

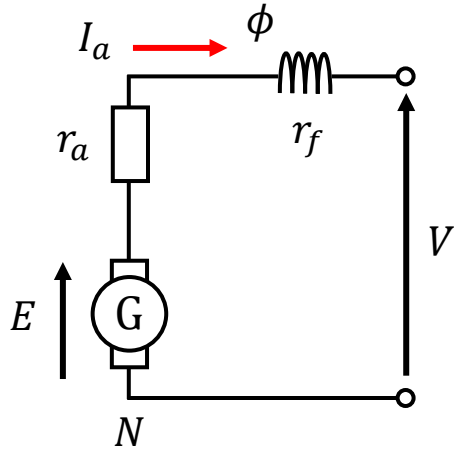
電験三種 オンライン講座

機械の直前対策 試験で使う公式まとめ

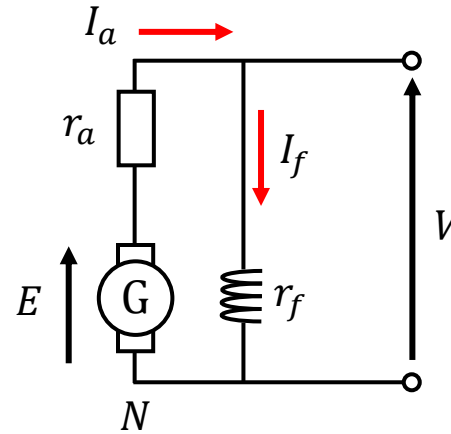
直流機

直流機の種類と等価回路

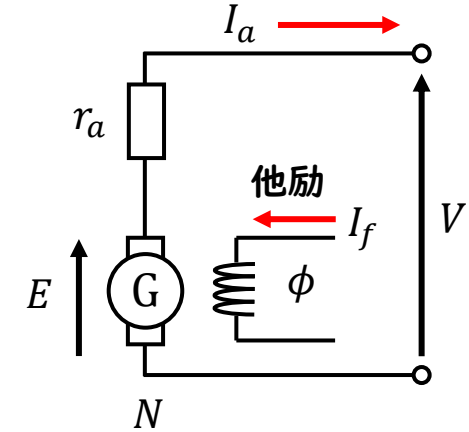
直巻発電機



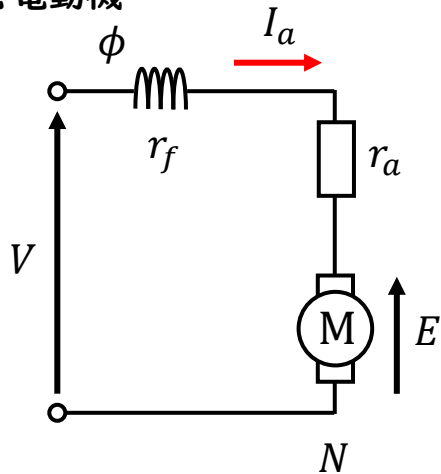
分巻発電機



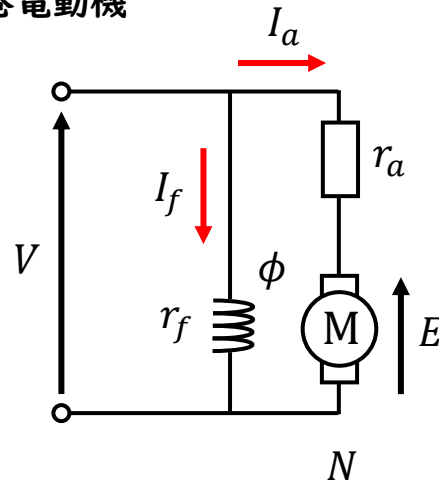
他励発電機



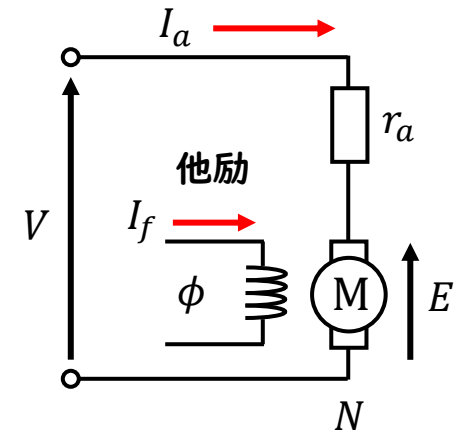
直巻電動機



分巻電動機



他励電動機



計算のための重要公式



誘導起電力に関する公式

$$E = \frac{Z p \phi N}{a 60} = \frac{pZ}{60a} \phi N = K_1 \phi N$$

$E = K_1 \phi N$ 誘導起電力： E [V]
回転速度： N [min^{-1}]
磁束： ϕ [Wb]

トルクに関する公式

$$P = \omega T \rightarrow T = \frac{P}{\omega} = \frac{EI_a}{\omega}$$

$$T = \frac{EI_a}{\omega} = \frac{K_1 \phi N}{2\pi \frac{N}{60}} I_a = \frac{60K_1}{2\pi} \phi I_a = K_2 \phi I_a$$

$T = K_2 \phi I_a$ トルク： T [$\text{N} \cdot \text{m}$]
電機子電流： I_a [A]
磁束： ϕ [Wb]

その他公式

電力とトルクの関係

$$P = \omega T$$

電力： P [W]
トルク： T [$\text{N} \cdot \text{m}$]
角速度： ω [rad/s]

角速度と回転速度の関係

$$\omega = 2\pi \frac{N}{60}$$

回転速度： N [min^{-1}]
角速度： ω [rad/s]

磁束と電流の関係

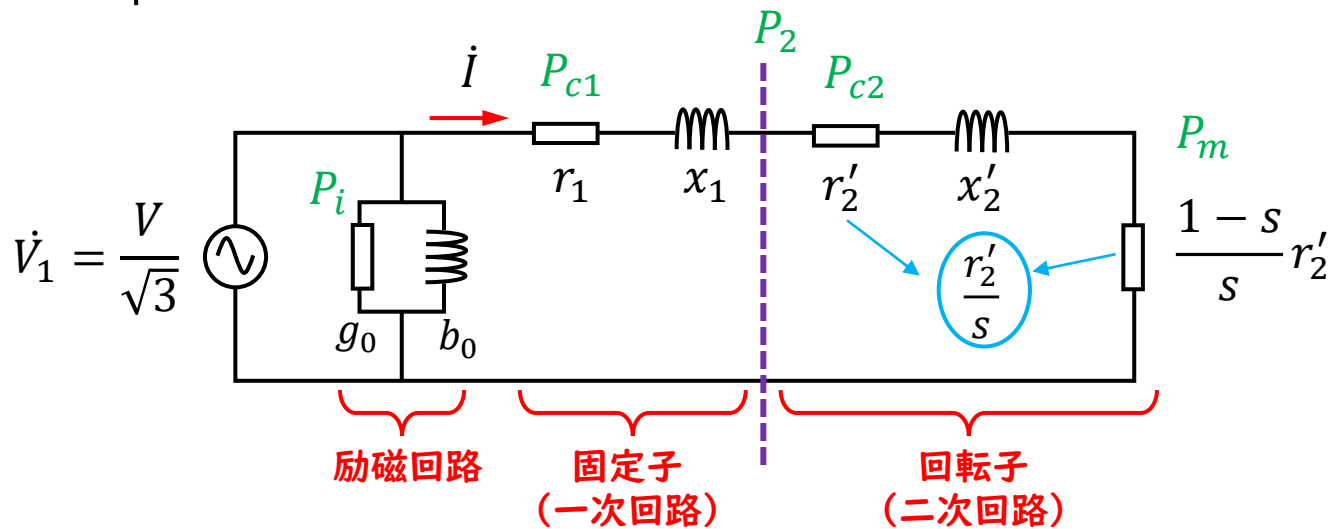
$$nI = R_m \phi \rightarrow \phi = \frac{n}{R_m} I \rightarrow \phi = K_f I_f$$

界磁電流： I_f [A]
磁束： ϕ [Wb]



誘導機

誘導機の重要公式まとめ



効率

$$\eta = \frac{P_m}{P_m + P_i + P_{c1} + P_{c2}} \times 100 [\%] = \frac{P_m}{P_1} \times 100 [\%]$$

P_1 : 一次入力

$$P_1 = P_i + P_{c1} + P_{c2} + P_m$$

P_i : 入力鉄損

$$P_i = 3g_0V_1^2$$

P_{c1} : 一次銅損

$$P_{c1} = 3r_1I^2$$

P_2 : 二次入力

$$P_2 = P_{c2} + P_m = 3\frac{r_2'}{s}I^2$$

P_{c2} : 二次銅損

$$P_{c2} = 3r_2'I^2$$

P_m : 機械的出力

$$P_m = 3\frac{1-s}{s}r_2'I^2$$

$$P_2 : P_{c2} : P_m = 1 : s : 1 - s$$

$$T = \frac{P_m}{\omega} = \frac{P_2}{\omega_s}$$

$$\omega = 2\pi\frac{N}{60}$$

$$\omega_s = 2\pi\frac{N_s}{60}$$

$$N_s = \frac{120f}{p} [\text{min}^{-1}]$$

$$N = (1-s)N_s$$

$$s = \frac{N_s - N}{N_s}$$

T : 電動機のトルク [N・m]

N : 回転子の速度 [min⁻¹]

N_s : 回転磁界の速度

(同期速度) [min⁻¹]

s : すべり

ω : 回転子の角周波数 [rad/s]

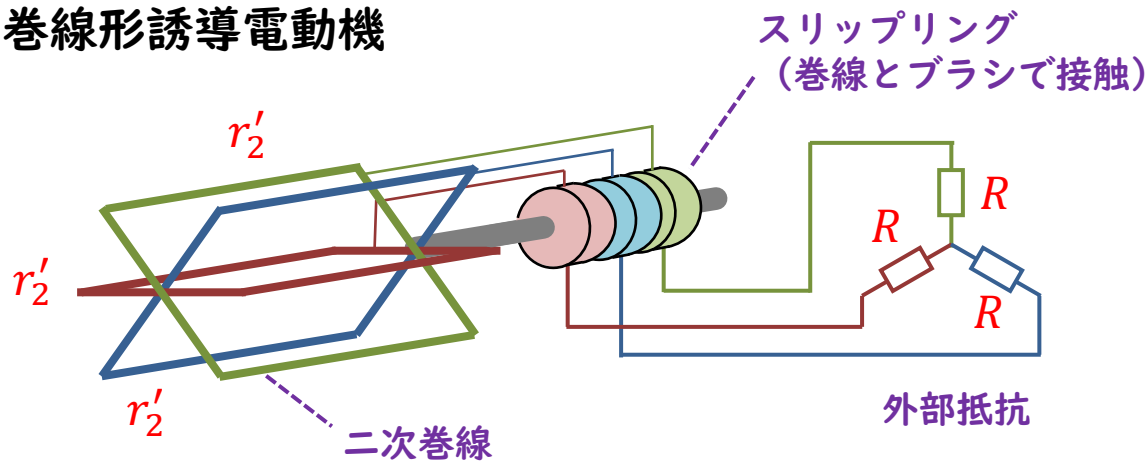
ω_s : 同期角周波数 [rad/s]

f : 電源周波数 [Hz]

p : 極数

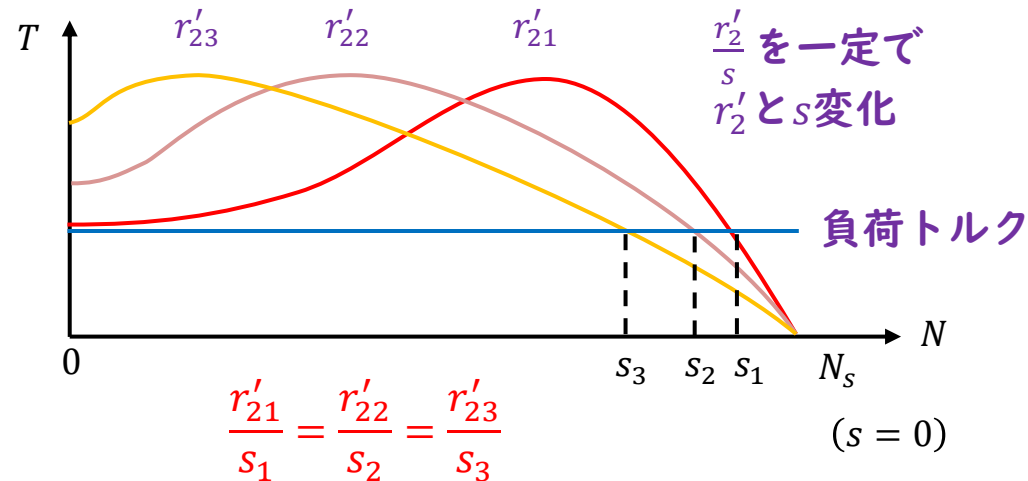
比例推移による速度制御

巻線形誘導電動機



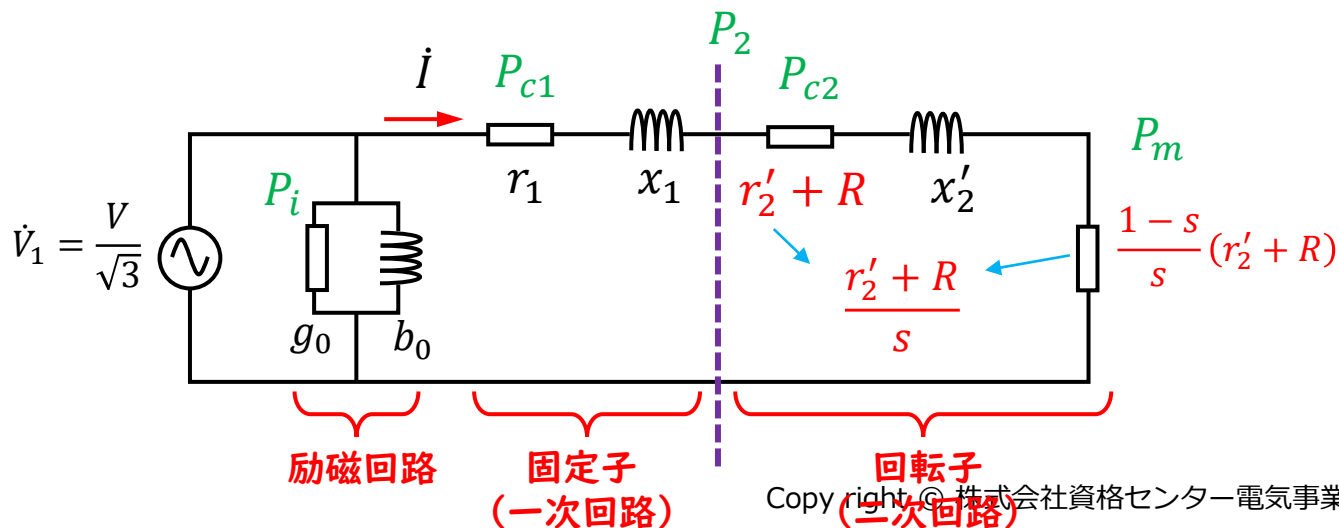
- スリップリングを介して外部抵抗を接続できる
→ 始動特性の改善、速度制御が可能 (比例推移)

比例推移



$$\frac{r'_2}{s_1} = \frac{r'_2 + R}{s_2} = \text{一定}$$

外部抵抗を変化することで
負荷トルクに合わせて滑りが変化し、
速度制御ができる

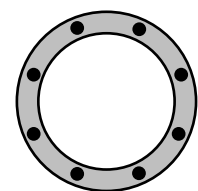
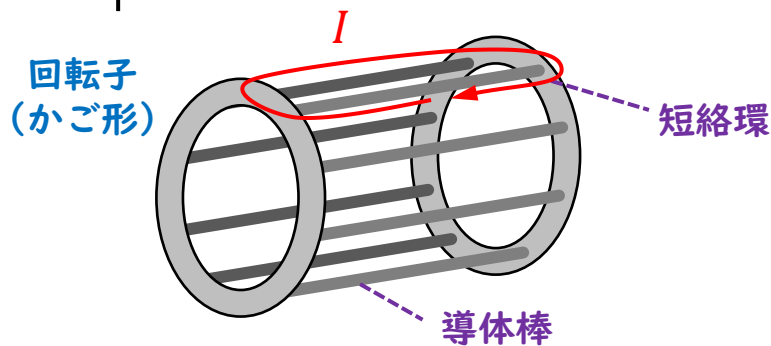


誘導電動機の始動方法



始動法	内容	かご形	巻線形	始動トルク	始動電流
全電圧始動法 (直入始動法)	停止している誘導電動機に定格電圧をいきなり加える (特に工夫無し)	○	○	—	—
Y-Δ始動法	始動時は 一次巻線をY結線 とし、速度が上昇したらΔ結線にする。 始動時の 入力電圧は$1/\sqrt{3}$倍 となる。	○	○	減少 (1/3 倍)	減少 (1/3 倍)
始動補償器法	一次側に三相単巻変圧器(始動補償器) を接続して、始動電圧を下げる。速度が上昇したら、定格電圧に切り替える。	○	○	減少	減少
リアクトル始動	始動時に 一次側に直列にリアクトル を接続し、始動電流を抑える。速度が上昇したら リアクトルを短絡 する。	○	○	減少	減少
始動抵抗器	二次側に始動抵抗器 を挿入し、 比例推移 により、始動電流を抑え、始動トルクを得る。	—	○	増加	減少
二重かご形	表皮効果 により、 低速時は外側の高抵抗部分のみに電流 が流れ、 高速時は内部の低抵抗部分に電流 が流れる。 比例推移の効果が得られる。	○ (特殊)	—	増加	減少
深溝かご形	表皮効果 により、 低速時は外側のみに電流 が流れ、 高速時は内部まで電流 が流れる。 比例推移の効果が得られる。	○ (特殊)	—	増加	減少

