

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

子計畫三：奈米碳管加勁複合材料揚聲板的激震效率及壽命 評估

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC94-2212-E-164-004-

執行期間：94年08月01日至95年07月31日

執行單位：修平技術學院工業工程與管理系

計畫主持人：吳家宏

共同主持人：佘海豐，吳汶蘭

計畫參與人員：鍾魁原

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 11 月 1 日

(小型奈米碳管加勁複合材料平板式揚聲器研發 - 子計畫三 : 奈
米碳管加勁複合材料揚聲板的激震效率及壽命評估)

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 94 - 2212 - E - 164 - 004 -

執行期間： 94 年 8 月 1 日至 95 年 7 月 31 日

計畫主持人：吳家宏

共同主持人：吳汶蘭、佘海豐

計畫參與人員：鍾魁原

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢
涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：修平技術學院工業工程與管理系

中文摘要

本計畫完成建立奈米碳管加勁複合材料揚聲板頻率響應分析方法及揚聲板受激振後所產生的聲射分析與實驗驗證，並配合國立交通大學機械工程研究所金大仁教授所提的”小型奈米碳管加勁複合材料平板式揚聲器研發”整合型計畫作一整體性的研究，本研究完成的内容分述如下：

1. 完成並驗證奈米碳管加勁複合材料揚聲板頻率響應及聲射分析。
2. 完成符合本整合型計畫規格要求之喇叭試件設計，並請其他子計畫實際製作。
3. 完成計算並驗證實物喇叭試件的聲射情況。
4. 完成建立奈米碳管加勁複合材料揚聲板的聲壓量測方法。

本計畫應用前後處理軟體 PATRAN 及有限單元軟體 Nastran 分別建立奈米碳管加勁複合材料揚聲板的幾何外型及頻率響應分析方法，了解此揚聲板在不同頻率的正弦函數外力作用下，整個揚聲板隨頻率變化所產生的峰、谷分佈情形，藉此設計試件完成製作揚聲板。利用前述頻率響應分析所得的結果及 Rayleigh's first integral 聲壓方程式完成建立此揚聲板的聲射分析。得到此奈米碳管加勁複合材料揚聲板的聲壓特性後，再利用 LMS 聲壓量測系統對此揚聲板作聲壓試驗，並以此實驗驗證了理論的正確性。

關鍵詞：奈米碳管、複合材料、揚聲板、頻率響應分析、共振頻率、聲壓。

Abstract

The project accomplish the frequency response analysis and sound radiation analysis of composite flat-plate loudspeaker stiffened by carbon nano-tube. The research project join into the project proposed by Professor Kam, T. Y. The project accomplish the following tasks:

1. Accomplish the correctness of frequency response analysis and sound pressure level.
2. Design and fabricate specimens in advance.
3. Calculate and verify the efficiency of sound radiation.
4. Establish the measurement method of sound pressure level.

The project establish a finite element method on the frequency response analysis of composite flat-plate loudspeaker stiffened by carbon nano-tube. Using the pre-post processor PATRAN and finite element analysis software NASTRAN to find out the peak and valley of the composite flat-plate loudspeaker stiffened by carbon nano-tube subjected to external sinusoidal force with different frequencies. The project establish a sound pressure level calculating method using the frequency response analysis and Rayleigh's first integral equation. Also perform sound pressure level test by LMS sound pressure level measurement system and the results is the same as the previous analysis.

Keywords : carbon nano-tube, composite, flat-plate loudspeaker, frequency response analysis, resonance frequency, sound pressure,

