

音響工学に関する学生実験教材の開発

毛利 千里* 近藤 章人** 矢木 正和***

Development of Teaching Material for an Experiment in Acoustic Engineering

Chisato MOURI Akito KONDOH Masakazu YAGI

Abstract

Acoustic engineering seems to be one of interesting fields for students majoring in electronics. However, no experiments the dealing with the fundamentals of the field have been included in the program of our department. The purpose of this study is to development teaching material for an experiment “Acoustic measurements of a speaker system”. By carrying out this experiment, students can observe various acoustic properties of the speaker system. As a result, this experiment can deepen their understanding of acoustic engineering.

Keywords : frequency characteristic, directional characteristics, diffraction phenomenon

1. はじめに

人間にとって最も基本となるコミュニケーションの方法は音である。音は、会話や音楽など様々な形態で利用される。学生は音楽に興味を持ちやすく、音楽の再生源となるスピーカなどのオーディオ機器にも興味を持ちやすいと考えられる。それゆえに、オーディオ機器等の研究分野である音響工学は、学生が興味を持ちやすい分野のひとつであると考えられる。本校の電子工学科でもこれまで音響工学の講義が行われていた。しかし、H22年度は音響工学の講義が開講されず、新しいカリキュラム（電子システム工学科）では、授業そのものがない予定である。本校には第一学課棟4階の音響工学実験室に、無響室という音響実験に適した実験室がある。そこで本校電子工学科5年の工学

実験として、実験内容を音響工学の講義を受けていなくても理解できるような範囲に絞り、基本的な音響測定が体験できる学生実験教材の開発を検討した。

開発を行ううえで、JIS規格に記載されている音響実験の方法を参考にしたところ、正確な測定を行うためにいくつかの問題点が見つかった。それらを解決し、よりJIS規格に近い測定方法となるように工夫を行った。また、この学生実験が効果的な内容となるように、実験書を作成した。実験書内の説明は、学生が実験内容の理解をする上で手助けとなるようなものとなるように記載している。

ここでは、今回開発した学生実験教材について、その構成や内容、使用した結果を報告する。

2. 概要

2.1 実験システム

本実験では、まずテキストを用いてスピーカの基本的な原理や性質として、音を発生原理やスピーカユニット、フィルタ回路を含めたスピーカの構造、スピーカの代表的な特性などについて説明を行う。その後、

* 香川高等専門学校 技術教育支援センター
詫間キャンパス技術教育支援室

** 九州工業大学 情報工学部

*** 香川高等専門学校
詫間キャンパス電子システム工学科

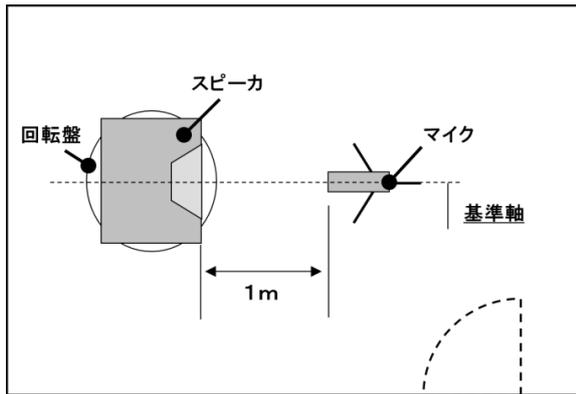


図1 実験システムの配置図

音響の基礎的特性である周波数特性と指向特性を測定する。

測定はJIS規格「音響システム用スピーカ」で定められている方法をもとに行う⁴⁾。マイクの設定場所はスピーカの放射面から1メートルとし(図1)、スピーカへの入力電圧は1[W]とする。測定環境は部屋の周囲の壁が反射性であれば、スピーカだけでなく部屋の特徴をも含めて測定することになるため、測定室ごとにデータが異なり正確な特性が測定できない。よって測定場所には、周囲からの反射が全くない無響室を使用する。測定者は実験に影響を与えることがないように無響室外で測定を行う。

