

11. 誘導電動機の等価回路

11. Equivalent Circuit of the Induction Motor

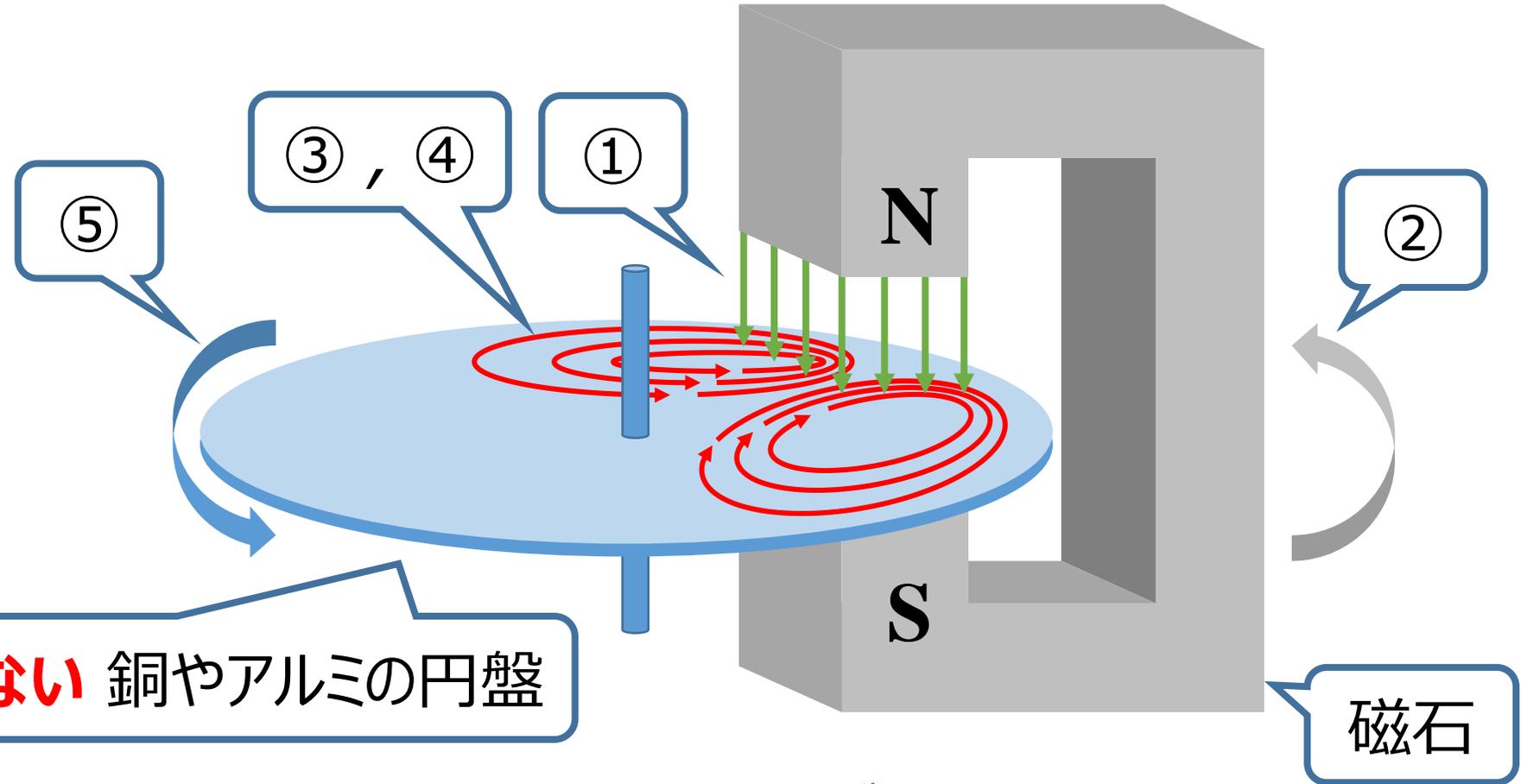
講義内容

- 1. すべりと同期速度**
- 2. 誘導起電力**
- 3. 誘導電動機の等価回路**

アラゴの円盤



François Jean
Dominique Arago
(1786~1853)



