



經濟部標準檢驗局 101 年度執行報告

影像顯示產業標準與檢測規範推展計畫(2/4)

(第二年度)

全程計畫：自 100 年 4 月至 103 年 12 月止

本年度計畫：自 101 年 2 月至 101 年 12 月止

委託單位：經濟部標準檢驗局

執行單位：工業技術研究院

中華民國 101 年 12 月

【期末報告摘要資料】

科資中心編號				
計畫中文名稱	影像顯示產業標準與檢測規範推展計畫(2/4)			
主管機關	經濟部標準檢驗局	計畫編號	101-1403-05-05-08	
執行機構	財團法人工業技術研究院	審議編號	101-1403-05-05-08	
年度	101	全程期間	10004-10312	
本期經費	15,520 仟元			
執行單位出資	0 %			
經濟部標準檢驗局委託	100 %			
執行進度		預定進度	實際進度	落後比率(比較)
	當年	100 %	100 %	0 %
	全程	50 %	50 %	0 %
經費支用		預定支用經費	實際支用經費	支用比率
	當年	15,520 仟元	15,520 仟元	100.0%
	全程	67,540 仟元	36,500 仟元	54.0%
中文關鍵詞	平面顯示器、液晶顯示器、電子紙、人因實驗、3D 顯示器、軟性顯示器、彩色電子紙能耗檢測			
英文關鍵詞	Flat Panel Display、Liquid Crystal Display、E-paper Display、3D Display、Flexible Display、Energy Consumption Test of Color E-paper			
研究人員	中文姓名		英文姓名	
	林增耀		Tzeng-Yow Lin	
	溫博浚		Bor-Jiunn Wen	
	陳士芳		Shih-Fang Chen	
	彭保仁		Bao-Jen Pong	
研究成果中文摘要	<p>一、電子紙顯示器關鍵參數量測標準研究分項：完成彩色電子紙顯示器能耗量測技術研究、彩色電子紙色彩參數量測技術研究、電子紙關鍵參數量測建議草案研擬與推動：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 完成彩色電子紙能耗量測之參考測試圖樣研究 2. 完成彩色電子紙能耗特性量測與分析 3. 完成建立彩色電子紙能耗量測方法及量測程序 4. 完成多角度環境光源的影像式灰階色彩色差參數量測技術建立 5. 完成多角度環境光源的影像式灰階色彩色差與色域面積之時間衰減分析 <p>二、3D 顯示新技術人因關鍵參數量測標準研究分項：完成戴眼鏡式/裸眼式立體顯示器之人因關鍵參數量測技術研究、立體顯示器</p>			

	<p>關鍵參數量測草案研擬：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 完成戴眼鏡式立體顯示器之影像式量測校正程序建立 2. 完成戴眼鏡式立體顯示器之雙眼像差量測程序建立 3. 完成立體顯示器心律變異度量測機制建立 4. 完成立體顯示器心律變異度與觀看疲勞度相關性建置 5. 完成立體顯示器雙眼像差與疲勞相關性建置 6. 完成裸眼式 3D 顯示器關鍵技術(View Angle)先期研究
英文摘要	<ol style="list-style-type: none"> 1. Complete the research of test patterns for energy consumption measurement of color E-paper. 2. Complete the measurement and analysis of energy consumption for color E-paper. 3. Complete the establishment of measuring method and procedure of energy consumption for color E-paper. 4. Complete the establishment of the image measurement technic for color gray-level parameters and the color-gamut parameters of E-paper based on a multiangle environment light source. 5. Complete the time-decay analysis of color gray-level parameters and the color-gamut parameters of E-paper based on a multiangle environment light source by using a image measurement technic. 6. Accomplish the calibration procedure of 2D colorimeter for the luminance testing of stereoscopic 3D display. 7. Accomplish the disparity test procedure of stereoscopic 3D display. 8. Accomplish the heart rate variability(HRV) test procedure of 3D display. 9. Accomplish the study of HRV and eye fatigue relationship of 3D display. 10. Accomplish the study of disparity and eye fatigue relationship of 3D display. 11. Accomplish the preliminary study of view angle tesing of autostereoscopic 3D display.
報告頁數	184 頁
使用語言	中文
全文處理方式	可對外提供參考

報 告 內 容

目 錄

壹、101 年度重要活動.....	1
貳、前 言.....	4
參、計畫變更說明.....	7
肆、執行績效檢討.....	8
一、計畫達成情形.....	8
二、資源運用情形.....	17
伍、成果說明與檢討.....	22
一、電子紙顯示器關鍵參數量測標準研究分項.....	22
二、3D 顯示新技術人因關鍵參數量測標準研究分項.....	68
環境照度之人因實驗結論.....	108
三、標準規範推展.....	118
三、成果與推廣.....	120
陸、結論與建議.....	124
一、電子紙顯示器關鍵參數量測標準研究分項.....	124
二、3D 顯示新技術人因關鍵參數量測標準研究分項.....	126
柒、附件.....	128
一、新台幣 5 百萬元以上(含)之儀器設備清單.....	128
二、國外出差人員一覽表.....	129
三、專利成果統計一覽表.....	131
四、論文一覽表.....	132
五、研究報告一覽表.....	134
六、研討會/成果發表會/說明會一覽表.....	135
七、中英文對照表.....	136
八、研究成果統計表.....	138
九、參考文獻索引.....	139
十、委員意見彙整.....	141
十一、3D 顯示疲勞度人因實驗報告摘錄.....	148

圖 目 錄

圖 1-1：彩色電子紙顯示器之能耗特性量測架構示意圖.....	23
圖 1-2：彩色電子紙顯示器之能耗特性量測架構實體.....	24
圖 1-3：彩色電子紙顯示器之能耗量測參考測試圖樣.....	27
圖 1-4：包含灰階畫面之彩色電子紙能耗量測參考測試圖樣.....	27
圖 1-5：各款彩色電子書完成能耗量測電路製作之實體照片.....	28
圖 1-6：Broadcast Video Signals 動態影片之煙火秀畫面 (黑畫面為主)....	35
圖 1-7：Internet Video Signals 動態影片之瀏覽網頁畫面 (白畫面為主)....	35
圖 1-8：光源穩定性分析.....	42
圖 1-9：電子紙光學檢測平台量測機構圖.....	43
圖 1-10：20°、45°與 75°之入射角照光之(a)量測架構圖和(b)量測結果圖	43
圖 1-11：電子紙光學檢測平台量測穩定性架構圖.....	44
圖 1-12：RGB 三個 Pattern 的各四等階色彩圖設計.....	47
圖 1-13：Fujitsu 電子紙多角度環境光源之色差量測結果.....	48
圖 1-14：Fujitsu 電子紙 Defusing 入射/ 8°接收之色域面積量測結果.....	49
圖 1-15：Fujitsu 電子紙 20°入射/ 0°接收之色域面積量測結果.....	49
圖 1-16：Fujitsu 電子紙 45°入射/ 0°接收之色域面積量測結果.....	50
圖 1-17：Fujitsu 電子紙 75°入射/ 0°接收之色域面積量測結果.....	50
圖 1-18：Fujitsu 電子紙多角度環境光源之色域面積與時間衰減結果.....	51
圖 1-19：Mirasol 電子紙多角度環境光源之色差量測結果.....	52
圖 1-20：Mirasol 電子紙 Defusing 入射/ 8°接收之色域面積量測結果.....	53
圖 1-21：Mirasol 電子紙 20°入射/ 0°接收之色域面積量測結果.....	53
圖 1-22：Mirasol 電子紙 45°入射/ 0°接收之色域面積量測結果.....	54
圖 1-23：Mirasol 電子紙 75°入射/ 0°接收之色域面積量測結果.....	54
圖 1-24：Mirasol 電子紙多角度環境光源之色域面積與時間衰減結果.....	55
圖 1-25：E-ink 電子紙多角度環境光源之色差量測結果.....	56
圖 1-26：E-ink 電子紙 Defusing 入射/ 8°接收之色域面積量測結果.....	57
圖 1-27：E-ink 電子紙 20°入射/ 0°接收之色域面積量測結果.....	57
圖 1-28：E-ink 電子紙 45°入射/ 0°接收之色域面積量測結果.....	58
圖 1-29：E-ink 電子紙 75°入射/ 0°接收之色域面積量測結果.....	58

圖 1- 30 : E-ink 電子紙多角度環境光源之色域面積與時間衰減結果.....	59
圖 2- 1 : 2012-2018 年全球 3D 立體影像產品市場量發展.....	69
圖 2- 2 : 雙眼像差所產生之內凹立體深度示意圖.....	70
圖 2- 3 : 雙眼像差所產生之外凸立體深度示意圖.....	71
圖 2- 4 : DS 與變化量的關係.....	72
圖 2- 5 : 左到右分別為水平、垂直及縮放位移.....	72
圖 2- 6 : 量測示意圖.....	73
圖 2- 7 : 方塊邊界搜尋法.....	74
圖 2- 8 : 方塊大小及位移量在三種像差的相對位置示意圖.....	76
圖 2- 9 : 水平像差量測圖之一.....	79
圖 2- 10 : 心律變異分析程式畫面.....	88
圖 2- 11 : 心電圖與 R-R Interval.....	89
圖 2- 12 : 雙視鏡系統.....	90
圖 2- 13 : 隨機點所組合而成的正弦波.....	91
圖 2- 14 : 像差計算公式.....	91
圖 2- 15 : 立體深度閾值實驗結果.....	93
圖 2- 16 : Banks 的研究結果 (摘錄自 Banks 等學者(2008)).....	94
圖 2- 17 : 三組頻率的像差閾值及以三組平均取 75%正確率所得閾值.....	95
圖 2- 18 : 立體深度疲勞實驗之實驗流程.....	97
圖 2- 19 : 不同距離、角度之位置分布示意圖.....	100
圖 2- 20 : LG 立體顯示器之不同距離、角度深度閾值.....	102
圖 2- 21 : 立體顯示器之不同距離、角度深度閾值分布狀態.....	103
圖 2- 22 : Sharp 立體顯示器之不同距離、角度深度閾值.....	103
圖 2- 23 : Sharp 立體顯示器之不同距離、角度深度閾值分布狀態.....	104
圖 2- 24 : Panasonic 立體顯示器之不同距離、角度深度閾值.....	105
圖 2- 25 : Panasonic 立體顯示器之不同距離、角度深度閾值分布狀態.....	106
圖 2- 26 : 三台立體顯示器在近端的深度閾值.....	107
圖 2- 27 : 三台立體顯示器在遠端的深度閾值.....	107
圖 2- 28 : HTC 3D 手機.....	112
圖 2- 29 : Toshiba 3D 筆記型電腦.....	112
圖 2- 30 : SONY 3D 錄影機.....	113

圖 2-31：顯示器中心點，各個視角的亮度分布	113
圖 2-32：顯示器中心點，各個角度的光串擾分布	114

表 目 錄

表 1-1：彩色電子紙能耗量測架構之參數 Default 設定值	24
表 1-2：DCV 及 DCI 之校正修正值 (取樣量測時間：10 秒)	25
表 1-3：各款彩色以及灰階電子書之靜態顯示能耗特性分析資料表	29
表 1-4：彩色 LCD 平板電子書(BenQ R70)之動態顯示能耗量測結果	33
表 1-5：AMOLED 彩色電子書(Samsung Galaxy)動態顯示能耗量測結果	34
表 1-6：彩色電子紙顯示器(Mirasol)之動態顯示能耗量測結果	36
表 1-7：20°、45°與 75°之入射角光源照射亮度均勻性量測結果	44
表 1-8：電子紙光學檢測平台量測穩定性分析	45
表 1-9：四等階色彩圖樣之 sRGB 訊號值表	47
表 2-1：水平像差	77
表 2-2：垂直像差	77
表 2-3：縮放像差之水平方向	78
表 2-4：縮放像差之垂直方向	78
表 2-5：水平像差之位移及位移誤差	80
表 2-6：垂直像差之位移誤差	80
表 2-7：縮放像差(水平方向)之縮放誤差	81
表 2-8：縮放像差(垂直方向)之縮放誤差	81
表 2-9：水平像差之深度誤差	81
表 2-10：主觀疲勞問卷	85
表 2-11：Cronbach's Alpha 總信度摘要	86
表 2-12：Cronbach's Alpha 項目刪除摘要	86
表 2-13：立體深度閾值詳細數值	93
表 2-14：不同的像差的深度閾值數據	95
表 2-15：兩組閾值回答實驗刺激準確率	97

表 2- 16：主觀疲勞問卷的疲勞數值	98
表 2- 17：頻閃儀的疲勞數值	98
表 2- 18：心跳變異率的疲勞數值	99
表 2- 19：三台顯示器的規格	99
表 2- 20：不同像差在近端與遠端的視角數值	101
表 2- 21：LG 立體顯示器實驗刺激像差在不同距離之統計分析	102
表 2- 22：LG 立體顯示器之不同距離、角度深度閾值詳細數值	103
表 2- 23：Sharp 立體顯示器實驗刺激像差在不同距離之統計分析	104
表 2- 24：Sharp 立體顯示器之不同距離、角度深度閾值詳細數值	104
表 2- 25：Panasonic 立體顯示器實驗刺激像差在不同距離之統計分析	105
表 2- 26：Panasonic 立體顯示器之不同距離、角度深度閾值詳細數值	106
表 2- 27 多變量分析統計總表	109
表 2- 28 自陳問卷與其他疲勞指標間的相關總表	110
表 2- 29 HRV 增加量百分比	110
表 2- 30 裸眼式 3D 顯示器比較表	111

壹、101 年度重要活動

日期	活動內容簡述
101.02.09	簽約完成，本計畫開始執行。
101.02.16	提出 SEMI 電子紙標準草案(#4999)「Test Methods for Optical Properties of Electronic Paper Displays」，進行 SEMI 全球 2012 Cycle 1 之投票。
101.02.17	拜訪高通顯示器公司與討論電子紙量測議題，並邀請至 SEMI 電子紙量測標準工作小組來討論電子紙量測標準。
101.03.01	溫博浚博士至淡江大學機械與機電工程學系演講軟性顯示器之可撓特性量測研究，以促進與學術界量測技術之交流。
101.03.12	拜訪振曜科技公司討論電子紙量測議題，振曜研發部王正宇經理接受邀請，將代表參加 SEMI e-Paper Displays TF，共同討論電子紙相關的量測標準。
101.04.16	參加 2012 國際創新設計研討會並發表與雲科大工科所合作的論文：「The Research of Visual Performance with Color Electronic-paper Display」，該論文更榮獲大會最佳論文獎。
101.04.30	中國計量院于亞東副院長參訪量測中心，並特地參觀電子紙顯示器與 3D 顯示等量測實驗室，藉此瞭解顯示器相關的量測技術並交流可能的合作議題。
101.05.24	SEMI TC 會議表決通過電子紙量測標準工作小組之新 SNARF 提案，SNARF 名稱為：「Test Methods for Color Properties of Electronic Paper Displays」。
101.05.29	電子紙標準草案(#4999A)「Test Methods for Optical Properties of Electronic Paper Displays」經全球投票通過，並完成 SEMI Taiwan FPD TC Ballot Review 以及 ISC A&R SC Procedural Review 之後，即正式成為全球第一份電子紙顯示器光學特性量測方法的國際標準，文件編號為 D68-0512。
101.06.04 ~06.07	於 SID International Symposium 2012 國際會議上發表 3D 論文兩篇，”眼鏡式 3D 顯示器之時間特性比較”及”立體顯示器之視覺疲勞量測”，計畫主持人彭保仁博士並受邀擔任 SID 議程委員會委員之一，並擔任應用子委會的亞洲區代表。
101.06.26	於 3D System and Application 國際會議上發表”立體影像之像差感知閾值探討”。

日期	活動內容簡述
101.08.29	舉辦「2012 國際 FPD 標準與技術研討會」，透過該研討會讓與會者能更加瞭解 FPD 國際標準制定的現況與相關內容(包含電子紙光學特性量測標準、以及觸控面板量測標準)。同時，該研討會也特地邀請日本山形大學的 Furukawa 教授，介紹 OLED 等軟性顯示器的最新技術發展，藉此促進軟性顯示相關產業的技術交流。
101.08.29~08.31	參加於台北南港展覽館舉辦「2012 Touch Taiwan 展覽」並展示電子紙能耗量測系統與軟性顯示器可撓特性檢測平台。
101.09.05	計畫主持人林增耀博士於 9 月 5 日獲 SEMI 國際標準委員會頒發「Karel Urbanek 卓越貢獻獎」(The Karel Urbanek Award)，肯定其在平面顯示器相關的新標準制訂及旗下七個工作小組於 3D 顯示、觸控面板、電子紙等新顯示媒材進行相關標準研擬與推動之貢獻。
101.09.05~09.09	赴日本東京參加 2012 ICFPE 國際研討會並且完成論文發表：「Precise Measuring Method for Energy Consumption of Flexible Electronic Paper Displays」，同時藉此蒐集軟性顯示器國際最新技術發展趨勢，並與國際學者專家針對軟性顯示器的相關量測技術作意見交流。
101.09.06~09.09	參加於湖南長沙舉辦之「第九屆海峽兩岸信息產業和技術標準論壇」，完成 3D 顯示器件之立體顯示器件術語和定義、立體顯示器件術語對照表與眼鏡式立體顯示器件光學參數量測方法 I 等 3 項兩岸共通標準簽署。
101.09.12	與 SEMI Japan 之 e-Paper TF Leader Mr. Shibahara 交流討論「Color Gamut Evaluation for e-Paper Display」的技術內容。
101.10.17	舉辦「新興顯示產業標準論壇」，各專家針對新興顯示器(如：OLED、軟性顯示器)的研發現況與未來應用趨勢作深入討論。參與論壇的專家包括友達光電張凱傑經理、元太科技辛哲宏處長、中華映管黃彥餘處長、緯創資通胡堂祥經理、波色科技王科順總經理、國立交通大學鄭晃忠教授、國立清華大學周卓輝教授、以及工研院量測中心林增耀副主任。此外，該論壇發表之相關資訊亦刊登於 10/18 日工商時報 A23 版上。
101.11.08~11.11	至台北圓山飯店參加 2012 ISEM-ACEM-SEM-7th ISEM'12-Taipei 研討會並完成論文發表：「Retardation

日期	活動內容簡述
	Measurements With Large Area on a Flexible Indium Tin Oxide Film for Repeating Bending Test」，並與專家學者們探討市場最新的量測技術。
101.11.21	SEMI 3D 計量量測標準工作小組會議，討論 D4765 被動眼鏡式標準草案國際投票的意見回覆。

貳、前言

科技的進步大幅地改變人們的生活，從無聲到有聲，黑白到彩色，厚重到輕薄，影像顯示器在好還要更好的理念下，一路走上不斷求新求變的路上去。為了滿足人類對自然視覺重現的追求，世界先進國家已競相投入相關前瞻的研發。

影像顯示產業為我國發展的重點產業之一，經過多年「國家發展重點計畫」的推動，目前台灣成為全球第二大顯示器供應國，尤其是筆記型電腦、液晶監視器及個人手機的面板供應上，更扮演著舉足輕重的地位；隨者液晶電視、個人手機的銷售快速成長及中國市場的興起，預期我國在影像顯示面板的供應量上，亦將持續攀高。

此外，前瞻影像顯示器產業，由於技術的突破，包括高畫質輕薄電視、3D 顯示應用產品、電子書、手機與大型戶外看板等等的多元應用開發，除將會帶動產業層次不斷提升外，也帶動整體顯示產業供應鏈的變革。

儘管我國面板產量在國際間佔有舉足輕重的地位，具有一定的主導力量，但在相關規格制定上仍以美日強國所主導，且部分新興顯示器的重要標準，在國際間仍懸而未決。依照產業發展脈絡，在整個產業價值鏈中，規格訂定者方能獲得最優渥利益。隨著我國 FPD 產業地位的提升，台灣愈來愈可能率先遇到新的標準需求，介入甚至主導的機會增加。

另一方面，國內各面板廠商為掌握關鍵性零組件/材料之貨源的穩定，已逐漸將彩色濾光片、背光模組等由外購改為內製，以期能更快速的反應市場需求、確保產品質的穩定並降低成本。國外廠商在業界製程研發時，即同時進行設備與量測儀器之開發，使製程與檢測結合，容易壟斷檢測儀器之佔有率，迫使國內廠商僅遵循國際大廠規範。

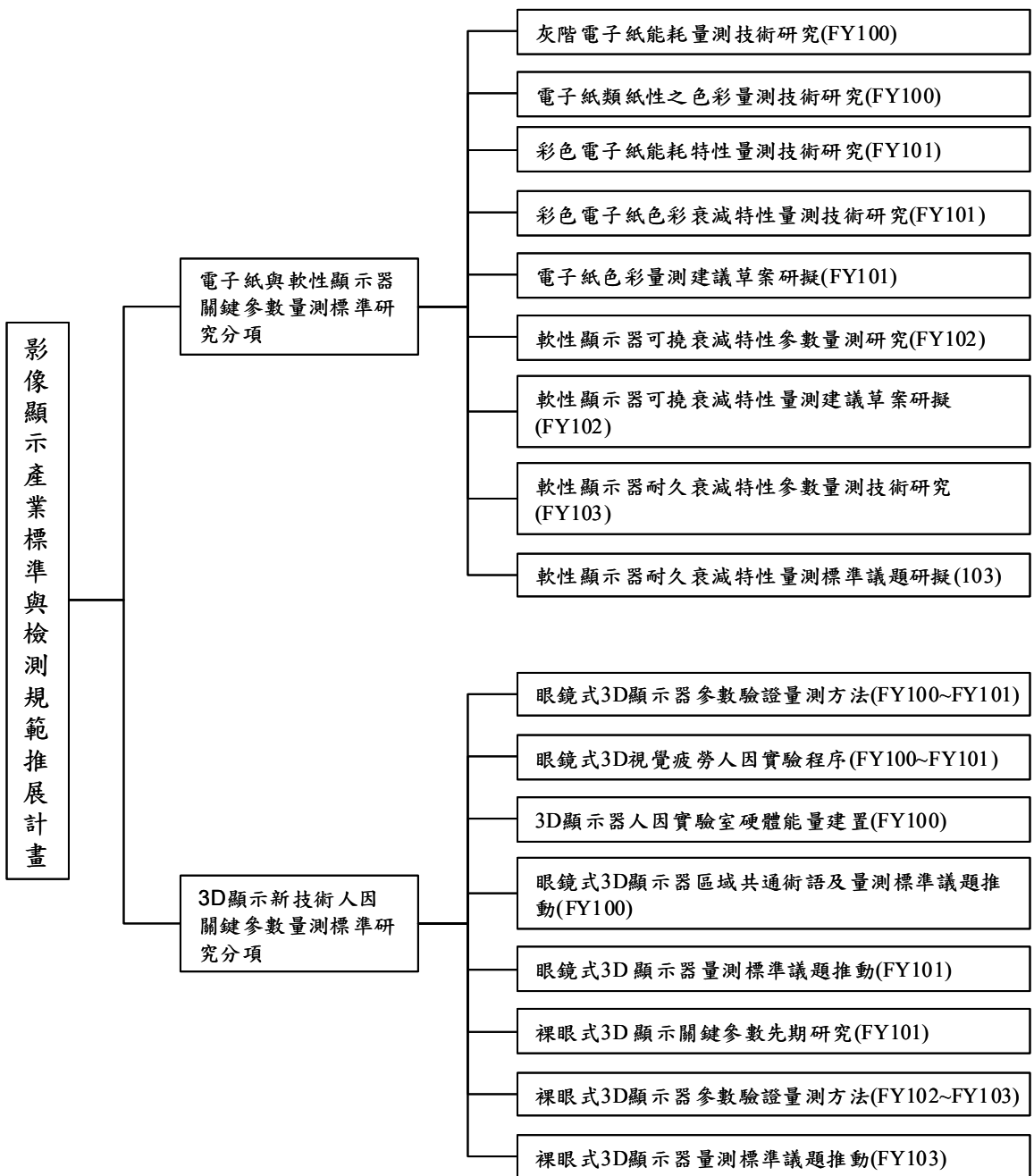
目前國際上參與影像顯示器標準化主要機構有十數個，如美國的 VESA、IEEE、NIST，日本的 JEITA，歐盟 adria，國際性組織則有

ISO/IEC、SEMI、SID 等。大致上，美國挾其廣大消費人口與政經勢力，在標準化活動上仍具舉足輕重地位；東北亞日本、韓國與台灣擁有研發製造能力優勢，而中國大陸龐大的潛在市場更不容忽視。在亞洲，日本對於顯示器標準可說最為積極，目前 SEMI 已有的顯示器標準幾乎都產自日本，韓國在 SEMI 架構下也有一個 Materials & Components 的 Working Group 在運作，然而在我國，已經是一個顯示器生產大國，但對於標準的重視與日、韓或歐、美都還有差距。如何將台灣研究製造優勢及對華人世界的影響力，轉化成國際標準制訂的影響力，實在刻不容緩。

本計畫針對 3D 顯示、電子紙、軟性顯示等新興顯示器技術發展迫切議題，規劃制定相關標準技術的發展，及展開國際/區域的標準推展合作的活動。計畫目標為(1)研發 3D 顯示、電子紙、軟性顯示等產業所需之核心計量技術。(2)建置產業技術標準化核心業務能力。(3)推動重點產業技術標準為國際/區域標準化組織採納。(4)長期經營與國際/區域標準組織策略合作關係。計畫內容包含：

(一)、電子紙顯示器關鍵參數量測標準研究：進行電子紙能耗檢測標準、電子紙的顯示色域面積與色差分析等色彩定義與量測標準研究，及研擬相關標準規範草案與推展。

(二)、3D 顯示新技術人因關鍵參數量測標準研究：進行眼鏡式/裸眼式立體顯示器關鍵參數驗證、視覺與人因研究、人因實驗方法建置與驗證及標準草案研擬等。本計畫研發架構如下：



參、計畫變更說明

1. 因截至 9 月，電子紙顯示器分項獲證美國專利、大陸專利及中華民國共 4 件，所需費用已超出計畫書原編列之資本門預算，乃於原核定計畫經費內報局辦理經資門經費變更，已獲局核定同意變更，核定文號 101.10.3 經標四字第 10100129140 號函。
2. 本計畫原 3D 立體顯示分項主持人賴岳益博士於 6 月底離職，及協同主持人簡育德先生於今年 8 月底退休，乃函文報局申請 3D 立體顯示分項主持人改由彭保仁博士擔任，及協同主持人改由溫博浚博士擔任，均已獲局回函同意。

肆、執行績效檢討

一、計畫達成情形

(一)進度與計畫符合情形

——預期進度實際進度

進度 工作項目	月份	FY101											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
一. 電子紙顯示器關鍵參數量測標準研究分項													
A.彩色電子紙能耗量測技術研究 <ul style="list-style-type: none"> 彩色電子紙能耗量測之參考測試圖樣研究 彩色電子紙能耗特性量測與分析 建立彩色電子紙能耗量測方法及量測程序 													
B.彩色電子紙色彩衰減特性量測技術研究 <ul style="list-style-type: none"> 多角度環境光源的影像式灰階色彩色差參數量測技術建立 多角度環境光源的影像式灰階色彩色差與色域面積之時間衰減分析 													
二. 顯示新技術人因關鍵參數量測標準研究分項													
C.戴眼鏡式立體顯示器像差量測系統 <ul style="list-style-type: none"> 影像式量測校正程序建立 雙眼像差量測程序建立 													
D.視覺疲勞度生理指標量測系統 <ul style="list-style-type: none"> 心律變異度量測機制建立 心律變異度與觀看疲勞度相關性建置 													
E.裸眼式 3D 顯示器關鍵技術 (View Angle) 先期研究													
進度百分比 % (依經費之比重計算)													

(二)目標達成情形

目標項目	工作說明	實際執行內容	差異檢討
一、電子紙顯示器關鍵參數量測標準研究分項			
(一) 彩色電子紙能耗量測技術研究			
<ul style="list-style-type: none"> 彩色電子紙能耗量測之參考測試圖樣研究 	<ul style="list-style-type: none"> 完成彩色電子紙能耗量測之參考測試圖樣研究 	<ul style="list-style-type: none"> 參考“IEC 62087”以及“能源之星 5.0 版”標準文件，完成彩色電子紙能耗量測之參考測試圖樣之設計與研究。 採購高通光電開發之全球首款微機電 (MEMS) 結構的彩色電子書產品 (Mirasol 金庸機)。 完成彩色平板電子書產品(BenQ R70) 的拆解及外接式能耗量測電路的製作與量測。 完成彩色電子紙能耗量測之參考測試圖樣的設計與評估。 評估結果：彩色電子紙在能耗量測期間所切換之測試圖樣中，以 7 彩橫條式畫面切換至 7 彩直條式畫面為較佳選擇，因其總共包含有 49 種的色彩轉態切換模式，非常適合於檢測及評估彩色電子紙顯示器的能耗特性。 	<ul style="list-style-type: none"> 無差異
<ul style="list-style-type: none"> 彩色電子紙能耗特性量測與分析 	<ul style="list-style-type: none"> 完成各款彩色電子紙能耗特性量測，並建立能耗特性分析資料庫 	<ul style="list-style-type: none"> 完成將 Fluke 5520A Calibrator 送 NML 作電壓(5 V)與電流(10 mA, 1 A)輸出值的校正，以利於能耗量測程式之量測結果修正。 完成彩色 LCD 平板電子書產品(BenQ R70)的能耗特性量測。 完成彩色膽固醇液晶顯示器 (FUJITSU)產品外接式能耗量測電路的製作及能耗特性量測。 完成 Mirasol 彩色電子書產品(金庸機) 外接式能耗量測電路的製作及能耗特性量測。 完成 Samsung AMOLED 彩色電子書產品外接式能耗量測電路的製作及能耗特性量測。 完成以 Sipix 前板所製作之 BenQ 	<ul style="list-style-type: none"> 無差異

目標項目	工作說明	實際執行內容	差異檢討
		<p>nReader 電子書(灰階電子紙顯示器)的能耗特性量測與分析。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 完成上述各款彩色以及灰階電子書產品之能耗特性分析資料庫的數據建立與彙整。 • 完成「反射式電子書閱讀器電池續航力評估方法」研究報告。 	
<ul style="list-style-type: none"> • 建立彩色電子紙能耗量測方法及量測程序 	<ul style="list-style-type: none"> • 完成彩色電子紙能耗量測方法及量測程序的建立, 能耗量測不確定度小於 1 % 	<ul style="list-style-type: none"> • 完成以 IEC 62087 顯示器動態能耗的標準檢測影片進行彩色 LCD 平板電子書(BenQ R70)之動態顯示能耗量測。 • 完成以 IEC 62087 顯示器動態能耗的標準檢測影片進行 Mirasol 彩色電子書產品(金庸機)之動態顯示能耗量測。 • 完成 iPad 彩色電子書產品外接式能耗量測電路的製作及靜態能耗特性量測。 • 完成以 IEC 62087 顯示器動態能耗的標準檢測影片進行 SAMSUNG AMOLED 彩色電子書產品之動態顯示能耗量測。 • 完成以 IEC 62087 顯示器動態能耗的標準檢測影片進行 iPad 彩色電子書產品之動態顯示能耗量測。 • 完成「彩色電子紙顯示器能耗量測技術」研究報告。(技資編號為: 07-3-A1-0194)。 • 完成彩色電子紙顯示器之能耗量測方法及量測程序的建立, 其能耗量測不確定度小於 1 %。 	<ul style="list-style-type: none"> • 無差異
(二)彩色電子紙色彩衰減特性量測技術研究			
<ul style="list-style-type: none"> • 多角度環境光源的影像式灰階色彩色差參數量測技術建立 	<ul style="list-style-type: none"> • 完成多角度(20°、45°、75°)環境光源(D65 光源)的影像式灰階色彩色差參數量測技術建立 	<ul style="list-style-type: none"> • 根據 VESA 2.0 之灰階量測手法, 本研究完成設計出以白色與黑色為上下界之 RGB 三個 Pattern 的各四等階色彩圖。 • 根據設計的 RGB 三個 Pattern 的各四等階色彩圖, 完成 Fujitsu 電子紙的雙 	<ul style="list-style-type: none"> • 無差異

目標項目	工作說明	實際執行內容	差異檢討
		<p>光束 45°入射與 0°接收和 d/8 積分球量測系統之各個色差量測與分析。除此之外，也進一步去探討顯示時間長短之顯示能力分析。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 完成 Fujitsu 電子紙的多角度(20°、45°、75°)環境光源(D65 光源)的影像式 RGB 三個 Pattern 的各四等灰階色彩色差量測技術建立與分析。 • 完成多角度(20°、45°、75°)環境光源(D65 光源)的影像式灰階色彩色差參數量測技術建立。 	
<ul style="list-style-type: none"> • 多角度環境光源的影像式灰階色彩色差與色域面積之時間衰減分析 	<ul style="list-style-type: none"> • 完成多角度(20°、45°、75°)環境光源(D65 光源)的影像式灰階色彩色差與色域面積參數之時間衰減分析 	<ul style="list-style-type: none"> • 根據色彩學與 VESA 2.0 標準之文獻，將採用 CIE 1931 標準色度系統與 CIE 1976 UCS 色度系統來分析電子紙之色域面積的時間衰減分析。 • 開始針對使用 Munsell 標準 24 色卡來分析電子紙之顯色能力。 • 完成使用 d/8 量測幾何與 Munsell 參考色卡來分析 Fujitsu、Mirasol 與 E-ink 電子紙的白度。 • 完成 Fujitsu、Mirasol 與 E-ink 電子紙的多角度(20°、45°、75°)環境光源(D65 光源)的影像式 RGB 三個 Pattern 的各四等灰階色彩色域量測技術建立與並完成分析其灰階色彩色差與色域面積參數之時間衰減特性。 • 完成「彩色電子紙的多角度環境光源之色彩特性的時間衰減分析量測技術研究」研究報告。(技資編號為：073A10248)。 	<ul style="list-style-type: none"> • 無差異
二、3D 顯示新技術人因關鍵參數量測標準研究分項			
(三) 戴眼鏡式立體顯示器像差量測系統			
<ul style="list-style-type: none"> • 影像式量測校正程序建立 	<ul style="list-style-type: none"> • 完成影像式量測校正程序建立，全影像之平均誤差小於 1 pixel 	<ul style="list-style-type: none"> • 建立影像式量測程序，使用高解析彩色 CCD 成為取像設備，開發影像及色彩校正程序。完成影像式量測校正程序建立，全影像之平均誤差小於 1 pixel。 	<ul style="list-style-type: none"> • 無差異

目標項目	工作說明	實際執行內容	差異檢討
• 雙眼像差量測程序建立	• 完成雙眼像差量測程序建立,所得計算之水平像差、垂直像差、與縮放像差均小於 1 pixel	<ul style="list-style-type: none"> • 完成雙眼像差量測程序之設計,目前已完成水平像差之量測結果,其平均誤差 0.73 pixel。 • 建立雙眼像差之影像式量測程序,使用高解析彩色 Camera 為取像設備,開發影像校正程序。已完成變動影像方塊大小像差量測,水平像差、與縮放像差均小於 1 pixel。 	• 無差異
(四) 視覺疲勞度生理指標量測系統			
• 心律變異度量測機制建立	• 完成心律變異度量測機制建立,即時心律取樣率 $\geq 500\text{Hz}$	• 完成心律變異律量測機制建立,使用 Biopac MP150 即時生理訊號偵測儀,並實際進行 100 人次之取樣測試,達到即時心率取樣律 $\geq 500\text{Hz}$ 。	• 無差異
• 心律變異度與觀看疲勞度相關性建置	• 完成心律變異度與觀看疲勞度相關性建置,相關係數需 ≥ 0.8	<ul style="list-style-type: none"> • 設計像差閾值之人因實驗,並以像差閾值為基準,進行像差閾值上下之觀看疲勞度人因實驗。 • 完成 10 人次(6 男 4 女)之人因實驗,以問卷調查受試者之視覺疲勞為主,以心律變異度之量測為輔。 • 經統計分析,可得心律變異度與觀看疲勞度之相關性係數達 0.802。 	• 無差異
• 雙眼像差與疲勞相關性建置	• 完成雙眼像差與疲勞相關性建置,相關係數需 ≥ 0.8	<ul style="list-style-type: none"> • 完成 10 人次(6 男 4 女)之像差視覺疲勞人因實驗,以像差閾值為分界,比較兩組不同像差表現的視覺疲勞指標。結果顯示,大於像差閾值之立體影像,顯著的對於受試者產生觀看疲勞效果。 • 完成深度與疲勞度之人因實驗設計,並以像差閾值為基準,進行像差閾值上下之觀看疲勞度人因實驗。 	• 無差異
(五) 裸眼式 3D 顯示器關鍵技術(View Angle)先期研究			
• 裸眼式 3D 顯示器關鍵技術(View Angle)先期研究	• 完成裸眼式 3D 顯示器關鍵技術(View Angle)先期研究	<ul style="list-style-type: none"> • 完成裸眼式 3D 顯示器之採購,包含裸眼視立體顯示之手機(HTC EVO 3D)、裸眼式立體顯示之筆記型電腦 Toshiba Qosmio F750)、裸眼式立體顯示之錄影設備(Sony HDR TD-20S)。 • 完成裸眼式立體顯示器之光學量測, 	• 無差異

目標項目	工作說明	實際執行內容	差異檢討
		量測項目包含中心點量測不同視角之亮度及光串擾(Crosstalk)值。 • 完成中小尺寸之裸眼式立體顯示器之使用者使用經驗蒐集。	
<p>其他</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2/17 日拜訪高通顯示器公司與討論電子紙量測議題，並邀請至 SEMI 電子紙量測標準工作小組來討論電子紙量測標準。 • 參加 2/23 日 SEMI 電子紙量測標準工作小組會議，會議中說明電子紙標準草案(#4999A) 全球投票率於 2/23 日為 61.11 %，已過投票門檻 60 %，Accept % 為 100 %，且沒有任何 Reject 票數，後續在完成 Comment 意見回覆後，即可成為 SEMI 正式標準。同時，量測中心亦針對「電子紙色彩量測資料」以及「電子紙顯示器可視性」作簡報分享。 • 3/1 日溫博浚博士至淡江大學機械與機電工程學系演講軟性顯示器之可撓特性量測研究，以促進與學術界量測技術之交流。 • 3/12 日拜訪振曜科技公司討論電子紙量測議題，振曜研發部王正宇經理接受邀請，將代表參加 SEMI e-Paper Displays TF，共同討論電子紙相關的量測標準。 • 參加 3/22 日 SEMI 電子紙量測標準工作小組會議，會議中針對電子紙色彩量測參數作綜合討論。 • 參加 3/29 日於標檢局舉行之 FY102 FPD 產標計畫的綱要計畫審查會議，並於會前協助回覆審查委員的意見以及準備相關的簡報資料。 • 4/16 日參加 2012 國際創新設計研討會並發表與雲科大工科所合作的論文：「The Research of Visual Performance with Color Electronic-paper Display」，該論文更榮獲大會最佳論文獎。 • 參加 4/26 日 SEMI 電子紙量測標準工作小組會議，會議中針對電子紙顯示器色彩參數量測技術作討論，並表決通過電子紙顯示器色彩量測參數的 SNARF。此外，台灣科技大學陳鴻興教授亦進行「反射式電子書的品質評價」之簡報分享。 • 4/30 日中國計量院于亞東副院長參訪量測中心，並特地參觀電子紙顯示器與 3D 顯示等量測實驗室，藉此瞭解顯示器相關的量測技術並交流可能的合作議題。 • 協助檢閱 IEC 62679-3-2 (CDV) 電子紙標準文件草案，並於 5/23 日完成相關意見的回覆。 • 參加 5/23 日 SEMI 電子紙量測標準工作小組會議，會議中量測中心針對「電子紙顯示器能耗量測方法」作簡報分享。此外，各廠商代表亦針對電子紙顯示器色彩與能耗量測參數 SNARF 內容作討論，並表決通過電子紙顯示器能耗量測參數的 SNARF。 • 5/24 日於 SEMI TC 會議完成電子紙量測標準工作小組之新 SNARF 提案，SNARF 名稱為：Test Methods for Color Properties of Electronic Paper Displays。 			

目標項目	工作說明	實際執行內容	差異檢討
		<ul style="list-style-type: none"> • 6/4~6/7 於 SID International Symposium 2012 國際會議上發表 3D 論文兩篇，”眼鏡式 3D 顯示器之時間特性比較”及”立體顯示器之視覺疲勞量測”，計畫主持人彭保仁博士並受邀擔任 SID 議程委員會委員之一，並擔任應用子委會的亞洲區代表。 • 6/26 於 3D System and Application 國際會議上發表”立體影像之像差感知閾值探討”。 • 參加 6/27 日 SEMI 電子紙量測標準工作小組會議，會議中針對 5/24 日 SEMI TC 會議之決議事項作報告與說明。並針對利用 Munsell 標準色卡分析電子紙的白度議題作討論與交流。 • 7/12 日完成友達光電(AUO)之撓曲機台技術服務的軟性顯示器撓曲檢測平台夾具維修與零組件備料，共收入 52,500 元(含稅)。 • 參加 7/25 日 SEMI 電子紙量測標準工作小組會議，會議中元太科技針對「電子紙之 Color Performance」作簡報分享，並進行彩色電子紙 Optical Index 的相關討論。此外，各廠商代表亦表決通過以「標準色卡評估彩色電子紙色彩參數」的提案。 • 參加 8/21 日 SEMI 電子紙量測標準工作小組會議，會議中量測中心報告與分享利用 Munsell 標準色卡分析電子紙色域面積的相關量測結果。 • 8/29 日於台北南港展覽館完成「2012 國際 FPD 標準與技術研討會」的舉辦，共計有 26 家廠商 67 人次參加。透過該研討會讓與會者能更加瞭解 FPD 國際標準制定的現況與相關內容(包含電子紙光學特性量測標準、以及觸控面板量測標準)。同時，該研討會也特地邀請日本山形大學的 Furukawa 教授，介紹 OLED 等軟性顯示器的最新技術發展，藉此促進軟性顯示相關產業的技術交流。 • 8/29~8/31 日至南港展覽館參加「2012 Touch Taiwan 展覽」並展示電子紙能耗量測系統與軟性顯示器可撓特性檢測平台，及展示 3D 顯示器量測技術。 • 7 月至 8 月份 多次協助檢閱 IEC110 392 (CD) 眼鏡式 3D 顯示器標準文件草案，並完成相關意見的回覆。 • 9/5~9/9 日赴日本東京參加 2012 ICFPE 國際研討會並且完成論文發表：「Precise Measuring Method for Energy Consumption of Flexible Electronic Paper Displays」，同時藉此蒐集軟性顯示器國際最新技術發展趨勢，並與國際學者專家針對軟性顯示器的相關量測技術作意見交流。 • 9/12 日與 SEMI Japan 之 e-paper TF leader Mr. Shibahara 交流討論「Color Gamut Evaluation for E-paper Display」的技術內容。 • 參加 9/18 日 SEMI 電子紙量測標準工作小組會議，會議中量測中心報告電子紙色域面積量測與分析之相關量測結果，並針對 SEMI JAPAN 電子紙色域面積評估草案作意見回覆討論。 • 10/5 日授權佳暉光電製作撓曲機台一台(期間 2 個月)，授權金約 42 萬(含稅)。 • 10/17 日完成「新興顯示產業標準論壇」的舉辦，各專家針對新興顯示器(如：OLED、軟 	

目標項目	工作說明	實際執行內容	差異檢討
		<p>性顯示器)的研發現況與未來應用趨勢作深入討論。參與論壇的專家包括友達光電張凱傑經理、元太科技辛哲宏處長、中華映管黃彥餘處長、緯創資通胡堂祥經理、波色科技王科順總經理、國立交通大學鄭晃忠教授、國立清華大學周卓輝教授、以及工研院量測中心林增耀副主任。此外，該論壇發表之相關資訊亦刊登於 10/18 日工商時報 A23 版上。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 參加 10/23 日 SEMI 電子紙量測標準工作小組會議，會議中由量測中心進行「印刷工業之色彩評估手法與利用參考色卡來客觀評估電子紙顯色能力」的簡報分享。此外，以參考色卡來評估電子紙色彩特性的議題各廠商代表亦達成共識。 • 11/8~11/11 日至台北圓山飯店參加 2012 ISEM-ACEM-SEM-7th ISEM' 12-Taipei 研討會並完成論文發表：「Retardation Measurements with Large Area on a Flexible Indium Tin Oxide Film for Repeating Bending Test」，並與專家學者們探討市場最新的量測技術。 • 11/21 日 SEMI 3D 計量量測標準工作小組會議，討論 D4765 被動眼鏡式標準草案國際投票的意見回覆。 	

(三)配合計畫與措施

合作項目 名稱	合作單位	合作計畫內容	經費	執行情形	突破點或創新成果
無					

二、資源運用情形

(一) 人力運用情形

1. 人力配置

單位：人年

主持人	分項計畫（主持人）	預計人年	實際人年
計畫主持人：林增耀 協同計畫主持人：溫博浚	(1) 電子紙顯示器關鍵參數量測標準研究分項 （陳士芳）	3.47	3.58
	(2) 3D 顯示新技術人因關鍵參數量測標準研究分項 （彭保仁）	2.66	2.60
	合 計	6.13	6.18

2. 計畫人力

單位：人年

分類		職稱					學歷					合計
年度	狀況	研究員級以上	副研究員級	助理研究員級	研究助理員級	研究助理員級以下	博士	碩士	學士	專科	其他	
	101	預計	3.75	2.38				2.58	2.75	0.80		
實際		4.28	1.90				2.87	2.80	0.51			6.18

註：本表採用工研院職級計算。

(二) 經費運用情形

1. 歲出預算執行情形

會計科目	預算金額	佔預算%	動支金額	佔動支%	差異說明
(一)經常支出					
1.直接費用	15,109	97.35%	15,109	97.35%	
(1)直接薪資	7,644	49.25%	7,644	49.25%	
(2)管理費	1,912	12.32%	1,912	12.32%	
(3)其他直接費用	5,553	35.78%	5,553	35.78%	
2.公費	95	0.61%	95	0.61%	
經常支出小計	15,204	97.96%	15,204	97.96%	
(二)資本支出					
1.土地		0.0%		0.0%	
2.房屋建築及設備		0.0%		0.0%	
3.機械設備		0.0%		0.0%	
4.交通運輸設備		0.0%		0.0%	
5.資訊設備		0.0%		0.0%	
6.雜項設備		0.0%		0.0%	
7.其他權利	316	2.04%	316	2.04%	
資本支出小計	316	2.04%	316	2.04%	
合計	15,520	100.0%	15,520	100.0%	

