

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學科(一)

第二名

082808

智慧桌球練習機：以 Arduino 為核心之創新設計

學校名稱：臺北市立大學附設實驗國民小學

| | |
|---------------|--------------------|
| 作者： 小六 林佑謙 | 指導老師： 武秀韻 陶玉 |
|---------------|--------------------|

關鍵詞：人臉辨識、手機 App 藍芽控制、3D 列印

摘要

本研究主要是以 **Arduino** 為核心，製造出穩定度高且能自由開發各種智慧練球功能的桌球練習機。我從小喜歡動手拆裝機器和寫電腦程式，我的好朋友是桌球校隊，他希望擁有一台自己的桌球練習機，但是市售機器很貴，於是引發我的製作靈感。我以 **Arduino** 控制無刷馬達和伺服馬達開門，使用 3D 列印製作機身，再以手機藍牙 App 控制練習機，能發出不同速度的直球以及左右旋球，最後我加入腳架旋轉 **Arduino** 套件、人臉辨識及智慧練球模式（發遠身球及隨機出球功能）。穩定度的測試結果顯示：直球落點和左、右旋球皆穩定；選手測試心得都覺得新奇有趣。本研究的特點是首創智慧練球功能，兼具模組化、快速組裝、輕便、便宜、發球穩定的優點，可作為桌球校隊訓練設備。

壹、前言

一、研究動機

我從小學一年級對機器拆裝例如：遙控車、無人機、電風扇等有濃厚的興趣，家裡的東西常常被我拆開研究，同時也有一部沒有在使用的電腦可以讓我自由探索軟體例如：scratch、blender、Unity、SOLIDWORKS、Arduino IDE、App inventor、python、VScode 和 C 語言等。偶然間我在網路上找到了晶片的資料，正好和我拆掉的無人機上有的黑色方塊很像，所以我開始研究上面的晶片控制板，像是 Raspberry Pi、Arduino、Micro:bit、ESP8266 等，這使我了解並完成很多客製化的功能，如用 **Arduino** 自製機器狗。

五年級時我交到了一位好朋友是學校桌球校隊選手，他每天都很認真的進行練習。他告訴我：「每一個學桌球的小朋友都希望能擁有一台家用的自動練習機，這樣就算是自己一個人也可以隨時練習。」剛好可以做為自然課的自主探索學習主題，於是我找了資料，發現市售完整功能的乒乓球練習機，若包含旋球、球速快慢、發球角度等功能，價格都非常昂貴，對於一般家庭負擔較大；陽春型練習機則是只有單一位置的發球，並且人機介面不友善，無法達到訓練的目的。我利用手邊的一台壞掉無人機，裡面有無刷馬達零件，然後將它拆解並用 **Arduino** 為控制器來控制馬達，做出了一台便宜實用的桌球練習機，讓我的好朋友以及學校的校隊同學們方便使用。

二、研究目的與問題

(一)練習機自製及改良

- 1.以 Arduino 為控制器調整發球馬達轉速以及送球閘門
- 2.手機 App 經藍牙遙控桌球練習機
- 3.發出左右旋球以及送球閘門
- 4.改善桌球練習機主結構
- 5.第五代如何製作穩定發球的練習機

(二)練習機測試

- 1.馬達轉速及飛行距離關係
- 2.旋球的飛行及反彈軌跡
- 3.自製練習機與市售練習機的穩定性比較

(三)選手體驗及智慧練習模式

- 1.選手實際試用經驗
- 2.智慧練習模式之成效
- 3.發球方向的 Arduino 控制模組
- 4.人臉辨識及智慧練球模式之開發

三、文獻回顧

(一)有關自動練習機的研究

表 1 相關研究比較

| 序號 | 作品名稱 | 年份 | 作品特色 | 機體主要構造與發球 |
|----|--------------------------|-----|---|--|
| 1 | 觸而及「發」-自製不插電桌球發球機自製之成效探討 | 109 | 自製桌球發球機，並透過輪子的間距與種類，以及馬達的種類與轉速等研究，讓自製桌球發球機發出快慢、強弱、距離及旋轉角度不同的球，並將自製桌球發球實際應用在桌球練習中。此外，為了快速撿球，另研發出自製撿球器來搭配發球機使用。 | 對於練習機構元件，研究了不同的馬達配合不同的電源來源，包括乾電池、鋰電池、以及電源供應器，然而所造成發球的球速變化，無法快速的選擇和切換所需的發球；在供球機構元件方面，皆以挖洞轉盤配合可變電阻及減速馬達，有卡球的可能性並且無法控制每次發球的數量，也無法調整發球的間隔時間。 |

| | | | | |
|---|---------------------|-----|---|--|
| 2 | 小戴陪你練球—自製羽球練球機 | 109 | 利用馬達、車輪及回收材料，自製羽球練球機。此練球機只需透過簡易的機器組裝，無需寫程式，直接以滾輪及滑梯有效送球，且能裝載 60 顆球，射程可達 6 公尺，並能左右掃射。 | 本研究利用 tracker 運動軌跡軟體分析真人教練及自製羽球練球機各種球路（小球、挑球、平球、長球）的軌跡，並比對分析二者的差異及適用性。未來可作為本研究分析乒乓球旋球軌跡的參考。 |
| 3 | 自動「發」球—自製桌球發球機之成效探討 | 104 | 運用 3V 玩具馬達、紙板或其他環保材料，並透過 3D 及雷切機輔助，自製環保雙輪桌球發球機。此發球機能藉由獨立馬達配合可變電阻發出旋轉球，並利用電流大小模擬出不同速球及殺球的速度。 | 練習機構造是以搖頭開關連結電池和馬達，可以使兩端馬達分別快轉、慢轉以及不旋轉，讓桌球的發球強度和旋轉產生變化，另外在研究中還發現乾電池會很快衰退，造成電壓不穩，影響馬達轉速，後來改成了兩台(需插交流電的)電源供應器才能用比較久。 |
| 4 | 3D 不 NG | 104 | 自製 3D 印表機（Prusa i3 印表機），並改善冷卻系統，讓物品塑型更快、減少變形以提升良率，最後運用自製的 3D 印表機列印出客製化物品及特製化零件。 | 本研究 3D 列印主體結構功能及運用程式參考，尤其在 3D 印表機操作及物品塑型上有一些特別注意的基本知識和細節，可以做為操作入門的指引。 |
| 5 | 快打旋風 - 快打好手培育旋風計畫 | 97 | 自製能發出各式旋球，能隨時調整發球速度的自動雙輪式發球機，並透過更換基座與馬達，發出不同大小的球，例如棒球。 | 本研究參考調整發球速度的自動雙輪式發球機發球方式，以及未來可更換透過更換基座與馬達，發出不同方向旋球參考。 |

上述作品皆為機械式元件，好處是穩定易維修，價格便宜；壞處是發球速度及旋轉強度的變化段位非常少，無法達到實際應用，甚至校隊訓練的水準，而在人機介面上也不易操作。本研究中最大特色是以 **Arduino** 晶片為中心來控制發球馬達的轉速以及送球閘門，並以手機 **APP** 藍牙遙控，可以改善上述的問題。

(二)相關原理

伯努力定律：氣流或者流體，在流速不同的時候，它會產生壓力上的變化，流速越高它的壓力也會變得越小。

馬格納斯效應：球體因為旋轉兩側轉速不同所產生的速度差會於上下兩側造成壓力差進而讓球體的行進方向產生偏移。

上旋球（topspin）和下旋球（backspin）：指一些球類運動（如桌球、網球）中，球體頂端因旋轉速度不同而產生壓力差，使球下墜更快，所以上旋會往下墜，反之下旋球即往上漂。

桌球的旋轉很重要，會影響球飛行的方向，以及接觸到對方球拍膠皮後的反彈方向。旋轉的方向可分左旋及右旋。旋球的命名方式是以球拍往哪邊揮動，譬如：(由左)向右揮動拍子，磨擦桌球，可以打出右旋球，右旋球飛行時受到空氣阻力的影響，球的右側比較逆風，左側比較順風，因此會往左側偏移，造成出界。當右旋球碰到對手的球拍時，因為磨擦力的關係，球會向右邊反彈(站在發球者的位置來看)。

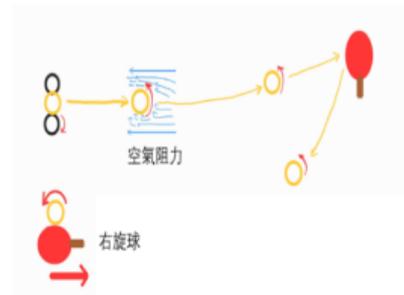


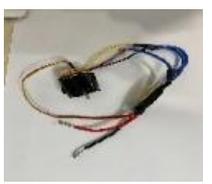
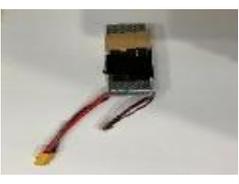
圖 1 旋球原理

貳、研究設備及器材

一、研究設備

電腦、手機(OPPO R9S)、3D 列印機(XYZprinting)、攝影機、腳架(攝影機腳架兼支撐架)、譜架、轉速測速儀、網路攝影機。

二、自製桌球練習機主要物件

| | | | | |
|---|---|---|--|---|
|  |  |  |  |  |
| Arduino | HC05 藍芽晶片 | 無刷馬達、電調 | 可變電阻 | 電池 |
|  |  |  |  |  |
| 伺服馬達 | 輪子、輪胎 | 電線 | 杜邦線 | 麵包版 |

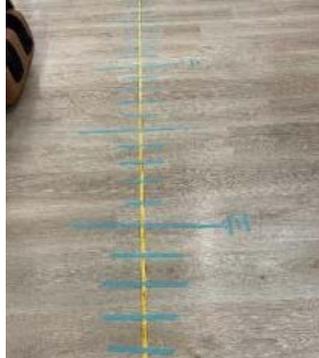
三、研究相關軟體

| | | | | |
|---|--|---|---|---|
|  |  WORKS |  |  Blender 應用程式 | XYZprinting |
| 寫 Arduino 程式 | 3D 繪圖軟體 | 製作手機 App 程式 | 動畫製作 | 3D 列印切片軟體 |
|  |  |  |  Startrails.exe |  |
| vscode | python | OpenCV 庫 | startrails | 相機應用程式 |

四、實驗器材與工具

紙板、冰棒棍、PLA 線材、乒乓球、DVD 片、紙捲、3V 小馬達、竹片、棉線、標籤紙、美工刀、熱熔槍、熱熔膠、剪線鉗、剪刀、皮尺、膠帶、三秒膠、尺、量角器、桌球拍膠皮。

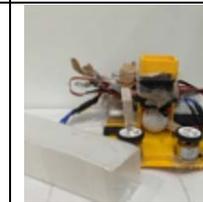
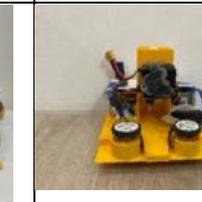
五、家庭實驗設備

| | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| 書桌即工作檯 | | 窗簾改裝綠幕測試球軌 |

參、研究過程或方法

一、練習機改良進程(從第一代到第五代)

表 2 歷代發球練習機比較表

| | 第一代 | 第二代 | 第三代 | 第四代 | 第五代 |
|--------|---|---|---|--|---|
| 簡介 | 手動版 | App 控制 | 雙閘門 | 3D 列印 | 智慧練習機 |
| 照片 |  |  |  |  |  |
| 新增功能特色 | 1 手持式 2 手動裝球 3 按壓開關 4 速度調桿 5 直球 | 1 增設彈匣 (裝 15 顆球) 2 控球閘門。 3 手機 App 遙控 | 1 雙閘門控球 2 連續發球。 3 旋球模式 | 1 採用 3D 列印 2 換上 1400KV 轉速無刷馬達 3 將裝置美觀 4 手機 App 發球數量控制 | 1 調整馬達間距 2 用螺絲固定馬達 3 連結智慧桌球訓練模組 |
| 材質 | 紙板 | 紙板 | 紙板 | PLA | PLA |
| 高度 | 14cm | 20cm | 20cm | 13cm | 13cm |
| 彈匣 | 無 | 連接式紙板彈匣 | 連接式紙板彈匣 | 可拆卸塑膠板彈匣 | 可拆卸塑膠板彈匣 |
| 馬達固定 | 熱熔槍 | 熱熔槍 | 熱熔槍 | 熱熔槍 | 螺絲 |
| 馬達 | 930KV | 930KV | 930KV | 1400KV | 1400KV |
| 控制 | 可變電阻 | 手機 App | 手機 App | 手機 App | 手機 App 雙 Arduino 連結 電腦控制 |
| 說明 | 第一代使用紙板製作機身，採用 T 型設計理念，元件可變電阻可以控制轉速，原本設計給槍戰使用。 | 第二代練習機的雛形，我使用 App 控制練習機，讓練習機可以遠端操縱發球。 | 第三代是練習機的半成品，我增加了左旋球以及右旋球還有更多按鈕以及選項。 | 第四代練習機大部分的功能已經設計完成。 | 第五代練習機的重點是採用人臉辨識系統可以發出反方向的球並增加 random 隨機出球；無刷馬達採用螺絲鎖緊，進而增加穩定性。 |

二、練習機馬達測試

(一)程式指令與馬達轉速

在寫 Arduino 程式時，要輸入一個數字(0~180)來控制無刷馬達的轉速，Arduino 晶片才能透過電子調速器(電調)控制馬達轉速，我使用 BENETECH 的轉速表(型號：GM8905)來測量馬達的實際轉速。



