

安全審查報告

送審單位	台灣電力公司
報告名稱	「核能電廠鄰近地區之陸域火山與海域火山島調查暨評估工作」核二廠部分之成果報告

核能安全委員會核安管制組

中華民國 114 年 6 月

摘 要

2011 年日本東北地震引發海嘯造成福島電廠事故，有鑑於地質事件所造成之影響與地質條件之更新，以及國際核能管制規範對核能電廠詳實地質資料之要求，核能安全委員會(組改前為行政院原子能委員會，以下簡稱本會)成立福島管制案，要求台電公司需調查與評估核能電廠周圍半徑 160 公里範圍內之海、陸域火山活動的可能性及其對核能電廠之潛在威脅，藉以強化核能電廠運作安全性與深度防禦。

美國核管會(U.S. Nuclear Regulatory Commission, USNRC)管制指引(Regulatory Guide, RG 1.208, 2007)規定廠址之地震危害分析方法，並就廠址周圍不同距離之調查資料精度提出定義說明。參考此管制指引，本案執行核能電廠周圍半徑 160 公里範圍內之火山調查與評估，並蒐集核能電廠周圍半徑 320 公里範圍內既有火山之相關資料文獻。

台電公司針對可能影響核能一、二、三廠之陸域火山與海域火山島以及台灣南部地區泥火山進行地質調查、分析及評估，並建置模型模擬各種條件對核能電廠之可能危害及其程度，進而建立核能電廠火山危害度曲線或假想最大可能危害情節，作為修訂及改進各核能電廠對火山危害之防範、保護與應變之依據，以達成福島管制案之要求。

台電公司依本會福島管制案要求提交「核能電廠鄰近地區之陸域火山與海域火山島調查暨評估工作」核二廠部分之成果報告，經本會邀請專家學者組成專案審查小組進行審查後確認：大屯火山群調查成果顯示，各項數值仍位在各監測項目背景正常範圍內；基隆火山群調查成果顯示，其再活動之機率甚低，其對核能電廠應無致災之虞；台灣北部三島(彭佳嶼、棉花嶼及花瓶嶼)調查成果顯示，已不具有火山活動潛能。但保守假設未來若火山活動，僅需考量火山灰漂移模式對核能電廠之影響；基隆嶼調查成果顯示，對核能電廠之衝擊有限；龜山島調查成果顯示，除火山灰不受地形限制，傳播媒介為風場外，其餘火山危害主要沿

著地形流動，直接流入海中，對電廠影響甚微，因此假設未來龜山島火山活動，應僅需考量火山灰漂散模式對核能電廠之影響。依上述調查成果進行危害情境模擬結果，針對與核能安全相關結構物可能遭遇火山灰之衝擊影響，進行結構安全評估，其既有構件強度皆符合強度之需求。

總結台電公司「核能電廠鄰近地區之陸域火山與海域火山島調查暨評估工作」核二廠部分之成果報告的審查結果，審查小組認為可以接受。

目 錄

第一章 前言	1
第二章 北部陸域火山調查與評估	3
第三章 北部海域火山島調查與評估	8
第四章 火山危害模擬、機率式危害分析與核二廠危害評估	12
第五章 審查總結	27
參考文獻	30

第一章 前言

一、本案緣起

2011 年日本東北地震引發海嘯造成福島電廠事故，有鑑於地質事件所造成之影響與地質條件之更新，以及國際核能管制規範對核能電廠詳實地質資料之要求，核能安全委員會(組改前為行政院原子能委員會，以下簡稱本會)成立福島管制案，要求台電公司需調查與評估核能電廠周圍半徑 160 公里範圍內之海、陸域火山活動的可能性及其可能對核能電廠之潛在威脅，藉以強化核能電廠運作安全性與深度防禦。

美國核管會(U.S. Nuclear Regulatory Commission, USNRC)管制指引(Regulatory Guide, RG 1.208, 2007)[1]規定廠址之地震危害分析方法，並就廠址周圍不同距離之調查資料精度提出定義說明。參考此管制指引，本案執行核能電廠周圍半徑 160 公里範圍內之火山調查與評估，並蒐集核能電廠周圍半徑 320 公里範圍內既有火山之相關資料文獻。

台電公司針對可能影響核能一、二、三廠之陸域火山與海域火山島以及台灣南部地區泥火山進行地質調查、分析及評估，並建置模型模擬各種條件對核能電廠之可能危害及其程度，進而建立核能電廠火山危害度曲線或假想最大可能危害情節，作為修訂及改進各核能電廠對火山危害之防範、保護與應變之依據，以達成福島管制案之要求。

「核能電廠鄰近地區之陸域火山與海域火山島調查暨評估工作-核二廠部分之成果報告(以下簡稱核二廠成果報告)」，係彙整核二廠周圍之陸域火山及海域火山島之各項調查成果，包括北部陸域火山(大屯火山群及基隆火山群)及北部海域火山島(彭佳嶼、棉花嶼、花瓶嶼、基隆嶼及龜山島)，釐清火山作用之地質過程，分析核二廠可能遭遇之火山活動種類與影響範圍，推演火山活動時相對應之情境，並擬定可能產生該情境之火山來源位置，亦彙整火山模擬所需的各項參數，最後進行各項火山危害模擬危害分析及研擬電廠因應對策。

二、審查過程

台電公司提出「核二廠成果報告」，函請經濟部中央地質調查所協助審查此成果報告，並依該所審查意見進行修訂後，台電公司將修訂版成果報告提交至本會。本會邀請國內相關領域專家學者及本會同仁組成專案審查小組，進行專業實質審查作業。台電公司完成審查意見答覆並提出定稿版報告，經本會審查小組審查後，確認已無後續意見。

經完成上述審查過程後，本會提出台電公司「核二廠部分之成果報告」的安全審查報告。本安全審查報告分為五章，第一章為前言，第二章為北部陸域火山調查與評估，第三章為北部海域火山島調查與評估，第四章為火山危害模擬、機率式危害分析與核二廠危害評估，最後第五章說明審查總結。

第二章 北部陸域火山調查與評估

一、概述

本章說明台電公司核二廠成果報告第四章北部陸域火山調查與評估之審查內容。依據火山地形特徵判釋，大屯火山群為臺灣北部火山岩區中，分布最廣、噴發量最大的火山，係由一群安山岩和安山岩質火山碎屑岩的火山錐體所組成，包括五個火山亞群：竹子山亞群、大屯山亞群、七星山亞群、磺嘴山亞群和丁火朽山亞群，具明顯火山地形之火山錐體計 29 座，其中具火山口形貌者計 15 座。

另依野外露頭及鑽探岩心岩象鑑定，主要出露之火成岩包括安山岩及火山碎屑岩（含再積性火山碎屑岩）。根據野外岩石組構特徵、地質鑽探成果、配合地形（熔岩流階地）判釋，並彙整前人研究文獻，依岩層疊置及截切原理研判大屯火山群各亞群之火山產物之空間分布。

全岩化學分析結果，顯示大屯火山群之玄武岩質安山岩及少部分安山岩，屬次鹼性岩漿特性，部分含高鋁玄武岩，係結晶分化作用所致。而斜長石因含水狀況下受到抑制，說明非原始岩漿造成，顯示岩漿源區曾受到流體為主的隱沒組分影響。另各亞群之火成岩微量元素含量一致性高，代表可能為同一岩漿來源。而由鋁-鈹同位素與二氧化矽無相關性之特性，代表大部分岩樣之岩漿源區並無顯著地殼混染之特徵。

