

用過核子燃料最終處置計畫  
潛在處置母岩特性調查與評估階段一  
102年度工作計畫  
(修正二版)

台灣電力公司

中華民國 102 年 1 月

# 102年度工作計畫

## 目錄

	頁次
目錄.....	i
表目錄.....	ii
1. 概述.....	1-1
2. 計畫規劃.....	2-1
3. 規劃工作事項.....	3-1
3.1 地質環境.....	3-1
3.1.1 區域環境地質.....	3-1
3.1.2 深層地質特性.....	3-2
3.1.3 地質處置合適性研究.....	3-7
3.2 處置設計與工程技術.....	3-10
3.2.1 工程障壁系統設計需求.....	3-10
3.2.2 膨潤土特性.....	3-11
3.3 安全評估.....	3-12
3.3.1 變異情節分析.....	3-12
3.3.2 安全評估的可信度.....	3-14
3.4 國際同儕審查規劃.....	3-15
4. 預期成果分析.....	4-1

## 表目錄

	頁次
表 2-1：SNFD2017報告預定章節 .....	2-5
表 4-1：預期成果及效益 .....	4-2

## 1. 概述

我國自1978年(民國67年)開始利用核能發電，迄今共有核一、二、三廠的六部核能機組，加上目前正在進行的龍門計畫(龍門電廠)，最近的將來還會有二部機組加入運轉發電。其中，核一、二廠四座機組為沸水式，核三廠兩座機組為壓水式，龍門電廠兩部則為進步型沸水式反應器。預估此四座核能電廠的八部機組運轉40年將會產生約7,350公噸鈾的用過核子燃料。由於用過核子燃料中所含的放射性核種，如 $^{99}\text{Tc}$ 、 $^{135}\text{Cs}$ 、 $^{129}\text{I}$ 等分裂產物及 $^{237}\text{Np}$ 、 $^{239}\text{Pu}$ 、 $^{243}\text{Am}$ 及 $^{247}\text{Cm}$ 等鈾系核種，其半衰期長達數十萬年，且部分核種為阿伐發射體，對人體具長期潛在的輻射危害，因此審慎尋找共同認可的處置方式，一直是用過核子燃料最終處置技術發展的重點之一。

用過核子燃料最終處置的基本要求是選擇適當的環境，將用過核子燃料永久安置，使其與人類生活圈隔離，以確保民眾安全及環境品質，促進非核害環境的永續發展。海床處置、深孔處置、冰層處置、井注處置、太空處置及深層地質處置是幾種曾被各國考慮的處置方案。上述這些方案經過國際間多年的研究後，一般咸認「深層地質處置」是較為可行的一種處置方式。而所謂的「深層地質處置」係採用「多重障壁」的概念，利用深部岩層的隔離阻絕特性，將用過核子燃料埋存在深約300至1000公尺的地下岩層中，再配合包封容器、緩衝回填材料等工程設施——藉由人工與天然障壁所形成的多重屏障系統，可以有效使外釋而遷移的核種受到隔離與阻絕的效果，以換取足夠的時間，讓用過核子燃料的輻射強度在影響人類目前生活環境之前已衰減至可忽略的程度。

我國用過核子燃料處置之推動，係依「用過核子燃料最終處置計畫書(2006年核定版)」之擬定時程及規劃，切實執行境內最終處置之技術發展及處置設施的籌建工作。本階段(2005~2017年)為「潛在處置母岩特性調查與評估」階段規劃達成兩個重要里程碑，首先於2009

年提出「我國用過核子燃料最終處置初步技術可行性評估報告」(簡稱SNFD2009報告);最後於2017年提出「我國用過核子燃料最終處置技術可行性評估報告(簡稱SNFD2017報告)」。

目前已完成近程工作主要目標——彙整過去長程計畫研發成果與蒐集國內外相關資料,於2009年提出SNFD2009報告,該報告內容涵蓋「處置環境條件的調查研究」、「處置技術的研究發展」、「用過核子燃料處置的功能評估」等技術發展成果,於2010年7月獲原能會同意核備,並上網公告。台電公司依核備之SNFD2009報告內容,據以修訂並完成「用過核子燃料最終處置計畫書(2010年修訂版)」。

在過去幾年中,潛在母岩特性調查技術之發展重點,集中於建立花崗岩體測試區特性調查與評估相關之處置技術發展,總計在花崗岩測試區完成約500點地表重/磁力探測、16 km地電阻剖面探測、3000 m (6孔)地質鑽探,及地物/水文/地化/岩力等各式孔內探測作業,並透過整合性的地質、地物、水文、水化學及環境資料解析,建構出花崗岩測試區初步地質概念模式。期能透過各項技術整合性的驗證,供功能安全評估技術之發展,以完備現地調查至功能評估的整體作業流程。

根據SNFD2009報告的研究結果顯示:台灣地區活動構造、地震、火山活動及地質災害均有其侷限分布的特性;除了離島花崗岩體具備長期地質穩定特性外,過去認為位於板塊邊界之本島花崗岩體,根據最新研究顯示可能近百萬年來,已邁入相對穩定地塊的地質環境條件。且因其地質及構造特性或與離島花崗岩類似,在後續的潛在處置母岩調查工作中,將加強本島花崗岩體穩定性的研究。初期進行岩體規模、分布與主要構造帶延伸等資訊的調查研究,以取得後續驗證所必要之基礎數據;同時將已成熟應用於離島花崗岩體之調查研究技術,移轉應用於本島花崗岩體特性調查中,逐步發展熱、水、力、化特性相關之調查與評估技術,並進行各項特性擴尺度效應探討,藉以取得完整地下岩體調查數據,以利後續本島花崗岩體穩定性評估工作之進行。

## 2. 計畫規劃

台電公司依照「放射性物料管理法」與「施行細則」之相關規定，於2004年底提出「用過核子燃料最終處置計畫書」，經奉原子能委員會於2006年核定。台電公司必須確實依「用過核子燃料最終處置計畫書」規劃工作內容執行，並依每四年檢討修正之規定，考量國際發展趨勢及國內實際進展狀況，進行規劃工作內容之修正；近期已於2011年1月完成修訂版的核備(台電公司，2011)，其全程工作規劃包含五個任務階段：

- (1) 潛在處置母岩特性調查與評估階段(2005~2017)
- (2) 候選場址評選與核定階段(2018~2028)
- (3) 場址詳細調查與試驗階段(2029~2038)
- (4) 處置場設計與安全分析評估階段(2039~2044)
- (5) 處置場建造階段(2045~2055)

上述各階段之時程、目標及重要里程碑，簡述如圖 2-1所示。

「用過核子燃料最終處置計畫」自2005年起，展開「潛在處置母岩特性調查與評估階段」，規劃於2017年達成提出「我國用過核子燃料最終處置技術可行性評估報告」(簡稱SNFD2017報告)，以完成兩大主要目標：(1)完成我國潛在處置母岩特性調查與評估，(2)建立潛在處置母岩功能/安全評估技術，並建議下階段(2018~2028)候選調查區域。

為順利達成2017年規劃階段目標，台電公司於2009年完成的SNFD2009報告(台電公司，2010)，初步說明我國具有潛在處置母岩，並具備初步處置技術之可行性。據此，本計畫近程工作規劃，以SNFD2009報告為基礎，持續進行潛在處置母岩特性調查，同時進行處置工程技術及變異情節之功能安全評估技術的初步發展工作，以期達成潛在處置母岩特性調查與評估階段目標，於民國106年底提出

