

# 臺灣二〇〇六年國際科學展覽會

科 別：物理科

作 品 名 稱：聲音頻譜圖在材質上鑑定的應用-以鑽石唱  
針對金屬材質研究為例

學校 / 作者：臺北縣立正德國民中學 林雨濬  
臺北縣立正德國民中學 呂仁傑

# 目 錄

內容 .....	頁數
作者自傳 .....	1
摘要 .....	3
壹、前言 .....	4
貳、研究方法與過程 .....	4
參、研究結果與討論 .....	9
肆、結論與應用 .....	36
伍、參考文獻 .....	36



## 作者介紹

我是林雨潛，目前就讀台北縣立正德國民中學，由於從小就跟著擔任雪霸國家公園義務解說員的父親跋山涉水，養成我喜歡探索大自然的興趣，也奠定了我今日參加科展的根基。

雖然「緣分」兩字在科學的領域中是荒謬且極不科學的，但在我求學的階段以及科學研究的路上，很幸運的遇到幾位自然科學領域的老師，引領我更深入了解科學的領域，且強化了我對自然科學的信念與決心。

從校內科展、縣展、國展，國中這兩年多的歷練和考驗，一路走來跟隨老師的學習潛移默化，印證了梭羅「湖濱散記」的一段話：「我要活得深刻，要把生命的精華吸個乾淨的。」這是我的堅持，也是我的理想和目標。



## 作者介紹

我是呂仁傑，出生在淡水小鎮，父親經商，母親操持家務，下面有兩個弟弟，家庭和諧民主。我的求學生涯，一直很順利，自然科學是最喜歡鑽研的科目之一，因為我認為追根究柢得到答案的過程是一種有趣的學習經驗。

人因為有夢想而偉大，我認為知識可以讓世界更美好，所以我常勉勵自己，要將知識應用於生活上，人不能只讀死書。本次參加科展，希望能讓自己的視野更開闊，也希望把握研習的機會，追求更豐富的知識和自我實現的理想。

# 聲音頻譜圖在材質上鑑定的應用－以鑽石唱針對金屬材質研究為例

## The Application of Sound Spectrograph in Material Authentication

### -- A Case Study About the Effect of Diamond Phonograph Needles on Metal Material

#### 摘要

本研究的目的是在利用 LP 唱盤系統發聲原理，以鑽石唱針摩擦各種金屬表面所產生的頻譜圖，與金屬材質的相關性。除了 LP 唱盤外，我們應用 CoolEdit 軟體來分析聲音資料，並利用相似度統計理論，將頻譜圖用量化比較。

實驗結果發現：

- I、藉用 LP 系統錄取各種金屬材質頻譜圖形，有相當高的穩定性，相同金屬聲音頻譜圖形重疊性高，以統計演算出的量化結果與圖形觀察相似。
- II、同一金屬在不同摩擦速率時，所產生的頻譜圖略異，經由樣本相似度門檻  $t$  值鑑定，顯示摩擦的速率會影響聲音頻譜的產生。

本研究的結果可應用在材質的分析比較。

#### Abstract

The objective of this study is, based upon the principle how LP phonograph players generate sounds, to obtain sound spectrographs from rubbing diamond phonograph needles against surfaces of a variety of metal and thus to link the sound spectrograph to certain metal material. Besides the LP phonograph player, we also use the software, Cool Edit, for analysis of sound data and, according to theory of similarity statistics, quantity comparisons of spectrographs.

The result of the study shows:

- I. A high stability exists when spectrographs of a variety of metal material are recorded by the LP system. There is high frequency that spectrographs of same metal material overlap. The quantification result from statistic calculation is similar to the graphs as they are observed.
- II. Spectrographs differ slightly when a certain metal is rubbed at different speeds. As appraised by sample similarity threshold  $t$  value, it shows that rubbing frequency will affect the formation of spectrographs.

The result of this study can be employed to analyze and compare qualities of material.

## 壹、前言

每當接到熟人的電話，我們都可以直接分辨出是哪個人，因為不同的聲音產生不同的波形，所以每個人都有每個人聲音的特性，但是我們生活週遭，仍有許多差異細微的聲音，使我們分辨不出，金屬就是個例子，我們知道磨擦力是由兩個物體接觸面上的原子相互作用而來，當兩個金屬表面相對運動，接觸點會不斷的被拉開與冷焊吸附在一起，而產生軋軋聲，因而使我們好奇，這些產生的聲音，是否和不同種類原子有特殊的相關性。

對於聲音方面的研究，有許多相關碩博士論文發表，其中中央警察大學，刑事警察研究所的「刑事圖樣鑑定」(蘇泉謹撰 2001)，以相似度統計的理論，可以用來分辨印文、筆跡、與聲紋。蔡攻諤「土石流地聲特性之實驗研究—不同材質土石聲紋之差別」(2002)，及周彥廷「土石流地聲特性之研究」(2003)均利用相似度來分辨聲音。

綜觀各項文獻參考，國內目前尚無將聲音頻譜的分析，應用在材質的鑑定上，因此我們借用了 LP 唱盤系統的工作原理，結合電腦軟體，成功的取得數位化聲譜資料，藉以瞭解，由 LP 鑽石唱頭在不同金屬片上摩擦時產生的頻譜與材質上的相關性如何？可否建立金屬聲音頻譜，作為材質辨別上的參考？

## 貳、研究方法與過程

### 一、相似度理論分析：

1、將所收集的聲波訊號透過 Cool edit 軟體取得頻譜資料，並將訊號做正規化處理，即將訊號最大值除以其他訊號，故正規化處理後最大值為 1。

2、計算聲波頻譜訊號的平均值  $\mu$  及標準差  $\sigma$

如圖一(a)所示 3 組頻譜訊號(本實驗為 30 組，為舉例繪圖方便只取 3 組，且圖形差異較大來進行說明)，以某一頻率斷面來看，其斷面放大如圖一(b)所示，在同一頻率下會有三個經正規化後之聲壓值存在，則其聲波訊號的平均值  $\mu$  及標準差  $\sigma$  分別為

$$\mu=(a+b+c)/3$$

$$\sigma=\{[(a-\mu)^2+(b-\mu)^2+(c-\mu)^2]/3\}^{1/2}$$

計算聲波頻譜訊號的平均值及標準差。

### 3、計算樣本聲波頻譜訊號與判識相似度

將由所得之數據算出平均值及標準差後，利用梯形歸屬函數計算其頻譜的相似度，如圖二。若待判識的頻域訊號為  $X_i$ ， $i=0\sim 4095$ ，經由下列計算可得其相對應的相似度  $P_i$ ，在橫座標方面定義  $\mu - \alpha \sigma = 0$  故  $\alpha = \mu / \sigma$ ，信賴區間為 68% 時相似度  $P=1$ 。

(1) 若  $\mu - 0.18\sigma \leq X_i \leq \mu + 0.18\sigma$  時， $P_i=1$ 。

(2) 若  $0 \leq X_i < \mu - 0.18\sigma$  時， $P_i = (X_i - 0) / (\alpha - 0.18)\sigma$ ，其中  $\alpha = \mu / \sigma$ 。

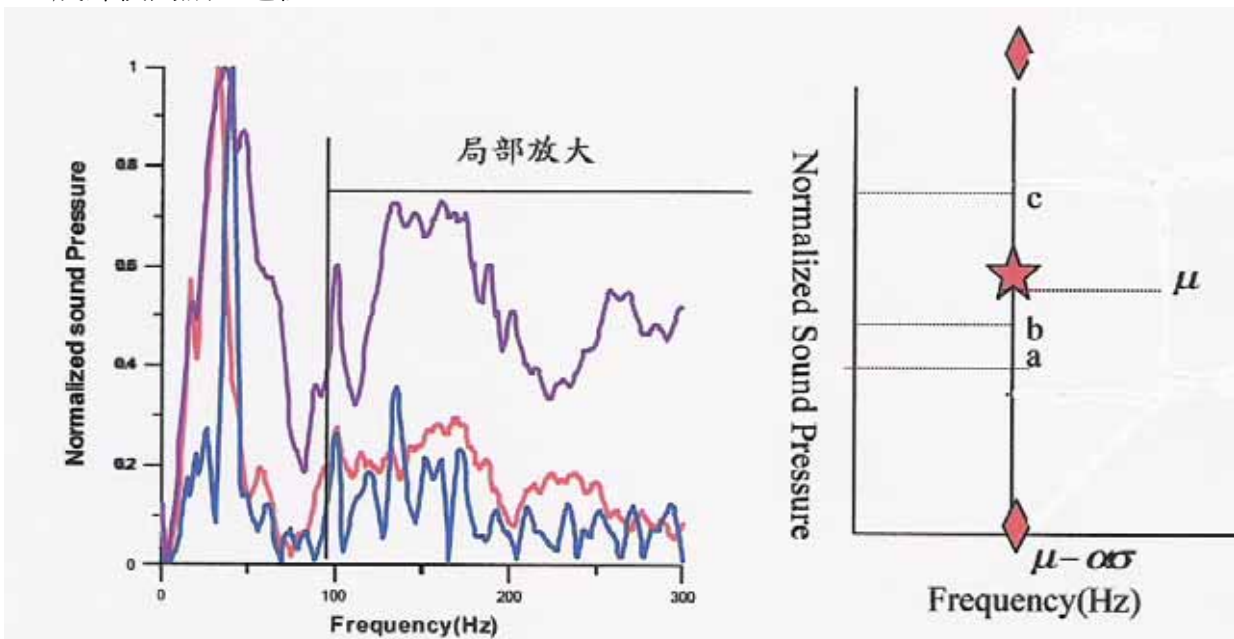
(3) 若  $\mu + 0.18\sigma < X_i \leq \mu + \alpha \sigma$  時， $P_i = [(\mu + \alpha \sigma) - X_i] / (\alpha - 0.18)\sigma$ 。

最後當求得每一座標的相似度  $P_i$  後，可得此組實驗之平均相似度：

$$P = \sum P_i / 4096$$

### 4、設定門檻值與判識是否為同一類型聲紋

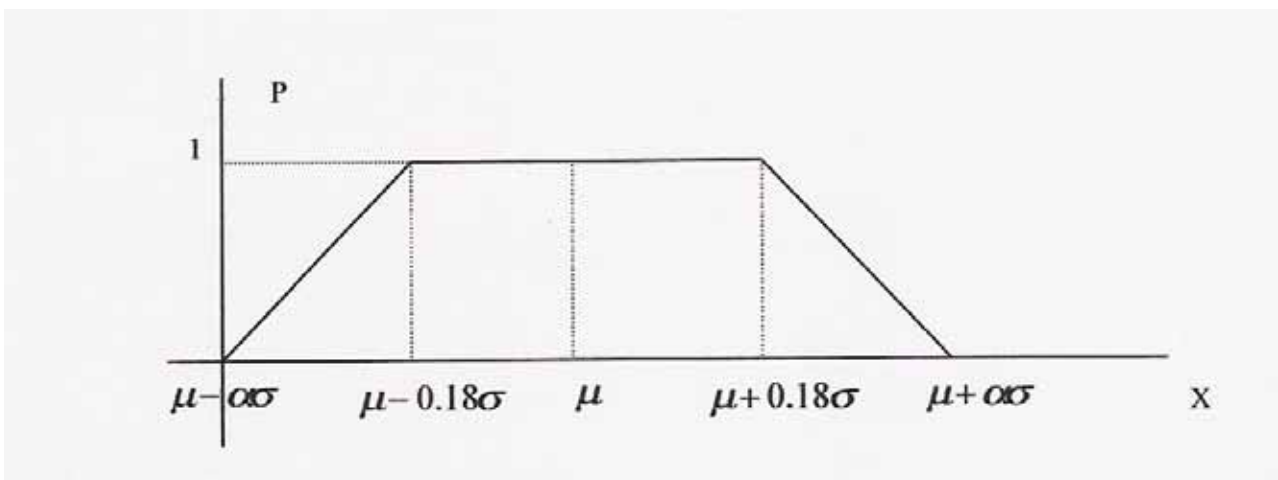
將每組所得之平均相似度  $P$  算出平均值  $\mu$  及標準差  $\sigma$ ，則在 90% 之信賴度下其門檻值定為  $t = \mu - 0.30\sigma$ ，若待判識的頻譜相似度小於  $t$ ，則定義其為不相似，反之則相似，如此即完成聲紋判識之過程。



(a) 3 個樣本的聲波頻譜訊號

(b) 特定頻率下頻譜聲壓的分布情形及平均值。

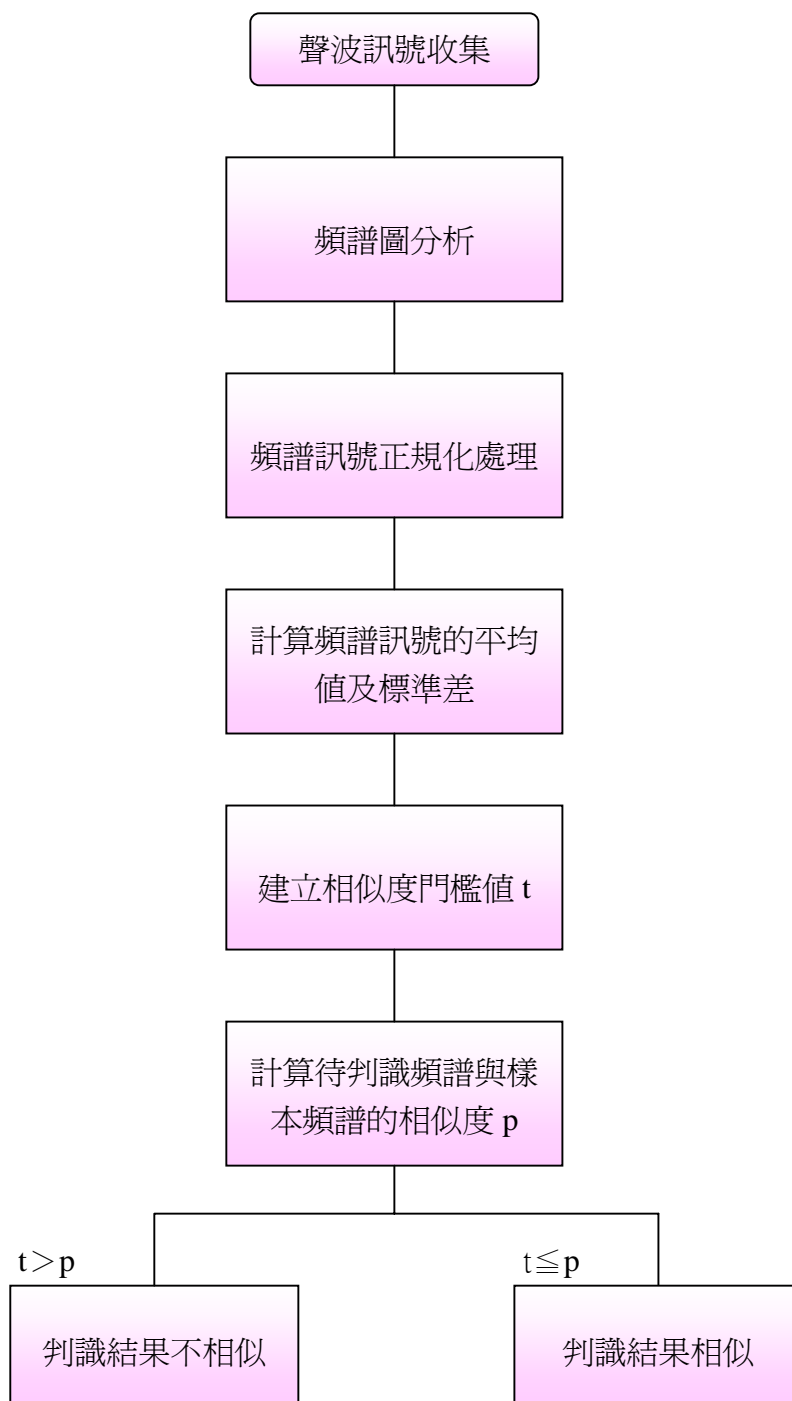
(圖一)