空中磁測三維逆推成果，顯示與大屯火山群噴發活動有關的高磁火山岩體，與光學雷達（Light Detection And Ranging, LiDAR）地形判釋及地表調查的火山體位置相符，火山岩體僅呈現於表層約 1 至 2 公里厚，排列走向大致與地下深部 2 條脈狀火成岩體一致，深度可達 4 公里，且其下未見明顯低磁區，代表此深度火成岩體已冷卻而低於居里溫度。

綜合各定年方法所得之火成岩年代顯示，各火山亞群之活動年代，以丁火朽山亞群之定年紀錄最老，約 2.6 百萬年前即有火山活動，近代

活動時間則可年輕於 0.35 百萬年前；大屯山亞群於 0.75 百萬年前開始火山活動，於 0.4-0.2 百萬年前左右活動頻繁，近代活動時間則可年輕於 0.11 百萬年前；竹子山亞群於 0.7 百萬年前左右火山活動頻繁，近代活動時間則約集中於 0.3 百萬年前；磺嘴山亞群於 0.7 百萬年前左右火山活動頻繁，近代活動時間則至少可分為 0.3 百萬年及 0.15 百萬年左右等兩段年代；七星山亞群則約於 2.5 百萬年前即有零星的火山活動，於 0.7~0.1 百萬年間持續火山活動。

綜整各監測成果，顯示大屯火山群以七星山、大油坑、擎天崗及磺嘴山具有較高火山活動潛能，如地形變動較大、微震頻繁、高地溫梯度、氫同位素值高等。整體大屯火山群各監測數值參考前人資料與計畫成果，各數值仍位在各監測項目背景正常範圍內，顯示本地區仍相對穩定。

基隆火山群主要由包括基隆山、牡丹山、本山、草山及雞母嶺等五個分散的火山岩體所構成。基隆山、牡丹山及本山等火山體為不規則產狀之侵入岩體(岩鑄體)，而草山及雞母嶺為噴出岩體，地形判釋並未發現火山作用形成之火山口及火山岩流等地形特徵，僅基隆山、草山具有錐狀山體之特徵，未見熔岩流疊置，惟空磁探測結果可見這些火山體的磁力特徵。

全岩分析成果顯示，基隆火山群主要為玄武岩質安山岩，少部分為安山岩。岩漿來源屬於相對中鉀之鈣-鹼質岩漿，僅部分屬於相對高鉀之鈣-鹼質岩漿，由微量元素分析顯示具有隱沒帶岩漿特性，且微量元素含量呈一致性，代表可能為同一岩漿來源，且鋁-鈹同位素與二氧化矽則無相關性，代表大部分岩樣之岩漿源區並無顯著地殼混染之特徵。

岩象分析成果顯示，基隆火山群安山岩以含石英普通角閃石安山岩及含石英普通輝石角閃石安山岩為主，由石英顆粒之晶形推測其石英顆粒應捕獲於圍岩，非源自於岩漿，因此將以往文獻稱之石英安山岩標示為「石英」安山岩。

基隆火山群之鋯石鈾鉛定年法分析結果，其火成岩形成年代為 $1.095 \pm 0.049 \sim 0.987 \pm 0.047$ Ma，表示更新世至今並無新的火山活動，又不具後火山作用(溫泉、噴氣孔現象)，且岩漿活動後即已冷卻，無岩漿庫低磁的特徵，監測結果亦顯示，無火山型地震，井溫無異常高溫現象，氮同位素與一般空氣中所含之氮同位素比例相近，代表其再活動之機率甚低，對核能電廠應無火山危害之虞。

二、審查情形

台電公司核二廠成果報告的第四章北部陸域火山調查與評估之內容，主要是描述北部陸域火山的地形地質調查成果、試驗分析成果、監測分析成果與成果綜合評估。針對本章內容，審查小組審查情形彙整如下：

審查委員提出審查意見：部分野外調查照片所附資訊不足，請台電公司補上如座標、方位、地點等資訊。報告書中海域火山的部分資訊呈現較佳，如基隆嶼及龜山島，皆在底圖上標示各照片的露頭位置，照片的說明也較完整。陸域火山則明顯較缺乏，亦請台電公司改善。

台電公司答覆說明：已將陸域野外調查露頭照片資訊參照海域火山島呈現方式，於露頭照片說明中補充調查位置參照圖及標註露頭流水號，以方便閱讀。

審查委員提出審查意見：大屯火山群之七星山 TTVG-BH12 孔號採樣火成岩定年分析顯示無平坦年代，請台電公司補充說明。

台電公司答覆說明：平坦年代係指火成岩樣本進行氫-氫定年時，將樣本礦物做階段性加溫，藉以得到不同階段之年代，當各階段所得年代呈現一致性，表示該樣本年代具有代表性，若各階段所測得年代分布零散，則表示其無統計上之意義。

審查委員提出審查意見：請說明中央研究院之大屯火山群最新調查研究成果(如岩漿庫構造、岩漿庫深度、可能的火山噴發點…等)，與本

案調查成果之差異性，並藉以說明火山噴發規模的假設合理性。

台電公司答覆說明：有關中央研究院之大屯火山群調查研究成果，自 2016 年起中央研究院在北部地區逐步設置超高密度的寬頻觀測網——臺灣陣列，約有 140 個測站，安裝有寬頻地震儀並即時蒐集傳送地震資料，並由中央研究院地球科學研究所與大屯火山觀測站共同執行調查研究計畫。

藉由中央研究院臺灣陣列取得遠震震波資料及中央氣象署與中研院原有的地震觀測網獲取之近震震波資料，可利用震波層析成像描繪出大屯火山群地底下模樣。中央研究院並將該研究成果於 2021 年 3 月刊登於國際頂尖期刊《科學報導》(Scientific Reports)，論文名稱為 “Unveiling Tatun volcanic plumbing structure induced by post collisional extension of Taiwan mountain belts.” (Huang et al.,2021)。依中研院研判大屯火山群可能噴發地點以大油坑的機率最高，一旦岩漿流出，依地形、地勢分析之結果，對位於金山平原西北側之核一廠或東南側之核二廠，均無影響。

本案調查計畫運用空中磁測的模型顯示，大屯火山地表下 13 公里都有磁力紀錄，未見圈狀高磁(火成岩體)伴生對應低磁區(岩漿庫)的現象，無明顯岩漿庫的特徵，比較可能屬於低溫岩層有高溫流體的地熱系統。

本案調查計畫監測結果顯示，目前大屯火山群以七星山、大油坑、擎天崗及磺嘴山具有較高火山活動潛能，並已利用機率式危害分析及定值法模擬探討各火山危害(火山灰、火山泥流、熔岩流等)對核能電廠之影響，及提出相關因應措施。

審查委員提出審查意見：不同噴發類型形成的火山灰具有不同密度，如浮石火山灰密度在 $700\sim1200\text{ kg/m}^3$ ，玻璃質碎片火山灰的密度 $2350\sim2450\text{ kg/m}^3$ ，晶體火山灰密度 $2700\sim3300\text{ kg/m}^3$ ，岩屑火山灰密度

