

出前授業に用いる音レンズの製作

釣 健孝*¹

要旨：本報告では、出前授業などの教材として用いる、持ち運びが容易な「音レンズ」の製作について述べる。この音レンズは凹型曲面を有する2つのもので構成されており、片方でスピーカなどから出る音をその曲面で反射させることにより音に指向性を持たせ、他方の音レンズではその音を反射させ焦点に集めることで、離れたところでもその音が聞こえる構造になっている。著者は過去にモルタルを用いて同様の音レンズを製作したが、重いため大人が数人で持ち上げなければならないほどであった。今回はその問題点を改善するためにガラス繊維マットやポリエステル樹脂等を用いて軽量化をはかり、軽量の音レンズを製作し、その基本的な特性を調べた。

キーワード：音レンズ，ガラス繊維マット，ポリエステル樹脂，出前授業

1. はじめに

小中学生に工学ならびに科学に興味を持ってもらう場合、数式や図・画像などを用いた説明をよりも、実際に見て、触れて、体験してもらうことで、驚き、感動など直感的に感じてもらうことが重要であると著者は感じている。そのため、多くの高専や大学では、出前授業、オープンキャンパスなどで、実際に子供たちに見て触れて体験してもらうことを実施しているところを多く見かける。

著者は以前、音レンズに関する論文^{1) 2)}を参考にし、モルタルを使い、出前授業などで使用する目的で「音レンズ」を製作したことがある。この音レンズとは、Fig.1のように距離をおいた二人の会話は、距離が離れれば離れるほど、大きい声を出さないと相手には聞こえない（聞こえにくい）。ここで音レンズを使うことで、一方の焦点付近で声を発し、曲面で声を反射させて指向性を持たせ、反対側では、指向性を持った声を曲面で反射させることで、焦点に耳を持っていくと相手の声が聞こえる構造になっている。

しかし、当時の著者は、モルタルによるものづくりの経験が浅く、製作した音レンズは大人数人でも持ち上がらないほどの重いものとなり、さらに同形のものを作成することができず、当初の目的であった出前授業に持っていくことができずに苦い思いをした。そのため、出前授業等でも使えるよう、運搬を容易にするために軽量であること、かつ、同じ形状の曲面を持つ音レンズを複数製作できることを目的とし、材料の変更ならびに製作方法の改善を行った。本報告では、まず、ガラス繊維マットとポリエステル樹脂（以下、FRP とする）による音レンズの製作工程を紹介する。次に製作した音レンズを用いて実験を行い、製作した音レンズが出前授業等で用いることができるか確かめた。

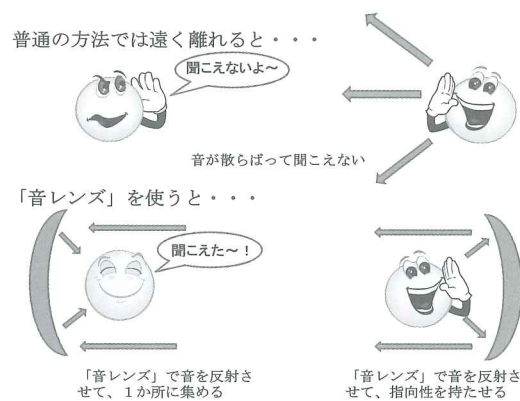


Fig.1 音レンズのイメージ

2. 製作

2.1 製作にあたり

音レンズは凹型曲面を持っており、その曲面形状の求め方、焦点までの距離、および製作方法については、前述の論文^{1) 2)}を基に行うこととし、製作した音レンズの大きさは、以前に製作した音レンズと同じ直径 800mm、焦点距離 200mm とした。また、次の要件を考慮して製作することにした。

要件1：大人一人でも持ち運びが可能な重量であること(1台 10 kg 以下)

要件2：同じ形状のものを複製できること

この要件を満たすため、材料には主として FRP を用いた。また、製作には発泡スチロールで曲面をもった凸型を整形し、その凸型を覆うように FRP を積層させ成形する手法にした。この手法により頑丈な凸型の型を作ることで、型が壊れない限り複数個の音レンズを製作することが実現できるものと考えた。