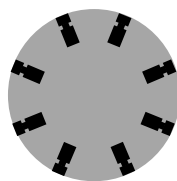
特殊かご形誘導電動機



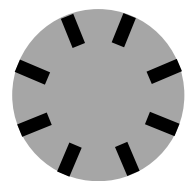
短絡環を外すと



特殊かご形



二重かご形誘導電動機



深溝かご形誘導電動機

二重かご形

すべり
回転子の回転速度
回転磁界の相対速度
表皮効果

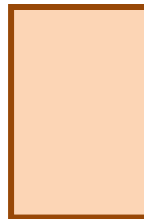
$s = 1$
 $N = 0$
 $sN_s = N_s$
影響大

$s \sim 0$
 $N \sim N_s$
 $sN_s \sim 0$
影響小

導体棒(外側)
抵抗大



導体棒(外側)
抵抗小

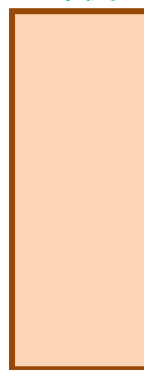


深溝かご形

導体棒
鉄心の深さ方向
に幅がある

外側

内側



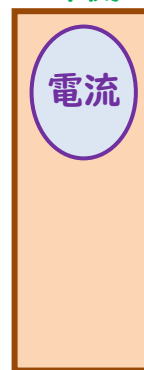
外側

外側



内側

外側



内側

低速時
外側に電流
が集まる
抵抗大であり

始動電流が小さく
始動トルクが大き
くなる

低速時
外側に電流が
集まる
抵抗が大きくなる

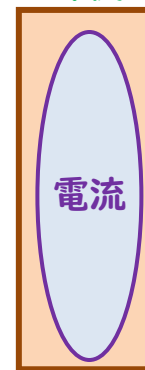
始動電流が小さく
始動トルクが大き
くなる

外側



内側

外側



内側

高速時
抵抗小の部分に
多くの電流が
流れる

高速時
導体全体に
電流が流れる

抵抗が小さくなる

誘導電動機 の 速度制御法

速度制御法	内容	かご形	巻線形
V/f制御	電源電圧と周波数の比を一定に保つ速度制御法。磁束を一定に保つためトルク変動が小さい。VVVFインバータやサイクロコンバータを用いる	○	○
極数切替	固定子巻線の接続を変更することで極数 p を切り替える速度制御法。	○	○
一次電圧制御	一次電圧を制御しトルクを変化させることで滑りを変化させる速度制御法。トルクは一次電圧の二乗に比例する。	○	○
二次抵抗制御	外部抵抗を変化させ、比例推移を利用した速度制御法。	—	○
二次励磁制御	巻線形誘導電動機の二次回路にすべり周波数 sf の電圧を印加し、すべりを変える速度制御法。 クレーマ方式：速度制御で得た電力は機械的動力に変換 セルビウス方式：速度制御で得た電力は電源に回生	—	○



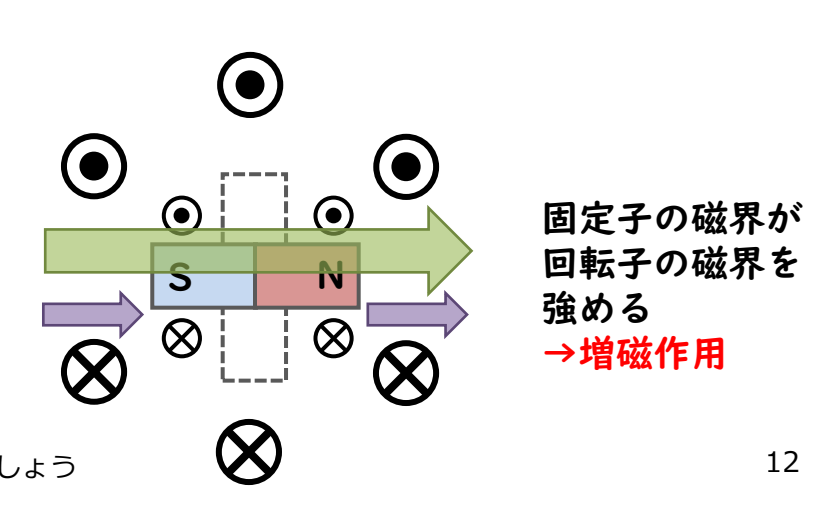
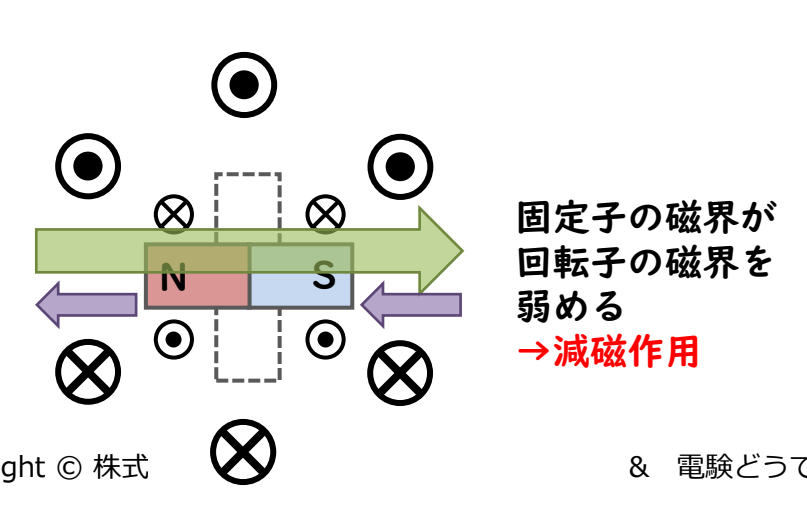
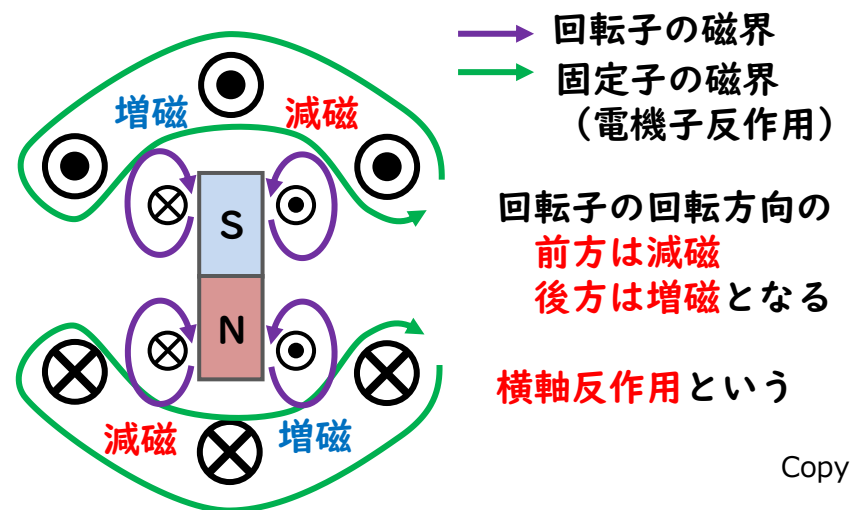
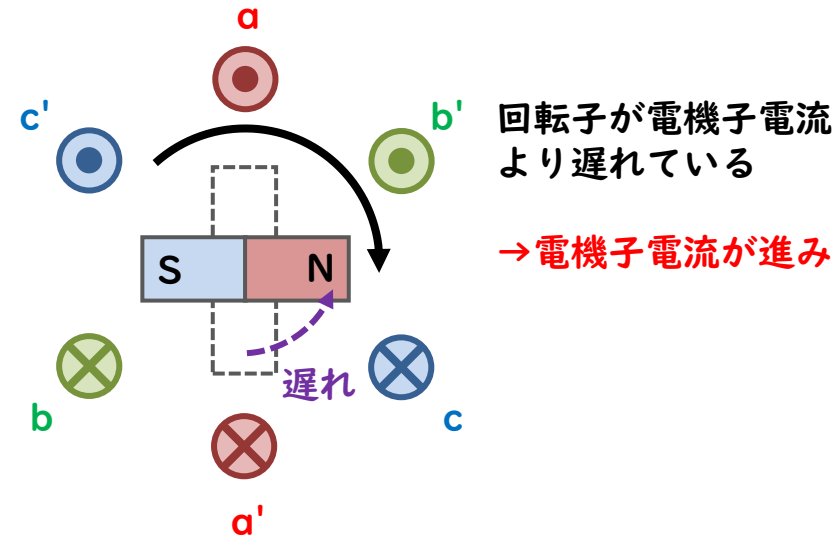
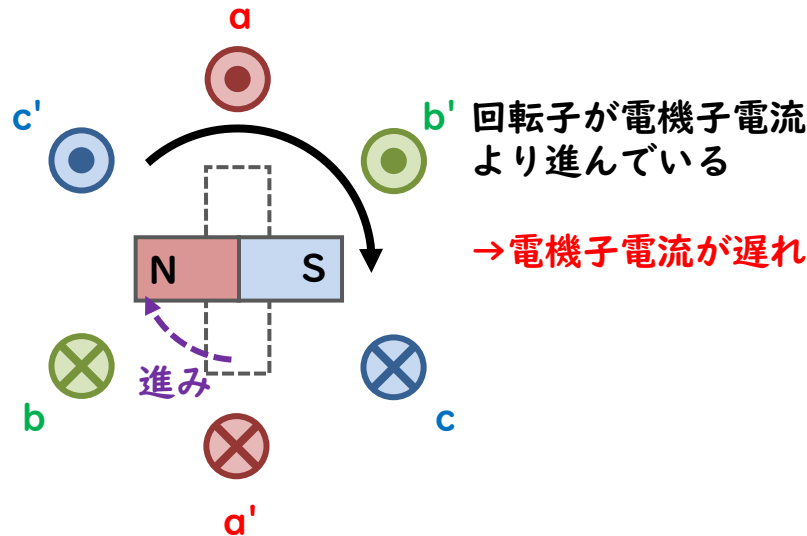
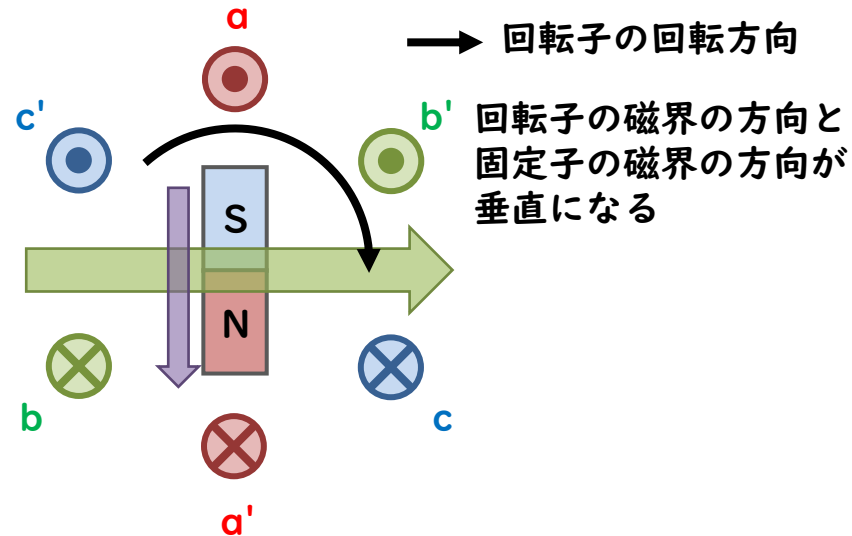
同期機

同期発電機の電機子反作用

端子電圧 V と電機子電流 I が
同相 (力率1)

端子電圧 V に対して電機子電流 I が
遅れ (負荷が誘導性)

端子電圧 V に対して電機子電流 I が
進み (負荷が容量性)

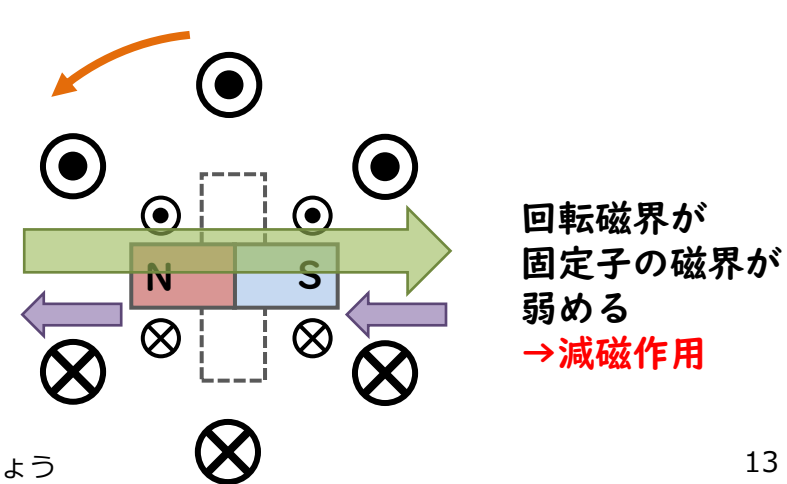
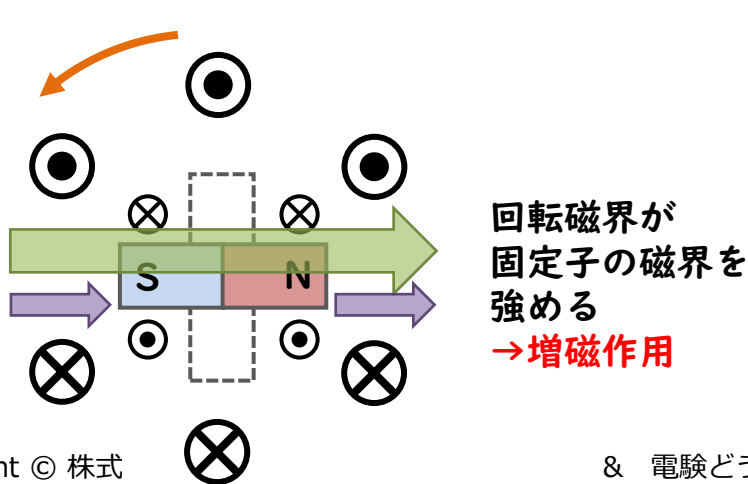
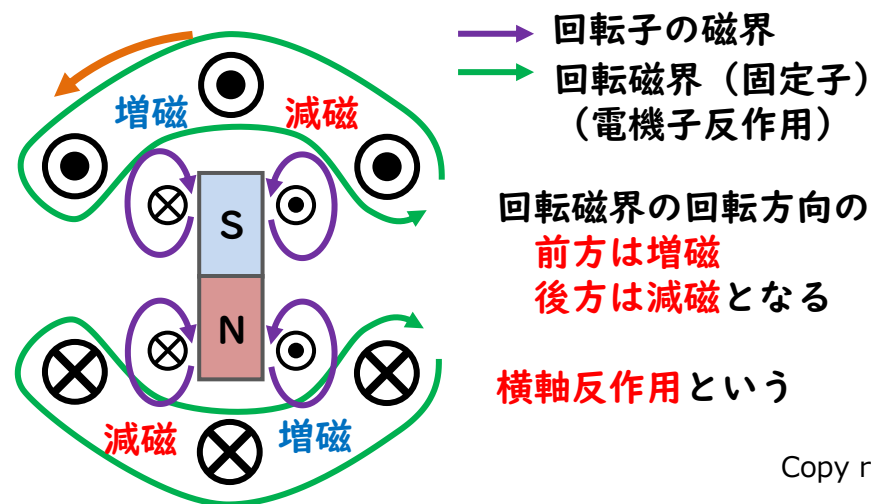
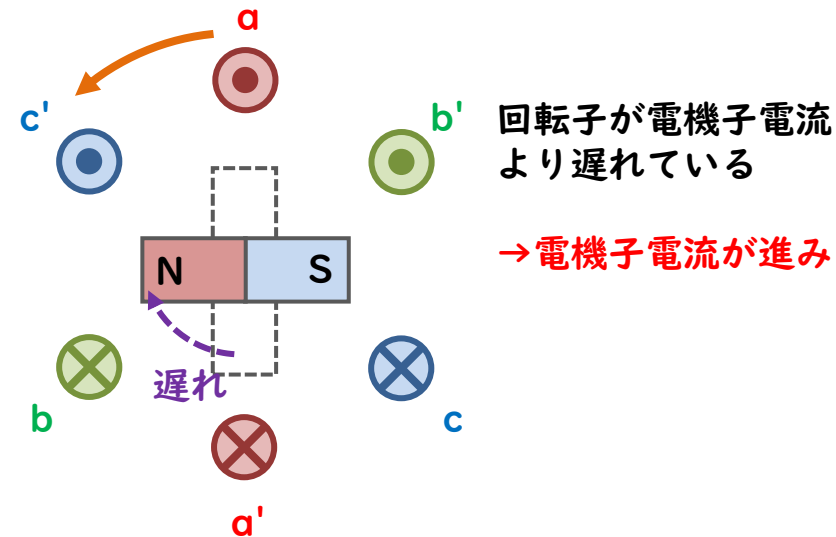
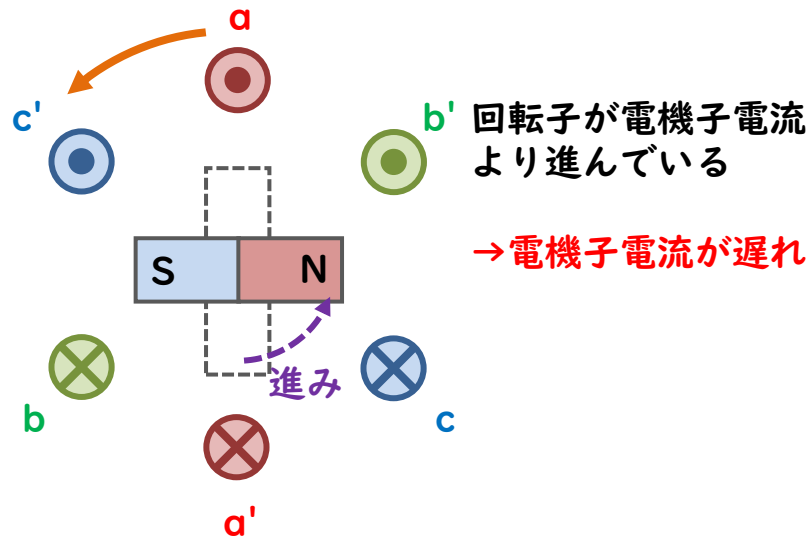
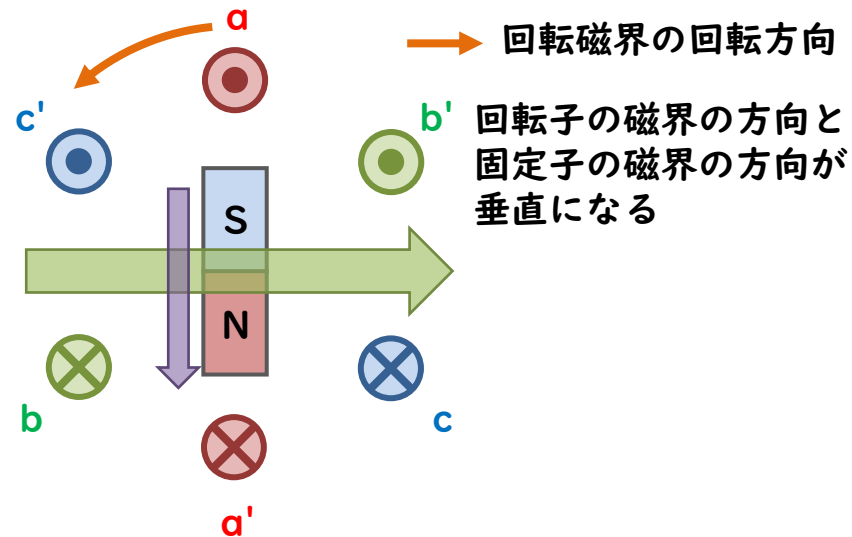


同期電動機の電機子反作用

端子電圧 V と電機子電流 I が
同相 (力率1)

端子電圧 V に対して電機子電流 I が
遅れ (負荷が誘導性)

