

虛擬實境應用於核爆狀況觀測設計之研究

作者簡介



作者張天民上士，國立臺灣師範大學工業教育碩士、國立中央大學環境工程碩士，陸軍化生放核訓練中心士官高級班 104-2 期。現職為陸軍化生放核訓練中心防護課程組教官。

提要

- 一、在核子武器攻擊狀況下要正確實施核爆觀測及提供核爆觀測資料，有賴於平時精實訓練與學習，但礙於現實面無法真正產生核爆情景讓學習者實際觀測，若僅使用傳統的圖片或影音說明會導致學習者無法身歷其境，會與實際核子武器爆破的狀況產生不小落差。
- 二、1960 年代 Ivan E. Sutherland 教授提出「終極展示」(Ultimate Display)的觀念，是在描述 3D 空間圖像在電腦上的呈現方式，即說明如何在電腦中「仿製」真實世界中情境或影像，具有模擬的概念，而虛擬實境就是利用電腦模擬的一種極致表現方式。
- 三、虛擬實境運用於核爆狀況觀測時，本研究係針對核爆狀況下之地形地物利用、地面零點標定、核當量計算及化生放核 1 號核子報告撰寫等階段實施設計
- 四、將虛擬實境運用在核爆狀況觀測的學習上，不僅能彌補過往教學時僅能以圖片或影音替代真實場景的不足，也可讓學習者有嘗試錯誤及把握重點的機會。

關鍵詞：虛擬實境、沉浸式、核爆觀測、蕈狀雲、聲光時差

前言

核子武器(Nuclear Weapon)是歷來世界威力最大的武器，破壞力可為同等重量體積高能炸彈的數千萬倍以上，資料顯示如此大規模地毀滅性武器目前全世界約有 15 萬餘枚，掌握在美國、俄羅斯、法國、中國、英國、印度、巴基斯坦、以色列及北韓等國家手中，¹其中不乏有與我國鄰近或是具威脅性的國家在列，意即在未來戰場中我們不無遭遇核子武器攻擊的機率。敵軍使用核子武器之情報資料，係為指揮官及各級參謀作戰計劃擬定、部隊行動及情報判斷之參

1 BBC 中文網，〈美俄中互懟，看全球核武器到底都在誰手〉，BBC 中文網，[https:// www.bbc.com/zhongwen/trad/amp/world-42939996](https://www.bbc.com/zhongwen/trad/amp/world-42939996)，檢索日期：2020 年 04 月 24 日。

考，並為核生化作業中心實施落塵預測(Prediction of Fallout)之依據。因此核子武器當量判定、攻擊位置（爆炸地面零點）標示、落塵危害範圍預測對下風危害地區內我軍防護措施等影響甚大。在核子武器攻擊狀況下要正確實施核爆觀測及提供觀測資料，有賴於平時精實訓練與學習，但礙於現實面無法真正產生核爆情景讓學習者實際觀測，而學習者亦於教學回饋中反映僅使用傳統的圖片或影音說明會導致無法身歷其境，與實際核子武器爆破的狀況產生不小落差。

隨著電腦科技不斷進步，電腦輔助教學系統(Computer Assisted Instruction, CAI)結合文字、聲音、影像、動畫、影片等媒體素材，提供了便利與迅速的服務，尤其是在學習與教育上。²有鑑於傳統的教學方式，不容易將抽象的教學內容變為直觀，多媒體相關輔助教材，運用視、聽等感官刺激，彌補了講述及文字教學的不足，³其中又以虛擬實境(Virtual Reality, VR)最具發展性。虛擬實境技術的出現強化了目前以文字與圖片為主的人機介面，3D 場景可以讓使用者體驗與真實世界相同的感受，並以不同的角度觀察資料，提供更自然、更直覺的呈現介面。⁴由於在虛擬環境中使用者可藉由適當地人機介面與虛擬場景互動，故以虛擬環境應用在訓練時，具有大量的重複練習、訓練的趣味性及調整系統難易度等特性，⁵基於上述緣起，本研究嘗試將虛擬實境的概念導入核爆觀測的課程當中，希望藉此設計出一套有別於傳統圖文教學的設備以應用於學習，緩提出本研究以為執行。

虛擬實境簡介

1960 年代 Ivan E. Sutherland 教授提出「終極展示」(Ultimate Display)的觀念，是在描述 3D 空間圖像於電腦上的呈現方式，即說明如何在電腦中「仿製」真實世界中情境或影像，具有模擬的概念，而虛擬實境就是利用電腦模擬的一種極致表現。⁶以下就虛擬實境的特性、定義及分類方式討論如後：

2 洪祥偉、陳五洲，〈模型式虛擬實境技術於運動學習之應用〉《大專體育》，第 83 期，（臺北市：中華民國大專院校體育總會，2006），頁 43-50。

3 Huizenga, J., Admiral, W., Akerman, S., & Dam, G. T. "Mobile game-based learning in secondary education: engagement, motivation and learning in a mobile city game", Journal of Computer Assisted Learning, 25(4) (2009), PP. 332-344.

