

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 生活與應用科學科(一)

第一名

032814

小「兵」立大功-可攜式乒乓發射器應用於智慧  
訓練之研製

學校名稱：新北市立海山高級中學(附設國中)

作者：  國二 陳柏宏  國二 吳翰泰	指導老師：  林周廷  張惟捷
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：乒乓發射器、無線控制、智慧訓練

# 得獎感言

## 慢慢走 比較快

從零開始到最後的國賽第一，從發射鋼珠到加入AI，過程雖然並非一路順風，但至少最終的結果是令人滿意的，過程中我們深刻的感受到什麼是實驗，實驗就是一個驗證並且可能失敗的過程，隨時都會有意想不到的問題在等著我們，在一次次的實驗，以及一次次的學習中，我們接觸到了許多平時幾乎不會使用到的事物，使我們對於程式的能力有一定程度上的提升，能更快的看懂電路的運作，學會了怎麼使用3D列印機和如何焊接，知道了什麼是CNN、RNN、LSTM、LRCN、YOLO模型，以及他們的運作原理，當以後我們接觸到相關的事物時，很快便能實際操作了。

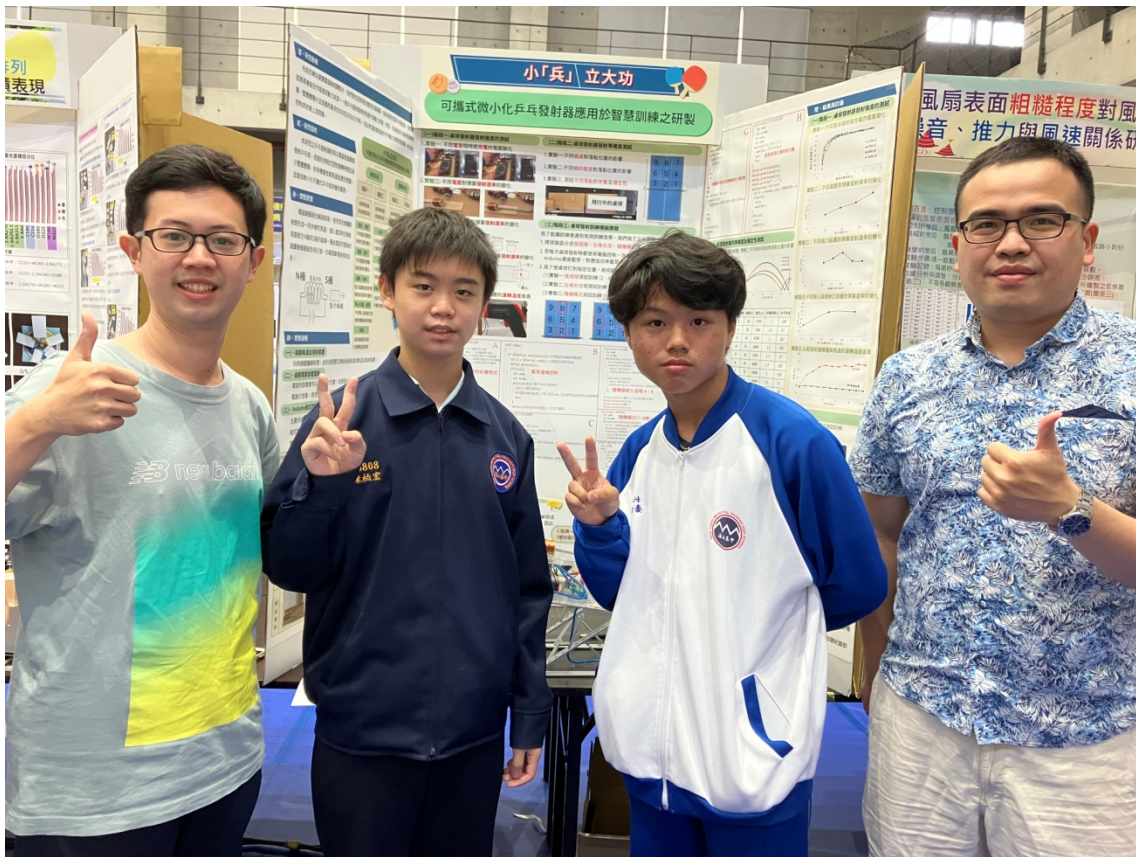
在這段長達一年的時間裡，我們擁有了我們的作品，雖然還稱不上完整，但相較於一開始什麼都沒有，已經是做得很多了，一步一步的將機器所需的拼圖拼好，從校內打到市賽，在從市賽打到國賽，一年的時間猶如白駒過隙，雖然有時候覺得還有很多時間，但當感受到緊迫感時，我們認知到時間真的不多，而為了趕出想要的進度，老師會在假日時帶著我們做科展，甚至可能會留到晚上九點，但依現在得到的成果來看，這一點努力是值得的。

但在市賽後，我們一直籠罩在市賽特優的光環下，總是覺得自己的作品已經很厲害，因此在市賽後研究的動力逐漸減少，同時也不斷和指導老師產生矛盾，不過還好這些問題在我們和老師的對話和溝通下都順利解決。

到了國賽週，我們獲得許多人的幫助，例如錦和高中和新北市科展團隊的各種協助，包括專家吳俊毅教授、呂藝光教授及李柏翰老師的現場指導或是線上叮嚀，當然最重要的林周廷老師和張惟捷老師，兩位老師一直陪我們不斷練到晚上，犧牲自己的休息時間，來幫助我們海報念的更熟，以及提出更多的問題來協助我們模擬真正比賽時的情況。感謝所有有幫助我們的人，沒有你們協助我們不會得獎。



112/6/2新北市科展頒獎典禮



海報布展，左起林周廷老師、陳柏宏同學、吳翰泰同學、張惟捷老師



63屆全國科展在基隆

## 摘要

本研究利用電磁線圈作為動能，改善市售發球機馬達易過熱的缺點，所製作的乒乓發射器具有**低成本、體積小、方便攜帶及智慧訓練**等功能性，分成兩大部分：

- 一、機電系統：利用電流磁效應原理進行實踐，改變不同變因測試，找尋對應落點之最佳參數。另外利用手機 APP 程式搭配 Arduino 撰寫，達成不同球路變化的無線控制。
- 二、智慧訓練：利用 Arduino 結合 python 程式**建立專家系統**，在訓練選手前，先進行前測，再依不同程度給予對應訓練等級，系統可依照受試者的進步而精進。

本實驗亦在半球桌的回擊落點處放置壓電片及 LED 燈條以接收撞擊訊號，過程中可**即時顯示擊球落點位置、力道大小及計算成功率**，並根據 AI 大數據矯正受試者錯誤姿勢，期望使受試者獲得更有效的訓練成效。

# 壹、前言

## 一、研究動機

先前於網站瀏覽電磁砲相關影片，我們對於該原理的應用充滿興趣，後來發現市面乒乓球發射器，發想嘗試將兩者結合作為發球動力來源。經查閱網路資料得知，一般乒乓發射器以馬達作為動力來源，而馬達使用久易有過熱問題，不僅整體體積大且造價昂貴(約 5000 至 20000 元不等)。雖然可用於發射出不同球路，但是多缺乏智慧訓練的效果，在沒有教練的情況下想自主訓練是非常困難的。因此希望能嘗試製作不同動力來源的發球機，結合智慧程式控制來改善上述問題。其雙輪式內部架構及外觀如圖 1、2 所示。



圖 1 發球機的內部結構



圖 2 市售發球機

## 二、研究目的

本研究之乒乓發射器則係以電磁砲當動能發射乒乓球，若能利用程式控制運轉時間並減少整體體積，則有機會改善馬達過熱的問題，並達成可攜式乒乓發球機的願景。為開發簡易遙控可攜式的乒乓發射器，運用程式設計及不同變因測試希望可達成的目標如下：

- (一) 桌球發射器發射強度的測試 [階段一]
- (二) 桌球發射器準確度及穩定性測試 [階段二]
- (三) 桌球發射器及受試者回擊訓練模組開發 [階段三]

實驗流程圖如下圖 3 所示:

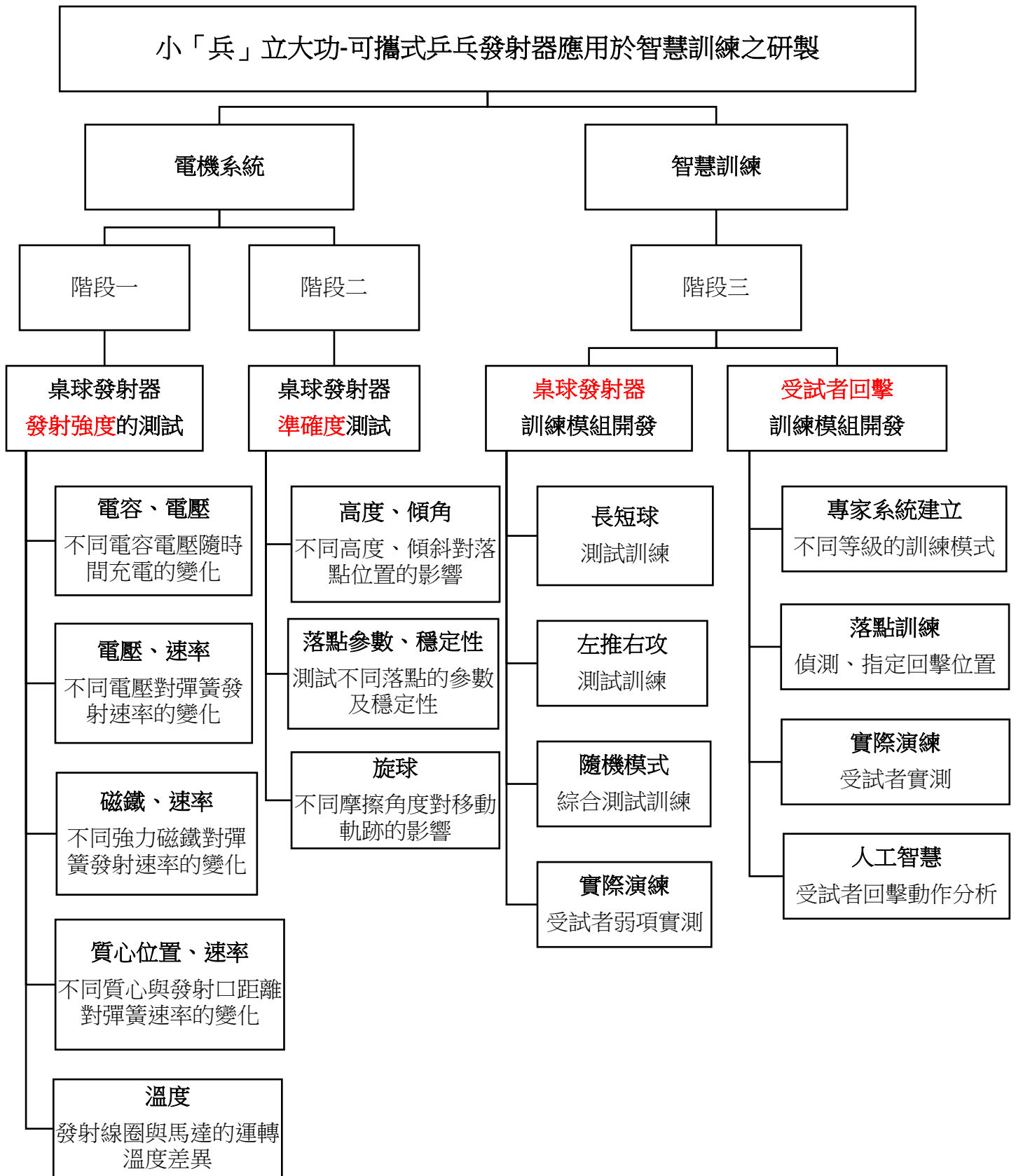


圖 3 實驗架構圖

### 三、文獻回顧

第 51 屆中小學科學展覽會「無聲動力—線圈砲的發射分析與應用」，這組主要在研究電磁線圈砲，研究時用了許多不同的方法來測試線圈砲發射出來的磁鐵威力，並且在測試完得到數據之後，通過數據找出讓線圈砲最有威力的方法，如圖 4 所示。

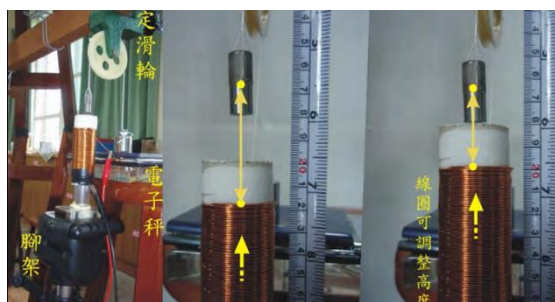


圖 4 量測線圈磁力裝置圖

第 55 屆中小學科學展覽會-「自製桌球發球機之成效探討」，自製發球機採雙輪式發球方式，輔以其他的變因(如電流、材料等)，嘗試把發射器改善得更好，讓使用者可以獲得更好的體驗效果，如圖 5 所示。

第 57 屆國民小學科學展覽會-「電磁砲!真的還假的?」探討電磁砲射出的鐵棒初速，研究其與電容數量、電壓大小、漆包線線圈長度、線圈密度之關係。利用電容瞬間放電之特性，漆包線在極短時間內流經電量，使線圈電流達極大，如圖 6 所示。



圖 5 自製乒乓發射器



圖 6 電磁砲裝置

第 60 屆中小學科學展覽會-『「磁」母手中線-探討電容放電時間常數對電磁砲發射的影響』，透過文獻整理，在電容的研究中發現，在固定電壓時，電容量在一定範圍內，發射速度有極值。若此時再提高電壓充電，不僅發射速度會下降，繼續增加電容甚至會有子彈反向射出，亦即發射速度會隨著電容大小而振盪，我們參考相關實驗數據來調整電容的電壓。



第 59 屆中小學科學展覽會-廢棄腳踏車～重生！人工智慧的應用研究。其內容以 AI 人工智慧為主軸，在 FB 網站上透過人工智慧及機器的使用，做到僅需一個 QR Code 並進行後續正規流程的操作，便可舉報接著讓工作人員將其回收，如圖 7 所示。

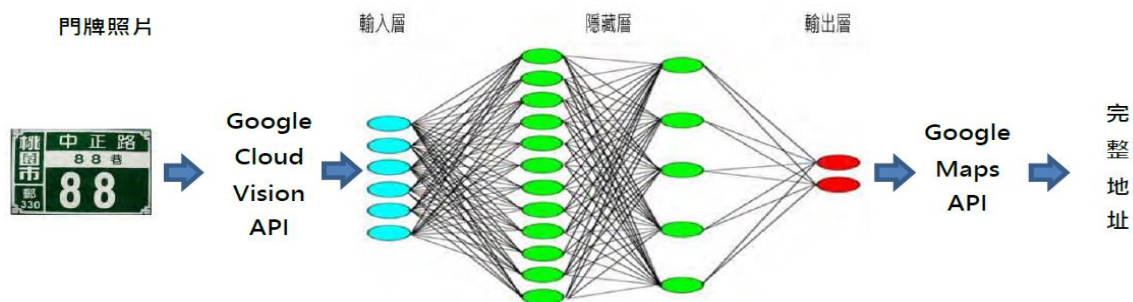


圖 7 【台灣門牌解析】的 AI 模組設計示意圖

第 60 屆中小學科學展覽會-觸而及「發」-自製不插電桌球發球機治具之成效探討。此文獻以環保題材設計雙輪式桌球發球機，治具機元件利用紙板及環保材質替代，並在實驗過程中在球桌上畫下九宮格紀錄數據，過程使用 3D 列印機做出元件模板，再將回收的物品製成理想機器元件，如圖 8 所示。

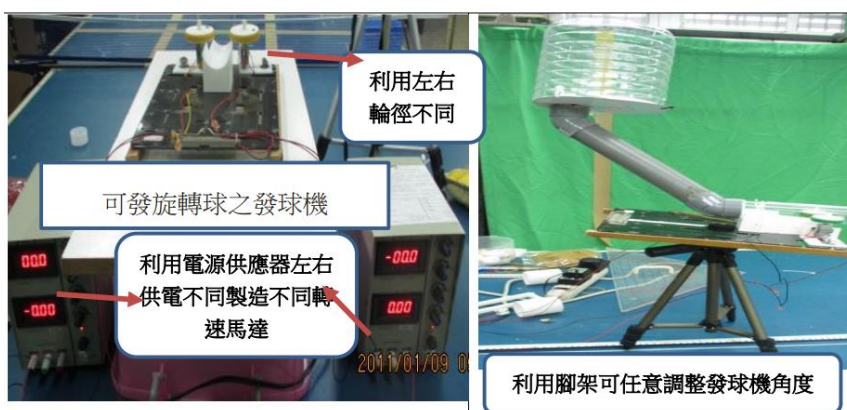


圖 8 環保乒乓發射器

## 貳、研究設備及器材

- 一、研究器材: Arduino 控制板、強力磁鐵、杜邦線、各式電容、紙板、麵包板、吸管、漆包線圈、9V、12V 電池、伺服馬達、繼電器、熱熔膠、彈簧、壓克力板、行動電源、馬達、三用電表、桌球、桌球拍、鋁製支架、球網、藍芽接收器、電源變壓器
- 二、研究設備: 筆記型電腦、平板相機、手機、雷射切割機、Tracker 軟體、3D 列印軟體。

## 參、研究過程或方法

### 一、實驗原理

電磁線圈砲也稱高斯砲，是使用銅線纏繞砲管形成一個同步線性馬達，通入電流時在導線周圍會產生磁場，而磁場也有 N 極和 S 極。在發射時，需要藉由電容充電後的瞬間放電，使磁鐵能在被線圈的磁性吸引後於斷電後依慣性前進飛出，如圖 9 所示。

