

出國報告（出國類別：其他）

洽訪日本日立公司、福島電廠、女川電廠 及大間電廠

服務機關：台灣電力公司 龍門核能發電廠

姓名職稱：王伯輝 廠長

派赴國家：日本

出國期間：102.8.25~102.8.31

報告日期：102.9.23

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：洽訪日本日立公司、福島電廠、女川電廠及大間電廠

頁數 19 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台灣電力公司/陳德隆/(02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

王伯輝/台灣電力公司/龍門核能發電廠/廠長/(02)2490-3136

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：102年8月25日~102年8月31日

出國地區：日本

報告日期：102年9月23日

分類號/目

關鍵詞：日立，福島核電廠，女川核電廠，大間核電廠

內容摘要：

日本福島核電廠事故後，各國均進行核電廠壓力測試及補強措施，以確保核能安全，台電也積極進行相關整備，例如斷然處置、生水池低壓注水、緊急電源…等補強措施建立。福島及女川兩電廠雖然遭受相同強度海嘯，但由於廠房安全高度設計不同，造成迥然不同的結果；女川電廠的設計基準及改善經驗，非常值得台灣參考。此次日本訪問，親訪海嘯受創之福島電廠及女川電廠，更能掌握災後復原及改善最新狀況，由日本實際經驗審視台電現有及未來的核安改善措施。

大間電廠與龍門電廠均為建造中的進步型沸水式電廠(ABWR)，新式的大型模組建造工法及試運轉測試現況值得龍門電廠參考。日立公司承造龍門電廠廢料廠房、微調控制棒驅動及控制系統…等多項工作，參與日本核電廠新建工程及福島核電廠海嘯災後重建，洽訪日立公司從承商角度瞭解新建造技術及重建現況。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.nat.gov.tw/reportwork>)

目 錄

	頁次
壹、國外公務之內容與過程.....	1
一、出國目的.....	1
二、行程與工作項目.....	1
貳、執行過程與內容.....	2
一、洽訪日立總公司.....	2
(一) 日立公司之組織型態及營運現況.....	2
(二) 日立公司於龍門電廠參與之主要工作.....	3
(三) 日立公司對福島事件後之具體因應措施.....	3
二、洽訪福島電廠.....	5
(一) 主要參訪行程.....	5
(二) 福島一廠參訪記要.....	5
(三) 善後工作狀況.....	6
(四) 地震及海嘯所造成的損害.....	8
(五) 除污與除役議題.....	8
三、洽訪女川電廠.....	9
(一) 主要參訪行程.....	9
(二) 女川電廠簡介.....	9
(三) 女川電廠安全停機的主要因素.....	11
(四) 女川電廠因地震及海嘯設備損壞情形.....	11
(五) 女川電廠重要補強措施.....	12
四、洽訪大間電廠.....	15

(一) 主要參訪行程.....	15
(二) 大間電廠參訪記要.....	15
參、國外公務之心得與感想.....	19
肆、建議事項.....	19

圖目錄

頁次

圖一：2013 年 8 月 26 日福島一廠 1~4 號機組狀態概要.....	6
圖二：福島一廠四號機 2013 年 11 月準備從用過燃料池取出燃料	7
圖三：福島一廠四號機從用過燃料池取出燃料過程即時監測結構物完整	7
圖四：女川電廠的高壓電盤更新前後.....	12
圖五：女川電廠的輔助廠房進水示意圖.....	12
圖六：女川電廠增建防海嘯牆高度示意圖.....	13
圖七：廠房間管道封板以鋼構補強.....	14
圖八：絕緣礙子改用 V-type 的懸掛.....	14
圖九：MOX 燃料特性	16
圖十：大間核能電廠強化核能安全的各項改善.....	18

表目錄

頁次

表一：女川電廠三部機組事故前後狀態.....10

表二：女川電廠與福島電廠主要差異一覽.....11

壹、國外公務之目的與行程

一、出國目的：

日本福島電廠事故發生後，對國際及台灣社會影響重大，龍門電廠亦加強各項核能安全措施。台電為更深入了解日本福島核能電廠之核能緊急事故處理經驗，選派龍門電廠 王廠長於 8 月 25 日~8 月 31 日拜會日本日立公司及參訪福島電廠、女川電廠、大間電廠，其中大間電廠為日本目前進度與龍門接近之 ABWR 電廠，尤其值得參考。

本次出國藉由實地參訪瞭解福島電廠災後復原情形、女川電廠緊急應變措施、大間電廠施工與試運轉現況，以期對龍門電廠目前遭遇之試運轉困難問題及因應複合式災害得以借鏡及精進緊急計畫應變措施。

二、行程與工作項目

102 年 08 月 25 日	往程(台北→日本東京)
102 年 08 月 26 日	洽訪日立總公司
102 年 08 月 27 日	洽訪福島電廠緊急應變計畫及災害復原情形
102 年 08 月 28 日	洽訪女川電廠緊急應變措施
102 年 08 月 29 日	洽訪大間核能電廠工程進度與試運轉測試情形
102 年 08 月 30 日	討論大間核能電廠新建工程之特殊措施(青森→東京)
102 年 08 月 31 日	返程(日本東京→台北)

貳、執行過程與內容

一、洽訪日立總公司

(一) 日立公司之組織型態及營運現況。

1. 日立公司之組織型態：

日本日立(HITACHI)公司成立於西元 1910 年之羨城縣(Ibaraki)，日本日立(HiTACHI)公司核能部門與美國奇異/通用電氣公司(GE)核能部門基於兩公司已合作五十年經驗並期待發展及提升最新型的沸水式核子反應器(BWR)，於 2007 年 7 月 1 日在日本成立 HITACHI-GE NUCLEAR ENERGY 公司，簡稱 HGNE。相對地，美國奇異/通用電氣公司(GE)核能部門與日本日立(HiTACHI)公司核能部門於 2007 年 6 月 4 日在美國成立 GE-HITACHI NUCLEAR 公司，簡稱 GEH。

