

出國報告（出國類別：其他）

赴美參加職業輻射防護
嚴重事故管理國際研討會

服務機關：行政院原子能委員會

姓名職稱：蔡親賢 薦任第九職等科長

派赴國家：美國

出國期間：103年6月15日至6月23日

報告日期：103年8月18日

摘要

本次奉派赴美參加職業曝露劑量資訊系統(ISOE, Information System on Occupational Exposure)主辦的職業輻射防護嚴重事故管理國際研討會,是項會議由經濟合作發展組織暨發展組織核能署(OECD/NEA, Organisation for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency)與國際原子能總署(IAEA, International Atomic Energy Agency)共同贊助發起。會議於2014年6月17~18日在美國華盛頓特區之核能研究中心(NEI, Nuclear Energy Institute)舉行,會議主題主要針對嚴重核子事故之管理經驗與處理作法,邀集世界各國輻射防護學者、專家、核能安全管制機關以及核能發電設施經營者進行經驗分享,也特別針對日本福島核子事故發生後,各國對於嚴重事故的管理精進作為進行專業討論。此外另一主要目的係ISOE就其嚴重事故管理專家群所編撰的職業輻射防護嚴重事故報告書初稿,進行分組討論,希藉由專家學者的建言與智慧結晶,俾利是項報告書完稿,以提供各國未來在處理嚴重事故輻射防護之參考。在本次會議中,國內出席同仁也就我國在福島事故後對於輻射防護之精進措施向各國與會者進行分享,藉由會議的參與可擴展原子能國際合作交流並增加我國在國際組織之能見度。

會議結束後,另轉往紐約Memorial Sloan-Kettering Cancer Center參訪,除瞭解美國執行醫療曝露品保作業的現況,並蒐集核子醫學放射碘治療病患外釋相關規定與管制作法,以為未來我國制定核子醫學放射碘治療病患外釋規定之資訊蒐集,將對本會管制法規精進有所助益。

目次

壹、出國目的與行程.....	3
一、出國目的.....	3
二、出國行程.....	4
貳、出席職業輻射防護嚴重事故管理國際研討會.....	7
一、職業輻射防護嚴重事故管理之全球觀點.....	8
二、職業輻射防護嚴重事故管理之設施經營者經驗分享.....	16
三、職業輻射防護嚴重事故管理之管制單位經驗分享.....	22
四、職業輻射防護嚴重事故管理報告書初稿介紹.....	24
五、拓展國際交流事務.....	31
參、參訪紐約 Memorial Sloan-Kettering Cancer Center.....	33
肆、心得與建議.....	39
伍、致謝.....	42

壹、出國目的與行程

一、出國目的

自從日本福島核子事故發生以來，國際核能相關組織、各國核能安全管制機關與核電設施經營者，紛紛對於核能安全緊急應變處理與事故發生後之輻射防護管理提出了許多改善與精進措施，特別在核子事故發生後之輻射防護管理部分，因涉及事故搶救工作人員生命安全與民眾防護行動決策下達，故國際輻射防護學者專家與各國相關管制機關對此格外重視。為此，經濟合作發展組織暨發展組織核能署(OECD/NEA, Organisation for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency)之任務編組---職業曝露劑量資訊系統委員會(ISOE, Information System on Occupational Exposure)特於 2011 年 5 月籌組嚴重事故職業輻射防護專家工作小組(EG-SAM, Expert Group on Occupational Radiation in Severe Accident Management)針對福島事故所得到的管理經驗，特別是職業輻射工作人員在嚴重事故輻射防護部分，編撰報告書。這份報告書是由 OECD 19 個會員國家，分別來自核能安全研究機構、管制機關與核能發電設施經營者之 45 位學者、專家所編撰的。是項報告書初稿業於 2013 年 11 月完成，內容分別就嚴重事故輻射防護管理組織、輻射防護訓練與演習、緊急應變設施場所配置、緊急應變人員輻射防護、事故輻射外釋污染之監測與管理，以及車諾比、三哩島、福島三起嚴重核子事故之處理經驗學習，進行分章描述。為使此份報告書內容更為詳實與豐富，ISOE 特於 2014 年 6 月 17~18 日在美國華盛頓特區之核能研究中心(NEI, Nuclear Energy Institute)召開職業輻射防護嚴重事故管理國際研討會，是項會議是由經濟合作發展組織暨發展組織核能署(OECD/NEA, Organisation for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency)與國際原子能總署(IAEA, International Atomic Energy Agency)共同贊助發起。會議主要目的係邀請世界各國輻射防護學者、專家、核能安全管制機關以及核能發電設施經營者，就嚴重事故輻射防護管理事宜進行經驗分享，特別針對日本福島核子事故發生後，各國對於嚴重事故的管理精

進進行專業討論。此外另一重要的目的係 ISOE 希透過此次會議的舉辦，讓各界對於其專家群所編撰的職業輻射防護嚴重事故管理報告書的初稿，進行審視與討論，以提供建議使是項報告書更臻完善，俾未來提供各國在處理嚴重核子事故輻射防護措施之參考。

此次奉派赴美主要係參加此次會議，以瞭解國際間在核子事故之輻射防護管理現況以及未來發展趨勢，此外本會駐美同仁趙衛武副組長，亦就近與職共同參加此次會議，因我國尚未加入 ISOE 相關組織，故趙副組長與職另一任務，係藉由此次活動的參與探詢我國加入 ISOE 之可行性，以拓展我國在國際組織之參與度與能見度。

在此次會議結束後，職順道參訪美國 Sloan Kettering-Cancer Center，除了解美國執行醫療曝露品保作業之現況，並蒐集核子醫學放射碘治療病患外釋相關規定與管制作法，以為國內未來制定核子醫學放射碘治療病患外釋規定之資訊蒐集，將對本會管制法規精進有所助益。

二、出國行程

日期	地點	工作內容
103.6.15-6.16	台北、 華盛頓特區 (Washington DC)	路程(台北→洛杉磯→華盛頓特區)
103.6.17-6.18	華盛頓特區	參加 ISOE 職業輻射防護 嚴重事故管理國際研討會
103.6.19	華盛頓特區、紐約 (New York)	路程(華盛頓特區→紐約)
103.6.20-6.21	紐約	參訪 Memorial Sloan-Kettering Cancer Center
103.6.22-6.23	紐約、台北	路程(紐約→台北)



圖 1：會議地點位於美國華盛頓特區之核能研究中心(NEI·Nuclear Energy Institute)



圖 2：大會貴賓 NEA 副署長 Dr. Kazuo Shimomura 致詞



圖 3：會議分組討論一隅



圖 4：本會與會同仁合影留念(左為本會駐美趙衛武副組長，右為職)

貳、出席職業輻射防護嚴重事故管理國際研討會

職業曝露劑量資訊系統作業平台(ISOE, Information System on Occupational Exposure)係於 1992 年由經濟合作發展組織暨發展組織核能署(OECD/NEA, Organisation for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency)與國際原子能總署(IAEA, International Atomic Energy Agency)共同贊助所成立的,其主要功能係提供設施經營者及管制機關對核電廠員工職業曝露數據分析與評估所架構的平台。而在日本福島事故發生後,該平台亦針對日本福島事故高輻射地區之工作人員輻射劑量管理與個人輻射防護設備及汙染地區除汙作業等專業議題,提出回應並協助日方對事故處理之諮詢。因福島事故之相關應變人員劑量值與管理經驗,以及應變搶救時特殊防護裝備與輻射監測等相關經驗彌足珍貴,故 ISOE 爰於 2011 年 5 月成立嚴重事故職業輻射防護專家工作小組(EG-SAM, Expert Group on Occupational Radiation in Severe Accident Management)。針對福島事故所得到的管理經驗,特別是職業輻射工作人員在嚴重事故輻射防護部分,編撰報告書。這份報告書是由 OECD 19 個會員國家,分別來自核能安全研究機構、管制機關與核能發電設施經營者 45 位學者、專家所編撰的。該項報告書初稿業於 2013 年 11 月完成,內容分別就嚴重事故輻射防護管理組織、輻射防護訓練與演習、緊急應變設施場所配置、緊急應變人員輻射防護、事故輻射外釋汙染之監測與管理,以及車諾比、三哩島、福島三起嚴重核子事故之處理經驗學習,進行分章描述。為使此份報告書內容更為詳實與豐富,ISOE 特於 2014 年 6 月 17~18 日在美國華盛頓特區之核能研究中心(NEI, Nuclear Energy Institute)召開職業輻射防護嚴重事故管理國際研討會,是項會議並由經濟合作發展組織暨發展組織核能署(OECD/NEA, Organisation for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency)與國際原子能總署(IAEA, International Atomic Energy Agency)共同發起贊助。會議主要目的係邀請世界各國輻射防護學者、專家、核能發電設施經營者以及核能安全管制機關就嚴重事故輻射防護管理事宜進行經驗分享與討論,特別針對日本福島核子事故發生後,各國對於嚴重事故的管理精進進行專業

討論。此外 ISOE 希透過此次會議的舉辦，讓各界對於其專家群所編撰的職業輻射防護嚴重事故管理報告書的初稿，進行審視與討論，以提供建議使是項報告書更臻完善，俾未來提供各國在處理嚴重事故輻射防護之參考。是項報告預計 2014 年 11 月完成。

職業輻射防護嚴重事故管理國際研討會係於 2014 年 6 月 17~18 日在美國華盛頓特區之核能研究中心（NEI, Nuclear Energy Institute）召開，計有來自 17 個國家的核能專業學會、核安管制機關、核能發電設施經營者，計 66 位學者、專家與會，會議論文摘要如附件 1。會議舉行方式係就採 4 領域專題報告方式，就全球觀點、設施經營者經驗分享、各國管制機關管制方針及職業輻射防護嚴重事故管理報告書初稿說明討論，邀請專家學者進行 12 場次專題報告，另舉行 5 場次分組討論會就報告書初稿內容進行討論，希就專家學者之管理經驗與學識，提出建言，期使報告書內容更臻完善。本次會議邀請各專家學者均為輻防領域之翹楚，有來自日本福島第一線的保健物理人員，也有來自國際原子能總署與國際放射防護委員會的專家報告，篇篇精采，以下僅就業務相關議題進行重點摘述。

一、 職業輻射防護嚴重事故管理之全球觀點

是項報告專題，係邀請國際放射防護委員會 ICRP、國際原子能總署 IAEA、加拿大核能安全管制委員會 CNSC 與美國核能管制委員會 USNRC 等 4 位輻防學者專家進行各 20 分鐘的專題演講，以下分別說明

