

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 生活與應用科學(一)科

第一名

082810

淨塑小子-智慧家用洗衣機塑膠微粒清除系統設計之研究

學校名稱：臺中市西區大同國民小學

作者： 小五 陳奕安 小四 陳祈同 小四 蔡沂蓁 小四 陳星妍	指導老師： 陳柏宇 洪貫霖
---	---------------------

關鍵詞：塑膠微粒、鐵磁流體

得獎感言

想為地球盡一份心力

會開始進行研究，是因為自然課上到認識水域跟保護水生生物的家時，老師說全球 83% 的飲用水都被塑膠微粒污染，我們喝的水已經到處都有塑膠微粒。這些塑膠微粒會經由食物鏈回到人體內會引起癌症、高血壓等疾病，對人體危害不容小覷。我們是從小一起玩樂高的夥伴，有過多次合作經驗，所以我們一拍即合，想為地球盡一份心力。為了瞭解塑膠微粒，我們查詢資料並請教專家，資料顯示每洗一次衣服，就會有 70 萬條塑膠纖維被釋放到環境裡，有點恐怖！洗衣服所排出的廢水中存在衣服的超細纖維，這些纖維會隨著水管流入排水溝或下水道，並沒有被適當的攔截。在台灣的商店、工廠都買不到洗衣機適用的攔截塑膠微粒的設備和器材。於是我們確認了科展的方向，從系統結構及程式設計出發，一起發想、設計、組裝、測試、實驗。

首先我們思考著該如何清除塑膠微粒，並從前人經驗中歸納出三種方法：過濾、靜電、鐵磁流鐵，當我們開始研究鐵磁流鐵進行實驗時，卻也不知不覺進入機型設計改良的迴圈模式。回想起當時，無時無刻都會想著鐵磁流鐵跟機型改良關連性問題，還真的是痛苦又快樂的回憶！

在十個月的研究過程中，歷經許許多多的困難，從了解 Excel 圖表、分析數據、學習 Arduino 和 ESP32 的線路、腳位、程式等，到比賽上場前，不斷的口說 QA 問答及肢體訓練，這些都是我們以前從來沒有學習過，一次又一次的反覆練習，不只在精神也在體力上挑戰我們。長期的額外時間付出，夥伴們時間的配合上需要互相包容體諒，這段時間除了組員間不斷的衝突、溝通、磨合、再衝突，在和教練及父母的相處也是刀光劍影、火光四射、火花四濺，但慶幸的是這種過程激盪出最絢爛的成果。

科展像一把鑰匙，不僅開啟了我們的科學思維，更協助我們在沉重的課業、科展、及人際壓力下，找到自己從未發現過的潛能及抗壓性---我永遠不會忘記決賽前指導老師照三餐早、中、晚、外加消夜場的線上 teams 的口說 QA 問答、及比賽當天面對教授提問時的心驚肉跳。最重要的是，我們受到好多人不遺餘力無私的幫助，感謝陳柏宇老師夙夜匪懈的用心指導、感謝所有家長這段時間無私的奉獻，我們真的非常幸運，因為一定有更多人的努力，成果不

如預期。我們期許這次獲獎只是我們熱血青春的開端，未來我們將秉持著虛心的態度、懷抱著無論如何都想做到最好的心情，繼續邁步在學習的道路上。



圖1.在學校 120 年的古蹟前以小小科學家與指導老師們合影~



圖2.感謝陪伴我們到全國賽進行評審的老師們~愛你們~



圖3.科學展覽會的每一個時刻，永遠有老師與家人的陪伴~

摘要

觀察家中排出汗水中，近 80 萬條塑膠微粒來自洗衣間家用洗衣機。淨塑槽及鐵磁流體攪拌槽為滴濾式及攪拌式設計，組成家用洗衣機智慧塑膠微粒清除系統，濾網組使用物理性過濾攔截 0.058mm 以上的塑膠微粒，透過鐵磁流體攪拌器去除 0.058mm 以下塑膠微粒，八爪型攪拌槳大旋轉體積對於鐵磁流體與排水的混和均勻度最好，磁鐵與攪拌槳分離容易更換材料並便於進行鐵磁流體回收。Arduino 掌控智慧節能系統及物聯網的運作，提供手機運作資訊，圖像式語言易於撰寫，透過伺服馬達轉動連結兩套系統，建構一套遠端監控智能運作的塑膠微粒清除系統，5 分鐘可完成 1.3 公升之汗水清潔，聚酯纖維、尼龍、聚丙烯有接近 100% 的清除率。

壹、研究動機

哇！學校老師說，全球 83% 的飲用水都被塑膠微粒污染，我們喝的水已經到處都有塑膠微粒。為了瞭解塑膠微粒怎麼來，我們查詢的資料顯示，每洗一次衣服，就會有 70 萬條塑膠纖維被釋放到環境裡。洗衣服所排出的廢水中存在衣服的超細纖維，這些纖維會隨著水管流入排水溝或下水道，並沒有被適當的攔截。可怕的是，這些塑膠微粒纖維會流到大海，被海洋生物食用或吸收。



根據國際自然保護聯盟說，除了部分種類的塑膠本身的塑化劑會有有害成份，塑膠還會吸附重金屬、戴奧辛等帶有劇毒成份的能力。最後還會從食物鏈又回到我們人體內，真的令人很擔憂！家用洗衣機排放到環境中的塑膠微粒這麼多，都沒有攔截清除機制，而且從全台灣的商店、工廠都買不到洗衣機適用的攔截塑膠微粒的設備和器材。實際觀察家裡洗衣機的排水量大，如何可以有次序的過濾掉塑膠微粒，是很大的難題。老師課堂上有教摩擦會產生靜電，靜電會吸引塑膠，還有磁鐵粉和油脂也會吸附塑膠，因此我們運用學校自然課、生活課、電腦課中所學的科學知識，偕同夥伴，畫出我們清潔塑膠微粒的樣貌來解決生活中的問題。我們從系統結構及程式設計出發，一起發想、設計、組裝、測試、實驗等等反覆的應證中，用科學原理設計建構洗衣機塑膠微粒清除系統，有效的清除塑膠微粒，讓洗衣機的塑膠微粒不再排到環境中。

貳、研究目的

本研究將運用具備數種感應器的 Arduino 整合機械結構與動力傳輸的 SPIKE，撰寫程式智慧判斷在家用洗衣機塑膠微粒清除系統上進行研究，其研究目的如下：

- 一、調查家中何處排放汗水具有塑膠微粒。
- 二、觀察洗衣機排放之塑膠微粒的種類、特性及外觀。

- 三、找尋適合洗衣機清除塑膠微粒的方法及效果。
- 四、建立具有手機遠端監控功能的智慧型家用洗衣機處理系統。
- 五、實測智慧型家用洗衣機處理槽系統過濾效果。

作品與教材相關性：國小自然課-奇妙的溶解、磁鐵好好玩、燈泡亮了、有趣的力、水溶液的導電性、簡單機械、電腦課-小小程式設計師

名詞解釋：塑膠微粒、鐵磁流體

研究限制：本次研究對象為家用洗衣機排放水

參、文獻回顧

(一)塑膠微粒定義

微塑膠 (Microplastic)，被廣泛稱為「塑膠微粒」，但不僅限於「顆粒」形式，而是指直徑或長度少於 5 mm 的塊狀、細絲或球體的塑膠碎片。依據美國國家海洋暨大氣總署所定義分為二類：「原始」初級塑膠微粒，指原製造生產的尺寸就小於 5mm；另一類為「次生」次級塑膠微粒，指因暴露於風、浪和紫外光下而分解或變形的塑膠碎片。此外，根據國際自然保護聯盟 (IUCN)的報告指出，除了塑膠本身的塑化劑會有有害成份，**塑膠還會吸附重金屬、戴奧辛等帶有劇毒成份的能力。**

(二)塑膠微粒來源

根據 IUCN 的調查報告，微塑膠造成的污染遠超過我們想像，報告中指出，**每年進入海中的 950 萬噸**塑膠中，危害海洋問題中，**家用及工業排放的微塑膠佔 15%~31%**(初級塑膠微粒)，而其中又有 **2/3** 是來自**日常洗衣**沖刷下來的**纖維**，比大型塑膠製品降解分裂後造成的污染更甚。全球服飾紡織品中有 **60%**材質成份為**聚酯纖維、尼龍、聚丙烯脛和壓克力纖維**，紡織品都是會脫落並釋出**微細塑膠纖維**，也就是合成纖維。英國普利茅斯大學研究發現，壓克力纖維的塑膠微粒脫落量比其他合成纖維高出 2~5 倍。我們光是洗衣服，就會讓塑膠纖維釋放到自然環境中。單就歐洲和中亞的數據推估，清洗衣服釋出的微塑膠纖維，等同**每人每週往海洋丟棄 54 個塑膠袋**。維也納醫科大學也曾研究過來自 8 個不同國家的**成人糞便**，發現樣本中都已經**含有微塑膠**，其中**聚乙烯對苯二甲酸酯 (PET) 和聚丙烯 (PP) 含量最高。**

(三)成衣纖維是塑膠微粒中最大宗成分

塑膠微粒已成為嚴重的全球性問題，不只洗面乳使用的去角質塑膠微粒會污染海洋，目前有 51 噸的塑膠微粒，主要來源是「洗衣服」。根據 IUCN 調查指出，洗一次衣服會脫落 70 萬到 1,200 萬的超細纖維，以各種顏色存在，**必須放大才能夠窺見。估計洗衣廢水是海洋中 35 % 的塑膠微粒來源**，嚴重殘害著海洋生物。也就是說塑膠微粒遠比我們肉眼所看到的

來得還多，它藏在空氣中、水裡、雨裡，已經是與我們生活共存的一部分。它來自於多種不同的來源，但**洗衣機是最主要的途徑**，清洗這些含有塑膠成分的合成衣服時，微小的超細纖維會斷裂脫落，再隨著管線流入污水廠。污水廠的過濾設備會讓這些纖維的一部分和污泥混在一起，而這些污泥會經處理後做為肥料用，再廣泛運用至農業領域，導致土壤中充滿了塑膠微粒；另外，還是有一些無法過濾掉的塑膠微粒，會直接跟著廢水流入大海中，由於塑膠會分解、降解，但從未真正的消失，因此海洋中的塑膠含量一直再飆升。這些塑膠微粒不僅會被海浪沖刷上岸，還會持續在海灘上堆積，再進而由風的吹拂，持續留在空氣中，當下雨時又會回到大地上，成了一種水循環。

(四)塑膠微粒清除方法

1. **過濾網(物理性過濾)方式**：物理過濾也叫機械過濾。它是過濾的最基本形式。它是物理變化為主的一種過濾形式。什麼是物理變化？簡單地說就是過濾前物質的成分和過濾後物質的成分一樣，沒有發生變化。
2. **靜電吸附方式**：新竹市第三十九屆中小學科學展覽會作品在以 80*8*12 的壓克力滑水道右側黏上鋁箔並且接上起電器來以靜電吸引塑膠，然後在滑水道的尾端增置分流滑水道，觀察分流滑水道的兩旁分別在通電/不通電分別各有多少顆塑膠，來計算過濾的效果。發現以 80*8*12(cm) 的壓克力滑水道有最佳過濾效果，過濾效益可達八成。
3. **鐵磁流體方式**：Google 全球科學展，來自愛爾蘭的 18 歲少年費安上傳了一段他混和油、磁鐵礦粉而來的「**鐵磁流體**」，這是一種非常濃稠的物質，在水中會被**磁化**，磁化會產生「**能把塑膠微粒困住的磁場**」，這時候只要將困住了微粒的鐵磁流體去除，就能把塑膠微粒一併除掉，還原乾淨的水質。

肆、研究問題

- 一、家中有哪些**地方**會有塑膠微粒呢？
- 二、家中洗衣機排出的**塑膠微粒**種類、外觀及長度如何？
- 三、如何清除洗衣機排放水中之塑膠微粒？
- 四、如何設計「淨塑槽」與「鐵磁流體攪拌器及槽體」？
- 五、如何建置具**手機遠端監控功能**的「智慧型家用洗衣機塑膠微粒過濾系統」？
- 六、「智慧家用洗衣機塑膠微粒清除系統」清除塑膠微粒效果如何？

伍、研究設備與器材

雷射切割機 	桌上型軸砂光機 	電子精密秤 	三用電表 	直流電源供應器 	靜電產生器 	木工電鑽 
玻璃量筒 	玻璃漏斗 	塑膠量杯 	鐵粉 	Arduino ESP32 板 	ArduinESP32 板 IO 擴展版 	高速攝影機 
樂高 SPIKE 	強力磁鐵 	沙拉油 	不銹鋼濾網 	定性濾紙 	熱風槍 	非接觸式轉速計 
水管接頭 	電腦 	顯微鏡及電子目鏡 	熱溶膠槍 	濁度計 	簡易洗衣機 	PP 浮球開關 
直流幫浦 	水管 	杜邦連接線 	繼電器模塊 	180 度伺服馬達 	壓克力板 5MM 	雨淋管 

陸、研究方法與結果

一、研究架構圖

本研究首先找出家庭中用水何處出現塑膠微粒，觀察並判斷是否為塑膠微粒，從文獻還現有洗衣機的過濾方式進行實驗，同時進行問卷需求分析，透過文獻已知過濾塑膠微粒之方法，進行清除系統評估實驗，進行可行性分析，建置可處理市售洗衣機排放水之智慧處理系統，透過感應偵測裝置及 Arduino 進行運算以系統調控，讓過濾功能達最大效能，並透過 Lego SPIKE 的機械結構設計，運用鍊條與齒輪的搭配，設計智能攪拌清除系統，並加以測試驗證，其研究架構圖如下：

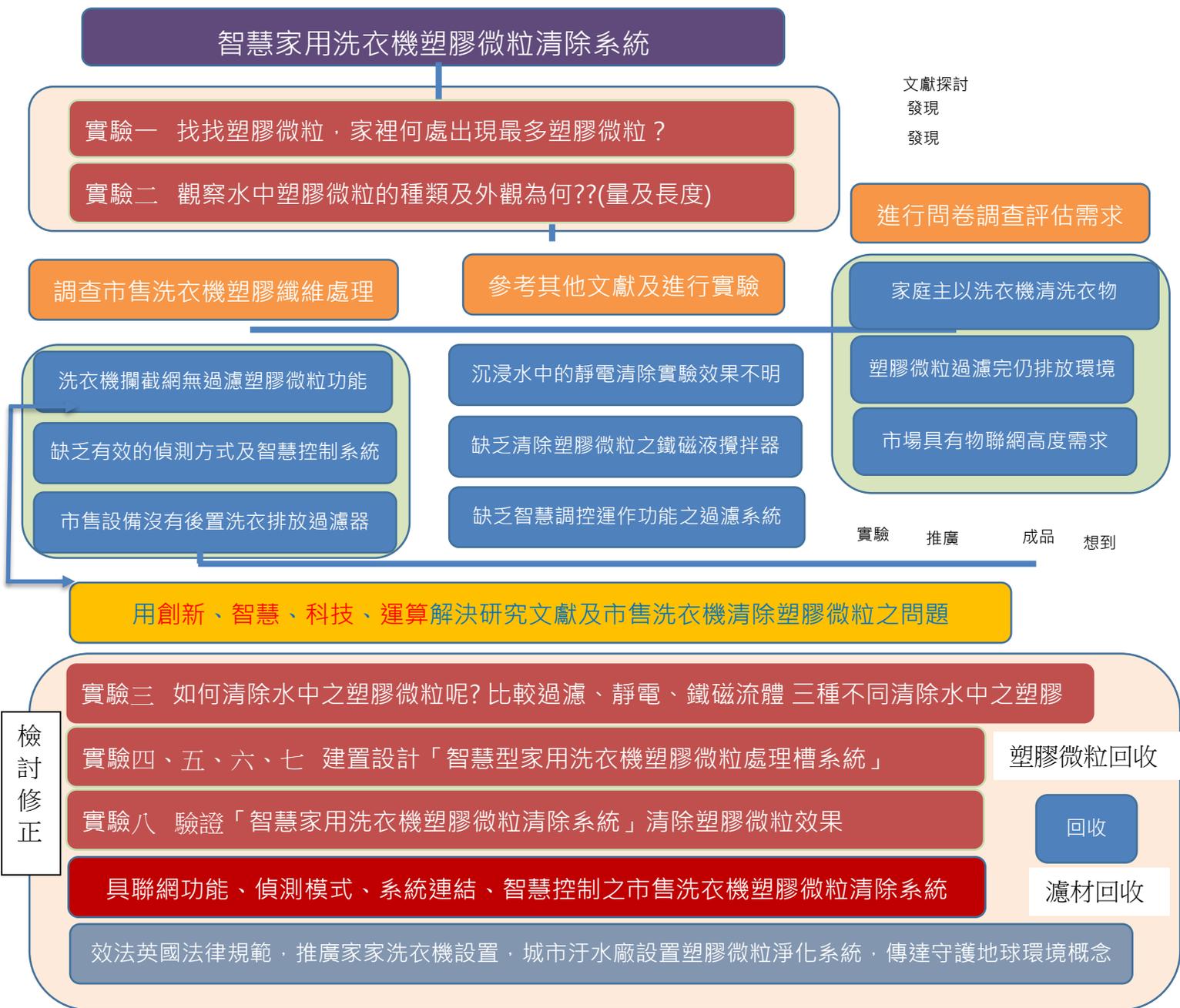


圖 6-1 研究架構圖

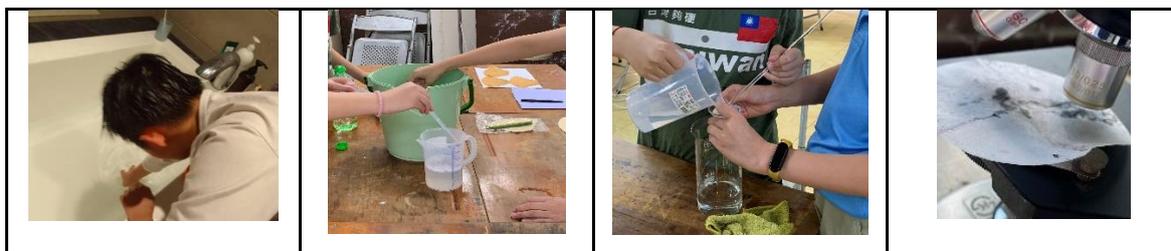
二、研究設計

【實驗一之1】找找塑膠微粒，家裡何處出現最多塑膠微粒？

(一) 研究步驟

1. 觀察家庭生活中，家庭用水及排水，有客廳、廚房、浴室、洗衣間。
2. 針對飲用水、洗衣汙水、洗澡汙水、拖地汙水及飲用水取樣，各取樣 1000ml，以濾紙過濾，在顯微鏡下觀察。

1.家庭用水取樣	2.定量	3.過濾	4.顯微鏡下觀察
----------	------	------	----------



(二) 研究結果

1. 在五種家庭常見用水取樣，發現**洗衣機排放水**有最多**纖維狀**雜質。
2. 長條狀與雜質出現在洗衣機排放污水中，混雜似毛髮，需進一步使用顯微鏡觀察。

表 6-1 家庭用水取樣觀察

地點	採樣	過濾後目視觀察	觀察結果	種類	數量
客廳	拖地水			毛髮、顆粒灰塵 些許長條物 比較像拖把毛	
浴室	洗澡水			皮膚皮屑、雜質 少許長條物	
洗衣間	洗衣機水			佈滿不同顏色長條絲纖維	最多
廚房	RO 濾水器飲用水			沒有殘留物	最少

【實驗一之 2】實測市面上常見洗衣機排水量?

