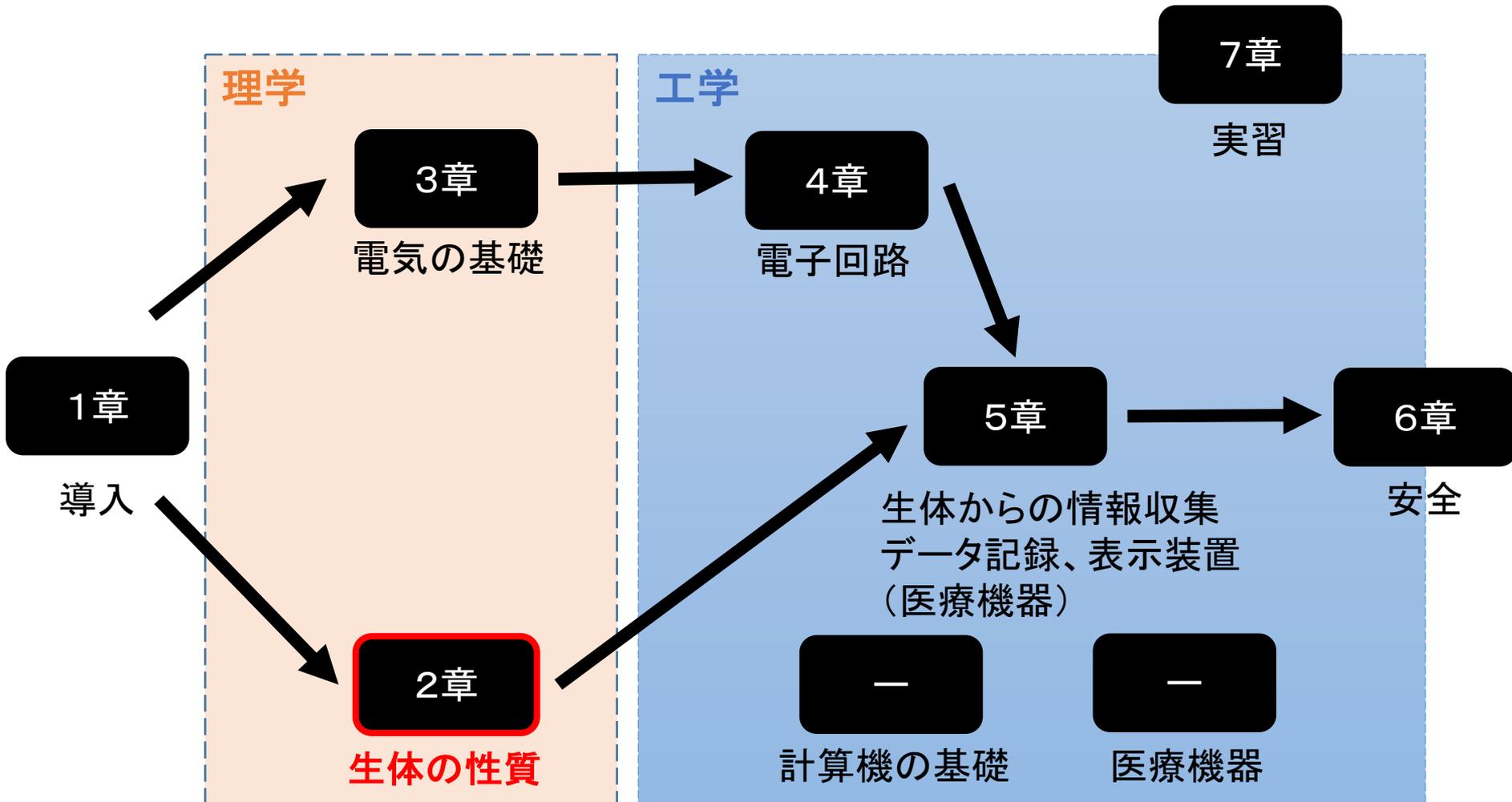


# 医用工学概論

## 第3回 生体の性質2

# 医用工学概論の章立て



# 前回の復習

電気の流れにくさ

抵抗率  $\rho = \sigma^{-1}$   
(ロー)

## 電気的エネルギーに関する生体物性

電流の流れやすさ を表す 導電率  $\sigma$  (シグマ)

分極のしやすさ を表す 誘電率  $\varepsilon$  (イプシロン)

磁化のしやすさ を表す 透磁率  $\mu$  (ミュー)

## 機械的エネルギーに関する生体物性

硬さの指標 ヤング率 (縦弾性率) 横弾性率

体積変化の指標 ポアソン比

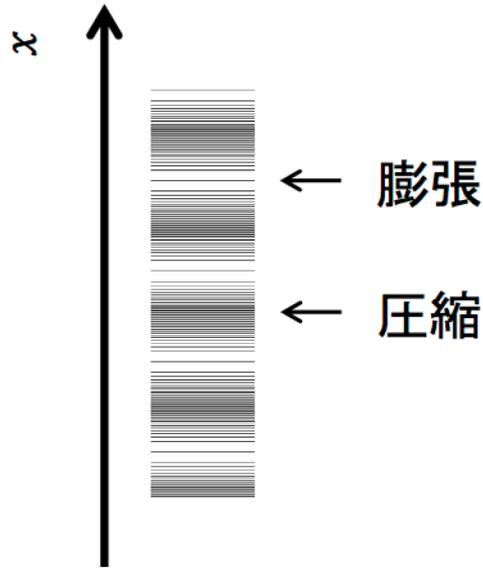
流れにくさの指標 粘性率

# 今回の流れ

## 生体に作用するエネルギー

- 電気
- 機械的エネルギー
- 音波
- 熱
- 光
- 磁気、電磁波

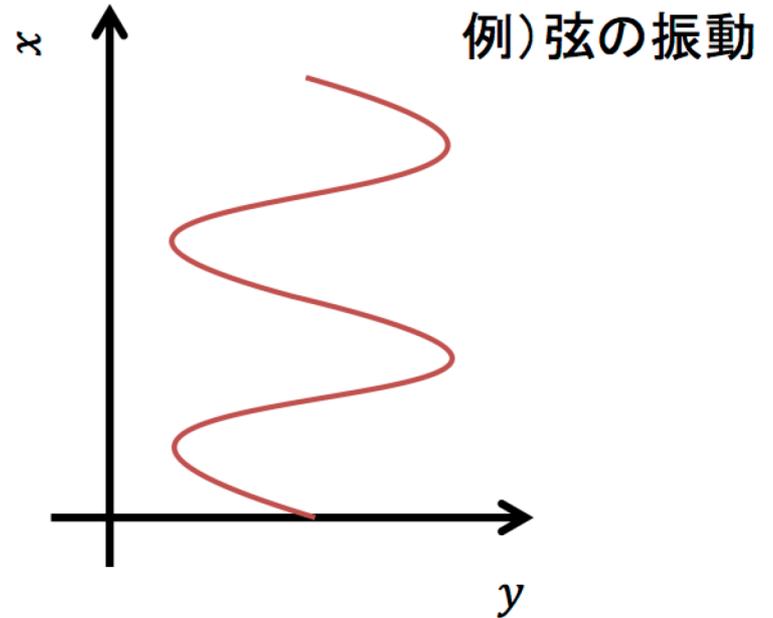
# 波のイメージ



縦波 (粗密波)

音

媒質を伝わる波



横波

電磁波  
光・熱(放射)

