

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

第三名

080117

烘衣何時了，紅外線知曉

學校名稱：臺北市萬華區私立光仁國民小學

作者：	指導老師：
小六 黃孝洲	陳佳宜
小六 卞郁菱	楊基宏
小五 陳妍希	
小五 吳佳芸	
小六 郭育宏	

關鍵詞：烘衣服、紅外線來客報知器、透光率

～烘衣何時了，紅外線知曉～

摘要

本實驗利用光線在乾、濕紙張之間的透光率不同，以「紅外線來客報知器」改裝成一個偵測紙張是否已經乾了的裝置。同學期望把這個裝置放在烘衣機裡，當濕的試片被烘衣機裡的熱氣烘乾時能發出聲響，告訴我們衣服乾了，這樣可避免衣服早就乾了而我們不知道，白白浪費能源，或一直要去檢查衣物乾了沒。

壹、 研究動機

生活中常有這樣的經驗，天氣濕冷，衣服不容易乾，或是衣服好像乾了，但摸起來冰冰涼涼，不免心生懷疑：這衣服真的乾了嗎？大部份的人這時候就會把衣服扔進烘衣機裡。然而現今的烘衣機都是以衣物的厚薄來調整烘衣的時間長短，並不是以衣服真正乾的時候做為烘衣的終點，因此，同學說媽媽常會要他去把烘衣機打開看看衣服到底乾了沒，有時衣服根本還沒乾，有時卻已經非常乾。這讓他想到是否可以有個「烘衣檢知器」放在烘衣機裡跟著衣服一起烘，等衣服乾了，烘衣檢知器發出聲音，就知道衣服已經乾了。一方面不必一直中斷手邊正在做的事，只是為了跑去翻翻看衣服是否已經乾了，另一方面也不至於衣服乾了很久還一直烘，可以節省一些電費。於是我們想要探討這個主題。

相關教學單元：[奇妙的光\(四上\)](#)、[電路 DIY\(四上\)](#)、[熱和我們的生活\(六下\)](#)

貳、 研究目的

- 一、了解一般口語的「衣服乾了」，該如何以數據表達？
- 二、了解水的多寡對紙張透光度的影響。
- 三、了解不同張數乾、濕紙張的透光度變化。
- 四、自製一個「烘衣檢知器」，希望把它跟衣服一起放進烘衣機裡，等衣服乾了的時候就發出聲響。(後來同學們暱稱這個烘衣檢知器是「花媽頭」，因為它很像「我們這一家」卡通裡的人物花媽的髮型)。
- 五、找出烘衣檢知器的標準配置
- 六、驗證烘衣檢知器的穩定性

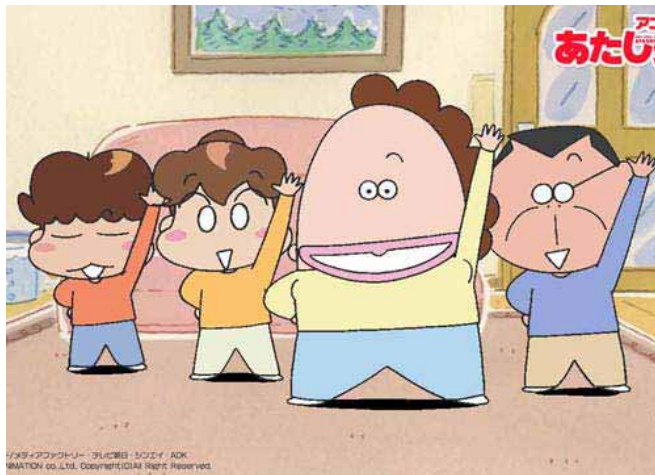


圖1 花媽(右二)是「我們這一家」中的角色之一。

肆、 實驗步驟

想要知道什麼時候衣服乾了，首先要知道「衣服乾了」有什麼現象或特徵，並從中找出可利用的。以下是我們的思考邏輯。

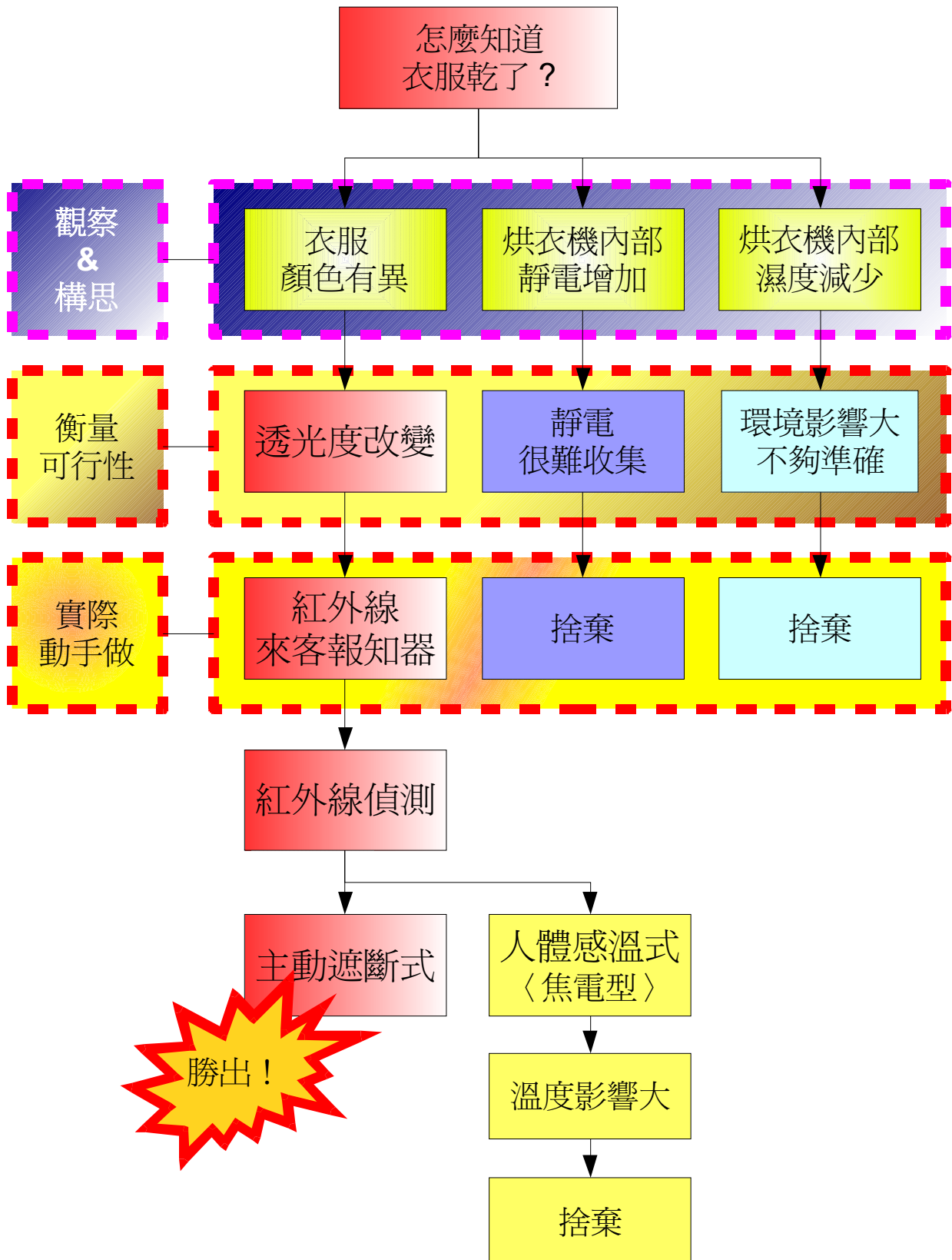


圖3 解決烘衣問題的思考邏輯圖

其中最關鍵之處是我們發現一個物理原理：紙沾到油會變透明。黃福坤老師更進一步說明「光線可以穿透油 但是不容易穿透紙張（會在表面反射或漫射）油會滲透入紙張的縫隙改變紙張的折射率（相對折射率變小了）於是透過更多的光。正如衣服遇水沾濕後就變得比較透明一樣！」

※ 4 黃福坤 (研究所) 張貼: 2006-10-30 00:01:18 地點: 台灣台北 [回應上一篇] 折射 折射率 反射

光線可以穿透油 但是不容易穿透紙張（會在表面反射或漫射）

由會滲透入紙張的縫隙改變紙張的折射率（相對折射率變小了）於是透過更多的光

正如衣服遇水沾濕後就變得比較透明一樣！

圖4 黃福坤教授說明為何紙沾到油會變透明？

資料來源：<http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/phpBB/viewtopic.php?topic=12823>

