

問題 81 医療機器における

差動増幅器の利便性で正しいのはどれか。

1. 同相ノイズの抑制
2. 周波数特性の改善
3. 実効増幅度の安定化
4. 基線動揺の抑制
5. リップル率の上昇

同相信号(ノイズ)の抑制と逆相信号(生体信号)の増幅  
= **差動増幅回路**

周波数特性の改善 = **負帰還増幅器**

実効増幅度の改善 = **負帰還増幅器**

(実効増幅度 = 入力電圧の実効値との出力電圧の実効値の比)

基線動揺(ドリフト)の抑制

= **低周波遮断フィルタ (=微分回路)**  
(CR結合回路の抵抗電圧など)

リップル率の抑制 = **平滑回路**

# 差動増幅器の特徴

1. 反対位相信号を増幅して、**同位相信号ノイズ**（主に**商用交流雑音**（ハム））を抑制できる。  
（ハムは**外部雑音**）
2. **2点間の電位差を増幅**できる（心電図や脳波等）。
3. 電源電圧の**変動（ドリフト）**に対して**安定**である。
4. 直流**バイアス**を伴う信号の、**交流信号**だけを**増幅**できる。

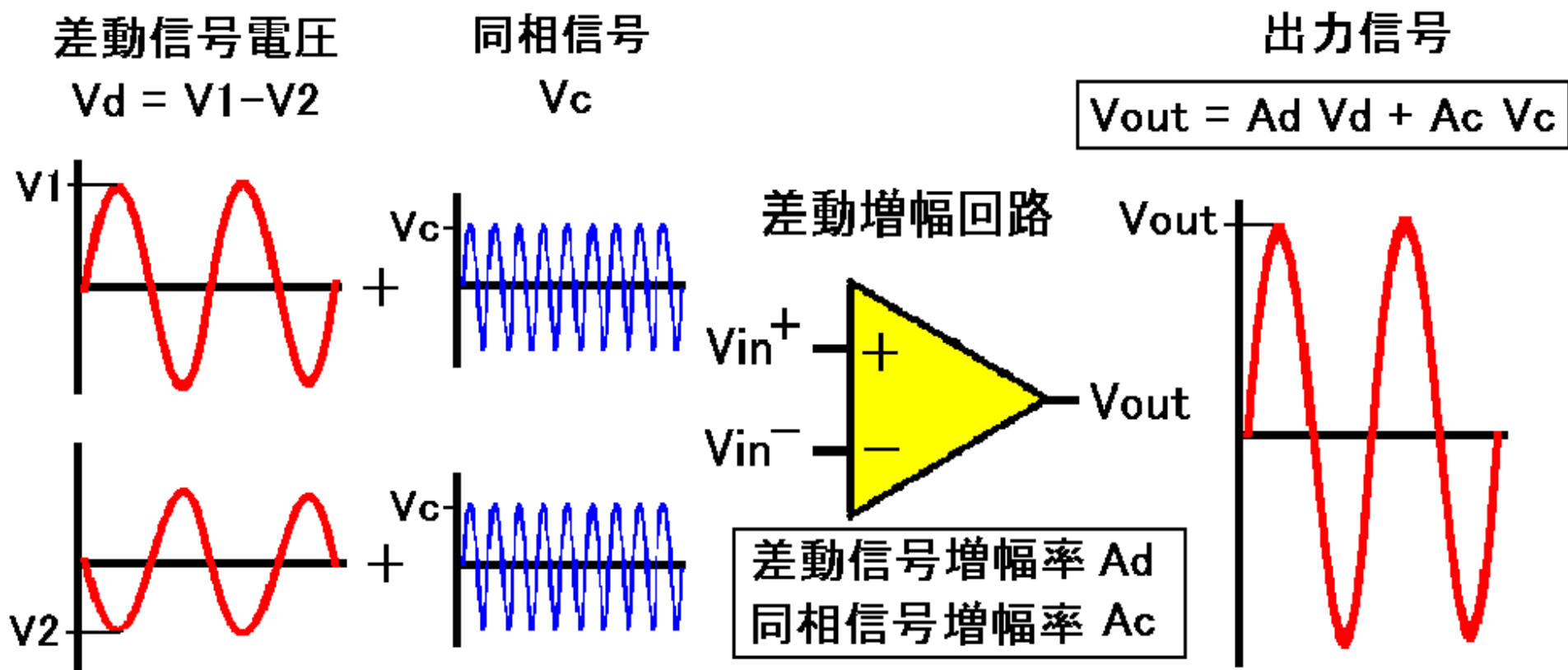
# 同相信号除去比（同相除去率、弁別比）

## CMRR（Common Mode Rejection Ratio）

差動増幅器の性能評価の指標。CMRRは大きいほど良い。

差動成分の増幅率を  $A_d$ 、同相成分の増幅率を  $A_c$  とすると、

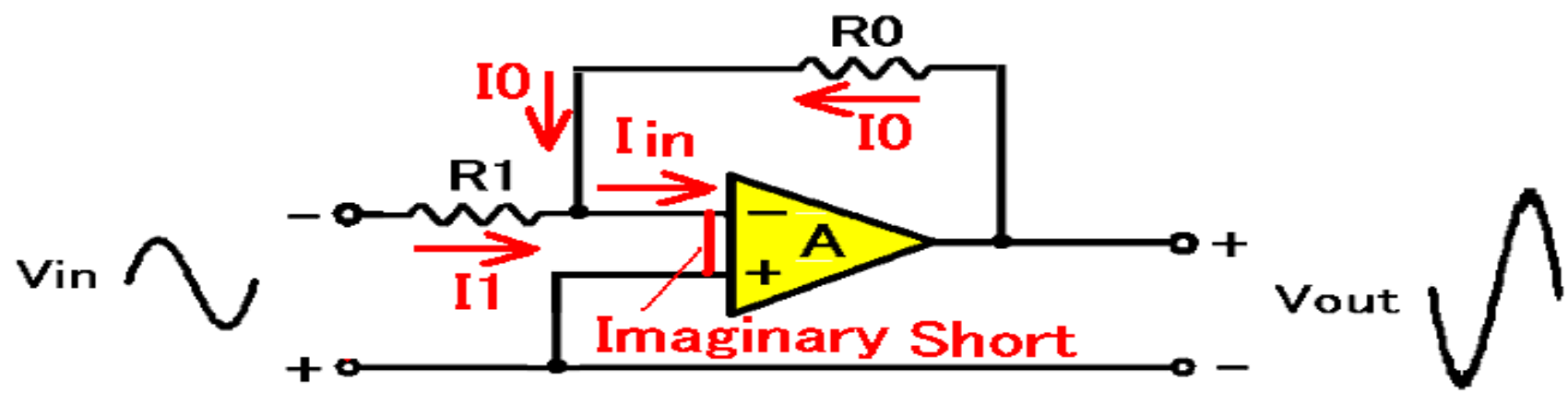
同相信号除去比（弁別比）  $CMRR = A_d / A_c$



# 負帰還増幅器 代表的な回路は反転増幅回路

反転増幅回路

増幅率は  $-R0/R1$



オペアンプの入力インピーダンスは極めて高いので、回路計算上は、入力電流は 0 と考える。

$$I_{in} = I_0 + I_1 = 0 \quad \boxed{I_1 = -I_0}$$

イマジナリ ショート を考えると、

入力端子間の電位差  $V_{in}$  は、オームの法則より、 $\boxed{R1 I_1}$

出力電圧は  $V_{out}$  は、 $\boxed{R0 I_0}$

$$\boxed{\text{増幅率} = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R0 I_0}{R1 I_1} = -\frac{R0}{R1}}$$

オペアンプは、負帰還回路を組むことを前提として作られたIC. そのため増幅率が非常に高い。負帰還回路にすると、増幅率は下がるが、以下の利点がある。

1. 回路内の抵抗  $R_0$ 、 $R_1$  の値を選択することで設計者が希望する増幅率の回路を作成できる。
2. オペアンプ自体の増幅度が温度上昇などで変動しても、増幅率が安定した回路になる。

