

川内核電廠重啟動實例分析

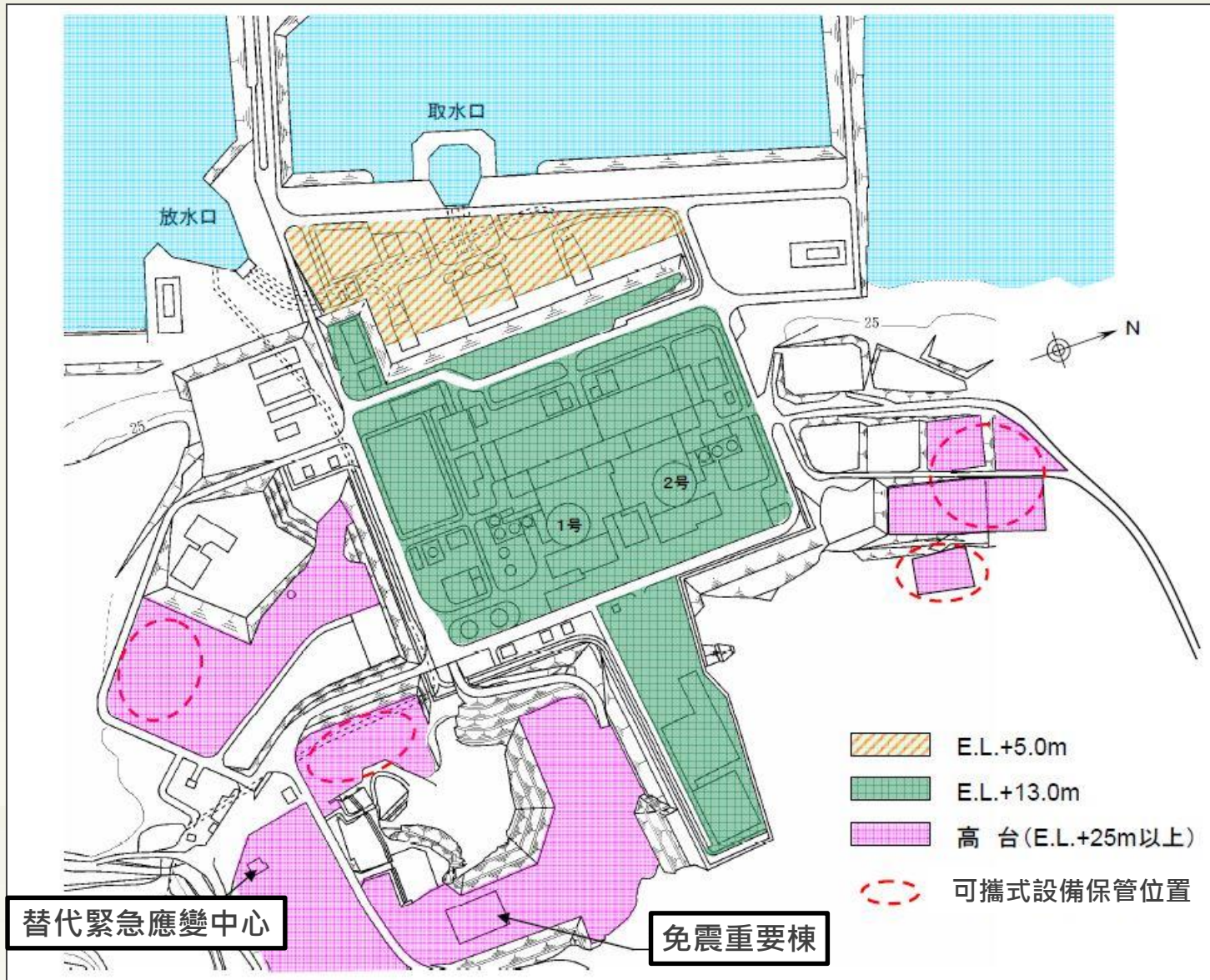
Sendai Nuclear Power Unit

川内核電廠介紹

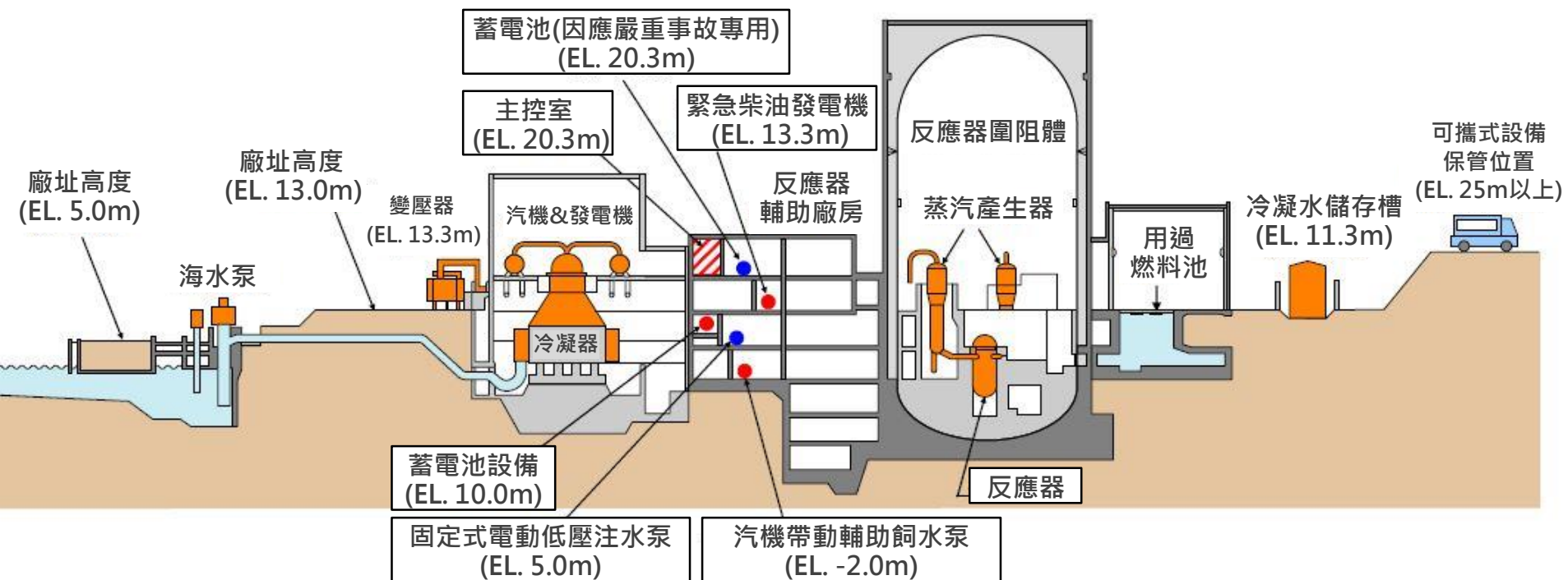
- 九州電力川内核電廠位在鹿兒島縣薩摩川內市久見崎町
- 廠址西側鄰接東海，東北到東南方為標高100~200m的丘陵
- 反應器設施設置高度在 EL. 13.0m
- 川內 1 號機是日本實施新規制基準以來，首座重啟的核能機組(2015/8/11)