- (一) 國際放射防護委員會 ICRP 專家，美國 NRC 的 Dr. Donald Cool，報告題目「ICRP RECOMMENDATIONS FOR OCCUPATIONAL RADIATION PROTECTION IN AN EMERGENCY」：第一位受邀演講的是美國 NRC 的 Dr. Donald Cool，他目前為國際放射防護委員會 ICRP Committee 4 的主席，他演講主要分二部分說明：ICRP 在日本福島事故後所發表與緊急應變民眾防護有關報告與目前 ICRP 計畫出版與緊急應變有關的報告書，以及 ICRP 對於輻射作業的三個情境定義說明(計畫曝露情境、緊急曝露情境、既存曝露情境)，最後再提到緊急曝露參考基準的約束值。

- 1 Dr. Donald Cool 先說明 ICRP 在 2009 年針對緊急應變民眾防護行動發表了

109 號建議報告書以及意外事故後於長期污染地區民眾輻射防護之 111 號建議報告書，在報告書出版時福島事故尚未發生，故 ICRP 在福島事故發生後即成立工作小組(Task Group 84, TG-84)提出 ICRP Task 84 報告「福島事故調查研究後所發現的種種問題，以及對 ICRP 輻射防護體系提出該如何改善的建議事項」。主要係日本福島核能事故發生後，許多危言聳聽與毫無事實根據的所謂"理論計算"來推測未來將因福島核災而造成的可能死傷人數之言論，已經造成日本民眾嚴重的情緒困擾。ICRP 特組成第 84 號工作團隊出版報告，指出對福島事故調查研究後所發現的種種問題，以及對 ICRP 輻射防護體系提出該如何改善的建議事項，謹摘要如下。

■輻射潛在健康效應之風險係數應作正確詮釋

在福島事件餘波未平之際，不少團體人士和媒體紛紛起而宣稱：「輻射曝露造成的真實風險實際上是遠比 ICRP 報告所認定的風險還高的」之言論。尤以日本媒體，特別是擁有廣大收視群的電視節目，還公開質疑 ICRP 用以評估低劑量輻射風險所使用的劑量和劑量率有效因子(DDREF)。ICRP 為輻防目的所建議的方法是建立在大量生物學、流行病學和倫理學的基礎之上，然而這些基礎根據卻被日本民眾所曲解，而媒體，很不幸地，就是造成這種曲解的主因。此外劑量與劑量率有效因子(DDREF)不易被瞭解且字義過於繞舌，翻譯不易。

再重新檢視這些「與游離輻射相關之健康風險」的既有生物學和流行病學等資訊之後，ICRP 再度確認之前關於超額癌症和遺傳效應之綜合危害的評估結果是沒有問題的。ICRP 的評估仍為每接受 1 西弗 (Sv) 的有效劑量約可增加 5%的健康風險。這個值與國際上評估輻射風險值一致。

■有關低劑量曝露輻射效應之流行病學調查研究之局限性需深入瞭解 TG-84 認為，由量小的假設性個人劑量(notional individual doses)所集合而成的集體有效劑量(collective effective doses)，是不該用來作為歸因指標的，使人誤認為健康效應的成因就是因為受到輻射曝露所致，而且既不該用以

溯及既往也不能用來直指未來。

■有關輻射防護量與單位易造成混淆應予解決

(1)各個物理量之間的差異並沒有做好解釋的工作，甚至是受過相關訓練的人，也沒有真正了解這些差異性。

(2)用於輻射防護上的量與執行輻射量測上所用的量很難區隔瞭解，部份是因為語意上的問題。

(3)用於器官組織使用之約定等價劑量與全身有效劑量單位一樣，總是無法區隔。

(4)缺乏正式的高劑量輻射加權劑量單位。

(5)民眾很難理解，為什麼有這麼多不同的劑量單位用於輻射防護，不但有許多劑量單位，連量測單位也很多（如活度單位及活度濃度單位）。該報告認為 ICRP 輻防體系的各種物理量和單位已能成功地運用在輻射防護實務上了。但是這些物理量和單位可能不太適用於對非專家的溝通上，特別是緊急應變上。

■有關體內曝露造成潛在傷害問題應作正確詮釋

民眾或媒體認為同樣曝露值，體內曝露要比體外曝露來得危險。其實就學理而言，輻射風險與所接受劑量大小有關，與是否來自體外曝露或體內曝露無關。但媒體或大眾往往忽視此一觀念。惟 ICRP 輻射防護體系對於體內曝露已比體外曝露更為保守，由限制約定劑量比實際接受劑量值可看出。

■有關援救者與協助志工之輻射防護應建立特別防護體系保護

■在危機管理、醫護照護與災後復原重建等部份應作更明確的建議

■有關民眾防護層級（含括嬰幼兒、兒童、懷孕婦女及腹中胎兒）及相關議論（如對於來自意外事故、由緊急情境轉變為既存情境與撤離區的復原應作公眾曝露分級）的建議，需一致性及被瞭解

■ICRP 已更新的建議可用於對於公眾監測政策上

■定義相關消費性產品及災後瓦礫堆、殘渣等可接受的污染程度

■找出策略來減輕因輻射意外事故所帶來心理層面的影響

■意外發生後在輻射防護政策資訊分享促進上的失敗，需藉由 ICRP 建議來解決，以減少一些溝通上的落差。

目前 ICRP 正組成工作小組(Task Group 93,TG-93)刻正對於福島事故所學習之經驗進行 109 與 111 號報告之修訂。

2 ICRP 對於輻射曝露的情境說明：從 60 號報告的輻射作業(Practice)與干預(Interventions)，演進至 103 號報告之三種輻射曝露情境：

計畫曝露情境 (Planned exposure situations) ---係指引進輻射源輻射作業之情境，可分為正常曝露與潛在曝露。

緊急曝露情境(Emergency exposure situations)---緊急曝露情境是非預期發生的，需要緊急應變防護行動。

既存曝露情境(Existing exposure situations)---指決定控制已存在的曝露情境，如緊急曝露的長期情境。

有關三者情境之間的轉換關係可用圖 5 來說明，在正常的計畫曝露情境下，如發生了輻射源無法控制或遺失的狀況，即進入緊急曝露情境。而當在採取管制決策時，就已經存在輻射源的情況，即為既存曝露情境(如天然放射性物質管理、住宅氡氣的問題)。而來自緊急應變後長期汙染結果的管理，則可視為既存曝露情境，如福島事故目前即為既存曝露情境。

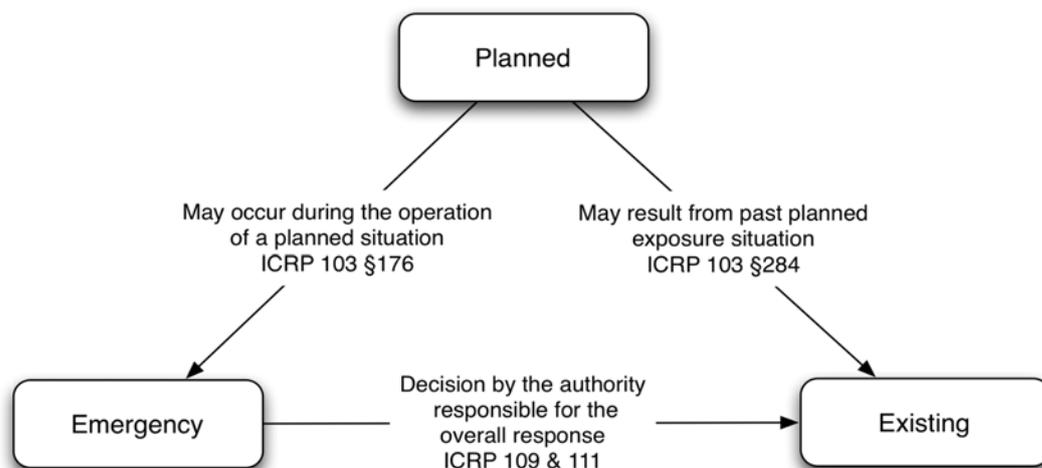


圖 5：ICRP 報告對於 3 種輻射曝露情境之相互轉換關係

Dr. Donald Cool 也提到以福島事故發生迄今，隨著時間的演變也有一些曝露情境的轉變。在 96 號報告提及以意外事故發生的時序可分為三個時期：初期、中期及晚期(如圖 6)。初期則為外釋時期，著重事故的應變與事故發生時的管理，此時屬 ICRP103 之緊急曝露情境，隨著時序演進，進入序列管理與復原規劃階段，而此時的曝露情境則由緊急曝露情境將進入既存曝露情境。而在晚期，則為復原階段，為既存曝露情境。而在緊急曝露情境下，參考基準的設定為 20 毫西弗~100 毫西弗區間；而在既存曝露情境則降至 1 毫西弗~20 毫西弗區間。在既存曝露情境下，民眾所關心的是接收有關訊息以及劑量的抑低，因此個人劑量監測評估及訓練是最重要的要求。

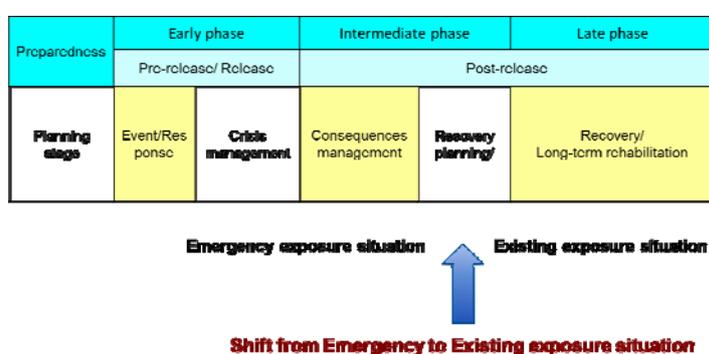


圖 6：核子事故演變時序與曝露情境改變示意圖

(二) 國際原子能總署 IAEA 專家 Ms Svetlana Nestoroska Madjunarova，報告題目「PROTECTION OF EMERGENCY WORKERS AND HELPERS: RECENT DEVELOPMENTS IN INTERNATIONAL STANDARDS IN EMERGENCY PREPAREDNESS AND RESPONSE」；在全球觀點論壇第二位邀請的講座是 IAEA 緊急應變中心專家 Ms Svetlana Nestoroska Madjunarova，他主要是以 IAEA 對緊急應變出版物作一說明。IAEA 針對核子事故緊急應變相關作業，在 2002 年出版了安全標準叢書 GS-R-2，提出的了多項準備事項以確保應變工作人員輻射安全。然而在 2011 年福島核子事故發生後，對於緊急應變的相關經驗回饋，將有助於緊急應變能力的提升。因此 IAEA 將於 2015 年提出修訂版的安全標準叢書 GSR Part 7。在這份新修訂版的安全叢書，對於緊急應變人員與協助者有明確的定義與防護建議，以下分別說明：

