

中華民國第 66 屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別： 生活與應用科學科(三)

組 別： 國小組

作品名稱：環環相扣－利用無動力螺旋環狀設施進行河道塑膠垃圾收集之效益研究

關 鍵 詞：流體力學/扭矩/螺旋環狀裝置

編號：A8017

摘要

近年來海洋垃圾問題日益嚴重，研究指出多數海洋廢棄物源自河川。為求從源頭攔截且不耗費額外電力，本研究利用 PLA 3D 列印技術，研發出一款「無動力螺旋環狀垃圾收集裝置」。本裝置純靠自然水流驅動，並透過系統性實驗探討各項結構參數對收集效率的影響。

實驗結果顯示，最佳的設計組合為：轉盤中心孔徑 27.5 mm、軸距 14.5 公分、底部螺旋葉片高度 30 mm、葉片弧度 25 度，以及水面攔截圓盤配有 8 個半徑 5 mm 的突起圓弧。在此黃金組合下，不僅能高效收集各類硬質寶特瓶，經「林後四林」實際河道驗證，更能藉由真實水流的側向動力，成功克服室內實驗中最難收集的「半沉塑膠袋」大魔王。本研究證實此環保裝置具備高度實用性，能有效收集河道表面及中下層垃圾，達成低成本、零污染的河川保育目標。

壹、研究動機

海洋廢棄物問題對全球生態造成嚴重威脅，而河川正是這些垃圾流入海洋的主要輸送帶。若能在河道階段就加以攔截，將能大幅降低進入海洋後的清理困難度與成本。然而，傳統使用怪手打撈的方式成本高昂，且多數現有的河川垃圾清理設備需依賴馬達或外部化石能源驅動，不僅增加碳排放與維護成本，還可能對河川生態造成二次污染。

此外，我們發現目前大部分的清理裝置只能撈取「水面漂浮」的垃圾，對於隨波逐流、型態多變的「半沉浮軟性塑膠袋」或「水中層垃圾」往往束手無策，而這些軟性塑膠卻是危害水生動物最深的殺手。

因此，我們結合流體力學與阿基米德螺旋原理，希望能設計一款完全不需電力、僅依賴河川自然水流作為動力的「無動力河道清潔裝置」。期望透過科學實驗找出最佳的結構設計，有效克服各類軟硬質垃圾的收集痛點，以低成本、高環保的方式，從源頭真正阻斷海洋塑膠污染。

貳、研究目的

本研究旨開發一款低生態干擾的河川垃圾收集裝置，並透過變因測試找出最佳效能的設計，具體目的如下：

- 一、研發無動力收集裝置：利用環保 PLA 3D 列印技術，開發一款完全依賴河川自然水流（流體力學與扭矩原理）推動的螺旋環狀垃圾收集裝置，達到零耗能的環保目標。
- 二、尋找最佳結構參數：透過模擬河道實驗，探討並找出裝置的最佳設計黃金組合，包含：轉盤中心孔徑、底部螺旋葉片高度、軸距、螺旋葉片弧度，以及水面圓盤突起的數量與大小。
- 三、克服軟性垃圾收集瓶頸：針對傳統裝置難以捕捉的「半沉塑膠袋」等軟性及水中層垃圾，測試裝置的攔截與收集能力。
- 四、實地環境應用與驗證：將實驗室找出的最佳化裝置，實際移至「林後四林」河道進行野外測試，驗證其在真實水流與紊流環境下的塑膠垃圾收集效能與實用性。

參、文獻探討

一、流體力學基礎：層流、紊流與水阻力：

流體力學（Fluid Mechanics）是研究流體現象及其受力狀況的科學。水在流動時，依據雷諾數（Reynolds number）可分為平穩流動的「層流」，以及產生不規則旋渦的「紊流」。本研究在自製模擬河道與「林後四林」真實河川實驗中，水流大多屬於紊流狀態。

水阻力約為空氣阻力的 800 倍，物體在水中運動會受到極大的後曳力影響。為了降低阻力，水下裝置的扇葉需要計算適當的弦長與切水角度。本研究的無動力轉盤要在充滿水阻力的環

境中順暢轉動，必須精確計算螺旋葉片高度與弧度，在「推力」與「水阻力」之間取得最佳平衡。

二、 扭矩（力矩）與無動力轉盤驅動原理:

扭矩（Torque）是使物體改變旋轉運動的物理量。扭矩的大小取決於「作用力的大小」乘以「力臂（力作用點到旋轉中心的距離）」。

本實驗設計的裝置完全無須電力，是標準的「水流驅動轉盤系統」。當河水衝擊底部的螺旋葉片時，水流提供作用力，而轉盤軸距提供力臂，兩者相乘產生了足夠的扭矩帶動圓盤旋轉。實驗中我們探討轉盤中心孔徑（27.5 mm）與軸距，就是為了降低機械摩擦阻力並極大化扭矩，使轉動效率達到最高。

三、 阿基米德螺旋原理與容積位移:

阿基米德螺旋是古代用來提水的經典裝置，結構為螺旋形葉片圍繞著中心軸，能將流體的動能轉換為沿螺旋面的推動力。

本實驗底部螺旋葉片的設計即參考此原理。當具有動能的水流通過傾斜的葉片時，水會沿著葉片弧度滑動並形成半封閉的「水包（容積腔室）」。隨著水流推動圓盤旋轉，這些水包會帶著河水與中下層的塑膠垃圾一起沿著弧面被「推」向收集區。實驗發現 25° 的葉片弧度效果最佳，45° 的葉片弧度最穩定，過平則推力不足，過陡（如 65°）則會增加阻力使垃圾滑落，完全印證了螺旋推動原理。

四、 圓柱繞流（Flow Around a Circular Cylinder）與水面導流:

當流體流經圓柱體或特定突起物時，會在物體周圍與後方產生水壓變化與擾動，稱為圓柱繞流。

本實驗在水面浮力圓盤外圍設計了「突起圓弧（小牙齒）」，其作用不只是物理上的卡住垃圾，更會改變水面的局部流速。當水流經過突起圓弧（最佳半徑為 5 mm，數量 8 個）時，會產生微小的壓力差與側向剪力，這股力量能將水面漂浮的硬質寶特瓶或半沉塑膠袋，順利導流並「撥」入收集箱中，有效提升攔截效率。

肆、 研究設備及器材

材料	PVC 管(20mm)	加壓馬達	3D 列印機
圖片			
材料	電腦	鐵夾	電鑽

圖片			
材料	智高	束袋	水槽濾網
圖片			
材料	回收垃圾	塑膠袋	延長電線
圖片			

圖片皆自行拍攝

伍、研究過程及方法

一、研究過程:

(一)、第一階段：設備開發與實驗環境架設

為了模擬真實河川的水流，並製作出符合環保與流體力學的垃圾收集裝置，我們進行了以下準備：

1. 3D 模型設計與列印：使用 OpenSCAD 軟體編寫程式碼，設計出不同參數（如不同葉片角度、孔徑大小、突起圓弧數量等）的底部螺旋葉片與水面攔截轉盤，並以 PLA 環保材質進行 3D 列印。
2. 模擬河道建置：利用校內生態池製作長型水槽、PVC 水管（20mm）與加壓馬達，打造出具備穩定水流與局部紊流的「校內封閉型模擬河道」，以確保控制變因（水深與流速）的一致性。
3. 測試樣本準備：收集河川常見的塑膠漂浮物與垃圾作為實驗樣本，包含：未變形寶特瓶、壓扁的寶特瓶（大/小）、咖啡杯、麥粹、塑膠袋（完全漂浮）、半沉浮塑膠袋、以及打結的塑膠袋。

(二)、第二階段：校內變因測試——尋找底部螺旋的黃金設計

我們將設計好的零件放入模擬河道中，每次只改變一個變因，並使用錄影與碼錶記錄不同垃圾樣本從接觸裝置到完全被收集至收集區的「時間（秒）」與「速率（cm/sec）」：

- 1.轉盤孔徑與軸距測試：測試並找出能將機械摩擦力降到最低的轉盤中心圓孔直徑（27.5 mm）與軸距（14.5 公分），確保無動力轉盤能在水流中順暢轉動。
- 2.底部螺旋葉片高度測試：測試不同高度的底部螺旋葉片，觀察其攔截中下層水流與推動垃圾的能力，最終確認高度 30 mm 的推水效果最佳。
- 3.螺旋葉片弧度（角度）測試：將葉片弧度分別設定為 25 度、45 度、65 度進行測試。藉由數據折線圖比較，分析何種角度能提供最佳的「容積位移推力」並減少水阻力與垃圾滑落的情形。

(三)、第三階段：校內變因測試——尋找水面轉盤的完美凸點

針對水面上漂浮的垃圾，我們改變水面轉盤外圍的「突起圓弧（小牙齒）」設計，觀察其圓柱繞流導流效果：

- 1.突起圓弧「數量」測試：分別列印 8 個、12 個、16 個突起的轉盤進行收集速率測試，找出能剛好卡住大寶特瓶又不會讓垃圾滑開的完美齒數。
- 2.突起圓弧「大小」測試：在固定最佳數量的條件下，進一步測試半徑 5 mm、7 mm、9 mm 的突起圓弧。觀察哪一種大小的「爪子」最能抓取寶特瓶與塑膠袋。

(四)、第四階段：戶外真實河道實地大考驗（林後四林測試）

經過第二、第三階段的嚴格測試，我們找出了收集裝置的「黃金組合（轉盤中心圓孔直徑 27.5 mm、葉片高度 30 mm、葉片弧度 45 度、突起圓弧數量 8 個、半徑大小 5 mm）」。