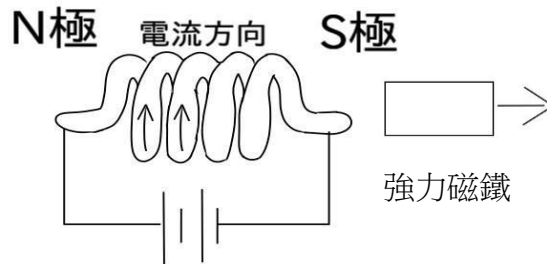


圖 9 電磁線圈砲原理圖

人工智慧是指透過機器、計算機系統來模擬人類的智能過程，主要體現在這三種認知技術：學習、推理和自我糾正，可以用機器或是其他非生物實體表現，而人工智慧系統的具體應用包含專家系統、自然語言處理、語音識別以及機器視覺。機器學習可藉由擷取大量的訓練資訊，分析資料之間的關聯，而對未來狀態進行預測。

卷積神經網路(Convolutional Neural Network ,CNN)是一種適用於圖像處理和視覺辨識任務的深度學習模型。它通過使用一系列的卷積層和池化層，可以有效地捕捉圖像中的平面及空間特徵。CNN 可以自動學習特徵，從而在影像辨識任務中取得出色的表現。YOLO ( You only look once )模型使用 CNN 來提取圖像特徵並預測邊界框的位置和相應物件的類別，並分成一個固定大小的網格，每個單元格負責預測一個或多個邊界框，並為每個邊界框分配一個信心分數，表示該框中包含物件的概率以及預測的物件類別。

長短期記憶網路 (Long Short-Term Memory, LSTM) 是一種遞歸神經網路 (recurrent neural networks ,RNN)，特別適用於處理序列資料，如語音或文本。LSTM 具有記憶單元和遺忘門，可以捕捉時間上的相依性和長期的語義結構。它可以解決傳統 RNN 在長序列上遇到的梯度消失或過多問題，並在序列資料的建模和預測中表現出色。

## 二、實驗過程

### (一)、組裝軌道及發射裝置

利用線圈纏繞吸管、並利用瓦楞紙板組裝進球軌道及發射裝置，如圖 10 所示。

### (二)、組裝電容放電電路

電容的放電會先以電池進行充電，並搭配 Arduino 程式控制繼電器的切換來進行電容的充電，再將其電容充滿的電來進行放電，使漆包線圈產生磁力推動強力磁鐵。接著再用無線電搭配程式進行遠端遙控，驅動整個裝置，如圖 11 所示。

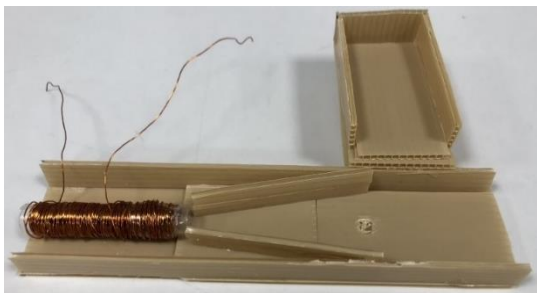


圖 10 軌道裝置圖

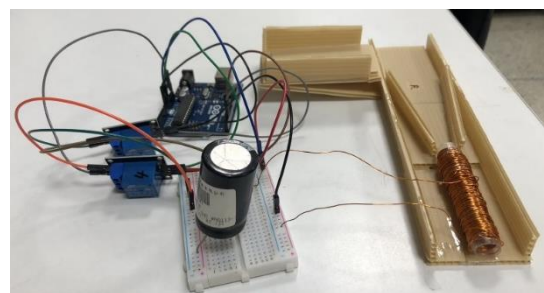


圖 11 電磁砲發射組裝圖

### (三)、Arduino 程式控制

程式控制架構主要分成三個部分:電容的充電、伺服馬達的控制、以及無線遙控為主。過程中會以 Arduino 開發版進行程式撰寫，利用訊號及連接電路控制電容的充放電時間、伺服馬達的旋轉角度控制，以及遠端遙控，如圖 12、13 所示。程式撰寫的順序為:無線電控制開關按下，不同電量大小電容先充電再放電，使強力磁鐵發射撞擊乒乓球。

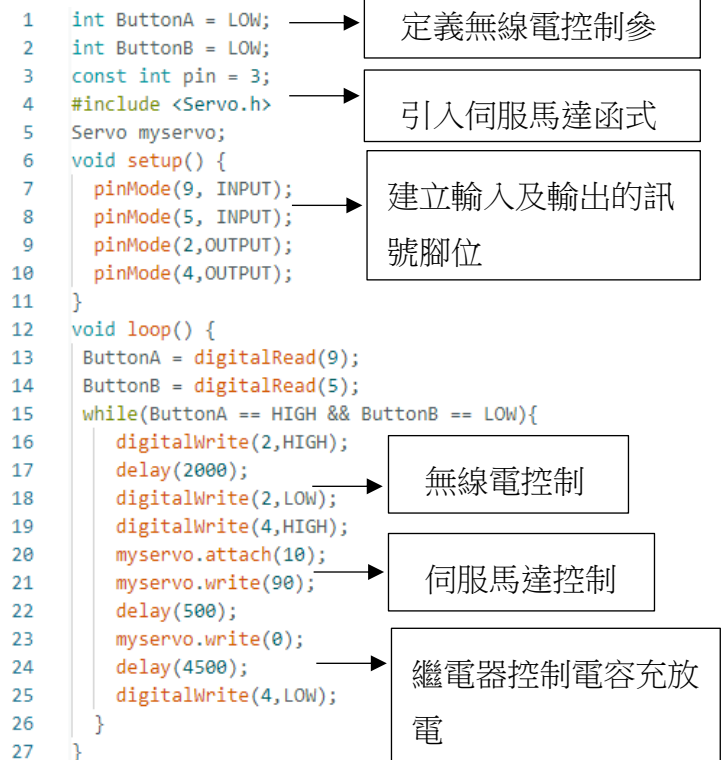


圖 12 Arduino 程式控制圖

### (三)、磁鐵回收的設計暨裝置優化

為進行連續性的射擊效果，必須設計磁鐵回收裝置使其進入原先的軌道，以進行下一次的發射。起初的想法是將電磁鐵安裝在發射台底部吸附發射出來的強力磁鐵，但實測發現:在磁鐵發射速度快時，即使將下方電磁鐵通電，仍然難以被吸附而回收。因此，我們嘗試設計第二代裝置，以發射台中間連接一片氣球皮，將乒乓球射擊出去時，利用其彈力將原先的強力磁鐵回收，再配合程式進行周而復始的操作。

由上顯示出可利用自組裝進行簡易的程式搭配無線控制，進行智慧型桌球發球機的製作。然而根據上述的發球及回收裝置，發現在架構上仍有許多改進之處。在偶然的機會下，發現一般民眾搭乘大眾運輸工具時，會使用彈簧作為伸縮帶，這不禁使我們好奇，若可將其應用在回收裝置上，不但可增加其回收便利性且價格低廉，實為後續探究發展的一大突破!我們將自製各代發射裝置的優缺點做出比較，詳列於下表 1 中。

瓦楞紙板做的基底雖可使用，但穩定度不佳，為使之能更穩定的發射，選擇壓克力材料以雷射切割製作保護外殼，最後用螺絲及螺帽固定基座，增加機台的穩定性，如圖 14、15 所示。

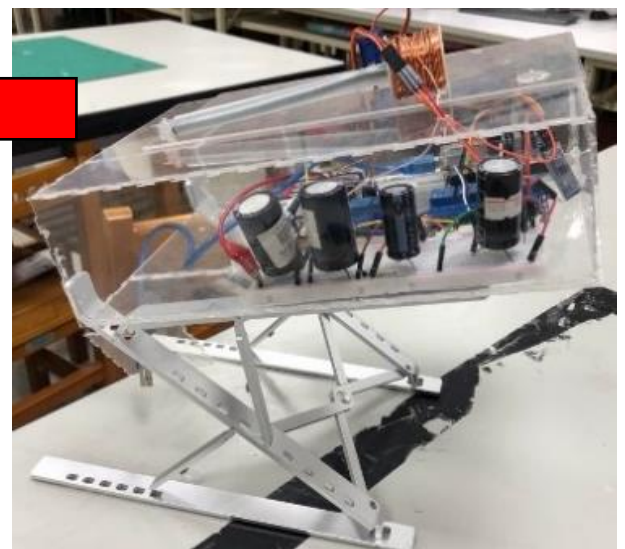
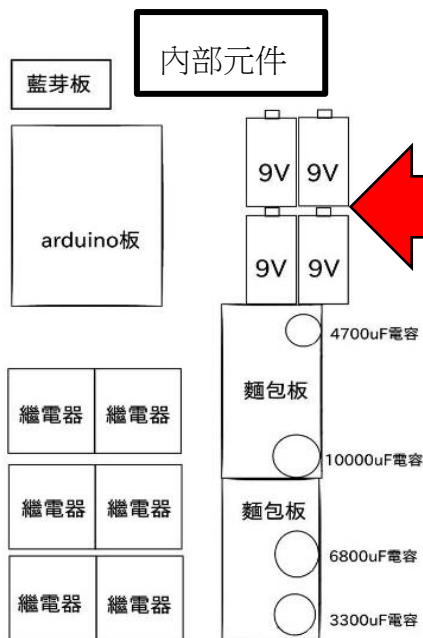
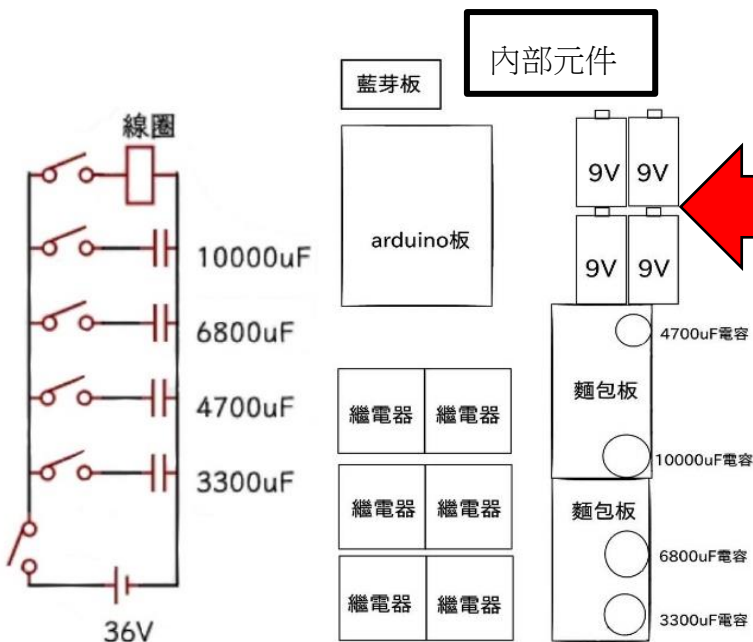
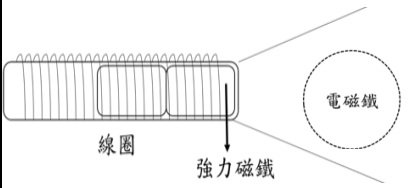
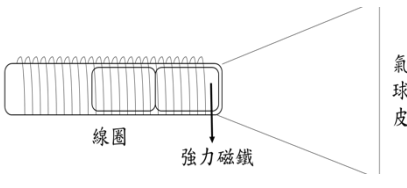
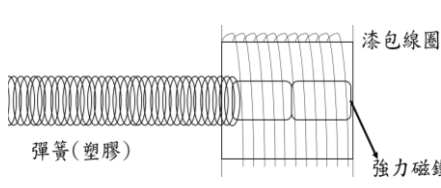
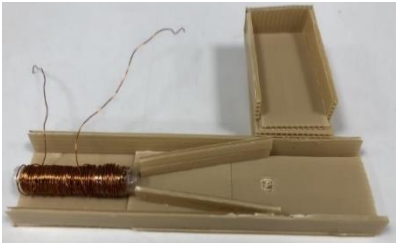

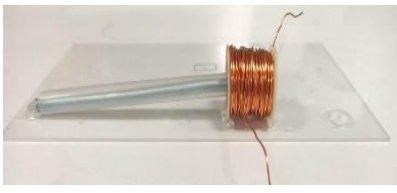


圖 13 電路控制圖

圖 14 各元件擺放位置示意圖

圖 15 作品完成圖

表 1 各代發射裝置的優缺點比較

發射裝置	第一代	第二代	第三代
示意圖			
優點	能夠順利發射	可以順利使用氣球的彈力回收	可以順利使彈簧將磁鐵拉回，並且可以重複發射
缺點	<p>1. 電磁鐵吸力不足，不易回收。</p> <p>2. 電磁鐵即使不通電也會被強力磁鐵吸住，即使吸住也無法分開</p>	<p>1. 氣球過緊，導致力道嚴重減小</p> <p>2. 速度過大使磁鐵易產生 N、S 極反轉回收的問題。</p>	<p>1. 塑膠彈簧回彈力道稍大，易使強力磁鐵發射速率變小。</p> <p>2. 後續改為回彈力道較小的金屬製彈簧，減少回彈力道，以提升發射速率。</p>
構造實景			

### 三、實驗方法



#### (一)階段一:桌球發射器發射強度的測試

##### 1. 實驗一: 不同電容隨時間充電的電壓變化

步驟 1. 將電容充電至 36 伏特，利用繼電器控制充放電時間，隨時間紀錄充電的電壓。

步驟 2. 改變使用的電容並重複步驟 1，其過程如表 2 所示。

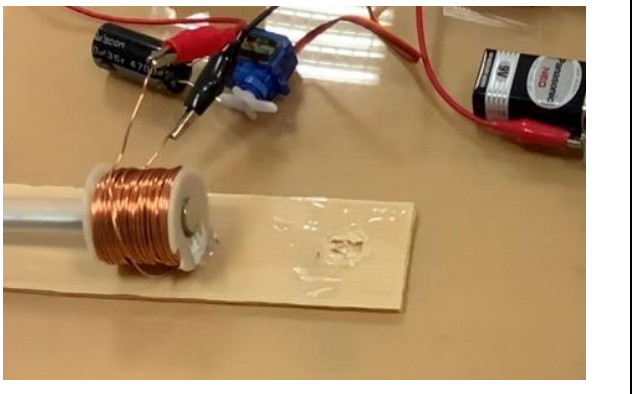
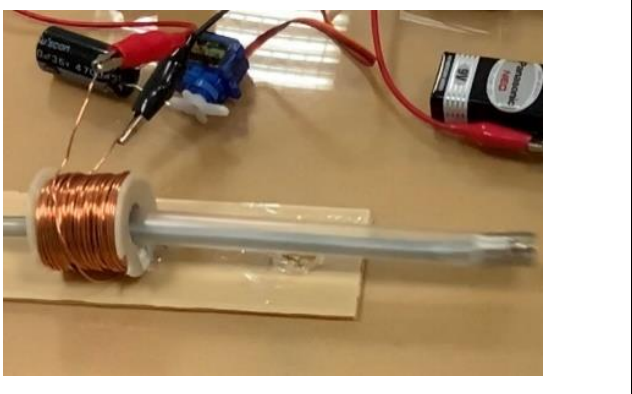
表 2 電容充電過程

	
<p>發射器充電狀態(0.62s)</p>	<p>發射器充電狀態(3.78s)</p>

2.實驗二: 不同電壓對彈簧發射速率的變化

- 步驟 1. 使用 36V 的電壓、12\*20 mm 的強力磁鐵及電容 10000  $\mu$ F，固定充電時間 2 秒。
- 步驟 2. 更換不同電壓大小(9~36V)進行發射並用慢動作錄影紀錄，如表 3 所示。
- 步驟 3. 使用 Tracker 軟體讀取時間以及發射速率的關係。



表 3 桌球發射器發射過程

	
<p>發射器未發射狀態</p>	<p>發射器發射狀態</p>

3.實驗三: 不同強力磁鐵對彈簧發射速率的變化

- 步驟 1. 使用 36V 的電壓大小並提供相同的充電時間。
- 步驟 2. 改變磁鐵的長寬大小進行發射並用慢動作錄影紀錄。
- 步驟 3. 使用 Tracker 軟體紀錄時間以及發射速率的關係，其過程如表 4 所示。

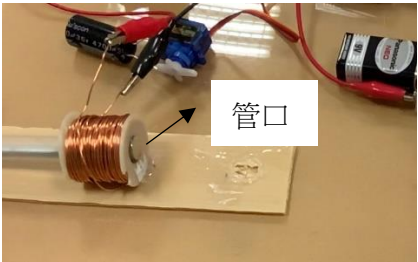
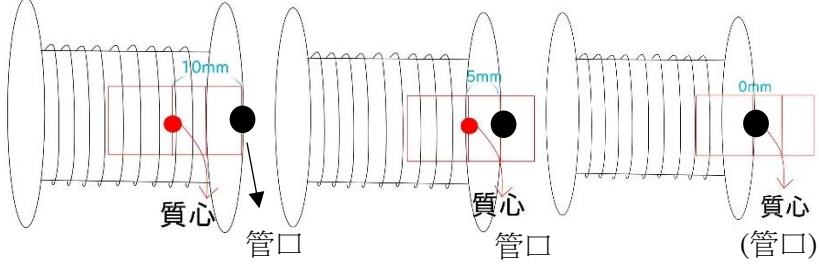
表 4 不同磁鐵長寬及發射狀態

	<p>30*12mm    25*12mm    20*12mm    15*12mm    10*12mm</p> 
<p>磁鐵實際照片</p>	<p>磁鐵長寬大小尺寸圖</p>

