

# 台電公司「核能電廠機組斷然處置程序」指引(沸水式電廠)

106. 7. 21修訂5版

## 壹、背景說明

核能機組在建廠設計時，已事先預想電廠機組運轉中可能遇到之各種運轉「異常事件」或「暫態」，甚至包括不預期會發生但假設可能發生的「事故」。對上述各種狀況，電廠均事先規劃好因應之緊急救援設備，提供電廠緊急應變，確保機組的安全。雖然在日本福島一廠核子事故後，台電公司各核能電廠已檢視、強化耐震能力/防海嘯能力，以提升設計基準防災能力，然仍可能面臨超出設計基準情況，致機組喪失廠內外所有固定式交流電源或反應爐補水，而威脅到機組安全。為因應類似日本福島核子事故，必須發展有效程序，採取決斷行動，在最短時間內，將所有可運用的水源(生水或海水)準備完成，確保可將任何可用水源注入反應爐，維持核燃料有水覆蓋(餘熱可移除)，確保機組安全。因此，台電公司乃新發展此「機組斷然處置程序指引」(URG, Ultimate Response Guideline)。

福島事故後，台電公司進行了核安總體檢，提出了包括建置防海嘯牆(從根本解決造成福島核電廠事故的原因)、購置電源車、移動式發電機、延長電池供電能力等防災能力的強化，再加上原即已有之氣冷式柴油發電機及位於高處之氣渦輪發電機(完全不受海嘯侵襲)等確保電廠絕對有電之措施，已可使類似日本福島核災事故發生的可能性降至最低，而無須依賴斷然處置措施。斷然處置措施僅係以上種種防護屏障再進一步假設被突破時，台電公司更深一層用以保障人民安全之緊急應變救援措施。

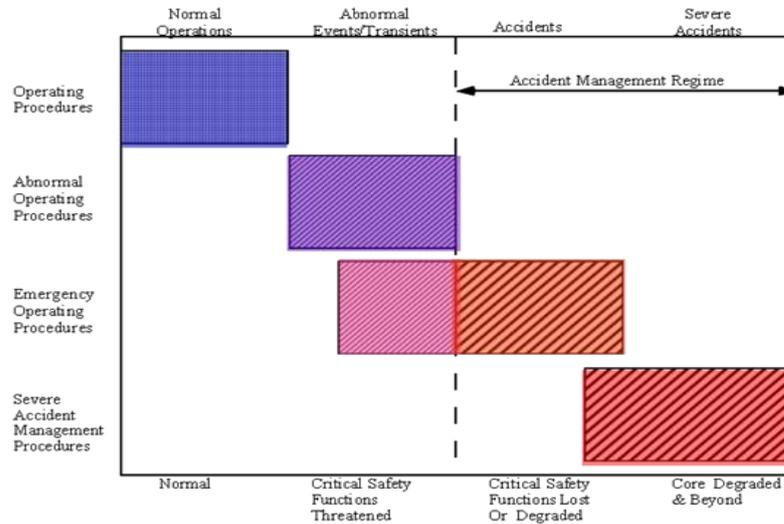
所謂「斷然處置」簡單而言是；當電廠面臨複合式災害，廠區發生大規模損壞，致使機組面臨全面喪失廠外電源及廠內既有之固定式交流電源或喪失反應爐補水狀況時，必須採取決斷行動做好即便廢棄反應爐也要將水注入的準備。台電公司採最保守假設，要求於1小時內，完成注水設備之列置，隨時準備將生水或海水注入反應爐，經研判已達需進行斷然處置注水狀況時，立即將可用水源注入反應爐，確保核燃料受水覆蓋，防止放射性物質外釋，避免大規模民眾疏散。此時，即便需注入海水，可能造成反應爐無法再使用，但保障民眾健康與安全，仍是台電公司毫無猶豫之最優先考量，因此乃稱為「斷然處置」。

## 貳、機組斷然處置措施定位

### 一、核能電廠運轉狀態分類：

核能機組運轉狀態分為4類，包括正常運轉(Normal Operations)、異常事件或暫態(Abnormal Events/Transients)、事故(Accidents)與嚴重事故

(Severe Accidents)。上述各種狀態，均備有對應程序書，提供電廠遵循應變，包括運轉程序書(Operating Procedures)、異常運轉程序書(Abnormal Operating Procedures)、緊急運轉程序書(Emergency Operating Procedures, EOP)及嚴重事故處理程序書(Severe Accident Management Procedures, SAMP)。依事件或事故演變情形，據以執行對應的程序書，參照下圖。



