

電験どうでしょう管理人
KWG presents

電験オンライン塾

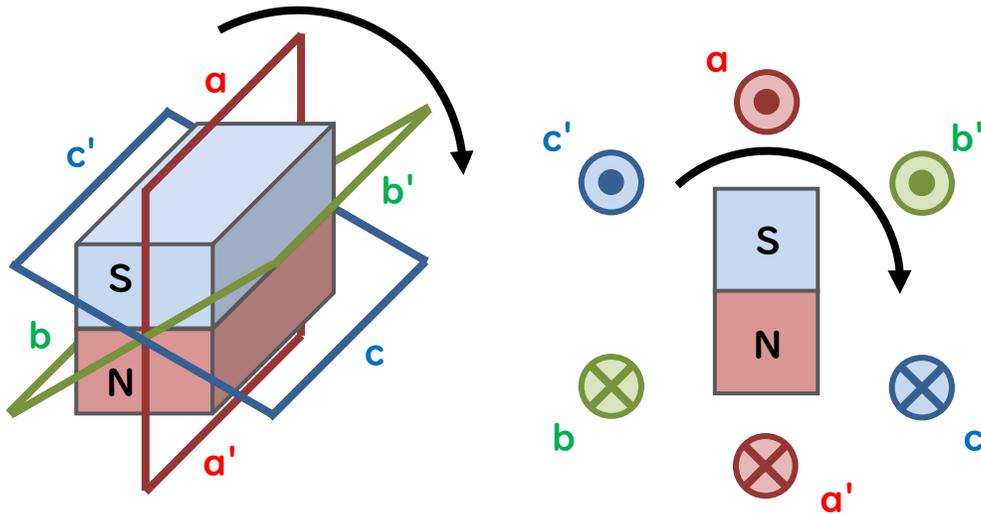
第8回 機械
同期機(1)

2023.2.4 Sat

同期発電機の構造

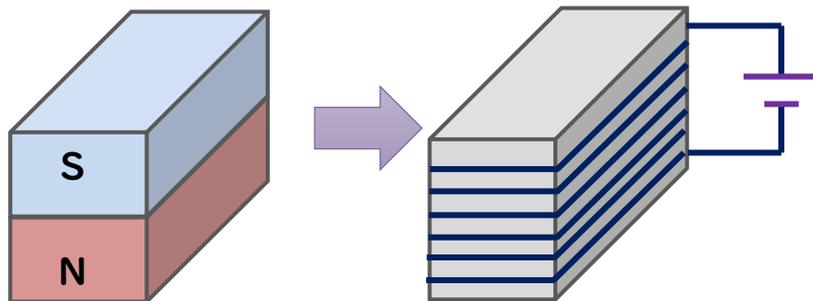
回転子（鉄心+界磁巻線）：界磁巻線には直流電流（励磁電流）が流れており、磁石として働く

固定子（鉄心（円筒）+電機子巻線）：回転子が回転することで誘導起電力が生じ、電機子電流が流れる



回転子（電磁石）の周りに三種類の巻線を配置
各巻線は120°ずつずらして対象に配置

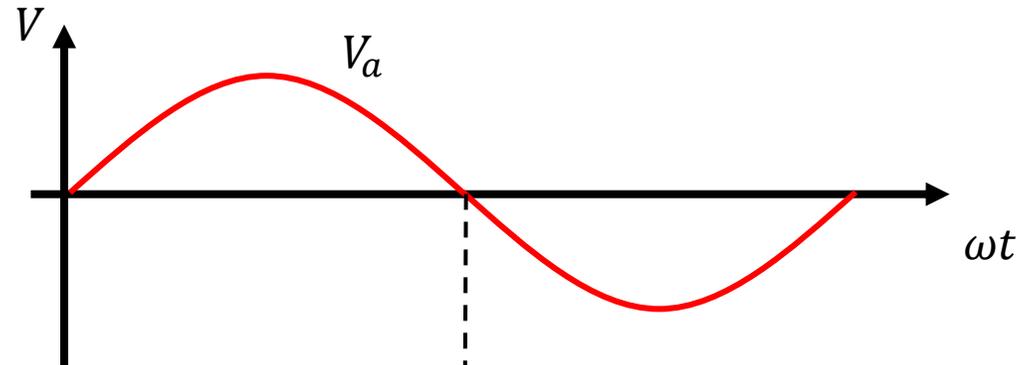
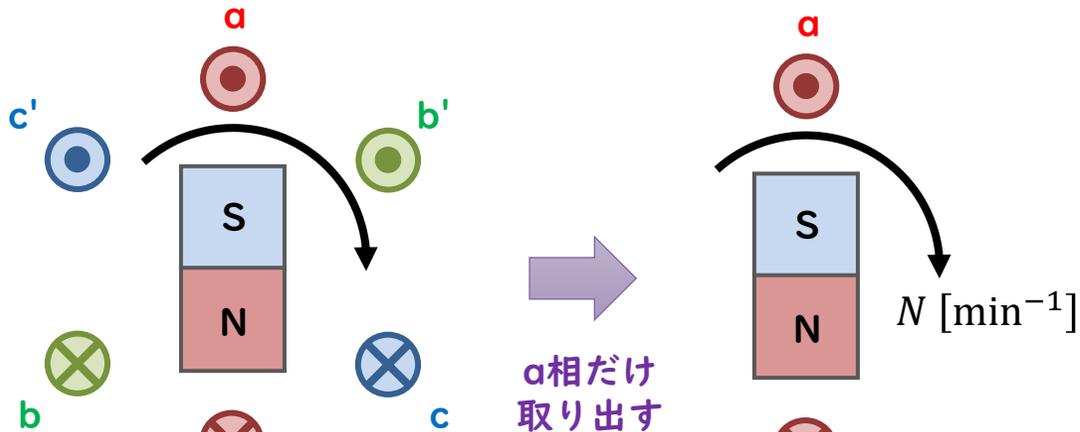
固定子が回転することで
三相交流電圧が電機子巻線に発生する