(一) 研究步驟

1. 調查家庭用常用機型並測量排水，**計算排水量**作為**汙水處理裝備容量**評估。
2. 取樣 300ml 後，用滴管取樣，使用 1 號**定性濾紙**過濾，以顯微鏡觀察樣貌。
3. 以 **imageJ 軟體**計算數量，步驟為(1)將取樣點照片輸入 ImageJ(2)Image>Type>8-Bit，調整為灰階(3)Image>Adjust>Threshold，調整要選取的範圍 (4)Analyze>Analyze Particles，選擇要計算的大小。

1.量測水桶大小	2.取樣及濾紙過濾	3.顯微鏡觀察電子目鏡拍照	4.計算總排水量	5.輸入取樣點照片以 image J 計數

(二) 研究結果

1. 以標準模式清洗相同重量衣物，來比較不同機型的進水量模式及總排水量的差異。

表 6-2 比較不同機型的進水量模式及總排水量差異

洗衣機品牌機型	使用水量	進水量模式	洗衣 2.74kg 總排水量/時間	第一次洗清 排水量/時間	第二次洗清 排水量/時間
國際牌滾筒洗衣機 (NA-V178DW)	省水	衣物重量感測	83L / 45 分鐘	40L / 22 分鐘	43L / 23 分鐘
三洋直立式洗衣機 (SW-1488UF)	多	手動選擇水位	116L / 50 分鐘	56L / 24 分鐘	60L / 26 分鐘

2. 以標準模式清洗相同重量衣物，發現滾筒洗衣機用水量較少，衣物的攪拌、滾動、摩擦力量相較於直立式洗衣機大，行程間排水量次數多，排出纖維總量多。

表 6-3 觀察不同機型洗衣排出纖維量

洗衣機種類	Image J 計算數量	取樣點照片(面積 0.84mm ²)	比較	一次洗衣排放量推算
滾筒式 洗衣機	65 條		排出 纖維 量多	約 62 萬條 (65/照片面積 0.84mm ² * 濾 紙面積 8100mm ²)
直立式 洗衣機	45 條		排出 纖維 量少	約 43 萬條 (45 條/0.84mm ² *8100mm ²)

3. 目測觀察排出物為長條狀，是頭髮?還是衣物掉落?是塑膠類還是棉麻等非塑膠纖維，非常相似，需進一步確認，想到用已知服飾材質之塑膠纖維進行比對判斷。
4. 使用複式顯微鏡觀察後確認可以找到大量的條長條狀物聚集堆疊。

【說明】服飾出廠有材質標示，依外觀形狀及實際以焊鐵測試是否可融化成球(熱觸法)來判斷是否為塑膠纖維。

【實驗一之 3】以 google 表單設計問卷調查進行需求評估

(一)研究步驟

1. 為後續研究並了解家庭洗衣習慣及洗衣量，分年齡調查，針對洗衣機期望功能進行需求評估，以設計適用、合用及具有便利性的功能。
2. 問卷內容共計 9 個問題：(1)請問你的年齡、(2)家中洗衣方式、(3)洗衣機使用比例佔多少?(4)一周大約洗幾次?(5)家裡洗衣機機器上有過濾網嗎?(6)你知道洗衣機洗衣會排出大量衣服纖維到環境中嗎?(7)你知道洗衣機洗衣會排出大量衣服纖維到環境中嗎?(8)您覺得洗衣機需要增加什麼功能?(9)家中洗衣機濾網滿了阻塞會手機通知嗎?
3. 調查時間：開始進行研究的前 2 個月(10-11 月)。

(二)研究結果



1.問卷共計回售 338 份，依各類問題統計後以圓餅圖表示(圖 1-7)。問題(1)-(4)調查結果如圖。(1) 受試者 18 歲以上的成年人佔 90%(2)家中以**洗衣機洗衣高達 97%**(3)兩種以上洗衣方式，以洗衣機清洗仍然是近九成的洗衣方式(4)一周洗一次以上衣服佔 96%。

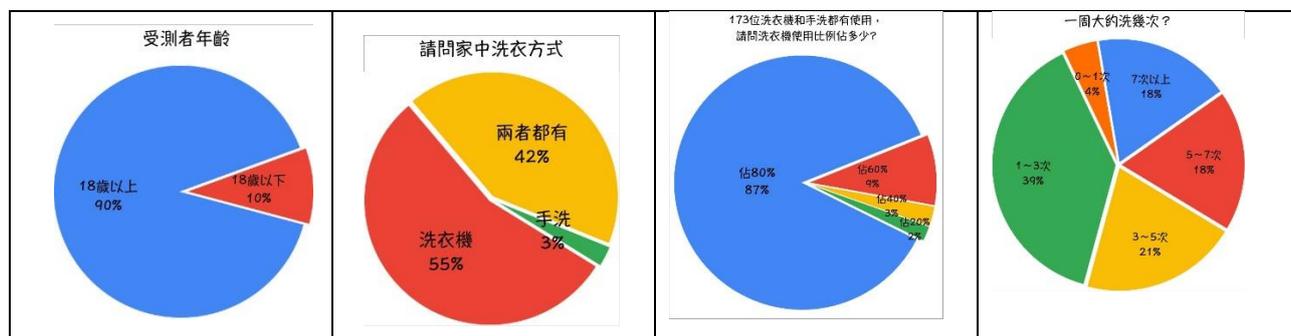


圖 問卷調查(1)-(4)

2.問卷結果(5)-(9)用於其餘實驗及討論。

3. 一周洗衣 7 次，假設洗衣量相同，一周即排放 80 萬*7 約 320 萬條纖維相當可觀。

【實驗二之 1】調查一般家庭不同材質服飾塑膠纖維原貌與洗衣水塑膠纖維是否相同？

(一) 研究步驟

1. 探討文獻中洗衣機污水佔比高的衣服**塑膠材質**種類。
2. 使用顯微鏡調察，以不同倍率衣服材質纖維樣貌。
3. 分類手洗不同材質衣服後，滴管取樣 15cc，再用 1 號定性濾紙過濾。
4. 將剩下洗衣水倒入 250 目不銹鋼網過濾。
5. 觀察塑膠纖維衣物纖維顯微鏡下之外觀建立資料庫。

1. 攜帶型洗衣機轉軸	2. 洗衣機洗滌	3. 手部搓揉	4. 取樣	5. 以焊鐵測試是否熔化

(二) 研究結果

表 6-5 常見衣服材質顯微鏡下觀察

顯微鏡觀察結果	聚酯纖維 Polyester	尼龍 Nylon	壓克力 PMMA	棉 COTTON
清洗前衣服原貌				
清洗後顯微鏡 4*10				

清洗後 250 目 顯微鏡 10*10				
特徵	表面光滑無孔縫 光澤度低沾水會透光 較不容易被染色	光滑、光澤度高(亮) 彈性佳、延展性好	光滑、均勻平整 光澤度高(透亮) 不吸溼、易染色	天然纖維不規整 每根直徑不同 尺寸分布不均勻
熱觸法是否融化	是	是	是	否

1. 家庭洗衣水中，無論是洗衣機或是手工清洗，都可以輕易的找到大量的**塑膠合成纖維**，**證明衣物纖維容易在洗滌過程脫落**。另外發現，即便是沒有使用洗衣精或是洗衣粉，依舊可以發現大量的衣服纖維。
2. 觀察塑膠纖維，具有**光滑，透光**，比棉更光滑流暢的邊線。棉質尺寸分佈不均勻，每根也不規整。以這些**特徵比對**，可以確認**大多數為塑膠纖維**。與棉質等纖維有明顯的區別。
3. 顯微觀察比對家庭洗衣機排出汗水中，**棉、聚酯纖維和壓克力材質纖維**佔高比例。
4. 過濾後的洗衣纖維，屬於**塑膠纖維及頭髮以熱觸法會融化成球**，而棉有燒稻草味道。
5. 顯微鏡觀察頭髮和麻繩，頭髮寬約為纖維 2-3 倍，不透光，麻繩有更細微的纖維附著。



【實驗二之 2】觀察不同種類塑膠製品微粒

(一)研究步驟

1. 收集不同種類回收塑膠製品，將不同種類塑膠製品研磨成粉末。
2. 放上玻片用顯微鏡觀察，不同種類塑膠粉末的形狀及大小。

(二)研究結果

觀察後證明文獻中提到**次級塑膠微粒**的產生，通常是因為環境因素所造成的裂解，**大部份肉眼**可以看見，顆粒屬於大顆粒徑，形狀明顯不同於先前實驗中**紡織品斷裂所產生的塑膠微粒**。洗衣機的塑膠微粒微呈長條狀，**直徑寬為 0.02mm**，可以小於 2mm 的工具攔截。

表 6-7 各種材質於不同倍數顯微鏡下的形狀

判斷材質	PP 材質	ABS 材質	ABS/PC 材質	PMMA 材質
物鏡 40X 目鏡 10X				

【實驗二之 3】觀察洗衣機排出塑膠微粒之長度及數量

(一)研究步驟

1.取同規格纖維布料一份 200g 及 4000cc 的水，同一台洗衣機固定模式洗滌，總共清洗 8 次，取得 8 份水。

2.顯微鏡觀察觀察清洗後纖維外觀，並設計同倍率顯微鏡量尺，丈量所觀察纖維長度及分類。

3.顯微鏡量尺製作方式(1)以顯微鏡 40X 拍下標準尺 1mm 照片。(2)切割為 100 等分，每一等分代表 0.01mm。以 imageJ 軟體複核計算長度並做紀錄。

4. 自製過濾加速器縮短過濾時間。每張濾紙取九個樣點觀察拍照，並以軟體計算長度並記錄。

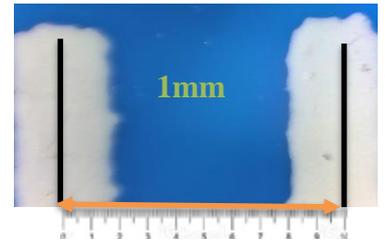


圖 6-2 顯微鏡尺標

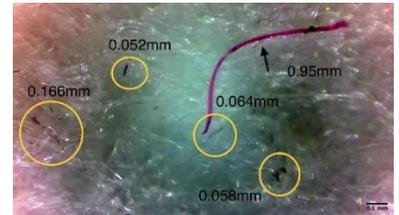


圖 6-2 Image J 計算長度

(二)研究結果

1.測量洗衣污水所排出纖維，大部分大於長 1.5mm，寬 0.01-0.02mm。

2.根據觀測的長度，建議使用 50 目(0.27mm)、250 目(0.058mm) 濾網，可以過濾大部分的纖維。市面上洗衣機濾網通常網徑為 20 目(0.85mm)。

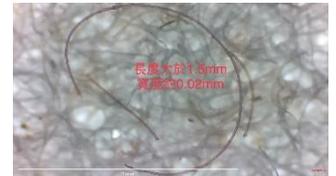


圖 6-2 Image J 計算長度

【實驗三】如何清除水中塑膠微粒呢?

透過文獻探討最常使用的塑膠微粒過濾方式有過濾網式、靜電式、鐵磁流體式，分別設計三個實驗以驗證塑膠微粒之清除效果及適用性。

【實驗三之 1】常見過濾網測量及效果

使用重力來過濾洗衣水。從上方倒入濾網中，並通過重力將液體拉下。固體留在過濾網上，而洗衣水在其下面流動。

(一) 研究步驟

1.問卷調查家裡洗衣機機器上有過濾網嗎?

2.調查市面常見濾網種類和大小。

3.常見濾網過濾測試：取纖維布料一份 200g 及 4000ml 的水，同一台洗衣機固定模式洗滌，並以市售 50 目及 250 目濾網進行過濾。

(二) 研究結果：

1. 調查發現大部分家中洗衣機 76%皆有過濾網。
2. 走訪市面網路店家，五金行及家庭用品商店，洗

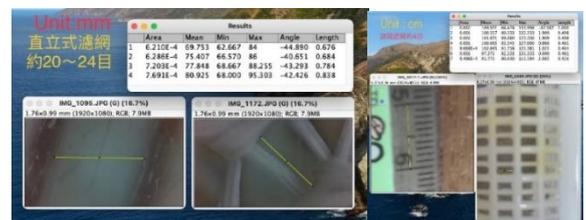
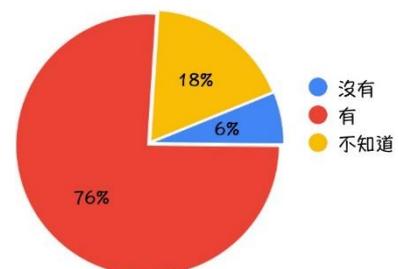


圖 6-2 市售常見洗衣機濾網

家裡洗衣機機器上有過濾網嗎?