例) 水面の波は両方の性質を持つ。

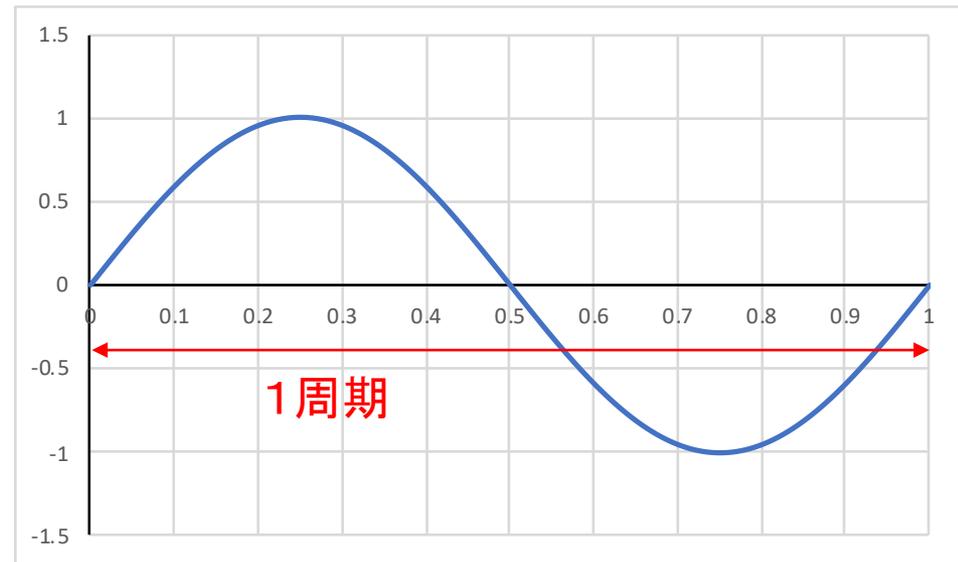
# 波の基本（音波の例）

- 周波数： 1秒間に何回振動するか = 音の **高さ**

周波数  $f$  [ **Hz** ]

- 周期： 波1つ分の長さ(秒)

周期  $T$  [ **s** ] =  $\frac{1}{f}$



- 音速： 音波が伝わる速さ

音速  $c \doteq 346.75$  [m/s] (大気中、25°C)

- 波長： 波1つ分の長さ(距離)

波長  $\lambda$  [m] =  $v \times T$

# 超音波の音響特性

## 減衰

生体内での減衰は、  
**散乱** によるものが主.

吸収 (熱に変換される)

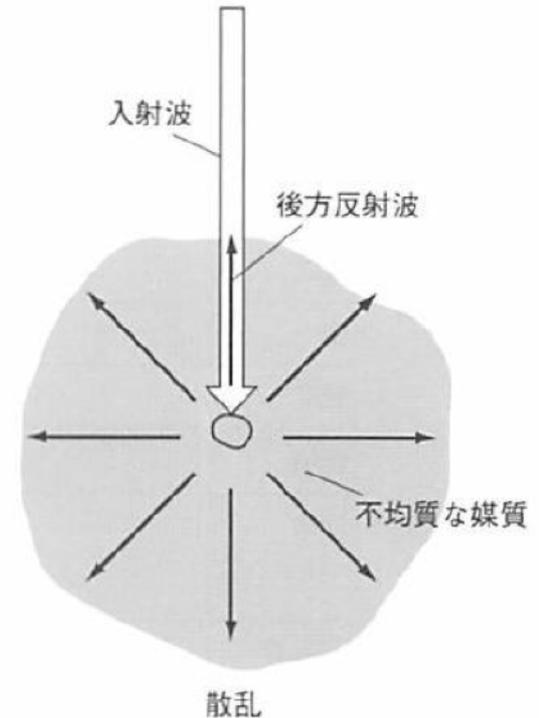
散乱

$$A = A_0 e^{-\alpha x} \Leftrightarrow \frac{dA}{dx} = -\alpha A$$

$A$  : 振幅 (音の強さ, 大きさ)

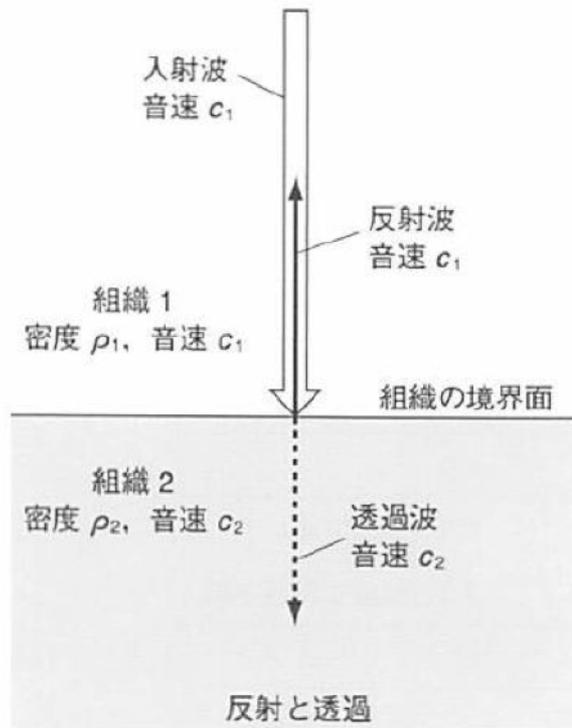
$\alpha$  : 減衰係数

=ひずみの  
大きさ



# 超音波の音響特性

## 散乱



媒質の固有音響インピーダンス  $\rho \times c$  が変化する部分で、**反射** が起こる。

筋，脂肪や腎臓，肝臓などの内部では、音響特性が分布的に変化する。

## 後方散乱係数

入射する音波の進行方向に対して、 $180^\circ$  の角度で散乱する音の度合いを表す。

**反射波**を利用 超音波診断装置

# 生体組織における音響特性

生体組織と関連物質	伝搬速度 音速(m/s)	吸収係数 $\alpha$ (1 MHz) (dB/cm)
空気	331	12
水	1,480	0.0022
血液	1,570	0.18
脂肪	1,450	0.63
脳	1,541	0.85
肝臓	1,549	0.94
腎臓	1,561	1.0
筋肉	1,585	1.3 (線維方向) ..... 3.3 (線維と直角方向)
頭蓋骨	4,080	13

$$331 + 0.6t$$

温度依存性

周波数依存性

密度の大きな組織では減衰が **大きく** , 水を多く含む組織では減衰が **小さい** .

# 超音波の生体作用

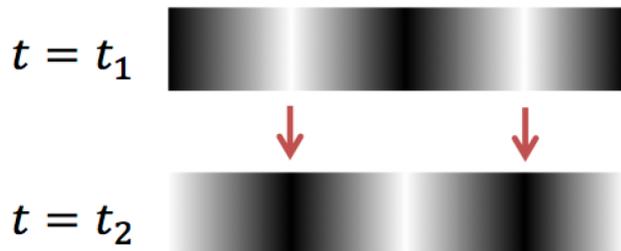
## 熱作用

反射, 散乱, 減衰の過程で吸収された熱エネルギーによる作用

安全限界       $100\text{mW}/\text{cm}^2$       500秒の照射時間で $50\text{Ws}/\text{cm}^2$   
 $10\text{mW}/\text{cm}^2$  (胎児)

## キャビテーション

陰圧(膨張)により生じた **空洞** が陽圧(圧縮)時に消失する現象

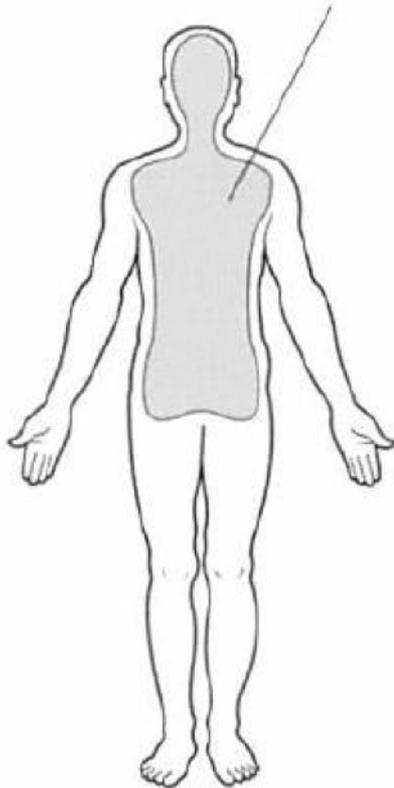


発生した衝撃波によって, 熱の発生, 機械的作用, 化学作用が生じる.

数MHzで数十W程度の超音波で起こる.