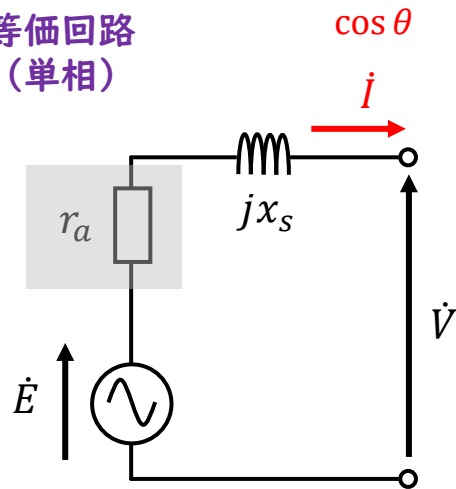
端子電圧 V に対して電機子電流 I が
進み (負荷が容量性)



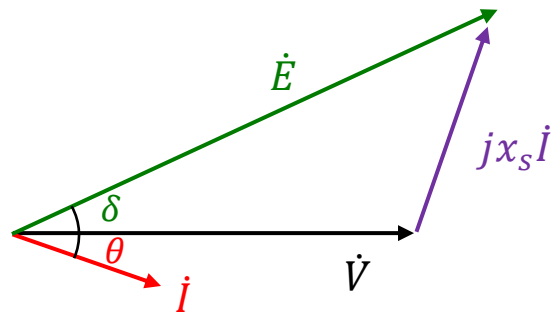
同期機の等価回路

同期発電機の等価回路

等価回路
(単相)

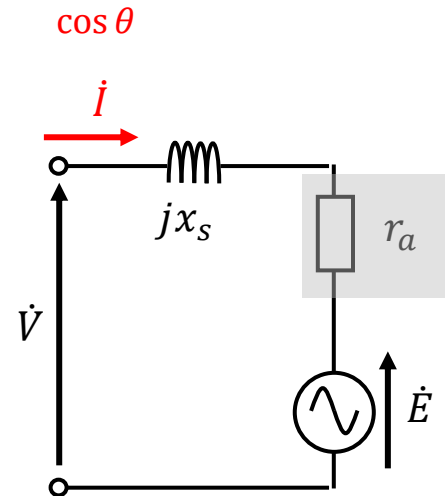


$$\dot{E} = r_a \dot{I} + jx_s \dot{I} + \dot{V} \sim jx_s \dot{I} + \dot{V}$$

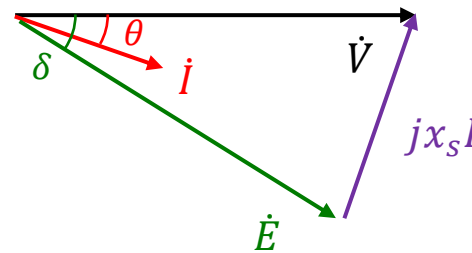


負荷角 δ : 無負荷誘導起電力と端子電圧の位相差
→ 負荷をつないだことによる誘導起電力の位相変化

同期電動機の等価回路



$$\dot{V} = r_a \dot{I} + jx_s \dot{I} + \dot{E} \sim jx_s \dot{I} + \dot{E}$$



負荷角 δ : 端子電圧と誘導起電力の位相差

電動機誘導起電力 : E [V]
電機子巻線抵抗 : r_a [Ω]
同期リアクタンス : x_s [Ω]
端子電圧 : V [V]

電験三種では
ほぼ無視

電機子電流 : I [A]
力率 : $\cos \theta$

電動機の負荷特性で決まる

同期電動機の実出力 (有効電力) P
 $P = 3VI \cos \theta$ [W]

同期電動機のトルク T

$$T = \frac{P}{\omega_s} = \frac{P}{2\pi \frac{N_s}{60}}$$

トルク : T [N · m]

同期速度 : N_s [min^{-1}]

同期角周波数 : ω_s [rad/s]

$$\omega_s = 2\pi \frac{N_s}{60}$$

同期機に関する%インピーダンス×



基準インピーダンス

$$Z_{BASE} = \frac{(\text{線間電圧})^2}{(\text{定格電力})} = \frac{V_n^2}{S_n} = \frac{(\text{相電圧})}{(\text{定格電流})} = \frac{V_n/\sqrt{3}}{I_n} = \frac{V_n}{\sqrt{3}I_n}$$

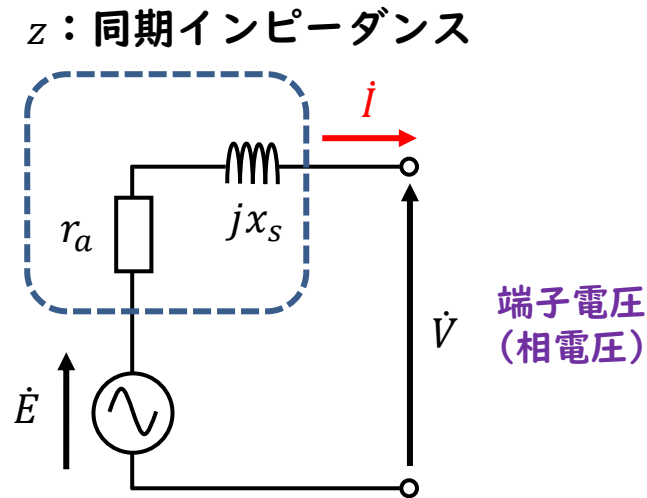
%インピーダンス

$$\%Z = \frac{(\text{実インピーダンス})}{(\text{基準インピーダンス})} \times 100 = \frac{z}{Z_{BASE}} \times 100 [\%]$$

$$\begin{aligned} \%Z &= \frac{z}{Z_{BASE}} \times 100 = 100 \times \frac{z}{Z_{BASE}} \times \frac{V_n/\sqrt{3}}{V_n/\sqrt{3}} \\ &= 100 \times \frac{V_n/\sqrt{3}}{Z_{BASE}} \times \frac{z}{V_n/\sqrt{3}} = 100 \times \frac{V_n/\sqrt{3}}{Z_{BASE}} \times \frac{z}{V_n/\sqrt{3}} \end{aligned}$$

$$\%Z = 100 \times I_n \times \frac{1}{I_s} \rightarrow \frac{I_s}{I_n} = K_s = \frac{100}{\%Z} \quad \begin{array}{l} \text{三相短絡電流: } I_s [\text{A}] \\ \text{短絡比: } K_s \end{array}$$

等価回路 (単相)



<%インピーダンスの単位法による表現>

→XX%を0.XXとすればよい

実際の計算では

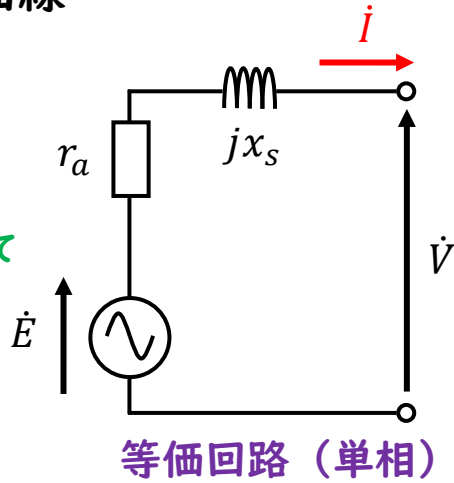
$$\begin{aligned} I [\text{p.u.}] &= \frac{I}{I_n} \longrightarrow I = I_n \text{なら } I [\text{p.u.}] = 1 \text{ p.u.} \\ V [\text{p.u.}] &= \frac{V}{V_n (\text{相電圧})} \longrightarrow V = V_n \text{なら } V [\text{p.u.}] = 1 \text{ p.u.} \\ Z [\text{p.u.}] &= \frac{z}{Z_{BASE}} \longrightarrow \%Z \text{が分かっていたら} \\ & \qquad \qquad \qquad Z [\text{p.u.}] = \% \frac{z}{100} \text{ p.u.} \end{aligned}$$

無負荷飽和曲線と三相短絡曲線



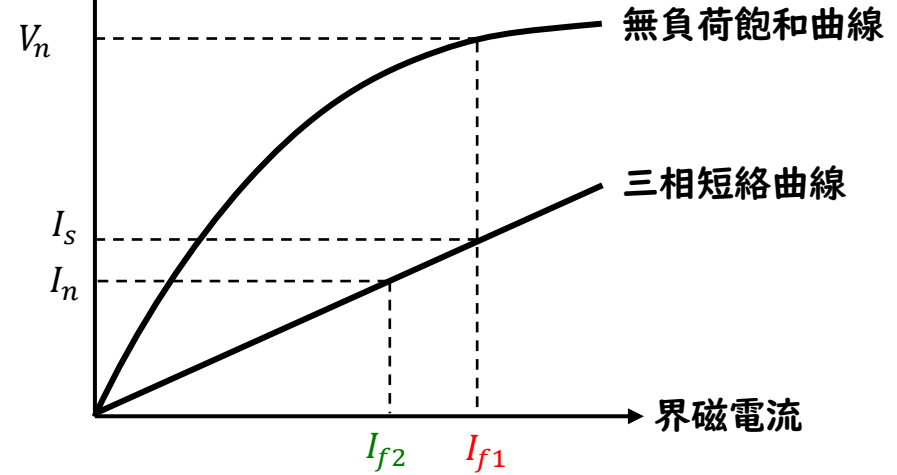
無負荷飽和曲線

界磁電流を増やして
誘導起電力を増加



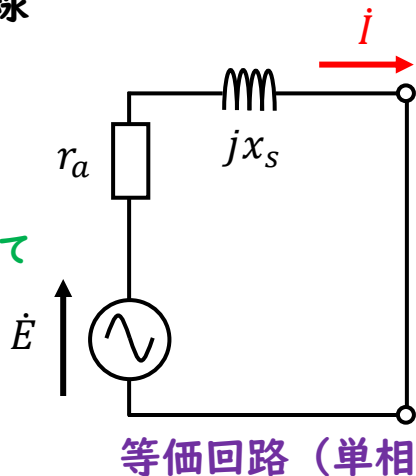
無負荷で端子電圧
を測定

端子電圧
電機子電流



三相短絡曲線

界磁電流を増やして
誘導起電力を増加



出力端子を短絡して
電機子電流を測定

$$\text{短絡比 } K_s = \frac{\text{(無負荷時に定格電圧を発生させる界磁電流 } I_{f1})}{\text{(短絡時に定格電流を発生させる界磁電流 } I_{f2})}$$

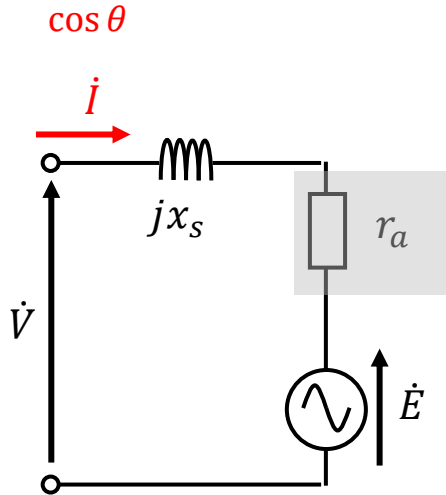
短絡比 K_s と %Z の関係

$$K_s = \frac{I_{f1}}{I_{f2}} = \frac{I_s}{I_n} = \frac{100}{\%Z}$$

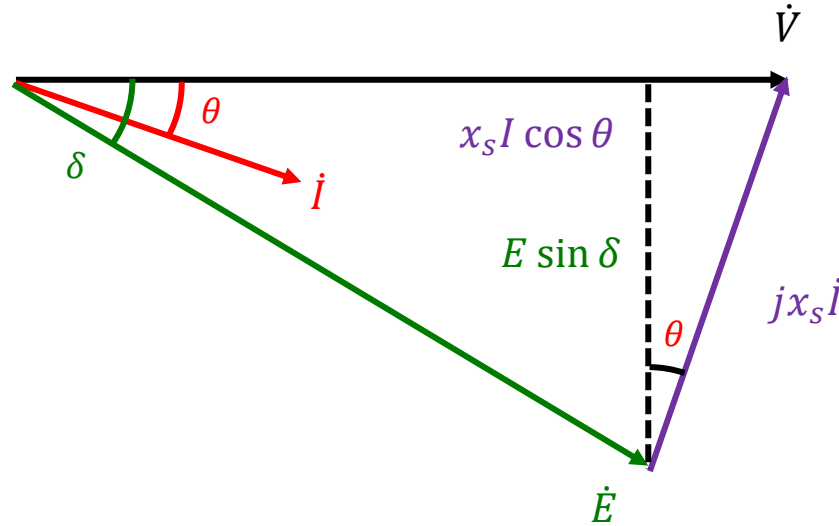
同期電動機の有効電力と負荷角 ×



同期電動機の等価回路



$$\dot{V} = jx_s \dot{I} + \dot{E}$$



同期電動機出力（有効電力） P
 $P = 3VI \cos \theta$ [W]

$$E \sin \delta = x_s I \cos \theta$$

$$\rightarrow I \cos \theta = \frac{E \sin \delta}{x_s}$$

$$P = 3V \frac{E \sin \delta}{x_s} = 3 \frac{VE \sin \delta}{x_s}$$

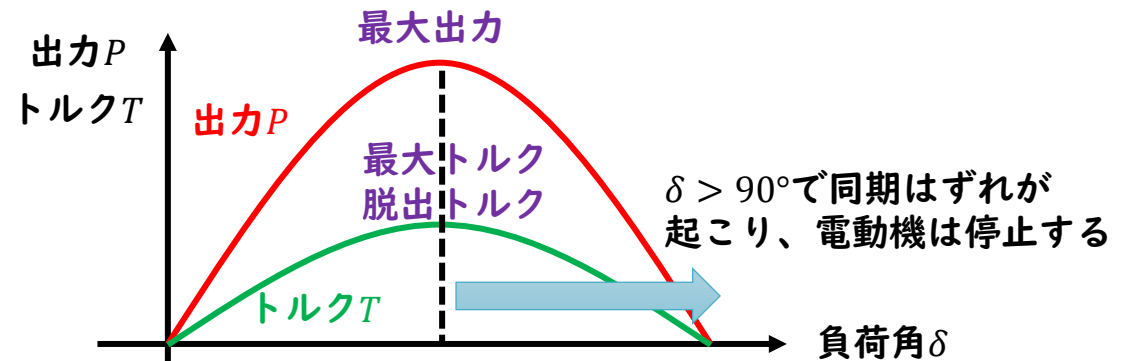
端子電圧と誘導起電力を線間電圧とすると

$$P = 3 \frac{VE \sin \delta}{x_s} = \frac{V_l E_l \sin \delta}{x_s}$$

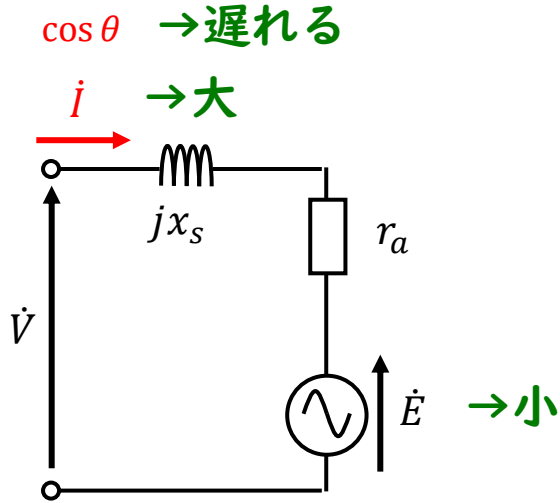
電動機誘導起電力： E [V]
 電機子巻線抵抗： r_a [Ω]
 同期リアクタンス： x_s [Ω]
 端子電圧： V [V]

電機子電流： I [A]
 力率： $\cos \theta$

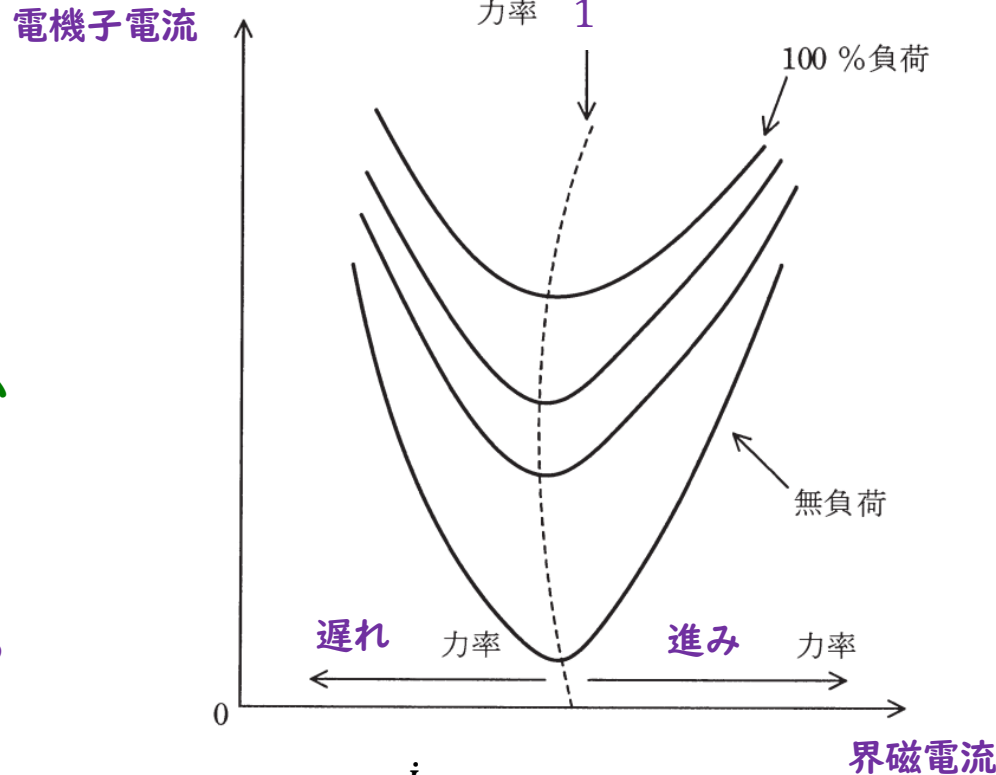
負荷角 δ ：端子電圧と誘導起電力の位相差



電動機のV字曲線

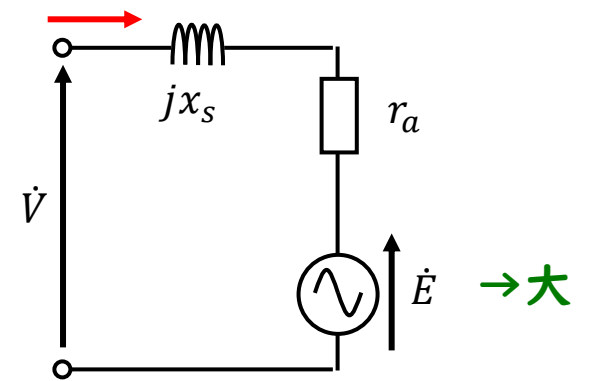


- 界磁電流を小さくすると
- ・誘導起電力が小さくなる
 - ・電動機の増磁作用が生じる
 - ・電機子電流は遅れる



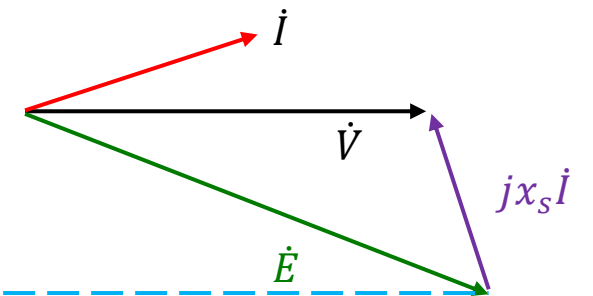
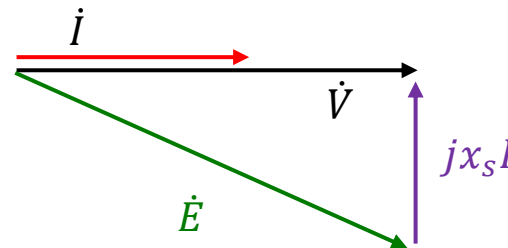
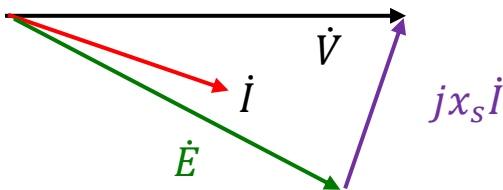
$\cos \theta \rightarrow$ 進む