回転子は鉄心に界磁巻線を巻きつけ、
直流電流（励磁電流）により磁束を調整

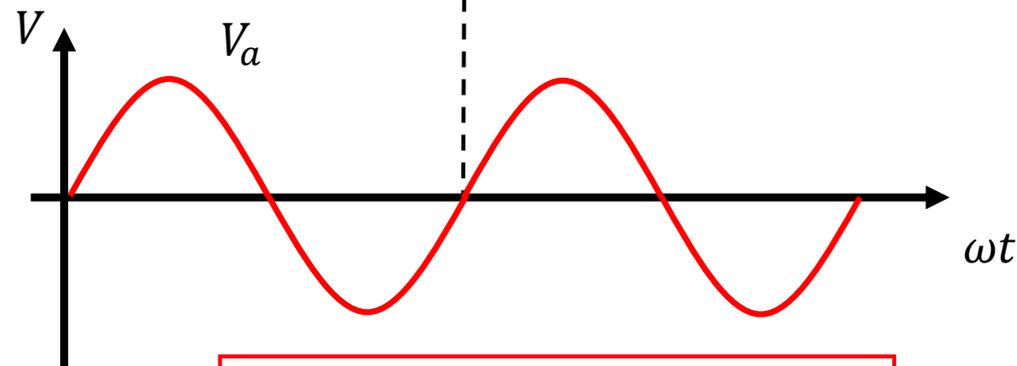
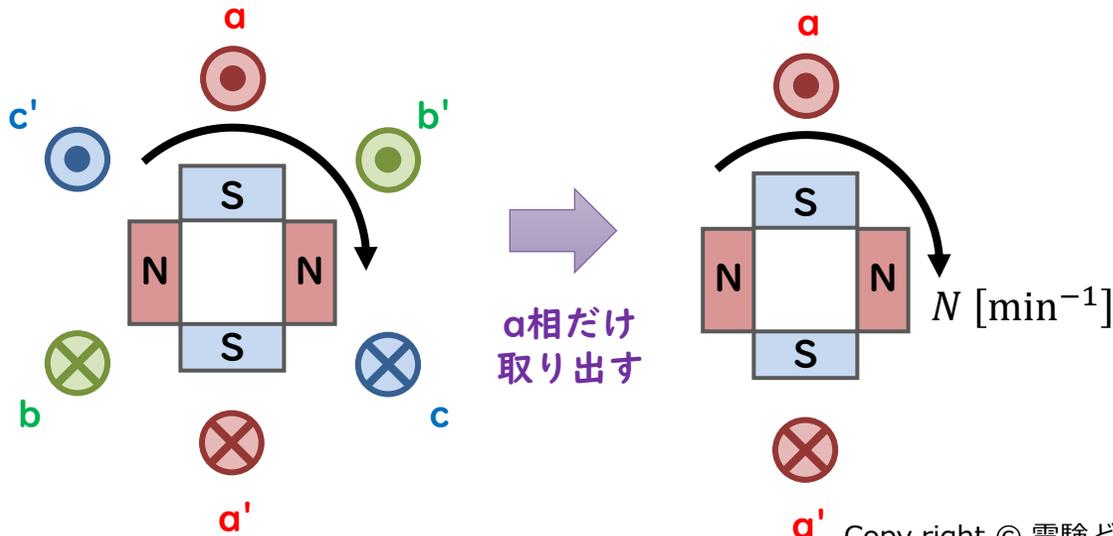
同期発電機の極数と回転速度

2極



極数が2倍に増えると、発生する電圧の周波数が2倍になる

4極



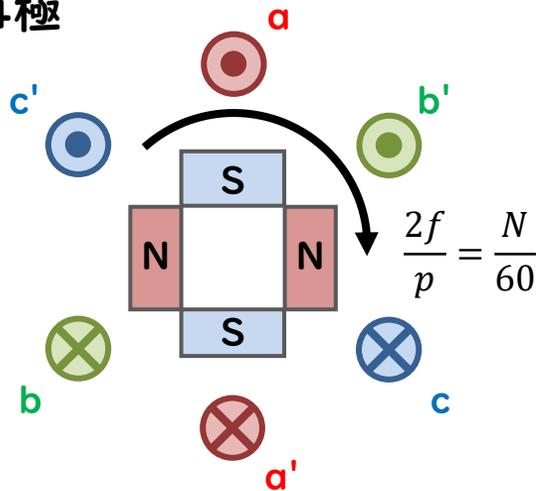
誘導起電力の周波数 f は

$$f = \frac{p}{2} \times \frac{N}{60} \text{ [Hz]} \rightarrow N = \frac{120f}{p} \text{ [min}^{-1}\text{]}$$

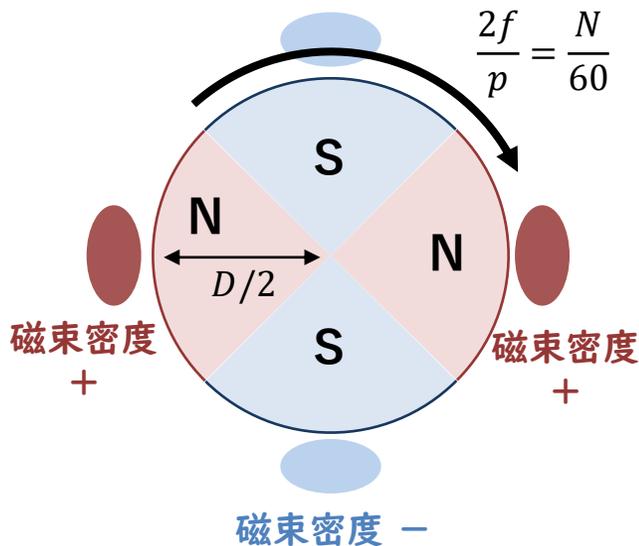
p : 極数
 N : 回転子の回転速度 [min⁻¹]

同期発電機の誘導起電力

4極

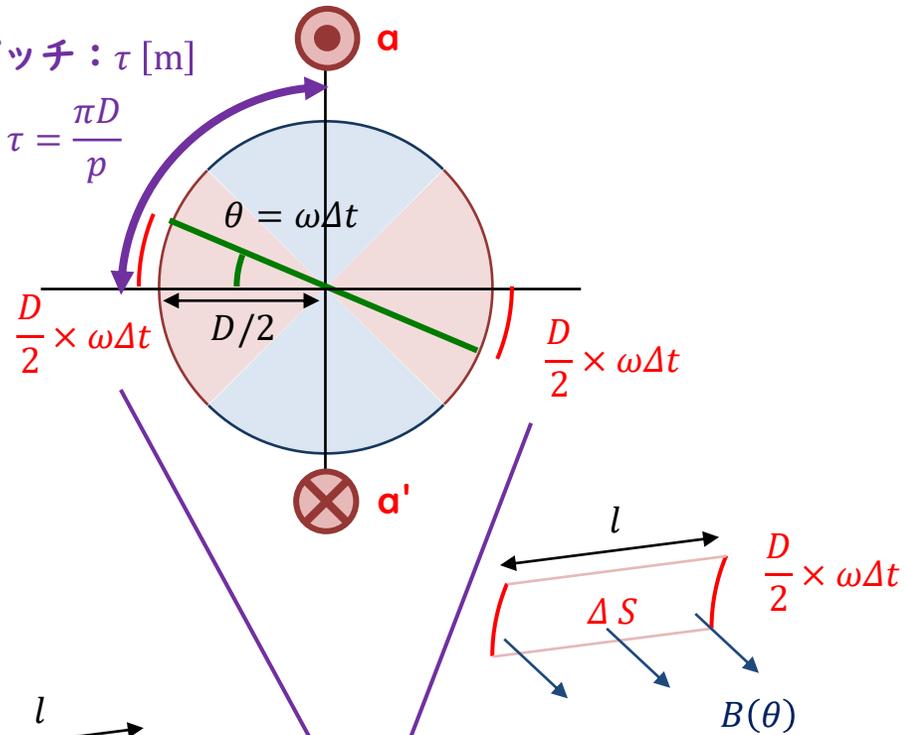


磁束密度 -



極ピッチ: τ [m]

$$\tau = \frac{\pi D}{p}$$



誘導起電力 e は

$$e = \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{4B(\theta)l\tau f\Delta t}{\Delta t} = 4B(\theta)l\tau f$$