註：1.預算按計畫變更後經費填列。

2. 歲入繳庫情形

單位：新台幣元

科 目	本年度預算數	本年度實際數	差異說明
財產收入			本年度技術移轉與服務之簽約金額有波色科技 100 千元，計量學會 212 千元，佳暉 400 千元、友達光電 50 千元，合計 762 千元。 繳庫金額有致茂 70.7 千元、友達 70.7 千元、計量學會 148.4 千元、友達光電 50 千元、研討會收入 3 千元，合計 342.8 千元。
不動產租金			
動產租金			
廢舊物資售價			
技術移轉	-	289,800	
權利金			
技術授權	-	289,800	
製程使用			
其他－專戶利息收入			
罰金罰鍰收入			
罰金罰鍰			
其他收入			
供應收入－資料書刊費			
服務收入	-	3,000	
教育學術服務			
技術服務	-	3,000	
審查費			
業界合作廠商配合款			
收回以前年度歲出			
其他轉項		50,000	
合計	-	342,800	

(三) 設備購置與利用情形

無

(四) 人力培訓情形

1. 國外出差或客座研究

- 分項計畫主持人彭保仁博士於 6 月份赴美國參加 SID 會議並發表 2 篇 3D 顯示器相關論文，同時獲邀擔任 SID 議程委員會成員。
- 分項計畫主持人陳士芳博士於 9 月份赴日本東京參加 2012 ICFPE 國際研討會並且完成論文發表：「Precise Measuring Method for Energy Consumption of Flexible Electronic Paper Displays」，同時藉此蒐集軟性顯示器國際最新技術發展趨勢，並與國際學者專家針對軟性顯示器的相關量測技術作意見交流。

2. 國際技術交流

- 4 月份中國計量院于亞東副院長參訪量測中心，並特地參觀電子紙顯示器與 3D 顯示等量測實驗室，藉此瞭解顯示器相關的量測技術並交流可能的合作議題。
- 6 月份參與國際資訊顯示器協會 SID 轄下的標準組織 ICDM (International Committee for Display Metrology)，進行顯示器標準 IDMS (Information Display Measurements Standard) 草案的審查，催生 IDMS 1.03 顯示器標準。
- 8 月份於台北南港展覽館舉辦「2012 國際 FPD 標準與技術研討會」，透過該研討會讓與會者能更加瞭解 FPD 國際標準制定的現況與相關內容(包含電子紙光學特性量測標準、以及觸控面板量測標準)。同時，該研討會也特地邀請日本山形大學的 Furukawa 教授，介紹 OLED 等軟性顯示器的最新技術發展，藉此促進軟性顯示相關產業的技術交流。

3. 教育推廣－國內研究生培訓

- 交通大學機械所碩士班蒲榮璋同學參與彩色電子紙色彩衰減特性量測技術研究，協助建立環境光源影響下之電子紙光學與色彩

衰減量測技術，並協助完成 Fujitsu 與 Mirasol 電子紙之多角度環境光源影響下之電子紙色彩衰減量測。

- 交通大學機械所碩士班張哲維同學實習研究並協助利用參考色卡來評估環境光源影響下之電子紙色彩衰減特性。
- 計畫成員溫博浚博士運用於本計畫發展之專才，至淡江大學機械與機電工程學系演講軟性顯示器之可撓特性量測研究，以促進與學術界量測技術之交流。

伍、成果說明與檢討

一、 電子紙顯示器關鍵參數量測標準研究分項

(一)彩色電子紙能耗量測技術研究子項

1. 非量化執行成果說明

- 執行主要成果與績效：

在電子紙的關鍵參數檢測上，由於其為反射式顯示器，因此除了電子紙的對比、反射率、以及殘影特性等影像顯示參數外，更由於電子紙為雙穩態元件，僅於切換畫面時才需耗電，而特定電池電量在不同的顯示模式(灰階、色彩品質)或是不同的顯示圖樣下總共可以切換幾次畫面，製造商通常都無法精確地量測與標示規格，目前業界也欠缺一套標準的電子紙能耗檢測方式來進行產品的量測與評估。此外，電子紙顯示器之能耗檢測技術，目前尚未制定相關之國際標準檢測規範。因此，電子紙能耗檢測方法的開發以及檢測標準程序的訂定確實有其必要性。

有鑑於此，本計畫完成彩色電子紙顯示器能耗特性量測技術的建立，該技術主要是透過 PXI 介面進行電壓與電流訊號的同步取樣，並搭配適當的能耗測試圖樣，精確地量測彩色電子紙顯示器的能耗特性，以及精準地評估其電池續航力。此一技術的建立除了可以協助業界易於瞭解與評估彩色電子紙顯示器的能耗表現外，亦可藉以客觀的訂出電子紙顯示器產品的相關電性規格，讓消費者更容易進行同類型電子紙顯示器產品的性能比較。此外，該能耗量測技術亦適用於以 LCD 或是 OLED 顯示技術所製作之彩色平板電子書的能耗特性量測與電池續航力評估。同時，亦期盼本計畫的研發成果能提供未來電子紙顯示器產品於能耗特性檢測執行上之參考依據，達到協助國內業者提升產品品質的目的，並期望能進一步透過相關標準組織活動，推動成為國內、區域或國際之電子紙能耗特性量測標準。

A. 研發成果：彩色電子紙能耗量測不確定度評估以及彩色電子紙能耗量測之參考測試圖樣研究

a) 彩色電子紙顯示器之能耗特性量測架構

彩色電子紙顯示器之能耗特性量測架構示意圖以及量測架構實體分別如圖 1-1 以及圖 1-2 所示。我們利用一個外部的訊號觸發源(External Trigger Source)同步觸發兩組高精密且多功能數位電表(DMM)，並藉由 PXI 介面進行電子紙顯示器之直流電壓表(DCV)以及直流電流表(DCI)的同步取樣，最後透過軟體將電子紙顯示器在量測期間的功率消耗(Power Consumption)作積分運算，如此便可精確地量測電子紙顯示器的能耗特性(Energy Consumption)。此電子紙顯示器能耗量測架構之主要規格如下：

- ✓ 直流電壓量測範圍：(1 ~ 10) V
- ✓ 直流電流量測範圍：1 mA ~ 3 A
- ✓ 同步取樣頻率：5 ~ 5800 Hz
- ✓ 直流電壓與直流電流之最佳量測解析度：6.5 Digits
- ✓ 能耗量測不確定度：< 1 %

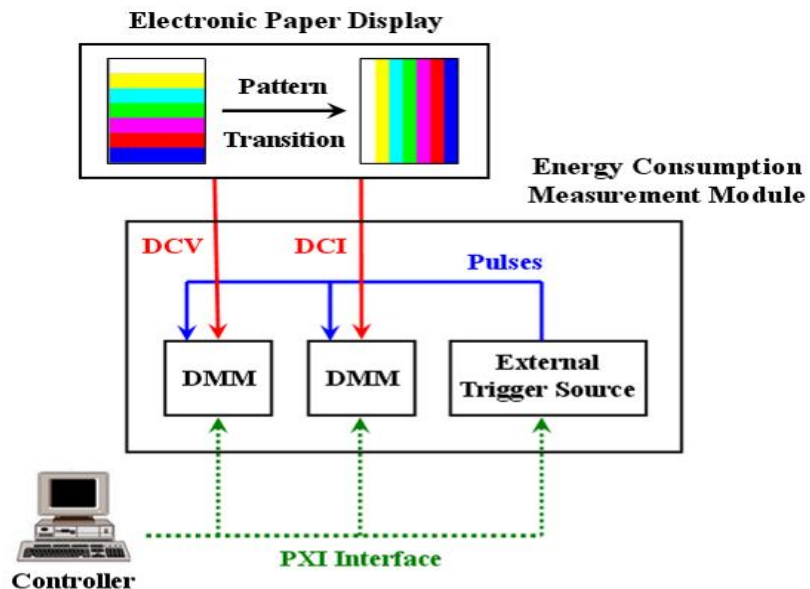


圖 1-1：彩色電子紙顯示器之能耗特性量測架構示意圖

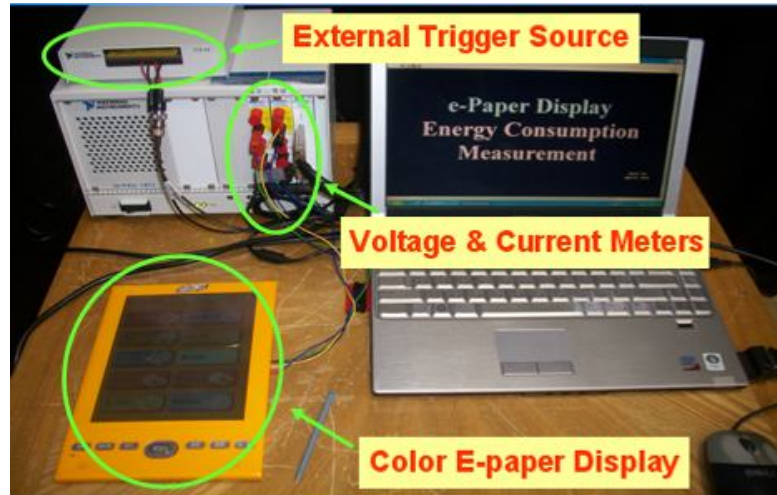


圖 1-2：彩色電子紙顯示器之能耗特性量測架構實體

b) 彩色電子紙能耗量測不確定度評估

一般而言，彩色電子書閱讀器在更新畫面時所消耗的電壓約為 4 V，所以直流電壓表(DCV)的電壓範圍設定為 10 V 檔位。但彩色電子書閱讀器消耗的電流範圍約從 10 mA 至 1 A，理論上直流電流表(DCI)的電流範圍應設定為 Auto Range 檔位，可是若設定為 Auto Range 檔位，則外部訊號觸發源的頻率不能設定太高，否則會引起程式當機，此時同步取樣頻率最高只能設定約 100 Hz。但因為彩色電子書閱讀器在切換畫面時功耗的瞬間變化較大，所以需要較高的同步取樣頻率，以免取樣失真，所以必須將量測程式的同步取樣頻率設定為 5800 Hz，電流範圍設定為 1 A 檔位，表 1-1 所示為彩色電子紙能耗量測架構之參數 default 設定值。

表 1-1：彩色電子紙能耗量測架構之參數 default 設定值

解析度	6.5 Digits
DCV 電壓檔位	10 V
DCI 電流檔位	1 A
Auto Zero	Auto
同步取樣頻率	5800 Hz

由於 DCI 電流檔位未選擇 Auto Range 檔位而選擇 1 A 檔位將造成能耗量測結果的些微誤差。因此，為了提高能耗量測數據的準確性，其電流量測值將以 1 A 檔位之 10 mA、100 mA、以及 1 A 的校正值來加以修正。至於其他 DCI 電流檔位 (例如：100 mA 或是 3 A) 之量測值修正亦是如此。

首先將多功能校正器 (FLUKE 5520A) 送國家標準實驗室作電壓與電流輸出值校正，再將其當作 DCV 及 DCI 的標準源，以分別校正彩色電子紙能耗量測架構之電壓與電流量測值。參考表 1-2 的 DCV 及 DCI 校正修正值，我們訂出如下所列之各個檔位的修正值，並確實將這些修正值導入能耗量測軟體中，以增加量測準確性：

- (1) DCV 的 10 V 檔位修正值：-0.0007 V
- (2) DCI 的 100 mA 檔位修正值：-0.00007 A
- (3) DCI 的 1 A 檔位修正值：-0.0008 A
- (4) DCI 的 3 A 檔位修正值：-0.0013 A

表 1-2：DCV 及 DCI 之校正修正值 (取樣量測時間：10 秒)

FLUKE 5520A				DCV or DCI (取樣頻率：5800 Hz)					
輸出設定值		校正值		量測平均值		檔位		修正值	
5	V	5.000013	V	5.00071	V	10	V	-0.00070	V
10	mA	9.9998399	mA	10.0701	mA	100	mA	-0.00007	A
100	mA	99.999518	mA	100.0671	mA	100	mA	-0.00007	A
10	mA	9.9998399	mA	10.8375	mA	1	A	-0.0008	A
100	mA	99.999518	mA	100.8260	mA	1	A	-0.0008	A
1	A	1.0002556	A	1.0011	A	1	A	-0.0008	A
10	mA	9.9998399	mA	11.3327	mA	3	A	-0.0013	A
100	mA	99.999518	mA	101.1891	mA	3	A	-0.0012	A
1	A	1.0002556	A	1.00158	A	3	A	-0.0013	A

以彩色電子紙能耗量測架構針對已完成校正之多功能校正器(FLUKE 5520A)直流電功率輸出的量測結果綜整如下。其中，DCV 電壓檔位皆設定為 10 V 檔位，而 DCI 電流檔位則分別設定為 100 mA、1 A、以及 3 A 檔位：

(1) DCI 設定為 100 mA 檔位：

FLUKE 5520A 電功率輸出值	能耗量測架構量測值 (10 秒量測平均值)	電功率量測 相對誤差
P	$P_{Avg.}$ (mW)	$(P_{Avg.}-P)/P$
4 V × 10 mA	40.0090	0.02 %
4 V × 100 mA	399.9447	-0.01 %

(2) DCI 設定為 1 A 檔位

FLUKE 5520A 電功率輸出值	能耗量測架構量測值 (10 秒量測平均值)	電功率量測 相對誤差
P	$P_{Avg.}$ (mW)	$(P_{Avg.}-P)/P$
4 V × 10 mA	40.0377	0.09 %
4 V × 100 mA	399.9443	-0.01 %
4 V × 1 A	3999.4484	-0.01 %

(3) DCI 設定為 3 A 檔位：

FLUKE 5520A 電功率輸出值	能耗量測架構量測值 (10 秒量測平均值)	電功率量測 相對誤差
P	$P_{Avg.}$ (mW)	$(P_{Avg.}-P)/P$
4 V × 10 mA	39.7165	-0.7 %
4 V × 100 mA	399.7471	-0.06 %
4 V × 1 A	3999.5230	-0.01 %

從以上量測結果得知，本計畫所建立之彩色電子紙能耗特性量測架構，當 DCV 電壓檔位設定為 10 V 檔位，而 DCI 電流檔位不論是設定為 100 mA、1 A、或是 3 A 檔位，其整體的量測不確定度皆小於 1%，確實符合量測需求。

c) 彩色電子紙能耗量測之參考測試圖樣設計與研究

參考「IEC 62087」以及「能源之星 5.0 版」標準文件進行彩色電子紙能耗量測之參考測試圖樣設計，並依據彩色電子書實際進行能耗量測的初步評估結果，我們認為彩色電子紙在能耗量測期間所切換之測試圖樣中，以七彩橫條式畫面切換至七彩直條式畫面為較佳選擇，如圖 1-3 所示，此七彩畫面共包含白、黃、青藍、綠、紫、紅、深藍等色彩。此種畫面切換因其總共包含有 49 種的色彩轉態切換模式，非常適合於檢測及評估彩色電子紙顯示器的能耗特性。

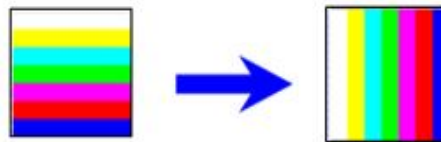


圖 1-3：彩色電子紙顯示器之能耗量測參考測試圖樣

此外，為量測彩色電子紙顯示器的換頁能耗，以及評估各式彩色電子書產品的總能耗及其電池換頁續航力與電池續航時間，我們也規劃一系列以七彩橫條式畫面為主，搭配包含全畫面顯示白、黑、淺灰、深灰、以及直條式四灰階畫面的能耗量測參考測試圖樣，如圖 1-4 所示。

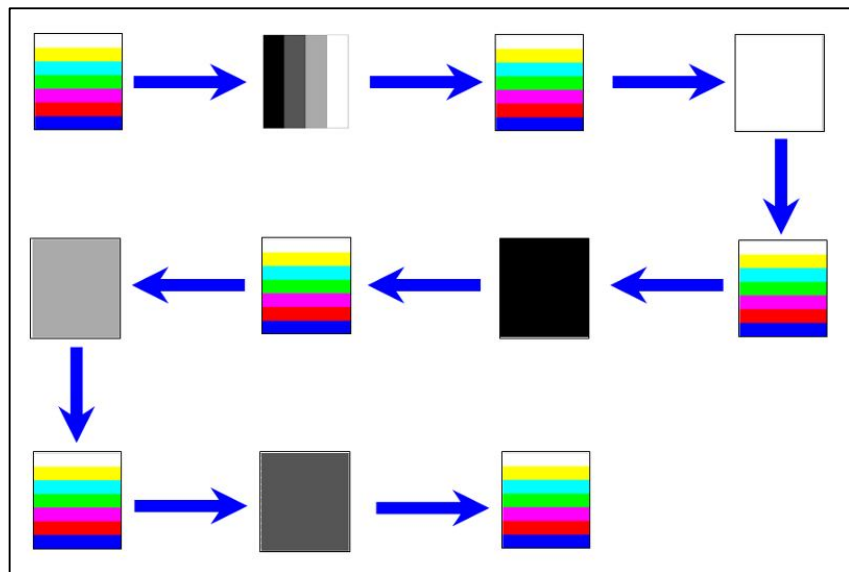


圖 1-4：包含灰階畫面之彩色電子紙能耗量測參考測試圖樣

B. 研發成果：彩色電子紙能耗特性量測與能耗特性分析資料庫建立

a) 彩色電子紙/電子書能耗特性量測電路製作

為了進行彩色電子紙顯示器與彩色電子書之能耗特性量測，必須先進行能耗量測電路的製作，以搭配高精密電壓表與電流表的量測使用。圖 1-5 所示即為彩色膽固醇液晶顯示器 (Fujitsu FLEpia)、彩色電子紙顯示器(Mirasol)、彩色 LCD 平板電子書(BenQ R70 與 Apple i Pad)、以及 AMOLED 彩色電子書 (Samsung Galaxy)完成能耗量測電路製作後的實體照片。



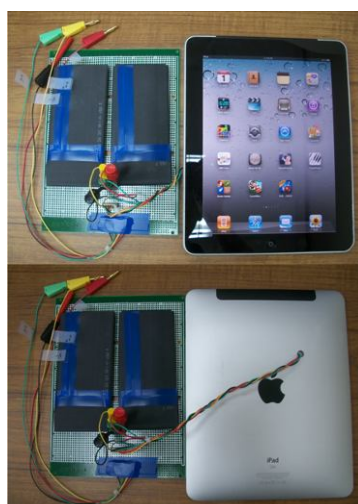
彩色膽固醇液晶顯示器
(Fujitsu FLEpia)



彩色電子紙顯示器
(Mirasol)



彩色 LCD 平板電子書
(BenQ R70)



彩色 LCD 平板電子書
(Apple i Pad)



AMOLED 彩色電子書
(Samsung Galaxy)

圖 1-5：各款彩色電子書完成能耗量測電路製作之實體照片

b) 彩色電子書靜態顯示能耗特性量測結果與分析

表 1-3 所示為各款彩色電子書產品之靜態顯示能耗特性分析資料表，包括彩色膽固醇液晶顯示器(Fujitsu FLEpia)、彩色電子紙顯示器(Mirasol)、彩色 LCD 平板電子書(BenQ R70 與 Apple i-Pad)、以及 AMOLED 彩色電子書(Samsung Galaxy)。

此外，我們亦納入灰階電子書產品的靜態顯示能耗量測結果作完整的分析，包括採用 E-Ink 前版製作的灰階電子書 (Kindle DX)、以及採用 Sipix 前版製作的灰階電子書(BenQ K60)。

表 1-3：各款彩色以及灰階電子書之靜態顯示能耗特性分析資料表


No.	Products (Panel Size) (Resolution)	$t_m = 45 \text{ Sec.}$		Standby Power in Sleep Mode P_S (mW)	Transtion Pattern : 		Battery Capacity E_B (mWh)	$t_r = 45 \text{ Sec.}$		All Wireless OFF
		Logic Circuit Energy Consumption During Measuring time t_m	Total Energy Consumption During Measuring Time t_m		Logic Circuit Power Consumption P_L (mW)	Page Driving Energy Consumption E_P (mWh)		Battery Life $B_P(t_r)$ (pages)	Battery Life $B_T(t_r)$ (hours)	
		$E_L(t_m)$ (mWh)	$E_T(t_m)$ (mWh)							
1	Kindle DX (9.7") (1200 × 824)	0.98	1.30	3.06	78.2	0.32	5661	4346	54.3	E-Ink E-paper Display (monochrome)
2	BenQ K60 (6.0") (800 × 600)	0.09	0.49	8.76	7.4	0.40	5661	10119	126.5	Sipix E-paper Display (monochrome)
3	Fujitsu FLEpia (8.0") (768 × 1024)	5.74	8.68	—	459.1	2.94	5624	667	8.3	Ch-LCD E-paper Color Display
4	Mirasol (5.7") (1024 × 768)	2.61	3.01	6.80	208.8	0.40	6660	2215	27.7	MEMS E-paper Color Display (Front Light OFF)
5	BenQ R70 (7.0") (800 × 600)	54.70	55.09	86.09	4375.9	0.39	16280	296	3.7	LCD Color Display (with Full backlight)
6	Apple i-Pad (9.7") (1024 × 768)	49.93	50.22	7.78	3994.6	0.29	22200	440	5.5	LCD Color Display (with Full backlight)
7	Samsung Galaxy (7.7") (1280 × 800)	40.78	41.24	17.60	3243.2	0.46	18870	458	5.7	OLED Color Display (without backlight)

表 1-3 所綜整之電子書產品的靜態顯示能耗特性分析資料表是以每頁平均閱讀時間為 45 秒作量測基準，此每頁平均閱讀時間是由業界廠商透過蒐集眾多使用者的閱讀習慣而得。其中，彩色電子書在能耗量測期間所切換之測試圖樣，是採用七彩橫條式畫面切換至七彩直條式畫面。而灰階電子書在能耗量測期間所切換之測試圖樣，是採用包含白、黑、淺灰、深灰四種灰階所組成之 16 宮格棋盤格畫面切換至 4 宮格棋盤格畫面。

基本上，當電子書開啟無線上網功能並於網路書城進行電子書籍瀏覽、選購、或是下載網路資訊等內容時，電子書的電池使用壽命將下降的非常快速，特別是在無線網路訊號非常微弱的環境下，其電池壽命則下降的更為明顯。因此，為了確實瞭解電子書本身單純因顯示畫面而造成的能量耗損，必須關閉無線上網的功能。

此外，表 1-3 中各個符號的定義說明如下：

t_m ：量測時間 (Measuring Time)

t_r ：平均單頁閱讀時間 (Average Reading Time for One Page)

$E_L(t_m)$ ：量測時間內之邏輯電路能耗 (Logic Circuit Energy Consumption During The Measuring Time t_m)

$E_T(t_m)$ ：量測時間內之總能耗 (Total Energy Consumption During The Measuring time t_m)

P_L ：邏輯電路功耗 (Logic Circuit Power Consumption)

P_S ：待機功耗 (Standby Power in Sleep Mode)

E_P ：換頁驅動能耗 (Page Driving Energy Consumption)

E_B ：電池容量 (Battery Capacity)

此外，電子書產品之能耗特性的關鍵評估參數「電池續航力(Battery Life)」可用電池換頁續航力或電池續航時間代表之。假設每頁平均閱讀時間為 t_r 秒，則將電子書產品的電池(電池容量 E_B)可供閱讀多少頁數定義為電池換頁續航力 (Battery Life in Page Turns)，符號表示為 $B_p(t_r)$ ；可供閱讀的時間定義為電池換頁續航時間(Battery Life in Hours)，符號表示為 $B_T(t_r)$ 。

其相關的計算公式如下：

若每頁閱讀時間為 t_r 秒，電子書產品消耗總電能為 $E_T(t_r)$

$$E_T(t_r) = E_p + \frac{E_L(t_m)}{t_m} \times t_r$$

$$\text{電池換頁續航力： } B_p(t_r) = \frac{E_B}{E_T(t)} \quad (\text{單位：頁})$$

$$\text{電池續航時間： } B_T(t_r) = \frac{B_p(t_r) \times t_r (\text{秒})}{60 \times 60} \quad (\text{單位：小時})$$

由各款電子書產品的能耗特性資料表可得到以下結論：

- (1) 以 Sipix 前板製作之灰階電子書「BenQ K60」於量測時間內之邏輯電路能耗 E_L 值最小。因此， $t_r = 45 \text{ sec}$ 的電池換頁續航力 $B_p(t_r)$ 表現較佳，可達 10119 pages。
- (2) 彩色電子書「BenQ R70」於量測時間內之邏輯電路能耗 E_L 值最大(54.7 mWh)，主因為此彩色電子書為 LCD 顯示器，此 LCD 顯示器有使用背光源，且亮度設定為 100 %。
- (3) 彩色電子書「BenQ R70」的總能耗 E_T 約為彩色電子紙顯示器(Mirasol)的 18 倍，更為灰階電子書(Kindle DX)的 42 倍。由此可見，採用 LCD 顯示技術所製作之電子書產品，由於產品內部之背光源不論是否有切換顯示畫面，都會一直消耗電能。因此，其總能耗值遠高於僅在切換畫面時才需耗電的電子紙顯示器產品。
- (4) 除了「Fujitsu FLEpia」的換頁驅動能耗 E_p 值比較大之外(2.94 mWh)，其他幾款電子書的 E_p 值都很接近(0.32 mWh 至 0.46 mWh)。其主要原因是由於 Fujitsu 電子書是以軟性顯示面板製作，且其被動式的畫面掃描換頁時間較長(約 15 秒)所導致。
- (5) 灰階與彩色電子紙顯示器能耗值比較：灰階電子紙 < 彩色電子紙。
- (6) 各類型電子書能耗值比較：電子紙顯示器 < AMOLED 電子書 < LCD 電子書。

c) 彩色電子書動態顯示能耗特性量測結果與分析

目前以 LCD 或是 OLED 顯示技術所製作之彩色平板電子書產品皆可播放動態影片。而在彩色電子紙顯示器產品中，僅有以微機電技術 (MEMS) 所製作之彩色電子紙顯示器 (Mirasol)，由於其反應時間夠快才能播放動態影片。至於其他以 E-Ink 或是 Sipix 前板技術所製作之電子紙顯示器就只能播放靜態的顯示畫面。

爲了進一步瞭解彩色電子書的動態顯示能耗特性，我們以 IEC62087 顯示器動態顯示能耗之標準檢測影片，針對彩色 LCD 平板電子書 (BenQ R70)、AMOLED 彩色電子書 (Samsung Galaxy)、以及彩色電子紙顯示器 (Mirasol) 等三款產品作動態顯示能耗量測。其中，IEC62087 顯示器動態顯示能耗之標準檢測影片包含：Broadcast Video Signals 以及 Internet Video Signals 兩種影片類型。

1) 彩色 LCD 平板電子書 (BenQ R70) 動態顯示能耗量測結果

表 1-4 所示為彩色 LCD 平板電子書 (BenQ R70) 在不同亮度設定下之動態顯示能耗量測結果，其亮度設定分別為：0 % (最低亮度)、50 %、以及 100 % (最高亮度)。彩色電子書動態顯示能耗之總量測時間為 10 min，量測時必須將顯示器的 Wireless OFF、Voice OFF、自動旋轉螢幕功能固定、以及將取樣頻率設定為 3000 Hz。

從表 1-4 的量測結果可以發現，播放不同類型的動態影片對於彩色 LCD 平板電子書 (BenQ R70) 而言，其能耗表現大致相同。以亮度設定為 100 % (最高亮度) 作說明：彩色 LCD 平板電子書 (BenQ R70) 不論播放 Broadcast Video Signals 或是 Internet Video Signals 影片類型，其總能耗值 $E_T(t_m=10 \text{ min})$ 約為 757~760 mWh；該電子書產品的電池容量可供觀賞動態影片的電池續航次數 $B_t(t_r=10 \text{ min})$ 為 21 次。同

時；該電子書產品的電池容量可供觀賞動態影片的電池續航時間 $B_T(t_r=10 \text{ min})$ 為 3.5 小時。

表 1-4：彩色 LCD 平板電子書(BenQ R70)之動態顯示能耗量測結果

亮度設定	動態影片類型 (採用 IEC 62087 標準影片)	總能耗 $E_T(t_m)$ (mWh) ($t_m = 10 \text{ min}$)	$B_T(t_r)$ (Times) ($t_r = 10 \text{ min}$)	$B_T(t_r)$ (Hours) ($t_r = 10 \text{ min}$)
0 % (最低亮度)	Broadcast Video Signals	294.9389	55	9.2
	Internet Video Signals	292.7401	56	9.3
50 %	Broadcast Video Signals	503.3604	32	5.3
	Internet Video Signals	501.0344	32	5.3
100 % (最高亮度)	Broadcast Video Signals	760.5750	21	3.5
	Internet Video Signals	757.3407	21	3.5

此外，將彩色 LCD 平板電子書(BenQ R70)的動態顯示能耗與其靜態顯示能耗相比，我們發現該電子書產品的動態顯示能耗值只略高於靜態顯示能耗值。其中，靜態顯示能耗的量測時間為 10 分鐘，亦即 10 分鐘內僅進行一次的換頁程序，然後量測其電池換頁續航力以及電池換頁續航時間。

由以上的量測結果可見，彩色 LCD 平板電子書(BenQ R70)不論播放靜態或動態顯示畫面，其最主要同時也是佔了絕大部份耗電的來源就是產品內部的背光源，相較之下電子書換頁所消耗的能耗並不算高。因此，播放不同類型的動態影片或是單純只播放靜態顯示畫面對於彩色 LCD 平板電子書(BenQ R70)而言，其能耗表現大致相同。

2) AMOLED 彩色電子書(Samsung Galaxy)動態顯示能耗量測結果

表 1-5 所示為 AMOLED 彩色電子書(Samsung Galaxy)在不同亮度設定下之動態顯示能耗量測結果，其亮度設定分別為：0 % (最低亮度)以及 100 % (最高亮度)。彩色電子書動態顯示能耗之總量測時間為 10 min，量測時必須將顯

示器的 Wireless OFF、Voice OFF、自動旋轉螢幕功能固定、以及將取樣頻率設定為 3000 Hz。

從表 1-5 的量測結果中，我們可以發現 AMOLED 彩色電子書(Samsung Galaxy)播放不同的影片類型會有不同的能耗表現。AMOLED 彩色電子書(Samsung Galaxy)播放 Broadcast Video Signals 比播放 Internet Video Signals 之動態能耗值低。當亮度設定為 100 %時，該電子書產品的電池容量可供觀賞 Broadcast Video Signals 以及 Internet Video Signals 動態影片的電池續航次數 $B_t(t_r=10 \text{ min})$ 分別為 63 次與 32 次；同時，該電子書產品的電池容量可供觀賞 Broadcast Video Signals 以及 Internet Video Signals 動態影片的電池續航時間 $B_T(t_r=10 \text{ min})$ 分別為 10.5 小時與 5.3 小時。由此可知，這兩種不同類型動態影片之總能耗差異非常明顯，約有兩倍的差異。

表 1- 5：AMOLED 彩色電子書(Samsung Galaxy)之動態顯示能耗量測結果

亮度設定	動態影片類型 (採用 IEC 62087 標準影片)	總能耗 $E_T(t_m)$ (mWh) ($t_m = 10 \text{ min}$)	$B_t(t_r)$ (Times) ($t_r = 10 \text{ min}$)	$B_T(t_r)$ (Hours) ($t_r = 10 \text{ min}$)
0 % (最低亮度)	Broadcast Video Signals	231.7305	81	13.5
	Internet Video Signals	265.0783	71	11.8
100 % (最高亮度)	Broadcast Video Signals	300.3285	63	10.5
	Internet Video Signals	597.9594	32	5.3

我們認為造成 AMOLED 彩色電子書(Samsung Galaxy)播放不同的影片類型會有不同能耗表現的原因，主要是由於 Broadcast Video Signals 動態影片有許多以黑暗為主的畫面，如圖 1-6 所示之煙火秀畫面等，對 AMOLED 顯示器而言，黑畫面中的 Pixels 是不需點亮，亦即該 Pixels 完全不耗電(採 Local Dimming 技術)。因此，相較於 Internet Video

Signals 動態影片都是以白畫面為主的瀏覽網頁，如圖 1-7 所示，其能耗值就相對較低。



圖 1- 6：Broadcast Video Signals 動態影片之煙火秀畫面 (黑畫面為主)

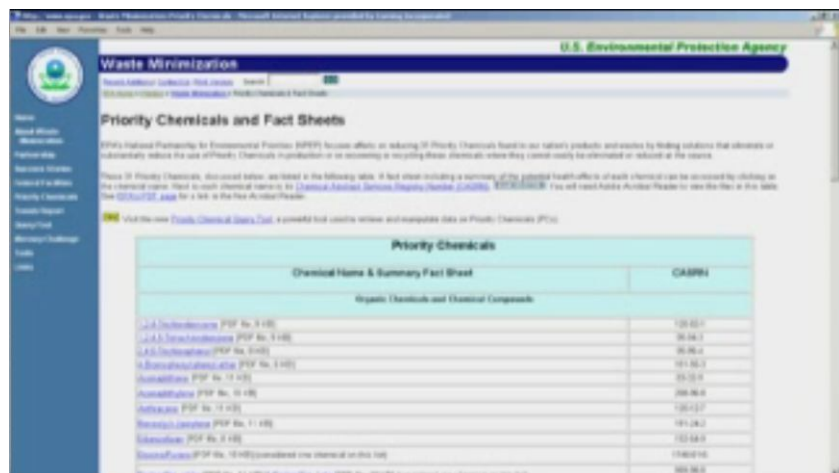


圖 1- 7：Internet Video Signals 動態影片之瀏覽網頁畫面 (白畫面為主)

此外，將 AMOLED 彩色電子書(Samsung Galaxy)的動態顯示能耗與其靜態顯示能耗相比，我們發現除了當亮度設定為 100 %，並播放 Broadcast Video Signals 影片之外，該電子書產品的動態顯示能耗值皆明顯高於靜態顯示能耗值。

3) 彩色電子紙顯示器(Mirasol)動態顯示能耗量測結果

表 1-6 所示為彩色電子紙顯示器(Mirasol)之動態顯示能耗量測結果，總共完成三次的量測。彩色電子書動態顯示能耗之總量測時間為 10 min，量測時必須將此顯示器特有的前導光關閉、Wireless OFF、Voice OFF、自動旋轉螢幕功能固定、以及將取樣頻率設定為 3000 Hz。

表 1- 6：彩色電子紙顯示器(Mirasol)之動態顯示能耗量測結果

量測次數	動態影片類型 (採用 IEC 62087 標準影片)	總能耗 $E_T(t_m)$ (mWh) ($t_m = 10 \text{ min}$)	$B_i(t_r)$ (Times) ($t_r = 10 \text{ min}$)	$B_T(t_r)$ (Hours) ($t_r = 10 \text{ min}$)
1	Broadcast Video Signals	298.3465	22	3.7
	Internet Video Signals	288.8494	23	3.8
2	Broadcast Video Signals	297.8176	22	3.7
	Internet Video Signals	289.2691	23	3.8
3	Broadcast Video Signals	296.8946	22	3.7
	Internet Video Signals	288.7827	23	3.8

經分析表 1-6 的量測結果後，我們得到以下的結論：

- (1)不同的動態影片類型，例如 Broadcast Video Signals 或 Internet Video Signals，其總能耗值 $E_T(t_m=10 \text{ min})$ 差異並不大(約為 288 mWh 至 298 mWh)。
- (2)該電子書產品的電池容量可供觀賞動態影片的電池續航次數 $B_i(t_r=10 \text{ min})$ 約為 22 至 23 次。同時；該電子書產品的電池容量可供觀賞動態影片的電池續航時間 $B_T(t_r=10 \text{ min})$ 約為 3.7 至 3.8 小時。

由此可見，彩色電子紙顯示器(Mirasol)在播放動態影片下，其顯示模式就等同於電子書不斷地在進行電子書換頁程序，而由於電子紙顯示器為雙穩態元件，僅於切換畫面時才需耗電，以致該彩色電子紙顯示器在播放動態影片下其能耗值就大幅地提高。

綜整以上的量測結果，本研究認為我們所建立之彩色電子紙顯示器能耗特性量測技術，在適當的能耗測試圖樣搭配下，確實可以精確地量測彩色電子紙顯示器的能耗特性，並精準地評估其電池續航力(Battery Life)，包含電池換頁續航力或電池續航時間。除此之外，該能耗量測技術亦適用於以 LCD 或是 OLED 顯示技術所製作之彩色平板電子書的能耗特性量測與電池續航力評估。

- 後續工作構想及重點：

(1)本年度以 FY97~FY99 年執行「軟性電子檢測技術與量測標準計畫」期間針對電子紙顯示器所建立之相關技術，如灰階切換控制電路、電子紙檢測移動平台、電子紙分光反射率/殘影自動化量測架構、以及影像處理等技術作為基礎，並整合 FY100 年針對灰階電子紙所建立之能耗量測模組以及相關研究成果，再搭配適當之彩色電子紙能耗量測參考測試圖樣進行畫面切換，藉此完成彩色電子紙顯示器之能耗量測技術的建立與研究。未來將進一步整合 FY100~FY101 年針對灰階以及彩色電子書產品所建立之能耗量測技術以及相關研究成果，藉此應用於軟性顯示器產品之能耗特性量測技術開發與研究，以提供軟性顯示器製造商與儀器商對於軟性顯示器能耗特性量測技術之解決方案，並期望能進一步透過相關標準組織活動，推動成為區域甚或國際標準。

(2)透過 SEMI 電子紙量測標準工作小組中與各產學研代表共同交流並逐步擴大討論範疇，漸次涵蓋電子紙相關的參數標準制定，期能掌握電子紙關鍵參數的量測標準，以訂定最適切且客觀之電子紙量測標準規範，並在當下台灣廠商已在電子紙研發與量產佔有絕佳重要地位的時刻，儘早完成電子紙相關產業標準之訂定。

- 衍生收益：

(1) 本計畫成功地建立彩色電子紙顯示器之能耗量測技術，並完整地進行彩色電子紙能耗參考測試圖案的評估研究，以及精準地評估各款電子書產品的電池續航力(Battery Life)，包含電池換頁續航力或電池續航時間。因此，本計畫也多次提供元太科技以及中華映管研發部門關於彩色電子紙顯示器能耗量測方法及其電池續航力評估方式之技術諮詢。此外，針對彩色電子紙能耗量測標準研究課題所產出之研發成果亦可提供電子紙顯示器產品於能耗特性量執行上之參考依據，達到協助國內業者提升產業品質的目的。

(2) 彙集本計畫所建立之彩色電子紙能耗量測技術，以及 FY100 所建立之灰階電子紙能耗量測技術，再搭配 FY97~FY99 執行軟性電子計畫期間針對電子紙顯示器所建立之相關技術進行電子紙能耗特性之量測研究，除了可以提供電子紙製造商與儀器商對於電子紙能耗特性量測技術的解決方案之外，並期盼能與電子紙關鍵之台灣廠商共同訂定最適當且客觀之電子紙量測標準規範，以助於國內與國際間電子紙產業的推動與發展。

2. 量化成果說明

(1) 論文

a. 國際研討會 1 篇，投稿 2012 ICFPE 國際研討會

題目：Precise Measuring Method for Energy Consumption of Flexible Electronic Paper Displays

內容：

軟性電子紙顯示器的能耗量測方法本研究主要是利用同步觸發訊號源來觸發兩個 PXI 多功能量測電表，以進行直流電壓與直流電流訊號的同步取樣。透過軟體的執行與計算即可獲得軟性電子紙顯示器在量測期間的總能耗。依據實驗結果得知，藉由適當的同步取樣頻率，本研究可以精確的量測到軟性

電子紙顯示器的能耗值。此外，透過適當的能耗檢測圖案與量測方法亦可有效地分析與評估軟性電子紙顯示器的能耗特性。

b. 國內期刊 1 篇，投稿量測資訊期刊

題目：灰階電子紙顯示器能耗量測技術研究

內容：

電子紙相較於 TFT-LCD 顯示器，為一新型的「反射式 (Reflective)」與「雙穩態(Bistable)」顯示器，具有低耗電的優點。本研究建立灰階電子紙顯示器能耗量測架構，並進行灰階電子紙顯示器能耗特性量測研究，以作為後續於標準推動平台制訂電子紙顯示器能耗量測標準之參考。

(2) 研究報告 2 篇

1) 反射式電子書閱讀器電池續航力評估方法研究報告

內容：

本研究報告說明如何藉由一套適當的能耗量測程序，來評估反射式電子書閱讀器在不同單頁平均閱讀時間下的電池續航力。主要內容包括能耗量測系統介紹、能耗量測步驟、參數定義與計算，以及量測數據表格。

2) 彩色電子紙顯示器能耗量測技術研究報告

內容：

本研究報告主要是敘述彩色電子紙顯示器能耗量測技術之研究成果，透過 PXI 介面進行電壓與電流訊號的同步取樣，並搭配適當的能耗測試圖樣，精確地量測彩色電子紙顯示器的能耗特性，以及精準地評估其電池續航力。此外，本研究亦納入以 LCD 或是 OLED 顯示技術所製作之彩色平板電子書產品進行能耗檢測，並針對其能耗量測結果與彩色電子紙顯示器作比較與分析。

(3) 標準草案 1 份

完成 SEMI #4999A 電子紙顯示器光學特性測試方法之標準草案立案 (Test Methods for Optical Properties of Electronic Paper Displays)。

內容：

電子紙顯示器是透過外界光源的反射來達到顯示的效果，有別於一般的 LCD 顯示技術，而且目前國際間尚未制定電子紙相關量測標準規範，各電子紙製造廠商在量測電子紙關鍵參數時，以及消費者在電子紙產品規格的解讀上易造成困擾。尤其在使用不同光學量測幾何架構/儀器，將得到不同的電子紙反射率/對比量測結果。因此，本標準草案是針對電子紙顯示器之光學特性量測方法作完整的量測狀態標定。

(二) 彩色電子紙色彩衰減特性量測技術研究子項

1. 非量化執行成果說明

- 執行主要成果與績效：

由於電子紙未來發展之最終目的即是取代以傳統紙張作為資料儲存的現有書籍，所以其類紙性將成為很重要的特性之一。其中電子紙在不換頁時是不需消耗任何能源的，所以彩色電子紙在顯示彩色影像時之色彩衰減特性將視為彩色電子紙的重要關鍵參數。因此，本計畫將以之前所建立之電子紙反射率、對比量測技術與色度學的角度來分析與探討電子紙在不同入射角與光源下的顯示類紙性色域面積作為基礎，開始利用多角度(20°、45°、75°)環境光源(D65 光源)的影像式色彩量測平台針對彩色電子紙之灰階色彩色差與色域面積量測技術、以及顯示時間對色彩顯示品質的影響等角度來分析與探討彩色電子紙色彩衰減特性的定義與量測標準。未來亦將藉由 SMEI 國際標準制定平台，提出適當之電子紙顯示器產業所需的光學色彩量測標準草案，以強化台灣在電子紙與軟性顯示器產業之國際競爭優勢。

A. 研發成果：多角度環境光源之電子紙色彩衰減量測技術建立

a) 量測架構與方法程序

係利用本實驗室自行研發之軟性顯示器光學檢測系統，雙光束(Directional Illumination)A 光源(色溫 2700 K)搭配上量測旋轉平台，專對彩色電子紙作光學特性檢測，其光源穩定性在開機 17 分鐘後，可達 99 % 的穩定度，如圖 1-8。雙光束如圖 1-9，分別達到光源在入射角的改變(20°、45°、75°)，先量取標準白板及標準黑板的光學特性參數-三刺激值(XYZ)，以用於後續的數據分析中。其中利用量測白板，針對光源照射均勻度在 1 cm 的方塊區域內約有 99.5 %、94 % 與 88.5 % 分別使用 20°、45°、75° 等入射角照光之均勻性可以被確認，以完成量測幾何條件的光源照射

均勻性分析，如圖 1-10 與表 1-7。除此之外，其矩陣式光學亮度色度計之量測穩定也可以達 99 %之重複性與再現性，如圖 1-11 與表 1-8。由於彩色電子紙為一反射式顯示器，所以環境光源的色溫將會影響其電子紙色彩量測結果，因此為了減少光源色溫的影響，本量測將採用 D65 光源，再藉由改變不同的入射角度(20°、45°、75°)，分別量測 Fujitsu、Mirasol 與 E-ink 電子紙顯示器之 R、G、B 三個 pattern 的各四等灰階色彩之圖樣，最終由矩陣式光學亮度色度計擷取各圖樣之三刺激值(XYZ)。