# 生体の熱に対する性質

体温：核心温  
(領域は外気温に  
よって異なる)



## 体内での熱の産生

肝臓や骨格筋などの臓器での **代謝**  
の結果

## 体内での熱の移動

生体組織の **熱伝導** (局所)

(生体組織の熱伝導率は水とほぼ等しい)

**血液循環** による熱の移動(80~90%)

## 体外への熱拡散

体表に近い部分は、外部の環境温  
によって変化

# 生体の熱に対する性質

蛋白質の変性



生体活動が

最も効率よく安定



体温を維持するための骨格筋の活動  
(ふるえ)が生ずる.



# 生体の熱に対する性質

熱エネルギーによる温度上昇を利用

電気メス  
レーザーメス

組織の **破壊** と同時に, 組織の **収縮**  
を利用して血管からの出血を抑える.

ハイパーサーミア

細胞の熱に対する耐性(癌細胞 **<** 正常細胞)  
の違いを利用

生体の熱放射を利用

サーモグラフィ

熱放射により放射される **電磁波** のエネルギー  
はボルツマンの法則に従う.

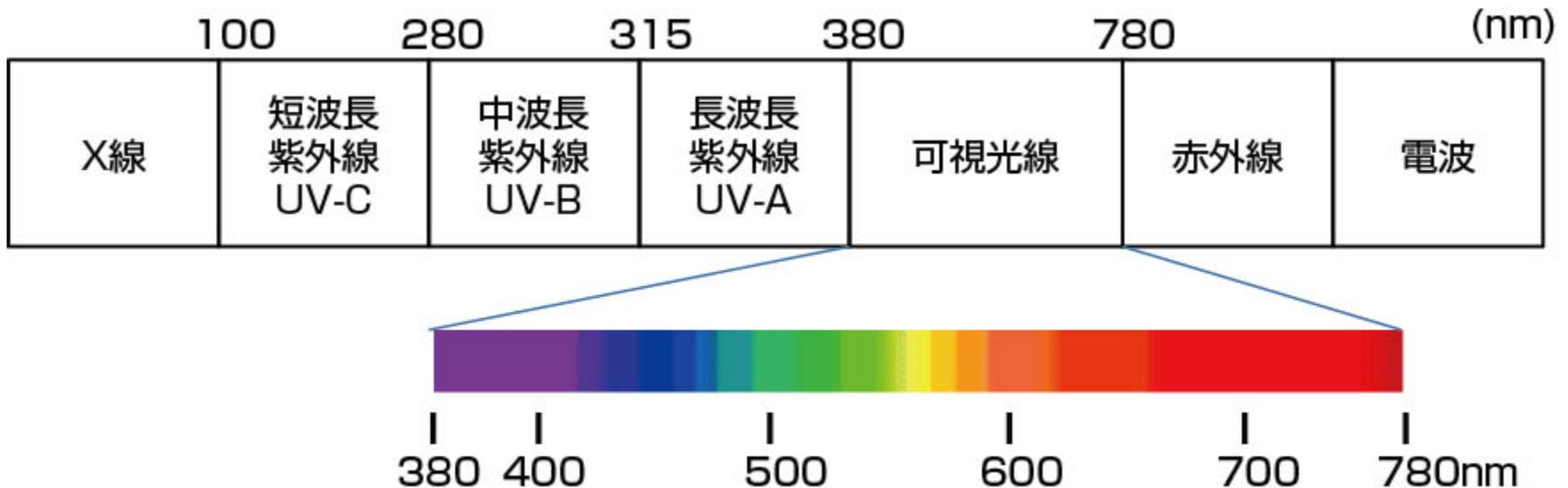
$$I \propto T^4$$

# 光

光は **電磁波** の一種で、横波

光速  $c = \lambda \times f \cong 30$ 万[km/s]

光の色は **波長** に関する。



人間の目に見える波長範囲

# 網膜の光受容器(視細胞)

かんたい

杆(桿)体

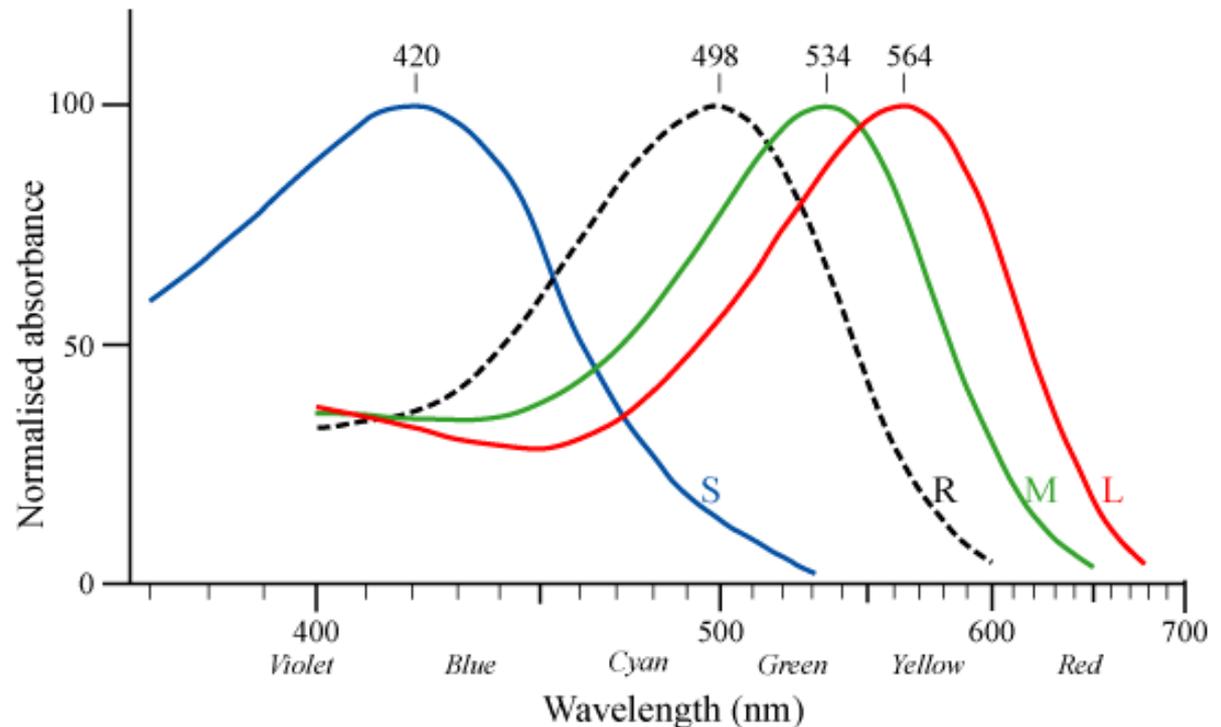
明るさのみ感知

赤錐体

緑錐体

青錐体

色を感知



# 眼球の光学的性質

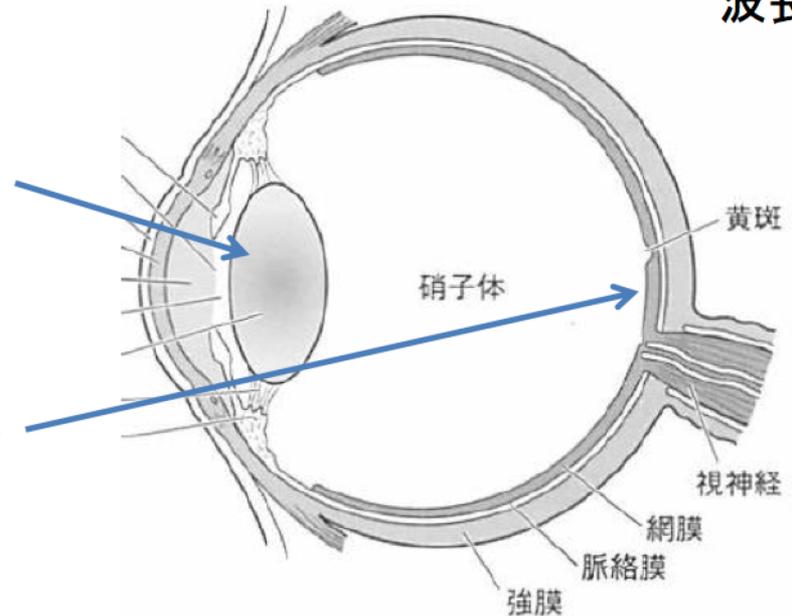
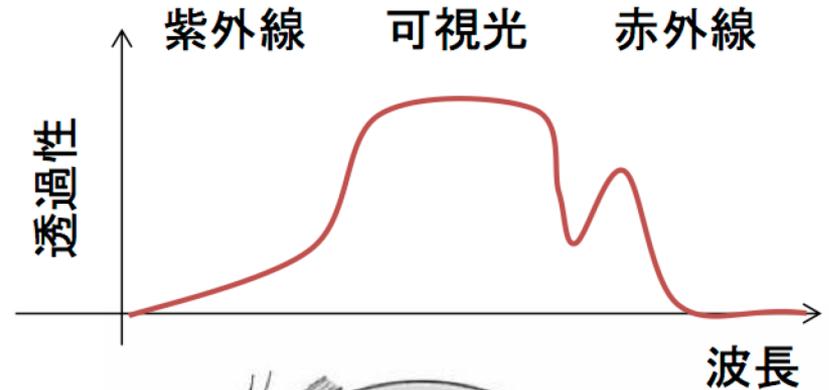
眼球内での光の透過性は、  
水の **吸光特性** を反映している。  
→ 光の **波長** により異なる