「SNFD2017報告」。原子能委員會要求SNFD2017報告應達成我國用過核子燃料處置計畫的三項階段性目標(2011年2月22日會議紀錄)，包括：

- (1)能否找到合適的花崗岩進行地質處置；
- (2)地質處置工程技術能力是否完備；
- (3)地質處置設施長期安全性之評估。

為求善用國外發展經驗及聚焦國內研發資源，考量日本與我國地質環境的相似性，原子能委員會亦要求SNFD2017報告需參考日本H12報告(JNC, 2000)架構編寫。據此，SNFD2017報告之預定章節內容詳如表 2-1所示，其中，「地質環境」、「處置設計與工程技術」、「安全評估」等三大章，為本計畫工作後續推動之三大主軸：

#### (1) 地質環境

##### (a) 區域環境地質：

宏觀說明大地構造環境與地質演化特性；

##### (b) 深層地質特性：

包括水文地質、水文地球化學、核種傳輸路徑、岩石特性等，建構地質圈概念模式之關鍵項目；

##### (c) 地質處置合適性研究：

包括台灣的大地構造、抬升與沉陷作用、氣候與海平面變遷等影響處置環境長期穩定性的影響因子。

#### (2) 處置設計與工程技術

##### (a) 工程障壁系統設計需求：

依據國際間之處置概念需求以及考慮我國的地質環境條件，針對廢棄物罐、緩衝材料、回填材料研擬適合我國處置概念之工程障壁功能需求。

##### (b) 膨潤土特性：

探討國際間有關膨潤土之自然類比資料，進而瞭解膨潤土做為緩衝材料時受環境影響下，其性能之長期穩定特性。

### (3) 安全評估

#### (a) 變異情節分析：

洪水/地震情節功能安全評估技術之發展，並探討台灣地區之相關地震特性資料，瞭解我國地震活動之特性與對地下設施及母岩環境之影響，做為未來地震危害分析及情節分析研究基礎。

#### (b) 安全評估的可信度：

彙編用過核子燃料長程處置計畫歷年有關發展功能/安全評估技術之目標與成效。預計依長程處置計畫階段，蒐集功能/安全評估技術研發相關報告，建立清單。再彙整各階段的評估概念、假設、工具、參數與評估結果等。說明各階段之重點，並製作圖表說明其關聯與歷程。



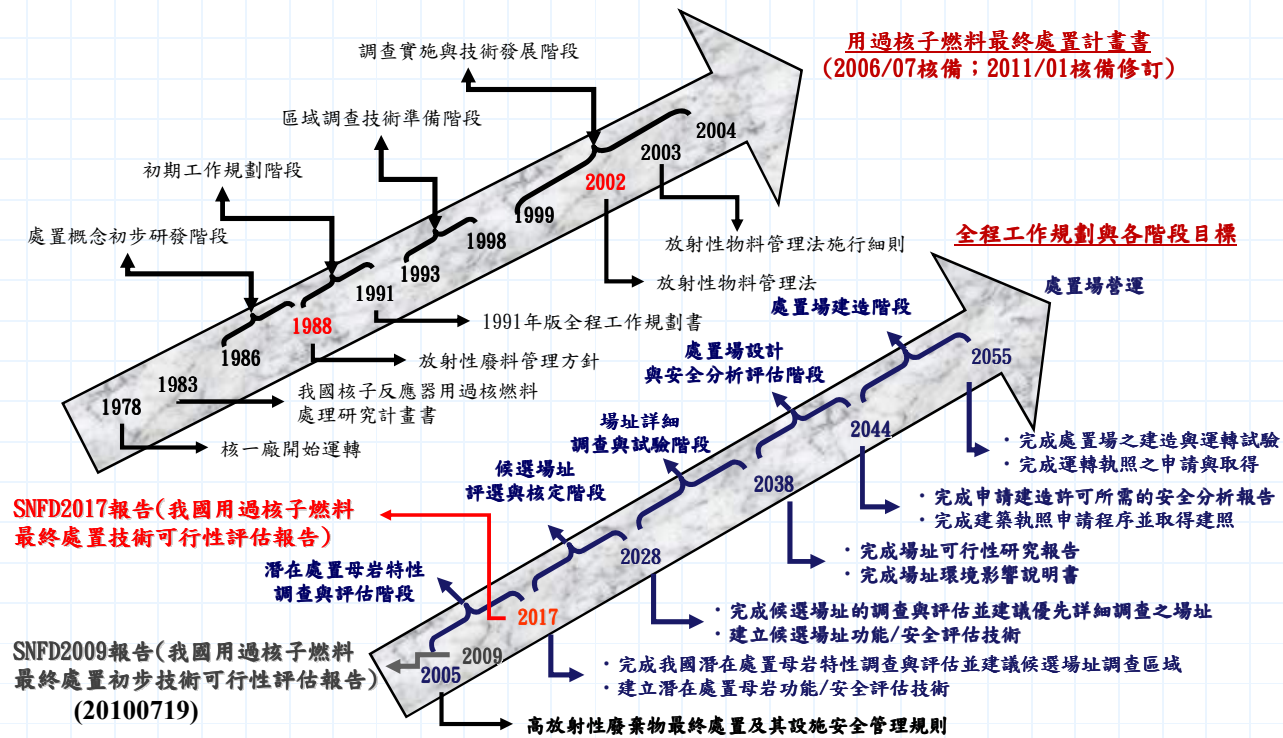


圖 2-1：用過核子燃料最終處置計畫之計畫沿革及全程工作規劃

表 2-1：SNFD2017報告預定章節

SNFD2017報告(預定章節)	H12報告章節(JNC, 2000)
1 台灣用過核子燃料管理策略與處置計畫	I High-Level Radioactive Waste Management in Japan
1.1 緣起	1.1 Utilization of nuclear energy and generation of HLW
	1.1.1 Nuclear energy production and the nuclear fuel cycle
	1.1.2 Characteristics of HLW
1.2 管理	1.2 Management of HLW
	1.2.1 Fundamental principles
	1.2.2 Selection of geological disposal
1.3 執行策略	1.3 Geological disposal program for HLW
	1.3.1 General background to research and development
	1.3.2 The second progress report on research and development for HLW disposal: H12
2 處置系統與安全概念	II The Geological Disposal System and the Safety Concept
2.1 各國處置系統概念概述	2.1 Worldwide evolution of the geological disposal concept
2.2 我國處置系統概念概述	2.2 The Japanese geological disposal concept
2.3 安全案例概述	2.3 Components of the safety case
	2.3.1 Definition of safety goals
	2.3.2 Demonstrating the feasibility of disposal
3 地質環境	III The Geological Environment of Japan
3.1 區域環境地質	3.1 Introduction
3.1.1 地質圈對用過核子燃料地質處置的重要性	3.1.1 The role of the geosphere in HLW disposal
3.1.2 台灣地質環境特徵	3.1.2 Geological setting of Japan
3.2 深層地質特性	3.2 Geosynthesis
3.2.1 地質圈特性對多重障壁概念的重要性	3.2.1 Characteristics of the geosphere of importance to the multibarrier concept
3.2.2 水文地質	3.2.2 Hydrogeology
3.2.3 水文地球化學	3.2.3 Hydrogeochemistry
3.2.4 核種傳輸路徑	3.2.4 Transport pathways
3.2.4.1 流通路徑的定義	3.2.4.1 Definition of flow pathways
3.2.4.2 流通路徑參數的定義	3.2.4.2 Definition of flow pathway parameters
3.2.4.3 基質的擴散效應	3.2.4.3 Matrix diffusion
3.2.5 岩石特性	3.2.5 Lithological properties
3.3 地質處置合適性研究	3.3 Feasibility of siting a HLW

