

2023仰望盃全國科學 HomeRun 實作大賽

複賽構想說明書

隊伍名稱： 小虎隊

作品名稱： 毛細現象-會爬的導電通路：布料之吸排水檢測應用

隊 員： 楊開澤、陳惟光、謝承博

指導老師： 傅筠琳、簡利玲

科學概念1： 毛細現象(Capillary action)可以常在生活中發現，例如衛生紙、毛線、布料等可以吸附水，因為水分子對於材料的附著力大於水分子間的內聚力，使水能克服地心引力而在微小的縫隙空間內產生吸附上升的現象。善用此發現，其他液體也可應用，例如蠟燭的燭芯(蠟油)、酒精燈的燈蕊(酒精)、毛筆(墨水)等，也創造了人類的方便與進步。

科學概念2： 導電性(Electric conductivity)常在生活中發現，例如金屬、水溶液甚至人體都有導電性。物質傳導電流的能力越好，導電性越好，通常金屬都有很好的導電性。善用此發現，將金屬做成電線、插頭等作為通電的材料。水中若有電解質，例如鹽水也會導電。導電的發現，是創造現代科技最重要的基礎。

註：複賽作品說明書內文總頁數最多10頁(不含本封面)

複賽構想說明書內文

(最多10頁)

1. 發想動機：

(1) 生活上的疑問

小虎隊員都喜歡運動，穿上棉質運動衣或機能排汗衫時，兩種材質的觸感不同，而且最主要的是吸濕排汗功能使得運動更加輕鬆。我們學過**毛細現象**，知道無論是棉質布料或機能布料都能吸附水分(如圖1)。然而，**我們很好奇一個問題：因為材質、編織方法的不同，這些布料在吸排水的特性到底差異如何?真的如廣告所說，吸濕排汗衫比一般衣服更好、吸濕排水更快?**

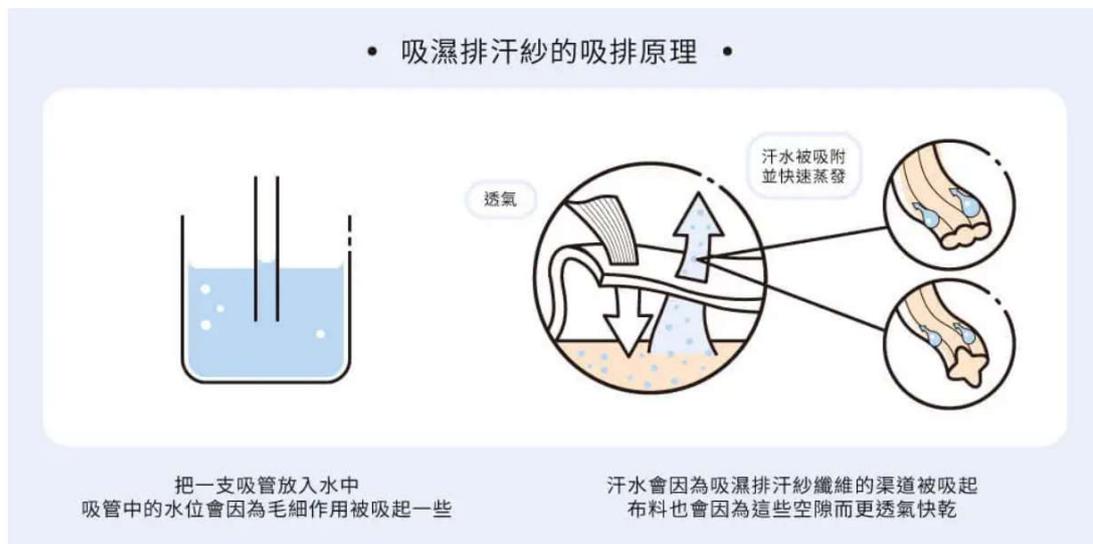


圖1、毛細現象與吸濕排汗布料原理[1]

(圖片參考商晉實業股份有限公司網站 <https://www.eysan.com.tw/zh-hant/what-is-wicking-fabric-how-does-it-work/>)

