

低放射性廢棄物最終處置計畫  
執行成果報告  
(108年8月至109年1月)  
修訂二版

台灣電力公司  
109年6月

## 目 錄

摘要.....	1
第一章 前言.....	2
第二章 處置技術建置計畫.....	13
第三章 處置設施選址計畫.....	29
第四章 應變方案(集中式貯存)計畫.....	38
第五章 民眾溝通專案計畫.....	43
第六章 綜合檢討與建議.....	53
附錄、低放射性廢棄物最終處置技術建置計畫 108 年度 執行成果摘錄	

## 摘要

「放射性物料管理法」第 29 條規定：放射性廢棄物之處理、運送、貯存及最終處置，應由放射性廢棄物產生者自行或委託具有國內、外放射性廢棄物最終處置技術能力或設施之業者處置其廢棄物；產生者應負責減少放射性廢棄物之產生量及其體積。其最終處置計畫應依計畫時程，切實推動。「放射性物料管理法施行細則」第 36 條規定：低放射性廢棄物產生者或負責執行低放射性廢棄物最終處置者，應於本法施行後一年內，提報低放射性廢棄物最終處置計畫，經主管機關核定後，切實依計畫時程執行；每年 2 月及 8 月底前，應向主管機關提報上半年之執行成果。

本執行成果報告章節內容如下：

- 第一章、前言，主要摘述有關低放處置計畫之歷程。
- 第二章、處置技術建置計畫，主要說明持續辦理之各項技術服務案於本階段執行情形。
- 第三章、處置設施選址計畫，主要說明本階段低放處置設施選址之執行情形。
- 第四章、應變方案(集中式貯存)計畫，主要說明本階段集中式貯存計畫之執行情形。
- 第五章、民眾溝通專案計畫，主要說明針對 2 處建議候選場址所在鄉「金門縣烏坵鄉」及「臺東縣達仁鄉」，本階段有關民眾溝通工作之執行情形。
- 第六章、綜合檢討與建議，主要檢討本階段工作之執行情形，及訂定下階段工作之查核點，俾利低放處置計畫順利推動。
- 附錄、低放射性廢棄物最終處置技術建置計畫 108 年度執行成果摘錄

## 第一章 前言

台電公司依據「放射性物料管理法」規定於 92 年 12 月 25 日將「低放射性廢棄物最終處置計畫書」提報原子能委員會(以下簡稱原能會)審查，並於 93 年 1 月 16 日奉准核備。台電公司依據奉核之「低放射性廢棄物最終處置計畫書」(以下簡稱處置計畫書)所規劃時程與作業進行低放射性廢棄物最終處置計畫。

「低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例」(以下簡稱「場址設置條例」)於 95 年 4 月 28 日經立法院院會二、三讀完成立法，並於 95 年 5 月 24 日經總統公布施行，主辦機關經濟部於 95 年 6 月 19 日召開研商「場址設置條例」應辦事宜會議，依據該條例第 6 條規定會商主管機關同意，指定台電公司作為低放射性廢棄物最終處置設施選址之作業者(以下簡稱「選址作業業者」)；並依該條例第 5 條規定，聘任相關機關代表及各專業領域專家學者組成「低放射性廢棄物最終處置設施場址選擇小組」(以下簡稱「選址小組」)，依條例規定執行處置設施之選址工作。鑑於「場址設置條例」對於選址作業之程序與時限有所規範，台電公司原報奉核定之處置計畫書亦配合修訂，並於 96 年 4 月 26 日奉准核備。

「場址設置條例」公布施行迄今已近 14 年，於執行過程中，因面臨實務上窒礙難行之情況，例如主辦機關經濟部曾於 98 年 3 月公開上網及陳列「建議候選場址遴選報告」，建議臺東縣達仁鄉南田村及澎湖縣望安鄉東吉嶼二處為建議候選場址，並規劃於 98 年底核定公告建議候選場址。惟因澎湖縣政府於 98 年 9 月將望安鄉東吉嶼劃為澎湖南海玄武岩自然保留區，致選址作業退回至潛在場址篩選階段重新辦理。台電公司因應此一情況，重新檢討處置計畫時程，並依據物管局 2 次審查意見及「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)」審查會議紀錄修訂，於 101 年 4 月 23 日提陳「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)Rev.2」請主管機關核備，主管機關於 101 年 5 月 4 日來函同意核備處置計畫書(修訂二版)。

經濟部於 101 年 7 月 3 日核定公告金門縣烏坵鄉及臺東縣達仁鄉兩處建議候選場址後，於 101 年 8 月 17 日函請建議候選場址所在地方政府同意接受委託辦理公投選務工作。金門縣政府於同年 9 月 26 日函復經濟部，略以：該縣近年各項公職人員選舉之投票率大部分均未過 50%，檢討原因乃離島交通不便，影響外地工作者投票意願，故辦理「縣地方性」低放場址選址公投，恐因交通及投票率門檻因素而不利推動。又謂烏坵鄉投票率如涉鄉公職者高達七、八成，未涉鄉公職者不及 3 成，以該鄉是孤立於 70 海浬外之離島鄉，及人口不及縣總人口 1%，由「縣」公投決定低放場址選址事務，似與「住民自決精神」相背。為符合住民自決精神，為方便低放場址選址作業順遂，建議修法低放場址選址公投以鄉為範疇。另臺東縣政府於同年 10 月 9 日函復表示：「因本縣現階段法規訂定並不完備，且委託辦理地方性公民投票之內容不明確，另考量辦理地方性公民投票選務作業事項繁瑣，仍須與選舉委員會協商取得共識，故尚難協助辦理。」致尚未能完成候選場址之選址作業。後續台電公司參加經濟部於 102 年 3 月 4 日邀集原能會、內政部及中選會召開之「低放射性廢棄物最終處置設施場址公投評估研商會議」討論低放選址相關議題，台電公司將持續配合經濟部指示辦理相關事宜，並持續進行金門及臺東縣之溝通工作，以爭取該兩縣民眾支持。經濟部續於 105 年 5 月 5 日依據立法院第 9 屆第 1 會期經濟委員會第 8 次全體委員會議決議，函請臺東及金門二縣政府同意接受委託辦理法定低放場址地方性公民投票選務工作，分別於 105 年 5 月 18 日、7 月 29 日獲金門縣政府及臺東縣政府回函表示未予同意，後續台電公司將配合經濟部指示持續地方溝通。

為因應公投作業無法依預定時程辦理，主管機關於第 122 次放射性物料管制會議要求台電公司進行「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)第 10 章替代/應變方案」之強化修正。後續台電公司於 103 年 7 月 30 日將前述替代/應變方案提報主管機關及於 103 年 8 月 19 日將「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)Rev.3」提送主管機關審查，並於 103 年 9 月 9 日獲主管機關核備。且後續台電公司依據主管機關 104 年 4 月 21 日物三字第 1040010487 號函，將低放射性廢棄物最終處置計畫(選址階段)專案品質保證計畫併入「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)Rev.4」提送主管機關，

並於 104 年 5 月 12 日獲主管機關核備。另，主管機關亦多次函請主辦機關自行辦理公投，主辦機關評估自行辦理公投之可行性不高，於 103 年 7 月 5 日以經營字第 10500618530 號函，說明自辦公投有窒礙難行之處，原因包括有「球員兼裁判」之嫌，公投選務動員之人力、物力龐大，在無選務經驗情況下，稍有不慎極易衍生公投無效之議等。依據低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)Rev.4，台電公司本階段應已取得建造執照及進行施工階段等工作，由於選址主辦機關經濟部對於辦理公投時程仍未確定，主管機關原能會於 103 年 1 月 17 日函請經濟部督導台電公司，就低放射性廢棄物最終處置計畫提出替代應變方案，後續台電公司依據主管機關 104 年 11 月 26 日召開之放射性物料臨時管制會議紀錄決議事項 1.(1)「台電公司應於 105 年 3 月底前提報低放處置計畫之強化執行措施，另應切實檢討修訂處置計畫書，依法持續進行選址作業」，於 105 年 3 月 29 日提送低放最終處置計畫之強化執行措施。主管機關則於 105 年 4 月 12 日發函要求台電公司參酌強化執行措施內容，依據放射性物料管理法施行細則第 36 條第 2 項規定，敘明理由及改正措施，檢討修正低放射性廢棄物最終處置計畫，並於 105 年 6 月 15 日前提報。台電公司考量選址公投時程仍具高度不確定性，重新審視時程規劃，將選址主辦機關經濟部依據「場址設置條例」辦理選址作業之時程，與核定候選場址後之作業時程分開規劃，於 105 年 6 月 15 日提報「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂三版)」，函請主管機關核備。主管機關於 105 年 6 月 28 日函復審查意見，不同意時程規劃採浮動方式呈現，並要求「自核定建議候選場址起，於 51 個月完成各項選址任務，擬具明確時程規劃。」台電公司考量選址作業現況，因新增法規與現行法規修訂將造成後續選址作業時程增加，以審查意見規劃選址時程，將不切實際。故僅參照其它意見修訂后，於 105 年 7 月 26 日將「低放射性廢棄物最終處置計畫書(105 年修訂版)」提送主管機關審查。主管機關於 105 年 8 月 19 日函復審查意見，仍是不同意採浮動時程規劃。惟台電公司考量選址作業現況，若依審查意見自核定建議候選場址起，於 51 個月完成各項選址任務，即應於 105 年 10 月完成選址公投、場址調查、環境影響評估等任務，為不切實際之規劃，故仍以浮動時程

規劃於 105 年 9 月 14 日提報「低放射性廢棄物最終處置計畫書(105 年修訂 2 版)」。

主管機關於 105 年 10 月 5 日函復審查意見，要求台電公司於 105 年底前提報替代/應變計畫具體實施方案，並重新綜合檢討處置計畫時程後，併同提報低放射性廢棄物最終處置計畫書(105 年修訂 3 版)，惟台電公司考量選址作業現況，有關時程規劃仍維持修訂 2 版之規劃，並將替代/應變計畫具體實施方案納入「低放射性廢棄物最終處置計畫書(105 年修訂 3 版)」，於 105 年 12 月 27 日以電核能部核端字第 1050018039 號函提報主管機關核備。

主管機關於 106 年 3 月 2 日就處置計畫書函復意見，不同意處置設施選址時程與應變方案(集中式貯存)時程採浮動時程規劃，並要求應於其給定時程內完成，否則依法裁罰。有關低放處置意見部分，因台電公司非選址法定權責機構，對於選址的方式與進度無實質的掌控權，主辦機關經濟部依循「場址設置條例」辦理選址公投，函請 2 處建議候選場址所在縣政府同意接受委託辦理選址地方公投選務工作，惟均未獲得同意，其主要癥結在於「場址設置條例」未強制規定地方政府應配合辦理公投選務工作，且以全縣公投決定低放建議候選場址所在鄉是否願意成為低放場址，違背住民自決精神，以致於無法辦理選址公投。因此，在場址未確定前，台電公司實無法依照原低放處置計畫書持續推動最終處置設施的建置，為不影響後續計畫的規劃，僅能先以相對時程規劃後續的作業期程。上述有關低放處置計畫推動之重要事紀如圖 1-1。

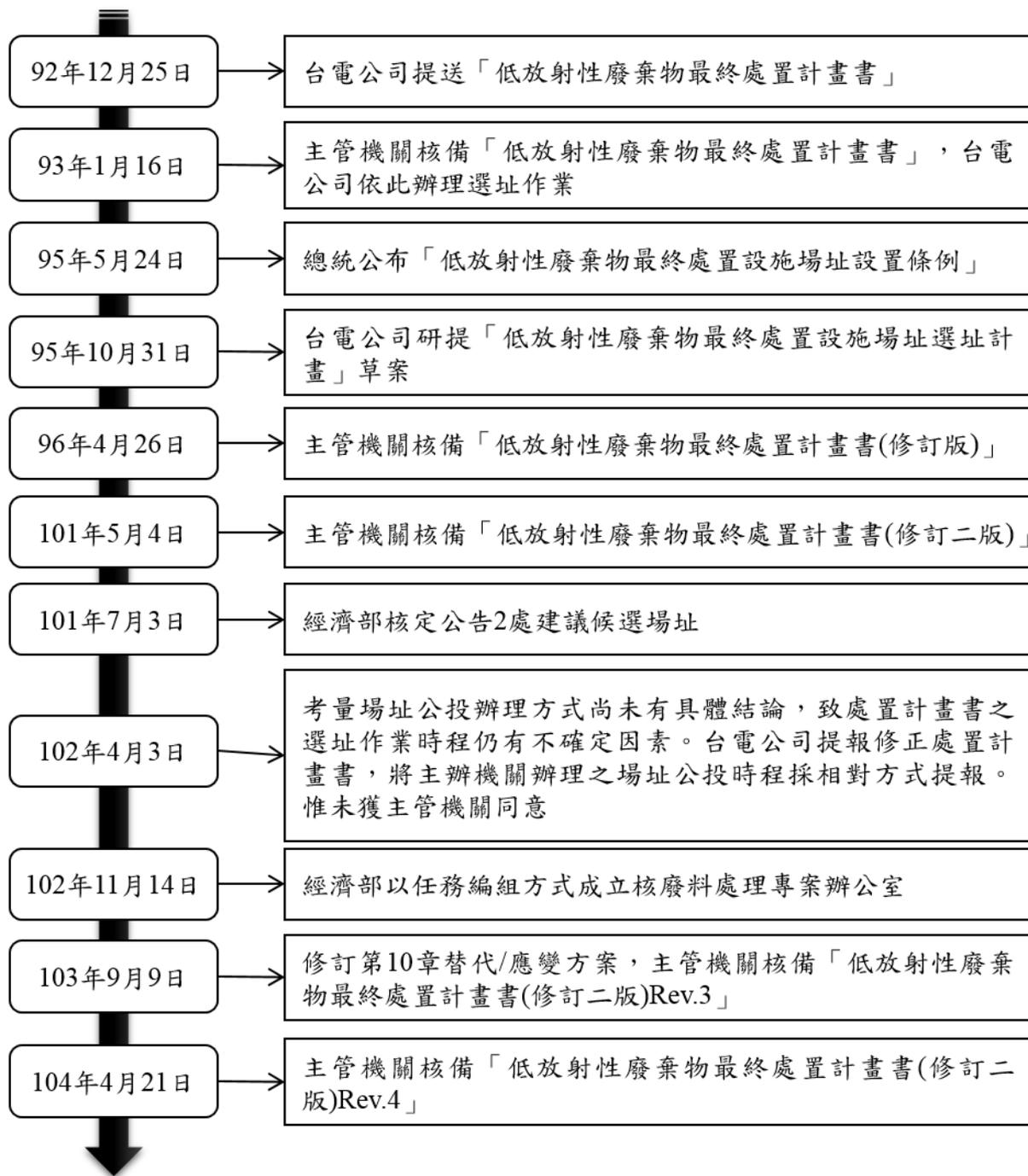


圖 1-1 低放處置計畫推動之重要事紀時間圖

有關應變方案意見部分，台電公司考量行政院國家永續發展委員會 105 年 11 月 3 日之決議，在該委員會架構下成立「非核家園推動專案小組」（以下簡稱「非核小組」），該小組設置要點草案載明其議題範圍包括「核廢料處理、貯存及處置」、「蘭嶼低階核廢料貯存場遷場」，非核小組將邀請民間團體、在地居民及專家學者共同參與，以尋求社會共識。此外，原能會 106 年 1 月 11 日召開「低放射性廢棄物最終處置計畫替代/應變方案之具體實施方

案」及「蘭嶼貯存場遷場規劃報告」審查會之會議結論第(一)項第 4 點要求台電公司參照經濟部 105 年 11 月 21 日經營字第 10502616430 號函，將本案提送經濟部轉「非核小組」研議，尋求最佳可行方案，並依研議結果修正本應變方案後，再提報原能會。

基於上述考量處置計畫書仍採浮動時程規劃，台電公司於 106 年 5 月 2 日函請主管機關續審「低放射性廢棄物最終處置計畫書(105 年修訂 3 版)」，惟主管機關 106 年 5 月 18 日會物字第 1060006710 號函說明台電公司未依主管機關審查意見訂定具體明確時程，依舊堅持採用浮動時程之概念而未見改善，有違「放射性物料管理法」第 29 條精神，故礙難同意。請台電公司於 106 年 5 月 31 日前依審查結論修訂低放射性廢棄物最終處置計畫並提送主管機關核定。

台電公司於 106 年 5 月 31 日函復主管機關審查結論說明「台電公司依照『放射性物料管理法』，執行低放射性廢棄物最終處置作業，目前進入選址階段，係依據 95 年公布『低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例』，協助選址主辦機關經濟部辦理選址作業，完成 2 處建議候選場址之核定公告，後續將依公投選出之候選場址，繼續完成最終處置計畫。因公投時程非台電公司權責，致最終處置計畫後續工作之時程需俟公投選出候選場址後再做調整；依據主管機關於 106 年 1 月 17 日函送『低放射性廢棄物最終處置計畫替代/應變方案之具體實施方案』及『蘭嶼貯存場遷場規劃報告』審查會議紀錄，會議決議(一) 4 之要求，已於 106 年 3 月 3 日將『放射性廢棄物最終處置應變方案(集中式貯存)推行初步規劃書』報請經濟部核轉行政院國家永續發展委員會『非核家園推動專案小組』審議，故本案之推動時機與時程將俟該小組做出決策後，台電公司將配合辦理相關事宜。敬請原能會續審『低放射性廢棄物最終處置計畫書(105 年修訂 3 版)』」。

主管機關於 106 年 6 月 5 日會物字第 1060007437 號函提出「因台電公司未依放射性物料管理法第 29 條之意旨，提出具體明確之計畫時程，故礙難同意低放射性廢棄物最終處置計畫書(105 年修訂 3 版)。原核定之『低放

射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)』持續有效，台電公司仍應依其切實執行。」

台電公司考量國內社會現實情況，以及低放處置計畫書(修訂二版)已與現況脫節等因素，於 106 年 9 月 6 日以電核能部核端字第 1068075668 號函提報「低放射性廢棄物最終處置計畫書(105 年修訂 4 版)」，送主管機關審查。原能會於 106 年 10 月 20 日會物字第 1060013748 號函仍表示處置計畫書採浮動時程，故礙難同意。

本計畫每半年執行成果報告係依「放射性物料管理法施行細則」第 36 條規定提報及依原能會物管局審查 101 年 2 月~101 年 7 月執行成果報告之意見，將半年執行成果報告之章節架構調整為「前言」、「處置技術建置計畫」、「處置設施選址計畫」、「民眾溝通專案計畫」及「綜合檢討與建議」等章節。另依據主管機關審查「低放射性廢棄物最終處置計畫-107 年下半年執行成果報告」之審查意見編號 12 新增第四章「應變方案(集中式貯存)計畫」內容。

本階段(108 年 8 月至 109 年 1 月)執行「處置技術建置計畫」部分，台電公司持續辦理「低放射性廢棄物最終處置技術精進計畫」，期能精進低放射性廢棄物最終處置相關技術與分析能力，為銜接未來低放處置場之場址調查、設施設計與安全分析作業所需，相關研究成果詳附錄-執行成果摘錄。

台電公司亦針對低放貯存場自產廢棄物與超 C 類固化桶進行整桶計測作業，並且進一步針對難測核種活度值異常之超 C 類桶進行取樣分析，用以提升低放射性廢棄物分類計算結果之可靠度，並針對自產廢棄物適用之處置方式進行研究，辦理「低放貯存場低放射性廢棄物計測暨取樣分析技術服務」，俾利低放最終處置計畫。

「處置設施選址計畫」部分，目前低放最終處置計畫則依照「場址設置條例」規定，台電公司為「低放射性廢棄物最終處置選址」主辦機關經濟部指定之「選址作業者」，遵照主辦機關經濟部指示，持續辦理公投之民眾溝通工作。

「應變方案(集中式貯存)計畫」部分，「非核小組」於 108 年 8 月 21 日召開第 5 次會議第 1 次會前會，台電公司與政治大學研究團隊於會中分別簡報「放射性廢棄物中期暫時貯存設施選址作業規劃」與「核廢社會溝通規劃案」。會議結論請台電公司參考各委員建議，修正調整選址作業規劃後於後續會議中報告；社會溝通規劃部分各委員提供之意見，後續將請政治大學研究團隊配合辦理，再安排會議進行詳細討論。

「民眾溝通專案計畫」部分，則依據 108 年度「低放選址地方溝通工作計畫」執行相關工作，包括金門縣本島及臺東縣達仁鄉之鄰近鄉各村落逐戶拜訪、金門縣與臺東縣地方媒體溝通宣導及機關社團溝通宣導活動，以及辦理全國性廣告文宣製作等工作。另並於低放貯存場辦理相關公眾溝通工作等。本階段(108 年 8 月至 109 年 1 月)相關工作及執行計畫項目與查核點表列如下：

#### 一、主管機關指示事項

計畫名稱/工作項目	查核點	查核項目/查核情形說明
「建議候選場址核種吸附實驗研究」報告修訂版	108 年 12 月	依據物管局 108 年 10 月 17 日物三字第 1080002901 號函，請台電依據審查意見修訂報告內容及答復說明，並於 108 年 12 月底前提報 / 已於 108 年 12 月 31 日核端字第 1083069523 號函提送
「超 C 類廢棄物處置作業規劃」	108 年 12 月	依據物管局第 137 次「放射性物料管制會議」要求台電於 12 月底前提出有關超 C 類廢棄物處置作業規劃 / 已於 108 年 12 月 16 日核端字第 1088136425 號函提送

計畫名稱/工作項目	查核點	查核項目/查核情形說明
「LLWD 2020 報告」國際同儕審查辦理規劃	109 年 1 月	<ol style="list-style-type: none"> <li data-bbox="882 241 1402 566">1. 依據物管局第 138 次放射性物料管制會議紀錄第 774 議案決議「於 109 年 1 月 31 日前提報 LLWD 2020 國際同儕審查規劃辦理，以確保處置技術符合國際水平。」 / 已於 109 年 1 月 31 日提送</li> <li data-bbox="882 607 1402 1167">2. 物管局續於 109 年 2 月 5 日物三字第 1090000254 號函復「請台電公司邀請具實際處置經驗之國外專家學者，妥善辦理旨揭報告國際同儕審查，以提升我國低放射性廢棄物最終處置技術之公信力。做好自主管理，以確保旨揭報告國際同儕審查作業品質。」 / 台電將依據物管局審查意見辦理，以達如期如質完成國際同儕審查</li> <li data-bbox="882 1207 1402 1630">3. 因國際同儕審查會議目前仍受 COVID-19 疫情影響無法辦理，本公司已於 109 年 5 月 21 日後端字第 1098052896 號函請大局同意延後國際同儕審查會議至 109 年底前完成辦理，並於 110 年 6 月底提報「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」更新版</li> <li data-bbox="882 1671 1402 1995">4. 大局於 109 年 6 月 17 日物三字第 1090001626 號函同意本公司延後於 110 年 6 月底前提交「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」更新版(LLWD 2020)並於 109 年 12 月底前完成國際同儕審查會議辦理</li> </ol>

## 二、處置技術建置計畫

計畫名稱/工作項目	查核點	查核項目/查核情形說明
(一)整合性計畫		
低放射性廢棄物最終處置技術精進計畫	108 年 8 月 ~109 年 1 月	每月提報工作月報 / 承商每月均按時提出,符合計畫工作要求
	108 年 8 月 ~109 年 1 月	各期報告 / 承商均依照契約規定期限內繳交報告,符合計畫工作要求
(二)場址調查評估		
場址特性調查計畫		併入「低放射性廢棄物最終處置技術精進計畫」進行
(三) 安全/功能評估		
低放貯存場低放射性廢棄物計測暨取樣分析技術服務		本案已於 108 年 2 月 25 日開工,現階段主要配合蘭嶼低放貯存場「低放廢棄物桶重裝作業」施作之進度進行溝通協調、修訂本案期程並進行契約變更作業,承包商核研所並於本階段完成計測、取樣設備之施作。

## 三、處置設施選址計畫

計畫名稱/工作項目	查核點	查核項目/查核情形說明
低放選址作業資訊	108 年 10 月	提報選址作業資訊 / 於 108 年 10 月 9 日提報 108 年第 3 季選址作業資訊送國營會公布在主辦機關網頁

	109 年 1 月	提報選址作業資訊 / 於 109 年 1 月 10 日提報 108 年第 4 季選址作業資訊送國營會公布在主辦機關網頁
--	-----------	---

#### 四、民眾溝通專案計畫

計畫名稱/工作項目	查核點	查核項目/查核情形說明
低放選址地方溝通計畫	每個月	地方公眾溝通紀錄 / 於 109 年 1 月彙整地方公眾溝通紀錄

本階段依「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)」規劃時程，應辦理項目之執行現況及改善說明於第六章、綜合檢討與建議中列表說明。

## 第二章 處置技術建置計畫

有關處置技術建置計畫之時程規劃，因主辦機關尚未選定候選場址，致後續相關任務包括處置技術建置之時程均需調整。台電公司已提送「低放射性廢棄物最終處置計畫書(105年修訂4版)」，惟主管機關函復該計畫書之修訂礙難同意，目前則仍暫時延用「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)」所規劃之時程，圖示如下：

識別碼	任務名稱	工作月	2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018	
			H1	H2												
1	候選場址選定															
18	辦理地方性公民投票(註2)	17	█	█												
19	核定候選場址(註3)	2			█											
20	實施環境調查與環境影響評估	30			█	█	█	█	█	█						
21	提出環境影響說明書送審	15			█	█										
22	提出環境影響評估書送審	15					█	█	█	█						
23	環境影響評估審查通過	-									◆					
24	核定場址及投資計畫	25.5			█	█	█	█	█	█						
25	辦理投資可行性作業(含初步安全評估)	24			█	█	█	█	█	█						
26	投資可行性報告陳報經濟部	-									◆					
27	陳報行政院核定場址及投資計畫	1									█					
28	行政院核定場址及辦理公告(註4)	0.5									█					
29	土地取得	44			█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
30	前置調查作業	12			█	█										
31	土地取得	12									█	█				
32	民眾溝通	171	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
33	民眾溝通	171	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
34	場址精查、細部設計與安全分析	26			█	█	█	█	█	█						
35	場址精查、細部設計與安全分析	26			█	█	█	█	█	█						
36	處置技術建置	96	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
37	廢棄物特性研究	60	█	█												
38	場址調查評估	24	█	█												
39	工程障壁材料調查研究	63	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
40	安全/功能評估	84	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
41	建造執照及相關執照申請與審查	27					█	█	█	█						
42	建造執照及相關執照申請文件準備	15					█	█								
43	審查作業	12							█	█						
44	核發建造執照	-									◆					

目前低放射性廢棄物最終處置計畫仍屬選址階段，國內低放射性廢棄物處置場址概念設計規劃與初步安全評估技術已具雛形，後續將持續逐步精進所需技術與相關考量項目。

## 一、過往執行成果重點

低放處置計畫相關工作成果表列如下：

工作項目	辦理情形	成果
廢棄物接收規範	已完成廢棄物接收規範(0版)，並於97年6月6日奉主管機關備查。	將持續精進更新，配合處置場設計作業之執行，進行相關細節之修訂與增訂。
低放射性廢棄物最終處置設施概念設計	台電公司已於102年8月底前完成「低放射性廢棄物最終處置設施概念設計(C版)」報告更新版及自主管理審查，更新內容包括處置場接收廢棄物總活度與數量更新、重裝容器之廢棄物特性分析及重裝容器之處置概念設計更新等。	將持續精進更新，本報告已併入「低放射性廢棄物最終處置技術發展整合規劃與評估」案執行。
低放射性廢棄物最終處置設施功能模擬評估	台電公司已於102年8月底前完成「低放射性廢棄物最終處置設施功能模擬評估(C版)」報告更新版及自主管理審查，更新內容包括處置場接收廢棄物數量更新、原安全分析成果更新、重裝容器之廢棄物特性分析等。	將持續精進更新，本報告已併入「低放射性廢棄物最終處置技術發展整合規劃與評估」案執行。

有關台電公司過去已完成之低放處置相關研究發展案表列如下：

計畫名稱	起迄年度	研究成果摘要
建立低放射性廢棄物核種資料庫及分類	87.12~88.9	參考美、日核能先進國家法規與技術經驗，同時依物管局發函實施之「低放射性廢料分類補充規定」，衡量國內低放射性廢料產生、處理、貯存現況，研擬規劃作為日後履行法規及執行技術之藍圖，為未來低放射性廢料分類、最終處置建立執行模式。

建立低放射性廢棄物核種資料庫及分類	91.2~94.12	本計畫內容涵蓋電腦篩選廢棄物源代表桶、蘭嶼貯存場大規模開蓋取樣計測廢棄物桶、核種放射化學分析、國內首座檢整廢棄物桶，並利用 Excel 試算表進行廢棄物桶的分類試算，建立諸多方法與技術經驗。
蘭嶼貯存場廢棄物桶核種濃度評估計算與分類資料庫建立（第一期）	97.1~99.1	蘭嶼貯存場貯放早期產生之固化廢棄物，因核種資料欠缺或不完整，無法依法規要求進行分類，需配合檢整作業，完成整桶加馬活度計測、廢棄物桶分類。第一期完成 19,785 桶之核種分析及分類。
微生物對低放射性廢棄物最終處置之水泥固化體及工程障壁分解效應定量評估	97.12~99.12	本研究針對台灣之海島氣候環境，在微生物對低放射性廢棄物 (LLRW) 處置之水泥固化體及廢棄物桶材等工程障壁的分解效應進行量化評估，瞭解微生物對水泥固化體與廢棄物桶材之生物降解效應，以建立微生物對本土 LLRW 處置場工程障壁穩定性功能評估參數。
低放射性廢棄物最終處置射源項管理系統	98.11~100.11	參考國際原子能總署(International Atomic Energy Agency, IAEA)標準與物管局建議規範，及配合最終處置場設計與功能評估工作需要，完成台電公司低放射性廢棄物相關單位（包括核一廠、核二廠、核三廠以及核後端處）資訊管理系統的建置，建立符合國內現況的低放射性廢棄物整合資料庫，可方便操作提高管理工作效率，以期順利完成申請建造執照作業。
低放射性廢棄物最終處置潛在場址特性資料分析管理系統規劃建置與應用	100.1~101.4	本計畫主要是利用已完成之相關研究與調查報告，建立符合物管局建議所需之場址地質調查技術及參數資料庫。為因應未來低放射性廢棄物最終處置候選場址選定後，適時銜接場址調查作業之準備。所建立之資料庫包含：地質資料庫、文件搜尋與管理系統設計與建置、地質資料 GIS 系統、三維地質模型建置分析與評估及展示系統等。

低放射性廢棄物難測核種分析技術精進	100.1~102.1	本計畫配合目標核種適合儀器之前處理技術開發及改良，搭配不同放射性核子儀器度量技術，進行方法開發、測試及實際樣品分析，並作相互比較以確認方法正確性及結果可信度，可應用於低放射性水泥固化體分析。
蘭嶼貯存場廢棄物桶核種濃度評估計算與分類資料庫建立(第二期)	99.1~103.1	本計畫完成蘭嶼貯存場水泥固化桶、重新固化桶、柏油固化桶及固化重裝容器之分類工作，及建立蘭嶼貯存場廢棄物桶核種濃度計算與分類結果電腦資料庫。
耐 100 年結構完整性之混凝土處置容器研究	99.9~102.9	本計畫以建立混凝土品質檢驗技術、耐久性評估技術、模具拆裝設計、容器結構完整性檢驗技術、混凝土雙軸式攪拌系統工程設計與建造能力，以及容器製作，達成一般容器使用申請及耐 100 年結構完整性之混凝土處置容器使用申請為主要工作成果。
低放射性廢棄物最終處置工程障壁中緩衝回填材料調查評估技術服務工作	102.1~104.1	本計畫完成後，可瞭解國際現有低放處置場之工程障壁材料之力學及化學等特性；並得到台灣本土可作為工程障壁材料之料源調查結果，提出適合台灣低放射性廢棄物最終處置場之工程障壁材料種類、力學、化學及回填材料與緩衝材之配比結果。
低放射性廢棄物潛在場址之微生物核種吸附與工程障壁腐蝕安全影響評估	101.8~104.8	本工作計畫就本土海島氣候環境，建立建議候選場址之本土微生物資料，進行微生物影響安全性評估。包括取得建議候選場址之本土微生物、測試其對核種之吸附能力、於緩衝材料中之生長能力、對低放射性廢棄物水泥固化體及廢棄物桶等工程障壁之分解效應，以評估對低放射性廢棄物最終處置建議候選場址之使用年限安全穩定性及可能造成環境影響之衝擊性。

低放射性廢棄物最終處置設施功能評估	102.8.9~105.7.23	本案工作目標為對於放射性核種在低放處置設施近場混凝土障壁及緩衝回填材料，遠場處置母岩及地質圈所形成之多重障壁系統中的傳輸途徑，進行整體分析研究，進而評估生物圈所接收的輻射劑量與風險，以確保低放射性廢棄物最終處置場設立不會對周圍生物圈造成輻射影響。
低放射性廢棄物資料庫系統精進案	103.12~105.12	本案工作內容，主要為台電公司低放固化桶之分類計算精進，以及強化原有資料庫功能，包含提升資料即時性、納入貯位資料與整桶計測資料、修訂電廠難測核種比例因數計算機制等相關資料庫精進，完成「低放射性廢棄物資料庫系統」。
低放射性廢棄物最終處置技術發展整合規劃與評估	103.9~107.6	本案工作目標為針對我國低放射性廢棄物最終處置之廢棄物特性、場址特性調查、處置設施設計、設施營運、封閉監管與安全分析等處置相關工作項目，說明我國設置低放射性廢棄物最終處置設施所需之各項技術能力，並完成低放射性廢棄物最終處置技術評估報告(LLWD 2016 報告)，並藉由國際同儕審查，提升處置技術評估之公信力，強化民眾與各界對於我國建置低放射性廢棄物最終處置設施之信心。

台電公司執行中計畫前階段(108 年 2 月至 108 年 7 月)執行成果重點表  
列如下：

計畫名稱	全案期程	工作成果概要
低放射性廢棄物最終處置技術精進計畫	107.3~111.2	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 更新建議候選場址之特徵化模型：歸納國際場址特徵化之程序方法與驗證方法，並藉由水文地質特徵模型的建置與驗證程序等實際操作，論證其可靠性。所得之成果經系統化歸納與評估後，進而訂定適用於我國低放射性廢棄物處置場址之場址特徵化的作業原則。</li> <li>2. 核種吸附實驗：完成 Co、Cs、Ni、Sr、I、C 等核種的動力試驗和平衡試驗。</li> <li>3. 膨潤土參數實驗與界面特性分析：蒐集國際間有關 KV-1 膨潤土基本參數實驗的研究成果、膨潤土採購與膨潤土試體製作、依據 ACI 349-01 規範進行混凝土配比設計與試體製作、膨潤土基本參數試驗、膨潤土基本性能試驗等。且完成部分膨潤土材料的基本化性及物性試驗。</li> <li>4. 膨潤土飽和循環條件下的材料參數變化研究：膨潤土採購、訂製試驗所需模具、試體製作，以及開始進行電滲加速試驗和乾溼循環試驗，同時針對電滲加速試驗完成之試體，開始進行自由回脹、回脹壓力與水力傳導度試驗。</li> <li>5. 膨潤土材料施工方法研究：利用壓製法、澆置法和夯實法等 3 種施工方法製作試體，並進行抗壓強度、彈性模數、水力傳導度等相關特性試驗。</li> </ol>

		<p>6. 處置坑道力學特性分析：參考蘇花改南迴安朔-草埔隧道計畫、工研院小丘等區域地質資料以及坑道分析案例，選定分析模擬所採用之材料參數、支撐系統與施工順序，並採用 FLAC3D 有限差分程式，分析坑道交叉段與坑道間距之坑道力學特性影響。</p> <p>7. 地震影響研究與情節建立：蒐集場址半徑 100 公里內之斷層分布、地震目錄、孕震構造文獻及地動預估式文獻資料，推求對場址有影響之所有可能震源位置、地震規模和震源發生率。本計畫之相關研究成果已併入「低放射性廢棄物最終處置計畫執行成果報告(107 年 8 月至 108 年 1 月)」附錄，於 108 年 2 月提報主管機關備查，並於 6 月 19 日接獲主管機關函復同意備查。</p>
<p>低放貯存場低放射性廢棄物計測暨取樣分析技術服務</p>		<p>108 年 2 月 25 日通知核研所開工後，承包商核研所進行入場實際作業前之計測、取樣設備施作。</p>

## 二、現階段(半年)執行之具體工作項目與成果

台電公司本階段(108 年 8 月至 109 年 1 月)執行工作，主要工作為持續辦理近年所規劃之低放處置技術相關研究發展案，包括：

### (一)「低放射性廢棄物最終處置技術精進計畫」

#### 1. 場址特徵化技術發展與實驗

##### (1) 更新建議候選場址之特徵化模型

本階段針對 2 處建議候選場址彙整裂隙特徵相關參數，分析與檢討既有裂隙位態、裂隙長度、裂隙開口寬、裂隙強度及裂隙導水特性等參數之統計模型。另外，於今年至達仁鄉建議候選場址進行小型補充調查，以初步取得部分離散裂隙網路模擬分析所需之裂隙參數，包含裂隙強度 P21 及裂隙長度，並補充包含靠近場址尺度範圍邊界之露頭裂隙參數，此項工作目前正持續進行中。

