発振器の配列による指向性スピーカーの性能

上田 颯都　金森 凱　鈴木 亮太朗
兵庫県立神戸高等学校　総合理学科　2 年

スピーカーは、TV、パソコン、電話、ラジオなど、日常生活において様々なところで使われており、我々の生活を豊かにするのに欠かせないものとのなっている。スピーカーにも様々なタイプがあり、近年そのスピーカーに「超音波」を応用した、従来のものとは異なる性能を持つ「指向性スピーカー」が開発されている。一部の企業や大学では研究、製品化が行われており少しずつではあるものの普及しつつある。我々はその技術に対して理解を深めると共に、その指向性スピーカーの特徴を探る。また、指向性スピーカーは別名パラメトリックスピーカーとも呼ばれる。

1. 序論

1.1. 指向性スピーカーとは

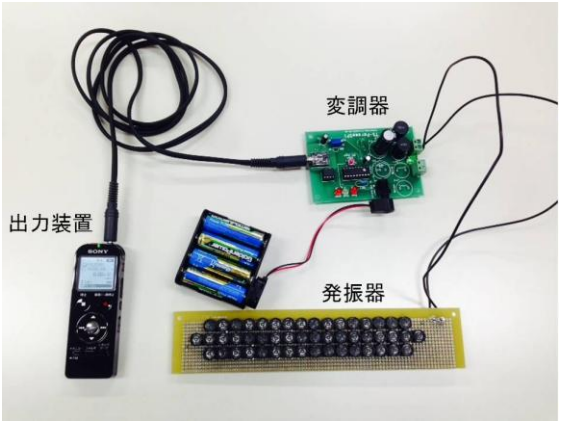
指向性スピーカーとは従来のスピーカーと違い、音が減衰、回折しにくく反射しやすい性質を持っている。その性質により、指向性スピーカーは音を限られた範囲にのみ届けることが可能となり、現在さまざまな場面で応用されている。例として軍隊の指揮や観光施設の案内、聴覚障害者の会話支援機器など、また私たちの身近な場面では駅のホーム、博物館のような公共施設などで使用されている。本研究では、音が聞こえる範囲をよりせまくすることを「音の指向性が向上する」と表現する。

1.2. 指向性スピーカーの原理

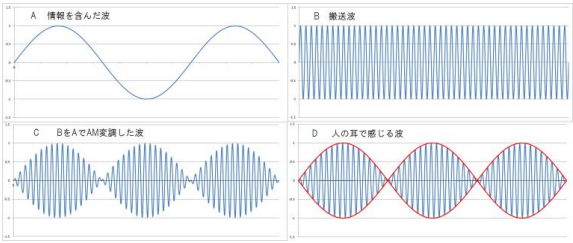
〈写真 1〉は、本研究の実験で使用した指向性スピーカーである。指向性スピーカーは、「出力装置」「変調器」「発振器」で成り立っている。

指向性スピーカーは、出力装置から送られる情報の信号をまず「搬送波」と合成する。その際、情報の信号と搬送波の２つの波のｓｉｎ式を掛け合わせた式が合成波の式となる。搬送波とは、情報が含まれていない超音波のことを指す。超音波は周波数が 20,000Hz 以上の音波のことをいう。周波数における人間の可聴域は約 20Hz～約 20,000Hz であるため超音波を人間が直接聞くことはできない。また超音波には回折、減衰しにくく反射しやすい性質がある。情報の信号の波と、搬送波を合成することで、その合成波は情報が含まれた超音波になる。この合成は「変調器」で行われ、合成波は信号として発振器に送られる。発振器では合成波の信号を空気の疎密に変換して発信する。発信された合成波は、空気中を経て人間の耳に伝播する。その際に可聴域を超える超音波は、感知することができず波の先端をなぞるように感知する。そこで人間が感知した波は合成波から搬送波を取り除いたもの、すなわち出力された情報の信号の波と同じものとなる。(〈図 1〉参照)

