

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 物理科

第三名

080109

迷路之音—腔體共振減噪的研究

學校名稱：彰化縣溪州鄉水尾國民小學

作者： 小六 鐘可芯 小六 鐘茂軒 小六 鐘茂育	指導老師： 吳建儒 林碧珊
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：腔體共振、頻率、減噪

摘要

本研究主要探討開口管**自然頻率**的聲音在腔體共振後產生的減噪效果。我們利用穿孔管及密閉腔體自製共振減噪裝置，針對不同的變因設計實驗來驗證，研究結果如下：一、形成共振減噪須滿足條件為：(一)穿孔管長度為欲消除聲音**波長的二分之一**；(二)**最佳開孔位置**與入口端腔壁需距離**四分之一波長**；二、當腔體共振減噪時，開孔數量**越多**，減噪率越高，**有效減噪頻率**會越接近自然頻率；三、在最佳開孔位置前後端另外開孔，可同時增加自然頻率附近的減噪率，擴大**有效減噪範圍**；四、多位置開孔時，**孔距對孔徑比為7:3**，有最佳減噪率；五、密閉腔體容積會影響減噪效果，容積越大，減噪率越高。

壹、研究動機

在自然課的聲音與樂器單元中，我們學習到，當物體振動時，會推動周圍的空氣，產生聲波，在直笛口吹氣時，空氣柱振動的長短可以決定聲音的高低，但我們在網路上找到一段影片（參考資料一），當發聲的管子接上一個小腔體之後，聲音神奇的消失了，好像在腔體裡面迷路一樣，這讓我們感到好奇：**聲音是如何透過共振消失的呢？真的是這樣子嗎？所有的聲音都可以用這種方式消除嗎？**為了解決心中的疑惑，我們開始了一連串的探究。

 <p>❶把所有的孔都按住，振動的空氣柱最長，所以發出的聲音最低。</p>	 <p>❷按的孔比較少，振動的空氣柱變短了，所以聲音變得比較高。</p>	
直笛的發聲原理		尖銳的聲音通過小腔體之後，消失無蹤

作品與教材相關性：

南一版 自然與生活科技領域 五上 第四單元 聲音的探討

翰林版 自然與生活科技領域 六上 第二單元 聲音與樂器

貳、研究目的

- 一、自製腔體共振減噪裝置
- 二、探討穿孔管的孔洞位置與有效減噪頻率的關係
- 三、探討穿孔管的孔洞數量與有效減噪頻率的關係
- 四、探討雙位置開孔對自然頻率的減噪效果
- 五、探討穿孔管的孔距對自然頻率的減噪效果
- 六、探討密閉腔體的容積對自然頻率的減噪效果

參、文獻探討

一、聲音頻率與和波長

「頻率」指每秒鐘週期性振動的次數。「波長」指在某一固定的頻率裡，離平衡位置的「位移」與「時間」皆相同的兩個質點之間的最短距離。當頻率不同時，波長會隨著改變，波長

λ 與頻率 f 成反比關係，兩者的關係式： $\lambda = \frac{V}{f}$

V 為波速，聲音傳播速度會受到溫度(t)的影響，公式為： $V=331+0.6 \times t$

二、自然頻率和共振

所有的物體，內部都會有些彈性的成分，當這些彈性體被敲擊時都會以本身的頻率來振動，而造成獨特的聲音，我們稱此為該物體的自然頻率。因此自然頻率，是指物體僅須最低能量就可產生強迫振動的頻率，同時持續的以這個最低能量來維持此振動頻率。

共振就是當一個物體被「強迫振動的頻率」符合它的「自然頻率」時，振幅就會大量增加的現象。

三、聲音的駐波(standing wave)

兩個同頻率、同振幅但朝相反方向行進的波動，結果重疊形成了駐波，聲波在空氣柱中的振動也可形成。駐波通過時，振幅為零的點稱為波節，振幅最大的點位於兩節點之間，稱為波腹(antinode)。

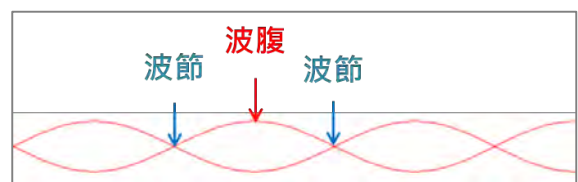


圖 1：駐波示意圖

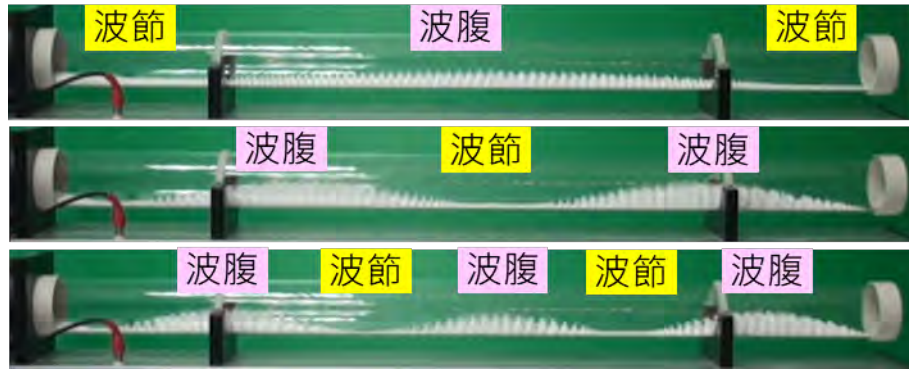
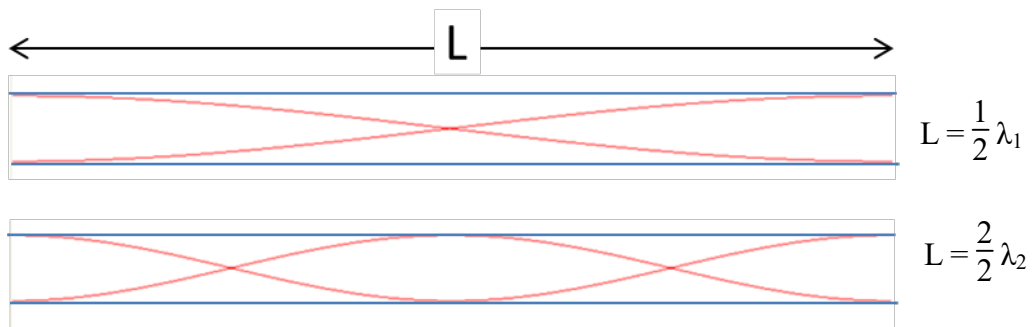


圖 2：閉口管的駐波示意圖

(一) 兩端皆開口管

一管兩端開口，當聲音由開口傳入時，因開口端附近的空氣振動位移最大，兩端都為波腹，中間可以另有波節，也可以沒有波節，當聲音在管內形成駐波時，管長為二分之一個波長的整數倍，波長 λ 與管長 L 有一關係式：

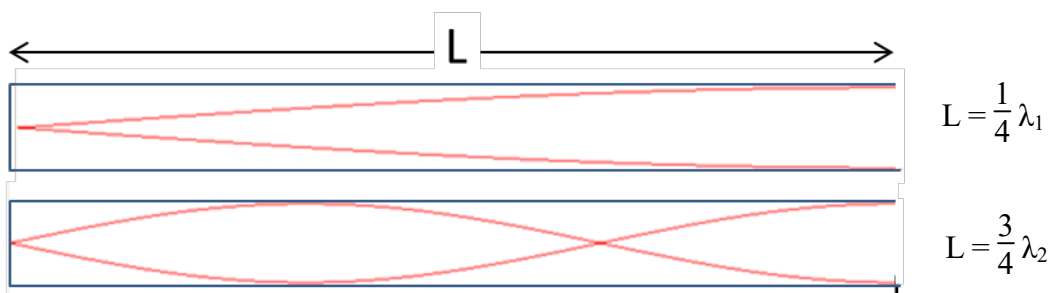
$$L = \frac{n}{2} \lambda \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$



(二) 一端開口、一端閉口的管子

聲音經由此開口端使管內的空氣柱發生振動形成駐波，開口端為波腹，閉口端則為波節，中間可以另有波節，也可以沒有波節，所以當空氣柱形成駐波時，管長為四分之一個波長的奇數倍。波長 λ 與管長 L 必有一關係式：

$$L = m \frac{\lambda}{4} \quad (m = 1, 3, 5, 7, \dots)$$



四、亥姆霍茲共振原理

短管內的空氣柱受到擾動時，腔內的空氣就會對空氣柱產生一個反作用力。空氣柱向空腔內運動時，空腔內的氣體就會對空氣柱產生一個向外推力，在推力的作用下，空氣柱的向內運動就會受阻，轉而向外運動。由於慣性的作用，空氣柱會沖出管口，這時空腔內的氣體就會被拉伸，對空氣柱產生一個向內的拉力，這樣空氣柱就開始向內運動，於是空氣柱就會開始在管口位置處不斷的來回振動。空氣柱振動的頻率稱為共振器的共振頻率。

當聲波的頻率在共振器的共振頻率附近時，就會引起共振器管口處空氣柱的共振。這時，聲音的能量大部分就會因為短管處空氣柱的強烈振動而耗散掉。

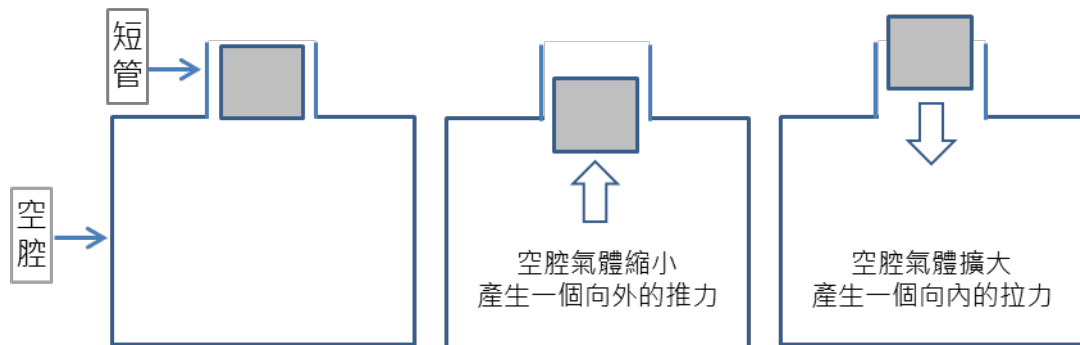


圖 3：亥姆霍茲共振原理說明

由文獻我們設計以**穿孔管**和**密閉腔體**組成的共振系統，管壁上的小孔是主要影響減噪效果的變因，我們在接下來的實驗中，將以穿孔管上的**孔洞的位置**、**孔距**、**數量**以及**腔體容積**等作為變因，研究這些變因與頻率、音量的關係。

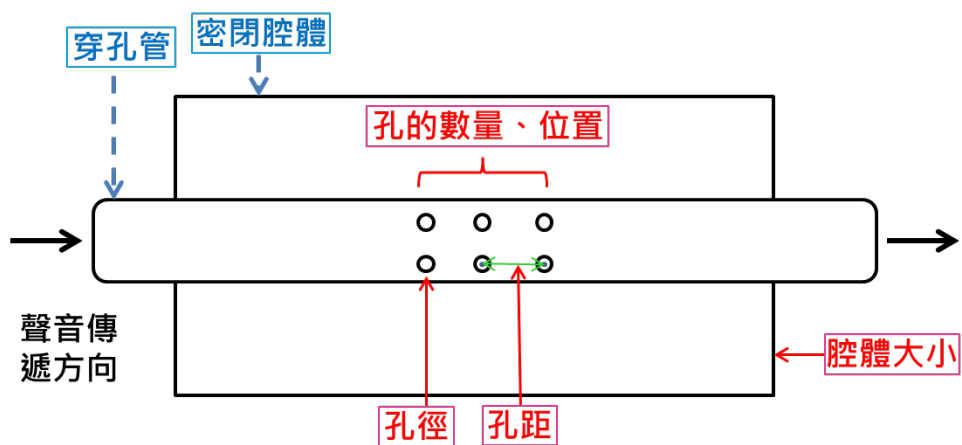


圖 4：裝置組成結構及變因分析

肆、研究設備及器材

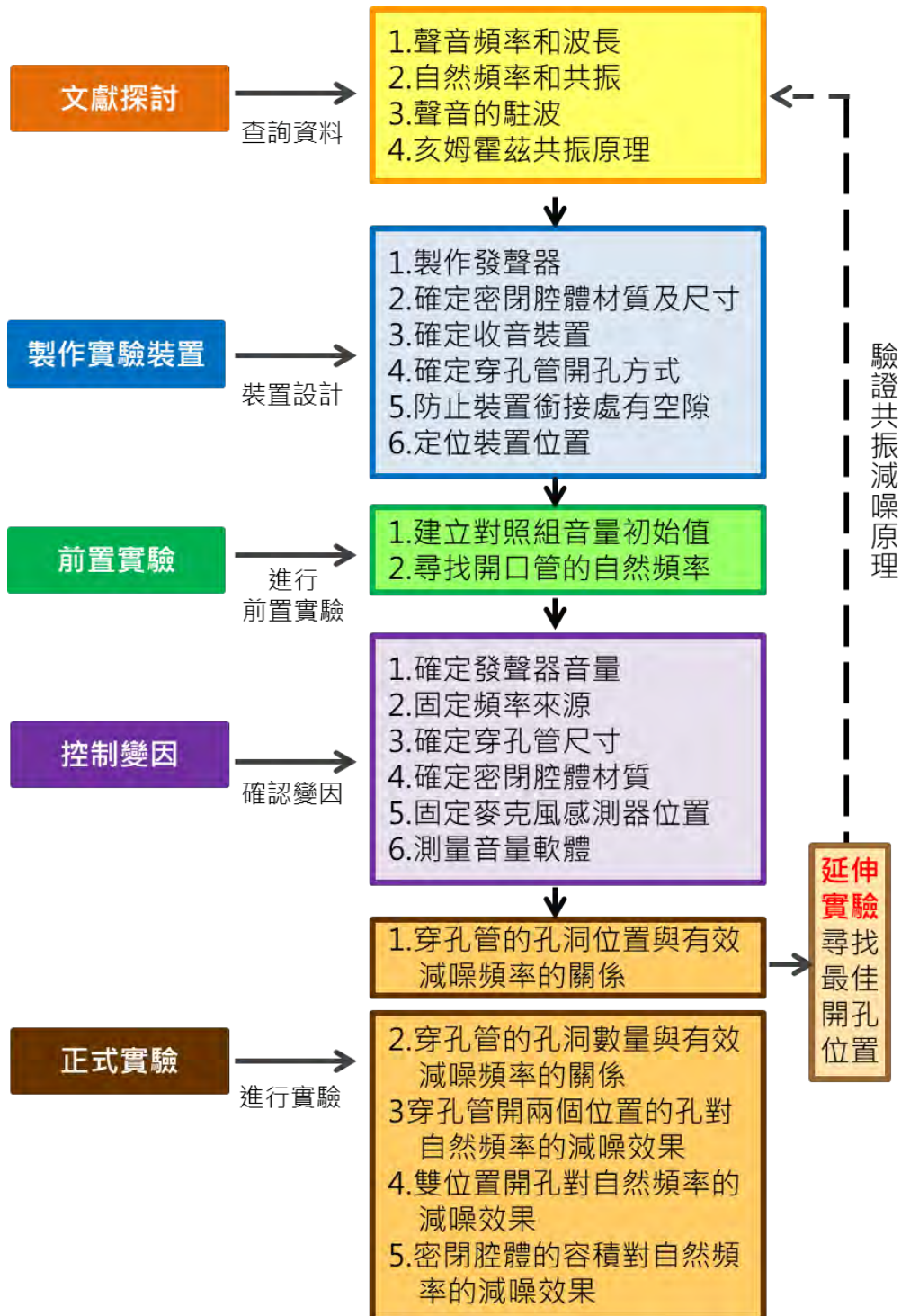
一、實驗材料：壓克力盒、藍芽喇叭、4分PVC管、3D列印腔體、橡膠墊片

二、測量工具：手機、平板電腦、麥克風感測器

三、工具：智高積木、描圖紙、刻磨機、鋸子、油性筆、雙面布膠、熱熔槍

伍、研究方法、結果與討論

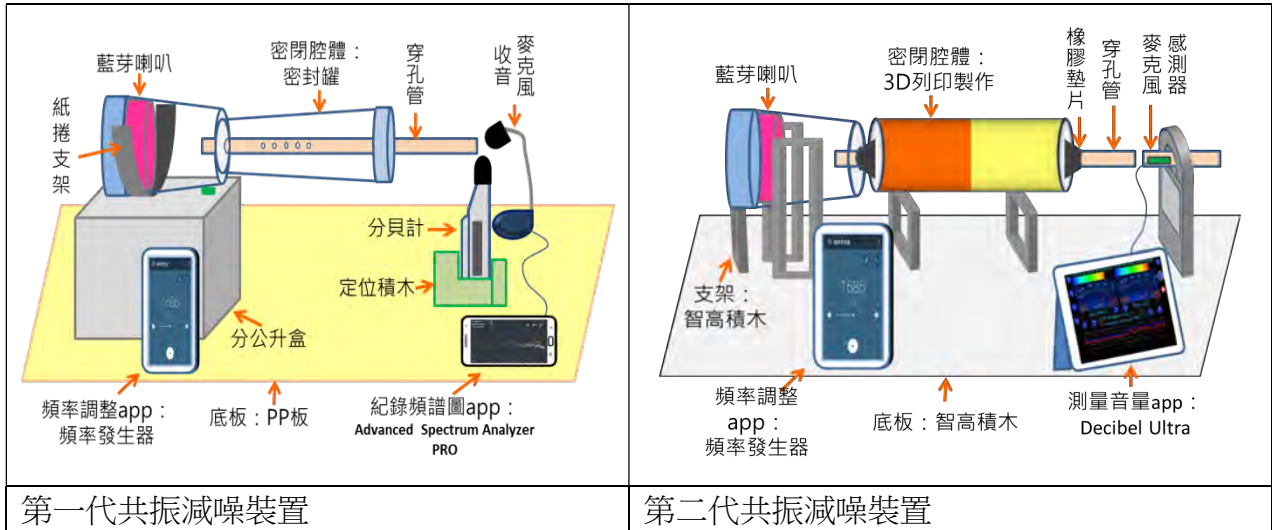
實驗流程圖



一、自製腔體共振減噪裝置

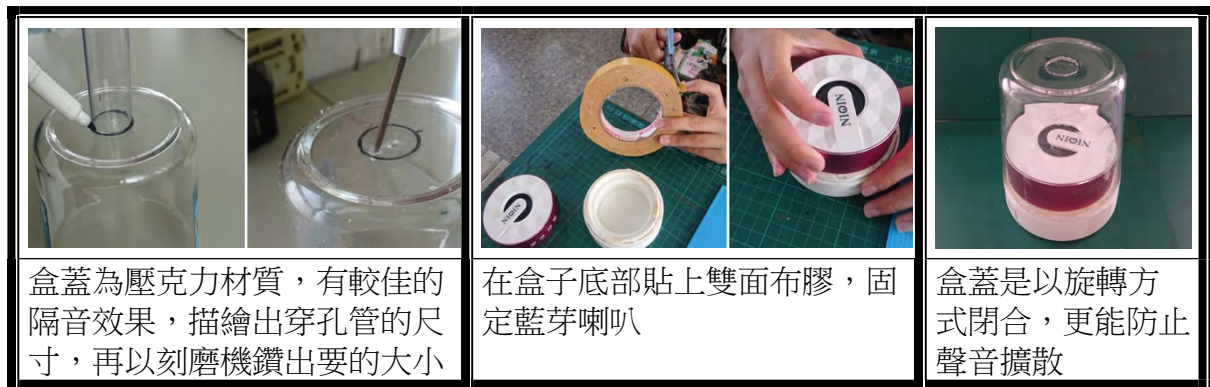
(一)共振減噪裝置設計：

設計概念：我們用藍芽喇叭為發聲器，以手機 app 控制輸出的頻率，聲音經過密閉腔體及穿孔管作成的共振腔體，在出口端收音，測量經過裝置後音量的變化。



(二)裝置技術改進歷程：

- A. **發聲器**：一開始預想在穿孔管內放入小型喇叭，實際走訪電子材料行發現，根本就沒有直徑 2 公分以下的喇叭，因此改用藍芽喇叭來發聲，但遇到難題：要如何使聲音不要擴散出去？