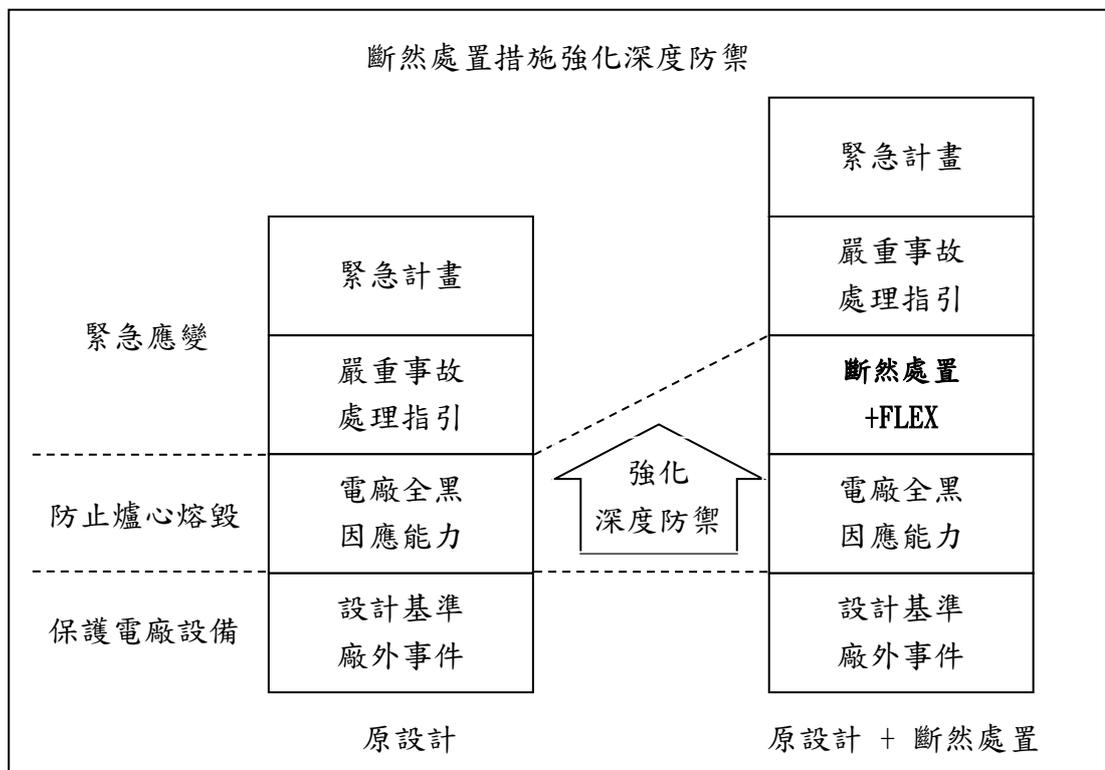
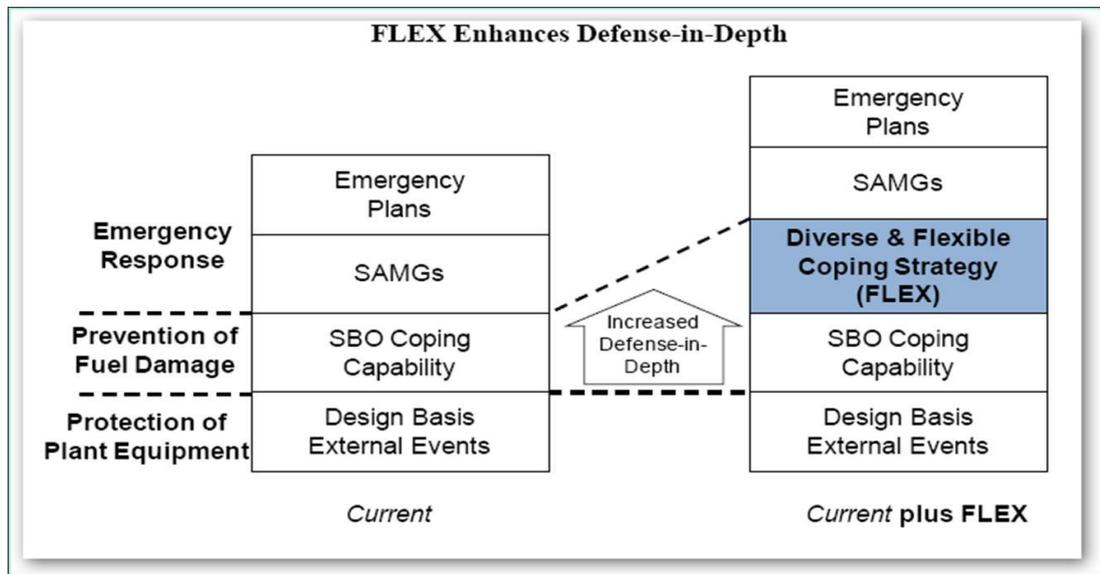
現行各核能電廠面對事故處理(Accident Management Regime)即依據建立的EOP及SAMP執行。EOP及SAMP提供電廠人員正確、有效及可行的工具，將機組的關鍵參數及實際徵候作為決策導向，建有反應爐、一次圍阻體、二次圍阻體、放射性物質控制流程與緊急措施，指引電廠人員適當的控制機組。應變的基礎是以「深度防禦」為理念，目的在於維持燃料、反應爐、一次圍阻體及二次圍阻體完整性，以防止或降低機組潛在的威脅與維護公眾的安全。

## 二、機組斷然處置措施定位

1.現行異常操作程序書與三哩島事故後發展之緊急操作程序書(EOP及SAMP)，係以判斷機組徵候(Symptom-basis)作為啟動時機與各項行動依據，仰賴機組狀況參數作為行動準則，適用於機組內部事故之處理。此部分，現行電廠程序書已提供完整處理流程，足以控制事故惡化情勢，而其行動依據建立在機組參數的徵候基礎上，可有效因應與處置設計基準的事故，但在處理來自電廠外部大規模損害之複合式災害上則有其限制性。