1. 緊急應變人員(Emergency worker)：係指在核子事故發生時，具有特別任務的工作人員。舉凡電廠工作人員、承攬商或是應變時之警消人員、醫護人員…都屬於此類人員。
2. 協助人員(Helpers)：係指核子事故發生時，志願協助緊急應變作業且認知會接受輻射曝露的一般的民眾。

在平時階段應準備事項如下

- 確認應變人員是否適合執行緊急應變任務。(如對人員進行健康檢查)
 - 限定相關執行應變作業的資格與特殊技能。
 - 定期辦理相關訓練、演練及演習任務
 - 相關任務與職掌須由輻防人員認可，以準備相關防護、監測設備及碘片，並做好劑量管理與紀錄保存事宜。
 - 執行特殊任務時，需告知人員執行作業之健康風險，並獲其同意。
3. 有關緊急應變工作人員與協助人員劑量限值
 - (1) 緊急應變工作人員，以職業曝露 50 毫西弗有效劑量為約束值，但在搶救生命與避免重大危害事故不在此限。協助人員則不可超過 50 毫西弗。
 - (2) 當胎兒之等效劑量超過 100 毫西弗，有可能會發生確定性效應。因此當女性工作人員懷孕或有懷孕可能時，應告知風險且避免使胎兒接受超過 50 毫西弗之等效劑量。
 - (3) 當人員所接受的劑量趨近於劑量約束值，則必須安排特殊健康檢查及心理諮商。
 - (4) 當工作人員接受超過 200 毫西弗，在尚未接受專業醫療建議前，不應繼續從事輻射作業。

(三) 加拿大核能安全管制委員會(Canadian Nuclear Safety Commission, CNSC) 技術支援部門主管也是核管會副主任委員 Dr. Terry Jamieson，報告題目「CNSC RESPONSE TO FUKUSHIMA AND ENHANCEMENTS TO THE REGULATORY FRAMEWORK FOR THE PROTECTION OF WORKERS」；Dr. Jamieson 先就 CNSC 的業務職掌作一說明，除鈾燃料處理與開採管理業

務，我國並無外，其他管制職掌與國內原能會相似。而 Dr. Jamieson 所掌管的技術支援部門，其職掌亦涵蓋輻防、核子事故緊急應變及核能安全分析。整體演講內容，他先就福島核子事故發生後，CNSC 採行的一些應變措施及核安架構強化部分作一說明。

Dr. Jamieson 說到，在福島事故發生後 CNSC 立即啟動緊急應變中心 24 小時派員監控福島事故發展狀況。並要求加拿大核電廠針對福島事故發生肇因進行自主檢視，CNSC 也針對全國核子設施進行全面檢查，並成立全方位專家小組以強化核設施安全。專家小組報告並受到公眾檢視與 2 個獨立團體檢驗，整體而言 CNSC 在福島事故的應變是非常快速、妥適及全方位的。

另 CNSC 就強化管制法規架構，以確保緊急應變工作人員與民眾輻射安全，以下說明：

- 修訂游離輻射防護相關法規---以現行加拿大的輻防法規規定，在緊急應變時，搶救人員之個人有效劑量不得超過 500 毫西弗，皮膚等效劑量不得超過 5000 毫西弗。由於現行法規對於緊急應變工作人員的劑量限度過於寬鬆粗略，並沒有針對較細的工作任務進行分級管制，故在福島事故過後，CNSC 即對現行緊急應變工作人員的劑量限度作一修訂建議：在核子事故緊急應變時，工作人員的劑量限度不得超過 50 毫西弗，皮膚等效劑量不得超過 500 毫西弗。但在以下緊急特殊任務下，另訂定劑量限值：(1) 當志願者進行緊急任務，係為防止確定性效應發生或防止災難擴大，其個人有效劑量不得超過 500 毫西弗，皮膚等效劑量亦不得超過 5000 毫西弗。此部分之管制規定與國內游離輻射防護安全標準，對接受緊急曝露人員之劑量限度相同。(2) 當志願者進行緊急任務，係為避免大量集體有效劑量，其個人有效劑量不得超過 100 毫西弗，皮膚等效劑量亦不得超過 1000 毫西弗。除修訂法規也要求設施經營者對於執行緊急應變之工作人員，應提供適當的資訊（包含輻射風險）。惟在草案訂定時，

對於二線或廠外應變人員，是否亦規範在內，刻正討論中。

- 強化中央與地方核子事故緊急應變計畫---對於廠外緊急應變程序進行修訂，並連續 3 年辦理大規模核安演習，以整合及驗證中央與地方應變作業是否合宜。
- 提升廠內緊急應變設施與設備---強化廠內緊急應變設備，如緊急過濾空氣系統（EFADs, Emergency Filtered Air Systems）、廠界即時輻射監測系統以及備援電源與溝通設備。
- 更新電廠安全度評估分析
- 評估現場指揮控制中心在嚴重事故下之安全性---針對超出電廠設計基準事故風險的思維，建立防止地震、輻射空浮曝露等劑量合理抑低考量的指揮中心。
- 完成核電廠嚴重事故管理導則(SAMG, severe accident management guidelines)---已依核電廠嚴重事故管理導則作相關驗證與演練及兵棋推演。

最後 Dr. Jamieson 說明經由專家小組的審視，加拿大核能電廠的核能安全無虞，且位置均遠離地震板塊威脅，因此地震對加拿大核能電廠的風險可忽略。CNSC 並允諾在 2015 年前將完成強化電廠安全措施，以減少事故發生風險的可能性。

(四) 美國核能安全管制委員會 (NRC, Nuclear Regulatory Commission)---資深保健物理師 Mr. Roger Pedersen，報告題目是「LESSONS LEARNED FROM TMI AND HOW IT CHANGED THE US REGULATORY FRAMEWORK」：他先就三哩島核子事故發生的原因先做說明。接著提及美國核管會事後推動一系列改革 (NUREG-0737: TMI Action Plan Requirement) 並要求運轉中之核能機組必須於限期內完成下列改善事項：

1. 反應器設計之改善：反應爐加裝直接水位指示、壓力釋放閥前面加裝關斷閥並加裝閥位指示等。
2. 全面進行各核能機組之控制室人機介面評估，並進行控制室改善。

3. 重新檢討運轉人員之考照作業，並加強運轉人員對熱力學、流體力學、熱傳學等方面之智能訓練。
4. 全面評估並重建核能電廠暫態及緊急操作程序書之架構與內容。
5. 要求各核電廠建立運轉重要安全參數顯示系統，以輔助值班人員對系統之掌控。
6. 增加各類事故偵測儀器，如圍阻體壓力、輻射監測器，以利運轉人員對事故之掌控。

二、 職業輻射防護嚴重事故管理之設施經營者經驗分享

在本時段的經驗分享專題報告，係以設施經營者的觀點，報告對於嚴重核子事故的輻防管理經驗觀點，因此特別邀請日本東京電力公司保健物理部門的經理 Mr. Shiro 報告與其他四個歐美國家的核電廠專家報告，由於 Mr. Shiro 是第一線處理福島核子事故的保健物理人員，因此他的報告也成為全場矚目的焦點，以下謹就幾位講者報告重點摘要如下：

- (一) 日本東京電力公司保健物理部門的經理 Mr. Shiro，報告題目是「Radiation Protection Management in Fukushima Daiichi NPS and Post-accident Measures」：Mr. Shiro 他的報告主要分為五大部分，分別就福島事故發生經過、事故時現場輻射作業情形、輻射防護相關議題的討論、事故後的處理作業以及來自於福島的教訓與學習。Mr. Shiro 算是福島 50 勇士之一，他帶領日本東京電力公司福島核電廠保健物理團隊，他提及在福島事故發生時，他感到一陣天翻地覆是他畢生未見的，他就知道事情不妙了，因此他馬上通知保健物理團隊進入耐震指揮中心，進行輻射防護作業。他也感性的說在福島事故發生之後，他有 3 個月無法回家，直到他女兒小學入學日當天她才回去見到家人及女兒，當他從家裡要返回核電廠，他的家人都擔心他這輩子是否還能夠再回來，當 Mr. Shiro 提到這段情事，現場均為之動容，均對 Mr. Shiro 在保健物理職責之敬業精神表達敬佩。Mr. Shiro 提到福島事故主要是因為海嘯所帶來的電力喪失，使得 1~4 號機組發生事故。他先提到日本輻射工作人員人員的劑量限度，基本上是參照 ICRP60

號報告，有效劑量 5 年 100 毫西弗、每年最多不超過 50 毫西弗。而核子事故發生之應變工作人員劑量限度在福島事故發生前為 100 毫西弗，在日本福島事故發生後，2011.3.14 管制機關即將緊急應變工作人員劑量限度，調高至 250 毫西弗，而在 2011.12 又調回 100 毫西弗。而在福島事故時，他所處在耐震控制中心，劑量率約 380 微西弗/小時。以下就 Mr. Shiro 在福島事故輻射防護管理經驗分享作一說明：

1. 輻射監測部份

- 福島事故發生前---電廠廠內有 8 個輻射監測儀，進行輻射連續監測，並將監測結果公布網站。
- 福島事故發生時---由於電力喪失，僅剩 2 部輻射監測車及 3 套可攜式輻射監測設備。
- 福島事故發生後---因受落塵影響因此量測空氣劑量率會偏高，故須將輻射監測設備底部以屏蔽包圍，減少土壤內落塵的輻射干擾，以確實量測空氣中輻射劑量率。

2. 體外劑量管理部份

- 福島事故發生前---工作人員均配戴個人劑量警報器 APD，進入輻射管制區，其劑量紀錄均登錄於工作人員劑量系統管理。
- 福島事故發生時---因海嘯造成電力喪失，因此 5000 台個人劑量警報器無法充電以及劑量登錄系統無法正常運作。因此每位工作人員劑量紀錄僅能靠手抄紀錄，事故發生時電廠所能運用的個人劑量警報器僅有 320 台，因數量不足故權宜之計為各工作團隊以 1 部代表，在管制中心內的劑量紀錄也要考慮紀錄。
- 福島事故發生後---在 2011.4 個人工作劑量警報器已充足，2011.8 新的劑量登錄系統完成。