在 $2600\sim 3200\text{ kg/m}^3$ 。由於火山灰沉降載重與火山灰密度有關，請台電公司說明本案模擬引用火山灰密度數據來源之適切性。

台電公司答覆說明：經大屯火山群地質調查結果尚未發現火山灰露頭，因此相關火山灰模擬參數主要參考同樣位於環太平洋火山地震帶之日本。火山灰密度係依據日本霧島新燃岳 2001 年噴發數值模擬研究成果，利用各種火山灰參數模擬 2001 年實際火山噴發時煙柱高與風場的關聯性；並參考日本島根電廠 2 號機火山影響評估報告及日本柏崎刈羽核電廠 6 號及 7 號機火山影響評估，火山灰模擬假設密度為 $700\text{kg/m}^3\sim 1500\text{kg/m}^3$ 。另外，火山灰之擴散受火山噴發煙流與大氣風場相互作用影響，較重的粒子將下沉降到火山口四周地面上，質量較輕的粒子則向上飛揚，並隨著大氣流動往四周擴散，因此考量上述文獻與原則，本案所使用之火山灰密度應符合學理與實際案例。

三、審查小結

綜合審查小組對本章之審查，確認台電公司核能電廠周圍半徑 160 公里範圍距離內之火山調查與評估，及蒐集核能電廠周圍半徑 320 公里範圍內之既有火山相關資料文獻，綜整各調查成果顯示大屯火山群以七星山、大油坑、擎天崗及磺嘴山具有較高火山活動潛能，但各觀測數值仍在各監測項目正常背景範圍內，顯示仍相對穩定；而基隆火山群沒有後火山作用(溫泉、噴氣孔現象)，且岩漿活動後即已冷卻，無岩漿庫低磁的特徵，代表其再活動之機率甚低，研判其對核能電廠無火山危害之虞。

綜合審查小組對本章審查結果，北部陸域火山調查成果及評估結果，經審查可以接受。

第三章 北部海域火山島調查與評估

一、概述

本章說明台電公司核二廠成果報告第五章北部海域火山島調查與評估之審查內容。海域火山島調查範圍係以各核能電廠外海已露出水面並有文獻紀載之火山島嶼為主，包括北部外海之彭佳嶼、棉花嶼、花瓶嶼(北方三島)、基隆嶼及龜山島。調查目標為瞭解各火山體地形形貌、火成岩體之分布範圍、歷史噴發層序、岩體深度分布、火山危害類型及噴發活動潛能等特性，以評估可能對核能電廠造成之影響。

海域火山島調查內容依工作項目性質可分為地形地質調查、地球物理調查、試驗分析及地表變形監測分析。分別說明如后：

- (1)地形地質調查工項內容包含 LiDAR 地形測繪與判釋，單音束、多音束水深探查與分析產製火山島島上地形與周圍海域海底地形以進行火山形貌判釋，執行地表地質查核以了解各火成岩體分布範圍，深潛調查與攝影及地質鑽探以了解岩性分類、地層層序等。
- (2)地球物理調查包含大地電磁探測及空中磁力探測資料分析，大地電磁探測於各火山島島上施測 1 點(除花瓶嶼無法登島外)，空中磁力探測於北方三島進行大面積空載拖鳥施測，基隆嶼及龜山島係整合地調所既有資料納入處理分析，以了解火成岩體於地下大範圍之分布，岩體隨深度之變化及其是否具有熱液存在等。
- (3)試驗分析主要利用地質鑽探提取之岩心選取適當樣本進行相關分析，包括碳十四定年分析、火成岩定年分析、全岩分析、岩象分析及岩石一般物理性質試驗。
- (4)地表變形監測分析之監測時間自 105 年 11 月至 108 年 8 月，共 34 個月，以全球衛星定位系統資料來求得各測站間基線長度的變化，將各自方向的線性應變轉換成區域性的面積應變與剪斜應變。

二、審查情形

台電公司核二廠成果報告的第五章北部海域火山島調查與評估之內容，主要是描述北部海域火山島的地形地質調查成果、地球物理調查成果、試驗分析成果、地表變形監測分析成果與成果綜合評估。針對本章內容，審查小組審查情形彙整如下：

審查委員提出審查意見：報告提到因火山震動或火山口塌陷所造成的間接情境如地震及海嘯不在本計畫中進行，是否有其他的計畫會進行相關工作。

台電公司答覆說明：核管案 JLD-10117 要求釐清海、陸域火山活動之可能性及評估火山活動所致之直接危害(如熔岩流、火山彈、火山灰、火山泥流等)可能對核能電廠之潛在威脅；有關評估因火山震動或火山口塌陷所造成的間接情境如海嘯，目前依本案調查評估結果，海域火山島之北方三島(彭佳嶼、棉花嶼及花瓶嶼)火山活動以寧靜式的火山熔岩溢流為主；空磁結果顯示，三島地底下岩漿庫已冷卻固化形成高磁岩體。

另依綜整之定年成果，其近期噴發年代應為萬年以上，以國際火山學會所定義之活火山條件，皆未見北方三島具活火山之跡象，應已不具有火山活動潛能。而龜山島依定年結果認為可能於 7 千年前噴發過，屬於全新世火山，空磁探測資料證實龜山島深處具岩漿庫之存在，符合國際火山學會所定義之活火山條件，其火山活動潛能相對高。因此若要考量海域火山島可能引發海嘯，其來源機制可假設龜山島火山噴發震動，造成海島邊坡崩落滑入海中，引發海嘯，目前已著手分析龜山島邊坡可能崩塌量體，並由另一核管案 JLD-10102 執行後續海嘯模擬分析評估。

審查委員提出審查意見：核二廠報告之機率式火山危害度分析 (Probabilistic Volcanic Hazard Analysis, PVHA) 僅模擬大屯火山群，而北方三島及龜山島等未整合納入分析，請台電公司說明此分析結果之合理性及適切性。如其他可能危害類型亦有類似情形，請參考上述意見提出

澄清說明。

台電公司答覆說明：本案依據國際原子能總署(International Atomic Energy Agency, IAEA) SSG-21 [2]核設施廠址火山危害評估流程，執行火山來源篩選及評估可能影響電廠之火山危害，由於北方三島經本案調查評估後，非屬於活火山，且未來應不具有火山活動潛能，因此篩濾為非火山來源。龜山島符合活火山條件，本案調查評估發現未來具有火山活動潛能，主要火山危害以火山灰為主，惟因其位於核二廠東南方約 50 公里海域，火山灰傳播對電廠影響甚小，因此以定值法保守評估龜山島可能之火山活動噴發之火山灰累積厚度。

審查委員提出審查意見：請說明海域火山島調查項目之地形判釋未單獨陳列之原由。

台電公司答覆說明：陸域火山調查之工作項目包含「地形判釋」係因部分數值地形資料為申請既有資料後進行判釋，而海域火山島調查未單獨將「地形判釋」列為工項，係因該地形數值資料為本案自行測量產製，因此包含於下列地形測量工項內，如「LiDAR 地形測繪與判釋」、「單音束水深探查與分析」及「多音束水深探查與分析」。地形判釋成果內容可詳各火山島章節之「地形地質調查成果」。

三、審查小結

綜合審查小組對本章之審查，確認台電公司調查與評估北部海域火山島，北方三島依定年成果，其近期噴發年代應為萬年以上，以國際火山學會所定義之活火山條件，北方三島皆未有活火山跡象，應已不具有火山活動潛能。基隆嶼空中磁測顯示斷層為主要岩漿源流體的通道，而斷層造成之裂隙出口多處於海底，噴出之灰、氣等皆有海水緩衝，對核電廠之衝擊有限。龜山島依定年結果認為可能於 7 千年前噴發過，若龜山島火山活動，僅有可利用風場傳播之火山灰，可能對核能電廠造成影響，但因距離核二廠 50 公里，評估火山灰累積厚度對電廠影響甚小，

