

増幅作用をもつのはどれか。

- a トランジスタ
- b 変圧器
- c コンデンサ
- d FET
- e 三極真空管

- |            |            |
|------------|------------|
| 1. a, b, c | 2. a, b, e |
| 3. a, d, e | 4. b, c, d |
| 5. c, d, e |            |

〔注解〕 a p形，n形半導体をpn接合またはnp接合ダイオードをサンドイッチ構造にしてnnp形またはpnp形としたものがトランジスタであり，電流制御形の増幅素子である。

b コイルによって構成されており一次コイルと二次コイルの巻数の比によって一次コイル側の電圧を二次コイル側で上げたり下げたりすることができる。しかし電力は変化しないため，増幅作用があるとはいえない。

c コンデンサはトランジスタや真空管などの能動素子と組合せ使用したり，単体で使用し電荷の充放電作用として使用する増幅作用のない受動素子である。

d, e n形またはp形半導体で構成されているが、三極真空管同様、入力抵抗はトランジスタに比較して非常に大きく、電圧増幅用素子として心電計や脳波計のような生体電位計測機器に用いられている。

**答 3**

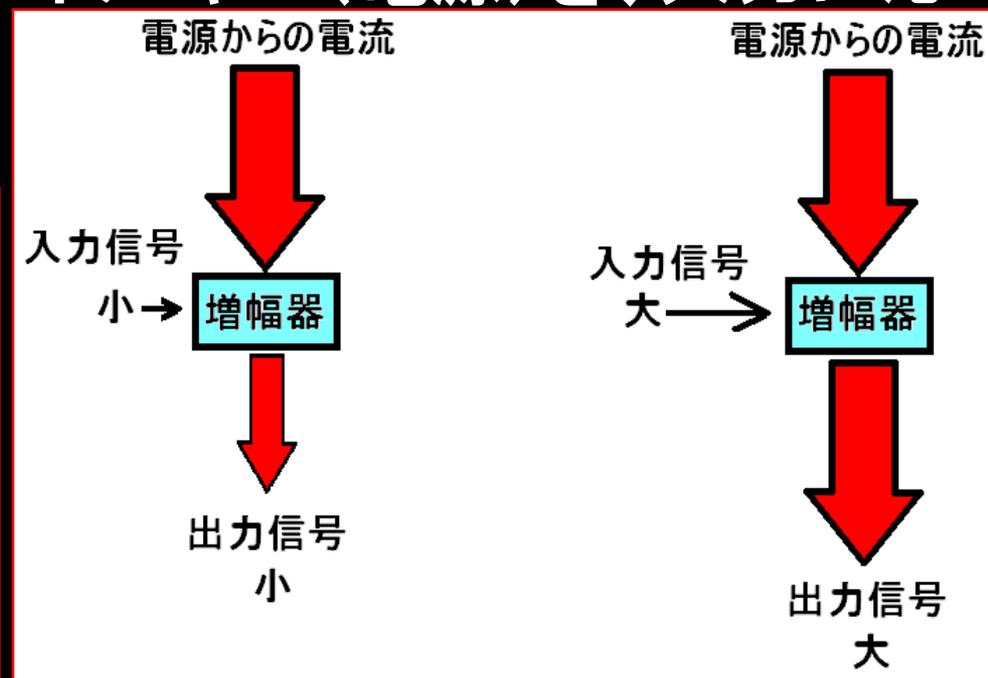
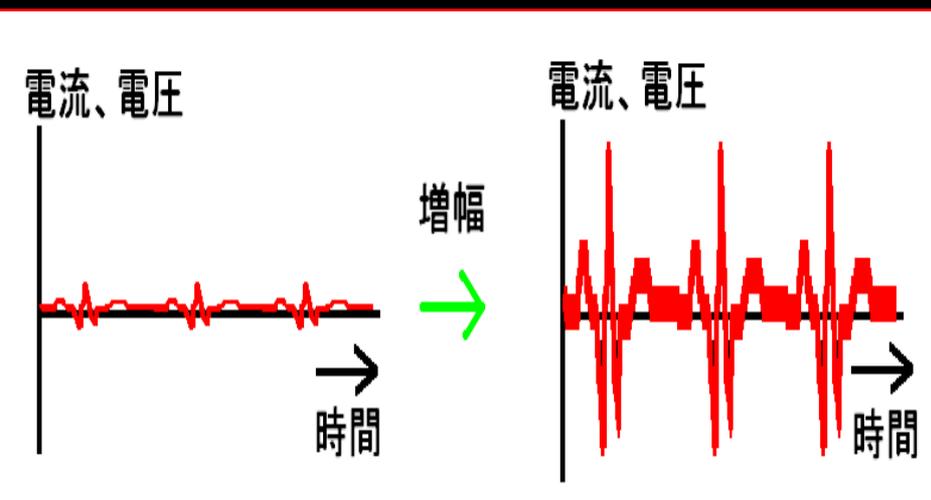
〔関連事項〕 FET(Field Effect Transistor)には J-FETとMOS FETがあるが、雑音レベルが低いという点で、生体計測用にはJ-FETが用いられている。

# 増幅 amplification 増幅器=アンプ amplifier

何らかの信号の入力に対して元の信号より大きな出力信号を得ること。

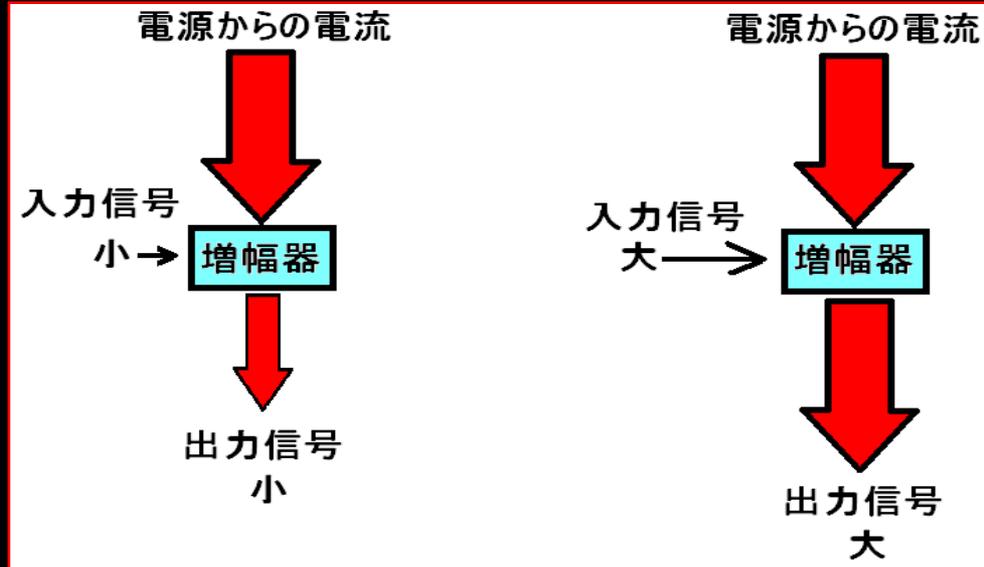
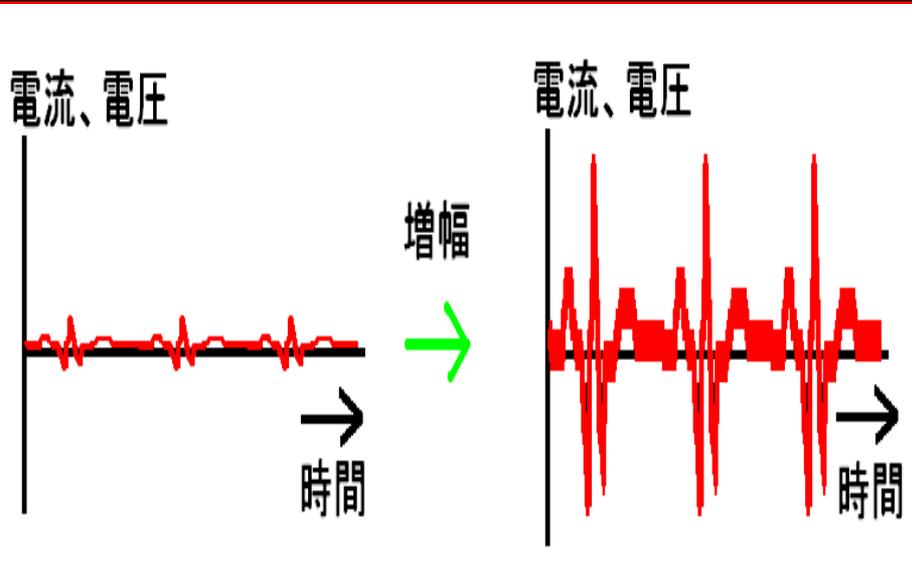
心電図や脳波などの微弱な電流を、観察しやすいように大きな電流や電圧の信号に変換する。

入力信号のもつエネルギーそのものを拡大するのではなく、増幅器に外部から供給したエネルギー(電源)を、入力に応じて制御すること。



増幅器は、水道の蛇口に似た装置と理解して下さい。  
増幅器という名称だが、増幅器自体は何も増幅していない。  
別ルートの回路から流れてきた電流を、  
増幅したい入力電気信号に比例させて、次の回路に多く  
流して、見かけ上、電気信号を大きくして出力しているだけ。

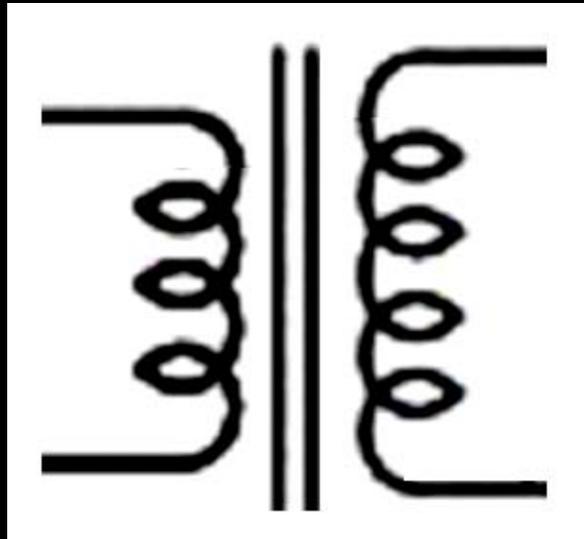
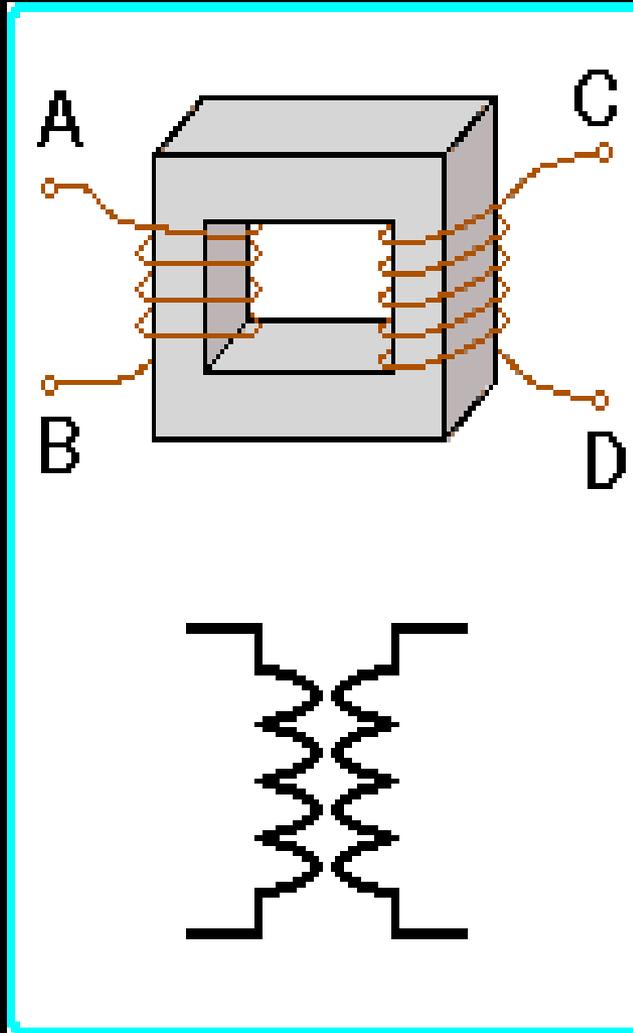
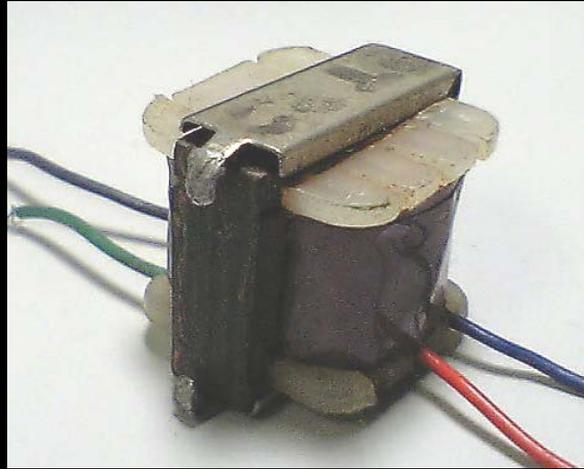
上水道から流れてきた水圧の高い水を、蛇口を調整して  
使いたい水量を変化させて下流へ流しているのと似た操作。  
蛇口自体は水を発生していない。