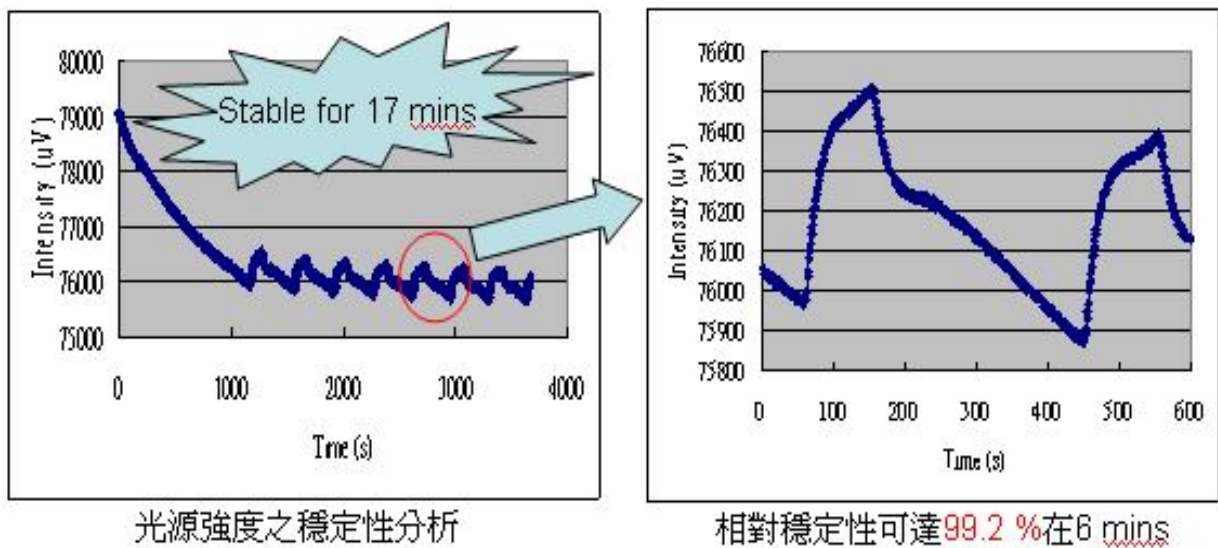


圖 1-8：光源穩定性分析

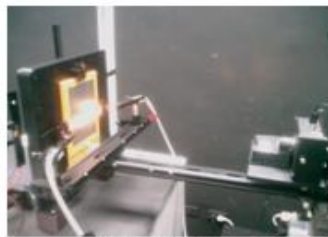
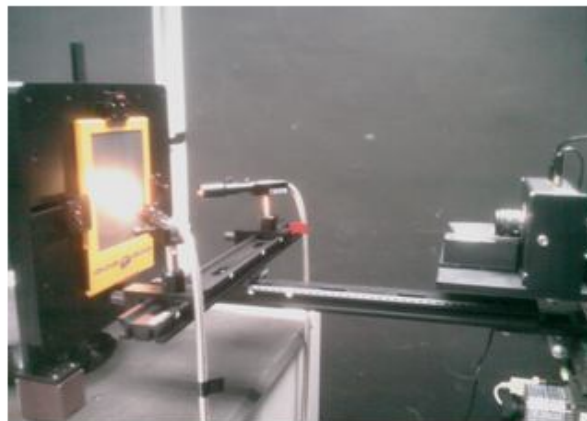
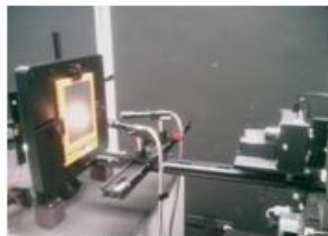
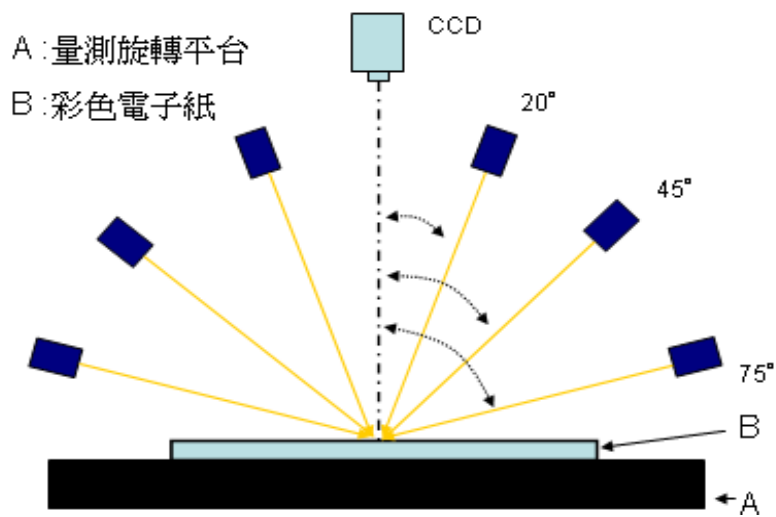


圖 1-9：電子紙光學檢測平台量測機構圖

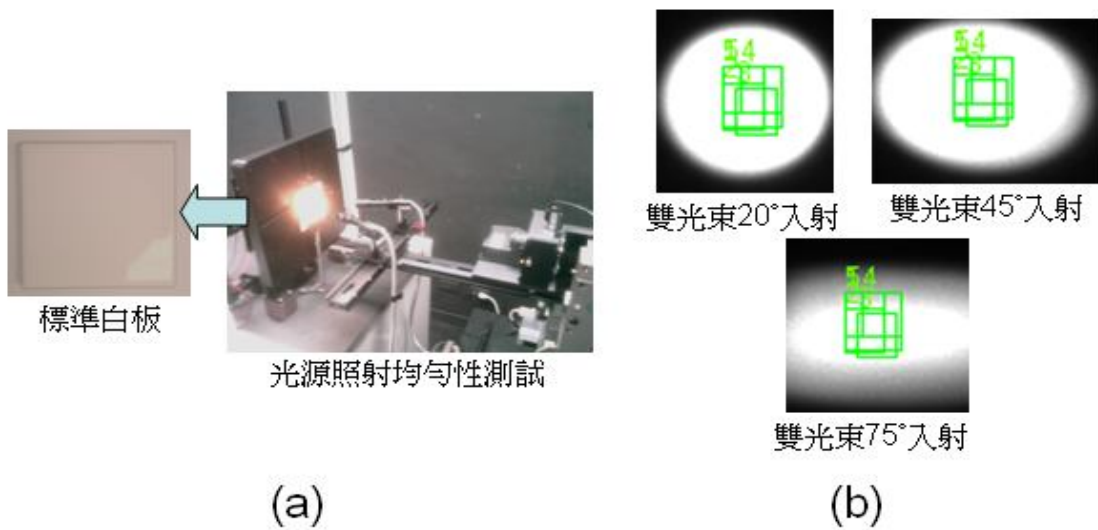


圖 1-10：20°、45°與 75°之入射角照光之(a)量測架構圖和(b)量測結果圖

表 1-7： 20°、45°與 75°之入射角光源照射亮度均勻性量測結果

入射角度	20°	45°	75°
1 (cd/m ²) - 1 cm ²	822.81	765.00	282.67
2 (cd/m ²) - 1 cm ²	824.70	804.27	304.00
3 (cd/m ²) - 1 cm ²	820.98	772.29	305.46
4 (cd/m ²) - 1 cm ²	820.94	758.37	274.79
5 (cd/m ²) - 1 cm ²	822.97	786.49	272.99
Uniformity (%)	99.5 %	94.0 %	88.5 %

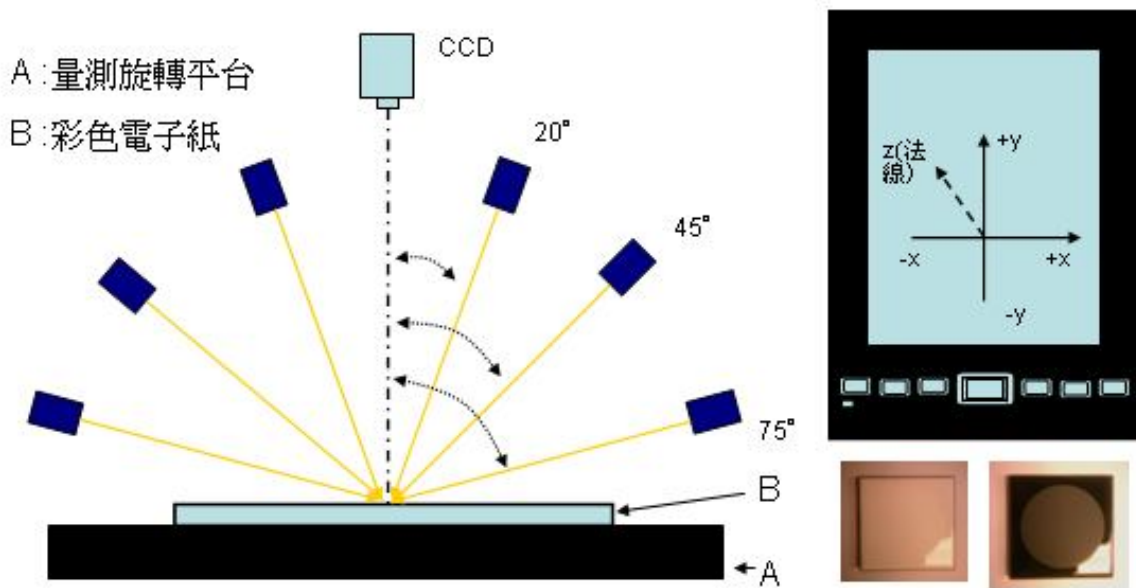


圖 1-11：電子紙光學檢測平台量測穩定性架構圖

表 1-8：電子紙光學檢測平台量測穩定性分析

光入射角度(°)	白板(%)	黑板(%)
20	99.7	99.5
45	99.6	99.8
75	99.2	99.1

b) 標準追溯轉換

藉由一組有作追溯之標準白板、標準黑板，同以 CCD 量測、擷取之三刺激值，透過一系列運算、分析的過程，得到標準化的三刺激值稱作「標準追溯轉換」，公式如下：

$$(M - MSB) \times [(SW - SB) / (MSW - MSB)] + SB \quad (1)$$

其中：

M 為量測值(XYZ)；

MSB 為標準黑板的量測值(XYZ)；MSW 為標準白板量測值(XYZ)

SW 為標準白板追溯值(XYZ)，追溯至國家度量衡標準；SB 為標準黑板追溯值(XYZ)，追溯至國家度量衡標準

再從所得之標準化三刺激值加以計算分析得到色度座標 (Chromaticity coordinate)，並藉此計算出此電子紙顯示器在各入射角度變化下之亮度、CIE1931 與 CIE 1976 UCS 色度座標、色域面積的變化，其中 CIE1931、CIE 1976 UCS 色度座標與色差計算方式如 Eqs. (2)~(5)。

$$\begin{cases} X(t) = k \cdot \sum_{\lambda} R(\lambda, t) \cdot S(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) \cdot \Delta\lambda \\ Y(t) = k \cdot \sum_{\lambda} R(\lambda, t) \cdot S(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) \cdot \Delta\lambda \\ Z(t) = k \cdot \sum_{\lambda} R(\lambda, t) \cdot S(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) \cdot \Delta\lambda \\ k = \frac{100}{\sum_{\lambda} S(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) \cdot \Delta\lambda} \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} x = \frac{X}{X+Y+Z} \\ y = \frac{Y}{X+Y+Z} \\ z = \frac{Z}{X+Y+Z} \end{cases} \quad (3)$$

其中 $x + y + z = 1$ 。

$$\begin{cases} u' = 4x / (3 - 2x + 12y) \\ v' = 9y / (3 - 2x + 12y) \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} L^* = 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16 & \text{for } Y/Y_n > 0.008856 \\ u^* = 13L^*(u' - u'_n) \\ v^* = 13L^*(v' - v'_n) \\ \Delta E_{uv}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta u^*)^2 + (\Delta v^*)^2]^{1/2} \end{cases} \quad (5)$$

其中 Y_n 、 u'_n 與 v'_n 為來自於同一個量測幾何之光源照射在理想的均勻散射條件下之待測件的數值。最終，繪製其對應 CIE1931 色度度座標圖(x , y)與 CIE 1976 UCS 色度度座標圖(u' , v')，以利後續之電子紙顯色能力的灰階色彩色差參數和色域面積與其時間衰減後之評估與分析。

c) 量測圖樣設計

根據 VESA 2.0 之灰階量測手法，我們完成設計出以白色與黑色為上下界之 RGB 三個 Pattern 的各四等階色彩圖，如圖 1-12。而其量測四等階色彩圖樣之 sRGB 訊號值表，如表 1-9。

•RGB四等灰階色彩patterns

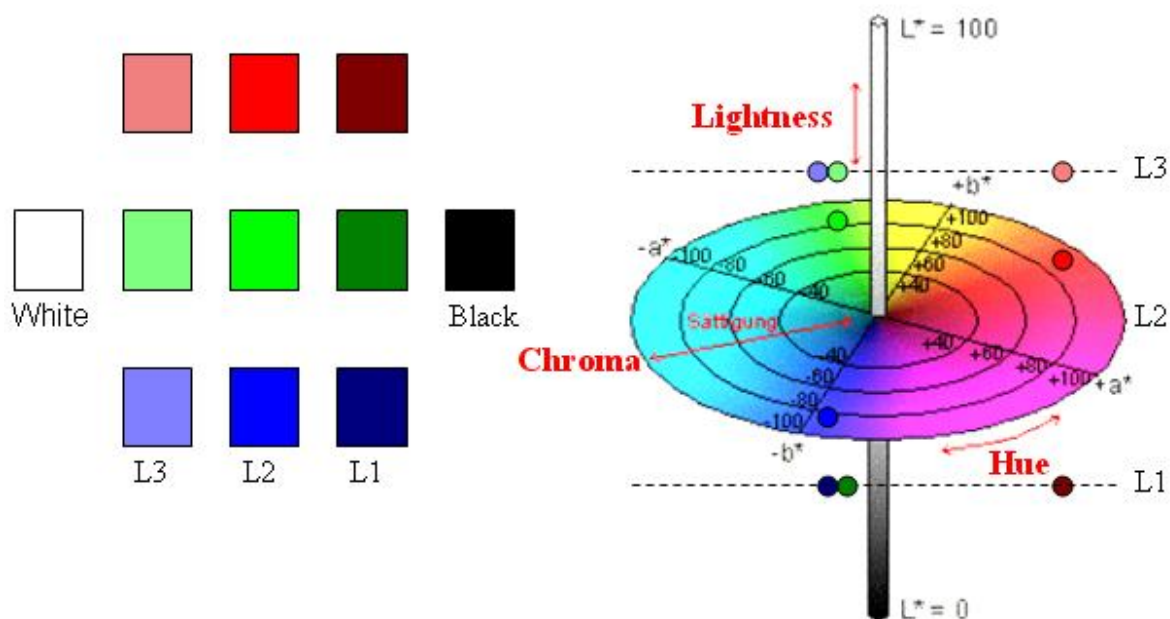


圖 1- 12：RGB 三個 Oattern 的各四等階色彩圖設計

表 1- 9：四等階色彩圖樣之 sRGB 訊號值表

Level	(紅色系 sRGB)			(綠色系 sRGB)			(藍色系 sRGB)		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
White	255	255	255	255	255	255	255	255	255
L3	255	127	127	127	255	127	127	127	255
L2	255	0	0	0	255	0	0	0	255
L1	127	0	0	0	127	0	0	0	127
Black	0	0	0	0	0	0	0	0	0

B. 研發成果：多角度環境光源之電子紙顯色能力的灰階色彩色差參數和色域面積與其時間衰減後之評估與分析

為了針對電子紙顯色能力的灰階色彩色差參數和色域面積與其時間衰減後之評估與分析，本研究依序針對 Fujitsu、Mirasol 與 E-ink 電子紙之其灰階色彩色差參數和色域面積與其時間衰減做量測與結果分析。首先針對 Fujitsu 電子紙之量測結果做分析，其中本研究分別在一開始、3 分鐘後與 5 分鐘後(依使用者習慣，電子紙的翻頁時間最長應該不會超過 5 分鐘)個別量測一次，以探討其時間衰減特性，其量測結果如圖 1-13~1-18：

d/8 積分球光源系統 for Fujitsu 電子書色差量測

Level	R			G			B		
	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.
White	----	----	----	----	----	----	----	----	----
L3	9.17	8.93	7.80	3.25	3.23	2.74	7.45	6.75	6.29
L2	10.26	10.14	9.99	3.81	3.45	3.01	9.07	8.86	8.80
L1	12.40	11.61	11.02	10.85	10.71	10.44	12.65	11.93	11.45
Black	13.10	12.34	12.93	13.10	12.34	12.93	13.10	12.34	12.93

20°入射/ 0° 接收 for Fujitsu 電子書色差量測

Level	R			G			B		
	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.
White	----	----	----	----	----	----	----	----	----
L3	12.71	12.77	12.51	4.35	4.19	4.18	12.24	12.08	12.12
L2	17.23	16.95	16.92	5.06	4.98	4.99	15.56	15.45	15.51
L1	20.92	20.50	20.60	5.07	4.98	4.99	19.68	19.53	19.61
Black	21.61	21.15	21.24	21.61	21.15	21.24	21.61	21.15	21.24

45°入射/ 0° 接收 for Fujitsu 電子書色差量測

Level	R			G			B		
	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.
White	----	----	----	----	----	----	----	----	----
L3	7.72	7.76	7.60	3.53	3.59	3.63	6.43	6.38	6.32
L2	9.81	9.64	9.61	4.20	4.12	4.21	8.54	8.48	8.40
L1	12.27	12.13	12.10	11.60	11.42	11.40	11.04	10.81	10.72
Black	12.56	12.44	12.45	12.56	12.44	12.45	12.56	12.44	12.45

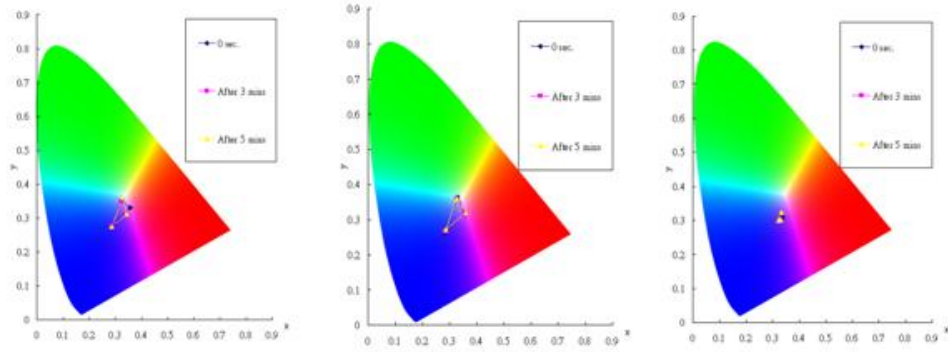
75°入射/ 0° 接收 for Fujitsu 電子書色差量測

Level	R			G			B		
	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.
White	----	----	----	----	----	----	----	----	----
L3	1.80	1.78	1.75	0.29	0.25	0.28	1.25	1.18	1.21
L2	2.21	2.17	2.18	0.46	0.46	0.42	1.72	1.69	1.71
L1	2.64	2.59	2.62	2.00	1.93	1.95	2.21	2.17	2.19
Black	2.64	2.60	2.62	2.64	2.60	2.62	2.64	2.60	2.62

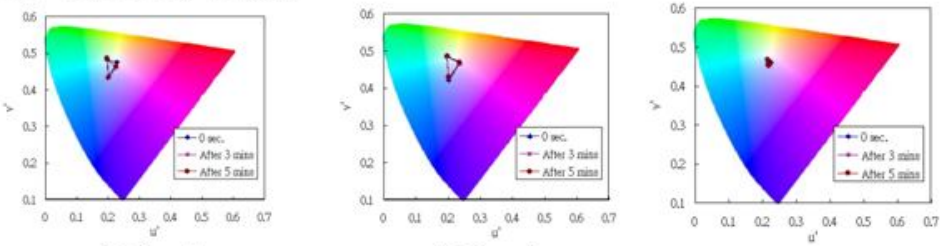
圖 1-13：Fujitsu 電子紙多角度環境光源之色差量測結果

d/8 積分球光源系統 for Fujitsu電子書色域量測

•CIE 1931標準色度系統與



•CIE 1976 UCS色度系統



L3 level

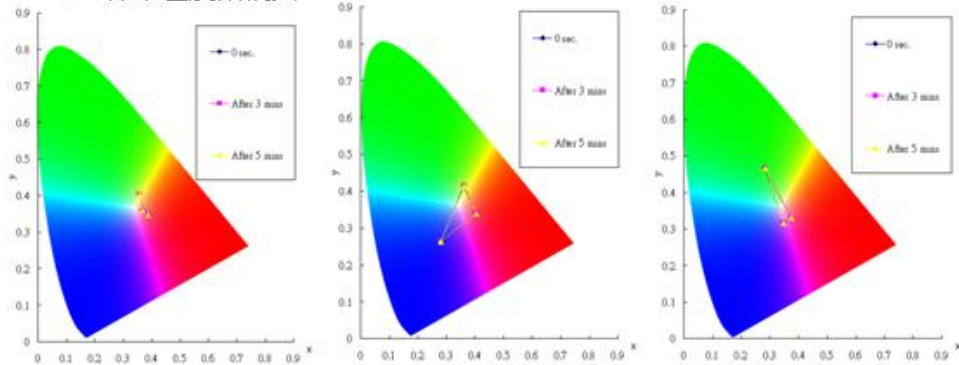
L2 level

L1 level

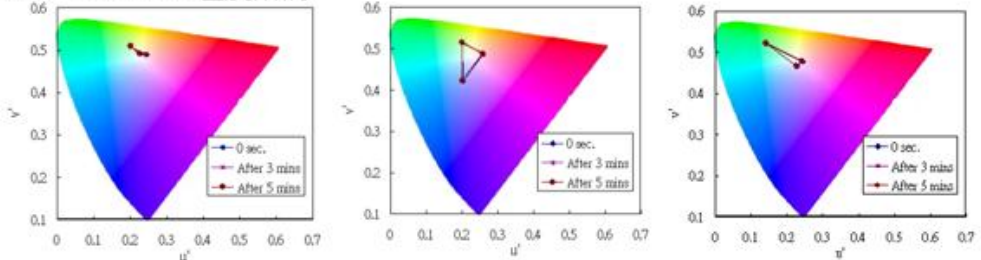
圖 1- 14 : Fujitsu 電子紙 defusing 入射/ 8°接收之色域面積量測結果

20°入射/ 0° 接收 for Fujitsu電子書色域量測

•CIE 1931標準色度系統與



•CIE 1976 UCS色度系統



L3 level

L2 level

L1 level

圖 1- 15 : Fujitsu 電子紙 20°入射/ 0°接收之色域面積量測結果

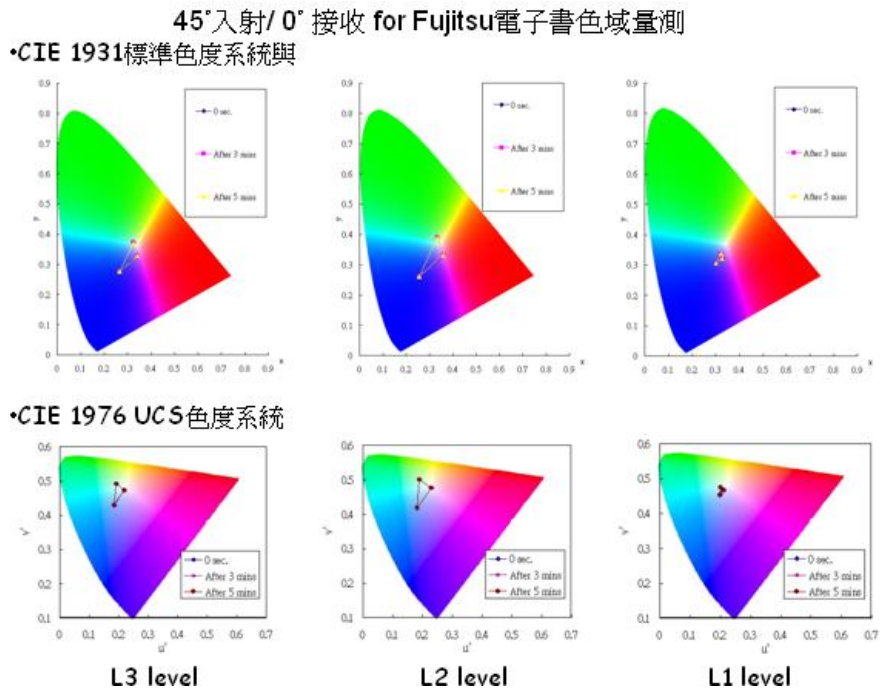


圖 1- 16 : Fujitsu 電子紙 45°入射/0°接收之色域面積量測結果

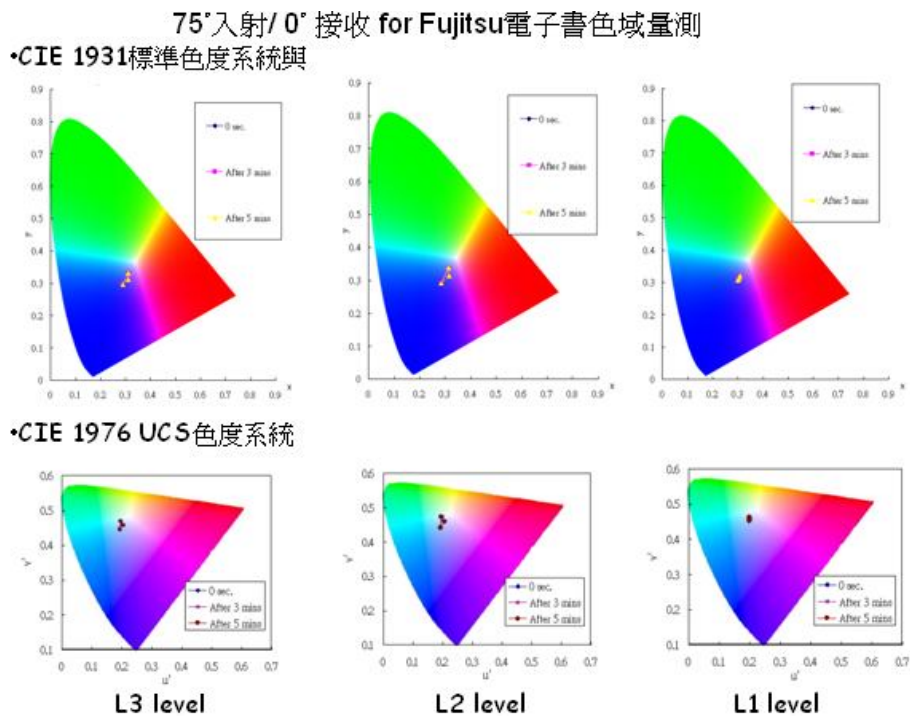


圖 1- 17 : Fujitsu 電子紙 75°入射/0°接收之色域面積量測結果

d/8 積分球光源系統 for Fujitsu 電子書色域量測

Gamut						
Level	xy-NTSC (%)			u'v'-NTSC (%)		
	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.
L3	0.995	0.827	1.031	0.961	0.837	1.022
L2	1.660	1.489	1.448	1.678	1.508	1.433
L1	0.004	0.036	0.046	0.004	0.039	0.048

20°入射/ 0° 接收 for Fujitsu 電子書色域量測

Gamut						
Level	xy-NTSC (%)			u'v'-NTSC (%)		
	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.
L3	0.222	0.217	0.237	0.171	0.166	0.182
L2	4.048	3.970	3.995	3.660	3.581	3.609
L1	1.615	1.598	1.622	1.219	1.200	1.224

45°入射/ 0° 接收 for Fujitsu 電子書色域量測

Gamut						
Level	xy-NTSC (%)			u'v'-NTSC (%)		
	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.
L3	1.308	1.350	1.318	1.217	1.256	1.225
L2	2.547	2.524	2.444	2.373	2.344	2.269
L1	0.138	0.160	0.154	0.132	0.151	0.145

75°入射/ 0° 接收 for Fujitsu 電子書色域量測

Gamut						
Level	xy-NTSC (%)			u'v'-NTSC (%)		
	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.
L3	0.131	0.142	0.135	0.129	0.140	0.133
L2	0.225	0.252	0.254	0.221	0.247	0.249
L1	0.009	0.007	0.006	0.009	0.007	0.006

圖 1-18：Fujitsu 電子紙多角度環境光源之色域面積與時間衰減結果

由這些量測結果，可以歸納出幾個結論：

- 色差結果為與白色畫面的比較結果，其中 d/8 與 45/0 之色差結果相近
- 時間因素之色彩衰減影響不大(色差在 2 以內)
- 綠色系灰階色彩顯示能力較差
- 20/0 之光源效應過高導致高亮度 Pattern 太亮而造成色域面積變小
- d/8 與 45/0 之色域面積結果相近
- 75/0 之色域面積結果太小，已無法用 NTSC 來分析
- 時間因素之色域面積影響不大(都是些微變小)
- 光源入射角度影響色差與色域面積量測結果很大(75° 最差)

接下來我們將針對 Mirasol 電子紙之量測結果做分析，其量測結果如圖 1-19~1-24：

d/8 積分球光源系統 for Mirasol 電子書色差量測

Level	R			G			B		
	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.
White	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
L3	17.86	18.10	17.36	7.46	7.63	8.05	21.52	21.54	22.34
L2	17.68	17.70	18.24	7.65	7.97	8.11	26.57	26.84	27.48
L1	23.48	24.75	23.80	20.50	20.78	20.41	28.23	28.90	28.67
Black	29.24	29.67	31.18	29.24	29.67	31.18	29.24	29.67	31.18

20°入射/ 0° 接收 for Mirasol 電子書色差量測

Level	R			G			B		
	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.
White	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
L3	37.37	37.27	37.24	11.46	11.28	11.62	42.54	42.41	42.74
L2	37.79	37.70	38.01	11.82	11.78	12.06	52.77	52.26	52.51
L1	48.71	48.54	48.85	38.65	38.55	38.81	56.39	56.33	56.48
Black	59.71	59.72	59.86	59.71	59.72	59.86	59.71	59.72	59.86

45°入射/ 0° 接收 for Mirasol 電子書色差量測

Level	R			G			B		
	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.
White	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
L3	13.79	13.77	13.86	6.90	6.84	6.96	19.83	19.77	19.84
L2	14.12	14.01	14.07	7.05	7.02	7.07	24.47	24.49	24.51
L1	20.77	20.68	20.77	18.54	18.53	18.54	26.48	26.51	26.54
Black	28.49	28.42	28.57	28.49	28.42	28.57	28.49	28.42	28.57

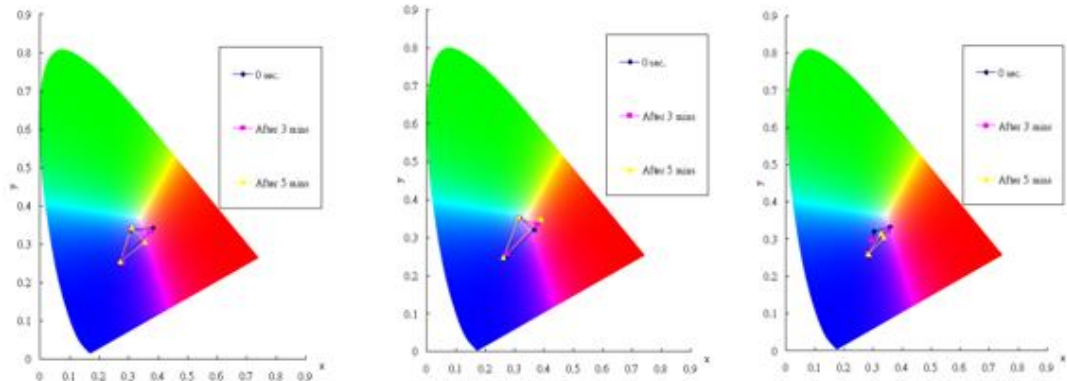
75°入射/ 0° 接收 for Mirasol 電子書色差量測

Level	R			G			B		
	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.
White	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
L3	1.02	1.02	1.02	0.70	0.69	0.69	1.11	1.14	1.11
L2	1.03	1.04	1.02	0.72	0.72	0.72	1.40	1.40	1.39
L1	1.34	1.35	1.35	1.28	1.28	1.28	1.51	1.50	1.51
Black	1.61	1.62	1.60	1.61	1.62	1.60	1.61	1.62	1.60

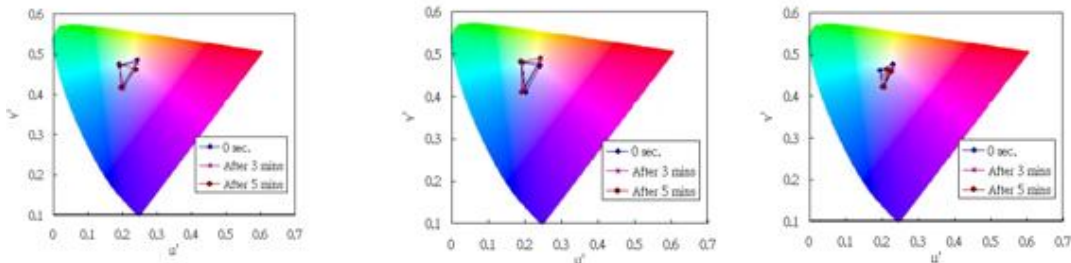
圖 1-19：Mirasol 電子紙多角度環境光源之色差量測結果

d/8 積分球光源系統 for Mirasol電子書色域量測

CIE 1931標準色度系統與



CIE 1976 UCS色度系統



L3 level

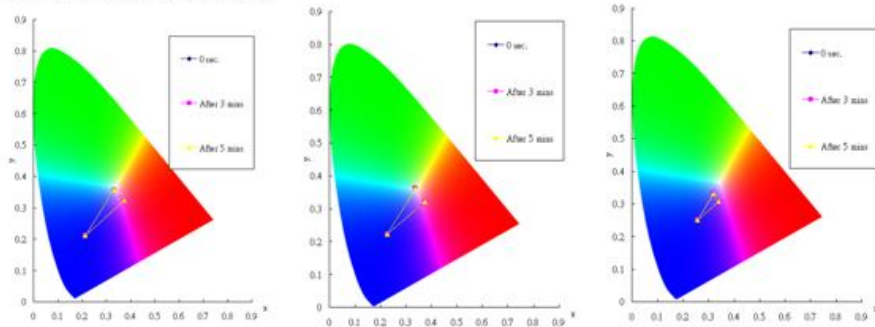
L2 level

L1 level

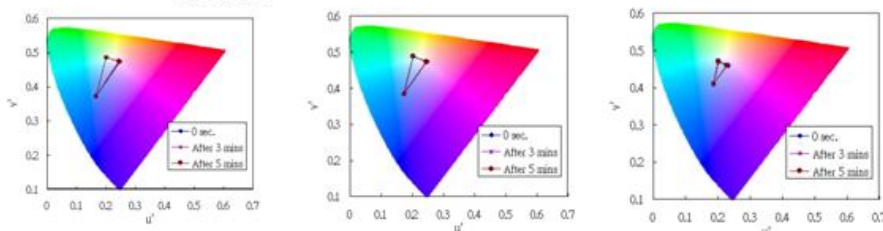
圖 1- 20 : Mirasol 電子紙 Defusing 入射/ 8°接收之色域面積量測結果

20°入射/ 0°接收 for Mirasol電子書色域量測

•CIE 1931標準色度系統與



•CIE 1976 UCS色度系統



L3 level

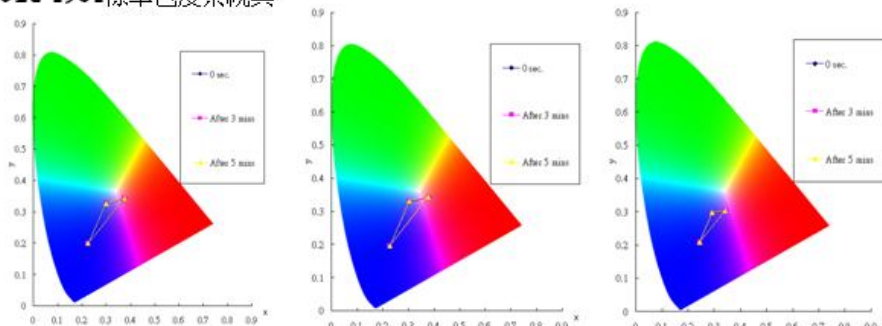
L2 level

L1 level

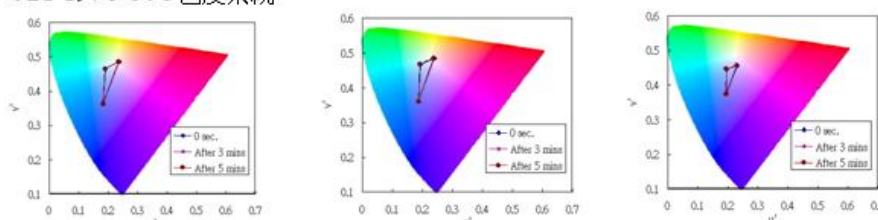
圖 1- 21 : Mirasol 電子紙 20°入射/ 0°接收之色域面積量測結果

45°入射/0°接收 for Mirasol電子書色域量測

•CIE 1931標準色度系統與



•CIE 1976 UCS色度系統



L3 level

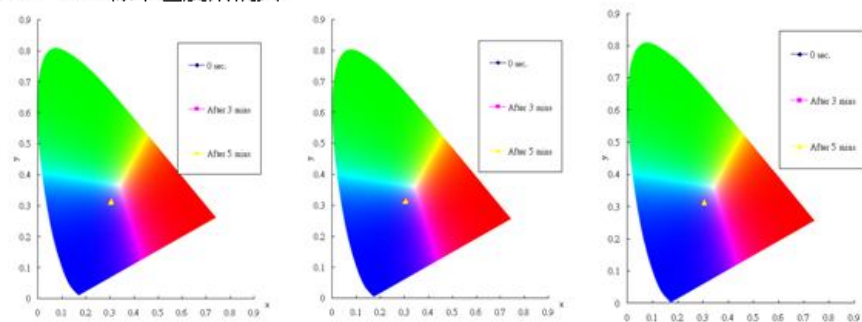
L2 level

L1 level

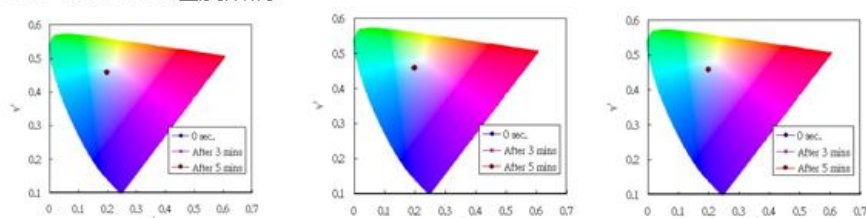
圖 1-22 : Mirasol 電子紙 45°入射/0°接收之色域面積量測結果

75°入射/0°接收 for Mirasol電子書色域量測

•CIE 1931標準色度系統與



•CIE 1976 UCS色度系統



L3 level

L2 level

L1 level

圖 1-23 : Mirasol 電子紙 75°入射/0°接收之色域面積量測結果

d/8 積分球光源系統 for Mirasol 電子書色域量測

Gamut						
Level	xy-NTSC (%)			u'v'-NTSC (%)		
	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.
L3	1.85	2.01	1.74	1.88	2.10	1.86
L2	2.18	2.08	2.57	2.28	2.10	2.55
L1	0.92	0.57	0.31	0.97	0.64	0.35

20°入射/ 0° 接收 for Mirasol 電子書色域量測

Gamut						
Level	xy-NTSC (%)			u'v'-NTSC (%)		
	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.
L3	3.42	3.38	3.24	3.79	3.73	3.58
L2	3.12	3.08	3.08	3.35	3.31	3.32
L1	1.15	1.19	1.03	1.27	1.31	1.12

45°入射/ 0° 接收 for Mirasol 電子書色域量測

Gamut						
Level	xy-NTSC (%)			u'v'-NTSC (%)		
	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.
L3	2.62	2.61	2.60	3.03	3.00	2.99
L2	2.86	2.92	2.80	3.32	3.38	3.24
L1	1.29	1.26	1.34	1.67	1.62	1.72

75°入射/ 0° 接收 for Mirasol 電子書色域量測

Gamut						
Level	xy-NTSC (%)			u'v'-NTSC (%)		
	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.
L3	0.0037	0.0038	0.0031	0.0037	0.0037	0.0030
L2	0.0028	0.0033	0.0024	0.0027	0.0033	0.0023
L1	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003

圖 1-24：Mirasol 電子紙多角度環境光源之色域面積與時間衰減結果

由這些量測結果，可以歸納出幾個結論：

- 色差結果為與白色畫面的比較結果，其中 d/8 與 45/0 之色差結果相近
- 時間因素之色彩衰減影響不大(色差在 2 以內)
- 紅與綠色系灰階色彩顯示能力較差
- 20/0 之光源效應過高導致高亮度 Pattern 太亮而造成色域面積變小
- d/8 與 45/0 之色域面積結果相近
- 75/0 之色域面積結果太小，已無法用 NTSC 來分析
- 時間因素之色域面積影響不大(都是些微變小)

- 光源入射角度影響色差與色域面積量測結果很大(75°最差)

最後我們將針對 E-ink 電子紙之量測結果做分析，其量測結果如圖 1-25~1-30：

d/8 積分球光源系統 for E-ink電子書色差量測

Level	R			G			B		
	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.
White	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
L3	21.53	21.37	20.33	10.75	11.02	10.23	21.87	21.70	19.46
L2	22.52	22.61	22.17	13.62	12.06	10.04	22.85	22.82	21.66
L1	27.64	26.51	24.44	22.65	22.28	21.94	27.07	26.82	25.41
Black	28.74	27.96	26.91	28.74	27.96	26.91	28.74	27.96	26.91

20°入射/ 0°接收 for E-ink電子書色差量測

Level	R			G			B		
	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.
White	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
L3	27.73	27.20	26.48	13.62	13.34	13.06	28.24	27.66	27.00
L2	29.73	29.07	28.48	14.71	14.54	14.13	30.85	30.20	29.40
L1	35.99	35.19	34.31	29.81	29.25	28.42	35.87	35.05	34.18
Black	37.38	36.53	35.76	37.38	36.53	35.76	37.38	36.53	35.76

45°入射/ 0°接收 for E-ink電子書色差量測

Level	R			G			B		
	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.
White	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
L3	26.65	26.10	25.50	12.92	12.56	12.26	27.02	26.48	25.87
L2	28.81	28.19	27.64	13.88	13.56	13.28	29.47	28.79	28.23
L1	35.87	35.07	34.33	29.26	28.59	27.92	35.80	34.97	34.16
Black	37.85	37.00	36.18	37.85	37.00	36.18	37.85	37.00	36.18

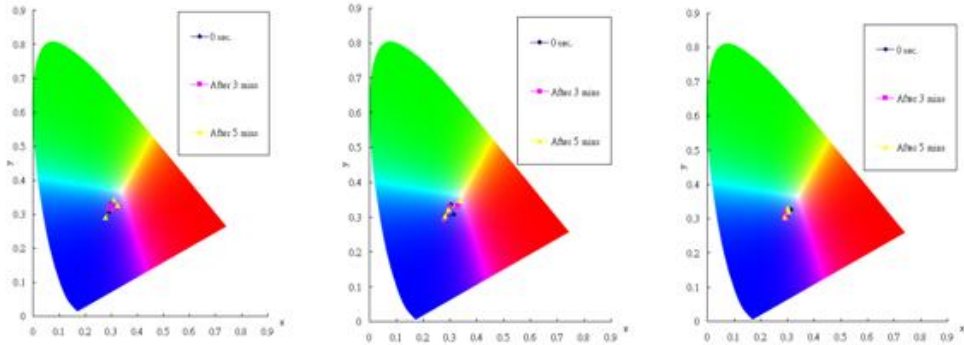
75°入射/ 0°接收 for E-ink電子書色差量測

Level	R			G			B		
	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.
White	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
L3	12.61	12.44	12.21	7.34	7.27	7.14	12.88	12.67	12.41
L2	13.54	13.34	13.08	7.80	7.73	7.55	13.84	13.66	13.35
L1	16.30	16.04	15.70	14.18	14.00	13.69	16.36	16.09	15.75
Black	16.94	16.69	16.35	16.94	16.69	16.35	16.94	16.69	16.35

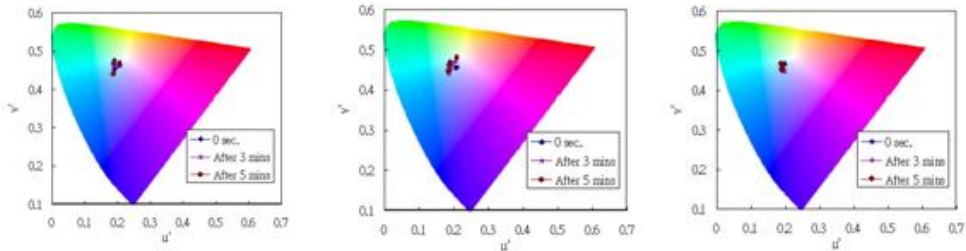
圖 1- 25：E-ink 電子紙多角度環境光源之色差量測結果

d/8 積分球光源系統 for E-ink電子書色域量測

•CIE 1931標準色度系統與



•CIE 1976 UCS色度系統



L3 level

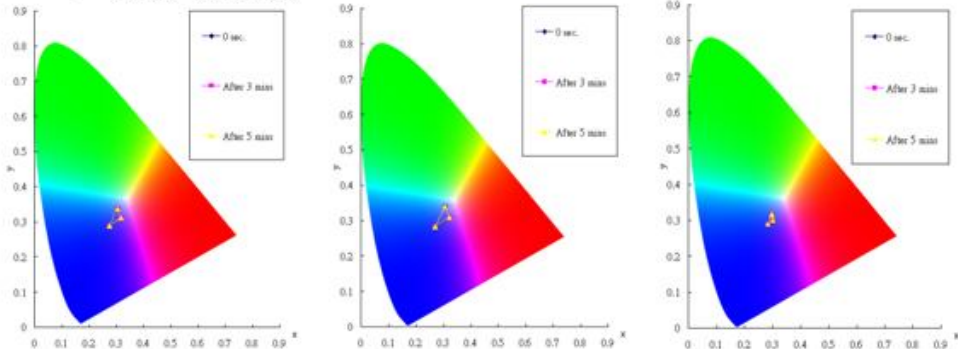
L2 level

L1 level

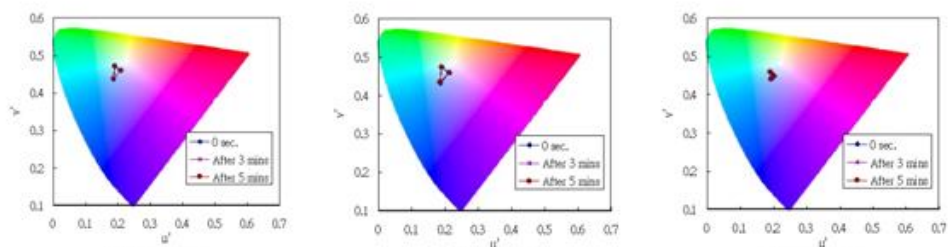
圖 1- 26 : E-ink 電子紙 Defusing 入射/ 8°接收之色域面積量測結果

