

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學科

第三名

080813

駕著手機 乘著光 飛向類 3D 的世界

學校名稱：臺北市立大學附設實驗國民小學

作者： 小五 張歲智	指導老師： 施秋梅 林群和
-------------------	-----------------------------

關鍵詞：浮空投影、虛實互動浮空投影器、視訊電話

摘要

本研究探討「浮空投影」相關原理，並比較浮空投影器效果之影響因素，含不同斜面角度的四角錐、相同材料製作三、四、五角錐、不同厚度的透明清玻璃與 PVC 片及壓克力、相同厚度的黑半透明壓克力與透明壓克力、半反射綠玻璃與透明清玻璃之投影清晰度，以及貼上同廠牌三種不同隔熱紙對強光下投影之改善情形。並針對浮空投影器媒體螢幕影響因素進行探究，含不同螢幕亮度、對比度、濾藍光量、環境照度之投影清晰度。

結果顯示 1mm 透明壓克力製作的 45 度四角錐在成本、製作與使用效果上有最佳表現，輕便投影器以市售 2 或 2.5mm A4 PVC 膠片製作較優；螢幕則以高對比、高亮度、不濾藍光、亮度高於環境等條件可以達到最佳的投影效果，最後將結果應用在**虛實互動浮空投影器及類 3D 立體投影電話**。

壹、研究動機

暑假我在網路上看到了浮空投影的影片，讓我感到非常有趣，想到四年級自然課老師曾經討論光線的直線前進、光的折射、光的反射與色散現象，提到了由於光的反射可以在晴朗無風的白天湖面看到湖邊景物的倒影，光的折射配合適當的天氣狀況甚至可以讓人們看到海市蜃樓，這些自然界的現象都是光在我們生活的環境所造成的景象，所以決定以浮空投影做為科展題目來進行實驗探究光如何形成如此奇妙的現象。

貳、研究目的

- 一、探討「浮空投影」相關原理
- 二、探討浮空投影器的設計及製作方法
- 三、試著製作浮空投影器專用影片
- 四、探討浮空投影器斜面角度、面數、材料及貼膜對投影效果之影響
 - (一)比較不同斜面角度(30、45、60 度)的四角錐之投影情形
 - (二)比較以相同材料製作三角錐、四角錐、五角錐之投影情形
 - (三)比較不同厚度(3mm、4mm、5mm)的透明清玻璃之投影的清晰度
 - (四)比較不同厚度(0.1mm、0.3mm、0.5mm)的透明 PVC 片之投影情形
 - (五)比較不同厚度(1mm、3mm、5mm)的透明壓克力之投影的清晰度
 - (六)比較相同厚度(3mm)的黑透明壓克力、透明壓克力之投影的清晰度
 - (七)比較相同厚度(8mm)的透明清玻璃、半反射綠玻璃、透明壓克力之投影的清晰度
 - (八)比較四角錐貼上同廠牌不同透光度的隔熱紙之投影情形

五、探討浮空投影器投影媒體螢幕之影響因素

- (一)比較不同螢幕亮度之投影清晰度
- (二)比較不同螢幕對比度之投影清晰度
- (三)比較不同螢幕濾藍光量之投影清晰度
- (四)比較不同環境照度(流明)之投影清晰度
- (五)比較貼上同廠牌不同透光度的隔熱紙之投影情形

六、將「浮空投影」應用在生活上

- (一)各種浮空投影小型應用
- (二)虛實互動浮空投影器
- (三)類 3D 視訊電話

參、研究設備與器材

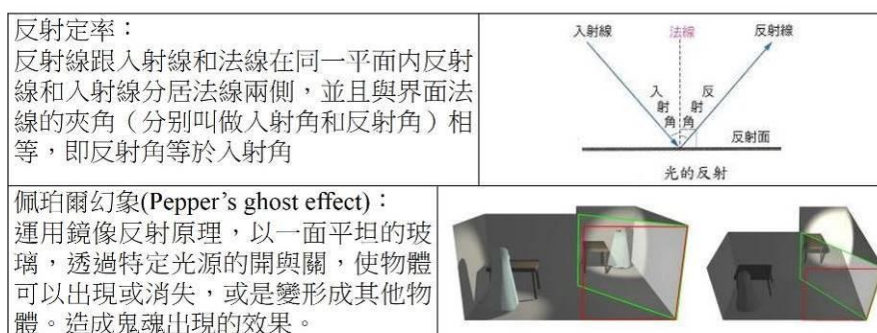
- 一、設備：canon EOS 600D 單眼數位相機、相機腳架、 Samsung tab S 10.5 吋平板、 iphone 6s plus、 asus padfone 手機、 taiwan mobileA3 手機、 taiwan mobileA6S 手機、筆記型電腦、FENIX TKUE35UE 手電筒
- 二、軟體： Camtasia studio 8 軟體、 MMA 軟體、colour contrast analyzer 軟體、video converter app、rotation control app、小偶 app、ip 攝像頭 app、tiny cam monitor app、lux meter app、screen adjuster app、藍色光濾波器 app、Unity 3D 遊戲引擎
- 三、材料：各式寶特瓶、玻璃、壓克力、PVC 膠片、數棒、壓克力膠、壓克力刀、熱熔膠、萬用黏著劑、白膠、保利龍膠、黑色 PP 瓦楞板、背膠黑絨布、黑布、飛機木條

肆、研究過程、方法、結果

一、探討「浮空投影」相關物理光學原理：

(一)、浮空投影原理：是利用**佩珀爾幻象 (Pepper's ghost effect)**：

1、佩珀爾幻象原理：即是反射定律的應用

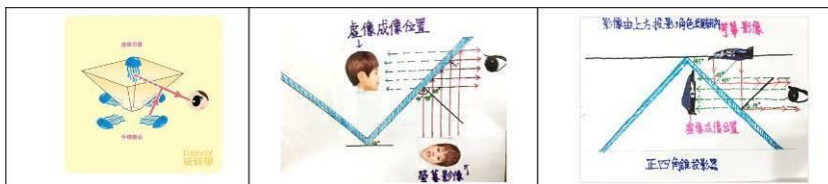


2、利用自己設計的實驗來更深入了解佩珀爾幻象 -神奇不怕水蠟燭實驗

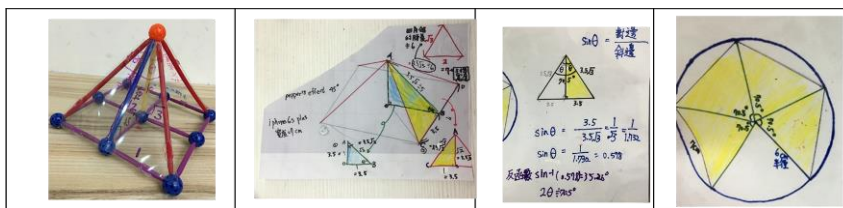
	<p>(1)兩個鞋盒裁切組成L形，盒蓋也是，鞋盒內鋪滿黑卡紙以避免穿幫。</p> <p>(2)用熱熔膠黏上一片1mm壓克力，與鞋盒邊夾45度角。</p> <p>(3)挖出觀景窗，在視線對過去的位置黏上玻璃杯；在壓克力面另一側黏上一根蠟燭，測量好位置使其成像在杯子內。</p> <p>(5)在杯子上方的盒蓋挖一個洞方便倒水。</p> <p>(6)點燃蠟燭，蠟燭的影像投影在杯內，倒水入杯內，神奇蠟燭竟然不會熄滅，因為在杯內看到的只是蠟燭的虛像。</p>
--	---

二、探討浮空投影器的設計及製作方法：

(一)、浮空投影器設計：



(二)、浮空投影器製作方法：












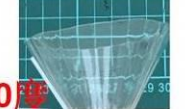






(三)、利用寶特瓶當成投影金字塔做出一分鐘超簡易浮空投影器，並觀察其投影情形

1、實驗構想：寶特瓶的材質 PET 也屬於透明高透光材質，且瓶頸是錐狀。

2、實驗步驟及結果：

實驗方法		方形A	方形B	方形C
	邊長	6.3cm	7.7cm	6.5cm
	高度	1.5 cm	2.5 cm	2 cm
	正放(投影面與投影源夾角)			
	影像			
	倒放(投影面與投影源夾角)			
	影像			

	圓形D	圓形E	8邊形F	27邊形G
直徑	9cm	6cm	9cm	7cm
高度	4cm	1.5cm	5cm	2.5 cm
正放(投影面與投影源夾角)				
影像				
倒放				
影像				

3、結論及討論：

- (1) 投影面愈接近平面，投影效果愈好，投影在圓弧面會造成影像變形。
- (2) 瓶頸高度不足會造成影像不完整。
- (3) 多角錐形的寶特瓶頸會造成影像不只一個，但並不完整。

三、試著製作浮空投影器專用影片：

(一)、實驗構想：

- 1、由以上寶特瓶投影器實驗我們想到是否可以製作配合多面體角錐的影片來評估多面體角錐的可行性與投影效果，因此興起自製影片的念頭。
- 2、我們發現浮空投影具類 3D 感的其中一個重點是投影的主體本身亦須具有立體感，而具立體感的關鍵在於利用 3D 動畫、建模或繪圖軟體製作出主體各種角度的光影色彩變化，而使主體具立體感。

(二)、我們用以下軟體或 app 來製作的簡易 3D 人物動畫影片

Iclone (未完成)	MMD(前後左右及任意角度，可設定)	3D拍拍app(前後左右各種角度，需目測)	小偶app(正面)
			