前言：

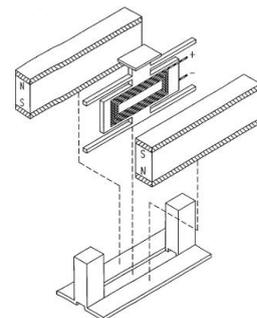
人類目前使用的器具不斷的從輕、薄、短、小的觀念下持續改進，並且在能源的節省方面克盡其所能。喇叭揚聲器的研究也不例外，一般喇叭的結構可分類為幾個部份，從最外圍的箱蓋，紙盆，逐漸延伸到內部的動力源。其種類依振膜來分常見的有圓錐式及平面式的喇叭。依動力源來分則主要有動圈式激震器、電容式激震器及壓電式激震器等。其中的動圈式激震器則是目前市面上應用最廣泛的喇叭動力源，也就是俗稱的單體部份。由於市場應用層面廣泛，不管是在家庭、公共場所、各式交通工具、隨身電子 3C 產品等等，舉凡需要發出聲音的地方，均可見其蹤影。其尺寸大小可以從幾公尺的巨型喇叭到耳機尺寸的小型喇叭，而動圈式激震器幾乎都是這些揚聲器的動力源，因此目前喇叭製造業對於製作動圈式激震器的技術是最為成熟，而且價格也是最為便宜的。喇叭的特性大致上可以分成音色、音調及音量三種，通常來講，我們希望可以聽到的是一個優美的音色、合適的音調及恰當的音量。但是實際上動圈式激震器的電聲能轉換效率並不高，由於目前 3C 隨身式產品的風行，造成喇叭的可使用面積受到嚴重的限制，而且在 3C 隨身式產品的有限能源下，如何使喇叭的效率、壽命及性能提升，將是喇叭產品未來研究的重點方向。

文獻探討：

喇叭是一種發聲的裝置。在 1981 年時，Gander 發表一篇關於動圈式激震器喇叭完整架構的文章，如：激震器磁場分布、激震器出力、喇叭懸吊力等等，並以實驗檢測出不同狀況的頻率響應圖。[1-2]則是利用電腦模擬來測試出喇叭的聲壓。而對於彈性支承矩形板的聲射行為，參考的論文有，C. E. Wallace[3]、N. S. Lomas and S. I. Hayek[4]、R. F. Keltie and H. Peng[5]、Earl G. Williams[6]、C. E. Wallace[7]、Kazuo Satoh[8]。在聲壓計算方面，有 Takeo Shindo, Osamu Yashima, and Hideo Suzuki[9]、Alain Berry, Jean-Louis Guyader, and Jean Nicolas[10]及 Morse[11]等論文，這些學者對聲壓方程式作了詳盡的描述，Tan[12]中討論了藉由驅動器(actuator)的主動控制對平板聲場的影響。也有藉著複合材料製成的三明治薄板來發聲的揚聲器，其聲壓值更可以大幅的提高。利用複合材料三明治結構或蜂巢結構重量輕且剛性強的特性，美國 Precision Power, Inc. [13-14]及英國 NXT 公司[15-19]就分別研發了平面式複合材料三明治結構喇叭，在動圈式激震器喇叭發表後，後來的喇叭就沒有比較新的發展，一直到最近 NXT 公司與日本 NEC 公司最近發表了一項筆記型電腦 LCD 液晶螢幕前方裝置 SoundUV 平面揚聲器的技術[20]，如圖(一)所示。以及由國立交通大學 金大仁教授所提出的發明 ”平面揚聲器用方形傳感器” [21] 及 ”片狀激震器” [22]，如圖(二)所示，以及多項與揚聲器相關的專利[23-32]。