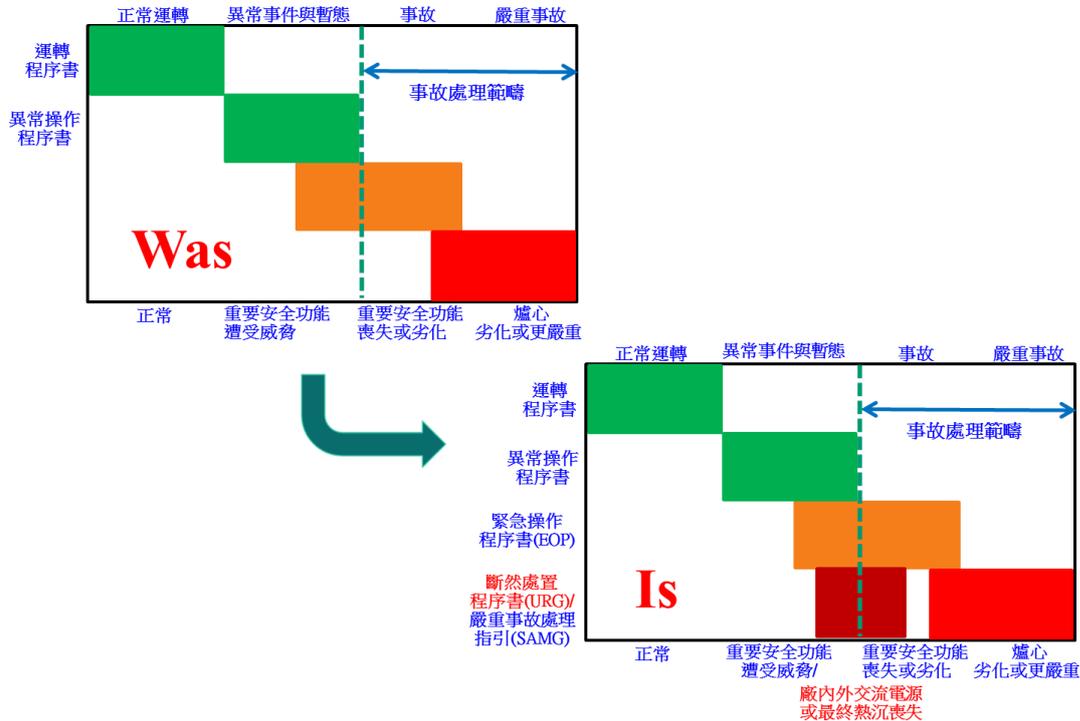
大規模複合式災害的影響是廠區全面的衝擊，為確保反應爐安全，時限上，複合式災害處理上有時間的急迫性，機組迴圈式的參數判斷與處理流程，不及應付事故惡化程度。因此，台電公司因應日本福島核子事故，擬訂「核能電廠機組斷然處置程序」指引，面對來自電廠外部大規模損害之複合式災害，相關救援設備、監控儀器及通信設施可能同時失效，建立完整的處置流程，提供核能電廠第一線人員迅速反應的準則，減緩與控制反

應爐、圍阻體與用過燃料池喪失冷卻或完整性的威脅，在事件惡化演變成  
 為事故甚或「嚴重事故」前，中斷事件狀態之繼續惡化。也可以說斷然處  
 置措施是在現行緊急操作程序中，為防止機組狀況惡化到「嚴重事故」所  
 新增之一「深度防禦(Defense-in-Depth)」處置程序。此亦與美國 NEI  
 12-06 **Diverse and Flexible Coping Strategies (FLEX)**  
**Implementation Guide** 之概念相仿，如下圖。



2.機組斷然處置程序與異常操作程序書、緊急操作程序書關聯、架構，參照下圖。

### 台電公司斷然處置措施之定位



說明：

由於複合式災害時，電廠除需依據 AOP 應變處置（例如喪失廠外電源、匯流排故障之應變），並依照 EOP 進入條件據以監控與採取應變行動維持反應器安全外。惟福島事故經驗複合式災害對廠區的影響是全面的，在深度防禦理念上須及早佈署減緩事件惡化的救援行動，透過斷然處置程序之建立，於第一時間建立相關救援設備及處置流程，並提供核能電廠第一線人員迅速反應的準則，除確保於第一時間能將水覆蓋爐心，避免事故持續惡化，同時配合 AOP 及 EOP 之執行，建立更為完整之全面及有效的應變處理準則方式。

