

日本福島事故三周年回顧與檢討

2014年2月11日

2014年開年以後，美國北部及東北部即被寒冷的北極漩渦(Polar Vertex)給籠罩著，天氣異常嚴寒，然而根據美國協能協進會(Nuclear Energy Institute, NEI)的報導¹，核能設施並未到受這波嚴冷氣流的影響，且以接近百分之百的發電能量，提供電力給接近最低溫紀錄之地區。在世界氣候開始面臨急劇變化的同時，也不免再次讓人聯想起將近3年前，日本東北發生史無前例的地震及海嘯，因著此天災而引發之福島一廠核子事故，東京電力公司至今仍在努力地收拾善後，電廠周圍居民依舊被限制回到故居，確實值得令人持續檢討事故成因及給予居民人道關懷，避免未來再發生任何類似的狀況。以下根據筆者參加三場有關福島事故的演講或是聽證會，回顧與檢討福島事故的成因及未來改進之道。

福島事故之啟示

2014年1月28日駐美代表處邀請曾任職美國能源部之程育甫博士，發表福島事故之啟示²，程博士參與過核能電廠設計、操作、生產及安全檢查，亦是美國能源部認證的監察員，負責視察美國核設施的安全。程博士雖然長年在美國工作，但卻是心繫中華民國台灣的核能發展，去年12月還曾經與志同道合之美華核能協會成員及專家學者，一同回到台灣並獲馬英九總統接見，提供核能安全及發展之建言。



圖 1：程育甫博士在駐美代表處演講

程博士指出日本因位處於東北亞地震頻繁的地帶，且是所謂俯衝帶的地震，先天上就比其他國家承受較大的地震風險，歷史上也曾引發過造成傷亡慘重的海嘯，而這些都是核能電廠設計時應考慮的重點，但經由福島事故發生的經過來看，雖然電廠本身耐震性可抵擋住近9級之震

度，然因防海嘯設計過於低估，加上緊急備用電池及柴油發電廠並沒有分散到較高處貯存，造成需要使用時全軍覆沒。就程博士所收集的資訊顯示，東京電力公司早先已知道防海嘯能力方面的弱點，但在多年運轉之後，卻沒有把握機會改善。此外，因為事故當時發生一連串的氫爆，操作人員遲遲未能有效採取適當的措施，再加上核外緊急支援單位配合出現問題，一直無法提供緊急發電機及消防車等基本支援。

程博士特別提到日本民間團體 National Diet of Japan 所成立之獨立的福島事故調查委員會，此委員會之調查報告中提到：「福島事件是完全可以避免的」、「事故不是地震造成的，..，福島事故是人為失誤造成的」、「我們必須痛苦地承認，這是一個日本製的災難 (this was a disaster "Made in Japan")」，其原因為服從命令、不敢質疑上級、執著於問題、群體主義及封閉等思維已根深蒂固於日本文化」。程博士特別是以美國為例，每經由一次的教訓，就積極做強化及防範，從 1970 年代，至少有三次重大改善契機，包括消防法規修訂、三哩島事故後改善措施、及 911 類似事件後之救援等，唯日本均沒有把握住，錯失改善及增進救援能力的機會。反觀台灣及其他主要核能國家與美國核能管制委員會保持密切的合作交流，特別是跟進三哩島事故後所訂立的新法規，以確保核能安全。對於福島事故後台灣的核能強化安全措施，程博士特別推崇台電公司所發展出來的「斷然處置措施」，此亦即操作人員在危機處理時，必須：「把握時機、排除萬難、減壓灌水、不惜廢廠」，這使得操作人員的空間加大，民眾的安全也受到更多的保障，核能安全實際上往前跨了一大步，這可說是福島對核能安全所做的貢獻。

由於台灣的地理環境及天然資源的條件與日本類似，也都是以進出口貿易維持國家的經濟命脈，程博士以日本福島事故後近三年來接近無核家園的狀態，來說明因為進口大量天然氣以彌補核電的缺口，估計貿易逆差已達美金 2 仟 2 佰億，換算起來可付清全日本 50 座核子反應爐的貨款，也相當 20 多個核四廠的價格，他也指出安倍政府上台後，致力於