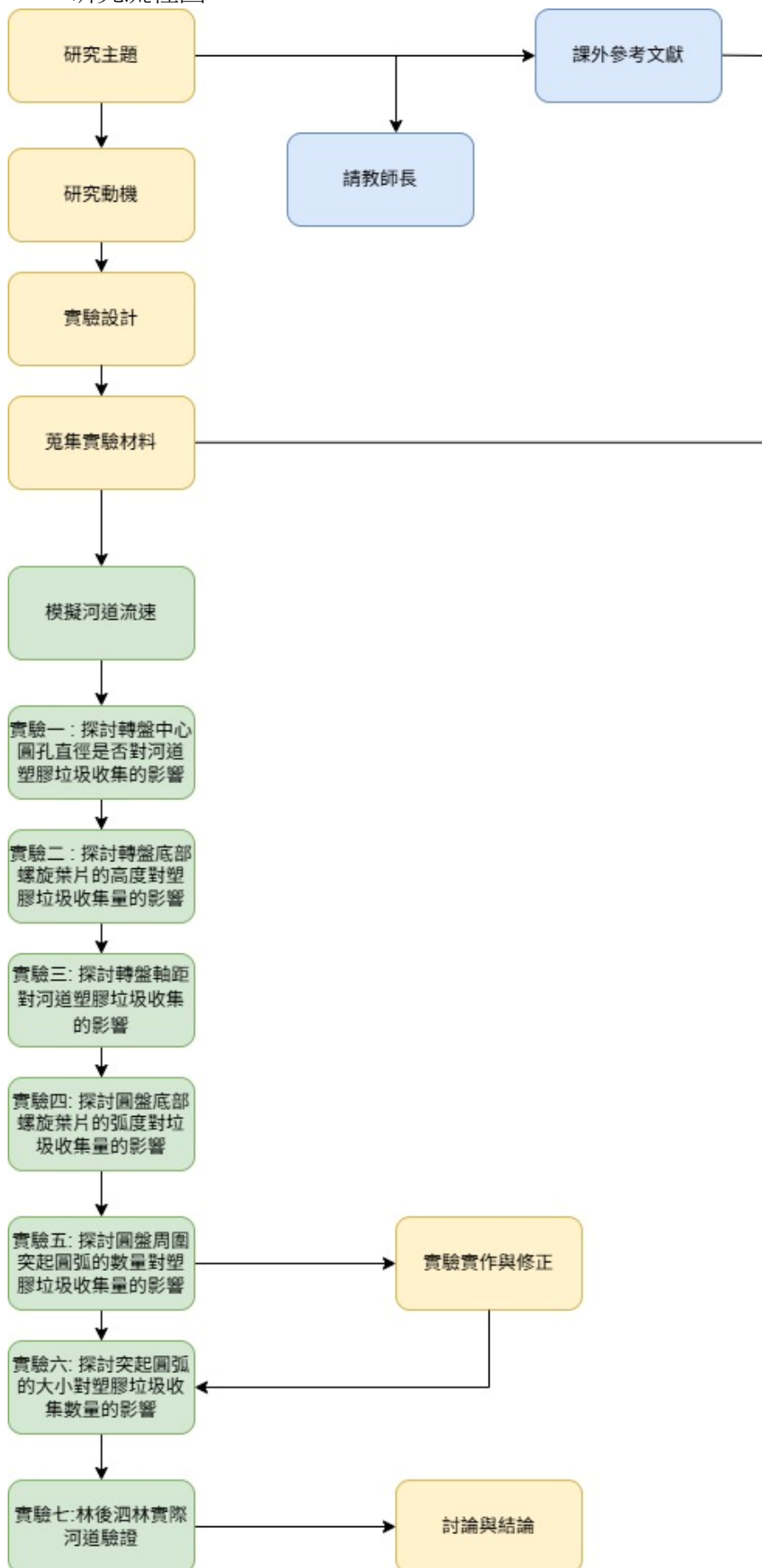
為了驗證其真實效能，我們進行了最終實測：

移地測試：將以黃金組合組裝完成的「無動力螺旋環狀垃圾收集裝置」帶至屏東「林後四林平地森林園區」的真實溝渠中架設。

實地驗證：在具備天然波浪與真實紊流的河道中，再次投入各種類型的垃圾樣本進行收集速率量測。

數據比對與分析：將戶外實測的數據與校內數據進行交叉比對，特別觀察校內實驗中最難收集的「半沉塑膠袋」在真實水流側向剪力幫助下的收集表現，並彙整出最終結論。

二、研究流程圖



三、實驗步驟

(一)製作河道模擬裝置與旋轉盤底座

1.旋轉盤中心底座製作。

旋轉盤中心底座	
	
圖 1:截出底座與河道出水管 PVC 管長度	圖 2:底座 PVC 管鑽出固定孔(穿破 2 邊)
	
圖 3:利用束帶穿過 PVC 管內積木孔洞固定	圖 4:底座用 2 尼龍袋裝石頭用束帶固定在底座增加負重，避免裝置浮起傾斜
	

圖 5:旋轉盤中心底座材料	圖 6:將負重束帶套進 PVC 管，並將 PVC 管內積木與底座結合
---------------	------------------------------------

圖片皆自行拍攝

2. 製作河道模擬裝置

河道模擬裝置	
	
圖 7:依據圓盤底座軸距在 PVC 管畫出鑽孔十字位置	圖 8:運用電鑽進行河道出水管出水孔鑽孔
	
圖 9:PVC 管一端封閉，一端以束帶接上水管	圖 10:水管一端接上加壓馬達管子接到加壓馬達出水口



圖 11:進水管接到水龍頭水管



圖 12:開啟加壓馬達實際模擬河道固定水流

圖片皆自行拍攝

3. 將完成之轉盤中心裝置固定於河道中央並固定水道模擬裝置。



圖 13:將轉盤中心裝置固定於河道



圖 14:運用 PVC 管及大型夾子製作水道模擬器固定裝置



圖 15:固定每次實驗出水位置

圖 16:固定每次實驗出水位置與岸邊收集區

圖片皆自行拍攝

4.實驗開啟馬達，使水流推動底部螺旋葉片。

5. 以錄影方式紀錄實驗。

6. 計算垃圾移動速率(垃圾移動速率 (cm/s) = 垃圾移動距離 (cm) ÷ 所需時間 (s))。

(二)、AI 科展協作-轉盤裝置製作

1. 與 AI 對話協助產出科展使用 OpenSCAD 程式碼 以繪製不同實驗模型:

```
// 科展專用：螺旋葉盤 + 浮力圓頂蓋生成器
// =====
/* [核心參數設定] */
// 底部圓盤/輪轂的直徑
disk_diameter = 60;
// 底部螺旋葉片的高度
disk_height = 40;
// 中間固定孔的直徑 (建議比實際軸心大 0.5~1mm)
center_hole_diameter = 27.5;
/* [浮力蓋與圓弧突起設定] (新功能) */
// 上方浮力蓋的厚度
float_disk_height = 5;
// 上方浮力蓋的直徑 (通常比底部大一點或一樣大)
float_disk_diameter = 125;
// 圓盤周圍的突起數量
bump_count = 12;
// 突起圓弧的大小 (半徑)
bump_radius = 5;
/* [葉片變因設定] */
num_blades = 10;
blade_twist = 45;
blade_length = 30;
blade_thickness = 2;
/* [列印優化] */
$fn = 100;
// =====
// 主程式邏輯
// =====
difference() {
    // A. 實體部分 (包含葉片 + 浮力蓋 + 突起)
    union() {
        // --- 1. 原有的螺旋葉片模組 ---
        union() {
            // 中心輪轂
            cylinder(d = disk_diameter, h = disk_height);
            // 螺旋葉片
            for (i = [0 : num_blades - 1]) {
                rotate([0, 0, i * (360 / num_blades)])
                translate([disk_diameter / 2 - 1, -blade_thickness / 2, 0])
```

```

        linear_extrude(height = disk_height, twist = blade_twist, slices = 50) {
            square([blade_length, blade_thickness]);
        }
    }
}

// --- 2. 新增：上方浮力圓盤 (Float Disk) ---
translate([0, 0, disk_height]) // 移到葉片頂端
union() {
    // 2.1 圓盤本體
    cylinder(d = float_disk_diameter, h = float_disk_height);

    // 2.2 周圍突出的圓弧 (Bumps)
    for (j = [0 : bump_count - 1]) {
        rotate([0, 0, j * (360 / bump_count)]) // 旋轉排列
        translate([float_disk_diameter/2, 0, float_disk_height/2]) // 移到邊緣
        cylinder(r = bump_radius, h = float_disk_height, center = true);
    }
}

// B. 挖空部分 (貫穿全部)
// 3. 中間的固定孔 (高度 = 葉片高 + 蓋子高)
translate([0, 0, -1])
cylinder(d = center_hole_diameter, h = disk_height + float_disk_height + 2);

// 4. 固定螺絲孔 (側面打孔)
translate([0, 0, disk_height/2]) // 孔打在葉片層的中間，比較受力
rotate([90, 0, 0])
cylinder(d = 3.5, h = disk_diameter + blade_length * 2, center = true);
}

```

科展專用：螺旋葉盤 + 浮力圓頂蓋生成器 OPENS CAD 程式碼

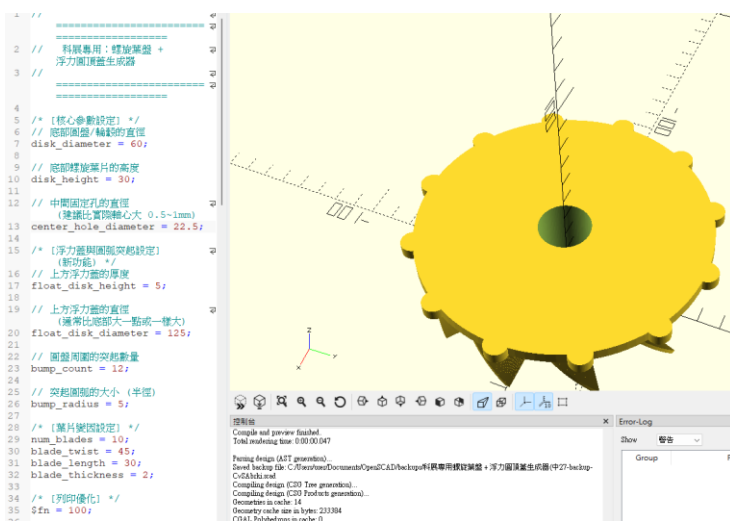


圖 17 :OPENSCAD 軟體與模型生成

(圖片皆自行截圖)