(2) 問題解決構想

為了真正釐清我們所提的疑問，小虎隊員想**自行設計一套設備(布料吸排水測試設備)**，利用「**導電性**」來檢測布料樣品「**毛細現象**」，以瞭解吸排水特性，藉著實作的設備及輔助工具，觀察是否有特別的發現，並以自動化方式記錄測試布料的數據，來解釋毛細現象/導電性的實驗問題，並實際應用在機能布料之吸排水現象的科學研究，使這個研究成果具有實用性及創意性。上述問題解決構想流程，以「**心智圖**」方式表示，如圖2。



圖2、心智圖：毛細現象/導電通路應用在機能布料之吸濕排水

2. 硬體、程式及電路架構圖：

(1) 硬體之實作(布料吸排水測試設備)

「布料吸排水測試設備」分為A、B、C共3個部分組合而成(如圖3a-3c，總體設備如圖3d)，因研究需求而與初賽構想之版本略有差異，調整說明如下：

- A. 控制與量測設備：由①Arduino UNO板、②LCD顯示螢幕、③步進馬達、④蜂鳴器、⑤按鍵(啟動/重設)、⑥麵包版、⑦訊號電源線，將其裝在測試平台(箱體/機台)組合而成，如圖3a。此設備是讓布料樣品檢測的過程(吸排水測試)有一致性的動作，取代手動作業，解決人眼視覺觀察的限制(後文會說明)，比傳統方法取得的數據更客觀。
- B. 可動機構：採用Lego technic系列零件，使用①螺旋齒輪、②圓齒輪、③平滑橫桿、④連接器、⑤套筒、⑥十字軸等構成，如圖3b，與步進馬達連接，將馬達之「轉軸運動方向」轉換成「垂直運動方向」，使布料樣品掛上去後可往下(開始檢測)、往上(位置復歸)執行動作。
- C. 毛細/導電檢測模組：自行設計檢測模組，使用①絕緣壓克力板(刻溝槽)、②不銹鋼導線(佈置在溝槽，分3區段，各4公分)、③熱縮套、④杜邦線等構成，如圖3c，再利用一片壓克力板與之結合，將布料夾在中間(如三明治結構)，使其模組(夾住布料)與水接觸後，可感測**3區段之毛細現象濕潤之導電通路**，即可測量各區段從「不導電」到「導電」所需的時間，**評估布料的吸水速度**。
- D. 硬體加工說明：所需板材是使用雷射切割成型，部分零件用3D列印。