<p>我小偶app製作有文字校慶宣傳短片時，遭遇到投影時文字上下顛倒問題，我們以video converter軟體翻轉鏡像，成功克服此問題。</p>			

(三)、我們利用以下的方法將以上影片製作成四角錐投影用四象限影片：

TechSmith Camtasia studio 8 (首選，四面不同方向，可設定角度)	威力導演14試用版(四面不同方向可)	Windows video hologram(只能製作四面同方向)
		

四、探討浮空投影器投影效果之影響因素：

實驗變因控制	拍攝條件控制	環境條件控制	投影源控制	影片源控制
canon600DM 模式，光圈，每組快門、iso 值皆相同	無窗戶的房間關燈無關門，流明值以lux meter app測定為0 lux。投影器置放桌鋪上黑布，標記投影器、金字塔桌腳、三腳架位置	投影源為Samsung tab S 10.5吋平板，解析度為2560 x 1600，對比度為100,000:1，投影時亮度設定100%	MMD軟體搭配 Camtasia studio 8自製的初音小蘋果影片的起始影格停格來投影	   

(一)、比較不同斜面角度(30、45、60 度)的四角錐之投影情形

1、實驗構想：經由寶特瓶瓶頸實驗，我們發現不同斜面角度的四角錐，其投影的主體完整性及效果略有不同，因此我們設計了以下的實驗。

2、**操縱變因：四角錐的斜面角度**


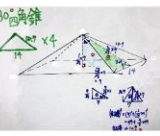




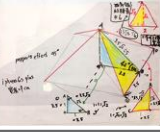


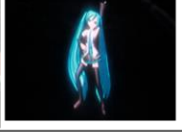



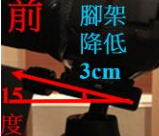

3、實驗步驟：

(1) 取同規格2mm 二手裝訂膠片，利用畢氏定理分別計算出配合 tab S10.5 平板尺寸、製作不同斜面角度四角錐用的三角形的斜邊以及底邊的公分數，裁切後用萬用黏著劑黏合成四角錐。

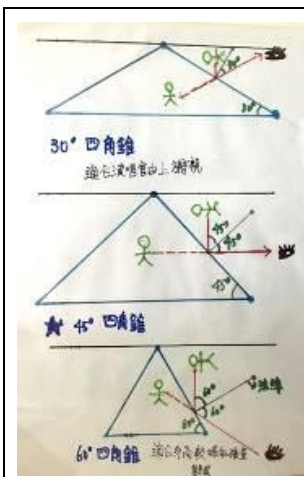
(2) 以 canon600D M 模式光圈 1/10、快門 F5.6 拍攝照片，觀察其投影結果。

(3) 我們調整了腳架的高度及雲台的角度來模擬觀看者能看到完整影像時的觀看高度及角度，其中俯仰角的計算乃利用側拍雲台與腳架的照片中，雲台與腳架延長線之夾角來計算。

4、實驗結果：

角錐角度	設計圖	投影結果	調整腳架高度及雲台角度使影像完整	
30度四角錐 			俯角20度 腳架升高9cm	 
45度四角錐 			平視 不須升降	 
60度四角錐 			仰視15度 腳架降低3cm	 

影像向後飄



小結：

45 度的四角錐製作方便，且觀看角度適合一般大眾

30 度角錐可以應用在須由上而下俯視的情況，例如大型演唱會投影給上排座位的觀眾看

60 度角錐則適合身高較矮的兒童由下而上仰視。

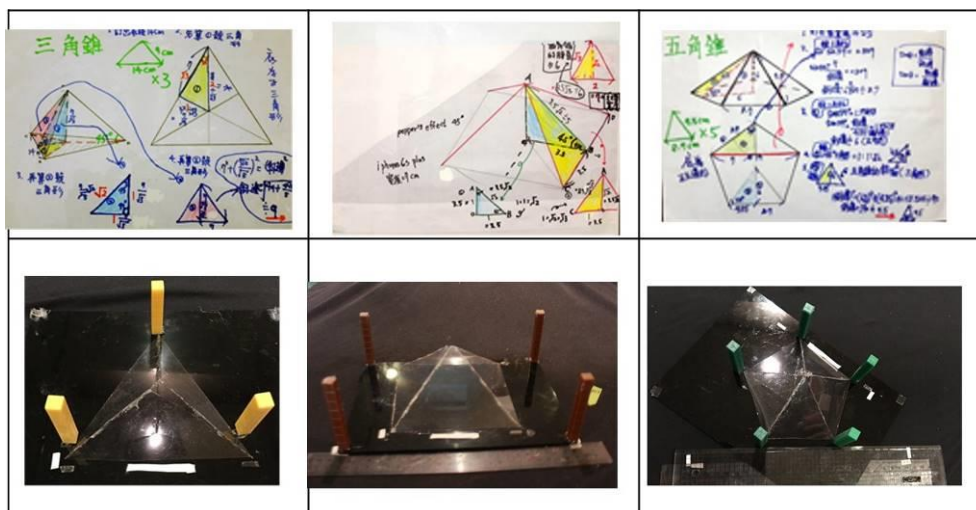
(二)、比較以相同材料製作三角錐、四角錐、五角錐之投影情形

1、實驗構想：由以上實驗確立了 45 度角錐為觀看角度適中且製作方便之投影器後，我們決定再研究瓶頸投影器實驗中的另一個發現與疑問：是否可以製作多面體角錐及其專用影片，於是設計了以下這個實驗

2、操縱變因：角錐的面數

3、實驗步驟及結果：

(1) 取同規格 2mm 二手裝訂膠片來製作斜面 45 度的三角錐、四角錐、五角錐，以數棒來製作適合各角錐高度的投影架。



(2) 製作配合各種角錐的影片：以 MMD 程式搭配 Camtasia studio 8 製作專用影片

三角錐用影片製作方法	四角錐用影片的製作方法	五角錐用影片製作方法
用MMD製作初音正面、順時針轉120度(Y：120)及逆時針轉120度((Y：-120)的角度影片	用MMD製作初音正面、順時針轉90度(Y：90)及逆時針轉90度(Y：-90)的影片	用MMD製作初音正面、順時針轉72、144度(Y：72、144)及逆時針轉72、144度(Y：-72、-144)的影片
利用Camtasia studio8將三個影片排列好，排列角度為0度、順時針轉120度及逆時針轉120度	利用Camtasia studio8將四個影片排列好，排列角度為0度、順時針轉90度、180度及逆時針轉90度	利用Camtasia studio8將三個影片排列好，排列角度為0度、順時針轉72度、144度及逆時針轉72度、144度

(3) 將角錐置於投影架上，平板置於上方投影，旋轉投影架至各個不同面皆平行定位尺且與相機等距離，用相機拍照記錄投影結果。

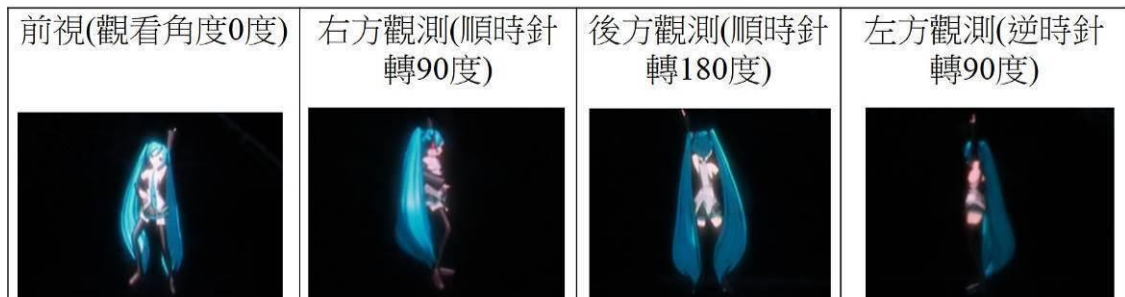
4、實驗結果：

(1) 三角錐：



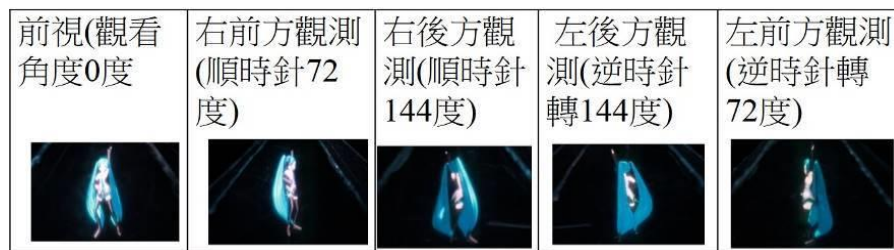
小結：三角錐製作不易，影片製作也較困難，且除正面外的兩個面觀賞意義不大。

(2) 四角錐：



小結：四角錐製作容易，影片製作也很方便，前後左右的視角符合大眾觀賞習慣，更容易感受其立體感。

(3)五角錐：




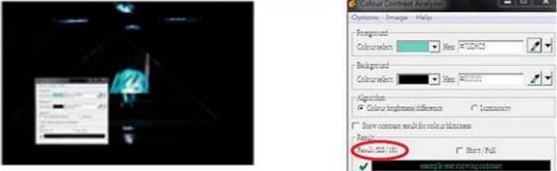
小結：五角錐的製作是三個中最困難的，影片製作也因排版角度計算不易而更困難，且除正面外的四個面觀賞的意義並不大。