## 強い光の影響

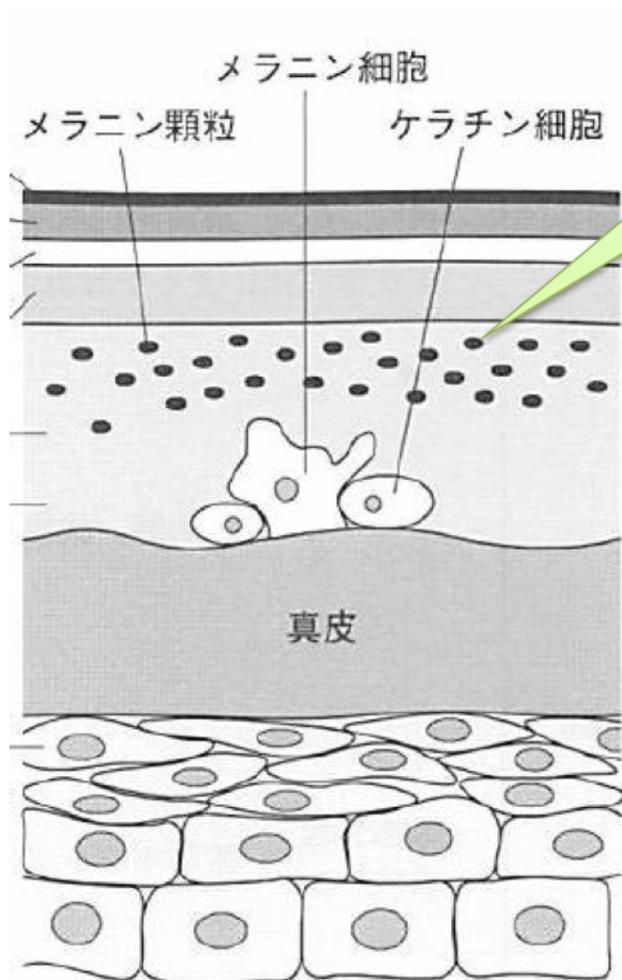
紫外線  
波長の長い赤外線  
→ **水晶体** への影響  
**白内障**

可視光  
近赤外線  
(特に平行光線)  
**網膜損傷**

例)レーザー光  
→ **網膜** への影響



# 皮膚の光学特性



波長の短い光ほど  
良く吸収する

波長: 190~290 nm

強い光の影響

日焼け

波長: 290~320 nm

色素沈着

波長: 320~400 nm

DNA損傷

皮膚細胞の突然  
変異や発癌

# 血液の光学特性

主に、**水** と **赤血球** による吸光特性に依存する。

その特性は、

**ヘマトクリット**（全血中に占める血球成分の割合）および  
血液の性状や **配向** による影響を受ける。

異方性

**ヘモグロビン**

酸素と結合している状態と結合していない状態では、吸光特性が異なる。

**血行動態** の観測には、臓器表面の **反射光** が利用される。

脳活動計測 (NIRS)  
に用いられる。

# 生体の磁気，電磁波に対する性質

$$B = \mu_0 H$$

磁界の強さ $H \rightarrow$  [A/m]

真空(生体)の透磁率

磁束密度 $B \rightarrow$  [T] ( **テスラ** )

## 静的な磁界に対する性質

地磁気の約1万倍

強力な磁界(1 ~ 2T)の下においても、はっきりした生体反応は認められない。

医療機器: **MRI** (磁気共鳴画像装置)

## 低周波磁界に対する性質

数十kHz以下

**熱作用** , **興奮性膜の興奮** , **心筋の期外収縮** , **心室細動の誘発**  
などの影響がある。

# 生体の磁気，電磁波に対する性質

## 高周波磁界に対する性質

100kHz以上

主に、**熱作用** による影響がある。医療機器：**ハイパーサーミア**

### 電磁波吸収の周波数依存性

周波数 (MHz)	波長 ( $\mu\text{m}$ )	吸収様式	特徴
~30	10~	準共振	体表面で吸収，体内で減少／周波数の増加で吸収が増加
30~300	1~10	<u>全身共振</u>	身長の2倍の波長に対応した周波数で吸収が最大となる
300~400	0.75~1	部分共振	頭部などの部分的な共振部で吸収が最大となる
400~2,000	0.15~0.75	<u>ホットスポット形成</u>	生体内部で局所的に吸収が大きくなり，温度上昇する
2,000~	~0.15	表面吸収	皮膚の表面でほとんど吸収／体表部だけの温度上昇

