

行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書
(出國類別：進修)

參加「IAEA 第 17 屆核子保安訓練課程」

服務機關：行政院原子能委員會

職 稱：科 長、技 正

姓 名：黃俊源、林繼統

出國地點：美國

出國期間：92 年 9 月 6 日至 92 年 9 月 28 日

報告日期：92 年 12 月 26 日

412 / 09203659

摘要

本次出國目的為參加國際原子能總署主辦之第十七屆核子保安訓練課程，藉以提升我國核子保安防衛力量。

訓練課程內容為核子保安系統的建構，建構過程分為三個步驟，第一步是先確定待保護目標與欲防禦之威脅並訂定可接受風險值，第二步是建立核子保安系統三大功能：偵測、延遲與武裝防衛力量，建立同時須考量深層防禦與平衡健全策略，第三步是評估核子保安系統，找出弱點並改良至符合可接受風險值為止，評估過程並應納入各種情境分析與內部破壞份子分析。

建議我國採用此方法對目前國內核設施（台電公司運轉中核一、二、三廠與建造中核四廠、清華大學水池式反應器 THOR 與核燃料儲存室、核研所運轉中微功率反應器與待除役之台灣研究用反應器）核子保安系統進行評估，評估前本會並應儘速制定核設施核子保安系統的風險值接受標準與設計基準威脅。

目 錄

一、 出國目的.....	1
二、 出國行程.....	1
三、 課程內容.....	1
四、 心得與感想.....	16
五、 結論與建議.....	21

圖表目錄

表一、出國行程表.....	24
表二、學員名單.....	25
表三、核子保安專家論壇專題演講.....	27
表四、各國核子保安專家專題演講.....	28
表五、C 值參考表.....	29
圖一、核子保安訓練課程架構.....	30
圖二、實體展示觀摩（外部入侵偵測器）.....	31
圖三、實體測試教學（外部入侵偵測器）.....	31
圖四、實體展示觀摩（門禁管制）.....	32
圖五、實體展示觀摩（武裝防衛力量）.....	32
圖六、野外實彈射擊（武裝防衛力量）.....	33
圖七、入侵偵測器（taut wire 拉力式，圍籬型 fence-associated）.....	33
圖八、入侵偵測器（infrared 紅外線，立柱型 freestanding）.....	34
圖九、入侵偵測器（microwave 微波）.....	34
圖十、入侵偵測器（electric field 電場式）.....	35
圖十一、入侵偵測器（optical fiber 光纖，埋地型 buried-line）.....	35
圖十二、入侵偵測器（video motion detectors 影像移動式）.....	36
圖十三、入侵偵測器（active or passive 主動式或被動式）.....	36

圖十四、入侵偵測器 (covert or visible 隱藏式或外顯式)	37
圖十五、入侵偵測器 (line or volumetric detection 單線或體偵式)	37
圖十六、門禁管制 (指紋辨識)	38
圖十七、門禁管制 (虹膜辨識)	38
圖十八、違禁品管制 (X 光掃瞄)	39
圖十九、違禁品管制 (金屬探測)	39
圖廿、違禁品管制 (輻射偵測)	40
圖廿一、違禁品管制 (爆裂物偵測)	40
圖廿二、延遲裝置 (蛇籠圍籬)	41
圖廿三、延遲裝置 (牆壁與屋頂)	41
圖廿四、延遲裝置 (Turnstile Gate 旋轉門)	42
圖廿五、延遲裝置 (Polyurethane Foam 泡棉膠)	42
圖廿六、延遲裝置 (Aqueous Foam 泡沫)	43
圖廿七、延遲裝置 (煙霧)	43
圖廿八、及時偵測 (timely detection) 觀念說明圖	11
圖廿九、EAZI 程式操作介面	44
圖卅、ASD 第一步驟 (畫出核設施各相鄰區域圖)	44
圖卅一、ASD 第二步驟 (physical areas 圖)	45
圖卅二、ASD 第三步驟 (path element 圖)	45

圖卅三、SAVI 程式操作介面.....	46
圖卅四、簡易彌平機率 P_N 評估程式操作介面.....	46
圖卅五、防範內在破壞之層層過濾防堵行政措施.....	47

參加「IAEA 第 17 屆核子保安訓練課程」出國報告

一、出國目的

本項出國計畫為應美國國務院 (Department of State, 簡稱 DOS)、能源部 (Department of Energy, 簡稱 DOE) 之邀請, 參加由國際原子能總署 (International Atomic Energy Agency, 簡稱 IAEA) 主辦、美國 Sandia 國家實驗室 (Sandia National Laboratory, 簡稱 SNL) 承辦之第十七屆核子保安 (Physical Protection of Nuclear Facilities and Materials) 訓練課程, 目的是希望藉由訓練課程讓世界各國選派的學員能夠學習核子保安系統 (Physical Protection System, 簡稱 PPS) 的建立與評估方法, 返國後實際應用於國內核設施, 藉以提升各國 PPS 防衛力量, 降低核物料失竊或核設施被破壞之威脅, 確保有效抵禦恐怖份子暴力攻擊或偷竊行為, 保障國內核設施與核物料之安全, 並成為 IAEA 全球聯防策略之一環, 確保全球核物料或核設施之穩定與安全。

二、出國行程

本次出國受訓課程為期三週, 自九月六日至二十六日, 課程地點均在美國新墨西哥州 Albuquerque 市及其附近城鎮舉行, 詳細行程如表一。

三、課程內容

本訓練課程由 IAEA 主辦, 美國 SNL 承辦, 自 1978 年開辦第一屆至今

(2003年)已是第十七屆，歷屆參與國家達68國，學員人數約600人，第十七屆參與學員32人分別來自24個國家，名單如表二。我國因不屬IAEA正式會員國，故參加人員未註明國籍，而以觀察員(Observer)稱之，除此之外，在課堂與生活上並無其他差別待遇。

本項課程目標是希望學員習得PPS之設計分析方法，並能實際應用於各學員國家之核設施與核物料，課程包含PPS設計分析評估課堂講授(課程時間十天)、核子保安專家論壇(Forum)(課程時間二天)與實作練習(課程時間三天)等三大部份。

第一部份PPS設計分析評估，課程架構如圖一，講授內容依序概分為PPS之1)目標訂定、2)設計與3)分析評估等三步驟，全部內容分為27個授課單元，每單元之教材內容先以簡報方式講解，之後立即分組討論兼作案例分析，部份單元並有實體展示觀摩、實體測試教學與實彈射擊體會武裝防衛力量等戶外教學課程，例如外部入侵偵測器(圖二、三)、門禁管制(圖四)與武裝防衛力量(圖五、六)等單元。

第二部份核子保安專家論壇則邀請IAEA、美國DOS、DOE、核管會(Nuclear Regulatory Commission, 簡稱NRC)等專家就核子保安相關議題發表專題演講(演講題目如表三)，並請法國、印度、南非與中國等國之核子保安專家介紹該國PPS現況(演講題目如表四)。

第三部份為分組實作練習，係依第一部份所學得PPS的設計與評估方

法，以課程教材內的假想研究用反應器為例，就其現有 PPS 進行評估計算其風險值，在發現諸多弱點後提出各項改善措施，直到達成預設的可接受風險值為止。

以下即就訓練課程主要內容—PPS 的設計分析與評估方法詳細說明。

PPS 建構三步驟

本課程教授學員如何系統化建構 PPS 的方法，建構過程分為三步驟(流程架構如附圖一)：第一是先確立 PPS 的目標，亦即保護什麼標的物(Target)與對抗什麼威脅(Threat)，第二是分析現存或另行設計新的 PPS，最後則是以風險觀念評估此一系統是否符合要求，如未符合則回到第二步驟執行設計修改，直到符合要求為止。

步驟一：確認保護目標與設計基準威脅

PPS 的目的就是要保護核設施中可被用來製造核子武器的核物料(如 U^{235} 、 Pu^{239})免於失竊，以及保護核設施免於遭受恐怖暴力攻擊，導致放射性物質外釋，危及民眾健康與環境生態。因此 PPS 的保護對象是核物料與核設施，核物料定義明確範圍確定，而核設施則需進一步利用故障樹分析(Fault Tree)技術縮小待保護的區域範圍(至某設備或元件)。

偷竊(Theft)與暴力攻擊(Sabotage)是 PPS 對抗的二十大威脅，設計者必須以假想之可能最大威脅來作為系統設計之基準，此一威脅定義為設計基準威脅(Design Basis Threat, 簡稱 DBT)。DBT 的制定是核設施管制

單位的責任，相對的，核設施經營者的責任則是評估此 DBT 對核設施 PPS 造成的風險。

DBT 的制定過程概分為下列九個步驟：1) 確定各單位角色與責任，例如核設施管制單位負責 DBT 的建立與修訂，其他政府部門之軍、警、情報與司法等單位則擔任情資提供之角色；2) 建立合理假設，例如未獲預先情報警示之威脅、非戰爭行動之攻擊、歹徒來自國內或國外等；3) 確認歹徒類別，如外來者 (Outsider) 一般可分為恐怖份子 (Terrorist)、罪犯 (Criminal) 與異議人士 (Protester) 等三種，而內部破壞份子 (Insider) 可分為被動或主動 (可再分為暴力式或非暴力式) 等，此外，內部人士亦可能與外來者勾結 (Collusion)；4) 確認歹徒動機、意圖與能耐；5) 確認威脅情報與資訊來源，一般說來，政府情報單位是最佳來源，其他包括內政部、外交部、國防部、交通部與法務部等單位亦是重要資訊來源；6) 資訊情報之蒐集與整理；7) 資訊情報經相關單位檢視達成共識；8) 核設施管制單位由威脅評估結果制定 DBT，制定考量包括可接受風險高低、過大的威脅由其他單位負責 (例如美國未將類似 911 劫機攻擊行動列為核設施 DBT，而列為美國航管單位 (TSA) 職責)；9) 將 DBT 納入管制架構並列為機密檔案。

由於國際局勢持續變動，恐怖分子破壞攻擊策略與武裝能力日新月異，因此 DBT 亦必須不斷檢討更新 (美國 NRC 每 6 個月檢討一次)，PPS 並配合提升改良，才能確保安全。