結論：綜合以上小結，以四角錐為製作首選。

(三)、比較不同厚度(3mm、4mm、5mm)的透明清玻璃之投影的清晰度

- 1、實驗構想：由以上實驗我們發現，45度斜面的四角錐所製作的投影器製作容易、觀賞效果佳，搭配的影片製作也不費力，但我們發現以二手裝訂膠片製作角錐，磨損嚴重，耐用度不高，因此我們決定嘗試以不同材料來製作投影器。我們發現材料的選擇以透明透光為第一重點，因此我們請台灣玻璃館的親戚幫忙切割我們需要規格(配合samsung tab S10.5使用，底邊14公分、高10公分、斜邊12公分)的玻璃片來製作45度的四角錐，我們選擇了三種厚度的清玻璃來比較。
- 2、**操縱變因：玻璃厚度**
- 3、實驗設計：投影影像之清晰度以兩種方式來定量

為了定量投影的清晰度，我用前面的條件來拍攝投影的結果，並在電腦上分析：




影像重影程度	影像對比度
<p>重影會造成影像模糊，因此我選擇重影程度作為投影清晰度的定量方法之一。</p> <p>選擇有重影的照片中，初音身上的三個點(左手之指尖、右靴尖端、裙襬最下緣)，測量重影兩影像此兩點之間的距離，除以照片中初音以尺測量出的高度，分別計算出其比值，用來定量重影程度。</p>	<p>我發現投影主題與黑背景的對比度愈高，視覺效果愈好。因此我選擇用色彩對比分析程式 (colour contrast analyzer) 來定量投影所得影像的對比度，來模擬人眼看到投影影像的清晰度。</p> <p>用放大色彩取樣吸管，在螢幕上的照片前景處(固定選擇初音頭髮部分較均勻的藍色區塊)及黑色背景處取樣以得到色彩，一共測量三次並計算出平均值，紀錄如下：colour difference (色彩差異)/brightness difference (亮度差異)。</p>
	

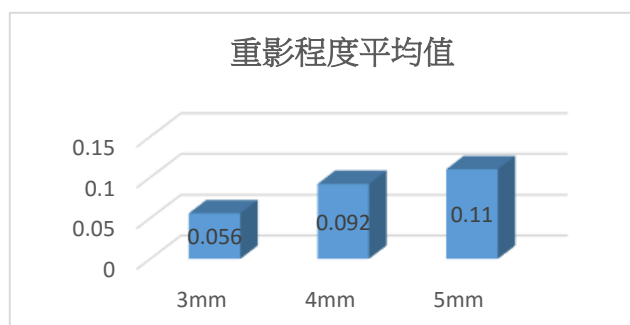
4、實驗步驟：

將 3mm、4mm、5mm 切割好的透明清玻璃用熱熔膠黏成四角錐，將角錐置於投影架上，平板置於上方投影。用照相機拍照，於電腦測量及計算重影程度及對比度。

5、實驗結果：

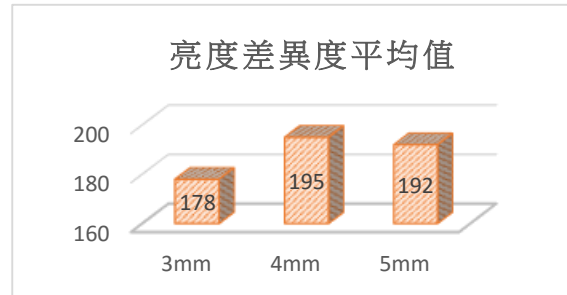
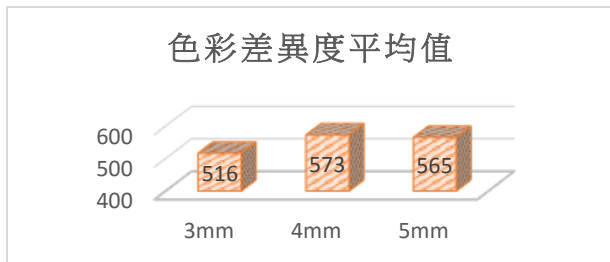
(1)重影程度：

厚度	3mm	4mm	5mm
測量重影程度			
右手指尖	$0.9/13.7=0.065$	$1.1/11.5=0.095$	$1.4/11.6=0.12$
左靴尖端	$0.6/13.7=0.04$	$1/11.5=0.086$	$1.3/11.6=0.112$
裙擺下緣	$0.9/13.7=0.065$	$1.1/11.5=0.095$	$1.4/11.6=0.12$
平均	0.056	0.092	0.11



(2)對比度(色彩差異/亮度差異)

厚度	3mm	4mm	5mm
1	521/179	574/195	559/191
2	511/176	574/195	573/194
3	517/178	572/195	564/192
平均	516/178	573/195	565/192



小結：我們發現玻璃愈厚，重影就愈嚴重，而不同厚度的玻璃投影出的影像對比度(色彩差異/亮度差異)相差不大。

(四)、比較不同厚度(0.1mm、0.3mm、0.5mm)的透明 PVC 片之投影情形

1、實驗構想：

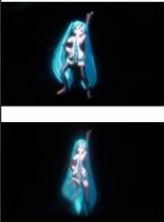
我們發現厚度是決定是否有重影的重要因素，因此我們決定尋找薄而投光的材質，但超薄玻璃(1mm 以下)多用在光學方面，沒有零售，且無法自行切割。因此我們到後車站其中一家塑膠行買到了 0.1mm、0.3mm、0.5mm 的透明 PVC 片來進行實驗比較。

2、操縱變因：PVC 片厚度

3、實驗步驟：

(1)將製作 45 度四角錐的斜面畫好後剪下，用壓克力膠黏合。

(2)將角錐放在投影架上，平板放在上方投影，用照相機拍照，觀察其投影結果。

厚度	0.1mm	0.3mm	0.5mm
	<p>0.1mmPVC片薄且軟支撐度不佳，影像腿部變形拉長。</p> 	<p>0.3mmPVC片較強韌，但不容易塑形整平易有鼓起的現象，造成影像變短。用手嘗試整平造成弧度不規則，影像變形嚴重。</p> 	<p>0.5mmPVC片很強韌，不容易整平，鼓起現象嚴重；不易黏合，過程中膠片到汙染，造成影像模糊變形。</p> 

小結：基本上此三種厚度都無重影，但是 0.1mmPVC 片過軟，因此不考慮。塑膠行整

卷販賣的 pvc 片有弧度問題，因此考慮買切割好 A4 規格販賣的 0.2mm 或 0.25mm 裝訂用 PVC 膠片製作較為平整，前面實驗使用之二手膠片即為此規格。大型投影可以加框繃緊方式可增加平整度，以免造成影像變形而穿幫。

(五)、比較不同厚度(1mm、3mm、5mm)的透明壓克力之投影的清晰度

1、實驗構想：

由以上實驗發現 PVC 片雖然裁切黏貼容易，但平整度不佳，於是我們就到後火車站壓克力店找了三種不同厚度的壓克力來比較。




2、操縱變因：壓克力厚度

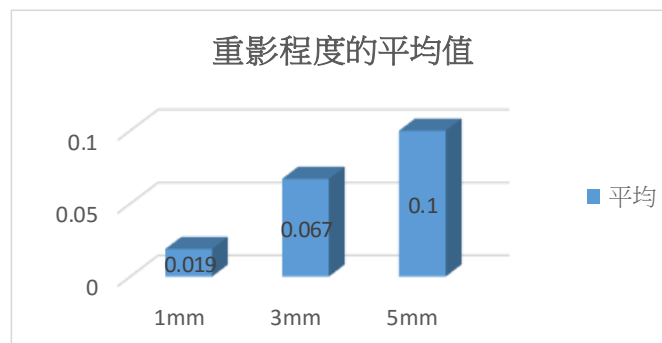
3、實驗步驟：

角錐的四面畫好後用壓克力刀割下，用壓克力膠黏合成 45 度四角錐。將角錐放在投影架上，平板放在上方投影，用照相機拍照，於電腦測量及計算重影程度及對比度。

4、實驗結果：

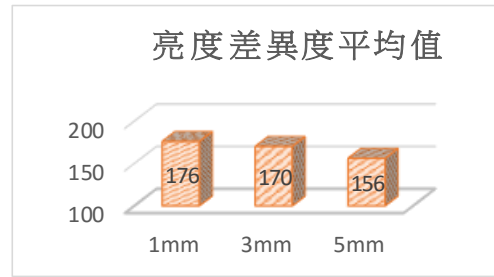
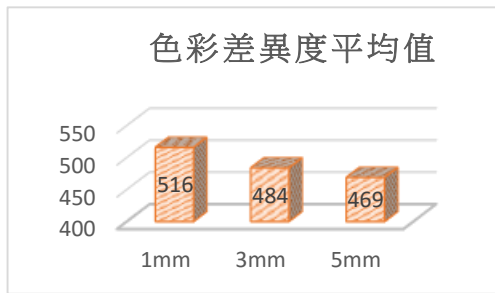
(1)重影程度

厚度	1mm	3mm	5mm
測量重影程度			
右手指尖	$0.2/8.6=0.023$	$0.5/8.2=0.06$	$0.9/8.3=0.108$
左靴尖端	$0.1/8.6=0.012$	$0.6/8.2=0.07$	$0.7/8.3=0.084$
裙擺下緣	$0.2/8.6=0.023$	$0.6/8.2=0.07$	$0.9/8.3=0.108$
平均	0.019	0.067	0.1



(2) 對比度 (色彩差異/亮度差異)

