出國報告（出國類別：訓練）

參加第 26 屆國際核子保安訓練

服務機關：行政院原子能委員會
姓名職稱：許恒瑞技士、羅玉芳技士
派赴國家：美國
出國期間：**105.10.22～105.11.14**
報告日期：**106.1.12**

摘要

自 2001 年 911 事件發生後，「反恐」已是國際顯學，國際社會為防止恐怖分子取得大規模毀滅武器或放射性物質作為犯罪工具，施行恐怖威脅，相繼通過多項重大決議或公約，因此，核子設施及核物料保安成為全球關注的議題。

國際原子能總署（IAEA:International Atomic Energy Agency）為強化各會員國防範核設施遭受蓄意破壞（Sabotage）及核物料失竊（Theft）之保安能量，委託美國能源部「聖迪亞國家實驗室」（SNL:Sandia National Laboratories）辦理「國際核子保安訓練」（ITC:International Training Course on the Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities），課程範圍包括核子保安系統建構方法，核子保安實體防護學理、防護技術、防護設備，以及國際最新指導原則、法律規範等。目標是希望所有會員國核子保安從業人員，都能接受達到 ITC 同樣水準的訓練，提升各國放射性物質及核設施的實體防護能量。

「國際核子保安訓練」歷史優久，自 1978 年 11 月舉辦第一屆以來，平均每 18 個月舉辦 1 次，今年已是第 26 屆，總計有 71 個會員國計 841 名學員完成訓練，堪稱目前國際間最完整、最深入之核子保安訓練。IAEA 希望透過課堂講授，實作及實際演練等授課方式，使學員學習如何運用 IAEA 相關導則於最新的核子實體防護技術、概念，以強化各國核設施相關實體防護系統。

本次課程主要核心內容可分成三部分，首先第一部分要先確認系統需求、保護標的物與威脅來源，以作為後續系統設計、評估基礎，接著第二部分依據決定出的保護標的物與威脅來源，來設計實體防護系統，最後一部分則是運用效能基礎（Performance-based）方法，量化評估分析實體防護系統及其效益，以找出防護系統的弱點並加以改良。

目　錄

圖 表 目 錄

壹、出國目的

一、緣起

自 2001 年 911 事件發生後，「反恐」已是國際顯學，911 事件以及恐怖主義的發展，讓世人瞭解恐怖活動手法不斷在進化，活動範圍也擴展至全球各地，放射性物質的擴散以及核設施的破壞，已經成為各國公共安全的嚴重威脅。2004 年聯合國安理會第 1540 決議案要求各國必須強化核物料帳籍管制、實體防護與核子保安、邊境管制與防堵走私，以及出（轉）口運輸等國內管制與執法作為。2005 年「制止核恐怖主義行為國際公約」（International Convention for the Suppression of Acts of Nuclear Terrorism）更明文規定核恐怖主義犯罪定義、公約適用範圍、締約國打擊核恐怖罪行合作的義務等內容，並明確要求各國訂定國內法，嚴懲恐怖份子、制止恐怖行為，以及加強國際合作對抗核恐怖主義威脅。我國雖非聯合國會員國及「制止核恐怖主義行為國際公約」締約國，但對抗恐怖主義已是普世價值，「制止核恐怖主義行為國際公約」亦屬國際習慣法，不論我國有無簽署加入，同樣受其效力約束。

二、主題

本會係我國核能安全主管機關，業管國內核能電廠、核設施有關實體防護與核子保安監督工作。本會參考美國核管會有關核子保安法規，要求國內核能電廠建置功能完整的核子保安作業，包括門禁管制、入侵偵測、遲滯歹徒，以及應變武裝防衛能力等，並要求加強查察員工及包商，避免發生內部破壞與歹徒裡應外合情形。

本次奉派參加「國際原子能總署」（IAEA: International Atomic Energy Agency）委託美國能源部在美國新墨西哥州阿布奎基市「聖迪亞國家實驗室」（SNL: Sandia National Laboratories）舉辦的第 26 屆「國際核子保安訓練」（ITC-26: 26th International Training Course on the Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities），旨在透過訓練課程，學習國際最新核子保安實體防護學理、核能電廠實體防護系統建立及評估方法相關技術及國際規範，以防範核物料、放射性物質及其設施，遭受偷竊、暴力破壞、未

經授權進入、非法轉讓或其他惡意行為之侵害，以防範造成公眾及環境之危害。

貳、出國行程

本次受訓課程為期三週，自105 年10 月22日出發至11月14日返國。課程地點在美國新墨西哥州阿布奎基市「聖迪亞國家實驗室」舉行。詳細行程如下頁表：

表 1、出國行程表

日期	地點	內容
10月22 日	台北→洛杉磯→Albuquerque	去程
10月23 日	Albuquerque	報到
10月24 日～28 日	Albuquerque	訓練課程
10月29 日～30日	Albuquerque	週末
10 月31日～11 月5 日	Albuquerque	訓練課程
11月5 日～6 日	Albuquerque	週末
11月7 日～11日	Albuquerque	訓練課程
11月12 日～14日	Albuquerque→洛杉磯→台北	返程

參、研習過程

一、研習方式

本訓練課程係以課堂講授（Lecture）、分組實作（Subgroup Exercises）及示範觀摩（Demostration）、專題演講（Guest Lecture）等方式進行，主辦單位為確認學員們對課程的瞭解程度，安排於每日課程最後小考，並針對學員們答錯率較高的部份，於下一日課程前再進行討論說明，協助學員觀念釐清，最後則以結訓成果報告（Final Exercise Report）作為總結。課程講授依照核子設施實體防護系統（Physical Protection System, PPS）分為三部分：定義需求（Define Requirement）、系統設計（Design）及系統評估（Evalution）

順序進行，全部課程計有 28 個單元，每一單元均由專業講師擔任課堂講授，講授結束隨即進行分組實作，並視課程內容安排示範、觀摩或參訪活動，全程均以英語進行。而專題演講部分，則邀請 IAEA、核管會（Nuclear Regulatory Commission, NRC）及愛達荷州國家實驗室等專家就核子保安相關議題發表專題演講，並請阿根廷、芬蘭、與加拿大等國之核子保安專家介紹該國 PPS 現況。其中 IAEA 則是整合一系列課程之整體概念，並再次強調現今核擴散是全球威脅，故仍需建立全球聯防概念，一起對抗核威脅。

分組實作期間，各課程講師主辦單位將 44 位學員分為 6 小組，每小組 7～8 名學員，進行分組實作練習。實作教材設計一虛構國家「拉卡錫」，其國家實驗室設有水池式反應器（PTR）及中子反應器（BTR）各 1 座，其中水池式反應器（PTR）為分組實作 PPS 建構練習標的，由聖迪亞國家實驗室資深專家擔任分組指導員（Subgroup Instructor），指導學員進行設施探討、弱點偵知與設計補強等演練。此次與以往課程最大的不同為所使用的核設施並非是課程中所提及的「拉卡錫」當作最後報告的題目，而是使用另外兩個虛擬核設施包括一個研究用反應器（Hypothetical Atomic Research Institute facility, HARI）、及一座核電廠（Lone Pine Nuclear Power Plant, LPNPP），進行整體實體防護系統設計，而學員則需運用受訓教材中從拉卡錫設施所學的經驗，自行設計、建構及評估改善上述兩個虛擬核設施之 PPS 系統，結訓前須完成製作成果報告，並於訓練最後一天上臺發表，接受講師及其他學員之提問及指教。

本次參訓學員被分為不同小組，分別由聖迪亞國家實驗室「國際實體保安計畫」資深專家 Tom Mack 及 Brandon Gutierrez 擔任指導員，其中 Brandon 係為第一次帶領小組，帶領方式較為開放多元，在小組練習題目時，不一定要求標準答案，反而會以小組成員的答案來引領大家作進一步思考，讓同學們的討論可以互相激盪出不同的火花。另 Tom Mack 雖屬較沉默之指導員，但他會請每位學員針對討論議題說出自己的看法，並將主要議題延伸成其他數個子議題讓學員們討論，讓學員們針對目前正在學習的課程能再更加瞭解。

