

出國報告（出國類別：開會）

參加 INMM/ESARDA 核子保防及 查證之未來方向研討會

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：李榮達/核能工程監

派赴國家：法國

出國期間：100 年 10 月 14 日至 10 月 22 日

報告日期：100 年 12 月 12 日

100-5/27-9

出國報告審核表

出國報告名稱：參加 INMM/ESARDA 核子保防及查證之未來方向研討會		
出國人姓名(2人以上,以1人為代表)	職稱	服務單位
李榮達	十一等核能工程監	台灣電力公司核能發電處
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 實習 <input checked="" type="checkbox"/> 其他 開會 (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)	
出國期間：100年10月14日至100年10月22日		報告繳交日期：100年12月12日
出國計畫主辦機關審核意見	<input checked="" type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 2.格式完整(本文必須具備「目地」、「過程」、「心得」、「建議事項」) <input checked="" type="checkbox"/> 3.無抄襲相關出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 4.內容充實完備. <input checked="" type="checkbox"/> 5.建議具參考價值 <input checked="" type="checkbox"/> 6.送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 7.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 8.退回補正,原因: <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/> 抄襲相關出國報告之全部或部分內容 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input checked="" type="checkbox"/> 9.本報告除上傳至出國報告資訊網外,將採行之公開發表: <input type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會(說明會),與同仁進行知識分享。 <input checked="" type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 其他 _____ <input type="checkbox"/> 10.其他處理意見及方式:	

說明：

- 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「政府出版資料回應網公務出國報告專區」為原則。

報告人		審核人		單位主管		主管處主管		總經理		副總經理	
-----	---	-----	---	------	---	-------	--	-----	---	------	---

QP-08-000 F06

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

參加 INMM/ESARDA 核子保防及查證之未來方向研討會

頁數 23 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/23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

李榮達/台灣電力公司/核能發電處/十一等核能工程監/02-23667100

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：2011/10/14~2011/10/22 出國地區：法國

報告日期：2011/12/12

分類號/目

關鍵詞：核物料、保防、INMM、ESARDA

內容摘要：(二百至三百字)

本次會議主題為「核子保防及查證之未來方向」(Future Directions For Nuclear Safeguards and Verification)，規劃分成四組(四項次主題)同時進行發表及研討：

- 一、國際核子保防的未來方向。
- 二、核子保防及查證技術與研發的未來方向。
- 三、寬廣的透視核子保防與查證工作。
- 四、教育與訓練

本次受邀請參加第一組「國際核子保防的未來方向」之研討，第一組依簡報資料屬性區分為三類：(一)核子保防未來發展方向；(二)區域核子保防系統之前景；(三)核子保防實施之展望及經驗。

在此次研討會瞭解目前國際間核子保防作法及概念之最新發展，並與管制機構(IAEA)及各國專家交流相關經驗，對本公司核設施核子保防業務之建置、發展與精進極有助益。

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

目 次

內 容	頁次
壹、出國目的	1
貳、出國行程	2
參、任務過程	3
研討會內容摘要：	
一、 核子保防未來發展方向	3
二、 區域核子保防系統之前景	10
三、 核子保防實施之展望及經驗	11
肆、心得與建議事項	21
附件：參加人員名單	24

壹、出國目的

本次出國往返程共計 9 日，主要為赴法國艾克斯普羅旺斯參加 INMM/ESARDA 核子保防及查證之未來方向研討會。

INMM(Institute of Nuclear Materials Management，核子物料管理協會)，主要任務在研究、發展及精進核子保防及核物料管理之技術。除每年召開年會進行經驗交流外，近年則與 IAEA、國際間主要核子保防或核物料管理組織(國家)共同籌畫辦理專業性之研討會

今年 INMM 與 ESARDA(European Safeguards R&D Association，歐洲核子保防研究發展協會)共同針對「核子保防及查證之未來方向」舉辦研討會，並邀請歐美及 IAEA 專家發表專題報告及研討交流。

本公司目前運轉中 6 部核能機組均需接受 IAEA 之核子保訪視察及監視，未來龍門廠及用過核子燃料乾式貯存設施亦需納入核子保防監管範圍。藉參與此次研討會瞭解目前國際間核子保防管理及技術之最新發展，並與管制機構(IAEA)及各國專家交流相關經驗，對本公司核設施核子保防業務之建置、發展與精進極有助益。另藉由參加此國際性研討會增加本公司及國家的能見度。

貳、出國行程

100 年 10 月 14 日至 100 年 10 月 22 日(含往返程 4 日)共計 9 日，於法國艾克斯普羅旺斯(AIX-en-PROVENCE)，詳細行程如下：

<u>日 期</u>	<u>行 程</u>	<u>摘 要</u>
10/14~10/15	台北→巴黎→馬賽→ 艾克斯普羅旺斯	往程
10/16~10/20	INMM/ESARDA	INMM/ESARDA 核子保防及查證未來方向研 討會。
10/21~10/22	艾克斯普羅旺斯→ 馬賽→巴黎→台北	返程

參、任務過程

核子物料管理協會 (INMM) 與歐洲核子保防研究發展協會 (ESARDA) 每隔 3~4 年聯合舉辦一次研討會，主要提供核子保防專家、計畫經理及政策制定者針對有關防止核武器擴散、核子保防及全面保安之未來性議題的溝通討論機會。本次會議為第七次舉辦，會議地點安排位於南法的古城--艾克斯普羅旺斯，會議主題為「核子保防及查證之未來方向」(Future Directions For Nuclear Safeguards and Verification)，規劃分成四組(四項次主題)同時進行發表及研討：

- 一、國際核子保防的未來方向。
- 二、核子保防及查證技術與研發的未來方向。
- 三、寬廣的透視核子保防與查證工作。
- 四、教育與訓練

本次職受邀請參加第一組「國際核子保防的未來方向」之研討，第一組依簡報資料屬性區分為三類：(一)核子保防未來發展方向；(二)區域核子保防系統之前景；(三)核子保防實施之展望及經驗。職就參加第一組研討內容整理摘述如後。

一、核子保防未來發展方向

(一) 發展國家級保防概念之進展

由國際原子能總署 (IAEA) 官員 MS.Cooly 說明「發展國家級保防概念之進展」。

IAEA 已於 2010 年完成長程的策略性計畫(2012 年~2023 年)，準備籌組相關部門因應未來實行保防的挑戰和擔負責任，主要以結構性分析來引導決定策略性保防活動，及確認進一步發展 IAEA 保防系統的需求性。

IAEA 檢討目前保防系統所面對的議題：如累積大量的可用資訊需要使其發揮完整的效益、預算緊縮增加人員的工作量故需要調整以專注於某些重點工作、最近幾件未宣告的活動(如：北韓、利比亞、敘利亞等)未能被例行的核子保防視察發現，故需要發展新的「風險」模式。未來核子保防系統之發展其特色為：

1. 以目標為基礎(Objectives Based)：有別於過去皆使用相同的標準規範，將

予許針對不同國家，有其適用的國家級核子保防作為，確保其符合不同國家特有的核子保防目標。

2. 運用所有資訊，考量其國家因子(state factors)，決定核子保防的標地與活動。
3. 專注在國家層級及所關切的重點議題，將保防資源投注在高風險項目。
4. 保防作為將依所收集的資訊及分析結果進行調整。

有關國家級(State-Level Concept)核子保防之概念[SLC]：

1. 以全面性方式來執行核子保防：(a)所有簽訂保防協定的國家都適用(b)以全面持續的國家評估及國家層級方法為基礎(c)在年度執行計畫中實施。
2. 考量國家的整體環境，在核子保防執行的所有階段，均會將國家特定因子列入考量的機會。
3. 國家級概念的執行是回應分析中的變化，確保核子保防結論是有確切依據及是最新狀態。