4 孫天龍、王駿偉、謝余松、任靜怡，〈虛擬實境 3D 互動視覺在客戶溝通之應用：以遠距同步產品維修溝通為例〉《電腦繪圖與設計雜誌》，第 187 期，（臺北市：鴻啟信息科技股份有限公司，2004），頁 40-47。

5 Rizzo, A. S. "Virtual reality and disability: emergence and challenge", Disability and Rehabilitation, 24(11-12) (2002), PP.567-569.

6 廖述盛、黃秀美、賴崇閔，〈虛擬實境結合問題導向學習應用於行動化醫學教育研究〉《科學教育學刊》，第 19 卷第 3 期，（新竹市：中華民國科學教育學會，2011），頁 237-256。

一、虛擬實境的特性

國外學者 Krueger 於 1991 年提出虛擬實境具有創造性(Imagination)、沉浸性(Immersion)與互動性(Interaction)等 3 種特性，⁷分述如後：

(一)創造性：可以創造出現實中難以達成的工作目標，卻又可以得到真實的數據與資料。使用者亦可感受到另外一個新的世界規則，或是發現真實中所無法察覺到的資訊，並呈現出真實世界中不易拍攝或不存在的虛幻場景，具有娛樂效果與創造力轉換的特質。

(二)沉浸性：使用者透過不同的感官來體驗它的空間，並完全處於進入該空間的狀態，其中以視覺的感受最為強烈。當使用者沉浸在其中且越能阻斷外界因素的干擾時，達到的效果亦越佳，唯有讓使用者處於專心不被打擾的狀態下，所進行的工作較具真實性。相關研究指出當虛擬實境應用於教學上時，使用者的沉浸程度與學習成效呈現高度相關性。⁸

(三)互動性：人類在真實的環境中，與外界的所有互動都是屬於直接感受，諸如聲音的大小、物體距離的遠近、光線的強弱，或是力量與角度的判斷等。然而，在虛擬實境中要模擬出這些近似於真實的互動，就必須仰賴系統高度的計算能力與真實的物理參數，更重要的是它的「即時性」與「同步性」。在虛擬實境中，使用者可以與虛擬實境中的物件產生互動，藉由輸入裝置來操作虛擬物件達到人機互動。⁹

另外國內研究者洪祥偉與陳五洲進一步提出虛擬實境具有「高度效益的應用」、「高自由度的操控性」、「身歷其境的融入」、「不同視點的觀察角度」及「具有模擬的安全性」等 5 種特性：¹⁰

(一)高度效益的應用：虛擬實境之所以廣泛應用，乃在於對虛擬空間及其中物

7 梁又文、劉說芳、周賢彬，〈隱喻導引用於探索設計者對於虛擬實境之需求〉《華梵藝術與教育學報》，第 6 期，(新北市：華梵大學，2010)，頁 167-179。

8 Gutierrez, F., Pierce, J., Vergara, V. M., Coulter, R., Saland, L., Caudell, T. P. "The effect of degree of immersion upon learning performance in virtual reality simulations for medical education", Studies in Health Technology and Informatics, 125(2007), PP. 155-160.

9 林子超、陳五洲，〈虛擬實境應用於體育教學之探討〉《大專體育》，第 83 期，(臺北市：中華民國大專院校體育總會，2006)，頁 36-42。

10 洪祥偉、陳五洲，〈模型式虛擬實境技術於運動學習之應用〉《大專體育》，第 83 期，(臺北市：中華民國大專院校體育總會，2006)，頁 43-50。

件的操控程度比傳統電腦影像所建構的多媒體互動軟件還要高出許多。

(二)高自由度的操控性：虛擬實境可模擬實際所存在的三度空間，經由參數的設定，便可模擬出實際狀況的動作（物體的移動翻轉或視點俯仰角度的變換），也可模擬真實狀況難以達到的動作（鏡頭視點的移動翻轉、物體大小變形或材質的任意改變）。

(三)身歷其境的融入：虛擬實境是由電腦虛擬出具有三度空間的實體場景，使用者在虛擬空間中遊走，四周景物會隨其移動轉向而產生合乎實際狀況的改變，有如置身其中。

(四)不同視點的觀察角度：虛擬實境所造成的視點，其原理乃是在三度空間中建立一座攝影機，經由攝影機的移動與設定影響使用者的視覺角度。

(五)具有模擬的安全性：在學習的階段裡由於動作的不熟練，或是場地本身極具危險性均導致使用者可能會受傷，此時虛擬實境可以模擬出各式情境，讓使用者在安全的環境中進行學習。

二、虛擬實境的分類

虛擬實境分類一般以設備種類與沉浸度(Immersive Level)進行劃分，所謂沉浸(Immersive)係指使用者在使用虛擬實境時，認為自己確實存在於該空間中，而不受到真實環境所影響。沉浸的特質凸顯了學習環境中的重要概念與關係，使用者受到良好的沉浸世界吸引，將會投注更多的心力學習。¹¹在分類上主要分為無沉浸式(Non-immersive VR)、半沉浸式(Semi-immersive VR)與全沉浸式(Fully-immersive VR)等 3 類，如表 1 所示。¹²

11 Bricken, M. & Byrne, C. M. (1993) Virtual reality applications and explorations, (Cambridge, MA: Academic Press Professional, 1993).