2. 以 3D 列印製作各式變因轉盤。



圖 18:3D 列印 PLA 轉盤 圖片皆自行拍攝

(三)、實際實驗步驟:

- 1.每個實驗重複 3 次取平均值。
- 2.計算垃圾移動速率 (距離 ÷ 時間)。

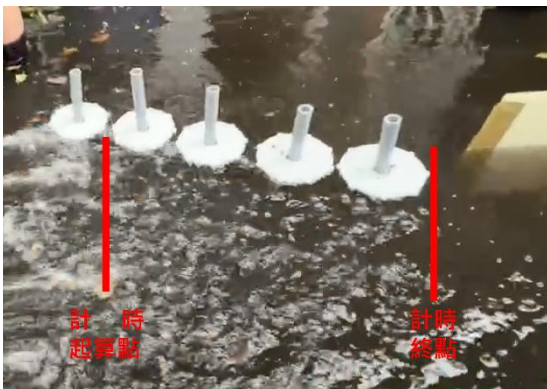


圖 19:計時計算起點在第 1 轉盤第 2 轉盤之間，終點在最後一個轉盤最末端

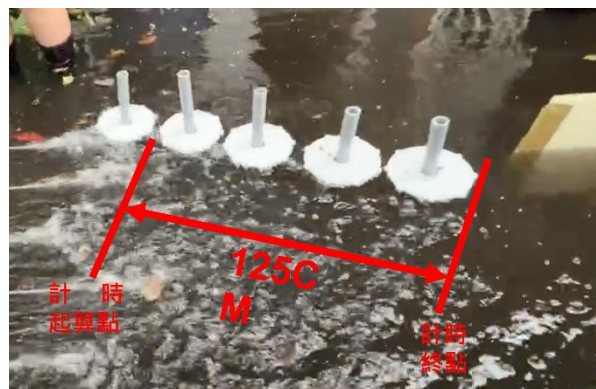


圖 20:計時計算起點-終點距離為 125CM

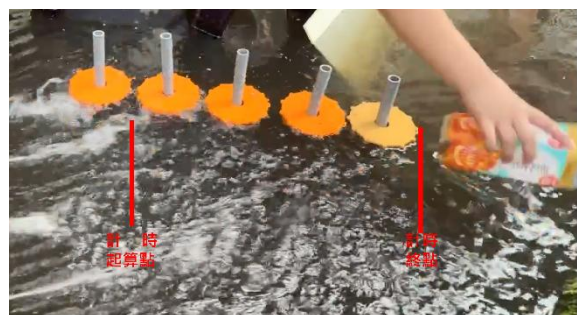
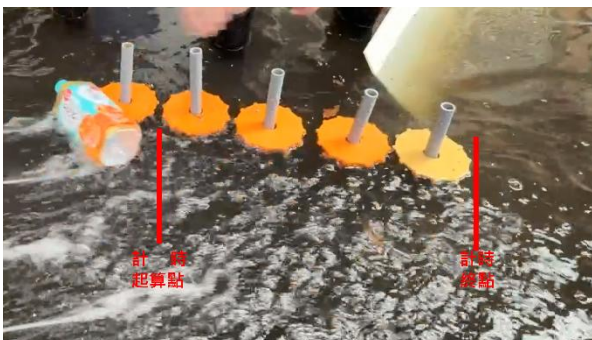


圖 21:紀錄影片中塑膠垃圾進入計算起算點時間	圖 22:紀錄影片中塑膠垃圾離開計算終點時間
-------------------------	------------------------

圖片皆自行拍攝

垃圾樣本照片

				
麥萃 長度:23.1cm	燕麥 長度:6.5cm	寶特瓶 (扁/ 小) 長度:17.2cm	咖啡 長度:13.5cm	半沉塑膠袋 長度:27cm
				
寶特瓶 (扁/ 大) 長度:20cm	寶特瓶 長度:17.5cm	開口飲料杯 長度:13cm	塑膠袋浮 長度:19cm	打結塑膠袋 長度:15cm

圖片皆自行拍攝

(四) 實際河道驗證實驗

- 1.選擇適當深度河段。
- 2.使用束帶與樹枝固定裝置。
- 3.將裝置置於水流中並投入垃圾樣本。
- 4.觀察裝置是否可自然轉動。
- 5.測量垃圾移動速率。
6. 分析自然水流與模擬水流之差異。



圖 23:林後泗林河道實驗裝置 圖片皆自行拍攝

陸、研究結果

實驗一：探討轉盤中心圓孔直徑是否對河道塑膠垃圾收集的影響

實驗一名稱	探討轉盤中心圓孔直徑是否對河道塑膠垃圾收集的影響	
	操控變因	轉盤中心圓孔直徑 (22.5mm、27.5mm)
	控制變因	圓盤材質 PLA，塑膠垃圾種類，轉盤中心裝置，底部圓盤/輪轂的直徑 (60mm)，上方浮力蓋的厚度(5mm)，上方浮力蓋的直徑(125mm)，圓盤周圍的突起數量(12)，突起圓弧的大小(5mm)，底部扇形螺旋葉片高度(30mm)，底部螺旋葉片量 num_blades(10)，底部螺旋葉片弧度 blade_twist (45 度)，底部螺旋葉片長度 blade_length (30mm)，底部螺旋葉片厚度 blade_thickness(2mm)，轉盤中心軸距 14.5mm
	應變變因	轉盤順利轉動推動垃圾



圖 24：轉盤中心圓孔直徑 22.5 mm



圖 25: 圓孔和水管直徑 22mm 太相近，難以帶動轉盤



圖 26:轉盤中心圓孔直徑 27.5 mm



圖 27: 轉盤中心圓孔直徑 27.5mm，可以順著水流轉動

圖片皆自行拍攝

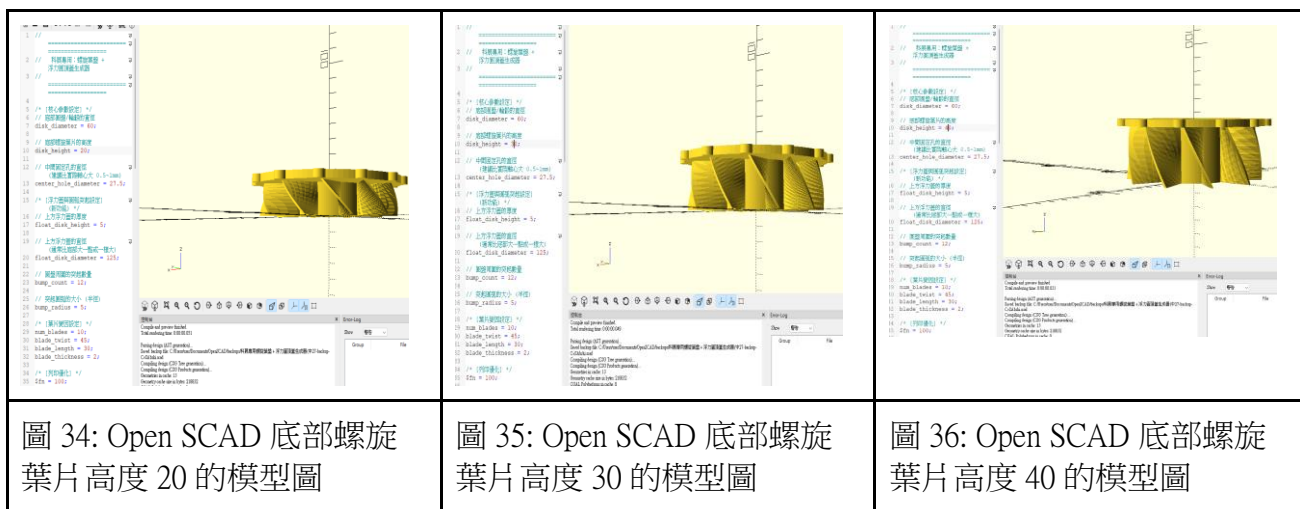
小結：本實驗成功建立穩定之模擬河道水流環境。水流撞擊轉盤中心圓孔直徑 22.5 mm 螺旋葉片後，無法轉動，我們推測 22.5mm 因孔徑過小，和水管摩擦較大，容易造成轉盤卡滯。27.5mm 保有適當間隙，降低摩擦阻力，使轉盤轉動較順暢。顯示適當增加孔徑可提升轉動效率，及保持水流穩定運行，符合降低摩擦阻力之原理，亦證明裝置具基本可行性，為後續各項變因實驗建立穩定基礎。

實驗二：探討轉盤底部螺旋葉片的高度對塑膠垃圾收集量的影響

實驗二名稱	探討轉盤底部螺旋葉片的高度對塑膠垃圾收集速率的影響	
	操控變因	底部螺旋葉片的高度(40mm、30mm、20mm)
	控制變因	圓盤材質 PLA，塑膠垃圾種類，轉盤中心裝置，底部圓盤/輪轂的直徑(60mm)，上方浮力蓋的厚度(5mm)，上方浮力蓋的直徑(125mm)，圓盤周圍的突起數量(12)，突起圓弧的大小(5mm)，底部螺旋葉片量 num_blades(10)，底部螺旋葉片弧度 blade_twist(45 度)，底部螺旋葉片長度 blade_length(30mm)，底部螺旋葉片厚度 blade_thickness(2mm)，轉盤中心圓孔直徑(27.5mm)，轉盤中心軸距 14.5mm
	應變變因	圓盤轉動狀態 塑膠垃圾收集速率 (cm/sec)

			
圖 28:40mm	圖 29: 40mm 葉片過高，增加水阻且容易卡到下方配重器	圖 30:30mm	圖 31: 30mm 效果最佳，高度剛好
			
圖 32:20mm	圖 33: 20mm 接觸垃圾面積不足，推力不夠		

圖片皆自行拍攝



圖片皆自行截圖			
圖 34: Open SCAD 底部螺旋葉片高度 20 的模型圖	圖 35: Open SCAD 底部螺旋葉片高度 30 的模型圖	圖 36: Open SCAD 底部螺旋葉片高度 40 的模型圖	
圓盤底部螺旋葉片高度	20mm	30mm	40mm
轉動速率狀態	轉動次之	轉動最快	轉動最慢

