

日本福島事故 5 周年回顧與展望

2016 年 3 月 15 日

2016 年 2 月初美國東岸經歷了一場世紀暴風雪，首都華府地區被深達 1 公尺的白雪覆蓋，造成交通動彈不得，使得政府機構和學校關閉近一週的時間，也讓許多商家無法營業；然而嚴冬過後，美國國家公園管理局於 3 月 2 日公布今年華府櫻花盛開的時段為 3 月 31 日至 4 月 3 日之間，預測到時候潮汐湖畔(Tidal Basin)將有超過 70% 的櫻花綻放，顯示春天就要再臨華府並為大地鋪下粉嫩的彩衣。然而就在春暖花開之際，核能界並沒有忘記 5 年前發生在日本福島第一核電廠之嚴重核子事故，美國核能協進會(Nuclear Energy Institute, NEI)及經濟暨開發組織核能署(OECD/NEA)不約而同地出版了福島 5 周年回顧報告，分別檢討事故發生以來美國及世界主要核能國家核能安全方面的改進，包含了硬體救援設備的強化以核安組織文化意識的增進，以下根據筆者摘要整理這兩份報告的主要內容，以做為日本福島事故 5 周年之回顧與展望。

美國核能工業界強化作為

美國核能協進會(Nuclear Energy Institute, NEI)自從福島事件發生後，立即與電力研究院(Electric Power Research Institute, EPRI)及核能運轉協會(Institute of Nuclear Power Operation, INPO)成立了專案指導委員會，網羅核能運轉管理及各方面專才所組成之團隊，並且多次前進日本東京電力所屬之福島第一和第二核能電廠，深入瞭解探討事故發生的關鍵因素、演進過程、應變措施、運轉員操作等，以推動美國核能設施因應天然災害之改善作業，確保供應美國電力比例達 20% 之核能電廠安全運作。這三個主要機構於 2016 年 2 月發表了「前進之路-美國核能工業因應日本福島第一核能電廠之領導作為」專題報告，記錄 5 年來核工業投資了數十億美金在確認電廠在遭受超過原始設計之天然災害衝擊下的安全性，並進一步提升救援功能的整合性措施，以及檢討未來持續之改進方向。另一方面，美國官方之核能管制委員會也獨立地評估了福島事故，以確認其管制法規可以反映出本事故中之各項經驗回饋，而管制單位與工業界自 2011 年以來就透過各種公眾會議來對話，以確保新的法規要求及工業界的措施，能夠以最有效的方式來加以實施。



圖 1：美國核能管制委員會舉辦福島事故之公眾會議
(資料來源：美國核能協進會¹⁾)

已完成或進行中之強化措施

在上述 5 周年的檢討報告中，美國工業界列舉了下列增進核能安全之事項：

- 由各電廠人員及獨立之核管會視察員分別查證核能電廠地震及水災防護設計之妥適性。
- 在每個核能電廠中增加了額外一系列的後備及緊急應變設備，這套名為「FLEX」的策略是經過精心設計且完整之解決方案，也是美國工業界承諾實施因應福島事故安全增進措施的基礎。
- 建立鳳凰城(Phoenix)及曼菲斯(Memphis)兩個全國性的事故應變策略聯盟 (Strategic Alliance for Event Response, SAFER)倉儲中心，放置各項救援器材，並配合運輸之標準作業協議，以便在需要時可以於 24 小時內將緊急救援器材運送到全美國各個角落。
- 重新再評估核能電廠各種地震及水災及對核能電廠造成之潛在衝擊。
- 新增各核能電廠用過燃料池之儀器系統，以增進運轉員監控燃料池內之狀況。
- 強化圍阻體排氣系統及增進事故後救援程序書之完整性，以降低發生嚴重核子事故後輻射外釋的風險性。
- 升級並改進現有緊急運轉程序書之整體性以強化緊急應變之能力。
- 檢討在極端氣候下輪班人員人力及通訊設備等緊急應變能力之提升。
- 更新工業界間之緊急聯繫和應變架構，以便增進任何事故發生時之協調能力。



圖 2：SAFER 倉儲中心一景
(資料來源：美國核能協進會¹)

與各階層人員之接觸互動

除以上偏重技術及作業層面之考量之外，報告中也說明核能工業界這 5 年來與各方利益關係者(stakeholder)之間的互動，簡述如下：

一般民眾：透過各種資訊管道(網站、視頻、社群媒體、專業報告等)傳達工業界因應福島事故的作為，特別對核能電廠附近的居民、地方官員等說明工業界所採取的各項措施足以強化核安並確保民眾的健康和安全。NEI 以 2015 年美國一項民意調查為例，顯示高達 64%的民眾支持核能，且 57%人民認為核能電廠是具高度安全性的。