	repository in Japan
3.3.1 台灣用過核子燃料地質處置之地質圈特性	3.3.1 Features of the geosphere of specific relevance to HLW disposal in Japan
3.3.2 台灣的大地構造架構	3.3.2 Tectonic setting of Japan
3.3.2.1 火山活動	3.3.2.1 Volcanism
3.3.2.2 斷層活動	3.3.2.2 Faulting
3.3.3 抬升與沉陷作用	3.3.3 Uplift and subsidence
3.3.3.1 台灣抬升/沉陷特性	3.3.3.1 Features of uplift/subsidence in Japan
3.3.3.2 剝蝕作用	3.3.3.2 Denudation
3.3.4 氣候與海平面變遷	3.3.4 Climatic and sea level changes
3.4 結論	3.4 Conclusions
4 處置設計與工程技術	IV Repository Design and Engineering Technology
4.1 潛在處置母岩特性調查與評估階段處置設計概念及工程技術能力	4.1 Objectives of H12 with respect to design and engineering
4.2 工程障壁系統與地質處置母岩的功能	4.2 Role of the EBS and the host rock in geological disposal concepts
4.3 整體處置概念	4.3 Outline disposal concept
4.3.1 工程障壁系統	4.3.1 EBS components
4.3.2 處置設施	4.3.2 Emplacement configuration
	4.3.3 The disposal facility
	4.3.4 Concept for disposal panels and panel layout
4.4 設計流程	4.4 Design methodology
4.5 影響處置概念的因子	4.5 Factors influencing the disposal concept
4.5.1 熱與輻射	4.5.1 Heat production and radioactivity
4.5.2 地質與地形條件	4.5.2 Geological and topographic conditions
4.5.3 處置母岩特性	4.5.3 Properties of the host rock
	4.5.3.1 Mechanical properties
	4.5.3.2 Thermal properties
	4.5.3.3 Hydraulic properties
	4.5.3.4 Chemical properties
4.5.4 處置深度	4.5.4 Disposal depth
	4.5.4.1 Long-term safety
	4.5.4.2 Characteristics of the geochemical environment
	4.5.4.3 Current construction and investigation technologies
	4.5.4.4 Mechanical stability of tunnels
	4.5.4.5 Thermal stability of the EBS
4.6 工程障壁系統及處置設施的設計需求	4.6 Design requirements of the EBS and disposal facility

4.6.1 廢棄物罐	4.6.1 Overpack
	4.6.1.1 Corrosion resistance
	4.6.1.2 Pressure resistance
	4.6.1.3 Radiation shielding
	4.6.1.4 Thickness of the overpack
	4.6.1.5 Manufacture of the overpack
	4.6.1.6 Composite overpacks
4.6.2 緩衝材料	4.6.2 Buffer
	4.6.2.1 Thermal properties
	4.6.2.2 Hydraulic properties
	4.6.2.3 Mechanical properties
	4.6.2.4 Chemical properties
	4.6.2.5 Gas permeability
	4.6.2.6 Buffer specifications
	4.6.2.7 Installation and quality control
4.6.3 工程障壁系統	4.6.3 Specifications and emplacement of the EBS
4.6.4 地下設施	4.6.4 Disposal drifts and underground facilities
	4.6.4.1 Mechanical stability and dimensions of the disposal drifts
	4.6.4.2 Disposal drift spacing and waste form pitch
	4.6.4.3 Excavation disturbed zone
4.6.5 回填材料	4.6.5 Backfilling and sealing
4.6.6 處置場設計	4.6.6 Repository layout
4.7 工程障壁的穩定性	4.7 Integrity of the EBS
4.7.1 再飽和特性	4.7.1 Resaturation
4.7.2 力學穩定特性	4.7.2 Mechanical stability
	4.7.2.1 Rock creep
	4.7.2.2 Overpack corrosion product expansion
	4.7.2.3 Overpack sinking
4.7.3 受震穩定性	4.7.3 Seismic stability
4.7.4 氣體遷移	4.7.4 Gas migration
	4.7.4.1 Diffusion of dissolved hydrogen
	4.7.4.2 Gas migration
4.7.5 膨潤土特性	4.7.5 Extrusion of bentonite
4.8 建造/運轉/封閉技術	4.8 Construction, operation and closure
4.8.1 建造階段	4.8.1 Construction phase
	4.8.1.1 Construction technologies
	4.8.1.2 Countermeasures against perturbations
4.8.2 運轉階段	4.8.2 Operational phase
	4.8.2.1 Transportation and emplacement of waste packages
	4.8.2.2 Backfilling of the disposal

	tunnels and main tunnels
4.8.3 封閉階段	4.8.3 Closure
4.9 處置場營運管理技術	4.9 Technical overview of management of the disposal site
	4.9.1 Basic principle of geological disposal and international consensus on institutional control
	4.9.2 Basic concept of management of the disposal site
	4.9.3 Disposal site management and control components
	4.10 Conclusions
5 安全評估	V Safety Assessment
5.1 潛在處置母岩特性調查與評估階段安全評估的範疇及目標	5.1 Objectives and scope of the safety assessment
5.2 安全評估方法	5.2 Safety assessment methodology
5.2.1 相關法規	5.2.1 The AEC Guidelines
5.2.2 安全評估案例的建置方法	5.2.2 Development and treatment of safety assessment cases
5.2.3 模式建構	5.2.3 Modeling strategy
5.2.4 安全評估可信度	5.2.4 Confidence in the safety assessment
5.3 處置系統與功能	5.3 Geological disposal systems and their safety functions
5.3.1 處置系統特性	5.3.1 Features of geological disposal systems
5.3.2 處置系統功能	5.3.2 Safety functions and detrimental factors
5.4 安全評估方法	5.4 Scenario development
5.4.1 特徵/事件/作用(FEPs)之建置	5.4.1 Identification and classification of relevant FEPs
5.4.2 特徵/事件/作用(FEPs)之篩選	5.4.2 Screening of FEPs
5.4.3 情節分析之定義	5.4.3 Definition of scenarios
5.5 基本情節	5.5 The Reference Case
5.5.1 基本情節定義	5.5.1 Definition of the Reference Case
5.5.2 基本情節的工程障壁系統	5.5.2 The EBS Reference Case
5.5.3 基本情節的地質環境	5.5.3 The geosphere Reference Case
5.5.4 基本情節的生物圈	5.5.4 The biosphere Reference Case
5.6 變異情節	5.6 The Alternative Cases
5.6.1 變異情節定義	5.6.1 Analysis of alternative cases within the Basic Scenario
5.6.1.1 洪水情節定義	
5.6.1.2 地震情節定義	
5.6.2 變異情節分析	5.6.2 Analysis of perturbation scenarios
5.6.2.1 洪水情節發展	5.6.3 Analysis of isolation failure scenarios