圖(一)、筆記型電腦 LCD 液晶螢幕前方裝置 SoundUV 平面揚聲器的技術



圖(二)、平面揚聲器用方形傳感器

參考文獻

1. D. G. Meyer, "Computer Simulation of Loudspeaker Directivity", JAES, Vol.32, No.5, 1984, pp294-315.
2. E. Hojan, M. Wojtczak, M. Niewiarowicz, "Computer Simulation of Spatial Characteristics of a Loudspeaker System", Applied Acoustics, Vol.32, 1991, pp179-191.
3. C. E. Wallace, "Radiation Resistance of a Rectangular Panel," The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 51, No. 3, pp. 946-952, 1972.
4. N. S. Lomas and S. I. Hayek, "Vibration and Acoustic Radiation of Elastically Supported Rectangular Plates, "Journal of Sound and Vibration, Vol. 52, No. 1, pp. 1-25, 1977.
5. R. F. Keltie and H. Peng, "The Effects of Modal Coupling on the Acoustic Power Radiation from Panels, "Journal of Vibration,Acoustics,Stress,and Reliability in Design, Vol. 109, pp. 48-54, 1987.
6. Earl G. Williams, " A Series Expansion of the Acoustic Power Radiated from Planar Sources, " The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 73, No. 5, pp. 1520-1524, 1983.
7. C. E. Wallace, " Radiation Resistance of a Baffled Beam, " The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 51, No. 3, pp. 936-945, 1972.
8. Kazue Satoh, Hiroyuki Takewa, and Mkiwo Iwasa, "A High Fidelity Small-Size Loudspeaker", IEEE Transactions on Consumer Electronixs, Vol.43, No.3, AUGUST 1977.
9. Takeo Shindo,Osamu Yashima,and Hideo Suzuki, "Effect of Voice-Coil and Surround on Vibration and Sound Pressure Response of Loudspeaker Cones, "Journal of the Audio Engineeing Society,Vol. 28,No. 7-8,pp. 490-499,1980.
10. Alain Berry,Jean-Louis Guyader,and Jean Nicolas, "A General Formulation for the Sound Radiation from Rectangular,Baffled Plates with Arbitrary Boundary Conditions, "The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 88, No. 6, pp. 2792-2802, 1990.
11. P. M., Morse and K. U., Ingrad, "Theoretical Acoustics," McGraw-Hill, NY, 1968;rpt. Princeton University Press, NJ, pp. 375-379,1986.
12. C. C. Tan and C. I. Hird., "Active Control of the Sound Field of a Constrained Panel by an Electromagnetic Actuator-an Experimental Study", Applied Acoustics, Vol.52, NO.1, PP.31-51, 1997.
13. Edward W. Guenther, Stephen Leigh, Flat-panel speaker, U. S. patent No. 5,701,359.
14. Edward W. Guenther, Stephen Leigh, Fiber-honeycomb-fiber sandwich speaker diaphragm and method, U. S. patent No. 6,097,829.
15. Henry Azima, Matin Colloms, Neil John Harris, Panel-form loudspeakers, U. S. patent No. 6,031,926.
16. Henry Azima, Matin Colloms, Neil John Harris, Loudspeakers comprisingpanel-form acoustic radiating element, U. S. patent No. 6,144,746.
17. Henry Azima, Neil Simon Owen, Gair Richard Matthews, Loudspeaker, U. S. patent No. Des. 415,764.
18. Henry Azima, Neil Simon Owen, Gair Richard Matthews, Loudspeaker, U. S. patent No. Des. 416,907.
19. Henry Azima, Neil Simon Owen, Gair Richard Matthews, Loudspeaker, U. S. patent No. Des. 420,005.
20. "筆記型電腦採購聖經 2005 精裝版", PCDIY!年度專刊, 台灣, 2004, pp.224~226.

21. Tai-Yan Kam, Rectangular Transducer for Panel-Form Loudspeaker, U. S. patent No. Des. 6,681,026 B2.
22. 金大仁, “片狀激震器”, 專利公告號 538647, 2003.
23. 金大仁, 吳家宏, “顯示器用之複合材料三明治平板式音響喇叭裝置”, 專利公告號 437255, 2001.
24. 金大仁, “複合材料層板式平面揚聲器”, 專利公告號 489582, 2002.
25. 金大仁, “透明平面揚聲器”, 專利公告號 507465, 2002.
26. 金大仁, 丁朝陽, “可透光複合材料板材結構”, 專利公告號 517743, 2003.
27. 金大仁, “平板式揚聲器及其揚聲板之結構”, 專利公告號 560218, 2003.
28. 金大仁, 丁朝陽, “揚聲器構造改良”, 專利公告號 M253171, 2004.
29. 金大仁, “活塞式平面揚聲器及其揚聲板結構”, 專利公告號 I221747, 2004.
30. 金大仁, “具消能裝置之掛畫式平面揚聲器”, 專利公告號 I238672, 2005.
31. 金大仁, “掛畫式平面揚聲器及其揚聲板結構”, 專利公告號 I246349, 2005.
32. 金大仁, 丁朝陽, “懸邊結構改良”, 專利公告號 M287558, 2006.