また空気中を伝播する合成波は超音波と同じく周波数が 20,000Hz 以上であるため超音波の性質をもつ。



〈写真 1〉

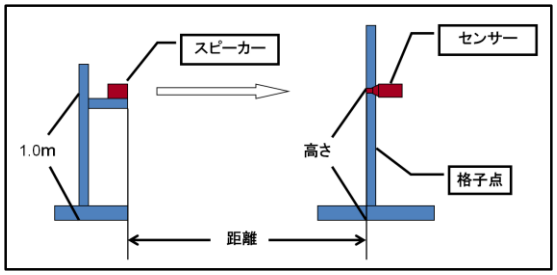


〈図 1〉

2. 研究内容

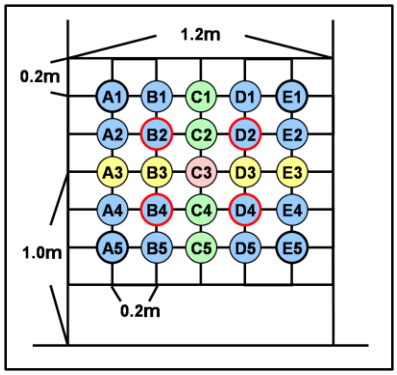
2.1. 実験方法

スピーカーを専用の台に設置する。設置したスピーカーは、高さ 1.0m、発振器の向きが地面と平行になるよう固定する。



〈図 2〉 測定装置

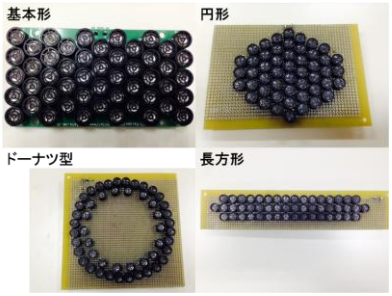
測定する場所に格子点を設置する。格子点には、中心から高さと幅がそれぞれ(±0.2m)ずつ 25 点で測定が可能である。



〈図 3〉 測定箇所の断面図

格子点上にセンサーを合わせ、音の強さを測定する。センサーでは音の強さとしてデシベル(dB)を使用する。1 点につき 100 回の測定値の平均を実験データとして用いる。本研究での「距離」及び「高さ」とは、測定する格子点台とスピーカーの発振器の距離、センサーの高さのことを指すものとする。

指向性スピーカーは、発振器の配列が異なるものを 4 種類「基本形、円形、ドーナツ型、長方形」(〈写真 2〉参照) を使用する。各々で音の強さが変わらないよう、発振器の数は 50 個に固定する。また、センサーの測定する向きが実験データに、多少の影響を及ぼすことが分かったため、センサーは全ての実験において発振器に向けるものとする。各々の実験を行った時の気温には最大 3℃の差があったが、これは誤差の範囲内であるとわかったため、無視する。



〈写真 2〉発振器の配列

2.2. 研究内容と目的

〈研究Ⅰ〉

【目的】

研究場所として考えた神戸高校の講堂が実験を行う場所としてふさわしいかどうかを判断するために、床による反射の影響を調べる。

【実験方法】

基本形の指向性スピーカーを、距離 0.0m～3.0m で 0.5mおきに 7 回、それぞれで〈図 3〉C 列の 5 点、計 35 点でのデータをとる。

〈研究Ⅱ〉

【目的】

指向性スピーカーと普通のスピーカーの指向性能の違いがどれほどあるのかを検証する。

【実験方法】

基本形の指向性スピーカーと、普通のスピーカーを、距離 1.0m で、〈図 3〉25 点全ての点でデータをとる。次に、距離で 0.0m～3.0m で 0.5mおきに 7 回、それぞれで〈図 3〉C 列の 5 点、計 35 点でのデータをとる。次に距離 0.0m～10.0m で 1.0mおきに 11 回、〈図 3〉C3 の 1 点、計 11 点でのデータをとる。

〈研究Ⅲ〉

【目的】

発振器を 16 個並べる長方形の横の指向性と、3 個並べる長方形の縦の指向性を比較するため、長方形の指向性スピーカーを用いて縦横の音の広がりの違いを検証する。

【実験方法】

長方形の指向性スピーカーを距離 1.0m で〈図 3〉25 点すべての点でデータをとる。

〈研究Ⅳ〉

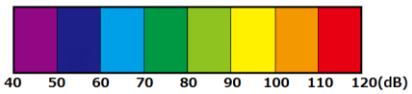
【目的】

基本形、円形、ドーナツ型、長方形の指向性スピーカーを用いて、発振器の配列による指向性能の違いを比較する。

【実験方法】

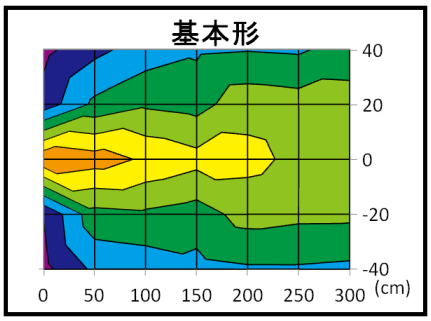
基本形、円形、ドーナツ型、長方形の指向性スピーカーを距離 1.0m で〈図 3〉25 点すべての点でデータをとる。

