下水定年與移動時間。
 - 污染物流通量。
 - 污染物濃度。
 - 廢棄物毒性的改變。(註：加拿大有考慮非放射性有害物質)

(B)定義接受準則

- 設施經營者應依據法規要求，訂定保護人類與環境的準則。包含污染物的人體劑量與環境中的濃度。

(C)實施長期評估

- 長期安全評估應具備下列要項：
 - 選擇適當的評估方法。
 - 評估背景。
 - 系統描述。
 - 時間尺度。
 - 評估情節。
 - 發展評估模式。

(a)選擇適當的評估方法

- 沒有單一的方法可以適用於所有的長期安全評估。設施經營者應予管制機關溝通擬採行的評估方法，並將此決策依據做成紀錄。

(b)評估背景

- 進行評估前應釐清：
 - 為何需要進行本次評估？
 - 評估成果的目標讀者為何？
 - 本次評估是為了支持何種決策而進行？
 - 需要遵守的法規為何？
 - 需要符合的準則為何？
 - 採用哪些做法來證明安全？

(c)系統描述

- 場址特性調查：場址評估與特性調查計畫應包含：
 - 地下特性調查(地質、水文地質、地球化學、地震活動等)。

- 地表特性調查(生態、水文、地形、氣候等)。
- 監測系統。
- 目前與可預見的土地利用。
- 資料整合、分析、與納入到場址描述模式。
- 研究計畫與管理的品質保證計畫。
- 廢棄物管理系統：應至少包含下列的設計或特性：
 - 廢棄物型態(類型、存量、放射性與有害物質特性、包裝等)。
 - 工程障壁(廢棄物罐、緩衝與回填材料、襯砌、圍阻結構物、先前的周圍環境等)。
 - 地質圈天然障壁。
 - 限制接觸與曝露於廢棄物的主動與被動監管。

(d)評估的時間尺度

- 決定評估時間時應考慮下列因素：
 - 廢棄物中所含污染物的持續危害時間。
 - 運轉時期的歷時(設施達到其終止狀態前)。
 - 工程障壁的設計壽命。
 - 主動與被動監管的歷時。
 - 天然事件與人為環境改變的發生頻率(例如地震、洪水、旱災、冰河作用、氣候變遷等)。

(e)評估情節

- 安全評估中所提出的各個情節應包含下列特定的資訊：
 - 該評估所考慮的時間尺度。
 - 依賴監管做為安全特徵時的時間歷時(開始到結束)。
 - 假定的接受者與關鍵群體之判定與特性。

- 正常演變情節：應根據目前場址特徵與接受者生活型態做合理的外插。應包含場址與廢棄物處置系統隨時間劣化的預期演變。應根據特定場址條件與評估的時間尺度，可能需要考慮極端情況例如氣候變遷或冰河作用。
- 破壞性事件情節，包含人類侵入：通常假定發生不太可能的事件，如地震活動、火山活動、與人類侵入，而導致穿透障壁與圍阻功能的失效。應適當選擇場址位置與深度，來減輕破壞性事件的影響。
- 監管：監管包含需要進入場址執行作業的主動措施，例如監測、監視、與維護；以及不需要進入場址的被動措施，例如土地利用限制、永久性地標等。執照申請時應說明監管在廢棄物管理系統中的安全角色，以及如何被納入到安全評估中考慮。
- 關鍵群體與環境接受者的判定：發展評估的情節時亦應包含判定曝露於放射性的接受者。可參考 ICRP 的作法決定關鍵群體與受影響的個人。

(f)發展與使用評估模式

- 發展評估模式：評估模式應與場址描述、廢棄物性質、以及接受者特性一致，且與可獲得資料的品質與數量相符。應使用系統性的作法，確保用於發展評估模式的整組資料之正確性與代表性。若沒有足夠的資料支持，則應無須發展複雜的模式。
- 對於計算工具的信心：不論使用商業化的軟體或發展特定目的的計算軟體，均應符合適當的品質保證標準。計算軟體應進行校驗(calibration)、驗證(verification)、與確認(validation)。
- 對於評估模式的信心：提升評估模式信心的作法，包含但不限於：

- 使用完全不同的評估策略與計算工具進行獨立預測。
- 驗證長期評估模式結果與補充範疇界定與邊界評估之間的一致性。
- 應用評估模式於類似的廢棄物管理系統。
- 針對比對基準(benchmark)問題進行模式比較研究。
- 藉由發表於公開文獻進行科學同儕審查。
- 廣泛的被科學與技術群體所使用。

(D)結果的解釋

- 評估結果與接受準則的比較：可提供對未來安全的合理保證，應包含討論模式結果的保守性。且亦應將評估結果中的不確定性納入考慮。
- 分析不確定性：應區別不確定性的來源，包含：
 - 輸入資料。
 - 情節假設。
 - 評估模式的數學計算。
 - 概念模式。

(2)芬蘭

本研究摘述芬蘭「YVL D.5：核廢棄物處置導則」對於安全評估技術要項的規定如下(STUK, 2013)：

- (A)長期安全性要求：長期輻射安全性，以及處置方法與場址的適宜性，應以安全論證加以證明，且至少應包含：
- (a)說明處置系統及定義障壁與安全功能。
 - (b)說明安全功能目標的規格。
 - (c)定義情節(情節分析)。

(d)以概念與數學模式說明系統功能與場址特性，並確認必要的模式參數。

(e)分析放射性物質釋出量，以及進入生物圈後造成的輻射劑量。

(f)當可能時估計低機率事件對長期安全的影響。

(g)進行不確定性與敏感度分析，以及補充說明定性的安全考量。

(h)比較分析的結果是否符合安全要求。

(B)安全分析報告：至少應提供：

(a)說明安全原理、設計基準與其他適用的準則。

(b)根據最新的調查詳細說明處置場址與母岩特性。

(c)說明將處置的廢棄物，其處理與包裝方法、處置包件特性、與置放在周圍的材料特性。

(d)澄清廢棄物包件接收準則，並述明其理由。

(e)說明處置設施(開挖、工程結構、與系統)，以及其推動過程(建造、運轉、與封閉)。

(f)說明處置計畫活動。

(g)說明處置設施人力與資格。

(h)說明處置設施研究、監測、與管控計畫。

(i)摘述運轉安全分析結果，包含工作人員輻射曝露，以及正常、意外、與事故的潛在輻射影響。

(j)摘述長期安全之安全論證結果。

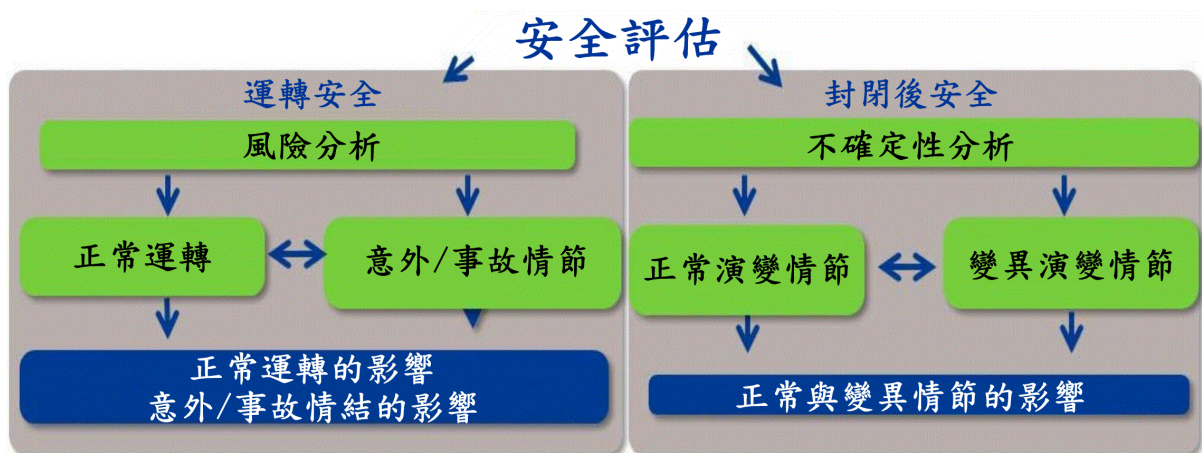
(C)佐證報告：安全分析報告應以各種主題的技術報告補充說明，以釐清特定的實驗研究、設計分析、與處置設施規劃。

(3)法國

根據近期的文獻資訊(Boissier & Voinis, 2014)，法國高放處置計畫由專責機構 Andra 負責，預定 2015 年提出建造申請；2025 年開始啟用。為達成此目標，Andra 成立 Cigeo 計畫推動相關事宜。2013 年已展開細部設計，安全評估亦將以此為基準。法國高放處置安全評估的架構如圖 4-3 所示，分為運轉安全與封閉後安全兩部份。運轉期間的安全評估將採取核能設施對於正常、意外、與事故情節的傳統風險分析方法。對於封閉後的安全評估 Andra 將發展定性安全分析方法(Qualitative Safety Analysis, QSA)，定義正常與變異情節，並強化整合前期與最新的規範與實務經驗。

封閉後的安全評估首先將採取正式程序，定義哪些資訊需導入於安全論證，包括：知識掌握現況為何?所需考慮的廢棄物存量為何?參考設計為何?此初步評估工作將與設施設計同步進行，以達到設計最適化的目的，且在發展安全論證的過程中進行正式的審查。

基於安全評估的需要 Andra 必須根據多年來地下現地實驗的經驗與成果，建立處置系統演變的知識與釐清不確定性。最後，Andra 必須根據可令人信服的辨證來評估技術可行性與符合法規要求的能力。執照申請前須進行技術測試與驗證計畫以證明評估的結果。必要時，在設施啟用前應進行長期的全尺寸功能測試。整體安全論證將做成完備的文件紀錄，以利審查與執照申請。



資料來源：譯自(Boissier & Voinis, 2014)

圖 4-3：法國高放處置安全評估的架構

(4)德國

德國「發熱放射性廢棄物處置最終處置安全要求」第 7 章提出安全論證的相關求(BMUB, 2010)。重點歸納如下：

- (A)處置場各運作階段應進行全面性的安全分析。特別是進行置放作業與除役前，需針對特定場址進行設計基準事故安全分析，以證明能保護工作人員、一般公眾、與環境，同時應包含對處置系統健全性進行具有代表性的分析。此外，應儘可能計算或評估參考案例情況下，對安全相關系統、子系統、或組件造成破壞或偏差的可能影響機率，及其對相應安全功能的影響。對於運轉安全的分析必須使用機率式方法。
- (B)在做出重大決策前，必須進行涵蓋 1 百萬年的全面性特定場址安全分析，以提供長期安全的證據。此應整合驗證處置場長期安全性的所有資訊、分析、與辯證，且應權衡為何此評估能被信賴的理由。特別是，此評估與文件紀錄應包含下列要項：

- 基本的最終處置場概念。

- 具有品質保證的場址探查與研發資料與資訊。
- 具有品質保證的執行工程障壁的要求。
- 判定、特性調查、與模擬安全相關的作用，並認定模式的資格，以建立信心。
- 全面性的判定與分析安全相關的情節及其發生的機率。
- 執行具代表性與系統性的策略，以判定、評估、與處理不確定性。

長期安全評估至少須根據下列的研究發現：

- 母岩長期隔離完整性的論述。根據長期地球科學的研發進展與證據，證明在 1 百萬年內的隔離完整性。申請者應根據廢棄物與工程障壁特性，明確定義母岩適於隔離的空間與時間特性。
- 長期輻射安全的論述。應提供證據證明 1 百萬年內符合安全準則，包含放射性物質釋出到地表，經由飲所造成的人體劑量。
- 證明系統技術組成的長期健全性。應有理論依據，預測並說明處置系統技術組成的長期健全性。具長期安全重要性的工程障壁，若無可適用的既有規範，則其製造、建造、及功能性應進行測試。測試應有符合現行技術水準之品質保證。
- 排除臨界的可能。應排除發生自發性核子鏈反應的可能性。

(C)處置場長期行為的數值分析，應包含：

- 母岩隔離的整體性。
- 放射性後果。
- 天然核種的移動性。
- 處置容器與回填材料的性質。
- 封阻結構物的性質。

定率計算則應根據最有可能的真實模擬(例如以中數值做為輸入參數)。定率計算的目標在於：

- 證明預期的系統行為。
- 當需要時，用來推導處置系統組件隨時間演變的功能要求。
- 最適化處置系統。

此外，應進行不確定性與敏感度分析，以澄清可能的結果變動範圍與估計不確定性的影響。模式的不確定性亦應納入考慮。數值方法的求解與安全分析推導的可靠性應有適當程度的保證，以抑低不確定性。

(D)置放作業、除役、以及封閉後的有限時間內，應執行監測與證據保存計畫，以驗證安全論證與安全評估的輸入資料、假設、以及論述。若觀測資料與安全評估有明顯偏差，必要時應採取補救措施，避免危害重要的安全功能。

(E)處置設施經營者應根據廢棄物特性的安全分析，推導處置容器的安全相關特性，並將之納入於接收條件。

(F)處置設施經營者應檢驗廢棄物包件特性資料，並進行必要的輻射防護操作。

(G)場址調查期間，申請應依安全論證的需要，取得適當詳細程度的主要安全相關場址資料，並向管制機關證明資料的正確性。

(H)應調查處置系統內可能天然移動而與安全有關的放射性、地下水、或土壤相關的物質。長期安全論證除評估從廢棄物的核種釋出外，亦應評估從緩衝材料與岩石的核種釋出。

(5)日本

日本核燃料循環開發機構(Japan Nuclear Cycle Development Institute, JNC)曾於 2000 年發表所謂的 H12 報告英文版，即「日本高放射性廢棄

物處置科學與技術基準之建立專案計畫」第二次進度報告(JNC, 2000)。該報告主要係依循原子力安全委員會(Atomic Energy Commission of Japan, JAEC)在 1997 年發布的「日本高放射性廢棄物地質處置研究與發展導則」(JAEC, 1997)所撰擬。根據該導則所提出的處置場安全評估準則如下：

此準則用於建立地質處置系統安全評估的基準，須考慮包含特徵、事件、與作用(Features、Events and Processes, FEPs)(例如人類入侵)的相關評估情節、地質資料庫、評估模式與資料庫、處置設施管理政策(例如監測程序等)、評估時間尺度、與安全指標。並應包含：

(A)情節

(a)所有相關 FEPs 的綜合列表應包含於安全評估。

(b)所有情節的描述並應包含假設及其依據。

(B)地下水情節的安全評估

(a)評估應定義地下水情節的參考情況。

a)模擬

- 根據前一階段報告所述的合理解析技術評估模式應進一步發展。模式主要將關連到近場功能。

b)資料庫

應編輯下列資料庫以供前述模式使用。

- 深層地質環境近場特性的資料、玻璃固化廢棄物、外包裝與緩衝材料。

c)功能評估

應使用前述模式與資料庫進行下列系統功能評估研究。

- 工程與天然障壁系統的功能評估。

- 完整的品質保證。
- 解析結果的解釋，特別是經由不確定性分析與敏感度分析所做模式簡化的影響。
- 對天然類比的研究並評估其佐證功能評估結果的適用性。

(b) 評估地下水情節以外的替代案例

應進行替代案例分析，將自然現象與未來人類活動造成的地質環境長期變遷納入考慮，同時須考慮工程障壁及/或處置系統製造缺陷的案例。

(C) 隔離失效情節

(a) 應獲取自然現象所導致隔離失效情節的資訊，以證明這些情節能藉由選擇適當的場址而排除。

(b) 未來人類入侵所導致隔離失效的情節，應考慮處置場地下設施附近在未來某些時間有鑽探、採礦、與建造活動的可能性。

(D) 綜合安全評估方法

地質處置系統進行綜合安全評估的方法應考量上述因素，以及其他國家所採用的安全評估作法。

(6) 瑞典

瑞典對於安全分析的要求，由瑞典輻射安全局(Swedish Radiation Safety Authority, SSM)於 2008 年發布「SSMFS 2008:21 核物料與核廢棄物處置安全規範與一般建議」管制規則中(SSM, 2008)。重要內容歸納如後。

(A) 安全分析

(a) 安全分析應包含可能導致封閉後放射性物質散佈的特徵、事件、與作用，且此分析應於處置場建造前、運轉前、與封閉前實施。

(b)安全分析應包含障壁功能所需要的時間，至少一萬年。

(B)安全分析報告：處置場安全分析報告應包含下列資訊：

(a)說明分析方法：

- 如何使用一種或多種方法描述處置場障壁的被動系統，以及障壁功能隨時間的演變。使用的方法應有助於明確的瞭解特徵、事件、與作用對障壁功能的影響。
- 如何使用一種或多種方法判定與描述一系列事件與狀況組成的情節，以及這些情節對處置場未來演變的影響。情節應包含考慮處置場及其環境最有可能變化的主要情節。
- 儘可能對用於描述與量化處置場功能的模式、參數值與假設，說明其適用性。
- 說明安全分析中如何處理障壁系統的功能、情節、計算模式與參數、及障壁性質變化的不確定性。包含說明顯示不確定性如何影響障壁功能演變以及人類健康與環境影響之敏感度分析。

(b)說明封閉後狀況的分析結果：

- 安全分析應針對選定的情節說明生物圈、地質圈、與處置場的演變，以及環境的影響。並應考慮主要情節、工程障壁缺陷、並判定不確定性。

(C)安全分析補充建議

處置場封閉後的安全性應進行定量分析。基本上係評估處置場在所選定的情節下，放射性物質可能隨時間變化的散佈情形。安全分析的目的在于顯示可能情節所造成的風險，符合保護人類健康與環境的規定。安全分析亦應能提供對不同時期處置場功能的基本瞭解，同時用來判定處置場不同組成所需要的設計功能。

(a)情節：安全分析中的情節包含說明內部與外部情況的結合如何影響處置場功能。此兩類的情況為：

- 外部情況：指發生於處置場障壁外的特徵、事件、與作用。包含氣候變遷及其後果對處置場環境的影響。例如永凍土層、冰河作用、地表沉陷、陸地抬升、以及人類活動的影響。
- 內部情況：指發生於處置場內的特徵、事件、與作用。例如障壁缺陷、核廢棄物、工程障壁等性質，以及處置場與周圍地層所發生的交互作用。

根據分析不同類型情節在不同時期的發生機率，對處置場功能有顯著影響的情節可以分為三個不同類別：

- 主要情節。
- 較不可能的情節。
- 其他情節或稱殘餘情節。

a)主要情節：應根據外部情況可能的演變，以及真實或合理保守假設的內部情況擬定。應包含未來有顯著發生機率的外部事件，或在安全分析的計算時期內無法顯示有低發生機率者。此外，應儘可能根據內部情況的可靠假設，包含初始製造缺陷，據以分析處置場的障壁功能。主要情節應做為分析不確定性的起點，亦即主要情節的分析應包含許多相關的計算個案。

b)較不可能的情節：此係用於評估情節的不確定性。應以一系列替代的事件與發生時期進行主要情節的變化。包含考慮未來人類活動對障壁功能造成損壞的影響。較不可能的情節的分析應包含在主要情節未加以評估的不確定性。

c)殘餘情節：應包含選擇一系列的事件與情況，進行獨立性的機率研究，以瞭解個別障壁與功能的重要性。殘餘情節亦應包含人類侵入的破壞，以及處置場未封閉與未監測的後果。

(b)不確定性：知識的不足與其他計算假定(假設、模式、資料)的不確定性，均屬本節所稱之不確定性。可以劃分如下：

- 情節不確定性：跟內部與外部情況類型、程度、與發生時間有關的不確定性。
- 系統不確定性：描述系統處置場或單一障壁特徵、事件、與作用完整性所衍生的不確定性。
- 模式不確定性：計算模式本身的不確定性。
- 參數不確定性：計算時所輸入參數值的不確定性。
- 參數空間變異性：母岩特性參數在空間分布上的不確定性。

不同類型的不確定之間並無明確邊界。最重要的要求是應該對不確定進行系統性的處理與說明。不確定性的評估是安全分析的重要部分。換言之，在選擇計算案例、計算模式、參數值、與提出評估結果時，必須詳細討論與檢驗不確定性。假設與計算模式的選擇必須有科學根據。對於一個模式的適用性存疑時，可以其他模式來比較不確定性的影響。

(c)機率性：安全分析應同時使用定率與機率分析方法。二者可互補，而儘可能的提供可能風險的樣貌。情節與計算案例實際可能發生的機率應儘可能的估計，以評估風險。此估計並不可能正確，惟可藉多種方法，例如不同的專家，加以推估。

(d)設計基準案例：應根據特別重要的情節建立幾個設計基準案例。結合其他例如製造方法的資訊，這些案例可用來驗證設計基準，例如

對於障壁性質的要求。特別是處置用過核子燃料時，可藉由配置分析來避免發生臨界現象。

(e)其他建議

- 模式與參數的假設應加以確認，例如引述科學文獻、專案調查、專題研究、不同尺度的室內與現地試驗、以及天然類比的結果等。
- 科學背景資訊，例如專家評估，應做成可追溯的文件，並指向科學文獻或其他佐證資料。

(7)瑞士

瑞士「ENSI-G03/e 深層地質處置場特定設計原理與安全論證要求導則」(ENSI, 2009)對於封閉後安全論證的要求說明於該導則第 7 章。重要內容歸納如後。

(A)安全論證

安全論證是地質處置場封閉後長期安全性的整體評估。其依據是調查處置場長期演變與輻射影響所做的安全評估結果。安全論證也包含對安全評估所用方法與資料的評估。必要時，亦可包含對基本假設與評估結果提出進一步的支持辨證。當可能時，安全評估的論述亦應提出對天然系統觀察的佐證(即天然類比)。

安全論證應與現行科技水準一致。必須考慮運轉階段與監測計畫所取得有關處置場及其環境之可獲得的科學與技術資料。科學與技術資料應足以評估障壁系統的遲滯能力及其限制核種從處置場釋出的過程與參數。

安全論證必須撰寫為安全報告。此報告亦需提出並量化有關安全的不確定性。此應包含參數、情節、與模式的不確定性。安全報告應考慮長期安全評估的新資訊並定期更新。

(B)安全評估

安全評估係針對處置場是否符合安全要求所進行的系統性定量評估。安全評估應至少說明下列事項：

- 地質處置場的詳細說明(廢棄物存量、障壁系統、地質情況)。
- 處置廢棄物其放射毒性隨時間演變的說明。
- 工程障壁與天然障壁功能健全性的說明。應使用數學模式評估障壁系統的遲滯能力。
- 預期長期地質演變的說明。
- 預期處置場材料演變的說明，包含放射性廢棄物以工程障壁與天然障壁。此說明應考慮不同材料間可能的交互影響。
- 進行用於評估處置場演變的情節分析與判定計算案例。使用特定的變因評估未來演變的可能放射性影響。
- 利用模式計算決定放射性物質釋出到生物圈的可能變動範圍，以及所有情節的最大劑量。
- 證明計算模式在所考慮情況下的適用性。應解釋模式簡化過程與天然實況的比較差異。
- 進行敏感度分析以顯示參數值的變動範圍對計算結果的影響。
- 分析資料、過程、與模式中存在的 uncertainty，並導致核種釋出與劑量計算結果的範圍。

處置場推動過程中，應定期更新安全評估所使用的資料群組，此資料群組應足以評估不同執照申請階段的長期安全性。

(a) 決定個人劑量

應計算地質處置場中，核種穿過障壁系統釋出並遷移到人類環境的影響。潛在最受到影響群體的平均個人，其輻射曝露應符合輻射防護安全準則。

(b) 評估的時間尺度

應保護人類與環境永久免於放射性廢棄物游離輻射的危害。處置場潛在放射性影響的評估應考慮無可避免會隨時間增加的不確定性。隨著時間的延長對於工程障壁、母岩、周圍地層、生物圈、與人類生活習性有不同程度的可預測性。

決定安全論證所需要時間尺度，應考慮放射性廢棄物隨時間演變的危害潛能以及長期地質環境演變的可預測性。安全評估的工作之一應進行劑量與風險計算，直到達到處置場最大放射性影響的時間。經驗顯示，安全論證達 1 百萬年應可符合防護準則。對於較長時期的評估，處置場可能造成的放射性影響變動範圍應考慮固有的不確定性。惟有時候這些影響可能不會大於天然的輻射曝露。對於遙遠未來所定義群體的輻射影響計算，因為不確定性高，因此認知上不做為預測，而是做為潛在核種釋出到生物圈的指標。必須考慮地質作用使得地下處置場逐漸受到地面影響的情節。

(c) 無人類聚落時的釋出限值

即使在無人類聚落位於受處置場潛在放射性影響的地表時，仍應遵守相關輻射防護準則，不得超過劑量限值。此情況下，得以參考生物圈假定存在人類。

(d) 有關氣候變遷與人類生活習性的假設

為了計算遙遠未來的人體劑量，得根據當今人類的生活習性作為未來潛在受影響群體的假定。特別是：

- 應定義氣候演變與配套生物圈模式的可能變因，並分析其對處置場長期安全的影響。
- 應根據當今的認知評估游離輻射對人類的效應。
- 受人類活動影響而與處置安全相關的情節，可根據當今人類社會的情況加以推演。

(e)無須考慮的發展

安全評估無須考慮下列事件情節：

- 人類蓄意侵入處置場。
- 蓄意破壞處置場。
- 極少發生的事件，例如大型隕石撞擊。

(f)不確定性的處理

資料、過程、與模式以及處置場未來演變的不確定性是無可避免的。應藉由適當的研究與資料蒐集儘可能的減少不確定性。由於不確定性的存在，安全評估應估算最大放射性後果的變動範圍或做保守的假設。不確定性對計算結果的影響，應在提出長期安全評估結果時，系統性的說明。

(8)英國

英國「固體放射性廢棄物陸地地質處置設施導則」(SEPA & NIEA, 2009)對於安全論證的要求說明於該導則第 7 章。重要內容歸納如後。

(A)安全論證的基本要求

- (a)安全論證應能證明對於處置設施所處地質環境的演變有明確之瞭解。安全論證應能證明符合輻射防護以及對放射性與技術性的相關要求。安全論證應能顯示處置系統不同組成對符合要求的貢獻。
 - (b)安全論證應包含由詳細辨證所支持的安全策略以證明其安全性。此安全策略應提出上位階證明處置系統安全性的基本作法說明。此應包含重要安全辯證以及支持證據的論述。安全策略應解釋例如如何選定場址、被動安全的設計、多重障壁個別組成的安全貢獻等。
 - (c)安全論證應以明確的連結架構證明安全策略有詳細的辨證支持，而且這些辯證又有證據、分析、與評估等支持。應建立安全論證的內部一致性並予以維持。
 - (d)安全論證應解釋對不確定性的考慮與處理，以證明對長期安全論證有足夠的信心。亦應證明安全論證如何消除與減少潛在的偏差與其影響。
 - (e)安全論證中重要的論點與假設應有證據支持，並以適當詳細與健全的內容佐證。
- (B)安全論證的範疇
- (a)安全論證應說明所有對安全的可能影響，包含場址特性、廢棄物特性、設施設計，以及處置設施建造、運轉、封閉所使用的技術。
 - (b)安全論證應根據證據的變動性使用各種理由來補充安全的辨證。證據應包含定性與定量的證據，並佐以健全的數值分析。理由與假設必須明確且其證據應可追蹤。
 - (c)安全論證應包含定量的封閉前與封閉後安全評估。安全評估的時間尺度應達到出現放射性風險的峰值，或直到不確定性過大使得量化評估不再具有意義。安全評估應能顯示核種從廢棄物釋出並遷移到

環境的預期過程。封閉後安全論證除評估處置設施預期演變的後果外，亦應評估較不可能發生事件的影響。

(d)安全論證應說明處置設施經營者對於辯證的信心，包含根據：

- 定量安全評估的品質與健全性，以及不確定性的考慮。
- 其他相關辯證與證據的品質與健全性。
- 處置設施經營者的組織安全文化與安全論證活動參與人員的經驗深度與廣度。
- 處置設施經營者管理系統的特徵，例如工作規劃與管控、科學與工程實務的應用、文件紀錄的保存、品質管理、同儕審查等。

(C)安全論證的達成

安全論證應說明處置系統運轉期間與長期防護程度，並應有充分地全面性與健全性以提供對安全的信心。應避免使用複雜程度不相襯的技術認知與資料。同儕審查有助於品質的保證。處置設施經營者應注意未來標準與基本資料的可能改變，且應儘可能的使安全論證合理、健全。

(D)安全論證的管制機關考量

管制機關會將安全論證跟相關的導則比對。管制機關有可能進行定量評估，但最後的接受與否仍將以判斷為準。安全論證中提供的定量與定性評估將有助於管制機關做出判斷。判斷是否接受安全論證時，管制機關將會考慮處置計畫當前所到達的階段。

(E)安全論證的更新

(a)處置設施經營者應負責在處置設施發展的各階段提出與更新安全論證，且應在運轉期間定期更新。安全論證包含量化的安全評估，

並且在各階段應有足夠的詳細程度與完整性可提供管制機關進行決策。

(b)安全論證的更新應能反應場址調查、處置設施建造、廢棄物置放等新資訊。同時應考慮管制機關意見、國內外相關設施經驗、安全評估技術進步等進行更新。

(c)處置設施經營者應考慮文件紀錄的可追蹤性與透明度。亦應維持文件變更的審核制度。

(F)安全論證的提出與維持

(a)處置設施經營者要尋求與維持當地民眾的信心，因此安全論證的提出應能讓民眾理解。安全論證應針對不同對象提出不同類型與深度的文件，但其基本辯證應當一致。

(b)處置設施經營者應負責於處置設施發展期間，全程維持安全論證相關文件與紀錄，並提供給關切團體。

(G)安全論證的其他應用

(a)安全論證可用於導引後續計畫工作的推動。例如用於改善運轉作業與管理系統。運轉的決策與實務作業應與安全論證結果一致。

(b)安全論證可推導與提供特定設施的管制限值與條件，並建立廢棄物接收準則與作業要求。亦有助於擬定場址環境監測計畫。

(H)安全作法的多重功能

(a)處置系統由多重障壁構成，各個障壁有不同的安全功能。特定的障壁在安全論證中可能有多種功能。例如可能母岩具有實體阻隔的功能，且同時兼具能遲滯核轉遷移的化學性質。當其中一種功能失效時，並不一定會導致其他功能受到影響。

(b)安全論證應包含處置系統各部份安全功能的解釋。亦應判定各部份的預期效能與生效時期。處置設施封閉後的安全論證不可僅仰賴單一功能。

(c)處置設施經營者應探討各個安全功能在安全論證的貢獻(例如利用敏感度分析)。處置設施經營者亦應探討一個以上功能同時失效的情況。

(I)多重理由與補充的安全辯證

(a)封閉後的安全評估會涵蓋極長遠的時間，處置設施經營者應定量評估可能風險，以便與安全準則相比較。

(b)極長時間尺度下欲保證安全性，可能的作法是根據大量的證據提出各種的理由以補充安全辯證。整體的安全論證須以結構化的方式提出補充辯證。

(c)可能可以用來強化安全論證的安全指標包含輻射劑量、核種流通量、核種遷移時間、環境中的放射毒性濃度等。處置設施經營者應提供安全指標的相關資訊，例如：

- 評估核種釋出特性。
- 評估生物圈核種濃度並與天然背景輻射比較。
- 若適合時，評估集體輻射影響。
- 整合與安全有關之不同資訊的論述。

(J)不確定性的管理

(a)管理不確定性是安全論證必要且重要的一部分，應配合安全論證逐次更新。處置設施經營者應明確考慮不確定性，分析其可能後果，並儘可能的減少不確定性。不確定性本身並不是建立安全論證的障礙，而是需要適當考慮並納入安全論證的架構中。

- (b)不確定性發生自各種來源且有不同特性。例如來自天然環境的異質性、取樣過程與資料的實務限制、資料解讀的差別、天然發生的事件、以及未來人類的行為等。各種不確定性的重要程度取決於對安全論證之辨證的影響。
- (c)處置設施經營者應適當考慮所有的不確定性，以證明運轉期間與封閉後的安全性。應建立與維持：
- 重要不確定性的說明文件。
 - 管理重要不確定性的策略，包含避免與減少不確定性，以及量化可靠程度等。
- (d)處置設施經營者應以可理解的方式向關切團體說明安全論證中的重要不確定性。
- (e)不確定性包含可量化與不可量化者。自然環境的變異性與統計的不精確性屬於可量化者；對於作用知識的不足以及未來人類行為的未知則屬於不可量化者。二者均應於安全論證中考慮。
- (f)當僅根據有限的資料處理不確定性時，可採取專家判斷方式加以評估。
- (g)劑量與風險的評估通常隱含不確定性，因此安全論證應包含不確定性的評估。
- (h)某些不確定性可以量化並作為安全評估的輸入參數，應建立進行此類計算的方法，並據以明確說明安全論證的不確定性。
- (i)某些不確定性可根據合理辨證經由簡化的定率假設加以處理。且因為自然環境的複雜性，安全評估必然要做某種程度的簡化。因此處置設施經營者的安全論證應證明簡化過程對評估結果無顯著影響，或者結果是保守的(亦即不會低估影響)。

- (j)當欠缺相關且可靠的資料時，可能會不當量化某些不確定性。若這些不確定性對安全論證有重要性，則可以用一系列的風險評估來處理。
- (k)在某些欠缺資料的情況下，可以採用典型化的作法假定評估所需要的條件。例如生物圈的演變與人類侵入的情況。
- (l)由於多種不確定性發生在封閉後，因此安全論證除了採用風險評估外，亦須考慮大量證據的各種理由，以抑制不確定性。
- (m)處置設施的設計、建造、運轉、與封閉均有所屬的不確定性。可能來自尚未取得資料、尚未進行工作、尚未採取的決策等。這些不確定性可隨處置計畫的推動在封閉前解決，並配合安全論證更新。
- (K)模式分析與信心建立
- (a)模式分析是定量安全評估的重要部分，提供補充辨證所需的支持。處置設施經營者須提供所使用的模式與分析方法，包含分析的假設。
- (b)模式分析的旨在瞭解處置系統及其組成的特性與行為。為了支持安全論證，各個模式分析需有明確的定義與目標：
- 應考慮模式分析結果對應的決策需求。
 - 針對需求決定模式分析的作法，而非受限於既有的模式或軟體。
 - 根據獲得的資料決定模式分析的目的。若無足夠的資料則不應發展複雜的模式。
 - 模式分析過程應檢視評估目的，若需進一步研究，可與管制機關交換意見。
- (c)處置設施經營者須執行系統性的計畫以建立模式分析的信心。包含原始資料的解釋，以及發展與測試概念模式、數學模式、與電腦程