廠址概要



廠址剖面示意圖



核能機組基本資料(1/2)

		川內1號機	川內2號機
核定正式運轉日期		1984年7月	1985年11月
反應器型式		壓水式(PWR)	同左
額定發電功率		89萬kW	
反應器	爐心等效直徑	約3.0m	
	爐心有效高度	約3.7m	
	燃料元件	157束	
燃料元件	燃料棒排列	17*17	
	最高燃耗	55,000MWd/t	
壓力槽	內徑	約4.0m	
	全高	約12.1m	
用過燃料貯存設備		約相當全爐心燃料的1,190%	約相當全爐心燃料的860%

核能機組基本資料(2/2)

			川內1號機	川內2號機
蒸汽產生器	數量		3	同左
	蒸汽產生量		約1,750t/h/個	
1次側冷卻水泵	數量		3	
	容量		約20,100m ³ /h/個	
汽機帶動輔助飼水泵	數量		1	
	容量		約210m ³ /h	
馬達帶動輔助飼水泵	數量		2	
	容量		約90m ³ /h/個	
圍阻體噴灑泵	數量		2	
	容量		約940m ³ /h/個	
反應器圍阻體		內徑	約40m	
		全高	約87m	
	自由體積		約80,100m ³	

川内核電廠

「反應器設置變更許可」 之審查結果(重點摘要)

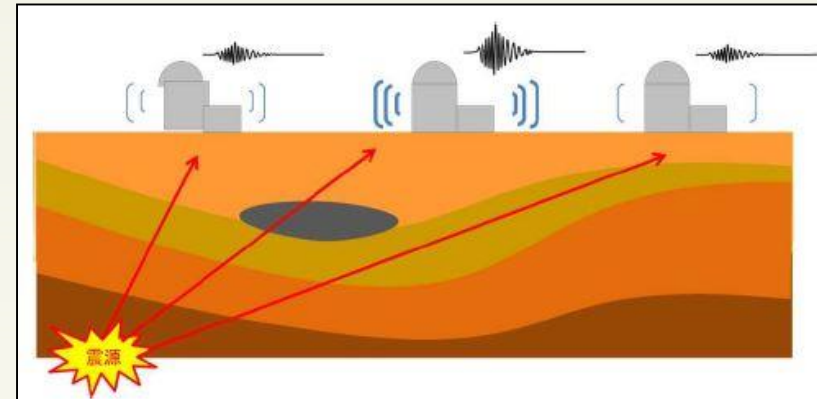
確認地層之振動傳達特性及穩定性

【新規制基準】

- 要求評估地層的地震振動增幅特性
- 確認地層的穩定性

< 申請概要 >

- 掌握電廠附近地下地質結構、地震波傳遞速度，並彙整所得觀測結果。
- 建立廠址附近區域地震增幅模型。
- 進行詳細的地質調查、分析廠址及其周邊未來斷層活動、評估地震可能引發的地層錯位、地層變形(下陷/液化)之影響。



< NRA審查結果概要 >

- 判斷地震時不會有**異常的增幅現象**。
- 判斷不會因地震造成大量**地層下陷/傾斜**，地下斷層亦無**錯位**情形。

訂定預期最大地震振幅(基準地震)

【新規制基準】

重要安全功能不會因地震受到損害。

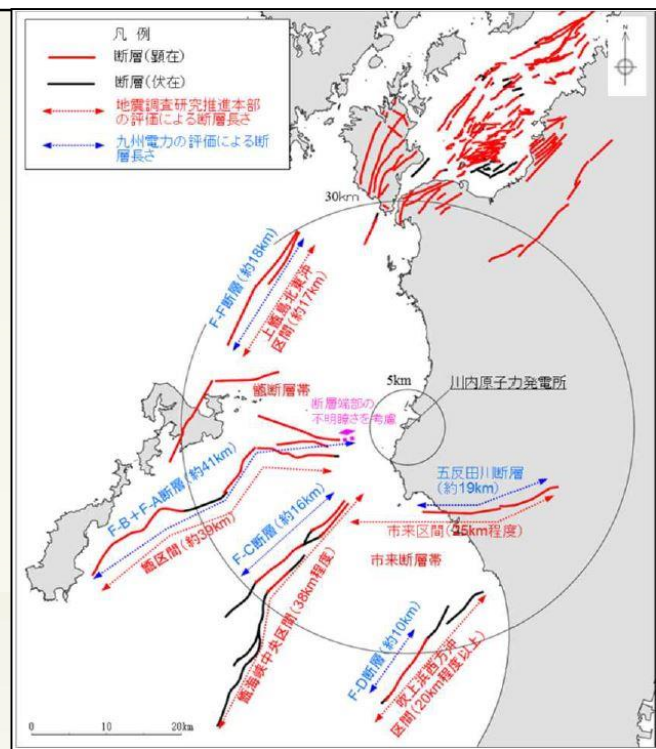
- 經由斷層調查鎖定震源，推定基準地震
- 若無法鎖定震源時，則蒐集過去地震觀測紀錄推定基準地震

< 申請概要 >

- Ss-1震源訂定基準地震為**540GAL**。
(建廠時的設定為400(372)GAL)
- Ss-2不鎖定震源訂定基準地震為**640GAL**。
- 依據安全重要程度進行設計，並據此訂定方針。

< NRA審查結果概要 >

- 基準地震是依據最新知識及技術所訂定，因此認定符合新規制基準。



地震調查研究推進本部與九州電力之 活斷層評估結果比較

預期最大之海嘯高度(基準海嘯)

【新規制基準】

重要安全功能不會因地震及地滑等非地震因素引起的複合海嘯而受到損害。

< 申請概要 >

- 申請前評估的最大海嘯高度為(+2.31m,-1.94m) ;
經重新評估後定為(+3.52m,-3.80m(進水口前面))
- 考量潮汐及大潮的影響，評估最高海嘯溯上高度為6m
- 重要安全設施之海水泵係設置在5m廠址高度上，四周並以標高15m的牆壁及防護堤保護。防止海嘯溯上波經由地面、進水渠道及排放渠道流入、並對貫穿部分實施水密措施。
- 在進水口處設置貯留堰。