2. 日立公司營運現況

日立公司於 2012 年 3 月統計之淨資產達 9.4 兆日圓(YEN)全世界共有 32 萬 5 千多名員工，事業種類範圍包含汽車系統、資訊&通訊、數位媒體、高效能材料、能源及社會基礎工程等等，其中能源事業約佔 8%之營收。

能源事業旗下之核能部門即為 HGNE 公司，目前主要事業項目有：

- A. 共有兩個核能機組(大間 OHMA-1 號機、島根 SHIMANE-3 號機)正在興建中。
- B. 提供核能反應器大修機組維護保養(20 個機組)。
- C. 電廠變更設計修改(Modification)及延壽(Life Extension)。
- D. 核燃料循環處理事業部分現有文殊(MONJU)快滋生反應器正在除役及六所村(Rokkasho)興建之中期處置及儲存場。

3. HGNE 具有涵蓋核電廠全部壽命過程的各種能力
 - A. 設計：整合式電腦輔助工程(CAD)提供最佳化的設計、視覺與資訊管理。
 - B. 組件製造：可製造各式反應爐內重要組件，如反應器壓力槽(RPV)、蒸氣乾燥器(Steam Dryer)、蒸氣分離器(Moisture Separator)、爐心側板(Core Shroud)、控制棒(Control-Rod)及其驅動機構(FMCRD)等。
 - C. 燃料供應：具有核電廠之燃料製造與供應能力。
 - D. 電廠施工(大間電廠即為目前模組化施工之典型範例)：模組化的施工方式，如上乾井(Upper Drywell)模組、淨化水熱交換器(RWCU HX)模組、冷凝器(Condenser)模組、液壓控制單元(HCU)模組等等，可增進施工正確性，並大幅縮短施工時限。
 - E. 電廠維護：已具有四十年，維護數十個核能廠大修的經驗。

(二) 日立公司於龍門電廠參與之主要工作

1. 廢料處理系統(Radwaste Process System)。
2. 補充水系統(Make-up Water System)。
3. 微調控制棒驅動及控制系統(Fine Motion Control Rod Drive Mechanism and Control System)。

(三) 日立公司對福島事件後之具體因應措施

1. 增進 BWR 冷爐停機之安全餘裕的基本程序

當沸水式反應器(BWR)發生嚴重事故，「餵溢法」(Feed & Bleed)是直接移除爐心熱量的最有效的方式。

連續的高壓注水與降壓後的低壓注水以防止爐心熔毀並配合一次圍阻體排氣功能，將提供穩定的爐心冷卻功能。此外為確保上述功能操作之可靠性，需特別加強交流與直流電源設備之供應。當上述方法完成，爐心餘熱將可移除，達成安全停機目標。

2. 防範福島事件的主要具體因應措施
 - A. 在後備廠房(Backup Building)增加替代交流電源(Alternate AC source)。
 - B. 在後備廠房(Backup Building)增加反應爐冷卻水注入系統(FLS)。
 - C. 增加額外(Additional)的安全釋壓閥(SRV)電源，以利反應爐降壓。
 - D. 以消防車適時地注水於一次圍阻體(Alternate PCV)噴灑/用過燃料池(SFP)及反應爐穴(Reactor Well)冷卻水注入系統。
 - E. 加強型(Enhanced)的一次圍阻體排氣系統(Containment Over Pressure System, COPS)
 - F. 於反應器廠房加裝水密門(Water Proof Door)
 - G. 以貨車改裝為移動式餘熱移除系統(Mobile Alternate Heat Removal System)，熱交換器二次側以軟管連接至海水沉水泵，經熱交換器後再回流大海，一次側連接目標冷卻區域(如用過燃料池)。
 - H. 成立事故監測緊急處理室(Accident Monitoring Emergency Response Room)

3. 日立公司對福島事故的斷然處置精進目標
 - A. 邁向世界最高安全水準。(Towards “The highest level of Safety in the world”)。
 - B. 以多重性(Redundancy)與多樣性(Diversity)增進安全餘裕(Safety Margin)，例如：柴油發電機(EDG)、加強直流發電設備(Reinforcement DC)。
 - C. 確保嚴重事故後熱沉移除功能安全性。(Securement of Heat Sink after Severe Accident)。