式等。此為反覆精進的過程。由於是模擬極長時間後的結果，因此計算輸出不易與實際的觀測結果比對確認。因此須採用信心建立計畫，執行下列工作：

- 以系統性的作法建構模式並考慮替代模式。
- 持續反覆精進模式發展、定量評估、與資料蒐集的過程。
- 資料提供者、模式分析者、與評估結果應用者間進行良好的溝通。
- 模式發展過程中持續性進行同儕審查。
- 所有模式分析活動與資料處理均有嚴格的品質保證，包含變更的管控與稽核。

(d)儘可能使用特定場址的模式與參數值。使用通用值或模式內定值時，應避免造成影響結果的低估。處置設施發展的早期階段才考慮使用通用的模式與參數值。

(e)在某些領域，例如地震調查資料，可能有多種可信的解讀方式。因此無法僅靠單一的概念模式，此應視為不確定性來處理。

(f)處置設施經營者須針對不同的領域判斷模式分析的敏感度，並向管制機關提供判斷的基準。

(g)當輸入參數值變動範圍很大時，應謹慎使用電腦程式，並向管制機關說明並提出適當證據。

(h)在極長時間尺度的模擬分析，已經不能視為是預測，而應是做為支持安全性判斷的評估。定量模式分析在太長的時間尺度下，由於不確定性，將使其模擬結果不具意義。

(L)專家判斷的使用

(a)專家判斷是蒐集與解釋證據的重要手段。可用於建構支持安全論證所需的定性與定量模式。

(b)當在安全論證中使用專家判斷來補充或解釋證據或彌補資料不足時，應以正式的結構化程序進行。處置設施經營者使用專家判斷於安全論證時應說明：

- 解釋如何選定專家與歸納意見的方法。
- 將專家判斷的意見總結為文件並述明理由。
- 說明支持專家判斷的其他論述。
- 根據專家判斷所採取的合理步驟，並說明如何判定與減少偏差。

(M)分裂物質

處置設施內若將處置顯著數量的分裂物質，處置設施經營者應證明不會發生分裂物質聚積導致發生臨界反應的現象。

(N)氣候變遷

安全論證須考慮潛在的氣候變遷。氣候變遷可能是天然或人為的。不同時間尺度下氣候變遷的速率、規模、方向等均存在相當大的不確定性。因此，處置設施經營者須考慮各種的可能性。氣候變遷的潛在後果包含改變降雨(影響含水層)、改變海平面、增加侵蝕速率、冰河作用等。

(O)人類侵入

處置設施經營者須於安全論證考慮人類侵入。由於預測未來人類行為明顯存在不確定性，可以藉由典型化的作法加以評估。

(P)最適化

處置設施經營者須以最適化的考量證明安全論證相關的決策與步驟。包含廢棄物接收準則的選定、場址的選定、以及設計、建造、運轉、與封閉的決策，也包含封閉後的管理措施。

(Q)環境放射性

處置設施經營者須於安全論證考慮核種遷移到人類可及環境的放射性影響。

(9)美國

美國聯想法規「10 CFR 63：內華達州雅卡山地質處置場之高放射性廢棄物處置」(NRC, 2001)，對於安全分析相關要求之重要內容歸納如後。

(A)10 CFR 63.21(c)處置設施安全分析報告應載明的內容：

- 場址特性(包含特徵、事件、與作用、地質圈、生物圈)。
- 施工材料與規範。
- 設施與工程障壁設計(包含尺寸、材料性質、規範、分析與設計方法)。
- 廢棄物數量與特性(包含種類、數量、規範)。
- 封閉前安全分析(假定最大作業量與接收速率)。
- 輻射監測與職業曝露(包含放射性排放控制與監測計畫與職業放射性曝露)。
- 再取出方案(包含再取出與替代貯存計畫)。
- 促進除污與除役之設計。
- 功能評估(包含主要核種遷移途徑的調查)。
- 熱力、水力、力學、化學耦合作用評估(包含地球化學、水文地質演變評估，以及裂隙模式與熱傳分析)。
- 公眾劑量評估(永久封閉後合理最大曝露個人所受到的劑量)。

- 環境水質評估(處置場限制核種遷移到人類可及環境的能力)。
- 人類侵入評估(特定侵入事件合理最大曝露個人所受到的劑量)。
- 多重障壁評估(考慮障壁對隔離廢棄物的重要性)。
- 資料與模式之驗證與確認(模式須經驗證與測試)。
- 待決問題判定與研發規劃(說明計畫內容與時程)。
- 功能驗證計畫(說明計畫內容與時程)。
- 執照條件與變因說明(說明判定的原因與條件)。
- 專家判斷的應用。
- 品質保證計畫。
- 緊急應變計畫。
- 管理作業計畫。
- 文件紀錄保存。
- 通行管制與場址永久識別。

(B)10 CFR 63.111 永久封閉前地質處置場運轉區的功能目標。

- (a)保護人類與環境以防備輻射曝露與放射性物質的釋出。
- (b)運轉期間設計標準須考慮發生機率具影響性的事件。
- (c)封閉前安全分析應能證明符合安全要求與設計標準。
- (d)處置場設計應能履行運轉期間的功能驗證計畫。
- (e)廢棄物開始置放後 50 年內應可隨時再取出。

(C)10 CFR 63.112 地質處置場運轉區的封閉前安全分析要求。

地質處置場運轉區的封閉前安全分析必須包含：

- (a)結構、系統、組件、設備、與作業程序的說明。
- (b)天然與人為潛在危害事件判定。
- (c)場址與周圍地區天然與人為潛在危害事件的相關資料。

(d)排除或納入天然與人為潛在危害事件於安全分析的技術基準。

(e)分析要求必須包含但不限於下列考量：

- 限制空氣中放射性物質濃度的方法。
- 限制在放射性物質周圍進行工作時間的方法。
- 適宜的屏蔽。
- 監測與控制放射性污染散佈的方法。
- 管制進入高輻射地區或空浮放射性地區的方法。
- 防止與控制臨界的方法。
- 輻射警報系統以警示輻射程度、空氣中放射性物質濃度、與放射性排放的顯著增加。
- 假定發生事件時，結構、系統、與組件履行其預定安全功能的能力。
- 爆炸與火災偵測系統以及適當的防災設備。
- 緊急時，控制放射性廢棄物與放射性排放，以及允許立即停止運轉與撤離人員的方法。
- 若喪失主要電源時，提供可靠與即時緊急電力，以供儀器、公用服務系統、與安全重要運轉系統使用的方法。
- 提供必要的備用系統以維持安全重要公用服務系統適當能力的方法。
- 稽查、測試、與維持安全重要性的必要結構、系統、與組件，以確保其持續發揮功能與堪用性的方法。

(f)說明地表與地下設施的設計基準與規範。

(D)10 CFR 63.113 地質處置場永久封閉後的功能目標。

(a)地質處置場必須包含由天然障壁與工程障壁系統共同組成的多重障壁。

(b)工程障壁系統必須結合天然障壁，使合理最大曝露個人的放射性曝露低於法規限值。

(c)工程障壁系統必須結合天然障壁，使核種釋出到可及環境時低於法規限值。

(d)地質處置場應具有限制人類侵入工程障壁系統事件的能力，使所造成合理最大曝露個人的放射性曝露低於法規限值。

(E)10 CFR 63.114 封閉後的功能評估

(a)處置後 1 萬年內的功能評估應包含：

(1)定義參數與概念模式。

(2)考慮不確定性與參數值變異性。

(3)考慮替代概念模式。

(4)考慮低機率特徵、事件、與作用。

(5)提供篩選特徵、事件、與作用的技術基準。

(6)提供工程障壁劣化失效的技術基準。

(7)提供模式可靠性的技術基準。

(b)用於滿足處置後 1 萬年內要求的功能評估方法，亦可考慮足以進行 1 萬年後到地質穩定期(1 百萬年)內的功能評估。

(F)10 CFR 63.115 多重障壁的要求

(a)判定具隔離廢棄物重要性的工程障壁系統設計特徵與地質環境天然特徵。

(b)說明障壁的功能，對於具有隔離廢棄物重要性的障壁，應特徵化與模擬障壁的行為並考慮其不確定性。

(c)對於具有隔離廢棄物重要性的障壁，應提供障壁功能的技術基準。

(G)10 CFR 63.341 尖峰劑量的預測

必須計算處置 1 萬年後但在地質穩定時期內，合理最大曝露的個人尖峰劑量發生的時間。

5. 國際安全論證管制技術趨勢

本研究摘述 IAEA SSG-23 有關管制機關管制技術的重點如後：

(1.5.) 本安全導則與負責準備安全論證的營運機構，以及負責發展決定安全論證基礎與範圍的法規與規範指引之管制機關有關。

(3.7.) 管制機關須為不同類型放射性廢棄物處置設施發展建立監管控制要求，並應闡明符合不同核發執照程序階段要求的程序，亦須為每一個別處置設施的發展、運轉與封閉設定條件，並完成必要活動以確信這些狀況已符合。

(8.6.) 管制機關的要求與期望以及判定安全的準則，應該在程序初期明確定義，安全論證與安全評估的完整性與品質，常取決於管制需求的明確度以及管制機關的期望與方法。

IAEA SSG-23 第 8 章管制審查程序，以專章方式說明安全論證相關的管制技術，茲將其翻譯內容詳列於第 5.1 節。本研究除以 IAEA SSG-23 內容為基礎，另外再分析及整理國際核能機構有關安全論證的技術文獻，並就安全論證中，管制機關扮演角色與管制技術，分為幾個部分在後續小節中進行探討。

5.1 IAEA SSG-23 的管制審查程序

(8.1.) 管制決策程序可能包括一個或多個管制機關，也可能被公眾或關切團體仔細檢視。如果管制機關採取了協調性的方式，使得關切團體觀察到管制決策程序是基於經營者提出安全論證送請管制機關核定且經過謹慎及全面性審查，如此可以加強管制決策程序的可信度。審查應該依據管制審查程序所定計畫進行，並且符合 44 號參考文獻所定之需求以及符合 45

號參考文獻的建議。處置設施安全論證與安全評估中一些重要管制審查程序的要素會在以下各節討論。安全論證審查之導則亦與其他審查程序相關，例如經營者內部審查或獨立的外部同儕審查。

5.1.1 管制審查的目標與屬性

(8.2.) 當建立安全論證之管制機關的審查目標時，要考慮設施狀態（例如設施是否在規劃中、發展建造中、運轉中、再評估中、關閉中以及處於長期監測中）以及相關安全評估內容。

(8.3.) 管制審查的整體目的是證明處置設施不會對人類健康安全或是環境在現在或未來造成不可接受的不良影響，為了達到此目的，管制審查程序原則上有以下目標：

- 決定安全論證是否已經發展到一個可以接受的程度（就其品質及理解的細節與深度之呈現）以及是否符合目標；
- 證明安全論證與其中之假設，是否符合可接受的放射性廢棄物管理原理及管制規定與期待；
- 決定安全論證是否提供足夠以及適當基礎來證明擬議的設施，可以安全的運轉並於關閉後期間提供一個足夠安全水準的合理保證；
- 證明對於不太可能發生的潛在影響之相關減輕措施是否已判定與說明，並且已經發展出充足的後續執行計畫；
- 決定管制機關規定的議題是否已被經營者處理與清楚確認；
- 確定任何尚未解決之議題以及證明已經擬定解決議題的計畫。

(8.4.) 為了使安全論證的評估與管制審查的主要目標便於對比，通常會設定一些次要目標，這些應包括對安全論證進行下列評估：

- 是否已經在適當的情況下發展；
- 在處置設施發展每一階段是否足夠完整；
- 數據以及資料的呈現上是否足夠透明化；
- 是否由稱職人員利用已認可之管理系統來準備；
- 是否有獨立同儕審查；
- 是否基於適當假設、利用足夠評估技術與模式以及包括令人滿意的佐證論述；
- 證明對處置系統足夠了解，其中包括危害與相關情節的確認與篩選，因此所有相關安全功能與潛在安全問題均可得到解決；
- 清楚地描述如何進行限制、管制與條件的確認、判斷與最佳化；
- 清楚地確認與對處置系統了解有關的不確定性（以及所用模式和輸入值）及處置設施的功能；
- 提供足夠評估與佐證判斷，證明任何輻射曝露已是最佳化且說明安全已獲最佳化；
- 如果適用，對於現有設施包括充分考慮補救措施之合理性與最佳化；
- 強調管理系統中所有相關要素均已應用於處置設施之選址、建造、啟用、運轉和封閉（例如內部外部稽查、驗證和確認、使用適當資格和經驗的人員、訓練、程序管制、外包給承包商的過程控制、結論與建議之行動）；
- 說明在發展設施設計時，已經採用優良工程實務，在處置深度上亦有足夠之辯護；
- 定義安全論證未來發展、了解處置系統以及場址制度化管理的計畫。

(8.5.) 在定義審查的目標與範疇時，應考慮包括以下的相關重點：

- 場址之重要安全議題；
- 經營者所提供安全資訊的程度，及管制機關評估這些資訊時可獲取的資源；
- 審查是否僅考慮對人類之輻射影響或其他衝擊，例如有毒廢棄物質之相關影響；
- 審查是否考慮對公眾、工作人員和人以外物種之影響，再加上設施對環境之整體影響；
- 安全論證文件中那一部份應該是審查重點；
- 作出管制審查結果的使用，例如是否將用來作為設施申照或核定既有設施執照條件時，經營者與關切團體間溝通之用。

(8.6.) 影響管制審查品質與成敗之關鍵因素，包括如下：

- 管制機關的要求與期望以及判定安全的準則，應該在程序初期明確定義，安全論證與安全評估的完整性與品質，常取決於管制需求的明確度以及管制機關的期望與方法。
- 管制審查程序應避免利益衝突，審查團隊在審查過程中，不應受到審查範圍與項目以外不當內部與外部考量的影響。
- 管制審查程序應以結構化及可回溯方式進行，並明確定義角色、責任和決策過程。
- 管制機關應有放射性廢棄物設施安全評估方面具專業知識與實際經驗的人員，且不論來自內部或外部，應有各必要領域的專家參與評估。
- 管制審查應以相稱資源的標準來進行，應與安全論證複雜程度相符，且處置設施相關潛在風險亦納入考慮。

- 在整個管制審查程序，應維持經營者與管制機關間的溝通。
- 管制審查程序應該有與關切團體諮商的架構，而且清楚定義諮商步驟、程序與決策過程的規則。在此架構下藉由進度討論和審查程序的產出，可強化審查過程的可信度。
- 在審查程序中，應確保依據和判斷均被文件化，不論安全論證中的論述是否適當地為其背後的科學與技術所支持，以及是否這些論述符合法規的要求與期望。

5.1.2 審查程序管理

(8.7.) 安全論證審查之管理應視為一個計畫般對待，適用良好計畫管理的原則。

(8.8.) 按照審查規模也許有必要設立一個專責團隊來執行審查，不論有否外部機構的協助，管制審查應該由管制機關執行，但是審查結果是管制機關的責任，必須接受其結果的‘擁有權’。

(8.9.) 為使審查程序到位，管制機關應有完善地制定與文件化程序，以作為組織整體管理系統的一部份。

(8.10.) 審查程序管理應該包括以下觀點：

- 定義審查之目標與範圍，以及確認所有國內與國際之規定、導則與建議適用於安全論證的發展。
- 審查計畫擬定，應確認審查任務並滿足其他相關議題；
- 組織一個具備必要專業與經驗足以勝任之審查團隊以進行審查；
- 為執行計畫工作應定義計畫期程和資源分配，包括考慮在後期資源受限時之審查執行；

- 確認審查成員之責任並確保他們在審查方法上受過足夠訓練和指引；
- 審查工作進行之協調，確保審查成員之間有足夠溝通；
- 在初期階段，就可能的疑義或不同解讀的重要管制決策與管制導則進行釐清；
- 建立正式程序以確定經營者必須提出的議題，以及建立進一步考量追蹤議題和決策的機制；
- 審查程序中與處置設施經營者及與其他關切團體的溝通協調；
- 審查程序中產出文件的審查與整合；
- 審查結果的綜整、文件化與溝通。

(8.11.) 所用之審查程序應該讓管制機關能夠證明其安全論證的審查是由有能力的人員所進行，以及用可追查和稽查的方式紀錄下來。計畫特定程序應該包括有系統的紀錄審查意見、指定所需權限、指定審查職責和任務、記錄審查意見的情況及安全論證中產生不同或相反觀點或審查意見的處理事項，如果審查還包括由管制機關所進行之稽查或獨立計算，也許有必要更進一步的程序。

(8.12.) 每一個管制審查都應該有審查計畫來指導審查的程序與技術部份，程序的導則應該包括審查結果文件化的方式，技術導則應該包括判斷安全論證特定事項的依據準則，審查計畫可作為範本，以修訂發展為特定的審查計畫，特定審查計畫例子包括英國低放射性廢棄物處置場及美國 Yucca Mountain 計畫之發展。

(8.13.) 為有足夠實務性，管制審查團隊應有以下特徵：

- 審查團隊應具備適合審查之一系列專業知識，包括對審查特定安全論證時，最重要領域的實務經驗。

- 審查團隊應具備主導相關安全論證審查的經驗。
- 審查團隊應了解執行審查的內容（例如具備對該種設施及其管制法規的知識）。
- 審查團隊應對國內或國際廢棄物管理的實務與計畫有廣泛的了解。
- 審查團隊應由專家所組成，其審查結果能通過關切團體檢視並信賴。
- 審查團隊應具獨立性與經營者無關，其成員不能涉及安全論證進行審查的發展或任何支援工作，更不能直接參與處置設施的管理、財務或運轉。

5.1.3 管制機關分級使用方式

(8.14.) 安全論證管制審查的詳細程度與範圍應該採取分級方式，決定審查程序的深度與廣度應該取決於以下：

- 處置設施或處置系統組件發展或運轉階段；
- 封閉後期間危害與風險（後果與機率）的大小，要考慮相關場址因素、設施設計部份、處置廢棄物種類及人類入侵之可能性等；
- 建議的處置設施或處置系統組件的複雜性、安全重要性及成熟度；
- 經營者建立良好地實務、程序及設計的使用；
- 可獲得的類似設施運轉功能或實務經驗的知識；

- 經營者方面（例如經營者的表現記錄和他們在處置設施或處置設施組件上的設計與建造相關經驗、程序設計、安全論證的發展及管理系統的建立與應用）；
- 類似處置設施之相關經驗(國內及國際)；
- 其他主管機關之技術或安全上的顧慮。

5.1.4 進行審查與報告審查結果

(8.15.) 一個管制審查通常有四階段：

- (a) 審查前階段，在收到經營者任何文件之前，應該進行因應審查之初步規劃，這通常包括與經營者的會議，以期建立與瞭解預備提交資料的範圍。
- (b) 初步審查階段，在此階段管制機關應就提交的文件進行安全論證完整性與其他佐證文件可用性之初步評估，並就對安全最重要的議題作初步確認：評估安全論證的完整性，應包括檢查提報資料是否已涉及管制機關對安全論證的所有期望，此檢查應做成紀錄，且備妥需要額外資料之詳細審查意見，管制機關應該審查與評估經營者所提供回應審查意見的任何額外資料。
- (c) 主要技術審查階段，將致力於提出詳細的審查意見，也許還包括經營者所提供回應審查意見之額外資料的評論。
- (d) 完成階段，應確認審查的主要結論並報告給決策階層。

(8.16.) 除了經營者提報文件的評估，安全論證的管制審查可包括獨立專家與關切團體的參與。

(8.17.) 審查的完成階段包括發展出一份最終審查報告，最終審查報告如何組織及呈現並沒有惟一正確的方式，審查報告將無可避免地須依據個案進行特定的審查，在最終審查報告上管制機關應該考慮以下幾點：

- 簡介：審查目的與背景的簡述，審查文件的標題與作者，有關場址的總結資訊，參與審查之組織資訊等。
- 審查範疇與目標：進行審查的高階目標（包括參考適當之法規要求）及與審查範疇相關之審查程序一般綜覽，如果審查報告僅為摘要（例如核發執照前最終報告）或屬審查的一部份，例如先前已經完成的佐證報告，則在此應說明這些相關報告及其一般範疇與適用性。
- 可適用的管制要求：審查的執行應有法規、既定程序與/或國際建議之列表，應包括法規、程序與/或國際建議的重點總結。
- 審查方法與程序：管制審查程序的描述包括審查計畫與程序步驟（初審、主審及修訂文件的審查等），與經營者之互動，意見的分類，意見格式的規定與確定意見的方式，審查團隊中的互動及意見的答覆。
- 主要評估結果：各審查方面的說明應予文件化，應參考下列幾個方面（包括經營者對管制意見的回應能夠解決有關議題的程度）。
- 主要意見：這部分是一般性的意見，總結文件審查的主要不完備之處，有關高層次的議題如安全策略、內容、安全論證與安全評估的方法和結果、不確定性的處理（情節、模式與參數）、風險管理與最佳化、符合主要法規準則與導則、適當限制與條件、以及安全論證未來發展計畫。

- 特定意見：這部分是更詳細的審查結果，有關審查主要技術領域、處置設施特性、廢棄物數量與核種從處置設施遷移到環境的模式，並考慮到工程、地質、水文、化學、氣候、生物圈和人類入侵等方面的問題。
- 未解的議題與不確定性：這部分是有關仍然未解決議題的意見，必要時，應標註其相對的安全重要性與將採取解決此意見的措施。對於核准處置設施的相應狀況亦應在此予以述明與衡量。
- 結論：審查的結論應將核發執照或授權所考慮議題予以陳述，例如由經營者所提供之進一步資料、修訂的安全評估工作、場址或廢棄物之監測與管制、廢棄物存量的限制、風險管理與廢棄物接收準則，此外，亦應列出對核准條件的建議。
- 參考文獻：審查時所考慮參考文件清單，及佐證最終審查報告的相關審查文件，審查時所用任何導則文件亦應列出。
- 適當資訊來說明審查團隊中專家資格。

(8.18.) 在將審查意見與評估文件化時應須確定以下幾點：

- 安全論證發展中所採用方法與其結果應予以簡要地總結，亦應提供相關的特定參考資料。
- 任何重要的意見與其依據，應以標準格式予以清楚地陳述，每一個意見應給予唯一的編號以利相互參考。
- 有關安全、系統了解與/或設施管制之意見的相關性應予註記。
- 審查意見中確定需以必要行動去解決的議題應予清楚地陳述。

5.2 設施經營者之責任

除了摘述 IAEA SSG-23 有關管制機關管制技術的重點，本節亦將有關設施經營者應擔負的責任摘述如後，以瞭解與區分管制機關與設施經營者分別扮演的角色。

(1.2) 至於涉及放射性物質和輻射的所有設施和活動，處置設施經營者對其安全負有主要基本責任，且必須評估設施安全，並證明設施的設計與運轉符合相關安全要求。

(3.6) 對於處置設施："經營者應完成安全評估，發展及持續進行安全論證，並依照國家策略、符合規範要求在法律與規範基礎架構內，應完成所有對於場址選擇與評估、設計、建造、運轉、封閉等必須的活動，如有需要封閉後亦須進行監管"。

(3.8) 處置設施發展、運轉和封閉各階段的安全論證應遵照之要求："安全論證與支持其論點的安全評估，如有需要，於處置設施發展、運轉和封閉後的各階段，須由經營者準備與更新。該安全論證與支持其論點的安全評估須提交給管制機關，並獲得許可。安全論證與支持其論點的安全評估之詳盡性與全面性須是充分地，以提供必需的技术輸入向管制機關報告及呈現各階段的決策需求"。

(3.13) 下列為特別應用於廢棄物處置設施安全評估更新的要求：

- 支援安全論證的安全評估必須執行與更新，其涵蓋整個處置設施發展和運轉期間及有更精確場址數據時。安全評估必須由經營者提供輸入資料給進行中的決策制定。這樣的決策制定可關連到研究、評估能力發展、資源配置以及廢棄物接收標準發展等議題。
- 經營者必須與管制機關協商，決定安全評估的時程與細節程度，並須經管制機關的認可。

5.3 管制問題

放射性廢棄物處置技術的發展過程，安全評估的運用有多種用途。安全評估可以增進對於處置系統的瞭解，有助於選址、設施設計與工程方案的評估，並證明處置設施安全符合定量或定性的管制標準。這些評估在許多方面受到法規的規範與指引，因此安全評估的方法應受到相關規範的制約。由於研究、開發以及在安全評估方面的實際經驗可以回饋到法規制定，使得安全評估和法規之間存在著雙向關係，這往往反應了現有的評估能力。所以，對於所有國家處置方案的趨勢，國際上與相關國家的法規，承諾安全評估現有技術狀態的運用。

自 1991 年 NEA 頒布安全評估方法的宣傳手冊 (NEA, 1991)，相關國家和國際的法規與管制預期，已跟上不斷發展的安全評估能力和安全論證中安全評估特殊角色的步伐。一些國際活動和計畫所制定的建議、共同觀點和看法已經影響了國家和國際法規的發展，特別是 ICRP、IAEA 以及 OECD/NEA 的相關研究工作。

在 OECD/NEA MeSA 計畫的架構下，進行一項關鍵問題研究，考慮安全評估的方法如何受管制需求與期望的影響。該研究參考了主要的管制趨勢，亦參考不同國家的方法及管制需求詳細的程度。另一個目的是要確定管制者已提供安全評估的框架與基準，以及特別讓提案者有調整空間。

管制者對於安全論證的提案者，除了期望評估結果符合輻射安全規範，亦能證明處置系統是安全穩固無虞，並且對其未來的演變均已完整瞭解。

關於如何準備適當的安全論證，管制者本身必須提供定性及量化的安全規範及導則。特別是在發展安全論證過程的初期，即告知管制機關或使其參與，一般認為有利於促進相互了解，以及避免不必要的工作。然而，

管制機關仍然要保持自己的獨立性，此為國家安全文化及為了關切相關者對於安全論證結果至關重要之信心不可或缺的一部分。

5.4 安全評估的背景

安全評估是有關地質處置設施其選址與設計能力之系統化的危害分析，以提供安全功能及符合技術要求。一般由管制者定義定量與定性的準則，而於狀況發生時可獲得防護。而安全評估提出者旨在符合這些準則或透過審慎的場址、工程設計、建造方法、運轉及封閉的選擇，以使安全評估結果遠低於相對應的法規限值。就一般的認知，安全評估分析結果並不能證明絕對的安全，其所要努力的作為是要說明其分析結果是具有高度的可信度。

一般在國家的法規中會要求提出者準備安全評估以作為申照的先決條件，甚至在到達申照階段前，安全評估在處置概念發展的過程中，同樣扮演著重要的角色。例如，在處置計畫早期階段，安全評估用來比較不同的場址或設計，亦可用以判定數據缺口，以作為後續研究工作的導引。隨著計畫的進展及更多有用的數據產出，安全評估的假設將更有依據，其中包括更多的作用因素及其耦合作用、空間與時間的相關性，以及對分析模式與數據不確定性的掌握。

5.5 安全概念

安全概念是描述為何處置系統是安全之概念的理解，無關不確定性與不利的作用因素，例如，為何預期處置系統是安全堅固。安全概念包括安全功能的描述，例如天然和工程處置單元的角色。

管制者通常要求安全概念應該落實深度防禦的原則，深度防禦一般的認知為對於給定的安全目標，提供超過一項以上防護措施的應用，如此，

即使有某項防護措施失效依然能達到安全目標。對於處置系統而言，深度防禦不能信賴未來長期人類的作為，因為將對下一代施加不應有的負擔，因此安全目標必須透過系統設計的實施並予以達成。多重障壁及多重安全概念即是透過多重且多樣性的個別障壁與系統功能以實施深度防禦的原則，這是達成安全與堅固系統的必要先決條件。

以芬蘭為例，管制者基於政府法令，規定處置設施長期安全應該基於互補性障壁安全功能的實現，準此，個別安全功能的缺陷或可預期的地質變化將不會危及長期的安全(STUK, 2010)。每個安全功能的功能目標應該要指定，並由高質量科學知識及專家判斷所設定。安全功能應該運用在系統單元的設計及情節發展上，例如芬蘭法規規定其基本情節(base scenario)應對每項安全功能假設其功能目標，並對目標值計算其附帶的偏差。

5.6 評估策略

儘管在不同國家的管制架構差異下，國際共識已經發展出安全評估的主要內容和目標。前述提及，安全評估背後的理念不僅要證明整合評估結果與安全標準比較，結果符合法規要求，同時要證明對考慮的系統已得到很好的理解且是足夠堅固。在此，評估策略的意義是為”進行安全性評估並確定評估證據的方法，分析系統的發展，從而發展或更新安全論證”。

安全評估的執行歷經選址與處置場發展的所有過程，例如為了最佳化目的，即使法規沒有明確地規定，管制者通常會期望在整個發展過程初期就能掌握相關訊息。如此或許有利於處置場發展及申照的過程，並可被視為評估策略的一部分。品質管理策略被運用於處理巨量數據和確保安全評估所使用的數據與模式具備一致性與適當性，且在所有的更新過程中保持一致，此亦可以理解為評估策略的另一部分。

5.7 指標與規範

5.7.1 安全指標

各國的法規通常至少會建立一項安全指標(通常是劑量或風險)，提供處置系統符合給定之安全目標能力的指示，其需要有接受準則的定義。

各個國家的差異不僅在安全指標的定義與使用，亦與個別的準則有關。NEA 管制論壇計畫發現目前準則之間的重要變化，不僅在大小上的不同，個別設想應用的時間範圍亦不同。此外，訂定準則基準的變化與可能影響來自於：(1) 風險程度的可接受性；(2) 與現今實務上數值放射性防護準則的比較；(3) 與已有的自然輻射水準比較；(4) 或前述 3 項的組合。這意味著關於甚麼是今日後果及未來可接受的程度，哪些是需要評估，在沒有考慮國家特定理由的基礎下，不同國家的數值標準是不能在有意義的方式下進行比較。

要求以定率式劑量和以機率式風險為基礎的法規觀念不一定正確，劑量值也可以由機率式評估求得，風險也可以運用定率式評估求得。因此對於每一種方法的特定缺點，以定率與機率混用方式是為可行亦或建議的可行方法。事實上大部分法規多遵循此策略。無論選擇定率式或機率式方法，提出者必須指出不確定性的來源，其影響和不確定性的區間都已經過相當合理地探討。

5.7.2 補充指標

所有國家的法規中，對於封閉後 1 萬年的劑量或風險限值或導則運用，在安全指標和準則上具有相似之處。後來一些最近的法規使用了不同的指標，例如由系統單元釋出特定核種的活度通量，系統單元內部與外部的存量或特定位置的濃度。這些作法面對了增加不確定性的事實，

特別要注重在生物圈長期預測方面，將使得定量的劑量與風險值較不具意義。因為這些不確定性，在 ICRP 和許多國家的法規中，為了安全指標與補充指標劑量或風險使用的建議考慮，定義了特定的時間框架。

劑量與風險的補充指標不僅可用以證明一致性，亦用以建立安全上的信心及證明處置系統的堅固性。有些管制者認為補充指標是有需要的，例如 IAEA 的研究計畫即點出此一需求。大部分的管制者期望安全評估發展者能將補充指標應用在安全評估，然而補充指標的使用，要在法規中規定，或僅是建議，各國作法不同。

補充指標通常是功能指標，它指出整個系統是如何運作，並沒有直接預測輻射影響。當建立安全論證時，為了瞭解、定量化及解釋處置系統如何運作並提出附加討論，實施者會選擇及使用功能指標，以支持該處置場是安全的論述。雖然從方法學的觀點而言，功能與安全指標提供的是不同的論述，法規通常不會清楚區分這兩類型的指標。然而，一些較新的法規(CNSC (2006), SSI (2005))已經包含具有功能指標特性的指標，雖然他們沒有明白顯示這樣的觀點。通常在法規中提出的功能指標多為非量化準則。

5.7.3 安全功能指標

假如安全功能的定義是為了系統單元，則必須引進一種方法來檢查系統單元是否滿足其預期功能。為了這個目的，安全功能指標是定義值和目標值或數值準則，被指定給這些指標，是為了給定一特定功能或檢查及定量化安全功能的實現。例如，廢棄物罐被賦予包覆廢棄物的安全功能，而廢棄物罐可包覆廢棄物的年限則被設定為安全功能指標；再依據場址的條件作為設計目標，可以將 50,000 年定義為安全功能指標值。

法規通常不會指定某些安全功能，提出者應指定的技術單元，也不會指定個別的安全功能指標及準則。主要原因是對於技術單元而言，安全功能和安全功能指標的選擇，通常須根據處置場概念，因此，關於管制者的部分規格，可能會阻礙一個最佳系統的發展，基於有價值的技術，提出者應可以自由的發展。除非是一些指定地質障壁安全功能的法規，例如，德國最近的安全要求(BMU, 2010)“圍岩的完整性”，就是需要且明確提到擴容現象和流體壓力標準。

5.8 系統描述

系統描述包括場址現今情況、障壁系統元件及初始狀態的描述，同時也包括系統實現中，對應的不確定性與可能誤差的描述(Röhlig et al., 2011)。根據這些觀點，系統描述可能也包括處置系統在相關安全上的預期演化。不確定性與不利的作用或事件可能對系統演化有潛在的影響，而必須予以處理。

大部分國家的處置法規要求藉由多重、多樣與相當堅固的障壁或功能來實現處置系統的深度防禦，提出者可以選擇實現概念的任何方法，且為了實現深度防禦概念，其所依賴的障壁系統或安全功能，應該成為系統描述的一部分。

