

入射波對於障板之頻率響應特性分析

謝正輝, 劉育成, 黃錦煌,
逢甲大學 電聲碩士學位學程

摘要

隨著科技的日新月異，移動式手持裝置已然成為生活的一部分，現今一般消費性電子產品中，如行動電話、MP3/MP4 Player、MID、PDA已到處可見，產品開發上已朝向微小化及高音質設計，幾乎隨時隨地都可見到揚聲器及麥克風的蹤影。為提昇麥克風的收音品質，麥克風的收音頻寬及收音位置之音場變化將成為研究的重點，因電容式麥克風結構簡單、體積較小、成本低廉，在較寬的頻率範圍內可以滿足人們的要求。

本文將針對手持裝置的麥克風收音系統作障板的聲場分析，利用電腦輔助設計軟體 ABAQUS 求解聲場分佈特性，以此來模擬麥克風具障板之頻率響應特性，並利用實際量測數據來驗證模擬的準確度及差異分析，以瞭解麥克風單體與導音管及裝設位置彼此間的音場相互關係，進而建立起一套有效的麥克風導音管模擬及音場分析方法。

關鍵字：電容式麥克風、等效電路、導音管、收音系統、音場分析

ABSTRACT

With the technology developing day by day, mobile handheld devices have become a part of the life. Nowadays the general consumer electronic products, such as mobile phones, MP3/MP4 players, MID, PDA have been visible everywhere, and the product development has been focused on miniaturization as well as high quality in design. Hence, the speakers and microphones are almost everywhere. To enhance the quality of the microphone, the receiving bandwidth of the microphone and the sound field variation of the receiving position will be the focus of the study. Because condenser microphones are of simple structure, small volume, and low cost, they can meet people's demands in a wide frequency range.

This thesis will do for sound field analysis of baffle on hand held devices microphone receiving system, use Computer-Aided Design software, ABAQUS, to simulate the microphone characteristics of frequency response with baffle. Next, use the actual measurement data to verify the simulation accuracy and do the variance analysis. Finally, to solve the sound field distribution so as to understand the relationship among microphone unit, Acoustic waveguide, and installation location as well as establish an effective way of microphone waveguide simulation and acoustic analysis.

Keywords: ECM Microphone, Equivalent circuit, Acoustic Waveguide, Receiving System, Analysis of Incident Wave.

一、緒論

麥克風在手持式裝置內的頻率響應特性通常是越平坦越好，在新的手機或是 VOIP phone 的測試規範內已開始要求手機的傳送及接收頻率在 100 Hz ~ 8 kHz 寬頻內要符合法規的寬頻測試要求，如 3GPP TS 26.131 法規之手持裝置傳送頻率響應限制

圖(圖 1)。當手持裝置以麥克風作聲音接收時，通常高頻的接收靈敏度會過大，故在手持裝置設計時必需要考慮麥克風導音管及接收位置之特性變化。從手持裝置的實驗及模擬分析中發現，影響手持裝置的頻率響應特性除了導音管之外，還有手持裝置的前面板，當用等效迴路在有限障板的條件下進行

模擬時，目前並無法模擬出因障板效應在高頻上所形成的多個峰值頻率點的情況，故本文將利用有限元軟體 ABAQUS 求解聲場分佈特性，以瞭解麥克風單體與導音管及裝設位置彼此間的音場相互關係，進而建立起一套有效的麥克風導音管模擬及音場分析方法。