< NRA審查結果概要 >

- 防護設計能夠充分因應大地震及非地震因素引起的複合海嘯，因此認定符合新規制基準。

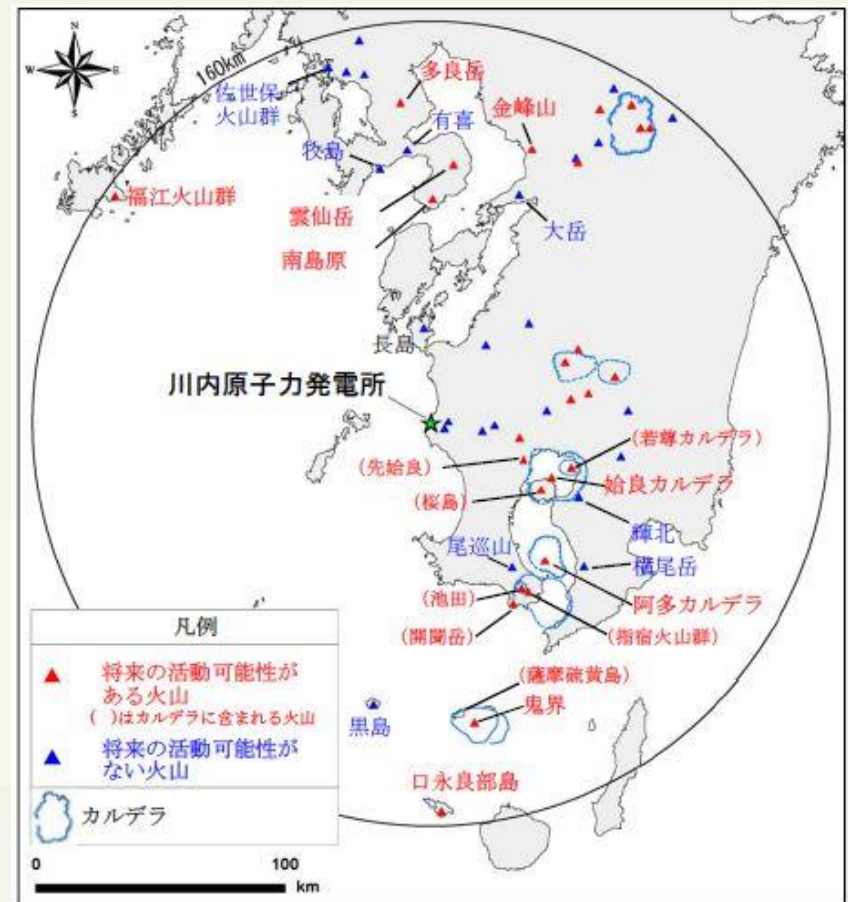
火山的影響(1)

【新規制基準】

對可能影響電廠安全性之火山進行評估。

< 申請概要 >

- 川内核電廠半徑160km範圍內，共有39座火山。
- 選出未來可能活動的火山計14座。
- 其中可能對川内核電廠安全性造成影響的火山活動：
 - 考量櫻島薩摩(12,800年前)(噴出量 11km^3)的噴發規模，預期廠址可能堆積的**火山灰量為15cm**。



※第四紀火山：約258萬年前以後有活動的火山

川内核電廠周圍之第四紀火山

火山的影響(2)

【新規制基準】

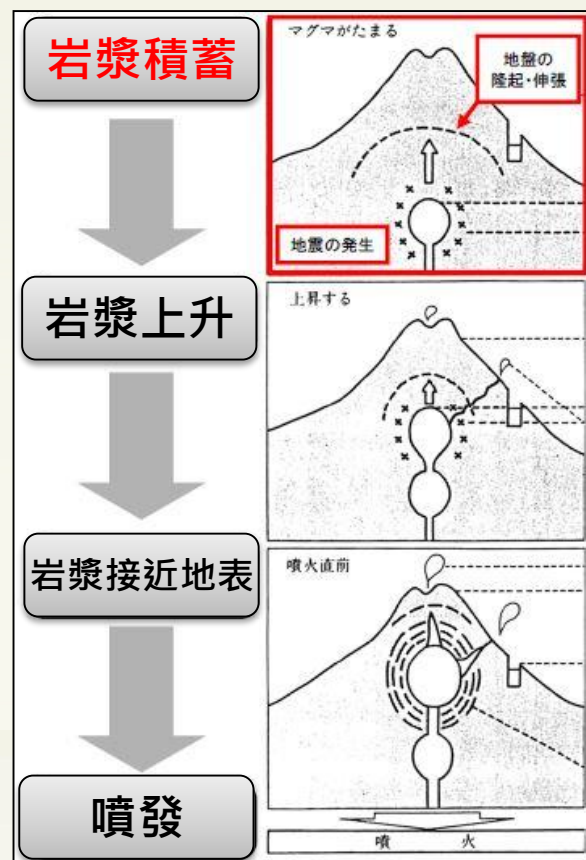
- 評估現行設計無法因應之火山事件發生可能性
- 監測過去曾對電廠所在位置造成影響之火山

< 申請概要 >

- 確認電廠附近火山口未來發生**巨大噴發**（※ 100km^3 程度以上的噴發量）**的可能性極小**。
 - 加久藤・小林・始良・阿多火山口過去平均間隔9萬年噴發。而最後一次的始良火山口噴發在3萬年前。
 - 目前並無發現火山口淺層地方有岩漿累積。
- 在核電廠營運期間將持續對火山活動進行**監測**。

< NRA審查結果概要 >

- 火山影響評估是**依據最新知識及技術**所完成。
- 川內核電廠遭受火山事件之影響，而導致現行設計無法因應的可能性極小。
- 依循火山導則，將火山口作為監測對象。



一般火山噴發模型

火山的影響(3)

【新規制基準】

不因火山碎流及火山灰而損害安全功能。

- (直接影響)對建築物造成負載、堵塞管路，對設備之機械/化學性影響，以及空氣汙染
- (間接影響)導致廠外輸配電力及對外交通中斷

< 申請概要 >

- 即使廠址內堆積了15cm火山灰，亦不會對廠房及設備功能造成損害。
- 裝設**過濾網**，以避免火山灰飄進電廠設施內部。
- 考量可能發生廠外輸配電力及對外交通中斷情形，事先於電廠內準備所需的因應設備。
- 經**實際測試**，確認即使廠址內堆積15cm火山灰，亦能在進行除灰作業後讓車輛通過。