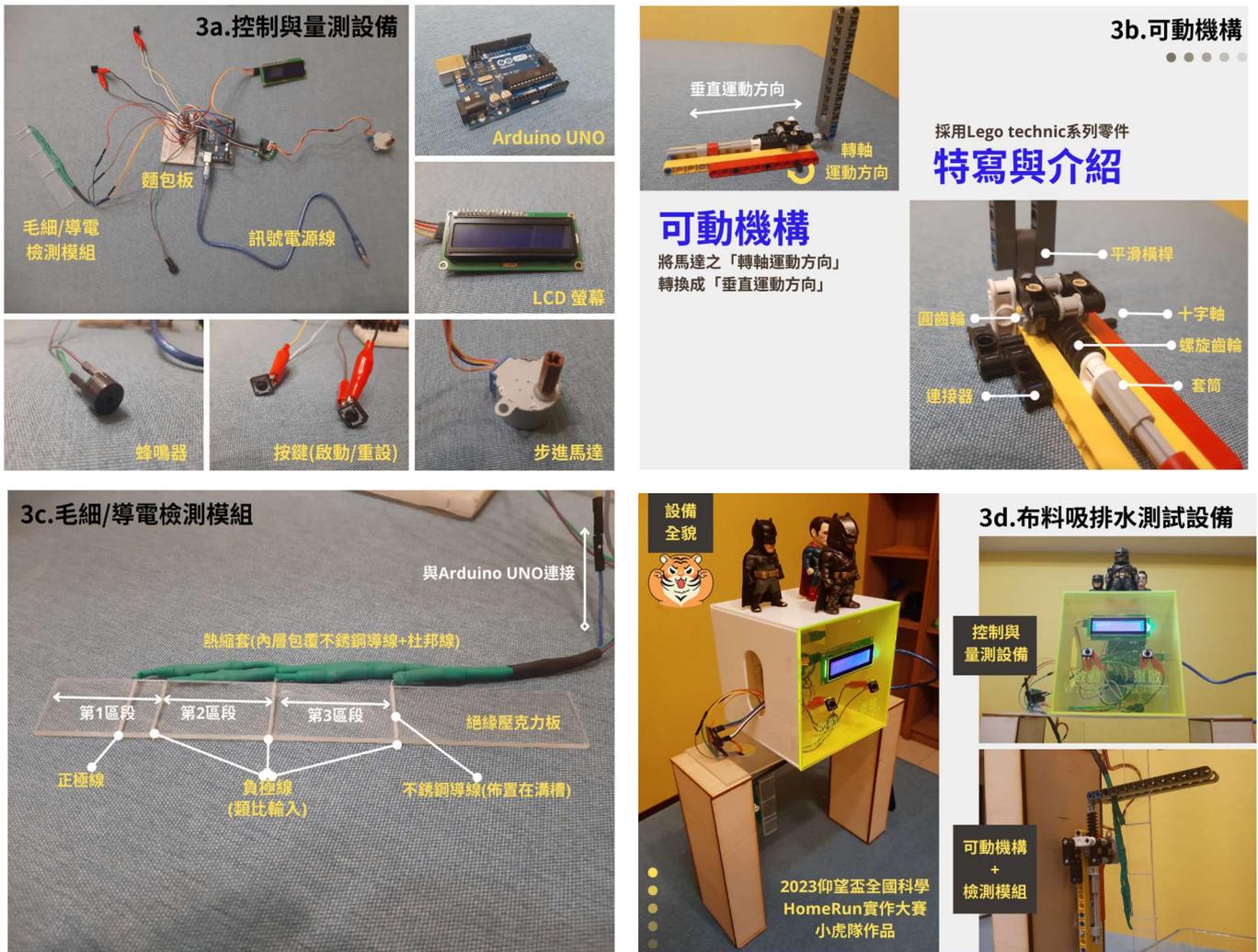


圖3、布料吸排水測試設備之實作圖

(2) 程式撰寫

小虎隊這次是使用 ArduBlock 軟體來撰寫 Arduino UNO 開發板(大會提供)之程式，用圖形化介面比較容易撰寫程式，但會受限程式的總長度。ArduBlock 的圖形化程式完成後，就會自動轉換成 Arduino 的程式語言。小虎隊編撰之程式如圖4(礙於報告有限版面，因此部分截圖)。



圖4、使用 ArduBlock 軟體撰寫之程式(部分截圖)

(3) 電路架構圖

「布料吸排水測試設備」須使用 Arduino UNO 開發版上之 A 腳位(類比輸入)及 D 腳位(數位及類比輸出/數位輸入)，以及 5V 及 GND 腳位。此設備分為「控制與量測設備(A 部分)」及「毛細/導電檢測模組(C 部分)」，其電路架構圖如圖 5。另外，「可動機構(B 部分)」純粹為機械結構，無須腳位。

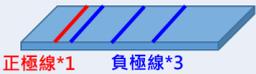
控制與量測設備	A腳位	D腳位	5V (正極)	GND (負極)	組件示意圖	備註
LCD 螢幕	4,5	無	V	V		A腳位： 類比輸入 (analog in)
按鈕	無	2,4	V	V		D腳位： 數位及類比輸出/數位輸入 (Digital PWM)
蜂鳴器	無	3	無			
毛細/導電檢測模組	A腳位	D腳位	5V (正極)	GND (負極)	組件示意圖	
步進馬達	無	8,9, 12,13	V	X		
毛細/導電檢測模組	0,1,3	X	V	無	 正極線*1 負極線*3	

圖 5、「布料吸排水測試設備」之電路架構圖

3. 作品使用說明及應用(可透過圖表或照片說明之)

(1) 作品使用之操作說明

「布料吸排水測試設備」之使用功能及操作說明如下。①將待檢測布料用毛細/導電模組夾住，並確認布料完整無皺褶；②開始檢測(按啟動按鈕)，此時可動機構往下定位，使布料樣品碰觸下方容器內之水源；③程式開始分區段(共3區段)計時，並自動記錄數據在電腦上；④第3區段導通後，程式結束，可動機構復歸位置。此外，布料檢測過程中，LCD 螢幕會顯示三區段共累計的時間，各階段有蜂鳴器的提示聲音。按重設按鍵則是測試到一半，可以強制停止並使可動機構復歸位置。上述作品使用過程，如圖 6 所示。

