

# 中華民國第 63 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 物理科

第三名

080109

「峰」芒「幣」露：從聲波判斷真、仿幣

學校名稱：臺北市大安區仁愛國民小學

作者：  小五 馮耀鋒  小五 劉峻睿	指導老師：  林美馨  姜懿珊
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：聲波、頻率、聲譜

## 摘要

近年來，仿幣氾濫的問題引發廣泛討論，日常生活中我們也曾經收過仿幣。本實驗利用真、仿幣的物理性質及聲音的波形來比較它們的差異，希望可以找出分辨真、仿幣的方法。我們測量了真、仿幣的體積、重量及密度，並且利用專業錄音室的電容式麥克風及音頻分析軟體來收集不同的真、仿幣敲擊相同金屬物體所產生的聲波波形。實驗結果發現：

- 一、物理性質：仿幣與真幣相比，直徑相似、厚度不一、重量較輕、密度有顯著差異。
- 二、聲波測試：在 8.5K(Hz)以上頻率，真幣具有相似的波形與峰值區間、仿幣峰值區間比同幣值真幣低。
- 三、聲波比其他物理性質更能鑑別真幣和仿幣。

## 壹、前言

### 一、研究動機

有一天我和朋友到球場邊的販賣機買飲料，結果從販賣機找回來的零錢竟然像遊樂園的代幣！我們詢問販賣機廠商是否可以換回真幣，並了解如何分辨真幣。原來販賣機是利用錢幣的滾動速度和渦電流來辨別質量和材質，篩選出真幣，顯然這並不是最有效的辨識方法。基於好奇心，我們進一步上網查詢是否有其他方法可以辨別真幣和仿幣？

從網路資料發現，日本東京都刑事偵查實驗室曾經利用聲波來檢視日幣的真假。老師引導我們利用教科書：康軒版五下第四單元「聲音與樂器」，得知不同的物體相互敲擊會產生不同的音色，而聲音的音色與發聲物體的材質有關，於是我們嘗試把收集來的代幣和真幣丟在地上，發現並不是每個錢幣都有清脆響亮的聲音，因此引發出我們想探討真幣與仿幣的聲波差異。

## 二、研究目的

- (一) 比較真幣與仿幣質量、體積與密度的差異。
- (二) 探討不同變因是否會影響聲波與峰值。
- (三) 透過聲波辨別真幣與仿幣的差異。

## 三、文獻回顧

### (一) 臺灣錢幣成分

臺灣的錢幣由中央造幣廠製造，在民國 38 年 8 月進行幣制改革，因應當時物價波動，開始發行新臺幣，並且以材質不易損壞的金屬鑄造（連啟元，2011）。

然而，錢幣組成的材質也會隨年代而改變。10 元錢幣首次在民國 70 年底發行，是由 75% 銅和 25% 鎳的金屬組成，重量 7.5 公克，正面為蔣公像。民國 100 年 1 月 11 日改版發行的成分不變，正面改為國父像。現在臺灣主要流通的 50 元錢幣則是在民國 81 年首次發行，當時由 70% 銅、24.5% 鋅和 5.5% 鎳組成，重量 8.25 克，為梅花像。民國 91 年以後改成 92% 銅、2% 鎳和 6% 的鋁製成，重量達到 10 公克，正面為國父像（中央銀行券幣數位博物館，2018）。本實驗採用流通較廣泛的十元硬幣及五十元硬幣作為樣本，探討不同年份，相同幣值的錢幣聲波是否有差異。

### (二) 聲音辨識原理和技術應用

自然頻率是指一個物體或系統在沒有外力作用下，由其自身的特性所決定的固有振動頻率。這個頻率是系統內部結構和特性的固有屬性，與外界的作用無關。例如，一根懸掛在固定點的彈簧，當沒有外力作用時，它會在特定頻率下自由振動，這個頻率就是它的自然頻率（潘家發，1986；鮑亦興，1971）。

物體受到外力強迫振動時，系統會被激發到共振狀態，振幅會不斷增大，達到最大值。這是因為外力的頻率與系統的自然頻率相匹配，使得能量在系統中得到最有效的傳遞和累積。最終表現出來的振動情形僅為某些特定頻率，而這些特定頻率就稱作共振頻率。在不同形狀、材質的情況下，每件物體所表現的共振頻率都不相同，共振檢測法就是依據量測物體被激發的共振頻率的的不同，來判斷該物體是否為正常品（馮珮宣，2017）。Wang et al.（2004）利用

共振檢測法，探討不同實驗狀態下與共振頻率的關係，不同重量、密度、蛋殼強度、裂痕與否皆會明顯改變共振頻率。而敲擊位置、檢測位置、敲擊力道、敲擊的材料並不會顯著影響共振頻率。

任何物體敲擊其他物質或者相同物體互相敲擊，都會產生自然頻率和共振，同時研究證實敲擊不同物質會有不同聲波和頻率樣態。因此，聲音雖然看不見，仍可以利用聲波的差異來分辨敲擊物。知識通訊評論（2008）指出日本曾嘗試利用硬幣敲擊黃銅後所擷取的聲音峰值來辨別真幣和仿幣。

### （三）圓形平板的自然頻率影響

1809 年德國科學家克拉德尼(E.E.F.Chladni)提出他在聲學的新發現－克拉德尼平板振盪：他均勻的將細砂撒在一個平板上，然後用小提琴的弓在平板的邊緣摩擦，使平板產生特定頻率的振動。此時可觀察到細砂會隨著振盪不斷跳動，直到落在穩定的節線並形成美麗的圖案，應用在圓形平板上的平板振盪，亦可產生此效果，如圖 1-1 所示。隨後，Avalos(1989)提出圓形平板在振盪時的自然頻率 $f_{ns}$ ，本實驗推論硬幣在振動過程，不會有顯著形變量的變化，因此浦松比(Poisson's ratio)  $\nu$ 和楊氏係數(Young's modulus)  $Y$ 可以當作固定的常數項。而會影響硬幣自然頻率 $f_{ns}$ 的物理參數有硬幣厚度  $h$ 、硬幣的半徑  $a$ 、硬幣的密度  $d$ 。(圓形平板公式詳見附錄一 p.29)

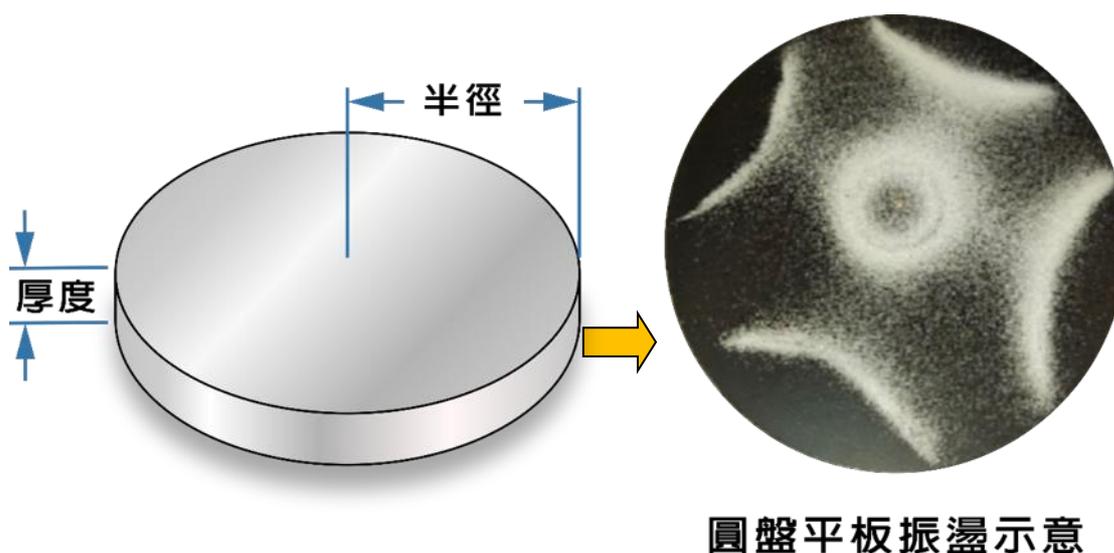


圖 1-1 圓形平板振盪示意圖

#### (四) 聲音的三要素

聲音的三要素為：響度、音調和音色。響度是指聲音的強弱，與振幅有關，以分貝 (dB) 來表示；音調是指聲音的高低，和「頻率」有關，頻率越高，音調越高，以赫茲 (Hz) 表示；而音色是指聲音的獨特性，則與聲波形狀 (即波型) 有關。

聲波是由一個「基音」和多個不同頻率的「泛音」組成的複合波。不同形狀的複合波讓人感受到不同的音色。

在複合波裡，會出現許多高高低低的聲波，突然高起的部分第一個是基音，後面多個高起部分則是泛音。泛音振幅的頂點稱之為「峰值」，把一個聲音的峰值在坐標上連接起來，這條線就是這個音的頻譜曲線。圖 1-2 為 Kikuchi et al.

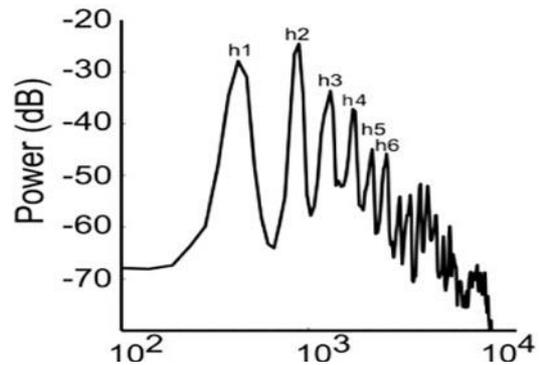


圖 1-2 由基音和泛音組成的頻譜曲線  
(資料來源：Kikuchi et al., 2014)

(2014) 研究獼猴的聲音頻譜曲線，h1 的位置是基音，h2 到 h6 則是泛音。

由於不同音色是由不同的基因與泛音所組成：我們利用自製的敲擊器，分別測試真幣中的主要金屬，例如：銅、鋁、鎳敲擊單一金屬所產生的基音、泛音及峰值，與混合金屬(真幣及仿幣)敲擊單一金屬所產生的基音、泛音及峰值是否有差異。

#### (五) 投幣機的運作原理

生活中很多活動會使用投幣機，例如：販賣機、車站售票機……等。不同機器採用的辨別方式有異，除了重量、質量和大小 (王立行等，2019；李詹然、賴德彰，1982)，也可以用電磁感應金屬產生電流的方式 (法拉第原理) 來辨別硬幣中的金屬成分是不是和真幣對應 (中央銀行，2004；黃致翰等，2018)。陳志銘 (2013) 將影像結合偵測聲音峰值的方式來檢驗硬幣做研究，提出可以加入此方式，提高偽幣的辨識度。本實驗將探討聲波峰值，藉此尋找可以增加販賣機真幣辨識度的方法。

## 貳、研究設備及器材

### 一、實驗用硬幣

為了進行研究，我們蒐集 6 個大小、形狀很像 10 元真幣的代幣，投進自動販賣機都可以被吃進去，以作為實驗用的 10 元仿幣；另外，我們還向親朋好友募集了 6 個因為買東西被商家拒收的 50 元真幣，作為實驗用的仿幣。下表 2-1 為實驗用的真幣和仿幣，以及用來確認的販賣機。

表 2-1 10 元和 50 元真幣和仿幣及確認設備

器材	數量	器材	數量	器材	數量
10 元真幣	30	50 元真幣	6	自動販賣機	1
10 元仿幣	6	50 元仿幣	6		
					
圖 2-1 10 元真幣與仿幣（正面）		圖 2-2 10 元真幣與仿幣（反面）		圖 2-3 50 元真幣與仿幣（正面）	
					
圖 2-4 50 元真幣與仿幣（反面）		圖 2-5 10 元特殊幣（正反面）		圖 2-6 自動販賣機	

## 二、參數測量器材

以下表 2-2 是我們用來測量真、仿幣物理性質所使用的器材。

表 2-2 10 元、50 元真幣與仿幣物理性質實驗使用設備及器材表

器材	數量	器材	數量	精確度
滴管	3	電子秤	1	$\pm 0.01\text{g}$
大、小量筒	各 3	游標卡尺	3	$\pm 0.02\text{mm}$
量杯	3			