3. 體內劑量管理部份

- 福島事故發生前---福島電廠有 4 部全身體內劑量計測儀(WBC，Whole body counters)，依其廠內作業規定每 3 個月工作人員需作一次 WBC

(女性工作人員檢測頻率為一月一次)。

- 福島事故發生時---因廠內背景值高，因此在福島事故期間無法進行體內劑量監測只能至廠外進行體內監測。以女性工作人員及接受超過 100 毫西弗之工作人員為優先檢測對象。
 - 福島事故發生後---設置 11 台全身計測器於 Hirono 足球場已提供應變人員每月一次監測使用。
4. 劑量管理所遇到的困難---Mr. Shiro 提到，由於在事故發生時沒有電源，因此工作人員的劑量管理，只能靠人以手直接 key in 至筆記型電腦內作一紀錄。因為有些工作人員提供資料時，字跡潦草或只寫姓氏而已，因此造成後續追蹤上的困難，因此仍有 10 個工作人員的劑量無法聯繫蒐集。此外在體內劑量評估上的延誤，是因為廠內的體內監測儀受到汙染，因此無法作為體內劑量監測使用，而需要外部的支援，因此花了相當多的時間計測，此外評估方式也沒有完善的建立，都是造成工作人員體內劑量估算上的困難。另為保守估算體內劑量，則將所有放射性核種攝入均以事故發生第一天計算。
 5. 工作人員劑量評估結果---有 6 位工作人員在應變期間劑量超過 250 毫西弗，是因為在事故發生時將劑量限度調高至 250 毫西弗，此外體內劑量的保守評估也間接造成劑量超限。但這些劑量超限工作人員經過醫護照顧，均未發現有任何輻射急性健康效應，Mr. Shiro 表示將會持續觀察這 6 位人員健康情形。這 6 位工作人員主要為電子儀控工作人員，主要工作地點在主控制室(MCR, Main Control Room)，由於氫爆影響造成放射性物質從 MCR 門禁滲入，此外又由於外電喪失，因此緊急排氣系統失效。此外由於事故演進快速，這些人員無法快速穿戴面具。另外這些人員必須長期待在 MCR，所有的飲食、休息均在此，另多數帶有眼鏡，因此面具與臉無法完全密合，這些情事都是導致人員劑量超限的因素。而如何避免上述劑量超限情形發生，Mr. Shiro 提供了幾項策略(1)減少體內曝露的攝入(2)提供足夠的防護設備，含面具、防護衣及濾層(3)禁止在管制區內飲食(4)穿戴面具

與防護衣的訓練(5)度量數據的透明。

6. 來自於福島的教訓與學習

- 強化監測系統—特別是監測系統電源供給以及最少要有 2 組以上傳輸系統，此外準備充分的可攜式監測系統也是必要的。
- 事前準備完善的輻射防護設備---足夠的防護衣、面具以及個人輻射劑量警報器，空氣濾層與移動式鉛屏蔽，均應備妥於各處。此外劑量管理系統與工具應易於計算管理。
- 近廠指揮中心的整備---平時應建置完善的作業流程與演練。
- 輻射防護教育訓練的辦理---對於電廠內的員工應定期舉辦輻防教育訓練，特別是輻射偵檢訓練，未來可協助保健物理作業執行。

(二) 比利時電力公司 Mr. Benoit Lance，報告題目是「POST-FUKUSHIMA IMPROVEMENT OF THE EMERGENCY PLAN FOR THE ELECTRABEL NUCLEAR POWER PLANTS」：Mr. Benoit 提及比利時現有 7 部核能機組，在福島事故過後，比利時核能主管機關進行核能總體檢，分別就地震、實體防護、電力供應、水源補給、緊急應變計畫及輻射防護等面向，進行強化措施。其中在輻射防護強化部分，Mr. Benoit 說明可歸類為三大部分，法規面、硬體強化面與輻防技術研發面。

- 在法規面部分：目前比利時管制單位亦就輻防觀點，研訂緊急應變污染區管制之相關導則，Mr. Benoit 說，在正常狀況下僅有電廠內管制區輻射劑量率允許 $>7.5 \mu\text{Sv/h}$ 及些許污染，其他場所則必須保持潔淨。但在緊急應變狀況時，其管制區亦隨污染擴散而劃定，甚至可延伸至廠界外 10 公里處，但有 2 個地方必須特別注意管制，使其輻射劑量合理抑低，一為廠內緊急應變中心，因該地點為應變工作人員生活工作場所，故務必劑量抑低以保障工作人員輻射安全，另一地點為廠界外之應變支援中心，以日本福島事故之經驗，日本政府係將復原等任務指揮系統設置於福島電廠外一處“J-village”國家足球訓練中心，而工作人員每天需搭乘 30 分鐘車程至福島電廠，因此就輻防觀點“J-village”須

為最乾淨場所防止污染擴散進入工作人員平時休息的非管制區，因此在廠界外之應變支援中心需設置一管制站，以確保污染區之輻射不會進入應變支援中心，示意圖如圖 7。

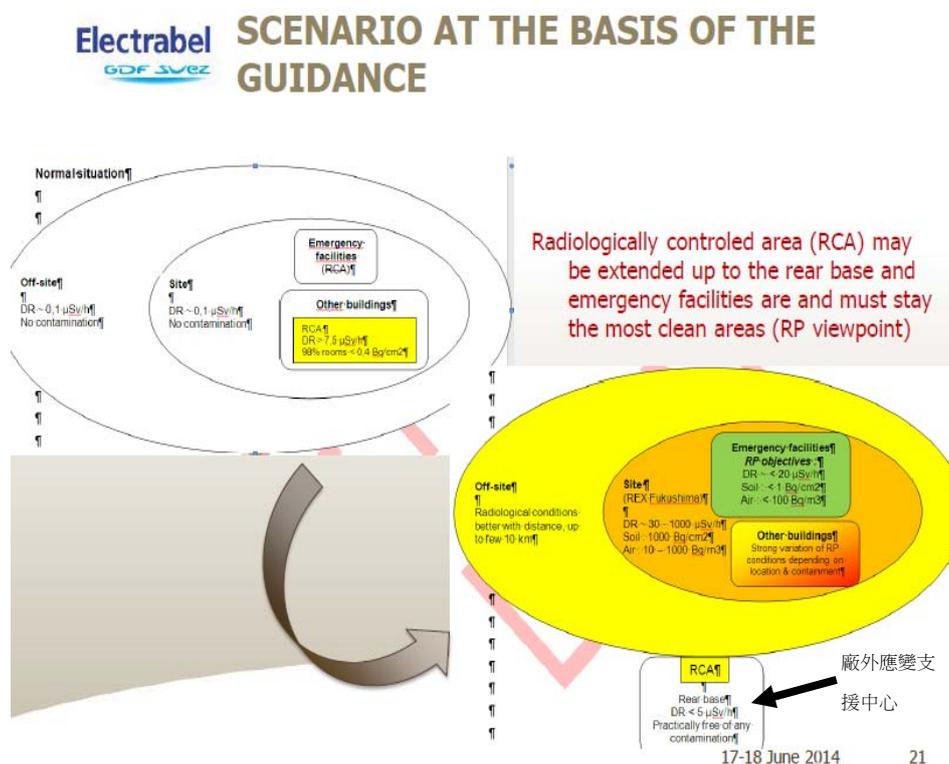


圖 7：核子事故輻射管制區劃分示意圖

此外在導則內也針對事故演進時序分級之精神融入導則，已就各級應採行除汙行動作一規範，如表 1。

Phase	Overall priorities	Actions to be taken with respect to contamination	Time needed
Phase 0 “releases phase”	Reactor stabilization Stop the releases	Removal of debris	1 day to 2 weeks
Phase 1 “environment protection phase”	Environment	Out-side of buildings * Fixation * Removal of debris * Shielding of hot spots	2 weeks to 1 month
	Radiation hazard Worker protection	Inside of buildings * Reduce air contamination * Removal of debris	
Phase 2 “transition to long term phase”	Focus on improving working conditions on-site	* Elimination of hot spots * Waste management (including reduction and shielding) * Water treatment * Decontamination	Several months
Phase 3 “start of long term phase”	Preparing decommissioning	* Shielding reactor buildings * Fuel removal * Further decontamination	Years to 1 decade

表 1：事故演進時序分級與除汙行動規範

- 硬體強化面：首先就放射性物質外釋擴散劑量評估程式部分（如圖 8），比利時研發單位精進程式相關功能，可同時進行多機組放射性物質外釋評估、長時間外釋計算(>24 小時)、大規模或長距離外釋以及不同氣象條件與風向計算。

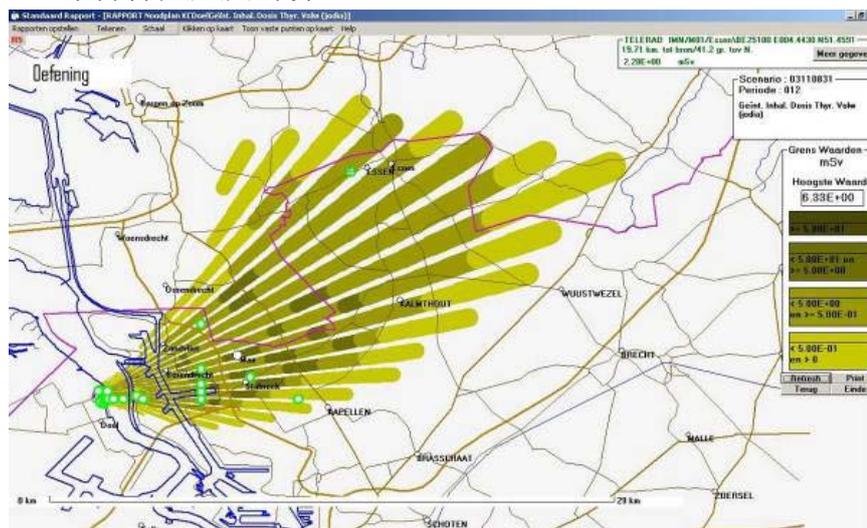


圖 8：比利時劑量評估程式評估圖像

此外比利時也在每座電廠設置 2 部輻射偵測車，每部車內均備有定位系統 GPS 及劑量率、汙染、空浮偵測及能譜分析儀。另外在福島事故中，

比利時管制單位也認知，污染偵測設備設置點的選擇的合宜性問題，特別是污染偵測設備，其主要功能係防止工作人員防止體內污染的重要工具，因此當事故發生時，在廠內的污染偵測設備有可能因背景過高或喪失電源無法正常使用，因此應考慮在應變中心或集散點設置相關輻射污染監測設備，此一觀點與第一位日本東電保健物理經理 Mr. Shiro 看法一致，另也提到輻射污染設備的保養維護與校正是輻防人員應注意的地方。