研究目的：

本計畫就是與金大仁教授合作，利用金教授的發明，對製成的奈米碳管加勁複合材料揚聲板微型喇叭聲射狀況作一詳盡的探討。小型化的喇叭內部的激震器更為縮小，故其震動出的音量亦小，為了使激震器更有效率，並使微型喇叭發出更大的音量。本計畫以奈米碳管材料塗附振膜以改變振膜的強度，改變了振膜的共振頻率，而有效控制振膜所振出的音域範圍，達到全音域微型喇叭的目標。

本計畫以前後處理軟體 Patran 建立用奈米碳管材料塗附的振膜幾何圖形，再以有限單元軟體 Nastran 分析此振膜受激震器振動後的動態響應及聲射問題。由於喇叭整體的性能是要激震器及振膜搭配後才能分析出其聲壓值的大小及效率的高低，所以本計畫以分析及實驗來評定喇叭整體的性能，以此結果提供其他子計畫作激震器及喇叭振膜的設計製作依據，由其他子計畫製作喇叭的設計試件，來研究聲壓曲線的特性。

研究方法：

1. 將表 1 中未熱壓之泡綿材料熱壓成表 2 不同厚度比的懸邊。

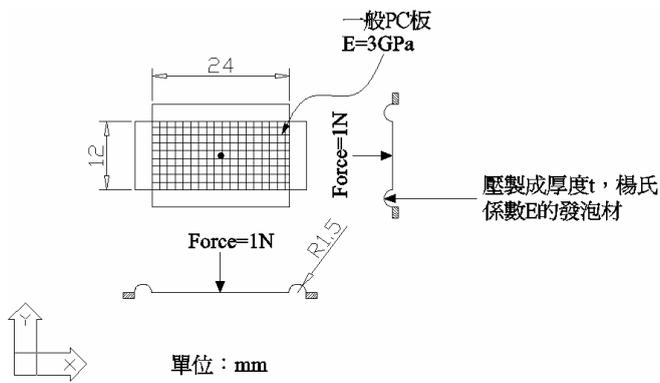
表 1、未熱壓泡綿之材料常數

Material	E (MPa)	ρ (kg/m ³)	h(mm)
1	0.0512	19.531	8

表 2、熱壓後之 Material1 泡綿薄片之楊氏模數(8mm 厚(H)壓成不同厚度(h))

Type	h(mm)	H/h	E(MPa)	ρ (kg/m ³)
1	0.17	47.05882	24.76335	915.842
2	0.25	32	12.57471	622.981
3	0.35	22.85714	6.40788	446.012

2. 若以相同狀況(如表 2)製成厚度 h 及楊氏係數 E 的半圓弧泡綿懸邊,分別作如圖(三)尺寸(與我們設定的揚聲器面板尺寸大小相同 24mm*12mm, 懸邊為半徑 1.5mm 的半圓弧)的 FEM 分析, 反求揚聲器懸邊的彈簧常數



圖(三)、揚聲板半圓弧泡綿懸邊示意圖

3. 反求得到的揚聲器懸邊**總彈簧常數 K** 及依尺寸大小計算得到的**懸邊總重**，如表 3 所示：

表 3、揚聲器懸邊總彈簧常數及懸邊總重

Type	K (N/M)	M (kg)
1	146.306	5.2825E-5
2	235.128	3.5933E-5
3	325.733	2.5726E-5

4. 將求得的懸邊總彈簧常數 K 及懸邊總重，作為設計奈米揚聲器的依據。首先**揚聲器面板選用 1mm 厚的巴沙木**，材料常數如表 4 所示：

表 4、巴沙木的材料常數表

E1(Gpa)	E2(Gpa)	V12	G12(Gpa)	G13(Gpa)	G23(Gpa)	ρ (Kg/m ³)
3.7	0.15	0.02	0.02	0.02	0.02	218.86

5. **激振器的直徑是為 8mm**，以 25mm 直徑的激振器的比例計算之，如表 5 所示：

表 5、激振器線圈及波彈的尺寸及材料常數

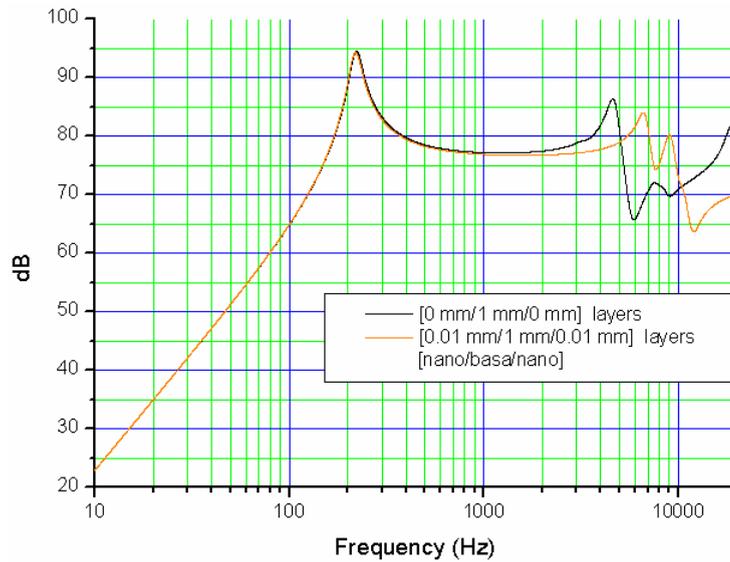
R(線圈直徑 mm)	K_c (波彈的平移彈簧常數 N/m)	線圈及波彈的質量和(g)	激振力(N)
25	1076	0.6	0.875
8	344.32	0.192	0.28