(圖二)

(以上圖摘自周彥廷《土石流地聲特性之研究》2003 年)

## 二、聲音相似度判識流程：



(圖三)

### 三、LP 唱盤系統實驗原理應用：

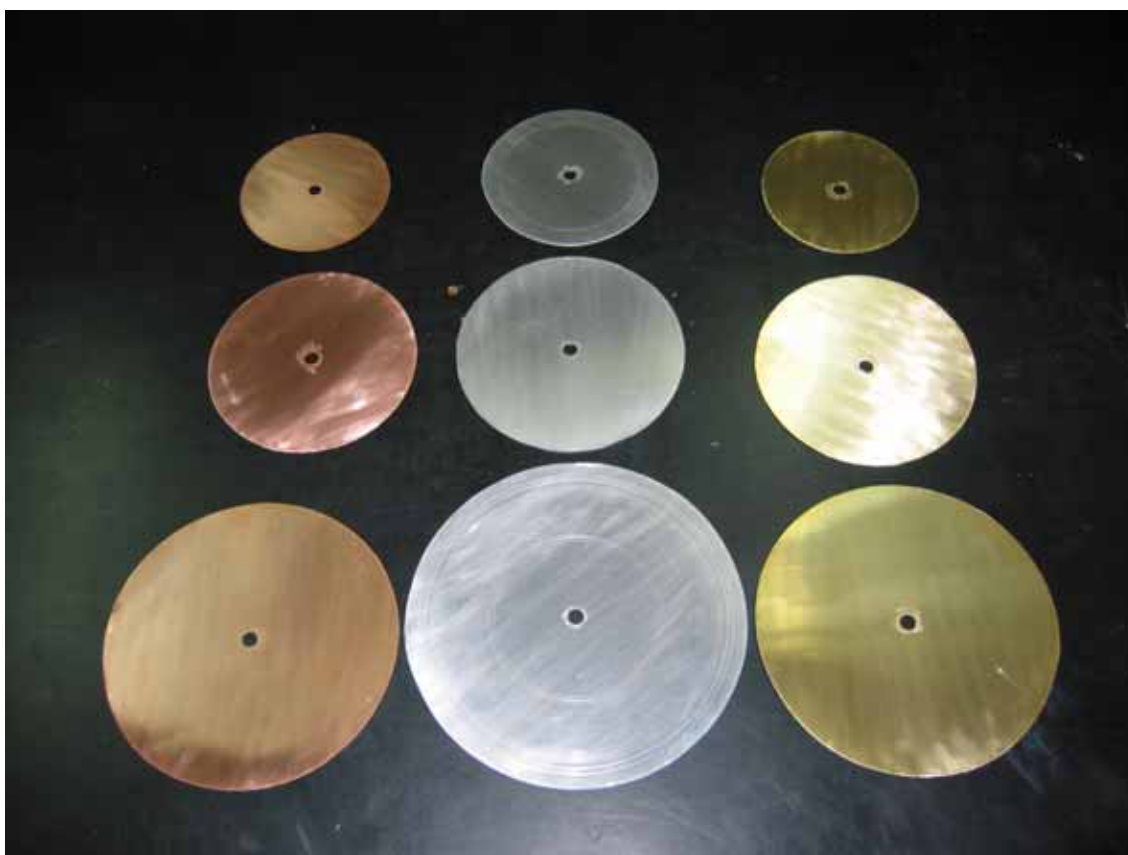
藉由唱針(Stylus)摩擦溝槽讀取 → 唱頭內的線圈(Coil)傳送訊號 → 主機再化為聲音訊號  
→ Cool Edit 軟體將頻譜訊號的資料輸出。

### 四、研究過程：

1、裁切質量相同、厚度不同的鋁、紅銅、青銅金屬盤大中小三種規格(照片一)規格如下表一。

器材名稱	半徑(mm)	厚度(mm)	備註
紅銅(大)	123.875	0.300	
(中)	97.475	0.500	
(小)	77.925	0.800	
青銅(大)	128.625	0.300	
(中)	100.925	0.500	
(小)	79.525	0.800	
鋁 (大)	139.075	0.800	
(中)	104.175	1.500	
(小)	88.675	2.000	

(表一)



(照片一)

- 2、將各個金屬盤，用 2000 號砂紙磨光，以保持金屬表面光滑。
- 3、將磨光的金屬盤，置於 LP 唱盤上，並將唱針固定在金屬盤半徑 66.850mm 處，唱盤轉速固定每分鐘 33 轉，唱針摩擦金屬速率為 23.10cm/sec。
- 4、啓動 LP 唱盤，將唱針與金屬盤摩擦一秒的聲譜訊號輸入電腦，以 Cool Edit 軟體記錄聲音波形、分析頻譜及資料(如照片二)。重複實驗步驟三十次。



(照片二)

- 5、依序將大、中、小三種規格的鋁、紅銅、青銅金屬片置於 LP 唱盤上，重複步驟 4，記錄聲音頻譜相關資料。
- 6、將 LP 唱針，固定在金屬盤半徑 72.200mm 處，以 24.95cm/sec 的速率摩擦金屬，重複步驟 4、5，並紀錄數據。
- 7、將 LP 唱針，固定在金屬盤半徑 74.450mm 處，以 25.73cm/sec 的速率摩擦金屬，重複步驟 4、5，並紀錄數據。
- 8、分析相同材質金屬盤，磨擦所產生的聲音波形與頻譜圖。
- 9、利用相似度統計原理，計算各金屬盤頻譜相似度，了解 LP 唱針摩擦金屬產生聲音頻譜的穩定度，並建立金屬樣本相似度鑑識門檻  $t$  值，分析比較同一材質，在不同摩擦速率，所產生聲音頻譜的異同。

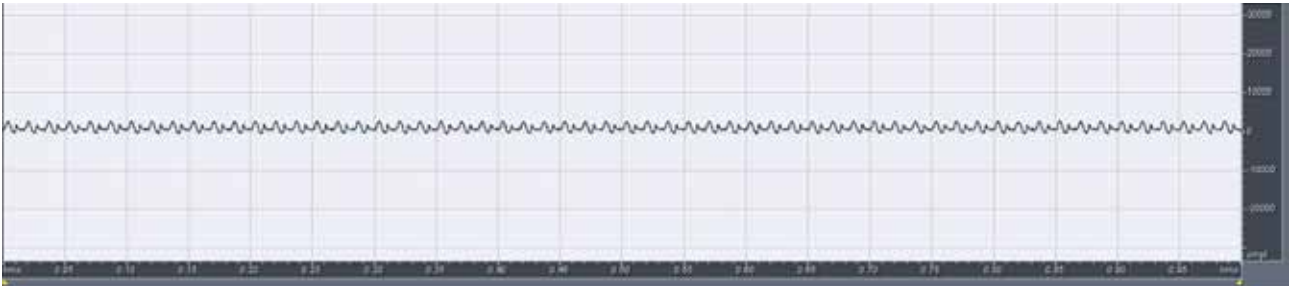
## 參、研究結果

一、LP 鑽石唱針以不同速率摩擦金屬所產生的聲音波形圖(因資料過於龐大，僅摘錄各樣本編號 1,2 資料)

1、大紅銅盤(厚度 0.300mm)在不同速率下所產生的聲音波形圖：

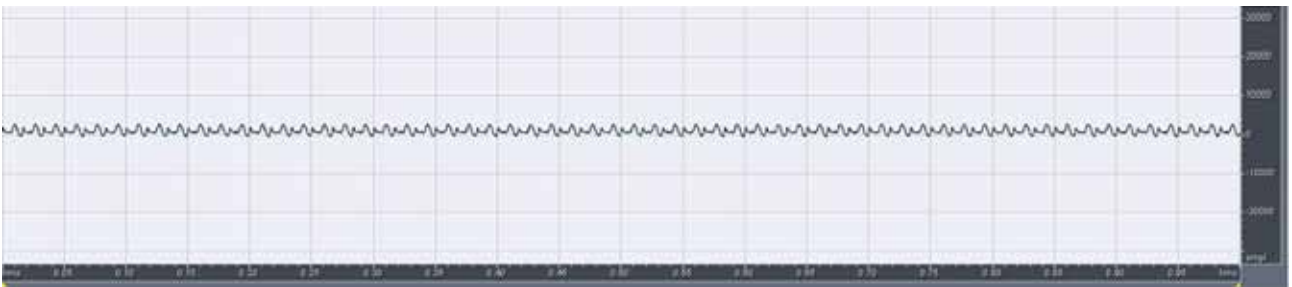
(1) 摩擦速率 23.1cm/sec

樣本編號 1



(圖四)

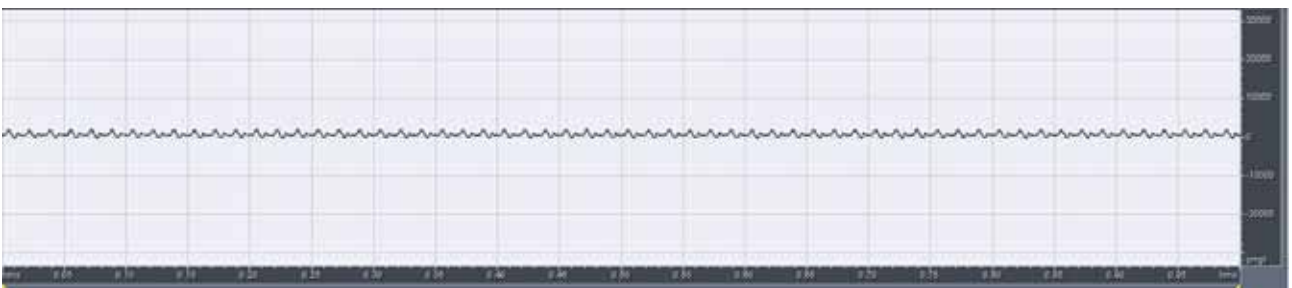
樣本編號 2



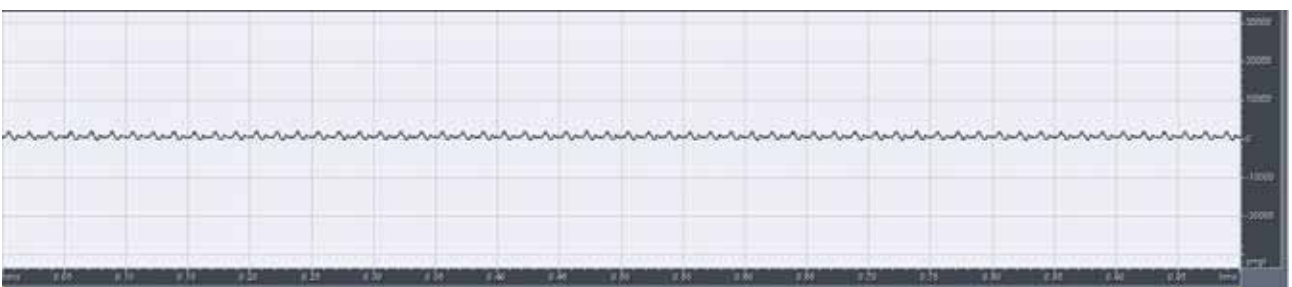
(圖五)

(2) 摩擦速率 24.95cm/sec

樣本編號 1



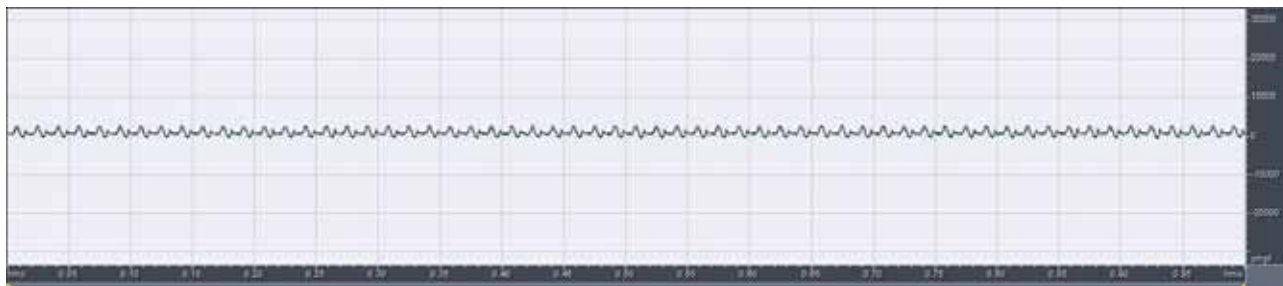
樣本編號 2



(圖七)

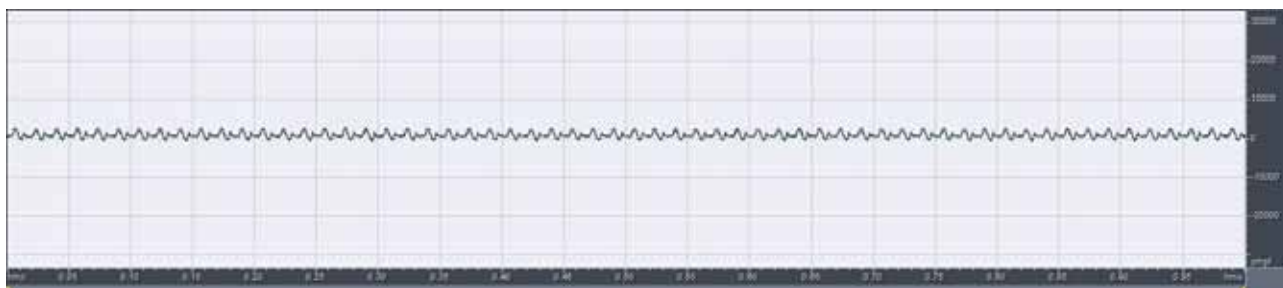
(3) 摩擦速率 25.73cm/sec

樣本編號 1



(圖八)