$i \rightarrow$ 小



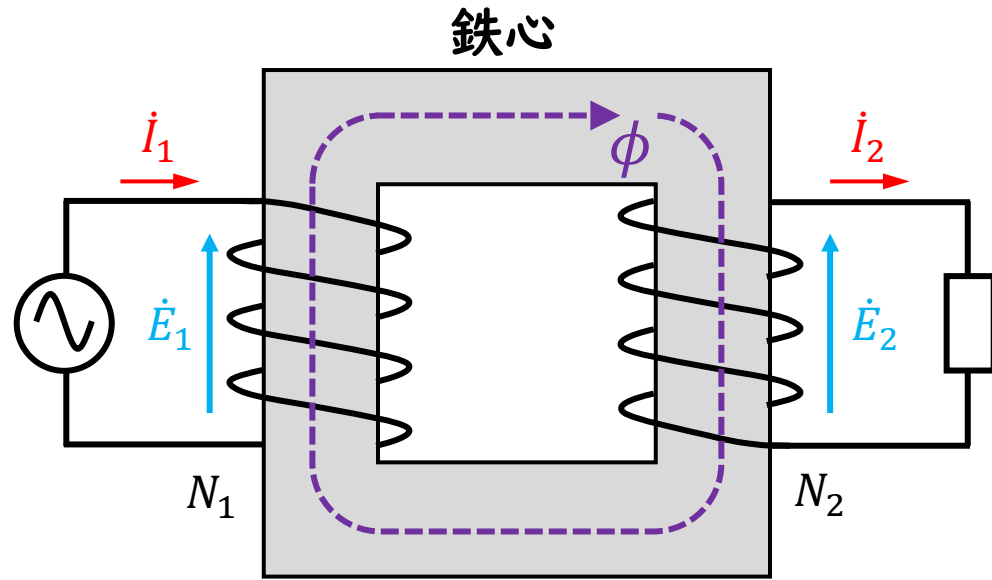
界磁電流を大きくすると

- ・誘導起電力が大きくなる
- ・電動機の減磁作用が生じる
- ・電機子電流は進む

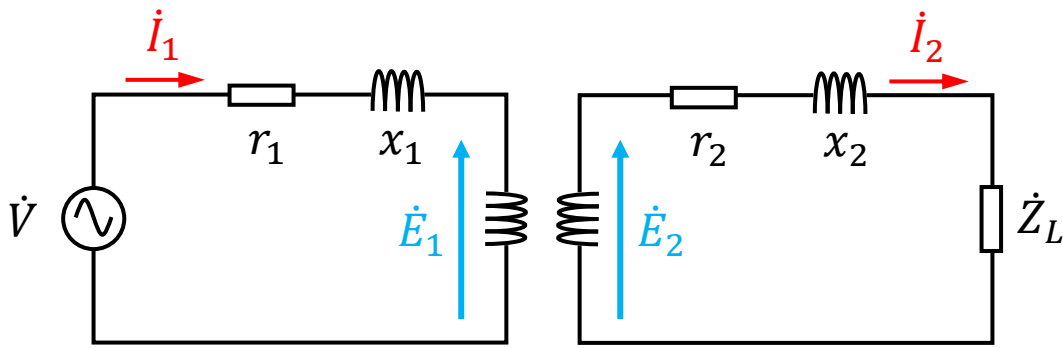


変圧器

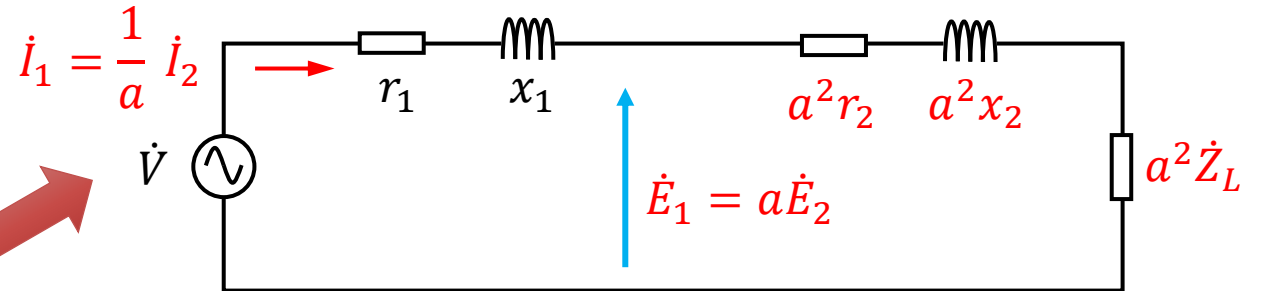
変圧器の等価回路 (超簡易版) ✓ ×



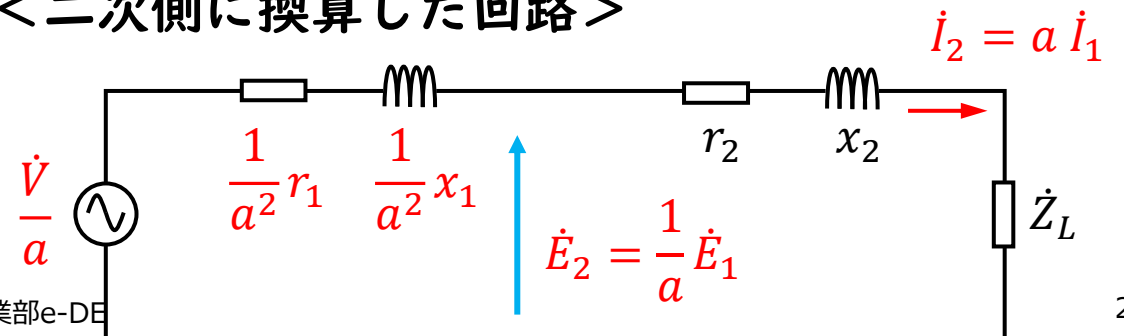
電気回路の要素	一次側	二次側
電力	1	1
電圧	a	1
電流	$1/a$	1
一次側からみた二次側負荷	a^2	1



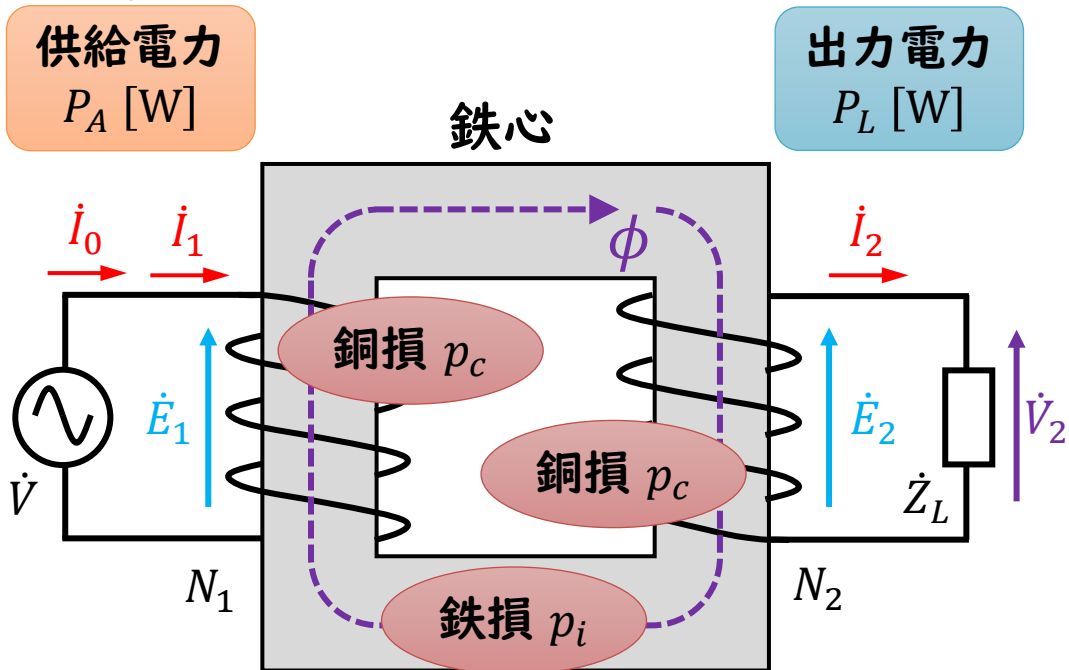
<一次側に換算した回路>



<二次側に換算した回路>



変圧器の電力と効率



<変圧器の効率>

$$\eta [\%] = \frac{P_L}{P_A} \times 100 = \frac{P_n \cos\theta}{P_n \cos\theta + p_i + p_{cn}} \times 100$$

P_n : 定格出力 [kVA]
 $\cos\theta$: 負荷の力率
 p_i : 鉄損 (無負荷損)
 p_{cn} : 定格時の銅損

出力が定格の α 倍のとき (α : 負荷率)

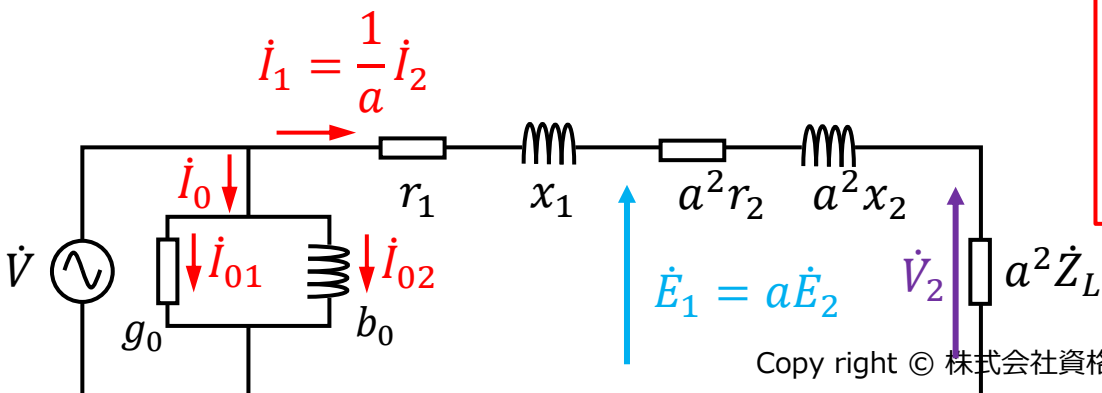
$$\eta [\%] = \frac{\alpha P_n \cos\theta}{\alpha P_n \cos\theta + p_i + \alpha^2 p_{cn}} \times 100$$

$$\begin{aligned} P_B &= V_2 I_2 = V_2 (\alpha I_n) = \alpha P_n \\ p_c &= (r_1 + a^2 r_2) I_2^2 \\ &= (r_1 + a^2 r_2) (\alpha I_n)^2 \\ &= \alpha^2 (r_1 + a^2 r_2) I_n^2 = \alpha^2 p_{cn} \end{aligned}$$

最大効率時は $p_i = p_c$ が成り立つ

銅損は負荷率の2乗に比例

<変圧器の簡易等価回路>



$$p_i = p_c = \alpha'^2 p_{cn} \rightarrow \alpha' = \sqrt{\frac{p_i}{p_{cn}}}$$

$$\eta' [\%] = \frac{\alpha' P_n \cos\theta}{\alpha' P_n \cos\theta + 2p_i} \times 100 = \frac{P_n \cos\theta}{P_n \cos\theta + \frac{p_i}{\alpha'} + \alpha' p_{cn}} \times 100$$

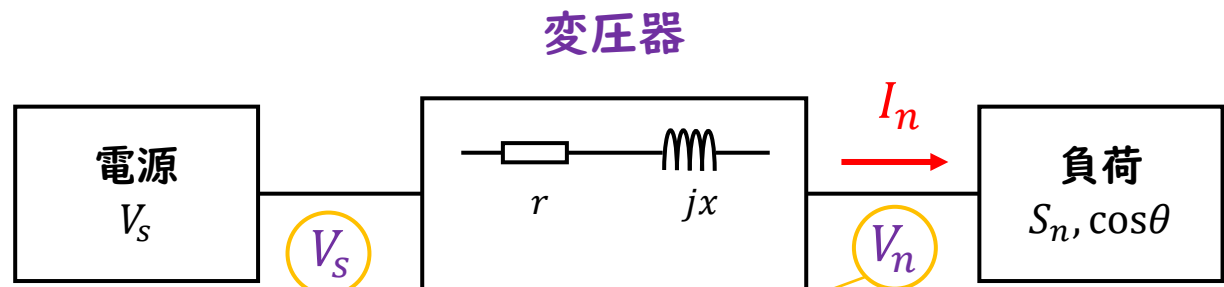
三相変圧器の結線

	一次巻線	二次巻線	一次巻線	二次巻線	線間電圧の 位相差と大きさ
Y-Y結線					$\dot{V}_{11}, \dot{V}_{12}, \dot{V}_{13}$ に比べて $\dot{V}_{21}, \dot{V}_{22}, \dot{V}_{23}$ は同相 で1/a倍
Y-Δ結線					$\dot{V}_{11}, \dot{V}_{12}, \dot{V}_{13}$ に比べて $\dot{V}_{21}, \dot{V}_{22}, \dot{V}_{23}$ は30°遅れ で1/√3a倍
Δ-Y結線					$\dot{V}_{11}, \dot{V}_{12}, \dot{V}_{13}$ に比べて $\dot{V}_{21}, \dot{V}_{22}, \dot{V}_{23}$ は30°進み で√3/a倍
Δ-Δ結線					$\dot{V}_{11}, \dot{V}_{12}, \dot{V}_{13}$ に比べて $\dot{V}_{21}, \dot{V}_{22}, \dot{V}_{23}$ は同相 で1/a倍

変圧器の結線まとめ

	一次巻線	二次巻線	特徴
Y-Y結線			<ul style="list-style-type: none"> • Y-Y-Δの形で用いられる（励磁電流の第3調波の漏れを抑制するため） • 中性点Oを接地できる • 巻線に発生する電圧（相電圧）が線間電圧の$1/\sqrt{3}$なので巻線の絶縁が容易 • 一次側、二次側の線間電圧が同相
Y-Δ結線			<ul style="list-style-type: none"> • 高電圧受電変圧器に用いられる • 中性点Oを接地できる • 励磁電流の第3調波をΔ回路で循環できる • 一次側に比べて二次側の線間電圧が30°遅れる
Δ-Y結線			<ul style="list-style-type: none"> • 発電所変圧器に用いられる • 中性点Oを接地できる • 励磁電流の第3調波をΔ回路で循環できる • 一次側に比べて二次側の線間電圧が30°進む
Δ-Δ結線			<ul style="list-style-type: none"> • 配電用変圧器に用いられる • 1相故障時V-V結線で運転できる • 励磁電流の第3調波をΔ回路で循環できる • 一次側、二次側の線間電圧が同相

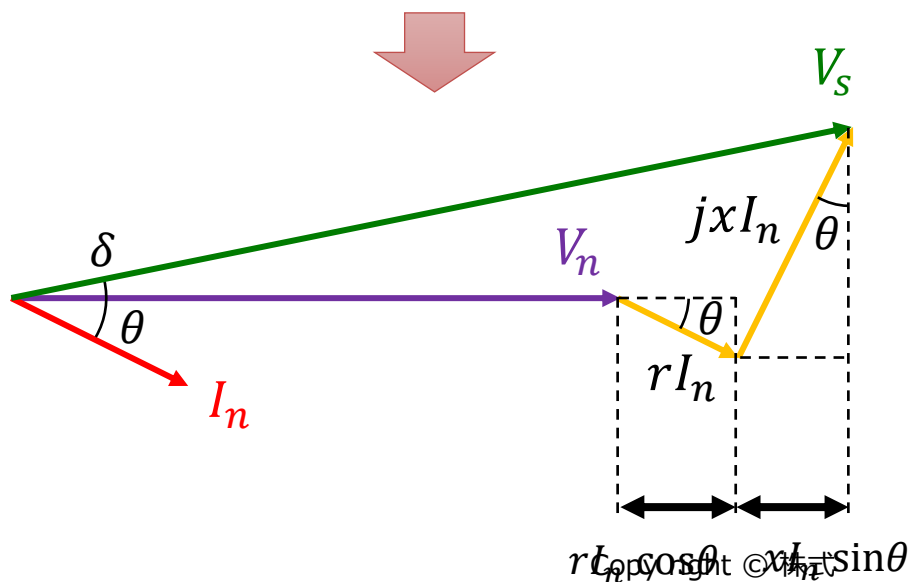
変圧器の電圧降下



V_s と V_n の間の角 (負荷角 δ) が小さいとき、
近似的に以下の等式が成り立つ

$$V_s \sim V_n + rI_n \cos\theta + xI_n \sin\theta$$

変圧器の内部インピーダンスにより
入力と出力の電圧に差が生じる



$$V_s - V_n = rI_n \cos\theta + xI_n \sin\theta$$

$$\varepsilon [\%] = \frac{V_s - V_n}{V_n} \times 100 = \frac{rI_n}{V_n} \times 100 \times \cos\theta + \frac{xI_n}{V_n} \times 100 \times \sin\theta$$

$$\varepsilon [\%] = p \cos\theta + q \sin\theta$$

$$p [\%] = \frac{rI_n}{V_n} \times 100$$

$$q [\%] = \frac{xI_n}{V_n} \times 100$$

ε : 電圧変動率 [%]

p : %抵抗降下 [%]

q : %リアクタンス降下 [%]

電圧変動率とパーセントインピーダンス



$$\varepsilon [\%] = p \cos \theta + q \sin \theta$$

$$p [\%] = \frac{r I_n}{V_n} \times 100 = \frac{r}{Z_{BASE}} \times 100$$

$$q [\%] = \frac{x I_n}{V_n} \times 100 = \frac{x}{Z_{BASE}} \times 100$$

$$z = \sqrt{r^2 + x^2} \rightarrow z \times \frac{100}{Z_{BASE}} = \sqrt{r^2 + x^2} \times \frac{100}{Z_{BASE}}$$

$$z \times \frac{100}{Z_{BASE}} = \sqrt{r^2 \times \left(\frac{100}{Z_{BASE}}\right)^2 + x^2 \times \left(\frac{100}{Z_{BASE}}\right)^2}$$

$$\%Z = \sqrt{p^2 + q^2}$$

ε : 電圧変動率 [%]

p : %抵抗降下 [%]