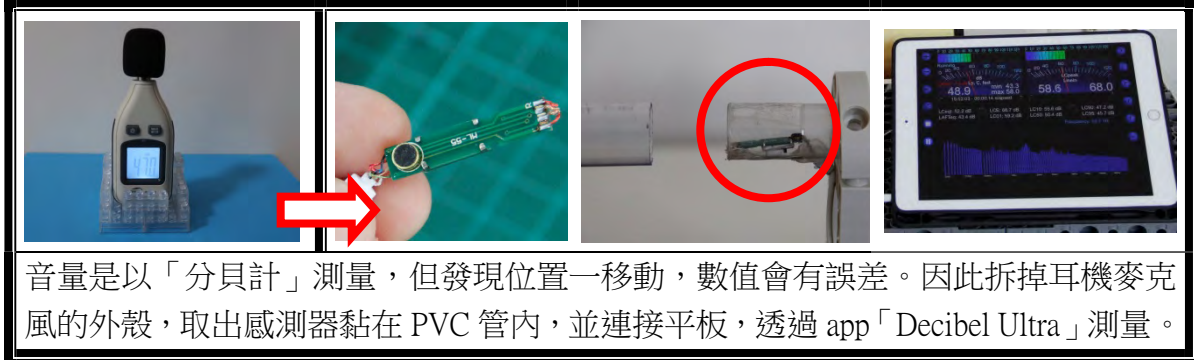


- B. **腔體的材質**：



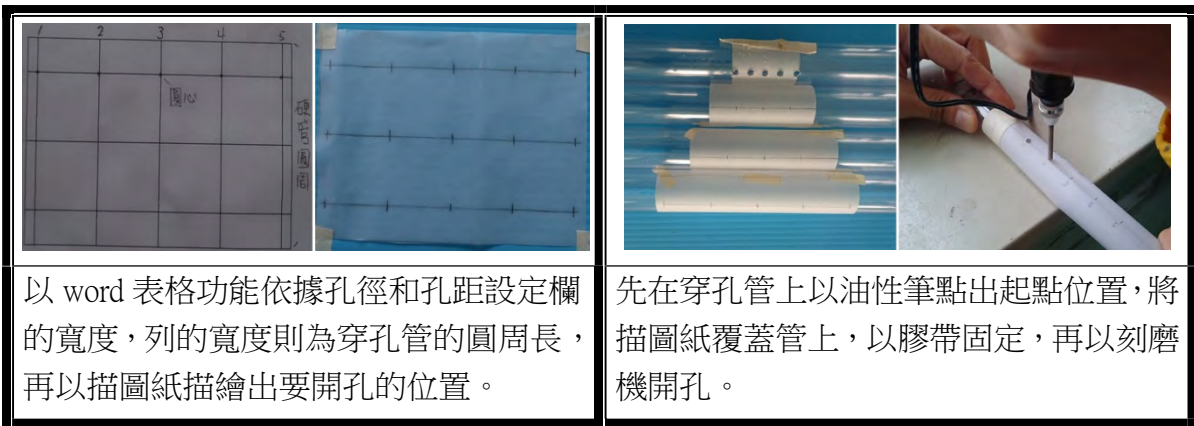
- (1)腔體的材質原本採用 350cc 的寶特瓶，但發聲器播放後，發現音量減少的幅度並不大，我們判斷是寶特瓶太薄，造成聲音不斷向外傳播。
- (2)改用 pp 材質密封罐，杯蓋採旋轉閉合，能達到我們的需求，但罐子的外型是下窄上寬，我們需要以圓柱體來進一步探討位置與波長的關係
- (3)以 3D 列印輸出腔體，能依實驗需求，設計尺寸，達到良好的密閉效果。

C. 收音裝置：



音量是以「分貝計」測量，但發現位置一移動，數值會有誤差。因此拆掉耳機麥克風的外殼，取出感測器黏在 PVC 管內，並連接平板，透過 app「Decibel Ultra」測量。

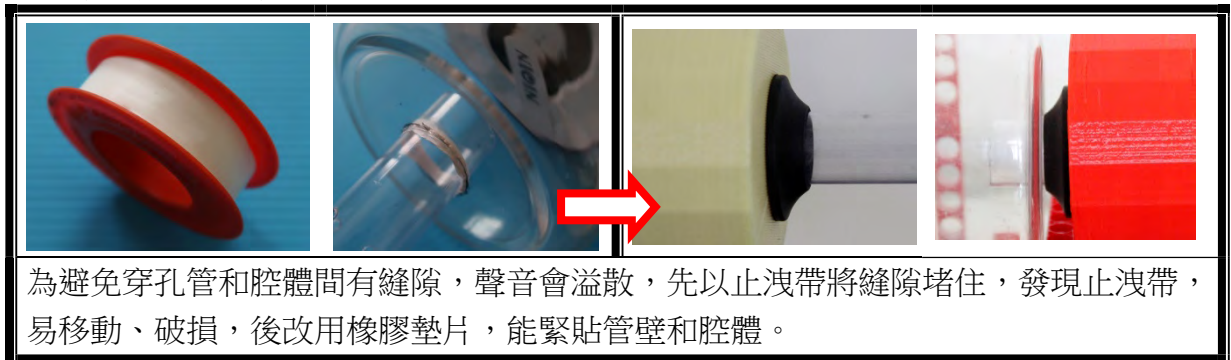
D. 穿孔管開孔方式：研究中有數個實驗的變因都是穿孔管上孔的變化，為了準確地在管壁上鑽出符合需要的距離，我們應用 word 的表格功能及描圖紙來繪製底圖。



以 word 表格功能依據孔徑和孔距設定欄的寬度，列的寬度則為穿孔管的圓周長，再以描圖紙描繪出要開孔的位置。

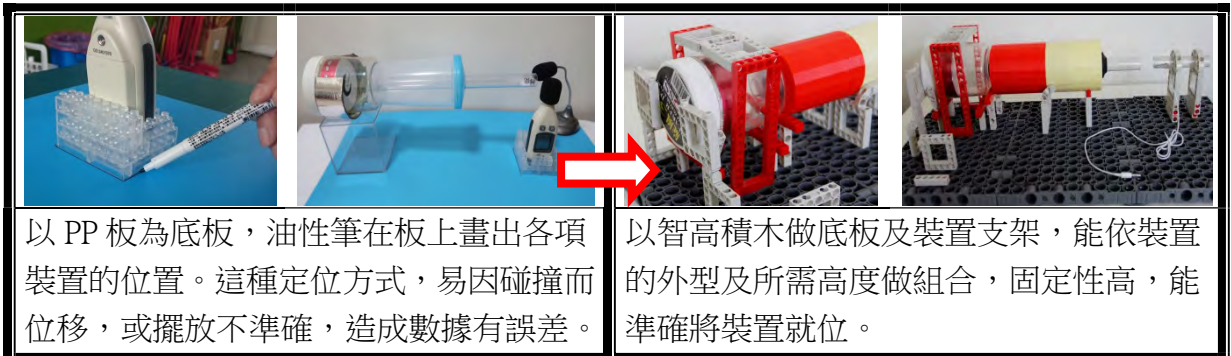
先在穿孔管上以油性筆點出起點位置，將描圖紙覆蓋管上，以膠帶固定，再以刻磨機開孔。

E. 防止銜接處有空隙：發聲器和密閉腔體中穿孔管要穿越的洞，是我們用刻磨機鑽出來的，為避免穿孔管放置時和腔體之間有縫隙，造成聲音溢散，影響實驗數據，做了以下的處置方式。



為避免穿孔管和腔體間有縫隙，聲音會溢散，先以止洩帶將縫隙堵住，發現止洩帶，易移動、破損，後改用橡膠墊片，能緊貼管壁和腔體。

F. 裝置定位



以 PP 板為底板，油性筆在板上畫出各項裝置的位置。這種定位方式，易因碰撞而位移，或擺放不準確，造成數據有誤差。

以智高積木做底板及裝置支架，能依裝置的外型及所需高度做組合，固定性高，能準確將裝置就位。

(三)前置實驗—建立對照組音量初始值

測量對照組(0~2000Hz)的音量，之後可和實驗組數據做比較，了解聲音經過減噪裝置作用後音量的變化。

1.實驗方法：

(1)**穿孔管規格**：在減噪裝置上放置 30 公分的無穿孔管。

(2)**測量音量**：發聲器播放 0~2000Hz，記錄音量變化的數據。

2.實驗結果：

在同樣的播放模式下，不同頻率的聲音在空管出口端測得的音量會有高低起伏，初始值的建立除了方便對照，也讓我們知道頻率變化對測得聲量的原始概況。

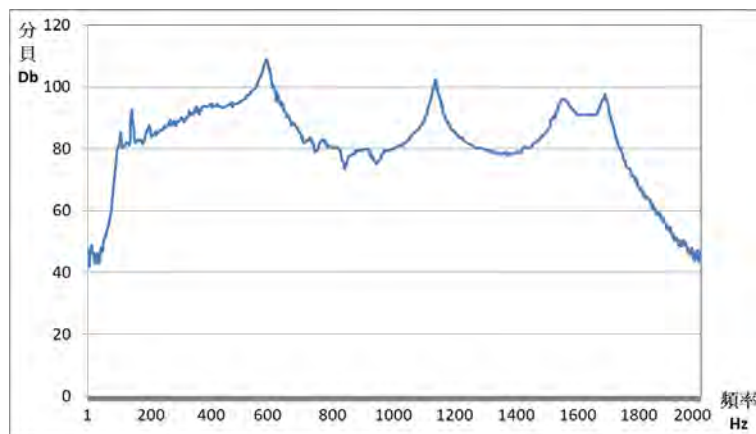


圖 5：對照組初始值的音量分布頻譜圖

(四)前置實驗—尋找開口管的自然頻率

1.實驗方法：

(1)在減噪裝置上放置 30 公分的開口管，並在管內放置發泡球。

(2)發聲器播放 0~2000Hz，觀察發泡球的變化。

2.實驗結果：

(1)發現在 535~625Hz 時，會開始形成駐波，**振幅最大時頻率為 582Hz**，也是管子聲量最大時的頻率。



圖 6：開口管產生駐波時，發泡球振動情形

(2)換成波長後，管子長度 30 公分，隨室溫變化，582Hz 的波長為 59.5 到 60.5 公分，也就是管子長度約為波長的 $\frac{1}{2}$ 時，開口管可形成駐波，結果與文獻三相符，我們將此頻率定義為管子的自然頻率，之後的實驗就針對此頻率來討論其減噪效果。

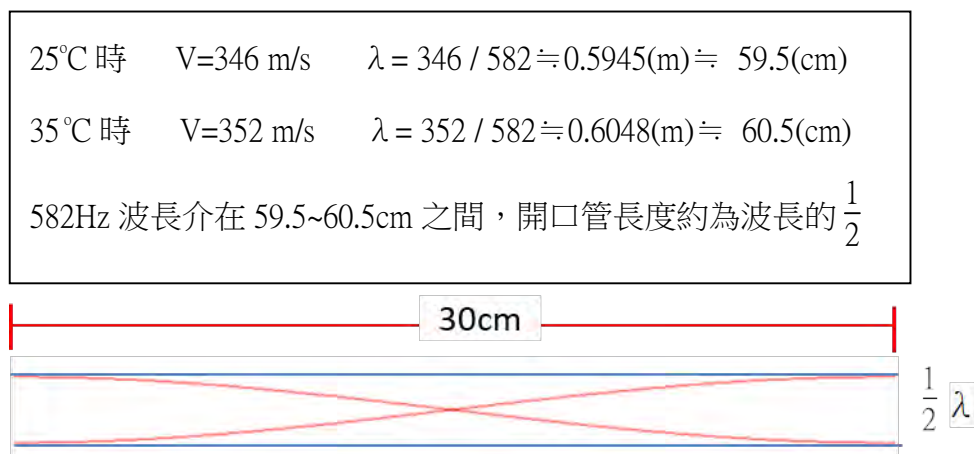
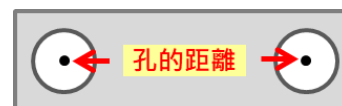


圖 7：自然頻率時波長示意圖

(四)變因控制

每次實驗只改變 1 個變因，以下是在實驗中保持變因不變的方法。

- 1.發聲器音量：藍芽喇叭為最大音量，手機播放音量也是調整到最大。
- 2.頻率來源：手機下載 app「頻率發生器」。(實驗過程皆使用同支手機)
- 3.頻率範圍：聲音頻率的範圍定在 0~2000Hz
- 3.穿孔管尺寸：4 分 PVC 管，長度為 30 公分
- 4.密閉腔體：3D 列印組合式圓柱體，高度 20 公分
- 5.麥克風位置：麥克風感測器置於出口端固定的位置
- 6.測量音量軟體：以平板電腦下載的 app「Decibel Ultra」測量
- 7.孔的距離：兩孔的距離，是指兩孔圓心的距離，簡稱孔距。
- 8.尋找最佳減噪效果的方式：同一腔體、穿孔管中，最低響度與對照組初始值的分貝差。



二、探討穿孔管的孔洞位置與有效減噪頻率的關係

定義有效減噪頻率：0~2000Hz 的聲音經共振減噪裝置減噪後，各頻率音量與對照組初始值的分貝差，數值最大者，為該實驗中的有效減噪頻率。

(一)實驗方法

- 1.改變穿孔管孔洞的位置，以入口端腔壁為起點，每根穿孔管在不同位置開兩孔，位置相對。孔的距離以 2 公分類推，從距離 2 公分到 16 公分，共 8 組。



圖 8：孔洞在 2 公分位置示意圖

- 2.比較不同孔洞位置穿孔管的減噪率，尋找有效減噪頻率。

$$\text{減噪率} = \frac{\text{初始值} - \text{減噪後音量}}{\text{初始值}} \times 100\%$$

(二)實驗紀錄：

- 1.以 50Hz 為一個間距，記錄不同位置頻率的音量，做成頻譜圖。

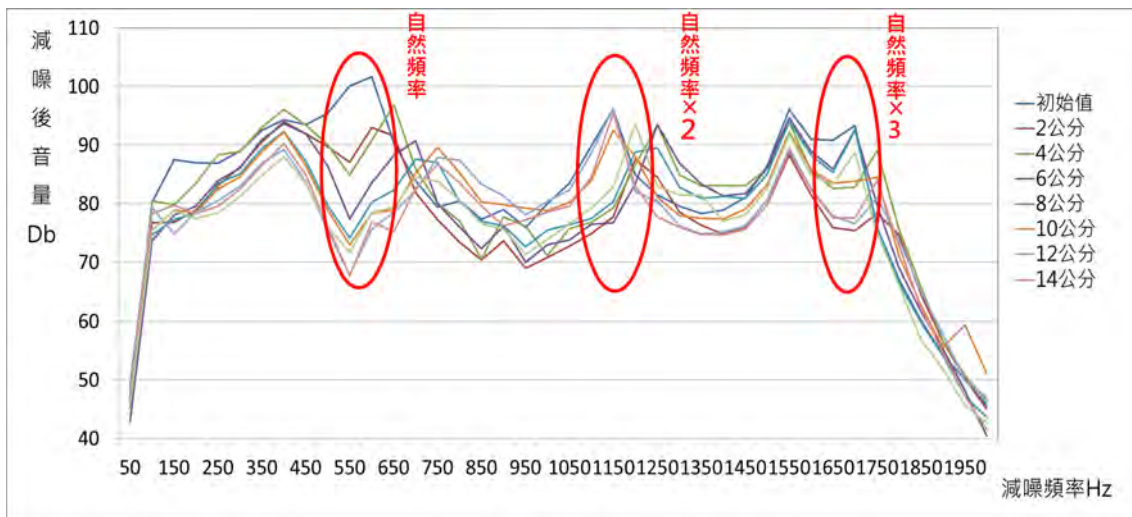


圖 9：不同孔洞位置的聲音頻譜圖

- 2.不同孔洞位置的穿孔管，其音量的變化會先上升後再往下降，像波浪般變化，記錄當音量達高點及低點。

表 1：不同孔洞位置，聲音減噪紀錄表

減噪後音量的變化		↗	↘	↗	↘	↗	↘	↗	↘	↗	↘	↗	↘
2公分	有效減噪頻率(Hz)	402	554	626	873	911	974	1217	1397	1549	1685	1772	2000
	波長(cm)	86.1	62.5	58.1	41.7	40.0	37.4	29.9	26.1	23.5	21.6	20.5	18.2
	減噪後音量(Db)	94.3	86.7	96.2	68.2	73.1	64.8	93	74.3	88	75.3	81.5	45
	減噪率(%)	0.2	14.2	-0.7	13.8	8.5	18.5	-11.2	5.6	8.4	22.0	-12.0	1.5
4公分	有效減噪頻率(Hz)	422	541	649	856	911	971	1239	1400	1553	1692	1743	2000
	波長(cm)	82.0	64.0	53.3	40.4	38.0	35.6	27.9	24.7	22.3	20.4	19.9	17.3
	減噪後音量(Db)	96.5	84.1	96.8	69.4	78.3	67	95.8	78.4	93.8	78.7	89.2	46.4
	減噪率(%)	-2.6	15.2	-6.4	10.9	2.0	15.8	-17.1	0.6	2.3	17.9	-13.8	-1.5
6公分	有效減噪頻率(Hz)	396	549	688	961	1255	1391	1555	1655	1708	2000		
	波長(cm)	87.4	63.0	50.3	36.0	27.6	24.9	22.3	20.9	20.3	17.3		
	減噪後音量(Db)	93.9	77.4	92	69	93.8	81	94.7	85.9	93.7	40.4		
	減噪率(%)	0.0	22.4	-7.4	12.1	-15.8	-3.2	1.4	5.4	-5.3	11.6		
8公分	有效減噪頻率(Hz)	400	538	731	954	1224	1421	1552	1651	1706	2000		
	波長(cm)	86.5	64.3	47.3	36.3	28.3	24.3	22.3	21.0	20.3	17.3		
	減噪後音量(Db)	92.3	72.1	88.6	71.6	94.3	79.9	94	85.3	92.9	43.6		
	減噪率(%)	2.1	27.0	-6.7	6.4	-13.8	0.1	2.2	6.1	-2.4	4.6		
10公分	有效減噪頻率(Hz)	394	545	765	953	1166	1377	1555	1660	1727	2000		
	波長(cm)	87.8	63.5	45.2	36.3	29.7	25.1	22.3	20.8	20.0	17.3		
	減噪後音量(Db)	92.5	71.1	89.9	76.8	97.7	76.8	92.5	82.6	89.6	50.5		
	減噪率(%)	1.3	28.5	-8.3	-0.4	-8.2	2.0	3.6	9.4	-7.6	-10.5		
12公分	有效減噪頻率(Hz)	402	547	774	955	1138	1374	1551	1698	1766	2000		
	波長(cm)	86.1	63.3	44.7	36.2	30.4	25.2	22.3	20.4	19.6	17.3		
	減噪後音量(Db)	89.2	67.5	88.4	78	100.4	74.2	89.4	76.6	83	46.5		
	減噪率(%)	5.6	32.1	-8.1	-1.6	0.2	5.2	7.0	19.3	-12.8	-1.8		
14公分	有效減噪頻率(Hz)	393	546	745	919	1159	1387	1554	1702	1756	2000		
	波長(cm)	88.0	63.4	46.4	37.6	29.9	24.9	22.3	20.3	19.7	17.3		
	減噪後音量(Db)	90.5	60.9	86.6	75.9	96	73.8	89.1	77.6	84.7	41.5		
	減噪率(%)	3.4	38.7	-9.2	4.3	-4.1	5.7	7.2	15.6	-14.2	9.2		
16公分	有效減噪頻率(Hz)	412	547	737	955	1200	1384	1555	1650	1710	2000		
	波長(cm)	84.0	63.3	46.9	36.2	28.8	25.0	22.3	21.0	20.2	17.3		
	減噪後音量(Db)	88.2	69.7	87	69.4	93.7	76.2	92	83.3	91	42.7		
	減噪率(%)	5.9	29.9	-6.7	9.6	-10.4	2.7	4.2	8.3	-2.5	6.6		

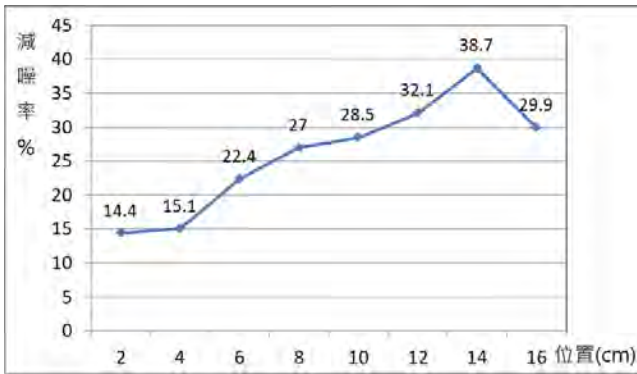


圖 10：孔洞位置與減噪率關係圖

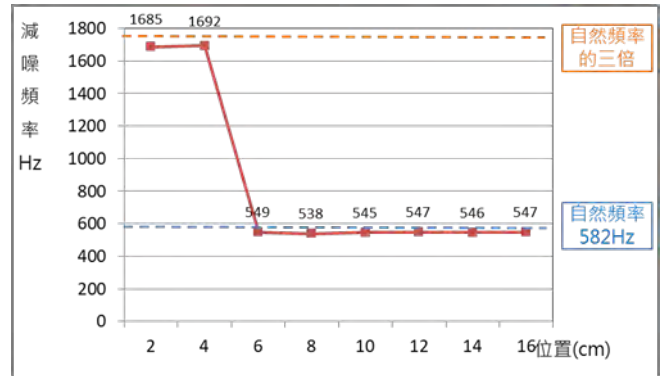


圖 11：孔洞位置與有效減噪頻率關係圖

(三)實驗結果：

- 1.不同位置開孔的管子，頻譜圖在靠近自然頻率時皆會呈現明顯的音量下降現象。
- 2.開孔位置在距離入口端腔壁 14 公分處，減噪率優於其他組合。
- 3.開孔位置在距離入口端腔壁 2 公分及 4 公分處，靠近自然頻率三倍的減噪率優於靠近自然頻率。

(四)實驗討論

- 1.由頻譜圖發現，音量明顯下降處與形成駐波的自然頻率範圍一致，開孔位置不同但自然頻率依然會被減噪，顯示管子長度是決定欲消除聲音頻率的主要因素，即穿孔管長度為欲消除聲音波長的二分之一時，可進行共振減噪。
- 2.由圖 9 可知，在自然頻率三倍的地方，也會有一致減噪的現象，但在自然頻率二倍時卻沒有這個現象，這種在奇數倍才會共振的現象與開口管形成駐波($n=1、2、3、\dots$)的理論矛盾，顯示管子開孔後，腔體振動的情形轉為閉口管駐波($m=1、3、5、\dots$)，也就是自然頻率奇數倍的時候，才會產生共振減噪。
- 3.由圖 10 可知，開孔位置影響了減噪效果，開孔的距離是否與共振有關？14 公分之外有沒有更好的減噪效果？我們需要先找出最佳開孔位置，再進一步探討共振減噪的真相。

延伸實驗：尋找最佳開孔位置

(一)實驗方式：尋找 13~15 公分之間，以 0.2 公分為間距，微調腔體位置，改變孔洞與腔壁的距離。藍色實線為腔體原本的位置，如孔洞距離入口端腔壁 14 公分，將腔體向右移動 0.2 公分(紅色虛線)，孔洞的距離腔壁的距離則變成 13.8 公分。