圖 2 轉速測速儀

(二)不同馬達轉速的飛行距離

以捲尺及紙膠帶在地上做記號，練習機固定在相機腳架上，高度約 55cm，練習機前傾角度為 5 度，連續發射 10 球。以手機錄影並確認落點的距離(圖 3)。



圖 3 發球的距離測試

(三)側旋球的效果測試

我將桌球膠皮(紅雙喜 PF4)用雙面膠黏貼在木桌上，垂直置放模擬對手的球拍，練習機距離 150cm，高度 55cm，前傾角度 5 度，分別發出左旋及右旋球各 5 顆，在正上方以手機錄影後，在電腦上以軟體(Free Video to JPG converter)將影片匯出為一連串的圖檔(圖 4)，相關場地設備器材設置如圖 5、然後用觀星軟體(Startrails)制成軌跡圖(圖 6)。最後在軌跡圖上面測量桌球撞擊膠皮後的反彈角度。

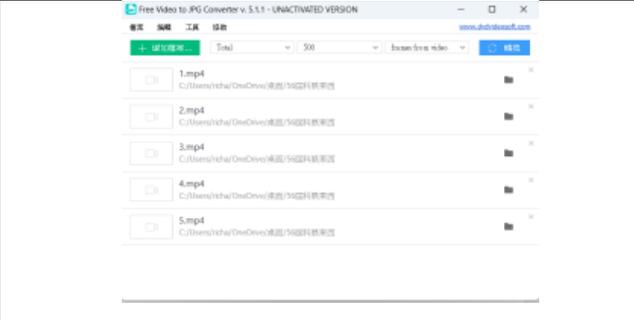
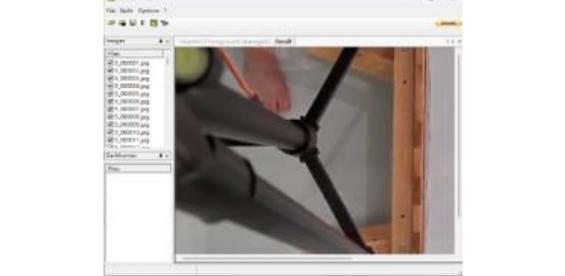
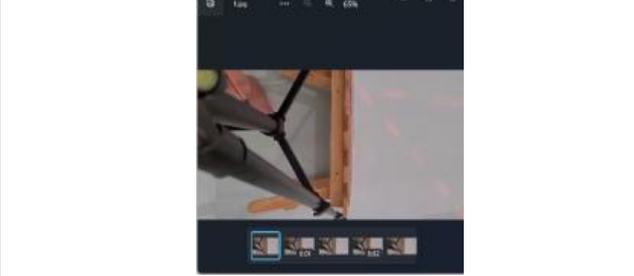
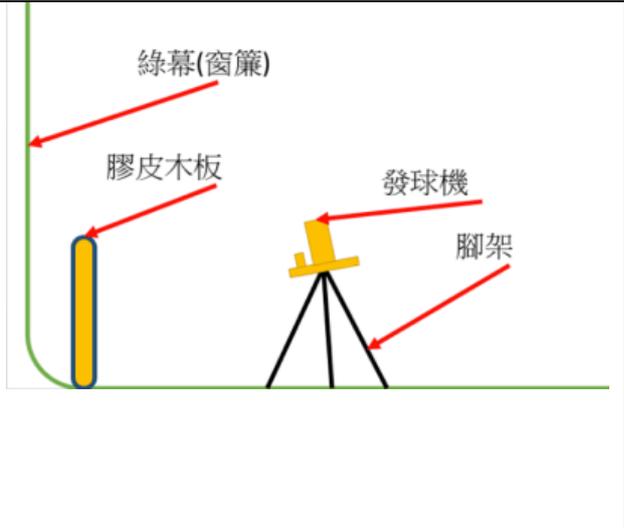
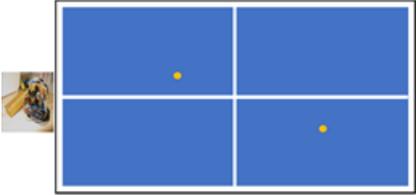
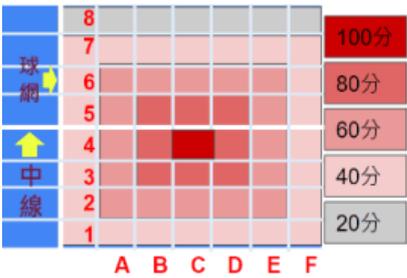
| | |
|---|--|
|  |  |
| <p>步驟一:貼膠皮(把桌球拍的膠皮貼在桌子上)</p> | <p>步驟二:將影片匯入 Free Video to JPG converter 並且轉換成照片。</p> |
|  |  |
| <p>步驟三:將步驟一轉換成的照片匯入 Startrails 並匯出軌跡圖。</p> | <p>步驟四:等待匯出完畢之後旋球軌跡圖即完成</p> |

圖 4 旋球軌跡圖繪製步驟

| | |
|---|--|
|  |  |
| <p>圖 5 測試旋球軌跡場地設備配置示意圖</p> | <p>圖 6 旋球軌跡圖</p> |

(四)實桌穩定度測試

以竹片及棉線在標準桌球桌上周圍設立樣區，再以中線向兩邊延伸，每 20 公分畫記並綁棉線，於 X 軸和 Y 軸分別標示 A~F 與 1~8。以標靶計分的方式，在對手桌上設定目標範圍計分。歷代測試改良如下所示：

| 第一代練習機效果測試的 簡易法 | 第二代和第三代練習機效果測試的 錄影目視法 |
|--|---|
|  <p>圖 7 第一代落點測試分析</p> |  <p>圖 8 桌面貼標籤圖 9 第二代落點法測試分析</p> |
| <p>【說明】</p> <p>01.機放在對手桌對面，發球到對手桌。</p> <p>02.對打模式之進球成功機率以球落點在對手桌界內計算，未過網及界外球不計分。</p> | <p>【說明】</p> <p>01.標準球桌長 274cm 寬 152.5cm 高 76cm。</p> <p>02.以中線向兩邊延伸，每 20 公分貼標籤(圖 25)。</p> <p>03.發球錄影之後進行區塊落點分析(圖 26)。</p> |
| 第四代練習機效果測試的 樣區標記法 | |
|  <p>圖 10 樣區工具圖 11 設立樣區圖 12 樣區標記並錄影分析落點</p> | |
| <p>【第四代計分說明】</p> <p>01.準備長竹片和棉線作為製作樣區的工具(圖 10)。</p> <p>02.以竹片在標準桌球桌上周圍設立樣區，再以中線向兩邊延伸，每 20 公分畫記綁棉線，最後貼紙標籤再周圍定型(圖 11)</p> <p>03.在對手桌上用標籤紙於樣區周圍標記，於 X 軸和 Y 軸分別標示 A~F 與 1~8，最後錄影分析落點(圖 12、圖 13)。</p> <p>04.以標靶計分方式，在對手桌上設定目標範圍計分(圖 13)。</p> |  <p>圖 13 樣區標記法</p> |

三、選手體驗測試方式

(一)使用體驗心得訪談

從第三代起，請桌球選手進行試打並提供心得及建議，作為後續改進的基礎。

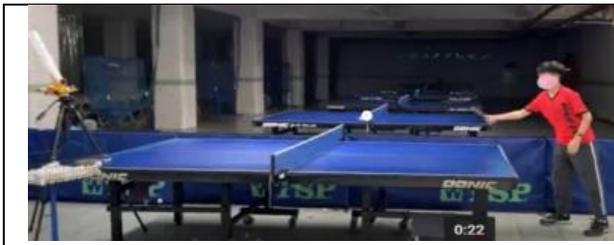


圖 14 選手和桌球練習機旋球及發球測試



圖 15 選手和桌球練習機智慧練習測試

(二)智慧練球模式運作流程

智慧練球模式目的在於訓練桌球選手對於遠身球的處理，讓選手站在球桌的左側或右側，我讓電腦經由人臉辨識出選手的位置，設定練習機發出相反方向的球，例如：站在左側則發出右側的球，以此類推。讓選手必須一邊移動一邊接球，每次訓練為 10 球。讓選手重複進行五次訓練，記錄成功回擊的比例並觀察訓練的成效。

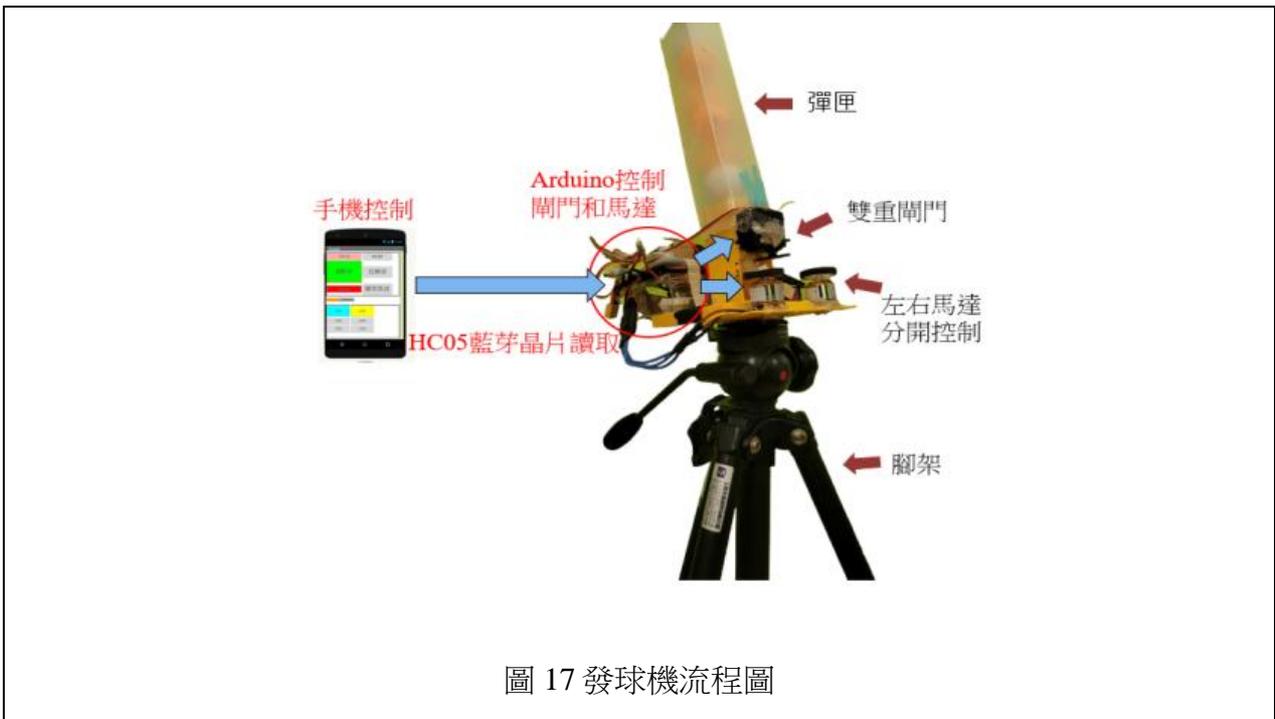


圖 16 智慧練球模式運作流程圖

肆、研究結果

一、研發桌球練習機過程中遇到的問題及解決方案

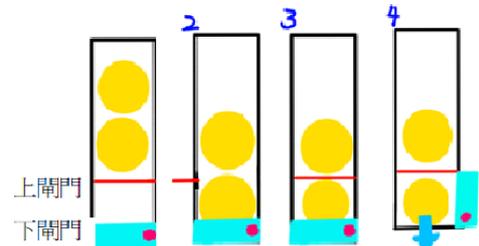
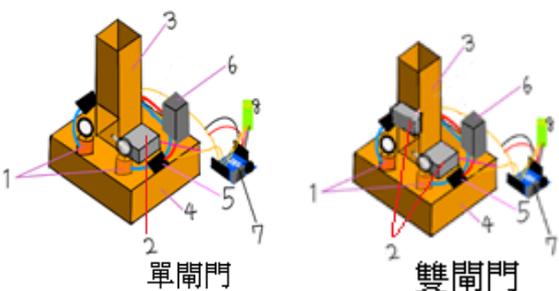
(一)以 Arduino 為控制器調整發球馬達轉速以及送球閘門



(二)以手機 App 經藍牙遙控桌球練習機

| 最舊手機 App 第 1 代 | 最新手機 App 第 18 代 |
|--|---|
|  <p>圖 18 舊版手機 App</p> |  <p>圖 19 新版手機 App</p> |
| <p>說明：剛開始的按鍵及功能鍵都很少，按鍵敘述也很不完整。註：其他 16 版請見實驗記錄</p> | <p>說明：到了 18 版，我的 App 已經可以控制轉速指令:34、40、45、50、55 還有將旋球功能調整好並增添隨機球以及滑桿出球鈕。</p> |

(三)發出左右旋球以及閘門改良

| | |
|---|---|
| <p style="text-align: center;">左旋球 右旋球</p>  <p style="text-align: center;">圖 20 左右旋球示意圖</p> | <p>【左右旋球說明】</p> <p>若要發左旋球，要讓右邊馬達停止運作，並開啟左邊馬達；若要發右旋球，要讓左邊馬達停止運作，開啟右邊馬達。</p> |
| <p>【單閘門說明】</p> <p>伺服馬達由 Arduino 控制時序。 單閘門偶爾會造成一次發出兩三顆球</p> |  <p style="text-align: right;">圖 21 一次連續發球</p> |
| <p>【雙閘門說明】</p> <p>01.關閉所有閘門。 02.打開上閘門讓球下來。 03.關閉上閘門把上面的球抵住。 04.打開下閘門發球然後回到 01.動作。 05.寫程式由 Arduino 控制時序。</p> |  <p style="text-align: center;">圖 22 雙重閘門連續發球示意圖</p> |
| <p>【主體結構功能說明】</p>  <p style="text-align: center;">圖 23 主體結構單閘門和雙閘門示意圖</p> | <ol style="list-style-type: none"> 01. 無刷馬達：透過左右馬達的轉速差異來達到左/右旋球的功能。 02. 伺服馬達：閘門由 Arduino 控制時序。 03. 彈匣：可以裝 15 顆球。 04. 機身（底座）。 05. 電調：控制馬達轉速。 06. 電池：供電。 07. Arduino：控制所有元件。 08. HC05：接收藍芽資料。 |