# 変圧器 (トランス)

交流電圧を変化させる。

鉄芯に複数のコイルを巻いたもの。



# 交流 : Alternating Current AC

Alternating【形】交互の ; Current【形】流れ;

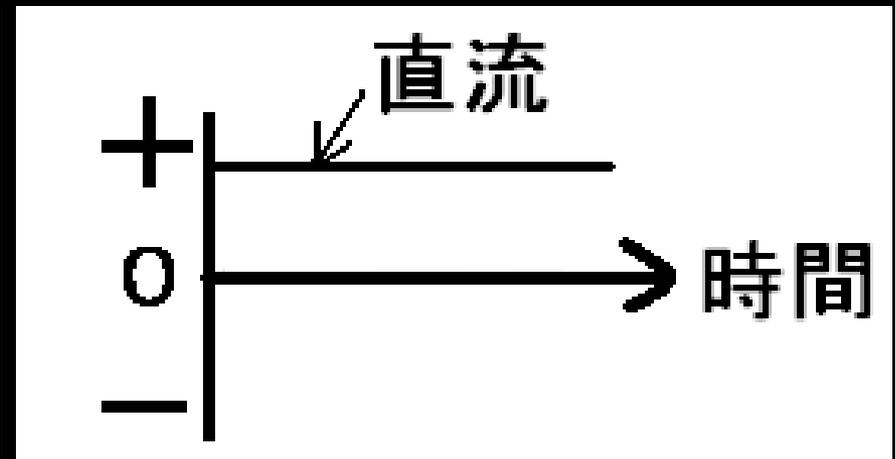
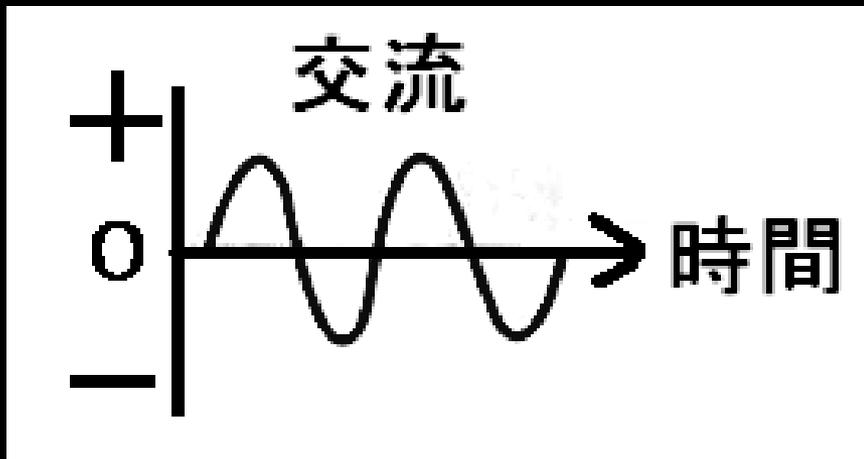
時間とともに、向きが変化する電流や電圧

コンセントに流れている商用交流電流、

心臓や脳から体表に流れる心電図や脳波などの生体電流。

交流の反対は**直流(Direct Current; DC)** Direct【形】まっすぐな ;

時間によって流れる方向(正負)が変化しない電流や電圧



**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)**

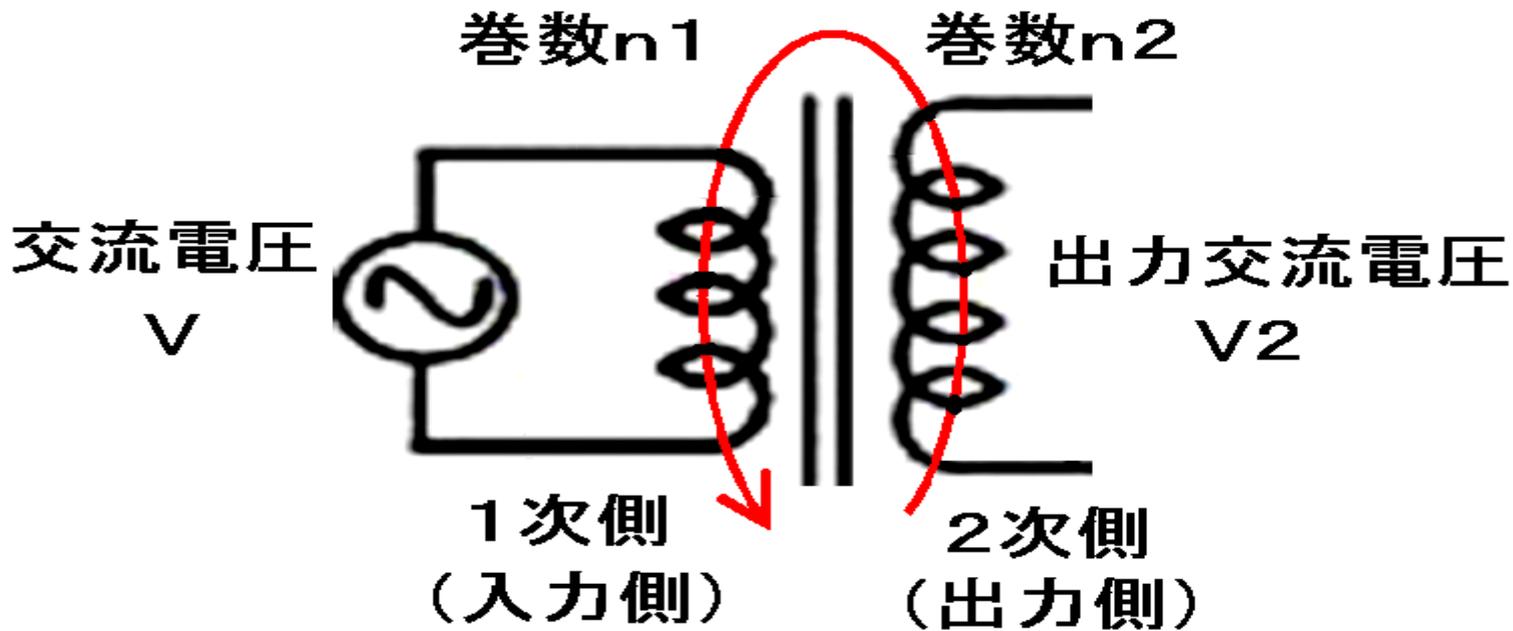
コイルに流れる電流 I の1秒間の変化で、コイル内部の  
磁界が変化し、コイルに交流電圧 V が発生するとき、

**電圧 (V) = n L dI/dt (n は巻き数)**

(= インダクタンス x 電流の1秒間の変化)

(L は、コイルの大きさや形状で決まる値。)

**逆にコイルに交流電圧 (V) が加えられた時の、  
コイルに流れる電流の時間変化も、この式が成り立つ。**



1次側コイルと2次側コイルの、インダクタンス  $L$  の比が( **相互インダクタンス**)出力電圧を決定する。

$$V = n1 L \frac{dI}{dt}$$

$$V2 = n2 L \frac{dI}{dt}$$

したがって、出力電圧  $V2 = n2/n1 \times V$   
出力電圧は巻き数の比率( **巻線比**)で決まる。

直流電源について正しいのはどれか。

1. 直流を交流に交換して供給する。
2. 負帰還回路が安定化に用いられる。
3. 整流回路にはフォトダイオードを用いる。
4. リップル率はトランス(変圧器)の巻線比で決まる。
5. 両波整流は片波(半波)整流よりリップル率が高い。

〔注解〕 直流電源は乾電池のように時間的に常に一定の方向の電流を供給する電源であり、一般には交流電源から整流直流電源に変換したものが使用される。

交流を直流に変換する整流は基本的には図102に示す整流用ダイオードによる半波整流(負の部分を除く)が使われるが、交流による脈動交流(リップル)をより少なくするためには図103のような整流ダイオードを4つ使用した小電力用のブリッジ整流回路による全波(両波)整流回路が用いられる。さらに電源のリップルを少なくして、電源電圧の変動を少なくするために負帰還回路を併用した安定化回路が使用されている。

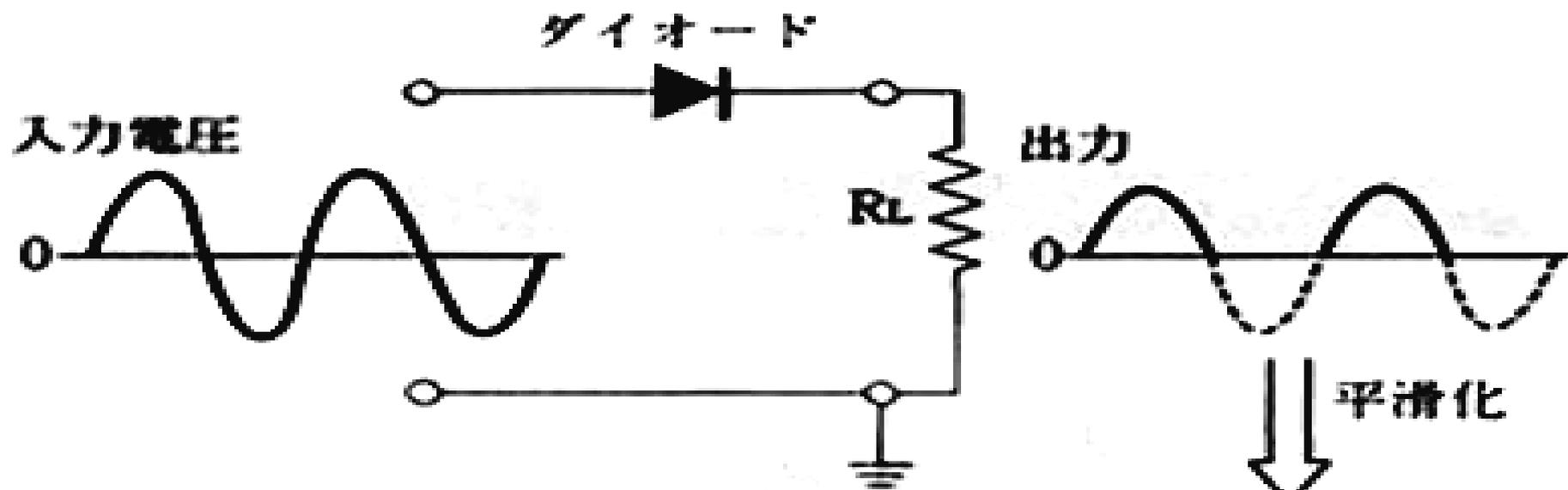


図 102. (問 104)

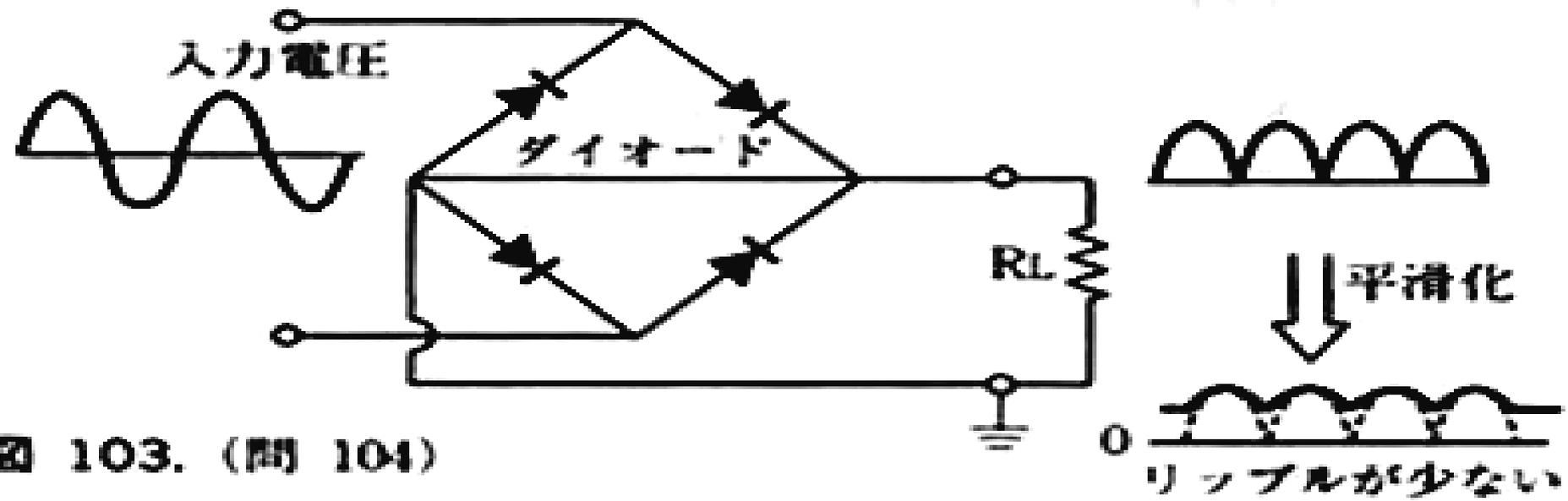


図 103. (問 104)