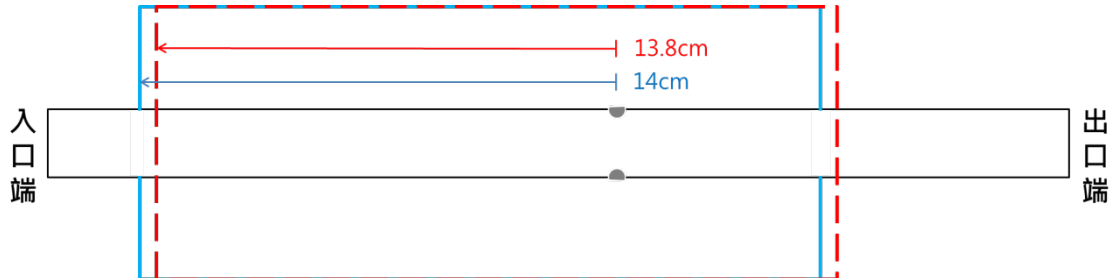


圖 12：調整腔體位置示意圖

(二)實驗紀錄

表 2：孔洞位置在 13-15 公分，聲音減噪紀錄表

位置(cm)	13.0	13.2	13.4	13.6	13.8	14.0	14.2	14.4	14.6	14.8	15.0
減噪頻率 Hz	540	540	540	540	540	546	539	539	553	539	546
有效減噪音量 Db	66.6	63.3	64.4	66.2	65.3	60.9	64.3	62.8	60.7	64.2	65.3
減噪率(%)	32.7	36.1	34.9	33.1	34.0	38.7	35.1	36.6	39.7	35.2	34.3

(三)實驗結果：

當開孔位置在距離入口端腔壁 14.6 公分處，減噪率最佳。

(四)實驗討論：

1.由實驗二討論可知，在腔體內共振的空氣柱屬於閉口管，其管長為 $L = m \frac{\lambda}{4}$ ，以自然頻率 582Hz 換算 $\frac{\lambda}{4}$ 約為 14.8 公分，與最佳開孔位置的 14.6 公分相當靠近。

2.我們將孔開在最佳位置的穿孔管放入發泡球，調至自然頻率時，發現原本屬於開口管的駐波，會轉變為閉口管的駐波，波腹為開孔的地方。

3.我們另外將發泡球放置共振腔體內，再透過透明腔體觀察，發現發泡球在開孔處來回振動，和文獻所述相符，顯示腔體和穿孔管在開孔處的管壁形成共振，能量在此消耗，產生減噪的效果，如圖 13。

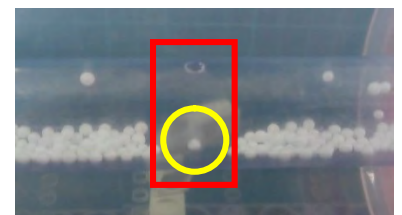


圖 13：發泡球放入穿孔管，由透明腔體觀察共振現象

4.綜合以上的討論，我們可以**肯定腔體共振消音的確存在**，如圖 14。

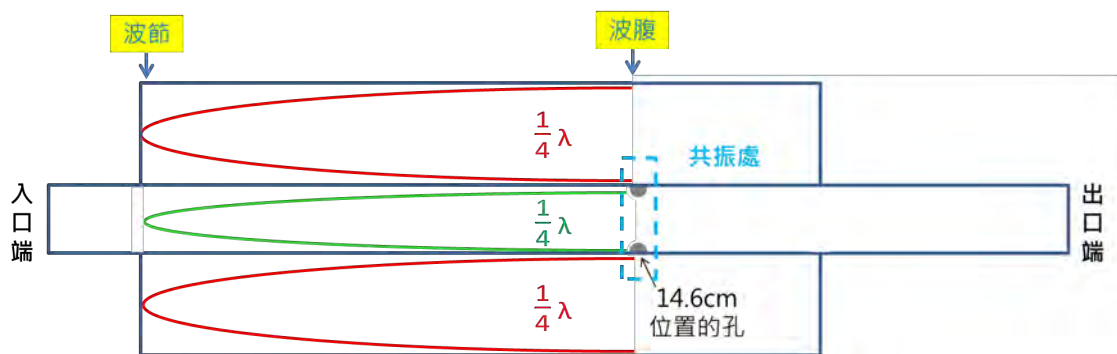


圖 14：穿孔管與密閉腔體共振時，波型變化圖

5.我們開始進一步思考，共振既然是發生在腔體和穿孔管在開孔處的管壁，那**如果增加開孔數能否讓減噪率更高呢？**我們將在下個實驗中作探討。

三、探討穿孔管的孔洞數量與有效減噪頻率的關係

(一)實驗方式：

- 1.在最佳開孔位置以環狀增加孔數，分別為 3~8 孔
- 2.比較不同孔數穿孔管的減噪率，尋找有效減噪頻率。



圖 15:8 孔的穿孔管

(二)實驗紀錄

- 1.以 50Hz 為一個間距，記錄不同孔數頻率減噪後的變化，做成折線圖。

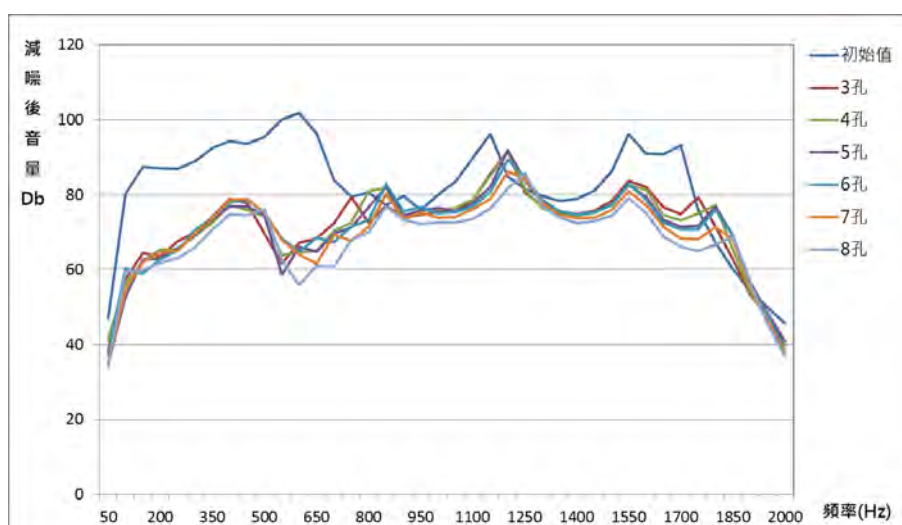


圖 16：不同孔數時，聲音減噪後聲音頻譜圖

2.記錄不同孔數穿孔管，音量高低點的變化，下表為各孔數減噪頻率、減噪率紀錄。

表 3：不同孔數穿孔管，減噪後頻率、減噪率紀錄表

3 孔	有效減噪頻率 Hz	406	547	793	900	1187	1387	1562	1699	1770	2000
	波長(cm)	85.2	63.3	43.6	38.4	29.1	24.9	22.2	20.4	19.5	17.3
	減噪率(%)	15.8	39.8	-3.6	7.7	-9.6	4.9	10.5	19.7	-13.3	11.2
4 孔	有效減噪頻率 Hz	416	564	837	904	1188	1369	1564	1698	1792	2000
	波長(cm)	83.2	61.3	41.3	38.3	29.1	25.3	22.1	20.4	19.3	17.3
	減噪率(%)	16.0	42.3	-14.2	8.4	-9.3	5.1	11.3	23.2	-15.8	11.8
5 孔	有效減噪頻率 Hz	437	564	845	1016	1209	1391	1566	1693	1808	2000
	波長(cm)	79.2	61.3	40.9	34.1	28.6	24.9	22.1	20.4	19.1	17.3
	減噪率(%)	15.8	44.6	-10.4	6.7	-10.6	4.7	11.2	25.9	-18.2	10.5
6 孔	有效減噪頻率 Hz	424	581	857	907	1221	1400	1564	1710	1811	2000
	波長(cm)	81.6	59.6	40.4	38.1	28.3	24.7	22.1	20.2	19.1	17.3
	減噪率(%)	15.0	44.5	-6.3	7.3	-10.9	5.3	11.6	20.7	-19.4	15.5
7 孔	有效減噪頻率 Hz	411	581	857	907	1217	1444	1566	1727	1821	2000
	波長(cm)	84.2	59.6	40.4	38.1	28.4	24.0	22.1	20.0	19.0	17.3
	減噪率(%)	15.5	44.5	-3.7	8.6	-8.7	8.4	12.7	19.0	-17.0	17.5
8 孔	有效減噪頻率 Hz	430	582	867	908	1237	1400	1562	1725	1837	2000
	波長(cm)	80.5	59.5	39.9	38.1	28.0	24.7	22.2	20.1	18.8	17.3
	減噪率(%)	18.9	49.3	0.1	9.6	-9.0	8.2	15.5	22.2	-13.2	18.4

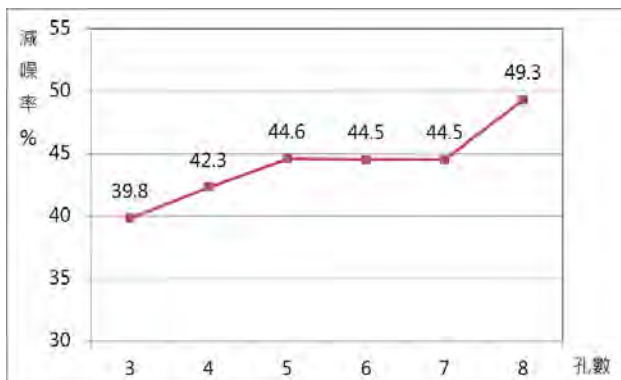


圖 17：孔數與減噪率關係圖

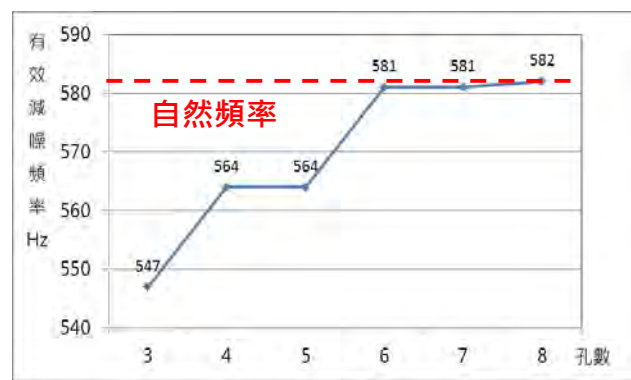


圖 18：孔數與減噪頻率關係圖

(三)實驗結果：

- 1.穿孔管開孔數與腔體減噪效率有關，當腔體共振減噪時，開孔數越多，減噪率越高。
- 2.當腔體共振減噪時，開孔數越多，有效減噪頻率會趨近於自然頻率。

(四)實驗討論：

- 1.由數據顯示，孔數增加時，減噪率越高，這驗證我們的預測：在最佳位置增加開孔數，空氣柱強烈振動的位置也會增加，可以耗散比較多的能量。
- 2.既然多開孔有利減噪，如果再多增加開孔位置，那就可以再多開許多孔了，但第二個位置要開在哪裡呢？減噪率又會有什麼變化？我們在下個實驗中作探討。

四、探討雙位置開孔對自然頻率的減噪效果

(一)實驗方式：

- 1.在穿孔管上以最佳開孔位置為第一個位置，往左右每隔 2 公分開孔作為第二位置，組合如下：(1)14.6cm—2.6cm；(2)14.6cm—4.6cm；(3)14.6cm—6.6cm；(4)14.6cm—8.6cm；(5)14.6cm—10.6cm；(6)14.6cm—12.6cm；(7)14.6cm 四孔；(8)14.6cm—16.6cm；(9)14.6cm—18.6cm

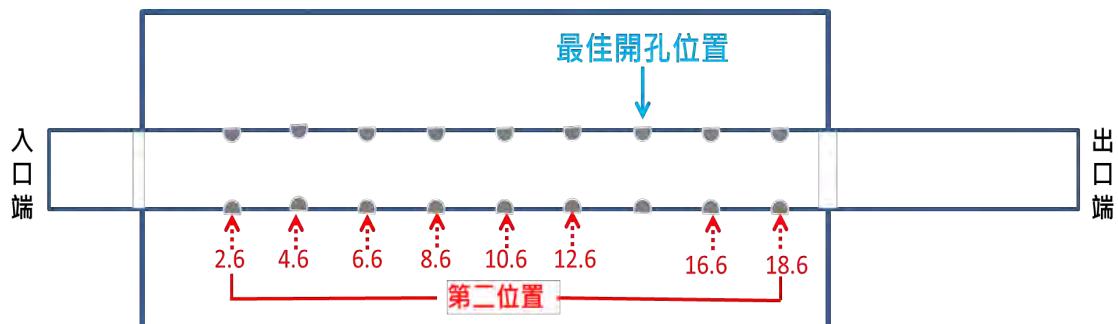


圖 19：雙位置開孔的穿孔管示意圖



圖 20：標示雙位置開孔的穿孔管

- 2.比較兩個不同位置孔洞穿孔管在 530~630Hz 中，每隔 5Hz 做紀錄的減噪率。

(二)實驗紀錄

1.各組不同位置的穿孔管在 530~630Hz 的平均減噪率，並做成折線圖。

表 4：雙位置開孔的穿孔管，530~630Hz 的平均減噪率紀錄表

位置一(cm)	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6
位置二(cm)	2.6	4.6	6.6	8.6	10.6	12.6	14.6	16.6	18.6
平均減噪率%	31.1	31.0	34.4	35.1	35.6	34.6	35.8	35.3	35.6

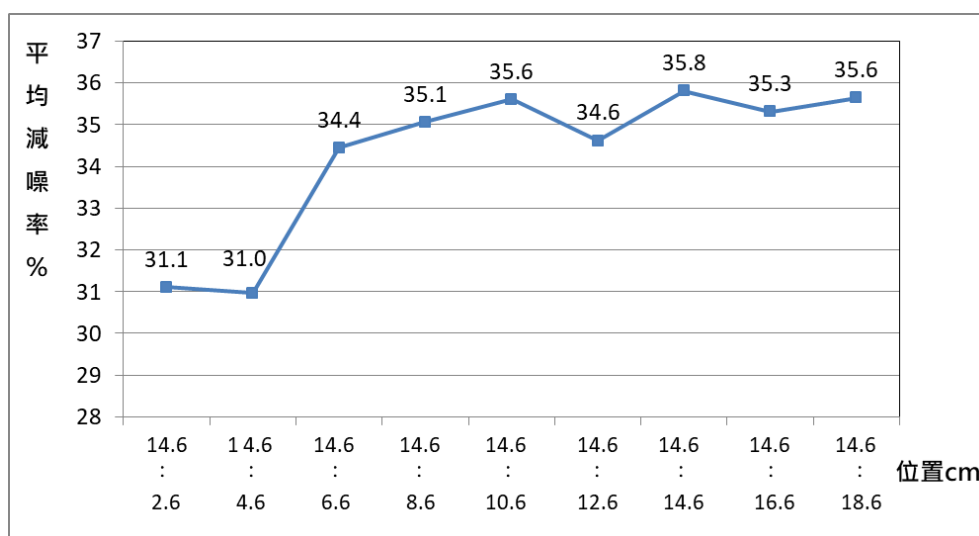


圖 21：雙位置開孔的穿孔管，平均減噪率折線圖

2.比較下表三組開孔位置在 530~630Hz 減噪率的變化，並畫成直條圖。

表 5：三組穿孔管，530~630Hz 減噪率紀錄表

頻率 Hz \ 位置 cm	530	535	540	545	550	555	560	565	570	575	580
14.6---10.6	28.5	28.9	29.1	32.3	33.7	34.3	36.5	37.4	38.0	37.6	36.5
14.6 四孔	32.2	32.3	32.7	34.1	36.3	38.0	39.4	42.2	42.4	42.3	40.8
14.6---16.6	33.0	34.7	36.4	40.7	41.9	39.6	39.9	39.0	38.0	38.1	37.7
頻率 Hz \ 位置 cm	585	590	595	600	605	610	615	620	625	630	
14.6---10.6	35.5	33.9	35.1	34.7	35.7	40.1	42.5	41.0	38.4	38.1	
14.6 四孔	38.3	37.0	37.4	36.5	33.8	31.9	30.8	31.7	31.4	30.7	
14.6---16.6	38.0	36.7	34.8	32.6	31.0	31.6	30.8	30.4	29.2	27.7	

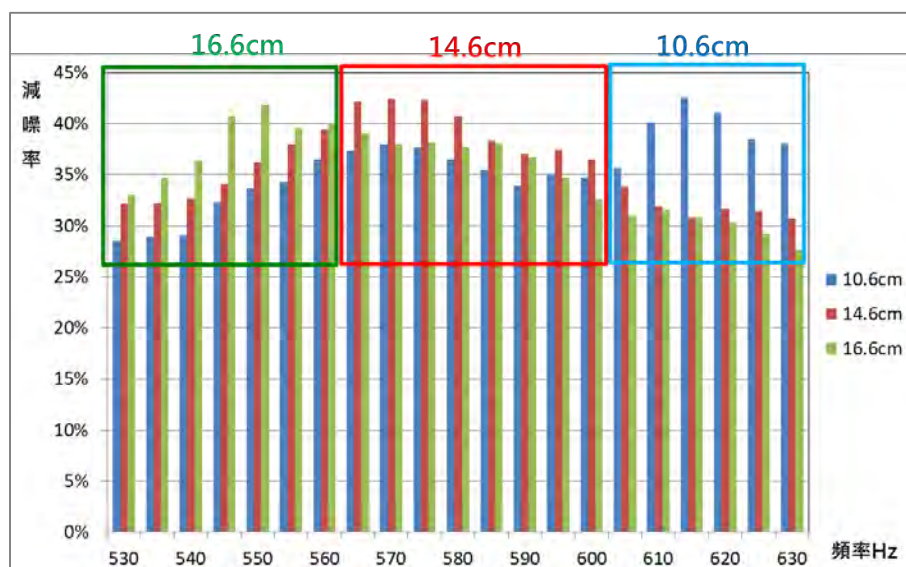


圖 22：三組穿孔管，530~630Hz 減噪率直條圖

(三)實驗結果

- 1.開孔數相同時，多增加開孔位置會略降低在自然頻率附近的減噪效果。
- 2.第二開孔位置在**最佳位置後端**，可增加自然頻率前端的減噪率，第二開孔位置在**最佳位置前端**，可增加自然頻率後端的減噪率。

(四)實驗討論

- 1.發現第二位置太靠近入口端，減噪率下降的比較多，所以如果要增加開孔位置來針對自然頻率做減噪，**不能離最佳位置太遠**。
- 2.我們認為，圖 22 結果應與聲音波長有關，**如果在最佳位置前後端各加開一個位置，或許可同時增加減噪範圍**，那開孔的距離應該是多少呢？需要再做實驗探討。

五、探討穿孔管的孔距對自然頻率的減噪效果

(一)實驗方式

- 1.穿孔管開三個位置，每個位置兩孔，以最佳開孔位置為中間，前後孔距離分別有 0.1~1.5 公分，共 15 組。
- 2.以共振減噪裝置測量音量，比較不同孔距穿孔管在自然頻率附近(570-590Hz)的減噪率。

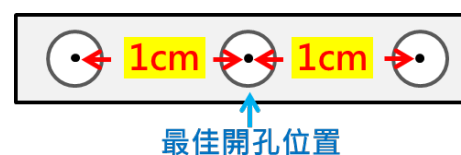


圖 23：孔距示意圖

(二)實驗紀錄

1.記錄自然頻率附近 570~590Hz 的音量，並做頻譜圖。

表 6：不同孔距穿孔管，570~590Hz 減噪後音量紀錄表

頻率 Hz \ 孔距 cm	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579
初始值	104.8	104.8	105.5	106.1	106.1	106.8	106.8	106.8	107.4	107.4
0.4	65.7	65.6	66.5	66.7	66.7	66.6	66.5	66.3	66.1	65.9
0.5	62.7	63.4	63.8	66.5	66.7	67.1	68.1	68.9	69.4	69.7
0.6	66.0	66.0	66.2	66.9	67.5	67.9	67.9	69.8	67.6	67.1
0.7	59.8	60.0	60.6	61.7	62.0	61.9	61.6	61.7	61.5	60.9
0.8	66.3	65.9	66.3	66.2	66.5	66.5	66.4	65.7	65.5	65.2
0.9	68.0	68.4	68.8	68.9	69.3	69.5	69.6	69.8	69.7	69.4
1.0	69.2	69.5	69.8	69.8	69.9	69.9	69.4	69.3	69.2	68.8
1.1	70.7	70.7	70.8	71.0	71.4	71.5	71.7	71.7	71.3	71.2
1.2	70.1	70.0	70.1	70.4	70.4	70.3	70.0	69.9	69.6	69.5
1.3	68.0	67.8	68.0	68.5	68.9	69.1	69.0	68.8	68.7	68.3
1.4	68.9	69.3	69.4	69.2	69.6	70.2	70.2	69.9	70.1	70.1
1.5	68.2	68.4	69.0	69.8	69.8	69.9	69.9	70.0	69.8	69.6
1.6	67.3	67.3	67.3	67.4	67.6	68.1	68.4	68.4	68.3	68.2
1.7	72.0	72.1	72.2	72.3	72.2	72.3	72.2	71.7	71.4	71.3
1.8	70.3	70.2	70.2	70.3	70.2	70	70.2	70.2	69.6	69.5