這給了我們靈感「乾、濕紙張的透光度，應該可以做為判斷衣服乾了與否的依據？」

我們簡單地用油及水阻斷紅外線，初步發現沾油及水的紙都有讓光線通過的特性，但油很難被烘乾，所以選用水做為增加透光性的液體。詳細情形以實驗 2 及 3 來探討。

研究流程

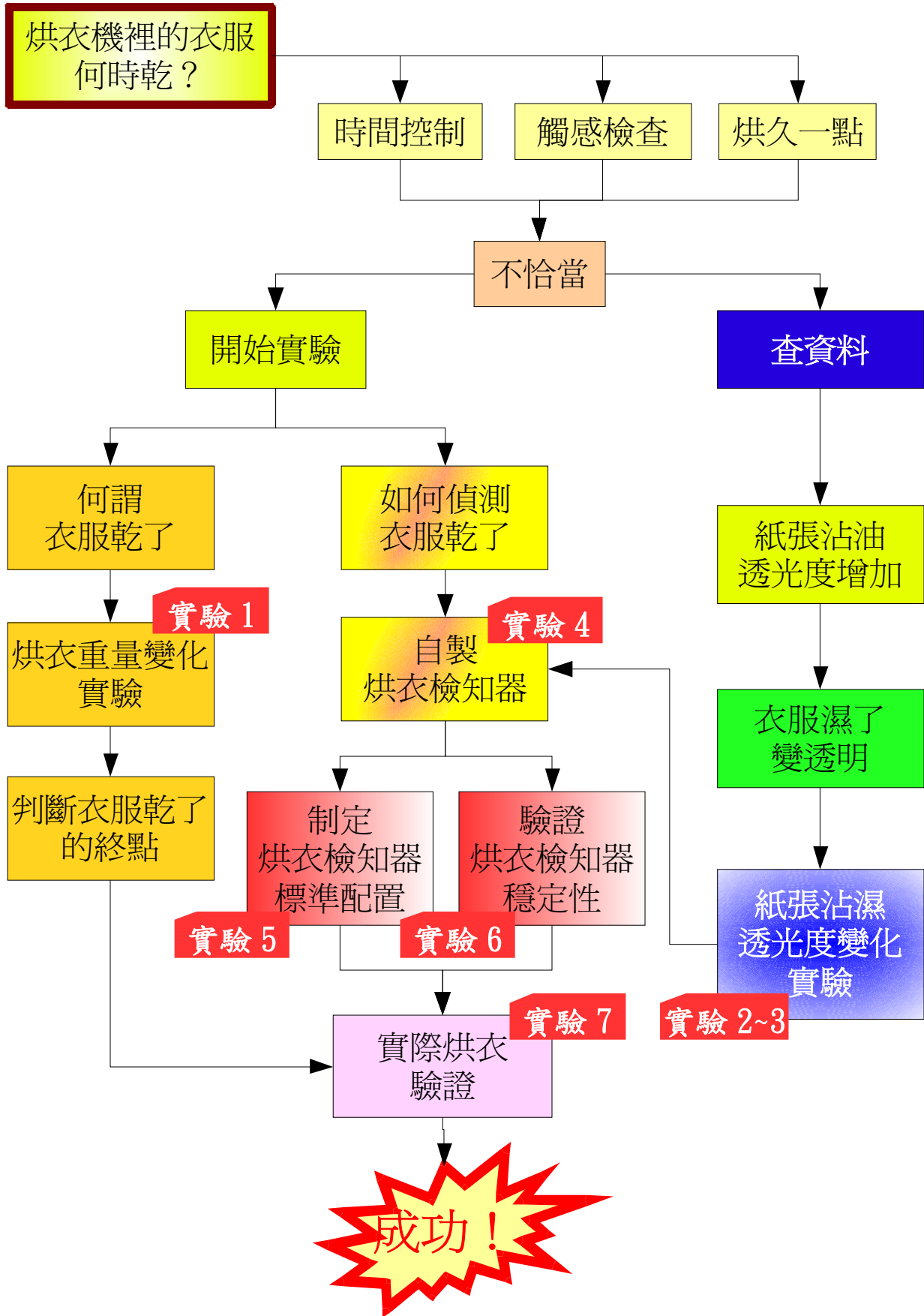


圖5 研究流程圖

實驗一 了解一般口語的「衣服乾了」，該如何以數據表達

1. 收集一些舊衣物，剪成 30 × 30cm 大小。
2. 將這些布片弄濕，放進脫水機脫水七分鐘，記錄為「濕重」。
3. 放進烘衣機，每隔十分鐘拿出來稱重，並記錄。
4. 檢視數據變化，找出衣服重量再也無法下降時，即為衣服乾了的「烘衣終點」。



圖6 將舊衣服裁成 30 x 30 cm



圖7 編號並稱重

實驗二 了解水的多寡對紙張透光度的影響

1. 以布丁盒及太陽能板自製一個「透光度測量儀器」如圖 8。底層是太陽能板，上層貼附一片 LED 光源。太陽能板拉出兩條電線與三用電表相接。其原理是 LED 燈使太陽能板發電，中間如果有遮蔽物，則會阻擋光線，也就使太陽能板的發電效果改變，電壓值改變。因此可由太陽能板產生的電壓值做為衡量遮蔽物透光度的參考。
2. 分別取國畫紙、宣紙，依序滴入一~五滴水(如圖 9)，並記錄三用電表上的電壓值。



圖8 透光度測量儀



圖9 水量多寡對透光度影響實驗

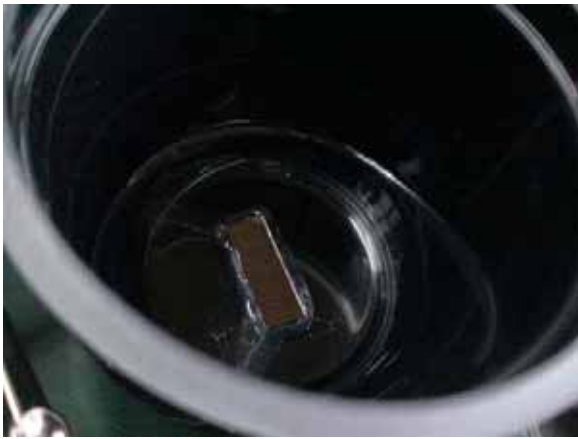


圖10 布丁盒底部的太陽能板



圖11 上蓋貼附的LED光源



圖12 光源上方加一層塑膠片，避免光源髒污



圖13 上下蓋做記號，使每次位置都正確

實驗三-A 了解不同材質紙張的透光度穩定性

完成實驗二之後，我們突然想一件事，家庭主婦如果要用我們發明的裝置偵測衣服是否乾了，還要找國畫紙或是宣紙，那豈不是很不方便？我們再思考是否能用隨手可得的紙呢？這讓我們想到 double A 的辦公室影印紙，它稍具品牌知名度，應該是比較穩定。接下來就來實驗一下到底哪一種紙的透光度比較穩定？方法如下：

準備宣紙、國畫紙、Double A 80G 的影印紙，切為 A4 尺寸的四等份，大約是 10.5 x 14.5 cm，放在透光度測量儀裡，在每張紙測量五個位置的電壓值 V(透光度)，並作圖。



圖14 利用透光度測量儀測試



圖15 紙張裁成適當大小



圖16 發現宣紙有一點破洞

實驗三-B 了解不同張數乾、濕紙張的透光度變化

從實驗二發現 Double A 80 磅的影印紙透光度最穩定，可是問題又來了，如果按照實驗二的做法「滴水」到紙上，Double A 80 磅的紙吸水狀況就沒有國畫紙好，常常水滴下去很久，水散開的情況不很均勻，這個變因很難控制，不得不改個方法，於是針對影印紙測量乾、濕透光度的情形，我們想出別的方法，方法如下：

1. 使用「透光度測量儀」，但這次要倒過來使用如圖 17。測量不同張數的乾、濕紙張透光度變化。
2. 以固定電壓、固定角度，將上蓋蓋好。
3. 將乾紙張裁成適當大小，共 25 張，放進測量盒，記錄電壓值。
4. 以鑷子夾起一張紙(圖 18)，蓋上蓋子，以每次減少一張紙的方式記錄電壓值。藉以了解透光度的變化情形。
5. 將這 25 張紙泡濕三分鐘，整疊放進去，同樣以每次減少一張紙的方式記錄電壓值。



圖17 透光度測量儀倒過來使用



圖18 先把整疊紙放上去，再一張一張夾起來

實驗四 自製烘衣檢知器

能夠有一個烘衣檢知器，才能實現我們的夢想「衣服乾了就會叫」。但這之間遇到好多困難。詳細請見「結果」中的說明。

實驗五 制定烘衣檢知器標準配置

實驗時共有三個地方要確定它是「標準」的。

一、標準待烘衣物；二、感應主體靈敏度；三、標準試片。各說明如下：

準備「標準待烘衣物」步驟：

1. 將 30 × 30cm 的薄型、中型、厚型衣物共 21 件浸濕。
2. 脫水機脫水 7 分鐘。
3. 微調衣服重量到「標準濕重」，太重的用吹風機吹乾一點，太輕的加幾滴水增加重量。



圖19 將衣服泡濕



圖20 加水或吹風機吹調整衣重至標準濕重

感應主體初始靈敏度驗證步驟：

1. 開啓發射器與接收器
2. 將 3 張 80 磅大小為 $2 \times 4\text{cm}$ 乾紙放入可旋式置紙盒中，接收器應發出聲響。
3. 將 2 張 80 磅大小為 $2 \times 4\text{cm}$ 乾紙放入可旋式置紙盒中，接收器不應發出聲響。
4. 若測試結果不符合，則更換新的電池。

我們有一個口訣：「三叫二不叫」。

上述感應主體初始靈敏度驗證步驟，是我們每次更換新電池多次測試的結果，當可旋式置紙盒中放入 3 張乾的白紙，紅外線無法穿透，放入 2 張乾的白紙，紅外線可以穿透，故我們要求每次實驗時，都要做到三叫二不叫，以確保感應主體的準確度。

實驗用「標準試片」準備步驟：

1. 將 3 張 Double A 80 磅 $2 \times 4\text{cm}$ 白紙泡濕 3 分鐘。
2. 利用玻璃瓶輕壓，壓去多餘水份。
3. 秤重並調整 3 張試片含水量
4. 放入可旋式置紙盒。



圖21 泡濕 3 分鐘



圖22 玻璃瓶壓去多餘水份



圖23 秤重並調整試片含水量

實驗六 驗證烘衣檢知器穩定性

我們想，當烘衣檢知器發出聲響，告訴我們衣服乾了，會不會其實衣服早就乾了，我們還在痴痴地等，大家討論結果，認為衣服真正乾了與烘衣檢知器叫的時間，可接受誤差為 5 分鐘，因此設計實驗六來驗證烘衣檢知器的可靠性，亦進行實驗七取實際衣物進行烘衣。

