

2024仰望盃全國科學HomeRun實作大賽

決賽成果報告書

隊伍名稱: 今天氣真好

作品名稱: Laser Guitar

科學概念1: 找尋最適合吉他的感測器

探討目前常用於感測距離的感測器, 如:雷射、紅外線、超音波等, 對於實際長度測量的誤差, 同時也實驗兩組相同感測器互相干擾的情形, 與實際上琴頸可容納的寬度以此來找出合適的感測器用於琴弦的部分。

科學概念2: 琴格間距的原理與音符發明的關係

探討吉他如何發聲, 從古希臘時期畢達哥拉斯如何發現與創造八度音, 再到後續明朝朱載堉依照相同比例所劃分的十二個音符, 而吉他又是如何依照著弦長與頻率在物理公式上的關係分配出大小適當的間隔, 使其在間隔內能發出吻合的頻率。

科學概念3: 如何運用機械裝置發聲與感測

探討如何運用工程零件與感測器去模擬一台吉他。使用VL53L0X感測器, 配合Arduino Mega 以及 Arduino Pro Micro主板, 將感測器訊號轉變為MIDI訊號輸出給發聲裝置, 使該裝置可進行彈奏。

決賽成果報告書內文

(最多10頁)

壹、發想動機

鑒於我們有組員正在學習吉他，但是他在學習中發現了以下幾點可以改善的問題：

1. **環境的汙染:**在吉他的使用過程中，琴弦是需要時常更換的消耗品，而常見的民謠吉他琴弦第三至六條製作分為內外兩層，內部由鋼弦或高碳鋼弦製作而成，而外部則是由各式銅合金的線纏繞在內部的弦上，而琴弦最外層常常會再覆膜用以增加琴弦的壽命，基於以上弦的製作材料與過程，使之在回收時面臨的問題重重。首先，因為弦是各種合金及摻雜人工合成材料而製成的，因而在熔解後會混合在一起形成不合商業利益成本的物料。其次，直接丟到撕碎機中粉碎，琴弦會因受力不均而纏繞在機器上，而如果將琴弦壓縮後再放進機械中，則是會多了一道工序。因此，大多回收廠都選擇不願接收，因而我們在做Laser Guitar時，嘗試將會對環境增加負擔的琴弦替換成不須更換的各式感應器，並進行測試是否可行。

2. **老年人的學習**：學習吉他的組員在家中奶奶看完她表演後，也好奇的想讓她教幾個簡單的和弦嘗試演奏看看，卻因為手指的靈活度不似當年，在某些需要手擺出特殊角度的和弦，手指就不能出到合適足夠的力度上，因而弦會因為未成一個封閉系統發不出而發出悶悶的聲音。在設計吉他時，我們因為想解決此問題，想所以想透過換掉吉他弦改為使用感測器的方式，減少因為力道不足而發不出聲音的弊端，雖然會減少表演方式的多樣，卻能降低基本演奏的門檻，使老年人能較為輕鬆的一起參與，而初學者也能利用此吉他複習指法。

3. **避免對周圍鄰居的環境汙染**：我們考量到，在練習時吉他時，吉他發出的聲音在如今相連緊湊的社區中定然會影響到周圍的鄰居，因而我們在製做Laser Guitar時，嘗試找尋可以將聲音傳輸到電腦設備，並選擇發聲裝置的發聲方式。

貳、作品創意性：(最多300字)