進一步提升總署國家級核子保防概念需要：

1. 擴展「國家特定因子」(State-Specific factor)的使用，以結構化收集路徑分析來定義及排序國家特定技術目標(State-Specific Technical Objectives)。
2. 國家級核子保防作法，為具體規範與提供總署選項及符合「技術目標」所需的現場視察活動。
3. 於年度執行計畫中確認及選定視察活動。
4. 連結國家評估流程。

IAEA 目前發展國家級核子保防概念的計畫分兩階段：第一階段為整合國家評估及視察相關的活動，預定於 2011 年底完成。第二階段為發展執行國家級核子保防概念之必要元素，是以目標基礎(objectives-based)及資訊導向(information-driven)，預定於 2012 年底完成。以下針對計畫中幾項重要工作及概念略做說明：

1. 整合視察及評估活動資訊：主要工作是將所得資訊，使用「整合資訊管理系統」得可用資訊、強化現場及總署活動的回饋訊息、與重組的國家級評估團合作進行分析，並安排國家級評估之訓練課程。所有的資訊均有保安程序保

護。

2. 框架概念的幾項主要元素：(1)確認基本原則與目標、(2)建立國家級知識的流程、(3)發展國家級保防作法的流程、(4)計畫與實施在現場與總署核子保防活動的流程、(5)形成核子保防結論的流程。

(1) 核子保防執行的原則：

- (a) 國家間有區別但不歧視(使用共同的國家級目標、共同的流程[但需考量國家因子]、及國家特定技術目標)
- (b) 效果保有優先性；效果仍優先於效率
- (c) 總署的法律授權是完全被運用(需取得各國法律上的支持)
- (d) 涵蓋所有可能取得路徑(plausible acquisition paths)
- (e) 核物料保有未被移轉的結論基礎
- (f) [國家評估小組]全面審查及評估所有的資訊，做為持續性的基礎，並使用於計畫、領導活動及評估。
- (g) 國家有關的資訊及知識是隨時可使用，但需要被保護
- (h) 保防系統及基層的流程與程序，希望是透明的、可讓所有會員國了解
- (i) 應用品質管理的原則

核子保防目標基礎(Objectives-Based Safeguards)：有 3 類

- (a) 相關核子保防協定目標：全面核子保防協定(CSA, Comprehensive Safeguards Agreement)、特定核子保防協定(INFCIRC/66)、自願性核子保防協定。
- (b) 國家級核子保防目標：(有簽署 CSA 的國家皆同)
 - 以國家為一整體，偵測未宣告核子物料及活動
 - 對已宣告的設施及 LOFs(Locations Outside Facilities)，偵測未宣告的核子物料生產或流程
 - 對已宣告的設施及 LOFs，偵測核物料的偏差
- (c) 國家特定技術目標
 - 與可能取得路徑的偵測元素相關聯
 - 使用國家因子及偵測取得路徑的相對重要性訂定優先順序

- 形成發展國家級方法的基礎(basis)
- 符合更高水準的目標

(2) 建立國家知識：

- (a) 藉由結構化收集與分析所有相關資訊
- (b) 使用協同評估的流程來強化
- (c) 使用知識分析的結果來導出核子保防結論
- (d) 此知識，特別與核子保防相關的特徵，也使用於準備國家級方法及決定有關的核子保防活動。
- (e) 有關國家的知識將持續擴展與改進。

(3) 發展國家級作法(Developing a State-Level Approach)

- (a) 確認所有「可能的取得路徑」，此路徑為：
 - 確認所有取得核爆裝置核物料之可能路徑
 - 考量國家在核燃料循環各方面的能力(如：設施、知識、專業技術、過去研究發展情形、發展或輸入技術的容量等)
 - 基於前項的考量及國家特定因子，某些取得路徑將被投入較多的關注。
- (b) 詳細規劃及訂定國家特定技術目標的優先順序
 - 每條路徑上有許多(偵測)點，每點皆有潛在可被偵測的指標
 - 針對前項所述每一個(偵測)點，建立國家特定技術目標
 - 依國家特定因子，排定國家特定技術目標的優先順序及目標相對的重要度
- (c) 確認核子保防量測(Measure)方式能滿足技術目標
 - 確認核子保防量測執行於每個技術目標
 - 量測方式的選擇考慮國家特定因子(如：國家級料帳及管理系統[SSAC]之能力等)
 - 國家級方法有足夠的彈性，可以不同的量測方式來確認符合核子保防目標
- (d) 前述每項均需考慮「國家特定因子」，「國家特定因子」的考量為：

- 會影響核子保防計畫、領導及評估的國家特徵
- 藉由國家評估來確認
- 作為事證，不做評比評價用

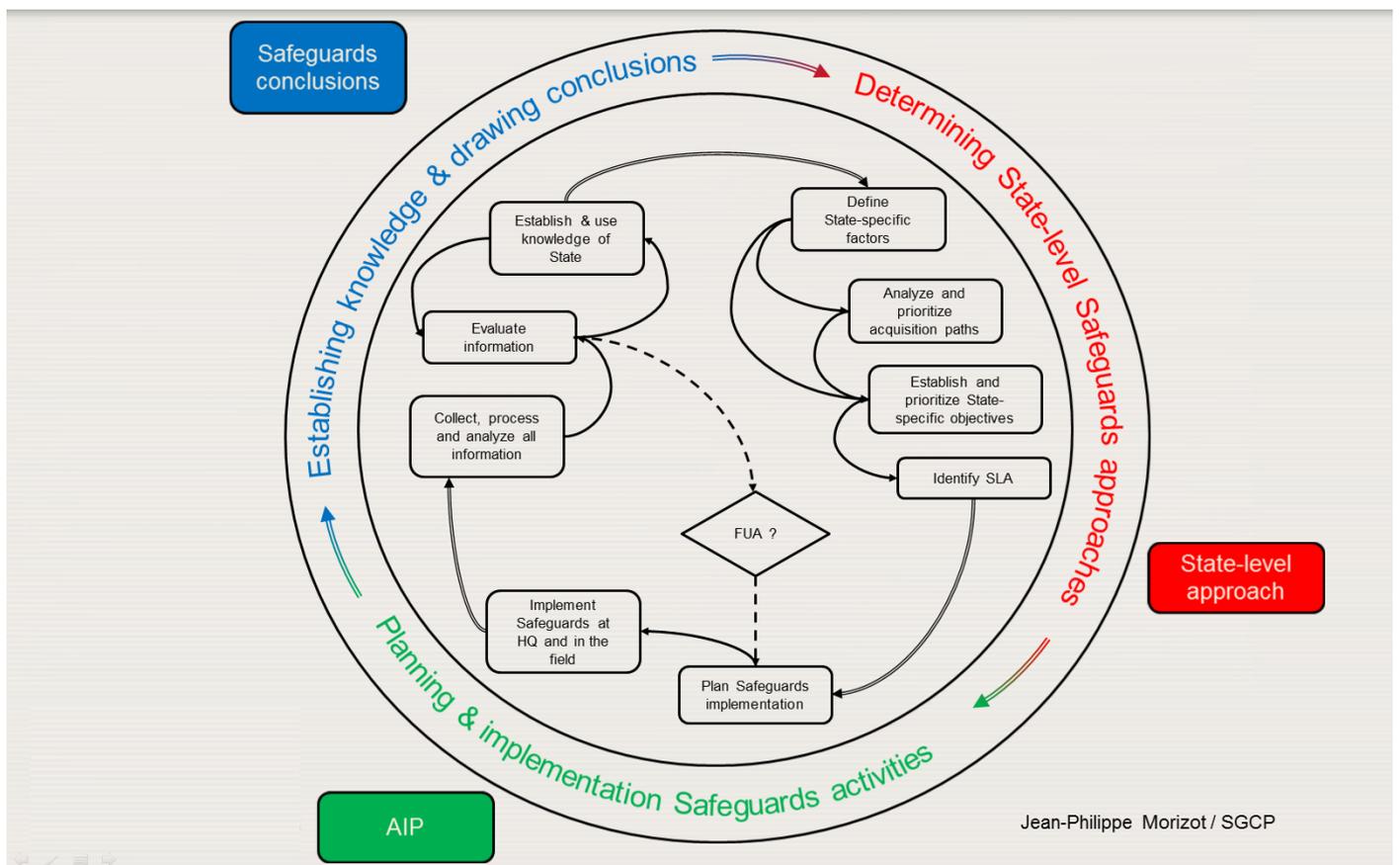
(4) **計畫與實施**核子保防活動

- 依國家特定年度執行計畫，確認所有活動被實施，以符合國家級方法的需求。
- 年度活動的選擇，考慮國家特定因子及國家評估的結果
- 依新資訊及發現的需要，修訂計畫
- 當某項計畫的活動無法實行，需評估計畫替代活動，以符合特定技術目標。