3. 増幅率が安定した回路になるので、過剰な入力信号でも出力信号の波形が歪みにくい。  
(増幅率の直線性が良くなる。)
4. 極端に周波数が高い信号または低い信号が強くと入ると、負帰還をかけないオペアンプでは増幅率が不安定になる。負帰還をかけると、それが改善され、周波数特性が向上する。

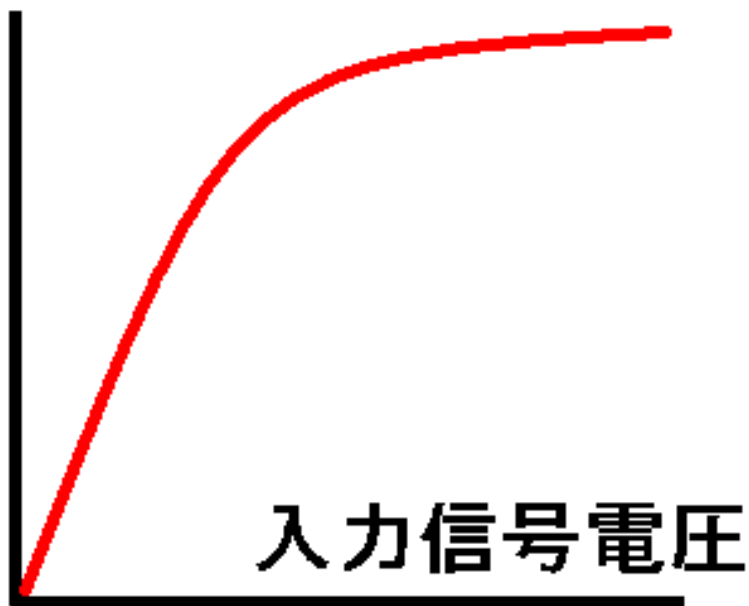
以上の特徴から、内部雑音(増幅器自体から発生する雑音)が少ない(S/Nの良い)増幅器になる。