衣機網統計，20 目的有 5 家品牌，16 目的有 6 家品牌。

- 以 ImageJ 測量滾筒式洗衣機濾網為 4~5 目(孔徑 4.75~4mm) 直立式洗衣機使用濾網為 20~24 目(孔徑 0.83~0.7mm)。

【實驗三之 3】利用靜電方式去除之水中塑膠微粒實驗(是否可去除水中塑膠微粒)

(一) 研究步驟:

- 以靜電產生器產生靜電來源。滑水道組:壓克力水道製作尺寸為 80cm*8cm*12cm。水下組以水槽連結導線。
- 滑水道組與水下組分別倒入 100 顆 0.1mm 之 ABS\聚丙烯尼龍，觀察滑水道組及水下組的鋁箔左右側中有多少顆聚丙烯。

1.RDWORKS 繪圖	2. 進行雷射切割	3. 壓克力水道製作尺寸 80*8*12cm	4. 包上鋁箔紙(通電邊)	7.實測無鋁箔側(未通電邊)	8. 觀察 ABS\聚丙烯\尼龍 是否吸附
					

(二) 研究結果 :1. 滑水道組與水下組皆無靜電吸附塑膠微粒現象。

表 6-9 滑水道組在不同傾斜角度讓塑膠微粒偏移結果

	塑膠微粒是否偏移材質	壓克力	聚丙烯 PP	尼龍
傾斜角 15 度	水位高 0.5cm/1cm/1.5cm	無偏移	無偏移	無偏移
傾斜角 30 度	水位高 0.5cm/1cm/1.5cm	無偏移	無偏移	無偏移

表 6-10 水下靜電是否會讓塑膠微粒偏移實驗結果

塑膠微粒是否偏移材質	壓克力	聚丙烯 PP	尼龍
有無偏移現象或吸附	無法吸附	無法吸附	無法吸附

2.依據文獻採用尺寸 80*8*12 的窄長滑水道來做實驗，應有靜電偏移效果，但實驗後發現，無論是傾斜 15 或 30 度、水位高低，對於 ABS/聚丙烯/尼龍三種塑膠材質，皆無偏移，**浸泡水中**之鋁箔**無法吸附**塑膠微粒，靜電不適用於沉水設計。

【實驗三之 4】鐵磁流體之塑膠纖維去除實驗

Google 全球科學展，混和油、磁鐵礦粉而來的「鐵磁流體」，在水中會被磁化，磁化會產生「**能把塑膠微粒困住的磁場**」，能把塑膠微粒一併除掉，設計本次實驗驗證。

(一) 研究步驟

- 準備不同黏度係數油品並在燒杯中放入 280ml 的洗衣水。
- 倒入 5ml 廢棄用油+鐵粉 5g+手動攪拌 2 分鐘。自製磁鐵棒包上保鮮膜+燒杯中再攪拌 1 分鐘，進行 2 次攪拌

3. 用濁度器連接電腦測量燒杯中洗衣水數據。

1.調配鐵磁流體	2.加入洗衣污水	3.磁鐵棒攪拌	4.磁鐵吸附
			

(二) 研究結果

1. 鐵磁流體能非常有效去除微小纖維的方式。
2. 清洗衣物排出的水中塑膠纖維，使用沙拉油的黏稠度最為合適。
3. 均勻攪拌磁鐵數量及攪拌棒接觸面積是吸附的關鍵因素。
4. 攪拌速率並非越快越好，依上述特點設計攪拌裝置。
5. 4種不同的鐵磁流體與搭配4杯280ml洗衣水，記錄攪拌一次與攪拌2次的情況下濁度計取得的數據紀錄如表6-11

表 6-11 不同配方經過二次攪拌後的澄清度（使用濁度計檢測）

鐵磁流體		定量 280ml 之濁度(濁度計檢測)			
配方	黏度係數	磁鐵攪拌第 1 次	磁鐵攪拌第 2 次	差異	
1	齒輪油 5ml+鐵粉 5g	220 CST	油黏著在攪拌棒上	油黏著在攪拌棒上	無
2	機油 5ml+鐵粉 5g	40 CST	755	775	20
3	液壓油 5ml+鐵粉 5g	100 CST	745	760	15
4	沙拉油 5ml+鐵粉 5g	65 CST	760	788	28

說明: 實驗發現鐵粉與廢棄油品倒入燒杯中的順序很重要。當杯中有污水，鐵粉先倒入，再倒廢棄用油，鐵粉直接沈入到底杯，油會浮在水面上，不容易混和油與鐵粉。如果廢棄油是黏度係數高的油時，油在攪拌時會直接附著在攪拌棒上面，導致鐵粉與油品更難混合在一起。但調整順序，將廢棄用油先倒入杯中再倒入鐵粉做攪拌，容易混合。確認鐵磁流體按比例調配混和均勻後，再倒入洗衣污水一起攪拌用以攔截懸浮塑膠微粒具有效果。

【實驗四】建置設計「智能家用洗衣機塑膠微粒清除系統」過濾槽?

根據實驗三物理性過濾與鐵磁流體的運用，可以清除大小塑膠微粒，參考淨水廠的槽狀設計，用壓克力容器作為設計，分別納入過濾網及鐵磁流體攪拌機構。先設計「淨塑槽」過濾槽，再設計「鐵磁流體攪拌槽」，最後整合尺寸並加入水管及電子線路。

【實驗四之 1】如何設計「淨塑槽」?

(一)研究步驟

1. 收集市面過濾器相關資料並分析結構。

表 6-12 市面過濾系統分析

水族過濾系統	飲用水過濾系統	洗衣機前置過濾器	洗衣機內建過濾網
			
適用於多層過濾設備	RO 逆滲透過濾器	洗衣機前置過濾器	洗衣機內之攔截網

- 運用 RDWorks 軟體設計過濾槽，運用 Arduino 及超音波感測器測試運轉情形。
- 連接 Arduino 馬達，進行抽水試驗。依洗衣機排水量及排水流速需求，應取水族滴漏式設計以優先過濾大顆粒之雜質及塑膠微粒為佳，並透過感測器及馬達和水管連結，將鐵磁流體帶至過濾槽清除過濾，
- 過濾盒以卡榫互相連接，方便提取更換濾網，水管以 PVC 軟管連結，熱風機將 PVC 加熱緊縮避免漏水。系統設計分析如下：

表 6-13 過濾系統成效分析

種類 分析項目	水族 過濾系統	飲用水 過濾系統	洗衣機前置 過濾器	洗衣機內建過 濾網	家用洗衣機 智慧清除系統
智慧監控水流	無	靠水龍頭 控制開關	靠洗衣機啟動 無監控更換過濾器	無 靠循環水 過濾	水流可監控
成本	低	高	低	低	低
清除效果	可過濾 大型塑膠顆粒	可過濾 塑膠微粒	可過濾 大型塑膠顆粒	可過濾超大型 纖維	可過濾 塑膠纖維微粒
具有提醒功能	無	無	無	部分有	有
普遍性	水族可用	戶戶可用	戶戶可用	戶戶有用	戶戶可用

- 文獻分析，發現兼具過濾優點及清除塑膠微粒之鐵磁流體之優勢，再加上智慧監控系統，開發智慧塑膠微粒清洗槽具可行性。系統設計有藍芽監控功能提醒用戶，適合家家戶戶推廣使用。
- 系統功能分析比較後發現，智慧清除系系統可有效過濾塑膠纖維微粒，

(二)研究結果

- 抽水馬達排水因重力向下排水流暢，排水軟管容易出現雜質累積，因此設計每 1mm 開一孔的滴漏管，讓水均勻滴漏至每個平面。
- 分層過濾網設計，以大中小阻隔設計，依序放 50 目及 250 目鐵網，每槽獨立方盒，可加層或單獨更換濾材，下方設計斜坡與攪拌槽銜接。

1.設計草圖	2.電腦繪圖	3.滴漏管	4.過濾網	5.獨立方盒
--------	--------	-------	-------	--------



【實驗五】如何設計「鐵磁攪拌槽」？

「鐵磁攪拌槽」分為槽體及攪拌器兩個部分，攪拌器如何在槽體內均勻混合槽內塑膠微粒及鐵磁流體為設計重點

【實驗五之 1】如何設計「鐵磁攪拌器」-機型一？

(一) 研究步驟

1. 依量杯大小設計出可攪拌的結構模組。用 LEGO SPIKE 套件模擬組裝，四個滑輪與兩條橡皮筋，配合安裝盤進行動力傳導運作。
2. 機型一之設計理念：取代人工攪拌，搭建高塔與懸臂用馬達動力帶動橡皮圈轉動懸掛攪拌槳，組裝結構說明如下：



<ol style="list-style-type: none"> (1) 使用單側懸臂設計。 (2) 使用一顆馬達作為動力來源。 (3) 攪拌槳的動作藉由橡皮圈帶動。 		<p>(4) 攪拌動作程式撰寫</p>
--	--	---------------------

3. 以 25% (30.7 rpm)、50% (61.3 rpm)、75% (82.8 rpm)、100% (97.8 rpm) 速率測試不同長度、負載重量、旋轉半徑可否正常運作。

(二) 研究結果

1. 磁鐵掛載數量有限，影響塑膠微粒清除效果。
2. 實際操作後，發現攪拌槳無法帶動洗衣污水與鐵磁流體大量轉動，需強化攪拌器結構並加裝各類感應器，方便控制自動補水、自動補給鐵磁流體、缺水停機，增加系統的可自動控制範圍。
3. 攪拌槳的設計影響磁鐵吸附表面積。15cm 以內的攪拌槳可以正常運作，最大承受 120g 的中磁鐵。

表 6-14 測試 速率與長度、負載重量之關係

實驗主題	測試項目	攪拌槳速率 (%) 單位量	25% (30.7 rpm)	50% (61.3 rpm)	75% (82.8 rpm)	100% (97.8 rpm)
速率與長度之間的關係-- 不同長度的攪拌槳是否能正常 攪拌(○)與否(×)	攪拌槳	10 cm	○	○	○	○
	長度測試	15 cm	○	○	○	○
		20 cm	×	×	×	×

速率與負載重量之間的關係-- 不同掛載磁鐵重量的攪拌槳是 否能運轉順利(○)與否(×)	攪拌槳掛載磁鐵重量	40 g	○	○	○	○
		80 g	○	○	○	○
		120 g	○	○	○	○
	(中磁鐵 20g/個)	160 g	×	×	×	×

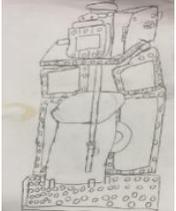
4. 提出修改攪拌器機型結構建議，攪拌器構造要解決以下問題：

- (1) 自動補水以及加入鐵磁流體。
- (2) 可控制的攪拌轉速以及將容易彈開的橡皮筋滑輪改為齒輪。
- (3) 增加可以承載磁鐵的重量，增加磁力。
- (4) 增加水平旋轉攪拌並增加垂直移動以便於更換鐵磁流體。

【實驗五之2】如何設計「鐵磁攪拌器」-機型二？

(一) 研究步驟

1. 根據機型一研究結果討論出的建議修改方案進行機構繪圖。
2. 結構組裝步驟說明：

(1) 使用口字型零件增強結構	
(2) 利用 SPIKE 樂高馬達作為攪拌動力來源	
(3) 攪拌槳與馬達之間改由齒輪傳遞動力	
(4) 加入超音波感應器偵測水位高度	
(5) 增加顏色感應器控制上下移動範圍	
(6) 增加 Arduino 控制各類感應器	
(7) 使用三顆 18650 電池串連，提供抽水馬達電源	



3. 清理效能試驗：依攪拌槳一、Z、H、八爪四種型，以 SPIKE 馬達動力 100%、75%、50%、25%進行攪拌，攪拌材料為 PS 塑膠 0.2mm 顆粒 5g，於 500ml 燒杯內攪拌。每秒拍攝一張並記錄攪拌混和動態。
4. 當第一顆塑膠微粒離開底層不再落下即判定為擾動，擾動到最大經由 imageJ 計數軟體計算開始減少不再有超越的數量開始即為均勻。

1.擾動樣態	2.均勻樣態	3.imageJ 處理	4.計數	記數區塊放大
				

5. 測試速率與長度、負載重量、旋轉半徑。

攪拌槳掛載四個磁鐵設計不同造型 (前視圖)			
Model 一 旋轉半徑 3.5cm 垂直高 4.5cm	Model H 旋轉半徑 4cm 垂直高 9cm	Model Z 旋轉半徑 4.5cm 垂直高 10cm	八爪(八個觸手) 旋轉半徑 5cm 垂直高 12cm



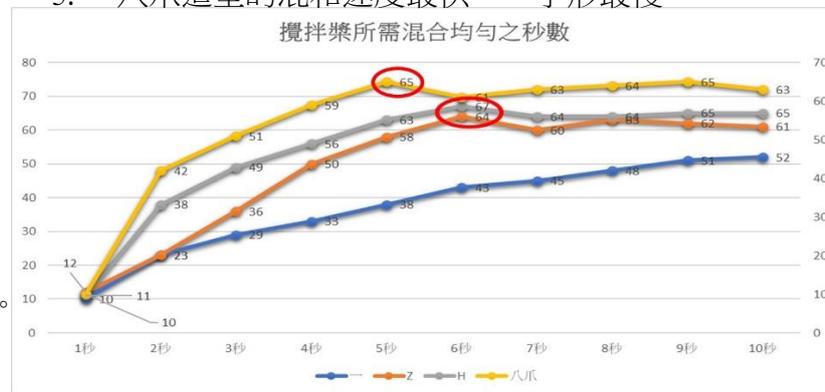
(二)研究結果

- 1.攪拌槳之造型設計以 Model H 的吸附立體空間最大。Model Z 可以承載最多的磁鐵。
- 2.馬達轉速 100%(97.8 rpm) 搭配掛載四顆小磁鐵為極限，攪拌均勻之最佳速度。
- 3.造型攪拌迴轉體積(迴旋半徑與高度旋轉的空間)越大效果越好。
- 4.spike 馬達轉速 100%時各攪拌槳達之每秒 imageJ 計數結果如下，紅字為達均勻時數字。

秒數 造型	1 秒	2 秒	3 秒	4 秒	5 秒	6 秒	7 秒	8 秒	9 秒	10 秒	備註
一	10	23	29	33	38	43	45	48	51	52	17sec 時達均勻
Z	12	23	36	47	54	64	64	63	65	64	
H	11	40	48	55	61	66	65	66	65	67	
八爪	10	47	53	59	65	64	65	64	66	65	

說明：混和均勻 imageJ 計數不再超越高點數字。代表液體混和均勻時。

5. 八爪造型的混和速度最快。一字形最慢。



5.攪拌速度越快均勻效果越好

表 各式攪拌槳攪拌達擾動及均勻時間(轉速與攪拌效果之關聯)

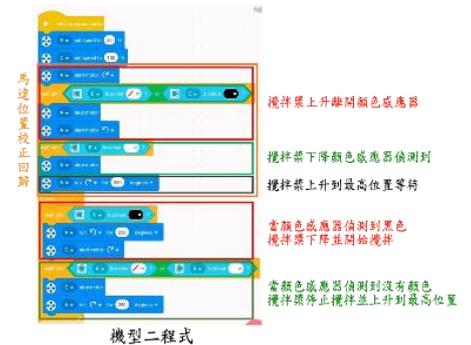
攪拌槳 馬達轉速	一		Z		H		八爪	
	擾動	均勻	擾動	均勻	擾動	均勻	擾動	均勻
100%	2sec	17sec	3sec	6sec	2sec	6sec	2sec	5sec
75%	3sec	×	4sec	7sec	3sec	8sec	3sec	6sec
50%	5sec	×	5sec	60sec	5sec	×	4sec	7sec
25%	9sec	×	15sec	×	6sec	×	5sec	10sec

表 100%動力下攪拌速率與均勻度計算

6.系統控制設計結果:

- (1) 由超音波偵測水位高度，低水位時傳送訊息至 Arduino 控制器，啟動抽水馬達。
- (2) 高水位時停止抽水馬達，SPIKE 顏色感測器偵測到伺服馬達的黑色葉片，啟動馬達攪拌旋轉。齒輪與覆帶控制上下升降及定位，以提升精準度。隨後進行轉動速率調整，攪拌完成，上升至定位點。
- (3) 顏色感測器須調整及解決水位感測器受攪拌槳干擾問題。
- (4) 如何去除攪拌槳上之磁油，**思考如何退出攪拌杯或者從攪拌槳轉出。**
- (5) 機型二有多道程序必須**利用人工介入，無法連續自動化處理**，考量實際應用時的可行性，決定修改為**槽內機型齒輪帶動轉軸。**

(6) SPIKE 程式如右圖。



6. 發現問題

- (1) 無法清理**攪拌槳上**的鐵粉油塑膠微粒混合物。
- (2) 須解決讓攪拌槳退出運作及**攪拌槽退出**機構設計。
- (3) 考量磁鐵掛載有上限，**同時攪拌槳的更換、清理非常不方便，需要人工手動。**
- (4) 抽洗衣水進入攪拌杯時，**超音波感測器會受到攪拌槳和水管干擾，造成誤判。**

說明：

1. 磁鐵掛載有限，**磁鐵與攪拌槳是否可分離**? 如何設計過濾槽讓過濾效果最佳化?
2. 針對發現的問題進行機型三攪拌槽設備之改造。

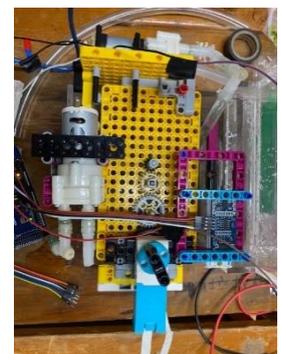
【實驗五之3】「鐵磁攪拌器」機型三

(一)研究步驟

1. 架設分層過濾槽加上過濾水循環系統流向。
2. 配合過濾槽設計攪拌槳及轉速，提升鐵磁攪拌槽的效能。
3. 統整程式設定連續自動化系統作動。

(二)研究結果

1. 過濾槽與攪拌槽利用**重力原理**設計**斜坡**流入**攪拌槽**。
2. 淨塑槽第一層跟第二層是要減輕磁油的負擔，第一層是過濾平均在 2mm 以上的微粒。第一層不可擺放太細網目濾網，因為容易造成進水時堵塞，導致整個過濾系統水回堵。第二層是不鏽鋼網 250 目，除了可以加快過濾速度也可過濾掉絕大多數的雜質和微粒。



3. 將過濾棉改換成過濾網。第一，因為過水的速度較慢，第二考量到過濾棉材質也是塑膠纖維。因此排除在過濾水循環中產生二次微粒的可能性。第三不鏽鋼材質不怕生鏽，使用壽命也較長久，用毛刷把卡住的雜質刷一刷，即可以重複使用。第四擔心產生污染。
4. 運用 Ariduno 與 SPIKE 的程式設計，改良版過濾水循環系統可以達到自動偵測水位和確切時間點啟動攪拌槽作動並作動至鐵磁流體過濾，皆為自動化循環完成。
5. 實驗過程中，不斷地發現問題點，同時也針對問題來修正機型結構，利用表格說明三代機型進化的過程及優、缺點分析。