5.9 系統發展與情節

定量安全分析包括對於處置系統未來潛在發展的影響評估，主要是透過一些情節的描述作為評估的依據，一般預期這些情節是以系統化的方法來進行描述、發展與探討(Röhlig et al., 2011)。因此關於情節發展與分類的指導，以及與評估目標有關的不同類別情節，通常是由管制者提供。

對於安全論證而言，許多管制者認為系統化情節發展具有根本的重要性，它是組成不確定性管理與分析的關鍵元素。大部分的管制環境，只有一套充分且定性的情節是必要的，但是整套的情節被期望在意義上是全面性的，並應該以可信的方式論述處置系統可能的演化及相關後果。

比較可以接受的情節發展與選定方式，通常是可追蹤、結構化與透明化的方法，情節可由判定的 FEPs 及其組合所產生，或為達到系統單元或次系統不同程度的預期功能所衍生的情節(Röhlig et al., 2011)。由 FEPs 的組合所產生的情節，通常稱為自下而上(bottom-up)的方法，而為達到預期安全功能降低所衍生的情節，通常稱為自上而下(top-down)的方法。實務上，兩種方法經常以互補的方式同時運用，因此，法規通常不會規定只運用其中的一種方法。

管制者可以在情節發展應遵循的步驟上提供指引(e.g. ASN 2008)，或要求報告一種或數種如何用於判定及描述相關情節的方法，以說明事件與情況可能影響處置場未來的演化。

5.10 模式策略

模式研究的目的是為幫助了解處置系統及其單元的特性與行為，這些研究最終聚焦在檢驗核種從處置場移動到地表或近地表接受者的過程，並評估其影響結果，例如，透過模式檢驗個別障壁功能是研究重要的一部分。

透過安全論證證明處置場在所有時期的預期功能都符合管制者的管制要求，這在申照時是必要的。因此在安全論證中，發展者的模式策略及結果的展現，必須密切地與相關法規與指引契合，例如，根據的時間框架、情節、指標及準則。定量的法規限值和相關的時間框架在不同國家有相當的差異，包括在不同時間對於劑量或風險限值會有不同，另外，核種特定

濃度限值或通量也有差異。這些準則對於被不同發展者所接受的模式策略，明顯地有很大的影響。

管制機關認為執行者需要提供支持模式信心的證明，但也承認沒有單一最佳或正確的方法執行模式研究。因此法規上不傾向過於規定特定的模式方法，至於受到管制者優先使用的特別模式方法，通常是提出作為指導，強調在方法上具有彈性。

5.11 討論

自從 1991 年 NEA 發行安全評估方法學的宣傳手冊，處置法規與相關管制的期望已有長足的發展。在證明處置場安全及處置系統發展與最佳化方面，發展安全論證概念，導致於對安全評估所扮演角色更複雜的體認。為了符合論述結果與應用的評估方法，目前法規體認到巨大評估時間長度更精確的意義。鑑於評估方法的固有限制，安全評估的結果現在已經被視為論證的一部分，並配合其他的論證內容以建立處置場安全的信心。

管制者期望提出者不僅評估能符合定量的輻射標準，亦能證明處置系統堅固無虞且其行為與發展均已獲得充分的瞭解。對於系統瞭解的提升應是所有評估方法的主要目標。關於給定的不確定性，即使保守的方法也是不可避免的，此已提供了現實上足夠水準。

為了對安全評估的結果及處置場的安全產生信心，管制者要求提出者提供足夠的論述。對於提出者而言，提供證據或論述不失為一種好的做法，不僅可表現出自我信心，亦與管制者及其他關切團體有關。這包括要求互補的方法去決定處置場提供的保護層級，例如藉由指標的使用作為劑量與風險評估的互補。此外，數據的確保及模式工具品質，適切的品質管理及評估過程的透明化與可追溯性，都是相當重要。

管制者本身必須提供定性與定量的安全準則，以及如何在建立安全評估結果的信心上進行引導。不確定性的處理－特別是關於無法量化的不確定性，例如與人類入侵有關的行為，也應該由管制者來引導。因應安全評估所需時間框架與時間表的指導規範，則是另外一項重要的管制課題。當給予指導時，管制者通常會考慮提出者需要有多少自由度去最佳化與證明處置系統的安全。

通常管制者負責審查提出者的安全評估，在此背景下管制者評估是否符合法律和法規，及為了從提出者的評估結果獲得信心與發展該系統獨立的瞭解，管制者本身亦需進行評估。

通常在處置場計畫後期階段很難去改變安全論證的基礎，鑑於此一事實，管制者期望在計畫過程的早期得以介入或得到資訊是合理的作為。然而，管制者依然必須保持其獨立性，這是國家安全文化及對關切團體的信心基本重要性之必要組成部分。

6. 國際安全論證經驗回饋

在發展核能應用的同時，各核能科技先進國家亦莫不致力於放射性廢棄物安全管理與最終處置的規劃與落實。我國亟待解決國內放射性廢棄物處置問題的同時，若能藉助國際經驗必可加速相關工作推動與提昇安全品質。本報告分析的國際放射性廢棄物安全論證管制技術與實務經驗發展資訊概況，謹提出主要研究心得回饋如後，冀能落實處置技術的安全管制並促進國內處置計畫的順利推動。

6.1 國際安全評估案例經驗分析

本研究完成 3 項國際案例的文獻資訊蒐集，並據以瞭解安全論證技術方面的國際進展與概況。

(1) 英國 2010 年 DSSC 案例

英國放射性廢棄物管理專責機構：核設施除役管理局 (Nuclear Decommissioning Authority, NDA) 於 2010 年發表「一般性處置系統安全論證」計畫的研究成果。計畫目的在於展現技術能力，促進公眾溝通，與推動選址等。計畫成果包含摘要報告 1 冊；主報告 3 冊(運輸安全、運轉安全、環境安全)；技術報告 15 冊。

(2) 瑞典 2011 年 SR-Site 案例

瑞典處置專責機構 SKB 於 2011 年發表 SR-Site 計畫的研究成果 (SKB, 2011)，內容係針對已確定的處置場址 Forsmark 進行安全評估，以便作為提出處置場建造執照申請的依據。計畫成果包括主報告 3 冊與相關附屬報告 19 冊，內容包括處置場設計與安全評估兩大重點，結論認為

KBS-3 型式的處置場設計與 Forsmark 場址可以符合處置場的長期安全要求。

瑞典 SR 場址建立信心與論證安全的方法係根據安全功能的分析與確認，也就是說處置系統的特性及其對安全的貢獻。最重要的安全功能為銅製處置廢棄物罐的長期完整性。其他多數的安全功能與確保銅製處置廢棄物罐的完整性有關(例如膨潤土緩衝材料扮演的角色)。SR 場址的安全辯證特別強調在銅廢棄物罐的耐久性。定量性安全分析計算到上達一百萬年，SR 場址對於處置場的後果以及預期的演化則提供定性討論，並根據天然類比的比較與安全辯證連結。

(3) 芬蘭 2012 年 TURVA 案例

芬蘭處置專責機構 Posiva 於 2012 年發表 TURVA 計畫的研究成果 (POSIVA, 2012)，內容係針對已確定的處置場址 Olkiluoto 進行安全評估，以便作為提出處置場建造執照申請的依據。計畫成果包括主報告 1 冊與相關附屬報告 13 冊，內容以安全論證為主軸進行資訊的整合。結論認為 Olkiluoto 處置場設計能達成安全目標，並符合相關法規要求。

6.2 國際安全論證發展趨勢與經驗回饋

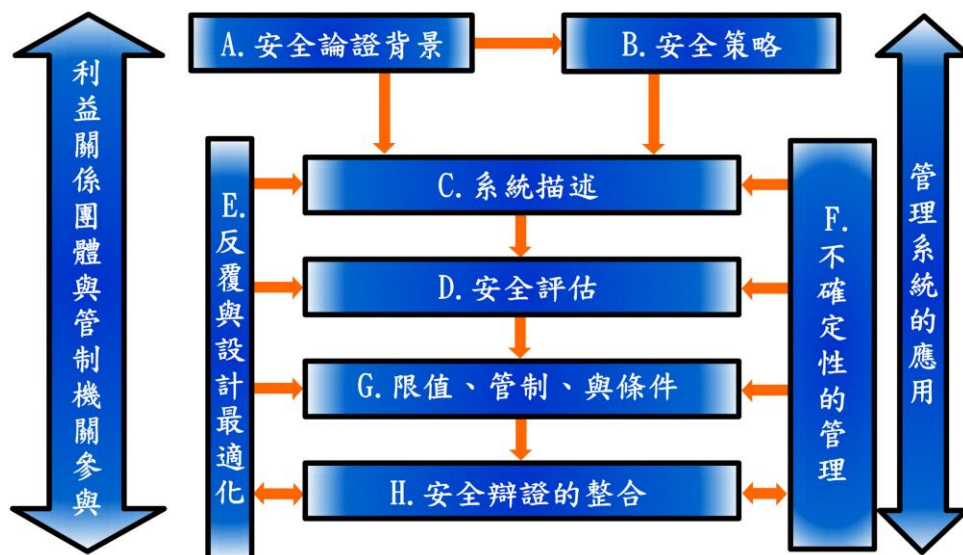
安全論證制度化為過去數十年來，國際上對於證明處置場安全性作法上最大的改變。安全論證的意涵，係使用一組完整而可令人信服的證據與辯證，來說明處置場的安全性。其中以貫徹安全評估的分析程序為其最重要的支持措施，並通過品質管理系統、設計最適化、不確定性管理、以及利害關係團體的審查與辯論等，透過全面整合各項研究發現與溝通的結論，作為推動處置計畫的決策依據。近年來各核能先進國家陸續將此理念融入到管制規範的訂定中，例如加拿大(CNSC, 2006)、芬蘭(STUK, 2013)、

德國(BMU, 2010)、瑞士(ENSI, 2009)、英國(SEPA & NIEA, 2009)等。且國際原子能總署(IAEA)亦於 2012 年發布正式的特定安全導則 SSG-23「放射性廢棄物處置之安全論證與安全評估」，供各國參考(IAEA, 2012)。其中有關安全論證與安全評估的意涵，可分別以圖 6-1 與圖 6-2 表示。前者說明安全論證著重於整合與溝通；後者則代表安全評估應涵蓋的主要技術領域。除此之外，經濟合作發展組織-核能總署(OECD/NEA)自 2001 年即成立安全論證整合工作小組(Integration Group for the Safety Case, IGSC)，協助各會員國發展相關技術與建立國際共通的科學基準。目前 IGSC 有 17 個國家 38 個組織的 46 名成員參與，並不定期發布研究成果與舉辦國際研討會。近年來亦陸續發布重要研究報告，如「放射性廢棄物地質處置設施安全評估方法」(OECD/NEA, 2012a)、「安全論證的指標」(OECD/NEA, 2012b)、「地質處置場封閉後安全論證的性質與目的」(OECD/NEA, 2013)，並於 2013 年舉辦「放射性廢棄物地質處置安全論證：2013 年技術現況」國際研討會(OECD/NEA, 2014)交流各國經驗。

國際經驗所強調的安全論證理念，其操作上的中心意義即在於整合。整合所有相關辨證與證據，包含管理體系、審議意見、安全評估等，以獲得認同。此信心建立(confidence-building)的過程，處置設施經營者同時應整合可利用的人力、物力、技術、經費等，提出經得起辨證的完整證據，以證明處置計畫的可行性與安全性，以獲得社會大眾的瞭解、認同與建立信心，進而凝聚推動處置計畫的社會共識。國際經驗顯示，國際合作與專業同儕審查(peer review)已成為各國推動處置計畫的必要措施。國際合作的效益除了技術交流以外，最主要的目的在於藉由國際群體力量提升本國公眾對於處置安全的信心。

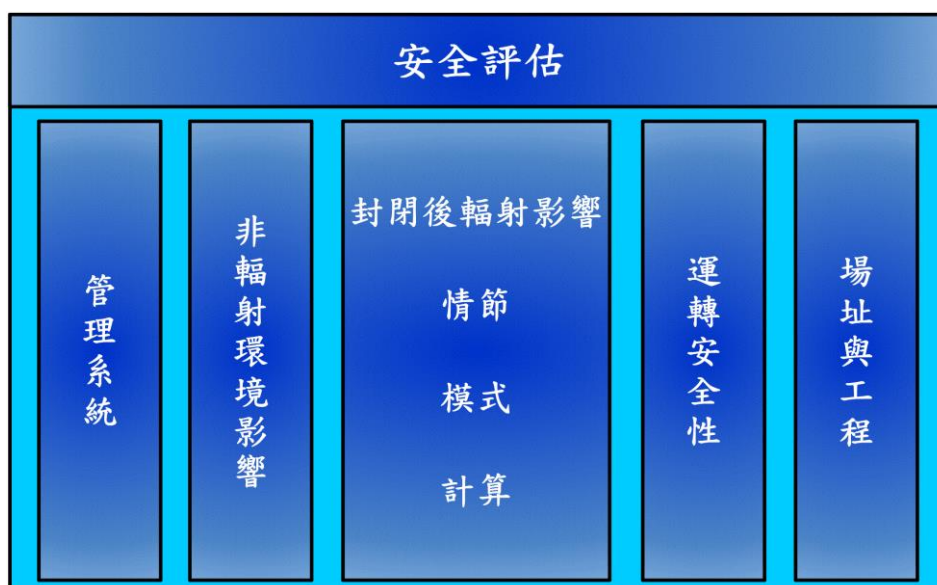
各國均已深刻認知公眾認同是處置計畫成敗的關鍵。各國投入大量人力與物力推動處置計畫的前期研發，除了責任上確保處置安全性外，更在於向公眾證明技術的可行性，以獲得公眾對於推動後續計畫的支持。處置計畫的各個重要決策階段(例如選址、建造、運轉、封閉)均應進行安全論證/安全評估，這已是國際上的共識。不僅止於如此，各國亦會適時的發布研究進度果，讓公眾瞭解處置計畫的進展，例如日本的 H12 報告(JNC, 2000)，我國台電公司「我國用過核子燃料最終處置初步技術可行性評估報告」(台電公司, 2010)均具有公眾溝通的目的。此亦為國際上共通的重要趨勢。

由以上的國際資訊顯示，安全論證的理念經過多年發展，已臻完備，各主要核能國家陸續將之納入實務工作中付諸實踐。我國相關單位對此一重要的國際趨勢持續關注，未來亦將會採取措施將此理念融入我國處置計畫的推動過程中。



資料來源：譯自(IAEA, 2012)

圖 6-1：管制機關應用管理體系與利害關係者持續互動之過程



資料來源：譯自(IAEA, 2012)

圖 6-2：安全評估涵蓋的領域

6.3 低放射性廢棄物處置設施安全分析報告審查導則之精進建議

概略說明「低放射性廢棄物處置設施安全分析報告審查導則」的意涵如下：

「低放射性廢棄物處置設施安全分析報告審查導則」(本節簡稱審查導則)旨在提供低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告審查的技術規範，供執行管制業務及擔任審查委員等之審查人員進行審查工作的依循，審查導則亦得使處置設施經營者(申請人)瞭解審查要點，有利於對應安全分析報告導則進行編撰作業。

審查導則內容對應安全分報告共分為十二章，內容包括概論；設施之綜合概述；場址之特性描述；處置設施之設計；處置設施之建造；處置設施之運轉；處置設施之安全評估；處置設施之組織規劃、行政管理及人員訓練計畫；輻射防護作業與環境輻射監測計畫；保安計畫、意外事件應變

計畫及消防防護計畫；處置設施之封閉及監管規劃，以及品質保證計畫等章節。其他經主管機關指定之事項而未於審查導則涵括者，得另由審查人員會議決定其審查要點。處置設施經營者(申請人)所提出之安全分析報告內容應合於審查導則，或者有更優良的替代方法，方能通過審查。

本研究藉由分析 IAEA SSG-23 安全導則內容，對「低放射性廢棄物處置設施安全分析報告審查導則(第 0 版)」提出修正建議，分別以表列對照原文與修正建議(表 6-1)。修訂的方向可分為：

- (1)一般性建議：根據 IAEA SSG-23 安全導則的指引與精神，建議審查導則應予考量之一般性說明。
- (2)增列條文：主要為參考 IAEA SSG-23 導則之建議所增列之條文。
- (3)條文內容修訂：文字修訂，以使條文更為明確完整。

表 6-1：「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告審查導則」(第 0 版)
修訂草案對照表

| 修正條文 | 現行條文 | 說明 |
|--|---|--|
| <p>1.1 緣由及目的：說明申請單位之需求及處置設施設置之目的與規劃。</p> <p>(二)審查作業</p> <p>2. 是否符合國內法規的要求，確保<u>人類健康安全或是環境於現在或未來不會受到不可接受的影響。</u></p> <p><u>7. 是否符合安全論證構成要素。</u></p> <p><u>包括：背景；安全策略；設施描述；安全評估；限制、</u></p> | <p>1.1 緣由及目的：說明申請單位之需求及處置設施設置之目的與規劃。</p> <p>(二)審查作業</p> <p>2. 是否符合國內法規的要求，確保安全。</p> | <p>一般性建議：參考 IAEA SSG-23 的精神，安全分析的完整性與品質，常取決於管制需求的明確度以及管制機關的期望與方法。</p> <p>明確說明對於人類與環境的安全。</p> <p>增列 7 主要參考 IAEA SSG-23 導則之建議。</p> |

| | | |
|---|--|---|
| <p><u>管控和條件；反覆和設計最佳化；不確定性管理；以及安全辯證的整合。</u></p> <p>7.1 輻射劑量評估：說明廢棄物性質與場區之可能核種傳輸路徑及特性，並分別評估運轉期（廢棄物接收、暫存、吊卸、處理、處置、除污排水）及封閉後正常與異常狀況下對工作人員及民眾輻射劑量之影響，並與現行法規做比較。</p> <p>三、正常狀況之輻射劑量： (二)審查作業</p> <p>6.分析不確定性：<u>應區別不確定性的來源，包含：輸入參數、情節假設、評估模式的數學計算、概念模式。</u></p> <p>四、異常狀況之輻射劑量： (二)審查作業</p> <p>7.分析不確定性：<u>應區別不確定性的來源，包含：輸入參數、情節假設、評估模式的數學計算、概念模式。</u></p> | <p>7.1 輻射劑量評估：說明廢棄物性質與場區之可能核種傳輸路徑及特性，並分別評估運轉期（廢棄物接收、暫存、吊卸、處理、處置、除污排水）及封閉後正常與異常狀況下對工作人員及民眾輻射劑量之影響，並與現行法規做比較。</p> <p>三、正常狀況之輻射劑量： (二)審查作業</p> <p>(二)審查作業</p> | <p>增列 6 主要參考 IAEA SSG-23 導則之建議。</p> <p>增列 7 主要參考 IAEA SSG-23 導則之建議。</p> |
|---|--|---|

7. 結論

放射性廢棄物最終安全處置是各核能發電國家均須解決的問題。由國際資訊顯示，安全論證的理念經過多年發展，已臻完備，各主要核能國家陸續將之納入實務工作，付諸實踐來加以證明處置技術的可行性與安全性。本研究彙整分析國際放射性廢棄物處置安全論證技術發展資訊概況，冀能提供國內相關單位與研究計畫參考應用以加速處置計畫的推動。主要研究心得與結論如後。

7.1 研究結論

(1) 國際原子能總署處置安全導則(SSG-23)內容概要

本研究完成 SSG-23 的全文翻譯，SSG-23 為放射性廢棄物處置有關的安全論證文件和安全評估的“安全導則”，內容主要有 7 個章節：(1) 前言；(2) 證明放射性廢棄物處置的安全；(3) 安全原則與安全要求；(4) 放射性廢棄物處置的安全論證；(5) 封閉階段的輻射影響評估；(6) 具體問題(係指有關制定放射性廢棄物處置設施的安全論證時，可能需要特別考慮的問題)；(7) 安全論證的使用與文件化；(8) 管制審查程序。

(2) 國際放射性廢棄物處置安全論證研析

本研究完成國際國際原子能總署(IAEA)重要規範 SSR-5、SSG-14 與 SSG-29，暨經濟合作發展組織-核能總署(OECD/NEA)導則 NEA 6405 的安全論證技術要點分析；以及主要核能國家(加拿大、芬蘭、法國、德國、日本、瑞典、瑞士、英國、美國等)放射性廢棄物處置相關的安全論證技術要點研究。彙整並釐清國際上對於安全論證的技術準則，可供國內技術發展參考應用。

(3)國際安全論證管制技術趨勢

本研究以 IAEA SSG-23 的內容為基礎，另外再分析及整理國際核能機構有關安全論證的技術文獻，完成安全論證中設施經營者與管制機關扮演角色及管制技術的分析，提供國內相關單位與關注本議題的公眾參考。IAEA SSG-23 闡明的安全論證，係為證明放射性廢棄物處置設施安全的指引與精神，其中設施經營者應在處置設施開發時的各階段(選址、建造、運轉、封閉後)，準備與更新安全論證文件，並應提交管制機關核准；安全論證文件應提供必要的技術內容足夠詳細與全面性，以滿足管制機關在各階段的決策所需的必要資訊擔負。管制機關必須針對放射性廢棄物處置計畫時程各階段的需求，參考 IAEA SSG-23 精神，明確規範安全論證文件的要求，以提供處置場經營機構作為遵循的依據。

(4)國際安全論證經驗回饋

國際經驗強調的安全論證理念，其操作上的中心意義即在於整合。整合所有相關辨證與證據，包含管理體系、審議意見、安全評估等，以獲得認同。各國均已深刻認知公眾認同是處置計畫成敗的關鍵，並投入大量人力與物力推動處置計畫的前期研發，除了責任上確保處置安全性外，更在於向公眾證明技術的可行性，以獲得公眾對於推動後續計畫的支持。處置計畫的各個重要決策階段(例如選址、建造、運轉、封閉)均應進行安全論證/安全評估，這已是國際上的共識。

7.2 成果效益

本研究具有下的效益：

- (1)學術成就：完成專業研究報告一冊。系統性與完整性蒐集分析國際核能組織與主要核能國家，有關放射性廢棄物處置安全論證，相關的安全評

估、技術準則、研究實務等，並分析相關的技術要項與發展趨勢。此外，藉由分析 IAEA SSG-23 安全導則內容，對「低放射性廢棄物處置設施安全分析報告審查導則(第 0 版)」提出修正建議。成果有助於我國相關單位與研究計畫執行作業時參考應用。

- (2)技術創新：本研究充分檢視國際現況資訊，進而分析相關的重要技術議題，並提出我國應考慮的技術要項。對於後續我國管制規範之建立，具有關鍵性的意義，可提供做為擬定規範之科技基準。
- (3)社會影響：本研究報告廣泛的蒐集分析國際現況資訊，於發布後將可做為公眾溝通的素材。增進公眾對於安全論證與安全評估技術國際現況的認知。
- (4)非研究類成就：本研究報告以系統性的方法討論國際上安全論證的導則與實務作法，可做為新進研究培育的基本資訊，以掌握對國際現況的全面性瞭解。
- (5)其它效益：本研究搜集整理大量的國際法規、案例、文獻等，可提供作為委託單位後續參考應用的資料庫。

7.3 後續研發建議

放射性廢棄物處置安全論證技術發展，依國情不同，具有因地制宜的特性。瞭解國際共通性的技術準則、實務作法、與研發趨勢，有助於我國放射性廢棄物處置計畫的安全管制，並能確實把握大方向的基本安全原則。惟在落實到具體管制作業與擬定本土技術規範時，仍應針對特定的技術主題進行在地化更深入的研究。例如哪些項目需納入管制?哪些項目需要有量化標準等?此外，在針對安全論證技術訂定規範時，應結合

全面性的管理、調查、試驗、分析、評估、審查、辨證、品保等做整體的考量。

參考文獻與網址

- 台灣電力公司，2010，SNFD-2009：我國用過核子燃料最終處置初步技術可行性評估報告。
http://www.aec.gov.tw/webpage/control/waste/files/index_06_a6.pdf
- ASN, 2008, Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde.
- BMU, 2010, Safety Requirements Governing the Final Disposal of Heat-Generating Radioactive Waste, The Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety (BMU), Germany.
http://www.posiva.fi/files/3561/Safety_requirements_BMU_2010.pdf
- Boissier, F., and Voinis, S., 2014, Safety Case for license application for a final repository: The French example, in The Safety Case for Deep Geological Disposal of Radioactive Waste: 2013 State of the Art, Symposium Proceedings, 7-9 October 2013, Paris, France.
<http://www.oecd-nea.org/rwm/docs/2013/rwm-r2013-9.pdf>
- CNSC, 2006, Assessing the Long Term Safety of Radioactive Waste Management, Canadian Nuclear Safety Commission, Regulatory Guide G-320.
http://www.nuclearsafety.gc.ca/pubs_catalogue/uploads/G-320_Final_e.pdf
- ENSI, 2009, Specific design principles for deep geological repositories and requirements for the Safety Case, ENSI-G03/e.
http://static.ensi.ch/1314022023/g-003_e.pdf
- IAEA, 2011a, 放射性廢棄物處置，特定要求，International Atomic Energy Agency, SSR-5。(簡體中文版)
http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1449c_web.pdf
- IAEA, 2011b, Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste, International Atomic Energy Agency, Specific Safety Guide, No. SSG-14.
http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1483_web.pdf
- IAEA, 2012, The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste, International Atomic Energy Agency, Specific Safety Guide, No. SSG-23.
http://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/pub1553_web.pdf

- IAEA, 2014, Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste, No. SSG-29.
http://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/pub1637_web.pdf
- JAEC, 1997, Guidelines on Research and Development Relating to Geological Disposal of High-Level Radioactive Waste in Japan, Atomic Energy Commission of Japan.
<http://jolissrch-inter.tokai-sc.jaea.go.jp/pdfdata/JNC-TN1410-2000-001.pdf>
- JNC, 2000, H12: Project to Establish the Scientific and Technical Basis for HLW Disposal in Japan, Japan Nuclear Cycle Development Institute.
<http://jolissrch-inter.tokai-sc.jaea.go.jp/pdfdata/JNC-TN1410-2000-001.pdf>
- NDA, 2010, Geological Disposal: Generic Post-closure Safety Assessment, Nuclear Decommissioning Authority, NDA/RWMD/030.
- OECD/NEA, 1991, Disposal of Radioactive Waste: Review of Safety Assessment Methods, OECD/NEA, Paris, France.
- OECD/NEA, 2010, Regulation and Guidance for the Geological Disposal of Radioactive Waste, Organisation for Economic Co-operation and Development Nuclear Energy Agency, No. 6405.
<http://www.oecd-nea.org/rwm/reports/2010/nea6405-regulation-guidance-ENG.pdf>
- OECD/NEA, 2012a, Methods for Safety Assessment of Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste: Outcomes of the NEA MeSA Initiative, No. 6923.
<http://www.oecd-nea.org/rwm/reports/2012/nea6923-MESA-initiative.pdf>
- OECD/NEA, 2012b, Indicators in the Safety Case: A report of the Integrated Group on the Safety Case (IGSC), Organisation for Economic Co-operation and Development Nuclear Energy Agency, NEA/RWM/R(2012)7.
<http://www.oecd-nea.org/rwm/docs/2012/rwm-r2012-7.pdf>
- OECD/NEA, 2013, The Nature and Purpose of the Post-closure Safety Case s for Geological Repositories, Organisation for Economic Co-operation and Development Nuclear Energy Agency, No. 78121.
<http://www.oecd-nea.org/rwm/reports/2013/78121-rwn-sc-brochure.pdf>
- OECD/NEA, 2014, The Safety Case for Deep Geological Disposal of Radioactive Waste: 2013 State of the Art, Symposium Proceedings, 7-9 October 2013, Paris, France, Organisation for Economic Co-operation and Development Nuclear Energy Agency, NEA/RWM/R(2013)9.
<http://www.oecd-nea.org/rwm/docs/2013/rwm-r2013-9.pdf>

- Posiva, 2012, Safety Case for the Disposal of Spent Nuclear Fuel at Olkiluoto - Synthesis 2012, Posiva Report 2012-12.
- Röhlig, K-J., L. Griffault, M. Capouet, H. Makino, N. Marcos, P. Smith, A. Vokal, and J. Wollrath, 2011, OECD/NEA project on the Methods for Safety Assessment (MeSA), Issue Paper No. 3: “System description and scenarios”.
- SEPA & NIEA, 2009, Geological Disposal Facilities on Land for Solid Radioactive Wastes: Guidance on Requirements for Authorisation.
https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/296504/gho0209bpjm-e-e.pdf
- SKB, 2011, Long-term Safety for the Final Repository for Spent Nuclear Fuel at Forsmark - Main report of the SR-Site project, Volume I, Technical Report TR-11-01.
- SSI, 2005, The Swedish Radiation Protection Authority’s Guidelines on the Application of the Regulations (SSI FS 1998:1) Concerning Protection of Human Health and the Environment in Connection with the Final Management of Spent Nuclear Fuel and Nuclear Waste, SSI FS 2005:5.
- SSM, 2008, T The Swedish Radiation Safety Authority’s regulations and general advice concerning safety in connection with the disposal of nuclear material and nuclear waste, SSM FS 2008:21.
<https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Global/Publikationer/Forfattning/Engelska/SMFS-2008-21E.pdf>
- STUK, 2010, Disposal of Spent Nuclear Fuel, STUK-YVL E.5.
- STUK, 2013, Disposal of nuclear waste, Guide YVL D.5.
http://www.finlex.fi/data/normit/41785-YVL_D.5e.pdf
- USNRC, 2001, 10 CFR 63 - Disposal of High-level Radioactive Wastes in a Geologic Repository at Yucca Mountain, Nevada.