實驗六：取 21 件標準待烘衣物進行烘衣

步驟：1.將 21 件衣物浸泡並脫水至標準濕重，放入烘衣檢知器一起烘，記錄發出響聲的時間。

假設是 25 分鐘。

2.再依標準程序放入烘衣機烘乾，刻意在第 20 分鐘時停止烘衣，把衣服秤重，並判別衣服乾了沒。

判斷烘衣檢知器是否穩定的方法是：如果衣服已經抵達烘衣終點，表示衣服在烘衣檢知器響了的 5 分鐘之前就乾了，不符合我們可接受程度；如果衣服未乾，表示衣服真正乾了的時間落在第 20 分鐘與第 25 分鐘之間，是我們可接受程度內。

實驗七 取 5 件日常生活中衣物進行烘衣

步驟：1.使用平常的衣物五件，浸濕後脫水七分鐘。

2.以烘衣檢知器進行驗證。檢測試片總重為 0.4g)+包覆最厚的一件衣物。

3.待檢知器響起，取出衣物，秤重檢視是否回復原重。



圖24 平時衣物五件



圖25 放入烘衣機

伍、 研究結果

實驗一 了解一般口語的「衣服乾了」，該如何以數據表達？

經過我們的實驗，「衣服乾了」的時候，曲線變平緩，表示重量不會再下降。以編號 12 為例，由圖 26 可知，在第 10 分鐘時，衣服重量不再下降，表示衣服已經乾了；再以編號 20 為例，它一直到第 50 分鐘，重量才不下降。這其實是厚、薄衣物的差別。由此可知，同一桶衣服裡，有的厚，有的薄，薄的會先乾，厚的慢乾。