* 舞鶴工業高等専門学校 教育研究支援センター 技術専門職員

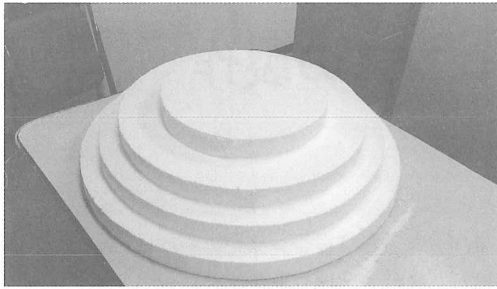


Fig. 2 大きさの異なる発泡スチロールを重ねた凸型

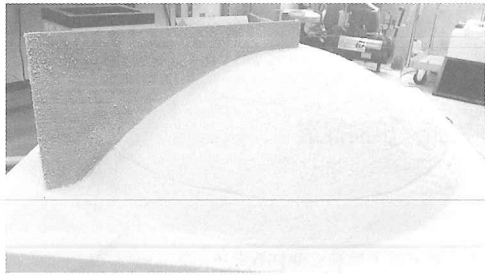


Fig. 3 木型で成形中の凸型

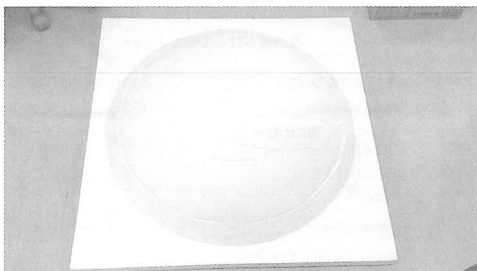


Fig. 4 成形された凸型



Fig. 5 発泡スチロール用の樹脂を表面に塗る



Fig. 6 表面の凸凹をシリコン系パテにて修正

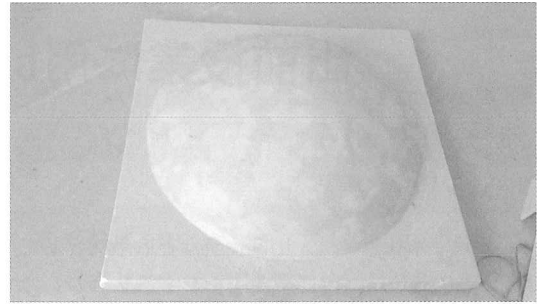


Fig. 7 樹脂とパテで成形された凸型

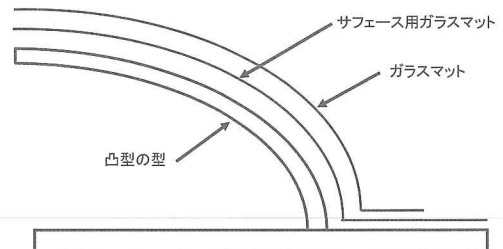


Fig. 8 ガラス樹脂マットの積層イメージ

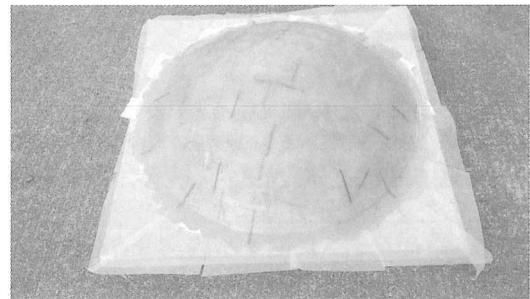


Fig. 9 サフェースマット
ならびにFRPにて積層

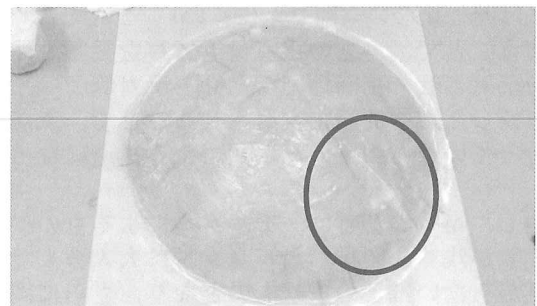


Fig. 10 凸型から抜き、余分な部分を取り
除いた音レンズ(O内は切れ目)

2. 2 製作工程

以下に音レンズの製作工程を示す。

- (1) 厚さ 50mm の発泡スチロールを用いて、数段のケーキのような形を作る(Fig.2).
- (2) 計算によって断面の曲率を求め、その曲率に合わせた木型を作り、木型を回転させながら表面を整形する(Fig.3, Fig.4).
- (3) 作った凸型に発泡スチロール用の樹脂を塗り、表面を固める。樹脂が固まったら、表面の凸凹をなくすためにポリエステル・パテを塗り、なめらかな曲面に仕上げる(Fig.5, Fig.6, Fig.7).