# 生体の磁気，電磁波に対する性質

## 生体から発生する磁界

体内で電流が流れると，

**電磁誘導** によって磁界が発生

**ホール素子** の感度

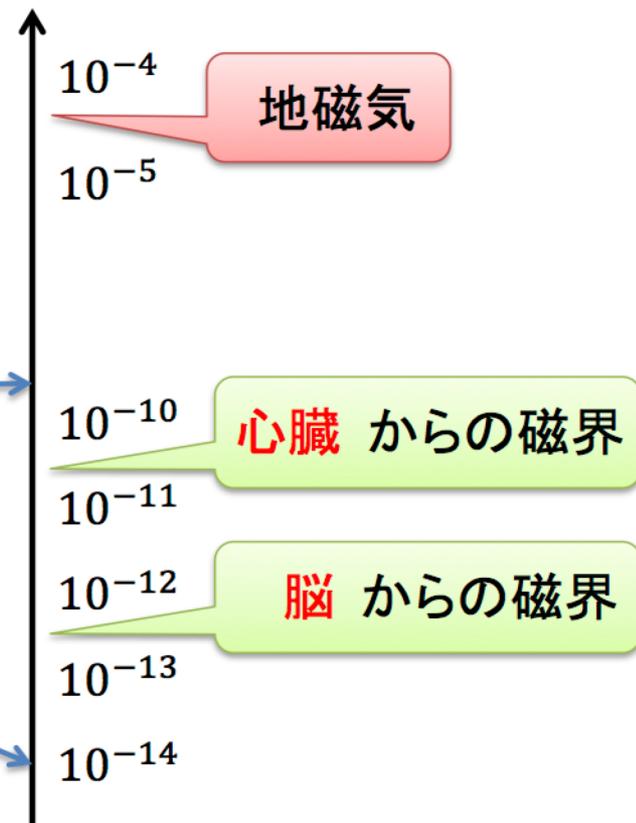
フラックスゲート磁束計の感度

**SQUID** の感度

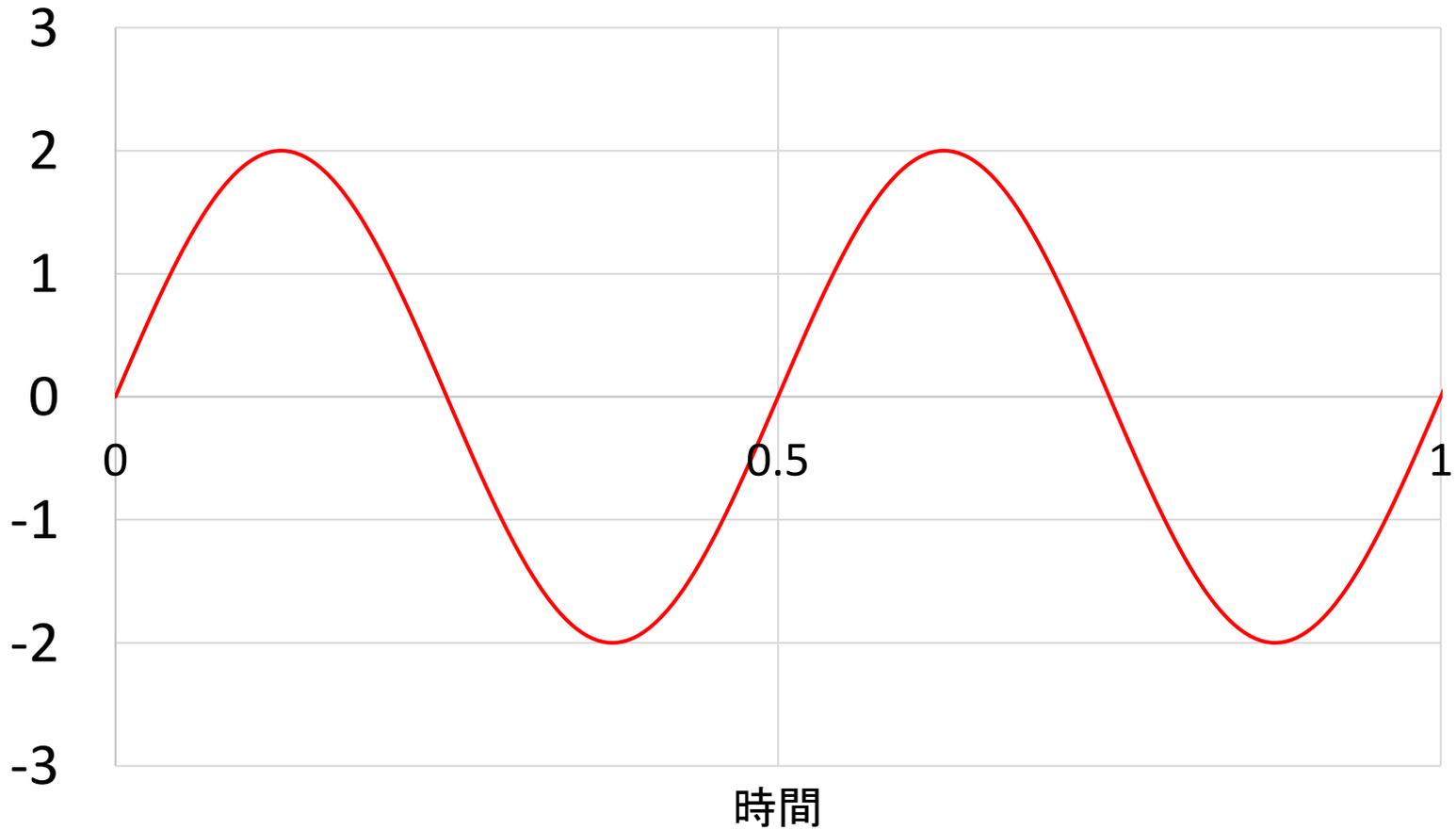
生体内に混入した磁性体

例) 肺内に蓄積した異物(磁性物質)