二、洽訪福島電廠：

(一) 主要參訪行程

1. 福島總事務所
2. 福島一廠
3. 安定化中心
4. 福島一廠除污與除役措施

(二) 福島一廠參訪記要

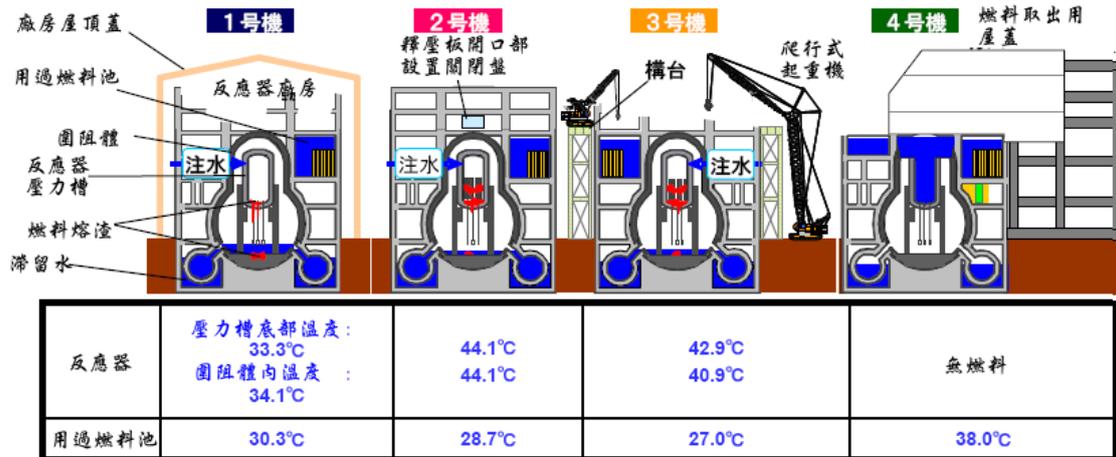
1. 地理位置：

福島一廠座落於日本福島縣雙葉郡大熊町及雙葉町，為東京電力公司的第一座核能發電廠，簡稱「1F」。共設有六個機組，總裝置發電量為 4.7 GWe，是全世界 25 個發電量最大的發電廠之一。首座機組於 1971 年商轉，計畫中的第七號機組及第八號機組因日本東北近海地震而停建。

2. 電廠機組狀況：

2011 年 3 月 11 日，日本東北外海發生規模 9.0 的強震，並引發大海嘯，除造成日本東北地區巨大損壞外，並造成日本境內在東北地區附近的核能電廠共有 11 個機組停止運轉，包含宮城縣的女川核電廠、福島縣的福島電廠及茨城縣的東海第二核電廠。在地震當時，福島一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，進入電廠全黑事故(Station Blackout)，日本政府宣告福島一廠進入緊急狀態。福島一廠於地震後一至四號機組相繼發生氫爆與輻射外洩事件，並撤離周圍範圍達 20 公里的居民，被列為國際核能事件分級制度(INES)最嚴重的第七級事故。目前六部機全部停機，處理事故

後後續相關事宜中。因事故受損的 1 至 4 號機組狀態如附圖一所示。



圖一：2013 年 8 月 26 日福島一廠 1~4 號機組狀態概要

(三) 善後工作狀況

311 事故後，東京電力公司及相關大廠家等全力處理災後的善後工作，主要是各機組的電源恢復作業、冷卻設備的設置及後續污水的處理。2011 年 7 月完成第一階段作業(減少放射線劑量與穩定冷卻)，同年的 12 月達成第二階段作業(反應器冷爐停機)，隨後進行最終第三階段善後作業達成 1 至 4 號機廢機事宜。

第三階段工作的重點要先取出用過燃料池的燃料，首要事宜是將屋頂上與周遭的瓦礫清除，並安裝取出燃料之取出設備，目前則以廠內各建築內滯留水的處理，及流向海的洩漏污染水為重要課題。整體工程概況如下：

1. 由於 4 號機沒有反應爐熔損的輻射線顧慮，先進行 4 號機善後相關工作，2013 年 7 月 13 日完成大吊車與燃料填換車的吊入工作，如圖二所示。隨後在 7 月 20 日完成廠房蓋住燃料池，過程中對廠房結構隨時監測。燃料取出用屋蓋，8 月進入測試，準備 11 月開始取出燃料，如圖三所示。
2. 4 號機用過燃料池內瓦礫清除工作已開始。8 月下旬開始有夜間工作之安排，確認爐水的濁度、瓦礫狀況。瓦礫清除作業於 11 月燃料取出後仍繼續。
3. 遙控清除機械人(ASTACO-SoRa)已完成 3 號機反應器廠房 1 樓瓦

礫清除工作，訪問時，開始進行 1 號機的瓦礫清除工作。

4. 一號機用過燃料池進行調查工作，由下層溢水槽以攝影機插入，試圖了解其狀況，惟因劑量太大暫停，準備 9 月再開始。

在福島一廠復原工作中發生不少異常工安事件，從教訓中整理有五項活動要展開：

1. 重 100 公斤以上的東西，原則使用起重設備。
2. 發現身體不適者，立即送至醫務室。當身體不適者超過一人時，應通報事務所處理。
3. 高處作業使用雙重安全帶，並確保至少有一個掛著。
4. 活用預知危險，落實於現場工作。作業中發生變化或變更時，立即報告、聯絡，再度實施預知危險，經確認後再開始。
5. 一定要遵守交通規定。

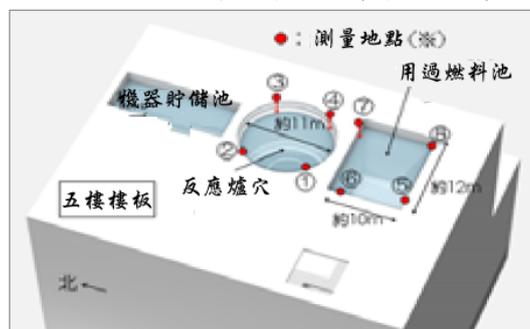


燃料取出用屋蓋內部



燃料取出用屋蓋外部

圖二：福島一廠四號機 2013 年 11 月準備從用過燃料池取出燃料



反應器廠房的健全性確認方法

圖三：福島一廠四號機從用過燃料池取出燃料過程即時監測結構物完整

(四) 地震及海嘯所造成的損害

福島核電廠內六個沸水反應爐機組，在 311 大地震發生時，4、5、6 號機正處於停機狀態。當偵測到地震時，1、2、3 號機組立刻進入自動停機程序。因此，廠內發電功能停止，由於機組與電力網的連接也遭受到大規模損毀，只能倚賴緊急柴油發電機與冷卻系統。但是，隨即而來的大海嘯淹沒了緊急發電機室，損毀了緊急柴油發電機，冷卻系統因此停止運作，反應爐開始過熱。地震與海嘯造成的損毀也阻礙了外來的救援。在之後的幾個小時到幾天內，1、2、3 號反應爐經歷了爐心熔毀。員工們努力設法使反應爐得以冷卻，但卻又發生了幾起氫氣爆炸事件。政府命令使用海水來冷卻反應爐，徹底打消了未來修復反應爐的念頭。