二、文獻回顧

現今麥克風已廣泛的應用在通訊、電腦、車用、家庭娛樂等等之消費性電子產品上，其中以行動電話用的數量最多，且設計週期也最短。行動電話已是人手多機的時代，也有人說行動電話已是人類的第二器官，隨時隨地都需要用到這即時又方便的通訊產品，因此消費者對手機聲音品質的要求已越來越高，希望手機在講電話時也能原音重現，因此早期的窄頻(Narrowband) 100 Hz - 4 kHz 的聲音傳送已不能滿足消費者聲音品質上的需求了，進而已有少數的電信業者已開始要求供應商要依寬頻的測試標準設計出音質較好的行動電話，例如 3GPP 的 TS 26.231 [1]、TS 26.232 [2]法規及 TIA 法規的 TIA-920 [3]已提出寬頻的測試標準，而聲音的傳送頻寬也改為(Wideband) 100 Hz ~ 8 kHz，故在手機的聲音設計上必須要考慮到 8 kHz 頻寬及頻率平坦度。相對的在產品設計時，手機或相關手持產品的麥克風導音管模擬及系統的音場分析也越來越重要了。

在麥克風的模擬中常用的有下列幾種方法：等效電路法(Equivalent Circuit Method)、傳輸線理論法(Transmission Line Method)、有限元素分析(Finite Element Method)及邊界元素分析(Boundary Element Method)等方法，其中又以等效電路法的分析方式較為簡便。在相關的文獻上，1958 年時 Olson [4]及 Gayford [5]就以簡單的等效電路來分析振膜上的質量(mass)及柔順度(compliance)；1993 年 Beranek [6]利用機械阻抗與聲學阻抗模擬麥克風的集中參數，包含了質量、剛性與阻抗，並將其類比成電學阻抗以進行等效電路模擬；2008 年時 Huang [7]已成功的利用等效電路模擬出微機電麥克風。由上列的文獻中可得知目前大多數的模擬分析中，都是在利用等效電路法模擬分析麥克風單體，很少以手持式裝置

的麥克風及障板為研究對象，故本文將在麥克風系統設計應用面上作更深入的研究及探討，使手持產品的麥克風之性能得以提升。

三、入射波對具障板之手持裝置分析目的

在等效電路法中已可針對麥克風導音管作分析與探討，並可以明顯的從手持裝置的實驗及模擬分析中發現，如(圖 2)，在中高頻段，當感度隨著頻率增加而提高時，用等效迴路在有、無限障板的條件下進行模擬時，並無法模擬出因障板效應在高頻上所形成的多個峰值頻率點的情況，換句話說，障板這部分所貢獻的效應是影響頻率響應變化趨勢的一個重要的因素，然而障板效應所貢獻的成分有多少？

由以上分析可發現影響手持裝置的頻率響應特性除了導音管之外，還有手持裝置的前面板，如(圖 3)手持裝置前蓋。故本文將針對入射波對具障板之頻率響應特性作分析與模擬探討。

四、測試架設與量測說明

本研究為能容易分析出入射波對障板之收音特性，將以一壓克力障板(如圖 4)取代實際手持裝置作麥克風的頻率響應特性分析。

4.1 麥克風障板測試架設

在障板的量測中，主要利用電聲量測系統(SoundCheck 7.0)在無響箱內進行頻率響應曲線量測，測試架設圖(如圖 5)。搭配的量測設備為：標準揚聲器(Tannoy DC4 同軸揚聲器)、標準麥克風(B&K 4191)、標準音源(B&K 4231)、揚聲器擴大機(B&K 2716C)、麥克風訊號放大器(B&K 2690)、電源供應器(Agilent E3644A)。

測試步驟如下：

1. 用標準音源校正器 B&K 4231 校準標準麥克風 B&K 4191。
2. 將標準麥克風 B&K 4191 架設在標準揚聲器 Tannoy DC4 的前方 20 公分處，此時麥克風必需正向揚聲器的正中心點。
3. 利用已校正之標準麥克風 B&K 4191 對標

- 準揚聲器 Tannoy DC4 在 1 kHz 上作 1 Pa (94dB SPL) 的音壓校正,在音壓校正後電聲量測系統會接著輸出 20 kHz ~ 100 Hz 之 Sweep sine wave 對揚聲器作頻響等化。
- 4.校準完畢後先用標準麥克風 B&K 4191 作量測以確定揚聲器是有等化過的。
 - 5.將測試障板固定在標準麥克風 B&K 4191 上,如(圖 6)之障板測試架設圖。