頻率 Hz \ 孔距 cm	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590
初始值	107.4	107.9	108.9	108.1	108.1	108.3	108.3	108.2	108.2	106.5	106.5
0.4	65.1	65.1	64.2	64.3	64.4	64.3	63.5	63.5	64.3	66.4	67.4
0.5	70.3	70.1	70.1	70.1	70.0	69.5	69.4	69.4	70.4	70.5	70.5
0.6	65.9	65.3	65.4	65.4	65.6	65.2	65.3	65.8	66.8	67.1	67.0
0.7	59.8	59.5	59.6	59.7	59.1	59.1	58.4	58.5	59.7	60.1	60.2
0.8	64.3	63.3	63.6	63.3	62.7	62.0	61.7	61.6	62.2	62.9	63.4
0.9	69.2	68.7	68.2	67.7	67.7	67.6	67.7	67.8	68.0	68.6	69.2
1.0	68.4	68.0	66.9	66.9	66.6	66.4	66.3	66.4	66.7	67.1	67.6
1.1	71.0	70.1	70.2	69.5	69.4	68.6	68.6	67.6	67.8	68.6	69.1
1.2	69.3	69.0	68.2	67.6	67.4	67.2	66.6	67.3	67.2	68.3	68.4
1.3	68.5	67.5	66.9	66.5	66.4	66.0	65.2	64.6	65.1	66.0	66.6
1.4	69.0	67.9	67	67.4	67.1	67.1	67.0	67.5	68.2	68.9	69.5
1.5	69.5	69.3	68.8	68.4	67.9	66.6	66.5	66.6	67.1	67.8	68.8
1.6	68.2	68.1	67.6	67.4	67.6	67.2	66.7	67.0	67.4	68.0	68.4
1.7	70.9	70.8	70.1	70.1	70.1	69.8	69.4	69.0	69.3	69.4	69.7
1.8	68.8	68.9	68.7	68.3	67.7	67.5	67.4	66.7	66.6	67.1	67.5

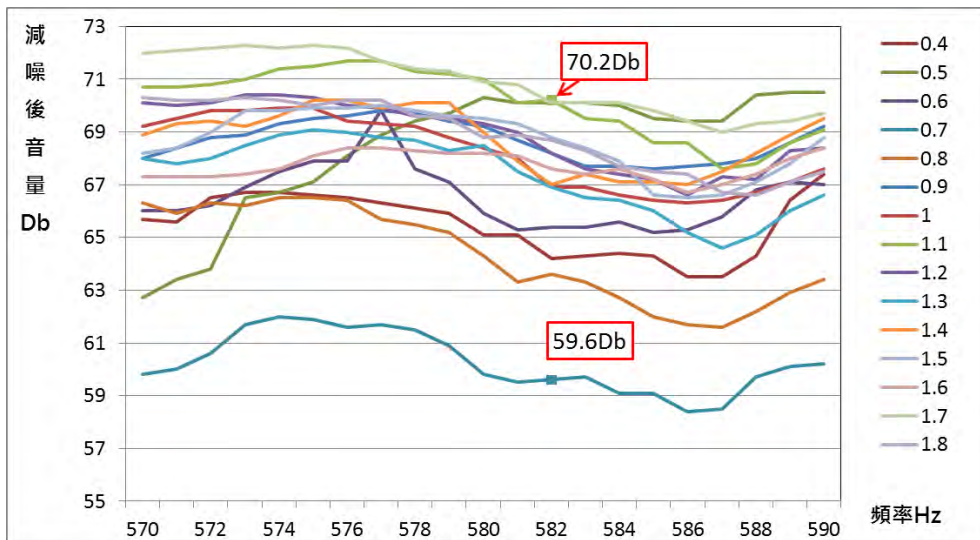


圖 24：不同孔距穿孔管，減噪後聲音頻譜圖

2.計算 15 組不同孔距的穿孔管在 570~590Hz 減噪後與初始值相比較的平均減噪率。

表 7：不同孔距穿孔管，平均減噪率紀錄表

孔距 cm	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8
孔距： 孔徑	$\frac{4}{3}$	$\frac{5}{3}$	2	$\frac{7}{3}$	$\frac{8}{3}$	3	$\frac{10}{3}$	$\frac{11}{3}$	4	$\frac{13}{3}$	$\frac{14}{3}$	5	$\frac{16}{3}$	$\frac{17}{3}$	6
平均 減噪率 %	38.8	36.1	37.8	43.7	39.9	35.9	36.3	34.5	35.6	37.1	35.8	35.9	36.8	33.8	35.7

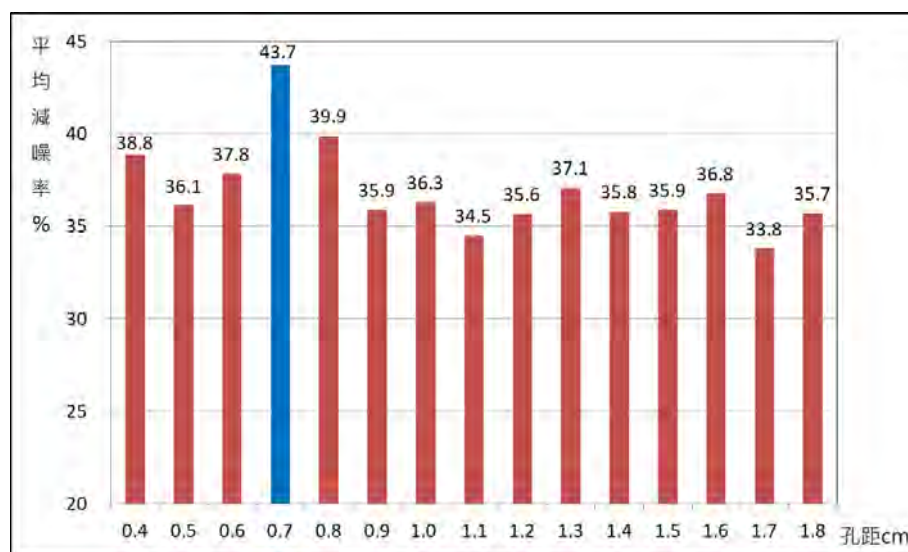


圖 25：不同孔距穿孔管，平均減噪率直條圖

(三)實驗結果

- 1.在自然頻率 582Hz 處，不同的孔距變化音量最大差距為 10.6Db。
- 2.在孔距為 0.7 公分，孔距對孔徑比為 7：3 時，平均減噪率最高。

(四)實驗討論

- 1.孔距太短時，減噪效果不會最好，應該是孔和孔之間互相干擾所致。
- 2.如果孔距離太遠，波長無法達到共振條件，多的洞就沒有效果，減噪率便無法增加
- 3.我們將數據與六孔都是開在最佳位置的數據比較，發現雖然沒有辦法讓自然頻率的分貝降更低，但它附近的聲音卻可以同時降低，這也顯示多位置開孔時，孔距對孔徑比為 7：3，不僅有較好的減噪效果，也會擴大了減噪範圍。

表 8：孔數 6 孔及孔距 0.7cm 減噪後音量紀錄表

頻率 Hz	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	
6 孔	66.1	65.2	65.5	64.7	63.8	64.4	64.0	64.0	64.2	62.8	
孔距 0.7cm	59.8	60.0	60.6	61.7	62.0	61.9	61.6	61.7	61.5	60.9	
頻率 hZ	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590
6 孔	62.2	60.8	60.4	60.3	60.3	60.2	60.3	60.9	61.1	61.4	62.5
孔距 0.7cm	59.8	59.5	59.6	59.7	59.1	59.1	58.4	58.5	59.7	60.1	60.2

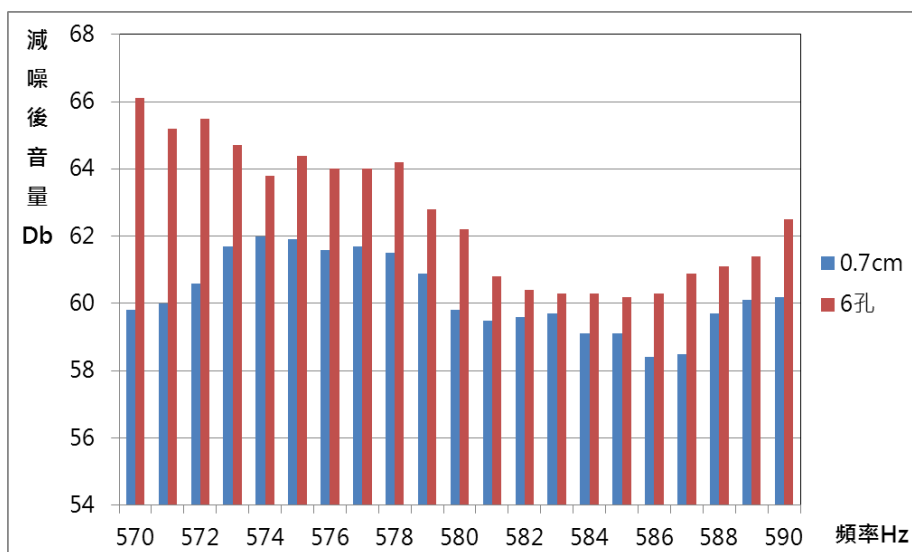


圖 26：孔數 6 孔及孔距 0.7cm 減噪後音量直條圖

六、探討密閉腔體的容積對自然頻率的減噪效果

(一)實驗方式

- 1.以 3D 列印出組合式腔體，有五組不同的尺寸，直徑分別是 4、5、6、7 和 8 公分，高度皆為 20 公分。
- 2.以最佳位置打 8 孔的穿孔管來做實驗，比較不同容積的腔體對自然頻率減噪的效果。

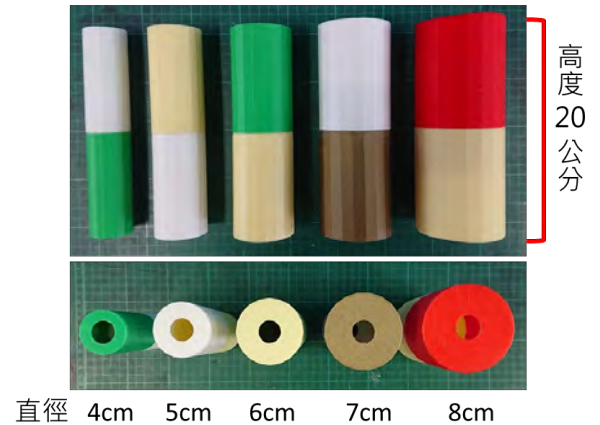


圖 27：密閉腔體尺寸說明

(二)實驗紀錄

1. 記錄五組密閉腔體在 570~590Hz 的減噪音量，並做成頻譜圖。

表 9：不同直徑密閉腔體，570~590Hz 減噪後音量紀錄表

頻率 Hz / 直徑 cm	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	
初始值	104.8	104.8	105.5	106.1	106.1	106.8	106.8	106.8	107.4	107.4	
4	71.0	71.0	72.5	72.5	72.1	72.1	71.9	71.9	71.2	71.2	
5	70.5	70.5	70.5	70.5	70.3	70.1	69.8	69.0	69.4	69.2	
6	68.3	68.4	68.5	68.6	68.6	68.5	67.8	67.9	67.7	66.8	
7	64.5	64.8	64.8	64.7	64.7	64.3	64.9	64.8	64.7	64.7	
8	58.6	58.0	58.3	58.0	58.3	58.4	58.5	58.6	58.8	58.7	
頻率 Hz / 直徑 cm	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590
初始值	107.4	107.9	108.9	108.1	108.1	108.3	108.3	108.2	108.2	106.5	106.5
4	70.7	70.7	70.7	70.2	69.7	69.7	69.7	70.8	70.8	69.7	69.7
5	68.5	68.8	67.9	67.3	67.2	67.4	67.4	67.6	67.7	68.0	68.4
6	66.8	66.4	66.4	65.3	64.8	65.3	65.1	65.3	65.5	66.1	66.2
7	64.7	64.7	64.7	64.7	64.7	63.9	64.0	64.2	64.6	64.9	64.1
8	57.3	56.2	55.8	55.8	55.8	55.7	55.7	55.8	56.1	56.4	56.6

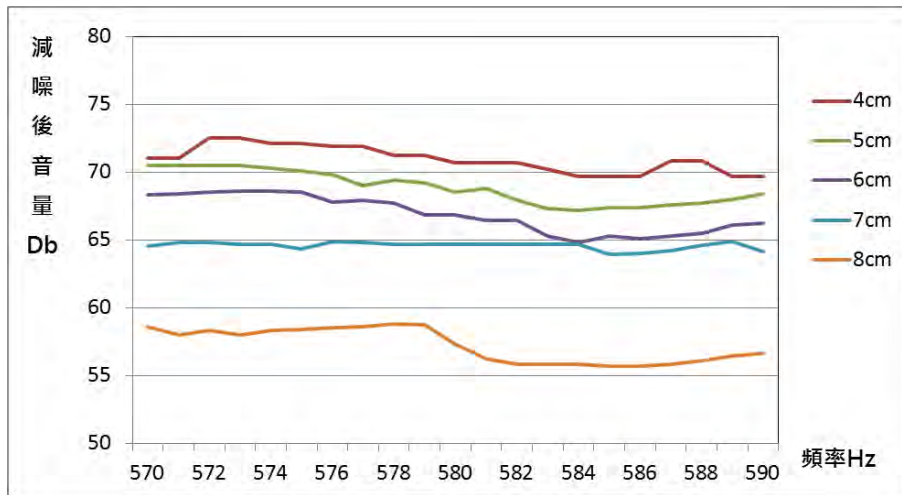


圖 28：五組密閉腔體減噪後的聲音頻譜圖

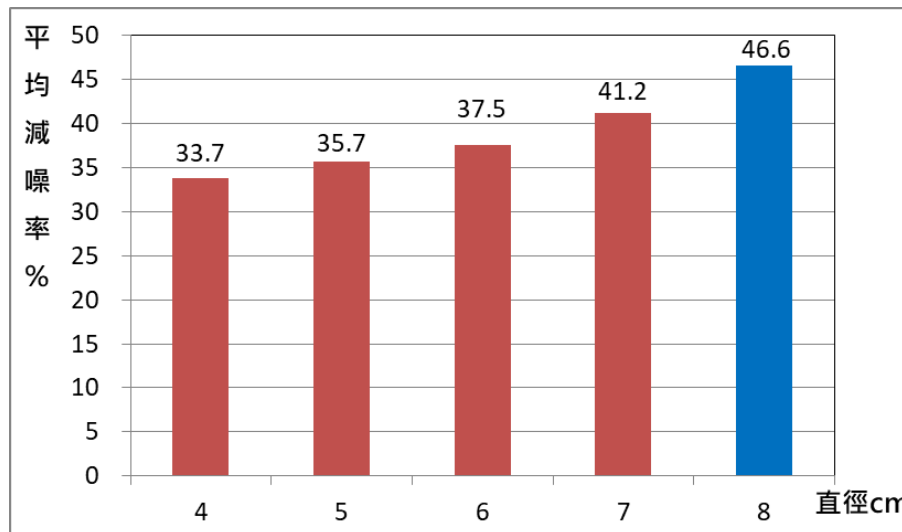


圖 29：五組密閉腔體平均減噪率直條圖

(三)實驗結果

腔體長度固定時，直徑越大，腔體容積越大時，在自然頻率附近的減噪效果越好。

(四)實驗討論

1. 腔體容積太小時，聲波從穿孔管進入腔體後，容易會產生反射端的干涉，影響減噪效果，導致減噪率不如容積大的腔體。
2. 容積變大時，音壓相對較大，空氣柱產生共振時的振幅也會加大，減噪效果也比較好，但容積不可能無限變大，在實際應用上，腔體的容積也會受到限制。

陸、研究討論

一、低音頻噪音控制：

從文獻可知，生活中，幾乎是低音頻噪音為多，常見的如：冷氣壓縮機、冰箱等，相較於中高音頻，因波長短，易被隔間牆隔絕，低音頻聲音較易穿透建築物，當噪音波長與房間大小相近時，可能會形成駐波，造成共振的現象，長時間會造成人體的傷害。由實驗結果我們了解，本研究共振減噪的方法對於中低頻的噪音有良好的減噪率，未來可嘗試運用於消除低音頻噪音。

二、混合頻率聲音的消除：

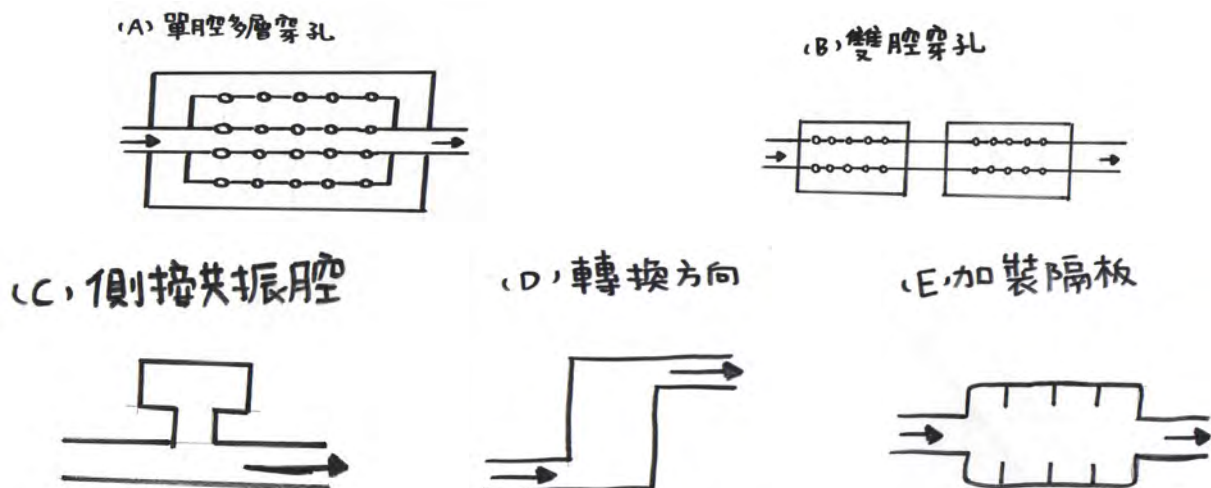
利用共振減噪，可以大幅度減少特定頻率的分貝數，但**生活中的聲音**，是一連串不同頻率變動的聲音所組成，如果要進行消除，必須進一步探討在實驗五中，**多位置開孔**之後形成的範圍減噪現象。

三、其他變因的探討：

本實驗探討的聲波，是正常室溫中，空氣流動不活躍的狀態下得到的結果，在實際的生活中，機器產生的噪音往往伴隨熱能，周遭的空氣也會快速流動，所以應該再針對**溫度**以及**空氣流速**兩個變因作探討，可以更符合真實情境。

四、不同的裝置設計：

本實驗設計的腔體共振，為**單腔式穿孔**的設計，雖然已經可以將特定頻率的噪音降低約 50%，但還是沒有辦法完全消除，之後可以再探討其他的組合設計，如**單腔多層穿孔**、**雙腔穿孔**、**側接共振腔**、**腔體轉換方向**、**在腔體裡面加裝隔板**等不同的做法，看其他的方法能不能更有效。



柒、結論

- 一、由自製的腔體共振減噪裝置，我們驗證了迷路的聲音，是因為穿孔管和密閉腔體形成的共振系統，讓空氣柱在開孔處來回振動，消耗能量而達到減噪效果。
- 二、單一位置開孔時，要造成共振減噪，穿孔管長度需為欲消除聲音波長的二分之一，最佳開孔位置與入口端腔壁需距離四分之一波長。
- 三、針對自然頻率產生共振減噪時，自然頻率的奇數倍也同樣能減噪。
- 四、最佳開孔位置的開孔數量與腔體減噪效率有關，當孔的數量數越多，減噪率則越高，且有效減噪頻率會趨近於自然頻率。
- 五、雙位置開孔時，第二開孔位置在最佳位置後端，可增加自然頻率前端的減噪率，第二開孔位置在最佳位置前端，可增加自然頻率後端的減噪率。
- 六、三位置開孔時，孔距太短，孔和孔之間會互相干擾。孔距離太遠，波長無法達到共振條件，多開的孔就沒有效果。
- 七、三位置開孔時，孔距對孔徑比為 7:3 時，平均減噪率最高。也會擴大在自然頻率附近的減噪範圍。
- 八、腔體長度需大於欲消除聲音波長的四分之一，才能共振減噪，腔體容積越大，空柱產生共振時的振幅也會加大，減噪效果也比較好；腔體容積太小，聲波容易受反射端的干涉，影響減噪效果。

捌、參考資料及其他

一、什麼是亥姆霍茲共振腔消音科技，如何應用在風扇內？

<https://www.youtube.com/watch?v=NQNXFWR11B8>

二、陳映竹、李則甫、吳彤璋(2016)。音調的迷思—長笛管中駐波模式之探討。全國科學展覽會，高中組，物理與天文學科。

三、南一版自然與生活科技領域五上第四單元，聲音的探討。

四、翰林版自然與生活科技領域六上第二單元。聲音與樂器。

五、高瞻自然科學教學資源平台 <http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=19293>，

六、空氣柱之駐波 <https://www.youtube.com/watch?v=y7opmwEDTMU>

七、物理專刊—生活中的共振 http://www.chwa.com.tw/his/zipUp/phPublication/ph_003_201103.pdf

八、香港理工大學(2114-01-15)。酒瓶發生與噪音控制 <http://utalks.etvonline.hk/article57.php>

九、低頻噪音與控制 http://ebooks.lib.ntu.edu.tw/1_file/moeaidb/012564/Tno002.pdf

【評語】 080109

利用穿孔管及密閉腔體自製共振減噪裝置，針對不同的變因設計實驗來驗證，研究共振減噪須滿足條件、開孔數量、最佳開孔位置、最佳減噪、密閉腔體容積。物理共振原理機制的探討，設計實驗研究，討論穿孔管及密閉腔體的變因，以科學的探究方法研究，並與日常生活中常見現象相呼應，共振減少噪音，作品具日常生活應用性，主意極佳。兩者之間的關聯性，數據分析與解讀可以再強化。