4.實驗四: 磁鐵質心與發射口距離對彈簧發射速率的變化

- 步驟 1. 使用 36V 的電壓大小並提供相同的充電時間。
- 步驟 2. 改變磁鐵質心與管口的距離進行發射並用慢動作錄影紀錄。
- 步驟 3. 使用 Tracker 軟體紀錄時間以及發射速率的關係，其過程如表 5 所示。



表 5 不同磁鐵質心離發射口距離

	
<p>磁鐵與管口距離(5 mm 為例)</p>	<p>磁鐵質心距離管口位置示意圖</p>

5.實驗五: 比較發射器線圈與市售馬達的運轉溫度差異

- 步驟 1.使用 36V 電壓發射線圈並用 6V 馬達以相同的時間運作。
- 步驟 2.使用紅外線溫度計固定位置量測兩者運作溫度，每分鐘紀錄之，如表 6。

表 6 電磁線圈及馬達溫度測量

	
<p>電磁線圈溫度測量</p>	<p>運轉馬達溫度測量(固定位置)</p>

## (二)階段二:桌球發射器發射準確度測試

將階段一測出來的數據，可讓我們評估發射的基本條件，接著為了瞭解桌球發射器的準確度，我們將發射器加入了不同高度及傾斜度兩大進行參數進行比較，以利後續落點分析。



圖 16 慢動作錄影示意圖

### 1.實驗一:不同高度、傾斜程度對落點位置的影響

步驟 1. 將發射裝置移到桌球桌上。

步驟 2. 利用紙箱的長寬高改變機器發射高度或傾斜程度。

步驟 3. 使用 36V 的電壓大小並提供相同的充電時間。

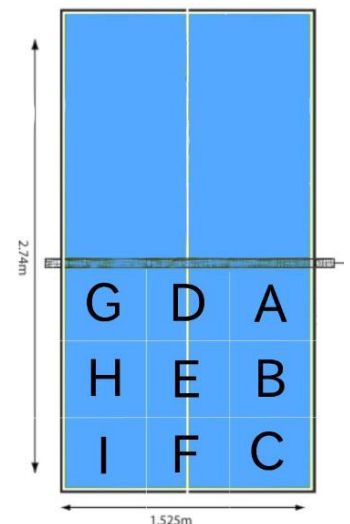
步驟 4. 使用慢動作錄影並用 Tracker 程式找出落點，如圖 16 所示。

### 2.實驗二: 測試不同落點的參數及穩定性

為有效使發射器能有精確的落點，將半球桌平均分成 9 宮格，球桌的基本參數及位置如圖 17 所示，進行以下實驗分析:

步驟 1. 記錄不同位置及角度，以不同電容、強力磁鐵及充電時間，發射至對應落點。

步驟 2. 各落點重複發球 5 次，使用慢動作錄影並用 Tracker 程式追蹤。



### 3.實驗三:不同摩擦角度對移動軌跡的影響(旋轉球)

圖 17 9 宮格測試相對位置圖

步驟 1. 以自製空心圓柱內貼入球皮，於外框加入自製齒輪，如圖 18 所示。

步驟 2. 以伺服馬達調整自製齒輪旋轉角度，紀錄桌球經過球皮摩擦後的落點。

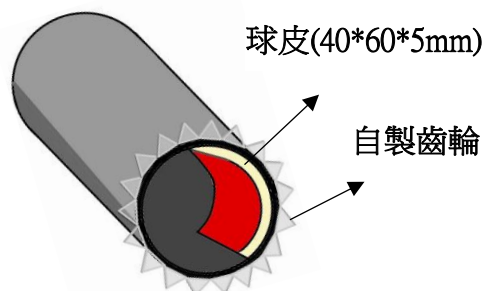


圖 18 球皮黏接示意圖



### (三)階段三: 桌球發射訓練模組開發

為了能讓訓練者達到有效訓練效果，將先前的程式進行修改，分別將球路區分成長短球、左推右攻、隨機模式等。若每次桌球發射時都使用電腦控制時，亦會造成使用者的不便。因此藉由 Arduino 連接藍芽，找尋相對應之低功率藍芽 APP (BLE Terminal) 進行遠端控制，如圖 19、20 所示。

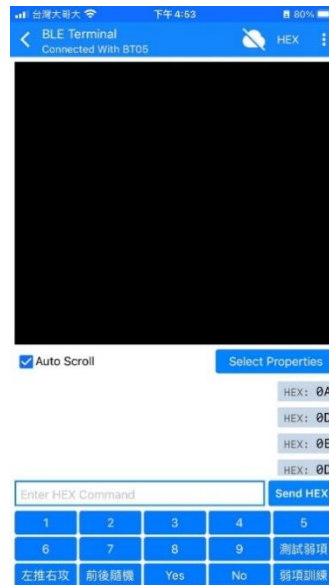


圖 19 手機控制介面

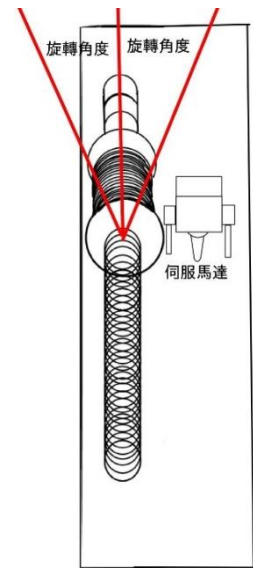


圖 20 機器旋轉角度控制

#### 1.實驗一:長短球測試訓練

步驟 1. 控制落點在九宮格中隨機在 D、F 格內發射，如圖 21。

步驟 2. 使用慢動作錄影紀錄是否每次落點都一致。



圖 21 長短球測試訓練

#### 2.實驗二:左推右攻球測試訓練

步驟 1. 控制落點在九宮格中隨機在 B、H 格內發射，如圖 22。

步驟 2. 使用慢動作錄影紀錄是否每次落點都一致。



圖 22 左推右攻球測試訓練

#### 3.實驗三:隨機模式測試訓練

步驟 1. 隨機瞄準九宮格 A 至 I 九格其中一個。

步驟 2. 使用慢動作錄影紀錄是否每次落點都一致，如圖 23。

步驟 3. 使用慢動作錄影紀錄不同的落點與軌跡並以 Tracker 程式。

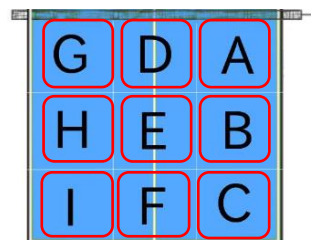


圖 23 隨機模式訓練

#### 4.實驗四:受試者實測:

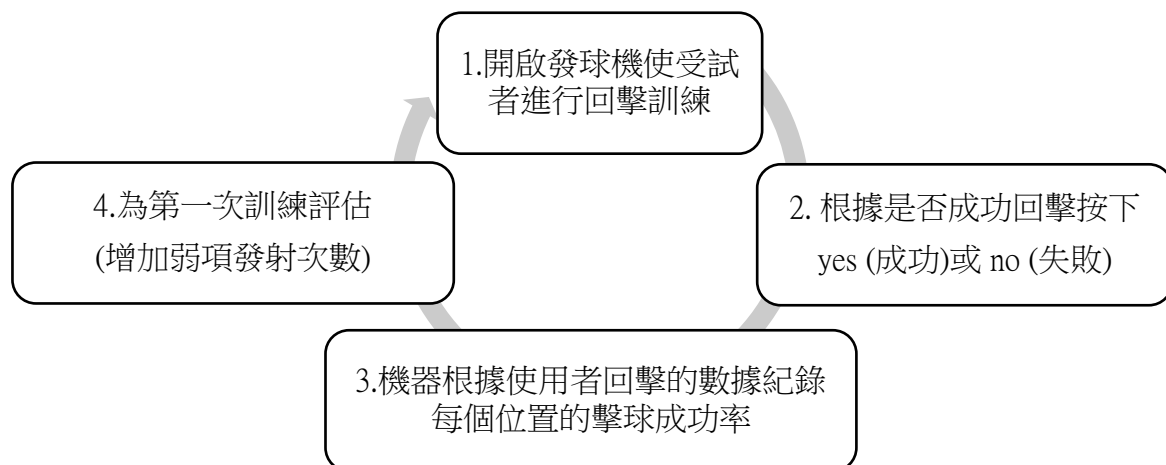
為計算受試者回擊情形，先以人工記錄各個格子每次擊球是否有成功回擊乒乓球的數據計算出擊球成功率，而擊球成功率的定義為使用者是否將發射過來的球成功回擊，因此計算出擊球成功率的公式為:

$$\text{擊球成功率} = \frac{\text{使用者成功回擊的次數}}{\text{發球機的發球總數}}$$
；計算出來的各格成功率的數據後，找出其中成功率最低的三個，將最低的格子的發射函數複製到另一個變數上，使成功率最低的一格的發射次數增加。

如表 7 先找出三位不同能力的受試者，將這三位實驗者分別代稱為受試者甲、乙、丙，接著以隨機 50 球依序記錄這三位受試者各格位置的打擊成功率，找出各格位置中打擊成功率最低的位置，並於後續額外練習 100 球的中，將提高成功率最低位置的發射次數。

表 7 不同受試者基本資料及訓練受試流程

受試者甲	受試者乙	受試者丙
球齡一個月	球齡一年	球齡五年
程度：下等	程度：中等	程度：上等



#### (四)階段三:受試者回擊訓練模組開發

##### 1.使用者回擊動作分析(專家系統建立)

為使任何使用者皆可得到符合自己實力水準的訓練強度，藉由等級的劃分，達到更好的訓練成效，等級的劃分及訓練內容如表 8 所示:

表 8 不同級數分類表

級數 (Level)	比賽階級	程度說明	訓練說明
前測		中臺 B、E、H 定點 25 顆空球。	進球率 0-50% Lv.1 進球率 50-80% Lv.2 進球率 80-100% Lv.3
1	新手階 (球齡 1 年內，對規則、場地、發力皆不熟悉)	剛接觸桌球學會比賽規則與比賽禮儀	B、E、H 定點餵球，進球成功率達 50%以上
2		中臺空球來回 10 拍，發球有 50%成功率	B、H 定點餵球分別打進 10、11、13、14 與 2、3、5、6 位置達 65%以上
3		定點有 50%可打進後臺，發球有 90%成功率	B 定點打進 14 位置、H 定點打進 3 位置，成功率達 90%。
4	初階 (球齡 1-3 年，一般零打初階)	清楚正確握拍，空球可定點打進，會基本檔球，但正反轉拍不順暢。	B、H 隨機發球分別打進對角線 10、11、13、14 或 2、3、5、6 位置，成功率 80%以上。
5		清楚正確握拍，略懂基本腳步，基本球路在非受迫時有一定表現。	B、H 隨機發球分別打進對角線 14 或 3 位置，成功率 80%以上。
6	初中階 (球齡 3-5 年，一般零打中下)	清楚正確握拍，略懂基本腳步，並懂得基本輪轉但不熟悉，已開始會拉球與切球，非受迫時移動長球可是對角線後場。	B、H 輪流發球，擊球一組對角、一組直線打中 3 號或 14 號位置，成功率達 80%。
7		空球、拉球、切球不論定點或移動有一定穩定性，擊球成功率達 70%，已有基本防守能力但無變化。	B、H 固定發球，打進隨機的指定位置 3 或 14 位置，成功率達 80%。
8	中階 (球齡 5-10 年，一般零打團中階)	有基本戰略及打點，熟悉輪轉概念，空拉切均有 70%以上準確性，防守有變化。	B、H 隨機發球打進隨機的指定位置 3 或 14 位置，成功率達 80%。
9		空拉切有 80%以上準確性與質量，發球有長短左右變化，防守手有一定程度變化與穩定性。	B、C、H、I 隨機發球打進隨機的指定位置 3 或 14 位置，成功率達 80%。
10	中進階 (球齡 10 年以上，一般零打中上)	輪轉概念熟悉並活化運用，策略性戰略及打點能有效得分，切球有下旋、左旋、右旋等變化。	隨機發球，打進指定位置，成功率達 80%。

## 2.實驗一：使用者回擊動作分析(受試者實測)

為了確保能夠實際應用於現實生活中，我們除了自己進行測試，亦找了桌球隊的球員進行實測。使用 python 搭配 arduino 連接壓電片接收感應訊號，並在 3 號及 14 位置貼上 LED 燈條使壓克力板發光，達到偵測及指定回擊位置的效果，如圖 24、25、26、27 所示。

本實驗可在偵測後於 python 上即時顯示落點位置、圖表以及進球率，可取代先前每次回擊需要手動按下 yes 或 no 的情形，修正後的訓練流程圖如圖 28 所示。我們找尋先前甲、乙、丙三位受試者依專家系統進行前測。

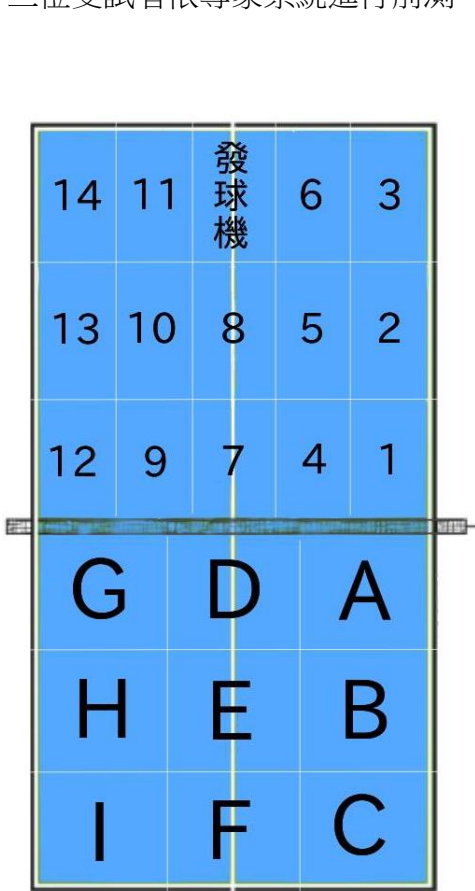


圖 24 球桌位置劃分示意圖

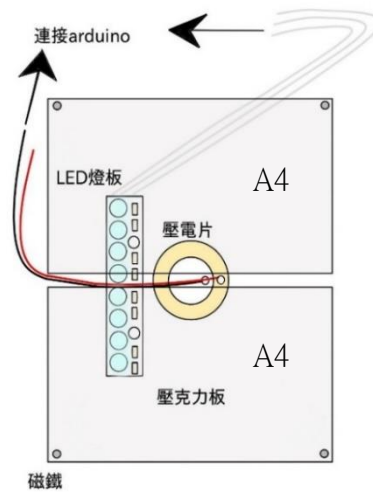


圖 25 3、14 號感應裝置

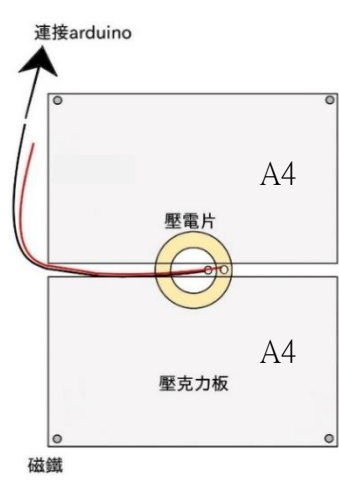


圖 26 其餘數字感應裝置

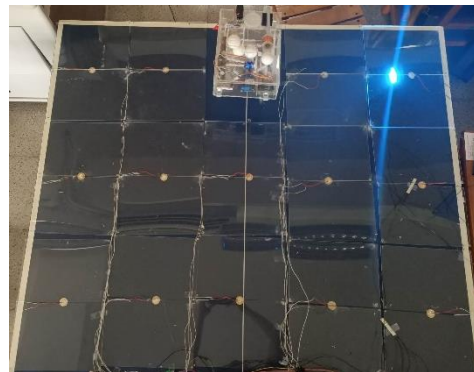


圖 27 壓電片與 LED 置於球桌實際位置圖

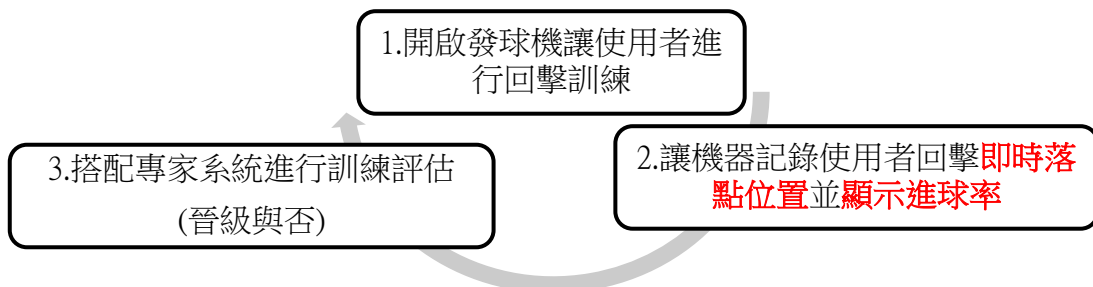


圖 28 修正受試者受試流程

### 3.實驗二: 使用者回擊動作分析(人工智慧)

為了使受試者得到更有效的訓練，我們請學校桌球校隊選手進行測試，並於測試過程中放置三個腳架錄製選手動作。發球的部分選擇左、中、右三個位置(B、E、H)進行回擊訓練。每個位置錄製 125 顆球，三種位置共 1125 支影片。此外，為了達成機器學習的目的，另找無桌球基礎的受試者進行實測，每個位置錄製 25 顆球，三種位置共 225 支影片，協助發球機進行辨認，如圖 29、30 所示。