12 張修維，〈利用虛擬實境進行拳擊有氧的運動遊戲式教學〉（臺中市：國立臺中科技大學多媒體設計系，2018）。

表 1 虛擬實境系統的分類

	無沉浸式	半沉浸式	全沉浸式
輸入裝置	滑鼠、鍵盤、搖桿及軌跡球	搖桿、空間球以及資料手套	資料手套、控制器以及語音命令
輸出裝置	標準高畫質螢幕	大型布幕、投影系統以及多重投影設備	頭戴式 3D 眼鏡、CAVE
解析度	高	高	中低
沉浸度	不高	中高	高
互動性	低	中	高

資料來源：張修維。¹³

(一)無沉浸式：無沉浸式系統又稱為桌上式系統，是 3 種系統中沉浸度最低的，使用者透過高解析度螢幕與電腦來呈現虛擬環境，並以滑鼠、鍵盤等工具使其能與虛擬環境進行互動的虛擬實境系統。

(二)半沉浸式：半沉浸式系統大多以投影幕、電視牆或是大型螢幕來呈現虛擬環境，故此類系統大多包含了相對較高效能的圖形運算。透過使用這類型大面積的呈現媒介，半沉浸式系統相較於無沉浸式系統提供了更大的播放範圍與存在感，並同時讓更多使用者能同時參與虛擬環境，也因此這類系統常被運用於虛擬實境的推廣與教育相關活動。

(三)全沉浸式：全沉浸式系統需使用頭戴式顯示器或其他類似裝置，並在使用者雙眼前方放置高解析度的小型顯示器，分別對左眼與右眼顯示相對應的畫面，藉此達到虛擬環境中的立體感，也因此全沉浸式系統需要的圖形運算效能為三者中最高。為了減少在使用系統的延遲時間，這類系統要求的硬體規格相較於前兩類嚴格，並為了減輕使用者的負擔，頭戴型裝置重量必須盡量減輕以增進使用體驗。

目前虛擬實境最常見的形式是採全沉浸式，即利用電腦技術打造出三維虛擬環境，透過頭戴式 3D 眼鏡（如圖 1）觀看一連串即時動畫，以及搭配各式控制器及追蹤器與環境中的物件互動，達到視覺、聽覺、知覺就像是身處真實世界一般。

13 同註 12。

圖 1 美軍運用 VR 模擬射擊降低頭部傷害



資料來源：<https://www.ydn.com.tw/news/newsInsidePage?chapterID=1213292>，

索引時間：民國 110 年 1 月 16 日。

頭戴式顯示器依據雙眼視差產生立體視覺的原理，分別對兩隻眼睛輸出對應的影像，經過大腦整合產生立體影像的效果，且頭戴顯示器及無線手持式控制器皆透過定位系統取得定位，捕捉使用者頭部及手部姿態，達成與虛擬環境互動的目的。