6-17 三代鐵磁攪拌器機型比較表

機型一：使用橡皮圈帶動馬達	機型二：多種齒輪運用結合履帶	機型三：增加過濾層/磁鐵與攪拌分離
優點： 1. 組裝容易 2. 更換洗衣水快速 3. 清理更換強力磁鐵容易	優點： 1. 解決沉積在底部與角落的懸浮物 2. 可以迅速更換齒輪種類改變轉速 3. 更容易調整攪拌槳上下的移動距離	優點： 1. 增加其他過濾材料以減輕強力磁鐵負擔 2. 攪拌槳移除磁鐵重量後，更容易帶動大量水轉動 3. 容易清理強力磁鐵上吸附的鐵磁流體 4. 分層過濾，層層過篩 5. 自動化偵測水循環流量
缺點： 1. 磁鐵掛載受限 2. 無法攪拌均勻 3. 懸浮物沉澱在底部	缺點： 1. 掛載磁鐵數量還是受限 2. 不容易更換磁鐵及清理吸附在磁鐵上的鐵磁流體 3. 需要手動放入和移出攪拌杯 4. 無法先過濾較大顆微粒	缺點： 1. 攪拌槽下方會有部分殘留洗衣水 2. 尚有部份油無法完全清除 3. 沒有物聯網監控系統運作
<p style="text-align: center;">最佳機型參數：迴轉半徑-5cm，長度-15cm，轉速-97.8 rpm，機型-八爪型(垂直高 12cm)，磁鐵分離攪拌槳。 (以 1000ml 燒杯為基準)</p>		

【實驗五之4】「鐵磁攪拌器」與「鐵磁流體過濾槽體」的建立

(一)研究步驟

第三層跟第四層是使用鐵材質 50 目濾網，因為有油和鐵粉不可使用太細小目數可以延伸磁場，但不鏽鋼材質無法。所以有磁力的鐵網對於包覆有塑膠微粒的鐵粉和油的穿過時，可以有更高的補抓能力。另外，鐵本身對於磁力來說有集中與複製的能力，鐵網跟強力磁鐵放置久了，也會變成微弱的磁鐵，來達到更好的吸附效果。**維持磁力場**

(二)研究結果

1. 攪拌槽經過超音波感應器確認低水位，通知 Arduino 啟動幫浦抽入洗衣水。超音波感應器確認水位抵達高水位，

鐵磁分離 攪拌及磁吸兩槽照片

通知停止抽水並啟動幫浦抽取鐵磁流體進入攪拌槽。

- 攪拌完成之後，啟動幫浦將油水抽進鐵磁流體過濾槽。
- 增強磁鐵磁力會增加磁鐵彼此吸附黏在一起的現象。引此設計磁鐵槽擺放位置如下

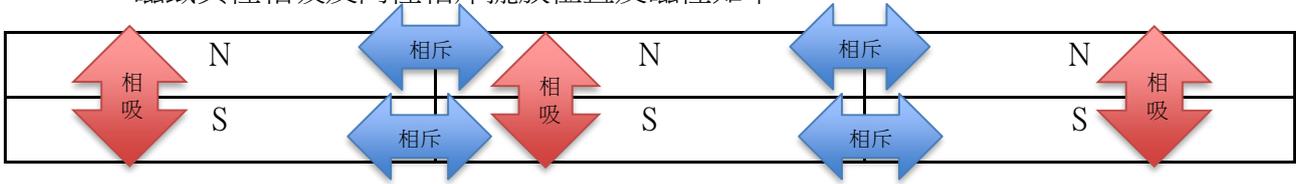


圖 6-5 磁盒磁力示意圖

表 6-18 磁鐵彼此靠近發生作用力開始產生移動的距離之平均數(有作用力的磁力範圍)

型號尺寸(mm)	編號	重量平均數(g)	水平產生作用力磁場距離		垂直靠近產生移位的距離 cm	在鐵網上產生錯位的距離 cm
			水平產生相吸距離 cm	水平產生相斥距離 cm		
大-長 2.5*寬 4*高 0.9	1-6	30.3	8	8	7	4
中-直徑 22*高 8	1-8	20.2	6	6	6	2.2
小-直徑 20*高 5	1-10	10.1	5	5	4	1.5

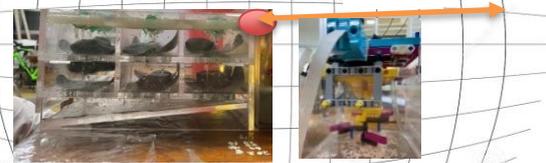
4.左右相斥避免黏在一起，透過上下相吸固定在下方，左右相斥讓磁鐵固定在中央。最後透過鐵網與磁鐵接觸磁化，兼顧過濾與磁吸效果。因摩擦力增加左右間格距可縮小至 5cm，最後設計長 5cm*寬 6.6cm*高 4.5cm 之過濾槽。

5.攪拌槽位在磁鐵槽 8cm 的磁場範圍產生鐵磁流體效應。

6.磁鐵盒設計以大磁鐵距離為設計，分為上下二層，是為了避免鐵磁流體在第一層時沒有完整的被吸附乾淨，再到下層吸附一次。另外每一層又分為三格，是為了增加鐵磁流體被磁鐵吸附的面積均勻。



圖 6-6 磁鐵受力圖



攪拌槽流體位在磁場作用力範圍內

【實驗五之 5】鐵磁流體攪拌器與抽取鐵磁流體時間測試

(一)研究步驟

- 實際量測長 5cm*寬 6.6cm*高 4.5cm 之過濾槽操作水量，取停水後之水體量測
- 為使鐵磁流體攪拌漿達到最佳攪拌狀態，以超超速攝影機，每秒拍攝 10 張，每張 0.1 秒。再以 imageJ 測量顆數。當第一顆塑膠微粒離開底層不再落下即判定為擾動，擾動到最

大經由 imageJ 計數軟體計算開始減少不再有超越的數量開始即為均勻。取均勻秒數。

3.

(二)研究結果

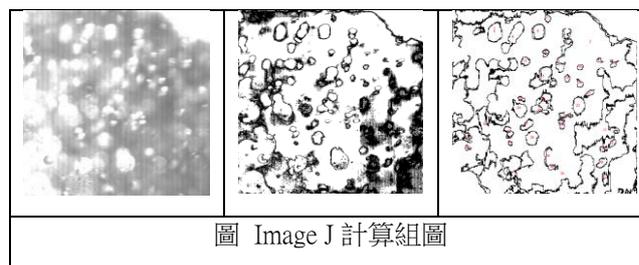
1. 水槽體積使用燒杯量測，量水注水直至抽水馬達啟動止，結果為 1300 ml。

2.按鐵磁流體抽易體比例 應注入 13ml 鐵磁流體，應抽 4.467 秒。

表 抽水馬達抽 500ml 液體所花時間(秒)

材質種類	水	沙拉油	鐵磁流體
第一次(sec)- 第三次平均秒數	16	31.96	171.82
流速(ml/sec)	31.25	15.64	2.91

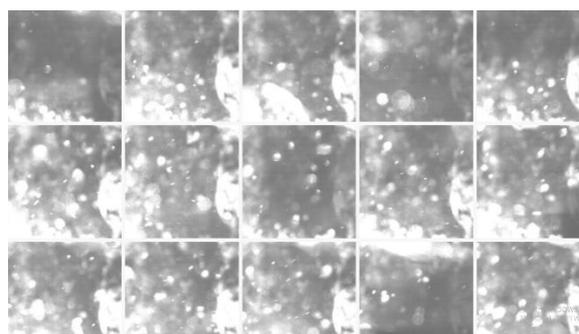
3. 高速攝影取得之連續圖如右圖。每 1 秒取一張照片以 image J 計數所得數量如下圖，油塗得知最佳攪拌時間設定為 10 秒即達均勻狀態。



鐵磁攪拌器攪拌高速攝影 imageJ 統計表(兩次平均數)

秒數	1 秒	2 秒	3 秒	4 秒	5 秒	6 秒	7 秒	8 秒	9 秒	10 秒	11 秒	12 秒	12 秒
兩次平均數	35	52	52	59	58	67	63	64	71	62	65	67	70
顆數													

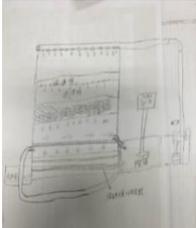
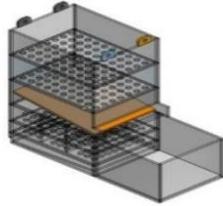
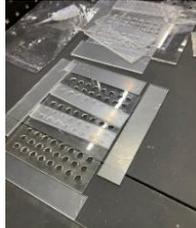
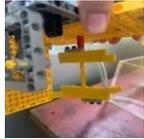
圖 鐵磁攪拌器攪拌高速攝影連續圖(每 0.1 秒拍攝一張)



【實驗六】如何建置智慧型家用洗衣機處理槽系統

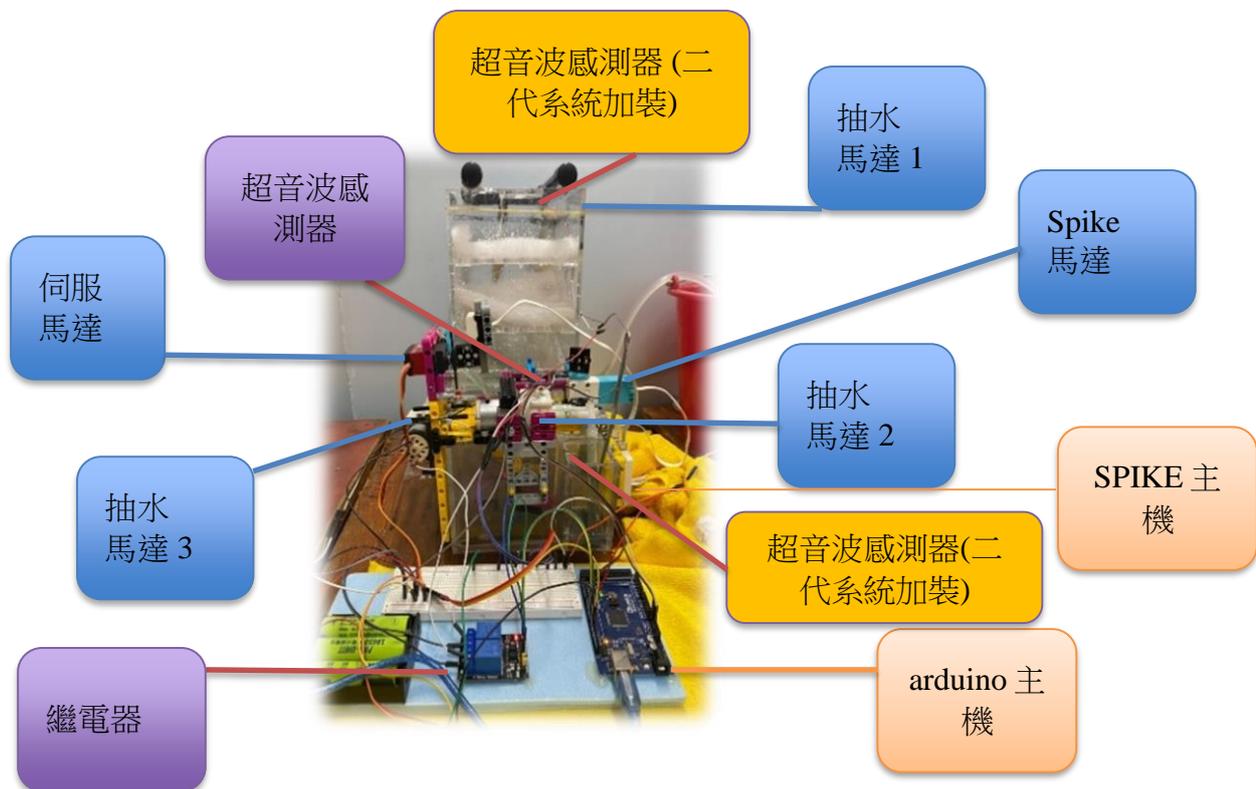
(一) 研究步驟

1. 手繪製過濾槽與鐵磁流體攪拌槽組合圖，再以 123Design 繪製組裝圖
2. 組裝槽體過程 水管與電線

1.手繪構圖 	2.123Design 繪圖 	3.雷射切割 	4.黏合組裝 
5.防水測試 	6.雨淋管打洞與注水位置測試 	7.確認後黏合雨淋管 	8.附掛水管串連達到分層過濾循環 
9.配置抽蓄水槽馬達 	10.裝設分流管讓鐵磁流體達到分散過濾 	11.鐵網包覆磁鐵 1 舖放不銹鋼濾網在分格層 	12.架設浮球開關監控蓄水槽水位 
13.攪拌槳動力齒輪設計 	14.攪拌槳設計水槽四角落無法拌勻 	15.改良版攪拌槳立體設計 	16.放入水槽實測 

3. 系統硬體規劃：

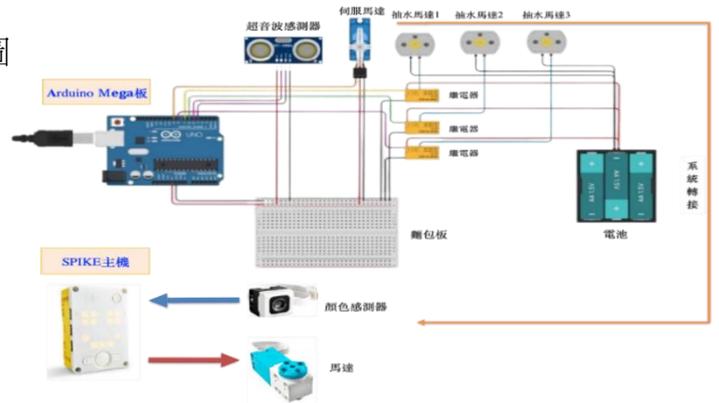
(1) 繪製設計圖 (2)配置 Arduino 及 SPIKE 主機 (3)裝設感測裝置及馬達



規劃運作線路

(1) Arduino 系統硬體規劃圖
Tinkercad 軟體繪製)

(2) SPIKE 系統規劃如右



4. 兩套系統透過伺服馬達作為轉換工具

(1) 運用抽水馬達，由 Arduino 控制抽水
的時間和啟動時間。

(2) 利用超音波感測器來感測水位高度，將訊息傳至 Arduino。

5. 系統運作流程(含啟動裝置)

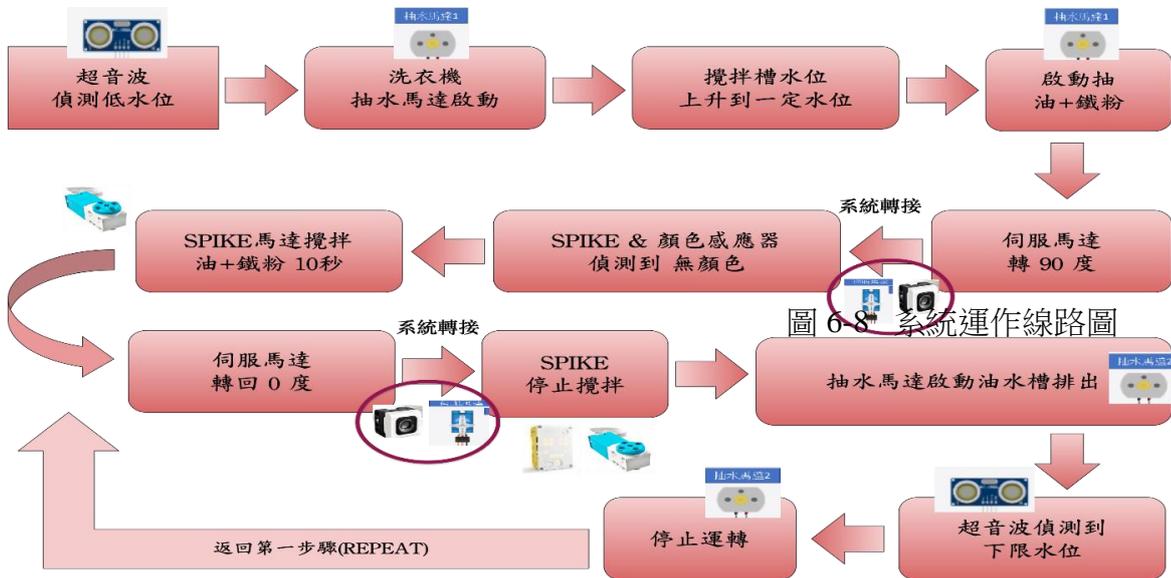


圖 6-8 系統運作線路圖

配置電線及水管

圖 6-9 系統運作流程圖

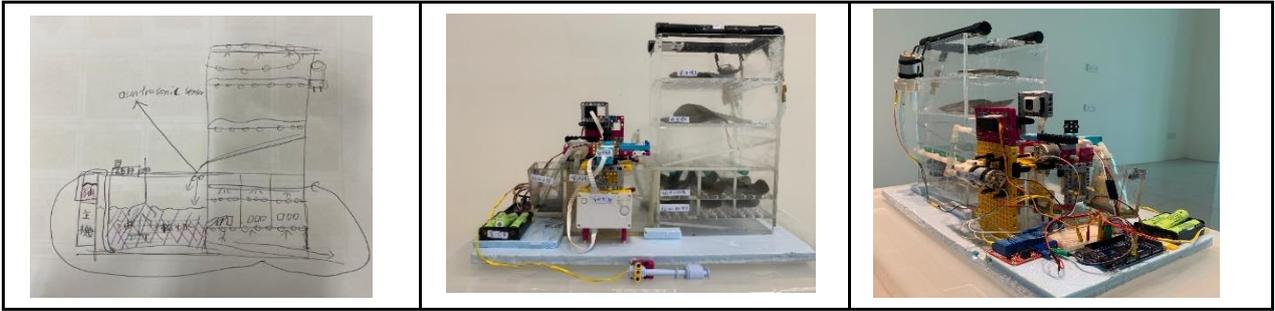
- (1) 以軟管連接抽水馬達與水槽。
- (2) 以熱熔膠固定抽水馬達。
- (3) 系統運作實況影片請掃描 QR Code。