本實驗 Python 程式中以 YOLO-pose 模型進行預測個體的邊界框位置以及人體關鍵點的位置，例如頭部、肩膀、手肘、手腕等。為實現人體姿勢估計，模型訓練過程包括標記樣本數據集中的人體邊界框和關鍵點位置，如圖 31 所示。通過最小化預測框和實際框之間的差距以及預測關鍵點位置和實際位置之間的差距來優化模型參數。我們將所有影片經過 YOLO-pose 處理過後，將 LSTM 模型建構出來，並使用 categorical cross entropy 作為損失函數、Adam 作為優化器、learning rate 設為  $1e-2$  進行訓練，部分參數如圖 32 所示。

將 CNN 和 LSTM 結合在一起，可以在影片辨識任務中有效地處理由 CNN 網路壓縮過的資料序列。首先，CNN 網路可以提取影片幀的空間特徵表示，並生成壓縮過的特徵序列。LSTM 模型可以接受這些壓縮過的特徵序列，並捕捉它們之間的時間相依性，從而實現影片的辨識和分類。CNN 和 RNN 形成的影片辨識模型通常被稱為卷積式遞歸神經網路(Convolutional Recurrent Neural Network, CRNN)，若此 RNN 為 LSTM，則被稱為 Long-term recurrent Convolutional Networks (LRCN)。LRCN 模型在影片辨識任務中取得了很好的成果，可以應用於動作識別、動作檢測、行為分析等領域。它不僅可以處理靜態圖像中的空間特徵，還可以考慮到這些特徵之間的時間關係，從而提高對影片資料的理解和分析能力。本實驗使用 categorical cross entropy 作為損失函數、Adam 作為優化器、learning rate 設為  $3e-4$  進行訓練，部分參數如圖 33 所示。



圖 29 平板錄影機架設



圖 30 受試者回擊錄像(機器學習)



圖 31 YOLO-pose 分析處理後的骨架圖

```
model.compile(keras.optimizers.Adagrad(lr=1e-3), loss="categorical_crossentropy", metrics=["acc"])
```

# OPTIMIZER

LEARNING\_RATE = 3e-4

圖 32 YOLO-pose 局部模型參數

```
model.compile(optimizer=keras.optimizers.Adam(learning_rate=LEARNING_RATE),
              loss="categorical_crossentropy",
              metrics=['acc'])
```

圖 33 LRCN 局部模型參數

## 肆、研究結果

### 一、階段一:桌球發射器發射強度的測試

#### 實驗一:不同電容隨時間充電的電壓變化

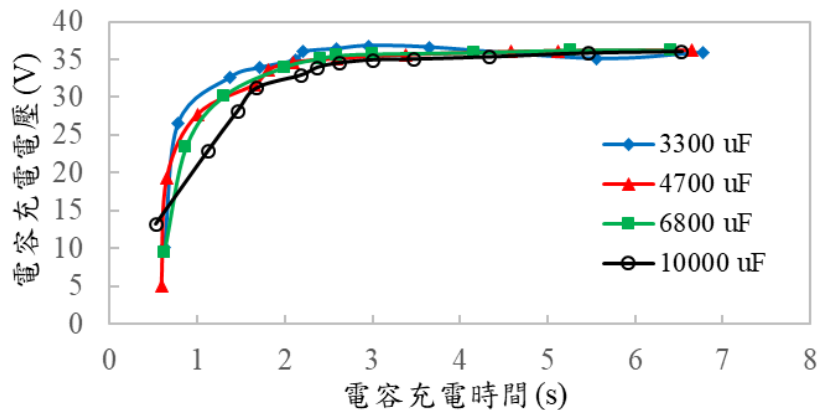


圖 34 不同電容隨時間充電電壓變化關係圖

實驗二：不同電壓對彈簧發射速率的變化(固定參數:電容  $10000\ \mu\text{F}$ 、強力磁鐵  $12*20\ \text{mm}$ )

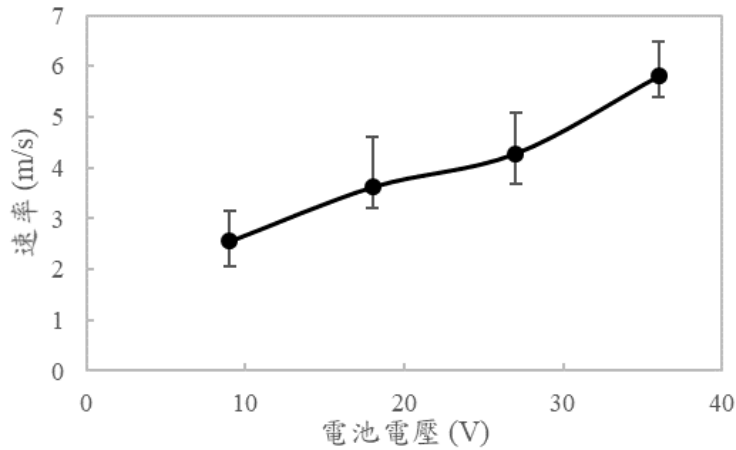


圖 35 電池電壓對速率大小關係圖

實驗三：不同強力磁鐵對彈簧發射速率的變化(固定參數:電容  $10000\ \mu\text{F}$ 、電壓  $36\text{V}$ )

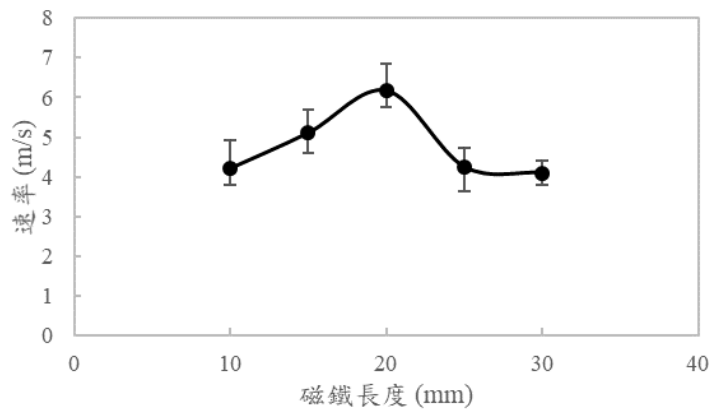


圖 36 磁鐵長度對發射速率大小關係圖

實驗四:不同質心與發射口距離對彈簧速率的變化 實驗五:電磁線圈與馬達的運轉溫度差異  
 固定參數:電容  $10000\ \mu\text{F}$ 、強力磁鐵  $12*20\ \text{mm}$ 、電壓  $36\text{V}$

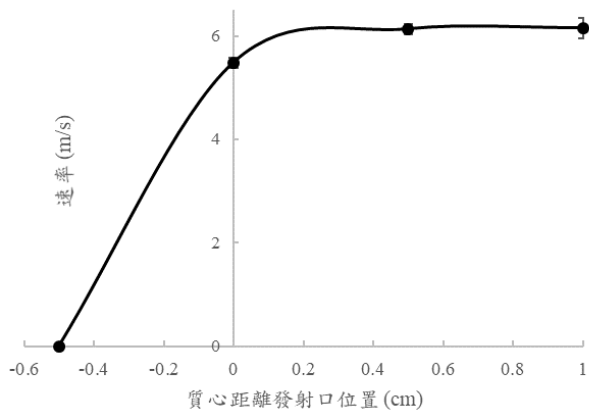


圖 37 質心與管口距離對發射速率大小關係圖

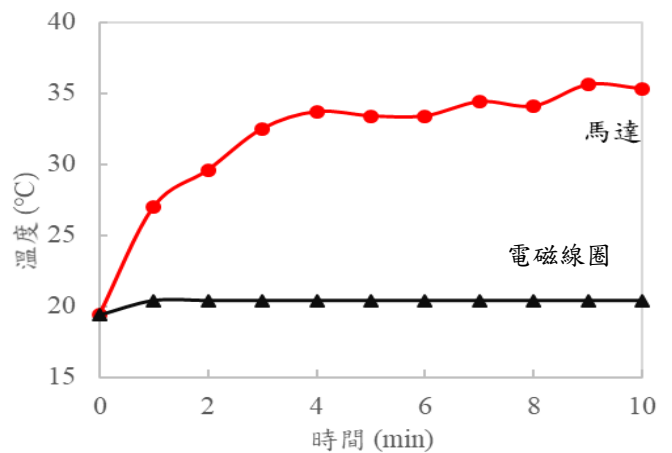


圖 38 線圈與馬達運轉溫度差異圖

## 二、階段二:桌球發射器的準確度及穩定性測試

### 實驗一：不同高度對落點位置的影響

固定參數:電容 10000  $\mu$ F 電壓 36V，強力磁鐵 12\*20 mm

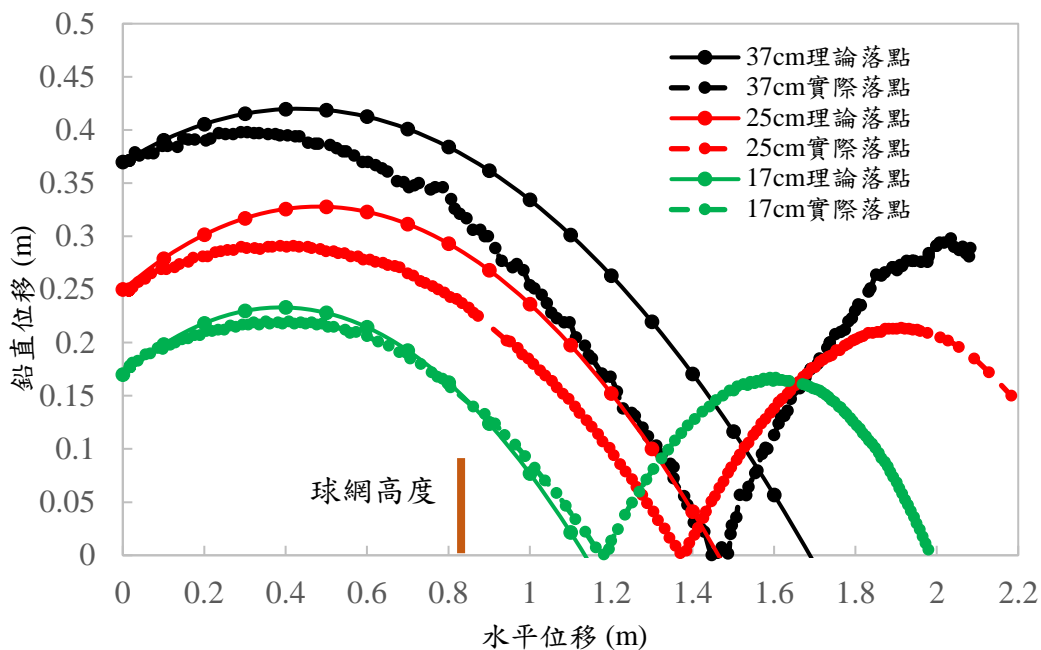


圖 39 不同高度發射軌跡比較

### 不同傾斜程度對落點位置的影響

固定參數:電容 10000  $\mu$ F 電壓 36V 強力磁鐵 12\*20 mm

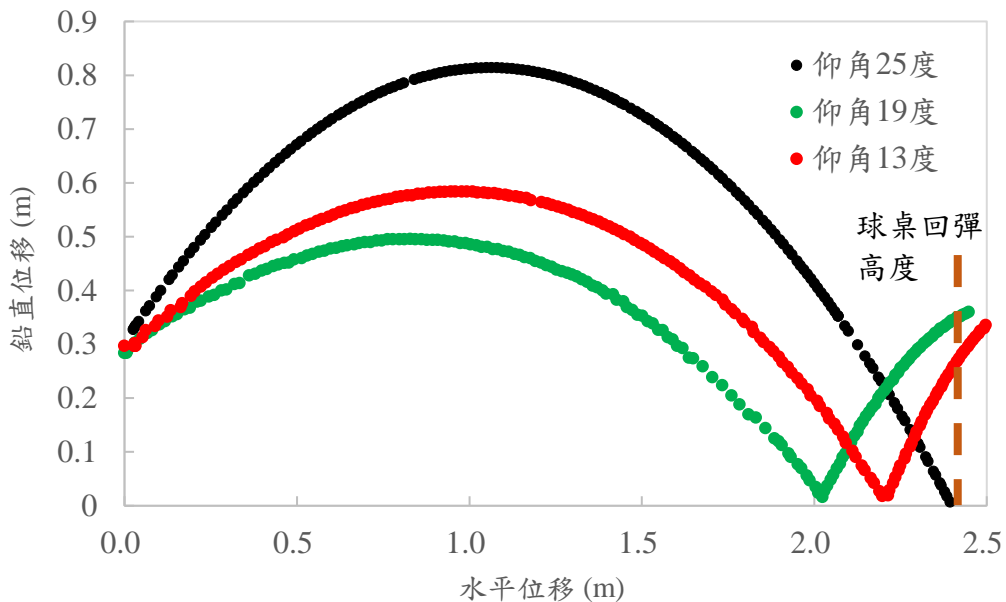


圖 40 不同角度發射軌跡



實驗二:測試不同落點的軌跡

表 9 不同參數的落點軌跡

落點編號	電池電壓(V)	電容( $\mu F$ )	充電時間(s)	水平角度
A	36	4700	1	-20°
B	36	6800	1.3	-20°
C	36	10000	2	-20°
D	36	3300	1.3	0°
E	36	4700	1.3	0°
F	36	10000	1.5	0°
G	36	4700	1	+20°
H	36	6800	1.3	+20°
I	36	10000	2	+20°

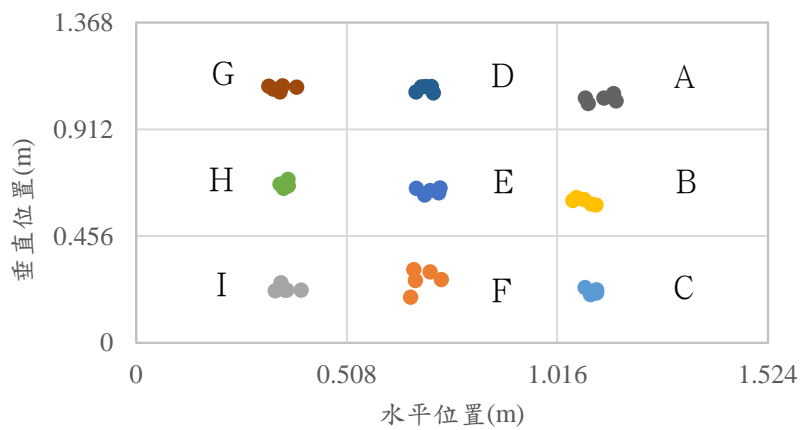


圖 41 9 宮格精準度測試圖

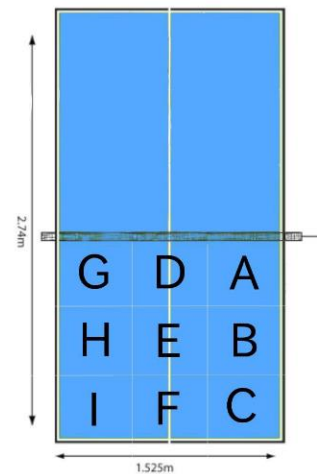
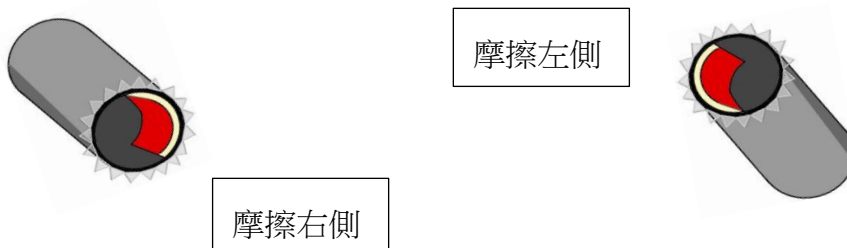


圖 42 9 宮格位置圖

實驗三:不同摩擦角度對移動軌跡的影響(旋轉球)

表 10 球皮擺放位置摩擦參數及軌跡描述圖(以 F 點參數為例)

球皮摩擦位置	電池電壓(V)	電容( $\mu F$ )	充電時間(s)	軌跡描述	落點位置
上方	36	10000	1.5	球速變慢，下旋	D
下方	36	10000	1.5	球速變慢，上旋	E
左側	36	10000	1.5	球速變慢，右旋	G
右側	36	10000	1.5	球速變慢，左旋	A