小結：圓盤底部螺旋葉片高度 30mm 效果最佳。圓盤底部螺旋葉片高度 20mm 接觸面積不足，推力不夠。圓盤底部螺旋葉片高度 40mm 葉片過高，增加水阻而且容易卡到下方配重器。圓盤底部螺旋葉片高度 30mm 在推力和阻力間取得平衡，使轉盤能夠穩定轉動。

實驗三: 探討轉盤軸距對河道塑膠垃圾收集的影響

實驗三名稱	探討轉盤軸距對河道塑膠垃圾收集的影響	
	操控變因	轉盤軸距 14.5mm、18.5mm
	控制變因	圓盤材質 PLA，塑膠垃圾種類，轉盤中心裝置，底部圓盤/輪轂的直徑 (60mm)，上方浮力蓋的厚度(5mm)，上方浮力蓋的直徑(125mm)，圓盤周圍的突起數量(12)，突起圓弧的大小(5mm)，底部扇形螺旋葉片高度(30mm)，底部螺旋葉片量，num_blades(10)，底部螺旋葉片弧度 blade_twist (45 度)，底部螺旋葉片長度 blade_length (30mm)，底部螺旋葉片厚度 blade_thickness(2mm)，轉盤中心圓孔直徑(27.5mm)
	應變變因	順利將塑膠垃圾蒐集至回收區



圖 35: 圓盤軸距 14.5 公分

圖 36: 圓盤軸距 18.5 公分

圖片皆自行拍攝

	燕麥	寶特瓶	寶特瓶 (扁/小)	寶特瓶 (扁/大)	咖啡	麥萃	飲料杯	塑膠袋浮	半沉塑膠袋	打結塑膠袋
軸距 14.5mm 第一次	順利通過	順利通過	順利通過	順利通過	順利通過	順利通過	順利通過	順利通過	順利通過	順利通過
軸距 14.5mm 第二次	順利通過	順利通過	順利通過	順利通過	順利通過	順利通過	順利通過	順利通過	順利通過	順利通過
軸距 14.5mm 第三次	順利通過	順利通過	順利通過	順利通過	順利通過	順利通過	順利通過	順利通過	順利通過	順利通過
軸距 18.5mm 第一次	順利通過	順利通過	卡住	順利通過	順利通過	順利通過	順利通過	順利通過	穿越	卡住
軸距 18.5mm 第二次	順利通過	順利通過	卡住	順利通過	順利通過	順利通過	卡住	順利通過	卡住	卡住
軸距 18.5mm 第三次	順利通過	順利通過	順利通過	順利通過	卡住	順利通過	順利通過	順利通過	卡住	卡住

小結：軸距 14.5 公分時轉動最穩定、效率最佳。軸距太短，相鄰圓盤容易產生摩擦卡住，軸距過長則塑膠垃圾容易被卡住或從相鄰空隙穿過而無法順利收集。軸距 14.5 公分的轉盤，可以將所有長度不同的塑膠垃圾與沉浮塑膠袋皆順利運送到收集區。

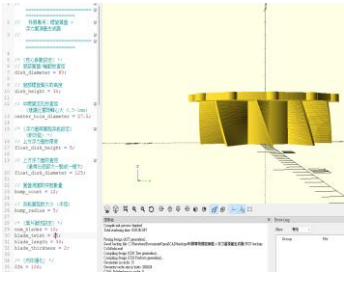
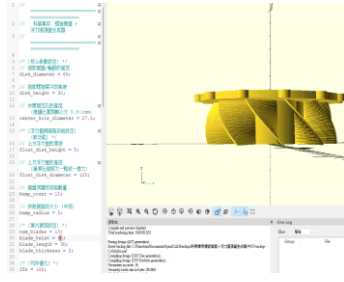
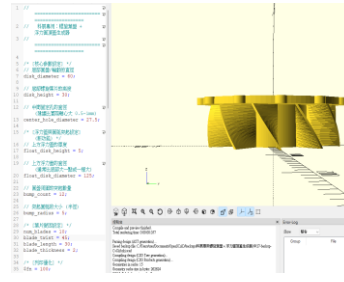
實驗四: 探討圓盤底部螺旋葉片的弧度對垃圾收集量的影響

實驗四名稱	探討圓盤底部螺旋葉片的弧度對垃圾收集速率的影響	
	操控變因	圓盤底部螺旋葉片的弧度(25 mm、45mm、65mm)
	控制變因	圓盤材質 PLA，塑膠垃圾種類，轉盤中心裝置，底部圓盤/輪轂的直徑 (60mm)，上方浮力蓋的厚度(5mm)，上方浮力蓋的直徑(125mm)，圓盤周圍的突起數量(12)，突起圓弧的大小 (5mm)，底部扇形螺旋葉片高度(30mm)，底部螺旋葉片量 num_blades(10)，底部螺旋葉片弧度 blade_twist (45 度)，底部螺旋葉片長度 blade_length (30mm)，底部螺旋葉片厚度 blade_thickness(2mm)，轉盤中心圓孔直徑(27.5mm)，轉盤中心軸距 14.5mm
	應變變因	塑膠垃圾收集移動速率 (cm/sec)

			
圖 37: 底部螺旋葉片的弧度 65	圖 38: 葉片弧度過大，阻力大，難以帶	圖 39: 底部螺旋葉片弧度 45	圖 40：角度剛好，可以順著水流轉動

	動轉盤		
			
圖 41：底部螺旋葉片弧度 25	圖 42：葉片弧度過小，難以帶動轉盤		

圖片皆自行拍攝

		
圖 43：Open SCAD 底部螺旋葉片弧度 25 度的模型圖	圖 44: Open SCAD 底部螺旋葉片弧度 65 度的模型圖	圖 45: Open SCAD 底部螺旋葉片弧度 45 度的模型圖

圖片皆自行截圖

螺旋弧度 25mm	燕麥	寶特瓶	寶特瓶 (扁/小)	寶特瓶 (扁/大)	咖啡	麥粹	飲料杯	塑膠袋浮	半沉塑膠袋	打結塑膠袋
第 1 次實驗	6	6	6	5	7	6	6	4	9	8
第 2 次實驗	5	6	10	8	5	5	7	4	14	9
第 3 次實驗	6	6	8	8	6	6	5	7	14	5
Ave.	5.67	6.00	8.00	7.00	6.00	5.67	6.00	5.00	12.33	7.33
速率	22.06	20.83	15.63	17.86	20.83	22.06	20.83	25.00	10.14	17.05
螺旋弧度 45mm	燕麥	寶特瓶	寶特瓶 (扁/小)	寶特瓶 (扁/大)	咖啡	麥粹	飲料杯	塑膠袋浮	半沉塑膠袋	打結塑膠袋
第 1 次實驗	6	6	8	5	7	6	6	10	10	5
第 2 次實驗	7	7	7	5	7	6	11	9	15	9
第 3 次實驗	5	6	5	7	5	4	9	7	15	7
Ave.	6.00	6.33	6.67	6.00	7.00	5.33	8.67	8.67	13.33	7.00
速率	20.83	19.74	18.75	20.83	17.86	23.44	14.42	14.42	9.38	17.86
螺旋弧度 65mm	燕麥	寶特瓶	寶特瓶 (扁/小)	寶特瓶 (扁/大)	咖啡	麥粹	飲料杯	塑膠袋浮	半沉塑膠袋	打結塑膠袋
第 1 次實驗	8	10	7	7	8	7	5	7	9	7
第 2 次實驗	7	10	10	7	8	5	6	7	10	7
第 3 次實驗	6	9	8	7	12	6	6	8	5	8
Ave.	7.00	9.67	8.33	7.00	9.33	6.00	5.67	7.33	8.00	7.33
速率	17.86	12.93	15.00	17.86	13.39	20.83	22.06	17.05	15.63	17.05

底部	燕麥	寶特	寶特	寶特	咖啡	麥萃	飲料	塑膠	半沉	打結
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

螺旋 葉片 弧度		瓶	瓶 (扁/ 小)	瓶 (扁/ 大)			杯	袋浮	塑膠 袋	塑膠 袋
25 度	22.06	20.83	15.63	17.86	20.83	22.06	20.83	25.00	10.14	17.05
45 度	20.83	19.74	18.75	20.83	17.86	23.44	14.42	14.42	9.38	17.86
65 度	17.86	12.93	15.00	17.86	13.39	20.83	22.06	17.05	15.63	17.05

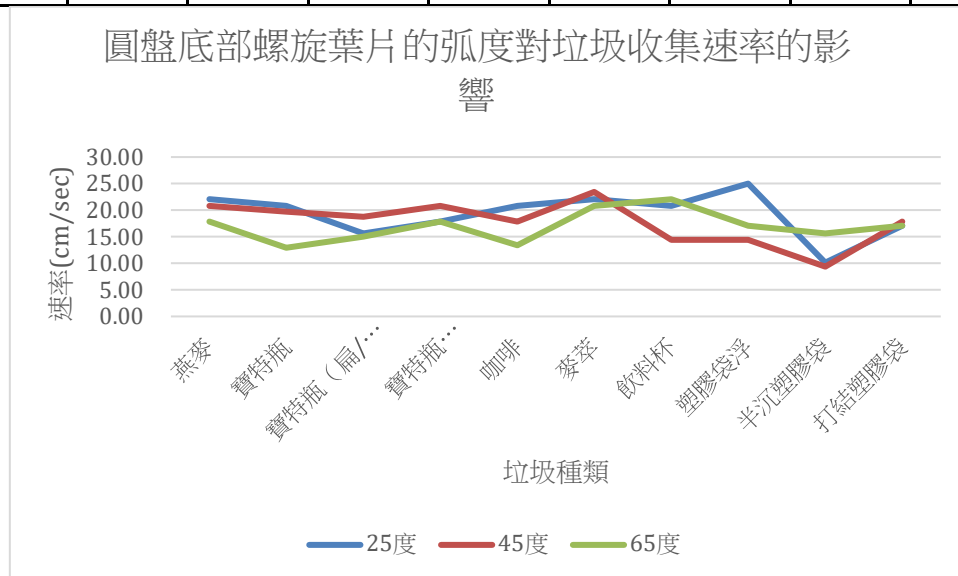


圖 46：圓盤底部螺旋葉片的弧度對垃圾收集速率的影響的折線圖，自行截圖繪製

小結：從數據與折線圖中我們發現：

1. 最佳收集角度：25 度表現最優

數據支持：觀察折線圖中的藍線（25 度），它在多數的垃圾種類（如燕麥、未變形寶特瓶、漂浮塑膠袋）中都處於最高位，平均速率最快，其中「漂浮塑膠袋」的收集速率甚至達到最高的 25 cm/sec。

