

美國核能管制委員會因應日本福島核事故的作為

黃俊源 100.04.01

壹、前言

截至 4 月 1 日止，福島第一核電廠 1、2、3 號機組雖然尚未建立起持續循環冷卻反應器爐心的能力，但隨著持續注水至反應器爐心，以及反應器爐心衰變熱（decay heat）隨著時間逐漸降低的物理現象，反應器爐心的狀態雖然嚴峻，但是在朝穩定舒緩的情勢發展。當前必須持續努力的工作，除了維持反應器爐心的穩定，最重要的就是阻絕輻射外釋到環境中，而這項工作卻因為海嘯造成廠區基礎建設與環境受到破壞而必須長期抗戰。

僅就日本大地震發生迄今三週，美國核能管制委員會（U.S. Nuclear Regulatory Commission 以下簡稱美國核管會）因應日本福島核事故之作為，作一整理說明，提供國內參考。

貳、第一時間的反應

3 月 11 日日本當地時間下午 2 時 46 分（美國東部時間 00:46）發生芮氏 9.0 級大地震後，位於美國太平洋岸的 Diablo Canyon 核電廠在海嘯警報發布同時，發布「異常事件注意通告」（notice of unusual event -NOUE），宣告將有海嘯來襲並預作準備，並且通知位於美國東岸、24 小時運作的美國核管會之應變中心（Operation Center），應變中心隨即啟動緊急應變機制，通知美國核管會高階主管，進入情勢監控階段，此刻是美國東岸時間清晨 4 時 23 分，距離地球另一端的日本大地震發生時間不到四小時。之後 Diablo Canyon 核電廠回報，海嘯來襲期間，兩部運轉中的機組依然維持併聯發電，成功抵擋海嘯侵襲。至於其他也是位於美國太平洋岸的 San Onofre 核電廠、Humboldt Bay 用過核燃料貯存廠，以及夏威夷與阿拉斯加等地區的核物料設施，也都回報海嘯未造成災情。

在地震當時，福島第一核電廠六部沸水式反應器機組中，三部正在併聯運轉的 1 號機、2 號機、3 號機，因地震自動系統動作，反應器急停，並由於廠外輸配電系統被地震破壞，喪失廠外電源，廠內的緊急柴油發電機自動啟動；然而原本運轉的緊急柴油發電機被隨後而來的海嘯破壞而停止運轉，貯油槽也被海嘯沖走，廠內緊急用電喪失，只剩下僅供數小時用電的電池，全廠進入緊急全黑事故（Station Blackout），日本官方宣告福島第一核電廠進入緊急狀態。

參、應變初期—美國核管會對日本核災的反應

3月12日日本當地時間下午3時36分，福島第一核電廠1號機，以及3月14日日本當地時間上午11時01分，福島第一核電廠3號機接連發生氫爆；此時，應日本政府請求，美國核管會與美國能源部¹派遣核災相關專家，加入美國國際開發署(USAID)救援日本震災，在日本當地時間3月16日抵達。此番美國核管會派出九位專家，加上地震發生當天立即派遣的兩位沸水式反應器專家，此時美國核管會已有十一位專家進駐日本。而在華府美國核管會總部，250位職員進駐緊急應變中心，24小時輪班執行任務，隨時接收日本前線同仁回傳的資訊，整合分析各方資訊，監控情勢發展，回復外界電話詢問，並利用電腦程式推估可能輻射影響，提供建議作為給第一線的同仁，作為前線決策參考。此階段美國核管會（與其他美國能源部派至日本的核能專家）的主要任務為：(1)與日本核能機關對話並提供諮詢；(2)現地收集資訊，結合後方美國總部分析研判，提供應變作為建議給現地指揮官—美國駐日本大使，決策與相關命令之發布。

事故初期應對作為除了穩定核子反應器外，主要是輻射值的監控，以便決定是否進行居民疏散、掩蔽或其他作為。3月11日下午2時:46分地震發生，當晚9時福島地方政府便發布福島第一核電廠半徑2公里內居民疏散，隨後日本官方宣布福島第一核電廠半徑3公里內居民疏散，3至10公里內居民在家掩蔽。3月12日福島第一核電廠1號機發生氫爆，日本官方宣布疏散福島第一核電廠半徑20公里內居民，20至30公里內居民在家掩蔽。事故初期一直到3月15日，美國與日本對於民眾防護動作的建議是一致的，都是20公里內疏散，20至30公里內掩蔽。3月15日美國核管會發布的新聞稿依然表示，請在日本的美國公民配合日本政府所發布的疏散、掩蔽命令。