(除灰前)裝載車行車測試



除灰測試



(除灰後)行車測試

< NRA審查結果概要 >

- 判斷川內核電廠即使受到火山灰影響，亦不會損害電廠安全性。

對自然現象及人為事件之對策

【新規制基準】

不因自然現象或人為事件而損害安全功能。

< 申請概要 >

- 除了前述地震、海嘯、火山之外，假設發生洪水、颱風、龍捲風、結冰、大雨、積雪、雷擊、山崩、生物關聯事件、森林火災、大潮等自然現象，亦不會損害電廠安全功能。並增訂以下對策：
 - 能承受風速100m/s 龍捲風影響(風壓及飛來物)
 - 為避免受到森林火災影響，設置防火帶。
- 假設發生飛機墜落、水壩潰堤、爆炸、鄰近工廠火災等人為事件，亦不會損及電廠安全功能。並增訂以下對策：
 - 設置防火牆，以防範廠址內儲存危險品的儲存槽發生火災。

< NRA審查結果概要 >

- 判斷不會因自然現象或人為事件而損害安全。

廠內火災對策

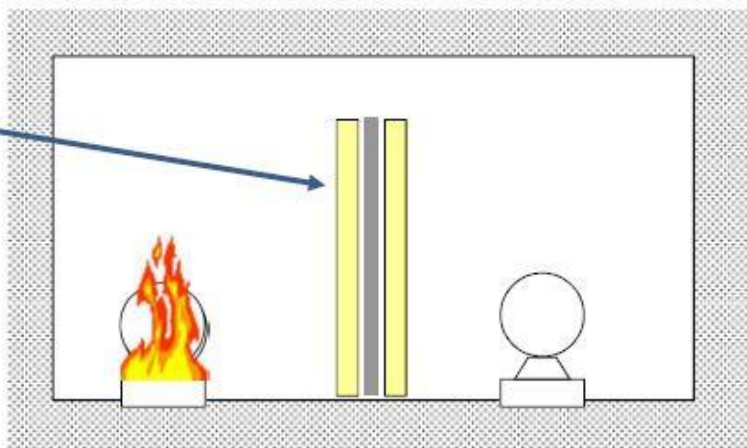
【新規制基準】

要求應具備能防止火災發生、初期火警探測/滅火、減緩火災影響之對策。

< 申請概要 >

- 使用**防止延燒**，而且具備**自我滅火性能**之電纜。
- 裝設不同類型的**火警探測器**。
- 防水分區內設置**多個**海龍滅火設備。即使1台故障，亦有備用設備。
- 為避免安全功能設備因火災失效，利用**3小時防火時效**之防火牆加以隔離。

設置防火牆



< NRA審查結果概要 >

- 判斷具備充分的防火對策。

廠內淹水對策

【新規制基準】

不因廠內淹水而損及安全功能。

對於廠內淹水的假設包括：管路破裂造成之洩漏、消防水放水，以及因地震導致設備破損而發生之洩漏。

< 申請概要 >

- 設備應設置在不會被水淹沒的高處
- 若設備可能因泡水而損及功能時，應加裝防護套保護。
- 應有探測並隔離蒸汽釋出的設計，以確保安全功能。
- 即使因地震導致設備破損而發生淹水時，亦不損及安全功能。

< NRA審查結果概要 >

- 判斷具備充分的淹水防護對策。



廠內淹水評估示意圖

強化電源對策(提升廠外輸配電系統之可靠性)

【新規制基準】

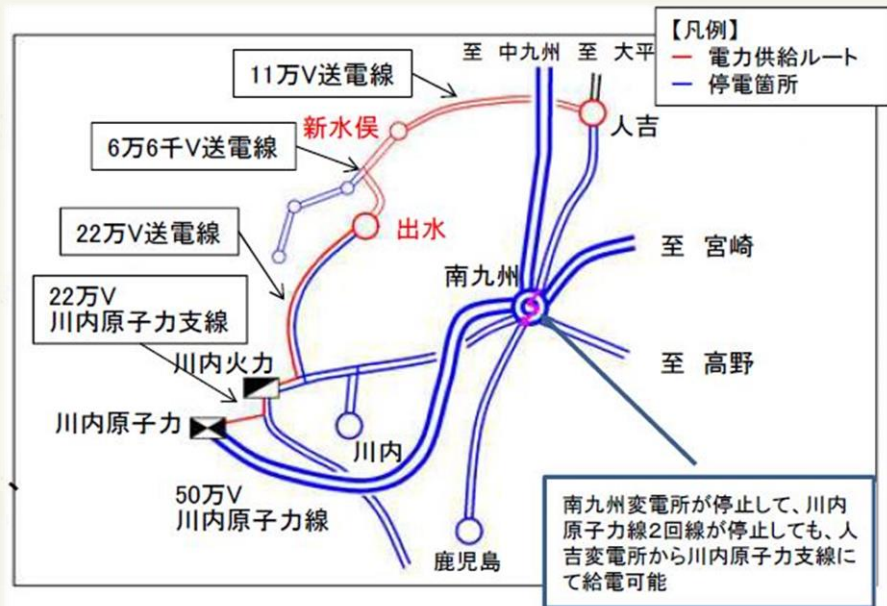
- 與廠外連結的輸配電系統**至少有2迴路為互相獨立**之系統。
- 而其中1迴路不與其他輸配電線共用輸配電塔。
- 若廠址內有**2個以上機組**時，應採**3迴路之系統**，即使其中2迴路無法使用，仍然能夠繼續供電。

< 申請概要 >

- 與廠外連結的輸配電線為分別獨立的50萬伏特**2迴路**及22萬伏特**1迴路**。
- 即使輸配電線當中有2迴路喪失功能，仍然能夠繼續供電。
- 接收廠外電源之設備(受電設備)具有足夠性能可承受地層傾斜下陷及地震搖晃。

< NRA審查結果概要 >

- 川内核電廠與廠外電源連接的輸配電線是採取**互相獨立的3迴路**之系統，故判斷具有電源可靠性。



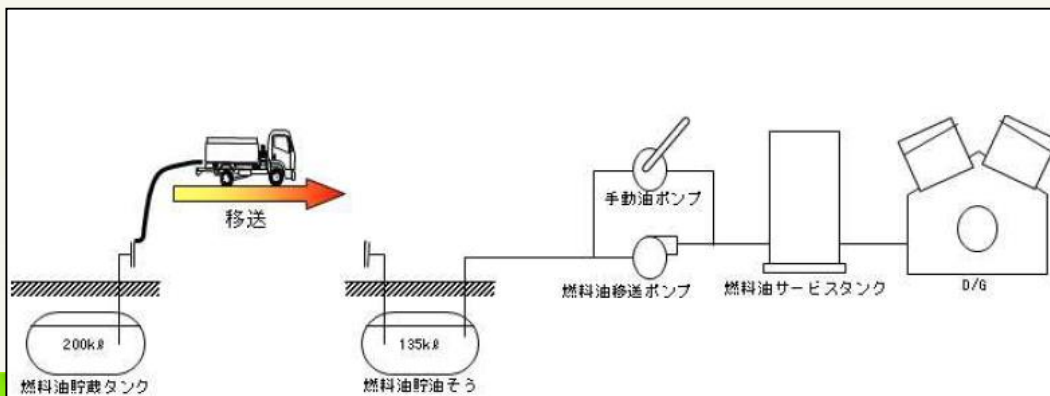
強化電源對策(提升廠內緊急電源之可靠性)