## 三、聲音測量儀器與軟體

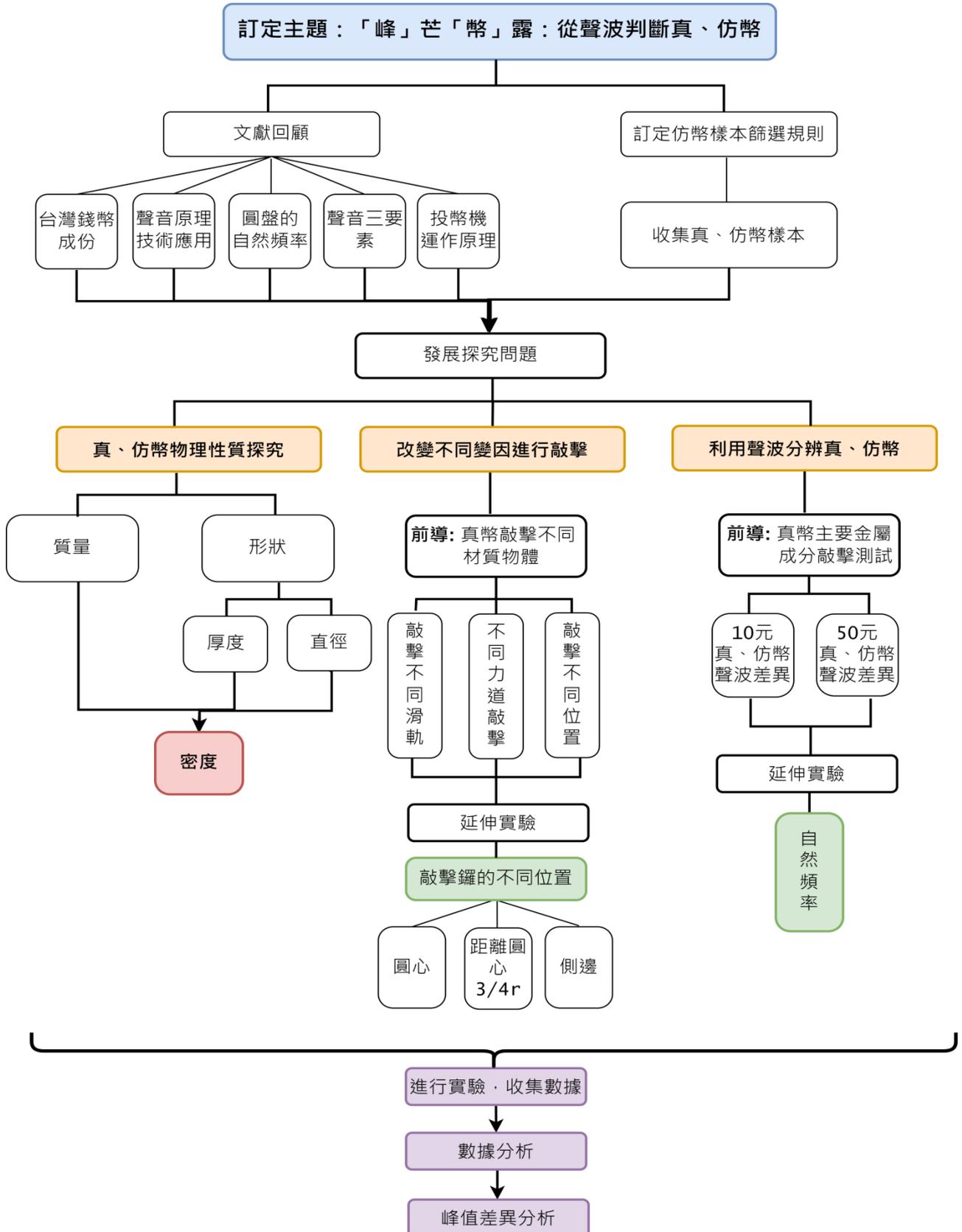
圖 2-7 是我們用來測量、搜集與分析真、仿幣聲波、頻率資料所使用的器材。



圖 2-7 真幣與仿幣聲波差異實驗使用設備及器材表

# 參、研究過程

## 一、研究流程



## 二、實驗一：真幣與仿幣物理性質探究

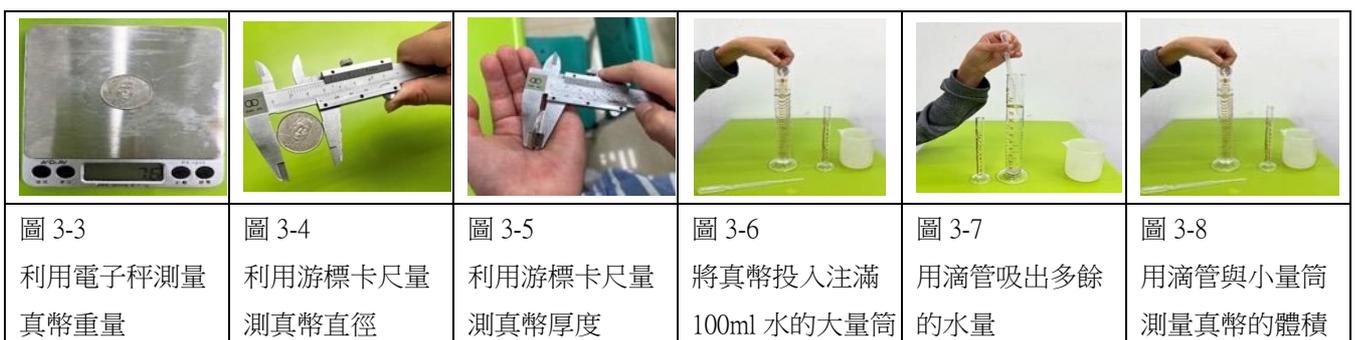
(一) 10 元與 50 元仿幣確認實驗步驟與過程：

1. 將 10 元仿幣投入一臺自動販賣機中(如圖 3-1)，確認是否可以通過機器檢測。
2. 仿幣被辨識為 10 元真幣後，則按退幣鍵取出(如圖 3-2)，反覆操作十次確認。
3. 分別更換其他 10 元、50 元仿幣，並重複步驟(一)和步驟(二)。



(二) 10 元、50 元真幣與仿幣基本性質實驗步驟與過程：

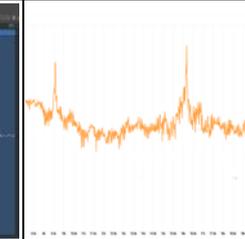
1. 利用電子秤分別測量出 2 枚 101 年 10 元真幣的重量(如圖 3-3)，再用游標卡尺測量他們的直徑與高度(如圖 3-4、圖 3-5)。
2. 大量筒裝水至 100ml，分別將 2 枚 101 年 10 元真幣投入量筒中，用滴管吸出超過大量筒 100ml 刻度的水，並裝入 10ml 的小量筒中，觀看小量筒的水量刻度，求其體積(如圖 3-6、圖 3-7、圖 3-8)。
3. 算出 2 枚 101 年 10 元真幣的密度。
4. 依序更換連續十年(101 年~110 年)的 10 元真幣、間隔十年(74、84、94、104 年)、不同花色(98、99、100 年)各兩枚 10 元真幣、五枚 10 元仿幣、6 枚 50 元真幣與 6 枚 50 元仿幣，重複步驟 1 至步驟 4，並將結果記錄下來。



### 三、實驗二：改變不同變因進行敲擊測試實驗

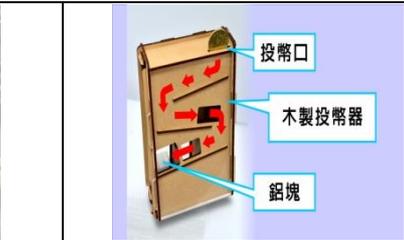
(一) 前導實驗－10元真幣敲擊不同材質之聲波差異步驟與過程：

1. 將麥克風固定於壓克力滑軌正前方 10 公分處收音。(如圖 3-9)
2. 取 110 年 10 元真幣一枚，投入自製滑軌，擷取真幣敲擊鋁塊之聲波，(如圖 3-10) ，  
反覆測試 10 次，並擷取 8.5K(Hz)以上聲波做記錄(如圖 3-11、3-12)。
3. 更換不同材質(鐵塊、銅塊、木塊、壓克力塊)(如圖 3-13)，重複步驟 1 和步驟 2。

				
圖 3-9 收音距離麥克風 10 公分	圖 3-10 真幣投擲示意圖	圖 3-11 將敲擊後的聲音 錄製下來	圖 3-12 用音頻分析軟體 轉換成頻譜圖	圖 3-13 更換不同材質

(二) 敲擊不同滑軌測試實驗步驟與過程：

1. 將麥克風固定於木頭滑軌前方 10 公分處收音。
2. 將 10 元(110 年)硬幣投進木製滑軌，敲擊下方金屬塊，反覆測試 10 次，並擷取  
8.5K(Hz)以上聲波做記錄 (如圖 3-14、3-15)。
3. 更換成壓克力製滑軌，並重複以上步驟 1、2。

		
圖 3-14 硬幣投入木製滑軌	圖 3-15 硬幣滑動路徑	圖 3-16 壓克力滑軌

(三) 不同敲擊力道實驗步驟與過程：

1. 將麥克風固定於鋁塊前方 10 公分處收音。
2. 用手拿 10 元硬幣，分別從距離鋁塊 10 公分、20 公分處，讓錢幣自由落下敲擊鋁塊，反覆測試 10 次，並擷取 8.5K(Hz)以上聲波做記錄 (如圖 3-17、3-18)。



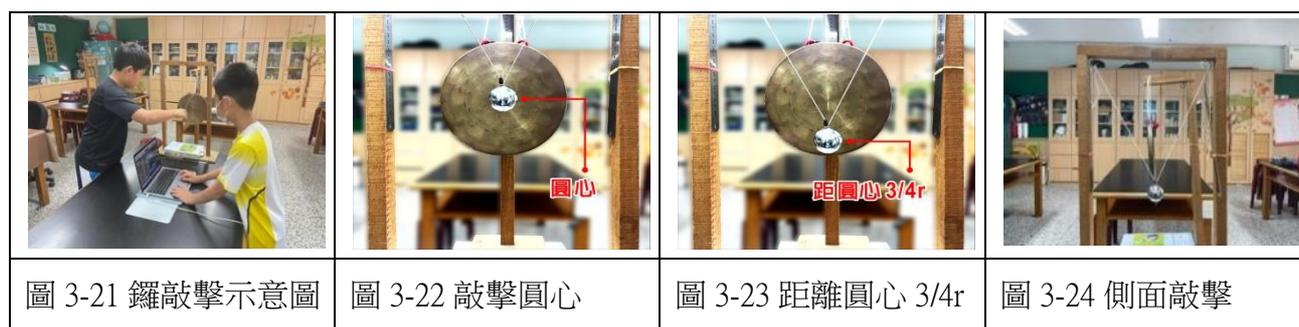
(四) 敲擊不同位置實驗步驟與過程：

1. 將麥克風固定於壓克力滑軌前方 10 公分處收音。
2. 將 10 元(110 年)硬幣投進壓克力滑軌，敲擊下方鋁塊，並讓錢幣維持站立，反覆測試 10 次，並擷取 8.5K(Hz)以上聲波做記錄 (如圖 3-19、3-20)。
3. 敲擊金屬後，錢幣呈現平躺於金屬塊上，並重複以上步驟 1、2。



(五) 延伸實驗－利用鑼模擬不同位置之敲擊實驗步驟與過程：

1. 將麥克風固定於鑼正前方 10 公分處收音。
2. 實驗裝置如圖 3-21 所示，將銅鑼視為一個大硬幣，把不鏽鋼球拉高 15 公分放下後分別使其敲擊銅鑼圓心、離圓心 3/4 半徑處及側邊，各個敲擊位置反覆測試 10 次，並擷取 8.5K(Hz)以上聲波做記錄(如圖 3-22、3-23、3-24)。



#### 四、實驗三：利用聲波分辨真仿幣實驗

##### (一) 前導實驗－主要金屬成分敲擊測試實驗步驟：

1. 將麥克風固定於壓克力滑軌正前方 10 公分處收音。
2. 將與 10 元硬幣大小一樣鎳幣、銅幣、鋁幣分別投入自製壓克力滑軌，測試 10 次，並擷取 8.5K(Hz)以上聲波做記錄。

##### (二) 10 元真幣與仿幣聲波差異實驗步驟：

1. 將麥克風固定於壓克力滑軌正前方 10 公分處收音。
2. 取 110 年 10 元真幣一枚，投入壓克力滑軌，擷取真幣敲擊鋁塊之聲波，反覆測試 10 次，並擷取 8.5K(Hz)以上聲波做記錄。
3. 將 110 年 10 元真幣依序更換為連續十年(101 年-110 年)、間隔十年(74、84、94、104 年)、不同花色真幣(98、99、100 年)的真幣各 2 枚、10 元仿幣 6 枚，重複步驟 1 和步驟 2，將聲波記錄下來。

##### (三) 50 元真幣與仿幣聲波差異實驗步驟：

1. 將麥克風固定於壓克力滑軌正前方 10 公分處收音。
2. 取 92 年 50 元真幣一枚，投入壓克力滑軌，擷取真幣敲擊鋁塊之聲波，反覆測試 10 次，並擷取 8.5K(Hz)以上聲波做記錄。
3. 將 92 年 50 元真幣依序更換為連續 50 元真幣與 50 元仿幣各 6 枚，重複步驟 1 和步驟 2，將聲波記錄下來。

##### (四) 延伸實驗－錢幣的自然頻率實驗與過程：

1. 將麥克風固定於棉線裝置前方 10 公分處收音。
2. 將 10 元真幣互敲，反覆測試 10 次，擷取 8.5K(Hz)以上聲波做記錄(如圖 3-25)。
3. 重複步驟二，將 10 元真幣替換成 50 元真幣做實驗。



圖 3-25 10 元真幣互撞

## 肆、研究結果

### 一、實驗一：真幣與仿幣物理性質探究

#### (一) 10 元與 50 元仿幣確認實驗

1. 將 6 枚 10 元仿幣投入自動販賣機後，仿幣全數被販賣機接受，通過檢測，因此可作為後續實驗樣本。
2. 將 6 枚 50 元仿幣投入自動販賣機後，仿幣全數被販賣機拒絕，無法通過檢測，因此可作為後續實驗樣本。

#### (二) 10 元、50 元真幣與仿幣基本性質實驗

統計真幣間隔十年、連續十年基本性質資料如下表 4-1，可以發現真幣的直徑、厚度沒有隨時間改變而不同，而質量在 40 年的間隔之下，沒有顯著的不同；仿幣的基本性質不論是直徑、厚度、質量、體積差異都比真幣大。

表 4-1 10 元真、仿幣基本性質統計表

10 元	直徑(mm)	高;厚度(mm)	質量(g)	體積(cm <sup>3</sup> )	密度(g/cm <sup>3</sup> )
間隔十年	26.00±0.01	1.85±0.01	7.49±0.08	0.84±0.01	8.89±0.08
不同花色	26.00±0.01	1.85±0.01	7.51±0.02	0.85±0.01	8.81±0.09
連續十年	26.00±0.01	1.85±0.01	7.53±0.03	0.85±0.01	8.87±0.08
真幣	26.00±0.01	1.85±0.01	7.51±0.04	0.85±0.01	8.86±0.08
仿幣	26.04±0.05	1.76±0.02	7.30±0.18	0.81±0.02	9.02±0.10

統計 50 元真幣基本性質資料如下表 4-2，可以發現真幣的直徑、厚度、質量與體積差異不大；仿幣的基本性質，直徑、質量、體積差異都比真幣大，且厚度、質量與體積均明顯小於真幣。

表 4-2 50 元真、仿幣基本性質統計表

50 元	直徑(mm)	高;厚度(mm)	質量(g)	體積(cm <sup>3</sup> )	密度(g/cm <sup>3</sup> )
真幣	28.00±0.01	2.41±0.04	9.93±0.04	1.28±0.02	7.77±0.10
仿幣	27.93±0.10	2.23±0.03	9.72±0.24	1.38±0.05	7.05±0.12

## 二、實驗二：改變不同變因進行敲擊測試實驗

### (一) 前導實驗－10元真幣敲擊不同材質之聲波差異實驗

以10元真幣分別敲擊木塊、銅塊、鋁塊、鐵塊與壓克力塊，搜集全頻段頻譜，再觀察8.5K(Hz)以上頻段。發現各材質與110年10元真幣敲擊後，出現3個峰值(圖4-1)，分別介於8.6K~9.3K(Hz)、9.4K~10.2K(Hz)與15.5K~16.5K(Hz)。由於不同材質本身會產生不同的共振頻率，因此波形也有所不同，但不影響硬幣敲擊後所產生的峰值，而鋁塊表現較為清晰可辨識，因此之後實驗的敲擊金屬，皆採用鋁塊。