在麥克風的障板實驗分析上,障板的架設非常的重要,量測時要避免在等化校正後再放入其它會改變音場的物品;為量測到較穩定的麥克風頻率響應特性,在麥克風障板測試時,麥克風一定要正對揚聲器的正中心參考點,麥克風要保持在水平位置,並用尺確認量測距離,如此才可量測到較準確的高頻響應及感度。

4.2 障板量測數據說明

正方形障板的頻率響應測試曲線如(圖 7),實線曲線是 B&K 4191 的頻率響應測試曲線,虛線曲線是 B&K 4191 加上正方形障板的頻率響應測試曲線。

在實際測試中可發現加上障板時,在頻率 1 kHz 以後的高頻感度有上升的趨勢,一直到 4.5 kHz 左右感度才開始下降,同時也可發現在 2 kHz 之後有多處的峰值頻率點 (Peak),且峰值與峰值之間的頻率差也都相近,呈現出有相同倍頻的關係。

五、模型建立與邊界條件設定

參照實驗量測所使用的障板製具,在 ABAQUS 內共建立了三個元件,分別為障板、揚聲器振動板及空氣。其模型尺寸及材料特性將依實驗時所用之測試製具作模型的建立,並完全參照測試架設條件來進行 ABAQUS 的邊界條件設定。

5.1 模型及材料特性

- 1.正方形障板模型及材料特性:如(圖 8)。
障板尺寸(長×寬×厚): 60 mm × 60 mm × 4.5 mm
Young's Modulus: 250000 MPa (N/mm²)
Poisson's Ration: 0.3
Material Behaviors: Elastic
Type: Isotropic
- 2.揚聲器振膜模型及材料特性:如(圖 9)。

- 振膜厚度: 0.1 mm
振膜直徑: 100 mm
Mass Density: 1.36E-6 Kg/mm³
Young's Modulus: 2490 MPa (N/mm²)
Poisson's Ratio: 0.24
- 3.空氣模型及材料特性:如(圖 10)。
空氣尺寸(直徑×深度):120 mm × 200 mm
Bulk Modulus: 0.139 MPa (N/mm²)
Mass Density: 1.2E-9 Kg/mm³
 4. 模型組裝圖:如(圖 11)。

5.2 邊界條件設定

- 1.障板邊界條件設定:
將障板中心點依實驗架設情況設定成固定不動,如(圖 12)。
- 2.揚聲器振膜邊界條件設定:
將振膜的位移量設定成 0.1 mm,如(圖 13)。
- 3.空氣邊界條件設定:
將空氣外圍設定成無反射的平面波,如(圖 14)。

5.3 網格(Mesh)設定

將障板、振膜及空氣的網格的外型設定成六面體(Hex),因最大的模擬頻率範圍是 10 kHz,為求得模擬的準確度必而對網格尺寸作收斂性分析,在網格尺寸分析中分別以 10 kHz 之 1/4、1/6、1/8、1/10 波長作比較分析,分析結果如(圖 15),從圖中可發現網格設定尺寸在 10 kHz 的 1/8 波長與 1/10 波長時之模擬結果很相近,由此模擬結果可得知網格尺寸設定在 10 kHz 的 1/8 波長(1/8×C/f=4.3mm)時已可得到較高的模擬準確度。故在本文的模擬中網格尺寸設定必需小於 4.3 mm。

根據網格尺寸收斂結果,本文將網格尺寸設定在 4 mm,如(圖 16)網格(Mesh)切割圖。在 Mesh 切割完成後,必需將空氣的元素種類 (Element Type) 設定成聲學 (Acoustic)。