なぜ、電力会社から送られる電気は交流なのか。

電力(電気エネルギー) = 流れる電子の量 = 電圧 x 電流

電力(Power)  $P = E \times I = R \times I^2$  単位はワット(W)

送電線で電力を送っているが、送電線の抵抗値が問題。

電流を多く流すと送電線の電気抵抗で、熱が発生する。

電流の2乗に比例するエネルギーが熱で消費されてしまう

(ジュール熱)。発熱によるエネルギー損失を減らすために

電流を減らし、高電圧で送れば電力を効率的に送れるが、

(10個の電子を流すとき、10個まとめてゆっくり送るほうが、

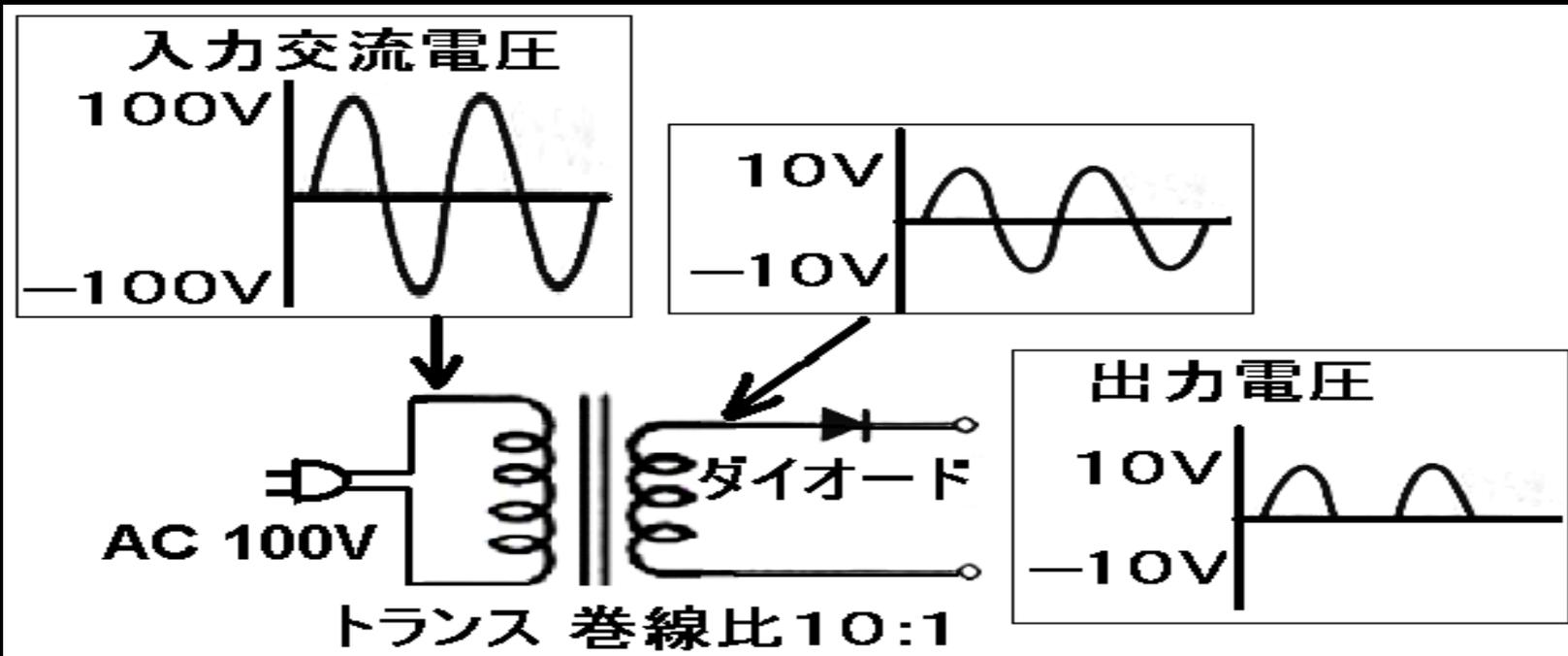
10倍のスピードで1個ずつ送るより発熱しない)

直流電圧は、トランスで電圧を下げられない。

数万ボルトの高電圧を直接、家庭電源に使うのは危険。

そのため数万~数千ボルトの交流が送電に使われている。

電柱のトランスで 100V に下げた交流電圧が家庭電源に。



## 最も簡単な電源回路

交流 (AC) 100V から、電子回路を動かすための **直流電圧** を取り出す。

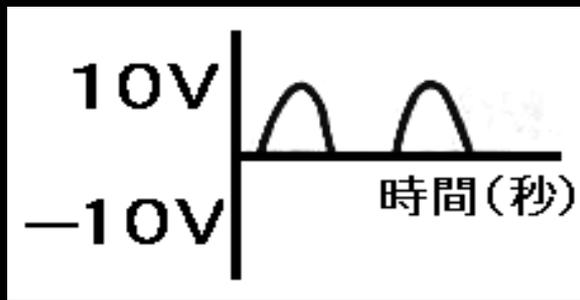
まず、欲しい直流電圧と同じ電圧の交流をトランスで得る。

次に、ダイオードを1本つなぐ。

**ダイオードは電流を1方向にだけ通すので、負の電圧は 0V になる。**

**交流の半分だけ取り出す整流** (交流を直流にする) なので、

**半波整流** という。



これを直流と呼べるか。

直流とは、電圧が時間変化しないのが理想。

時間変化する成分を含むので脈流という。

時間変化する成分をリップルという。

リップル成分の割合をリップル率という。

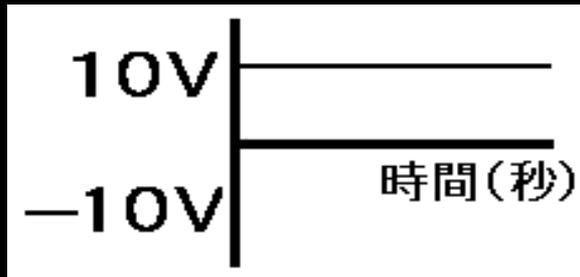
リップル率

= リップル電圧(r) / 定格電圧(V)

ripple 【名】 さざ波、小波

最もリップルの多い脈流

リップル率100%



理想的な直流

リップル率 0%



$$\text{リップル率} = \frac{r}{V} \times 100 (\%)$$

リップル率の高い電源は、  
電子回路の動作を不安定にしたり、信号のノイズを増やす。  
家庭電源と同じ50ヘルツのノイズを、**ハム**(hum)という。

hum 【名】

(ハチ・機械が)ブンブン音をたてる、ブーンとうなる音。  
(50ヘルツの音は、ブーンと聞こえる。)

リップル率を下げるために、  
いろいろな**平滑化回路**が考案されている。

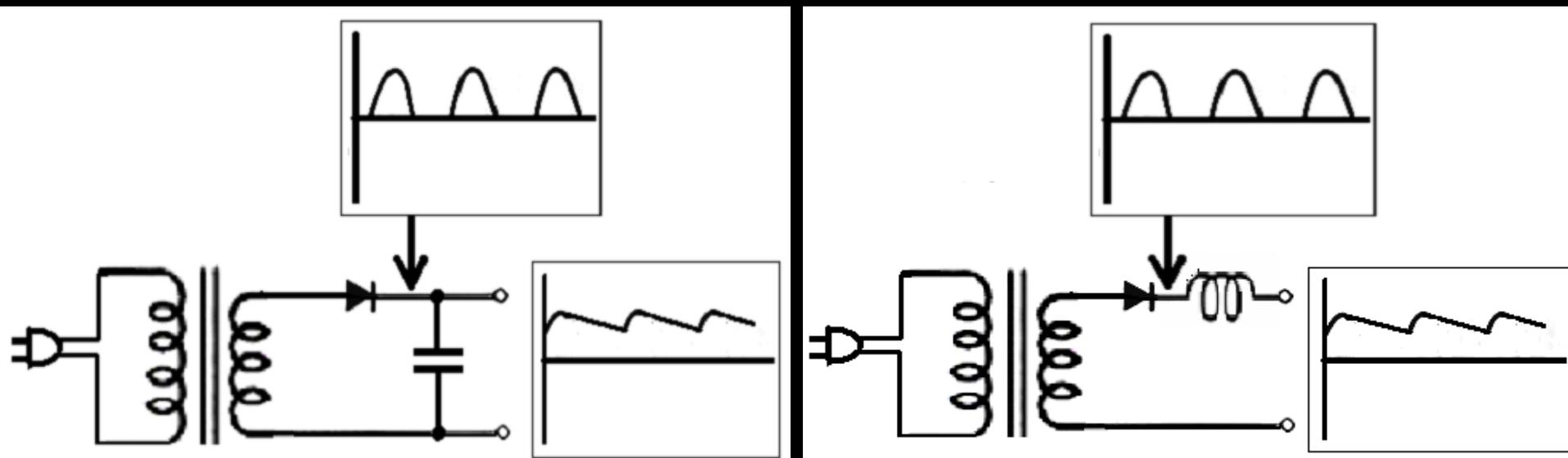
# 最も簡単な平滑化回路

**コンデンサを電源回路に並列接続する。**

コンデンサは電荷を蓄えるので、電圧が低いときは放電して、リップル成分による電圧の変動が減衰する。

**コイルを電源回路に直列接続する。**

コイルは、時間変化する電流に抵抗(インダクタンス)をもつ(周波数が高いほど高い抵抗)ので、リップル成分は通りにくい。しかし周波数の低い50ヘルツのリップル成分除去は困難。

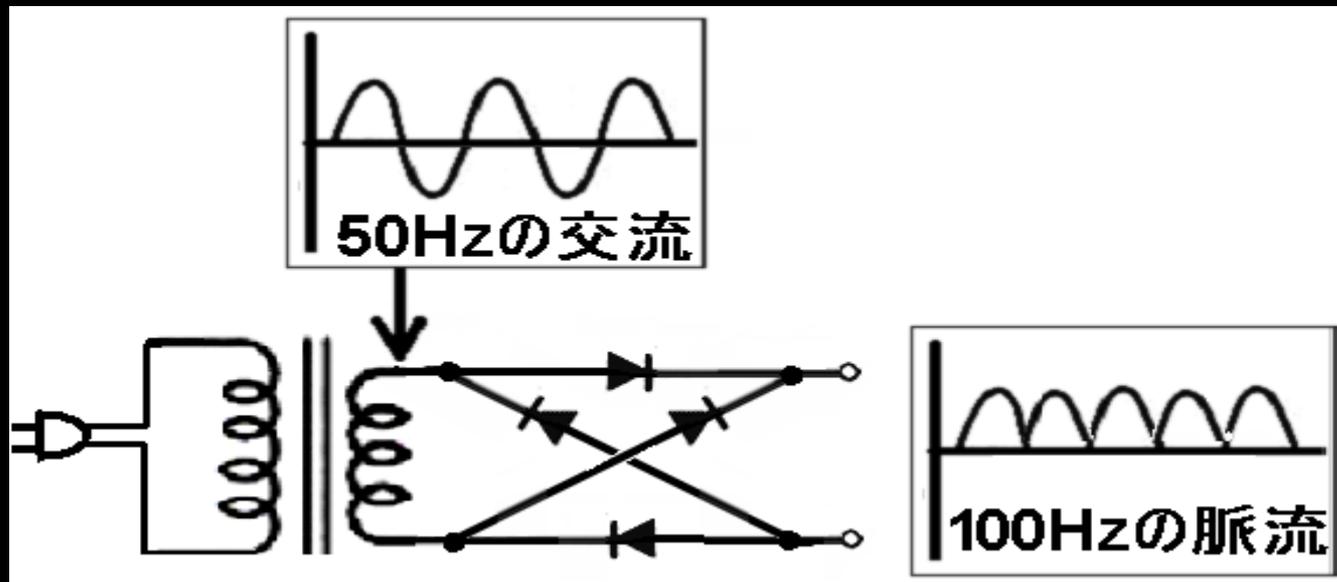


# 両波整流（全波整流）

半波整流による脈流は、

リップル成分の周波数が低いので(50Hz)平滑化が困難、  
交流電力の半分を捨てているので効率が悪い欠点をもつ。

ダイオードを4個ブリッジ状につないだ回路(ブリッジ回路)  
による整流(ブリッジ整流)は、交流のマイナス成分をプラス  
に折り返した脈流を出力するので、両波(全波)整流になる。