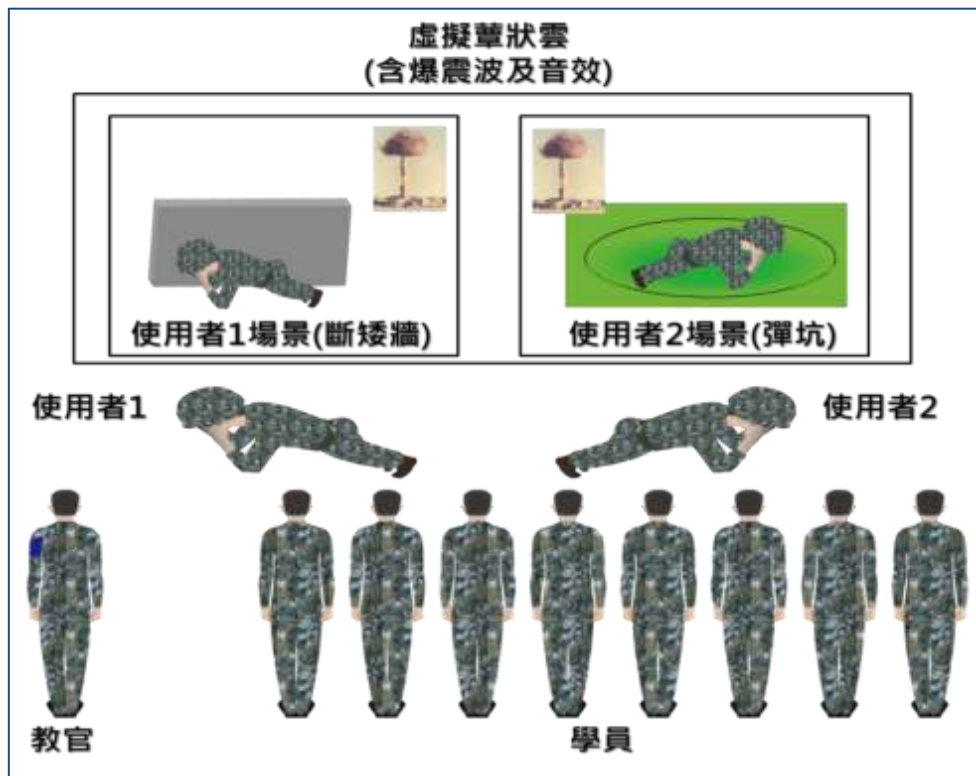
虛擬實境運用於核爆狀況觀測設計

虛擬實境運用於核爆狀況觀測時，本研究係針對核爆狀況下之地形地物利用、地面零點標定、核當量計算及化生放核 1 號核子報告撰寫等階段實施設計。

一、核爆狀況下之地形地物利用

觀測人員感觸核子武器爆炸強烈閃光時，個人防護臥倒之基本要領為立即轉身背向炸點、伏地臥倒，雙手拇指塞耳、餘指遮眼、閉眼、張口、胸腹部離地 10 公分或進入掩體內，並開始數聲光時差(Flash-to-Bang Time)之秒數。如有地形地物可利用時防護效果會更好，主要地形地物防護作為有小高地利用、矮斷牆利用、涵洞利用、壕溝利用、散兵坑利用、電桿利用、彈坑利用、橋墩利用及地形死角利用。在虛擬實境系統內，可設計出虛擬物件進行個人防護訓練，在此部分本研究規劃的虛擬物件為蕈狀雲(Mushroom Cloud) (包含爆震波及音效)、各式可運用之地形地物，如圖 2 所示。

圖 2 核爆狀況下地形地物利用示意



資料來源：本研究自行繪製。

當使用者聽聞核爆聲音或目擊核爆後產生之閃光，應以虛擬場景中的地形地物，配合個人防護臥倒基本要領實施防護，並練習默數聲光時差秒數。同時教官與其他學員亦可從投影幕中參與不同使用者的視角，判斷該學員的防護要領及地形地物利用是否確實。

筆者過去的教學經驗顯示，部分學員在核爆狀況下之地形地物利用訓練，會出現不符合個人防護臥倒基本要領情形，例如臥倒方向沒有背向教官設定的炸點，或是在利用地形地物時沒做好完整的掩護造成暴露；其次是每個人的時間知覺(Time Perception)差距甚大，也就是對於默數聲光時差的速度有落差，甚至是產生明顯偏差。

二、地面零點(Ground Zero)標定

地面零點即核爆炸中心對地面或水面的垂直線與地面或水面的交點，通常選擇在對毀傷預定目標最有利的地位。¹⁴判斷地面零點的方式目前有兩種：

(一)前方交會法：利用兩個以上之觀測人員所報告之方位角，在地圖上交會求

14 陸軍化學兵學校，〈核生化防護軍語辭典-草案〉（桃園市：陸軍化學兵學校，2003），頁 1-44。

得之。在虛擬實境系統內，可設計出虛擬物件進行前方交會法地面零點標定，在此部分本研究規劃的虛擬物件為蕈狀雲及虛擬指北針，如圖 3 所示。在進行前方交會法的地面零點標定時，教官可隨意設定一座標作為地面零點位置，而讓兩位(含)以上使用者在不同位置觀測核爆方向，以兩個(含)以上的方位角交會出地面零點位置。同時教官與其他學員亦可從投影幕中參與使用者的視角，判斷使用者操作指北針量測方位角的方式是否正確。

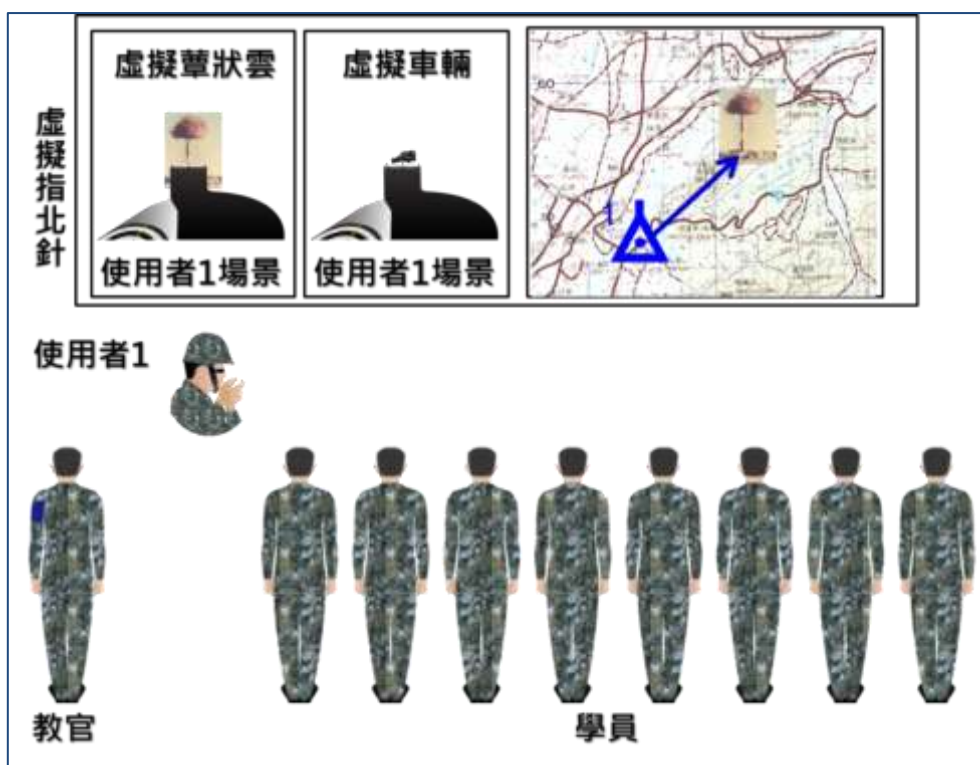
(二)極座標法：利用一個觀測所人員所報告之方位角，並透過量測已知物(如車輛)及蕈狀雲在視距標所占格數求取距離，即可在地圖上量取求得之。在虛擬實境系統內，可設計出虛擬物件進行極座標法地面零點標定，在此部分本研究規劃的虛擬物件為蕈狀雲、虛擬指北針及虛擬軍車，如圖 4。