### 三、階段三:桌球發射器智慧訓練模組開發

#### 實驗一:長短球測試訓練

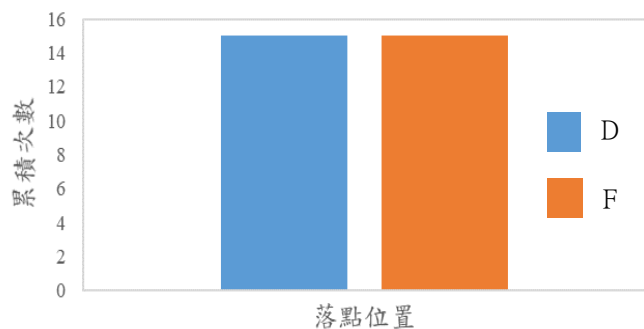


圖 43 不同落點(D、F)累計次數圖

#### 實驗二:左推右攻球測試訓練

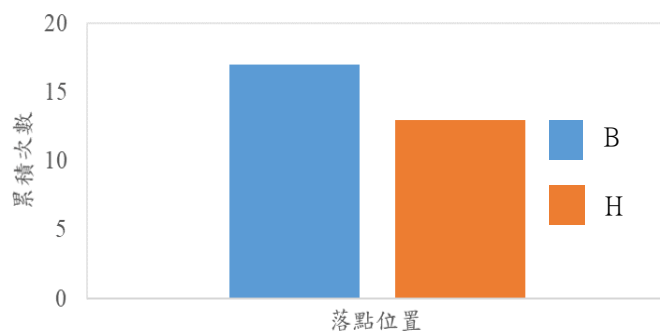


圖 44 不同落點(B、H)累計次數圖

#### 實驗三:隨機模式測試訓練(共 30 次，隨機發射 A-I 號落點)

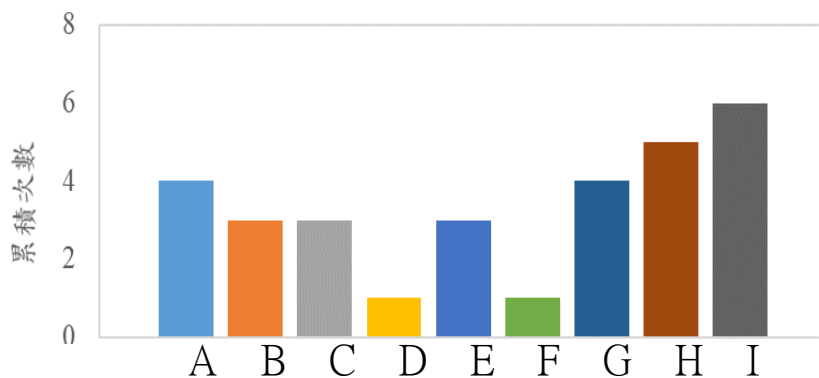


圖 45 不同落點(1-9)累計次數長條圖

#### 實驗四:受試者實測

表 11 受試者甲各位置擊球成功率

位置	擊球成功率
A	0.29
B	0
C	0.12
D	1
E	1
F	0
G	0.33
H	0.17
I	0.29

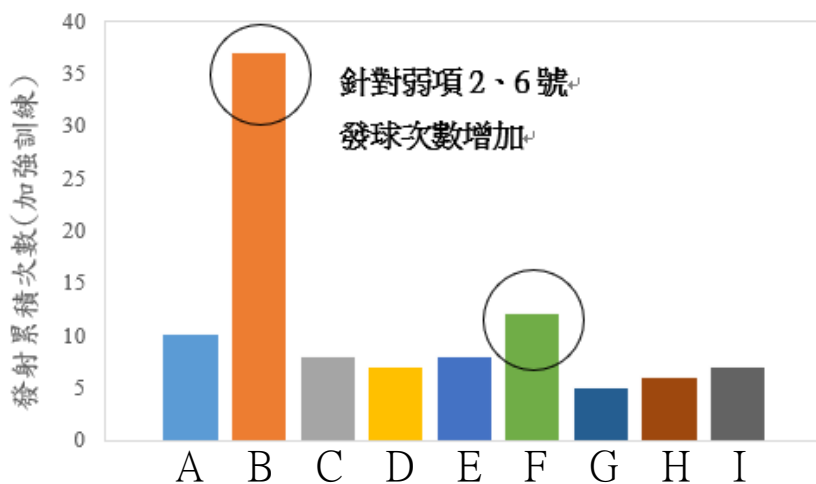


圖 46 弱項發射訓練發射次數長條圖 (受試者甲)

表 12 受試者乙各位置擊球成功率

位置	擊球成功率
A	0.57
B	0.88
C	0.5
D	0
E	0.8
F	1
G	1
H	1
I	0.71

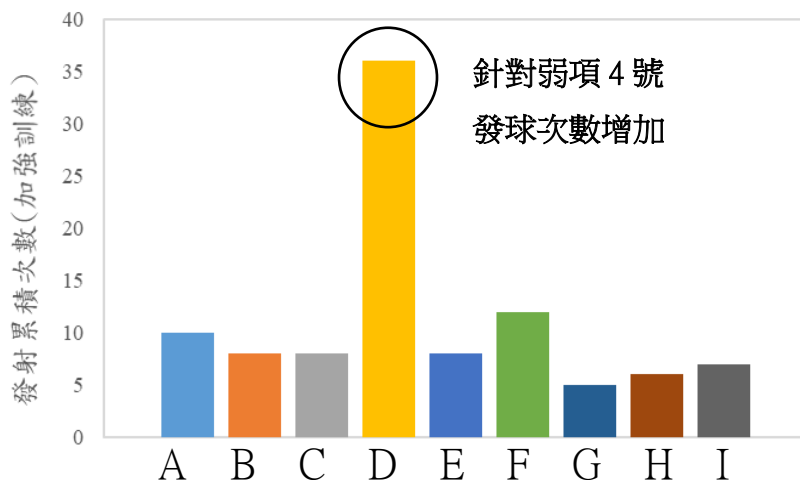


圖 47 弱項發射訓練發射次數長條圖 (受試者乙)

表 13 受試者丙各位置擊球成功率

位置	擊球成功率
A	0.71
B	0.25
C	0.37
D	1
E	1
F	0.5
G	0.67
H	0.5
I	0.14

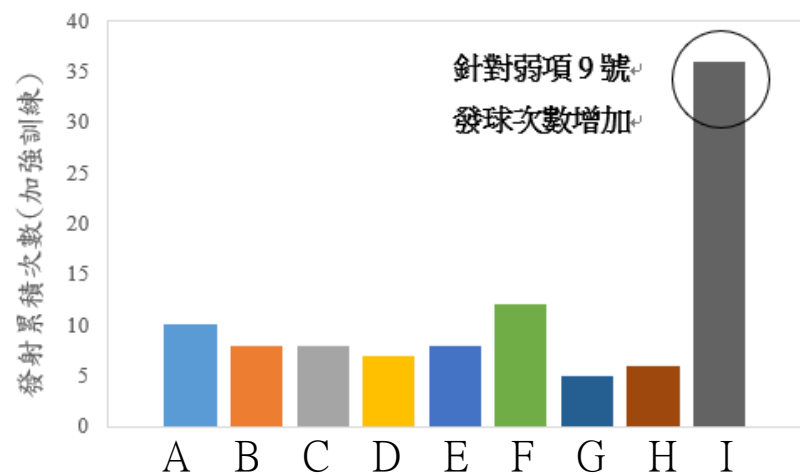


圖 48 弱項發射訓練發射次數長條圖 (受試者丙)

(四)階段三:受試者回擊訓練模組開發

實驗一: 使用者回擊動作分析(受試者實測)



圖 49 受試者實際實測圖

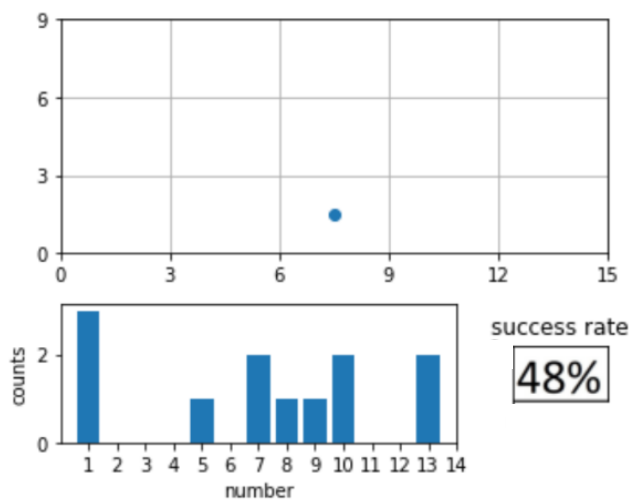


圖 50 前測綜合評估圖(受試者甲)

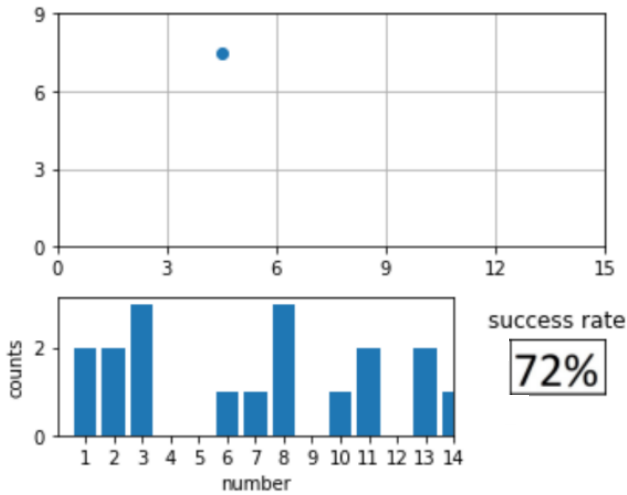


圖 51 前測綜合評估圖(受試者乙)

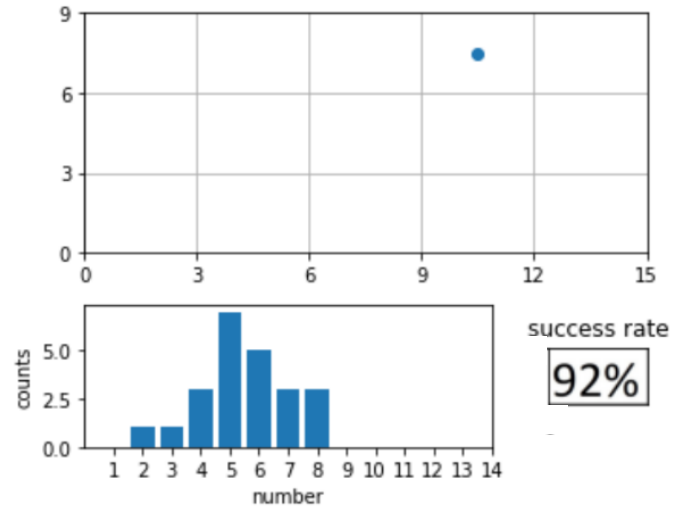


圖 52 前測綜合評估圖(受試者丙)

實驗二:使用者回擊動作分析(人工智慧)

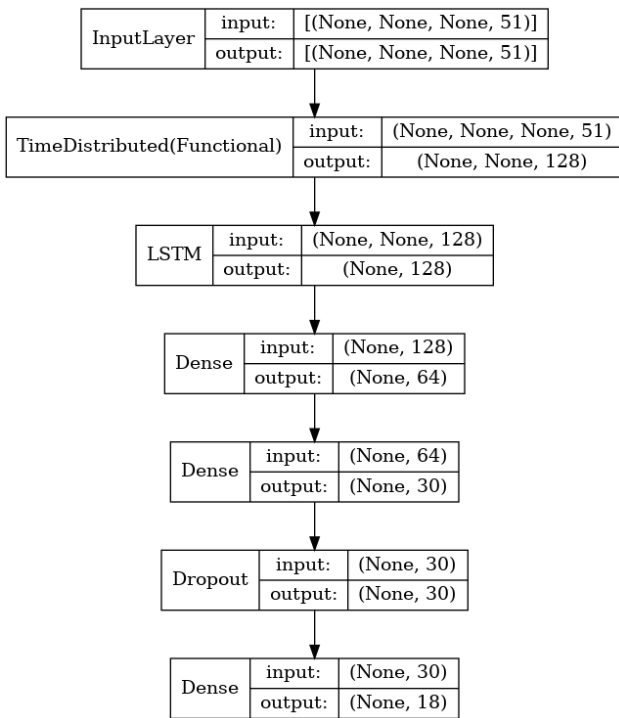


圖 53 LSTM 模型

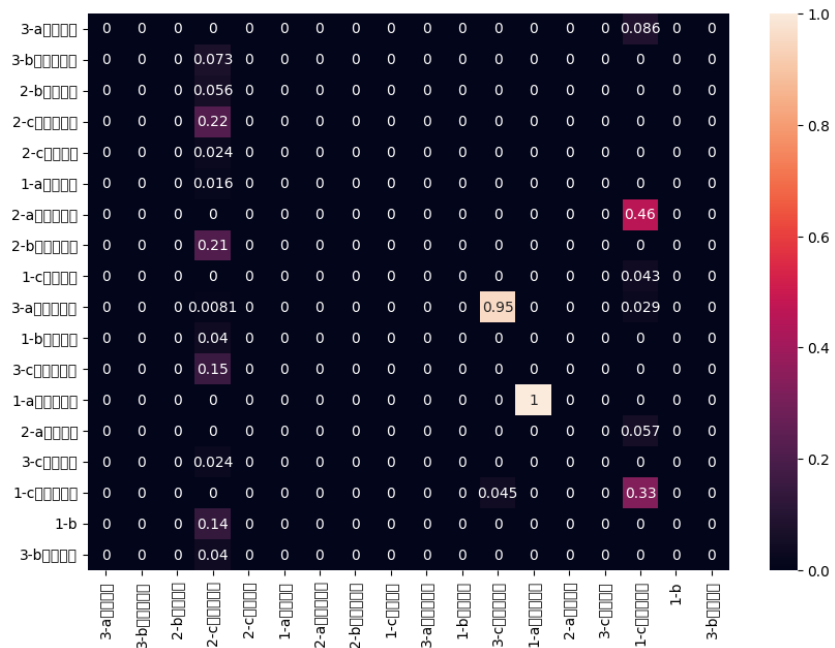


圖 54 YOLO 模型訓練結果混淆矩陣\*

\*資料標籤依序如下:

3-a 錯誤姿勢, 3-b 發右邊正手, 2-b 錯誤姿勢, 2-c 發左邊反手, 2-c 錯誤姿勢, 1-a 錯誤姿勢, 2-a 發左邊反手, 2-b 發左邊反手, 1-c 錯誤姿勢, 3-a 發右邊正手, 1-b 錯誤姿勢, 3-c 發右邊正手, 1-a 發中間反手, 2-a 錯誤姿勢, 3-c 錯誤姿勢, 1-c 發中間反手, 1-b 發中間反手, 3-b 錯誤姿勢

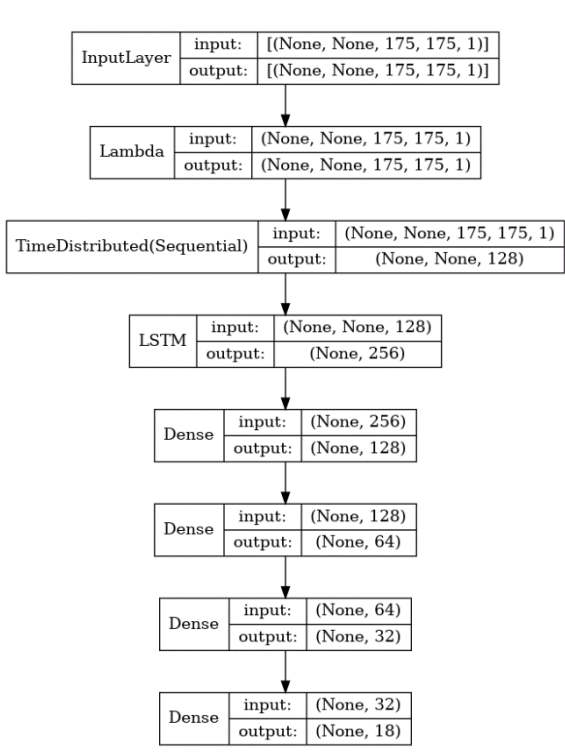


圖 55 LSTM 主框架(LRCN 的 LSTM 部分，圖中不含 CNN 的架構)

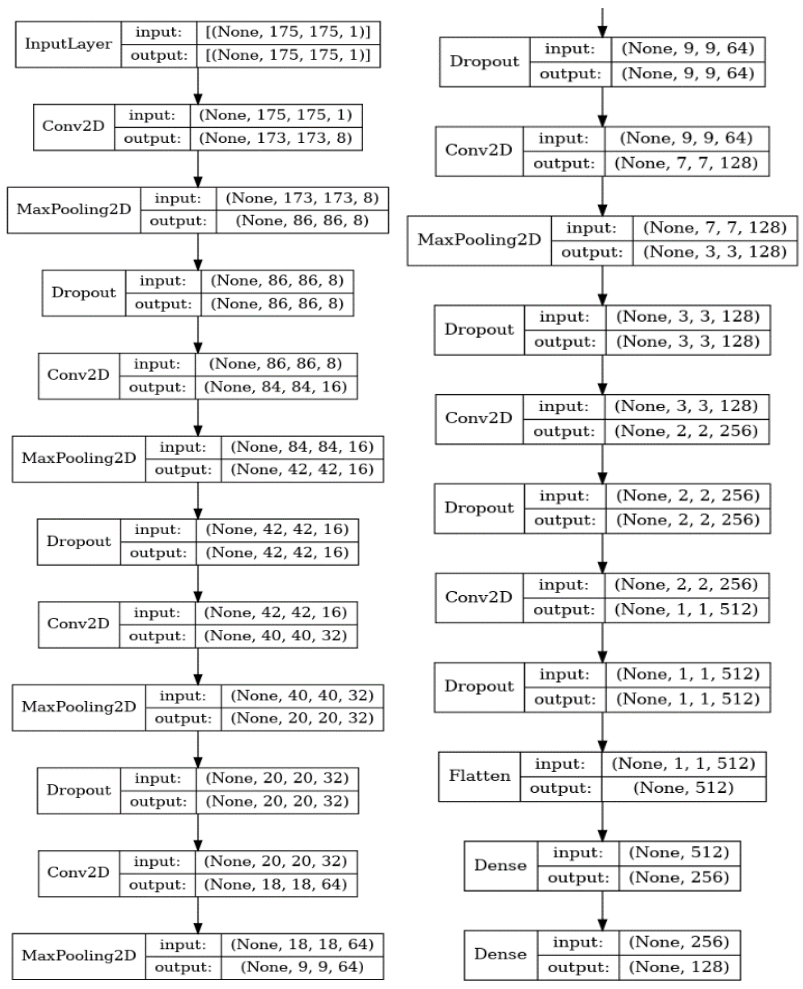


圖 56 CNN 辨識模型(LRCN 的 CNN 部分)