5.6.2.2 地震情節發展	5.6.4 Identification of key uncertainties
5.7 安全案例分析	5.7 Synthesis of calculation cases illustrating overall system performance
5.7.1 定義	5.7.1 Definition of cases
5.7.2 案例分析	5.7.2 Results of cases illustrating overall system performance in different geological environments
5.7.2.1 基本情節案例分析	
5.7.2.2 變異情節案例分析	
5.7.3 不確定性分析	5.7.3 Comparison of results with overseas safety standards
5.7.3.1 參數不確定性之分布	
5.7.3.2 參數不確定性分析	
5.7.4 比較各國安全標準	5.7.4 Supplementary safety indicators
5.8 安全評估的可信度	5.8 Reliability of the safety assessment
5.8.1 情節、模式、模組及資料庫的建置	5.8.1 Development of scenarios, models, codes and datasets
5.8.2 天然類比研究	5.8.2 Natural analogues
5.8.3 評估報告比較	5.8.3 Comparison with other safety reports
5.9 結論	5.9 Summary and conclusions
6 選址技術與安全標準	6 Technical Basis for Site Selection and Development of Safety Standards
<p>本章節內容主要在說明：H12的研究內容，確實滿足日本AEC公布之"Guidelines on Research and Development Relating to Geological Disposal of High-Level Radioactive Waste in Japan" (AEC, 1997)所要求的研究主題，且其(H12)執行成果，可作為後續研究工作的技術基礎。我國主管機關目前並無對應標準可供對比，若主管機關於2017年以前公告選址與處置設施之相關規範及標準，則將補充納入。</p>	
7 結論與未來發展	7 Conclusions and Future R&D Requirements
7.1 結論	7.1 The technical reliability of geological disposal in Japan
7.2 未來發展	7.2 Research and development on geological disposal after the year 2000
	7.2.1 General features of research and development
	7.2.2 Strategy for R&D after the year 2000
	7.2.3 Specific goals of the R&D program
	7.3 Afterword for foreign audiences: Japanese waste management in the 21st century

### 3. 規劃工作事項

為順利達成「潛在處置母岩特性調查與評估階段(2005~2017)」之任務目標--於民國106年底提出「SNFD2017報告」，台電公司自本(102)年度起將依照SNFD2017報告之預定章節中的三大工作主軸(地質環境、處置設計與工程技術、安全評估)內容(表 2-1)，逐年規劃並完成相關的研究/調查工作。本(102)年度計畫規劃之工作項目及內容說明如下。

#### 3.1 地質環境

根據日本AEC之放射性廢棄物管理準則，H12報告中需證明日本存在合適的地質環境，以進行高放射性廢棄物地質處置。同時，也必須藉由現地深達1,000m的量測與觀測工作，以獲取深地層中的地下水及岩層資料。此外，亦必須針對可能改變地質環境的自然現象，取得足以信賴之資訊，以證明日本存在某些區域不受這些自然現象所影響。有鑑於此，本計畫針對地質環境所規劃之工作，除了進行「地質環境」所需調查評估技術的發展驗證，用以確認SNFD2017報告所需的「技術可行性」外，並參考日本H12的發展經驗，針對台灣地質環境取得評估「深層地質處置」條件的地質資訊，並加強相關地質影響因子(如火山、斷層、地震、抬升沉陷等因子)的資訊彙整研析與特性研究工作，做為整備SNFD2017報告所需之必要資訊；「地質環境」相關研究工作規劃，依SNFD2017報告預定章節(表 2-1)共可分為：(1)區域環境地質、(2)深層地質特性，以及(3)地質處置合適性研究等三大類。

##### 3.1.1 區域環境地質

區域環境地質主要係說明地質圈對用過核子燃料地質處置的重要性，並以綜觀之角度，探討台灣的大地構造與地質環境特徵。在SNFD2009報告中已分別針對台灣的地質環境、影響地質環境的自然

變化因子，及台灣三大潛在處置母岩(花崗岩、泥岩、中生代基盤岩)的地質環境特徵，作一初步的資訊彙整(台電公司，2010)。而後，本計畫上一年度已針對現階段處置環境調查成果，完成離島花崗岩地區之階段調查成果(1999-2012)彙編。後續為提供撰寫SNFD2014報告之「台灣地質環境特徵」相關內容並作為SNFD2017報告之基礎，本年度將持續針對台灣三大潛在處置母岩的地質環境特徵，進行相關研究/調查資料的蒐集與研析，藉此更新此章節之內容。而資料蒐集的範疇將涵蓋國內相關重大公共工程、國家型研究計畫(如國科會二氧化碳地質封存計畫)、氣象局地震監測，以及地質調查所長期進行之活動斷層調查、火山活動調查等資料，進行彙整後更新地質環境資訊，將可提供最新資訊供後續相關工作評估之用。

### **3.1.2 深層地質特性**

在「深層地質處置」概念中，主要的處置設施將建構於遠離人類生活環境的深地層中，因此，如何掌握與建構深地層母岩周圍的岩石特性與構造空間分布的地質概念模式，是處置研究工作的首要任務，亦是探討水文地質、水文地球化學、核種傳輸路徑等特性，與相關地質環境特性的關鍵性基礎工作。

#### **3.1.2.1 水文地質**

在「深層地質處置」概念中，地下水的流動特性，是影響核種在地層遷移速率與分布的主要因子。一個具有緩慢地下水流(通量)的深層地質條件，使核種在地層的遷移速度低，是考量處置場功能優劣與否的關鍵因子(JNC, 2000)。然而，深層地下水的流動特性，不同地區均有其獨特的特性，且深層水文地質資訊普遍缺乏。因此，在處置場址未定之前，世界各國主要將心力集中於相關深層水文特性調查與資料解析技術的發展，以因應場址調查階段對掌握深層水文地質特性的需求。



有鑑於此，本計畫長期以來在離島花崗岩技術發展測試區，進行深層水文地質相關調查技術的發展，例如雙封塞水力試驗、跨孔追蹤試驗、水力傳導係數擴尺度試驗、封塞段裂隙水壓長期監測等技術，用以取得水力梯度、水力傳導係數、延散度、裂隙寬度等參數特性。考量SNFD2017報告所需之水文地質調查技術與概念模式建構分析能力，本年度除規劃在離島花崗岩技術發展測試區，以多裂隙段封塞設備持續進行孔內裂隙水壓長期監測工作外，亦將進行水文地質數值模型建構技術之研究。

其中，孔內裂隙水壓長期監測工作主要係延續前期計畫，持續進行區域性井下裂隙帶壓力的長期監測，並將監測區域深層地下水特性之鑽探井群，由原有的三口增加至四口，藉此擴大裂隙水壓監測區域之規模，以利後續取得更大時空範圍的監測資料。此外，亦將於監測區域之南、北側建立兩處微型水文氣候長期監測站，以利後續探討水文氣象與各深度裂隙壓力間之關係。至於水文地質數值模型建構技術之研究工作，本年度將先規劃進行現地調查/試驗資料的研析與評估，據此決定模型範圍，並根據試驗參數，定義模型邊界條件與初始條件，作為後續建構水文地質數值模型之基礎。

另外，有鑒於國內相關科研計畫亦有針對花崗岩以外之岩體所進行的水文地質調查技術研究成果及資料可供參考，故本年度將進行其水文地質背景資料及現有調查數據的蒐集與研析，並規劃於下年度進行其導水裂隙之封塞水力試驗，藉此瞭解計畫過去於花崗岩區所建立之水文地質調查技術，是否也能運用於其他岩性之水文地質特性調查。

### 3.1.2.2 水文地球化學

在「深層地質處置」概念中，處置母岩的評估，除了需考慮岩層之地質、水文、地震和岩石力學特性等條件外，其水文地球化學特性更是決定是否適合進行深層地質處置的關鍵。而所謂合適的水文地化環境，係指其具備高的放射性核種遲滯能力、高的化學緩衝能力，以