摘要

本研究主要探討開口管自然頻率(582Hz)的聲音在腔體共振後產生的減噪效果。我們利用穿孔管密閉腔體自製共振減噪裝置，針對不同的變因設計實驗來驗證，研究結果如下：一、形成共振減噪須滿足條件為：(一)穿孔管長度為欲消除聲音波長的二分之一；(二)最佳開孔位置(14.6cm)與入口端腔壁需距離四分之一波長；二、當腔體共振減噪時，開孔數量越多，減噪率越高，有效減噪頻率會越接近自然頻率；三、在最佳開孔位置前後端另外開孔，可同時增加自然頻率附近的減噪率，擴大減噪範圍；四、多位置開孔時，孔距對孔徑比為7:3，有最佳減噪率；五、密閉腔體容積會影響減噪效果，容積越大，減噪率越高。

研究動機

自然課的聲音與樂器單元中，當物體振動時，會推動周圍的空氣，產生聲波，在直笛口吹氣時，空氣柱振動的長短可以決定聲音的高低，但我們在網路上找到一段影片，當發聲的管子接上一個小腔體之後，聲音神奇的消失了，好像在腔體裡面迷路一樣，這讓我們感到好奇：聲音是如何透過共振消失的呢？真的是這樣子嗎？所有的聲音都可以用這種方式消除嗎？為解決心中的疑惑，我們開始一連串的探究。



文獻探討

一、聲音頻率與和波長

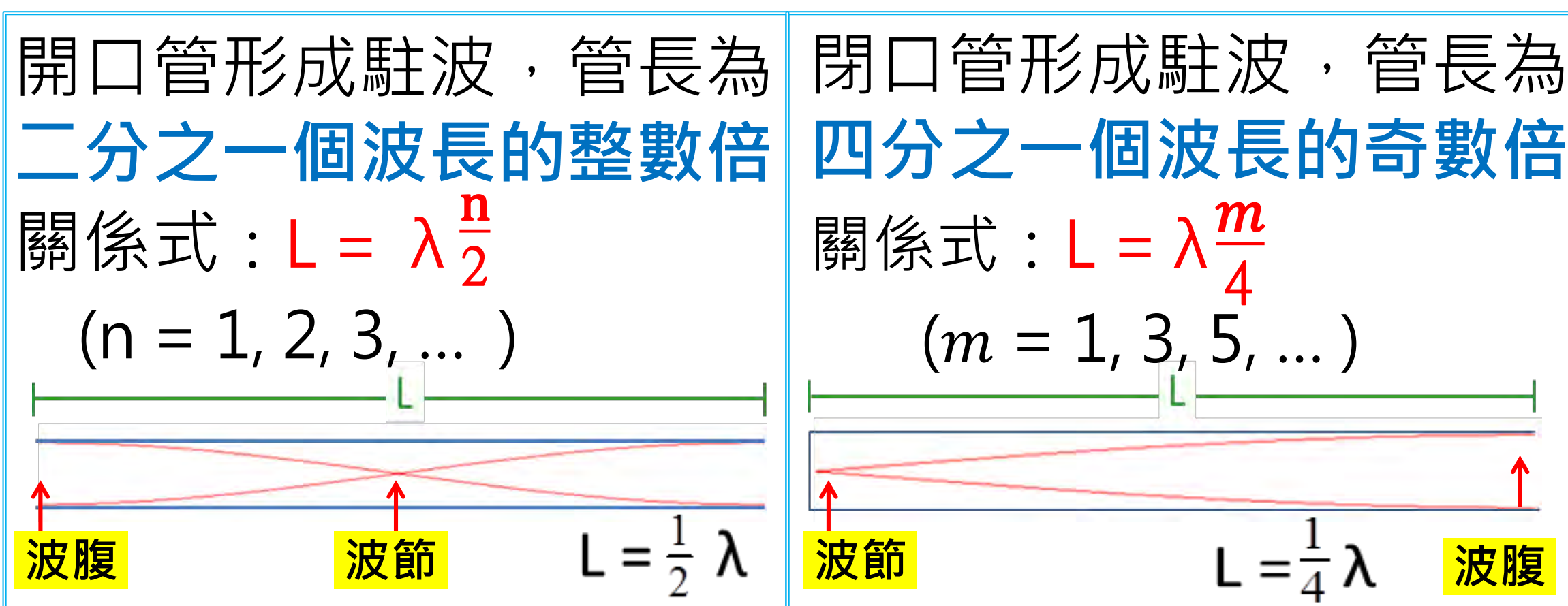
波長 λ 與頻率 f 成反比關係，兩者的關係式： $\lambda = \frac{v}{f}$
 v 為波速，聲音傳播速度受到溫度(t)的影響，
 公式為 $V=331+0.6 \times t$

二、自然頻率和共振

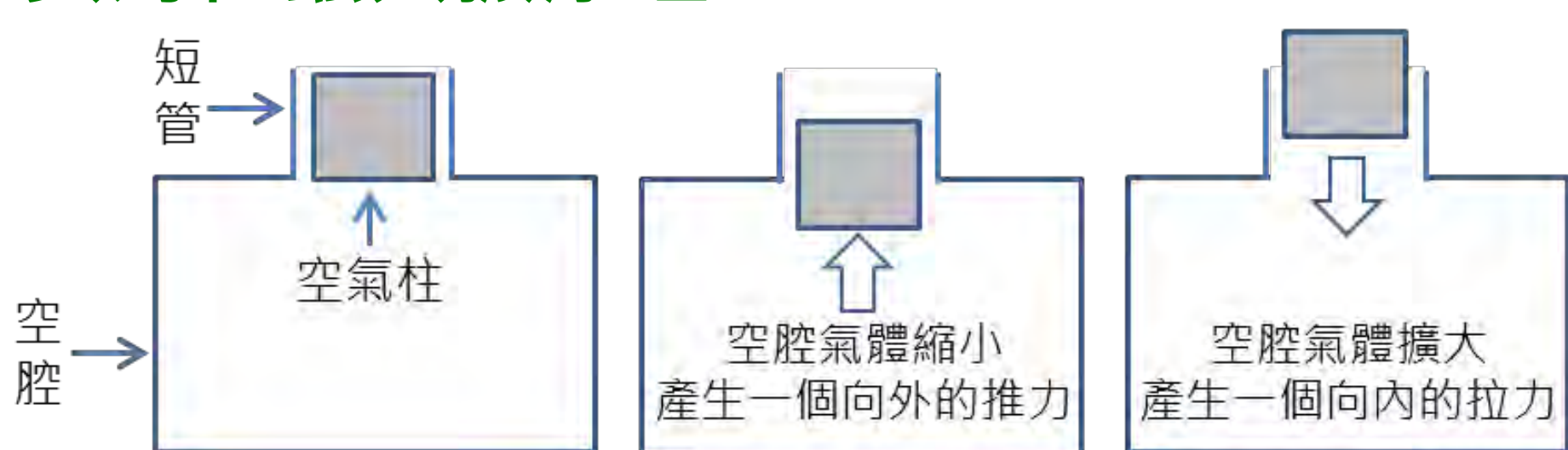
自然頻率是物體僅須最低能量就可產生強迫振動的頻率。共振是一個物體被「強迫振動的頻率」符合它的「自然頻率」時，振幅會大量增加的現象。

三、聲音的駐波

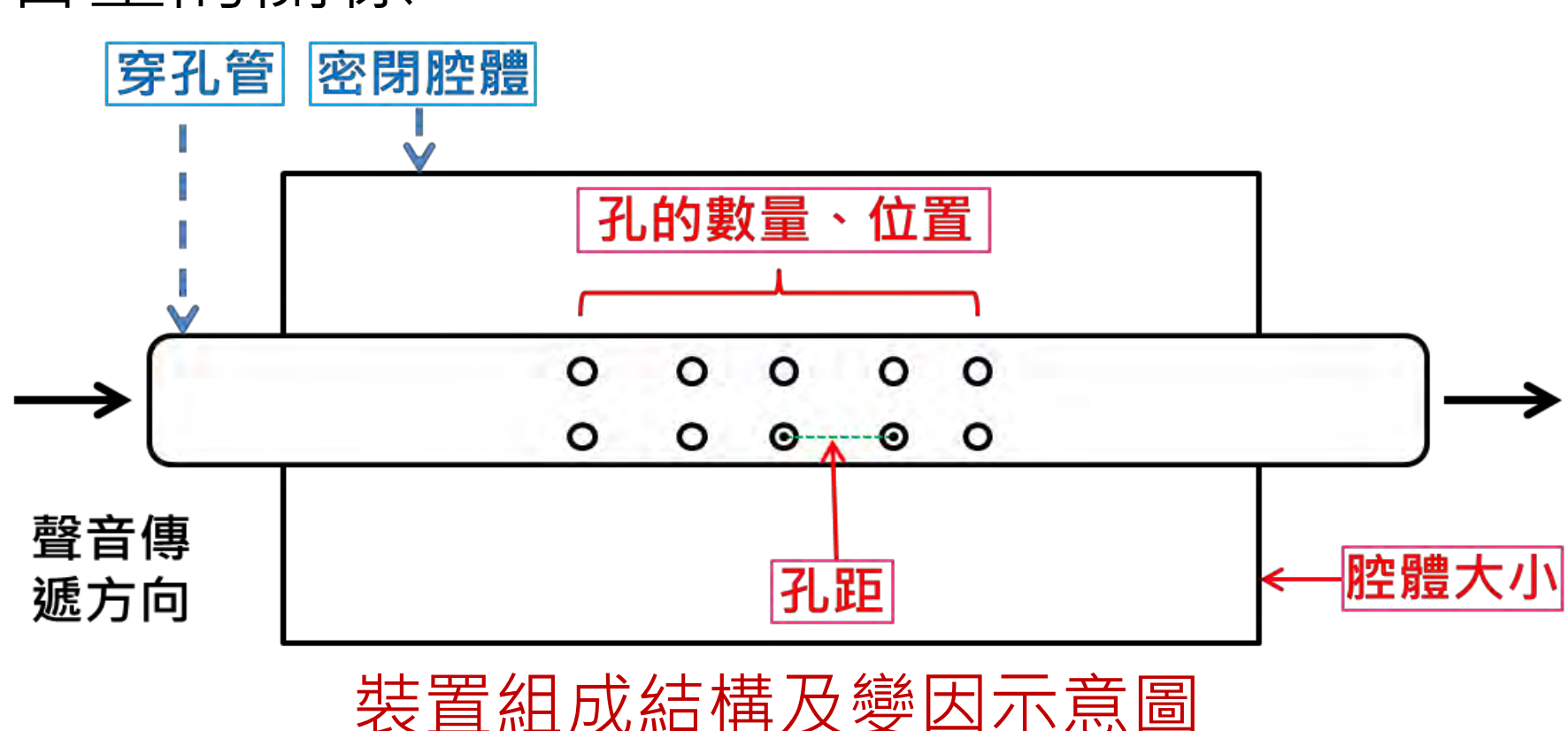
兩個同頻率、同振幅但朝相反方向行進的波動，結果重疊形成了駐波。



四、亥姆霍茲共振原理



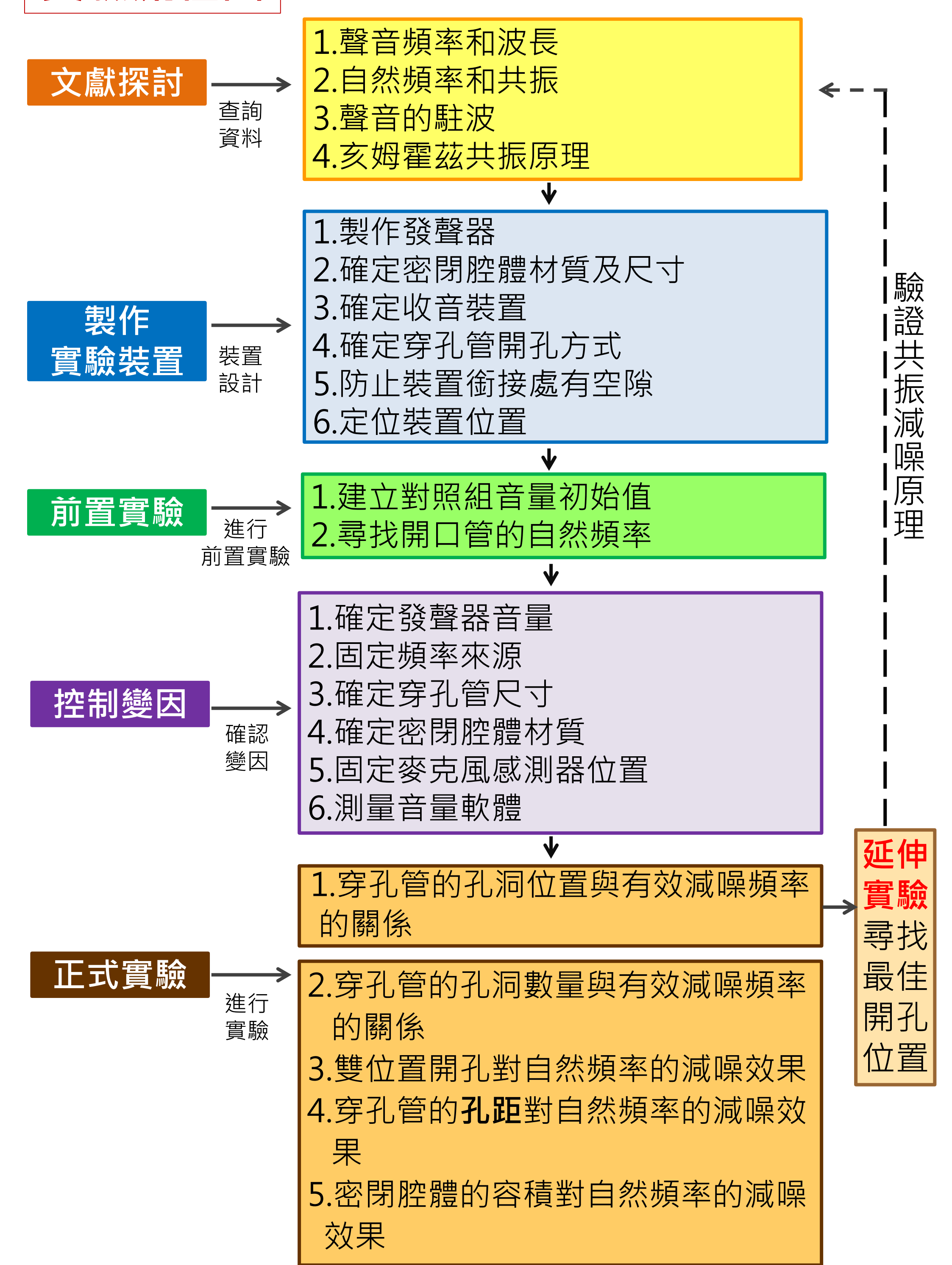
以穿孔管和密閉腔體組成的共振系統，穿孔管上的孔洞的位置、數量、孔距以及腔體容積作為變因，研究頻率、音量的關係。



研究目的

- 一、自製腔體共振減噪裝置
- 二、探討穿孔管的孔洞位置與有效減噪頻率的關係
- 三、探討穿孔管的孔洞數量與有效減噪頻率的關係
- 四、探討雙位置開孔對自然頻率的減噪效果
- 五、探討穿孔管的孔距對自然頻率的減噪效果
- 六、探討密閉腔體的容積對自然頻率的減噪效果

實驗流程圖

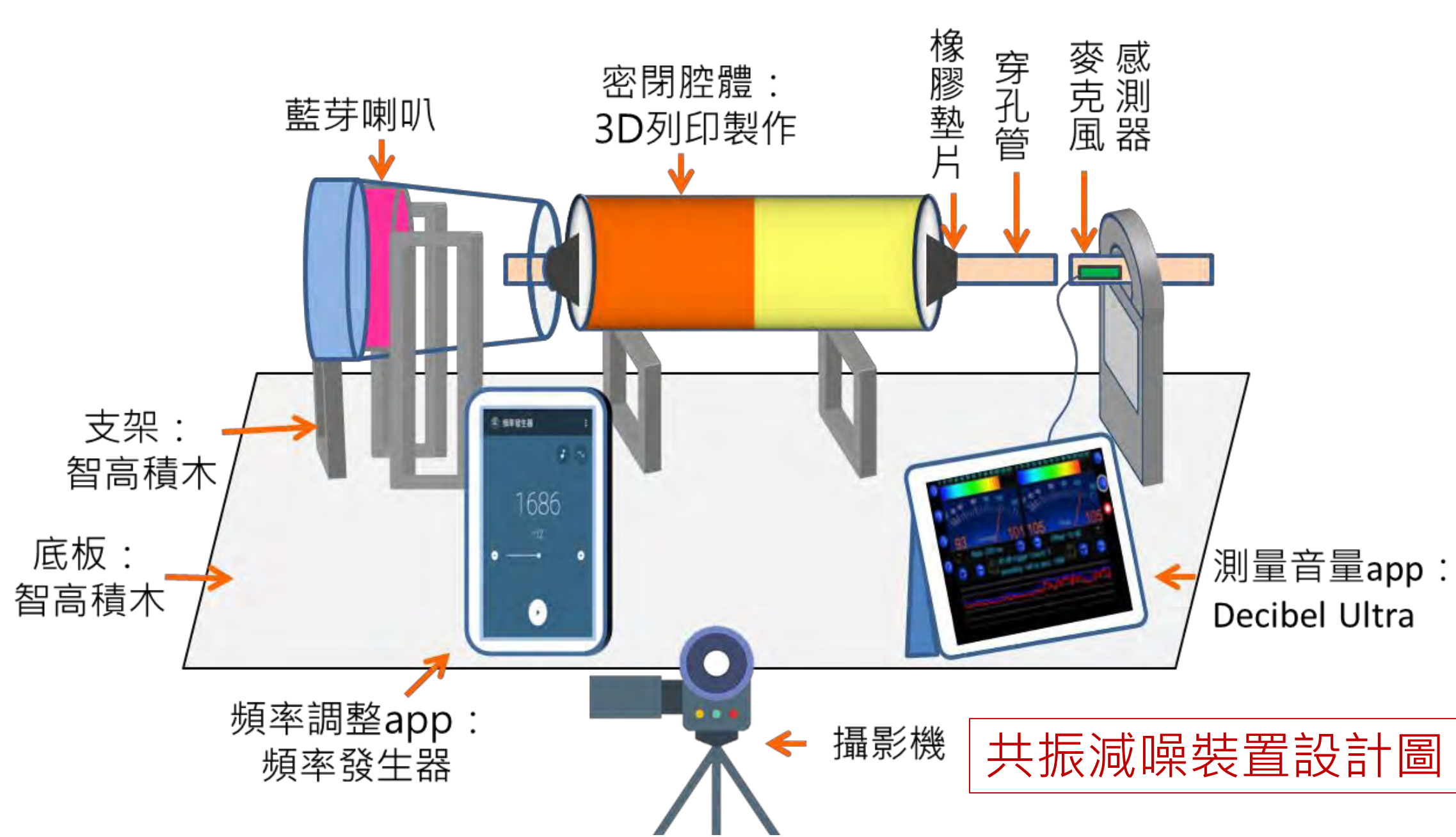


研究方法、結果與發現

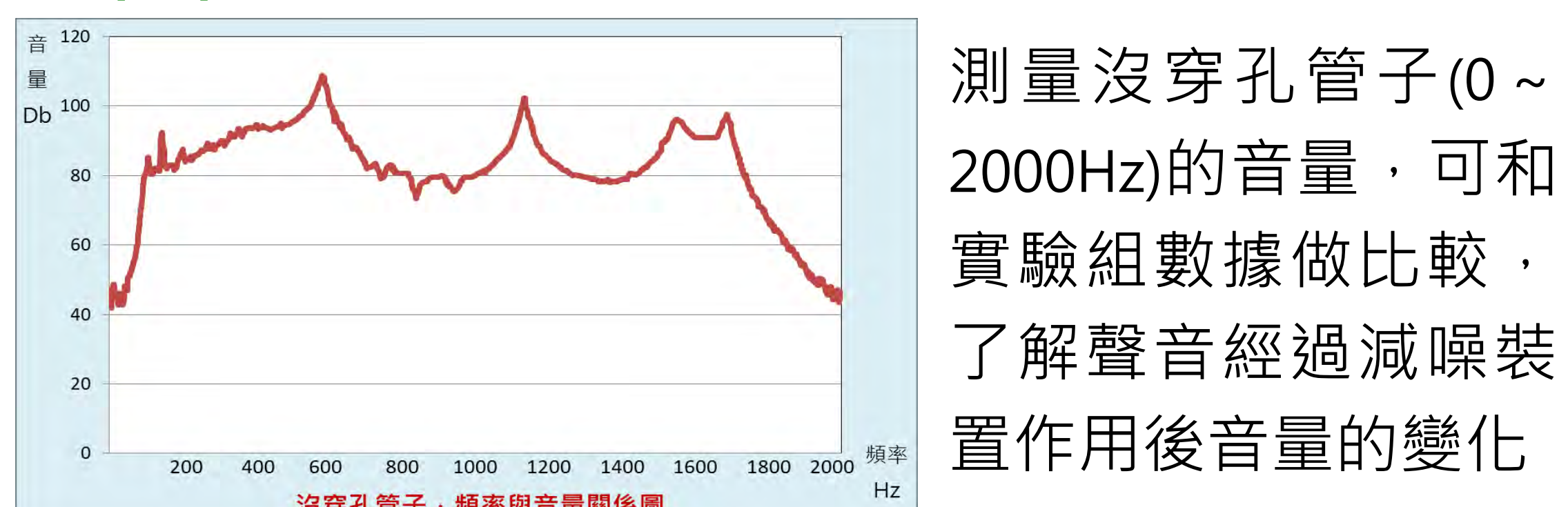
一、自製腔體共振減噪裝置

(一)共振減噪裝置設計

以藍芽喇叭為發聲器，以手機app控制輸出的頻率，聲音經過密閉腔體及穿孔管組成的共振腔體，在出口端收音，測量經過裝置後音量的變化。

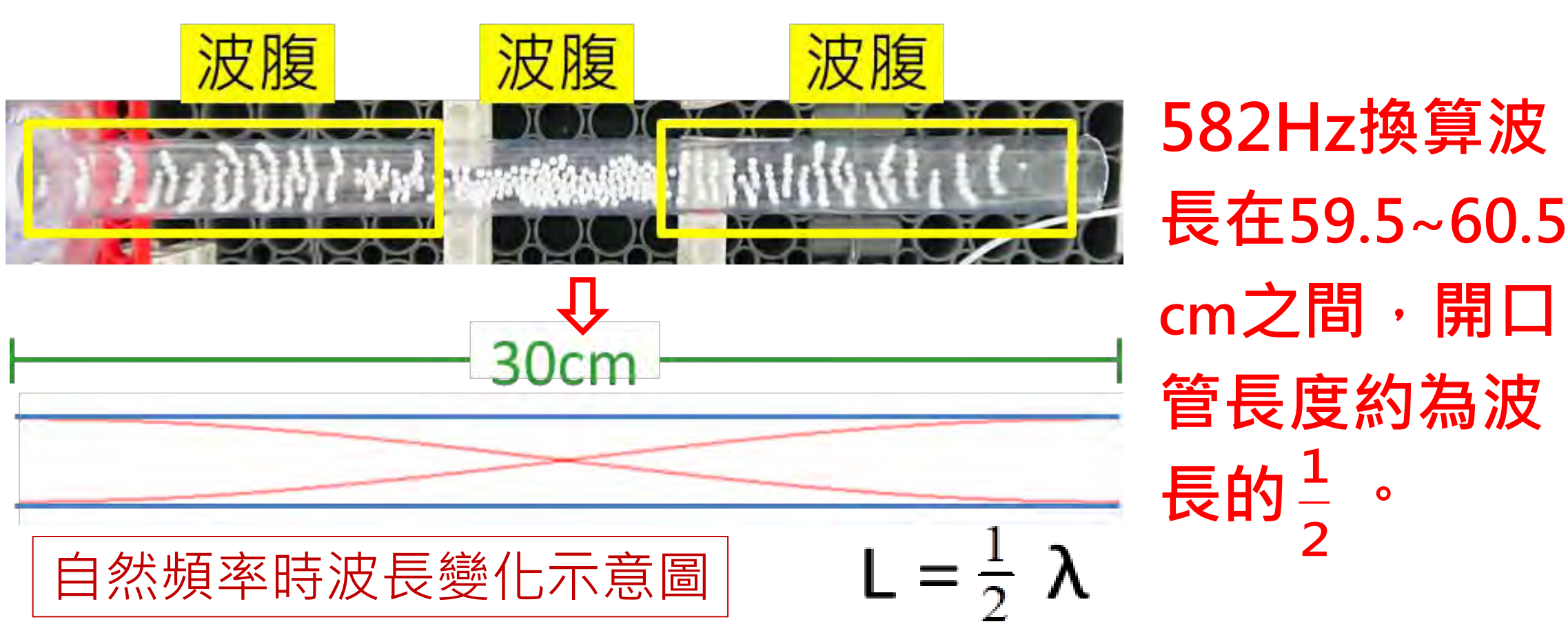


(二)前置實驗—建立對照組音量初始值



(三)前置實驗—尋找開口管的自然頻率

25°C時 $V=346 \text{ m/s}$ $\lambda = 346 / 582 \approx 0.5945(\text{m}) \approx 59.5(\text{cm})$
 35°C時 $V=352 \text{ m/s}$ $\lambda = 352 / 582 \approx 0.6048(\text{m}) \approx 60.5(\text{cm})$

