

2 音波の発生

音の発生

空気中で振動している物体は、その物体の表面が空気を押ししたり引いたりするので、周囲の空気に音波を放出する。

音波は縦波であり空気の圧縮波が物体から出て広がる。

したがって圧縮（空気が通常より高い圧力になる）と膨張（空気が通常より低圧になる）の繰り返しが音波であるとも考えられる。

圧縮のとき空気の密度が通常より上がり、膨張のとき通常より下がる。

伝播の道筋にそって横軸をとり、ある瞬間の各位置における密度の変化の様子を表したものである。

縦軸に変位をとったために横波の表し方と同じになっているが、圧縮と膨張が最大になるあたりで空気の変位は0になる。

3 音波の測定

1. ほとんどのノートPCにはマイクロフォンが内蔵されている。
2. 他の音源から一定の振動数の音を発生し録音する。
3. PCに録音した音の波形を表示すると、サイン波といわれる波形が観測できる。
4. これが単一の振動数しか持たない音波の波形である。
5. 別の音源(たとえば、音叉(おんさ)、口笛、楽器、声)の音の波形を表示せよ。
6. それぞれの音源の音は、ノイズを別にして、独自の波形を持つ。
7. 音叉はサイン波になるが他の音源ではもっと複雑である。
8. ノイズは、波形がランダムに変わり周期的ではないので聴くと不快である。

4 エコー

エコー

音波は固い表面で反射される。誰もいない体育館で手をたたくと、もし壁の表面が平坦ならそこで反射されたエコーが聞こえるかもしれない。表面が柔らかかったり凹凸があると音波は反射のときに散らばってしまい、エコーは聞こえない。

ソナーは船から海底までの距離を測るのに使われる。船に乗せたトランスデューサー（送受波機）から超音波パルスが海底に向けて発射する。パルスは海底で反射して再びトランスデューサーで受信される。パルスの往復に要した時間 t から、海底までの距離を算出する。海底から検出器までの片道の時間が $t/2$ だから、海中の音速を v とすると

$$\text{水深 } s = \text{速さ} \times \text{往復時間} \div 2 = vt/2$$

となる。

5 問 1

1. (a) 50 Hz (b) (i) 振幅が大きくなる (ii) 波長が大きくなる
2. (a) 0.03 s, (b) 50 m

6 問：音速（ビデオに収録した問題）

音速

固体や液体中の音速は気体中よりも速い。

気体中では、気体分子が軽いほど、また温度が高いほど速い。

実験室で空気中の音速を測定

（実験 1）

音のパルスが一定距離を伝わる時間を測定する。

音が来るとマイクロフォンが信号を出してストロボが光る。ゲートを 2 つ用意する。

2 個のストロボ光を、回転円板上の 2 本の線にして角度を測定する。

（実験 2）

単一周波数の音の波形を 2 点で観測する

2 点間の距離と位相差の関係を測定する

周波数を既知として音速を導く

（実験 3）

単一周波数の音に共鳴する気柱の長さを測定する

波長を導く

音速を導く

7 聴力

人間の耳

人間が耳で感知できる一番弱い音は、耳を損傷しない範囲でがまんできる最大の音の、100 万分の 1 の 100 万分の 1 程度静かなものである。耳は器官として並外れたものだが、異常に大きな音からは保護する必要がある。

図は人間の耳の断面である。音波は鼓膜を振動させ、その振動が中耳の耳小骨を介して前庭窓に伝わる。これらの骨は鼓膜の振動の振幅を増幅して蝸牛に伝える。さらに、音の振動が過度に大きくなったとき、より感度の低いモードに切り替えて内耳を守る。振動は内耳の蝸牛の液体を伝わり、基底膜に接続する非常に敏感な有毛細胞で感知される。これらは神経細胞であり、刺激されると聴覚神経を通じて脳に電気信号を送る。

聴力検査

自分の耳で聞こえる振動数の範囲を定めよ。

1. 大きな音は聴覚障害を起こす可能性があるので注意せよ。
2. 20 才前後なら通常は最高で 18 kHz 付近まで聞こえるが、加齢とともにこの値が下がる
3. 耳の振動数応答を表す等ラウドネス曲線：自分の耳はどの振動数に最も敏感か。

デシベル計(騒音計ともいう)でいろいろな音の大きさを測定せよ。

最小レンジは測定可能な最小の音に応答し、最大レンジは非常に大きな音でないかぎり応答しない。

8 デシベル (dB)