2.2 測定する特性

2.2.1 周波数特性

スピーカへの入力電力を一定にした状態で、周波数を変化させた時、音圧レベルがどのように変化するか表したものを周波数特性という。横軸に周波数[Hz]、縦軸に音圧レベル[dB]の目盛りを取ったグラフで表される。図2は、JIS規格「音響システム用スピーカ」の周波数特性の測定例である。スピーカへの入力電力

を1[W]とした測定結果となっている。

2.2.2 指向特性

音圧レベルを測定するマイクを、スピーカの正面軸の延長線上に設置し、その直線を基準軸とする。スピーカへの入力電力を一定にした状態で、基準軸に対するスピーカの正面軸の角度と周波数の変化によって、音圧レベルがどのように変化するか表したものを指向特性という。指向特性にはいくつか種類があり、スピーカへの入力電力と、周波数を一定にした状態で、基準軸に対するスピーカの正面軸の角度を連続的に変化させ、角度に対する音圧レベルの変化を 360° の極座標グラフにまとめたものを指向性パターンという。図3の右側のグラフは、JIS規格「音響システム用スピーカ」の指向性パターンの測定例である。スピーカへの入力電力1[W]、周波数5[kHz]の指向性パターンの測定結果となっている。

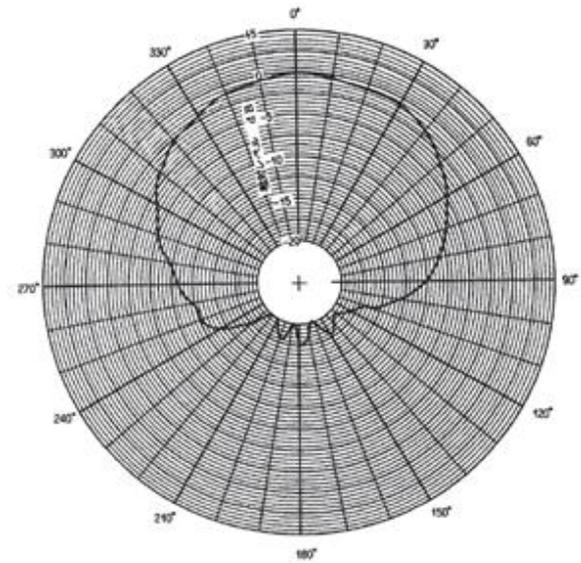


図3 指向性パターンのグラフ

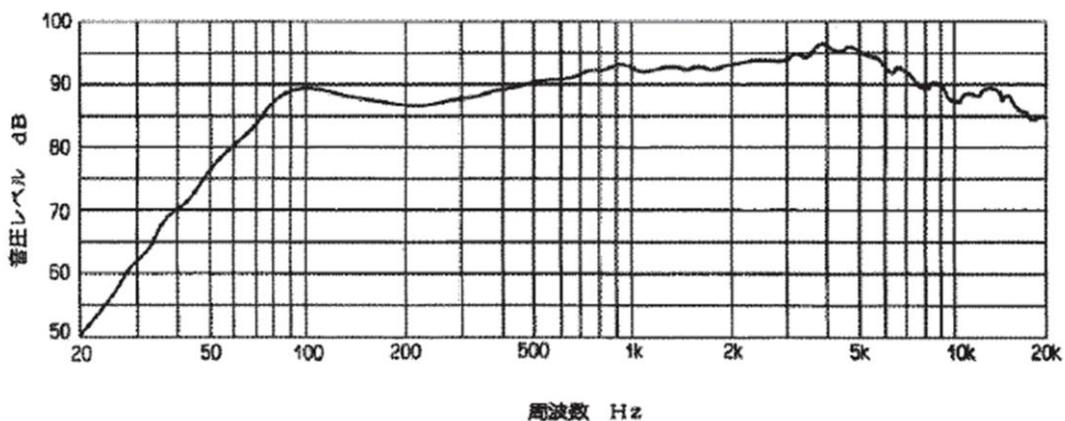


図2 周波数特性と指向性パターンのグラフ

3. システムの構成

3.1 使用する装置

この実験では発振器、周波数カウンタ、減衰器、アンプ、マルチメータ、騒音計を使用してスピーカの特性を測定する。発振器、周波数カウンタ、減衰器、マルチメータは一般的な実験に使用されているものを用い、アンプ、騒音計については次項で説明する。