## (2) 核種吸附參數模擬

本工作以 C、Co、Cs、Ni、Sr 和 I 等 6 個重要核種為目標，先針對目前概念設計中採用之混凝土材料、膨潤土材料(MX-80 與 KV-1)、2 處建議候選場址之母岩，以及 2 處建議候選場址環境特性(如地下水水質、溫度等)，蒐集與 6 個核種有關之化學反應式與平衡常數。配合核種吸附模擬工作本計畫現階段對於核種資料庫之蒐集已完成，已新增蒐集日本核燃料開發機構(Japan Atomic Energy Agency, JAEA)之核種遷移資料庫、瑞士國營放射性廢棄物處置公司(National Cooperative for the Disposal of Radioactive Waste, Nagra)之核種吸附資料庫、美國勞倫斯利佛摩國家實驗室(Lawrence Livermore National Laboratory, LLNL)之核種遷移資料庫以及 THERMODDEM 熱力學資料庫等資料庫納入報告中。此外，亦針對 2 處建議候選場址所取得之環境背景資料、混凝土材料以及膨潤土材料(MX-80 與 KV-1)，進行化學組成分析，相關試驗仍在進行中。

依據物管局「低放射性廢棄物最終處置 108 年度工作計畫書」審查會議之會議決議，台電公司於 108 年 3 月底前，就現階段只規劃採用 6 個核種進行吸附實驗，是否足以代表「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」附表一與附表二所列核種，提出研析報告。前述研析報告結論如下：低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則中需考量之核種為 C、Ni、Nb、Tc、I、Pu、Cm、H、Co、Sr、Cs，透過國內外吸附實驗研究成果資料庫的彙整得知，H 核種在不同材料之分配係數皆為 0 L/kg，因此可考量直接採用其數值，不需再進行吸附實驗；而 C、

Co、Cs、Ni、Sr、I 已納為本期計畫之吸附實驗對象；Pu 與 Cm 則係因為射源與同位素無法取得，故現階段無法以實驗加以掌握；Tc 與 Nb 由於變異性較大，本公司已於 109 年另以 Tc 和 Nb 核種之同位素進行相關吸附實驗，藉此掌握 Tc 與 Nb 核種在我國低放處置場環境的吸附特性，此項工作正積極進行中，將於 110 年完成有關試驗。

「核種吸附參數模擬」預計於 109 年 12 月底完成，且在此項研究中需比較安全評估程式 GoldSim 運用核種吸附實驗參數進行核種遷移模擬，與功能評估程式 Hydrogeochem 運用核種吸附模擬參數進行核種遷移模擬，兩者間之差異。故在 Tc 和 Nb 核種吸附實驗未完成前，無法將此 2 個核種納入一併模擬。未來待 Tc 和 Nb 核種吸附實驗完成後，視情況更新「核種吸附參數模擬」報告，或納入下一階段之研究中執行。

## 2. 精進工程障壁系統功能評估技術

### (1) 膨潤土參數實驗與界面特性分析

本階段已完成膨潤土材料基本參數試驗，目前正以 3 種乾密度、2 種膨潤土/砂石添加比例製作試驗用之 KV-1 膨潤土試體，進行自由回脹、定體積回脹壓力與水力傳導度等 3 個主要基本性能試驗，藉此評估 KV-1 膨潤土用於低放射性廢棄物最終處置場阻水層材料之功能性質，同時也將相同配比之 KV-1 膨潤土試體進行抗壓強度與彈性模數試驗，掌握阻水層材料受載重後之抗壓能力與變形狀況，相關試驗仍在進行中。

### (2) 膨潤土飽和循環條件下的材料參數變化研究

本階段主要針對乾溼循環試驗與電滲加速試驗完成之膨潤土試體，以海淡水、酸鹼性溶液進行自由回脹、回脹壓力與水力傳導度試驗，藉此模擬膨潤土阻水層經歷乾溼循環或長期與混凝土障壁交互作用後，海淡水入侵至處置場使障壁材料成為飽和狀態的情形，同時也透過鹼性環境模擬混凝土溶出失鈣對膨潤土阻水層的影響，並設計酸性環境進行對

照，以瞭解膨潤土阻水層經環境演化、交互作用後的障壁功能變化，相關試驗仍在進行中。

### (3) 坑道開挖影響與工程對策

本階段主要工作為蒐集與彙整國內外各種隧道(含海底隧道等)或坑道施工方法，及該方法對隧道或坑道對所處岩體造成之物理特性變化。並根據 2 處建議候選場址的地形與地質特性，採用數值分析方法，分別以 FLAC3D 與 3DEC 等軟體，進行連續體與不連續體的數值模擬；並研析處置場建造過程中，坑道開挖可能面臨之困難，與可能採用之應對工程措施。

## 3. 強化安全分析技術

### (1) 低放處置場風險評估研究

本階段執行之工作主要為評析國際間低放處置安全評估風險分析案例，建構我國 2 處建議候選場址安全評估風險分析方法與模型。後續將再針對所設計之處置系統進行系統性風險辨識，包含分析處置系統之風險來源(成因)、風險之潛在影響(後果)，以及可能之風險處理方式，再據以進行風險分析。

### (2) 安全評估模式鏈應用探討

本階段執行之工作係將安全評估中的分析項目與資料分為氣候、廢棄物、近場、遠場和生物圈等 5 大類，並利用各分析項目和資料間的交互串聯，建立安全評估模式鏈，以及彙整輸入或輸出數據。

## 4. 建立處置需求管理系統與資料庫

此工作項目可分為處置需求管理系統(Requirement Management System, RMS)和處置需求管理系統操作與維護手冊(含系統程式碼)、特徵

/事件/作用資料庫、場址特性參數資料庫等 3 部分，其關聯性如圖 2-1 所示，本年度執行之工作內容分別說明如下：

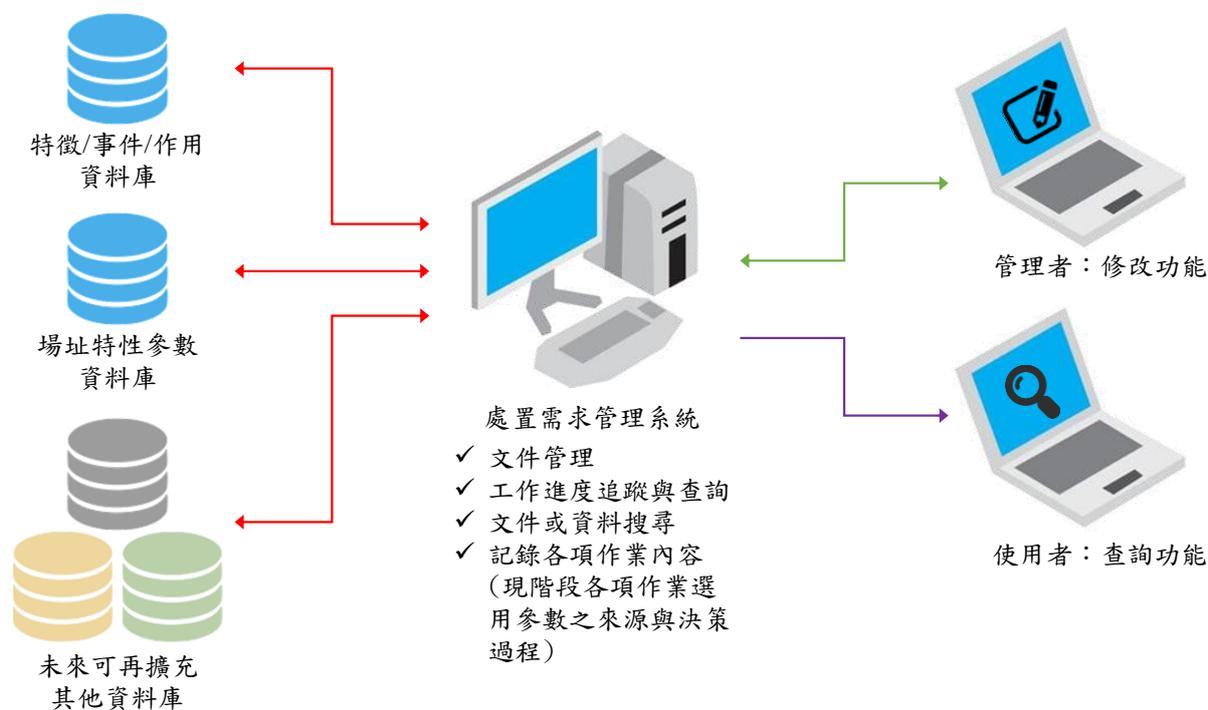


圖 2-1 處置需求管理系統與資料庫之關聯性示意圖

(1) 處置需求管理系統和處置需求管理系統操作與維護手冊(含系統程式碼)

本階段執行之工作主要為研析 RMS 與各資料庫結合、串聯之方式，及評估可能採用的程式語言。

(2) 特徵/事件/作用資料庫

本階段執行之工作主要為針對專家座談會討論議題進行 FEPs 篩選與相關修正或調整。現階段達仁鄉建議候選場址之「FEP 1.2.10 水文與水文地質對地質變化的反應」，假設垂向水力傳導係數大於水平向水力傳導係數，並考量參數的不確定性，在替代情節中假設垂向水力傳導係

數等於水平向水力傳導係數。鑒於現階段無法執行鑽孔與水力試驗調查，2019年12月12日召開之低放場址地質環境FEPs討論會，旨在透過邀請國內地質與水文地質之學者專家，協助從構造地質的角度出發，探討均質區的分區，進一步研析達仁鄉建議候選場址的FEPs主要外部因子之一：水文地質，以供後續精進水文地質判釋，分區設定更符合現地構造特徵的不同方向之水力傳導係數。本次會議確認在取得水文地質試驗資料之前，可初步依構造地質判釋地質均勻區，並輔助初步劃分水文地質均勻區的流程架構。並確認達仁鄉建議候選場址經歷四個應力擠壓階段(事件)，各階段的應力方向與影響程度不同(作用)，進而引發地質變化並影響場址的水文地質(特徵)。達仁鄉建議候選場址的場址尺度褶皺與不連續面以第三期往東伸向之特徵為主，現階段除了場址尺度不連續面的延伸性與方向性需補充調查，其餘的尺度比場址尺度更小的構造，亦有待進一步辨識，以釐清水文地質受該地質特徵的影響性。會議中討論到的未來建議工作包含：(1)驗證推測之潛在地質屬性邊界。(2)確認各構造階段的主裂隙特性與分區。(3)辨識各區岩層受構造作用的變形特徵。(4)分析地表礦物特性，確認主要的變質溫度與構造階段。

### (3) 場址特性參數資料庫

本階段執行之工作主要為評估場址特徵化參數相關程式碼，以及資料庫之呈現方式。

## 5. 低放處置場運轉規劃

### (1) 低放射性廢棄物最終處置場廢棄物接收規範

本階段執行之工作主要為閱讀英國處置場、瑞典處置場與美國德州處置場之接收規範，研析國外處置場接收規範之撰寫方式與考量。盤整現階段處置場運轉規劃與安全評估成果，轉化成處置場接收規範內容，確保接收之廢棄物符合處置場之處置需求與長期安全。

### (2) 低放處置設施結構、系統與組件具體規劃

本階段執行之工作主要為蒐集與彙整國際間低放處置場針對處置場安全具重要性之結構、系統與組件(Structures, Systems, and Components, SSCs)相關資料，建立適用於我國低放處置設施之 SSCs 研判方式。並依據我國 2 處建議候選場址之設計概念與處置場運轉規劃，評估可能發生的意外事件與後果，決定各 SSC 對處置安全的重要性，依此將 SSCs 進行分級。

## 6. 低放處置技術精進評估

本階段之工作主要為針對「低放射性廢棄物最終處置建議候選場址特性調查報告」、「低放射性廢棄物最終處置建議候選場址處置設計與工程技術報告」與「低放射性廢棄物最終處置建議候選場址安全評估報告」等支援報告以及「低放射性廢棄物最終處置技術精進評估報告」進行翻譯作業，並於 109 年 1 月提出上述英文報告初稿。

## 7. 同儕審查

國內同儕審查係由國立清華大學籌組審查小組，針對「LLWD 2020 報告」以及場址特性、工程設計和安全分析等 3 本技術支援報告進行相關審查作業。國內同儕審查先於 108 年 11 月召開審查範疇界定會議，隨後由各委員針對其所專長之領域進行審查，並於 108 年 12 月舉行國內同儕審查會議。

本案至 109 年 1 月底已完成全案約 71.72%，工作項目及進度皆符合原訂目標。

### (二)低放貯存場低放射性廢棄物計測暨取樣分析技術服務

本案工作目標針對低放貯存場自產廢棄物與超 C 類固化桶進行整桶計測作業，並且進一步針對難測核種活度值異常之超 C 類桶進行取樣分析，

用以提升低放射性廢棄物分類計算結果之可靠度，並針對自產廢棄物適用之處置方式進行研究，俾利低放最終處置計畫。主要之工作項目包括：

1. 針對低放貯存場自產廢棄物進行整桶計測作業。
2. 針對低放貯存場 138 桶超 C 類固化桶，進行整桶計測作業以及進行取樣作業。
3. 針對前項工作中自超 C 類固化桶所取之樣品，進行難測核種放化分析作業，並依分析結果建立難測核種比例因數。
4. 依據低放貯存場自產廢棄物整桶計測作業成果，進行低放貯存場自產廢棄物分類計算及處置方式之研究。
5. 依據低放貯存場超 C 類固化桶之整桶計測作業與取樣分析結果，進行低放固化桶之分類計算精進研究。

本案於 106 年 12 月 26 日與核能研究所完成議價、決標作業。後續為因應蘭嶼重裝案之契變，於 108 年 8 月至 109 年 2 月辦理契變延長總工期，並調整超 C 類桶計測暨取樣及自產廢棄物整桶計測工項之完工期限，其餘工項則依序順延。

本案目前已將設備運入蘭嶼低放貯存場，承商核研所預計於 109 年 6 月將設備運至鋼構 B 就定位，並進行設備配電、接電及運轉測試等前置作業，另預計於 109 年 8 月開始進行自產廢棄物計測作業，後續超 C 類工項則預計於 109 年 12 月開始作業。

### **(三)低放射性廢棄物最終處置計畫(選址階段)專案品質保證計畫**

低放專案品質保證計畫本階段(108 年 8 月至 109 年 1 月)工作計畫執行檢討如下：

1. 本品保計畫係適用於「選址階段」，而低放處置計畫目前仍是處於此階段，故本品保計畫仍適用。

2. 台電公司於執行低放處置計畫時，皆能依循本專案品質計畫，確保作業品質；台電公司核能安全處並於 108 年 10 月 14 至 18 日辦理核安定期稽查。
3. 「低放射性廢棄物最終處置計畫(選址階段)專案品質保證計畫」修訂第 9 版於 108 年 3 月 26 日獲主管機關同意備查。台電公司於 109 年 2 月依據其第 2 章規定每年應檢討 1 次，刻正開始檢討及修訂。

### 三、執行成效、檢討及下階段工作要項

本階段(108 年 8 月至 109 年 1 月)工作執行成效與檢討：

計畫名稱	執行成效與檢討
低放射性廢棄物最終處置技術精進計畫	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 承商於 108 年 9 月底提送「安全評估模式鏈數據研析」報告初稿。</li> <li>2. 承商於 109 年 1 月底提送「低放射性廢棄物最終處置技術精進評估報告(英文版)(送同儕審查)」、「低放射性廢棄物最終處置建議候選場址特性調查(英文版)」、低放射性廢棄物最終處置建議候選場址處置設計與工程技術(英文版)」及「低放射性廢棄物最終處置建議候選場址安全評估報告(英文版)」報告初稿。</li> <li>3. 承商均依照契約規定期限內提交報告，符合計畫工作要求。</li> </ol>
低放貯存場低放射性廢棄物計測暨取樣分析技術服務	本計畫於 106 年 12 月 26 日與核能研究所完成議價、決標作業。本階段主要為 108 年 2 月 25 日通知核研所開工，後續將依時程進入低放貯存場實際作業。
低放射性廢棄物最終處置計畫(選址階段)專案品質保證計畫	台電公司核能安全處已於 108 年 10 月 14 至 18 日辦理核安定期稽查作業。未來亦將依據「低放射性廢棄物最終處置計畫(選址階段)專案品質保證計畫」，持續辦理相關品質稽查作業。

台電公司下階段(109 年 2 月至 109 年 7 月)，主要將持續辦理現階段執行之各項計畫，並將依據「低放射性廢棄物最終處置技術建置計畫」之規劃

辦理相關技術精進作業，並完成辦理「LLWD 2020 報告」國際同儕審查會議，以提升我國低放射性廢棄物最終處置技術之公信力。

### 第三章 處置設施選址計畫

低放射性廢棄物最終處置計畫於選址過程中，應執行之工作內容包括選址公投、場址調查及環境影響評估等工作。本階段(108年8月至109年1月)2處建議候選場址縣政府尚無法配合主辦機關經濟部辦理地方選址公投，未能選定候選場址，致相關後續作業仍無法執行。

#### 一、過往執行成果重點

「場址設置條例」於95年5月24日公布施行後，主辦機關經濟部依條例第6條規定會商主管機關同意，於95年7月11日指定台電公司為選址作業業者，依條例規定選址作業業者須提供選址小組有關處置設施選址之相關資料，並執行場址調查、安全分析、公眾溝通及土地取得等工作，台電公司並配合主辦機關辦理選址相關事項及依條例第20條規定接續辦理原依放射性物料管理法等相關法規執行低放射性廢棄物最終處置計畫之選址工作。

「場址設置條例」第7條規定「選址小組應於組成之日起六個月內，擬訂處置設施選址計畫，提報主辦機關。」台電公司作為選址作業業者乃依經濟部指示於95年10月31日研提「低放射性廢棄物最終處置設施場址選址計畫」草案陳報經濟部國營會，送請選址小組審查，並遵照選址小組審查意見於95年12月28日將修訂之選址計畫草案再送國營會，經濟部續於96年1月25日召開選址小組第2次委員會議進行討論，台電公司遵照委員意見修訂完成選址計畫，由選址小組依前述規定提報主辦機關經濟部，經濟部則於96年3月21日將選址計畫刊登於行政院政府公報並上網公告1個月，並經會商主管機關及相關機關意見後，核定於96年6月20日生效。

經濟部依據「場址設置條例」完成選址計畫公告與核定後，選址小組則依據「場址設置條例」與選址計畫，以台灣全部地區為範圍進行潛在場址篩選，首先依據「場址設置條例」第4條規定及原能會發布之「低放射性廢棄物最終處置設施場址禁置地區之範圍及認定標準」與其他法規規定之禁止與限制開發條件，篩選出符合之可能潛在場址，再由選出之可能潛在場址依環境接受度、接收港條件、陸運環境、處置場設施所需空間、特殊地質條件以

及處置方式等因子進行評量，評選出較佳之可能潛在場址。台電公司除提供選址小組前述有關處置設施選址之相關資料外，並執行選址小組 96 年 10 月 23 日第 4 次委員會議初步同意之可能潛在場址其地球化學條件(地下水體氫離子濃度指數與地質介質對鈷及銻之分配係數)調查及分析，以作為選址小組票選潛在場址之參考依據。

主辦機關經濟部於 97 年 8 月 19 日召開選址小組第 8 次委員會議票選潛在場址，選址小組針對評量較佳之可能潛在場址，再考量相關因子評量結果後，順利票選出「臺東縣達仁鄉」、「屏東縣牡丹鄉」及「澎湖縣望安鄉」等 3 處潛在場址，並將票選結果提報經濟部，經濟部於 97 年 8 月 29 日核定公告。

台電公司續依經濟部規劃之選址作業期程，積極辦理建議候選場址遴選作業相關配合工作，如配合辦理選址小組委員於 98 年 2 月 9、10 日赴臺東縣達仁鄉、屏東縣牡丹鄉等 2 處潛在場址現勘及依 98 年 1 月 20 日選址小組第 10 次委員會議結論修訂「建議候選場址遴選報告」，於 98 年 2 月 13 日完成「建議候選場址遴選報告(修訂版)」供選址小組委員參考，選址小組於 2 月 20 日召開第 11 次委員會議，票選結果建議以「臺東縣達仁鄉」與「澎湖縣望安鄉」為建議候選場址，台電公司並依票選結果及該次會議決議完成「建議候選場址遴選報告」定稿本送選址小組委員確認，選址主辦機關經濟部於 98 年 3 月 17 日依法將「建議候選場址遴選報告」公開上網及陳列 30 日(期間自 98 年 3 月 18 日起至 4 月 16 日止)。

公告期間經濟部共收到各界意見 140 件，其中有條件贊成者 1 件、涉及法律層面意見者 4 件、不具理由反對者 37 件及具理由反對者 98 件。主管機關原能會於 98 年 5 月 25 日發函經濟部洽前述各界意見之答覆情形，並請經濟部將各界意見答覆初稿會商相關機關，經濟部於 6 月 1 日函復原能會將督導台電公司積極辦理，故後續台電公司依據經濟部彙整各界意見之來函，研擬答覆初稿於 6 月 18 日函復國營會轉陳經濟部。經濟部於 7 月 9 日將各界意見會商主管機關原能會及相關機關，另指示台電公司研擬答覆原能會對建議候選場址遴選報告各界意見答覆初稿之評議意見並修訂答覆初稿內容，台

電公司完成後於 7 月 30 日函復國營會轉陳經濟部。經濟部並於會商主管機關與各相關機關意見後於 11 月 12 日逐項答復意見採納情形。

台電公司於莫拉克颱風(98 年 8 月 8 日)後，前往台灣本島東南部潛在場址與其他較佳可能潛在場址勘查，並於 9 月 18 日研提勘查評估報告陳報主管機關，經勘查確認場址範圍內未曾遭受地層崩塌滑動、侵蝕、洪水、土石流等災害，勘查評估結果顯示，前述場址地區環境相對穩定，並未受到豪雨之不利影響，場址評選時將地質、水文等因素納入考量，評估結果正確性獲得驗證。

經濟部原規劃於 98 年 12 月底前核定公告「建議候選場址」，惟因澎湖縣政府於 98 年 9 月 15 日公告將望安鄉東吉嶼大部分私有土地一併納入為「澎湖南海玄武岩自然保留區」，並經該管主管機關行政院農業委員會於 9 月 23 日核備。依「文化資產保存法」規定，該保留區禁止改變或破壞其自然狀態，造成僅存 1 處「臺東縣達仁鄉」場址之情況，嗣經經濟部函請原能會釋明應核定公告 2 處以上「建議候選場址」，方符合「場址設置條例」規定，致未能依原訂規劃期程於 98 年 12 月底前辦理核定及公告作業。經濟部於 99 年 1 月 26 日召開選址小組第 12 次委員會議，研商補足「建議候選場址」之處理方案，經委員決議將選址作業退回至潛在場址篩選階段重新辦理。後續選址小組於 3 月 8 日第 13 次會議，經檢視相關法規條文修訂及法規公告區域更動情形，確認其餘可能潛在場址仍符合資格，並同意新增 1 處較佳可能潛在場址；於 5 月 31 日召開第 14 次會議討論選址作業提報各較佳可能潛在場址之調查資料與評比說明，99 年 7 月 13、15 日並至新增之較佳可能潛在場址勘查。

經濟部於 99 年 9 月 1 日召開選址小組第 15 次會議，經出席委員三分之二以上之投票同意，票選出「臺東縣達仁鄉」、「金門縣烏坵鄉」等 2 處潛在場址，經濟部並於 9 月 10 日公告。台電公司即就公告之 2 處潛在場址辦理場址遴選作業資料蒐集與彙整，並沿用或更新社經因素、場址環境因素與工程技術因素等評量因子之資訊，就各潛在場址特性進行評量，分析說明評估結果，並依 100 年 2 月 25 日選址小組第 16 次委員會議結論修訂「建議候選

場址遴選報告」。經濟部續於3月21日召開選址小組第17次會議，經出席委員三分之二以上之投票同意，票選建議「臺東縣達仁鄉」與「金門縣烏坵鄉」為建議候選場址，台電公司則依票選結果及該次會議決議完成「建議候選場址遴選報告」定稿本送選址主辦機關，經濟部於100年3月29日依法將「建議候選場址遴選報告」公開上網及陳列30日(期間自3月29日起至4月27日止)。

「建議候選場址遴選報告」公開上網及陳列期間，經濟部共收到13件(76項)意見，其中具理由反對有11項，提出建議意見有12項，提出質疑意見有53項。台電公司依據經濟部彙整各界意見來函，研擬意見答復初稿於100年5月23日函復國營會，國營會於6月1日函示，鑒於日本福島核電廠事故後，社會各界關切核能安全議題，請台電公司就核安相關意見併同「核能電廠安全防護總體檢評估報告」重擬相關答復資料。台電公司遵照指示及參照「核能電廠安全防護總體檢評估報告」內容，補充相關答復資料於100年7月8日提報國營會，由國營會洽商主管機關與相關機關(包含選址小組票選建議之建議候選場址所在之地方政府)，至101年2月始獲得最後一機關之回復意見。經濟部參酌各機關回復意見，於101年3月7日正式答復各界對「建議候選場址遴選報告」所提意見，後續台電公司於101年5月19日陪同經濟部林前次長赴金門縣烏坵鄉現勘，並與烏坵鄉鄉長及當地居民溝通選址作業及後續公投工作，及於101年5月8日及5月21日陪同經濟部林前次長分別拜會臺東縣及金門縣地方首長，洽談有關核定公告建議候選場址相關事宜。國營會續於101年5月24日向經濟部長簡報低放選址作業核定公告建議候選場址議題，經濟部於101年7月3日核定公告建議候選場址。後續主辦機關於101年8月17日函請建議候選場址所在地方政府同意接受委託辦理公投選務工作。惟兩地縣政府分別於同年9月26日及10月9日函復對於選址公投尚有意見，均未同意接受委託辦理公投。

台電公司於101年10月30日提報「低放射性廢棄物最終處置102年工作計畫」送主管機關審查。主管機關於101年11月27日提出第1次審查意見，台電公司依據審查意見於101年12月10日研提修訂版函復主管機關，

後續主管機關於 101 年 12 月 24 日召開「低放射性廢棄物最終處置計畫-102 年度工作計畫」審查會議，台電公司就會議紀錄及審查意見於 102 年 1 月 29 日研擬答復說明及計畫修訂 2 版提報主管機關，台電公司依據主管機關於 102 年 2 月 6 日就 102 年度工作計畫修訂 2 版函復之要求，應依 101 年 12 月 24 日之審查會議決議事項，切實執行年度工作計畫，俾各項工作品質及成效能確保低放處置計畫依時程切實推動。該次會議決議有關請台電公司於 102 年 2 月底前提報充實低放最終處置專職人力之具體規劃部分，台電公司已於 102 年 2 月 22 日提報「最終處置專職人力具體規劃」送主管機關審查，主管機關於 2 月 27 日函復，請台電公司參酌國際處置專責機構之人力配置及規模，儘速加強充實，俾最終處置計畫依計畫時程切實推動。

台電公司依據國營會 101 年 12 月 17 日經國二字第 10100200630 號函，提報辦理選址公投選務工作所需人力、經費等資料，於 102 年 1 月 2 日送國營會。

台電公司於 102 年 2 月 26 日陪同經濟部梁政務次長等長官赴臺東縣達仁鄉建議候選場址現勘及簡報說明場址初步規劃設計(包括處置坑道佈置設計、低放廢棄物專用接收港配置設計、專用道路規劃設計、輔助區規劃與營運概念等)、場址地質等條件(包括處置區岩性及年代、斷層距離、地震與海嘯影響等)與周邊環境狀況。

台電公司於 102 年 3 月 4 日參加經濟部邀集原能會、內政部及中選會召開之「低放射性廢棄物最終處置設施場址公投評估研商會議」討論低放選址公投相關議題，會議結論為「(一)本案低放選址地方性公投與核四公投因二者議題、範圍、性質、法源、法定主辦機關不同，如合辦於法律面及實務面存在諸多疑義，且鑑於本案恐將使得核四公投案更趨複雜，經相關主管部會研商仍無共識，將提報行政院核四專案小組會議研商，並由經濟部賡續研議；(二)經濟部仍將督同台電公司持續進行台東及金門縣之溝通工作，以爭取 2 縣民眾之支持。」但對於場址公投辦理方式尚未有具體結論，致處置計畫書之選址作業時程仍有不確定因素。台電公司爰提報修正處置計畫書，將主辦機關辦理之場址公投時程採浮動方式提報，惟未獲主管機關原能會同意。且

臺北高等行政法院 107 年 4 月 11 日(106 年度訴字第 1242 號)判決書，明確指出「辦理地方性公民投票階段，負有行政法上義務者實為地方性公民投票之主管機關即臺東縣政府與金門縣政府……然原告既無地方政府之監督權責……。」

台電公司於 102 年 10 月 29 日將 103 年度工作計畫提報物管局審查，並於 102 年 11 月 14 日參加物管局召開之「放射性廢棄物最終處置計畫-103 年度工作計畫」審查說明會會議簡報年度工作計畫內容。台電公司依據 103 年度工作計畫修訂二版及物管局 102 年 11 月 18 日「放射性廢棄物最終處置計畫—103 年度工作計畫」審查說明會會議紀錄，與 102 年 12 月 26 日來函「低放射性廢棄物最終處置 103 年工作計畫」之審查結論辦理與選址計畫相關工作。審查結論其中有關「請強化處置計畫之「替代/應變」方案，並研提具體可行之方案。」部分，台電公司已於 102 年 10 月 1 日第 124 次放射性物料管制會議簡報「替代/應變方案」，並依第 125 次放射性物料管制會議紀錄，「於送請經濟部審核及行政院民間與官方核廢料處理協商平台研討後，再行提報主管機關。」辦理相關簡報準備事宜。經濟部為順利推動低放射性廢棄物最終處置設施選址作業等業務，於 102 年 11 月 18 日以任務編組方式成立核廢料處理專案辦公室，主要負責辦理放射性廢棄物營運專責機構之籌設、研訂放射性廢棄物營運相關政策暨執行策略工作。台電公司於 103 年 1 月 24 日會同該專案辦公室赴物管局討論低放選址替代/應變方案。後續主管機關於 103 年 3 月 20 日第 126 次放射性物料管制會議第 661 議案決議「請台電公司妥善規劃本案，並於送請行政院民間與官方核廢料處理協商平台研討後，再行提報本局。」台電公司在經濟部核廢料處理專案辦公室督導下，準備行政院民間與官方核廢料處理協商平台第 4 次會議之簡報(低放射性廢棄物最終處置計畫替代/應變方案)。行政院原訂 4 月 30 日召開第 4 次協商平台會議，因民間團體召開記者會，聲明退出平台會議，故無法依據第 126 次會議決議辦理。

主管機關於 103 年 6 月 19 日召開第 127 次放射性物料管制會議，就第 661 議案決議「由於行政院民間與官方核廢料處理協商平台之後續運作尚難

預測，請台電公司依第 124 次會議決議，於 7 月底前提報本局，提報之替代/應變方案，應有明確之規劃時程；可參考美國藍帶委員會(Blue Ribbon Committee, BRC)或台電公司高放處置計畫應變方案之作法。」台電公司依據此項決議，於 103 年 7 月 30 日以電核端字第 1038060805 號函向主管機關提出「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)第 10 章替代/應變方案之強化修正」後，主管機關於 103 年 8 月 12 日以物三字第 1030002133 號函，要求台電公司將前述替代/應變方案併入「低放射性廢棄物最終處置計畫書」，台電公司遂於 103 年 8 月 19 日以電核端字第 1030016757 號函將「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)Rev.3」提報主管機關，並於 103 年 9 月 9 日獲主管機關核備。且後續台電公司依據主管機關 104 年 4 月 21 日物三字第 1040010487 號函，將低放射性廢棄物最終處置計畫(選址階段)專案品質保證計畫併入「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)Rev.4」提送主管機關，並於 104 年 5 月 12 日獲主管機關核備。

經濟部續於 105 年 5 月 5 日依據立法院第 9 屆第 1 會期經濟委員會第 8 次全體委員會議決議，函請臺東及金門二縣政府同意接受委託辦理法定低放場址地方性公民投票選務工作，分別於 105 年 5 月 18 日、7 月 29 日獲金門縣政府及臺東縣政府回函表示未予同意，後續台電公司將配合經濟部指示持續地方溝通。

台電公司前階段(108 年 2 月至 108 年 7 月)選址工作主要為依據「低放射性廢棄物最終處置 108 年度工作計畫(修訂 2 版)」及配合主辦機關經濟部，持續辦理民眾溝通工作。該計畫係規劃依照廣告文宣、議題管理、組織動員、調查研究、活動贊助、公益關懷等行動模組進行各類之行動方案。另，台電公司已協助主辦機關經濟部設置低放射性廢棄物最終處置官方網站(<http://www.llwfd.org.tw>)，該網站已就世界上主要運用核能科技國家之成功經驗進行說明，並刊載低放平面文宣、宣導短片、場址動畫等文宣作為溝通工作推展之輔助資料，以釐清民眾疑慮與增強對處置工作之信心。

處置設施選址計畫之過往執行成果重點時間圖如圖 3-1。

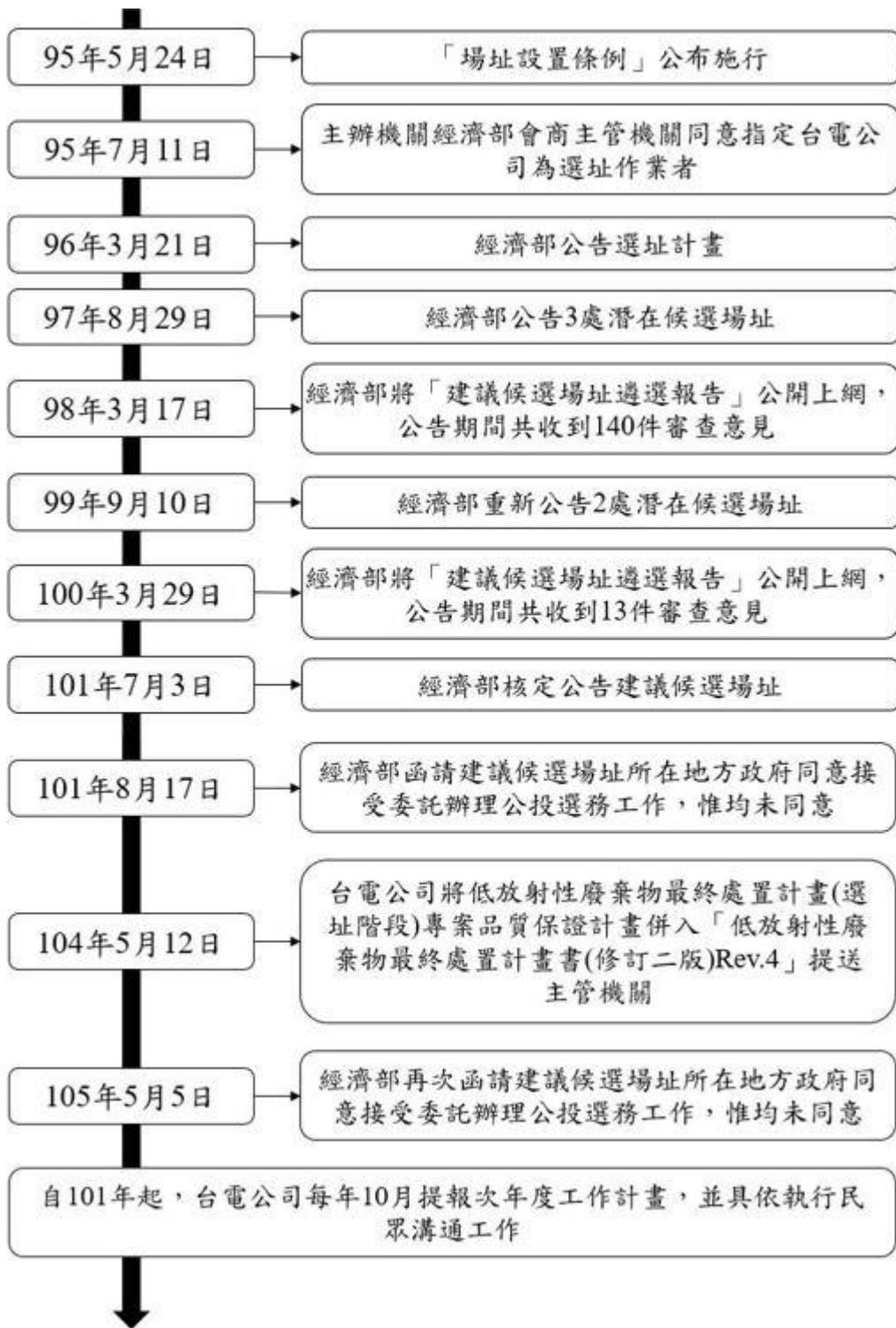


圖 3-1 處置設施選址計畫之過往執行成果重點時間圖

## 二、現階段(半年)執行之具體工作項目與成果

台電公司本階段依據低放射性廢棄物最終處置 108 年度工作計畫(修訂 2 版)，及配合主辦機關經濟部，持續辦理推動公投之民眾溝通工作。台電公司依據「場址設置條例」第 6 條規定，於主辦機關設置之網站，按季公開處置設施場址調查進度等相關資料，查核項目如下表所示：