步驟二：設計 PPS

在實際進行 PPS 設計之前，除了確認保護標的物與 DBT 外，設計者仍須收集了解核設施之相關資料，如廠區平面圖、建築物設計圖、各出入口門禁管制、核設施周界圍籬與廠房入侵偵測、人員組織上下班時間、值勤班表、武裝警衛人數與武器彈藥配備等，設計者並須具備核燃料循環、輻射防護與核反應器基本原理等相關背景知識。

PPS 之效度 (Effectiveness) 係以風險值作為衡量標準，風險值計算公式如下：

$$R = P_A (1 - P_I \cdot P_N) C$$

R = 風險值。

P_A = 歹徒攻擊核設施之機率 (通常以一年為時間單位)。

P_I = PPS 成功攔截 (Interruption) 機率，亦即核設施武裝防衛人員接獲歹徒入侵警報後，在歹徒完成破壞或偷竊行動前，抵達現場加以攔截的機率。

P_N = PPS 成功制服 (Neutralization) 歹徒與彌平威脅的機率，亦即武裝防衛人員到達現場後成功擊退歹徒，阻止歹徒執行破壞或偷竊任務之機率。

C = 核設施遭受暴力攻擊或核物料失竊之嚴重性，以 0.0 (無影響) 至 1.0 (最嚴重；如核武之失竊) 表示；各核設施之 C 值設定

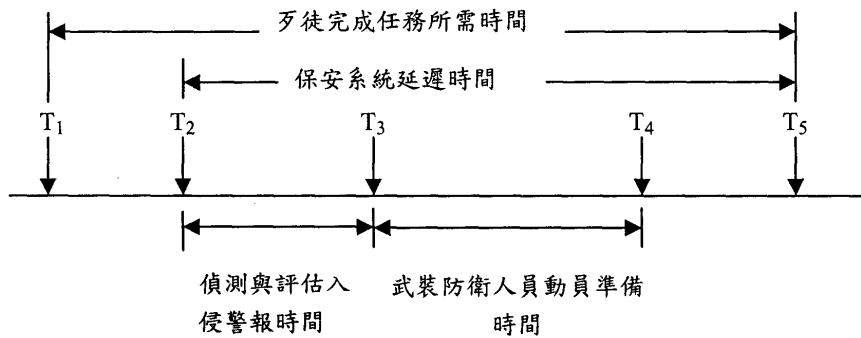
必須採用同一參考標準，以便比較相對風險高低（C 值參考表如表五）。

上述風險值計算公式可以簡化成一般所謂風險等於失敗機率與損失之乘積，亦即 $R = P \cdot C$ ，其中 P 等於 PPS 失敗機率，C 為損失；故 $P_A \cdot (1 - P_I \cdot P_N)$ 代表 PPS 失敗機率，其中 $P_I \cdot P_N$ 為 PPS 成功攔截並制服歹徒的機率，而 $(1 - P_I \cdot P_N)$ 即為 PPS 防禦失敗機率，再乘上 P_A ，即為核設施承受損失機率；有了風險值觀念後，即可對各核設施設定一可接受之風險值，並據以評估所設計建構之 PPS。

對於單一核設施而言，在核物料種類與數量固定不變下，所造成的損失或傷害是固定的，歹徒發動攻擊的機率，又非核設施本身所能掌控，因此核設施必須加強的就是提高自身 PPS 成功攔截並且彌平歹徒攻擊的機率；當核設施自身防禦力夠堅強，歹徒見無機可趁，自然也可能降低發動攻擊的機率。

確認 PPS 的目標後，即可著手於設計工作。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）與武裝防衛力量（Response Force）等三大功能，亦即當歹徒入侵，核設施遭受威脅時，必須先能偵知威脅的存在，由於歹徒多半採取無聲無息入侵方式，因此當其被偵測發現時，可能已越過多層障礙，甚至於已很接近目標物（特殊核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，亦必須設置多重的延遲裝置，以爭取 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。以上所述可以下面時間軸線圖說明：



T₁：歹徒開始執行任務時刻

T₂：PPS 偵測入侵後發出警報時刻

T₃：武裝防衛人員開始準備動員時刻

T₄：武裝防衛人員完成佈署準備展開攻擊時刻

T₅：歹徒完成任務時刻

T₁ 至 T₅：歹徒完成任務所需時間

T₂ 至 T₃：PPS 於入侵偵測系統發出警報至警報經評估確認所需時間

T₃ 至 T₄：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

T₂ 至 T₅：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，因此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 $T_4 < T_5$ （否則 $P_1=0$ ），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，要確保 $T_4 < T_5$ ，一則將 T_4 提前（縮短武裝防衛人員動員準備時間），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，以提早發現歹徒入侵）；一則將 T_5 延後，即藉由核設施的層層關卡對歹徒入侵行動產生延遲，以爭取武裝防衛人員動員準備時間。

建立了上述 PPS 整體架構觀念後，接下來就是其個別的偵測、延遲與武裝防衛力量等三大功能設計方法的介紹。

首先是偵測部分，偵測的功能包括歹徒入侵偵測器（核設施周界與核設施建物）、偵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。入侵偵測器的選擇必須考量偵測率（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確保歹徒入侵的偵測發現，其次誤動作率要儘量低，否則過多的誤動作將造成保安監控人員額外的負擔與“狼來了”的後果，最後，弱點亦是愈低愈好，才能確保偵測器不被破壞而能正常執行偵測功能。

入侵偵測器種類繁多，依其工作原理可分為拉力式（Taut Wire，如圖

七)、紅外線(Infrared, 如圖八)、微波(Microwave, 如圖九)、電場式(Electric Field, 如圖十)、光纖(Optical Fiber Cable, 如圖十一)與影像移動式(Video Motion Detectors, 如圖十二)等。依使用方式可分為主動式或被動式(Active or Passive, 如圖十三)、隱藏式或外顯式(Covert or Visible, 如圖十四)、線偵式或體偵式(Line or Volumetric Detection, 如圖十五)、埋地型(Buried-Line, 如圖十一)、圍籬型(Fence-Associated, 如圖七)或立柱型(Freestanding, 如圖八)等。選用時須考量整體 PPS 的均衡(Balance)理念與配合現場地理條件。

入侵的偵測除了裝置於核設施周界與建物的入侵偵測器外，門禁的管制亦不可欠缺；門禁管制的目的是限制非授權人員的進入，而開放經授權人員的進出，管制方式有很多種，基本上是依據進出人員 1) 所知道的：如密碼；2) 所擁有的：如識別證、鑰匙；3) 所天生的：如指紋(如圖十六)、虹膜(如圖十七)等，這幾項檢查方式如合併使用更可提高效率。嚴密的門禁管制具備下列特點，1) 無法被旁通；2) 武裝防衛人員可監視；3) 可提供武裝防衛人員防護；4) 門禁檢查過程中，受檢人員被阻隔進出(進退不得)；5) 針對未通過自動查驗者，執行第二道檢查；6) 受保安監控中心監視。

核設施除了設置門禁管制限制人員進出以外，還須設置違禁品管制，以管制物品進出，通常是允許授權物品的進出，而限制武器、爆裂物等進

入與管制核物料的流出。管制方式可概分為人工檢查與機器偵檢，後者包括：X 光掃瞄（圖十八）、金屬探測（圖十九）、輻射偵測（圖廿）與爆裂物偵測（圖廿一）等。

入侵偵測器發出的警報信號必須送到保安監控中心，並加以顯示才能供保安監控人員進一步評估警報信號的真偽，並據以決定應變作為，通常警報信號的評估是依賴警報現場的閉路電視所拍攝的影像，因此評估的速度與準確性取決於影像的清晰性，為了獲得清晰影像，舉凡燈光照明、相機鏡頭的大小與焦距長短、彩色或黑白或紅外線鏡頭等均須適當搭配以獲得最佳影像解析度。

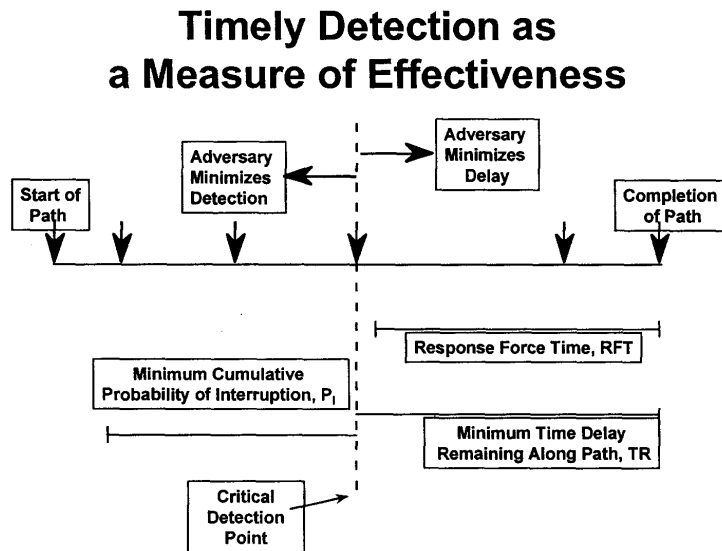
PPS 一方面藉由偵測系統來偵測發現歹徒入侵，一方面也藉助延遲裝置拖延歹徒行動，以爭取時間讓武裝防衛人員及時出動，阻止歹徒偷竊或破壞，因此延遲裝置應設置在偵測器之後，歹徒被偵測之前的延遲是無效的；延遲裝置形形色色，舉凡任何能阻礙歹徒前進到目標地區的路線上的東西皆是，如蛇籠圍籬（如圖廿二）、牆壁與屋頂（如圖廿三）、旋轉門（如圖廿四）、泡棉膠（如圖廿五）、泡沫（如圖廿六）、煙霧（如圖廿七）等，利用多層與多樣化的延遲裝置，因相對需要多樣的破壞器具與技巧，故可大幅提高歹徒進行破壞之困難度，進而達到延遲歹徒行動目的。

武裝防衛力量較 PPS 其他二大功能（偵測與延遲）更具決定性角色，因為偵測與延遲的目的均是協助武裝防衛人員達成核子保安最終作為一制服歹徒與彌平威脅，成功的武裝防衛力量應具備下列特性：1) 足夠人力與

武裝以彌平威脅；2) 適時適地攔截歹徒；3) 平日嚴實的訓練（包括各種情境下戰術演練與外界兵警支援單位之協同演練）；4) 精良配備（包括防護裝具、攻擊武器與其他輔助工具）；5) 保密與清楚的通訊（包括動員前與戰鬥中）。