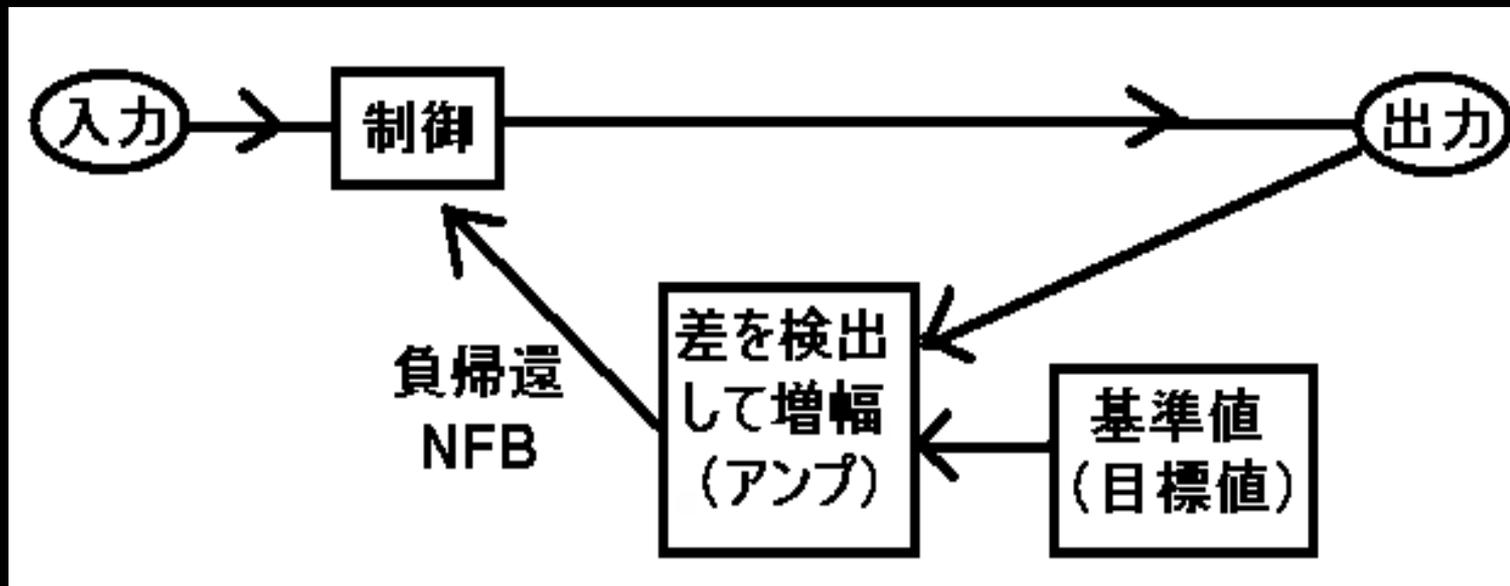
# 負帰還回路 (NFB : Negative Feedback)

出力を目標値と比較して、出力の値を自動制御する回路。

帰還 (feedback) は、結果を入り口に返すということ。

負帰還の「負」は、出力の結果を負の情報として戻して比較することを意味する。

電圧が目標値を超えたとき、制御は電圧を落とす方向に働かなければならない。このことを「負(negative)」と表現している。



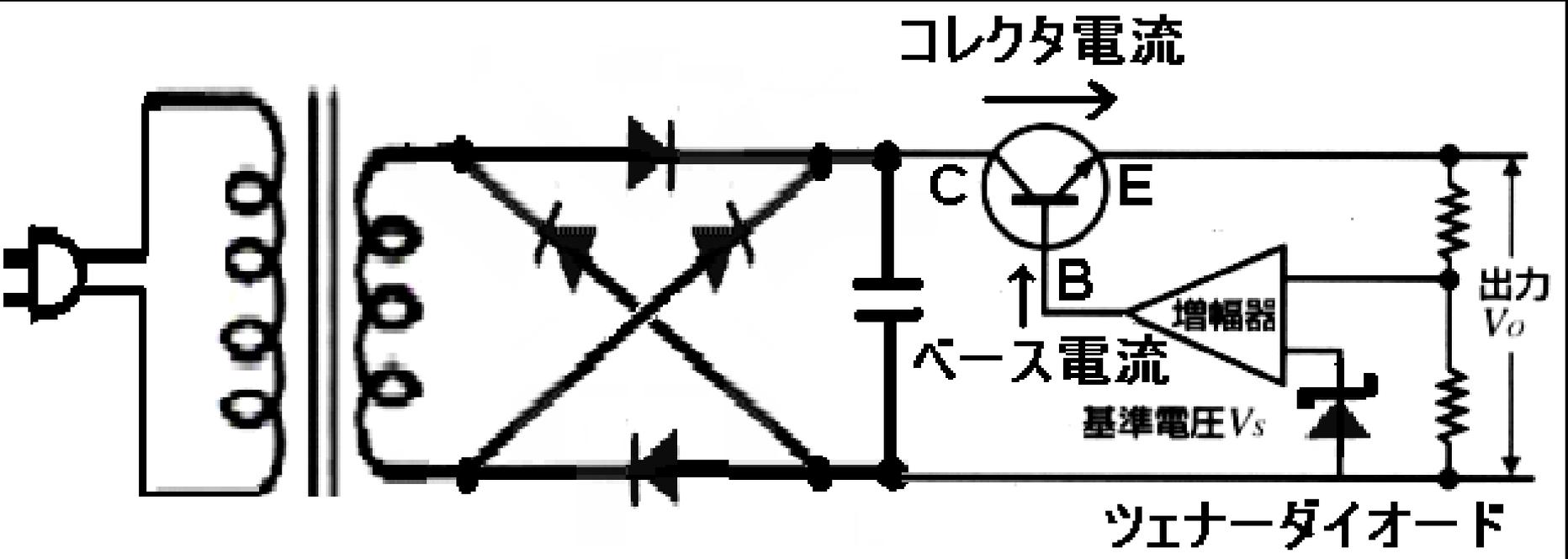
# 負帰還型 安定化電源回路

基準電圧(ツェナーダイオードなどで発生させる)と

実際に出力されている電圧との差を増幅して

電流制御用トランジスタを使って出力電圧を制御する。

(ベース電流を変化させるとコレクタ電流が大きく変化する)



# 光センサ

## CdS素子、CdSe素子

光センサ。光伝導セル。

硫化カドミウム CdS、

セレン化カドミウム CdSe を使った**抵抗**で、**光が当たると、抵抗値が小さくなる。**

**(光導電効果)**

車のヘッドライトの点灯確認装置などに利用。

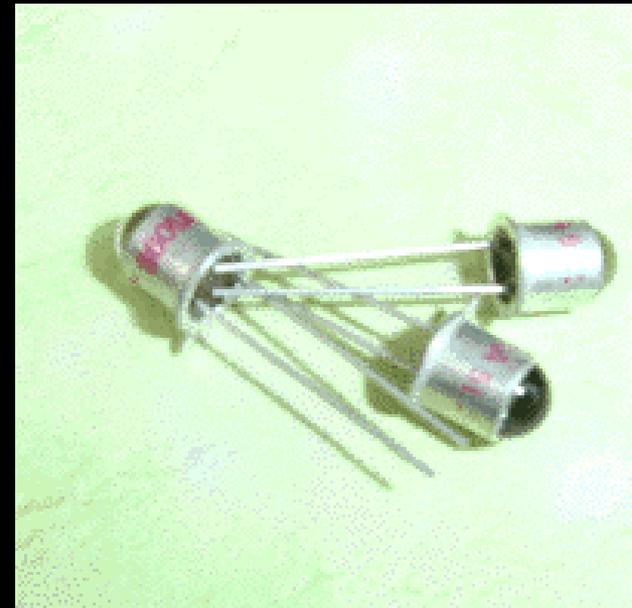
## フォトダイオード

## フォトランジスタ

光が半導体のPN接合部に当たると

接合部を通る**電流**が増大する。

CdSより小型で、光に対する反応が速い。



トランスデューサについて誤っているのはどれか。

解答 4

1. サーミスタは温度上昇に対し電気抵抗が低下する。
2. ジルコン酸チタン酸鉛は加圧時に電気出力が変化する。
3. 抵抗線ストレンゲージでは線の伸びる時に電気抵抗が増加する。
4. 電磁血流計では磁速密度に比例して出力電圧が低下する。
5. 硫化カドミウムセルでは光量増加時に電気抵抗が低下する。