# 増幅率の直線性

無帰還増幅では、入力信号が強いと出力が歪んで増幅率が低下し、直線性が損なわれる。

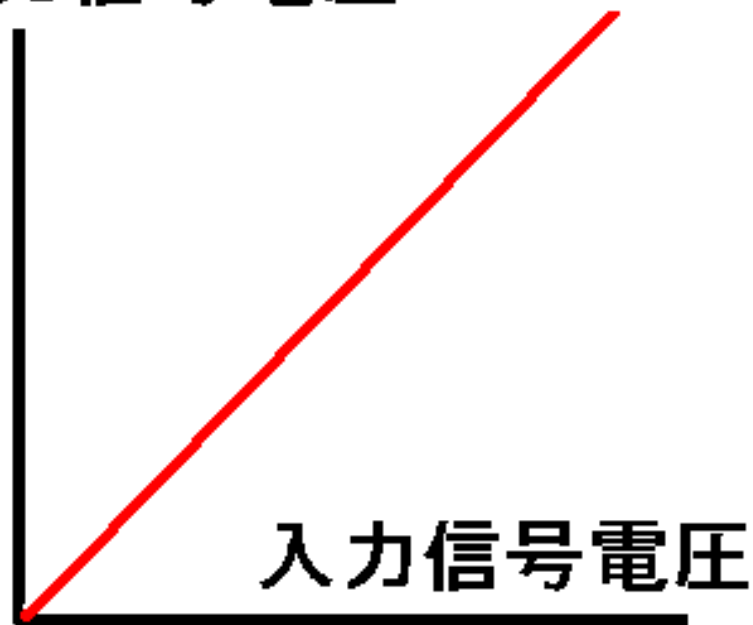
無帰還増幅器

出力信号電圧



負帰還増幅器

出力信号電圧



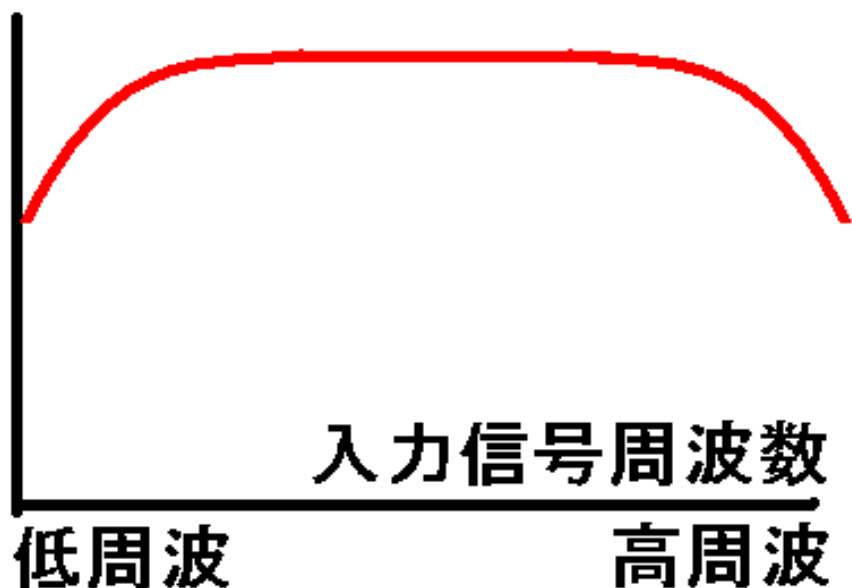


# 増幅率の周波数特性

無帰還増幅では、入力信号周波数が極端な場合、出力が歪んで増幅率が低下し、周波数特性が損なわれる。

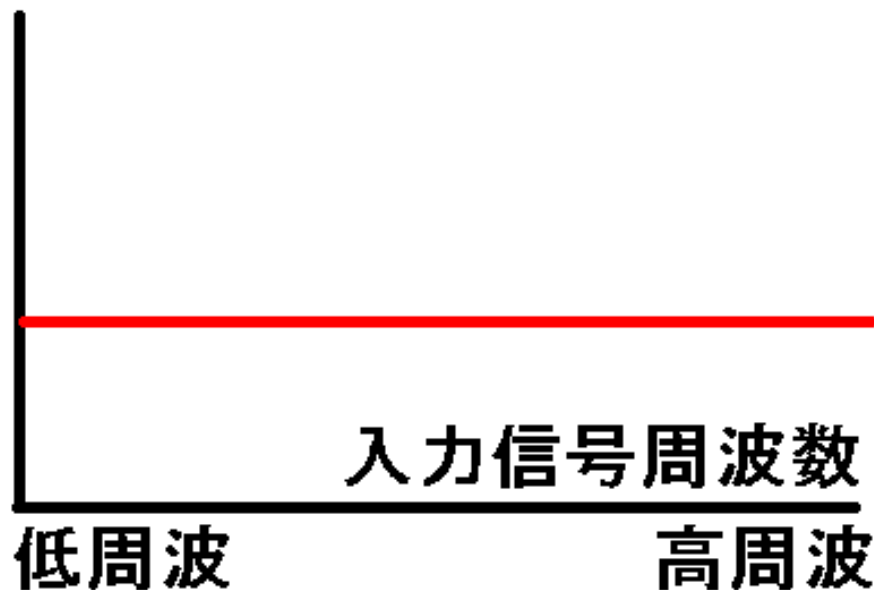
無帰還増幅器

増幅率



負帰還増幅器

増幅率



問題 82 抵抗変化を利用しているのはどれか。2つ選べ。

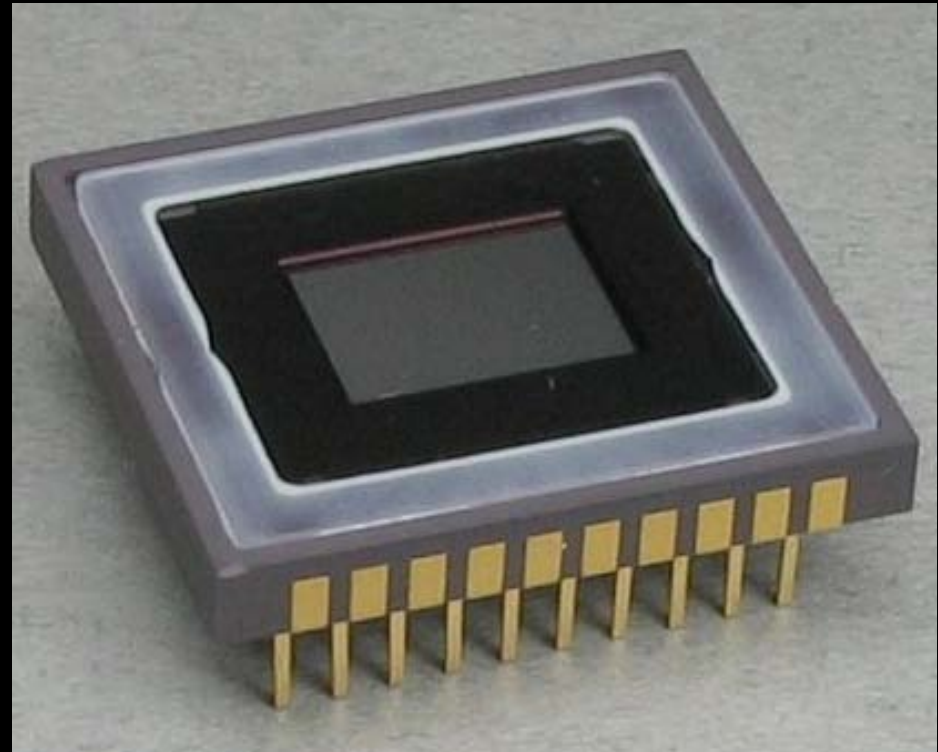
1. CCD
2. クラーク電極
3. サーミスタ
4. ストレンゲージ
5. マイクロホン

18年国家試験

解答 3, 4

## CCD (Charge Coupled Device Image Sensor)

CCD は固体撮像素子のひとつで、ビデオカメラ、デジタルカメラなどに広く使用されている CMOS FET を用いた半導体素子による画像センサである。



# サーミスタ

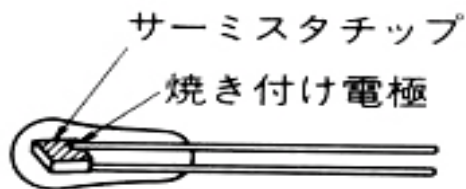
半導体の温度特性を利用した温度センサ。

温度が上昇すると抵抗値が下がる。(上がる製品もある)

体温計、呼吸モニタ、電子部品(CPUなど)の温度センサ

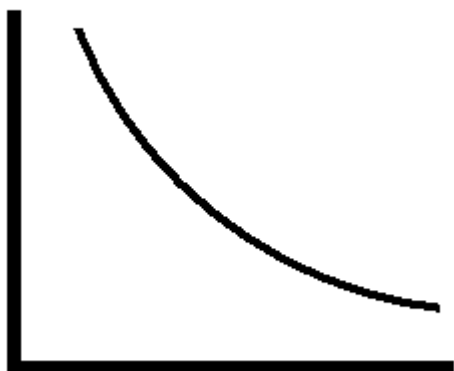


回路記号

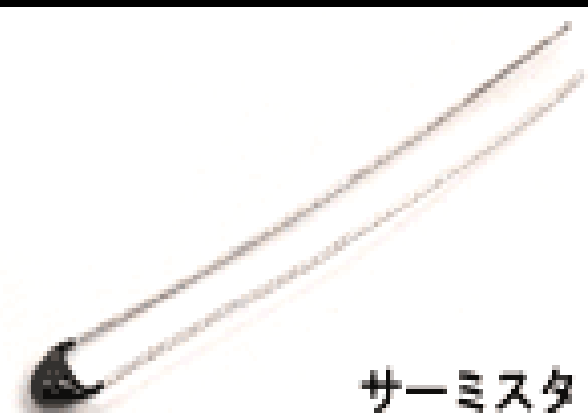


チップ形

抵抗  $\Omega$



温度  $^{\circ}\text{C}$



サーミスタ

## サーミスタ温度計

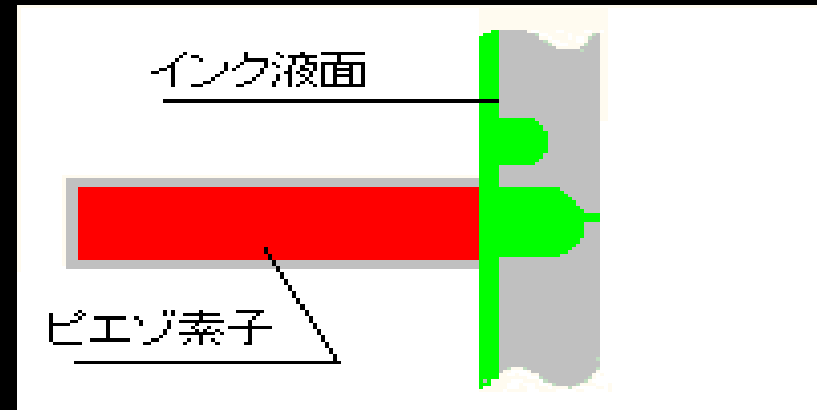


# 圧力センサ 歪みゲージ (ストレインゲージ)

ピエゾ素子 ピエゾ効果 (圧電効果 piezo-electric effect)

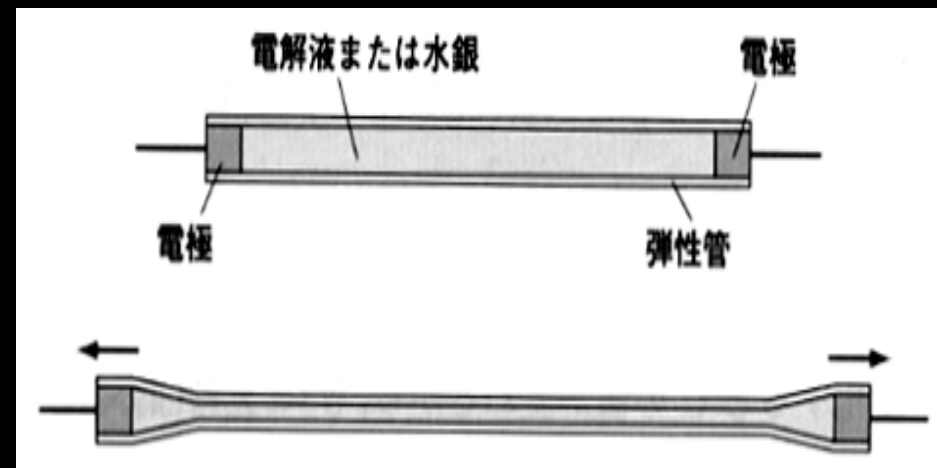
電圧をかけることにより、ある方向に伸びる材料。  
逆に圧力をかけて変形させると電圧が生じる。

