

出國報告（出國類別：開會）

參加 OECD/NEA 之  
BWR 管制工作組第 3 次會議

服務機關：行政院原子能委員會

出國人職稱：技正  
姓名：陳彥甫

出國地區：瑞士伯恩

出國期間：108 年 3 月 25 日至 108 年 3 月 28 日

報告日期：108 年 5 月 24 日

## 摘要

本次公差目的為赴瑞士伯恩近郊的 Mühleberg 核電廠參加 OECD/NEA 之 BWR 管制工作組第 3 次會議。BWR 管制工作組是 OECD/NEA 核能管制委員會之專案小組，專門處理 BWR 管制相關議題，有美國、日本、瑞典、芬蘭、英國、德國、西班牙、瑞士與我國等之核能安全管理機關參與。此次會議先由各國說明 BWR 管制現況與技術議題專案報告，再討論 BWR 管制工作組之工作計畫及關切之管制議題，本次會議已完成嚴重事故指引之工作計畫與問卷，下次會議將就問卷答覆內容進行深入討論，至於未列入工作計畫之 BWR 管制議題，經逐項討論後各項議題仍在處理中，下次會議將再挑選一個議題作為 BWR 管制工作組下一阶段的工作計畫，此外，因近期的燃料破損事件多與爐屑磨損有關，BWR 電廠的防止異物入侵(FME)優良實務也列入下次會議議程，希望透過各國分享其實務作為，發現值得參考精進之處。此次會議期間亦參訪 Mühleberg 核電廠，包含獨立緊急冷卻系統、廠外移動式救援設備、模擬器等，Mühleberg 核電廠在機組運轉安全方面已進行相當多的實質硬體設施改善，值得學習。本次會議過程與各國管制機關代表討論核能電廠管制實務，並進行技術交流，對於我國核能電廠安全管理之推展與提昇有實質效益，也進一步強化我國與各國核能管制機關官員之技術交流管道。

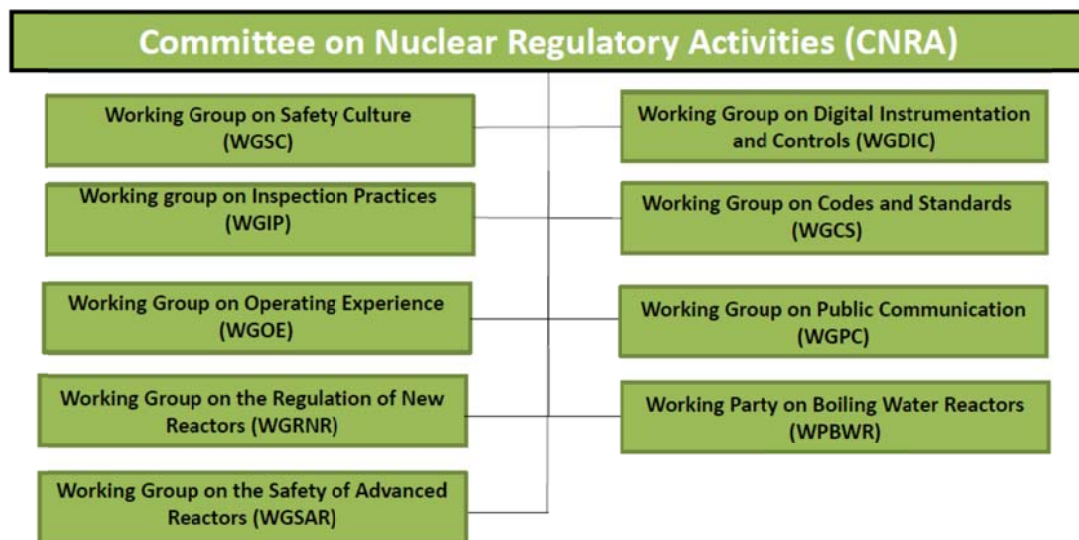
# 目 次

	頁碼
壹、目的 .....	1
貳、出國行程.....	3
參、過程紀要.....	4
肆、心得與建議 .....	11

# 壹、目的

經濟合作暨發展組織核能署(OECD/NEA)核能管制委員會(Committee on Nuclear Regulatory Activities, CNRA)因接獲跨國設計評估計畫(Multinational Design Evaluation Programme)進步型沸水式反應器(ABWR)工作組參與國家之建議，應增設專門處理沸水式反應器(BWR)與 ABWRs 相關管制議題之工作組。CNRA 於 2017 年 12 月開會討論後，即核准成立 BWR 管制工作組(Working Party on BWRs)。