**トランスデューサ** Transducer(変換器)(**センサ**sensor)

生体などから、温度、圧力、電磁気、超音波などを検出し、別の情報(抵抗や電圧、電流など)に変換する素子。

# サーミスタ

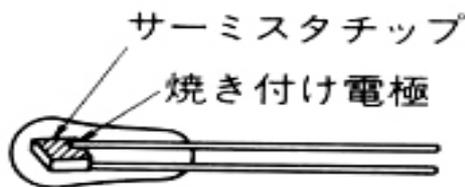
半導体の温度特性を利用した温度センサ。

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

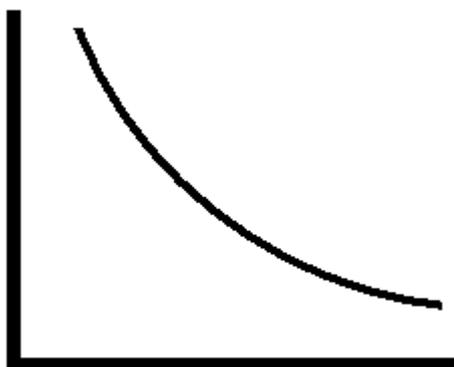


回路記号



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



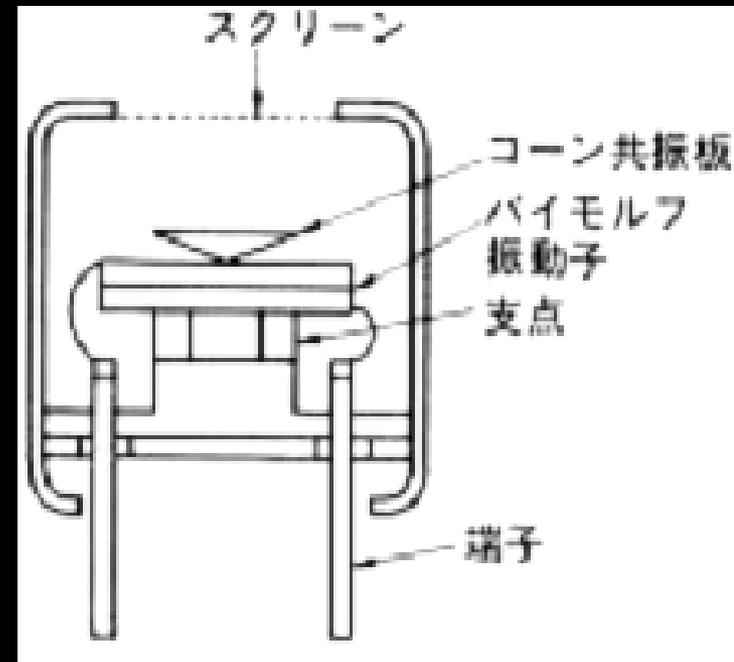
# 超音波センサ（圧電素子） 超音波装置に利用

超音波を発生させる振動体には**圧電素子**として**圧電セラミック**を使用する。

圧電セラミックは、**チタン酸バリウム**、**ジルコン酸チタン酸鉛**等を高温で焼き固めた多結晶体のセラミックで、以下の**圧電特性**を持つ。

圧電セラミックに電圧をかけると、厚くなったり、薄くなったりして振動し、超音波を発生する。

逆に、超音波を受けて振動すると振動の圧力で電圧を発生する（**ピエゾ効果**）。



# ストレインゲージ (圧力、歪みセンサの一種)

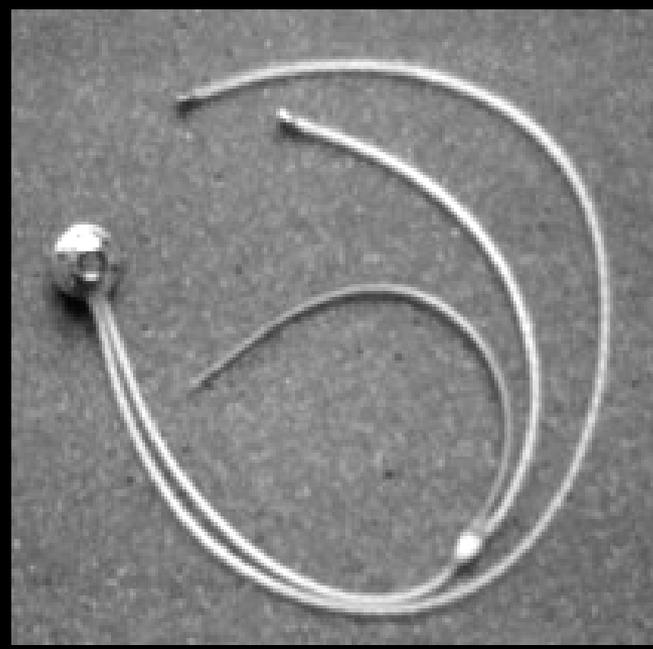
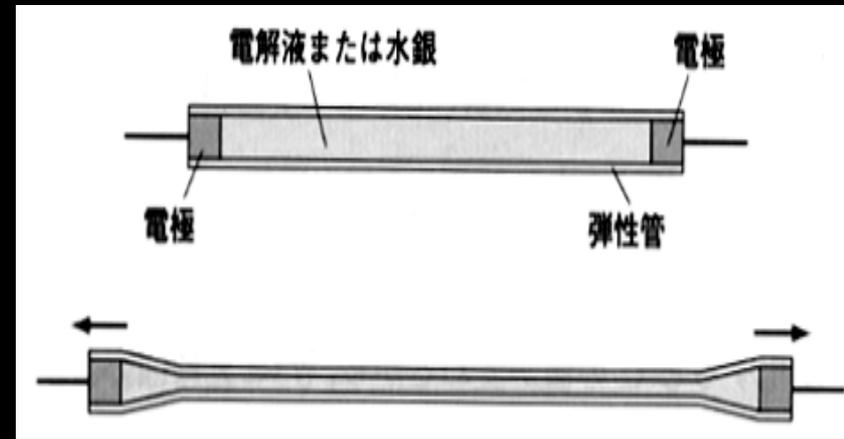
strain【名】ひずみ, 変形.

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。



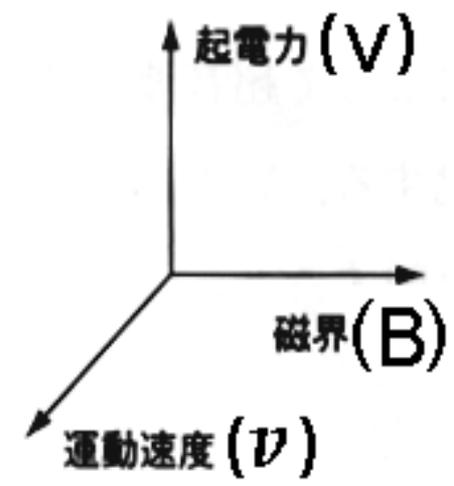
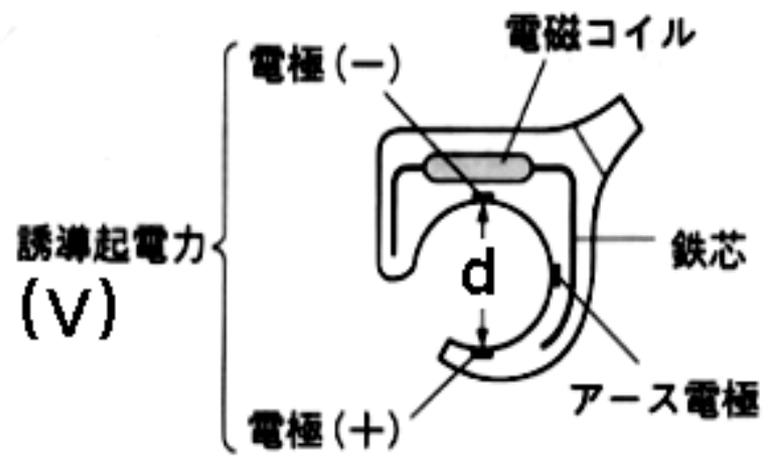
# 電磁血流計

フレミングの法則を利用して、

手術中に露出した血管内の**血流量を電圧に変換**して測定。

$$\text{電圧 (V)} = \text{血管の直径 (d)} \times \text{血流速度 (v)} \times \text{磁束密度 (B)}$$

電磁血流計の原理



# 電圧 と 電界 Electric Field

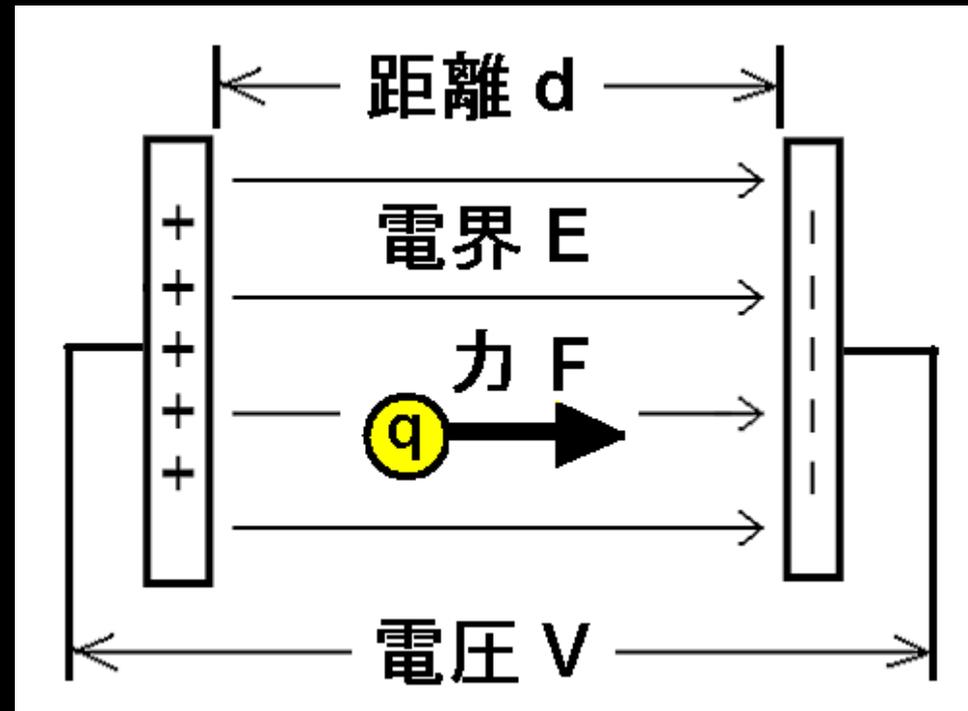
電圧  $V$  を加えた電極間の距離が  $d$  (m) のとき、  
電極間の電界の強さ  $E$  は、

$$E = V / d \quad (V = d E) \quad (\text{電界 } E \text{ の単位は } V/m)$$

(電圧 = 電界の強さ  $\times$  距離)

電界  $E$  の中で  
電荷  $q$  の物体が受ける  
力の強さ  $F$  は

$$F = qE$$



# 電荷 と 電流

1 (A) の電流が1秒間流れたときに動く電子による電気の量を、1 (C : クーロン) の電荷という。

t 秒間、電流が I (A) 通るとき運ばれる電荷量 q は、

$$q = I t \quad (I = q / t)$$

(電流とは、1秒間に通る電荷の量)

電荷の流れる速度を  $v$  とすると、

(1秒に  $v$  m 進む、1m を  $1 / v$  秒で進む)

$$I = q v \quad (v = 1 / t)$$

(電流とは、電荷 x 電荷の速度)

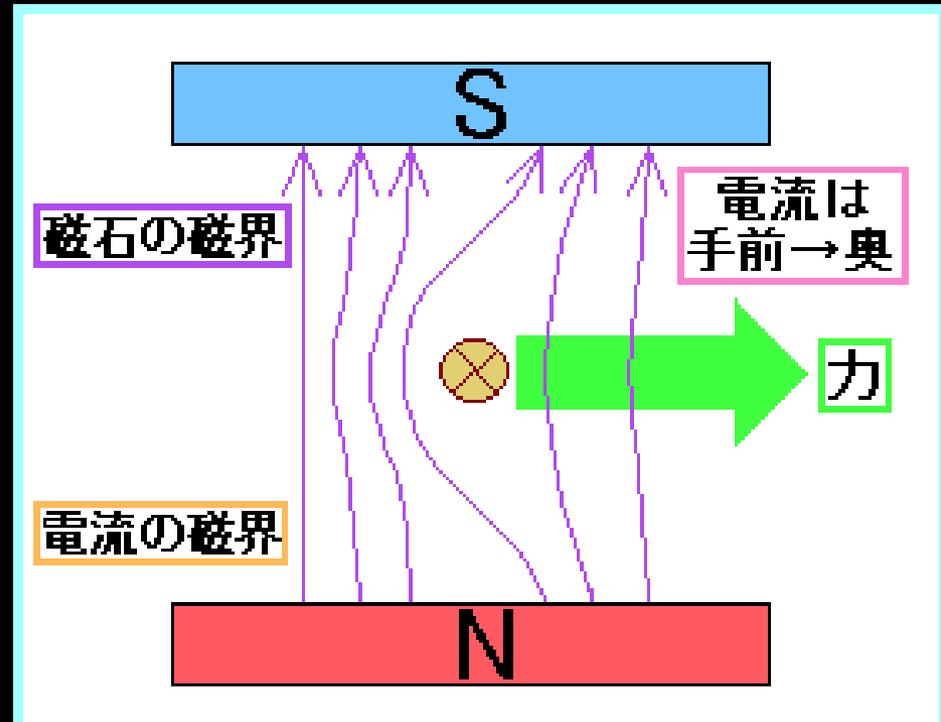
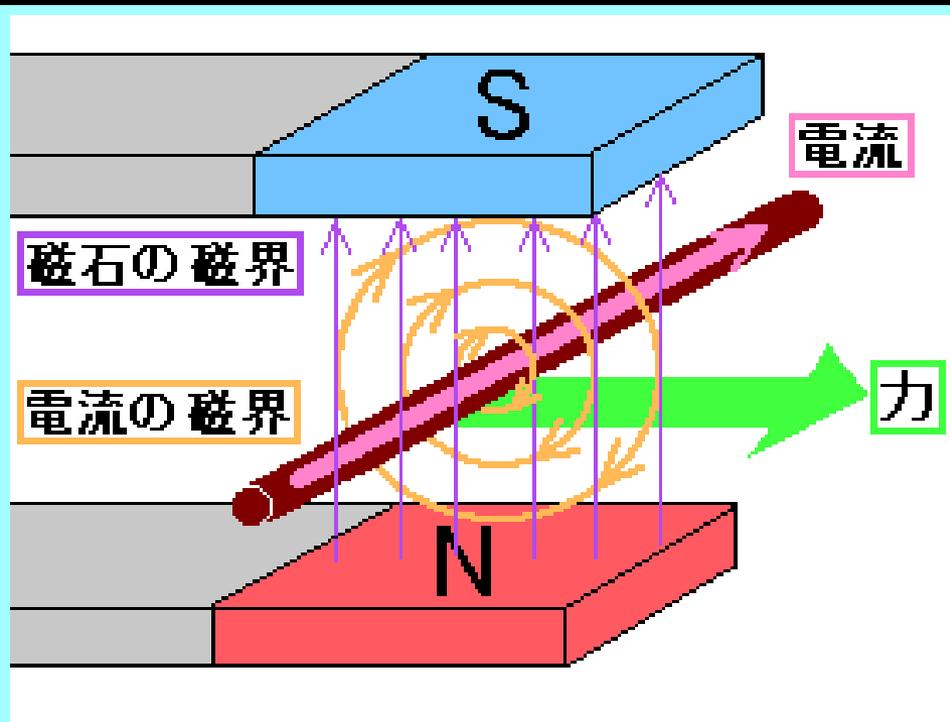
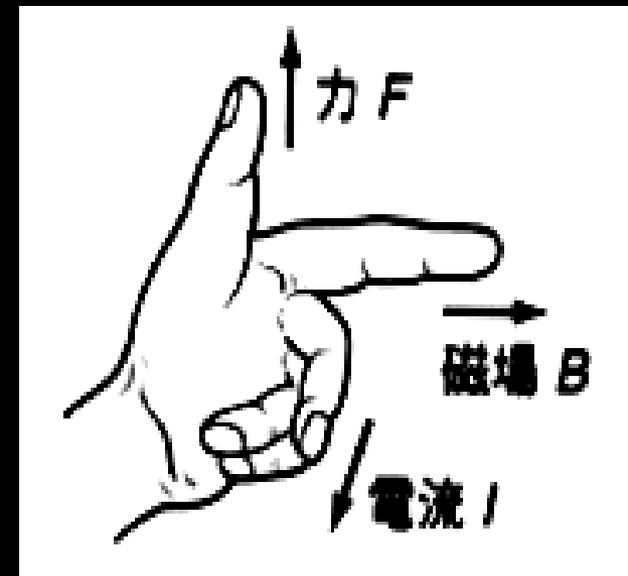
# フレミングの法則