計畫名稱/工作項目	查核點	查核項目/查核情形說明
低放選址作業資訊	108 年 10 月	提報選址作業資訊 / 於 108 年 10 月 9 日提報 108 年第 3 季選址作業資訊送國營會公布在主辦機關網頁
	109 年 1 月	提報選址作業資訊 / 於 109 年 1 月 10 日提報 108 年第 4 季選址作業資訊送國營會公布在主辦機關網頁

## 三、執行成效、檢討及下階段工作要項

現階段選址計畫主要工作為選址公投準備作業，因 2 處建議候選場址縣政府尚未同意經濟部委託辦理公投選務工作，主辦機關經濟部評估自辦公投確有困難事項待克服，致公投時程仍具有不確定性因素存在，台電公司除持續加強與縣政府、議會及地方民眾之溝通外，並依據「108 年度低放選址地方溝通工作計畫」進行公眾溝通；並依據「場址設置條例」第 6 條規定，於主辦機關設置之網站，按季公開處置設施場址調查進度等相關資料。

現階段最主要之具體工作即為地方溝通工作。其執行成效、檢討及下階段工作要項，敬請參考本成果報告第五章相關內容。

## 第四章 應變方案(集中式貯存)計畫

依據主管機關審查「低放射性廢棄物最終處置計畫-107年下半年執行成果報告」之審查意見編號 12 新增本章內容。

主管機關於 102 年 8 月 22 日「放射性物料臨時管制會議」，請台電公司於用過核子燃料最終處置計畫第二階段「候選場址評選與核定階段」結束時，若無法依時程順利提出候選場址，應啟動集中式乾式貯存設施計畫；又，主管機關考量低放射性廢棄物最終處置設施選址作業可能受到政治、社會、環境及地方民意等變數的影響，導致選址作業未能順利進行，故於 103 年 1 月 17 日以會物字第 1030001280 號函請經濟部督導台電公司，就低放最終處置計畫提出應變方案(集中式貯存設施規劃)。

台電公司依據主管機關之行政指導，並參考國際上使用核能發電國家如荷蘭、瑞士、比利時等國，其放射性廢棄物最終處置營運即採「先經集中式中期貯存後再進行最終處置」的策略，規劃推動興建一座放射性廢棄物集中式中期貯存場，用以中期貯存用過核子燃料及低放射性廢棄物，並俟未來銜接最終處置。

### 一、過往執行成果重點

台電公司依據主管機關之行政指導，並考量應變方案(集中式貯存)策略涉及之層面與範圍廣泛，有必要先進行可行性研究工作，故於 104 年 9 月 3 日啟動「放射性廢棄物最終處置應變方案可行性研究」案(下稱可行性研究案)。可行性研究案針對我國放射性廢棄物特性、中期貯存設施場址條件、設施初步設計、設施營運與初步安全分析等相關工作項目進行研究，台電公司於 105 年 9 月完成「放射性廢棄物最終處置應變方案可行性研究報告」(下稱「可行性研究報告」)，經初步評估，我國興建一處集中式貯存設施技術上係具備可行性。

依據主管機關核備之「低放處置計畫」(修訂二版)中有關應變方案部分，則述明將陳報經濟部同意後，啟動集中式貯存方案，故台電公司於 105 年 9

月 30 日將「可行性研究報告」陳報經濟部國營事業委員會(下稱國營會)轉陳經濟部。國營會於 105 年 10 月 14 日函請台電公司就該報告釐清、補正相關資料後再報；另，主管機關於 105 年 10 月 27 日就「可行性研究報告」函送意見予經濟部並副知台電公司，國營會爰於 105 年 11 月 2 日函請台電公司將主管機關所提意見與該會前開 105 年 10 月 14 日函一併妥處。台電公司遵照國營會指示辦理，將主管機關與該會所提意見一併妥處及修訂「可行性研究報告」。

另，物管局於 104 年 11 月 26 日召開「放射性物料臨時管制會議」，要求台電公司若未能於 105 年 3 月選定低放處置場址，應加強推動處置計畫書第 10 章之「替代/應變方案」，於 105 年 3 月底前提出實施策略規劃(包括重點內涵及規劃時程)，並於 105 年底前提報具體實施方案。台電公司爰依據前述會議要求，先於 105 年 3 月 25 日提出替代/應變方案之實施策略規劃，續就前開修訂之「可行性研究報告」內容於 105 年 12 月 14 日提出具體實施方案。

物管局於 106 年 1 月 11 日召開前開具體實施方案之審查會議，並於 106 年 1 月 17 日函送審查會議紀錄，請台電公司將具體實施方案送請行政院國家永續發展委員會「非核小組」研議，尋求最佳可行方案。台電公司依據前開審查會議紀錄之結論及 106 年 2 月 23 日經濟部李部長世光聽取核能後端業務辦理情形之裁示，將釐清、補正及修訂後之「可行性研究報告」更名為「放射性廢棄物最終處置應變方案(集中式貯存)推行初步規劃書」(下稱「推行初步規劃書」)，於 106 年 3 月 3 日陳報國營會轉陳經濟部核轉「非核小組」研議，以尋求最佳可行方案。

台電公司遵照經濟部之指示，配合辦理「非核小組」就相關議題討論之幕僚作業。有關「非核小組」就應變方案(集中式貯存)之研議過程，截至 109 年 1 月底止摘要說明如下：

- (一)106 年 5 月 3 日「非核小組」第 1 次會議中，台電公司簡報「核廢料處置現況說明」，於該簡報中提及「放射性廢棄物最終處置應變方案-集中

式貯存」。經討論後，主席裁示：「關於低放、集中式貯存或最終處置場的選址程序，都面臨民眾如何參與選址才能符合民主及效率，未來若透過修法或立法來解決問題，須尋求社會最大共識，也是最正當的程序。」

(二)107年1月22日「非核小組」第3次會議中，主席說明略以：「...現階段應優先辦理尋找可存放50至100年及可控管的集中式中期貯存場，這或許比較容易達成。」會議討論後，主席裁示：「下次會議討論題由台電分析集中貯存場並提出構想，另諮詢委員亦請提出建議場址，一併於下次會議中討論。」

(三)107年4月24日「非核小組」第4次會議第1次會前會，台電公司報告「『集中式貯存場』構想與初步規劃」。綜觀會中諮詢委員之發言與意見，可初步推論目前「非核小組」對集中式貯存之推動持正面態度，未來將就此議題持續討論。

(四)107年8月22日「非核小組」第4次會議第3次會前會，台電公司於會中簡報「蘭嶼貯存場遷場規劃」及「集中式中期貯存場規劃」，主席作出結論如下：

1. 為使核廢料處理相關選址作業順利進行，將規劃成立溝通小組或委員會，於前期階段即統籌規劃利害關係人及社會溝通作業，預訂於「非核小組」第4次會議中進行討論。
2. 請台電公司規劃，邀請相關學術研究團隊及具意願之委員與會，針對社會溝通相關議題交流意見並凝聚共識後，提出規劃設計草案後，再於後續會議討論。

(五)台電公司依據107年12月19日第136次放射性物料管制會議紀錄議案753之決議於108年1月31日以核端字第1088008093號函檢陳「低放射性廢棄物最終處置計畫「應變方案(集中式貯存)」相關規劃及辦理成果報告」予原能會鑒察。

(六)108年3月15日「非核小組」第4次會議：

1. 台電公司首先報告「核廢料處理社會溝通規劃說明」，主席裁示：「社會溝通過程的目標或里程碑、欲解決的問題等，都須揭露，請台電公司將社會溝通的規劃再調整修訂，可委由第三方辦理，以避免『機構效應』。有關非核家園、核電及能源政策，必須投入大量資源進行整體社會溝通，促使社會在理性環境中對話，社會溝通計畫將在完善後推動，並配置必要資源進行。」
2. 台電公司續報告「我國推動集中式中期貯存場之規劃與展望」，主席裁示：「今天會議共識為推動興建『放射性廢棄物中期暫時貯存設施』，請台電公司依據簡報所提規劃方向及建議積極辦理並展開溝通，至於具體內容，可再進一步討論與規劃。另中期暫時貯存設施可暫不強調『集中式』此一名稱，以保留彈性，將來規劃時若有需要，也可考慮將高、低放分開處理。」

## 二、現階段(半年)執行之具體工作項目與成果

- (一)108年8月21日「非核小組」第5次會議第1次會前會，台電公司與政治大學研究團隊於會中分別簡報「放射性廢棄物中期暫時貯存設施選址作業規劃」與「核廢社會溝通規劃案」。會議結論請台電公司參考各委員建議，修正調整選址作業規劃後於後續會議中報告；社會溝通規劃部分各委員提供之意見，後續將請政治大學研究團隊配合辦理，再安排會議進行詳細討論。
- (二)台電公司對「非核小組」建議，放射性廢棄物中期暫時貯存設施(下稱中期暫存設施)之選址作業可依大會所提「公正的組織體」、「客觀的標準」、「公開參與的程序」等三原則推動，並建議請行政院依循過往依法成立臨時性組織或專責單位之經驗，成立「選址專責單位」(「公正的組織體」)，依大會所制定之「集中式放射性廢棄物貯存設場址規範」(「客觀的標準」)辦理場址評選，並導入公眾溝通、徵求自願場址與協議機制(「公開參與的程序」)，爭取地方同意成為中期暫存設施之場址。

### 三、執行成效、檢討及下階段工作要項

台電公司依據 108 年 8 月 21 日「非核小組」第 5 次會議第 1 次會前會中委員所提建議，完成「中期暫存設施選址作業規劃討論(初稿)」簡報修訂，並於 108 年 10 月 1 日電郵送國營會轉「非核小組」各諮詢委員酌參並提供意見。截至 109 年 2 月底，「非核小組」成員中有兩位委員提出意見，台電公司已預擬答復說明並據以修訂簡報，備供「非核小組」下次開會討論。是故，目前本計畫之執行成效為「非核小組」持續就「中期暫存設施」之具體內容進行研議。

下階段工作要項為持續依據「非核小組」主席裁示及經濟部之指示積極辦理中期暫存設施相關幕僚作業，進一步於「非核小組」會議中討論與規劃具體內容。俟中期暫存設施之具體內容定案並形成政府之決策後，台電公司將依據該決策及經濟部之指示配合辦理相關事宜。屆時，台電公司將修訂低放射性廢棄物最終處置計畫納入中期暫存設施之具體內容，再提報主管機關備查。

在「非核小組」提出研議結論形成政府決策前，台電公司持續依據經濟部之指示，配合辦理「非核小組」之幕僚作業。在「非核小組」提出研議結論及低放最終處置設施未能完成前，台電公司將依低放處置計畫(修訂二版)中另一應變方案，將低放射性廢棄物「暫存於各核能電廠」。

## 第五章 民眾溝通專案計畫

### 一、選址溝通工作

「低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例」於 95 年 5 月 24 日公布施行後，台電公司考量處置設施場址之產生須依地方性公投的結果來決定，於是成立「低放選址督導會報」，主要是負責提供策略分析規劃陳報國營會，對內則指揮督導執行溝通宣導工作，以達成地方公民投票同意場址設置之任務，並追蹤各階段計畫目標進度及檢討應變措施。

台電公司於 106 年 8 月 11 日因應非核家園政策調整，成立「除役及選址溝通中心」，併入「低放選址督導組」及台東、金門溝通小組。每年訂定「低放選址地方溝通工作計畫」並據以執行中，期能經由上述溝通計畫之行動方案之執行，解除關鍵問題之所在，完成推展地方性公投選務工作。

依據 101 年 3 月 26 日原能會物管局「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)審查會議」會議紀錄決議事項 5「於每年 10 月底前提報次年度之工作計畫，送物管局備查，俾有效落實各年度處置工作之推展」辦理。

「108 年低放選址地方溝通工作計畫」送原能會物管局備查後，經 108 年 2 月 13 日原能會物管局來函表示，107 年 12 月 19 日審查會議之會議紀錄決議事項中，要求就「低放處置公眾溝通作業」研擬提出創新之修正作法，台電公司乃增加提送「108 年度低放溝通創新作法規劃報告」作為年度工作溝通計畫之輔助計畫，期使溝通工作能產生綜效。

108 年溝通工作計畫為承續過去多年的溝通經驗，並秉持溝通活動應長期且持續辦理之原則進行規劃，研擬各項行動模組，如廣告文宣、組織動員、議題管理、調查研究、活動贊助、公益關懷等，共計 46 項之行動方案。另於「108 年度低放溝通創新作法規劃報告」增設網路行銷、低放嘉年華活動、低放趣味手機遊戲 APP、同鄉會強化溝通、低放科普漫畫及低放年長者文宣等 6 項創新作法。

另，有關推動集中式貯存計畫之民眾溝通工作，已納入台電公司「109 年低放選址地方溝通工作計畫」辦理相關文宣工作，並配合行政院非核家園推動小組決議，期由「核廢社會溝通規劃案」議題研究中討論形成社會共識，於最終處置設施完成前，能妥善集中管理既有的高低放射性廢棄物。

本階段(108 年 8 月至 109 年 1 月)在全國及建議候選場址所在縣辦理之溝通工作計畫表述如下：

### 全國性—108 年 8 月-109 年 1 月

行動模組	行動方案	辦理情形	工作成效
廣告文宣	低放處置立體模型	108.8-109.1 已完成製作。	1. 目前在台電南部、北部展示館建置低放處置立體模型及多媒體互動系統，俾利民眾參觀瞭解場址概況，並於台東縣、金門縣二地辦理說明會時發送平面文宣等，均獲得當地居民認同，對台電公司低放溝通宣導方面達到良好效果。 2. 創新作為，新增 4 項目
	低放多媒體互動系統	108.8-109.1 已完成製作。	
	低放平面廣告	108.8-109.1 已完成製作。	
	低放懶人包	108.8-109.1 已完成製作。	
	低放趣味手機遊戲 APP	108.8-109.1 已招標，109 年度執行。	
	低放科普漫畫	108.8-109.1 已招標，109 年度執行。	
	低放嘉年華活動	108.8-109.1 已招標，109 年度執行。	
	年長者文宣	108.8-109.1 已完成台東版製作，金門版辦理中。	
網路行銷	核廢料處置專屬網站網路行銷	108.8-109.1 已建置並持續更新網站資料。	創新作為，新增 2 項目
	低放官網更新	108.8-109.1 持續更新	
	給核廢一個家臉書更新	108.8-109.1	

		持續更新	
	全國臉書社團經營	108.8-109.1 持續更新	
活動贊助	大專核廢研習營(主辦)	108.8-109.1 已辦理 2 場次，63 人。	
	同鄉會強化溝通	108.8-109.1 已辦理 13 場次。	創新作為，新增項目
調查研究	電話民調	108.8-109.1 已完成。	

### 金門縣—108 年 8 月-109 年 1 月

行動模組	行動方案	辦理情形	工作成效
廣告文宣	第四台廣告	108.8-109.1 已完成製作。	透過媒體廣告及文宣發放，讓民眾對何謂低放射性廢棄物、處理及處置流程、低放射性廢棄物最終處置場安全概念及回饋項目更為了解。
	縣市應用製作物(三角桌曆)	108.8-109.1 已完成製作。	
	縣市廣播廣告	108.8-109.1 本階段已委託金馬之聲廣播電台播放廣告。	
	金門日報夾報廣告	108.8-109.1 已完成製作。	
議題管理	地方記者座談會	108.8-109.1 已辦理 1 場次。	透過建立與地方記者、重要人物良好互動關係，提升溝通成效。
	金門縣焦點座談會	108.8-109.1 已辦理 1 場次。	
組織動員	縣府及地方機關首長拜會	108.8-109.1 已拜會 6 人次。	1.對於縣市首長及鄉鎮長民代等由溝通小組採單獨拜會，面對面方式報告建議候選場址篩選過程、何謂低放射性廢棄物及處理流程、低放射性廢棄物最終處置場安全概念及回饋項目，即
	議會議員拜會	108.8-109.1 已拜會 3 人次。	
	機關團體及村里說明會	108.8-109.1 辦理 41 場次。	
	烈嶼鄉逐戶拜訪	108.8-109.1 已拜訪 333 人次。	

	烏坵鄉親三節關懷活動	108.8-109.1 已辦理中秋節、春節贈送禮品及關懷活動。	<p>時答覆疑問，建立溝通管道並尋求支持，蒐集建議，做為訂定地方性溝通策略參考。</p> <p>2.村里、機關社團以播放投影片方式說明宣導，並發放低放文宣、資料給現場參加人員，現場參加人員疑慮即時答覆、意見蒐集</p> <p>3.烏坵鄉民溝通除登烏坵本島說明以外，另針對旅台鄉親，則以家族說明會、逐戶拜訪等方式，並透過參觀相關設施以瞭解鄉民看法及意願，俾有助於促成地方公投作業與提高投票率。</p> <p>4.辦理大專院校電力活動營，針對金門大學學生，加強對低放射性廢棄物最終處置設施的認識，使大學學生了解低放選址公投及安全處置相關資訊。</p>
	金門縣旅外鄉親說明會	108.8-109.1 已辦理 1 場次。	
	烏坵旅台鄉親家族說明會	108.8-109.1 已辦理 2 場次。	
	烏坵旅台鄉親參訪活動	108.8-109.1 已辦理 1 場次。	
	烏坵仕紳赴金門協助溝通	108.8-109.1 已辦理 2 場次。	
	烏坵旅台鄉親逐戶拜訪	108.8-109.1 已拜會 3 人次。	
	金門電力活動營	108.8-109.1 已辦理 1 場次。	
	製作業務宣導品(如環保袋、環保筷等)	108.8-109.1 已辦理 2 式。	
活動贊助	節慶、宗教、文化及體育等	108.8-109.1 已辦理 44 場次。	藉由金門地方人文活動，持續辦理低放選址宣導業務，以擴大宣導層面與成效。

### 臺東縣—108 年 8 月-109 年 1 月

行動模組	行動方案	辦理情形	工作成效
廣告文宣	縣市廣播廣告	108.8-109.1 本階段已持續委託廣播電	讓低放宣導擴及全縣每一角落，使更多的縣民

		台播放低放選址公投宣導廣告，其中包含正聲、臺東之聲、警廣、大寶桑、台東知本及東民，共 6 家廣播電台。	了解低放處置之安全資訊。
	更生日報廣告	108.8-109.1 本階段已持續委託當地報社辦理低放選址公投宣導廣告。	
	第四台廣告	108.8-109.1 已辦理完成。	
	縣市燈箱廣告(航空站)	全年持續辦理。	
	縣市應用製作物(三角桌曆)	108.8-109.1 已辦理完成。	
議題管理	地方記者座談會	108.8-109.1 已辦理 1 場次。	透過建立與地方記者、重要人物良好互動關係，提升溝通成效。
	台東縣焦點座談會	108.8-109.1 已辦理 6 場次。	
組織動員	縣府及地方機關首長拜會	108.8-109.1 已拜會 59 人次。	<ol style="list-style-type: none"> <li>對於縣市首長及鄉鎮長等採面對面方式報告建議候選場址篩選過程及選址公投進度，即時答覆疑問，建立溝通管道並尋求支持，蒐集建議作為訂定地方性溝通策略參考。</li> <li>村里及機關團體參訪或說明會進行宣導工作，說明場址篩選過程、低放廢棄物之內涵、處理及處置方式、國外成熟技術經驗、地方公投規定、回饋經費與地方未來願景。</li> </ol>
	議會議員拜會	108.8-109.1 已拜會 11 人次。	
	村里拜會及說明會	108.8-109.1 已辦理 26 場次。	
	達仁鄉逐戶拜訪	108.8-109.1 已拜訪 452 人次。	
	台東旅外參訪及說明會	108.8-109.1 已辦理 3 場次。	
	台東縣仕紳協助溝通	108.8-109.1 已辦理 1 場次。	
	台東電力活動營	108.8-109.1 已辦理 1 場次。	
	製作業務宣導品	108.8-109.1 已辦理 2 式。	
	台東希望種子計畫	108.8-109.1 已於 108 年 7 月 26 日辦	

		理。	3. 民眾及教會人士等輔以核能設施參訪活動，讓民眾正確認識低放射性廢棄物，匯聚足夠民意基礎及互信感。
	台東火金姑兒童閱讀	全年持續辦理中。	
	台東獨居老人圍爐	108.8-109.1 已於109年1月15日辦理。	
	急難救助、老人弱勢等	108.8-109.1 已辦理達仁鄉、大武鄉20人次。	
活動贊助	節慶、宗教、文化及體育等	108.8-109.1 辦理10場次。	現場辦理低放處置宣導，透過低放射性廢棄物最終處置場未來設置的藍圖和安全性之宣傳，以降低民眾心中的疑慮和提高相關設施之接受度。

## 二、放射性廢棄物貯存所在地方溝通

### (一)低放貯存場溝通工作

台電公司自79年營運低放射性廢棄物貯存場以來，均持續辦理敦親睦鄰之公眾溝通活動，本階段(108年8月至109年1月)之敦親睦鄰業務及業務宣導活動，羅列如下：

#### 1. 敦親睦鄰

##### (1) 急難救助

補助蘭嶼鄉民赴島外轉診就醫，扶助無人照料長者、弱勢家庭及殘障貧病鄉民，並致贈慰問金，108年8月至109年1月之轉診醫療補助，共發放522人次，補助金額共計約130.2萬元；專案補助共發放36次，補助金額共計約14.0萬元。

##### (2) 獨居老人及弱勢家庭持續關懷

對蘭嶼鄉之弱勢群體，除財物上之補助外，亦自生活中給予陪伴、慰問，以做到持續關懷。108年8月至109年1月完成關懷人數為432人次。

### (3) 襄助地方事務

於本場人力資源範圍內，量能襄助鄉政運作及協助地方事務，協助鄉民吊卸船隻及搬運大型建材物料。108年8月至109年1月完成協助鄉民吊卸船隻、物料18件。

### (4) 公益關懷

台電公司聘用自蘭嶼招募之6位部落服務員，投入各部落服務，主動關懷社區各項需求，主辦或協辦部落體育文康及民俗節慶各項活動。108年8月至109年1月貯存場主辦活動為「108年度低放貯存場中秋節晚會暨業務宣導活動」、「2019年低放貯存場淨灘活動」、「108年度低放貯存安全業務宣導參訪活動」、「獨居老人暨弱勢家庭持續關懷計畫」等活動，並配合蘭嶼鄉公所、地方機關及民間立案社團辦理「台東縣蘭嶼鄉108年海洋盃拼板舟划船錦標賽活動」、「108年度第三十四屆蘭嶼旅台青年雙十節籃球排球聯誼賽活動」等全鄉性活動，並於中秋節慶、跨年及蘭嶼鄉傳統文化節慶時期受邀參與活動。

### (5) 睦鄰補助

補助並參與機關、學校及社團辦理地方藝文、民俗節慶及具地方文化特色活動，如補助臺東縣蘭嶼天主教文化研究發展協會辦理「108年度達悟族傳統技藝文化復振計畫—織布」活動、財團法人蘭嶼廣播電辦理「第22屆紅頭嶼盃雅美(達悟)族語歌謠比賽」活動、臺東縣蘭嶼鄉朗島社區發展協會辦理「108年度推展文化藝術」活動、基督教蘭恩文教基金會辦理「蘭島語續—海好有你藝術祭」活動、臺東縣蘭嶼鄉體育會辦理「蘭嶼鄉108年度全鄉釣魚比賽」活動、臺東縣蘭嶼鄉體育會辦理「參加108年卑南鄉鄉長盃慢速壘球錦標賽」活動等活動。108年8月至109年1月補助總額共計約31萬元。

## 2. 宣導與溝通

- (1) 接待鄉民、民間團體、機關單位蒞場參訪，主動積極邀請蘭嶼鄉民蒞場參訪，說明貯存場目前之業務狀況，並於參訪結束後召開座談會回答鄉民之疑問。108年8月至109年1月共計接待約1,684人(含自台灣參訪之遊客)。
- (2) 核後端處招募自蘭嶼鄉6個部落之部落服務員共6位，除協助社區服務工作，亦協助相關業務之說明宣導，並陪同台電人員拜訪地方人士。
- (3) 核後端處每月發行800份「低放貯存場敦親睦鄰花絮」，宣導相關業務，並由部落服務員至各社區挨家挨戶發送。

### (二) 各核電廠之溝通工作

各核能電廠內均有貯存放射性廢棄物，台電公司亦不斷利用各種管道向當地鄉民溝通宣導貯存設施之安全性，目前核一廠主要就用過核子燃料乾式貯存設施及除役議題進行溝通宣導，核二廠亦就用過核子燃料乾式貯存設施興建計畫議題進行溝通宣導，核三廠則就核能知識、選址溝通及回饋議題等核能相關議題進行溝通宣導。

## 三、執行成效、檢討及下階段工作要項

台電係配合經濟部依據「場址設置條例」之作業期程，於相關場址所在縣進行溝通宣導工作，主要策略目標為讓民眾了解農業、工業、醫療及學界研究均會產生低放射性廢棄物，有必要在國內興建一處低放最終處置場，以加強低放選址公投的政策之正當性、增進社會大眾對政府及台電公司的信任感。

溝通宣導重點分為運用全國性媒體循序宣傳，尋求聚集全國民眾焦點，並形成正面輿論，普及低放射性廢棄物最終處置場公投資訊，加強與民代、

公職、媒體、環團及意見領袖溝通，對於場址所在鄉及週邊鄉鎮持續深化溝通，爭取認同，並疏通反對聲浪。

為瞭解全國民眾及建議候選場址縣民之態度及意見，台電公司每年均辦理電話民調，以 108 年 10 月辦理「低放選址公投 108 年電話民調」為例，根據調查結果，全國民眾對設置低放射性廢棄物最終處置場之瞭解及認知，有近 79.8% 的民眾認為我國有需要設置低放射性廢棄物最終處置場，有 72.5% 的民眾表示支持以地方性公投的方式來決定是否設置低放射性廢棄物最終處置場。

台東地區有 72.4% 的民眾認為我國有需要設置低放射性廢棄物最終處置場，有 71.7% 的民眾表示支持以地方性公投的方式來決定是否設置低放射性廢棄物最終處置場。金門地區有 72.7% 的民眾認為我國有需要設置低放射性廢棄物最終處置場，有 67.3% 以上的民眾表示支持以地方性公投的方式來決定是否設置低放射性廢棄物最終處置場。

以上兩縣市近年來對於低放射性廢棄物處置場設置支持度皆呈現上升趨勢，但若是低放射性廢棄物處置場設置在當地支持度即降低，台東地區電話民調執行情形 104 年、105 年、106 年及 107 及 108 年年民調支持度分別為 30.5%、31.8%、34.5% 及 33.5% 及 29.9%，金門地區電話民調執行情形 104 年、105 年、106 年、107 年及 108 年民調支持度分別為 38.3%、39.7%、45.4% 及 45.1% 及 33.4%，以上 2 縣市於 104 年至 107 年以來對於低放射性廢棄物處置場設置支持度皆呈現上升趨勢，108 年則是下降趨勢。

108 年電話民調，經專家分析，辦理時間接近總統大選，雖溝通工作項目並無減少，民眾對於選舉期間民調應疲乏易傾向負面答覆，未來除妥適選擇民調時間外，將透過官方管道或其他管道收集所在鄉民眾意見後，於縣市說明會中使用，讓其他鄉鎮居民了解所在鄉民眾意見，藉此有效增加全縣支持度。

除了透過電話民調，台電公司於執行逐戶拜訪、說明會及電力活動營活動時亦辦理問卷調查。並根據電話民調及問卷調查作為年度溝通計畫調整之依據，以有效稽核溝通績效。

## 第六章 綜合檢討與建議

本階段工作計畫之執行進度，「處置技術建置計畫」部分，包括整合性計畫及安全/功能評估等項目，各子項工作均照年度工作計畫進度執行中，彙整現階段之技術研究發展規劃與執行現況如表 6-1。本階段持續辦理「低放射性廢棄物最終處置技術精進計畫」技術服務，如期完成本計畫契約規定之相關技術報告初稿。

有關「處置設施選址計畫」部分，台電公司依據低放射性廢棄物最終處置 108 年度工作計畫(修訂 2 版)及配合主辦機關經濟部辦理推動公投之民眾溝通工作，以及提報主辦機關例行之低放選址作業資訊，以期順利達成選址目標。

有關「應變方案(集中式貯存)計畫」部分，「非核小組」於 108 年 8 月 21 日召開第 5 次會議第 1 次會前會，台電公司與政大研究團隊於會中分別簡報「放射性廢棄物中期暫時貯存設施選址作業規劃」與「核廢社會溝通規劃案」。會議結論請台電公司參考各委員建議，修正調整選址作業規劃後於後續會議中報告；社會溝通規劃部分各委員提供之意見，後續將請研究團隊配合辦理，再安排會議進行詳細討論。

有關「民眾溝通專案計畫」部分，因應經濟部尚未確定公投選址時程，台電公司已訂定「108 年底放選址地方溝通工作計畫」並據以執行中，期能經由上述溝通計畫之行動方案執行，清除民眾疑慮，並建立政府政策正當性。

109 年 2 月至 109 年 7 月，台電公司除持續辦理相關技術建置計畫及公眾溝通工作外，亦將積極配合主辦機關經濟部指示辦理選址計畫相關配合工作，並依據「非核小組」主席裁示及經濟部之指示積極辦理中期暫存設施相關幕僚作業，相關工作及執行計畫查核點表列如下：

### 一、處置技術建置計畫

計畫名稱	查核點	查核項目
------	-----	------

(一)整合性計畫		
低放射性廢棄物最終處置技術精進計畫	108 年 8 月 ~109 年 1 月	每月工作月報彙整查核
	109 年 6-12 月(暫訂)	視 COVID-19(武漢肺炎)疫情狀況，盡早辦理「LLWD 2020 報告」國際同儕審查會議，初步規劃 5 個工作天。
(二)安全 / 功能評估		
低放貯存場低放射性廢棄物計測暨取樣分析技術服務	預計於計測、取樣設備完成後，依時程進入低放貯存場實際作業	

## 二、處置設施選址計畫

計畫名稱/工作項目	查核點	查核項目
低放選址作業資訊	109 年 4 月	提報 109 年第 1 季選址作業資訊送國營會公布在主辦機關網頁
	109 年 7 月	提報 109 年第 2 季選址作業資訊送國營會公布在主辦機關網頁

## 三、應變方案(集中式貯存)計畫

計畫名稱	查核點	查核項目
放射性廢棄物中期暫時貯存設施	依據「非核小組」會議決議辦理	依據「非核小組」會議決議辦理

#### 四、 民眾溝通專案計畫

計畫名稱	查核點	查核項目
低放選址地方溝通計畫	每個月	地方公眾溝通紀錄

最終處置計畫現階段面臨之困難主要來自非技術性層面，調查評估工作之推動完成有賴地方民眾與民意機關之同意接受及各相關主管機關之配合支持。台電公司將持續戮力與地方民眾及相關機關等溝通說明，在 2 處候選場址金門縣烏坵鄉及台東縣達仁鄉加強宣導處置場興建營運安全、繁榮地方建設及社會福利之遠景規劃，俾提高社會接受度，使選址作業順利。

表 6-1 現階段技術研究發展規劃與 108 年度執行狀說明表

項次	技術面向	技術精進類型	研發技術構想與目標	工作方向規劃	工作預定 起始時間	工作預定 完成時間	工作項目	108 年之執行狀況
1	場址調查 工程設計 安全分析	建立低放處置作 業需求管理系統 與資料庫	考量放射性廢棄物最終處 置牽涉專業層面甚廣，執 行各項作業需考量專業技 術內容。依國際處置作業 推動經驗，建立系統化之 管理系統，除可供確認處 置安全作業與審查作業需 求外，亦可提供相關利害 關係人與公民參考，達到 資訊透明化，協助處置作 業順利推行。此外，由於處 置事業推動自場址篩選至 處置場封閉之事業生命週 期長達數十年，相關調查、 分析與決策資訊保存相當 重要，為確保資料留存之 完整性與可溯性，亦為各 國建立要求管理系統之主 要考量	為達成系統性紀錄低放處置作業執 行過程之資訊、文件與決策資訊，提 供後續評估作業與資訊透明化使用， 須建立要求管理資訊系統。更重要 的是需依照我國環境與處置事業特性， 將與確保處置安全作業有關之各項 資訊，系統化的建立至管理系統中， 規劃工作方向包含： 1.蒐集與分析國際既有處置作業需 求管理系統 2.以場址調查、工程設計與安全分析 技術面向區分，建立以處置事業、系 統、次系統、分項等要求層級架構， 包含各作業要求與關聯性之管理系 統架構 3.需可呈現各項特徵事件過程篩選 之考量內容、評估方式、影響程度與 風險評估等資訊 4.需可記錄各項技術與考量之不確 定性因素與影響 5.建立包含現階段各項作業選用參 數之來源與決定過程之資料庫 6.另進行 2 處建議候選場址之 Kd 值 試驗，並建入資料庫中	107 年	111 年	建立處置需 求管理系統 與資料庫	已按計畫要求項目規劃完成基礎系統之建立，陸續輸入計畫相關資料進行測試，並且進行基礎系統架構以及使用介面調整，預計於 109 年 9 月完成
							場址特徵化 技術發展	<ol style="list-style-type: none"> <li>已針對 Co、Cs、Ni、Sr、C、I 等 6 個核種，依據 2 處建議候選場址之水質特性進行核種吸附實驗，並於 108 年 4 月完成報告初稿</li> <li>依據物管局「低放射性廢棄物最終處置 108 年度工作計畫書」審查會議之會議決議，台電公司於 108 年 3 月底前，就現階段只規劃採用 6 個核種進行吸附實驗，是否足以代表「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」附表一與附表二所列核種，提出研析報告。前述研析報告結論如下：低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則中需考量之核種為 C、Ni、Nb、Tc、I、Pu、Cm、H、Co、Sr、Cs，透過國內外吸附實驗研究成果資料庫的彙整得知，H 核種在不同材料之分配係數皆為 0L/kg，因此可考量直接採用其數值，不需再進行吸附實驗；而 C、Co、Cs、Ni、Sr、I 已納為本期計畫之吸附實驗對象；Pu 與 Cm 則係因為射源與同位素無法取得，故現階段無法以實驗加以掌握；最後剩餘的 TC 與 Nb 由於變異性較大，因此台電公司規劃於 109 年以 Tc、Nb 核種之同位素進行相關吸附實驗，藉此掌握 TC 與 Nb 核種在我國低放處置場環境的吸附特性</li> </ol>
2	工程設計 安全分析	廢棄物與盛裝容 器安全功能與分 析技術精進	現階段低放處置設施工程障 壁系統並未納入盛裝容 器之遲滯功能，考量盛裝 容器劣化特性將對於部分 不易被環境吸附之陰離子 核種(如 I-129)產生吸附作 用。此外，活化金屬核種釋 出率亦為影響有效劑量之 關鍵參數，其特性亦應再 做進一步確認。將有助於 安全分析與處置設施設計 作業進行，提升處置系統 之安全性能	1.以目前規劃處置之盛裝容器形式 與設計規格，依國際研究成果進行安 全功能技術精進 2.因現階段金屬釋出率採用日本參 數，規劃與 JAEA 或 JNFL 進行國際 合作，建立分析金屬釋出率所需技 術，並依我國處置環境與處置方式評 估活化金屬之金屬釋出率，更新現階 段之參數設定與考量 3.評估納入其他放射性生成物(AP)與 放射性裂變產物(FP)之適宜性	110 年	111 年	低放射性廢 棄物盛裝容 器之安全功 能特性研究	已於 107 年 12 月完成「低放射性廢棄物盛裝容器安全功能特性研究」報告初稿，此研究針對 55 加侖桶、83 加侖桶、3×1 重裝容器、7 m <sup>3</sup> 鋼箱等鋼製盛裝容器，以及混凝土製的高性能混凝土處置容器(High Performance Concrete Container, HPCC)，進行輻射屏蔽功能分析和結構力學安全功能評估(包含結構強度與堆疊穩定性分析)，確保運轉期間的安全，另外亦考量長期處置的情況下，評估容器對環境腐蝕因子的抵抗能力，以利後續處置場封閉後安全評估時可將容器的完整性與耐久特性納入分析
							低放處置技 術精進評估	已依據低放射性廢棄物資料庫(low-level radioactive waste disposal systems, LRWDS)、核能一廠除役計畫、核能二廠除役計畫、NUREG/CR-0130 以及「低放射性廢棄物型態及特性報告(105 年)」，建立運轉廢棄物與除役廢棄物核種清單。並在進行低放處置場封閉後的安全評估時，將所有核種都納入計算，故在分析時已將放射性生成物(AP)與放射性裂變產物(FP)都納入考量。已於 108 年 6 月完成「低放射性廢棄物最終處置建議候選場址安全評估報告」初稿
3	工程設計	工程障壁系統劣 化定量分析技術	工程障壁系統依其所在環 境之溫度、酸鹼度、氧化還 原特性、工程材料與環境 變化等因素，均會對工程 障壁長期劣化產生不同之 影響。而其劣化程度將會	處置窖為鋼筋混凝土結構物，硫酸鹽 會引起混凝土膨脹而產生裂縫，而氣 離子則將造成混凝土內鋼筋鏽蝕、膨 脹，進而導致混凝土開裂及劣化。膨 潤土材料則是經常被選用為緩衝材 料或添加於回填材料之中，故有需要	107 年	110 年	混凝土處置 窖材料特性 評估	已於 107 年 12 月完成「混凝土處置窖材料劣化試驗與模式研究」報告初稿，此研究探討氯離子、硫酸鹽與溶出失鈣等 3 種混凝土化學劣化反應的機理與影響因素，並藉由文獻收集，掌握國內外評估混凝土材料長時間受劣化影響的方法，接著從中選出較合適之評估方法，了解其所需輸入的參數後，制定混凝土材料各自的劣化試驗程序與檢驗規範，供未來現地施工材料評估與後續安全分析所使用