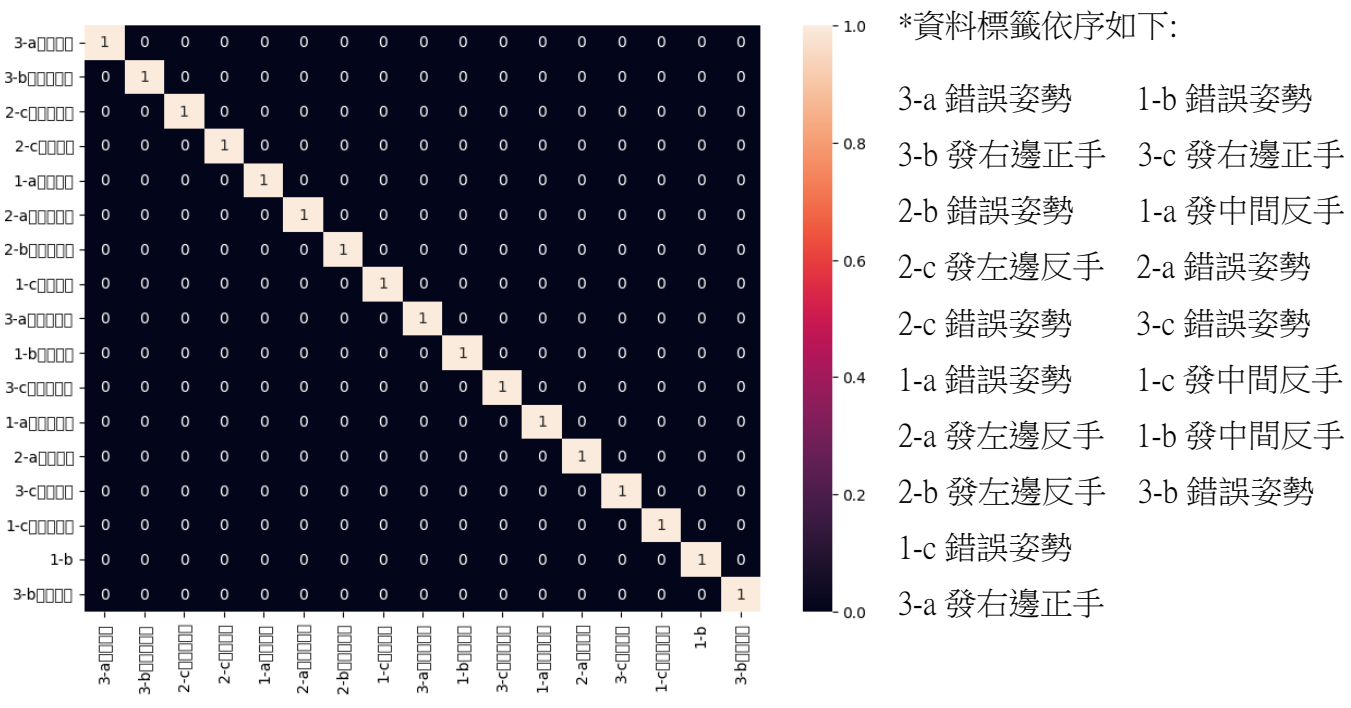


圖 57 LRCN 模型訓練結果混淆矩陣\*

## 伍、討論

### 一、階段一: 桌球發射器發射強度的測試

由圖 34 可知，電容會在極短的時間內快速充電，在第 2 秒時每個電容的電壓值便達到 35V，電容值越大的電容會有相對較長的充電時間，即使是 10000  $\mu$ F 的電容，也在約第 3 秒時幾乎充滿，因此我們設計的程式其充電時間皆為 1~2 秒(其值依不同位置的發射參數而不同)。

由圖 35 可知，輸入電壓越高，電容放電時所提供的能量為  $E = \frac{1}{2} C V^2$  (C 為電容大小；V 為電壓)會越大。理論上輸入電壓值越高，磁鐵與乒乓球碰撞的強度越大，乒乓球可獲得的動能越大，但為符合「可攜帶式微小化」的概念，同時保障發球機在安全環境下操作，因此我們選擇使用 36V。

由圖 36 可知，磁鐵的長度會影響撞擊乒乓球的強度，但當長度達到一定值時，因彈簧質量的關係撞擊效果有其極限值。根據實驗的結果，我們發現彈簧在長度 2 公分時，磁鐵的撞擊強度有最佳效果，2 公分以下會因為太短而導致撞擊強度不足，超過 2 公分則會因為彈簧與磁鐵質量太重而減小力道。

由圖 37 可知，磁鐵的擺放位置(質心位置)會影響撞擊乒乓球的強度，當磁鐵前方貼齊線圈時(即質心距離 10 mm)，撞擊的強度會有最佳效果，若再往前延伸，撞擊的強度則隨延伸長度遞減，因此為了讓撞擊強度有最佳效果，我們選擇讓磁鐵貼齊線圈。

由圖 38 可知，只使用 6V 的馬達，在短時間內 10 分鐘內即會上升 15°C，若長時間使用會有過熱而導致馬達燒壞的問題。反觀以 36V 電壓進行電容充放電，由於放電時間非常短，因此線圈幾乎不會上升溫度，不會有過熱的問題。

### 二、階段二: 桌球發射器的準確度及穩定性測試

由圖 39 可知，些微的高度變化幾乎不會影響球的水平飛行距離，飛行距離越遠和理論值相比受到的空氣阻力會越大，因此沒有必要將發球機選擇太高，只要乒乓球發射後能夠過網即可，因此我們決定高度用 25 公分，並且採用可以自由開合和伸縮的支架，藉此實踐體積縮小化，且可攜帶式的目的。

由圖 40 可知，不同的傾斜角度會影響球的運動軌跡，不同的落點影響過網彈跳時的高度，以仰角 25 度時可恰好打至球桌邊線上，仰角 19 度時可恰好彈至球桌邊線上 40 公分處，仰角 13 度時可恰好彈至球桌邊線上 30 公分處。若高度越高，則彈跳高度將會越高，越容易擊球；若高度越低，則彈跳高度將會越低，越不容易擊球。考量回擊球的難易度，將固定仰角(約 10 度)及高度(25 公分)。

由表 9、圖 41 及圖 42 可知，以特定參數進行九宮格準確度測試，各個格子切割之長寬約為 40 cm\*50 cm，精準度相當高，皆落於特定範圍之內。往後的實驗將以此數據做為參考，進行智慧訓練模組的開發。

由表 10 中可知，不同摩擦角度的位置會造成球旋轉的方向不同，在實驗中，因摩擦會使能量損失，皆採用力道最強位置 F 的參數。由於桌球發球機摩擦時是球皮固定，利用球的推進使其接觸球皮產生摩擦，和正常打球的情形(以球皮推進摩擦球)恰好相反，為相對運動的因素造成軌跡的方向的反向。

### 三、階段三:桌球發射器智慧訓練模組開發

由圖 43 可知，利用程式實際測試不同長短球落點(D、F)的次數幾乎相等，各為 15 次；由圖 44 可知，利用程式實際測試左推右攻球落點(B、H)的次數大致相等，分別為 16 次及 14 次；由圖 45 可知，利用程式實際測試隨機落點(A 至 I)的次數的分布在 0-6 次之間，確實是有隨機效果。若能增加發球次數，各落點的次數將會更加平均。

如表 11、12、13 顯示可知，甲、乙、丙三位程度不同的受試者於各點之擊球成功率皆有所差異。無論成功率的高或低，各受試者都可以獲得對應的弱點訓練。程式會自動計算回擊最弱的三個位置，以 100 球進行後續弱項落點訓練時，由圖 46、47、48 可知，發球均可有效提升各受試者弱項的發射次數。然而，我們發現三位受試者在 100 球的弱項訓練中，在 A、C、E、F、G、H 位置的發球次數皆是相同的，經查閱資料後得知，由於 Arduino 的 random 模式為有規律的亂數，才導致此巧合出現。本智慧分析程式的開發，適合不同程度的桌球練習者，系統會針對選手弱點給予適當程度的加強訓練。

#### 四、階段三:受試者回擊訓練模組開發

經上述測試過後，若不斷按下 yes 或 no 會增添在操作上的不便，無法達成真正自主訓練的目標，因此在訓練時，選用壓電片作為接收訊號的測試，達自動化的結果。如圖 49、50、51、52 所示，先前甲、乙、丙三位受試者測試時，皆發球至 E 位置，且連續發 25 球，可即時顯示成功率及落點位置。甲的程度中下，擊球成功率只有 48%，屬於專家系統中的 level 1 等級；乙的程度中等，擊球成功率有 72%，屬於專家系統中的 level 2 等級；丙的程度中上，擊球成功率有 92%，屬於專家系統中的 level 3 等級。茲將以上三種等級作為初步的探討，利用專家系統可為受試者後續對應的加強目標。

除了可接收紀錄球者的位置外，我們更進一步希望可用 python 程式，以 CNN 卷積神經網路來記錄受試者的動作，利用 LSTM 技術將 YOLO-pose 模型的每一幀資料視為序列資料，並進行處理，使其能辨識人打桌球的姿態是否為標準姿勢，模型如圖 53 所示。經過實驗發現此方法不太可行，在混淆矩陣的結果中正確率不高(僅約 30%)，如圖 54。推論可能是因為 YOLO-pose 不會處理揮拍的姿態資訊，因此模型只能透過四肢位置與身體姿態判斷球打得好不好，而使正確率不高。

我們知道 YOLO-pose 是透過 CNN 進行特徵提取的，那是否可以直接將 CNN 提取出的資料傳給 LSTM 進行運算呢?圖 55 中的 TimeDistributed(Sequential)代表著對影片中每張圖片進行以下 CNN 模型演算。而圖 56 中含有 Dropout 層，代表要讓下一層少收到多少資料，如此可以有效地防止過度擬合(overfitting)的問題，因此設定讓下一層少收到 1%的資料。最後在混淆矩陣中，如圖 57，相同姿勢相關程度為 1，不同的姿勢影片相關程度為 0，可見用三種角度的相機偵測均可以得到 100%辨識正確率。



## 陸、結論

綜合上述，將結論列點如下：

- 一、使用彈簧取代電磁鐵，若要使射擊強度增加，可使用 36 伏特的電壓以及長度 20 mm 的強力磁鐵進行射擊，並使磁鐵貼齊線圈(即質心距離發射口 10 mm)。
- 二、磁鐵在 12\*20 mm 時發射速率最大，若是不同長度，發射速率就會減少。
- 三、以電壓 36V 電磁線圈發射的最大速率可達 6.5 m/s。
- 四、成功使用電磁線圈發射取代傳統馬達，使發球機不因溫度上升影響發射情形。
- 五、自動化- Arduino 程式控制和藍芽通訊技術之建立

依據不同的參數設計與實驗分析，可組合出多種球路軌跡參數供練習者訓練，並利用 Arduino 程式控制及藍芽通訊技術連接手機 APP 進行整合，使發射機自動發射各種指定或隨機球路，達到自動化控制的訴求，且經過實測顯示發射系統具有高準確度和穩定性。

### 六、智慧訓練-數據分析、統計、專家系統建立、回擊動作分析

- (一)在練習中系統會針對選手不擅長的球路提高發球次數，進行弱點強化的智慧訓練。
- (二)建立專家系統是受試者能獲得有系統的訓練。
- (三)藉由壓電片感應撞擊位置，可即時於程式中呈現成功率及回擊落點。
- (四)由 LRCN 模型建立回擊動作之 AI 資料庫，各姿勢經程式比對後辨別正確率高達 100%。

### 七、未來展望：

持續藉由 python 程式設計與 TensorFlow 開發機器學習環境，分析不同球路並且增加每次發射位置的精準度，使發球系統不斷地收集選手數據資料進行分析與反饋，電腦亦不斷地調整發球模式讓選手精進自身弱項，藉此協助選手訓練多點球的擊球能力，期待選手經 AI 訓練後能提升選手獲勝的可能性。

## 柒、參考文獻資料

### 一、研究報告

- (一) 連廷楷;孫芷柔;應冠穎;吳睿文(2015)「自動」自「發」、求新「球」變。第 55 屆中小學科學展覽會。
- (二) 潘楷彥;曾祥智;侯正浩(2018)「電磁砲!真的還假的?」。第 57 屆中小學科學展覽會。
- (三) 陳韶寧;楊國睿;林品喬;莊承諺;莊凡毅 (2020)。「磁」母手中線-探討電容放電時間常數對電磁砲發射的影響。第 60 屆中小學科學展覽會。
- (四) 廖沛蓉;鍾昀珊;林盈萱 (2020)。「觸而及」發」-自製不插電桌球發球機治具之成效探討。第 60 屆中小學科學展覽會。
- (五) 郭彥助;鄧雅文;李靖元;商仲凱(2011)。「無聲動力」一線圈砲的發射分析與應用。第 51 屆中小學科學展覽會
- (六) 許雲婕;蔡宇翔(2019)。「廢棄腳踏車~重生!」人工智慧的應用研究。第 59 屆中小學科學展覽會。

### 二、網路資源

- (一) 佑來了 (民 108 年 8 月 29 日)。「[Fun 科學]衝擊擺的威力(含電容爆炸實驗)」。
- (二) 市售發球機。取自 [http://ww3.ping-pong.tw/product\\_info.php?products\\_id=4936](http://ww3.ping-pong.tw/product_info.php?products_id=4936)
- (三) 循環神經網路 RNN 與長短期記憶 LSTM 介紹與實作。取自 <https://ithelp.ithome.com.tw/articles/10297813>

## 【評語】 032814

1. 本作品開發出一個利用電磁驅動，可攜帶的乒乓球發球機。改善現今市售發球機內馬達過熱和大體機的問題，並配合 App 顯示進階數據，提供職業選手或受試者進行更有效率的訓練環境。由設計、規劃、分析、到實驗測試，作品具有可行性和發展性，值得肯定。
2. 作品具有幾項特色：(a)有嚴謹的實驗過程，例如配合高速攝影機，以及拍攝受試者的回擊動作，提供數據給人工智慧軟體分析，可以省下嘗試錯誤階段時間。(b)有制定一套完整的分級系統，可以根據不同級別的受試者，提供適性的訓練方式。
3. 智慧訓練為目前體育發展的趨勢。本作品涵蓋發球跟姿態學習，提高兩者間的連結性以及導入回授校正機制，均可使系統成為更強的訓練工具。
4. 乒乓球的旋轉狀態為重要的發球和回球技巧，後續可考慮往此方向發展。同落點不同球速的發球機制也可以探索。

5. 以下幾點建議：(a)可考慮增加目錄。(b)和市面上現有發球機的比較，可考慮建立表格分項目來分析討論。(c)報告中各章節內容的分析說明可更精準，各章節內容也具連結性。(d)不同方法下馬達發熱的比較，應在相同輸出條件下判定較為精準（單位時間內相同發球數目與發球速度）。

## 作品海報

# 小「兵」立大功



可攜式乒乓發射器應用於智慧訓練之研製

# 壹、前言

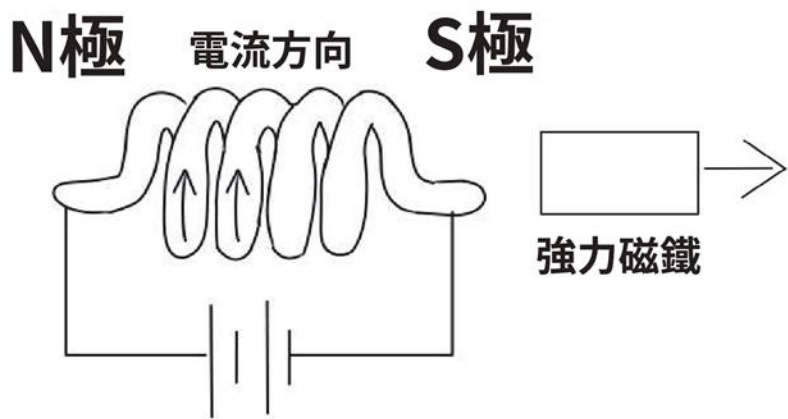
先前於網站瀏覽電磁砲相關影片，我們對於該原理的應用充滿興趣，後來發現市面乒乓球發射器，想嘗試將兩者結合作為發球動力來源。一般乒乓發射器以馬達作為動力來源，而馬達使用久易有過熱問題，不僅整體體積大且造價昂貴(約5000至20000元不等)。雖可用於發射出不同球路，但是多缺乏智慧訓練的效果，在沒有教練的情況下想自主訓練是非常困難的。因此希望能嘗試製作不同動力來源的發球機，結合智慧程式控制來改善上述問題。