我們也從這個實驗中，把衣服重量不再變化的重量設定為「烘衣終點」，往後的實驗裡如果要知道衣服是否已經乾了，就是要比對它是否已經到「烘衣終點」。

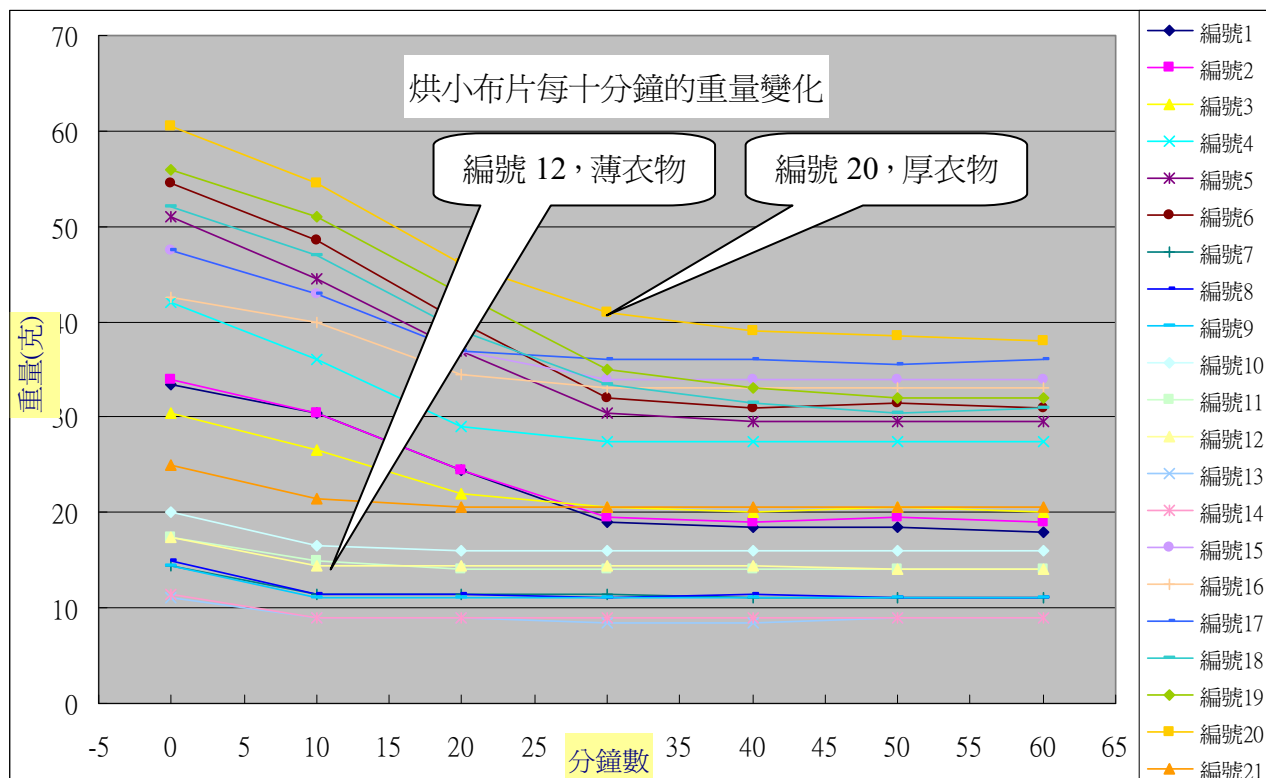


圖26 烘小布片每十分鐘重量變化

實驗二 了解水的多寡對紙張透光度的影響

在這個實驗中，我們選用吸水佳的紙，國畫紙及宣紙，滴下一滴水之後，等待一分鐘，讓水被紙吸收得較均勻之後才讀取數值。

由作圖可看出，對同一張紙而言，滴入越多的水滴，確實會使透光度增加(如圖 27)。其中又以宣紙的效果比國畫紙明顯。前述黃福坤老師的說法，在這個實驗中獲得證實。

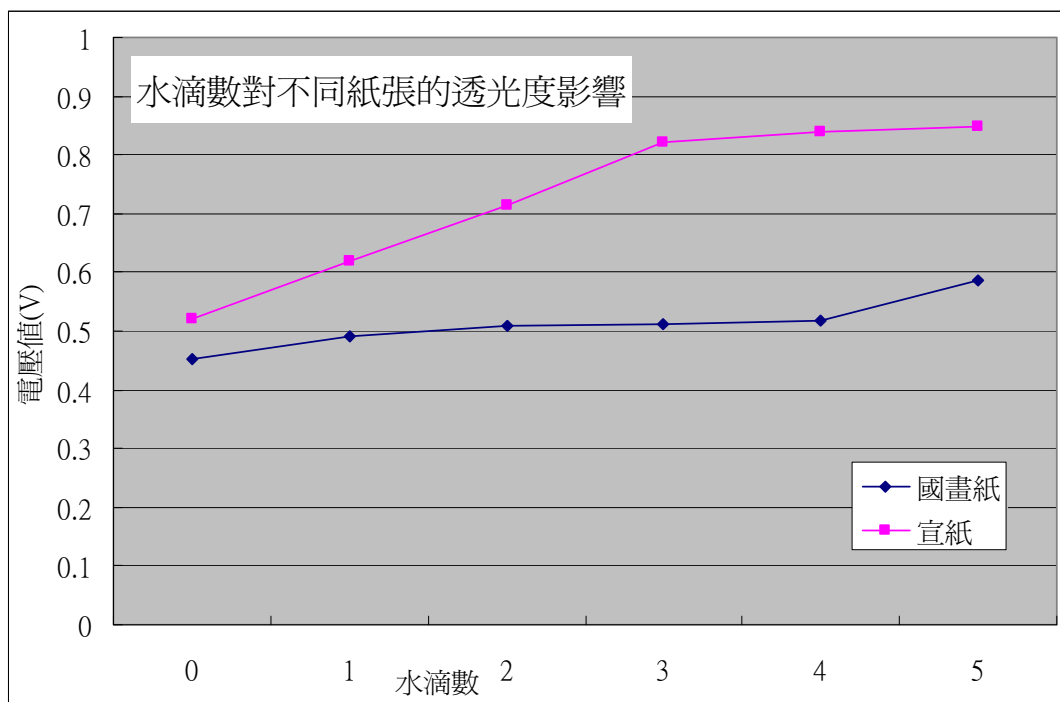


圖27 水滴數對不同紙張的透光度影響

實驗三-A 了解不同材質紙張的透光度穩定性

實驗作圖如下：

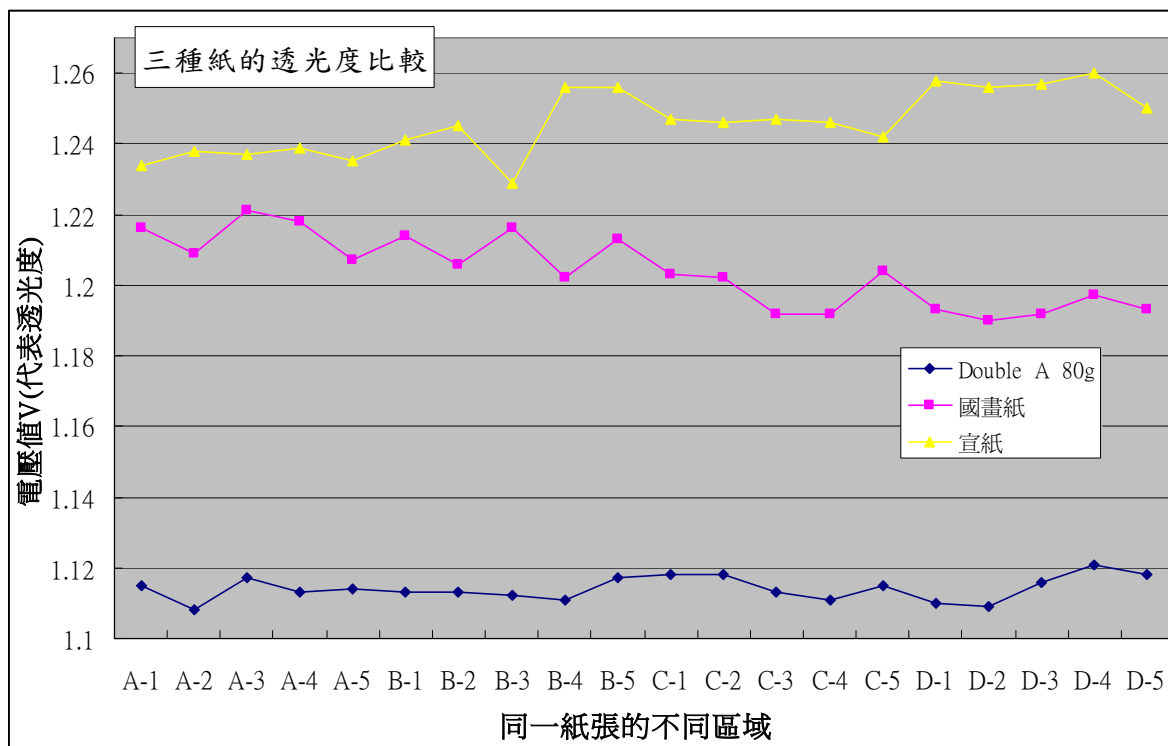


圖28 了解紙張的透光度穩定性

由圖 28 顯示的透光度起伏情形可以看出，Double A 的影印紙比較穩定，在後面的實驗中就選定它做為材料。

實驗三-B 了解不同張數乾、濕紙張的透光度變化

實驗作圖如下：

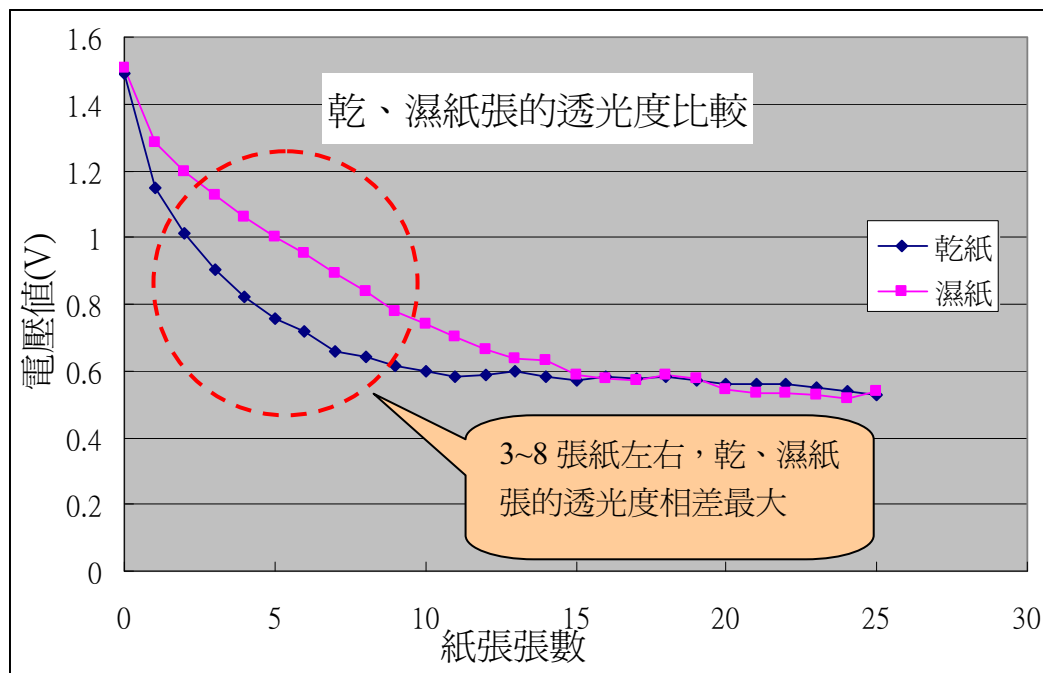


圖29 乾、濕紙張的透光度比較

由此圖可看出，當張數多於 10 張，透光度的差別就不太明顯，因此如果要利用乾、濕紙當做判斷標準的話，使用 3~8 張紙是比較恰當的。然而這是在沒有烘衣的情況下的結果，在實際烘衣時，還需進一步實驗。我們在實驗五中試圖找出何種組合較佳。

實驗四 自製烘衣檢知器

原理說明

我們思考有什麼東西能幫我們檢測衣服乾了，想了很久，發現有一種東西叫做「來客報知器」，它由二台小機器組成，一個是發射器，另一個是接收器，接收器會接收發射器發出的紅外線，然而若二個機器中間有阻礙物時，接收器會因無法接收到紅外線而發出嗶嗶叫，反之，則不會叫，原理如圖 30。

我們想，濕的衣服透光度較高，而乾的衣服透光度低，將衣服放在中間，利用紅外線來幫我們檢測衣服乾了沒，並發出聲響通知，一舉二得。

但實驗結果發現，只有少部份衣物有這樣的特性，而有些衣物因本身顏色較深及厚度較厚，即使浸濕亦無法讓紅外線穿透。最後我們選擇紙張來實驗。

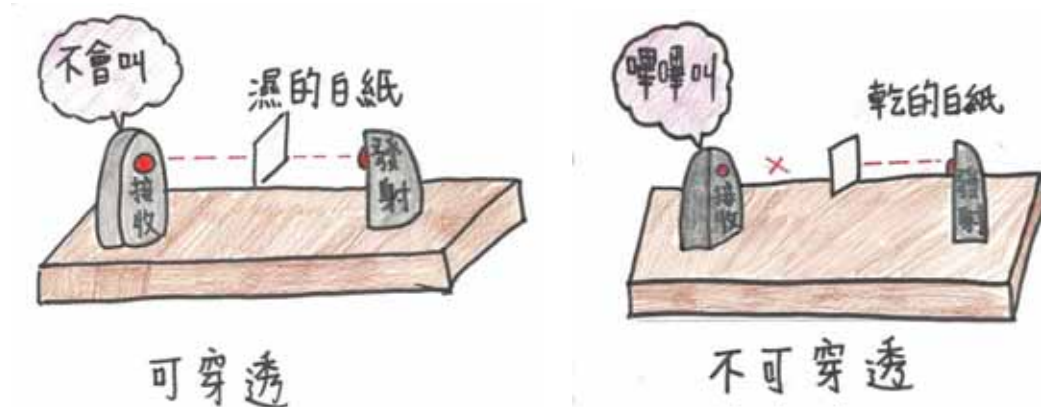


圖30 紅外線穿透「乾、濕紙張」示意圖

找出恰當的實驗條件

因為要將「來客報知器」放入烘衣機裡，所以我們使用吹風機，開啓熱風，先確認機器不受溫度影響，且可耐高溫，如圖 31。同時我們也試驗發射器與接收器的距離與紙張張數，找出最佳關係，如圖 32。



圖31 來客報知器可耐高溫



圖32 試驗幾張白紙會阻礙紅外線穿透

事實上，我們曾經使用市售的電子套件來做為紅外線開關，可是只要稍用吹風機吹一下，馬上出現「亂叫」的情形，只能捨棄。

研發烘衣檢知器過程：

「第一代」烘衣檢知器：

設計想法：我們思考，一堆衣服要烘乾，一定有易乾和不易乾的，將我們研發的「烘衣檢知器」放入其中一件最難乾的衣服或褲子口袋裡。烘衣機裡的熱氣會由衣物外部傳至內部，當「烘衣檢知器」響了，表示紙張乾了，口袋乾了，難乾的衣服乾了，而最難乾的衣服都乾了，烘衣機裡其它的衣服也就乾了。

期望目標：放入衣物口袋，和衣物一起在烘衣機裡轉動。



圖33 將來客報知器的「發射器」與「接收器」拆開分別放入扭蛋盒中

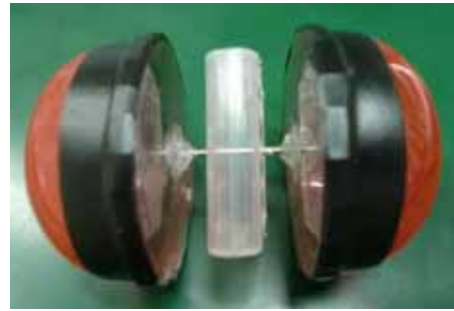


圖34 利用螺絲連接可旋式置紙盒與發射接收器，並用鋁薄膠帶包覆。



圖35 第一代烘衣檢知器。優點：體積小

實驗後發現問題：

1. 不夠堅固，軸易變形、斷裂。
2. 發射器與接收器位置不易對準。
3. 紅外線接收器不穩定，有時接收到，有時接收不到，影響實驗結果。

可旋式置紙盒：

放入濕紙張，紅外線可穿透至接收器，等紙張乾了，紅外線無法穿透，接收器接收不到。它就像是一個開關，開啓和關閉紅外線，因此我們又叫它「Paper Switch」。

「第二代」烘衣檢知器：

設計想法：我們一直被紅外線發射器與接收器的穩定度困擾著，相同距離時，有時 3 張白紙就能阻隔紅外線，有時又要 5 張,8 張....等，每次實驗都不同，一直找不出原因，我們想，是不是把它拆解裝入扭蛋盒，它不開心，所以亂亂叫，最後我們投降，使用另一組相同的來客報知器，但是我們決定不拆解它，結果令我們開心，它很穩定。但是問題又來了，體積變大，塞不進口袋裡，最後只好設計讓它固定於烘衣機裡，跟著滾筒轉(如圖 38)。