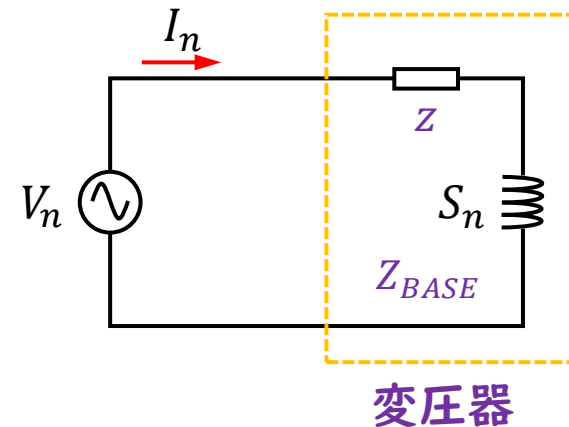
q : %リアクタンス降下 [%]

単相変圧器に対して
基準インピーダンス

$$Z_{BASE} = \frac{(\text{定格電圧})^2}{(\text{定格電力})} = \frac{V_n^2}{S_n} = \frac{(\text{定格電圧})}{(\text{定格電流})} = \frac{V_n}{I_n}$$

パーセントインピーダンス

$$\%Z = \frac{(\text{実インピーダンス})}{(\text{基準インピーダンス})} \times 100 = \frac{z}{Z_{BASE}} \times 100 [\%]$$

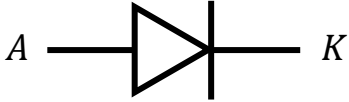
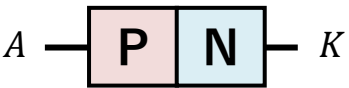
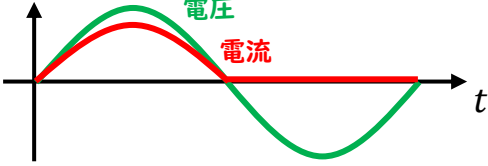
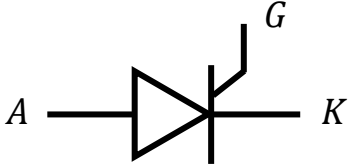
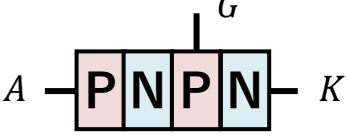
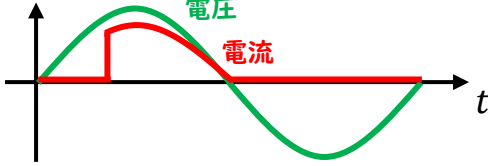
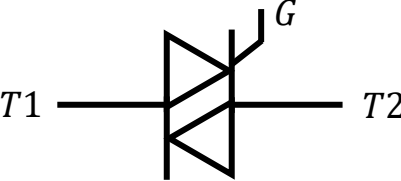
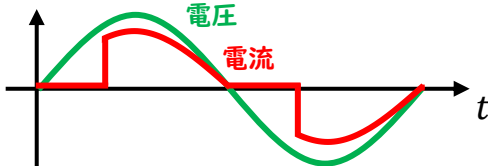
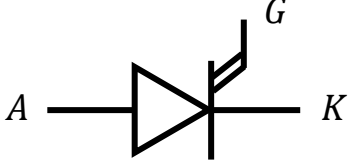
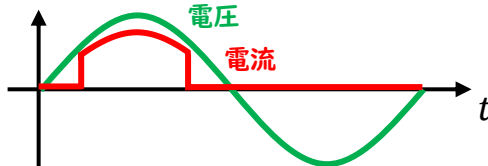
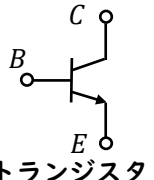
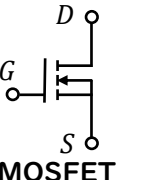
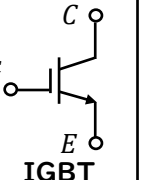
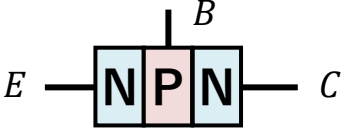




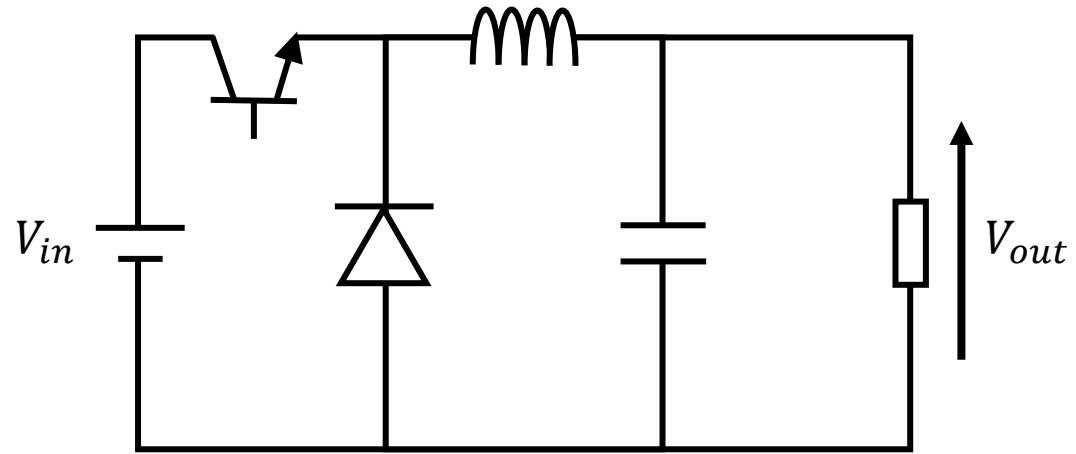
パワーエシ

パワエレで登場する半導体デバイス X

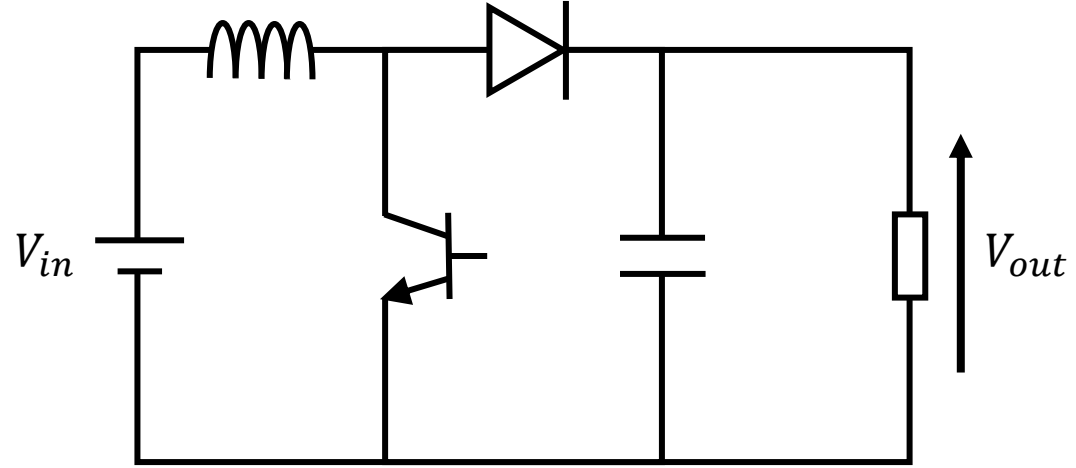


素子	シンボル	PN接合の構造	特性	電圧/電流波形
ダイオード			<ul style="list-style-type: none"> 整流作用 (順方向電圧で電流が流れる 逆方向電圧では流れない) 	
サイリスタ			<ul style="list-style-type: none"> 整流作用 ゲート信号でON 	
トライアック			<ul style="list-style-type: none"> ゲート信号でON (双方向サイリスタのため 整流作用はない) 	
GTOサイリスタ (ゲートターンオフ)			<ul style="list-style-type: none"> 整流作用 ゲート信号でON ゲート信号でOFF 	
トランジスタ (MOS) FET IGBT	   トランジスタ MOSFET IGBT		<ul style="list-style-type: none"> 制御信号により 電流ON/OFF可能 	

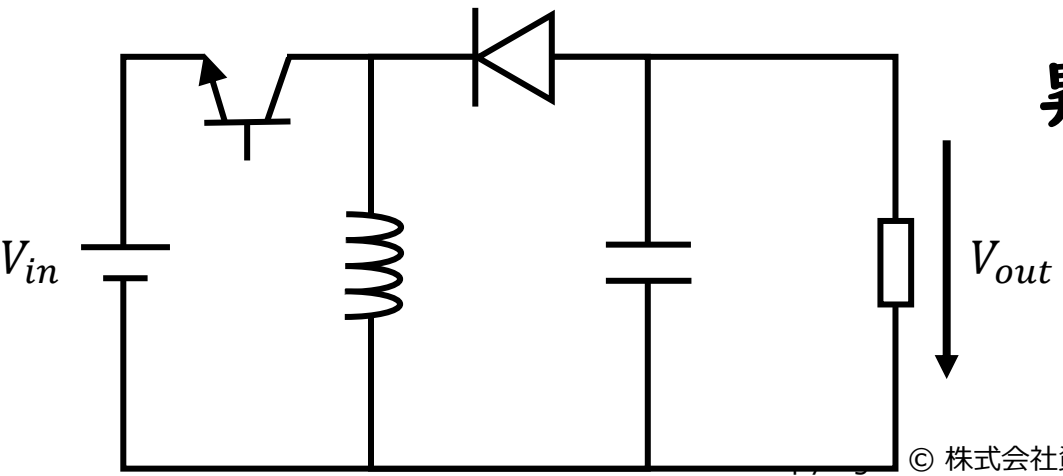
チョツパ回路



降压チョツパ回路 $V_{out} = \alpha V_{in}$



昇圧チョツパ回路 $V_{out} = \frac{1}{1-\alpha} V_{in}$



昇降圧チョツパ回路

$$V_{out} = \frac{\alpha}{\alpha - 1} V_{in} \quad \alpha = \frac{T_{ON}}{T_{ON} + T_{OFF}}$$

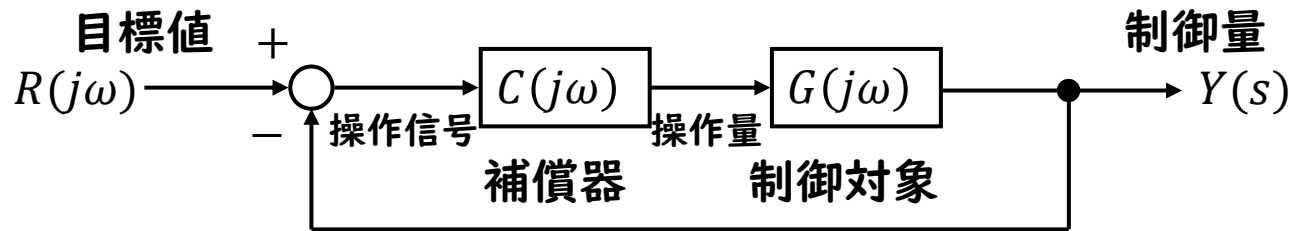
T_{ON} : トランジスタON時間
 T_{OFF} : トランジスタOFF時間



自動制御

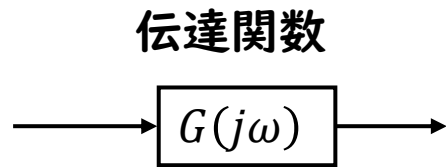
ブロック線図

制御系を構成している各機能を“ブロック”といい、各ブロックを信号の流れを表す線で結んだものを“ブロック線図”という

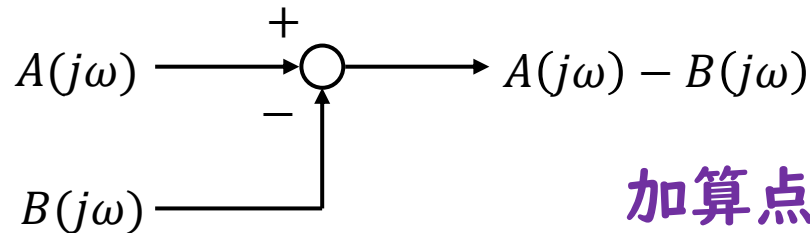
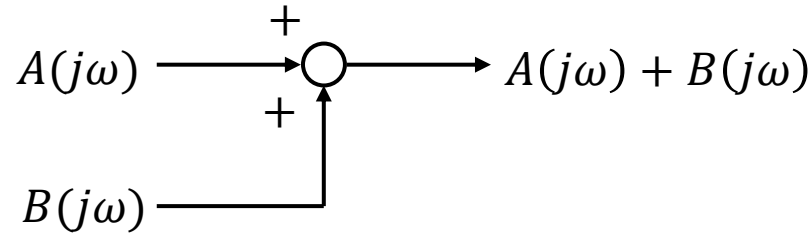


※気をつけること

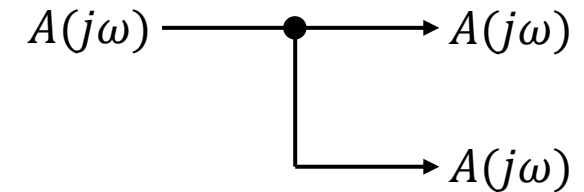
- 時間の概念はない
→ 入力が先、出力が後と考えない
- 信号は減らない
→ 分岐しても値は変化しない



基本構成



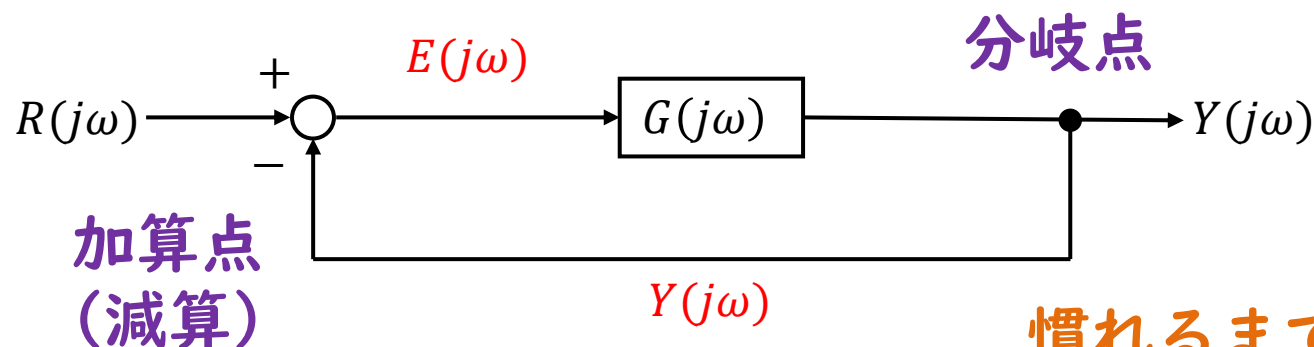
加算点



分岐点

フィードバックの伝達関数

伝達関数を通った信号を入力側に帰還するような制御系をフィードバック
と言い、制御系を安定にするための制御手法である



入力側に加算点 (減算)
出力側に分岐点

慣れるまでは $E(j\omega)$ を起点に導出する

フィードバック系
の伝達関数

$$Y = \frac{G}{1 + G} R$$

$$Y = GE$$

$$E = R - Y$$

$$Y = G(R - Y) \rightarrow Y + GY = GR$$

$$\therefore Y = \frac{G}{1 + G} R$$

対数の計算のルール

$$X = a^b \rightarrow b = \log_a X$$

$$4 = 2^2 \rightarrow \log_2 4 = 2$$

$$2 = 2^1 \rightarrow \log_2 2 = 1$$

$$1 = 2^0 \rightarrow \log_2 1 = 0$$

$$0.5 = 2^{-1} \rightarrow \log_2 0.5 = -1$$

$$0.25 = 2^{-2} \rightarrow \log_2 0.25 = -2$$

$$X \rightarrow X[\text{dB}] = 20\log_{10} X$$

$$100 \rightarrow 20\log_{10} 100 = 20 \times 2 = 40 \text{ dB}$$

$$10 \rightarrow 20\log_{10} 10 = 20 \times 1 = 20 \text{ dB}$$

$$1 \rightarrow 20\log_{10} 1 = 20 \times 0 = 0 \text{ dB}$$

$$0.1 \rightarrow 20\log_{10} 0.1 = 20 \times (-1) = -20 \text{ dB}$$

$$0.01 \rightarrow 20\log_{10} 0.01 = 20 \times (-2) = -40 \text{ dB}$$

公式一覧

$$\log_a 1 = 0$$

$$\log_a a = 1$$

$$\log_a b^m = m\log_a b$$

$$\log_a \frac{1}{b} = \log_a b^{-1} = -\log_a b$$

$$\log_a \frac{b^m}{b^n} = \log_a b^{m-n} = (m-n)\log_a b$$

$$\log_a BC = \log_a B + \log_a C$$

$$\log_a \frac{B}{C} = \log_a B - \log_a C$$

1次遅れ要素のボード線図の特徴

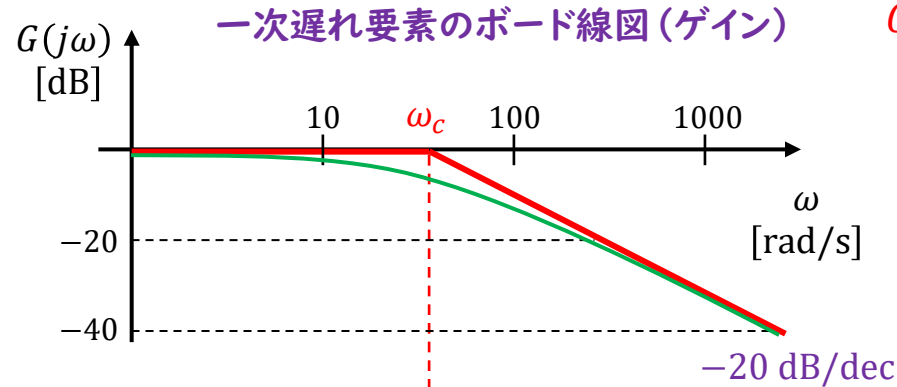
1次遅れ要素の伝達関数

$$G(j\omega) = \frac{K}{1 + j\frac{1}{\omega_c}\omega}$$

ω_c : 折点周波数
(カットオフ周波数)

$$\tau = \frac{1}{\omega_c} \quad \tau : \text{時定数}$$

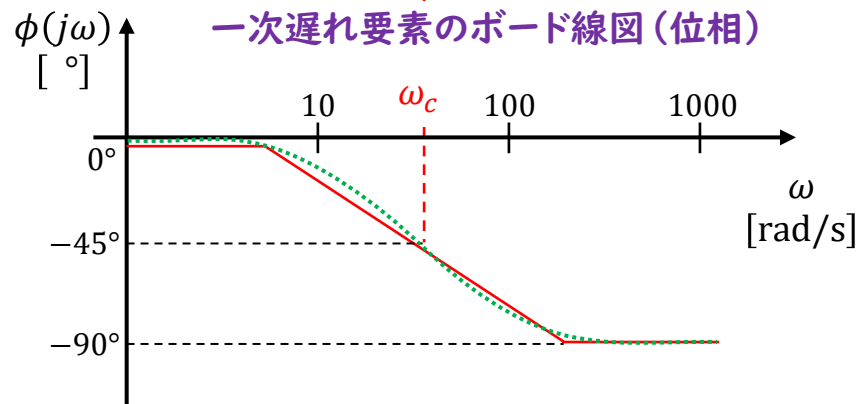
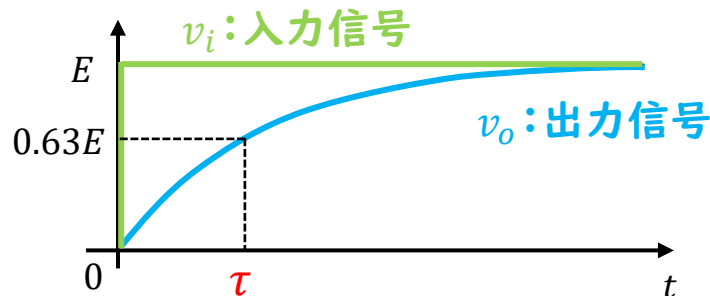
$$G(j\omega) = \frac{1}{1 + j\frac{\omega}{30}} \quad K = 1 \quad \omega_c = 30 \text{ rad/s} \quad \text{の場合}$$



$$G(j\omega)_{dB} = 20\log_{10}|G(j\omega)|$$

- ω_c で -3 dB 低下
- ω_c より低周波では一定値
- ω_c より高周波では -20 dB/dec で変化

ステップ応答



$$\phi(j\omega) = \text{Tan}^{-1} \left[\frac{\text{Im}(G(j\omega))}{\text{Re}(G(j\omega))} \right]$$