(四)如何改善桌球練習機主結構以及增加發球穩定度？

1.研發 3D 列印練習機

如果是用紙板製作練習機，因為馬達轉動會震動，導致紙板軟化，馬達間距不一，會讓機器不穩發球距離落差大，所以我花了些時間研究繪圖軟體以及 3D 列印機最後，做出第四代，以下是我的研發過程與結果:

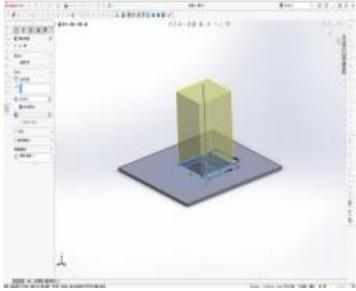
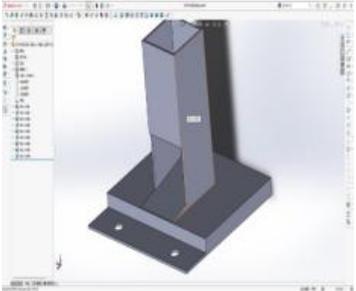
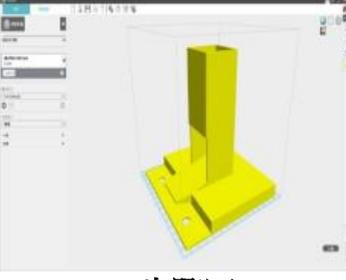
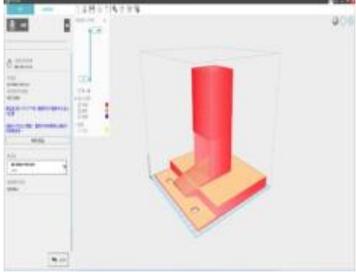
| | | |
|---|--|--|
|  <p>步驟一 開啟 SOLIDWORKS 這個程式是運行在微軟 Windows 平台下的 3D 機械 CAD 軟體。</p> |  <p>步驟二 3D 建模，輸入正確的形狀和尺寸。主要使用的是 填充和 除料功能 (SOLIDWORKS)</p> |  <p>步驟三 建模完成，匯出 STL 檔案格式(SOLIDWORKS)</p> |
|  <p>步驟四 開啟 XYZprinting 這個程式，是三緯國際的 3D 列印機 (XYZprinting da vinci mini) 的操作軟體，匯入 STL 檔。</p> |  <p>步驟五 使用切片功能。增加列印成功的必要物件，例如「支撐」，避免中空部位塌陷的支柱(可以在列印後拔掉)。</p> |  <p>步驟六 都準備好了就可以開始列印，等待隔天印好！</p> |

圖 243D 列印示意圖

2. 支撐固定方式從譜架變為腳架

在一、二、三代中，因為使用紙板製作機身，所以只能用譜架支撐，無法使腳架，而在四、五代中主機改良為 3D 列印，所以可以將機身裝上腳架座。這樣一來不但攜帶方便，還可以增加旋轉盤。

| | |
|--|---|
|  <p>第三代練習機，像資源回收品裝的組合，用譜架+椅子當支撐，整體含主機設備都非常笨重。</p> |  <p>第五代智慧型練習機，經過數十次改良，結合多種功能，採模組化設計，整體含主機設備都非常輕巧。</p> |
|--|---|

圖 25 笨重支撐譜架更換成使用普遍的支撐腳架

3.螺絲鑽孔固定

因為需要固定無刷馬達間距為 38 毫米，既可以碰到球，又不會太緊，是我實驗出最好的寬度，前幾代因為沒有設計螺絲孔，所以無法鎖螺絲，現在，我將第五代增加螺絲孔，並將無刷馬達鎖上螺絲固定間距。

(五)練習機製作流程(以第五代為例)

首先繪圖，再匯出 STL 檔案，然後匯進切片軟體，最後按下列印，列印完將無刷馬達鎖上螺絲、牽線、撰寫程式、微調，插上電完成!

| | | |
|---|--|--|
| <p>鎖螺絲</p>  | <p>牽線</p>  | <p>撰寫程式</p>  |
| <p>用電動螺絲起子打洞，然後裝上馬達</p> | <p>將馬達、Arduino、hc05、伺服馬達、電調接好完成</p> | <p>撰寫手機以及arduino程式完成!!</p> |

圖 26 第五代製作流程圖

(六)發球方向的旋轉模組(Arduino 控制模組及機腳架套件)

1.想法：因為市面上的電動雲台旋轉腳架都價格昂貴，所以我自製電動可旋轉六段式雲台腳架，以下是製作過程。

| | | |
|---|---|---|
| <p>步驟一：準備腳架(底座可轉動)</p> | <p>步驟二：設計齒輪排放位置並安裝齒輪</p> | <p>步驟三：安裝伺服馬達</p> |
|  |  |  |

圖 27 腳架製作圖

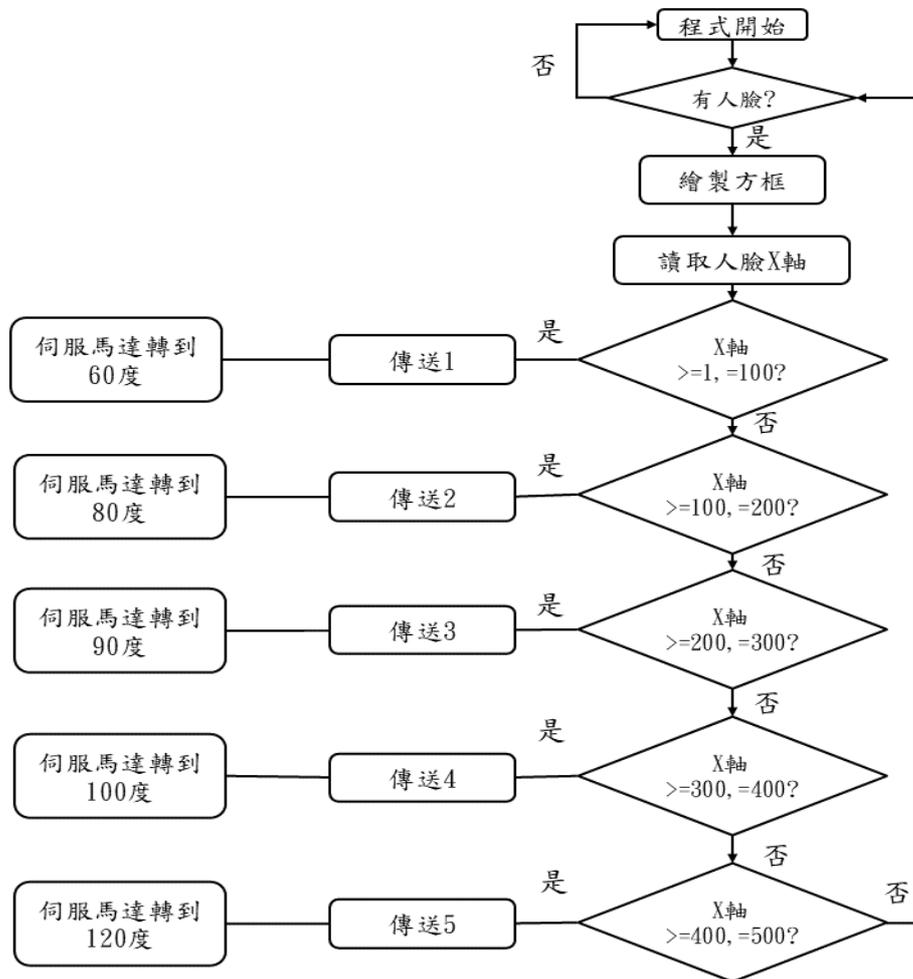
2.Arduino 控制模組

因為練習機的 Arduino 無法同時接收藍芽跟序列埠的訊號(會互相干擾)，所以我增加了旋轉盤的 Arduino 來專門控制腳架。

(七)人臉辨識及智慧練球模式之開發

1.OpenCV 及 Python 程式撰寫步驟：

【步驟一】設計流程如下圖：



【步驟二】在 python 中安裝 serial、cv2、time 等程式庫

【步驟三】更改網路上的 OpenCV 人臉辨識程式。

【步驟四】在網路上查詢 Python 的使用方式。

【步驟五】將 OpenCV 人臉偵測的 X 軸數值 0-500 分成五段，分別是：0-100、100-200、200-300、300-400、400-500 並且命名 0-100 是 1、100-200 是 2、200-300 是 3、300-400 是 4、400-500 是 5

【步驟六】調整馬達旋轉角度完成人臉辨識系統

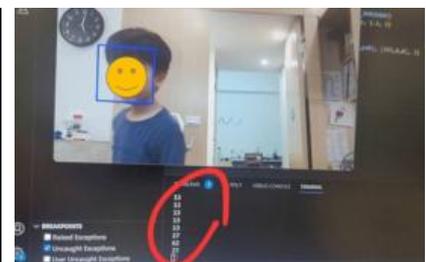


圖 28 OpenCV 及 Python 程式撰寫步驟

2.人臉角度辨識實驗

人臉可辨識角度經過實驗發現可辨識的範圍是 45 度至 135 度。

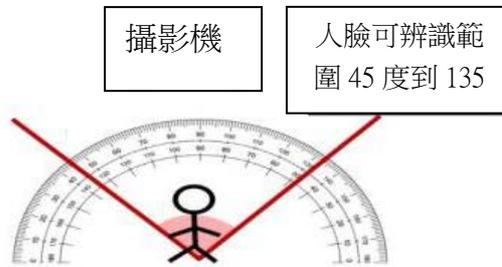


圖 29 人臉角度變是測試結果示意圖

3.使用者人臉辨識

我請朋友測試 OpenCV 精準度經過實驗，辨識會因為是否戴口罩、逆光、戴眼鏡、頭髮長度影響。

表 3 使用者人臉辨識實驗紀錄表

| 測試者 | 身高(cm) | 影響 |
|-----|--------|----|
| 1 | 137 | 會 |
| 2 | 136 | 會 |
| 3 | 139 | 會 |
| 4 | 172 | 會 |
| 5 | 143 | 會 |
| 6 | 135 | 會 |
| 7 | 140 | 會 |
| 8 | 145 | 會 |
| 9 | 143 | 會 |
| 10 | 158 | 會 |

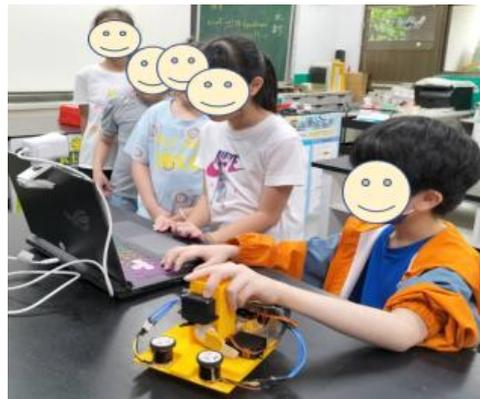


圖 30 使用者人臉辨識測試

4.隨機 random 程式

我想要讓練習機更有智慧，可以自己選擇要出的球。所以我研究了 random 程式庫，讓 Arduino 可以隨機出球。以下是實驗結果：

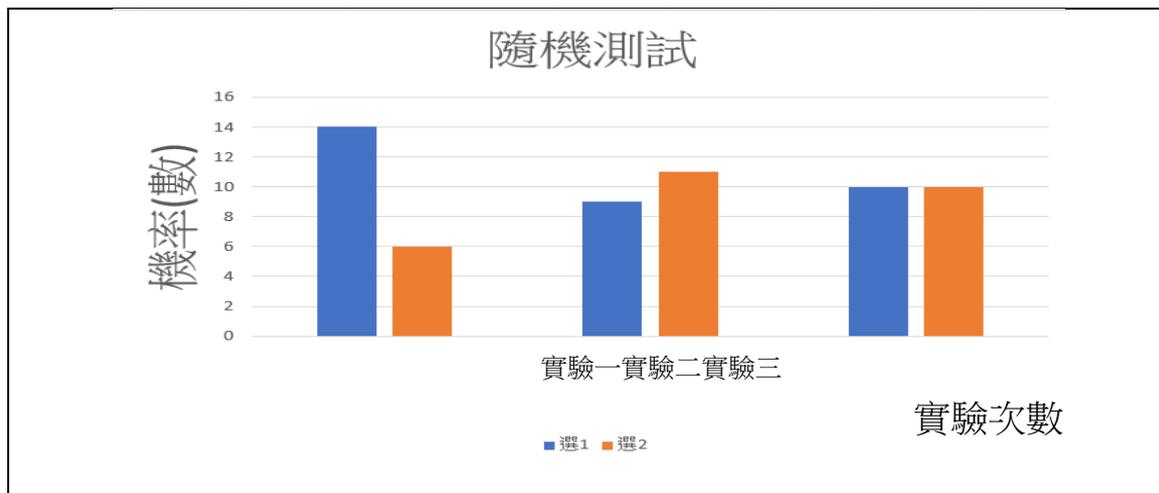


圖 31 隨機測試機率圖

我利用 Python 的程式語言在電腦做隨機出球實驗，主要目的是訓練選手打球的應變能力，例如圖 30 中練習機內定選 1 是發出左旋球、選 2 是發出右旋球，所以第一次實驗練習機選擇機率是 14 次左旋球，6 次右旋球；實驗三的選擇機率幾乎相同。