誘導起電力の実効値 E は

$$E = 4 \frac{B_m}{\sqrt{2}} l\tau f = 4 \frac{1}{\sqrt{2}} l\tau f \times \left(\frac{\pi 1}{2 \tau l} \phi \right)$$

$$= \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f\phi = 4.44 f\phi$$

巻数を n とすると、

$$E = 4.44 f n \phi$$

$$B(\theta) = B(\omega t) = B_m \sin(\omega t)$$

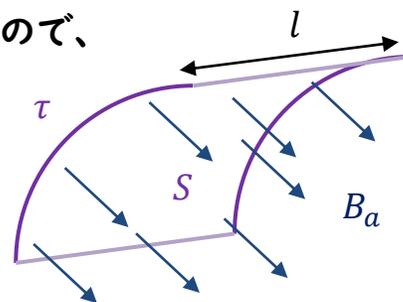
磁束密度は正弦波で変化するので、
磁束密度の平均値 B_a は

$$B_a = \frac{2}{\pi} B_m$$

極ピッチで生じる磁束 ϕ は

$$\phi = B_a S = \frac{2}{\pi} B_m \tau l$$

$$\rightarrow B_m = \frac{\pi 1}{2 \tau l} \phi$$



$$\Delta\phi = 2 \times B(\theta) \Delta S = 2B(\theta)l \times \frac{D}{2} \times \omega\Delta t$$

$$= 2B(\theta)l \times \frac{D}{2} \times 2\pi \left(\frac{2f}{p} \right) \Delta t$$

$$= 4B(\theta)l \times \frac{\pi D}{p} \times f\Delta t$$

$$= 4B(\theta)l\tau f\Delta t$$

R02 問4

問4 次の文章は、回転界磁形三相同期発電機の無負荷誘導起電力に関する記述である。

回転磁束を担う回転子磁極の周速を v [m/s]、磁束密度の瞬時値を b [T]、磁束と直交する導体の長さを l [m] とすると、1本の導体に生じる誘導起電力 e [V] は次式で表される。

$$e = vbl$$

極数を p 、固定子内側の直径を D [m] とすると、極ピッチ τ [m] は $\tau = \frac{\pi D}{p}$ であるから、 f [Hz] の起電力を生じる場合の周速 v は $v = 2\pi f \tau$ である。したがって、角周波数 ω [rad/s] を $\omega = 2\pi f$ とし、上述の磁束密度瞬時値 b [T] を $b(t) = B_m \sin \omega t$ と表した場合、導体1本あたりの誘導起電力の瞬時値 $e(t)$ は、

$$e(t) = E_m \sin \omega t$$

$$E_m = \boxed{\text{(ア)}} B_m l$$

となる。

また、回転磁束の空間分布が正弦波でその最大値が B_m のとき、1極の磁束密度の $\boxed{\text{(イ)}} B$ [T] は $B = \frac{2}{\pi} B_m$ であるから、1極の磁束 Φ [Wb] は $\Phi = \frac{2}{\pi} B_m \tau l$ である。したがって、1本の導体に生じる起電力の実効値は次のように表すことができる。

$$\frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{\pi}{\sqrt{2}} f \Phi = 2.22 f \Phi$$

よって、三相同期発電機の1相あたりの直列に接続された電機子巻線の巻数を N とすると、回転磁束の空間分布が正弦波の場合、1相あたりの誘導起電力(実効値) E [V] は、

$$E = \boxed{\text{(ウ)}} f \Phi N$$

となる。

さらに、電機子巻線には一般に短節巻と分布巻が採用されるので、これらを考慮した場合、1相あたりの誘導起電力 E は次のように表される。

$$E = \boxed{\text{(エ)}} k_w f \Phi N$$

ここで k_w を $\boxed{\text{(オ)}}$ という。

上記の記述中の空白箇所(ア)～(エ)に当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
(1)	$2\tau f$	平均値	2.22	巻線係数
(2)	$2\pi f$	最大値	4.44	分布係数
(3)	$2\tau f$	平均値	4.44	巻線係数
(4)	$2\pi f$	最大値	2.22	短節係数
(5)	$2\tau f$	実効値	2.22	巻線係数

R02 問4

問4 次の文章は、回転界磁形三相同期発電機の無負荷誘導起電力に関する記述である。

回転磁束を担う回転子磁極の周速を v [m/s]、磁束密度の瞬時値を b [T]、磁束と直交する導体の長さを l [m] とすると、1本の導体に生じる誘導起電力 e [V] は次式で表される。

$$e = vbl$$

極数を p 、固定子内側の直径を D [m] とすると、極ピッチ τ [m] は $\tau = \frac{\pi D}{p}$ であるから、 f [Hz] の起電力を生じる場合の周速 v は $v = 2\tau f$ である。したがって、角周波数 ω [rad/s] を $\omega = 2\pi f$ とし、上述の磁束密度瞬時値 b [T] を $b(t) = B_m \sin \omega t$ と表した場合、導体1本あたりの誘導起電力の瞬時値 $e(t)$ は、

$$e(t) = E_m \sin \omega t$$

$$E_m = \frac{(\text{ア})}{2\tau f} B_m l$$

となる。

また、回転磁束の空間分布が正弦波でその最大値が B_m のとき、1極の磁束密度の $\frac{(\text{イ})}{\text{平均値}} B$ [T] は $B = \frac{2}{\pi} B_m$ であるから、1極の磁束 Φ [Wb] は $\Phi = \frac{2}{\pi} B_m \tau l$ である。したがって、1本の導体に生じる起電力の実効値は次のように表すことができる。

$$\frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{\pi}{\sqrt{2}} f \Phi = 2.22 f \Phi$$

よって、三相同期発電機の1相あたりの直列に接続された電機子巻線の巻数を N とすると、回転磁束の空間分布が正弦波の場合、1相あたりの誘導起電力(実効値) E [V] は、

$$E = \frac{(\text{ウ})}{4.44} f \Phi N$$

となる。

さらに、電機子巻線には一般に短節巻と分布巻が採用されるので、これらを考慮した場合、1相あたりの誘導起電力 E は次のように表される。

$$E = \frac{4.44}{(\text{エ})} k_w f \Phi N$$

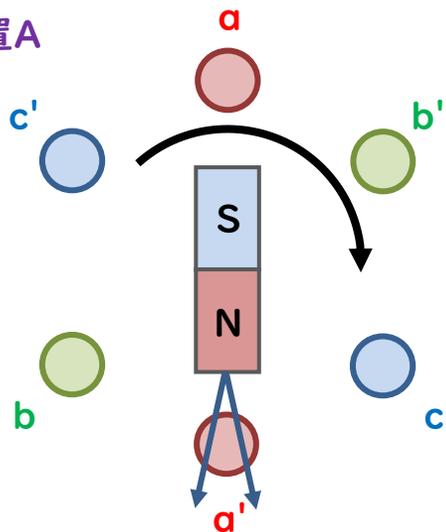
ここで k_w を $\frac{(\text{エ})}{\text{巻線係数}}$ という。