厚度	1mm	3mm	5mm
1	508/173	482/167	466/155
2	520/177	488/170	488/156
3	520/177	483/167	454/158
平均	516/176	484/170	469/156



小結：和玻璃一樣，壓克力厚度愈厚，重影就愈嚴重。厚度較厚的壓克力，似乎投影影像對比度較低，但沒有很大的差別。

結論：1mm 壓克力有很輕微的重影，但對比度不錯。相較於玻璃，1mm 壓克力好切好黏；相較於PVC片，壓克力製作金字塔平整穩定，不易變形，耐用度較PVC片高。

(六)、比較相同厚度(3mm)的黑半透明壓克力、透明壓克力之投影的清晰度

1、實驗構想：

我們在買壓克力片時，發現有具透光性的黑半透明壓克力片，但只有一種規格 3mm，因此我們決定比較相同厚度(3mm)的黑半透明壓克力、透明壓克力之投影清晰度。

2、操縱變因：壓克力的種類

3、實驗步驟：同實驗(五)。

4、實驗結果：

(1)重影程度：

種類	黑半透明壓克力	透明壓克力
測量重影程度		
右手指尖	0	$0.5/8.2=0.06$
左靴尖端	0	$0.6/8.2=0.07$
裙擺下緣	0	$0.6/8.2=0.07$
平均	0	0.067

(2)對比度 (色彩差異/亮度差異)

	黑半透明壓克力	透明壓克力
1	551/188	565/191
2	545/188	549/187
3	553/188	540/186
平均	550/188	551/188

小結：黑半透明壓克力很意外地竟然無重影，而且投影清晰度很高，但因為透光度較低，穿透感較低，虛擬感稍低，而兩者的對比度幾乎無差異。

結論：我們推測黑半透明壓克力沒有重影的原因是因其製作是以黑色顏料加入染色而成，會將光線吸收，所以幾乎沒有光線到達第二面所，所以沒有重影。

(七)、比較相同厚度(8mm)的透明清玻璃、半反射綠玻璃、透明壓克力之投影的清晰度

1、實驗構想：我們發現黑色半透明的壓克力反光性好且無重影，我們想到是否也有特殊的鍍膜玻璃有同樣效果，因此我們再度請台灣玻璃館幫我們準備有鍍膜的半反射玻璃，目前台灣半反射玻璃的規格不多，我們取得了 8mm 的半反射綠玻璃，並找了同樣 8mm 的清玻璃與透明壓克力片來做比較。

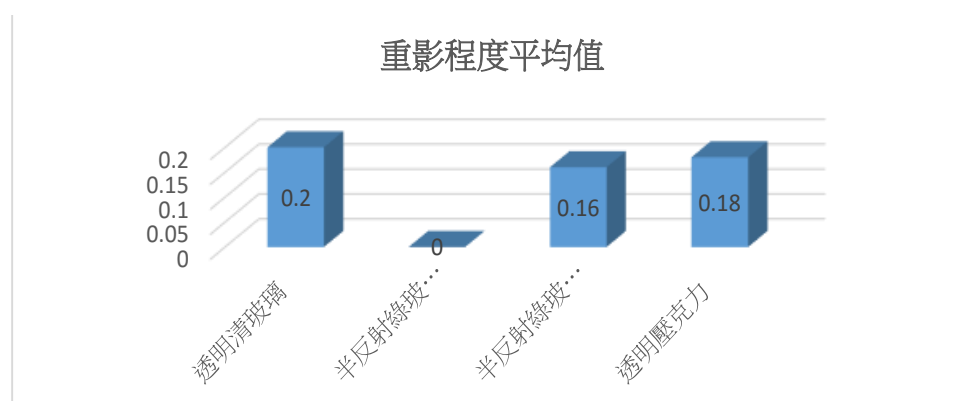
2、操縱變因：投影器的材質

3、實驗步驟：同實驗(五)。

4、實驗結果：

(1)重影程度

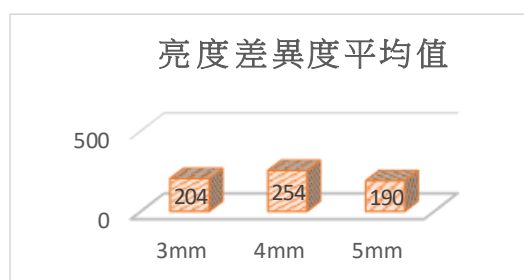
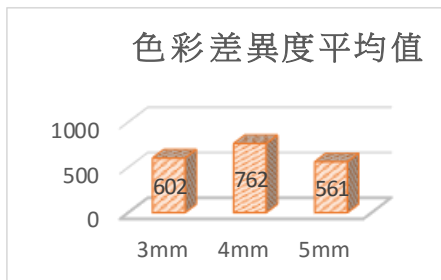
種類	透明清玻璃	半反射綠玻璃 (反射面向外)	半反射綠玻璃(反 射面向內)	透明壓克力
測量重影程度				
右手指	$2.3/11.5=0.2$	0	$2.2/13.4=0.16$	$2.2/13=0.17$
左靴尖端	$2.3/11.5=0.2$	0	$2.2/13.4=0.16$	$2.3/13=0.18$
裙擺下緣	$2.3/11.5=0.2$	0	$2.3/13.4=0.16$	$2.3/13=0.18$
平均	0.2	0	0.16	0.18



小結：8mm 厚度的任何材質，重影皆很嚴重。有趣的是使用半反射玻璃時，若反射面是鍍膜面，大部分光線被反射回來，導致到達第二面的光線很少，因此無重影；如果反射面為非鍍膜面，則光線到達第二面進行第二次反射，因而產生重影。

(2)對比度 (色彩差異/亮度差異)

種類	透明清玻璃	半反射綠玻璃	透明壓克力
1	603/205	762/254	559/190
2	597/203	762/254	566/193
3	602/205	762/254	561/190
平均	601/204	762/254	562/191





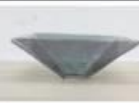






小結：半反射綠玻璃反射率高，因此影像對比度高；同一厚度的清玻璃與壓克力，對比度略有差距但相差不大，由數據推測清玻璃之反射率可能略高於透明壓克力。

結論：小結：半反射玻璃沒有重影，推測是因為半反射玻璃的金屬鍍膜可增加反射，光線幾乎無法到達第二面，因此無重影。半反射玻璃反射率高，因此影像對比度高，但也因此減少光線穿透，虛擬感較差，而且因為反射率太高造成影像過亮而看不到細節。

(八)、比較貼上同廠牌透光度的隔熱紙之投影情形

- 1、實驗構想：以上實驗發現，當環境照度過高時，成像情況不佳，但是市售浮空投影專用膜又很貴(A4 650 元)，所以想到同樣具高透光性的隔熱紙。
- 2、實驗步驟
製作三個 iphone 6S plus 專用梯形角錐投影器，將三個梯形角錐的其中一個面貼上三種不同的投影膜，將梯形角錐倒放在 iphone6S plus 上，觀察其成像結果。
- 3、實驗結果：

V-cool 隔熱紙型號	V70 	V30 	K14 
透光度/內反射率	73.2% / 9%	30% / 12%	14% / 17%
貼膜厚顏色及外觀			
強光下成像情形			

結論：基本上有貼膜的梯形角錐在強光下的成像結果明顯優於未貼膜的，反射率最高的 **K14** 隔熱紙影像清晰度越高，但因為透光度過低，但因此也少了浮空虛擬的感覺。三種隔熱紙的投影效果以 **V 30** 最佳，若可找到更高透光度且具相同或更高反射率的隔熱紙則強光下效果更佳。

五、探討浮空投影器投影媒體螢幕之影響因素：

(一)、比較不同螢幕亮度之投影清晰度

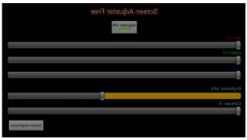
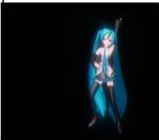

1、實驗構想：螢幕的亮度越高，畫面看起來會越亮麗、視覺效果愈好，因此想比較螢幕亮度對投影清晰度的影響。

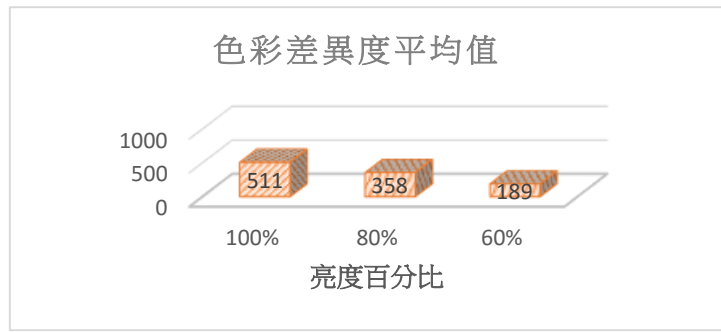
2、操縱變因：螢幕亮度

3、實驗步驟

二手投影膠片製作的 45 度角錐放在投影架上，平板由上方投影。平板安裝並開啟 screen adjuster free，並調整不同亮度值，用相機拍照於電腦分析比較。