貶低日幣以促進外銷振興經濟，然外銷所增加的價值仍擋不住天然氣進口所帶來的逆差。我們從圖 2 的統計表中亦可以看出日本自 311 事故後之貿易進出口呈現逆差的狀況。

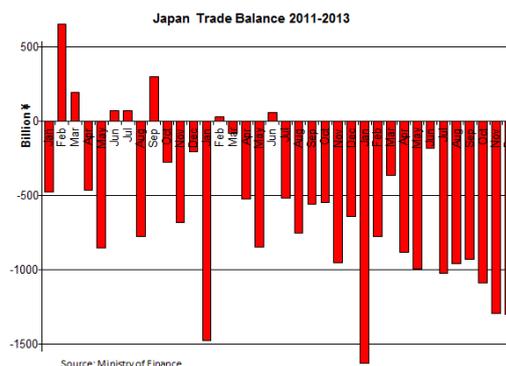


圖 2: 日本 2011-2013 年貿易平衡圖

程博士最後結論指出，核能界過去不斷地從事故經驗中汲取教訓，並持續改善及提升核能電廠的抗災能力，雖然日本發生了不幸，但各國加強核能安全已經成效斐然，他並大膽推斷類似福島的事故不會在美國或台灣發生。而核能目前仍是防止空氣污染，解決全球暖化最有效的選項，也是振興台灣經濟，增強競爭力的好辦法。

日本東電之反省

美洲核能學會(ANS)華府分會於 2014 年 2 月 4 日晚間舉辦月會，邀請日本東京電力(TEPCO)駐華府辦公室核電計畫經理 Kenji Tateiwa 來回顧 2011 年 3 月東北大地震、海嘯及福島事故³。Tateiwa 經理首先以 2011 年 8 月發生在美國維吉尼亞州的地震能量，與日本歷史上所發生的地震來相比，實際上是微不足道。以 311 東北大地震為例，其所釋放的能量為維州地震之 63,000 倍，這讓在座的 ANS-DC 會員們，有一個數量上的概念。隨後 Tateiwa 以 Youtube 影片上示意圖，來展示 311 地震前後日本地震的分佈及能量(如圖 3)，其中紅色圈圈愈大者，表示能量愈大。從這個影片中，可以清楚地看出日本位處於三大板塊的交界，地殼不穩而地震頻繁，也不斷地釋出能量，印證程育甫博士所說日本具有較高之地震風險。



圖 3: 日本 311 地震及強度分佈圖



圖 4: INPO 支援團隊訪問福島二廠
(Kenji Tateiwa 於照片後方)

Kenji Tateiwa 經理於 2005-2011 年任職於東電國際事務部，當 311 地震及福島事故發生後，成為與國際團隊接觸的主要團隊成員，接待包括國際原子能總署(IAEA)於 2011 年 4 月份第一批訪問福島電廠之專家團，以及 2011 年 8 月美國核能發電協會(INPO)工業界支援團隊，其中他特別感謝全球各界於風雨中送溫暖，主動協助東

電處理福島事故後續，在提及這一段辛苦的歷程仍不禁哽咽，使人感受他們當時在現場極惡的環境下，搶救電廠及恢復電力和補水能力之辛苦。

Tateiwa 在評估有關地形對海嘯的影響，曾比較福島縣和北邊岩手縣的地形(如圖 5)，前者是平坦地勢(flat)，後者為鋸齒(indented)式，並認為平坦的福島在歷史上僅經歷到較小的海嘯，反而是岩手縣比較容易因地形影響而有較大海嘯發生的機會，此與以往部分學者推論不盡相同，且不知是因此項推論而使得福島電廠僅建造較矮的海牆及防坡堤來做為設計基準，惟 Tateiwa 表示無論如何，大家都應做好防備那些不預期發生的天然事件。