項次	技術面向	技術精進類型	研發技術構想與目標	工作方向規劃	工作預定 起始時間	工作預定 完成時間	工作項目	108 年之執行狀況
			對遲滯核種傳輸功能產生影響，需建立其定量評估技術。依 104 年完成之台灣日興土與美國懷俄明州黑山土(Black Hills, 以下簡稱 BH 土)研究成果, 台灣日興土特性並不適合做為緩衝材料, 因此規劃另新增 1 種膨潤土材料進行緩衝/回填材料基本特性研究。而後針對選定之新增土與 BH 土之緩衝回填材料特性受粒料粒徑影響、工程界面條件影響探討、長期力學特性探討、施工特性等, 進行完整之材料特性研究。另外, 亦規劃針對混凝土材料特性與劣化機制進行研究	對於不同來源之膨潤土特性、施工方式適宜性與其長期安全功能特性, 以及水泥材料長期安全功能等, 作更進一步之研究與掌握, 研究項目包含: 1.膨潤土材料基本特性試驗與探討 2.膨潤土材料特性受粒料粒徑影響特性試驗與探討 3.膨潤土材料與新拌混凝土之介面特性試驗與探討 4.緩衝材料之長期力學特性試驗與探討 5.緩衝材料施工特性研究 6.建議候選場址混凝土材料障壁單元之安全功能演化特性研究 7.混凝土材料劣化對周圍膨潤土特性影響探討			膨潤土材料特性研究	<ol style="list-style-type: none"> <li>膨潤土參數實驗與界面特性分析：已於 107 年完成美國 BH 膨潤土和日本 KV-1 膨潤土的基本材料特性試驗, 108 年主要是針對可能之環境演化趨勢, 就 KV-1 膨潤土與 BH 土於海水、強鹼性、弱鹼性、高酸性弱酸性等環境進行不同乾密度之自由回脹試驗、定體積回脹試驗及水力傳導試驗。此外, 亦延續 107 年之工作, 持續於壓製完成之膨潤土磚上進行混凝土澆置, 以觀察分析混凝土澆置底層之成形狀況, 另規劃取與混凝土直接接觸之表層膨潤土, 將其磨成粉末後, 進行可交換陽離子容量測試, 探討膨潤土材料於接觸混凝土持續 1、6、12 個月時, 可交換陽離子總量受混凝土影響之情形</li> <li>膨潤土飽和循環條件下的材料參數變化研究：依據工程障壁之設計概念, 膨潤土設置於混凝土處置窖外側, 為模擬此狀況, 製作膨潤土與混凝土之試驗試體, 針對初始未飽和狀態、乾濕循環造成之長久未飽和狀態, 以及經過乾濕循環後達到飽和狀態等 3 種情境, 進行自由回脹試驗、定體積回脹試驗及水力傳導試驗。初始未飽和狀態之相關實驗以電滲加速試驗進行, 已於 107 年完成。108 年主要是延續 107 年之乾濕循環試驗, 完成模擬處置場乾溼循環的環境下對未飽和狀態之膨潤土的材料特性影響。108 年亦開始將電滲加速試驗及乾溼循環試驗後之試體放入試驗模具中, 並搭配淡水環境、海水環境、酸性環境和鹼性環境之不同溶液, 進行飽和狀態之自由回脹、回脹壓力與水力傳導試驗, 此試驗仍在進行中</li> <li>膨潤土材料施工方法研究：針對壓製法、澆置法與夯實法等 3 種施工方法製成之膨潤土, 進行抗壓強度試驗、彈性模數試驗、直接剪力試驗、自由回脹試驗、定體積回脹試驗、水力傳導試驗、工作性試驗、修正夯實試驗, 比較 3 種膨潤土施工方法的特性與控制變因, 並依試驗成果訂定出合適我國低放射性廢棄物處置場膨潤土的施工方法與流程, 供未來膨潤土材料現地施工使用。相關研究已於 108 年 4 月完成</li> </ol>
							力學行為分析與研究	<ol style="list-style-type: none"> <li>「處置窖結構安全分析」已於 107 年 12 完成, 此研究以概念設計之處置窖規劃做為初步之結構配置, 考量各階段(興建、運轉、封閉、監管)之載重條件, 分別進行處置窖結構安全分析, 並依據其分析結果進行必要結構修正, 以確保處置設施結構強度足以抵禦自然外力威脅, 避免結構破壞後加速核種外釋至人類生活圈</li> <li>膨潤土長期穩定性研究以三維有限元素數值分析套裝軟體, 針對不同作業階段之載重條件以及地下水條件變化, 探討處置窖下方膨潤土之力學穩定性以及對處置窖結構之影響。另外, 為探討膨潤土材料在地下水入侵或移出情況下, 膨潤土飽和程度所發生的對應變化, 及其與相鄰處置窖和坑道回填材料的互制作用, 以膨脹性土壤水力耦合關係之土壤數值模式 Double Structure Hypoplastic Clay Model 為基礎, 發展其程式碼並外掛於既有之二維有限元素程式進行水力耦合分析。相關研究已於 108 年 4 月完成</li> </ol>
							低放處置設施工程障壁	<ol style="list-style-type: none"> <li>考量工程障壁系統的主要使用材料(包含混凝土、緩衝材、廢棄物盛裝容器、處置坑道構成材料等), 依照各項工程障壁在規劃時所預想達成的功能需求, 經由設計功能目標、設計安全功能、</li> </ol>

項次	技術面向	技術精進類型	研發技術構想與目標	工作方向規劃	工作預定 起始時間	工作預定 完成時間	工作項目	108 年之執行狀況
							設計規範擬定	<p>主要設計特徵等階段，擬訂各項工程障壁的設計功能。已於 108 年 1 月完成「低放處置設施工程障壁設計功能」報告初稿</p> <p>2. 依據工程障壁的設計概念，在滿足工程障壁所設定功能目標前提下，提出工程障壁材料的具體需求，再參考工程障壁材料特性之研究成果、國際相關文獻、主要設計特徵、既有工程規範等資料，擬訂工程障壁材料相關工程規範，將設計規範(如強度、緻密性、滲透係數)、施工規範(如配比、養護、現場澆注)與檢驗規範(如試拌、品質控管、試驗取樣)等逐項列出，作為後續設計時的參考依據。已於 108 年 1 月完成「低放處置設施工程障壁設計規範」報告初稿</p>
4	工程設計 安全分析	工程障壁系統單元交互作用與長期功能演化分析技術	我國目前低放處置場之設計概念為藉由多重障壁系統阻滯廢棄物放射性核種進入生物圈，保障環境與人類健康之安全。考量我國 2 處建議候選場址分屬海床下與近岸場址環境特性，搭配目前處置場設計概念，海島場址之處置設施於安全分析年限內，將可能面臨所處水質環境之海淡水轉換現象；近岸場址之處置設施，將可能隨著長期地下水位升降而產生乾濕交替現象。處置設施單元在長期演化過程中已有其作用產生交互影響，加上面對處置環境可能之改變，須更進一步掌握工程障壁材料受環境影響情形，故規劃透過相關試驗以建立工程材料特性參數，回饋予工程設計與安全分析使用，藉以確保不同環境演化下之工程材料特性參數變化	<p>混凝土亦會產生溶出失鈣現象，而形成含鈣離子、鈉離子、氫氧根離子之高鹼性溶液。這些鹼性溶液將會與膨潤土中的蒙脫石產生反應，進而影響膨潤土性能。此外，膨潤土在淡水環境與海水環境中之特性亦有所差異。考量處置場將位於地下水位以下或位於海床下，當處置設施封閉後，地下水或海水將會逐漸滲入處置設施，而使障壁材料成為飽和狀態。而隨著海水水位下降，於達仁鄉建議候選場址處至設施將可能隨之轉換為未飽和狀態。隨著含水量的變化，會導致緩衝材料的收縮與膨脹，是否會影響其功能特性，應進行其功能定量變化研究。規劃工作方向包含：</p> <p>1.膨潤土材料於不同氣候條件下之安全功能變化定量試驗研究 2.工程障壁系統單元間，以及與場址環境間之力學行為特性分析 3.處置坑道橫向群坑與交叉段力學特性分析</p>	108 年	111 年	<p>膨潤土材料特性研究</p> <p>力學行為分析與研究</p>	<p>108 年之工作執行狀況與「膨潤土飽和循環條件下的材料參數變化研究」相同</p> <p>本研究依據 2 處建議候選場址之場址特徵化內容，考量 2 處建議候選場址之地質特性及坑道布置，針對處置坑道群之間距及通行隧道與處置坑道交叉段等研究目標，利用建議候選場址及其周邊既有可供參考之地質探查成果做為參數擬定之基礎，並依經驗擬定具代表性之支撐型式及工序進行三維數值建模分析。藉由深入瞭解通行隧道與處置坑道交叉段等力學特性，同時針對交叉段區域不同部位之三維主應力掘進變化、應力路徑調整及其變形發展等分析彙整後，所得之研究成果可用於評估坑道穩定性及優化坑道配置，做為坑道處置工程實務之設計參考。另外，引用相關文獻說明岩體異向性之特性，並由彈性力學基礎說明異向性之應力及應變關係。基於線彈性之假設，以三維數值分析法探討具橫向等向性之異向性岩體對坑道開挖之影響並與等向性岩體結果進行比較，考量不連續面位態所導致之異向性對坑道周邊應力及變形分布變化及影響。已於 108 年 3 月完成「處置坑道力學特性分析」報告初稿</p>
5	場址調查 工程設計 安全分析	場址調查及特徵化與工程設計及安全分析介面整合技術精進	場址水文地質特徵為影響處置設施設計與安全功能之重要考量因素，不同的調查技術與特徵化技術將會直接影響水文地質特徵化模型之精度，如不同水文地質均質區分布與特性之特徵化，導水構造帶特徵化技術等。除特徵化技術外，更重要的是如何透	為妥適進行場址調查及特徵化與工程設計及安全分析介面整合技術精進，規劃利用國際既有岩體調查資料與歷程作為探討對象，用以強化分析基礎，並提供技術驗證使用。規劃工作方向包含： 1.蒐集國際相關資料，儘可能針對單一場址完整蒐集其既有岩體調查資料、調查過程與方法、場址特徵化模型方式或資料，以及後續監測資料	107 年	110 年	場址特徵化技術發展	以日本的瑞浪深地層實驗室(Mizunami Underground Research Laboratory, MIU)為研究對象，彙整 MIU 的水文地質特徵化經驗，分別探討其水文地質特性調查歷程以及多尺度的疊代式特徵化作業歷程。並依據 MIU 的場址特性調查資料及特徵模型建置程序，實際演練水文地質特徵模型的建置程序與驗證程序，將場址特徵化成果與該場址的既有特徵化成果進行比對驗證，以實際模擬的分析成果，論證特徵模型建置程序之可靠性。綜整上述成果，考量我國 2 處建議候選場址之特性，研擬水文地質場址特徵化作業程序與要求，確保未來可順利且準確執行場址水文地質特徵化作業。已於 107 年 9 月完成「場址特徵化之國際經驗與技術發展」報告

項次	技術面向	技術精進類型	研發技術構想與目標	工作方向規劃	工作預定 起始時間	工作預定 完成時間	工作項目	108 年之執行狀況
			<p>過場址調查工作與特徵化作業交互配合，確認已可準確掌握場址特徵。此外，由於調查階段將儘可能不對處置母岩進行地質鑽探調查，因此處置設施布置並無法避開所有可能的岩盤弱帶區域。如何基於安全功能需求，研判聯絡坑道與處置坑道的支撐方式、處置坑道與處置窖是否需調整等技術，或是為因應環境而選用之工程設計是否會影響長期安全功能等調查與工程設計界面，亦應於調查階段前進行技術精進</p>	<p>2. 研析其水文地質模型特徵化技術，以及地下水流場模擬、應用於核種傳輸模擬等場址特徵化考量與技術 3. 研析其確認場址調查以滿足特徵化需求之研判基準與考量，並依所蒐集之資料進行驗證 4. 研擬適合 2 處建議候選場址之場址調查與特徵化適宜性研判方式，供後續調查階段作業參考 5. 蒐集國際海底隧道與海底設施工程設計與施作相關研究資料，精進坑道設施設計技術，並依其可能工程設計，研析其可能對近場安全功能之影響，再依分析成果研擬工程處理對策 6. 研析達仁場址考量海底山崩海嘯之設計考量</p>			<p>坑道開挖影響與工程對策</p>	<p>108 年之工作包括蒐集青函隧道、英法隧道、膠州灣隧道、日本久慈國家石油儲蓄基地、瑞典 Forsmark 處置場、挪威海底隧道等海底隧道案例，以及瑞士 Mont Terri 地下岩體實驗室、瑞典 ÅSPÖ 硬岩實驗室等試驗坑道案例，並彙整其坑道施工方法，及該方法對隧道或坑道對所處岩體造成之物理特性變化。另外，根據 2 處建議候選場址的地形與地質特性，採用數值分析方法，分別以 FLAC3D 與 3DEC 等軟體，進行連續體與不連續體的數值模擬；並研析處置場建造過程中，坑道開挖可能面臨之困難，與可能採用之應對工程措施，預計於 109 年 4 月完成「坑道開挖影響與工程對策報告」初稿</p>
							<p>低放處置技術精進評估</p>	<p>在 108 年 6 月完成的「低放射性廢棄物最終處置建議候選場址處置設計與工程技術報告」中，已考量 2 處建議候選場址之可能最大海嘯高度，訂定處置場輔助區(不包含接收港)與處置坑道入口高程，避免海嘯事件對處置設施運轉產生不利影響</p>
6	安全分析	因應國際發展趨勢之安全分析技術精進	<p>掌握國際間應用於安全分析之技術發展趨勢與內容，視其技術內涵與我國法規與環境特性符合度，精進後續作業相關技術</p>	<p>1. 考量我國處置環境特性與日本相近，將強化低放處置與日本之國際合作關係 2. 將風險管理納入安全管理方式之研究 3. 精進地震現象對設施影響特性分析技術，包含對近場設施可能影響與分析方式、對遠場安全功能影響與分析方式等，強化地震情節之分析技術 4. 研究人類入侵情節分析與評定安全技術之國際發展趨勢</p>	107 年	111 年	強化安全分析技術	<p>1. 與日本淺野大成基礎工程有限公司(ATK)建立國際合作關係，持續掌握日本安全分析之技術發展趨勢與內容，並於 108 年 10 月 22 日至 108 年 10 月 26 日，與日本瑞浪超深地層實驗室(MIU)、淺野大成基礎工程有限公司(ATK)、日本原子能研究開發機構(JAEA)等機構進行處置場址特徵化之離散裂隙網路(discrete fracture network, DFN)模擬分析技術交流 2. 低放處置場風險評估研究：108 年之工作主要是蒐集與研析國際上對於低放處置場或核能設施之風險評估研究，作為後續擬定適合我國 2 處建議候選場址風險評估方法之參考依據 3. 地震影響研究與情節建立：針對 2 處建議候選場址地下設施、地表設施進行機率式地震危害度分析(Probabilistic Seismic Hazard Analysis, PSHA)與定值法地震危害度分析(Deterministic Seismic Hazard Analysis, DSHA)，並與內政部營建署發布之「建築物耐震設計規範及解說」進行比較與研討。另外，蒐集與彙整國際低放射性廢棄物處置設施考量之地震情節與分析技術，彙整地震對處置工程障壁系統可能產生之影響與分析方式，篩選我國 2 處建議候選場址地震特徵/事件/作用清單，建立可適用於我國 2 處建議候選場址環境的地震情節考量清單。最後，綜合前述研究成果，建立我國 2 處建議候選場址合適之地震情節並進行安全分析。相關研究已於 108 年 6 月完成 4. 人類無意入侵情節分析：參考國際原子能總署與美國核管會對人類入侵之定義、考量與入侵情節設定，以及英國低放處置場之人類入侵評估方式，並依據 2 處建議候選場址之場址特性和處置概念，篩選合適之人類無意入侵情節與進行劑量評估。2 處建議候選場址最有可能的人類無意入侵行為是鑽探作業，故須評估鑽探人員的曝露劑量。而鑽探將破壞處置場安定性，處置窖受到破壞後對周圍居民造成的劑量影響亦納入評估。最後依劑量評估結果，提出建議之主動監管期限。相關研究已於 108 年 6 月完成</p>

項次	技術面向	技術精進類型	研發技術構想與目標	工作方向規劃	工作預定 起始時間	工作預定 完成時間	工作項目	108 年之執行狀況
7	場址調查 工程設計 安全分析	低放射性廢棄物 最終處置技術精 進評估	依照國際原子能總署 (IAEA) SSR-5 放射性廢棄物處置安全要求第 14 項 (安全論證文件和安全評定文件的編制) 及 SSG-29 放射性廢棄物近地表處置設施安全技術導則相關規定，與時俱進精進技術。綜合前述各項工作成果、歷年低放處置技術發展與研究成果就低放射性廢棄物最終處置有關之廢棄物特性、場址特性調查、處置設施設計與操作，以及安全評估等技術面向精進成果，彙整為「低放射性廢棄物最終處置技術精進評估報告」以確保處置技術符合國際水平，並提升民眾的安全保障	彙整之技術精進內容包含： 1. 低放射性廢棄物最終處置安全對策 2. 低放射性廢棄物數量與特性 3. 場址特性要求與調查規劃 4. 處置設施概念設計 5. 處置場興建、運轉與封閉作業規劃 6. 最終處置安全分析 7. 低放射性廢棄物最終處置技術評估 8. 技術綜合評估與精進方向 9. 國內放射性物料相關法規符合性分析 10. 廢棄物接收準則	107 年	111 年	低放處置技術精進評估  更新接收規範	已就現階段之研究成果彙整低放處置技術精進內容，並於 108 年 6 月完成「低放射性廢棄物最終處置技術精進評估報告(送同儕審查)」初稿  以前期之低放射性廢棄物最終處置場廢棄物接收規範為基礎，將現階段處置場運轉規劃與安全評估成果納入考量，據以更新接收規範，使接收規範可更加符合處置場作業需求與強化處置安全管理，以落實長期處置安全之目標。預計於 109 年 3 月完成「低放射性廢棄物最終處置場廢棄物接收規範」報告初稿



台灣電力公司

核能後端營運處

低放射性廢棄物最終處置技術精進計畫

低放射性廢棄物最終處置技術建置計畫

108 年度執行成果摘錄

中華民國 109 年 06 月



附錄、低放射性廢棄物最終處置技術建置計畫  
108 年度執行成果摘錄



「低放射性廢棄物最終處置技術精進計畫」



## 目錄

目錄.....	I
表目錄.....	III
圖目錄.....	IV
摘要.....	V
第 1 章 場址特徵化技術發展與實驗 .....	1-1
1.1 更新建議候選場址之特徵化模型 .....	1-1
1.2 核種吸附參數模擬 .....	1-2
1.3 核種吸附實驗 .....	1-3
1.4 低放射性廢棄物最終處置建議候選場址特性調查 .....	1-6
參考文獻 .....	1-16
第 2 章 處置設計與工程技術 .....	2-1
2.1 膨潤土材料特性與力學特性研究 .....	2-1
2.1.1 膨潤土參數實驗與界面特性分析 .....	2-1
2.1.2 膨潤土飽和循環條件下的材料參數變化研究 .....	2-3
2.1.3 膨潤土材料施工方法研究 .....	2-4
2.1.4 膨潤土長期穩定性研究 .....	2-6
2.2 處置坑道力學行為分析與研究 .....	2-10
2.2.1 處置坑道力學特性分析 .....	2-10
2.2.2 坑道開挖影響與工程對策 .....	2-13
2.3 低放處置設施工程障壁設計規範擬定 .....	2-15
2.3.1 低放處置設施工程障壁設計功能 .....	2-15
2.3.2 低放處置設施工程障壁設計規範 .....	2-18
2.4 低放處置場運轉規劃 .....	2-22
2.5 低放射性廢棄物最終處置建議候選場址處置設計與工程技術....	
.....	2-24
參考文獻 .....	2-29
第 3 章 安全分析技術 .....	3-1
3.1 地震影響研究與情節建立 .....	3-1
3.2 人類無意入侵情節分析 .....	3-4
3.3 安全評估模式鏈應用探討 .....	3-6
3.4 低放射性廢棄物最終處置建議候選場址安全評估 .....	3-11
參考文獻 .....	3-17

第 4 章 處置需求管理系統與資料庫 .....	4-1
第 5 章 結論與建議 .....	5-1

---

## 表目錄

表 1.2-1	現階段蒐集之化學反應式與平衡常數統計數量表.....	1-3
表 1.2-2	不同材料之試驗項目 .....	1-3
表 1.3-1	關鍵核種之分配係數回歸結果.....	1-5
表 1.4-1	達仁鄉建議候選場址既有特徵化成果之回饋.....	1-8
表 1.4-2	烏坵鄉建議候選場址既有特徵化成果之回饋.....	1-9
表 2.1-1	KV-1 膨潤土基本參數試驗結果 .....	2-2
表 2.1-2	2 種膨潤土材料經 3 種施工方法後之特性.....	2-5
表 2.1-3	壓製法、澆置法與夯實法的分析比較.....	2-6
表 2.2-1	2 處建議候選場址之三維數值分析輸入參數.....	2-11
表 2.2-2	隧道案例基本資料彙總表(節錄).....	2-14
表 2.3-1	工程障壁設計功能、要求目標綜整表.....	2-18
表 2.3-2	膨潤土運用於阻水層之特性要求 .....	2-21
表 3.2-1	2 處建議候選場址之人類無意入侵劑量評估結果.....	3-6
表 3.3-1	數據彙整格式(數據總攬) .....	3-7
表 3.3-2	數據彙整格式(數據資料詳細內容).....	3-7
表 3.4-1	安全評估之情節說明 .....	3-13
表 3.4-2	2 處建議候選場址之安全評估結果.....	3-16

## 圖目錄

圖 1.4-1	場址特徵化多階段調查作業流程圖 .....	1-7
圖 1.4-2	階段式場址特性調查布置(1)：地球物理測線布置 .....	1-11
圖 1.4-3	階段式場址特性調查布置(2)：初步鑽孔調查鑽孔布置 .....	1-12
圖 1.4-4	階段式場址特性調查布置(3)：細步鑽孔調查鑽孔布置 .....	1-13
圖 1.4-5	階段式場址特性調查布置(1)：海域地球物理剖面測線布置 .....	1-14
圖 1.4-6	階段式場址特性調查布置(2)：細部鑽孔調查布置 .....	1-15
圖 2.1-1	單元分析模擬示意圖 .....	2-8
圖 2.1-2	單元分析模型之水力邊界示意圖 .....	2-8
圖 2.1-2	基質吸力與位移分布變化(以定流量邊界分析結果為例)..... .....	2-10
圖 2.2-1	坑道間距之塑性區發展分布 .....	2-12
圖 2.2-2	三維主應力掘進變化曲線 .....	2-13
圖 3.3-1	低放處置場封閉後安全評估模式鏈 .....	3-9
圖 4-1	需求管理系統架構示意圖 .....	4-1
圖 4-2	階層式需求管理操作畫面 .....	4-2
圖 4-3	FEP 篩選及管理 .....	4-3
圖 4-4	相關文件及參數資料管理 .....	4-4

## 摘要

低放射性廢棄物最終處置場之場址與設施設計確認，必須經過嚴密的場址特性調查、工程設計、安全分析、環境影響評估、興建與運轉、封閉與監管等程序之安全審核與把關。然自 2 處建議候選場址公告以來，受到政治、社會、環境及地方民意等因素影響，導致選址作業未能順利進行。為盤點處置技術建置現況，利用既有場址調查文獻資料，配合推論與假設之方法，研判 2 處建議候選場址可能之場址特性、研擬因應環境特性之處置概念，以及進行安全分析模擬技術作業，藉此方式說明低放射性廢棄物最終處置場的工程設計與場址環境，具有確保民眾健康和環境安全之能力，並於 2016 年完成「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」(以下簡稱「LLWD 2016 報告」)。而國際同儕審查委員肯定該報告針對安全性議題提出適當的重點說明，認為若場址選定後，國內將具備充足技術完成低放射性廢棄物最終處置場的建置。而在缺乏現場調查資料作為分析基礎的狀況下，國際同儕審查委員與行政院原子能委員會物料管理局(以下簡稱物管局)審查委員，均對於低放射性廢棄物處置技術提出未來發展之建議。台電公司彙整委員所提建議，同時依據既定「低放射性廢棄物最終處置技術建置計畫」之技術發展規劃，辦理「低放射性廢棄物最終處置技術精進計畫」，期能精進低放射性廢棄物最終處置相關技術與分析能力，增進民眾對低放處置安全之了解，進而提升民眾信心，並使低放射性廢棄物最終處置工作得以順利推展。

「低放射性廢棄物最終處置技術精進計畫」自 107 年 3 月開始執行，其內容含括場址特徵化技術發展與實驗、處置設施設計與工程技術、安全分析技術、處置需求管理系統與資料庫等領域，相關研究於 108 年之執行概況說明如下：

## 一、場址特徵化技術發展與實驗

此領域於本年度之工作主要包括更新建議候選場址之特徵化模型、核種吸附參數實驗與模擬，以及低放射性廢棄物最終處置建議候選場址特性調查等 3 部分。更新建議候選場址之特徵化模型主要針對 2 處建議候選場址彙整裂隙特徵相關參數，分析與檢討既有裂隙位態、裂隙長度、裂隙開口寬、裂隙強度及裂隙導水特性等參數之統計模型。另於今年至達仁鄉建議候選場址進行小型補充調查，以初步取得部分離散裂隙網路模擬分析所需之裂隙參數。

核種吸附參數實驗與模擬主要是針對 Co、Cs、Ni、Sr、I、C 等 6 個核種進行實驗與 HYDROGEOCHEM 地化傳輸程式模擬。由實驗結果可知，Co、Cs、Ni、Sr 等 4 個核種的 Kd 值容易因吸附材料與環境溶液中離子強度的不同而改變，相較於 C、I 核種的 Kd 值則變化較不顯著。同時也發現 C、I 核種的 Kd 值皆未超過 35 L/kg，表示 C、I 核種不易吸附於 5 種吸附材料，且其吸附行為也不易因吸附材料與溶液離子強度的不同而改變。為利後續之模擬作業，現階段之工作為蒐集與 6 個核種有關之化學反應式與平衡常數，以及針對 2 處建議候選場址所取得之環境背景資料、混凝土材料以及膨潤土材料(MX-80 與 KV-1)，進行化學組成分析，相關試驗仍在進行中。

低放射性廢棄物最終處置建議候選場址特性調查則是參考國際經驗，將多尺度與疊代式原則納入特徵化程序，並將多重特性調查成果作為反覆檢驗特徵化成果之依據，輔以模擬分析，分階段更新調查規劃與檢核重要場址特徵。據此規劃適合我國之場址特徵化作業，主要包含準備階段的文獻調查及調查階段的地面調查、初步鑽孔調查、細部鑽孔調查、井測與水力試驗調查及補充調查等子階段調查作業，並須逐階段評估特徵化成果。再依據

上述特徵化原則，針對 2 處建議候選場址探討現有特徵化成果並調整相關特性調查規劃。

## 二、處置設計與工程技術

處置設施設計與工程技術於本年度之工作，主要著重於膨潤土材料特性與力學特性研究、處置坑道力學行為分析與研究，以及低放處置場之運轉規劃，並匯集本計畫截至目前的低放處置場工程設計相關研究成果，完成「低放射性廢棄物最終處置建議候選場址處置設計與工程技術報告」。

膨潤土的低透水性為阻滯核種傳輸的重要工程障壁之一，為釐清膨潤土的材料特性、長期穩定性、與鄰近障壁之交互作用，以及施工方法等關鍵議題，進行了相關實驗與分析。根據目前低放射性廢棄物最終處置場概念設計，膨潤土材料將直接與處置窖之新拌混凝土接觸，因此在壓製完成後的膨潤土試體上澆置混凝土，觀察分析混凝土澆置底層之成形狀況，同時也針對與混凝土直接接觸的表層膨潤土，以可交換陽離子容量試驗探討膨潤土材料持續接觸混凝土時，其可交換陽離子總量受混凝土水化影響之情形。另考量處置場封閉後的長期環境演化，透過乾溼循環試驗與電滲加速試驗，分別模擬分析膨潤土阻水層於乾溼循環環境下，以及長期與混凝土障壁交互作用情形下，其材料特性的變化狀況。對於膨潤土的力學穩定性，主要是利用三維有限元素分析，模擬處置坑道於興建、運轉至封閉階段之載重條件下，膨潤土材料之應力及應變行為。分析結果以處置窖下方之膨潤土材料，受到載重影響之沉陷行為最為顯著，2 處建議候選場址膨潤土材料之最大沉陷量均在 3.4 mm 以下。

膨潤土的施工方法主要有壓製法、澆置法、夯實法等 3 種，澆置法需添加含有膠結材成分之流填材，故抗壓強度較其他施工方法高，但是阻水性能卻僅有其他施工方法的萬分之一，可能較難滿足預期之阻水性能，較不適合作為高阻水型處置坑道內的阻

水層。壓製法雖然能獲得較高抗壓強度和阻水性能之膨潤土磚，但目前較難以現地施工的方式進行膨潤土磚壓製。夯實法除了可提供一定的抗壓強度與阻水性外，其材料的製備步驟、品質管理與機具的需求也較為容易操作。對於膨潤土的施工規劃可運用現地夯壓的方式進行底部、側邊與頂部阻水層的施工，並採用澆置法流填材補強處置坑道角隅不易施工的部分。

### 三、安全分析技術

安全分析技術於本年度之工作，以地震情節與人類無意入侵情節之建立與評估、低放處置場運轉期間和封閉後的安全評估，以及安全評估模式鏈探討為主。並匯集本計畫截至目前的低放處置場安全分析相關研究成果，完成「低放射性廢棄物最終處置建議候選場址安全評估報告」。

地震情節是先以 IAEA 和 JAEA 所提出之 FEP 清單為基礎，根據「低放射性廢棄物最終處置設施場址禁置地區之範圍及認定標準」所定活動斷層或地質條件足以影響處置設施安全地區之認定標準、現階段對於場址地質環境特徵之理解、對於 2 處建議候選場址周圍之震源類型分析，進行 FEP 表單篩選，2 處建議候選場址均屬於僅受「非活動斷層發生活動時伴隨的地震」事件影響之區域。於發生地震的同時可能對於處置設施周圍岩體與工程障壁系統產生結構性開裂，預期將造成(孔隙率、水力傳導係數、有效擴散係數放大)，導致流量放大與核種傳輸加速等現象。在綜合考量場址鄰近之斷層分布特性，及其對處置設施之可能影響，以及工程障壁系統的劣化反應與承受振動之能力後，保守假設處置場封閉後 300 年發生地震事件，造成混凝土材料劣化，孔隙率增加量為初始孔隙率之 20%。

人類無意入侵情節主要發生於低放處置場解除主動監管後，當用於告知與警示人類此處曾為低放射性廢棄物處置場之圍籬與標誌隨著時間推移而逐漸損壞，且人類對於低放處置場的記憶

逐漸遺忘時，將可能導致人類無意入侵事件的發生。依照 2 處建議候選場址之場址特性和處置型式研判，未來地表將不會有大規模的開發行為，而處置設施上方也具有一定深度之岩覆作為天然障壁系統。此外，因場址已盡可能避開天然資源而無開採價值，因此最可能發生的人類無意入侵行為係地質調查的「鑽探入侵」，並評估對鑽探人員造成的輻射曝露。

低放處置場的安全評估分別針對 2 處建議候選場址，依據廢棄物特性、環境特性、工程障壁設計、運轉規劃等相關條件，評估低放處置場於運轉階段和封閉後階段對工作人員、民眾和環境的影響，確保低放處置場的設計具有足夠的安全性，不會對人類和環境造成危害。低放處置場運轉期間，在正常運轉情節下，針對低放處置場運轉時於接收港、接收大樓和處置坑道內的不同作業內容，依據作業時的盛裝容器類別、操作人次、作業時間等，評估對不同工作人員的輻射影響。以低放處置場運轉 60 年且執行相關作業之工作人員共 61 人計算，每人的年平均劑量為 2.75 mSv。在低放射性廢棄物掉落、低放射性廢棄物傾倒和火災等 3 種異常運轉情況下，透過加裝吊運設備的多重安全裝置、增設廢棄物堆疊固定裝置、建立操作流程的管控機制、採用不易燃或不可燃材料、進行嚴格消防管控等措施，確保運轉期間的安全。

低放處置場封閉後的安全評估藉由處置系統描述、建立及界定情節、建置概念及數學模型、執行分析與分析結果等過程，評估低放射性廢棄物最終處置對人類與環境的輻射影響。鑒於「LLWD 2016 報告」已針對 2 處建議候選場址進行過低放處置場封閉後的安全評估，本次安全評估以參數本土化、量化工程障壁劣化影響以及反應實際處置狀態為目標，更新安全評估的分析與設定方式。

#### 四、處置需求管理系統與資料庫

處置需求管理系統除了管理低放射性廢棄物之執行需求之外，同時包括特徵/事件/作用及場址特性參數之相關資料，提供整合瀏覽介面，目前已按計畫要求項目規劃完成基礎系統之建立，陸續輸入計畫相關資料進行測試，並且進行基礎系統架構以及使用介面調整。

## 第 1 章 場址特徵化技術發展與實驗

本計畫與場址特徵化技術發展有關的工作項目，於 108 年度已完成「核種吸附實驗」和「低放射性廢棄物最終處置建議候選場址特性調查」等工作，而「更新建議候選場址之特徵化模型」和「核種吸附參數模擬」等 2 項工作則仍在執行中，各工作之現階段成果分別摘要說明如後。

### 1.1 更新建議候選場址之特徵化模型

本計畫針對 2 處建議候選場址彙整裂隙特徵相關參數，分析與檢討既有裂隙位態、裂隙長度、裂隙開口寬、裂隙強度及裂隙導水特性等參數之統計模型。烏坵鄉建議候選場址裂隙位態具有較顯著之高、低傾角之差異，位態分布則較無明顯的空間分布變化。裂隙開口寬統計分布模型經研判後歸納為較適於 lognormal 分布。裂隙開口寬與導水特性之關係參考日本之調查成果，以補充既有資料之不足並進行模型建置。裂隙強度 P10 顯示烏坵鄉建議候選場址的花崗岩層至少需分為兩層，分界面約介於深度 40 m 處。

達仁鄉建議候選場址目前僅完成部分地表地質調查作業，本計畫於今年至達仁鄉建議候選場址進行小型補充調查，以初步取得部分離散裂隙網路模擬分析所需之裂隙參數，包含裂隙強度 P21 及裂隙長度，並補充包含靠近場址尺度範圍邊界之露頭裂隙參數，惟參數之代表性仍待後續正式調查以提升可靠性。考量達仁鄉建議候選場址經過至少 3 期應力作用階段，並且亦有同沉積構造存在，其複雜的構造作用歷史亦反映於位態隨空間變化之特性，現階段進行之內容包含離散裂隙網路分區之判釋、將場址水文地質模型單元依離散裂隙網路模型之分區研判成果更新，並進行合宜性之評估。

部分烏坵鄉建議候選場址之地球化學特性參數顯示明顯的隨深度變化趨勢，包含酸鹼值於 EL10 m 處約介於 6~9.5，至 EL-10 m 處約介於 6~7，至 EL-65 m 處，變化範圍略減至 5.8~6.4。氧化還原電位於近地表處呈現較大範圍變化，約介於-136 mV~349 mV，至 EL-40 m 以下，變化範圍降至 60 mV~90 mV，呈現明顯驟減趨勢。可依據既有資料初步推估地球化學特性參數隨空間變化之分布模型，評估處置設施所在深度範圍可能的地球化學特徵。針對達仁鄉建議候選場址，則蒐集國內案例與國外相似場址案例，參考可能的隨深度變化情形並進行推估。