【新規制基準】

- 為防廠外電源喪失，電廠內應設置**多個**緊急電源設備，在單一失效情況下，仍可繼續供電。
- 電廠內應儲備緊急電源設備**連續運轉7天**之燃料。
- 該燃料儲存槽應能承受最大假想地震之搖晃。

< 申請概要 >

- **每一機組均應設置兩套緊急電源設備系統**，在單一失效情況下，仍可繼續供電，確保安全所需之電源。
- **增設燃料儲存槽**，以**提供連續運轉7天之燃料**（**之前僅3.5天**）。並利用油罐車往來於增設與既有燃料儲存槽之間運輸燃料。
- 緊急電源設備能承受最大假想地震之搖晃，而且**4台油罐車採分散配置**，故不會因自然災害而同時損及安全功能。



< NRA審查結果概要 >

- 判斷川內核電廠的緊急電源設備具有**多重性**，即使沒有廠外支援，亦能連續供應**7天以上**的交流電源。

強化電源對策 (提升電廠全黑時電源之可靠性)

【新規制基準】

- 當喪失所有交流電源（廠外及廠內緊急電源設備）時，亦能確保防止嚴重事故發生所需之電源。
- 在此類設備能夠供應交流電源之前，應能利用蓄電池提供直流電源。

< 申請概要 >

- 為因應所有交流電源喪失，增設以下交流電源設備：
 - (1) **大容量氣冷式發電機**（1、2號機各1台）（**增設**）
 - (2) **高壓發電車**（1、2號機共用，共4台）（**增設**）
 - (3) **中容量發電車**（1、2號機共用，共2台）（**增設**）
- 為因應所有交流電源喪失，增設以下直流電源設備：
 - (1) 安全保護系統用蓄電池（1、2號機各2組）
 - (2) **廠內固定式蓄電池**（1、2號機各1組）（**增設**）
 - (3) **可攜式直流電源設備**（1、2號機共用，共6台）（**增設**）
- 增設**多個**發電車連接用**配電盤**。



大容量氣冷式發電機



高壓發電車



可攜式直流電源設備

< NRA審查結果概要 >

- 判斷川內核電廠在喪失所有交流電源時，仍可確保交直流電源。

停機（反應器停機）對策

【新規制基準】

當反應器急停裝置無法作用時，要求能防止爐心熔毀之對策。

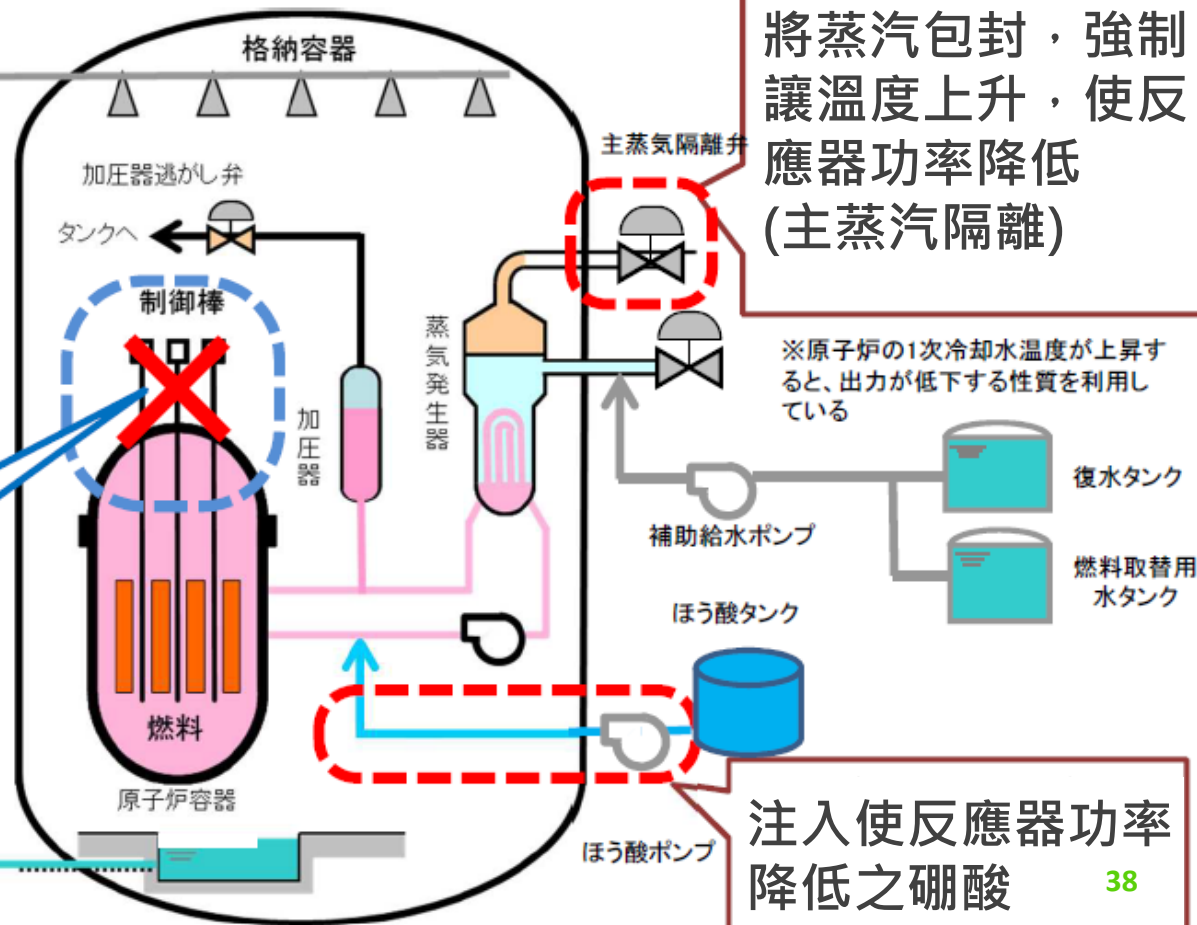
< 申請概要 >

- 假設緊急時**控制棒無法插入**之情形。
- 增設自動啟動信號迴路，將蒸汽包封，**降低反應器功率**。
- **注入足夠的硼酸**，使反應器停機。

停機用控制棒

< NRA 審查結果概要 >

- 判斷即使控制棒插入失敗，亦具備有效對策能完成反應器停機。



冷卻（防止爐心損傷）對策(1)