- 輻防技術研發面：鑑於後福島事故處理重點在於廢棄物處理，Mr. Benoit 就廢棄物處置及放射性廢水處理提出觀點。首先在廢棄物外釋部分，應分級外釋分就一般廢棄物、可利用、放射性廢料三部分處置管理，且處理愈快愈好，以防止放射性物質污染擴散。惟在事故發生後放射性廢水處置上，是一個比較困難的問題，因涉及放射性廢水產生量及貯存等問題，目前在整備階段可先就放射性廢水貯存能量以及民間水處理公司支援可行性，先行調查。

三、 職業輻射防護嚴重事故管理之管制單位經驗分享

本時段的經驗分享，係以管制單位觀點，報告對於嚴重核子事故的管制機關觀點，著重於緊急應變體系與核安管制部分較為有關，僅就法國與韓國兩位管制機關代表的報告重點摘要如下：

- (一) 法國核能安全管制機關 (ASN, Nuclear Safety Authority) Mr. Olivier，報告題目「French Regulatory Requirements for the Occupational Radiation Protection in Severe Accident Situations and Post Accident Recovery」：Mr. Olivier 首先提到就輻射防護觀點而言，可將嚴重核子事故分為兩個狀態，一為緊急應變狀態、另一為事故發生後狀態。在緊急應變狀態所面臨的問題是事故威脅、放射性物質外釋以及如何搶救恢復為穩定狀態；而事故發生後狀態，則以過渡階段及既存曝露情境作業為主。以下僅就兩狀態，法國管制當局觀點作一說明。

1. 緊急應變階段---緊急應變人員除電廠輻射工作人員外，其餘支援搶救干預人員 (intervention personnel) 可分為二類(1)如輻防專家、消防隊員、醫護人員

等一線人員，其個人在緊急應變時之劑量干預基準為 100 毫西弗~300 毫西弗，如為搶救生命可超過此一基準，但終身劑量須小於 1 西弗。(2)如為部分參與緊急應變工作的二線人員，其個人干預基準為 10 毫西弗。不管第一或第二類人員，均應為志願者且告知其風險並有個人之劑量紀錄。

2. 事故發生後階段

- 過渡階段---在法國目前緊急應變法規，尚未針對緊急應變情境與既存曝露情境之情境轉變做一定義。目前法國正參考 IAEA 與歐盟相關草案，規劃訂定。
- 既存曝露情境---既存曝露情境下參考基準的一般設定之預期劑量為 1 毫西弗至 20 毫西弗間。在曝露情境下個人所關心的應是接受正確的訊息以及有效的降低其劑量，因此在此情境下個人監測或評估以及教育訓練是非常重要的。

(二) 韓國核能安全研究所(KINS, Korea Institute of Nuclear Safety)Dr. Kim, 報告題目「Radiation Protection Issues Raised in Korea since Fukushima Accident」：在這次 ISOE 會議中，來自亞洲的國家除我國外，亦有來自日本及韓國專家代表，因日本是福島事故發生國家，所以其報告獲得各國重視，而韓國則是離日本最近的國家，因此對於韓國因應境外核子事故的輻防經驗分享，也同樣的受到與會專家的高度興趣。Dr. Kim 先提到福島第一核能發電廠距離韓國約 810km~1490km，因此社會大眾對於福島事故有高度的關注，此外這三年（2011-2014）民眾對輻安議題亦有反對聲浪，因此身為輻防工作者的他，感受到極大的壓力。他接下來開始就福島事故，韓國核安管制機關對於核安管制與輻安疑義問題所做的努力，作一說明。

- 核能安全總體檢---韓國在 2011 起針對國內核能電廠進行核安檢查，包含 7 大領域(地震、海嘯、水患、嚴重事故、緊急應變、運轉作業及研究用反應器)進行 50 個項目檢測。
- 緊急應變整備作業---準備超過 2 倍足夠量的輻射防護衣、過濾面罩、輻射偵測儀，並將它貯存於不會受到海嘯水患影響的地方。也特別針對

極端氣候所引起的複合式災難進行評估應變方案。另對於電廠員工加強演練，使其未來若真正面對核子事故發生時，能夠有足夠能力已做因應。另加強電廠附近居民輻射防護設備與緊急醫療設備，以確保其安全。另參考 IAEA-GS-R-2 將緊急應變區(EPZ)8~10 公里，修訂為 PAZ (Precautionary Action Zone) 3~5 公里: UPZ (Urgent Protective Action Planning Zone)20~30 公里。

- 結論---Dr. Kim 在演講結束提及，福島事故帶給韓國民眾很大衝擊，因此造成民眾對核安輻安議題的更加重視。此外例如福島事故對境內的汙染與一些輻安上的議題，更使民眾用高標準要求來檢視核安輻安管制作業。因此政府必須強化更多管制作為，以因應民眾高度期待。另 Dr. Kim 也建議各國政府也可藉由一些研討會的場合，分享在嚴重核子事故之整備經驗交流，將有助緊急應變業務推動。

四、 職業輻射防護嚴重事故管理報告書初稿介紹

ISOE 於 2011 年 5 月成立嚴重事故職業輻射防護專家工作小組 (EG-SAM, Expert Group on Occupational Radiation in Severe Accident Management)，針對福島事故所得到的管理經驗，特別是職業輻射工作人員在嚴重事故輻射防護部分，編撰「職業輻射防護嚴重事故管理報告書」。這份報告書是由 OECD19 個會員國家，分別來自核能安全研究機構、管制機關與核能發電設施經營者 45 位專家學者所編撰的。該項報告書初稿業於 2013 年 11 月完成，內容分別就嚴重事故輻射防護管理組織的組成、輻射防護訓練與演習、應變場所配置與準備、事故應變人員防護方針、輻射外釋與汙染之監測與管理以及歷史核子事故（車諾比、三哩島、福島）經驗學習，進行分章描述。而本次研討會其中一個重要的目的，也就是希望各國專家學者能夠就其國家之緊急應變輻防管理經驗，對於事項報告書提供卓見，必使此份報告書更為詳實與豐富。以下僅就報告書各章內容摘要說明如下：

一、 輻射防護管理與組織：本章節可謂核子事故緊急應變的主要架構，內容分為：緊急應變計畫、緊急應變中心設置、緊急應變組織架構、決策下達、廠

內輻防決策條件與公眾溝通。

- 緊急應變計畫---一般在訂定核子事故緊急應變計畫應考量包含以下部分：組織架構與人員責任定義、緊急應變程序、廠內緊急應變人員配置與資格限制、支援動員能量、核子事故分級與防護行動、公眾溝通、資訊揭露、應變設施與設備、廠外輻射防護程序、廠外民眾防護行動、緊急醫療照護、復原與返回。
- 緊急應變中心---為因應核子事故指揮與應變事宜，核子事故應變中心，主要為四部分：電廠主控制室(MCR, Main Control Room)、廠內應變控制中心(ECC, On-Site Emergency Control Centres)、廠外應變指揮中心(EH, Off-Site Emergency Headquarters)。
- 緊急應變組織架構---電廠值班人員、緊急應變人員編制、事故支援人員職能、其他參與人員、人員相關限制。
- 決策下達---應確認指揮決策者、當決策下達時，應就輻防觀點決定事故分類、民眾防護行動建議以及廠內應變人員防護等事宜。
- 廠內輻防決策條件---首先應就區域劃分及出入管制為首要任務，另應建立應變人員劑量參考基準，表 2 為各國緊急應變人員劑量參考基準。

Country	Reference Levels	Life Saving Actions
Belgium	50 - 250 mSv	250 mSv (incl. prevent catastrophic evolution)
Brazil	100 mSv	Consider the thresholds related to the deterministic effects.
Canada	500 mSv	
Czech Republic	100 mSv	200 mSv
Finland	500 mSv	
France	Group 1: 100 mSv during the time of their missions. Group 2: 10 mSv	Group 1: up to 300 mSv for protecting people. Group 2: exceeding reference values can be accepted for saving human lives.
Japan	100 mSv	
Pakistan	100 mSv	500 mSv
Republic of Korea	< 500 mSv	
Slovak Republic	100 mSv	500 mSv
Spain	50 mSv for interventional workers	500 mSv for exposed workers
USA	100 mSv	250 mSv

表 2：各國緊急應變人員劑量參考基準

- 公眾溝通與資訊揭露---在緊急應變計畫內，應預為規劃資訊揭露與民眾溝通，並應考慮使用何種傳播媒介，使民眾了解應採取的防護行動。

二、輻射防護訓練與演習：本章節主要說明核子事故輻射防護演習與訓練要務。內容分為，應變整備任務、研發應變訓練導則、訓練型態分類、訓練品質要求、輻射防護內容與管理培訓事宜。本章主要重點如下：

- 核子事故訓練計畫，應以系統培訓方式(SAT, Systematic Approach to Training)因應訓練需求考量。
- 緊急應變人員，應有明確定義、相關訓練、資格確認以及擔負任務與責任。
- 訓練課程應包含，緊急應變防護行動，辦理方式包含課堂學習、自行研讀、現場模擬訓練與演習，以強化個人應變能力。
- 演習情境的想定，應有挑戰性且與真實災害發生情形相近，愈逼真愈好。
- 對於演習結束後，應進行檢討分析，並將演習結果融入未來培訓教材中。

三、應變場所配置與準備：本章節討論在核子事故緊急應變時，核設施之相關應變場所配置與準備，包含：場地布局、應變系統控制與配置、應變時進出口門禁防護能力、輻射設備的可攜性與配置場所、場外應變中心指揮應變能力、輻射監測設備與防護設備的購置。

有關應變場所配置設計考量：

- 門禁防護能力。
- 在嚴重核子事故時，人員進駐的安全管控。
- 通訊設備的配置。
- 輻射監測系統的配置。
- 放射化學分析實驗室設置。
- 可攜式緊急應變設備準備---個人防護設備、個人劑量警報器、手提式輻射偵測器與取樣設備。
- 警報施放系統。