樣本編號 2

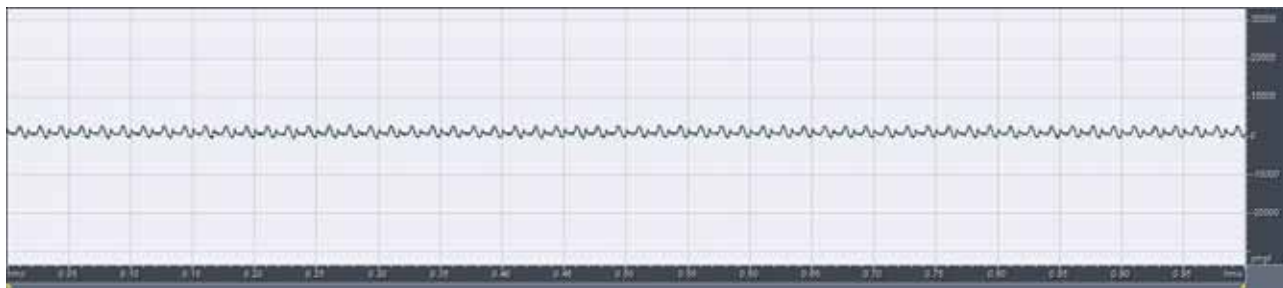


(圖九)

2、中紅銅盤(厚度 0.500mm) 在不同速率下所產生的聲音波形圖的波形圖：

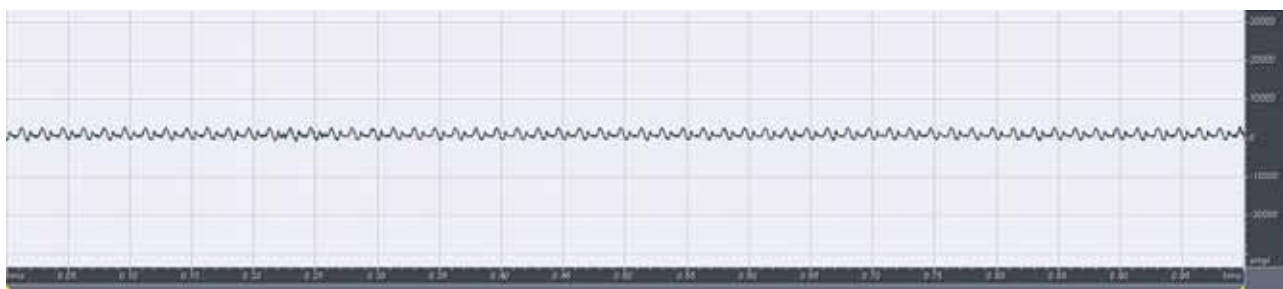
(1) 摩擦速率 23.1cm/sec

樣本編號 1



(圖十)

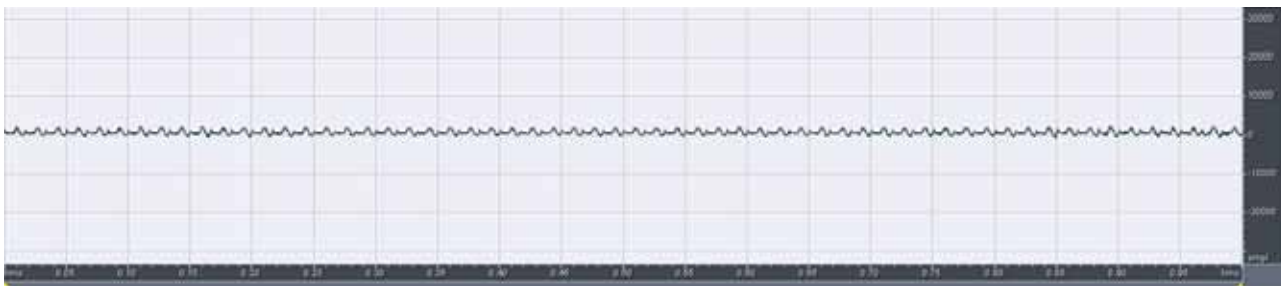
樣本編號 2



(圖十一)

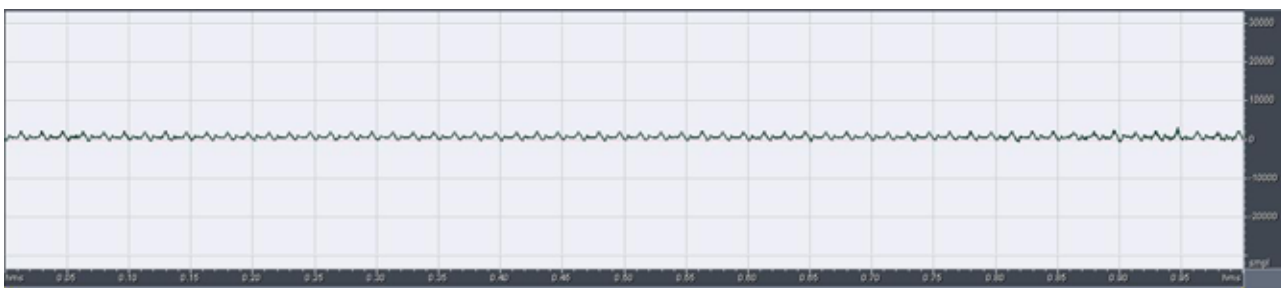
(2) 摩擦速率 24.95cm/sec

樣本編號 1



(圖十二)

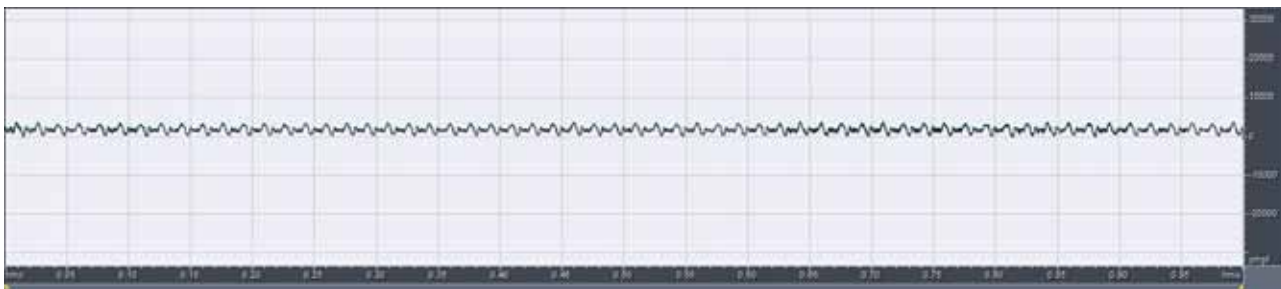
樣本編號 2



(圖十三)

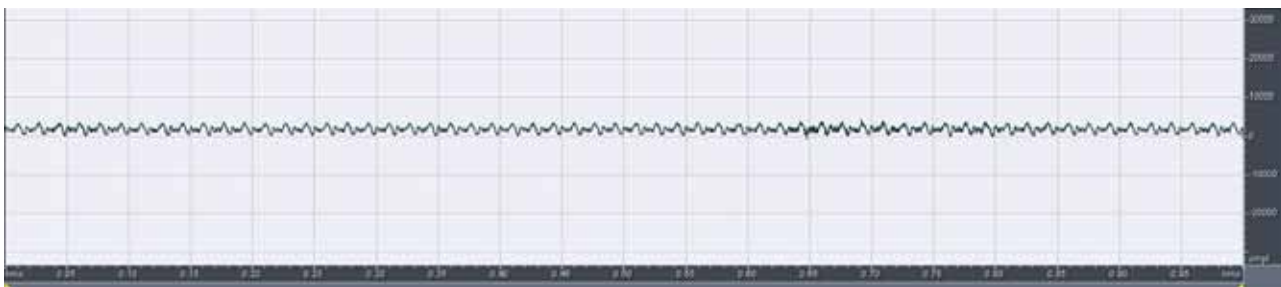
(3) 摩擦速率 25.73cm/sec

樣本編號 1



(圖十四)

樣本編號 2



(圖十五)

3、小紅銅盤(厚度 0.800mm) 在不同速率下所產生的聲音波形圖的波形圖：

(1) 摩擦速率 23.1cm/sec

樣本編號 1



(圖十六)

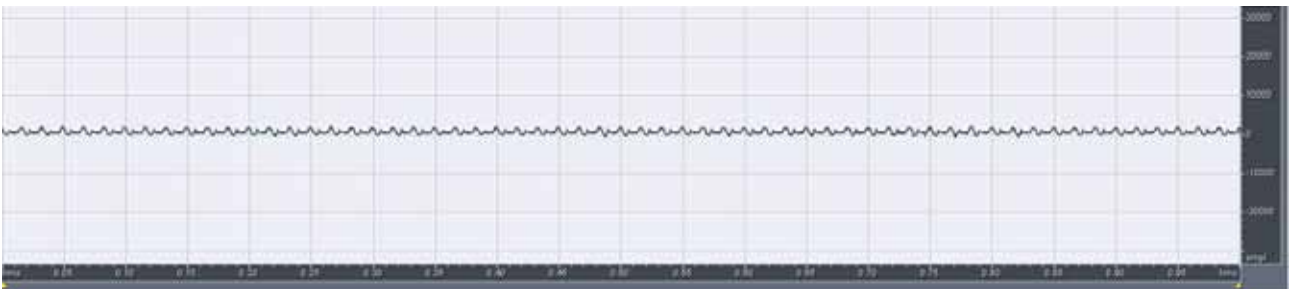
樣本編號 2



(圖十七)

(2) 摩擦速率 24.95cm/sec

樣本編號 1



(圖十八)

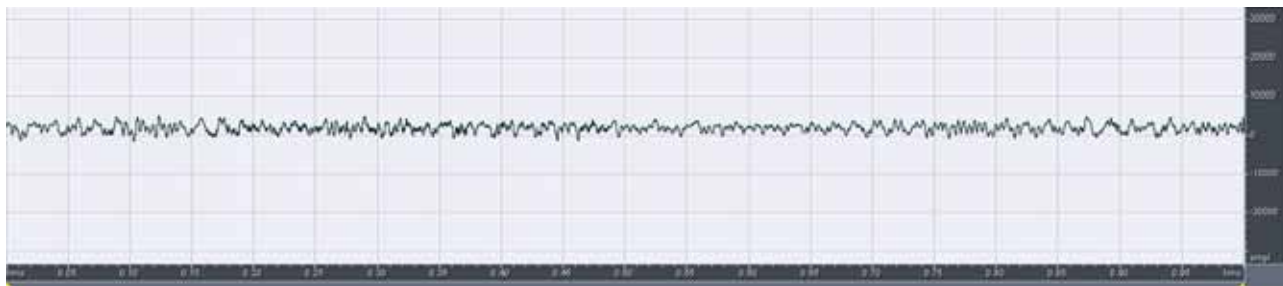
樣本編號 2



(圖十九)

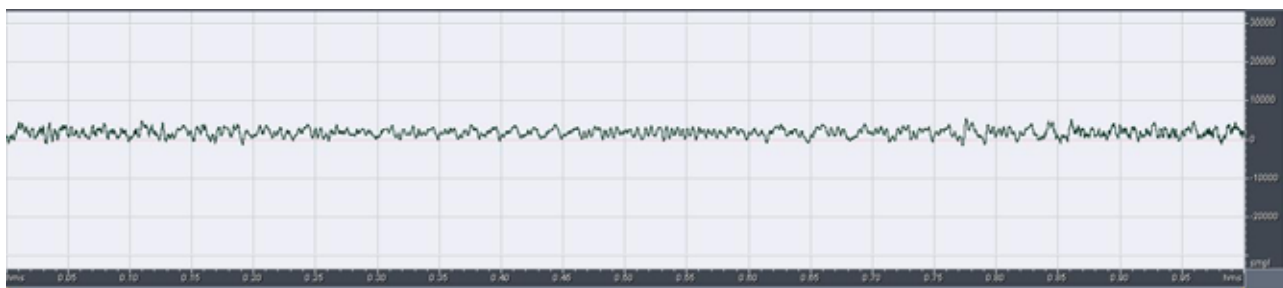
(3) 摩擦速率 25.73cm/sec

樣本編號 1



(圖二十)

樣本編號 2



(圖二十一)

4、大青銅盤(厚度 0.300mm) 在不同速率下所產生的聲音波形圖的波形圖：

(1) 摩擦速率 23.1cm/sec

樣本編號 1



(圖二十二)

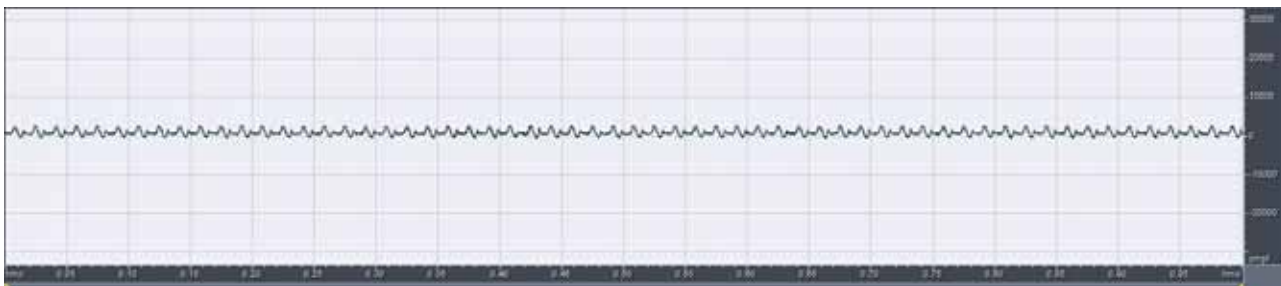
樣本編號 2



(圖二十三)

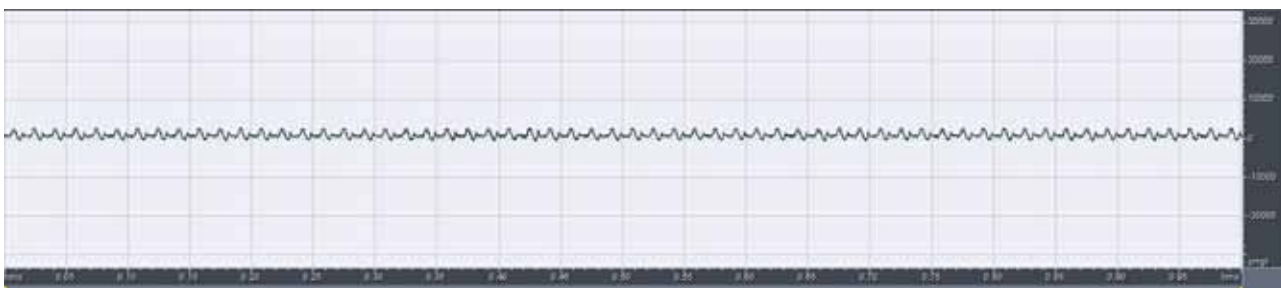
(2) 摩擦速率 24.95cm/sec

樣本編號 1



(圖二十四)

樣本編號 2



(圖二十五)