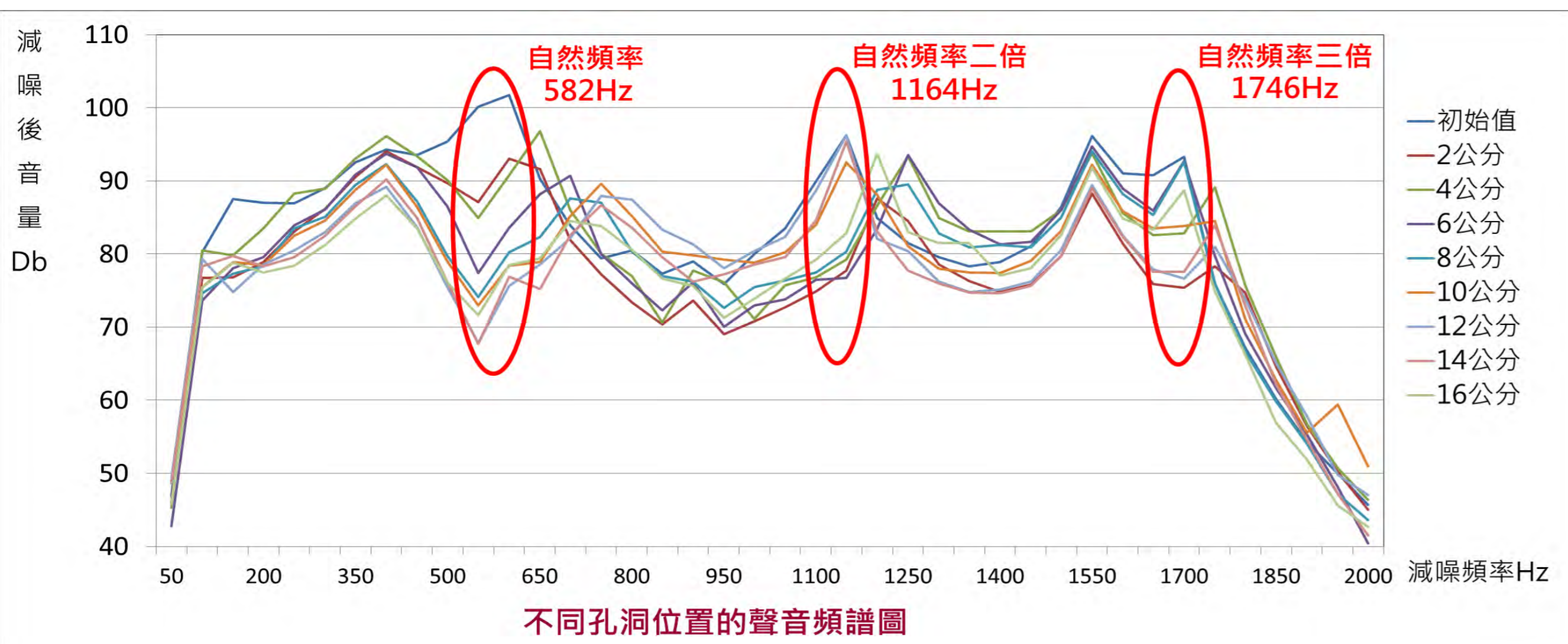
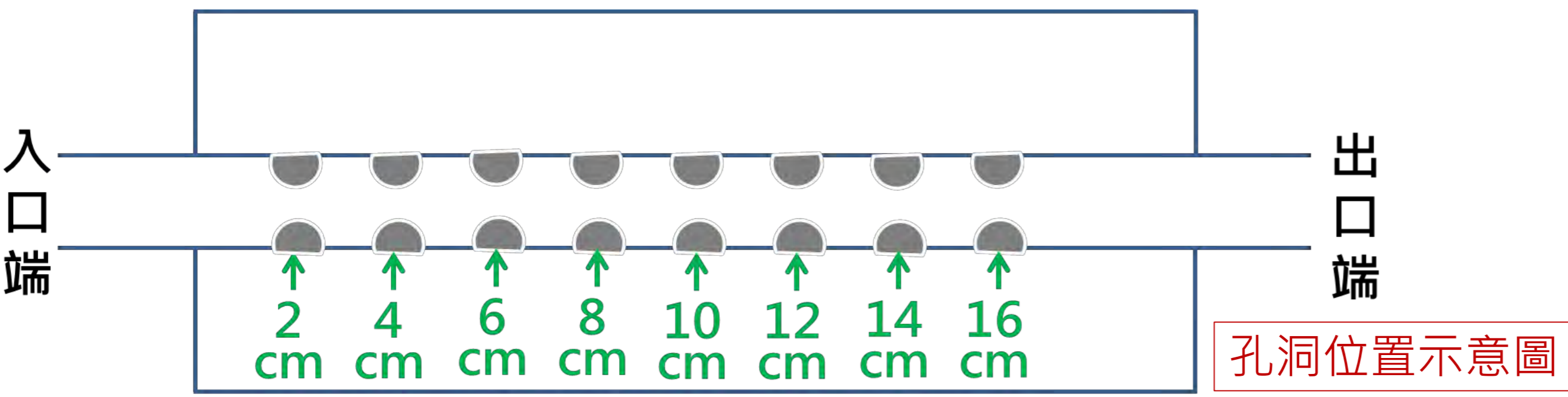


二、穿孔管的孔洞位置與有效減噪頻率的關係

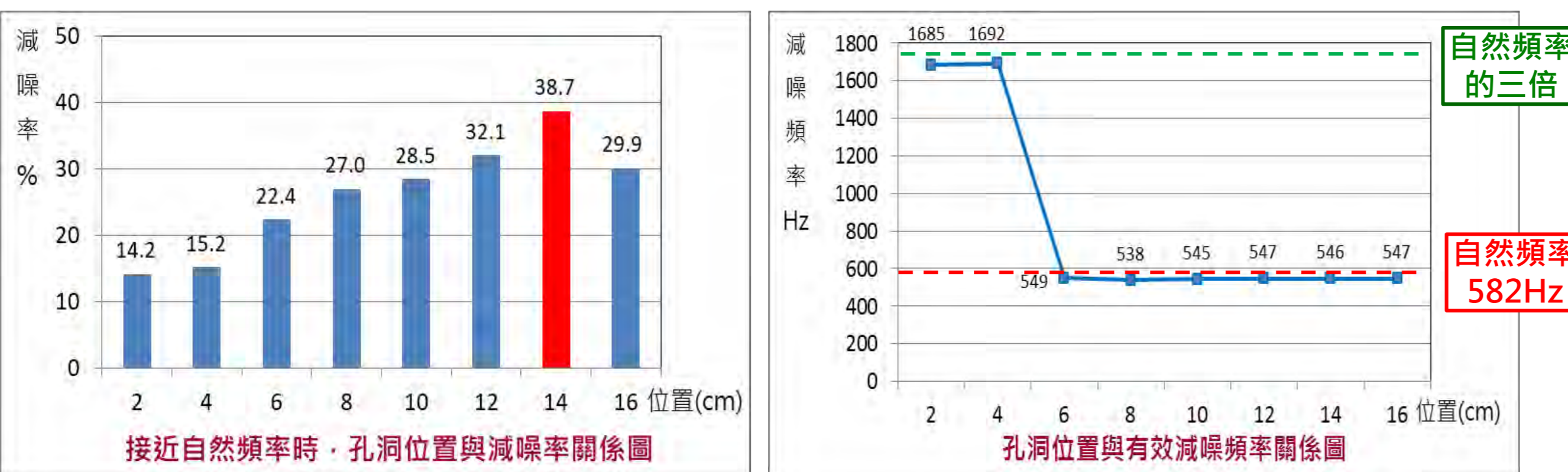
定義有效減噪頻率 0~2000Hz的聲音經共振減噪裝置減噪後，各頻率音量與對照組初始值的分貝差，減噪率最大者，為有效減噪頻率。

減噪率公式 $\frac{\text{初始值}-\text{減噪後音量}}{\text{初始值}} \times 100\%$

實驗方法 入口端腔壁為起點，在穿孔管的不同位置開兩個對稱的孔。距離以2公分類推，從距離2公分到16公分，共8組，尋找有效減噪頻率。



近自然頻率和其奇數倍的頻率，減噪後音量皆明顯下降。



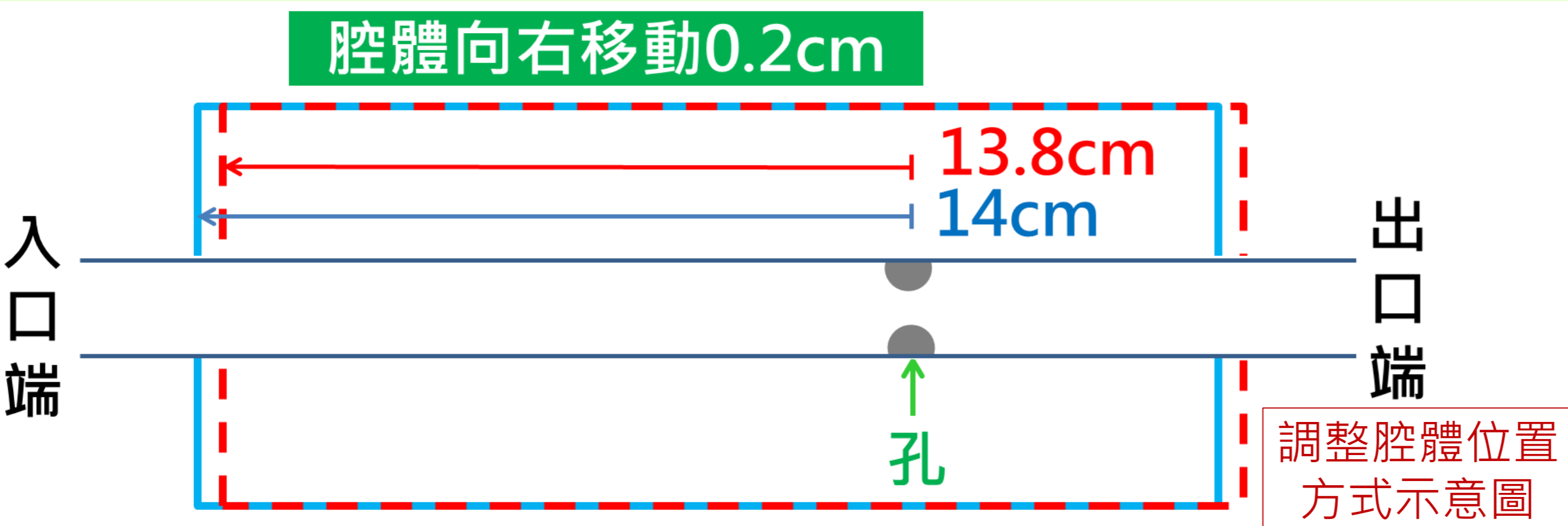
開孔位置在距離入口端腔壁14公分處，減噪率優於其他組合。

開孔位置2公分及4公分處，靠近自然頻率三倍的減噪率優於靠近自然頻率。

- 發現**
- 管子長度是決定要消除聲音頻率的主要因素，當穿孔管長度(30cm)為要消除聲音波長(60cm)的二分之一時，可進行共振減噪。
 - 管子開孔後，腔體振動轉為閉口管駐波，即自然頻率奇數倍時，才會產生共振減噪。

延伸實驗：尋找最佳開孔位置

實驗方法 在13~15公分之間尋找最佳開孔位置。以0.2公分為間距，微調腔體位置，改變孔洞與腔壁的距離，測減噪率，找出最佳開孔位置。

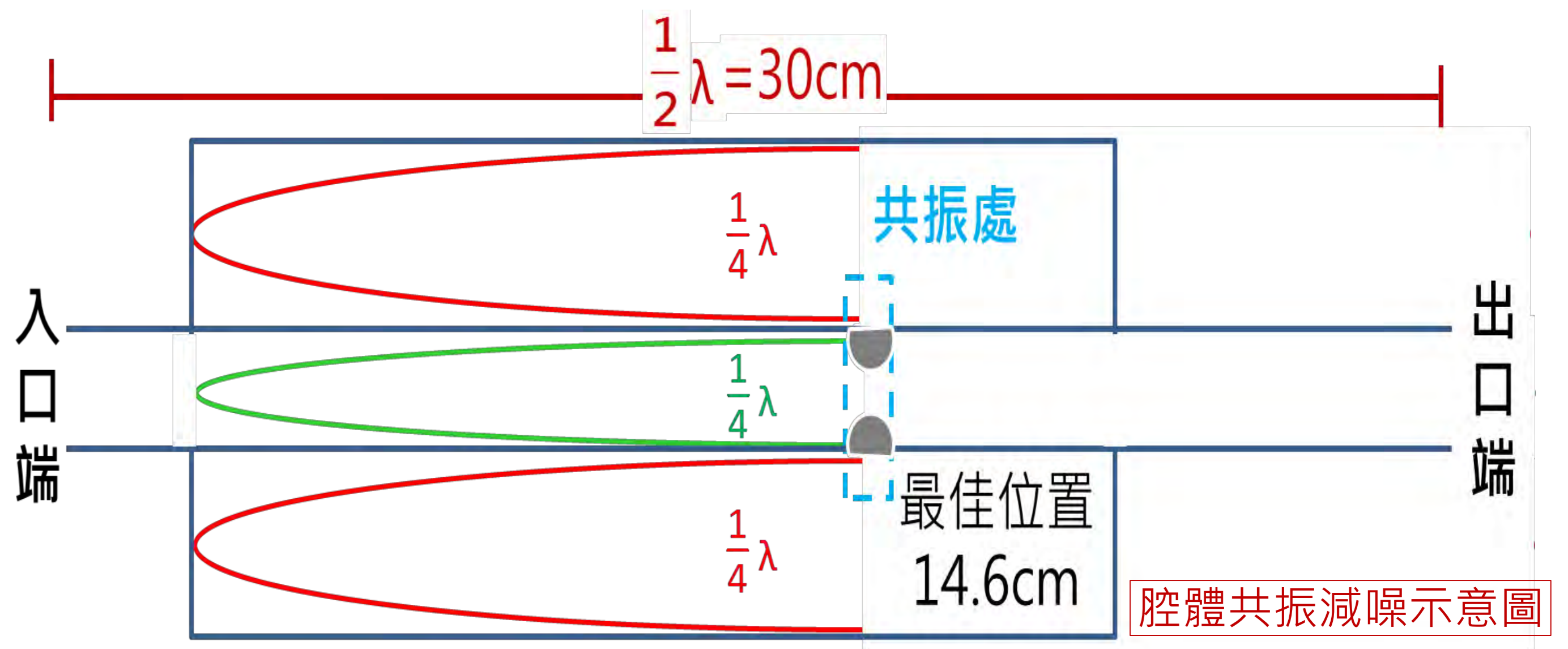


孔洞位置在13-15公分，聲音減噪紀錄表

位置(cm)	13.0	13.2	13.4	13.6	13.8	14.0	14.2	14.4	14.6	14.8	15.0
減噪頻率(Hz)	540	540	540	540	540	546	539	539	553	539	546
減噪音量(Db)	66.6	63.3	64.4	66.2	65.3	60.9	64.3	62.8	60.7	64.2	65.3
減噪率(%)	32.7	36.1	34.9	33.1	34.0	38.7	35.1	36.6	39.7	35.2	34.3

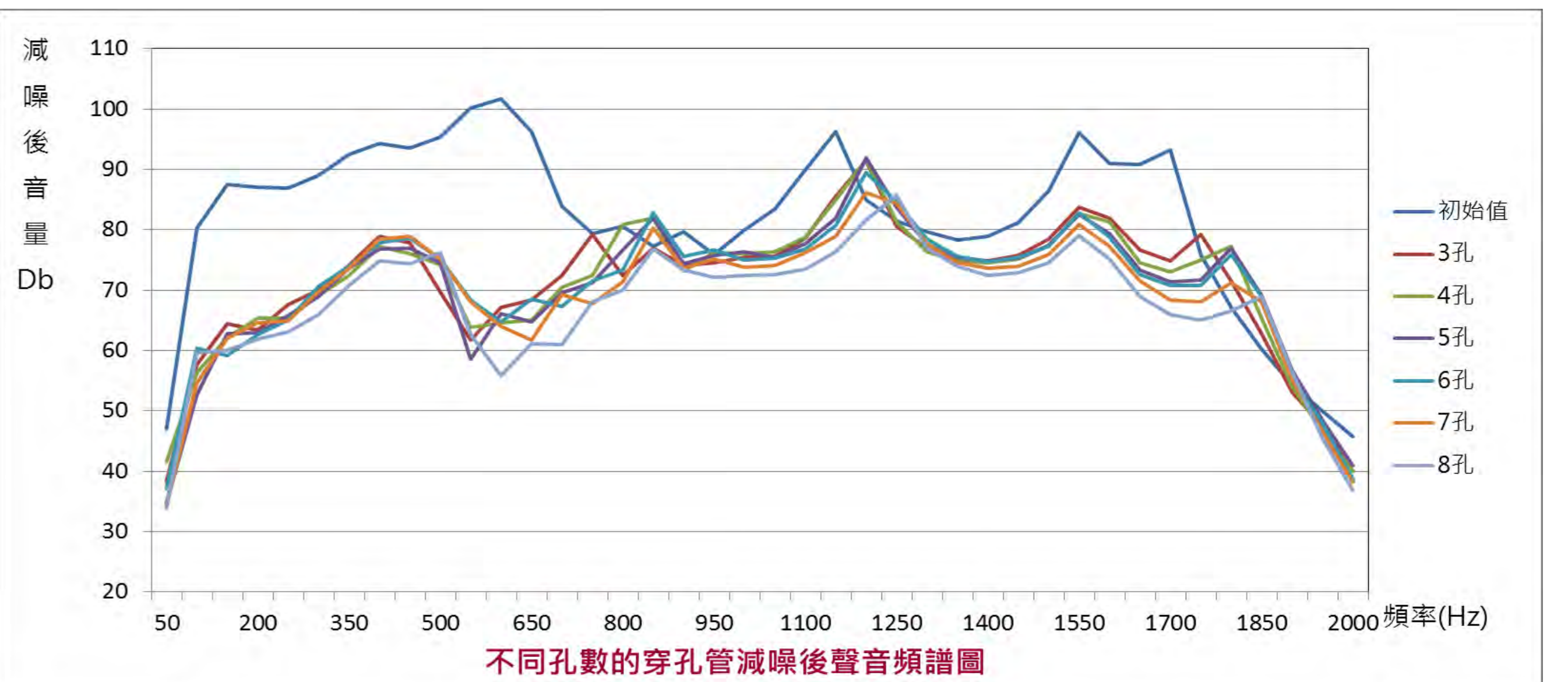
當開孔位置在距離入口端腔壁14.6公分處，減噪率最佳。

- 發現**
- 孔開在最佳位置的穿孔管放入發泡球，至自然頻率時，原本屬於開口管的駐波，轉變為閉口管的駐波，波腹為開孔處，且發泡球在開孔處來回振動，顯示腔體和穿孔管在開孔處的管壁形成共振，能量在此消耗，產生減噪效果。
 - 腔體內共振的空氣柱屬於閉口管，以自然頻率582Hz換算 $\frac{\lambda}{4}$ 約為14.8公分，與最佳開孔位置的14.6公分相當靠近。