六、模擬結果與討論

為模擬出麥克風在障板上的接收頻率響應變化,首先以無障板的測試條件,在麥克風接收聲音的相對位置上以 ABAQUS 模擬出無障板時的頻率響應特性曲線圖,如(圖 17)的黑色曲線;再將障板放在實驗時的

相對位置上，以 ABAQUS 模擬出有障板的頻率響應特性曲線，如(圖 17)的紅色曲線。最後，再以有障板的頻率響應曲線減去無障板的頻率響應曲線，以求得障板的頻率響應相對變化特性曲線，如(圖 17)的藍色曲線。

6.1 正方形障板模擬結果

將實際在正方形障板上的頻率響應測試曲線與(圖 17)內用 ABAQUS 模擬出有障板的頻率響應特性曲線作比較，如(圖 18)。可發現模擬的頻率響應曲線跟實際量測之曲線趨勢都很相近，且在 7.5 kHz 以下各峰值點與峰值點之間的頻率差及感度大小也都相近。以此比較結果可發現用 ABAQUS 作正方形障板的音場模擬時，可有效的幫助分析出麥克風在障板時的頻率響應特性，進而可在手持產品設計時，作為麥克風位置設計時的參考。

6.2 長方形障板模擬結果

參照上述正方形障板的模擬方法，將正方形障板模型換成長方形的障板模型，並以長方形障板在實驗測試時的頻率響應測試曲線與在 ABAQUS 模擬出有障板的頻率響應特性曲線作比較，如(圖 19)。可發現模擬出來的頻率響應曲線跟實際量測的曲線在 6 kHz 之前都很相近，在 6 kHz 以下各峰值點與峰值點之間的頻率點及感度大小也都相近，另外在 6 kHz 以上的峰值頻率點與實驗值已開始出現差異了，形成的原因可能是空氣的 Mesh 切割的不夠小或是障板的材質設定上不是很正確；此外在實試時也發現在障板的架設上並不是很容易作固定，故也有可能是障板在實驗架設上不夠穩定而使高頻的聲波能量與障板測試時的振動波能量作相互抵消。

七、結論與未來展望

7.1 結論

手持式產品的聲音品質已成為目前大多數人關心的主題，尤其是在電子產品的快速世代轉換，麥克風的收音品質不但要更好，還要在更複雜的機構設計中將麥克風整合在更小的裝置中，因此麥克風在系統上的設計也更加重要。手持式產品在輕薄短小的要求下，許多設計理念都與理論背道而馳，

造成麥克風在手持產品內收音的頻率響應特性產生很大的變化，在實際的案例中發現麥克風的高頻接收感度變化較大，使麥克風的收音品質變差，通常在手機的設計上是用數位訊號處理(DSP)來克服，如此便能快速的解決認證問題，但相對於聲音品質是沒有幫助的。故本文透過 ABAQUS 的障板模擬研究中，成功的研究出電容式麥克風在導音管及障板上的趨勢變化，如此將有助於手持產品在麥克風收音上的最佳化設計。

在麥克風障板的模擬分析上，利用 ABAQUS 在正方形與長方形障板上作麥克風收音的模擬時，都能模擬出在實驗時所量測出的多個峰值點，經由障板模擬與實際測試曲線作相互比對及求證，可發現障板確實對手持產品的收音特性會有很大的影響。故在麥克風收音系統設計時，設計者可於模具開發前利用 ABAQUS 作麥克風收音位置的分析與設計修正。

7.2 未來展望

因實際的手持裝置產品在設計上結構較壓克力障板複雜，在作模擬設定及分析時也較為耗時，故本文並未針對實際產品用 ABAQUS 作麥克風收音系統的分析與比較，此部份將可作為未來研究的方向；另外，針對導音管的設計部份，為有效的利用各個元件的空間，有時會利用有限的空間作導音管的設計，如此導音管設計的結構及形狀將更為複雜，此部份本文並未使用 ABAQUS 作分析與研究，故未來可用 ABAQUS 作各種形狀的導音管模擬與比對分析。

八、參考文獻

- [1] 3GPP TS 26.131, Speech and video telephony terminal acoustic test specification, Technical Specification Group Services and System Aspects, 3rd Generation Partnership Project, (2007-12).
- [2] 3GPP TS 26.132, Speech and video telephony terminal acoustic test specification, Technical Specification Group Services and System Aspects, 3rd Generation Partnership Project, (2007-12).
- [3] TIA-920, Transmission Requirements for Wideband Digital Wireline Telephones,

Telecommunications Industry Association, (2002 Dec.).