(2) 作品應用：乾的布料原本是絕緣而不導電。接觸水溶液後，隨著時間增加，這個**吸附水分的導電通道**藉著毛細現象是會往上爬行的，越爬越高，直到**水分潤濕電極後產生導電訊號**，傳送 Arduino 裝置，就可以記錄所需時間。小虎隊將取得 5 種布料進行測試，取得每一筆實驗數據，實際瞭解市售產品的吸濕排水特性。前述作品應用，示意如圖 7 所示。

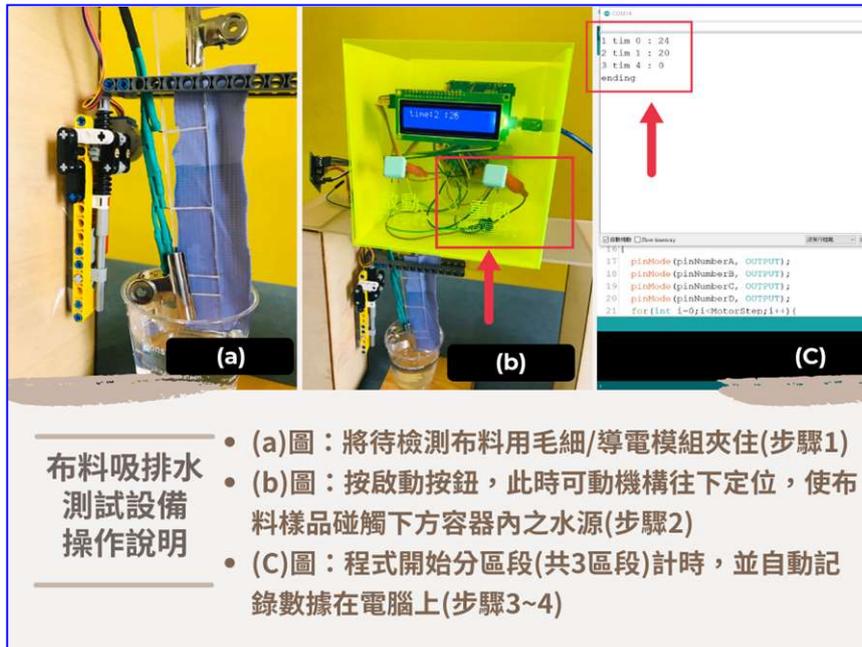


圖6、作品使用之操作說明

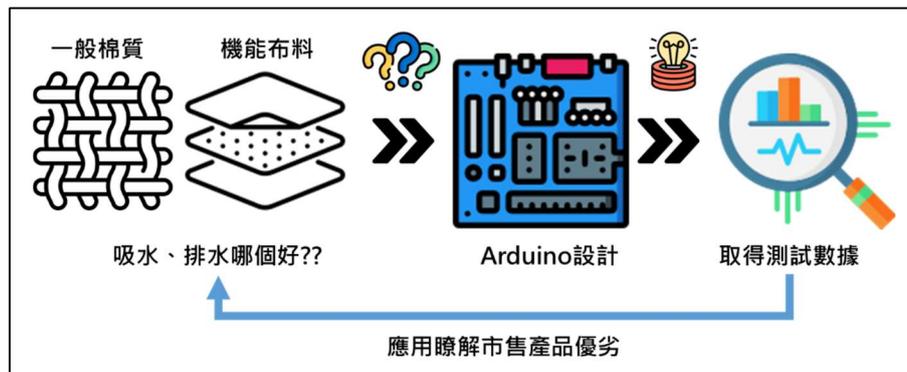


圖7、作品應用-機能布料的檢測

4. 作品創意性：最多300字

毛細現象是普遍知道的原理，常常看到科普的影片用毛細管示範，也常常看到用兩片玻璃板示範不同間距的毛細現象。小虎隊選擇毛細現象作為科學實作題目，好像有些冒險，經過大家討論後，決定加入「導電」的概念，再構想應用的地方，**讓毛細現象一點也不普通**。我們小虎隊作品「毛細現象-會爬的導電通路：布料之吸排水檢測應用」創意是**利用「毛細現象(會爬的導電通路)」**，來研究布料的「**毛細現象(吸排水特性)**」。(如圖8)