圖 6-10 系統運作實況

(二) 研究結果

兩套系統可以透過伺服馬達順利作為轉換工具。以 18650 電池(3.7V) 三顆共 11.1V 供電，4 顆電池會讓單一馬達超過 12V 上限而燒毀。透過程式控制馬達開啟時間，可確保供應每顆抽水馬達 (5-12V)最高電壓至 11V，讓馬達聲最大的抽水速率。

初步手繪設計圖	正面照片	側面照片
---------	------	------



【實驗七】如何建構智慧監控連網功能(第二代系統)? 研究步驟

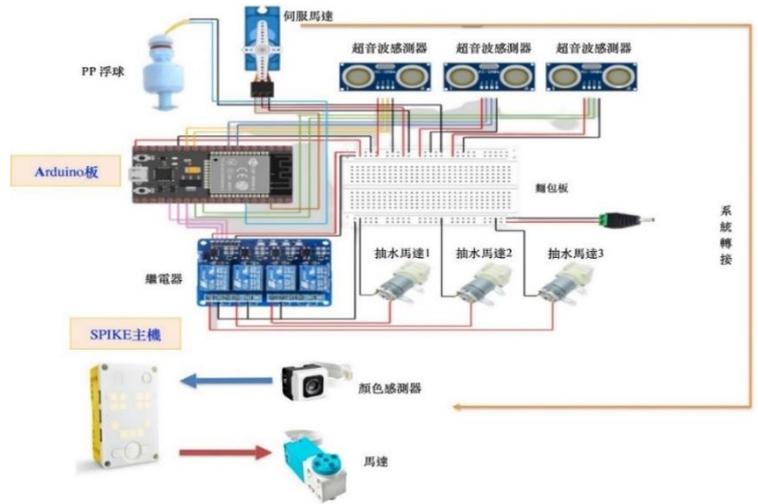
1. 使用具有無限模組的 Arduino ESP 版。

2. 加裝超音波感測器 1.2。

3. 配對腳位及電源 (如圖 6-7)。

(二) 研究結果

1. 運作線路圖



系統程式分三部份，一份為 ESP32 控制器上的程式，是使用 WE 工具撰寫，另一個

為手機平板 App 上的程式，則利用 MIT APP Inventor 程式工具撰寫，第其流程程式描述圖(演算法),如圖 7-2

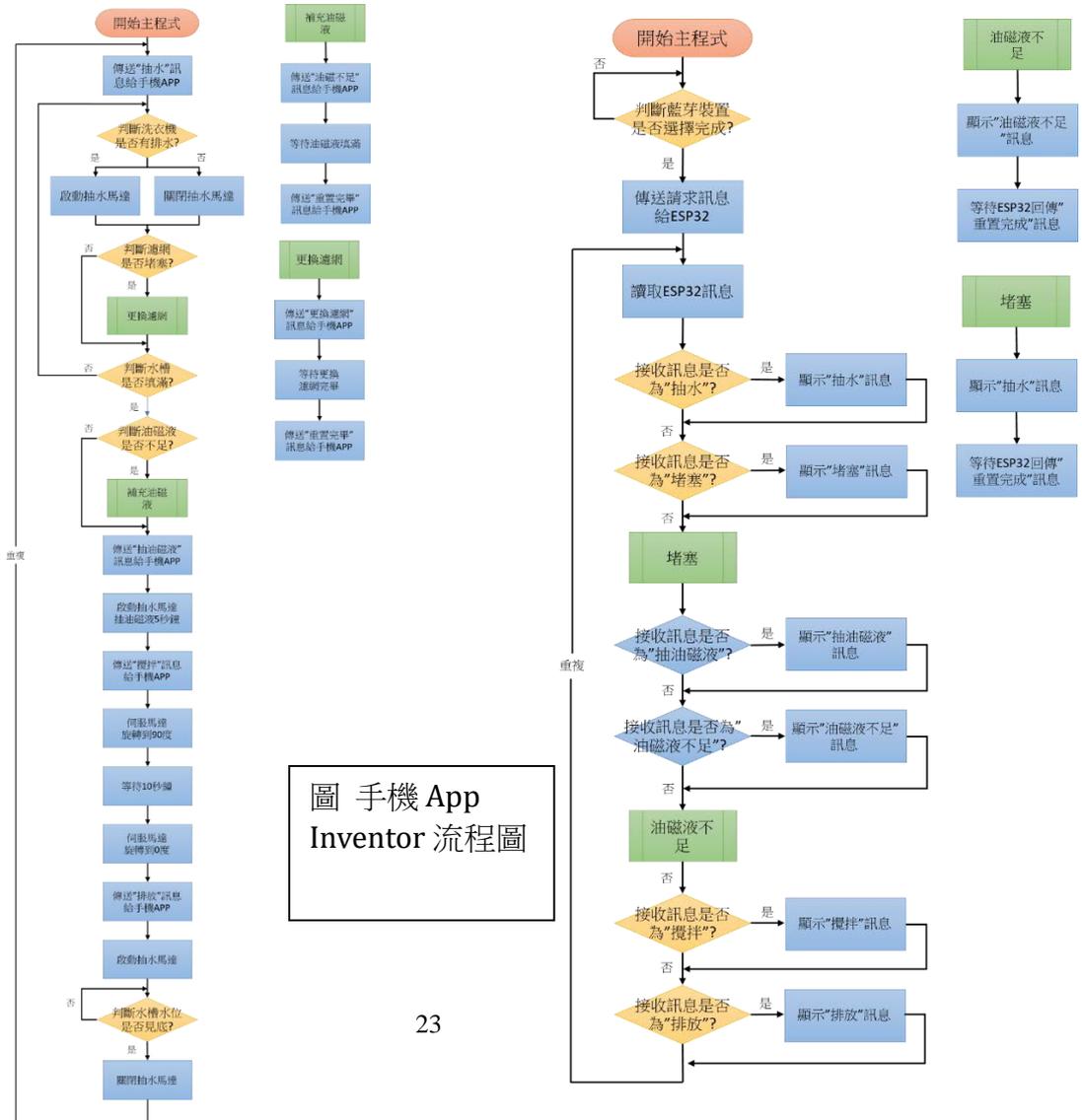


圖 ESP32 控制器 流程圖

圖 手機 App Inventor 流程圖

【實驗八】如何透過程式進行水槽控制與系統統整運作？

(一) 研究步驟

1. Arduino ESP32 板使用慧手科技開發環境 motoduino 拉積木方塊程式，分為二大部分**第一部分感知層控制器來回報環境改變**有超音波感測器、PP 浮球、顏色感應器，**第二部分為運動元件執行輸出運作**有 180 度伺服器馬達、抽水馬達、SPIKE 馬達，依據研究目的系統運作流程，撰寫執行任務所需程式。

2. 按實驗五攪拌 SPIKE 攪拌槳時間設定 10 秒起為攪拌均勻秒數，鐵磁流體

(二) 研究結果

1. 撰寫執行任務所需的程式按時間軸流程如下：

順序	設備	動作	程式
1	PP 浮球及超音波感測器	PP 浮球感測水桶進水，超音波感測器傳至 Arduino，抽水馬達 1 啟動抽水。	
2	超音波感測器與伺服馬達	超音波感測器偵測水量小於 4.5cm 傳給 Arduino 馬達停止抽水啟動抽水馬達 2 將鐵粉與油混和液抽至攪拌槽，伺服馬達轉動 90 度觸發 SPIKE 攪拌 10 秒。	
3	顏色感測器與 SPIKE 馬達	顏色感測器偵測到顏色就正轉，沒有顏色就停止旋轉。	
4	伺服馬達與抽水馬達	轉動伺服馬達，觸發 SPIKE 停止轉動，抽水馬達 3 開始抽水，水位高於 11cm 進行下一階段。	

說明：1. 超音波感測器實測，會受水體的反射光線影響，馬達會空轉，因此設定感測距離為 11cm。

2.SPIKE 轉速實測，在水中與空氣中，轉速不同。因為水中有阻力會造成降速現象。

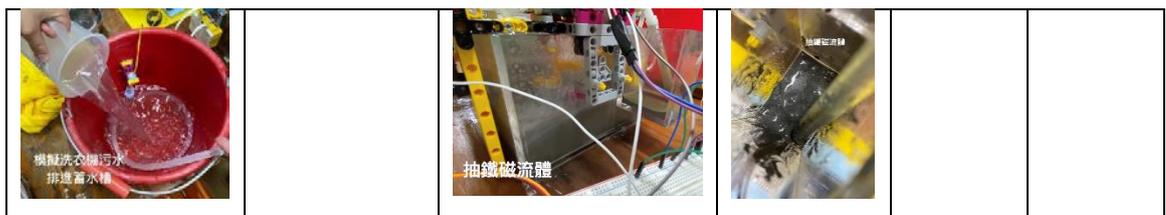
怪

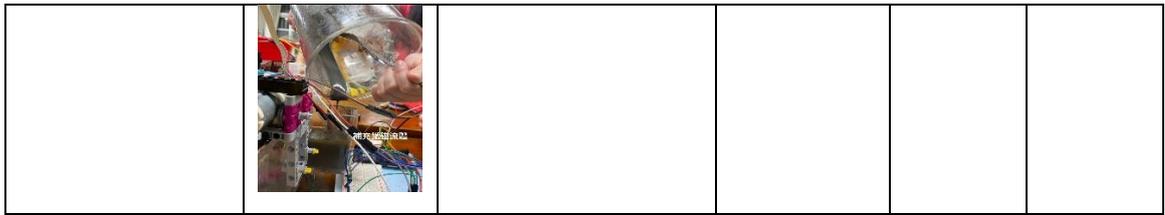
2.手機平板 App 上的程式,則利用 MIT APP Inventor 程式工具撰寫如下:

【實驗九】驗證「智慧家用洗衣機塑膠微粒清除系統」清除塑膠微粒效果？

(一) 研究步驟

- 1.使用簡易洗衣機(4000cc 的水及 200 克的聚酯纖維衣物，清洗 20 分鐘)所排出污水，實際測試系統。
- 2.顯微鏡觀察過濾槽及最後排放出過濾後的水。
- 3.Image J 計算實驗組及對照組的過濾前後的差異。





1. 圖「智慧家用洗衣機塑膠微粒清除系統」清除塑膠微粒連續圖

(二) 研究結果

1. 系統過濾前簡易洗衣機所排出污水中，容易看到許多塑膠纖維。經系統過濾後，層層過濾經過水循環所排出來的水，在顯微鏡下觀察找不到塑膠纖維。鐵磁分離槽過濾網相當乾淨，大型塑膠微粒已在淨塑槽中過濾完畢，用不同倍率顯微鏡觀察已找不到任何塑膠纖維。



鐵磁分離槽第一層過濾物
磁鐵+鐵網 50 目

2. 根據統計清除率達 $1-0.6\%=99.4\%$ 。

3. 鐵磁流體再次回收使用也達 99% 的清除率。

表 智慧家用洗衣機塑膠微粒清除系統實際運作清除率

	過濾前纖維(m)				經過濾一層(n)				經過濾二層(p)				經鐵磁流(q)				剩餘率(r)% r= q/m			
	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
纖維代碼	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
第一次平均數	38	19	21	33	6	16	18	53	0	0	0	17	0	0	0	13	0	0	0	39.39
第 1-8 次平均數	44	30	32	33	6	16	18	53	0	1	7	24	0	0	0	16	0	0	0	48.48
鐵磁流體再利用	30	22	20	30	5	10	15	48	0	1	3	30	0	0	0	14	0	0	0	46.67

備註：塑膠微粒長度代碼 a-長度 5mm 以上、b 長度、c 長度、d 長度 0.058mm 以下。

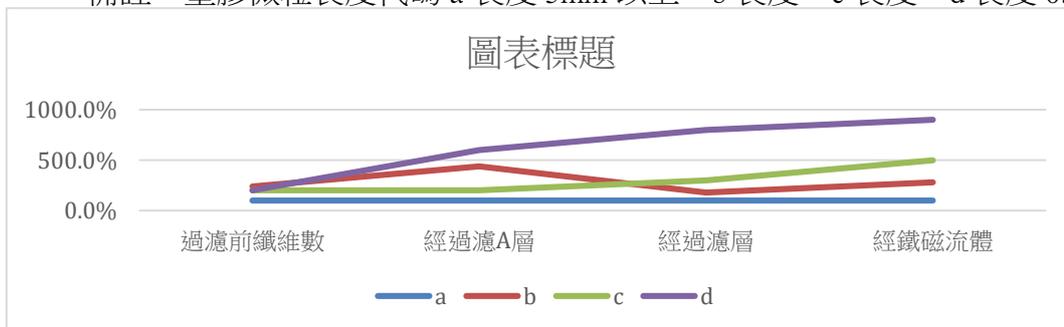
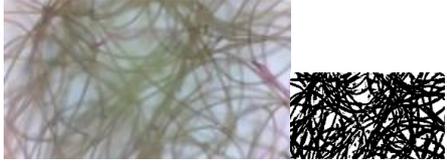
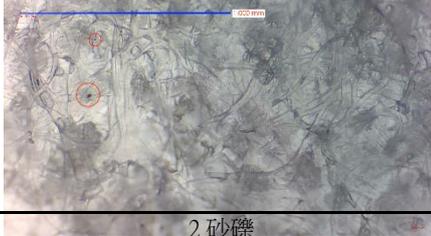


圖 智慧清除系統清除統計折線圖

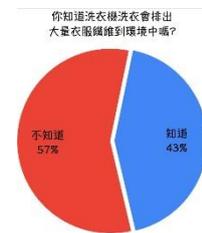
表 6-19 系統過濾前後觀察

系統實驗證實	對照組-系統過濾前(左：照片，右：計數影像)	實驗組 40X-系統過濾後
--------	------------------------	---------------

顯微鏡影像 40X		
Image J 數	424 條	2 矽礫

柒、討論

- 一、蒐集家裡各種排放污水，發現在**家用洗衣機排放水**中，觀察到**最多**條狀物與顆粒物，文獻中的塑膠微粒多為顆粒狀，為證明**條狀物**為**衣物纖維**，進一步以顯微鏡觀衣物洗滌前和洗滌後之過濾物拍照記錄，發現塑膠衣物纖維為**長條狀**。研判洗衣機的塑膠微粒由衣服洗滌中的離心力及摩擦剝落，外觀為**長條纖維狀**，環境中的塑膠微粒為**風化剝落成顆粒狀**。以顯微鏡觀察，比對塑膠衣物之纖維，洗衣水排放纖維具有**表面光滑、均勻平整、光澤度高**的特徵的為塑膠纖維，塑膠纖維經過**高溫**電烙鐵測試，可以**融化**，過程中發現尼龍材質的塑膠纖維脫落量較少。
- 二、以複試顯微鏡 40 倍觀察塑膠纖維，透過**自製顯微鏡尺**量測顯微鏡中觀測物的**實際長度及面積**，長度約為 0.3mm，洗衣機排放污水取樣 500mL 每平方公厘有 42 條。經推估計算 90 平方公分*42 條*2*110 公升，洗一次衣服排放 80 萬 3120 條塑膠纖維。塑膠微粒若能系統性清除，對環境有很大的幫助。尋找判斷單位體積纖維數的方法，**濁度感測器**感應器可以有數值差異，但額外使用 **Arduino** 及**三用電表**測試導電度，均無法取得數值以供判讀。因此最有效直觀的方式，是以過濾後**用顯微鏡觀察**並以**面積比回推排放量**，可以得知一次洗衣塑膠纖維的排放情形。
- 三、從實驗三得知傳統**過濾網**得以**過濾大型塑膠顆粒**，具有**容易更換濾材**的優點，惟顆粒 0.5mm 以下顆粒大小纖維經測試，不容易由市售濾網濾除。過濾成效較佳的市售過濾設備如 RO 飲用水靜水器，並不適用於排放污水量大之排水，且成本過高，本研究設計**滴漏式系統及流量智慧控制**具有**容易回收材料**且方便**回收鐵磁材料**的濾槽分離設計。
- 四、靜電吸附式透過靜電產生器測試，聚酯纖維等塑膠纖維**乾燥時**可以迅速感應吸附，靠近電流則無法產生吸引現象。相同的塑膠纖維泡在水中，卻無任何動靜，經查資料，靜電電子在水中等具有導電性質液體，會流失靜電力。因此靜電方式吸附塑膠微粒無法設計於處理大量水體系統內應用。但獲得靜電**可以吸引塑膠的重要現象**。我們思考相仿的超距力磁力是否可以吸附塑膠，發現透過**鐵磁流體**的形式對**塑膠微粒**產生**吸附力**。