四、事故應變人員防護方針

在正常輻射作業型態下，遵行標準作業程序與輻射曝露控制對於工作人

員而言，是重要的兩個要項。惟在緊急情況下，因需在短暫時間做一應變，且人員均處於高張壓力下，特別是部分應變人員並沒有足夠的輻射防護知識，又必須處於高輻射的作業場，因此正常作業防護方針，已不足因應嚴重核子事故需略作調整，因此本章節業就嚴重核子事故發生時應變人員防護方針，作一說明。主要分為以下部分，個人劑量參考基準、一般防護規劃、作業計畫執行與管控、輻射曝露控制、非輻射健康影響與健康照護。

- 個人劑量參考基準：可就不同作業型態(搶救生命、減少災難、復原階段)或不同類別緊急應變人員(如消防人員、偵測人員…等)訂定個人劑量參考基準，或指訂定均一的個人劑量參考基準。
- 一般防護規劃：包含規劃原理、流程、工作指引、輻射狀態、防護行動與碘片服用。
- 輻射曝露控制：體外與體內劑量監控、劑量預警設定、文件紀錄保存。每位工作人員應配戴個人警報器。此外體內劑量全身計測設備應考量設置位置，否則在緊急應變狀況下，有可能因為高輻射場而導致無法量測。

五、輻射外釋與污染之監測與管理

本章節主要說明，在核子事故中後期，大量放射性物質與污染從廠內擴散，因此需要控制方法，以避免放射性物質外釋造成緊急應變人員與民眾傷害。主要考量項目如下：

- 輻射外釋的監控與管理---特別是氣體與液體的排放。
- 廠內與廠外汙染監測---應就輻防觀點建立相關監測計畫。
- 操作干預基準的訂定---參考 IAEA GSG-2。
- 監測項目---環境劑量率、潛在熱點量測、表面汙染監測與空浮測量。
- 汙染管制---特別以福島事故汙水惟說明。

六、歷史核子事故（車諾比、三哩島、福島）經驗學習

本章主要就歷史上 3 起嚴重核子事故（車諾比、三哩島、福島）之緊急應變及處理經驗進行說明，特別聚焦於輻射防護應變方面。以下謹就 3 起核子事故進行說明：

1. 美國三哩島核子事故（1979.3.28）

- 事故後果---45%爐心熔毀、在以三哩島核電廠為圓心的 50 英里範圍內，220 萬居民中無人發生急性輻射反應、對於周圍居民的癌症發生率沒有顯著性影響。
- 應變中心任務---確保反應器為安全狀態、反應器除汙、防止分裂產物擴散、爐心處置。
- 集體劑量---1979.3~1993.12 工作人員集體劑量約 66 人·西弗
- 輻防經驗學習
 - 遠端區域輻射監測系統的設置
 - 於反應器內取樣時，應注意防護，以合理抑低劑量
 - 空浮輻射監測器應可度量高濃度放射性物質
 - 強化緊急應變演練
 - 應發展自動化機器人，以為高輻射區域除汙與偵檢使用



Major Activities from 1986 to 1989	Dose (person.Sv)
Defueling operations – reactor vessel	6.98
Defueling support (tools, repairs, water clean-up)	10.58
Reactor Building miscellaneous (robotics, crane operations, radioactive waste, etc.)	7.65
Decontamination outside the Reactor Building	4.24
Routine operations (ops, chemistry, RP) outside the Reactor Building	2.77
Ex-vessel defueling (pressurizer, etc.)	2.16
TOTAL	34.38 (≈ 8 person.Sv/year)

Total collective dose from March 1979 to December 1993 : About 66 person.Sv

圖 9：三哩島核子事故時序與集體劑量圖

2. 蘇聯車諾比核子事故(1986.4.26)

- 事故後果---反應爐發生爆炸、放射性物質大量外釋，大火連燒 10 天
- 集體劑量---1986~1990 工作人員集體劑量約 60,000 人·西弗（73%在 1986；22%在 1987）

● 輻防經驗學習

- 應備有合適的輻射偵測儀器，可以偵測高劑量率區域
- 應備有偵測貝他輻射之輻射偵測儀器
- 應變人員劑量紀錄應集中蒐集建立資料庫
- 應發展自動化機器人，以為高輻射區域除汙與偵檢使用
- 發展適合的個人輻射防護設備
- 非所有的應變人員都有接受輻射防護訓練(如消防人員與醫護人員)
- 復原階段需要大量人員支援，輻射防護應特別重視

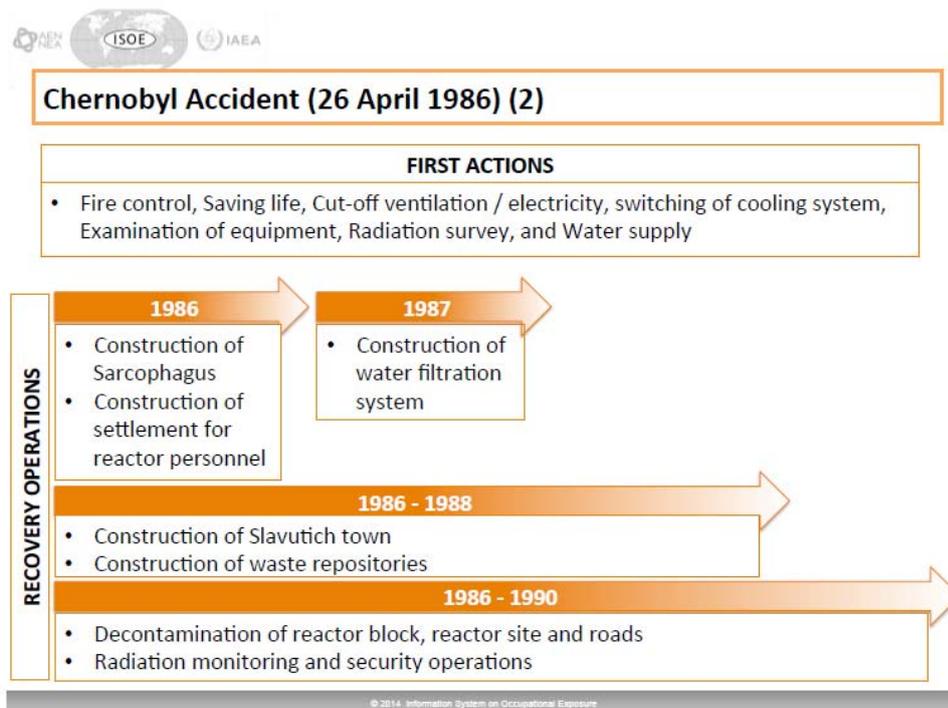
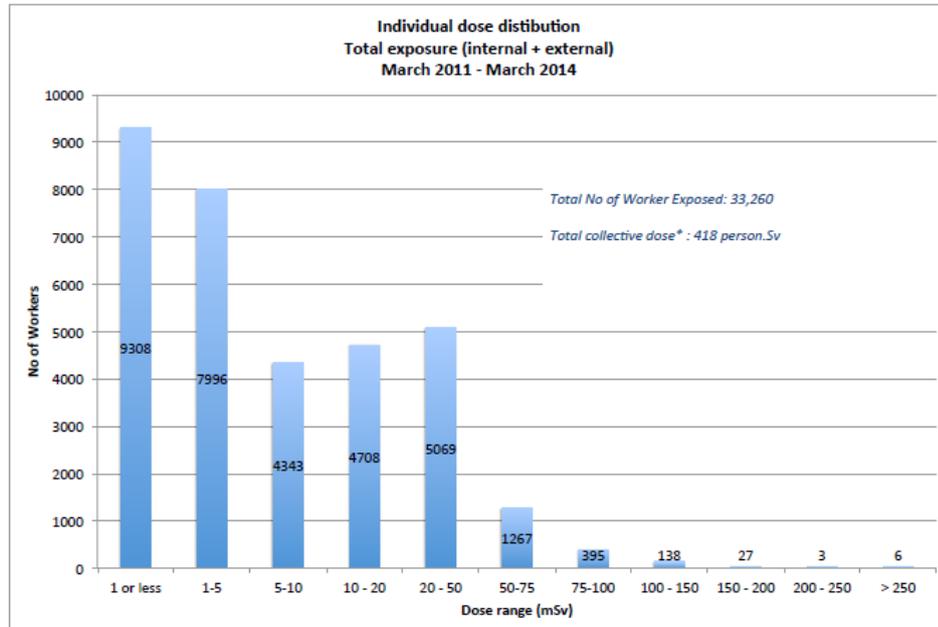


圖 10：蘇聯車諾比核子事故時序與行動措施圖

3. 日本福島核子事故(2011.3.11)

- 事故後果---因地震引起海嘯造成電力喪失，反應爐發生氫爆、放射性物質外釋
- 輻防經驗學習
 - 多數個人劑量警報器無法使用

- 因電力喪失人員劑量需倚賴手工登錄
- 廠內體內劑量監測器，因背景過高無法使用
- 多數應變人員缺乏輻射防護訓練
- 復原階段放射性廢水處理仍是問題



Source : TEPCO Monthly publication – *Collective dose is estimated by multiplying the No of workers reported to be exposed by the average individual dose

圖 11：日本福島核子事故工作人員劑量分布圖

由上述三起核子事故經驗分享，從輻射防護觀點可看出相同議題

- 輻射監測與劑量紀錄議題
- 應發展遙控機器人協助高輻射地區應變使用
- 設計發展合適的個人防護設備(輻射、熱、汙染...)
- 大量緊急應變人員的輻安管制
- 加強應變人員輻防訓練

五、 拓展國際交流事務

職業曝露劑量資訊系統作業平台(ISOE, Information System on Occupational Exposure)係於 1992 年由經濟合作發展組織暨發展組織核能署(OECD/NEA, Organisation for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency)與國際原子能總署(IAEA, International Atomic Energy Agency)共同贊助所成立的,其主要功能係提供設施經營者及管制機關對核電廠員工職業曝露數據分析與評估所架構的平台,已達輻射防護最適化目的。ISOE 會員分為核能發電設施與管制機關,核能發電設施需提供職業曝露劑量數據,此外 ISOE 目前有 4 個技術中心,分為 Asian technical center、European technical center、IAEA technical center、North American technical center。目前 ISOE 有 29 個國家 408 座核反應器職業曝露資訊可供分享,因此我國如能加入此一核能技術組織將對核能安全管制技術提升與增進國際輻防管理經驗交流合作,有重大助益。故在 96、98 年本會亦建請台電公司評估加入 ISOE Asian technical center,惟由於加入國名問題均未獲 ISOE 回應。而在今(2014)年我國駐法代表侯榮輝簡任秘書,再次積極與 NEA 洽詢我國加入 ISOE 之可行性,NEA 則建議我國可從參與 ISOE 相關研討會議開始,以循序漸進方式加入會員,故本會亦指派職與本會駐美國趙衛武副組長,聯袂參加本次會議,除學習與分享國際間緊急應變輻防管制經驗,亦藉由此次活動的參與再次探詢我國加入 ISOE 之可行性,以拓展我國在國際組織之參與度與能見度。