スピーカは周波数特性と指向特性を測定しやすいよう改造を行った。

3.2 アンプ

本実験では、スピーカへの入力電力を調節する役割として、可変抵抗減衰器とアンプを用いる。アンプは、Sansui AU-D707X DECADE を用いる。使用する際の注意事項は以下の通りである。

VOLUME と示されているつまみの値を 0[dB]、減衰器の値を 10[dB]とした状態では、アンプへの入力電圧は 700[mV]までとして、出力電圧が 15[V]を超えないように使用する。これを超えると、アンプの保護回路が作動したり、アンプ自身が壊れたりしてしまうのでアンプの値、減衰器の値、及びアンプへの入出力電圧には十分に配慮するようにする。

保護回路が作動しない範囲では、入力電圧に比例した出力電圧を取り出すことができる。

3.3 騒音計

音圧を測定する機器として、本実験では騒音計 RION NL-15 を用いる。表 1 に定格を示す。騒音計には周波数補正回路というものが備えられている。これは、騒音計で測定する際に、人間の聴覚特性を考慮した『聴いた感じに補正する』ための回路であ

表 1 RION NL-15 の定格

騒音レベルの計量範囲	28～130[dB]
使用周波数範囲	20～12500[Hz]

表 2 ONKYO D-66RX の定格

方式	3ウェイ・3スピーカー・バスレフ方式
使用ユニット	低域用:27cmコーン型 中域用:12cmコーン型 高域用:2.5cmドーム型
再生周波数帯域	28Hz～40000Hz
最大入力	120W
インピーダンス	6Ω
出力音圧レベル	91dB/W/m
クロスオーバー周波数	500Hz、3000Hz
キャビネット内容積	45L
外形寸法	幅325×高さ590×奥行368mm(サラネット含む)
重量	19kg

る。種類は 3 種あり、それぞれ、A 特性 (La)、C 特性 (Lc)、平たん特性 (Lp) という。A 特性は、人間の聴覚特性に近似するために考案された特性で、騒音を測定する際に用いられる。C 特性は、A 特性と比べて比較的平たんな特性をもっていて、衝撃性の騒音を計測するときなどに用いられる。平たん特性は、C 特性より更に広い周波数範囲にわたり平たんな特性を持っており、音圧レベルの測定に用いられる。本実験では、音圧レベルの測定を行うため、平たん特性 (Lp) を用いる。

3.4 スピーカ

本実験の試料として ONKYO D-66RX のスピーカを用いる。表 2 に定格を示す。

スピーカには低音域、中音域、高音域の再生周波数帯域をそれぞれ受け持つスピーカユニットと呼ばれるものが備えられている。低音域からそれぞれウーファ、ミッドレンジ、トゥイーターと呼ばれる。また、各スピーカユニットが受け持つ周波数帯域に電気信号を分割する働きを持つ回路であるフィルタ回路が備えられている。

実際のスピーカでは、このすべてを同時に使用するフルシステムが基本となっているが、今回の実験では、各スピーカユニット、及びフィルタ回路の有無による特性の変化を比較するため、フルシステム以外に、フィルタ回路を通した場合の各スピーカユニットとフィルタ回路を通さない各スピーカユニットをそれぞれ個別で測定できるように、図 4 のように切り替え回路をスピーカ裏に設置した。切り替え回路は図 5 のようになっている。①はフィルタ回路の有無の切り替えを行う。フィルタ回路有の状態の時に③のスイッチで各ス