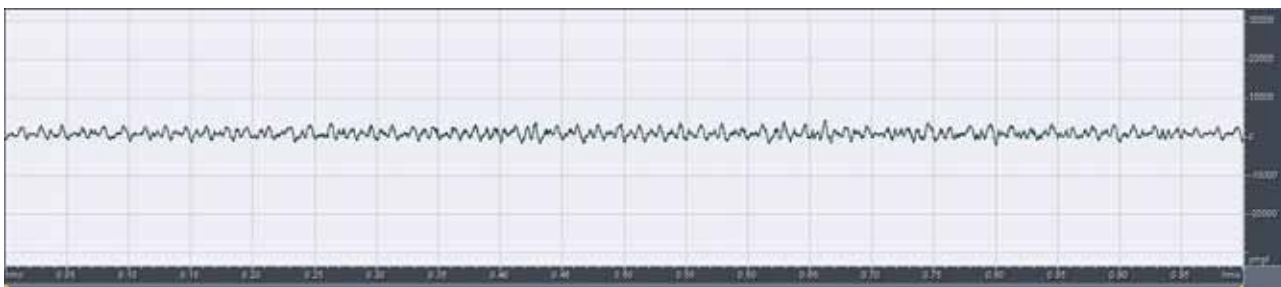
(3) 摩擦速率 25.73cm/sec

樣本編號 1



(圖二十六)

樣本編號 2

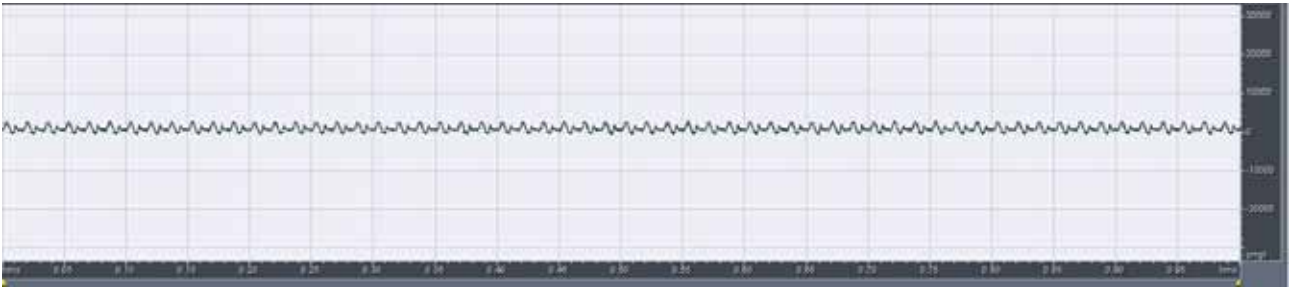


(圖二十七)

5、中青銅盤(厚度 0.500mm) 在不同速率下所產生的聲音波形圖的波形圖：

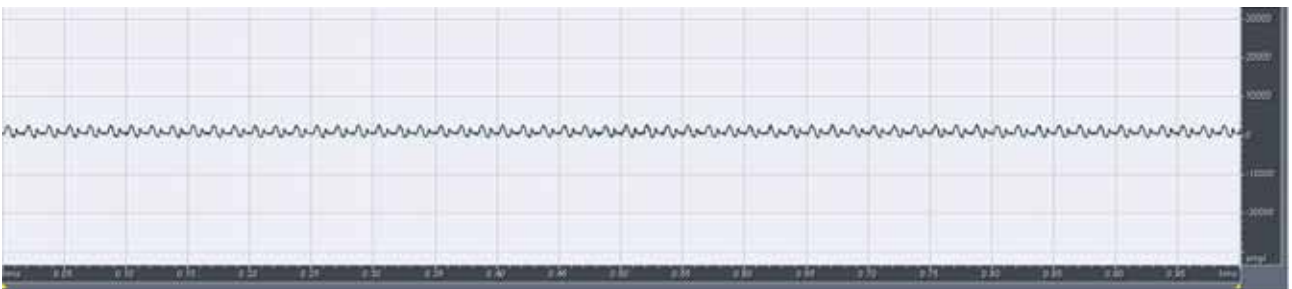
(1) 摩擦速率 23.1cm/sec

樣本編號 1



(圖二十八)

樣本編號 2



(圖二十九)

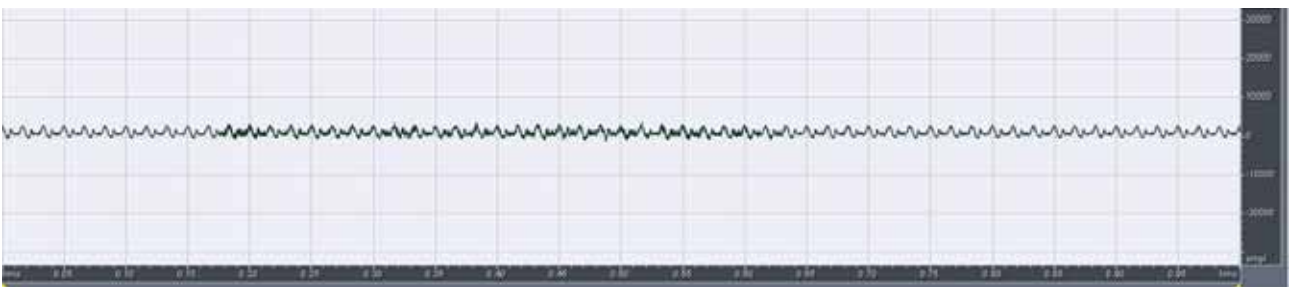
(2) 摩擦速率 24.95cm/sec

樣本編號 1



(圖三十)

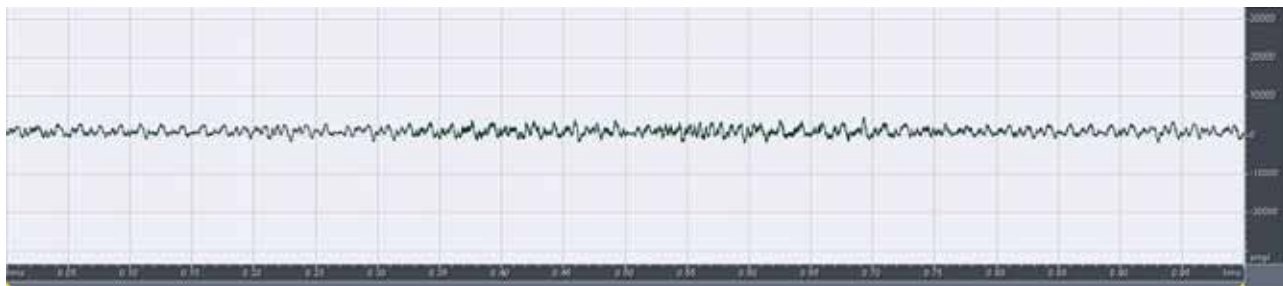
樣本編號 2



(圖三十一)

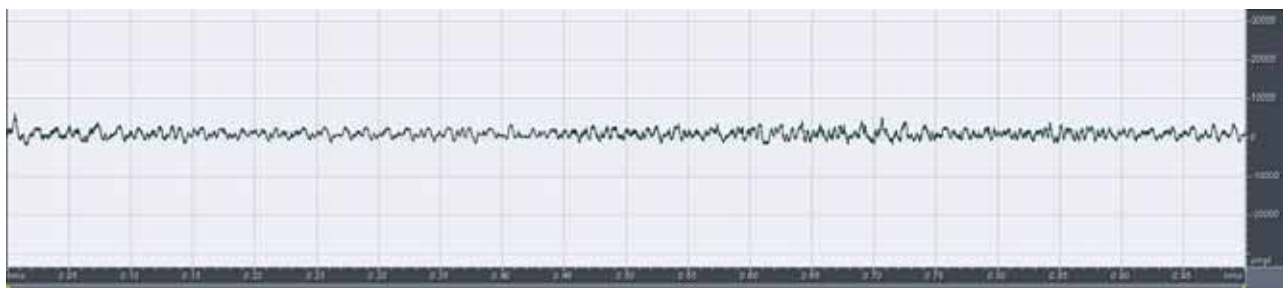
(3) 摩擦速率 25.73cm/sec

樣本編號 1



(圖三十二)

樣本編號 2

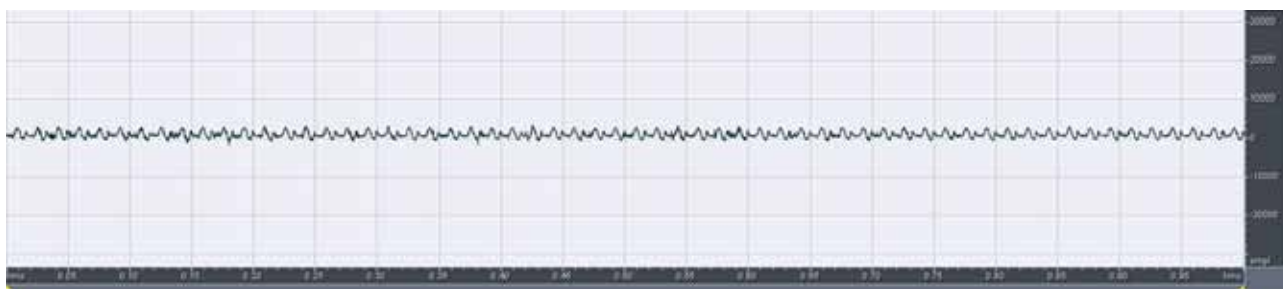


(圖三十三)

6、小青銅盤(厚度 0.800mm) 在不同速率下所產生的聲音波形圖的波形圖：

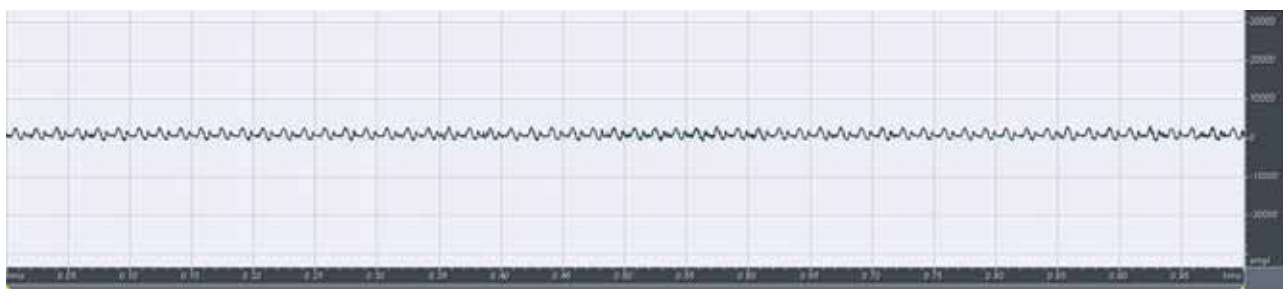
(1) 摩擦速率 23.1cm/sec

樣本編號 1



(圖三十四)

樣本編號 2



(圖三十五)

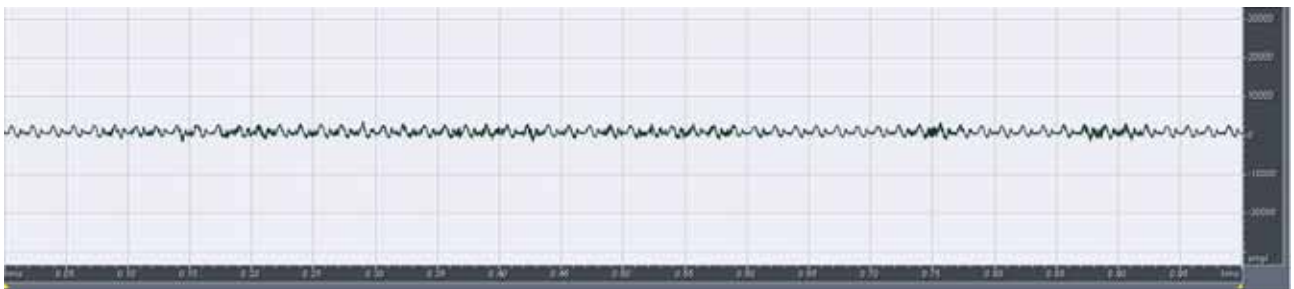
(2) 摩擦速率 24.95cm/sec

樣本編號 1



(圖三十六)

樣本編號 2



(圖三十七)

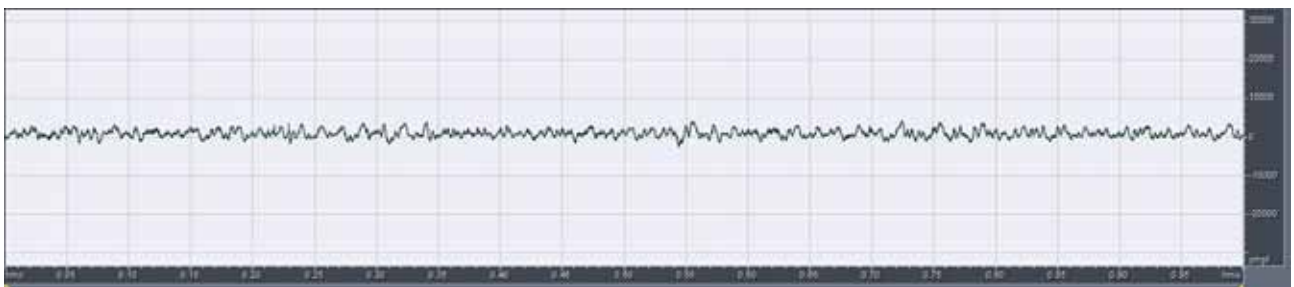
(3) 摩擦速率 25.73cm/sec

樣本編號 1



(圖三十八)

樣本編號 2

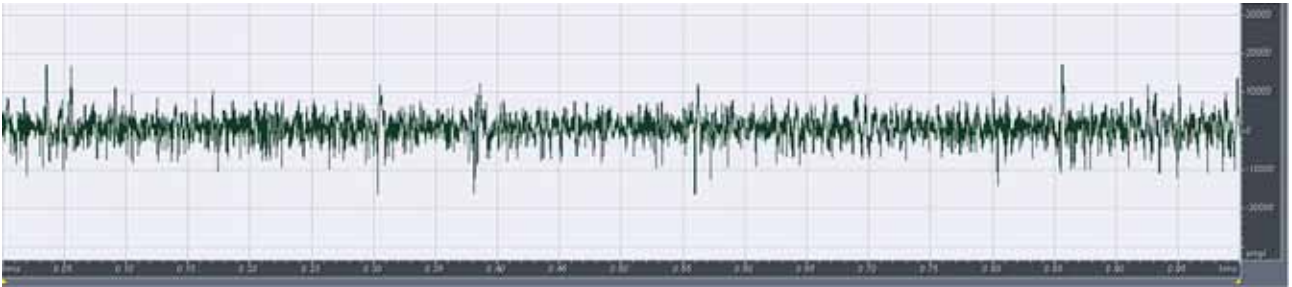


(圖三十九)