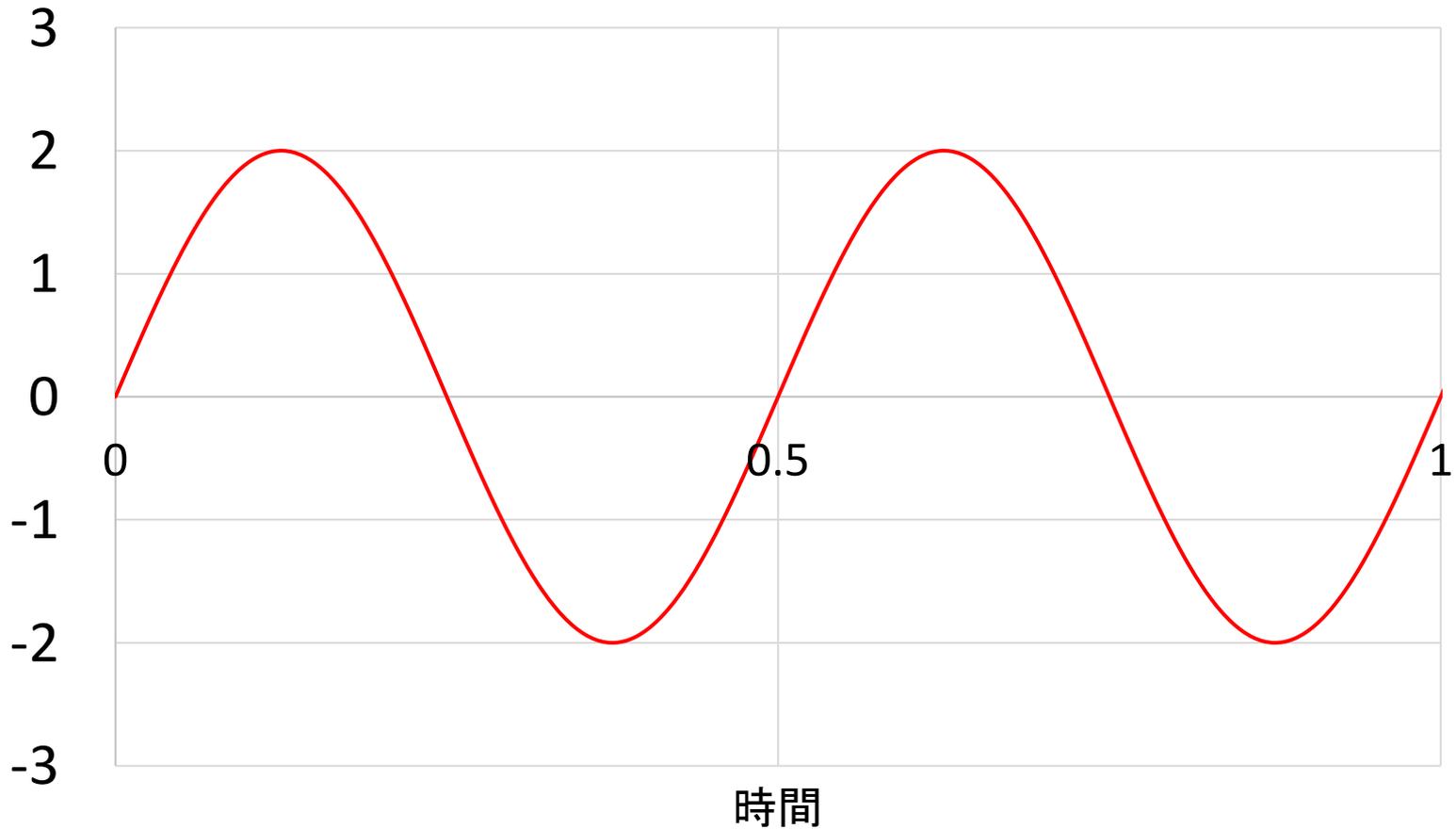
T:テスラ



問題： この波の周波数は？ 振幅は？

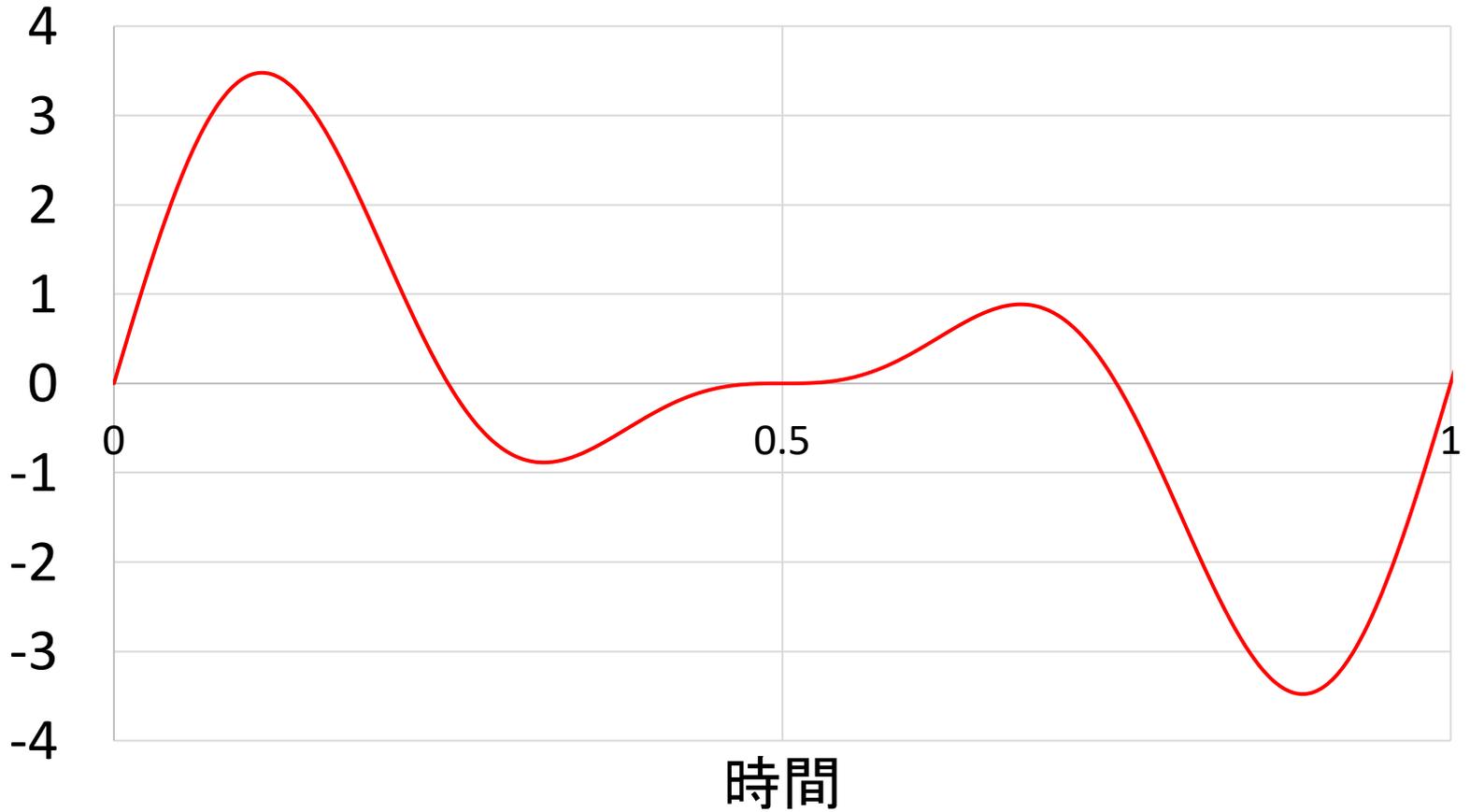


問題： この波の周波数は？ 振幅は？

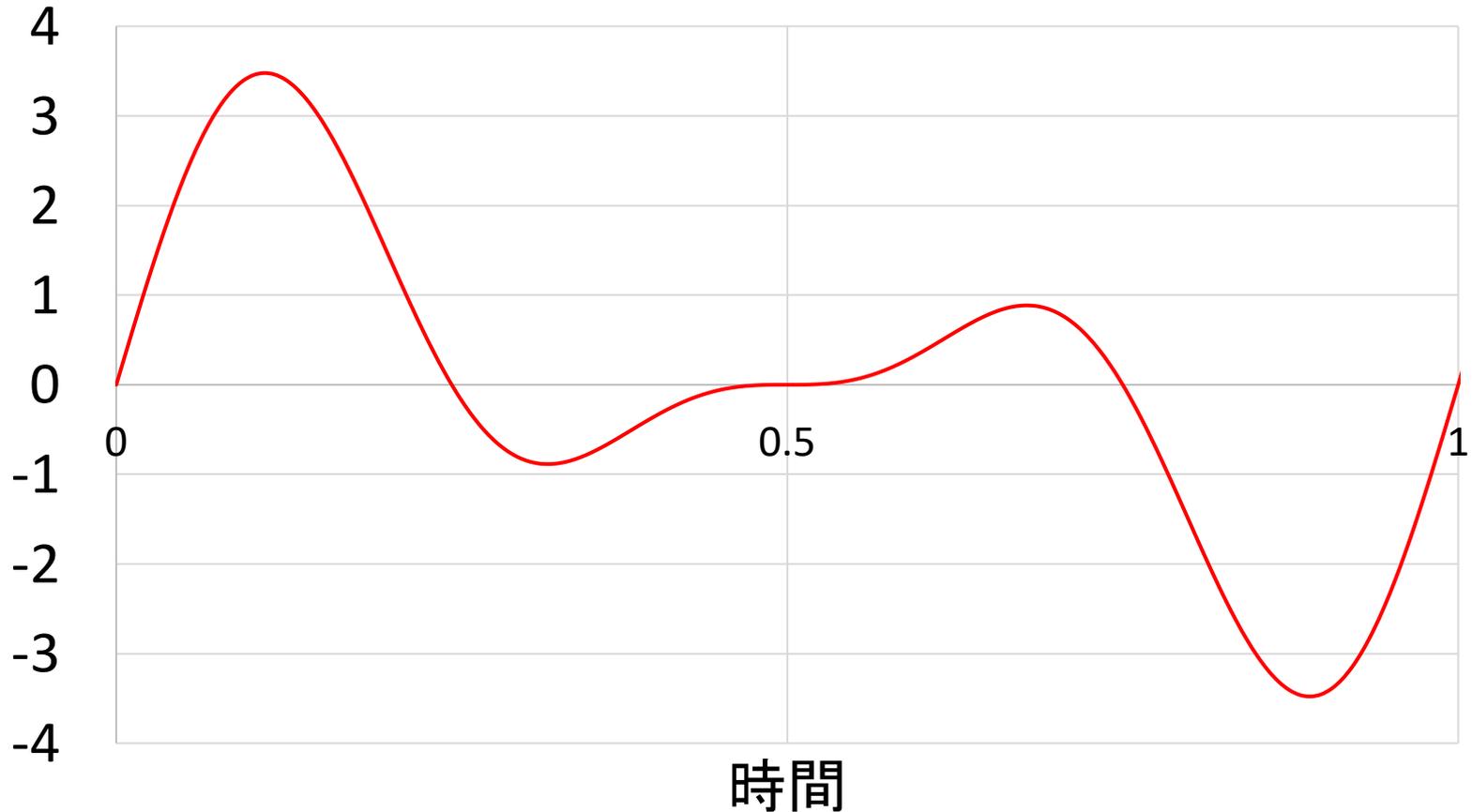


正解： 周波数1 Hz, 振幅2

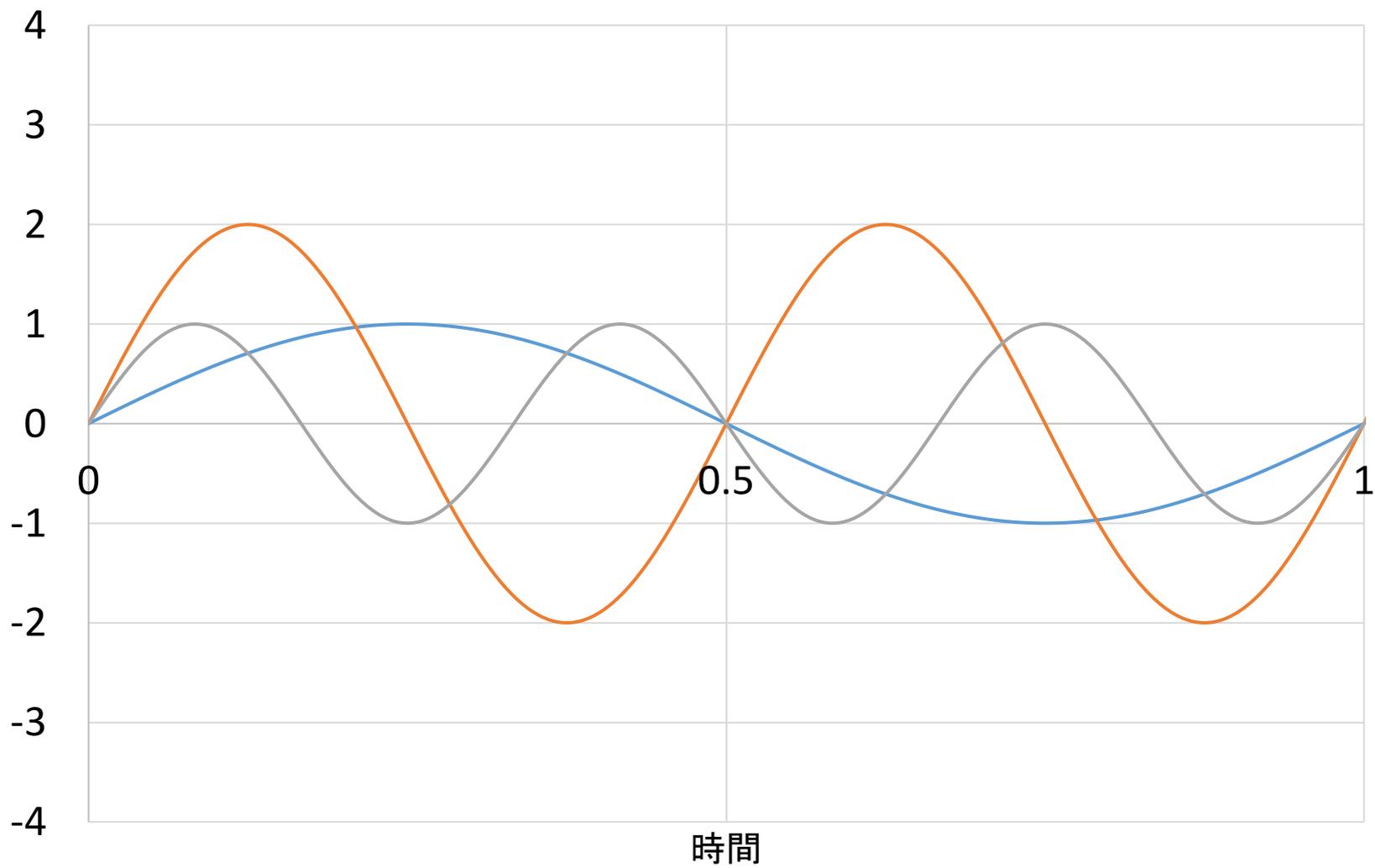
問題： この波の周波数は？ 振幅は？



問題： この波の周波数は？ 振幅は？



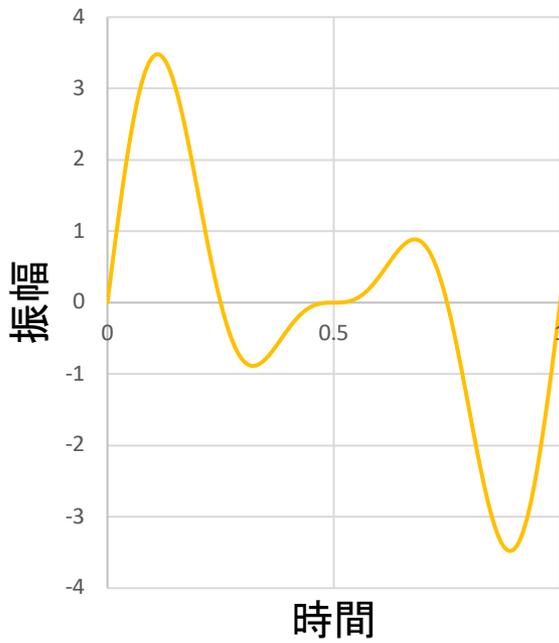
正解： 1Hz振幅1と2Hz振幅2と3Hz振幅1の波が重なっている。