步驟三：PPS 的分析與評估

完成 PPS 設計後，接著就是課程的第三部份—PPS 的分析與評估。分析評估的目的在於檢查 PPS 是否滿足設計目標，即風險值是否在可接受範圍內，如否，則須進行 PPS 的修正，直到符合目標為止。評估目的即在求出風險值方程式中之 P_I （PPS 成功攔截機率）與 P_N （PPS 成功制服歹徒與彌平威脅的機率），其中 P_I 之評估方法以及時偵測（Timely Detection）觀念說明如下圖：



圖廿八、及時偵測（Timely Detection）觀念說明圖

直線代表時間軸，最左邊點是歹徒行動的開始，最右邊點是歹徒完成任務時間（Completion of Path），之間各點代表 PPS 層層關卡（具有偵測入侵與延遲功能之設置），為有效攔截歹徒，武裝防衛人員必須在歹徒完成任務前及時趕到現場保護目標物，故由此時間往前推，扣掉警報發生後武裝防衛人員接獲動員通知至完成佈署所需時間（Response Force Time, 簡稱 RFT），之前最近的偵測點稱為臨界偵測點（Critical Detection Point, 簡稱 CDP），如圖中虛線所示，其意義是如果超過此點後才偵測發現歹徒入侵，武裝防衛人員即使開始動員也來不及攔阻歹徒完成任務，因此為有效攔截歹徒行動，入侵偵測裝置必須於臨界偵測點之前發出警報，亦即 PPS 的攔截成功機率 P_I （Probability of Interruption）即等於臨界偵測點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）。

以上說明是以某一入侵路徑為例，進行 PPS 分析評估時，必須完備的對每一條可能入侵路徑執行 P_I 計算，以找出最難攔截（最易入侵）的路徑，並據以提出改善措施。美國 SNL 運用及時偵測技術發展了三套方法供使用者進行 PPS 分析評估，三套方法分別介紹如下：

一、EASI（Estimate of Adversary Sequence Interruption）

EASI 是一個微軟 Excel 巨集程式（如圖廿九），只要輸入各入侵路徑的偵測機率與延遲時間、警報後武裝防衛人員動員時間等，即可自動求出成功攔截機率。EASI 的優點是輸入簡易快速、方便調整各項

參數以執行靈敏度分析，缺點是一次只能分析一條入侵路徑，無法協助使用者找出最易入侵路徑。

二、 ASD (Adversary Sequence Diagram)

ASD 顧名思義就是找出入侵路徑，方法有三部驟，第一部驟是畫出核設施各相鄰區域圖(如圖卅)，第二部驟是依據前圖將畫分之區域由廠外至目標物，轉換成由上至下，包括各個 Physical Areas 之方塊圖(如圖卅一)，而穿越各區域的路徑表示成各 Path Element (如圖卅二)，如此即可將核設施的各種入侵路徑以圖形方式表現。第三部驟即是以人工方式由目標區循最小延遲路徑，加總經過路徑所有延遲時間與武裝防衛人員動員準備時間 RFT 比較，當加總之延遲時間略大於 RFT 時，此時最近之偵測點即為 CDP；俟找出 CDP 之後，所經過的路徑則以最低偵測機率為原則找出入侵路徑。亦即歹徒之最佳入侵策略為 CDP 之前選取最低偵測機率的入侵路徑，以避免被偵測到，CDP 之後則選最短延遲時間的路徑，因為已被偵測到，故循最快速路線通過，此條路徑即為 PPS 的最弱選點(最易入侵路徑)，攔截成功機率 P_I 便可據此利用 EASI 或手算方式求出。

三、 SAVI (Systematic Analysis of Vulnerability to Intrusion)

SAVI 程式(操作介面如圖卅三)相當於自動化之 ASD，其程式內建多種代表性的入侵偵測器的偵測機率與延遲裝置的延遲時間參數

等資料，使用者只要依序設定核設施之 Physical Areas 與 Path Elements，完成建立 ASD 之後，SAVI 程式即可自動計算出此核設施之最易入侵的十條路徑，並可依此進行 P_I 與 RFT 靈敏度分析，找出最適 RFT。

以上是 PPS 評估中，武裝防衛人員及時趕到現場攔截成功機率 P_I 的計算方法與工具，除此之外，PPS 是否有效，尚須分析評估武裝防衛人員的戰鬥力量是否足以彌平歹徒反擊力量，其成功彌平機率 P_N 之評估必須考慮敵我雙方之人數、武器裝備與動員佈署時間等因素而求出；課程中為教學目的而採用之簡易軟體如圖卅四，只要輸入歹徒人數、類別（恐怖份子、罪犯、異議份子）、攜帶武器及武裝防衛人員於動員後各階段陸續到達人數、配備武器等，程式即可自動算出成功彌平機率 P_N 。

內部破壞份子 (Insider)

以上的討論均是針對外來者 (Outsider) 的威脅，藉由歹徒自核設施外圍侵入的可能偵測機率與各種阻隔設備造成的延遲等數據，配合及時偵測模式分析計算出成功攔阻機率 P_I ，再配合成功彌平機率 P_N 即可求出風險值（為求保守，通常假設 $P_A=1$ ，此狀況之風險值稱為條件風險值），至此亦即完成核設施 PPS 的評估。至於另一威脅—內部破壞份子 (Insider) 由於其具有自由進出核設施，甚至緊要區之權

利(例如核設施正式員工、武裝防衛人員、包商、訪客與視察人員等)，

因此其對 PPS 的威脅須以其他方法評估，茲說明如下：

Insider 分析評估方法有五個步驟

第一步驟：定出待保護目標物所在位置與列出各種可能入侵路徑；

第二步驟：依職務列出各可能內部破壞份子，如運轉人員、清潔工、
管理者、武裝防衛人員等，並列出其與目標物之相關特性，
如持有進出鑰匙、擁有職權、具備專業知識與技能等；

第三步驟：設想內部破壞份子可能採取的所有路徑與策略；

第四步驟：列出各種防範步驟三入侵策略的 PPS 設備與措施，並依各
職務特性定性評估其效度（五等級：很高、高、中等、中
低、低等）；

第五步驟：依各職務列出 PPS 對其所採策略之效度，再將各效度以數
值代入（例如：很高=0.9、高=0.7、中=0.5、中低=0.3、
低=0.1），如此即可得到每種可能內部破壞份子穿越各保護
層的可能被偵測機率，因此其整體被偵測機率即等於（1—
各層未被偵測機率乘積），如此即可得到成功攔阻機率 P_I 。
通常假設 Insider 單獨行動，無強大火力，且一經發現就會
投降，故成功彌平機率 P_N 假設等於 1；如此風險值即可得
出。

以上是 PPS 對 Insider 效度的評估方法。至於 PPS 對 Insider 的防範可由層層過濾與防堵方式進行，如圖卅五。

第一層：藉由查核應徵工作者之身份背景資料，過濾可能破壞份子，排除錄用可能；

第二層：針對廠內員工實施安全教育訓練，提高其安全警覺意識，執行個人安全查核方案（Personnel Security Assurance Program），查核對象包括關鍵人員，包括有權接觸特殊核物料分類一級（Category I）之人員、反應器操作員等；此方案內容包括身心健康檢查與禁藥查驗等；

第三層：減低內部破壞份子從事破壞機會。例如限制特定重要區域的進出，只有實際從事該項工作人員方可進出，而非無限制的開放給所有人員；並規定在特殊核物料區域工作時必須遵守“二人規則”（Two-Person Rule），以降低失竊機率；

第四層：偵測與阻止破壞企圖，作法有建構強力 PPS 以嚇阻歹徒犯罪，核設施層層區隔（Compartmentalized），且僅有經授權的人在授權時間內才能執行授權作業；利用高科技監視設備，偵測工作人員在重要區域內的移動；主管的監視，不僅查知員工行為是否異常，更應注意作業操作是否出現異樣；特殊核物料的偵測與金屬偵測（以屏蔽物包封核物料，逃避核物料輻

射偵測)等。

四、心得與感想

1. 核子保安是全球聯防工作

核子保安系統 (Physical Protection System, 簡稱 PPS) 的目標是保護核設施不受暴力攻擊與核物料不致失竊, 因此不夠完善的 PPS 將使核設施暴露於可能的暴力攻擊下, 造成核子事故, 導致放射性物質外釋, 或是造成核物料失竊, 引發核子擴散危機。由於影響所及是全球性, 所以身為地球村一份子, 每個國家均應負起責任, 確保本國核設施 PPS 的堅固完善, 共同撐起一把庇護全球的核子保安傘。

2. 知己知彼, 百戰百勝

PPS 的建構猶如建造一座堅固堡壘, 目標是抵禦各種假想可能的歹徒攻擊, 因此核子保安工作可類比於小型游擊戰爭, 游擊戰的策略亦可提供核子保安工作多方位思考, 如孫子兵法所言「知己知彼、百戰百勝」應用於保安工作, 即是廣泛蒐集各種對核設施可能構成的威脅, 並藉此制定 PPS 的 DBT, 據以設計足以防禦此類威脅攻擊的 PPS, 並擅用情境分析, 藉由沙盤推演仔細推敲各種可能弱點, 以提升 PPS 防禦力。

3. 善戰者, 不戰而屈人之兵

孫子兵法言「善戰者, 不戰而屈人之兵」, 戰爭最高境界在於止戰, 應用於 PPS 即在於建構一堅固堡壘, 使敵人 (歹徒) 望之卻步, 而打消攻擊

意圖，亦即將風險方程式 $R = P_A (1 - P_I \cdot P_N) C$ 中之 P_A 減小而使得整個風險值降低。

4. 防範犯罪三層次

由犯罪心理學分析，防範犯罪有三個層次，最低的是法律層次，藉由重罰使人不「敢」犯罪；其次是降低誘因，使人不「願」犯罪；最高層次則是道德層次，使人不「想」犯罪，此層次相當於世界大同，可望不可及。美國現行對核物料之管制係採重罰策略（美國人甚至自認為過度反應（Overreact）），違法者甚至於需負刑事責任，此策略一方面嚇阻核物料之偷竊，一方面杜絕交易市場之產生。