3月15日上午6時，福島第一核電廠4號機發生氫爆並起火燃燒，這起爆炸的輻射外釋效應，讓美國核管會與日本官方對於民眾疏散的範圍出現不一致的決定。地震當時，福島第一核電廠4號機正因為機組大修，將所有燃料棒從主要圍阻體(primary containment)之內的核子反應器中，搬移至用過燃料池(Spent Fuel

¹美國能源部則派出國家核子安全署(National Nuclear Security Administration-NNSA)轄下39人與1萬7200磅的儀器設備，該小組專門處理核子災害，包含核爆與美國能源部轄下國家實驗室與核武基地的核災，可以在短時間之內馳赴各地建立核災現地低空與地面輻射偵測能力，及時提供背景輻射值，並持續與後方實驗室連線分析，以便提供核災現地指揮官決策作為之有效資訊。

Pool) 貯放；用過燃料池在主要圍阻體(primary containment)之外，只靠廠房屋頂與外界大氣環境隔絕，當 4 號機氫氣爆炸破壞廠房屋頂，又發生火災，美國核管會主席 Gregory Jaczko 認為 4 號機之用過燃料池缺水嚴重，甚至已經燒乾了；日本官方則依然認為用過燃料池內的水位是足夠的。由於 4 號機用過燃料池貯放的燃料包括因為機組大修所移入原本在核子反應器爐心的燃料，這些燃料與福島第一核電廠的 1、2、3 號機核子反應器爐心的燃料一樣，都須要足夠的冷卻水加以冷卻。如果用過燃料池內的水位下降，曝露在外的燃料部份便會因為冷卻不足而溫度上升，當溫度上升太高，燃料護套會與水蒸汽作用產生氫氣，氫氣累積到一定空氣濃度就會發生與 1、2、3 號機相同的氫氣爆炸。當爆炸發生，尤其是伴隨火災，會把已經因高溫受損的燃料棒中的放射性物質大量釋出；而廠房又因爆炸受損，完全無法阻擋放射性物質外釋到環境，這就是美國核管會的顧慮。因此，3 月 16 日美國聯邦政府依據美國核管會的建議，敦促美國公民撤離福島第一核電廠半徑 50 英里內(80 公里)的地區。美國核管會主席 Gregory Jaczko 在 3 月 17 日在美國白宮新聞發表會中說明，50 英里的疏散範圍是在有限資訊的情況下，作出最審慎的研判。即使到此刻(4 月 1 日)日本對於民眾防護動作的命令依然是維持福島第一核電廠半徑 20 公里內疏散，20 至 30 公里內掩蔽。

肆、應變初期—對美國國內的反應

當地震伴隨海嘯造成福島第一核電廠輻射外釋發生後，美國政府便開始化解美國民眾的擔憂。3 月 17 日美國總統歐巴馬就日本救災情況發表講話；美國核管會與美國能源部共同出席 3 月 14、17 日在美國白宮新聞發表會、3 月 16、30 日眾議院聽證會，3 月 29、30 日參議院聽證會。美國核管會自行在 3 月 21 日於華府總部召開網路即時直播委員會議²，專題報告日本福島救災情況。美國核管會在這些發言內容大致包括如下：

1. 美國核管會為獨立核能管制機關，有 4000 位世界一流的科學家、工程師與專家群，執行保護人民與環境免受輻射傷害的任務。
2. 說明日本福島危機現況，美國核管會總部緊急動員、派員赴日協助日本政府與美國駐日大使，以及 50 英里(80 公里)疏散建議的理由。
3. 說明核電廠「深度防禦」、「多重多元」與抵抗天災的設計基準；三哩島事

² 美國核管會已排定 4 月 14、28 日兩次網路直播委員會議，說明美國核管會回應日本福島危機之作為

故後強化「緊急計畫」、「人因工程」、「圍阻體內防氫爆」、「事故後輻射偵測系統」、「全時駐廠視察員」以及「嚴重核子事故處理」等項目；運用過去數十年的運轉經驗訂定「強化馬克一型圍組體」、「全黑」、「嚴重事故產氫」等處理規則；911 事故之後，要求核電廠即使在一片火海狀況下，也有關鍵系統足以應付。