7、大鋁盤(厚度 0.800mm) 在不同速率下所產生的聲音波形圖的波形圖：

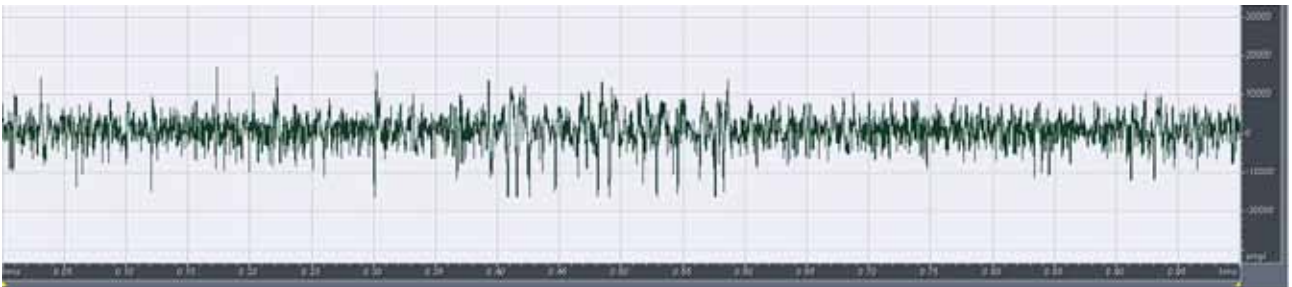
(1) 摩擦速率 23.1cm/sec

樣本編號 1



(圖四十)

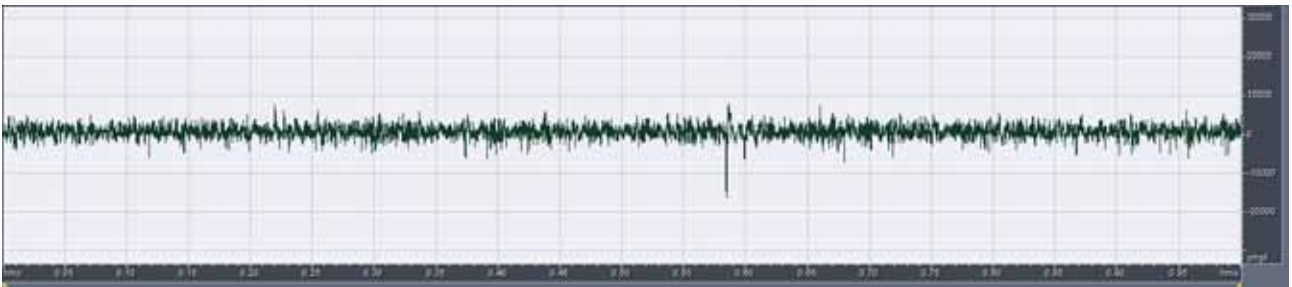
樣本編號 2



(圖四十一)

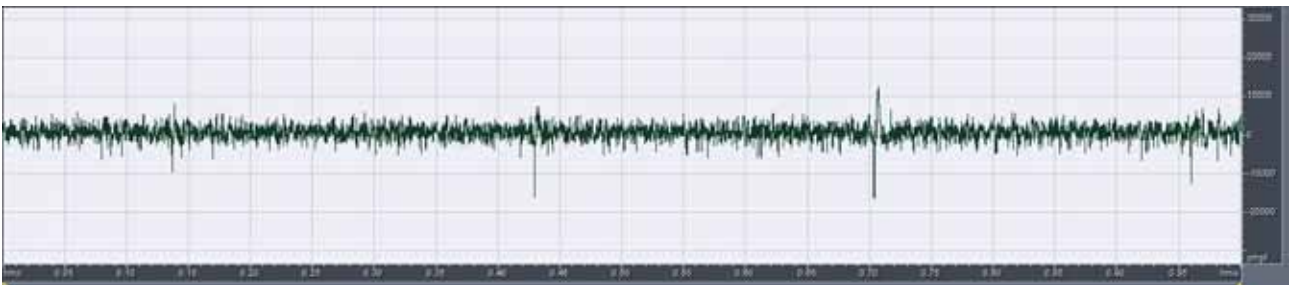
(2) 摩擦速率 24.95cm/sec

樣本編號 1



(圖四十二)

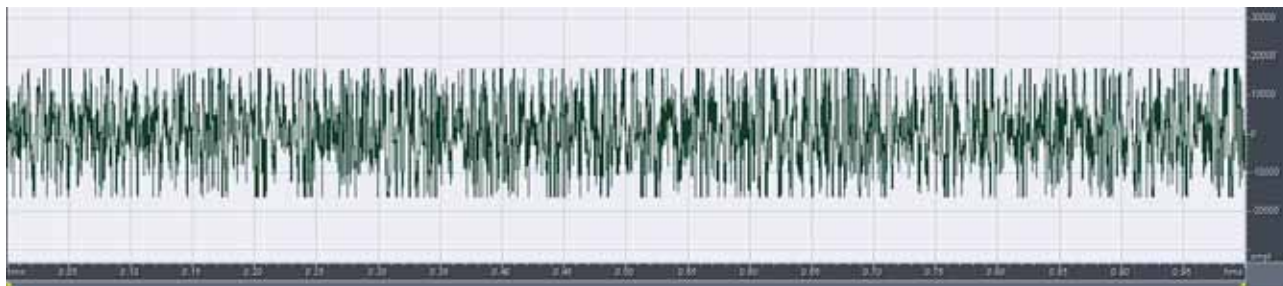
樣本編號 2



(圖四十三)

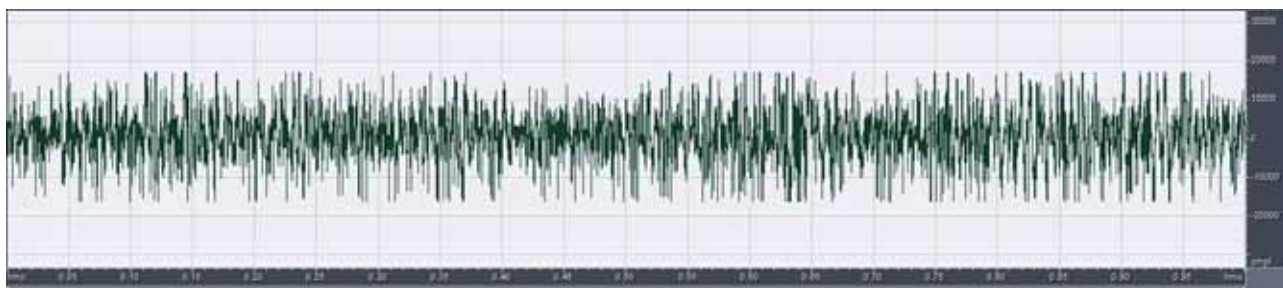
(3) 摩擦速率 25.73cm/sec

樣本編號 1



(圖四十四)

樣本編號 2

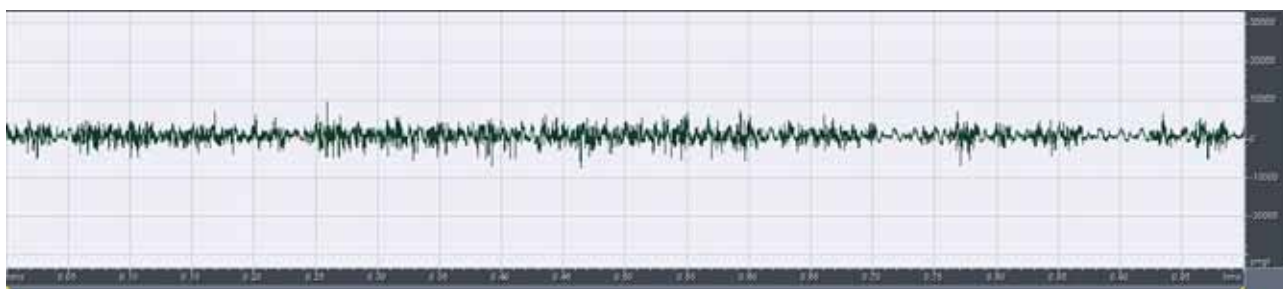


(圖四十五)

8、中鋁盤(厚度 1.500mm) 在不同速率下所產生的聲音波形圖的波形圖：

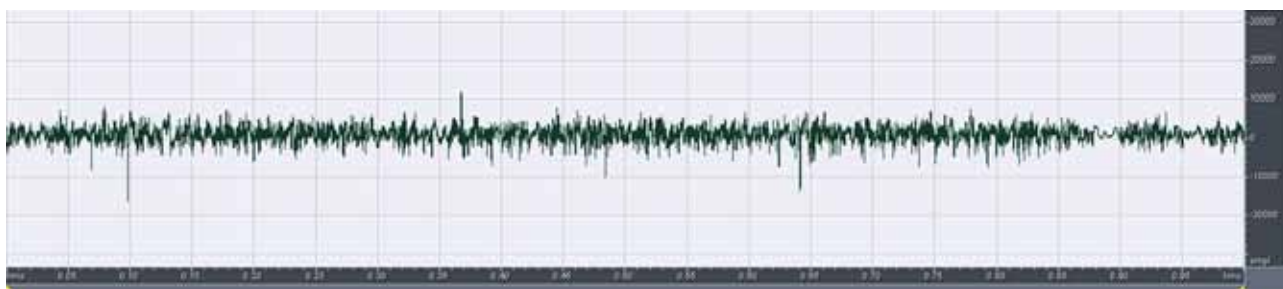
(1) 摩擦速率 23.1cm/sec

樣本編號 1



(圖四十六)

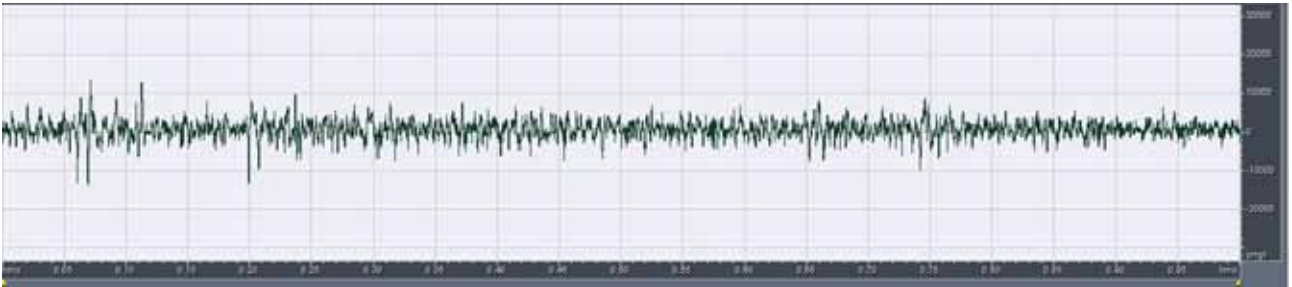
樣本編號 2



(圖四十七)

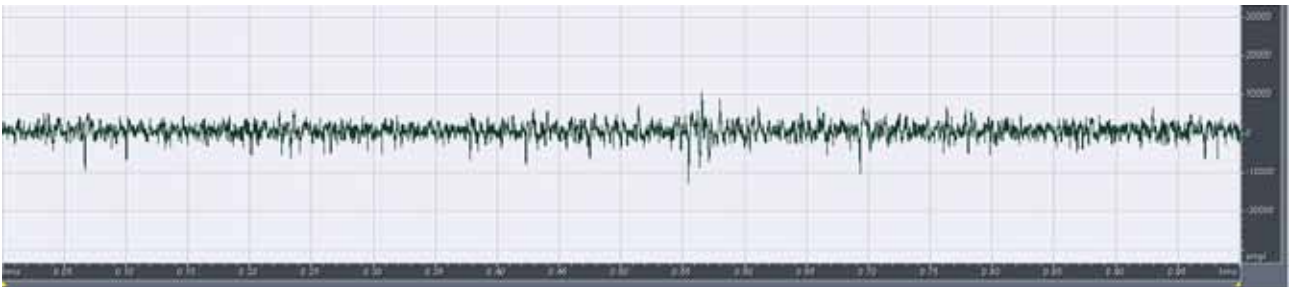
(2) 摩擦速率 24.95cm/sec

樣本編號 1



(圖四十八)

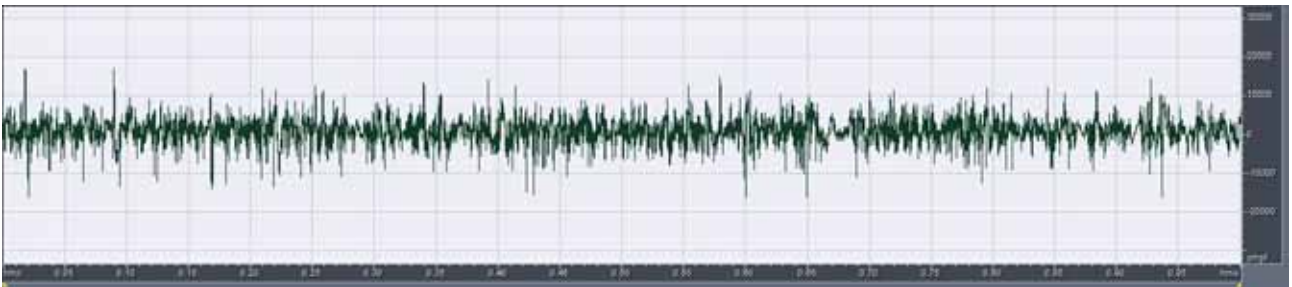
樣本編號 2



(圖四十九)

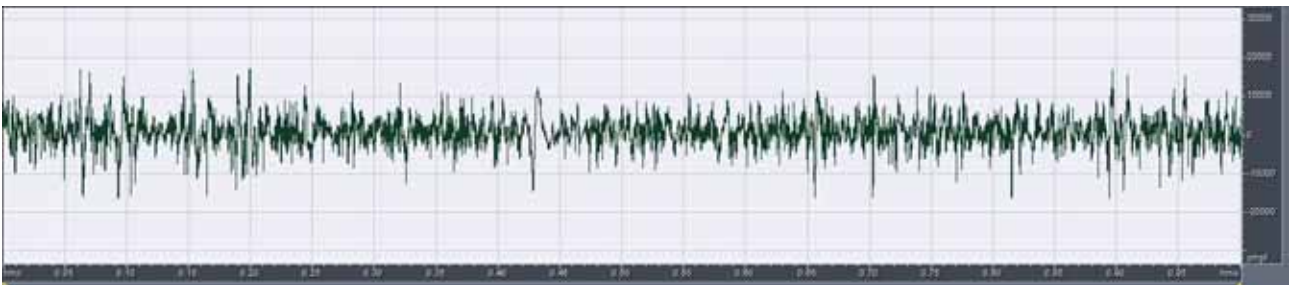
(3) 摩擦速率 25.73cm/sec

樣本編號 1



(圖五十)

樣本編號 2

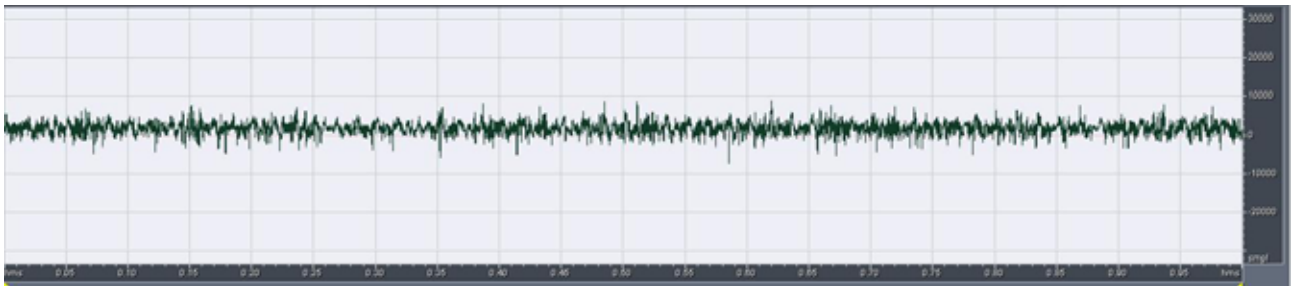


(圖五十一)