其餘火山危害如熔岩流、火山碎屑流、火山泥流因直接流入海中，對電廠應無影響。

綜合審查小組對本章審查結果，北部海域火山島調查成果及評估結果，經審查可以接受。

第四章 火山危害模擬、機率式危害分析與核二廠危害評估

一、概述

本章說明台電公司核二廠成果報告第六章火山危害模擬、機率式危害分析與核二廠危害評估及因應對策之審查內容。

火山噴發作用與產物所造成的熔岩流、火山泥流及火山灰等，為危害與衝擊的來源，因此火山危害的評估即需要綜合各種地質資料以推演每一類型的火山危害模式，進而評估潛在性危害。本章係整合各項地質調查成果，以釐清火山作用之地質過程，分析核二廠可能遭遇之火山活動種類與影響範圍，推演火山活動時相對應之情境，並擬定可能產生該情境之火山來源位置，亦彙整火山模擬所需的各項參數，最後進行各項火山危害傳播模擬、機率式危害分析及研擬核二廠因應對策。

二、審查情形

台電公司核二廠成果報告的第六章火山危害模擬、機率式危害分析與核二廠危害評估及因應對策之內容，主要是描述初始火山源生成與火山情境評析、火山源參數產製、機率式火山危害度分析、定值法火山危害模擬、核二廠危害評估及因應對策。針對本章內容，審查小組審查情形彙整如下：

審查委員提出審查意見：請更詳細描述如何計算火山泥流的量體？報告中雖有提到計算厚度是依據地質鑽探分層厚度及地層剖面所評估，這些鑽井得到的點資訊在空間上會有所不同，差異量有多大？是採用平均值厚度嗎？還是利用其它方法。碎屑岩厚度面積是由計畫判釋的火山泥流料源區，如何判釋？可能誤差有多大？在定值法火山危害模擬只考慮平均坡度 25 以上之岩體是否適切？該經驗是源於國內土石流，不過由於材料特性不一樣，是否有相關國外案例經驗可供參考。

台電公司答覆說明：火山泥流之量體係依據泥流料源區面積與厚度

相乘所得，其中厚度係由鑽探岩心資料分層後所得，於不同地區有所不同，以火山來源竹子山為例，其料源區面積為 341,813 平方公尺，厚度範圍為 4 至 50 公尺，因此火山泥流之量體上下限值為 1,367,252 ~17,090,650m³。

另火山泥流係為火山碎屑材料往下游或低處流動之類似土石流行為，主要材料為火山碎屑和暴雨之混合流體，因此考慮其量體時係依土石流評估經驗為之。料源區面積判釋係利用解析度 1m 之數值高程模型資料進行坡度分析，參考環境地質與地質災害敏感區測繪作業準則及土石流潛勢溪流劃設作業手冊，針對不同坡度可能造成的山崩地滑或土石流災害定義，說明如下：

(1)參考環境地質與地質災害敏感區測繪作業準則，依據 10m 網格之數值地形製作坡度圖，坡度分成四級：

- (a)平均坡度 < 25 度(低潛勢岩屑崩滑)；
- (b) 25 度 ≤ 平均坡度 < 40 度(中潛勢岩屑崩滑)；
- (c) 40 度 ≤ 平均坡度 < 55 度(高潛勢岩屑崩滑)；
- (d) 均坡度 ≥ 55 度(落石)。

(2)參考土石流潛勢溪流劃設作業手冊，土石流潛勢溪流發生潛勢因子配分表之坡度因子分為三類：

- (a) 上游區坡度 > 50 度，分數 25；
- (b) 上游區坡度 30~50 度，分數 15；
- (c) 上游區坡度 < 30 度，分數 5。

故本計畫料源區面積之坡度篩選綜合上述以 25 度以上為界線並配合地形進行圈繪。

審查委員再提出後續審查意見：指出火山泥流和土石流行為不完全相同，可能含有氣體，只考慮平均坡度 25 以上之岩體可能不足以反應

實際可能產生的危害。

台電公司進一步對後續意見進行答覆說明：火山泥流係為火山碎屑和水體混合之土石流，且其易發生在坡度高火山地區，另 IAEA 技術文件提及一般常發生之火山泥流量體體積為 $10^3 \sim 10^5$ 立方公尺，更大體積規模之火山泥流事件極少，而本案考量坡度 25 度以上之火山泥流量體，其體積大於 1×10^5 立方公尺，應足以或趨於保守考量反應可能造成之火山泥流情境。

審查委員提出審查意見：大屯火山及龜山島岩漿應評估其容量及其活動所誘發地震之最大潛能規模/震度及對核二廠之影響。

台電公司答覆說明：本案目標為釐清陸域及海域火山島之火山活動潛能及評估火山活動所致之直接危害(如熔岩流、火山彈、火山灰、火山泥流等)可能對核能電廠之潛在威脅。另有關火山活動(含大屯火山及龜山島)所可能誘發地震已於美國「地震危害分析資深專家委員會(Senior Seismic Hazard Analysis Committee, SSHAC)」所訂定第 3 層級(以下簡稱 SSHAC Level 3)之系統、結構及組件參數中納入評估，依 SSHAC Level 3 之地震危害度分析輸入文件摘要報告指出，火山活動於核二廠地震危害度之貢獻約占 5.3%~7.8%。

審查委員提出審查意見：火山灰堆積對核電廠造成的影響，除了結構上的檢核，亦須考量對重要設備功能上(甚至於取水結構)的影響，並借鏡日本 JEAG 4625 [3]最新版的相關因應對策。

台電公司答覆說明：日本原子力規格委員會(NUSC)之原子力發電所火山影響評價技術指針 JEAG-4625-2014 規範主要針對位於火山附近的核能電廠，詳細說明火山活動調查方式與內容、廠內各項設施的設計考量及火山活動事件的因應對策。以日本川內核電廠為例，該電廠針對未來可能活動之火山納入評估，若以可能對川內核電廠安全性造成影響之火山活動而言，需考量櫻島-薩摩的噴發產生的火山灰災害(12,800 年

前，火山灰噴出量 11 立方公里)，預期廠址可能堆積的火山灰量為 15 公分，評估結果為火山灰堆積不會對廠房及設備造成損害，但仍規劃配套措施，裝設過濾網，以避免火山灰飄進電廠設施內部等措施。

核二廠程序書在火山噴發後減緩對策中，針對火山灰堆積列為最優先處理項目，主要考量即是各廠房屋頂的設計承重。除了火山灰清除外，針對通風系統、設備進氣口採取暫時停止運轉設備或是監視濾網堵塞狀況並適時更換清理，以利設備順利運作。火山灰粒徑一般小於 2 公厘，程序書亦已說明泵室循環水泵取水若受影響，視真空狀況酌降負載因應，並參閱循環水系統異常程序書處理。

審查委員再提出後續審查意見：請補充說明火山灰對戶外開關場的影響。

台電公司進一步對後續意見進行答覆說明：345kV 開關場為屋外型設計，火山灰會累積在輸電設備及礙子上，氣體絕緣複合式開關設備外表部份可以於活電中用水吹洗(如同下雨天)，但是氣體絕緣開關設備/斷路器套管不能活線清洗，為安全起見，噴發後宜安排輪流停電清洗。69kV 開關場為屋內型設計，火山灰會累積在輸電設備及各線路礙子上，69kV 開關場平常皆採活電清洗，為安全起見，噴發後視狀況立即安排活線或停電清洗。若火山灰大量入侵電廠，造成電廠喪失外電，則依失去廠外電源程序書進行處置，利用廠內制式緊急電源可移除反應爐衰變熱，並對爐心進行補水，將反應爐帶至冷爐停機狀態。