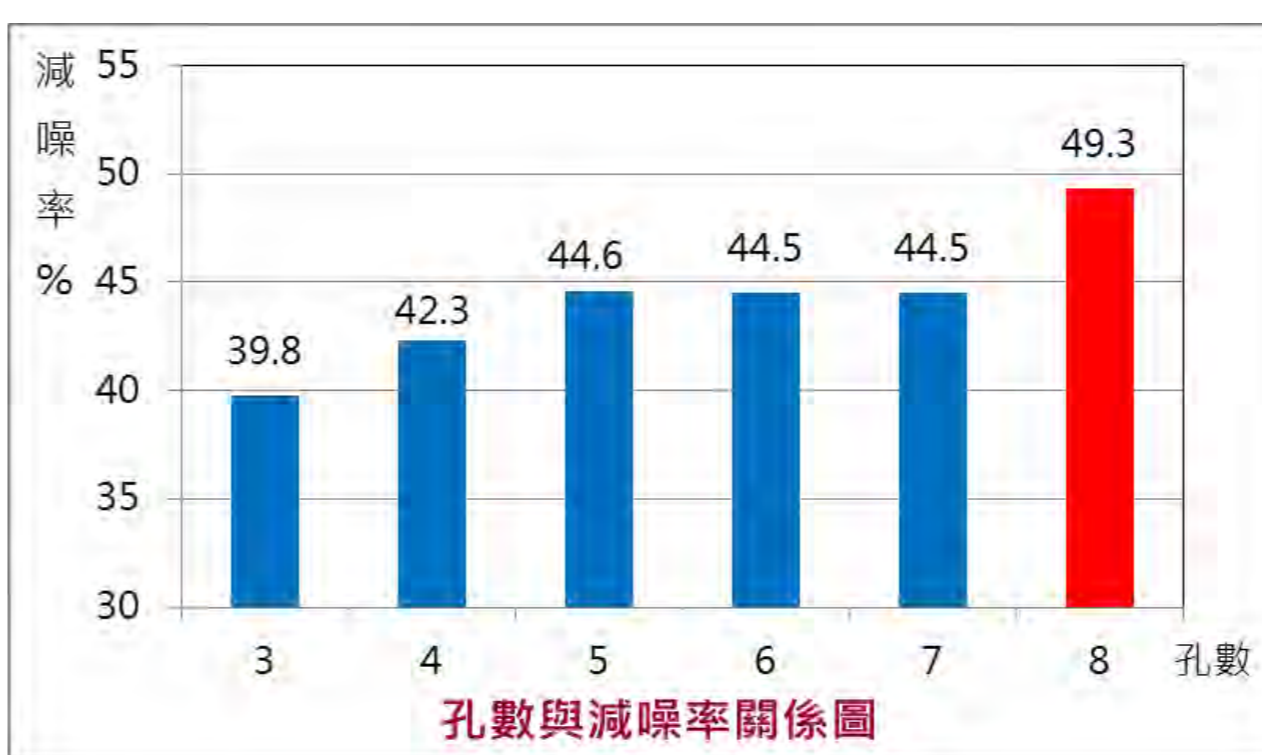
三、穿孔管的孔洞數量與有效減噪頻率的關係

實驗方法 在最佳開孔位置以環狀增加孔數，分別為3~8孔，尋找不同孔數的減噪頻率。



不同孔數穿孔管，減噪後頻率、減噪率紀錄表

孔數	減噪頻率(Hz)	406	547	793	900	1187	1387	1562	1699	1770	2000
3孔	波長(cm)	85.2	63.3	43.6	38.4	29.1	24.9	22.2	20.4	19.5	17.3
	減噪率(%)	15.8	39.8	-3.6	7.7	-9.6	4.9	10.5	19.7	-13.3	11.2
	減噪頻率(Hz)	416	564	837	904	1188	1369	1564	1698	1792	2000
4孔	波長(cm)	83.2	61.3	41.3	38.3	29.1	25.3	22.1	20.4	19.3	17.3
	減噪率(%)	16.0	42.3	-14.2	8.4	-9.3	5.1	11.3	23.2	-15.8	11.8
	減噪頻率(Hz)	437	564	845	1016	1209	1391	1566	1693	1808	2000
5孔	波長(cm)	79.2	61.3	40.9	34.1	28.6	24.9	22.1	20.4	19.1	17.3
	減噪率(%)	15.8	44.6	-10.4	6.7	-10.6	4.7	11.2	25.9	-18.2	10.5
	減噪頻率(Hz)	424	581	857	907	1221	1400	1564	1710	1811	2000
6孔	波長(cm)	81.6	59.6	40.4	38.1	28.3	24.7	22.1	20.2	19.1	17.3
	減噪率(%)	15.0	44.5	-6.3	7.3	-10.9	5.3	11.6	20.7	-19.4	15.5
	減噪頻率(Hz)	411	581	857	907	1217	1444	1566	1727	1821	2000
7孔	波長(cm)	84.2	59.6	40.4	38.1	28.4	24.0	22.1	20.0	19.0	17.3
	減噪率(%)	15.5	44.5	-3.7	8.6	-8.7	8.4	12.7	19.0	-17.0	17.5
	減噪頻率(Hz)	430	582	867	908	1237	1400	1562	1725	1837	2000
8孔	波長(cm)	80.5	59.5	39.9	38.1	28.0	24.7	22.2	20.1	18.8	17.3
	減噪率(%)	18.9	49.3	0.1	9.6	-9.0	8.2	15.5	22.2	-13.2	18.4



孔數越多，減噪率越高。

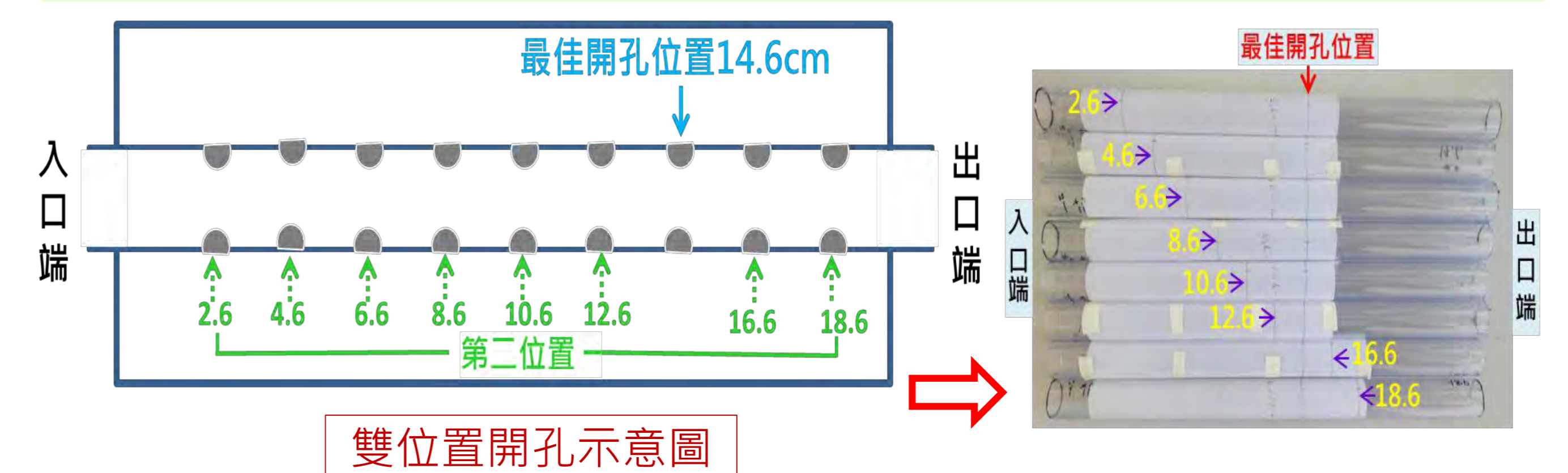


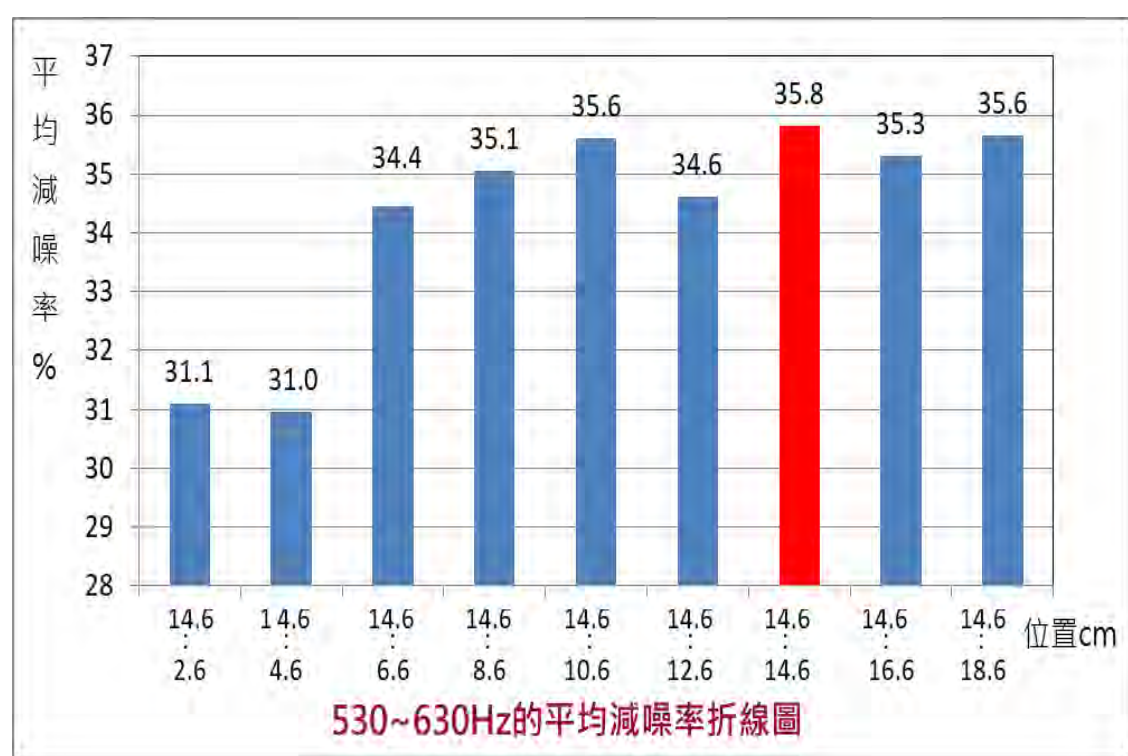
孔數越多，有效減噪頻率會趨近於自然頻率。

發現 在最佳位置增加開孔數，空氣柱強烈振動的位置也會增加，可以耗散比較多的能量。

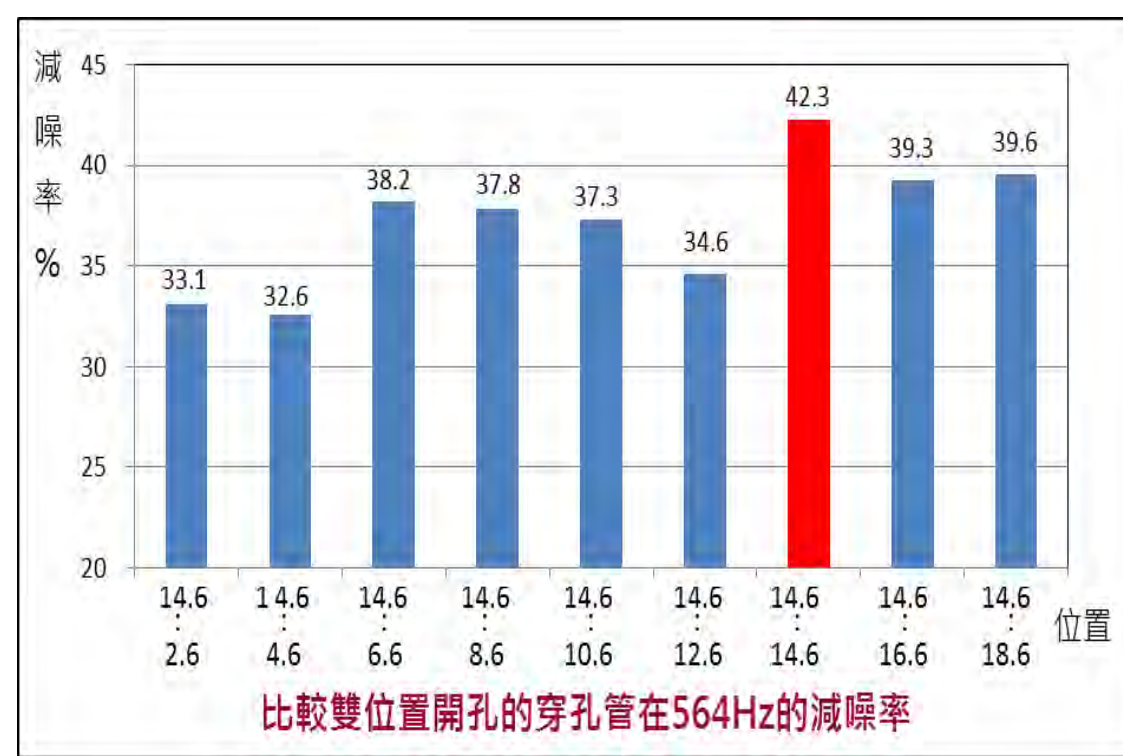
四、雙位置開孔對自然頻率的減噪效果

實驗方法 以最佳開孔位置(14.6cm)為第一個位置，前後每隔2公分開孔，作為第二位置，共九組，測量530~630Hz的聲音減噪率。

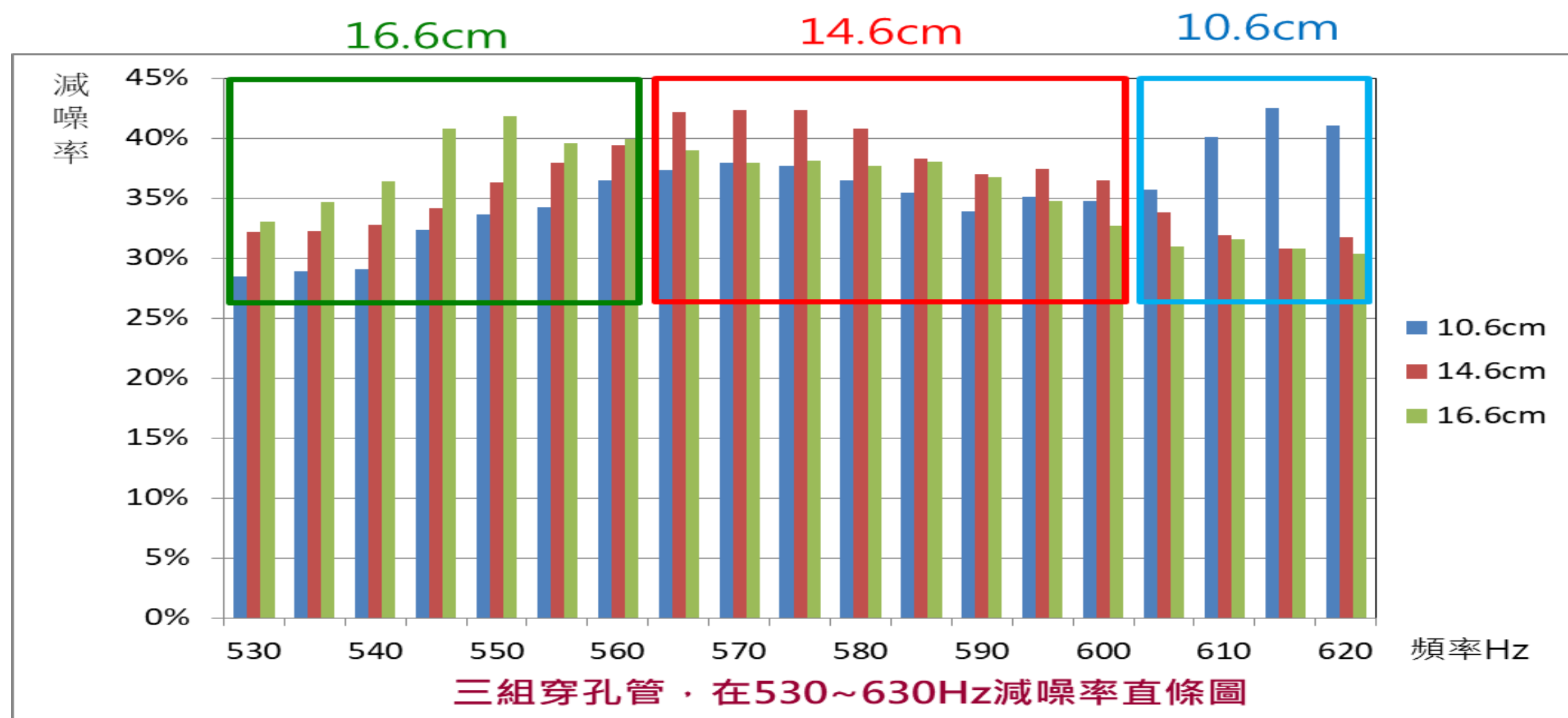




位置14.6cm 開四孔，平均減噪率略高於其他八組。



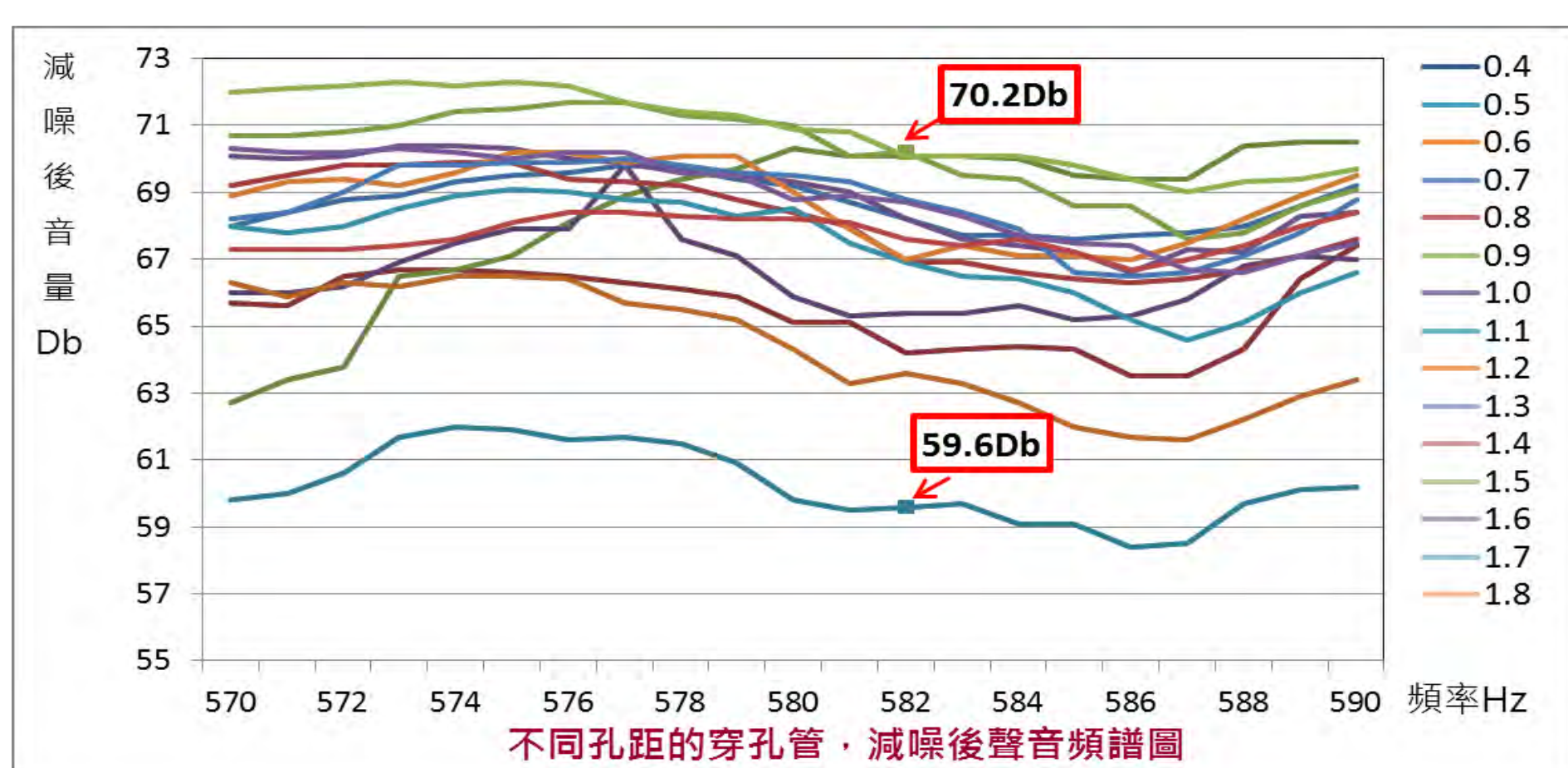
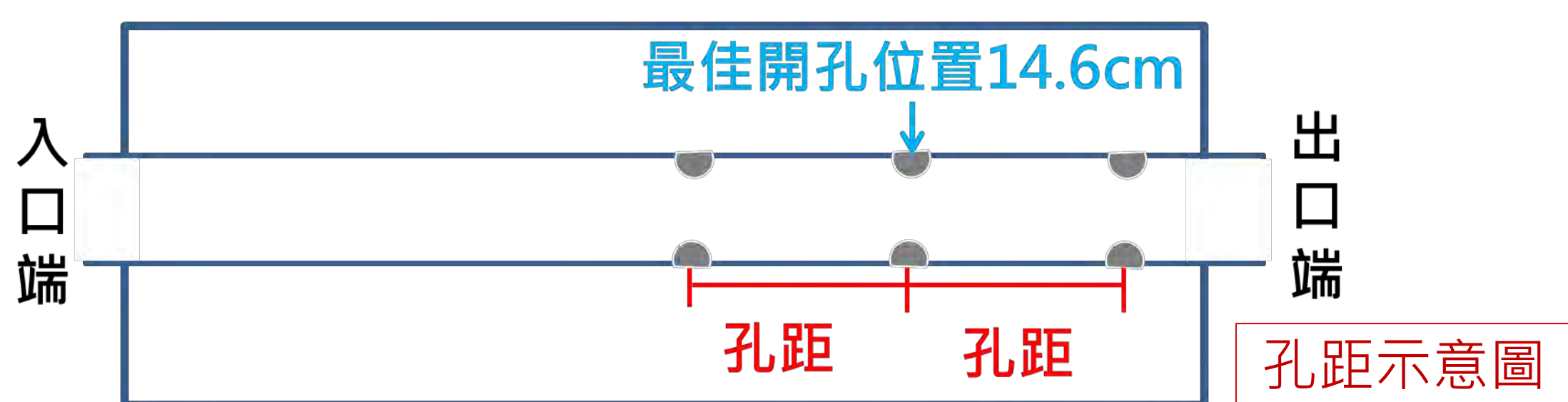
位置14.6cm四孔在564Hz減噪率42.3%，第二位置改變後，減噪率皆下降。