## 1.2 核種吸附參數模擬

本工作以 C、Co、Cs、Ni、Sr 和 I 等 6 個重要核種為目標，先針對目前概念設計中採用之混凝土材料、膨潤土材料(MX-80 與 KV-1)、2 處建議候選場址之母岩，以及 2 處建議候選場址環境特性(如地下水水質、溫度等)，蒐集與 6 個核種有關之化學反應式與平衡常數。配合核種吸附模擬工作本計畫蒐集日本核燃料開發機構(Japan Atomic Energy Agency, JAEA)之核種遷移資料庫、瑞士國營放射性廢棄物處置公司(National Cooperative for the Disposal of Radioactive Waste, Nagra)之核種吸附資料庫、美國勞倫斯利佛摩國家實驗室(Lawrence Livermore National Laboratory, LLNL)之核種遷移資料庫以及 THERMODDEM 熱力學資料庫等資料庫，各資料庫蒐集所得之化學反應式數量詳如表 1.2-1 所列。此外，亦針對 2 處建議候選場址所取得之環境背景資料、混凝土材料以及膨潤土材料(MX-80 與 KV-1)，進行化學組成分析，各材料之試驗項目如表 1.2-2 所示，相關試驗仍在進行中。

表 1.2-1 現階段蒐集之化學反應式與平衡常數統計數量表

來源	化學反應式 與平衡常數	C	Co	Cs	Ni	Sr	I
日本 JAEA 核 種遷移資料庫	水相錯合	100	13	5	23	5	17
	礦物沉澱	94	18	31	37	9	12
瑞士 Nagra 核 種吸附資料庫	水相錯合	93	-	-	31	6	14
	礦物沉澱	37	-	-	6	3	-
Inl 資料庫	水相錯合	109	19	5	17	11	22
	礦物沉澱	86	30	12	23	32	18
歐洲 Thermoddem 熱力學資料庫	水相錯合	68	-	5	18	15	11
	礦物沉澱	55	-	-	24	21	1

表 1.2-2 不同材料之試驗項目

試驗項目 材料名稱	礦物組成分析	XRF 元素定性分析	真密度分析
硬頁岩	◎	◎	◎
花崗岩	◎	◎	◎
混凝土	◎	◎	-
膨潤土(MX80)	◎	◎	-
膨潤土(KV1)	◎	◎	-

吸附反應參數主要為所建立之核種吸附反應化學式對應的平衡常數(Equilibrium constant)。因此，本計畫以核種吸附實驗成果以及材料試驗結果(2 處建議候選場址之環境背景資料、混凝土材料和膨潤土材料(MX-80 與 KV-1)之組成分析)配合所蒐集之相關化學反應式及平衡常數，進行核種吸附反應平衡常數率定後，利用 HYDROGEOCHEM 地化傳輸程式進行模擬。

### 1.3 核種吸附實驗

為了確保障壁材料的物理與化學雙重特性滿足安全需求，國際間多數採用安全評估模式進行各材料的物理化學特性評估，其

中有關處置母岩、混凝土與膨潤土材料對於外釋核種之吸附能力係採用核種吸附分配概念設定分配係數值(Kd)的方式進行。

雖然吸附能力已被簡化為採 Kd 值做代表，用於描述核種在材料表面與其殘留於溶液中之分配比例。但 Kd 值易受環境變數影響而改變，例如環境溫度、溶液酸鹼度與氧化還原電位等，若直接採用其他國家的吸附研究成果資料庫作為我國後續安全評估分析之參數使用，將可能會導致評估結果與我國處置場之實際情形有所差異，因此應藉由相關本土化試驗求得核種吸附於不同材料間之 Kd 值，用以確立處置母岩、混凝土與膨潤土等障壁材料於我國 2 處建議候選場址環境中對放射性核種的吸附特性，以供後續作為安全評估時的輸入參數。

本工作項目以「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」(以下簡稱 LLWD 2016 報告)安全分析中的 6 個核種(Co、Cs、Ni、Sr、I 和 C)為主要研究對象，藉由吸附動力與吸附平衡實驗，掌握各核種在與場址地下水組成成分相似的人工地下水和人工海水環境中，吸附於混凝土、MX-80 膨潤土、KV-1 膨潤土、硬頁岩與花崗岩的行為差異。

實驗結果得知，吸附材料的組成與環境溶液中離子強度的不同皆會影響各核種的吸附動力曲線變化趨勢與 Kd 值。其中 Co、Cs、Ni、Sr 等 4 個核種對比表面積較大、可交換陽離子容量較高之吸附材料 MX-80 膨潤土、KV-1 膨潤土，所需的吸附反應平衡時間較比表面積較小、可交換陽離子容量較低之混凝土、花崗岩、硬頁岩少約 2 倍。另外當環境溶液中的離子強度增加時，將伴隨著離子競爭效應，使得核種的吸附反應出現拖遲現象，導致 5 種吸附材料之吸附能力多數較人工地下水環境時低。

另外藉由表 1.3-1 核種分配係數回歸結果也可得知，Co、Cs、Ni、Sr 等 4 個核種的 Kd 值容易因吸附材料與環境溶液中離子強度的不同而改變，相較於 C、I 核種的 Kd 值則變化較不顯著。同

時也發現 C、I 核種的  $K_d$  值皆未超過 35 L/kg，表示 C、I 核種不易吸附於 5 種吸附材料，且其吸附行為也不易因吸附材料與溶液離子強度的不同而改變，原因係當 C、I 核種溶於水中時，主要以不帶電荷或陰離子的分子型態存在於溶液中，而一般吸附材料之組成礦物以鋁矽酸鹽為主，在水溶液環境中材料表面會帶負電荷，故以電性互斥的性質而言，大部分的吸附材料均不易吸附 C 和 I。

據此後續在進行安全評估分析時，應留意周圍母岩特性、工程障壁材料與近場環境演化對 Co、Cs、Ni、Sr 等 4 個核種的吸附行為變化，以提升分析評估的準確性。

表 1.3-1 關鍵核種之分配係數回歸結果

核種	吸附材料	人工地下水		人工海水	
		分配係數	$R^2$	分配係數	$R^2$
C	混凝土	18.8	0.9414	-	0.6922
	MX-80	6.6	0.0689	-	0.3969
	KV-1	20.2	0.3331	-	0.0276
	硬頁岩	10.9	0.4694	33.8	0.0506
	花崗岩	0.06	0.0015	-	0.6212
Co	混凝土	-	0.0067	7,787.5	0.7833
	MX-80	135.3	0.8800	17.1	0.9387
	KV-1	118.5	0.9402	22.5	0.9073
	硬頁岩	1,154.3	0.8009	42.9	0.9517
	花崗岩	4.2	0.8412	8.0	0.9225
Cs	混凝土	0.9	0.6284	1.4	0.7879
	MX-80	285.6	0.9938	4.9	0.4623
	KV-1	302.2	0.9764	7.1	0.9084
	硬頁岩	16	0.9827	1.8	0.9298
	花崗岩	1.6	0.9277	0.7	0.6153
Ni	混凝土	-	0.0070	-	0.0000
	MX-80	105.9	0.8416	18.1	0.9502
	KV-1	88.6	0.9162	12.9	0.8356
	硬頁岩	20,878	0.8100	169.9	0.9764
	花崗岩	8.2	0.9183	15.9	0.9754
Sr	混凝土	4.0	0.8004	1.8	0.6970
	MX-80	143.4	0.8727	3.0	0.6834
	KV-1	85.6	0.9553	3.4	0.6396
	硬頁岩	12.9	0.9686	-	0.6510
	花崗岩	2.3	0.9276	0.3	0.9471
I	混凝土	1.3	0.4049	0.1	0.3753
	MX-80	-	0.5611	-	0.6383

核種	吸附材料	人工地下水		人工海水	
		分配係數	R <sup>2</sup>	分配係數	R <sup>2</sup>
	KV-1	-	0.2837	1.6	0.3852
	硬頁岩	0.1	0.6627	-	0.0276
	花崗岩	1.5	0.6036	-	0.1888

備註：(1)單位為 L/kg。

(2)Kd 值為負值之數據以「-」呈現。

#### 1.4 低放射性廢棄物最終處置建議候選場址特性調查

針對低放射性廢棄物最終處置建議候選場址特性調查，本計畫目標包含：(1)彙整並檢討既有成果。(2)進一步參考國際特徵化流程之趨勢，評估既有成果並更新作業規劃。(3)提供處置設施設計所需場址特徵參數，以供建構有效多重工程障壁。本計畫依據「場址特徵化之國際經驗與技術發展」報告(台電公司，2019)，進一步評估現有針對我國 2 處低放最終處置建議候選場址之既有特徵化成果與調查規劃。

根據國際經驗，為使場址特徵化成果逼近現地實際狀況並達到高信心水準，特徵化程序應納入多尺度與疊代式原則，將多重特性調查成果作為反覆檢驗特徵化成果之依據，期間輔以模擬分析，分階段更新調查規劃與檢核重要場址特徵。本計畫規劃之場址特徵化作業須依序依多階段執行，主要包含準備階段的文獻調查及調查階段的遙測與地面調查、初步鑽孔調查、細部鑽孔調查、地球物理井測與水力試驗調查及補充調查等子階段調查作業，並須逐階段評估特徵化成果(圖 1.4-1)。特徵化尺度分為：(1)區域尺度：著重於評估板塊運動與區域地質等對場址的影響，大部分特徵判釋於準備階段完成，評估範圍介於數百平方公里至數十平方公里。(2)場址尺度：範圍介於數十平方公里至數平方公里，特徵化作業著重於涵蓋設整體設施區域的地質環境，須經多階段特性調查與特徵分析，並持續監測追蹤場址特徵之變化。(3)設施尺度：範圍



表 1.4-1 達仁鄉建議候選場址既有特徵化成果之回饋

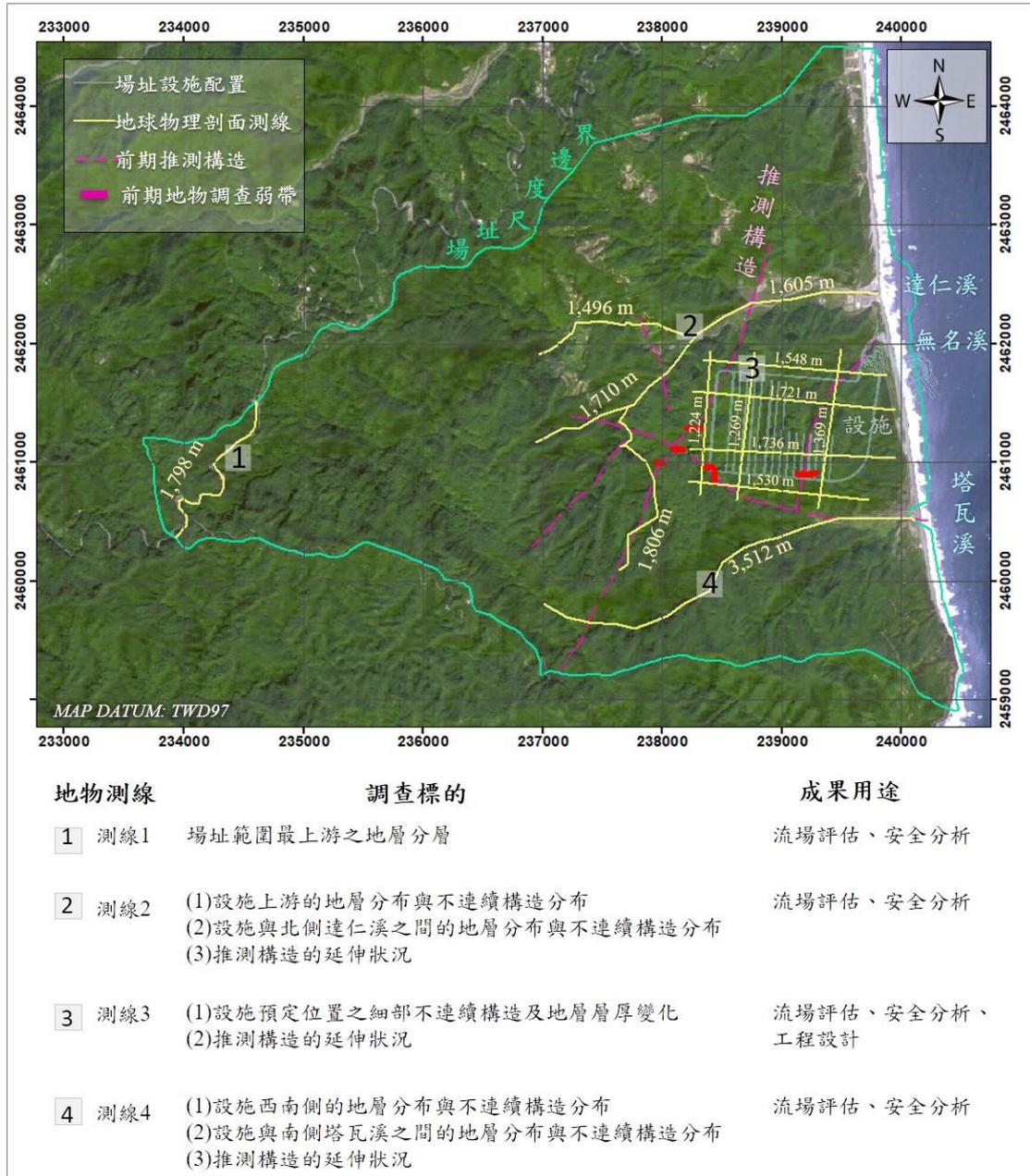
領域	現有模型簡述	後續待釐清議題
地質	<p>1.區域尺度：場址位處南中國海板塊與菲律賓海板塊之間的增基岩體東側，東、西兩側分別以潮州-恆春斷層、弧前盆地背衝斷層為界，南、北兩側以岩性變化分界為界，模型中的岩層分區包含潮州層、牡丹層以及第四紀沉積物層</p> <p>2.場址尺度：場址位於達仁溪與塔瓦溪之間，東側以海岸線為界、西北側及西南側以地表分水嶺為界，模型中的地質單元分為潮州層、第四紀沉積物層、推測構造帶</p> <p>3.設施尺度：模型邊界視設施位置與欲評估之範圍而定，模型中的地質單元分為潮州層、第四紀沉積物、推測構造帶</p>	<p>1.區域尺度之其他可能分布之大型構造</p> <p>2.LLWD 2016 報告推測構造帶的實際空間分布，以及其他場址尺度及設施尺度不連續面的存在與分布</p> <p>3.硬頁岩層場址尺度及設施尺度各自的裂隙強度空間變化，包含隨深度之變化趨勢</p> <p>4.場址尺度及設施尺度各自的裂隙位態空間變化</p> <p>5.場址尺度及設施尺度不同地質單元之裂隙特性均勻區判釋</p>
水文地質	<p>1.區域尺度：以區域尺度地質特徵模型為基礎，東、西 2 側以靠近潮州-恆春斷層、弧前盆地背衝斷層的地表水體天然邊界為界，南、北兩側選定靠近岩性變化分界之地表地形天然邊界。模型中的水文地質單元分為 CHI(硬頁岩組成之裂隙岩體)、CH2(硬頁岩組成之緻密岩體)及 M(輕至中度風化之沉積岩)</p> <p>2.場址尺度：以場址尺度地質特徵模型為基礎，使用天然邊界，並初步依裂隙密集程度隨深度加深而漸減的學理依據，初步假設場址細分為 3 層裂隙密集程度不同的分層，劃分為水文地質單元 AZ1、AZ2 及 AZ3，場址尺度地質環境特徵模型中的推測構造帶劃分為透水性較高的水文地質單元 PCZ</p> <p>3.設施尺度：模型邊界視設施位置與欲評估之設施範圍而定，目前尚未針對設施尺度新增水文地質單元，模型中的水文地質單元與分布假設為與場址尺度相同</p>	<p>1.場址尺度範圍與設施尺度不連續構造的導水特性</p> <p>2.導水裂隙的裂隙統計特徵及其導水特性</p> <p>4.以場址尺度及設施尺度地質的裂隙特性均勻區為基礎，進一步分析各尺度的裂隙地下水特性均勻區</p> <p>5.各尺度範圍內地下水流場特性，及與地表水體之關係</p> <p>6.開挖損傷區(Excavation Damaged Zone, EDZ)對設施尺度流場之影響</p>

領域	現有模型簡述	後續待釐清議題
地球化學	地表水酸鹼值約為 5.2，地下水酸鹼值較高，可達 6.3~7.13，地下水氧化還原電位介於 169~220 mV，場址硬頁岩組成為石英、白雲母、高嶺石、綠泥石、鈉長石與葉臘石，已調查 6 個核種之分配係數，碳為 10.9 L/kg，鈷為 656 L/kg，鈾為 15.4 L/kg，鎳為 42,428 L/kg，錒為 12.7 L/kg，碘為 0.5 L/kg	影響吸附之地因素： 1.地表水、地下水酸鹼值的數值變化範圍與空間分布 2.氧化還原電位的數值變化範圍與空間分布 3.地表水、地下水溫度的變化
生物環境	達仁鄉建議候選場址所在的南田村，為全鄉人數最少的村落，僅 323 人。達仁鄉的產業發展多以一級產業為主，農產業以粟(小米)與檳榔的產量較多；鄉內漁業產業以沿岸漁業為主；現有牲畜和家禽之數量，以豬和雞的數量最多；過往現地探勘可見沿台 26 線之零星養殖漁塭	1.場址區域生物群分布 2.場址區域農林漁牧產業分布 3.現有養殖魚塭狀況

表 1.4-2 烏坵鄉建議候選場址既有特徵化成果之回饋

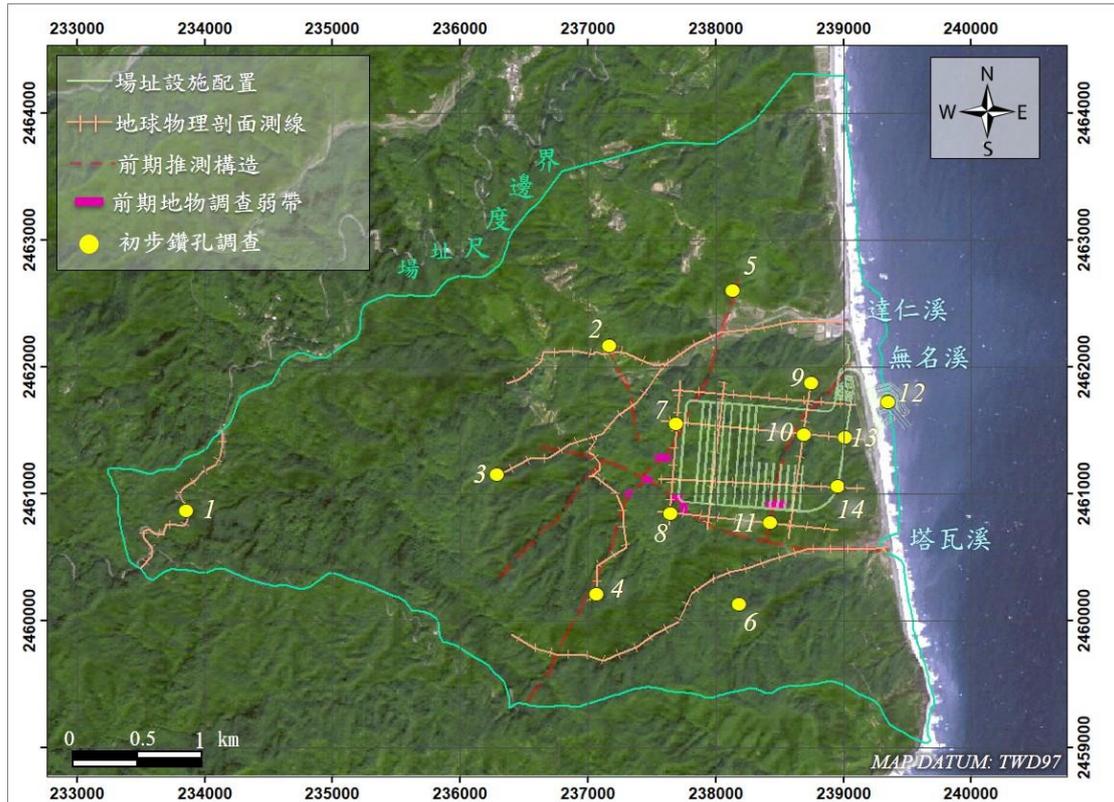
領域	現有模型簡述	後續待釐清議題
地質	1.區域尺度：西北側及東南以長樂-南澳深斷裂帶及閩粵濱海斷裂帶為界，東北及西南以興化灣斷裂及泉州灣斷裂為界，模型中的岩層分區包含第四紀沉積層、海域沉積層、火成岩與其他變質基岩，及花崗岩與其他侵入岩類 2.場址尺度：場址四周環海，半徑 10 km 範圍內無可相連之連續不連續構造或天然邊界，模型中的地質單元分為表土層、花崗岩層、岩脈(玄武岩)及岩脈(閃長岩) 3.設施尺度：模型邊界視設施位置與欲評估之設施範圍而定，模型中的地質單元至少分為表土層、花崗岩層、岩脈(玄武岩)及岩脈(閃長岩)	1.區域尺度之其他可能分布之大型構造 2.場址尺度與設施尺度各自的斷層狀態，潛在破碎帶的存在與延伸性 3.花崗岩場址尺度及設施尺度各自的裂隙強度空間變化，包含隨深度之變化趨勢 4.場址尺度及設施尺度各自的裂隙位態空間變化 5.場址尺度及設施尺度不同地質單元之裂隙特性均勻區判釋

領域	現有模型簡述	後續待釐清議題
水文地質	<p>1.區域尺度：以區域尺度地質特徵模型為基礎，以位於福建沿海且大致平行長樂—南澳斷裂帶的分水嶺作為西北側邊界，興化灣斷裂作為東北側邊界，閩粵濱海斷裂帶作為東南側邊界，泉州灣斷裂作為西南邊界，模型中的水文地質單元分為 G1(花崗岩類與其他侵入岩類組成之裂隙岩體)、G2(花崗岩類與其他侵入岩類組成之緻密岩體)、I(其他火成岩與變質基岩組成之岩體)</p> <p>2.以場址尺度地質特徵模型為基礎，考量場址尺度的地質環境中無連續的不連續構造，水文地質特徵模型的評估範圍以既有調查資料的調查範圍為界，後續之流場評估邊界條件，需由區域尺度模擬結果提供。水文地質單元分為 DZ(岩脈侵入帶)、GZ1(裂隙發達度較高之花崗岩層)、GZ2(裂隙發達度次低之花崗岩層)、GZ3(裂隙發達度最低之花崗岩層)</p> <p>3.模型邊界視設施位置與欲評估之設施範圍而定，目前尚未針對設施尺度新增水文地質單元，模型中的水文地質單元與分布假設為與場址尺度相同</p>	<p>1.確認各尺度之潛在破碎帶的存在與延伸性，並進一步確認其導水特性</p> <p>2.承 1.，其他場址尺度與設施尺度範圍內不連續構造之導水特性</p> <p>3.導水裂隙的裂隙統計特徵及其導水特性</p> <p>4.以場址尺度及設施尺度地質的裂隙特性均勻區為基礎，進一步分析各尺度的裂隙地下水特性均勻區</p> <p>5.各尺度範圍內地下水流場特性，及與地表水體之關係</p> <p>6.EDZ 對設施尺度流場之影響</p>
地球化學	<p>地表水酸鹼值介於 7.90~10.23，地下水酸鹼值介於 6.21~7.41，且隨深度加深而呈微酸性。地表水氧化還原電位位於 269 mV ~499 mV 之間，淺井地下水的氧化還原電位介於 276 mV 至 542 mV，深井(地質鑽井)的地下水氧化還原電位介於 15.8 mV 至 18.2 mV。場址花崗岩組成為石英、長石類及雲母類，閃長岩組成為石英、長石類、雲母類及角閃石類。已調查 6 個核種之分配係數，花崗岩與人工地下水之試驗成果，碳為 0.06 L/kg，鈷為 5 L/kg，鈾為 1.2 L/kg，鎳為 10.1 L/kg，錒為 3.4 L/kg，碘為 3 L/kg。花崗岩與人工海水之試驗成果，鈷為 10 L/kg，鈾為 1.1 L/kg，鎳為 23.5 L/kg，錒為 0.1 L/kg，碳與碘則是測得負值</p>	<p>影響吸附特性之地球化學因素：</p> <p>1.地表水、地下水酸鹼值的數值變化範圍與空間分布</p> <p>2.氧化還原電位的數值變化範圍與空間分布</p>
生物環境	<p>烏坵鄉建議候選場址所在的小坵嶼，為全鄉之人數最少的村落，僅 365 人。烏坵鄉的產業發展無農、漁和畜牧等產業活動。小坵島上居民僅在住家附近貧瘠土地種植蔬菜自用，或是採集紫菜、釣魚、拾取風螺、抓螃蟹和小章魚等</p>	<p>1.長時間生態演替狀況</p> <p>2.海域歧異度、優勢種、保育種、珍貴稀有種</p>



備註：本調查係以 LLWD2016 報告之推測成果假設為調查目標，未來實際調查配置，仍需依據當時最新文獻調查、遙測調查等成果，修正實際調查配置與內容。

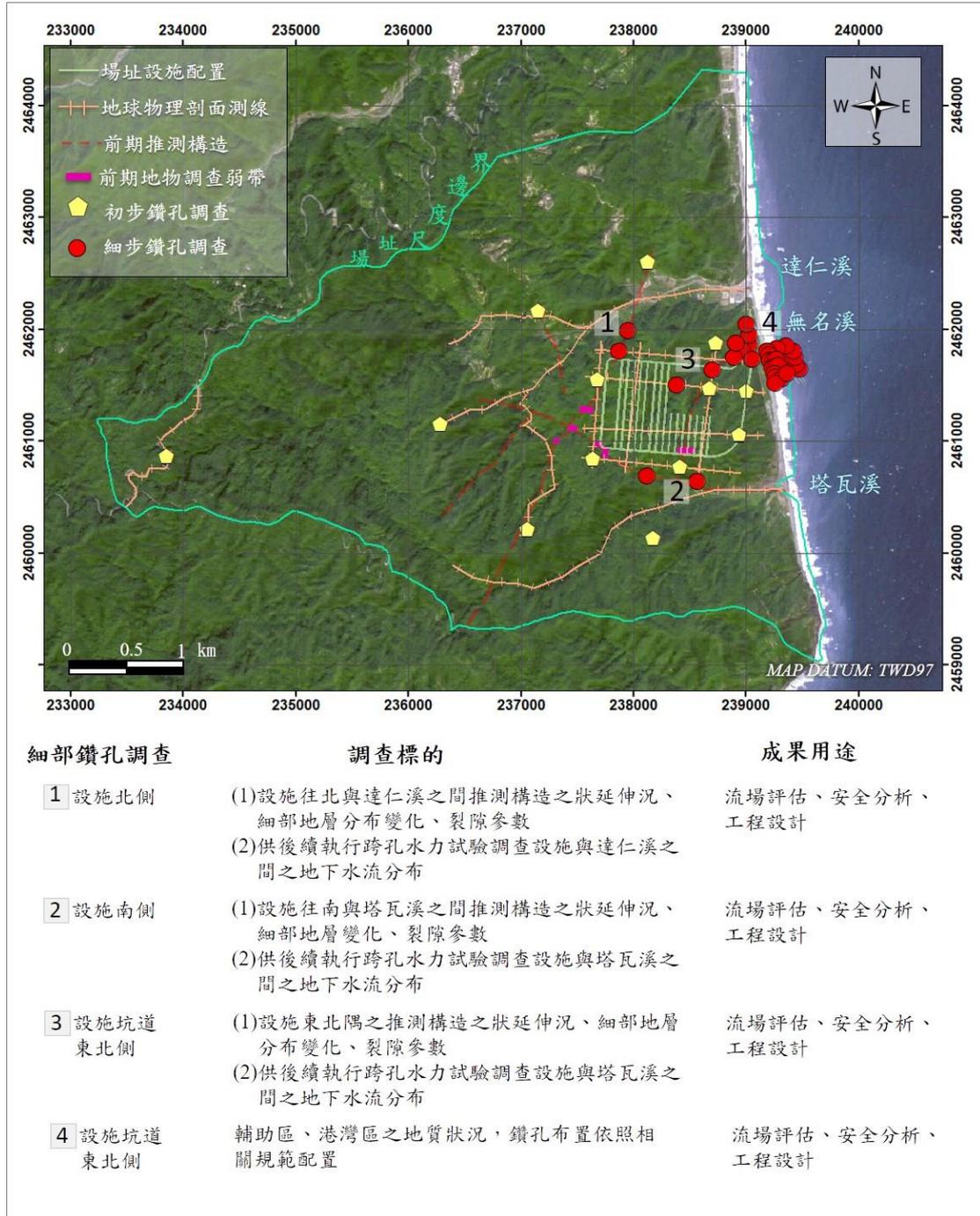
圖 1.4-2 階段式場址特性調查布置(1)：地球物理測線布置



初步鑽孔調查	調查標的	成果用途
鑽孔1	場址範圍最上游之地層分層、裂隙位態、裂隙強度等裂隙參數	流場評估、安全分析
鑽孔2~4	(1)設施上游之地層分布與不連續構造分布 (2)推測構造帶的延伸狀況與位態驗證 (3)裂隙位態、裂隙強度等裂隙參數	流場評估、安全分析
鑽孔5	(1)設施北側之地層分層 (2)設施北側之裂隙位態、裂隙強度等裂隙參數 (3)推測構造帶的延伸狀況與位態驗證	流場評估、安全分析
鑽孔6	(1)設施南側之地層分層 (2)設施南側之裂隙位態、裂隙強度等裂隙參數 (3)推測構造帶的延伸狀況	流場評估、安全分析
鑽孔7、8	(1)設施上游方向之外圍地層分層 (2)推測構造帶的延伸狀況與位態驗證	流場評估、安全分析
鑽孔9~14	(1)設施預定地之初步地層分層 (2)設施預定地之裂隙位態、裂隙強度等裂隙參數 (3)設施預定地之推測構造帶的延伸狀況與位態	流場評估、安全分析、 工程設計

備註：(1)本調查係以 LLWD2016 報告之推測成果假設為調查目標，未來實際配置，仍需於最新之文獻調查、遙測調查、地面地質調查作業等完成後，修正實際調查配置與內容。  
 (2)鑽孔設定斜孔、直孔與否，視地物剖面調查結果而定，高角度之不連續構造須以斜孔鑽探驗證，以避免鑽孔平行不連續構造而導致無法取得其分布資訊。  
 (3)鑽孔布置以不破壞處置區母岩完整性為考量，鑽孔深度以至少達處置深度以下 50 m 為原則，以下之鑽孔深度則配合特徵化目標、前階段調查成果評估及相關法規作規劃。

圖 1.4-3 階段式場址特性調查布置(2)：初步鑽孔調查鑽孔布置

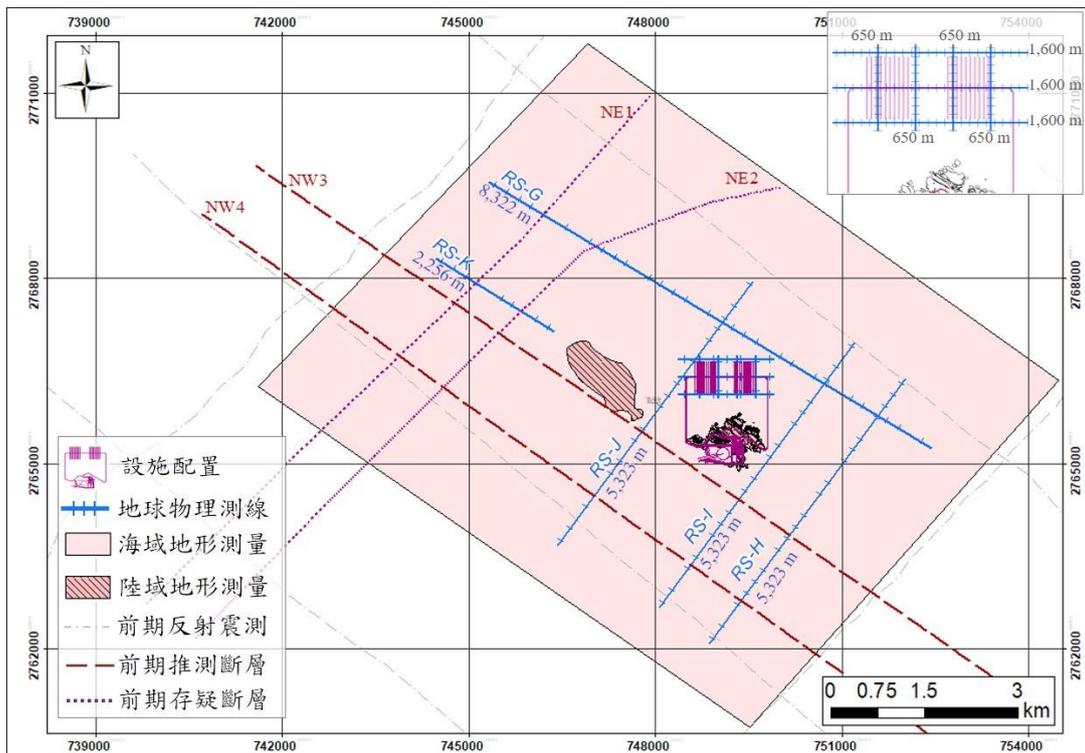


備註：(1)本調查係以 LLWD2016 報告之推測成果假設為調查目標，未來實際配置，仍需於最新之文獻調查、遙測調查、地面地質調查及初步鑽孔調查等相關調查完成後，修正實際調查配置與內容。

(2)鑽孔設定斜孔、直孔與否，視前階段調查結果而定，高角度之不連續構造須以斜孔鑽探驗證，以避免鑽孔平行不連續構造而導致無法取得其分布資訊。

(3)鑽孔布置以不破壞處置區母岩完整性為考量，鑽孔深度以至少達處置深度以下 50 m 為原則，以下之鑽孔深度則配合特徵化目標、前階段調查成果評估及相關法規作規劃。

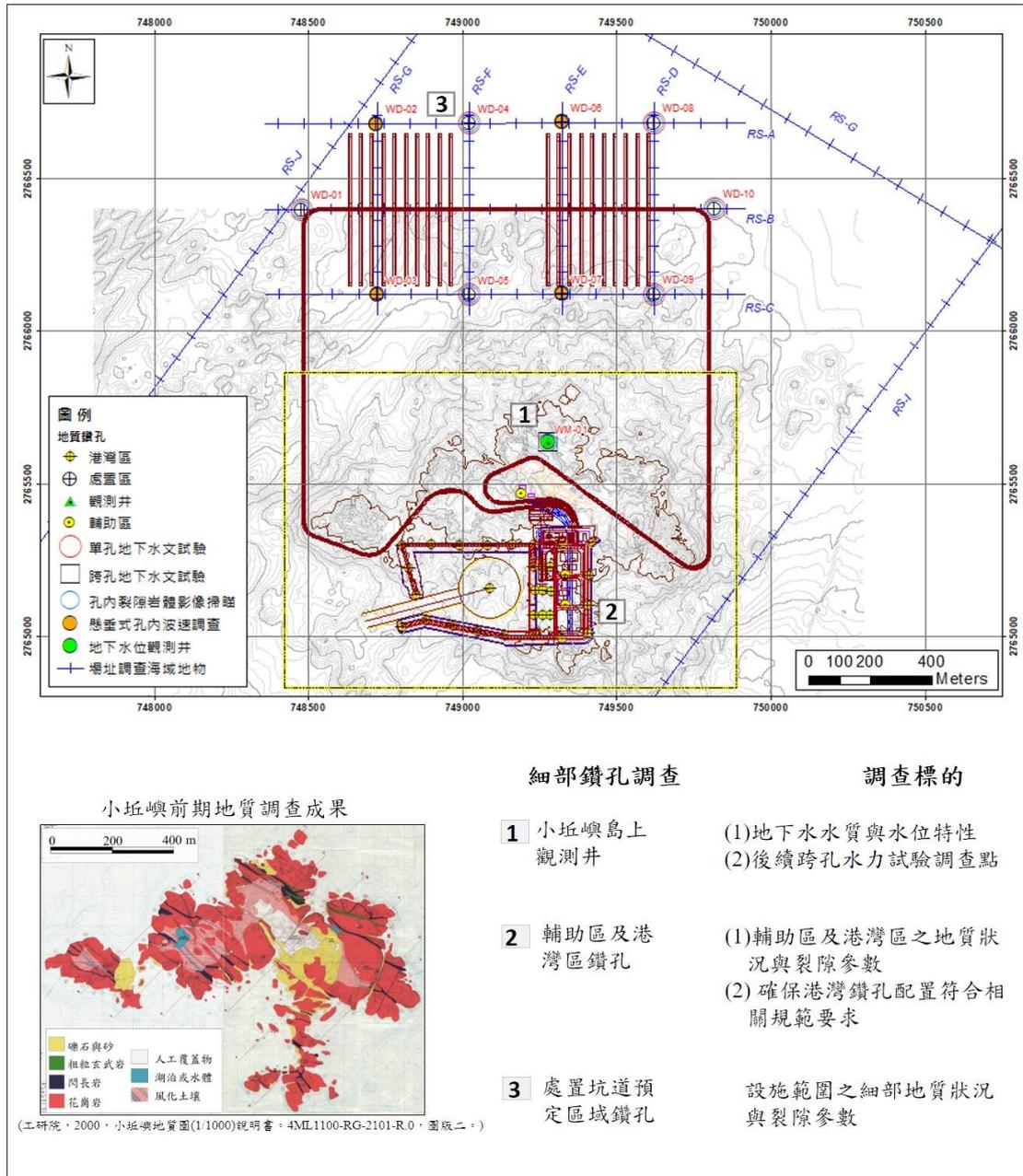
圖 1.4-4 階段式場址特性調查布置(3)：細步鑽孔調查鑽孔布置



地物測線	調查標的	成果用途
RS-G	(1)NE1及NE2等推測斷層之分布 (2)場址北側及西北側的地層分布與不連續構造分布	流場評估、安全分析
RS-H	(1)NW3及NW4等存疑斷層之存在與延伸狀況 (2)設施場址東側與東南側的地層分布與不連續構造分布	流場評估、安全分析
RS-I	(1)NW3及NW4等存疑斷層之存在與延伸狀況 (2)設施場址東側與東南側的地層分布與不連續構造分布	流場評估、安全分析、 工程設計
RS-J	(1)NW3及NW4等存疑斷層之存在與延伸狀況 (2)設施場址西側與西南側的地層分布與不連續構造分布	流場評估、安全分析、 工程設計
RS-K	(1)NE1及NE2等推測斷層之分布 (2)場址北側及西北側的地層分布與不連續構造分布	流場評估、安全分析
處置坑道 周邊測線	(1)前期未發現之小型不連續構造 (2)坑道預定位置的細部地層分布與不連續構造分布	流場評估、安全分析、 工程設計