審查委員提出審查意見：(1) IAEA 之特別安全導則 SSG-21 (Volcanic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations, 2012)第 6 章節「Site Specific Volcanic Hazard Assessment」，針對火山灰之危害評估，建議應考量火山灰二次效應或間接危害，例如火山灰污染及化學腐蝕，請增加火山灰對系統功能影響之對策。核二廠報告於第 6.6.4 章節「因應對策」，針對火山灰之間接危害，提出 13 項因應建議，請補充說明核二廠目前研辦或採行狀況。(2)承上項，其他可能的危害類型，請參考

上項意見提出澄清說明。

台電公司答覆說明：(1)核二廠報告第 6.6.4 節之 13 項因應對策，其中第 2~10、12 及 13 項次，核二廠火山危害對設備、人員影響因應措施指引程序書已有採行措施；第 1 及 11 項次將於程序書加入因應措施。(2)目前所知火山對於核二廠的影響主要為火山灰，故廠內已建置火山危害對設備、人員影響因應措施指引程序書，編列各項火山灰的應變措施，不盡完善之處會根據適當的因應對策通則，研擬因應策略至程序書內，提供廠內同仁依循。

審查委員再提出後續審查意見：(a)請提出「減少戶外作業、將門窗及相關對外通風系統關閉」更積極的作法並納入程序書，(b)請說明在喪失外電(因火山灰積聚在電塔或電纜線)時，抑壓池水源及其後備水源(僅不會受火山灰污染者)可使用之期長，(c)請說明蓄電池及氣冷式發電機之防塵設施是否需加裝。

台電公司進一步對後續意見進行答覆說明：

(a)火山噴發後，發現有火山灰入侵電廠時，通知保安監控中心實施門禁管制，除現場工作人員需至戶外作業外，禁止非必要人員離開建築物。依據火山危害對設備、人員影響因應措施指引程序書之大屯火山噴發前、後減緩對策，火山噴發前先行暫停行政大樓電氣設備之運轉如冷氣機等，並以膠布粘貼總機房門縫、通風孔等，減少火山灰進入總機房內，於通風系統加裝前置濾網，防止火山灰經由通風管管路進入室內，避免火山灰對建築物內人員造成危害。

(b)在喪失外電狀況下，反應爐已停機，此時利用廠內制式緊急電源可完成餘熱移除工作，則在反應爐水位控制為密閉迴路，若無斷管等狀況，其水位均可藉由各儲水設施來維持。停機初期，多餘蒸汽在冷凝器凝結成水並儲存於熱井，熱井水位過高可回收到冷凝水儲存槽(CST)。停機後之水位控制所需水量會越來越少，反應爐水位不足可由 CST 經各種

路徑補足，水位偏高則回收到 CST，另 CST 亦可由除礦水儲存槽、輔助凝結水儲存槽及輔助除礦水儲存槽補充，且這些儲存槽之存水均不受火山灰影響，故反應爐所需水源充足無虞。

(c) 依據火山危害對設備、人員影響因應措施指引程序書之大屯火山噴發前、後減緩對策，火山灰入侵電廠，蓄電池組必要時清理。火山危機管理及應變小組成立時氣冷式發電機加裝防塵設施。

審查委員再提出後續審查意見：(1)(a)針對日本川內核電廠廠房、緊要海水泵、輔助廠房排氣筒、圍阻體排氣筒、海水過濾器（含下游端設備）、槽車等外部塗裝，說明核二廠對應之情況；(b)針對防汙對策塗裝及異物排出溝槽，說明核二廠對應之情況。(c)日本電廠過濾器過濾效率可達 85%以上，說明核二廠對應之情況。(2)針對火山灰之影響期間可能較長(數日)，提出廠內作法已可因應之澄清說明。(3)說明第五台緊急柴油發電機之防塵設施，以及提出有關戶外氣冷式發電機防塵設施備品之準備情形及數量之說明。

台電公司進一步對後續意見進行答覆說明：

(1) (a)核二廠重要設備(如:循環水泵/緊要寒水系統/餘熱移除系統..等)皆置於廠房內，核二廠會依據火山危害對設備、人員影響因應措施指引程序書之大屯火山噴發前、後減緩對策，將重要設備所屬廠房的通風口關閉(封閉)且停止通風系統，所以火山灰對廠房內之重要設備的影響應該是微乎其微。各廠房的外部塗裝(油漆)皆有防腐蝕功用且火山灰的腐蝕是屬長期效應，短期內不會對廠房結構造成影響，且依火山危害對設備、人員影響因應措施指引程序書之要求，重要廠房(核島區)屋頂只可容許約 10 公分厚之火山灰堆積，故當廠房屋頂火山灰累積達 10 公分時會由區域負責人進行火山灰的清理工作，火山灰不會長期堆積在廠房，亦不會對廠房塗裝造成影響。

(b)依據火山危害對設備、人員影響因應措施指引程序書之大屯火山噴發

前、後減緩對策，對於各廠房會依據其所在位置不同而訂定不同之減緩對策，例如：氣渦輪機廠房的火山噴發前、後減緩對策有提及對異物排出溝槽之說明。

(c)過濾效率 60-65%/80-85%皆屬於中效濾網，可過濾的粒子尺寸在 1 微米(μm)~3 微米(μm)，而火山灰塵：火山灰噴發出的火山物質大小小於 2 毫米屬於毫米(mm)等級，核二廠過濾器屬中效率可過濾到微米(μm)等級，應可全面攔截火山灰塵，避免火山灰侵入廠房。

(2)依據核二廠火山危害對設備、人員影響因應措施指引程序書，大屯火山噴發前、後減緩對策內所提之作業內容，並不會因火山灰之影響期間長短而有所變化，當火山灰的影響有惡化就會再進行處理，例如火山堆積達 10 公分就會進行清理，清理完成後若再堆積則再清理。

(3)第五台柴油發電機有四個進氣口過濾網，若過濾網有堵塞時可依情況隨時拆卸清洗吹乾或適時更換新品，進氣口過濾網更換約 2 小時可完成。第五台柴油發電機有四個濾網作為備品。第五台柴油機電氣室冷氣室外機於火山噴發時宜停用，並作防塵灰防護，待噴發後空氣中火山灰沉靜後，先清除主機旁堆積落塵，再重起動使用。

審查委員提出審查意見：有關核二廠風險評估流程，請增列 IAEA SSG-21 詳細評估流程，並依原立案要求納入日本 JEAG-4625 方法論及業界實際個案。

台電公司答覆說明：IAEA SSG-21 火山危害評估流程及日本 JEAG-4625 方法論及業界實際個案分別已於報告闡述，節錄內容如下：

(1)本案係參考 IAEA SSG-21 火山危害評估流程，篩選火山來源及其可能影響電廠之火山危害，其評估共分為 4 個階段，包括第 1 階段為初步評估：場址周圍之火山是否於 10 百萬年內活動過；第 2 階段為未來具有活動潛能特徵之火山：包括近期是否活動過、全新世也就是 1 萬年以來是否活動過及未來是否具有再活動趨勢；第 3 階段火山危害篩濾：在