上記の記述中の空白箇所(ア)～(エ)に当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
(1)	$2\tau f$	平均値	2.22	巻線係数
(2)	$2\pi f$	最大値	4.44	分布係数
(3)	$2\tau f$	平均値	4.44	巻線係数
(4)	$2\pi f$	最大値	2.22	短節係数
(5)	$2\tau f$	実効値	2.22	巻線係数

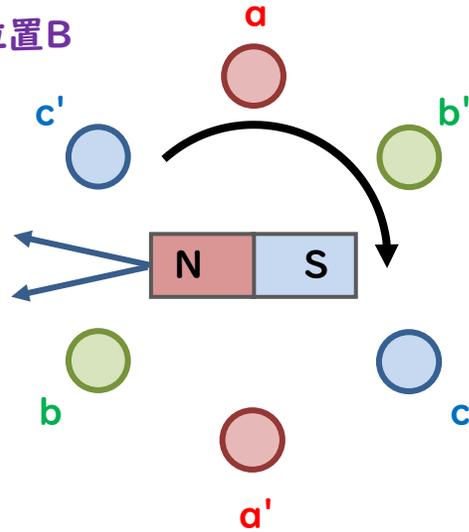
同期発電機の電圧と電流

位置A



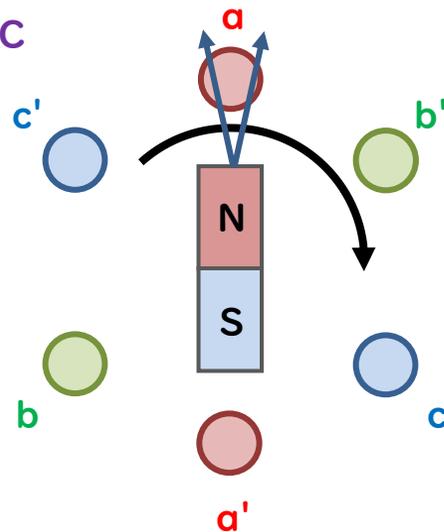
a相で生じる誘導起電力が最大
(貫く磁束が反転するので)

位置B



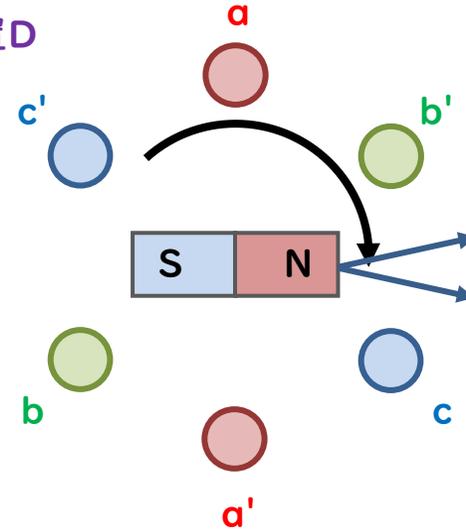
a相で生じる誘導起電力がゼロ
(貫く磁束はほぼ変化しない)

位置C



a相で生じる誘導起電力が最大
(貫く磁束が反転するので)

位置D

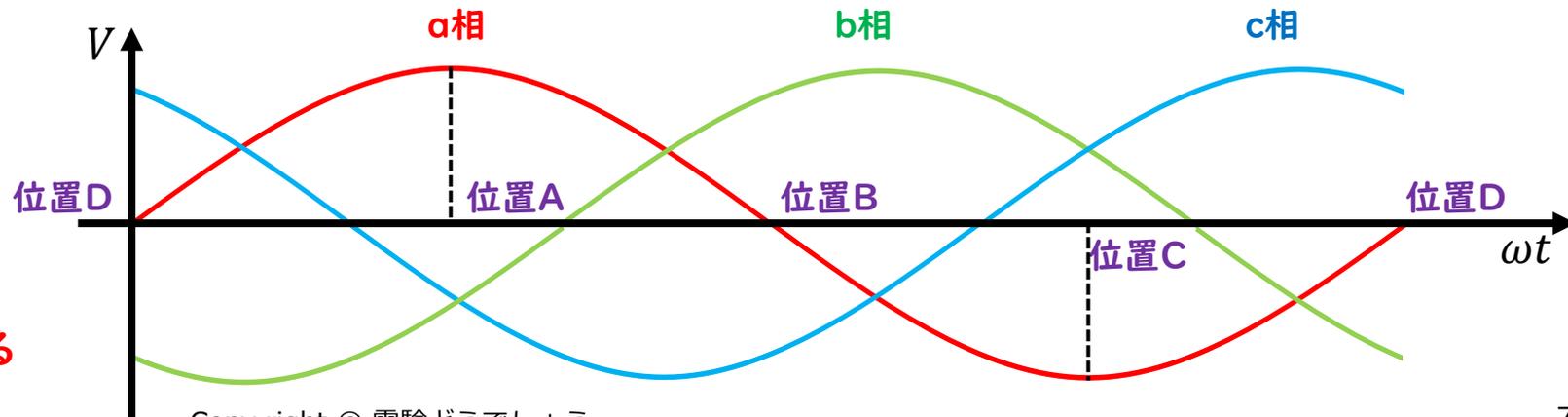


a相で生じる誘導起電力がゼロ
(貫く磁束はほぼ変化しない)