二、桌球練習機的性能測試

(一)馬達轉速及飛行距離關係

機器完成之後我會先測定穩定性，第一步我會先做馬達指令(轉速)和飛行的距離。綜合歷代桌球練習機的結果，在第二代的指令 80，第五代的指令 45 時，都出現非常一致的落點，代表穩定性很高。只有第二代馬達(kv930)轉速指令和飛行距離呈現明顯的正向關係(看起來像一直線)，第四代和第五代(kv1400)中，我所使用的轉速對於飛行距離似乎沒有太大的影響。尤其是第五代，當轉速變高時，反而變的不穩定，看起來也沒有飛的比較遠的感覺。因此第 5 代機器在指令 45 時，是一個最穩定最適合的發球狀態。另外我用轉速器測量左右馬達的實際轉速，發現就算給予相同的轉速指令，左右馬達的轉速也會不一樣，當轉速指令數字增加時，馬達的實際轉速的確跟著增加，但在圖上面並不是一個直線的關係。

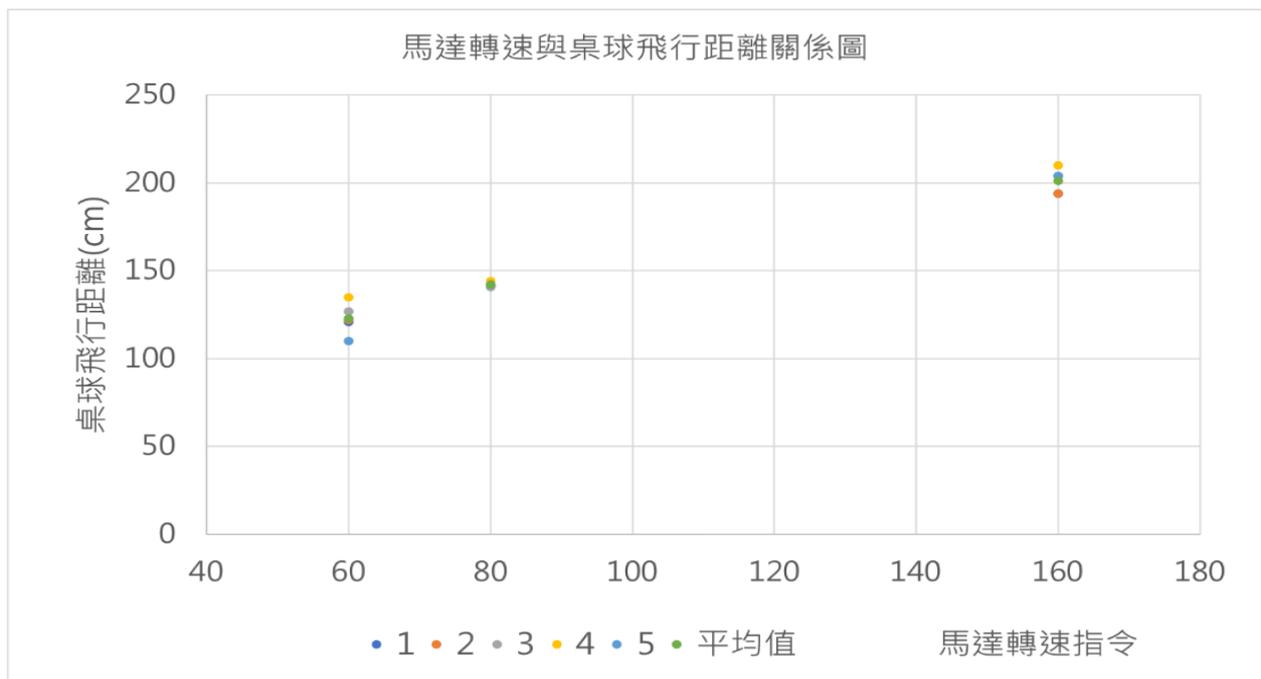


圖 32 第二代桌球練習機馬達轉速與桌球飛行距離關係圖

Arduino 的轉速指令分別是 60、80、160。在離地 50 公分高的位置以水平方向往下 5 度發射後所測得的落地距離。可以看到在指令為 80 時，桌球的落點十分的集中，指令 60 時落點則分散，約在 110~135 公分之間，指令在 160 時，落點分散於 190 到 220 之間。馬達轉速越高，落地距離也越遠，呈現正向相關的趨勢。第二代使用的馬達是 930kv 的型號。

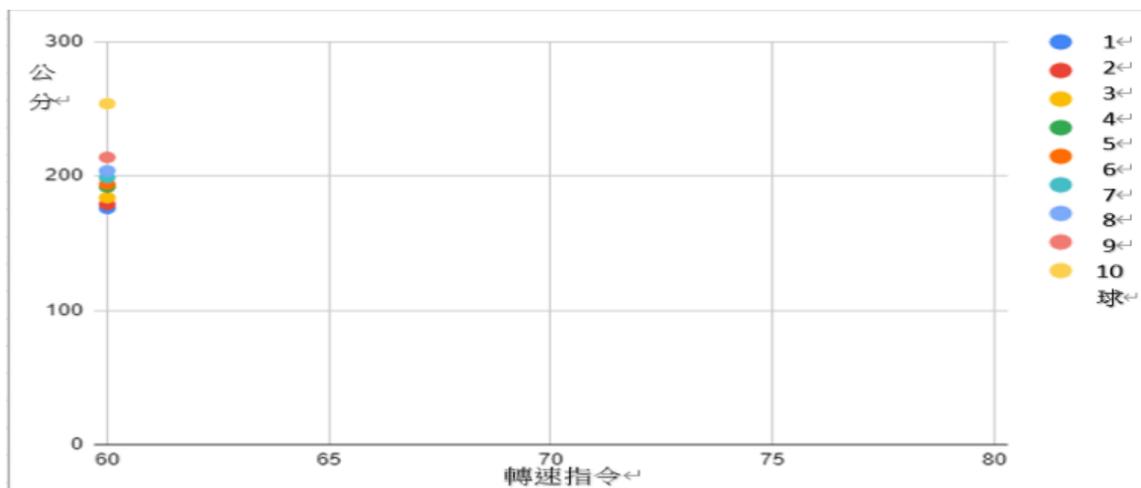


圖 33 第三代桌球練習機馬達轉速與桌球飛行距離關係圖

第三代用的馬達是 930kv 的型號。Arduino 的轉速指令別是 60，落點分佈很不穩定，桌球飛行距離從 170 到 250 公分，相差達 80 公分。當時紙板的主結構已經開始軟化不穩定，就算以紙膠帶固定機器也沒有用。因此就沒有繼續做完這個實驗，直接開始進行下一代的改良，改用 3D 列印出來。

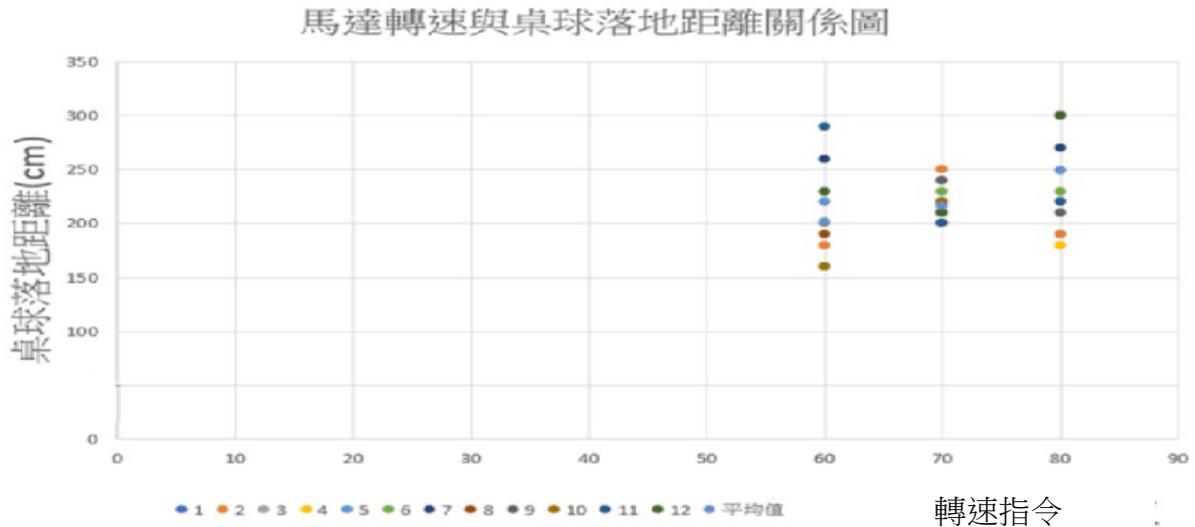


圖 34 第四代桌球練習機馬達轉速與桌球飛行距離關係圖

第四代使用的馬達較強，是 1400kv 的型號。Arduino 的轉速指令分別是 60、70、80。在離地 50 公分高的位置以水平方向往下 5 度發射後所測得的落地距離。可以看到在指令為 70 時，桌球的落點較為集中，分布在 200 到 250 公分之間，指令為 60 及 80 時，落地距離相差很大，分別在 150 到 290 公分間，以及 180 到 300 公分之間。最大相差達到 140 公分。從圖表上看起來，轉速越高距離越遠的趨勢好像有一點點但不明顯。

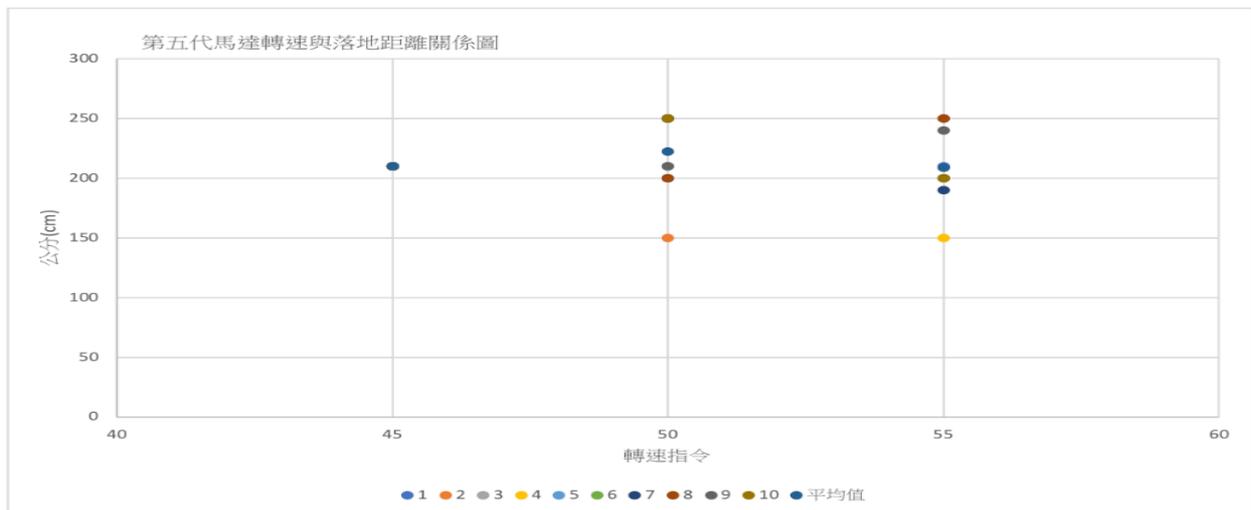


圖 35 第五代桌球練習機馬達轉速與桌球飛行距離關係圖

Arduino 的轉速指令分別是 45、50、55。馬達是 1400kv 的型號。在離地 50 公分高的位置以水平方向往下 5 度發射後所測得的落地距離。可以看到在指令為 45 時，桌球的落點較為集中，全部落在同樣的距離上面，指令為 50 和 55 時結果差不多，落地距離分布在 150 到 250 公分之間。從圖表上看起來，轉速指令與落地距離，並沒有出現轉速越高距離越遠的趨

勢。

表 4 歷代桌球練習機使用的馬達型號

| | 第一代 | 第二代 | 第三代 | 第四代 | 第五代 |
|--|-----|-----|-----|------|------|
| Kv | 930 | 930 | 930 | 1400 | 1400 |
| 註：Kv 的意思是給 1v 電壓可以每分鐘 1 轉，所以 930Kv 是給 1v 電壓每分鐘可轉 930 圈。例如這顆電池電壓 12V 那麼 1400Kv 馬達就可以每分鐘轉 16800 圈。 | | | | | |

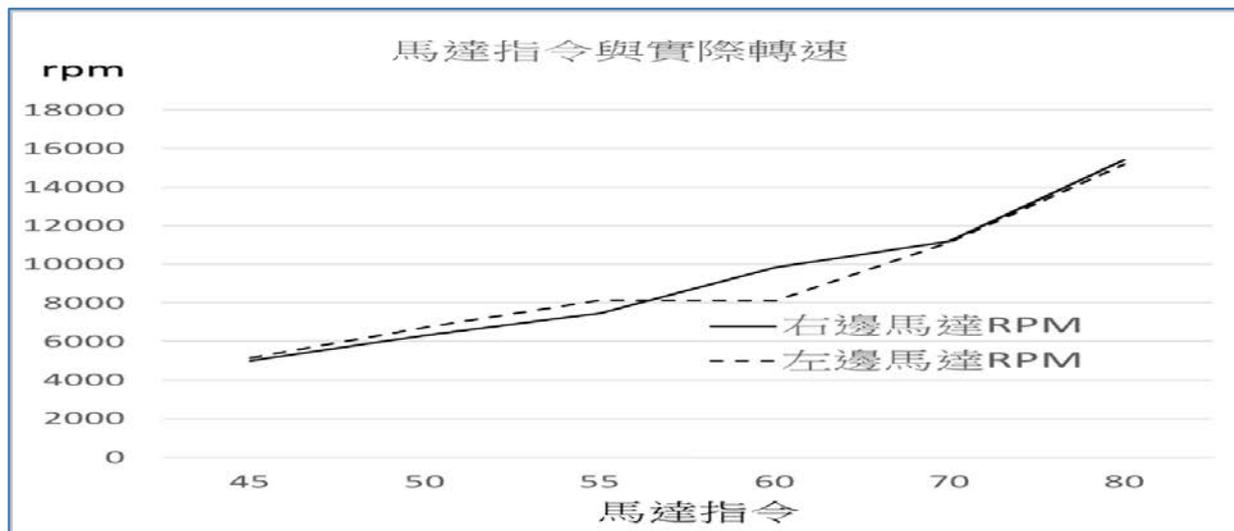


圖 36 馬達的程式指令與實際轉速(RPM)的關係圖

以轉速儀測量第五代的 1400kv 馬達的轉速。由圖所示，馬達的轉速隨著指令而增加，但並不是直線的關係，在指令低於 40 以下的時候，馬達無法轉動，超過 85 以上，發球機主機結構會呈現過度的振動。兩顆不同馬達在同樣的指令下，轉速可能會有點落差。註：rpm 指每分鐘轉幾圈，轉速數值是 Arduino 輸出給無刷馬達電調的 PWM 訊號。