5. 核子保安猶如賽跑

PPS 之武裝防衛人員與歹徒之間的對抗可比喻為賽跑，終點線是核子物料或可能受攻擊的設備元件。歹徒悄然發動攻擊，猶如偷跑，但 PPS 佈下天羅地網，一方面偵測發現歹徒已起跑，武裝防衛人員亦趕緊起跑，一方面設置各種路障（Delay）拖延歹徒，以便武裝防衛人員提早到達目標地區；歹徒的優勢是偷跑，而我方的優勢是路障，但路障只有在偵測（Detection）後才有效，故歹徒的最佳策略是行動初期儘量避免被發現，當被發現後即以各種方法突破障礙儘速到達終點線完成任務，而我方的最佳策略是儘量於目標物外圍區域提高偵測機率，以求儘早發現歹徒入侵，而後由路障設施延遲歹徒行動，以便較歹徒提前到達目標區，阻止

其破壞行動。

6. 觀念不難，成敗在執行

核子保安訓練課程自 1978 年實施以來已約 25 年，其建立的設計分析評估架構可謂已相當發展成熟，即使經歷 2001 年 911 美國紐約世貿中心恐怖攻擊事件，此套架構經檢討，仍未變動，其 PPS 三元素—偵測、延遲與武裝防衛力量仍然適用，只是 911 事件後，檢討改進措施，如機場安檢程度提高，即相當於偵測的加強，而飛機駕駛員配置武器即相當於武裝防衛力量的加強。

7. 均衡才健全

PPS 猶如戰場上防守陣地的防禦工事，在每層防線上每個可能入侵點的防衛力量要均衡相當，否則即可能出現相對弱點，敵人即可輕易由此入侵，因此各點防禦工事必須達到均衡。此理念在 PPS 設計時特別重要，不僅可有效提高防禦能力，且可避免不必要的過度投資與浪費。平衡的觀念不僅應用於單一核設施的 PPS，國內各核設施之間也是一樣，否則 PPS 較弱的核設施即很可能淪為歹徒攻擊目標。相同的各國之間的核設施 PPS 也在 IAEA 要求下維持相當程度的品質，才能確保世界和平。

8. 核子保安相對重要性逐漸加重

50 年前核能首度應用於和平用途（核能發電）以來，核能安全（Nuclear Safety）一直受到全球各國的重視，至今已累積投入約數十億美元的研究

經費，對各種正常與意外狀況下的爐心物理特性與熱流現象等已大致掌握，並建立相當成熟的運轉經驗，亦即人類對開發使用核能所面對的自然界挑戰已掌握相當大的勝算，爐心熔損機率已降低至百萬分之一；相對的另一種來自人類本身的威脅卻逐漸增加，這項威脅不同於核能安全所面對的挑戰，差異在於其不遵循自然定律，因而無法預測，而且其破壞性更大；911 恐怖攻擊事件即是一明顯例子，人類憑藉工程技術與經驗克服自然界強風與地震之挑戰，建起百層高樓，顯示人定勝天，但是後來 911 事件證明人類最大的威脅還是來自人類本身，因此核子保安（Nuclear Security）是人類為確保安全與和平生活所必須具備的前提。

9. 核能安全觀念應用於核子保安

核能電廠安全設計上為圍堵爐心高放射性分裂產物外釋到環境，所採取的深層防禦策略、安全系統的多重、多樣與分離之設計理念及定期可用性測試等觀念，於 PPS 亦有類似之處，如最須受保護的核反應器位於廠區的心臟區域—緊要區，其外圍分別有保護區、管制區與財產區等區域加大防禦縱深，並設置層層關卡，達到深層防禦功能；而在入侵偵測器方面採用電子圍籬、紅外線偵測、微波偵測等多樣與多套系統，並定期執行測試。

10. 敵暗我明

核子保安工作最大的挑戰就是不知道敵人是誰，何時、何地發動攻擊與

如何攻擊，而核子設施本身既無法隱藏封鎖，又對大眾公開，因此先天上具有很大的挑戰。

11. 內賊難防

PPS 為達到保護核物料或核反應器目的，第一步就是設置層層關卡與障礙，讓非法入侵者無法順利進入，但是類似設施卻擋不了可以自由進出門禁管制的內部人員（包括員工、警衛人員、包商、清潔工、訪客、視察人員等）。

12. 迷思之一：平時不作虧心事，夜半不怕鬼敲門

雖言目前國際情勢顯示，美國是恐怖份子主要報復對象，我國似可置身事外，然而如果我國的 PPS 出現漏洞，歹徒（恐怖分子）就很可能向我國“借”個核物料，再向美國報復。因此核子保安工作應打破此一迷思，不要以為自身未作壞事，沒有仇人，壞人就不會早上門；而是應做好本身的防衛，讓歹徒“看不上眼”，亦即“無恃敵之不來，正恃吾有以待之”。

13. 迷思之二：兵警支援協定

我國核能電廠目前均與電廠所在地區附近之兵警單位簽訂支援協定，在緊急狀況時可出動比電廠武裝防衛人員人數更多與更強的武力支援，協助電廠處理保安事件；但電廠決不可因此而高枕無憂，切記「遠水救不了近火」，特別是暴力攻擊事件為時甚短，若一心依賴外界支援，真有威脅發生，恐為時晚已。

五、 結論與建議

1. 本訓練課程所教授之 PPS 建構方法是採效用基礎 (Performance-based)，即建構過程須經效用評估，此方法引進風險及可靠度觀念，揚棄從前保安對策所採用—例如專家意見 (Expert Opinion) 或規範與標準 (Standards and Features Criteria) 等方法，這些方法將導致主觀、不一致、缺乏整體觀 (System Integration)、缺乏全方位考量 (Account for All Situations)、可能過度投資於某項設備造成浪費、效果不如預期等缺點。效用基礎方法建立之風險定量評估，不僅提供 PPS 整體效用定量評估，也提供檢討改進之決策依據，提高資源分配效能。此方法經 2001 年美國 911 事件後檢討，證明其架構發展完備，並在 IAEA 25 年來開辦訓練課程與推廣後，已成為國際間核子保安的共同語言與發展平台。
2. PPS 的建構分為三個步驟，第一步是先確定待保護目標與欲防禦之威脅來源，並訂定可接受風險值；第二步是建立 PPS 三大功能：偵測、延遲與武裝防衛力量，同時考量深層防禦與平衡防禦策略，第三步是評估 PPS，找出弱點並改善至符合可接受風險值為止，評估過程並應納入各種情境分析與內部破壞份子分析。
3. 核子保安討論的範圍只限於核反應器、核燃料循環、核武等設施，而未包括其他醫、農、工等應用射源的管制，係因為後者射源的失竊或受破壞所造成的影響範圍與嚴重性不若前者。雖然如此，PPS 的偵測、延遲

與武裝防衛力量等三元素的觀念仍可應用於醫、農、工等應用射源的安全管理。

4. 有鑒於此套 PPS 設計與評估方法是目前國際上發展最成熟與最普遍採用的方法，建議我國亦採用此套評估模式，應用於國內核設施，包括台電公司(核一、二、三廠與建造中核四廠)、清華大學(水池式反應器[THOR]與核燃料儲存室)、核研所(運轉中微功率反應器、核燃料貯存設施與待除役之台灣研究用反應器)等進行 PPS 評估，以發現並檢討可能之缺失，並加以改進，以提升我國核子保安防衛力量。
5. 建議本會應儘速制定核設施 PPS 的風險值接受標準與 DBT，方能進行下一步核設施 PPS 的評估工作。
6. 核設施 PPS 的接受標準為其風險值是否符合核設施管制單位要求，美國核管會並以此作為核設施運轉執照之核發與換發審核條件之一；建議我國目前制定中的「核設施運轉執照核發與換發規範」(目前草案仍在草擬中)，增列核設施保安計畫為運轉執照核(換)發之審核文件之一，且明定核設施 PPS 的風險值接受標準，以建立核子保安管制之法規依據。

表一、出國行程表

日期	地點	內容
九月六日~九月七日	台北~洛杉磯~Albuquerque	去程
九月八日~九月十二日	Albuquerque	上課
九月十三日~九月十四日	Albuquerque	週末
九月十五日~九月十九日	Albuquerque	上課
九月廿日~九月廿一日	Albuquerque	週末
九月廿二日~九月廿六日	Albuquerque	上課
九月廿七日~九月廿八日	Albuquerque~洛杉磯~台北	返程

表二、學員名單

國家	姓名	單位	職稱
Turkey	Anac, Hakan	Turkish Atomic Energy Authority (CNAEM) Cekmece Nuclear Research and Training Center	Shift Supervisor
Indonesia	Baaseng, Saleh	National Nuclear Atomic Energy Agency (BATAN) Center for Management and Guidance	Head of Nuclear Security Unit
Argentina	Bruno, Norberto Jose	Comision Nacional de Energia Atomica (CNEA)	Safety Manager
Tunisia	Chekir, Zeineb Bent Mohsen	National Center of Sciences and Technologies Site de Sidi Thabet	Head of Radiation Protection Unit
Ghana	Anim-Sampong, Samuel	Ghana Atomic Energy Commission	Senior Scientific Officer
Lithuania	Brasiunas, Vaidas	Ignalina Nuclear Power Plant	Lead Engineer
Australia	Carlaw, Jeffrey	Australian Nuclear Science & Technology Center	Security Technical Officer
Germany	Daelman, Katja	Gesellschaft fur Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS)	Scientific Expert
Canada	Davis, Leslie Alan	Atomic Energy of Canada, Ltd	Security Program Coordinator
Bangladesh	Haque, Ashrafur	Bangladesh Atomic Energy Commission (BAEC)	Assistant Engineer
Japan	Ito, Toru	Japan Nuclear Cycle Development Institute (JNC) Nuclear Material Management Section, Japan Nuclear Cycle Development Inst.	Assistant Senior Engineer
India	Mena, Uma Prasad	Nuclear Power Corporation of India Ltd.	Senior Executive Engineer
France	Delaunay, Nicolas	Institut de Radioprotection et de Surete Nucleaire (IRSN/DSMR/SSIN)	Safety & Security Engineer
Chile	Zarate, Ramon	Comision Chilena de Energia Nuclear	Nuclear Security

表二、學員名單 (續)