進行危害評估前，應先進一步的篩濾掉不具備在評估場址內產生火山危害之火山；第4階段火山危害評估：評估能動火山所產生之火山危害是否對場址造成影響。

(2)日本 NUSC 之原子力發電所火山影響評價技術指針 JEAG-4625-2014 規範主要針對位於火山附近的核能電廠，詳細說明火山活動調查方式與內容、廠內各項設施的設計考量及火山活動事件的因應對策。以日本川內核電廠為例，該電廠針對未來可能活動之火山納入評估，若以可能對川內核電廠安全性造成影響之火山活動而言，需考量櫻島-薩摩的噴發產生之火山灰危害(12,800 年前，火山灰噴出量 11 立方公里)，預期廠址可能堆積的火山灰厚度，評估結果為火山灰堆積不會對廠房及設備造成損害，但仍規劃配套措施及裝設過濾網，以避免火山灰飄進電廠設施內部等措施。

審查委員提出審查意見：請說明 Yucca Mountain 計畫之機率式火山危害度分析(PVHA)做法，與本報告 PVHA 方法論之異同。另提供分析火山不同危害類型之邏輯樹，以及專家小組討論之會議紀錄，並彙整為核二廠報告之附錄。

台電公司答覆說明：

(1)本計畫機率式火山危害度分析(PVHA)之核心概念為假設火山的發生及傳播係具有特定機率分布，計算特定場址在火山危害事件發生後，與火山產物交錯、接觸或者覆蓋特定厚度的可能機率，與 Yucca Mountain 火山危害度分析計畫之做法無異。惟報告中提到，因 Yucca Mountain 計畫係考慮火山岩脈入侵對核廢料儲存庫影響之可能性，而本計畫係考慮火山灰、熔岩流、火山泥流對核電廠之危害，無法直接使用 Yucca Mountain 之邏輯樹，因模擬使用之參數不同，並非 PVHA 做法不同。

(2)本計畫參考 Yucca Mountain 計畫、Conner et al. (2012)及 IAEA TECDOC-1795 等文獻，針對不同的危害類型進行分析並建立本計畫使

用之參數邏輯樹及模擬方式。另火山泥流則是針對各別可能影響到電廠之火山源搭配不同火山錐的垂直高度(H)及火山口至末端堆積區之水平距離(L)之兩比值 H/L 及泥流量體體積做上下限進行分析，進行多次模擬後再以年發生率分析危害度，故無邏輯樹圖。

(3)PVHA 專家會議紀錄已彙整於報告附錄三專家會議記錄-機率式火山危害度分析(PVHA)。

審查委員提出審查意見：核二廠報告中採用 FALL 3D 程式進行火山灰傳播分析，補充說明與其他模式比較驗證之過程或結果。若有針對火山灰之地質調查資料，亦請於報告中說明對核二廠模擬結果之比對驗證，以佐證分析模擬之適切性。其他可能的危害類型，請參考上述意見提出澄清說明。

台電公司答覆說明：核二廠定值法各火山危害傳播分析模式說明如下，各火山危害模擬說明請詳報告第 6.5.2 節。

(1)火山碎屑流(Titan2D)：Titan2D 為美國紐約州立大學水牛城分校所發展維護的火山現象模式，成功運用在全球多處火山危害的預報及應變(作業)計畫中。並且有多項與火山實際案例互相驗證，顯示模擬結果與觀測現象具有較佳的一致性。

(2)火山彈(Eject!)：本計畫所使用之火山彈模擬軟體 Eject!，係由美國地質調查局(United States Geological Survey, USGS)所開發，此軟體可綜合考量多種力學及環境因素，以模擬火山彈之運行軌跡。目前 Eject! 軟體多是利用現生之火山事件，以野外調查或航照判釋等方法，確認火山彈粒徑、墜地點或其造成之陷坑位置與規模，根據該地區之天候環境輸入適當之氣候條件，計算火山彈可能之飛行軌跡，以反推火山噴發之出口速度及噴射角或其他力學條件，其模擬結果與現生火山事件調查成果一致性佳。

(3)火山泥流及熔岩流(SEC-HY21)：火山泥流主要為土石塊體之運

動，其運動機制與土石流一致。國內中興工程顧問社已開發一泛用性二維地表水分析模擬系統(SEC-HY21)，係採用二維淺水波方程式做為控制方程式，SEC-HY21 歷經長期驗證，累積眾多應用實例，且皆有良好評價。

(4)火山灰(FALL3D)：FALL3D 為模擬火山灰與污染物傳輸及沉降的三維尤拉模式，該模式為義大利國家地理火山研究所與巴塞隆納超級計算中心合作開發，係國際上常用於火山灰危害評估之軟體。國外已有許多研究使用 FALL3D 模式預測不同垂直高度下的火山灰濃度、沉降量，以提供安全的航行高度及危害分析，並進行實際案例模擬，與觀測值進行比對，驗證模式本身的再現性或預測能力，其結果皆顯示模擬值與觀測值有良好的一致性。

本案於調查過程中未能發現完整火山灰及火山彈露頭，可能與台灣氣候環境不易保存火山灰沉積物及台灣火山危害以寧靜式噴發之熔岩流為主，火山灰及火山彈為爆裂式噴發產物，因此無歷史資料可進行比對驗證。火山碎屑流、火山泥流及熔岩流經模擬分析結果顯示，因核二廠所在位置周圍為山稜線所包圍之海灣低地，受到天然地形屏障保護，上述沿地形運移之火山危害，無法跨越地形屏障傳播至核二廠廠區內，此結果與本案地質調查成果未於廠區周圍發現相關火山產物一致。

審查委員提出審查意見：請說明核二廠火山灰垂直沉降載重計算表中，火山灰密度是乾密度還是濕密度？倘若結合水氣，是否密度更大？對於建物結構屋頂載重的影響又為何？請進一步分析後再提出補充說明。

台電公司答覆說明：本案採用之火山灰密度為乾密度，然而在活載重中，除原設計之設備活載重外，屋頂層尚有額外考量屋頂積水載重，將空氣中含水量達飽和之情境進行保守考量納入分析模式中，而由本案結構強度檢核分析結果顯示，結構分析採用係數化載重組合後，結構系統能承受之載重仍有餘裕，火山灰荷重累積對各項結構安全無影響。

審查委員提出審查意見：(1)針對磺嘴山火山泥流與熔岩流模擬分析結果，雖然因為地形阻隔，不致進入核二廠廠區內，但是對核二廠外圍的員潭溪圍堰及相關取水設施的影響評估，進一步分析後提出補充說明。(2)承上，若員潭溪取水設施將確實受到影響，則核二廠的研擬對策為何？現行核二廠火山危害對設備、人員影響因應措施指引程序書是否足以提出相對因應措施以確保機組安全，請進一步補充。

台電公司答覆說明：

(1)依本案火山泥流模擬結果，由磺嘴山口發生火山泥流沿著員潭溪運移約 11 小時後則抵達出海口，泥流幾乎靜止，顯示並未於上游處完全阻塞河道，導致泥水無法流動，因此一般原則應於事件結束後，可於河道進行清淤，移除大型塊石等工作，以恢復河道正常水量供給。

(2)依火山危害對設備、人員影響因應措施指引程序書，在發生火山噴發徵兆或警訊 24 小時內，將生水池 A/B、員潭溪集水堰、員潭溪旱季儲水池(生水池 C/D)補滿水，依廠內生水用量 A/B 池約可供廠內使用 1 個月，C/D 池容量與 A/B 池相當，故生水用量粗估可供廠內使用 2 個月以上。若生水池因員潭溪取水設施而受到影響，依據生水供給系統異常程序書中的處置方式處理。

