

IAEA 專家團赴日本調查大東北地震及海嘯導致福島第一核能電廠事故 (調查報告總結)

2011 年 3 月 11 日於日本東北外海發生了規模 9 的地震，造成了一連串高海嘯波浪並衝擊日本東海岸，在宮古市姉吉地區的海嘯高度甚至達到 38.9 公尺之高。

由於地震和海嘯的劇烈影響，造成日本大範圍區域受到嚴重的破壞，迄今至少有 15,391 人死亡，8,171 人失蹤，並有許多人因住家小鎮或村莊被海嘯橫掃而被迫離開家園，而日本基礎建設也因此受到損壞。

在這些受損的企業中，數座核能電廠也受到嚴重的地表移動及多重海嘯的衝擊，包括：東海第二核電廠、東通核電廠、女川核電廠、及東京電力公司福島第一及第二核電廠。這些電廠在地震發生後，因地震儀的偵測及自動停機的設置，均曾成功地停止運轉，然而大規模的海嘯卻造成各電廠不同程度的衝擊，其中最嚴重的就是福島第一核電廠的事故演變及後果。

雖然震後所有的外電已喪失，福島第一核電廠的自動系統在偵測到地震時已成功地將控制棒插入 3 個運轉中的機組，且所有的緊急柴油發電機均按照設計而能夠正常地運作以提供電力。然而，第一波大規模的海嘯約在地震發生 46 分鐘後抵達。

這些海嘯波浪徹底擊潰了福島第一核能電廠的防禦能力，因為設計防禦海嘯的設計高度僅有 5.7 公尺，而海嘯實際的高度預估已達到 14 公尺。這些海嘯波深入廠區，除了一台緊急柴油發電機(編號 6B)可運作外，其餘全部失效，且廠內已沒有任何較大的電源，而外來援助的希望又很渺茫。此時福島第一核能電廠進入全黑狀態，且喪失所有 1 號機至 4 號機的儀器及控制系統，5 號機及 6 號機則由 6B 緊急柴油發電機提供緊急電力。

海嘯及其所夾帶之雜物造成福島電廠內，許多建築物、房門、道路、桶槽及其他基礎設施受到毀壞，電廠員工面臨了史無前例的災難性緊急狀況，且沒有電力、沒有儀控顯示，廠內及廠外通訊設備又受到嚴重的損壞，因此他們是在黑暗且無儀控設備的情況下，設法去保護 6 個反應爐、6 個用過燃料池、1 個共用燃料池及乾式儲存場的安全。

在沒有方法去確認電廠運轉參數或是去冷卻反應爐機組的情況下，地震發生時 3 部正在運轉的機組(1 號機至 3 號機)的爐心溫度因核衰變熱而升高，雖然電廠員工英勇地想要設法恢復控制功能並且冷卻反應爐及用過燃料池，卻仍發生燃料嚴重受損及一連串爆炸事件。這些爆炸進一步造成電廠的破壞，使得電廠員工的搶救工作變得更為吃力而危險，尤其又發生了輻射污染擴散至環境的狀況。此事件目前已暫時被認定為國際核能事件分級之最高等級。到目前為止，尚無任何人因本事故之輻射暴露而造成長期性的健康效應。

在日本政府與國際原子能總署(IAEA)的約定下，IAEA 派遣了專家特遣團赴日以瞭解福島事故真相，確認出數項經驗回饋事項，以分享此資訊給全球核能使

用國家參用。此次特遣任務團所得到的結果，已於 2011 年 6 月 20-24 日於維也納召開的部長級核能安全會議中提出。

此特遣團收集資訊證據並進行評估，將整理出初步的結果及經驗所得(或回饋)。這些初步結論及經驗回饋已與日本專家及官員先行分享及討論。這些事項基本上落入 3 個主要的特別領域：廠外(或外來)危害、嚴重核子事故處理、及緊急應變。這些結論與經驗回饋對於日本核能界、IAEA、及世界核能使用國家均有中肯的建議及值得學習之處以增進核能安全。