### 三、斷然處置措施成功準則

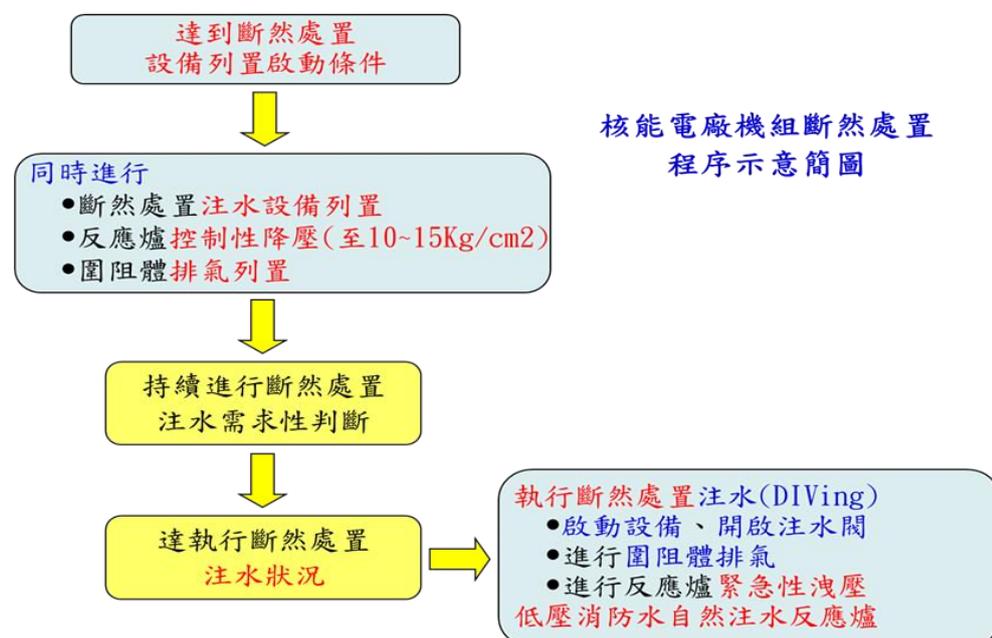
機組斷然處置行動依據爐心熱流分析(RELAP)程式模擬分析，模擬福島事故，就各廠設計特性進行運轉組態分析。以銑水反應溫度1500°F作為上限，進行補水流量與1小時內列置完成行動時限的模擬分析，作為第一線人員進行斷然處置策略行動與注水最佳時機點擬定之依據。

### 四、機組斷然處置措施基本理念與措施規劃

- 斷然處置程序以電廠狀況(Site-specific Basis)作為啟動時機與行動依據，並作為提供電廠第一線人員迅速反應的準則。
- 發生大規模損害之複合式災害，電廠面臨長時間、「全面」的衝擊，機組安全有立即的威脅。
- 電廠全面喪失廠外電源及廠內既有之固定式交流電源，而僅剩低壓力、移動式非正規爐心注水設備。
- 當機組斷然處置程序啟動時，立即進入第1階段-注水前之設備列置準備

程序。但當注水設備列置完畢，並不代表就需引動斷然處置注水。只要蒸汽推動補水設備持續運轉，則就暫時無須切換至斷然處置低壓注水。

- 機動性的運用水源、電源與氣源，強調機動性與縮短處理時限。在1小時內，將所有可運用的水源(含廠用水、生水或海水)、移動式注水設備、注水路徑準備完成，以備於爐壓小於Diving 分析起始壓力後，原運轉中之蒸汽推動補水設備(如RCIC)跳脫時，立即同時執行排氣、緊急洩壓，可即時以低壓補水設備注水入反應爐。雖然現行電廠FSAR在廠區全黑之安全分析上證明，蒸汽推動之補水設備(如RCIC)最少可持續運轉8小時，而福島一廠經驗顯示RCIC可持續運轉將近1天。台電公司係採最保守要求，需於1小時內完成列置準備工作。
- 「機組斷然處置程序」是一項完整程序流程，非僅侷限於生水/海水注入反應爐之操作點。
- 確保關鍵行動可在 1小時內完成。而注水決策有及時性，不因行政程序阻礙斷然處置之成功執行。
- 斷然處置係正規設計爐心注水系統功能恢復前之應變措施。是將反應爐安全的由高壓力轉換至低壓力狀態的過程，並持續維持釋壓閥開啟以利持續低壓注水。之後再配合後續策略及EOP執行，使反應爐逐漸遠離危險。
- 於執行EOP同時，是可能發生進入啟動「斷然處置」設備列置準備程序之條件。在執行EOP時，若發生進入啟動「斷然處置」設備列置準備程序之條件，如類似海嘯侵襲造成大規模損害時，由於現行 EOP 已無法因應，將以「斷然處置」程序為主。
- 核能電廠機組斷然處置程序概念，示意簡圖如下圖。