(5) 形成核子保防**結論**

- 從持續性國家評估結果得國家知識，此知識為形成核子保防結論的基礎。
- 定期載於國家評估報告內。

圖一：國家級核子保防執行的流程



(二)路徑分析在 IAEA 核子保防上未來之使用

路徑分析在保防系統的發展上，扮演一重要的角色，可運用所有資訊成爲總署 (IAEA) 可用的資料。根據評估某一特定國家能力所得之最具吸引力路徑，可以被辨認及使用於國家級核子保防方法的發展。路徑的排序依據路徑使用的事證或準備使用的狀況進行修正，使有限的核子保防資源能流向高關注的區域。

「取得路徑分析」的角色，在國際核子保防上持續的發展，在過去即扮演一重要角色，從協助發展核子保防施行規範，到輔助 IAEA 資訊分析的成果。今日更在核子保防系統設計及國家級概念施行工作上，扮演核心的角色。路徑分析有三個主要的運用：發展國家級技術目標、定義國家級方法及評估 IAEA 所取得矛盾、不一致的資訊（特別在確認後續活動方面）。

國家級核子保防概念是將焦點由單純地評估個別核設施，移轉爲國家整體，國際核子保防較著重在評估核子計畫，此核子計畫的趨勢與目的無法單獨的核物料平衡區分辨出。一個國家有關核子活動的所有資訊，是有助於總署執行核子保防責任。

路徑分析爲成就保防系統的重要工具，此保防系統爲完全資訊導向。所有國家知識運用來專注於合適的保防成果，需要以更有效率的方式，達成保防目標及獲得保防結論，此方式將應用於所有簽署「全面核子保防協定」(CSA)的國家。

要達成上述的結果將需要有彈性的核子保防計畫及施行方法，要能補捉國家特定因子、確認國家特定保防之優先順序、依不同的案例考量其獨特的特徵。而路徑分析將是這些項目的關鍵工具。

(三)取得路徑分析--指向圖形方法論(Directed Graph Methodology)

IAEA 積極尋求發展及最佳化其核子保防系統，希望使其更有效率、較少預測、及更善用所有核子保防相關的資訊。新的核子保防方法之需求，要能涵蓋所有可能取得路徑，但需考量依據國家特定因子的不同核子保防等級及對可能取得路徑開發新的方法論及工具。

基於新方法論的需求，IAEA 支助「取得路徑分析方法論及軟體套件」計畫，目的

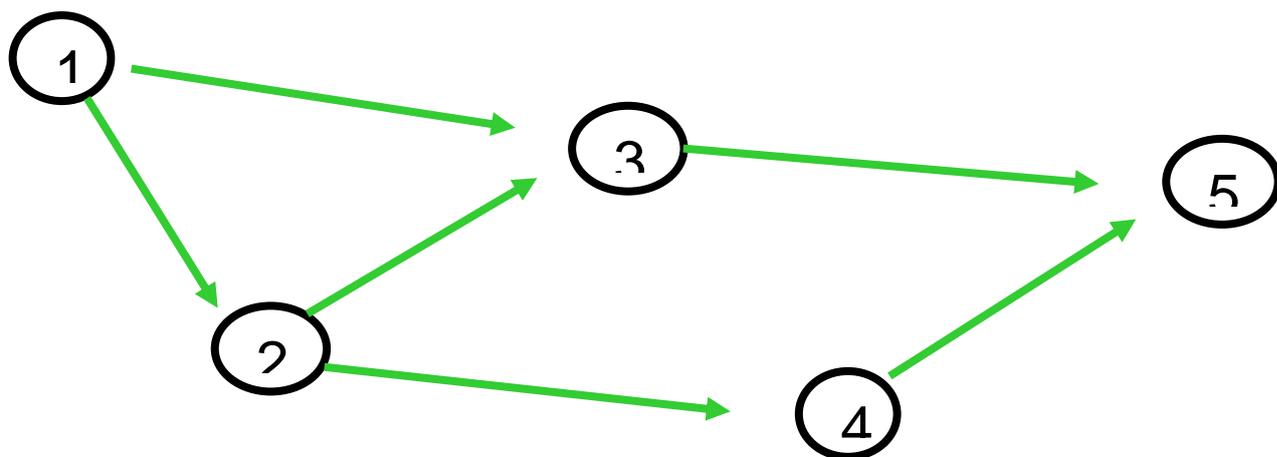
在提供一致及整合的架構，制式化取得路徑分析方法論及開發軟體工具以能有效率執行分析。此計畫自 2010 年 9 月開始進行，2011 年 6 月在維也納召開一次「取得路徑分析」研討會，目前已依「指向圖形方法論」完成原型「物料流網路模式」(Material Flow Network Model)之開發。

「取得路徑」：為一假設性的規劃路徑，指一個國家可能取得核物料作為製造核子爆裂裝置之路徑。「取得路徑分析」即對所有假設性的規劃進行分析，以決定針對取得路徑及策略，所建議的核子保防量測工作能提供足夠的偵測能力。

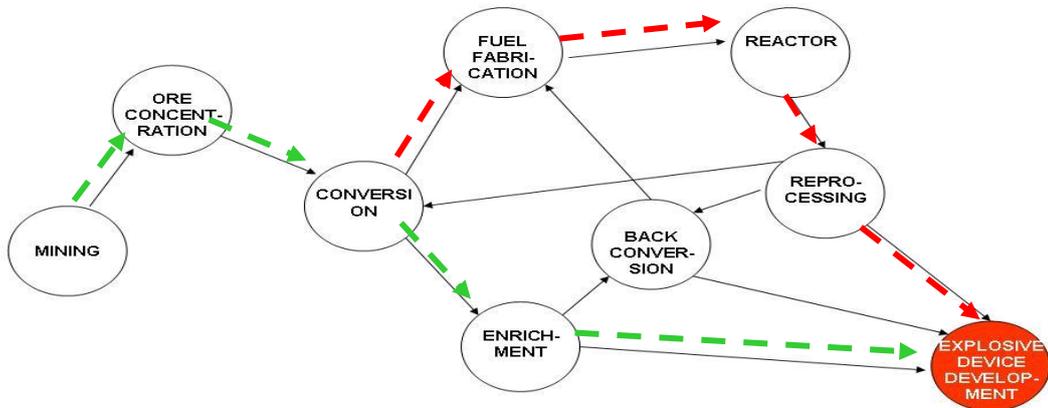
「取得路徑分析」是依據核燃料循環的物理模式，可以「指向圖形」方式模擬(參圖二)，「圖形」是一數學結構，用來對某種收集(collection)，模擬物件間成對智慧關聯性。圖三所例，將核燃料循環的不同階段，區分為不同節點(nodes)，及決定可能的聯結；依前述圖形來建立假設性的規劃路徑，以「取得路徑分析」發現所有可能路徑(綠色及紅色虛線)及選擇一路徑。