→ 回転子の回転方向

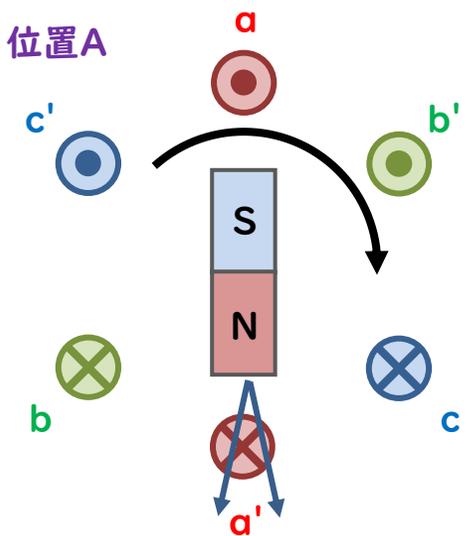
→ 回転子の界磁磁束

固定子巻線と回転子の磁界の位置関係
により固定子に生じる誘導起電力が変化する

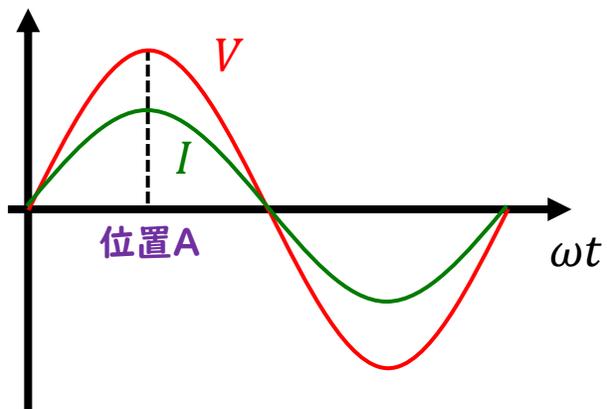


同期発電機の電圧と電流

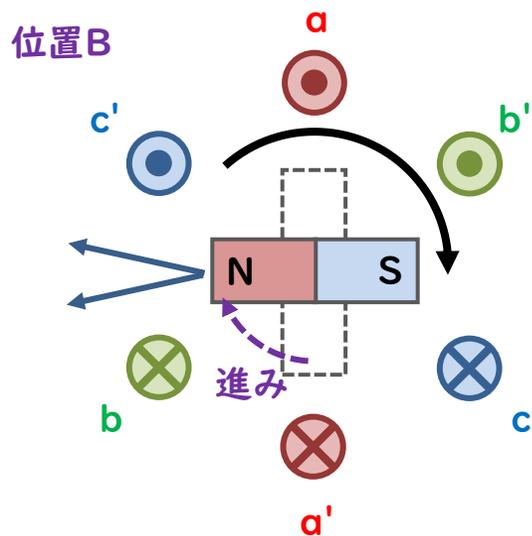
→ 回転子の回転方向
 → 回転子の界磁磁束
 ⊙ ⊗ 電機子電流



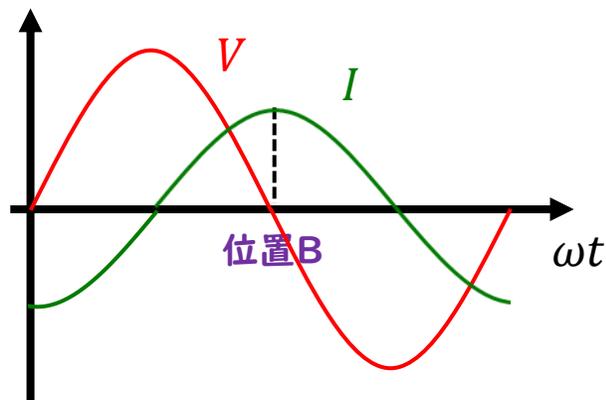
α相で生じる誘導起電力が最大
(貫く磁束が反転するの)



電圧と電流が同相

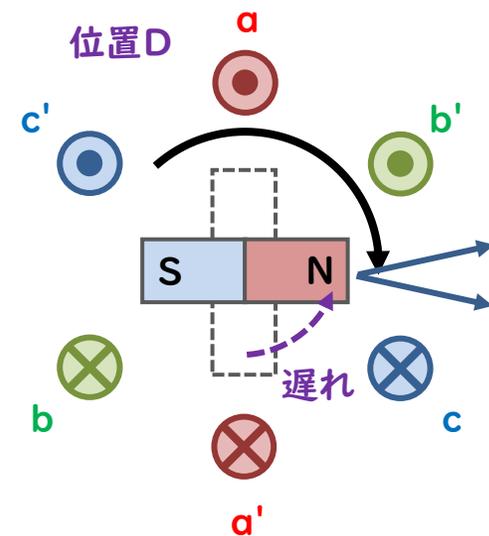


α相で生じる誘導起電力がゼロ
(貫く磁束はほぼ変化しない)

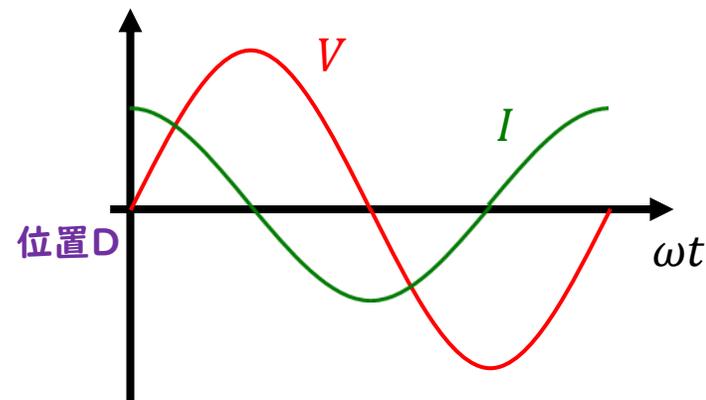


電圧に対して電流は遅れ

う



α相で生じる誘導起電力がゼロ
(貫く磁束はほぼ変化しない)



電圧に対して電流は進み

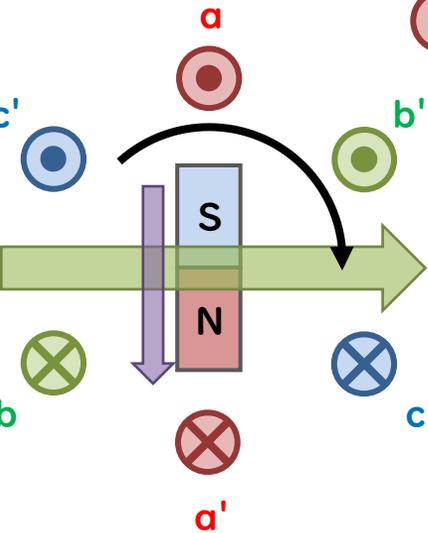
同期発電機の電機子反作用

端子電圧 V と電機子電流 I が
同相 (力率1)

→ 回転子の回転方向

● ⊗ 電機子電流

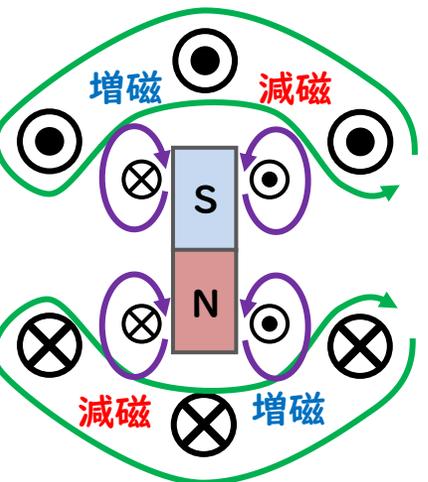
● 回転子の磁界の方向と
固定子の磁界の方向が
垂直になる



→ 回転子の磁界
→ 固定子の磁界
(電機子反作用)

回転子の回転方向の
前方は減磁
後方は増磁となる

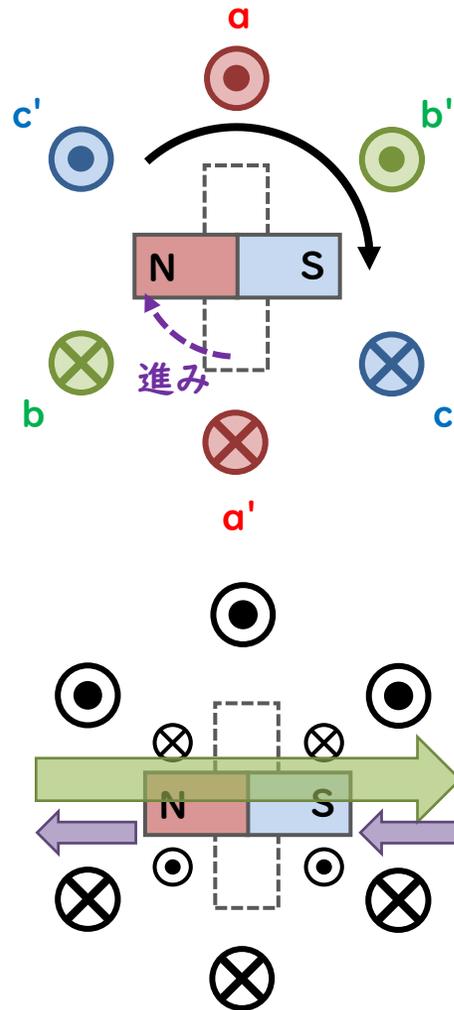
横軸反作用という



端子電圧 V に対して電機子電流 I が
遅れ (負荷が誘導性)