4. 美國核管會即時要求核電廠先行驗證具備減輕嚴重事故的能力，包括來自洪水等天然災害、火災、飛機撞擊與爆炸等。並將日本福島危機的經驗回饋用來檢視美國國內核電廠安全相關議題。

除了上述公開說明會的書面資料，美國核管會也適時發布新聞稿，並將 3 月 21 日自行在華府總部召開網路即時直播委員會議中，所有發言都轉成逐字文字稿，這些資訊都可以在美國核管會網站之福島核電危機專屬網頁中找到，這還包括因應福島核電危機新增之 Q&A。

3 月 18 日美國核管會對美國境內的核電廠發布「資訊通告(Information Notice: 2011-05)」，因應此次日本大地震對福島第一核電廠所造成的傷害，通知境內核電廠檢視驗證自身對抗此類災害的能力，包括：(1)減緩嚴重事故造成的傷害，包括天然災害、火災，飛機撞擊與爆炸等導致運轉與安全相關系統失效；(2)減緩「喪失所有電源」事故造成的傷害；(3)減緩水災對廠內、廠外系統的傷害；(4)確定地震發生及之後的搶救過程中，潛在可能發生設備喪失功能的情況。

伍、中、長期反應的作為

3 月 30 日美國總統歐巴馬在華府喬治城大學演說，提出減少石油進口的能源計劃，再次強調「雖然日本發生了核危機，但核能不會在美國消失」、「考慮到日本發生的一切，我已經要求美國核管會作出全面安全審核，以確保我們現有的核能設施是安全的。我們將把這些審核的結果以及日本的經驗教訓納入我們對新一代核電廠的設計和建造」。此一發言確立美國核電發展仍將繼續。

因應美國總統歐巴馬要求對美國境內核電廠再次進行全面安全審核，美國核管會成立六人專案小組，由資深主管及專家共同組成。專案小組將與美國核管會各部門的技術專家討論，取得日本福島事故全面完整的專家意見，以及對於現有的法規的修正意見。專案小組將先進行核子反應器與用過核燃料池有關之即期審視

和評估，並確認出較需花較長時間檢討的議題。審視的範疇包括電廠全黑、可能導致冷卻能力長期喪失的外部事件、核電廠防範或對付此類事故的能力、以及緊急應變計畫。專案小組會從美國核管會現行視察作業著手，檢視核電廠設備可靠度、程序書、以及核電廠所需用於對付此類事故的相關資源。專案小組也會收集來自國內和國際相關資訊作為參考。專案小組希望能夠提出具體建議，作為美國核管會決定是否必須立即進行核子反應器強化措施，或是修改現行法規、視察作業或是發照程序等等。專案小組預定在 30 天、60 天、90 天分別提出報告³，並確立需進行較長時間分析評估的議題後，以六個月的時間完成長期議題的檢討報告。

陸、觀察心得

美國擁有 104 部核電機組，美國核管會擁有 4000 位員工，在「量」的方面美國堪稱世界核電的龍頭；此番因應日本福島核電危機，雖然美國宣稱係基於人道協助，但觀之美國政府與美國核管會迄今所投入的資源與作為，不得不令個人佩服。僅就個人觀察美國核管會之應變作為，提出心得如次：

(一)反應迅速、團隊合作

當地球另一端發生大地震，隨之而來的海嘯警報一發布，美國核管會隨即反應，與可能受到侵害的核設施保持聯繫，監控情勢，準備迎接海嘯侵襲；待海嘯過後，確認相關核設施無礙，隨即轉移注意力到日本災區的核電廠，監控核災後續發展。地震發生同一天美國核管會隨即派出兩位沸水式反應器專家前往日本，反應迅速。美國核管會緊急應變中心自地震發生後四小時內啟動應變機制至今，仍舊是 250 位職員 24 小時輪班運作，作為前線作戰的專業支援智庫，提供第一線專家源源不斷的專業分析與研判推估；第一線的 11 位專家在日本工作兩週後，第二批的專家在 3 月 26 日出發前往替換，讓前者能夠獲得喘息，並回到緊急應變中心，持續與智庫直接溝通；第二批的專家則持續收集回傳資訊給緊急應變中心，並將華府總部的分析研判結果，提供給美國駐日本大使決策之用。美國核管會主席則扮演好發言人的角色，向白宮、國會與媒體說明現況與美國核管會的作為。美國核管會主席 Jaczko 尚利用 3 月 26 日的週末前往日本，與日本政府、東京電力、以及第一線的專家進行對話。