- ω_c で -45°
- ω_c より低周波では一定値 0°
- ω_c より高周波では -90°

伝達関数とボード線図の対応 (参考)

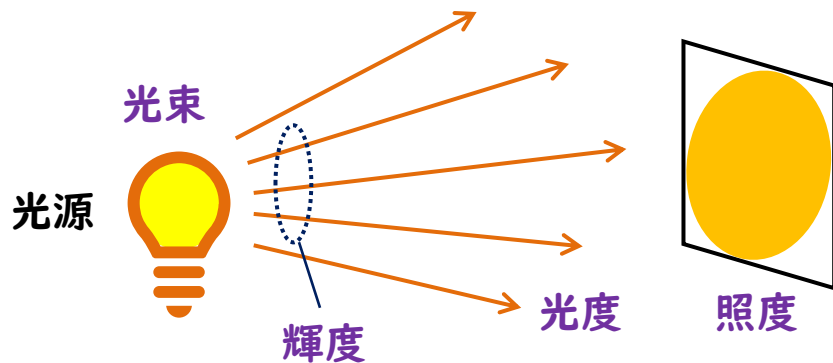
制御要素	伝達関数	絶対値 (対数)	位相	ボード線図 (ゲイン)	ボード線図 (位相)
比例要素	K	$20\log_{10}K$	0		
微分要素	$j\omega$	$20\log_{10}\omega$	$\frac{\pi}{2}$		
積分要素	$\frac{1}{j\omega}$	$-20\log_{10}\omega$	$-\frac{\pi}{2}$		
1次進み要素	$1 + j\omega T$	$20\log_{10}\sqrt{1 + \omega^2 T^2}$	$\theta = \tan^{-1}\omega T$		
1次遅れ要素	$\frac{1}{1 + j\omega T}$	$-20\log_{10}\sqrt{1 + \omega^2 T^2}$	$\theta = -\tan^{-1}\omega T$		
2次遅れ要素	$\frac{1}{(1 + j\omega T_1)(1 + j\omega T_2)}$	$-20\log_{10}\sqrt{1 + \omega^2 T_1^2}$ $-20\log_{10}\sqrt{1 + \omega^2 T_2^2}$	$\theta_1 = -\tan^{-1}\omega T_1$ $\theta_2 = -\tan^{-1}\omega T_2$ $\theta_1 + \theta_2$		



照明

計算に必要な公式など

物理量	量記号	単位	意味	公式 (点光源の場合)	対称
光束	F	lm (ルーメン)	ある面を通過する光の明るさ	$F = 4\pi I$	光源
光度	I	cd (カンデラ)	光束の単位立体角あたりの密度	$I = \frac{F}{\omega}$ ω : 立体角	光源
輝度	L	cd/m ²	見かけの面積当たりの光度	$L = \frac{I}{A}$ A : 見かけの面積	光源
照度	E	lx (ルクス)	単位面積あたりに入射する光束	$E = \frac{F}{S}$ S : 被照射体の面積	被照射体



距離の逆2乗の法則

$$E = \frac{I}{l^2} \text{ [lx]}$$

入射角余弦の法則

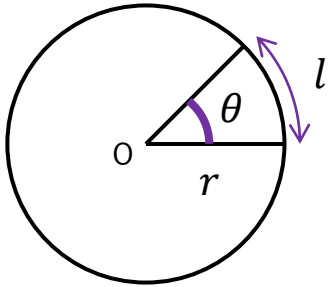
$$E = E' \cos \theta$$

E' : 法線照度

立体角

平面角 θ [rad] (ラジアン)

半径 r の円を考える



弧の長さ l

$$l = r\theta$$

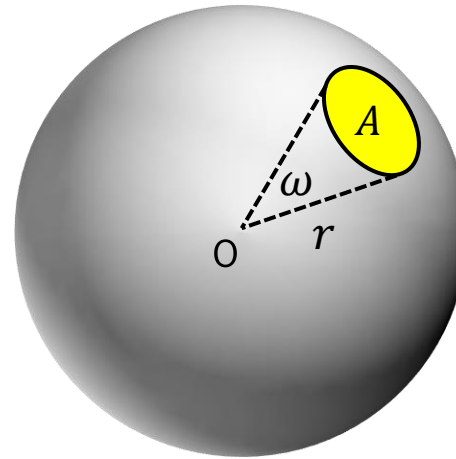
円周

$$L = 2\pi r$$

$$\rightarrow \theta = 2\pi$$

立体角 ω [sr] (ステラジアン)

半径 r の球を考える



球表面のある範囲の面積 A

$$A = r^2\omega \rightarrow \omega = \frac{A}{r^2}$$

球の表面積

$$S = 4\pi r^2$$

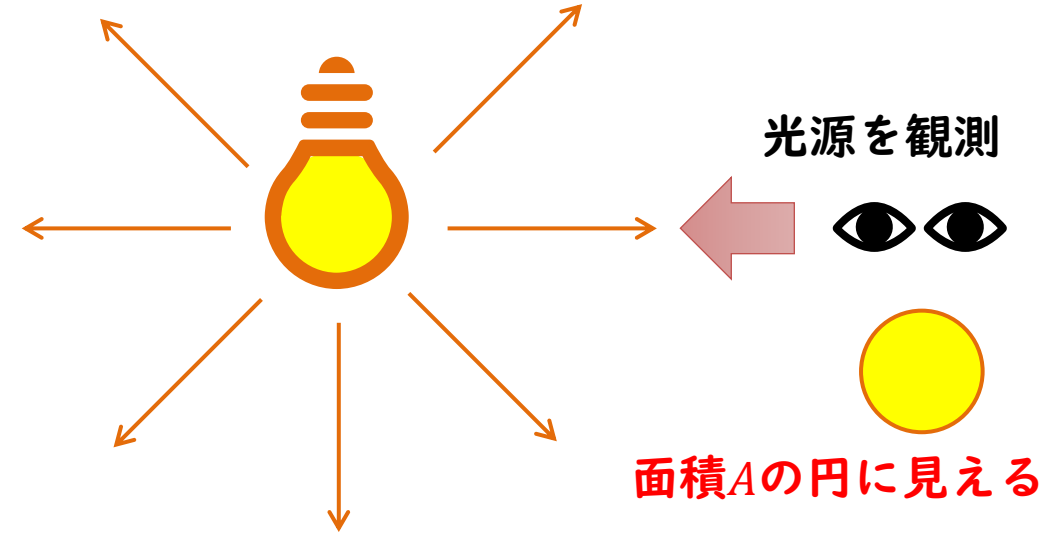
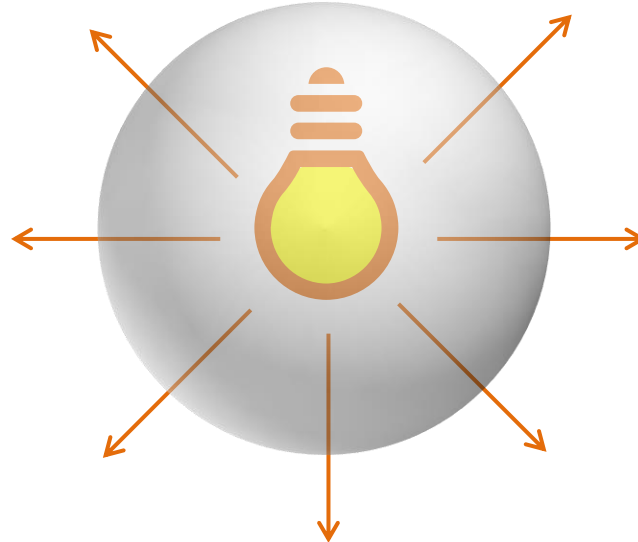
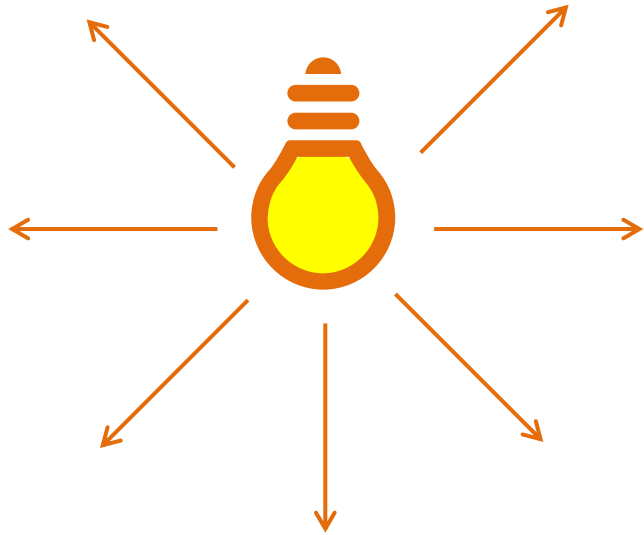
$$\rightarrow \omega = 4\pi$$

光束、光度、輝度

点光源または球光源

点光源または球光源

点光源または球光源



光の総量→光束 F [lm]

半径が l の球で覆い、球表面の
光束の密度を求める→光度 I [cd]

光度 I [cd] の光源を見かけの面積
で割ったもの→輝度 L [cd/m²]

$$F = 4\pi I$$
$$I = \frac{F}{4\pi} \text{ [cd]}$$

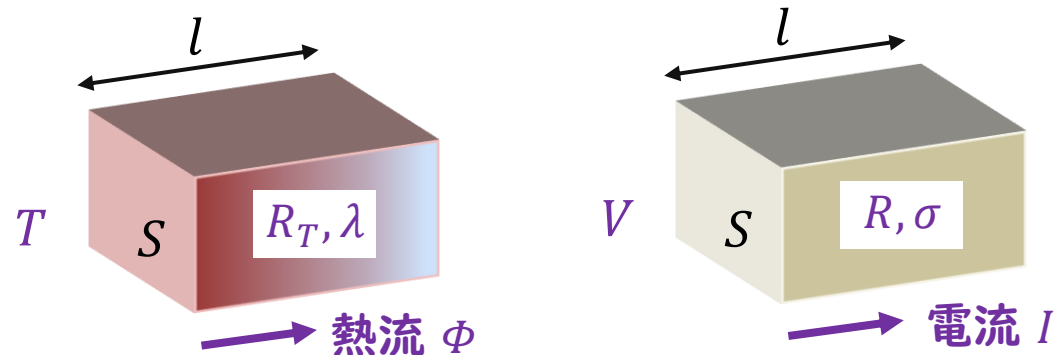
$$L = \frac{I}{A} \text{ [cd/m}^2\text{]}$$

光度の定義：単位立体角あたりの光束の量

輝度の定義：見かけの面積あたりの光度

電気加熱

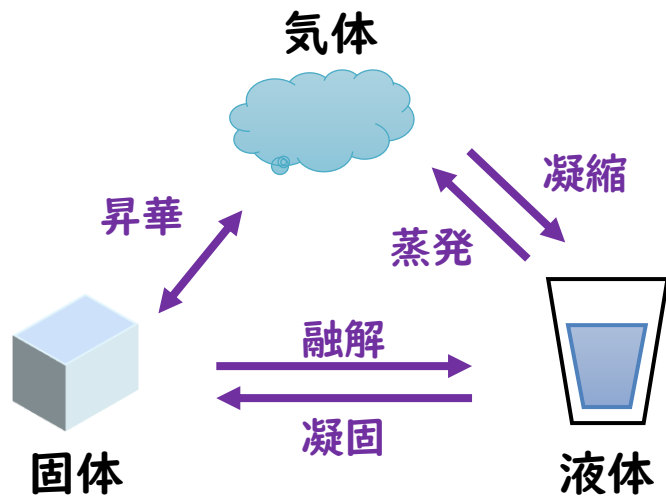
熱回路と電気回路 まとめ



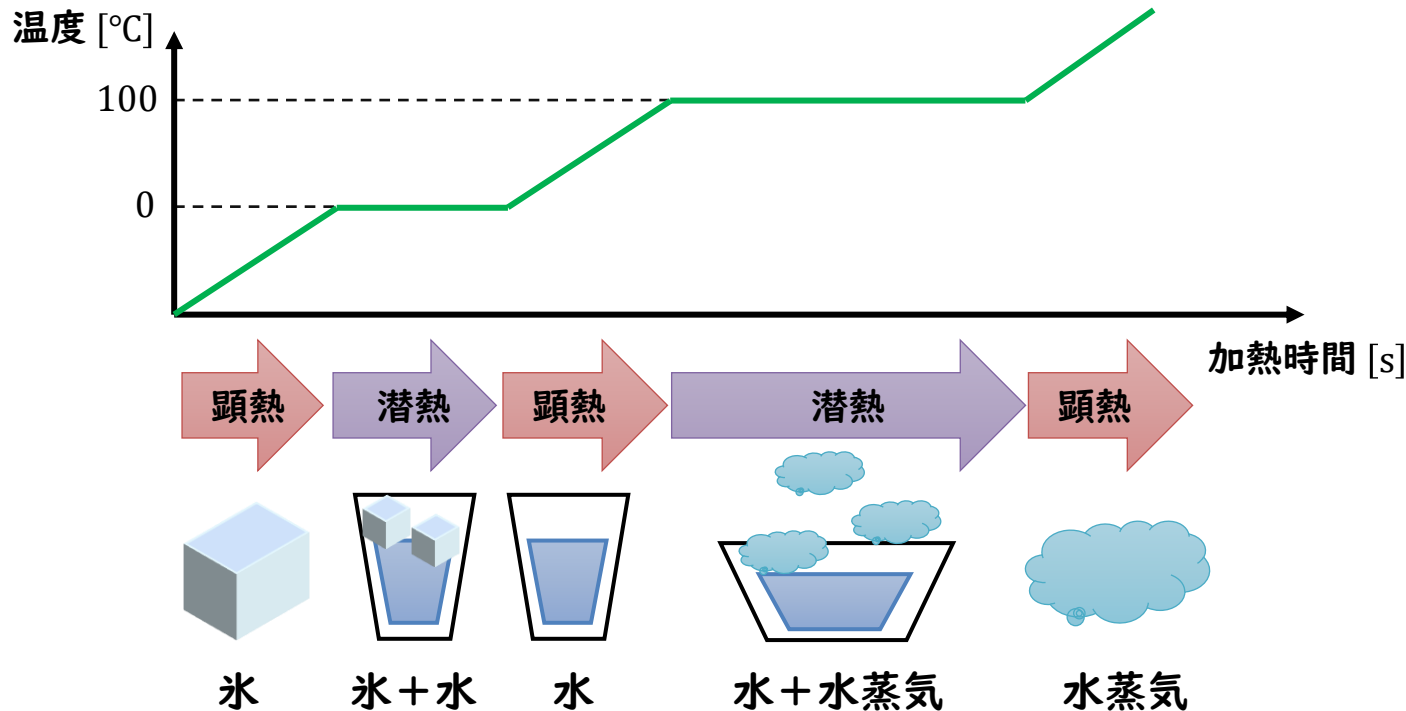
熱回路		電気回路	
物理量	単位	物理量	単位
温度差 T	K	電位差 V	V
熱流 ϕ	W	電流 I	A
熱抵抗 R_T	K/W	抵抗 R	Ω
熱容量 C	J/K	静電容量 C	F
熱量 Q	J	電荷量 Q	C
熱伝導率 λ	W/(m·K)	導電率 σ	S/m

熱回路	電気回路
$Q = CT$ $Q = cmT$	$Q = CV$
$T = R_T \Phi$	$V = RI$
$R_T = \frac{1}{\lambda} \frac{l}{S}$	$R = \frac{1}{\sigma} \frac{l}{S}$

物質の状態変化と熱の関係



水の状態変化と温度の関係



顕熱：物質の温度変化に必要なエネルギー

$$Q = cmT$$

T : 温度差 [K]

Q : 熱量 [J]

c : 比熱 [kJ]/(kg · K)

m : 物質の質量 [kg]

潜熱：物体の状態変化の際に必要なエネルギー

$$Q = \beta m$$

Q : 熱量 [J]

β : 物質の潜熱 [kJ]/(kg)