核能管制委員會主要負責處理核設施安全管制、執照核發、視察等相關安全議題，提供各國管制機關一個資訊與經驗交流的平台，審視安全管制作法與運轉經驗，協同合作確保各國均符合安全高標準及強化管制效能。CNRA 是由各國管制機關高階官員所組成，目前下設 9 個專案工作組，處理特定技術議題。BWR 管制工作組是專責處理 BWR 管制相關議題，BWR 型式亦包含 ABWRs 與經濟簡化沸水式反應器(Economic Simplified Boiling Water Reactors, ESBWRs)。



圖一、核能管制委員會下設之 9 個專案工作組

BWR 管制工作組提供各國管制機關一個國際合作平台，可就 BWR 管制經驗與技術資訊進行交流，包含核電廠設計、建廠、運轉、除役等各方面，並藉由各國分享其觀點，聚焦 BWR 所面臨之安全議題與挑戰，進而予以強化。為達成此目標，BWR 管制工作組已邀請各國擁有或將興建 BWR 反應器之安全管制機關參加，期望利用協同合作方式找出關鍵的管制議題，並提出一致性的觀點、計畫或建議，經由 CNRA 核准或認同後，即可公開評估報告或提出具體之研發計畫建議。

BWR 管制工作組第 1 次會議於 2018 年 3 月召開，每半年召開乙次會議。因我國核能一、二廠與龍門電廠均屬 BWR 型式的反應器，我國原能會也接獲 BWR 管制工作組邀請，自 2018 年 9 月起參加 BWR 管制工作組會議，此次 BWR 管制工作組第 3 次會議是由陳技正彥甫代表原能會參加，與各國交流 BWR 管制經驗，以提升我國核能安全管制效能。

	日 期	地點
第 1 次會議	2018 年 3 月	瑞典
第 2 次會議	2018 年 9 月	法國巴黎
第 3 次會議	2019 年 3 月	瑞士伯恩

## 貳、出國行程

此次公差自 108 年 3 月 25 日起至 108 年 3 月 28 日止，共計 4 天，行程如下：

日期	行程	摘要
108 年 3 月 25 日	奧地利維也納→瑞士伯恩	去程
108 年 3 月 26-28 日	瑞士伯恩	參加OECD/NEA之BWR管制工作組第 3 次會議
108 年 3 月 28 日	瑞士伯恩→奧地利維也納	返程

## 參、過程紀要

BWR 管制工作組第 3 次會議於 3 月 25-28 日假瑞士伯恩近郊的 Mühleberg 核電廠召開，此次會議先由各國說明 BWR 管制現況與技術議題專案報告，再討論 BWR 管制工作組之工作計畫及關切之管制議題，以及未來會議時間與地點等，另外瑞士代表也安排工作組成員參觀 Mühleberg 核電廠。BWR 管制工作組共有 9 個國家之核能安全管理機關參與，

- 美國核能管制委員會(United States Nuclear Regulatory Commission, USNRC)
- 瑞典輻射安全局(Swedish Radiation Safety Authority, SSM)
- 芬蘭輻射暨核能安全管制局(Radiation and Nuclear Safety Authority, STUK)
- 德國核子反應器安全研究所(Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit , GRS)
- 西班牙核能安全委員會(Spanish Nuclear Safety Council , CSN)
- 瑞士聯邦核能安全督察委員會(Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate, ENSI)
- 英國核能管制辦公室(Office for Nuclear Regulation, ONR)
- 日本原子力規制委員會(Nuclear Regulation Authority, NRA)
- 我國原子能委員會