圖二：「指向圖形」模式

“graphs” are mathematical structures used to model

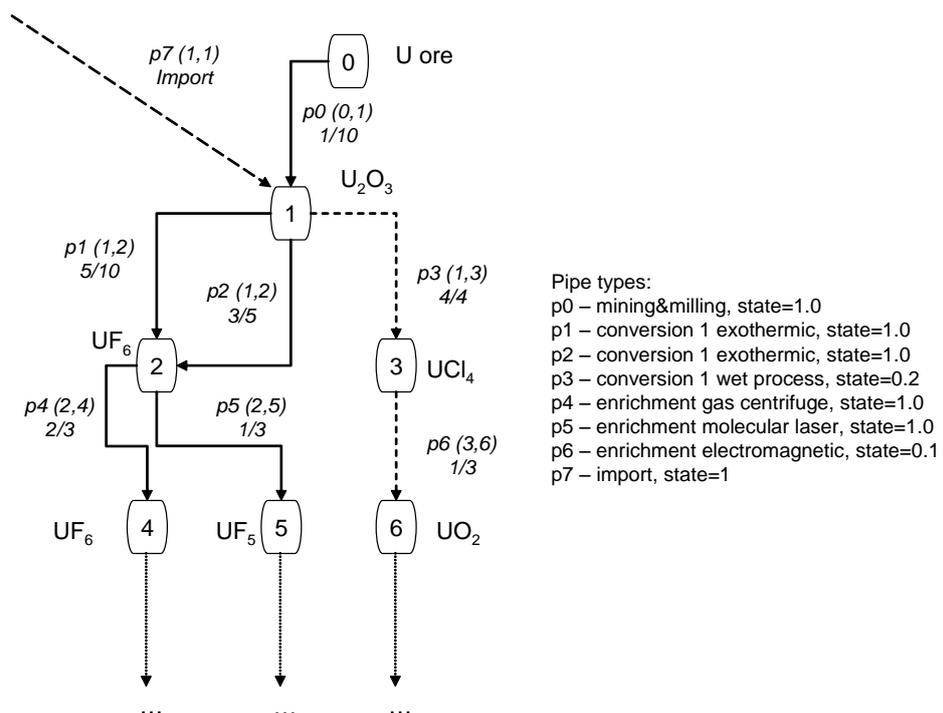


圖三：取得路徑分析的概念



「物料流網路模式」主要目的是找出處理不同物料的不同方式，模式為建立物理及化學形式的物料節點(參圖四方框節點；nodes)，節點間能透過輸送管(pipes；如方框間的連結線)流動，以此模擬核燃料循環的流程。是一數學模式的有限指向圖形(finite directed graph)，使用運算法則(如 Dijkstra, Floyd, Bellman - Ford 等)去得到路徑，前述運算法則在文獻中有完整的記載，最後將「得到路徑」排序之。目前已在 GIS 環境(ArcGIS 平台)建立原型「物料流網路模式」。

圖四：「物料流網路模式」示意圖



二、區域核子保防系統之前景

(一) 區域核子保防的展望

區域核子保防(使用 RSAC, Regional System of Accounting and Control)的貢獻：(1)建立世界上某部分的信心—例如：發現歷史政策差異的區域、為停止任何武器競賽的第一步、及建立非核武區域。(2)在國際核子保防方面：幫助國家增建防止核武器擴散的憑證、促進國家級核子保防系統(執行及效率)、協助國際核子保防工作(如：設備、訓練、人力資源等)。

IAEA 近年來面對一些挑戰，正致力於提升國際核子保防作法：如整合式核子保防、使用遠端監式的技術、新核子保防作法的施行(如：國家級核子保防的概念 SLC)。國家級概念(詳參第一節所述)仍是一整合式核子保防作為，強調以目標為基礎及使用所有可用的資訊，非專注於某種核設施，持續性國家評估，及透過年度計畫實施。

有關國家級及區域核子保防系統(RSAC)的議題：

1. 國家特定技術目標：以國家特定因子及結構化取得路徑分析而得。

【研討的議題】是否國家級與區域核子保防之國家特定技術目標是相同的？

是否運用區域核子保防系統一併決定此目標？

2. 依國家級概念而實行的國家級核子保防作法：是一持續性評估來調整核子保防的作法。

【研討的議題】需要與區域核子保防系統合作。

3. 確認及選定核子保防活動。

【研討的議題】需要與區域核子保防系統合作。

針對上述的討論，RSAC 流程需對下述幾點進行再評估，目前尚有問題待尋求解決方法，故需增加 RSAC 與 IAEA 的合作：

1. 如何處理核子保防的彈性？ RSAC 核子保防活動較有彈性，但其程度與 IAEA 國家級概念的程度不同。
2. 如仍繼續應用 RSAC 規定，可能讓會員國產生負擔。
3. 在活動、結果及結論上的差異。
4. 如何接受所有不同的可用資訊

此外，從 RSAC 及 IAEA 不同的立場角度，可考慮在未來可進行調整的項目：

1. 這是 RSAC 及 IAEA 保防系統整合的機會，以獲得雙方更大的價值
2. 兩系統可用資源最佳化
3. RSAC 及 IAEA 相互間的利益的改變、主要對會員國影響較大
4. 可讓 RSAC 密切參與 IAEA 制定國家年度執行計畫工作
5. 某些核子保防活動是否由 RSAC 來執行

(二) Euratom 與 IAEA 核子保防合作

目前 IAEA 整合式(Integrated)核子保防是將傳統核子保防(CSA, 全面核子保防協定)結合加強式核子保防(AP, Additional Protocol 補充議定書)要求的作為。

依據補充議定書(AP)每個國家需提供(或予許)IAEA 更多的資訊，及更廣泛的核子保防做法來偵測(1)未經宣告的活動或核物料、(2)宣告的裝置不合規定的使用及(3)發現敏感性核物料的轉化網路，另外核設施亦需依補充議定書規定項目進行申報，IAEA 會執行補足性進入(Complementary access)、環境取樣及遠端監視，整個核燃料循環相關設施及活動(從採礦至核廢料處置)，皆屬補充議定書規範的範圍。

針對已簽署全面核子保防協定(CSA)及補充議定書(AP)的國家，IAEA 可以對此國家所有的核子活動進行一整體評估，此稱為國家評估，最後做出一廣泛的國家級結論，非屬核設施層級的結論。整合式(Integrated)核子保防是以無預警視察(UI)及短期通知視察(SNRI，24 小時前通知)來取代原來的例行視察，此可減少年度的總視察次數，但區域核子保防系統(RSAC)亦獨立進行前述的核子保防視察，故對核設施運轉員而言會有較大的負擔。RSAC視察所取得的資訊並不被 IAEA 使用，IAEA 會將其獨立視察所得報告送給歐洲原子能共同體(EURATOM)成員參考。

針對 IAEA 核子保防發展的未來方向，將以全面資訊導向、國家級概念(SLC)來執行年度計畫。RSAC 亦著手評估目前的保防作法與 IAEA 發展方向的差異，希望能發掘區域核子保防系統，及其查證協定(verification agreement)如何提供 IAEA 核子保防需求。

關於 EURATOM 的區域核子保防系統，是依據查證協定(the verification agreement, INFIRC/193)來執行。查證協定的重要規範：

1. 避免不必要重覆的核子保防活動

2. 避免妨礙和平用途核子活動
3. 避免過度干擾和平用途核子活動
4. 充分運用共同體之核子保防系統
5. 依區域核子保防系統執行料帳視察的成果，決定總署視察員視察的次數、密度、週期、時間與模式。
6. 在 ERUATOM 執行視察期間，總署視察員需出席
7. ERUATOM 視察時程與計畫需與總署協同討論建立之