- (1) 創意點子1：利用2個科學概念「毛細現象」及「導電」的結合，視為「**會爬的導電通路**」，應用在電流的導通。
- (2) 創意點子2：利用布料上下兩端的電極之**通電、絕緣**現象，分別測試布料之**吸水、排水**之特性。

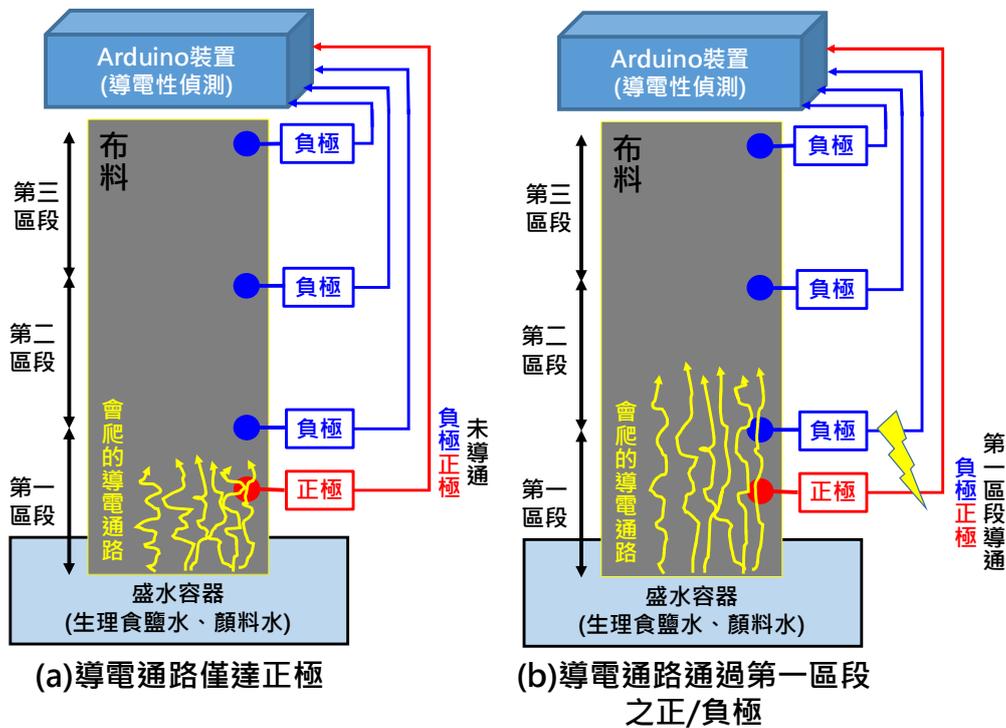


圖8、小虎隊創意：(a)(b)分別為未導通及導通之情形

5. 作品成果報告

小虎隊參賽入選複賽後，便積極寫信向機能布料供應商尋求樣品支援，大約寄出5家廠商的尋求信件，最後僅1家公司回覆信件，過程如第6節之致謝及附件1所示。提供小虎隊布料之公司為「明基材料股份有限公司(Benq)」之「機能織材事業處」。該公司除了電子產品外，有研發「環保防水透氣織物」，小虎隊向公司說明後本參賽作品之概念後，公司提供5種布料，如附件1所示。小虎隊結合「毛細現象」及「導電性」2種科學概念，將利用自行開發組裝之「布料吸排水測試設備」進行布料之吸濕排水特性，作品之成果說明如下。

(1) 5種布料之觀察結果

此5種布料編號為1~5號布，按公司提供之資訊，1號布具有吸濕排汗功能；2號布則是抗菌除臭功能；3~5號布為聚酯材質之布料。小虎隊使用可裝在手機的顯微鏡組拍攝布料(低倍率、高倍率)，發現5種布料的編織方法皆有差異，彙整如表1所示。我們猜想各種布料都有其目的性，因此採用的編織方式就是為了達到它的預定功效。以下就觀察到特別的地方進一步說明