20°入射/ 0°接收 for E-ink電子書色域量測

•CIE 1931標準色度系統與



•CIE 1976 UCS色度系統



L3 level

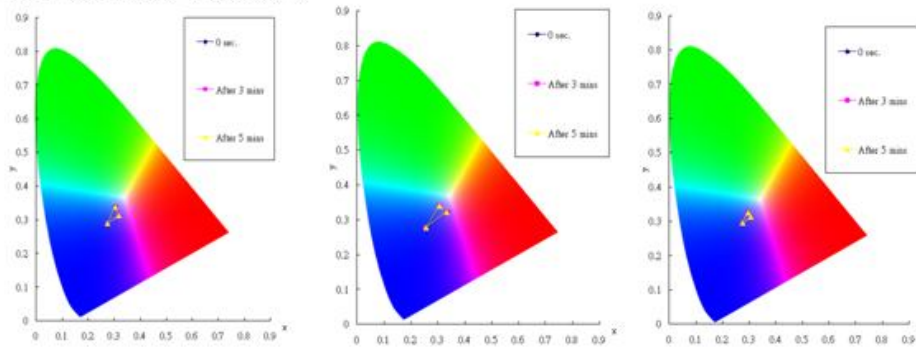
L2 level

L1 level

圖 1- 27 : E-ink 電子紙 20°入射/ 0°接收之色域面積量測結果

45°入射/ 0°接收 for E-ink電子書色域量測

•CIE 1931標準色度系統與



•CIE 1976 UCS色度系統

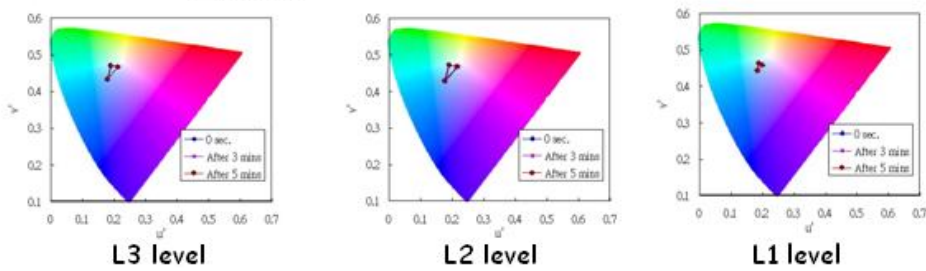
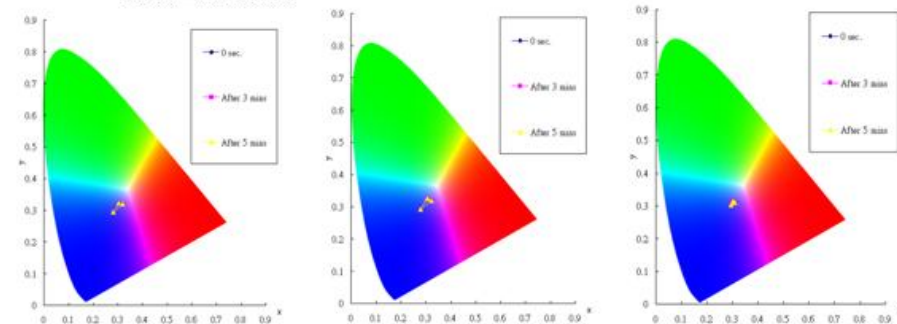


圖 1- 28 : E-ink 電子紙 45°入射/ 0°接收之色域面積量測結果

75°入射/ 0°接收 for E-ink電子書色域量測

•CIE 1931標準色度系統與



•CIE 1976 UCS色度系統

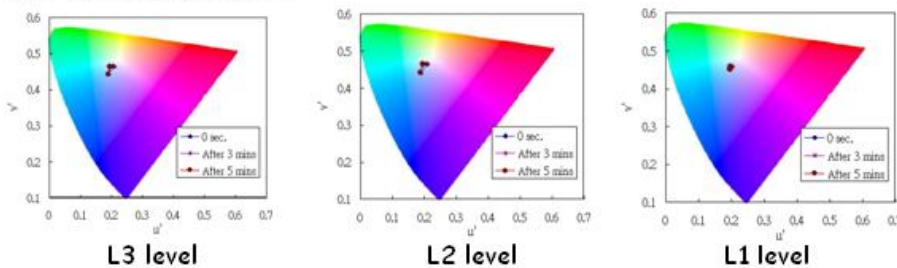


圖 1- 29 : E-ink 電子紙 75°入射/ 0°接收之色域面積量測結果

d/8 積分球光源系統 for E-ink 電子書色域量測

Gamut						
Level	xy-NTSC (%)			u'v'-NTSC (%)		
	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.
L3	0.19	0.13	0.40	0.18	0.13	0.38
L2	0.36	0.34	0.18	0.36	0.33	0.17
L1	0.06	0.03	0.07	0.06	0.03	0.06

20°入射/ 0° 接收 for E-ink 電子書色域量測

Gamut						
Level	xy-NTSC (%)			u'v'-NTSC (%)		
	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.
L3	0.48	0.49	0.44	0.48	0.48	0.44
L2	0.70	0.67	0.63	0.70	0.66	0.63
L1	0.13	0.11	0.10	0.14	0.11	0.11

45°入射/ 0° 接收 for E-ink 電子書色域量測

Gamut						
Level	xy-NTSC (%)			u'v'-NTSC (%)		
	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.
L3	0.59	0.59	0.59	0.58	0.58	0.58
L2	0.87	0.83	0.80	0.86	0.81	0.79
L1	0.18	0.17	0.18	0.18	0.17	0.18

75°入射/ 0° 接收 for E-ink 電子書色域量測

Gamut						
Level	xy-NTSC (%)			u'v'-NTSC (%)		
	0 sec.	3 mins.	5 mins.	0 sec.	3 mins.	5 mins.
L3	0.17	0.18	0.17	0.17	0.18	0.17
L2	0.22	0.23	0.23	0.22	0.23	0.23
L1	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03

圖 1-30：E-ink 電子紙多角度環境光源之色域面積與時間衰減結果

由這些量測結果，可以歸納出幾個結論：

- 色差結果為與白色畫面的比較結果，其中 d/8 與 45/0 之色差結果相近
- 時間因素之色彩衰減影響不大(色差在 2 以內)
- 綠色系灰階色彩顯示能力較差
- 20/0 之光源效應過高導致高亮度 Pattern 太亮而造成色域面積變小
- d/8 之色域面積結果變異很大
- 每個量測幾何之色域面積都很小，已無法用 NTSC 來分析
- 時間因素之色域面積影響不大(都是些微變小)

- 光源入射角度影響色差與色域面積量測結果很大(75°最差)
經由以上的電子紙之灰階色彩與色域面積之時間衰減量測與分析下，我們可以 Fujitsu、Mirasol 與 E-ink 等三台電子紙做一個顯色能力的結論分析如下：

- 灰階色彩與時間衰減結論
 - d/8 與 45/0 結果相近
 - 時間因素之色彩衰減影響不大(色差在 2 以內)
 - 光源入射角度影響量測結果很大(75°最差)，E-ink 影響較小
 - 綠色系灰階色彩顯示能力稍差，但是 E-ink 影響較小
 - 灰階顯色能力：E-ink > Mirasol > Fujitsu
- 色域面積與時間衰減結論
 - 20/0 之光源效應過高導致高亮度 Pattern 太亮而造成色域面積變小
 - Fujitsu 與 Mirasol 的 d/8 與 45/0 結果相近
 - E-ink 之 d/8 的結果變異性很大
 - Fujitsu 與 Mirasol 的 75/0 結果太小，已無法用 NTSC 來分析
 - E-ink 之每個量測幾何的結果都太小，已無法用 NTSC 來分析
 - 時間因素之色域面積影響不大(都是些微變小)
 - 光源入射角度影響量測結果很大(75°最差)
 - 整體而言色域表現：Fujitsu > Mirasol > E-ink

由於此三種電子紙的顯示機制不同，Fujitsu 為使用膽固醇液晶、Mirasol 是使用 MEM 機制而 E-ink 為使用電泳式顯示機制，導致不同量測幾何其量測的結果不同，所以在未來量測條件上的說明一定要標註其量測幾何的規格。

而綜觀結果，電子紙具有視角上色彩的限定，雖然有視角上的缺點，但是電子紙是一個較為私人使用的 3C 用品，所以視角

小對於隱私也有不錯的保護。而由兩個分析參數可知，E-ink 對於灰階色彩顯示較好於其他兩個產品，但是色域的顯色能力卻是最差。雖然本實驗使用的 E-ink 待測物為較舊型產品，但說明以電泳式機制加上彩色濾光片之色彩顯色能力有很大的進步空間，也相信其未來能有所突破。本研究也成功的建立起了電子紙之灰階色彩與色域面積之時間衰減量測技術與分析分法，對於未來電子紙的色彩分析將是可以作為引用的重要文獻。

- 後續工作構想及重點：

軟性電子紙是種新興的顯示科技，其具備可撓曲、方便攜帶、低耗電、以及可讀性佳等優點。隨著各種相關技術的快速發展，目前已有多種的相關產品，諸如：膽固醇液晶式、電泳式... 等等；而相對的，各種條件下電子紙量測標準的需求也因此孕育而生，像近期的 SEMI 標準，對於電子紙的標準量測也是一項熱門的議題。本研究係著重於產品端的量測標準，致力於制定一個符合人眼觀測、實際顯示品質的光學環境條件，以提供未來諸多軟性電子顯示器的量測標準。雖然目前電子紙的色彩表現不佳，但是也能須有一套色彩參考標準來供電子紙產業來依循。如報紙在 ISO 標準中就有相關紙類的參考標準色彩建議定義，這也讓印刷工業有個標準可以依循。

反觀電子紙它與目前自發光顯示器是不同的機制，但是與印刷工業的減色系統又不同，所以制定一個評估性高與評斷度靈敏之屬於電子紙的參考色卡評估也是需要的。雖然目前本計畫已有一些電子紙色彩量測與評估方式的建立，而如何去定這參考色卡，本計畫還在摸索。此外，本計畫亦透過 SEMI Japan 向日本專家們請教電子紙色彩評估方式，目前日方也無法給個明確的建議。雖然如此，關於電子紙色彩評估的議題本計畫仍會在台灣持續作討論。同時，SEMI Japan 的電子紙色彩評估專家 Mr. Yoshi Shibahara 也答應協助本計畫實驗數據的檢視與給予建議，形成

一個台日合作的氛圍，更希望在台日攜手合作下未來能制定一個評估性高與評斷度靈敏之屬於電子紙的參考色卡評估。一方面對於目前全世界電子紙技術龍頭的台灣產業能有所幫助，並也增加未來在 SEMI 提案標準時的通過率。

- 衍生收益：

- (1) 本技術成功建立起多角度環境光源之電子紙色彩衰減量測技術與多角度環境光源之電子紙顯色能力的灰階色彩色差參數和色域面積與其時間衰減後之評估與分析，基於此技術，也協助元太科技針對其電子紙之色彩衰減分析，此外也協助友達光電轉投資之 SiPix 所製造出來的電子紙提供多角度量測技術上之諮詢，對於台灣的電子紙製造與生產的量測問題都能有支援與解決。
- (2) 針對工研院院內的衍生技術，本技術也協助工研院顯示器中心與材化所開發之膽固醇液晶顯示器之 PET/ITO 基板的反覆撓曲下之光學穿透率、色彩、電性特性與機械應變特性檢測，以供能開發出具有更好之軟性電子或顯示器的撓曲特性。另外，也協助提供反覆撓曲技術給國立清華大學工科所王本誠老師團隊，以便開發出更好之可撓顯示器的透明 polymer 基板與軟性電極之製作。

除此之外，也完成 AUO 之撓曲機台技術服務的軟性顯示器撓曲檢測平台夾具維修與零組件備料，共收入含稅 52,500 元。而在軟性顯示器撓曲檢測平台技術已於 10 月份推廣授權於佳暉科技公司，授權製作撓曲機台一台，授權金約 42 萬(含稅)。此外，五鈴光學與貝斯科技亦詢問撓曲測試平台相關事宜，希望未來能正式代理或技術合作，來共同推廣軟性電子產業之廠商使用。雖然目前還沒有正式的委託，但是軟性顯示器撓曲檢測平台技術目前是獨步全球，也領先業界約 2 年左右。也因為這幾年之不景氣，使得軟性電子產業的發展停滯不前。須等待整

個世界景氣有較回春與軟性顯示器有較大的突破，本量測技術也就能有較多的技術衍生的機會，已顯現本技術之價值。

2. 量化成果說明

a. 專利申請 1 件

題目：光學量測裝置(提案到中國大陸)

內容：

一種光學量測裝置，用以量測一待測樣本。光學量測裝置包括一扁平化面光源模組、一第一偏振片、一第二偏振片、一液晶盒及一影像感測器。扁平化面光源模組用以提供一面光源。面光源用以發出一檢測光。第一偏振片配置於檢測光的傳遞路徑上。第二偏振片配置於檢測光的傳遞路徑上。第一偏振片配置於面光源與第二偏振片之間，且待測樣本適於配置於第一偏振片與第二偏振片之間。液晶盒配置於檢測光的傳遞路徑上，且位於第一偏振片與第二偏振片之間。影像感測器配置於檢測光的傳遞路徑上，以感測檢測光。第二偏振片配置於液晶盒與影像感測器之間。

b. 專利獲證 4 件

1). 題目：軟性元件撓曲特性之檢測方法及其系統 (中華民國專利，專利號碼：I370248)

內容：

一種軟性元件撓曲特性之檢測方法及其系統，包含步驟：
(a)提供一夾持單元、一觀測單元、一特性偵測單元以及一控制單元，該夾持單元、觀測單元及特性偵測單元係與該控制單元電性連接，該控制單元係儲存有一預設曲率半徑；(b)夾持單元夾持一軟性元件並撓曲之；(c)觀測單元擷取該軟性元件之側面輪廓並回傳至控制單元，控制單元再據以計算該軟性元件之撓曲曲率；以及(d)控制單元判斷該軟性元件之撓曲曲率是否與預

設曲率相同；若是，則停止作動該夾持單元並以特性偵測單元偵測該軟性元件之元件特性；若否，則回到步驟(b)。

2).題目：動態光源標準方法與裝置(中華民國專利，專利號碼：I356289)

內容：

本發明係提供一種動態光源標準方法與裝置，其包含一內建動態電壓波形單元，用以提供驅動一標準光源所需之電壓波形，該標準光源係電性連接一光源輸出單元；再透過一穩定動態光源回授控制單元將電壓波形轉成電流形式；再由一穩定動態光源回授控制單元驅動該標準光源發光；由一光訊號接收單元偵測該標準光源亮度，並回授一光源訊號至一光電轉換校正參數單元；再由該光電轉換校正參數單元將該光源訊號與一校正參數進行比對，並產生電壓偏移補償修正值，將該電壓偏移補償修正值傳送至該穩定動態光源回授控制單元，以修正該標準光源之亮度。

3).題目：相位差檢測裝置(美國專利，專利號碼：8,130,378)

內容：

一種相位差檢測裝置，包含：一光源模組，係用於產生一單波長光束；一圓偏振光產生模組，由一偏振器以及一第一相位延遲器所組成；當該單波長光束射入圓偏振光產生模組後，會依次通過偏振器以及第一相位延遲器；以及一偵測模組，由一第二相位延遲器、一偏振分光鏡、一第一影像感測器以及一第二影像感測器所組成；當該圓偏振光通過待測樣品然後射入偵測模組後，會依次通過第二相位延遲器及偏振分光鏡，該偏振分光鏡會將橢圓偏振光分成左旋圓偏振光與右旋圓偏振光並分別射入第一影像感測器與第二影像感測器。

4).題目：顯示器的檢測方法及其系統(中國大陸專利，專利號碼：
ZL200810187832.3)

內容：

本發明揭示一種顯示器殘影之檢測方法，其包含以下步驟：取得一殘影指標之臨界值，顯示至少一個子畫面於該電子紙顯示器，依據該子畫面之光學狀態進行反射率之量測以及檢查該反射率是否大於該殘影指標之臨界值。

(2) 論文

a.國外期刊論文 1 篇

投稿 IEEE/OSA Journal of Display Technology

題目：曲面顯示器之人眼視覺角度的邊界對比失效分析

內容：

本研究的目的是呈現針對曲面顯示器之人眼視覺角度的邊界對比失效分析。為了分析曲面影像之邊界對比，本研究利用可撓特性檢測平台來針對一個可撓式膽固醇液晶顯示器作折彎成不同的曲率半徑。此外，為了模擬人眼的視覺條件，一個 CCD 式之亮度色度儀是被利用來模擬人眼，並透過邊界對比失效分析來針對不同曲率半徑下之曲面顯示器的最大人眼視覺角度。藉由本文的實驗分析結果，曲面顯示器的設計者與製造商可以設計出對於人類而言有較大的人眼視覺角度與舒適之曲面顯示器的產品。

b.國內期刊 1 篇

投稿量測資訊期刊

題目：電子紙類紙性與色彩量測技術研究

內容：

電子紙發展主要目標在於取代紙張，所以電子紙的類紙性是評估品質的很重要因素之一。本文章主要探討電子紙與目前

使用之紙張相似性，以電子紙之白畫面的白與實際紙張的白是否有相同的人眼舒適度進行實驗分析，用色度學之角度來分析與探討電子紙的顯示色域面積分析等色彩定義與量測標準。

c.國內研討會 2 篇

1)投稿 2012 國際創新設計研討會

題目：彩色電子紙於高照度下之視覺績效探討

內容：

望能藉由本研究探討彩色電子紙與紙類和 OLED 於高照度下之視覺績效的差異，探究反射式介面和自發光介面之差異。了解於高照度環境下操作電子書或閱讀廣告看板的情境，提供製造商與使用者做為介面設計上參考。由以上實驗得知:(1)於視覺績效上，OLED 的表現優於其他介面，彩色電子紙是最差的(2) 疲勞值以彩色電子紙為最高，整體而言顯示介面均未有明顯變化。(3) 在主觀疲勞評量上也是彩色電子紙最高，其餘顯示介面則未有明顯差距。

2)投稿 ISEM-ACEM-SEM-7th ISEM'12 Taipei 國際研討會

題目：反覆撓曲測試下之大面積軟性氧化銦錫薄膜的相位延遲量測

內容：

在本研究中，反覆撓曲測試下之全域式大面積軟性氧化銦錫薄膜的相位延遲是被量測的。一個窄頻帶線偏振光經過液晶調變、測試試片與偏振片後之全域式干涉訊號將可以被一個照相機來擷取，其中利用液晶的電壓調制訊號可以來完成四步相位移相干涉技術。完成四步相位移相干涉後，再使用二維相位解纏繞計算，即可以得到測試試片之全域式相位延遲的結果，並在本文中來說明它的反覆撓曲下之量測數值的探討。

(3) 研究報告 1 篇

彩色電子紙的多角度環境光源之色彩特性的時間衰減分析量測
技術研究技術報告

內容：

本研究係用色度學之角度來分析電子紙的灰階色彩色差參數和色域面積分析，並藉由改變不同 D65 光源的入射角度 (20°、45°和 75°)，分別量測電子紙顯示器紅、綠、藍三個 pattern 的各四等灰階色彩之圖樣。再由矩陣式光學亮度色度計擷取各圖樣之三刺激值(XYZ)，最終針對 Fujitsu、Mirasol 與 E-ink 電子紙顯色能力的灰階色彩色差參數和色域面積與其時間衰減後做評估與分析。

二、 3D 顯示新技術人因關鍵參數量測標準研究分項

(一)戴眼鏡式立體顯示器像差量測系統子項

1. 非量化執行成果說明

- 執行主要成果與績效：

在本計畫中我們透過高畫素的單眼相機來嘗試量測雙眼像差的誤差，將預設的 3D 影像透過 3D 顯示器播放，在適當的距離下進行量測。當轉換比例 T 大於 6 的時候(大於 6 是建議的轉換比例，就是顯示器畫素與相機畫素的轉換比例 T ，指相機 6 個畫素大約對應電視的 1 個畫素。)，我們驗證了透過空間頻率響應解析法的確可以使得量測誤差在 1 個畫素內。所開發完成的量測技術，所達到量測的水平位移誤差約在 1 個畫素左右，而對應的立體深度變化約在 0.2 公分上下。這樣的深度變化，依據 Weber' s law 100:1 的定義須在觀測距離 VD 與深度感知 d 的總和 20 公分內時才有可能被察覺。

A. 研發成果：眼鏡式立體像差與立體深度量測

a)、前言

2010 年電影「阿凡達」的成功，帶動了 3D 顯示的高潮，DisplaySearch 研究資料表示，3D 顯示器 2018 年將出貨 1 億 960 萬台，出貨金額達 220 億美元；出貨量年複合成長率(CAGR)達 75%，產值年複合成長率 38% (如圖 2- 1 資料所示)。與台灣產業界息息相關的中國大陸十二五規畫中，2015 年 3D TV 將可達到 2700 萬台。但隨著越來越興盛的 3D 產業，也有越來越多的光學量測需求逐漸出現。立體顯示器與傳統平面顯示器最大不同之項目即為立體顯示器可呈現「立體深度訊息 (Stereo Depth Information)」。

目前尚無任何量測設備與方法可以針對立體顯示器之深度表現進行量測。然而，立體深度的表現是立體顯示器的重要項目之一，無法呈現立體深度訊息的顯示器，或是無法呈現較佳之立體

深度訊息的顯示器，皆不足以稱之為立體顯示器。以目前各專家學者研究指出，會影響深度訊息表現的原因有二，一是雙眼像差，二是光串擾的影響。

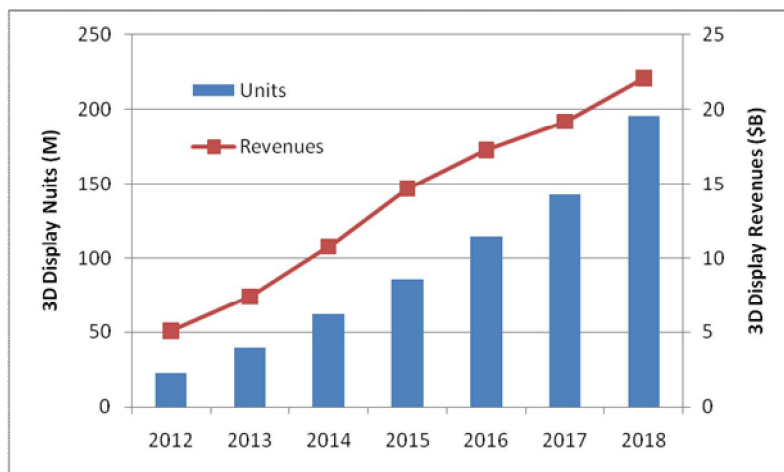


圖 2- 1：2012-2018 年全球 3D 立體影像產品市場量發展
(DisplaySearch)

立體顯示器之深度訊息由雙眼像差產生，意即立體顯示器藉由分別呈現左右眼觀看之影像，經由特定之光學設計，讓左右眼分別接收到左右眼之影像內容，進而讓大腦產生融合成像，透過認知系統產生立體視覺。但不同存儲格式之立體影像，其中呈現之雙眼像差效果將會不同。另外，依據 Tsirlin 之研究發現，立體顯示器之光串擾(Crosstalk)將會影響到立體深度知覺。研究發現，2%的光串擾將會造成 13%的深度知覺誤判，4%的光串擾將會造成 35%的深度知覺誤判，8%的光串擾將會造成 70%的深度知覺誤判。由以上之結論可以發現，雙眼像差和立體顯示器之光串擾是影響立體深度知覺的兩個最重要的因素。

我們提出一種量測雙眼像差的方式及程序，藉此來估計無光串擾影響時的最大立體深度知覺。

b)、立體像差與立體深度量測技術手段

雙眼像差造成立體深度之研究可以往前追溯到 1960 年代，到了 1980 年代則興起了一波 3D 立體顯示的熱潮。人類為什麼能透過視覺看出深度、並感覺到立體感呢？最主要的一點就是，人眼的視覺是可以感覺到深度的，也就是「深度知覺 (Depth Perception)」；而有了深度的資訊後，才能判斷出立體空間中的相對位置。由於兩個眼睛的位置不一樣（一般人兩眼間距約 5 到 7 公分），所以看到的東西會有雙眼像差 (Binocular parallax)，而人腦會再將這兩個影像做融合 (Convergence)，而產生出立體的感覺；而這就是所謂的「Binocular cues」。3D 顯示器便利用這個概念，讓左右眼接受到不同的影像，產生雙眼像差，讓大腦將此兩個影像融合後，就產生了立體影像的知覺，如圖 2- 2 示意圖所示。其中 VD 表示顯示器到眼睛的垂直距離；PD 是雙眼間的距離，一般人約為 6.5 公分；T 表示虛擬物體之位置，此時兩眼所接受到的影像之像差距離則為 DS；d 則為 3D 顯示器所呈現出之立體深度知覺，可以利用下列式子(1)計算此深度數值：

$$d = (DS \cdot VD) / (PD - DS) \quad (1)$$

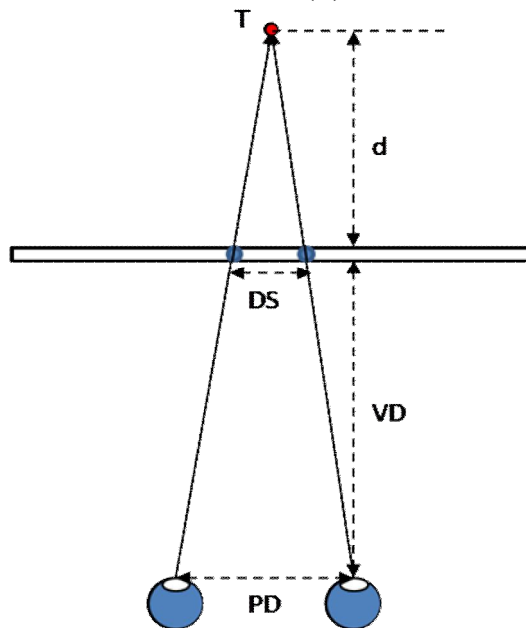


圖 2- 2：雙眼像差所產生之內凹立體深度示意圖

3D 顯示器可呈現外凸或內凹的深度知覺，圖 2- 2 為內凹立體深度知覺，圖 2- 3 則為外凸立體深度示意圖。同樣的，我們將上述式子(1)來修改成式子(2)來計算深度數值。值得關注的是，在相同雙眼像差距離(DS)下，外凸的深度(d')會比內凹的深度(d)來的小。

$$d = (DS \cdot VD) / (PD + DS) \quad (2)$$

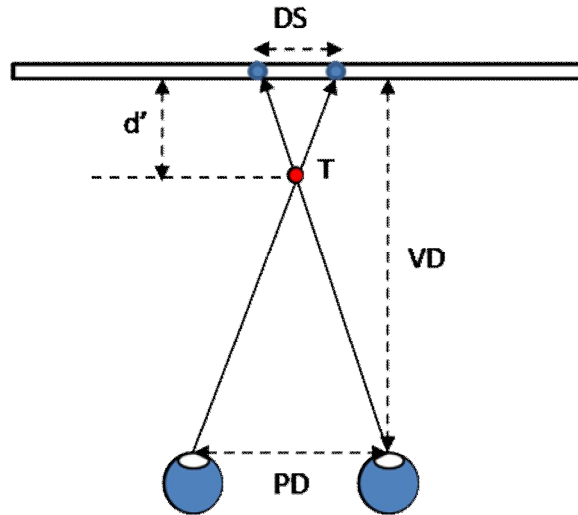


圖 2- 3：雙眼像差所產生之外凸立體深度示意圖

將式(1)(2)結合後偏微可得到 DS 與 d 的關係式

$$\frac{\partial d}{\partial DS} = \frac{VD \times (PD \pm DS \mp DS^2)}{(PD \pm DS)^2} \quad (3)$$

將 DS 變化從 0.01 公分到 2 公分，間隔 0.01 公分，而 PD 為 6.5 公分，VD 為 200 公分，得到的斜率變化表示在圖 2- 4。同時利用多項式來進行曲線配適(fitting curve)其數據，得到的多項式在圖 2- 4 表示。當 DS 增加 1 公釐時，d 大約增加 7 公釐(只看正深度感知(positive d)的一次方係數)。以一般 50 吋的液晶電視來說，一個畫素大小約在 0.4 毫釐到 0.6 毫釐，因此即使量測位移差在一個畫素內，所得到的深度影響在 2.8 毫釐到 4.2 毫釐。

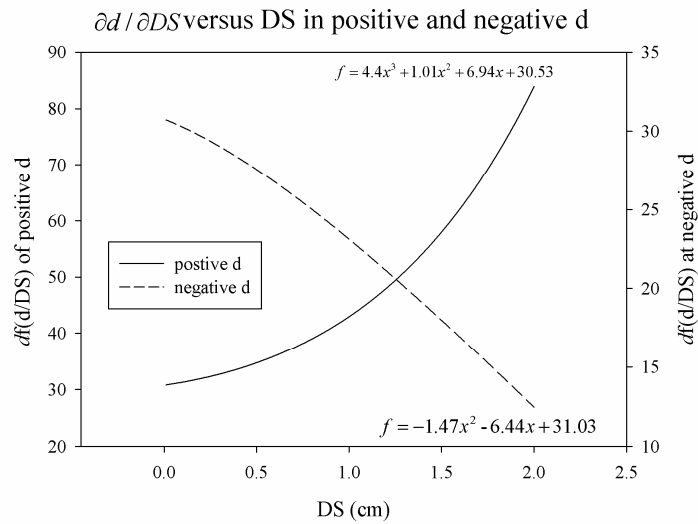


圖 2- 4：DS 與變化量的關係

一般 3D 顯示器最小可位移的距離為 1 個畫素，所以我們的量測手法誤差必須小於 1 個畫素，這樣才可以正確的得知位移量來推估深度知覺距離。在本文中，我們使用高畫素的單眼相機在最低光串擾的影響下來進行量測，並計算其深度知覺距離以及雙眼像差大小。

c)、立體像差與立體深度量測實驗架設

根據水平、垂直及縮放像差的定義，我們建立了三種不同形式的圖片如圖 2- 5 所示。圖中的圖片方塊大小預設為 100 x 100 個像素大小，而水平與垂直的像差中，分別位移左眼及右眼方塊有 1 個、2 個及 5 個畫素；縮放像差則在右眼的方塊圖片中，水平及垂直方向各有 1 個、2 個及 5 個畫素的縮減。

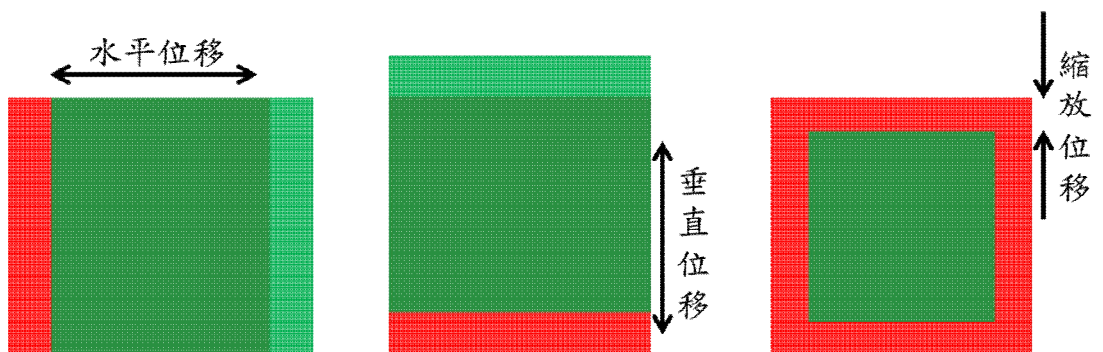


圖 2- 5：左到右分別為水平、垂直及縮放位移

我們預設的位移有可能會因為選擇的 3D 模式不同而有所改變，在此實驗中，我們使用左右分割畫面格式(Side by Side, Left and Right)來形成 3D 圖片，因此在水平位移部分就會被放大兩倍。量測方式如圖 2-6 所示，在適當的距離下先量測 2D 時 200×200 個像素的方塊在相機上佔有幾個相機的畫素，計算出相機畫素與電視畫素的轉換比例。此比例會用來轉換相機上的畫素，得到在電視上正確的位移量以及圖片的正確大小。

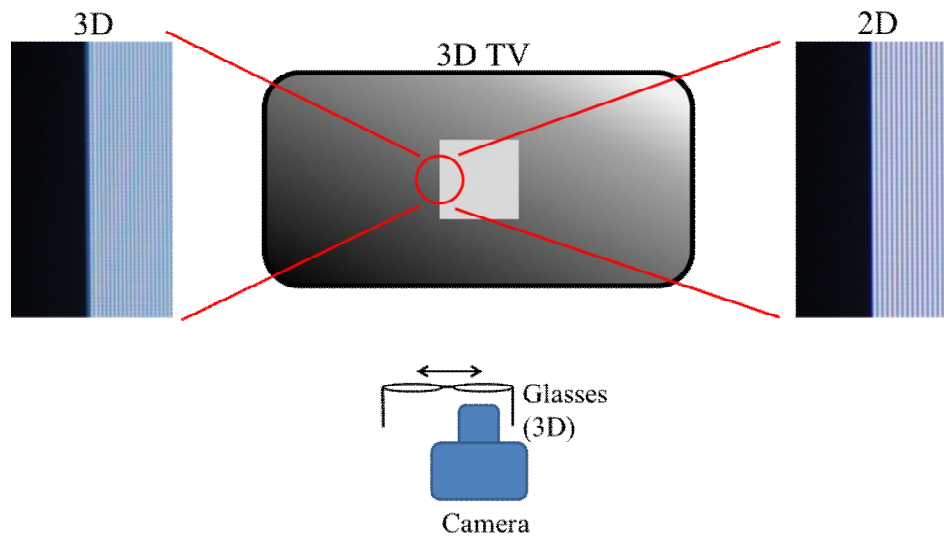


圖 2- 6：量測示意圖

在 3D 模式下量測時，會因為光串擾效應(非量測眼訊號)影響了量測結果。在量測右眼所觀測到的影像時，如圖 2- 6 所示，此時右頻道(Right Channel)的輸入畫面為白色方塊圖，左頻道(Left Channel)則輸入黑畫面來避免光串擾的影響，反之亦然。

d)、立體像差與立體深度量測分析方法

圖 2- 7 為使用空間頻率響應解析法(Spatial Frequency Response Determination)來找尋方塊邊界的方法，將被擷取到的方塊的左右邊界上擷取一小塊來進行分析，將每個 x 軸上的 y 方向

亮度分布描繪出來，如圖 2- 7 右上。經由相機擷取到的方塊常會因為有些許的傾斜，而造成最高點不是對應在同個位置上。所以必須先將其重新排列，排列後的 x 軸上的 y 方向亮度分布如圖 2- 7 右下。將排列好的亮度分布圖透過白雜訊的添加及小波的去雜訊方法，使得原本高低起伏的地方變成平整，並將其歸一化後如圖 2- 7 左下所示。而歸一化計算中的最大值及最小值的取得，則是擷取一段較平坦的區域平均後得知，如圖 2- 7 左下所示。接著就可以取得其在相機上 50 %強度的絕對位置，而左右邊界的距離，則可透過左右邊界的 50 %強度位置差取得。

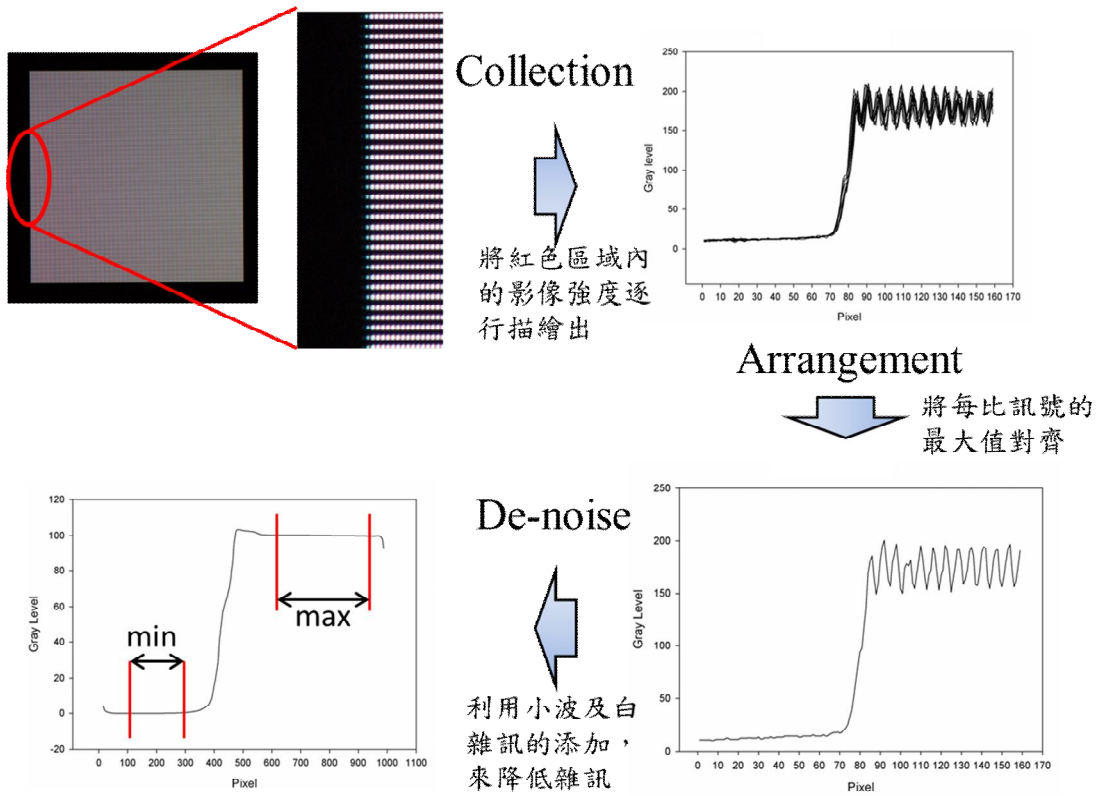


圖 2- 7：方塊邊界搜尋法

在進行 3D 模式下拍攝時，由於相機畫素與電視畫素不是 1:1 的對應，因此我們必須先取得相機畫素與電視畫素的轉換比例 (T)。取得的方式就是先在 2D 模式下進行拍攝 200×200 畫素的白色方塊。我們假設在 2D 模式下所輸入的白色方塊並不會被電視的

影像處理晶片改變其大小，這樣的拍攝也不會因為透過 3D 眼鏡來拍攝而造成其他影響。我們將 2D 模式下拍攝到的白色方塊，透過找尋方塊邊界的方法取得在相機上所佔畫素後，藉由式(4)計算其轉換比例(T)，而這轉換比例只適用在這個距離下以及當時的相機鏡頭焦距中。

$$T = \frac{PN_C}{PN_D} \quad (4)$$

其中， PN_C 為相機上所佔的畫素， PN_D 為理想上顯示器所佔的畫素。

接著保持同樣的距離進行量測 3D 模式下的像差。為了將光串擾的影響降到最低，量測左眼時，只有輸入左頻道方塊的訊號(此時右頻道輸入黑畫面的訊號)，反之亦然。擷取到的白色方塊後，透過方塊邊界搜尋法來找尋邊界上 50%強度的位置，而實際在電視上所佔的畫素 PN_{TV} 則可透過式(5)求得

$$PN_{TV} = \frac{|Right_{HM} - Left_{HM}|}{T} \quad (5)$$

其中 $Right_{HM}$ 及 $Left_{HM}$ 分別為相機擷取到的白色方塊右邊界上 50%強度的位置及左邊界上 50%強度的位置。

而邊界的位移量 $PN_{shift\ on\ TV}$ 也可透過修改式(5)得到的式(6)來做計算

$$PN_{shift\ on\ TV} = \frac{|D_{HM}^{rc} - D_{HM}^{lc}|}{T} \quad (6)$$

其中 D_{HM}^{rc} 及 D_{HM}^{lc} 分別表示為右頻道(Right Channel)量測到方塊左邊界的位置及左頻道(Left Channel) 量測到方塊的左邊界的位置，或是右頻道(Right Channel)的左邊界及左頻道(Left Channel)的右邊界；右頻道為量測眼的位置。

e)、立體像差與立體深度量測實驗結果與討論

我們將量測的結果分為方塊大小及位移誤差兩部分來討論，而圖 2- 8 為方塊大小及位移量在三種像差(水平、垂直、縮放像差)的示意圖。h,v 分別指水平及垂直方向，a, b, c, d 分別為左頻道的方塊大小、右頻道的方塊大小、左(上)邊界的位移量、以及右(下)邊界的位移量。以水平像差為例，圖示中 a_h 指的是左頻道的水平畫素值， b_h 指的是右頻道的水平畫素值， c_h 指的是的左邊界的位移量(換言之，左頻道至右頻道的移動畫素值)， d_h 指的是的右邊界的位移量(換言之，左頻道至右頻道的移動畫素值)。套用公式(5) PN_{TV} 得到量測到的 a 與 b 值，例如水平像差表 2- 1 中的 a_h (Measured)及 b_h (Measured)，又例如垂直像差表 2- 2 中的 a_v (Measured)及 b_v (Measured)。套用公式(6)邊界的位移量 $PN_{shift\ on\ TV}$ 可得量測到的 c 與 d 值。本實驗，依照現有的固定焦距的鏡頭共測試了三種轉換比例 $T\sim 4.85$, $T\sim 6.1$ 及 $T\sim 10.05$ ，以 $T\sim 10.05$ 最佳。 $T\sim 6.1$ 的架設條件恰好是約 6 個相機畫素對應的電視 1 畫素，因為量測的誤差要小於 1 個電視畫素，因此採用 $T\sim 10.05$ 的實驗條件。

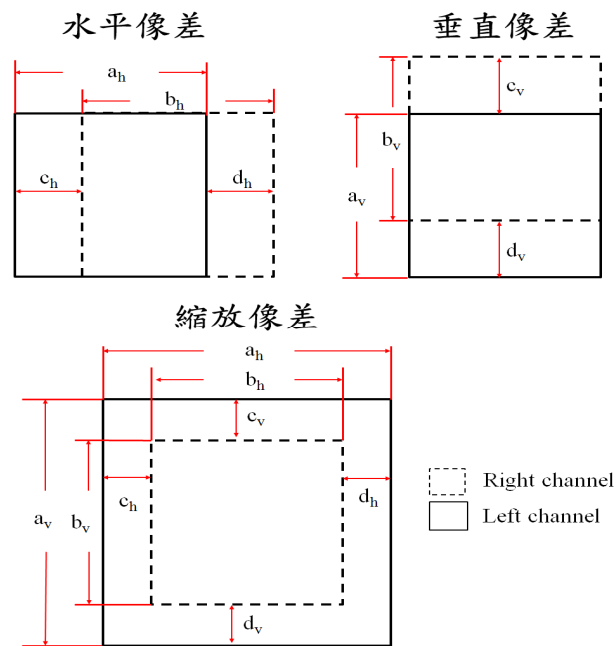


圖 2- 8：方塊大小及位移量在三種像差的相對位置示意圖

圖中 h, v 分別為水平及垂直像差； a, b, c, d 分別為左頻道的方塊大小、右頻道的方塊大小、左(上)邊界的位移量、以及右(下)邊界的位移量。

此實驗共有三種像差被量測，分別是水平像差、垂直像差及縮放像差。在水平像差及垂直像差的部份，我們分別在左右眼的圖像製造各 1、2、5 個畫素的位移。而在縮放像差中，則是右眼圖像的水平及垂直邊長分別作 1、2、5 個畫素的內縮。藉此來討論位移誤差及位移所造成的方塊大小誤差。實際量測各種像差下的方塊大小誤差如表 2-1 到表 2-4 所示。

表 2-1：水平像差

Shift (pixels)	1	2	5
a_h (ideal)	200	200	200
b_h (ideal)	200	200	200
a_h (measured)	199.96	200.39	199.84
b_h (measured)	200.07	199.98	200.05
Error in a_h	-0.04	0.39	-0.16
Error in b_h	0.07	-0.02	0.05

表 2-2：垂直像差

Shift (pixels)	1	2	5
a_v (ideal)	200	200	200
b_v (ideal)	200	200	200
a_v (measured)	199.37	197.70	199.26
b_v (measured)	199.28	197.79	199.25
Error in a_v	-0.63	-2.30	-0.74
Error in b_v	-0.72	-2.21	-0.75

表 2- 3：縮放像差之水平方向

Shift (pixels)	1	2	5
a_h (ideal)	200	200	200
b_h (ideal)	196	192	180
a_h (measured)	199.96	200.31	200.35
b_h (measured)	196.04	192.15	179.94
Error in a_h	-0.04	0.31	0.35
Error in b_h	0.04	0.15	-0.06

表 2- 4：縮放像差之垂直方向

Shift (pixels)	1	2	5
a_v (ideal)	200	200	200
b_v (ideal)	200	200	200
a_v (measured)	197.45	197.67	197.59
b_v (measured)	197.31	194.14	189.26
Error in a_v	-2.55	-2.33	-2.41
Error in b_v	-0.69	-1.86	-0.74

以水平像差為例，方塊在水平方向的誤差(Error in a_h 及 Error in b_h)是由量測像素減去理論像素得知，可以發現方塊水平方向上的長度(表 2- 1)都與理論方塊大小接近，除了第二次量測左頻道時(位移 2 個畫素)，造成的些許誤差。探究造成上述結果的可能原因，由圖 2- 9 可以發現，給予的理論圖片經過電視的輸出後，左右兩邊的邊界有較小的畫素點產生，進而造成方塊在水平方向約有 0.4 個畫素的誤差(如表 2- 1，位移 2 個畫素所對應的 Error in a_h)，此外圖中左右兩邊的邊界有較小的畫素點有色偏的現象。