此外，未來將加強與 IAEA 合作的項目：(1)更廣範使用 ERUATOM 核子保防系統(如：料帳系統與視察活動)、(2)能將 ERUATOM 與某些會員國的成果納入 IAEA 年度執行計畫、(3)對所有的保防視察活動能有良好的準備與計畫。

另外有幾項關於區域性核子保防系統(RSAC)可思考的問題：(1)IAEA 與 RSAC 合作的理由、(2)考量工作互補的可能性、(3)IAEA 某些代表性工作交由 RSAC 來執行、(4)在某些條件情況下，IAEA 是否能採用 RSAC 的成果。

三、核子保防實施之展望及經驗

(一) 下一代(第四代)核能電廠(NGNP)計畫之核子保防設計

新一代核電廠設計的概念為整合及平衡的計畫，考量在符合所有規範要求(3S，安全、保安及保防)下的最佳化設計。

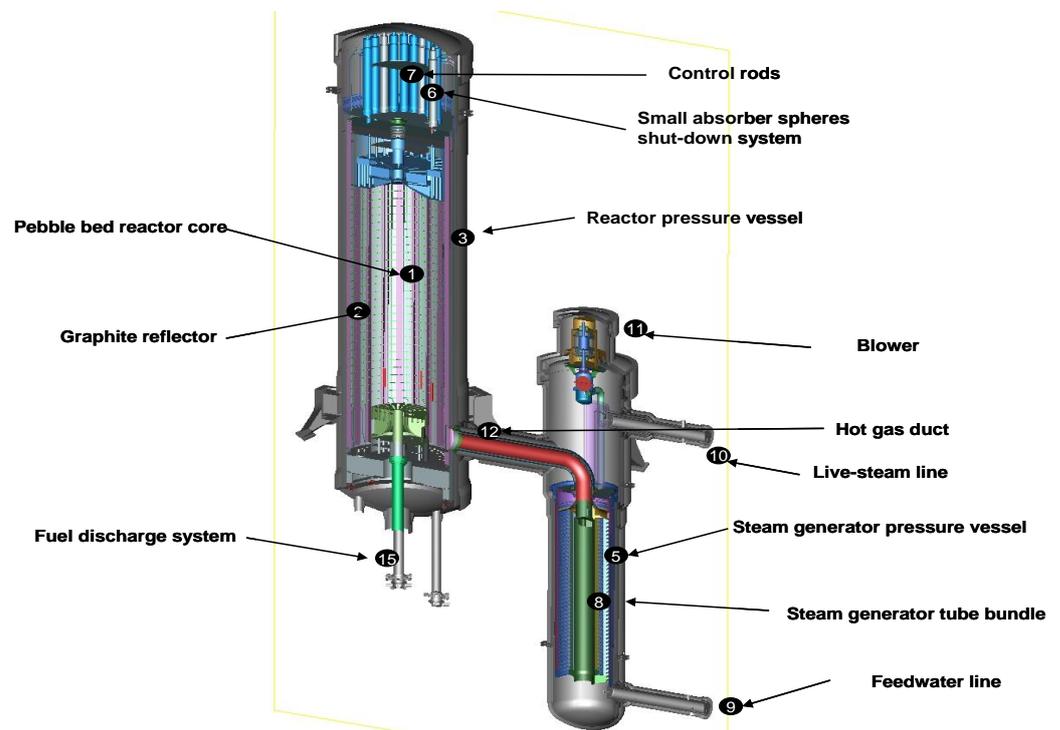
以美國下一代核能電廠(NGNP)計畫為例，依據 2005 年美國能源政策法案授權，發展第四代反應器，由能源部及業界共同分擔經費，業界主要參加的成員為西屋公司、通用原子(General Atomics)及 AREVA。目前先期概念設計已完成，在 2010 年 12 月已完成概念設計階段(第 1 階段)，已開始進行初步(Preliminary)設計，目標希望於 2021 年運轉。

有關保安及國際核子保防的規範，主要為美國聯邦法規(1) 10 CFR 73 電廠與物料的實體防護；(2)10 CFR 74 物料控制與特殊核物料料帳；(3)10 CFR 75 核物料保防；及(4)美國核管會「進步型反應器法規的政策說明」(2008 年版)。

美國下一代核能電廠(NGNP)計畫，目前規劃為「卵石床模組反應器」(PBMR, Pebble

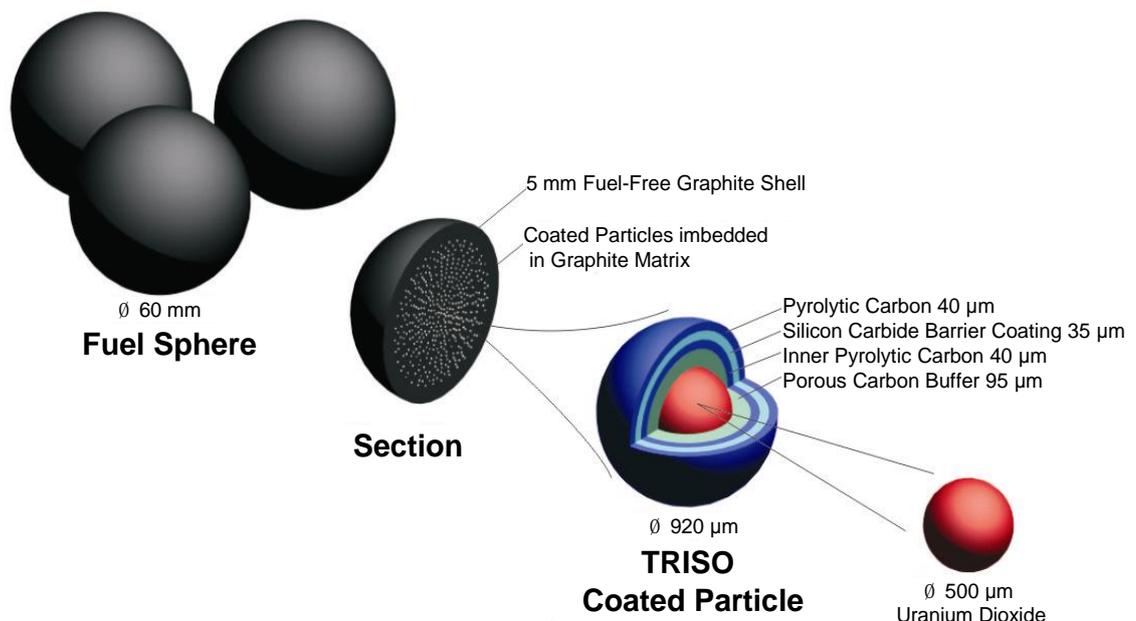
Bed Modular Reactor) 【參圖五】，是高溫氣冷式反應爐(HTR)。燃料的型式有兩種，第一種為燃料丸球(pebble，參圖六)，每一燃料丸球約有 8 公克的二氧化鈾(~8%濃縮度)，爐心約有 452000 個燃料丸球 (PBMR 模式)；第二種為稜柱狀(Prismatic，參圖七)燃料，每一燃料單元(element)內含 6252 個燃料丸球，每一燃料單元是單獨地可被辨別確認。圖八所示為典型的 PBMR 反應器之物料平衡區(MBA)及關鍵測量點(KMP)的規劃範例。