為使學員更加深印象且有身歷其境的臨場感，主辦單位在教室外戶外場地，展示包括電鋸、鋼鋸、電鑽、鐵剪、鐵鎚及焊槍等歹徒常用破壞工具，

並由主辦單位工作人員現場操作（如圖 8~9），破壞鐵條、鐵絲網、鋼板、木板等常用以做為延遲屏障（Delay Barrier）材料，並由學員以碼表計時完成破壞時間，藉以瞭解運用不同工具破壞不同遲滯屏障材料的難易程度及所需時間。

主辦單位安排學員參訪位於科特蘭空軍基地（Kirtland Air Force Base）內，隸屬美國能源部的「國家實彈射擊訓練中心」及「實兵對抗演練場」，觀看訓練中心射擊教官進行手槍、來福槍、輕機槍及槍榴彈發射器等各類型武器實彈射擊、體驗不同武器射程威力，以及聽取射擊教官說明如何訓練所屬學員進行實兵對抗演練，以有助於學員完成包括情境分析、兵棋推演等課程應用。

此外，也安排學員參觀同樣位於科特蘭空軍基地內的「保護區圍籬測試場」（Test Field），現場觀察包括雷射（Laser）、振動（Vibration）、拉力（Taut Wire）、紅外線（Infrared）、微波（Microwave）、電場（Electric Field）、光纖（Optical Fiber Cable）與影像移動式（Video Motion Detectors）等不同功能用途之各型感測器運用實況，並由學員以分組為單位於各圍籬現場，實際測試感測器靈敏度及感測範圍，並完成記錄。主辦單位安排羅員小組測試門框金屬探測器（Portal Metal Detector）（如圖 10~11），利用不同材質及位置的真假手槍，並分別以經過探測器的速度、手槍放置位置及放置方向為變因，總共進行 729 次的穿越測試，並得到如以下結論：在受測者高速穿越探測器時，容易造成偽陽性誤判；而當使用不銹鋼假槍，並以低速穿越探測器時，則會造成偽陰性誤判；因此，在設置門框金屬探測器時，必須考量受測者受測穿越速度及攜帶違禁品的身體放置位置，均會對偵測結果產生影響。以上感測器實作練習均應用為分組結訓成果報告時，設計、建構及強化整座核能電廠實體防護系統之參考。許員小組則測試電場感測器（E-Field Sensor），首先選擇可信度為 90%，偵測效率需要達 70%，接著選擇三種方式進行（如圖 12~14）：1.爬行、2.跨過、3.從高處觸發警報，每種方式各做 7 次，共進行 21 次試驗，測試結果警報皆成功觸發，試驗完的心得為：1.應考慮可能產生誤警報的因素，如天候、小動物干擾等等；2.每次警報出現都

有些許延遲的情形，因此每次試驗完到下一次試驗時要間隔一些時間會讓結果更為精確。

二、課程內容

國際核子保安訓練課程設計安排，係以核子設施實體防護系統（Physical Protection System, PPS）建構過程的「確認實體防護系統需求」（Define PPS Requirement）、「實體防護系統設計」（PPS Design）、「實體防護系統評估」（PPS Evaluation） 三部份為主軸，PPS 整體建構流程稱作「實體防護設計與評估流程」（Design and Evaluation Process Outline, DEPO），依據建構流程及其內容計有 28 項專業課程，課程圖示（如圖 1）及各項課程簡介說明如下：

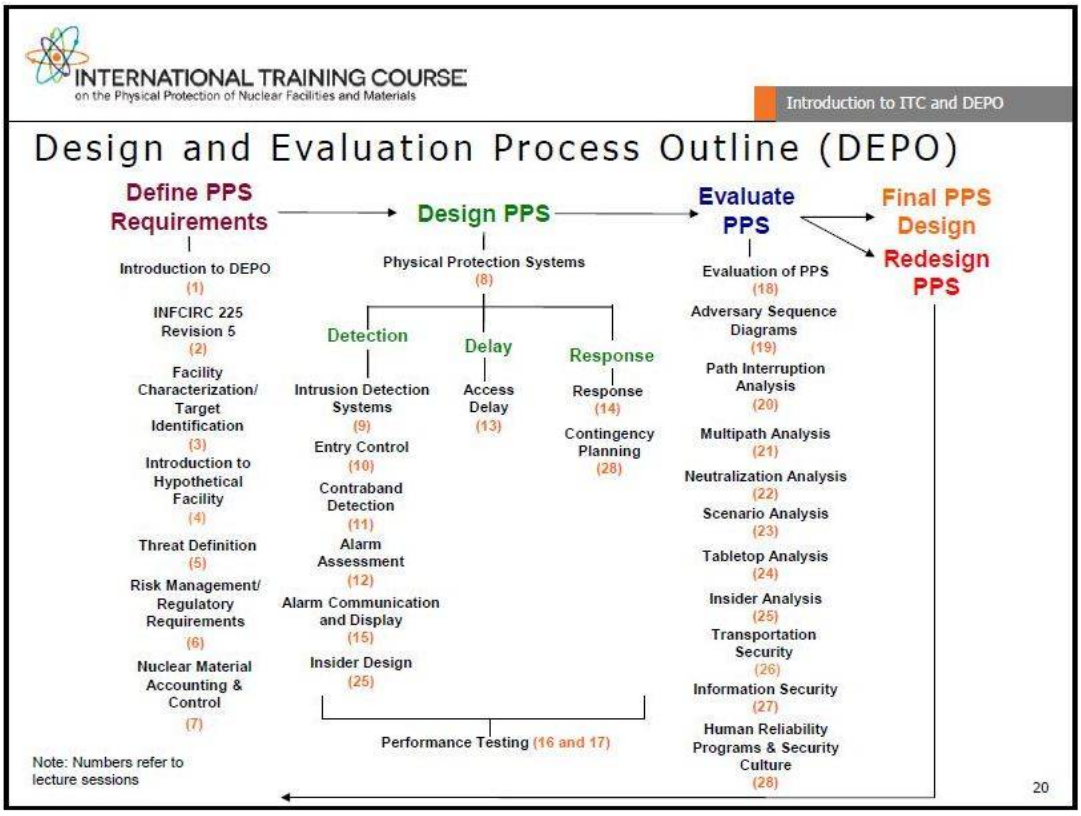

圖 1、DEPO 流程及其 28 項專業課程

第一部份：確認系統需求（Define PPS Requirement）

確立保護標的物與威脅來源，作為後續系統設計、評估基礎，相關課程

為課程編號 1 至 7，各項課程內容簡要說明如下:

1.實體防護設計與評估流程（DEPO）介紹

保安系統最重要的目的，在於防止可被用來製造核子武器的核物料於使用、儲存或運輸過程中免於失竊（Theft）與保護核設施免於遭受恐怖暴力攻擊等破壞（Sabotage）。建構核子保安系統須依照「實體防護設計與評估流程」（Design and Evaluation Process Outline, DEPO）三步驟，依序為「確認需求」（Define Requirement）、「設計」（Design）、「評估」（Evaluation）。步驟一為確認需求項目，包括：依據核子設施的特性，確定防護目標與預期威脅，制定設計基準威脅，做好風險管理及滿足法規要求。步驟二則是設計核子保安系統偵知（Detection）、延遲（Delay）與應變防衛武力（Reponse）等三大功能，設計時須考量「深度防禦」與「衡平周全」原則。步驟三是以計算系統效能值（PE）之效能基礎（Performance-based）方法，評估所設計系統是否符合防護需求，如未符合則須重回步驟二修改設計，直至符合需求為止。