# 貳、研究目的

本研究之乒乓發射器則以電磁砲當動力發射乒乓球，若能利用程式控制運轉時間並減少整體體積，則有機會改善馬達過燙的問題，並加入專家系統，協助使用者進行訓練。

# 參、實驗原理

電磁線圈砲也稱高斯砲，在通入電流時於導線周圍產生磁場，而磁場也有N極和S極。藉由電容充電後的線圈能與磁鐵磁性相互排斥，並於斷電後慣性發射。



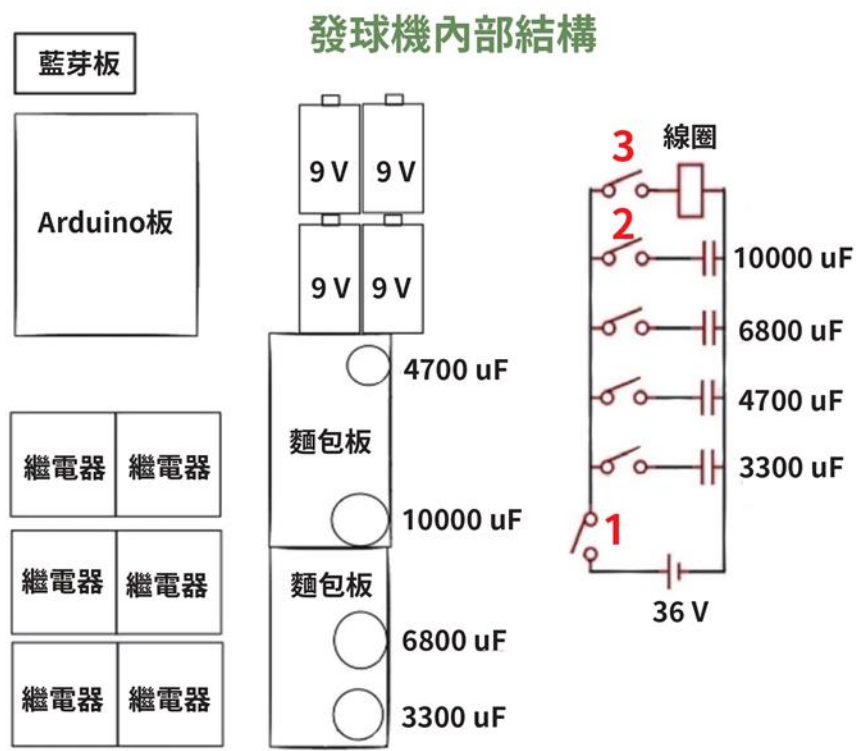
卷積神經網路CNN是一種適用於圖像處理和視覺辨識任務的深度學習模型。透過一系列的卷積層和池化層，可有效地捕捉圖像中的平面及空間特徵，從而在影像辨識任務中取得出色的表現。YOLO模型使用CNN來提取圖像特徵並預測邊界框的位置和相應物件的類別，並分成一個固定大小的網格，每個單元格負責預測一個或多個邊界框，並為每個邊界框分配一個信心分數，表示該框中包含物件的概率以及預測的物件類別。

長短期記憶網路LSTM是一種遞歸神經網路RNN，特別適用於處理序列資料，如語音或文本。LSTM具有記憶單元和遺忘門，可捕捉時間上的相依性和長期的語義結構。可以解決傳統RNN在長序列上遇到的梯度消失或過多問題，並在序列資料的建模和預測中表現出色。本實驗所用的為上述CNN結合LSTM的LRCN模型。



# 肆、機台設計及內部構造

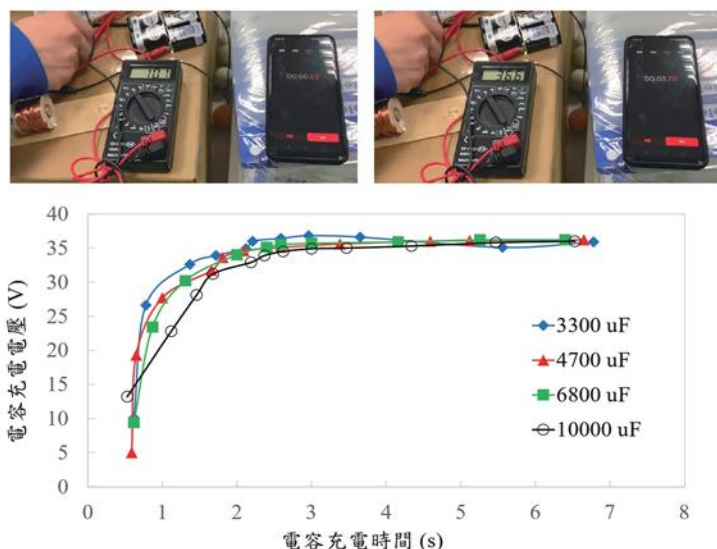
發射裝置	第一代	第二代	第三代
示意圖			
優點	能夠順利發射	可以順利使用氣球的彈力回收	可以順利使彈簧將磁鐵拉回，並且可以重複發射
缺點	1. 電磁鐵吸力不足，不易回收。 2. 電磁鐵即使不通電也會被強力磁鐵吸住，吸住後無法分開。	1. 氣球過緊，導致力道嚴重減小。 2. 速度過大使磁鐵易產生N、S極反轉回收的問題。	1. 塑膠彈簧回彈力道稍大，易使強力磁鐵發射速率變小。 2. 後續改為回彈力道較小的金屬製彈簧，減少回彈力道，以提升發射速率。
構造實景			



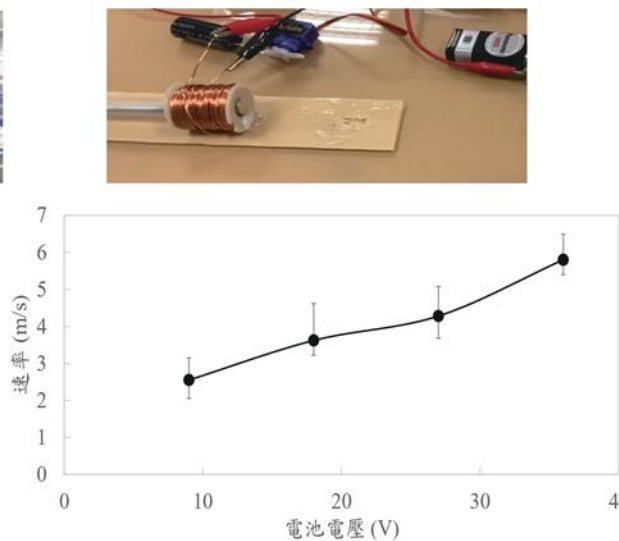
# 伍、實驗方法&結果

## (一)階段一:桌球發射器發射強度的測試

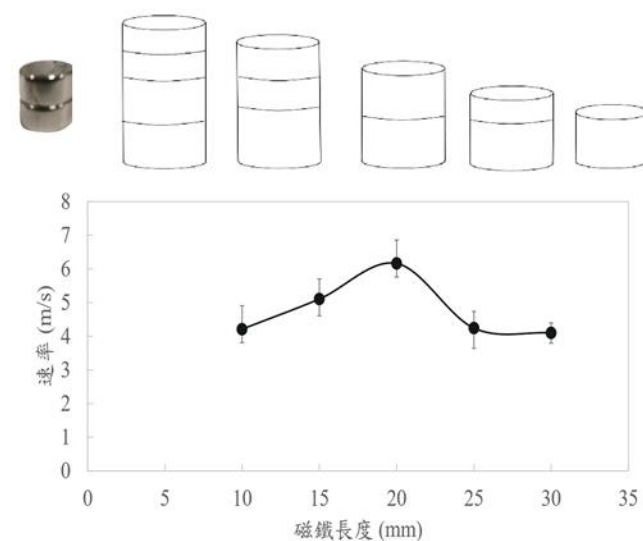
不同電容隨時間充電的電壓變化



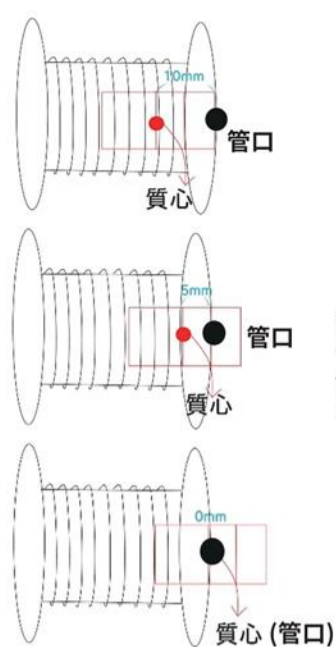
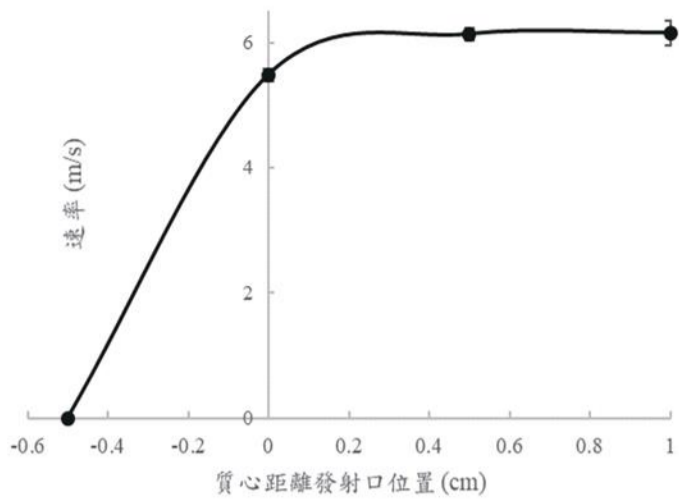
不同電壓對彈簧發射速率的變化



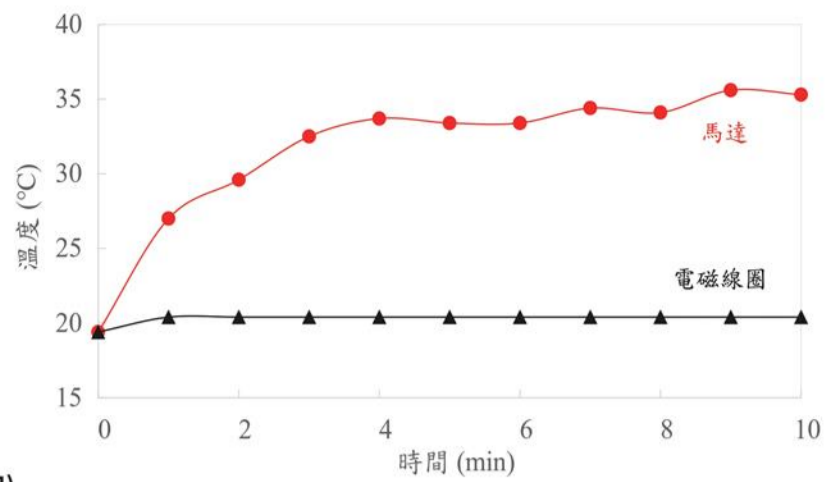
不同強力磁鐵對彈簧發射速率的變化



### 磁鐵質心與發射口距離對彈簧發射速率的變化

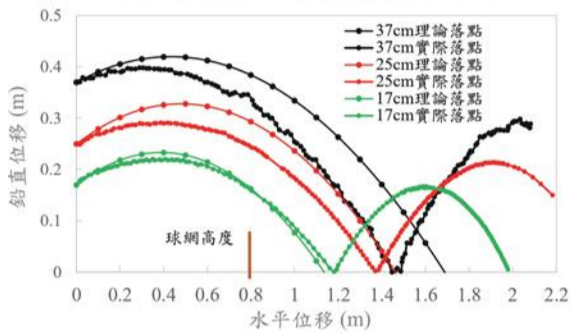


### 比較發射器線圈與市售馬達的運轉溫度差異

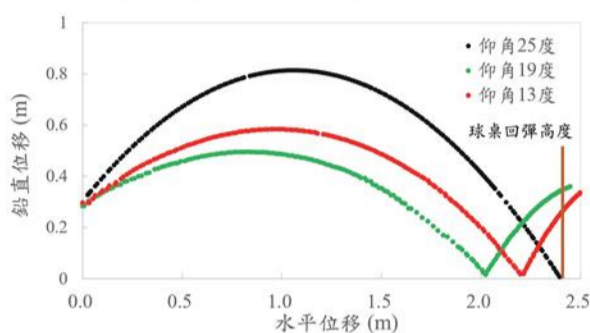


## (二)階段二:桌球發射器發射準確度測試

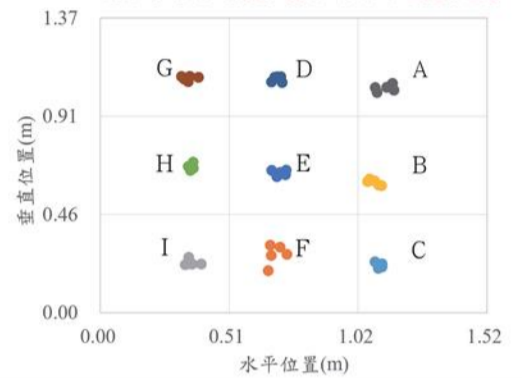
### 不同高度對落點位置的影響



### 不同傾斜程度對落點位置的影響



### 測試不同落點參數及穩定性



## (三)階段三:桌球發射及受試者回擊訓練模組開發

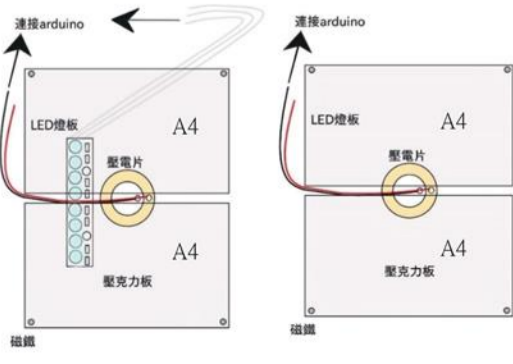
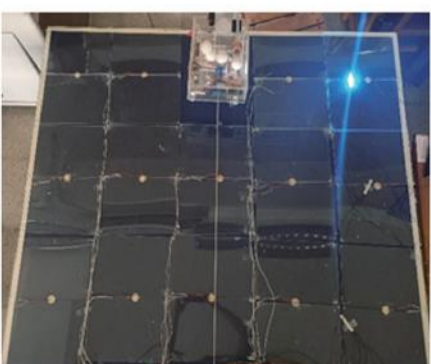
為了能讓訓練者達到有效訓練效果，我們做了三大調整：

- 1.將球路區分成長短球、左推右攻、隨機模式等。
- 2.若每次發射時都使用電腦控制，亦會造成使用者的不便。因此藉由 Arduino 連接藍芽，對應低功率藍芽 APP (BLE Terminal) 進行遠端控制。
- 3.為了達到更好的訓練效果，因此建立以下專家系統幫助使用者進行訓練。

### 專家系統 不同級數分類表

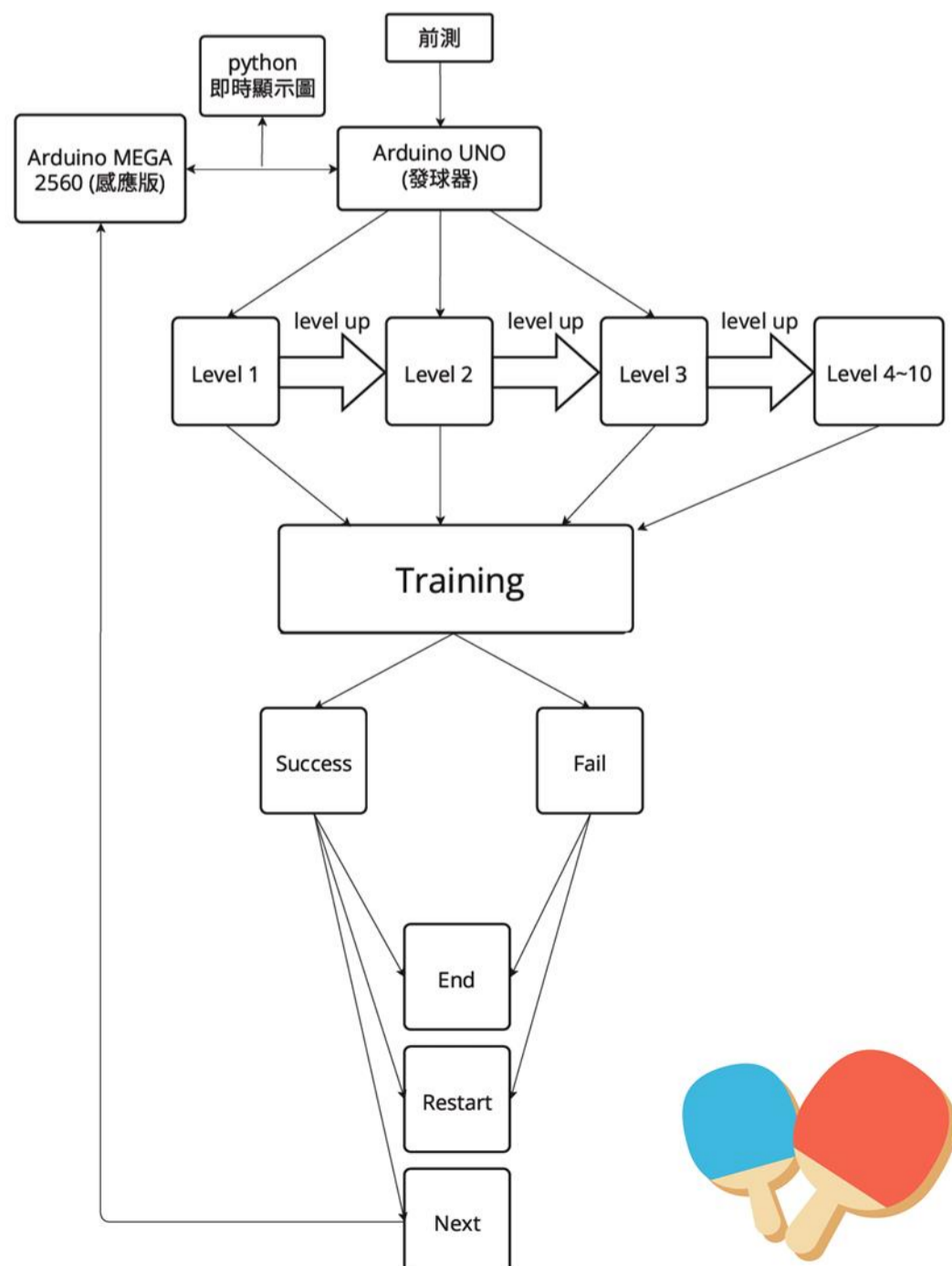
級數 (Level)	比賽階級	程度說明	訓練說明
前測		中臺 B、E、H 定點 25 顆空球。	進球率 0-50% Lv.1 進球率 50-80% Lv.2 進球率 80-100% Lv.3
1	新手階 (球齡 1 年內，對規則、場地、發力皆不熟悉)	剛接觸桌球學會比賽規則與比賽禮儀	B、E、H 定點餵球，進球成功率達 50% 以上
2		中臺空球來回 10 拍，發球有 50% 成功率	B、H 定點餵球分別打進 10、11、13、14 與 2、3、5、6 位置達 65% 以上
3		定點有 50% 可打進後臺，發球有 90% 成功率	B 定點打進 14 位置、H 定點打進 3 位置，成功率達 90%。
4	初階 (球齡 1-3 年，一般零打初階)	清楚正確握拍，空球可定點打進，會基本擋球，但正反轉拍不順暢。	B、H 隨機發球分別打進對角線 10、11、13、14 或 2、3、5、6 位置，成功率 80% 以上。
5		清楚正確握拍，略懂基本腳步，基本球路在非受迫時有一定表現。	B、H 隨機發球分別打進對角線 14 或 3 位置，成功率 80% 以上。
6	初中階 (球齡 3-5 年，一般零打中下)	清楚正確握拍，略懂基本腳步，並懂得基本輪轉但不熟悉，已開始會拉球與切球，非受迫時移動長球可是對角線後場。	B、H 輪流發球，擊球一組對角、一組直線打中 3 號或 14 號位置，成功率達 80%。
7		空球、拉球、切球不論定點或移動有一定穩定性，擊球成功率達 70%，已有基本防守能力但無變化。	B、H 固定發球，打進隨機的指定位置 3 或 14 位置，成功率達 80%。
8	中階 (球齡 5-10 年，一般零打中階)	有基本戰略及打點，熟悉輪轉概念，空拉切均有 70% 以上準確性，防守有變化。	B、H 隨機發球打進隨機的指定位置 3 或 14 位置，成功率達 80%。
9		空拉切有 80% 以上準確性與質量，發球有長短左右變化，防守手有一定程度變化與穩定性。	B、C、H、I 隨機發球打進隨機的指定位置 3 或 14 位置，成功率達 80%。
10	中進階 (球齡 10 年以上，)	輪轉概念熟悉並活化運用，策略性戰略及打點能有效得分。	隨機發球，打隨機位置，成功率達 80% (弱項訓練)