磁界（磁束密度  $B$ ）の中で、

電流が  $I$  流れると、

電流が流れている所に加わる力  $F$  は、

$$F = I B$$



血管内を流れる血液は、電荷を持つ血球や電解質が主成分。この電荷を  $q$  とする。

電荷  $q$  の血液が速度  $v$  で流れる状態は、  
 **$qv$  の電流が血管内を流れているのと同じ。**

血流が磁束密度  $B$  の中を通ると、力  $F$  を受ける。

フレミングの式  **$F = IB$**  に  **$F = qE$** 、 **$I = qv$**  を  
代入すると  **$qE = qvB$**  両辺を  $q$  で割り、 **$E = vB$**

$E$  は血管内に生じる電界の強さ。

両辺に血管の直径  $d$  をかけて、 **$dE = dvB$**

**$V = dE$**  を代入して、測定される電圧は  **$V = dvB$**

**電磁血流計**

電圧 ( $V$ ) = 血管の直径 ( $d$ )  $\times$  血流速度 ( $v$ )  $\times$  磁束密度 ( $B$ )

現象を起電力に変えるトランスジューサはどれか。

- a 光電管
- b ストレインゲージ
- c 熱電対
- d 圧電素子
- e サーミスタ

- 1. a, b      2. a, e      3. b, c
- 4. c, d      5. d, e

〔注解〕 a 光電管は陽極と陰極間に電圧を加え陽極に入射した光の量により電流が変化する。

b ストレンゲージ両端に電圧を加えておき、ストレンゲージの歪みによる抵抗変化を電流変化または電圧変化として検出する。

c 異種金属線の両端を互いに接合しておくとその両端に温度差が生じた時、金属線に電流が流れる（起電力が生じる）。

d チタン酸バリウムなどの圧電素子では素子に力（応力）が加わるとそれに比例した電荷が生じ、応力に比例した電圧が得られる。

e サーミスタは温度変化によって抵抗が変化する半導体であり、両端に電圧を加えておき、抵抗変化に伴う電流変化または電圧変化として検出するトランスデューサである。

# 光電管 ( phototube、 photoelectric tube )

光(赤外線や紫外線を含む)が当たると  
光のエネルギー(周波数)に比例した電流を放出する  
電子管(真空管)。

金属電極に光が当たると、電極から光の周波数に  
比例した数の電子を放出する(光電効果)。

電極と別の電極に電圧をかけて放出電子を捕らえ  
生じる電流量から光の強さ(周波数)を測定できる。

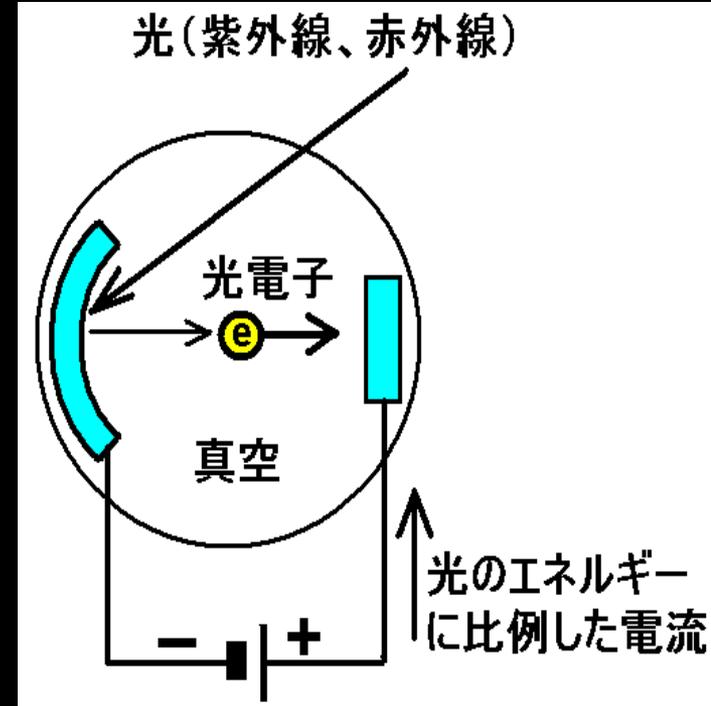
紫外線測定器、赤外線測定器(来客センサ、  
スピード違反取締り装置、競走用タイマー)など



# 光電効果 (Photoelectric effect)

真空中で、金属に光を照射すると金属表面から電子(光電子)が飛び出る現象。  
(1887年ヘルツによって発見。)

1905年にアインシュタインは、光電効果は、**光が粒子(光子)**としての性質を持つことを示す現象と説明し、ノーベル賞受賞。



光が波(電磁波)だけの性質を持つならば、周波数に無関係に大きい光量を当てるか、弱い光でも長時間当て続けられれば、電子は飛び出せるはず。

しかし、どの金属でも**一定以上の周波数の光を当てないと光電子は放出されない。**

光は、周波数に比例した一定のエネルギーを持つ粒子の性質を持っていなければ光電効果は説明できない。

アインシュタインは光電効果を説明するため、以下のような仮説を立てた。

- **光は、エネルギーを持った粒子(光子)の流れである**
- **光子1個が持つエネルギー  $E$  は、 $E = h\nu$  で表される**  
( $h$ : プランク定数,  $\nu$ : **光の振動数(周波数)**)

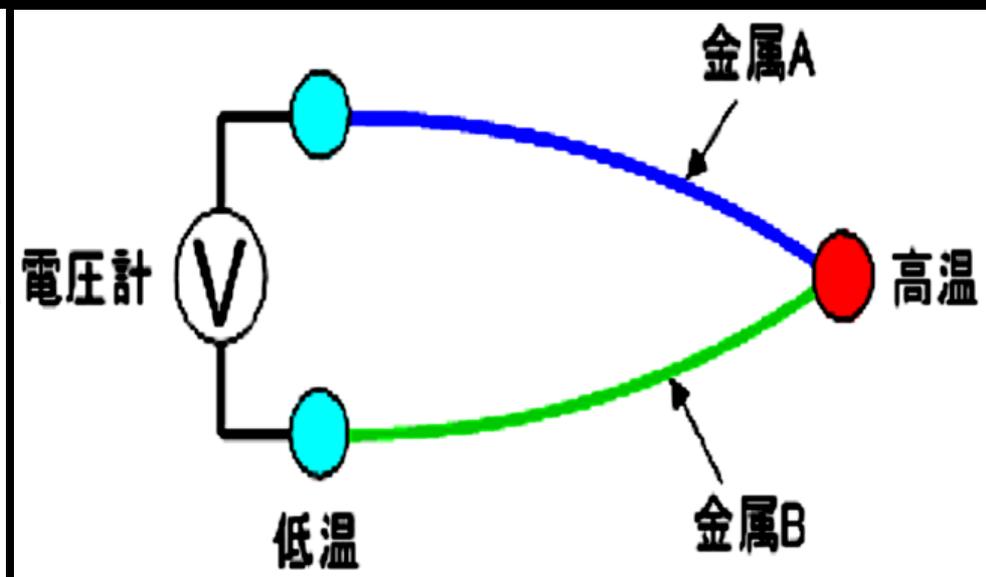
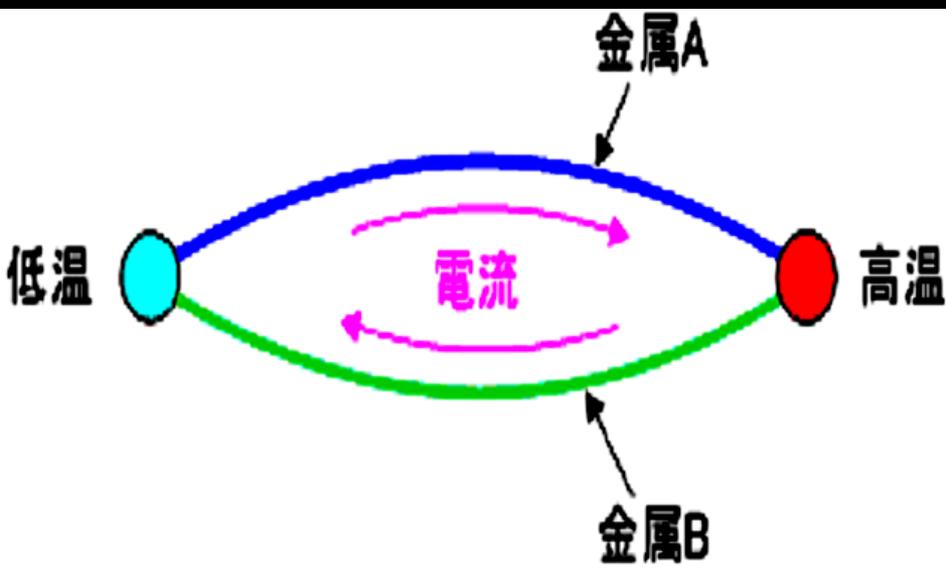
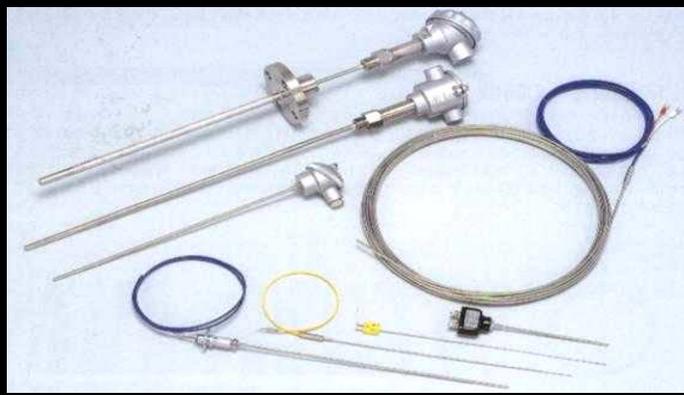
# 熱電対

異なる材料の2本の金属線を接続して1つの回路をつくり、ふたつの接点に温度差を与えると、回路に電圧が発生する。

(ゼーベック効果)