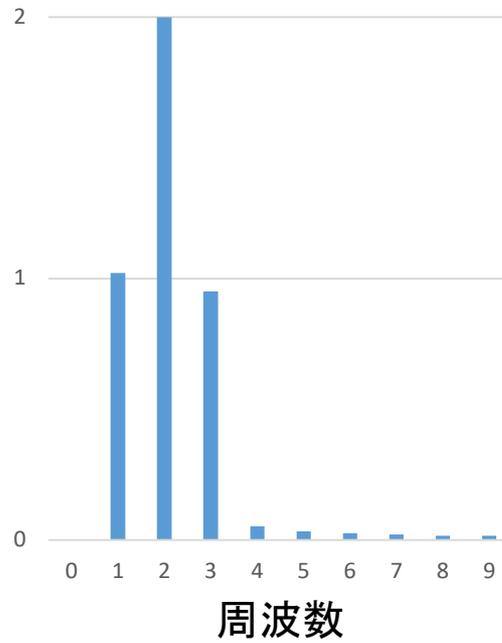
# フーリエ変換

(時系列) データから周波数成分を抽出する。

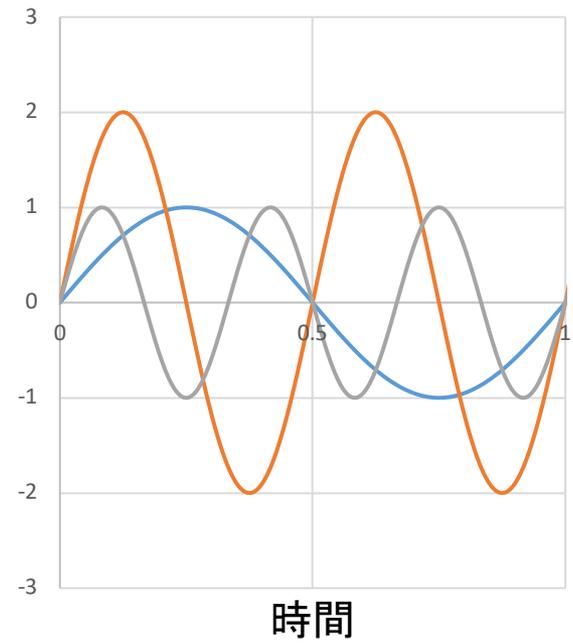
時系列データ



フーリエ変換



周波数成分



どの周波数が、どのくらいの振幅で入っているかがわかる。

# 復習問題1

下記の文章中のAからDに当てはまる言葉、数値を答えよ。

皮膚を介して感電した場合を\_\_A\_\_ショックと呼ぶ。\_\_A\_\_ショックでは\_\_B\_\_mA以上の電流が流れた場合、心室細動を引き起こす危険がある。

心臓に直接電流が流れる形で感電した場合を\_\_C\_\_ショックと呼ぶ。\_\_C\_\_ショックでは\_\_D\_\_mA以上の電流が流れた場合、心室細動を引き起こす危険がある。