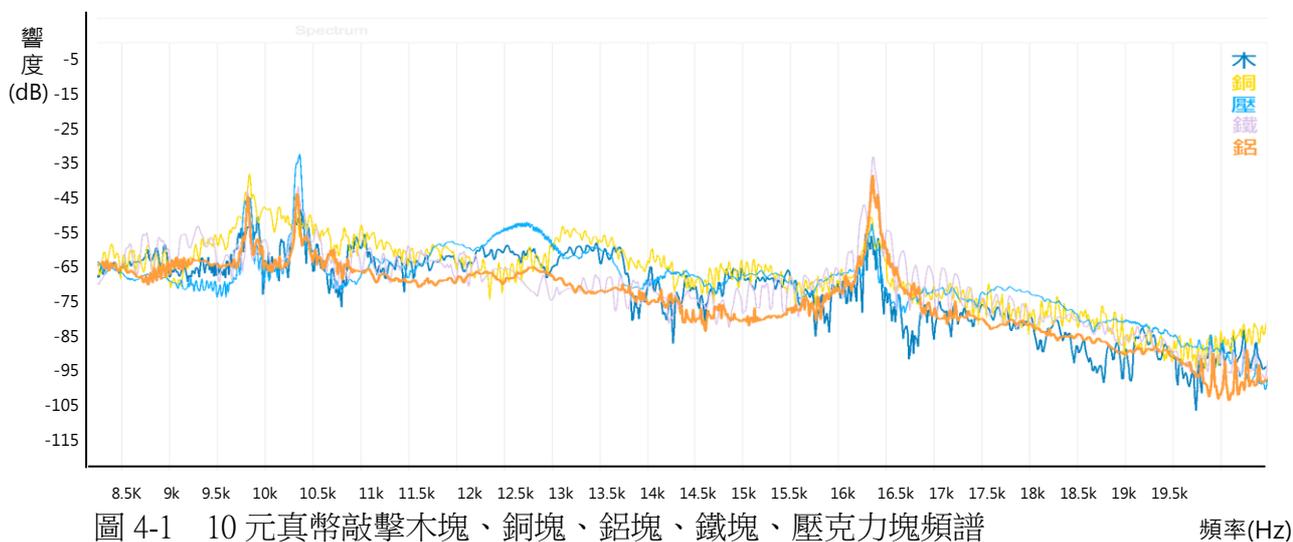


圖 4-1 10元真幣敲擊木塊、銅塊、鋁塊、鐵塊、壓克力塊頻譜

頻率(Hz)

### (二) 敲擊不同滑軌測試

以10元真幣(110年)分別利用木製與壓克力製滑軌敲擊鋁塊，搜集全頻段頻譜，再觀察8.5K(Hz)以上頻段。發現兩個滑軌均出現3個峰值(圖4-2)，且分別介於8.6K~9.3K(Hz)、9.4K~10.2K(Hz)與15.5K~16.5K(Hz)。受到材質的影響，壓克力滑軌所收集到的峰值較清晰可辨識，因此之後實驗統一使用壓克力滑軌做為敲擊器材。

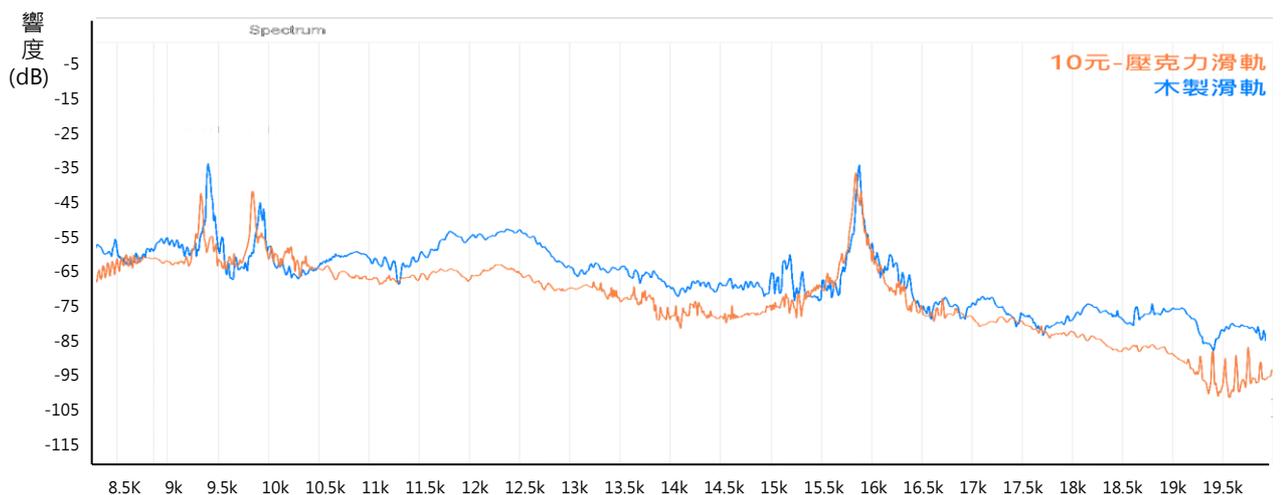


圖 4-2 10 元真幣使用木製與壓克力製滑軌敲擊鋁塊頻譜

### (三) 不同敲擊力道實驗

以 10 元真幣(102 年)分別在高度 10cm(輕力道)與高度 20cm(重力道)敲擊鋁塊，搜集全頻段頻譜，再觀察 8.5K(Hz)以上頻段。發現兩次敲擊並不會改變峰值區間(圖 4-3)，均出現 2 個峰值，其頻段分別介於 9.4K~10.2K(Hz)與 15.5K~16.5K(Hz)。而兩次敲擊只會產生響度變化，重力道敲擊會出現高分貝的紀錄(圖 5-3)。

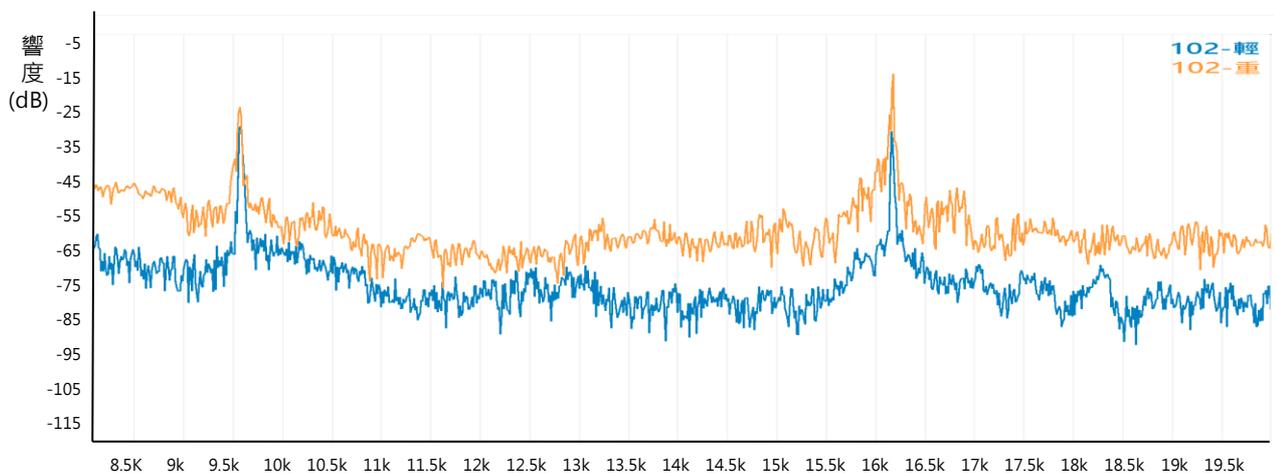


圖 4-3 10 元輕、重力道敲擊頻率

### (四) 敲擊不同位置實驗

以 10 元真幣(110 年)用側面與正面敲擊鋁塊，搜集全頻段頻譜，再觀察 8.5K(Hz)以上頻段。發現不同位置敲擊雖然會產生不同聲波，但是從圖 4-4 卻可以發現，三個峰值高點均落在同一個區間，並沒有差別。

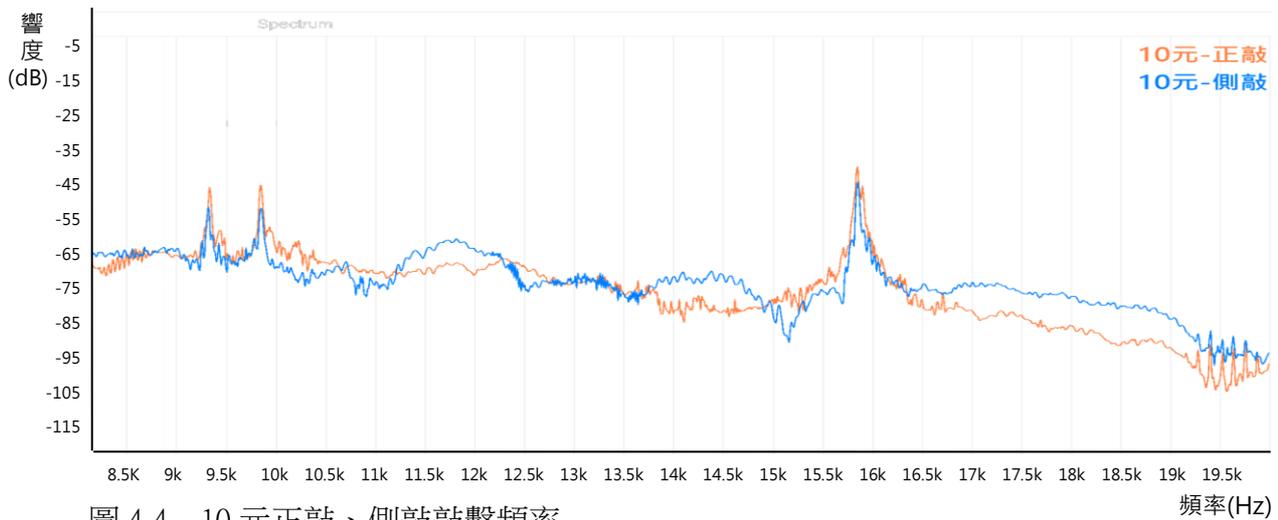


圖 4-4 10 元正敲、側敲敲擊頻率

### (五) 延伸實驗－利用鑼模擬敲擊不同位置

本實驗以鑼模擬錢幣，敲擊鑼圓心、距圓心  $3/4$  半徑處與側邊，搜集聲波並分析全頻段頻譜後，可以從圖 4-5 發現，敲擊位置不同，會出現不同型態聲波；但是擷取峰值卻發現三個不同位置的峰值並沒有明顯的差異。

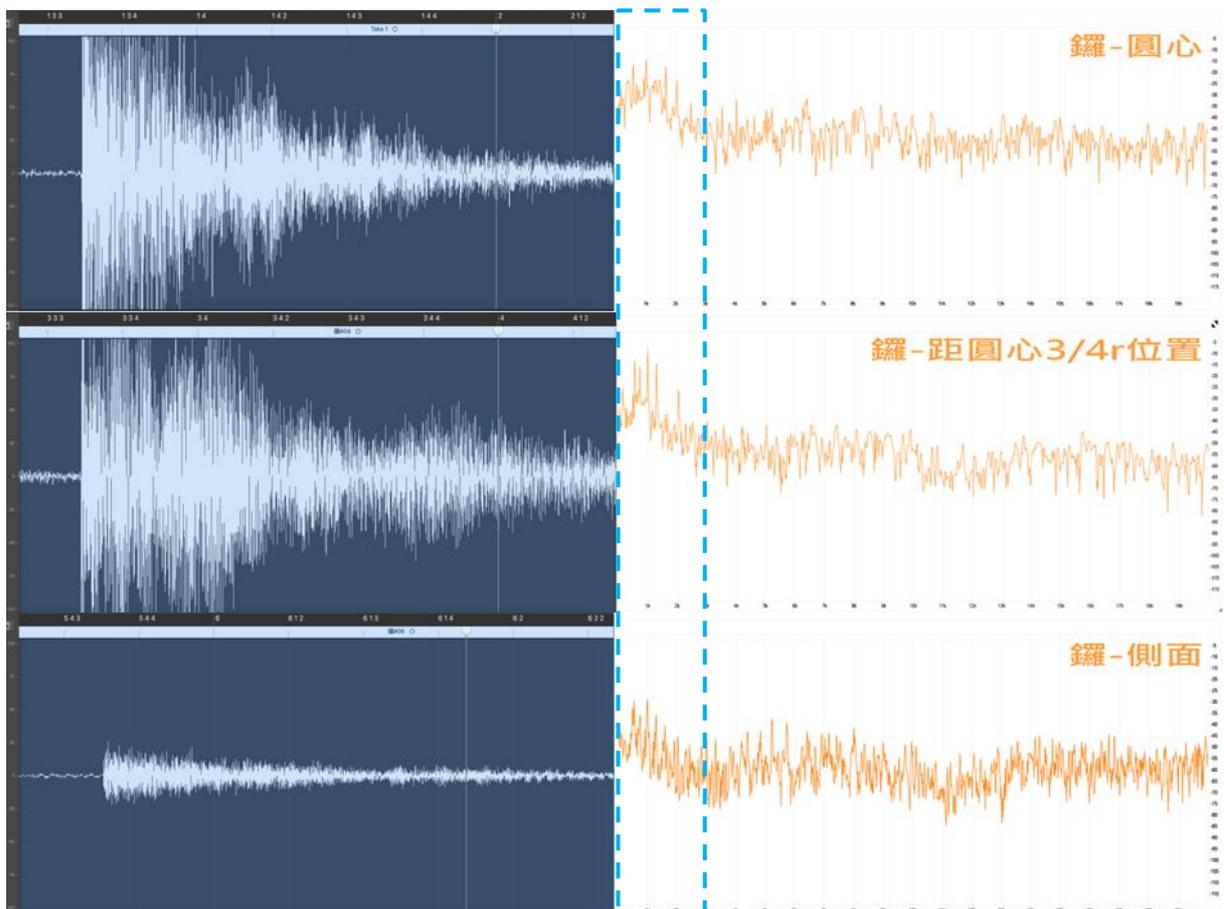


圖 4-5 敲擊鑼面圓心、圓心  $3/4r$  處與側面，並搜集音頻(左邊)與分析頻譜(右邊)

### 三、實驗三：利用聲波分辨真仿幣實驗

#### (一) 前導實驗－真幣主要金屬成分敲擊測試

訂製與 10 元直徑(26mm)和 50 元直徑(28mm)相同、厚度相仿(1mm)及(2mm)的銅幣、鎳幣與鋁幣，分別敲擊鋁塊後，再觀察 8.5K(Hz)以上頻段。由圖 4-6 與圖 4-7 可發現，真幣主要金屬成分(銅幣、鎳幣與鋁幣)的峰值型態，與真幣峰值型態有相似的地方(皆為 2 個峰值)，但是任何一個具有真幣主要成分的金屬，都無法完全符合真幣的峰值區間。所以，即使是具有相似成分的金屬，在不同大小、厚薄、密度下，峰值區間也都不相同，也顯示真幣峰值難以複製。