爲了避免輻射外釋造成附近居民健康受損，於 3 月 12 日，日本內閣官房長官枝野幸男發布緊急避難指示，要求福島核電廠周邊 10 公里內的居民立刻疏散。他表示：「因爲核反應爐無法進行冷卻，爲預防萬一，希望民眾緊急避難。」輻射半徑 10 公里範圍內的居民都被迅速疏散，規模約 4 萬 5000 人左右。稍後，又將疏散半徑擴展至 20 公里。這段期間在核電廠內工作的員工都遭到輻射曝露，當輻射量過高的時候，還必需暫時撤離工作崗位。經過多日努力，於 3 月 20 日，電力網終於恢復供電，使得各個機組能夠陸續重新獲得冷卻功能。

(五) 除污與除役議題

目前東電已著手進行福島一廠除污與除役工作，除污與除役所需的中期至長期計畫書已由日本「經濟產業省(METI)」管轄的「自然資源和能源廳(ANRE)」以及「核能工業安全廳(NISA)」等政府機關部門所批准。

“步步淨化措施”也已在廠區內實施，東電在 2012 年 3 月，完成福島電廠 1、3 號機之廠房包覆工程；屏蔽水牆則將在 2014 前完成設置，避免受污染的地下水滲到大海。後續會以水淹蓋反應爐壓力槽內部，待水淹蓋反應爐上方爐穴後，打開爐蓋並進行壓力槽內部狀況檢視；在 2015 年 3 月底開始調查由 1~3 號機反應爐滲出的污染水流

向，並進行反應器廠房內部設備之除污工作。東電的目標是減少公眾和工作人員之輻射曝露量，並同時致力於減少廠外輻射劑量，將廠址邊界外的有效劑量保持在每年 1 毫西弗以下。東電福島一廠除污與除役工作計劃分成三個主要階段：

1. 第一階段：將 1~4 號機的四個用過燃料池的燃料移出
2. 第二階段：從 1~3 號機三個爐心融毀的反應爐進行燃料爐渣移除
3. 第三階段：1~4 號機電廠設施的除污與除役

東電預定在 2013 年內開始的十年內依序進行 4 號機、3 號機、1 號機、2 號機燃料池之燃料移除。在這段時間，東電亦將決定使用何種後續處理措施和何種廢料貯存方法來進行未來核電廠的除役工作。

目前最大的議題之一是「輻射污水外洩問題」；參訪前一週的 8 月 20 日，東電坦承有污水儲存槽外洩，高達 300 噸的污水流出，輻射濃度高達每公升 8000 萬貝克，外洩量為迄今最多。這是自核災危機發生以來最嚴重的輻射污水外洩事件，污水滲入土壤的可能性很高，儘管東電堅稱並未流入海洋，但原子能規制委員會對此說法存疑，要求東電調查。

福島核一廠內共設有 1000 多座儲水槽，這是儲水槽第 4 次污水外洩。此次洩漏的儲水槽是位在距離海岸線約 500 公尺的高地，可能由所設的 26 座鋼製污水儲水槽之一座流出。

三、洽訪女川電廠：

(一) 主要參訪行程

1. 女川電廠 PR 館
2. 女川電廠
3. 女川電廠對地震海嘯改善因應措施

(二) 女川電廠簡介

女川電廠擁有壹部 BWR-4 機組(與核一廠同型)及兩部 BWR-5 機組(核二廠為 BWR-6 機組)，分別於西元 1984 年、1995 年、2002 年商

轉，三機組總發電量為 2174 百萬瓦(MW)。三部機組均在海嘯發生後安全停機，未釀成任何輻射線外釋災害。

女川電廠與福島電廠位於同一區域，在這次日本海嘯災難遭受海嘯高度也相同，但女川電廠卻能安全停機(詳見表一)，未釀成福島電廠般嚴重災害，主要在於女川電廠電源並未喪失，保有一個外電饋線及六台緊急柴油機可用，沒有電廠全黑(Station Blackout)嚴重事故。另一方面海水循環泵(Sea Water Pumps)安裝高度比此次海嘯高度高，且安裝於鋼筋混凝土建築物內，未遭海嘯淹沒損壞，保有最終熱沉，持續提供反應爐降溫。

表一：女川電廠三部機組事故前後狀態

		一號機 (BRW-4)	一號機 (BRW-5)	一號機 (BRW-5)
地震前		運轉中	起動中(2:00 臨界)	運轉中
地震後	停機	2:46PM(3/11)	2:46PM(3/11)	2:46PM(3/11)
	冷停機 ($\leq 100^{\circ}\text{C}$)	0:58AM(3/12)	2:49PM	2:49PM(3/12)
	Containment	無任何異常輻射排放		

(三) 女川電廠安全停機的主要因素：

從兩個電廠設計差異瞭解女川電廠安全停機的原因，可作為台電重要改善參考(詳見表二)。

1. 廠房基礎高度：女川電廠因廠房基礎設計高度大於本次海嘯高度，使廠房免於海水淹沒損壞。此外電廠最終熱沉(Heat Sink)海水循環泵安裝高度也大於此次海嘯高度，並安裝於鋼筋混凝土建築物中，免於海嘯淹沒之損壞，保有最終熱沉，持續提供反應爐降溫，是女川電廠安全停機的主要原因。