附錄：IAEA SSG-23 特別安全導則：
「放射性廢棄物處置安全論證與安全評估」
(中文翻譯)

放射性廢棄物處置之安全論證與安全評估

The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste

IAEA Specific Safety Guide No. SSG-23

1. 前言

背景

1.1 放射性廢棄物處置為其管理的最終步驟，而處置設施的設計、運轉及封閉應提供必要的圍阻與隔離作用以確保安全。基本的安全目標為保護人類與環境免於游離輻射危害[1]，並依循以下的原則：

"放射性廢棄物必須加以管理，以避免強加過度的負擔到未來世代，亦即本世代對其所產生放射性廢棄物的長期管理，應尋求與使用安全、務實與環境可接受的解決方案。"

1.2 至於涉及放射性物質和輻射的所有設施和活動，處置設施經營者對其安全負有主要基本責任，且必須評估設施安全，並證明設施的設計與運轉符合相關安全要求。放射性廢棄物處置所需的安全要求中，尤其是安全論證必須連同支持其論述的安全評估一起發展。

1.3 安全論證集合了科學、技術、管理與經營的辯證，以作為支持處置設施安全的證明，其涵蓋了場址與設施設計、建造與運轉的適宜性，輻射安全評估以及所有與處置設施安全相關工作的適當性與品質確認。安全評估為安全論證不可或缺的一部份，透過系統性的輻射危害評估，成為安全論證

中的一個重要組成。後者涉及起因於處置設施輻射劑量與輻射危害的量化分析，及與劑量和危害標準進行比較，並在考慮放射性廢棄物仍有危害的各個時間範圍，提供處置設施在正常狀況與擾動事件下行為的瞭解。安全論證與支持其論述的安全評估提供安全證明與核發執照的基礎。他們將隨處置設施的發展而展開，而且將協助與指引選址、設計及運轉的決策。安全論證也將成為與關切團體進行對話、意見交流及發展處置設施安全信賴度的主要基礎。

1.4 本安全導則提供符合關於安全論證安全需求以及支持其論述的放射性廢棄物處置安全評估的指引與建議。

目的

1.5 本安全導則的目的為提供如何評估、證實與文件化所有類型的放射性廢棄物處置設施安全。當評估放射性廢棄物處置設施封閉後之安全時，能將一些最重要考量進行確認，另外執行這種評估與呈現安全論證時，適切的指引能提供實務上最佳之結果。本導則與負責準備安全論證的營運機構，以及負責發展決定安全論證基礎與範圍的法規與規範指引之管制機關有關。本安全導則也提供安全論證管制機關對於審查的指引，以建立規範所需的後續配套程序。

範圍

1.6 本安全導則涵蓋所有類型放射性廢棄物特定處置設施所需安全論證與支持其論述安全評估之準備作業。本安全導則提供處置設施發展所有時期的指引與建議。所強調的重點在於封閉後處置設施的功能及其影響評估。

其他相關面向，例如運轉安全和非輻射學上的風險，有說明但無詳細討論。保安方面也未詳細討論，雖然有提出符合推動措施的建議，以確保對放射性廢棄物處置的安全措施與核子保安措施整合性的作法。

1.7 本安全導則也針對涉及關切團體、風險溝通議題及決策制訂方法等方面提供建議，因為這些是安全論證運用於決策制訂過程中，基本不可或缺的構成要素。本安全導則亦提供管制程序的指引與建議。

導則架構

1.8 本安全導則的第 2 節討論證明一個放射性廢棄物處置設施安全的全部程序。第 3 節概述在安全論證準備中會遇到的主要安全原則與安全要求。後續各節的所有目標將提出符合前述要求的指引。第 4 節中詳盡闡述安全論證概念。亦描述安全論證的構成要素與其在處置設施發展、運轉與封閉中的角色。另建立安全論證信賴度的可能性也在此節討論。第 5 節說明形成第 4 節所描述安全論證核心元素之封閉後輻射影響評估方法論，概述並詳細討論程序中各式各樣的步驟。特別是針對輻射影響評估中的不確定性管理提供指引與建議，也可用於評估結果與評估準則之比較。第 6 節討論安全論證過程產生的特別議題。第 7 節說明安全論證文件化，和指出處置設施發展中安全論證之可能用途。第 8 節提供安全論證管制審查的指引與建議。

2. 證明放射性廢棄物處置的安全

2.1 基本的安全目標是保護人類與環境免於游離輻射的危害效應。此外，
"放射性廢棄物必須加以管理，以避免強加過度的負擔到未來世代，亦即本世代所對其所產生放射性廢棄物的長期管理，應尋求與使用安全、務實與環保的解決方案。"

所有放射性廢棄物偏好的管理策略，是將其圍阻與隔離於人類可及的生物圈之外。

2.2 根據分級的作法，一個被選定容納廢棄物的處置系統及隔離廢棄物與人類和易受其影響的生物圈之能力，應該與廢棄物的危害潛勢相稱。此基本上可由廢棄物形式與包裝、處置設施場址及其設計的適當選擇達成。處置設施並不被期望提供廢棄物永久的完整圍阻與隔離；如此既不切合實務，對一個危害隨時間衰減的廢棄物來說也不需要。

2.3 數十年來，許多國家已經建造及運轉放射性廢棄物處置設施。目前大部分運轉中的設施為近地表處置設施，但有一個地質處置設施現正運轉中，許多國家正朝向發展深地質處置設施之建造與運轉，以適用於高放射性廢棄物。

2.4 當放射性廢棄物處置的國家方案已經制定，相當大的努力即開始投入發展系統化與國際認可之方法以證明處置設施安全與準備特定設施安全論

證。安全論證被定義為"證明設施安全的全套辨證與證據[2]。處置設施安全可靠度的證明，取決於安全論證關於場址與設施工程(例如工程障壁系統)特性、安全評估結果和確認安全相關工作所有面向品質管理安排之論證。

2.5 安全評估必需評量處置系統的功能及定量化對於人類健康與環境的潛在放射性影響。安全評估是一個處置設施安全論證的主要構成要素，應考慮設施於運轉與封閉後的潛在放射性影響。放射性影響可能從封閉後漸進的作用產生，這些作用可能引起設施及其系統組件(例如天然與工程障壁)的功能退化，也可能來自於不連續的擾動事件，這些事件可能影響廢棄物的隔離作用(例如地震、斷層作用、人類無意侵入)。安全評估應證明此處置設施是否符合適用的管制要求。

2.6 參考文獻[14-16]為不同類型處置設施提供建議，以符合參考文獻[2]的安全要求。參考文獻[3]為安全評估建立要求；這些要求應用到所有設施與活動，包含運轉期間與封閉後的處置設施。對於廢棄物內含有放射性核種的量與半化期須考慮長期安全性者，其處置設施應有相稱的特別考量。

2.7 參考文獻[17]中提供放射性廢棄物分類架構圖，如圖 1 之圖例說明。參考文獻[17]中的定義及 2.8 節中所討論的為一般通稱的廢棄物類別，且圖 1 中廢棄物分類架構亦指出了放射性廢棄物類別與廢棄處置設施的連結。這些連結並未排除對各特定場址進行完整安全評估的要求，除此之外，亦可用以建立各設施的廢棄物接收準則。此外，廢棄物分類架構提供國際參考基準，促進國際間廢棄物管理資訊交流，並能協助國家廢棄物管理策略的建立。

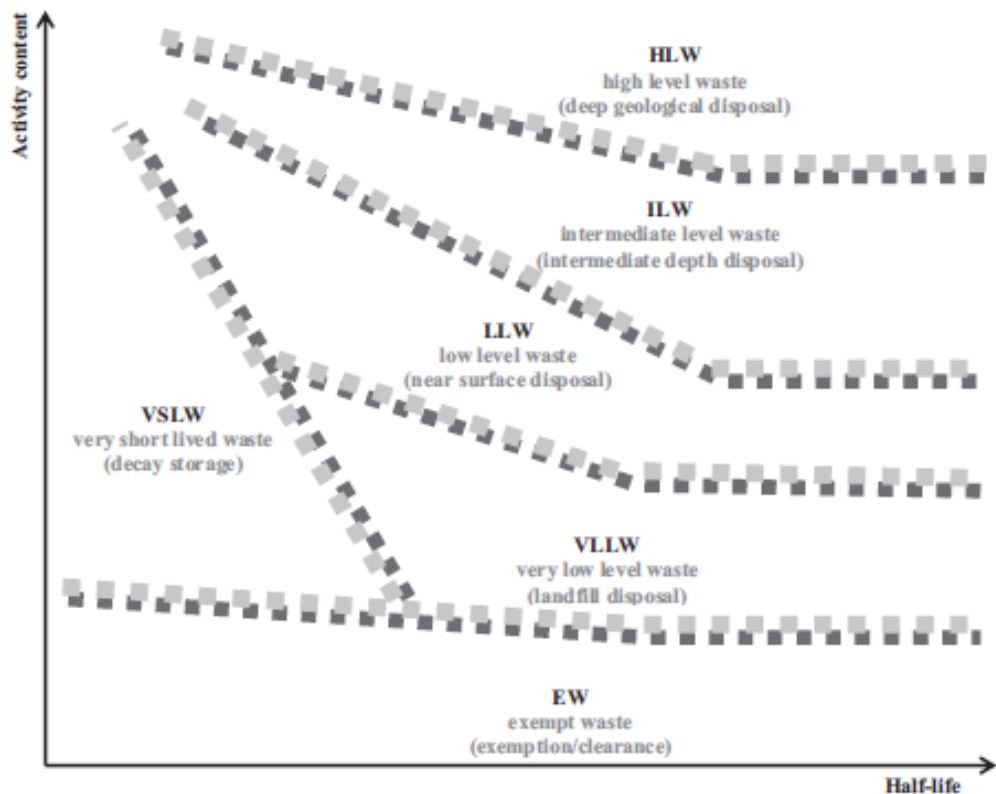


FIG. 1. Conceptual illustration of the waste classification scheme.

圖 1 廢棄物分類架構示意圖

2.8 本安全導則中所考慮的廢棄物類型如下所列:

一極低微廢棄物(VLLW)：VLLW 源自於核設施運轉與除役、礦物的開採與提煉、研究醫療及教育應用的放射性物質。VLLW 的活度濃度高於法規的物料解除管制基準。針對 VLLW 安全管理有一些輻射防護條款的要求，但相較於下列類別較高活度的放射性廢棄物，這些規定是非常有限的。

一低放射性廢棄物(LLW)：LLW 適用於近地表處置，並包含非常廣泛的放射性廢棄物，從高於 VLLW 標準到活度標準需要長達數百年屏蔽、圍阻和隔離之放射性廢棄物。低濃度的長半化期放射性核種可出現在 LLW 中，但可接

受的濃度以近地表處置能確保廢棄物隔離期間的長度來限制，特別是經由監管能充分降低人類無意闖入設施的可能性。

—中放射性廢棄物(ILW)：ILW 含有大量長半化期放射性核種，對於與生物圈圍阻與隔離的要求需要比近地表處置的考量較多(例如期間較長)。LLW 和 ILW 的分界不能根據特定的活度範圍指定，因為可依循的標準將取決於實際廢棄物處置設施。

—高放射性廢棄物(HLW)：HLW 含有高於 ILW 的放射性核種濃度及由放射性衰變所產生顯著的熱量。由於高濃度長半化期放射性核種，顯著的衰變熱能將延續數個世紀。HLW 可以包含已被宣稱為廢棄物的用過核燃料，用過核燃料處理產生的玻璃化廢棄物，以及其他需要相當程度圍阻與隔離的廢棄物。

2.9 '處置'一詞可說是將放射性廢棄物安置於一個設施或一個位置，而無意圖收回該廢棄物.....。處置選項藉由被動工程與天然特性之設計以容納該廢棄物，並隔離以避免接近生物圈，需求範圍由相關危害而定。處置一詞雖意味著沒有要去回收；但它沒指回收不可能。

"相較之下，貯存一詞可說是把放射性廢棄物滯留在一設施或一位置中，而有意圖要回收該廢棄物。此兩個選項，處置與貯存，都是用以容納廢棄物所設計，以將之隔離避免接近生物圈及其必要的範圍。重要的差異為貯存為暫時的對策，隨後會有一些未來的行動規劃。此可能包含廢棄物進一步的處理或包裝，以及最終的處置"(參考文獻 [2]的 1.8 和 1.9 節)。

2.10 處置設施的發展通常牽涉到廣泛的研究、設計與評估工作的規劃，其時程可能延續數年或數十年。處置設施一旦建立可以運轉數十年。放射性

廢棄物處置設施的生命期，可以被定義成三個階段：運轉前階段、運轉階段及封閉後階段。

一在運轉前階段執行的活動一般包括處置概念與安全策略的發展、場址評估(選址、驗證及確認)、環境影響評估、設施初始設計研究、研究和監測計畫的發展、設施詳細設計的發展。設施的申照與建造也在此階段進行。

一運轉階段開始於該設施第一次接收廢棄物直到該設施所有部分進行封閉。由於廢棄物管理行為所造成的結果，此期間可能發生輻射曝露，因此須對工作人員進行輻射防護與安全管制。安全評估、監測及研究與發展計畫應被用於影響設施運轉與封閉的管理決策。在運轉期間，建造活動可以與廢棄物放置及封閉該設施其他部分同時進行。

一封閉後階段開始於設施關閉之後。封閉之後，監管期間可對可靠處置設施的安全做出貢獻(特別是近地表處置設施)。監管可為主動或被動類型。主動措施的例子有環境介質中的放射性核種濃度監測、或是工程障壁的功能與完整性監測，尤其是近地表處置設施的案例。封閉後階段之維護措施(例如近地表處置覆蓋的修復)也屬於這個範疇。其他監管可能為被動類型。例如確保處置設施紀錄的保存與合宜的土地利用限制等。各國對於最大監管期間有不同的規定，此效益可納入於安全論證考量。但由於此管制的效能性無法確證，因此安全不能僅依賴此措施。儘管如此，此措施仍可做為提供深度防禦的一個要素。

3. 安全原則與安全要求

3.1 本節列出準備安全論證與支持其論點的安全評估所考慮的主要原則與要求。

3.2 IAEA基本安全原則[1]中闡明了所有廢棄物管理活動應用的安全原則。

原則 1：安全責任

原則 2：政府角色

原則 3：安全的領導與管理

原則 4：設施與活動的正當性

原則 5：防護最佳化

原則 6：個人的風險限制

原則 7：現在與未來世代的防護

原則 8：事故的預防

原則 9：緊急事件的防患與應變

原則 10：降低現有或未受管制之輻射風險的防護行動

3.3 許多安全原則反應出用過核燃料管理安全和放射性廢棄物管理安全聯合公約[18]第1條的基本元素。相關的輻射防護要求建立於「輻射源的輻射防護與安全：國際基本安全標準」[19]。許多採自於參考文獻18和19的防護概念，導自於國際輻射防護委員會的建議[20-24]。

對於安全論證與安全評估的要求

3.4 下列段落闡明參考文獻 2 和 3 中與安全論證準備、更新/維護及應用有關的主要要求。參考文獻 2 和 3 的其他要求於本安全導則後面的各節中說明。

對發展安全論證與安全評估的責任

3.5 "執行安全評估的責任應歸屬於法定應負責的人員；亦即對設施或活動負責的個人或組織"(參考文獻 3，要求 3)。

3.6 對於處置設施：

"經營者應完成安全評估，發展及持續進行安全論證，並依照國家策略、符合規範要求在法律與規範基礎架構內，應完成所有對於場址選擇與評估、設計、建造、運轉、封閉等必須的活動，如有需要封閉後亦須進行監管"。(參考文獻 2，要求 3)。

3.7 "管制機關須為不同類型放射性廢棄物處置設施發展建立監管控制要求，並應闡明符合不同核發執照程序階段要求的程序。亦須為每一個別處置設施的發展、運轉與封閉設定條件，並完成必要活動以確認這些狀況已符合"(參考文獻 2，要求 2)。

經營者進行安全評估與準備安全論證時必須說明應符合的法規要求與條件。

安全論證的要求

3.8 處置設施發展、運轉和封閉各階段的安全論證應遵照下列要求：

—"安全論證與支持其論點的安全評估，如有需要，於處置設施發展、運轉和封閉後的各階段，須由經營者準備與更新。該安全論證與支持其論點的安全評估須提交給管制機關，並獲得許可。安全論證與支持其論點的安全評估之詳盡性與全面性須是充分地，以提供必需的技術輸入向管制機關報告及呈現各階段之決策需求(參考文獻 12，要求 2)。

—"一個處置設施場址特性描述的細節程度應足以支持對場址特性與隨時間演變特性的總體瞭解。此須包含它的現在狀況、所有考量期間裡它的自然演變和可能的自然事件、以及鄰近地區人類規劃與活動對設施安全可能的影響。它也須包含對於場址與設施相關特徵、事件與作用之安全影響的特別瞭解"(參考文獻 2，要求 15)。

—"處置設施的建造須與已被許可之安全論證與支持其論點的安全評估中所敘述的設計一致。建造過程需保留母岩環境的安全功能，以依安全論證所示維持其重要的封閉後安全性"(參考文獻2，要求17)。

—"處置設施須依照執照條件與相關管制規定進行運轉，以維持運轉期間的安全，藉此維持安全論證假定的封閉後重要安全功能"(參考文獻2，要求18)。

—"放射性廢棄物處置設施之發展、運轉與封閉須成一系列步驟。必要時各步驟均須對於場址、處置設施設計、建造、運轉與管理方式之選擇、處置系統的功能與安全進行反覆評估(參考文獻2，要求11)。

—"處置設施的封閉方式須依安全論證所述，可提供封閉後的重要安全功能。封閉計畫，包含從設施主動管理的轉變，須充分地說明且可施行的，如此封閉作業才能在適當的時間安全地完成(參考文獻2，要求19)。

—"處置設施的安全論證須描述所有關於場址、設施設計以及管理控制措施與監管管制等面向的論述。安全論證與支持其論點的安全評估須論證所提

供的人員與環境保護程度，並應對管制機關與其他關切團體提供符合安全要求的保證(參考文獻2，要求13)。

3.9 下列要求用於所有設施與活動，包含處置設施："無論各種深度防禦程度的合適規定是否已制定，它須在深度防禦評估中做出決定"(參考文獻3，要求13)。此要求由下列陳述進一步解釋：

"安全評估必須判定是否已有適當的深度防禦，必要時可藉由結合數層防護措施(例如自然障壁、保護障壁的系統以及管理程序)，以免在造成人類或環境後果前有障壁失效或被避開的情況。(參考文獻3，4.12節)。

安全評估的要求

3.10 下列為應用於安全評估的要求：

—"安全評估必須在新設施或活動的設計階段完成，或於現有設施運轉期限或活動作業期限內盡可能提早完成。為了考慮環境可能的變化(例如新標準的應用或是新科學和技術的發展)、場址特性的變化及設計或運轉的修改，還有老化的效應，對於延續長時間的設施或活動，在設施或活動的壽命期間，安全評估作業需要進行必要的更新"(參考文獻3，4.6節)。

—"安全評估的主要目的須決定設施或活動是否已經達到足夠的安全層級，及由設計者、經營機構和管制機關所建立的安全目標與安全標準是否符合游離輻射防護與輻射源安全之國際基本安全標準(參考文獻3，要求4)。

—"安全評估必須提出源自於一般運轉操作(即當設施運轉正常或活動正常地被完成時)及預期操作上會發生與意外狀況(故障或內外部事件發生後挑戰設施或活動的安全)的所有輻射風險。對於預期運轉事件與意外狀況也必

須提出可能發生的故障，以及任何故障的後果"(參考文獻 3，4.5 節)。

—"安全評估中應決定是否採行足夠的措施以管控輻射風險達到可接受的程度。應決定整合於設計中的結構、系統、元件和障壁是否滿足他們被要求的安全功能。亦應決定是否足夠的措施已被採行以預防預期運轉事件和意外狀況，以及是否任何輻射事件可以在事故真的發生時減輕危害" (參考文獻3，4.9節)。

—"安全評估必須提出源自於設施運轉或活動執行造成對個人與人群的所有輻射風險。此包括當地人群，如適用，也包括因設施或活動造成輻射風險增高的遠地人群，包含其他國家的人群"(參考文獻3，4.10節)。

—"安全評估必須提出現在與長期的的輻射風險。這對於影響時間將跨越幾個世代的放射性廢棄物管理特別重要(參考文獻3，4.11節)。

—"安全評估必須包含一安全分析，藉由定率和機率式方法所構成一系列不同的定量分析，以對不同運轉狀態、預期運轉事件與事故狀況之安全質疑進行評估與估算。安全分析的範圍與詳細程度利用漸進的方法決定，如第3節所描述。安全分析的範圍與詳細程度的決定為安全評估不可或缺的一部分"(參考文獻3，4.10節)。

安全評估的維持

3.11 有關於安全評估的維持

"安全評估的更新頻率與設施或活動的相關輻射風險，及設施或活動被改變的程度有關。至少，安全評估應於定期安全審查進行更新並於預定期間內完成，以符合管制要求。這些設施運轉或是活動執行的延續，取決於再評估中可證明安全措施의妥適性依然足夠，可令經營機構與管制機關滿意"

(參考文獻 3，4.10 節)。

3.12 此外，

"於安全評估更新時，也必須論述自己本身設施或活動和類似設施或活動的運轉經驗，包含預期運轉事件與意外狀況和意外前兆的數據"(參考文獻 3，4.10 節)。

3.13 下列為特別應用於廢棄物處置設施安全評估更新的要求：

- “支援安全論證的安全評估必須執行與更新，其涵蓋整個處置設施發展和運轉期間及有更精確場址數據時。安全評估必須由經營者提供輸入資料給進行中的決策制定。這樣的決策制定可關連到研究、評估能力發展、資源配置以及廢棄物接收標準發展等議題”(參考文獻2，4.13節)。
- “經營者必須與管制機關協商，決定安全評估的時程與細節程度，並須經管制機關的認可”(參考文獻2，4.14節)。

安全論證文件

3.14 與安全論證有關文件

"處置設施的安全論證與支持其論點的安全評估之文件化詳細與品質程度，須足以影響和支持各步驟所做的決策，並考慮到安全論證與支持其論點的安全評估之獨立審查"(參考文獻 2，要求 14)。

3.15 "安全評估的結果與發現，如適當，應以安全報告的形式文件化，反應出設施和活動的複雜性及與之相關的輻射風險。安全報告應說明所進行的

評估與分析，以證明設施與活動符合 IAEA 發布的基本安全原則與要求，以及符合國家法律和法規中的其他要求" (參考文獻 2，4.62 節)。

安全論證的應用

3.16 下列額外要求是有關特別應用於處置設施安全評估結果的使用：

- “廢棄物包件和未包裝廢棄物的接收與置放於處置設施須符合接收準則，此準則應源自於運轉與封閉後設施的安全論證" (參考文獻2，要求20)。
- “須準備封閉後期間的計畫，提出制度化管制與安排以維持處置設施資訊的可用性。這些計畫須與被動安全特性一致，並須成為獲得封閉設施正式授權安全論證的一部分(參考文獻2，要求22)。

3.17 “安全評估結果須用以訂定維護、監視與檢查之方案；訂定所有與重要安全性相關的預期運轉情況與事故之相應程序；訂定涉及設施和活動相關人員之必備能力及以整體性風險告知作法進行決策”(參考文獻 2，要求 23)。

4. 放射性廢棄物處置的安全論證

4.1 本節確認並提供安全論證構成要素之方針，安全論證發展及在處置設施發展、運轉、封閉期間的角色。

4.2 安全論證構成要素的表示如圖 2，且應該包含如下：背景；安全策略；設施描述；安全評估；限制，管控和條件；反覆和設計最佳化；不確定性管理；以及安全辯證的整合。

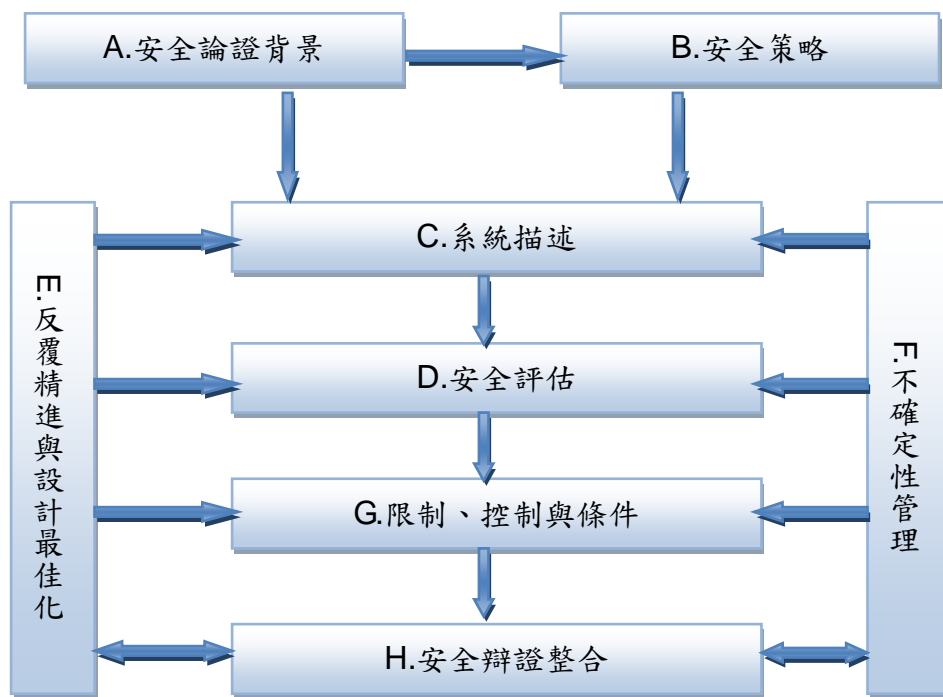


圖 2：安全論證的構成要素

4.3 安全論證應該從設施概念上發展，且在整個發展生命週期應該受到維護直到封閉和許可執照終止。為確保所有安全品質之相關作業，應以管理系

統全面性管理，亦應有管制作業的加入，說明如圖 3。在安全論證發展與運用上，應該適切地規劃以便於所有關切團體參與。

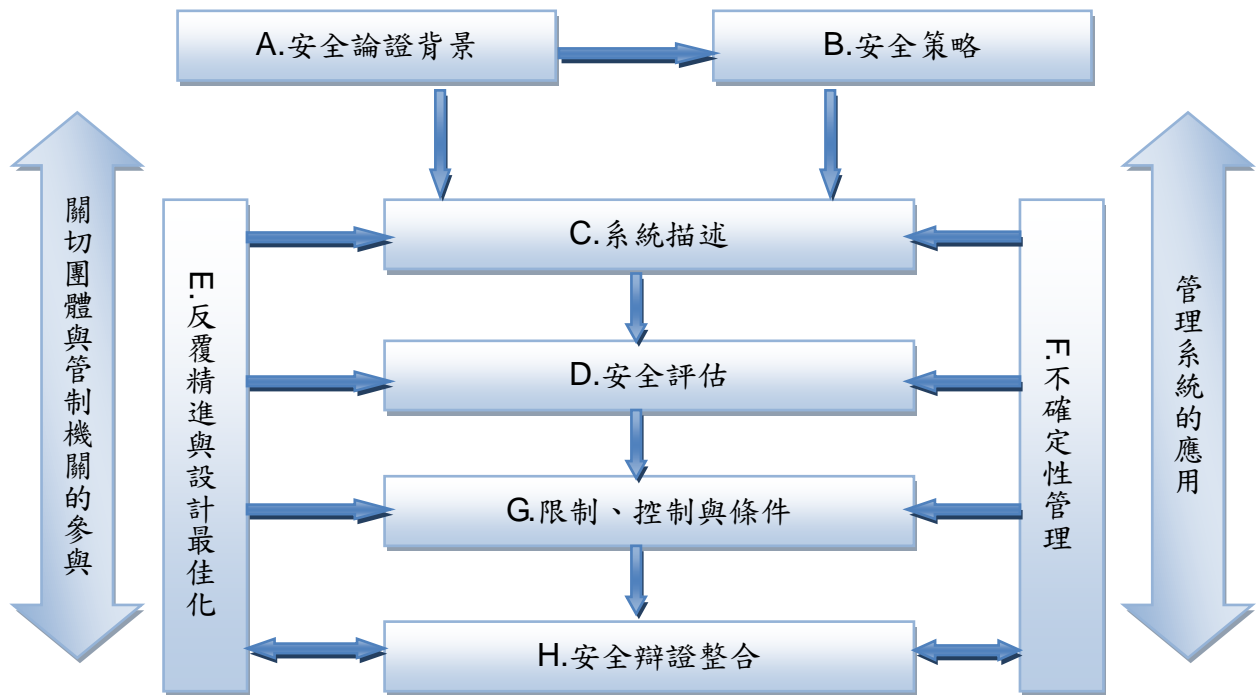


圖 3：管理系統的應用及與管制機關和關切團體的互動過程。

4.4 安全評估是安全論證主要構成要素並包含許多方面的評估，如圖 4 所示。安全評估的基本要素是輻射劑量和輻射風險對於人類和環境的放射性影響評估。隸屬於安全評估的其他重要方面包括場址和工程方面、運轉安全、非輻射影響和系統管理。段落 4.20-4.100 提供各種安全論證組成之指導方針。

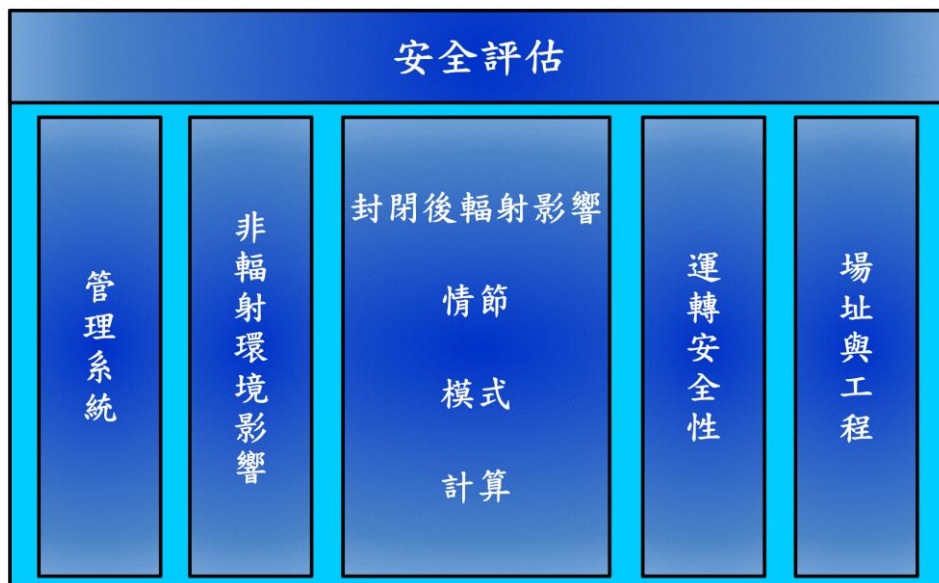


圖 4：安全評估包含的面向

4.5 針對大多數新的處置設施已有或已在發展中的個別安全論證構成要素。引入安全論證概念的效益在於可提供結構化的框架來整合相關文件與所有和處置設施安全相關的資訊。

安全論證的角色與發展

4.6 按照參考文獻[2]的要求。(見第 3.8 段)，需要發展一個安全論證以應付處置設施運轉期間和其關閉後的安全。本安全導則著重於封閉後期間的安全，及提供安全論證的角色與構成要素所需呈現之全部辯證與支持其論述的安全評估、證明處置設施安全的分析和證據之指引。在這點上，安全論證的角色應該要具備：

- 一以結構化、可追蹤和透明的方式進行相關資訊的整合，證明在封閉後期間對於處置系統行為和功能的瞭解；
- 一處置系統行為和功能不確定性的判定，不確定性重要性的分析，及對於

重要不確定性管理方式的判定；

—藉由提供處置設施將以保護人類健康和環境的方式進行之合理保證來展示其長期安全性；

—處置設施在循序漸進發展過程中進行決策時之依據；

—促進有關處置設施的議題和關切團體之間的溝通。

4.7 如 2.10 所述，處置設施的發展是循序漸進的。這樣的循序漸進方法應具有：

—系統化收集與評估必要的科學與技術數據；

—可能場址的評估；

—處置概念的發展；

—反覆精進設計和安全評估的相關研究來逐步改進數據；

—整合來自技術審查和管制審查的意見；

—對於特定的決策點諮詢公眾意見；

—政治參與。

後續確切的過程應該取決於設施的型式與各國作法的基礎之上。

4.8 安全論證的發展應該在計畫成立時開始，且設施發展和運轉之所有步驟安全論證應該持續進行，直到處置設施封閉與執照終止時為止。安全論證也應該用於場址選擇的所有步驟，以引導場址選擇過程、設施設計、開挖和建造活動及設施運轉與關閉。安全論證在各個步驟上應該用於判定研究和發展的需求，與判定和建立限制、控制和條件，及主要為了提供申照程序的依據。就解釋安全的特徵而言及如何確保安全的合理標準，安全論證也將成為與關切團體溝通的主要工具。

4.9 安全論證可以不同方式發展，其內容和架構將因國家具體的立法和管制需求及地方關注而受到極大的影響。雖然有些國家不使用“安全論證”這一名詞，在本質上其用來證明安全的方法和程序，是相容且類似於安全論證的概念。

4.10 按照參考文獻[2]的要求，安全論證的發展應該是隨著處置設施發展演變之一種反覆精進過程。根據文獻[2]，安全論證技術細節的形式和水準，取決於計畫發展的階段、既有的決策及國家特定的要求。對於採取循序漸進發展的處置設施，提供了有關設施的選址、設計、開挖和建造、運轉和封閉之決策基礎，並且應該容許需要進一步關注議題的判定，以提升對於影響處置系統安全各個面向的瞭解和(或)藉由適當的設計選擇減少其餘的不確定性。

4.11 當發展安全論證時，將受主要機關團體(如：政府、管制機關和關切團體)審查、運用和核准的需求，在安全論證中應該被確認且充分的瞭解；這些需求將視地方和國家狀況而定。安全論證，包括支持其論述的安全評估，是設施運轉者的責任，需要以符合不同關切團體需求的方式呈現。對於什麼需求被包含、評估和計算，使之適用於設施發展的每一步驟及與設施有關的相關危害標準，只要可能，事先協議應該透過與那些團體的溝通來達成。例如，關切團體對於有關安全評估結果的呈現和解釋的期望，可能會增加申照決定點的達成。

4.12 對於一個處置設施的設計和運轉，以循序漸進的方式，連同多種選擇

的考慮，應能對於反應新的科學或技術資訊，及在廢棄物管理和材料技術的進步提供靈活性。安全論證也應該以使得社會、經濟、政治等方面可以得到解決的方式來實行。

4.13 在循序漸進的方法內，對於處置系統和處置設施設計的科學認知應該逐步地推進，且安全論證應該更聚焦於關鍵領域。安全論證不應該只是增進在先進科學上的了解，同時對於風險的認知也相當有貢獻。在每一個步驟(即各主要的決策點)，即做決定進到下一步前，安全評估應該以使得目前所瞭解的處置系統，及相關不確定性能被評估之方式來進行。安全論證和支持其論述的安全評估在進行每個重要的決策之前都應該被審查與更新，並需要週期性的反映真實經驗與知識(例如從科學研究獲取知識)，同時考慮運轉方面相關的長期安全。隨著設施運轉的開始，如果在操作實務、廢棄物形態與設計上等確認有重要變動，則應該對安全論證和支持其論述的安全評估進行修訂或更新。

4.14 安全論證和支持其論述的安全評估的發展在每次反覆精進的過程中都應該予以文件化，才能對關切團體維持透明(例如新數據的解釋，或者概念與數學模式改變理由上的解釋)。在這個方面上是重要的，用以避免評估受到操縱而給予更有利結果的印象。

4.15 管制機關應具體說明更新所需的類型和(或)改變幅度以及時限。通常期限為五到十年之間，同時考慮如新資訊的可用性、重大設計或操作的修改、人員流動和培訓及知識精進與計算能力進步等因素。

4.16 在選址過程中，有關場址詳細特性和處置設施設計需要作出一些假設，而安全評估將只提供處置設施如何執行的初步估計，因為在這個階段原則上安全論證的角色僅只決定一個場址是否適合設置處置設施，所以這是可以被接受的。在往後的階段，將會需要更多的場址特性資料，並且發展所提出的設計細節，這將使運轉和長期的功能議題在安全論證下得到更多細節上的解決。

4.17 安全論證在各階段的修改，應該基於有關設施及其演變之最新知識，包括已發生的事件，接收的廢棄物等。同樣重要的是，對於各階段設施壽命之安全論證的準備，應該提供足夠的資訊和評估深度來支持所需的決策。

4.18 在設施的壽命結束時，安全論證應該包含傳給後代所有必要的資訊(例如對於制度監管的基礎)。

4.19 對於不同設施所容納不同類型的放射性廢棄物，其所具有的潛在危險級別，應當有所認知。在參考文獻[1]原則 3(在第 3.15 段)指出“對於所有設施和活動之安全性必須以分級方法進行評估。”藉由以下原則 5 的認識有更進一步詳述：藉由申照人、法規的範圍和嚴謹及其應用所投入安全的資源，必須與輻射風險和其順應管理的程度相稱(參考[1]的編號第 3.24 段)。必然地，[安全]評估的範圍和複雜性將隨設施的類型變化，且與廢棄物的潛在危險有關。此外，對於處置設施發展和運轉的每一步，安全評估進行的詳細程度，將依風險的程度而有所不同。作為安全論證發展反覆精進方法的結果，安全論證中辯證的相對重要性，及屬於管制機關和其他關切團體的監督標準 (可能隨時間而變化)，應與潛在危險相稱。對於安全論證發展

其分級方法應用上更進一步的導引，說明於第 6.23-6.28 段中。

安全論證構成要素

安全論證背景

安全論證的目的

4.20 誠如前文第 4.13.，安全論證將隨著計畫進行而發展並用來做為決策、管制決定和其他相關決定的依據，例如，設計、支援研究工作或場址特性調查活動。對於安全論證每一修訂的背景應該清楚明列，且為了安全論證的後續修訂，應該視需要與適當性進行更新。

4.21 安全論證每次修訂的目的，取決於許多因素，如處置設施的發展階段，以及安全論證是否作為正式申照程序的一部分提交給管制機關，或是受到管制機關的指示。對於安全論證每次的修訂，運轉者對於其目的應該提供清楚的描述，其中，根據設施發展的階段可能包括：