片端を開放すれば、温度を電位差で検出できる。

この現象を利用した温度計を熱電対という。



抵抗変化を利用するセンサはどれか。

- a 差動トランス
- b 可動コイル形マイクロホン
- c セレン化カドミウム
- d ストレインゲージ
- e チタン酸バリウム

- 1. a, b      2. a, e      3. b, c
- 4. c, d      5. d, e

〔注解〕 a 差動トランスは変位(歪み)によって相互インダクタンスに変化することを利用したセンサである。

b 可動コイル形マイクロホンはダイナミックマイクとも呼ばれ、音(空気の振動)に比例した誘起電力が生ずるセンサである。

c セレン化カドミウムは光導電素子として、光トランスデューサに使用されており、照度に伴い電気抵抗が変化することを利用したセンサである。

d ストレインゲージは変位(歪み)によって電気抵抗が変化することを利用したセンサである。

e チタン酸バリウムは超音波振動素子で、ピエゾ効果を利用したセンサである。

# 差動トランス

位置情報の情報を相互インダクタンスとして検出するセンサ。

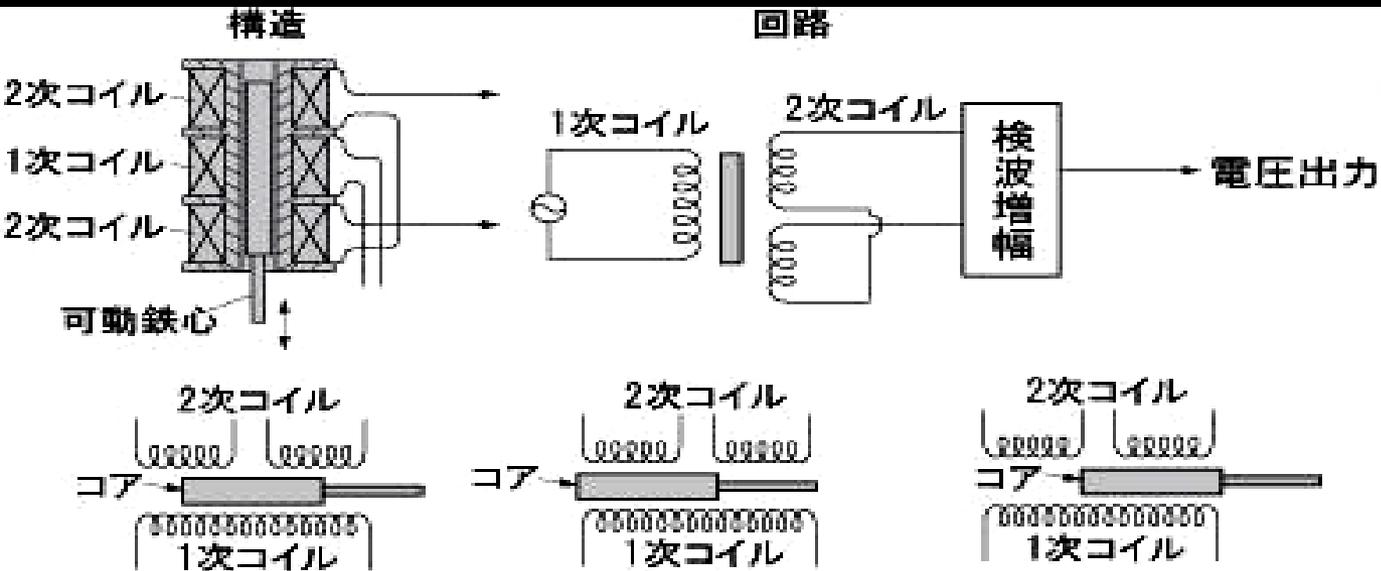
3つのコイルと可動鉄芯(コア)で構成される。

1次コイルに交流電圧を加える。

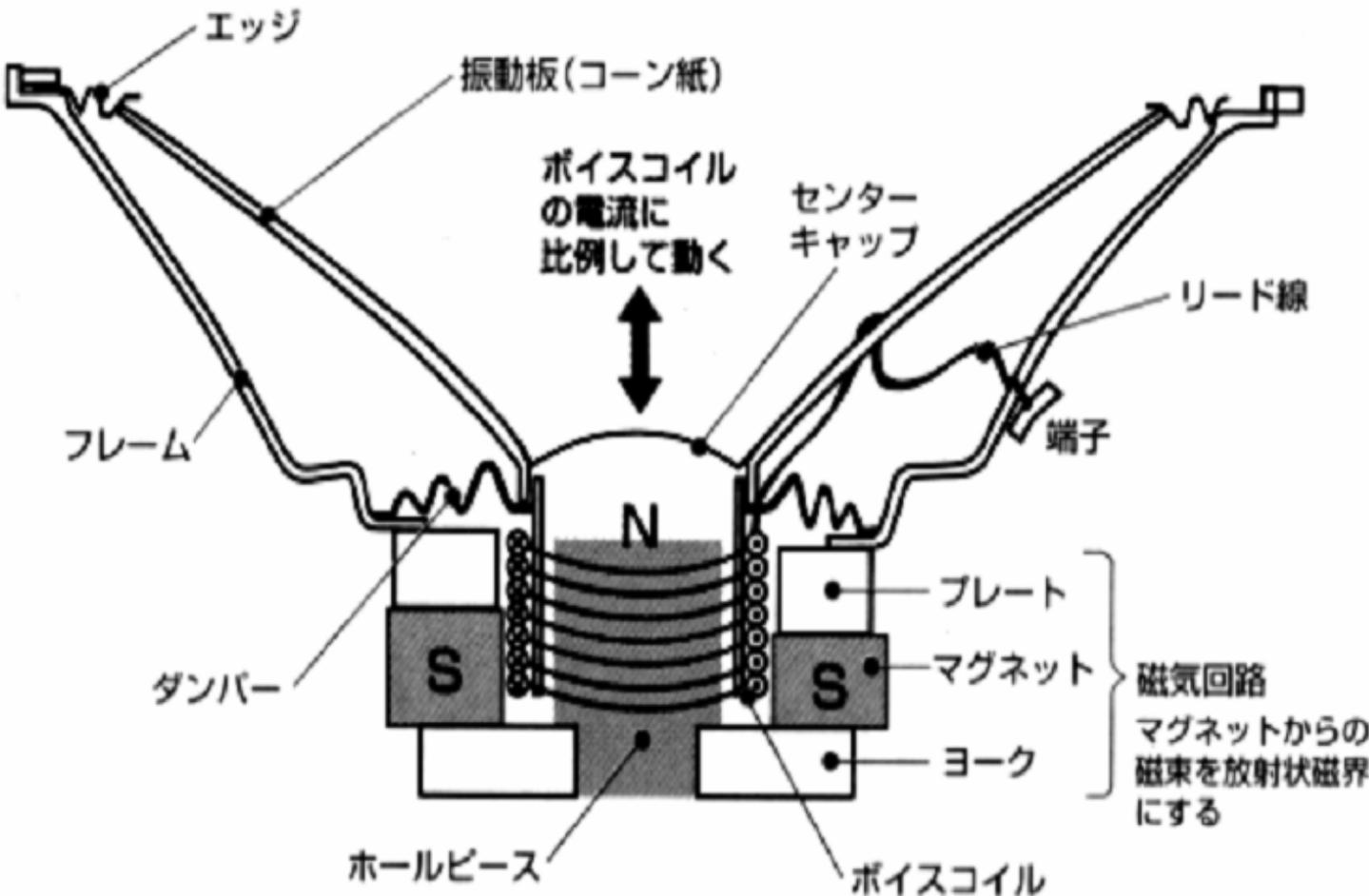
コアの位置が移動すると、2つの2次コイルのインダクタンスが変化し、それぞれの出力電圧の差(差動電圧)を計測する。

コアが左右対称の位置すなわち中央に位置している時は、2つの電圧は等しくなり、電圧差が0となり出力は0。

コア位置が中央からずれると、コイルの誘起電圧に差が生じ、その差に比例した交流電圧が現れる。位置情報が電圧で得られる。



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)

## 問 114☆

(2001)

抵抗変化によって生体情報を検出するセンサはどれか。2つ選べ。

1. 硫化カドミウム
2. チタン酸バリウム
3. 差動トランス
4. 熱電対
5. サーミスタ

〔注解〕 1. 硫化カドミウムは光導電素子のひとつで、光量を電気抵抗の変化に検出する。

## 問 110 ☆

(既出問題)

トランスデューサについて正しい組合せはどれか。

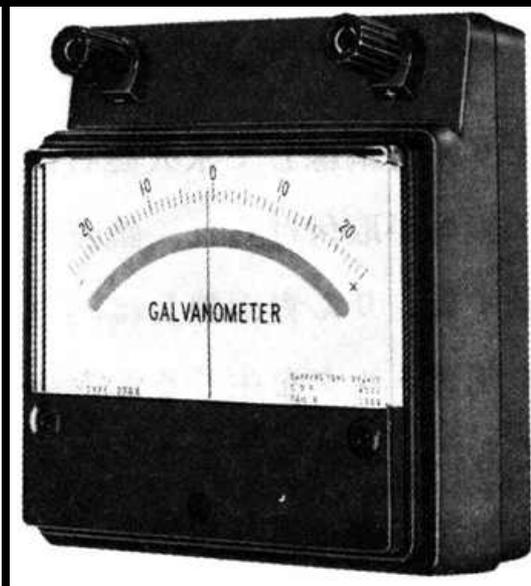
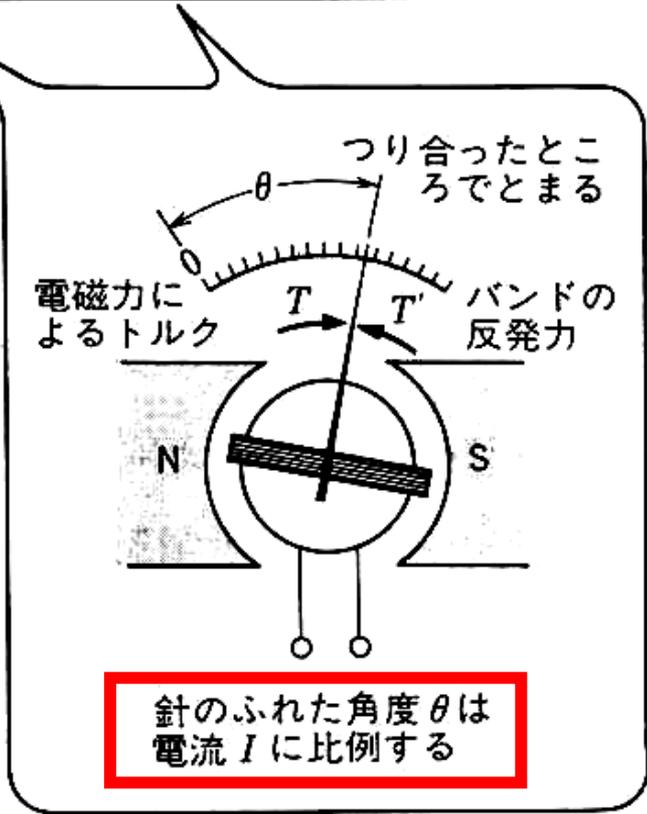
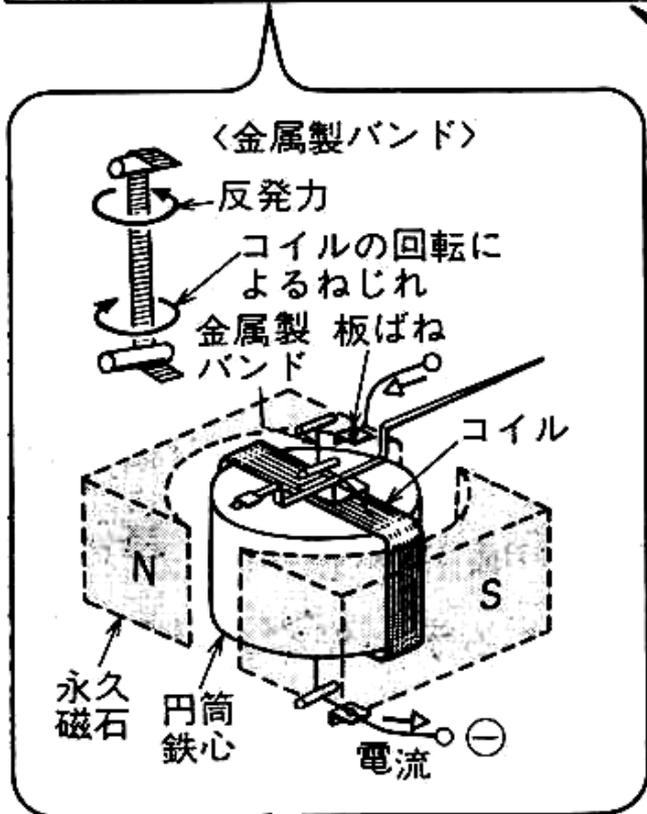
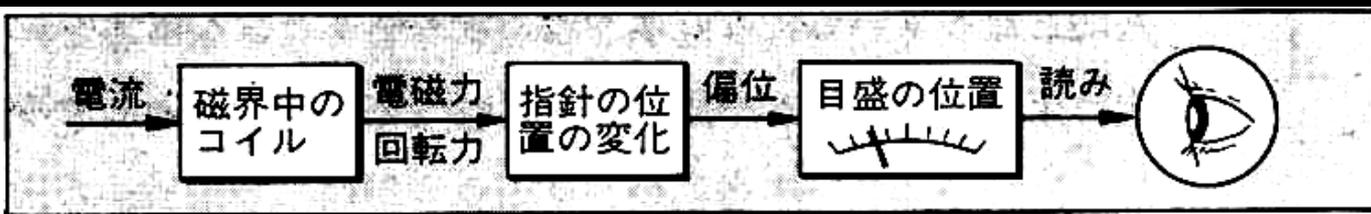
1. 硫化カドミウム —— 光によるインダクタンスの変化
2. サーミスタ —— 熱によるキャパシタンスの変化
3. ストレインゲージ —— 変位による抵抗の変化
4. 可動コイル —— 変位速度による抵抗の変化
5. 圧電素子 —— 圧力による伝導度の変化

〔注解〕 1. 硫化カドミウム (CdS) はセレン化カドミウム (CdSe) と同様、光によって抵抗が変化するトランスデューサである。

# 可動コイル アナログ形式のメータや心電計の仕組み。

磁石にはさまれた可動式のコイルに針が付いている。

コイルの電流量で電磁石の強さが変化し、針が動く。



問題 80 正しいのはどれか。

1. 発光ダイオードは光量（明るさ）によって流れる電流が変化する。
2. トンネルダイオードには増幅作用がある。
3. FET（電界効果型トランジスタ）は入力抵抗が低い。
4. トランジスタは周囲の温度の影響を受けない。
5. トランジスタのベースは真空管ではプレートにあたる。