圖五：「卵石床模組反應器」(PBMR)概念圖

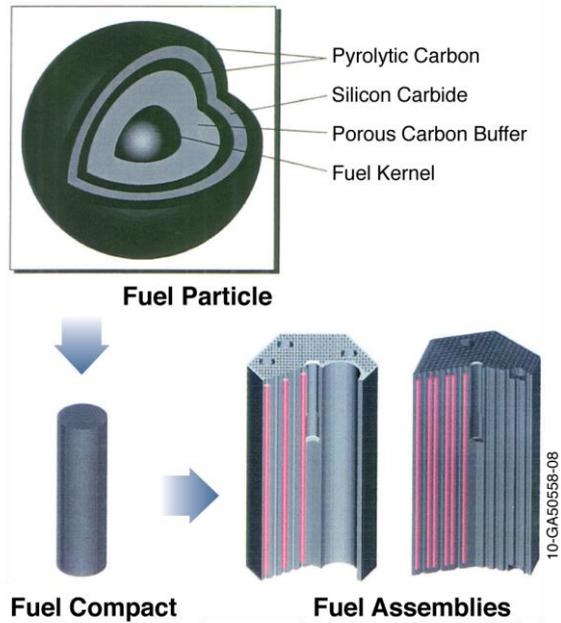


圖六：燃料丸球型燃料

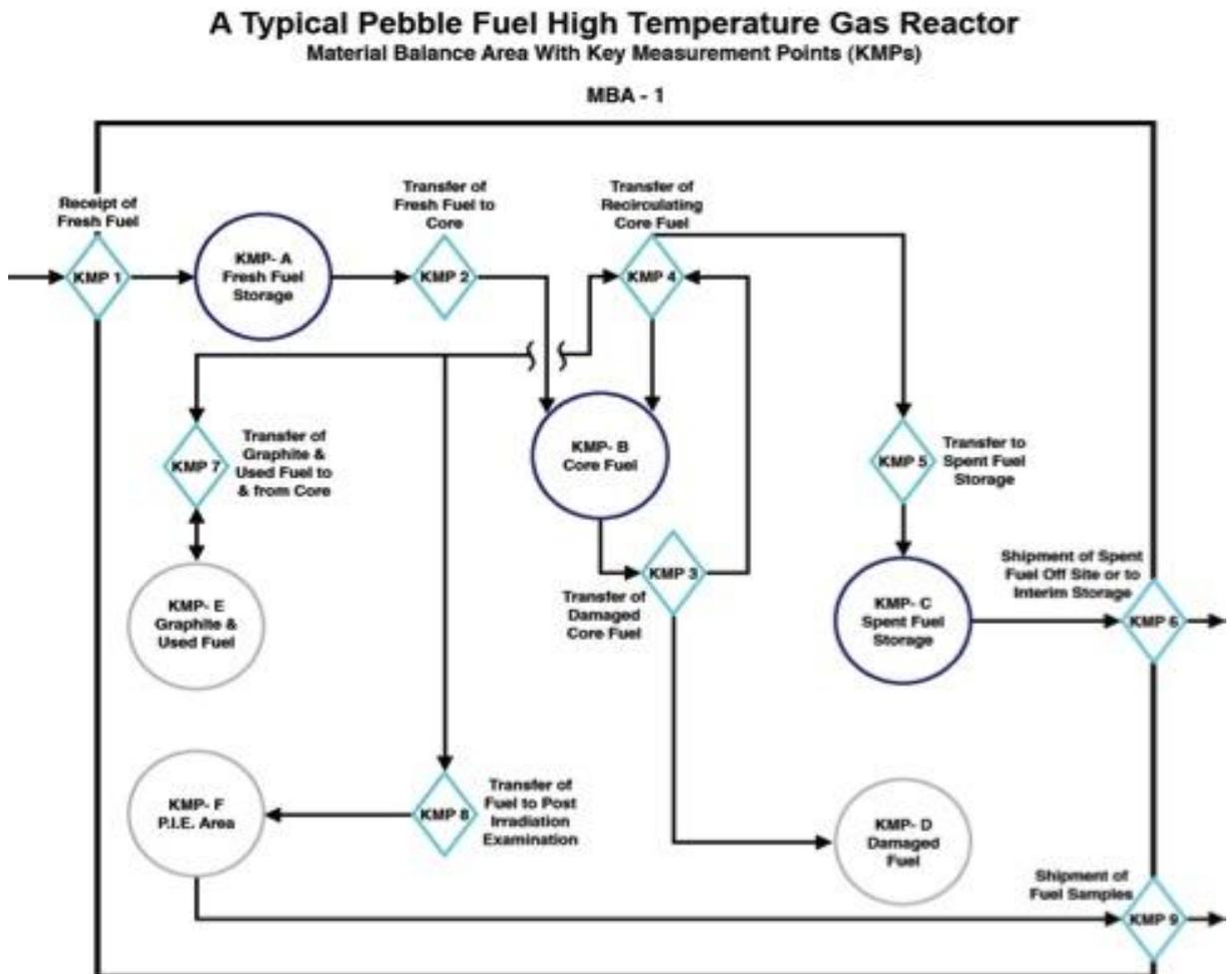
FUEL ELEMENT DESIGN FOR PBMR



圖七：稜柱狀(Prismatic)燃料



圖八：典型的 PBMR 反應器之物料平衡區(MBA)及關鍵測量點(KMP)範例



目前已提出核子保防設計指引報告，讓設計者了解有關 IAEA 核子保防目標、作法。針對(1)使用稜柱狀燃料之 HTGR，因燃料單元個自可被分辨確認，故規劃能以輕水式反應爐(LWR)的料帳方式來處理（清點數量；item counting）；(2)直接使用燃料丸球的 HTGR，因燃料丸球小且無法個自被分辨確認，故其料帳將以混合作法來處理，若在密封的容器內就以 item 方式處理，其它區域則以「整批」(bulk) 方式處理。

對於 HTGR 的核子保防規劃所面臨的挑戰：

1. 使用稜柱狀燃料之 HTGR：

- (1) 用過核燃料查證：(a) 無法運用謝侖可夫 (Cerenkov) 技術，(b) 在爐心及中期貯存設施內的燃料堆疊約 8~10 層，查證亦有困難。
- (2) 設計資訊的查證(DIV)及再檢查(DIE)：在用過燃料貯存區。

2. 直接使用燃料丸球之 HTGR：

- (1) 燃料流的監視：運用於新、受損、及用過燃料丸球運轉流程。
- (2) 模組化導致無法直接查證在爐心的核物料。
- (3) 假如 IAEA 監視/圍阻量測均失效時，在 bulk 貯放位置的再查證工作進行方式。
- (4) 燃料貯放及吊運系統可能為高輻射區，人員無法接近。

(二) 在瑞典有關無預警視察(UI)及短期通知視察(SNRI)之經驗

瑞典核能有關的管制單位及設施有：(1)瑞典輻射暨安全管理機構(Swedish Radiation Safety Authority, SSM)，負責主管核能安全、保安、防止核武擴散及輻設防護等工作，現有員工約 270 人，9 人負責核子保防業務。另有(2)10 座輕水式核能電廠；(3)一座中央集中式用過核燃料中期貯存設施；(4)一座核燃料製造廠(900 噸/年)；(5)一研究設施(Studsvik)；(6)一座鈾還原(recovery)廠；(7)25 處較次要的設施；(8)一座控制棒製造廠(西屋公司)；(9)一座鉛管製造廠(Sandviken)；(10)2 部已停止運轉的核能電廠；及(11)耗乏鈾、天然鈾、低和高濃縮鈾、鈾(~3 公斤)、鈾(~2.5 噸)等物料。

瑞典、美國及 IAEA 於 1972 年簽署三邊協定，1972 年 5 月 IAEA 首次至瑞典視察；1974 年制定 SKI(瑞典的國家級料帳及管制系統, SSAC)；1975 年與 IAEA 簽署保防協定

(INFCIRC/234)；1995 年加入歐盟(EURATOM)，新保防協定為 INFCIRC/193。1998 年簽署補充議定書(AP)，2004 年生效；2005 年發行新 EURATOM 保防法規；2008 年新 SKI 法規；2009 年施行整合式核子保防(IS, Integrated Safeguards)。