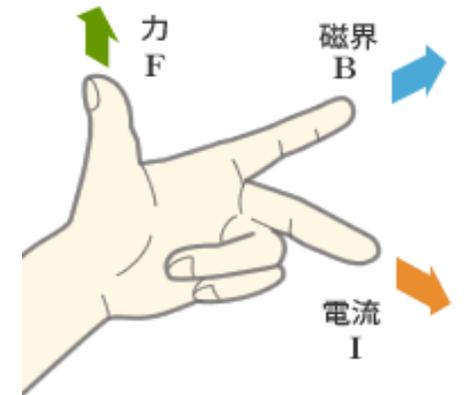
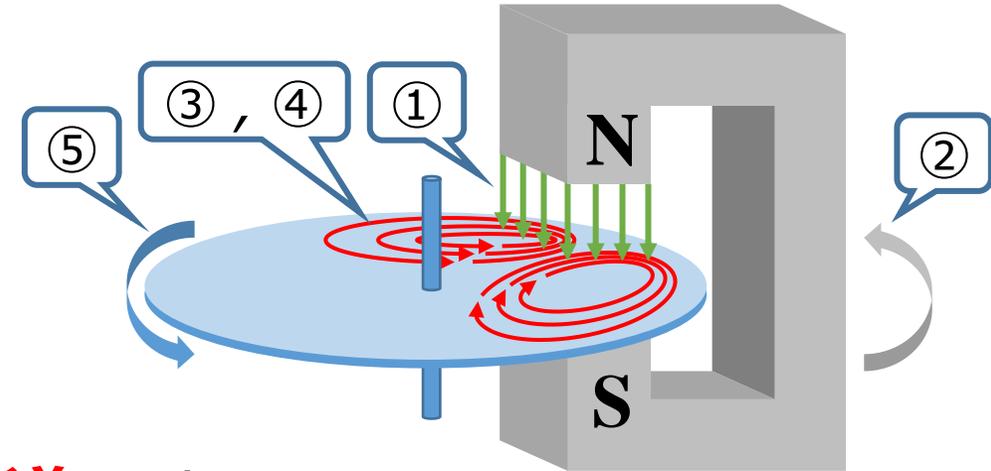
磁石に **付かない** 銅やアルミの円盤

電磁気的な力で物体を回転させることで有名な **アラゴの円盤**
(磁石と円盤は接触して **いない** ことに注意)

アラゴの円盤の回転原理

アラゴの円盤の回転原理

- ① 磁石の **磁束** が円盤に入り込む
- ② 磁石を動かすと, **磁束** も **移動** する
- ③ **磁束** が移動により **増減** するので, **電磁誘導** による **起電力** (誘導起電力)が円盤内部に発生する
- ④ **起電力** により円盤内部に **渦電流** が流れる
- ⑤ **渦電流** と磁石の **磁界** により円盤に **電磁力** が働く