2.INFCIRC/225/Rev.5 核子保安建議

INFCIRC/225 自 1975 年發表第 1 版起，作為核子保安系統國際標準，並於 2011 年 1 月發表第 5 版修正（同時也是國際原子能總署核子保安系列第 13 號）。本課程說明 INFCIRC/225 第 5 版修正目的及增訂建議內容，包括國家實體防護「防止非法竊取核物料」、「尋回復原失竊核物料」、「防範破壞核設施」及「減輕核設施破壞後果」等 4 大目標，核物料實體防護公約（CPPNM）修正版 12 條基本原則（包含責任界定、國際運輸、深度防禦、安全文化、品保等），以及核材料在使用、儲存、及運輸時之相關防護建議等，另特別增加了一項關於資訊安全的規定：用於實體保護、核子保安以及核物料控制的電腦系統和網路必須採取防護措施，以防止網路攻擊、數據操縱或篡改等威脅。

3.核子設施的特性與目標的界定

為了滿足防護系統設計、評估需要，必須對核子設施運轉、環境、安全及法律規及營運特性等，先進行資料收集，並確認可能遭受的威脅。

本課程主要防護目標著重於破壞(避免核物料或設施被破壞產生不可接受性的輻射外釋）及偷竊（針對核物料），並依據 INFCIRC/225 之「核物料分類表」(Categorization of Nuclear Material)介紹國際間最主要之核物料防護等級分類等相關內容，以及訂定核設施緊要區（Vital Area）的步驟程式等。

4.虛擬核設施的介紹

介紹某虛擬國家「拉卡錫」醫療及物理研究所內，設有水池式反應器（PTR）、脈衝型中子反應器（NBR）各一座，及放射性廢棄物儲存區等核子設施，課程詳細描述各項設施之規模、設備、位置、佈局，及其現有實體防護設計所使用之各項元素，包含偵知、延遲裝備數量，警衛、應變武力組織與日、夜間運作模式等，並輔以簡化之核設施平面圖（如圖2），具體顯示廠區相關核設施防護現況，包含廠區及各設施的實體區域，相鄰區域間之防護層，及各防護層中包括門窗、牆壁、天花板等防護單位，另同步輔助 3D 電腦動畫模型加強說明，讓學員們更加瞭解該核設施結構、運作方式及現行實體防護佈署，俾利進行後續一系列設計改良分組實作課程。

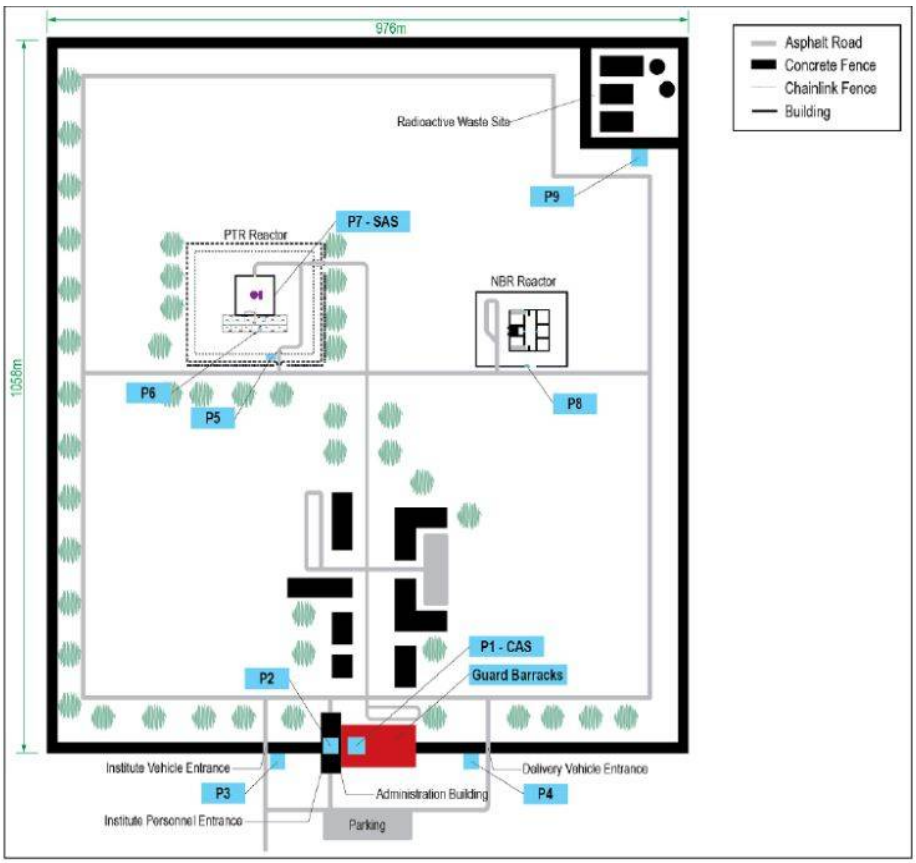

圖 2、「拉卡錫」設施平面圖

5.威脅評估

偷竊（Theft）與蓄意破壞（Sabotage）是 PPS 對抗的二大威脅，設計者必須以假想之可能最大威脅來作為實體防護系統設計之基準，此一威脅定義為設計基準威脅（Design Basis Threat, DBT）。本課程介紹評估及制定設計基準威脅的步驟如下：

(1) 檢視具可靠來源的威脅情資，例如：歷史情結、地域衝突、恐怖組織類型等。

(2) 調查攻擊動機或意圖，例如：意識形態、謀財、報復。

(3) 評估犯案能力，例如：人數、使用武器類型、爆裂物類型及數量、輔助攻擊工具、運輸、移動、專業技術、是否有內部潛伏破壞份子等。

並彙整以上資訊，從中篩選、組合而成各種可能對核設施造成威脅的類型，再考量所能接受最大風險，以決定 PPS 系統設計之威脅基準。在評估 DBT 時，據以參考的背景情資可靠度是非常重要的，因為若低估風險，設計出的實體防護系統將無法抵抗威脅，反之，則會造成資源浪費。

而依前述 INFCIRC/225「核子物料與核子設施之實體保護」要求，各國政府須自行訂定設計基準威脅，以供核設施業者據以擬定保安計畫，而核子設施與核子物料等均須置於具有實體防護系統且能防禦該威脅的場所。

6.風險管理與管制要求

本課程定義了保安風險與安全風險的差異，所謂保安風險意指因個人或團體惡意行為對未來造成傷害或損失的可能性，是由「人」的行為產生的可能性損失，而事件的發生並不是隨機的；而安全風險則是因一不正常的起始事件造成傷害或損失的可能性，其發生機率是隨機的。而風險管理是一個應用方法來降低或減輕因不想要事件發生造成風險的過程。並介紹了機率量化風險的觀念，包含從偷竊或破壞可能造成之後果，找出相應措施，以降低非預期發生事件發生的機率；另一方面，透過提高防護措施有效性，藉以提升實體防護系統的效能（P_E），以降低攻擊後果發生嚴重性。而國家及管制機關則可運用訂定規範（Prescriptive Approach）或效能考核（Performance Approach）方式，驗證業者是否達到管制法規要求。

7.核物料料帳管理與控制系統

現行的實體防護系統，主要應用於防範外部攻擊，並無法針對內部破壞者偷竊核物料的行為有相應防範措施。依據 INFCIRC/225 所示，運轉員必須有能力確保能掌控在設施裡所有核物料的數量、類型及儲放位置。而核物料料帳管理與控制系統的功能則是透過整合行政及技術的管制舉措，對核物料的儲存、使用建立一套完整的庫存追溯系統，協助設施經營者能完全掌控有關在設施內核物料的所有資訊，降低失竊風險。而該系統主要應用於偵測由內部潛伏者未經合法授權的使用或提取核物料，亦可

用來偵測核物料微量卻長時間的偷竊行為；在失竊事件發生時，則用來追查失竊核物料的種類及數量，以掌握追查目標，盡速採取相應補救措施。

第二部份：實體防護系統設計（PPS Design）

依據保護標的物與威脅來源，設計實體防護系統，相關課程為課程編號 8 至 18，課程內容計有：PPS 三大功能（偵測、延遲、及反應）設計過程，防護系統工程設計原則（縱深防禦、弱點防護平衡性及可靠度要求），衡量效能方式（計算偵測機率、延遲時間、反應時間、攔截機率及平亂機率），以及內部潛伏份子（insider）之防範措施等。說明如下：