4、實驗結果

亮度百分比	100%	80%	60%
			
色彩差異度平均值-1	511	362	197
2	505	367	187
3	518	346	183
三次平均	511	358	189



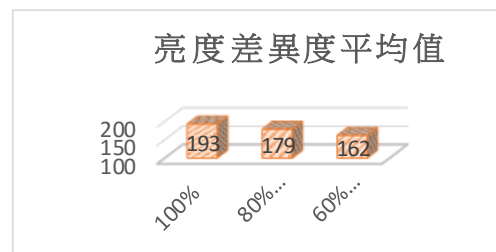
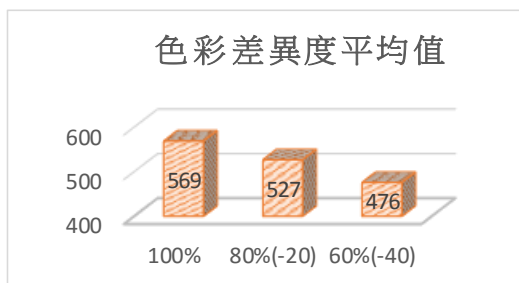
結論：我們發現螢幕亮度愈亮，影像對比度愈高，清晰度愈佳。

(二)、 比較不同螢幕對比度之投影清晰度

- 1、實驗構想：螢幕對比度愈高，螢幕所呈現的色彩層次會增加，也更為飽和鮮明，因此想比較螢幕對比度對投影清晰度的影響。
- 2、**操縱變因：螢幕對比度**
- 3、實驗步驟：

二手投影膠片製作的 45 度角錐放在投影架上，平板由上方投影。平板安裝並開啟 screen adjuster free，並調整不同對比度，用相機拍照於電腦分析比較。
- 4、實驗結果：

對比度百分比	100%	80%(-20)	60%(-40)
1	568/192	527/179	476/160
2	579/197	524/179	481/164
3	561/190	529/179	472/162
平均	569/193	527/179	476/162



結論：我們發現螢幕對比度愈高，影像對比度也愈高，視覺效果較佳，但影響程度不大。

(三)、 比較不同螢幕濾藍光量之投影清晰度

1、實驗構想：


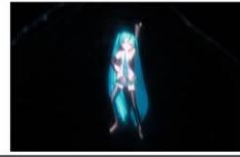
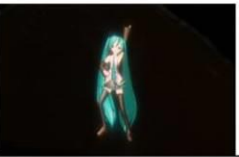

濾藍光 app 會讓螢幕發出的光由白光改變為類似自然光偏黃的光線，讓螢幕色彩看起來不是那麼鮮明，是否會影響投影效果呢？

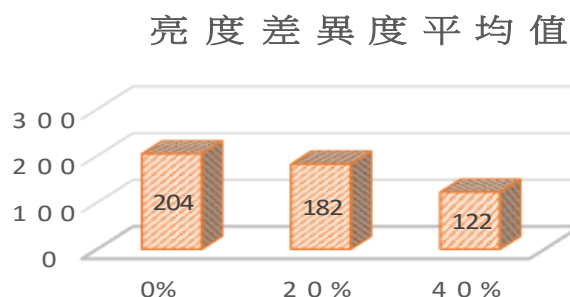
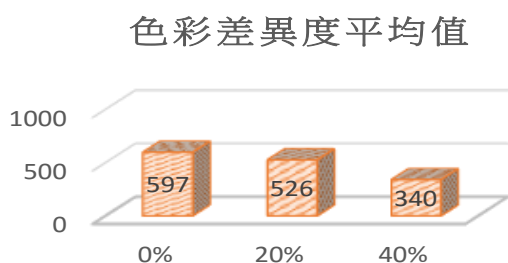
2、操縱變因：螢幕濾藍光量

3、實驗步驟：

二手投影膠片製作的 45 度角錐放在投影架上，平板由上方投影。samsung tab s10.5 平板安裝並開啟藍光濾波器，並調整其濾波量，拍照於電腦分析。

4、實驗結果：

藍光濾波量	0%	20%	40%
			
1	595/204	530/183	345/124
2	598/205	521/181	342/123
3	579/204	527/182	333/120
平均	579/204	526/182	340/122



結論：我們發現藍光濾波量愈高，影像對比度愈低，色彩較不鮮豔且偏黃，可推測螢幕發出的光線中藍光的部分可讓影像更鮮明亮麗。

(四)、比較不同環境照度(流明)之投影清晰度

1、實驗構想：

我們在實驗的過程中發現環境愈亮，投影愈不明顯，推測是當外界光線大於由投影器反射過來的光線時，會干擾眼睛接收反射光，造成影像愈不明顯，因此我們設計以下實驗。

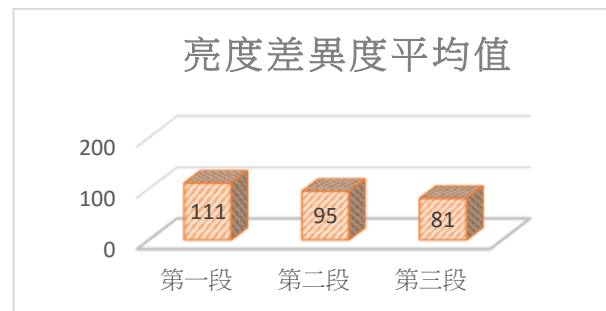
2、操縱變因：環境照度(流明)

3、實驗步驟：

將愛迪生 T5 檯燈置於實驗桌上向下照射，調整燈管高度以改變照度，利用平板所安裝的 lux meter app 測量環境照度流明值一共三次並算出平均值。用平板開啟影片並置於投影架上像下投影，用照相機拍照並於電腦分析比較。

4、實驗結果：

			
1	436	818	1217
2	438	821	1218
3	434	823	1216
平均照度	436	821	1217
對比度	第一段	第二段	第三段
1	346/117	262/90	219/77
2	313/106	277/95	227/81
3	323/111	288/100	219/77
平均	327/111	276/95	244/81



結論：我們發現環境亮度愈高，影像對比度愈低，當環境亮度高於螢幕亮度時，影像就會看不太到。

六、浮空投影在生活上的應用：

(一)、各種浮空投影小型應用



(二)、虛實互動浮空投影器

1、動機：

想利用 180 度浮空投影，搭配 3D 動畫軟體製作投影用動畫，讓真人、人偶與投影出的類 3D 虛幻場景互動，可克服真人無法到達某些場景(例如太空、深海底)的問題，以及營造現實場景中某些不容易製作的特殊情境(例如爆炸、火焰、淹水等)。

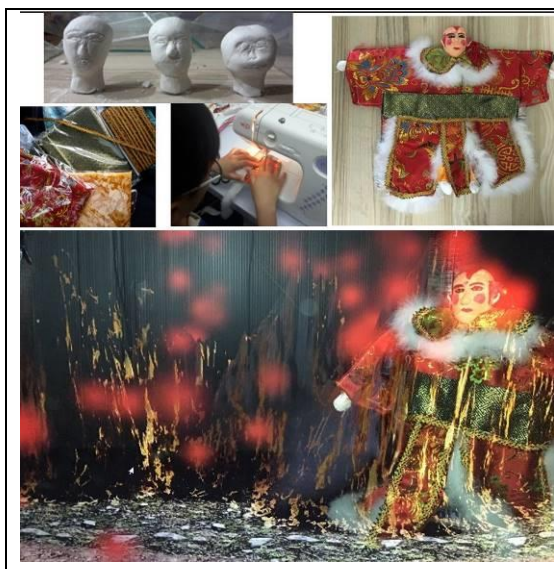
2、製作方法：

(1)根據我的實驗結果，投影源的解析度、亮度及對比度會影響投影結果，我手邊現有螢幕中最大尺寸的 AOC22 E2243FW2K 22 吋螢幕(可視範圍 47.66 (寬)×26.81(高) cm、亮度：250 cd/m²、對比度：50000000:1、最佳解析度：1920×1080)，參數都很不錯，而且是 16：9 的寬螢幕，投影出的場景寬度較寬，適合當作虛實互動的舞台，且腳架可折疊平放。

(2)影片源的製作：

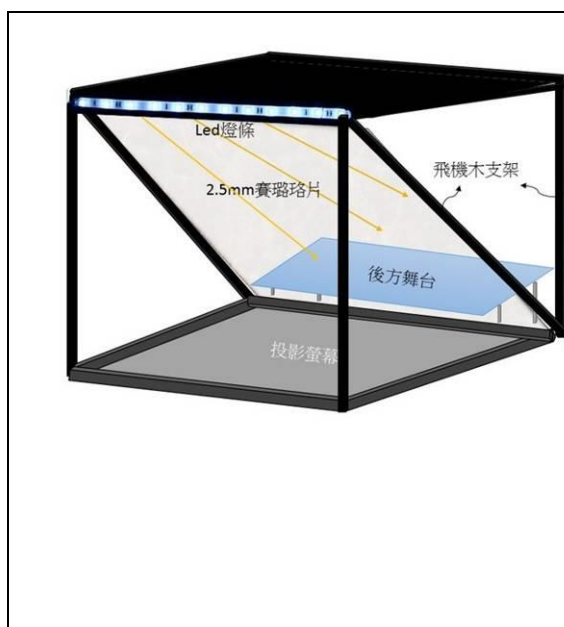
我之前的實驗所用的軟體多是只能套用現成 2D 背景照片，角色也受限，不然就是太貴(iclone)，由於這個實驗的投影影片必須有立體感且需配合主題設計場景及特效，因此我選擇了有免費個人版的 **Unity3D 遊戲引擎**。此軟體優點：軟體本身免費且功能齊全、資源商店中免費素材豐富、可匯入各大 3D 動畫及建模軟體的 3D 模型檔，還可利用 **Mixamo 線上動作資料庫**來創建人物模型，綁定動作，不需自行製作人物 3D 動畫。此遊戲引擎對我來說有點難度，且有需要用到 C#程式語言，已經超出了我能力，所以我買了兩本書並且看了網路上許多教學影片，花時間摸索嘗試，並且盡量利用線上商店的資源包及 **Mixamo 線上動作資料庫**，避開需要編輯程式碼的部分，終於做出我想設計的場景影片。