備註：本調查係以 LLWD2016 報告之推測成果假設為調查目標，未來實際調查配置，仍需依據當時最新文獻調查或遙測調查等成果，修正實際調查配置與內容。

圖 1.4-5 階段式場址特性調查布置(1)：海域地球物理剖面測線布置



備註：(1)小丘嶼本島已設有 15 孔地質探查孔，相當於已進行初步地質調查。故本調查進一步以處置坑道預定區域、港灣區及輔助區為細部調查主要目標。

(2)本調查係以 LLWD2016 報告之推測成果假設為調查目標，未來實際配置，仍需基於最新之文獻調查及其他相關調查成果，修正實際調查配置與內容。

(3)鑽孔設定斜孔、直孔與否，視前一調查階段成果而定，高角度之不連續構造須以斜孔鑽探驗證，以避免鑽孔平行不連續構造而導致無法取得其分布資訊。

(4)鑽孔布置以不破壞處置區母岩完整性為考量，鑽孔深度以至少達處置深度以下 50 m 為原則，以下之鑽孔深度則配合特徵化目標、前階段調查成果評估及相關法規作規劃。

圖 1.4-6 階段式場址特性調查布置(2)：細部鑽孔調查布置

## 參考文獻

1. 台電公司，2019，LLWD2-SI-2018-01-V04，場址特徵化之國際經驗與技術發展。

## 第 2 章 處置設計與工程技術

本計畫與工程技術發展有關的工作項目，於 108 年度已完成「膨潤土材料施工方法研究」、「膨潤土長期穩定性研究」、「處置坑道力學特性分析」、「低放處置設施工程障壁設計功能」、「低放處置設施工程障壁設計規範」、「低放處置場運轉規劃」、「低放射性廢棄物最終處置建議候選場址處置設計與工程技術」等工作，而「膨潤土參數實驗與界面特性分析」、「膨潤土飽和循環條件下的材料參數變化研究」和「坑道開挖影響評估與工程對策」等 3 項工作則仍在執行中，各工作之現階段成果分別摘要說明如後。

### 2.1 膨潤土材料特性與力學特性研究

#### 2.1.1 膨潤土參數實驗與界面特性分析

本工作項目將針對 KV-1 膨潤土進行化學成分、礦物成分與物理性質等相關基本參數試驗，以作為初步膨潤土材料選用之評估標準。化學及礦物成分將採 X 射線螢光分析(X-ray Fluorescence, XRF)及 X 射線繞射分析(X-ray Diffractometry, XRD)試驗結果進行分析，物理性質部分則採阿太堡試驗、活性試驗、回脹指數試驗、乾比重試驗、含水量試驗、粒徑分析試驗、水合特性試驗之結果評估膨潤土特性。

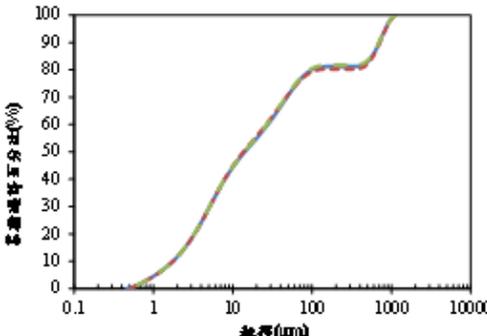
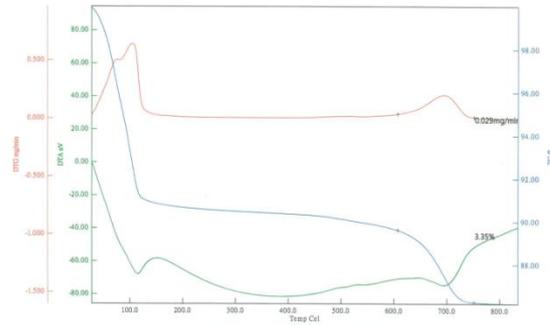
完成膨潤土材料基本參數試驗後，將以 3 種乾密度、2 種膨潤土/砂石添加比例製作試驗用之 KV-1 膨潤土試體，進行自由回脹、定體積回脹壓力與水力傳導度等 3 個主要基本性能試驗，藉此評估 KV-1 膨潤土用於低放射性廢棄物最終處置場阻水層材料之功能性質，同時也將相同配比之 KV-1 膨潤土試體進行抗壓強度與彈性模數試驗，掌握阻水層材料受載重後之抗壓能力與變形狀況。

另外根據目前低放射性廢棄物最終處置場概念設計，膨潤土材料將直接與處置窖之新拌混凝土接觸，新拌混凝土及膨潤土材料有可能因交互作用而影響膨潤土材料性能，因此設計膨潤土與混凝土交界面試驗，預先於模具內以 3 種不同乾密度、100% 膨潤土取代量壓製膨潤土磚，並在壓製完成後的膨潤土試體上澆置混凝土，觀察分析混凝土澆置底層之成形狀況，同時也針對與混凝土直接接觸的表層膨潤土，以可交換陽離子容量試驗探討膨潤土材料接觸混凝土持續 1、6、12 個月時，其可交換陽離子總量受混凝土水化影響之情形。

本工作項目於 108 年度已完成 KV-1 膨潤土的基本參數試驗，其結果如表 2.1-1 所示，同時也已完成膨潤土與混凝土交界面試驗的設計與流程規劃，並持續針對 KV-1 膨潤土進行自由回脹、定體積回脹壓力與水力傳導度試驗，預計於 110 年 3 月底完成所有試驗項目。

表 2.1-1 KV-1 膨潤土基本參數試驗結果

試驗項目	參數
成分分析	$SiO_2$ : 71.726%
	$Al_2O_3$ : 15.387%
	$Fe_2O_3$ : 2.059%
	$CaO$ : 2.664%
	$MgO$ : 2.524%
	$SO_3$ : 0.706%
	$P_2O_5$ : 0.036%
	$TiO_2$ : 0.175%
	$K_2O$ : 0.346%
	$Na_2O$ : 4.092%
	$SrO$ : 0.022%
	$MnO$ : 0.084%
	$Co_3O_4$ : 0.009%
阿太堡	塑性限度 : 62
	液性限度 : 424
	塑性指數 : 362
乾比重	2.79
含水量	9.5%

試驗項目	參數
粒徑分析	
活性指數(Ac)	6.9
回脹指數	18 mL/2g
水合特性	

### 2.1.2 膨潤土飽和循環條件下的材料參數變化研究

低放射性廢棄物最終處置場封閉後的長期運轉期間，雖然地下水有可能經由周邊環境緩慢滲透至處置場中，使處置場環境逐漸趨於飽和，但亦有可能因排水或阻水工程設施發揮功能，而使水分長久未滲透至處置場內，或因長期水文環境演變導致處置場保持未飽和狀態，在長久未飽和狀態下，障壁材料將因長期乾燥環境而產生收縮、開裂等變化，亦可能因遭遇乾燥與潮溼環境循環而使障壁材料產生反覆的體積收縮與膨脹。

另一方面在長久未飽和的狀態下，膨潤土阻水層與混凝土障壁長時間的相互接觸也會使障壁材料間產生離子交換現象，使膨潤土阻水層材料中的可交換鈉、鎂離子以陽離子交換的方式進入混凝土障壁中，而混凝土障壁中所含的鈣離子也會透過陽離子交換的方式釋出至阻水層中。

針對這些環境演變與交互作用相應的化學變化影響，本工作項目將根據目前低放射性廢棄物最終處置場概念設計所規劃的 MX-80、KV-1 膨潤土阻水層材料與混凝土障壁材料，透過乾溼循環試驗與電滲加速試驗，分別模擬分析膨潤土阻水層於乾溼循環環境下，以及長期與混凝土障壁交互作用情形下，其材料特性的變化狀況，接著針對乾溼循環試驗與電滲加速試驗完成之膨潤土試體，以海淡水、酸鹼性溶液進行自由回脹、回脹壓力與水力傳導度試驗，藉此模擬膨潤土阻水層經歷乾溼循環或長期與混凝土障壁交互作用後，海淡水入侵至處置場使障壁材料成為飽和狀態的情形，同時也透過鹼性環境模擬混凝土溶出失鈣對膨潤土阻水層的影響，並設計酸性環境進行對照，以瞭解膨潤土阻水層經環境演化、交互作用後的障壁功能變化。

本工作項目於 108 年度已完成 MX-80、KV-1 膨潤土的乾溼循環試驗與電滲加速試驗，目前正在進行後續自由回脹、回脹壓力與水力傳導度試驗，預計於 109 年 9 月底完成所有試驗項目。

### 2.1.3 膨潤土材料施工方法研究

本工作項目藉由相關試驗，掌握 MX-80 與 KV-1 膨潤土材料經歷製法、澆置法、夯實法之 3 種不同施工方法後所得之基本特性，作為我國低放射性廢棄物處置場設計與安全評估之參考依據。

根據表 2.1-2 與表 2.1-3 試驗結果可得知，2 種膨潤土材料在本工作項目所設計之 3 種不同施工方法下，皆能提供處置場一定程度之抵抗外力及阻水性能，其中 KV-1 膨潤土所得之抗壓強度皆較 MX-80 高，但阻水性能皆較 MX-80 低，因此建議未來施工時可依其材料特性，選擇符合處置場設計需求之材料進行施工。

而在 3 種施工方法中，由於澆置法流填材含有膠結材之成分，故抗壓強度較其他施工方法高，但是阻水性能卻僅有其他施工方法的萬分之一，可能較難滿足預期之阻水性能，因此較不適合作為高阻水型處置坑道內的阻水層。然而澆置法流填材具有相當程度之流動性，並且僅需簡單的機具即可進行施工，可及範圍較廣，因此較適合用以填塞坑道角隅、坑道頂部等其他機具無法進行施工的部分。

另一方面，壓製法雖然能獲得較高抗壓強度和阻水性能之膨潤土磚，但目前較難以現地施工的方式進行膨潤土磚壓製，僅能在預鑄場壓製完成後，再陸續運送至坑道內進行堆疊。考量目前我國低放射性廢棄物處置場之概念設計，其阻水層的膨潤土需求量大，若以膨潤土磚堆疊的方式進行施工，則將會耗費過多的工時，導致施工執行上的困難。

至於夯實法混合料除了可提供一定的抗壓強度與阻水性外，其材料的製備步驟、品質管理與機具的需求也較為容易操作，並且此方法已廣泛運用於各國處置場之膨潤土材料施工中。因此建議可參照日本、瑞典等國家的處置場膨潤土材料施工經驗，運用現地夯壓的方式進行底部、側邊與頂部阻水層的施工，並採用澆置法流填材補強處置坑道角隅不易施工的部分。

表 2.1-2 2 種膨潤土材料經 3 種施工方法後之特性

特性	施工方法	KV-1	MX-80
抗壓強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	壓製法(乾密度 1.6 g/cm <sup>3</sup> )	24.9	21.0
	澆置法(10%膨潤土添加量)	54.9	45.3
	夯實法(50:50)	13.25	7.35
彈性模數 (kgf/cm <sup>2</sup> )	壓製法(乾密度 1.6 g/cm <sup>3</sup> )	6,829	5,272
	澆置法(10%膨潤土添加量)	4.09×10 <sup>5</sup>	3.41×10 <sup>5</sup>
	夯實法(50:50)	960	680
水力傳導度 (m/s)	壓製法(乾密度 1.6 g/cm <sup>3</sup> )	2.05×10 <sup>-13</sup>	1.34×10 <sup>-13</sup>
	澆置法(10%膨潤土添加量)	3.87×10 <sup>-9</sup>	1.63×10 <sup>-9</sup>
	夯實法(50:50)	2.10×10 <sup>-13</sup>	1.53×10 <sup>-13</sup>

表 2.1-3 壓製法、澆置法與夯實法的分析比較

施工方法	優點	缺點
壓製法	1.具有較高之阻水性能 2.備料容易，可直接針對原料進行壓製作業	1.無法現地施工，必須於預鑄場完成施作時，再運至處置場內堆疊 2.施工成品易受外界環境影響而導致特性改變 3.較難施工 4.成本較高
澆置法	1.流動性高，可填補縫隙或角隅部分 2.施工範圍廣泛 3.較容易施工	阻水性能為其他施工方法的萬分之一，可能無法滿足預期之阻水性能
夯實法	可進行大面積的施工作業，具有較高的施工效率	混合料加水拌和時須注意膨潤土結塊的問題

### 2.1.4 膨潤土長期穩定性研究

本研究採用臨界土壤力學為基礎，以及具備良好理論背景及應力應變預測能力之高階土壤組合律模式 Hypoplasticity Clay Model，進行三維有限元素分析，模擬處置坑道於興建、運轉至封閉前階段之載重條件下，膨潤土材料之應力及應變行為。考量膨潤土不同之乾單位重，即 MX-80 乾單位重  $1.65 \text{ g/cm}^3$ 、 $1.87 \text{ g/cm}^3$  及 KV-1 乾單位重  $1.65 \text{ g/cm}^3$  所對應之模式參數進行三維有限元素分析。Hypoplasticity Clay Model 土壤模式驗證，係利用相應膨潤土材料之單向度壓密文獻資料，以 PLAXIS 內建之土壤試驗校正功能(SoilTest)，進行膨潤土材料之單向度壓密試驗模擬，以校正使用之參數，確認土壤模式之合理性。

分析結果顯示，於個別條件下，處置窖下方膨潤土材料之沉陷量均在內政部頒布之「建築物基礎構造設計規範」原則上建議之容許範圍內，亦不至影響處置窖之穩定。說明如下：

- 一、就目前之概念設計中膨潤土材料之配置，以處置窖下方之膨潤土材料，受到載重影響之沉陷行為最為顯著。
- 二、處置窖下方膨潤土材料，於達仁鄉建議候選場之處置窖興建、運轉至封閉階段之載重條件下，各膨潤土材料之最大沉陷量均在

3.4 mm 以下。相同乾單位重條件下，採用 KV-1 膨潤土之沉陷量約為 MX-80 之 59 %；採用相同膨潤土(MX-80)時，膨潤土乾單位重越高，對應之最大沉陷量愈小。

- 三、處置窖下方之膨潤土材料，於烏坵鄉建議候選場之處置窖興建、運轉至封閉階段之載重條件下，各膨潤土材料之最大沉陷量均在 2.6 mm 以下，相同乾單位重條件下，採用 KV-1 膨潤土之沉陷量約為 MX-80 之 73 %。採用相同膨潤土(MX-80)時，膨潤土乾單位重越高，最大沉陷量愈小。
- 四、各載重階段下，處置窖下方膨潤土材料，其最大沉陷量變化受到處置窖趾版剛性影響並不明顯，其中烏坵鄉建議候選場之各階段沉陷幾無變化；達仁鄉建議候選場受到母岩之勁度影響，各階段沉陷相對較明顯。
- 五、考量處置窖下方膨潤土因外水入侵之突發情節，KV-1 膨潤土因浸水軟化，沉陷量將大幅增加至 22.8 mm，約為原條件下最大沉陷量之 8.8 倍~12 倍。該沉陷量仍在一般淺基礎容許範圍內，處置窖趾版角變量亦小於鋼筋混凝土構造容許角變量。

另外，採用雙重結構(Double Structure)組合律，以自行發展之程式碼外掛於 PLAXIS 二維有限元素套裝軟體，可成功模擬膨潤土遇水後膨脹體積-壓力耦合之複雜水力耦合行為。此階段膨潤土穩定性分析主要著重於土壤數值模式之開發，以單元分析進行模式功能驗證，各單元之設計大小為 0.5 m × 0.5 m，單元分析模型上下邊界之變形設為 Normally fixed，左右之邊界則為了使混凝土維持穩定不變，設定為 Fully fixed，而上下邊界之地下水流則設為 Open，使水流能夠通過該介面，單位分析與力學邊界示意圖如圖 2.1-1 所示。

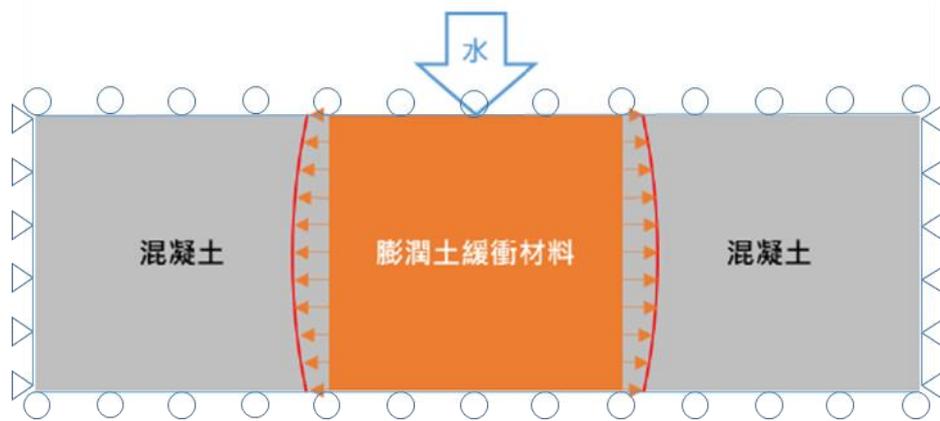
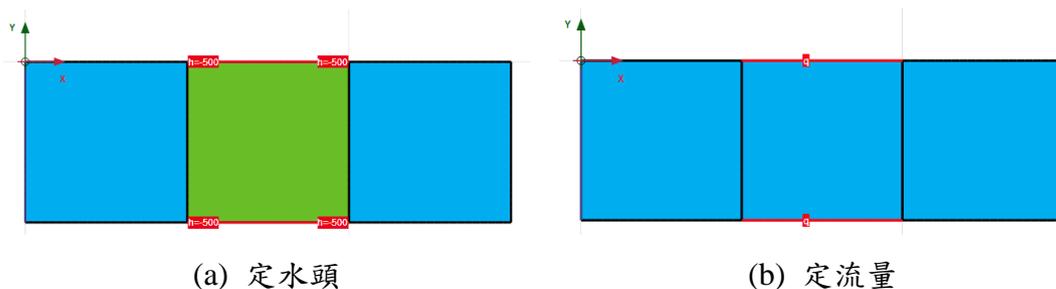


圖 2.1-1 單元分析模擬示意圖

本穩定性分析模式分別以定水頭與定流量 2 種方式作為膨潤土單元之水流邊界。定水頭邊界係以固定水頭位置改變膨潤土單元之孔隙壓力，即內部之基質吸力，並進而影響膨潤土內部飽和度、膨脹應力及變形。水力邊界條件設定如圖 2.1-2(a)所示，除了圖中兩條紅線之地下水邊界條件設定為固定水頭(Head)已指定膨潤土材料內部基質吸力外，其餘黑線之地下水邊界條件皆設定為封閉(closed)。定流量邊界則係於邊界上設定固定入滲流量，以模擬膨潤土單元受入滲作用導致含水量發生變化，並進而影響膨潤土內部基質吸力、飽和度、膨脹應力及變形。水力邊界條件設定如圖 2.1-2(b)所示，除了圖中兩條紅線之地下水邊界條件設定為滲流(Infiltration)以外，其餘黑線之地下水邊界條件皆設定為封閉(Closed)，即水分僅可於兩條紅線處通過。分析成果歸納結論如下：

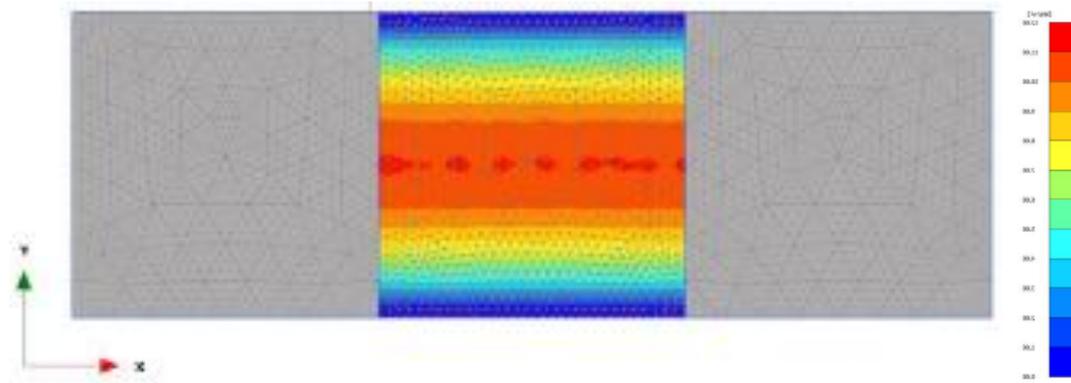


(a) 定水頭

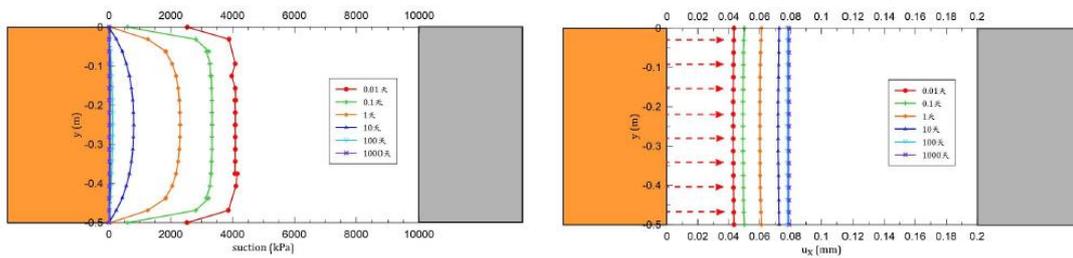
(b) 定流量

圖 2.1-2 單元分析模型之水力邊界示意圖

- 一、透過定水頭之分析邊界，可分別計算不同基質吸力所對應之膨潤土飽和程度，及所對應膨潤土與混凝土界面之膨脹壓力與膨潤土之體積變化。該膨脹壓力於初期較大，約為束制膨脹試驗所得膨脹壓力之 66%，隨著體積變化，膨脹壓力略降至穩定，穩定膨脹壓力約為束制膨脹試驗所得膨脹壓力之 63%。透過膨潤土與混凝土界面上之膨脹壓力及體積隨飽和度變化關聯，可以歸納建立該界面位移與應力關係，可依此關係判別材料應力狀態並進行破壞檢覈。
- 二、透過定流量之分析邊界，可分別計算不同時間下，膨潤土材料之基質吸力分布及變化，及膨潤土與混凝土界面之膨脹壓力及體積變化。分析果顯示，基質吸力之變化率於初期頗高，該變化率隨時間及基質吸力變小而逐漸降低；膨潤土與混凝土界面上之應力與變形之發展，與基質吸力之變化率近似。膨潤土之最終膨脹壓力與定水頭之分析邊界所得之膨脹壓力同，約為束制膨脹試驗所得之膨脹壓力之 63%。透過膨潤土與混凝土界面上在不同時間之應力與位移關係，可依相鄰材料之材料特性，判別其穩定性。
- 三、依此數值模式，透過不同邊界條件設定，考量各種類膨潤土及相鄰材料之特性，透過模式計算，模擬膨潤土體中基質吸力及界面之應力變形於時間域上之分布及變化，摘錄相關分析成果如圖 2.1-3 所示。



(a) 膨潤土材料內部基質吸力分布圖(1,000 天)



(b) 基質吸力分布變化圖

(c) 位移分布變化圖

圖 2.1-3 基質吸力與位移分布變化(以定流量邊界分析結果為例)

## 2.2 處置坑道力學行為分析與研究

### 2.2.1 處置坑道力學特性分析

本工作項目藉由三維數值軟體 FLAC3D，依 2 處建議候選場址環境，根據現階段處置場配置及地質條件，探討處置坑道群於不同開挖施工階段，間距互制效應與交叉段應力變化等重要特性，並研擬最適化設計考量，提供後續支撐設計之參考依據。由於目前尚無現地調查資料與參數，故採用場址周邊既有地質調查與鑽探報告等資料為基礎，利用 E. Hoek et al. (2002)所提出岩體參數間之關聯性，綜合評估出 2 處建議候選場址所需的 3 種不同等級之岩體代表參數，如表 2.2-1 所示。

表 2.2-1 2 處建議候選場址之三維數值分析輸入參數

建議候選場址	台東縣達仁鄉			金門縣烏坵鄉		
	良好	中等	較差	良好	中等	較差
岩體強度	良好	中等	較差	良好	中等	較差
單位重 (KN/m <sup>3</sup> )	26.7	26.7	26.7	25.6	25.6	25.6
凝聚力 (MPa)	0.55	0.38	0.28	1.36	1.11	0.96
摩擦角 (degree)	33	30	26	57	57	56
變形模數 (GPa)	0.79	0.43	0.22	21.58	16.77	13.75
張力強度 (MPa)	-0.22	-0.10	-0.04	-0.42	-0.31	-0.25
柏松比	0.26	0.26	0.26	0.28	0.28	0.28
側向壓力係數 K	1.20	1.20	1.20	1.32	1.32	1.32

從坑道間距布置分析的成果得知，達仁鄉建議候選場址現行概念設計間距為 61 m(5.0D)，其坑道穩定性甚佳，詳圖 2.2-1(a)；倘若將到間距縮減至約 30.5 m(2.5D)時，坑道塑性區範圍已開始延伸串接(紅色部分)，詳圖 2.2-1(b)則須搭配對應之支撐系統，藉以降低間距互制效應，提升坑道穩定性，詳圖 2.2-1(c)。烏坵鄉建議候選場址概念設計間距為 31.7m(2.6D)，場址岩體強度尚能容許縮短坑道間距，然考量現場地質調查不確定性等相關因素後，建議維持目前概念設計間距即可，必要時架設相關支撐系統後，便可達到提升坑道相當程度穩定性，詳圖 2.2-1(d)。

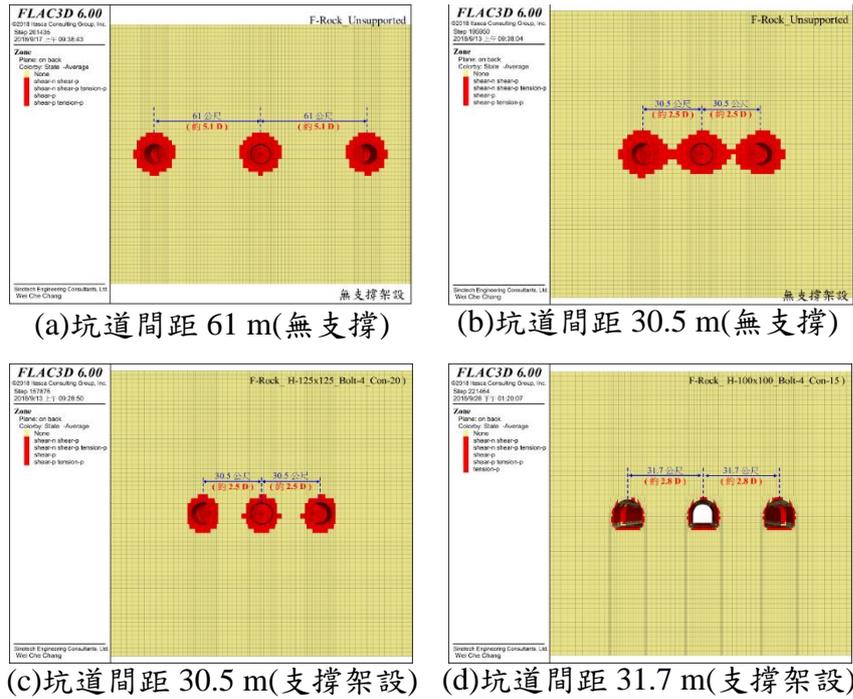


圖 2.2-1 坑道間距之塑性區發展分布

坑道交叉段周圍岩體的開挖漸進力學特性，亦係穩定性評估之重要環節。透過數值分析模擬台階工法(上、下半斷面)、輪進漸進開挖以及支撐系統逐輪架設，深入了解坑道交叉段圍岩應力變化並掌握穩定評估時機。

由 2 處建議候選場址分析成果得知，交叉段頂拱之穩定評估時機，為通行隧道上半台階輪進挖抵或通過交叉段頂拱時，頂拱位置因正下方支撐岩體遭挖除，導致主應力驟降變化顯著，詳圖 2.2-2(a)；交叉段側壁穩定評估時機，為通行隧道上半台階開挖與處置坑道上半台階破孔兩階段開挖時，所產生 2 次半圓型角隅形狀交疊，引致之角隅主應力集中行為，詳圖 2.2-2(b)；交叉段角隅、仰拱穩定之重要評估時機，為通行隧道下半台階岩體挖除階段，有利於前階段集中主應力進行調整後，逐漸收斂至穩定，詳圖 2.2-2(c)(d)。透過上述分析成果，確認概念設計尚屬適當且具有相當之可行性，亦可作為後續支撐設計與調整之參考依據。

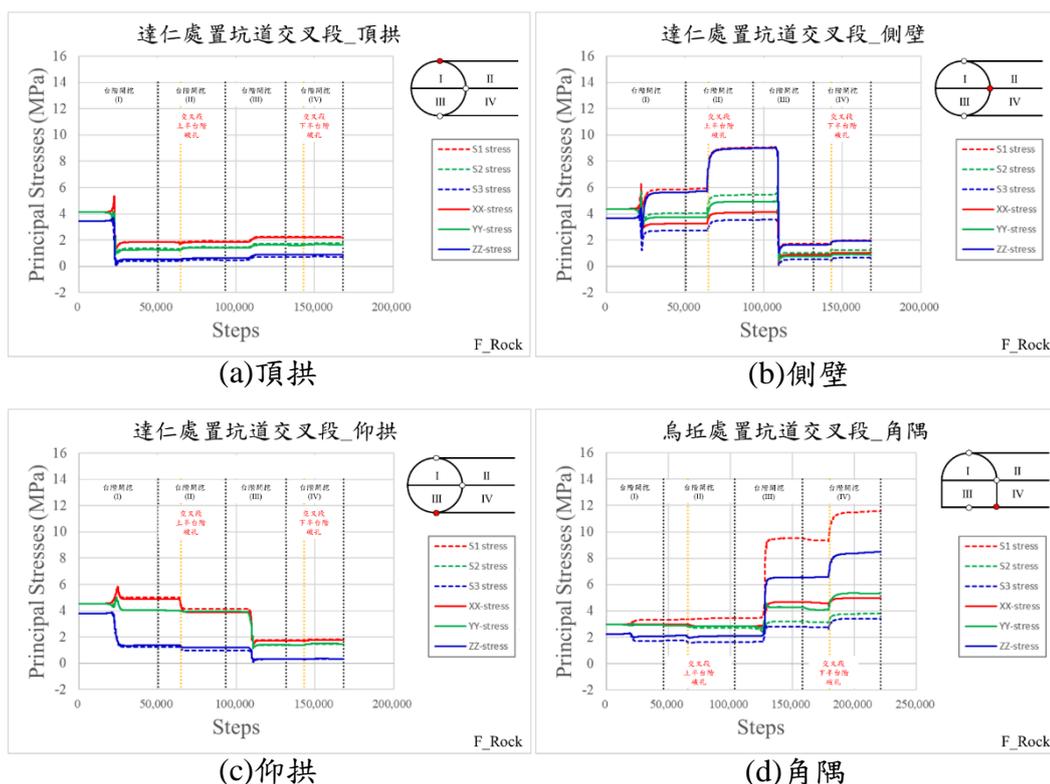


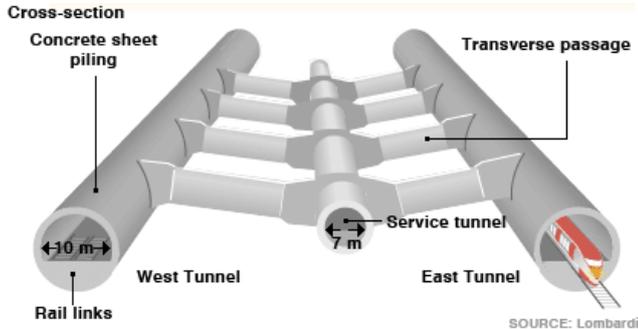
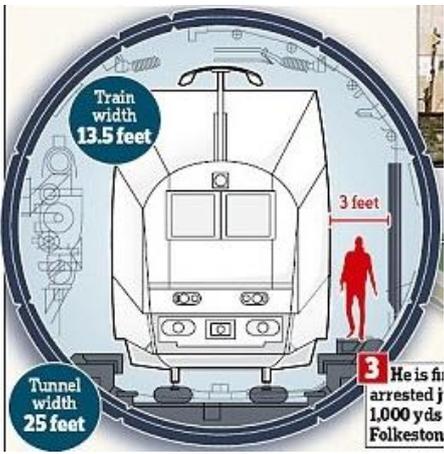
圖 2.2-2 三維主應力掘進變化曲線

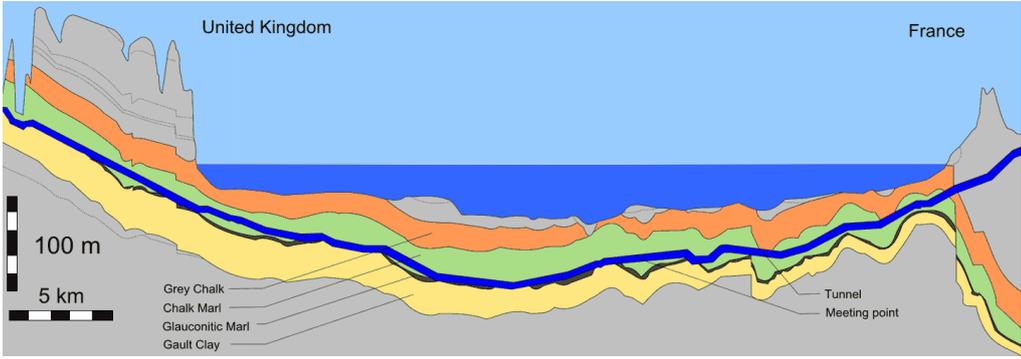
## 2.2.2 坑道開挖影響與工程對策

由於烏坵鄉建議候選場址之處置設施位於海床下，係屬海底隧道，故本報告已蒐集彙整國內外相關型式之海底隧道施工案例，例如日本青函海底隧道、英法海底隧道、中國膠州灣海底隧道等，詳表 2.2-2 所示。並蒐集彙整包括所採用之施工工法、開挖工法對圍岩之影響、施工遭遇之災害及因應對策等，以作為處置坑道規劃設計參考。

為了解開挖影響區對於坑道圍岩之影響，後續工作將根據 2 處建議候選場址的地形與地質特性，採用數值分析方法，分別以 FLAC3D 與 3DEC 等軟體，進行連續體與不連續體的數值模擬；並研析處置場建造過程中，坑道開挖可能面臨之困難，與可能採用之應對工程措施。最後，綜合前述成果研擬 2 處建議候選場址之設施設計與工程施作對策。

表 2.2-2 隧道案例基本資料彙總表(節錄)

英法海底隧道	
基本資料	<p>1.英法海底隧道連接英國的福克斯通和法國加來海峽省的科凱勒，隧道總長為 50.5 km，是世界上第 2 長海底隧道、第 2 長海底鐵路隧道、世界第 3 長隧道</p> <p>2.隧道穿越英吉利海峽多佛水道下方，海底部分長度達 37.9 km，為世界第一，最深處位於海平面以下 75 m</p> <p>3.隧道由歐洲隧道公司組織於 1988 年動工，1994 年落成，1994 年 5 月 7 日正式通車，共耗資約 100 億英鎊</p> <p>4.英法海底隧道承擔著高速列車歐洲之星、汽車擺渡列車和國際貨運列車的行駛。隧道兩頭分別與法國高速鐵路北線和 1 號高速鐵路相接。建成後橫跨英吉利海峽只需要 35 分鐘，大幅縮短英法之間的行程</p>
	 <p>英法海底隧道位置圖</p>
	 <p>英法海底隧道工程佈置圖</p>
工程佈置	<p>1.英法海底隧道包括 2 座主隧道、1 座服務隧道，以及相互連接的橫向聯絡通路與活塞風管道</p> <p>2.主隧道為直徑 10.0 m，長 50.5 km 之圓型隧道，2 座主隧道之間距為 30 m</p> <p>3.2 座主隧道中間設置 1 座直徑 4.8 m 之服務隧道，其施工階段主要作為導坑用途，於主隧道開挖前先行探測前方地質狀況</p> <p>4.英法海底隧道於英國側之入口位於莎士比亞懸崖，法國側則位於桑加特的 1 座豎井</p> <p>5.施工期間，英國側使用 6 部全斷面</p>
	