核能工作者：工業界提供核能從業人員足夠的資訊以及訓練，以幫助他們吸取福島事故的經驗及提升工作效能，這包含了電廠運轉員及緊急應變人員如何使用 FLEX 設備及程序書的訓練。

緊急應變組織：工業界密切與美國聯邦單位、州政府、及地方緊急應變組織間之溝通及合作，以確保從福島事故所得到的教訓，能夠確實被反映到執行作業中。2015 年代號「Southern Exposure」之全國性核子事故演習就是一個政府與工業界整合性演練之最佳案例。

核能工業界：包含電力公司、供應商、業主協會、製造商、及核燃料循環之各種工業組織除了持續追求高品質的作業，並努力實施福島經驗之回饋，NEI 本身也辦理多次研討會以訓練、協調、及分享電廠自 2011 年以來的改善，這其中包括如何有效運用 FLEX 策略來因應極端氣候事件。

核能管制者：自從福島事故發生後，工業界與美國核能管制委員會之間便密切展開各項之溝通，包括雙方管理階層各自指導委員會間之定期公眾會議，以檢討實施安全強化作業之進度，同時也積極參與核管會制定法規的過程並提供建議，以確認各項管制修訂能夠被有效率地實施。除了上述在核管會總部舉行的公聽會議上表達意見，NEI 在年度管制單位主辦之核能管制資訊大會中，持續檢討實施安全強化的情形。

決策者及意見領袖：工業界持續向聯邦決策者、國會議員、州和地方意見領袖傳達堅定的核能安全承諾，這包括了提供電廠參觀、向國會議員及各級決策單位、及媒體簡報和說明工業界實施 FLEX 策略及其他後福島時期所進行的改善方案。

國際核能團體：美國工業已在日本東京主辦過 3 次福島事故之國際論壇，各國核能管理者可以在此會議中分享其組織之緊急應變職責，以及因應福島之改善作為，討論議題包括了：極端狀況下組織之因應能力、增加安全餘裕、緊急應變之精確性、運轉員和應變人員的訓練等。NEI 在報告中特別指出美國與日本核能管理階層間之互動合作，美方工業界代表多次實地福島電廠現場，日方則是參訪美國鳳凰城的 SAFER 倉儲中心，促進雙方核能工業界間之合作交流。

福島 5 周年回顧座談會

除了發布前述之專題報告外，美國核能協進會(NEI)於 2016 年 2 月 24 日召開了一場「福島第一電廠 5 年後：進展報告」座談會²，邀請了包括：NEI 核能總工程師 Maria Korsnick、PBS 記者 Miles O'Brian、輻射安全專家 Kathryn Higley、TECPO 核能總工程師 Takafumi Anegawa、東京電力公司安全改造委員會主席 Dale Klein 等人，其中 Dale Klein 曾擔任過美國核能管制委員會的主席。

以上座談會首先由 NEI 代表 Maria Korsnick 摘要報告近期出版之福島 5 周年檢討報告，她表示過去 5 年以來美國核能電廠的改進是非常顯著的，這主要是基於明確地定義並檢討出福島事故的經驗，而所歸納出的各項改善建議則透過核能管理階層及技術顧問們的共同合作，貫徹實施在所有美國的核能電廠，Korsnick 認為其中最主要的成就當屬強化安全措施之 FLEX 策略，其針對了福島事故過程所出現喪失冷卻水及電力的情形，FLEX 在原安全設施之外多加了一系列緊急備用設備，包括了柴油機發電機及泵浦、緊急排氣閥電源、備用電池組、水管和電纜及衛星通訊器材等，此外她強調在鳳凰城及曼菲斯所建置的兩個全國性的事故 SAFER 倉儲中心，可以於 24 小時內將緊急救援器材運送到全美國地。而多數電廠的強化措施將於 2016 年內完成，部分項目(如地震評估及改善)則至遲於 2019 年全部完成。Korsnick 很自信地表示美國核能電廠比日本 311 大地震前已更為安全，不斷改進安全也是核能從事者一貫追求的目標，另外她也提到美國與日本核能運轉高層管理人員建立了強而有力的合作關係，也互相分享 FLEX 策略和設備的建置，同時持續與日本東京電力公司及福島電廠運轉者間之互動交流。