國家	姓名	單位	職稱
Japan	Hashimoto, Yu	Oaral Engineering Center, Japan Nuclear Cycle Development Institute (JNC)	Engineer
Korea	Kim, Hyun Jo	Department of Nuclear Materials, Safeguards Korea Atomic Energy Research Institute	Researcher
Africa	Molaba, Talent Dumisile G	Nuclear Energy Corporation South Africa (NECSA)	Security Manager
Hungary	Molnar, Kolos	Hungarian Atomic Energy Authority (HAEA)	Inspector
Latvia	Ozols, Agris	Radiation Safety Center	Deputy Head of the Inspection Section
Canada	Pilon, Rene	Canadian Nuclear Safety Commission	Security Advisor
Africa	Motlhaloga, Shane Stephen	Department of Minerals and Energy	Manager
Romania	Niculescu, Atena-Mihaela	National Commission for Nuclear Activities Control	Junior expert, licenses and assessment
Canada	Perrin, Bradley C	Atomic Energy of Canada	Chief Emergency and Protective Services
Malaysia	Pungut, Noraishah	Atomic Energy Licensing Board (AELB)	Science Officer
Lithuania	Sabas, Renaldas	State Nuclear Power Safety Inspectorate (VATESI)	Inspector for Physical Protection of Nuclear Facilities
Germany	Sternkopf, Juergen	Gesellschaft fur Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) mbH	Expert for Physical Security
Thailand	Siripirom, Lopchai	Bureau of Nuclear Safety Regulation	Head of Inspection Section
Slovak Republic	Zakharias, Ladislav	NPP Mochovce	Head of Technical Department of Physical Protection
Taiwan	Huang, June-Yuan	Atomic Energy Council	Chief, Nuclear Safeguards Section
Taiwan	Lin, Jih-Tong	Atomic Energy Council	Technical Specialist

表三、核子保安專家論壇專題演講

單位	題目	演講者
IAEA	The Protection of Nuclear and Other Radioactive Materials : The IAEA Response to Combating Nuclear Terrorism	Mark Soo Hoo / Office of Nuclear Security Department of Nuclear Safety
US DOE	U.S. Department of Energy Safeguards and Security Evaluation Processes	Sam Callahan / Office of Security
US NRC	Ensuring the Security of Nuclear Facilities	Donna-Marie Perez / Office of Nuclear Security and Incident Response
US DOS	Contrasting the Value of International Physical Protection System Standards with the Need for State Sovereignty with Regard to Physical Protection Systems	Patricia A.. Comella / Office of Nuclear Energy Affairs

表四 各國核子保安專家專題演講

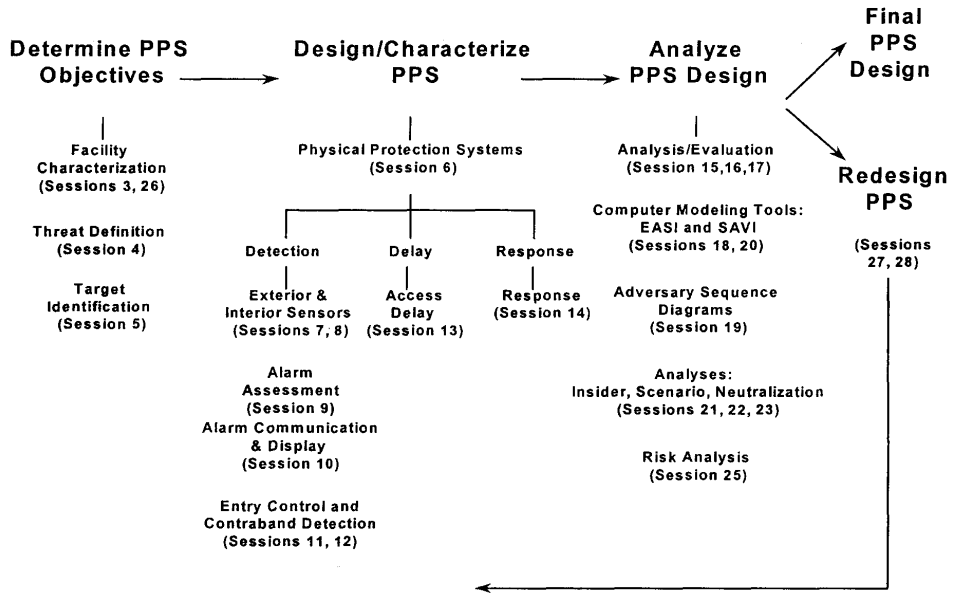
單位	題目	演講者
China	Physical Protection of Nuclear Material and Facilities in China	Daming Liu / China Institute of Atomic Energy
India	State Perspective of Physical Protection Systems	G.P.Srivastava / Electronics Corporation of India Limited
France	Insider Threats Methodology	J.Jalouneix / IRSN
South Africa	Physical Protection of Nuclear Facilities in South Africa	Jan Norman / Koeberg Nuclear Power Station

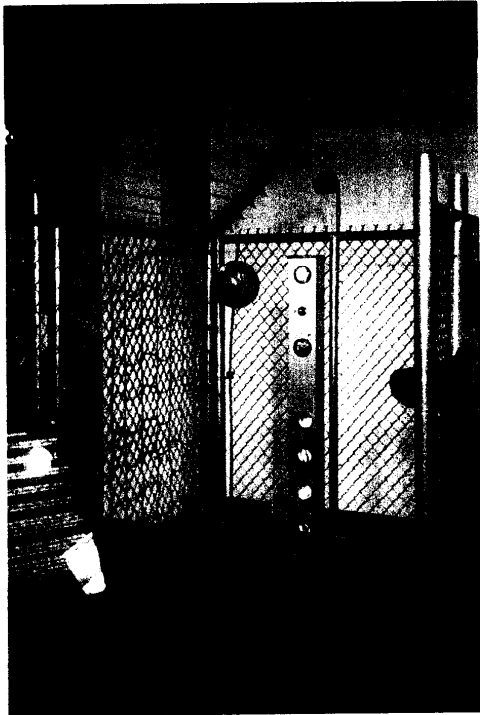
表五、C 值参考表

Example Consequence Table

"C" Value							
Undesired Event	Measure of Consequence	Very High 1.0	High 0.8	Medium 0.6	Medium Low 0.4	Low 0.2	Very Low 0.1
Loss of Mission	Time out of service	>2 Years	2 Yrs - 14 Days	14 Days - 1 Day	<1 day	Minutes	-
	Cost to Recover or Loss	>\$500M	\$500 M - \$100 M	\$100 M to \$1 M	\$1 M - \$100 K	<\$100K	-
Loss of Nuclear Material	High Enriched U >20%	>5 Kg	5 Kg - 1 Kg	1 Kg - 15 g	15 g - 1 g	<1 g	-
	Enriched U 10%-20%	-	>10 Kg	10 Kg - 1 Kg	1 Kg - 1 g	<1 g	-
	Fresh Fuel Assemblies <10%	-	>10 Assys	<10 Assys	-	-	-
	Pu	>2 Kg	2 Kg - 500 g	500 g - 15 g	15 g - 1 g	<1 g	-
Radioactive Environmental Damage	Exposure to person At site boundary For 2 hours after The sabotage event	>250 Rem	250 - 125 Rem	125 - 100 Rem	100 - 50 Rem	50 - 25 Rem	<25 Rem
Chemical or Environmental Damage	Number Of Deaths	>3000 Deaths	3000 - 5 Deaths	5 - 1 Deaths	<1 Death	-	-
Public Relations Impact	% Change of Acceptance Attitude In the State	-20%	-15%	-10%	-1%	-	-
Weapons Program	Loss of a Nuclear Weapon	1 Weapon	-	-	-	-	-