9、小鋁盤(厚度 2.000mm) 在不同速率下所產生的聲音波形圖的波形圖：

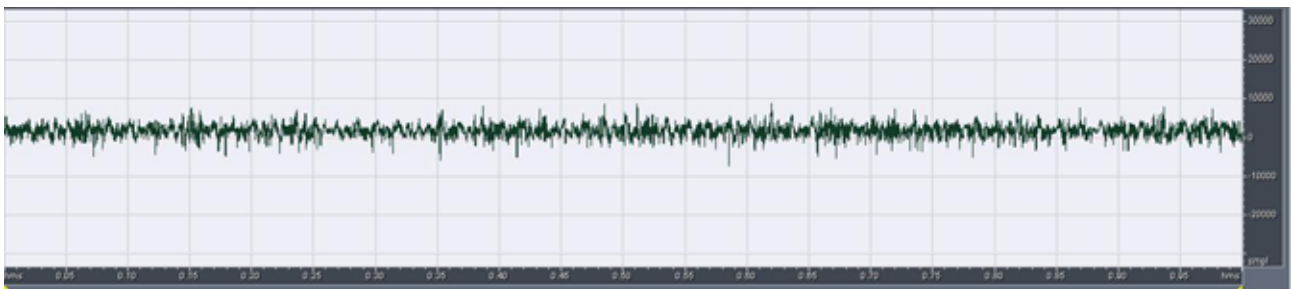
(1) 摩擦速率 23.1cm/sec

樣本編號 1



(圖五十二)

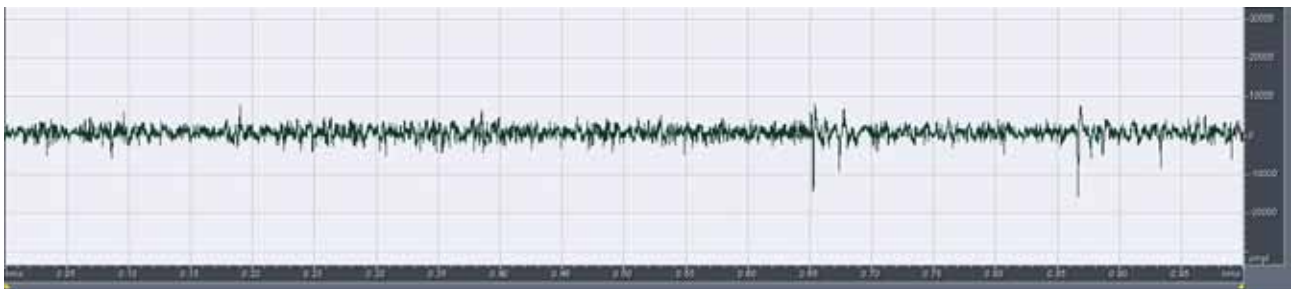
樣本編號 2



(圖五十三)

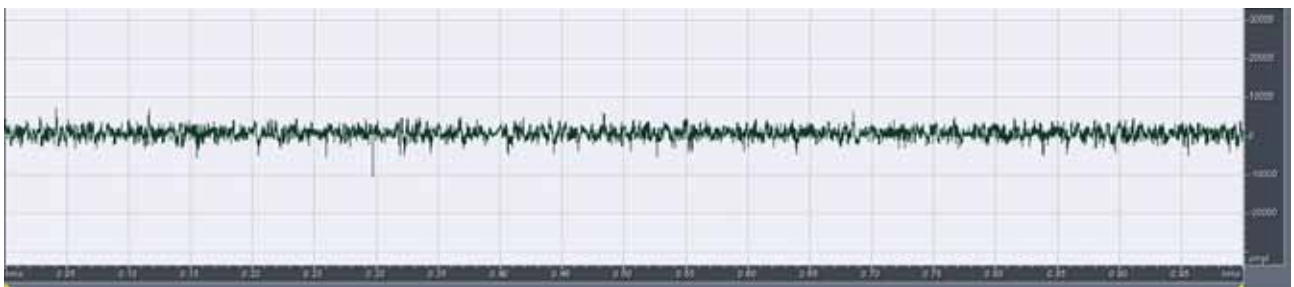
(2) 摩擦速率 24.95cm/sec

樣本編號 1



(圖五十四)

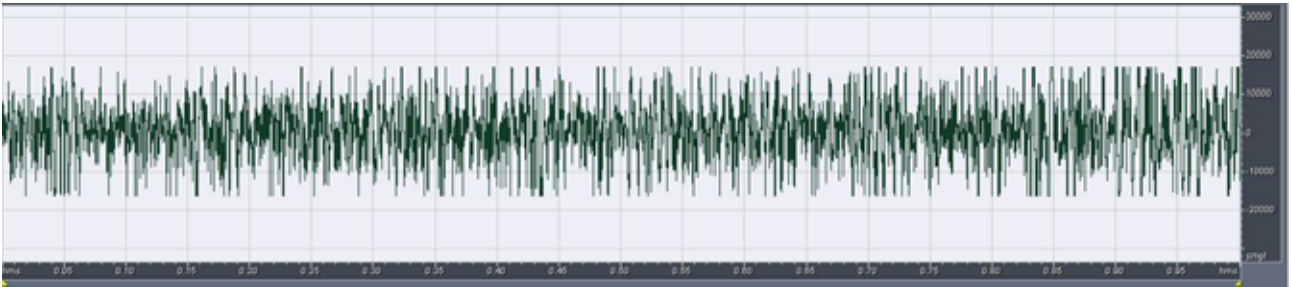
樣本編號 2



(圖五十五)

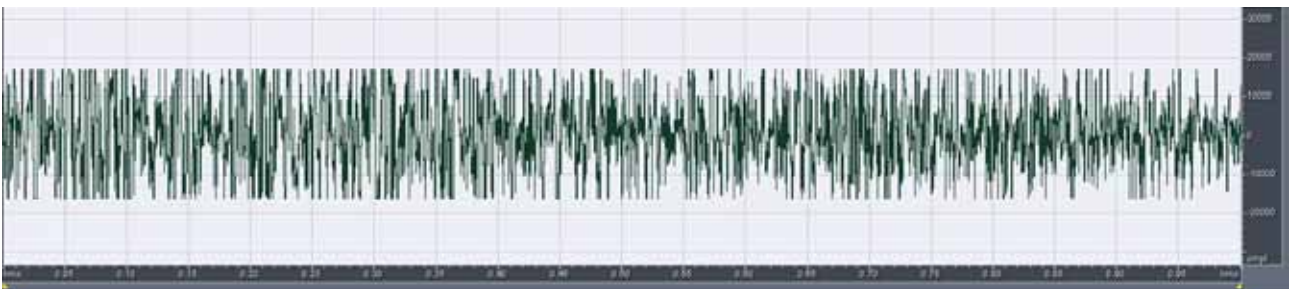
(3) 摩擦速率 25.73cm/sec

樣本編號 1



(圖五十六)

樣本編號 2



(圖五十七)

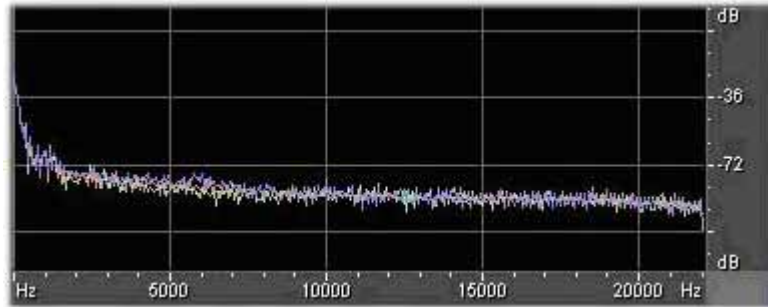
#### 波形圖結果分析與討論：

- (1) 由圖四到圖二十一可知，不同規格紅銅盤，在相同摩擦速率時，波形圖相似度高，當摩擦速率改變時，較高的速率，波形圖較不規則，整體而言，波形圖的變化不大。
- (2) 由圖二十二到圖三十九可知，不同規格青銅盤，在相同摩擦速率時，波形圖相似度高，當摩擦速率改變時，較高的速率，波形圖較不規則，整體而言，波形圖的變化不大。
- (3) 由圖四十到圖五十七可知，不同規格鋁盤，在相同摩擦速率時，波形圖類似，但在摩擦速率較高時，會有較大振幅波形產生。
- (4) 由波形圖結果可以發現，紅銅和青銅的波形相當接近，可能是兩者均含有銅的成份，此外金屬片上的刻痕淺，顯示材質硬使得波形圖振幅小。
- (5) 鋁盤的波形圖顯得較不規則，而且波形振幅大，原因是鋁的材質較軟，在磨擦時會產生較大且較深的刻痕所致。
- (6) 在波形圖的結果中發現，摩擦速率的大小，會影響聲音波形的產生。這項的結果在金屬頻譜相似度的 t 值鑑定中，得到了證實，即摩擦速率的大小，會影響聲音頻譜圖的產生。

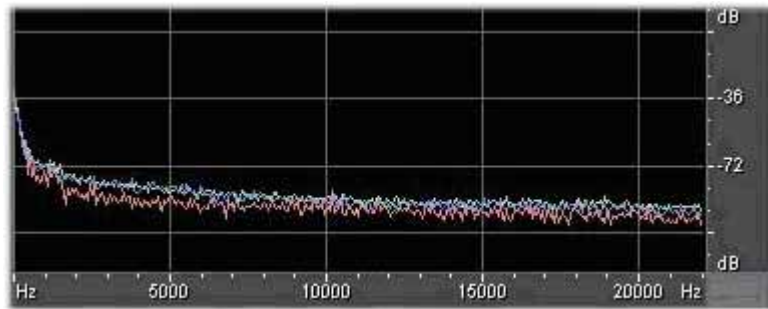
二、LP 鑽石唱針以不同速率摩擦時，金屬的頻譜圖分析(因資料過於龐大，僅摘錄各樣本編號 1,11,21 圖形分析)

1、大紅銅盤(厚度 0.300mm)的頻譜圖：

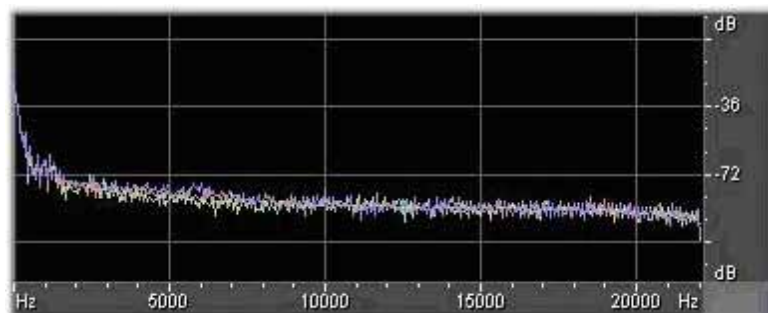
- (1) 摩擦速率 23.10cm/sec  
樣本編號 1.11.21 (圖五十八)



- (2) 摩擦速率 24.95cm/sec  
樣本編號 1.11.21 (圖五十九)



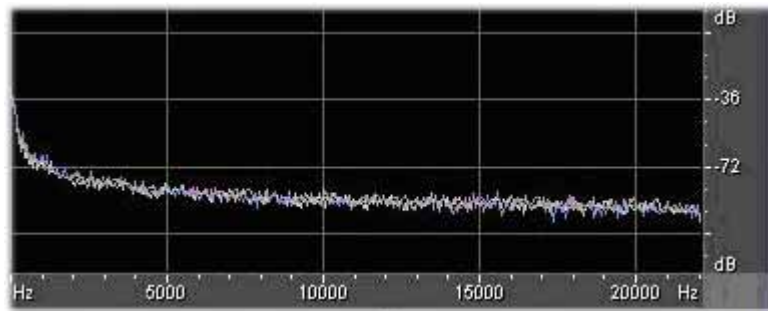
- (3) 摩擦速率 25.73cm/sec  
樣本編號 1.11.21 (圖六十)



## 2、中紅銅盤(厚度 0.500mm)的頻譜圖：

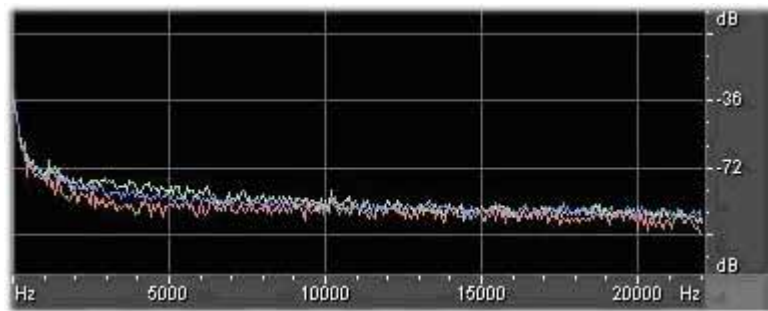
(1) 摩擦速率 23.10cm/sec

樣本編號 1.11.21 (圖六十一)



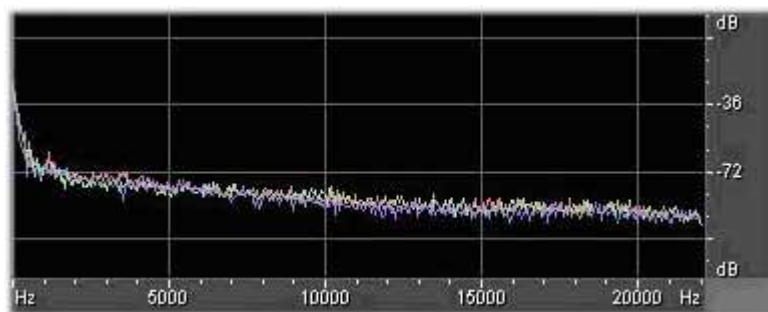
(2) 摩擦速率 24.95cm/sec

樣本編號 1.11.21 (圖六十二)



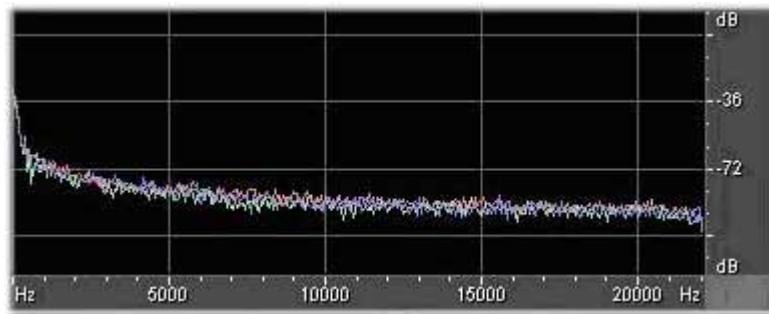
(3) 摩擦速率 25.73cm/sec

樣本編號 1.11.21 (圖六十三)