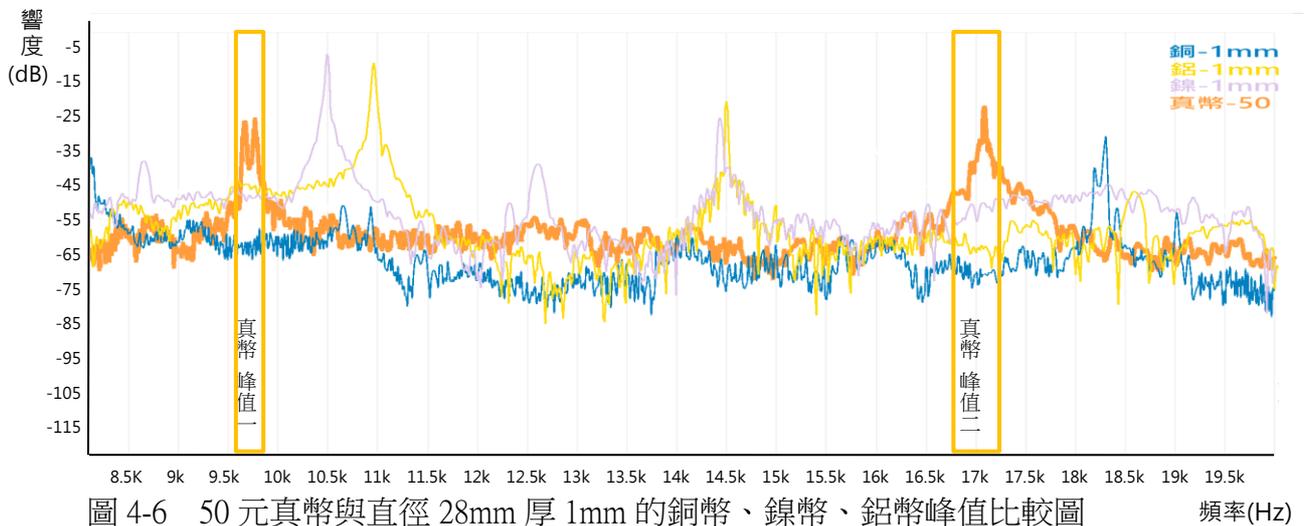


圖 4-6 50 元真幣與直徑 28mm 厚 1mm 的銅幣、鎳幣、鋁幣峰值比較圖 頻率(Hz)

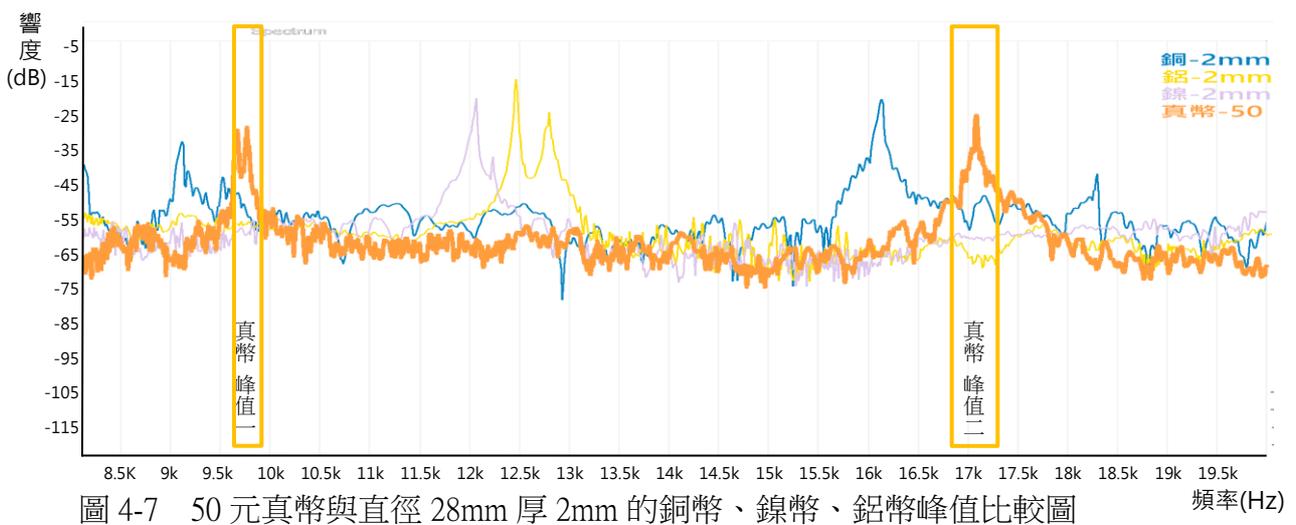


圖 4-7 50 元真幣與直徑 28mm 厚 2mm 的銅幣、鎳幣、鋁幣峰值比較圖 頻率(Hz)

## (二) 10 元真幣與仿幣聲波差異實驗

### 1. 連續十年 10 元真幣聲波測試結果

以連續十年 10 元真幣敲擊鋁塊，搜集全頻段頻譜，再觀察 8.5K(Hz)以上頻段，從圖 4-8 可以發現，101 年~102 年有 2 個峰值，其頻段分別介於 9.4K~10.2K(Hz)與 15.5K~16.5K(Hz)，而 103 年~110 年，除了 107 年為 2 個峰值外，其他年份則有 3 個峰值，分別介於 8.6K~9.3K(Hz)、9.4K~10.2K(Hz) 與 15.5K~16.5K(Hz)。

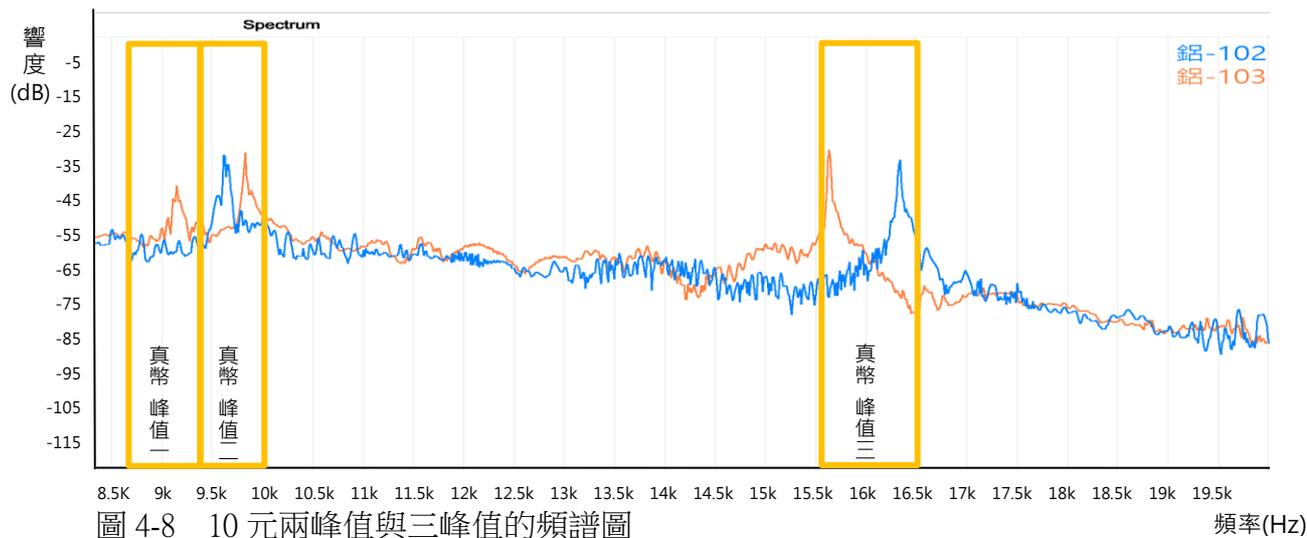


圖 4-8 10 元兩峰值與三峰值的頻譜圖

### 2. 間隔十年 10 元真幣聲波測試結果

以間隔十年 10 元真幣敲擊鋁塊，搜集全頻段頻譜，再觀察 8.5K(Hz)以上頻段，從圖 4-9 可發現，74 年、84 年、94 年都只有 2 個峰值，分別介於 9.4K~10.2K(Hz)與 15.5K~16.5K(Hz)，而 104 年則有 3 個峰值，分別介於 8.6K~9.3K(Hz)、9.4K~10.2K(Hz) 與 15.5K~16.5K(Hz)。

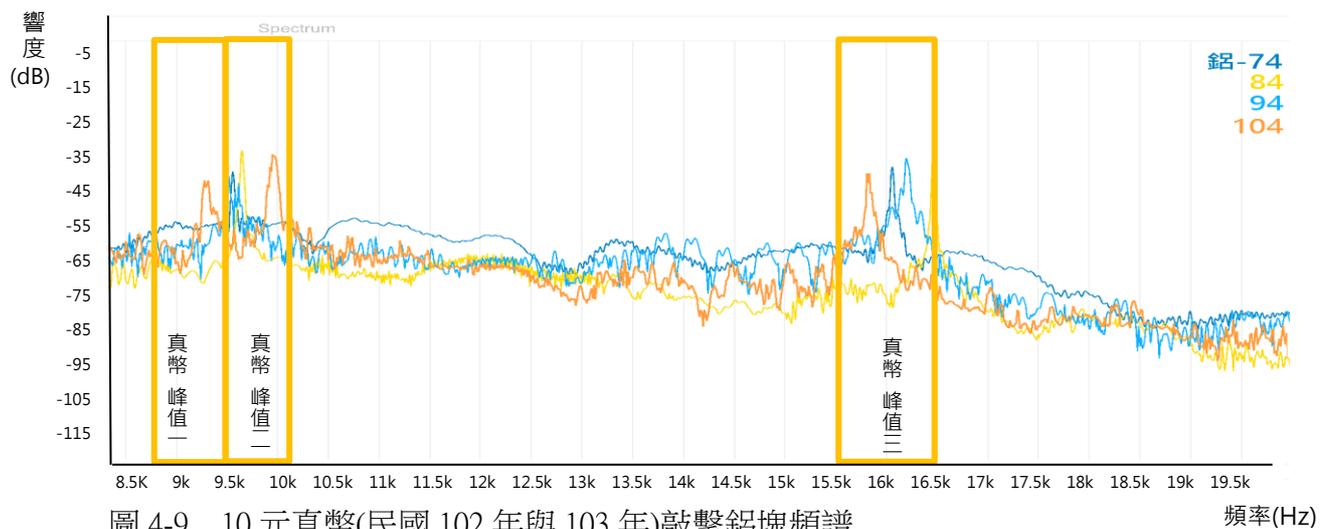


圖 4-9 10 元真幣(民國 102 年與 103 年)敲擊鋁塊頻譜

### 3. 不同花色 10 元真幣聲波測試結果

以不同花色 10 元真幣敲擊鋁塊，搜集全頻段頻譜，再觀察 8.5K(Hz)以上頻段。由圖 4-10 可發現，98 年、99 年與 100 年均有 2 個峰值，其頻段分別介於 9.5K~10.2K(Hz)與 15.5K~16.5K(Hz)。

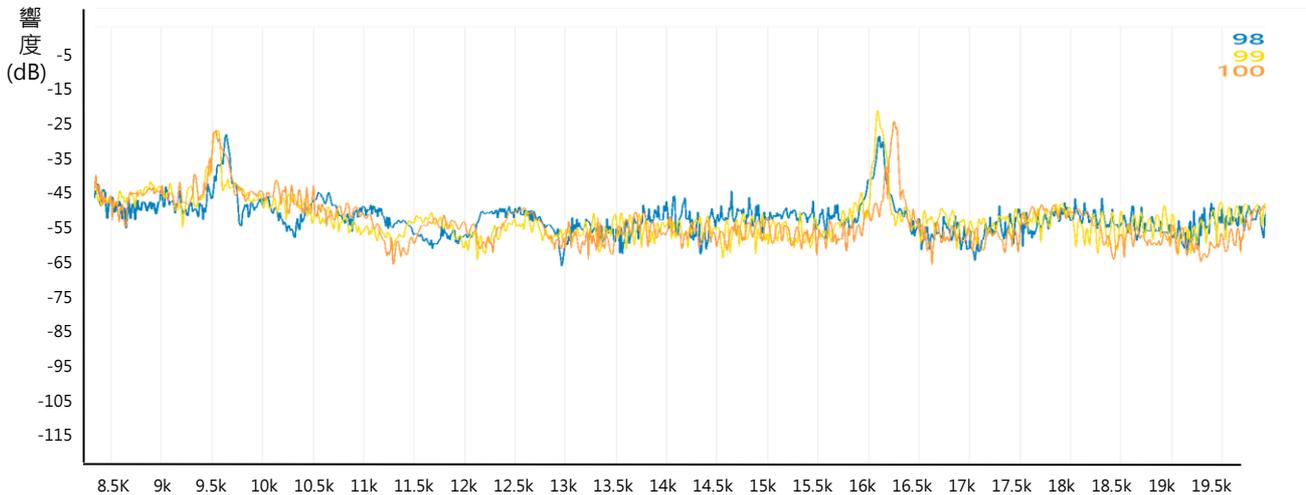


圖 4-10：不同花色 10 元真幣(民國 98 年、99 年與 100 年)敲擊鋁塊頻譜圖 頻率(Hz)

### 4. 10 元仿幣聲波測試結果

以 10 元仿幣敲擊鋁塊，搜集全頻段頻譜，再觀察 8.5K(Hz)以上頻段。由圖 4-11 可以發現，仿幣均有 2 個峰值，其頻段分別介於 9.6K (Hz)以下與 15.2K~16.4K(Hz)，且至少有一個峰值較真幣峰值區間為低。

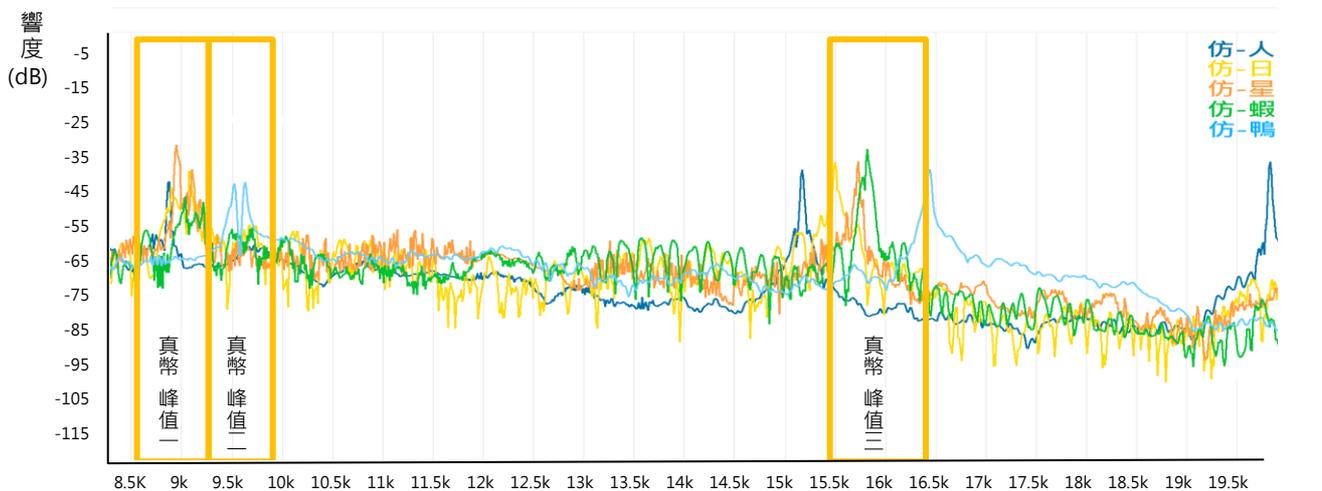
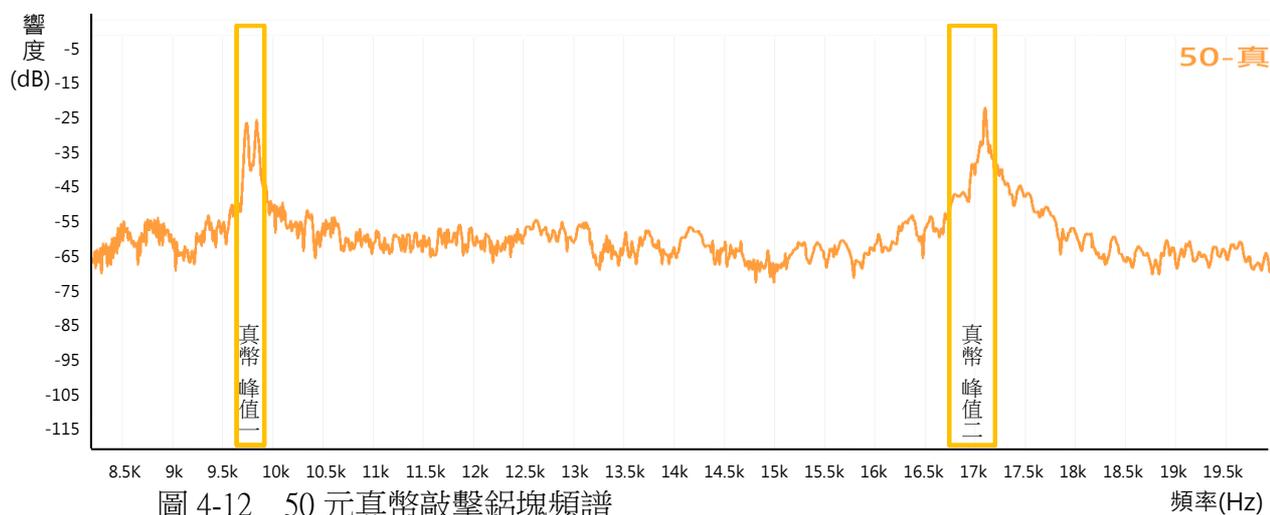