シリコンゴム、セラミックスが使われる。  
血圧センサ、微小駆動装置  
(インクジェットプリンタなど)、  
電子ライターの点火などに利用される。



## 抵抗線ストレインゲージ

シリコンゴム管に電解液を封入した  
チューブ。  
引っ張ると電気抵抗が大きくなる。  
呼吸センサなどに利用。



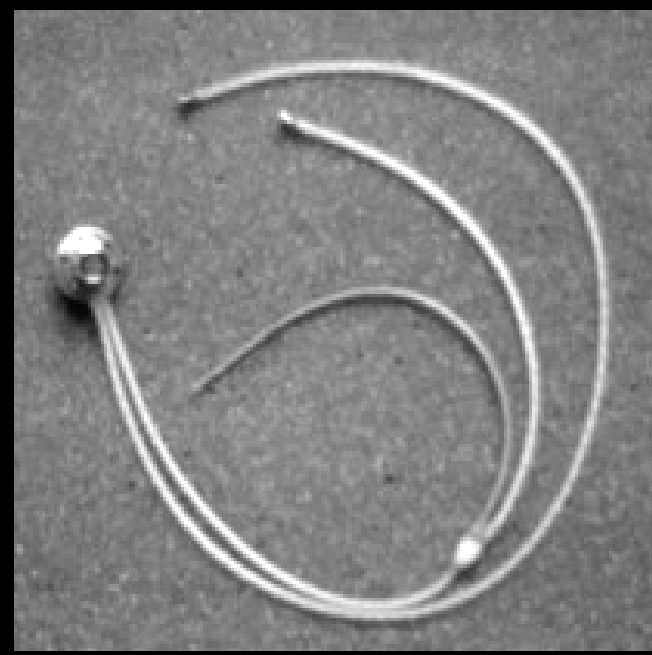
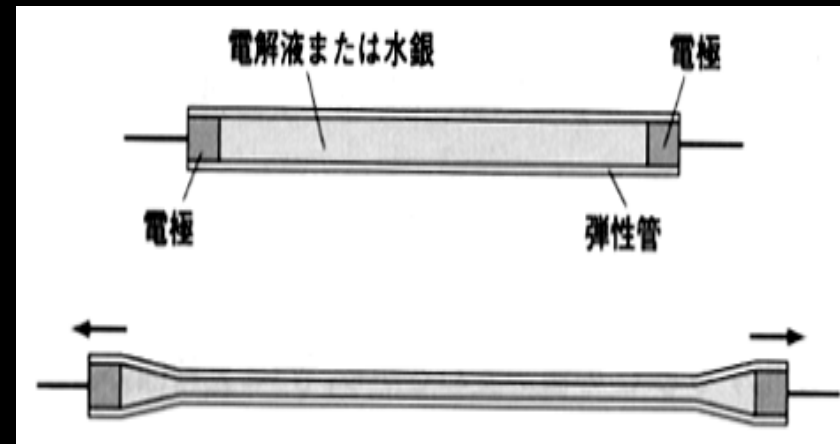
# ストレインゲージ (圧力、歪みセンサの一種)

strain【名】ひずみ, 変形.  
gauge【名】計測器

シリコンゴム管に電解液を封入したチューブなど。

引っ張ると電気抵抗が大きくなる。

**呼吸センサ、観血式血圧センサ** (患者の動脈に挿入されたカテーテルを介して血圧を測定)などに利用。



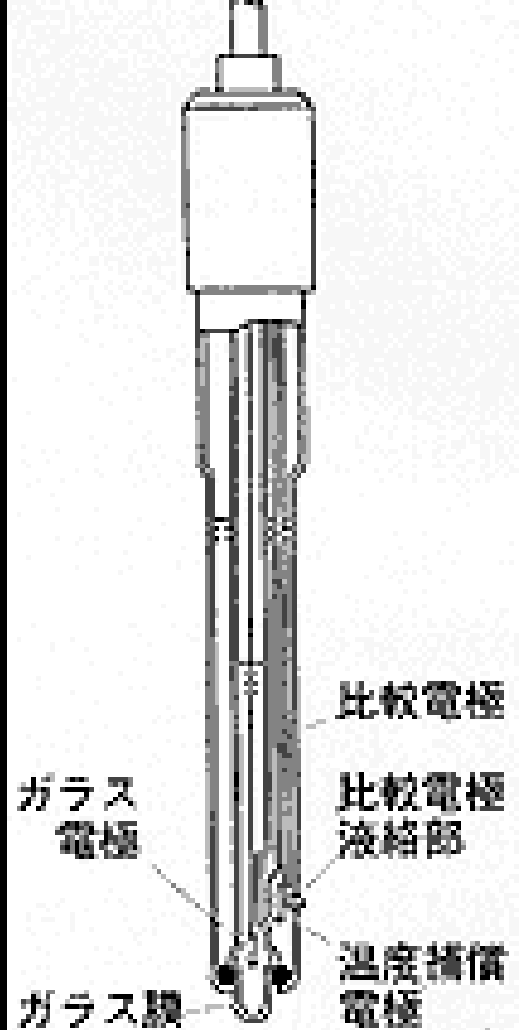
# 血液ガス分析に用いる電極センサ

動脈血のpH、O<sub>2</sub>濃度(PaO<sub>2</sub>)などを測定する。

pHとは水溶液中の水素イオン(H<sup>+</sup>)濃度を表わす単位であり、  
pH = -log<sub>10</sub>(水素イオン濃度)と定義。

## ガラス電極 pH測定

水溶液のpHに比例した起電力を発生する**ガラス電極**と、  
電位測定のための**基準電位を与える比較電極**を一對にして  
**試料水**に浸したとき、両電極(**Ag-AgCl電極**)間に発生する  
pHに対応する起電力を出力するpH電極と、  
目盛り付けするための機能を有しているpH指示変換器と  
を組み合わせて測定する方法。



## PO<sub>2</sub>電極 PO<sub>2</sub>測定

銀**Ag-AgCl電極**と**白金Pt電極**間に電圧を  
かけて、溶液中の酸素による還元電流を測定。  
(ポーラログラフ法)

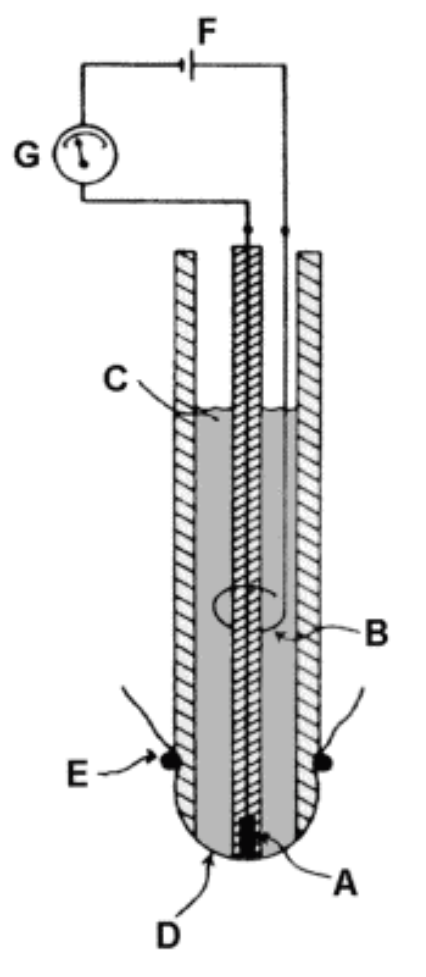


# $P_{O_2}$ 電極

# $P_{O_2}$ 測定

銀Ag-AgCl電極と白金Pt電極間に電圧をかけて、溶液中の酸素による還元電流を測定。(ポーラログラフ法)