(a) 例如1號布，標示吸濕排汗功能，綜合檢測結果來看，其吸濕排水特性確為第一名。透過顯微鏡觀察水分的毛細現象(有錄影存檔)，我們發現很有趣的地方，就是在「窄小線性區」(圖9黃虛線區)發現水分藉著毛細現象「優先且快速地」吸附，而後「方形區」(圖9紅框區)才吸附水分。透

過這樣的設計，窄小線性區加速將水分吸附，並分配給方形區，似乎對吸濕排水特性有直接的影響，如圖9所示。

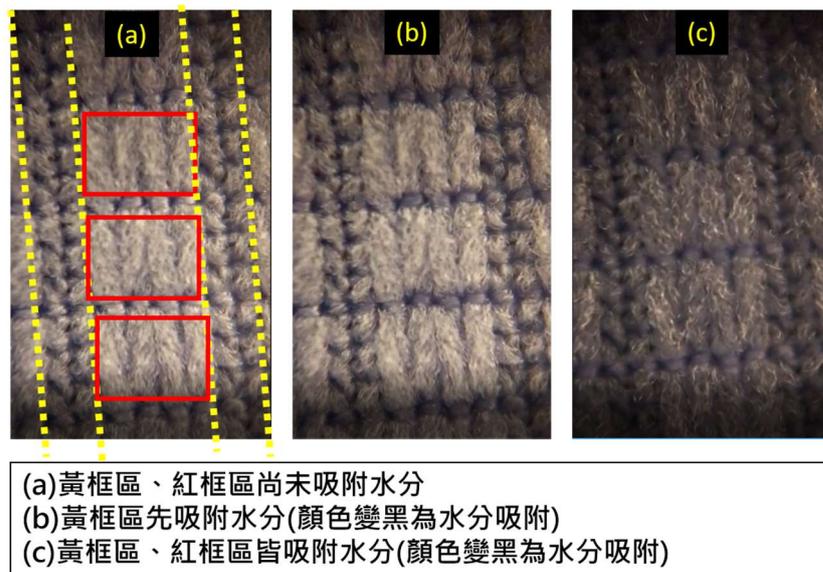


圖9、1號布之分區及先後吸附水分之情形(錄影截圖)

- (b) 例如3號布被註解為具有親水性，因此小虎隊拿到布料時，就直覺3號布的吸濕排水特性應該會有好的表現。然而，從表1的檢測結果來看，其實3號布表現雖不錯，但仍列於標榜吸濕排汗功能的1號布，但確實比2號布、5號布優異許多。
- (c) 例如3號~5號布，一樣都是聚酯材質布料，但小虎隊透過檢測發現，其吸濕排水特性差異極大(以常溫食鹽水為例，第一區段時間分別為1分57秒、23秒及大於10分鐘)，這可能是編織方法的差異造成(從低倍率圖片可觀察到)，或者聚酯材料可能也有很多種造成的差異。

(2) 5種布料之吸濕排水特性檢測結果(表1)

小虎隊將實驗用的水溶液選3種，分別為**常溫鹽水、顏料水及高溫鹽水**(微波加熱30秒，約45°C)，分別使用設備進行檢測，並**分三個區段紀錄**，結果彙整如表1。大致上來說，

- (a) 1號布：吸濕排水特性表現最佳，符合預期。**發現使用顏料水會大幅減緩吸濕排水特性**(例如第一區段由10秒→31秒)；也發現高溫鹽水(約45°C)更甚減緩其吸濕排水特性(例如第三區段由4分5秒→19分20秒)。
- (b) 2號布及5號布：吸濕排水特性最差，使用常溫食鹽水的第一區段就需要很長的時間(分別需6分多鐘及超過10分鐘)，無法與其他布料相提並論。
- (c) 3號布：吸濕排水性介於5種布料的中間。有趣的是，**常溫/高溫鹽水對它的吸濕排汗影響很小**(相較於1號布受到溫度影響很大)。