6. 依據查詢所得，**奈米碳管的材料性質約 1×10^{12} Pa (=1 Tpa)**，若與**高分子樹脂混合其材料性質數據並不齊全**，故對未知材料性質做一及假設如表 6

表 6、奈米碳管與高分子樹脂混合的材料常數

E1(Gpa)	E2(Gpa)	V12	G12(Gpa)	G13(Gpa)	G23(Gpa)	ρ (Kg/m ³)
300	300	0.3	9.07	9.07	9.07	1000

7. **當選用巴沙木為揚聲器面板且不考慮懸邊的重量時**，單純巴沙木與巴沙木上下塗附一層奈米材料時的聲壓曲線圖，如圖(四)所示。(懸邊總彈簧常數及總重，如表 3 之 Type 1)



圖(四)、巴沙木與巴沙木上下塗附一層奈米材料時的聲壓曲線圖

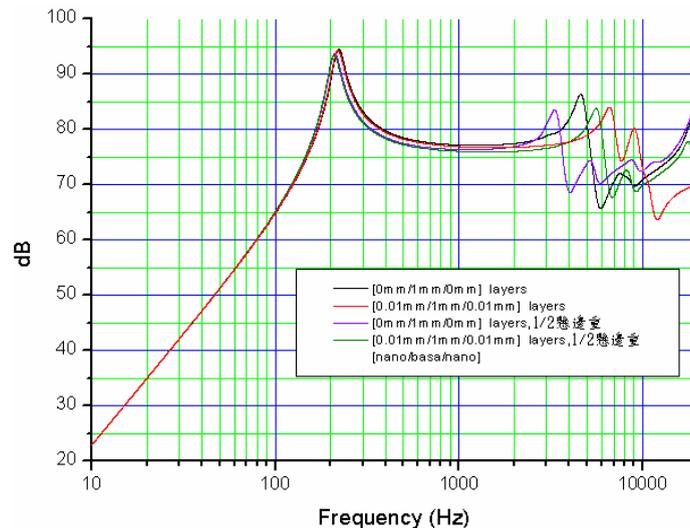
註：塗附一層奈米材料的聲壓曲線其 F_0 值及對應的 dB 值都變小一點點，在 F_0 值之後的聲壓曲線相當平滑，且 dB 值在 75dB 以上的部分向後延伸很多。

8. 因巴沙木全板總重只有 6.303×10^{-5} Kg，其重量與懸邊的重量相當，故必須考慮懸邊的重量(因一邊固定，故取一半的重量)，則此時單純巴沙木與巴沙木上下塗附一層奈米材料時的聲壓曲線圖，如圖(五)所示。(懸邊總彈簧常數及總重，如表 3 之 Type 1)

$$\text{巴沙木面積 } V = (1.2 \times 10^{-2} \text{ m}) \times (2.4 \times 10^{-2} \text{ m}) \times (1 \times 10^{-3} \text{ m}) = 2.88 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$\text{巴沙木密度 } D = 218.86 \text{ Kg/m}^3$$