- 五、鐵磁流體經實驗，黏稠性較低的沙拉油與鐵粉結合對於微小的塑膠微粒可以有最好的清潔效果，濾網加上鐵磁流體可以去除塑膠顆粒及纖維。設計均勻的攪拌系統可以完整吸附塑膠纖維，並將之去除。嘗試以濁度感應器觀察可以觀測污水濃度變化，當水質澄清之後，濁度感應器的感測效果不明顯，同時易受洗衣粉或洗衣精影響，不適用於各式洗衣水觀測用。
- 六、智能塑膠微粒清除設備為滴濾式及攪拌式設計，透過系統分析、功能需要分析、單元測試、整合測試等一連串測試，最後在測試與驗收完成後，本系統能藉由馬達抽水有效控制抽水速率，並控制污水停留在攪拌槽時間，增加鐵磁流體吸附時間，讓塑膠微粒完整被清除。因此，智慧型家用洗衣機塑膠微粒清除系統是具有高效能的清除系統。
- 七、過濾槽超音波感設器可以有效的感應測試水位，在進水及排水時間控制可以透過 arduino 控制器進程式設計，與攪拌系統連結，並透過伺服馬達旋轉棒作為中間媒介。抽水馬達以不同電壓控制排水速率，在濾網設計及攪拌時間內可以 12V 電壓最大的速率進行抽水及排水。惟抽水馬達有因串聯不當產生燒毀情形，經程式調整後每個馬達運轉時間錯開，可個別以最大電壓進行運轉，也可避免電流過大的產生損壞。
- 八、滴濾式系統參考水族館滴濾式系統設計，開始實驗發現因水壓不足關係，濾網過濾纖維累積在排水前端，因使設計滴漏管讓水均勻滴漏在濾網上。
- 九、攪拌系統使用 LEGO SPIKE 零件，可以克服一開始其他零件不夠密合，容易鬆脫，以及系統感應和傳動延遲，還有馬達扭力不足等問題，經歷三代設計，傳動系統由橡皮更換為齒輪，傳動更有效率，更可以透過齒輪比產生更大的攪拌力矩，也可以承載更多的磁鐵數，並經由實驗 SPIKE 的齒輪 40:20，會產生最快且最有效的轉動效果。
- 十、攪拌系統透過超音波感測器成功偵測水位高度，顏色感測器，控制水位升降與攪拌啟動及運作時間，取代在 SPIKE 輸入控制時間，可智能判斷有水才啟動與結束攪拌，避免無水空轉的情形。
- 十一、實際測試攪拌速度越快，磁鐵因慣性掛載數量越少，而磁性越弱，吸附的塑膠微粒越少。第三代機型 3 系統採用磁鐵與攪拌槳分離，突破磁鐵掛載攪拌槳思維，最後鐵實流體鐵磁分離槽將磁鐵分離後，攪拌槳可以在不受掛載磁鐵的阻力下以最大速率轉動，讓攪拌槽有最佳的攪拌效果。磁鐵吸附鐵磁體的部分以鐵磁網(50 目)包覆磁鐵設計，另增鐵磁流體過濾槽，可以在槽體增大磁鐵數增加遠大於攪拌槳掛載數，並透過磁化效應，讓鐵網



產生**磁性**吸附鐵磁流體。槽體因此設計順序為**過濾、攪拌、磁吸**三槽。

十二、磁鐵槽網設計，透過磁鐵**同極相斥**，**異極相吸**原理，實際測試相吸、相斥的距離，可以成功在**油磁吸附槽(6 cmx4 cm)**放置磁鐵。磁鐵的強度可依照過濾槽地的長與高的長度設計而增加。第一層磁鐵可加強下方**磁力吸引**加上**重力牽引**，增加**摩擦力**而固定在攪拌槽。

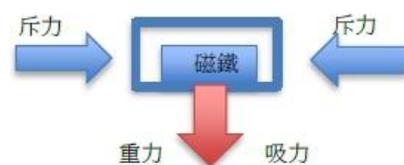


圖 7-1 磁鐵受力圖

十三、鐵磁流體材料槽與攪拌槽比例，反覆測試調整，抽取時間經計算需抽取**2 秒**，產生**50ml 鐵磁流體與 1400ml 的塑膠水**比例可以乾淨清除。

十四、Arduino 系統可以依排水量需求擴充抽水馬達數，並整合**超音波感測器**，擔任系統控制中樞，SPIKE 系統可以精準控制齒輪轉數及馬達轉數及扭力控制。Arduino 控制系統可透過**伺服馬達的中介設計(黑桿)**，傳遞**啟動訊號**給 SPIKE 的**顏色感測器**，透過此種傳遞設計，可以精確的由 Arduino **整合過濾槽與攪拌槽系統**。

系統實驗證實	對照組-系統過濾前	計數影像	實驗組-系統過濾後
對照組 40X 系統過濾前			
Image J 數	315 條		1 條

十五、鐵磁流體回收再利用的可能

十六、實際測試，過濾槽**去除了大部分 0.5mm 以上的纖維**，鐵

磁流體攪拌槽清除了 0.5mm 以下之塑膠微粒，具有顯著成效，將來可以仿效英國立法推展**家家戶戶裝載洗衣機排水過**

濾系統，並在城市汙水處理廠裝設塑膠微粒清除槽，可以**有效清除家用及城市塑膠微粒水汙染**，還給後代一個**淨塑友善**的環境。



捌、結論

一、觀察家中各種汙水，家用洗衣機**排出可觀塑膠纖維**。經複式顯微鏡觀察，洗衣水排放纖維中具有**表面光滑、均勻平整、光澤度高**的特徵的為塑膠纖維。洗一次衣服排放約**62 萬**條衣物纖維。

二、經實驗以**濾網過濾**及**鐵磁流體**吸附塑膠微粒清潔過濾效果最好。

三、智慧家用洗衣機塑膠微粒過濾系統為**滴濾式(兩槽)**及**攪拌式(三槽)**式設計，濾網組使用

物理性過濾攔截 0.05mm 以上的塑膠微粒，透過鐵磁流體攪拌器去除 0.5mm 以下塑膠微粒。

- 四、攪拌槳之造型設計以 Model H 的吸附空間最大。Model Z 可以承載最多的磁鐵。螺旋狀的順時針及逆時針旋轉 2 分鐘，速率 97.8rpm 有最好的混和及過濾效果。
- 五、攪拌組攪拌槳設計速度越快對於不同性質的流體與固體的混和效率及均勻度最好，攪拌槽磁鐵與攪拌槳分離設計容易更換材料並便於進行鐵磁流體回收。
- 六、SPIKE 零件履帶帶動上下系統有最順暢的傳動效果，40:20 的齒輪比帶動旋轉則有最好的轉動速率。
- 七、Arduino 掌控智慧節能系統的運作，SPIKE 提拱精準的齒輪導件，課堂上學習的 Scratch 程式易撰寫設計，透過伺服馬達的轉動整合兩套系統，建構一套智慧運作與判斷的塑膠微粒清除系統。
- 八、60 分鐘內可完成 40 公升之汙水清潔，聚酯纖維、尼龍、聚丙烯有超過九成的清除率。
- 九、清潔機構可裝設於每台洗衣機，仿效英國立法家家戶戶裝設，淨水廠加設大型過濾朝可過濾塑膠微粒，鐵磁流體可與洗衣粉洗衣精製成清潔錠。

玖、參考文獻資料及其他

- 一、衛報 (2019 年 9 月 26 日)，[Vicious cycle: delicate wash releases more plastic microfibres](#)
- 二、獨立報 (2019 年 9 月 27 日)，[Delicate wash cycle is worst for the environment](#)
- 三、新堡大學新聞稿 (2019 年 9 月 26 日)，[Ditch the delicate wash cycle to save our seas](#)
- 四、唐祥恩、華子銘、趙偲婷、施禹安、馬順恩 (2020)。降塑「油」解!清除水中塑膠微粒的方式。第 60 屆全國中小學科展作品。
- 五、光武國中 (2021)。宿弊一清-探討使用靜電方式過濾塑膠的效果及改善洗衣水的回收方式。第 39 屆新竹市科展作品。

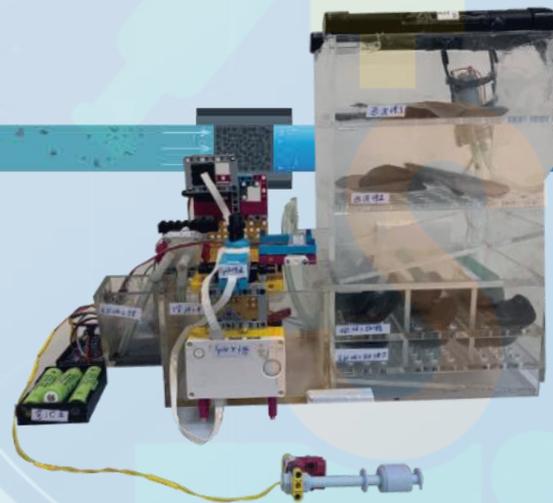
【評語】 082810

塑膠微粒是現今受重視的一大問題，針對居家廢水中含的塑膠微粒進行研究，是個貼近生活且具生態環保的議題。此作品設計塑膠微粒清除系統，觀察過濾、靜電與鐵磁流體清出塑膠微粒的效果，採用鐵磁流體設計過濾、攪拌、磁吸三槽清除水中的塑膠微粒，並整合感測器、馬達等組件達到自動化運行的目的，成功達成將洗衣水中的塑膠微粒去除的目的，具科學研究精神。

作品簡報

智慧家用洗衣機 塑膠微粒清除系統設計之研究

淨塑小子



科別：生活與應用科學科(一)(機電與資訊)
組別：國小組

研究動機

環境汙染
生態浩劫
健康危害

- 1、2每年進入海中**950萬噸**塑膠中，**家用微塑膠佔31%**，其中**2/3**是來自**日常洗衣沖刷**的纖維，比大型塑膠製品降解分裂後造成的污染更甚。
- 3.全球**83%**的可飲用水都已經被污染了！
- 4.所有的**生物也都吃到塑膠微粒**。
- 5.食物鏈回到人體內，連**血液裡都有了**！會引起癌症、高血壓、血管堵塞等疾病。
- 用**洗衣機**排放到環境中的**塑膠微粒**這麼多，卻都沒有**攔截清除機制**。



調查

市售設備沒有後置洗衣排放過濾器

洗衣機攔截網無過濾塑膠微粒功能

缺乏有效的偵測方式及智慧控制系統

市場具有物聯網高度需求

研究目的



- 1.調查家庭何處的水中具有塑膠微粒
- 2.觀察洗衣機排放之塑膠微粒的種類、特性及外觀
- 3.找尋適合洗衣機清除塑膠微粒的方法及效果
- 4.建立具有手機遠端監控功能的智慧型家用洗衣機處理系統
- 5.實測智慧型家用洗衣機處理槽系統過濾效果

研究問題



- 1.家中哪些地方有塑膠微粒？多少量？
- 2.排出塑膠微粒種類、外觀及長度？
- 3.如何清除塑膠微粒？
- 4-1如何設計「淨塑槽」？4-2如何設計「鐵磁流體攪拌過濾槽」？
- 4-3如何建置「智慧家用洗衣機塑膠微粒清除系統」？
- 4-4手機遠端監控功能？4-5如何程式控制與系統統整運作？
- 5.清除塑膠微粒效果如何？

b 今健康

塑膠微粒危害健康，淋巴、循環、大腦皆難逃！

較大顆粒	→	從糞便排出體外
細小顆粒	→	穿過肺、腸上皮屏障 (隨小腸液至腸系)
小於10µm	→	從腸道進入淋巴 (更微小至滲入大腦)

可能引起各種身體反應，如細胞損傷、炎症、免疫反應、神經毒性等(詳閱內文)。

資料來源：重症醫學 黃研醫師



研究方法與結果

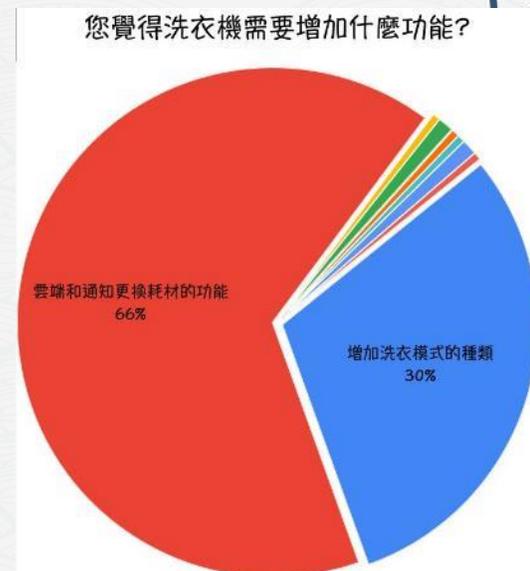


一、找找塑膠微粒，家裡何處出現最多塑膠微粒？



- 觀察家庭中客廳、廚房、浴室、洗衣間的家庭用水及排水，在4種家庭常見排水取樣，發現洗衣間滾筒洗衣機排放水排放最多塑膠纖維，每次洗衣達62萬條！
- 以google表單設計問卷調查進行需求評估，回收338份。洗衣機清洗仍然是近九成的洗衣方式，一週洗衣1次以上佔96%。一週洗衣7次的家庭，一週即排放320萬條纖維，數量相當可觀。
- 66%民眾反映需求，洗衣機需要雲端通知耗材更換的功能，而家用洗衣機有96%堵塞不會通知。

需求評估



洗衣機種類	Image J 計數	取樣點照片(面積 0.84mm ²)	比較	一次洗衣排放量推算
滾筒式洗衣機	65條		排出纖維量多	約62萬條 (65/照片面積0.84mm ² * 濾紙面積8100mm ²)
				洗衣機排出污水中佈滿不同顏色長條絲纖維最多



最多需求

- 增加洗衣模式的種類
- 雲端和通知更換耗材的功能
- 熱水洗淨功能
- 自動清洗洗衣槽
- 視髒污狀況自動調整洗衣劑與洗衣模式
- 減少排放塑膠微粒
- 無
- 不知道



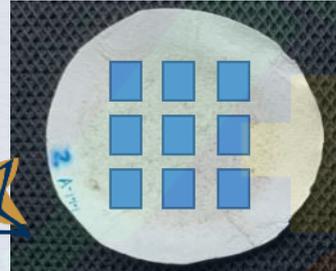
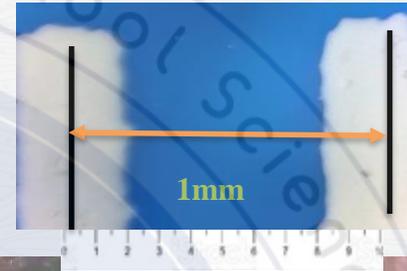
Image J計數

google表單設計問卷調查進行需求評估

二、家中洗衣機排出的塑膠微粒種類、外觀及長度如何？



- 觀察**塑膠纖維**，具有**光滑、透光、均勻平整**，比棉麻更**光滑流暢的邊線**。
- 每張濾紙取**九個樣點**觀察拍照，以軟體計算長度並記錄，共觀察**72個樣點**洗衣污水所排出纖維，長度0.83mm佔33.3%、0.83-0.18mm佔21%、0.18-0.058mm佔21%、0.058mm佔24.5%。**大部分屬於長1.5mm，寬0.01-0.02mm。**
- 以熱觸法會融化成球，而棉有燒稻草味道。



三、如何清除塑膠微粒？



	塑膠微粒是否偏移\材質	壓克力	聚丙烯PP	尼龍
傾斜角15度	水位高 0.5cm/1cm/1.5cm	無偏移	無偏移	無偏移
傾斜角30度	水位高 0.5cm/1cm/1.5cm	無偏移	無偏移	無偏移

物理過濾法:滾筒式洗衣機濾網為4~5目(孔徑4.75~4mm) 直立式洗衣機使用濾網為20~24目(孔徑0.83~0.7mm)能快速過濾1.5mm以上塑膠纖維

靜電法:浸泡水中之鋁箔無法吸附塑膠微粒，**靜電不適用**沉水設計

鐵磁流體法:產生「能把塑膠微粒困住的磁場」能非常有效去除微小纖維的方式。**沙拉油5ml+鐵粉5g**為好的材質及比例

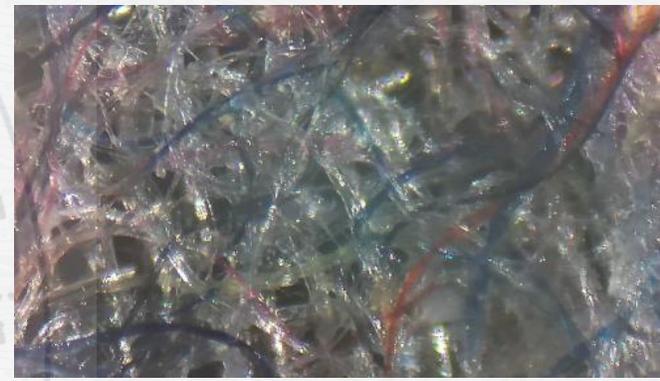
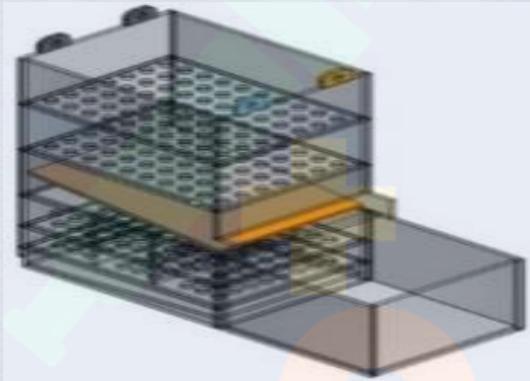
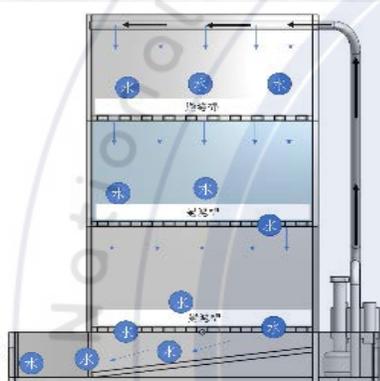