BWR 管制工作組主席為瑞典 SSM 的資深分析師 Mr. Lennart Bons，副主席則是美國 NRC 的資深反應器系統工程師 Mr. Eric Thomas，此次會議之與會人員一致通過這兩位代表繼續擔任主席與副主席的職務。此次會議除西班牙代表與英國代表未出席外，瑞典與日本各有 2 位代表出席，其餘各國則有 1 位代表出席，NEA 秘書 Mr. Thomas Buckenmeyer 表示西班牙代表告知因業務繁忙無法出席，另外，英國代表則因 Horizon 公司決定停止興建 ABWR 計畫，已通知 NEA 未來將不會再參與 BWR 管制工作組會議，NEA 秘書建議將英國 ONR 定位為休眠會員(Sleeping Member)，維持聯絡管道，未來本工作組若有 BWR 技術諮詢需求，仍可與英國核能管制單位聯繫，以便取得相關管制經驗。

NEA 秘書 Mr. Thomas Buckenmeyer 是新任的秘書，目前負責 CNRA 三個專案工作組的秘書業務，數位儀控管制工作組(Working Group on Digital Instrumentation and Controls, WGDIC)、法規與標準管制工作組(Working Group on Codes and Standards, WGCS)以及 BWR

管制工作組。另外，CNRA 為了加強委員會與各工作組之互動聯繫，將會有委員認領專責負責某一工作組，NEA 秘書表示目前尚未有 CNRA 委員表明要負責 BWR 管制工作組。

#### (1) 各國 BWR 管制現況與技術議題專案報告

- 瑞典

瑞典代表報告近期安全管制議題，主要與燃料破損有關，Forsmark 核電廠 2 號機發生燃料破損，曾於 2018 年 3 月進行短期性的大修，更換破損燃料。Forsmark 核電廠 3 號機則是於用過燃料池邊檢查破損燃料時，在吊運過程造成 20-30 顆燃料丸掉落，電廠已將掉落的燃料丸，全部撿起回收。

- 美國

美國代表說明 Duane Arnold 核電廠與 Pilgrim 核電廠預計於 2019 年永久停止運轉，Dresden 核電廠 2 號機與 3 號機則可能於 2020 年永久停止運轉，另說明 Grand Gulf 核電廠於 2018 年 12 月發生之異常事件，該機組在滿載運轉時，汽機旁通閥因線性變化差動變壓器 (LVDT) 訊號異常在 Over-Closed 而導致閥門開啟，運轉員無法關閉汽機旁通閥，所以將反應爐急停，但卻發生非預期之情形，控制棒驅動泵異常跳脫與主蒸汽隔離閥 (MSIV) 關閉，需利用 SRV 與 RCIC 控制機組狀態，惟 RCIC 系統壓差已達到運轉員於模擬器訓練所觀察到的數值，流量卻尚未建立，所以運轉員保守起見，則先起動 HPCS 進行爐心冷卻，但之後 RCIC 系統壓差更高一些時，RCIC 流量即建立。此事件顯示當運轉員已習慣模擬器訓練的相關參數，若機組實際運轉參數不同，也會影響運轉員判斷。

NRC 近期將更新反應器監管方案(Reactor Oversight Process, ROP)，考量業界參與、報告要求、視察時數、行動矩陣(Action Matrix)、獨立分析數據、法規等，並準備修改建議報告供大眾審閱。目前 NRC 已發表一份 SECY 文件 Recommendations for Modifying the Reactor Oversight Process Engineering Inspections，預計今年陸續還會針對電廠評估(視察發現、行動矩陣)、緊急應變整備、保安、輻射防護、基準視察計畫等 ROP 強化計畫項目，提出修改建議報告。

- 德國

目前德國運轉中之 BWR 核電廠僅有 Gundremmingen 核電廠機組 C，本次會議沒有報告新的管制資訊。



- 臺灣

此次會議說明我國核一廠 1 號機已進入除役階段，2 號機也將於 2019 年 7 月進入除役階段。因各國主動關切我國去年底有關核能議題之公投結果，我國代表簡要說明我國政府已依公投結果，刪除電業法第 95 條第 1 項所列核能發電設備應於 2025 年以前，全部停止運轉，另外，能源主管機關已就我國能源政策重新進行研議，並於 2019 年 1 月底公佈研議結果，決定現有核電廠機組仍如期除役且封存中的龍門電廠不會重啟。我國代表另向各國說明我國自 2000 年起發生 BWR 燃料破損之情形，並就核二廠 1 號機於 2016 年之燃料破損事件進行經驗分享，說明我方之改善措施，採用更保守積極之因應行動措施。