### 使用者回擊落點分析(受試者實測)



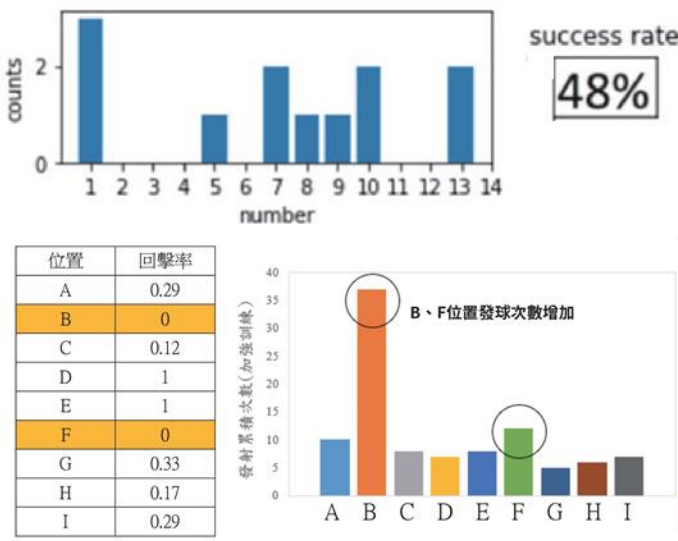
落點編號	電池電壓 (V)	電容(μF)	充電時間 (s)	水平角度
A	36	4700	1	-20°
B	36	6800	1.3	-20°
C	36	10000	2	-20°
D	36	3300	1.3	0°
E	36	4700	1.3	0°
F	36	10000	1.5	0°
G	36	4700	1	+20°
H	36	6800	1.3	+20°
I	36	10000	2	+20°

### 專家系統 級數判程式循環圖

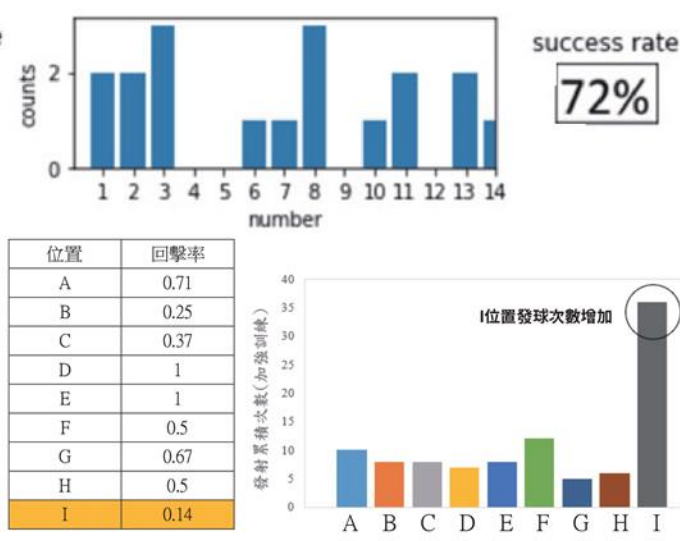




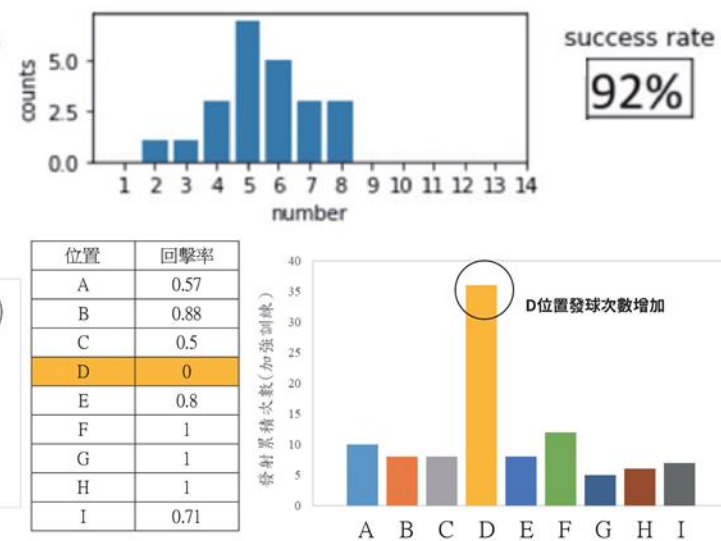
### 受試者甲實測



### 受試者乙實測



### 受試者丙實測

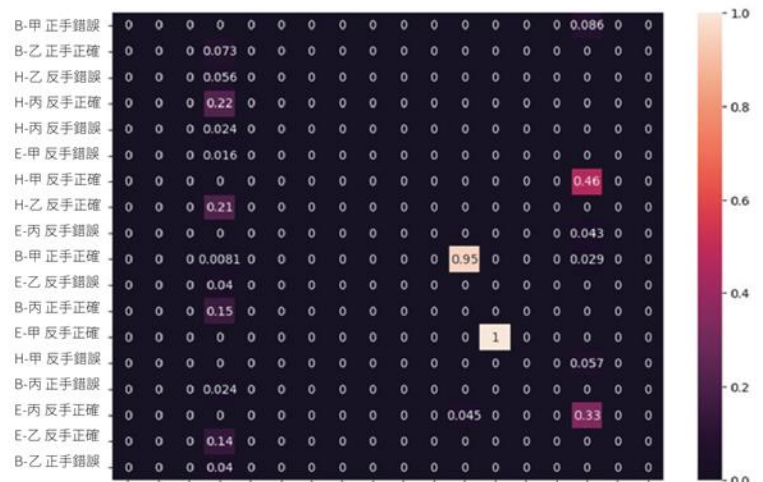
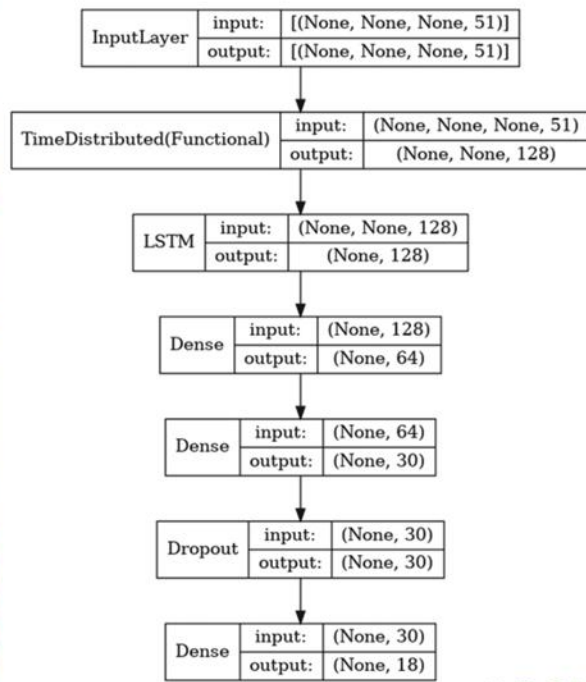


★ 回擊率 =  $\frac{\text{使用者成功回擊次數}}{\text{發球機的發球總數}}$

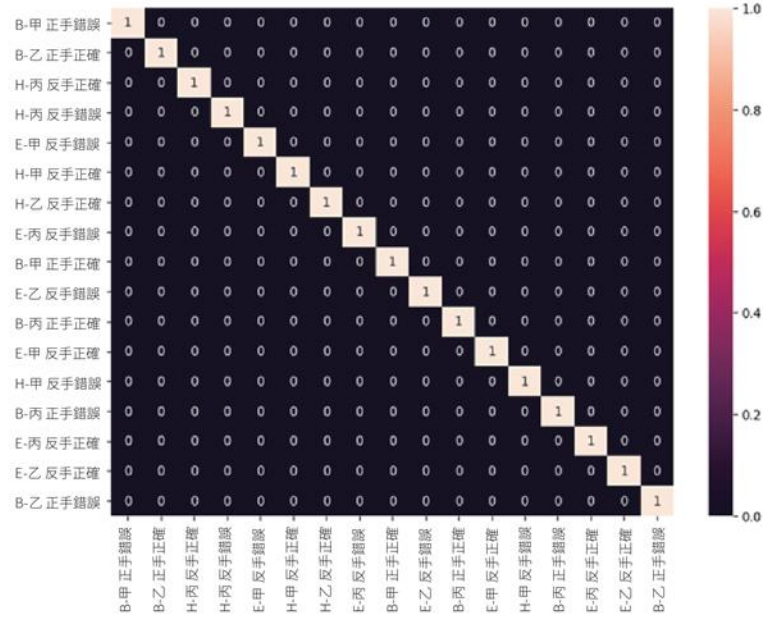
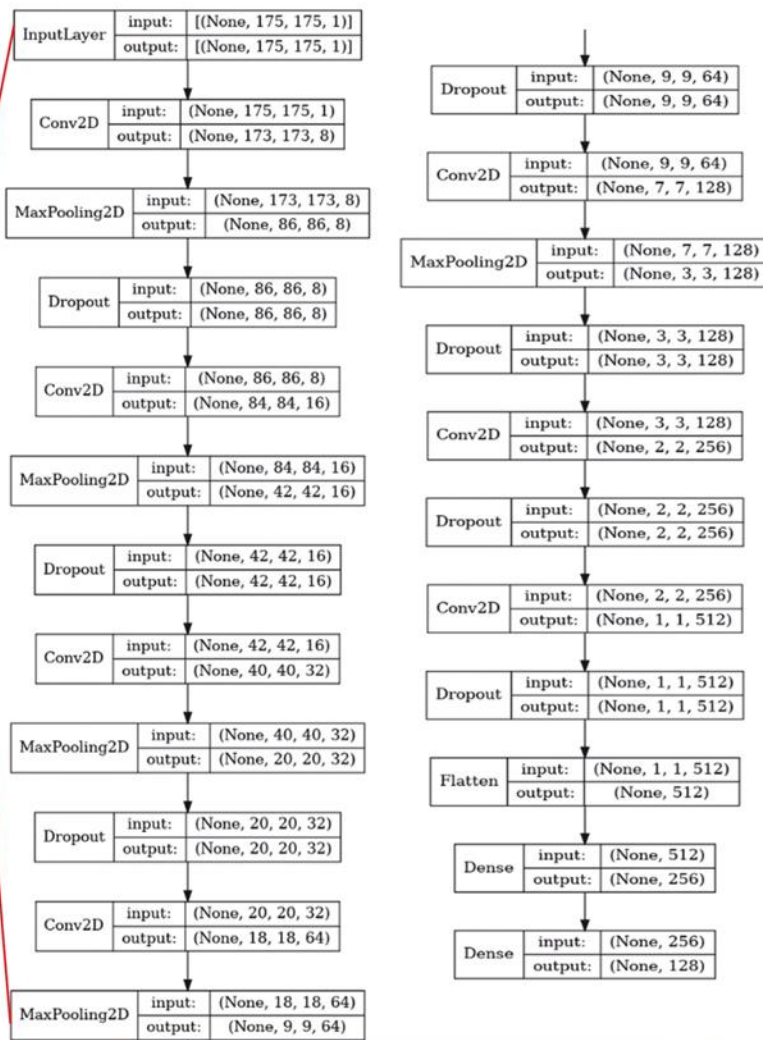
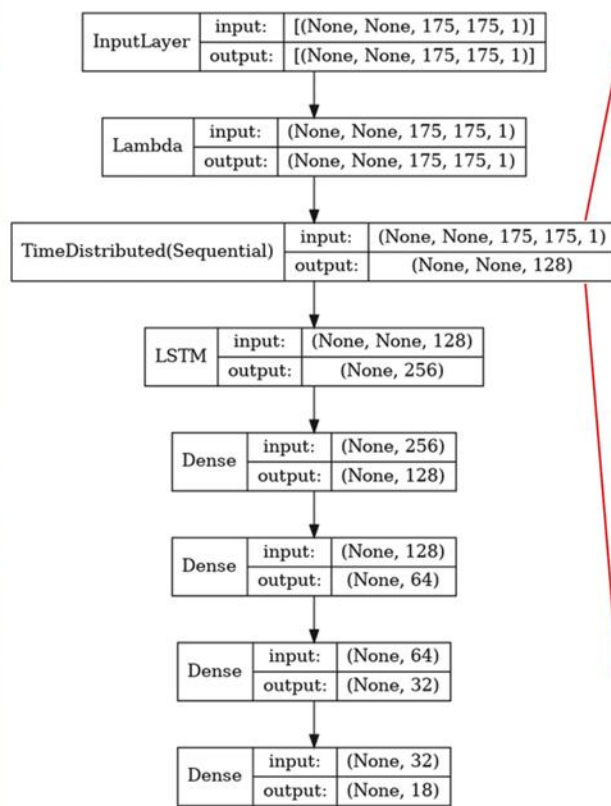
### 使用者回擊動作分析(人工智慧)



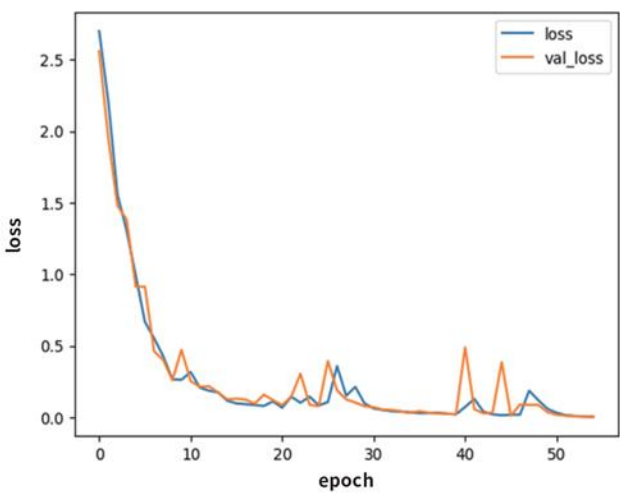
### YOLO訓練模型評估



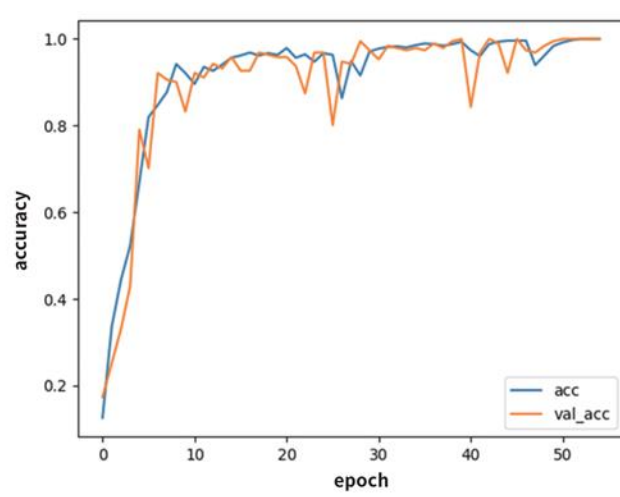
### LRCN訓練模型評估



### 模型訓練與測試loss折線圖



### 模型訓練與測試accuracy折線圖



### 陸、結論與未來展望

- 一、使用彈簧取代電磁鐵，若要使射擊強度增加，磁鐵在 12\*20 mm 時發射速率最大，以電壓 36V電磁線圈發射的最大速率可達 6.57 m/s，並使磁鐵貼齊線圈(即質心距離發射口0.5 cm)。
- 二、成功使用電磁線圈發射取代傳統馬達，使發球機不因溫度上升影響發射情形。
- 三、我們成功研製「自動化-結合Arduino程式控制和藍芽通訊技術的建立」、「智慧訓練-結合數據分析統計」、「專家系統建立、回擊動作分析」。

未來將持續由python 程式設計與TensorFlow開發機器學習環境，使系統不斷收集選手數據進行分析與AI反饋並調整發球模式讓選手精進自身弱項，協助訓練不同球路的擊球能力，進而提高獲勝的可能性。