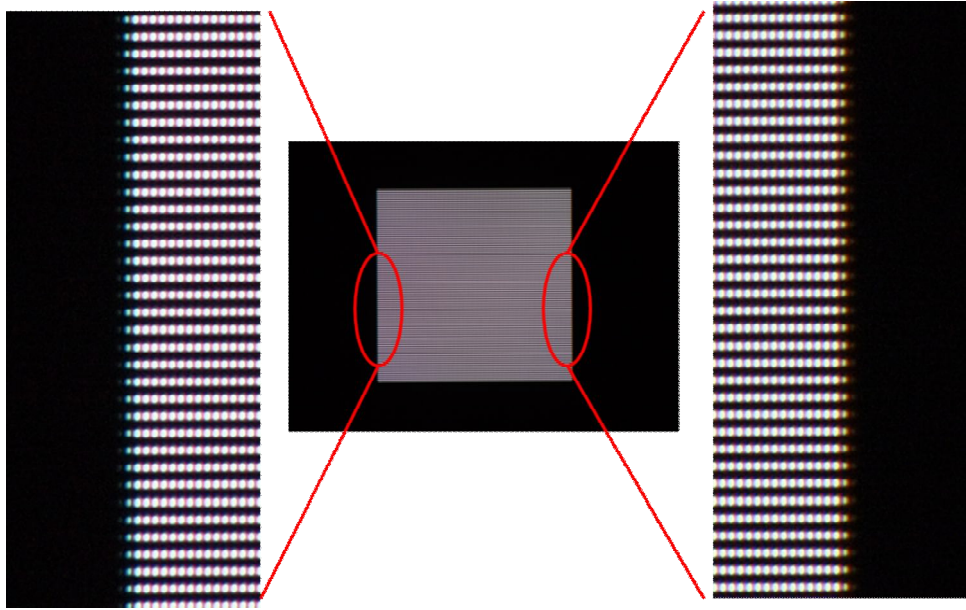


圖 2-9：水平像差量測圖之一

以垂直像差為例，如表 2-2 所示，當位移為奇數個畫素時，誤差約 0.7 個畫素，但位移達到偶數個畫素時，則可以發現誤差約 2 個畫素。推敲其中原因，如果被動式 3D 顯示器是利用相位延遲薄膜(Pattern Retarder)及水平方向的奇偶列畫素來完成左右頻道圖像(Left Channel and Right Channel)偏振方向的不同。以此量測電視為例，在垂直方向的量測，畫素有可能會因為方塊在垂直的位移或是縮放而短少。

至於縮放像差，水平方向(表 2-3)依然會出現約 0.4 個畫素的誤差，但卻不是每種位移都會如此。在垂直方向(表 2-4)，減少偶數個畫素時，對應的誤差依然會短少約 2 個畫素，因此我們推論這也是相位延遲薄膜所造成的。

對於位移誤差，套用公式(6)邊界的位移量 $PN_{shift\ on\ TV}$ 可得量測到的 c 與 d 值，例如水平像差之位移誤差表 2-5 中的 c_h (Measured) 及 d_h (Measured)，又例如垂直像差之位移誤差

表 2-6 中的 c_v (Measured) 及 d_v (Measured)。透過方程式(6)計算三種像差之位移誤差，其結果在表 2-5 到表 2-8 表示。在水平方向上，因為電視輸入左右眼影像為水平的左右畫面(Side by Side)

且左右眼影像都有位移，再加上電視會將左右眼影像水平放大兩倍，因此理想的水平位移會變成輸入的四倍。但在垂直方向差，並沒有將左右眼影像垂直放大兩倍，因此理想的垂直位移會變成輸入的兩倍。位移誤差的結果在水平像差及垂直像差的情況下，左右邊界的位移誤差大約在 1 個畫素上下，而縮放像差的水平方向，上下邊界位移誤差也在 1 個畫素左右。值得注意的是縮放像差的垂直方向，當單邊縮放畫素為奇數個畫素(c_v, d_v 為 2 跟 10)時，則位移誤差在其中一邊時可近似成無誤差，而原有的方塊大小誤差會若在另外一個邊界上；但單邊縮放畫素為偶數個畫素時，則位移誤差則與其他量測結果相同，約 1 個畫素。

表 2- 5：水平像差之位移及位移誤差

Shift (pixels)	1	2	5
c_h (ideal)	4	8	20
d_h (ideal)	4	8	20
c_h (measured)	4.83	9.34	20.81
d_h (measured)	4.94	8.93	21.03
Error in c_h	0.83	1.34	0.81
Error in d_h	0.94	0.93	1.03

表 2- 6：垂直像差之位移誤差

Shift (pixels)	1	2	5
c_v (ideal)	2	4	10
d_v (ideal)	2	4	10
c_v (measured)	3.41	5.33	10.73
d_v (measured)	7.34	7.60	10.71
Error in c_v	1.41	1.33	0.73
Error in d_v	1.32	1.43	0.71

表 2-7：縮放像差(水平方向)之縮放誤差

Shift (pixels)	1	2	5
c_h (ideal)	4	8	20
d_h (ideal)	4	8	20
c_h (measured)	2.90	4.97	11.13
d_h (measured)	-1.08	-3.22	-9.28
Error in c_h	0.90	0.97	1.13
Error in d_h	0.92	0.78	0.72

表 2-8：縮放像差(垂直方向)之縮放誤差

Shift (pixels)	1	2	5
c_v (ideal)	2	4	10
d_v (ideal)	2	4	10
c_v (measured)	0.96	3.26	4.97
d_v (measured)	0.78	-0.34	-3.35
Error in c_v	-0.04	1.26	-0.03
Error in d_v	1.78	1.66	1.65

由於 PD(雙眼間的距離)是在水平方向有距離差，因此深度誤差只針對水平像差來計算，其結果在表 2-9。可以發現深度誤差在約 0.2 公分內，根據 Weber's law 100:1 的定義，要發現這樣大小的深度誤差，則觀測距離 VD 與深度感知 d 的總和必須在 20 公分左右。

表 2-9：水平像差之深度誤差(單位：公分)

Shift (pixels)	1	2	5
Depth in c_h (ideal)	0.617	1.238	3.125
Depth in d_h (ideal)	0.617	1.238	3.125

Depth in c_h (measured)	0.745	1.447	3.253
Depth in d_h (measured)	0.763	1.384	3.288
Depth error in c_h	0.128	0.208	0.128
Depth error in d_h	0.145	0.145	0.163

f)、立體像差與立體深度量測結論

在本計畫中我們透過高畫素的單眼相機來嘗試量測雙眼像差的誤差，將預設的3D影像透過3D顯示器播放，在適當的距離下進行量測。當轉換比例 T 大於6的時候(大於6是建議的轉換比例，就是顯示器畫素與相機畫素的轉換比例 T ，指相機6個畫素大約對應電視的1個畫素。)，我們驗證了透過空間頻率響應解析法的確可以使得量測誤差在1個畫素內。由於3D顯示器為被動式眼鏡是利用相位延遲薄膜及水平方向的奇偶列畫素來完成左右頻道圖像偏振方向的不同，因此在垂直方向常會出現輸入的3D影像與量測到的有些許畫素的誤差(約2個畫素)，而在水平方向上，則是會有色偏及畫素點縮小的現象因而影響位移的大小。量測到的水平位移誤差約在1個畫素左右，而立體深度的變化約在0.2公分上下。這樣的深度變化，依據Weber's law 100:1的定義須在觀測距離 VD 與深度感知 d 的總和20公分內時才有可能被察覺。

(二) 視覺疲勞度生理指標量測技術研究子項

1. 非量化執行成果說明

- 執行主要成果與績效：

本實驗提供了一個可供測試最大深度閾值之人因實驗程序，並且利用雙視鏡系統排除了立體顯示器本身可能產生的 Crosstalk 現象。在 3D 立體深度之視覺疲勞實驗結果中，在 HRV 疲勞指標上達統計上的顯著差異；其餘自陳問卷與頻閃儀皆呈現有疲勞現象，但無統計上顯著差異。

在 3D 立體深度之不同角度、距離之閾值實驗中，利用了市售的立體顯示器，分別對於觀看距離及角度深度閾值探討。此實驗結果可針對家用電視型立體顯示器給予下列的安全性考量。

A. 研發成果：立體深度知覺人因實驗

a)、研究動機

人類之所以能透過視覺看出深度、並感覺到立體感，最主要的一點就是，人眼的視覺是可以感覺出深度的，也就是「深度知覺(Depth Perception)」；而有了深度的資訊後，才能判斷出立體空間中的相對位置。由於兩個眼睛的位置不一樣(一般人兩眼間距約 5 到 7 公分)，所以看到的東西會有雙眼像差(Binocular Parallax)，而人腦會再將這兩個影像做融合(Convergence)，而產生出立體的感覺；而這就是所謂的「Binocular Cues」。3D 顯示器便利用這個概念，讓左右眼接受到不同的影像，產生雙眼像差，讓大腦將此兩個影像融合後，就產生了立體影像的知覺。

雙眼像差造成立體深度之研究可以往前追溯到 1960 年代，到了 1980 年代則興起了一波 3D 立體顯示的熱潮。目前市場上可見的立體顯示器約可分為兩大類型，快門式立體顯示器(Shutter Glasses)及偏光式立體顯示器(Pattern Retarder)。立體顯示器的普及帶給消費者影音視覺上的刺激感受，但是帶給眼睛的負擔、身體

上的不適感也接踵而來。

在觀看立體影像時往往容易讓觀賞者產生視覺疲勞、頭痛、噁心甚至假性近視的提高。普遍大家公認引起視覺疲勞的原因有：1.融合(Convergence)和調適的衝突(Accommodation)，2.過度的立體深度(Stereoscopic Depth)，3.光串擾(Crosstalk)，4.左右影像的不對稱。特別在當我們觀看立體影像時，立體深度的操弄關鍵就在像差(Disparity)，當深度過大時往往就是影響視覺疲勞的產生，也就是過度的立體深度將影響視覺疲勞的產生。

另外消費者在電影院觀看 3D 電影時，幾乎都會碰到一種狀況，當電影的位置太前面或太靠旁邊，在觀看 3D 電影時就容易產生不舒服的現象。依據研究報告指出，當觀賞的距離增加時，觀看的舒適範圍就會比較大。所以在電影院觀賞立 3D 電影的舒適範圍遠比在家觀看 3D 電影的舒適範圍還要來的大很多。當觀看距離影響了舒適度的範圍，是否意味者不同的觀賞距離可以承受的深度閾值也不相同，不同的角度是否也影響了深度閾值。

我們首先想要了解的是人眼能承受最大的立體深度是多少，亦即一般觀賞者觀看到超過多少的像差就無法正確的感知立體深度，並且要釐清不同的立體深度對視覺疲勞的影響，當立體深度在安全範圍內的視覺疲勞影響以及超過立體深度對視覺疲勞影響程度。最後探討不同的距離及角度人眼能感知到的立體深度是多少像差。

b)、疲勞度指標探討

主觀疲勞問卷

視覺疲勞問卷的使用，是最快最直接能反映受測者在實驗中疲勞狀態上的反應。在本計畫中所使用的主觀視覺疲勞問卷，乃是利用受測者針對問卷上的題目對自我身體的狀況一一回答。題目一共有十四題，分別針對眼睛、頭部以及全身狀況做自我身體評價，如表 2-10 所示。問卷使用六點量尺，評估的範圍從非常不同意(一

分)、不同意(二分)、稍微不同意(三分)、稍微同意(四分)、同意(五分)及非常同意(六分)，若疲勞的現象增加的話，所得分數將會越高。問卷的設計乃先針對有看過 3D 電影的消費者進行個別訪談，再根據過去文獻所使用的視覺疲勞問卷，整理出來共十四題之主觀視覺疲勞問卷。這十四題問題將進行信、效度的分析。先將這十四題問卷進行 Cronbach 信度分析，整份問卷的信度為 0.904 如表 2-11 所示，表 2-12：是若將該題刪除時整份問卷的總信度，如果刪掉該題時總信度比原本的總信度還要高，則該題必須刪去不用。表 2-12：顯示並無任何一題刪除時的信度是超過原本的總信度，故本問卷信度高達 0.904 有良好的信度。

表 2-10：主觀疲勞問卷

題號	問題	類別
1	我覺得眼睛酸澀	眼部
2	我的視力變得模糊不清	眼部
3	我感到頭痛	頭部
4	我覺得頭暈目眩	頭部
5	我覺得想嘔吐	全身
6	我感到眼睛分泌淚液的量比平常多	眼部
7	我看東西覺得有雙重影像	眼部
8	我覺得很疲倦	全身
9	我感到眼睛疼痛	眼部
10	我感到難以對焦遠端的物體	眼部
11	我感到難以對焦近端的物體	眼部
12	我感到鼻樑有不舒服感	耳鼻
13	我覺得眼睛乾澀	眼部

14	我感到耳朵不舒服感	耳鼻
----	-----------	----

表 2- 11： Cronbach's Alpha 總信度摘要

Cronbach's Alpha 值	項目的個數
.904	14

表 2- 12： Cronbach's Alpha 項目刪除摘要

	項目刪除時的 Cronbach's Alpha 值
Q1	.896
Q2	.892
Q3	.898
Q4	.900
Q5	.899
Q6	.898
Q7	.903
Q8	.893
Q9	.894
Q10	.894
Q11	.859
Q12	.902
Q13	.898
Q14	.902

主觀視覺疲勞問卷的效度採用專家效度分析，問卷進行度信

度分析後即送給顧問群進行專家評估，顧問群一致認為該問卷可以問出視覺疲勞的狀況，故本計畫所設計問卷有高信度及高專家效度。

c) 心率變異度分析

在本研究中，以心率變異度(Heart Rate Variability, HRV)作為在觀看立體電影後的疲勞指標之一，已有不少的研究報告利用心率變異度探討疲勞度。Kun Jiao 等人，用 HRV 來評估，受測者在開車時的疲勞程度。論文指出，將受測者分成 3 組，每組 20 人。A 組與 B 組讓受測者以開車模擬器，開車 90 分鐘，同時分別給 1.8 Hz 與 6 Hz 的震動，C 組與 A、B 二組的測試時相同，但是沒有給予震動。實驗結果發現，A 組在完成測試後，交感神經活性明顯的上升，B 組的交感神經活性也比 A 組來的高。C 組也有上升但是都比 A、B 二組來的低。因此長時間的開車對交感神經活性會有明顯的影響，而交感神經代表的是，人在緊張、亢奮以及疲勞時活性會上升。因此在本實驗中，進行 HRV 分析，從交感神經活性的能量消長，做為在觀看立體影像時的疲勞指標。

心律變異律量測機制建立，使用 Biopac MP150 即時生理訊號偵測儀，並實際進行 100 人次之取樣測試，達到即時心率取樣律 $\geq 500\text{Hz}$ 。並開發心律變異分析程式，如圖 2-10 所示，可判讀交感神經與副交感神經之活性變化情形。一般正常人心率約為每分鐘 72 下，即約每 0.833 秒跳動一次。500 Hz 的取樣率為每 0.002 秒取樣一次，亦即約為正常人心臟跳動頻率的 1/400，這表示我們將用超過 400 個取樣點來表示一個心跳的週期，這樣的取樣點已足夠進行分析且不會有明顯重大的誤差產生。

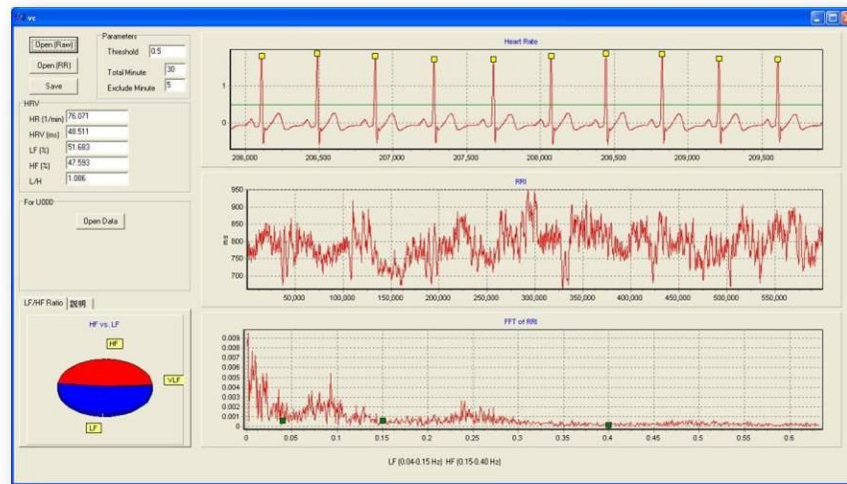


圖 2- 10：心律變異分析程式畫面

將記錄下來的心電圖訊號，擷取 R-R interval 的間距，如圖 2-11 所示。若有竇性中止、心房性或心室性心律不整，則刪除此異常 R-R 波的間距。選取最後穩定的 512 個 RR 波間距來做頻譜分析，如果因為心律不整而刪除的 R-R 波間距超過全間距的 5%，則此患者的資料不列入分析。擷取出來的 R-R interval 資料，進行快速傅立葉分析，將心跳間隔轉換成心率變異度頻譜，總功率(Total Power, TP)為頻率在 0.01~0.4 Hz 曲線下的面積和，低頻功率(Low Frequency Power, LFP)則為頻率在 0.04~0.15 Hz 曲線下的面積和，高頻功率(High Frequency Power, HP)是在曲線在 0.15~0.4 Hz 的面積和。正規化低頻功率(Normalized Lower Power, nLFP) (低頻功率/總功率×100) 通常用於代表交感神經活性，正規化高頻功率(Normalized High Frequency Power, nHFP) (高頻功率/總功率×100) 通常用於代表副交感神經活性，低頻/高頻功率比(LF/HF) (低頻功率/高頻功率) 通常代表交感/副交感神經活性平衡狀況之指標。

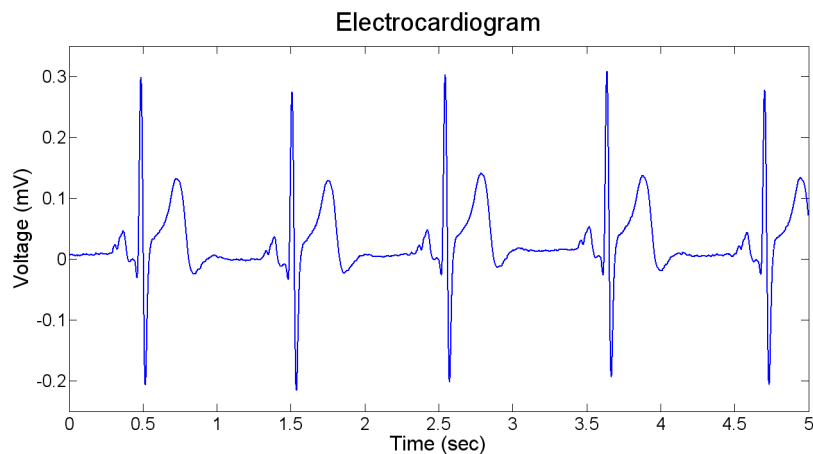


圖 2- 11：心電圖與 R-R Interval

d) 閃光融合閾值

在實驗中由頻閃儀所量測出來的閃光融合閾值(Critical Fusion Frequency)是客觀疲勞指標之一。頻閃儀的量測原理乃是人眼對於閃爍光源的辨別程度，會因眼睛疲勞成正比；當眼睛產生疲勞時，對於閃爍的光源反映敏感度就會衰減，所量測的頻率值就會下降。使用閃光融合閾值作為客觀視覺疲勞的指標早期的研究就開始了被廣泛地被使用在視覺疲勞的相關研究上，至今閃光融合閾值仍是常被使用在客觀視覺疲勞指標，故本計畫將閃光融合閾值納入客觀視覺疲勞之一。

e) 3D 立體深度閾值

在第一個實驗中，首先討論的是人眼對最大立體深度閾值，而左右眼像差是造成立體深度的主要因子，因此本實驗亦即討論超過多少的像差(Disparity)，觀察者則無法準確反映實驗刺激。

受試者

在此研究中，總共有 10 人(平均 32.1 歲)六男四女參與本研究，受測者視力矯正後達 0.8 以上以及有良好的 3D 辨識能力。

實驗設備與實驗條件

受測者所觀看的實驗刺激將使用雙視鏡系統呈現如圖 2- 12，雙視鏡系統可以完全排除目前市售立體顯示器本身的 Crosstalk 現象，故本實驗利用這樣的系統以利實驗進行。雙視鏡系統包含兩個 LCD 顯示器(CHIMEI 24EA (23.6 吋)、顯示器對比：987.18 (154/0.156)、顯示器解析度：1920x1080)、顯示器最大亮度:150 cd/m^2 、兩個組反射鏡、下巴架及電腦主機。實驗於暗室環境中(照度小於 1 lx)進行，受測者與顯示器距離 610 mm。

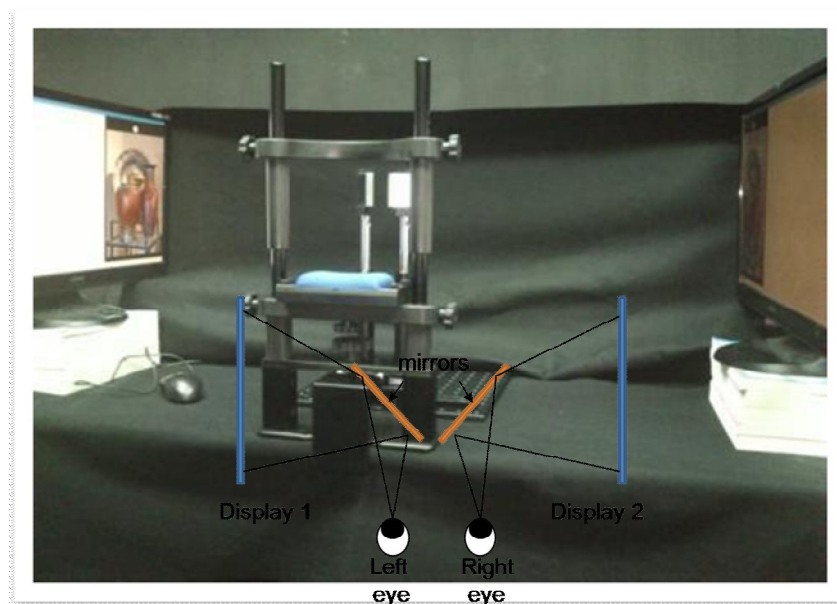


圖 2- 12：雙視鏡系統

圖 2-12 中為實際的系統架構，受測者的觀看距離為 610 mm。

使用隨機點產生的正弦波圖形如圖 2- 13 所示，隨機點密度的分布為 $5.8 \text{ dot}/\text{deg}^2$ ，亦即在 $32\text{pixel} * 32\text{pixel}$ 的正方形裡有 16 個點。正弦波之頻率分別設為 0.707、1、1.141 以及 2(Cycle per Degree)，圖形的像差(Disparity)分別設定為 6.2、12.4、24.8、49.6(arc min)。對於實驗刺激所設定的像差計算方式如圖 2- 14 所示，分別求得顯示器的寬、觀看者的觀看距離、顯示器的水平解析度、觀

看到螢幕上的像素值。

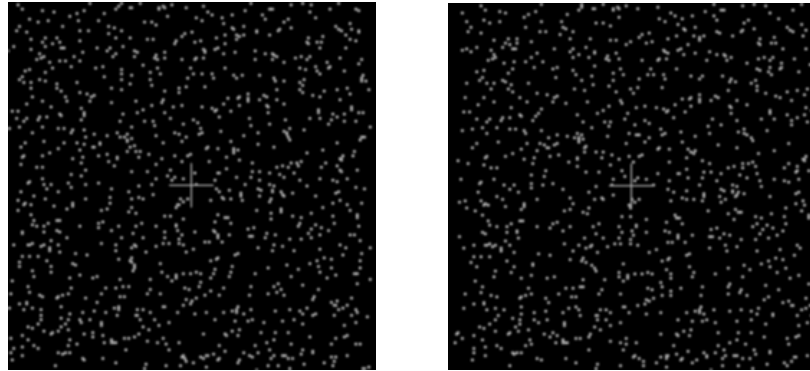


圖 2- 13：隨機點所組合而成的正弦波

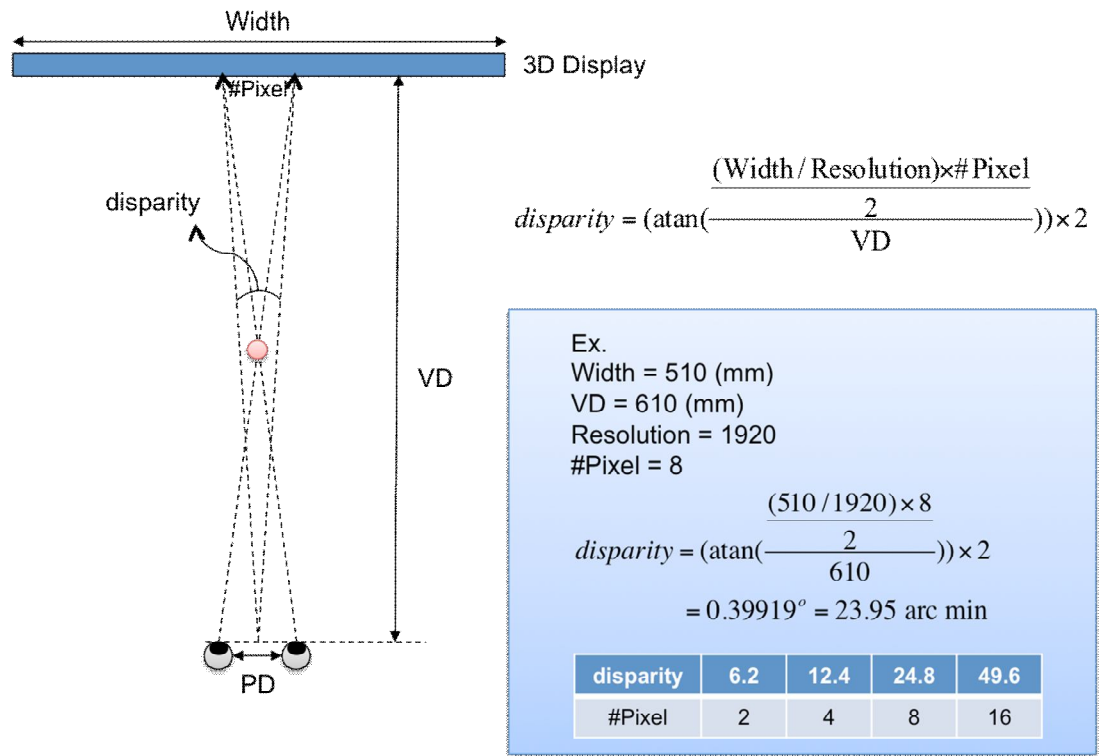


圖 2- 14：像差計算公式

本題舉例顯示器的寬為 510 mm、觀看距離為 610 mm、螢幕水平解析度為 1920，觀看到螢幕的像素為 8 pixel。經過計算之後可得像差為 23.95 arc min。

f) 實驗流程

首先受測者必須先調整椅子的高度，讓下巴舒服地放在下巴架上，並旋轉右邊反射鏡的位置，使受測者從反射鏡看到螢幕上的刺激合成單獨的一個立體正弦波圖形，若受測者無法使兩張圖片融合而成一張單獨的立體正弦波圖形，實驗就立即結束。受測者將先進行練習區段，確定受測者了解如何進行實驗後即可進入正式實驗區段。整個實驗共進行 480 次的試驗，受試者必須在 2 秒內回答立體正弦波之朝向，若無回答該題則算答錯。實驗進行約 120 次左右時，便會出現休息區段，受試者可休息至自覺回復良好狀態時，按下空白鍵再進行下一個實驗區段。實驗時間估計，每次刺激 2 秒，每種組合 5 個刺激，共 256 種組合，則一個人實驗需 2560 秒(約 43 分鐘)，中間休息兩次，每次 10 分鐘，則受測者做一次實驗共約 60 分鐘，每個受測者重複三次相同實驗(不同天)，以每天三個人次，共約需 12 個工作天。

g) 實驗結果分析

本實驗利用雙視鏡設備完美排除由顯示器所引起 Crosstalk 之影響，觀看由隨機點所組成的正弦波圖形，企圖獲得人眼在觀看立體深度的閾值。立體深度閾值實驗數據如表 2- 13 及圖 2- 15 所示，表 2- 13 細格分別為各條件組合反應正確率。在像差 49.6 下任何一種的頻率的準確率皆低於 60%以下，顯示頻率越高辨識正確率越低。在頻率 2 之下整體的正確率皆低於 70%以下，這樣的結果與 Banks 等學者的研究相符合。Banks 的研究結果如圖 2- 16 所示，人眼在觀看由隨機點所組合而成的立體圖，其組成頻率為 2 時人眼的辨識正確率就會大幅下降。

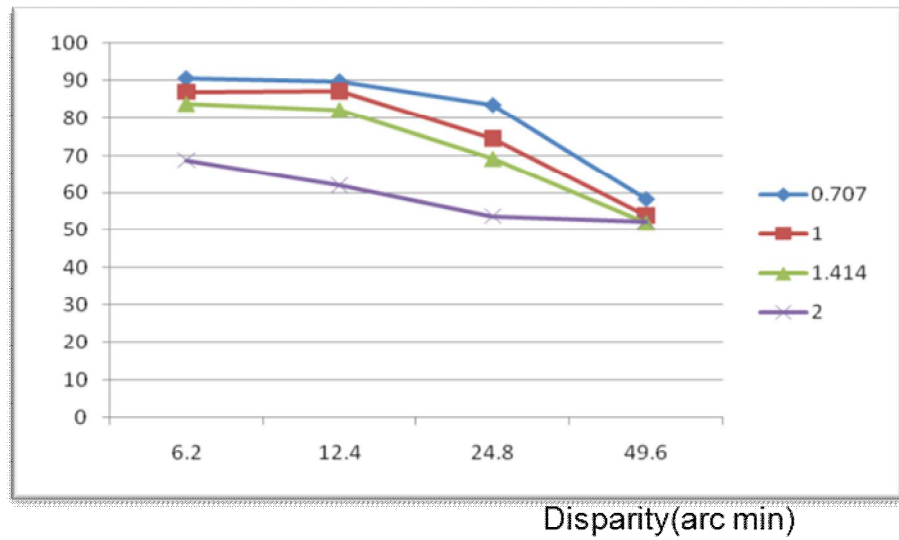


圖 2- 15：立體深度閾值實驗結果

表 2- 13：立體深度閾值詳細數值

Disparity CPD	6.2	12.4	24.8	49.6
0.707	90.4	89.6	83.4	58.4
1	87	87.2	74.6	54
1.414	83.8	82.2	69.2	52
2	68.8	62	53.8	52.4

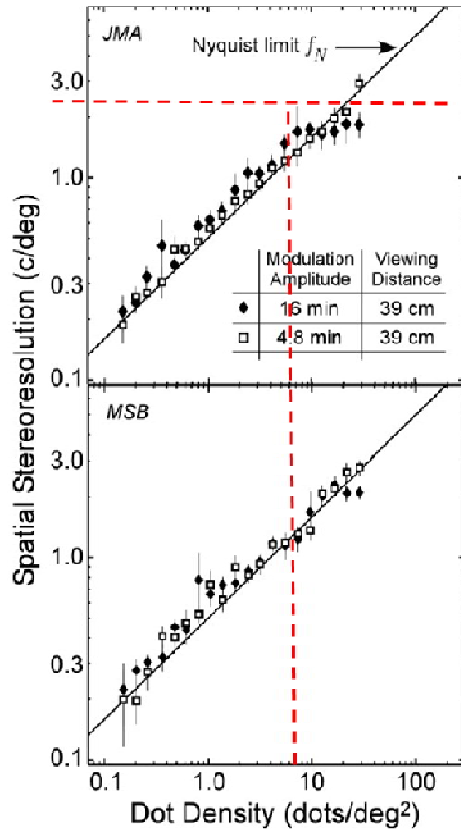


圖 2- 16：Banks 的研究結果 (摘錄自 Banks 等學者(2008))

參照與 Banks 的研究報告結果，研究者遂將頻率 2 的實驗數據捨去不計算，另外三組的所得像差數據如

表 2- 14 所示，頻率 0.707、1 以及 1.414 所得的像差分別為，36.2、26.7、18.6，可得知當頻率越高深度閾值就會愈低。同時並將這三組頻率的數值平均起來，可得回歸方程式如圖 2-17 所示。利用回歸方程式將校標 Y 設定必須達到 75% 的正確率，得到立體深度閾值為 27 arc min。當立體深度閾值超過 27 arc min 時將影響受測者對實驗刺激判斷的準確度，此實驗結果將用於下一個深度視覺疲勞實驗。

表 2- 14：不同的像差的深度閾值數據

Cycle per degree (cpd)	0.707	1	1.414
Threshold of disparity	36.2	26.7	18.6

圖

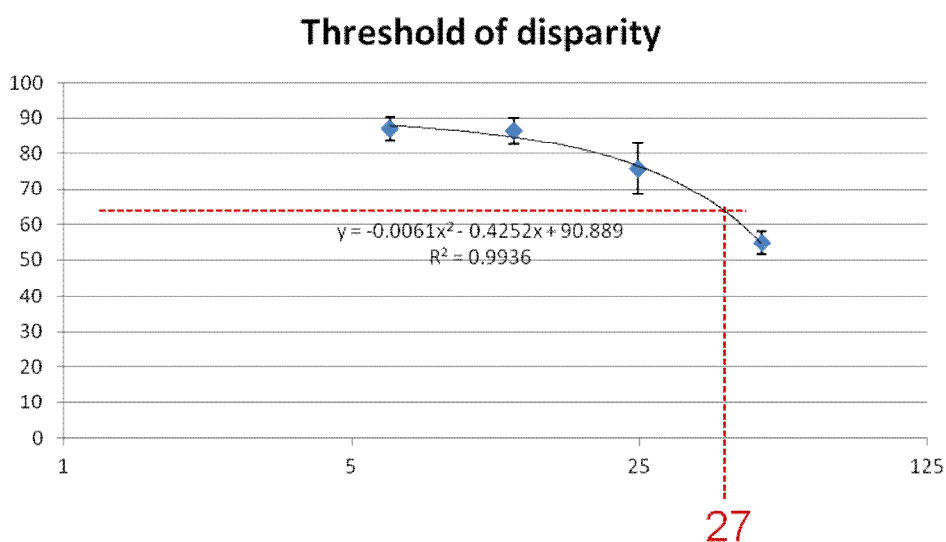


圖 2- 17：三組頻率的像差閾值及以三組平均取 75%正確率所得閾值

h) 3D 立體深度之視覺疲勞

在本實驗中利用實驗一結果所得到的立體深度閾值，作為實驗的操弄依據。受測者將隨機分為兩組，其中一組所觀看到的實驗刺激是以立體深度閾值以內所組成；另一組所觀看的實驗刺激是以超過立體深度閾值所組成。兩組皆進行 10 分鐘的實驗測試，並記錄問其相關疲勞數值。

受試者

在此研究中，總共有 10 人(平均 28.4 歲)四男六女參與本實驗，受測者視力矯正後達 0.8 以上以及有良好的 3D 辨識能力。實驗前八小時不可喝含有咖啡因之飲料、前一晚必須睡飽八小時，近期不可以吃含有治療性之藥物以免影響心跳之反應。

實驗設備

受測者所觀看的實驗刺激將使用雙視鏡系統呈現，包含兩組顯示器、下巴架以及兩組反射鏡。視覺疲勞使用主觀疲勞問卷、頻閃儀及生理回饋儀。

實驗刺激

使用隨機點產生的正弦波圖形，隨機點密度的分布為 5.8 dot/deg^2 ，正弦波之頻率分別設為 0.5、0.707、1、以及 1.141(Cycle per Degree)。圖形的像差(Disparity)以實驗一為 27 為立體深度閾值分界點，閾值內這組設定為 -1.5、3.1、6.2、14.6(arc min)，立體深度閾值上下這組像差設定為 6.2、14.6、44.9、57.1。對於立體深度閾值上下這組所設定的像差，並非全部都超過 27 arc min 立體深度閾值，乃為了防範受測者持續接受過大的像差產生身體的傷害，故四個設定值中只有兩個設定值大於立體深度閾值。

實驗流程

首先受測者必須先調整椅子的高度，讓下巴舒服地放在下巴架上，並旋轉右邊反射鏡的位置，使受測者從反射鏡看到螢幕上的刺激合成單獨的一個立體正弦波圖形，若受測者無法使兩張圖片融合而成一張單獨的立體正弦波圖形，實驗就立即結束。整體的實驗流程如圖 2-18 所示，受測者先進行 3D 辨識能力的測量，接下來問卷及頻閃儀實驗前的量測，受測者將先進

行練習區段，確定受測者了解如何進行實驗後即隨機進入正式實驗區段。整個實驗持續進行 10 分鐘的試驗，受試者必須在 2 秒內回答立體正弦波之朝向，若無回答該題就算答錯。實驗進行中同時記錄心跳變異率的反應，實驗後則再填寫疲勞問卷及頻閃儀的量測。若未完成兩組實驗者，則必須隔天以上再來進行另一次實驗。

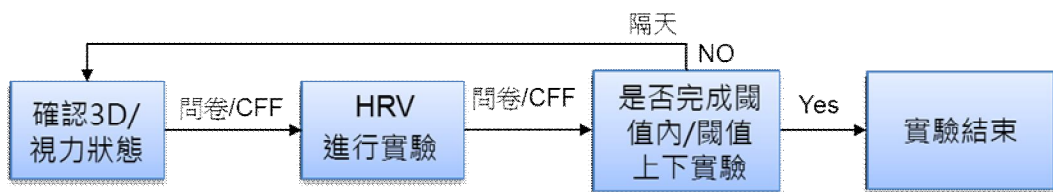


圖 2- 18：立體深度疲勞實驗之實驗流程

實驗結果分析

依據實驗一所得的立體深度閾值，在這個實驗分為閾值內以及閾值上下兩組。首先可以從表 2- 15 得知，從判斷實驗刺激的準確率來看，閾值內這組的準確率為 0.959，高於閾值上下這組的 0.854，由此可見過大的深度閾值確實影響受測者對影像刺激的判斷。

表 2- 15：兩組閾值回答實驗刺激準確率

	閾值內	閾值上下
準確率	0.959	0.854

所有的主觀疲勞問卷整理於表 2- 16 所示，疲勞問卷皆是實驗後減去實驗前所得數值再進行統計計算。若實驗後疲勞增加的話，問卷所得數值應是正值。不管疲勞的分布以及閾值內或閾值上下，皆是呈現疲勞增加的現象，尤其在頭部的問卷部分，雖然沒有達統計上的顯著差異(P 值達 0.06)，但在閾值上下的頭部疲勞

高出閾值內的頭部疲勞(閾值內為 0.083，閾值上下為 0.917)。換句話說，大於立體深度的實驗刺激帶給了觀看者頭部不小的疲勞影響。

由頻閃儀所量測而得的閃光融合閾值(CFF)，顯示 CFF 的疲勞結果，實驗後減去實驗前若疲勞度增加時數值會變小。兩組的 CFF 數值皆呈現衰減的現象(閾值內為-1.803，閾值上下為-1.242)，代表兩組都有視覺疲勞的產生，但並未達統計上的顯著差異。

HRV 結果如表 2- 18 所示，心電變異率則計算出 LF 的數值，若 LF 值增加則代表個體的疲勞度升高。閾值內以及閾值上下做檢定，有達統計上的顯著差異。意即閾值上下的受測者在統計上有顯著的比閾值內的受測者顯著的疲勞度升高

表 2- 16：主觀疲勞問卷的疲勞數值

			平均數	變異數	T	P
問卷	眼	閾值內	4.5	44.09	0.122	0.453
		閾值上下	4.17	33.6		
	頭	閾值內	0.083	1.36	-1.65	0.06
		閾值上下	0.917	1.54		
	身體	閾值內	0.917	2.27	0.352	0.366
		閾值上下	0.75	0.93		

表 2- 17：頻閃儀的疲勞數值

		平均數	變異數	T	P
頻閃儀 (CFF)	閾值內	-1.803	2.85	-1.29	0.230
	閾值上下	-1.242	1.12		




表 2- 18：心跳變異率的疲勞數值

		平均數	變異數	T	P
心電(HRV)	閾值內	43.32	0.41	-5.96	0.001*
	閾值上下	45.82	1.61		

h)、 3D 立體深度之不同角度、距離之閾值探討

實驗一利用了雙視鏡系統在無光串擾(Crosstalk)下，完美的獲得立體深度閾值，但一般消費者所購買的市售立體顯示器並無法達到 0% Crosstalk 狀態。在此實驗中利用市場上所販售的立體顯示器(三台顯示器的相關規格如表 2-19)，進行不同距離及角度的閾值探討。實驗環境條件如圖 2- 19 顯示，分為二種距離 2H 及 4H(H 為顯示器之高)，三種角度正中央 0°、左 15°及右 15°。

表 2- 19：三台顯示器的規格

Display	Panasonic	Sharp	LG
			
Type	PDP	LCD	LCD
Tech.	Shutter Glasses	Shutter Glasses	Pattern Retarder
Color Filter	RGB	RGBY	RGB
Size	50"	46"	47"
Size (mm)	1110 x 620	1020 x 565	1046 x 586
Pixel Size (mm)	0.58 x 0.57	0.53 x 0.52	0.54 x 0.54
Max. Lum. (cd/m ²)	24	58.4	141.367

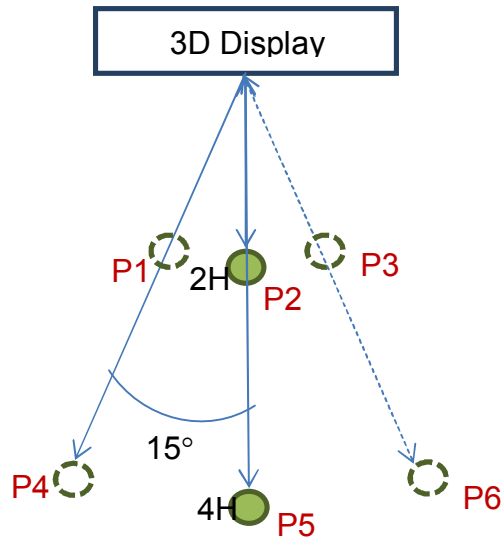


圖 2- 19：不同距離、角度之位置分布示意圖

受試者

在本研究中，總共有 36 位，全部皆是男性參與本實驗，受測者視力矯正後達 0.8 以上以及有良好的 3D 辨識能力。

實驗設備與實驗條件

利用電腦設備將實驗刺激傳送到市售的 LG、Sharp 以及 Panasonic 三台立體顯示器上呈現。實驗於暗室環境中(照度小於 1 lx)進行。

實驗刺激

使用隨機點產生的正弦波圖形作為實驗刺激，近端(2H)隨機點密度的分布為 5.8 dot/deg^2 ；遠端(4H)隨機點密度的分布為 21.6 dot/deg^2 。正弦波之頻率分別設為 0.5、0.707、1、以及 1.141(Cycle per Degree)，圖形的像差(Disparity)設定為 8、16、24 以及 32 (pixel)。不同的正弦波頻率，對應不同的像差所求得的視角如表 2- 20 所示，近端(2H)25.8、51.7、77.6 及 103.4(arc min)；遠端(4H)12.9、25.6、38.8 及 51.7(arc min)。

表 2- 20：不同像差在近端與遠端的視角數值

#Pixel	8	16	24	32
Near (arc min)	25.8	51.7	77.6	103.4
Far (arc min)	12.9	25.6	38.8	51.7

實驗流程

首先檢查受測者是否有良好的 3D 圖形的辨識能力，確認無誤之後受測者隨機安排至 P1~P6 其中一個位置，正式實驗前先進行練習區段，確定受測者了解如何進行實驗後隨即進入正式實驗區段。每一點的位置將進行 240 次的試驗，受試者必須在 2 秒內回答立體正弦波之朝向，若無回答該題就算答錯。每一點做完之後就稍作休息 5 分鐘以上或直到受測者自覺可以進行下一個位置的實驗。

實驗結果分析

首先分別討論三台立體顯示器的實驗結果。LG 立體顯示器實驗數據如圖 2- 20 所示，不管在哪個位置當像差愈大時，受測者對實驗刺激判斷的準確率也隨之下降，位置在 P4~P6 的點，準確率在 0.8 以上；但位置在 P1~P3 的點，準確率則降低至 0.8~0.6 之間。表 2- 21 顯示以像差為變項，平均 P1~P3 的深度閾值和平均 P4~P6 的深度閾值兩者做統計分析。結果顯示，不管在多少的像差之下，近端(2H)與遠端(4H)的深度閾值皆達 0.01 以上的顯著差異，顯示在不同的距離下立體深度閾值有顯著不同。

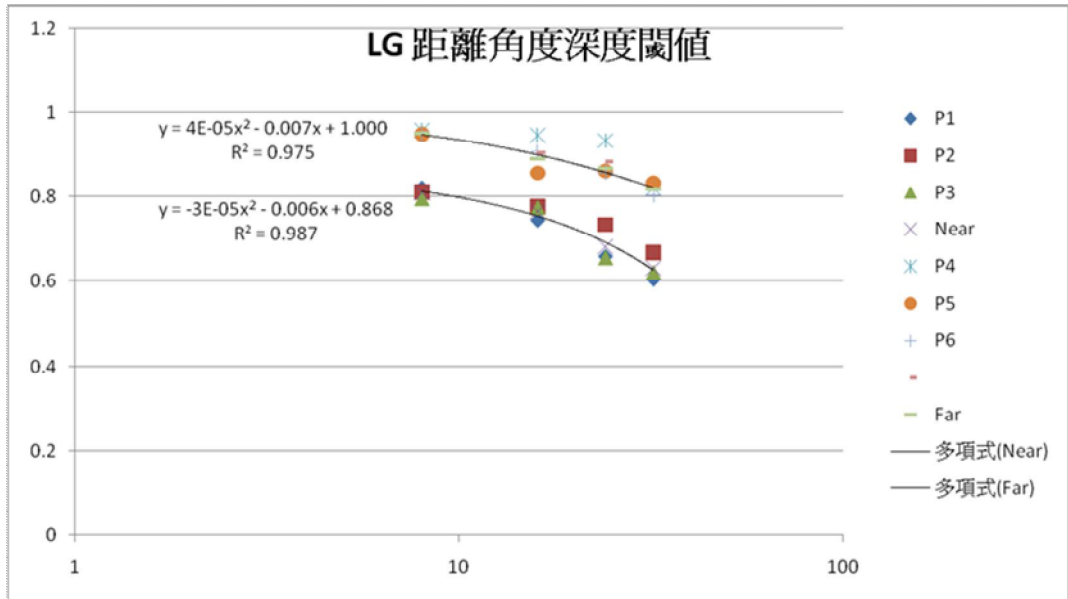


圖 2- 20： LG 立體顯示器之不同距離、角度深度閾值

表 2- 21： LG 立體顯示器實驗刺激像差在不同距離之統計分析

Disparity (pixel)	8	16	24	32
P value	*5.45E-05	*5.45E-05	*0.0046	*0.00078

圖 2- 21 為 LG 在不同距離及不同角度之立體深度閾值分布圖，圖中很明顯的發現遠端閾值較高近端閾值較低，遠端中央點位置為最高值，近端中央也比近端旁邊兩點明顯高出；再看表 2- 22 詳細數值，近端在 0°位置立體深度閾值最高為 25；遠端也是在 0°位置立體深度閾值最高為 37。