### 參、機組斷然處置程序內容與通報流程

#### 一、機組斷然處置程序啟動時機：

以電廠狀況(Site-specific Basis)作為啟動時機，當

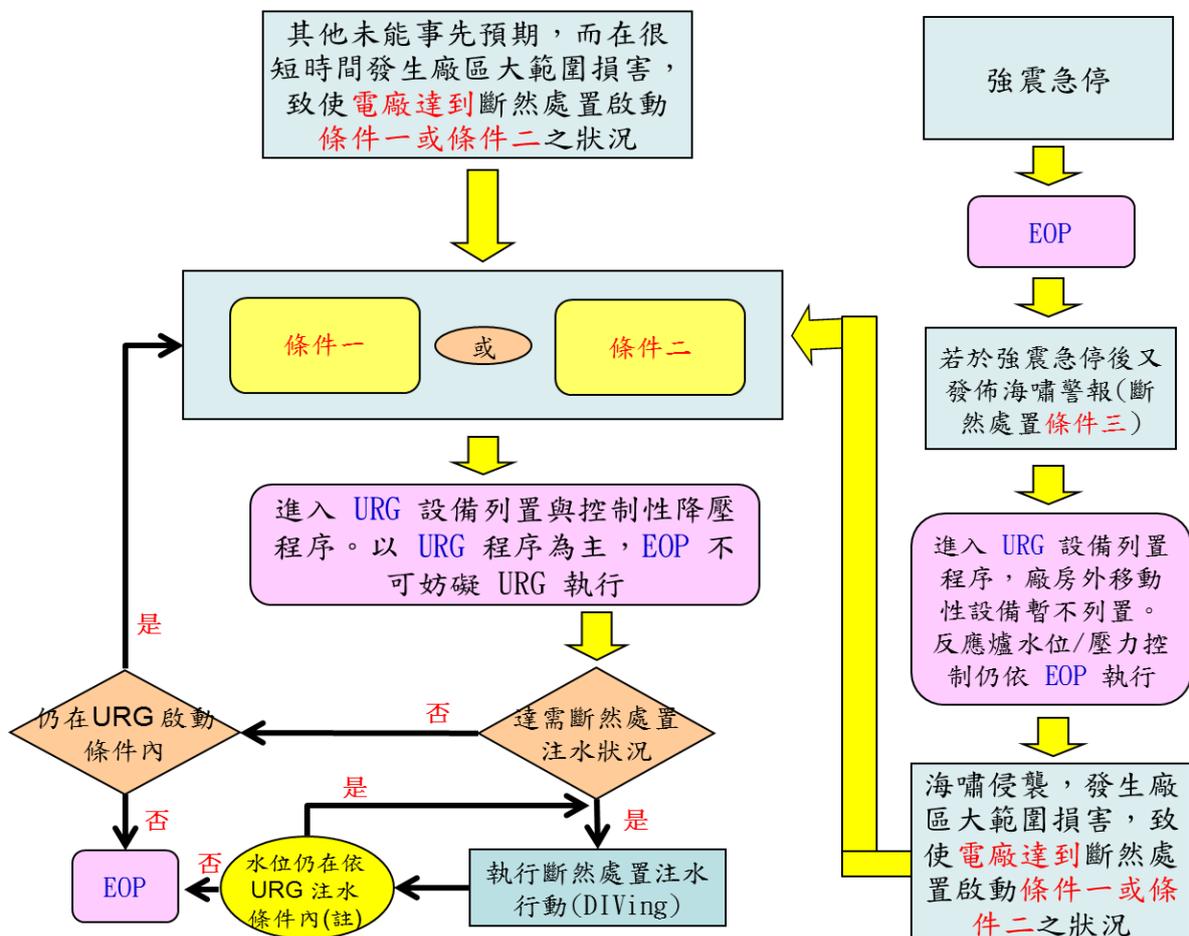
- (1) 反應爐喪失以蒸汽驅動補水以外之電力驅動補水能力、或
- (2) 機組喪失廠內外所有交流電源(包括喪失廠外電源、廠內緊急柴油發電機(EDG)、第五台EDG、氣渦輪發電機等原固定式電源)、或
- (3) 機組強震急停，且同時中央氣象局發布海嘯警報，

以上三項條件其中之一成立時，立即執行「機組斷然處置程序指引」程序書，進入注水前之設備列置先期準備程序。

注意及說明：

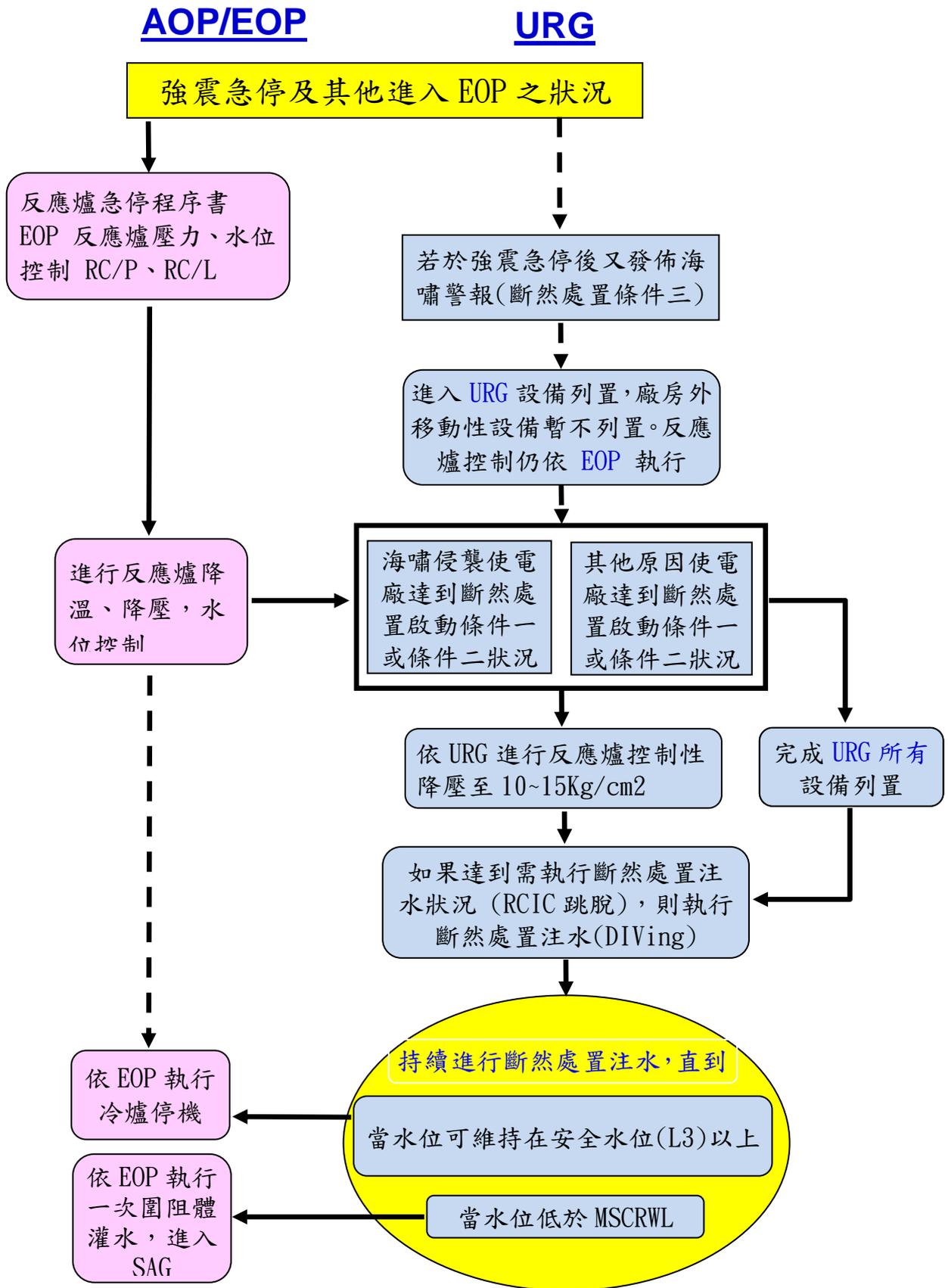
於執行EOP同時，是可能發生進入啟動「斷然處置」設備列置準備程序之條件。當進入斷然處置啟動程序，則以 URG 程序為主，EOP 不可妨礙URG 執行。但若屬於條件三「強震急停加海嘯預警」，除進入 URG 設備列置程序外，在海嘯確實侵襲廠區前，反應爐控制仍依 EOP 執行。斷然處置執行步驟與 EOP 關係如下兩圖。