酸素分圧測定用電極として白金電極を用いたものがクラーク電極である。



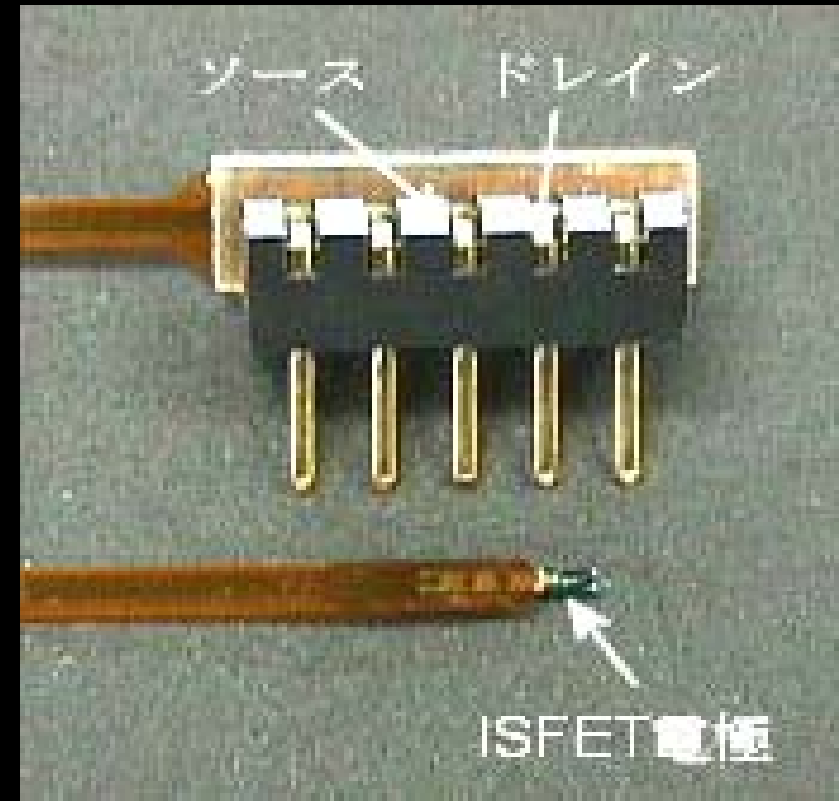


# イオンセンサ 化学センサ

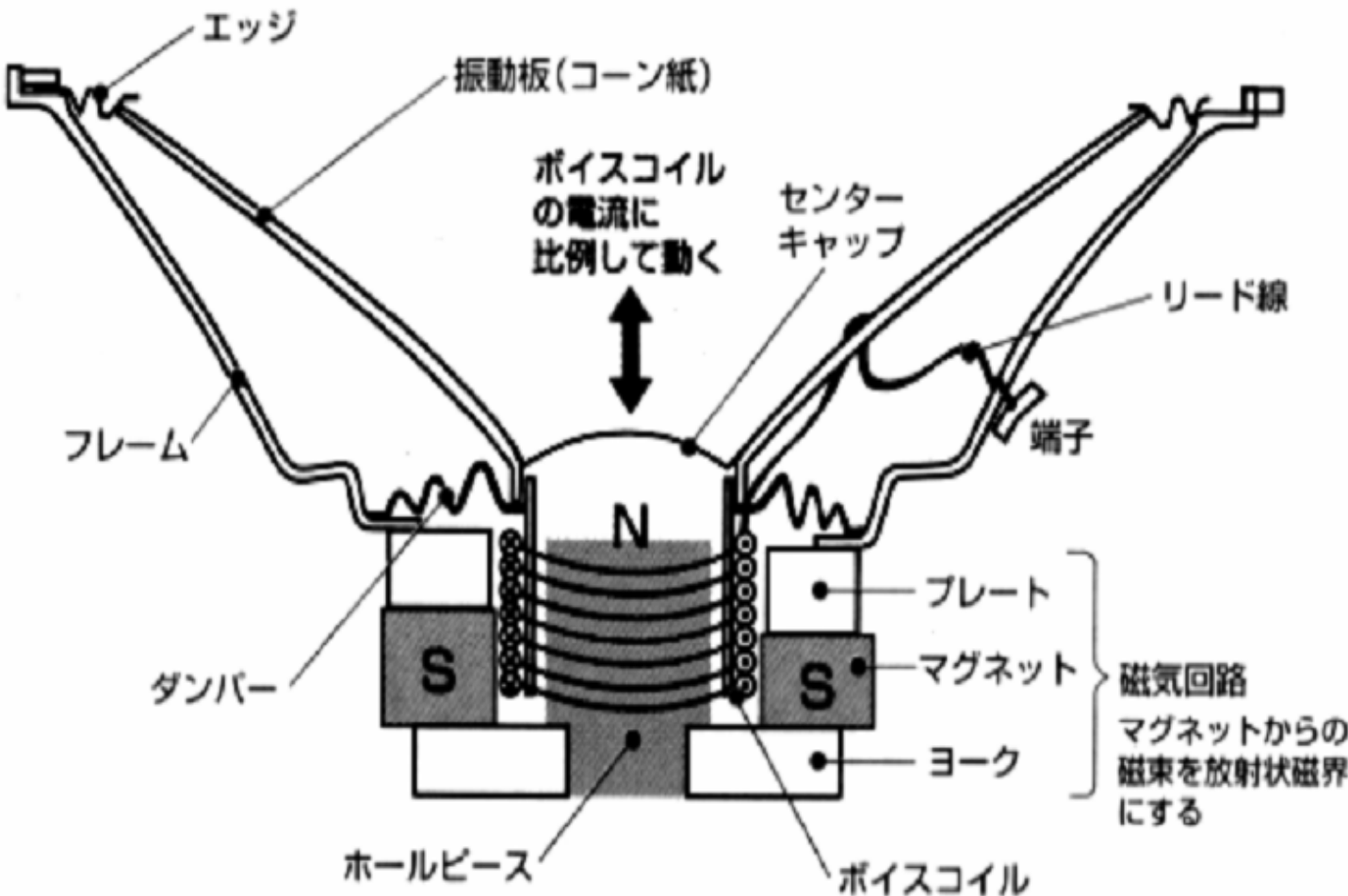
## ISFET Ion Sensitive Field Effect Transistor (イオン感応性 電界効果トランジスタ)

ISFETのゲート上の **イオン感応膜** に溶液が接すると、溶液中のイオン活量に応じて電圧が発生する。イオン感応膜に $\text{SiO}_2$  - $\text{Si}_3\text{N}_4$  を使用すると水素イオンに感応し、**pHセンサ**になる。

従来のガラス電極法に比べるとイオン感応膜を変えることで $\text{CO}_2$ 測定なども可能、測定時間が短い、装置の小型化、消耗品の減少などの利点がある。



ダイナミックマイク(可動コイル型マイク)は  
スピーカとほとんど同じ構造。



音波でコーンが振動し、磁石にはさまれたコイルも振動するので  
(コイルが動くのでダイナミック形という)、コイルに電流が発生する。

dynamic【形】動的な (⇔static) (電磁誘導)

トランスデューサとその変換される電気量の組合せで誤っているのはどれか。

1. 熱電対 ————— 電 流
2. 圧電素子 ————— 起電力
3. サーミスタ ————— 電気抵抗
4. 差動トランス ————— 相互インダクタンス
5. ストレンゲージ ————— 電気抵抗

熱電対は温度差を電圧に変換（ゼーベック効果）。

# 28年 国家試験

# 解答 3

商用交流によるマクロショックで最小感知電流 [mA] はどれか。

- |         |       |        |
|---------|-------|--------|
| 1. 0.01 | 3. 1  | 5. 100 |
| 2. 0.1  | 4. 10 |        |

# 18年 国家試験

# 解答 1, 5

問題 83 人体の電流に対する反応で正しいのはどれか。2つ選べ。

1. 商用電源 (50 ないし 60 Hz) は高周波電源 (100 kHz) に比べ電流閾値が低い。
2. 直流電流は人体の電気抵抗を  $1\text{ M}\Omega$  と想定して決められている。
3. マクロショックでは  $1\text{ mA}$  の電流で筋の持続収縮が起こる。
4. マクロショックによる心室細動の発生閾値は約  $10\text{ mA}$  である。
5. ミクロショックによる心室細動の発生閾値は約  $100\text{ }\mu\text{A}$  である。

## 感知電流

体表に流れる電流を感知するときの電流値。

商用100V交流で約**1mA**が、最小感知電流。

**交流の周波数が上がると、電流を感じにくくなる。**

(1kHz以上では周波数に比例して電撃閾値が上る。)

女性の方が低い電流を感知する(電撃閾値が低い)。

## 離脱電流

**10mA**以上では、筋肉の不随意収縮が生じ、自らの意思で動けなくなる。これを離脱電流という。

**100mA**以上の電流が体表を通ると、心筋に**100 $\mu$ A**以上の電流が通り、心室細動の危険がある。

許容量は、危険値の10%

## マクロショック

患者体表に着けた電極、患者の手などを介して受ける電撃。

許容電流は、 $100\ \mu\text{A}$  ( $1\text{mA}$  で電流を感じる(感知電流))

## ミクロショック

ICU、CCU、手術室などで、心臓カテーテルの電極を介して受ける電撃。 直接、心臓に流れる電撃。

許容電流は、 $10\ \mu\text{A}$  ( $100\ \mu\text{A}$  で心室細動の危険がある)