在會議分組討論中,趙副組長與職亦就國內在福島事故發生後之輻防應變措施進行說明,與會學者均表認同。此外在會議中場時間,本會同仁亦藉此機會與各國專家學者或管制機關高層人士進行交流,如與 NEA 副署長 Dr. Kazuo Shimomra 探詢加入 ISOE 意願,Dr. Kazuo Shimomra 表示 NEA 將盡力協助我國加入,但是否核准仍需 ISOE Region 會員同意;另外我們也與曾經蒞台擔任輻傷緊急醫療講座 REACTS/ORISE 之 Dr. Albert Wiley 問候,感謝他為國內輻傷醫療的熱心指導,此外趙副組長也與 NRC 核安管制副處長 Dr. Jennifer Uhle 晤談,在此場合能見到 NRC 高層,職也準備自行購買的小禮物致贈 Dr. Jennifer Uhle,除表達

對感謝美方在台美雙方長期核安交流合作的支持外，也希望 NRC 能繼續協助我國在核安輻安管制技術上的精進提升。



圖 12：本會同仁與主辦單位 NEA 主管合影留念(左為 ISOE 秘書長 Halil Burcin Okyar、NEA 副署長 Kazuo Shimomra、蔡親賢科長、本會駐美趙衛武副組長)



圖 13：本會同仁與 NRC 核能管制副處長 Dr.Jennifer Uhle 合影留念

參、參訪紐約 Memorial Sloan-Kettering Cancer Center

Memorial Sloan-Kettering Cancer 在 1884 年成立的「New York Cancer Hospital」，1916 年改名為「General Hospital」，以癌症治療為主。而 1940 年代，慈善家 Alfred P. Sloan 及發明家 Charles F. Kettering 共同創立了以癌症為主要研究對象的研究單位「Sloan Kettering Institute (SKI)」。General Hospital 及 SKI 在 1960 年整合成現今的 Memorial Sloan-Kettering Cancer Center (MSKCC)，因此該院已有 130 年歷史，為現今世界上歷史最悠久頗具規模的私人癌症治療中心之一，該院以其優良的病人照護、不斷創新的醫學研究及傑出的教育聞名。依據知名新聞雜誌「美國新聞與世界報導 (US News & World Report News)」走訪全美 5000 家醫療院所，Memorial Sloan-Kettering Cancer Center 榮獲 2013 至 2014 年全美癌症醫院第二名，僅次於德州 MD Anderson Cancer Center。

本次參訪該院主要目的，係因目前國內對於接受 I-131 放射治療病患之外釋標準係參考 10 CFR 35.75 精神要求醫院自主管理，考量輻射防護 ALARA 原則及順應國際趨勢，目前本會正以委託研究計劃，進行「I-131 核醫病患外釋管理作業辦法擬訂研究」，也希望藉由參訪機會，收集美國對於接受 I-131 放射治療病患之外釋標準管制資訊，以作為本會制訂是項管制法規之參考。

職與該院放射診斷的醫學物理師景鴻烈及 Dr. Lawrence T. Dauer 就 I-131 放射治療病患之外釋標準、輻射安全進行討論，另隨同景鴻烈先生進行透視 X 光機的品质實作，以下對所討論問題整理如下：

一、NRC 對於接受 I-131 放射治療病患之外釋標準為何？

有關接受放射性碘 131 治療病患，美國在 1997 年以前病患外釋的標準是以治療活度或 1 公尺處劑量率為標準，當病患接受碘 131 治療活度小於 1.1GBq(約 29.7mCi)，或 1 公尺處之劑量率小於 0.05mSv/h 即符合外釋標準。而 1997 年以後 NRC 修訂 10CFR35.75【Release of individuals containing unsealed byproduct or implants containing byproduct material (1997.5)】後，外釋標準則將過去以治療活度或劑量率為患者外釋返家規定，修訂為以對周圍民眾之有效等效劑量為標準。訂定當對任

一民眾造成的有效劑量小於 5mSv 則病患即可外釋。此一標準修訂係採風險基礎考量，除可減少或免除病患住院的時間與醫院整體成本負擔，對醫院具有更彈性的治療方式，並對接受治療之患者和家屬的身心支持及經濟狀況有所助益。

二、 那醫院該如何因應此一外釋標準的修訂？實務上如何執行？

為配合 10CFR35.75 外釋標準修訂，NRC 並於 1997.4 發布法規導則 Regulatory Guide 8.39 “Release of Patients Administered Radioactive Material” 以提供醫療院所醫療實務應用。由於治療病患對一般民眾的有效劑量影響估算，涉及體內殘留活度及與病患接觸時間及幾何因素影響，一般較難評估，但反之如可以保守估算方式推估外釋劑量率方式，則對醫院實務操作上較為容易，以下僅就 Reg. Guide 8.39 提及之二種外釋方式簡要說明：

- 體內積存的活度，導出 1 公尺處劑量率外釋規定

此一方法是最保守也為最簡單可施行的方式，係保守假設接受碘 131 治療病患體內積存的活度為點射源，不考慮體內組織衰減及生物半衰期，僅考慮佔用因數(訂定核種物理半衰期>1 天為 0.25，核種物理半衰期<1 天為 1)，在上述保守條件下，可推估對 1 公尺處之累積有效劑量為 5 毫西弗計算，得到表 3 體內積存活度的保守值與 1 米處的劑量率，以碘 131 活度計算約為 1.2GBq(33mCi)、1 米處劑量率相當為 0.07mSv/h。而此值亦為碘 131 治療病患外釋規定值，也就是說在此保守活度下病患外釋，不會造成身旁一般民眾超過>5mSv 的有效劑量限值。

Table 1. Examples of Radionuclide Activities & Dose Rates for Authorizing Patient Release

Radionuclide	Radioactivity at or below which patients may be released		Dose rate @ 1 meter, at or below which patients may be released	
	(GBq)	(mCi)	(mSv/hr)	(mrem/hr)
¹³¹ I	1.2	33	0.07	7
¹⁵³ Sm	26	700	0.3	30
^{99m} Tc	28	760	0.58	58
¹⁹⁸ Au	3.5	93	0.21	21

表 3：Reg. Guide 8.39 推估接受放射藥物 1 公尺劑量率外釋規定

- 客製化計算有效劑量外釋規定

經由上述體內積存的活度，導出 1 公尺處劑量率外釋規定，與 NRC1997 年前訂定之外釋標準並無差異，對於醫院而言確實好執行，但就醫院醫療成本與醫院本身輻射管制考量而言，如多數病患均需住院等待體內活度衰退至 33mCi，則醫院必須設置碘 131 治療病房，就建置費用與後續輻防管制措施（監測設備、輻射屏蔽、病患尿液貯存槽、護理站人力…等），對醫院而言確實是一大沉重負擔，但如果以病患不住院小劑量治療(<33mCi)方式，則對甲狀腺癌的治療效果又大打扣，因此就醫院成本與治療效益考量，以對旁人有效劑量為外釋管制，是一種非常有彈性的選擇。

因每位病患治療條件不一，故如何估算對旁人有效劑量且又不至太過複雜的推算方式，須有一配套措施。NRC Regulatory Guide 8.39 有提出一計算公式，此公式是以上述基本累積劑量公式為基礎，在考量生物半衰期及病患與接觸民眾之佔用時間修正所得的，因此藉由計算公式推估病患的外釋劑量可高達至 300mCi。

三、醫院對於採用客製化計算有效劑量外釋方式，有何需準備事項？

因為客製化計算有效劑量方式，佔用因數是一個比較無法掌握的因數，因其涉及病患與旁人接觸時間長短、距離遠近還有接觸對象是否為懷孕婦女或小孩，因此佔用因數的選擇，對於核子醫學物理師而言是一大挑戰。故在實施治療前的治療計畫，除病人之身體狀況是否可接受放射碘治療之評估外，物理師亦針對病患家庭成員、睡眠位置、家中是否有人懷孕、工作型態、是否可自行照顧自己、近期有無出國計畫等資訊進行了解，以選擇最適合佔用因數，評估出最合適的且又不影響旁人輻射安全的治療劑量。

四、家中如有兒童或懷孕婦女，有何須注意地方？病患外釋醫院提供輻安衛教導則為何？

其實 NRC 對病患與兒童或懷孕婦女接觸之問題非常重視，在 10CFR35.75(b)中特別規定，治療病患外釋，醫院必須提供外釋導則與口頭說

明，俾使病患對他人的輻射影響合理抑低。NRC 也特別訂定如家中有未斷奶的嬰兒或兒童，且評估後對兒童有效劑量超過 1mSv，若醫院必須提供有關繼續哺乳輻射影響資訊。

Dr. Lawrence T. Dauer 也很熱心提供紐約市衛生局發文的” Guidance on Release of Patients Administered Therapy Quantities of Radioactive Iodine-131” 以及 Memorial Sloan-Kettering Cancer Center 之放射碘治療病患外釋輻射安全衛教指引及醫院醫學物理部門所設計的病患居家隔離安全時間估算表(如附件)，未來可供國內醫療院所放射碘治療之衛教指引設計參考。

五、其他輻防應注意地方?