3. 結果

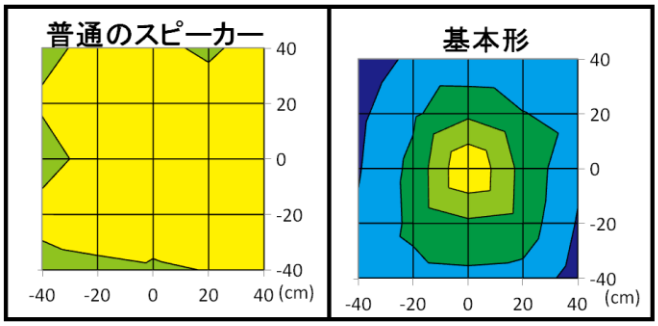


以下の結果で用いる色は上の様な音圧レベルを示す。

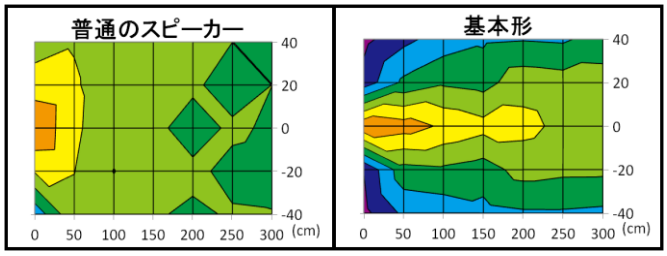
〈研究Ⅰ〉　0.0～3.0m ，C 列の音圧レベルの分布



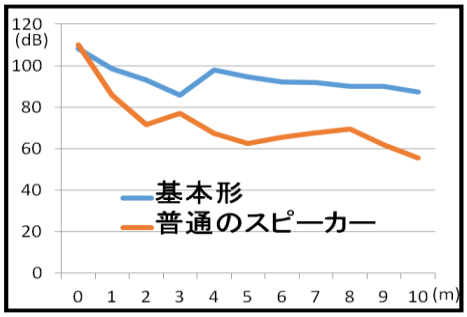
〈研究Ⅱ〉1.0m, 25 点の音圧レベルの分布



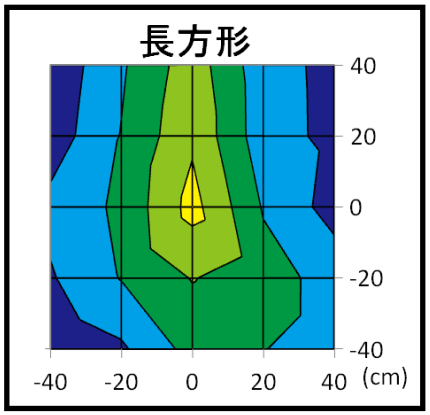
0.0～3.0m, C 列の音圧レベルの分布



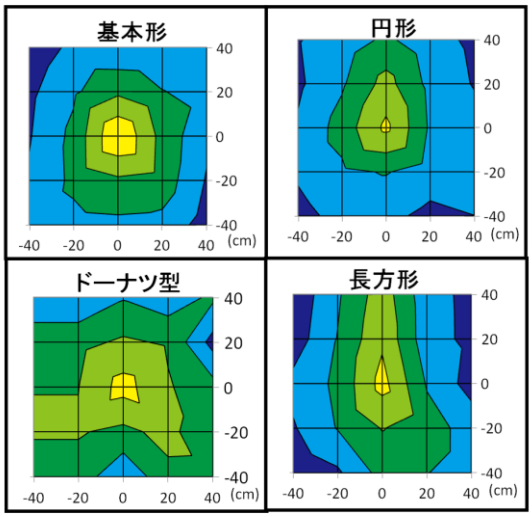
0.0～10.0m, C3 の音圧レベルの分布



〈研究Ⅲ〉の音圧レベルの分布



〈研究Ⅳ〉の音圧レベルの分布

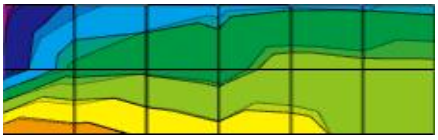


4. 考察

考察では実験結果の単位を dB から sone に変換する。その理由は本研究で使用している dB は本来 dB　SPL と呼ばれる単位で、これは音の疎密差を表す単位であり、実際の聞こえ方を表す単位ではない。対して sone は人間にとってどれくらい音が大きく聞こえるかを比較する単位である。本研究は人間が聞くことを考えて行っているため sone を用いる。dB から sone に変換する式を示す。

$L=10\cdot\log_2 S+40$　　L=dB　　S= sone

〈研究Ⅰ〉では結果のグラフの上下の対称性を比較すると、その面積の差は全体の 8.3%であり、〈図 4〉のようにそのズレは偏っていない。これは上下が対称でない面積 8.3%がほぼすべて誤差であり、床による反射の影響は無視できるほど小さいと考えられる。よって、講堂は実験を行う場所としてふさわしいと考えられる。