圖 4-11 10 元仿幣敲擊鋁塊頻譜 頻率(Hz)

### (三) 50 元真幣與仿幣聲波差異實驗

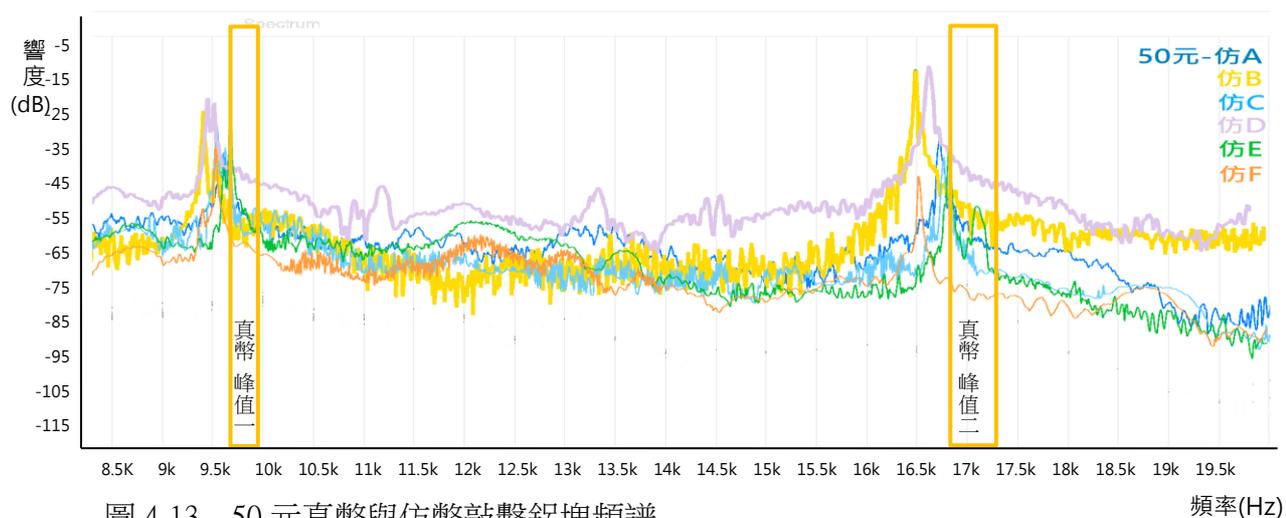
#### 1. 50 元真幣聲波測試結果

50 元真幣敲擊測試，先搜集全頻段頻譜，再觀察 8.5K(Hz)以上頻段。由圖 4-12 可發現，全部 50 元真幣有 2 個峰值，其頻段分別介於 9.7K~9.9K(Hz)與 16.8K~17.2K(Hz)。



#### 2. 50 元仿幣聲波測試結果

50 元仿幣敲擊測試，搜集全頻段頻譜，再觀察 8.5K(Hz)以上頻段。由圖 4-13 可發現，50 元仿幣均有 2 個峰值，其頻段分別介於 9.3k~9.7K 與 16.4K~16.8K(Hz)，且每一枚仿幣至少有一個峰值低於真幣。



#### (四) 延伸實驗－錢幣自然頻率實驗

利用兩個相同年份的 10 元硬幣，單獨敲擊鋁塊與相互敲擊，再觀察 8.5K(Hz)以上頻段。由圖 4-14 可發現使用滑軌敲擊鋁塊的峰值，與兩個相同年份 10 元硬幣相互敲擊所收集到的峰值，兩個之間並沒有明顯差異，峰值都落在同一個區間內。

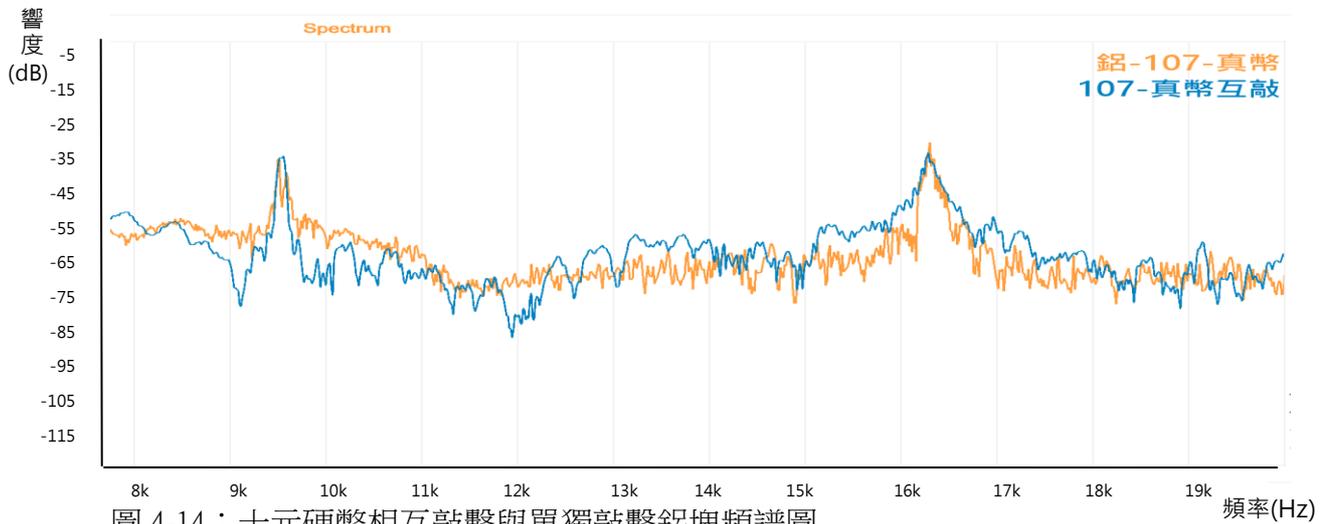


圖 4-14：十元硬幣相互敲擊與單獨敲擊鋁塊頻譜圖

## 伍、討論

### 一、真幣物理性質探究討論

#### (一) 日常生活中是否會拿到仿幣

1. 仿幣無法直接取得也不能買賣，只能間接透過我們自己日常生活、周遭親朋好友與同學誤拿到的仿幣搜集而來。
2. 目前主要流通於市面的自動販賣機主要是依硬幣的大小、重量辨識仿幣或以磁性波探測硬幣材質等方式來辨識仿幣，但如果遇到大小相同、材料相似的仿幣，販賣機就無法辨識(中央銀行全球資訊網，2004)。
3. 10元仿幣大多是從販賣機找零時取得，再經過實驗一確認，這些實驗用的仿幣，都會被販賣機誤認為10元真幣。
4. 一般販賣機較少有找零50元硬幣，所以在仿幣取得上，我們重點放在外觀與50元真幣類似，但商家有疑慮拒收的仿幣，再經過實驗二確認，這些外觀看起來像50元真幣的仿幣都被販賣機拒絕。

#### (二) 基本分辨真幣與仿幣的方式

觀察10元與50元真、仿幣基本物理性質如表5-1，可以發現仿幣的直徑與真幣差異僅 $\pm 0.2\%$ ，但是厚度則薄4.9%-7.6%，質量也少了2.2%-2.7%，換句話說，用手拿仿幣的時候，可以明顯感覺到仿幣比較輕跟薄。

表 5-1：真幣與仿幣物理性質差異

	10元			50元		
	真幣	仿幣	差異	真幣	仿幣	差異
重量(g)	7.50 $\pm$ 0.05	7.30 $\pm$ 0.18	-2.7%	9.93 $\pm$ 0.04	9.27 $\pm$ 0.24	-6.6%
體積(cm <sup>3</sup> )	0.86 $\pm$ 0.01	0.81 $\pm$ 0.02	-5.8%	1.28 $\pm$ 0.02	1.38 $\pm$ 0.05	7.8%
密度(g/cm <sup>3</sup> )	8.77 $\pm$ 0.09	9.02 $\pm$ 0.10	2.9%	7.77 $\pm$ 0.10	7.05 $\pm$ 0.12	-9.3%

### (三) 密度是否可以作為真幣與仿幣辨別的方法

從實驗中可以得知，10 元仿幣密度較真幣大 1.8%，而 50 元仿幣密度較真幣小 9.2%，由下圖 5-1 與 5-2 可以觀察到，真幣不論 10 元或 50 元的密度都比較集中，仿幣則相對較為分散。而真、仿幣之間密度有明顯的差異，可以做為判斷真、仿幣的方法，但在日常生活中，測量硬幣的質量、體積等數據的程序繁雜又費時，在測量過程中，受到錢幣較小的影響，也可能產生較大的誤差，所以密度雖然可以辨別真、仿幣，但不是一個快速與準確度高的辨識方式。

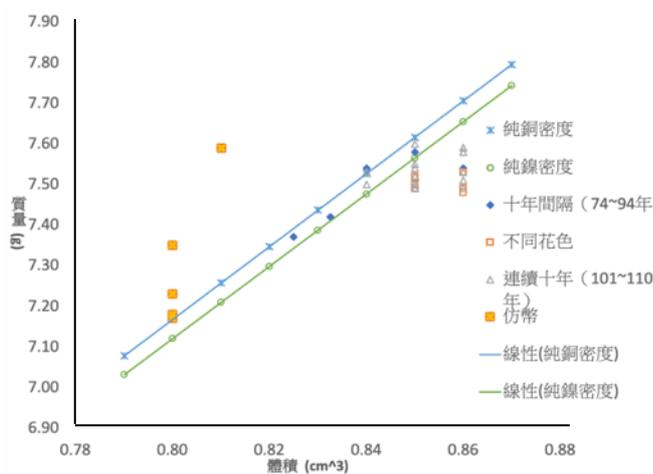


圖 5-1：10 元真幣仿幣的密度分佈圖

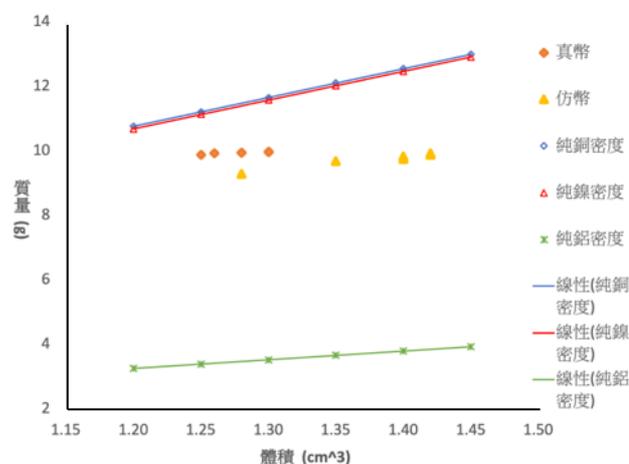


圖 5-2：50 元真幣仿幣的密度分佈圖

## 二、改變不同變因進行敲擊測試討論

### (一) 改變真幣敲擊材質是否產生不同的聲波

1. 10 元真幣敲擊不同材質，波形具有一致性，而且峰值都介於 8.6K~9.3K(Hz)、9.4K~10.2K(Hz) 與 15.5K~16.5K(Hz)三個區間內，沒有因為敲擊對象不同，而使得峰值區間有所改變。
2. 不同材質敲擊雖產生相同的峰值區間，但觀察每一次實驗結果，發現敲擊鋁塊的峰值表現最為清晰，所以我們最後統一選擇鋁塊，做為後續的敲擊實驗使用。

## (二) 改變真幣敲擊強度是否產生不同的峰值

我們測試不同投幣高度(10cm 與 20cm)，並利用不同高度，來模擬不同力道敲擊鋁塊。我們發現在不同的投幣高度下，真幣在 8.5K(Hz)以上頻率的峰值區間並沒有差異，不同力道只會使分貝 (dB) 數值增加或減少，也就是只會改變聲音的大小，所以敲擊力道不會影響聲波的峰值區間。

## 三、利用聲波分辨真仿幣實驗討論

### (一) 真幣主要金屬成分敲擊討論

不同金屬幣有不同的密度，銅幣密度  $8.96 \text{ g/cm}^3$ 、鎳幣密度  $8.91 \text{ g/cm}^3$ 與鋁幣密度  $2.7 \text{ g/cm}^3$ ，10 元硬幣密度  $8.77 \pm 0.09 \text{ g/cm}^3$ ，50 元硬幣密度  $7.77 \pm 0.10 \text{ g/cm}^3$ 。當金屬的大小、體積相同，密度不同，則敲擊後會產生不同頻率。而密度越大產生峰值頻率越小，反之，密度小的鋁幣可以產生最高頻的峰值，本實驗結果與附錄中所引用的圓形平板自然頻率公式相符。

### (二) 錢幣的自然頻率探討

當錢幣單獨敲擊鋁塊或者錢幣相互敲擊，兩個實驗之間並沒有明顯的差距，峰值都落在同樣的頻率區間內。根據我們查到的文獻，影響自然頻率的物理參數有硬幣厚度、硬幣的半徑與硬幣的密度，因此可以利用錢幣的自然頻率特性分辨真幣與仿幣。