- (4) 凸型の表面に離型剤を塗り、乾いたところできくつか切込みを入れたサーフェス用ガラスマットを凸型にかぶせ、ポリエステル樹脂を塗る。
 - (5) さらに 100mm×300mm 程度に切ったガラス繊維マットを並べながらポリエステル樹脂を塗り 3 層になるまで積層する(Fig.8, Fig.9)。
 - (6) 樹脂が固まったら、凸型から音レンズを分離する。
 - (7) 余分なガラスマットや樹脂を切り取り、分離した音レンズの凹曲面にある気泡などをポリエステル・パテで補修する。
 - (8) 直径 800mm 穴をあけた 900mm 角で厚さ 9mm のベニヤ板に、音レンズを取り付ける(Fig.10)
 - (9) 脚をつけ、サーフェサーを塗り、乾いたら表面をサンドペーパーで磨き塗装する(Fig.11)。
- 以上の製作工程により、重量が 1 台 6kg 程度となった。また、製作に用いた材料を以下に示す。

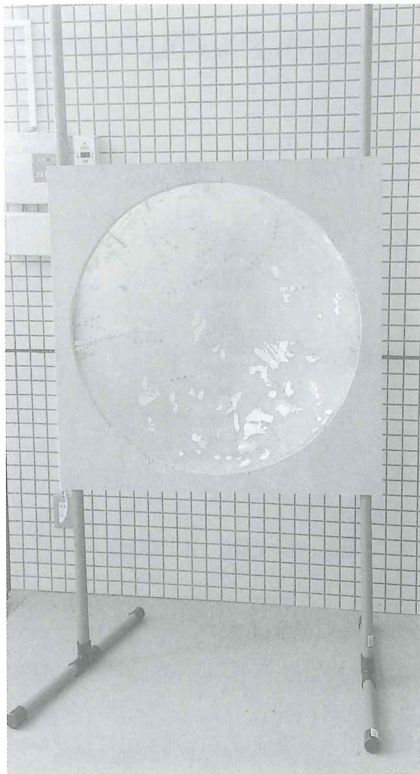


Fig. 11 音レンズ全体 (塗装前)

凸型用材料

- ・発泡スチロール(1800mm×900mm×50mm)
- ・発泡スチロール用セメダイン
- ・発泡スチロール用ポリエステル樹脂(4 kg)
- ・硬化剤(ポリエステル樹脂に対して 3%)
- ・ポリエステル・パテ(自動車修理用)

音レンズ本体材料 (1 台分)

- ・サーフェス用ガラスマット(1000mm×1000mm, 1 枚)
- ・ガラスマット(約 100mm×約 300mm を約 50 枚)
- ・ポリエステル樹脂(3kg)
- ・樹脂硬化剤(ポリエステル樹脂に対して 3%)

- ・離型剤
- ・ベニヤ板(900mm×900mm×9mm)
- ・ポリエステル・パテ(自動車修理用)

2. 3 製作時の問題点と解決策

今回の音レンズ製作時において、2つの大きな問題点が生じた。

- (1) 発泡スチロールで凸型を製作しているときに、発泡スチロールの接着面に塗ったセメダインの厚みや発泡スチロールの削りすぎにより隙間が生成されてしまい、接着面の端に段差ができてしまった。
- (2) 凸型にガラスマットをポリエステル樹脂で塗布し固めた後、凸型から音レンズを分離する際に、凸型と音レンズが密着しすぎて、型から外すことができなかった。

これらの解決策として、

・段差を埋めるために、シリコン系のパテを使用し段差の修正を行った(Fig.6)。しかしながら、パテが乾いてもゴムのように柔らかすぎて整形ができなかったため、一旦シリコン系のパテを剥がし、自動車の板金などで用いられるポリエステル・パテにて再度段差の修正を行った。

・凸型から音レンズが分離できない場合の対策として、のこぎりを使い凸型と音レンズともども「切れ目」を入れて分離させた。そのため、音レンズに切れ目が残ってしまった(Fig.10)。この切れ目にはポリエステル・パテを埋めて対処した。

3. 2つの実験とその結果

3. 1 実験 1 と結果

今回製作した音レンズを用いて、2つの実験を行った。実験 1 では、校舎内の廊下および屋外において、学生および教職員の協力を得て、実際に音レンズとしての効果の確かめた。