(3)投影效果測試 - 3D 布袋戲：



我本來想作 3D 動畫背景的 3D 布袋戲，但受限於我的螢幕投影出來的舞台高只有接近 30 公分，所以我自己 DIY 了較小型的紅孩兒的布袋戲偶，並用 unity 製作了火焰山地型及利用 unity 粒子系統製作西遊記孫悟空大戰紅孩兒橋段中紅孩兒噴出三昧真火的場景特效。實際測試投影後發現若以螢幕從下方向上投影的方式，人偶的舞台應該設在投影牆的後方，並且必須打燈在人偶身上，從前方才看得到人偶。選擇螢幕從下方投影的原因是因為可免除製作堅固架子來架設大螢幕的麻煩。

(4)根據上面模擬測試結果，我們的虛實互動投影器設計圖如下：



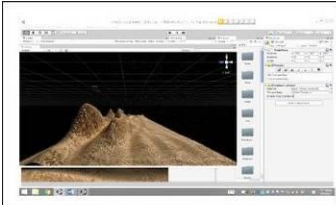
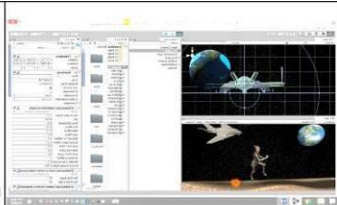


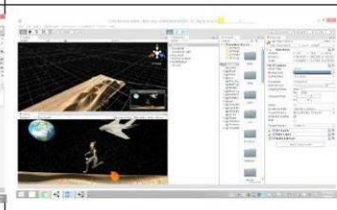

- A. 飛機木條製作木框，將美術社購買的 2.5mmPVC 片用保利龍膠繃緊平整的黏貼在木框上，再黏上木支架使投影面與底面成 45 度。
- B. 將 V-cool V40 隔熱紙貼在 PVC 片上（我們發現 V40 透光度 40%，反射率與 V30 相同為 12%，較 V30 條件更佳，因此選擇此一隔熱紙）。
- C. 將木條用黑色廣告顏料漆成黑色。
- D. 將 LED 燈條固定在上方木條上，光線方向對準後方舞台。
- E. 黑色 PP 瓦楞板裁成適當大小並黏合完成外罩，以防止其他光線干擾投影。

(5)互動式浮空投影劇情設計：



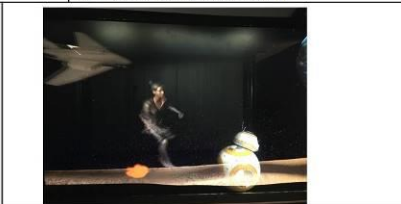


我希望找一個可遙控的偶，來模擬真人與場景內虛擬人物互動的效果，所以我想到跟媽媽朋友借玩過的 BB-8 Sphero BB-8 STARWARS 星際大戰智能機器人，希望設計出我最喜歡的星際大戰七原力覺醒中的女主角芮與 BB8 被帝國風暴軍追殺的場景，並加入火焰及雷射光束動畫特效，讓影片中虛擬女主角芮與 BB8 在類 3D 的場景中互動。

(6)場景畫面製作：

		
<p>安裝並開啟unity3D個人版，新增一個3d檔。新增一個地形，使用地形產生器畫出凹凸不平的地面，再使用地形材質畫筆畫出沙漠地形。</p>	<p>載入已下載好的戰鬥機素材模組，包含物件、動畫程式檔、音效檔，將戰鬥機物件拖移至場景中適當的位置並調整好大小</p>	<p>至Mixamo線上動作資料庫挑選適合的角色並綁定需要的動作檔，下載至電腦。</p>
		
<p>將女主角拖移至場景內，利用animation controller(動作控制器)來編排女主角之動作</p>	<p>調整攝影機的角度及位置，按下播放鍵觀看效果並調整攝影機位置及角度</p>	<p>按下File-Build and Run，設定player為windows系統，解析度設為1920x1080</p>

1、投影器架設及投影結果：

 <p>Diagram labels: 筆記型電腦 (Laptop), Led燈條 (LED light strip), 2.5mm 雲母隔片 (2.5mm mica separator), 飛機木支架 (Aircraft wooden frame), BB8機器人 (BB8 robot), 電腦螢幕 (Computer monitor).</p>	<p>將BB8置放在後方舞台，LED燈條固定在木框上，光線方向朝向後方舞台。AOC 螢幕連接至筆記型電腦，播放我製作的動畫檔案，同時用手機操控BB8在場景中跑動，模擬女主角與BB8躲避追逐的驚險畫面</p>
	

2、討論：

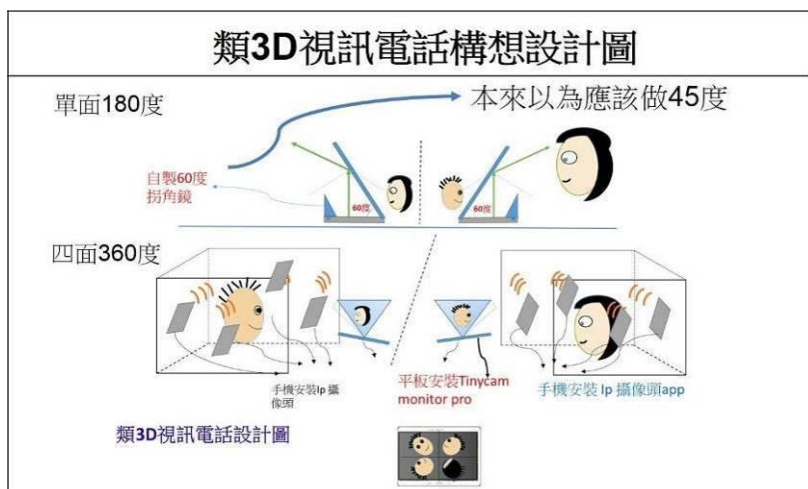
- (1)Unity 遊戲引擎免費、強大、支援性佳，利用 Unity 遊戲引擎製作類 3D 場景十分簡便，素材豐富、特效逼真，可搭配 3ds max 等其他 3D 動畫或建模軟體來修改角色或物件。
- (2)投影器外罩、舞台投影架都以黑色為佳，以免干擾投影，黑色絨布吸光效果十分良好，可巧妙隱藏舞台。
- (3)後方舞台的燈光強度及方向十分重要，光線太弱前方會看不見真人或人偶，方向若沒調整好會干擾投影。選用 LED 條燈的原因是亮度高、省電、且光源具方向

性，可控制光線方現而不干擾投影。

(三)、類 3D 視訊電話：

1、設計構想：

- (1)若能將對講者四個面的視訊即時整合成四象限畫面在螢幕上並投影，即可製作出類 3D 視訊電話。四面視訊可利用講話者前後左右的四個鏡頭錄製，四象限畫面則聯想到賣場的監視攝影機的分割畫面。
- (2)由於對話者分別在兩個不同的地點，因此必須採用無線的方式傳輸影像，想到用 wifi 的方式，上網查詢到有所謂 IP camera(無線網路攝影機)，但需要四台畫質佳的 IP camera 很花錢，因此想到是否可以利用現代人淘汰下來的舊手機當視訊鏡頭，比較環保。
- (3)上網查到有許多 IP camera 的 app，但多是在瀏覽器上觀看，且無法設定四分屏，後來找到 Tincam monitor free app。此 app 可設定四分屏，可用市售 IP camera 攝像，也可用 android 或 ios 手機、平板來替代 IP camera。
- (4)但 IP camera 的四分屏為橫向排列，與四象限影片十字形排列不同，因此必須將鏡頭擺放成 45 度角，投影時四角錐與螢幕擺放也須成 45 度角。



2、類 3D 視訊電話家用測試版：

(1)製作步驟：

- A. 將三片瓦楞板用大力膠帶黏成U字型，將借來的假人頭(甲方)架到適當高度來模擬成人坐在升降椅上，在三片板子頭對應處高度挖洞，將三台手機的後置鏡頭對準板子上的洞。最後一台手機用自拍桿架在裝有平板的投影架上，亦成 45 度角，後置鏡頭面向對甲方。
- B. 四台手機開啟 wifi 功能，安裝並開啟 ip 攝像頭 app，並打開 ip 攝像頭服務，此時螢幕會顯示甲方的即時影像以及此手機的 IP adress。

- C.將手機呈 45 度角擺放並觀察影像的大小是否是適中，頭頂須對準直角處，用束帶固定在左、右、後的板子上，將頂部遮版蓋上。
- D.在乙方平板安裝並開啟 Tiny Cam monitor app，按加號增加新手機，選擇 IP camera for android or ios，輸入每支手機的 IP adress，第一支加入的手機必須為拍攝正面之手機，若有錯誤必須調整順序。
- E.連線 OK 後四支手機影像出現在四分屏上，若頭頂的方向或臉朝的方向有誤，可利用 app 內建旋轉影像功能來調整。
- F.乙方將接收甲方影像的平板架在投影架上，投影面朝下，角錐正放，與投影面成 45 度角錐的投影面對準乙方的臉，乙方即可看見甲方的影像。
- G.換真人進入屏風，調整升降椅高度以符合鏡頭位置，觀察動態影響是否有 lag 現象。