日本東京電力核能總工程師 Takafumi Anegawa 首先感謝美國核能工業界和政府部門在事故發生後立即伸出援手，現在福島電廠已進入除役階段，也持續有來自美國各界的協助。除了福島電廠進行之除污和除役工作之外，東京電力也從福島事故的經驗及美國核能工業的實務中學習並致力於改進該公司之核安文化及管理方法，Anegawa 特別提到前美國核能管制委員會的主席 Dale Klein 正在協助東電發展及改進該公司的核安文化，而 Klein 前主席隨是則是讚揚東京電力公司這 5 年來的成就，包括使用績效指標、與各跨國級公司互相比較核安措施、加強授權第一線管理者，以便能及時發現並解決任何安全疑慮，同時也增加了管理階層的責任性。至於有輻射防護背景的 Kathryn Higley 教授則認為事故發生後，日方在採取限制輻射曝露的途徑以控制整體人民輻射劑量方面的努力，做的相當不錯，她不認為被疏散的民眾會受到任何量測得出的健康效應。以上座談會的全程錄影實況亦已公佈在網站中。



圖 3：福島 5 周年座談會講者及主持人合照
(資料來源：核能協進會網站²)

世界經濟暨開發組織核能署之檢討

世界核能新聞於 2016 年 2 月 29 日的報導中引用世界經濟暨開發組織核能署 (OECD/NEA) 核能署署長 William Magwood 的聲明指出³，全球各地的核能電廠現在具備更為彈性的方法來處理各種核能事故演變情境，Magwood 署長是在巴黎發表最新完成專題報告做出以上表示，此報告名為：「福島第一電廠 5 年後：核能安全改進及經驗學習」⁴，這是接續先前該組織各會員國所屬核能電廠因應福島事故作為之檢討成果，報告認為福島核子事故係導因為 15 公尺高的海嘯衝擊核能電廠，淹沒並破壞了海水泵浦及緊急柴油發電機等救援所需的設備，日本工程和安全管制單位過去曾經注意到此電廠面臨天然災害的風險，但日本核能界在事故之前普遍而言缺乏對安全疑慮提問的態度，以致不能及時發現問題而加以改正原先低估的設計，因此檢討報告著重於兩個方向：(1) 各核能電廠面臨天然災害的風險；(2) 確保各國核能管制及營運單位具備適當的核安文化。雖然在硬體設備上各國都已經做了許多的補強，但 Magwood 署長指出最困難的部分是如何去改進人的作為，為了防止未來再度發生類似事故，必須強化人們對於核能安全的觀念，且後續仍應不斷地強調。以下重點摘要此報告的 9 項結論。

1. 持續安全改進

自從 OECD/NEA 於 2013 年出版「福島第一電廠事故：核能安全改進及經驗學習」後，各會員持續探討本事故演變過程之各種經驗和教訓，除了提升到全國性的安全再評估，並且透過跨國性的合作來增進安全。由於各國持續採取改進各核能電廠之安全水準及措施，現在電廠較以往更為安全。

確保安全是一項連續的過程，而這需透過運轉經驗及研究來不斷地改進，電廠營運者需承擔核能安全的主要責任，管制者的目標則是確認營運者持續改進而使得電廠更為安全。現今所有核能電廠都需要增強在因應極端狀況下，且發生超過設計基準事故時的安全度，才能允許其持續運轉。福島事故發生之後，全球的核能電廠都採取了加強措施來應付包括天然和人為所造成的非預期事件。

2. 有效地實施安全改善

當 OECD/NEA 各會員國共同討論福島事故帶來的教訓時，雖然採取的方式不完全一致，其結果卻是非常相似，也就是如何達成增加安全、防止發生及緩和事故後果的目標。就像不同會員國存在著不同的天然地理氣候等狀況，不同國家也有著不同的管制要求，例如有些國家就利用定期性的安全評估來持續改進安全。也因此各國不必從相同起點來進行改善，執行時也有著不同的優先度及實施時程。

3. 善用運轉經驗和風險認知

福島事故所呈現之操作經驗和教訓已發送給全球，尤其是那些關鍵的觸發點及最早期發生的狀況，其實事故當中並沒有以前未知的肇始事件、事故過程及事後演變後果，只是當所有假想的狀況一起發生，再加上同時間有三部機組受到威脅，其嚴重性就變得始料未及。

OECD/NEA 評估現有運轉經驗回饋系統是能夠提供學習及防止事故重複發生的良好工具，若能再加上風險認知的概念，將更能提供改善電廠因應事故能力的良好資源，至於如何能夠迅速地運用運轉經驗將是管制者與營運者的共同挑戰，也就是如何發現早期徵兆事件(precursor events)和其後續效應，以便能對症下藥來實施相對應之改善措施以增加安全和避免重複事故的發生。