期望目標：放入烘衣機裡，固定於夾板，沿著滾筒轉動。



圖36 第二代可旋式置紙盒



圖37 第二代感應主體與透明外罩



圖38 固定於烘衣機夾板上

實驗後發現問題：

1. 透明外罩竟會影響接收器接收結果，可旋式置紙盒內放入三張乾的白紙，可阻礙紅外線穿透，接收器無法接收到紅外線，但是蓋上透明外罩後，接收器竟然接收到紅外線，真是太詭異了！
2. 烘衣檢知器固定於烘衣機，當機器叫了，無法代表衣服乾了。
3. 為解決上述問題 2，我們將衣服包覆在烘衣檢知器外面，固定於夾板上，結果發現衣服不易乾，所以紙張也就不易乾，等烘衣檢知器發出聲響時，已烘衣 1 個多小時，烘衣機裡的衣服早就乾透了！

「第三代」烘衣檢知器：

設計想法：利用黑吸管讓紅外線光束集中，避免光線有反射、折射現象，影響接收器接收結果，另外我們還是認為烘衣檢知器外面需包覆一件衣物，當烘衣檢知器叫了，才能代表衣服乾了，且必須和其它衣物一樣在烘衣機裡四處轉動。

期望目標：包覆衣服，放入烘衣機裡，跟著其它衣物一起轉動。



圖39 使用黑吸管使紅外線光束集中。



圖40 以烤肉網製成透氣外殼，熱氣才能進、出。



圖41 使用防撞海綿保護外殼

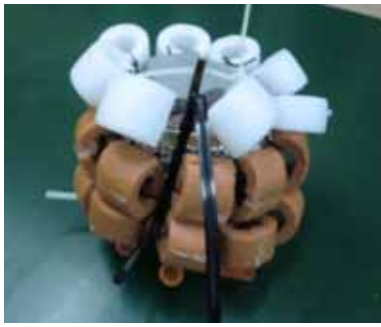


圖42 束線帶固定



圖43 包覆衣物



圖44 完成了，走~放入烘衣機裡

最後我們設計出的第三代烘衣檢知器由二個部份組成，一是「感應主體」(如圖 45)，二是「彈力保護外罩」(如圖 46)，二者結合起來就是「烘衣檢知器」暱稱「花媽頭」(如圖 47)。