(d) 4號布：吸濕排水特性排名第2。有趣的是，它在顏料水及高溫鹽水的測試結果，竟然逆轉1號布，成為第1名。

(3) 綜合說明

從檢測結果(表1)來看，小虎隊使用「布料吸排水測試設備」具有相當的可行性，透過簡單的 Arduino 設計，就可以達到檢測功能，並說明幾個有趣的發現及貢獻，如下說明

(a) 以自動檢測(毛細現象/導電性)提升客觀性

Youtube 網站[2]常看到布料的吸濕排水特性實驗(如圖10a)，常常採用目視、計時器，容易有人為(人眼)誤差，不易取得客觀數據。

(b) 瞭解水溶液(常/高溫食鹽水、顏料水)特性對吸濕排水特性的影響

Youtube 網站[3]常看到布料的吸濕排水特性實驗(如圖10b)，採用顏料進行檢測。從我們提供的實驗結果來看，顏料分子會影響數據(因為顏料分子改變了水的特性)，我們建議採用生理食鹽水(與汗水相近)較客觀。

(c) 明確量測導電性確認毛細現象及吸濕排水特性

Youtube 網站[4]常看到布料的吸濕排水特性實驗(如圖10c)，縱使使用顏料水，肉眼不易明確看到水分吸附的確實高度(如漸層處其實已有水分吸附)，而本設備解決此問題，而且可細分成3個區段的所需時間。

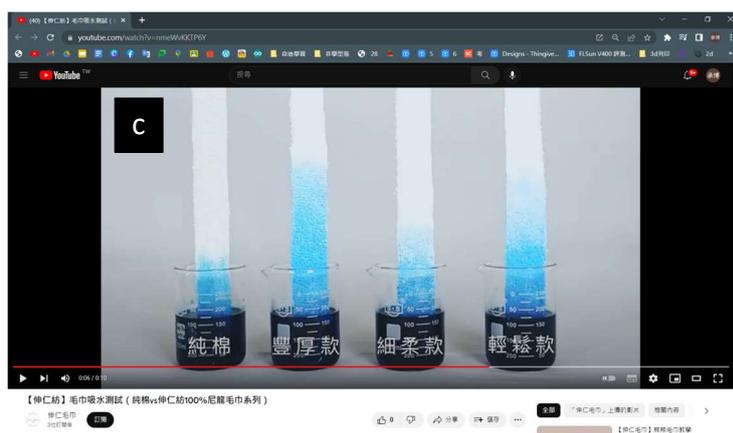
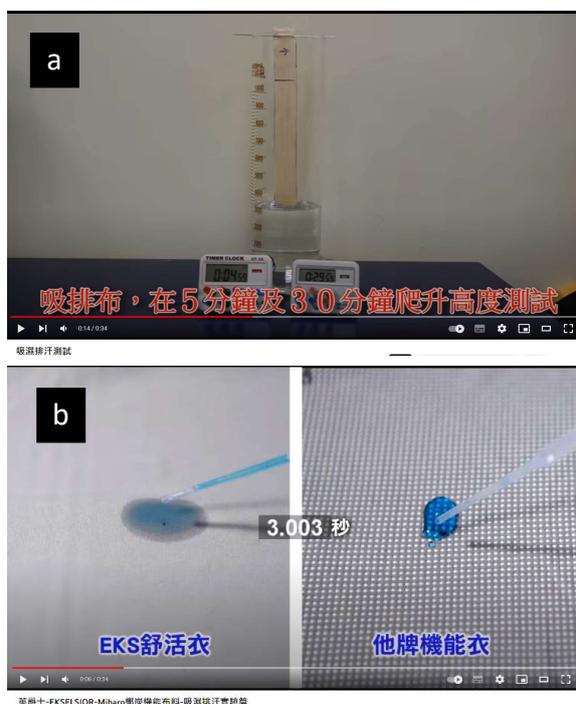
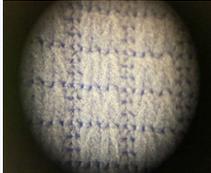
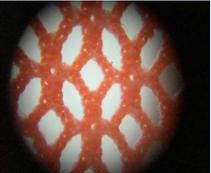
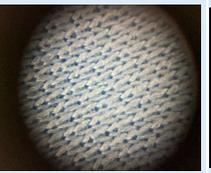
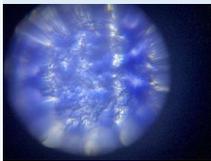
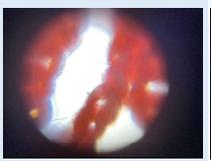
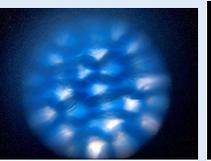