³ 報告日期排定 5 月 12 日、6 月 16 日、7 月 19 日

(二)資訊公開迅速、決策謹慎

關於資訊公開透明，美國核管會一直是被認為美國聯邦機關中，表現好的單位之一。前文所提到美國核管會主席出席白宮新聞發表、國會聽證，相關書面資料都立即上網公開；美國核管會的委員會議不僅網路直播、錄影上網，發言逐字稿更是一字不漏登載上網，讓各界可以迅速取得一致的文字內容，避免媒體或大眾轉述失真。資訊雖然迅速，內容卻不打折；以下舉兩個例子說明之。第一個例子是備受爭議的 50 英里(80 公里)疏散建議，如前文所述，3 月 15 日美國依然認同日本發布 20 公里內疏散、20 至 30 公里內掩蔽的民眾防護動作，但在相隔一天的 3 月 16 日美國宣布撤離 50 英里內(80 公里)的美國公民時，美國核管會也發布新聞稿說明 50 英里(80 公里)疏散建議的理由，與其依據的法規與物理模式計算結果。

第二個例子則是福島第一核電廠的現地數據與資訊，從日本管制單位日本原子力保安院、官房長官、首相的記者會都提到東京電力無法提供及時正確的現地數據；美國核管會主席在回答國會議員的提問時也提到，現地數據取得困難、甚至於有些數據彼此是衝突的。試想，當地震與海嘯襲擊後，福島第一核電廠滿目瘡痍、斷水斷電，中央控制室也因斷電無法得知機組數據或廠區狀況，感測儀器是否運作良好不得而知，人力取得數據可能是主要的方法，數據取得自然是困難的多；當 50 英里(80 公里)疏散命令發布時，外界覺得美方或許太過謹慎 (play safe)，但是在資訊不足的條件下，如何作出正確的決策，本來就是困難的。以現在福島第一核電廠的情勢尚未完全解除，似乎美方的 50 英里(80 公里)疏散命令，比較保險。美國核管會主席在白宮新聞發表會中說道，50 英里的疏散範圍是在有限資訊的情況下，作出最審慎的研判。迅速提供資訊是重要的，但提供迅速且正確的資訊更重要。

(三)超出核電廠設計基準的災變處置

本次福島第一核電廠遭遇的地震與海嘯已經超過該電廠的安全設計基準，但這並不表示所有核電廠只要遇到超過設計基準的天災，就會跟福島第一核電廠同樣發生重大核災；福島第二核電廠位於福島第一核電廠南方 11.5 公里，同一個地震與海嘯也侵襲該電廠四部全功率運轉的沸水式機組，也超過該廠的設計基準，但是福島第二核電廠成功抵擋侵襲，目前處於安全的冷停機階段。

對於超過設計基準的災難侵襲核電廠，美國就以 911 飛機恐怖攻擊為假想議題，要求美國核電場即使在爆炸後一片火海狀況下，也有關鍵系統足以應付；由

於相關資訊涉及反恐敏感議題，無法公開。但美國核管會在回答問題時提到，美國現有 104 部核能機組，電力公司願意提供同型機組之備品或支援給其他發生核災的電廠，美國聯邦也可以進行調度。法國 58 部都是壓水式機組，似乎也可以調度同型機組備品的方式彼此支援救災；但對於我國四座核電廠配置的機組型式迥異，此法恐不適用於我國。

當廠外電源因故喪失，核電廠對付緊急狀況只能倚靠廠內的緊急備用電源。美國國會議員打算提案增加核電廠緊急備用電源的容量，要求美國核電廠必須備足 72 小時的直流電源，以及緊急柴油發電機運轉 14 天所需之油料。媒體報導，福島核電廠危機發生後，日本業有多座核電廠已經緊急備妥車載式發電機作為緊急備用電源。

（以上屬個人看法，不代表原能會立場）