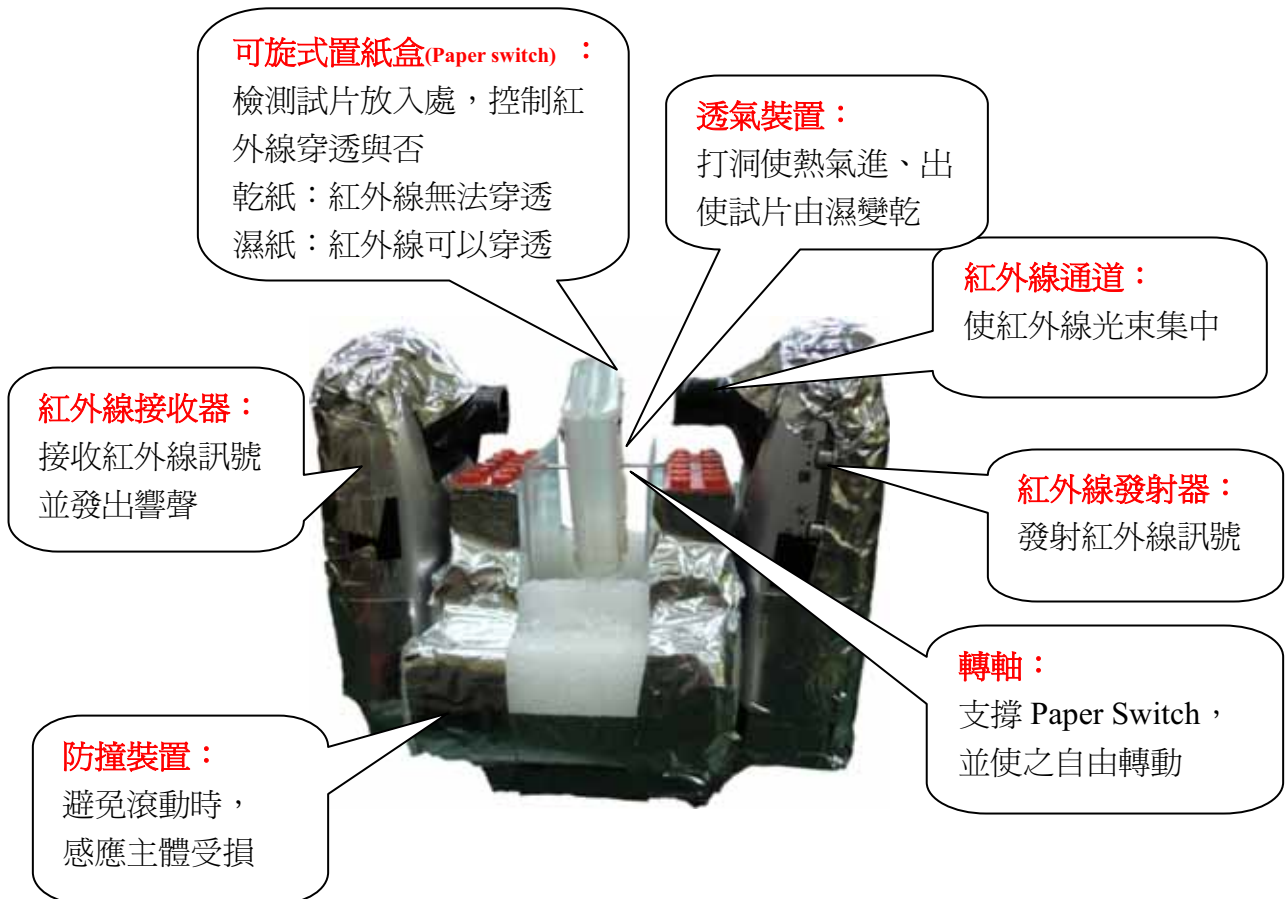


圖45 「感應主體」構造解說及設計特點

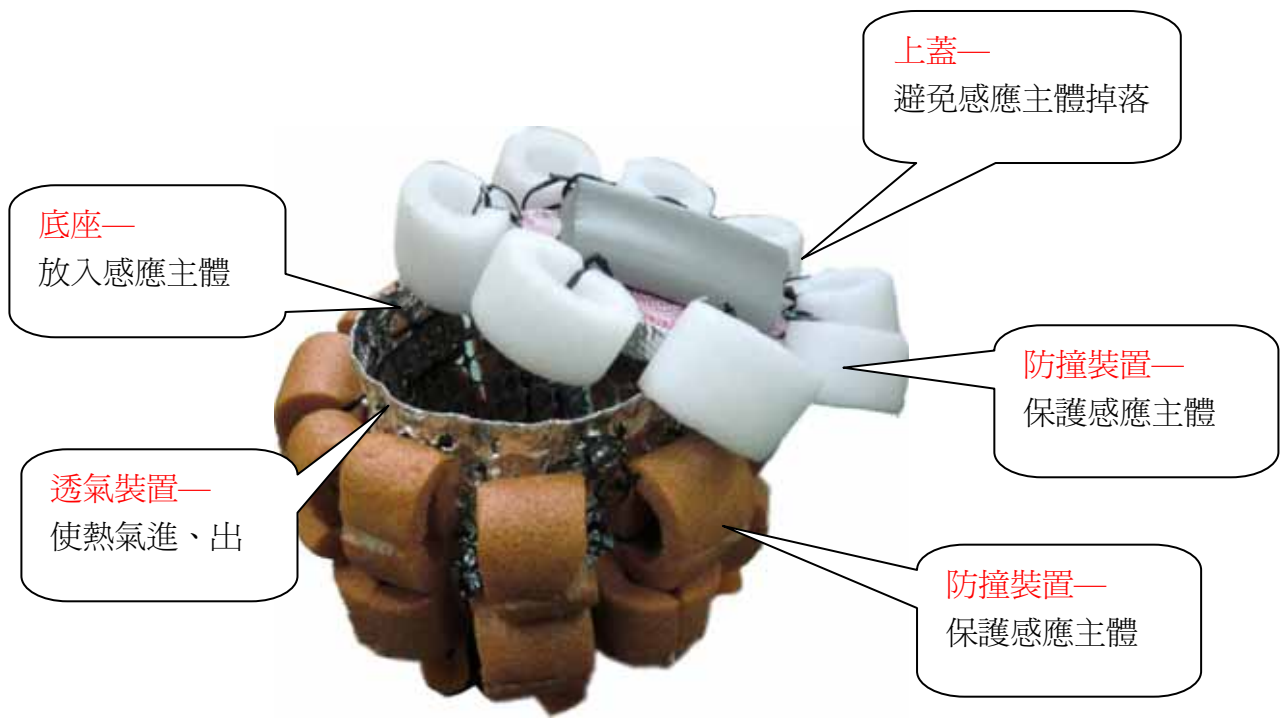


圖46 「彈力保護外罩」構造解說

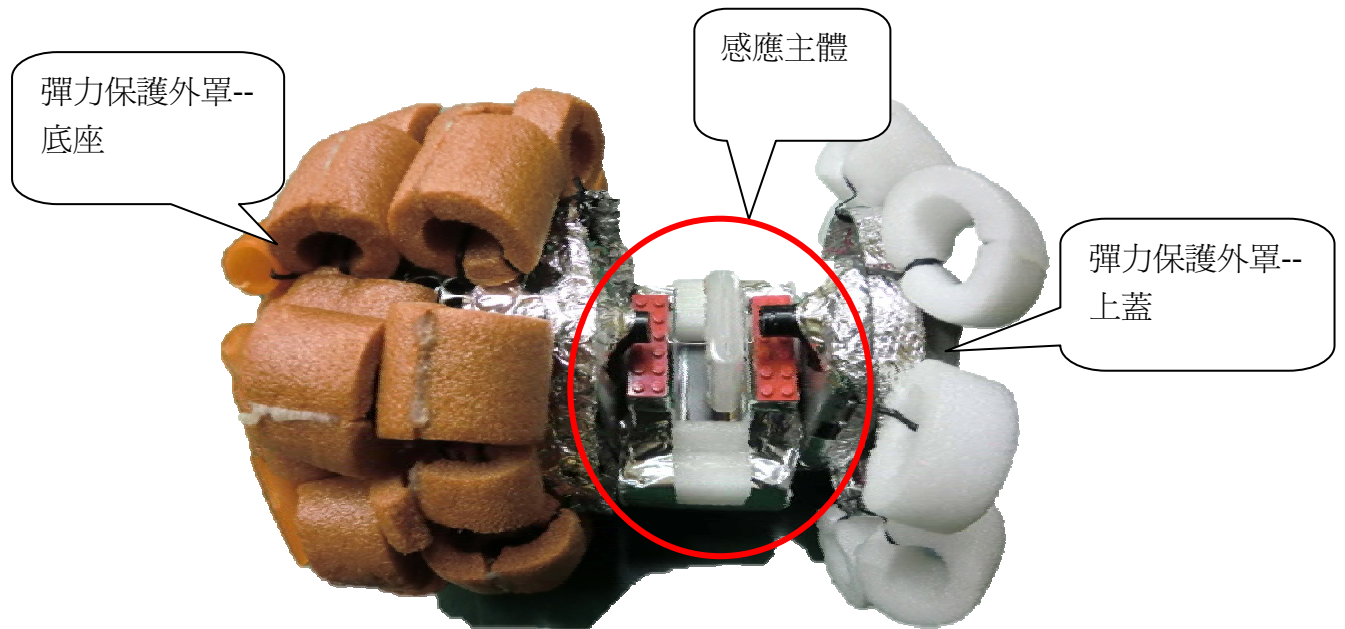


圖47 組合示意圖，帥氣吧～

實驗五 制定烘衣檢知器檢測試片標準配置

實驗結果：烘衣檢知器感應試片總重為 0.4g 可適用檢測本實驗中薄型、中型、厚型衣物。

我們的思考邏輯是：試片被放在烘衣檢知器裡面，外面有一件衣服包覆住，熱氣必須穿透衣服，才能到達試片，接著也把試片烘乾，這才造成檢知器發出聲響。因此如果試片很濕，熱氣要花很多時間才能把試片烘乾，反之，如果試片太乾，可能放進烘衣機才一下子就被烘乾，馬上就發出聲響了。由此可知，太乾、太濕都不好，最佳狀況是，熱氣剛剛由乾的衣服進到試片，烘衣檢知器就響了。

我們使用含水總重各為 0.3, 0.4, 0.5 克的試片，與薄型、中型、厚型衣物交叉試驗，發現 0.4 克試片發出聲響的時間與薄型、中型、厚型衣物乾的時間最吻合，因此選用 0.4 克做為標準試片。

如何讀懂以下的圖？紅色方塊點是衣服的乾重，也就是前面提到的「烘衣終點」。藍色方塊是烘衣之後衣服的重量，如果衣服乾了，紅色方塊會蓋住藍色方塊，而藍色方塊如果出現在紅色方塊上方，則表示衣服還沒乾。

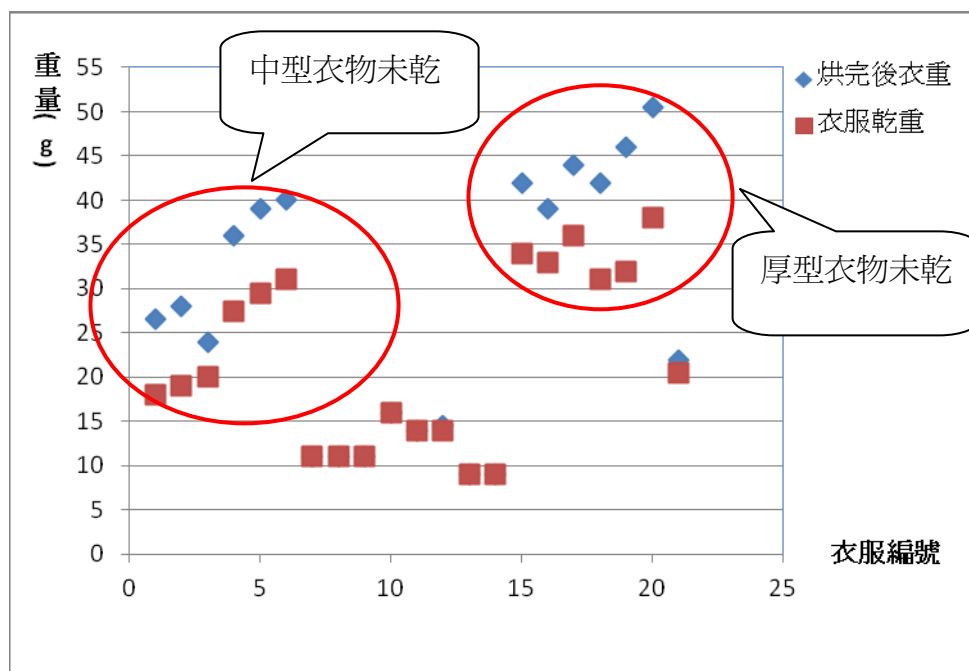


圖48 烘衣檢知器(檢測試片總重為 0.4g)+包覆薄型衣物

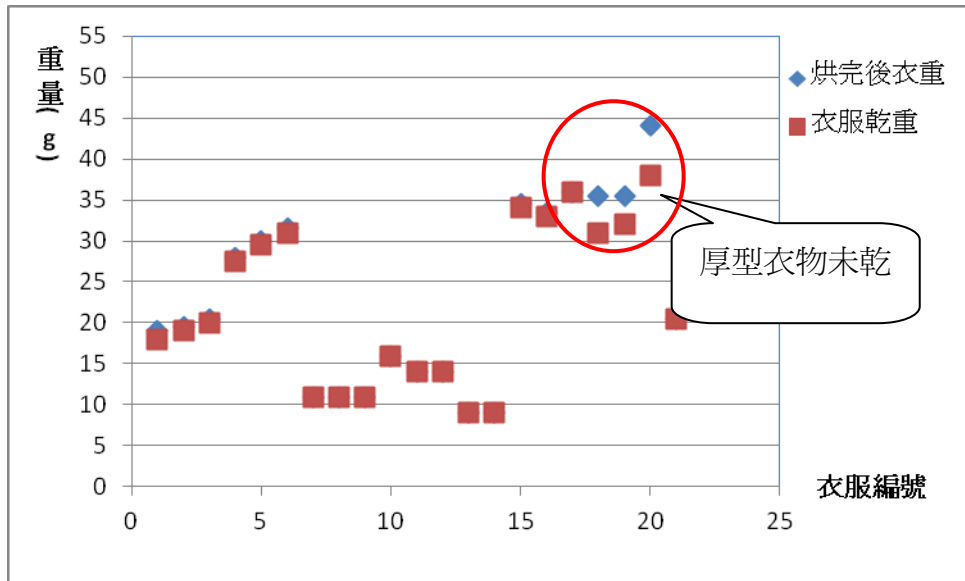


圖49 烘衣檢知器(檢測試片總重為 0.4g)+包覆中型衣物

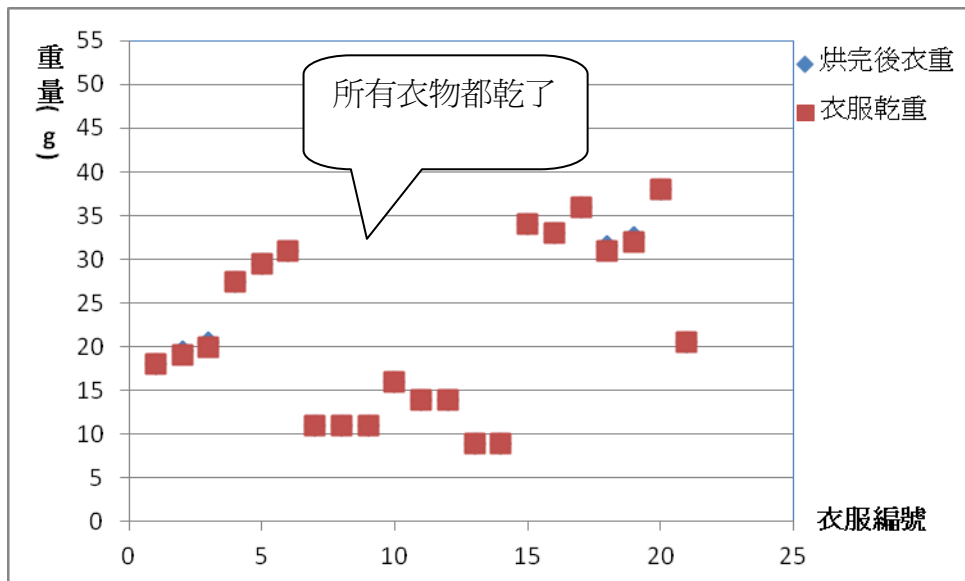


圖50 烘衣檢知器(檢測試片總重為 0.4g)+包覆厚型衣物

由圖 48 看出，烘衣檢知器響時，包覆薄衣物的情況下，只能使薄衣物烘乾；由圖 49 看出，包覆中型衣物時，能把中及薄衣物烘乾；由圖 50 看出，包覆厚衣物時，使薄、中、厚衣物烘乾。因此我們認為 3 張紙、總重量 0.4 克的試片是最恰當的試片。