瑞典核子保防的作為：(1)增加 SSAC 的使用(如：國家視察員的視察、測試媒體的交換、與 IAEA 視察員共同審查相關資料)；(2)延伸宣告；(3)增加資訊流動(如：每週 ICR 報表)；(4)無預警視察；(5)遠端監視；(6)環境取樣。

IAEA 於瑞典有關整合式核子保防(IS)的視察作法摘要如下表：

核設施	IS 作為
核能電廠	1. 短期通知視察(SNRI)[24 小時前通知]，每年至少 2~3 次 (10 座核電廠合計) 2. 實體物料查證(PIV, Physical Inventory Verification)
研究機構	甲、 無預警視察(UI)，每年每一設施至少一次 乙、 PIV
LEU 燃料製造廠	1. SNRI 每年至少 1 次 2. 電子郵件信箱 3. PIV
鈾還原廠	1. PIV(DIV, 設計資訊查證)
次要的設施	1. PIV, 每一核設施約每隔 4~6 年執行一次) 2. 必要時執行補足性進入(CA)

瑞典輻射暨安全管理機構(SSM)對於整合式核子保防(IS)的視察的準備：(1)先與 IAEA 及歐洲共同體官員進行會議；(2)通知接受視察的設施；(3)與環境部官員進行會議；(4)建立視察工作組織。SSM 參加所有的 IAEA 視察及補足性進入(CA)視察，SSM 組織設有聯絡點及現場代表，現場代表負責接收所有必要的資訊、將資訊轉為 AP 之格式、轉送通報給 IAEA。在 SSM 總部設有視察及 CA 連絡專線，通知及通報接受，可透過 2 條行動電話專線、電子郵件信箱及傳真，另每週安排有一名 SSM 視察員在待命。

以對研究機構的無預警視察(UI)為例說明，視察作業流程如下：

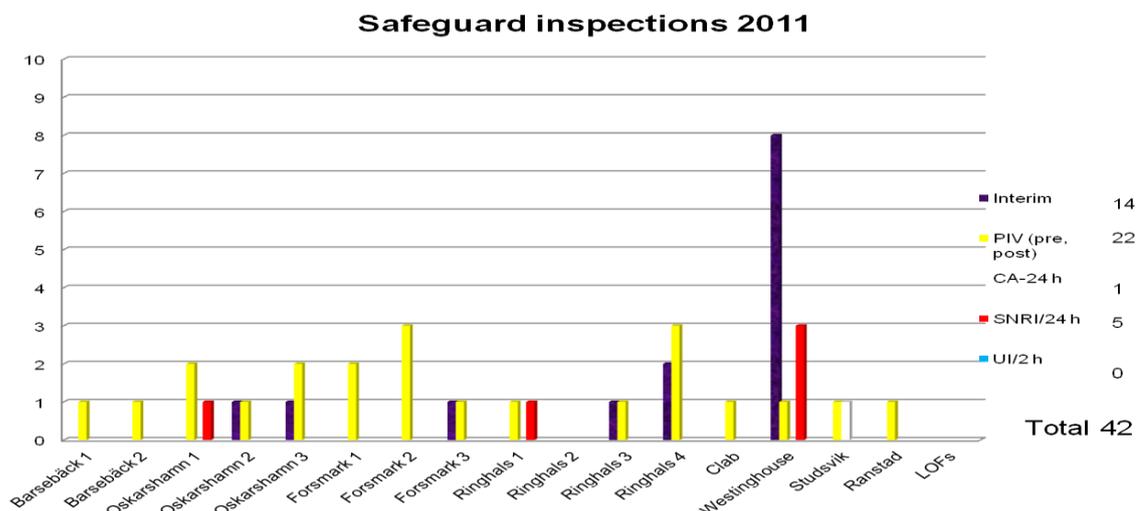
1. IAEA 視察員在進入保安警戒大門前會通知 IAEA 總部

2. IAEA 總部傳送緊急傳真給 SSM
3. IAEA 視察員抵達保安警戒大門
4. 保安人員核對 IAEA 文件及連絡設施核子保防辦公室
5. 設施核子保防辦公室通知 SSM IAEA 視察員已到達
6. SSM 連絡 IAEA 總部進行確認
7. SSM 視察員立刻出發前往設施(至 Studsvik 約需 2 小時)
8. 設施為 IAEA 視察員準備通行證
9. IAEA 視察員需在 2 小時內可進入設施
10. IAEA 視察員取得要求的文件資料
11. 視需要 IAEA 視察員可加鉛封以保持當時狀態
12. 當 SSM 人員到後開始查證活動

圖九為 2011 年的統計圖，全年共有 42 次視察活動(註：2009 年為 73 次，2010 年為 54 次)，而目前累計共有 34 次(CA/SNRI/UI)視察，整體而言是良好，設施方面皆有完整的通知。但仍有待改善的地方，如：在人員訓練、資訊溝通上、程序不夠清楚、進入的問題(如管制人員及擔延太久時間)、在國定假日執行無預警視察、在燃料填換期間進行 SNRI、新手視察員的能力等。

幾項影響整合式核子保防視察的重要因素：(1)良好的準備、資訊取得及訓練是必要的；(2)視察員在整合式核子保防的知識很重要；(3)有一適當的組織是一關鍵點；(4)設施的定義很重要；(5)聯絡及溝通。

圖九：瑞典 2011 年核子保防視察統計圖



(三) 歐洲核燃料循環及鈾貯存之核子保防經驗

核燃料再循環廠的特徵為是一持續行運轉的模式、核物料很難接近、有值得注意的生產及核物料。核子保防作法的依據，為在設計上的核子保防方式、無人式的量測系統、更廣範使用圍阻與監測系統、信號集中式收集。

在 EURATOM 發展的早期，在設計上已考慮核子保防要求(如：纜線的位置、儀器安裝等)，此外在物料料帳上需建立物料平衡區(MBA)，以有效進行物料管控，每一物料平衡區內的核物料料帳，在每一量測週期內，料帳需能保持平衡，及針對所規劃 KMP 來進行查證活動。

再處理廠所建立的 MBA 架構：

1. 照射過燃料元件(element)之濕式貯存區
2. 拆解及溶解燃料元件
3. 分離鈾、鈾、和分裂產物
4. 鈾產物貯存區
5. 鈾產物貯存區
6. 廢料處理廠

MOX 燃料製造廠的 MBA 架構：

1. 粉末接收區
2. 二氧化混合區
3. MOX 元件組裝區
4. 廢料處理區

核燃料循環廠核子保防作法的要素有(1)查證核物料流量；(2)年度實體物料查證(PIV)；(3)評估未經宣告的物料量(MUF)；(4)評估圍阻與量測作為。而查證活動的內容包括有數量清點(item counting)、秤重、槽(Tank)的體積密度測量、持續性監視槽的液面高度、取樣及方析、非破壞性量測(中子及 gamma 射線)、中子監視、影像監視及電子封環、使用金屬封環等。

在資料記錄與提送方面，原始資料要與事件資料相結合，事件資料要能連結到運轉紀錄、事件及運轉紀錄以電子檔傳送至 IAEA 總部，IAEA 視察的頻率，與資訊及分

析的需求有關。目前是使用商業用的傳送管來將設施資料傳送到 IAEA 總部 (RDT, Remote Data Transmission)。EURATOM 有開發一些軟體套件—RADAR (Remote acquisition of Data and Review 遠端資料收集及檢視系統)、DAI (Data analysis and interpretation 資料分析及解譯) 監視軟體工具等。有關 RDT 的發展是由 ERUATOM、運轉者及國家，共同決定那些資料可以此方式傳送，此資料傳送要符合保安的要求，目前仍有一些技術性的議題待解決(如：大容量、同步等)。