Sharp 立體顯示器實驗數據如圖 2- 22 所示，不管在哪個位置當像差越大時，受測者對實驗刺激判斷的準確率也隨之下降，位置在 P4~P6 的點，準確率在 0.75 以上；但位置在 P1~P3 的點，準確率則降低至 0.8~0.4 之間。

表 2- 23 顯示以像差為變項，平均 P1~P3 的深度閾值和平均 P4~P6 的深度閾值兩者做統計分析。結果顯示，不管在多少的像差之下，近端(2H)與遠端(4H)的深度閾值皆達 0.01 以上的顯著差

異，顯示在不同的距離下立體深度閾值有顯著不同。

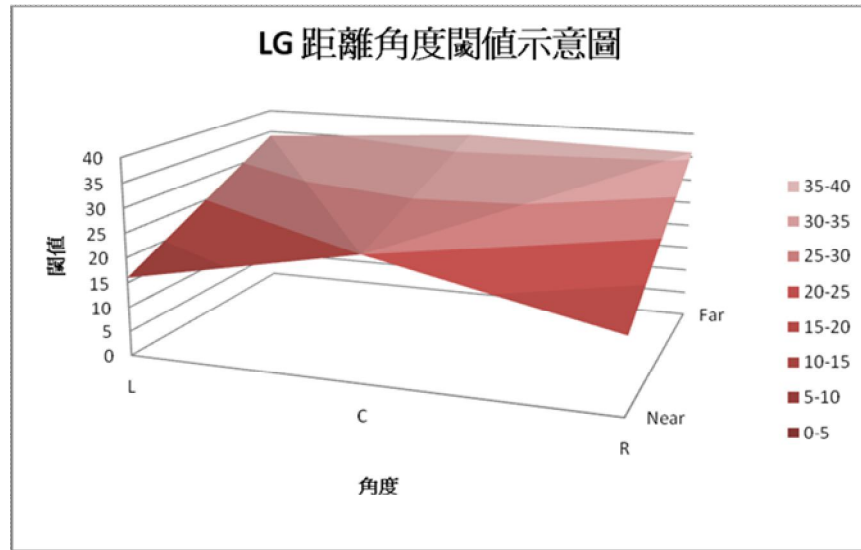


圖 2- 21：立體顯示器之不同距離、角度深度閾值分布狀態

表 2- 22：LG 立體顯示器之不同距離、角度深度閾值詳細數值

	L	C	R
2H	16	25	15
4H	34	37	36

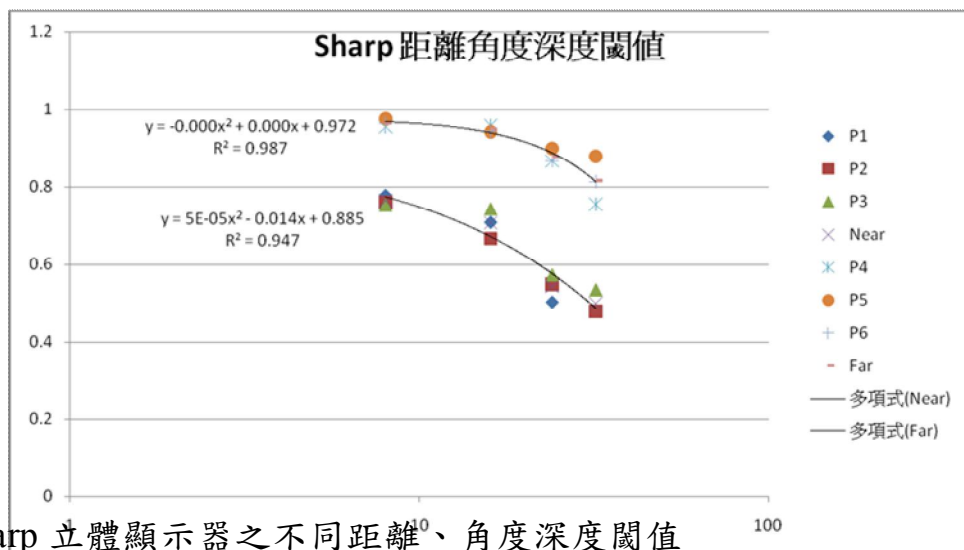


圖 2- 22：Sharp 立體顯示器之不同距離、角度深度閾值

表 2- 23：Sharp 立體顯示器實驗刺激像差在不同距離之統計分析

Disparity (pixel)	8	16	24	32
P value	*2.92E-05	*0.00045	*0.00013	*0.00143

圖-22 為 Sharp 在不同距離及不同角度之立體深度閾值分布圖，圖中很明顯的發現遠端閾值較高近端閾值較低，遠端中央最高點，近端則明顯變化；再看表 2- 24 詳細數值，近端在正 15°位置立體深度閾值最高為 9.8；遠端是在 0°置立體深度閾值最高為 45。Sharp 立體顯示器在近端的深度閾值為三台立體顯示器當中深度閾值表現較低。

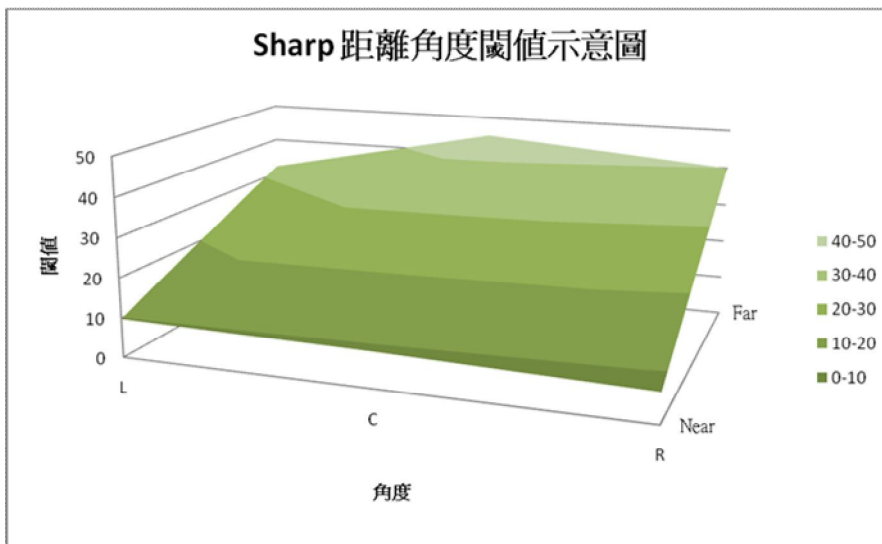


圖 2- 23：Sharp 立體顯示器之不同距離、角度深度閾值分布狀態

表 2- 24：Sharp 立體顯示器之不同距離、角度深度閾值詳細數值

	L	C	R
2H	9.8	9	7.5
4H	32	45	40

Panasonic 立體顯示器實驗數據如圖 2-24 所示，不管在哪個位置當像差越大時，受測者對實驗刺激判斷的準確率也隨之下降，但在像差為 8 pixel 的實驗刺激影像時，不管在哪個觀看位置的正確率表現均相當接近。在 P4~P6 的點，準確率在 0.8 以上；位置在 P1~P3 的點，準確率則在 1~0.6 之間。表 2-25 顯示以像差為變項，平均 P1~P3 的深度閾值和平均 P4~P6 的深度閾值兩者做統計分析。結果顯示，不管在多少的像差之下，近端(2H)與遠端(4H)的深度閾值皆達 0.01 以上的顯著差異，除了像差為 8 pixel 的實驗刺激影像部分未達顯著差異。

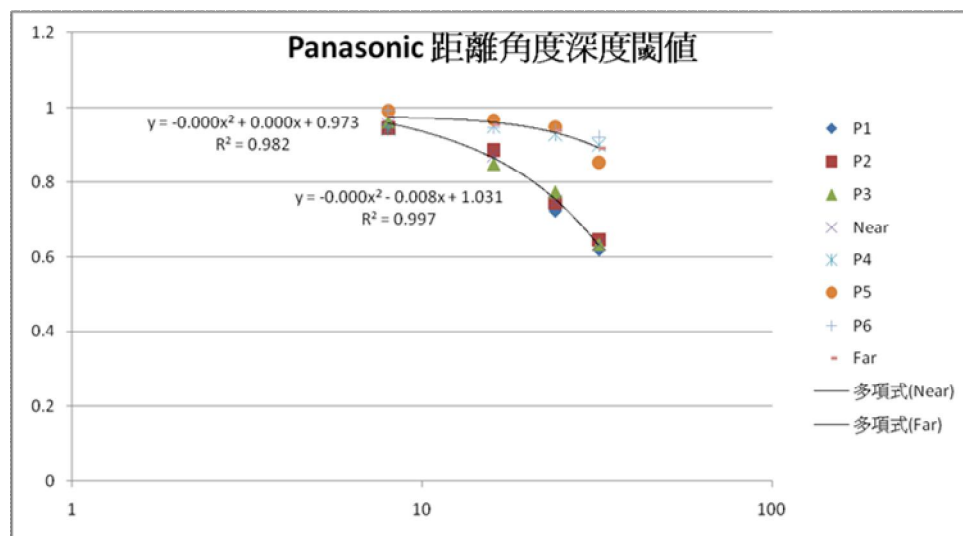


圖 2-24： Panasonic 立體顯示器之不同距離、角度深度閾值

表 2-25： Panasonic 立體顯示器實驗刺激像差在不同距離之統計分析

Disparity (pixel)	8	16	24	32
P value	0.296	*0.0032	*0.00026	*0.00025

圖 2-25 為 Panasonic 在不同距離及不同角度之立體深度閾值分布圖，圖中很明顯的發現遠端閾值較高近端閾值較低的梯型圖形，遠端中央為最高點；再看表 2- 26 詳細數值，近端在中間(0°)位置立體深度閾值最高為 30，近端則相差無幾；遠端也是在中間(0°)位置立體深度閾值最高為 83。Panasonic 立體顯示器在遠端的深度閾值為三台立體顯示器當中深度閾值表現較高。

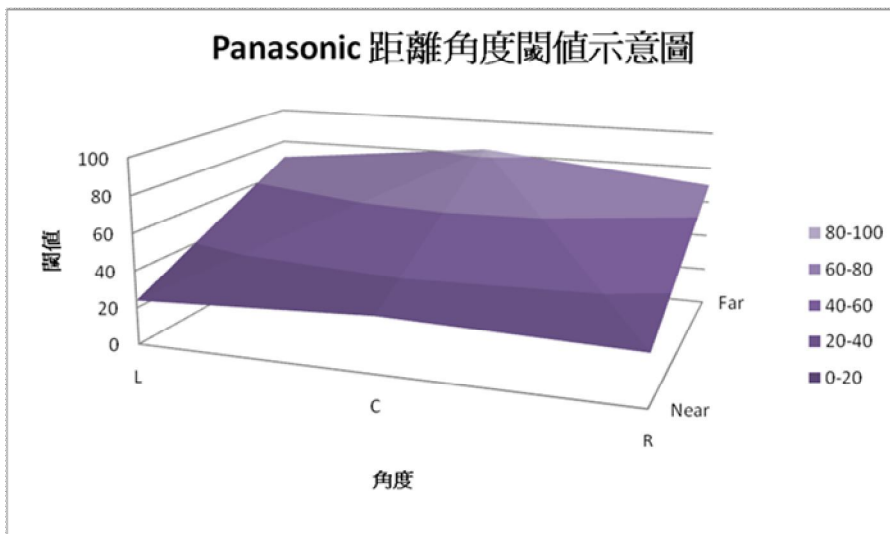


圖 2- 25：Panasonic 立體顯示器之不同距離、角度深度閾值分布狀態

表 2- 26：Panasonic 立體顯示器之不同距離、角度深度閾值詳細數值

	L	C	R
2H	24	30	27
4H	70	83	70

綜觀三台立體顯示器的近端與遠端深度閾值，分別將三台立體顯示器的近端身度閾值結果整理於圖 2-26，三台立體顯示器遠端結果整理於圖-2-27。不管在近端還是遠端三台立體顯示器的中間位置(0°)的立體深度閾值表現的均為較佳。再以立體顯示器來看的話，Panasonic 立體顯示器不管在近端還是遠端，任何一個角度下，深度閾值的表現皆比另外兩台立體顯示器較為出色。

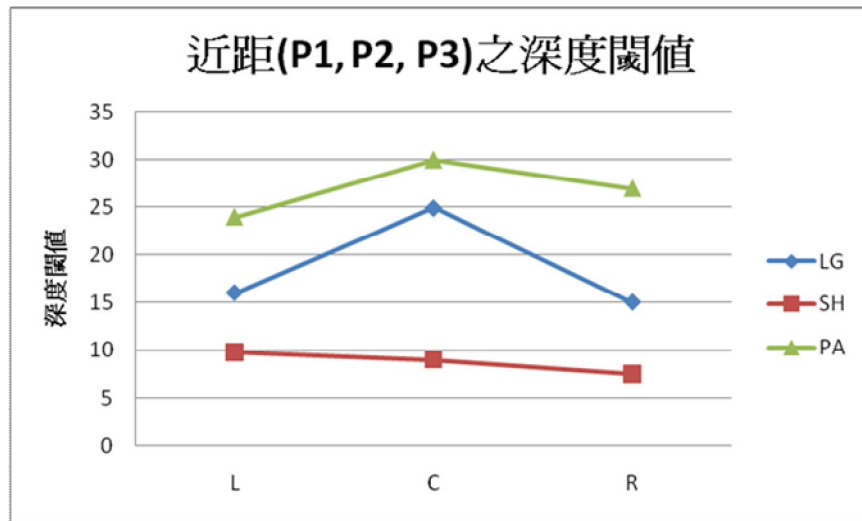


圖 2- 26：三台立體顯示器在近端的深度閾值

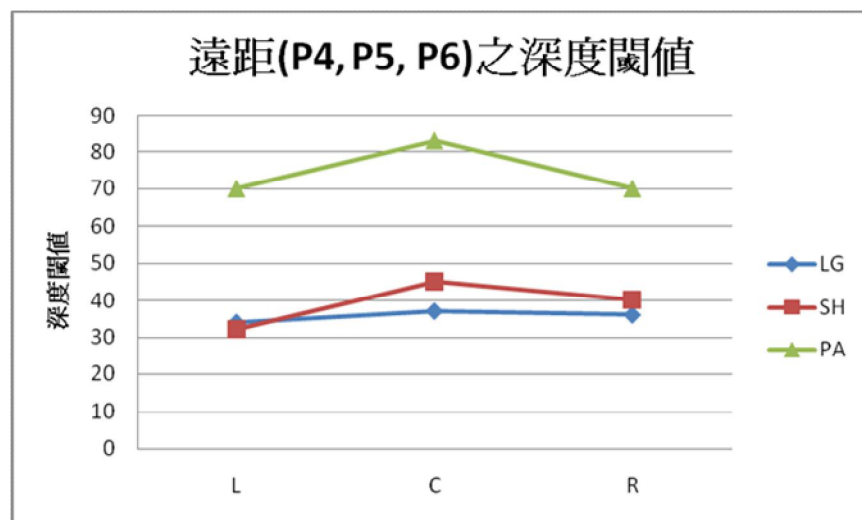


圖 2- 27：三台立體顯示器在遠端的深度閾值

i)、立體深度知覺人因實驗結論

本實驗提供了一個可供測試最大深度閾值之人因實驗程序所，並且利用雙視鏡系統排除了立體顯示器本身可能產生的 Crosstalk 現象。在 3D 立體深度閾值實驗結果中，使用一般的顯示器觀看距離下，大於 27arc min 的像差，將會影響使用者判斷立體影像的準確度。在 3D 立體深度之視覺疲勞實驗結果中，在 HRV 疲勞指標上達統計上的顯著差異；其餘自陳問卷與頻閃儀皆呈現

有疲勞現象，但無統計上顯著差異。

在 3D 立體深度之不同角度、距離之閾值實驗中，利用了市售的立體顯示器，分別對於觀看距離及角度深度閾值探討。此實驗結果可針對家用電視型立體顯示器給予下列的安全性考量。在 2H 距離下觀看，大於 27 arc min 的 Disparity, 將會影響使用者判斷立體影像的準確度。在 4H 距離下觀看，大於 60 arc min 的 Disparity, 將會影響使用者判斷立體影像的準確度。

在不同觀看距離、角度深度閾值實驗結果中得知，不管哪一台立體顯示器均顯示距離遠有較佳之深度閾值表現，而且三台立體顯示器也同時呈現中央視角有較佳的深度閾值表現。

另外本計畫的衍生計畫進行了疲勞度與環境照度的影響，以及疲勞度與光串擾(Crosstalk)的研究，其結論如下，相關的研究細節請參考附件十一。

環境照度之人因實驗結論

為了探討維度、照度與亮度三個因子對五種疲勞指標的影響，其結果可歸納出下述幾點，並將其多變量分析的結果統整於表 3-16 中。

1. 在維度的主要效果下，自陳問卷與右眼屈光度達顯著差異。
2. 在亮度的主要效果下，自陳問卷達顯著差異。
3. 在照度主要效果下，所有疲勞指標皆無顯著差異。
4. 所有因子交互作用下，所有疲勞指標皆無顯著差異。

本研究所關心的環境照度問題，從自陳問卷的數據得知電漿電視有較高的視覺疲勞度（這在 2D 的電視中也有相同的結論）。另兩種技術（Shutter 和 Polarizer）則沒有顯著差異。在一般照度（200 lux）下，電漿電視也有較高的視覺疲勞度。另兩種技術，

則呈現 2D 和 3D 有明顯顯著差異的視覺疲勞程度。在暗室下，三種技術都沒有顯著差異。另外「影像維度」與「顯示器亮度」這兩個因素對主觀疲勞感具影響力，且其效果不受環境照度以及其他交互作用效果的調節。此外，觀看三維影像所造成的主觀疲勞增加量比起觀看二維影像時是比較強烈的。在不同顯示器亮度下觀看 Panasonic 顯示器的主觀疲勞增加量顯著大於 LG，觀看 Sharp 顯示器的主觀疲勞增加量顯著大於 LG。

上述結果在「主觀的自陳問卷」較容易達顯著差異，但在「客觀的疲勞指標」上卻不容易達顯著差異，由此可知個體的主觀疲勞感受比起其他指標較為穩定而容易測得。

表 2- 27 多變量分析統計總表

效果項 依變項	主要效果			二因子 交互作用效果			三因子 交互作用效果
	維度	照度	亮度	維度*照度	維度*亮度	照度*亮度	維度*照度*亮度
	問卷	.001*	.692	.004*	.744	.416	.256
右屈	.022*	.818	.506	.153	.663	.746	.399
左屈	.808	.585	.382	.151	.166	.427	.958
頻閃	.223	.227	.599	.857	.934	.783	.720
HRV	.219	.987	.139	.063	.452	.972	.850

* 在顯著水準為 0.05 時 (雙尾)，相關顯著

** 在顯著水準為 0.01 時 (雙尾)，相關顯著

表 2-28 是自陳問卷與其他疲勞指標間的相關總表。結果顯示自陳問卷與 HRV 指標的相關，只有在觀看三維影像時，分別在三種不同顯示器下方達顯著相關。由此可知，只有在三維影像這種

較為疲勞的情況底下，HRV 指標才會和主觀疲勞感有關。根據效標關聯效度的邏輯，HRV 初步具備反映疲勞感之有效性(Validity)。

表 2- 28 自陳問卷與其他疲勞指標間的相關總表

變項	因子		右眼屈光度	左眼屈光度	閃光融合閾值	心跳變異率
不同維度	3D	問卷	-.064	.038	-.033	.163
不同 3D 顯示器亮度	Sharp	問卷	-.168	-.113	-.203	-.411*
	LG	問卷	-.308	.157	.043	.426**
	Panasonic	問卷	.127	.001	.076	.412*

* 在顯著水準為 0.05 時 (雙尾)，相關顯著

** 在顯著水準為 0.01 時 (雙尾)，相關顯著

本研究試圖利用 HRV 的變化百分比來判定個體是否達到疲勞階段。表 2-29 為 HRV 的增加量百分比，HRV 的平均值、標準差、最大值以及最小值，其值大小差異過大，我們將再利用後續的視覺疲勞實驗進行反覆性的驗證，進一步確定建立用 HRV 反映疲勞感的信度與效度。

綜合上述，在觀看三維影片時，主觀上容易覺得感受到疲累，若能在適當的環境，較佳的觀賞距離，並且給予適時的休息，三維影片造成的疲勞感受自然就會減少。

表 2- 29 HRV 增加量百分比

	平均值(%)	標準差(%)	最大值(%)	最小值(%)
Sharp	1.65	15.17	32.95	-24.61
LG	1.55	12.15	31.88	-28.26
Panasonic	5.07	15.57	40.66	-27.85

(三)、裸眼式 3D 顯示器關鍵技術(View Angle)先期研究子項

1.非量化執行成果說明

• 執行主要成果與績效：

目前市面上的裸眼式 3D 顯示器多數是屬於中小尺寸，因此本計畫究所取得的裸眼式 3D 顯示器進行了先期研究，分別是使用者經驗及初步光學特性量測兩部分。

裸眼式 3D 顯示器使用者經驗，如表 2-30 說明如下。HTC 3D 手機(如圖 2-28)，拍攝 3D 影像時需花費較多時間對焦；3D 影片(內建青蜂俠)，影像流暢沒有殘影；使用錄影功能，拍 3D 會有強烈的暈眩感；使用 youtube 上之 3D 影片，大部份的影像，皆會頭暈，影像不清晰；3D 視角不大，角度變換時，3D 感就會消失；最小的拍攝距離約 40 公分，太近則無法聚焦；觀看距離大約 30 公分，需調整適當的距離。

表 2- 30 裸眼式 3D 顯示器比較表

	HTC EVO 3D	Toshiba Qosmio F750	Sony HDR TD 10/S 3D
拍攝距離	> 40 cm,拍攝時需較多時間對焦	無	4 米以上，幾乎就看不出 3D 效果。
觀看距離	~ 30 cm	在遠處觀看(4H 以上)，在近處觀看效果都不錯	~ 30 cm
視角	3D 視角不大	使用 Tracking camera 改善移動視角，但是遮住 tracking camera 3D 效果並不會有影響	正面以外的角度觀看時，3D 效果會消失，或有明顯的 crosstalk(內建影片)
錄影功能	拍攝的影片，播放時會有暈眩感	無	攝影機自行辨識主題物品並決定

	HTC EVO 3D	Toshiba Qosmio F750	Sony HDR TD 10/S 3D
			景深 3D 效果較不穩定
其他	內建影片，影像流暢沒有殘影	觀看非內建影片，眼睛容易感到不舒服	內建的 3D 影片播放流暢



圖 2- 28： HTC 3D 手機

3D 筆記型電腦(Notebook, NB) (如圖 2-29)，單人使用時，在遠處觀看(4H 以上)，在近處觀看效果都不錯；該 NB 使用追蹤相機(Tracking Camera)改善移動視角而造成殘影的問題，但實際應用上，遮住 Tracking Camera 3D 效果並不會有影響，離開 Tracking Camera 監控範圍 3D 效果也不變；字幕容易有殘影，眼睛容易感到不舒服。雙人使用時，與 Tracking Camera 監控者比臨而坐，容易看到殘影，角度越大殘影越嚴重；綜合結論，故 3D NB 較適合獨自一人使用(打 3D Game 或看電影)，殘影出現出現頻率頗高，易使觀賞者產生不舒服感。比起快門或偏光式的 3D 電視，裸眼 3D 不用戴眼鏡已經使觀賞者免於戴 3D 眼鏡之苦。若能改善使觀賞者不舒服之因素，將讓使用者更願意接受裸眼 3D。



圖 2- 29： Toshiba 3D 筆記型電腦

3D 錄影機(如圖-30)，LCD 螢幕可直接在拍攝過程中觀看 3D 拍攝效果;內建的 3D 影片播放流暢，於正面觀看時效果不錯。於正面以外的角度觀看時，3D 效果會消失，或有明顯的 Crosstalk；拍攝過程由攝影機自行辨識主題物品並決定景深，3D 效果較不穩定，有些場景看不出 3D 效果，或有明顯的 Crosstalk；當拍攝的場景物體距離較遠時(約 4 米以上)，幾乎就看不出 3D 效果。



圖 2- 30：SONY 3D 錄影機

亮度、光串擾量測

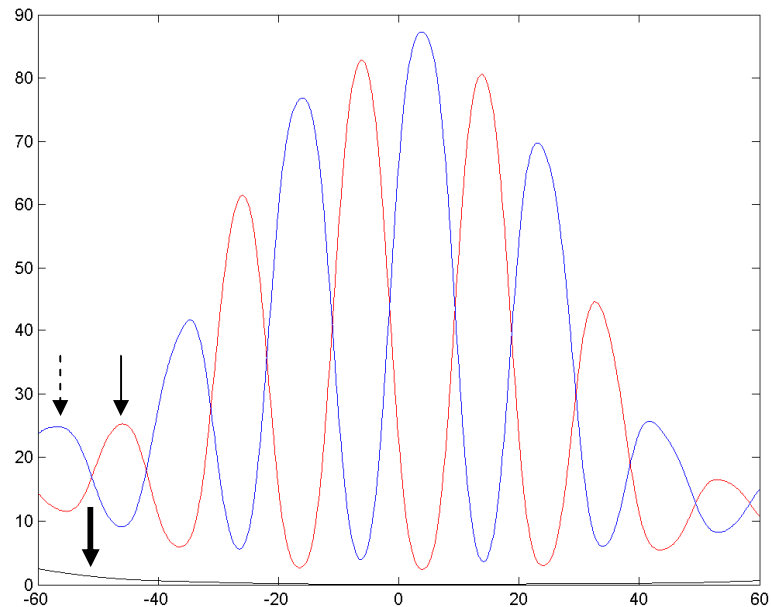


圖 2- 31：顯示器中心點，各個視角的亮度分布

紅色 ↓：左白右黑，藍色 ↓：左黑右白，黑色 ↓：左黑右黑。

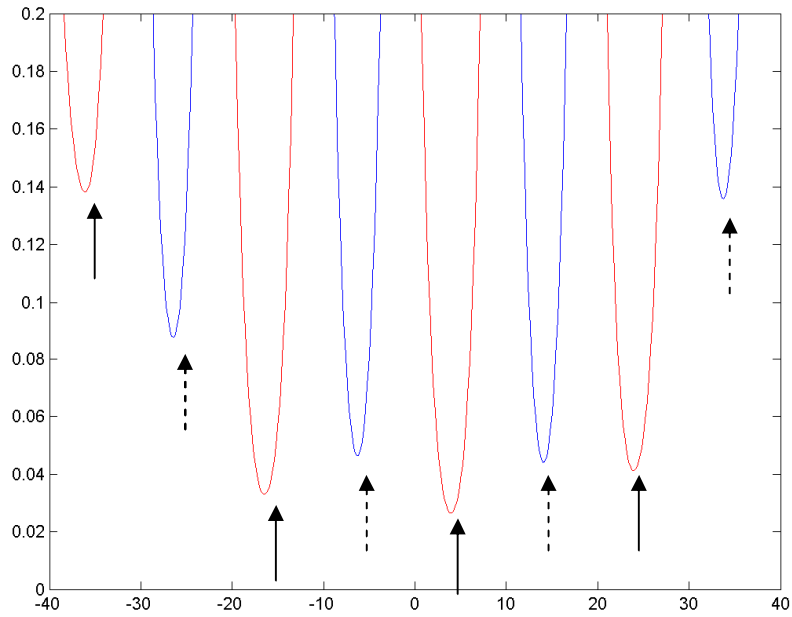


圖 2-32：顯示器中心點，各個角度的光串擾分布
 紅色 ↑：右眼，藍色 ↓：左眼

- 後續工作構想及重點：

本分項今年度已完成眼鏡式 3D 顯示器，立體像差的量測手法之建立。以及完成了立體深度與疲勞度的人因實驗的程序建立，並完成裸眼式 3D 顯示器的使用者體驗。但由於目前多數市售的裸眼式 3D 顯示器並無法由外部輸入測試圖案，因此無法針對其光學特性進行量測。未來新年度的計畫重點將尋求一些合作廠商，找出可自建測試圖案的方法，以便進行裸眼式 3D 顯示器光學特性的量測。

- 衍生收益：

今年度透過技術授權”顯示器動態特性量測裝置”及專利授權運用”光學特性量測裝置、二維亮度色度計的裝置專利運用”的方式合計收入計 312 仟元。

2. 量化成果說明

(1) 論文

a. 國內期刊論文 1 篇

投稿於量測資訊月刊

題目：眼鏡式立體顯示器之眼鏡位置與雜散光影響探討

內容：

眼鏡式立體顯示器讓人們透過 3D 眼鏡能在二維顯示器上，可觀賞到三維的立體影像，但是卻有可能因為眼鏡造成觀賞時的影像品質下降。量測過程中，改變眼鏡的與顯示器的相對距離來進行量測，觀察眼鏡位置對於量測數據的影響。量測結果顯示，顯示器在全黑畫面下，眼鏡位置對於亮度的變化程度在 2% 左右。研究發現，眼鏡位置可能會影響到量測時的亮度變化，也同時影響到立體顯示器的許多影像品質參數，如對比度及光串擾 (Crosstalk)。

b. 國內研討會論文 1 篇

投稿於 3D System and Application

題目：立體影像之像差感知閾值探討

內容：

本論文使用亂數雜點所產生之立體正弦波影像做為實驗刺激影像，並使用問卷、閃光融合閾值、以及心率變異律做為疲勞指標進行探討。在實驗一中，我們量測立體深度知覺的閾值，在實驗二中，本研究依據實驗一的閾值，區分為兩組受試組。一組是所有的刺激影像都低於閾值，另一組是有一半的刺激影像會大於閾值。實驗結果顯示，高於閾值的實驗組其疲勞感大於另一實驗組。

b. 國際研討會論文 2 篇

1) 投稿於 SID International Symposium

題目：眼鏡式 3D 顯示器之時間特性比較

內容：

以兩個視效函數偵測器搭配放大電路，量測眼鏡式 3D 顯示器之時間特性，相關參數如頻率、平均亮度、穿透率、上升/下降時間、串擾等可從量得之波型計算獲得。開關眼鏡式 3D 顯示器主要的串擾原因為面板的緩慢下降時間。

2) 投稿於 The SID 2010 International Symposium

題目：立體顯示器之視覺疲勞量測

內容：

根據先前研究發現，有一部份的人對於觀看經由立體顯示器播放之立體影像內容會產生不舒適感。此外，也有研究發現，在暗室觀看立體影像內容其色彩、影像品質皆優於亮室環境。本篇研究將以視覺疲勞為主要探討因子。本研究使用「打獵季節」這一部動畫影片為測試內容，分別於不同立體顯示器、不同觀看環境亮度下，觀看 2D 與 3D 版本的內容。我們使用問卷、視屈光度、閃光融合閾值、以及心率變異率為分析視覺疲勞的因子。依據實驗結果顯示，問卷與視覺疲勞有最佳的相關性。此外，結果也顯示，觀看 3D 版本的內容較容易產生疲勞感。

(2) 研究報告 2 篇

1) 題目：戴眼鏡式立體顯示器之像差量測技術

內容：

在本報告中，使用高畫素的單眼相機在最低光串擾的影響下來進行量測戴眼鏡式立體顯示器之像差，並計算其深度知覺距離以及雙眼像差大小。

2) 題目：立體顯示器人因實驗研究報告

內容：

本計畫針對戴眼鏡式立體顯示器進行一系列之人因實驗探討，其中包含不同照度環境下之立體顯示器觀看疲勞程度研究、像差所造成之立體深度知覺研究、光串擾(Crosstalk)閾值及疲勞度研究、立體影像解析度研究等四大主題。研究結果發現，低照度環境之觀看舒適性較高，變異性較小；一般桌上型中小尺寸(23吋)立體顯示器之像差閾值為 27 arc min，而家用型大尺寸(46吋以上)立體顯示器之像差閾值為 60arc min；人眼無法正確融合聚焦之光串擾閾值為 34.9%；最後，本計畫提出了一個使用文字閱讀的實驗手法，針對立體顯示器之立體解像力進行討論，偏光式立體顯示技術之立體解像力表現較快門式立體顯示技術差。

(3) 標準草案 1 件

完成 SEMI D4765 「被動式眼鏡 3D 顯示器國際標準」草案(TEST METHOD OF FPD-BASED STEREOSCOPIC DISPLAY WITH PASSIVE GLASSES)

內容：

本計畫與顯示器產業相關廠商共同草擬動式 3D 立體顯示器的光學特性量測標準草案，其中包含亮度、色度、光串擾(Crosstalk)等參數的研究，本計畫負責主要的光串擾人因驗證。

三、標準規範推展

1. 參與 SEMI 國際標準組織情形

- (1) SEMI Taiwan 的 e-Paper Displays 標準討論小組於 2009 年 9 月成立至今，非常成功地建立與產學研代表共同討論與交流電子紙量測標準技術的平台，目前已陸續召開 35 次的討論會議，會議的 co-Leader 之一是由量測中心軟電計畫的成員來擔任，負責會議的召開、推動、與主持。
- (2) 2012 年 2 月份完成 SEMI #4999A 「Test Methods for Optical Properties of Electronic Paper Displays」電子紙標準草案立案，並進行 SEMI 全球 2012 Cycle 1 之投票。
- (3) 2012 年 5 月 24 日 SEMI TC 會議表決通過電子紙量測標準工作小組之新 SNARF 提案，SNARF 名稱為：「Test Methods for Color Properties of Electronic Paper Displays」。
- (4) 2012 年 5 月份完成 SEMI D68-0512 「Test Methods for Optical Properties of Electronic Paper Displays」全球首件電子紙顯示器光學特性量測方法的國際標準。
- (5) 參與主動式 3D 顯示器標準草案 D4764B 的修訂，預計於今年成為國際標準。參與被動式 3D 顯示器標準草案的研擬，並與友達、奇美、等面板廠共同提出顯示器國際標準草案一份 D4765，New Standard: TEST METHOD OF FPD-BASED STEREOSCOPIIC DISPLAY WITH PASSIVE GLASSES，8 月份送至 SEMI 總部進行第五輪(Cycle 5)國際投票。
- (6) 本計畫主持人林增耀博士於 9 月 5 日獲 SEMI 國際標準委員會頒發「Karel Urbanek 卓越貢獻獎」(The Karel Urbanek Award)，肯定其在平面顯示器相關的新標準制訂及旗下七個工作小組於 3D 顯示、觸控面板、電子紙等新顯示媒材進行相關標準研擬與推動之貢獻。

2. 參與 ICDM 國際標準組織情形

參與國際資訊顯示器協會 SID 轄下的標準組織 ICDM (International Committee for Display Metrology)，進行顯示器標準 IDMS (Information Display Measurements Standard)草案的審查，催生 IDMS 1.03 顯示器標準，並獲邀擔任 SID 議程委員會成員。

3. 參與區域(包含兩岸)標準規範協商情形

參加9月於大陸湖南長沙舉辦的第九屆海峽兩岸信息產業和技術標準論壇，兩天的會議除專題演講外，另有 LED、平板、太陽光電、TD、三網融合、泛在網/物聯網、汽車電子、鋰電池等八個分論壇，兩岸專家進行標準技術交流與合作的討論。此外，華聚基金會和中電標協於第八屆論壇時簽署了平板顯示、LED 和太陽光電三個領域共通標準合作備忘錄，共完成九項共通標準於本屆論壇發布。

在雙方標準專家共同努力下，完成三項共通標準：

- 1) 「立體顯示器件：術語對照表」
- 2) 「立體顯示器件：術語和定義」
- 3) 「立體顯示器件：眼鏡式立體顯示器件光學參數量測方法(I)」

在雙方專家的專題報告與討論下，本屆論壇最終達成三項共識：

- 1) 完成《立體顯示器件：眼鏡式立體顯示器件光學測量方法 (II)》共通標準制定工作
- 2) 開展《電子紙光學參數量測方法》共通標準的制定工作

三、 成果與推廣

(一)推廣案例說明

1. 彩色電子紙能耗量測技術研究

本計畫多次藉由參加電子紙顯示器相關的研討會、SEMI 標準制定會議、論文與成果發表會、以及自辦技術推廣等活動，宣傳本計畫之相關研究成果，並期望未來能因此增加與產學業界共同研發合作的機會，以達計畫成果推廣之目的。此外，為推廣本計畫研究技術，於 2012 年 8 月 29 至 8 月 31 日至台北南港展覽館參加「2012 Touch Taiwan 展覽」並實體展示電子紙能耗量測系統，展示期間諸多廠商蒞臨詢問相關的量測細節並作技術交流。下圖為此次參展時之現場照片。



「2012 Touch Taiwan 展覽」實體展示電子紙能耗量測系統

2. 彩色電子紙色彩衰減特性量測技術研究

針對軟性撓曲測試技術，本技術也協助工研院顯示器中心與材化所開發之膽固醇液晶顯示器之 PET/ITO 基板的反覆撓曲下之光學穿透率、色彩、電性特性與機械應變特性檢測，以供能開發出具有更好之軟性電子或顯示器的撓曲特性。另外，也協助提供反覆撓曲技術給國立清華大學工科所王本誠老師團隊，以便開發出更好之可撓顯示器

的透明 polymer 基板與軟性電極之製作。除此之外，也完成 AUO 之撓曲機台技術服務的軟性顯示器撓曲檢測平台夾具維修與零組件備料，共收入含稅 52,500 元。而在軟性顯示器撓曲檢測平台技術已於 10 月份推廣授權於佳暉科技公司，授權製作撓曲機台一台，授權金約 42 萬(含稅)。此外，五鈴光學與貝斯科技亦詢問撓曲測試平台相關事宜，希望未來能正式代理或技術合作，來共同推廣軟性電子產業之廠商使用。雖然目前還沒有正式的委託，但是軟性顯示器撓曲檢測平台技術目前是獨步全球，也領先業界約 2 年左右。也因為這幾年之不景氣，使得軟性電子產業的發展停滯不前。須等待整個世界景氣有較回春與軟性顯示器有較大的突破，本量測技術也就能有較多的技術衍生的機會，已顯現本技術之價值。

3. 戴眼鏡式立體顯示器像差量測系統

技術授權”顯示器動態特性量測裝置”給國內廠商(波色科技)，應用於顯示器動態特性的量測，該技術運用了第一期計畫所制定的 SEMI D65 及 D58 色分離量測標準以及參與 ICDM 量測標準草案中的動態畫面反應時間(MPRT)量測標準，對於該設備的推廣具有相當大的助力。

(二)產出成果一覽表

成果項目		分項計畫		電子紙顯示器分項		3D顯示分項		合計	
		目標	實際	目標	實際	目標	實際		
專利	申請	1	1	-	-	1	1		
	獲得	1	4	-	-	1	4		
論文	期刊	國內	1	2	1	1	2	3	
		國外	-	1	-	-	-	1	
	研討會	國內	1	2	1	1	2	3	
		國外	1	1	1	2	2	3	
研究報告	技術	2	3	2	2	4	5		
	調查	-	-	-	-	-	-		
	訓練	1	1	1	1	2	2		
合作研究	學術合作研究	-	-	-	-	-	-		
	業界合作研究	-	-	-	-	-	-		
	國外合作研究	-	-	-	-	-	-		
研討會	場次	1	1	-	-	1	1		
	人數(人次)	50	67	-	-	50	67		
技術論壇		1	1	-	-	1	1		
參與或主導 FPD產業規範/標準草案制訂		1	1	1	1	2	2		
可移轉技術		建立可移轉技術 2 項，技術服務 4 次；技術移轉服務簽約金額 700 千元				完成可移轉技術 2 項，技術服務 4 次；技術移轉服務簽約金額 762 千元			
技術服務									

(三)其它綜合成果

1. 技術移轉、技術服務及諮詢

- 提供元太科技以及中華映管研發部門關於彩色電子紙顯示器能耗量測方法及其電池續航力評估方式之技術諮詢。
- 完成 AUO 之撓曲機台技術服務的軟性顯示器撓曲檢測平台夾具維修與零組件備料。
- 佳暉光電，授權製作撓曲機台一台(期間 2 個月)，授權金約 42 萬。

2. 國際活動

- 赴日本東京參加 2012 ICFPE 國際研討會並發表電子紙能耗量測論文
- 參加 SID ICDM 標準會議，催生 IDMS 顯示器標準。
- 受邀擔任 SID 議程委員會委員。
- SID 發表 2 篇 3D 顯示器相關論文。

3. 受邀演講

- 計畫成員溫博浚博士運用於本計畫發展之專才，至淡江大學機械與機電工程學系演講軟性顯示器之可撓特性量測研究，以促進與學術界量測技術之交流。

陸、結論與建議

一、 電子紙顯示器關鍵參數量測標準研究分項

在電子紙顯示器的關鍵參數量測技術上，由於電子紙為雙穩態元件，僅於切換畫面時才需耗電，而特定電池電量在不同的顯示模式或是不同的顯示圖樣下總共可以切換幾次畫面，製造商通常都無法精確地量測與標示規格，目前業界也欠缺一套標準的電子紙能耗檢測方式來進行產品的量測與評估。由此可見，電子紙能耗檢測方法的開發以及檢測標準程序的訂定確實有其必要性。

有鑑於此，本計畫成功地建立彩色電子紙顯示器之能耗量測技術，並完整地進行彩色電子紙能耗參考測試圖案的評估研究，以及精準地評估各款電子書產品的電池續航力(Battery Life)，包含電池換頁續航力或電池續航時間。本技術乃建構在搭配適當的能耗測試圖樣下，利用一個外部的訊號觸發源同步觸發兩組高精度且多功能數位電表，並藉由 PXI 介面進行彩色電子紙顯示器之直流電壓以及直流電流的同步取樣，得到電子紙顯示器的功率消耗 vs. 時間曲線，最後透過軟體將電子紙顯示器在量測期間的功率消耗對時間作積分運算，如此便可精確地量測彩色電子紙顯示器的能耗特性，以及精準地評估其電池續航力。此外，該能耗量測技術亦適用於以 LCD 或是 OLED 顯示技術所製作之彩色平板電子書的能耗特性量測與電池續航力評估。期盼本計畫的研發成果能增進對電子紙顯示器能耗特性量測之相關技術的瞭解，達到協助國內業者提升產品品質的目的。

另外，本計畫也多次提供元太科技以及中華映管研發部門關於彩色電子紙顯示器能耗量測方法及其電池續航力評估方式之技術諮詢。未來除了進一步整合 FY100~FY101 年針對灰階以及彩色電子書產品所建立之能耗量測技術以及相關研究成果之外，亦將進一步延伸以量測軟性電子紙顯示器之關鍵參數，例如：撓曲下之能耗特性、反應時間、以及雙穩態特性等參數，以針對電子紙等軟性顯示器產品進行更深入的量測技術研究與標準訂定等工作，同時再透過 SEMI 量測

標準工作小組中與產學研代表共同討論與交流軟性顯示器之量測標準技術，累積相關量測標準制定的經驗以及國內光電/顯示/軟電等領域之產學研專家之人脈，並協助廠商與研究單位解決其在電子紙等軟電顯示技術上所遇到的量測問題，以助於國內軟電產業的推動與發展。

隨著人類生活水平的提升，軟性電子紙具備可撓曲、方便攜帶、低耗電、以及可讀性佳等優點，為國際影像顯示產業的重要新興發展主流。隨著各種顯示技術的快速發展，目前已有多種相關產品，諸如：膽固醇液晶式、電泳式...等軟性電子紙上市；相對的，各種電子紙量測標準的需求也因此孕育而生，如近期的 SEMI 標準、兩岸平板標準會議上，對於電子紙的標準量測即是一項熱門的討論議題。

本研究係著重於產品端的量測標準，致力於制定一個符合人眼觀測、實際顯示品質的光學環境條件，以提供未來各項軟性顯示器的量測標準，期望能建立一套色彩參考標準供電子紙產業來依循。如同報紙在 ISO 標準中就有相關紙類的參考標準色彩建議定義，讓印刷工業有個標準可以依循。

本研究成功建立起多角度環境光源之電子紙色彩衰減量測技術，與多角度環境光源之電子紙顯色能力的灰階色彩色差參數，和色域面積與其時間衰減後之評估與分析，此技術協助元太科技進行其電子紙之色彩衰減分析，協助友達光電轉投資之 SiPix 製造的電子紙提供多角度量測技術上諮詢，對於台灣的電子紙製造與生產的量測問題都能給予支援與解決。

目前評估電子紙如能與平板電腦定位區隔市場，應用在一些靜態顯示的場合上是蠻適當的，其未來市場還是具有相當的潛力。反觀在軟性顯示器的技術發展上，AMOLED 螢幕本身具有比較輕而且顏色鮮豔的特性，已經應用到不少行動裝置上面，包括三星產品。因此，明年度本計畫將轉向至軟性顯示器可撓衰減特性參數量測技術研究，也希望延續前一期 FPD 之軟電計畫的成果早日在軟性顯示器的量測技

術開發與標準制定中先行卡位，並扶植台灣顯示器產業升級至軟性顯示器產品開發技術，以保有台灣軟性顯示器技術的優勢。

二、 3D 顯示新技術人因關鍵參數量測標準研究分項

本分項今年度已完成眼鏡式 3D 顯示器，立體像差的量測手法之建立。以及完成了立體深度與疲勞度的人因實驗的程序建立，並完成裸眼式 3D 顯示器的使用者體驗。未來新年度的計畫重點將尋求一些合作廠商，找出可自建測試圖案的方法，以便進行裸眼式 3D 顯示器光學特性的量測。此外，國際上對於大尺寸顯示器的接受度也持續的提高中，未來值得觀察裸眼式 3D 顯示器的量產及滲透率的提升，以便及早切入量測技術的開發，或是避免過早投入浪費資源。