【新規制基準】

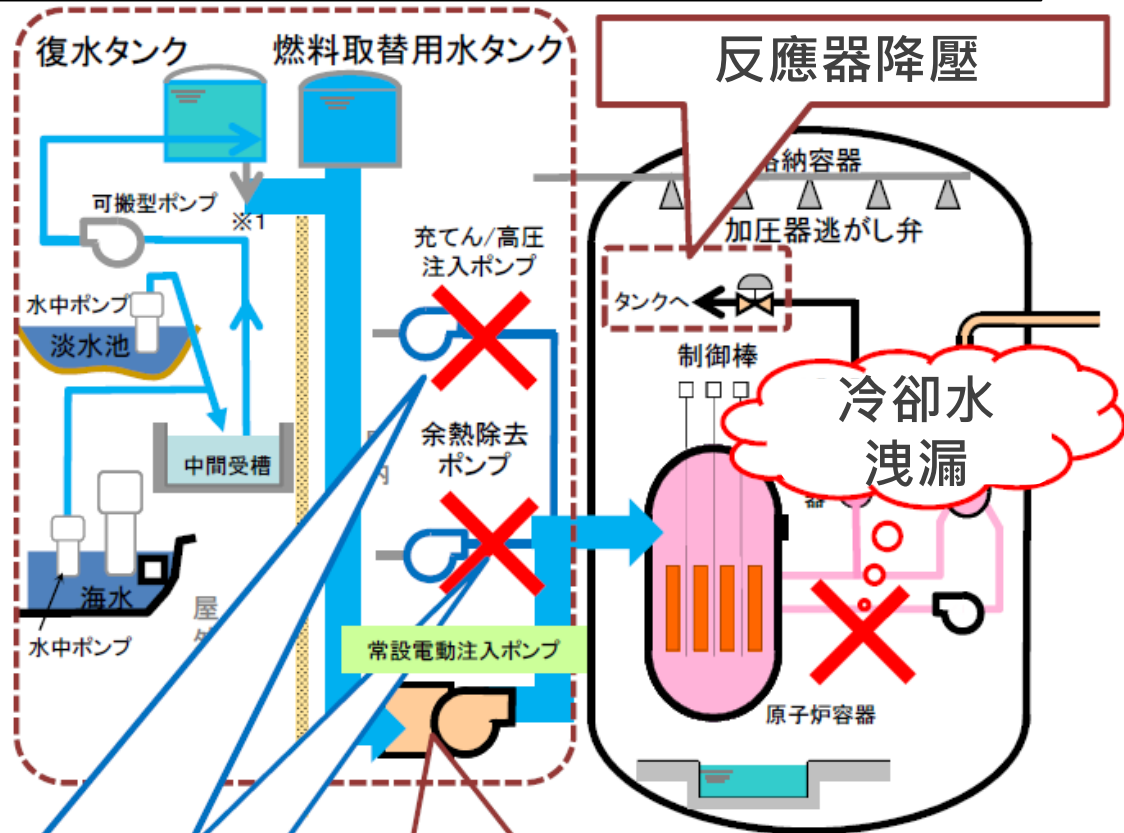
當現有對策已無法因應時，要求能經由**爐心注水**及**降壓**以防止爐心熔毀之對策。

< 申請概要 >

- 假設可能導致爐心熔毀情形（冷卻水洩漏、喪失原有注水功能）執行**爐心注水**及**降壓**之對策。

< NRA審查結果概要 >

- 藉由**增設的泵浦**進行「**爐心注水**」，並由**手動操作**「**降壓**」，能有效完成爐心冷卻。



利用現有設備(RHR泵2台+高壓注水泵3台)將水注入反應器

利用**增設的泵浦**將水注入反應器(同時準備備用泵)

冷卻（防止爐心損傷）對策(2)