デシベル

これは音の大きさを表す方式で、10倍になると目盛が1つ増える。

類似のものに地震のマグニチュードがある。

マグニチュードでは1目盛増えるごとに放出される地震のエネルギーが $10^{1.5} \approx 32$ 倍になる。

一方、デシベル(dB)では10dB(同じことだが1ベル)の増加で音のエネルギーが10倍となる。

ラウドネス曲線は日常的な音の大きさをデシベルで表した。

0dBは聞こえる範囲の最も弱い音である。 10^{-12}W/m^2

大きさが10dB増加するごとに音のエネルギーが10倍になる。

- 120デシベル ・飛行機のエンジンの近く
- 110デシベル ・自動車の警笛(前方2m) ・リベット打ち
- 100デシベル ・電車が通るときのガードの下
- 90デシベル ・犬の鳴き声(正面5m) ・騒々しい工場の中 ・カラオケ(店内客席中央)
- 80デシベル ・地下鉄の車内 ・電車の車内 ・ピアノ(正面1m)
- 70デシベル ・ステレオ(正面1m、夜間) ・騒々しい事務所の中 ・騒々しい街頭
- 60デシベル ・静かな乗用車 ・普通の会話
- 50デシベル ・静かな事務所 ・クーラー(屋外機、始動時)
- 40デシベル ・市内の深夜 ・図書館 ・静かな住宅の昼
- 30デシベル ・郊外の深夜 ・ささやき声
- 20デシベル ・木の葉のふれあう音 ・置時計の秒針の音

9 問2

1(a) 振動する力を増幅する, 不要なノイズを除去する, 過度に大きな音から内耳を守る.

(b) ひとつには, マイクロフォンや録音装置の振動数特性が不十分なため, 本物のおりに再生できない. また, 頭の中で聞く声には骨を伝わる音が含まれるが, 高い振動数が伝わりにくいことなどにより波形が歪む.

(c) (i) 30 dB (ii) 1000 (=10x10x10)倍

2 (a) 約 5 kHz, (b) 約 20 dB, (c) 可聴域の上限の振動数で難聴になる.

10 超音波（～18 kHz 以上）

人間の耳に聞こえないような高い振動数(すなわち約 18 kHz 以上)の音波が超音波である。

超音波スキャナーは病院で胎児の映像をとるのに使われる。

X 線が通過した物質はイオン化するので胎児に損傷を与える可能性があるが、超音波ではそのようなことがないので X 線のかわりに用いられる。

そのほかにも、超音波を用いた装置で金属の内部にある亀裂の検出や海の深さを測定する。

超音波がもつ能力は街灯の清掃に使われる。

発光ユニットを水槽に入れて超音波をあて表面の汚れの粒子を除去するのである。

病院では超音波のパワーが腎臓結石を砕くのに利用され、開腹手術なしで済む。

[超音波の発生と検出]

超音波プローブ(ultrasonic probe)は、トランスデューサともいうが、超音波パルスを生じまた検出するためのものである。

図に示すように、プローブを構成するある種のセラミックでできた薄板の両面に交流電圧が加わると激しく振動する。

その振動数は薄板自身に固有の振動数と同じ値にするので、交流が加わると共鳴する(resonate)。

原理は、ブランコに乗った子どもを周期的に押すときと同じである。

押す振動数がブランコに固有の振動数と同じなら振幅が非常に大きくなる。

医療用の超音波スキャナーに使う超音波プローブは数メガから数十メガヘルツを使う。

セラミック中の音速を約 3.8 km s^{-1} として結晶中の波長(=音速/振動数= $3800 \text{ ms}^{-1}/1.5 \times 10^6 \text{ Hz}$)が 2.5 mm となる。

共鳴には、超音波が薄板を 1 往復したときちょうど 1 サイクルとなることに対応して、厚みを半波長にする必要がある。

超音波スキャナー(ultrasonic scanner)では交流電圧をパルスの持続時間だけ加え、これを繰り返すとパルス列が発生する。

パルスとパルスの間、プローブは自動的に検出回路に接続され、反射した超音波が薄板にあたって生じる交流信号が読み取られる。

超音波は約 1000 ms^{-1} で体内の組織を伝わるから、典型的な距離として往復で 1 m を考えると、この距離だけパルスが進むのに約 1 ms かかる。

人体の内部の境界面（たとえば、骨と周辺組織の境界、異なる組織間の境界）でパルスが反射する。

- ・ A モードは、反射して帰ってきたパルスをオシロスコープに表示し往復に要した時間を測定する。
反射した境界面の深さを算出するのは、海底の深さのときと同じである。
- ・ B モードは、プローブを体表面で動かし画像をスクリーンに映し出す。
プローブには複数のセンサーが組み込まれ、ディスプレイ上の点がどの横方向の位置が決定され、その方向から強いパルスが帰ってくると点の明るさが増す。

11 問3

1(a) パルスの持続時間が長すぎると、それが終わる前に反射したパルスが帰ってくることで検出できなくなる。

(b) パルス幅=10 サイクルの時間= $10 \times \left(\frac{1}{1.5\text{MHz}} \right) = 10 \times 0.67 \times 10^{-6}\text{s} = 6.7 \mu\text{s}$

(c) 比 = $\frac{6.7 \mu\text{s}}{1 \text{ms}} = 6.7 \times 10^{-3}$

2(a) $\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{1500 \text{ m/s}}{40 \text{ kHz}} = 3.75 \times 10^{-2}\text{m} = 3.8 \text{ cm}$

(b) (i) 波源のサイズより波長のほうが長いので回折の効果が顕著になる。(ii) トランスデューサーから出る音波がいろいろな方向に出るようになるので、望ましい。