審查委員再提出後續審查意見：若生水池遭受火山灰侵襲佈滿水池表面，請台電公司提出因應對策(含池上設備之處置)。

台電公司進一步對後續意見進行答覆說明：火山灰密度高(一般大於水)，不溶於水中，遇水沉入底部。在沉澱到池底前，生水池水質濁度及濃度增高，可利用核二廠在靠近生水池 A 及 C、D 附近設置之加藥槽，槽頂部各裝有一台加藥機，可把藥打到池內。在生水預處理沉澱槽中生活和化學藥品有二十分鐘的滯留以使凝聚作用產生，大顆粒子經由傾斜管沉澱，在沉澱池內的污泥由二個污泥排放管和二個凝聚雜物排放管排棄至污泥脫水處理設施之污泥濃縮槽儲存準備製作污泥餅。

審查委員提出審查意見：請說明火山灰之粒徑，火山灰顆粒之硬度，並確認火山灰對緊要海水系統(Emergency Chilled Water, ECW)可能之影響。

台電公司答覆說明：本案調查火山灰粒徑約為 0.063-2mm；另，根據美國地質調查局網站資訊，火山灰顆粒之莫氏硬度約為 5-6。依據火山危害對設備、人員影響因應措施指引程序書之大屯火山噴發前、後減緩對策，針對緊急泵室部分之火山噴發前後減緩對策說明如下：

(a) 火山噴發前減緩對策：檢查泵室進出門及對外開口掩蓋。

(b) 火山噴發後減緩對策：檢查泵及相關設備，做必要之清理及檢修。

(ECW 取水口在海平面 2 公尺以下，在水泥底座 36 公分以下，火山灰落塵在水底堆積最高僅 20 公分，故不會影響海水之取用。)

審查委員再提出後續審查意見：(1)雖然 ECW 取水口在海平面 2 公尺以下，但因火山灰掉落底部堆積前，仍可能被抽汲進入管線，影響泵軸承之運轉。(2)請考慮火山灰遇水凝結成塊，對設備之堵塞影響。

台電公司進一步對後續意見進行答覆說明：

(1)火山灰成分主要由岩屑、玻璃、礦物所組成，顆粒極小(小於 2mm)類似沙子，其硬度高及密度高(一般大於水)，不溶於水中，遇水沉入底部。因其不溶於水，若大量的火山灰顆粒可能造成水質濁度及濃度增高，並在火山灰沉澱堆積底部前，由核二廠 ECW 取水口進入緊急循環水系統，火山灰對 ECW 系統之影響運作主要為機械磨損與化學腐蝕，對設備影響均屬緩慢的效應，考量海水水質可能長時間受火山灰影響，核二廠可依循本次火山浮石入侵經驗所採取之因應措施，定時監視運轉中 ECW 電流、出口壓力及出口流量，若有劣化趨勢則採取 ECW 換串運轉後進行濾網清洗/換組。

(2)若火山灰可能凝結成塊，則所形成之塊狀火山灰可由濾網阻絕，當濾網堵塞嚴重，則進行濾網清洗/換組作業，以保持 ECW 系統可用。

審查委員提出審查意見：請說明火山灰對反應器廠房、汽機廠房、控制廠房及廢料廠房之影響及因應措施。

台電公司答覆說明：火山灰堆積對各廠房主要影響為各廠房之設計載重，若累積過多超過設計載重，可能影響廠房完整性。依火山危害對設備、人員影響因應措施指引程序書擬定之因應對策，建物屋頂一有火山灰堆積，經管設施之權責部門應立即派人剷除，以免影響建物完整性。

審查委員再提出後續審查意見：要求說明火山灰沉降過程的溫度對人員、設備之影響，及因應措施。

台電公司進一步對後續意見進行答覆說明：核二廠部份成果報告中火山灰模擬參數所需之噴發口初始溫度，係因高溫使體積膨脹，密度降低，與噴發的煙柱高度相關。而一般火山灰模擬不考慮最後沉降溫度，依據 Pierre et al. (2018)指出，火山噴發時(岩漿溫度 800-1200°C)，岩漿伴隨氣體噴發後形成煙柱，快速冷卻凝結成火山灰顆粒，而其火山灰顆粒極小(小於 2mm)，其熱擴散率一般很高(約 $10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$)，因此使火山灰熱能透過熱傳導與對流轉移至煙柱內氣體。

另由 Ayris et al. (2014)火山灰於火山噴發煙柱中的熱能狀態三維模擬結果，顯示火山灰分別在 13 秒與 60 秒情境，隨後即以 -50 和 -5 °C/s 的冷卻速率，分別以 7 秒和 110 秒平均冷卻時間，與煙柱氣體溫度平衡。因此火山灰透過風場傳播經過數公里後，其溫度應與大氣溫度達到平衡，不需考量火山灰溫度對電廠之影響。

審查委員提出審查意見：核二廠程序書應結合交通部中央氣象署 109 年底發佈之「火山噴發訊息」燈號，明確定義「有火山噴發的徵兆或警訊」。

台電公司答覆說明：交通部中央氣象署之「火山噴發訊息發布作業要點」，以等級 0 級（正常）、等級 1 級（注意）、等級 2 級（警報）三種警戒等級提供火山噴發訊息。核二廠火山危害對設備、人員影響因應

措施指引程序書，已將交通部中央氣象署提供之等級 1 級（注意）、等級 2 級（警報）列入程序書之判斷依據中。

審查委員提出審查意見：核二廠結構強度檢核分析之鋼筋需求量，請再檢核混凝土結構設計規範之最小鋼筋量要求。

台電公司答覆說明：本案依據竣工圖說之原設計尺寸進行建模，並以美國混凝土學會之 ACI 349-13 規範及美國鋼構協會之 LRFD-99 規範進行檢核，經再次確認核二廠 5 棟結構物之構件強度均通過分析檢核。

審查委員提出審查意見：核二廠結構強度檢核分析，火山灰沉降載重檢核結果顯示均符合強度需求，請台電公司加以說明解釋，並說明分析時是否已考慮各結構物屋頂上之既有活載重。

台電公司答覆說明：核二廠結構構件檢核分為鋼筋混凝土結構及鋼結構兩大類，鋼筋混凝土梁、柱、板、牆之 $A_s, \text{request}/A_s, \text{design} \leq 1.0$ ，代表該混凝土構件檢核通過，以 "OK" 表示；反之，則以 "N.G." 表示。鋼結構梁、柱之容許應力比 ≤ 1.0 ，代表該鋼結構構件檢核通過；反之，則以 "N.G." 表示。上述檢核結果說明補充備註於報告。

核電廠結構物在原始設計時均考量靜載重、活載重等載重之係數化組合，取係數化組合中最大者進行結構設計。本案分析檢核時，除屋頂活載重外，屋頂層尚有考慮靜載重等其他因素之係數化載種組合，而呈現在報告中之組合為眾多載重組合中對重要結構物個別構件(梁、柱、版、牆等)之影響最大者。報告原內容描述易有誤導之虞，修正內容為「…。分析時，除規範所規定之載重 (如靜載重、活載重…等)外，將依據火山危害模擬結果，額外加入火山灰之垂直沉降載重於結構之屋頂板…。」。

審查委員提出審查意見：依據美國 USGS 報告，濕灰層的重量是乾灰層的兩倍重，應考量基隆鄰近區域氣候多雨陰濕，又因應對策要求清除火山灰前需用水噴濕，均會增加火山灰載重量。請台電公司說明核二

廠結構強度檢核分析，對於火山灰均佈載重含水程度之考量，以及飽和火山灰情況下之結構安全性。

台電公司答覆說明：本案結構分析採用之火山灰密度為乾密度，而在活載重中，除原設計之設備活載重外，屋頂層尚有額外考量屋頂積水載重等，已將空氣中含水量達飽和之情境保守考量納入分析模式中，而由本案結構強度檢核分析結果顯示，結構物於承受不同係數化組合載重後，結構系統能承受之載重仍有餘裕，火山灰荷重累積對各項結構安全無影響。