推論：較平緩的 25 度角能提供最佳的「上推/水平傳輸比例」，垃圾在傳送過程中不容易因為重力而往回滑落。

2. 角度越陡，效率越低且越不穩定

數據支持：綠線（65 度）整體的收集速率偏低，且波動非常劇烈。在收集標準寶特瓶時速率降至 12.9 cm/sec（遠低於 25 度的 20.8 cm/sec）。

推論：65 度過於陡峭，雖然佔用水域面積小，但垃圾在被往上推的過程中很容易因為自身重量而向下滑脫，導致整體收集時間拉長、速率下降。而 45 度（紅線）的表現則介於兩者之間，屬於波動較小的穩定型角度，故後面實驗採用 45 度。

3. 系統的挑戰：「半沉塑膠袋」最難收集

數據支持：這是本圖表最關鍵的發現！不管葉片是 25 度、45 度還是 65 度，所有折線在「半沉塑膠袋」這個項目都呈現了明顯的「大凹陷（低谷）」，速率大幅掉落至 9.8 ~ 15 cm/sec 之間。

推論：相比於有固定形狀的硬質垃圾（寶特瓶、咖啡瓶），或是完全漂浮在表面的塑膠袋；「半沉」且「柔軟」的塑膠袋極易隨水流變形，缺乏足夠的摩擦力與浮力讓螺旋

葉片「咬住」，甚至可能在葉片間隙中打滑，因此收集效率最差。這點也印證了為什麼「打結塑膠袋」因為增加了體積與固態感，速率反而比半沉塑膠袋回升。

實驗五: 探討圓盤周圍突起圓弧的數量對塑膠垃圾收集量的影響

實驗五名稱	探討圓盤周圍突起圓弧的數量對塑膠垃圾收集速率的影響	
	操控變因	圓盤周圍突起圓弧的數量(8 個、12 個、16 個)
	控制變因	圓盤材質 PLA，塑膠垃圾種類，轉盤中心裝置，底部圓盤/輪轂的直徑 (60mm)，上方浮力蓋的厚度(5mm)，上方浮力蓋的直徑 (125mm)，突起圓弧的大小(5mm)，底部扇形螺旋葉片高度 (30mm)，底部螺旋葉片弧度 blade_twist (45)，底部螺旋葉片量 num_blades(10)，底部螺旋葉片弧度 blade_twist (45 度)，底部螺旋葉片長度 blade_length (30mm)，底部螺旋葉片厚度 blade_thickness(2mm)，轉盤中心圓孔直徑(27.5mm)，轉盤中心軸距 14.5mm
	應變變因	塑膠垃圾收集移動速率 (cm/sec)

			
圖 47: 圓盤突起圓弧數量 16	圖 48: 突起物數量太多，不好帶動垃圾	圖 49: 圓盤突起圓弧數量 12	圖 50: 突起物數量太多，不好帶動垃圾
			
圖 51: 圓盤突起圓弧數量 8	圖 52: 數量剛好，容易帶動垃圾		

圖片皆自行拍攝

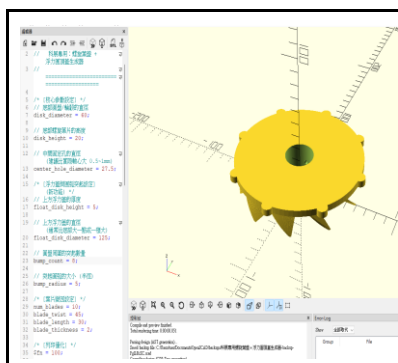


圖 53 : Open SCAD 圓盤周圍突起圓弧的數量 8

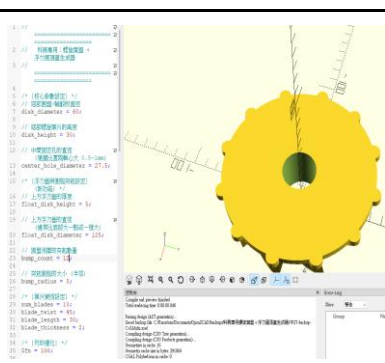


圖 54 : Open SCAD 圓盤周圍突起圓弧的數量 12

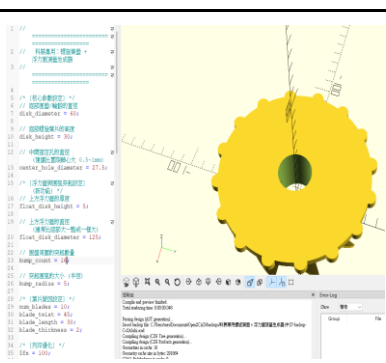


圖 55 : Open SCAD 圓盤周圍突起圓弧的數量 16

圖片皆自行截圖

凸起物數量 16	燕麥	寶特瓶	寶特瓶 (扁/小)	寶特瓶 (扁/大)	咖啡	麥萃	飲料杯	塑膠袋浮	半沉塑膠袋	打結塑膠袋
1	3	4	4	3	4	5	4	7	7	3
2	3	3	3	4	5	4	4	9	8	4
3	3	6	6	5	4	4	5	6	9	5
Ave.	3.00	4.33	4.33	4.00	4.33	4.33	4.33	7.33	8.00	4.00
速率	41.67	28.85	28.85	31.25	28.85	28.85	28.85	17.05	15.63	31.25
凸起物數量 8	燕麥	寶特瓶	寶特瓶 (扁/小)	寶特瓶 (扁/大)	咖啡	麥粹	飲料杯	塑膠袋浮	半沉塑膠袋	打結塑膠袋
1	7	4	3	3	4	6	6	3	8	4
2	3	3	5	4	2	3	4	6	5	6
3	4	3	3	4	5	5	4	6	6	3
Ave.	4.67	3.33	3.67	3.67	3.00	4.67	4.67	5.00	6.33	4.33
速率	26.79	37.50	34.09	34.09	41.67	26.79	26.79	25.00	19.74	28.85
凸起物數量 12	燕麥	寶特瓶	寶特瓶 (扁/小)	寶特瓶 (扁/大)	咖啡	麥萃	飲料杯	塑膠袋浮	半沉塑膠袋	打結塑膠袋
1	5	5	4	5	5	5	6	3	7	6
2	4	5	5	5	5	6	5	5	9	5
3	6	4	5	5	5	5	5	3	7	4
Ave.	5.00	4.67	4.67	5.00	5.00	5.33	5.33	3.67	7.67	5.00
速率	25.00	26.79	26.79	25.00	25.00	23.44	23.44	34.09	16.30	25.00

凸起物數量	燕麥	寶特瓶	寶特瓶 (扁/小)	寶特瓶 (扁/大)	咖啡	麥萃	飲料杯	塑膠袋浮	半沉塑膠袋	打結塑膠袋
8 個	26.79	37.50	34.09	34.09	41.67	26.79	26.79	25.00	19.74	28.85
12 個	25.00	26.79	26.79	25.00	25.00	23.44	23.44	34.09	16.30	25.00
16 個	41.67	28.85	28.85	31.25	28.85	28.85	28.85	17.05	15.63	31.25

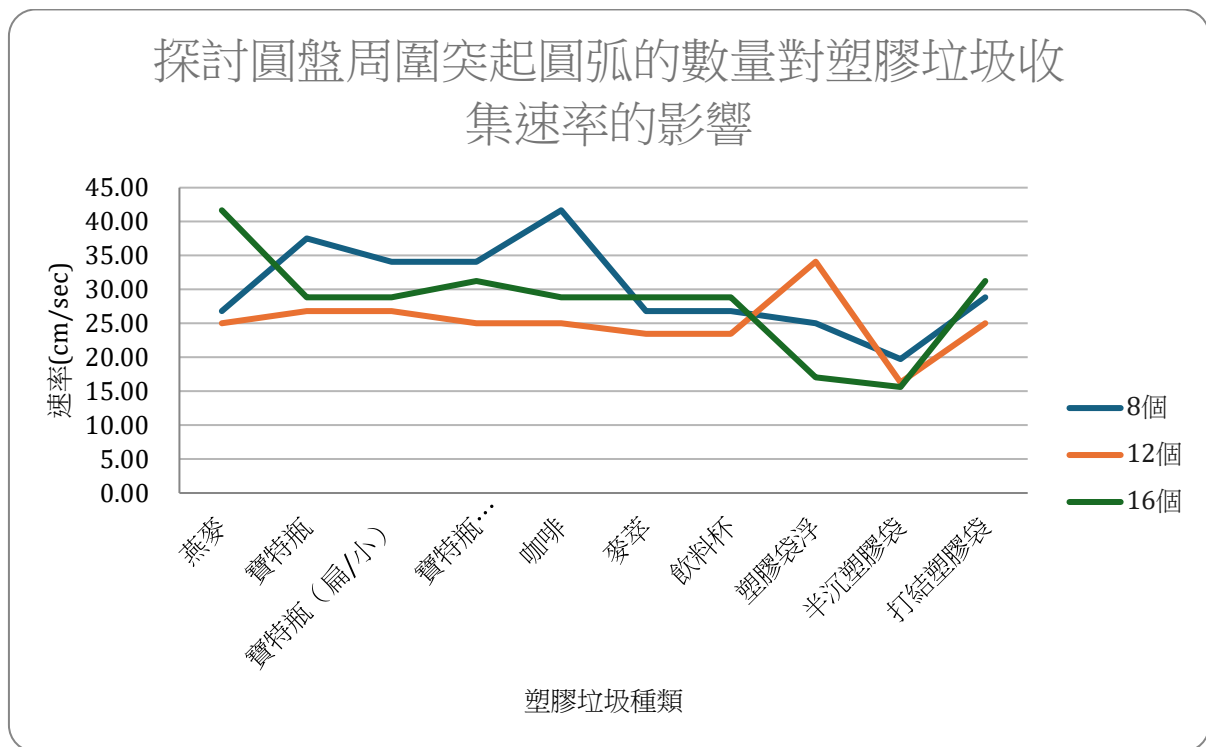


圖 56: 探討圓盤周圍突起圓弧的數量對塑膠垃圾收集速率的影響折線圖自行截圖繪製

小結 :我們發現水面攔截圓盤，長「8 個凸點」最剛好

我們看到的：藍色的線（圓盤 8 個凸起）在收集大部分硬硬的寶特瓶、飲料杯時，速度都是最快的（都在 30 cm/sec 以上）。反而是長了 16 個凸起（綠線）的圓盤，除了抓長度較短的燕麥很厲害之外，抓其他垃圾的速度都變慢了。