(2)討論：

- A.左右側板與講話者的距離影響影像的大小與對稱與否，十分重要，隔板調整距離不便，實際應用可考慮用夾式 360 度旋轉長臂手機架，調整距離及角度更方便。
- B.手機旋轉角度影響影像是否正立在角錐中央，用隔板鑽洞綁束帶固定十分麻煩，用夾式 360 度旋轉長臂手機架亦可解決此一問題。
- C.角錐正放感有侷限感，因此若改為角錐倒放下投影，可能視覺效果較佳。
- D.以投影架來投影，柱子會擋到畫面，考慮改為角錐倒放下方投影或將螢幕嵌在板子內向下投影則可不需要使用投影架。
- E. Samsung tab S 10.5 平板螢幕為 16:9，若螢幕改成正方形或接近正方形的 4：3 螢幕，比較方便對齊；iphone 及舊型螢幕多為 4:3。
- F.後方的影像意義不大，且容易拍到前方雜物，因此可考慮不架後方手機，但仍需 tinyCam monitor app 設定第四隻手機，否則只有三支手機無法顯示四分屏。
- G.Iphone 版的 IP 攝像頭軟體需付費，且功能較少，設定時須將帳號和密碼刪除，

不然會無法連接。

H.使用限制是對講雙方都必須在有 WIFI 的環境下。

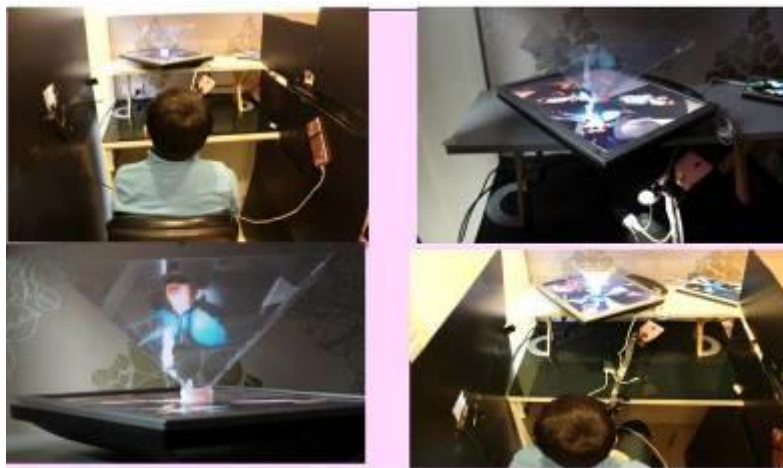
3、宿舍版類 3D 視訊電話模擬實驗：

(1)設計構想：

- A.上面實驗所製作之家用版類 3D 視訊電話口字形屏風占空間且美觀度不佳，無法與家具融為一體，考慮將屏風改成櫃子的隔板或沙發的高椅背、高扶手。
- B.新奇有趣的類 3D 視訊電話很受歡迎，且 3C 產品汰換率更高，閒置不用的手機與舊螢幕相對也很多，而床組多為制式設計，在床下書桌空間非常適合設計套組式類 3D 視訊電話，充分利用空間且與家具合為一體。

(2)實驗步驟：

- A.取一閒置不用 TFT 螢幕(view sonic VA721 17 吋,4:3 螢幕),使用 VGA 轉 MHL 連接線來連接平板，以尺量測舊螢幕上四分屏投影畫面的長寬(30x27 cm)。
- B.將廚櫃層板拆下，加上兩個書擋來模擬宿舍書桌的書架層板，用 2.5mmPVC 片製作一個底 27cm、斜邊 23cm 的角錐($27 \times 0.866 = 23.3$)，並將小膠帶捲軸黏在角錐頂端作為底座，然後以 45 角擺放在舊螢幕上。
- C.用 PP 瓦楞板模擬宿舍床組書桌左右兩邊的板子，並將左右兩台手機架好並調整好距離，前方的那台手機夾在夾式 360 度旋轉長臂手機架上，後置鏡頭面向講話者(甲方)，並調整適當高度和距離直到前、左、右人像都一樣大為止。
- D.甲方面對角錐，其影像經由三個架設好的鏡頭接收。乙方只需在 android 平板或手機下載 tinyCam monitor app 並用前述方法加入四手機(輸入前、左、右三手機之 IP address)，直接用平板投影或是某些支援 MHL 的手機可接上支援 MHL 的螢幕，或用 VGA 轉 MHL 的線材接上舊型螢幕，即可在角錐中見到甲方的即時動態浮空影像，反之亦然。

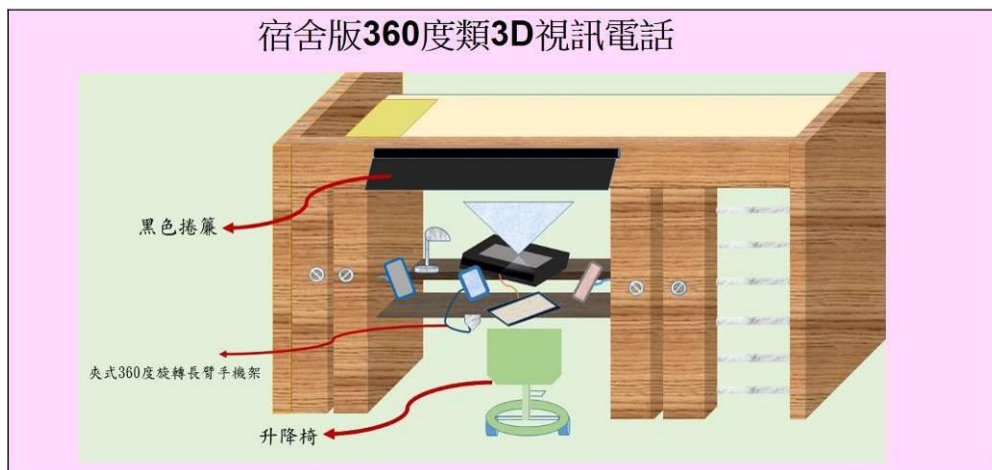


(3)討論：

- A. 資訊爆炸時代電腦淘汰很快，閒置不用的舊螢幕可拿來利用，十分環保，若朝上投影時可將立架拆掉或折疊以保持水平。但此次使用的 viewsonicVA721 17 吋 TFT 螢幕之最大解析度 1280x1024、對比 450:1、亮度 300cd/m²、反應時間 25ms，與 samsung tab S10.5 的高解析度、高對比度的 S-AMOLED 螢幕比起來，投影畫質較差，但作為視訊電話已經足夠，大螢幕配大角錐視野寬闊立體，好像想念的人就在眼前。
- B. 發現在 WIFI 訊號愈弱的房間內，視訊延遲(lag)愈嚴重。由於同時需要傳輸四台手機的錄影畫面，頻寬不足時亦會有 lag 情形，使用光纖網路效果更流暢。
- C. 關燈時投影不會受光線干擾，但臉部光線不足，影響鏡頭拍攝。若加上一個對著臉部照射的光源即可改善此問題，亦可利用貼膜改善強光下的成像情形。

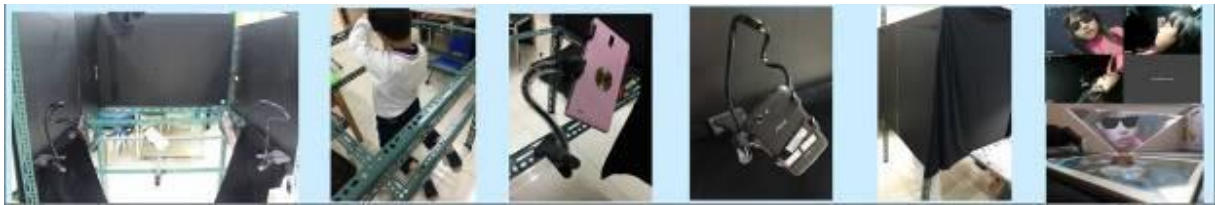
4、宿舍床組版 360 度類 3D 視訊電話：

(1)設計圖及設計細節：



綜合以上實驗遭遇的問題，我們設計出以下的類 3D 視訊電話床架組，並用角鋼架設大型模型來模擬：

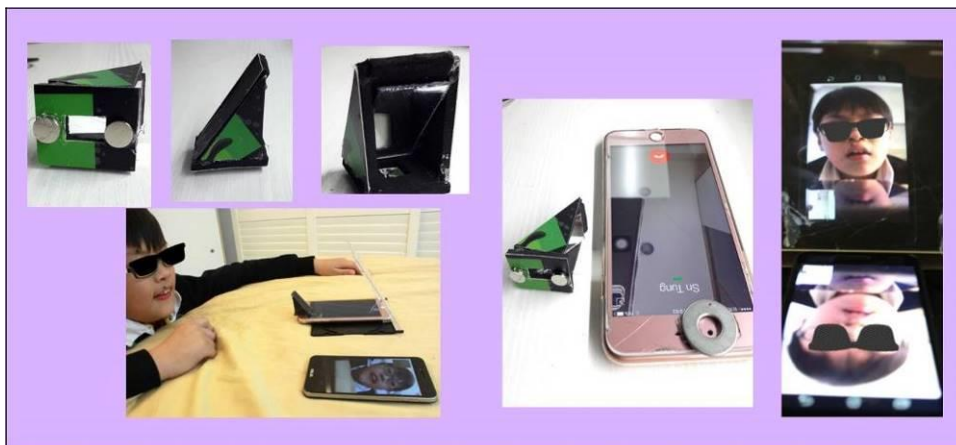
- A. 床下櫃體及書桌深度需小於床的深度，床緣設計一個黑絨布的羅馬簾，用來遮光，羅馬簾放下時形成一個私密且較暗的空間，可避免光線干擾投影效果，但需要開一盞檯燈對著講電話者照射，以提供講話者臉上有足夠的光線反射以供手機鏡頭足夠的光源可以清晰地拍攝講者。
- B. 利用夾式 360 度旋轉長臂手機架夾在桌緣、層板或其他金屬支架，可方便調整三隻拍攝用手機與講者的距離，也方便旋轉 45 度拍攝。