【新規制基準】

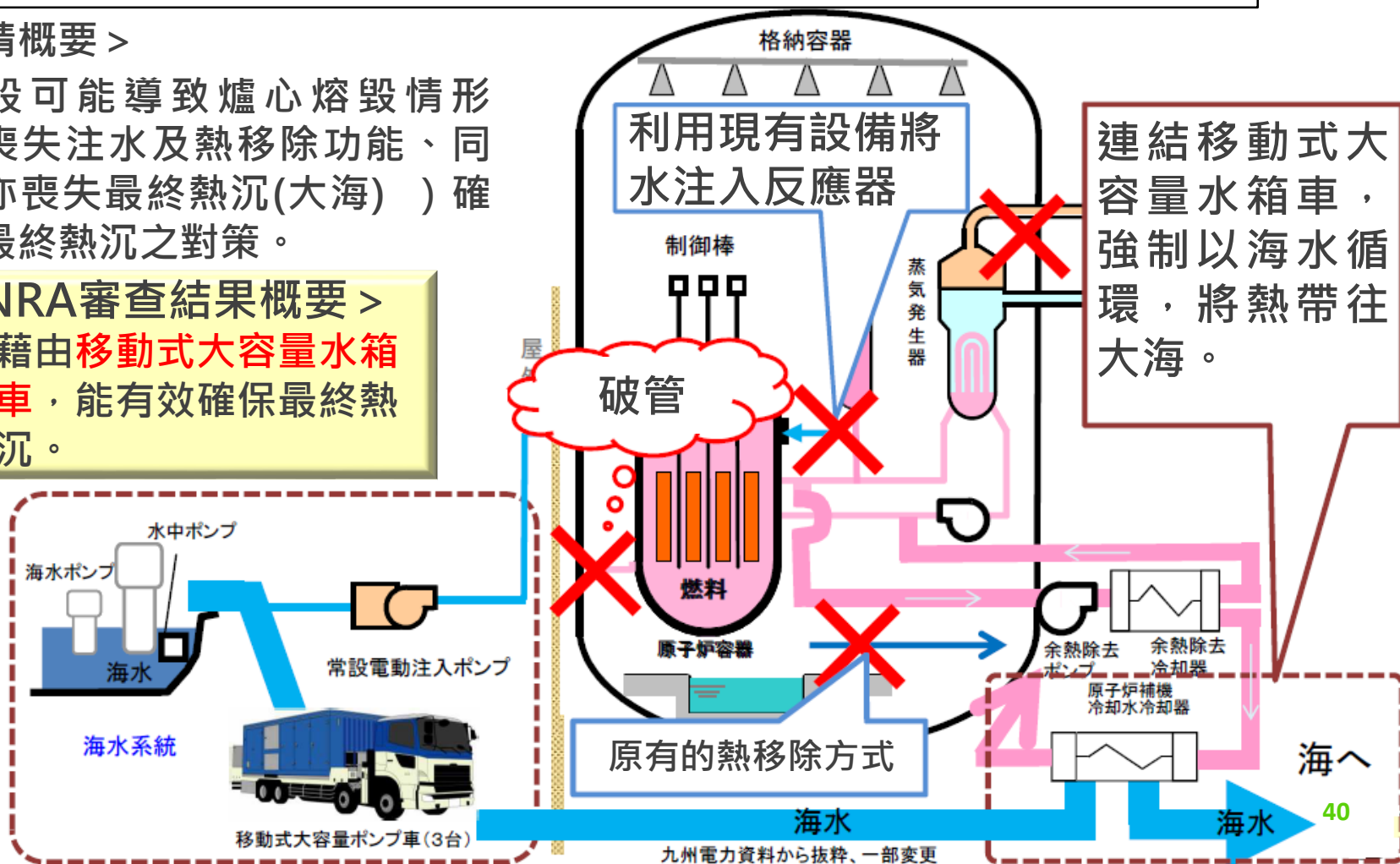
當現有對策已無法因應時，要求能**確保最終熱沉**以防止爐心熔毀之對策。

< 申請概要 >

- 假設可能導致爐心熔毀情形（喪失注水及熱移除功能、同時亦喪失最終熱沉(大海)）確保最終熱沉之對策。

< NRA審查結果概要 >

- 藉由**移動式大容量水箱車**，能有效確保最終熱沉。



冷卻（防止爐心損傷）對策(3)

【新規制基準】

當現有對反應器注水及降壓對策已無法因應時，經由**對二次側注水**以防止爐心熔毀之對策。

利用現有設備使反應器降壓

經由對蒸汽產生器(二次側)注水，間接達到爐心冷卻**(新增的冷卻方式(手動開啟閥))**

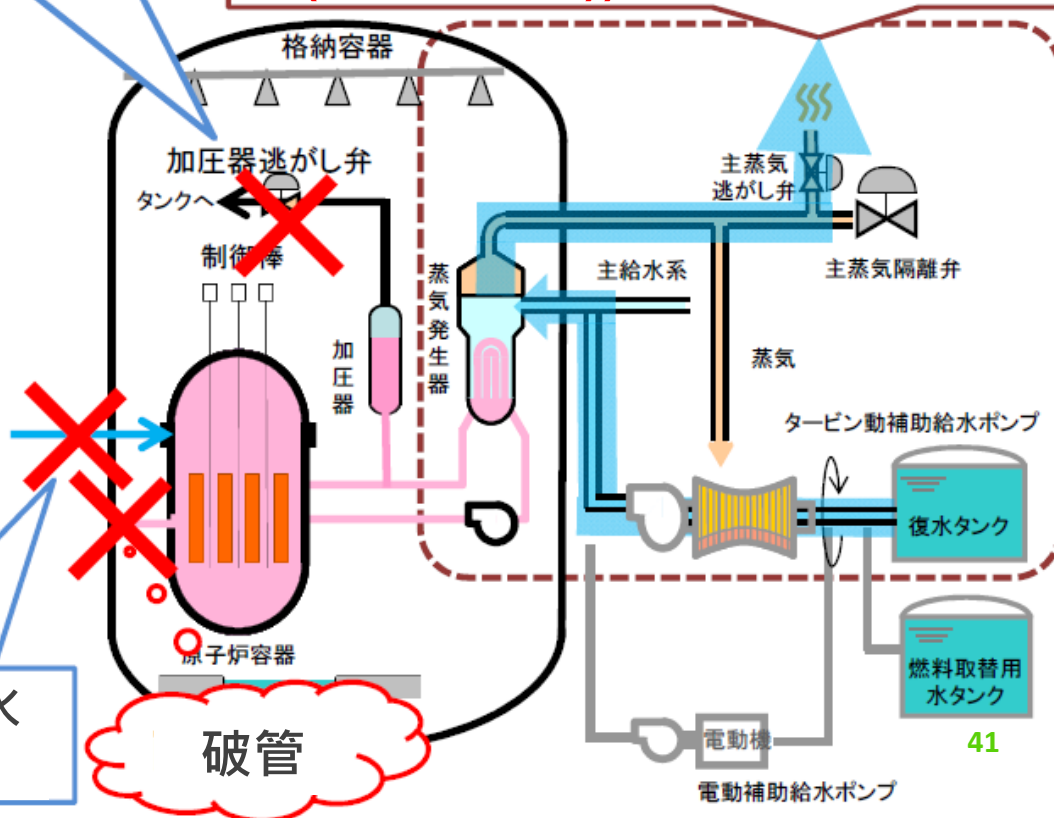
< 申請概要 >

- 假設可能導致爐心熔毀情形（喪失所有爐心注水功能）
經由二次側使爐心冷卻之對策。

< NRA 審查結果概要 >

- 經由**對蒸汽產生器(二次側)注水**，能**間接使爐心冷卻**，有效降溫。

利用現有設備將水注入反應器



包封對策(1) (爐心熔毀後防止圍阻體破損)