我們的發現：圓盤旁邊的凸起就像是機器的「牙齒」。牙齒長 8 個的時候，縫隙剛剛好，可以完美卡住寶特瓶把它帶過來。而十二個突起物在轉盤轉動時，第四個轉盤會把垃圾往第四和第五轉盤的縫隙裡帶，也因為凸起物在葉扇之間，所以才會被多出來的凸點卡在中間。如果牙齒太多（16 個），縫隙變得太小，大瓶子反而卡不進去，會一直滑開！

大魔王-「半沉塑膠袋」

我們看到的：無論是換了幾個凸點的圓盤，所有的線條到了「半沉塑膠袋」這一格，全部都會掉進一個深深的大凹洞（速度變得超級慢）！

我們的發現：這種要沉不沉、軟趴趴的塑膠袋，真的是河川裡最難對付的垃圾！因為它太軟了，水面的圓盤很難用凸點咬住它，底部的螺旋也很難把它往上推。

實驗六: 探討突起圓弧的大小對塑膠垃圾收集數量的影響

實驗六名稱	探討突起圓弧的大小對塑膠垃圾收集速率的影響	
	操控變因	突起圓弧的半徑大小(5mm、7mm、9mm)
	控制變因	圓盤材質 PLA，塑膠垃圾種類，轉盤中心裝置，底部圓盤/輪轂的直徑 (60mm)，上方浮力蓋的厚度(5mm)，上方浮力蓋的直徑 (125mm)，突起圓弧的數量(12)，底部扇形螺旋葉片高度 (30mm)，底部螺旋葉片弧度 blade_twist (45)，底部螺旋葉片量 num_blades(10)，底部螺旋葉片弧度 blade_twist (45 度)，底部螺旋葉片長度 blade_length (30mm)，底部螺旋葉片厚度 blade_thickness(2mm)，轉盤中心圓孔直徑(27.5mm)，轉盤中心軸距 14.5mm
	應變變因	塑膠垃圾收集移動速率 (cm/sec)



圖 57：圓盤突起圓弧的半徑大小 9mm



圖 58: 大小太大，不好帶動垃圾



圖 59：圓盤突起物半徑大小 7mm



圖 60：大小太大，不好帶動垃圾

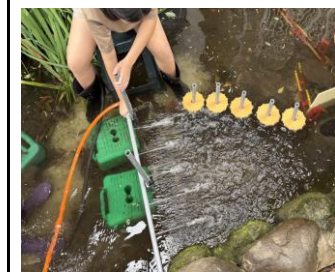


圖 61: 圓盤突起物半徑大小 5mm



圖 62: 大小剛好，容易帶動垃圾

圖片皆自行拍攝

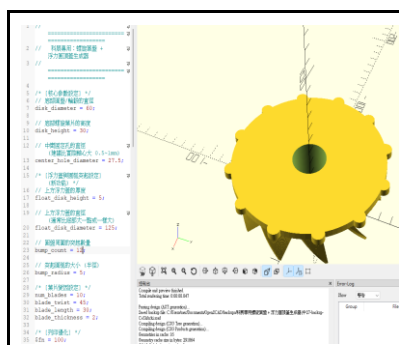


圖 63: Open SCAD 突起圓弧

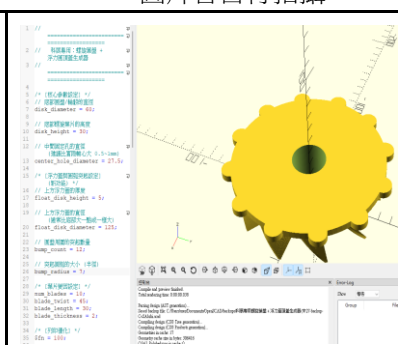


圖 64：Open SCAD 突起圓

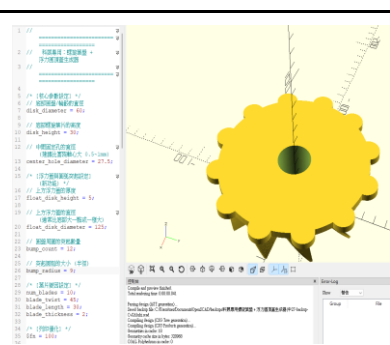


圖 65：Open SCAD 突起圓

的半徑大小 5mm	弧半徑的大小 7mm	弧的半徑大小 9mm
-----------	------------	------------

圖片皆自行截圖

圓弧大小 9mm	燕麥	寶特瓶	寶特瓶（扁/ 小）	寶特瓶 （扁/大）	咖啡	麥粹	飲料杯	塑膠袋浮	半沉塑膠袋	打結塑膠袋
1	7	4	7	8	3	4	5	8	10	6
2	3	4	4	7	5	6	6	7	10	7
Ave.	5.00	4.00	5.50	7.50	4.00	5.00	5.50	7.50	10.00	6.50
速率	25.00	31.25	22.73	16.67	31.25	25.00	22.73	16.67	12.50	19.23
圓弧大小 7mm	燕麥	寶特瓶	寶特瓶（扁/ 小）	寶特瓶 （扁/大）	咖啡	麥粹	飲料杯	塑膠袋浮	半沉塑膠袋	打結塑膠袋
1	9	5	7	6	4	4	5	7	10	6
2	8	7	7	8	8	8	8	6	15	8
3	8	5	8	8	5	8	7	7	14	6
Ave.	8.33	5.67	7.33	7.33	5.67	6.67	6.67	6.67	13.00	6.67
速率	15.00	22.06	17.05	17.05	22.06	18.75	18.75	18.75	9.62	18.75
圓弧大小 5mm	燕麥	寶特瓶	寶特瓶（扁/ 小）	寶特瓶 （扁/大）	咖啡	麥粹	飲料杯	塑膠袋浮	半沉塑膠袋	打結塑膠袋
1	5	4	5	7	4	3	5	6	10	10
2	6	4	4	6	3	7	6	6	11	7
3	4	4	5	4	3	3	5	7	12	9
Ave.	5.00	4.00	4.67	5.67	3.33	4.33	5.33	6.33	11.00	8.67
速率	25.00	31.25	26.79	22.06	37.50	28.85	23.44	19.74	11.36	14.42

凸起物 圓弧半 徑尺寸 （mm）	燕麥	寶特瓶	寶特瓶 （扁/ 小）	寶特瓶 （扁/ 大）	咖啡	麥萃	飲料杯	塑膠袋 浮	半沉塑 膠袋	打結塑 膠袋
5	25.00	31.25	26.79	22.06	37.50	28.85	23.44	19.74	11.36	14.42
7	15.00	22.06	17.05	17.05	22.06	18.75	18.75	18.75	9.62	18.75
9	25.00	31.25	22.73	16.67	31.25	25.00	22.73	16.67	12.50	19.23

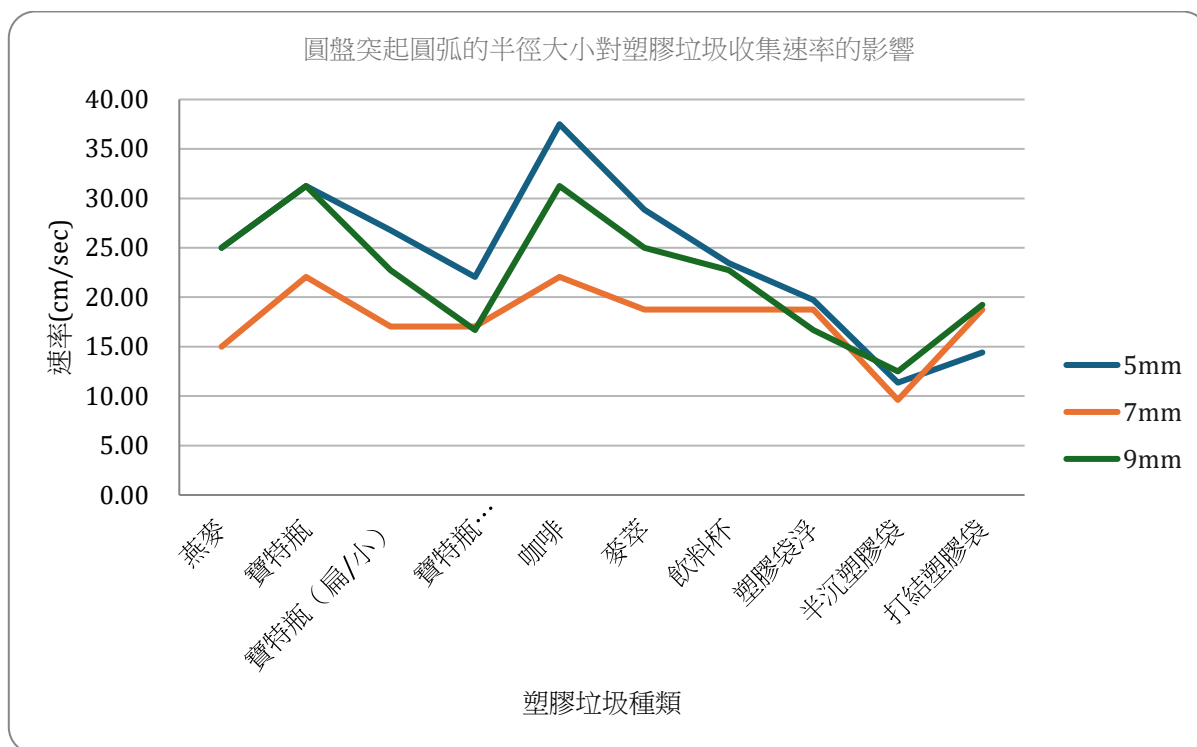


圖 66: 圓盤突起圓弧的半徑大小對塑膠垃圾收集速率的影響折線圖，自行截圖繪製

小結：凸起物圓弧半徑 5mm 的速率最快

我們看到的：那條高高的「藍色線（凸起物圓弧半徑 5mm）」，不管是在抓寶特瓶、咖啡瓶還是麥萃，這條藍線幾乎都在最上面，速度是最快的（很多都跑到 30 cm/sec 以上），反而那條橘色的線（凸起物圓弧半徑 7mm）常常掉到最後一名。