圖 3 核爆狀況下之前方交會法地面零點標定示意



資料來源：本研究自行繪製。

圖 4 核爆狀況下之極座標法地面零點標定示意



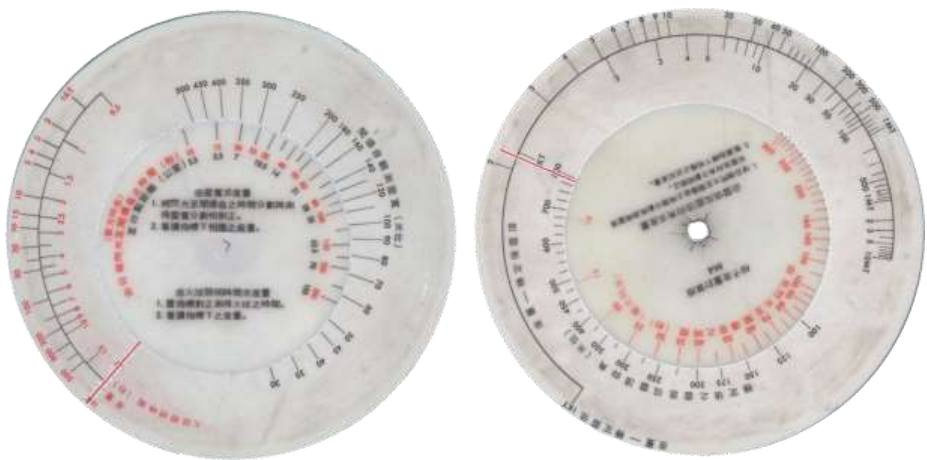
資料來源：本研究自行繪製。

在進行極座標法的地面零點標定時，教官可隨意設定一座標作為定面零點位置，而讓一位使用者觀測核爆方向，並以視距標分別量測虛擬蕈狀雲及虛擬車輛估算距離（ $\text{估測距離} = \text{已知物長度} \div \text{視距目標所夾格數} \times 100$ ），以求出地面零點位置。同時教官與其他學員亦可從投影幕中參與使用者的視角，判斷使用者操作指北針量測方位角及估算距離的方式是否正確。

三、核當量計算

核當量係核子武器爆炸時所放出之能量，通常以產生相同能量所需黃色炸藥(Trinitrotoluene, TNT)之重量，以千噸(KT)或百萬噸(MT)表示之。核當量計算可配合 M4 當量計算規（如圖 5）使用，係由 3 塊塑膠圓盤所組成，兩面均印有分劃，中央用金屬釘固定，可自由旋轉，當敵人核子武器攻擊後，可根據聲光時差及雲象資料判定當量，亦可查出觀測者至炸點間的水平距離。需要量測的雲象資料包含 1.雲柱高；2 雲幅寬；3.雲頂或雲底仰角。