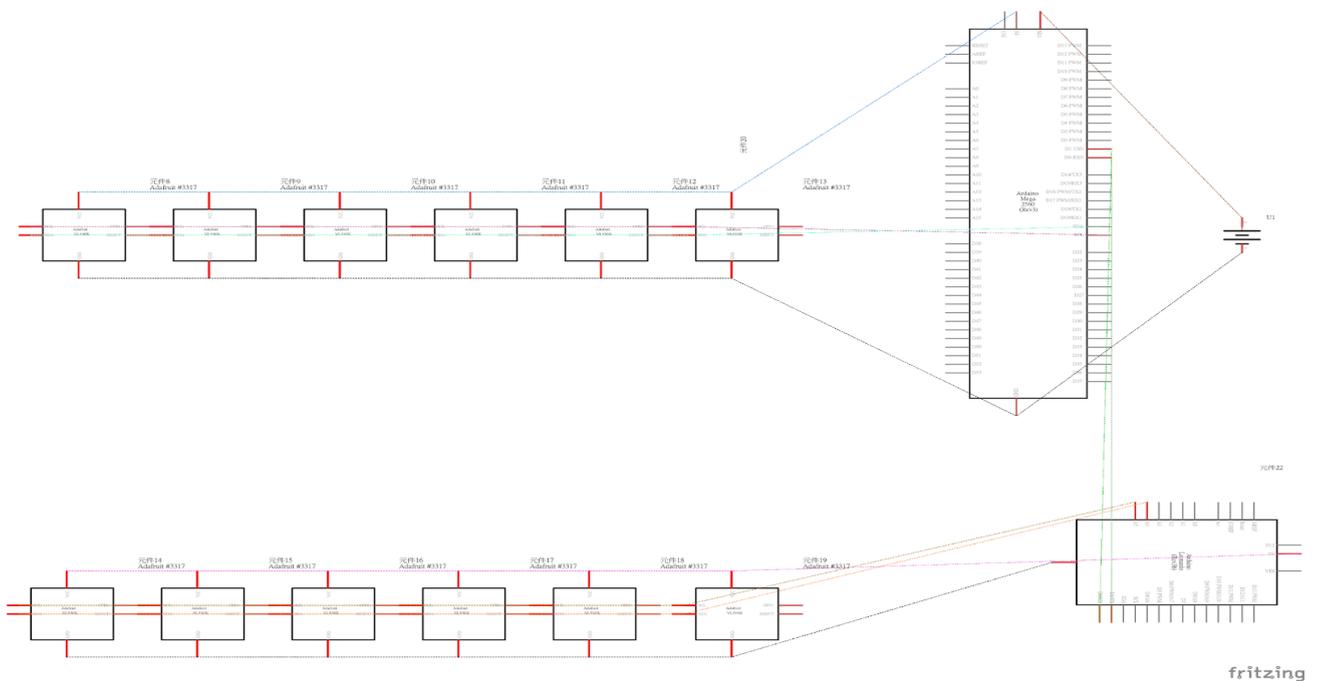
- **節省換弦的麻煩**：我們透過感測器取代琴弦，使之免於因時間的關係，影響聲音與手感，而需要定時換弦，同時降低了溫度與濕度的改變而造成的保養與存放的問題，也避免了弦突然斷裂而彈出打到人的問題。