- [4] H. F. Olson, 1958 Dynamical Analogies. New York: Van Nostrand. (1958).
- [5] M. L. Gayford, 1961 Acoustical Techniques and Transducers. London: McDonald & Evans. (1961).
- [6] L. L. Beranek, "Acoustics", 1993 ed. (American Institute of Physics for the Acoustical Society of America, 1993, pp. 47-90).
- [7] H. C. Her, T. L. Wu, and J. H. Huang, "Acoustic Analysis and Fabrication of Microelectromechanical System Capacitive Microphones", J. of Appl. Phys., vol. 104, 084509, (2008 Oct.).
- [8] J. H. Huang, "ElectroAcoustic Transducers", Feng Chia University Acoustic Graduate Program, (2009).

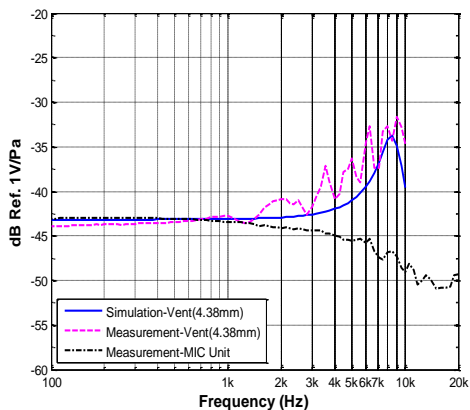


圖 2 手持裝置收音系統之頻率響應曲線

九、圖片

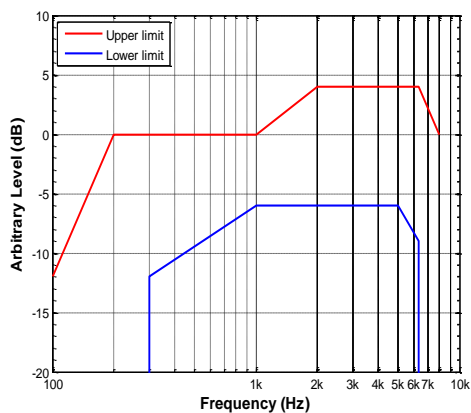


圖 1 3GPP TS26.131 法規之手持裝置傳送頻率響應限制圖



圖 3 手持裝置前蓋圖

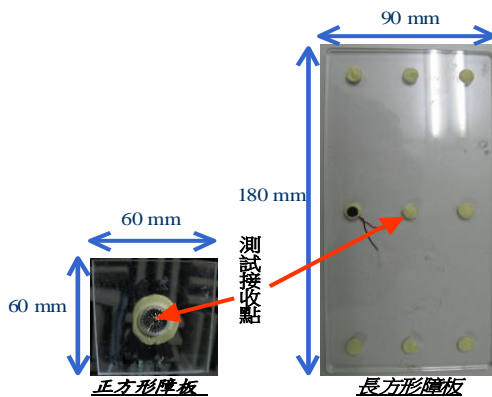


圖 4 壓克力障板尺寸圖

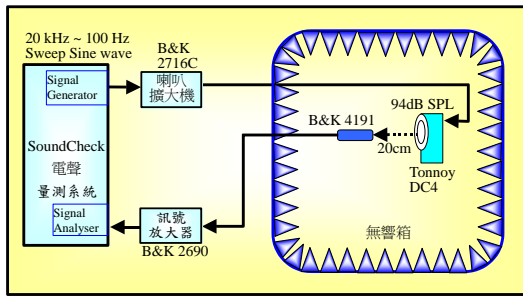