図 4 スピーカ裏のスイッチ

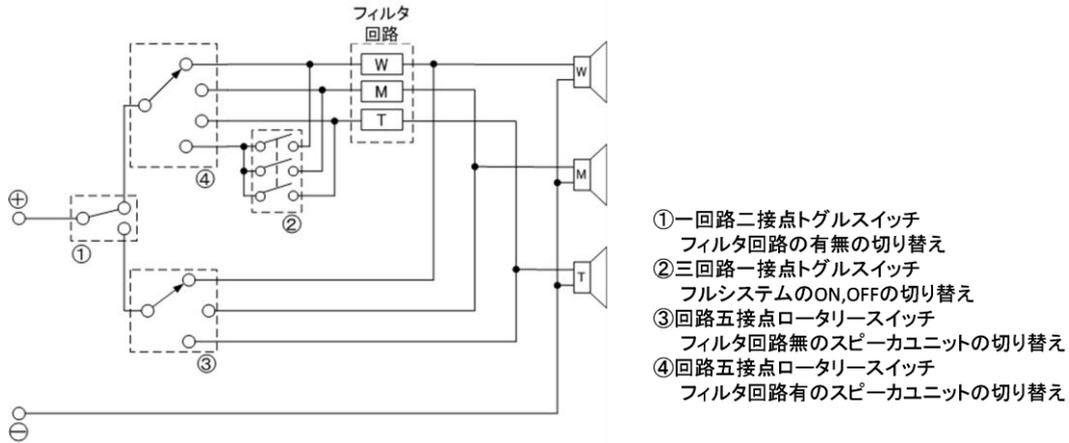


図5 スピーカ内のシステム

ピーカユニットとフルシステムの切り替えを行い、②でフルシステムのON、OFFの切り替えを行う。フィルタ回路無に切り替えた場合、④で各スピーカユニットの切り替えを行う。

4. 実験方法

4.1 配置・結線

スピーカ、及び音圧を測定する騒音計のマイク部分は無響室内に、その他の測定機器は無響室外に設置する。無響室内では回転盤上にスピーカを設置し、スピーカの正面軸の延長線上でスピーカの放射面から1メートルの地点に騒音計のマイクを設置する。このときの正面軸を基準軸とする。配置が完了したら、図6のように結線を行う。

4.2 特性測定

周波数特性の測定は、フィルタ回路無のウーファー、ミッドレンジ、トゥイーターとフィルタ回路有のウーファー、ミッドレンジ、トゥイーターとフルシステム、

及びスピーカと騒音計のマイクの間地点に木製の壁(80[cm]×90[cm]×1[cm])を設置した場合のフルシステムの計8パターンについて行う。スピーカへの入力電力は1[W]として、周波数に対する音圧レベルを測定する。測定する周波数は、スピーカと騒音計の両方の使用周波数範囲を満足する値である30[Hz]から12.5[kHz]の範囲とする。各パターンについて各周波数に対する音圧レベルの値を周波数特性測定データシートに記録する。

指向特性の測定は、フルシステムの状態で入力電力を1[W]として100[Hz]、1[kHz]、10[kHz]について測定を行う。各周波数についてスピーカの正面軸の角度を15度ずつ回転させて、各角度に対する音圧レベルを測定する。

各周波数について各角度に対する音圧レベルの値を指向特性測定データシートに記録する。

5. 実験結果・検討

5.1 周波数特性

図7は、フィルタ回路有、及び無のウーファの測定結果である。このグラフから、ウーファのフィルタ回路のカットオフ周波数は600[Hz]付近であることが確認できる。図8、図9は、ミッドレンジ及びトゥイーターの場合の測定結果である。これらよりミッドレンジのフィルタ回路の低域側のカットオフ周波数は、300~600[Hz]付近、高域側のカットオフ周波数は1500[Hz]~3000[Hz]付近で、トゥイーターのフィルタ回路のカットオフ周波数は2000~3000[Hz]付近である。図10は、フィルタ回路がある場合の各スピーカユニットとフルシステムの測定結果である。フルシステムでは低域から高域で比較的平坦な特性を得ることができている。これよりフィルタ回路は各スピーカユニットの再生周波数を制限しているが、スピーカユニ