実験の内容としては、Fig.11 で示す音レンズを 30m ならびに 50m 離して Fig.1 のように向かい合わせになるように設置し、それぞれの距離において、直接相手に聞こえない声の大きさで、音レンズに向かって交互に会話をした。

その結果、校舎内の廊下および屋外ともに距離が 30m, 50m であっても相手の会話も聞きとることができ、音レンズの効果を体感することができた。しかし、それぞれの実験において、相手の声の他に周囲の人の声、人の足音、鳥の鳴き声、風の音、車の音などの「ノイズ」を拾っていた。

3. 2 実験 2 と結果

次に、実験 2 として音レンズの効果を定量的に測定するため、屋外に音レンズを設置し、発信機等を使って計測を行った。計測方法としては、Fig.11 の音レンズを設置し、一方に発信機とスピーカ、他の一方にマイクとアンプ、デジタルストレージコープを設置した。基準となる数値を決定するために、

音レンズの距離を 1m とし、発信機における出力電圧 (Bottom-to-Peak) を 80mV とした正弦波を発信機で設定し、その信号をスピーカに流し音レンズに向ける。その状態で、反対側にある音レンズに設置したマイクロフォンで受けた信号をアンプで増幅し、デジタルオシロスコープにて測定したものを基準にすることとした。スピーカおよびマイクロフォンは、それぞれの音レンズの焦点(レンズ中心から 200mm)の位置に設置した。また、各周波数とも増幅レベルを基準から変えずに音レンズの距離を離して信号波形を計測した(Fig.12)。

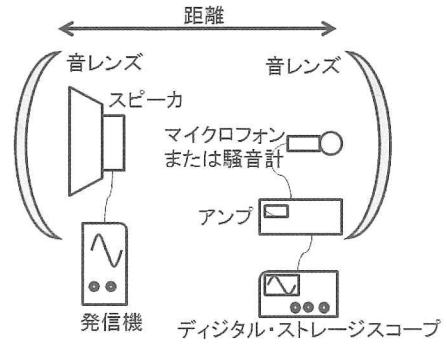


Fig. 12 計測イメージ

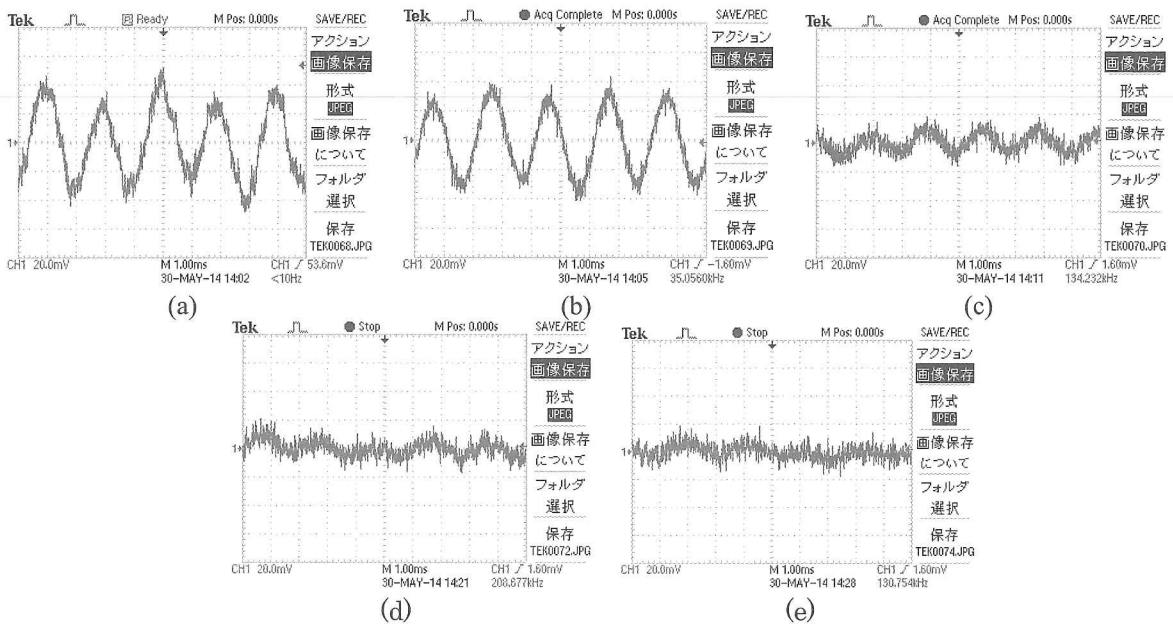


Fig. 13 500Hz 時における測定結果 (a : 1m, b : 10m, c : 20m, d : 30m, e : 50m)