8.實體防護系統的設計

PPS 基本上是一種防禦系統，面對可能的威脅（偷竊或暴力攻擊），必須具備偵測（Detection）、延遲（Delay）與應變武力（Response Force）等三大功能。首先，當歹徒入侵，核子設施遭受威脅時，必須儘早偵測威脅的存在，由於歹徒多半採取隱密的入侵方式，因此當其被偵測發現時，可能早已越過多層障礙，甚至於很接近目標物（特殊核子物料或重要核安設備組件），因此 PPS 除了必須在適當的位置裝置合宜且靈敏的偵測設備外，亦必須設置多重延遲裝置，爭取 PPS 武裝防衛人員反應時間，以及時阻止歹徒可能造成的破壞。以上所述可用圖 3 時間軸線圖說明：

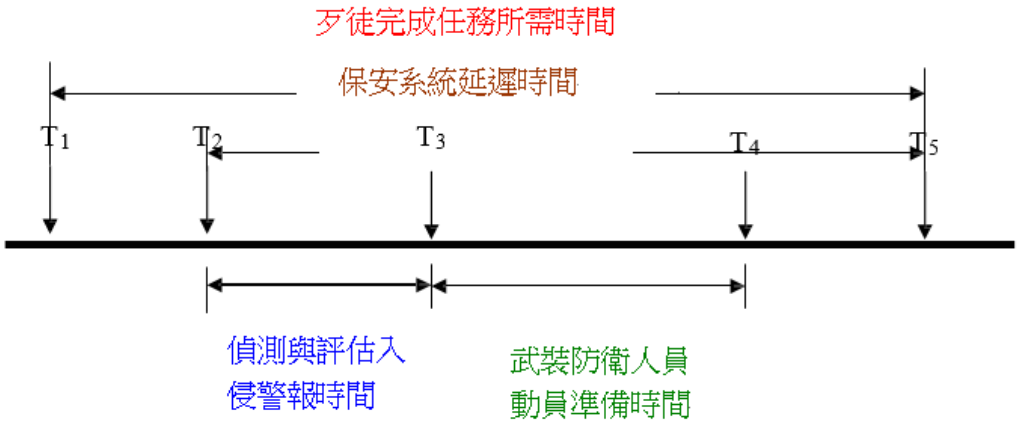

圖 3、PPS 系統時間軸線圖

T_1：歹徒開始執行任務時刻

T_2：PPS 偵測入侵後發出警報時刻

T_3：武裝防衛人員開始準備動員時刻
T_4：武裝防衛人員完成佈署準備展開攻擊時刻
T_5：歹徒完成任務時刻
T_1 至 T_5：歹徒完成任務所需時間
T_2 至 T_3：PPS 於入侵偵測系統發出警報至警報經評估確認所需時間
T_3 至 T_4：武裝防衛人員從接獲動員命令到現場就戰鬥位置所需時間
T_2 至 T_5：歹徒入侵被發現後至完成任務所剩時間。由於此段時間亦是 PPS 設計時希望藉由種種延遲裝置來爭取武裝防衛人員動員時間，故此段亦稱為延遲時間。

由以上可知，PPS 要能成功防禦的先決條件是 $T_4 < T_5$，即武裝防衛人員必須在歹徒完成任務前完成佈署並展開攻擊行動，若要確保 $T_4 < T_5$，一可將 T_4 提前（縮短應變武力動員準備時間），或 T_3 提前（縮短警報確認時間），或 T_2 提前（提高及時偵測能力，便於提早發現歹徒入侵）；另一方式則是延長 T_5，即藉由核子設施的層層關卡對歹徒入侵行動產生延遲，以爭取應變武力動員準備時間。

9.入侵偵測感測器介紹

為防範入侵行為，偵測系統應具備入侵感應之功能，在異常狀況下，探測器應發出警報信號。應用包括：歹徒入侵偵測器（核設施周界與核設施建物）、感測器發出警報信號的傳遞與顯示及評估、門禁管制（Access Control）與違禁品管制（Contraband Detection）等。偵測器的選擇必須考量偵測機率（Probability of Detection）、誤動作率（Nuisance and False Alarm Rates）與弱點（Vulnerability to Defeat）。其中，偵測率愈高愈能發現非法侵入，另外，誤動作率要盡量低，否則將造成偽陽性的偵測結果，增加了保安人員的負擔，最後，因不同的偵測器有不同的限制（弱點）及適用環境，因此，在選用偵測器種類時，必須對環境、氣候條件、偵測目標、偵測效率作通盤考量；不同形式偵測器間亦可互補搭配使用，建立完整連續的偵測系統，以增加偵測成功機率。

感測器可依其技術原理、偵測方式及佈置方式加以分類：

（1）依技術原理：可分為雷射（Laser）、振動（Vibration）、拉力（Taut Wire）、紅外線（Infrared）、微波（Microwave）、電場（Electric Field）、光纖（Optical Fiber Cable）與影像移動式（Video Motion Detectors）等。

（2）依偵測方式：可分為隱藏式或外顯式（Covert or Visible）、線偵式或體偵式（Line or Volumetric Detection）、主動式或被動式（Active or Passive）。

（3）依佈置方式：可分為埋地型（Buried-Line）、圍籬型（Fence-Associated）或立柱型（Freestanding）等。

各型偵測系統功能特性上亦有錯誤接受率（False acceptance）與錯誤拒絕率（False rejection）等不同差異，使用上在內圈區域（保護區、緊要區及內部區） 應盡量選擇錯誤接受率低產品，在外圍區域（限制區）若因成本考量，則稍可容忍使用錯誤拒絕率高產品。

10.門禁管制

目的在建立保護區域，允許授權人物的進出，監控並防止非授權人物的進入。本課程介紹不同類型門禁管制系統的原理，包含依據進出人員的（1）所知道的：如密碼（PIN）；（2）所擁有的：如識別證、鑰匙；（3）天生的生物識別特徵：如指紋、虹膜及語音辨識等等特性加以設計。不同門禁管制系統各有其優點及限制，例如偵測速度快的系統，可能排錯率會較低；反之，則較高，所以，在選擇門禁管制系統時，也需通盤考量環境的適用性，不同特性的檢查方式若能搭配使用，可提升管制的完整性。

若要設立良好的門禁管制系統，須考量下列因素：（1）無法被旁通；（2）人員可監視；（3）可提供武裝人員防護；（4）檢查過程中隔離受檢者；（5）針對未通過自動查驗者執行人工檢查；（6）受保安監控中心監看。

11.違禁品（Contraband）偵測

就核能電廠言，違禁品包括:武器、爆裂物、工具、攝影器材及放射性物料等，當人員、行李、車輛進出保安區域時，須執行違禁品偵測，通

常是允許授權物品的進出，而限制違禁品進入，及武器工具爆裂物管制核物料的流出。其管制項目必須依據所訂定的設計基準威脅來評估歹徒可能攜帶的違禁品種類或是攜帶方式，及並依照不同保安層級區域調整。

偵測方式有以下幾種類型，包含人工檢查、金屬偵測（武器工具爆裂物）、X 光掃描（行李、背包有無夾帶違禁品）及輻射偵測器（高放射性核物料）等。其中，以人工（含緝毒犬）具備高機動性及敏感度，且能應用於任何爆裂物的偵測，但時間效益差，且起始成本雖低，而維護成本高；若以儀器偵測雖成本較高，但相對節省檢查時間。因此，若要建立一個良好的違禁品管制偵測系統，亦可搭配不同種類的偵測方式，以提升對違禁品偵測的靈敏度。