- 安全概念最初構想的測試；
- 場址(site)選擇；
- 處置設施安全的證明；
- 設施設計的最佳化；
- 由研究和發展計畫加以解決之安全相關議題的判定
- 限制、控制與條件的定義或修訂如廢棄物接收準則；
- (設施的“放射能力”)可被處置之最大存量評估；
- 對於制度控制持續時間的基本理由；
- 輸入監控和數據蒐集計畫；

- 依法律或法規要求定期重新評估；
- 申請擴充或更新設施或共同尋找新的廠房或廢棄物管理設施；
- 設施封閉，無論是在設施生命週期的計畫結束或不符合法規的結果
- 設施封閉因不符合法規或其他理由，之後申請重新啟用設施；
- 是否改善措施的決定是必要的。

安全的驗證

4.22 必須採用與安全目標和安全原則有關的安全驗證方式，且必須滿足管制的要求。安全目標和安全原則可由管制機關建立，而安全目標需反應出參考文獻[1]第 2.15 段所規定的內容：

“安全目標對於一個處置設施的選址、設計、建造、運轉與封閉而言，在使其封閉後的保護均已將最佳化、社會和經濟的因素考慮在內。亦須提出劑量和風險對於社會大眾長期的合理保證，將不會超過用以作為設計標準的劑量限值或風險限值。”

所採用的安全原則應該反應出建立在參考文獻[1]的內容，特別是原則 7 所提到保護當代和未來世代的原則：“現在和未來，人與環境必須免於輻射風險。”由管制機關建立的管制準則，至少應說明工作人員與公眾(包括現代和未來世代)的輻射劑量和風險限值，及環境保護。它們需要涵蓋設施的正常發展和擾動的事件—自然起源事件和人為事件如人類闖入設施。涵蓋這些方面的國際商定標準載於文獻[2]。

4.23 除了量化準則外，管制機關應建立須符合的定性準則，以及提供指導以證明如何符合這些準則。這些準則應該涵蓋文獻[2]的所有需求，以確保處置設施將符合要求。

4.24 安全證明的方法也應該清楚地列出在安全論證下不確定性的管理將如何解決。至少應該涵蓋如何判定不確定因素，它們將如何被特性化，及什麼是他們的管理方法。特別是不確定性管理的具體方法將在第 5 節提出。

分級方案

4.25 需要採取分級的方法，以決定安全論證細節和支持其論述的安全評估[2,3]之範圍、程度與標準。應該解釋和說明採用的分級方法，且應該使得安全論證和支持其論述的安全評估之細節的範圍、程度、水平，與設施或活動和設施發展的階段所提出之風險標準相稱，例如，場址選擇時期前所考慮的一般性處置概念，比起特定場址和處置設施，其細節上的考慮可能較少。參考文獻[3]提供了分級方法上三個面向的考慮：可能的輻射風險程度和設施的成熟度與複雜度。對於廢棄物處置設施在這些標準的應用上，第 6.23-6.28 段提供了更進一步的導引。

安全策略

4.26 安全策略的早期開發與應用是安全論證發展過程的關鍵。安全策略在參考文獻[22,25]中的解釋為實現放射性廢棄物安全處置，所採取的高標準整合性作法。根據參考文獻[25]，安全策略應該針對處置設施在規劃、運轉和封閉階段的各種行為整合一個總體管理策略。包括選址和設計、安全論證發展、安全評估、場址特性、廢棄物形態特性及研究與發展。

4.27 安全策略是指將被應用在選址與設施設計以符合安全目標、原則和準

則，以及管制要求的方法。可確保採用良好的工程以達到安全與防護的最佳化。安全策略應該在處置設施概念化的早期階段被建立。在早期階段，安全策略可能逐漸發展成熟，但應該儘可能在早期階段定義。當場址選定以後，實施該策略的設計概念應該要已經充分發展來保障整個處置系統可以提供並維持處置設施所設想的安全功能。隨著計畫發展，安全策略應該不斷的驗證，而其任何的改變都必須確認在安全論證中是合理的。任何安全策略的演變應該被詳細記錄，且記錄應該保存以利未來工作人員異動時使用。

4.28 安全策略應該涉及的一些關鍵要素分別為：提供多重安全功能和縱深防禦、廢棄物的圍阻和隔離、被動安全特性的採用、處置系統的健全性、與安全有關特徵和觀點的驗證，以及與廢棄物處置前管理的相互依賴性。安全策略也涉及到將要採取的不確定性管理辦法，以期確保此方法會遵守在段落 4.17 所描述的安全性。

4.29 參考文獻[2]要求提供多重安全功能，使得安全性不會過分依賴任何單一的安全功能，並確保如果一個安全功能不如預期執行，也有進一步的安全功能進行補償。舉例來說，假設廢棄物的包裝被賦予了一個圍阻功能但比預期衰退得更快速，周圍的回填材料即可以藉由吸收來減緩放射性核種的移動，提供物理性防護的一個新要素；或母岩地質環境可以提供放射性核種的延散。安全策略應該確認預期的安全功能與可維持的時間區間，以及單一障壁性能下降後如何透過其他機制或處置系統的組件進行補償。安全策略也應該考慮不同安全功能如何被充分的驗證，像是藉由評估、類比、測試等等。該策略應該說明充足的縱深防禦將如何藉由不同的安全功能得

到保證。縱深防禦的充足與否可能可以定量和定性的項目作表示。

4.30 應該提供圍阻放射性廢棄物的方法並記載於安全策略中，並將以與監管方式一致的方式一起作驗證。應該規定圍阻功能正常運作的時間區間，並提供該時間區間的正當理由。

4.31 隔離的概念基本上包含兩個方面：廢棄物與易接近環境的物理性隔離，以及確保安全功能受到擾動後仍有隔離效能。關於如何提供這兩個項目的解釋與理由，以及如何驗證完備的方法都應該以與監管方式一致的方法在安全策略中描述。

4.32 藉由被動的處置設施[2]特徵和安全策略，應該盡可能提供不同的安全功能並解釋說明要如何達到。也應該指出和說明活動控制和特徵會被使用在哪裡，以及如何證明在這樣的活動控制下能夠具有信心，像是封閉後的監控與制度的控制。

4.33 安全策略應該明列安全功能的健全性將如何被提供，以及如何驗證這樣的健全性是否完備。

4.34 安全策略應該解釋如何驗證設施的預期設計可以在現實中被實踐，這也許可以透過在設施的實體模型或處置場的地面與地下作物理驗證。

4.35 安全策略應該明列廢棄物處置前管理的依存關係如何被驗證，其將被納入考慮以確保被處置的廢棄物可以相容符合設計與處置設施的運轉。

4.36 此外，安全策略應載明下列事項：

- 作決策與使用多方面的推論時將被運用的謹慎程度；
- 選擇評估方法論以及評估時間框架與時間窗的基本理由，包括不同評估方法的討論和被用來驗證，確認和比較評估結果的工具；
- 同儕審查將如何進行；
- 如何與國際導則一致且實踐將被驗證；
- 其他適當的高階論點。

處置系統的描述

4.37 處置系統的描述應該記錄所有關於處置系統的資訊和知識且應該提供給所有進行中的安全評估以作為基礎。資訊將被獲得且關於處置系統的知識將隨著計劃進展和評估的執行以反覆精進的方式發展成熟。隨著知識的發展，其將可被用來決定未來系統特性和設施設計的需求。系統描述應該根據處置設施的類型而包括以下資訊：

- 近場包括：(i)廢棄物的類型(例如：來源，本質，廢棄物的數量與性質和放射性核種的存量)；(ii)系統工程，例如廢棄物的整備和封裝，處置單元，工程障壁，處置設施的頂或蓋，排水功能；和(iii)受到開挖與興建工程所擾動的區域性質與範圍；
- 遠場，例如地質，水文地質，水文，地球化學，構造和地震條件下，侵蝕速率；
- 生物圈，例如，氣候和大氣，水體，當地人口，人類活動，生物，土壤，地形和地理範圍和處置設施的位置。

4.38 根據處置設施的類型，處置系統的描述應包括以下內容：

- 明確的系統組件規範與描述，以及其介面和不確定性；
- 整體安全概念和安全功能的描述；
- 描述系統組件將如何能夠持續履行其指派的安全功能，無論是系統預期的演進或是可能性較低的事件；
- 討論如何將管制或其他要求納入設施設計中的系統組件；
- 描述放射學，熱，液壓，機械，化工以及生物可能影響處置系統的過程；
- 描述可能發生在系統組件之間的相互作用；
- 描述廢棄物的空間異質性如何被納入考慮，包括不確定性；
- 描述在系統組件的性質與行為中可能與時間相關的變化及其介面，包含組件如何劣化或失效以及不確定性；
- 描述可能的環境變化與其對處置系統組件的影響；
- 描述放射性核種可能的遷移路徑，無論是系統預期的演進或是可能性較低的事件。

4.39 處置系統的描述應提供安全評估所需的資訊，包括：

- 管理系統將如何確保所有被使用與安全相關數據品質的概要；
- 所有使用數據的來源(像是參考自直接量測與報告)；
- 場址特性調查計畫(如樣本選擇，取樣位置)背後的理由—數據採集計畫應該反映來自之前基於後續反覆精進評估所需資訊的任何安全評估結論；
- 描述已經被應用在場址特性調查、監測數據蒐集的技術，以及這些技術和數據的不確定性；
- 描述放射性核種存量如何被估計以及與存量相關的不確定性；

—任何用於支持了解未來處置設施區域內可能人類行為的資訊(像是該地區目前的人類活動，礦業開採紀錄)。

4.40 描述中所提及的資訊深度與廣度將受處置設施類型的影響，相較於處置極低放射性廢棄物的設施設計，對於處置大量且更長半衰期或高活度廢棄物的設施設計所需的資訊將更廣泛與複雜。對於任何特定設施的實際內容與複雜性將取決與許多因素，包括廢棄物的數量、其特殊的放射性特徵、主要場址的性質與複雜程度與相關的氣象和水文特徵。這些內容與複雜性正當性的描述應該作為安全論證的一部分，也應該與監管機構達成協議應該作為處置設施概念化與之後的發展與運轉的一部分。

安全評估

4.41 在這個安全導則中所使用的“安全評估”一詞，指的是作為安全論證一部分所做的所有評估。(參見圖 4)。這包括與處置設施的發展、運轉到封閉安全相關的所有面項。因此，安全評估還涉及到定性，非放射性，以及組織和管理方面的問題。

4.42 在早期的出版物(如文獻[26])中，“安全評估”一詞是用來描述針對設施所受到放射性影響：

—安全評估被定義為設施封閉後的期間定量評估放射性影響的整個過程。這包含了評估的發展脈絡、處置系統與其環境的描述、以及結果的解釋。然而，就安全論證更廣泛的背景而言，如圖 2 所示，這些要素被認為是整體安全論證的一部分，不僅是定量安全評估的一部分。滿足安全論證廣泛

脈絡下的這些要素並不表示要改變如文獻[26]中所討論定量評估功能的實際方法。在那些出版物中所列已發展的的方法，現在已整合到安全論證更廣泛的脈絡之中。

一本安全導則中的安全評估同時也涉及了與定量評估輻射風險以外的安全相關問題，例如操作安全和系統管理。這個延伸的“安全評估”一詞被更廣泛的安全論證概念採用作為此安全導則的基礎是必然的結果。

4.43 以下各節提供安全評估關鍵要素的概述，如圖 4 所示。

4.44 處置設施封閉後的放射性影響評估是安全論證的主要核心。除了定性評估，也包含了處置系統與環境發展的綜合性定量評估，及安全功能可能面對的挑戰與可能導致的放射性影響。封閉後期間的系統性放射性影響評估方法已被發展且描述在參考文獻[26]中。在此方法中，情節被使用來描述處置設施與其環境可能的演變。可能從處置設施釋出遷移的放射性物質在環境中的移動以及導致的風險可透過概念模式與數學模式定量分析。此方法的指引將在第五章詳述。

場址和工程方面

4.45 處置系統演變的定量評估作為封閉後期間放射性影響評估的一部分，應該如同處置設施的預期設計來決定選定和備選場址是否完備。從定量評估得出的結論應該由定性的論點和評估加以補充。整合定性和定量評估的結果應具備：

一充分驗證場址和工程的適當性；

—承諾相關安全需求的保證，如第三章所概括；

—確保針對設施的安全策略完備。

4.46 任何處置設施的安全性主要依靠天然障壁的良好特性與性能以及工程障壁。天然和工程障壁的重要特徵包括其長時間的健全性與可靠性。有利於處置設施及其環境的健全性和可靠性的項目將在下文中描述，針對特定場址與設施的品質參數應該以這些項目所作的規範基礎上進行。

被動安全

4.47 操作者應證明，在可能的範圍內，透過被動的方式確認處置系統的安全。這表示處置設施的長期安全不需要有主動的成分或行為(如監控)，儘管這些可能有助於安全性，特別是近地表處置設施。因此，其主要結合天然與工程障壁提供設施封閉後的安全(見參考文獻[2])。

4.48 在設施的設計中，需要將被動安全措施納入考慮以減少在運轉期間與封閉後對於主動安全系統的依賴。

多重安全功能

4.49 根據參考文獻[3]，廢棄物處置設施所需要的縱深防禦評估將驗證處置設施需要提供多重的安全功能。“縱深防禦”一詞是指一種為了在一般運作、預期運行事件與某些障壁在設施內意外情況下維持置於放射性物質與人員、公眾或環境成員間的物理性障壁效能而分層部署不同設備與程序。

4.50 處置設施縱深防禦的概念可確保安全不會只依靠單一組件或控制程序，或是單一安全功能的實現。安全功能的作用和相對權重可能會隨時間而改變。廢棄物處置設施縱深防禦概念的應用將在第 6 章作進一步討論。

健全性

4.51 健全性(見上文第 4.33)是與縱深防禦有關的概念，可以應用於處置系統中的單一組件，或是整個處置系統。處置設施健全性概念的的指導與證明詳述於第 6 章。

科學與工程原理

4.52 良好的科學實踐要素，除了其他事項外，包括進行觀察、發展和假設的驗證，再現性評估與同儕審查。將良好的科學原理應用在一個安全論證的發展可以藉由像是考慮去了解某個特定場址的地下水流來說明。這工作可能涉及到地面採樣與鑽井測量，以及提出地下水流影響的假說，並利用收集到的這些數據與模型來驗證這些假說，並使用一種以上的方法來做交替驗證，評估這些方法的再現性，然後再交由各別的同儕來做複審(詳見 4.92-4.94)。

4.53 安全論證應該說明如何將好的工程實踐原則應用在設施的設計中，且操作者應在此安全論證中證明預期處置設施的材質和建造技術被充分了解，並從其他類似應用所獲得的知識證實這些材質適合使用。只要有可能，

操作者都應使用完善的建造技術，並將使用這些技術所到的經驗給做回饋。

場址特性的品質

4.54 安全論證應該清楚描述選址所使用的方法與準則，並證明所選擇的場址是依據安全策略和目前已訂定的標準。安全論證應該整合場址與其環境的背景知識(例如地質、水文地質、地表特性、氣候、當地人口)，並建立出一套能夠用來幫助了解系統可能反應的模式，且該場址的資訊應該要足夠全面。

4.55 假如場址特性和安全評估計畫具備高品質，如果操作者所收集到的資料就參數和測量方法而言與其他現有資料一致，如果安全評估模型的發展與場址性質和根據科學原理建立的場址概念一致，如果場址概念和安全評估模型只須稍微優化而持續兼容並且適用於任何有關場所的新資訊就都可以加強評估結果的信心

運轉安全方面

4.56 在運轉階段的安全評估部分，類似的方法被用在這些申請作為處置前放射性廢棄物的管理，如參考文獻[27]所述。與處置設施運轉相關的安全需求以及核電廠運轉的安全導則可以參考文獻[28，29]。此外，其他的議題例如採礦安全，可能需要在處置設施(例如在深地質處置的情況下)的運轉階段考量安全評估。非放射性方面的(例如職業健康和 safety)應用需求應該和那些

放射性的項目以整合的方式被應用，要如何達成將取決於設施型態、法規架構以及設施發展的階段。

非放射性的環境影響

4.57 放射性廢棄物可能含有潛在危險的非放射性成分(例如重金屬或病原體)。特別是鈾礦廢棄物通常含有許多高濃度的非放射性毒素和(或)致癌物質。場址選擇與處置系統的設計發展應該提供民眾足夠的防護以及環境對抗非放射性危害。

4.58 處置設施所衍生出的非放射性影響評估將需要被環保法規所規範，這已超出本安全導則的範圍。儘管如此，本安全導則中所描述的評估方法也可以被用來評估由非放射性廢棄物所造成的危害以及最佳化所有潛在危害的防護和安全。

4.59 環境保護法及其相關法規將會針對處置設施的建造、運轉和封閉提出幾點要求。像是限制交通和噪音污染，這可能會限制設施的建造和營運；其他的例子還有限制或控管建造和運轉設施所需的用水，以及針對排放廢水的部分做出一些規定。以上的這些要求均源自環境保護法，其應適當地被考慮在設施的設計中。因此，相關安全議題的整合(參見圖 2)也應考慮非放射性的影響，並證明處置設施的整體安全合乎所有相關法規的規定與需求。

管理系統

4.60 參考文獻[2]的第 25 點要求敘述如下：

管理系統...提供適用於處置設施發展和運轉所有階段與所有安全相關活動的品質保證。

參考文獻[30]敘述管理系統的一般需求，如何滿足這些需求的建議則於參考文獻[31]中提供。適當管理系統的應用將有助於提升安全論證的可信度，且應執行審慎評估以監控所有和安全有關的工作，包括提供必要的財務以及人力資源。

4.61 管理系統的要求在兩方面上影響安全論證的發展。第一，適用於設施發展不同階段管理系統的描述為安全論證的一個重要構成元素，其對於場址選擇、設計、建造、運轉、封閉和封閉後的安全等會遭遇到的相關需求與細節帶來信心。第二，計畫應該確保所有和安全論證與安全評估相關的活動品質，像是資料的收集與模式化。這部分曾在 4.39 段做討論。

不確定性的管理

4.62 參考文獻[3]的第 4.59 段中反映了在安全評估中提出不確定性的重要性，其敘述：安全分析中的不確定性必須就其來源、本質與程度，採用定量的方法、專業的判斷或兩者兼具的方法來描述。參考文獻[3]更進一步要求不確定性可能對安全分析結果所帶來的影響，以及基於在不確定性和敏感度分析基礎上所作的決定。

4.63 第五章提供封閉後放射性影響定量評估方面之不確定性管理方法導

則。

反覆精進與設計最佳化

4.64 設計方案的決策過程是多面向的，有時在做決策之際必須引入一些相互競爭的因素。在大多數的實際案例中，決策過程將是反覆精進的。反覆精進的次數將取決於設施發展階段和決策本質的數據與模型可用性。

4.65 決策過程早期的反覆精進應該在現有的數據和執行評估能力下進行。必須一直持續反覆精進直到該評估已被認為足夠或已達成預定目標。此外，亦須獲得一些額外的訊息來擴展需求以改善做決策的基礎。有些決策可能必須在安全論證的一個特定方面作反覆精進（例如改善特定模型的資料需求）。其他決策則可能會需要經過更多的反覆精進，這可能涉及數個安全論證構成要素的修改，例如：

—安全論證的內容可能被調整，例如更寫實地探討不確定性或延伸考慮受體的範圍。

—安全策略可能要被修訂。

—場址新資料的應用和(或)設計可能有更進一步的發展。

—透過這些改變或其他因素(例如同儕審查的結果)，安全論證構成要素與支持其論述的安全評估可能需要被修訂或更進一步地發展。

4.66 處置設施防護的最佳化是一個應用在設施設計發展決策的判斷過程。良好的工程和技術方案應該被採納，並應採用良好的管理原則以確保所有與安全相關工作涵蓋處置設施建造、運轉到封閉的品質。

4.67 關於防護與安全最佳化的一些決策，根據專家利用現有最好且被認可技術作判斷的定性方法可能就已足夠。但比較複雜的問題是，若與處置設施其他方面做更多的結合，就更需要最佳化的驗證。為了證實安全性可以被最佳化，以下的一些重要論點應該被證明是有效的：

- 關注在處置設施發展、建造與運轉各階段不同設計選項的長期安全問題。
- 合理確保來自處置系統預期發展的劑量和(或)風險不會超過限制，且不確定性並不會隨著時間增加而超過時間框架，使得結果無法作有意義的解釋。
- 一些可能擾亂處置設施性能導致更高劑量或風險的事件可以透過選址或設計被合理的降低。

4.68 應該證明所選定的設計方案是藉由明確的定義與合理程序所選出。如果安全論證當中其他的替代設計方案都是在合理情況下評估利弊後所做的決定，且證明優先選項的正當性，將可提升所選之設計方案的信心。在某些國家，法規即要求必須將替代方案納入考慮(如參考文獻[32])。

4.69 一般在計畫的設計階段可以將完全不同的選擇方案納入考慮。安全論證應該在一套預定的標準或考慮的基礎下描述做出最適當選擇的過程。除了安全標準以外，這套用來比較替代方案的標準應該包含環境和社會經濟因素(例如花費、某些選擇中公眾的接受度)。

4.70 替代方案的審查計畫進行包含答覆以下三個問題：

- 替代方案為何?
- 與每個替代方案相關的影響，特別是利與弊為何?

—選擇合適方案的正當理由為何？

4.71 替代方案應明確且詳加描述，以提供這些問題清楚的答覆。舉例來說，如果替代的設計方案，像是考慮不同的障壁類型，那麼每一個替代方案都應該作描述，以及潛在的輻射影響、成本花費和各方案的好處都應該被確定。不同方案的標準與分析應該要被完整地記錄下來以支持該設計。對於做決策更進一步的建議以及替代方案的評價列於第 6.79-6.89 段。應該記錄設計發展的過程以及設計決策的基礎，然後這些記錄在整個設施的發展期間予以保留。

限制、控制和條件

4.72 安全論證應該被用來幫助限制，控制和條件的建立，以應用在所有影響設施安全的工作與活動以及將在設施中處置的廢棄物上。像是包含建造過程的控制、置放作業、回填的材料與技術，廠址型態的特定限制、為了確保運轉與長期安全而可能處置的廢棄物行為與數量，以及監測和員工培訓的要求。

4.73 廢棄物中特定放射性核種的可接受存量和(或)可接受濃度水平對處置設施來說是特別重要的限制與條件。以上這些應該在安全評估基礎上被定義和(或)證明。應該建立廢棄物的接收標準，無論是個別包裝或藉由不同情節分析考慮整個設施(例如放射性核種外釋到環境中以及沿著環境途徑轉移之過程)。考慮人為入侵情節也相當重要，這常用來判定長半衰期的放射性核種在近地表處置設施的情況下是否能夠達到可接受的程度。然而值得注

意的是，大量的短半衰期放射性核種也可能造成潛在的問題，特別是針對運轉的安全，而這樣的核種也應該在安全評估中以及特定存量和濃度水平下納入考慮。此外，安全論證也應該被用來評估在廢棄物或工程障壁中的(如化學)物質可能導致天然與工程障壁效能降低的程度。參考文獻[33]中提供與近地表處置設施有關的廢棄物接收標準以及進一步的細節。

4.74 安全論證與支持其論述的安全評估應該也可以被用來建立適合特定處置設施場址和周圍環境的監測和監督計畫，並作為計畫的後續審查。監督和監測計畫應該針對處置設施的組件在特定時間內，能否如預期運作並履行其安全功能來發展與執行以提出保證。

4.75 處置設施的安全將取決於場址特性與行政措施，而其又與人員的適用性有關。我們需要培訓設施發展和操作相關的人員，使其能在安全評估和量測中辨識潛在的危害以及需採取防止可預期之運轉事件和意外情況的發生。

安全辯證的整合

4.76 安全論證應將現有的證據、辯證和分析做一整合。其應說明如何去考量有關的數據與資訊、模型如何被測試，以及如何遵循合理且系統化的評估程序。安全論證也應承認目前現有證據、辯證和分析的限制，並應該強調在處置系統選擇持續規劃和發展的主要理由。安全論證應包含任何可以解決與管理開放問題和可能破壞安全之不確定性因素的方法。假如該證據、辯證和分析不能提供足夠的信心來支持一個正向決定，那麼該安全論

證以至於設施設計或是處置概念就可能需要被修改。

4.77 一般來說，處置設施發展與計畫各階段的安全論證應包含所有不同可用來支持處置設施品質和性能評估的證據、辯證和分析。安全論證與不確定性當中與辯證相矛盾的結果也應該要被討論和分析。這些需要下列更詳細的討論：

- 安全論證中對於不確定性的處理以及支持該項目的評估
- 科學的品質和可靠性以及構成安全論證基礎的設計工作
- 安全評估的品質和可靠性，包括各情節的發展及其範疇是否有被充分考慮、其他可能性的評估，以及方法、模型、程式碼與資料庫的使用是否足夠
- 提供確保功能安全評估運算品質的管理系統

4.78 然而，在不同議題上所提出來的安全論證可能會有所變動，其主要根據：

- 目標群眾所關注的問題與要求
- 證明處置系統安全的時間尺度，以及隨時間而改變的危害
- 計畫發展的階段
- 處置系統可能的演變
- 與處置系統有關的不確定性及其對效能的影響

4.79 定量評估結果當中一個重要的用途是與安全標準做比較；特別是劑量和風險限度或約束值。此外，互補的安全和功能指標可以被用來做計算結果的評估和評價。定量分析應該藉由那些也考慮半定量和定性辯證的其他

推論脈絡作補充。

與安全標準的比較

4.80 安全目標與標準以及用來證明是否完成目標和符合標準的指標必須做明確的區分。一般來說安全目標和國際間既有協定的這些目標一致。國家法規常以標的、約束值或限值來建立有關特定指標的標準和規範(例如劑量或風險指標)，而這些指標在國與國之間可能會有所不同。

4.81 安全評估其中一個目的是比較安全評估用於安全標準的端點。然而，有跡象指出計算的劑量或風險會低於相關的劑量或風險約束值，其本身不足以達到處置設施安全論證的接受度，因為還要滿足像是多安全功能條款的其他需求。再者，安全是需要被最佳化的。反之，也有跡象指出在某些機率較低的情況下，超過劑量約束值不一定導致安全論證的拒絕。

輔助的安全指標和功能指標

4.82 除了劑量和風險以外的指標也可以在安全論證中使用，這些指標可能提供額外的信心以及在適當情況下做放射性影響的評估。輔助安全指標的概念(例如輔助劑量或風險計算值而計算的其他評估端點值)主要已經被用在地質處置設施，其亦可被用在其他類型的處置設施。

4.83 常被使用的輔助安全指標包括放射性核種的濃度和通量。其他類似的指標可能基於與放射性核種存量無關的特性，而像是容許有關工程障壁的

功能所得出的結論。其他的輔助安全指標可能包括驗證設施功能監測計劃的標的。

4.84 補充的安全指標可能和導則以及用以判斷處置設施功能或個別組件的標準和參考值做比較。參考值可能衍生自許多來源，例如法律或規範等，其可能包括：

- 關於環境介質中最大可允許放射性核種濃度的管制標準
- 在安全評估中執行的靈敏度分析結果(其可能表示像某個廢棄物罐特定的最短壽命是整個處置系統的安全臨界)
- 藉由處置系統提供安全功能過程的獨立考量
- 社會價值觀或期望

多方面推論

4.85 安全論證的可信度可藉由多方面推論的使用來強化。多方面推論的使用可能藉由提供一系列不同的辯證來建立某些數據、假設和結果的可信程度，增加安全論證的價值。此外，某些辯證對於特定群眾可能會更有意義。

4.86 替代的推論路線可輔助安全評估的結果，例如類似天然和人為的類比。在安全論證方面，這些可能建立的推論路線包括處理古水文地質學、古氣候學和新構造運動三個部分。此外，安全評估模型結果的信心可能藉由簡易計算(界定計算)放射核種遷移或放射核種影響的呈現來強化。

解決懸而未決問題的計畫

4.87 放射性廢棄物處置設施的安全論證在整個處置設施生命週期內都需要發展與逐步更新[2]。假如安全論證的每個修訂版本都包括後續工作所必需的規劃，來解決明顯懸而未決的議題，即可提升安全論證各階段的可信度，特別是藉由降低或完全避免顯著剩餘的不確定性或關聯性，例如系統組件設計的改變。

4.88 在發展處置設施計畫最早期的階段，可能會有許多開放的問題和不確定性，安全論證應包括在未來階段處理這些問題的明確計畫(例如場址特性或系統設計的最佳化)，以及列明這些計畫將得以實現的方法。在發展處置設施計畫的後期階段，安全論證將無疑地成為申請許可證的一部分，在安全上的一些不確定性和開放問題應該已經以適合手邊決定的方式被解決。在安全論證中應說明完成處置設施計畫發展的方法，但仍有一些不確定因素將無可避免地持續存在(例如地質障壁，永遠無法完全描述其特性，過程中有一定程度上會擾動其適合的特性)，但安全論證應該指出為什麼這些不確定因素不會破壞處置設施安全的依據。

相互作用的過程

4.89 如圖 2 所示，有一些外部的程序將與安全論證的發展相互影響，以確保其品質與是否足夠，最重要的是透過符合標準建立的這些監管過程以及符合所提供標準的規範導則。其也應包含結構性互動與溝通的過程來確保所有監管機構對於符合安全論證的期望，以及識別和管理需要解決的問題。

題。第 8 節將提供有關如何建構和實施監管審查程序的導則，以提供安全論證額外的信心。

4.90 這些互動的過程也應該包含一些獨立專家與有關單位的參與。此外，安全論證的發展應該在全面性的管理系統範圍內展開，以確保安全論證的品質與其文件(詳見第 4.95-4.100 段)。

有關單位的參與

4.91 有關單位的早期參與應該確保作為建立處置設施安全信心的一部分。一系列針對有關單位的不同模型已在不同國家被應用，且同時在國內或國際的研究計畫中聘請有關單位的方法進行廣泛的研究。一個關鍵的考慮因素是有關單位的參與應以一個開放透明的架構作諮詢，並明確地定義出程序規則。有關單位參與的過程應該明列於安全論證中。

獨立的審查

4.92 獨立的同儕審查應該在放射性廢棄處置設施安全論證建立信心上扮演一個重要的角色。同儕審查應該意味著經由並未直接參與安全論證發展以及對於工作結果沒有直接利益(例如金融或政治利益)的合適資格專家或專家團體，對於一個技術項目或某個特定工作方面的正式文件審查。

4.93 獨立的同儕審查應該是促使安全論證積極且持續發展的一部分，且應該在計畫的早期階段就開始[34，35]。同儕審查應該被完整地記錄下來，記

錄的內容包含審查的範圍和條件、選擇審查者的依據、同儕審查的結果、受審者對於審查者所提出的意見以及審查者對回應的評價。

4.94 在某些情況下，應成立國際性的同儕審查小組，用來專注在某個或多個特定的主題上，或評估整個安全論證，或只做輔助性的安全評估。

管理系統

4.95 管制機構和執行者都皆需要一套合適的管理系統，以確保所有工作與活動相關事項的安全品質[30]。以下幾個層面應為管理系統發展時的考量作為安全論證發展與審查的依據：

—需要明確的定義，並以一致和透明的標準，作為安全論證評估與決策的依據；

—需要內部與外部審核，酌情確保管理制度及其實施的適宜性；

—需要文件紀錄與提升管理及審查安全論證的資格、能力和可信度；例如：透過課程的培訓與和國際計畫的參與，以支持其論述的安全評估。

—發展與審查安全論證的過程中，需要有透明公開的公眾參與。

—發展安全論證時，需要確保考慮到國際建議、安全目標、安全評估方法、時限與處置的概念等。

—整個計畫的時間框架內，需要發展及維持執行者與管制機關的能力和知識。

4.96 管理系統應包含一套具有計畫與系統性的程序，用於執行和記錄過程中的各個步驟，以增進輸入資料、模式和結果的品質與信心。為建立安全

評估結果的信心必須要應用各個程序，以確保從早期階段處置設施發展的各项元素之品質

4.97 若安全論證被認為沒有滿足相關的議題，則會降低此案例的可信度。此外安全論證的完整性管制機關審查的首要考量之一(Section 8)，而其他相關的團體也會希望進行驗證，讓與他們有關的重要安全論證議題能包含在其中。因此較明智的方式為使用各種不同的方法來證明，該安全論證滿足所有相關議題與其不確定性。而所應提出的議題範圍，主要是依處置設施的發展階段，與包括法律、法規和有關單位的關注等多個不同的來源。驗證其完整性可能有不同的方式，因此包含結構良好的交叉引用或是繪製圖表，得以提供這些議題連接到安全論證上。

4.98 可追溯性要求達到一組結果的過程中，所作的決定、假設、模式、參數和資料，都需要有清楚完整的紀錄；此外也必須包含能追溯安全論證中所使用的原始資料和其他資訊的可能性。因此應該建立一套能支持安全論證，並具有一致性的參考系統。所作的紀錄其資訊結構應包含，發生的時間、依據的基礎、各種假設由誰決定、誰是決策者、決策和假設如何實施、使用了什麼樣的模式工具，以及最終的數據資料從何而來。

4.99 透明性需要具有公開性、可溝通性與可說明性，這意味者安全論證和安全評估應該在一個明確、公開及公正型式被文件化紀錄，例如：辨識處置系統中的安全效益與其不確定性。其目的在於清楚的了解已經完成了什麼評估、會有什麼樣的結果與不確定性，為何會產生這種結果與最關鍵的議題是什麼，以提供決策者參考資訊。此外，可將相關的文件記錄，以符

合各個不同群眾需求的型式公開，進而提升安全論證的透明性。

4.100 對於可追溯性與透明性的部分，在本篇安全論證 7.12-7.17 中將有更進一步建議。

5. 封閉後的輻射影響評估

5.1 如同 4.44 所述，封閉後的輻射影響評估為處置設施安全論證的核心，此階段輻射影響評估是評估處置系統的功能，並量化其對人類健康和環境的潛在影響，該評估同時包括量化處置系統的功能及其相關的不確定性分析。輻射影響評估的方法應為有系統的，且能充分地滿足各階段對於所有安全相關的考量(見 5.6)。