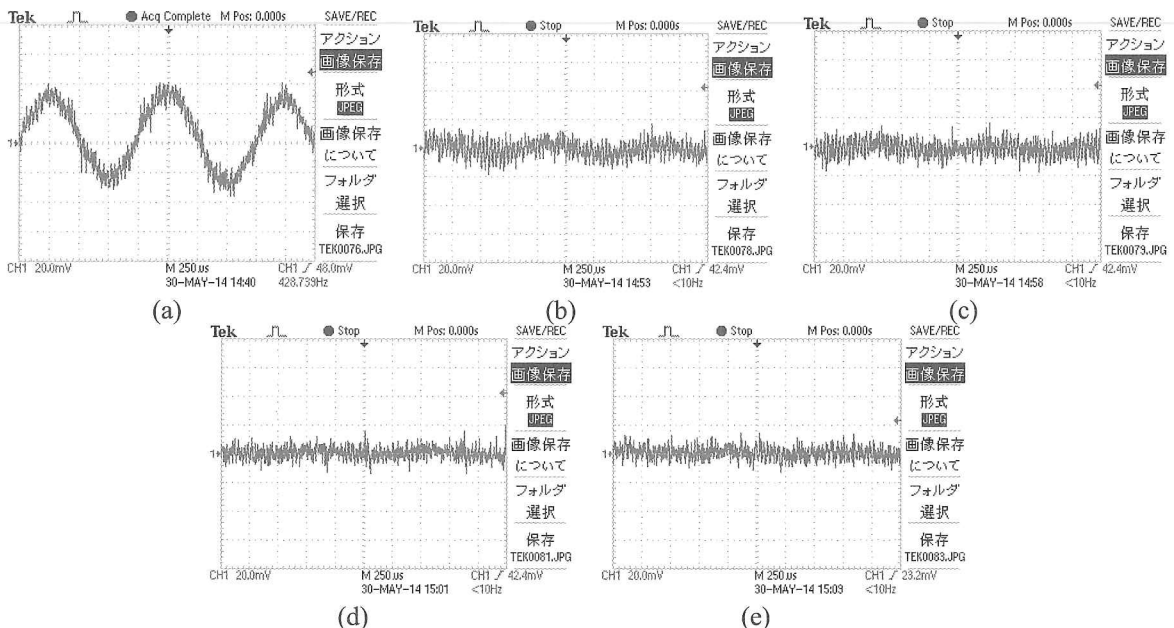


Fig. 14 1000 Hz 時における測定結果 (a : 1 m, b : 10 m, c : 20 m, d : 30 m, e : 50 m)

実験は、次の計測機器ならびに測定周波数、測定場所にて行った。また、Fig.13, 14 にその測定結果、Fig.15 にそれぞれの周波数における距離と測定した電圧(Bottom-to-Peak の平均値)の関係を示す。

- ・デジタルストレージスコープ：Tektronix 製 TBS-1022
- ・積分型精密騒音計：小野測器製 高感度精密騒音計 LA-5120
- ・発信機：KENWOOD 製 AG-203A
- ・マイク：AZDEN 製 52HT
- ・アンプ：AZDEN 製 APS-30U
- ・測定周波数：500Hz, 1000Hz
- ・測定距離：1m, 10m, 20m, 30m, 50m
- ・測定場所：屋外(校舎外)の平地

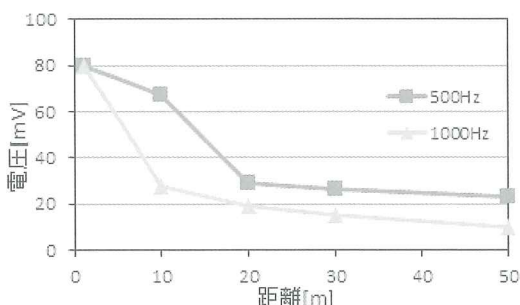


Fig. 15 各周波数による距離と電圧の関係

Fig.13, 14, 15 からわかるように 500Hz および 1000Hz において距離による信号の減衰が確認できる。また、500Hz 時よりも 1000Hz 時の方が、信号が減衰していることがわかる。それぞれの周波数の波形は、信号による波形だけでなく、ノイズによる細かい波形も含まれていることがわかる。著者が以前にモルタルで製作した音レンズでは、このようなデータを取っていなかったため、今回製作した音レンズとの性能比較することができなかった。