及低的核種溶解度之地下水化學特性。除了直接影響核種的溶解度外，地下水的化學特性，尤其是地下水的酸鹼度及氧化還原條件，對工程障壁(如緩衝回填材料)及天然障壁(母岩)的屏障功能亦具有重要的影響性。因此，研析處置環境地下水的化學特性及其可能的演化機制，是潛在處置母岩安全評估中一項重要且基本的工作(JNC, 2000)。

代表性的深地層水質資料及詳細的礦物組成，是評估水文地球化學環境合適性的必要基本資訊，而地化模擬技術是探討水文地球化學環境的長期演化(穩定)特性的必要能力。透過歷年的技術發展成果，目前已成功建構深地層裂隙水質的取樣技術及岩樣詳細礦物組成的分析技術，並成功取得離島花崗岩的深地層裂隙水質資料，及其周圍的新鮮與風化岩樣的礦物組成資訊，雖然資訊數量有限，但在技術可行性的發展驗證階段，已可做為建立花崗岩質地化反應模擬技術的基礎。

考量SNFD2017報告所需之水文地球化學特性資訊與評估分析能力，前一年度在地下水地球化學演化方面，已完成U、Cu和Fe在離島花崗岩水質條件下之Eh(pe)-pH穩定相圖繪製及溶解度模擬計算。本年度將規劃進行花崗岩質地化反應模擬技術研究與花崗岩之岩礦特性分析等兩項工作。其中，在花崗岩質地化反應模擬技術研究方面，本年度將進行國內外有關花崗岩質地化反應模擬之文獻資料的蒐集及研析，並選取合適的地化模式進行文獻案例之模擬測試，據此建立花崗岩質地化反應模擬技術之能力，作為後續探討深層地下水長期演化特性，與建構水文地球化學概念模式之基礎。另外，在花崗岩之岩礦特性分析方面，本年度將針對前期計畫所取得之本島花崗岩樣，進行岩石樣品之前處理工作(含岩石產狀、岩性與微視構造紀錄)，提供後續進行岩相、全岩地化與礦物組成等分析工作所需之各式岩樣。

### 3.1.2.3 核種傳輸路徑

在最終處置系統是否能安全運作的議題上，母岩的地質環境必須滿足下列兩項功能(JNC, 2000)：長期的穩定性與遲滯核種遷移的功

用。連通的裂隙網路是地下水與核種的主要傳輸路徑，因此，瞭解岩體中裂隙構造的分佈為處置設施是否安全的重要條件之一(JNC, 2000)。雖然連通的裂隙網路是核種的主要傳輸路徑，但核種亦可藉由其在裂隙圍岩的擴散機制，稀釋其在地下水中的濃度，且裂隙中的充填物與圍岩的礦物組成對不同的核種會造成不同的吸附效應，使得由處置設施近場外洩的核種，可能因圍岩擴散及吸附等機制而遲滯核種由地質圈遷移至人類生活圈的傳輸速度。

為瞭解核種在地質圈傳輸路徑的能力與地質圈對核種遷移之遲滯能力，並考量SNFD2017報告所需之核種傳輸路徑評估分析能力，在裂隙參數化與模擬技術方面，前一年已完成發展整合離散裂隙網路之3D裂隙結構模擬及自動驗證模組(DFN\_NET及DFN\_OPT)，本年度將規劃針對技術發展測試岩體，進行離散裂隙網路(Discrete fracture network, DFN)結構之模擬，藉此瞭解岩體中的裂隙參數及特性。此項工作將選擇於國內花崗岩區之試驗隧道或替代隧道中，先以人工視窗採樣法進行裂隙資料的量測，並利用FACTS程式分析及校正裂隙參數，計算出提供DFN\_NET程式所須的輸入資料以進行DFN模擬，然後再以DFN\_OPT程式，模擬出最接近現場觀測資料的DFN結構，並與FracMan商用軟體的DFN模擬結果進行比較，以驗證計畫中所發展的程式(FACTS、DFN\_NET及DFN\_OPT)是否能夠適用於測試岩體中DFN模擬。

其次，前一年度於本島花崗岩，經由鑽探與井下量測工作，已完成岩心井錄與地球物理標準井測，獲取本島花崗岩之岩性特徵、構造特性、不連續面類型、裂隙型態與角度，以及裂隙充填物等基本資訊。本年度繼續針對SNFD2017報告水文地質裂隙傳輸特性化參數所需，進一步進行岩心井錄、孔內攝影及地球物理井測之資料綜合解析，以瞭解其孔內裂隙帶與鄰近地表露頭的地質構造特性、位態及空間分佈等相關資訊，提供後續評估岩體特性或規劃調查工作之用。

另外，關於核種在岩體中的傳輸特性(如吸附、擴散、傳流與延散機制等)，前期計畫係利用離島之花崗岩樣來進行核種傳輸的各項

實驗。而本年度除了將持續進行離島花崗岩樣之擴散實驗外，亦將規劃針對本島之花崗岩樣，展開地質材料特性(陽離子交換量與鐵含量)分析、核種吸附實驗，以及基質擴散實驗等相關工作，藉此瞭解核種傳輸特性與本島地質材料特性之間的關聯性。

#### 3.1.2.4 岩石特性

岩體的熱與力學性質是影響處置場設計與建造的重要因素。考量 SNFD2017 報告所需之岩石特性資訊與評估分析能力，本年度規劃利用前期計畫所得之本島花崗岩樣，進行一般物理性質、熱特性及力學等試驗，以取得其岩石物理性質、熱特性及力學參數。由於試驗項目種類繁多且各試驗所需岩樣的標準也不一，因此，本年度此項工作將著重在岩石樣品之加工或前處理等作業。此外，本年度亦規劃利用國內現有之坑道，建立裂隙變形監測技術，藉由監測裂隙面兩側岩體相對位移的歷時資料，取得裂隙變形資訊。本年度此項工作將預定完成監測地點之踏勘和評選，以及監測設備之選擇與購置，以利後續工作之進行。而上述工作所獲得的成果，將可作為後續評估岩體穩定性之參考依據。

其次，為瞭解膨潤土與岩塊之熱-應力交互影響關係，在既有岩塊熱場量測與模擬的基礎上，建置含加熱器、壓實鑄型的膨潤土塊及花崗岩塊尺度的近場環境，進行兩年期熱-力學岩塊試驗與數值模擬工作。本年度主要工作內容包含參考文獻資料的蒐集與研析、膨潤土塊體製作，以及量測儀器發展、設計與配置等。此前置作業與技術建立的過程中，也將利用數值模擬方法，初步評估熱-應力室內試驗預期結果，作為試驗設計修正之參考依據。

另外，本計畫過去持續進行區域岩層與構造分布測勘，初步建立探勘深地層岩性與構造空間分布的相關技術，如磁力、地層電阻等非破壞性探勘技術。上一年度已針對本島東部花崗岩體分布與構造等資訊，獲致花崗岩體之磁力3D逆推分布圖，本年度將繼續利用過去所建立之技術，以國內規劃或進行中的重大公共工程為技術測試對象，

在其工程進行前，預先解析及評估隧道工程所可能面臨的地下岩性與構造分布特性，待工程完成後，透過預測與實際結果的比對，作為SNFD2017報告所需之技術可行性的驗證實例，以及後續技術精進的參考依據。

