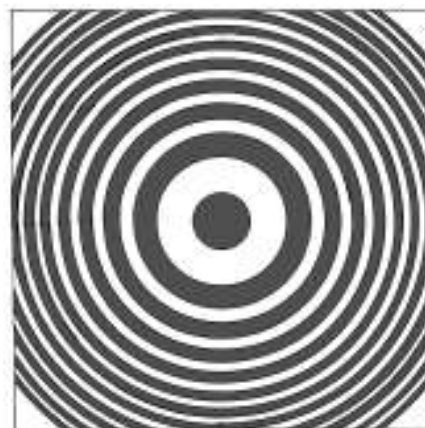


音のフレネルレンズ

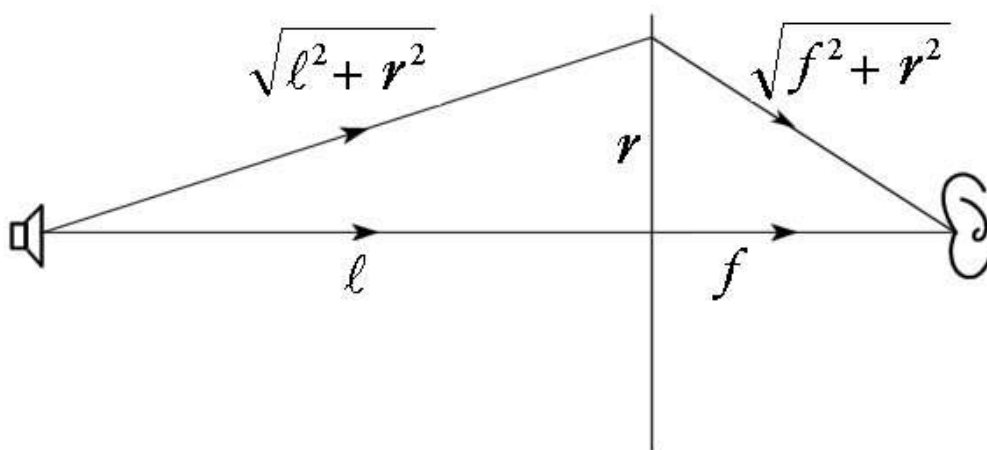
村田憲治@岐阜高校

科学館などによく展示されている「音のフレネルレンズ」を作ってみました。しばしばこう呼ばれているので、このような表題にしましたが、実際はフレネルレンズとは何の関係もなく、「音波の干渉」を利用した集音装置です。「集音」というのも正確ではないですが(笑)

安価な材料で簡単に製作できますから、ぜひ作ってみてください。ここでは設計方法や工作のノウハウをご紹介します。



■ 音波が同位相で出会うように、経路差が波長の整数倍になるようにする



$$\begin{aligned} \text{音波の経路差 } \Delta l &= \sqrt{l^2 + r^2} + \sqrt{f^2 + r^2} - (l+f) \\ &= l\sqrt{1 + \frac{r^2}{l^2}} + f\sqrt{1 + \frac{r^2}{f^2}} - (l+f) \\ &\approx l\left(1 + \frac{r^2}{2l^2}\right) + f\left(1 + \frac{r^2}{2f^2}\right) - (l+f) \\ &= \frac{r^2}{2l} + \frac{r^2}{2f} \\ &= \frac{r^2(f+l)}{2fl} = m\lambda \quad (m=0,1,2,3,\dots) \end{aligned}$$

この条件を満たす半径 r の円形の隙間を板に開けておけば、隙間を通った波長 λ の音波は強めあうことになります。

しかし、隙間にある程度の幅がないと板を切り抜く工作もしづらいため、

$$\frac{r^2(f+l)}{2f\ell} = m\lambda \pm \frac{\lambda}{4} \quad \text{くらいに条件をゆるめて、}$$

$$\text{半径 } r = \sqrt{\frac{2f\ell\lambda(m \pm \frac{1}{4})}{f+l}} \quad (m=0,1,2,3,\dots) \quad \text{の幅のある円環状の隙間を板に開けることに}$$