● 回転子が電機子電流
より進んでいる

→ 電機子電流が遅れ

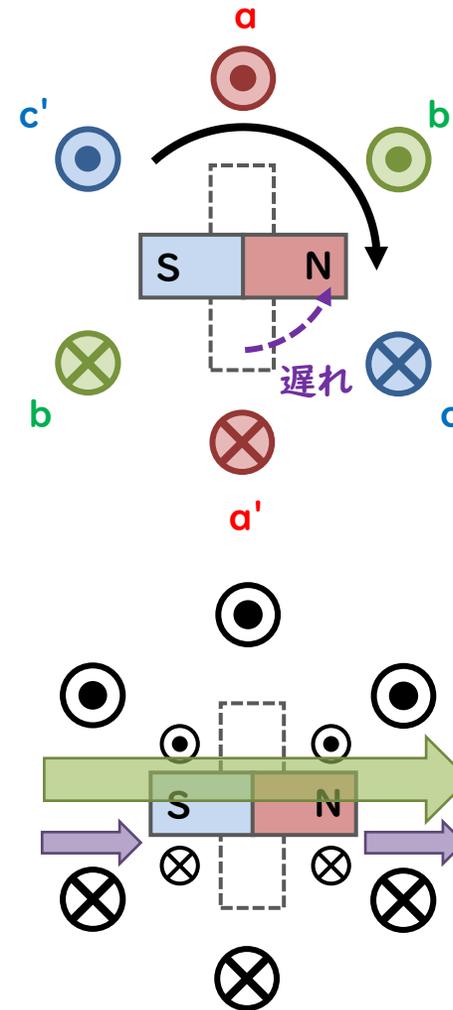


固定子の磁界が
回転子の磁界を
弱める
→ 減磁作用

端子電圧 V に対して電機子電流 I が
進み (負荷が容量性)

● 回転子が電機子電流
より遅れている

→ 電機子電流が進み



固定子の磁界が
回転子の磁界を
強める
→ 増磁作用

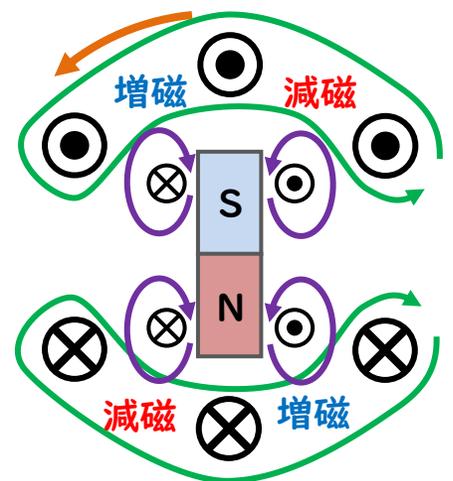
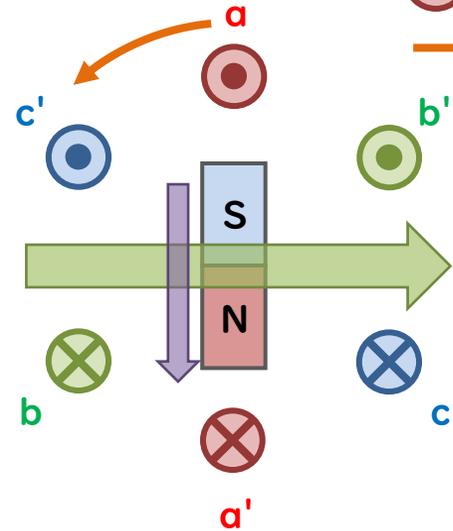
同期電動機の電機子反作用

端子電圧 V と電機子電流 I が
同相 (力率1)

● ⊗ 電機子電流

→ 回転磁界の回転方向

●' 回転子の磁界の方向と
固定子の磁界の方向が
垂直になる



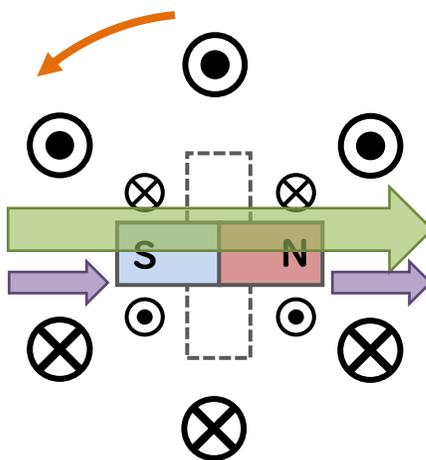
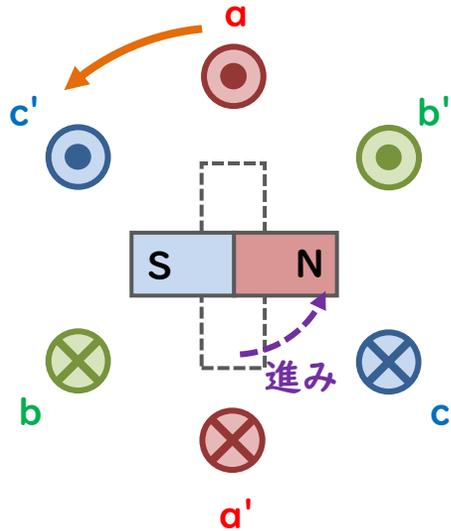
→ 回転子の磁界

→ 回転磁界 (固定子)
(電機子反作用)

回転磁界の回転方向の
前方は増磁
後方は減磁となる

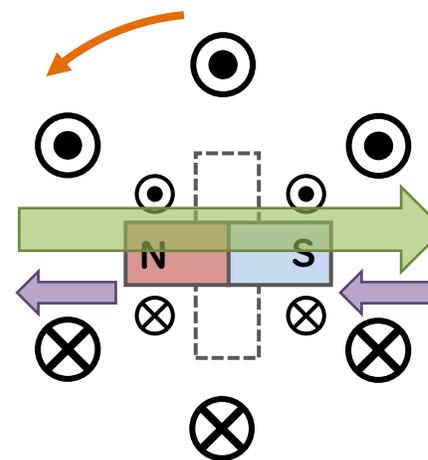
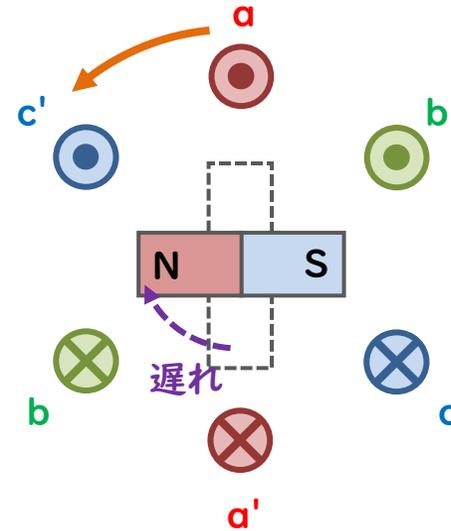
横軸反作用という