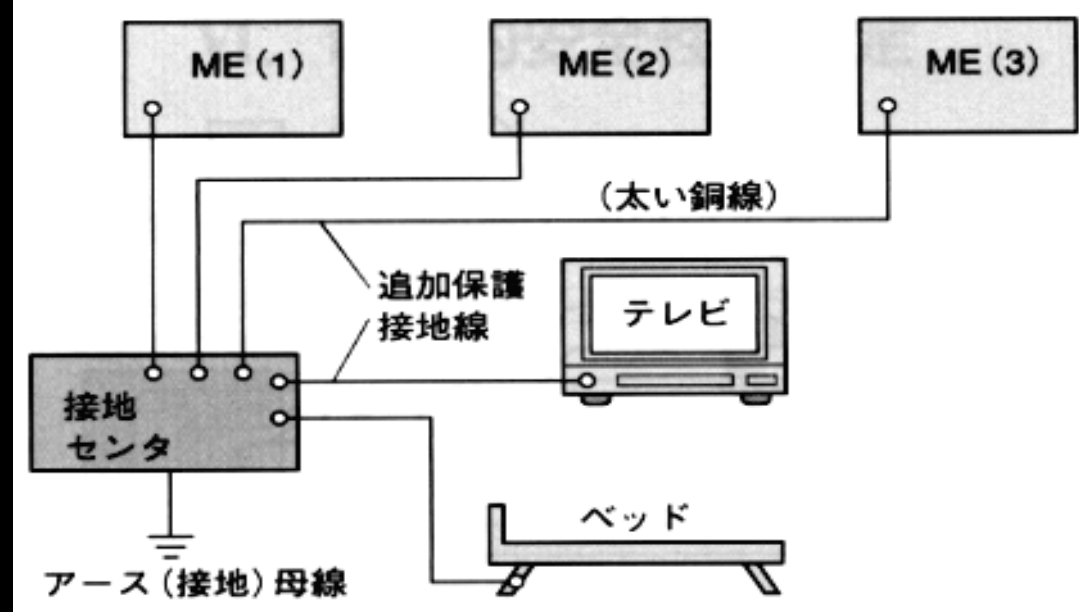
(正常の心筋収縮運動とは無関係な不規則運動)

# EPR システム

(等電位化接地システム)

Equipotential Patient  
Reference System

マイクロショック電撃事故を  
防ぐシステム



患者が複数の医用機器、テレビ、ベッドなどの金属を触れる可能性のある環境では、それらの機器の**アース電圧を同じ**にすると、**電撃事故を防止**できる。

**同じ接地端子(センタ)**に全ての機器やベッドの**アース**を繋ぐ。

アース線も同じ銅線を使う。(0.1  $\Omega$ /m 以下の太い銅線)

機器間の**アース電位差が10mV 以下**になれば、**体表抵抗は約1k $\Omega$** なので、**電撃は10 $\mu$ A 以下に抑制**できる。

問題 84 誤っている組合せはどれか。

1. 電力  $\text{-----}$  W
2. インピーダンス  $\text{-----}$   $\Omega$
3. コンダクタンス  $\text{-----}$  S
4. 増幅度  $\text{-----}$  dB
5. インダクタンス  $\text{-----}$  F



コンデンサの単位 : ファラッド (F)

コンデンサが蓄える静電容量(キャパシタンス)の限度。

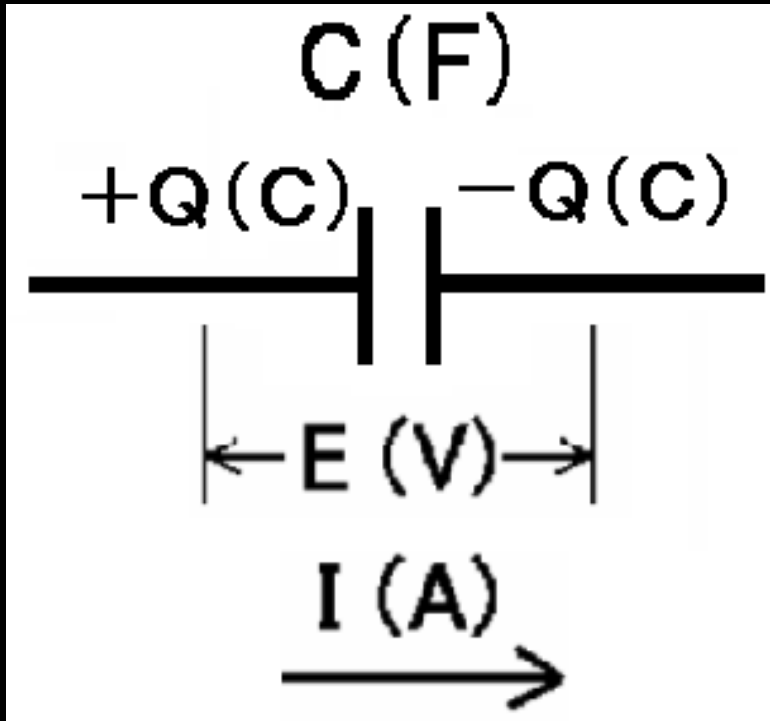
capacitance【名】静電容量      capacity【名】収容能力

1対の金属板に、それぞれプラスマイナス1(C)の電荷量が蓄えられた状態で1(V)の電圧を示すコンデンサの静電容量を1(F)とする。

静電容量C(F)のコンデンサの端子間電圧がE(V)のとき、蓄えられた電荷量Q(C)は

$Q = CE$        $C = Q / E$   
(電圧が1Vのときは、 $Q = C$ )

コンデンサの電荷量が静電容量に達すると、直流電流を通さない。



電力 P (Power) 単位 ワット W = J / sec

電気抵抗をもつものは、電流(直流でも交流でも)が流れると電気エネルギー(電力)を消費する。抵抗を通る電力は、熱(ジュール熱)になる。

ジュールの法則 Joule's law

1秒間、I (A) の電流を 電圧 E (V) で流した時の電力 P (W) は、

$$P = EI \quad E = IR \text{ を代入すると } P = RI^2$$

( P : 電力(W) E : 電圧(V) I : 電流(A) R : 抵抗( $\Omega$ ) )

t 秒間、電流を流した時の電力は、 P t (J)

1840年、ジュールは抵抗の中で電流が熱を発生することを見つけ、**熱がエネルギーであることを発見し、さらに、エネルギー保存則を発見した。**

エネルギー量(仕事量)の単位：ジュール (J)

$$1(W) = 1(V) \times 1(A)$$

$$1(J) = 1(W) \times 1(sec) = 1(V) \times 1(A) \times 1(sec)$$

$$W = J / s \quad (J = Ws \text{ (ワット秒)}) \quad (3600 J = Wh \text{ (ワット時)})$$

$$1 \text{ cal (カロリー)} = 4.18605 J$$

水1gの温度を1気圧の状態です1°C上げる熱量

# インピーダンス impedance 【名】

- 1 〔電気〕 インピーダンス

交流回路における電気抵抗；単位  $\Omega$ (オーム)

- 2 障害(物).

電気抵抗をもつものは、抵抗器のほかに  
コンデンサ(キャパシタンス)、コイル(インダクタンス)  
がある。

直流電流と異なり、交流電流には周波数があり、  
キャパシタンス、インダクタンスのインピーダンスは  
周波数(電流の振動数)で変化する。

人体から測定される電気信号（心電図、筋電図、脳波など）は、振動する電流なので交流電流。

人体の組織は電気的には、抵抗、コンデンサ、インダクタンス（コイル）を組み合わせた回路と同等の作用をする。

したがって、**臨床検査技師にとって交流電流に対する抵抗、コンデンサ、インダクタンスのインピーダンスの知識は必須。**

# inductance 【名】

誘導係数（電磁誘導を生じる程度、大きさ）、  
インダクタンス（= 誘導子（コイル））

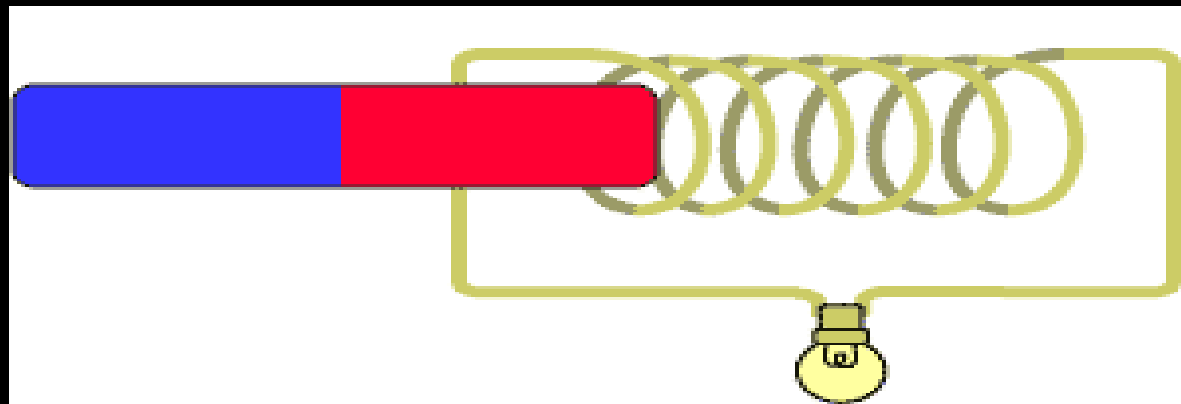
コイルの電氣的な本質はインダクタンスなので、  
電気回路学では、コイルを インダクタンス と呼ぶ。