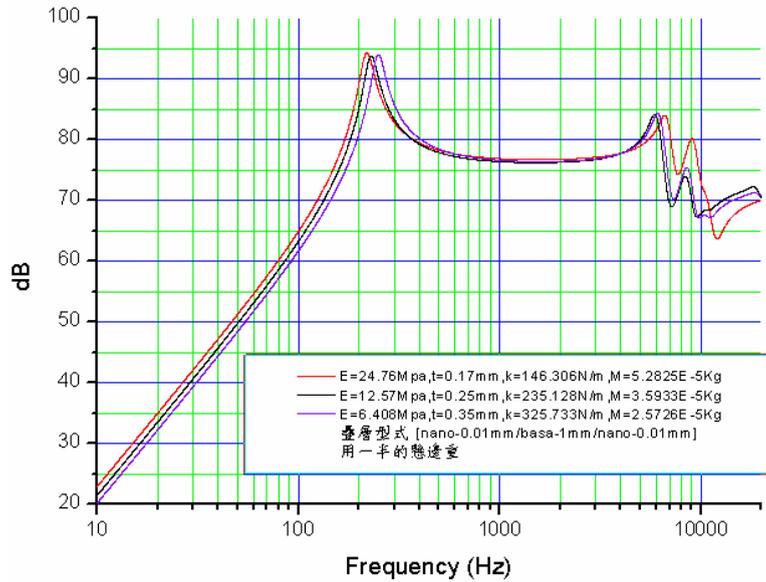
$$\text{巴沙木重量 } M = VD = 6.303 \times 10^{-5} \text{ Kg}$$



圖(五)、考慮懸邊的重量後巴沙木與巴沙木上下塗附一層奈米材料時的聲壓曲線圖

註：考慮懸邊的重量後的聲壓曲線其 F_0 值及對應的 dB 值都變小。

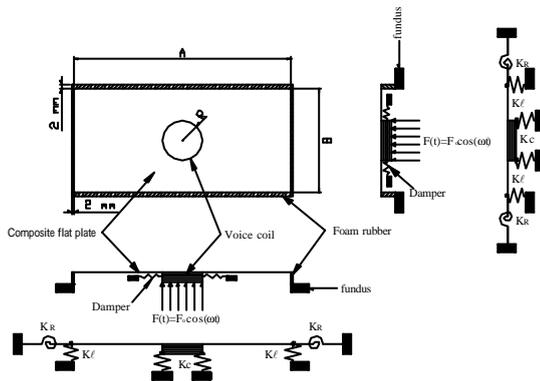
9. 考慮懸邊的重量及巴沙木上下塗附一層奈米材料時，不同懸邊(如表 3 所示)的聲壓曲線圖，如圖(六)所示。