〈図 4〉

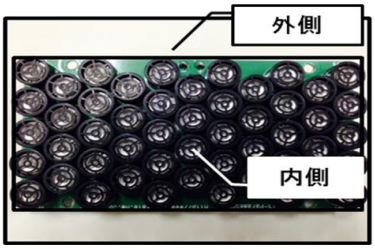
〈研究Ⅱ〉では距離 1.0m における 25 点の結果から、中心の音の強さが等しくなるよう計算した場合、普通のスピーカーは指向性スピーカーに比べ内側 4 点(〈図 3〉 B2, B4, D2, D4 平均)において 777.1%、外側 4 点(〈図 3〉　A1, A5, E1, E5 平均)において 1522.0%であることが分かる。したがって指向性スピーカーは普通のスピーカーよりも指向性が高いことが分かる。また、距離 0.0m～3.0m の実験結果から、どの距離についても同じことはいえると考えられる。

距離 0.0m～10.0mの実験結果の〈図 3〉 C3 点において、普通のスピーカーは指向性スピーカーに比べ 5.0m点で 10.9%、10.0m点で 15.7%である。また、普通のスピーカーは指向性スピーカーより、全ての点で減衰幅が大きいことが分かる。

よって本実験のような環境では指向性スピーカーは普通のスピーカーに比べ回折、減衰しにくいという性質は十分に検証できたと考えられる。

〈研究Ⅲ〉長方形の縦の音の値（〈図 3〉C1,C2,C4,C5 平均）に比べて、16 個並べる横の音の値（〈図 3〉A3,B3,D3,E3 平均）は、31.4%である。よって同方向並んでいる発振器の数を増やせば増やすほど、その並んでいる方向に対する指向性は向上すると考えられる。その理由として次のように考察する。

スピーカーの外側と内側で 2 つに分けて考える。〈写真 3〉外側について考える。スピーカーより外側であるため、まっすぐ進む波は存在しない。全ての波が外側に向けて進む。それらの角度は一定でない。そのため発せられる波の粗密はそれぞれのスピーカーからの距離が等しい所ならば等しいが、実際はありとあらゆる方向の波が干渉しあうため、それらの合成波の振幅は小さくなると考えられる。その現象は外側になればなるほど、内側の発振器が多ければ多いほど顕著に表れると考えられる。よって外側になればなるほど音が小さくなると考えられる。対して内側は、指向性スピーカーの特性よりまっすぐ進む波が最も大きい。そのため、内側では音が大きいと考えられる。



〈写真 3〉

	基本形	円形	ドーナツ形	長方形
内側	1	1.2084426	2.66477115	1.3627528
外側	1	1.6691896	3.96329577	1.5026359

〈表 1〉

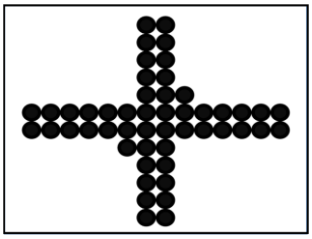
〈研究Ⅳ〉より、〈研究Ⅱ〉と同様に中心の音を等しく計算した後、外側 4 点と内側 4 点の平均を求めると〈表 1〉のようになる。よって基本形、円形、長方形、ドーナツ型の順に指向性がよいと考えられる。

基本形と円形を比較した場合、基盤の穴の位置関係により面積が 46.4%大きくなる。よって指向性の違いはその面積の違いに起因すると考えられる。またドーナツ型は、音が中心に集まる傾向はないと考えられる。

5. 結論

〈研究Ⅰ〉〈研究Ⅱ〉より、本実験で使用する指向性スピーカーは本実験の環境においてはその特性を十分持っている。〈研究Ⅲ〉から、発振器の数が多ければ多いほど指向性が向上する。〈研究Ⅳ〉から、発振器の密度が大きければ大きいほど指向性が向上する。

それらの結論から、〈図 5〉のような発振器の配列が最も指向性が向上する一例であると考える。この配列の場合、上下左右方向(〈図 3〉 C列と 3 行)の指向性は向上しないが、斜め方向(〈図 3〉A1,B2,D4,E5／A5,B4,D2,E1)への指向性は大幅に向上する。



〈図 5〉

6. 参考文献・謝辞

本研究を進めるにあたり監督、教示してくださった大嶋先生、ならびにアドバイスを下さった方々に深くお礼申し上げます。

〔1〕数研出版　『高等学校理科用　物理』
〔2〕著:東山 三樹夫　コロナ社　『音の物理』
〔3〕著:中村 健太郎　ナツメ社　『図解雑学　音の仕組み』
〔4〕著:中島 悠輔　吉村 健　仲 信彦　大矢 智之『携帯型超指向性スピーカーの試作』
〔5〕著:西浦　敬信　立命館大学情報理工学部　『極小領域オーディオスポット』
〔6〕著:峯松 信明『音響音声学』
〔7〕著:酒井 聡樹　共立出版　『これから研究を始める高校生と指導教員のために』