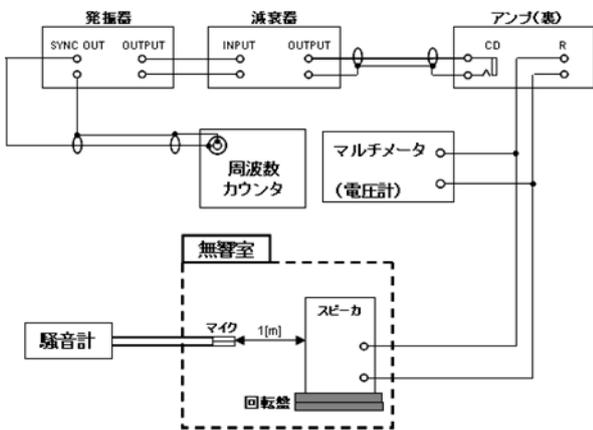


図6 結線図

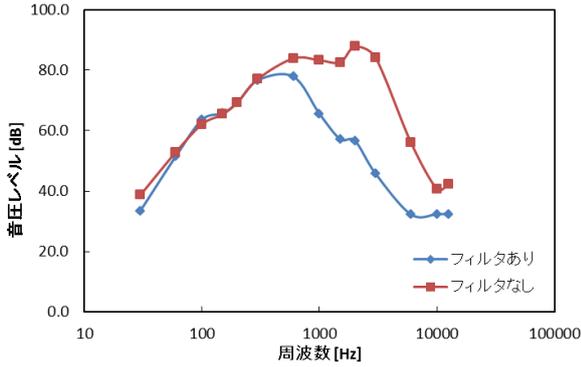


図7 フィルタ回路有無の比較（ウーファー）

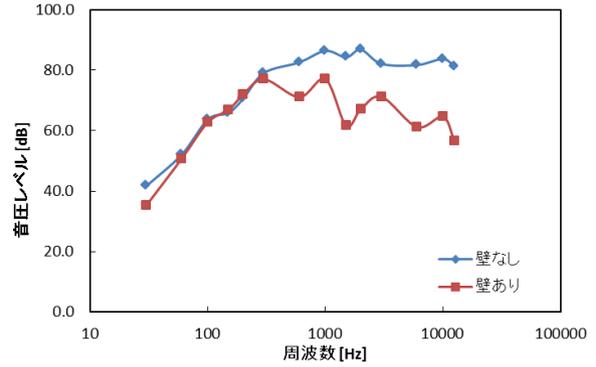


図11 フルシステムと壁有フルシステム

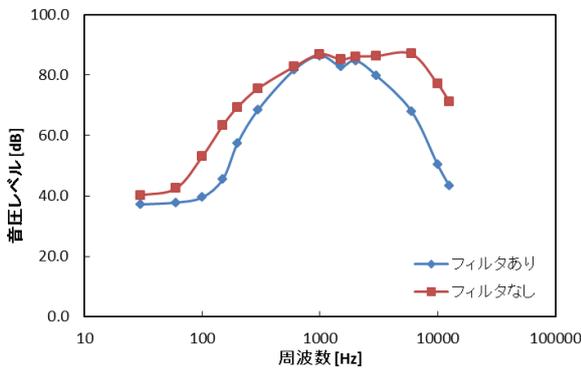


図8 フィルタ回路有無の比較（ミッドレンジ）

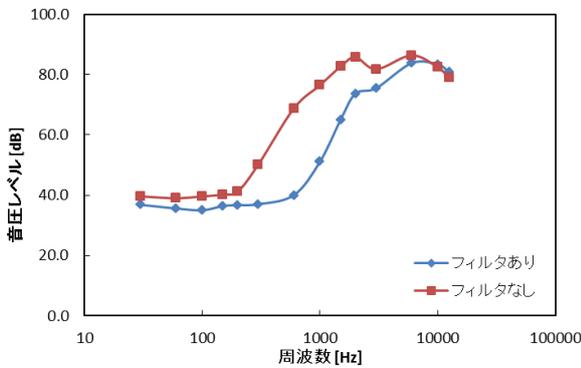


図9 フィルタ回路有無の比較（トゥイーター）

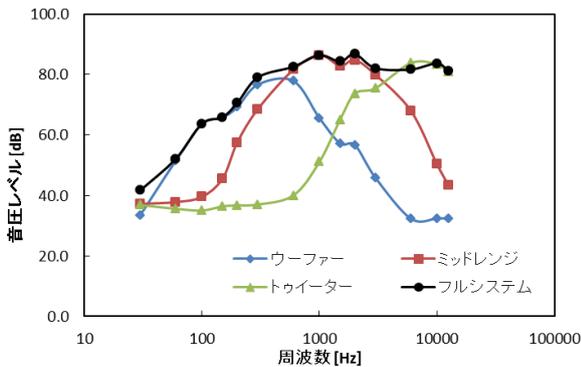


図10 フィルタ回路有の各ユニットとフルシステム

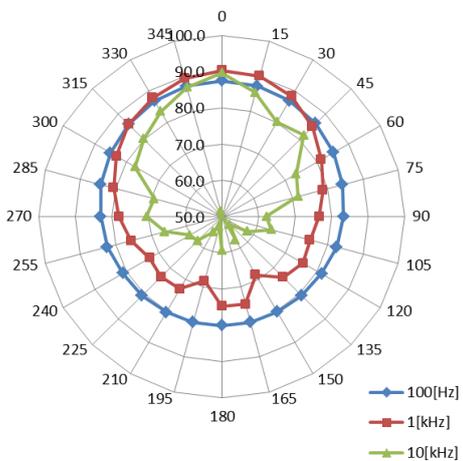


図12 指向特性パターン

ット同時に使用することで最終的には平坦な特性となるように設計でされていることがわかる。それぞれのスピーカユニットの受け持つ再生周波数帯域の移り変わりの周波数であるクロスオーバー周波数は、グラフから 500[Hz]、3000[Hz]付近であることを読み取ることができ、これはスピーカの定格と一致している。

図 11 は壁がある場合とない場合のフルシステムの測定結果である。グラフから 300[Hz]までは音圧レベルは同じ値を記録しているが、周波数が高くなるにつれて壁がある場合のフルシステムの音圧レベルが小さくなっていることが確認できる。これより周波数が低いと音は回折しやすく、高くなると回折しにくくなることがわかる。

5.2 指向特性

図 12 はフルシステムにおける 100[Hz]、1[kHz]、10[kHz]での指向特性の測定結果である。100[Hz]では、スピーカの角度を変化させても音圧レベルに大きな変化はない。周波数を 1[kHz]にすると、60~300°の範囲で音圧レベルが低下している。さらに、10[kHz]とす