確實以有效劑量作為外釋標準，除可減少或免除病患住院的時間與醫院整體成本負擔，對醫院具有更彈性的治療方式，並對接受治療之患者和家屬的身心支持及經濟狀況有所助益。但從輻防觀點而言，外釋病患是否遵循導則配合自我居家隔離？且病患的廢棄物是否會影響環境輻射安全都是需要考量的。Dr. Lawrence T. Dauer 提到在 2011.2 NRC 發布訊息重申放射碘治療病患應遵循醫院衛教指引，做好居家照護，也提醒醫師應有責任告知病患應遵循自我居家隔離。主因是因為 NRC 發現太多病患在接受放射碘治療後，都未返家而住進旅館，這將會對旅館內的一般民眾特別是小孩或孕婦，造成輻射安全上的疑慮。此外病患外釋後，其排泄物對環境的影響，Dr. Lawrence T. Dauer 說在 ICRP94 號報告有提到，因核醫治療核種多為短半衰期，因此對環境的影響不大，但先決條件是要有完善的污水下水道系統。而比較有可能受影響的可能是污水處理作業人員，可能會受到一些劑量曝露。



圖 14：Memorial Sloan-Kettering Cancer 碘 131 治療室



圖 15：Memorial Sloan-Kettering Cancer 碘 131 治療室入口

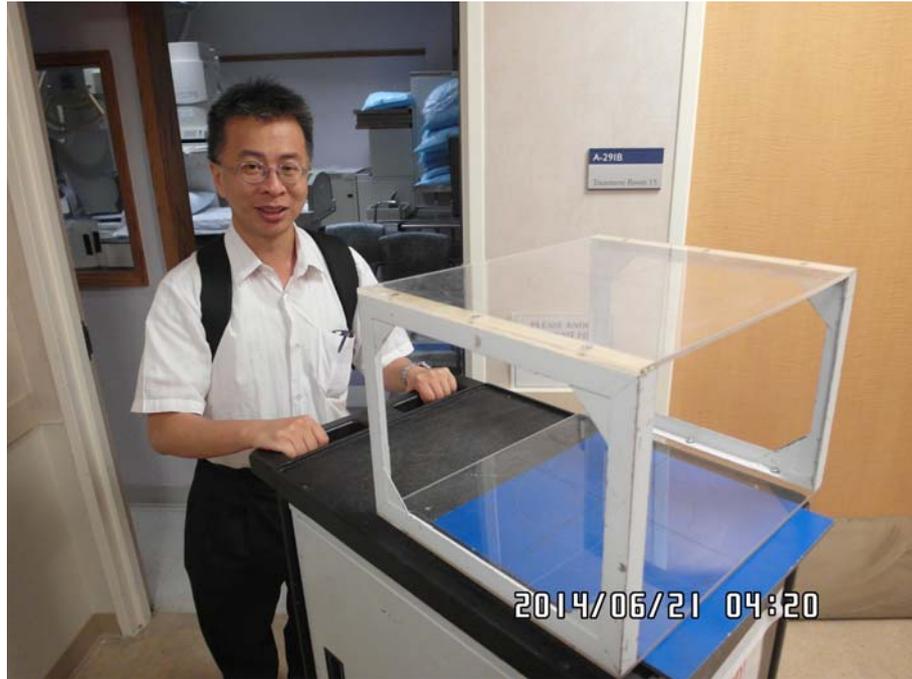


圖 16：學習透視 X 光機醫療曝露品保實作訓練



圖 17：學習透視 X 光機醫療曝露品保實作訓練

肆、心得與建議

- 一、職業曝露劑量資訊系統作業平台 ISOE，提供會員國核能電廠員工職業曝露數據評估與輻防管制經驗分享，資訊彌足珍貴，各國核能管制機關與設施經營者均積極參與。我國雖尚未成為會員國，仍積極爭取加入此一核能技術組織，ISOE 秘書亦表達歡迎並表盡力協助之意，未來應積極參與該組織各項活動，以提升我國在國際組織之參與度與能見度，同時對國內核能管制技術亦有其重要助益。
- 二、本次 ISOE 研討會議議程安排妥適得宜，議題安排從輻防管制全球觀點、設施經營者輻防作業經驗分享、管制機關管制措施與策略闡述及對於輻射防護嚴重事故管理報告書安排分組討論腦力激盪，都可看出主辦單位的用心，讓各參與者可換位思考，深入了解不同層次或團體，對於輻射防護作業採行策略與處理觀點，均可深入學習，兼具廣度與深度，是非常成功的一次研討會議。此外邀請講座除有輻防領域國際級大師外，也有第一線經驗豐富的輻射防護人員，理論與實務兼具，特別是部分報告內容，雖無深奧輻防理論，但對於緊急應變處置技術上有其細膩說明，正所謂「魔鬼藏在細節中」，這些地方也是未來在緊急應變輻防管制準備上，所要注意之處。
- 三、我國目前輻射防護管制體系與安全標準係參考 ICRP1990 年出版的 60 號報告書所建構的，惟 ICRP 在 2007 年已出版新的輻射防護建議報告書 103 報告，在本次會議中 ICRP 專家也特別說明 103 號報告內的一些重大變革，例如對於 60 號報告之「實踐」與「干預」概念，已引進新的輻防體系思維：「計劃曝露情境」、「緊急曝露情境」及「既存曝露情境」，而這種思維的改變除對輻防管制體系有重大影響外，對於緊急應變管制上（如民眾劑量參考基準、民眾行動防護規範…）都將有大幅的改變。按 OECD/NEA 調查各國將 ICRP 輻防建議報告書精神融入管制法規體系，約 3~15 年時間。故以目前 2007 年出版之 103 號報告，約在 2022 年(即民國 111 年前)，各國均將以 103 號報告之管制精神制定輻防法規，故當務之急應廣泛蒐集與瞭解先進國家輻防管制

新趨勢與其將 ICRP103 入法之時程規劃，以為我國未來輻防法規修訂之參考以與國際接軌。

四、日本福島事故發生後，各國政府均加強進行核能設施總體檢與輻射防護精進相關作業，在本次研討會觀察比較各國後福島事故強化措施中，可看出我國在福島事故後之進行核安總體檢、精進緊急應變體系（如預防性疏散、緊急應變區擴大…）與強化輻安管制作為（建置環境輻射偵測整備平台、建立核子事故污染源應變機制、引進空中偵測技術…等），都與國際同步甚至超前，亦可提供國人核安輻安最佳保障。惟這些安全保障具體作為，亦須透過各種管道加強對民眾宣傳，例如使用多媒體或相關網路社群的建立等，以吸引民眾關心注意，並可舉辦國際輻射安全溝通研討會議，學習溝通的藝術與師法國際成功的宣傳經驗，以期成功的傳遞正確的輻射觀念與讓民眾有感政府為民眾所做的核安努力。

五、國際核能與輻防相關組織（如 ICRP、OECD/NEA、IAEA）在福島事故發生後，均將所學習經驗融入其出版之報告書中，如 ICRP109、111 報告、ISOE 職業輻射防護嚴重事故管理報告書與 IAEA 相關報告。特別是 IAEA 將於 2015 年提出修訂版的安全標準叢書 GSR Part 7。在這份新修訂版的安全叢書，將對整個緊急應變體系核子事故民眾防護行動規範，有重大變革。例如將預期劑量為考量的防護行動概念改為確實可執行的操作干預基準(OIL)觀念，此一防護行動規範概念的修正對緊急事故演習、整備動員都須隨之調整改變，因此本會應加強注意安全標準叢書 GSR Part 7 的草案內容，並參考各國福島事故後之緊急應變法規修訂過程，以適時修訂國內核子事故民眾行動防護規範。

六、本次會議中，福島電廠第一線保健物理人員，就事故發生之切身管制經驗分享，彌足珍貴。特別是提及劑量管理部分，如個人劑量警報器準備數量是否充裕與在喪失電源供應之劑量監測問題、工作人員劑量登錄系統的備援建置、應思考將體內劑量監測系統設置於廠外應變中心等建議，都是在昂貴代價中所得的寶貴經驗，建議可將此一輻防管制經驗提供台電公司於核子事故

應變整備作業參用。

- 七、對於緊急應變人員定義與劑量參考基準訂定，在本次會議中，亦為各國學者專家所重視，特別是 ISOE 報告書提出緊急應變人員分級化與劑量參考基準訂定的細緻化（如以任務導向為主或以人員類別為主），目前我國對於緊急應變人員之劑量參考基準係參考 IAEA115 報告以任務導向為主（搶救生命、減少集體劑量…等），足可保障應變人員之輻射安全。惟未來是否將應變人員分級定義法制化，以提供不同層級的輻防訓練與防護裝備提供，可蒐集國際作法，進行研議。
- 八、我國目前對於接受 I-131 放射治療病患之外釋標準係參考美國 1997 年前訂定之 10 CFR 35.75 規定要求醫院自主管理，實務上係以 1 米處劑量率為管制規定，考量 10 CFR 35.75 已採對周遭民眾之有效劑量為管制規定，目前本會正以委託研究計劃，進行「I-131 核醫病患外釋管理作業辦法擬訂研究」，未來國內修訂碘 131 治療外釋標準，應考量輻射防護 ALARA 原則參考各國管制資訊及訂定相關配套技術導則，俾利在民眾輻射安全與病患醫療服務上尋求雙贏。
- 九、目前我國並無醫學物理師法，醫學物理師僅為中華民國醫學物理學會認證，且多服務於放射治療與診斷部門，核子醫學部門則無，特別是未來國內法規如以有效劑量影響為碘 131 治療外釋標準，則醫學物理師的角色更顯重要。以美國經驗而言，醫學物理師的配置為提升整體醫療品質不可或缺之一環，國內衛生主管機關應重視醫學物理師的專業，早日立法明確規範醫學物理師的資格與執業項目，將有助於醫療品質的提升。
- 十、本次出國開會學習，對個人而言是一個難忘且受益良多的學習之旅，在學習的過程中對於國際間輻防專家學者在專業上的堅持努力與研究成果的卓越發展深感欽佩，此外還有第一線輻防管制人員，如福島電廠保健物理經理 Mr. Shiro，將輻射防護工作當作終身志業全力投入，置身死於度外的情操亦為感佩。此次旅程深感「行萬里路勝讀萬卷書」這句俗諺的涵義，也深深感觸個人在輻防專業上仍有很大學習空間。此外在返國後以電子郵件方式向與

會學者專家們請益會議簡報資料，均獲熱心回應與指導，也對於這些學者的雍容大度深感佩服。另藉由參加會議實際參訪美國醫療院所、與相關人員進行訪談並參與醫院的實務作業現場，收集先進國家的管制方法與規定，對於未來推動輻射防護政策與進行管制都有許多幫助，建議未來應持續派員參加類似國際會議，以及赴國外實務作業現場參訪。

伍、致謝

本篇報告之專題內容係來自 ISOE 職業輻射防護嚴重事故管理國際研討會的報告資料，並感謝大會祕書長 OECD/NEA Dr. H. Burcin OKYAR 提供之摘要、講稿與資料，也感謝紐約 Memorial Sloan-Kettering Cancer 的醫學物理師景鴻烈及 Dr. Erdi 與 Dr. Lawrence T. Dauer 的熱心指導。另也特別致謝會內駐美代表趙衛武博士，對於個人赴美期間的協助與照顧，另對於他在會議中積極拓展國際外交，爭取加入國際核能組織的努力，以及駐 OECD/NEA 代表侯榮輝博士安排本次會議的辛勞，均為職所佩服與尊敬。此外也要感謝曾經協助職本次行程順利成行的長官與同仁，因為你們的支持，本次出國方能順利圓滿。