三、審查小結

綜合審查小組對本章之審查，確認台電公司利用調查成果如地形判釋、地表地質查核及地質鑽探等工項研析過去調查區域曾經發生過之火山危害種類及分布，並依地球物理調查成果、文獻定年資料及監測分析等探討各火山群再活動之潛能，及參考 IAEA SSG-21 之火山危害評估流程與火山源篩選原則，評析核二廠可能遭遇之火山危害情境，進行定值法與機率式火山危害度分析。危害度評估係著重於核二廠在火山危害發生時，基於電廠功能及安全性考量，與核能安全相關之結構物進行分析模擬，包括緊急抽水機房、二號機反應爐輔助廠房、控制廠房、二號機燃料貯存廠房及冷凝水貯存槽、二號機柴油發電機廠房等 5 棟結構物，並依危害情境模擬結果，針對上述重要結構物可能遭遇火山灰之衝擊影響，進行結構安全評估。檢核結果，5 棟結構物於火山灰沉降作用下，其既有構件強度皆符合強度之需求，各項火山危害模擬分析結果皆符合可接受準則。

綜合審查小組對本章審查結果，火山危害模擬、機率式危害分析與核能電廠危害評估及因應對策等，經審查可以接受。

第五章 審查總結

綜合審查小組針對台電公司所提交的「核能電廠鄰近地區之陸域火山與海域火山島調查暨評估工作」核二廠部分之成果報告內容與結果進行全面性檢視與審查，審查結論總結如下：

核二廠成果報告已針對核能電廠周圍 160 公里範圍距離內之火山進行調查與評估，並蒐集核能電廠周圍 320 公里範圍內之既有火山相關資料文獻，綜整各調查成果顯示大屯火山群以七星山、大油坑、擎天崗及磺嘴山具有較高火山活動潛能，但各項數值仍位在各監測項目背景正常範圍內，顯示仍相對穩定，而基隆火山群沒有後火山作用(溫泉、噴氣孔現象)，且岩漿活動後即已冷卻，無岩漿庫低磁的特徵，代表其再活動之機率甚低，研判對核能電廠無致災之虞。北部陸域火山調查成果及評估結果皆符合可接受準則，經審查可以接受。

核二廠成果報告就北部海域火山島(彭佳嶼、棉花嶼、花瓶嶼、基隆嶼及龜山島)進行調查與評估，彭佳嶼及棉花嶼島上各具 3 座火山錐體形貌，兩島熔岩流平台平緩；花瓶嶼島上地勢險峻，海底下具熔岩流成平台形貌。彭佳嶼、棉花嶼組成岩性包括玄武岩、玄武岩質安山岩及火山碎屑岩，而花瓶嶼則為玄武岩。岩漿性質歸類於中鉀或中-高鉀的鈣-鹼質岩漿範疇，岩漿源區受到隱沒帶作用影響。井下監測結果顯示不具高溫現象、微震數量少、氬同位素無地函訊息。北方三島火山活動屬於寧靜式的火山熔岩溢流為主，且空磁結果顯示，三島地底下岩漿庫已冷卻固化形成高磁岩體。另依綜整之定年成果，其近期噴發年代應為萬年以上，以國際火山學會所定義之活火山條件，北方三島皆未有活火山跡象，應已不具有火山活動潛能。

基隆嶼為侵入岩體，地表及海域均不見熔岩流、火山錐或火山口等火山地形特徵。岩性為灰色含石英安山岩夾早期灰綠色安山岩包裹體，屬於中鉀的鈣-鹼值系列岩漿，明顯受到地殼混染影響。井下監測結果顯示，溫度變化小，呈穩定狀態；區域地震甚少，甚至無地震事件；溶解氣化學成分穩定，

變化小，且無岩漿源氦同位素訊號。

龜山島地形上具有兩處火山口，位於龜甲與龜首(已不復見)，島上可判釋 5 道主要熔岩流，而島周圍海底則形成直徑最大約 8,970 公尺的熔岩流平台。岩性以安山岩為主，外觀具斑狀組織，屬於中鉀的鈣-鹼質岩漿，並無明顯受到地殼混染影響。井下監測結果顯示，溫度具有逐漸下降趨勢，水位受潮汐影響，而水位的變化使溫度具有潮汐變化，區域地震頻繁，溶解氣化學成分穩定，無岩漿源氦同位素訊號。

依定年結果認為龜山島可能於 7 千年前噴發過，屬於全新世火山，且空磁探測資料證實龜山島深處具岩漿庫之存在，符合國際火山學會所定義之活火山條件，因此其火山活動潛能相對高，若龜山島火山活動，僅有不受地形限制而可利用風場傳播之火山灰，可對核能電廠造成影響，其餘火山危害如熔岩流、火山碎屑流、火山泥流則直接流入海中，對電廠應無影響。

依既有文獻及本案所完成之調查結果，給定核二廠可能遭遇之火山情境、可能之火山源位置及參數，參考國外火山危害傳播模擬相關案例，進行各火山危害傳播模擬對核二廠影響程度，可符合火山危害度評估之需求。北部海域火山島調查成果及評估結果皆符合可接受準則，經審查可以接受。

核二廠成果報告利用調查成果如地形判釋、地表地質查核及地質鑽探等工項研析過去調查區域曾經發生過之火山危害種類及分布，並依地球物理調查成果、文獻定年資料及監測分析等探討各火山群再活動之潛能，並參考 IAEA SSG-21 之火山危害評估流程及火山源篩選原則，評析核二廠可能遭遇之火山危害情境，進行定值法與機率式火山危害度分析。

危害度評估係著重於核二廠在火山危害發生時，基於電廠功能及安全性考量，與核能安全相關之結構物進行分析模擬，包括緊急抽水機房、二號機反應爐輔助廠房、控制廠房、二號機燃料貯存廠房及冷凝水貯存槽、二號機柴油發電機廠房等 5 棟結構物，並依危害情境模擬結果，針對上述重要結構物可能遭遇火山灰之衝擊影響，進行結構安全評估。檢核結果，5 棟結

構物於火山灰沉降作用下，其既有構件強度皆符合強度之需求，各項火山危害模擬分析結果皆符合可接受準則，經審查可以接受。

總結台電公司「核能電廠鄰近地區之陸域火山與海域火山島調查暨評估工作」核二廠部分之成果報告的審查結果，審查小組認為可以接受。

參考文獻

1. U.S. Nuclear Regulatory Commission U.S.NRC. (2007). A PERFORMANCE-BASED APPROACH TO DEFINE THE SITE SPECIFIC EARTHQUAKE GROUND MOTION. REGULATORY GUIDE 1.208.
2. International Atomic Energy Agency IAEA.(2012). Volcanic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations, SSG-21.
3. 原子力規格委員會，(2014)，原子力發電所火山影響評價技術指針，JEAG-4625。
4. 台電公司，(2012)，營運中核能電廠補充地質調查工作成果總結報告。
5. 台電公司，(2016)，營運中核能電廠擴大地質調查工作成果總結報告。
6. 台電公司，(2010)，核二廠終期安全分析報告第十七修訂版 (FINAL SAFETY ANALYSIS REPORT，AMENDMENT No.17，KUOSHENG NUCLEAR POWER STATION)。
7. 台電公司，(2022)，核能電廠鄰近地區之陸域火山與海域火山島調查暨評估工作核二廠部分之成果報告(定稿版)。