學科

四、如何設計「智慧家用洗衣機塑膠微粒清除系統」之「淨塑槽」？



- 物理性過濾，以槽狀用壓克力作為設計，**第一層可去除0.85mm以上的塑膠纖維，第二層去除0.058mm塑膠纖維**分層過濾網設計，依序放50目及250目不銹鋼網，可加層容易更換濾材，下方設計斜坡與攪拌槽銜接。



五、設計「智慧家用洗衣機塑膠微粒清除系統」之「鐵磁流體攪拌過濾槽」？



鐵磁攪拌器

攪拌槳掛載四個磁鐵設計不同造型 (前視圖)

Model 一
旋轉半徑3.5cm
垂直高4.5cm

Model H
旋轉半徑4cm
垂直高9cm

Model Z
旋轉半徑4.5cm
垂直高10cm

八爪(八個觸手)
旋轉半徑5cm
垂直高12cm

機型一



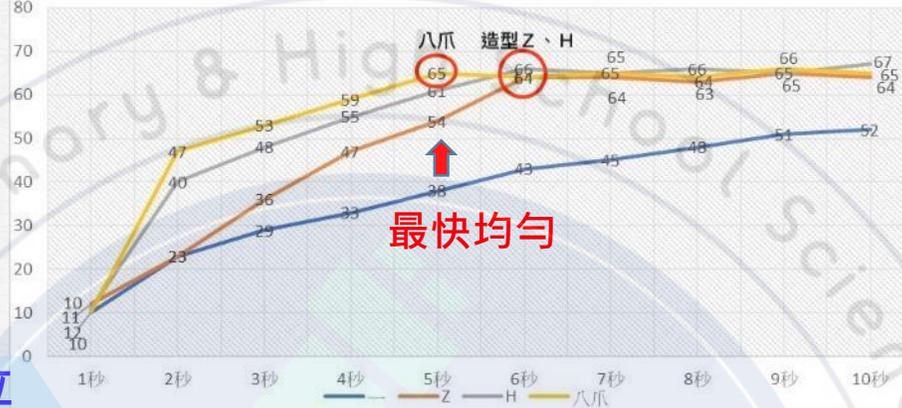
機型二



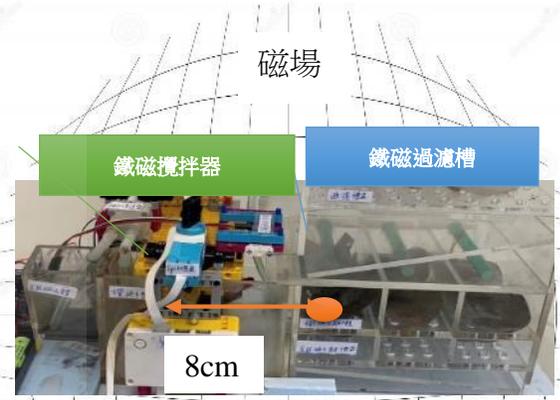
機型三



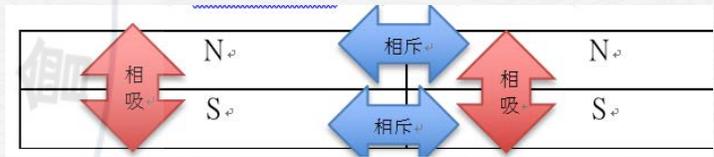
攪拌漿混合均勻所需之秒數



最快均勻



磁鐵: 磁力範圍球心
攪拌槽與流體位在磁場作用力範圍內



- 八爪造型混和速度最快。
- 最佳機型參數：迴轉半徑5cm，長度15cm，轉速97.8 rpm

「鐵磁攪拌器」與「鐵磁過濾槽」分離建立

- 將磁鐵與攪拌漿分離，可放最大的磁鐵，可吸附的塑膠微粒越多，清除效果越好。增加鐵網可以增加磁化的反應面積，並增加摩擦力，縮小過濾槽的間距。
- 鐵磁過濾槽：每格長5cm*寬6.6cm*高4.5cm
- 攪拌槽：長15cm*寬15cm*高11cm。

鐵磁攪拌器攪拌時間與抽取鐵磁流體時間測試

- 按鐵磁流體比例 應注入13ml鐵磁流體，抽 4.467秒。
- 最佳攪拌時間設定為10秒達均勻狀態。

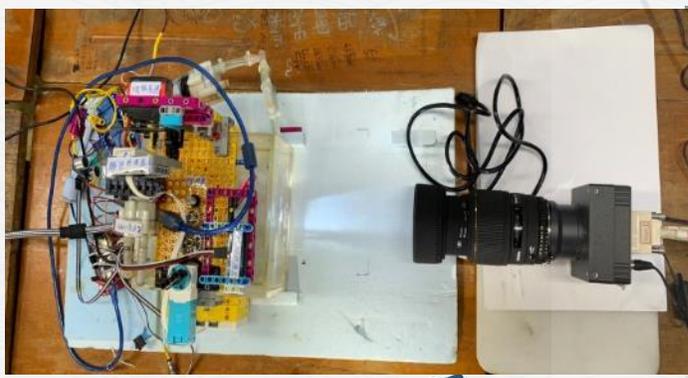
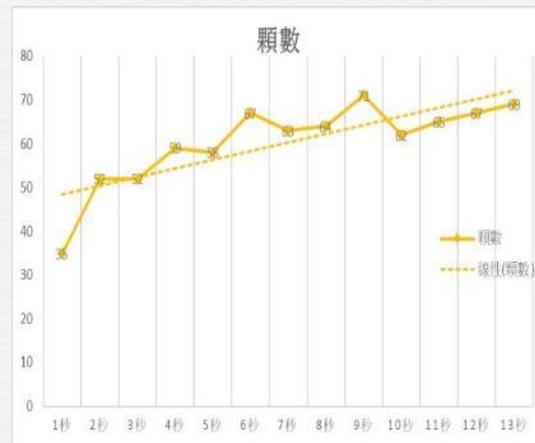


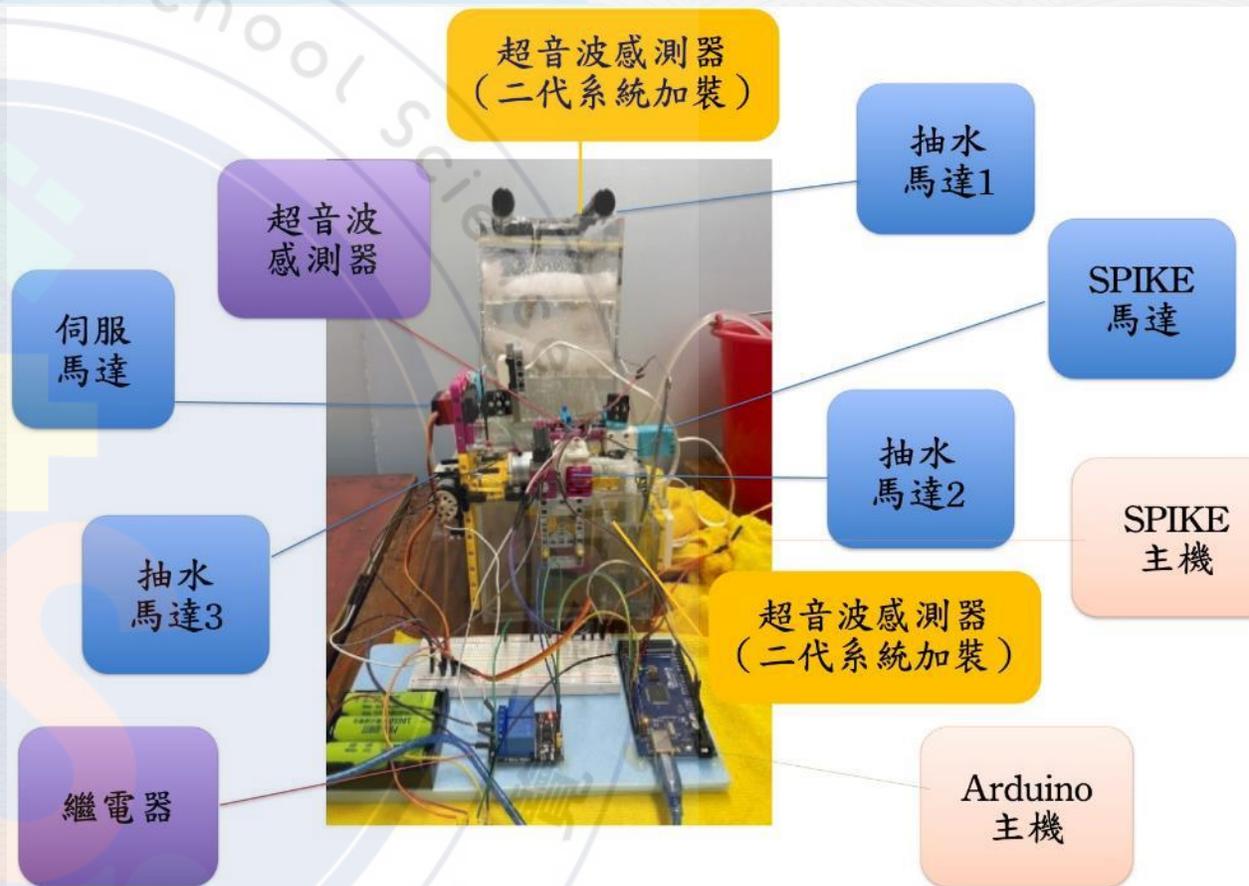
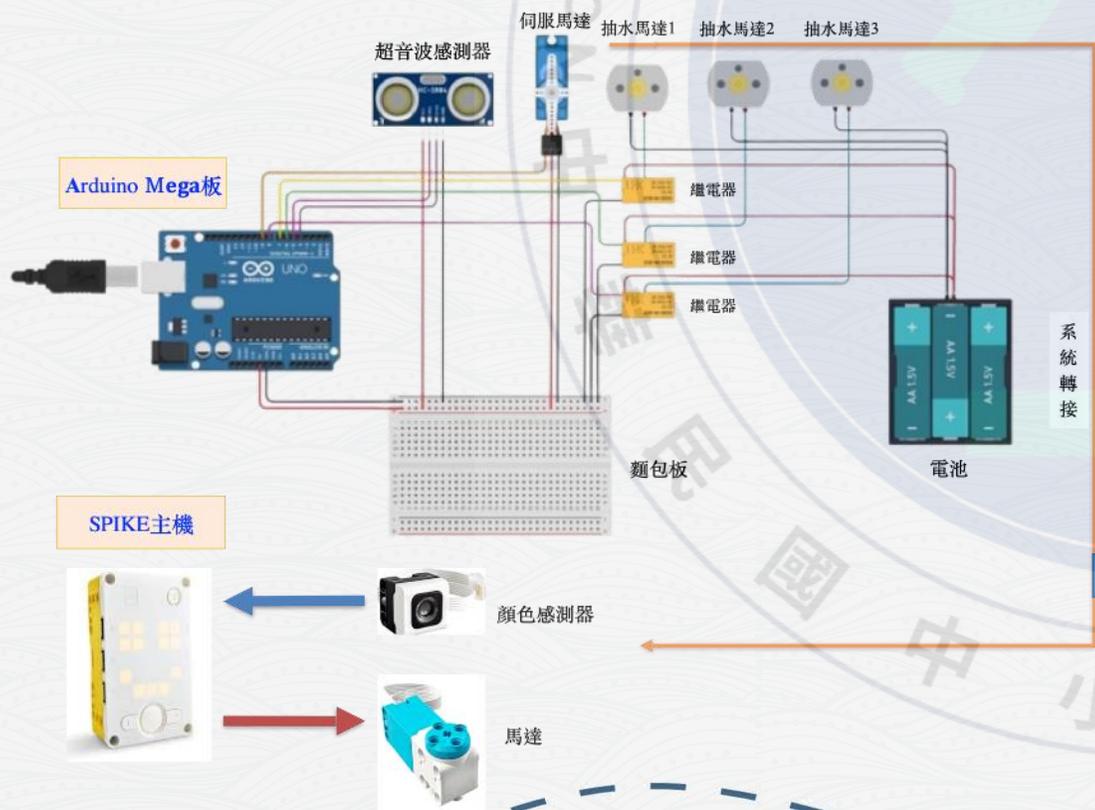
Image J 計數



六、如何建置「智慧家用洗衣機塑膠微粒清除系統」？



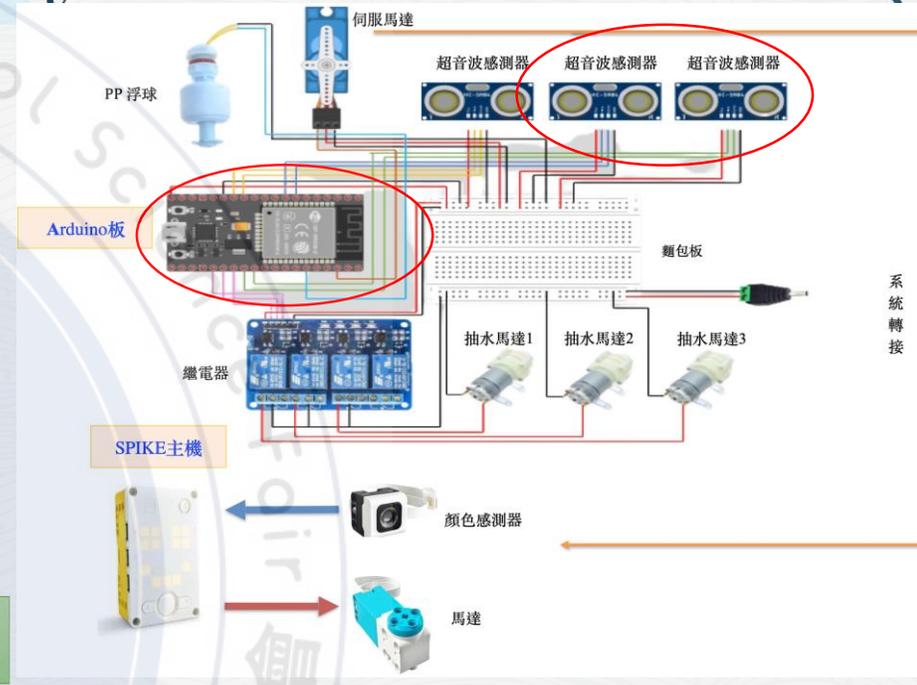
- 建立組裝槽體、硬體設備、線路規劃、配置電線及水管
- 系統硬體設計使用 **Arduino** 系統整合 **LEGO SPIKE**：感測元件有超音波感測器、浮球及顏色感測器，中樞大腦為 **Arduino mega** 板及 **SPIKE**，運動元件為抽水馬達、伺服馬達及 **SPIKE** 馬達，程式利用拉積木式圖像工具撰寫。
- 兩系統透過 **伺服馬達和顏色感應器** 連接
- 感測及運動元件線路由 **麵包版** 串接



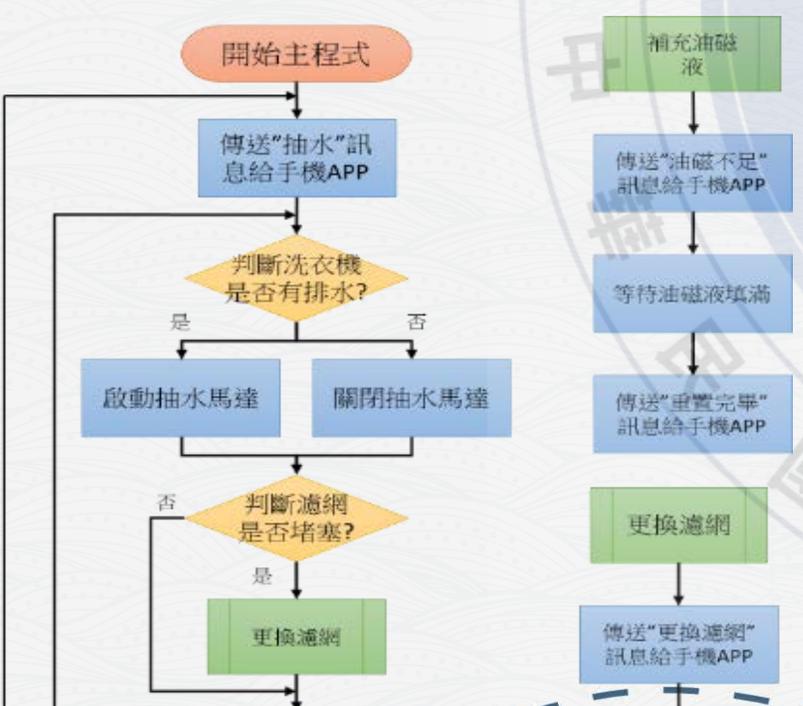
配置控制板、電線及水管

七、如何建構智慧監控連網功能(第二代系統)?