5.2 評估封閉後的近地表處置設施之方法，一般是依據近地表處置設施的安全評估方法之精進(Improvement of Safety Assessment Methodologies for Near Surface Disposal Facilities, ISAM)[26]計畫執行。此方法已經過調整和測試，並且也適用於評估其它類型的廢棄物設施所產生的影響。

5.3 關於詞彙的部分，主要參考文獻[26]的「安全評估」章節中針對封閉後的輻射影響評估。正如 4.42 安全導則中所提到，「安全評估」章節所反映的所有評估元素(見圖 4)集結成更廣泛的安全論證概念。對於基於參考文獻[26]的評估方法不會有任何改變。

5.4 對於封閉後的輻射影響評估，主要可分為以下部分進行討論：

- 評估內容的規格標準
- 廢棄物處置系統的描述
- 情節的發展與調整
- 模型的制定和執行
- 模擬的功能和結果的分析，包含敏感度及不確定性分析

一比對安全準則

一評估的審查及修改(即反覆精進)

5.5 某些部分(評估的內容、廢棄物處置系統的描述、評估的結果)會和第 4 節的安全論證構成要素重覆。考慮封閉後的輻射影響評估為安全論證的一個元素，這是合乎常理的結果。本節的討論具體涉及到定量的評估，並補充比第 4 節更具有一般性的內容。

評估內容

5.6 評估內容包含以下關鍵面向(key aspects)：評估的目的、基本的評估理念(philosophy underlying the assessment)、管制架構(regulatory framework)、評估終止點(assessment end points)及評估的時間尺度(time frame)。除了第 4 節討論的一般性面向外，以下指引提供了封閉後輻射影響的定量評估。

基本的評估理念

5.7 基本的評估理念，例如選擇可趨近結果的評估方式，其一般性的項目已在第 4 節討論。本節主要討論的為定量評估或與特定面向有關的議題。

使用不同的作法進行評估

5.8 為了確保可以符合法規，需要證明從處置設施遷移的放射性核種，其可能造成的輻射劑量或風險將低於規定的法規限值或風險約束。然後才足以

證明放射性核種可能造成的劑量上限會低於法規限值。這種類型的評估方法通常被稱為確定性方法，大致上為一個保守的方式。

5.9 無論是觀察到的數據或是可以符合專家評選的信賴程度(degree of confidence)所呈現的資料，原則上，參數不確定性分析可以一個機率密度分布(probability density distribution)進行描述。許多不確定參數係結合了各種參數，不是一種數值參數，所以仍然需要定量參數在機率分布的表現結果。使用機率式的計算方式推導出的機率分布，可作為分析機率密度分布的評估參數。

5.10 封閉後的輻射影響評估，可以應用於評估處置設施的安全，可以視為一種互補的方法(complementary manner)，提供更適切的選擇處理方式，以增加處置設施安全的信心。所考慮的不同的方法包含：機率式(probabilistic)和確定式(deterministic)分析、使用簡單保守模式(simple conservative models)和使用複雜(complex)、更實務(realistic)的模式。如果保守方式被使用，此方式應該是實務的、有依據經驗資料(empirical data)的、實際可行的(practicable)，並且對於選擇的曝露情節、參數和簡化後的計算模式係經過專家調整過的模式。

機率式和確定式分析(Probabilistic and deterministic approaches)

5.11 機率式和確定式分析方法的組合可能有助於增加評估結果的信心。但是，重要的是要知道這兩種方法相關的優點和侷限性。

5.12 確定式分析方法比較容易實行，而且可能較容易解釋關心的部分。此方法也可以較具體的說明獨立的(individual)不確定性或替代模型假設的影響。確定式分析方法的限制，包括不能考慮機率性(probabilities)和變異性(variability)，以及難以證明最佳的評估方式或較保守的參數。

5.13 機率式分析方法的一個優勢在於，考慮不確定參數的整個變化範圍內，提供更全面(comprehensive)且詳盡(explicit)的不確定性表述。這種方法也提供了更徹底(thorough)以及系統性的敏感度分析(systematic sensitivity analyses)，並且可以用於推導風險評估。機率式分析方法的另一個優勢在於，它允許檢查處置系統於各種條件和假設下的預測表現，因此有助於安全論證及管制決策(regulatory decisions)的健全性。

5.14 機率式分析方法伴隨的挑戰包括獲得或定義(specifying)適當的機率分布參數、合理分配替代模型假設的機率，或是對於統計假設、結果和額外資訊來源的整合，都是較為困難的部分。

保守和實務性評估(Conservative assessments and realistic assessments)

5.15 實務性評估的目的是提供處置系統最可能行為的指引。而保守性評估則是刻意低估處置系統的安全防護能力。如果使用保守的方法時，在可能的情況下，此評估應該對於某些標記的參數值說明其理由，或應提供保守程度的定量估計。更進一步關於保守假設及參數值之分配建議，請參考 5.67。

5.16 封閉後的輻射影響評估，需要同時具有保守及實務性的計算，這兩種

方法可以用來增加處置設施安全的信賴度。例如，保守的模型—特別是用於評估早期階段—能夠快速評估一部分或整個處置系統的功能。簡單的保守模型也可以用來增加由複雜模型獲得結果的自信。保守模型也需要處理不適合(amenable)量化的不確定性。保守估計可用於評估某些參數，而基於詳細特性描述(detailed characterization)的實務數值和/或更實務性模型所評估。

5.17 決定用保守或是實務性的方法來評估，或兩者都使用，取決於多種因素，如評估的本質及目標(objective)、管制的需求(regulatory requirements)、數據及科學理解的可用性、該場址或設施的複雜性以及可用的資源。

5.18 為了設施設計的最適化，或證明對於處置系統行為的詳細瞭解，評估應該越真實越好，其取決於參數化模型數據的可用性。然而，實務性評估可能需要涉及大量參數的複雜計算，並需要顯著的資源來證明所使用的數據和模型，對於處置系統的功能具有實務表現(realistic representation)。

5.19 為了證明其符合數值量測或功能標準，也可適當進行基於相對簡單模型的保守分析。如果有大量的安全餘裕(a large margin of safety)，則此方法是可行的。然而，執行時必須非常謹慎，處置系統於過度保守或最壞案例下所獲得的結果，可能會導致基於評估結果的糟糕決策，必須承擔與設施實際功能只有些微相似的風險。謹慎是必要的，因為，如果使用不當，會導致評估過於保守，或是最糟糕的案例，而可能會導致這些沒什麼相似之處的處置設施處於錯誤的決策。另外，使用過於保守的方法，所評估的較嚴重的結果可能提高有關單位(interested parties)的關注，如果之後採取更實

務的(或不那麼保守)的方式去評估，也證明可以符合管制要求。為了避免這種情況，無論使用的是保守的或實務的方法，其選擇的理由或是修改的原因皆應清楚的記錄(documented)並傳達(communicated)。

法規架構(Regulatory framework)

5.20 安全評估的法規架構應記錄為評估內容的一部分，而且安全評估應以架構(framework)具有相一致的方式進行。因此，在評估中使用的安全準則，將由具代表性(typically)的法規架構所定義。

5.21 關於定量的法規準則，可參考參考文獻[2]的 2.15 的敘述：

“以參考者(representative person)於未來暴露作為一可能自然過程所計算出的劑量或風險...影響處置設施的劑量限值每年不得超過 0.3 毫西弗，或者風險限值每年 10^{-5} 的數量級”。

5.22 更進一步，如有不預期(inadvertent)的人類入侵(human intrusion)：

“如果預估場址附近者的年劑量小於 1 毫西弗，則不需要特意去注意降低入侵的可能性或限制其後果。

“(d)如果人類入侵預估將導致可能的年劑量超過 20 毫西弗...對於那些場址附近的活動，則需要考慮對廢棄物處置的替代方案，例如，將廢棄物處置於地表下，或是將會產生較高劑量的放射性核種加以分離。

“(e)如果年劑量範圍為 1-20 毫西弗...將被明確標示，然後於設施的發展階段以適當的努力減少入侵的可能性，或由設施設計最適化的方式來限制其後果”(參考文獻[2]的 2.15)

5.23 定量的準則和時間尺度，對於不同國家，所符合的標準會有不同，需要明確於安全論證和評估的內容中說明。

5.24 如果多個設施存在或計劃建於同一個場址時，所有設施的影響都應需要考慮。應考慮建立哪些準則，和比較利用這些準則所評估的結果。這並不是簡單的，如果有一場址同時存在新舊設備，或者如果在哪些風險原則期間可能存在於場址的不同的設施。在這種情況下，為了明確定義評估中所使用的準則，經營者和管制機構之間的協商是必要的。

評估終止點(End points for the assessment)

5.25 應提供評估終止點的清清楚描述，同時說明選擇的理由，包括：

— 輻射影響的評估終止點，如劑量或風險的標準。這通常會涉及到適用於該設施的法規，其將必須證明所選擇的評估終止點符合評估的目的，以及相關管制者的需求與導則。

— 其他安全性指標(safety indicators)，如放射性核種的濃度(concentrations)和通量(fluxes)、非放射性污染物的通量和對非人類物種的影響。

— 如何使用評估終止點的描述，例如，確保是否符合輻射和環境的標準，或者與天然放射性的背景值相比較。

5.26 不同的終止點可能會有不同的評估時段的週期(時間窗口(time windows))。(參考第 5.34 和 5.35 與第 6 章)

接受者(Receptors)

5.27 放射性廢棄物處置的基本原則是，對於個人和群體，在未來並不需要任何顯著的保護行動以確保他們獲得充分的保護[1]。非人類物種的保護已經討論了好幾年(如參考文獻[24])。然而，國際間對於此議題所提出的方法和標準仍在尋找共識並持續發展。因此，本安全導則不再進一步考慮此議題。

5.28 依據參考文獻[23]，一個“代表人”(representative person)的概念被用於評估輻射對於民眾的影響。利用潛在曝露群體(potentially exposed group)中代表人的劑量或風險來作為評估的終止點，其取決於管制要求。各種終止點的相關接受者應有具體地指示及說明。一系列可能接受者的使用應予以考慮。

5.29 通常情況下，假設代表人位於生物圈中潛在核種污染的區域，可能會受到最高輻射的影響。它也可以被假設為，處置設施中放射性物質的釋出所造成生物圈的放射性污染可能保持相對穩定，且其影響週期比起人類壽命而言是相當長的時間。然後利用平均個體壽命的方式來合理的計算年劑量或風險。

5.30 依據參考文獻[23]，建議用 3 個年齡組來分別計算其代表人的年劑量。這些類別是 0-5 歲(嬰幼兒)，6-15 歲(小孩)和 16-70 歲(成人)。於實際執行此建議時，劑量係數和數據則習慣分別以 1 歲的嬰兒，10 歲的小孩和 18 歲以上的成人來代表 3 個年齡組。

5.31 對於長期劑量評估，它也可以被假設為，處置設施中放射性物質的釋出所造成生物圈的放射性污染可能保持相對穩定，且其影響週期比起人類壽命而言是相當長的時間。然後合理的評估個體的壽命計算年劑量或風險，這意味著它沒有必要以不同的年齡組來計算劑量；這個平均年劑量可以適切的表現一個成人的年劑量或風險[23、24]。

5.32 它應該確保群體中個體的特性與生物圈的產量是一致的，藉以支持此群體。例如，根據不同的假設環境條件(位置，氣候等)，農業產量或特定設置的其他的生產率，皆可能會合理地限制預期可貯存於設施的容量大小。

評估的時段(Time frame for the assessment)

5.33 評估的時段需包含封閉階段的輻射影響的最長時段。選擇評估時段的依據應予以解釋並確保合理。關於安全評估時段的詳細建議將在 6.43 至 6.51 節提供。

5.34 根據評估的目的，將整體時間分割為許多較短的時間窗口可能於模擬或呈現上存在其方便性。也有可能對於不同的時間窗口有不同的終止點[36]。

描述處置系統(DESCRIPTION OF THE DISPOSAL SYSTEM)

5.35 對於描述廢棄物的指引中，處置系統及其周圍已經於 4.37-4.40 提供，

因為在一定程度上對於安全論證的所有元素是必要的。對於較長期的輻射影響的定量評估，需要提供由定義情節和模型使用的具體數據。定量評估所需數據的蒐集應於一個具有反覆精進過程中進行，令所使用情節和模式具有開發性和精進性(refinement)。

開發和確認情節(DEVELOPMENT AND JUSTIFICATION OF SCENARIOS)

5.36 當評估一個廢棄物處置設施的安全性，考慮處置系統於現在和未來條件下的功能是很重要的。這意味著需要詳加考慮許多不同的因素(如未來的人類活動，氣候和其他環境變遷以及可能影響處置設施功能的事件或過程)。其可能可以透過一組情節的制定和分析來實現。在這方面，情節的發展構成了量化評估的基本依據。

5.37 情節為處置系統於替代可能發展的描述。情節的發展是用來確認及定義“評估論證(assessment cases)”評估內容的一致性。每一個評估案例可能代表或劃分處置系統一系列相似的可能發展。在適當的範圍內，對於情節的選擇是至關重要的(vital)，而且情節的選擇攸關後續廢棄物處置系統功能的評估。

5.38 情節代表影響處置系統功能的特徵、事件及作用之組合。不同類型的情節通常包括“基本情節”和“替代演化情節(將包括擾動作用和事件)”。在評估中考慮的各種替代情節將具有基本情節大部份的特徵、事件及作用(也被稱為“參考情節”、“預期演化”、“正常演化”或“無擾動功能”)。然而，不同情節將存在某些特定的特徵、事件及作用之差異，並將成為其特定情節之特

徵。

5.39 情節通常不是設計用於闡明處置系統及其周圍可能演化的目的，而是為了闡明一種或多種天然障壁或工程障壁的特性。為了此目的，情節往往不能完整地陳述處置系統的目的和它周圍的天然障壁或工程障壁(engineered barriers)之可能變化性，需要以保守的方式考慮障壁影響的部分，以顯示所得出的結論。這樣過度的保守假設，不可避免的有不真實的部分。通過假定這樣的極端條件下，各種天然和工程障壁的穩定性可以更清楚地顯示出來。這樣的情節通常被稱為“什麼/如果”(what if)的情節以便與現實情節區分。

5.40 兩個主要的方法已被用於構建情節。例如，該方法描述在 ISAM 項目 [26] 可被描述為一個“自細節到整體(bottom-up)”的方法，此方法則基於特徵、事件及作用來進行篩選。當使用這種方法時，應以完整的特徵、事件及作用作為一個出發點。這可能涉及使用特徵、事件及作用(國際商定的清單，法規等)之通用列表和已確定具體的場址及系統的具體特性。之後在篩選過程中進行更進一步的考慮，然後逐步排除如對處置系統影響甚小或是出現機率極低之不符合的特徵、事件及作用。對於相關特徵、事件及作用，適當的檢查它們彼此間的組合與交互作用於合適的情節中。情節發展的過程應充分記錄並說明理由。篩選特徵、事件及作用的準則可能包括有關法規和/或事件及作用的發生或結果的機率性。

5.41 另一發展情節的替代方法是建構於處置系統的安全功能如何被可能的事件及作用所影響之分析(參見參考文獻[4, 7, 11, 13]中的例子)。其可能

依照特徵、事件及作用的合適列表進行情節發展的審核過程。

5.42 無論用何種方法發展情節，可能會對處置系統功能造成顯著影響的所有特徵、事件及作用，應於評估時提出。這包括於評估框架中可能重複出現，且與特徵、事件及作用有關的情事(如水災，地震)。因此，應該表明，該設施的所有潛在具代表性的遷移路徑及系統的潛在演化皆已考慮在內。

5.43 需要合理的解釋及說明情節被視為代表該系統正常或預期的演化，並且對於情節提出的事件及作用提供一個低或特別不確定機率事件的解決方案。各方案的可能性皆須提供，以幫助評估風險。

5.44 依據評估的時間框架，應考慮此場址在未來可能發生環境條件的程度，以及確認個體的潛在曝群組的範圍。通常假設人類將於此並使用當地的資源。當無法準確的預測人類行為，則大致上假設未來的人類與現在人類的習慣相似，除非此種假設很明顯的與場址的氣候條件不一致。

5.45 在風險評估，有必要來形容採取確定的風險，並確定是否清楚發生的事件和作用和/或情節的機率進行評估，如何處理各情節相關性的不確定性，而這情節模式的做法也包括用於風險評估。如果使用事件及作用的發生機率進行風險計算，其結果則有如風險準則。如果不使用各種情節的發生機率來評估，而只計算情節發生的劑量或風險，則應該解釋由不同情節得到的評估結果是如何對比於風險的管制準則。

5.46 依據參考文獻[22]，兩種方法在於顯示約束是否滿足：(1)結合劑量和

可能發生的機率來評估集合的風險(2)分別討論劑量和其相對應的發生機率。在一個集合的方法中，從可能會對未來個體造成風險的可靠過程中所獲得的所有風險，將與風險限制進行比較。在分別討論劑量及其機率的方法中，輻射意義可以分別由考量最終劑量及其發生機率計算。應該注意的是第二種方法不需要特定情節發生機率的精確定量，而是他們的輻射後果參照其發生機率估計值。其他的考慮，如計算出劑量或風險的持續時間或空間範圍，也可以考慮在評估各情節的重要性。儘管相似的安全級別可以通過這些方法來證明，詳細訊息可以從單獨考慮發生的特定情況下，以一個劑量而產生的機率，並將得到的劑量決策的目的而獲得。

規劃和履行評估模型 (FORMULATION AND IMPLEMENTATION OF ASSESSMENT MODELS)

5.47 一旦發展出情節，則應該進行相應的評估。這通常是使用評估模型進行。評估模型將由以下組件開發：

—概念模式(conceptual model)，它是代表該系統是以評估特定用途的適切內容，來進行評估定義的行為：概念模式提供系統組件之描述及其間的相互作用。它也包括一組關於該系統的幾何及化學、物理水文地質、生物力學行為的假設，須與訊息和知識互相一致。

—數學模式(mathematical model)，這是使用包含數學方程式的概念模式來代表特徵及作用：它表示可以處理的範圍和複雜程度取決於被模式化(modelled)的過程或現象的了解水平(level of understanding of the phenomena)和所提供的資料及數據。數學模式可用於進行定量分析。

—計算程式(computer code)，這是一個實務軟體，方便數學模式的評估計

算：計算程式可以包括用於解決數學模式之數值分析。

5.48 特定模式(Specific models)往往要為特定的流程和/或系統組件開發。對於封閉階段的輻射影響評估，這些詳細的模式需要整合各種資訊，它可以評估處置系統的整體性能。這個整合過程若經由適當的整理和管理則可以簡化。

5.49 在開發評估模式應確保以下可能事件：

—在現實主義和保守主義之間取得適合的平衡，已給予合適的處理處置設施的參數，並確保評估的內容和處置系統的資訊發展的現狀；

—概念模式提供了處置系統的合理陳述，並以數學模式來代表適切之概念模型；

—已考慮並證明任何的替代概念和數學模式，以提供所採用的辯證，說明所選擇的模式是否適切；

—適當的進行模式的驗證與評估，並進行記錄，以建立信賴模式，來確保可達到預期的目的；

—確保所使用的軟體具有適切的品質保證計畫(quality assurance)和品質管理措施(quality control measures)。

5.50 在開發模式中，有必要確定和選擇可被量化的參數，稱為模式參數化。

在這一過程中，應確保以下事項：

—在模式和程序進行評估計算中使用的參數值應記錄在案，模式參數化的過程中應可追溯至數據資料庫。

—記錄應確保其特定場址(site specific)，而系統中具體的特性參數值數據也

被導出適用於評估計算。

—當應用確定式方法(deterministic approach)來評估，應提供所選的參數值是否符合保守主義或現實主義的理由。

—當應用機率式方法(probabilistic approach)來評估，應提供所選擇的機率分佈的理由。

計算的呈現和結果分析(PERFORMANCE OF CALCULATIONS AND ANALYSIS OF RESULTS)

5.51 一旦模式被參數化，它們可以被用於執行確定式和/或機率式的評估，並可應於不同情節下的評估情況。

5.52 使用概念模式和場址資訊和設計資訊，以確保敏感度和不確定性分析評估的案例具足夠的涵蓋範圍，以滿足相對應的案例。後者將有助於系統的理解。重要的是，不確定性和參數的相關性應予以確認，並以適當的方式進行處理。

5.53 當呈現計算的結果時，應提供此二者與最終評估終止點的比較及可替換的安全或功能指標比較的必要結果。除了全面匯總的結果(例如年劑量或風險隨時間的變化)，分類的實體(如通過系統的不同組件之通量)應提交以改善對評估的了解，並作出評估追溯。使用該方式獲得評估結果應於安全論證中闡述。例如，它應該被解釋評估結果(終止點)是否將與管制標準(如安全目標)直接比較，或者他們將用於說明性質或其他用途。

不確定性之處理原則(Management of uncertainties)

5.54 由於放射性廢棄物處置系統的複雜性，應致力於評估工作以便了解不確定性所代表的重要意義，並且減少或限制其不確定性。

5.55 不確定性的分析，應該是計算過程的一個組成部分，只要有可能，報告的結果應包括可能數值的範圍(包含各範圍)，而不是單點的值。不確定性的分析應該足夠符合評估的目的。

不確定性的來源(Sources of uncertainty)

5.56 處置設施於封閉後之輻射影響評估有多種不確定性的來源，大致可分為：(1)情節不確定性(scenario uncertainty)；(2)模式不確定性(modeling uncertainty)；及(3)數據及/或參數的不確定性(data and/or parameter uncertainty)。

5.57 情節不確定性是指處置系統未來狀態的不確定性。它包括在處置系統的演化人類使用環境、地質和其他長期過程以及人類入侵(human intrusion)的不確定性。

5.58 模式不確定性來自該評估過程中不完整的知識，從而導致一個有瑕疵的概念模式。概念模式的數學形式則涉及一些簡化過程，也增加了模式的不確定性。例如使用一維模型來描述傳輸流程。不精確的數學模式的數值解是不確定性的另一個來源。

5.59 數據及/或參數的不確定性是指在評估模式中，所使用的參數值的不確定性。這一類通常包括在系統組件的內在特性之不確定性：

- 廢棄物特性：放射性核種存量，物理和化學形態，化學物質如接合劑、有害物質等內容；
- 廢棄物包件的特性：內含物及基質的力學和化學功能、廢棄物的組成形態等；
- 處置設施的特性：尺寸、回填材料、混凝土特性等；
- 地質特性：水文地質，地球化學特性等；
- 生物圈特性：土壤性質、農作物特性等

不確定性和敏感度分析(Uncertainty and sensitivity analyses)

5.60 不確定性應區分為兩種，一種為隨機變異所導致的不確定性，稱為偶然的不確定性(aleatory variability)，另一種為缺乏訊息所導致的不確定性，稱為認知的不確定性(epistemic uncertainties)。主要區別這兩種類型的
不確定性之間的理由，雖然它們的模式類似，但量化的方法和減少不確定性的處理方式是不同的。原則上，偶然的不確定性(aleatory uncertainties)是建立於客觀量化的基礎上，並可以用機率分佈來描述。而認知的不確定性，若是要主觀的量化其不確定性是困難的，或者在某些情況下，甚至是不可能的。不像偶然的不確定性，認知的不確定性有時(但並不總是)可以經由研究而進一步的減少。在某些情況下，隨著研究的進行，機率分佈也可用於評估認知的不確定性。然而，這些機率必須由偶然的不確定性進行區分，因為有些不確定性係由於不同方法的定量分析所造成，而有些則係由認知

的不確定性降低不同的機率所造成。

5.61 對於終止點的不確定性分析，是從輸入數據和模式參數的不確定性上進行評估。敏感度分析是用來確定各輸入參數的相對重要性。詳細請參考描述不確定性分析和敏感度分析的文獻[37]。

5.62 當定義一種處理不確定性的方法時，需要區分為情節不確定性的處理(Treatment of scenario uncertainties)以及模式不確定性和數據與/或參數不確定性的處理(Treatment of modelling uncertainties and data and parameter uncertainties)。處理方式概述如下。

情節不確定性的處理(Treatment of scenario uncertainties)

5.63 情節不確定性是執行一系列情節的評估，通常包括基本情節和幾個替代的演化情節。這些情節應採用適當的、定義良好的、確定其選擇和決定的結構所導出。比較各種情節的評估，對於場址和處置系統所產生的不確定性皆具有重要的指標意義。它可以確定情節不確定性在安全認證的整體背景下，是符合可接受的安全性情況，或者確定該場址的設計變更應予以考慮。

模式不確定性和數據與參數不確定性的探討(Treatment of modelling uncertainties and data and parameter uncertainties)

5.64 對於每一個情節，有必要確定模式及參數值的不確定性。參數間的相

關性也必須於不確定性的探討中考慮。雖然可以由實際的行動，來減少一些不確定性，總有一些殘餘的不確定性，需要由這種方式所評估的結論來給予處理。

5.65 常用來解決模式建立不確定性的方式，是進行替代模式之間的相互比較。在某些情況下則係進行模式預測(predictions)和經驗觀測(empirical observations)之間的比較。當然，這方法無法進行長時間的預測值和觀測值之間的互相比較。

5.66 有時候，能夠以敏感度和/或不確定性，來證明所給定的不確定性是不能顯著的。例如，敏感度分析可能表明，該模式可能對於某些參數不具有敏感度，即使這些數值都包含在所有可能的範圍內。

5.67 另一種常用於探討不確定性的方法是使用保守的(謹慎的)假設。例如，當簡化模型時則採用一個保守的觀點。另一個例子是應用保守的數值於參數模式(model parameters)。這種方法具有幾個優點，特別是用於確認是否符合管制標準。然而，在某些情況下，保守的假設可能導致較不現實或不可能的情形，而造成難以解釋和不適用的情況。更進一步的，應用保守的數值於參數模式，計算的結果可能是過於保守，並會提供較差的決策根據。另一個重要的考量是，一個保守的情節及核種的假設中，可能就不適用於另一個假設；例如，高估設施內放射性核種的遷移所造成的影響，就可能低估此放射性核種存放的長期風險。假設的保守主義應該要被證明與評估終止點相關的影響。

5.68 機率式評估可以用於量化與情節相關風險的方式，其考慮一系列由不確定性所引起的參數值。機率式評估應避免應用於具有實現值(realizations)的參數，在現實上是難以實踐的情況。例如，在蒙地卡羅 Monte Carlo 的模擬時，如果不考慮關聯性的由不同變數的機率分佈進行取樣時，可能會發生不合理的參數連結。所以機率也應進行評估，以避免過度的“風險稀釋”(risk dilution)。例如，由於在整體評估後果時，是以事件與機率的乘積，所以一個設施中非常顯著的事件影響，可能會由於不明顯的機率的結果，而被忽略(masking)[38]。

5.69 一個重要的問題介於決策者和其他有關單位對於機率式評估結果的溝通。對於這樣的目的，可能以確定式的計算(deterministic calculations)及分析“什麼/如果”(what if)的情節，以說明不確定性如何影響處置系統的功能。當處理不確定性時，應提供有關安全性的評定，以及提出於未來解決這些問題的對策。

評估模式的精進(REFINEMENT OF THE ASSESSMENT MODEL)

5.70 模式的設計、相關聯的定量分析和所需要的數據將決定內容的水平(參見第 4 節)。例如，在安全論證的早期版本中(如選址和初步調查)，為了篩選的目的產生相對簡單的模型是足夠的，且可以使用簡單的計算機工具，如電子表格和易讀的數據來達成目的。而隨著審查的結果，它可以適當的改善特定模式及蒐集更多的數據，並使用更先進的計算機工具來精進它們的結果。對於最終的修改版(final revision)，所採用的模型和安全論證的數據需要更加全面。

5.71 在應用模式和解釋結果所學到任何經驗，應該被用來作為重新假設和模式開發的決定。這樣的資訊透過區分其重要的特徵、事件及作用或敏感的參數，可被用來精進模式。

比較評估準則(COMPARISON WITH ASSESSMENT CRITERIA)

5.72 對於人類在未來的輻射劑量，可以進行評估，這些計算所伴隨的不確定性可能隨著時間增加。非常長期的劑量和風險可以評估，並且與合適於目前處置設施的標準進行比較，藉以提供處置系統是否可接受目前處置系統理解的指示。這些的評估不適用於預測未來的健康效應(health detriments)。

5.73 比較評估劑量與天然放射性核種所導致的劑量估計，可能也是對於處置系統是否具有非常長遠影響的有用指標。其它指標也應考慮，如在環境中的放射性活度或處置系統的容量。

5.74 近地表處置設施之人類入侵情節的分析結果，應與法規的標準進行比較，請參考 5.22。然而，對於其他處置設施，如地質處置設施，人類入侵的可能性基本上被淘汰，人類入侵案例的評估可以經由系統的疏漏(robustness of the system)進行測試。考慮到對人類入侵的可能性也應該是選址的一個考量方面。

6. 具體問題

6.1 本節對發展放射性廢棄物處置設施安全論證可能需要特別考慮的幾個問題提供指引，考慮的問題包括：

- 安全論證在設施發展不同階段的角色和內容；
- 分級法；
- 深度防禦；
- 安全評估與處置系統的健全性；
- 評估的時段；
- 人類入侵；
- 監管；
- 廢棄物的再取出性；
- 評量的選擇。

發展安全論證

6.2 安全論證發展分成幾個階段。

- 概念發展；
- 場址調查和場址選擇；
- 設計和建造的發展；
- 運轉和封閉；
- 封閉後時期；

特別是處置設施發展的早期，此階段可能會有重疊和反覆精進的必要。本

節提供安全論證在各階段角色和內容的概述。

6.3 各階段安全論證的詳細程度將取決於設施類型、使用技術和其他因素，並依據分級法來決定。

概念發展

6.4 處置設施發展的第一步驟是解決概念定義，在此步驟的安全論證應該呈現安全的策略以及達成策略的方法。在此階段，通常不可能提供設施的詳細描述和評估，然而一些初始訊息，例如母岩種類是可獲得的。有關安全策略和設施概念設計的關鍵方面應加以注意。在缺乏任何定量實證，選取定性辯解的安全策略就必須在安全論證中提供。此外，安全評估的方法、管理系統和不確定性的管理應該列出並解譯，即使這些方面將會在計畫後續的步驟顯著的展開。

6.5 根據應用在處置設施及其組件的安全策略，安全論證應該明確地關注處置系統的組件(個別的和組合的)將如何符合所有的安全需求。一般情況，安全論證應該包含每個處置系統組件所要擔負安全功能的描述(包含運轉和封閉後時期)，並應提供這些組件(包含天然障壁)有能力擔負安全功能的評估。安全論證也應該注意施工的可行性。在所有方面，對於處置系統功能的說明要合理，並且確認計畫在特定步驟仍留存的不確定性。

6.6 安全論證應該解釋如何使處置系統各個組件的特徵和性能符合它們所擔負安全功能的作法，以及如何隨著時間演變。解釋內容應如下：

一擬定設計方案技術可行性的概述，確認方面是依賴已經成熟的技術，以及需要在未來通過實驗測試驗證的新技術；

一關於處置系統各個組件在預期條件與經過確認為可能的擾動事件下，滿足其被賦予角色的能力之知識程度概述；

一評估處置系統組件如何以互補方法共同發揮作用，確保足夠的防禦深度以及安全不會過度依賴單一安全功能。

這些因素應該在規劃場址特性調查計畫中概述的補充，研究和發展計畫顯示如何在未來得到遺漏的資訊。

6.7 在概念定義階段，安全評估只能是非常初步的。然而，根據場址演化的考量進行這樣的初步評估以提供可能影響規模數量級的概略估計是理想的，同時開始確認可能對安全是重要的設施和環境特徵。

6.8 安全論證也應該包含有關管理系統的資訊，特別強調和計畫有關的時間尺度以及計畫在這些時間尺度的反覆精進特性。其中與管理系統相關的主題，在早期階段，安全論證應針對計畫的組織架構和資源需求，此計畫規劃的程序和系統將在資訊管理適當的位置。在此階段，管制機關和利害關係人溝通的安排應制定並準備就緒。

場址調查和場址選擇

6.9 在場址調查和場址選擇階段，安全論證應該支援驗證一個或多個潛在處置場址的過程，應協助前進到下一個發展步驟。在安全論證和其內容將會演

變成項目發展，以工程方面和特性方面來說，處置系統的不同自然和工程成分。在此階段安全評估通常為自然初始，但隨著設計發展的演變和詳細場址特性而增加。場址的排除或接受的準則也應該在此階段確定。經與法規比較，場址特性應該可以驗證不論場址所希望的特性是否存在，或確定是否場址應該被排除。

6.10 在場址調查和選擇階段，應描述基本特徵的方法，它們展示如何在各自然和工程組件的安全功能，在所提議設計的選項範圍內將會實現在考慮場址上。

描述應該支持以下內容：

- 有關處置系統各組成能力的知識層概述，實現預期的角色，包括在不安的事件不安定的可能擾動；
- 研究和發展計劃，驗證預期決定場址階段的特性之概念發展；對高放射性廢棄物處置設施的發展方案而言，此方法可能包含地下研究實驗室的發展和營運；
- 場址對現存和未來預計的廢棄物流動適應能力之能力評估；
- 初步評估認為，特別是確認各組件和整個設施可能的發生擾動，包括內部來源(例如熱力、化學、機械、放射性或反應變化)和外部(例如入侵、氣候變遷和地震)；
- 有利性能的(favourable behavior)組成材料(一般金屬，黏土和混凝土) 調查書，對處理設施的安全性是必要的。
- 建議處置系統的技術可行性將如何透過適當的品質和性能確認程序來證明；
- 證明至少有一個設計方案有良好的可行性表現。也就是認為依賴在證明

和/或容易驗證的特徵並能容納有關處理系統不同組件預期表現的不確定性；

—再次重新思考，處置系統組件將如何在一個共同運行以互補的方式，確定有足夠的防禦深度，包括對系統組件的整體適合性的大範圍確認；

—一個區域存在的不確定安全性之識別，此將會由一部分安全論證來管理。

6.11 模式模擬的情節(scenarios)和評估能力之發展應充分地領先，至少在影響量級的大小上，認可估計的合理化把握。在這方面，即使情節的選擇和處理不徹底，它們應該涵蓋預期設施的正常發展，並應該考慮已確定的主要潛在不安事件。

6.12 對採用的主要假設和簡化應提供正當的理由。為了評估系統和組件的健全性，應進行敏感度分析，且協助指揮和更新研究計劃和設施設計的發展。

6.13 安全論證應該包含以下各項管理系統的資訊更新：

—組織架構和程序，放置以確保好的管理安全評估工作和好的資料獲取品質控制，尤其是場址資料；

—整體活動的規劃，尤其是關聯到管制機關和其他各方參與的計劃；

—實施系統記錄保存制度，其中應包括場址數據和安全論證和安全評估支援；

—適當的資源分配以持續該項的後續步驟。

設計和建造的發展

6.14 在設計開發和建造的階段，安全論證應進一步開發，因此，它可證明採用的設計將會符合處置安全需求，這是個可行的方法。安全論證也應幫助改進設計選定的廢棄物管理項目和處置概念。

6.15 安全評估應該證明安全功能其中一組件的喪失並不會危害整個系統的安全性。因此，安全評估應在工程和處理設施影響的方面，提供一個成熟的評估。

6.16 應評估操作安全性和長期安全性。應發展適當的監控器和監督程序，並且在挖掘和/或建設及設施啟用之前實施。

6.17 任何對設計修正的影響，已經實施在挖掘和/或建造之間應該考慮安全論證，且有關安全評估。過程如下：

—更新知識層在處置系統各組件能力，在設施正常演化及在不安的事件中實現預期角色，包括期待的和不可能的事件(both anticipated events and less likely events)。應包括場址整個特徵尺度，最大廢棄儲存設施，包括放射性特徵和其他廢棄物特性、介紹和設計特點的說明，其中有關支持的測試，和證明確認關鍵組件的原型。

—建築技術和驗證的選擇，例如：證明此技術保留封鎖和隔離特性的天然障壁必要的長度。

—識別一不確定區域重要的安全性仍存在，其將會管理部分的安全證明。

6.18 此階段，證明品質評估應該包含安全論證的資訊，特別是在考慮充足

範圍情節和評估個案的資訊，以及在使用的模式和模式碼的資訊，包含選定模式和證實選擇的充份理由。此外用來應呈現驗證方法和延伸可能性的驗證模式和代碼。

6.19 安全評估部分，執行敏感度和不確定性分析。此包括識別主要資源的不確定性、估計不確定結果的影響，和程序的發展以減少不確定性，例如額外的研究和發展工作。另外可以避免不確定性(例如使用較好的已理解的材料)或可以減輕它們的影響(例如通過尺寸大一點的障礙)。

6.20 安全論證應資訊更新相關的系統管理特別強調如下：

—組織和程序恰當的確保設計工作完成的品質，其相關結果在研究和工作發展、場址特性和安全性評估工作。

—活動的整體規劃，尤其是規劃管制機關和相關部門的介入，以及規劃執行情況定期的系統評估。

—實行涵蓋數據的持續記錄和追蹤系統，下決策的資訊和記錄。包含設計依據和設計修改，和其驗證的資訊。

6.21 所有適當的資訊應都是為了提供作決策的支持，包括產出從處理項目和資訊來源的引用。

運轉和封閉以及封閉後的期間

6.22 建造完成之後，安全論證應持續發展透過一審查完善的(review and refinement)連續過程；運轉和封閉以及封閉期間階段的安全論證詳細紀錄在

第 4 和 5 節。

分級方案

6.23 應確保安全個案和支持評估是依據有適當程度的理解，對處置系統和其潛在的行為和所有相關問題都要考慮和解決。然而在文獻[1]的原則 5 指出，資源致力於確保安全相稱的放射性可能的危險程度量級它們順從地控制(it is stated that the resources devoted to ensuring safety have to be commensurate with the magnitude of the possible radiation risks and their amenability to control.)