(二)旋球的飛行及反彈軌跡

| 旋轉方向 | 軌跡圖 | 飛行軌跡 | 角度平均值和說明 |
|------|-----|------|----------|
| | | | |

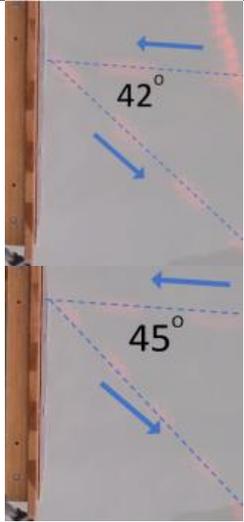
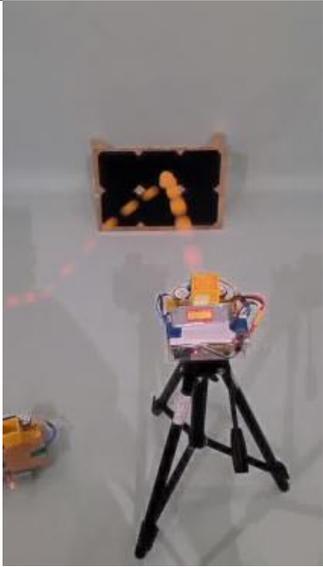
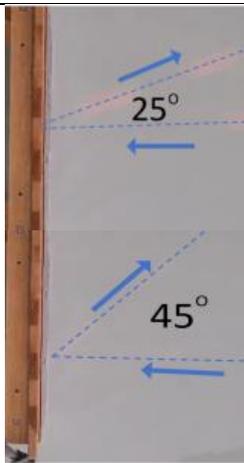
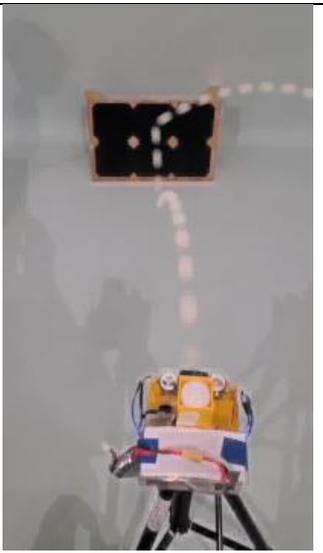
| | | | |
|----|--|---|---|
| 左旋 |  |  | <p>平均角度：43.5°</p> <p>從飛行軌跡中可以看出，左旋球往左邊移動，擊球時球碰到拍子，球會往反方向反彈，表示旋球有在旋轉，旋球反彈角度越大，代表球旋轉越快。</p> |
| 右旋 |  |  | <p>平均角度：35°</p> <p>從飛行軌跡中可以看出，右旋球往右邊移動，擊球時球碰到拍子，球會往反方向反彈，表示旋球有在旋轉，旋球反彈角度越大，代表球旋轉越快。</p> |

圖 37 旋球的飛行及反彈軌跡

(三)穩定性測試

1.自製練習機第四代和第五代比較

表 5 自製練習機第四代和第五代穩定性測試比較表

| 自制練習機 | 示意圖 | 表格 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|-----------------------|---|------|---|---|------|---|---|-----|-----|---|---|-----|-----|---|---|-----|-----|---|---|-----|-----|---|---|-----|-----|---|---|-----|-----|---|---|-----|-----|---|---|-----|-----|---|---|-----|-----|----|---|-----|-----|------|--|--|-----|
| 第四代對打模式 | | <table border="1"> <thead> <tr> <th>球序</th> <th>X</th> <th>Y</th> <th>分數</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>C</td><td>6</td><td>60</td></tr> <tr><td>2</td><td>C</td><td>6</td><td>60</td></tr> <tr><td>3</td><td>D</td><td>5</td><td>80</td></tr> <tr><td>4</td><td>D</td><td>5</td><td>80</td></tr> <tr><td>5</td><td>D</td><td>6</td><td>80</td></tr> <tr><td>6</td><td>E</td><td>6</td><td>80</td></tr> <tr><td>7</td><td>E</td><td>6</td><td>80</td></tr> <tr><td>8</td><td>E</td><td>5</td><td>100</td></tr> <tr><td>9</td><td>F</td><td>4</td><td>80</td></tr> <tr><td>10</td><td>F</td><td>6</td><td>80</td></tr> <tr> <td>平均分數</td> <td></td> <td></td> <td>78</td> </tr> </tbody> </table> | 球序 | X | Y | 分數 | 1 | C | 6 | 60 | 2 | C | 6 | 60 | 3 | D | 5 | 80 | 4 | D | 5 | 80 | 5 | D | 6 | 80 | 6 | E | 6 | 80 | 7 | E | 6 | 80 | 8 | E | 5 | 100 | 9 | F | 4 | 80 | 10 | F | 6 | 80 | 平均分數 | | | 78 |
| 球序 | X | Y | 分數 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | C | 6 | 60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | C | 6 | 60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | D | 5 | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | D | 5 | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | D | 6 | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | E | 6 | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | E | 6 | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | E | 5 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | F | 4 | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | F | 6 | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 平均分數 | | | 78 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 第四代發球模式 | | <table border="1"> <thead> <tr> <th>球序</th> <th>X</th> <th>Y</th> <th>分數</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>F</td><td>4</td><td>100</td></tr> <tr><td>2</td><td>F</td><td>4</td><td>100</td></tr> <tr><td>3</td><td>F</td><td>4</td><td>100</td></tr> <tr><td>4</td><td>F</td><td>4</td><td>100</td></tr> <tr><td>5</td><td>F</td><td>4</td><td>100</td></tr> <tr><td>6</td><td>F</td><td>4</td><td>100</td></tr> <tr><td>7</td><td>F</td><td>4</td><td>100</td></tr> <tr><td>8</td><td>F</td><td>4</td><td>100</td></tr> <tr><td>9</td><td>F</td><td>4</td><td>100</td></tr> <tr><td>10</td><td>F</td><td>3</td><td>80</td></tr> <tr> <td>平均分數</td> <td></td> <td></td> <td>98</td> </tr> </tbody> </table> | 球序 | X | Y | 分數 | 1 | F | 4 | 100 | 2 | F | 4 | 100 | 3 | F | 4 | 100 | 4 | F | 4 | 100 | 5 | F | 4 | 100 | 6 | F | 4 | 100 | 7 | F | 4 | 100 | 8 | F | 4 | 100 | 9 | F | 4 | 100 | 10 | F | 3 | 80 | 平均分數 | | | 98 |
| 球序 | X | Y | 分數 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | F | 4 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | F | 4 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | F | 4 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | F | 4 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | F | 4 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | F | 4 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | F | 4 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | F | 4 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | F | 4 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | F | 3 | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 平均分數 | | | 98 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 第五代對打模式 | <p>對打-直球轉速45 界外0球</p> | <table border="1"> <thead> <tr> <th>球序</th> <th>X</th> <th>Y</th> <th>分數</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>D</td><td>4.5</td><td>100</td></tr> <tr><td>2</td><td>D</td><td>4.5</td><td>100</td></tr> <tr><td>3</td><td>D</td><td>4.5</td><td>100</td></tr> <tr><td>4</td><td>D</td><td>4.5</td><td>100</td></tr> <tr><td>5</td><td>D</td><td>4.5</td><td>100</td></tr> <tr><td>6</td><td>D</td><td>4.5</td><td>100</td></tr> <tr><td>7</td><td>D</td><td>4.5</td><td>100</td></tr> <tr><td>8</td><td>D</td><td>4.5</td><td>100</td></tr> <tr><td>9</td><td>D</td><td>4.5</td><td>100</td></tr> <tr><td>10</td><td>D</td><td>4.5</td><td>100</td></tr> <tr> <td>平均分數</td> <td></td> <td></td> <td>100</td> </tr> </tbody> </table> | 球序 | X | Y | 分數 | 1 | D | 4.5 | 100 | 2 | D | 4.5 | 100 | 3 | D | 4.5 | 100 | 4 | D | 4.5 | 100 | 5 | D | 4.5 | 100 | 6 | D | 4.5 | 100 | 7 | D | 4.5 | 100 | 8 | D | 4.5 | 100 | 9 | D | 4.5 | 100 | 10 | D | 4.5 | 100 | 平均分數 | | | 100 |
| 球序 | X | Y | 分數 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | D | 4.5 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | D | 4.5 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | D | 4.5 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | D | 4.5 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | D | 4.5 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | D | 4.5 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | D | 4.5 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | D | 4.5 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | D | 4.5 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | D | 4.5 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 平均分數 | | | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 第五代發球模式 | <p>發球-直球轉速45 界外0球</p> | <table border="1"> <thead> <tr> <th>球序</th> <th>X</th> <th>Y</th> <th>平均分數</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>D</td><td>4.5</td><td>100</td></tr> <tr><td>2</td><td>D</td><td>4.5</td><td>100</td></tr> <tr><td>3</td><td>D</td><td>4.5</td><td>100</td></tr> <tr><td>4</td><td>D</td><td>4.5</td><td>100</td></tr> <tr><td>5</td><td>D</td><td>4.5</td><td>100</td></tr> <tr><td>6</td><td>D</td><td>4.5</td><td>100</td></tr> <tr><td>7</td><td>D</td><td>4.5</td><td>100</td></tr> <tr><td>8</td><td>D</td><td>4.5</td><td>100</td></tr> <tr><td>9</td><td>D</td><td>4.5</td><td>100</td></tr> <tr><td>10</td><td>D</td><td>4.5</td><td>100</td></tr> <tr> <td>平均分數</td> <td></td> <td></td> <td>100</td> </tr> </tbody> </table> | 球序 | X | Y | 平均分數 | 1 | D | 4.5 | 100 | 2 | D | 4.5 | 100 | 3 | D | 4.5 | 100 | 4 | D | 4.5 | 100 | 5 | D | 4.5 | 100 | 6 | D | 4.5 | 100 | 7 | D | 4.5 | 100 | 8 | D | 4.5 | 100 | 9 | D | 4.5 | 100 | 10 | D | 4.5 | 100 | 平均分數 | | | 100 |
| 球序 | X | Y | 平均分數 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | D | 4.5 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | D | 4.5 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | D | 4.5 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | D | 4.5 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | D | 4.5 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | D | 4.5 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | D | 4.5 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | D | 4.5 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | D | 4.5 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | D | 4.5 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 平均分數 | | | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