端子電圧 V に対して電機子電流 I が
遅れ (負荷が誘導性)



回転磁界が
固定子の磁界を
強める
→ 増磁作用

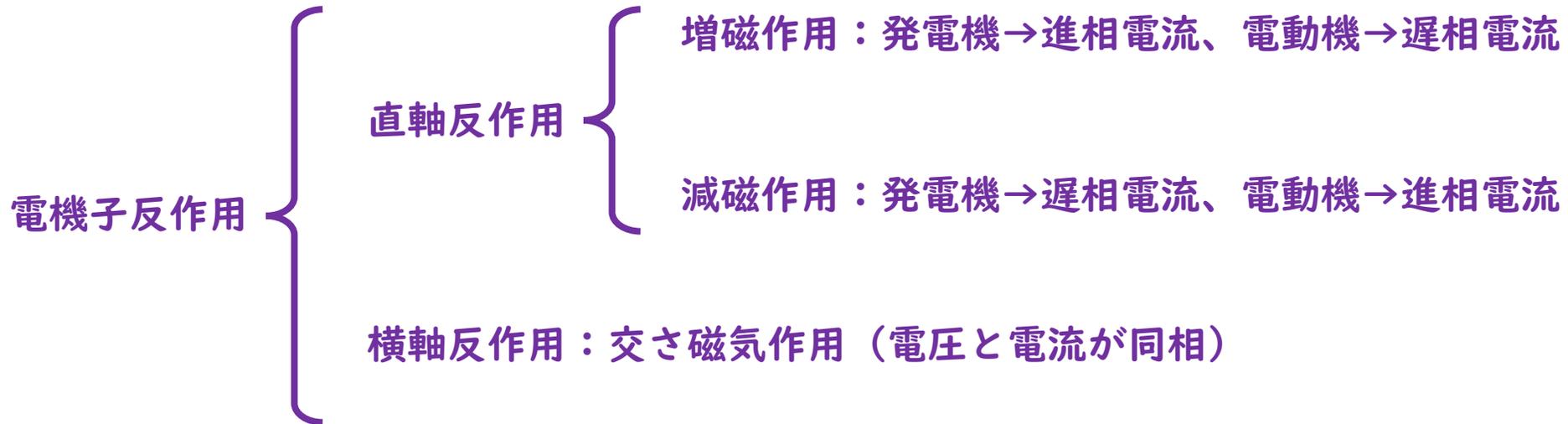
端子電圧 V に対して電機子電流 I が
進み (負荷が容量性)



回転磁界が
固定子の磁界が
弱める
→ 減磁作用

同期機の電機子反作用（まとめ）

電機子反作用とは、界磁磁束（同期機の回転子の磁束）を電機子電流（同期機の固定子の電流）が生じる磁束で変化させること



H26 問5

問5 次の文章は、三相同期発電機の電機子反作用に関する記述である。

三相同期発電機の電機子巻線に電流が流れると、この電流によって電機子反作用が生じる。図1は、力率1の電機子電流が流れている場合の電機子反作用を説明する図である。電機子電流による磁束は、図の各磁極の (ア) 側では界磁電流による磁束を減少させ、反対側では増加させる交差磁化作用を起こす。

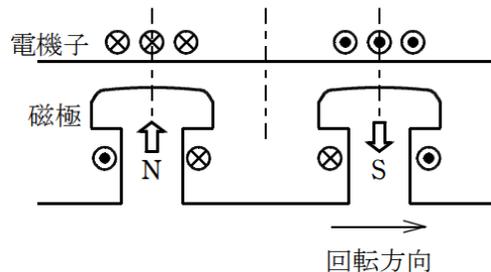


図1

次に遅れ力率0の電機子電流が流れた場合を考える。このときの磁極と電機子電流との関係は、図2 (イ) となる。このとき、N及びS両磁極の磁束はいずれも (ウ) する。進み力率0の電機子電流のときには逆になる。

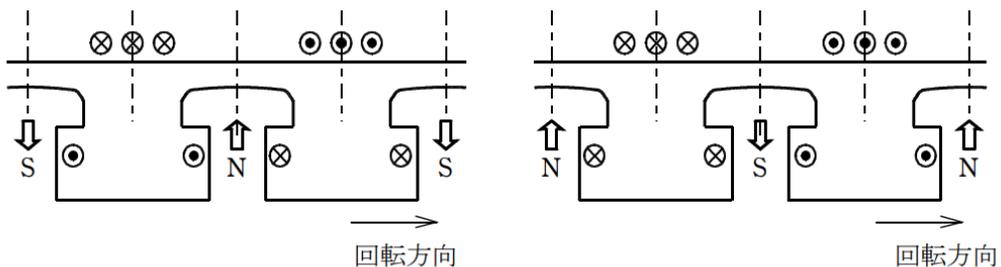


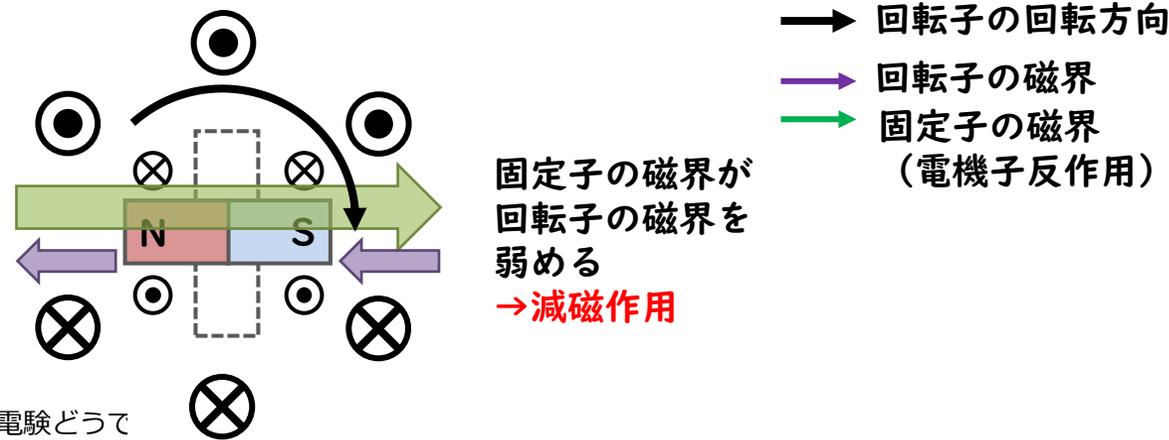
図2A

図2B

電機子反作用によるこれらの作用は、等価回路において電機子回路に直列に接続された (エ) として扱うことができる。

上記の記述中の空白箇所(ア)、(イ)、(ウ)及び(エ)に当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
(1)	右	A	減少	リアクタンス
(2)	右	B	増加	リアクタンス
(3)	左	A	減少	抵抗
(4)	左	B	減少	リアクタンス
(5)	左	A	増加	抵抗