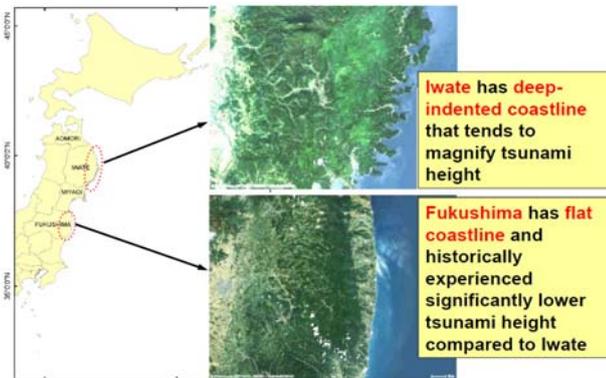


圖 5: 福島縣與岩手縣地形比較圖
(資料來源: 東京電力公司)

在回顧 2011 年 3 月 11 日後的半個月內，東京電力所屬福島一、二廠共計 10 部沸水式反應爐機組，都曾經歷了嚴重程度不一的狀況，Tateiwa 即形容是該公司同時在處理 10 件核子事故，倍感艱辛，一直到 3 月 20 日之後，除了福島一廠 1 號機到 4 號機已發生爐心燃料受損及氫爆等不同的傷害之外，其餘 6 部機組在 TEPCO 員工之全力救援下，均陸

續達到冷爐停機的安全狀態，Tateiwa 特別請大家體會在當時海嘯後一片殘破的景況下，救援人員如何在有限的資源下全力恢復反應爐的安全。下圖說明福島一、二廠 10 部機組由紅色危機到部分機組回到安全狀態。

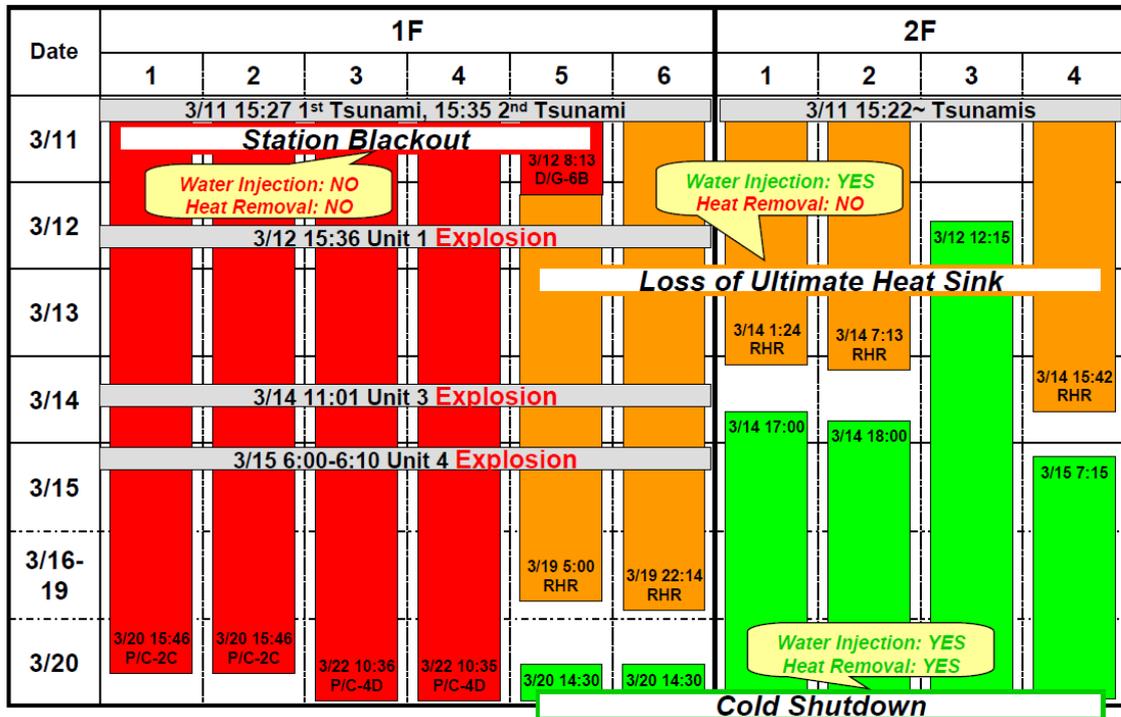


圖 6: 福島一、二廠 10 部反應爐機組狀態時程圖 (資料來源: 東京電力公司)