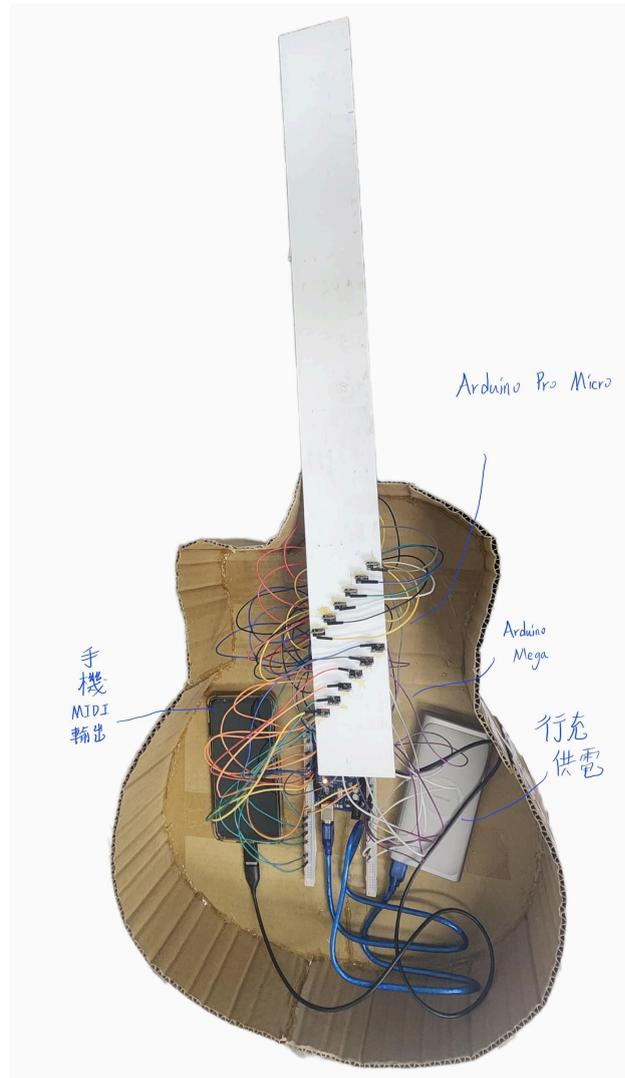
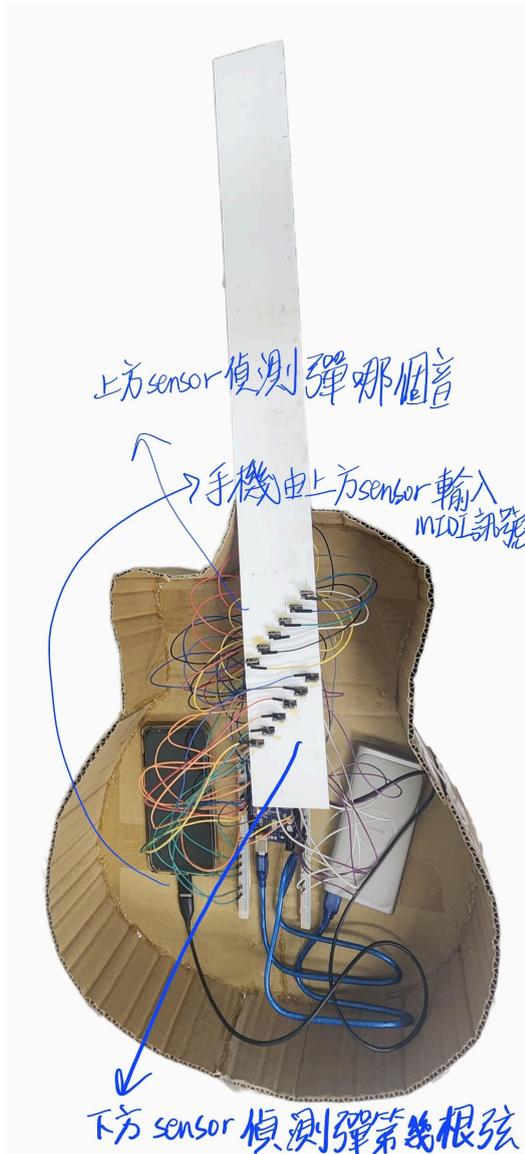
- **無弦吉他**：目前市面上看到的無弦吉他大多都是按鍵式，並非真的無弦，無法像一般吉他一樣去按和弦位置以及刷弦，我們透過用雷射模擬琴弦，使該吉他可以有一般吉他的彈奏體驗。

- **轉換發聲方式**：我們在設計吉他時，考量到以正常的古典吉他練習，常常會面臨練習的場所並沒有隔音設備，因而在設計其發聲裝置時，我們選擇讓使用者可以自行考量當下場景，而挑選適合的發聲裝置，像是喇叭或是耳機。

參、硬體及電路架構圖：

使用Arduino Mega + Arduino Pro Micro (相容於Leonardo)

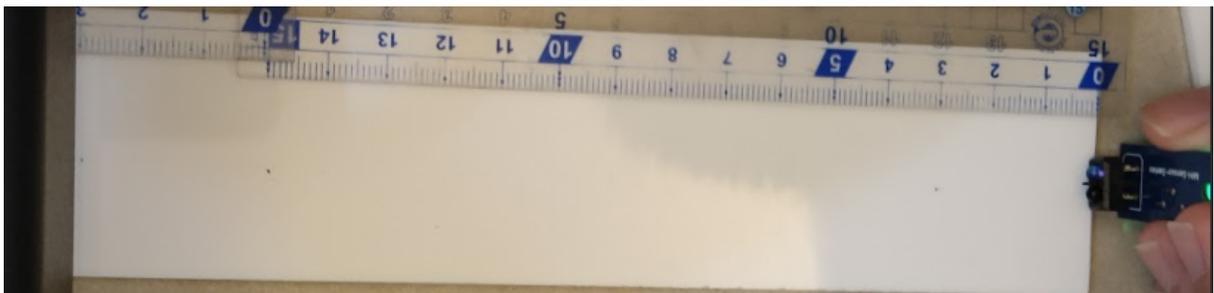




肆、作品成果報告：(可透過圖表或照片說明之)