# 電磁誘導 electromagnetic induction

コイルの中で磁石を動かすと電圧が生じる。  
コイルの電流が変化すると磁界が生じ電圧が発生する。

# induction 【名】

誘導、誘発



**インダクタンス (コイル)の単位 : ヘンリー (H)**

コイルに流れる電流が1秒間に1(A)変化したときに  
コイルに発生した電圧が1(V)のとき、  
コイルの(1巻き分の)インダクタンス L を1(H)とする。

**インダクタンス L (誘導係数 Inductance)**

コイルに流れる電流の変化で、コイル内部の磁界が  
変化し、コイルに電圧(起電力)が発生する性質

**起電力(V) =  $n L \frac{di}{dt}$  (n は巻き数)**

(= インダクタンス x 電流の1秒間の変化)

電流の変化率が大きいときに高い電圧が生じる

# 伝導度 (導電度) $G$ コンダクタンス

conductance 【名】〔電気〕コンダクタンス、電気伝導度

電気抵抗  $R$  (レジスタンス)の逆数。

電流の流れやすさを示す。

レジスタンス  $R$  の単位 オーム ( $\Omega$ )

コンダクタンス  $G$  の単位 ジーメンス ( $S$ )  $G = 1 / R$

オームの法則  $E = IR \rightarrow E = I / G$ 、  $I = E G$

( 電流 = 電圧  $\times$  電流の流れやすさ )

コンダクタンスを使うと、抵抗器の並列回路の計算に便利。



# 抵抗回路の計算法

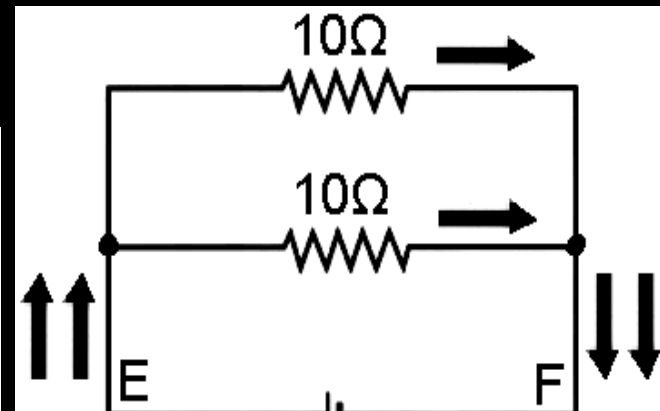
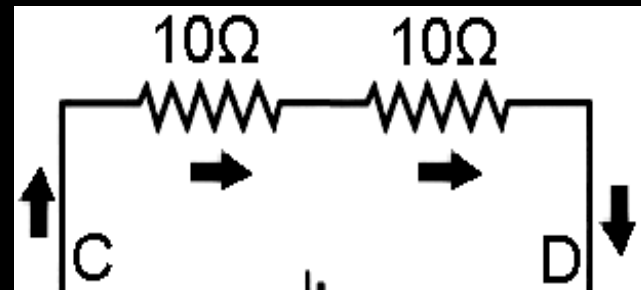
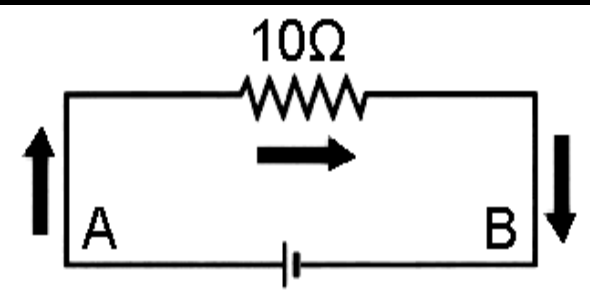
( 直列 = 流れにくさの和、 並列 = 流れやすさの和 )

10Ωの抵抗を2本直列接続したCD間の抵抗は、AB間より大きい。電流の流れにくい場所を連続して電流が通らなければいけないので、CD間の抵抗は、 $10 + 10(\Omega)$

10Ωの抵抗Rを2本並列接続したEF間の抵抗は、AB間より小さい。電流の流れやすさが  $1/10 (S)$  の回路を2本通れるので流れやすさは2倍になる。

EF間のコンダクタンスは、 $1/10 + 1/10 = 2/10 (S)$

抵抗(レジスタンス)は、 $10/2 = 5(\Omega)$



**デシベル dB : 利得 ゲイン ( gain G ) の単位**

**電力など、マイナスの値を取らない物理量の場合、**

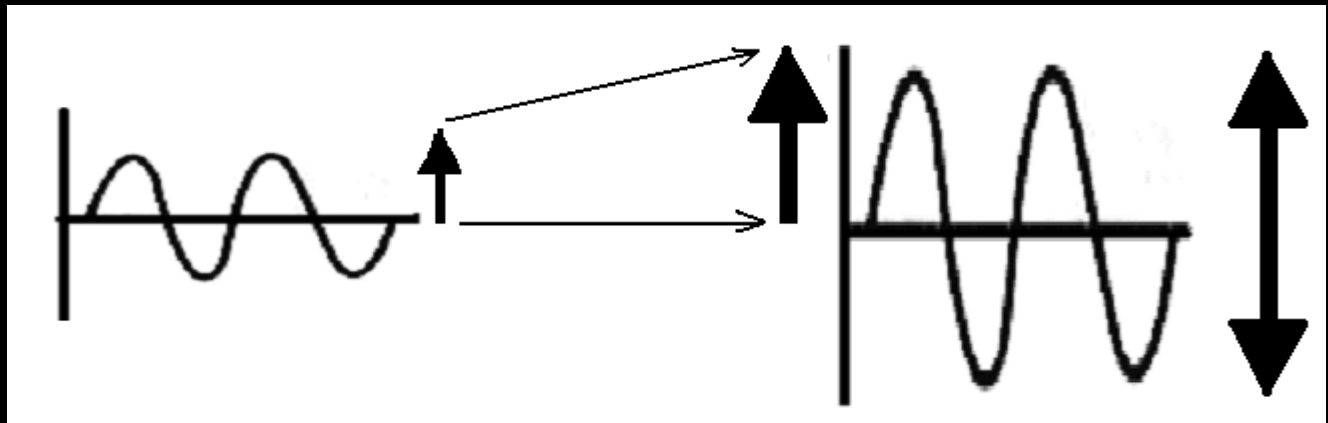
$$G = 10 \log_{10}(\text{出力} / \text{入力})$$

( G の10分の1の値が、**増幅率の対数(ゲイン)** )

**電圧や電流など、マイナスの値もある物理量の場合、**

$$G = 20 \log_{10}(\text{出力} / \text{入力})$$

**マイナス方向にもゲインが広がるので、2倍にする。**



単位について正しいのはどれか。

1. 起電力 ————— ボルト [V]
2. 電 荷 ————— ヘンリー [H]
3. 静電容量 ————— クーロン [C]
4. 電 力 ————— ジュール [J]
5. 電気抵抗 ————— ジーメンズ [S]