圖一、核子保安系統訓練課程架構

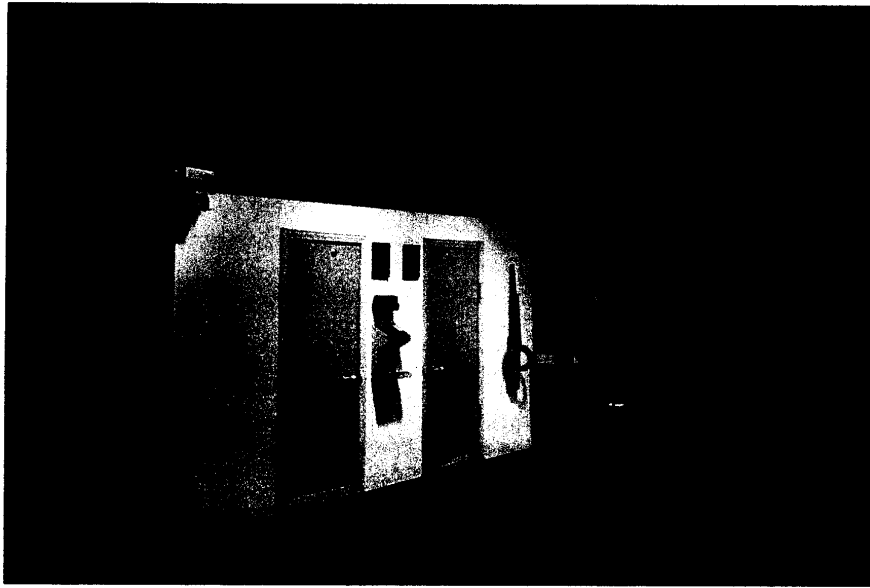




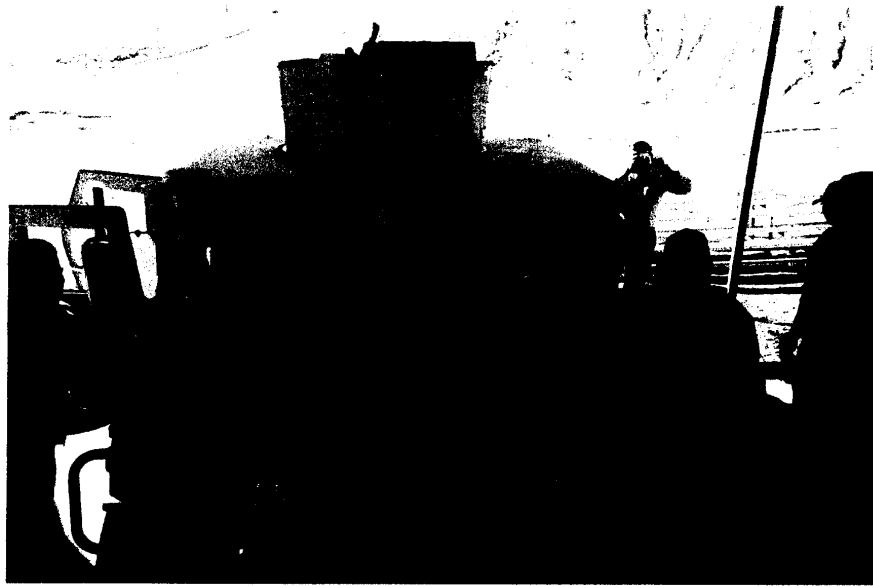
圖二、實體展示觀摩（外部入侵偵測器）



圖三、實體測試教學（外部入侵偵測器）



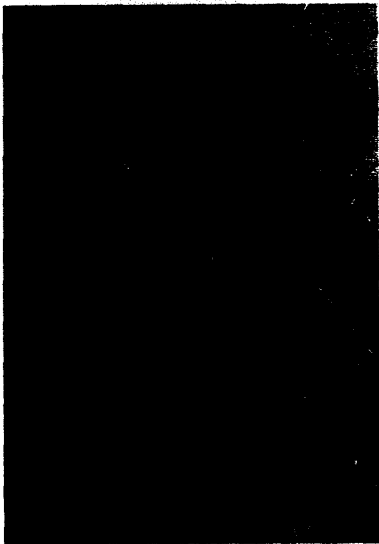
圖四、實體展示觀摩（門禁管制）



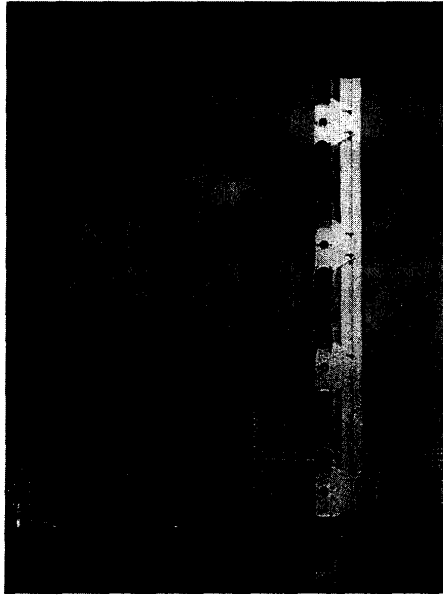
圖五、實體展示觀摩（武裝防衛力量）



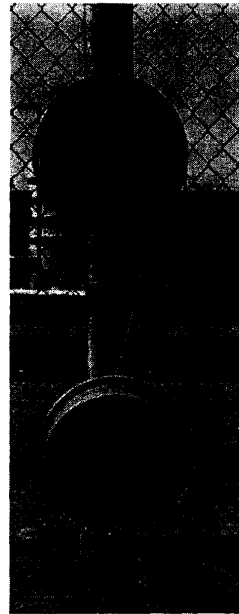
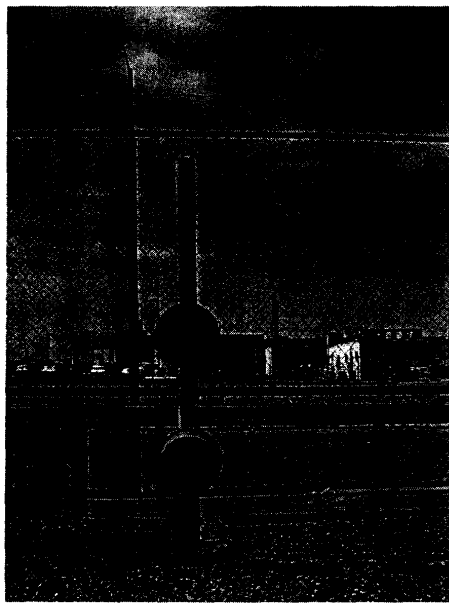
圖六、野外實彈射擊（武裝防衛力量）



圖七、入侵偵測器（*taut wire* 拉力式，圍籬型 *fence-associated*）

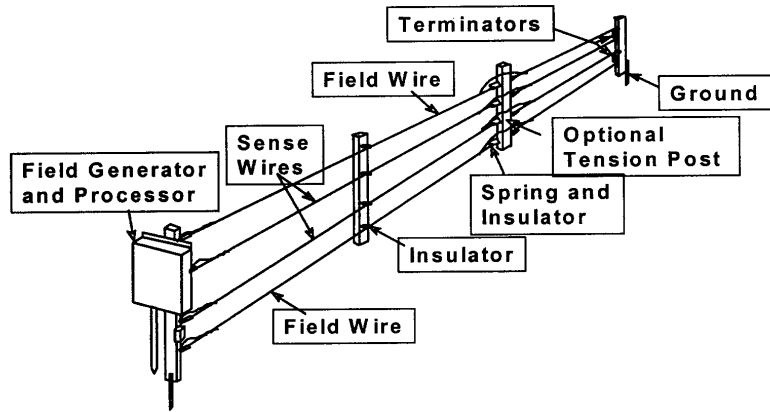


圖八、入侵偵測器 (infrared 紅外線，立柱型 freestanding)

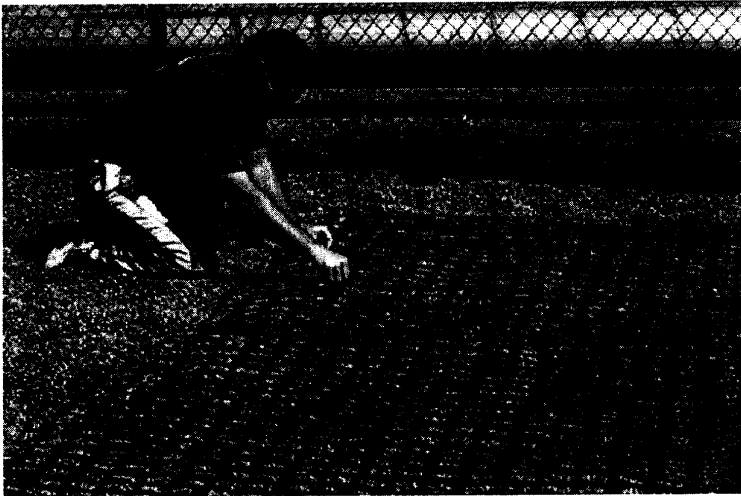


圖九、入侵偵測器 (microwave 微波)

Electric Field Sensors

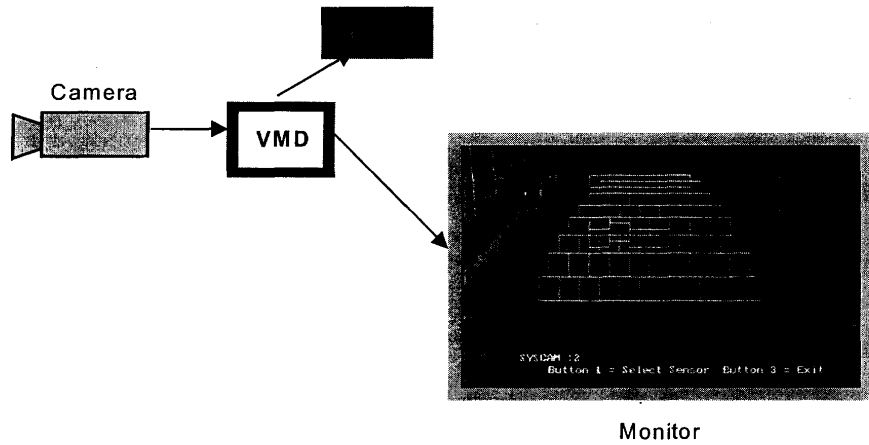


圖十、入侵偵測器 (electric field 電場式)



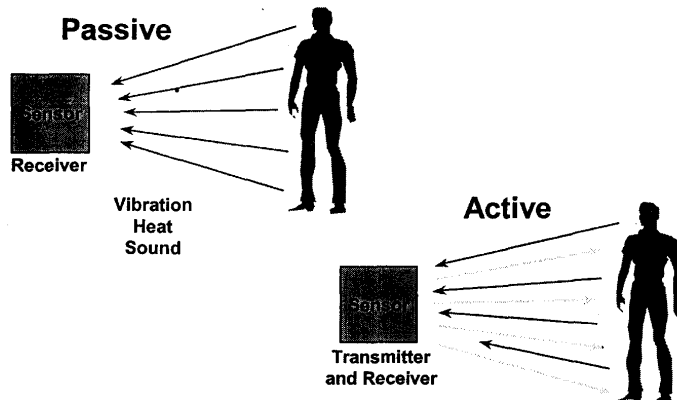
圖十一、入侵偵測器 (optical fiber 光纖，埋地型 buried-line)

Video Motion Detectors

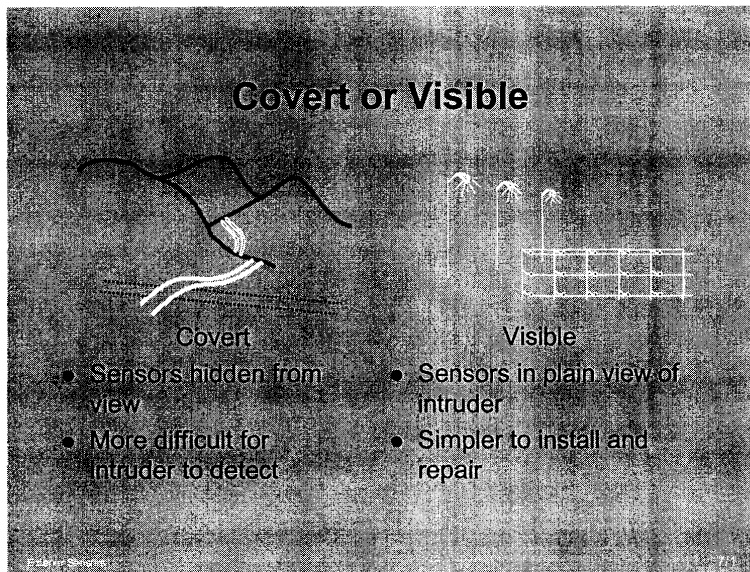


圖十二、入侵偵測器 (video motion detectors 影像移動式)

Passive or Active

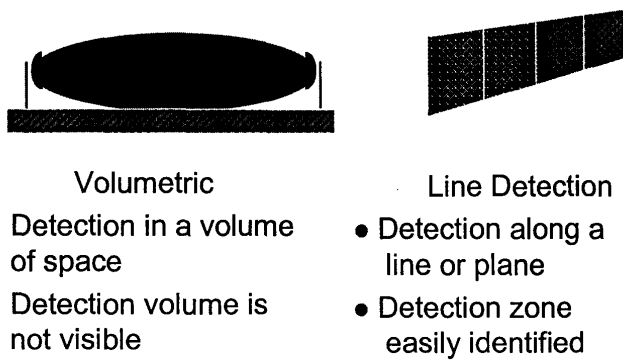


圖十三、入侵偵測器 (active or passive 主動式或被動式)