台電公司核能電廠機組斷然處置執行步驟與 EOP 關係



註：當水位高於最小蒸汽冷卻水位(MSCRWL)，而在安全水位(L3)以下。

台電公司核能電廠機組斷然處置程序與 EOP 介面關係



————> 表示主要執行之步驟  
 .....> 表示輔助執行之步驟

MSCRWL：最小蒸汽冷卻水位

## 二、斷然處置之關鍵階段--第1階段步驟程序：

概述：此主要為注水前之設備列置先備程序及進行反應爐控制性降壓。當機組斷然處置程序啟動時，立即執行「機組斷然處置程序指引」程序書，進入注水前之先期準備程序。此時需在1小時內，對反應爐注水流徑、反應爐緊急洩壓、圍阻體連通大氣環境、用過燃料池緊急補水等，完成以低壓、移動式注水設備列置之準備程序(包括廠用水或生水或海水水源之列置)，並進行反應爐控制性降壓。所有注水與圍阻體排氣流程均列置至維持最後一個手動閘於關閉位置。並測試所有動力設備性能。

注水設備列置完畢，並不代表就需引動斷然處置注水。只要原運轉中之蒸汽推動補水設備持續運轉，則就暫時無須切換至斷然處置低壓注水。雖然現行電廠FSAR在廠區全黑之安全分析上證明，蒸汽推動之補水設備(如RCIC)最少可持續運轉8小時，而福島一廠經驗顯示RCIC可持續運轉將近1天。台電公司係採最保守要求，需於1小時內完成列置準備工作。

### 1.斷然處置程序起動條件發生，進行設備列置

當機組斷然處置程序三項啟動條件其中之一成立時，立即進入第1階段-注水前設備列置之先備準備程序。(此時需通報管制機關及緊執會主任委員)

### 2.進行反應爐控制性降壓

[重要：執行控制性降壓為URG策略成功之關鍵步驟之一]

開始進行反應爐控制性降壓至 10 ~ 15 Kg/cm<sup>2</sup> (以便URG 注水時反應爐緊急洩壓)，但保持RCIC運轉，同時盡可能維持反應爐高水位(但在L-8以下)。

注意及說明：

- a.所謂**控制性降壓**是指在衡量RCIC補水能力，於能夠維持水位在高水位狀況下，控制性的降低壓力。一般而言是以約一個SRV之開啟來控制性降壓，而不是以多數量之SRV同時開啟之緊急洩壓。(但維持低壓力之要求重要性大於高水位之維持)
- b.依照安全分析之要求，當需要斷然處置低壓注水而緊急洩壓時，其開始緊急洩壓之反應爐之壓力必須低於15 Kg/cm<sup>2</sup> 以下。執行控制性降壓之目的就是為了保持反應爐之壓力低於15 Kg/cm<sup>2</sup> 以下，以便當緊急洩壓時能符合安全分析之假設。
- c.若屬於條件三「強震急停加海嘯預警」，在海嘯確實侵襲廠區前，反應爐控制仍依 EOP 執行。此時，此步驟依 EOP 執行反應爐降溫、降壓，將熱量排放至冷凝器。倘若之後發生海嘯侵襲廠區，致使達到條件一或條件二，則立刻暫停EOP，而依此反應爐控制性降壓步驟要求，執行反