H26 問5

問5 次の文章は、三相同期発電機の電機子反作用に関する記述である。

三相同期発電機の電機子巻線に電流が流れると、この電流によって電機子反作用が生じる。図1は、力率1の電機子電流が流れている場合の電機子反作用を説明する図である。電機子電流による磁束は、図の各磁極の (ア) 側では界磁電流による磁束を減少させ、反対側では増加させる交差磁化作用を起こす。

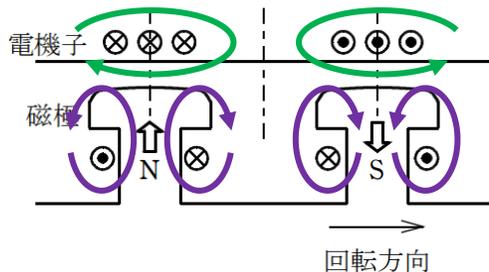


図1

次に遅れ力率0の電機子電流が流れた場合を考える。このときの磁極と電機子電流との関係は、図2 (イ) A となる。このとき、N及びS両磁極の磁束はいずれも (ウ) 減少する。進み力率0の電機子電流のときには逆になる。

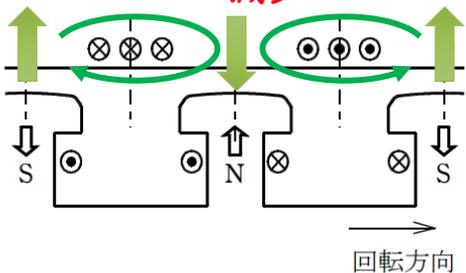


図2A

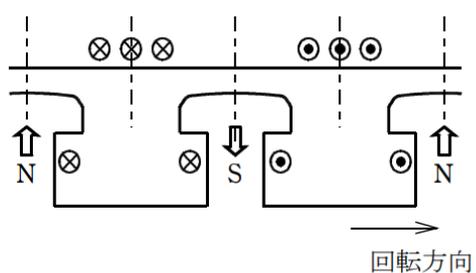


図2B

電機子反作用によるこれらの作用は、等価回路において電機子回路に直列に接続された (エ) として扱うことができる。

リアクタンス

上記の記述中の空白箇所(ア)、(イ)、(ウ)及び(エ)に当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
(1)	右	A	減少	リアクタンス
(2)	右	B	増加	リアクタンス
(3)	左	A	減少	抵抗
(4)	左	B	減少	リアクタンス
(5)	左	A	増加	抵抗

H30 問5

問5 次の文章は、同期発電機の種類と構造に関する記述である。

同期発電機では一般的に、小容量のものを除き電機子巻線は (ア) に設けて、導体の絶縁が容易であり、かつ、大きな電流が取り出せるようにしている。界磁巻線は (イ) に設けて、直流の励磁電流が供給されている。

比較的 (ウ) の水車を原動機とした水車発電機は、50 Hz 又は 60 Hz の商用周波数を発生させるために磁極数が多く、回転子の直径が軸方向に比べて大きく作られている。

蒸気タービン等を原動機としたタービン発電機は、(エ) で運転されるため、回転子の直径を小さく、軸方向に長くした横軸形として作られている。磁極は回転軸と一体の鍛鋼又は特殊鋼で作られ、スロットに巻線が施される。回転子の形状から (オ) 同期機とも呼ばれる。

上記の記述中の空白箇所(ア)、(イ)、(ウ)、(エ)及び(オ)に当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)	(オ)
(1)	固定子	回転子	高速度	高速度	突極形
(2)	回転子	固定子	高速度	低速度	円筒形
(3)	回転子	固定子	低速度	低速度	突極形
(4)	回転子	固定子	低速度	高速度	円筒形
(5)	固定子	回転子	低速度	高速度	円筒形

H30 問5

問5 次の文章は、同期発電機の種類と構造に関する記述である。**固定子**

同期発電機では一般的に、小容量のものを除き電機子巻線は (ア) に設けて、導体の絶縁が容易であり、かつ、大きな電流が取り出せるようにしている。界磁巻線は **回転子** (イ) に設けて、直流の励磁電流が供給されている。

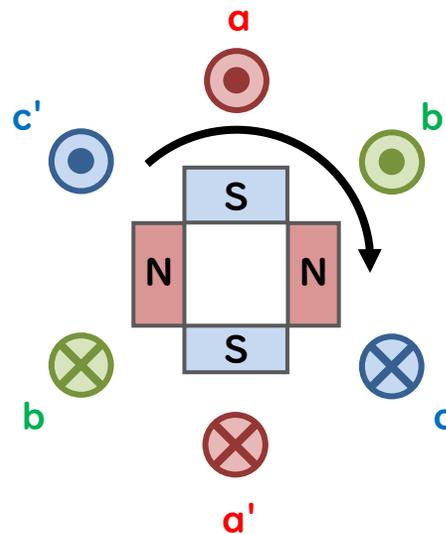
比較的 (ウ) **低速度** の水車を原動機とした水車発電機は、50 Hz 又は 60 Hz の商用周波数を発生させるために磁極数が多く、回転子の直径が軸方向に比べて大きく作られている。

蒸気タービン等を原動機としたタービン発電機は、(エ) **高速度** で運転されるため、回転子の直径を小さく、軸方向に長くした横軸形として作られている。磁極は回転軸と一体の鍛鋼又は特殊鋼で作られ、スロットに巻線が施される。回転子の形状から (オ) **円筒** 同期機とも呼ばれる。

上記の記述中の空白箇所(ア)、(イ)、(ウ)、(エ)及び(オ)に当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)	(オ)
(1)	固定子	回転子	高速度	高速度	突極形
(2)	回転子	固定子	高速度	低速度	円筒形
(3)	回転子	固定子	低速度	低速度	突極形
(4)	回転子	固定子	低速度	高速度	円筒形
(5)	固定子	回転子	低速度	高速度	円筒形

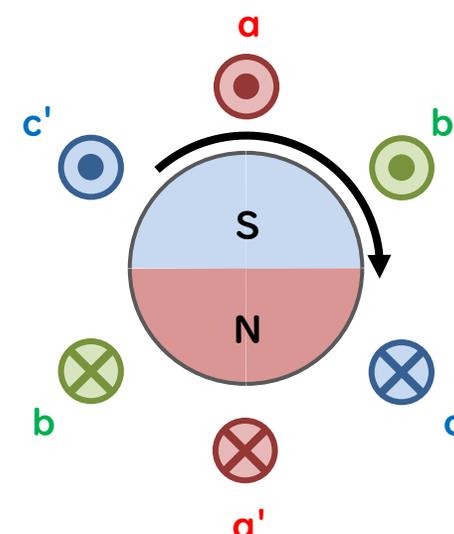
突極形



極数：多い
回転速度：低い

用途：水車発電機

円筒形



極数：2
回転速度：高い

用途：タービン発電機
(火力発電用)

誘導起電力の周波数 f は

$$f = \frac{p}{2} \times \frac{N}{60} \text{ [Hz]}$$

p : 極数
 N : 回転子の回転速度 [min^{-1}]

ご聴講ありがとうございました
ございました!!