附 件

柒、附件

- 一、 新台幣 5 百萬元以上(含)之儀器設備清單
無

二、 國外出差人員一覽表

短期訓練

出差性質	主要內容	出差機構/國家	期間	參加人員姓名	在本計畫擔任之工作	對本計畫之助益	出國項次
參加會議 發表論文	參加 ICFPE 2012，同時發表研究論文並聽取軟性顯示器關鍵參數研究之最新趨勢與成果。	日本 東京	20120905 ~ 20120909	陳士芳	擔任電子紙顯示器分項計畫主持人	參加 2012 ICFPE 並發表論文，藉此蒐集電子紙顯示器國際最新技術發展趨勢，作為未來規劃相關量測技術與標準發展時之參考依據，並與國際學者專家意見交流，討論電子紙顯示器標準發展合作議題，同時掌握國際相關研發技術動態	1
參加會議 發表論文	參加 SID 並發表論文，藉此蒐集軟電顯示器國際最新技術發展趨勢。	美國	20120603 ~ 20120610	彭保仁	擔任 3D 立體顯示分項計畫主持人	藉此蒐集 3D 顯示器國際最新技術發展趨勢，作為未來規劃相關量測技術與標準發展時之參考依據，並與國際學者專家意見交流，掌握國際相關研發技術動態。	2
參加會議	參加兩岸標準會議，交流研討標準共識議題。	大陸	20120906 ~ 20120909	藍玉屏	擔任 FPD 標準推展工作	藉此蒐集大陸平板顯示器國際最新技術發展趨勢，作為未來規劃相關量測技術與標準發展時之參考依據，並與國際學者專家意見交流，掌握國際相關研發技術動態。	3

長期訓練

出差性質	主要內容	出差機構/國家	期間	參加人員姓名	在本計畫擔任之工作	對本計畫之助益	出國項次
	無						

三、 專利成果統計一覽表

專利申請

項次	類別	專利名稱	官方申請日	申請國家	申請案號	申請人
1	發明	光學測量裝置	20120828	中國大陸	201210421089	溫博浚、陳彥良

專利獲證

項次	類別	專利名稱	獲證日期	申請國家	專利起迄期	專利號碼
1	發明	動態光源標準方法與裝置	20120208	中華民國	20120111~ 20280313	I356289
2	發明	軟性元件撓曲特性之檢測方法及其系統	20120908	中華民國	20120811~ 20280501	I370248
3	發明	相位差檢測裝置	20120402	美國	20120306~ 20300523	8,130,378
4	發明	顯示器的檢測方法及其系統	20120211	中國大陸	20120118~ 20281222	ZL2008101878 32.3

四、 論文一覽表

研討會論文

項次	論文名稱	發表日期	技資編號	會議名稱	作者	國家	頁數
1	Comparison of Temporal Properties of Various Glass-type 3D-Displays	2012 0606	07-5-A1- 0068	SID International Symposium	徐紹維、賴岳益	美國	3
2	The Eye Fatigue Measurement for 3D Display	2012 0608	07-5-A1- 0070	The SID 2010 International Symposium, Seminar and Exhibition	賴岳益、蔡宗欽、柯明達、彭保仁、陳建宇	美國	4
3	彩色電子紙於高照度下之視覺績效探討	2012 0421	07-5-A1- 0100	國際創新設計研討會	張韻白、溫博浚、李傳房	中華民國	6
4	Precise Measuring Method for Energy Consumption of Flexible Electronic Paper Displays	2012 0907	07-5-A1- 0125	The International Conference on Flexible and Printed Electronics (ICFPE)	陳士芳、蔡琇如	日本	1
5	The Threshold of Perceiving Disparity on the Stereoscopic Image	2012 0627	07-5-A1- 0126	3D System and Application	賴岳益、蔡宗欽	中華民國	3
6	Retardation measurements with Large Area on a Flexible Indium Tin Oxide Film for Repetitive Bending Test	2012 1109	07-5-A1- 0307	ISEM-ACEM-SEM-7th ISEM'12 Taipei	溫博浚、徐炯勛、陳彥良	中華民國	3

期刊論文

項次	論文名稱	發表日期	技資編號	期刊名稱	作者	國家	頁數
1	灰階電子紙顯示器能耗量測技術研究	20120928	07-5-A1-0104	量測資訊 雙月刊	陳士芳、蔡琇如、 葉欣達	中華民國	5
2	電子紙類紙性與色彩量測技術研究	20120702	07-5-A1-0174	量測資訊 雙月刊	溫博浚、劉玟君	中華民國	4
3	眼鏡式立體顯示器之眼鏡位置與雜散光影響探討	20121101	07-5-A1-0190	量測資訊 雙月刊	陳昱達、彭保仁、 歐陽盟	中華民國	3
4	曲面顯示器之人眼視覺角度的邊界對比失效分析	20120701	07-5-A1-0205	IEEE/OSA Journal of Display Technology	溫博浚、呂宗熙	美國	6

五、 研究報告一覽表

技術報告

項次	資料名稱	產出日期	技資編號	語言	列管等級	作者	頁數
1	立體顯示器人因實驗研究報告	20120420	07-3-A1-0035-01	中文	機密級	蔡宗欽 賴岳益 柯明達 張鈺潔	72
2	反射式電子書閱讀器電池續航力評估方法研究報告	20120528	07-3-A1-0059-01	中文	一般	陳士芳 蔡琇如	25
3	彩色電子紙顯示器能耗量測技術研究報告	20121024	07-3-A1-0194-01	中文	一般	陳士芳 蔡琇如 程郁娟	14
4	戴眼鏡式立體顯示器之像差量測技術	20121019	07-3-A1-0195-01	中文	一般	徐紹維 彭保仁	12
5	彩色電子紙的多角度環境光源之色彩特性的時間衰減分析量測技術研究	20121114	07-3-A1-0248-01	中文	一般	溫博浚	19

出國訓練報告

項次	資料名稱	產出日期	技資編號	語言	列管等級	作者	頁數
1	2012 ICDM 與 SID 觀察報告	20120709	07-3-A1-0088-01	中文	一般	彭保仁	13
2	2012 ICFPE 國際軟性印刷電子顯示技術研討會之出國訓練報告	20121001	07-3-A1-0171-01	中文	一般	陳士芳	11

六、 研討會/成果發表會/說明會一覽表

研討會

項次	研討會名稱	日期	舉辦地點	主/協辦	參與廠家數	參加人數	備註
1	2012 國際FPD標準標準與技術研討會	20120829	台北	主辦	26	67	

技術論壇

項次	研討會名稱	日期	舉辦地點	主/協辦	參與廠家數	參加人數	備註
1	新興顯示產業標準論壇	20121017	台北	主辦	7	12	

七、 中英文對照表

英文縮寫	英文	中文
AIC	International Color Association	國際色彩協會
AMOLED	Active Matrix Organic Light Emitting Diode	主動式有機發光二極體
AMVA	Advanced MVA	進階多象限垂直配向技術
AOIEA	Automatic Optical Inspection Equipment Association	自動光學檢測設備聯盟
α -Si	Amorphous Silicon	非晶矽
CCD	Charge-coupled Device	電耦合元件
CCFL	Cold Cathode Fluorescent Lamp	冷陰極燈管
CF	Color Filter	彩色濾光膜
CIE	International Commission on Illumination	國際照明委員會
CIPO	Color Imaging Industry Promotion Office	經濟部工業局影像顯示產業推動辦公室
CMS	Center for Measurement Standards	工研院量測技術發展中心
CQC	China Quality Certification Center	中國質量認證中心
CRM	Certified Reference Material	驗證參考物質
CRT	Cathode Ray Tube	陰極射線管
EOG	Electrooculography	眼動電位訊號圖
EPD	e-Paper Displays	電子紙顯示器
EPD	Electrophoretic Display	電泳顯示器
FPD	Flat Panel Display	平面顯示器
GLRT	Gray Level Response Time	灰階反應時間
RGB	Red/Green/Blue Photoresist	紅綠藍彩色光阻
HDTV	High Density Television	高畫質電視
HRV	Heart Rate Variability	心率變異度
ICDM	International Committee for Display Metrology	國際顯示器量測委員會
IEC	International Electrotechnical Commission	國際電工委員會或國際電工協會
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	國際電機電子工程師學會
iQ	Image Quality	影像品質
iQA	Imaging Quality Assessment	影像品質評價
ISC	International Standards Committee	全球標準委員會
ISO	International Organization for Standardization	國際標準化組織
ITO	Indium Tin Oxide	氧化銦錫透明導電膜
ITU	International Telecommunication Union	國際電信聯盟
JEITA	Japan Electronics and Information Technology Industries Association	日本電子資訊技術協會
LCD	Liquid Crystal Display	液晶顯示器
LED	Light Emitting Diode	發光二極體
NARSC	North American Regional Science Council	北美地區標準委員會
LMD	Light Measuring Device	光學量測元件

英文縮寫	英文	中文
NASA	National Aeronautics and Space Administration	美國國家航空暨太空總署
NIST	National Institute of Standards and Technology	美國國家標準技術研究院
NML	National Measurement Laboratory	國家度量衡標準實驗室
NTSC	National Television System Committee	美國國家電視制定委員會制定的彩色電視廣播標準
OLED	Organic Light Emitting Diode	有機發光二極體
OTFT	Organic Thin Film Transistor	薄膜有機電晶體
PDP	Plasma Display Panel	電漿顯示器
PI	Polyimide	聚亞醯胺膜
PS	Polystyrene	聚苯乙烯
QR-LPD	Quick-Response Liquid Powder Display	電子粉流體式電子紙技術
RFID	Radio Frequency Identification	無線射頻識別
RGB	Red/Green/Blue Photoresist	紅綠藍彩色光阻
SEMI	Semiconductor Equipment and Materials International	國際半導體設備與材料協會
SID	The Society For Information Display	國際資訊顯示學會
SiNx	Silicon Nitride	氮化矽
SSO	Spatial Standard Observer	標準空間觀察演算法
TAF	Taiwan Accreditation Foundation	財團法人全國認證基金會
TC	Technical Committee	技術委員會
TCO	The Swedish Confederation of Professional Employees	瑞典專業工程師聯盟
TDMDA	Taiwan Flat Panel Display Materials and Devices Association	台灣平面顯示器材料與元件產業協會
TDSC	Taiwan FPD Industry Standard Committee	台灣平面顯示器產業標準委員會
TDTVA	Taiwan Digital Television Industry Alliance	數位電視產業聯盟
TEEIA	Taiwan Electric Equipment Industry Association	台灣電子設備協會
TFT	Thin Film Transistor	薄膜電晶體
TOSEA	Taiwan Optoelectronics SEMI Equipment Association	台灣光電與半導體設備產業協會
TRI	Topology Research Institute	拓璞產業研究所
TSCI	Taiwan Standard Color Image	台灣標準影像
TTA	Telecommunications Technology Association	南韓情報通信技術協會
TTLA	Taiwan TFT LCD Association	台灣薄膜電晶體液晶顯示器產業協會
VESA	Video Electronics Standards Association	視頻電子標準協會
VQEG	Video Quality Expert Group	視訊品質專家群組

八、 研究成果統計表

項目 分項計畫名稱	專利權 (項數)		著作權 (項數)	論文 (篇數)		一般研究報告 (篇數)			技術創新 (項數)				技術 引進 (項數)	技術移轉		技術服務		研討會		
	獲證	申請		期刊	研討會	技 術	調 查	訓 練	產 品	製 程	應 用 軟 體	技 術		項 數	廠 家	項 數	廠 家	場 次	人 數	日 數
電子紙顯示器關鍵參數量測標準研究分項	4	1		3	3	3		1				1		1	3	1	1	1	67	1
3D顯示新技術人因關鍵參數量測標準研究分項				1	3	2		1												
合 計	4	1	0	4	6	5	0	2	0	0	0	1	0	1	3	1	1	1	67	1

註：(1) 技術創新一欄中所謂產品係指模型機、零組件、新材料等。

(2) 專利權及著作權項數以當年度核准項目為主，若為申請中案件則於次年度中列報。

九、 參考文獻索引

- SEMI D31-1102 (2002): Definition of measurement index (SEMU) for luminance MURA in FPD image quality inspection.
- SEMI D41-0305 (2005): Measurement method of SEMI MURA in FPD image quality inspection.
- VESA Flat Panel Display Measurements (FPDM) Standard Version 2.0 303-8 (2001): Mura defects.
- 「雲紋(Mura)現象名詞標準化規範草案」，台灣平面顯示器產業標準委員會，2006年9月。
- Pratt,W.K., Sawkar,S.S.,& O'Reilly,K. (1998). Automatic blemish in liquid crystal flat panel displays, Proceedings of SPIE. 3306, 2-13.
- Jiang,B.C., Wang,C.C., Tsai D.-M. & Lu,C.-J. (2004). LCD surface defect inspection using machine vision, Proceedings of the Fifth Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference, 24.7.1-24.7.9.
- Mori,Y., Tanahashi,K.,& Tsuji,S. (2001). Extraction and evaluation of mura images in liquid crystal displays, Proceedings of SPIE. 4471, 299-306.
- MIL-L-85762A (1988): Military specification: Lighting, aircraft, interior, night vision imaging system (NVIS) compatible.
- VESA Flat Panel Display Measurements (FPDM) Standard Version 2.0 308-2 (2001): Ambient contrast ratio.
- 牟同升，「平面顯示器的亮室對比度量測」，第三屆海峽兩岸信息產業技術標準論壇，2006年10月。
- Peter G. Engeldrum, A new approach to image quality, Presented at the IS&T 42nd Annual Meeting, May 14, 1989, Paper Summaries, pg. 461. b) Engeldrum, P. G., Measuring customer perception of print quality, TAPPI Jour. 73:161(1990)
- IEC 61966-4 "Equipment using liquid crystal display panels" 1st ed. 2000-03.
- VESA FPDM 2.0 "Flat Panel Display Measurements Standard" June 1, 2001.

- TCO'03 Displays "Flat Panel Displays. TCOD024 ver1.1
- 陳詩涵等 "平面顯示器標準影像製作與影像色彩品質分析" 2007 色彩研討會, 台北, Nov.24, 2007.
- 彭保仁 "平面顯示器影像品質簡介", 量測資訊雙月刊, vol. 118, pp.36-40 Nov. 2007.
- 徐紹維 "液晶顯示器校正概述" 量測資訊雙月刊, vol. 118, pp.30-35 Nov. 2007.
- Scott A. Chalmers, Randall S. Geels, Method and Apparatus for High-Speed Thickness Mapping of Patterned Thin Films, United States Patent US 7,095,511.
- Hau-Wei Wang, Fu-Shiang Yang, Ding-Shiang Pan, High-density Channel Thin-film Quality Inspector, United States Patent pending 11/469,904
- Hau-Wei Wang, Fu-Shiang Yang, High-density channel imaging spectrograph, TWPAT I245114
- Tony Flaherty* & Gerard O'Connor, 2003, Application of Spectral Reflectivity to the Measurement of Thin-Film Thickness, Proc. of SPIE Vol. 4876
- <http://www.unifr.ch/physics/fk/Research/Ellips.html>
- D. Kolczynski, R. S. Pomeroy, R. D. Jalkian, and M. B. Denton, 1989, Spatial and spectral imaging of plasma excitation sources, Appl. Spectr., 43, 887-891.
- D. E. Battey and J. S. Slater, 1993, Compact holographic imaging spectrograph for process control applications, Optical Methods for Chemical Process Control, Proc. SPIE 2069, 60-64.
- <http://www.labguide.com.tw/index.asp>
- Kai-Ping Chuang, Hau-Wei Wang and Fu-Shiang Yang, 2006, Design of imaging spectrograph for improving spectral and spatial resolutions, Proc. SPIE 6302, 630208.

十、委員意見彙整

經濟部標準檢驗局 101 年度「影像顯示產業標準與檢測規範推展計畫」

期末報告審查暨驗收會議紀錄

一、時間：101 年 12 月 26 日（星期三）上午 10 時整

二、地點：財團法人工業技術研究院量測技術發展中心 223 會議室

（新竹市東區光復路 2 段 321 號 16 館）

三、驗收主持人：

記錄：王藜樺

四、出席委員：

董委員必正		李委員佳陽	
王委員鴻智		張委員德安	
詹委員方興			

五、監辦單位：

會計室：

政風室：

六、會辦、協辦人員：

財團法人工業技術 研究院(受託單位)	
本局秘書室	
本局第四組	

七、業務單位報告：略。

八、受託單位報告：如期末報告及簡報資料。

九、委員審查：詳如委員審查意見表。

十、案號及契約號：1D151010209-46

十一、採購金額：未達公告金額公告金額以上未達查核金額查核金

額以上未達巨額巨額

十二、履約期限：101 年 12 月 20 日

- 十三、完成履約日期：101 年 12 月 20 日
- 十四、履約有無逾期：逾期 未逾期
- 十五、契約金額：新台幣 1,552 萬元整。
- 十六、契約變更或加減價次數：2 次
- 十七、決議事項

- (一) 本年度計畫經費執行率達 100%，執行成果與預定目標無差異或超出目標，值得肯定與鼓勵。
- (二) 不同尺寸的電視其觀賞深度會有差異，建議未來計畫可探討從 30 吋至 65 吋不同尺寸的電視與觀賞深度間的關係。
- (三) 未來 3D 標章之制度將視產業需求衡量是否建立，並由權責單位確認如何運作，本計畫可配合制定標示 3D 標章所需具備之標準及規範。
- (四) 3D 立體顯示人因工程是很複雜的工作，因人體的感覺差異性大，故人因實驗室要區分年齡層，且實驗的樣本要夠多，「3D 立體深度閾值」及「3D 立體深度之視覺疲勞」之人因實驗測試者只有 10 人，其量測結果不具代表性，影響準確度及可信度，建議於執行報告中補充此人因實驗為研究需要，結果僅供廠商參考。
- (五) 電子紙量測的能耗量測不確定度小於 1%，建議未來計畫考量雜訊干擾因素的評估，以確認其不確定度之準確度。
- (六) 本計畫製作立體(3D)顯示測試圖案 (Test Pattern) 所使用之單眼相機，建議未來計畫可用工業相機，使量測數據更準確。
- (七) 3D 人因的視覺疲勞度受到外凸、內凹的深度知覺、背光值、及閃爍頻率等參數之影響，建議未來計畫可探討這些因素對視覺疲勞的關連性。
- (八) 經與會委員審核後，上述委辦計畫之成果符合契約書要求，同意驗收，惟須依以上意見及委員書面意見確實注意改正，於 102 年 1 月 2 日前將修正後之期末報告書提送本局，並經本局審核無誤後，再辦理結案事宜。

十八、臨時動議：無

十九、散會：101年12月26日中午12時10分。

審查意見表

計畫名稱：101 度「影像顯示產業標準與檢測規範推展計畫（2/4）」

101 年度□細部計畫審查

□期中報告

■期末報告

建 議 事 項	說 明
委員 A：	
<p>1.計畫完成度高，所提之計畫目標皆有達成，對本計畫成果充實與肯定。</p> <p>2.3D 相關評價技術有建立起來，能否朝向產業(友達、奇美)推廣，目前成果看不出產業推廣之數據。</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 感謝委員的肯定與支持。 • 3D 人因的技術已推廣至 TTLA(包含友達、奇美、華映、瀚宇彩晶等四家公司)協助四家公司建立眼鏡式 3D 顯示器疲勞度的人因測試程序，屬於去年度至今年三月的計畫，因此未列入今年度的成果。此外在產業標準上，也與友達、奇美等公司共同制定了主動與被動眼鏡式 3D 顯示器標準草案各一份。未來也將持續協助產業於 3D 評價技術與標準的發展，請委員諒察。
委員 B：	
<p>1. 寫報告要注意用詞與語氣，且不要有錯別字。 (P.61&P.122 最下面一段文章是一樣的，且語氣用法建議不要使用〔“我”有向他們去詢問〕；〔而“我”就提出〕。另外錯別字：我們會“再”台灣)</p> <p>2. 在 3D 顯示新技術人因關鍵參數標準研究的分項中並未提到量測顯示器的尺寸大小以及顯示器本身的解析度規格。 (因為 P.81&P.82 結論提到要發現這樣小的深度誤差，則觀測距離 VD 與深度感知 d 的總和必須在 20 公分左右。此距離小於一般家用電視的觀賞距離。)</p> <p>3. 做人因實驗室要區分年齡層，且實驗</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 多謝委員的指正，後續本計畫會加強改善報告撰寫的用詞與語氣。 • 感謝委員的指教，量測的顯示器與人因實驗中使用是相同的 LG 顯示器，解析度為 1920x1080 Full HD 尺寸 55”。 • 人因實驗的判斷標準，乃是以結果

建議事項	說明
的樣本要夠多。	是否具有統計上的顯著性(P 值< 0.05 時即代表據有統計上的顯著性)，與人數的多寡並無直接的關聯性，請委員諒察。
委員 C：	
<p>1.請說明 10 人次之人因實驗，其人次量是否足夠?並說明心率變異度與觀看疲勞度之相關係數達 0.802 係如何計算。</p> <p>2.請說明計畫報告書第 98、99 頁中表 2-16 至 2-18 所載之平均數、T、P 之物理意義。並說明表 2-16 所載之眼變異數為何達 44.09？</p> <p>3.請說明雙眼相差與觀看疲勞度之相關係數為何？</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 人因實驗的判斷標準，乃是以結果是否具有統計上的顯著性(P 值< 0.05 時即代表具有統計上的顯著性)，與人數的多寡並無直接的關聯性，請委員諒察。心率變異度與觀看疲勞度兩組數據進行線性迴歸計算後可以得出相關係數。 • 統計上通常採用 IBM 所發展的統計軟體 SPSS 進行統計分析，以 P 值(P 值< 0.05 時即代表具有統計上的顯著性)判斷某一個參數是否具有統計上的顯著型，(T 值為用 t 分配檢定統計量所算出來的值，又稱為觀察值)變異數相當於量測上的標準差，表中變異數數值達到 44.09 其對應的 P 值 0.453 表示眼睛的問卷受測者之間的差異很大且不顯著。 • 疲勞度的人因實驗，僅有 HRV 的數據具有統計上的顯著性，因此無法分析像差與疲勞度的關係。但是本計畫完成了測試最大深度閾值的人因程序建立，未來應可對產業上有所幫助，請委員諒察。
委員 D：	
1. 本計劃完成 SEMI 電子紙標準草案 (#4999A)「Test Methods for Optical Properties of Electronic Paper Display」，成為全球第一份電子紙顯示器光學量測方法的國際標準，值得鼓	• 感謝委員的支持與肯定。

建 議 事 項	說 明
<p>勵。</p> <p>2. P6 中電子紙分項在 FY101 的研究架構與目標為「電子紙色彩量測建議草案研擬」，惟 P40 所提的量化成果說明中，其所完成的標準草案工作是指在 SEMI 所提議且通過的草案，然該草案內容與目標的「電子紙色彩量測建議」並不完全相符，敬請說明。同時，草案的研擬與建議應伴隨向國內業界推廣與推動採用（以期待能讓國內業者「有感」），敬請說明相關草案在國內宣傳與推動暨業者的迴響或採用情形。</p> <p>3. P6 中 3D 顯示分項在 FY101 的研究架構與目標為「眼鏡式 3D 顯示器量測標準議題推動」，但在期末報告中的量化或非量化成果中，對於此議題推動的內容、方式、成果與業者的迴響著墨較少，請補充說明之。</p> <p>4. 參加「2012 Touch Taiwan」展覽，展示電子紙號能量測系統與軟性顯示器可撓特性檢測平台及展示 3D 顯示器量測技術，向國內外廠商展示計畫成果，值得鼓勵。建議未來應多多對外展示，若受限於經費，可以和相關公會合作共同展示於國內的重要展覽會場。</p> <p>5. P109 第二行，「在遠處觀看(4H 以上)，再近處觀看。。。應為「在近處觀看。。。之筆誤。</p> <p>6. P108-P111 的各種裸眼式 3D 顯示器的先期研究結果建議以圖表說明比較的方式補充說明會更清楚。</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 關於電子紙色彩量測參數的建議草案部份，在今年 5 月份已於 SEMI TC 會議正式通過成為新的 SNARF 提案，然標準草案的制訂與提出仍需較長的時間與業界廠商作協調與溝通。因此，現階段正持續與業界廠商共同作意見交流與討論中，預計明年將正式提出電子紙色彩量測的標準草案，懇請委員諒悉。此外，全球第一份電子紙顯示器光學量測方法的國際標準(SEMI D68-0512)，於今年 9 月 6 日已正式於各大報章媒體作宣傳，業界廠商如元太科技的產品檢測與規格制定即是以此份標準作依據。 • 此外在產業標準上，也與友達、奇美等公司共同制定了主動與被動眼鏡式 3D 顯示器標準草案各一份。未來也將持續協助產業於 3D 評價技術與標準的發展 • 多謝委員的建議，本計畫將會積極參與公開的展示會。 • 多謝委員的指正。 • 多謝委員的提點，將會依委員建議以圖表說明比較的方式補充說明呈現。

建 議 事 項	說 明
• 委員 E：	
<p>1. 利用頻閃儀及心電 HRV 等儀器來量化立體像差疲勞的程度,是相當科學及客觀的方法。</p> <p>2. 如何推廣此立體像差疲勞量測方法及人因閾值。</p> <p>3. 在 SEMI 國際標準平台有顯著的標準產出。</p>	<p>• 感謝委員的肯定與支持。</p> <p>• 研究產出之立體像差疲勞量測方法及人因閾值將與台灣薄膜電晶體亦經顯示產業協會(TTLA)合作共同對國內廠商推展。</p> <p>• 感謝委員的肯定與支持。</p>

十一、 3D 顯示疲勞度人因實驗報告摘錄

3D 立體顯示器之疲勞度探討

摘 要

本計畫針對戴眼鏡式立體顯示器進行一系列之人因實驗探討，其中包含不同照度環境下之立體顯示器觀看疲勞程度研究、光串擾(Crosstalk)閾值及疲勞度研究等主題。研究結果發現，低照度環境之觀看舒適性較高，變異性較小；一般桌上型中小尺寸(23 吋)立體顯示器之像差閾值為 27 arc min，而家用型大尺寸(46 吋以上)立體顯示器之像差閾值為 60 arc min；人眼無法正確融合聚焦之光串擾閾值為 34.9%。

目 錄

1. 前言	150
2. 疲勞度指標探討	151
2.1. 主觀疲勞問卷	151
2.2. 心率變異度分析	153
2.3. 閃光融合閾值	154
3. 不同照度環境下之立體顯示器觀看視覺疲勞探討	155
3.1. 實驗流程	156
3.2. 實驗結果分析	157
3.2.1. 不同影像維度之視覺疲勞	157
3.2.2. 不同環境照度之視覺疲勞	159
3.2.3. 不同顯示器亮度之視覺疲勞	162
3.3. 照度環境之人因實驗結論	108
4. Crosstalk 人因實驗	170
4.1. 研究動機	170
4.2. Crosstalk 閾值人因實驗設計	171
4.2.1. 實驗方法	172
4.2.2. 實驗結果分析	173
4.3. Crosstalk 視覺疲勞度之人因實驗設計	175
4.3.1. 實驗流程	175
4.3.2. 實驗結果分析	176
5. 結論與討論	178
6. 參考文獻	182

1. 前言

「科技始終來自於人性」這句標語再再的說明了，現代人為追求更高的便利與享受，無論是在飲食、交通、通訊、娛樂等，很多產業一直在研究更多更好的產品來滿足消費者的需求。在視覺上的享受，影像由一開始的黑白照轉變為彩色照片。電視機從黑白到彩色，一直到最近最熱門的立體影像。但是這種經由影像的擷取技術，再改變顯示器的顯像技術所呈現的立體影像，製作的過程是相當繁複的。傳統教科書在立體影像的著墨不深，但對未來應用卻是相當的廣泛，例如遊戲、手機、電視、手提電腦等。最近亦有多部的立體電影上檔，引起相當大的回響，由此可知立體影像是未來光電產業非常炙手可熱的產品。

立體影像是在顯示器中一大突破，也是各大光電大廠發展重點之一。現今立體影像已發展 200 年的歷史了，利用雙眼像差的原理，發展出許多立體顯示技術，近一百多年來出現了包括紅藍眼鏡式(Anaglyph)、機械快門眼鏡式 (Mechanical Shutter Glasses)、液晶快門眼鏡式 (LC Shutter Glasses)、偏極眼鏡式 (Polarizer Glasses)、明度差 (Pulfrich Effect) 眼鏡式、頭盔式(Head Mount Display)等，其應用面涵蓋了娛樂、醫學、模擬訓練、科學、遠距操作、電腦繪圖等領域。由上述可知，立體影像是經由影像的擷取技術，再改變顯示器的顯像技術所呈現的影像，但這樣的影像會對部份的觀賞者造成不舒服的現象。例如在日本就曾發生”pockmon 皮卡丘事件”。由東京電視網所播出的動畫”神奇寶貝，在第三十八集節目快結束的四秒鐘內，以強烈的連續紅，藍，白，黑四色閃光製造爆炸畫面效果，造成一萬名以上觀眾，發生昏厥，嘔吐，抽筋，頭痛，暫時性失明等輕重不一的現象，其中絕大部分是國小中低年級兒童，事後證明這些都是”光過敏性癲癇”的症狀。另外，在立體顯示產業中，最重要的一個課題是影像內容，而在立體產品的銷售時，並沒有考慮到其特別的影像效果如景深、亮度、反應等，是否會讓大腦因耗費更多的精神去認知和接受這些影像而引起身體不適...等症狀。在 2009 年底，3D 電影 Avatar 推出後，出現觀賞者在看電影時感覺頭暈、身體不適、視覺疲勞等。在台灣，甚至有二例死亡之事件，此二個案例皆有高血壓的病例，是否立體影的內容對這些病症的病人會有顯著的傷害。雖然

尚未有大量案例，但由這些事件了解，影音安全是一個不容忽視且值得探討的課題。因此，立體影像內容的影音安全規範，將是 3D 產業一項非常重要的課題。

在本計畫中，我們設計三個主要的立體顯示器參數進行人因實驗的探討，分別為：立體深度知覺、Crosstalk、以及立體解析度等議題。另外，為了釐清不同照度下對於不同立體顯示器觀看疲勞的差異，本計畫另外設計了一個實驗，我們安排了三種不同品牌的立體電視，在不同的照度下，對人的疲勞狀況進行測試。

2.疲勞度指標探討

2.1.主觀疲勞問卷

視覺疲勞問卷的使用，是最快最直接能反映受測者在實驗中疲勞狀態上的反應。在本計畫中所使用的主觀視覺疲勞問卷，乃是利用受測者針對問卷上的題目對自我身體的狀況一一回答。題目一共有十四題，分別針對眼睛、頭部以及全身狀況做自我身體評價，如表 A-1 所示。問卷使用六點量尺，評估的範圍從非常不同意(一分)、不同意(二分)、稍微不同意(三分)、稍微同意(四分)、同意(五分)及非常同意(六分)，若疲勞的現象增加的話，所得分數將會越高。問卷的設計乃先針對有看過 3D 電影的消費者進行個別訪談，再根據過去文獻所使用的視覺疲勞問卷，整理出來共十四題之主觀視覺疲勞問卷。這十四題問題將進行信、效度的分析。先將這十四題問卷進行 Cronbach 信度分析，整份問卷的信度為 0.904 如表 A-2 所示，表 A-3 乃是若將該題刪除時整份問卷的總信度，如果刪掉該題時總信度比原本的總信度還要高，則該題必須刪去不用。表 A-3 顯示並無任何一題刪除時的信度是超過原本的總信度，故本問卷信度高達 0.904 有良好的信度。

表 A-1. 主觀疲勞問卷

題 號	問 題	類別
1	我覺得眼睛酸澀	眼部
2	我的視力變得模糊不清	眼部

3	我感到頭痛	頭部
4	我覺得頭暈目眩	頭部
5	我覺得想嘔吐	全身
6	我感到眼睛分泌淚液的量比平常多	眼部
7	我看東西覺得有雙重影像	眼部
8	我覺得很疲倦	全身
9	我感到眼睛疼痛	眼部
10	我感到難以對焦遠端的物體	眼部
11	我感到難以對焦近端的物體	眼部
12	我感到鼻樑有不舒服感	耳鼻
13	我覺得眼睛乾澀	眼部
14	我感到耳朵不舒服感	耳鼻

表 A-2 Cronbach's Alpha 總信度摘要

Cronbach's Alpha 值	項目的個數
.904	14

表 A-3 Cronbach's Alpha 項目刪除摘要

	項目刪除時的 Cronbach's Alpha 值
Q1	.896
Q2	.892
Q3	.898

Q4	.900
Q5	.899
Q6	.898
Q7	.903
Q8	.893
Q9	.894
Q10	.894
Q11	.859
Q12	.902
Q13	.898
Q14	.902

主觀視覺疲勞問卷的效度採用專家效度分析，問卷進行信度分析後即送給顧問群進行專家評估，顧問群一致認為該問卷可以問出視覺疲勞的狀況，故本計畫所設計的問卷有高信度及高專家效度。

2.2. 心率變異度分析

在本研究中，以心率變異度(Heart Rate Variability, HRV)作為在觀看立體電影後的疲勞指標之一，已有不少的研究報告利用心率變異度探討疲勞度。Kun Jiao 等人，用 HRV 來評估，受測者在開車時的疲勞程度。論文指出，將受測者分成 3 組，每組 20 人。A 組與 B 組讓受測者以開車模擬器，開車 90 分鐘，同時分別給 1.8 Hz 與 6 Hz 的震動，C 組與 A、B 二組的測試時相同，但是沒有給予震動。實驗結果發現，A 組在完成測試後，交感神經活性明顯的上升，B 組的交感神經活性也比 A 組來的高。C 組也有上升但是都比 A、B 二組來的低。因此長時間的開車對交感神經活性會有明顯的影響，而交感神經代表的是，人在緊張、亢奮以及疲勞時活性會上升。因此在本實驗中，進行 HRV 分析，從交感神經活性的能量消長，做為在觀看立體影像時的疲勞指標。

將記錄下來的心電圖訊號，撰寫軟體擷取 R-R interval 的間距，如圖 A-1 所示。若有竇性中止、心房性或心室性心律不整，則刪除此異常 R-R 波的間距。選取最後穩定的 512 個 RR 波間距來做頻譜分析，如果因為心律不整而刪除的 R-R 波間距超過全間距的 5%，則此患者的資料不列入分析。擷取出來的 R-R interval 資料，進行快速傅立葉分析，將心跳間隔轉換成心率變異度頻譜，總功率(Total Power, TP)為頻率在 0.01~0.4 Hz 曲線下的面積和，低頻功率(Low Frequency Power, LFP)則為頻率在 0.04~0.15 Hz 曲線下的面積和，高頻功率(High Frequency Power, HP)是在曲線在 0.15~0.4 Hz 的面積和。正規化低頻功率(Normalized Lower Power, nLFP) (低頻功率/總功率×100) 通常用於代表交感神經活性，正規化高頻功率(Normalized High Frequency Power, nHFP) (高頻功率/總功率×100) 通常用於代表副交感神經活性，低頻/高頻功率比(LF/HF) (低頻功率/高頻功率) 通常代表交感/副交感神經活性平衡狀況之指標。

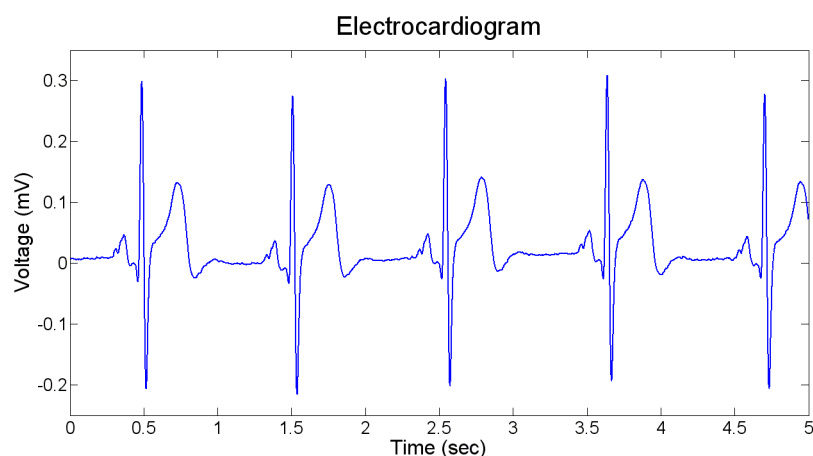


圖 A-1. 心電圖與 R-R interval




2.3. 閃光融合閾值

在實驗中由頻閃儀所量測出來的閃光融合閾值(Critical Fusion Frequency)是客觀疲勞指標之一。頻閃儀的量測原理乃是人眼對於閃爍光源的辨別程度，會因眼睛疲勞成正比；當眼睛產生疲勞時，對於閃爍的光源反映敏感度就會衰減，所量測的頻率值就會下降。使用閃光融合閾值作為客觀視覺疲勞的指標早期的研究就開始了被廣泛地被使用在視覺疲勞的相關研究上，至今閃光融合閾值仍是常被使用在客觀視覺疲勞指標，故本計畫將閃光融合閾值納入客觀視覺疲勞之一。

3.不同照度環境下之立體顯示器觀看視覺疲勞探討

在本實驗中，總共有 108 人(24.3 歲±4.05 歲)參與本研究。這些受測者隨機分配到 Panasonic 組、LG 組及 Sharp 組，這三組的顯示器規格如表 A-2 所示。每組要進行三種不同的照度下，進行觀看 2D 與 3D 的實驗，每組 12 人每位受測者皆會先量測 10 分鐘的心電圖，做為觀看電視前的對照。每位受測者在進行實驗前，都被要求在量測心電圖前 24 小時內，不能飲用含有咖啡因的飲料。量測過程中，受測者全部採取舒服坐姿，且盡可能放鬆身體、保持清醒、不可交談、移動，以避免外在因素影響自律神經活性。同時在觀看電視的前後皆會進行頻閃儀與驗光機的量測，做為觀看 2D 與 3D 影像的前後反應；此外也會請受測填寫自陳問卷，了解每位受測在實驗的前後的生理狀況。實驗室的儀器設置如圖 A-2 所示。

表 A-2 實驗顯示器之詳細規格

Display	Panasonic	Sharp	LG
			
Type	PDP	LCD	LCD
Tech.	Shutter Glasses	Shutter Glasses	Pattern Retarder
Color Filter	RGB	RGBY	RGB
Size	50"	46"	47"
Size (mm)	1110 x 620	1020 x 565	1046 x 586
Pixel Size (mm)	0.58 x 0.57	0.53 x 0.52	0.54 x 0.54
Max. Lum. (cd/m ²)	24	58.4	141.367

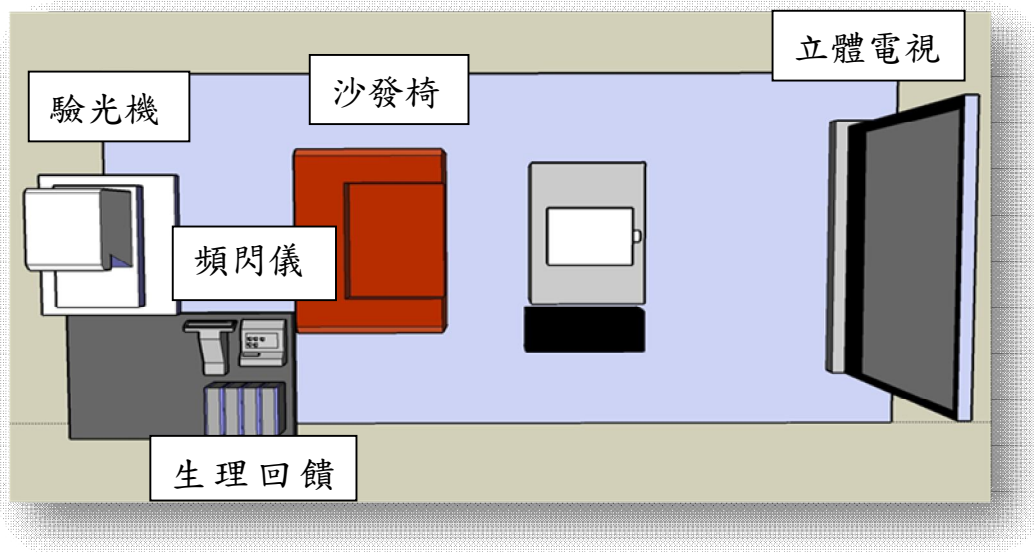


圖 A-2、實驗儀器陳設

3.1. 實驗流程

首先讓受測者先休息 10 分鐘，接著先請受測者量測視力與頻閃儀，完成後再填寫實驗前問卷。實驗開始前先量測十分鐘心電圖做為對照(僅需第一次量測時)，接著開始觀看 2D 或 3D 電影；同時也會依照當天所分配的流程選擇不同的照度，環境照度分別設定在高照度(大於 500 lx)、中照度(200~220 lx)及低照度(小於 10 lx)。在完成實驗後，再量測視力與頻閃儀，最後再填寫實驗後問卷。實驗流程圖如圖 A-3 所示。

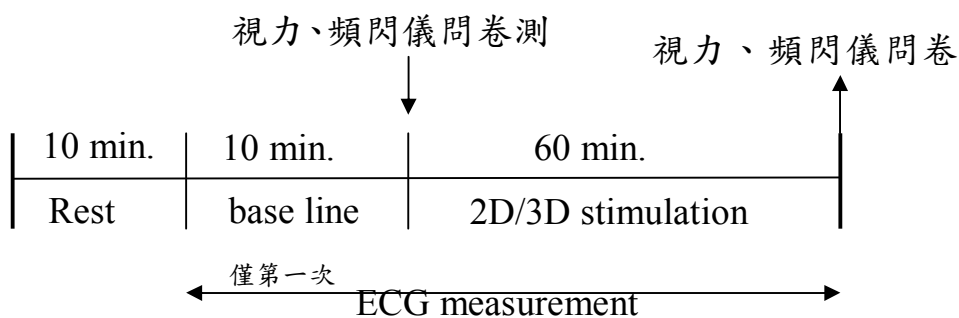


圖 A-3、實驗流程圖

3.2. 實驗結果分析

本實驗利用 DVD 影片(打獵季節)作為實驗材料，探討不同影像維度(2D/3D)、環境照度(高照度、中照度、低照度)以及不同顯示器亮度(Sharp、LG、Panasonic)對視覺疲勞之影響。在視覺疲勞方面則是利用實驗前後所收集的自陳問卷、左右眼屈光度、閃光融合閾值，以及心電變異率(HRV)等做為指標，針對以下三個研究議題分別探討：

1. 不同影像維度對視覺疲勞之影響
2. 不同環境照度對視覺疲勞之影響
3. 不同顯示器亮度對視覺疲勞之影響

3.2.1. 不同影像維度之視覺疲勞

圖 A-4 資料顯示(詳細數值資料如表 A-3 資料顯示)，觀看二維與三維影像時，五組疲勞指標的平均增加量(實驗後減去實驗前)與標準差。就五組疲勞指標的平均增加量而言，除 HRV(M=44.02)之外，其餘三維的疲勞指標平均增加量皆高於二維，特別在自陳問卷上，三維的分數高於二維 2.59 分，顯示經過長時間的觀看三維影像，主觀上視覺和身體上的疲勞程度略高於二維影像。不同維度有達顯著者以星號(*)標示，主觀自陳問卷達顯著差異(P<0.01)；右眼屈光度達到顯著差異(P<0.05)，其餘三個疲勞指標均未達顯著差異。

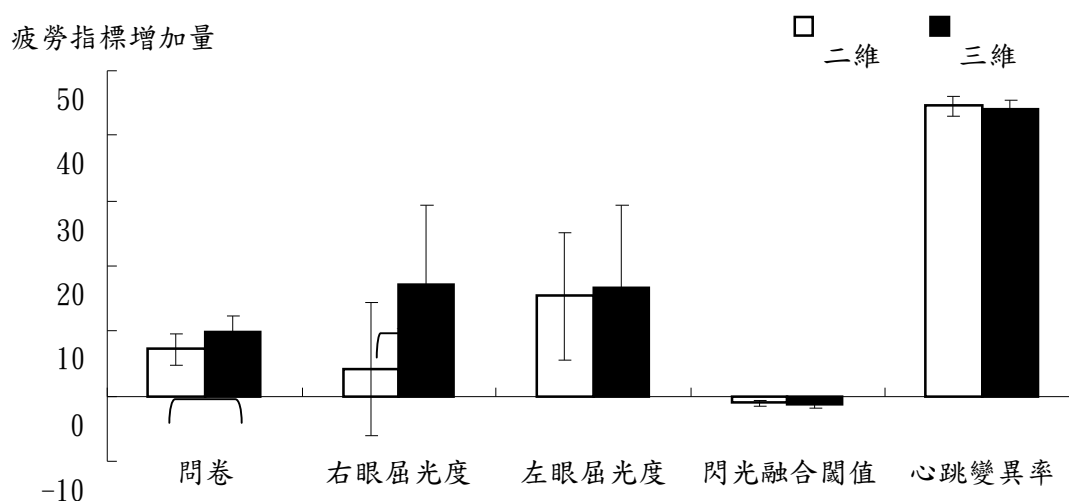


圖 A-4、不同維度下五組依變項之平均數長條圖

表 A-3 觀看二維與三維影片後，五組疲勞指標平均增加量(實驗後減去實驗前)與標準差

	問卷(SD)	右屈(SD)	左屈(SD)	頻閃(SD)	HRV(SD)
二維	7.15 (8.41)	4.17 (35.27)	15.44 (33.81)	-1.07 (1.69)	44.51 (5.71)
三維	9.74 (9.33)	17.27 (42.18)	16.56 (43.89)	-1.33 (1.51)	44.02 (5.49)

表 A-4 維度因子主要效果下，五組疲勞指標的多變量分析摘要表

維度	變項	SS	MES	F	P
	問卷	362.963	33.792	10.741	.001
	右屈	9269.56	1710.912	5.418	.022
	左屈	68.907	1166.173	.059	.808
	頻閃	3.596	2.390	1.505	.223
	HRV	14.351	9.396	1.527	.219

進一步針對達到顯著差異的自陳問卷及右眼屈光度進行事後比較。事後比較的結果整理於表 A-5 之中，自陳問卷(P=0.001)與右眼屈光度(P=0.022)達顯著差異，兩項疲勞指標皆顯示，觀看三維影像後比起看二維影像較為疲勞。

表 A-5 維度因子主要效果下，問卷與右眼屈光度指標的事後比較

疲勞 指標	平均數差異 (2D-3D)	標準誤	顯著性(a)
問卷	-2.593(*)	.791	.001
右屈	-13.102(*)	5.629	.022

綜合表 A-4 與表 A-5 結果顯示，觀看三維影像後比起看二維影像較為疲勞，因此進一步分析較具疲勞感的三維影像的生理資料，將自陳問卷與其他疲勞指標之間做兩兩變項相關分析，了解自陳問卷達顯著差異時與其他疲勞指標之間相關性為何，結果如表 A-6 所示。自陳問卷與其他客觀疲勞度指標皆呈現低相關，即使相關程度最高的 HRV 疲勞度指標，其相關係數也只達到 0.163，並且未達統計顯著。此實驗結果無法證實自陳問卷與其他疲勞指標之間的關係為何，暫無任何定論。