### (三) 聲波是否可以用來分辨真幣與仿幣

#### 1. 10 元真幣與仿幣峰值的差異

我們統計連續十年(101 年~110 年)、間隔十年(74 年、84 年、94 年、104 年)、不同花色(98 年、99 年、100 年)十元真幣敲擊鋁塊的聲波資料(表 5-2)，發現在 8.5K(Hz)以上頻率，會固定出現三個峰值(9008 Hz、10038 Hz、15533 Hz；平均值)或兩個峰值(9603 Hz、16323 Hz；平均值)；10 元仿幣在 8.5K(Hz)以上頻率固定會出現兩個峰值(9503 Hz、16255 Hz；平均值)，以峰值二與三來看，仿幣的峰值都會低於真幣。

表 5-2：10 元真、仿幣各峰值高點平均數與標準差

十元峰值 (Hz)	峰值一	峰值二	峰值三
仿幣		9109±36	15743±13
真幣(103 年以前, 107 年)		9603±25	16323±19
真幣(103 年以後)	9008±17	10038±18	15533±17

## 2. 50 元真幣與仿幣峰值的差異

我們統計 50 元真幣敲擊鋁塊的聲波資料(表 5-3)，在 8.5K(Hz)以上頻率固定會出現兩個峰值(9757 Hz、16831 Hz；平均值)；50 元仿幣也出現相同的現象，在 8.5K(Hz)以上頻率固定會出現兩個峰值(9458 Hz、16292 Hz；平均值)，仿幣的峰值都會低於真幣。

表 5-3：50 元真、仿幣各峰值高點平均數與標準差

五十元峰值(Hz)	峰值一	峰值二
真幣	9757±23	16831±24
仿幣	9458±22	16292±12

## 3. 是否能用聲波峰值判斷仿幣

(1)由圖 5-3、圖 5-4 可看出，相同兩峰值的形態下，10 元真幣峰值區間較一致，10 元仿幣峰值區間間距則較大，且「第一到第三四分位」區間值低於真幣區間值；而圖 5-5、圖 5-6 顯示，50 元真幣峰值「第一到第三四分位」區間值，均高於仿幣「第一到第三四分位」區間值。

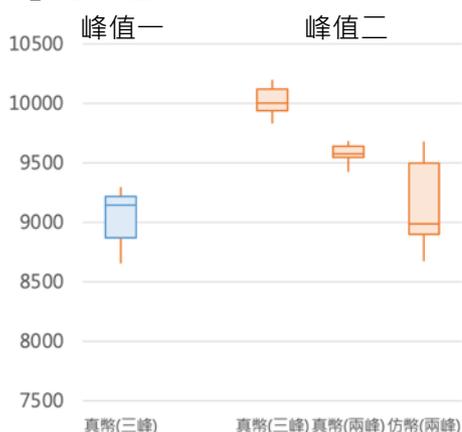


圖 5-3 10 元峰值一與峰值二誤差棒圖

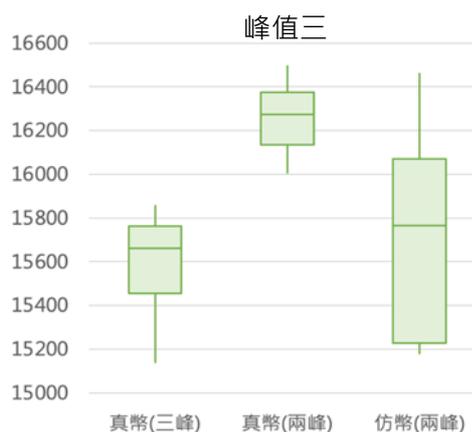


圖 5-4 10 元峰值三誤差棒圖

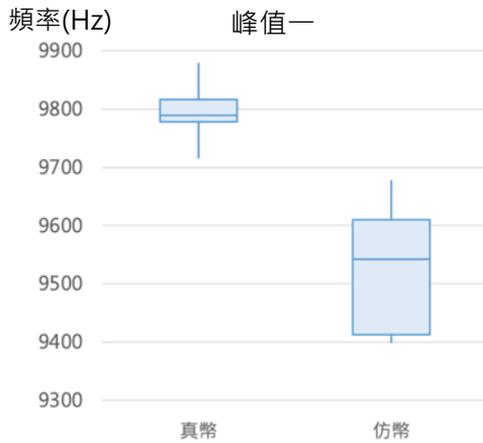


圖 5-5 50 元峰值一誤差棒圖

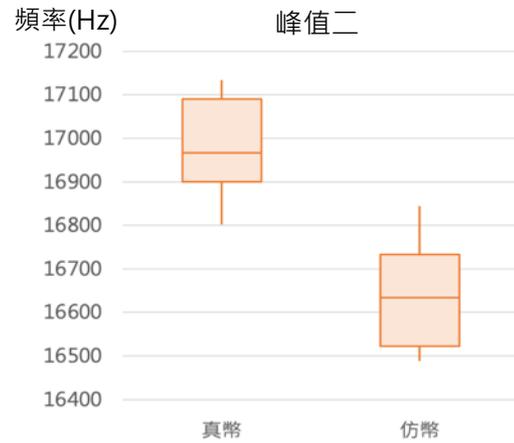


圖 5-6 50 元峰值二誤差棒圖

(2)我們統計 10 元與 50 元仿幣，在不同的峰值形態下，沒有任何仿幣的峰值全部落於相對應真幣基準值區間（真幣峰值三個標準差）(如圖 5-7)；10 元仿幣峰值 15.0%的樣本，至少有一個峰值落於相對應真幣基準值區間，50 元仿幣則為 85.0%；另外，83.3%的 10 元仿幣與 15.0%的 50 元仿幣峰值均較相對應基準值低。因此，我們可以利用真幣峰值三個標準差當作篩選仿幣門檻，硬幣只要有任一峰值不能滿足相對應真幣基準值，就可以懷疑該枚硬幣為仿幣。

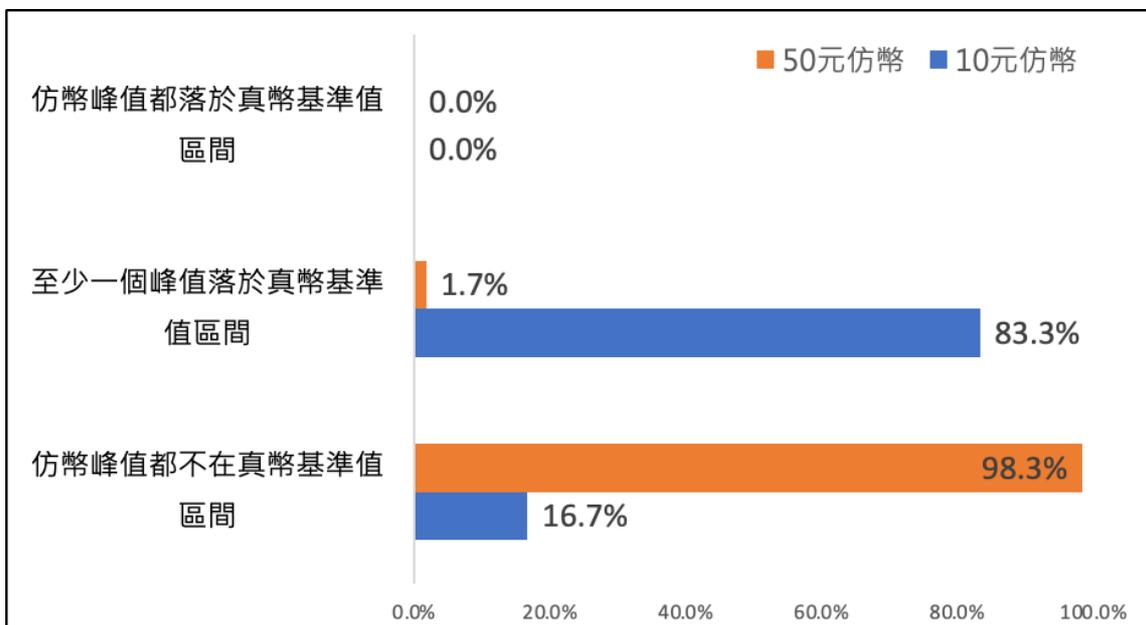


圖 5-7：10 元與 50 元仿幣峰值與基準值關係

## 陸、結論

本實驗藉由圓形平板振動的駐波原理發想，進一步測量不同變因對真、仿幣的聲波所產生的影響，我們發現雖然可以透過重量、體積、密度來分辨真、仿幣，但考量無法精確又快速取得密度數據，因此我們參考了圓形平板自然頻率的公式，**成功找出真幣和仿幣在聲波中顯著的峰值差異處**，驗證了聲波是快速、精準分辨真仿幣的好方法，以下是我們的結論：

### 一、可以利用錢幣自然頻率的特性來區分真幣和仿幣

我們發現用錢幣敲擊不同材質、不同滑軌、不同敲擊力道以及敲擊不同位置，並不影響錢幣的自然頻率。影響自然頻率的物理參數是硬幣的厚度、直徑和密度。因此，可以利用錢幣自然頻率的特性來區分真幣和仿幣。

### 二、聲波可以快速且準確的分辨真幣與仿幣

- (一) 10 元和 50 元真幣，不論年份多寡、花色樣式等，每次在敲擊金屬後，均可在固定頻段產生相似的波型。
- (二) 10 元真幣有兩種不同的波型，以民國 103 年作為區分。民國 103 年之前 8.5K(Hz)以上頻譜出現 2 個峰值，民國 103 年~110 年則有 3 個峰值(107 年為 2 個峰值)，可能是受到鑄幣方式或硬幣成分的改變所影響；50 元真幣則會規則出現 2 個峰值。
- (三) 仿幣不論 10 元或 50 元硬幣，都沒有固定或相似的波形，而且頻段會低於真幣，推測是受到仿幣材質不佳、厚度不足或鑄造方式的影響。
- (四) 根據實驗，10 元與 50 元在 8.5K(Hz)峰值如果未能滿足以下條件（表 6-1），將可視為仿幣。

表 6-1：真幣敲擊鋁塊後 8.5k (Hz) 以上峰值區間

硬幣敲擊後 8.5k 以上峰值	10 元			50 元	
	8.6K~9.3K(Hz)	9.4K~10.2K(Hz)	15.5K~16.5K(Hz)	9.3k~9.7K	16.4K~16.8K(Hz)

## 柒、未來展望

根據上述實驗結果，我們歸納出兩項未來展望：

### 一、建議販賣機廠商，加入聲音頻譜分析的功能，來加強真幣與仿幣的辨識

經過實驗我們推測，販賣機在辨識錢幣上可能是以大小、厚度、重量為主，所以對於花色錯誤、表面粗糙等明顯不能使用的仿幣，卻有辨識失敗的可能。所以建議販賣機製造商，未來可以增加聲波辨識的功能，藉由更精密的儀器來研究各種圓形金屬平板的共振模態，及不同幣值 8.5K(Hz)以上頻譜分析，強化真幣與仿幣的辨識能力，減少仿幣被誤用與流通的可能。

### 二、建立聲波資料庫，並結合影像辨識系統，來減少以假亂真的犯罪行為

主管機關可以利用中央造幣廠已取得的仿幣進行檢測，建立更多的仿幣聲波數據，並結合影像辨識系統作更精確的判斷，將資料提供給金融機構作為判定工具，用來攔阻可能流通市面的仿幣，以減少利用仿幣所產生的犯罪行為。

## 捌、參考文獻資料

1. 中央銀行 (2004 年 7 月 10 日)。新聞發布第 117 號(自動販賣機增加「磁性波測試功能」即可測出偽幣)。中央銀行全球資訊網。https://www.cbc.gov.tw/tw/cp-302-22741-0612F-1.html
2. 中央銀行券幣數位博物館 (2018)。典藏寶庫新臺幣時期之新臺幣硬幣。中央銀行券幣數位博物館典藏寶庫。  
http://cbctest.brightideas.com.tw/search/list.aspx?menu=5&id=5&sub=29&type=2
3. 王立行、賴資敏、蕭仲原 (2019)。可抗頻閃效應干擾及自適應光源之多國版本硬幣分類機。全國中小學科展工程學科作品。
4. 李詹然、賴德彰 (1982)。公車硬幣辨識機。全國中小學科展應用科學科作品。
5. 知識通訊評論 (2008)。假錢的聲音。知識通訊評論, 64, 44-44。
6. 黃致翰、江明旭、劉羿靈、周彥箴、郭懷睿 (2018)。化零為整, 財源滾滾—自製環保硬幣分類機的可行性與原理探究之研究。全國中小學科展生活與應用科學科作品。
7. 連啟元 (2011)。錢幣流通與社會互動: 以中央造幣廠鑄幣業務為考察對象 (1949-1977)。臺灣學研究, 12, 65-94。
8. 陳志銘 (2013)。聲音與影像之偽幣偵測系統(未出版的碩士論文)。國立高雄應用科技大學電機工程學系。
9. 馮珮宣 (2017)。利用共振檢測法判別蛋殼裂痕並應用支撐向量機方法驗證之研究(為出版的碩士論文)。國立中興大學生物產業機電工程學系研究所。
10. 潘家發 (1986)。物理學總整理(1)力學部分。台大圖書公司。
11. 鮑亦興 (1971)。談平板的振動—理論淵源及應用。在邱宏義(主編), 物理學選粹第一集 (頁 92-102)。科學圖書社。
12. Avalos, D. M. (1989). On the influence of the Poisson ratio on the natural frequencies of spherical shells. *Journal of Sound and Vibration*, 132(2), 341-345.
13. Kikuchi, Y., Horwitz, B., Mishkin, M., & Rauschecker, J.P. (2014). Processing of harmonics in the lateral belt of macaque auditory cortex. *Frontiers in Neuroscience*, 8(8), Article 204.  
<https://doi.org/10.3389/fnins.2014.00204>
14. Wang, J., R. S. Jiang, & Y. Yu (2004). Relationship between dynamic resonance frequency and egg physical properties. *Food Research International*, 37(1), 45-50.