圖 5 M4 當量計算規

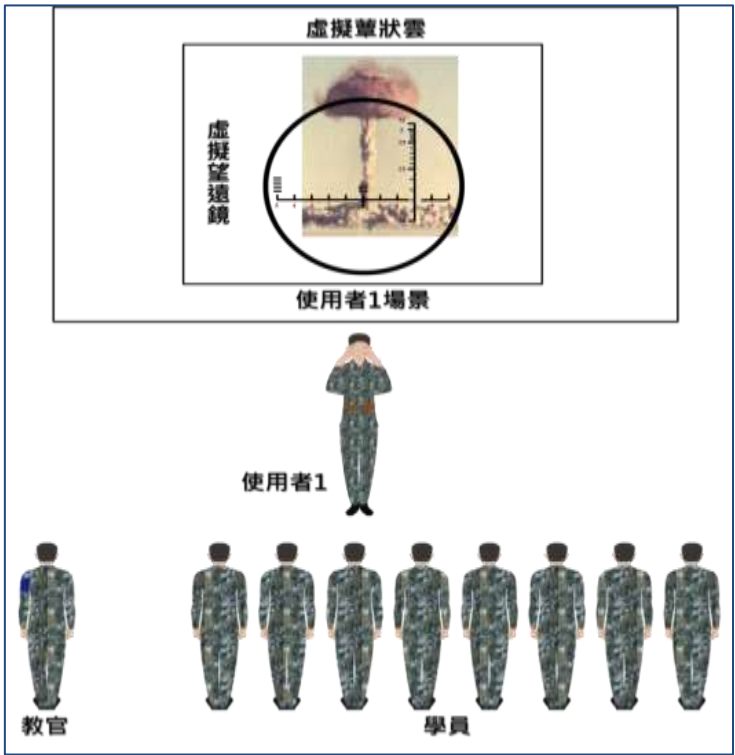


資料來源：本研究自行拍攝。

(一)雲柱(Cloud Column)高

雲柱係指核子武器爆炸時向上擴張之煙柱，如空炸時產生強烈之氣流上升並吸入大氣連同爆震(Shock Wave of Nuclear Explosion)，乃將吸起之塵土形成一擴張而上昇之雲柱。在虛擬實境系統內，可設計出虛擬物件進行雲柱高度標定，在此部分本研究規劃的虛擬物件為蕈狀雲及虛擬望遠鏡，如圖 6 所示。

圖 6 核爆狀況下之雲柱高觀測示意



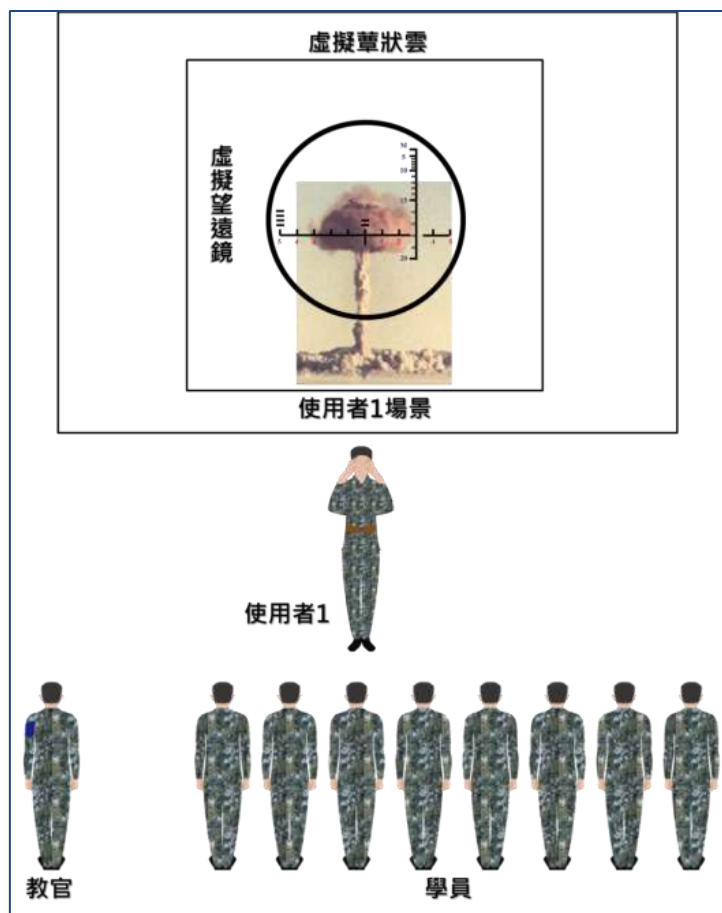
資料來源：本研究自行繪製。

虛擬望遠鏡右側之垂直分劃，由上而下共 2,000 公尺，每一刻劃均為 100 公尺。在進行雲柱高度量測時，使用者以虛擬望遠鏡的垂直分劃分別標定地平面及蕈狀雲之雲底，格數乘以 100 即雲柱高度(單位公尺)。同時教官與其他學員亦可從投影幕中參與使用者的視角，判斷使用者操作望遠鏡估算高度的方式是否正確。

(二)雲幅(Cloud Diameter)寬

雲幅寬係指蕈狀雲最寬處之直徑，概在爆炸後 5 分鐘測得，因此時雲之寬度已趨穩定。在虛擬實境系統內，可設計出虛擬物件進行雲幅寬標定，在此部分本研究規劃的虛擬物件為蕈狀雲及虛擬望遠鏡，如圖 7 所示。

圖 7 核爆狀況下之雲幅寬觀測示意



資料來源：本研究自行繪製。

虛擬望遠鏡下方之水平分劃，由左而右共 100 米位，每一刻劃均為 10 米位。在進行雲幅寬度量測時，使用者以虛擬望遠鏡的水平分劃分別標定雲幅之左側與右側，格數乘以 10 即雲幅寬 (單位米位)。同時教官與其他學員亦可從投影幕中參與使用者的視角，判斷使用者操作望遠鏡估算雲幅寬度的方式是

否正確。

(三)雲頂或雲底仰角

係指蕈狀雲之雲頂或雲底與觀測位置及地平線所形成之對應角度，在爆炸後 10 分鐘測得。在虛擬實境系統內，可設計出虛擬物件進行雲頂或雲底仰角標定，在此部分本研究規劃的虛擬物件為蕈狀雲及虛擬指北針，如圖 8 所示。