# 発光ダイオード LED Light Emitting Diode

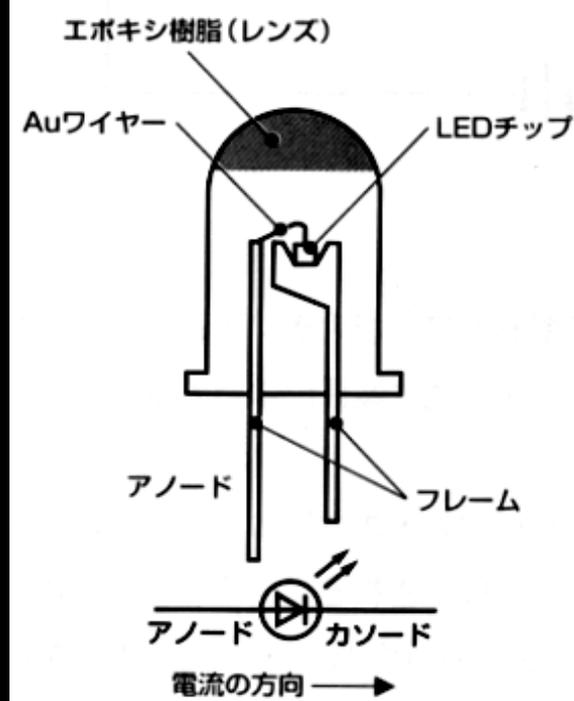
順方向に電圧をかけたときに、PN接合部で電子と正孔が結合し、電子と正孔の状態では離れているときよりもエネルギー状態が低くなるので、

再結合時に余ったエネルギーを、電磁波(特定の周波数の可視光線など)として放出する。

白熱電球と異なり、熱(赤外線)を放出しないので、電力消費量が少ない。



LEDは熱を放出しないので、雪国の信号に使用すると問題が生じる。

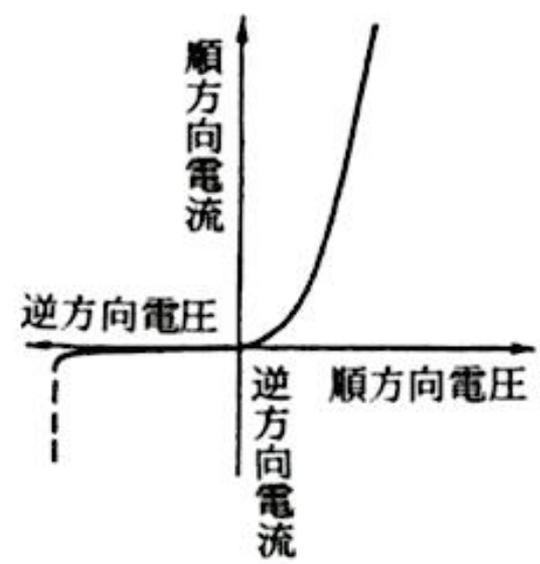


# トンネルダイオード

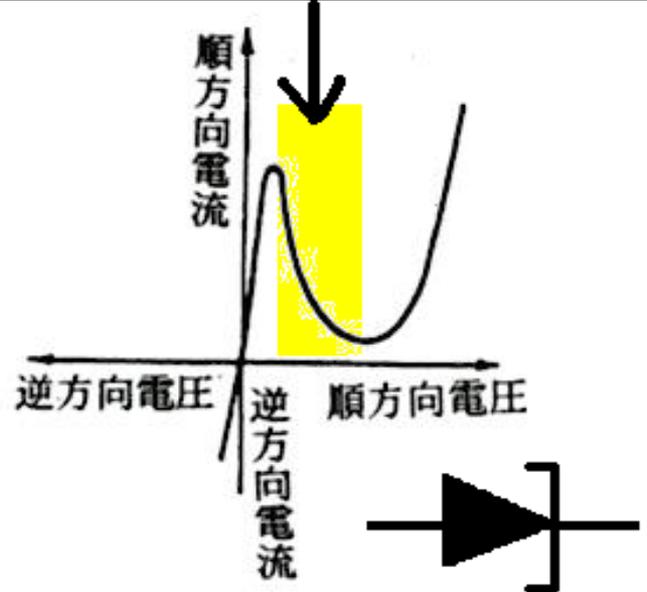
1957年に江崎玲於奈氏が発明した、量子トンネル効果を利用した素子。エサキダイオードとも呼ばれる。半導体に不純物を多く混ぜたダイオード。

順方向に電流を流すと、トンネル効果により、ある電圧領域では電圧をかけるほどに流れる電流量が少なくなるという「**負性抵抗**」が現れる。これを用いた**増幅回路**はトランジスタをしのぐ優れた性能を発揮する。

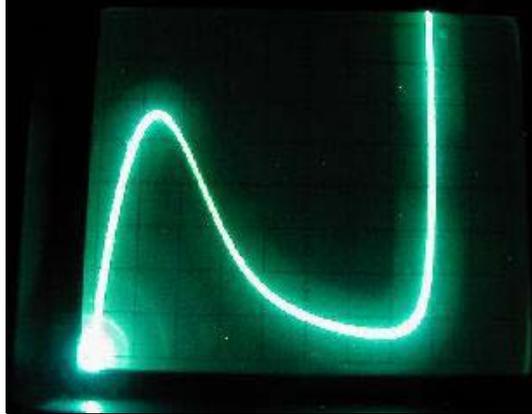
負性抵抗を示す領域で電圧に逆比例する電流が得られ、増幅回路に利用できる。



普通のダイオードの電圧と電流の関係



トンネルダイオード

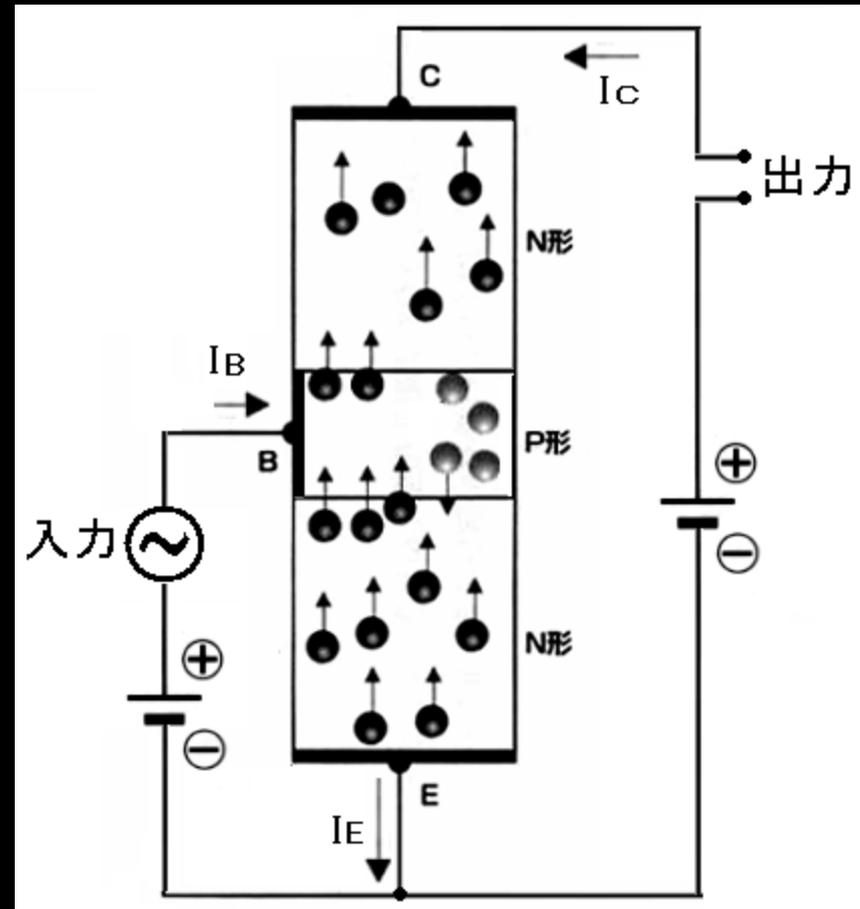
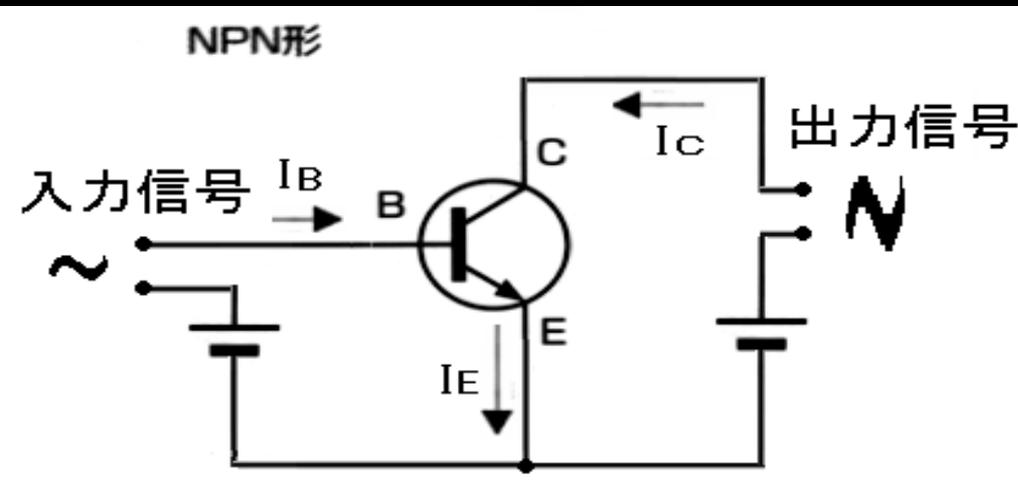


ベース電流  $I_B$  の微小な変化で、コレクタ電流  $I_C$  を大きく変えられる。

### (電流増幅作用)

ベース電流が大きいと、ベース内の正孔がベース半導体の端に寄るので、エミッタからコレクタへの電子の流れが良くなる。

ベース電流の変化量  $\Delta I_B$  に対するコレクタ電流の変化量  $\Delta I_C$  の比率を**電流増幅率  $\beta$**  という。 $\beta = \Delta I_C / \Delta I_B$   
エミッタ電流  $I_E$  は  $I_C$  と  $I_B$  の和になる。



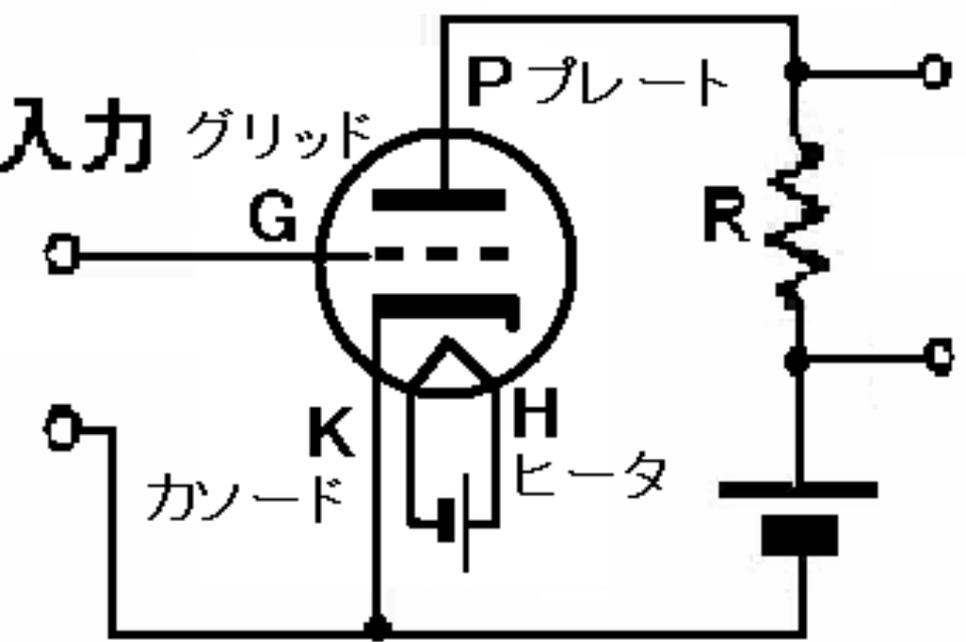
# 真空管 (電子管) Vacuum tube

3極真空管は、NチャンネルJ-FETと同じ動作。  
電極間が真空なので、**入力インピーダンスが極めて高い**。エジソンが発明。

ヒータで加熱したカソード電極からプレート電極に電子が飛ぶ。その間の金網状のグリッドに電圧をかけてプレートに飛ぶ電子の量を調節する。



3極 真空管



N channel J-FET