### **3.1.3 地質處置合適性研究**

在進行處置場址評選、處置設施功能安全評估時，各國因大地構造環境與地質條件特性的不同，所需考量的地質圈特性亦會有所不同。除了具備獨特的大地構造與其演化特性外，台灣的地質環境大致上與日本類似，故在進行處置場址評選、處置設施功能安全評估時，均需面臨及考量與大地構造架構有關的大地構造演化、火山活動、斷層(地震)活動，以及抬升與沉陷、氣候與海平面變遷等環境因子對處置場的影響性。

#### **3.1.3.1 台灣的大地構造**

台灣位於歐亞大陸東緣，坐落於環太平洋構造活動帶上，因此，台灣地區的火山活動和斷層(地震)活動，皆與台灣大地構造的演化息息相關。考量SNFD2017報告所需之大地構造架構特性資訊與評估分析能力，本年度將規劃進行台灣大地構造架構與演化等相關文獻資料(空間上涵蓋台灣及台灣海峽周邊海陸域資料，時間上涵蓋控制各岩層形成之地質歷史)的蒐集與回顧，藉此掌握台灣大地構造架構的更新資訊與認知。同時，本年度也將針對台灣的火山活動與特性，進行相關文獻資料的蒐集與回顧，作為後續火山活動及其影響性研究工作規劃的基礎，與潛在處置區域篩選之依據。

此外，針對台灣斷層活動的相關資訊，在SNFD2009年報告中，已根據中央地質調查所所公布的台灣活動斷層分布圖為基礎，彙整台灣已知活動斷層的相關研究資訊(台電公司，2010)。然而，除了大地構造因素所產生的活動斷層外，重大工程開發的擾動行為亦可能導致斷層構造的活動或產生新的地下水與核種遷移的管道。有鑑於此，前

期計畫已於本島花崗岩之特定岩體區域建置3站地震觀測站，並搭配國內研究單位的8個地震觀測站，組成一個涵蓋岩體區之近場觀測網，利用寬頻及靈敏之地震儀進行連續觀測，以完整記錄岩體及附近地區之微震與強震活動訊號。本年度除進行現有地震觀測站的地震資料蒐集與處理外，亦將根據前期地震研究結果、中央氣象局最近24個月期間ML0-6地震的震央分佈情形，重新調整地震觀測網分布及密度，預計新建置3~4個地震觀測站，以利後續進行地震叢集線型及斷層破裂機制分析，藉此瞭解周圍岩體因地震或開挖行為對斷層構造活動的影響性。

另外，有鑑於H12報告強調地震為自然影響因子之一，並於東濃地區觀測深層地下水受地震影響之氬氣變化，顯示出地下水氬氣監測與地震關連性研究為探討地震影響的靈敏指標。故本年度亦將規劃進行地震與氬氣徵兆關聯性研究工作，探討在破裂含水層中，地下水水氬現地揮發逸散的物理化學機制，並規劃於下年度進行地下水水氬濃度觀測作業，有助於本計畫於SNFD2017報告中探討長期觀測氬氣敏感指標與活動斷層的關聯性。

### 3.1.3.2 抬升與沉陷作用

岩體的抬升或沉陷主要係取決於大地架構及其演化特性。對於放射性廢棄物「深層地質處置」而言，岩體的抬升將縮短處置深度與人類生活圈的安全距離，進而降低岩層對核種遷移的隔離功能，相反地，岩體的沉陷將使放射性廢棄物逐漸遠離人類生活圈。而在評估岩體抬升或沉降的方法中，GPS測量是基於衛星量距的一種方法，雖然相較其他調查方法，是觀測期距最短(只能觀測近數十年的變化趨勢)，但對於觀測大範圍地殼變動(特別是水平向變動)是在大地測量中，較具高準確度及快速的方法，故廣範被用於抬升與沉陷作用的相關研究中。

考量SNFD2017報告所需之岩體的抬升/沉陷資訊與評估分析能力，在前期計畫中，已針對本島花崗岩體與其鄰近構造接觸帶分布區

域，完成3處GPS連續觀測站(含副樁)與3組GPS定期觀測樁的建置，以期獲取本島花崗岩體與其鄰近構造接觸帶的實際位移觀測數據。而本年度除規劃持續現有的連續與定期觀測作業外，亦將進行GPS連續觀測站與定期觀測樁的增建(GPS連續觀測站1處，GPS定期觀測樁4組，石質水準樁2組)，組成更完善的GPS觀測網，以期累積足夠的位移觀測數據，提供下年度進行GPS時間序列資料分析，獲取影響地表面態變化的綜合指標資訊，作為評估岩體地質穩定性之參考依據。

此外，有鑑於日本H12報告對於抬升/沉陷作用，以及氣候與海平面變遷等議題，均大量仰賴日本諸多河階(river terraces)研究成果，以期藉由地質、地形、河階定年(geochronology on river terrace)及地體抬升作用的制約，來預測未來河階演育、河流下切在陸域長時間對處置環境的影響與評估(JNC, 2000)。故本年度亦規劃參考日本H12報告的河階研究架構，進行本土河階研究相關資料的蒐集與回顧，以利後續資料之研析並彙整成區域性抬升與沉陷作用的本土河階案例，提供地殼變動抬升/沉陷作用與河流演育等研析所需的估算資訊。

另外，有鑒於剝蝕作用對地質環境的影響，包括因減少處置環境覆蓋層的厚度，或改變地形地貌，而導致地下水流場改變。因此，本年度亦將規劃蒐集台灣剝蝕作用的相關研究資料，並進行其定年學與剝蝕率資料的彙整，以利後續利用不同的分析方式(如地形/氣候變遷分析、河/海階剝蝕率分析、岩體剝蝕分析等)，來探討台灣的剝蝕作用與剝蝕率，作為後續評估地質處置合適性之參考資訊。

### 3.1.3.3 氣候與海平面變遷

根據SNFD2009報告指出，氣候變遷與海平面變化是影響與威脅處置場址地質環境長期穩定性之四項自然活動之一(其他三項為：斷層活動、火山活動、地殼垂直活動和剝蝕)。由於全球氣候變遷為海水面長期演變之驅動力，海水面之變遷則對處置系統造成之衝擊包括：改變地下水流和地下水化性、地下水位變動、海/淡水介面遷移、

侵蝕/淤積作用等，以致干擾處置系統的穩定地質環境，進而影響處置場之功能。

考量SNFD2017報告所需之氣候與海平面變遷資訊與評估分析能力，本計畫將針對本島花崗岩區域之代表性河域出海口沖積扇，製作近海至河道之數值地形模式(DEM)，用以辨識一萬年以來，末次冰期結束至今，海平面上升、河口堆積與海階變化的地形紀錄，以獲取此河域因氣候變遷導致海平面上升與沖積扇堆積的地形演變證據。而本年度的工作重點，則是先取得其出海口往中央山脈，約50km<sup>2</sup>面積之歷史衛星影像立體對資料，並選擇數點地面控制點，以Ashtech Zmax RTK-GPS進行測量，以提高後續製作其數值地形模式之精度。

## 3.2 處置設計與工程技術

### 3.2.1 工程障壁系統設計需求

工程障壁系統概念界定之目的在提供功能評估所需，結果可提供修正處置場設計、母岩篩選條件等。處置場設計與功能評估均須配合場址調查資料之取得，進行反覆評估。工程障壁系統一般包括用過核子燃料、廢棄物罐、緩衝材料、回填材料等組成，其功能分別為：

- (1)廢棄物罐：用以保護用過核子燃料與外在環境隔絕，使其所含之放射性物質包封在罐內，不釋出至其外之空間。
- (2)緩衝材料：為防止地下水流入，維持穩定廢棄物罐，並遲滯核種傳輸。
- (3)回填材料：處置場運轉完成後封閉之用，為防止人員進入與隧道支撐，利用回填材料回填所有開挖通道以防止成為地下水入侵管道，延遲處置場再飽和過程。