1. 不同感測器之間的誤差實際數據：

(1) 雷射感測器



裝置1	裝置2	裝置3	裝置1	裝置2	裝置3	裝置1	裝置2	裝置3	
68	65	66				188	174	186	
64	68	67	122	125	121	185	173	185	
67	66	69	123	126	122	189	167	191	
66	67	68	126	125	123	190	174	182	
65	62	64	131	122	126	188	173	183	
65	66	63	130	123	120	197	169	186	
65	62	65	130	126	116	191	177	185	
62	64	63	127	131	115	185	172	188	
66	62	65	127	130	115	187	172	185	
66	63	64	129	130	111	187	173	186	
61	63	61	125	127	119	181	178	182	
63	60	63	126	127	117	186	175	189	
59	61	62	124	129	120	187	174	188	
63	63	59	128	125	121	184	180	187	
66	62	62	122	126	122	184	179	185	
61	61	62	127	124	121	181	181	184	
65	60	63	122	128	123	178	184	188	
68	62	61	126	122	124	180	184	187	
64	63	65	122	127	124	182	183	186	
67	61	63	124	122	127	183	190	192	
66	64	66	128	126	128	183	188	184	
66	63	67	128	122	128	181	188	188	
66	60	62	125	124	129	181	190	187	
66	64	66	122	128	127	182	183	181	
1555	1512	1536	124	129	127	4440	4281	4465	
64.79166667	63	63.93055556	3018	3024	2926	185	178.375	186.0416667	183.1388889
			125.75	126	121.9166667				
					124.5555556				

▲左圖為進行6cm的測試，中圖為12cm的測試，右圖為18cm的測試

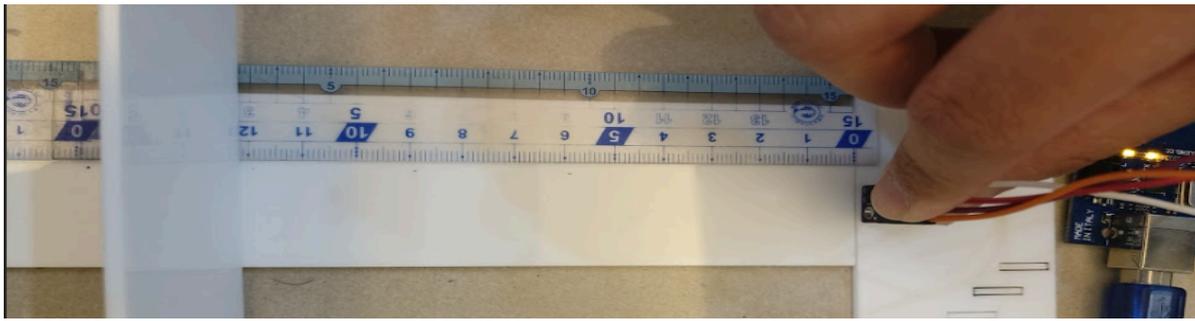
(2)超聲波感測器



裝置1	裝置2	裝置3	裝置1	裝置2	裝置3	裝置1	裝置2	裝置3
65	64	64				170	170	170
65	65	64	121	121	122	170	170	170
64	65	68	122	121	122	170	170	170
65	60	68	122	121	122	170	170	170
65	61	68	121	121	121	170	170	170
64	61	60	122	122	121	170	170	170
65	64	60	122	122	121	170	170	170
65	65	68	122	123	122	170	170	170
64	61	68	121	123	122	170	170	170
65	60	64	122	123	122	170	170	170
65	61	64	121	123	121	170	170	170
64	61	69	122	123	121	170	170	170
65	60	65	122	123	121	170	170	170
65	61	63	123	122	121	170	170	170
64	61	59	123	121	121	170	170	170
65	60	64	123	122	121	170	170	170
65	61	64	122	121	121	170	170	170
64	60	64	122	122	123	170	170	170
66	61	65	121	122	123	170	170	170
66	61	65	122	121	123	170	170	170
64	60	62	121	121	123	170	170	170
1554	1475	1540	122	122	123	4080	4080	4080
64.75	61.45833333	64.16666667	121.9583333	121.9166667	121.7083333	170	170	170
		63.45833333			121.8611111			