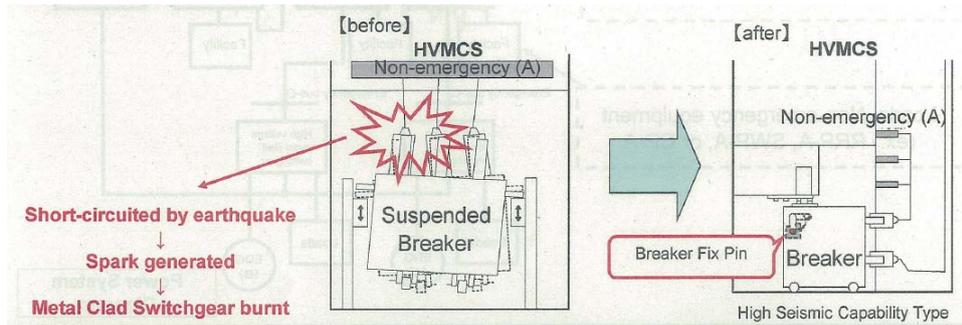
表二：女川電廠與福島電廠主要差異一覽

內容	女川電廠	福島電廠	龍門電廠
廠房高度 (設計海嘯高度)	13.8 公尺 (9.1 公尺)	10 公尺 (3 公尺)	龍門電廠預估海嘯高度為 8 公尺，廠房設計高度 12 公尺，未來會增建防海嘯牆。
本次海嘯平均高度 (最大海嘯高度)	9.1 公尺 (13 公尺)	5.7 公尺 (13 公尺)	
未來房海嘯牆高度	從目前 3 公尺提高至 12 公尺		
海水泵(Sea Water Pump)高度	14.8 公尺 (未遭淹沒)	4 公尺/開放式廠房(海嘯淹沒損壞)	採鋼筋混凝土廠房，並有水密門隔絕。
AC 電源(外電)	1 迴路可用 (3 迴路喪失)	7 迴路全喪失	
緊急柴油機	6 台可用 (2 台喪失)	全喪失 (海嘯淹沒損壞)	

2. 女川電廠外電並未全部喪失：電廠全黑(Station Blackout)事故是核電廠最嚴重事故之一，女川電廠雖然喪失三個外電迴路，仍然保有一個外電迴路可用，可持續提供反應爐冷卻所需電源。女川電廠改善措施亦包括增強外電耐震能力，減少電廠全黑機率。

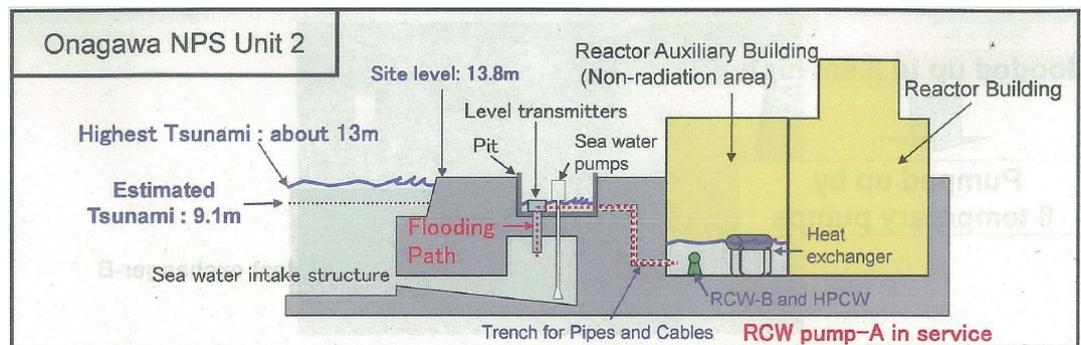
(四) 女川電廠因地震及海嘯設備損壞情形：

1. 高壓電盤燒燬：高壓電盤(High Voltage Clad Switchgear)在地震中因搖晃造成短路燒燬。女川電廠將高壓電盤更換為耐震型。(圖四)



圖四：女川電廠的高壓電盤更新前後

2. 輔助廠房進水：雖然女川電廠未遭海嘯全面淹沒，但部份海水仍循電纜及管道間進入輔助廠房，造成反應器廠房冷卻系統 B 串(RCW/相當於龍門電廠 RBCW 系統)及高壓注水系統(HPCW/相當於龍門電廠 HPCF 系統)遭水淹沒達 2.5 公尺。(圖五)