12.警報評估（Alarm Assessment）

警報評估是警報偵測系統的最後一環，當完成偵測後若發現異常，系統應立即發出警報示警，判斷是否為雜訊干擾（如天候）或異物（如動物）誤觸，及評估警報內容，以協助提供應變人員正確資訊以迅速弭平入侵。如僅有警報而無法評估及判斷狀況，則偵測無法發揮效益。評估可分為人力及機械兩類，人力評估包括警衛、應變武力或當地員警，機械類則包括影像應用。人力評估優點為機動性較強，可適用於特殊狀況，但缺點則是費用較高；而機械警報評估優點是可長時間連續性的監測，並可記錄相關影像，缺點是儀器後續維護費用高。機械評估最主要是透過影像系統的使用，而影響一個影像評估系統效能最主要的三大因素則為：相機、鏡頭及光源。因此，在建置影像評估系統時，必須針對不同環境、天候（雨、雪、霾、霧）等狀況，搭配不同的組合，架構一全時性且具有完整覆蓋範圍的偵測器統，並避免造成誤判，或因攝影角度不當而形成視線死角，產生偵測漏洞。常見的影像系統包括：閉路電視系統（Closed Circuit Television，簡稱 CCTV），熱成像攝像機（Thermal Cameras）及影像動作感測器（Video motion detection）等。

13.入侵行動延遲（Access Delay）

運用屏障（Barrier）沿入侵者可能選擇之途徑，以預先或臨時部屬障礙物以遲滯入侵者行動，增加其作業時間，並替應變武力爭取時間，使應變武力能及時抵達現場阻止入侵者行動。核設施中典型之兩種屏障系統為：

（1） 被動型屏障：一般而言，稱之為「結構屏障」（Structural Barrier），屏障效果最為直接確實，例如廠界圍牆、大門出入口、車輛進出通道、牆壁、門窗、屋頂、樓地板等。

（2） 主動型屏障：需要電力啟動，又分為散佈材料屏障（Dispensable Barrier），例如運用煙霧、泡沫、黏著劑等方式延緩敵人動作及行進；或是彈出式交通屏障（Pop-up vehicle Barrier）。除此，崗位駐警也具有遲延功能。

一般而言，良好屏障應具有：偵測後立即發揮延遲作用、平衡設計且不形成連續弱點，以及縱深防禦佈署等特性。

14.應變（Response）武力

不同於一般警衛（Guard）負責檢查、監視、通報功能及防止未獲授權人事物的進出等例行勤務，應變武力屬具特種戰鬥能力的快速打擊部隊，主要職責有二：其一為當接獲歹徒入侵偵測警報後，必須及時趕往歹徒所在地或欲破壞的目標，以執行攔截並阻止敵意行為；其二為狙殺或逮捕歹徒以防止其達成破壞目的。而要進行一成功的攔截，必須依靠精確的偵測、警報評估、可靠的通訊傳遞及是否能及時趕往歹徒所在或目標地點等眾多環節。而一個完整的 PPS 時間計算則是從第一次警報偵測至應變武力趕往目標地點的時間，其間包含應變部隊通訊、準備、集合、佈署及行動等，並不包括應變武力對抗威脅或是阻止歹徒完成破壞目標的這段應變時間，故需精確評估反應時間能否及時制止歹徒不法活動。而建置應變武力亦需有周詳計劃、合格人員、精實訓練及確實評估過程，並需經常進行實兵對抗演練，以保持任務執行效率及能力。

15.警報通訊與顯示（AC&D）

其主要功能是將從實體防護系統蒐集到的各項資料（例如:入侵偵測警報、門禁管制、CCTV 影像監視與評估等）提供給相關應變人員（例如:緊急應變人員、應變警力等），以利不法份子入侵時能有效應變；此外通訊系統應考慮其保密及不易受干擾，顯示方式則須考量人因工程，依重要性分層次加以顯示，以便監看人員掌控全盤狀況，並立即處理緊急情況。

16~17.偵測、延遲效能測試（Performance Tests-Detection & Delay）及應變效能測試（Performance Tests-Response）

測試型態包括操作及功能測試（Operability and Functional Tests）、子系統測試（Subsystem Performance Test）及全部系統測試（Whole System Performance Tests）及評估試驗（Evaluation Tests），測試流程首先要規劃一個測試、接著執行該測試並蒐集資料、分析蒐集的資料、最後記錄結果，其目的在於測試實體防護系統成功偵測到非法入侵的機率及應變警力成功攔截並制伏不法份子的機率。

第三部份：實體防護系統評估（PPS Evalution）

運用效能基礎（Performanc-based）方法，量化評估分析實體防護系統及其效益，以找出防護系統的弱點並加以改良。相關課程為課程編號 18 至 28，說明如下:

18.實體防護系統評估

實體防護系統的有效性 P_E 可藉由量測到的 P_I 值及 P_N 值來確認，即能將其系統的有效性能使用量化數值來呈現，（$P_E = P_I * P_N$ ，P_I＝PPS 成功攔截（Interruption）威脅機率，P_N＝PPS 成功弭平（Neutralization）威脅的機率），P_I 值評估值可由「情境分析」及「路徑分析」計算分析得出在防護目標與歹徒入侵路線確認後，輸入相關參數後，即可由電腦軟體程式計算結果。P_N 值評估值除可由「情境分析」得出外，亦可由兵棋推演電腦模擬及實兵對抗等方式得出。

19.侵入者滲透入侵路徑圖（Adversary Sequence Diagram）

依據現場實況，設定保安目標物及敵方所有可能滲透入侵路徑，繪出詳細的路徑順序，概念如圖 4，首先需定義出各實體區域（Physical Areas）、各防護層（Protection Layer）及防護標的物，接著針對各實體區域分配最小偵測機率及延遲時間，最後建立出滲透入侵路徑圖模型，藉此實際評估實體防護系統在防護上的優弱點。

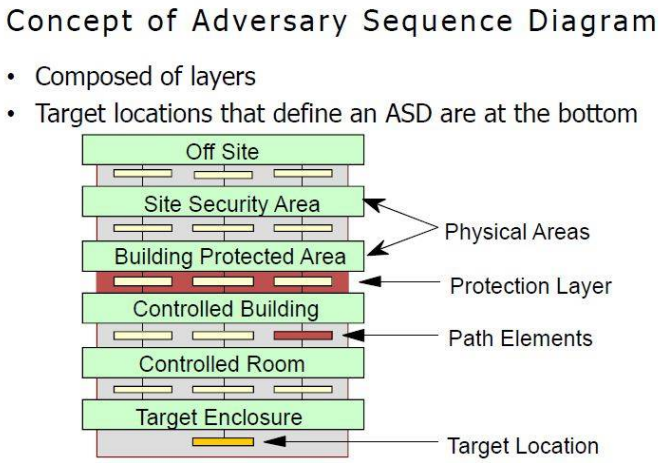

圖 4、侵入者滲透入侵路徑圖

20.路徑攔截分析

沿著所有歹徒可能入侵的途徑，分析實體防護系統之偵測和延遲是否能提供有效的 P_I（P_I＝PPS 成功攔截（Interruption）威脅機率），該值等於臨界偵測點（Critical Detection Point, CDP）之前的成功偵測機率，其值等於（1－臨界偵測點前各點偵測設備失敗機率乘積），臨界偵測點可利用歹徒完成任務時間軸（Adversary Timeline）與實體防護系統應變時間軸（Response Timeline）找出，概念如圖 5，入侵偵測系統必須早於臨界偵測點之前發出警報，才能有效攔截歹徒行動。