圖 5 障板量測架設示意圖

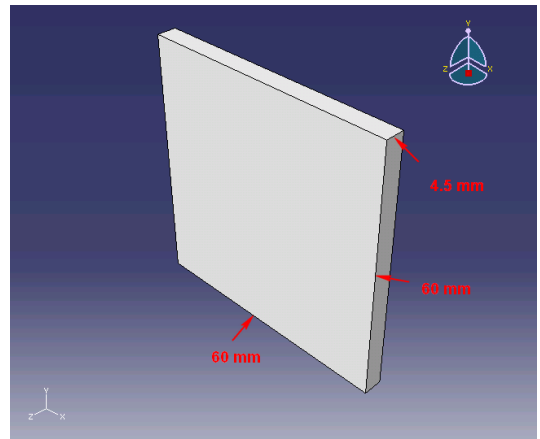


圖 8 正方形障板模型圖

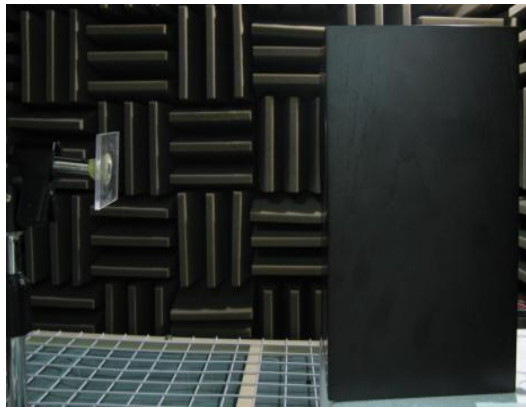


圖 6 麥克風障板測試架設圖

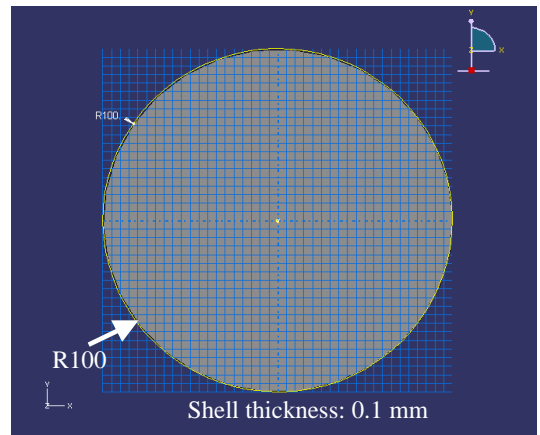


圖 9 揚聲器振動板模型圖

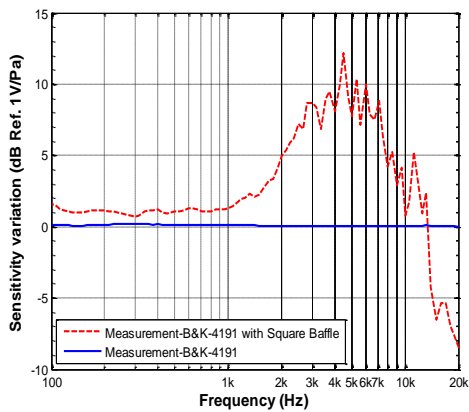


圖 7 正方形障板頻率響應測試曲線

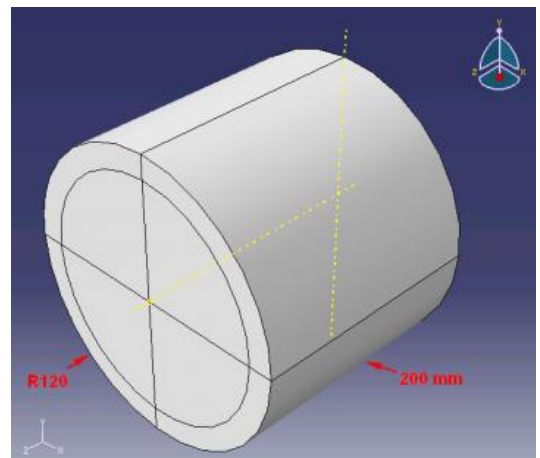


圖 10 空氣模型圖

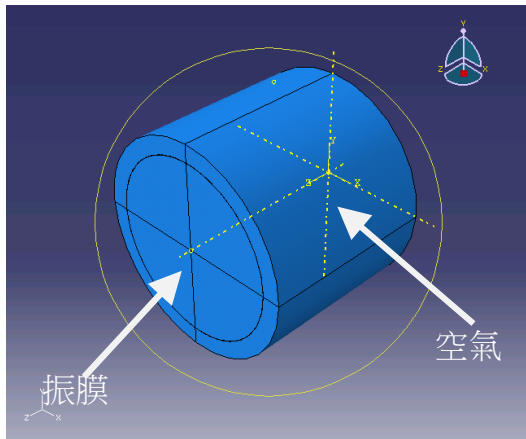


圖 11 模型組裝圖

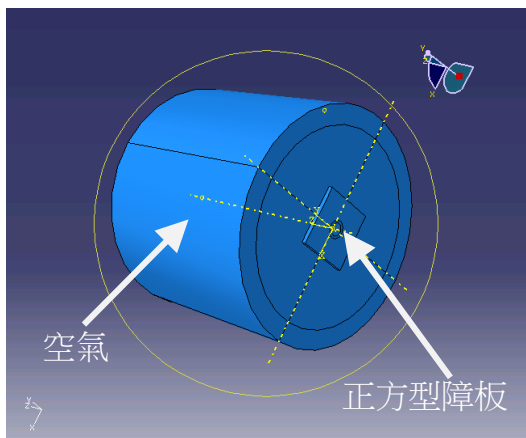


圖 12 障板邊界條件設定