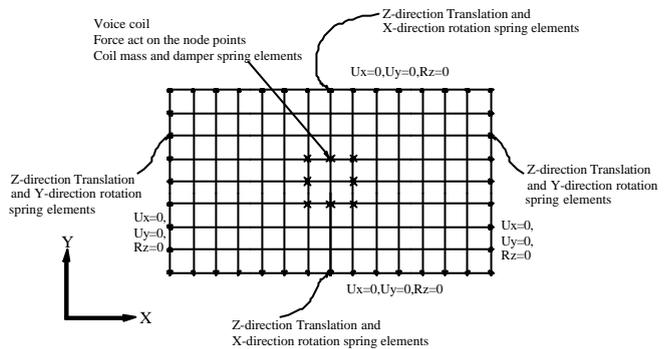
圖(六)、不同懸邊的聲壓曲線圖

註：質量 M 越大彈性係數 k 越小的聲壓曲線其 F_0 值越小及對應的 dB 值越大，且從 F_0 到第二個峰值的平滑延伸線越長。

註：以上的 FEM 分析方式，如懸邊彈簧、懸邊質量、Damper 彈簧、Damper 質量、施力方式，如圖(七)、圖(八)所示。



圖(七)、平面揚聲板、懸邊(模擬彈簧)、音圈、波彈示意圖

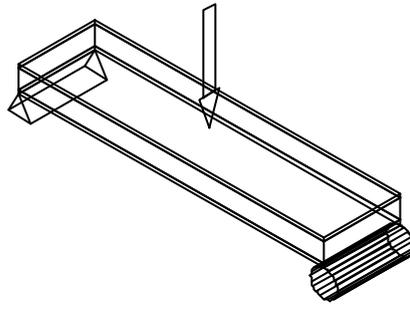


圖(八)、有限單元網格、元素及邊界條件示意圖

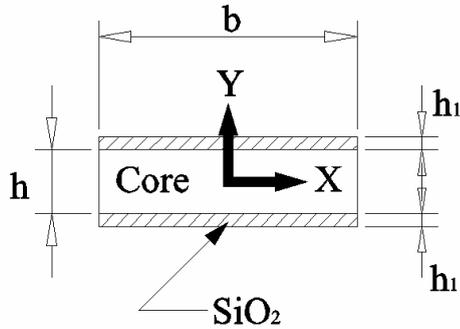
附註：

本計畫分別考慮了 SiO_2 奈米粉末或奈米碳管對揚聲板加強勁度的效應。首先將 SiO_2 奈米粉末或奈米碳管分別與膠混合後再將其塗附在巴沙木上，利用 Three point bending 中央受力的實驗方式及材料力學的變換剖面法，以反算的方式將塗附在巴沙木上 SiO_2 奈米粉末層楊氏係數或奈米碳管加勁後的等效楊氏係數求出。

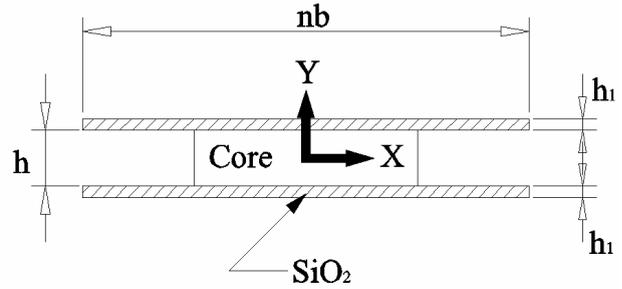
實驗一： SiO_2 奈米粉末塗附在長*寬(L*b)分別為 8cm*4cm 的巴沙木上，如圖(九)所示。



圖(九)、SiO₂ 奈米粉末與膠混合後塗附在巴沙木的上下表層



圖(十)、SiO₂ 奈米粉末與膠混合後塗附在巴沙木的上下表層的截面示意圖



圖(十一)、SiO₂ 奈米粉末與膠混合後塗附在巴沙木的上下表層的變換剖面示意圖

若假設， $\frac{E_s}{E_b} = n \rightarrow E_s = nE_b$ 。其中， E_s 為 SiO₂ 奈米粉末與膠混合後的等效楊氏係數， E_b 為巴沙木纖維方向的楊氏係數。則經變換剖面法後可求得中性軸之慣性矩為

數， E_b 為巴沙木纖維方向的楊氏係數。則經變換剖面法後可求得中性軸之慣性矩為

$$I = I_b + 2I_s = \frac{1}{12} bh^3 + 2 \left[\frac{1}{12} nbh_1^3 + nbh_1 \left(\frac{h+h_1}{2} \right)^2 \right]$$

依據材料力學的計算公式，Three point bending 中央受集中力後之位移為 $\delta = \frac{PL^3}{48E_b I}$ ，

其中 P 為集中力；L 為懸臂樑長度；I 為中性軸之慣性矩。經實驗及計算後得表 7

表 7、SiO₂ 奈米粉末與膠混合後塗附巴沙木的上下表層後的材料性質

試件	厚度 (mm)		重量 (g)		Loading (kg) (for 2mm deflection)		楊氏係數 (GPa)		
	塗附前	塗附後	塗附前	塗附後	塗附前	塗附後	巴沙木層	SiO ₂ 奈米粉末與膠混合層	
Epoxy+SiO ₂	1.14	1.16	1.25	1.58	0.389	0.507	4.117	23.42	平均 23.13
	1.11	1.13	0.89	1.19	0.267	0.452	3.0612	22.84	
Pure Epoxy	1.08	1.1	0.95	1.24	0.279	0.335	3.4728	12.39	平均 12.83
	1.08	1.1	0.81	1.02	0.23	0.29	2.8629	13.26	

由此表得知，巴沙木塗附 SiO₂ 奈米粉末層，楊氏係數約為巴沙木的 6-8 倍，約為純膠的 2 倍左右，在厚度及重量增加很小的情況下，對原振動板有一定的加勁效應。

實驗二：奈米碳管(Carbon Nano-Tubes：CNTs)與膠混合後塗附在長*寬分別為 8cm*4cm 的巴沙木上下層(長軸為垂直巴沙木纖維方向)。若以 Three point bending 中央受集中力後之位移為 $\delta = \frac{PL^3}{48E_2I}$ 去計算等效楊氏係數 E₂，則得到表 8。