圖10、Youtube 網站之布料的吸濕排水特性實驗截圖

表1、5種機能布料之觀察與吸濕排水排水特性結果

布料編號 / 觀察及檢測	1號布 (吸濕排汗) 紫色	2號布 (抗菌除臭) 淺紫	3號布 (聚酯/親水) 紅色	4號布 (聚酯) 淺藍	5號布 (聚酯) 深藍
一般照片					
低倍率*					
高倍率*					
第一區段 (常溫鹽水)	10秒	6分15秒	1分57秒	23秒	大於 10分鐘
第二區段 (常溫鹽水)	1分30秒	大於 20分鐘	7分	2分	X
第三區段 (常溫鹽水)	4分5秒	X	13分	5分30秒	X
第一區段 (顏料水)	31秒	2分21秒	3分30秒	21秒	8分30秒
第二區段 (顏料水)	3分24秒	大於 20分鐘	大於 20分鐘	1分31秒	大於 20分鐘
第三區段 (顏料水)	15分30秒	X	X	6分20秒	X
第一區段 (高溫鹽水)	30秒	4分6秒	2分1秒	10秒	5分58秒
第二區段 (高溫鹽水)	3分36秒	大於 20分鐘	8分8秒	1分13秒	大於 20分鐘
第三區段 (高溫鹽水)	19分20秒	X	17分53秒	4分7秒	X

備註：

*表示使用「手機用顯微鏡拍」的照片，有低倍率及高倍率兩種。

X表示不值得檢測(紅字)，假設第一區段大於10分鐘、第二區段大於20分鐘。

6. 參考文獻及致謝：

- (1) 圖片參考商晉實業股份有限公司網站 <https://www.eysan.com.tw/zh-hant/what-is-wicking-fabric-how-does-it-work/>
- (2) https://www.youtube.com/watch?v=0R3BoF_unYA&ab_channel=kuan-yuchen1007
- (3) https://www.youtube.com/watch?v=T1_SfkP4_NA&ab_channel=EKS
- (4) <https://www.youtube.com/watch?v=nmeWvKkTP6Y>

致謝

感謝「明基材料股份有限公司(Benq)」無償提供布料樣品，供小虎隊參加2023仰望盃全國科學 HomeRun 實作大賽之複賽所需材料。小虎隊寫信詢問該公司後，3月9日收到「機能織材事業處」回覆「收到小朋友們從官網的來信，首先恭喜你們通過初賽，我司很樂意提供布料給孩子們做實驗，能否先提供構想書給我們參考，這樣有利於挑選合適的布料。」(如附件1)。經過信件往來溝通後，由公司共提供5種布料，使得本複賽作品說明書得以完成。

明基材料股份有限公司之資訊如下

- <https://www.benqmaterials.com/tw/>
- 333403桃園市龜山區建國東路29號
- tel +886-3-374-8800 #2732

附件1、明基材料股份有限公司

「機能織材事業處」提供小虎隊樣品

(因個資保護關係，以圖塊隱藏)



2023仰望盃全國科學 HomeRun 實作大賽

作品設計費支出明細表(複賽用)

隊伍名稱：小虎隊

項目名稱	費用	備註
3mm 壓克力 A4	330	55*6
3D 列印線材 PLA	650	1捲
杜邦線	185	70*2+運費45
按鈕	6	3*2個
LCD 顯示器	95	1個
蜂鳴器	5	1個
步進馬達	50	1個
樂高	200	二手價格
電阻	10	5*2
熱縮套	30	15*2
總價 (新台幣) (元)	1561	

註：除了大會所提供之 Arduino UNO 外，其餘作品設計費每組花費限額3,000元(大會不補助)。若作品有使用到網際網路，提供網路的設備不計入作品設計費，該設備只作為提供網路給作品使用。

複賽時並請提供「作品設計支出明細表」。