C. 實驗過程中，當我們嘗試於外部 wifi 或 4D 連線進來時發現沒辦法看到影像。於是我們打電話給 seednet 電信業者及華碩伺服器客服，也上網查 IP camera 的設定方法，了解問題出在於沒有申請固定 IP，於是先跟 seednet 申請固定 IP，然後在伺服器中設定 PPPOE 連線及 port forwarding，在 Tincam monitor pro 中更改 IP 設定為外部 IP 位置及其連接埠，終於克服了此一問題，成功看到影像。



5、攜帶版拐角鏡式 180 度類 3D 視訊電話：



伍、結論

- 一、45 度的四角錐製作方便，且觀看角度適合一般大眾，但 30 度角錐可以應用在需由上而下俯視的情況，例如大型演唱會投影給上排座位的觀眾看，而 60 度角錐則適合身高較矮的兒童由下而上仰視。
- 二、三角錐製作不易，影片製作也較困難；四角錐製作容易，影片製作也很方便，前後左右的視角符合大眾觀賞習慣，更容易感受其立體感；五角錐的製作最困難，影片製作也因排版角度計算不易而更困難，故以四角錐為製作首選。
- 三、我們發現玻璃愈厚，重影就愈嚴重，而不同厚度的玻璃投影出的影像對比度相差不大。
- 四、基本上 0.1mm、0.3mm、0.5mm 三種厚度 PVC 都無重影，選擇重點在於平整度。
- 五、和玻璃一樣，壓克力厚度愈厚，重影就愈嚴重。厚度較厚的壓克力，似乎投影影像對比度較低，但沒有很大的差別。1mm 壓克力有很輕微的重影，但對比度不錯。
- 六、黑半透明壓克力無重影，而且投影清晰度很高，但虛幻度稍低。推測黑半透明壓克力沒有重影的原因是因為製作是以顏料加入染色而成，會將光線吸收，所以幾乎沒有光線到達第二面，所以沒有重影。
- 七、8mm 厚度的任何材質，重影皆很嚴重。使用半反射玻璃時，若反射面是金屬鍍膜面，大部分光線被反射回來，導致到達第二面的光線很少，因此無重影；如果反射面為非鍍膜面，則光線到達第二面進行第二次反射，因而產生重影。半反射玻璃反射率高，因此影像對比度高，但也因此減少光線穿透而失去虛擬感，而且因為反射率太高造成影像過亮而看不到細節。
- 八、螢幕亮度愈亮，影像對比度愈高，清晰度愈佳。螢幕對比度愈高，影像對比度也愈高，視覺效果較佳，但影響程度不如亮度大。藍光濾波量愈高，影像對比度愈低，色彩較不鮮豔且偏黃，可推測螢幕發出的光線中藍光的部分可讓影像更鮮明亮麗。環境亮度愈高，影像對比度愈低，當環境亮度高於螢幕亮度時，影像就會看不太到。
- 九、基本上有貼膜的梯形角錐在強光下的成像結果明顯優於未貼膜的，反射率最高的 K14 隔熱紙影像清晰度最高，但因為透光度過低，但因此也少了虛幻浮空的感覺。三種隔熱紙的投影效果以 V 30 最佳，我們後來找到的 V-cool V40 隔熱紙，其透光度(42.8%) 更高且與 V30 具有相同反射率(12%)，因此擬真感更佳。若能把後方舞台燈光及螢幕投影源亮度調到更高，則可克服高反射隔熱紙透光度不足的限制，而有更好強光下影像清晰度。
- 十、我設計的虛實互動浮空投影器，利用易取得且輕便的材料(飛機木及 PVC 片)，簡易的

- 方法(白膠及保力龍膠)來製作，且應用範圍廣、效果佳，可將系統放大應用於教室中。
- 十一、我們的類 3D 視訊電話巧妙利用閒置淘汰的舊手機及舊螢幕，非常環保，與床組融為一體，美觀不佔空間，且保有隱私。
- 十二、我研究出的 IP 攝像頭 app 搭配 tinyCam monitor 軟體可應用於居家安全、老人小孩看護監控使用，讓舊手機有了新生命。

陸、討論與建議

- 一、保特瓶浮空投影器一分鐘即可完成，可用於年紀較小孩童體驗浮空投影之奧妙。
- 二、我們發現全新 PVC 片製作的角錐完全無重影，輕便可折疊但耐磨度不高，**適合製作攜帶型投影器**。但因為五金行的 PVC 片是整卷賣的，有弧度在，所以做出來的角錐投影面有弧度，造成影像變形(變長和變短)。小型投影器可使用書局或影印裝訂店販賣 A4 規格的 0.2mm 或 0.25mm 裝訂用 PVC 膠片製作，較大型投影器可選擇美術社販賣韌度適中的 0.25mmPVC，加框支撐攤平，效果非常良好。
- 三、相較於玻璃，1mm 壓克力好切好黏；相較於 PVC 片，壓克力製作金字塔平整穩定，不易變形，耐用度較 PVC 片高，**非常適合至作家用投影器**。
- 四、玻璃切割不易，非專業者不易黏合，易破損且重，但非常耐磨。適當反射率及透光度的半反射半穿透玻璃，不但影像清晰且可免去貼膜的步驟，**非常適合製作商用投影器**。
- 五、利用我設計的**虛實互動浮空投影器原理**，製作較大型投影架，搭配投影機及教室燈光調控，即可將系統放大於教室中應用。自然課時讓自然老師或同學融入教學的場景中(海底、水塘內、太空中)，可讓我們同學們身歷其境，學習興致更高昂；美術課同學的人偶作品也可搭配自己設計的類 3D 場景來表演。
- 六、**類 3D 視訊電話**之討論與建議：
- (一)座椅需使用升降椅，以配合各種身高的人。
- (二)每一廠牌的手機相機焦距略有不同，因此左右兩台手機與視訊者的距離必須調整至左右兩邊影像大小接近，使用夾式 360 度旋轉長臂手機架夾可自由調整距離及角度。
- (三)角錐可考慮貼上 V40 隔熱紙，如此在強光下亦可有滿意的投影效果。若可大量向工廠訂製用 1mm 光學玻璃製作，加上七彩閃爍 LED 燈泡底座，不投影時可做擺飾用途。
- (四)可考慮用系統家具製作，方便自由調整桌上書架層板的高度及尺寸來擺放投影螢幕及四角錐，層板也可挖洞嵌入螢幕，設計成隱藏式，壁板上可鎖上五金配件來固定夾式長臂手機架。

七、經過長時間對浮空投影技術的研究之後，我們發現這是個原理簡單、新奇有趣，卻被廠商及媒體過度包裝的主題。我們的實驗發現，其實少少預算也能做出類似廠商販賣的昂貴浮空投影器及令人驚艷的舞台表演效果，且應用範圍十分廣泛，例如：

舞台表演	教育資料庫	文物保存	商業	自然科教學	社會科教學
類 3D 布袋戲	類 3D 資料庫：貝殼、昆蟲、魚類、鳥類	古董、故宮國寶、遺蹟、化石	類 3D 型錄	月相變化、八大行星、3D 人體解剖學(利用顯示器驅動程式克服鏡像問題)	Google earth 世界 3D 城市地圖 (利用顯示器驅動程式克服鏡像問題)

柒、參考資料

- 一、自然與生活科技 4 上。臺南市：翰林出版。
- 二、科學實驗王(3)光的折射與反射。臺北市：三采文化。
- 三、Pepper's ghost-Wikipedia。 https://en.wikipedia.org/wiki/Pepper%27s_ghost
- 四、[科學魔術秀]奇幻立體掌中影-手機玩立體投影 @ Penny 玩科學 痞客邦 PIXNET 。
<http://ntut324.pixnet.net/blog/post/370514743>
- 五、成語賽恩思-鏡花水月 - YouTube 。
<https://www.youtube.com/watch?v=kq1PxTwI458&feature=youtu.be>。
- 六、手工製作 3D 全像投影技術,把初音立體化 (DIY 過程) -Youtube 。
<https://www.youtube.com/watch?v=h92vvv3ms5M>
- 七、嵐鷹實況台- MMD 教學-Youtube 。 https://www.youtube.com/watch?v=4Eb_J8BeTQI
- 八、親和資訊解決方案 色彩對比分析程式 http://ais.z6i.org/web/resources/contrast_analyser/
- 九、Unity 縱向射擊遊戲製作-CG 數位學習網
<http://www.cg.com.tw/Unity/SpaceShooter/index.asp>
- 十、Mixamo 3D 資料庫 <https://www.mixamo.com/store/#/>
- 十一、電視布袋戲偶-內體安裝教程
<http://card.weibo.com/article/h5/s#cid=1001603785289964349423&vid=&extparam=&from=&wm=0&ip=61.30.127.2>

【評語】 080813

該研究探討自製浮空投影產品，在不同製作條件下獲得清晰度良好之 3D 影像，同時應用於 3D 視訊通話，具未來實用化之可能，一人獨立研究成果豐碩，實屬難能可貴。