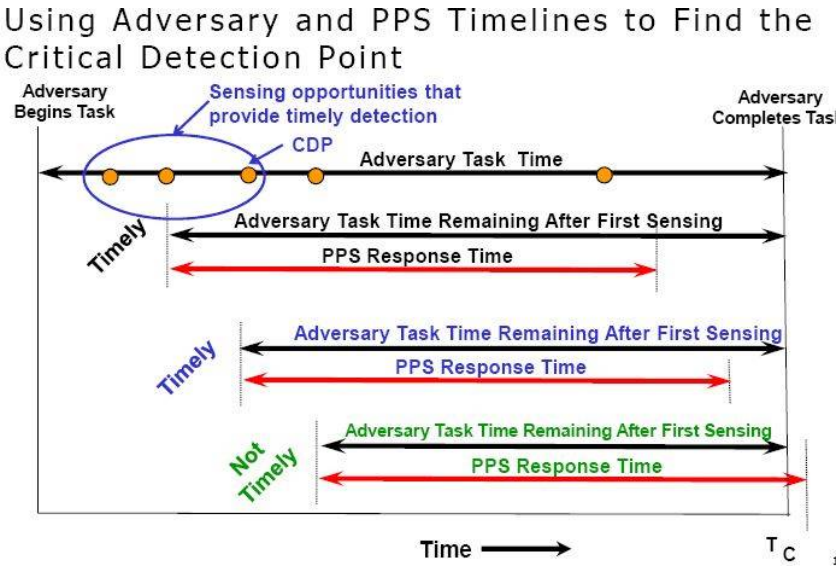

圖 5、歹徒完成任務時間軸（Adversary Timeline）與實體防護系統應變時間軸（Response Timeline）之圖

21.多路徑分析

多路徑分析是利用 Sandia 國家實驗室開發之 MPVEASI 軟體（Multi-Path Very-simplified Estimate of Aversary Sequence Interruption）來算出歹徒最可能入侵到目標物的途徑，即算出最脆弱之路徑，共分三步驟，首先需輸入侵入者滲透入侵路徑圖（ASD）數據，包括每一區域或標的物之偵測機率及其延遲時間，接著輸入應變數據，包括實體防護系統的應變時間、應變策略（針對直接武力、祕密行動或欺騙三種情形採取的策略）等等，最後按下分析功能鍵得到輸出結果，該結果即最脆弱的途徑。

22.弭平能力分析（Neutralization Analysis）

當威脅入侵時，分析應變武力是否具有足夠的能力來阻止歹徒完成惡意攻擊行為，若敵我雙方之武器裝備、人員素質等客觀條件一致情況下，可透過查詢表 2「不同敵我數量弭平機率對照表」來得出成功弭平威脅之機率:P_N（Probability of Neutralization）。

表 2、不同敵我數量弭平機率對照表

Number of Adversaries	Number of Responders																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0.50	0.83	0.96	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	0.17	0.50	0.78	0.92	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3	0.04	0.23	0.50	0.74	0.89	0.96	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4	0.01	0.08	0.26	0.50	0.72	0.86	0.94	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5	0.00	0.02	0.11	0.28	0.50	0.70	0.84	0.92	0.97	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
6	0.00	0.01	0.04	0.14	0.30	0.50	0.68	0.82	0.91	0.96	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
7	0.00	0.00	0.01	0.06	0.16	0.32	0.50	0.67	0.81	0.90	0.95	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
8	0.00	0.00	0.00	0.02	0.08	0.18	0.33	0.50	0.66	0.79	0.88	0.94	0.97	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
9	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.09	0.19	0.34	0.50	0.65	0.78	0.87	0.93	0.96	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.10	0.21	0.35	0.50	0.65	0.77	0.86	0.92	0.96	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00

Probability of Neutralization for Different Numbers of Adversaries and Responders

23.情境分析

情境分析是一種分析實體防護系統有效性（P_E）的方法，藉由考慮不同的攻擊情境:包括歹徒採取偷竊或破壞之攻擊方式、歹徒可能採取的路徑、歹徒擁有的專業知識水準及可能掌握的資源等，分析得出實體防護系統整體防禦能力、保安應變計畫、保安政策及程式及跨單位支援協調等各方面弱點，作為後續改進之參考。

24 兵棋推演分析

兵棋推演可將人員分成攻擊方（Adversary Team）、防守方（Guard and Response Force Team）、評估組（Evaluation Team）及裁判組（Exercise Moderator）四組，主要用於模擬歹徒攻擊設施時，評估實體防護系統效能，攻守雙方針對假想的攻擊情境進行模擬推演，特別在重要事件發生點（例如歹徒何時破壞偵測設備進入廠區、何時抵達目標物執行偷竊或破壞、應變武力何時與歹徒進行對抗等）進行討論並記錄，結束之後評估實體防護系統之防禦弱點，進而提出改善防禦功能建議。

25.內部潛伏份子分析（Insider Analysis）

內部潛伏份子的特性主要有三項：1.門禁 2.授權 3.知識，其動機方面需考量意識形態（可能有政治或宗教狂熱）、財務有問題、身心狀態異常、遭人脅迫等，為了降低因此類人員產生的風險，可以在雇用人員

前進行一些安全查核，例如透過背景查核確認有無犯罪紀錄、信用查核確認有無財務問題、利用醫療檢驗確認有無身心方面問題、藥物篩選確認有無濫用藥物等。

26.運送安全

運送型式可分為空運、海運、陸運，運送威脅包含遭遇海盜、脅持、埋伏、破壞等，關於核物料運送之安全防護系統設計，原則上是比照固定廠區（Fixed Site）核設施「實體防護設計與評估流程」（DEPO），兩者最大不同處為運輸是以動態方式進行，故無法設立保護區且路徑會隨環境連續變化等，所以評估過程是以「情境分析」取代「路徑分析」，且通常偵測時間無法提前，所以須加強延遲功能爭取應變時間，另外偵測、評估、通訊及應變、請求外援等工作，亦須全由押運應變武裝人員負責處理。

27.資訊安全

類似實體防護系統，資訊安全可採用深度防禦概念來防護，先將廠內系統依據重要性加以分類，最重要的系統（例如安全系統）給予最嚴密的防護、次重要的系統給予嚴密的防護、較不重要的系統則給予原則性的防護。另外確保資訊安全作法可分為以下 3 方面：

(1) 行政控制：資安訓練、政策程式（如密碼管理），以及在不影響運作情況下，應實施最小授權原則（POLA，Principle Of Least Authority）。

(2) 實體防護：對於電腦、數位系統及網路設備、特殊伺服器所在區域，應加強實體防護。

(3) 復原減損：做好備援管理，定期製作備份資料、測試備援系統，並提供備援系統與原系統同等級之防護能力。

28.人員可信賴計畫及保安文化（Human Reliability Program & Security Culture）

藉由可信賴計畫，使能夠幫助確認在電廠中重要職位人員的是否正直、可信賴、及適合該職位；另外所有核子保安的風險皆須考慮到人

的因素，在預防保安事件發生方面，人員扮演一個正面的角色，某些情況下人員也可能扮演一個負面的角色，例如:人員缺乏保安意識、疏忽、甚至可能是內部威脅人員。保安文化簡言之是指所有在核設施工作的人員對於保安的一種危機意識，即人員觀念裡認為核子保安對於核設施來說是相當重要的。

上述 28 項課程完成後，訓練倒數第 2、3 天為「學員閉關」期間，每一學員均須集合於分組研究室，相互討論、腦力激盪，合作完成「結訓成果報告」簡報，成果報告須充分運用訓練所學及分組實作水池式反應器（PTR）時計算、討論之結論及經驗數據等，依組別題目分別設計虛擬核設施：其一為研究用反應器（Hypothetical Atomic Research Institute facility, HARI）、另一為核電廠（Lone Pine Nuclear Power Plant, LPNPP）設施的實體防護系統，並自我評估、量化系統防護效能，若有不足處須再檢討、精進防護措施，直至達成防護目標值為止。

訓練最後一天為「結訓成果報告」，全體學員以分組為單位，依抽籤順序上臺報告 30 分鐘，所有學員皆須上臺報告，並接受所有講師、分組指導員及全體學員的質詢及指正，最後由班主任講評，合格學員即可獲頒結訓證書。

肆、心得及建議

一、內部威脅:防護內部威脅人員在本質上遠比防護外部威脅人員困難得多，透過本課程介紹及美方 2015 年 7 月曾來台講授「內部威脅防護」，瞭解到雇用人員前若能先進行安全查核，將可有效降低內部威脅的風險，也能從門禁、授權、知識等三面將人員分類，依風險的高低加以管制，此外一般人認為不可能成為內部威脅人員的也須加以留意（例如：核電廠之高級主管或清潔人員等）。

二、兵棋推演過程中，在進行攻方、守方推演情境分析時發現，攻方若同時運用人肉（卡車）炸彈、夜間伏擊，以及「出其不意」、「調虎離山」等策略，並於接戰初期炸毀守方中央監控系統及大量損耗藍軍武力，因守方通訊失聯及應變武力不足，首尾無法呼應，此時攻方主力則可以逸