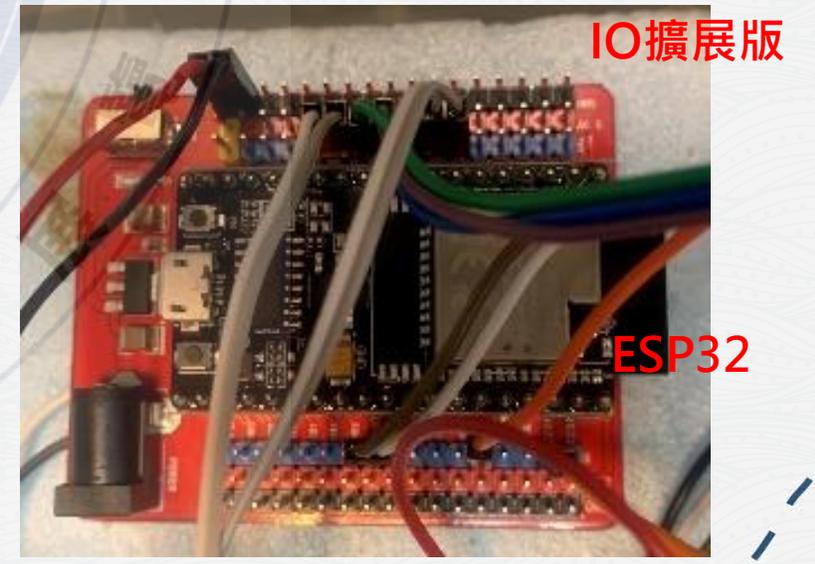
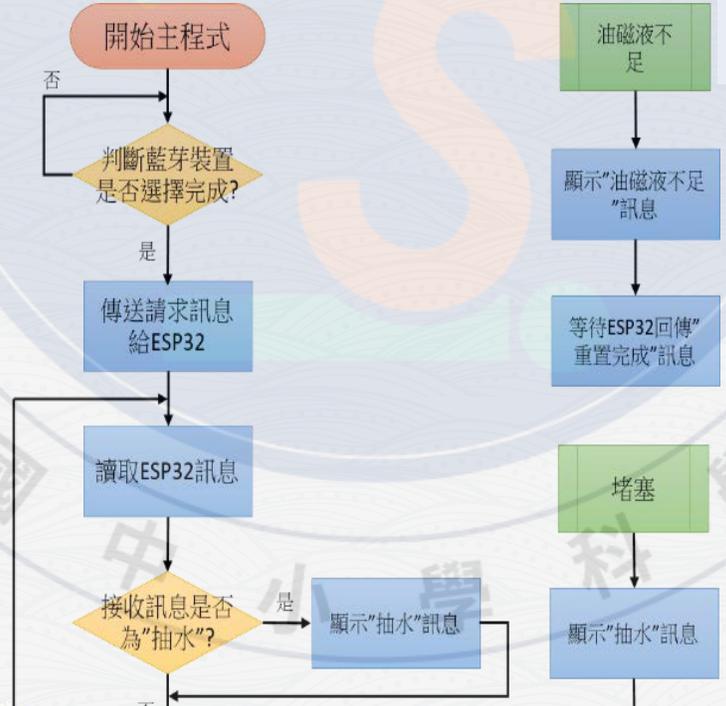
- 使用無線藍芽模組 **Arduino ESP32版** 取代 **mega版**。
- 淨塑槽及鐵磁流體儲存槽加裝 **超音波感測器**，配對腳位及電源。
- 加入 **IO擴展版**，將 **12V、5V** 電源整合為單一電源供電，避免插錯腳位燒壞。
- 系統程式分二部份，程式描述圖(演算法)，如下(部分)



ESP32控制器 流程圖



手機 App Inventor 流程圖



IO擴展版

ESP32

八、如何透過程式進行水槽控制與系統統整運作？



遠端藍芽監控

- 系統程式利用**拉積木式圖像工具**撰寫。一為 ESP32 控制器上的程式，使用慧手科技 motoduino 撰寫，另一個為手機平板 App 上的程式，則利用 MIT APP Inventor 程式工具撰寫，攪拌器則利用 SPIKE 平台撰寫。
- 這台智能系統能**感應、判斷、運作**進行**智慧判斷**及**手機藍芽監控**的功能。



motoduino

LEGO SPIKE

APP Inventor

1. PP浮球感測水桶進水，超音波感測器傳至Arduino，抽水馬達1啟動抽水，傳訊息至手機。
2. 如遇堵塞傳送訊息至手機，並停止抽水。

```

    發送至藍芽 "1"
    超音波(HC-SR04)腳位設定 45
    Trig 腳位 16
    Echo 腳位 17
    超音波回傳距離 cm

    執行 如果 超音波(HC-SR04)腳位設定 > 4
    Trig 腳位 12
    Echo 腳位 14
    超音波回傳距離 cm

    執行 發送至藍芽 "11"
    設定數位腳位 25 為 低

    執行 設定數位腳位 25 為 低
    發送至藍芽 "1"

    執行 如果 數位讀出腳位 21 = 1
    執行 設定數位腳位 25 為 低
    否則 設定數位腳位 25 為 低
  
```

```

    發送至藍芽 "3"
    伺服馬達 腳位# 22
    角度(0~180) 0
    延遲 1
    延遲毫秒 10000
    伺服馬達 腳位# 22
    角度(0~180) 90
    延遲 1

    when program starts
    A set speed to 100 %
    forever
    if B is colour ? then
    A start motor
    else
    A stop motor
  
```

顏色感測器偵測到顏色就正轉，沒有顏色就停止旋轉。伺服馬達轉動90度觸發SPIKE攪拌10秒。(傳送手機)

```

    when Scan List - BeforePicking
    do set Scan List - Elements to BluetoothClient1 - AddressesAndNames

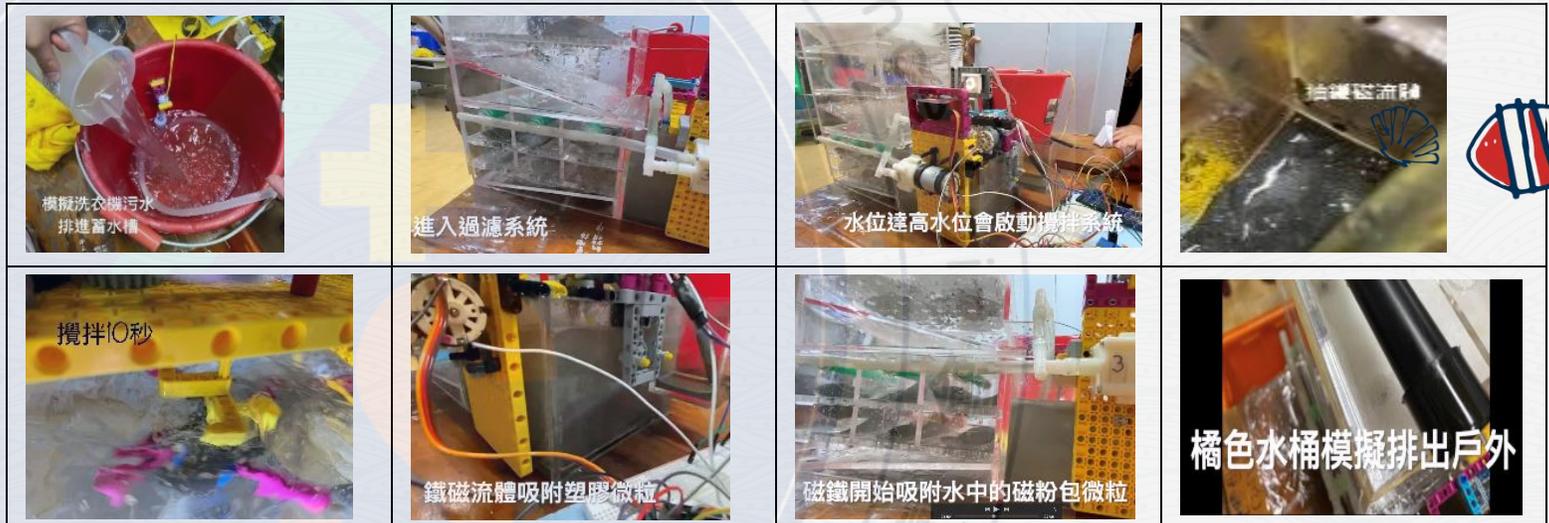
    when Click1 - Timer
    do if BluetoothClient1 - IsConnected
    then if BluetoothClient1 - BytesAvailableToReceive
    then call BluetoothClient1 - ReceiveText
    numberOfBytes call BluetoothClient1 - BytesAvailableToReceive
    set text - Text to get global Message
    if get global Message = 1
    then call BluetoothClient1 - SendText
    text "0"
    else set global count to select list item list split at spaces get global Message - index 2
    set global Mes to select list item list split at spaces get global Message - index 3
    set count - Text to join 狀態: 抽水 抽水量: 抽水量
    get global count
    if get global Mes = 1
    then set 抽水量1 - Picture to picture1.png
    set 抽水量1 - Visible to false
    set text - Text to 狀態: 抽水 抽水量: 抽水量
    else if get global Mes = 11
    then set 抽水量1 - Picture to picture6.png
    set 抽水量1 - Visible to true
    set text - Text to 狀態: 抽水 抽水量: 抽水量
    else if get global Mes = 2
    then set 抽水量1 - Picture to picture2.png
    set 抽水量1 - Visible to false
    set text - Text to 狀態: 抽水 抽水量: 抽水量
    else if get global Mes = 22
    then set 抽水量1 - Picture to picture7.png
    set 抽水量1 - Visible to true
    set text - Text to 狀態: 抽水 抽水量: 抽水量
    else if get global Mes = 3
    then set 抽水量1 - Picture to picture3.png
  
```



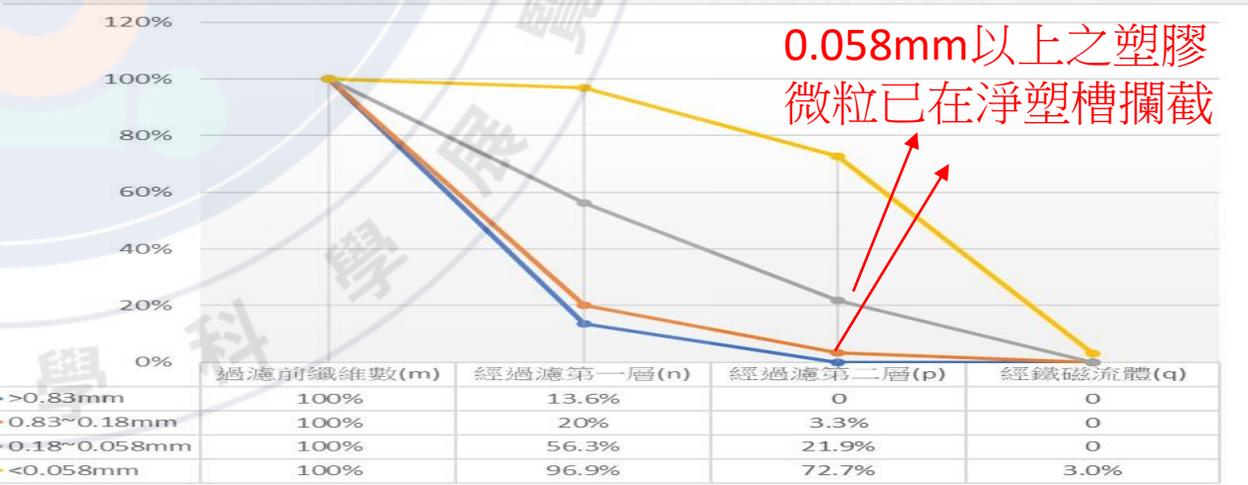
九、「智慧家用洗衣機塑膠微粒清除系統」清除塑膠微粒效果如何？



- 經系統過濾後，層層過篩。大型塑膠微粒已在淨塑槽第二層前(250目)被攔截，到鐵磁流體過濾槽後之微型塑膠微粒完成清除。
- 根據統計圖表，清除率達 $1-3.03\%=96.97\%$ 。

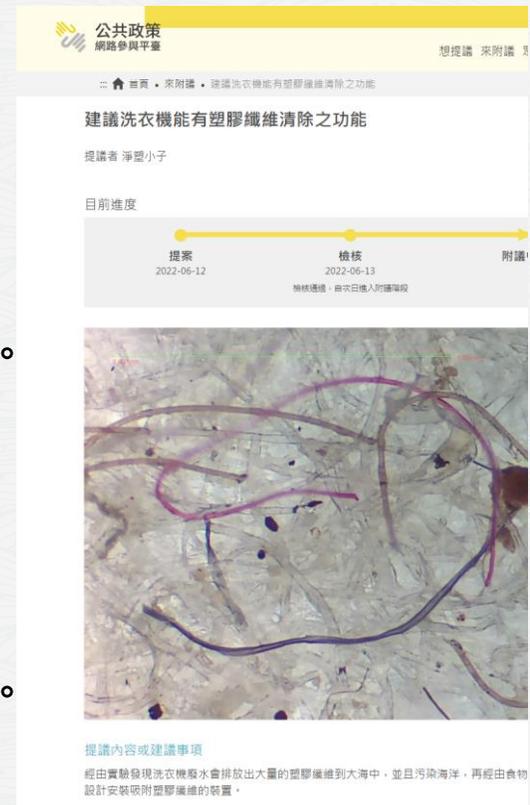


系統實驗證實	對照組-系統過濾前	計數影像	實驗組-系統過濾後
40X 系統過濾前後			
Image J數	315條(家庭洗衣水)		2砂礫



討論

- 洗一次衣服排放62萬條塑膠纖維，系統性清除，對環境有很大的幫助。調查顯示有超過57%的民眾並不知道塑膠纖維透過洗衣排到環境中。認為洗衣一次僅排放1萬條以下民眾佔92%，**塑膠微粒排放至環境中的認知需要教育及推廣。**
- 採用容易回收鐵網的濾槽分離設計，解決問卷調查中高達65%的民眾再次將洗衣機濾網中的塑膠纖維洗至環境中的危機。
- 透過鐵磁流體對塑膠微粒產生吸附力。黏稠性較低的**沙拉油與鐵粉結合對於微小的塑膠微粒有最好的清潔效果**，在自然環境中可分解。鐵磁流體抽取時間會隨著鐵磁流體液體黏稠度而改變。固定比例調配，製成清潔包，洗衣前添加。
- **磁鐵與攪拌槳分離**，攪拌槳不受掛載磁鐵的阻力以大速率轉動，大型磁鐵**建立磁場**。
- Arduino控制系統可透過伺服馬達的中介設計(黑桿)，傳遞啟動訊號給SPIKE的顏色感測器，由**Arduino整合淨塑槽與鐵磁流體過濾攪拌槽系統**。單一由Arduino總控制，智能判斷有水才啟動與結束攪拌，避免無水空轉的情形。
- 第二代系統具有**手機遠端監控資訊**，可以蒐集來自於**洗衣機堵塞、清潔效果之時間數據**，作為**清潔功能是否衰退之判斷**，將來可以擴大偵測數據，**提供家電健康診斷**。
- 證實**鐵磁流體可否回收再利用**，進行實驗，**清除成效也達96%**。
- **仿效英國議會立法推展家家戶戶裝設洗衣機排水塑膠微粒過濾系統**，並在**城市污水處理廠裝設塑膠微粒清除槽**，可以有效清除家用及城市塑膠微粒水污染，還給後代一個淨塑友善的環境。**右圖為參加公共政策建言紀錄**



結論

- 一、觀察家中汙水，家用洗衣機排出光滑、均勻平整、光澤度高的塑膠微粒。洗一次衣服排放約43萬至62萬條衣物纖維，對**生態環境**、**生物圈**及**人類健康**有莫大**威脅**。
- 二、**濾網過濾**及**鐵磁流體吸附**清潔過濾效果最好，智慧塑膠微粒清除系統能發揮鐵磁流體的強大特性，對塑膠微粒中的聚酯纖維、尼龍、聚丙烯有**超過9成的清除率**，系統並可以**5分鐘可完成1.3公升**之汙水清潔。
- 三、系統為**滴濾式(淨塑槽)**及**攪拌式(鐵磁流體攪拌過濾槽)**式設計，濾網組**物理性過濾攔截0.058mm**以上的塑膠微粒，**鐵磁流體攪拌器**去除**0.058mm**以下塑膠微粒。
- 四、攪拌槳之造型設計以Model H的吸附空間最大。Model Z可以承載最多的磁鐵。Model八爪型以速率**97.8rpm**攪拌**10秒**，有**最好的均勻混合**效果。
- 五、磁鐵與攪拌槳**分離設計**，可加強磁力作用，**容易更換材料**並**方便回收耗材(鐵網及鐵磁流體)**，鐵磁流體經實驗可以**再次使用**仍有極佳的清潔效果。
- 六、**Arduino**掌控**智慧節能系統**運作，**感測元件**及**運作元件**，**經濟且容易取得**，課堂上學習的**拉積木式的軟體**易撰寫設計，透過伺服馬達的轉動整合樂高零件展現高拓展性，易建構手機遠端監控、智慧運作判斷的家用洗衣機塑膠微粒清除系統。
- 七、家用洗衣機的**遠端監控**將可運用於蒐集本系統運作**效能數據**打造**家電智慧健康診斷**新功能。
- 八、智慧家用洗衣機塑膠微粒清除系統可**家家戶戶裝設**，建請仿效英國**立法**，強制洗衣機裝設清除塑膠微粒之功能，維護從家庭做起，打造一個淨塑友善的環境。