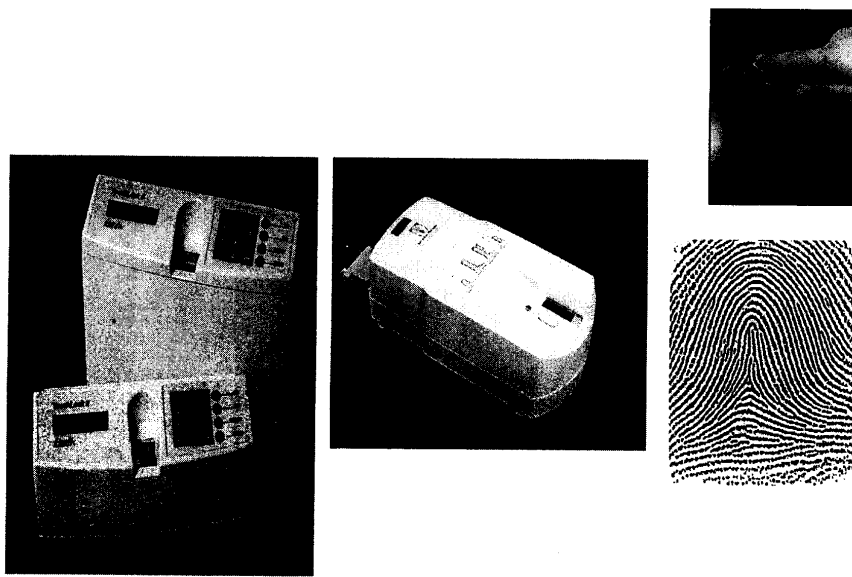


圖十四、入侵偵測器 (covert or visible 隱藏式或外顯式)

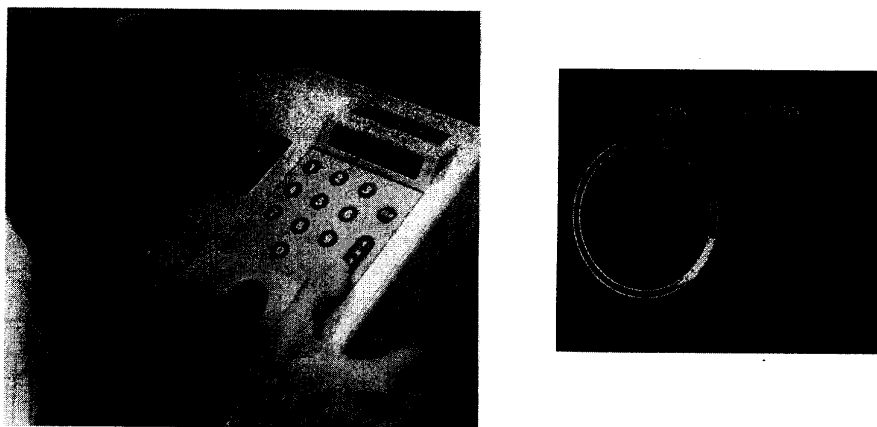
Volumetric or Line Detection



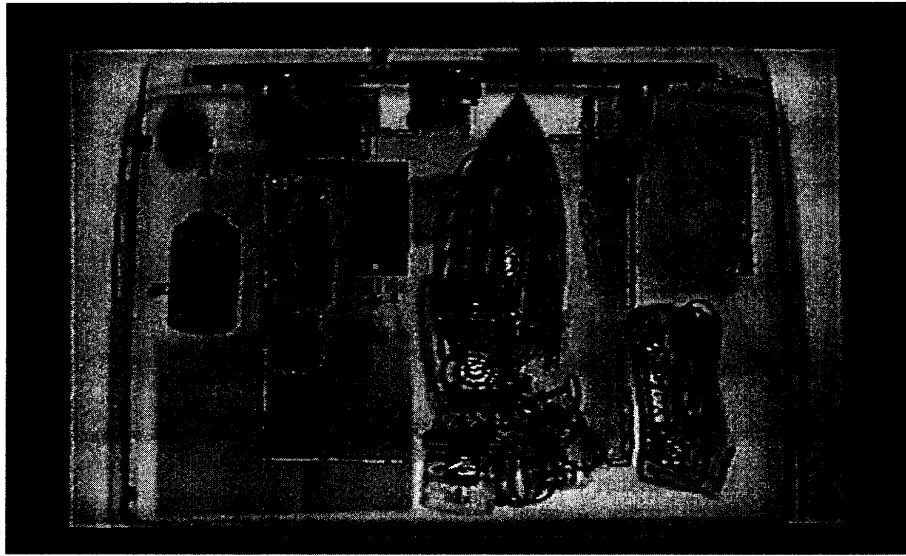
圖十五、入侵偵測器 (line or volumetric detection 單線或體偵式)



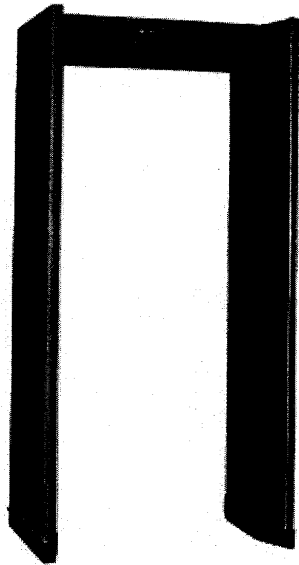
圖十六、門禁管制（指紋辨識）



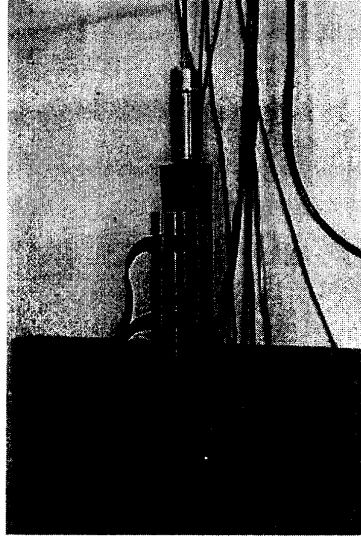
圖十七、門禁管制（虹膜辨識）



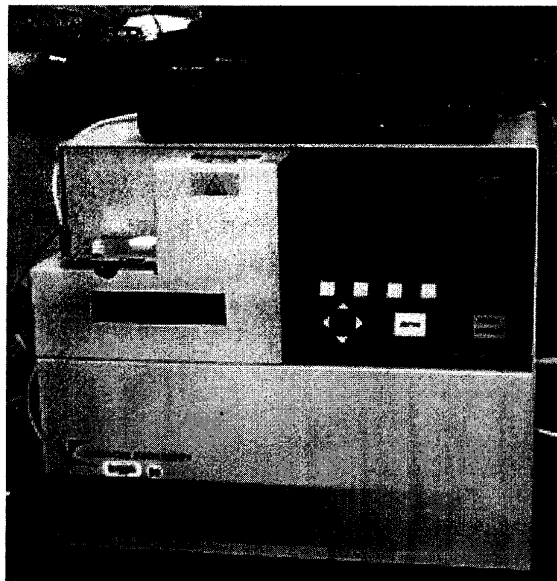
圖十八、違禁品管制 (X光掃瞄)



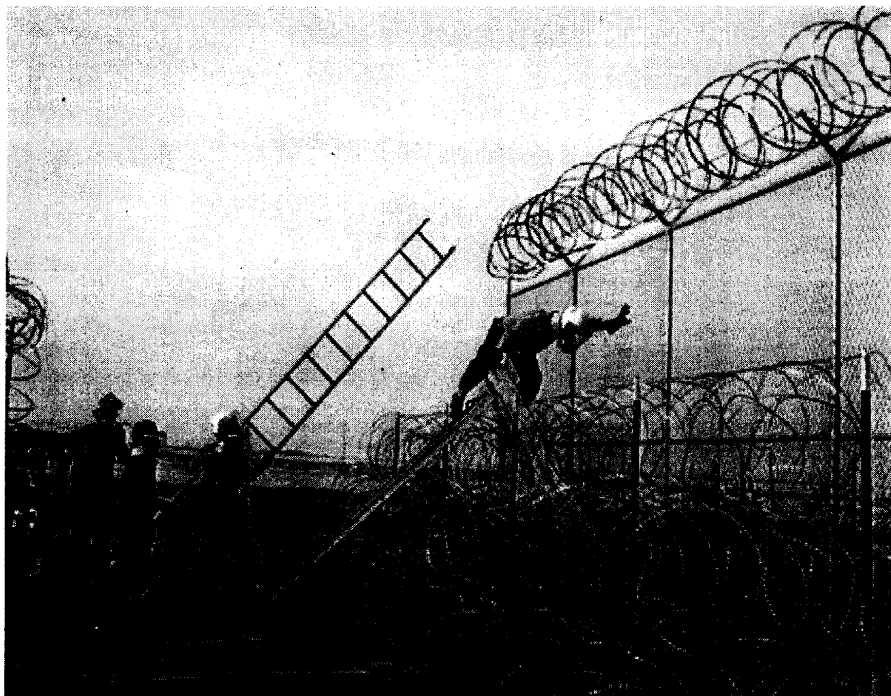
圖十九、違禁品管制 (金屬探測)