IAEA 專家團鼓勵世界核能使用國家能從日本福島事故的特殊經驗中，審慎考量下列 15 項結論及 16 項經驗回饋，以汲取教訓並改善全球的核能安全。

15 項結論

結論 1：IAEA 所出版之安全基本原則(Fundamental Safety Principles)提供了福島事故有關現象的健全基礎，並可涵蓋本次事故各個層面的經驗回饋。

(註：IAEA 出版品 SF-1 中，計有 10 個基本安全原則)

結論 2：在本次事故極端惡劣的環境下，地區之事故處理已依第 3 個基本安全原則來採取最佳因應措施。(註：第 3 個基本安全原則係指針對可能產生輻射風險的設施及活動，能夠建立有效的安全領導及管理並持久於組織當中)

結論 3：對海嘯危害所提供的深度防禦(Defense In Depth)不足，特別如下列事項

- 雖然在廠址高度及福島第一核電廠設計時已考慮海嘯危害，且自 2002 年後在沒有改變持照基準文件的狀況，已將預期海嘯高度增加至 5.7 公尺，但仍然低估了海嘯可能造成的危害。
- 以本次事故中廠區幾乎被整個淹沒的事實來看，2002 年再評估後所採取的額外保護措施並不足以應付海嘯波浪的溯上高度，以及所有相關的危害現象(包括：水流動力及大型及高能量殘屑的動力衝擊力量)。
- 前述之額外保護措施並未經由管制的審查及核准。
- 當安全結構、系統、及組件(SSC)受到洪水破壞而失效並非漸進式時，電廠無法承受超過原先預期高度之海嘯所帶來的嚴重後果，便會導向懸崖邊緣效應(cliff edge effect)。
- 嚴重事故處理導則並無法因應多重電廠失效的狀況。

結論 4：對於福島第二核電廠及東海電廠需進行短期計畫、評估及採取措施，以確保在現今的狀態(歷經地震及海嘯的破壞)及被改變的環境下仍是安全。如果以前已做過廠外事件之安全度評估(PSA)，將是一很有效的評估工具。

針對福島第一核電廠的現況，亦應規畫並採取立即性的短期措施，直到所有機組都達到安全穩定的狀態，在此之前，應優先利用簡易的方法來確認出廠外危害，以便能有個快速的計畫。保護措施雖重要但有限度，應將廠內及廠外的救援和緩和(mitigating)措施包含在計畫內。一旦機組

達到穩定安全的狀態，須準備一個長期規劃，其中須包含 SSC 的實體改善及廠內外緊急應變措施。

結論 5：必須依據福島事故中，日本地震及海嘯所得到資訊及數據，來更新 IAEA 安全標準，並以最新研發結果更新管制要求與指引，其中必須全面性考慮地震、海嘯、廠外淹水等相關事件的因應作為。各國管制文件應涵蓋與 IAEA 安全標準相同的資料庫。而用以預估危害及保護電廠的方法，必須與該學術領域的先進研究及進展相符合。

結論 6：由福島事故後的處理情形可以看出，日本已建置一個非常良好的緊急應變及系統，然而因過度複雜組織架構卻延緩了緊急決斷的時機。

結論 7：全心投入之官員與工作人員及完善組織與具彈性的系統，或許可處理超過預期事故及避免工作人員與民眾健康之重大影響。

結論 8：適當的後續追蹤調查，對於民眾暴露與健康監控是有益的。

結論 9：雖然部分區域曾經因本次事故而受到嚴重影響，目前顯示影響地區之輻射暴露已有效控制。

結論 10：必須重新檢視 IAEA 安全規範指引(Safety Requirements and Guides)以確保足夠納入多重電廠(或機組)發生嚴重事故之設計因應與緊急處理。