- 瑞士

有關 2014 年 Leibstadt 核電廠發現 SVEA-96 Optima2 燃料有破損，根據燃料廠家瑞典西屋公司(WSE)之肇因分析結果，認為最有可能的原因是發生燒乾(dryout)，但經過陸續檢查推測亦有可能是角落燃料棒局部積垢(Crud)過厚，造成局部熱傳效果變差而破損。目前該電廠預計 2019 年 6 月要再進行全面性的燃料檢查，並改採用 Atrium 10XM 燃料，因為該燃料型式並不會發生類似 Optima2 燃料束於角落燃料棒有局部積垢之情形，電廠希望在 2019 年 7 月開始的周期 36 能夠滿載運轉，但仍維持爐心流量限制在 95%以下之管制措施。

此次會議由瑞士管制單位報告 Leibstadt 核電廠 BWR-6 機組之再循環管路更新計畫(YUMOD)，該電廠已更換再循環管路，包含全新的管路、泵、馬達、閥門、儀控設備等，電動泵則是由速度控制，優點是無需使用流量控制閥與減少管路銲道，可改善再循環系統老化問題，增加運轉彈性，爐心流量最高可達 108%，但移除原有再循環泵 M-G Set 會使得機組起動與暫態行為有所不同，需進行詳細的安全評估。電廠針對原有安全分析所列肇始事件進行分析，分析結果顯示影響並不顯著，均可符合接受標準，但主要是會新增一項設計基準事故，因為頻率控制單元非安全等級，所以需考量發生再循環泵速快速增加(Fast increase of one/both recirculation pumps)之暫態事件，電廠在評估過程發現電動馬達設計有過度設計之情形，進而會導致爐心流量最高可達 172%，後來經過重新設計與搭配被動式回轉組件，可被動限制爐心流量最高在 135%，至於主動控制部分則可限制爐心流量在 117%。電廠已經評估再循環泵速快速增加事件對爐內組件、燃料完整性，燃料抬升等之影響，結果顯示皆

可符合接受標準。瑞士代表表示 YUMOD 計畫是極具挑戰的系統更換計畫，但可提升機組長期運轉安全與運轉操作之彈性。

- 芬蘭

芬蘭 Olkiluoto 核電廠有兩座 860 MWe 的 BWR，自 1979 年與 1982 年開始商業運轉，STUK 已核可其執照更新申請，兩部機可運轉至 2038 年。電廠為因應福島事故強化機組運轉安全與執照更新之目的，增設蒸汽驅動輔助飼水系統、消防水低壓注入反應爐、水源注入用過燃料池之救援系統、更新反應爐內再循環泵，汽機部分也有很多改善工作。但針對更新廠內所有緊急柴油發電機以及增設反應爐水位計之多樣性設計等計畫，目前執行進度有所延遲。

芬蘭 Olkiluoto 核電廠於 2018 年發生 3 件非預期反應器急停事件，前次發生急停是在 2010 年。Olkiluoto 核電廠 2 號機兩次機組急停原因是外部電網供應影響與開關場火災造成反應爐內再循環泵(RIP)跳脫，1 號機則是喪失汽機閥位資料導致反應爐內再循環泵(RIP)跳脫。經評估發現可能原因是反應爐內再循環泵(RIP)新更換之頻率轉換器，其保護功能比舊設備更為敏感，電廠正在調校保護參數，目前尚未完成最終分析。

- 日本

日本新規制基準於 2013 年 7 月生效，目前總共有 16 座 PWR 機組、11 座 BWR 機組向 NRA 提出新規制基準審查之申請，BWR 機組審查進度最快的是柏崎刈羽核能發電廠 6/7 號機與東海第二核電廠 BWR-5 機組，其中柏崎刈羽核能發電廠 6/7 號機 ABWR 機組之基準設計審查已完成，相關設計細節與運轉安全計畫需依據基準設計審查結果進行修訂，至於東海第二核電廠 BWR-5 機組之執照更新審查案已獲核准，基準設計審查與細部設計審查也已分別於 2018 年 9 月與 10 月完成，目前運轉安全計畫仍在審查中。