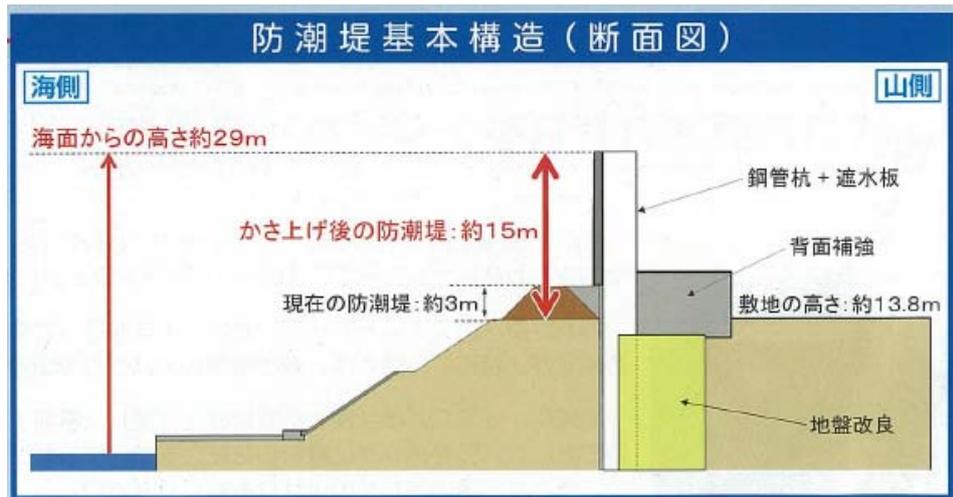


圖五：女川電廠的輔助廠房進水示意圖

3. 外電喪失三迴路：女川電廠雖然最後仍保有一個外電迴路，其他三個迴路卻因地震損壞。改善措施包括加強外電耐震能力。

(五) 女川電廠重要補強措施：

1. 增建防海嘯牆：原海堤高度為 3 公尺，女川電廠增建 15 公尺高，800 公尺寬之防海嘯牆，未來可抵禦海嘯高度達 29 公尺。(詳見圖六)。防海嘯牆高度大幅增加原因，主要是預估的海嘯高度由原來的 13.6 公尺增加為 23 公尺。



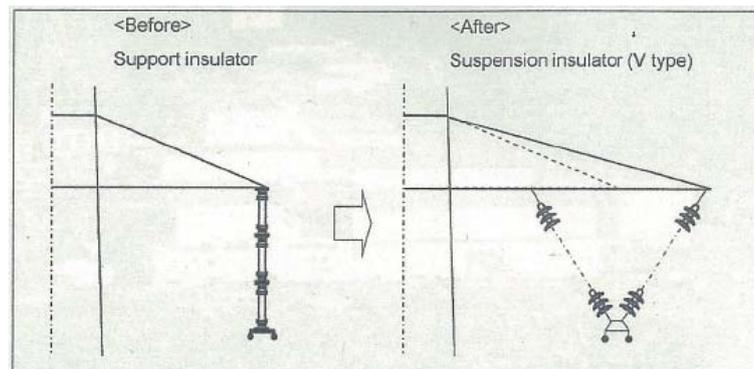
圖六：女川電廠增建防海嘯牆高度示意圖

2. 增設移動式緊急電源車：女川電廠增購 6 台移動式緊急電源車，供大電力電動注水泵使用。設置在海拔 60 公尺，並預先拉設電纜線及接頭，可以在最短時間完成供電。
3. 增建緊急柴油發電機：在海拔 52 公尺增設三個緊急柴油發電機(每部 5000KW)，可完全替代原緊急柴油發電機。角色相當於台電三個運轉中核電廠的「全黑起動汽渦輪發電機」，是女川電廠及福島電廠在海嘯前沒有的。「全黑起動汽渦輪發電機」可大幅增加電源可靠度，雖然龍門電廠原設計並無「全黑起動汽渦輪發電機」，但已確定在開關場增建，顯示台電對於捍衛核能安全的決心。
4. 增設移動式海水循環泵：安裝於大型卡車上，當海水循環泵遭水淹沒損壞時，可緊急提供每小時 1600 噸海水至反應器冷卻系統，以確保「餘熱移除系統(Residual Heat Removal System)」運轉，持續冷卻反應爐。
5. 加強各廠房間的管道密封性：海水循著電纜及管道間，衝破原有的填封進入輔助廠房，造成廠房淹水達 2.5 公尺，女川電廠將廠房間管道封板以鋼構補強如圖七。



圖七：廠房間管道封板以鋼構補強

6. 增加外電迴路耐震能力：外電迴路的絕緣礙子原為一字垂掛方式，遭地震損壞，女川電廠改用 V-type 的懸掛方式，增加外電耐震能力。（如圖八）



圖八：絕緣礙子改用 V-type 的懸掛

7. 增設圍阻體過濾排放裝置：此次福島電廠為了避免放射線外釋，圍阻體未能及時洩壓，導致爆炸損壞，造成更嚴重事故。女川電廠新增設「圍阻體過濾排放裝置」以確保圍阻體完整性，避免破壞後造成嚴重輻射外釋。
8. 加強訓練：針對此次「電廠全黑事故(Station Blackout)」在模擬器加強訓練運轉員應變能力，並實際演練上述改善措施如移動式電源車、移動式注水設備。