問題 85 二進法で11と11を加えた値はどれか。

1. 100      2. 110      3. 111      4. 1000      5. 1111

$$\text{2進数 } 11 = 2+1 = 3$$

$$\text{2進数 } 100 = 4+0+0 = 4$$

$$\text{2進数 } 110 = 4+2+0 = 6$$

$$\text{2進数 } 111 = 4+2+1 = 7$$

$$\text{2進数 } 1000 = 8+0+0+0 = 8$$

$$\text{2進数 } 1111 = 8+4+2+1 = 15$$

# もっと単純な解答法

## 2進数の筆算

$$\begin{array}{r} 1 \\ +) 1 \\ \hline 10 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 11 \\ +) 11 \\ \hline 110 \end{array}$$

## 2進数から10進数への変換

2進数で ABCDEF と表示されていたら、(A~F は 1か0)

10進数にする方法は、

$$A \times 2^5 + B \times 2^4 + C \times 2^3 + D \times 2^2 + E \times 2^1 + F \times 2^0 \\ = A \times 32 + B \times 16 + C \times 8 + D \times 4 + E \times 2 + F$$

10進数から2進数への変換は、この反対の作業。

数字を越えない最大の2の階乗の数を探す。11ならば、8。

数字から、その2の階乗を引いて同様の操作を繰り返す。

11ならば、 $11 - 8 = 3$ 、

3を越えない最大の2の階乗は2。  $3 - 2 = 1$

したがって、 $11 = 8 + 2 + 1$

2進数で表すと、1011

問題 87 3原色を組合せて画素の表示を行うディスプレイで、それぞれの色が4

ビットの階調で表されるとき、画素の表現できる色の数はどれか。

1. 12
2. 64
3. 256
4. 1,024
5. 4,096

平成18年 国家試験

赤の情報量のビット数は4

青の情報量のビット数は4

緑の情報量のビット数は4

情報量のビット数の合計は、 $4\text{bit} + 4\text{bit} + 4\text{bit} = 12\text{bit}$

$12\text{bit} = 2^{12}$  の情報量

解答 5

89. 光の3原色を使って色を作るとき、一つの原色につき4 bitの明度変化を与えた場合に作ることができる色の数はどれか。

- ①  $3 \times 4$
- ②  $3 \times 2^4$
- ③  $2^8$
- ④  $2^{12}$
- ⑤  $2^{64}$

4 bit

4 bit

4 bit

合計 12 bit

$2^{12}$  通りの情報を入れられる。

答 ④



1 バイト (byte) は何ビット (bit) か。

1. 4 ビット
2. 8 ビット
3. 16 ビット
4. 32 ビット
5. 64 ビット

〔注解〕 情報量の単位をビット (bit) といい、コンピュータの情報のある尺度を表現するのに「バイト」 (byte) が用いられる。1 バイト = 8 ビットを単位としている。

問題 82 2バイトで表すことができる情報の個数として正しいのはどれか。

1. 16
2. 256
3. 1,024
4. 4,096
5. 65,536

解答 5

平成17年 国家試験

1 byte = 8 bit

2 byte = 16 bit =  $2^{16}$  = 65536 の情報

## 例題

1 bit (情報量は $2^1=2$ )の患者の分類情報として、  
男か女か、という情報があって、

2 bit (情報量は $2^2=4$ )の患者の分類情報として、  
血液型が、AかBかABかO、という情報が加わると、  
男A、女A、男B、女B、男AB、女AB、男O、女O の、  
8種類の患者分類情報ができる。

1 bitの情報に2 bitの情報を加えると  
3 bitの情報になって、情報量は $2^3=8$ 種類に増える。

情報量の計算法は、

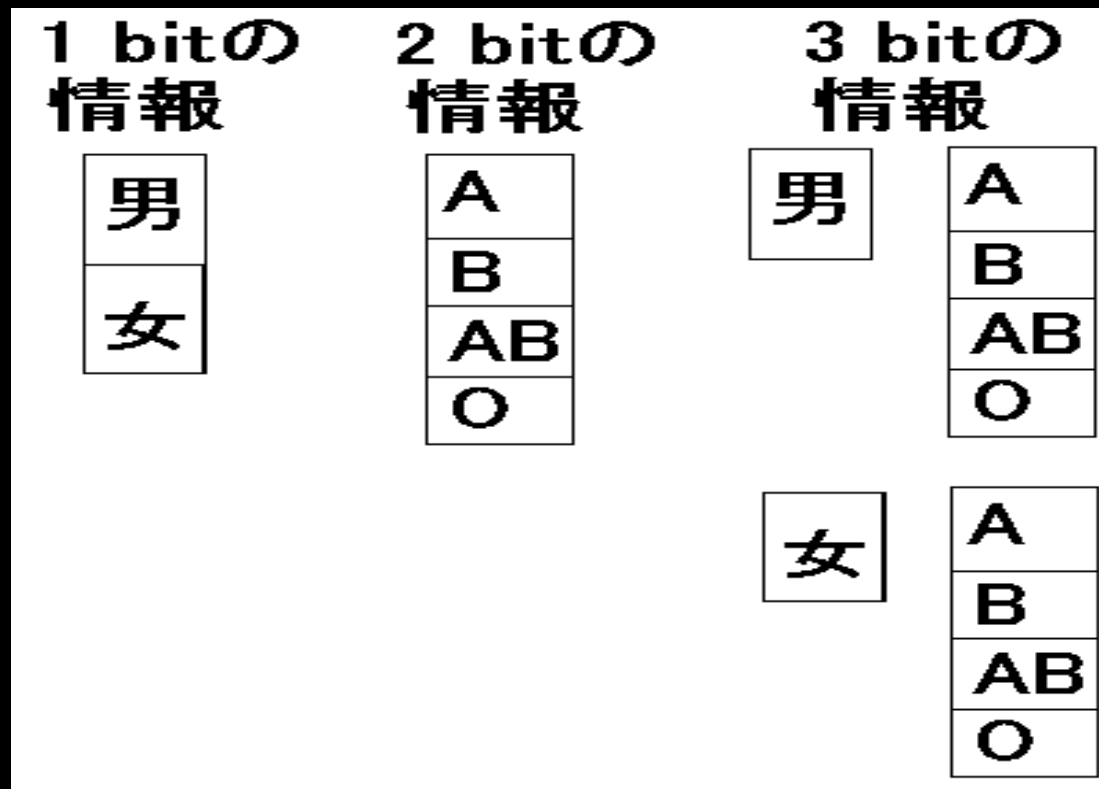
$$2^1 \times 2^2 = 2^{1+2} = 2^3 \quad \text{または} \quad 1 \text{ bit} + 2 \text{ bit} = 3 \text{ bit}$$

**bit =  $\log_2$ (情報量)**

logは掛け算を足し算に変える関数

n bit の情報量に、m bit の情報量を加えると  
n+m bit の情報量になる。

$2^n$  の情報量に、 $2^m$  の情報量を加えると  
 $2^{n+m}$  の情報量になる。 ( $2^{n+m} = 2^n \times 2^m$ )



2つの検査から得られる情報量がそれぞれ3ビットと4ビットのとき、両方の検査から同時に得られる最大の情報量はいくらか。

1. 3ビット
2. 4ビット
3. 5ビット
4. 7ビット
5. 12ビット

〔注解〕 ビット(bit)は2進法(binary digit)の略であるから、3 bit は  $2^3$ 、4 bit は  $2^4$  の情報をもつことになる。したがって、同時に得られる情報量の最大は  $2^3 \times 2^4 = 2^{3+4}$  から、 $2^7$  となり、7 bit となる。

8種類の病名を符号化するのに最低必要なビット数はどれか。

1. 1ビット
2. 2ビット
3. 3ビット
4. 4ビット
5. 8ビット

情報量  $8 = 2^3$     ビット数は3

ビット数  $= \log_2(\text{情報量}) \Leftrightarrow n \text{ bit} = 2^n \text{ の情報量}$

解答 3

医用画像処理で光の明るさを16段階に数値化できる最大ビット数はどれか。

1. 1
2. 2
3. 4
4. 8
5. 16

情報量  $16 = 2^4$  ビット数は4

ビット数  $= \log_2(\text{情報量}) \Leftrightarrow n \text{ bit} = 2^n \text{ の情報量}$

解答 3

情報をコード化するとき、9ビットで表現できるコードの種類として正しいのはどれか。

1. 10
2. 18
3. 128
4. 256
5. 512

9ビットの情報量 =  $2^9 = 512$

解答 5