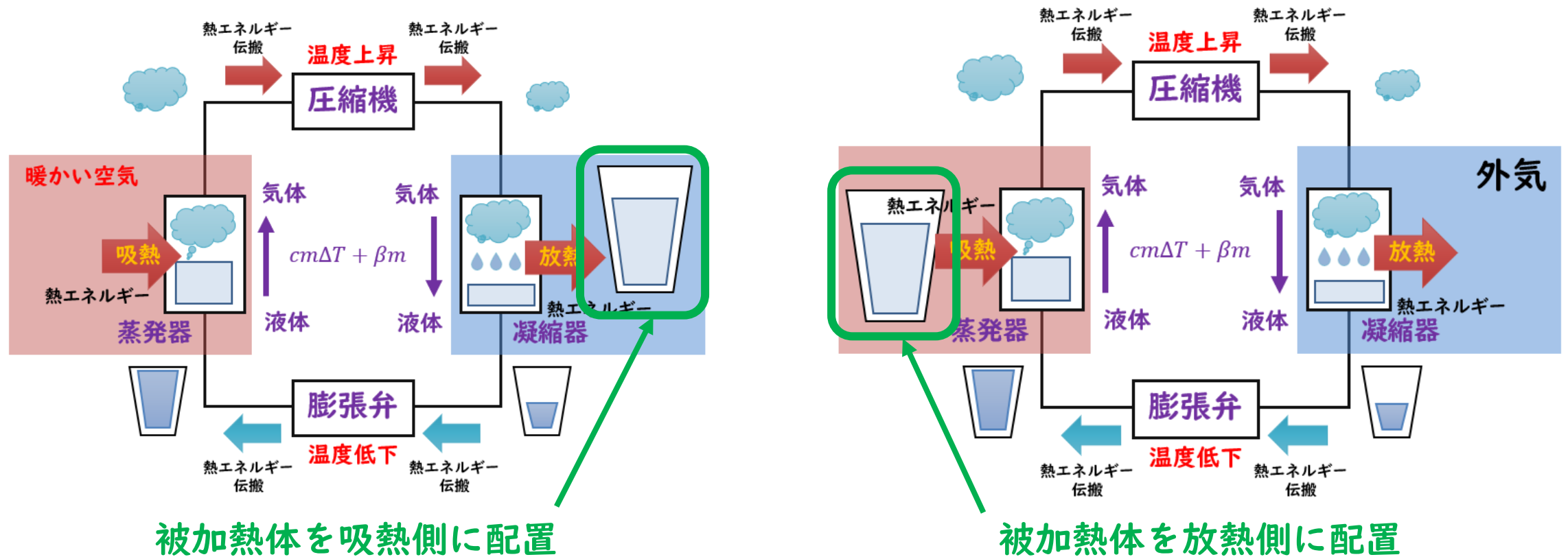
m : 物質の質量 [kg]

<エネルギーの公式>

$$W [J] = P [W] \times t [s] = 3600 \times P \times h [W \cdot h] = cmT + \beta m$$

ヒートポンプ

- 被加熱体を放熱側に配置すると、被加熱体は加熱される
- 被加熱体を吸熱側に配置すると、被加熱体は冷却される





電気化学

質量数とmol (モル)

質量数：原子の陽子と中性子の個数の合計であり、原子の質量を表す

水素(H)	質量数 1	銅(Cu)	質量数 63.5
炭素(C)	質量数 12	亜鉛(Zn)	質量数 65.4
酸素(O)	質量数 16	鉛(Pb)	質量数 207

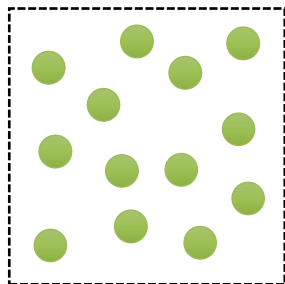
モル(mol)：原子の数を表す単位 $1 \text{ mol} = 6.02 \times 10^{23}$ 個

鉛筆12本で1ダース
みたいな感じ

1 molの物質の質量 → 質量数にグラムをつけたもの

1 molの物質の体積 → 0 °C、1 気圧で 22.4 l

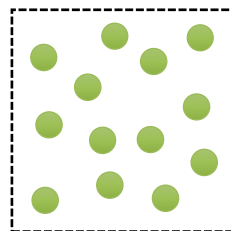
1 mol



数 6.02×10^{23} 個
体積 22.4 l

銅(Cu)

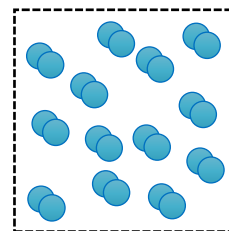
1 mol



63.5 g

水素(H₂)

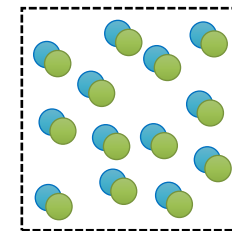
1 mol



$2 \times 1 = 2 \text{ g}$

酸化銅(CuO)

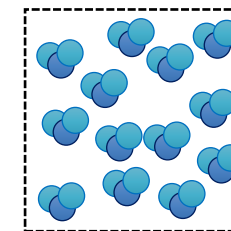
1 mol



$63.5 + 16$
 $= 79.5 \text{ g}$

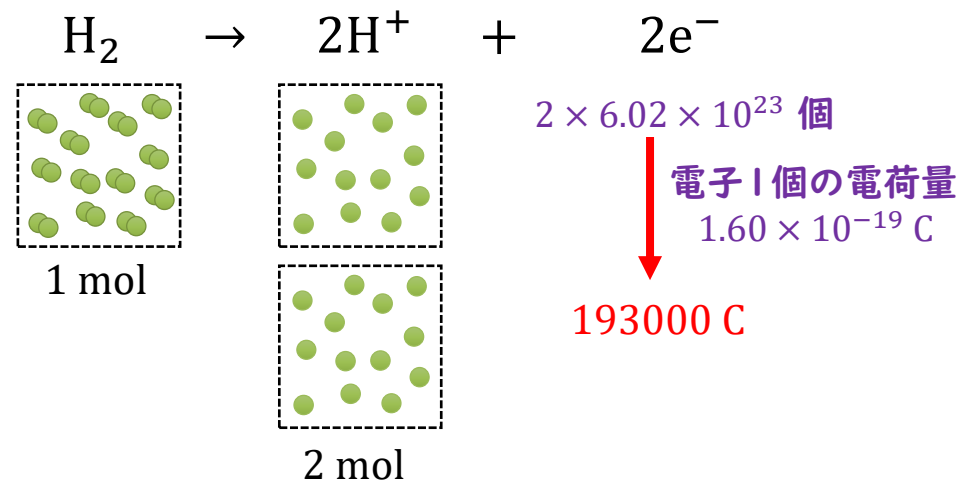
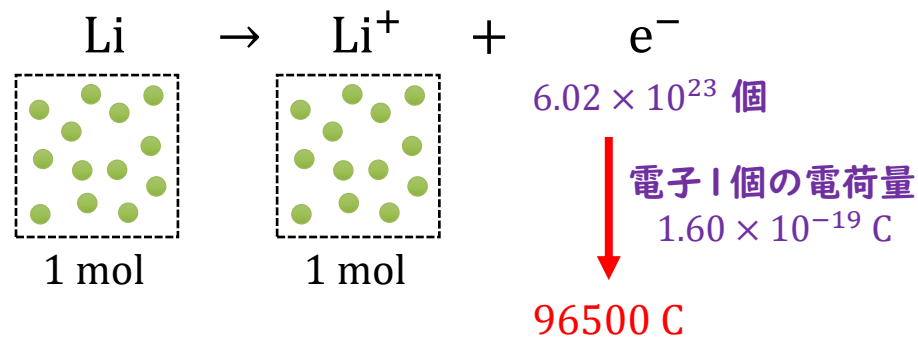
水(H₂O)

1 mol



$2 \times 1 + 16$
 $= 18 \text{ g}$

化学反応と電荷量



電気分解のファラデーの法則

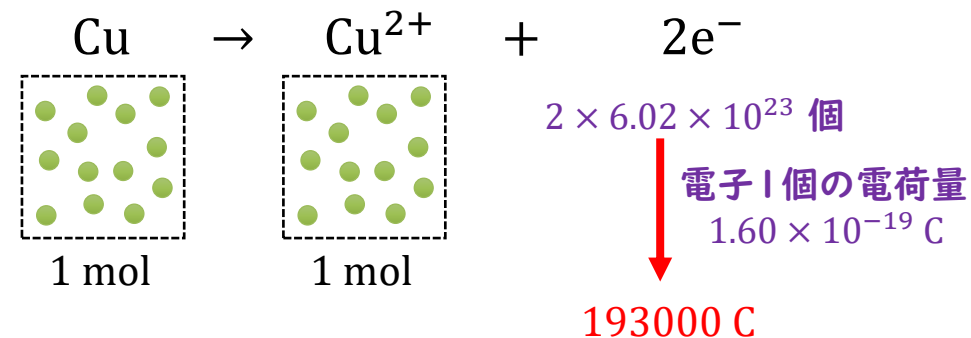
$$n \times \frac{w}{M} \times 96500 \text{ [C/mol]} = Q \text{ [C]} = \frac{It}{3600} \text{ [A} \cdot \text{h]}$$

n : イオンの価数

w : 析出量 (生成された物質の質量) [g]

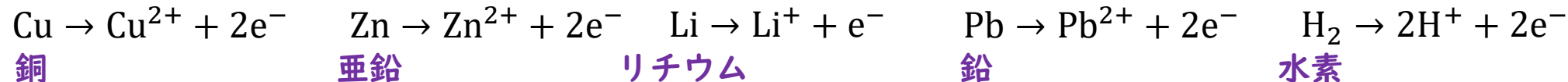
M : 質量数 [g/mol]

96500 : ファラデー定数 [C/mol]

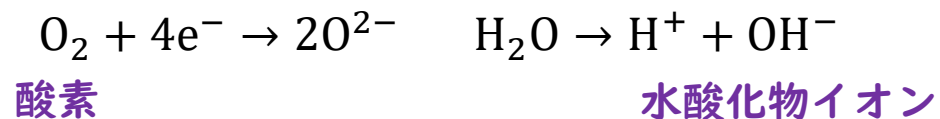


イオンとイオン化傾向

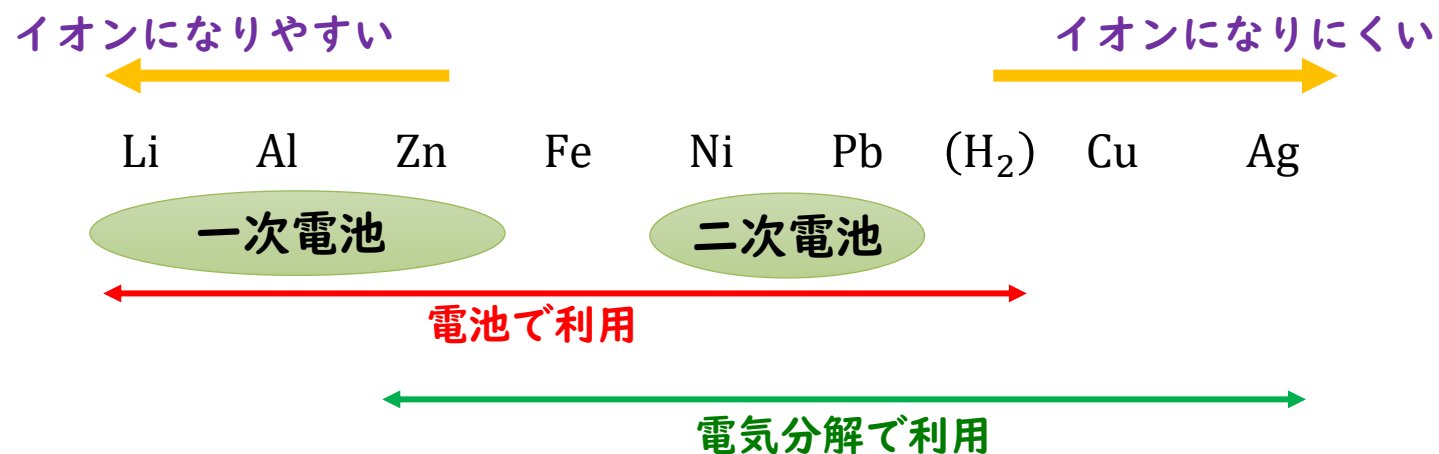
電子を失う → 陽イオン



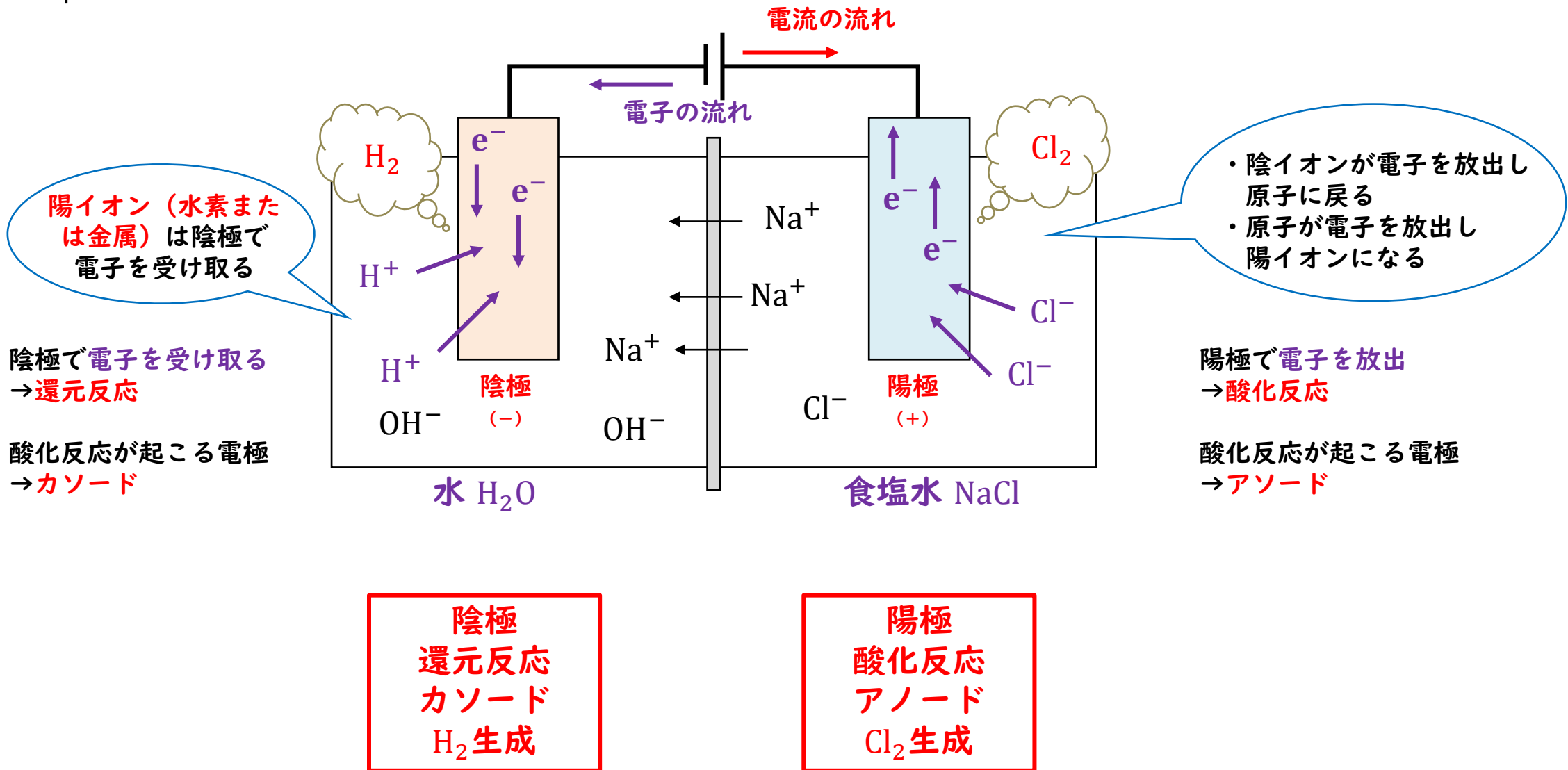
電子を受け取る → 陰イオン



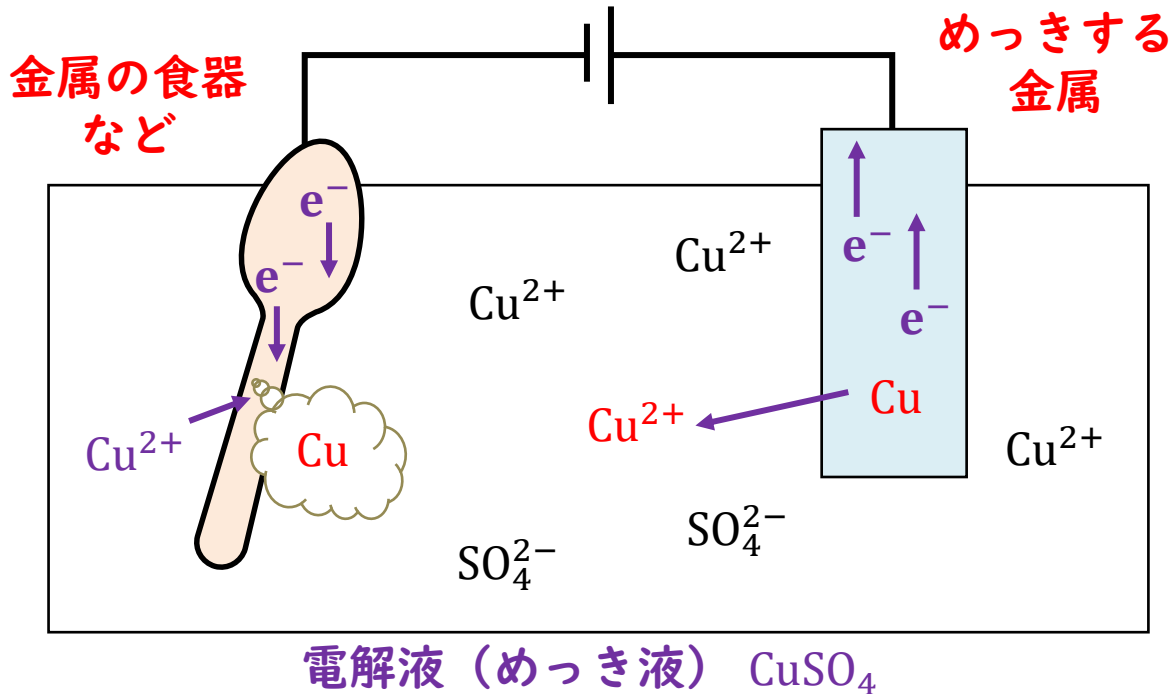
イオン化傾向：イオンになりやすさを表す指標



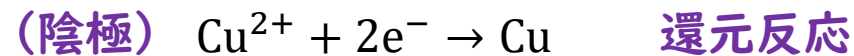
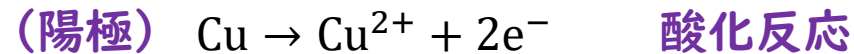
食塩水の電気分解