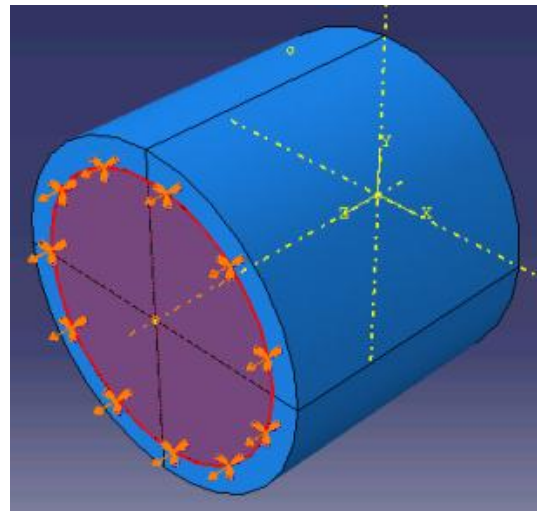


圖 13 揚聲器振動板邊界條件設定

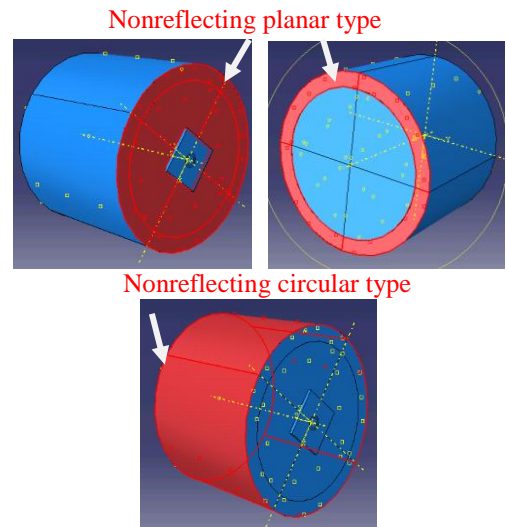


圖 14 空氣邊界條件設定

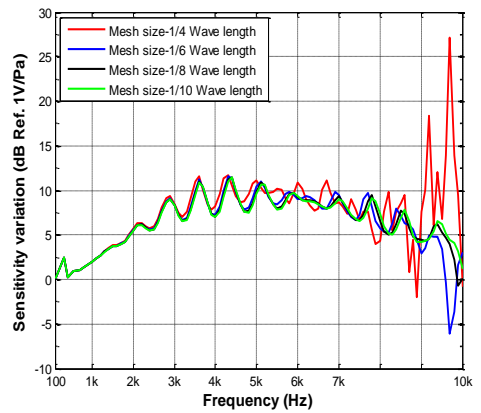


圖 15 網格尺寸收斂性分析比較圖

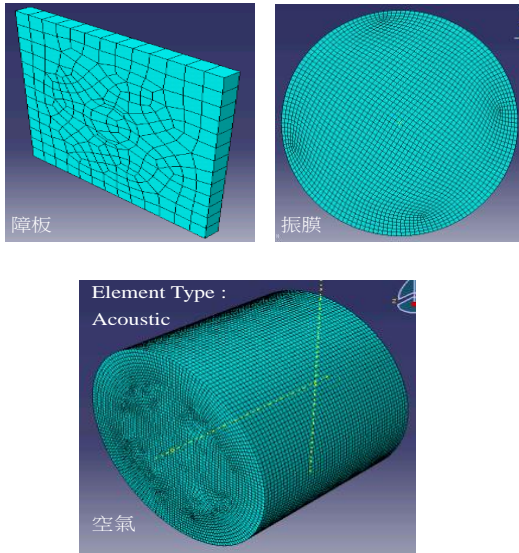


圖 16 網格(Mesh)切割圖

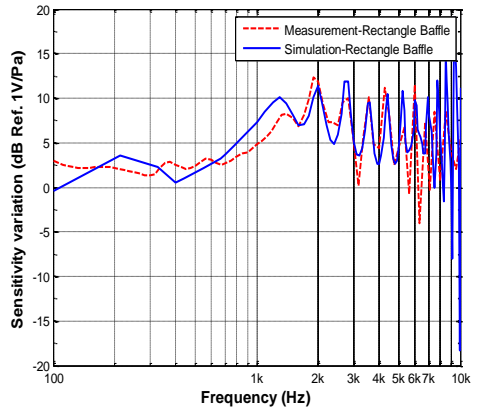


圖 19 長方型障板的模擬與實測比較曲線

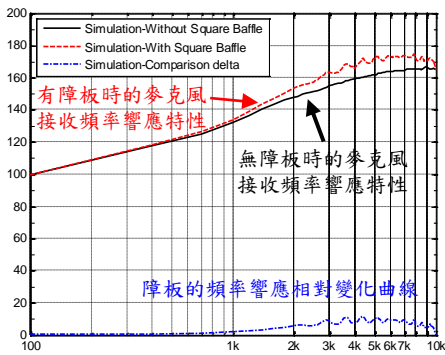


圖 17 有、無正方形障板的模擬曲線

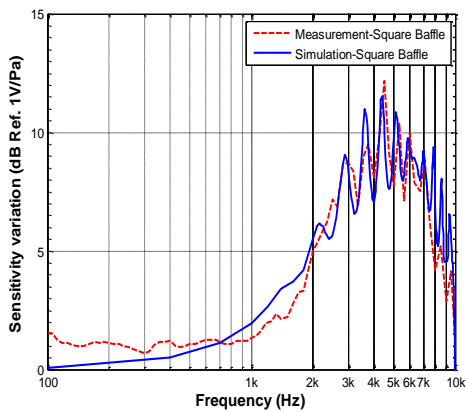


圖 18 正方形障板的模擬與實測比較曲線