根據這樣的原則，安全個案的發展和評估與應引導包括處置設施相關詳細的危險量級和發展階段。

6.24 安全規範適用於多種廢棄物和處置設施，是根據具體場址和設施的特性可能會造成不同程度的危害和風險。因此，安全個案和輔助安全評估的分級方案，必須考慮不同程度的危害和風險。因此，可預期應該致力於開發較高的層級 放進處置設施的安全論證和安全評估，對處置設施的高放射性廢棄物(high level waste)比上對處置設施的低放射性廢棄物以及垃圾掩埋場類型的處置設施。然而，這通常可能是正確的，安全個案和徹底的安全評估仍必須處置設施對低放射性廢棄物，其中會取決詳細的場址因素、設施的設計，廢棄物處置的特性和其它因素。某些近地表處置設施的安全論證和評估甚至比地質處置設施需要更多努力(effort)。例如人類的入侵，對良好的場址地質處置設施可能被認為是不太重要的事件，但對近地表處置設施則可能被認為是幾乎不可避免的事件。安全個案和評估的必要詳細程度

應決定於首先進行相對簡單的評估，提供設施相關可能的風險程度指標。

6.25 不同標準可用來確定消耗在安全個案和評估或特定處置設施複審的總成果有所幫助，處置系統組件(例如，特定障礙物的特徵)或影響處置系統表現的過程。參考文獻[3]考慮分級方法的應用，提出以下標準：設施型態可能放射性風險和成熟的複雜性。廢棄物處置設施安全評估使用的標準會在6.26-6.28 討論。

6.26 根據參考文獻[3]，安全的重要性(safety significance)的考量通常是最重要的標準。設施的表現應考慮幾個方面，像在正常運轉下放射性物質的外釋、來自預期運作的發生、來自合理的預期不安事件，以及低機率潛藏高後果事件的潛在重要性(potential significance of low probability events with potentially high consequences)。此標準可直接應用於運作階段的處置設施，並且也應該用在封閉後階段。應建立於評估在正常發展期間的放射性物質外釋，和替代發展情況，包含不安過程和事件影響的考慮。花費較少的努力在這些事項：在“如果”的情況下(見 5.39)，只有以評估計算結果為基礎(劑量和機率) 似乎明顯的安全。

6.27 也可使用成熟的規範去確定花費在特定處置設施、處置系統組件或處置系統影響過程的表現，進行評估或複審的成果總量。在這意義上(In the sense)，成熟的考慮可參考：(i)使用已建立的良好慣例、程序和設計；(ii)相似設施運作表現或慣例(和相關的不確定性)之可利用的知識。(iii)製造者、建設者和那些進行安全評估者之可利用的經驗。

一般來說，當成熟階層的增加，必要的深度評估和審查的工作就會降低。

而成熟的標準可應用於放射性廢棄物處置設施，要認清的是處置設施的實際長期性數據將不可用。也必須認知設施的數量限制和各處置系統的獨特性。

6.28 複雜性也可能使用作為規範，告知相關努力程度的決定，可應用在評估或審查特定的處置系統、處置系統的組件和或模式評估過程。通常複雜的主動系統或複雜的組件對處置設施而言不是必要的。處置系統複雜的設計可能意味著需要在安全評估的設計上有相同地複雜的表現。因此對許多處置系統而言，簡單的設計被認為是種美德(例如，因為簡單系統可能開發一個容易令人信服的安全個案)。運轉人員首要考慮的是採用簡單的設施設計是否可排除安全評估的複雜度，而不是發展一個複雜的安全評估。

深度防禦

6.29 處置設施防禦深度的應用概念在參考文獻[2]有解釋，其陳述在規定 7：“主機環境將被選擇，處置設施的工程障壁將被設定...確保安全是由多個安全程序的平均所提供。廢棄物的封鎖和隔離將由處置系統物理障壁數量的平均所提供。這些物理障壁的表現將會由不同的物理和化學過程的平均來完成...個別的障壁能力...將會被證明。處置系統的整體性能不應過度依賴單一個程序”。

6.30 執行矯正行動影響處置設施演進的可能性是有限的。封閉後只能在制度控制期間中(period of institutional control)操作。一般而言，廢棄物的封鎖和隔離將必須比制度控制期間長。因此專注於實施處置設施深度防禦的概

念在確保設計和建設將實現多元互補的安全功能。

6.31 在準備廢棄物處置設施的安全個案中評估深度防禦變成正常慣例。其涉及確認處置系統不同的需求和安全程序、處置設施的設計、和特別是工程障壁，以實現這些安全程序，以及評估處置系統和障壁就能力方面的表現，以實現安全程序。

6.32 安全功能是由處置設施的要素實現，如處置系統一部分的物理或化學特性，或一個過程或多個過程組合，有助於封鎖和隔離廢棄物(如低導水率，慢的腐蝕速率，慢的廢棄物母體溶解速度，低放射性核種濾出率，低放射性核種的溶解度，高吸附性)。主動控制，如防止人類入侵或監控，也可提供安全功能或有助於信心在天然和工程障壁和安全功能，雖然時間尺度的限制，其信用可採用如控制應被觀察(見機構制度控制 6.66–6.73)

6.33 在安全個案下，它必須可評估處置系統是否有設計預防放射性核種的遷移(migration)的安全功能。這表示它必須要確定其它安全功能設計的表現是否可以補償一個安全相關特性的缺陷。久而久之，預防放射性核種的遷移將會由處置設施的不同要素執行。應該證明在處置設施一個要素的事件不能徹底的執行或不能再徹底的執行安全功能，而是由其他要素提供安全性。

6.34 不同安全功能的必須估計在不同時段互補地執行。各安全功能必須與其它的獨立，在可能的範圍內，確保它們是互補的，而且障壁不太可能由於一個失效的模式失效。在安全個案中，功能提供各障壁應該解釋和理由，

和確認它們在預期的不同時段內執行它們不同的安全功能，再加上如果障壁不能完全執行則替代或附加運作中的安全功能(如圖 5)。

圖 5 圖例在不同安全功能期間履行處置用過核燃料和高放射性處置的概念在' Boom 黏土 (Boom clay)'

在這個例子中，工程障壁預計提供廢棄物完整封閉，提供處置設施可經歷高溫以及經歷幾千年的時間。此後放射性核種的 Boom 黏土可能會如預期的遷移。此特定案例更多細節記錄在參考文獻[11]。

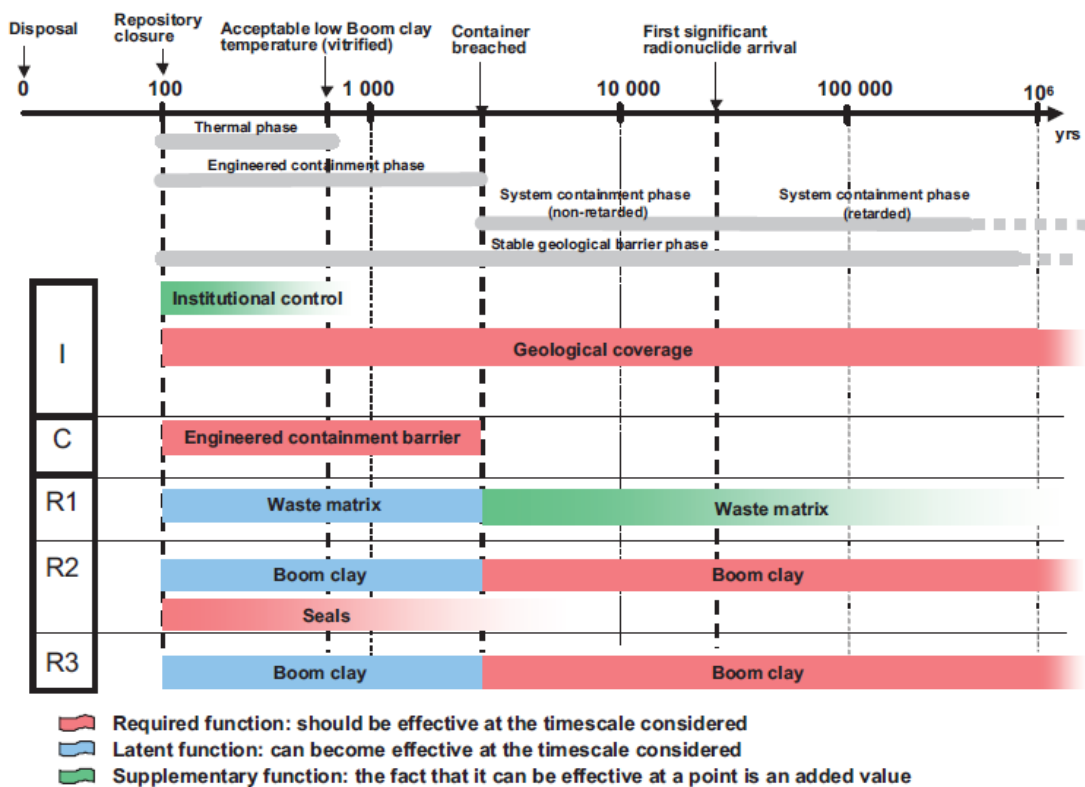


圖 5 在不同安全功能期間履行處置用過核子燃料和高放射性處置的概念 [11] I=隔離，C=封鎖(containment)，R=遲緩(retardation)。

6.35 詳細分析不同的安全功能如何由處置設施的要素實現，可能由相關的

處置系統安全功能去執行衡量或計算數量。例如：一個特定障壁執行限制安全功能相關的水流(water flow)，然後障壁對水力傳導性(hydraulic conductivity)可能是適合的量值可用來估算實現安全功能達成度。這種情況下，障壁的水力傳導性對安全功能而言被認為是“安全功能指標”。因此安全功能指標是可測量或可計算通過安全功能的數量，是可以被定量估算的。為了確定安全功能會持續執行，在安全評估期間，應先確定量化標準對哪些安全功能指標是可以估算的。定義安全功能指標的當場的 a (priori)量值有助於接納最佳的程序，但這不適用於該目標物本身(至少在安全個案發展的第一階段)，由於安全功能的圓滿完成可能依靠幾個程序以及組件組合的特徵，而特徵可能會經由後續的設計或操作的改變而可能會固定也可能會改變。

6.36 決定安全功能指標的準則將會幫助決定安全的達成。當安全功能會有一定範圍的，安全功能指標和準則，不能滿足準則的特定安全功能指標，不一定表示處置系統的未能遵守監控限制或目標(如劑量或風險)，而是更多詳細的分析和數據需要用來評估安全性(見參考文獻[13])。證明其它深度防禦的方法包含處置設施(如不同放射性核種在不同障壁下的封鎖性)其它衡量的表現和結果展示的評價。

6.37 此外，在廢棄物處置設施的發展中，已經使用情節的假設“如果 what if”(見第 5.39)。這些假設，例如缺乏特定障壁或安全功能，或近地表處置設施，假設在制度控制期間制度控制功能的喪失。這種情節下允許處置設施響應調查擾動，即使這些擾動是假設性的。然而，儘管假設造成“如果”的情節下缺乏可靠的安全功能，仍需付出努力去確保此安全功能會繼續執行，

因為它是設施防禦深度的要素。

穩固性(ROBUSTNESS)

6.38 穩固性的概念可以應用到處置系統各個組件。

6.39 處置系統的穩固性是指將會持續的實行其預想的安全功能，不論是遇到預期會發生的合理干擾(見第 4.33 和 4.51)。可選擇場址，例如選定很少受到自然過程如水災和地震的地區。同樣地，工程障壁可設計穩固，例如擴大特地組件的尺寸超過必要值以確保其干擾和不確定性的彈性。

6.40 相關項目是處置系統穩固性，滿足各個組件也滿足它們之間的穩固性。此概念比只有一個系統組件的穩固性更廣，評估處置系統的穩固性依賴下列幾個因素：

- 證明各個障壁的穩固性和安全功能；
- 深度防禦概念評估，即多個安全功能同時存在，以確保所有處置系統的全部性能不是依賴單一安全功能，造成失敗或無法預期的性能不佳導致無法接受的放射性後果(見第 6.29–6.37)；
- 驗證已經應用良好的工程慣例(明確性和可行)；
- 透過被動式工具達成安全性的示範(Demonstration)

6.41 處置系統的穩固性是透過在說明具體的擾動或不確定性的情節之下，這系列基本情況分析結果的比較進行評估。在不同的擾動類型之中，最普遍認為是一個組件或其中一個特性失效(“what if”情節)。著名的是涉及強擾

動應用於處置設施的情節，從處置系統降低行為的情節敘述。

6.42 安全評估的穩固性和可靠性相關概念的要求如參考文獻[3]，即對情節、模式和數據的不確定性所做的安全評估結果是不敏感的。安全評估的穩固性依賴於設施的設計，因為評估出的相關的不確定性程度，在一定程度上，決定於系統組件的物理和化學特性以及其與環境的相互作用

評估的時間框架

6.43 時間框架的評估涵蓋了安全評估的計算。時段內的每一項評估，皆要考慮一個以上的評估時間窗口。對於安全評估計算之時段選擇，並沒有一個完整的科學依據。在這種情況下，時段的決定應該在監管過程中進行。

6.44 評估時段應考慮到國家法規和監管導則，以及具體的處置設施，場址和被處置之廢棄物等特性來定義。在決定時段和時間窗口時，應考慮其他因素，包括：

一安全性評估之計算期間要足夠長，以確定涵蓋最大劑量峰值或風險。然而，這是不可能的。例如，處置長半衰期的廢棄物(例如，鈾礦開採)在一個不確定耐久性的工程障壁物(如障壁和蓋)，劑量和風險可能保持不變或甚至在未來可能會增加。隨著時段經過，評估的不確定性顯著增加，限制了評估的意義。這可能會限制在一般情況下時段(幅)的評估或至少在時段(幅)上對於量化的評估。

一隨著時間變化，有幾個因素可能會顯著的影響安全評估結果。例如，設施周圍的景觀和水文處對於氣候變化的反應可能會改變，以及這些變化的

受體和習性可能會改變。因此評估長半衰期的廢棄物應考慮這種可能的變化。至於評估處置系統的可能演變的方法，一些評估認為一個或多個氣候情節涉及未來冰河期。評估時段應該被定義在適用於場址可能發生的變化。一決定時間的架構，受到不安的事件的類型和嚴重程度的影響。例如，洪水或地震，預計一千年發生一次將比一百年發生一次更具有破壞性。

6.45 考慮到這些因素的複雜性和多變性，不可能建立一個通用的時段。當考慮的期間為幾百年，對於外部的處置設施(如採礦廢棄物)其模擬結果的不確定性是非常大的，而超出了一千年，定量的評估可能會變得毫無意義。對於建造靠近外部的處置設施，容易遭受較小的程度或較小機率而影響其完整性(如侵蝕，人類的入侵)，所以合理的模擬評估的時期以幾千年為單位。對於內部的設施，如高放廢棄物的地質處置設施，模擬評估的時期以幾萬年為單位，並且評估的結果可能會超出輻射劑量上限值。

6.46 在安全的條件下，有必要定義不同的時間窗口以處理不同的情節。例如，一些情節可能會擾亂或破壞某些處置設施。在一些場址，侵蝕或冰河可能會破壞較外部的處置設施。雖然在冰川時期，對於時段可以預期與廢棄物(主要含短半衰期放射性核種)不相關，但處置鈾礦渣的設施可能受冰川的影響，因此對於廢棄物蓄水池表面的評估將受限於時段。另一個例子，對於某些類型的廢棄物有必要防止臨界狀態，若時段超過其臨界狀態應根據放射性核種的衰變和內生長(in-growth)來定義。而在一個安全評估下，也有可能需要定義多個不同的時間窗來呈現原因。例如，再進行評估計算時可以定義一個以上的評估時間窗口，並且可以提出了不同的詳細程度以及不同程度的保守性或現實性。

6.47 在這種考量的基礎上，處置設施的使用期可能被涵蓋藉由使用一組或多組的評估計算。在這種情況下，計算整個評估期間需具有一致性的假設，若有不一致的假設則需有充分的理由。在某些情況下，在不同的評估期間可能會作出不同的甚至是不一致的假設以顯示安全性，因為在特定時期可能會提出一些保守的假設，但在另一段時期不一定必須是保守的。例如，關於放射性物質在運行的期間造成釋放為一個保守的假設，而對於晚期的封閉期，盤存仍然完整的停留在場址也為一個保守的假設。在這種情況下，特意引入差異和矛盾的假設應仔細記錄，才有理由不懷疑的整體安全論證下假設是不一致的。

6.48 對於整個安全評估內各種疊代方式其時段通常是保持固定的。然而在某些情況下，也有可能須要修改不同迭代之間的時段，以反映新收集的信息。例如，有可能需要延長時段，以確保最大或峰值的劑量包含在評估的範圍內。而如果有新的信息指出廢棄物含有比先前更多的長半衰期核種，這也是必要的。此外，這可能被認為是適當的限制時段內之定量評估，使安全評估的結果是有意義的。另一種限制時間框架的評估方法，則需強調定量結果使後續的時段可能會縮短。然而，所有的情況所造成的影響若超出定量評估的期間，則應在安全論證下以適當的方式進行處理。

6.49 在安全論證下還應解決處置設施的演變以及其對於超出安全評估計算的時間可能造成的影響，假如在該時間點不可忽視的危害仍存在著。而這應該是藉由簡化的估算和定性參數的方式來完成，而不是透過量化安全標準程序。例如，對於深部的地質處置設施，可以使用有關場址之地質穩定

性參數。

6.50 處置設施及其環境的演變對於任何給定的時間，應該要強調在安全論證下能預期達到最有效的安全功能，以及最具有說服力的依據。例如，首先，很有信心的預期容器對於廢棄物是完全封閉的，而且安全性參數也會證明在一定時間內其容器支撐完整性。而在之後，完全封閉不能被依賴在參數的基礎上，例如廢棄物形式的穩定性，地球化學固定化(geochemical immobilization)，地下水移動的速度變慢和地質環境的穩定性，應以表明釋放的放射性核種對於環境的影響仍然是小的。

6.51 從 6.43-6.50 中表明，建立適當安全評估之時段與時間窗口則須做出判斷和從競爭因素中得到平衡。而安全評估所採用的時段和時間窗口應清楚地加以說明理由。特別是如果列於第 6.44 其中一個影響因素限制了評估時期，原則上比處置設施可產生不可忽視的危害更短，一個明確的理由以提供不延長評估時間的架構。例如，評估鈾礦渣廢棄物的輻射暴露的是沒有意義的，如果時間段被擴展超出了冰河期是可以預期的(見第 6.46)，雖然潛在的危險廢棄物基本上延伸出了這個時間表。

人類的入侵

6.52 人類未來的活動可能會破壞一個廢棄物處理系統。人類行動影響處置設施的完整性，並可能引起放射線後果的被稱為人類的入侵。人類的入侵對於在表面或接近表面的處置設施是特別相關的。大多數人類活動(如建造作業，養殖等)可能導致人類無意侵入廢棄物處置設施在有限的深度下(通常

為地表下的 30~50 m)。在較長的時段中，人類侵入設施是相當可能的。人類活動達到更大的深度超過 30 米是不太可能的，但包括鑽孔(例如水，油或氣)，探勘，開採活動，地熱開採及油、氣或二氧化碳儲存。在這方面，提出以下意見主要是針對處置設施接近表面。在人類入侵的情節對於較深處的處置設施的相關討論，在第 6.65 節提出。

6.53 只有人類的行為直接干擾處置設施(如廢棄物，污染的場址或工程障壁)在安全導則中才被認定為人類的入侵。人類的行為干擾了環境而超出了處置設施，就算其是緊鄰的也並非歸類為人類的入侵，因為這不是直接侵入處置設施。這些行動應該使用長期風險評估的情節加以考慮(見第 5 節)。段落 6.54-6.64 的假設提供了進一步的指導和適當的方法解決在安全評估中人類的入侵。這與所有靠近表面的處置設施之人類入侵所產生的安全問題有關。

6.54 在操作該設施及制度管控的任何後續期間，假設了各種措施以確保人類的行為對安全處置系統不會構成不利的影響。這些措施將不僅是基於安全的考慮，同時也能滿足安全相關的要求，如果有關，可要求有關的清算帳目與放射性廢棄物的控制權。然而，在此期間可能發生人類故意的侵擾，有意的人為侵擾可以被定義為侵入或干擾，而進行侵入的人其實都對該設施的存在及其內容有一定的了解。因此，入侵者可以將採取措施以限制其入侵所產生的潛在影響，例如與廢棄物的接觸時間最小化。即使不是這種情況下，該入侵者將承擔自己的責任和後果，因為他們的行為是故意的。

6.55 雖然可以意識到，第三方可能會不知不覺地被暴露在輻射中由於故意

侵犯他人所造成的結果，這在參考文獻[39]中說明了有關“故意侵入性的行為不應該被視為在安全評估”。為了支持這一立場，文獻[39]還特別說明到，雖然目前社會所產生的放射性廢棄物應考慮到未來社會而負有制定安全處置系統的責任，即使未來社會是預先警告自己行為的後果，但現在的社會所做的行動仍然不能保護未來社會。

6.56 總之，對於一個廢棄物處置設施的安全評估，無意的人為入侵應被考慮，但對於故意入侵的潛在風險量化是不必進行的。因此，人類非故意的入侵有時應假設是場址與有害內容知識的缺乏。這意味著，個人或群體入侵處置設施，至少在短期內，直接暴露於輻射而沒有意識到相關的潛在危害。而入侵也可能導致增加放射性物質的釋放和增加處置設施周圍的個人或群體之長期暴露。

6.57 如果人類的入侵在特定的處置設施不能排除，一個或多個合理的入侵情節應進行假設。然而，估計入侵的機率是不確定的，因此可以參考文獻[20]的建議，認為安全評估應設法估計人類入侵可能產生的劑量，但不應使用基於風險的概念作為評估入侵依據的可能性以及入侵所產生的劑量。

6.58 雖然評估人類入侵所採取的方法可能是對於特定種類的廢棄物和有問題的處置設施，方法應該與在第 5 節中所描述的一般方法一致。第 5.22 節中有提供該評估的標準。

6.59 根據參考文獻[22]，“住在場址附近的居民”應被視為人類入侵的情節受體，但這不意味著入侵者應自動不予考慮，所以在入侵者與居民之間不應

該進行區別。事實上，這些可能是同一群人在失去知識的情況而生活在舊址上。相反的應該區分住在場址附近正常行為的人以及在短時間和低機率影響小部分人(例如道路建設活動)。關於後者稱為“工業事故”，則不需要使用相同的劑量標準對於入侵者在這種情況下接近場址附近的居民。按照這種區分，受體與廢棄物的實際接觸應被考慮在情節之中，而入侵的劑量標準載於文獻[2]中，可被應用於所造成的暴露，如果該事件被認為是可能在一個正常的居住的情況。

6.60 在擬定人類入侵的情節，有兩種不同的方法可以採用。其中少數通用的情節是為所有或大多數情況下開發的。另一種方法是，情節是基於特定的場址所被發展。這兩種方式的選擇(通用或特定場址)皆有優缺點，應按照特定的評估目的來選擇。即使判斷為通用情節的發展，某些特定場址的特徵(如設施的深度和設計、地質環境和廢棄物的性質)應該被考慮進去。

6.61 人類入侵的情節，也應該基於入侵和入侵者的行動的性質，透過程式化的描述發展起來，並且應該意識到有無法避免的不確定性對於人類的入侵。人類的入侵的情節並不代表任何可信賴的說法關於場址和未來的社會活動發展的演變。而其目的在於提供人類入侵造成潛在影響的例證。如果使用程式化的情節，也應根據現今的技術和程序為前提。

6.62 對於接近地表處置設施，可能受到相關暴露人員應進行劑量評估的計算(見第 6.57 節)。而評估應該要假設對於場址知識的遺失後會立即發生入侵。如果制度管控的時期考慮了安全的情況，則知識的遺失應假設在制度管控撤出後立即發生。在許多國家的法規中，採取制度管控可信賴的期間

最大限制為幾百年。雖然規定被動的管控(如記錄、設施標誌)應鼓勵，但在安全評估應假設這種保守的管控將不能有效地防止或減少人類入侵[39]的機率。

6.63 在評估人類入侵的影響，應考慮到的廢棄物的數量可能會受到不同的入侵類型和廢棄物的非均質性(heterogeneity)影響。例如潛在的顯著非均質性(“熱點”)可能會發生且其所造成的影響需加以評估。對於大的規模，這些廢棄物活度濃度的差異可能來自多種因素，其中包括：隨著不同時期廢棄物處理趨勢所造成的放置活動，可能會改變廢棄物的接受準則。對於小的規模，一些廢棄物包可能包含特定項目，比起一般的廢棄物有更大的活度濃度(如密封射源)。對於廢棄物的非均質性，應執行一系列的計算方法，並充分考慮活度的範圍和廢棄物之成分來進行評估。廢棄物的體積也可能受到對於入侵事件的影響也應進行評估。

6.64 可以用多項措施，以減輕人類的入侵可能對於放射性廢棄物處置設施所造成的後果。這些措施包括積極的制度管控和耐用的物理障壁系統。此外，廢棄物的分隔(compartmentalization)可減少入侵事件的後果。而大幅度減少估算的劑量也可透過把廢棄物放置到更深處來達到。在某些情況下，替代的場址也應考慮，特別是在人類入侵風險高的地方，由於場址存在水或礦物等資源可能在未來會被利用。這些措施應被視為最佳化防護的一部分。雖然這些措施是不可能完全排除由於人類的入侵所造成劑量的吸收，但可以降低入侵及其後果發生的可能性。

6.65 如上所述，在人類的入侵情節對於地質處置設施的相關性是有限的，

由於這些設施的深度和位置使得不太可能發生。令人關注的時間尺度也遠遠大於有意義的評估關於入侵事件所造成的影響。然而，也可以根據後果進行評估，以證明處置系統的強健性。而考慮的情節是推測及武斷的，由於邊界條件或參數等是不確定性，例如假設該事件在何時發生，以及在入侵時設施與環境當時的狀態。因此對於地質處置設施需謹慎的定量人類入侵情節所造成的結果，特別是與其他情節進行比較(例如為了最佳化的防護和設計為目的)。防止意外侵入最有效的措施涉及到地層深處處置設施建立，並提供長期知識的維護。

制度管控

6.66 不可避免的緊張在於有效的制度管控持續時間與長半衰期廢棄物仍保持危害的過程之間，造成處置策略在制度管控中扮演不同的角色：

一在地質處置及中等深度的處置，制度管控可以提供另一層深度的防禦。只要能持續，就有信心於建立處置設施的安全。然而，安全目標應被達成即使在沒有制度的管控之下。

一處置接近表面的放射性廢棄物，制度管控通常需要實現安全目標，並且只要廢棄物仍然有潛在危險(如幾百年)則須保持在原地。而含有大量的長半衰期放射性核素廢棄物應放置在更深處。並且假設制度管控的持續時間在廢棄物接受準則上發揮重要作用，特別是對於接近地表處置設施。

6.67 制度管控應被視為防止放射性廢棄物危害系統的一部分。而制度管控與一般的防禦概念是一致的，例如，這就像是增加了一個防護層在自然界與該設施的工程屏蔽之間。然而，制度管控的存在不應該被用來證明圍阻

體和隔離系統之設計性能水平降低。

6.68 任何的設施基於安全論證下是假設長期有效的制度管控需要被定期的檢討。這樣的檢討可能會證實現有安排是令人滿意的，並且制度管控的措施可持續到下一次的檢討。

6.69 靠近地表的處置設施主要包含短半衰期廢棄物，而這會造成制度管控期間停止後，最大的暴露及風險常與無意的人類入侵行為有關。在這種情況下，無意的人類入侵評估結果可能會限制可在設施內進行安全處置長半衰期放射性核種庫存的允許。因此，本次評估特別是對於靠近地表處置設施之長半衰期放射性核種在廢棄物驗收標準的限制。

6.70 在許多情況下涉及大量的含有天然的放射性核種的廢棄物，至少有鑑於目前的技術和經濟上的可能性，對於現有的替代處置制度至少在某些層面持續進行制度管控。在這種情況下，制度管控所要求的功能範圍應防止人類的入侵，以確保的障礙物(如蓋)的監視和維護計劃保持不變，以解決障礙物完整性所產生有害的影響。這種影響可能發生透過自然過程，例如蓋子的侵蝕或退化藉由植物的根或穴居動物。

6.71 對於持續進行的制度管控的必要性在這種情況下可能會被視為違反參考文獻[1] 之原則 7 由於對於後代施加負擔。然而，評估這個負擔需要考慮的是實際和經濟上對含大量之天然放射性核種的廢棄物能實現的是什麼。意義上來說，採取涉及持續進行制度管控的處置方案，決策結果可能是考慮了廣泛的最佳化防護對於現有技術與經濟上的限制。然而，在每一種情

況下，皆應考慮其優點以及具體的最佳化研究以確保防護水平最佳化的長遠目標。這應包括採取促進被動安全措施的执行。這樣的最佳化研究應作為設施之安全論證發展的一部分。

6.72 需要持續制度管控含有大量的天然放射性核種廢棄物被處置的場址，不應該以需持續制度管控的低放廢棄物接收標準作為討論，以確保合適的廢棄物接收標準被定義。參考資料[2]也有規定，安全性不應依賴於持續的制度管控。因此，至少在新的設施，處置方案僅限於那些不需要持續的制度管控。

6.73 總結：

—放射性廢棄物處置設施的長期安全性不能依賴制度管控(參考文獻[2]之5.6段)。

—對於地表或靠近地表處置設施，制度管控為防止一定時間內人類入侵的一個重要的安全因素。任何依賴於安全的情況下，注重制度管控是合理的。

—被動的制度管控規定應該被鼓勵的。在這種安全的情況下某些可信賴的行為可以被採取，但不應該假設這能長期的有效防止人類入侵。

廢棄物的可追溯性

6.74 本節目的是為了解決安全論證與安全評估所產生的影響，如果處置方案的目的是為了提供廢棄物可追溯性。可追溯性的比較籠統的概念是指逆轉一個或一系列的處置設施的規劃或發展步驟的可能性。這意味著可重新檢討，如果有必要也可藉由逆轉步驟重新評估先前的決定以及可用的手段