圖 8 核爆狀況下之雲頂或雲底仰角觀測示意



資料來源：本研究自行繪製。

量測雲頂或雲底仰角時應一手握持指北針，另一手輔助平衡，並以單眼沿測繪尺邊瞄準被測物，按下刻度盤固定螺，讀取測斜器指示之坡度指標刻度。同時教官與其他學員亦可從投影幕中參與使用者的視角，判斷使用者操作指北針量測雲頂或雲底仰角的方式是否正確。

四、化生放核1號核子報告撰寫

現行所使用的化生放核警報與報告，係依據北大西洋公約組織 (North Atlantic Treaty Organization, NATO) 發行之 ATP-45(D) 準則訂定，目前美國、英國、加拿大及澳洲等國家皆使用相同之文電格式，旨在使受到敵軍攻擊後能快速傳遞當前狀況至上級與其他單位，並作為單位決定防護措施與計畫作為擬定之依據。其中核子(NUC)類報告分別為 1 至 6 號，而本研究係針對第一線觀

測者綜整資料後寫的最初「回報」資料，故屬於核子事件 1 號報告。化生放核 1 號核子報告內容如表 2 所示：

表 2 化生放核 1 號核子報告

化生放核 1 號核子報告			
發文者：		受文者：	
傳遞等級： ☐ 閃電(Z) ☐ 即刻到(O)		保密區分：	
發文時間：		報告種類： ☐ 初期報告 ☐ 後續報告	
事項	描述	填註	報告內容
ALFA	攻擊序號	C	
BRAVO	觀測者位置及攻擊或事件的方向	M	
DELTA	攻擊或爆炸及攻擊結束的日時組	M	
FOXTROT	攻擊或事件的位置	O	
GOLF	投射系統及數量資訊	M	
HOTEL	核爆種類	M	
JULIET	爆炸聲光時差(以秒計)	O	
LIMA	核爆後 5 分鐘之雲寬角度	O	
MIKE	炸後 10 分鐘已穩定之雲量測 (含雲頂、雲底和雲高)	O	
PAPAC	雷達測定之輻射雲外部輪廓	O	
PAPAD	雷達測定之輻射雲下風方向	O	
GENTEXT	共同本文	O	

填註：M-強制性(Mandatory)

O-選擇性(Operationaly Determined)