圖二十、違禁品管制（輻射偵測）



圖廿一、違禁品管制（爆裂物偵測）



圖廿二、延遲裝置（蛇籠圍籬）



圖廿三、延遲裝置（牆壁與屋頂）



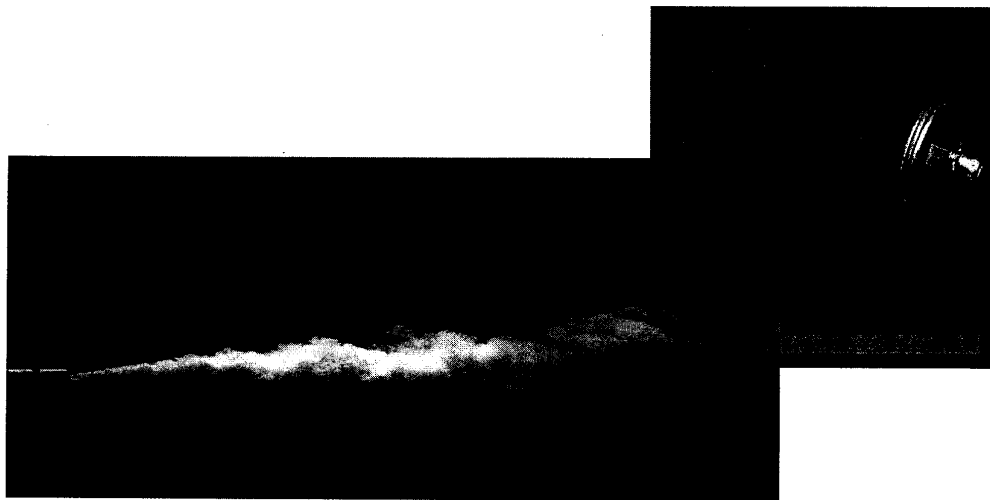
圖廿四、延遲裝置 (Turnstile Gate 旋轉門)



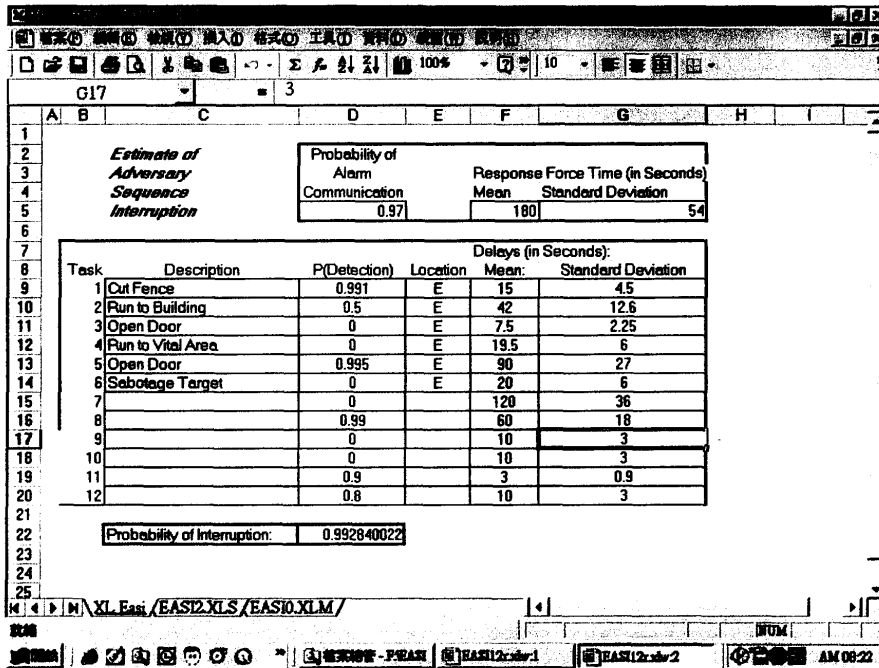
圖廿五、延遲裝置 (Polyurethane Foam 泡棉膠)



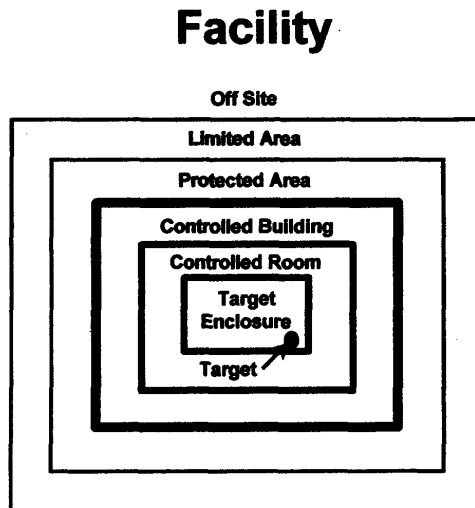
圖廿六、延遲裝置 (Aqueous Foam 泡沫)



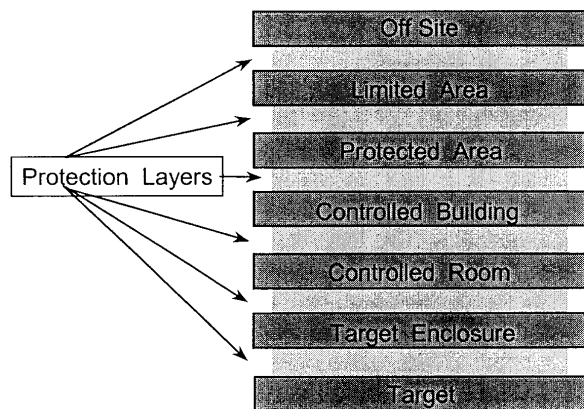
圖廿七、延遲裝置 (煙霧)



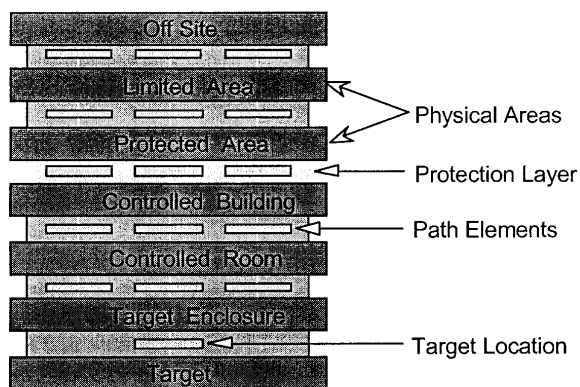
圖廿九、EAZI 程式操作介面



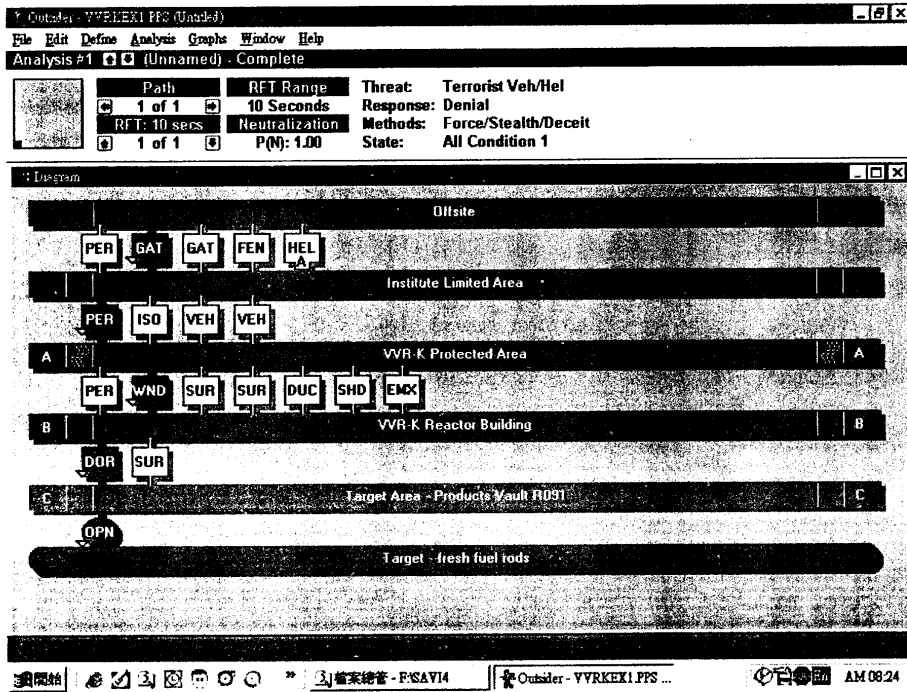
圖卅、ASD 第一步驟 (畫出核設施各相鄰區域圖)



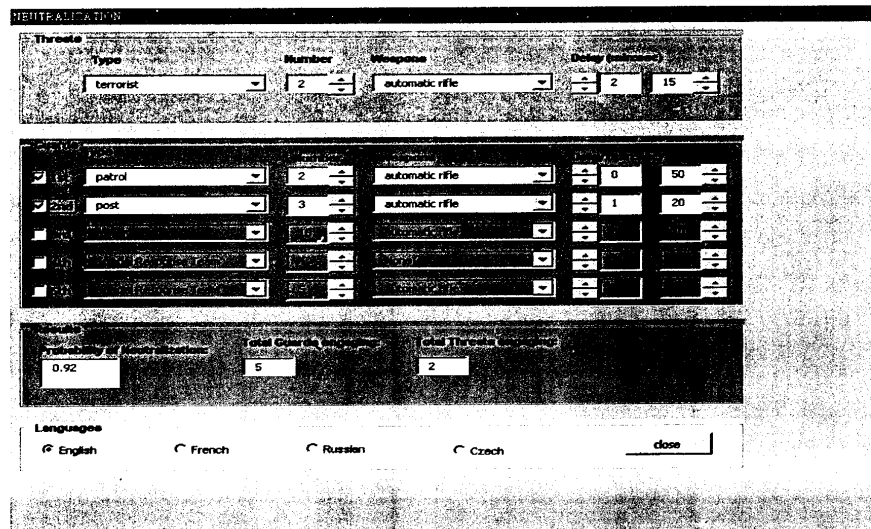
圖卅一、ASD 第二步驟 (physical areas 圖)



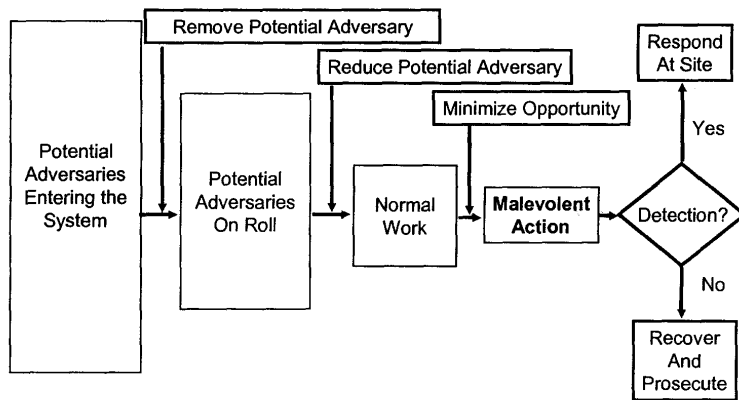
圖卅二、ASD 第三步驟 (path element 圖)



圖卅三、SAVI 程式操作介面



圖卅四、簡易彌平機率 P_N 評估程式操作介面



圖卅五、防範內在破壞之層層過濾防堵行政措施