因此，實際使用時，要找同批衣物中最厚的一件來包覆，只要厚衣服乾了，其他中、薄衣服也就乾了。

我們歸納整理烘衣檢知器的標準操作步驟如下圖：

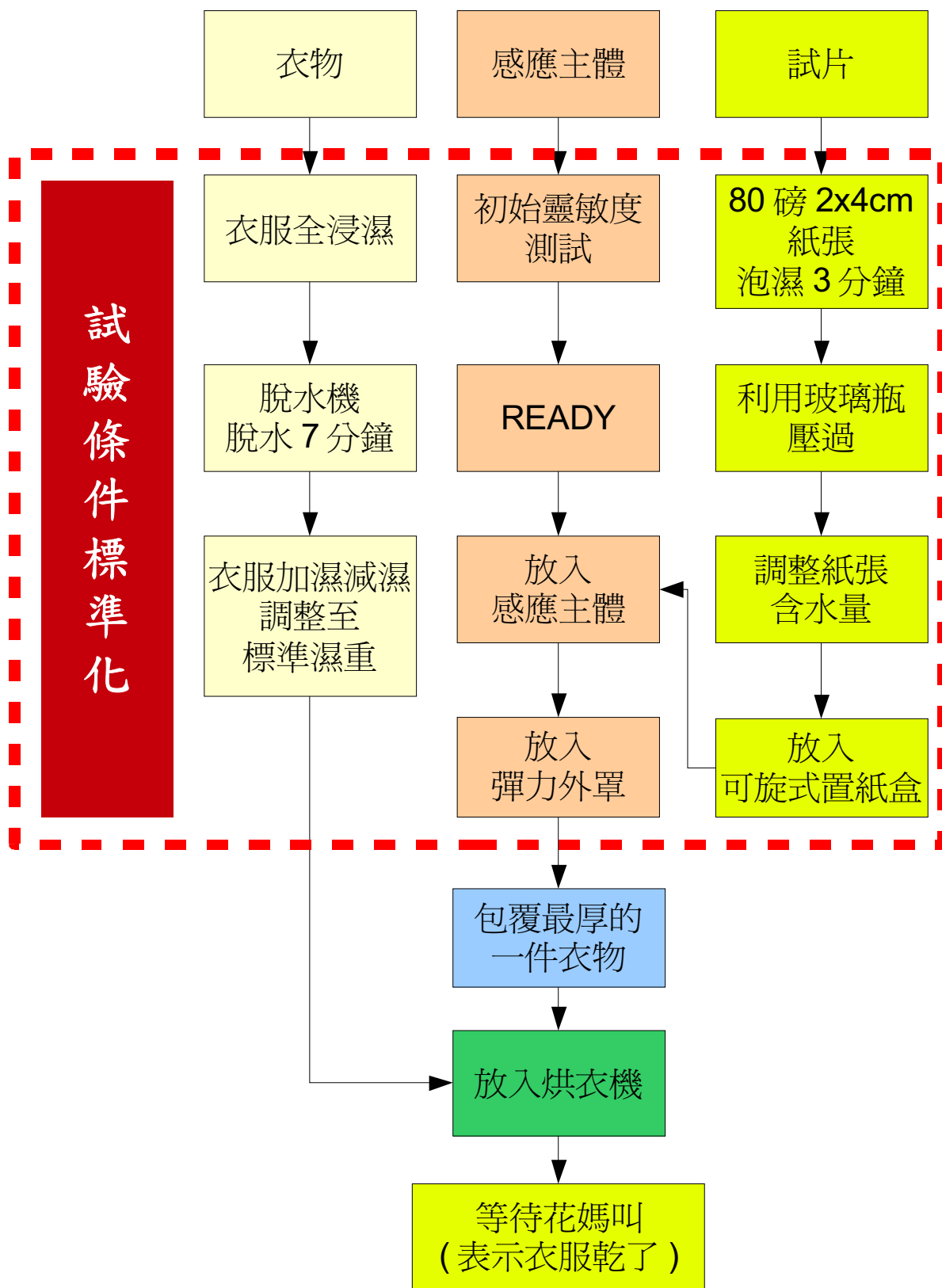


圖51 烘衣檢知器的標準準備步驟

實驗六 驗證烘衣檢知器穩定性

取 21 件標準待烘衣物進行烘衣

烘衣檢知器(檢測試片總重為 0.4g)+包覆厚型衣物

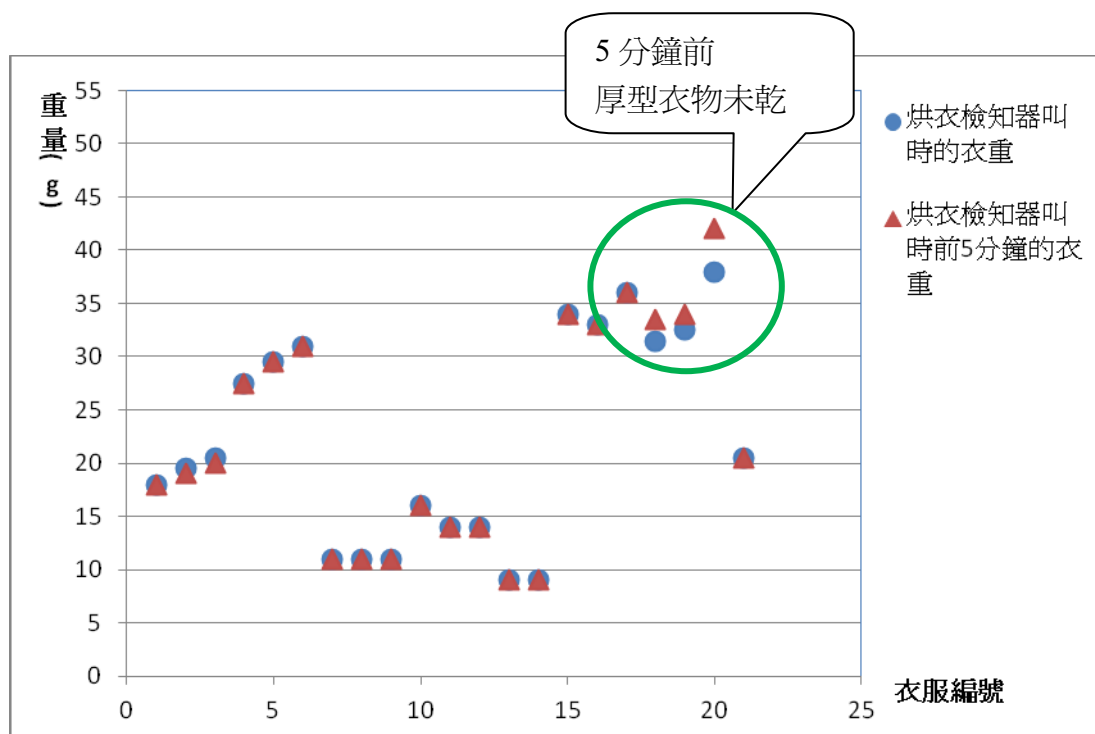


圖52 標準待烘衣物進行穩定性驗證，結果作圖

實驗七 取 5 件日常生活中衣物進行烘衣

使用平常的衣物，以烘衣檢知器進行驗證(檢測試片總重為 0.4g)+包覆最厚的一件衣物。結果如下：

衣物編號	乾重(g)	烘後重(g)	相差克數
A	135.5	138.5	3
B	187.5	190	2.5
C	304.5	316.5	12
D	469.5	480.5	11
E	491.5	500.5	9