▲左圖為進行6cm的測試，中圖為12cm的測試，右圖為18cm的測試

(3)紅外線感測器



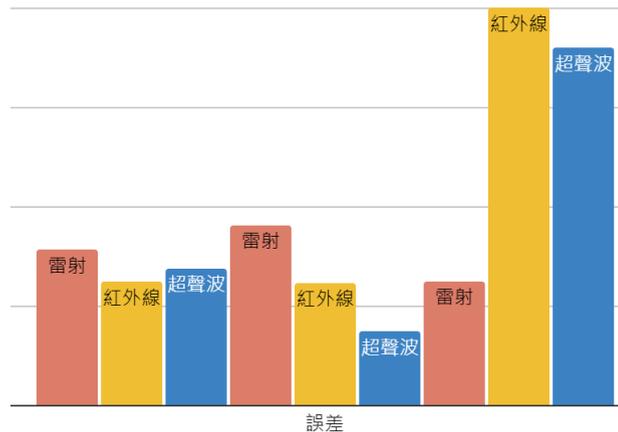
裝置1	裝置2	裝置3		裝置1	裝置2	裝置3		裝置1	裝置2	裝置3	
299	297	317		635	594	603		883	836	821	
299	296	325		634	593	607		882	836	822	
297	297	333		634	596	610		885	837	822	
297	299	340		634	599	615		882	839	822	
297	298	346		633	602	616		883	838	822	
297	299	349		634	604	615		882	840	823	
299	300	348		633	604	615		883	840	822	
299	302	347		634	603	615		883	843	824	
299	302	347		634	600	615		883	842	822	
298	303	348		636	601	616		884	843	822	
298	304	349		637	601	603		884	842	823	
299	304	350		637	602	608		884	844	823	
299	305	350		634	601	610		884	843	822	
300	306	349		635	598	612		886	845	823	
299	307	349		636	592	613		885	844	822	
297	308	348		637	596	613		886	843	823	
295	308	350		637	598	611		886	845	822	
296	308	352		639	599	613		886	844	823	
296	307	352		639	598	610		887	845	823	
297	307	353		640	597	611		887	846	824	
300	306	352		640	598	613		886	847	823	
299	306	350		642	599	610		887	845	822	
								886	849	823	
298	303.1363636	345.6363636	315.5989091	2.161157025	598.8636364	611.5454545	404.1900826	884.56	842.56	822.52	849.88

▲左圖為進行6cm的測試，中圖為12cm的測試，右圖為18cm的測試

(4)數據整合

	雷射	紅外線	超聲波	
60m	1	648	596	647.5
	2	630	606.2	614.58
	3	640	691.28	641.67
	平均	639.33	631.16	634.58
	誤差	39.33	31.16	34.58
120 mm	1	1257.5	1272.28	1219.58
	2	1260	1197.74	1219.17
	3	1219	1223.08	1217.08
	平均	1245.5	1231.03	1218.61
	誤差	45.5	31.03	18.61

180 mm	1	1850	1769.12	1710
	2	1784	1685.12	1710
	3	1860	1645.04	1710
	平均	1831.33	1699.76	1710
	誤差	31.33	100.24	90
平均誤差	38.72	54.14	47.73	



雖然雷射感應器的精準度有時不如超音波感測器，但考慮到擺放時超音波感測器寬度過寬；且雷射的平均誤差相較於超音波及紅外線來說，誤差較小，穩定度較高。最終我們選擇體積較小且誤差較小的雷射感應器作為本次項目的感應器。

2. 琴格的間距:

我們發現吉他的琴格間距是根據音階的頻率比值設計的。根據十二均分律，音階為等比數列，因此相鄰音格之間的間距隨著音調越高而越窄。

根據弦樂器的振動原理，弦長與振動頻率成反比關係：

$$L = \sqrt{(T/\mu)} / f$$

其中：

L: 弦長 T: 弦張力 μ : 線密度 f: 振動頻率

因此，相鄰音格之間的間距可以通過以下公式計算得出：

$$d = L1 - L0$$

其中：

d: 相鄰音格之間的間距 L1: 第一格的弦長 L0: 空弦的弦長

根據上述公式，可以計算出第一格和空弦之間的間距：

$$d = L1 - L0 = \sqrt{(T/\mu)} / f1 - \sqrt{(T/\mu)} / f0$$

由於弦張力 (T) 和線密度 (μ) 在不同音格之間保持不變，

因此可以化簡為：

$$d = \sqrt{1/f_1} - \sqrt{1/f_0}$$

將第一格和空弦的頻率代入，可以計算得出：

$$d = \sqrt{1/87.3 \text{ Hz}} - \sqrt{1/82.4 \text{ Hz}} = 3.65 \text{ 厘米}$$

以此類推，可以計算出其他音格之間的間距。

所以吉他上相鄰音格之間的間距並不是等間的，而是隨著音調越高而越窄。

我們發現實際實作難度過高，數字無法輕易計算，因此我們決定將間距改成固定寬度。

伍、解決問題 & 未來可期：

1.比VL53L0X更好的偵測方式：

我們發現除了距離感測器，還有其他不錯的感測方式，例如壓力感應器、電阻等，能更好的感測位置。

2.製成PCB板：

我們在測試硬體裝置時，所花費最多時間的地方並非思考如何coding或是如何拼湊成吉他，而是在連接杜邦線時，它會一直脫落，因而我們想到把12個感測器與線整合進PCB板，以減少接觸不良的風險，並減少感測器角度對精準度的影響。

3.貼近吉他真實觸感：

鑒於我們學過吉他的組員在試過我們所設計的吉他後，她發現有弦與沒弦會造成手感很大的差別，也會因沒弦而產生與感測器感測出的有一定的實際距離，因而我們思考在未來若有機會，將把線埋在指板上，抑或是架高於感測器，使之受力時，會往下塌陷，導致感測器偵測到線的位置，發出我們所預先設想的音。

陸、心得與反省：

從一開始只是覺得換吉他弦麻煩又貴，到後來好奇不容易摺疊回收的線該何去何從，與如何使老年人能輕易上手吉他起，我們便突然想到了這個議題，便嘗試尋找材料與感測器，並搜尋相關曾經成功連接12個雷射感測器的程式碼，抑或是如何把音訊輸出調成與吉他相似的聲音，然而因為先備知識的不足，導致我們在做實踐前的測試時，需花費大量時間在查詢資料以及詢問老師，也因為我們對於現在實力與處境的認知不足，導致方案一改再改，時間也常常拖至最後才趕出來，期望我們下次在思考大綱時能參照現有實際狀況與物品與時間的合理分配上能有所改進。而在正式進行實體的組裝與測試時，我們又面臨了好幾項問題，像是在進行Arduino裝置測試時，發現官方網站標示我們的Arduino板子支援我們所找到的音源輸出方式，但是網路上找的相關進行測試卻都說不行，又或是一顆顆實驗明明檔案是傳輸的上去，卻在六顆一起時失敗了等等。這大部分都是因為我們先備知識的不足，也期望我們在未來能時時關注且接收相關資訊，在不急時應備急須。

柒、參考文獻：

1. 吉他弦怎麼挑？

<https://guitartogo-music.com/shopping-guide/how-to-choose-guitar-strings/>

2.【認識吉他弦】一次搞懂民謠吉他弦，吉他弦的價格、材質、音色、壽命？

https://www.syanchingmusic.com/article2_detail_25.htm

3.劉又瑄音樂治療師翻譯。音樂治療是什麼呢？

<https://youtu.be/fwcSemSjpiY?feature=shared>

4.cubie。2020/01/09。VL53L0X飛時測距(ToF)感應器模組(一):硬體簡介。<https://swf.com.tw/?p=1347>

5.十二平均律。維基百科。

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%8D%81%E4%BA%8C%E5%B9%B3%E5%9D%87%E5%BE%8B>

6.Ceiling Tsai。2022/11/24。Arduino筆記(96):HC-SR04與VL53L0X(GY-530)的測距比較

https://atceiling.blogspot.com/2020/11/arduino96hc-sr04vl53l0xgy-530.html#google_vignette

6.飆機器人。2023/01/04。【技術】如何選擇非接觸式測距感測器？

<https://shop.playrobot.com/blog/posts/lidar-2>

7.駱俞衡。2020/09/26。音樂與物理的共舞

<https://pb.ps-taiwan.org/modules/news/article.php?storyid=154&uid=0>

8.小卷。2022/05/09。用過的弦超難回收又不環保怎麼辦？不怕！拿來做成新琴弦吧！

<https://inintomusic.asia/stringrecycle/>