本研究依據國際間之處置概念需求以及考慮我國的地質環境條件，針對廢棄物罐、緩衝材料、回填材料研擬適合我國處置概念之工程障壁之基本需求與設計需求。本研究可供SNFD2017報告中第4.6.1~3節有關工程障壁系統之相關內容。



### 3.2.2 膨潤土特性

製作做為緩衝材料之膨潤土主要由蒙脫石(montmorillonite)及鋁蒙脫石(beidellite)等礦物組成，其皆屬於膨潤石族(smectite group)。膨潤石黏土可能因溫度影響，或因地下水中的鉀離子與黏土中的鈉離子產生離子交換作用，進而使得黏土轉變為伊利石相。在自然環境中，這類的變質作用主要發生在成岩作用、接觸變質作用、區域變質作用及熱水變質作用。此類的熱水作用及離子交換作用亦可能發生在處置場環境中，如處置場近場環境中會受廢棄物體產生的衰變熱對膨潤土造成熱影響，地下水中或者水泥襯砌溶出的鉀離子對膨潤土中的鈉離子產生離子交換作用，而使得膨潤土中之膨潤石轉變為伊利石，而伊利石具有較低的回脹性能及較高的滲透性，故對處置場緩衝材料的功能性有所影響。

利用膨潤土的天然類比研究探討處置場潛在可能發生的行為有：膨潤土性能的壽命與受環境影響而變質的速率、熱作用造成的物理-化學變化、廢棄物罐沉陷的問題、其它處置場材料造成的交互影響、阻水性能與膠體瀝濾功能，可提供相對長時間尺度下(如百萬年)之資訊，由於目前一般的實驗室試驗較難針對膨潤土材質之緩衝材料模擬處置場環境交互影響之複雜情況做長期穩定性能評估，故本研究探討膨潤土之相關自然類比資料，以做為緩衝材料長期穩定性之參考，且相關的類比資料亦可做為功能評估之參考依據，以比對分析結果之適切性。本研究針對處置場緩衝材料可能發生之影響因素如：膨潤土之耐久性與變質率、熱作用造成之變化、阻水性能與膠體瀝濾功能，藉由國際間之自然膨潤土礦源資訊進行相關研究與分析。本研究內容可供SNFD2017報告中第5.8.2節天然類比研究之緩衝材料類比研究內容。

### 3.3 安全評估

有關用過核子燃料處置的功能/安全評估，歷年來依據技術發展所得的現地調查資料與解析結果、處置設施概念，先後建立虛擬處置場與基本飲用水情節下核種外釋概念模式，並分別就近場、遠場之核種外釋率與生物圈之人體劑量率，建立評估分析模組，及處置場全系統安全分析模組(含不確定性與參數敏感度分析)，已具備用過核子燃料深層地質處置之處置設施功能/安全整合性評估所需的相關基礎技術。並於民國98年完成我國用過核子燃料最終處置初步技術可行性評估報告之重要里程碑。為達成潛在處置母岩特性調查與評估現階段技術需求並提供後續民國106年提出「我國用過核子燃料最終處置技術可行性評估報告」之技術基礎，本年度(102年)在用過核子燃料處置的功能評估部分將進行變異情節相關研究。

本計畫情節發展分析技術先前最新成果：(1)以新的比對方法進行我國FEPs 報表與芬蘭TVO-92、TILA-96 之FEPs 驗證資料對比；(2)FEPs 報表資料的更新，內容包括新增對因素意義的說明，基本情節考量的FEPs 分析；(3)基本情節的演化精進，以新的核種外釋示意圖說明處置系統的基本假設，及核種通過工程障壁，穿過地質圈最後進入生物圈的演化過程。

#### 3.3.1 變異情節分析

評估自然現象對用過核子燃料最終地質處置的影響時，應考慮自然現象發生與變化的樣式，及區域性不同所造成的差異，並對處置環境、系統功能進行評估。目前世界上進行地質處置技術研究的國家，亦將具體地質環境條件或自然現象相關資訊的影響評估定為重要課題，並嘗試具體的探討與分析。舉例而言，瑞典SKB針對Forsmark以及Laxemar地區分別就各自的過去氣候變遷進行研究，根據研究成果探討冰河的發達／後退，所造成地殼的隆起／沉降等定量的預測。另日本H12報告(JNC, 2000)已於自然現象影響評估中，就一般地質環境

為對象，探討隆起、侵蝕之保守性的簡略方案，並提出影響評估的例證。

基於台灣本島位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊聚合交界處，一般從板塊聚合之本島上的特殊山嶺地形的研究中可以反映造山運動、侵蝕率以及氣候變遷等相互間之特殊關係。因此最終處置場址受到地體抬昇率與地表侵蝕率作用，大約在10萬年後處置區上方覆蓋厚度逐漸減小，再加上氣候變遷海水面可能上升的環境因素，使得處置場上方地面可能接近僅稍高於海水面或為海水淹沒，此時廢棄物體所含放射性核種可能容易外釋到生物圈海洋環境之中。所以本年度(102年)計畫將延續101年度環境影響因素綜合分析與洪水變異情節分析結果，歸納分析各國相關概念模式現況，評析各國主要考量因素，配合處置地質環境特性，研擬適用之海洋外釋評估概念模式。其次針對環境影響因素各種變遷組合，探討地質環境條件的變化，分析評估概念模式之參數變化，以做為應用於2017年階段成果之變異情節案例分析所需之輸入條件，包含建構虛擬處置場核種外釋之水文地質概念模型，進行計算、分析與說明所需之模式與參數。

102年度工作項目為分析模擬核種傳輸行為的機制、參數及建構評估概念模式、分析核種遷移模型、核種遷移參數隨時間變化之假設條件，其成果將成為2017年報告「5.6.2.1洪水情節發展」及「5.7.2.2變異情節案例分析」之基本要素。

此外，地震對放射性廢棄物最終處置系統之長期安全性影響為重要研究議題之一，強震可能造成周圍母岩破壞或透過母岩震動與變形，導致地下設施發生不同程度之損害。台灣位處地震頻繁之地震帶上，自有地震紀錄以來，已累積相當多地震資料，因此，延續101年度之研究發展，參考國際間地震對地下設施危害之案例分析，及相關地震研究發展，瞭解地震活動對地下設施之重要影響因子為基礎，本年度分析台灣地區地震特性資料與相關地震破壞案例，瞭解我國地震活動之特性與對地下設施及母岩環境之影響，做為未來地震危害分析及情節分析研究基礎以供完成SNFD2017報告中第5.6.1.2節台灣地區

地震情節定義及第5.6.2.2節地震情節發展之內容，做為相關危害分析及情節分析研究之參考。

### 3.3.2 安全評估的可信度

我國用過核子燃料最終處置工作自民國75年起開始積極推動，迄今(民國102年)已歷經27年。期間劃分為不同階段進行處置前期之研發工作，包括處置概念初步研發階段(1986年05月~1988年06月)、初期工作規劃階段(1988年11月~1991年06月)、區域調查技術準備階段(1993年08月~1998年10月)、調查實施與技術發展階段(1999年05月~2003年09月)、潛在處置母岩特性調查與評估階段(2005年~2017年)等。上述期間處置功能/安全評估技術發展均為重點工作之一。歷經多年來的發展，有必要全面性回顧檢討歷年功能/安全評估技術發展有關之成果，以作為後續研發規劃之參考應用。