(例如技術，財務等)。可追溯性也代表逆轉廢棄物放置行動的可能性，因此這是一種特殊情況可對於廢棄物或廢棄物包件[40]進行回復的動作。

6.75 然而“處置”是指將放射性廢棄物放置到場址的行為(見第 2.9 段)，其中內容提供追溯廢棄物的可能性。對於逆轉了處置設施發展所給定的步驟或追溯放置後的廢棄物都設計在參考文獻[2]中。雖然這樣的規定可以提供靈活的決策處置設施的發展，但不應該用來破壞該設施的長期安全性。而彈性的決策過程不應該被當作目標，而是很好的做法。

6.76 引入促進可追溯性的措施並沒有降低進行安全評估的需求，但也可能會引入對於某些業務方面額外保證的需求(例如在設施關閉前的操作下，廢棄物包件的長期耐久性；設施關閉之規定)。具體而言，可追溯性措施不應成為決定處置設施無限期延期的藉口，以及不能當做良好設計的替代方案，也不能當作判斷場址處置設施生命週期的是否恰當的依據。對於處置設施明確的發展計畫(包括關閉)，也應該被準備使決策者能在未來實施計劃即使內容具有很大的彈性。安全評估計算的決定應以未能封閉處置設施的後果為打算。

6.77 如果廢棄物的可追溯性是一個設計選項，則在安全論證下應提出在行政和技術上措施以確保：對於廢棄物可追溯性技術的能力維持在廢棄物放置後的各階段；使用指定的方法進行可追溯性；定期評估對於設施關閉所做的程序之恰當性和必要性，使設施維持在目前或逆轉的步驟。在安全的情況下，應進一步提出監控的規定，以確認下可追溯性可在安全的基準條件下執行。

6.78 在大多數國家管理準則尚未發行時，必要的可追溯性以及如何規定可追溯性也都應得到實施。可追溯性在國家管理準則給提到，其中這有一個最重要的要求即任何措施為了提高可追溯性皆不應損害處置設施的長期被動安全。如果可追溯性需要作為國家廢棄物管理政策的一部分，可追溯性的監管要求應進行審查，以確定它們是否與維持核安和安全要求一致-包括輻射防護的需求以及所需採取的措施在系統的清算帳目與放射性廢棄物的控制權之下-無論是在設施關閉之前或在長期的情況下。

評估之選擇

決策程序之架構

6.79 處置設施的規劃和發展是涉及了各種因素所做出的決定，例如決定場址內的設施或場址的設計。對於現有設施，新的資訊(例如，透過監控程序獲得的資訊)可能會提高注意關於設施安全地持續執行的能力。因此在這種情況下，對於是否追溯一些或全部的廢棄物或升級的設施之決策是必要的。這種情況下就必須藉由比較不同的管理和識別方案作出在決策，以提供最佳的防護水平，而其內容皆符合於所有的監管要求，並且還包含其他因素如成本或其他不利因素進行考慮。

6.80 實際決策過程需依賴於法律和監管架構，而這經常會涉及到有關各方面的人例如當地居民。而在安全的情況下這是一個關鍵，因此也被用來協助達成如何確保新設施的安全或升級現有設施的安全決策。因此，需要發展在安全論證下各項活動的範圍，包括在實施輔助安全評估所有步驟，應

符合下列條件：

一有關決策後的所有安全方面應在安全論證下加以解決。這包括輻射風險評估以及其他影響決策因素關於預期活動的可行性和可接受性。

一有關影響決策的因素應使用適當的方法並且要有足夠水平來進行調查。有關的主要影響不應該被低估，特別是在現有情況下，也應避免風險和其他重要不利因素的高估，使為了在可行範圍內，不會引起不必要的措施。

一努力的成果(如數據蒐集和建模)應該要注重不同因素之間的關聯性後再做出決策，使時間和財務的資源不被浪費。

一評估結果以及額外的參數應在安全的情況下提出，使足以推導和證明所採取行動之決策。充分的依據應該提出關於所做的評估是符合法規要求的，例如決策列入了其他相關因素、可用選項的利弊之間取得平衡以作為選擇方案的基礎(特別是有關現有設施的決策)、建立在安全的情況下進行評估的可靠性的信心以及在安全的情況下所提出行動之充分性和安全性的建議。

方法論

6.81 考慮到決策過程全面的目標，很明顯所有部分皆會影響安全論證的發展。特別是在第 5 節提出之封閉後放射性影響評估方法的所有關鍵組件，將會根據決策的目標與要求受到考慮。以下為重要的考慮因素：

一依據評估內容的定義，確認在安全性的條件下必要的決策與潛在因素的影響。

一評估內容的建立包括了評估理念的定義。這包括了有關的終點的評估的方法、採用假設(如現實或保守的)的性質，所使用的數據類型(特定場址或

通用)以及處理不確定性的方法。很顯然的，不恰當的規範對於評估邊界條件應該要排除以做出適當和合理決策的決策。

一藉由所採納的決策方法除了決策的範圍能做出決定外，評估的內容也會被決定。如果定量決策輔助方法被用來進行比較，這將會引起特定端點的需求(例如集體劑量需求，如果使用成本效益的分析)。對於其它的評估理念，例如處理的不確定性，也可取決於最終所選擇的決策方法。

一設置的情節應考慮的所有特徵、事件和過程，這可以直接或間接地影響系統和放射性核種的存量。而在某種程度上，非放射性因素也是有關的，這些也需要在情節的發展中考慮。這種非放射性因素的例子包括化學有毒或致癌物質的風險，或與採礦活動有關的物理風險。如果這些因素與作出的決定有相關，則必須保證可能導致這種風險的條件已充分涵蓋在情節中。

一所使用的模型及其校準和驗證在決策過程中應精心策劃實際所需的觀點。在應用程序的分級方案，投資程度應根據成果的重要性和決策理由來決定。

一結果必需考慮到它們之間的相關性而被分析及解釋，以提供有關決策的需求。如果結果被認為是不足以達到目的，更詳細的定義以及採集更多的數據是必要的。

6.82 不同的方式存在於實際方案的選擇。評估的結果及其含義可以透過定性的方式進行評估，並考慮所有涉及相關因素以作出決策。定量方法例如成本效益分析或多屬性效用分析可以應用於解決和平衡相關因素。這樣輔助決策方法應用的例子可以參考文獻[32，33，41，42]。

6.83 如果定量評估方法得到應用，這些方法應被視為幫助決策過程的工

具，而不是作為替代的程序。評估結果應與有關的單位(如管制機關)進行討論。這些輔助決策方法的主要作用在於全面地分析與呈現評估的結果，並且根據決策所涉及之重要性及影響而做出判決。

6.84 所有相關因素應在決策過程中考慮。如果有多種設施存在或計畫在場址(包括處置設施)，這些設施累積放射性的影響也應在決策過程中考慮(參見 5.24)。

6.85 除了技術層面外，廣義的決策過程包含其他相關因素及其注意事項。雖然在因素的評估中，除了放射性因素不是第五部分所列出的其中一種方法外，其他評估非放射性危害的方法就跟那些評估放射性危害的方法一樣。因此，是有可能將所有相關因子的評估方法做整合，以和為了達到安全目的所做的適當選擇做一比較，由此提供所有評估活動皆需具備的一致性和淺顯易懂的描述。此外，也有可能去參考一些定量的決策輔助方法，例如多屬性的效用分析和其他額外的影響因素，即使其本質是定性的(例如大眾對不同選擇的接受程度)。

現有設施的應用

6.86 在 6.81-6.85 段中所描述用來支持決策過程中的做法也直接適用於現有的設施。然而，有一些特定的要求起源於設施已經存在且可能有輻射危險的情況。因此，如果是在這種情況下，決策將受決定校正措施是否必要以及選擇哪種校正措施的限制。

6.87 作為建立評估內容的決定性部分包括確定評估的理念、將劑量和法規限值做比較以及採用較為保守的劑量約束概念。執行最佳化評估的目的是要做比較和選擇，然而，這過程之中應該要根據符合現實情況下的假設。由於在現有的情況下採用最佳化原則的重要性，在這兩種評估類型間的區別特別是與現有設施相關的。

6.88 目前的情況，在兩個不同的步驟應常實行評估。在評估的第一步驟中，應決定矯正行動需要全面考慮或目前設施狀況是可接受考慮的。第二步驟基於第一步結果是必要的在才執行，並要改善這種情況的選擇應該先確認和評估。準則(目前的準則、即時許可設施的有效準則或國家標準)在這過程中的應用將取決於國家標準。

6.89 特殊的目前情況，對可用於幾個設施選擇的矯正措施，應常反覆地進行矯正措施的比較：

一可能會忽略一些矯正措施的選項，如因為高昂的成本或因為它很快變得明顯，就不能滿足基本的監管需求。對此選擇，詳細分析的影響是沒有意義的，會是白費力氣的。

一關於矯正措施其餘選項的評估影響，做決策考慮因素時可能會非常消耗時間和消耗資源的。如果判斷準確估計的基本值並不存在(例如關於結構耐久性方面)，則做決策時可能面臨根本性的困難。而不是努力投入在嘗試改進這些因素的估算，它們相關的決定應該先被檢驗。它可能變成某些因素的普遍不確定性並不會影響特別的決策，因為是由其它因素主導的。若是這種情況下，不確定性可以被接受，並且在這方面沒有必要進一步評估結果。由於決策的理由可提供在基本評估結果，這些因素的不確定性將不會

妨礙建立評估信心的全面性需求。

一按照分級方案，努力投入改進資料和模式的程度應該要相等於對不同因素做決策的重要性。在反覆過程中，結果和決策不確定性的影響可用來“測試”，以鑑別那些根據於它們做決策時相關聯的方面，需要進一步細分。

7. 安全論證的使用與文件化

7.1 本節討論如何將組成安全論證的所有不同資訊編撰以及描繪在一起，係為整合的步驟。本節詳細敘述如何將安全論證文件化以及討論其可能用途。

安全論證文件化

7.2 安全論證提供決策基礎予各相關決策者用來審查與考慮，與安全論證相關的部門可能包括管制單位、社會大眾與其他相關團體，藉由所呈現的理由，各部門會自行決定自身信服的程度以及是否會分享到安全論證發展時操作者的信心，如果爭議與證據能夠以公開與透明方式呈現以及所有相關結果能在品質管制和獨立審查下徹底揭露，相關單位在審查安全論證時的信心應該會加強。

7.3 編撰安全論證的文件化時的要求會出現一些困難，因為目標對象是由一群不同需要、期待與關切的各類相關單位組成。另一個困難是與複雜的法令與管制需求情形相關，這包括有不同管制程序的多個管制單位和在處置設施發展各個階段不同層次文件需求(如環境影響評估)。有這些困難意謂沒有安全論證文件化的通用架構，架構與文件化的程序，會受下列影響：有企圖對象的期待、正在考慮的決定、設施發展的階段、國家法律與管制規定以及安全論證發展時的國際導則。

7.4 在安全論證架構與文件化上有許多可能的方式，安全論證重要的組成會在以下節簡單討論。

執行總結

7.5 在最上層，安全論證的文件應該包括一個執行總結，其中包括簡述計畫、與計畫有關主要安全相關議題、證據爭議以及主要評估結果、後續建議和會強調已確定安全議題的緩和選項、任何不確定性以及公眾關切等。

7.6 就大部份相關部門而言，此總結提供該計畫最初以及最新的意見，通常所有各個相關部門會讀到，因此該節應該要清楚完整與確實，只要是能清楚正確呈現資訊的有效方式，應該可考慮使用總結的圖表或流程圖。使用複雜技術用語應該避免到一定程度，執行總結可以在專有單獨的封面下呈現，也可以比文件其他部份分送給更多對象，也可以用不同語言撰寫以滿足地區性社區的需求。

安全論證的介紹與內容

7.7 為了提供閱讀者清楚的理解計畫、將作的決定和決策的流程以及將被考慮的不同議題，安全論證的文件應該透過一個清楚的呈現目的和安全論證的內容來介紹出來。在介紹中以下主要觀點應描述出來：

- 計畫簡述可以提供其特定目標和背景，涉及不同階段與現況
- 政策與管制內容而其中安全論證可以依其準備和呈現
- 決策過程中各單位的角色和責任，其中包括公眾諮詢和參與架構

- 決策過程清楚指引
- 和其他類似計畫比較
- 會被運用技術的成熟度與現況討論
- 計畫重要性需求的陳述以佐證和評斷安全論證
- 曾被考慮不同方案的討論以及最喜好方案的理由
- 在計畫預計時程中已經或將會作成的關鍵決策
- 與計畫相關考慮關鍵時機的說明
- 操作者確定如何符合法規要求以及管制機構如何證實符合等之概論
- 強調足夠應付計畫相關困難之操作者經營系統之概論

安全策略

7.8 在呈現目標與安全論證的內容後，安全論證的文件應該提供一個能用來達到安全之高放射性手段之概論，安全策略章節的目的是顯示設計、評估、發展以及管理處置設施的整個採用方式與方法是足夠確保安全，該章節也應該包括與安全策略有關之建立信心認證，主要考慮觀點包括以下：

- 設施不同發展階段(如選址、建造、運轉、封閉)管理策略與方法
- 所採行策略如何能應用良好工程原則與實務
- 不確定性的管理與降低
- 決策時所採用之小心程度以及採用之多重理由
- 設計設施時所內含安全特性以及所用多重安全功能
- 處置系統對天然事故和程序以及對人為引起程序之可預期健全性
- 評估方式和時段以及評估時間點選擇之理由，包括用來求證、確認以及比較評估結果之不同評估方式與工具之討論

—所進行之同行審查以及與國際導則和實務相符合

—其他適當之高層次爭論

安全評估

7.9 安全評估章節會將已執行的安全評估工作細節寫下來，其作為安全論證在科學與技術上的基礎。安全評估工作的文件化包括了詳述評估各步驟、評估的發現以及結論。由於包括大量細節，利用附錄或其他參考的文件來記載詳細描述、模式和計算可能比較實際和可追查。主要的文件應該聚焦在評估所用的假設、方式與方法學上，並且討論影響安全的最相關特性和能證明結論的評估發現和爭議。不論安全評估的各步驟或整體而言信心建立的議題也應該文件化。

綜合與結論

7.10 依循安全論證所有支持證據的細節，應該有一個章節來描述佐證結論與建議的證據。為了呼應 7.2-7.9，綜合與結論的章節應該

—集合所有安全評估之關鍵發現

—關注在主要證據、分析和爭議上，以致能量化和佐證宣告處置設施安全

—明列不確定性評估以及尚未解決議題並討論解決的規劃步驟

—描述安全完整的證據，例如已經完成的定量評估時段之後的證據

—展現信心的陳述需考慮安全評估中補充發現的額外證據和辯證

後續計畫與行動

7.11 當一步一步將安全論證發展出來時，它是很特別重要將安全論證每一個修改版放入整個發展程序的內容。發展安全論證後續階段的必要行動應該被描述，例如額外數據需求或模式規劃之改善。如果某些行動只能在達到決策點或里程碑後才能進行(例如決定設施地點)，這些該被確定。

安全論證與安全評估文件的可追查與透明

7.12 不管所採取的文件架構為何，總有重要原因和考慮應該在發展文件的程序中被考量，包括以下

—由安全論證內容所展出的文件不論為管制單位核准或為資料或宣傳應該對安全議題維持訊息一致性，也就是說訊息維持不變以及不會由於特定對象的期待而改變，在附錄文件和宣傳資料所含之訊息應該與安全論證主要文件保持一致

—安全論證主要文件應該提供關鍵安全爭議的足夠資訊以及能清楚明白的證明

—文件應該證明安全論證是基於利用已有之科技經驗和分析上的穩固科學證明

—文件應該自由取得，不確定性、限制和安全內涵應該被了解到

—文件應該有良好架構、可追查與透明

—文件應該透明化，因此資料可以準備好提供給特定團體、而且是清楚明白並且清楚呈現主要假設後面的判斷與理由

—就安全論證與處置系統發展時之採取主要決定和遵循之程序而言，文件應該是可追查的，這應該包括證明早期階段所採取之行動與計畫如何能確

定其所作假設、未知之不確定性如何被強調以及會持續強調、也要證明關鍵決定是如何文件化以及用一個清楚參考系統記錄下來

—就相關機構管制措施而言，文件應該清楚指出將資料傳遞給後代的必要性

—安全評估的方法應該是有良好架構、可追查與透明，其能夠讓管制當局和其他技術審查者來遵循邏輯和容易了解用於評估之假設和何處期待能重製評估結果

—評估應該提供所用實務方式完整描述以便能分辨與降低不確定性，以及分辨出最影響安全的假設和不確定性

7.13 安全論證的文件應該依系統化的計畫定期更新，操作者應該就安全論證文件核可程序執行適當控管以及更新數據、參數值、模式、情節和安全論證所用電腦程式以及安全評估所用資料，當達到必須之成熟時文件得依正式審查程序製作好

7.14 以下事項是有關安全評估之可追查與透明度

—評估方法應該是清楚架構與呈現，假設與其基礎亦清楚呈現，良好定義以及文件方式應該用來分辨特性與程序、設計測試與實驗、決定必要設備、解釋測試結果、建構概念模式和模式之分析評估

—各種假設之間的一致性應保持，適當假設參數值的範圍也須保持一致性

—安全評估所有階段都要有一致性，每一階段的主要目標與方式亦然

—從一個循環到下一個循環評估的演化應對特定團體透明化(例如新數據解釋、改變概念或數學模式組成的理由應提供)，以便避免給人印象說為有受人為操作的喜好評估結果

- 藉由選擇可以與國際經驗與導則匹配的評估方法來建立信心
- 發展正式管理系統程序並且提供證明說這些程序已應用過
- 身為部份管理系統程序，一個完整記錄系統應建立與維持，該記錄包括設施與安全論證以及安全評估所有特性的詳細資料
- 應提供正確與適當參考文獻

7.15 不同關切團體有不同利益而且會詳細檢視安全論證中所提供與其有更相關利益與關切之論述，可追查與透明度的必要層次則依其期望而不同，例如技術審查者會特別注意強調安全評估的安全論證觀點，而一般公眾成員則對其他例如管理觀點的品質感興趣，因此對公眾而言安全評估文件的簡易版就已經足夠，而管制單位會期望有更完整資料

7.16 可追查意指一個清楚且完整的所作假設和決策記錄以及在模式中能夠達到結果的參數和數據，這個記錄應該包括何時和何人作出不同決定與假設的資料、這些決定與假設如何被執行、那一個版本的模式工具被使用以及數據最終來源為何。因此可追查意指最高層次品質保證標準，可追查更意指管制當局或其他技術審查者能夠從安全評估文件中重製部份或全部安全評估結果。藉由有體系架構的文件呈現安全論證可大大提昇可追查度。

7.17 為確保安全評估可追查，應考慮以下議題：

—組成安全論證的所有資訊都可以追查到來源，這些資訊來源包括發展安全論證時之觀察紀錄、量測、研究工作、模式研讀以及所作決定與假設。這些決定與假設也許來自於專業判斷或專業吸取過程，前提是當有適當程序以及文件。

—與可追查相關的期望端視使用安全論證的個人或團體，管制單位在安全論證意圖仔細研究的可追查處應該比起操作者內部使用文件所呈現更嚴密

—如果安全評估是反覆式進行，參考資料會有個傾向指引前一個安全評估循環所作決定(引述自我)，審查者在找到假設、參數值與決定之源頭前需要一系列文件來追查，這可能耗時。更甚者是包括於最初參考資料的工作上中止或限制處也許在接下來重覆中會遺失或稀釋。這可能導致操作者自信降低，接著降低審查者對設施安全的信心，因此最初參考資料應直接指出，而且文件的每一循環應該容許直接評估可追查處

—應避免灰色文獻或有產權或機密文件參考報告，如果審查者無法得到參考文件，這樣的使用參考文件會破壞可追查鏈

—為保持可追查鏈回到最初始資料來源的需求會傾向讓文件變大以及難以閱讀，因此在可追查與透明之間要作取捨，只能在特定情況下決定兩者最佳平衡

安全論證運用

7.18 安全論證最初步目的是佐證處置設施發展、運轉以及封閉等各階段的決策，例如在早期安全論證是用來比較與評估不同種處置選擇的可行性，當到發展處置設施進行計畫時，安全論證被用來幫助場址特性調查(site characterization)、研究發展與設施設計的聚焦與工作上。安全論證可用來通報申照程序以及提供處置設施發展與運作時適當限制、管制與狀況的建立，以下節為更詳細討論其用途。

方案比較

7.19 安全論證是可以用來提供比較處置選擇的基礎，例如：

- 新處置設施不同地點和場址特性調查優先度以及相關研究發展比較
- 處置設施不同種型態、設計與深度比較
- 現有設施不同風險管理與矯正措施選項比較

數據需求與研究發展優先度

7.20 安全論證能整合一系列議題的現存知識，並且提供一個判斷其相關重要性的方法，起初安全論證是大部份基於一般數據，但是隨著發展處置設施進度計畫安全論證包括更多特定場址(site specific)資訊，安全論證可以適當指引與優先化佐證數據需求和研究發展計畫，這樣就可以在安全論證中分辨出強調的不確定重要區域。

設施設計與運轉

7.21 在處置設施發展中安全論證可以協助設施設計，OECD/NEA 的工程障壁系統計畫(Engineered Barrier System project)提供在工程設計與最佳化運用安全論證的例子。

7.22 在所有時間處置設施的運轉應與安全論證一致，這樣操作決定就不會在處置系統長期表現上造成不可預期效果。與安全相關操作決定應該在完成前先用最新安全論證狀態進行調查。

申請執照

7.23 安全論證的主要功能是在申請執照與核准過程中，在申請程序中不同階段包括從核准處置設施建造、運轉到封閉以及當設施狀態有重大改變時，管制單位也許要求安全論證進行修改，安全論證也應該定期更新來反映根據管制需求所新得到資訊。

8. 管制審查程序

8.1 管制決策程序可能包括一個或多個管制機關，也可能被公眾或關切團體仔細檢視。如果管制機關採取了協調性的方式，使得關切團體觀察到管制決策程序是基於經營者提出安全論證送請管制機關核定且經過謹慎及全面性審查，如此可以加強管制決策程序的可信度。審查應該依據管制審查程序所定計畫進行，並且符合 44 號參考文獻所定之需求以及符合 45 號參考文獻的建議。處置設施安全論證與安全評估中一些重要管制審查程序的要素會在以下各節討論。安全論證審查之導則亦與其他審查程序相關，例如經營者內部審查或獨立的外部同儕審查。

管制性審查的目標與屬性

8.2 當建立安全論證之管制機關的審查目標時，要考慮設施狀態(例如設施是否在規劃中、發展建造中、運轉中、再評估中、關閉中以及處於長期監測中)以及相關安全評估內容。

8.3 管制審查的整體目的是證明處置設施不會對人類健康安全或是環境在現在或未來造成不可接受的不良影響，為了達到此目的，管制審查程序原則上有以下目標：

一決定安全論證是否已經發展到一個可以接受的程度(就其品質及理解的細節與深度之呈現)以及是否符合目標；

一驗證安全論證與其中之假設，是否符合可接受的放射性廢棄物管理原理

及管制規定與期待；

—決定安全論證是否提供足夠以及適當基礎來證明擬議的設施，可以安全的運轉並於關閉後期間提供一個足夠安全水準的合理保證；

—驗證對於不太可能發生的潛在影響之相關減輕措施是否已判定與說明，並且已經發展出充足的後續執行計畫；

—決定管制機關規定的議題是否已被經營者處理與清楚確認；

—確定任何尚未解決之議題以及證明已經擬定解決議題的計畫。

8.4 為了使安全論證的評價與管制審查的主要目標便於對比，通常會設定一些次要目標。這些應包含對安全論證進行下列評估：

—是否已經在適當的情況下發展；

—在處置設施發展每一階段是否足夠完整；

—數據以及資料的呈現上是否足夠透明化；

—是否由稱職人員利用已認可之管理系統來準備；

—是否有獨立同儕審查；

—是否基於適當假設、利用足夠評估技術與模式以及包括令人滿意的佐證論述；

—證明對處置系統足夠了解，其中包括危害與相關情節的確認與篩選，因此所有相關安全功能與潛在安全問題均可得到解決；

—清楚地描述如何進行限制、管制與條件的確認、判斷與最佳化；

—清楚地確認與對處置系統了解有關的不確定性(以及所用模式和輸入值)及處置設施的功能；

—提供足夠評估與佐證判斷，證明任何輻射曝露已是最佳化且說明安全已獲最佳化；

- 如果適用，對於現有設施包括充分考慮補救措施之合理性與最佳化；
- 強調管理系統中所有相關要素均已應用於處置設施之選址、建造、啟用、運轉和封閉(例如內部外部稽查、驗證和確認、使用適當資格和經驗的人員、訓練、程序管制、外包給承包商的過程控制、結論與建議之行動)；
- 說明在發展設施設計時，已經採用優良工程實務，在處置深度上亦有足夠之辯護；
- 定義安全論證未來發展、了解處置系統以及場址制度化管理的計畫。

8.5 在定義審查的目標與範疇時，應考慮包括以下的相關重點：

- 場址之重要安全議題；
- 經營者所提供安全資訊的程度，及管制機關評估這些資訊時可獲取的資源；
- 審查是否僅考慮對人類之輻射影響或其他影響，例如有毒廢棄物質之相關影響；
- 審查是否考慮對公眾、工作人員和人以外物種之影響，再加上設施對環境之整體影響；
- 安全論證文件中那一部份應該是審查重點；
- 作出管制審查結果的使用，例如是否將用來作為設施申照或核定既有設施執照條件時，與經營者或關切團體間溝通之用。

8.6 影響管制審查品質與成敗之關鍵因素，包括如下：

- 管制機關的要求與期望以及判定安全的準則，應該在程序初期明確定義，安全論證與安全評估的完整性與品質，常取決於管制需求的明確度以及管制機關的期望與方法。

—管制審查程序應避免利益衝突，審查團隊在審查過程中，不應受到審查範圍與項目以外不當內部與外部考量的影響。

—管制審查程序應以結構化及可回溯方式進行，並明確定義角色、責任和決策過程。

—管制機關應有放射性廢棄物設施安全評估方面具專業知識與實際經驗的人員，且不論來自內部或外部，應有各必要領域的專家參與評估。

—管制審查應以相稱資源的標準來進行，應與安全論證複雜程度相符，且處置設施相關潛在風險亦應納入考慮。

—在整個管制審查程序，應維持經營者與管制機關間的溝通。

—管制審查程序應該要有與關切團體諮商的架構，而且清楚定義諮商步驟、程序與決策過程的規則。在此架構下藉由進度討論和審查程序的產出，可強化審查過程的可信度。

—在審查程序中，應確保依據和判斷均被文件化，不論安全論證的論述是否適當地為其背後的科學與技術所支持，以及是否這些論述符合法規的要求與期望。

審查程序管理

8.7 安全論證審查之管理應視為一個計畫般對待，適用良好計畫管理的原則(參考文獻[30])

8.8 按照審查規模也許有必要設立一個專責團隊來執行審查，不論有否外部機構的協助，管制審查應該由管制機關執行，但是審查結果是管制機關的責任，必須接受其結果的'所有權'。

8.9 為使審查程序到位，管制機關應有完善地制定與文件化程序，以作為組織整體管理系統的一部份。

8.10 審查程序管理應該包括以下觀點：

— 定義審查之目標與範圍，以及確認所有國內與國際之規定、導則與建議適用於安全論證的發展。

— 審查計畫擬定，應確認審查任務並滿足其他相關議題；

— 組織一個具備必要專業與經驗足以勝任之審查團隊以進行審查；

— 為執行計畫工作應定義計畫期程和資源分配，包括考慮在後期資源受限時之審查執行；

— 確認審查成員之責任並確保他們在審查方法上受過足夠訓練和指引；

— 審查工作進行之協調，確保審查成員之間有足夠溝通；

— 在初期階段，就可能的疑義或不同解讀的重要管制決策與管制導則進行釐清；

— 建立正式程序以確定經營者必須提出的議題，以及建立進一步考量追蹤議題和決策的機制；

— 審查程序中與處置設施經營者及與其他關切團體的溝通協調；

— 審查程序中產出文件的審查與整合；

— 審查結果的綜整、文件化與溝通。

8.11 使用的審查程序應該讓管制機關能夠證明其安全論證的審查是由有能力的人員執行，並且用可追溯和稽查的方式紀錄下來。計畫特定程序應該包括有系統的紀錄審查意見、指定所需權限、指定審查職責和任務、記錄

審查意見的情況及安全論證中產生不同或相反觀點或審查意見的處理事項，如果審查還包括由管制機關進行的稽查或獨立計算，也許有必要更進一步的程序。

8.12 每一個管制審查都應該有審查計畫來指導審查的程序與技術部份，程序的導則應該包括審查結果文件化的方式。技術導則應該包括判斷安全論證特定事項的依據準則。審查計畫可作為範本，以修訂發展為特定的審查計畫，特定審查計畫例子包括英國低放射性廢棄物處置場及美國 Yucca Mountain 計畫之發展。

8.13 為有足夠實務性，管制審查團隊應有以下特點：

一 審查團隊應具備適合審查的一系列專業知識，包括對審查特定安全論證最重要領域的實務經驗。

一 審查團隊應具備主導相關安全論證審查的經驗。

一 審查團隊應了解執行審查的內容(例如具備對該種設施及其管制法規的知識)。

一 審查團隊應廣泛了解國內或國際廢棄物管理的實務與計畫。

一 審查團隊應由專家所組成，其審查結果能通過關切團體檢視並信賴。

一 審查團隊應具獨立性與經營者無關，其成員不能涉及安全論證進行審查的發展或任何支援工作，更不能直接參與處置設施的管理、財務或運轉。

管制機關利用分級法？

8.14 安全論證管制審查的詳細程度與範圍應該採取分級法，審查程序深度

與廣度的決定，取決如下：

- 處置設施或處置系統組件發展或運轉階段；
- 封閉後期間危害與風險(後果與機率)的大小，要考慮相關場址因素、設施設計部份、處置廢棄物種類及人類入侵之可能性等；
- 建議的處置設施或處置系統組件的複雜性、安全重要性及成熟度；
- 經營者建立良好地實務、程序及設計的使用；
- 可獲得的類似設施運轉功能或實務經驗之知識；
- 經營者方面(例如經營者的表現記錄和他們在處置設施或處置設施組件上的設計與建造相關經驗、程序設計、安全論證的發展及管理系統的建立與應用)；
- 類似處置設施之相關經驗(國內及國際)；
- 其他主管機關之技術或安全上的顧慮。

進行審查與報告審查發現

8.15 一個管制審查通常有四階段：

- (a) 審查前階段，在收到經營者任何文件之前，應該進行因應審查之初步規劃，這通常包括與經營者的會議，以期建立與瞭解預備提交資料的範圍。
- (b) 初步審查階段，在此階段管制機關應就提交的文件進行安全論證完整性與其他佐證文件可用性之初步評估，並就對安全最重要的議題作初步確認：評估安全論證的完整性，應包括檢查提報資料是否涉及管制機關對安全論證的所有期望，此檢查應做成紀錄，且備妥需要額外資料之詳細審查意見，管制機關應該審查與評估經營者所提供回應審查意見的任何額外資料。

(c)主要技術審查階段，將致力於提出詳細的審查意見，也許還包括經營者所提供回應審查意見之額外資料的評論。

(d)完成階段，應確認審查的主要結論，並報告給決策階層。

8.16 除了經營者提報文件的評估，安全論證的管制審查可包括獨立專家與關切團體的參與。

8.17 審查的完成階段包括發展出一份最終審查報告，最終審查報告如何組織及呈現並沒有惟一正確的方式，審查報告將無可避免地須依據個案進行特定的審查，在最終審查報告上管制機關應該考慮以下幾點：

一簡介：審查目的與背景的簡述，審查文件的標題與作者，有關場址的總結資訊，參與審查之組織資訊等。

一審查範疇與目標：進行審查的高階目標(包括參考適當之法規要求)及與審查範疇相關之審查程序一般綜覽。如果審查報告僅為摘要(例如核發執照前最終報告)或屬審查的一部份，例如先前已經完成的佐證報告，則在此應說明這些相關報告及其一般範疇和適用性。

一可適用的管制要求：審查的執行應有法規、既定程序與/或國際建議之列表，應包括法規、程序與/或國際建議的重點總結。

一審查方法與程序：管制審查程序的描述包括審查計畫與程序步驟(初審、主審及修訂文件的審查等)，與經營者之互動，意見的分類，意見格式的規定與確定意見的方式，審查團隊中的互動及意見的答覆。

一主要評估結果：各審查方面的說明應予文件化，應參考下列幾個方面(包括經營者對管制意見的回應能夠解決有關議題的程度)。

一主要意見：這部分是一般性的意見，總結文件審查的主要不完備之處，

有關高層次的議題如安全策略、內容、安全論證與安全評估的方法和結果、不確定性的處理(情節、模式與參數)、風險管理與最佳化、符合主要法規準則與導則、適當限制與條件、以及安全論證未來發展計畫。

—特定意見：這部分是更詳細的審查結果，有關審查主要技術領域、處置設施特性、廢棄物數量與核種從處置設施遷移到環境的模式，並考慮到工程、地質、水文、化學、氣候、生物圈和人類入侵等方面的問題。

—未解的議題與不確定性：這部分是有關仍然未解決議題的意見。必要時，應標註其相對的安全重要性與將採行解決此意見的措施。對於核准處置設施的相應狀況亦應在此予以述明與衡量。

—結論：審查的結論應將核發執照或授權所考慮議題予以陳述，例如由經營者所提供之進一步資料、修訂的安全評估工作、場址或廢棄物之監測與管制、廢棄物存量的限制、風險管理與廢棄物接收準則，此外，亦應列出對核准條件的建議。

—參考文獻：審查時所考慮參考文件清單，及佐證最終審查報告的相關審查文件，審查時所用任何導則文件亦應列出。

—適當資訊來說明審查團隊中專家資格。

8.18 在將審查意見與評估文件化時應須確定以下幾點：

—安全論證發展中所採用方法與其結果應予以簡要地總結，亦應提供相關的特定參考資料。

—任何重要的意見與其依據，應以標準格式予以清楚地陳述，每一個意見應給予唯一的編號以利相互參考。

—有關安全、系統了解與/或設施管制之意見的相關性應予註記。

—審查意見中確定需以必要行動去解決的議題應予清楚地陳述。