4. 強化管制架構

各國家之安全管制架構必須能夠強化政府架構及更新法規，其中包含增強管制單位的獨立性，其中管制功能與任何其他推動使用核能的機構之間，一定要保持分離。為了反映福島事故的經驗教訓，不少會員國已重新檢視其管制架構，其中一個例子是強化清楚而嚴謹的法規體系，以致當事故發生後，電廠營運者或必要時其政府，能夠迅速地提供受災者財務方面的補償。

會員國也持續地在各個領域互相比對及改進核能安全架構及法規，例如：事故應變、危機管理、確認早期徵兆事件、深度防禦、管制效能、安全文化、新反應器管制等，國際間的合作也能夠促進管制效能和資訊交換之參與。

5. 安全研究以支援長期性學習過程

正如先前美國三哩島事故及前蘇聯車諾比爾事故，這次福島事故的經驗和教訓將是一項長期性研究工作，需要管制單位及核能工業界持續的關注。OECD/NEA 本身在事故發生後已成立 SAREF 及 BSAF 兩個工作小組，用以推動研究事項包括：嚴重事故演變及福島 3 個機組的爐心現況、人為操作過程及事後回復等，目前在福島電廠現場已收集到不少關於事故回復的努力和反應爐現況的重要資訊。

6. 人為因素是核安的基要觀念

從設計、建造、及面對潛在事故時之操作等事項，人為及組織之核安文化是所有核能安全之基礎，在福島事故後之各種評估中，電廠持照者及管制單位的角色被認為是重要的因素，人為因素也在深度防禦的各層面中造成相當的衝擊。

OECD/NEA 評估各會員國執行管制者之特性和管制安全文化，也提出有關相互比對、同儕審查、訓練和發展管制人員方面的建議。某些會員國也推動改造委員會，以強化安全態度、組織能力、決策過程、和經驗學習方面的人為因素的檢討。

7. 緊急應變管理及長期承諾

福島事件顯示了因應大規模事故之挑戰性，隨著時間的演進，後續輻射和社會效應會變得更為明顯，決策的責任也將由中央轉移到地方政府進而影響到一般民眾，國家應變計畫中事先就應先考量這種長期性的狀況及各種需求。另外福島事故顯示出相關的應變管理資源需求也相當可觀，例如：各國駐日人士的保護、貨品自日本進出之管制等，日本政府不但被要求擴大有關傳達最新事故資訊的資源，也有來自各國國際組織索取大量資訊的要求，因此緊急應變管理亦應該汲取日本的經驗，以便能訓練及規劃出適當的資源來因應資訊的收集及流通。

8. 強化大眾的參與及溝通

在決策過程中讓所有利益關係者如：地方機關、工業界、非政府組織、政府官員、及民眾來共同參與，應是一個適當而可增加信賴度、合法性、持續性、及法規和廠外應變決策品質的作業流程，平時主動與這些相關團體之溝通接觸，應可在事故發生時增進他們的瞭解。一些 OECD/NEA 會員國也進一步發展透明、公開、法規制定過程中邀請各方人士的參與等政策，福島事故本身也再次證明管制單位及政府應有效地與相關者溝通，以確保全面正確地傳達電廠之狀況。為了達成此目標，管制者必須制定溝通策略並持續實施。

9. 國際合作是持續安全改進的關鍵

國際合作提供了各國管制單位間對話的論壇，以共同分享並分析資料、經驗、達成共識、並提供可推行到各國的可行方案，國際合作亦提供管制者間互相審查的平台，以提高警覺並避免自滿，OECD/NEA 會員國管制單位過去除了互相分享資訊及如何改進核能安全的管制架構，也針對中、長期合作議題成立了專家小組或工作團隊以進行國際安全研究計畫。



圖 4：2015 年安全文化及管制單位之挑戰及強化國際會議，右二為 OECD/NEA 署長 William D. Magwood (資料來源：OECD/NEA⁴)

參考資料

1. Nuclear Energy Institute, Institute of Nuclear Power Operation, Electric Power Research Institute, “The Way Forward”, February, 2016.
2. Nuclear Energy Institute, “US Nuclear Energy Industry Even Safer Since Fukushima”, March 1, 2016.
3. World Nuclear News, “Flexible Systems and Approaches Boost Safety After Fukushima”, February 29, 2016.
4. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)/ Nuclear Energy Agency (NEA), “Five Years After the Fukushima Daiichi Accident - Nuclear Safety Improvements and Lessons Learnt”, February, 2016.