應爐控制性降壓。

- d.於控制性降壓期間，仍須視壓力下降的速率及維持高水位目標，調整SRV開關的數量及時間，必要時(例如:同時發生破口事件，反應爐壓力下降太快時)，可將執行控制性降壓之SRV關閉。

### 3.完成斷然處置設備列置

此時需在 1 小時內，對反應爐注水流徑、反應爐緊急洩壓、圍阻體連通大氣環境、用過燃料池緊急補水等，完成以低壓、移動式注水設備列置之準備程序(包括廠用水或生水或海水水源之列置)。所有注水與圍阻體排氣流程均列置至維持最後一個手動閥於關閉位置。並測試所有動力設備性能。

(完成列置後需通報緊執會主任委員) 註:原則上應以1小時完成注水列置為目標，但若於特殊情況(例如強震急停後發佈海嘯警報之狀況)，部分移動性設備可視實際狀況逐步列置。

---

#### [注意及說明]:

- a.若屬於條件三「強震急停加海嘯預警」，則執行到此步驟 3 即暫停。且本步驟 3 中屬於廠房外移動式設備列置，需等海嘯過後再操作。
- b.若海嘯確實侵襲廠區造成全面性毀損(此時需通報管制機關及緊執會主任委員)，則立刻重新開始執行步驟 2 「反應爐控制性降壓」及步驟 3 「完成斷然處置設備列置」，以及以下步驟。
- c.當海嘯確實侵襲廠區造成全面性毀損，在通報緊執會主任委員時應一併陳報電廠面臨之緊急狀況，並向緊執會主任委員預先報告當機組達到本指引所述之執行斷然處置注水操作(DIVing)條件時，不論是以生水或海水為水源，電廠均將逕行依程序進行斷然處置注水操作(DIVing)注水進入反應爐。

---

### 4.斷然處置設備性能及流程列置再確認

4-1 再次測試 URG 動力設備，消防車/泵。

4-2 再次確認注水流程已列置完成，且最後一個手動閥隨時可開啟(此時，仍維持最後一個手動閥於關閉位置)。

4-3 進行圍阻體排氣。在此之前，如有任何需要，例如需移除圍阻體熱量、壓力，及延長RCIC的運轉時間等，則均可進行圍阻體排氣。但只要進行排氣後，均需通報管制機關及緊執會主任委員。

### 5.持續進行斷然處置注水操作決策判斷

繼續保持 RCIC運轉，並維持反應爐壓力於10 ~ 15 Kg/cm<sup>2</sup>，持續進行斷然處置注水(DIVing)決策考量。任何時候，判斷即將喪失反應爐冷卻以

及爐心注水能力，則立刻依本指引三、5 陳報執行與授權規定，執行斷然處置注水(進行「排氣、洩壓、注水」(DIVing)，如步驟6所述)操作：

注意及說明：

- a. 當TSC大隊長/值班經理判斷機組已達到本指引所述之執行斷然處置注水操作條件後，不論是以生水或海水為注水水源，值班經理均需立即下令執行斷然處置注水操作程序。
- b. 因為斷然處置注水(DIVing)之安全分析條件之一為反應爐緊急洩壓時，其起始壓力在15 Kg/cm<sup>2</sup> 以下，因此，若在執行控制性降壓時，當反應爐壓力仍在高壓力而尚未降至15 Kg/cm<sup>2</sup>以下時，RCIC 卻突然跳脫，由於此時執行斷然處置注水(DIVing)之條件並不完備，因此，此時不可貿然執行斷然處置注水操作(DIVing)，而必須依據URG繼續進行控制性降壓。此時，亦可儘速嘗試再次恢復RCIC運轉，以便可繼續補水與降壓。
- c. 強震後需立即檢視用過燃料池完整性，若水位異常下降、無法以機組內部補水系統維持用過燃料池水位，人員可接近時優先以「用過燃料池消防注水管路」進行補水，若人員無法接近用過燃料池時，則可利用優選廠房外已設置好的「用過燃料池消防注水管路」的快速接頭，透過消防栓、消防車或消防泵進行補水，次選廠房外已設置好的「用過燃料池消防噴灑管路」的快速接頭，透過消防栓、消防車或消防泵，進行噴灑。
- d. 在加長型SBO之情況下，由於CRD水泵已喪失動力源無法正常運轉，因此backfill系統在SBO後亦無法運作。此時水位儀指示僅做為運轉員行動指引，因此當反應爐壓力快速降壓可能導致水位指示不準確，此時若無法確定反應爐水位，則需依 EOP RC/F-1a 進行RPV flooding維持反應爐充滿冷卻水。而若情況允許時，則採取緩慢降壓方式將爐壓降至約15Kg/cm<sup>2</sup>以減少對水位儀參考柱的衝擊，並盡速建立 backfill 之功能，重建水位指示。

## 6.執行斷然處置注水操作(DIVing)

- 6-1 確認低壓注水設備已列置準備（如重力推動之生水系統或已起動消防車/泵運轉），確認可提供注水來源。(重要：此為關鍵步驟之一，沒有任何注水能力絕不可進行反應爐緊急洩壓。此時斷然處置注水之條件並不完備，必須遵行EOP進行反應爐水位/壓力控制。)
- 6-2 開啟斷然處置注水流程最後一個閥(此時靠Check valve頂住流程)，確認注水流程暢通。(重要：此為關鍵步驟之一)
- 6-3 確認(或開啟)圍阻體排氣。
- 6-4 值班經理/主任立刻下令進行反應爐緊急洩壓，手動開啟全部ADS之SRV，全面洩放反應爐壓力，此時低壓水源將自然注入。