我們的發現：原來圓盤旁邊的凸點不用太大顆，5mm 的大小就像是剛剛好的「小爪子」，可以穩穩地卡住塑膠垃圾的邊緣把它們撥過來。如果凸點變太大（像是 9mm 或是 7mm），形狀可能變得太平鈍，垃圾反而容易滑走、撥不動。而「半沉塑膠袋」這一格，又全部一起掉進了深深的大山谷裡（速率掉到 10cm/sec 左右）。

實驗七:林後泗林實際河道驗證

實驗七名稱	探討最佳設計變因之裝置在林後泗林實際河流中塑膠垃圾收集的影響	
實驗目的:驗證於實際河流中的塑膠垃圾收集能力	操控變因	
	控制變因	圓盤材質 PLA，塑膠垃圾種類，轉盤中心裝置，底部圓盤/輪轂的直徑 (60mm)，上方浮力蓋的厚度(5mm)，上方浮力蓋的直徑 (125mm)，突起圓弧的數量(8)，突起圓弧的半徑大小(5mm)，底部扇形螺旋葉片高度(30mm)，底部螺旋葉片弧度 blade_twist (45)，底部螺旋葉片量 num_blades(10)，底部螺旋葉片弧度 blade_twist (45 度)，底部螺旋葉片長度 blade_length (30mm)，底部螺旋葉片厚度 blade_thickness(2mm)，轉盤中心圓孔直徑 (27.5mm)，轉盤中心軸距 14.5mm
	應變變因	塑膠垃圾收集移動速率 (cm/sec)



圖 67 :林後泗林河道驗證



圖 68 :計時起算至終點長度

圖片皆自行拍攝與截圖

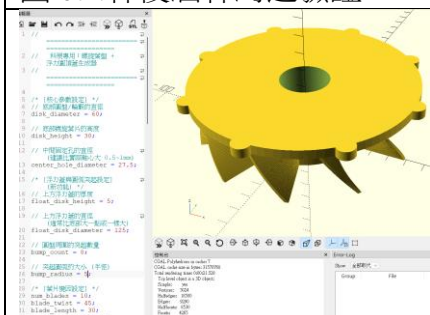


圖 69 : Open SCAD 突起圓弧的數量(8)，突起圓弧的半徑大小(5mm)，底部扇形螺旋葉片高度(30mm)，底部螺旋葉片弧度 blade_twist (45)，底部螺旋葉片量 num_blades(10)，底部螺旋葉片弧度 blade_twist (45 度)，底部螺旋葉片長度 blade_length (30mm)，底部螺旋葉片厚度 blade_thickness(2mm)，轉盤中心圓孔直徑(27.5mm)

	燕麥	寶特瓶	寶特瓶 (扁/小)	寶特瓶 (扁/大)	咖啡	麥粹	飲料杯	塑膠袋浮	半沉塑膠袋	打結塑膠袋
第 1 次實驗	3	2	3	2	2	3	2	4	3	5
第 2 次實驗	3	2	2	2	2	2	2	3	1	3
第 3 次實驗	3	3	2	2	3	4	2	3	2	3
平均(sec)	3.00	2.33	2.33	2.00	2.33	3.00	2.00	3.33	2.00	3.67
速率 (cm/sec)	20.67	26.57	26.57	31.00	26.57	20.67	31.00	18.60	31.00	16.91

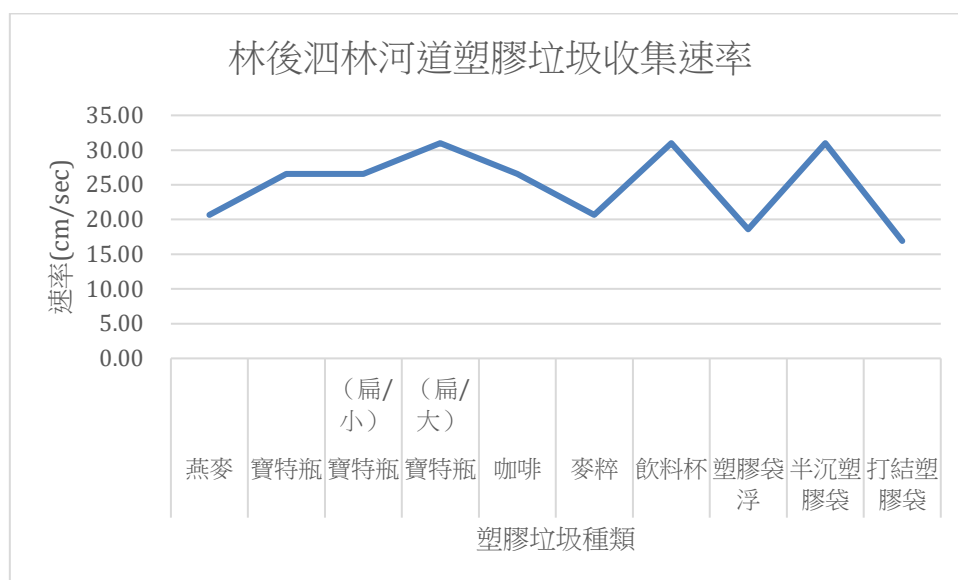


圖 70: 林後泗林河道塑膠垃圾收集速率折線圖，自行繪製截圖

小結:經過了真正的河水洗禮，我們的設備表現有了這些超棒的發現：

1. 體積大的硬垃圾，我們最會抓。

我們看到的：圖表中飆最高的三個尖峰（速率達到 31 cm/sec），分別是「大/扁寶特瓶」、「飲料杯」還有「半沉塑膠袋」。

我們的發現：這證明了我們之前找到的「黃金組合（突起圓弧的數量(8)，突起圓弧的半徑大小(5mm)，底部扇形螺旋葉片高度(30mm)，底部螺旋葉片弧度 blade_twist (45 度)，底部螺旋葉片量 num_blades(10)，底部螺旋葉片弧度 blade_twist (45 度)，底部螺旋葉片長度 blade_length (30mm)，底部螺旋葉片厚度 blade_thickness(2mm)，轉盤中心圓孔直徑(27.5mm)」，在真實河道裡超級厲害，只要是體積比較大、有硬度邊緣的杯子和瓶子，轉盤能快速把它們掃進收集槽。

2. 驚喜大逆轉：打敗大魔王啦。

我們看到的：還記得之前實驗裡最慢的「半沉塑膠袋」嗎？在真實的河道裡，它的收集速度竟然衝到了第一名（只要 2 秒就能收集完，速率高達 31 cm/sec）。

我們的發現：原來在真實的河川中，「天然的水流推力」變成了我們的好幫手。河水順著斜斜的轉盤流動，直接把軟趴趴的塑膠袋「收」進了我們的收集區裡，大魔王就這樣被我們輕鬆收服了。

3. 新的調皮鬼出現了：「打結塑膠袋」

我們看到的：這次掉到最後一名、速度最慢的（速率 16.91 cm/sec，花了 3.67 秒），變成了「打結塑膠袋」。

我們的發現：塑膠袋打結之後變成了一大坨「圓圓的球」。在真實有波浪的溪流裡，圓滾滾的袋子可能比較容易順著水波滾來滾去，讓轉盤的小牙齒比較難一次就勾住它，需要多花一點點時間才能抓進來。

柒、討論

- 一、「水流側向剪力」是大自然的好幫手：在校內實驗中，「半沉塑膠袋」因為缺乏固定形狀，極易在螺旋葉片中打滑，成為最難收集的大魔王。但到了「林後四林」真實河川實測時，天然的波浪與水流推力反而順勢將軟塑膠袋「沖」入收集槽中，大幅提升了收集速率。這證明大自然的水動力能彌補機構設計的死角。
- 二、「過猶不及」的導流凸點設計：實驗證實，水面轉盤的突起圓弧並不是越大或越多越好。當突起數量過多（16 個）或尺寸太大（9 mm）時，垃圾邊緣反而無法卡進縫隙中，會被轉盤直接「彈開」。只有 8 個、大小 5 mm 的突起，能形成最完美的抓取空間。
- 三、地心引力與推力的平衡：底部螺旋的傾斜角度若太陡（65 度），垃圾會因為本身重量大於推力而往下滑落；若設定在 45 度，則能提供一個平緩且穩定的「水上手扶梯」，在推力與地心引力之間取得最完美的平衡。
- 四、一開始校園水生池塘因水太淺浮力不足，導致圓盤卡到下方配重器。因此，換至池塘較深處，轉盤就能順利運轉。

捌、生活運用

本裝置的設計理念完全可以應用於我們的日常生活中，保護水資源環境：

- 一、無動力零碳排，隨處可裝：我們的裝置不需要插電，也不用外加馬達。只要安裝在有水流的鄉間灌溉溝渠、公園水池出水口或是溪流中，就能 24 小時自動攔截垃圾，完全不浪費能源。
- 二、友善河川生態：傳統使用怪手或大型機具打撈河川垃圾，會產生噪音、廢氣，甚至挖死水生動植物。我們的 PLA 無動力螺旋環狀垃圾收集裝置轉速溫和，不僅材質環保，也留有縫隙讓小魚和小蝦及船隻安全游過，是一種對生態極度友善的發明。
- 三、從源頭守護海洋：海洋中高達八成的塑膠垃圾來自河川。如果能在各地的中小型河道廣泛佈建這種低成本的收集器，就能像「濾水網」一樣，在垃圾流入大海前將其一網打盡。