待勞，直搗目標區，將可於守方援軍抵達目標區前完成破壞任務，除非守方人員數目處於絕對優勢並能預先佈署，否則在敵（攻方）暗我（守方）明情況下，守方取勝不易。藉由實施兵棋推演對於評估核電廠實體防護系統之效能大有助益，因此建議研擬惡意攻擊演練劇本，藉此找出核電廠實體防護系統之弱點。

三、隨著科技日新月異，網路安全日趨重要，設施經營者除了考慮實體防護外，也需強化資安方面之防護，避免遭受有心人士利用資安的漏洞，進而做出危害核電廠安全的行為，故針對核電廠而言，資安防護儼然成為一個重要的課題，雖然課程對此著墨不多，僅透過專家演講之方式，闡述資通安全之基本防護觀念，最終須達成資通系統「及時可用」、「資料完整」及「人員保密」目標，但裡面提到需辨識重要系統及分級防護的概念與 RG5.71 的防護原則大同小異，RG 5.71 防護原則為先辨識出執行安全、保安以及緊急應變功能等系統或支援上述功能之系統，再從技術面、操作面、管理面等三方面加以落實其資安防護，目前本會已請台電公司依據 RG5.71 制定關鍵數位資產資通安全計畫導則，制定完成後核能電廠再依此制定相關之程序書，藉此希望核能電廠能依制定出的導則與程序書來落實本身資安防護，持續強化關鍵數位資產資通系統之資安防護。

四、我國雖非國際原子能總署正式會員國，僅是觀察員（Observer）身分，但透過台美民用核能合作會議中，雙方達成加強保安議題交流之共識，並將該訓練納入「台美民用核能合作計畫」合作項目後，多年來我國均獲邀參加，參訓人員不僅可從課程中學習到專業的保安識能，還與各國學員交流，從中瞭解不同國家之核能電廠的實體防護，對於管制機關及設施經營者本身都是一大助益，建議持續派員參與學習，特別是設施經營者更應積極派員參加。

五、影響核子保安三要素為 1.人員 2.設備 3.程序，其中最重要的因素就是人，如果單位內所有成員不能確信保安威脅的存在，及其可能帶來的潛在後果，或是單位內所有成員不瞭解本身在保安方面均扮演一個重要的角色，無論防護設備如何新穎或程序如何完善，還是非常有可能導致成防

護體系上的疏漏，造成實體防護全面失效，因此核能電廠應建立良好的核子保安文化。

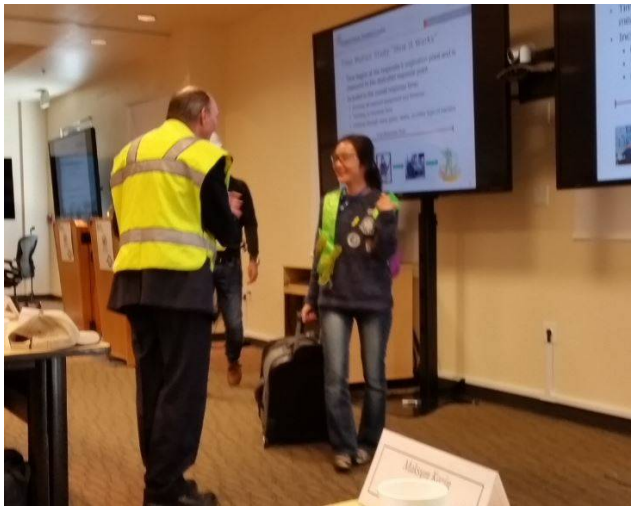

圖6、羅員課堂實作練習

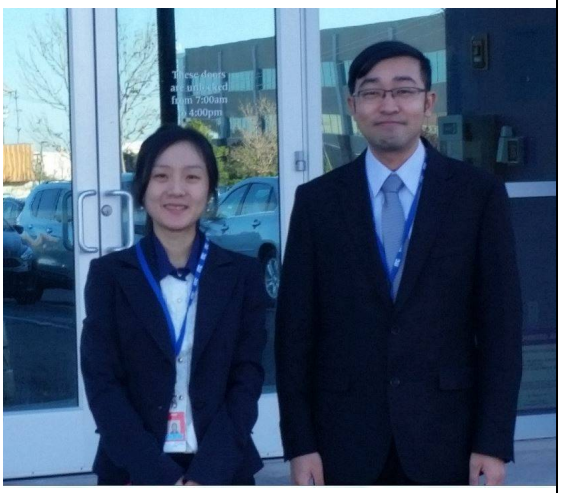

圖7、羅員（左）、許員（右）在聖迪亞國家實驗室合影

圖8、歹徒可能破壞工具展示（一）

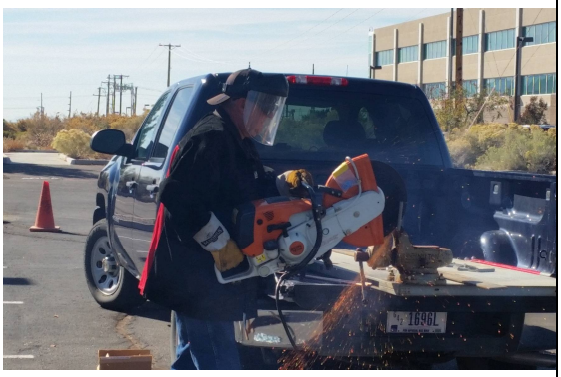

圖9、歹徒可能破壞工具展示（二）

圖10、門框金屬探測器實地測試所用不同材質武器

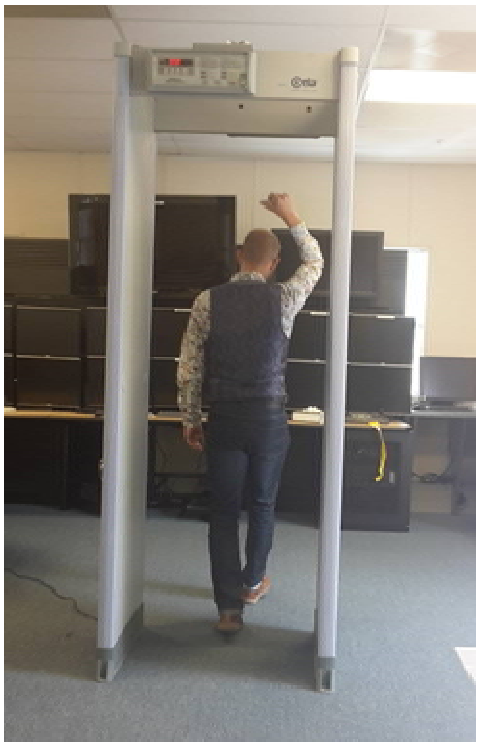	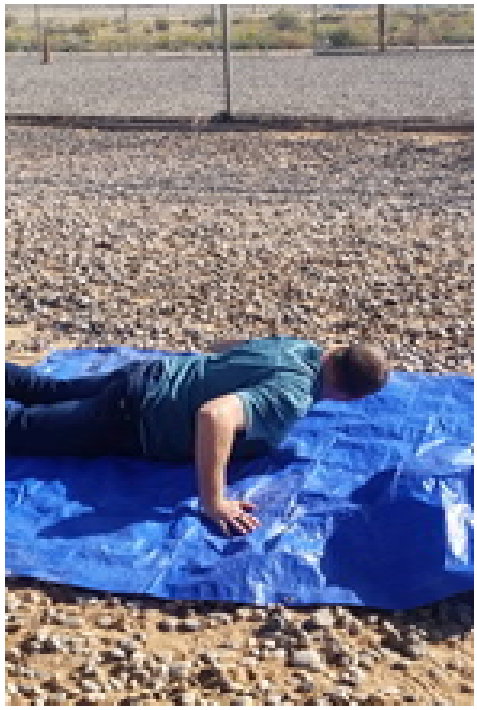
圖11、門框金屬探測器實地測試違禁品不同位置	圖12、電場感測器實地測試方式（一）:爬行
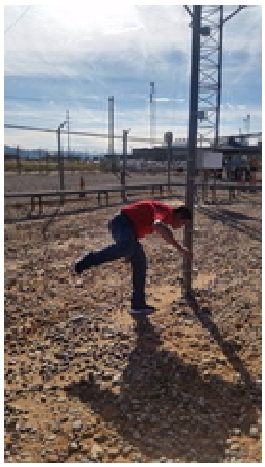	
圖13、電場感測器實地測試方式（二）:跨過	圖14、電場感測器實地測試方式（三）:從高處