四、洽訪大間電廠

(一) 主要參訪行程

1. 大間電廠施工處
2. 大間電廠對地震及海嘯之因應措施

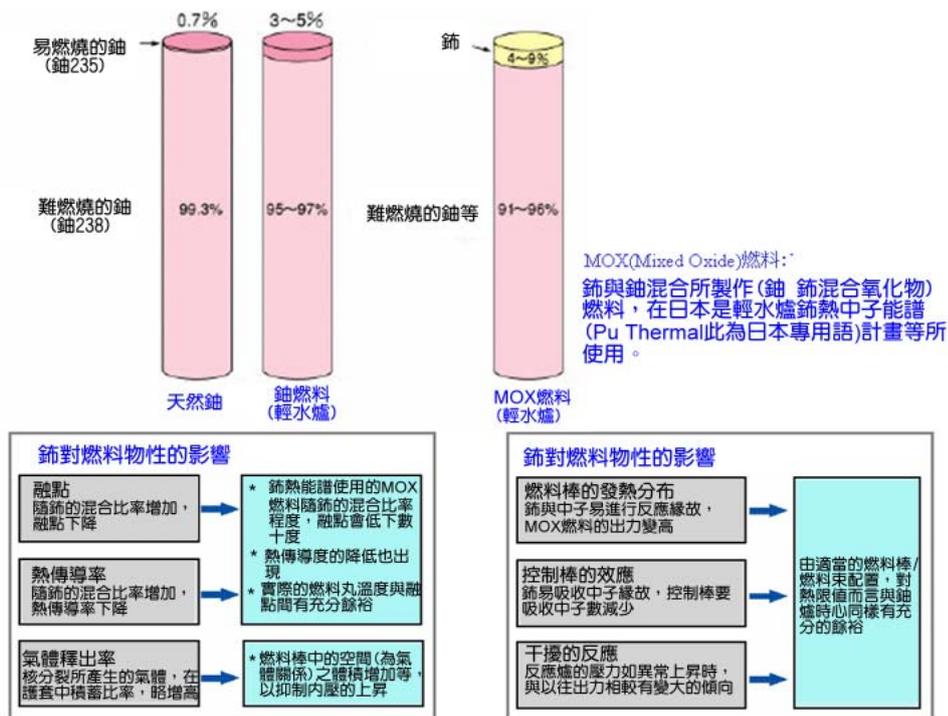
(二) 大間電廠參訪記要

1. 地理位置

日本電源開發株式會社（原 Electric Power Development Co, EPDC，2007 年更名爲 J-Power）建造大間核能電廠，該電廠位於日本本州最北端的青森縣下北半島的大間町，面積 1 百 30 萬平方公尺，隔著輕津海峽與北海道相望。

2. 機組簡介

大間電廠擁有 1 座總容量 1,383 MWe 的進步型沸水式反應器（ABWR）。由於強化耐震設計，所以將動工時間自預定的 2007 年 8 月延後至 2008 年 5 月。J-Power 表示大間-1 號機的爐心將全部採用 MOX 燃料（舊式電廠爐心的 MOX 燃料通常僅使用 1/3 ~ 1/4），因此必須對原 ABWR 標準設計進行變更。由於 MOX 燃料的反應度與熱限值高於傳統低濃縮鈾燃料，因此必須加大爐心高壓注水系統（HPCF）流量、增加安全釋壓閥數量、增加控制棒的中子吸收本領與自動燃料檢查設備，以減少工作人員輻射劑量，乃是 MOX 燃料的特性所致，如圖九所示。



圖九：MOX 燃料特性

大間核能電廠與本公司龍門電廠均屬 ABWR 機組,但同中有異,主要差別是日式設計與美式設計不同,要點如下:

- 反應器廠房與汽機廠房佈局:大間電廠採 L 式,龍門電廠採 I 式。
- 爐心燃料:大間電廠採全部 MOX 燃料,龍門電廠尚未引進,萬一引進也是 1/3 至 1/4 的爐心量燃料。
- 因大間電廠爐心全部採用 MOX 燃料,所以硼液注入槽加大、某些控制棒的吸收效應加大、安全釋壓閥的容量加大、燃料檢查設備變更。
- 緊急爐心冷卻系統:增大高壓注水系統(HPCF)流量。
- 微調控制棒驅動系統:大間電廠採用電磁耦合全爐心 100 步控制,龍門電廠採步進馬達全爐心 200 步。
- 控制室盤面色澤管理:大間電廠採傳統色彩管理,龍門電廠採美國太空總署的色彩管理。

G. 儀控系統: 大間電廠延續日本的數位控制設計，龍門電廠採美國奇異公司數位控制

3. 目前建廠狀況

A. 建設工法特徵：

(1) 反應器廠房採全天候施工法，尤其每年 12 月至次年 3 月間的惡劣天候可施工(氣溫低與風速大於每秒 6 公尺或以上)。

(2) 採用大型模組施工法。

(3) 採用強化鋼板混凝土(RCCV)結構。

B. 過去日本核能機組何時可裝填燃料，何時商轉時程的控制極為準確，但 311 福島一廠事故發生後，政府在 2012 年 9 月新成立的原子力規制委員會，該會在 2013 年 7 月公佈「新安全基準」是所有核能機組再起動或新裝填燃料必須遵守的規定，其中有不少新要求是原先核能電廠設計所未考量，更何況原子力規制委員會組織上人力不足，一時對全國約 50 座機組要申請再起動或裝填燃料顯然短期不易處理。