(★重要：此為 URG 注水決策後最核心之關鍵步驟，運轉員須待值班經理/主任下令後才可執行此動作。一旦緊急洩壓則無論如何均需注水，無可回頭★)

6-5 成功完成斷然處置注水後，通報管制機關及緊執會主任委員。

注意及說明：

所謂「斷然處置注水操作」，是指以正規設計之爐心注水系統以外之低壓力、注水量有限之消防車/消防泵/靠重力生水池等設備，經由圍阻體排氣、反應爐緊急洩壓，將水(包括廠用水或生水或海水)持續注入反應爐，而將反應爐安全的由高壓力轉換至低壓力狀態的操作。此注水操作亦可以 DIVing(排氣、洩壓、注水)稱之。

7.維持釋壓閥開啟以利持續低壓注水

已將反應爐安全的由高壓力轉換至低壓力狀態，維持釋壓閥開啟以利持續低壓注水。而此時繼續執行第2、3階段行動及配合EOP執行，直到穩定、可靠之救援設備恢復，反應爐將逐漸遠離危險。

注意及說明：

SRV 持續維持開啟之功能非常重要，因此需特別確保SRV之儀控電源及壓縮操作空氣來源。

三、斷然處置注水操作決策點與通報程序：

1.通報要求

機組斷然處置通報時機符合時，即依通報時機狀況進行通報/陳報緊執會主任委員(主管核能發電副總經理)及/或管制機關(原能會核安監管中心)

2.通報時機：

狀況一：斷然處置程序開始啟動。**通報**管制機關及緊執會主任委員。

狀況二：斷然處置第 1 階段設備列置完成。**通報**緊執會主任委員。

狀況三：當從條件三「強震急停且海嘯預警」進入斷然處置程序，之後海嘯來襲而造成發生條件一或條件二之情況。**通報**管制機關及緊執會主任委員。

此時在通報緊執會主任委員(核能副總經理)時應一併陳報電廠面臨之緊急狀況，並向緊執會主任委員預先報告當機組達到本指引所述之執行斷然處置注水操作(DIVING)條件時，不論是以生水或海水為水源，電廠均將逕行依程序進行斷然處置注水操作注水進入反應爐。

狀況四：已進行斷然處置注水操作注入反應爐。**通報**管制機關及緊執會主任委員。

狀況五：已進行圍阻體排氣(在尚未決定斷然處置注水，而係為了移除圍阻體熱量、降壓)。通報管制機關及緊執會主任委員。

狀況六：已將海水注入用過燃料池。通報管制機關及緊執會主任委員。

說明：

1. 用過燃料池或爐心開蓋的情境下，若發生長期喪失交流電的事故，因為爐心的衰變熱與反應爐剛急停下的衰變熱差異很大，可從容進行注水路徑的列置，另外此一情境下用過燃料池及開蓋的反應爐無壓力建立之虞，不會產生注水路徑的背壓，因此注水的策略選擇相當容易，各核能電廠程序書對於各種水源均已考量在內。
2. 事故後期是否需要持續注海水端賴優質水源的取得及供給情形而定，通常在此情境下衰變熱很小所需注水量相對減少，優質水源當可供給無虞。

### 3. 機組斷然處置注水操作決策點：

欲執行下列事項是屬於斷然處置之決策事項；

決定以「斷然處置注水操作」(「排氣、洩壓、注水」，DIVing) 將廠用水、生水或海水注入反應爐或用過燃料池。

### 4. 需決斷執行機組斷然處置注水操作時機：

4-1 下面狀況下，電廠當值值班經理/主任，或技術支援中心(TSC)必須決斷做出執行斷然處置注水操作之決策。

(1) 運轉中RCIC跳脫(此時不要再嘗試現場手動運轉)，或

(2) 其他顯有必要需進行斷然處置注水時。(例如，當繼續運轉RCIC顯然不利於機組安全、預期DC電源或操作氣源即將耗竭，SRV(含ADS)可能無法開啟時、或運轉RCIC/HPCI補水仍無法維持RPV水位時)

4-2 用過燃料池水位異常下降、無法以機組內部補水系統維持用過燃料池水位，必須將廠用水、生水或海水注入用過燃料池。

4-3 此決策必須持續進行，直到廠區設備搶修狀況，已使機組達安全狀態，離開了啟動斷然處置進入條件。

### 5. 斷然處置注水操作執行與自動授權機制：

當包括海嘯及其他極端天災侵襲廠區造成全面性毀損時，電廠依通報時機「狀況三」，在通報緊執會主任委員(主管核能發電副總經理)時已一併陳報電廠面臨之緊急狀況，並已向緊執會主任委員預先報告當機組達到本指引所述之執行斷然處置注水操作(DIVing)條件時，不論是以何種水源，電廠均將逕行依程序進行注水。因此，當TSC大隊長/值班經理判斷機組已達到本指引所述之執行斷然處置注水操作條件後，不論是以生水或海水為注水水源，值班經理均需立即下令執行斷然處置注水程序。

6.核能電廠機組斷然處置行動策略及通報流程，如附圖。

台電公司沸水式核能電廠機組斷然處置程序及通報流程