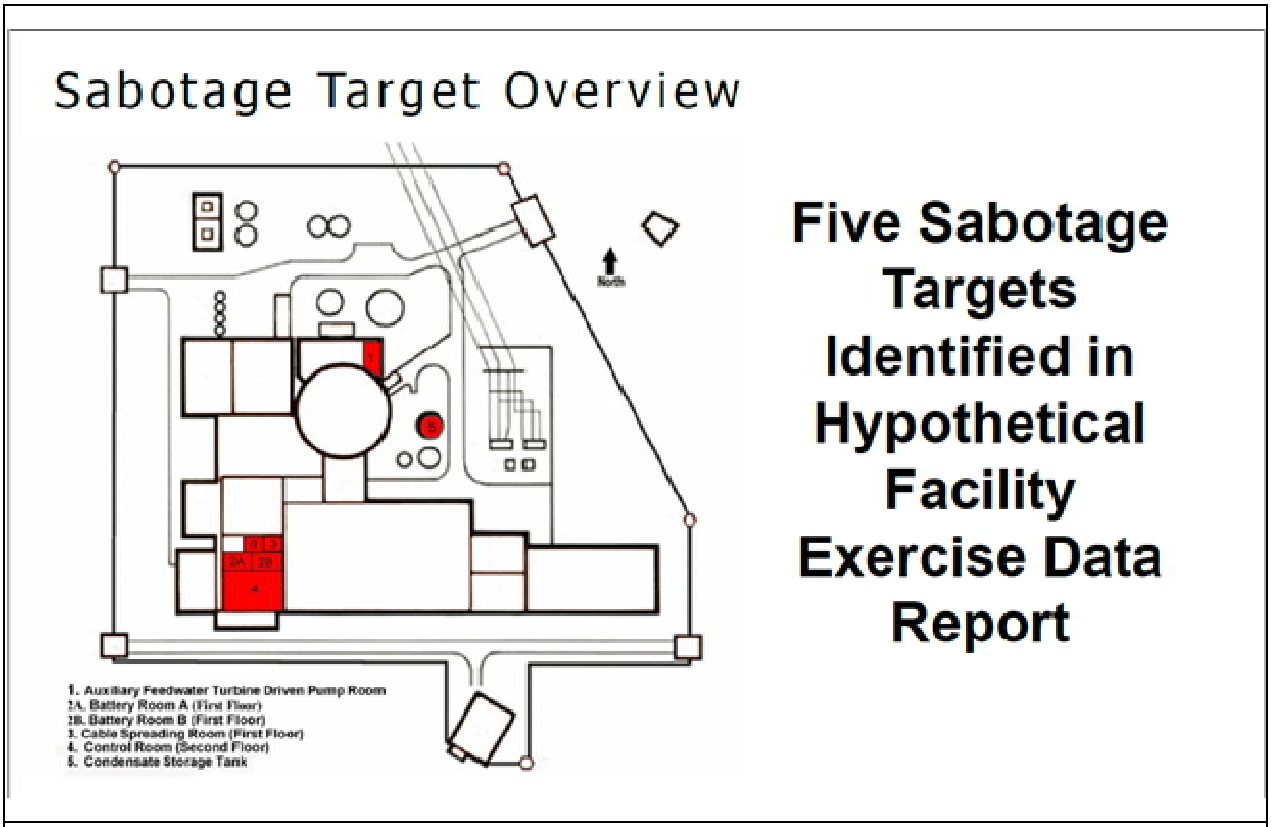

圖15、分組報告-Lone Pine核電廠防護目標

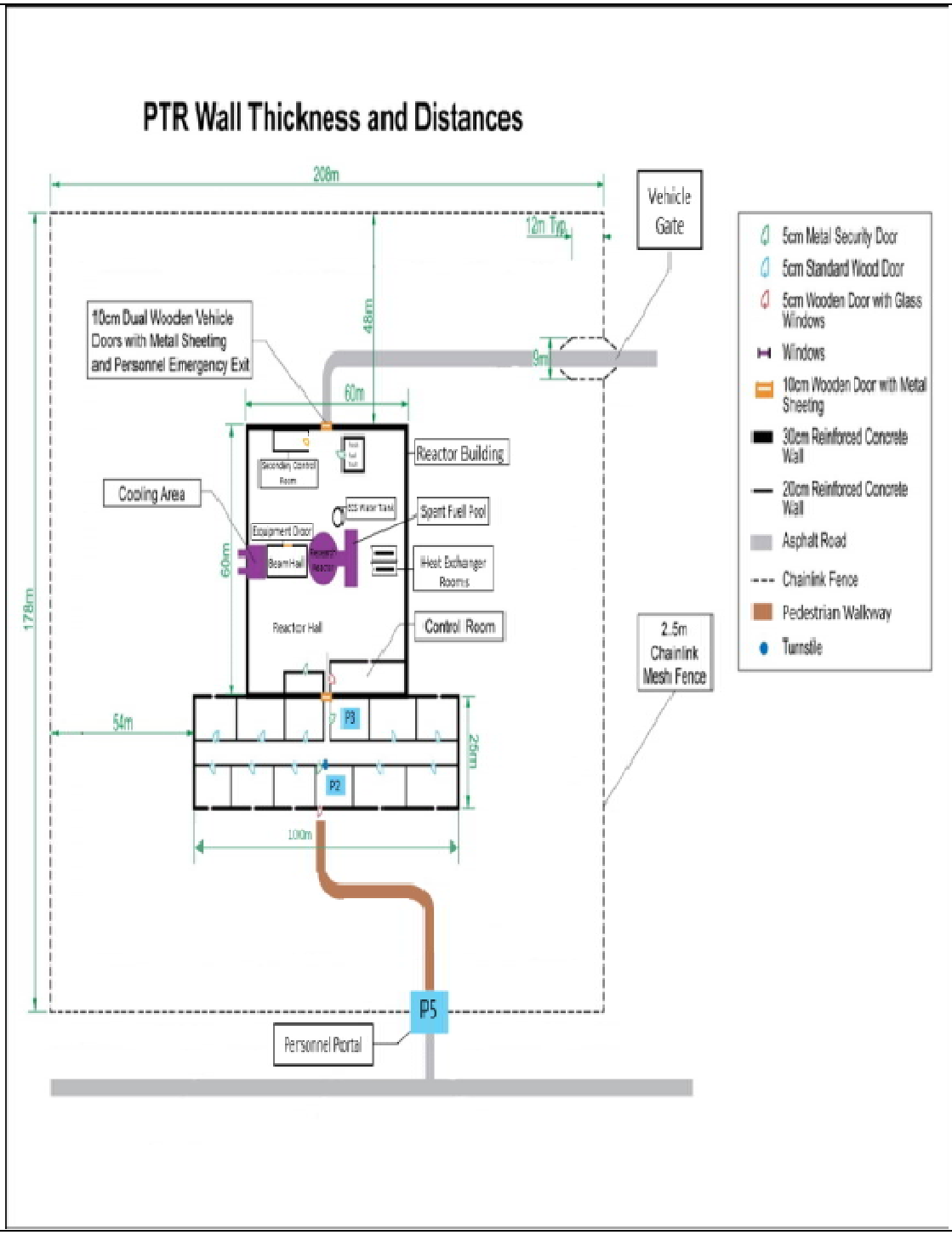

圖16、分組報告-HARI設施設施平面圖

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>圖17、入侵延遲行動展示</td><td>圖18、許員結訓成果報告翦影</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>圖19、結訓典禮羅員獲頒結訓證書</td><td>圖20、結訓典禮許員獲頒結訓證書</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">圖21、與會各國學員合照</td></tr>
</table>