ると基準面(0°)以外で音圧レベルの低下があり、さきほどより顕著に現れていることがわかる。これより周波数による指向特性の変化を確認できる。

5.3 検討事項

周波数特性からフィルタ回路の役割、指向特性から周波数と音の回折現象の関係が理解できる。これらよりスピーカのシステムの動作や各部の働き、音の性質などを学生に考察させる。また、スピーカについて調査できるよう以下のような検討事項を用意した。

- ・今回使用したスピーカの方式(バスレフ方式)とは具体的にどのような方式か調べよ。
- ・周波数特性のフィルタ回路無、及び有の各スピーカユニットの測定結果を比較し、フィルタ回路の役割について説明せよ。
- ・壁が有、無の場合のフルシステムの測定結果と指向特性の測定結果から、周波数と音の回折現象の関係について説明せよ。

この検討事項を通じて、スピーカや音の性質について理解できると考えている。

6. アンケート結果

開発した実験システムを平成23年度の電子工学科5年(41人)の工学実験で使用した。学生への教育効果や今後の指針を得るために実験後、アンケートを実施した。

図13より29人もの学生が音響工学に興味があり、興味なかった学生は12人であった。半数以上の学生が音響工学の講義を受講しなくても興味を抱いていることがわかる。

図14は実験によって音響工学への興味が高まったかという質問の回答結果である。高まったと回答した学生は37人で高まらなかった学生は4人と90%もの学生が興味を持つことができている。

図15は理解度に対する質問である。理解できた学生は33人で理解できなかった学生は8人であった。80%以上の学生が理解できていることがわかる。

図16より学生は主にスピーカの構造や特性、測定方法に興味を持ったことがわかった。その他自由記入欄では無響室に興味を持ったという回答があった。

また、感想として「わかりやすかった」や「自分でスピーカを作りたい」など音響工学に対する理解や興味が高まっていることが確認できた。

これらのことより、音響工学に関する知識の有無にかかわらず、大半の学生が音響工学に対しての興味や理解を深めることができていると考えられる。

1. あなたは以前から音響工学に興味がありましたか?