日本代表於此次會議介紹日本核能經營者、製造廠家與核能工業界於 2018 年 7 月成立之 Atomic Energy Association (ATENA)，期望核能工業合作處理共通性的核能安全相關議題，並作為核能工業之代表與管制機關進行對話，類似美國的核能協會 (NEI)。未來 ATENA 將以專業、透明、客觀的角度協助核能工業界界定核能安全相關議題，提出強化安全措施，並推動核設施經營者將這些安全措施納入各廠實際營運中。

## (2) BWR 管制工作組之工作計畫

分組長瑞典代表報告嚴重事故管理指引(Severe Accident Management Guideline, SAMG)之工作計畫，此計畫目的是要透過問卷收集各國對 BWR 型式之嚴重事故管理指引相關管制措施，根據 IAEA NS-G-2.15 Safety Standards: Severe Accident Management Programmes for Nuclear Power Plants for protecting people and the environment，SAMG 是用於減緩事故，在此階段，事故進展過程會有很多不確定因素，包含機組狀態與採取行動之後果，因此 SAMG 會提供各種可能行動之指引，包含優點與缺點。另外，需考量處理嚴重事故之現象有(1) 圍阻體過壓 (2) 氫氣燃燒 (3) 蒸汽爆發 (4) 長期冷卻爐心熔渣 (5) 高壓熔穿(6) 爐心熔渣與混凝土交互作用 (7) 再臨界。此工作計畫之問卷內容涵蓋四個面向，首先是一般性的問題例如法規、SAMG 與 EOP 之介面，管制機關視察等，其次則是嚴重事故情境、長期管理與人員訓練等。與會代表對此工作計畫之問卷題目均無進一步意見，西班牙代表與美國代表甚至都已經有初步答案，此次會議決議各國需於下次會議前提供問卷答案，並於 9 月開會期間進行深入討論。

有關反應爐水位計之多樣性設計，此工作計畫之目的是要蒐集資訊，透過調查各國對於 BWR 反應爐水位計之多樣性設計要求，曾經嘗試過之方法，包含經過管制機關審查後而廢棄的計畫亦會列入作為參考。此次會議期間討論認為此工作計畫與問卷題目仍有需要補充之處，分組長芬蘭代表將再修正相關內容，並於第 4 次會議會再提出更新版本。

有關因應燃料型式改變管制作為之工作計畫，分組長美國代表表示於第 2 次會議後，蒐集 Active Tolerance Fuel 相關資訊，得知目前燃料廠家已進入燃料束測試階段，並在準備執照申請審查相關作業，但此議題已有其他的工作組在負責，且與 BWR 管制較無直接關聯，美國代表與 BWR 管制工作組主席討論後，決定不將此案列入 BWR 工作組之工作計畫，但會持續追蹤其後續發展。此次美國代表仍報告 NRC 在 Active Tolerance Fuel 執照審核準備的進展，提供各國參考。NRC 已於 2018 年 9 月發表 ATF 計畫時程(ATF Project Plan)，燃料設計審查將涉及核能電廠一般設計準則(General Design Criteria)與 10 CFR Part 20, 50, 100 法規以及 Regulatory Guides 與 NUREG 等指引文件，另外也將提出 Interim Staff Guidance 視需要針對標準審查計畫第 4.2 章與第 15 章進行補充說明，供管制機關審查與燃料廠家申請執照之參考。

### (3) 討論 BWR 管制工作組關切之管制議題

有關第 2 次會議所討論約 20 項之 BWR 管制議題，本次會議則針對未列入工作計畫部份，再逐項討論是否有新的管制資訊需進一步關注，項目如下，

- 停機與起動期間圍阻體內氧濃度
- 停機與燃料更換期間之安全分析，是否有特定之緊急操作程序
- 機組停機期間反應爐洩水相關運轉規範修改
- 再循環泵速控制系統失效（電子式頻率控制）
- 設備環境驗證
- 反應爐水化學改變
- 爐心功率振盪
- 安全釋壓閥設定點飄移
- 圍阻體過濾裝置堵塞

經討論後各項議題仍在處理中，其中停機與起動期間圍阻體內氧濃度乙項，瑞典代表請各國於下次會議時報告 BWR 機組停機與起動期間圍阻體充氮時間之運轉規範要求，以便於作技術討論。因各國表示近期的燃料破損多與爐屑磨損有關，我國代表則提出建議各國可報告 BWR 電廠的防止異物入侵(FME)之優良實務供各國互相學習，各國也表示認同，希望透過分享機制互相了解，發現值得參考之處。另外，目前 BWR 管制工作組已有兩項工作計畫在進行中，下次會議預計將再從備選管制議題中，挑選一個議題作為 BWR 管制工作組下一階段的工作計畫。