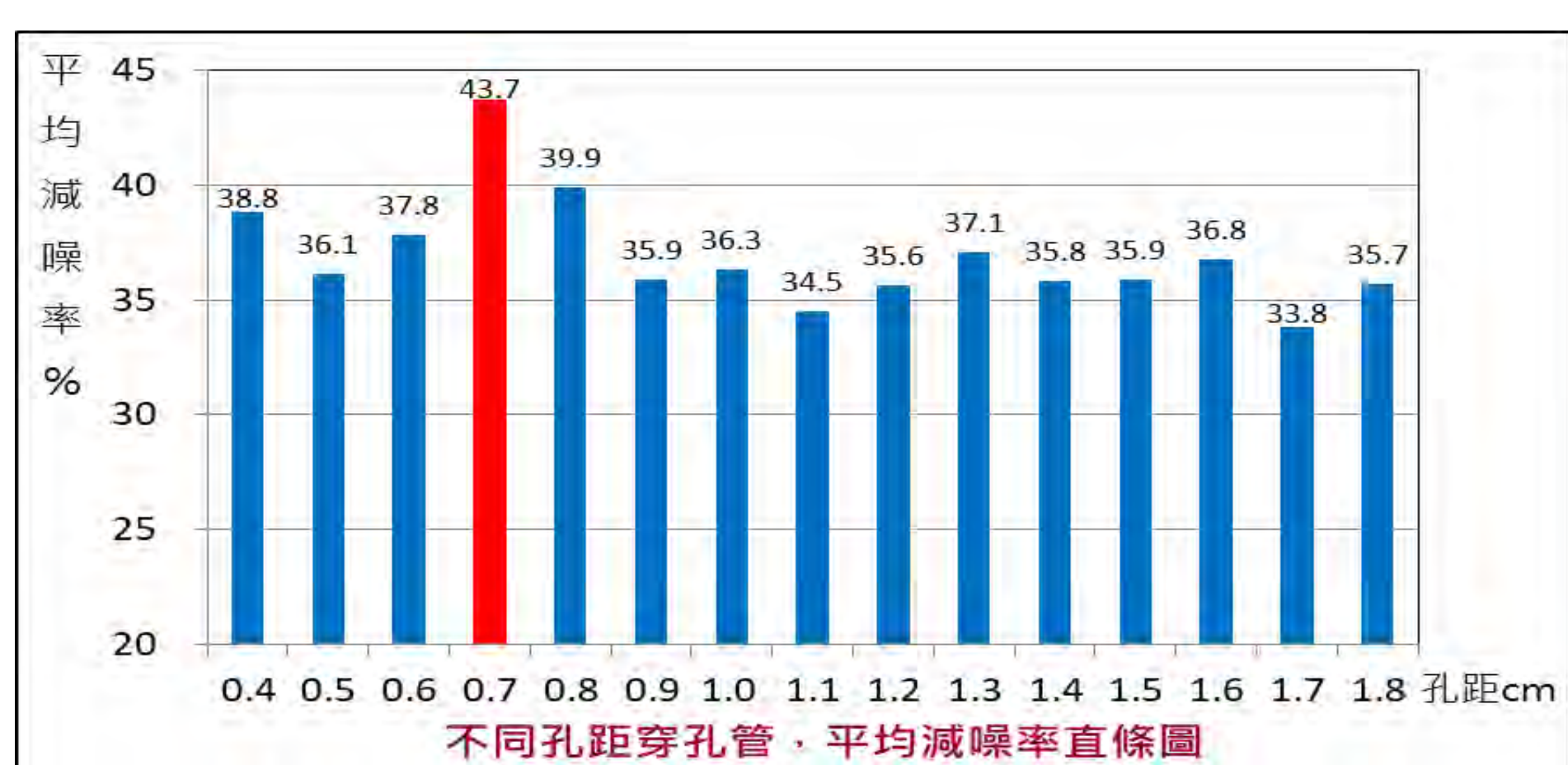
第二開孔位置在最佳位置(14.6cm)後端，可增加自然頻率(582Hz)前端的減噪率，第二開孔位置在最佳位置前端，可增加自然頻率後端的減噪率

五、穿孔管的孔距對自然頻率的減噪效果

實驗方法 開三個位置，共六孔，以最佳開孔位置(14.6cm)為中間，孔距分別為0.4~1.8公分，共15組，比較不同孔距的穿孔管在自然頻率附近(570-590Hz)的減噪率。



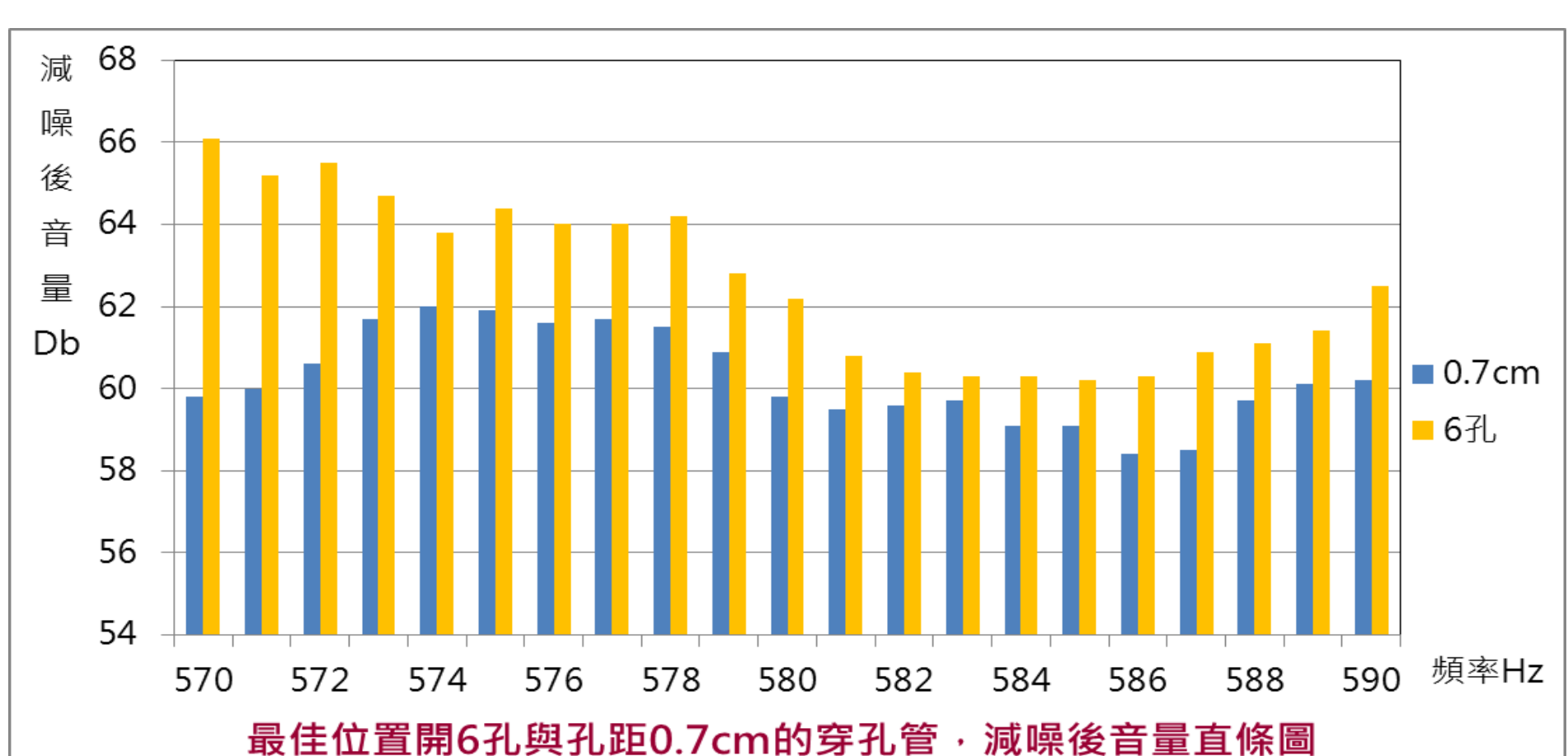
在自然頻率582Hz處，不同的孔距變化音量最大差距為10.6Db。



在孔距為0.7公分，孔距對孔徑比為7：3時，平均減噪率最高。

發現 減噪效果不好的原因：

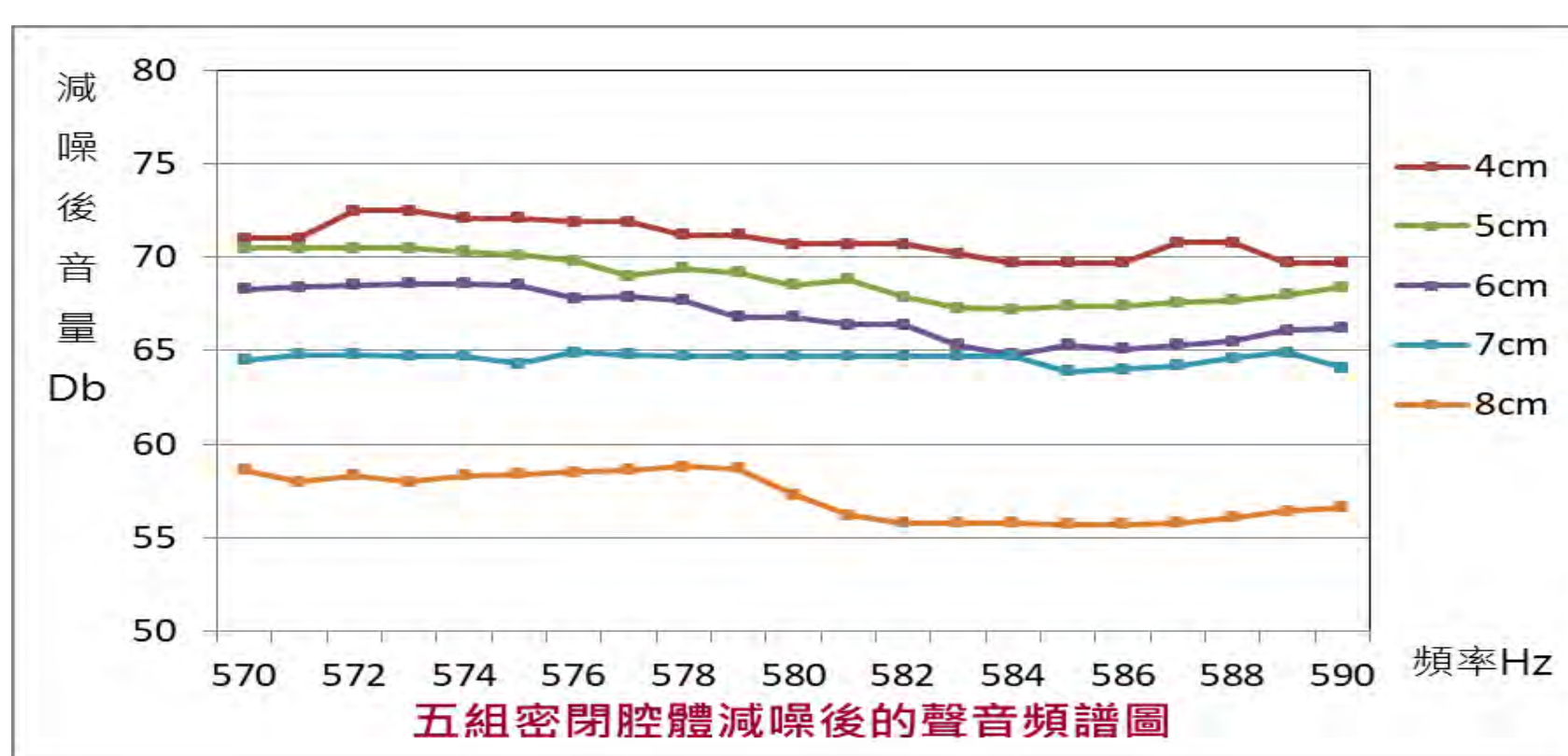
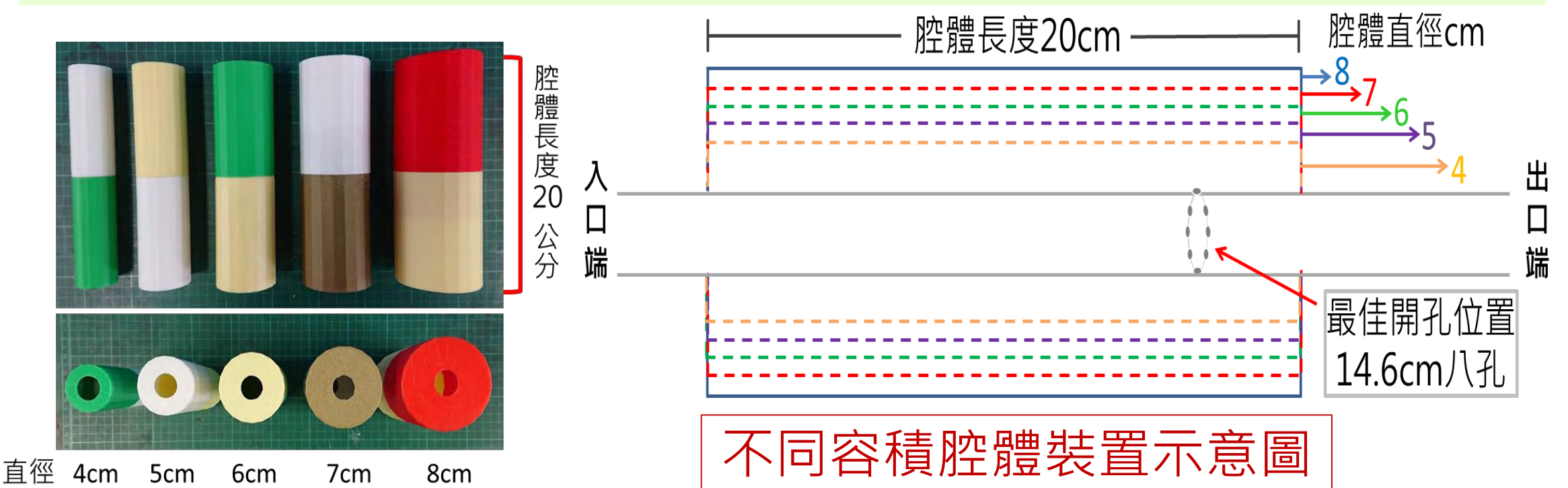
- 1.孔距太短，孔和孔之間的空氣柱會互相干擾。
- 2.孔距太長，波長無法達到共振條件，多的孔就沒有效果。



發現 多位置開孔時，孔距對孔徑比為7：3，不僅有較好的減噪效果，也會擴大減噪範圍。

六、密閉腔體的容積對自然頻率的減噪效果

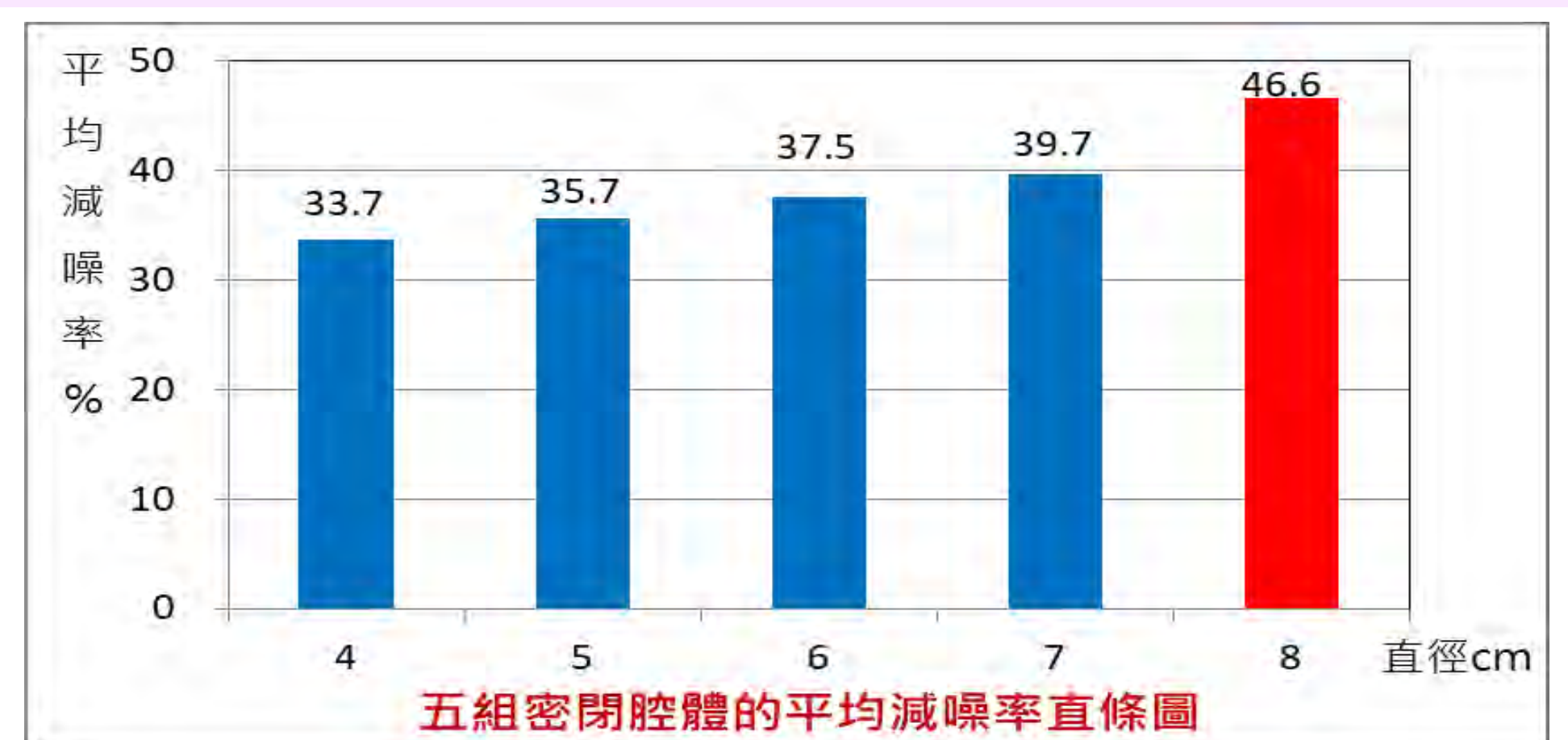
實驗方法 五組不同尺寸的組合式腔體與以最佳位置打8孔的穿孔管來實驗。



腔體長度固定，直徑越大，自然頻率附近的減噪效果越好

發現

- 1.腔體容積太小，聲波從穿孔管進入腔體，易產生反射端的干涉，影響減噪。
- 2.容積變大，音壓相對較大，空氣柱產生共振的振幅也加大，減噪效果較好。



結論

- 一、穿孔管和密閉腔體組成的共振減噪裝置，讓空氣柱在開孔處來回振動，消耗能量而達到減噪效果。
- 二、單一位置開孔，對自然頻率的奇數倍能產生共振減噪。減噪需符合條件為，穿孔管長度需為要消除聲音二分之一波長，最佳開孔位置與入口端腔壁需距離四分之一波長。
- 三、當最佳開孔位置的開孔數量越多，減噪率會越高，且有效減噪頻率會趨近於自然頻率。
- 四、雙位置開孔時，第二開孔位置在最佳位置後端，可增加自然頻率前端的減噪率，第二開孔位置在最佳位置前端，可增加自然頻率後端的減噪率。
- 五、三位置開孔時，孔距對孔徑比為7：3，平均減噪率最高，也可擴大自然頻率附近的減噪範圍。
- 六、腔體長度需大於要消除聲音波長的四分之一，且腔體容積越大，減噪效果較好。

未來展望

- 一、低音頻噪音控制：生活中幾乎是低音頻噪音為多，易穿透建築物造成共振，本研究對於中低頻的噪音有良好的減噪率，未來可嘗試運用於消除低音頻噪音。
- 二、混合頻率噪音的消除：噪音是不同頻率的聲音組成，要進行消除，可進一步探討實驗五中，多位置開孔之後形成大範圍的減噪現象。
- 三、不同的裝置設計：本實驗為單腔式穿孔的設計，雖可減音但無法消音，之後可以再探討其他的組合設計，如單腔多層穿孔、雙腔穿孔、側接共振腔、腔體轉換方向、在腔體裡面加裝隔板等不同的做法。