## 附錄一、圓形平板自然頻率公式

$$f_{ns} = \frac{\Omega_{ns}h}{a^2} \sqrt{\frac{Y}{12d(1-\nu^2)}}$$

$h$  = 圓形平板樣品的厚度 ( $m$ )

$a$  = 圓形平板的半徑 ( $m$ )

$d$  = 圓形平板的密度 ( $kg/m^3$ )

$\Omega_{ns}$  = 當節線數  $n$  及節環數  $s$  不同時，產生的相關係數。 $\Omega_{ns}$  愈小代表其振動的自然頻率愈低。

$\nu$  = 浦松比(Poisson's ratio)；浦松比為在材料彈性限度以內對縱方向施加荷重時，橫向應變與軸向應變之比值。

$Y$  = 楊氏係數(Young's modulus)；彈性材料承受正向應力時會產生正向應變，在形變量沒有超過對應材料的一定彈性限度時，定義正向應力與正向應變的比值為這種材料的楊氏係數。

## 【評語】 080109

本作品測量真、仿幣體積、重量及密度，並以音頻分析軟體來收集不同的真、仿幣敲擊的聲波波形。實驗結果顯示聲波比其他物理性質更能鑑別真幣和仿幣。訂製銅幣、鎳幣與鋁幣，分別敲擊鋁塊後的峰值型態，都無法完全符合真幣的峰值區間。這是個有趣的鑑識探究，頗具實用價值。雖然考量多項變因，但數據分析、作圖與內容，仍可再精進與充實。

# 作品海報

「峰」芒「幣」露



從聲波判斷真·仿幣

## 研究摘要

近年來，仿幣問題氾濫。本實驗希望可以找出分辨真、仿幣的方法。我們測量了真、仿幣的體積、重量及密度，收集不同的真、仿幣敲擊相同金屬物體所產生的聲波波形。實驗結果發現：

- 一、物理性質：仿幣與真幣相比，直徑相似、厚度不一、重量較輕、密度有顯著差異。
- 二、聲波測試：在 8.5kHz 以上頻率，真幣具有相似的波形與峰值區間、仿幣峰值區間比同幣值真幣低。
- 三、聲波比其他物理性質更能鑑別真幣和仿幣。

## 研究目的

證明聲波可以用來辨識真仿幣：

- (一) 比較真幣與仿幣質量、體積與密度的差異。
- (二) 探討不同變因是否會影響聲波頻譜。
- (三) 透過聲波辨別真幣與仿幣的差異。

## 研究原理與方法

平板受到外力作用產生振盪，依其形狀、大小、厚度及密度的不同，而有不同的自然頻率。本研究利用不同敲擊方式使圓形平板（錢幣）振盪產生聲波。

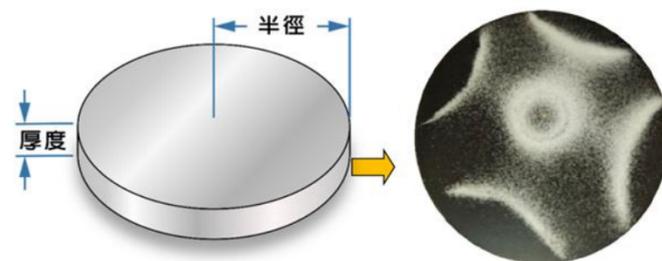
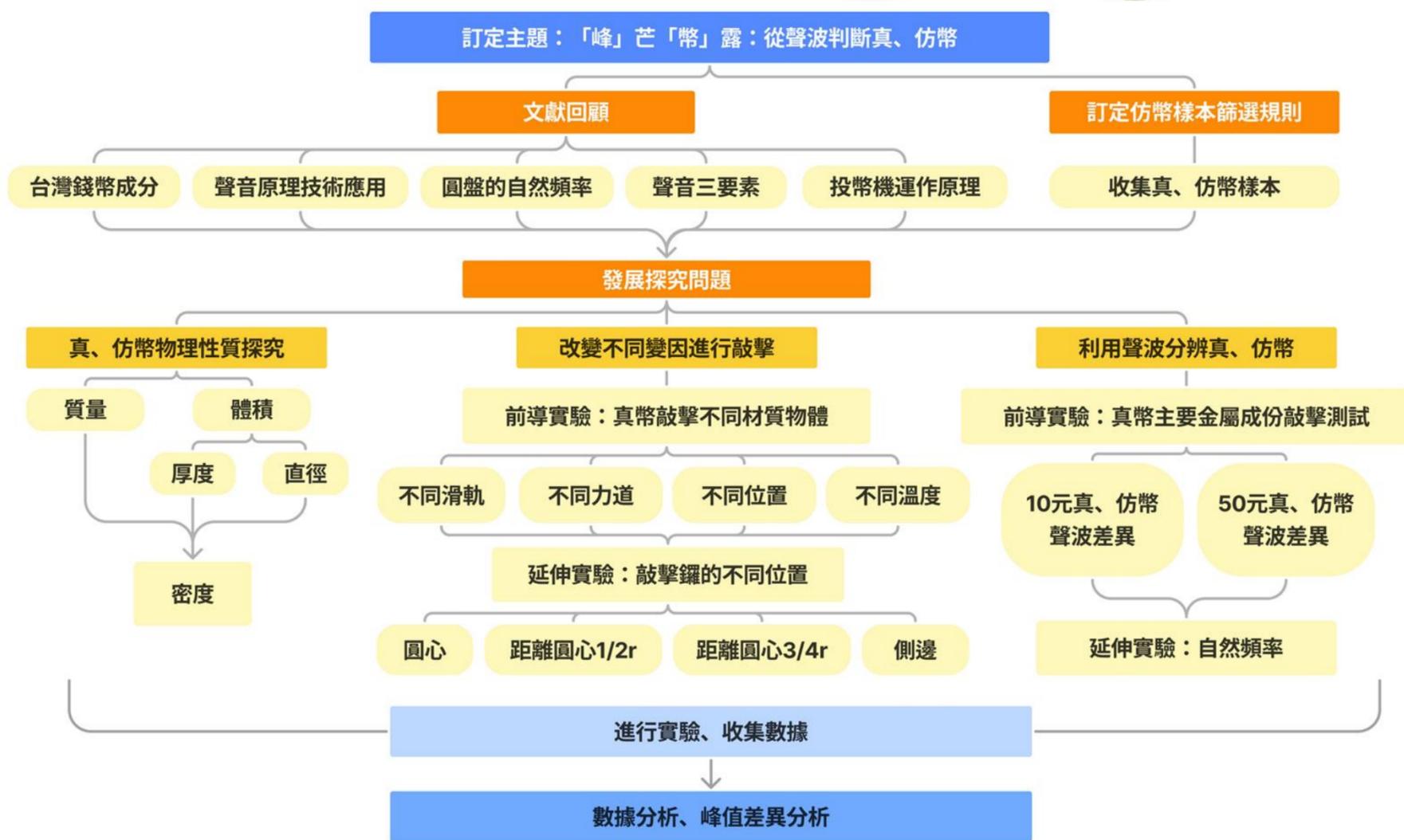
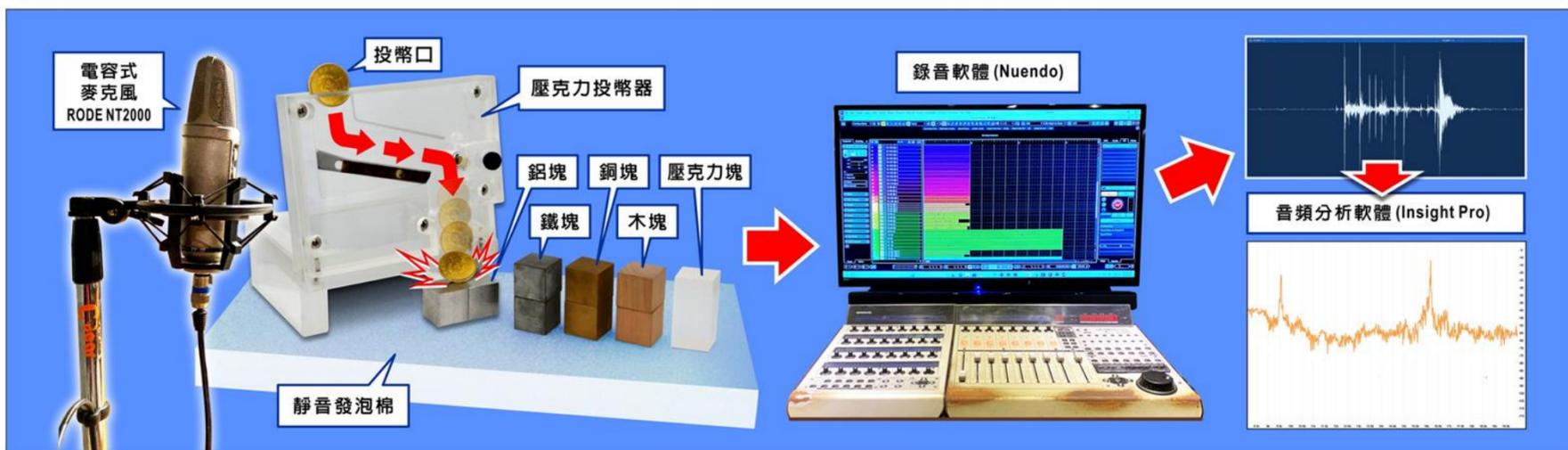


圖1：圓形平板振盪示意



## 研究器材



## 實驗一：真幣與仿幣物理性質探究

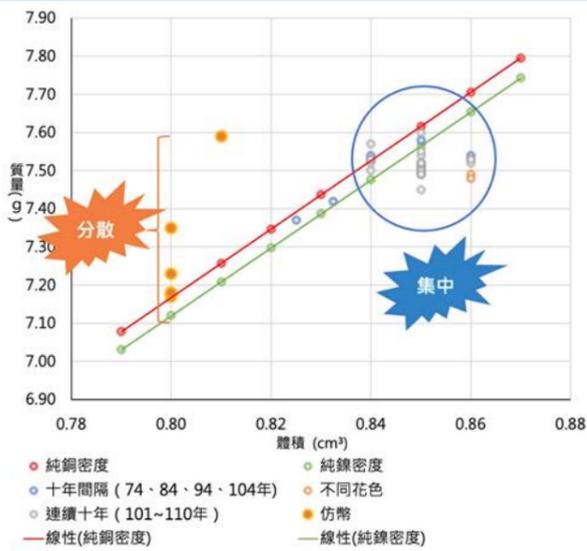
觀察 10 元與 50 元真、仿幣基本物理性質，可以發現仿幣的直徑與真幣差異僅±0.2%，但是厚度則薄 4.9%~7.6%，質量也少了 2.2%~2.7%，換句話說，用手拿仿幣的時候，可以明顯感覺到仿幣比較輕跟薄。

▼ 表1：真幣與仿幣物理性質差異

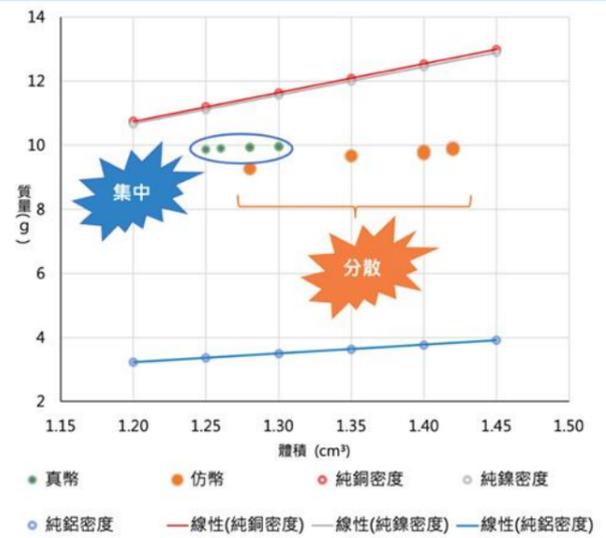
	10元			50元		
	真幣	仿幣	差異	真幣	仿幣	差異
重量(g)	7.50±0.05	7.30±0.18	-2.7%	9.93±0.04	9.27±0.24	-6.6%
體積(cm <sup>3</sup> )	0.86±0.01	0.81±0.02	-5.8%	1.28±0.02	1.38±0.05	7.8%
密度(g/cm <sup>3</sup> )	8.77±0.09	9.02±0.10	2.9%	7.77±0.10	7.05±0.12	-9.3%

# 密度是否可以作為真幣與仿幣辨別的方法

真、仿幣之間密度有明顯的差異，可以做為判斷真、仿幣的方法，但在日常生活中，測量硬幣的質量、體積等數據的程序繁雜又費時，在測量過程中，受到錢幣較小的影響，也可能產生較大的誤差，所以密度雖然可以辨別真、仿幣，但不是一個快速與準確度高的辨識方式。



▲ 圖2：10元真、仿幣質量體積圖

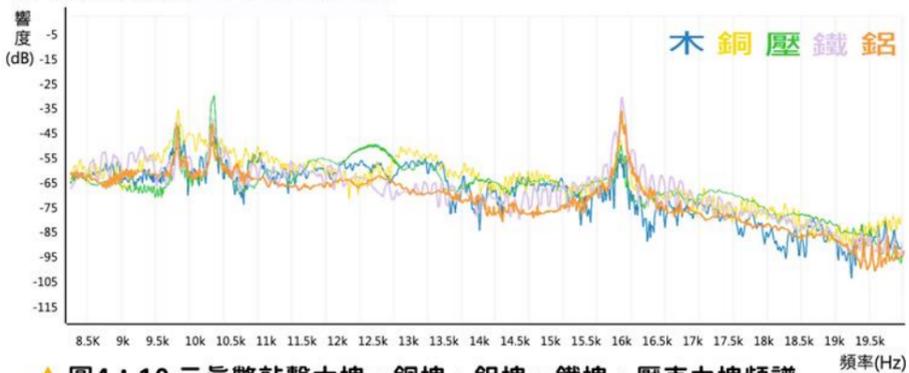


▲ 圖3：50元真、仿幣質量體積圖

## 實驗二：改變不同變因進行敲擊測試

### 改變敲擊材質

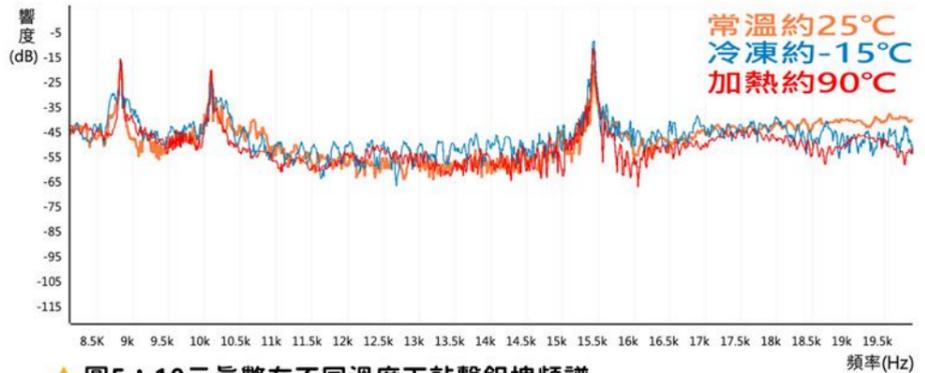
不同材質敲擊雖產生相同的峰值區間，但觀察每一次實驗結果，發現敲擊鋁塊的峰值明顯可辨，且峰值外的振幅變化較小，所以我們最後統一選擇鋁塊，作為後續敲擊實驗使用。



▲ 圖4：10元真幣敲擊木塊、銅塊、鋁塊、鐵塊、壓克力塊頻譜

### 改變錢幣溫度

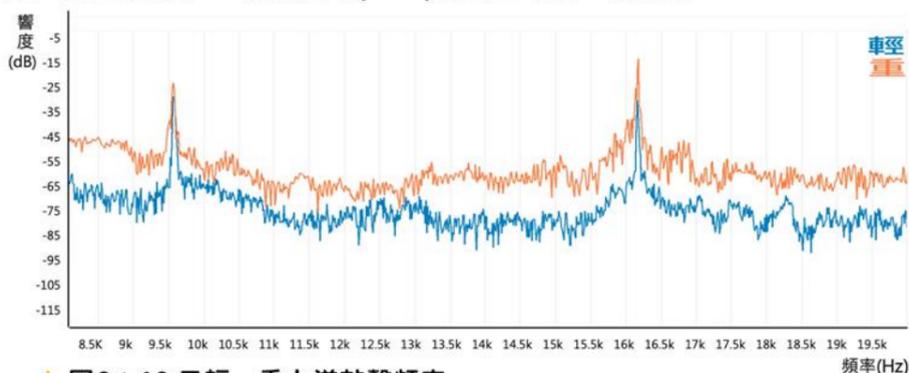
將錢幣置於  $-15^{\circ}\text{C}$  冷凍庫、浸泡約  $90^{\circ}\text{C}$  熱水，與約  $25^{\circ}\text{C}$  常溫下，分別敲擊鋁塊後，峰值均落在同一區間。