【新規制基準】

即使發生爐心熔毀，亦應**抑制圍阻體壓力及溫度上升**。
應防止熔渣侵蝕圍阻體底部鋼筋混凝土而損壞圍阻體。

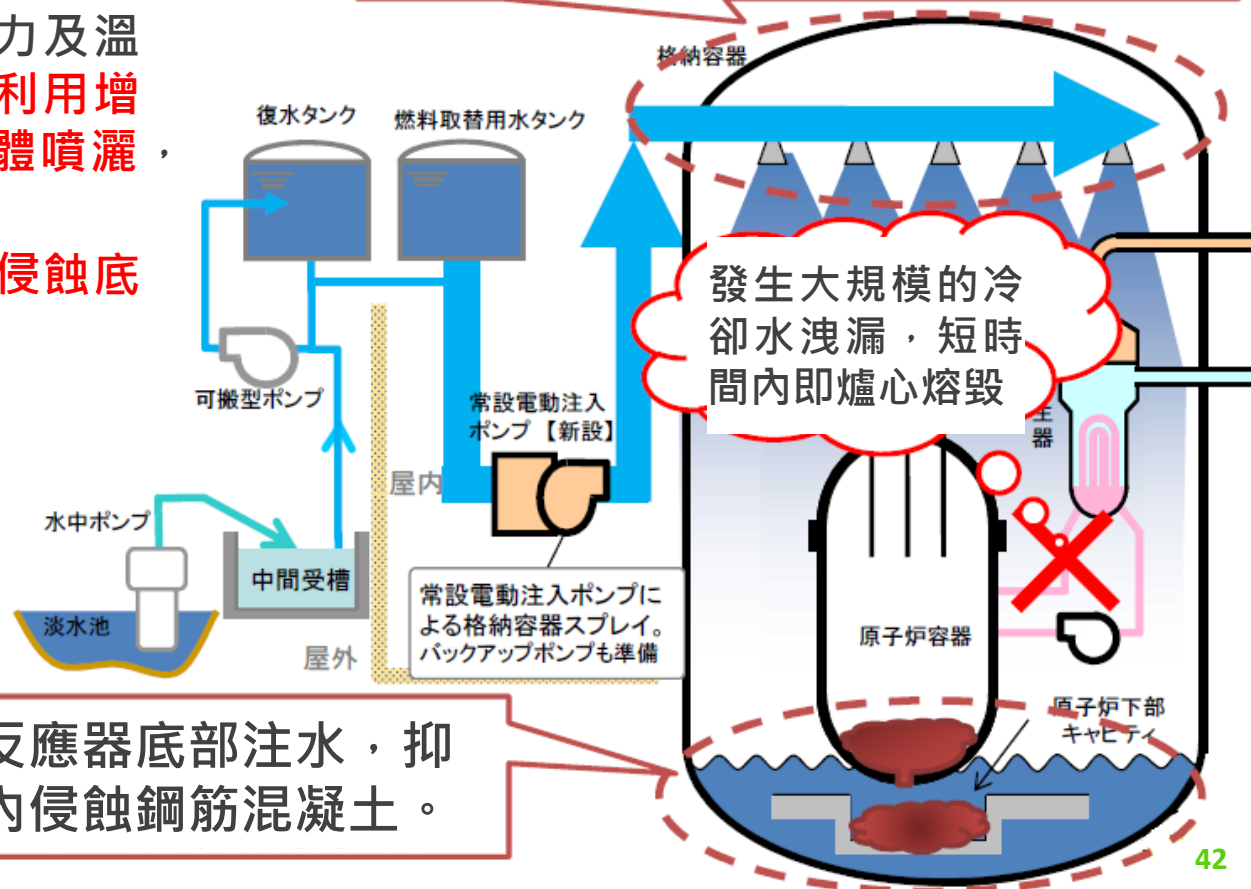
< 申請概要 >

- 假設爐心熔毀後可能導致圍阻體破損情形（圍阻體壓力及溫度過高，以及侵蝕），**利用增設的泵浦經由替代圍阻體噴灑**，防止圍阻體破損。
- **防止熔渣（熔融爐心）侵蝕底部鋼筋混凝土**。

< NRA審查結果概要 >

- 對策能有效防止圍阻體溫度及壓力上升，以及底部鋼筋混凝土侵蝕。

經由圍阻體噴灑(利用增設的泵浦)
抑制圍阻體壓力及溫度上升



經由圍阻體噴灑對反應器底部注水，抑制熔渣流入圍阻體內侵蝕鋼筋混凝土。

包封對策(2) (爐心熔毀後防止圍阻體破損)

【新規制基準】

即使發生爐心熔毀，亦能**防止氫爆導致圍阻體破損**之對策。

< 申請概要 >

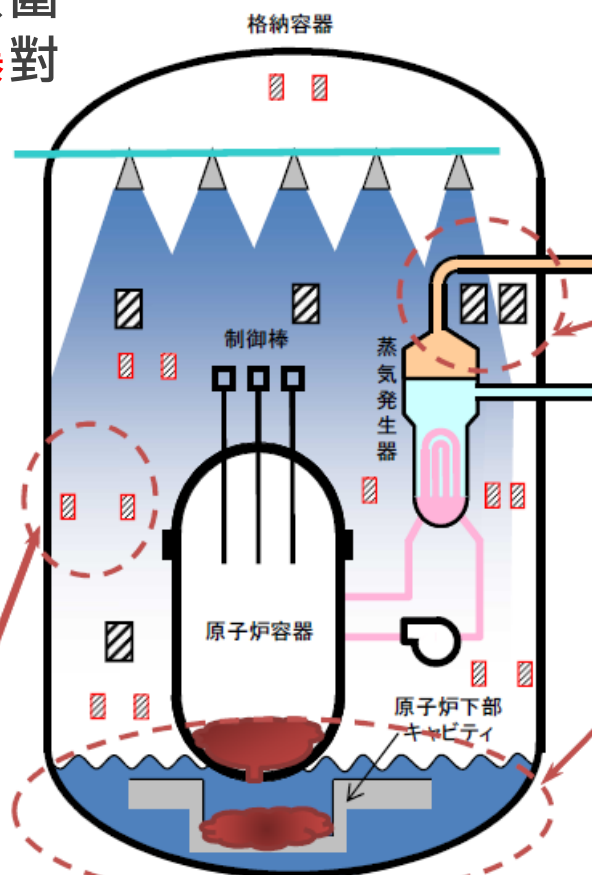
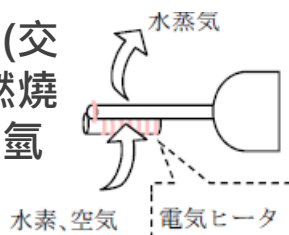
- 假設爐心熔毀後可能導致圍阻體破損情形，**防止氫爆**對策。

< NRA審查結果概要 >

- 能有效防止氫爆。

裝設氫氣燃燒設備 (13台)

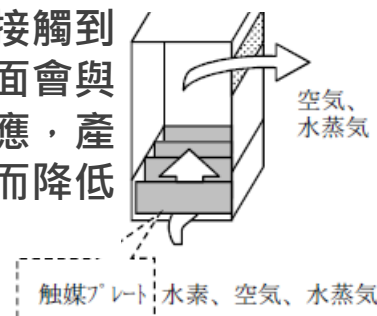
利用加熱器(交流電)強制燃燒圍阻體內的氫氣



觸媒裝置(5台)

氫氣與氧氣反應成水蒸汽

氫氣分子接觸到觸媒板表面會與氧分子反應，產生水蒸汽而降低氫氣濃度



對反應器底部注水

經由圍阻體噴灑對反應器底部熔渣掉落處注水，以抑制熔渣與底部鋼筋混凝土接觸產生氫氣

抑制放射性物質擴散對策

【新規制基準】

即使圍阻體發生破損，亦能**抑制放射性物質向核電廠外擴散**之對策。

< 申請概要 >

- 假設可能發生爐心熔毀、圍阻體無法包封、放射性物質外釋之情形，將在反應器廠房設置放水設備：**放水砲塔（2台）**、**移動式大容量水箱車（1台）**。藉由此類設備防止放射性物質向周邊擴散。

< NRA審查結果概要 >

- 藉由放水砲塔及移動式大容量水箱車，能有效抑制放射性物質向核電廠外擴散。



放水砲塔示意圖

簡報結束 敬請指教

Thank you for your listening