結論 11：必須考量定期將國家管制規範與國際標準一致，並納入有關廠外危害事件之國際經驗。

結論 12：IAEA ISSC (Int. Seismic Safety Center)可提供日本以下的服務：

- 廠外事件危害分析
- 地震停機後啟動前往現場勘查
- 地震前準備之安全檢視

結論 13：後續任務應仔細檢視廠內外緊急應變之經驗，包含緊急整備檢視(Emergency Preparedness Review, EPREV)。

結論 14：後續任務應納入福島經驗，尋求因類似福島事故而需要大規模輻射防護之有效模式。

結論 15：後續任務應包含 2007 年成立之整體管制審視服務(Integrated Regulatory Review Service, IRRS)，將福島事件經驗及上述的結論納入，協助日本政府強化管制系統

16 項經驗回饋

1. 電廠必須確保已考量外在天然災害，包含：

- 電廠設計、廠址及安全分析報告中，應考量對於不常發生及複合式的廠外事件之保護，特別是會造成淹水及長期影響的事件。
- 電廠設施的配置應儘可能保持一個“乾的場所”概念，並運用於防範淹水的深度防禦措施，其中並應考量實體分隔、關鍵安全系統多樣性等因素。
- 對於多重機組的電廠或多重電廠，須考慮共因失效的問題，而個別獨

立機組的復原選項中，應利用現場所有可用的資源。

- 定期檢視廠外天然災害對電廠設施配置的影響。
 - 運轉員立即行動中應增加主動式的海嘯預警系統。
2. 對於完全喪失廠外電源及喪失所有熱沈或緊要安全系統之緊急狀況，應利用簡易備用設施(如移動式電源、移動式空壓機及水源)做為嚴重事故處理時提供功能之必要設備。
 3. 上述簡易備用設施應存放於安全位置，電廠操作人員應完成操作訓練，這包含了將設計集中儲存及快速傳送到受影響區域的方法。
 4. 電廠應有耐震、適當屏蔽、通風及設備充足之緊急應變中心(Emergency Response Center, ERC)，空間足夠容納事故處理人員(類似福島第一及福島第二核電廠之設施)。此設施應能夠抵擋如洪水等外來事件的破壞，同時應提供足夠的裝備及輻射防護。
 5. ERC 應有適當基本安全資訊(水位、圍阻體狀況、壓力等)，並與控制室及廠內外建立安全強化的通訊線路。
 6. 制定嚴重事故導則(SAMG)與程序書時，必須考量儀器、照明、電源失效等及電廠處於不正常狀況(如高輻射環境)。
 7. 廠外事件可能同時影響多座電廠及多部機組，必須有足夠之訓練人員、設備、資源及外部支援。應確保能及時召集足夠可處理特定機組事件之專業人員。
 8. 必須重新檢視氫爆風險與影響並建置減緩氫爆之系統。
 9. 避免共因失效採用之多重安全系統，應具備足夠之多樣性(diversity)、備用設施與實體分離，以提供必要之安全功能。
 10. 必須強化系統、通訊、監測儀器資訊等，在嚴重事故時能提供廠內外必要資訊。
 11. 對於安全威脅分類、事故等級、因應措施、及運轉介入程度等事項，採用 IAEA 安全規範(Safety Requirements, 如 GS-R-2)及指引，可使得特定狀況下之廠外緊急準備及應變更有效益。
 12. 長期掩蔽(long term sheltering)不是有效處理方式，目前已不再採用，而是以利用「審慎疏散」(deliberate evacuation)及「疏散準備區域」(evacuation-prepared area)的概念，來使用 IAEA & ICRP 指引來建立長期因應作為。
 13. 國際各核能使用國家應由福島事件經驗與數據，改進現有核子事故評估方法或模式所建立之輻射項源，並改進緊急計畫規劃。
 14. 良好之領導與組織及適當訓練之員工，對嚴重事故時需大規模防護廠內人員將有效發揮作用。
 15. 針對廠區及外部支援人員之演練或演習，須將福島經驗納入考量，以建立嚴重事故時有效的輻防能力。
 16. 不論在任何情況下，管制機關必須維持獨立性及明確角色，並符合 IAEA 安全標準(Safety Standards)