▲ 圖5：10元真幣在不同溫度下敲擊鋁塊頻譜

### 改變敲擊強度

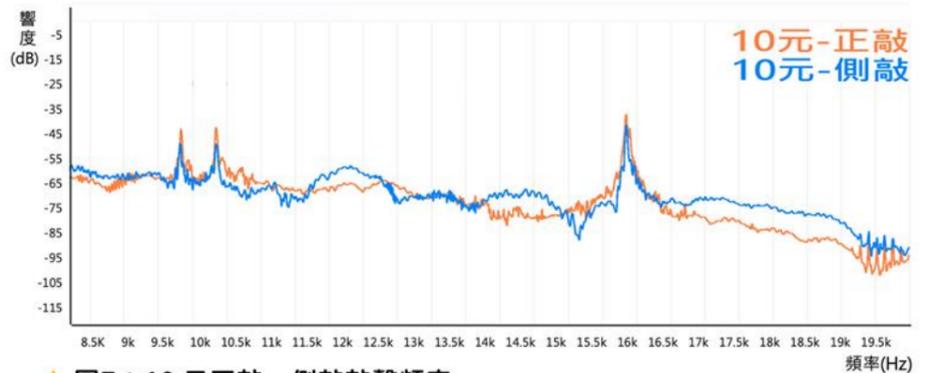
測試不同投幣高度(10cm 與 20cm)，並利用不同高度，來模擬不同力道敲擊鋁塊，不同力道只會改變峰值強度，使分貝(dB)數值增加或減少。



▲ 圖6：10元輕、重力道敲擊頻率

### 改變敲擊位置

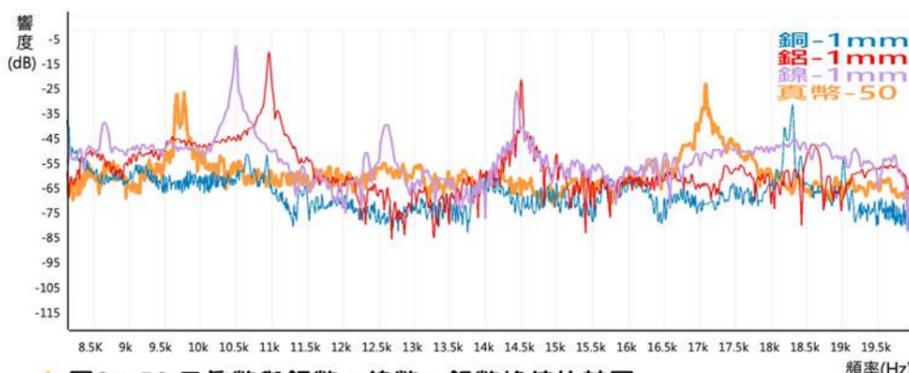
用側面與正面敲擊鋁塊，可以發現三個峰值均落在同一個區間，峰值強度幾乎相同。



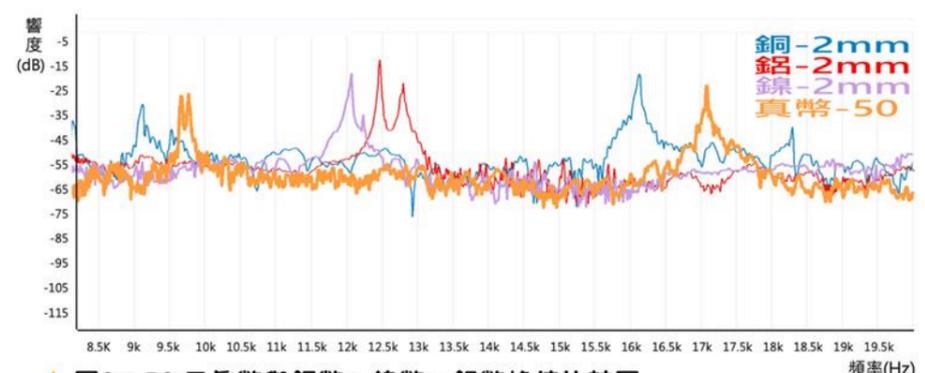
▲ 圖7：10元正敲、側敲敲擊頻率

### 真幣主要金屬成分敲擊測試

當金屬的大小、體積相同，密度不同，則敲擊後會產生不同頻率。而密度越大產生峰值頻率越小，反之，密度小的鋁幣可以產生最高頻的峰值，本實驗結果與附錄中所引用的圓形平板自然頻率公式相符。



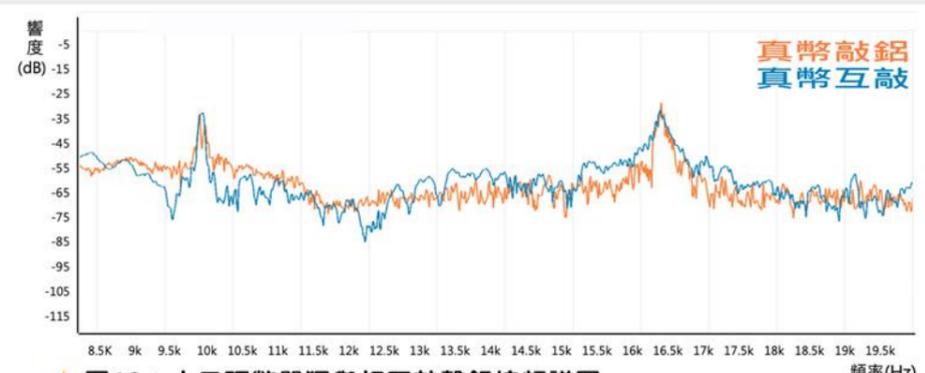
▲ 圖8：50元真幣與銅幣、鎳幣、鋁幣峰值比較圖 (銅幣、鎳幣、鋁幣直徑 28mm 厚 1mm)



▲ 圖9：50元真幣與銅幣、鎳幣、鋁幣峰值比較圖 (銅幣、鎳幣、鋁幣直徑 28mm 厚 2mm)

### 延伸實驗-錢幣自然頻率實驗

利用兩個相同年份的十元硬幣，單獨敲擊鋁塊與相互敲擊，可以發現使用滑軌敲擊鋁塊的峰值，與兩個相同年分十元硬幣相互敲擊所收集到的峰值，兩個之間並沒有明顯差異，峰值都落在同一個區間內。

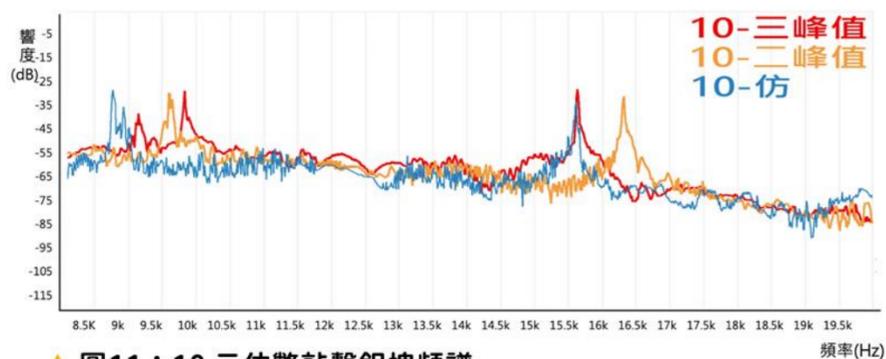


▲ 圖10：十元硬幣單獨與相互敲擊鋁塊頻譜圖

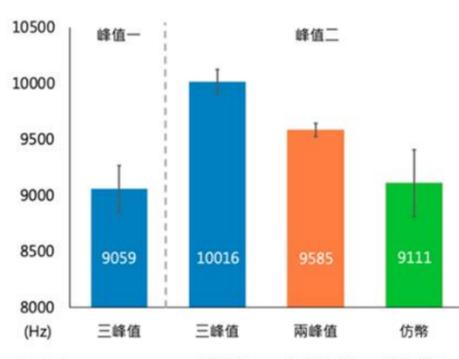
# 實驗三：利用聲波分辨真仿幣實驗

## 10 元真幣與仿幣峰值的差異

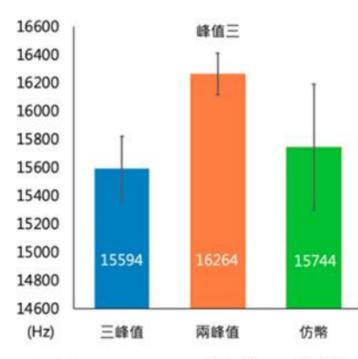
十元真幣敲擊鋁塊在 8.5kHz 以上，會固定出現三個峰值或兩個峰值；10元仿幣則會出現兩個峰值，以峰值二與三來看，仿幣的峰值都會低於真幣。



▲ 圖11：10 元仿幣敲擊鋁塊頻譜



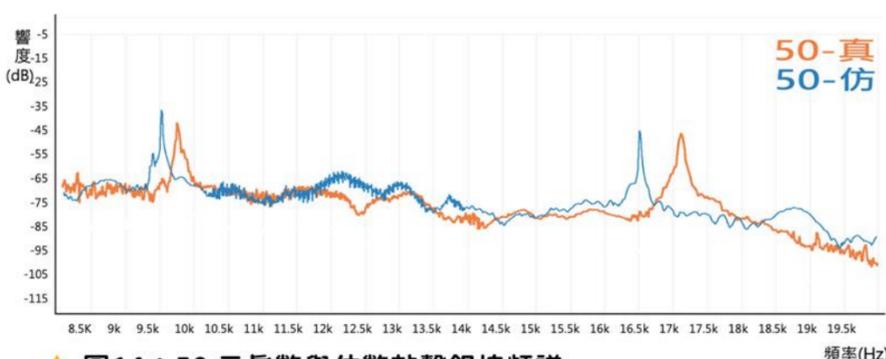
▲ 圖12：10 元峰值一與峰值二比較圖



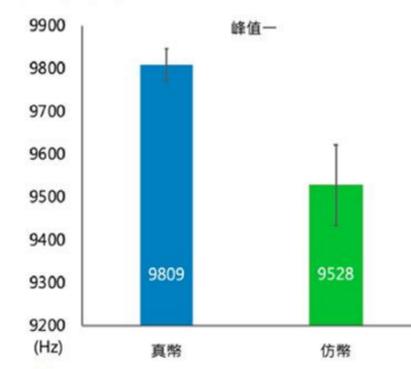
▲ 圖13：10 元峰值三比較圖

## 50 元真幣與仿幣峰值的差異

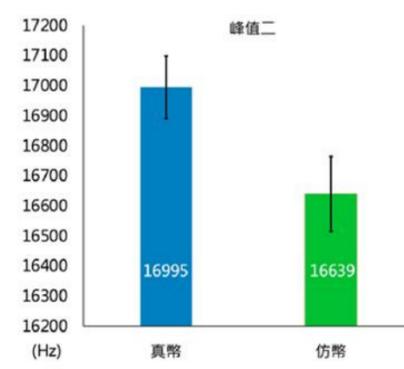
50元真幣敲擊鋁塊，在 8.5kHz 以上頻率固定會出現兩個峰值；50元仿幣也出現相同的現象，固定會出現兩個峰值，但是仿幣的峰值都會低於真幣。



▲ 圖14：50 元真幣與仿幣敲擊鋁塊頻譜



▲ 圖15：50元峰值一比較圖



▲ 圖16：50元峰值二比較圖

## 討論與結論

經由上述實驗，成功找出真幣和仿幣在聲波中顯著的峰值差異處，驗證了聲波是快速、精準分辨真仿幣的好方法，歸納下述三點：

一、本實驗利用錢幣及不同材質的圓形金屬片，來驗證圓形平板自然頻率公式，厚度與頻率成正比；密度的平方根和半徑平方都與頻率成反比，而本研究錢幣亦有類似的趨勢。

二、可以利用錢幣自然頻率的特性來區分真幣和仿幣

我們發現用錢幣敲擊不同材質、不同滑軌、不同敲擊力道以及敲擊不同位置，並不影響錢幣的自然頻率。影響自然頻率的物理參數是硬幣的厚度、直徑和密度。因此，可以利用錢幣自然頻率的特性來區分真幣和仿幣。

三、真幣的峰值具有獨特性，因此可利用聲波快速分辨真、仿幣

(一) 10 元和 50 元真幣每次在敲擊金屬後，均可在固定頻段產生相似的波型。

(二) 10 元真幣有兩種不同的波型，以民國 103 年作為區分。民國 103 年之前 8.5kHz 以上頻譜出現 2 個峰值，民國 103 年~110 年則有 3 個峰值（107 年為 2 個峰值），可能是受到鑄幣方式或硬幣成分的改變所影響；50 元真幣則會規則出現 2 個峰值。

(三) 仿幣都沒有固定或相似的波形，而且頻段會低於真幣，推測是受到仿幣材質不佳、厚度不足或鑄造方式的影響。

(四) 根據實驗，10 元與 50 元在 8.5kHz 峰值如果未能滿足下表條件，將可視為仿幣。

▼ 表3：真幣撞擊鋁塊後8.5kHz以上峰值區間

硬幣敲擊後 8.5kHz 以上峰值	10元			50元	
	9.0~9.5kHz	9.5~10.0kHz	15.5~16.5kHz	9.5~10.0kHz	17.0~17.5kHz

▼ 表2：103年之前後與107年10元硬幣密度

年份	103年之前	103年之後	107年
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	8.84	8.87	8.83

## 未來展望

一、建議販賣機廠商，加入聲音頻譜分析的功能來加強真幣與仿幣的辨識

未來販賣機可以增加聲波辨識的功能，並藉由更精密的儀器來研究各種圓形金屬平板的共振模態，及不同幣值 8.5kHz 以上頻譜分析，強化真幣與仿幣的辨識能力，減少仿幣被誤用與流通的可能。

二、建立聲波資料庫，並結合影像辨識系統，來減少以假亂真的犯罪行為

主管機關可以利用中央造幣廠已取得的仿幣進行檢測，建立仿幣聲波數據，並結合影像辨識系統作更精確的判斷，用來攔阻可能流通市面的仿幣。

## 參考文獻

- 知識通訊評論 (2008)。假錢的聲音。知識通訊評論，64，44-44。
- 洪瑞宏等 (2006)。龍銀的秘密~圓形金屬板振動頻率的探討。第46屆全國中小學科學展覽會。
- 連啟元 (2011)。錢幣流通與社會互動：以中央造幣廠鑄幣業務為考察對象(1949-1977)。臺灣學研究，12，65-94。