作圖如下：

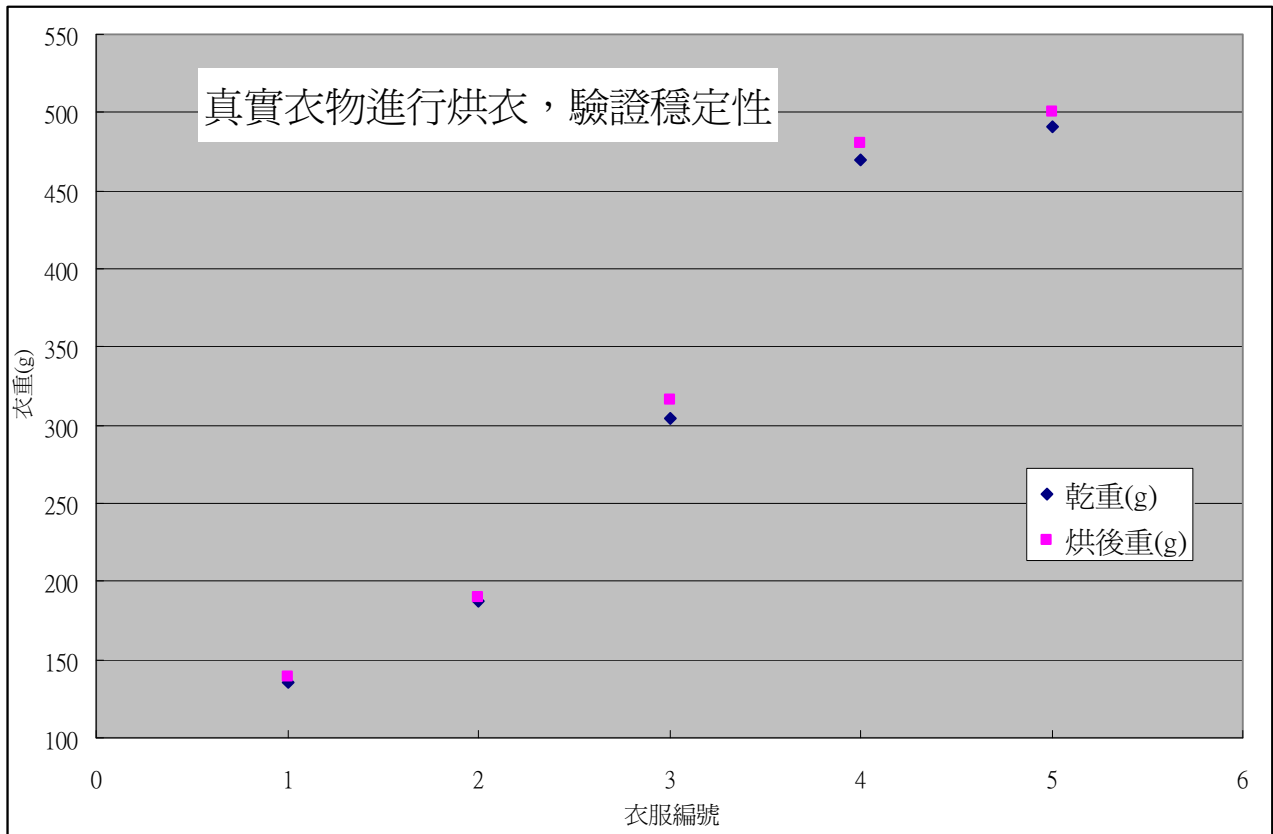


圖53 真實衣物進行穩定性驗證

本實驗在第 37 分 05 秒時，烘衣檢知器響了。經秤重與原重核對，衣物已經幾近到達烘衣終點。檢視未乾的部份在於有拉鍊的地方，該處有較多層布料縫合，屬不易乾的區域。

基本上，我們對檢知器的表現非常滿意。如果要使它達到更佳狀態，可使用更厚衣物去包覆它，模擬多層布料縫合的情形，而非改變試片的含水量。

另外，我們也覺得烘衣空間稍嫌狹小，某些衣物被擠在一起，沒有舒展開來，這可能也是造成某些衣物未完全到達烘衣終點的原因。

陸、 討論

- 一、 紙張乾與濕之間，透光度確實有變化，我們利用它配合來客報知器判斷衣服乾了沒。
- 二、 影響來客報知器(遮斷式紅外線警報器)發出聲響的因素有：電池電力、阻礙物性質、紅外線光束是否集中…等因素，因此每次實驗時，都需進行感應主體靈敏度測試，避免實驗誤差。
- 三、 自製烘衣檢知器的最大困難是紅外線看不到。它雖然看不見，但它和一般光線一樣具有反射、折射…等性質，在我們實驗尚未以黑吸管製作紅外線通道前，接收器一下接收得到，一下接收不到，搞得人仰馬翻、頭昏腦脹。
- 四、 由實驗五及實驗六兩個結果看來，它的最大意義在於我們發明出來的烘衣檢知器，不是利用時間的長短控制烘衣結束與否。因為感應主體裡同樣都是放置 3 張 Double A 80 磅 2 × 4 cm，沾濕總重量 0.4 克的試片，但是當它被包覆在不同厚度的衣物裡時，自然與衣物厚度連動，亦即包覆厚衣物時，要烘久一點才會響，包覆薄衣物時，烘的時間就會變短。這是因為熱氣必須穿過衣物，再進到感應主體把試片烘乾，檢知器發出聲響的快慢取決於衣服厚度、乾濕程度、熱氣大小、對流情形…這些變因隨著每一次的洗衣、脫水…情況都有不同，很難控制。我們的烘衣檢知器設計原理不同，才能真正解決「不知道衣服什麼時候乾」的問題。
- 五、 家庭主婦在使用烘衣檢知器時，只要把烘衣檢知器包覆在，同一批洗衣、脫水的衣物中，最不易乾的衣物裡，當它響了，就表示最不易乾的衣物已經乾了，當然其他薄型、中型衣物也乾了。但仍有一個小問題，家庭主婦如何做出總重 0.4 克的標準試片呢？再準備一台微量天平嗎？好像不是很方便。我們覺得也許可以模仿酒精棉片的做法，先製作標準試片，再用夾鏈袋封好。
- 六、 在做穩定性測試時，我們曾經發現烘衣檢知器乾了，可是衣服還沒乾的情形，究其原因，可能是衣服不知怎麼地，滾著滾著，糾結在一起，或是烘衣機裡衣服太多，衣服在裡面「攪動」的不是很好。只要把衣服減少，使衣服在烘衣機裡能盡量地舒展開來，就能符合預期結果。
- 七、 我們在研發烘衣檢知器時，一定要做一個可以轉動的 Paper Switch，這大大增加了製作難度，這是因為使用現成的紅外線來客報知器來改裝，它一定要有持續的 on/off 才能一直發出聲響。老師說我們長大後如果能學會設計電路，把它設計成只要感應到透光度的差異就能連續發出聲音，應該會簡單很多。
- 八、 很多人看到我們的烘衣檢知器都覺得很實用，但唯一有一個疑問「會不會太大了一點」？唉，我們也覺得苦惱，爲了讓它能在烘衣機裡滾動時不致於摔壞、撞壞，才會包成那麼大一坨。一切都寄望於未來吧。
- 九、 對於烘衣檢知器的靈敏度，一般皆認爲烘厚衣物，就要改用多張紙，或是更多水，使試片不易乾，可以更接近厚衣物的烘乾時間。我們原來也是這樣想，然而實際試驗的結果，如果改用「5 張紙 0.6 克」的組合(標準試片是 3 張紙 0.4 克)，反而出現過早響的情形，本來一直想不懂，後來與老師討論、推敲，才恍然大悟，當使用 5 張紙 0.6 克的試片，只要水分被烘乾一點點，光線還要穿透 5 張紙，可能很容易造成接收端收到模糊的 on/off 信號，使檢知器處於模稜兩可的處境，容易誤判。不過這可能需要再進一步的驗證了。

- 十、 根據上述第九點說明，如果烘衣之後發現包覆衣物的大部份乾了，但拉鍊、縫線…等較厚部份稍有不乾，調整方式不是去改變增加試片紙張或弄濕一點，而是改包覆更厚衣物，或是改包覆二層衣物，藉以使烘衣檢知器在更厚的衣物乾了的時候才響。必須謹記，感應主體裡的配置已經標準化，不應再更動，以免適得其反，反而責怪檢知器不準。
- 十一、 目前的烘衣檢知器使用時，不免要在坐在烘衣機旁邊仔細聽它發出的聲音，稍有那麼一點點不夠完美。其實我們曾經利用紅外線開關電子模組，以它控制無線門鈴，衣服乾的時候，使無線門鈴通電，這樣在後陽台烘衣服，我們可以坐在客廳看電視，等門鈴響時再去收衣服，可以有更遠的遙控距離。無奈該電子模組非常不耐熱，溫度稍高就亂叫，只好捨棄。
- 十二、 一般狀況下，我們都希望一次能烘最多衣物，但說明書都有提到最大烘衣量，廠商這樣寫是有理由的，當衣物很多，衣服就會被擠在一起，不易展開，會妨礙烘乾。尤其我們這次研發的檢知器已經頗大，常常會發生擁擠的情形，只要衣服少一點，大多能符合預期。我們建議不要超過八分滿，這只是個概略說法，實際情形也是有待更精確的實驗才能知道了。

柒、 結論

- 一、 烘衣服時，要到達衣服的原始重量，才算烘乾。
- 二、 乾、濕紙張的透光度確有不同，在張數大約是五張的時候差異最大，但在十張左右或大於十張，反而透光度相差沒有很大。
- 三、 我們利用光線在乾、濕紙張之間透光度不同的原理，搭配紅外線來客報知器，研發出「烘衣檢知器」，把它放在烘衣機裡跟衣服一起烘，當衣服乾的時候就會發出聲響。這可使主婦不必一直去檢查衣服是不是已經乾了，或是衣服早就乾了，卻還一直烘。
- 四、 我們研發出來的烘衣檢知器，除了可以排除衣服乾濕程度不同、厚度不同、烘衣熱氣大小不同…等因素，又可以在衣服乾了之後發出聲響，誤差範圍在五分鐘之內。希望烘衣機廠商能在未來的機器裡加入這項功能，讓烘衣機更聰明。

捌、 參考資料及其他

1. 東元乾衣機 QD5568NA 使用說明書 (2010)。臺北市南港區：東元家電事業部。
2. 林家瑋、彭吉廷、紀雅正、俞嘉瑋(2003)。全方位居家安全系統。臺北市：第 43 屆全國中小學科展電子電機及資訊科。
3. 折射率。2011 年 9 月 28 日取自維基百科
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%8A%98%E5%B0%84%E7%8E%87>。
4. 紅外線聲光來客報知器。Pchome 電子商城。2011 年 10 月 8 日取自
<http://shopping.pchome.com.tw/DEAC0Q-A54440487>
5. 光線可以穿透油。黃福坤(2006)。2011 年 11 月 18 日取自
<http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/phpBB/viewtopic.php?topic=12823>。

【評語】 080117

1. 題材生活化，思考周詳，實驗變因掌控合宜，傳達生動，表達清楚，可進一步改良成品的體積會更佳。
2. 小組能進行自訂測試標準的設定，則是頗佳的設計。