### (4) 參訪 Mühleberg 核電廠

此次會議期間瑞士代表請電廠安排工作組成員現場參觀 Mühleberg 核電廠。Mühleberg 核電廠自 1972 年 11 月開始商轉，有一座 GE BWR-4 反應器，發電功率 372 MWe，用阿勒河水冷卻，在運轉期間電廠已進行很多改善，例如增設圍阻體排氣過濾系統(Filtered Containment Venting System, FCVS)與獨立緊急冷卻系統(Special Independent Emergency Cooling System, SUSAN)。電廠人員先帶領工作組成員參觀 SUSAN 設施，該設施緊鄰反應器廠房，設施外牆是強化的鋼筋混凝土結構，可抵擋飛機撞擊與飛彈攻擊，確保緊要安全系統可正常運作。SUSAN 設施內設有兩套柴油發電機，獨立控制室可遠端操作替代低壓

注水系統、替代反應爐停機與隔離系統、抑壓池冷卻水、循環冷卻水，兩個電動式壓力釋放閥，另外 FCVS 操作盤面與閥門手動閥門開啟連桿以及氣動閥之氮氣瓶亦設置於 SUSAN 設施內。電廠亦安排工作組成員赴廠外參觀福島後改善事項，例如新購之移動式發電機與消防注水車，用於爐心冷卻，另外該電廠也建立作業程序，透過廠外水源中繼站與配置臨時性的消防軟管，引取 Sanna 河或伯恩自來水廠的水源至 Mühleberg 核電廠提供機組冷卻。最後，因瑞士核電廠規定進入管制區之人員需要提供輻射工作者證明，所以部分無法提供輻射工作者證明之工作組成員，則是被安排參觀模擬器，由訓練中心主任向工作組成員介紹電廠模擬器功能，該廠之模擬器用於運轉員訓練，但控制盤面並非全套，只有前盤，他們認為基本上就人員訓練的角度已經足夠。最後討論到電廠將於 2019 年 12 月 20 日永久停機，訓練主任表達相當感傷，目前電廠尚未決定由誰來負責執行最後一天的停機操作。整體而言，Mühleberg 核電廠在機組運轉安全方面已進行相當多的實質改善，值得學習。

#### (5) 下次會議時間與地點

BWR 管制工作組每半年需召開乙次會議，第 4 次會議已訂於 2019 年 9 月在法國巴黎舉辦，NEA 秘書詢問各國代表是否有意願主辦第 5 次會議，惟未有國家表示願意主辦，故第 5 次會議初步先安排 2020 年 3 月於法國巴黎，NEA 秘書表示若有國家改變想法，亦可於第 4 次會議提出主辦意願。

	日期	地點
第 1 次會議	2018 年 3 月	瑞典
第 2 次會議	2018 年 9 月	法國巴黎
第 3 次會議	2019 年 3 月	瑞士伯恩
第 4 次會議	2019 年 9 月	法國巴黎
第 5 次會議	2019 年 3 月	法國巴黎 (暫定)

## 肆、心得與建議

此次參與 BWR 管制工作組會議之心得與建議，可歸納下列幾項：

1. 各國管制機關均指定代表負責 BWR 管制工作組相關業務，第 2 次與第 3 次會議都是相同的人員參與討論會議，藉由實際參與 BWR 管制工作組會議，與各國核能管制機關官員互相討論技術細節，可深入了解各國管制最新現況。除了在會議期間進行交流外，此工作組亦提供我國與各國核能管制機關官員橫向技術交流的聯絡管道，我方平時亦可直接與各國代表詢問核能安全管理議題，以作為我國核能安全管理之參考。
2. 此次 BWR 管制工作組會議是由瑞士代表主辦，安排會議場地與參訪 Mühleberg 核電廠，並讓各國管制機關成員可現場了解瑞士在核能安全方面的改善措施。建議我方未來亦可考量主辦 BWR 管制工作組會議，讓各國管制機關代表參觀我國核電廠於福島事件後的安全改善措施，有助於拓展我國在核能管制方面之國際能見度。