RDT 的優點為可增加資料的安全性、有較好的可能性以組織化及瀏覽方式取得資料、發展程式進行資料分析及評估、可增加效率、可改善視察經驗的保存與傳遞方式等。依目前研究的結論，再循環廠及核物料貯存設施很適合 RDT 方式，可提升核子保防系統的效率與成效，但 RDT 的保安相關議題須再進一步解決。

肆、心得與建議事項

一、心得

- (一)由本次研討會內容可知，IAEA 未來核子保防的方向將發展「國家級概念」，而國家特定因子將是一重要影響因素，目前仍在進行資訊收集及建立相關分析模式。適巧今年 12 月初於台北與 IAEA 一同進行的核子保防業務雙年會，IAEA 官員亦首次正式宣告此計畫內容。依 IAEA 所提的初步時程推估，很可能在 2013 年開始實施新的核子保防作為。有鑑於今年核子保防業務雙年會中 IAEA 因本身經費問題，提出將調漲視察人日費用為約 4 倍，此對本公司會有明顯的衝擊，尤其自明年 (2012)起未來數年，核一、二廠將陸續展開用過核燃料乾式貯存之運轉作業，此會明顯增加 IAEA 視察員工作的人日數，及本公司配合人力的負擔，故在新的保防概念下，IAEA 對我國評估分析後所得可能的核子保防方法，值得我方持續積極了解，並適時與 IAEA 溝通說明，若能取得較簡化的作法，合理調整視察人日數，將可減輕現場工作同仁的負擔及經費的付出。
- (二)在區域核子保防作為上，主要為 ERUATOM 的區域核子保防發展，目前在其它區域無類似的組織。因為 IAEA 主要核子保防視察活動仍需維持其獨立性，故區域核子保防無法取代 IAEA 的視察作為，當然以防止核武擴散的角度而言，區域核子保防有輔助及強化的作用，但此會增加設施運轉員的負擔及額外的經費付出。故本次會議中對於未來如何促進區域核子保防與 IAEA 合作的關係，及其工作的區分上，提出不少建議與議題。因區域核子保防涉及國家間關係、政策、不同文化等層面問題，且其視察結論的代表性仍未被 IAEA 完全接受，故個人觀察在亞洲地區(或東亞)並不適合此系統，也無此需求。
- (三)參考其它國家核子保防執行經驗，如美國第四代核子反應器、瑞典及 EURATOM 的作法，依據目前 IAEA 所提出的規範(全面核子保防協定&補充議定書)內容，已足以讓 IAEA 有充分的依據，於各簽署國進行核子保防視察活動。唯針對不同的核設施，因其設計運轉流程或物料形式不同，故需發展不同儀器、監視方式、圍阻方式、及視察作為，以達成其目標。目前本公司進行之核一廠乾式貯存計畫，於規畫之初，即已要求設計時需考量核子保防需求，本公司於 2006 年中旬陳報 IAEA 設計資料(DIQ)，各階段設計期間亦多次與 IAEA 官員面對面進行溝通討論，並具體將雙方討論之結論回應至設計文件中，此互動方式的核子保防設計工作，前後

約費時近 4 年，因核一廠乾貯時程有延遲，故 IAEA 的審查時程，未對核一廠乾貯時程造成明顯衝擊；若以核二廠目前乾貯時程的規畫，設計文件資料(DIQ)預定在 2012 年初陳報 IAEA，預計在 2014 年底開始測試運轉，後續 IAEA 有關核子保防設計審查時程，必須要更積極及有效率的進行，才能確保不會衝擊到乾貯運轉時程。

(四)參考瑞典輻射暨安全管理機構(Swedish Radiation Safety Authority, SSM)的組織及業務內容，目前有 9 位專職人力執行國家級核物料料帳及控制工作，總署 2011 年在瑞典進行視察數為 42 次。目前我國於原子能委員會設有核子保防科主辦類似業務，唯目前人力配置連同主管僅 3 人，總署 2010 年於台灣的視察人/日為 41 人/日，就視察業務而言，其工作規模與瑞典相近。近年來在本公司及其它相關機構共同協助努力配合下，連續 5 年被國際原子能總署宣告為「所有核物料均用於核能和平用途」的國家之列。檢視我國核子保防體系，雖在連繫專線及保防組織均有規劃建立，但隨核電廠用過核燃料數目逐年增加，衍生乾式貯存業務及新核能機組即將投入運轉，若要落實獨立執行國家級核物料料帳及控制(SSAC)工作，相較於瑞典似有人力缺乏的問題，而在未來核物料保防之國家級概念下，我國執行 SSAC 的實質內容，將影響 IAEA 評估及制定年度視察計劃的結果。

(五)本次 INMM/ESARDA 聯合辦理之研討會計有超過 80 個組織派員參加(如附件：參加人員名單)，出席人員較多的組織與國家為 IAEA、美國、歐盟、德國和會議地點所在的法國，而其它與核能和平用途發展有關的主要國家成員幾乎皆有受邀參加，如：加拿大、瑞典、瑞士、芬蘭、義大利、匈牙利、澳大利亞、日本、印度、韓國、巴西、阿根廷。是一具代表性且重要的核物料管理技術會議，主辦單位規劃本次討論主題為「國際核子保防的未來方向」，是一全新的議題，近年來與 IAEA 互動過程亦未有相關資訊透漏，故職在 INMM 網站獲知此會議訊息，即積極連繫希有機會參加以取得更多的資訊，唯本次研討會是採邀請制，與一般的年會不同。而近年來本公司是以核發處處長為代表參加 INMM，繳費註冊為會員；針對本次研討會，經職數次接洽，亦表達說明本公司核電廠營運狀況及核子保防業務需求，主辦單位皆未正面回應，最後職以個人名義申請加入 INMM 會員，雖非參加研討會的資格要求，但在完成審查及繳費後，主辦單位始主動發函邀請。因核子保防技術屬較敏感知識，故主辦單位對參加人員有篩選機制，唯經積極爭取及在對方獲得較充足資訊後，終獲邀請機會，也感謝公司長官核准支持此行程。有

感於本公司因考量營運成本，出國員額逐年減縮，致近年來較無機會派員參加國際性重要核物料管理會議，雖本公司核電廠一直接受 IAEA 的核子保防視察與監督，但國際間對台灣核能的了解仍十分有限，本次因有受邀參加，大會主席在開幕式致詞時，還特別介紹有來自台灣的與會者。

二、建議

- (一) 國際原子能總署對新核設施核子保防作法，會針對核設施的設計特徵及環境進行分析評估，審查過程十分嚴謹且費時。核一廠用過核燃料乾式貯存計畫，與 IAEA 討論溝通相關設計工作，前後約費時近 4 年，建請核二廠參考核一廠經驗，除儘早提報相關設計文件資料(DIQ)外，後續亦須主動密切與 IAEA 連繫了解其審查意見及進度。
- (二) 因本公司出國員額問題，致多年未編列出國預算參加國際性核物料保防相關會議或訓練，有鑑於近年國際核子保防作法已有明確的提升更新計畫，且本公司近年陸續進用新進人員，並積極進行培訓工作，本組已自 2012 年開始，擬每年編列參加核子保防會議預算，希望有計畫提供核能部門(含核電廠)參與國際性核物料保防相關會議或訓練的機會，建請長官在權責範圍內能支持此規劃。
- (三) 依美國及歐盟經驗，新核設施已依相關指引法規，將核子保防需求與設計相結合，如第四代核反應器之設計階段，即參考聯辦法規相關規範進行研討設計，此整體性的設計考量，可得一最佳化的結果。可避免反應器運轉後，核子保防監視及緘封設備影響一些日常必要的運轉活動，或因新增核子保防裝置設計不適當，而增加 IAEA 視察員至現場視察的頻率。雖我國因日本福島事件，能源政策已有調整，但日後若因能源問題，再重新考慮興建新核設施時，建請能參考歐美設計階段核子保防的作法。