4. 考察と課題

実験 1 において、協力を依頼した学生・教職員によれば、体感的には音レンズを 50m 離して設置しても十分に会話ができるため、出前授業やオープンキャンパス等に活用できるものと判断できる。さらに 2 つの要件 (重量ならびに複製) については、十分満たすものが製作できた。しかしながら、実験結果からわかるように、ノイズが含まれていることは明らかである。ノイズについては、Fig.16 で示すように、音レンズの前後方向からくるノイズを音レンズが反射や振動することで、焦点に向かって反対側からの音と重畳して計測されたものと考えられる。

今後の課題として、各実験により得られた結果を踏まえた「ノイズ対策」を行うことが挙げられる。しかし、ノイズ対策を施すことで重量が極端に増えることになれば、当初の要件を満たすことができなくなるため、材料の選定は慎重に行わなければならない。

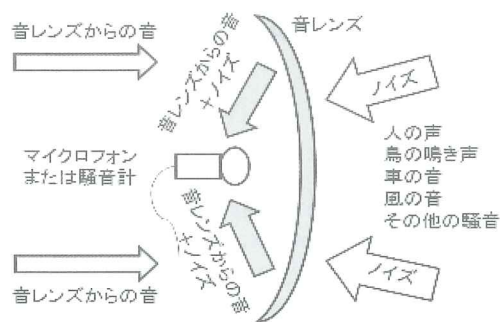


Fig. 16 ノイズ重畳の原因

5. まとめ

本報告では、FRP を用いた音レンズの製作と実験について述べた。音レンズの製作では、まず発泡スチロールによる凸型を製作し、その凸型に FRP を積層する手法を用いて、複数の音レンズの製作をした。完成した音レンズは、ノイズを含んでしまうが体感的には音レンズの効果は確認でき、出前授業などに充分活用できるものと考えられる。現在のままでも十分な性能を有するが、ノイズ対策をすることで、より完成度の高い音レンズを製作できることが期待できる。

この音レンズを使い、小中学生が出前授業やオープンキャンパス等に参加して実験ならびに体験をして、より工学や科学に興味を持つきっかけとなることを期待したい。また、本校の物理系の授業においても活用されることを期待したい。

謝辞

本研究を行うにあたり、貴重なご意見・ご助言を賜った佐世保高専の森保仁教授ならびに原久之技術長に謝意を表す。また、音レンズの製作ために実験室を提供いただいた本校電子制御工学科仲川力准教授、ならびに貴重な計測機器を貸与いただいた同建設システム工学科徳永泰伸准教授にも謝意を表す。

参考文献

- 1) 原久之, 森保仁: 凹型の放物面形状をもつ音レンズの製作, 佐世保工業高等専門学校研究報告, 第 42 号, pp.43-47(2005)
- 2) 森保仁, 原久之: 凹型放物面形状を有する音レンズの集音効果の定量的評価, 佐世保工業高等専門学校研究報告, 第 41 号, pp.45-52(2005)
- 3) 小野測器: 騒音計の表示値
http://www.onosokki.co.jp/HP-WK/c_support/newreport/noise/souon_7.htm (2014.05.24)
- 4) パラマウント硝子工業: 技術資料 (音について)
http://www.pgm.co.jp/data/dlpdf.php?t=s-001_74.pdf (2014.05.24)

(2014. 12. 15 受付)

MANUFACTURE OF THE SOUND LENS FOR A VISITING LECTURE**Takeyoshi TSURI**

ABSTRACT : In this paper, I report a manufacture of sound lens using FRP, and its evaluation. Although mortar was being used for manufacture of sound lens in the past, it was not able to manufacture the thing of the very heavy and same form. Therefore, it was not able to use for a visiting lecture and so on. Since the convex type was used for the sound lens manufactured in this paper, it has manufactured two or more sound lenses. Moreover, the weight saving has also been attained by having set material to FRP from mortar. There by, the visiting lecture using this sound lens became possible.

Key Words : sound lens, glass fiber mat, polyester resin, visiting lecture