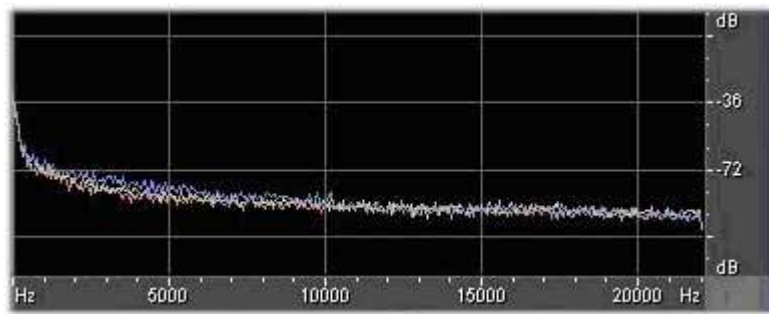


### 3、小紅銅盤(厚度 0.800mm)的頻譜圖：

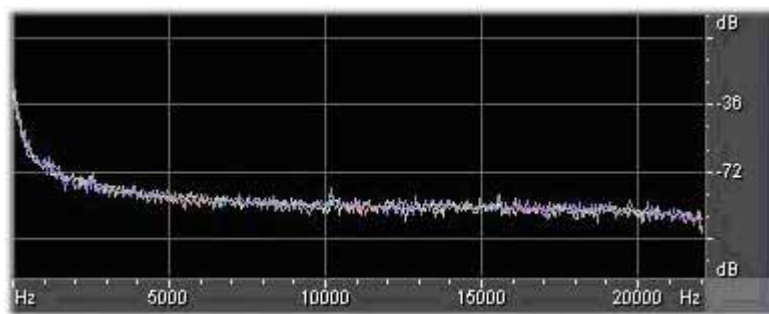
- (1) 摩擦速率 23.10cm/sec  
樣本編號 1.11.21 (圖六十四)



- (2) 摩擦速率 24.95cm/sec  
樣本編號 1.11.21 (圖六十五)



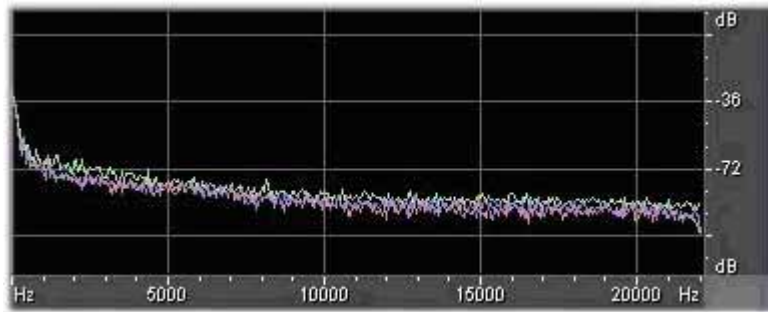
- (3) 摩擦速率 25.73cm/sec  
樣本編號 1.11.21 (圖六十六)



#### 4、大青銅盤(厚度 0.300mm)的頻譜圖：

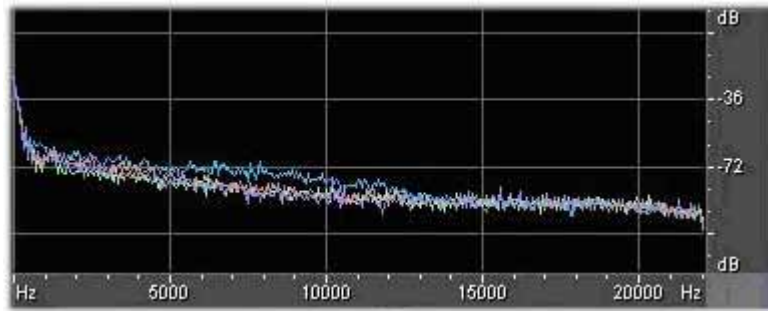
(1) 摩擦速率 23.1cm/sec

樣本編號 1.11.21 (圖六十七)



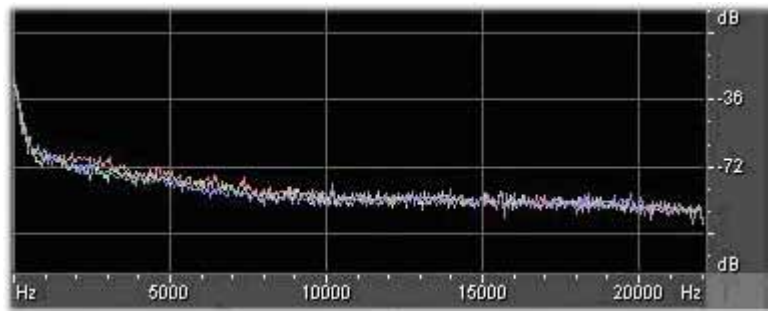
(2) 摩擦速率 24.95cm/sec

樣本編號 1.11.21 (圖六十八)



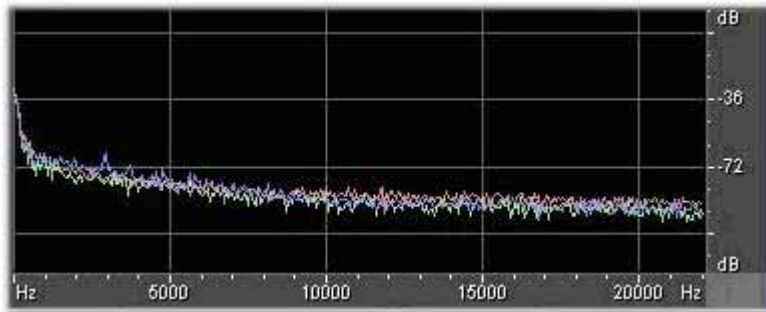
(3) 摩擦速率 25.73cm/sec

樣本編號 1.11.21 (圖六十九)

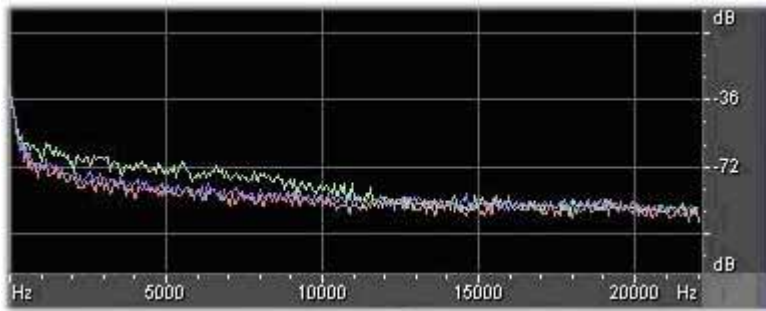


5、中青銅盤(厚度 0.500mm)的頻譜圖：

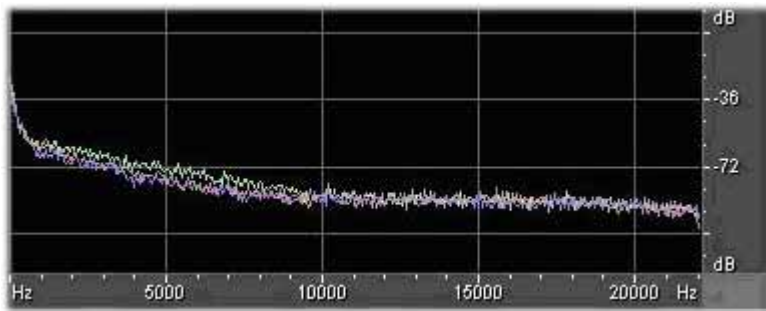
- (1) 摩擦速率 23.1cm/sec  
樣本編號 1.11.21 (圖七十)



- (2) 摩擦速率 24.95cm/sec  
樣本編號 1.11.21 (圖七十一)

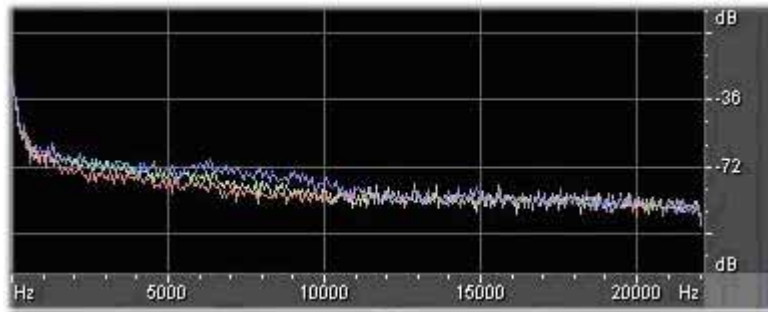


- (3) 摩擦速率 25.73cm/sec  
樣本編號 1.11.21 (圖七十二)

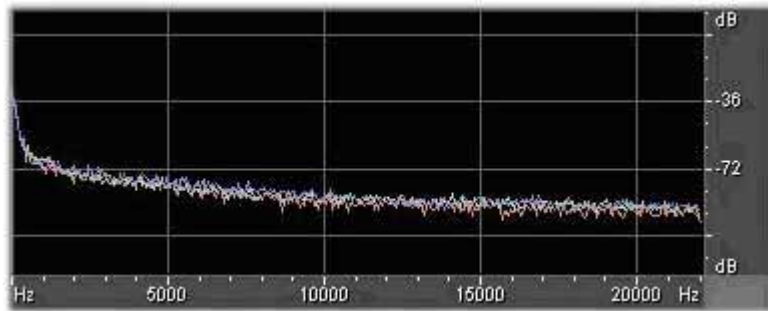


6、小青銅盤(厚度 0.800mm)的頻譜圖：

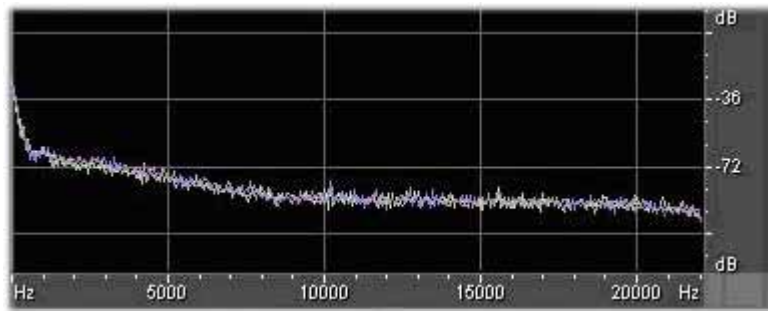
- (1) 摩擦速率 23.10cm/sec  
樣本編號 1.11.21 (圖七十三)



- (2) 摩擦速率 24.95cm/sec  
樣本編號 1.11.21 (圖七十四)

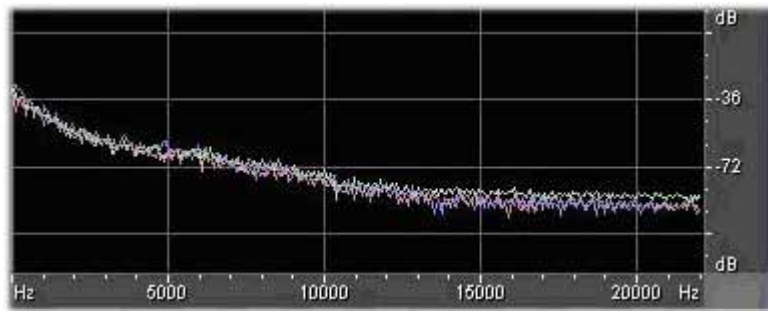


- (3) 摩擦速率 25.73cm/sec  
樣本編號 1.11.21 (圖七十五)

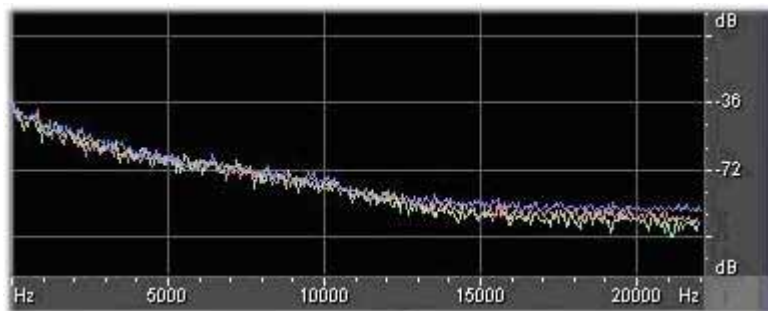


7、大鋁盤(厚度 0.800mm)的頻譜圖：

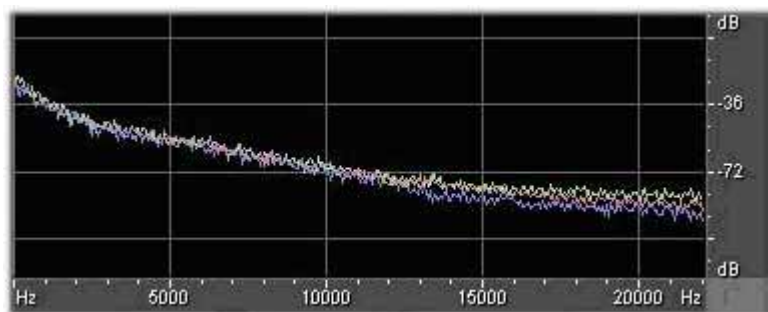
- (1) 摩擦速率 23.10cm/sec  
樣本編號 1.11.21 (圖七十六)



- (2) 摩擦速率 24.95cm/sec  
樣本編號 1.11.21 (圖七十七)



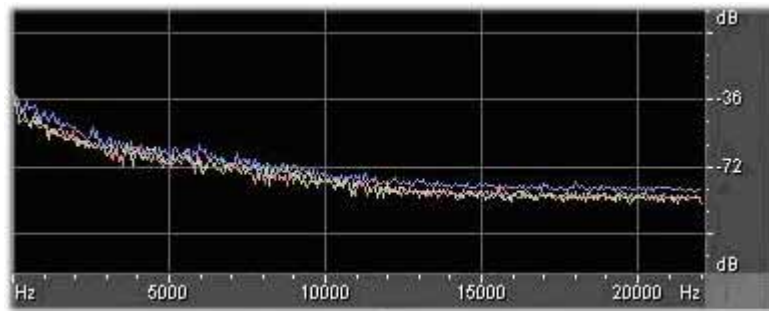
- (3) 摩擦速率 25.42cm/sec  
樣本編號 1.11.21 (圖七十八)