	<p>隧道掘進機(TBM)進行挖掘，法國側則使用 5 部全斷面隧道掘進機</p> 
設計與施工重點課題	<p>1. 英法海底隧道之地質鑽探工作從 1958 年持續進行至 1987 年，重要鑽孔達 94 處，其中淺層勘探(海底下 150 m 內)用於考慮隧道布置範圍，深層勘探(海底下 800 m 內)主要提供地震風險評估數據。海底鑽探曾採用大型北海石油鑽機，每個鑽孔平均費用約 50 萬英鎊</p> <p>2. 經勘探發現，海底有一層泥灰質白堊岩(Chalk Marl) 該岩層厚度約 30 m，其抗滲性佳(滲透係數 <math>1 \times 10^{-7}</math> m/s <math>\sim</math> <math>2 \times 10^{-7}</math> m/s)，硬度不高(抗壓強度 <math>6.12 \times 10^5</math> kgf/m<sup>2</sup> <math>\sim</math> <math>9.18 \times 10^5</math> kgf/m<sup>2</sup>，彈性模數 <math>8.16 \times 10^7</math> kgf/m<sup>2</sup> <math>\sim</math> <math>1.63 \times 10^8</math> kgf/m<sup>2</sup>，飽和單位重約 2,345 kgf/m<sup>3</sup>)，裂隙較少，易於掘進，最終隧道路線就佈置在該地層下部，距海底 25 m <math>\sim</math> 40 m，此處白堊粘土含量 30% <math>\sim</math> 40%，可防止地下水滲透，將從圍岩裂縫和環片接頭流入之水量減到最小，同時又具有足夠之自立強度，開挖過程中僅需少量支撐，易於挖掘。工程專家們認為，充分的地質資料和正確的判斷，使英法海底找到了理想的岩層</p>

## 2.3 低放處置設施工程障壁設計規範擬定

### 2.3.1 低放處置設施工程障壁設計功能

低放處置設施工程障壁設計中所規劃配置材料各自具備多項設計功能，依序整理如下。

#### 一、廢棄物盛裝容器

廢棄物盛裝容器在低放處置場興建與運轉期間必須「密閉」以防止核種外洩。依照多重障壁安全功能考量，可提供低放射性廢棄物與周邊環境「圍阻」功能，避免低放射性廢棄物與水接觸，直到盛裝容器破損為止。同時，也需具備「搬運」功能，滿足處置坑道內設備規格。廢棄物盛裝容器的選擇與使用應完整考慮容

器的使用過程，針對廢棄物的輻射強度與活度，挑選具備足夠「屏蔽」性能的容器或加掛屏蔽系統。

## 二、填充層

廢棄物盛裝容器之間的空隙利用填充材料填實，將廢棄物盛裝容器之間的空隙降到最低，達成「結構穩定」之目的。為提供施工人員符合合理抑低原則的工作環境，頂層廢棄物盛裝容器上方澆注填充材料具有輻射「屏蔽」功能。依照概念設計中所規劃，填充層所具備的核種吸附性，可達成設計功能中「抑制遷移」的目的。

## 三、處置窖

處置窖為鋼筋混凝土結構物，設計上應滿足現行鋼筋混凝土結構設計相關規範達到「結構穩定」之性能。考量窖體外側應容許工作人員巡檢與施工，故處置窖體設計功能應能「屏蔽」廢棄物輻射。處置窖體混凝土所具備的核種吸附性，與填充層所具備核種吸附性類似，可達成設計功能中「抑制遷移」的目的。

## 四、阻水層

B、C類低放射性廢棄物含有較高濃度之長半化期核種，需確保較長時間之安全功能，因此於高阻水型處置坑道之處置窖外側設置阻水層，藉以降低地下水侵入機會、延長核種外釋時間。阻水層使用的材料以膨潤土為主要考量。設計功能中須將阻水層之力學性能納入設計考量，透水性能為阻水層之主要設計功能，利用阻水層中膨潤土遇水膨脹特性，達到核種「抑制遷移」或延緩遷移速度之功能。

## 五、回填層

回填層材質以混凝土為主要考量，回填層回填剩餘處置坑道空間，以確保該空間不會形成連續核種遷移路徑，且其材料具備核種吸附性，因此可達成設計功能中「抑制遷移」之目的。回填層利用混凝土力學強度，填充坑道內空隙，使坑道成為一個實心

固體，對於作用坑道之各種應力可完整傳遞，避免局部損壞或崩塌，達成「結構穩定」之目的。

#### 六、基礎層

基礎層的主要功能為提供廢棄物盛裝容器、填充層、處置窖、回填層等構件下方支撐，承受坑道內構件之自重，為鋼筋混凝土結構物，其力學特性與一般混凝土結構物相同，擁有「結構穩定」之功能。考量坑道長期封閉後地下水體入侵，為能有效延緩廢棄物內核種經由處置窖底部路徑進入生物圈，基礎層之混凝土應具備「抑制遷移」設計功能。

#### 七、坑道結構(襯砌或二次襯砌)

作為唯一與圍岩直接接觸的工程障壁，坑道結構在興建與運轉階段，必須確保在荷重條件下的「結構穩定」，並確保坑道能維持斷面形狀且內部空間滿足運轉與處置需求。考量興建與運轉階段作業需求，坑道結構需透過適當的防水工程與排水工程，來確保興建與運轉階段處置坑道之「排水與防水」功能。對於封閉與監管階段的長期安全，則須考量坑道結構於回填封閉後的「隔離」功能。

前述內容針對工程障壁中各項構件材料提出設計功能，對於主要設計安全功能而言，在同一階段有多項工程障壁材料具備相同設計安全功能，可確保達成設計功能目標，各項工程障壁在不同階段所規劃設計功能、要求目標綜整如表 2.3-1。

表 2.3-1 工程障壁設計功能、要求目標綜整表

設計功能		階段	要求目標	廢棄物盛裝容器	填充層	處置窖	阻水層	回填層	基礎層	處置坑道
核能安全	屏蔽	興建 運轉	輻射屏蔽		●					
	密閉		透水性能			●				
	圍阻	封閉 監管	防止核種外洩	●						
	抑制遷移		核種吸附性		●	●		●	●	
			透水性能				●			
	結構穩定		力學性能				●	●		
	隔離		隔離距離							●
運轉機能	密閉	興建 運轉	防止核種外洩	●						
	搬運		安全運送	●						
	屏蔽		輻射屏蔽	●		●				
	結構穩定		充填性能 力學性能		●	●	●		●	●
			防水與排水	防水與排水性						

### 2.3.2 低放處置設施工程障壁設計規範

根據設計功能、要求目標與設計項目，提出下列各類分項參考規範，參考規範以目前初步規劃設計條件及功能為範疇，未來應隨著處置場址資料蒐集、規劃形式或材料調整、材料研究成果、設計成果、規範更新等進行增刪調整。

#### 一、廢棄物盛裝容器

目前國內低放射性廢棄物處置場所使用的處置容器相關法規，主要包含下列規範或規則，處置容器的選擇必須依循下列規範進行。

- (一)「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」(行政院原子能委員會，2012)。
- (二)「低放射性廢棄物最終處置盛裝容器審查規範」(行政院原子能委員會，2010)。
- (三)「低放射性廢棄物最終處置場廢棄物接收規範」(台電公司，2016)。

## 二、填充層

混凝土流動性、施工性、粒料粒徑與乾單位重的相關設計規範包含：

- (一)行政院公共工程委員會施工規範/綱要規範第 03315 章「自充填混凝土」(行政院公共工程委員會，2007)。
- (二)「混凝土結構設計規範」(內政部營建署，2017)。
- (三)美國混凝土學會-ACI 211.1 Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete(ACI, 2002)。
- (四)美國混凝土學會-ACI 349 Code Requirements for Nuclear Safety-Related Concrete Structures and Commentary(ACI, 2007)。

填充層、回填層及處置窖設計皆有混凝土核種吸附性設計考量，由於國內相關研究目前尚未成熟，建議先參考日本對於混凝土核種吸附特性相關檢驗規範，辦理設計規範的研究，作為日後設計與安全分析的參考規範包含：

- (一)日本原子力学会：収着分配係数の測定方法—浅地中処分のバリア材を対象としたバッチ法の基本手順：2002・AESJ-SC-F003：2002(日本原子力学会，2002)。
- (二)日本原子力学会：収着分配係数の測定方法—深地層処分のバリア材を対象とした測定の基本手順：2006・AESJ-SC-F008：2006(日本原子力学会，2006)。

### 三、處置窖

設計功能中，處置窖所對應之要求目標分別為力學性能、輻射屏蔽性能及核種吸附性。參考設計規範羅列於下：

- (一)「建築物耐震設計規範及解說」(內政部營建署，2011)。
- (二)「混凝土結構設計規範」(內政部營建署，2017)。
- (三)美國混凝土學會-ACI 211.1 Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI, 2002)。
- (四)美國混凝土學會-ACI 349 Code Requirements for Nuclear Safety-Related Concrete Structures and Commentary (ACI, 2007)。
- (五)美國混凝土學會-ACI 224R-01 Control of Cracking in Concrete Structures (ACI, 2008)
- (六)美國材料與試驗協會-ASTM C637 Standard Specification for Aggregates for Radiation-Shielding Concrete (ASTM, 2014)。
- (七)「放射性廢棄物設施混凝土結構長期安全規範之研究」(行政院原子能委員會，2008)。

### 四、阻水層

對於阻水層之特性量化規定，目前國際間並無統一規範，多依各處置場相關條件進行功能評估及安全分析後加以訂定。彙整瑞典 SKB 與芬蘭 POSIVA 針對膨潤土運用在高放射性廢棄物最終處置場緩衝材料之特性要求，並刪除熱傳導度的相關特性要求後，從中選擇較為保守的參數數值作為我國現階段阻水層之設計規範參考使用，如表 2.3-2 所示。至於後續各項特性的確切標準值仍必須依據功能評估與安全分析的結果加以訂定。

表 2.3-2 膨潤土運用於阻水層之特性要求

目的	性能需求平均值	單一試驗上限	單一試驗下限
含水量	≤ 13%	15%	6%
膨脹指數	鈉型：≥ 20 mL/2g 鈣型：≥ 15 mL/2g	-	鈉型：15 mL/2g 鈣型：10 mL/2g
蒙脫石含量	75%~90%	-	65%
液性限度	鈉型：≥ 250% 鈣型：≥ 80%	-	鈉型：200% 鈣型：60%
可交換 陽離子容量	鈉型：≥ 70 mEq/100 g 鈣型：≥ 60 mEq/100 g	-	鈉型：60 mEq/100 g 鈣型：50 mEq/100 g
水力傳導度	< 10-12 m/s	≤ 10-11 m/s	-
膨脹壓力	> 2 MPa, ≤ 10 MPa	-	-
飽和單位重	> 1950 kg/m <sup>3</sup>	-	-
有機碳含量	< 1%	-	-
含硫量	< 1%	-	-
硫化物含量	< 0.5%	-	-

## 五、回填層

回填層預期達成之設計功能，將包含抑制遷移及結構穩定。

混凝土流動性、施工性、粒料粒徑與乾單位重的相關設計規範包含：

- (一) 行政院公共工程委員會施工規範/綱要規範-03315 自充填混凝土(行政院公共工程委員會，2007)。
- (二) 美國混凝土學會-ACI 211.1 Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI, 2002)。
- (三) 美國混凝土學會-ACI 349 Code Requirements for Nuclear Safety-Related Concrete Structures and Commentary (ACI, 2007)。

## 六、基礎層

基礎層為能承受廢棄物盛裝容器、填充層、處置窖、回填層等上方構件之載重，必須具備足夠之抗壓強度，且不能有沉陷或壓碎的情況發生；另外，基礎層同時須具備良好的核種吸附性，以提供抑制核種遷移之設計功能。參考設計規範羅列如下：

- (一) 「建築物基礎構造設計規範」(內政部營建署，2001)。

- (二)「基礎工程施工參考規範與解說」(內政部營建署，1998)。
- (三)美國混凝土學會-ACI 211.1 Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI, 2002)。
- (四)美國混凝土學會-ACI 349 Code Requirements for Nuclear Safety-Related Concrete Structures and Commentary (ACI, 2007)。

#### 七、處置坑道

隧道之力學穩定，需透過隧道周圍地盤之自持能力，使其與隧道支撐系統共同形成適當之承載環，以調適開挖造成之地盤變形與應力變化，而隧道支撐系統包括初期支撐及二次支撐(混凝土襯砌)。參考設計規範羅列如下：

- (一)Technical considerations in the design of near surface disposal facilities for radioactive waste (IAEA TECDOC-1256, 2001)。
- (二)「隧道工程設計準則與解說」(中國土木水利工程學會，1999)。
- (三)「山岳隧道工程設計與實例手冊」(中華民國隧道協會，1999)。
- (四)「公路隧道設計規範」(交通部，2003)。
- (五)「山岳隧道工程技術準則及解說(草案)」(行政院公共工程委員會，2003)。
- (六)「日本隧道工程標準規範及解說〔山岳工法篇〕」(日本社團法人土木學會，2001)。

#### 2.4 低放處置場運轉規劃

依本計畫之契約規定，低放處置場運轉規劃將依據「LLWD 2016 報告」中，我國 2 處建議候選場址之低放處置場設計概念，並參考他國既有低放處置場的運轉經驗，針對我國 2 處建議候選場址之處置場進行整體性運轉規劃。內容包括處置場接收作業、搬運作業、處置作業、輻射防護作業、職安與環保作業等運轉作業規

劃，並針對作業所需機具與設備等提出規劃。以下將依據目前執行成果進行重點摘要。

運轉規劃之場址係以 107 年 7 月經濟部公告之烏坵鄉建議候選場址及達仁鄉建議候選場址為規劃考量。在運輸容器部分，考量 7m<sup>3</sup> 鋼箱具便於吊運、堆疊、重量適中、可加裝屏蔽等特性將以其進行裝填，而每個運輸容器可容納 12 桶 55 加侖桶。在坑道處置作業下所使用的處置容器方面，考量目前低放射性廢棄物目前以 55 加侖桶為最大宗，故運轉規劃中以 55 加侖桶為主要處置容器，並保留其他種類容器之作業可能性。

整體運轉規劃可粗分為 3 階段，分別為運送前置作業、接收作業以及處置作業。運送前置作業階段主要目的為使處置場能夠有效提前掌握電廠或貯存場欲處置廢棄物的特性，以利安排處置場內相關作業與期程，因此執行重點將著重於廢棄物資訊的確認、電廠或貯存場廢棄物現況的確認以及最後是否同意廢棄物進行處置。接收作業階段主要目的是針對到場之廢棄物進行檢查，在確認皆符合處置場接收規範下核准同意接收並進行處置，因此於此階段之作業重點包含廢棄物文件資訊、運輸包件型式、數量與運輸包件表面劑量率、盛裝容器外觀、盛裝容器表面劑量率及核種分析輻射偵測等。

為確保運轉作業順利執行，在場區配置規劃了接收大樓、行政大樓、職安大樓、車輛與機具維護工廠、污水處理廠、空調室、通風機室與警衛室等，並且依照烏坵鄉建議候選場址及達仁鄉建議候選場址條件及概念設計布置於合適地區。整個運轉作業以接收大樓為核心，接收大樓內依照作業的需求又再劃分為車輛卸載區、廢棄物暫存區、廢棄物檢查區、除污區與分流區等，確保廢棄物接收的作業與動線流暢。配合接收作業與規劃之運輸容器及處置容器，於各作業區規劃合適之吊運設備，如：門型或橋式起重機；運輸設備，如：場內運輸車輛、轉盤車、堆高機；檢查設備，如：輻射

偵檢儀器、攝影機、門框型偵檢器；輻射防護設備，如：電子式輻射劑量警報器與手持式偵檢器，及其他必要之職安與監控設備。

除了上述硬體之規劃，處置場基於運轉作業的需求，規劃建構 1 套處置場廢棄物處置資訊系統(簡稱文件資訊系統)，其目標為建立處置場各作業階段文件申請、審查與核可之操作、查詢與管理介面，另一方面則是有效整合前端如：電廠或貯存場所提供之廢棄物資訊，確保處置場作業順利。

目前運轉流程主要是依據 2 處建議候選場址進行規劃，已初步建立運轉之主要架構，並配合運轉所需，研擬相關機具與設備，未來場址確立後，應再針對規劃之流程進行檢視，並依場址實際條件進行調整。

接收大樓空間規劃為主要運轉流程所需空間配置，而為能滿足大樓內部區域詳細功能與安全需求，目前主要空間配置與所建議相關機具設備的規格、廠牌等，為確認運轉規劃內容的可行性，未來俟處置場場址選定，相關處置規劃設計定案後，仍應針對實際規劃設計成果進行配置。

為確保運轉流程可確實執行，並建立標準作業，建議場址確認後可針對運轉流程建立不同作業區或階段之作業程序書，例如接收港接收作業程序書、廢棄物檢查作業程序書、廢棄物分流作業程序書與處置作業程序書等等，而配合作業程序書的建立，也應一併設計執行作業中所需要的文件紀錄表，以利作業之執行，亦確保作業過程之可追溯性。

## 2.5 低放射性廢棄物最終處置建議候選場址處置設計與工程技術

低放射性廢棄物最終處置建議候選場址處置設計與工程技術報告，為低放射性廢棄物最終處置技術精進評估報告之支援報告，依據國內法規並參考國際案例與趨勢，以我國經公告之 2 處

建議候選場址為對象，進行處置場相關設施規劃設計、力學與功能特性分析、施工與運轉規劃等工作。其內容包含：

#### 一、工程設計策略

說明我國低放射性廢棄物最終處置工程設計相關法規、國際間低放射性廢棄物處置安全管理做法，以及現階段處置系統設計概念，經此探討工程設計策略規劃。處置設施運轉期間，坑道內將進行處置窖興建、廢棄物堆疊、處置窖封頂等運轉期工作，主要設計功能包含維持處置作業空間、維護人員作業安全、廢棄物運輸與堆疊、核種圍阻等；封閉監管期間，坑道內將進行坑道回填、坑道封閉等工作，完成封閉後作業人員不再進入處置坑道內，僅於場區進行監管直至達到撤除監管的標準，處置設施在封閉監管期主要設計功能主要為坑道封閉與核種圍阻等。

#### 三、處置場場區整體規劃

以「LLWD 2016 報告」為基礎，根據當時國際同儕審查委員與物管局審查委員對於處置技術所提出發展建議，並考量處置系統整體功能目標與工程設計策略，精進達仁鄉建議候選場址與烏坵鄉建議候選場址處置場場區整體規劃。處置場場區整體規劃大致可分為通行隧道斷面與線形配置、處置坑道斷面與分區配置、輔助區設施、配置與道路規劃等。

#### 四、處置場設施設計

低放射性廢棄物須先辦理相關檢測作業，完成後再運送至處置坑道進行處置，故將處置場區分為處置設施與執行檢查的輔助區，分別說明處置設施主軸的工程障壁設計概念及輔助區建築物設計概念。工程障壁的設計可分為基礎型處置坑道、混凝土窖型處置坑道及高阻水型處置坑道等三種類型，分別針對各類型處置坑道之低放射性廢棄物特性需求進行配置，對於主要設計安全功能，採取多項障壁材料具備相同安全功能之設計概念，確保達成

設計功能目標。輔助區建築物的設計目的以配合運轉期間廢棄物檢查、處置作業執行、處置場內行政與維護作業等需求。

#### 五、盛裝容器安全功能分析

針對目前低放射性廢棄物盛裝容器安全功能進行研析，包含 55 加侖桶、7 m<sup>3</sup> 鋼箱及高性能混凝土處置容器(High Performance Concrete Container,以下簡稱 HPCC)，分別依輻射屏蔽、結構力學功能、材料耐久性等進行分析評估。經由分析結果可釐清各類盛裝容器所具備的耐久性、搬運功能、堆疊功能、屏蔽功能、圍阻功能與遲滯功能等特性。

#### 六、處置窖結構分析

考量處置設施在運轉、封閉及監管期間，利用處置窖結構維持低放射性廢棄物力學穩定性與結構完整性，以及混凝土材料對於核種的長期圍阻與遲滯功能，達成處置安全的目的，故針對混凝土窖型處置坑道及高阻水型處置窖之處置窖結構體，進行不同時期的力學分析。分析確認處置窖在不同時期荷重組合作用下，不致超出混凝土材料強度造成結構損傷。

#### 七、坑道力學特性分析

依照 2 處建議候選場址的特性與配置，採用三維數值軟體 FLAC3D 進行模擬分析，針對坑道間距的適宜性、坑道交叉段應力分布及岩體異向性對於坑道的影響等坑道力學關鍵因素進行探討，確認 2 處建議候選場址概念設計可行性。經坑道間距優化評估，達仁鄉建議候選場址處置坑道設計間距之穩定性甚佳，若縮減至約原間距一半時，需搭配對應支撐系統，局部消除間距互制效應，以提升坑道穩定性；烏坵鄉建議候選場址處置坑道設計間距適當且具可行性。另外，對於通行隧道與處置坑道交叉段，配合台階工序模擬開挖時三維主應力分布與變化，藉以掌握交叉段相關應力特性。

## 八、場區排水規劃

考量 2 處建議候選場址未來開發將進行整地或維護水土資源及品質等因素，均須依循水土保持技術規範進行排水規劃，故針對建議候選場址進行水文分析、排水系統布設規劃、排水系統水力分析等作業。除此之外，場區排水亦將坑道內排水規劃納入其中，達仁鄉建議候選場址通行隧道高程最低處在隧道洞口，規劃通行隧道排水系統為重力式排水；而烏坵鄉建議候選場通行隧道高程由隧道洞口開始變低，整個處置系統之地下水將匯集於通行隧道高程最低處，規劃通行隧道排水系統將以抽水機抽排至地表排放。

## 九、場區消防通風規劃

場區興建與運轉期間，消防與通風相關規劃應依照分區的不同特性分別考量，進行設施需求規劃。坑道的消防與通風考量，主要在於火警事件發生時的應對方式，以及坑道內對於低放射性廢棄物污染控制考量；輔助區的消防通風考量則與一般建築物考量方式接近。處置坑道存放放射性物質若具有輻射污染氣體逸散風險，則必須採用負壓設計，使受污染之空氣嚴格控制在特定處置坑道內，避免受輻射污染之空氣擴散至其他區域；地下處置設施和其他人員活動區域之通風系統，應提供足夠的通風及維持適當的溫度。通行隧道之通風系統採用縱流式系統，設置噴流式風機來誘導空氣輸送。

## 十、施工規劃

初步針對低放處置場的興建過程，在目前 2 處建議候選場址概念設計的架構下進行重點施工規劃，主要包含施工基準、施工階段與範圍規劃、材料機具、施工程序、職業安全衛生、水土保持與品質管制等原則說明。低放處置場未來施工所依循相關基準，應以國內熟悉且慣用之施工規範為主，對於具備特殊要求或目的之構件，則另參考國際間相關規範作為補充。達仁鄉建議候

選場址位處台灣本島東南隅，施工材料機具預期將以南部、東部地區包含高雄市、屏東縣、花蓮縣、台東縣等縣市為主要來源，以台 9 線及台 26 線為主要運輸道路運抵工區，接收港施工船隻以高雄港或花蓮港施工船隻為主；對於烏坵鄉建議候選場址而言，施工期間一般施工材料機具預期將以台灣本島北部及中部地區為主要來源，皆採船舶運輸，運輸與接收港施工船隻以本國籍船隻為主，若有外籍施工船隻需求則應依據相關法規提出申請。

#### 十一、運轉規劃與輻射安全

以處置場場區整體規劃、處置場設施設計為基礎，2 處建議候選場址為預設場址，針對設施運轉與設施之組織、行政管理、人員訓練計畫及輻射安全等運轉期間相關細節進行初步規劃。運轉流程分為運送前置作業、接收作業與處置作業 3 部分，詳細敘述各階段作業流程及作業方式。運轉作業需求設備分為吊運、運輸、檢查設備等 3 大類，處置區大致分為基礎型處置坑道、混凝土窖型處置坑道、以及高阻水型處置坑道等區，並將未來處置場所需人力與輻射防護管理方式進行規劃。

#### 十二、封閉設計

考量處置場未來完成運轉期間全部作業後，不再接收處置低放射性廢棄物，並開始進行處置場封閉作業。封閉作業應確保工程障壁能確實發揮圍阻與遲滯核種遷移的功能，並避免處置場封閉後形成核種遷移的快速路徑，以及減緩工程障壁的功能退化，故針對封閉作業進行規劃。封閉作業考量回填層施築時的工作空間及工作能量，回填時需分區段逐步進行，以 25 m 為 1 個區段，每個區段再分成多次混凝土澆置作業，每次澆置的高度不得高於 3 m，直到此區段完全填滿，再進行下一區段的封閉回填施工。另針對高阻水型處置坑道，於回填材料澆置前須先以系統模板預留處置窖壁體 2 側阻水層之施築空間，待拆模後再置入阻水層，依此順序進行至坑道斷面完成回填。

## 參考文獻

1. 中國土木水利工程學會，1999，隧道工程設計準則與解說。
2. 中華民國隧道協會，1999，山岳隧道工程設計與實例手冊。
3. 內政部營建署，1998，基礎工程施工參考規範與解說。
4. 內政部營建署，2001，建築物基礎構造設計規範。
5. 內政部營建署，2011，建築物耐震設計規範及解說。
6. 內政部營建署，2017，混凝土結構設計規範。
7. 日本社團法人土木學會，2001，日本隧道工程標準規範及解說〔山岳工法篇〕。
8. 日本原子力学会，2002，AESJ-SC-F003：2002，収着分配係数の測定方法—浅地中処分のバリア材を対象としたバッチ法の基本手順：2002。
9. 日本原子力学会，2006，AESJ-SC-F008：2006，収着分配係数の測定方法—深地層処分のバリア材を対象とした測定の基本手順：2006。
10. 台電公司，2016，LLWD2-SA-2015-01-V08，低放射性廢棄物最終處置場廢棄物接收規範。
11. 交通部，2003，公路隧道設計規範。
12. 行政院原子能委員會，2008，放射性廢棄物設施混凝土結構長期安全規範之研究。
13. 行政院原子能委員會，2010，低放射性廢棄物最終處置盛裝容器審查規範。
14. 行政院原子能委員會，2012，低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則。
15. 行政院公共工程委員會，2003，山岳隧道工程技術準則及解說(草案)。

16. 行政院公共工程委員會，2007，施工規範/綱要規範-03315 自充填混凝土。
17. ACI, 2002, 211.1, Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete.
18. ACI, 2007, Code Requirements for Nuclear Safety-Related Concrete Structures (ACI 349-06) and Commentary.
19. ACI, 2008, 224R-01, Control of Cracking in Concrete Structures.
20. ASTM, 2014, C367 Standard Specification for Aggregates for Radiation-Shielding Concrete.
21. E. Hoek, C. Carranza-Torres and B. Corkum, 2002 HOEK-BROWN FAILURE CRITERION – 2002 EDITION, Proc. NARMS-TAC Conference, Toronto, p.267 ~ p.273.
22. IAEA, 2001, TECDOC-1256, Technical considerations in the design of near surface disposal facilities for radioactive waste.

## 第3章 安全分析技術

本計畫與安全評估技術發展有關的工作項目，於 108 年度已完成「建議候選場址地震評估與情節建立」、「低放射性廢棄物處置場人類無意入侵情節研究」、「安全評估模式鏈數據研析」和「低放射性廢棄物最終處置建議候選場址安全評估」等工作，各工作之現階段成果分別摘要說明如後。

### 3.1 地震影響研究與情節建立

本報告針對 2 處建議候選場址進行機率式地震危害度分析與定值法地震危害度分析，並與內政部營建署發布之「建築物耐震設計規範及解說」進行比較與研討。另外，透過研析日本與國際間之既有研究成果，依「地震事件類型」、「地震事件影響場址的作用過程」及「對場址的影響作用」彙整為地震事件情節之特徵、事件、作用(Features, Events, Processes, FEPs)，作為建立安全分析情節之篩選依據。最後，綜合前述研究成果，研擬我國 2 處建議候選場址合適之地震情節並完成安全分析工作。

由機率式地震危害度分析成果得知，達仁鄉建議候選場址分析結果 10,000 年再現周期(100 年內超越機率 1%)之最大可能地震的水平向 PGA 值為 0.697 g；1,950 年再現周期(100 年內超越機率 5%)之最大可能地震的水平向 PGA 值為 0.474 g。主要貢獻震源為南部隱沒帶介面型震源(T02A)，距場址最近距離約 40 公里，最大可能規模約 7.6~8.0。另場址正下方淺層區域震源(S12)亦是主要貢獻來源，本區域震源活動性較高，包含考慮其餘可能未知之斷層震源之不確定性。烏坵鄉建議候選場址 10,000 年再現周期(100 年內超越機率 1%)之最大可能地震的水平向 PGA 值為 0.230 g；1,950 年再現周期(100 年內超越機率 5%)之最大可能地震的水平向 PGA

值為 0.109 g。烏坵鄉建議候選場址，濱海斷裂與其最短距離約 3 公里，但因其活動性低，滑移速率小，再現周期長，造成之危害度則較小，在考慮再現周期 1,950 年時，濱海斷裂之貢獻不明顯，活動性高的淺層區域震源(S01、S29)為主要貢獻震源。

定值法地震危害度分析，依據回歸期 10,000 年 PGA 值參數拆解結果，達仁鄉建議候選場址控制震源為區域震源 S12，與場址最短距離 2.9 km，規模 6.7，水平向設計 PGA 值採 0.49 g；烏坵鄉建議候選場址控制震源為濱海斷裂，最短距離為 9.7 km，規模為 8.29，水平向設計 PGA 值採 0.505 g。

由達仁鄉建議候選場址之 PGA 危害度曲線中，回歸期 475 年對應之 PGA 為 0.32 g，約較「建築物耐震設計規範與解說」之設計地震 0.264 g 高約 21.2%；回歸期 2,500 年對應之 PGA 約為 0.5 g，約較「建築物耐震設計規範與解說」之設計地震 0.32 g 高約 56.3%。由烏坵鄉建議候選場址之 PGA 危害度曲線中，回歸期 475 年對應之 PGA 為 0.06 g，約為建築物耐震設計規範之設計地震 0.22g 之 27.3%；回歸期 2,500 年對應之 PGA 約為 0.11 g，約與較建築物耐震設計規範之設計地震 0.28 g 低約 39.3%。

建立地震情節前需先建置地震情節 FEPs 清單，並進行篩選。地震情節 FEPs 清單以 IAEA(2004, p.38~p.42)針對近地表處置設施所發展之通用 FEPs 表單為基礎，並增列 JAEA 於「地質與氣候相關事件之 FEP 資料庫整備」報告中開發之 FEP(JAEA, 2011, p.1)，以擴充地震事件考量之 FEP。篩選時之主要考量為「低放射性廢棄物最終處置設施場址禁置地區之範圍及認定標準」所定活動斷層或地質條件足以影響處置設施安全地區之認定標準、現階段對於場址地質環境特徵之理解、對於 2 處建議候選場址周圍之震源類型分析，以及現階段地震事件相關之 FEP 與處理方式。

地震與斷層活動事件依地震發生位置可分為「海洋板塊隱沒引發斷層活動時伴隨的地震」、「板塊碰撞引發斷層活動時伴隨的

地震」、「活動斷層再活動時伴隨的地震」、「非活動斷層發生活動時伴隨的地震」4種類型。由於2處建議候選場址之半徑10 km內雖無已知活動斷層，卻有斷層構造存在，但2處建議候選場址均不位於斷層起算1 km範圍內之易受斷層活動直接影響區域，因此，2處建議候選場址均屬於僅受「非活動斷層發生活動時伴隨的地震」事件影響之區域。因此，就時間尺度考量而言，依活動斷層為10萬年內發生過活動之定義推論，2處建議候選場址鄰近之非活動斷層發生地震與斷層活動事件之頻率至少為10萬年。換言之，發生此事件之時間尺度已遠高於低放處置安全評估之千年時間尺度，屬於不太可能發生之事件，可保守假設在安全評估期間僅發生1次「非活動斷層發生活動時伴隨的地震」事件，故其不易有發生多次地震與斷層活動之影響累積效應。於發生地震的同時可能對於處置設施周圍岩體與工程障壁系統產生結構性開裂，預期將造成(孔隙率、水力傳導係數、有效擴散係數放大)，導致流量放大與核種傳輸加速等現象。

然而根據台電公司「處置窖結構安全分析報告」(台電公司，2019)之分析成果，在地震力及其他各種可能荷重的綜合作用下，2處建議候選場址之處置窖單元斷面應力極值皆小於混凝土設計強度。且再輔以考量混凝土劣化後孔隙率增加對抗張強度之影響，劣化後之孔隙率較初始孔隙率增加1倍時，才有可能無法承受來自地震力所產生之張應力。而處置窖的孔隙率在處置場封閉後700年才有明顯增加，但其增加量僅為初始孔隙率之6%，故在處置窖尚未產生明顯劣化前，應具備抵抗來自地震力所產生之張應力。因此，地震情節係假設於處置設施封閉後300年時發生足以導致設施劣化之地震事件，使得混凝土材料劣化，孔隙率增加量為初始孔隙率之20%。

依上述地震情節進行劑量評估，達仁鄉建議候選場址地震事件情節以塔瓦溪下游之關鍵群體之最大個人年有效劑量為代表，

約為  $1.08 \times 10^{-5}$  mSv/yr，發生時間為場址封閉後 2,900 年。相較於設計情節，地震事件情節之劑量峰值上升約 1.6 倍，劑量峰值出現的時間提早約 700 年。烏坵鄉建議候選場址地震事件情節之最大個人年有效劑量為  $9.78 \times 10^{-6}$  mSv/yr，發生時間為場址封閉後 19,950 年。相較於設計情節，地震事件情節之劑量峰值上升約 1.3 倍，劑量峰值出現的時間提早約 2,850 年。

### 3.2 人類無意入侵情節分析

放射性廢棄物最終處置是利用工程障壁和天然障壁組成的多重障壁系統，盡可能長久且安全的處置廢棄物。而當處置場生命週期進入被動監管階段後，由於已無人員主動管理，僅倚靠圍籬、告示立牌與知識傳承等方式維持處置場址記憶，惟這些方式並無強制力，且可能隨時間推移，導致相關標誌損毀消失或記憶遺忘，最後將可能造成人類無意入侵事件發生，因此人類無意入侵最可能發生的時間為進入被動監管期之後(IAEA, 2017, p.110)。

對於人類無意入侵情節，IAEA (2017, p.33)認為人類無意入侵情節應把處置概念、場址篩選、處置設施生命週期納入考量；NRC (2015, p.4-9)說明人類無意入侵需考量場址周邊人類活動行為與場址特性，合理假設人類活動將對處置場造成的影響，並依潛在曝露途徑計算輻射劑量。對於人類無意入侵造成的劑量影響，IAEA 認為劑量影響不應直接與正常情節劑量限值相互比較，且認為應盡一切合理的努力，使人類無意入侵造成場址附近民眾的年有效劑量低於 1 mSv。

對於 2 處建議候選場址之人類無意入侵情節分析與劑量影響評估結果，說明如下：

### 一、達仁鄉建議候選場址

達仁鄉建議候選場址之地形屬丘陵地形，坡度陡斜並多以林木生長為主，低放處置場高程設於 EL20 m 以上，處置坑道區具有天然岩覆至少 62.2 m 以上，而依人口統計資料顯示，達仁鄉之人口變化呈現減少且老化趨勢。

依照達仁鄉建議候選場址之特性研判場址未來地表將不會有大規模的開發行為，而處置設施上方具有一定深度之岩覆作為天然障壁系統。此外，因場址已盡可能避開天然資源而無開採價值，因此最可能發生的人類無意入侵行為係地質調查的「鑽探入侵」。

對於鑽探人員曝露評估，假設鑽探進尺速率為 5.4 m/day，鑽探深度 85 m，因此 A 類低放射性廢棄物(包含 A0 類與 A1 類)之曝露時間為 33.8 hr，B、C 類低放射性廢棄物曝露時間為 12.8 hr，並假設污染粉塵濃度為  $6 \times 10^{-7} \text{ kg/m}^3$ 、呼吸速率為  $1.7 \text{ m}^3/\text{hr}$ ，以及嚥入速率為 5 mg/hr。低放處置場周圍居住民眾之劑量影響以 GoldSim 進行評估，劑量評估結果如表 3.2-1 所示。

### 二、烏坵鄉建議候選場址

烏坵鄉建議候選場址位於小坵嶼上，屬軍事管制區，處置坑道區位於海床底下且具有天然岩覆至少 58.8 m 以上，而依人口統計資料顯示，烏坵鄉之人口變化呈現減少且老化趨勢。