福島一廠受損 1 號機至 4 號機的後續處理工作近況方面，目前 4 號機已建置完成移除用過核子燃料至共同燃料池的吊車及程序，1 及 3 號機接著亦會建置並進行類似作業，以利後續的除污及除役。2 號機部分則因圍阻體及反應爐的實際狀況仍待進一步量測及確認，進展較為緩

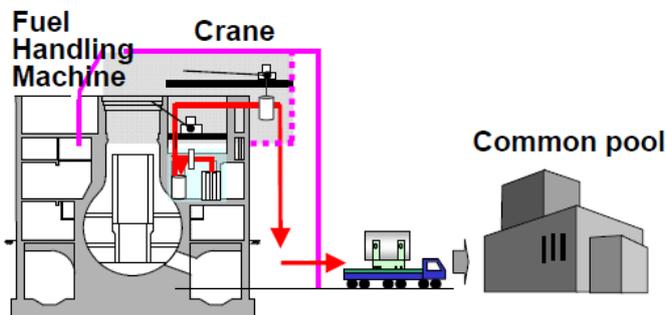


圖 7: 福島一廠 4 號機移除用過燃料示意圖 (資料來源: 東京電力公司)

慢。東京電力也在地下水污染處理、廠房防水、廢棄物處置、破損燃料復元及儲存、及廢水處理等各方面，尋求國際合作的機會，並已與美國政府、工業界、國家實驗室、學術機構、智庫等單位建立密切的聯繫管道。

美國核管會在國會的聽證

2014年1月30日美國參議員環境及公眾事務委員會舉辦了一場名為「美國核管會執行福島專案小組(NTTF)建議狀況及其他安全管制措施」之公聽會，邀請核管會主席 Allison Mcfarlane 及其他4位委員(William Magwood, Christine Svinicki, George Apostolakis, William Ostendorff)共同出席。Mcfarlane 主席於開場證詞時⁴，特別指出福島事故發生近三年後的今天，世界各國已更為瞭解事故發生的過程，並採取了強化的措施，同時比照三哩島事故後的做法，核管會已將專案小組建議事項排定優先度，並逐步在實施中，委員們對於美國機組之安全運轉具有高度信心，且進一步要求各電廠能夠強化因應超越設計基準事故的能力。



圖 8: 美國核管會 Allison Mcfarlane 主席在參議院聽證會上做證

Mcfarlane 主席在提到福島近期所面臨之污水處理問題時，也指出與日本新成立的管制單位-「原子力規制委員會」(Nuclear Regulation Authority)，以及東京電力公司保持密切的聯繫管道，以掌握最新的資訊，及對美國電廠潛在可能得以改進的地方。同時美國各政府部門也提供必要有關除污及除役之技術支援，並隨時取得福島地區氣體排放的狀況，以及可能流入太平洋之放射性廢液濃度，基本上若漂抵美國西岸時，其濃度遠低於美國及國際管制單位所允許的限值，這次及時收集的資訊可供回應民眾的詢問。此部分有關東電與美國各聯邦機構聯繫的情形，與前述 Tateiwa 經理所言相符。

美國參議員 James Inhofe 在檢討有關日本福島事故的成因時，提及曾有資訊顯示由於文化及管制體制的不同，使得日本電廠在發生狀況時，必須層層上報，而美國則將操作機組的主要決定權由運轉單位負責，

他詢問核管會是否曾做過通盤之檢討。Mcfarlane 主席隨後答詢時，引用核管會於 2013 年 11 月出版之美日管制體系比較報告⁵，指出 3 年前當發生福島事故時美日兩國在核能電廠管制的差異。由於時間限制，Mcfarlane 主席引用該報告的主要結論指出，雖然管制法規上有差異，但並不能推論福島事故一定不會發生在美國，且由此次事故，更讓各界瞭解到多重機組發生毀損及長時間喪失所有電力的後果，必須積極提升救援能力並減輕事故後影響程度，這也是世界各國共同獲致的一項結論。