【結果】從實驗中可以發現，第五代落點較集中 100%，第四代落點較分散 98%。

2.自製練習機與市售練習機比較

表 6 自製練習機與市售練習機穩定性測試比較

| | 落點分佈圖 | 穩定度分數(%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|--|--|------|---|---|------|---|---|-----|-----|---|---|-----|-----|---|---|-----|-----|---|---|-----|-----|---|---|-----|-----|---|---|-----|-----|---|---|-----|-----|---|---|-----|-----|---|---|-----|-----|----|---|-----|-----|------|--|--|-----|
| 高級練習機 | <p>The diagram shows a 10x6 grid with columns labeled A-F and rows labeled 1-8. A single yellow ball is positioned at the intersection of column D and row 4. The grid is divided into blue (left) and red (right) sections by a vertical line between C and D.</p> | <table border="1"> <thead> <tr> <th>球序</th> <th>X</th> <th>Y</th> <th>分數</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>D</td><td>4</td><td>100</td></tr> <tr><td>2</td><td>D</td><td>4</td><td>100</td></tr> <tr><td>3</td><td>D</td><td>4</td><td>100</td></tr> <tr><td>4</td><td>D</td><td>4</td><td>100</td></tr> <tr><td>5</td><td>D</td><td>4</td><td>100</td></tr> <tr><td>6</td><td>D</td><td>4</td><td>100</td></tr> <tr><td>7</td><td>D</td><td>4</td><td>100</td></tr> <tr><td>8</td><td>D</td><td>4</td><td>100</td></tr> <tr><td>9</td><td>D</td><td>4</td><td>100</td></tr> <tr><td>10</td><td>D</td><td>4</td><td>100</td></tr> <tr> <td>平均分數</td> <td></td> <td></td> <td>100</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center; color: red; font-size: 24px;">100 分</p> | 球序 | X | Y | 分數 | 1 | D | 4 | 100 | 2 | D | 4 | 100 | 3 | D | 4 | 100 | 4 | D | 4 | 100 | 5 | D | 4 | 100 | 6 | D | 4 | 100 | 7 | D | 4 | 100 | 8 | D | 4 | 100 | 9 | D | 4 | 100 | 10 | D | 4 | 100 | 平均分數 | | | 100 |
| 球序 | X | Y | 分數 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | D | 4 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | D | 4 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | D | 4 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | D | 4 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | D | 4 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | D | 4 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | D | 4 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | D | 4 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | D | 4 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | D | 4 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 平均分數 | | | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 普通練習機 | <p>The diagram shows a 10x6 grid with columns labeled A-F and rows labeled 1-8. Multiple yellow balls are clustered in the intersection of column A and row 4. The grid is divided into blue (left) and red (right) sections by a vertical line between C and D. The left side (A-C) is blue, and the right side (D-F) is red.</p> | <table border="1"> <thead> <tr> <th>球序</th> <th>X</th> <th>Y</th> <th>分數</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>A</td><td>4</td><td>100</td></tr> <tr><td>2</td><td>A</td><td>4</td><td>100</td></tr> <tr><td>3</td><td>A</td><td>4</td><td>100</td></tr> <tr><td>4</td><td>A</td><td>4</td><td>100</td></tr> <tr><td>5</td><td>A</td><td>4</td><td>100</td></tr> <tr><td>6</td><td>A</td><td>4</td><td>100</td></tr> <tr><td>7</td><td>A</td><td>4</td><td>100</td></tr> <tr><td>8</td><td>A</td><td>4</td><td>100</td></tr> <tr><td>9</td><td>A</td><td>4</td><td>100</td></tr> <tr><td>10</td><td>B</td><td>4</td><td>80</td></tr> <tr> <td>平均分數</td> <td></td> <td></td> <td>98</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center; color: red; font-size: 24px;">98 分</p> | 球序 | X | Y | 分數 | 1 | A | 4 | 100 | 2 | A | 4 | 100 | 3 | A | 4 | 100 | 4 | A | 4 | 100 | 5 | A | 4 | 100 | 6 | A | 4 | 100 | 7 | A | 4 | 100 | 8 | A | 4 | 100 | 9 | A | 4 | 100 | 10 | B | 4 | 80 | 平均分數 | | | 98 |
| 球序 | X | Y | 分數 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | A | 4 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | A | 4 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | A | 4 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | A | 4 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | A | 4 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | A | 4 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | A | 4 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | A | 4 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | A | 4 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | B | 4 | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 平均分數 | | | 98 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 自製練習機第五代 | <p>對打-直球轉速45 界外0球</p> <p>The diagram shows a 10x6 grid with columns labeled A-F and rows labeled 1-8. A yellow ball is positioned at the intersection of column D and row 4.5. The grid is divided into blue (left) and red (right) sections by a vertical line between C and D.</p> | <table border="1"> <thead> <tr> <th>球序</th> <th>X</th> <th>Y</th> <th>平均分數</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>D</td><td>4.5</td><td>100</td></tr> <tr><td>2</td><td>D</td><td>4.5</td><td>100</td></tr> <tr><td>3</td><td>D</td><td>4.5</td><td>100</td></tr> <tr><td>4</td><td>D</td><td>4.5</td><td>100</td></tr> <tr><td>5</td><td>D</td><td>4.5</td><td>100</td></tr> <tr><td>6</td><td>D</td><td>4.5</td><td>100</td></tr> <tr><td>7</td><td>D</td><td>4.5</td><td>100</td></tr> <tr><td>8</td><td>D</td><td>4.5</td><td>100</td></tr> <tr><td>9</td><td>D</td><td>4.5</td><td>100</td></tr> <tr><td>10</td><td>D</td><td>4.5</td><td>100</td></tr> <tr> <td>平均分數</td> <td></td> <td></td> <td>100</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center; color: red; font-size: 24px;">100 分</p> | 球序 | X | Y | 平均分數 | 1 | D | 4.5 | 100 | 2 | D | 4.5 | 100 | 3 | D | 4.5 | 100 | 4 | D | 4.5 | 100 | 5 | D | 4.5 | 100 | 6 | D | 4.5 | 100 | 7 | D | 4.5 | 100 | 8 | D | 4.5 | 100 | 9 | D | 4.5 | 100 | 10 | D | 4.5 | 100 | 平均分數 | | | 100 |
| 球序 | X | Y | 平均分數 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | D | 4.5 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | D | 4.5 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | D | 4.5 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | D | 4.5 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | D | 4.5 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | D | 4.5 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | D | 4.5 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | D | 4.5 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | D | 4.5 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | D | 4.5 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 平均分數 | | | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

【結果】從研究中發現自製練習機的落點集中在中線上，十分穩定，以圖表看，我的練習機落點集中度是 100%，比市售普通練習機分數要高，跟市售高級練習機分數一樣，說明我的練習機十分穩定。

3.自製練習機與市售練習機價格、功能和穩定性測試比較

表 7 自製練習機與市售練習機價格、功能和穩定性測試比較表

| 比較種類 | 價格/重量 | 出球功能 | 穩定性測試效果 |
|---------|--------------------|--|-------------------------------------|
| 某牌高級練習機 | 34300 元 13.3 公斤 | 9 種：上旋轉、下旋轉、左側、右側、左上角、左側下、右上角、右側下、無旋轉。 | 直球分數 100%。非常穩定。所有球都落在一個範圍內。 |
| 某牌普通練習機 | 4499 元 1.3 公斤 | 2 種：上旋、下旋、無旋轉。 | 直球分數 98%。 |
| 自製練習機 | 2179 元 0.6 公斤 | 16 種：左旋 1、左旋 2、左旋 3、右旋 1、右旋 2、右旋 3、直球 35、直球 40、直球 45、直球 50、直球 55、直球 60、直球 70、直球 80、隨機出球、智慧練習 | 直球指令 45 全部在中線上，分數 100%(跟某牌高級練習機一樣)。 |

從比較結果中發現：自製練習機跟某牌高級練習機不相上下，市售高級發球機要價 34300 元，而我的自製練習機材料費估算 2179 元，是市售高級練習機的十六分之一倍，且功能還多出七項。

三、智慧桌球訓練模式

(一) 智慧訓練模式對選手的訓練成效

我邀請我的好朋友 C 選手來體驗智慧桌球訓練，他是男生，國小六年級，是桌球校隊。電腦會根據選手站的位置，命令發球機向沒有人的地方發球，即遠身球訓練。在五個回合共 50 個球裡面，發球機的成功率為 92%，針對成功發球，選手回擊的成功率為 80.4%。表現最好的是第四回合(100%)，表現最差的是第 2 回合(56%)。

表 8 智慧訓練模式對選手的訓練成效表

| 項目次數 | 發球成功(顆) | 選手接球成功(顆) | 選手成功率 |
|--------|---------|-----------|---------|
| 第 1 回合 | 10 | 9 | 90% |
| 第 2 回合 | 9 | 5 | 56% |
| 第 3 回合 | 9 | 7 | 78% |
| 第 4 回合 | 8 | 8 | 100% |
| 第 5 回合 | 10 | 8 | 80% |
| 平均值 | 9.2 | 7.4 | 約 80.4% |



圖 38 智慧訓練模式與選手對打訓練

(二) 選手的使用體驗及看法

選手 A 覺得旋球太強，非常有趣很好玩；選手 B 建議加集球器，希望有上旋及下旋球；選手 C 認為：有的時候兩側發球的角度不太一樣，可能要調整一下發球機。後來我觀察發球的轉盤方向和閘門比較好預測球路，另外我如果站在中間，那發球機就會發中間的球，我就可以不用跑來跑去。

伍、討論

一、無人機馬達的新發現

我從爸爸玩壞的無人機被我拆解，無意中發現無刷馬達，是使用三條線輪流給電所形成馬達轉動。當要提升速度時，只要控制好三條線輪流給電的時間(時間愈快轉速快)。所以本研究使用高轉速的無刷馬達，當作發射馬達，與其他科展不同，他們是用 3V 小馬達。缺點就是要改變轉速時需要改變電池電壓，而且無法發射左右旋球。而我的研究是用無刷馬達，可以直接使用 Arduino 控制轉速。

二、桌球練習機的設計是不斷的探索改善歷程

在開發過程中，我在製作的材料及工具上遇到很多障礙，因為本來一開始只是紙箱改裝成的射擊玩具，後來要變成發球機參加科展，還要做穩定性測試的實驗，就出現了很多問題，包括了紙板主結構不穩定、馬達用熱熔膠固定不良、馬達間距不準、玩具輪胎鑽孔不準確、以及腳架旋轉套組的齒輪固定不住.....等種種問題，造成發球機一直出狀況，曾經讓我非常地沮喪和生氣。後來我花了很多力氣和時間，這些問題才陸續得到解決。我發現精準的手工能力，以及適當材料工具的使用，是作品能夠成功的重要因素。

(一)APP 控制桌球練習機

- 1.我發現在讓藍芽連線時，手機不會顯示藍芽名稱(HC-05)，後來我就直接點擊列表最上層的連接裝置，點了之後成功配對。
- 2.在 APP 控制練習機時，發現有些延遲。之後修改程式發現是因為 dealy 指令時間太久才會感覺有延遲。
- 3.在轉速超過 100 的時候，馬達的胎皮有 70%的機率飛出來，後來我發現是因為離心力過大而飛出來。解決辦法:把胎皮用三秒膠黏住，即可解決。

(二)雙閘門桌球練習機

- 1.在改良雙閘門時我發現雙閘門練習機的上閘門會卡到球，之後調整閘門時序就可以解決問題。
- 2.在發球時球的出球速度太慢，因此我調整閘門時續即可完成控制。
- 3.因為雙閘門練習機是在 APP 控制練習機之基礎上改，使用一段時間之後，發現紙板軟化非常嚴重，雖然已經使用膠帶固定，但是還是沒有辦法抵過軟化，所以只好使用 3D 列印製作練習機。
- 4.我當時不知道如何製作更多發球界面按鈕，之後再擠摸索發現要先更改 Arduino 程式再添加 Appinventor 的按鈕功能鍵。

(三)3D 列印桌球練習機

- 1.做完 3D 列印練習機時，我發現斜坡不夠斜，馬達胎皮也沒有對到球的中心。於是我研發下一種練習機基座，第二版練習機座，我把馬達位置降低，並把斜坡調斜。
- 2.原本的練習機彈匣有點笨重所以我拿疫情時處處可見的隔板製作了一個可拆卸彈匣。
- 3.一段時間後，我發現馬達轉速有點問題。所以我用電表測了電池電壓，電池電壓從 11.1v 掉到 8.6v 所以是電池導致馬達不穩定。
- 4.後來我發現練習機的發球愈來愈不穩定，但是我還是繼續發球突然，馬達就掉了下來，原來發球不穩定式因為馬達發熱，把熱熔膠融化了，之後我再用熱熔槍把馬達黏回去即可解決此問題。
- 5.我再把旋球從轉兩邊馬達，一邊快一邊慢，改成只轉一邊馬達，控制速度

(四)智慧桌球練習機

- 1.做完 3D 列印練習機時，我發現黏馬達的熱熔膠會因為無刷馬達過熱而融化，導致無刷馬達脫落，影響實驗結果，所以我在第五代時設計 3D 本身就有無刷馬達螺絲孔，讓馬達間距無法變更。
- 2.一段時間後，我發現馬達轉速有點問題。所以我用電表測了電池電壓，電池電壓從 11.1v 掉到 8.6v 所以是電池導致馬達不穩定。

三、尋找發球測試的方法

在開發過程中，發球機的效能和穩定性，需要以實驗的方式來驗證。驗證的方法也是很值得思考的問題。在落點測試時，我本來用眼睛看球落在哪裏就去貼一個貼紙，後來發現很容易貼錯，後來再進一步改成手機錄影反覆來回觀測，經過幾次改良，最後才採用樣區標記法。才把穩定性的測試方法固定下來。

四、穩定性測試實驗與選手體驗

- (一)轉速指令的設定，我會觀察主機和馬達的穩定性，機器的振動狀況，以及發球的強度來做調整。根據經驗，桌球發出來的力道，和兩顆馬達的距離最有相關性。在第四代以前，馬達是用熱溶膠黏接的，如果持續運轉過久，馬達過熱的話，會將熱溶膠熔化，失去穩定，甚至馬達會掉下來。另外，以紙板為主結構的二三代，也遇到紙板品質變軟的問題，造成力量不穩定，造成在實驗過程中，每次的測量數字都有蠻大的差異。第五代後改為螺絲連接 3D 列印主結構和馬達，在轉速指令 45 時，達到很好的發球飛行距離的一致性。但是，當增加到 50 和 55 時，機器會出現比較大的振動，可能因為這樣而影響了馬達，造成出球的角度或力量不穩定，所以飛行的距離有時遠一點有時近一點。
- (二)在智慧桌球訓練(遠身球)中，我本來以為選手回擊的成功率會越來越好，但是並非如此，有時他打的很好，有時他又打的蠻爛的。從旁觀察發現，他有時候會想要用力打回來，想要打出比較強的球，這時失誤率就會增加。所以大概不能只用回擊的成功率來代表智慧訓練的成果。

五、我的自製桌球練球機未來努力方向

- (一) 從實驗中我發現電子元件的理想與現實是有落差的，我本來以為程式給多少指令，馬達就能達到某個轉速，但是實驗的結果告訴我，馬達的真實轉速與程式的指令，並不是一個直線的正比關係，另外桌球的飛行距離也不見得與馬達的轉速呈正比，有些道理我還不是很清楚，我覺得這裏面有很多值得進一步研究的地方。
- (二)目前智慧桌球機練習模式反方向球和隨機出球功能當兩種功能一齊打開時，選手回擊率變的非常低，可能因為是旋球太強了加上要移動就很容易失誤。未來在智慧練球模式的開發設計上，可能要參考更多教練及選手的想法及意見，才能做出實用的智慧桌球練習機。
- (三) 我希望可以再研發手勢發球系統，使用 mediapipe 來控制發球機的動作，撰寫多種手勢程式碼，然後遠端控制練習機，目前已接近完成設計，以下是手勢簡介:

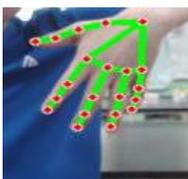


圖 39 mediapipe 手勢圖

| 直球 45 | 左旋球 | 右旋球 | 發球 |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| 【說明】我把手勢自己定義，然後再控制練習機。 | | | |

陸、結論

一、練習機自製及改良

過去的科展也有人做過桌球發球機，但大多是以玩具車小馬達作為開發工具，作品的完成度、穩定度、及能發射的球種有限；我以 Arduino 控制無人機的無刷馬達和伺服馬達閘門，用 3D 列印製作機身所以可以讓馬達間距固定、再用手機藍牙 App 控制練習機可以遠端控制發出不同速度的直球以及左右旋球。

二、練習機測試

練習機測試結果顯示：直球落點穩定度為 100 分，與市售高級機種相同。左右旋球穩定度分數是 70% 跟 73%，平均反彈角度則約為 43 度及 35 度。選手測試心得覺得新奇有趣，本研究最特別的是能使用手機遙控來變化球種及每次發射的球數，達到接近市售高階機種的完成度；另外，自製練習機跟某牌高級練習機不相上下，市售高級發球機要價 34300 元，而我的自製練習機材料費估算 2179 元，是市售高級練習機的十六分之一倍，且功能還多出七項，而且還有模組化設計，可快速組裝、輕便、便宜、發球穩定的優點。

三、選手體驗及智慧練習模式

本研究首創以 Arduino 為核心來開發的發球機，延伸智慧練球功能是目前市面的發球機都沒有的功能，本研究中使用到各種不同的程式，作了大量的整合，包括 Arduino IDE, 3D 列印程式 Solidworks，手機介面的 MIT APP inventor，另外人臉辨識的 OpenCV 與智慧發球則需以 python 程式來處理。目前我還在開發階段，還需要使用筆電架設攝影鏡頭來做人臉辨識和運算，也需要另一 Arduino 晶片來擔任腳架旋轉的功能。目前我做到了反方向球(人站左邊發右邊)的功能，讓選手練習移動接球，我還做了隨機出球功能，這是本作品的最大特色。

四、選手和自己的心得

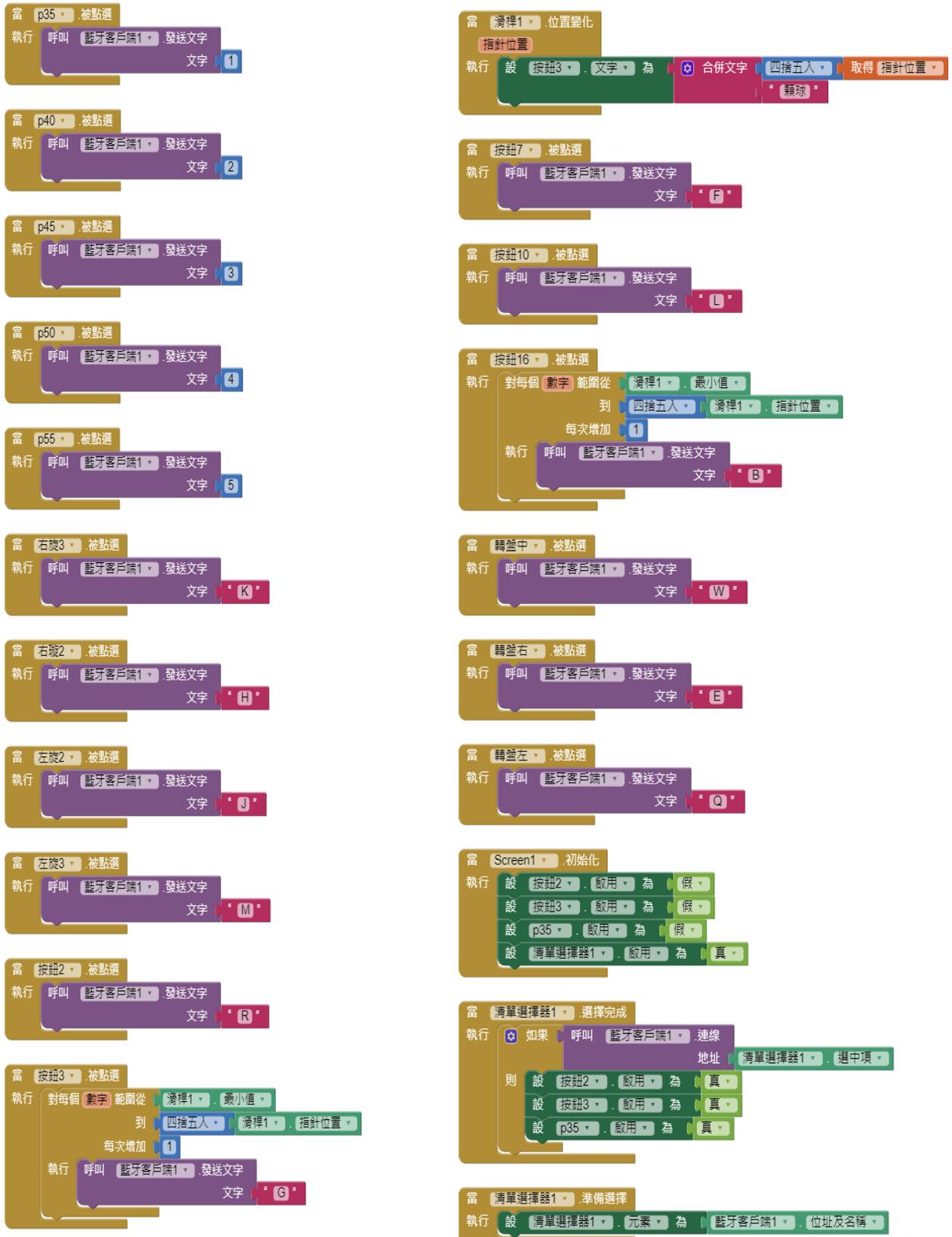
我以自學的方式了解這些程式的使用方式，並在網路上找到接近的程式碼再進行改寫。另外在實驗結果的整理中，也應用了星象的 startrails 程式來做飛行軌跡圖、以及做動畫的 blender 程式來畫示意圖。我覺得學習程式非常快樂；這個作品終於能完成，而且讓我的好朋友能成為第一個智慧練球功能的體驗者，也能達到自己練習的效果我覺得很酷！更重要的是，便宜、可依自己的需求及設定，非常有趣，兼顧創新性及實用性，穩定性高，可以作為桌球校隊的的訓練設備，朋友和我都非常開心！

柒、參考資料及其他

1. 連廷楷、孫芷柔、應冠穎、吳睿文，2015 年。自動「發」、求新「球」變—自製桌球練習機之成效探討。全國中小學科展作品第 55 屆生活與應用科學科，民 111 年 9 月 7 日，取自 <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/55/pdf/080831.pdf>。
2. 廖沛蓉、鍾昀珊、林盈萱。觸而及「發」-自製不插電桌球練習機治具之成效探討，民 2020 年。全國中小學科展作品第 60 屆生活與應用科學(二)科，民 111 年 9 月 7 日，取自 <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/60/pdf/NPHSF2020-032902.pdf?417>。
3. 周延俊，2015 年。3D 不 NG。全國中小學科展作品第 55 屆生活與應用科學科，民 111 年 9 月 7 日，取自 <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/55/pdf/080805.pdf>。
4. 游宏鈞、尚宇謙、王若宇、黃靖甯。謝子晴、藍紫軒。小戴陪你練球—自製羽球練球機，2020 年。全國中小學科展作品第 60 屆生活與應用科學(一)科，民 112 年 2 月 4 日，取自 <https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=136&a=6822&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=11&sid=166557>。
5. 張竣翔、黃羿寧、鄭乃嘉、洪瑄徽、江杰倫、夏睿謙，2008 年。快打旋風-快打好手培育旋風計畫。全國中小學科展作品第 48 屆生活與應用科學(二)科，民 112 年 3 月 1 日，取自 <https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=61&a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=65&sid=3347>
6. Arduino IDE 1.9.8，2022 年。取自 <https://www.Arduino.cc/en/software>。
7. Jason Chu，2020 年。【Arduino 範例】SG90 servo 伺服馬達。傑森創工。民 111 年 10 月 7 日，取自 <https://blog.jmaker.com.tw/Arduino-servo-sg90/>。
8. MIT App Inventor，2022 年，取自 <http://ai2.APPinventor.mit.edu/>。
9. DEREK WU，2020 年。[教學]Arduino 藍牙遙控車，改造履帶玩具車。瘋狂創客。民 111 年 10 月 7 日，取自 <https://crazymaker.com.tw/Arduino-bluetooth-controlled-car/>。
10. SOLIDWORKS，2022 年。取自 <https://www.SOLIDWORKS.com/>。

附件

一、App 程式圖



二、歷代旋球比較表

| 第幾代 種類 | 第三代 | 第四代 | 第五代 |
|-----------|--|--|---|
| 左旋球程式 | <pre>void Left(){ myservoR.write(180); myservoL.write(160); }</pre> | <pre>void Left(){ myservoR.write(100); myservoL.write(0); }</pre> | <pre>void Left(){ myservoR.write(60); myservoL.write(0); }</pre> |
| 右旋球程式 | <pre>Void Right(){ myservoR.write(160); myservoL.write(180); }</pre> | <pre>Void Right(){ myservoR.write(0); myservoL.write(100); }</pre> | <pre>Void Right(){ myservoR.write(0); myservoL.write(60); }</pre> |
| 程式說明 | 我把馬達轉速變得以差異可以製造旋球效果 | 差異不夠，所以我直接關掉一邊的馬達。 | 我把馬達轉速調低。 |

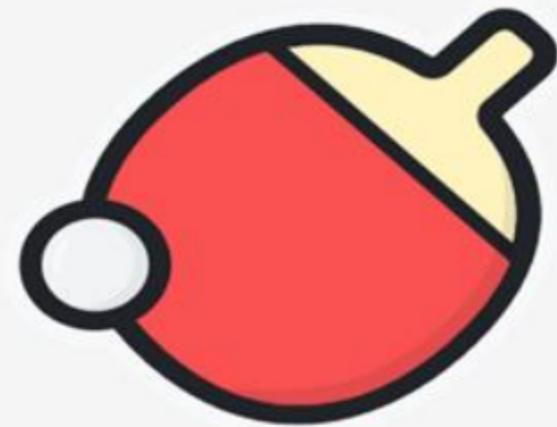
【評語】 082808

1. 用 Arduino 設計出可以發出左旋與右旋的乒乓球發球機。
2. 獨力發展出桌球發球機有實際應用價值商業潛能，比市面專業發球機成本低廉很多。
3. 實驗效果相當不錯。
4. 未來可以延伸至多種變化球。
5. 臨場表達清楚有自信。

作品海報

智慧桌球練習機：

以 Arduino 為核心之創新設計



摘要

本研究主要是以Arduino為核心，製造出穩定度高且能自由開發各種智慧練球功能的桌球練習機。因為市售機器很貴又笨重，我嘗試自製，我以Arduino控制無刷馬達和伺服馬達開門，使用3D列印製作機身，再以手機藍牙App遙控練習機，能發出不同速度的直球以及左右旋球，落點的穩定度與市售機種相當，旋球頗具威力，最後自製Arduino旋轉雲台的腳架套件、應用人臉辨識開發智慧練球模式(發遠身球及隨機出球)。本研究自創人臉辨識智慧練球功能是市面上沒有的功能，機身則有快速組裝、輕便、便宜、功能齊全等優點，可作為校隊訓練設備及喜愛桌球的家庭使用。

壹、研究動機

我從小一就喜歡機器拆裝及研究電腦軟體。因為我的朋友是桌球校隊，他說如果自己有一台桌球練習機的話，很酷，但是市售的機器很貴，於是我利用手邊的一台壞掉無人機，裡面有無刷馬達零件，然後將它拆解並用Arduino為控制器來控制馬達，經過了一番努力。終於做出了一台便宜實用的桌球發球機。

貳、研究目的

(一)練習機自製及改良

1. Arduino控制馬達調整轉速發球及送球開門
2. 手機App遙控練習機
3. 左右旋球及雙開門
4. 改善桌球練習機主結構
5. 製作穩定發球的練習機

(二)練習機測試與結果

1. 馬達轉速及飛行距離關係
2. 旋球的飛行及反彈軌跡
3. 落點測試分析穩定度比較
4. 自製練習機與市售練習機的穩定性比較

(三)智慧練習模式

1. 發球方向的Arduino控制雲台旋轉模組
2. 開發人臉辨識及智慧練球模式
3. 選手測試智慧練球模式

參、研究器材設備

| | | | | | | |
|--|---|---|---|---|--|---|
|  |  |  |  |  |  |  |
| 寫 Arduino 程式 | 3D 繪圖軟體 | 製作手機 App 程式 | Python | Startrails | Arduino | 伺服馬達 |

圖 1 主要研究相關軟體及元件



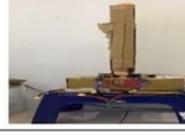
圖2 窗簾綠幕測試球軌設備

肆、研究架構與歷程

一、研究架構



二、自製桌球練習機歷代設計改良過程

| | 第一代 | 第二代 | 第三代 | 第四代 | 第五代 |
|--------|---|---|---|---|---|
| 簡介 | 手動版 | App控制 | 雙開門 | 3D列印 | 智慧練習機 |
| 照片 |  |  |  |  |  |
| 新增功能特色 | 1. 手持式 2. 按壓開關 3. 速度調桿 | 1. 增設彈匣 2. 控球開門 3. 手機App遙控 | 1. 雙開門控球 2. 連續發球 3. 旋球模式 | 1. 3D列印 2. 強化馬達 3. 將裝置美觀 4. App發球數量控制 | 1. 調整馬達間距 2. 螺絲固定馬達 3. 連結智慧桌球訓練模組 |