## 8、中鉛盤(厚度 1.500mm)的頻譜圖：

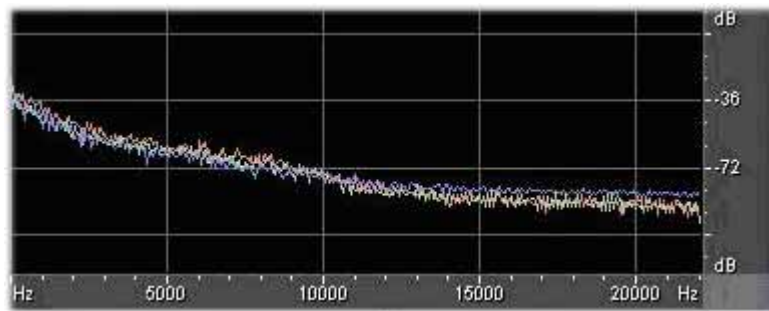
(1) 摩擦速率 23.10cm/sec

樣本編號 1.11.21 (圖七十九)



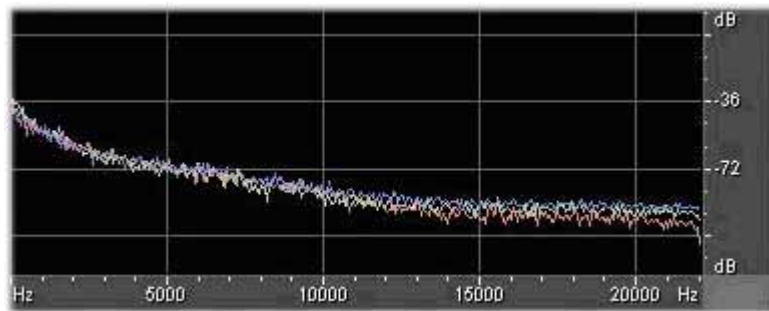
(2) 摩擦速率 24.95cm/sec

樣本編號 1.11.21 (圖八十)



(3) 摩擦速率 25.42cm/sec

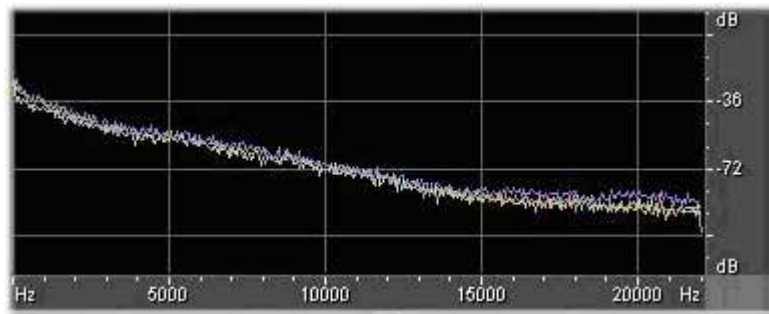
樣本編號 1.11.21 (圖八十一)



## 9、小鋁盤(厚度 2.000mm)的頻譜圖：

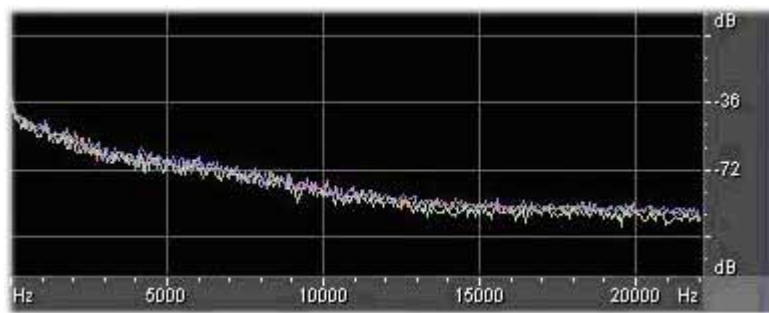
(1) 摩擦速率 23.10cm/sec

樣本編號 1.11.21 (圖八十二)



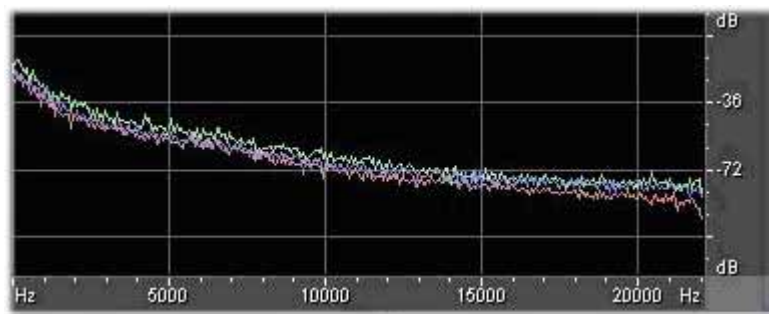
(2) 摩擦速率 24.95cm/sec

樣本編號 1.11.21 (圖八十三)



(3) 摩擦速率 25.42cm/sec

樣本編號 1.11.21 (圖八十四)



### 頻譜圖結果分析與討論：

- (1) 由圖五十八到八十四的頻譜圖發現，相同樣本的頻譜圖，外觀相似，重疊性高，而且頻譜的能量隨著頻率的增加而遞減。
- (2) 從頻譜圖的結果發現除在頻率 1000Hz 以下的能量有明顯呈現外，其餘頻率能量峰值並無特別凸出。

### 三、不同規格材質金屬相似度統計表：

材質	規格	厚度(mm)	摩擦速率(cm/s)	相似度	標準差	鑑識門檻 t 值 ( $t = \mu - 0.3\sigma$ )	備註
紅銅盤	大	0.300	23.10	0.966	0.002	0.964	
			24.95	0.966	0.006	0.964	
			25.73	0.965	0.001	0.965	
	中	0.500	23.10	0.961	0.014	0.957	
			24.95	0.966	0.006	0.962	
			25.73	0.960	0.004	0.959	
	小	0.800	23.10	0.964	0.002	0.963	
			24.95	0.965	0.003	0.964	
			25.73	0.964	0.001	0.964	
青銅盤	大	0.300	23.10	0.964	0.002	0.962	
			24.95	0.962	0.006	0.960	
			25.73	0.963	0.002	0.961	
	中	0.500	23.10	0.963	0.002	0.961	
			24.95	0.963	0.010	0.960	
			25.73	0.961	0.004	0.960	
	小	0.800	23.10	0.961	0.008	0.959	
			24.95	0.961	0.007	0.959	
			25.73	0.964	0.001	0.963	
鋁盤	大	0.800	23.10	0.954	0.009	0.951	
			24.95	0.959	0.002	0.957	
			25.42	0.952	0.011	0.949	
	中	1.500	23.10	0.957	0.002	0.956	
			24.95	0.958	0.006	0.957	
			25.42	0.944	0.023	0.937	
	小	2.000	23.10	0.958	0.001	0.956	
			24.95	0.960	0.001	0.960	
			25.42	0.943	0.017	0.938	

(表二)

#### 相似度結果分析與討論：

- 1、由實驗中各種金屬材質摩擦產生頻譜的相似度數值中，發現各樣本的相似度均在 0.943 以上，顯示單一樣本的頻譜圖具有高相似度，可為參考比較的依據。
- 2、實驗結果中發現，各樣本相似度標準差甚小，顯示樣本訊號的收集穩定，因此也提高鑑識門檻 t 值，與實驗辨識的準確性。

四、同一金屬材質在不同摩擦速率產生聲音頻譜，平均相似度 t 值鑑定：

1、以厚度 0.500mm 摩擦速率 23.1cm/sec 的紅銅為基準，樣本平均相似度 t 值鑑定：

金屬名稱	厚度(mm)	摩擦速率(cm/sec)	頻譜相似度	判識結果	備註
紅銅	0.300	24.95	0.955	不相似	
		25.73	0.964	相似	
	0.500	24.95	0.947	不相似	
		25.73	0.943	不相似	
	0.800	24.95	0.945	不相似	
		25.73	0.957	相似	
樣本頻譜頻均相似度門檻值 t =0.957					

(表三)

2、以厚度 0.500mm 摩擦速率 24.95cm/sec 的紅銅為基準，樣本平均相似度 t 值鑑定：

金屬名稱	厚度(mm)	摩擦速率(cm/sec)	頻譜相似度	判識結果	備註
紅銅	0.300	23.10	0.952	不相似	
		25.73	0.956	不相似	
	0.500	23.10	0.950	不相似	
		25.73	0.948	不相似	
	0.800	23.10	0.955	不相似	
		25.73	0.946	不相似	
樣本頻譜頻均相似度門檻值 t =0.962					

(表四)

3、以厚度 0.500mm 摩擦速率 25.73cm/sec 的紅銅為基準，樣本平均相似度 t 值鑑定：

金屬名稱	厚度(mm)	摩擦速率(cm/sec)	頻譜相似度	判識結果	備註
紅銅	0.300	23.10	0.946	不相似	
		24.95	0.945	不相似	
	0.500	23.10	0.946	不相似	
		24.95	0.950	不相似	
	0.800	23.10	0.952	不相似	
		24.95	0.954	不相似	
樣本頻譜頻均相似度門檻值 t =0.959					

(表五)

4、以厚度 0.500mm 摩擦速率 23.1cm/sec 的青銅為基準，樣本平均相似度 t 值鑑定

金屬名稱	厚度(mm)	摩擦速率(cm/sec)	頻譜相似度	判識結果	備註
青銅	0.300	24.95	0.960	不相似	
		25.73	0.955	不相似	
	0.500	24.95	0.958	不相似	
		25.73	0.945	不相似	
	0.800	24.95	0.953	不相似	
		25.73	0.955	不相似	
樣本頻譜頻均相似度門檻值 t =0.962					

(表六)

5、以厚度 0.500mm 摩擦速率 24.95cm/sec 的青銅為基準，樣本平均相似度 t 值鑑定

金屬名稱	厚度(mm)	摩擦速率(cm/sec)	頻譜相似度	判識結果	備註
青銅	0.300	23.10	0.960	相似	
		25.73	0.957	不相似	
	0.500	23.10	0.960	相似	
		25.73	0.949	不相似	
	0.800	23.10	0.957	不相似	
		25.73	0.957	不相似	
樣本頻譜頻均相似度門檻值 t =0.960					

(表七)

6、以厚度 0.500mm 摩擦速率 25.73cm/sec 的青銅為基準，樣本平均相似度 t 值鑑定

金屬名稱	厚度(mm)	摩擦速率(cm/sec)	頻譜相似度	判識結果	備註
青銅	0.300	23.10	0.949	不相似	
		24.95	0.951	不相似	
	0.500	23.10	0.950	不相似	
		24.95	0.953	不相似	
	0.800	23.10	0.952	不相似	
		24.95	0.955	不相似	
樣本頻譜頻均相似度門檻值 t =0.960					

(表八)

7、以厚度 1.500mm 摩擦速率 23.1cm/sec 的鋁為基準，樣本平均相似度 t 值鑑定

金屬名稱	厚度(mm)	摩擦速率(cm/sec)	頻譜相似度	判識結果	備註
鋁	0.800	24.95	0.935	不相似	
		25.73	0.946	不相似	
	1.500	24.95	0.948	不相似	
		25.73	0.920	不相似	
	2.000	24.95	0.949	不相似	
		25.42	0.917	不相似	
樣本頻譜頻均相似度門檻值 t =0.956					

(表九)

8、以厚度 1.500mm 摩擦速率 24.95cm/sec 的鋁為基準，樣本平均相似度 t 值鑑定

金屬名稱	厚度(mm)	摩擦速率(cm/sec)	頻譜相似度	判識結果	備註
鋁	0.800	23.10	0.947	不相似	
		25.73	0.942	不相似	
	1.500	23.10	0.950	不相似	
		25.73	0.909	不相似	
	2.000	23.10	0.950	不相似	
		25.42	0.927	不相似	
樣本頻譜頻均相似度門檻值 t =0.957					

(表十)

9、以厚度 1.500mm 摩擦速率 25.42cm/sec 的鋁為基準，樣本平均相似度 t 值鑑定

金屬名稱	厚度(mm)	摩擦速率(cm/sec)	頻譜相似度	判識結果	備註
鋁	0.800	23.10	0.916	不相似	
		24.95	0.870	不相似	
	1.500	23.10	0.917	不相似	
		24.95	0.902	不相似	
	2.000	23.10	0.913	不相似	
		24.95	0.893	不相似	
樣本頻譜頻均相似度門檻值 t =0.937					

(表十一)

## 結果分析與討論：

- (1) 由表三到表十一，分別比較同一樣本在不同摩擦速率的平均相似度，當摩擦速率不同時，從待測金屬樣品與基準樣本的相似度門檻  $t$  值檢驗中，發現絕大部分的測試金屬樣品，沒有通過門檻  $t$  值，即被定義為「不相似」，顯示摩擦速率會影響聲音的頻譜圖。
- (2) 表三與表七，各有兩個測試樣品通過門檻  $t$  值而被定義為「相似」，主要可能是本實驗應用的相似度統計理論，是以 90% 信賴度所定之門檻值造成的誤差，或儀器本身的誤差。
- (3) 雖然結果顯示金屬摩擦速率會影響聲音頻譜，但與樣本比較，測試樣品的相似度仍然高，平均相似度約在 0.943，顯示基準樣本與測試樣品的頻譜圖有很高的相似度。
- (4) 實驗中發現鋁片的刮痕明顯要比紅銅及青銅深且粗，由表三至表十一發現鋁測試樣品與基準樣本鋁的平均相似度(0.925)，明顯低於紅銅及青銅與其基準樣本的平均相似度值(紅銅 0.950、青銅 0.954)。因此在本實驗設計中，材質較硬的紅銅、青銅所產生的聲音頻譜圖，要比材質較軟的鋁相似度高而穩定。

## 肆、結論與應用

- 一、在相同的摩擦速率下，以 LP 鑽石唱針可以讀取穩定而相似度高(平均 0.958)的頻譜資料。
- 二、建立完整的金屬摩擦聲譜，可由相似度統計的理論鑑識出金屬材質的成份。
- 三、金屬的摩擦速率會影響聲音頻譜的產生，摩擦速率與頻譜的相關性為何？是值得研究的主題之一。如果能找出摩擦速率與頻譜的相關性，則可藉此關聯經由任一摩擦速率的金屬聲音頻譜圖鑑識其組成的材質成份。

## 伍、參考資料與其它

- 一、蘇泉謚。刑事圖樣鑑定。中央警察大學刑事警察研究所碩士論文。
- 二、劉長遠。聲納訊號辨識之研究。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。
- 三、周彥廷。土石流地聲特性之研究—不同大小及材質之地聲頻譜辨識。國立成功大學水利兼海洋工程研究所碩士論文。
- 四、蔡玫媛。土石流地聲特性之實驗研究—不同材質土石聲紋之區別。國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
- 五、David S. Moore。鄭惟厚譯。統計學的世界 (94)
- 六、David S. Moore。鄭惟厚譯。統計讓數字說話 (94)
- 七、HALIDAY, RESNICK, WALKER。黃崢瑜等編譯。FUNDAMENTALS OF PHYSICS (90)
- 八、聲音波形 (<http://cslin.auto.fcu.edu.tw/scteach88>)

## 評語

這是一個非常有應用價值的研究，由聲頻取樣建立不同材質的頻譜圖，並以同材質作出相似度判別函數。但整個研究有兩個主要問題需要再做加強，一個是當聲音取樣超過偵測器最大取樣值時，未能防止其發生，造成取樣聲頻資料的漏失;另一個是未以甲材質為基準作乙材質相似度的判斷，這是最可惜的地方。