另檢視 Mcfarlane 主席在國會引之美日管制體系比較報告⁵的內容，核管會所做出兩國重要的管制差異節錄如下：

- 日本反應器設計及安全準則主要係依核能安全委員會(NSC)所出版之管制導則，惟導則並非法律要求文件，不過日本電廠持照者基本上仍都遵守這些管制導則。美國聯邦法規之電廠一般設計準則(GDC)，部分特定內容被納入日本的管制導則中。
- 日本導則中缺少超越設計基準事故之要求，包括：全黑事故(SBO)、預期暫態未急停(ATWS)、及恐怖攻擊等，對於海嘯及設計基準水災則沒有具體的管制導則加以規範。
- 日本嚴重核子事故因應措施並沒有考慮天然災害的情況，也沒有要求擴大損壞之緩和導則(EDMG)，美日兩國對圍阻體排放採用不同的策略。
- 在福島事故發生前，日本管制單位及工業界普遍認為發生嚴重核子事故的機率很低，從工程師的角度來看，幾乎不會發生嚴重核子事故。

雖然當 311 事故發生時美日兩國管制法規具有一定程度之差異，也可能導致福島事故過程之後果，但美國核管會也強調日本近三年重組核能管制單位，並制定新的安全標準及改善對核能安全監督管制的措施，而美國也經由本事故之經驗，增加了許多額外的管制要求及管制做為，使管制體系更為完備。

綜合心得

綜合以上有關福島事故三周年之演講及聽證內容，整理如下列心得：

- 一、由福島事故過程顯示，核安文化的根植，有時較硬體的改善更為重要，特別平時對安全意識的重視，當遇到安全疑義時，無論管制者或營運者應勇於提出改善要求或建議。特別是不能夠自滿，過去我國能夠緊追國際核能管制的腳步，隨時更新管制規範，但卻不能因此而放鬆或懈怠。
- 二、我國在福島事故後所進行之安全再評估(或總體檢)及壓力測試，對核能電廠提出不少改進的措施，某些項目需要較長時間之處理，應加以追蹤管制以加以落實。美國核管會三年多來，經由分組工作會議、指導委員會、安全諮詢會、及管制委員會之層層追蹤管制，以確保各強化項目依規劃向前邁進，很值得我國管制單位學習。
- 三、國際相互合作交流的重要性，在福島事故後也顯示無疑，我國不但維持與美國核管會密切之人員互訪及資訊交流，過去1年也經由國際經濟開發組織核能署及歐盟壓力測試專家團隊，肯定我國核安全管制的法規體系及做為。未來仍應持續與國際間進行交流，儘可能地爭取參與國際核安會議，以確實掌握最新管制動態及資訊。
- 四、我國核能電廠因應福島事故所發展出之「斷然處置措施」，使得操作人員的決策空間加大，應可使民眾的安全受到更多的保障，惟仍應經常性的加以演練，以防範於未然。同時研究單位針對事故序列及處置步驟之間的分析比對，仍有深入探討的空間，並應繼續與各國研究機構交換研究成果，以強化此斷然措施之理論基礎。
- 五、由於朝向低碳的家園是政府一貫的政策，核能在提供穩固電力來源及減碳上的貢獻不可磨滅，然因非核家園亦是政府法規上的目標，只是要如何過渡到綠色能源，以及要花多少的時間及代價，可能需要更為審慎的評估。日本近三年來接近非核家園的具體實現及所產貿易大幅赤字，可以做為一個好的借鏡。

參考資料

1. Nuclear Energy Institute, "Nuclear Energy Overview: Dec. 20, 2013-Jan. 9, 2014".
2. 程育甫博士，"福島事故的省思"，Jan. 28, 2014, Washington DC.
3. Kenji Tateiwa, "Fukushima Nuclear Accident- A TEPCO Nuclear Engineer's Perspective", February 4, 2014.
4. Allison Mcfarlane, "Written Statement: United States Nuclear Regulatory commission to the Senate Committee on Environment and Public Works", January 30, 2014.
5. USNRC, "A Comparison of U.S. and Japan Regulatory Requirements in Effect at the Time of the Fukushima Accident", November, 2013.