此外，本裝置結構簡單，可利用 3D 列印方式製作，製作成本較低，未來可依不同河道寬度與水流狀況進行尺寸調整，具備實際推廣與應用的潛力。若能進一步結合垃圾輸送帶或集中回收系統，將可減少清潔人員進入河道作業的風險，提高整體河道清潔效率。

玖、結論

- 一、成功打造零耗能收集器：本研究成功利用 3D 列印技術與流體力學（扭矩與圓柱繞流）原理，研發出一款純靠水流驅動的「無動力螺旋環狀垃圾收集裝置」。
- 二、找出最佳黃金比例：經過多次變因改良，本裝置的「最強黃金組合」為：轉盤中心孔徑 27.5 mm、軸距 14.5 公分、底部葉片高度 30 mm、葉片弧度 45 度，以及配有 8 個半徑 5 mm 突起圓弧的水面轉盤。
- 三、克服軟硬垃圾的收集痛點：此黃金組合不僅能以極高的速率（超過 30 cm/sec）攔截水面上大/小型寶特瓶及飲料杯，更在真實河道驗證中，成功收服了最難抓取的「半沉軟性塑膠袋」，證明本裝置具備極高的野外實用價值。
- 四、研究成果符合聯合國永續發展目標：SDG 6 淨水與衛生、SDG 14 保育海洋生態、SDG 13 氣候行動（減少燃料機具使用）。透過源頭攔截與低碳設計，可減少垃圾進入海洋後所需的高成本清理作業，具有環境與經濟雙重效益。

拾、未來展望

雖然我們的裝置已經能在真實河川中運作，但為了解決實驗中發現的「打結塑膠袋」容易滾動打滑的新問題，未來我們將朝以下三個方向繼續改良：

- 1.增加防滑紋理結構：未來計畫在底部阿基米德螺旋葉片的表面，加入微小的「立體防滑刻紋」或是粗糙面，增加摩擦力，讓圓滾滾的打結塑膠袋再也溜不走。
- 2.水位自動升降適應系統：台灣的溪流在豐水期（颱風天）和枯水期的水位落差很大。未來希望能加入「浮筒軌道設計」，讓整個裝置能隨著水位自動上升或下降，永遠保持在最佳的攔截高度。
- 3.結合 AI 智慧辨識影像進行塑膠垃圾自動分類收集：未來如果能結合一小塊太陽能板與攝影機，在垃圾進入收集區後由輸送帶上的鏡頭進行 AI 辨識，就能進行回收垃圾自動分類，達到完全自動化綠能蒐集的目的。

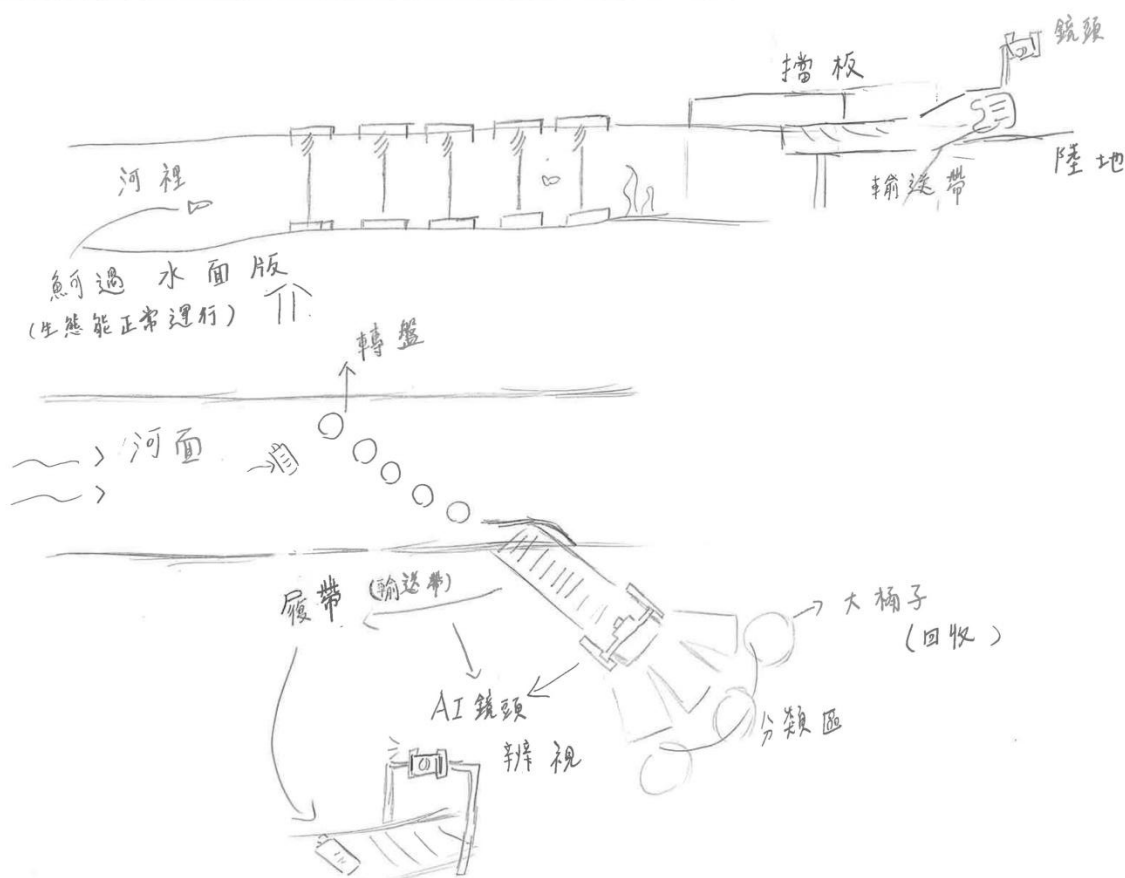


圖 71:無動力螺旋環狀垃圾收集與 AIA 自動辨識分類裝置 自行繪製

拾壹、參考文獻

一、中文文獻

- 1.科學 Online. (2009). 力矩 (torque) —物理概念介紹. 國立臺灣大學科學教育發展中心.
<https://case.ntu.edu.tw/highscope/%E5%8A%9B%E7%9F%A9%E7%BC%88torque%E7%BC%89/index.html>
- 2.教育百科. (無日期). 流體力學，水理學. 國家教育研究院.
<https://pedia.cloud.edu.tw/Entry/Detail/?title=%E6%B5%81%E9%AB%94%E5%8A%9B%E5%AD%A6%E7%BC%8C%E6%B0%B4%E7%90%86%E5%AD%B8>
- 3.維基百科. (2024). 流體力學. <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B5%81%E4%BD%93%E5%8A%9B%E5%AD%A6>
- 4.維基百科. (2024). 層流. <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%B1%82%E6%B5%81>
- 5.維基百科. (2024). 渦流. <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B8%A6%E6%B5%81>
- 6.維基教科書. (無日期). 流體力學/雷諾數與流動型態.
<https://zh.wikibooks.org/wiki/%E6%B5%81%E4%BD%93%E5%8A%9B%E5%AD%A6/%E9%9B%B7%E8%AF%BA%E6%95%B0%E4%B8%8E%E6%B5%81%E5%8A%A8%E5%9E%8B%E6%80%81>
- 7.劉俊廷 (2017)。以光固化 3D 列印技術製造阿基米德螺旋形微混合器之探討〔碩士論文，國立臺灣大學〕。臺灣大學學位論文資料庫。
<http://tdr.lib.ntu.edu.tw/jspui/handle/123456789/59909>
- 8.黃美嬌 (無日期)。流體力學基本概念〔講義〕。國立臺灣大學開放式課程。
https://ocw.aca.ntu.edu.tw/uploads/course_item_file/file/8003/110S201_CT01L01.pdf
- 9.蔡適廷 (2019)。108 學年度流力講義：第一章緒論〔講義〕。國立臺灣大學生物環境系統工程學系環境水利研究室。
<http://ehg.bse.ntu.edu.tw/wfc/pdf/108%E5%AD%B8%E5%B9%B4%E6%B5%81%E5%8A%9B%E8%AC%9B%E7%BE%A9%E6%AA%94/1.pdf>
- 10.盧亮元 (2003)。力矩之名詞表徵演變與概念的溯源。物理教育學刊，17 (1)，1-12。
<https://phys5.ncue.edu.tw/physedu/article/17-1/1.pdf>
- 11.屏東縣第 64 屆國中小學科學展覽會 (2024)。水流渦流探究。
https://sci.ptc.edu.tw/Pthsci64/Upfile/Works/1710219314_831540_32.pdf
- 12.阿基米德螺旋簡介 (無日期)。阿基米德螺旋介紹。台北市中小學教師精進教學網。
<https://tmrc.tiec.tp.edu.tw/resfile/upload/RSR202003021122218HM/Archimedes.pdf>
- 13.科學 Online (2009)。力矩 (torque) —物理概念介紹。國立臺灣大學科學教育發展中心。
<https://case.ntu.edu.tw/highscope/%E5%8A%9B%E7%9F%A9%E7%BC%88torque%E7%BC%89/index.html>
- 14.Ansys (無日期)。什麼是紊流流動？。
<https://www.ansys.com/zh-tw/simulation-topics/what-is-turbulent-flow>
- 15.Ansys (無日期)。層流與紊流的差異與為何重要。
<https://www.ansys.com/zh-tw/blog/laminar-vs-turbulent-flow>
- 16.WaterRower (無日期)。水阻力原理。https://waterrower.com.tw/water_resistance.html

二、英文文獻

- 1.Müller, G., & Senior, J. (2009). Simplified theory of Archimedean screws. *Journal of Hydraulic Research*, 47(5), 666 – 669. <https://doi.org/10.3826/jhr.2009.3475>
- 2.Sumer, B. M., & Fredsøe, J. (1997). *Hydrodynamics around cylindrical structures*. World Scientific. <https://doi.org/10.1142/3246>
- 3.van Emmerik, T., & Schwarz, K. (2020). Plastic debris in rivers. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 7(1), Article e1398. <https://doi.org/10.1002/wat2.1398>