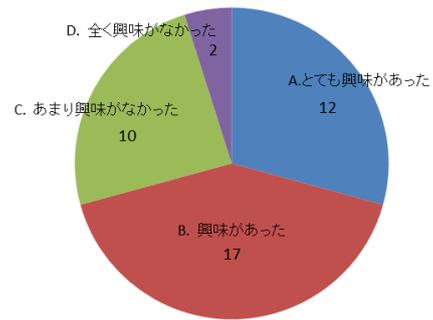


図13 以前から音響工学に興味がありましたか?

2. 実験によって音響工学に興味が高まりましたか?

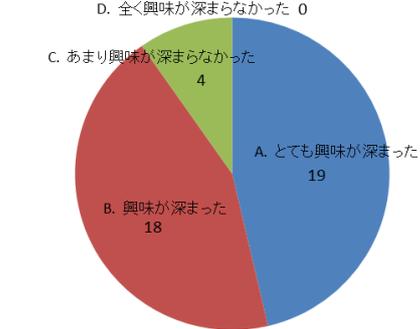


図14 実験によって音響工学に興味が高まりましたか?

3. 実験によってスピーカの構造や基本的性質を理解できましたか?

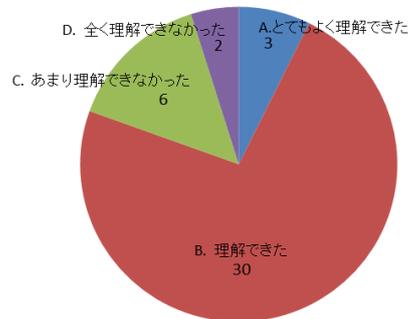


図15 実験によってスピーカの構造や基本的性質を理解できましたか?

4. 特に興味を持った内容を教えてください(複数回答可)

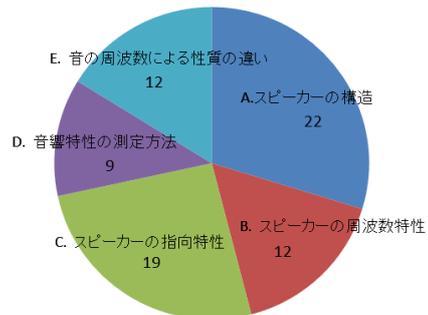


図16 特に興味を持った内容を教えてください

7. まとめ

学生実験「スピーカの特性測定」は音響工学の講義を受講していない学生でも理解できる教材として準備された。この実験の特徴は以下の通りである。

- JIS 規格に記載されている音響実験の方法に基づいて開発した。
- フィルタ回路有、及び無の各スピーカユニット、及びフルシステムの周波数特性の測定結果を比較することで、フィルタ回路の役割を理解できる。また、フルシステムと壁有フルシステムの測定結果の比較や指向特性から、音の回折現象を実感できる。
- 検討事項からスピーカのシステムの動作や各部の働き、音の性質などを学生に考えさせることができる。
- 実験書では、試料となるスピーカの原理や、実験装置の説明、注意点等、学生が実験内容の理解をする上で手助けとなるようなものとなるように記載している。

実際に学生実験で使用し、アンケート結果から音響工学についての知識がなくてもスピーカや音の特性が理解できていることが確認できた。これらより今回開発した実験教材によって音響工学に対する教育効果があると考えられる。

H24 年度以降も電工学実験で使用し、更なる教育効果を得るために改良していく予定である。本実験によりこの実験を通して音響工学に興味を持つきっかけとなればと期待している。

参考文献

- [1] JIS C 5532 , 音響システム用スピーカ, 日本工業標準調査会, 1994.
- [2] 山本武夫, スピーカ・システム, ラジオ技術社, 1982.
- [3] 鈴木昭裕・津曲健仁, 音響測定技術書, 翔文社, 2006.