表 A-6 三維維度下，自陳問卷與其他疲勞指標間的相關係數與統計考驗

因子	問卷	右眼屈光度	左眼屈光度	閃光融合閾值	心跳變異率
3D 問卷	1	-.046	.038	-.033	.163

* 在顯著水準為 0.05 時 (雙尾)，相關顯著

** 在顯著水準為 0.01 時 (雙尾)，相關顯著

3.2.2. 不同環境照度之視覺疲勞

不同環境照度下五組疲勞指標的平均增加量與標準差繪製於圖 A-5 中(詳細數值資料如表 A-5 顯示)。由圖 3-4 搭配表 A-7 可得知，在低照度下參與者的右眼屈光度平均值為 8.44，左眼屈光度值為 11.61 皆小於另外兩組照度(中、高照度)的平均值，標準差也略低；自陳問卷在高照度下疲勞分數最低(M=7.61)，不

同照度下的閃光融合閾值和 HRV 指標分數相似。在照度因子主要效果下圖 A-5 中(變異數摘要表如表 A-8 所示)並無任何一組依變項有星號表示，即環境照度對五組疲勞指標的影響均未顯著差異。

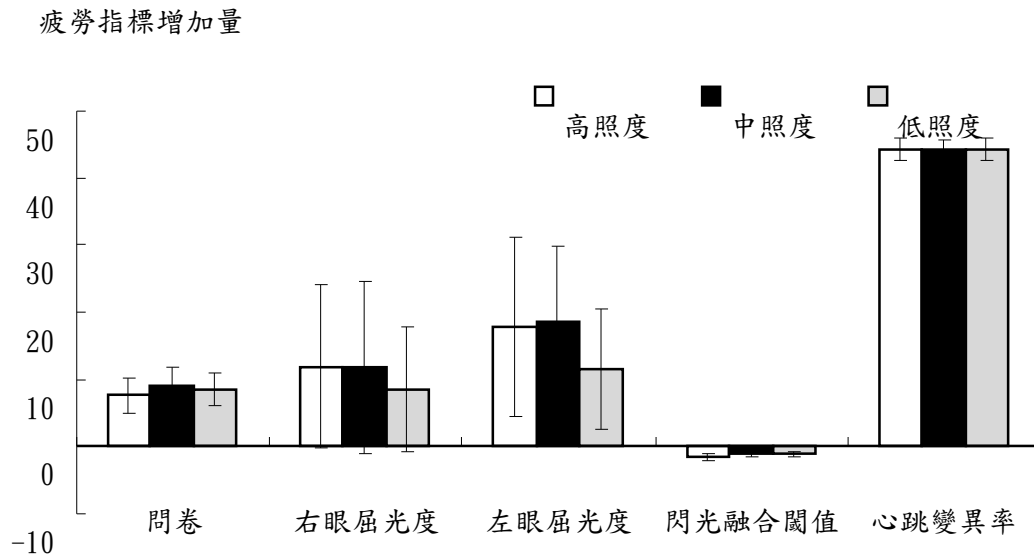


圖 A-5、不同照度下五組依變項之平均數長條圖

表 A-7 不同照度下，五組疲勞指標平均增加量(實驗後減去實驗前)與標準差

	問卷(SD)	右屈(SD)	左屈(SD)	頻閃(SD)	HRV(SD)
高照度	7.61 (9.37)	11.92 (41.77)	17.79 (46.57)	-1.48 (1.68)	44.31 (5.88)
中照度	9.14 (9.05)	11.79 (44.11)	18.60 (38.80)	-1.01 (1.62)	44.17 (5.43)
低照度	8.58 (8.62)	8.44 (32.11)	11.61 (31.09)	-1.11 (1.52)	44.37 (5.62)

表 A-8 照度因子主要效果下，五組疲勞指標的多變量分析摘要表

照度	依變項	SS	MES	F	P
	問卷	21.528	58.341	.369	.692
	右屈	139.6355	691.265	.202	.818
	左屈	202.924	376.482	.539	.585
	頻閃	2.252	2.137	1.504	.227
	HRV	.378	2.7	0.14	.987

表 A-9 為影像維度與照度交互作用之多變量分析摘要表。由表 A-9 可得知，此交互作用對五組疲勞指標的影響均未達顯著差異。可見，影像維度對疲勞指標的影響，不會因為環境照度的不同而受到調節。

表 A-9 維度與照度交互作用的多變量分析摘要表

維度*照 度	變項	SS	MES	F	P
	問卷	20.037	67.69	.296	.744
	右屈	6558.509	3421.24	1.917	.153
	左屈	4497.231	119.81	1.928	.151
	頻閃	.740	4.77	.155	.857
	HRV	53.511	18.79	2.848	.063

3.2.3. 不同顯示器亮度之視覺疲勞

圖 3-5 整理不同顯示器亮度下，五組疲勞指標的平均增加量與標準差(詳細數值整理於表 A-10 中)。在自陳問卷上，LG 顯示器的主觀疲勞感最低(M=5.97)；在眼睛屈光度則 LG 顯示器的表現略好，左右眼的屈光度增加量為 7.86 度及 10.14 度；閃光融合閾值則是 Sharp 顯示器表現較佳(M=-1.09Hz)，HRV 指標則是 Sharp 顯示器有較少的疲勞增加量(M=43.02)。表 A-11 是亮度因子主要效果的多變量分析摘要表。五組疲勞指標在不同的顯示器亮度下，只有自陳問卷有達顯著差異(P=.004)，其餘四組疲勞指標均未達顯著差異。

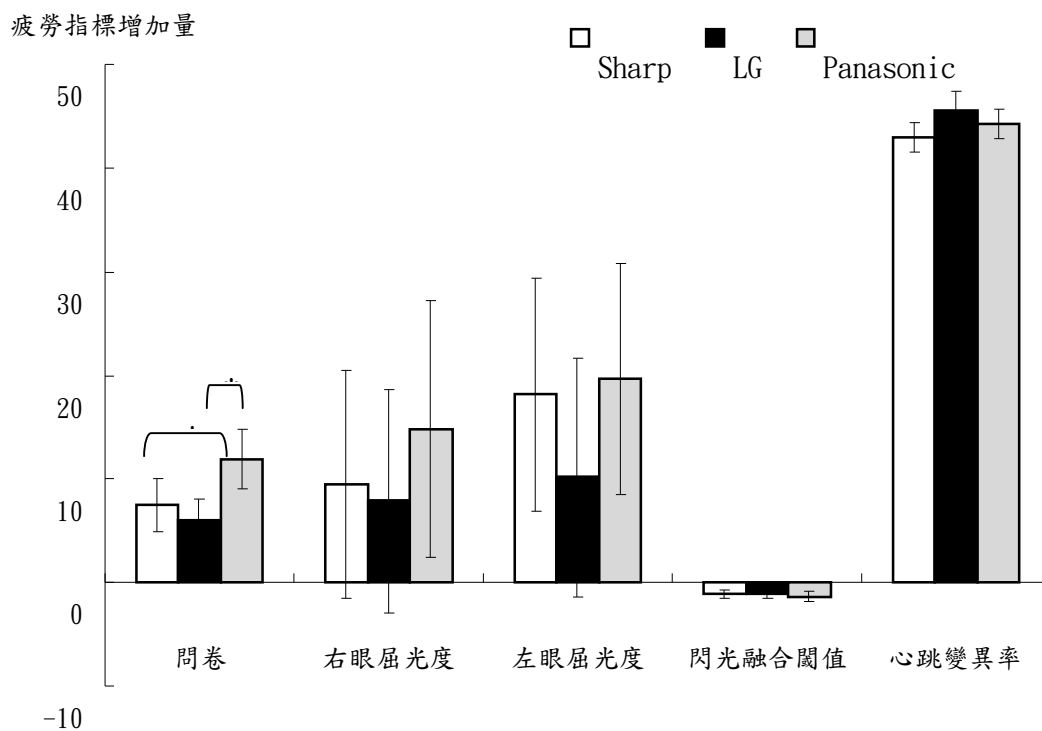


圖 A-6、不同顯示器亮度下五組依變項之平均數長條圖

表 A-10 不同顯示器亮度下，五組疲勞指標平均增加量(實驗後減去實驗前)與標準差。

	問卷 (SD)	右屈(SD)	左屈(SD)	頻閃(SD)	HRV(SD)
Sharp	7.49 (8.84)	9.49 (38.19)	18.19 (38.95)	-1.09 (1.44)	43.02 (5)
LG	5.97 (7.09)	7.86 (37.44)	10.14 (40.02)	-1.14 (1.65)	45.52 (6.56)
Panasonic	11.88 (9.88)	14.81 (42.92)	19.67 (38.71)	-1.37 (1.75)	44.31 (4.95)

表 2-10 亮度因子主要效果下，五組疲勞指標的多變量分析摘要表

亮度	變項	SS	MES	F	P
	問卷	33.382	5.75	5.807	.004
	右屈	474.975	692.38	.686	.506
	左屈	947.028	995.31	.971	.382
	頻閃	.771	1.50	.515	.599
	HRV	56.078	27.82	2.016	.139

在亮度主要效果下只有自陳問卷達顯著差異，針對自陳問卷進行 Tukey 事後比較。表 A-12 結果顯示，觀看 Sharp 顯示器的主觀疲勞增加量小於 Panasonic 顯示器(P=.043)；觀看 LG 顯示器的主觀疲勞增加量小於 Panasonic 顯示器

(P=.004)。

表 A-12 顯示器亮度主要效果下，自陳問卷的事後比較

測量		(I) 亮度	(J) 亮度	平均數差異 (I-J)	標準誤	顯著性
問卷	Tukey HSD	Sharp	LG	1.513	1.799	.678
			Panasonic	-4.389(*)	1.799	.043
		LG	Sharp	-1.5139	1.799	.678
			Panasonic	-5.903(*)	1.799	.004
		Panasonic	Sharp	4.389(*)	1.799	.043
			LG	5.9028(*)	1.79917	.004

維度與亮度的交互作用、亮度與照度的交互作用以及照度、維度與亮度三因子交互作用的多變量分析摘要表，分別整理於表 A-13、表 A-14、表 A-15。結果顯示上述三種交互作用對五種疲勞指標的影響均未達顯著差異。可見顯示器亮度對疲勞指標的影響，不受「維度」、「照度」以及「維度與照度交互作用」的調節。

表 A-12 維度與亮度的交互作用的多變量分析摘要表

維度*亮度	變項	SS	MES	F	P
	問卷	59.731	70.77	.884	.416
	右屈	1409.787	3421.81	.412	.663
	左屈	4268.593	2332.56	1.830	.166
	頻閃	.328	2	.164	.934
	HRV	15.053	18.79	.801	.452

表 A-14 照度與亮度的交互作用的多變量分析摘要表

照度*亮度	變項	SS	MES	F	P
	問卷	78.743	58.28	1.351	.256
	右屈	335.870	682.52	.485	.746
	左屈	946.743	975.02	.971	.427
	頻閃	.651	1.50	.435	.783
	HRV	3.537	27.85	.127	.972

表 A-15 維度、照度與亮度的交互作用的多變量分析摘要表

維度*照度* 亮度	變項	SS	MES	F	P
	問卷	10.852	135.65	.080	.988
	右屈	7004.352	6846.87	1.023	.399
	左屈	750.185	4659.53	.161	.958
	頻閃	4.982	9.56	.521	.720
	HRV	12.798	37.53	.341	.850

綜合中表 A-11 與表 A-12 結果，顯示顯示器亮度主要效果對自陳問卷影響達顯著差異。除此之外，觀看三維影像後比起看二維影像較為疲勞，因此進一步分析較具疲勞感的三維影像的生理資料，三種顯示器的生理資料也分別做以下分析，亦即將自陳問卷分數與其他疲勞指標做兩兩相關分析比對。如表 A-16 所整理，結果顯示三台顯示器的自陳問卷與 HRV 疲勞指標皆達顯著相關。觀看 LG 顯示器時，自陳問卷與 HRV 指標的相關係數是 0.426 ($P < 0.001$)，自陳問卷，觀看 Sharp 顯示器時，自陳問卷與 HRV 指標的相關係數為 -0.411 ($P < 0.05$)；觀看 Panasonic 顯示器時，自陳問卷與 HRV 指標的相關係數為 0.412 ($P < 0.05$)。雖然 HRV 指標在亮度主要效果下並未達顯著差異，但與自陳問卷達顯著的相關性，且相關係數達中度相關。由自陳問卷與 HRV 指標相關性得知，HRV 疲勞指標在亮度的主要效果下也可適時的反映出受試者的疲勞狀態。唯獨 Sharp 亮度下自陳問卷與 HRV 呈現負相關，與另外兩台顯示器產生了不同的結果，上述的結果必須與往後實驗做反覆驗證，確保其穩定性。

表 A-16 三維維度下，自陳問卷與其他疲勞指標間的相關係數與統計考驗

因子	問卷		右眼屈光度	左眼屈光度	閃光融合閾值	心跳變異率
	問卷	1				
Sharp	問卷	1	-.168	-.113	-.203	-.411 *
LG	問卷	1	-.308	.157	.043	.426 **
Panasonic	問卷	1	.127	.001	.076	.412 *

* 在顯著水準為 0.05 時 (雙尾)，相關顯著

** 在顯著水準為 0.01 時 (雙尾)，相關顯著

3.3. 照度環境之人因實驗結論

為了探討維度、照度與亮度三個因子對五種疲勞指標的影響，其結果可歸納出下述幾點，並將其多變量分析的結果統整於表 3-16 中。

5. 在維度的主要效果下，自陳問卷與右眼屈光度達顯著差異。
6. 在亮度的主要效果下，自陳問卷達顯著差異。
7. 在照度主要效果下，所有疲勞指標皆無顯著差異。
8. 所有因子交互作用下，所有疲勞指標皆無顯著差異。

本研究所關心的環境照度問題，從自陳問卷的數據得知電漿電視有較高的視覺疲勞度（這在 2D 的電視中也有相同的結論）。另兩種技術（Shutter 和 Polarizer）則沒有顯著差異。在一般亮度（200 lux）下，電漿電視也有較高的視覺疲勞度。另兩種技術，則呈現 2D 和 3D 有明顯顯著差異的視覺疲勞程度。在暗室下，三種技術都沒有顯著差異。另外「影像維度」與「顯示器亮度」這兩個因素對主觀疲勞感具影響力，且其效果不受環境照度以及其他交互作用效果

的調節。此外，觀看三維影像所造成的主觀疲勞增加量比起觀看二維影像時是比較強烈的。在不同顯示器亮度下觀看 Panasonic 顯示器的主觀疲勞增加量顯著大於 LG，觀看 Sharp 顯示器的主觀疲勞增加量顯著大於 LG。

上述結果在「主觀的自陳問卷」較容易達顯著差異，但在「客觀的疲勞指標」上卻不容易達顯著差異，由此可知個體的主觀疲勞感受比起其他指標較為穩定而容易測得。

表 A-17 多變量分析統計總表

效果 項	主要效果			二因子 交互作用效果			三因子 交互作用效果
	維度	照 度	亮度	維度* 照度	維度* 亮度	照度* 亮度	維度*照度*亮 度
問卷	.001*	.692	.004*	.744	.416	.256	.988
右屈	.022*	.818	.506	.153	.663	.746	.399
左屈	.808	.585	.382	.151	.166	.427	.958
頻閃	.223	.227	.599	.857	.934	.783	.720
HRV	.219	.987	.139	.063	.452	.972	.850

* 在顯著水準為 0.05 時 (雙尾)，相關顯著

** 在顯著水準為 0.01 時 (雙尾)，相關顯著

表 A-18 是整理自表 A-6 及表 A-16，自陳問卷與其他疲勞指標間的相關總表。結果顯示自陳問卷與 HRV 指標的相關，只有在觀看三維影像時，分別在三種不同顯示器下方達顯著相關。由此可知，只有在三維影像這種較為疲勞的情況底下，HRV 指標才會和主觀疲勞感有關。根據效標關聯效度的邏輯，HRV 初步具備反映疲勞感之有效性(Validity)。

表 A-18 自陳問卷與其他疲勞指標間的相關總表

變項	因子		右眼屈光度	左眼屈光度	閃光融合閾值	心跳變異率
不同維度	3D	問卷	-.064	.038	-.033	.163
不同 3D 顯示器	Sharp	問卷	-.168	-.113	-.203	-.411*
	LG	問卷	-.308	.157	.043	.426**
亮度	Panasonic	問卷	.127	.001	.076	.412*

* 在顯著水準為 0.05 時 (雙尾)，相關顯著

** 在顯著水準為 0.01 時 (雙尾)，相關顯著

我們試圖利用 HRV 的變化百分比來判定個體是否達到疲勞階段。表 A-19 為 HRV 的增加量百分比，HRV 的平均值、標準差、最大值以及最小值，其值大小差異過大，我們將再利用後續的視覺疲勞實驗進行反覆性的驗證，進一步確定建立用 HRV 反映疲勞感的信度與效度。

綜合上述，在觀看三維影片時，主觀上容易覺得感受到疲累，若能在適當的環境，較佳的觀賞距離，並且給予適時的休息，三維影片造成的疲勞感受自然就會減少。

表 A-19 HRV 增加量百分比

	平均值(%)	標準差(%)	最大值(%)	最小值(%)
Sharp	1.65	15.17	32.95	-24.61
LG	1.55	12.15	31.88	-28.26
Panasonic	5.07	15.57	40.66	-27.85

4. Crosstalk 人因實驗

4.1. 研究動機

顯示器一直以來是和人們接觸最頻繁的電子用品，而顯示器的進步也代表著人類在追求更真實的視覺享受。從早期的黑白電視到彩色電視，到現在的高畫質電視，無一不是追求著更自然、逼真的影像品質。而 3-D 立體顯示器的發展也提供了人們更進一步的視覺感官，除了一般的影像與色彩外，更提供了立體空間的感受。人類的大腦可以利用兩眼視差(Binocular Parallax)，來判斷物體的距離感。

人類眼睛和 3D 立體影像有很重要的關係，科學家一致認為，雙眼所分別看到的影像是造成深度感的主要來源；基本上單眼視網膜所收集到的影像是不會有立體感的，需藉由另一之眼鏡所看到的影像，讓視網膜接收到不同的二維影像資訊，透過視神經傳輸至大腦，再經過大腦對於兩張影像的判別，進而對該物體產生遠近距離的立體感。3D 顯示器的原理也是如此，讓左右眼分別接受到不同的影像，進而讓大腦將兩個影像融合在一起，形成立體視覺。讓物體或畫面以立體影像的方式呈現，有許多優點，諸如可表現複雜的物體表面，可涵蓋較多的空間訊息等。然而此技術遲未量產的主要原因，即為人因限制，其中以硬體設計不良所引起的 Crosstalk 現象影響最大，也是目前討論最多的議題。而 Crosstalk 的現象就是當 3D 顯示器設計不當時，左眼不僅接收到左眼的影像，也同時接收到右眼的影像；或是右眼不僅接收到右眼的影像，也同時接收到左眼的影像。當 Crosstalk 的情形過於嚴重時，大腦將無法將左右眼看到的不同影像融合成立體影像，而且將會造成觀看者視覺的不舒服感。Crosstalk 對立體影像品質的人因實驗多集中探討靜態的立體影像，從文獻上我們可觀察出不少對於靜態 Crosstalk 的研究方法，如 Inna Tsirlin 等人指出，2%的光串擾會造成 13%的深度知覺的誤判；當光串擾達 4%時，會造成 35%的深度知覺的誤判；若光串擾到達 8%時會造成 70%的深度知覺的誤判。

本計畫設計一個實驗機制，如圖 A-7 所示，我們控制進入左右眼的影像內容，使其包含某個程度(%)的另一眼影像，來測試人眼知覺對於 Crosstalk 的容許程度，並將此人因結果與物理光學上 Crosstalk 的量測結果進行數據分析比對，試圖將人因實驗之結果應用物理光學量測之結論上，讓物理光學上的量測更能

真實表現出人眼實際的反應。

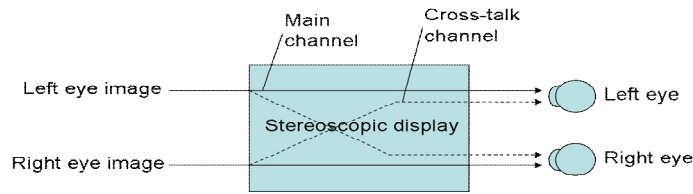


圖 A-7. 3D 顯示器 Crosstalk 人因實驗概念圖

在人眼疲勞度的相關研究方面，本實驗將會進行 3D 顯示器 Crosstalk 閾值範圍內與範圍外之人眼疲勞度之探討。以了解在不同 Crosstalk 程度的顯示器上，人眼對於 3D 顯示器 Crosstalk 的閾值進行研究，瞭解人眼所能忍受之 3D 顯示器 Crosstalk 的最大極限程度，並進一步的了解不同程度之 Crosstalk 對於人眼視覺疲勞度所造成的影響。

4.2. Crosstalk 閾值人因實驗設計

在 Crosstalk 人因實驗中，將探討當 Crosstalk 的比例超多少時，人眼將無法準確反映實驗的刺激。

受試者人數：

在這個實驗中總共有 10 人(6 男 4 女)位受測者參與，其平均年齡為 31.1 歲。受測者視力矯正後達 0.8 以上以及有良好的 3D 辨識能力。

實驗設備

實驗的機構是使用雙視鏡系統來架設，參與此實驗的受測者將頭部方置於下巴架上，再從雙視鏡中觀看影像，如圖 A-8。由於此實驗是要探討人眼在 Crosstalk 的比例超多少時，將無法準確反映；若實驗所使用的顯示器本身也會產生 Crosstalk 的效應，那將會影響到在實驗中所設定的 Crosstalk 參數，而無法準確的測出人眼最大忍受的干擾量。而雙視鏡系統可以完全排除目前市售立體顯示器本身的 Crosstalk 現象，故本實驗利用這樣的系統以利實驗進行。雙視鏡系統包含兩個 LCD 顯示器(CHIMEI 24EA (23.6 吋)、顯示器對比：987.18 (154/0.156)、顯示器解析度：1920x1080)、兩個組反射鏡、下巴架及電腦主機。



圖 A-8 雙視鏡系統

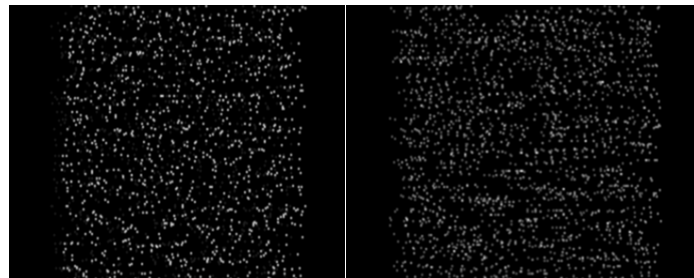
4.2.1. 實驗方法

實驗的圖形採用隨機點產生的正弦波圖形，在圖 4-3(a)與(b)分別代表 Crosstalk 為 14.14%與 40%所示，隨機點密度的分布為 5.8 dot/deg^2 ，亦即在 $32\text{pixel} * 32\text{pixel}$ 的正方形裡有 16 個點。正弦波之頻率分別設為 0.707、1 和 1.141 (cycle per degree)，圖形的 Crosstalk 的程度分別設定為 14.14%、20%、28.28%、40%。對於實驗刺激所設定的 Crosstalk 計算方式如式(5-1)(5-2)所示，分別求得左與右的 Crosstalk 之比例。

Crosstalk (α)

$$L_{\text{new}} = (1 - \alpha) * L_0 + \alpha * R_0 \quad (5-1)$$

$$R_{\text{new}} = (1 - \alpha) * R_0 + \alpha * L_0 \quad (5-2)$$



(a)

(b)

圖 A-9 a) Crosstalk=14.14%, b) Crosstalk=40%

首先受測者必須先調整椅子的高度，讓下巴舒服地放在下巴架上，並旋轉右邊反射鏡的位置，使受測者從反射鏡看到螢幕上的刺激合成單獨的一個立體正弦波圖形，若受測者無法使兩張圖片融合而成一張單獨的立體正弦波圖形，實驗就立即結束。受測者將先進行練習區段，確定受測者了解如何進行實驗後即可

進入正式實驗區段。受試者必須在 2 秒內回答立體正弦波之朝向，若無回答該題則算答錯。實驗進行約 120 次左右時，便會出現休息區段，受試者可休息至自覺回復良好狀態時，按下空白鍵再進行下一個實驗區段。

4.2.2. 實驗結果分析

本實驗利用雙視鏡設備，將顯示器所引起 Crosstalk 之影響排除，觀看由隨機點所組成的正弦波圖形，加入不同比例的 Crosstalk 刺激，來找出人眼能分辨的最大閾值。Crosstalk 實驗數據如表 A-20 及圖 A-10 所示，表 A-20 細格分別為各條件組合反應正確率。在 Crosstalk 40%時，任何一種的頻率的準確率皆低於 61% 以下，顯示當 Crosstalk 比例愈高時辨識正確率越低。

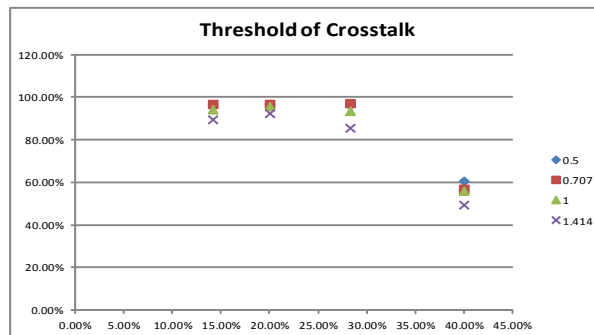


圖 A-10 在不同頻率下的 Crosstalk 閾值

表 A-20 不同頻率與不同程度 Crosstalk 之正確率

Crosstalk \ 頻率	Crosstalk			
	14.14%	20%	28.28%	40%
0.5	96.40%	96.77%	96.42%	60.70%
0.707	96.77%	96.77%	97.13%	56.97%
1	94.23%	95.69%	93.54%	56.02%
1.414	89.55%	92.44%	85.59%	49.49%

在找尋 Crosstalk 閾值的實驗中，頻率 0.5、0.707、1 以及 1.414 所得的 Crosstalk 的閾值分別為，36.2%、35.7%、35.1%和 32.8%，如表 A-21 所示。從結果得知，頻率對 Crosstalk 的影響沒有直接的關係，也就是不管頻率是多少，Crosstalk 在超過 36%之後就無法分辨 3D 影像。同時並將這四組頻率的數值平均起來，可得回歸方程式如圖 A-11 所示。利用回歸方程式將校標 Y 設定必須達到 75%的正確率，得到 Crosstalk 的閾值為 34.9%。當 Crosstalk 的閾值超過 34.9%時將影響受測者對實驗刺激判斷的準確度，此實驗結果將用於下一個 Crosstalk 的疲勞實驗。

表 A-21 四組頻率的 Crosstalk 及以四組平均取 75%正確率所得閾值

Cycle Per Degree (cpd)	0.5	0.707	1	1.414
Threshold of Crosstalk	36.2%	35.7%	35.1%	32.8%

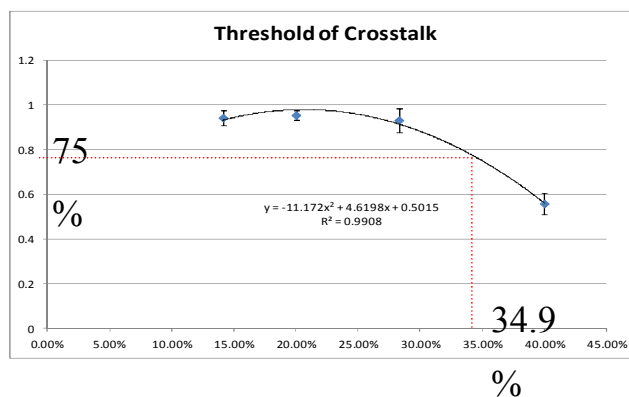


圖 A-11 四組頻率的 Crosstalk 及以四組平均取 75%正確率所得閾值

4.3. Crosstalk 視覺疲勞度之人因實驗設計

在本實驗中利用實驗一之結果所得到的 Crosstalk 的閾值，作為控制實驗之變數。受測者將隨機分為兩組，一組的刺激源是以 Crosstalk 閾值以內；而另一組受測者觀看的實刺激源是超過 Crosstalk 閾值。兩組皆進行實驗十分鐘的實驗測試，並記錄其相關疲勞數值。

受試者人數：

在這個實驗中總共有 10 人(4 男 6 女)位受測者參與，其平均年齡為 28.4 歲。受測者視力矯正後達 0.8 以上以及有良好的 3D 辨識能力。在這個實驗中，會量測心電圖作為評估疲勞指標，因為此受測者在量測前 8 小時不可以食用或飲用含有咖啡因、酒精之食物，以及一個月內使用有治療效果的藥物以免影響心律。

實驗設備

實驗的機構是使用雙視鏡系統來架設，兩個組反射鏡、下巴架及電腦主機。用於評估疲勞的工具為，主自疲勞問卷、頻閃儀、生理回饋儀。

實驗方法

實驗的圖形採用隨機點產生的正弦波圖形，隨機點密度的分布為 5.8 dot/deg^2 ，正弦波之頻率分別設為 0.707、1 和 1.141 (cycle per degree)。Crosstalk 的程度以在實驗一中所獲得的結果 34.9% 作為分界之閾值。在閾值內的比例分別為 0%、14.14%、20% 和 28.28%；在閾值之下或之上的比例分別為 20%、28.28%、40% 和 48.48%。

4.3.1. 實驗流程

受測者各人需求調整椅子在適當的高度，再將下巴放置於下巴架上，並旋轉右邊反射鏡的位置，使受測者從反射鏡看到螢幕上的刺激合成單獨的一個立體正弦波圖形，整體的實驗流程如圖 A-12 所示。受測者先進行 3D 辨識能力的測試，若受測者無法使兩張圖片融合而成一張單獨的立體正弦波圖形，實驗就立即結束。若通過 3D 辨識能力的測試，則接著進行問卷及頻閃儀實驗前的量測。受測者將先進行練習區段，確定受測者了解如何進行實驗後即隨機進入正式實驗區段。整個實驗持續進行 10 分鐘的試驗，受試者必須在 2 秒內回答立體正弦

波之方向，若無回答該題則算答錯。實驗進行中同時記錄心電圖，實驗後則再填寫疲勞問卷及頻閃儀的量測。若未完成兩組實驗者，則必須隔天以上再來進行另一次實驗。

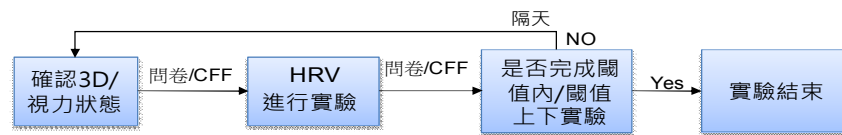


圖 A-12 Crosstalk 疲勞實驗流程圖

4.3.2. 實驗結果分析

本實驗利用雙視鏡設備，將顯示器所引起 Crosstalk 之影響排除，觀看由隨機點所組成的正弦波圖形，以在實驗一中所得的 34.9% 之 Crosstalk 比例作為閾值之分界。在閾值內的為 0%、14.14%、20% 和 28.28%；在閾值之下或之上的比例分別為 20%、28.28%、40% 和 48.48%。

從表 4-3 可得知，在閾值內的準確率為 92%，而在閾值外的準確率為 73.8%。由此可知過大的 Crosstalk 會影響到受測者的判斷。

表 A-23 是在針對人體的不同部份的問卷分析結果，疲勞問卷皆是實驗後減去實驗前所得數值再進行統計計算。若實驗後疲勞增加的話，問卷所得數值應是正值。從實驗結果得知，不管是在那一個部位皆是呈現疲勞狀態。眼睛、與頭部的閾值內的疲勞程度皆比閾值上下的高，在頭部的結果在統計上也有差異 ($P < 0.034$) 在身體的部份，閾值內比閾值上下的在統計上有差異 ($P < 0.006$)。推測在閾值內的疲勞程度會比閾上下來的強烈，是因為受測可能在觀看超出閾值的影像時，由於已看不清楚，所以受試者沒有花費精神觀看立體影像，而使得在閾值內會比閾上下來得疲勞。

表 A-24 為頻閃儀 (Critical Fusion Frequency, CFF) 之分析結果。實驗後減去實驗前若疲勞度增加時數值會變小。兩組的 CFF 數值皆呈現衰減的現象 (閾值內為 -1.35，閾值上下為 -1.587)，代表兩組都有視覺疲勞的產生，但並未達統計上的顯著差異。

表 A-25 為心率變異度 (Heart Rate Variability, HRV) 分析。將記錄下來的心電

圖訊號，擷取 R-R Interval 資料，進行快速傅立葉分析，將心跳間隔轉換成心率變異度頻譜。結果所顯示的為低頻功率(Low Frequency Power)之分析結果，低頻功率代表人體交感神經活性指標，當人處在緊張、抗奮或者是感到疲備時，交感神經活性會較一般狀態下高。而在實驗結果中發現，在閾值內或閾上下的結果在統計上沒有差異，有可能是因為受測者對於看不清的影像感到不適，而不再專心的回答或觀看影像，而造成閾值內與閾上下的低頻功率沒有明顯的差異。

表 A-22 在不同閾值之準確率之結果

	閾值內	閾值上下
準確率	0.920	0.738

表 A-23 在不同的人體部位之間卷分析結果，*為 P<0.05

問卷	部位	閾值	平均數	變異數	T	P
	眼	閾值內		4.75	16.59	1.320
閾值上下			3.667	7.7		
頭	閾值內		1.167	1.97	2.02	0.034*
	閾值上下		0.417	0.81		
身體	閾值內		1.083	0.5	3.022	0.006*
	閾值上下		1.36	0.45		

表 A-24 閃光融合閾值分析結果

	閾值	平均數	變異數	T	P
頻閃儀	閾值內	-1.35	1.91	0.649	0.265
	閾值上下	-1.587	1.20		

表 A-25 心率變異度分析結果

	閾值	平均數	變異數	T	P
心電 (HRV)	閾值內	40.049	89.28	-1.36	0.100
	閾值上下	43.370	119.27		

5. 結論與討論

在本計畫中之執行成果中，關於疲勞指標的部分，已完成了數十篇疲勞相關之文獻研習並進行探討，並依這些相關文獻的討論，歸納並採用了以下三種疲勞度指標：主觀疲勞問卷、心率變異度、閃光融合閾值。本計畫發展出具高信度及高專家效度之疲勞度主觀問卷，可供廠商於後續之立體顯示器人因實驗使用。

在另兩項疲勞客觀指標部分，心率變異度(HRV, Heart Rate Variability)與主觀問卷之相關性較高，可真實與即時呈現受試者生理狀況。在閃光融合閾值的部

分，因其變異性太大，雖可呈現視覺疲勞程度，但易因受試者反應速度而產生變異。最後，在視屈光度的探討中，本研究計畫發現，在短時間內，人眼之假性近視增加幅度在短時間之視覺作業中，不易獲得顯著之視覺疲勞現象。

在設計研發人因實驗程序的部分，本計畫共執行了 2 個主要的人因實驗項目，其中照度人因實驗單純的為了瞭解不同照度下之立體觀看舒適性，因此並沒有特殊設計之人因實驗程序。而光串擾(Crosstalk)這個議題中，本計畫提出了使用雙鏡系統之立體視覺模擬系統，使用亂數隨機點(random dot)產生具方向性之立體波形，尋找人眼立體影像融合閾值。只要改變相關參數，即可獲得實驗人員需求之結果。

在本次計畫案中最主要之人因實驗項目有三：立體深度知覺閾值及疲勞度探討、Crosstalk 閾值及疲勞度探討、立體影像解析度與疲勞度探討。在立體深度知覺的部分，本計畫以影響深度知覺的像差(Disparity)為探討因子，發現深度知覺閾值會隨著觀看距離增加而變大。在一般桌上型顯示器觀看距離下，深度閾值的 Disparity 值為 27 arc min；而在家用電視型立體顯示器使用情形下，在 2 倍顯示器高度距離觀看時，深度閾值的 Disparity 之安全閾值為 27 arc min，在 4 倍顯示器高度距離觀看時，深度閾值的 Disparity 之安全閾值為 60 arc min。在疲勞度探討的部分，在深度閾值附近之觀看視覺疲勞與深度閾值內之觀看視覺疲勞達統計上之顯示差異，表示深度閾值會影響視覺疲勞。從不同距離與角度之深度知覺閾值研究中也可發現，距離遠可得較佳之深度知覺，中央視角可得較佳之深度知覺。

在 Crosstalk 閾值及疲勞度探討的人因實驗結果顯示，34.9%的 Crosstalk 將導致使用者無法清楚融合立體影像。對針對疲勞度之研究卻發現，在 Crosstalk 閾值附近之視覺疲勞度反而比 Crosstalk 閾值內之視覺疲勞度輕微。推測其理由應為在 Crosstalk 閾值外之應像無法正確融像聚焦，故視覺系統選擇不去融合成像，故視覺疲勞程度降低。最後，在立體影像解析度的研究中發現，偏光式立體顯示技術因其原理上之限制，解析度較快門式立體顯示技術差。而 Sharp 顯示器在解析度實驗中較易疲勞，可能與其 sub-pixel(RGBY)之組成有關。

本計畫已經完成了計畫中設定之三項主要立體顯示器之人因探討議題，在計畫執行過程中，亦發現有許多後續可以繼續執行之工作項目及議題，如未來廠

商針對立體顯示器之人因探討有後續之追蹤探討，希望可以提供給各廠商一些方向。

1. 雙鏡系統

本計畫引進了使用雙鏡系統之立體顯示模擬系統，可呈現純粹之左右眼影像內容，達到無 Crosstalk 影響之立體顯示裝置，因此雙鏡系統在學術研究上廣為使用。此系統與一般立體顯示器相同，其成像原理皆為單眼獨立影像，即左眼僅看到左眼影像，右眼僅看到右眼影像。但在實際之立體顯示器上，因其包含了其他元素干擾，如 Crosstalk、快門閃爍等現象，所以在雙鏡系統與實際立體顯示器之結果一致性之探討上，相信可以為產業界與學術界建立起一個完整的溝通橋樑。

2. 深度知覺

本計畫在深度知覺的研究中，除了使用雙鏡系統進行深度知覺閾值得探討外，亦在實際市售之立體顯示器上執行相同之實驗。但因我們使用的三台市售立體顯示器之規格、技術不盡相同，所以獲得了不同的結果。而根據相關研究文獻之探討發現，Crosstalk 是會影像深度知覺的重要影響因子，著眼於此，如果我們將此三台市售之立體顯示器依 IDMS 所使用之 Crosstalk 計算公式(如式子 5-1 所示)計算此三台顯示器之 Crosstalk 數值分別為：LG：0.37%，Panasonic：2.14%，Sharp：2.40%。

$$\frac{L_{KW} - L_{KK}}{L_{WK} - L_{KK}} \quad (5-1)$$

若扣除使用偏光式技術為基礎的 LG，則兩台使用快門式技術的立體顯示器其 Crosstalk 的值似乎與深度知覺閾值的表現成正相關，意即 Crosstalk 的數值越小，深度知覺閾值的數值越大。但這種關聯性是否存在於更大量的實驗樣本中，相信是一個非常值得深入探討的議題。

3. Crosstalk

本計畫在 Crosstalk 項目中執行的疲勞度探討為研究 Crosstalk 閾值附近與 Crosstalk 閾值內之觀看疲勞度的差異研究，而結果顯示在 Crosstalk 閾值附近的疲勞度較閾值內的低。其理由已於上述說明過。但我們覺得更值得探討的議題

是，在不同 Crosstalk 程度下，其視覺疲勞程度的探討，徹底了解不同 Crosstalk 程度對於觀看者之視覺疲勞程度的影響。

6. 參考文獻

- [1]. Effect of different vibration frequencies on heart rate variability and driving fatigue in healthy drivers. Jiao K, Li Z, Chen M, Wang C, Qi S. *Int Arch Occup Environ Health*. 2004 Apr; 77(3):205-12. Epub 2004 Feb 5.
- [2]. Effects of acupuncture on heart rate variability and blood pressure variability on driving mental fatigue. Li Z, wang C, Mak AF, Chow DH, *Eur J Appl Physiol*. 2005 Aug;94(5-6):633-40. Epub 2005 May 20.
- [3]. Murlikrishna Viswanathan, Zhen-Xing Zhang, Xue-Wei Tian, Joon S. Lim, "A fatigue detection algorithm by heart rate variability based on a neuro-fuzzy network", *Proceeding ICUIMC '11*, 2011, ISBN: 978-1-4503-0571-6
- [4]. Pagani M, Lombardi F, Guzzetti S, Rimoldi O, Furlan R, Pizzinelli P, Sandrone G, Malfatto G, Dell'Orto S, Piccaluga E, Turiel M, Baselli G, Cerutti S, Malliani A. 1986 Aug;59(2):178-93.
- [5]. Poemranz B, Macaulay RJB, Caudill MA, Kutz I, Adam D, Gordon D, Kilborn KM, Barger AC, Shannon DC, Cohen RJ, Benson H. Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis. *Am J Physiol* 1985; 248: H151-153.
- [6]. R. Cormack, and R. Fox, "The Computation of disparity and depth in stereograms," *Perception & Psychophysics*, Vol. 38, No. 4, p.375-380, 1985.
- [7]. R. Patterson, A. S. Boydstun, J. A. Rogers, and L. M. Tripp, "Stereoscopic Depth Perception and Interocular Luminance Differences," *SID 09 Digest*, May 2009, p.815-818.
- [8]. D. M. Hoffman, A. R. Girshick, K. Akeley, Martin S. Banks, "Vergence – accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue", *Journal of Vision* (2008) 8(3).
- [9]. M. S. Banks, S. Gepshtein, and M. S. Landy, *The Journal of Neuroscience*, 24(9): 2077-2089, 2004
- [10]. M. S. Banks, S. Gepshtein, and M. S. Landy, "Why IS Spatial

- Stereoresolution So Low?" The Journal of Neuroscience, March 3, 2004. 24(9):2077-2089.
- [11]. F. Allenmark, J. C. A. Read, "Spatial Stereoresolution for Depth Corrugations May Be Set in Primary Visual Cortex", PLoS Computational Biology, 7(8):1-15, 2011.
- [12]. Bjorn N.S. Vlaskamp, Geunyoung Yoon, and Martin S. Banks, "Human Stereopsis Is Not Limited by the Optics of the Well-Focused Eye", The Journal of Neuroscience, July 6, 2011. 31(27):9814-9818.
- [13]. Chung, STL, Jarvis, SH, Cheung, SH, "The effect of dioptric blur on reading performance" VISION RESEARCH, 47(12):1584-1594. Jun, 2007.
- [14]. Fu, L, Cai, SQ, Zhang, H, Hu, GS, Zhang, XD, "Psychophysics of reading with a limited number of pixels: Towards the rehabilitation of reading ability with visual prosthesis", VISION RESEARCH, 46(8-9):1292-1301. April, 2006.
- [15]. Chung, STL, Mansfield, JS, Legge, GE, "Psychophysics of reading. XVIII. The effect of print size on reading speed in normal peripheral vision", VISION RESEARCH, 38(19):2949-2962. OCT, 1998.
- [16]. V. Skala, "Crosstalk Measurement for 3D Displays," 3DTV-CON 2009, May 2009.
- [17]. IEEE Transactions on Broadcasting, 57(2), pp. 445-453, June 2011
- [18]. Malik. M, Task Force of the European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology, "Heart Rate Variability: Standards of Measurement, Physiological Interpretation, and Clinical Use", Circulation, Vol.93, pp.1043-1065, 1996.
- [19]. Hironori Akiduk, Suetaka Nishiike, Hiroshi Watanabe, Katsunori Matsuoka, Takeshi Kubo, Noriaki Takeda, "Visual-vestibular conflict induced by virtual reality in humans", Neuroscience Letters, Vol.340, No.3, pp.197-200, April 2003.

- [20]. Zengyong Li, Kun Jiao, Ming Chen, Chengtao Wang, “Reducing the effects of driving fatigue with magnitopuncture stimulation”, *Accident Analysis and Prevention*, Vol.36, No.4, pp.501-505, July 2004.
- [21]. Seizo Ohyama, Suetaka Nishiike, Hiroshi Watanabe, Katsunori Matsuoka, Hironori Akizuki, Noriaki Takeda, Tamotsu Harada, “Autonomic responses during motion sickness induced by virtual reality”, *Auris Nasus Larynx*, Vol.34, No.3, pp.303-306, September 2007.
- [22]. Tomoyuki Yambe, Makoto Yoshizawa, Shin Fukudo, Hiroshi Fukuda, Ryuta Kawashima, Kazuhiko Shizuka, Shunsuke Nanka, Akira Tanaka, Ken-ichi Abe, Tomonori Shouji, Michio Hongo, Kouichi Tabayashi, Shin-ichi Nitta, “Can personality traits predict pathological responses to audiovisual stimulation”, *Biomedicine & Pharmacotherapy*, Vol.57, No.1, pp.83-86, October 2003.
- [23]. R. J. Beaton, T. A. Dingus, A. M. Prestrude, C. Patrick Koelling and Eileen Van Aken(2000) *Display Technology and Ambient Illumination Influences on Visual Fatigue at VDT Workstations*.
- [24]. Heuer, H., Hollendiek, G., Krtöger, H., & Römer, T. (1989) *Die Ruhelage der Augen und ihr Einfluß auf Beobachtungsabstand und visuelle Ermüdung bei Bildschirmarbeit. Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie*, 36, 538-566.
- [25]. Horie Y. (1987), *A study of optimum term of working hours with rest intervals for VDT workers. Japanese Journal of Ergonomics*, 23(6), 373-383.
- [26]. Ray P. and Ray J. (1965), *Effect of an intermittent light stimulation on the critical fusion frequency. Ergonomics*, 8, 173-180.
- [27]. Weber A. ,Jermini C. and Grandjean E.P.(1975), *Relationship between objective and subjective assessment of experimentally induced fatigue. Ergonomics*,