しました。

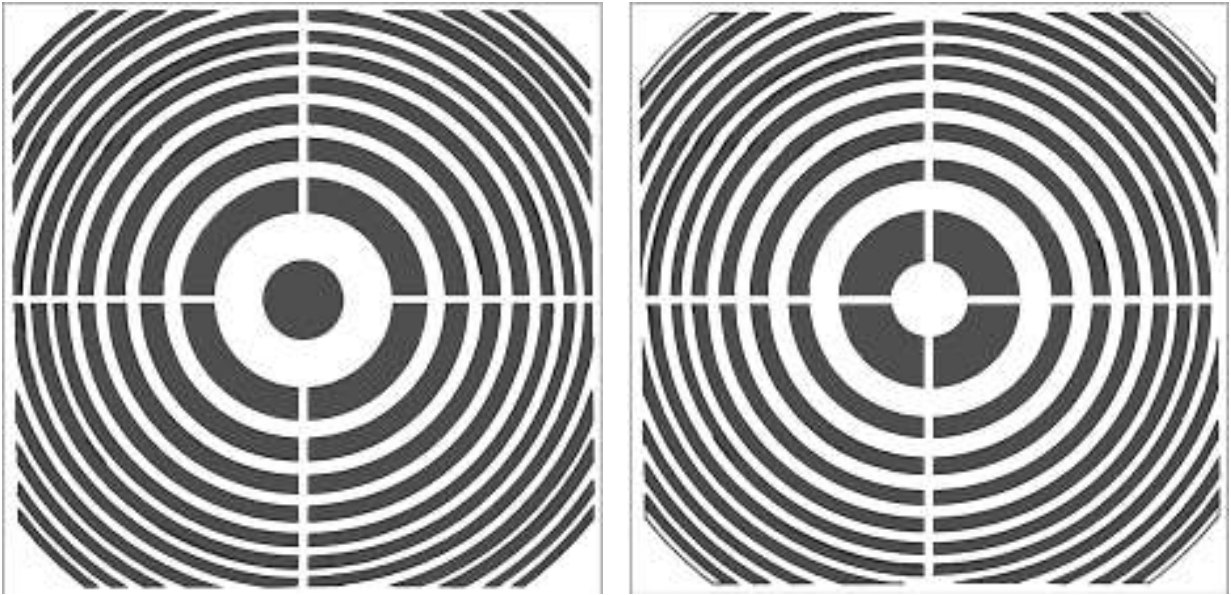
■ プラ段ボールの板に円環状の穴を開けます

音源は周波数 4000Hz の電子ブザーを用意しました。「ピー」という甲高い音が耳障りですが、手軽さが魅力です。音速を 340m/s とすると、波長 $\lambda = 0.085\text{m}$ となります。

穴を開ける板は、90cm×180cm のプラ段ボール（ホームセンターで 600 円）を 2 枚並べてガムテープでつなぎ、180cm×180cm の大きさにしました。プラ段ボールはカッターナイフで切り抜くことができ、それなりの強度も持ち合わせているので、この工作に最適な材料だと思います。

音源と「音のフレネルレンズ」との距離 $\ell = 2.0\text{m}$ 、レンズの焦点距離 $f = 1.0\text{m}$ として、表計算ソフト Excel で切り抜く円環の半径を計算してみました。（下表）

次数m	内半径[m]	外半径[m]	円環の幅[m]	中心半径 r[m]
0	0.000	0.168	0.168	0.000
1	0.292	0.376	0.085	0.337
2	0.445	0.505	0.060	0.476
3	0.558	0.607	0.049	0.583
4	0.652	0.694	0.042	0.673
5	0.734	0.771	0.038	0.753
6	0.807	0.842	0.034	0.825
7	0.875	0.906	0.032	0.891
8	0.937	0.967	0.030	0.952
9	0.996	1.024	0.028	1.010
10	1.051	1.078	0.027	1.065
11	1.104	1.129	0.025	1.117
12	1.154	1.178	0.024	1.166
13	1.202	1.225	0.023	1.214
14	1.248	1.271	0.022	1.260
15	1.293	1.315	0.022	1.304



プラ段ボールに円環を描いて、左図のように黒いところを切り抜こうと思ったのですが、カッターナイフを手に持ったところで、「待てよ、真ん中に穴が空いているのはつまらないな。切り抜くところと、残すところを逆にしてもいいんじゃないかな」と気がついて、右図のように板を切り抜きました。

こうしても、切り抜いたところを通り抜けてくる音波同士は、焦点の位置で波長 λ の整数倍 $m\lambda$ の経路差がありますから、強めあうことになります。円環の半径 r を求める式を作り直すと、

$$r = \sqrt{\frac{2f\ell\lambda(m + \frac{1}{2} \pm \frac{1}{4})}{f + \ell}}$$

となりませんが、念のため表計算ソフトで計算してみたところ、確かに切り抜くところを逆にすればよいことが確かめられました。

■ 4000Hzの電子ブザー音は、確かに焦点の位置で強めあった！

音源の電子ブザーをフレネルレンズの板から2 mの位置に置き、板の反対側1 mの位置に耳を近づけると、確かに大きなブザー音が聞こえます（片耳は手でふさいだ方がよく分かります）。耳の位置を焦点から少しずらすと小さな音になります。

音源をフレネルレンズから1 mの位置に置き、反対側2 mの位置で聞いてもOKです。点波源から発生する波を集める装置ですから、通常の凸レンズとは意味がちょっと異なります。

半日もあれば完成させることができますから、ぜひ作ってみてはいかがでしょうか。

murata@straycats.net

<http://physics.atnifty.com/>