金属の電解めっき（鍍金）



化学反応式



陰極の電極にめっきされる金属を取りつける。

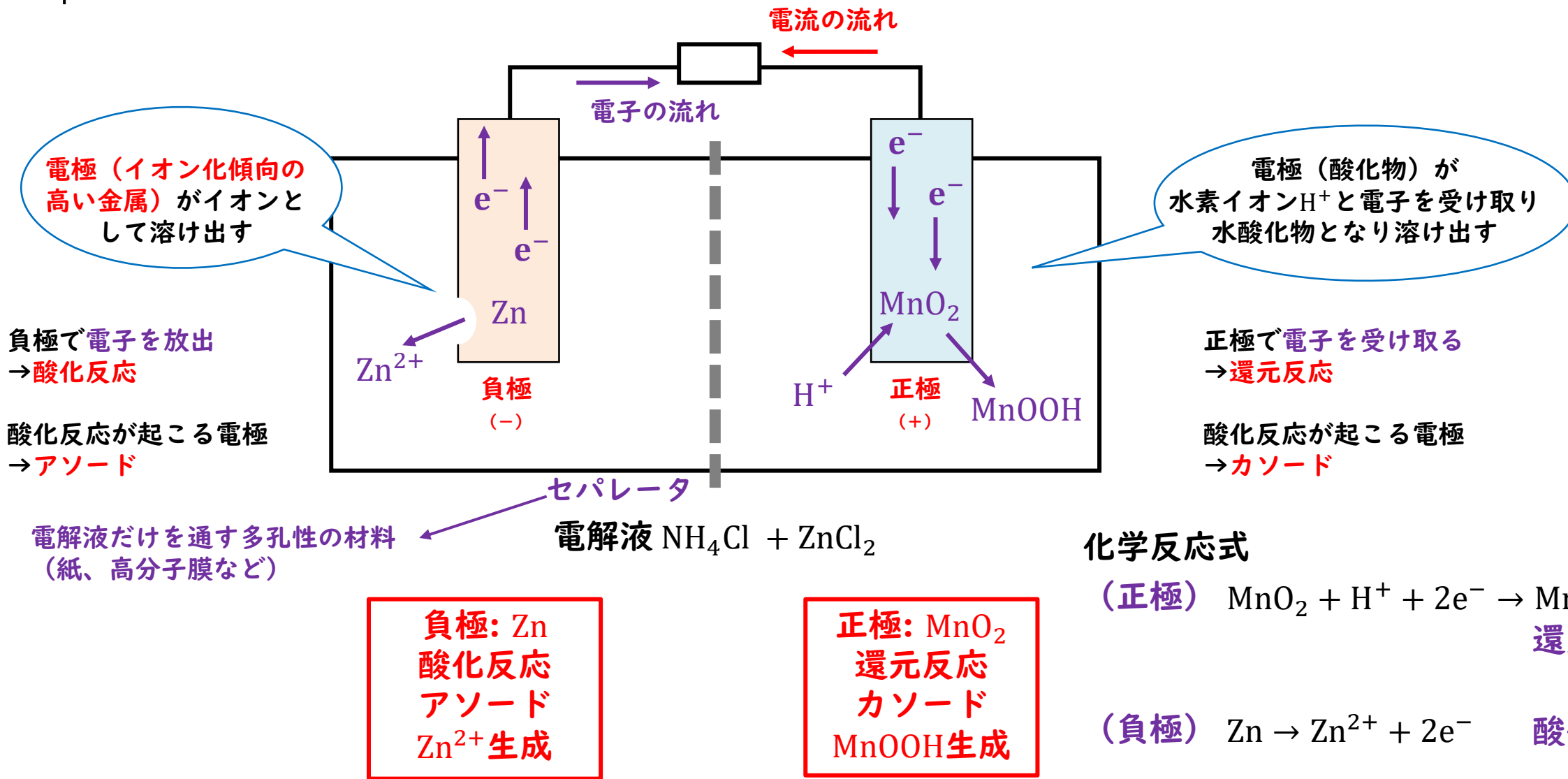
$CuSO_4$ の電解液に対して電圧を印加することで、陽極から金属イオン（ Cu^{2+} ）が生成され、電解液中を泳動し、陰極の金属表面にCuが析出され、Cuでめっきされる。

めっきに使える金属は、イオン化傾向が水素に比べて大きい金属は銅（Cu）銀（Ag）金（Au）である。

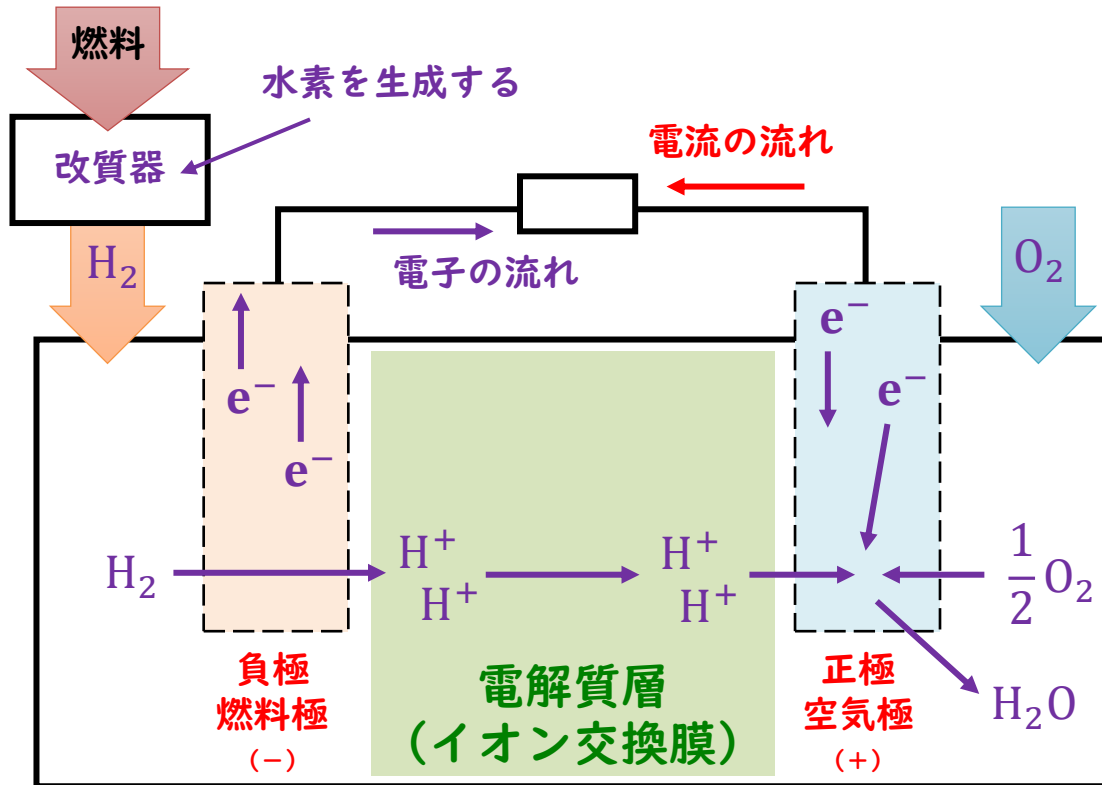
陰極
還元反応
カソード
Cu生成
(めっき)

陽極
酸化反応
アノード
 Cu^{2+} 生成

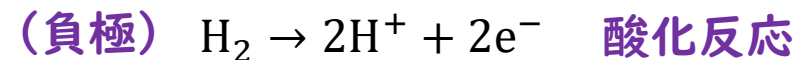
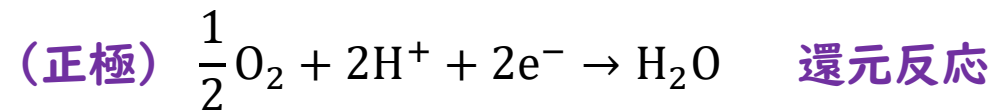
一次電池（マンガン乾電池）



燃料電池



化学反応式



燃料（水素）と酸素を供給して、電気を取り出す。

反応により発熱反応が生じる

電解質の種類により発電効率や動作温度が異なる。

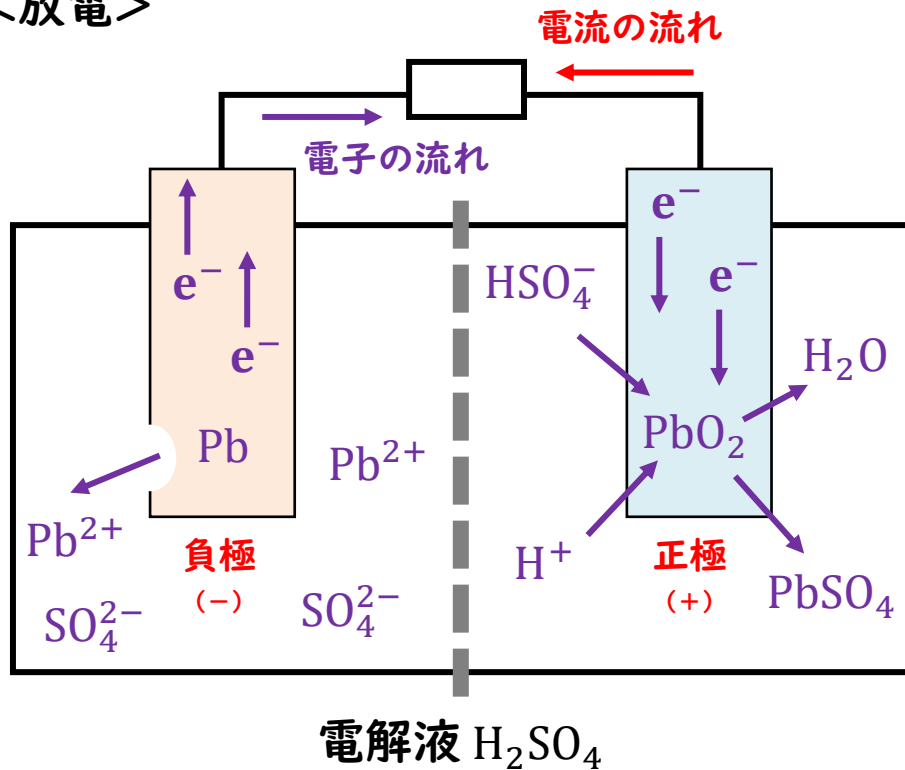
負極
燃料極
酸化反応
アノード
H⁺生成

正極
空気極
還元反応
カソード
H₂O生成

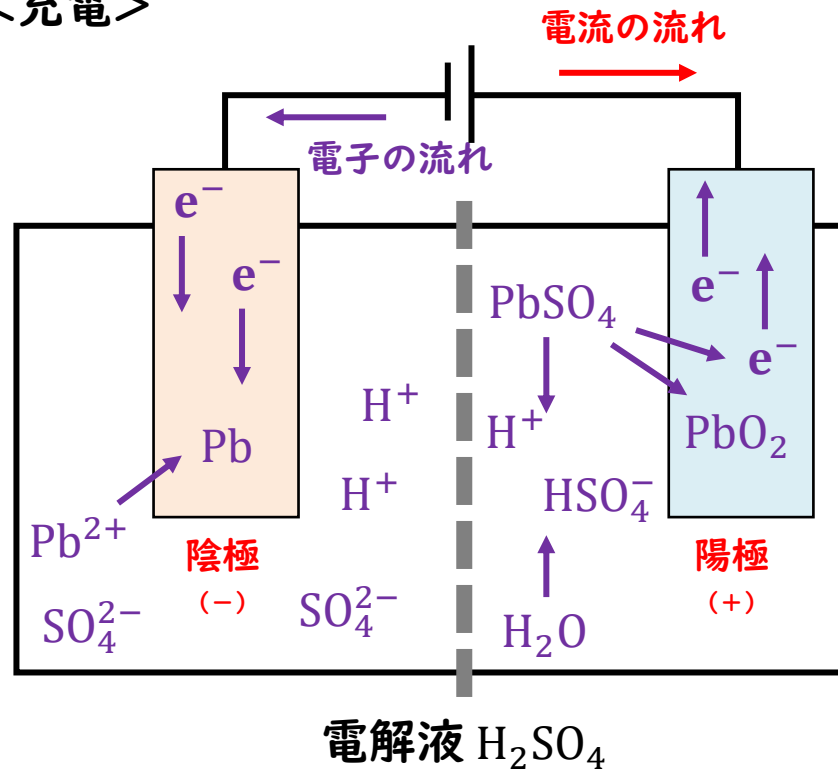
種類	固体高分子形	リン酸形	熔融炭酸塩形	固体酸化物形
記号	PEFC	PAFC	MCFC	SOFC
電解質	イオン交換膜	リン酸	熔融炭酸塩	セラミック
触媒	白金 (Pt)	白金 (Pt)	不要	不要
燃料極	水素	水素	水素 一酸化炭素	水素 一酸化炭素
空気極	空気	空気	空気	空気
効率	30 ~ 40 %	35 ~ 45 %	45 ~ 60 %	50 ~ 65 %
作動温度	常温 ~ 90 °C	200 °C	650 ~ 700 °C	700 ~ 1000 °C

二次電池（鉛蓄電池）

<放電>



<充電>

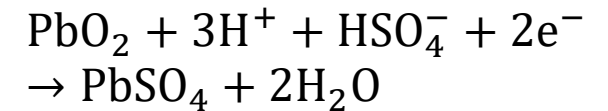


化学反応式

<放電>

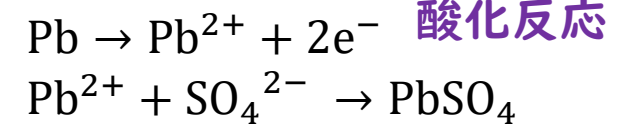
(正極)

還元反応



(負極)

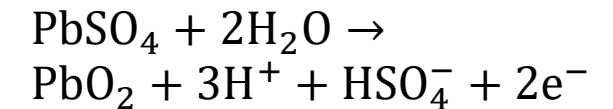
酸化反応



<充電>

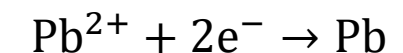
(陰極)

酸化反応



(陽極)

還元反応



負極: Pb
酸化反応
アソード
Pb²⁺生成

正極: PbO₂
還元反応
カソード
PbSO₄生成

陰極: Pb
還元反応
カソード
Pb生成

陽極: PbO₂
酸化反応
アソード
PbO₂生成

その他の二次電池

種類	鉛蓄電池	ニッケル カドミウム蓄電池	ニッケル 水素蓄電池	リチウム イオン電池
正極	PbO ₂	NiOOH	NiOOH	LiCoO ₂
負極	Pb	Cd	金属水素化合物	C
電解質	H ₂ SO ₄	KOH	KOH	有機電解質
公称電圧	2.0 V	1.2 V	1.2 V	3.6 V
用途	自動車 無停電電源装置	電動工具、玩具 など	乾電池型充電電池 AV機器 など	モバイル機器 ハイブリッド車



論理回路

論理演算と論理回路

論理演算を実現するための回路

論理和 (OR)

$$X = A + B$$

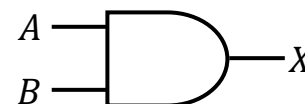
A	B	X
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1



論理積 (AND)

$$X = A \cdot B$$

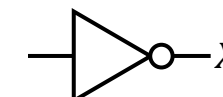
A	B	X
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



NOT

$$X = \bar{A}$$

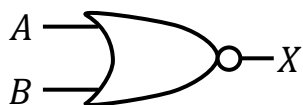
A	X
0	1
1	0



NOR

$$X = \overline{A + B}$$

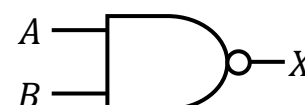
A	B	X
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0



NAND

$$X = \overline{A \cdot B}$$

A	B	X
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0



排他的論理和 (XOR)

$$X = A \oplus B$$

A	B	X
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



主加法標準形と主乗法標準形 / ×



A	B	C	X
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

$\bar{A}\bar{B}C$

$A\bar{B}C$

ABC

主加法標準形

1になる部分の積を足す

$$X = \bar{A}\bar{B}C + A\bar{B}C + ABC$$

A	B	C	X
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	0

$A + B + \bar{C}$

$\bar{A} + B + \bar{C}$

$\bar{A} + \bar{B} + \bar{C}$

主乗法標準形

0になる部分の反転の和をかける

$$X = (A + B + \bar{C})(\bar{A} + B + \bar{C})(\bar{A} + \bar{B} + \bar{C})$$

主加法標準形

→ 1が少ないときに有効

主乗法標準形

→ 1が多いときに有効
(0が少ないときに有効)

カルノー図

カルノー図

A	B	C	X
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1

$ABC\bar{C}$

ABC

$$X = ABC\bar{C} + ABC$$

$$= AB$$

A	B	C	X
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0

$\bar{A}\bar{B}\bar{C}$

$\bar{A}\bar{B}C$

$\bar{A}B\bar{C}$

$\bar{A}BC$

$$X = \bar{A}\bar{B}\bar{C} + \bar{A}\bar{B}C + \bar{A}B\bar{C} + \bar{A}BC$$

$$= \bar{A}$$

AB	C	
	0	1
00	0	1
01	0	1
11	0	1
10	1	1

AB	C	
	0	1
00	0	1
01	0	1
11	0	1
10	1	1

$A\bar{B}$

C

1. 入力/出力で4×2の行列を作る
2. 11と10は順番を入れ替える
3. 「1」をできるだけ大きな塊で囲う
(囲み方は2, 4, 8...と2のべき乗)

ブール代数

1. 可換則

$$AB = BA$$

$$A + B = B + A$$

2. 吸収則

$$A + 0 = A$$

$$A + 1 = 1$$

$$A \cdot 0 = 0$$

$$A \cdot 1 = A$$

3. 相補則

$$A + \bar{A} = 1$$

$$A \cdot \bar{A} = 0$$

4. 二重否定則

$$\bar{\bar{A}} = A$$

5. べき等則

$$A \cdot A = A$$

$$A + A = A$$

6. 分配則

$$A(B + C) = AB + AC$$

$$A + BC = (A + B)(A + C)$$

7. 吸収則

$$A(A + B) = A$$

$$A + AB = A$$

$$A(\bar{A} + B) = AB$$

$$A + \bar{A}B = A + B$$

8. ド・モルガンの定理

$$\overline{A + B} = \bar{A} \cdot \bar{B}$$

$$\overline{A \cdot B} = \bar{A} + \bar{B}$$

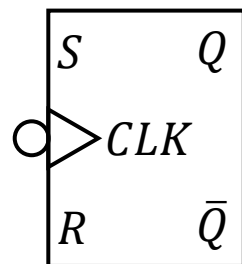
$$A + B = \overline{\bar{A} \cdot \bar{B}}$$

$$A \cdot B = \overline{\bar{A} + \bar{B}}$$

フリップフロップの特徴

RS-FF

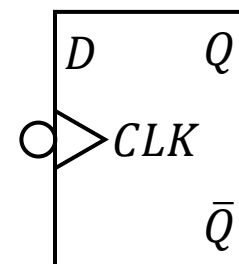
→Rが0のとき出力1、Sが0のとき出力0、
RとSが0のとき出力は前の値を保持、RとSが1は禁止



S	R	Q
0	0	前の値を保持
0	1	0
1	0	1
1	1	禁止

D-FF

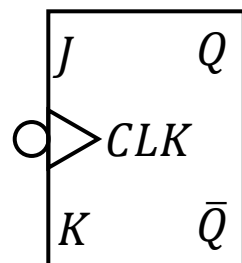
→クロックパルス入力時にDの値を出力に反映



D	Q
0	0
1	1

JK-FF

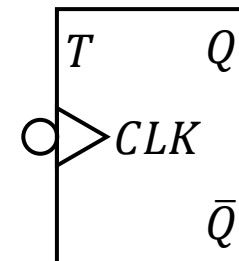
→RS-FFの機能拡張版
JとKが1のとき出力を反転



J	K	Q
0	0	前の値を保持
0	1	0
1	0	1
1	1	前の値を反転

T-FF

→クロックパルス入力時にTにより出力を制御
Tが0のとき前の値を保持、Tが1のとき出力を反転



T	Q
0	前の値を保持
1	前の値を反転



ご聴講ありがとうございました!!