表 8、奈米碳管(Carbon Nano-Tubes：CNTs)與膠混合後塗附在巴沙木上下層後的材料性質

試件	厚度(mm)	集中力 (kgw) (2mm 位移下)	等效 E ₂ (GPa)
巴沙木	1	0.039	0.61152
巴沙木+ epoxy+CNTs	1.02	1.595	23.598

其中 P 為集中力；L 為懸臂樑長度；I 為中性軸之慣性矩。

由此表得知，巴沙木塗附奈米碳管層，長軸方向的平均楊氏係數約為純巴沙木的 30 倍，在厚度及重量增加很小的情況下，塗附奈米碳管層對原振動板加勁效應更大。

本計畫已完成建立奈米碳管加勁複合材料揚聲板的聲壓量測實驗，如圖(十二)、(十三)所示。

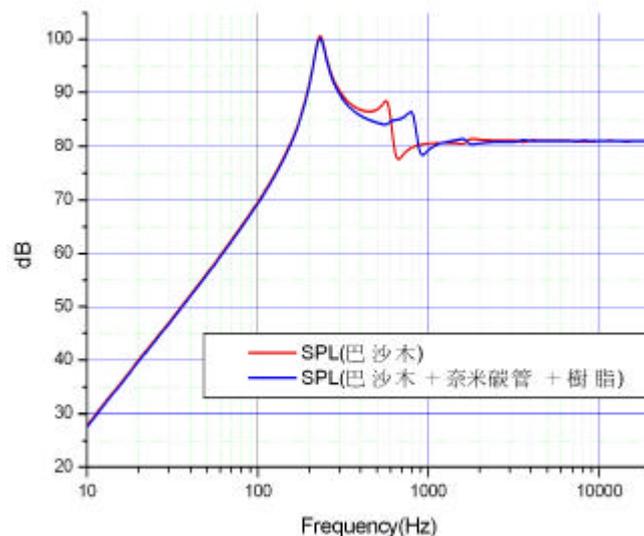


圖(十二)、製作好的奈米碳管加勁複合材料揚聲板試件



圖(十三)、無響室聲壓量測實驗

依據理論分析用的分析條件，製作聲壓量測實驗，其結果如圖(十四)所示。



圖(十四)、巴沙木塗附奈米碳管與膠混合液後聲壓比較圖

結果與討論：

本計畫就實驗之結果可看出與理論分析所得之結果有相同的趨勢，如圖(四)及圖(十四)的比較，其差別在於理論的奈米碳管與膠混合液楊氏係數估計的太大(如表 6 所示)，而實際的奈米碳管與膠混合液楊氏係數比較小之故(如表 8 所示)，所以理論分析的聲壓曲線中音域延展的區域較實際的情況長，但就巴沙木加奈米碳管與膠混合液前後，所得聲壓曲線的趨勢是相同的。

由以上得知，為了得到如圖(四)所示的聲壓曲線，必須找到類似如表 6 所示的奈米碳管與膠混合液的材料特性，就目前得到的實驗數據並不如實際，若能將奈米碳管的材料特性 $1 \times 10^{12} \text{ Pa}$ (=1 Tpa)加以發揮，要得到如圖(四)所示的聲壓曲線就不是問題了。

本計畫已完成奈米碳管加勁複合材料揚聲板頻率響應分析方法、揚聲板受激振後所產生的聲射分析方法以及 LMS 聲壓量測實驗。其中已製作好的改良式聲壓實驗設備機構圖，如圖(十四)所示，作為奈米碳管加勁複合材料揚聲板及激震器在 LMS 聲壓量測實驗中使用，此設備優點為：

1. 可以在激振薄膜水平方向任意點擺放激振器。
2. 可將激振器調節至剛好接觸激振薄膜的位置，不會產生預加力量。
3. 可至換任何型式的激振器。
4. 激振薄膜拆卸方便。



圖(十四)、改良式聲壓實驗設備機構後等角視圖

以上設備對於未來聲壓量測及燒機壽命實驗研究有相當大的助益。

以下就未來欲加強及欲完成的部分加以描述：

1. 奈米碳管與不同樹脂介質混合後的楊氏係數改進研究。
2. 加強揚聲板塗附奈米碳管與樹脂混合液之楊氏係數推估研究。
3. 加強研究不同懸邊、不同激振區域的聲壓曲線。