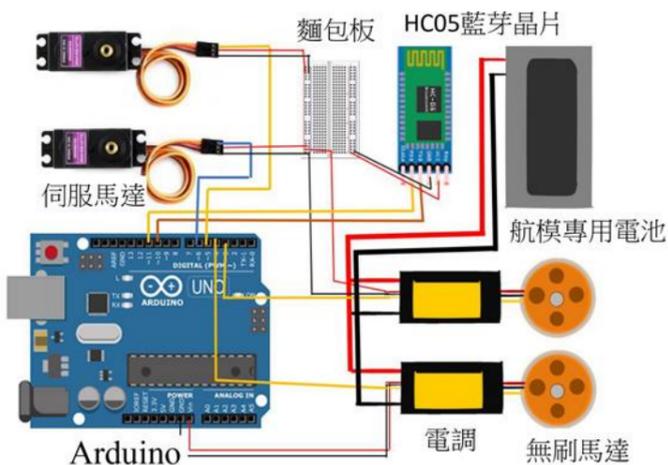
肆、研究方法與結果

一、練習機自製及改良

【手機App連結HC05藍牙晶片】



【練習機主機元件接線圖】

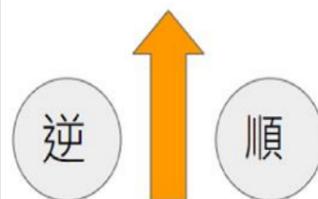


【人臉辨識系統】



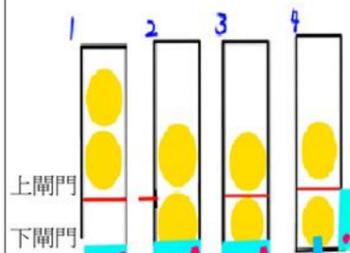
◀透過OpenCV程式庫達到即時人臉辨識並資訊傳送到Arduino晶片/雲台旋轉模組

【馬達發射說明】



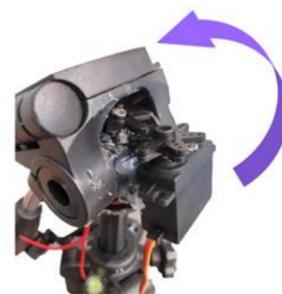
發直球時左邊馬達逆時針旋轉，右邊馬達順時針旋轉。發射旋球時單邊馬達運轉。

【雙開門說明】



- 1.關閉所有開門。
- 2.打開上開門讓球下來。
- 3.關閉上開門抵住上面的球。
- 4.打開下開門發球然後回到1。

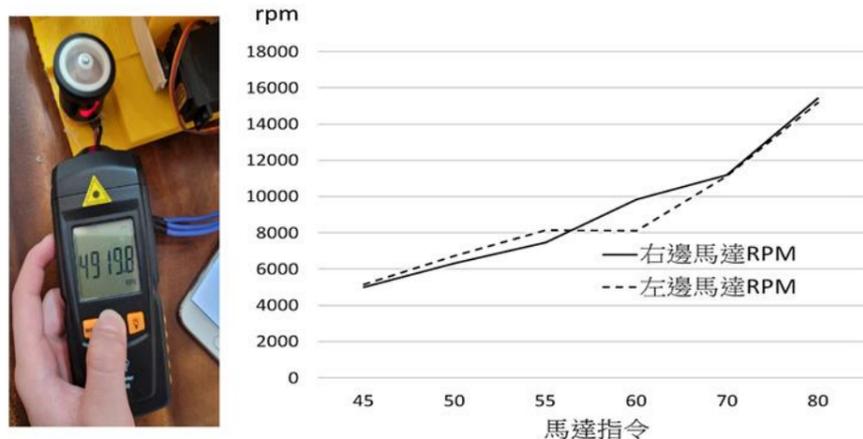
【Arduino雲台旋轉模組】



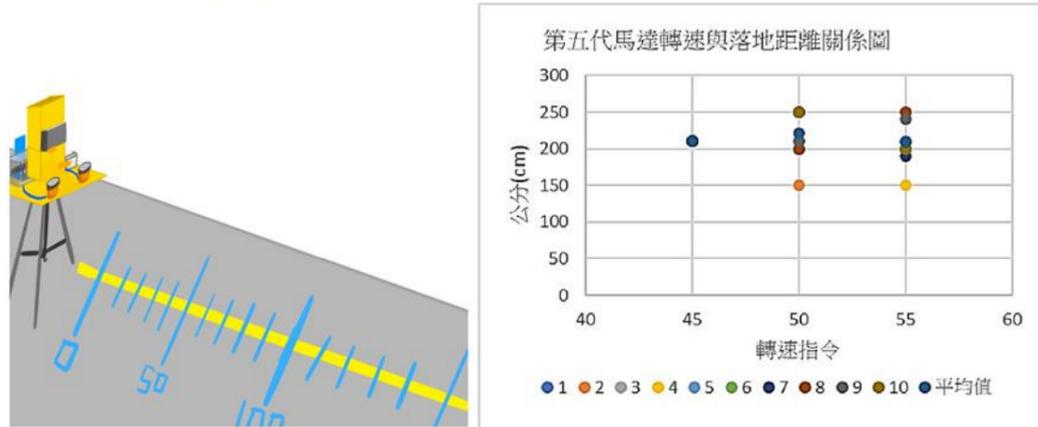
以Arduino晶片相機腳架、齒輪、伺服馬達自製相機腳架的雲台旋轉模組。

二、測試分析與結果

先備實驗—馬達轉速測試



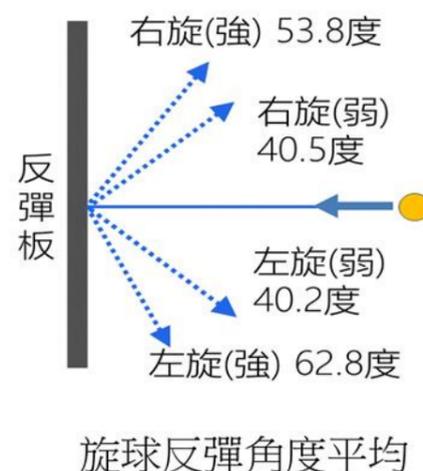
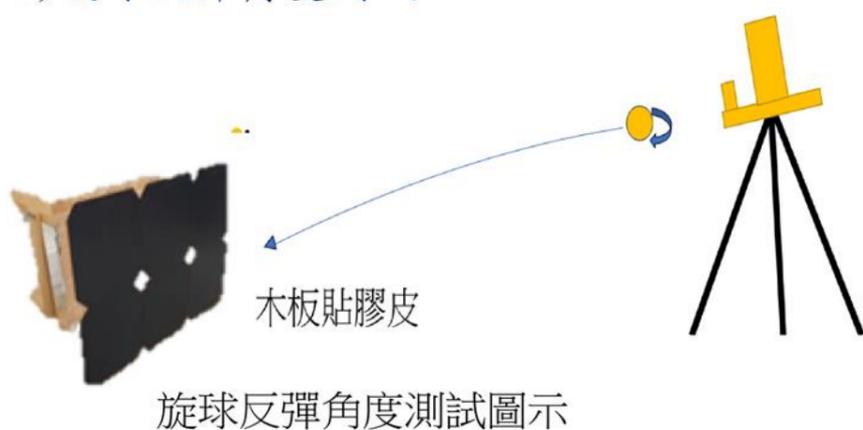
(二~1)馬達轉速與飛行距離



- 1.轉速 (RPM) = 馬達KV值 × 供電電壓。
- 2.Arduino控制馬達轉速的實際狀況，與公式不太一樣，不同馬達之間會有差別。

- 1.第五代馬達轉速指令45的測試結果落點非常集中。
- 2.當馬達指令增加時，飛行距離有增也有減，落點變得不集中，轉速過強時機體會強烈地晃動。

(二~2)旋球反彈角度測試

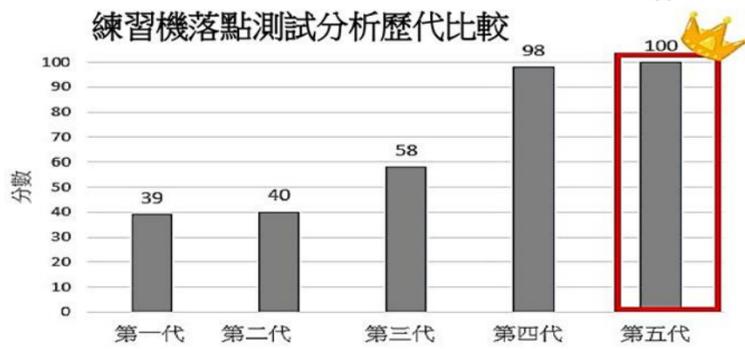


- 1.旋球觸碰到反彈板會依據力道的強弱反彈。
- 2.高轉速的側旋球能造成比較大的反彈角度，左旋和右旋在低轉速時反彈角度差不多，但在高轉速時反彈角度不太一樣。

(二~3)落點測試分析穩定度比較



| 球序 | X | Y | 分數 |
|----|---|---|-----|
| 1 | C | 6 | 60 |
| 2 | C | 6 | 60 |
| 3 | D | 5 | 80 |
| 4 | D | 5 | 80 |
| 5 | D | 6 | 80 |
| 6 | E | 6 | 80 |
| 7 | E | 6 | 80 |
| 8 | E | 5 | 100 |
| 9 | F | 4 | 80 |
| 10 | F | 6 | 80 |



(二~4)市售產品與自製練習機比較

| 種類 | 比較 | 價格 重量 | 功能 | 穩定度測試評分 |
|-------|----|---------------------------------------|---|---------|
| 高級練習機 | | 34300元 13.3 kg | <ul style="list-style-type: none"> 按鍵控制 9種旋轉角度 發球數及強度控制 旋轉雲台 | 100 |
| 普通練習機 | | 4499元 1.3 kg | <ul style="list-style-type: none"> ▲手動控制旋轉角度 ▲發球強度控制 ▲發球球數無法控制 ▲無旋轉雲台 | 98 |
| 自製練習機 | | 1744元 0.6 kg + 1008元 1 kg | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 手機APP遙控 ✓ 三種發球強度 ✓ 側旋，旋轉雲台 ✓ 隨機出球模式、 ✓ 人臉辨識移動接球 | 100 |

1. 落點測試分析穩定度比較，練習機第五代得分100分。
2. 高級練習機與自製練習機落點測試分析的穩定度皆100分，功能也比市售練習機多，如人臉辨識與隨機出球。

(三~2)人臉辨識及智慧練球模式之開發步驟



(三~3)智慧練球模式(人臉辨識發遠身球)選手體驗及意見回饋

| 項目 次數 | 發球成功 (顆) | 接球成功 (顆) | 選手成功率 |
|----------|-------------|-------------|--------|
| 第1回合 | 10 | 9 | 90% |
| 第2回合 | 9 | 5 | 56% |
| 第3回合 | 9 | 7 | 78% |
| 第4回合 | 8 | 8 | 100% |
| 第5回合 | 10 | 8 | 80% |
| 平均值 | 9.2 | 7.4 | 約80.4% |

- 選手A**：非常有趣很好玩，直球的發球跟對打都不錯，但旋球的旋轉太強，要打回去有點難。
- 選手B**：建議加集球器跟自動送球器，才不用一直補球，希望能增加上旋及下旋球。
- 選手C**：在人臉辨識智慧練球時，球會突然往角落發球，一開始會來不及，後來我發現可以觀察發球的轉盤方向和開門就比較好預測球路，另外我如果站在中間，發球機就會往中間發球，我就可以不用跑來跑去。

伍、討論

- 一、軟硬體設計改良：使用線上自由軟體，並改採3D列印製作機身，提升發球機的穩定度。
- 二、馬達轉速與飛行距離：自製發球機使用930kv馬達及紙板結構時，馬達轉速及飛行距離的關係呈正比，但使用1400kv及3D列印結構時卻不然。推測可能是因馬達轉速過快，會影響球與輪胎皮接觸時的摩擦力，且機身會劇烈震動。
- 三、與市售機種比較：自製發球機的功能和穩定度與市售的高級機種相近，自製的價格卻是高級機種的1/10，另有重量輕、體積小、便利性高等優點。
- 四、人臉辨識智慧練球：選手接球成功率，並未隨著練習而增加，因會受選手打球的力道、選手所站的位置、機器的限制等因素影響。

陸、結論

本研究使用Arduino作為桌球練習機的中樞並控制無刷馬達，確實能精確控制兩邊馬達轉速，發出想要的強度跟旋球。利用人性化手機App介面藍芽遙控Arduino的過程簡單清楚無延遲。我開發的「人臉辨識智慧練球功能」是目前市面上沒有的功能。本作品的穩定性及功能接近高級機種，價格及重量都只有高級機種的1/10。本作品能提供桌球校隊作為訓練課程，也能符合一般家庭對專業發球機的需求。

柒、參考文獻

1. 連廷楷、孫芷柔、應冠穎、吳睿文，2015。自動自發、求新球變—自製桌球練習機之成效探討。全國中小學科展作品第55屆
2. 廖沛蓉、鍾昀珊、林盈萱。觸而及發—自製不插電桌球練習機治具之成效探討，2020。全國中小學科展作品第60屆
3. 游宏鈞、尚宇謙、王若宇、黃靖甯。謝子晴、藍紫軒。小戴陪你練球—自製羽球練習機，2020。全國中小學科展作品第60屆