A \_\_\_\_\_ B \_\_\_\_\_ C \_\_\_\_\_ D \_\_\_\_\_

# 復習問題1 解答

下記の文章中のAからDに当てはまる言葉、数値を答えよ。

皮膚を介して感電した場合を  A  ショックと呼ぶ。 A  ショックでは  B  mA以上の電流が流れた場合、心室細動を引き起こす危険がある。

心臓に直接電流が流れる形で感電した場合を  C  ショックと呼ぶ。 C  ショックでは  D  mA以上の電流が流れた場合、心室細動を引き起こす危険がある。

A  マクロ     B  100     C  ミクロ     D  0.1

# 復習問題2

生体組織が持つ特異性について、以下の問いに答えよ。

(1)異方性について説明せよ。

---

(2)経時変化について具体的な例を用いて説明せよ。

---

# 復習問題2 解答

生体組織が持つ特異性について、以下の問いに答えよ。

(1)異方性について説明せよ。

測定される方向により物性値が異なる。 など

---

(2)経時変化について具体的な例を用いて説明せよ。

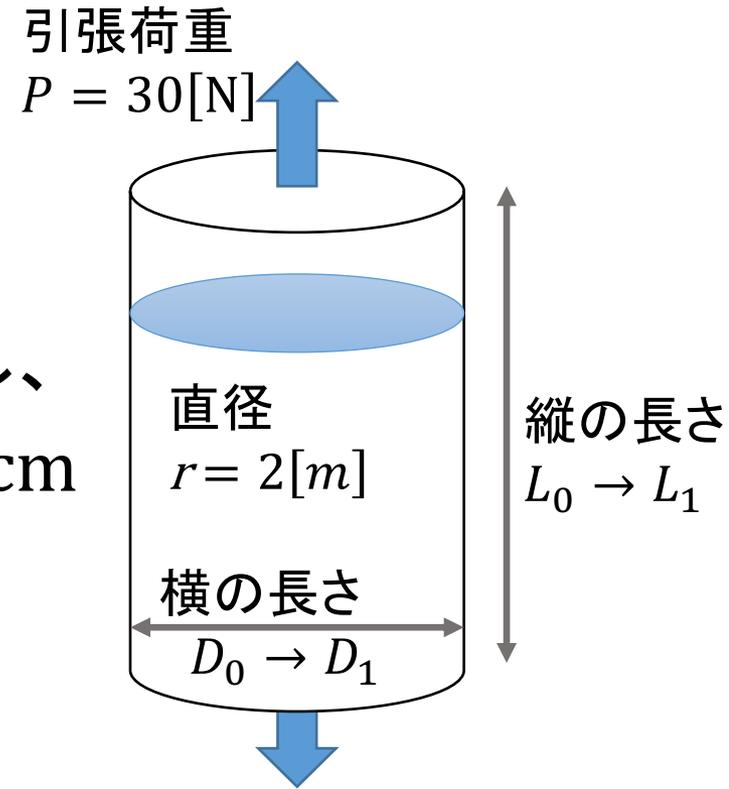
検体などを採取したあとに時間の経過につれて物性値が変化する。  
夜に測った血圧の方が昼に測った血圧より低かった。 など

---

生体組織が持つ特異性については、  
教科書8, 9ページの内容をよく確認しておいてください。

# 復習問題3

材料に引張荷重を加えると変形し、  
縦の長さ  $L_0 = 10\text{cm} \rightarrow L_1 = 12\text{cm}$   
に変化した。



(1) 応力  $\sigma$  を求めよ。

(2) ポアソン比  $m = 0.5$  の時、横変形量  $\Delta D$  を求めよ。

# 復習問題4 解答

(1) 応力

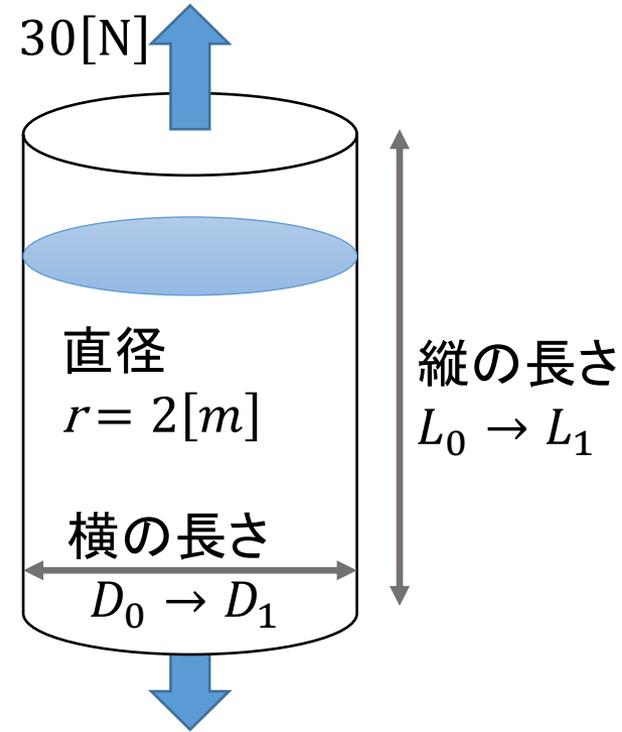
$$A = 1 \times 1 \times \pi = \pi$$
$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{30}{\pi}$$

(2) 横変形量

$$\varepsilon_L = \frac{2}{10} = 0.2$$
$$\varepsilon_D = m \times \varepsilon_L = 0.5 \times 0.2 = 0.1$$
$$\Delta D = D_0 \times \varepsilon_D = 2 \times 0.1 = 0.2 \text{ [m]}$$

引張荷重

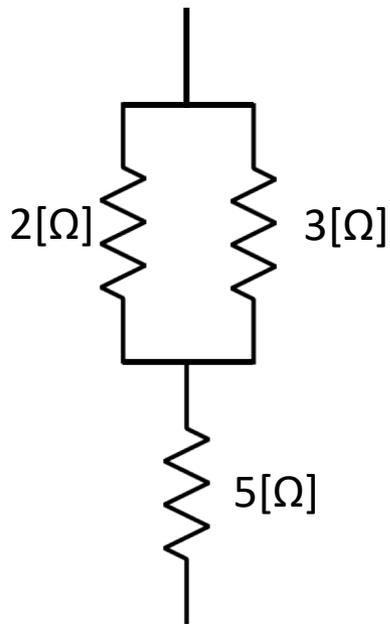
$$P = 30 \text{ [N]}$$



# 練習問題

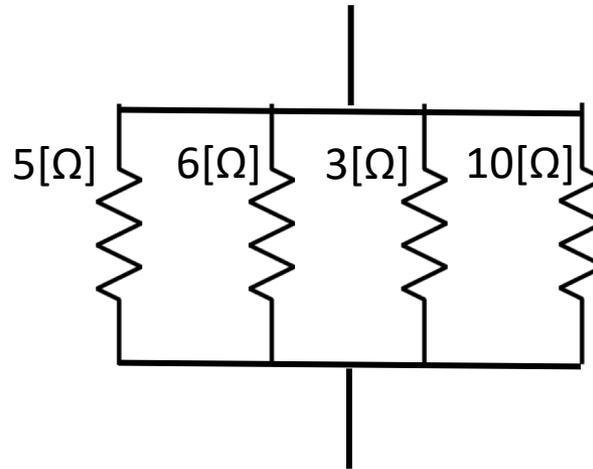
次の合成抵抗を求めよ。

(1)



(1) \_\_\_\_\_

(2)

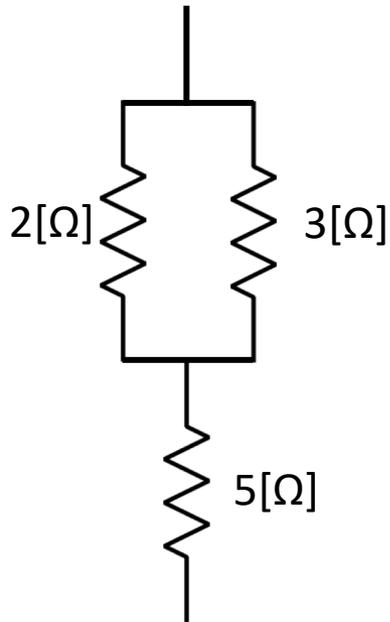


(2) \_\_\_\_\_

# 練習問題 解答

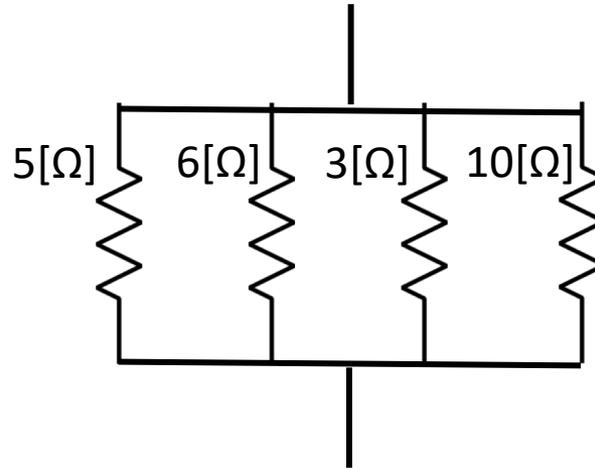
次の合成抵抗を求めよ。

(1)



(1)  $\frac{31}{5}$

(2)



(2)  $\frac{5}{4}$