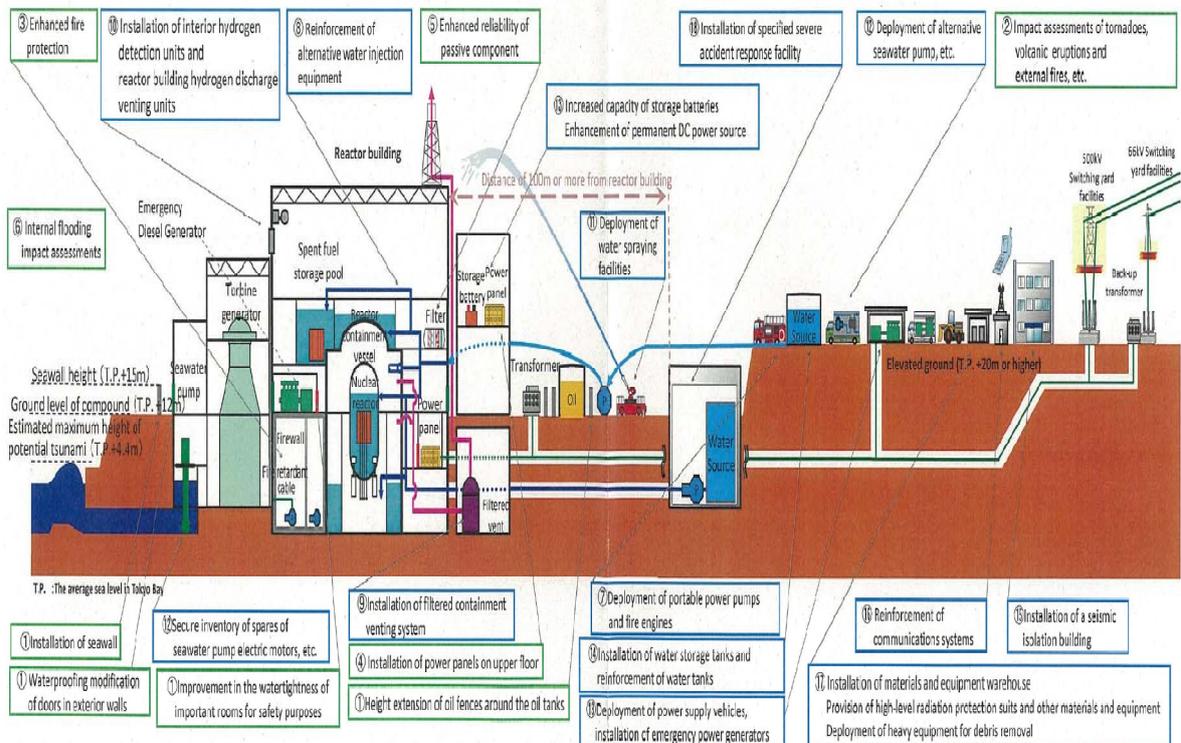
4. 推動鈾-鈾混合物燃料【Mixed Oxide (MOX) Fuel】的背景

日本多年致力於推動以用過燃料再處理，重新回收其中鈾-239，製成 MOX 燃料供各電廠使用的「pluthermal」政策，確保日本的能源政策。目前使用的 MOX 燃料都是由法國或英國製造，未來日本原燃株式會社（Japan Nuclear Fuel Ltd, JNFL）在六所村核燃料再循環基地移殖以法國核燃料公司（AREVA）的 La Hague 再處理技術為基礎，採用改良式鈾鈾萃取技術（PUREX），規模 800 公噸，生產出鈾、鈾各佔 50% 比例的混合物，因不將鈾元素單獨分離出來，故可減少核子武器擴散的疑慮。經過漫長的 13 年建廠與 28 個月的測試，六所村燃料再處理廠在 2009 年底竣工。J-Power 估計僅僅一座大間-1 號機就用掉六所村再處理廠每年 1/4 的產能。

J-Power 旗下以燃煤電廠為主力，大間電廠是該公司第一座核電廠。該公司表示，無碳的核能發電有助於大幅降低該公司單位發電的排放量，而且是建立穩定久遠的企業平台的關鍵因素。

5. 311 地震及海嘯後的因應措施

大間核能電廠雖是興建中的核能機組，但將來興建告一段落準備裝填燃料，也要通過原子力規制委員會的「新安全基準」各項規定檢視後才可裝填燃料。針對日本原子力規制委員會 2013 年 7 月所公佈的新安全基準，一方面是強化舊有設計基準，另是將重大事故因應的要求也列入。所謂重大事故除過去大家熟知的嚴重事故因應外，要考量天然災害、反恐(包括飛機衝撞)、超過設計基準的各項事故。基本因應是強化設計基準的因應、鞏固固定設備與活用移動式救援措施，平常對人員訓練、通訊、緊急計畫等強化準備事宜。大間電廠強化核能安全簡要作為如附圖十所示。



圖十：大間核能電廠強化核能安全的各項改善

參、國外公務之心得與感想

- 一、此次日本訪察深入311海嘯罹災區之福島電廠及女川電廠，深切體會到核能安全是需要全力以赴，不能存有任何一絲僥倖，唯有秉持虛心檢討、確實改善的態度才能確保最高的核能安全。
- 二、雖然女川電廠在311日本海嘯事故可以安全停機，為更加強核能安全，也進行多項改善措施，包括防海嘯牆、緊急電源設置、移動式熱沉(供RHR熱交換器使用)及外電耐震能力提高。
- 三、女川電廠及福島電廠在海嘯前均未設置「全黑起動氣渦輪發電機」，造成此次事故中福島電廠嚴重的災難。台電在複合型電廠喪失外電事故因應上採用增加電源可靠度，雖然龍門電廠原設計並無「全黑起動氣渦輪發電機」，但已確定在開關場增建，更顯示台電對於捍衛核能安全的決心。
- 四、台電四座核電廠在高處均設有「生水池」，在所有高壓注水系統及低壓注水系統均失效時，做為替代「被動式低壓注水」，此注水方法不需電源動力，是利用高度位能差將水注入爐心冷卻。目前女川電廠並無設置「生水池」規劃，而是以移動式電源及移動式注水設備做為補強措施。

肆、建議事項

- 一、由女川電廠之經驗得知，廠內任何穿越器應確實封填；例如：從泵室到廠房之間的電纜/管路通道是女川電廠輔助廠房淹水的路徑，各個廠房間的穿越路徑應該確實封填，才能避免類似事件。
- 二、為降低複合式災害對核能廠之影響，移動式設備宜先準備；例如：移動式高壓電源的電纜及接線箱、移動式注水設施的連接管路均應預先設置，才能在事故後快速安裝，達成安全停機。
- 三、訪問期間對大間之模組化工程印象十分深刻，預先規劃，在廠外組裝完畢後再吊入廠區，對設備保養、人員安全、異物入侵等均有極大之好處；可供爾後興建電廠之借鏡。