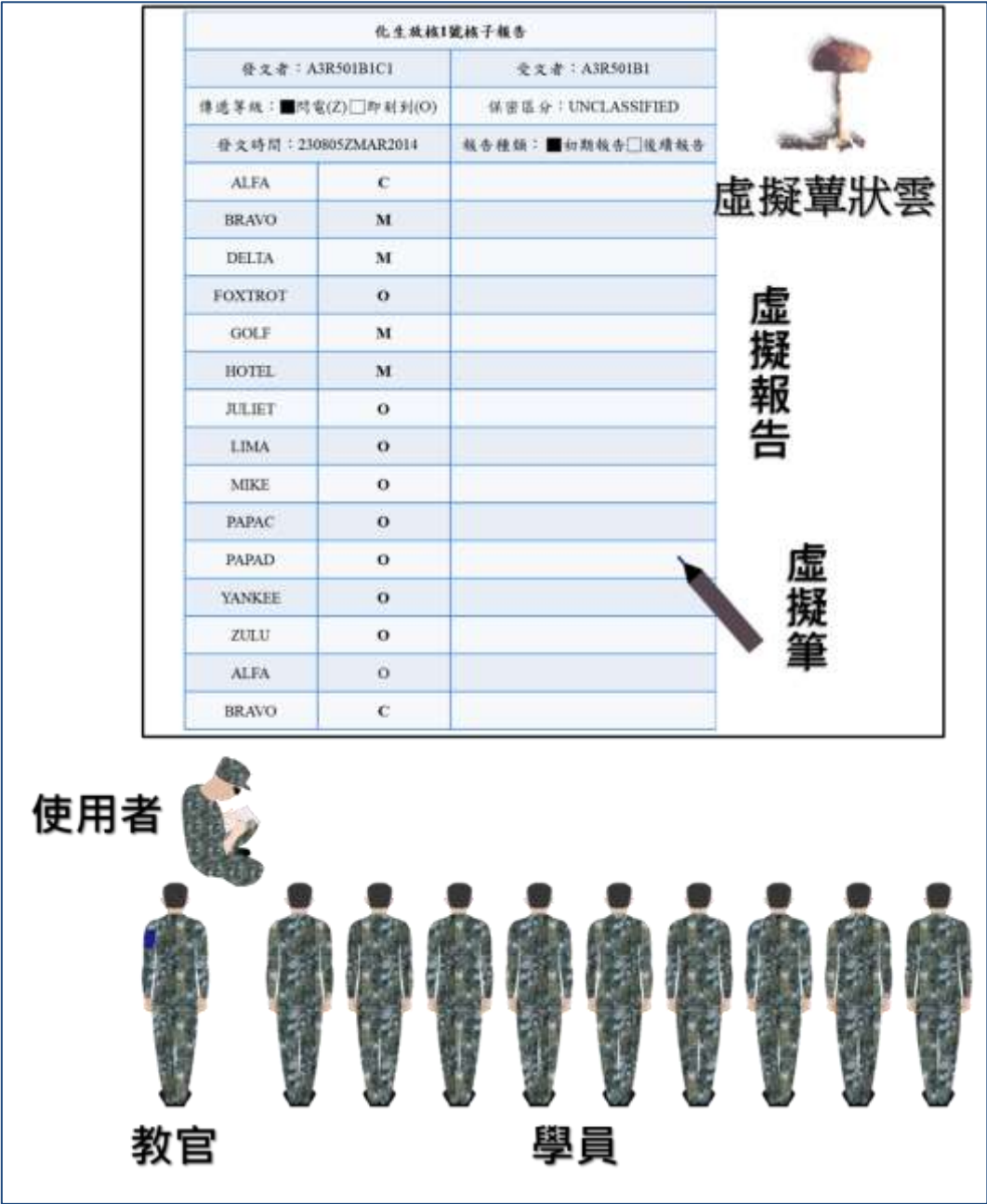
C-條件性(Conditional)。

資料來源：陸軍化生放核訓練中心化學課程組。¹⁵

¹⁵陸軍化生放核訓練中心化學課程組，〈化生放核警報與報告〉(桃園市：陸軍化生放核訓練中心化學課程組，2019)。

在虛擬實境系統內，可設計出虛擬物件進行報告撰寫，在此部分本研究規劃的虛擬物件為蕈狀雲、化生放核 1 號核子報告表及筆，如圖 9 所示。

圖 9 虛擬實境訓練下化生放核 1 號核子報告撰寫示意圖



資料來源：本研究自行繪製。

當使用者完成觀測作業時，透過虛擬報告及筆可於系統中觀測虛擬場景中的蕈狀雲，並練習撰寫化生放核 1 號核子報告表，此時在系統的設計中使用者的視角會出現蕈狀雲、化生放核 1 號核子報告表及筆。同時教官與其他學員亦可從投影幕中參與使用者的視角，判斷該員的報告撰寫是否符合其觀測內容與 ATP-45(D)報告規範。

結語

核爆觀測報告正確與否，對核子武器當量之判定、被攻擊位置（爆炸地面零點）之標示、落塵危害範圍預測及落塵危害地區內我軍之防護措施等影響甚鉅，因此，各級部隊必須瞭解相關核爆觀測技術與觀測原理並熟練觀測器材運用，以適應部隊作戰的需要。將虛擬實境運用在核爆狀況觀測的學習上，不僅能彌補過往教學時僅能以圖片或影音替代真實場景的不足，也可讓學習者有嘗試錯誤及把握重點的機會。

參考資料

一、準則論著

- (一)Bricken, M. & Byrne, C. M. (1993) Virtual reality applications and explorations, (Cambridge, MA: Academic Press Professional, 1993).
- (二)陸軍化生放核訓練中心化學課程組，〈化生放核警報與報告〉(桃園市：陸軍化生放核訓練中心化學課程組，2019)。
- (三)陸軍化學兵學校，〈核生化防護軍語辭典-草案〉(桃園市：陸軍化學兵學校，2003)。

二、期刊論文

- (一)林子超、陳五洲，〈虛擬實境應用於體育教學之探討〉《大專體育》，第83期，(臺北市：中華民國大專院校體育總會，2006)。
- (二)張修維，〈利用虛擬實境進行拳擊有氧的運動遊戲式教學〉(臺中市：國立臺中科技大學多媒體設計系，2018)。
- (三)洪祥偉、陳五洲，〈模型式虛擬實境技術於運動學習之應用〉《大專體育》，第83期，(臺北市：中華民國大專院校體育總會，2006)。
- (四)孫天龍、王駿偉、謝余松、任靜怡，〈虛擬實境3D互動視覺在客戶溝通之應用：以遠距同步產品維修溝通為例〉《電腦繪圖與設計雜誌》，第187期，(臺北市：鴻啟信息科技股份有限公司，2004)。
- (五)梁又文、劉說芳、周賢彬，〈隱喻導引用於探索設計者對於虛擬實境之需求〉《華梵藝術與教育學報》，第6期，(新北市：華梵大學，2010)。
- (六)廖述盛、黃秀美、賴崇閔，〈虛擬實境結合問題導向學習應用於行動化醫

學教育之研究〉《科學教育學刊》，第19卷第3期，(新竹市：中華民國科學教育學會，2011)。

(七)Gutierrez, F., Pierce, J., Vergara, V. M., Coulter, R., Saland, L., Caudell, T. P. "The effect of degree of immersion upon learning performance in virtual reality simulations for medical education" , Studies in Health Technology and Informatics, 125(2007).

(八)Huizenga, J., Admiral, W., Akerman, S., & Dam, G. T. "Mobile game-based learning in secondary education: engagement, motivation and learning in a mobile city game" , Journal of Computer Assisted Learning, 25(4) (2009).

(九)Rizzo, A. S. "Virtual reality and disability: emergence and challenge" , Disability and Rehabilitation, 24(11-12) (2002).

三、報刊網路

(一)BBC中文網，〈美俄中互懟，看全球核武器到底都在誰手〉，BBC中文網，[https:// www.bbc.com/zhongwen/trad/amp/world- 42939996](https://www.bbc.com/zhongwen/trad/amp/world-42939996)，檢索日期：2020年04月24日。