本(102)年度工作將彙編用過核子燃料長程處置計畫歷年有關發展功能/安全評估技術之目標與成效。預計依長程處置計畫階段，蒐集功能/安全評估技術研發相關報告，建立清單。再彙整各階段的評估概念、假設、工具、參數、與評估結果等。說明各階段之重點，並製作圖表說明其關聯與歷程。

本項工作之成果將具有下列效益：(1)整合歷年成效，促進公眾溝通；(2)分析歷年資訊，促進知識管理；(3)整合前期技術，利於後續研發。

### 3.4 國際同儕審查規劃

用過核子燃料最終處置計畫研究時程長遠、相關研究所涵蓋之專業廣泛，且至目前為止，國際上尚未有最終處置場啟用之案例，大部分核能先進國家皆以國際合作及同儕審查方式，確保研究技術及成果與國際同步。

台電公司自民國95年行政院原能會核定用過核子燃料最終處置計畫書後，皆依處置計畫書執行相關研究工作，現階段首要目的即於2017年提出我國用過核子燃料最終處置技術可行性報告（簡稱SNFD2017報告），前述報告章節架構係依據主管機關要求，參考日本H12報告章節架構編擬，因此，針對SNFD2017報告，本公司將規劃先請國內學者專家審閱后，洽請國外處置母岩為結晶岩類之放射性廢棄物處置執行機構，如瑞典SKB、芬蘭Posiva或日本NUMO等進行同儕審查。

#### 4. 預期成果分析

本計畫目前執行「潛在處置母岩特性調查與評估」階段(2005~2017)，預定於民國106年達成提出「我國用過核子燃料最終處置技術可行性評估報告(SNFD2017報告)」之階段目標。該技術可行性評估報告，將確立國內離島及本島花崗岩是否為合適潛在處置母岩，並依據特性調查成果評估處置技術發展之可行性，作為最終處置計畫後續工作規劃之基礎。

為達成上述之目標，本計畫針對地質環境、處置設計與工程技術、安全評估等三大工作主軸，提報本年度(102年)之工作計畫書，其預期成果及效益彙整如表 4-1所示。

表 4-1：預期成果及效益

預期研究成果	預期效益
<b>地質環境</b>	
<b>區域環境地質</b>	
逐年更新台灣三大潛在處置母岩之地質環境資訊，以提供最新資訊供後續相關工作評估之用。	提供撰寫SNFD2014報告之「台灣地質環境特徵」相關內容，並作為SNFD2017報告之基礎。
<b>深層地質特性(水文地質)</b>	
取得離島花崗岩測試區之裂隙水壓長期變化趨勢，據以進行資料分析與解釋。	作為後續修正地下地質概念模式，以及進行區域流場分析之參考依據。
建立水文地質數值模型建構技術。	作為後續建構水文地質數值模型之基礎。
取得本島其他岩性的水文地質現有調查資料。	作為後續水文地質試驗規劃與技術應用性評估之參考依據。
<b>深層地質特性(水文地球化學)</b>	
建立花崗岩質地化反應模擬技術，並透過合適之文獻案例進行測試。	作為後續探討花崗岩深層地下水地化特性與岩-水反應機制之基礎。
完成本島花崗岩岩礦分析之樣品前處理。	提供後續年度進行岩礦特性分析，持續建立本島花崗岩基本岩礦組成，及裂隙內岩-水反應研究必要資料。
<b>深層地質特性(核種傳輸路徑)</b>	
建構技術發展測試岩體之離散網路結構，並取得岩體中的裂隙參數及特性。	作為後續建立離散裂隙網路地下水流場數值模式之基礎。
完成本島花崗岩現有井錄資料之綜合解析，並取得其裂隙分布與特性等資訊。	作為後續評估岩體特性或規劃調查工作之參考依據。
建立本島花崗岩之核種傳輸試驗，以取得核種在此岩體中的吸附與擴散參數。	作為後續探討核種在岩體中傳輸行為之參考依據。
<b>深層地質特性(岩石特性)</b>	
完成本島花崗岩一般物理性質、熱特性及力學等試驗之岩樣前處理。	提供後續分析所需之標本，藉以取得本島花崗岩之物理性質、熱特性及力學參數。
完成裂隙變形監測地點之評選與監測設備之購置。	提供後續進行裂隙變形監測，藉以取得裂隙兩側岩體相對位移之歷時資料。
完成膨潤土與岩塊熱-力學室內試驗之規劃設計與器材配置。	作為後續進行膨潤土與岩塊熱-力學試驗之基礎。
完成磁力與地電探勘之測點規劃與現調工作。	提供後續資料處理所需之數據，藉以解析地下岩體與構造分布特性。
<b>地質處置合適性研究(台灣的大地構造)</b>	
完成台灣大地構造架構及演化，以及火山活動特性等資料的蒐集與回顧。	提供後續資料研析，作為地質處置合適性評估之參考依據。
完成區域地震監測站之增建，並持續現有監測站的維護與監測資料處理分析。	作為後續進行地震叢集線型及斷層破裂分析之基礎。

瞭解在破裂含水層中地下水水氣現地揮發逸散的物理化學機制。	作為後續探討地下水水氣震前行為與地震活動關係之基礎。
<b>地質處置合適性研究(抬升與沉陷作用)</b>	
完成GPS連續觀測站與定期觀測樁之增建，並持續現有觀測站的維護與觀測資料處理。	提供後續GPS時間序列資料分析，藉以獲取影響地表形態變化之指標資訊，作為評估岩體地質穩定性之參考依據。
逐年進行台灣河階研究相關資料的蒐集與回顧。	提供後續彙整區域性抬升與沉陷作用之本土河階案例，作為評估地殼變動抬升/沉陷作用之基礎。
逐年進行台灣地區剝蝕速率資料的蒐集與彙整。	提供後續進行剝蝕作用與剝蝕率研析(如地形/氣候變遷分析、河/海階剝蝕率分析、岩體剝蝕分析等)所需資訊，作為評估地質處置合適性之參考依據。
<b>地質處置合適性研究(氣候與海平面變遷)</b>	
作為後續製作其數值地形模式之基礎，藉以獲得此河域受氣候變遷導致海平面上升與沖積扇堆積的地形演變證據。	提供建構水文地質概念模式之基礎資料及後續進行氣候變遷影響性評估之用。
<b>處置設計與工程技術</b>	
工程障壁系統設計需求	考慮我國地質環境條件與處置概念，研擬適合我國工程障壁系統基本需求與設計需求。
膨潤土長期穩定特性探討	分析膨潤土之相關自然類比資料，探討膨潤土之耐久性與變質率、熱作用造成之變化、阻水性能與膠體滲濾功能之相關影響，做為緩衝材料長期穩定性之參考。
<b>安全評估</b>	
洪水與地震活動對處置場或地下設施之影響分析	瞭解我國地震活動之特性與對地下設施及母岩環境之影響，做為未來地震危害分析及情節分析研究基礎。
建構海洋外釋評估概念模式與案例輸入參數之研析。	提供我國未來處置場變異情節功能/安全評估技術發展之參考與相關技術發展之基礎。
安全評估的可信度	(1)整合歷年成效，促進公眾溝通；(2)分析歷年資訊，促進知識管理；(3)整合前期技術，利於後續研發。
<b>國際同儕審查規劃</b>	
國際同儕審查	確保研究技術及報告品質皆與國際同步外，亦為增加民眾的接受度並提升公信力。