依照烏坵鄉建議候選場址之特性研判場址未來地表將不會有大規模的開發行為，而處置設施位在海床底下作為天然障壁系統。此外，因場址已盡可能避開天然資源而無開採價值。因此，最可能發生的人類無意入侵行為係地質調查的「鑽探入侵」。

對於鑽探人員曝露評估，假設鑽探進尺速率為 4.4 m/day，鑽探深度 68 m，因此 A 類低放射性廢棄物(包含 A0 類與 A1 類)之曝露時間為 16.8 hr，B、C 類低放射性廢棄物曝露時間為 16.4 hr，並假設污染粉塵濃度為  $6 \times 10^{-7} \text{ kg/m}^3$ 、呼吸速率為  $1.7 \text{ m}^3/\text{hr}$ ，以及

吸入速率為 5 mg/hr。處置場周圍居住民眾之劑量影響以 GoldSim 進行評估，劑量評估結果如表 3.2-1 所示。

表 3.2-1 2 處建議候選場址之人類無意入侵劑量評估結果

	鑽探曝露劑量 (mSv/yr)	峰值劑量 發生時間	入侵造成周邊居 民劑量峰值 (mS/yr)	峰值劑量 發生時間
達仁鄉建議 候選場址	0.987	處置場封閉後 30 年	$7.69 \times 10^{-4}$	處置場封閉後 550 年
烏坵鄉建議 候選場址	0.829	處置場封閉後 50 年	$7.632 \times 10^{-6}$	處置場封閉後 22,750 年

備註：假設鑽探人員因鑽探到低放射性廢棄物即停止鑽探活動，故對鑽探人員而言 1 年僅會進行 1 次鑽探

依據劑量評估結果，建議達仁鄉建議候選場址之主動監管至少持續至低放處置場封閉後 30 年，烏坵鄉建議候選場址則為低放處置場封閉後 50 年，而入侵造成周邊居民劑量影響皆低於 0.25 mSv/yr，未來將依主管機關核准之監管計畫執行。

### 3.3 安全評估模式鏈應用探討

低放處置場的安全評估為「低放射性廢棄物最終處置技術精進計畫」的重要發展技術，需依據廢棄物特性、環境特性、工程障壁設計、運轉規劃等相關條件，評估低放處置場於運轉階段和封閉後階段對工作人員、民眾和環境的影響，確保低放處置場的設計具有足夠的安全性，不會對人類和環境造成危害。其中，在進行低放處置場封閉後的安全評估時，因涉及地質、水文地質、地球化學、生物圈環境、處置設施劣化、核種傳輸等多個領域，不同領域採用的分析模式不同且輸入的參數繁雜，各領域間亦存在相互引用的關連性。為能系統性的彙整低放處置場封閉後安全評估之分析項目與輸入或輸出資料，從核種傳輸的觀點，將安全評估中的分析項目與資料分為氣候、廢棄物、近場、遠場和生物圈等 5 大類，並利

用各分析項目和資料間的交互串聯，建立安全評估模式鏈，如圖 3.3-1 所示。

輸入和輸出數據是以表格呈現，針對安全評估模式鏈中的每個數據編號皆有其對應的表格。考量每個數據編號下，可能會包含多個不同的數據項目，因而將表格分為 2 部分，第 1 部分為數據總攬，說明此數據編號下所包含的數據集及其串接關係，詳如表 3.3-1。第 2 部分則針對數據集中的各個數據，說明數據在模式中的應用方式、數據取得方式、數據來源以及數據資料內容，詳如表 3.3-2。

表 3.3-1 數據彙整格式(數據總攬)

數據編號	X
前一個流程項目	說明此數據編號是安全評估模式鏈中哪一個「模式分析或評估作業」或「初始狀態資料或文獻資料」的輸出資料
下一個流程項目	說明此數據編號是安全評估模式鏈中哪一個「模式分析或評估作業」或「初始狀態資料或文獻資料」的輸入資料
數據集	X.1 數據名稱 X.2 數據名稱 (視數據集內包含的數據數量增減內容)

表 3.3-2 數據彙整格式(數據資料詳細內容)

數據分項編號	X.1
數據名稱	說明此數據分項編號的數據名稱
數據簡述	簡短描述此數據的內容
數據在模式中的應用方式	說明此數據在模式中或評估作業中的應用方式
數據取得方式	<input type="checkbox"/> 分析、評估 <input type="checkbox"/> 試驗 <input type="checkbox"/> 現場調查 <input type="checkbox"/> 文獻蒐集 <input type="checkbox"/> 其他：
數據來源	說明此數據資料的來源
數據資料	列出此數據資料的數值、圖表或文字內容

本頁空白。

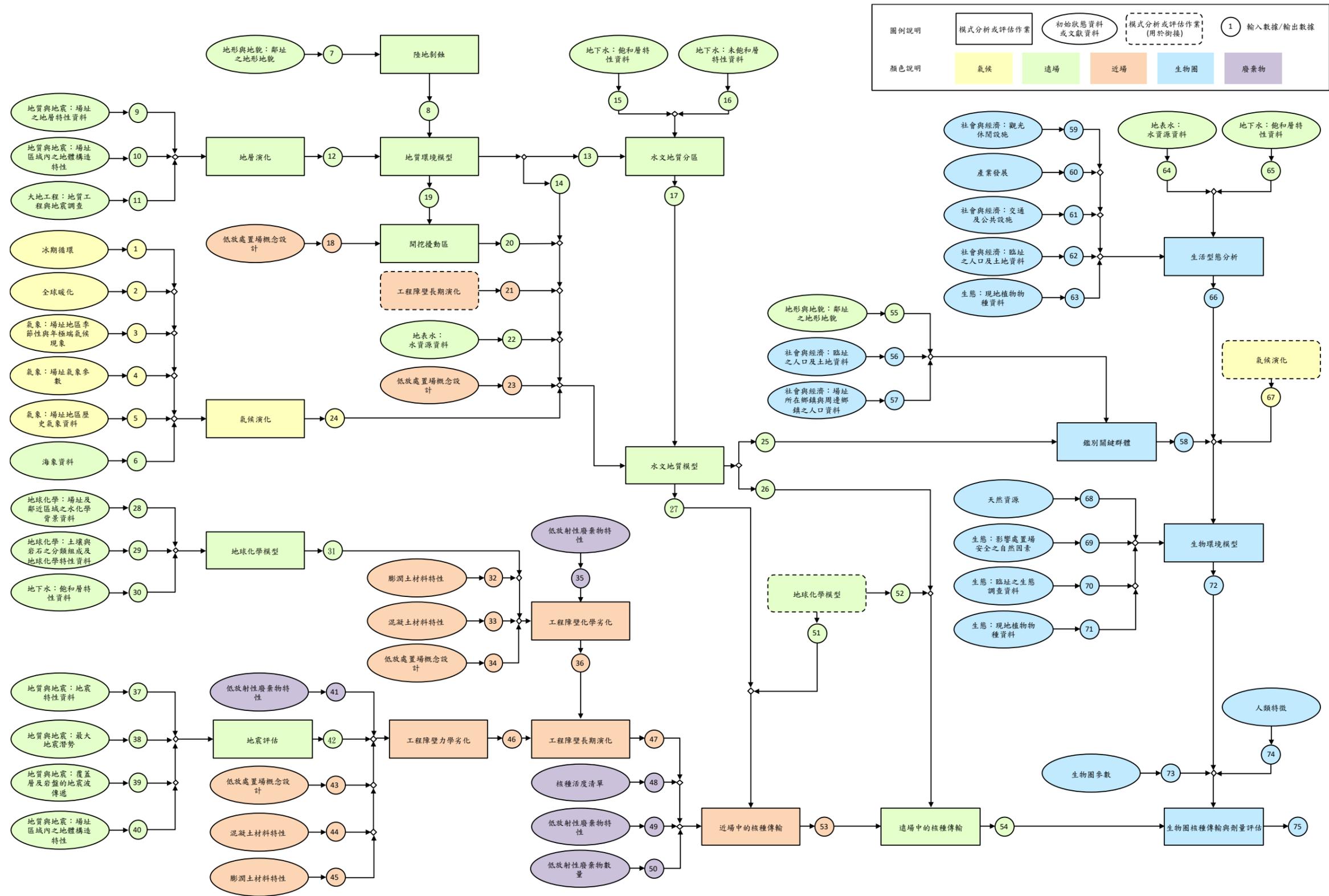


圖 3.3-1 低放處置場封閉後安全評估模式鏈

本頁空白。

### 3.4 低放射性廢棄物最終處置建議候選場址安全評估

低放處置場的安全評估分別針對 2 處建議候選場址，依據廢棄物特性、環境特性、工程障壁設計、運轉規劃等相關條件，評估低放處置場於運轉階段和封閉後階段對工作人員、民眾和環境的影響，確保低放處置場的設計具有足夠的安全性，不會對人類和環境造成危害。

#### 一、低放處置場運轉階段的安全評估

進行低放處置場運轉階段的安全評估時，參考 IAEA 「放射性廢棄物處置前管理的安全論證和安全評估」(IAEA, 2013, p.45~p.54)對於運轉期間的安全評估情節設定方法，以低放處置場的相關設施和作業活動描述為基礎，採取系統性的方法識別和篩選出可能產生的危害，並以疊代方式確定可能導致工作人員和民眾曝露或對環境產生不利影響的正常運轉情節以及異常運轉情節，最後再針對 2 種情節進行評估。由於 2 處建議候選場址的處置概念、設施設計和運轉流程極為相似，運轉期間的情節建立與評估結果並無太大區別，故不再針對不同建議候選場址進行個別探討。

#### (一)正常運轉情節

低放處置場在正常運轉情節下，工程障壁的圍阻功能完整，核種不會外釋到環境中，對場外的民眾和環境並不會造成輻射危害。但場內工作人員因作業需求而接近低放射性廢棄物，造成體外輻射曝露，故針對低放處置場運轉時於接收港、接收大樓和處置坑道內的不同作業內容，依據作業時的盛裝容器類別、操作人次、作業時間等，評估對不同工作人員的輻射影響。由評估結果顯示，整體處置作業所造成之總劑量為 10,056 人毫西弗，若以低放處置場運轉 60 年且執行相關作業之工作人員共 61 人計算，每人的年平均劑量為 2.75 mSv，低於 20 mSv/yr (依「游離輻射

防護安全標準」第 7 條，輻射工作人員每連續 5 週年有效劑量不得超過 100 mSv，故採用平均 20 mSv/yr 作為考量)。

## (二)異常運轉情節

低放處置場運轉期間，依據不同的作業內容、可能發生的事件與危害，歸納出 3 種主要的異常運轉情節，分別為低放射性廢棄物掉落、低放射性廢棄物傾倒和火災。低放射性廢棄物掉落可能發生在吊運作業的過程中，為避免此狀況發生，吊運設備設計有多重安全裝置，並針對操作流程建立管控機制，藉以多方面確保吊運時的安全。低放射性廢棄物傾倒的發生位置，是綜合考量低放射性廢棄物的堆疊規劃，以及不同盛裝容器於承受相關荷重條件下的最大可堆疊層數之評估結果而得，主要可能發生於基礎型處置坑道內的低放射性廢棄物堆疊。為避免低放射性廢棄物傾倒而產生輻射危害，當其於處置坑道內放置完成後，須將多個低放射性廢棄物以束帶束制固定，以提升堆疊後的穩定性。

火災分析採用美國國家標準與技術研究院(National Institute of Standards and Technology, NIST)之建築及火災研究實驗室(Building and Fire Research Laboratory, BFRL)所研發之火災動態模擬軟體(Fire Dynamics Simulator, FDS)。考量低放處置場內設施或設備採用不易燃或不可燃材料，並進行嚴格的消防管控，火災發生的可能性極低，但為評估火災意外造成的影響，將以假想情境進行評估。假設低放射性廢棄物在運輸車輛上時，因發生機械故障，200 L 柴油皆自油箱洩漏至地上並開始燃燒。考量運輸時的狀況，運輸車輛上的低放射性廢棄物僅有 7 m<sup>3</sup> 鋼箱和 HPCC 和 2 種，針對此 2 種低放射性廢棄物評估其遇到火災時容器表面的最高溫度，並以鋼材和鋼纖維混凝土的高溫力學性質文獻資料作為判斷材料損壞的參考依據。經由火災模擬結果，7 m<sup>3</sup> 鋼箱的表面最高溫度為 104°C，HPCC 的表面最高溫度為 334°C，初步推估 7 m<sup>3</sup> 鋼箱和 HPCC 不會因火災造成損壞並失去圍阻功能。

## 二、低放處置場封閉後的安全評估

低放處置場封閉後的安全評估參考 IAEA 於 2004 年發表「近地表處置場之安全評估」報告所述之安全評估方法 (IAEA, 2004, p.17)，藉由處置系統描述、建立及界定情節、建置概念及數學模型、執行分析與分析結果等過程，評估低放射性廢棄物最終處置對人類與環境的輻射影響。鑒於「LLWD 2016 報告」已針對 2 處建議候選場址進行過低放處置場封閉後的安全評估，本次安全評估以參數本土化、量化工程障壁劣化影響以及反應實際處置狀態為目標，更新安全評估的分析與設定方式。

### (一) 情節設定

在「LLWD 2016 報告」(台電公司, 2017, p.138~p.144)中，考慮了低放處置場封閉後持續暖化以及封閉後立即進入冰期循環等 2 種未來可能發生的氣候條件。然而根據國家災害防救科技中心(國家災害防救科技中心, 2018, p.6~p.9)對於台灣過去氣候資料的彙整與未來氣候的推估，氣候暖化已成未來趨勢，故本次安全評估將在氣候持續暖化，且冰期循環在安全評估時間尺度內不會發生的前提條件下進行。另外，考量地質作用與影響、處置設施的長期演化以及未來人類的活動，以未來較可能發生之條件作為設計情節，並以未來較低發生可能性的情節，作為替代情節，各情節之內容詳見表 3.4-1。

表 3.4-1 安全評估之情節說明

情節	達仁鄉建議候選場址	烏坵鄉建議候選場址
設計情節	以參考演化發展作為設計情節	同左
水文地質環境差異情節	因現階段尚無法進場調查，水文地質參數在設計情節中是假設垂向水力傳導係數大於水平向水力傳導係數，考量此項設定的不確定性，在此情節中保守假設垂向水力傳導係數等於水平向水力傳導係數	因在地表地質調查中發現小坵嶼有岩脈貫穿其間，推測小坵嶼周圍海域亦分布與島上型態相似之岩脈。假設入侵岩脈將穿過部分處置坑道，核種自受入侵岩脈影響之處置坑道釋出至地質圍後，將沿著入侵岩脈快速遷移至海洋中
地震情節	假設於處置設施封閉後 300 年時，發生足以導致設施劣化之地震事	同左

情節	達仁鄉建議候選場址	烏坵鄉建議候選場址
	件，保守考量以工程障壁材料之孔隙率加計 20%，作為其受地震事件影響所造成之損傷	
人類無意入侵情節	由於低放處置場選址階段已盡可能避開已知的重要天然資源與人口稠密區，藉以降低未來處置設施遭到無意入侵的機率。考量處置概念為坑道型式，且處置坑道上方岩覆厚度大於 60 m，故以地質調查鑽孔為最可能發生的人類無意入侵行為。假設鑽探深度超過處置坑道所在深度，取出的岩心包含低放射性廢棄物，因而造成鑽探工作人員曝露	同左

## (二)參數本土化

### 1.核種清單

為使核種清單貼近實際狀況，先依據台電公司的低放射性廢棄物資料庫 (low-level radioactive waste disposal systems, LRWDS) 之運轉廢棄物資料、核能一廠除役計畫和核能二廠除役計畫之除役廢棄物資料，以及美國核管會對於壓水式反應器除役產生之廢棄物資料 (NRC, 1984, p.5.2, p.5.7, p.5.9, p.6.3, p.6.9)，推估低放射性廢棄物數量、盛裝容器類型和核種活度。再遵循低放射性廢棄物須依分類特性分區處置之原則，規劃每個處置窖內處置的低放射性廢棄物類型，以及計算各處置窖之核種清單。

### 2.分配係數

利用 1.3 節針對 Co、Cs、Ni、Sr、I 和 C 等核種進行之吸附實驗結果，作為輸入參數。其餘尚未進行實驗之核種則引用自文獻資料。

## (三)量化工程障壁劣化

混凝土材料組成之工程障壁劣化將導致材料的孔隙率變大，並影響核種傳輸特性。為量化呈現工程障壁系統的劣化程度，運用 PHREEQC 地化傳輸模式，模擬環境溶液入侵至低放處置場

時，其與混凝土材料交互作用產生溶出失鈣與硫酸鹽侵蝕反應，混凝土材料之孔隙率因而隨時間改變。另對於鋼筋混凝土組成的處置窖，額外考量氯離子入侵使處置窖的鋼筋腐蝕膨脹，進而造成鋼筋周圍的混凝土產生裂縫。將鋼筋腐蝕膨脹造成的裂縫體積以及溶出失鈣作用和硫酸鹽侵蝕作用造成的孔隙體積相加，以此計算處置窖的孔隙率歷時變化。另外，對於膨潤土材料組成之工程障壁，由於膨潤土具有遇水膨脹的特性，且須經過夯壓緻密才能做為低放處置場的工程障壁，因此地下水入侵並不會讓膨潤土的孔隙增加，並保守假設膨潤土的孔隙率保持不變。

#### (四)反應實際處置狀態

低放處置場封閉後的安全評估採用一維主導的 GoldSim 軟體進行模擬，分析前須先將核種傳輸模型簡化。以 1 個處置窖代表 1 個分析單元，將處置窖內的廢棄物、盛裝容器和填充層視為 1 個廢棄物體，基礎層則視為回填層的 1 部分。為能反應實際處置狀況，針對每個處置窖內的廢棄物體，皆有其對應的參數設定。

另核種離開工程障壁系統進入岩層後，在岩層中受到地下水流場之驅動進入地表水體。考量處置坑道涵蓋範圍較大，核種於不同位置之外釋途徑均有所不同。為釐清核種的外釋途徑，於每個處置窖的中心點設定粒子追蹤監測點作為代表點，計算不同處置窖內核種的流出位置、流出時間和流逕長度，以模擬核種在岩層中的傳輸過程，並計算水體中的核種濃度，供生物圈劑量評估使用。

#### (五)劑量評估結果

2 處建議候選場址之安全評估結果彙整如表 3.4-2，設計情節、水文地質差異情節和地震情節對於關鍵群體造成之最大個人年有效劑量，皆低於我國法規要求之劑量限值 0.25 mSv/yr。人類無意入侵情節對於鑽探作業人員造成之曝露劑量，則低於 IAEA 對人類無意入侵情節的劑量限值 1 mSv。而 2 處建議候選

場址的劑量來源核種分別為 Be-10 和 C-14，Be-10 核種來自於核能電廠除役廢棄物，半化期長達  $1.6 \times 10^6$  年，由於核能一廠和核能二廠對於 Be-10 核種的比例因素差異，使部分除役廢棄物含有高活度 Be-10，再加上工程障壁和岩層在淡水和海水環境下，對於 C-14、I-129 等長半化期核種的吸附性不同，因此在長時間尺度下，使 Be-10 成為劑量貢獻度較高之核種。

表 3.4-2 2 處建議候選場址之安全評估結果

情節	達仁鄉建議候選場址			烏坵鄉建議候選場址		
	最大劑量	峰值劑量 發生時間	劑量來源 核種	最大劑量	峰值劑量 發生時間	劑量來源 核種
設計情節	$6.55 \times 10^{-6}$ mSv/yr	場址封閉 後 3,600 年	Be-10	$7.63 \times 10^{-6}$ mSv/yr	場址封閉 後 22,800 年	C-14
水文地質 差異情節	$1.05 \times 10^{-6}$ mSv/yr	場址封閉 後 8,750 年	Be-10	$7.62 \times 10^{-6}$ mSv/yr	場址封閉 後 22,800 年	C-14
地震情節	$1.08 \times 10^{-5}$ mSv/yr	場址封閉 後 2,900 年	Be-10	$9.78 \times 10^{-6}$ mSv/yr	場址封閉 後 19,950 年	C-14
人類無意 入侵情節	0.987 mSv/yr	場址封閉 後 30 年	-	0.829 mSv/yr	場址封閉 後 50 年	-

## 參考文獻

1. 台電公司，2017，LLWD1-SC-2016-02-V08，低放射性廢棄物最終處置技術評估報告，p.138~p.144。
2. 國家災害防救科技中心，2018，台灣氣候的過去與未來，p.6~p.9。
3. IAEA, 2004, Safety assessment methodologies for near surface disposal facilities, Vol. 1, IAEA, Vienna, p.17.
4. IAEA, 2013, The Safety Case and Safety Assessment for the Predisposal Management of Radioactive Waste, No. GSG-3, p.45~p.54.
5. IAEA, 2017, The International Project On Inadvertant Human Intrusion in the contex of Disposal of RadioActive Waste, HIDRA, p.33, p.110.
6. NRC, 1984, Technology, Safety and Costs of Decommissioning a Reference Pressurized Water Reactor Power Station, Add.3, p.5.2, p.5.7, p.5.9, p.6.3, p.6.9.
7. NRC, 2015, Guidance for Conducting Technical Analyses for 10 CFR Part 61, NUREG-2175, p.4-9.

本頁空白。

## 第4章 處置需求管理系統與資料庫

需求管理系統除了管理低放射性廢棄物之執行需求之外，同時包括特徵/事件/作用及場址特性參數之相關資料，提供整合瀏覽介面，目前已按計畫要求項目規劃完成基礎系統之建立，陸續輸入計畫相關資料進行測試，並且進行基礎系統架構以及使用介面調整。

### 一、系統架構規劃

主要以開發網頁應用程式提供操作介面，使用者只需要以現行網頁瀏覽器即可進行系統操作，配合功能需求，系統架構如圖 4-1。

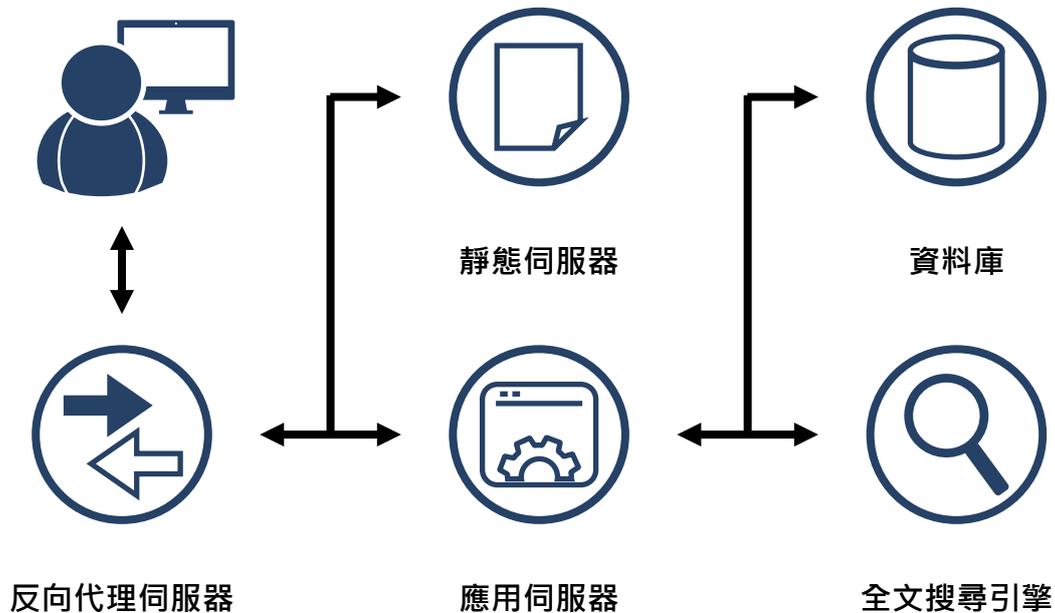


圖 4-1 需求管理系統架構示意圖

使用者端經由網頁瀏覽器進行存取操作時，由瀏覽器建立連線並發出請求方法至反向代理伺服器，依據發出之請求內容分別導向至靜態伺服器或者應用伺服器。請求靜態內容(文件、圖片…等一般檔案)時，由靜態伺服器直接回應並返回結果；請求動態內容(各項系統操作)時，由應用伺服器建立資料庫查詢，或者請求

搜尋文件內文則將搜尋條件轉向全文搜尋引擎，以應用伺服器組織結果後返回相關資料。

## 二、使用者介面

系統方面主以角色為基礎的存取控制，於系統預先設定各別角色之使用操作存取權限，再賦予使用者不同之角色，可減少使用者存取權限管理上的負擔，同時也較易於管理。使用者透過瀏覽器登入系統後可進行符合角色權限之操作，方便針對使用者進行存取控制。

### (一)需求管理

需求項目為階層結構，各別需求項目可包括數個子項，但每個子項只有一個母項，以確保需求之間不會產生循環相依的情況。需求內容除條件說明之外，可與 FEP、資料或其它參考文獻進行關聯。各項需求依照對應之角色權限可進行新增、刪除、編輯、移動、提交審核、發佈等功能，操作畫面如圖 4-2。

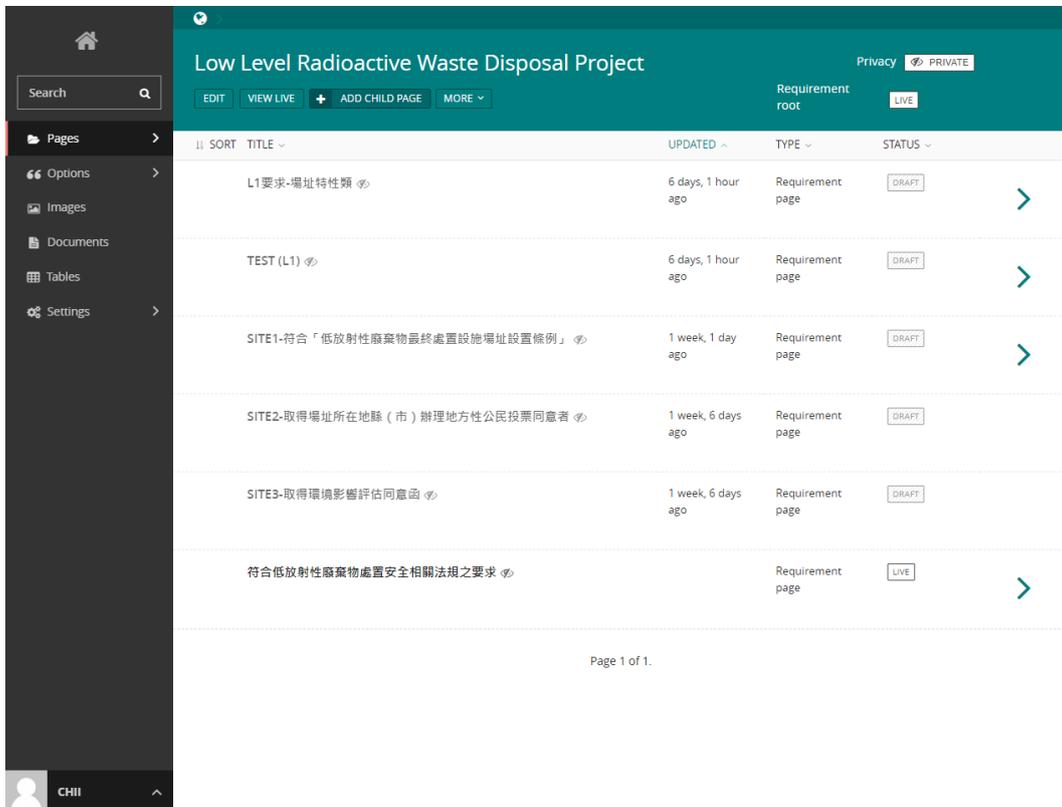
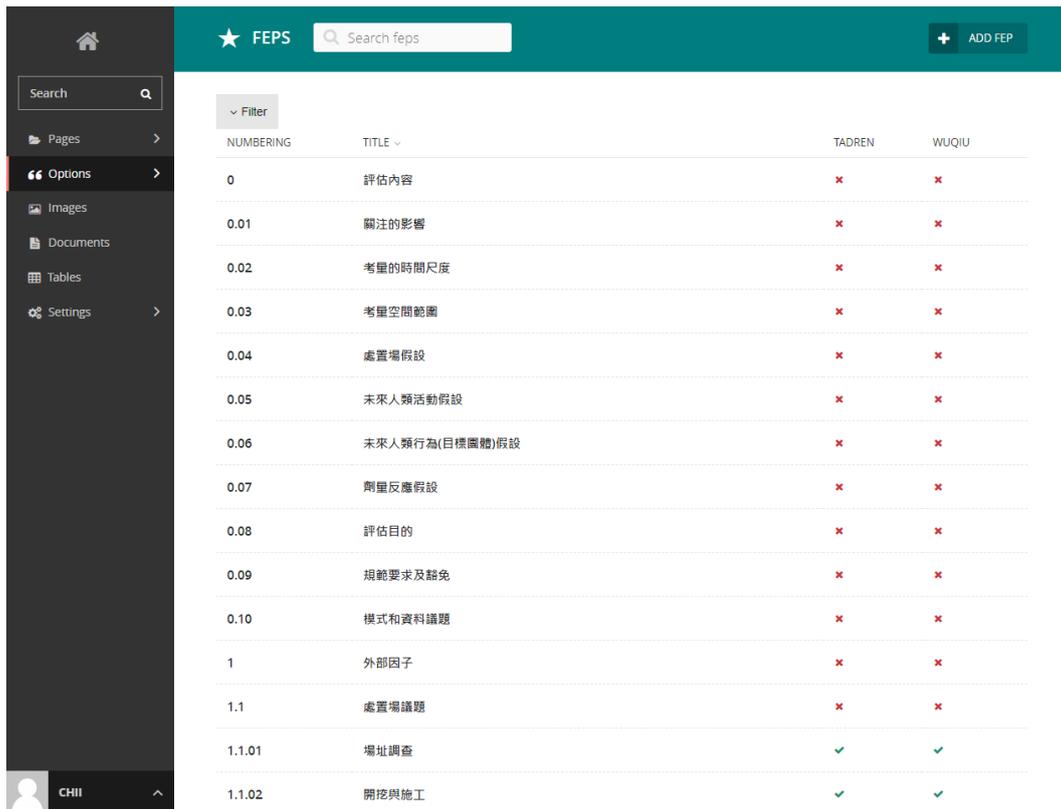


圖 4-2 階層式需求管理操作畫面

## (二)特徵/事件/作用(FEP)

特徵/事件/作用記錄包括候選場址之適用性以及與特定需求之關係，兩者間為多對多關係，意即同一需求可能對應至數個 FEP，而同一 FEP 也可能對應數個需求。編輯需求項目時可增加該項目與特定特徵/事件/作用之關係以及描述，如圖 4-3。



NUMBERING	TITLE	TADREN	WUQU
0	評估內容	×	×
0.01	關注的影響	×	×
0.02	考量的時間尺度	×	×
0.03	考量空間範圍	×	×
0.04	處置場假設	×	×
0.05	未來人類活動假設	×	×
0.06	未來人類行為(目標團體)假設	×	×
0.07	劑量反應假設	×	×
0.08	評估目的	×	×
0.09	規範要求及豁免	×	×
0.10	模式和資料議題	×	×
1	外部因子	×	×
1.1	處置場議題	×	×
1.1.01	場址調查	✓	✓
1.1.02	開挖與施工	✓	✓

圖 4-3 FEP 篩選及管理

## (三)場址特性參數

場址特性參數類型繁多且無固定格式，多分散於各報告文件、圖片以及表格當中，各檔案同樣可與需求項目建立多對多關係。此外，因應資料查尋之需求，報告、圖片以及表格等檔案內文皆以全文搜尋引擎建立索引，系統即可依據文件內容進行搜尋，如圖 4-4。

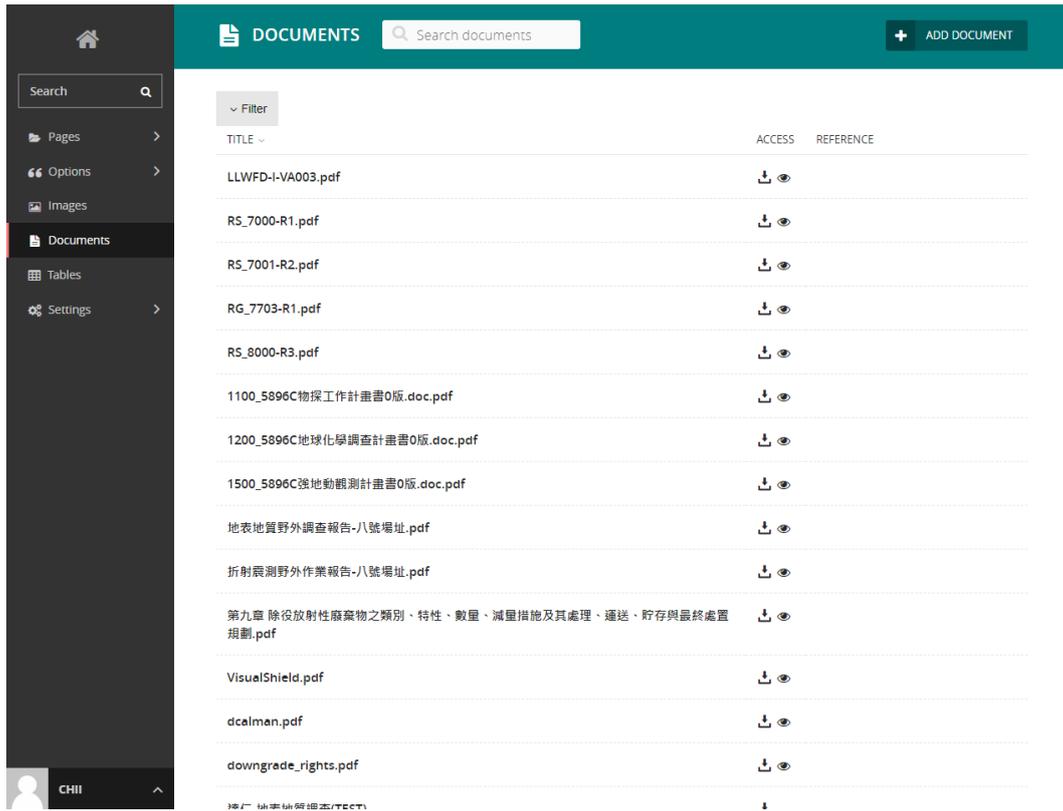


圖 4-4 相關文件及參數資料管理

## 第 5 章 結論與建議

- 一、現階段雖已完成 Co、Cs、Ni、Sr、I 和 C 等核種的吸附實驗，但物管局在「低放射性廢棄物最終處置 108 年度工作計畫書」審查會議，建議評估此 6 個核種是否足以代表「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」附表一與附表二所列核種。評估結果顯示 H 核種在不同材料之分配係數皆為 0 L/kg，因此可考量直接採用其數值，不需再進行吸附實驗；TC 與 Nb 由於變異性較大，因此台電公司規劃於 109 年以 Tc 和 Nb 核種之同位素進行相關吸附實驗，藉此掌握 TC 與 Nb 核種在我國低放處置場環境的吸附特性。
- 二、2 處建議候選場址已利用既有調查成果與文獻資料，應用疊代式與多尺度原則，規劃多階段特徵化程序，以收斂場址特徵判釋成果。達仁鄉建議候選場址後續待釐清議題包括推測構造帶空間分布、裂隙岩體與緻密岩體之交界面、場址尺度範圍內不連續構造的導水特性、硬頁岩各個裂隙岩體層之各自導水特性、導水裂隙統計特徵等。烏坵鄉建議候選後續待釐清議題包括周邊斷層狀態、處置坑道預定位置地質特徵、潛在破碎帶的存在與延伸性、處置坑道預定位置之導水特性空間分布等。
- 三、膨潤土的低透水性為阻滯核種傳輸的重要工程障壁之一，根據目前低放射性廢棄物最終處置場概念設計，膨潤土將與混凝土相互接觸可能會使障壁材料間產生離子交換現象，且在處置場封閉後的長期環境演化下，膨潤土可能為飽和狀態或未飽和狀態，在長久未飽和狀態下，障壁材料將因長期乾燥環境而產生收縮、開裂等變化，亦可能因遭遇乾燥與潮溼環境循環而使障壁材料產生反覆的體積收縮與膨脹。本計畫規劃利用實驗的方式釐清上述膨潤土長期特性，由於實驗所需反應時間較長，因此相關實驗仍在進行中。

四、低放處置場封閉後，可利用主動監管避免人類無意入侵事件發生，且須確保在主動監管結束後所發生之人類無意入侵事件，其造成的曝露劑量在可接受之劑量水平。IAEA 認為此劑量影響不應直接與正常情節劑量限值相互比較，應盡一切合理的努力，使人類無意入侵造成的年有效劑量低於 1 mSv。故針對我國 2 處建議候選場址，考量其場址環境特性和處置設施型式後，以地質調查的「鑽探入侵」為最可能發生之人類無意入侵情節。依據劑量評估結果，建議達仁鄉建議候選場址之主動監管至少持續至低放處置場封閉後 30 年，烏坵鄉建議候選場址則為低放處置場封閉後 50 年，而入侵造成周邊居民劑量影響皆低於 0.25 mSv/yr，未來將依主管機關核准之監管計畫執行。