上記の回転原理より, 円盤は磁石の移動に **遅れて** 回転する

すべりと同期速度

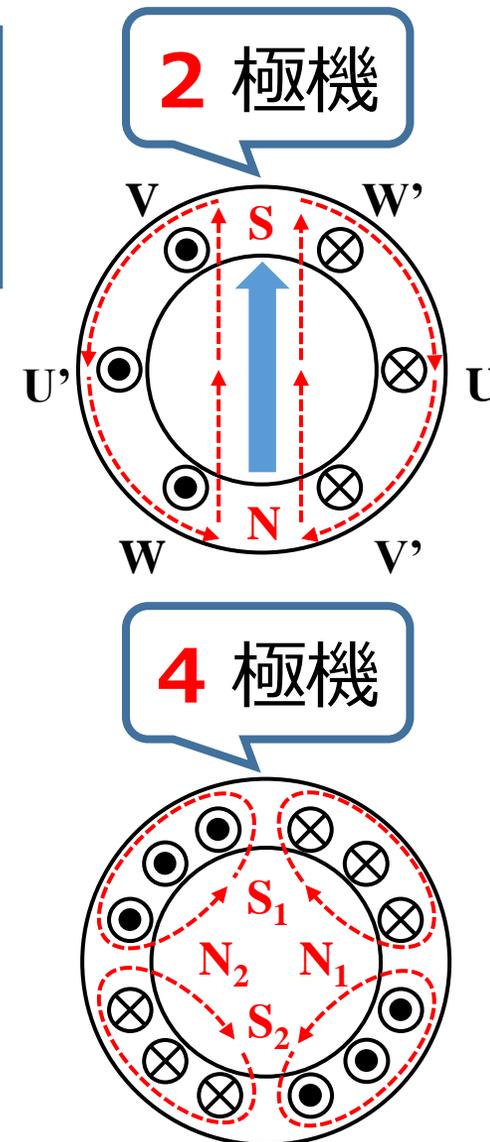
回転磁界の回転数 N_0 を **同期** 速度と呼ぶ. コイルと回転磁界の **相対** 速度 $(N_0 - N)$ と **同期** 速度 N_0 の比を **すべり** という

すべり $s = \frac{N_0 - N}{N_0}$ ← コイルの回転数 (**2** 次側)
← 回転磁界の回転数 (**1** 次側)

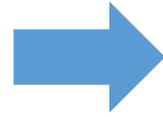
回転磁界の回転数は **2** 極機においては交流電流の周期に **等しい** が **4** 極機においては交流電流が **2** 周期で磁界が **1** 周する

$$N_0 = \frac{2f}{P} [\text{rps}]$$
$$= \frac{120f}{P} [\text{rpm}]$$

(P : **極数**)



固定子巻線を流れる交流電流
により発生する **回転** 磁界



固定子巻線自身とも **鎖交** するため
固定子巻線に **誘導起電力** が生じる

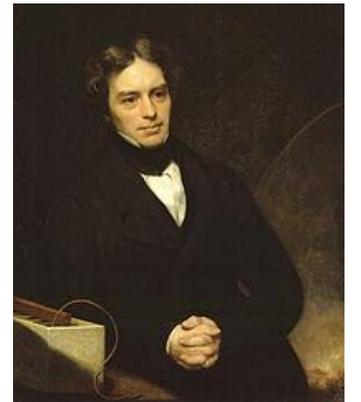
巻線に鎖交する磁束[Wb] : $\phi = \phi_m \cos \omega t$

振幅 ϕ_m で正弦波状に変化

誘導起電力は **ファラデー** の **電磁誘導** の法則より,

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} = N \cdot \omega \cdot \phi_m \sin \omega t$$
$$= 2\pi f \cdot N \cdot \phi_m \sin \omega t$$

誘導起電力の実効値は $E = 2\pi f \cdot N \cdot \frac{\phi_m}{\sqrt{2}} \approx 4.44 f \cdot N \cdot \phi_m$ [V]



Michael Faraday
(1791~1867)

誘導起電力：回転子が停止している場合

1次巻線（**固定子**巻線）の1相に生じる誘導起電力： $E_1 = 4.44 f \cdot N_1 \cdot \phi_m$ [V]

回転子が停止しているとする
（二次コイルの回転数：ゼロ）

$$s = \frac{N_0 - N}{N_0} \Big|_{N=0} = 1$$

$s = 0$ ：同期速度
 $s = 1$ ：停止

回転磁界は回転子に対して
回転速度 N_0 で移動している

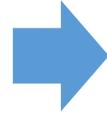
すべりは**回転子**側（誘導機）の
運転状態を表す重要なパラメータ

固定子巻線及び回転子巻線に
同じ周波数の回転磁界がかかる

$$E_2 = 4.44 f \cdot N_2 \cdot \phi_m$$
 [V]

誘導起電力：回転子が回転している場合

回転子が
すべり s で回転



回転子と回転磁界の
相対速度 $N_0 - N = sN_0 [\text{rps}]$



回転磁界は回転子に対して
回転速度 sN_0 で移動している



固定子巻線及び回転子巻線に
異なる 周波数の回転磁界がかかる

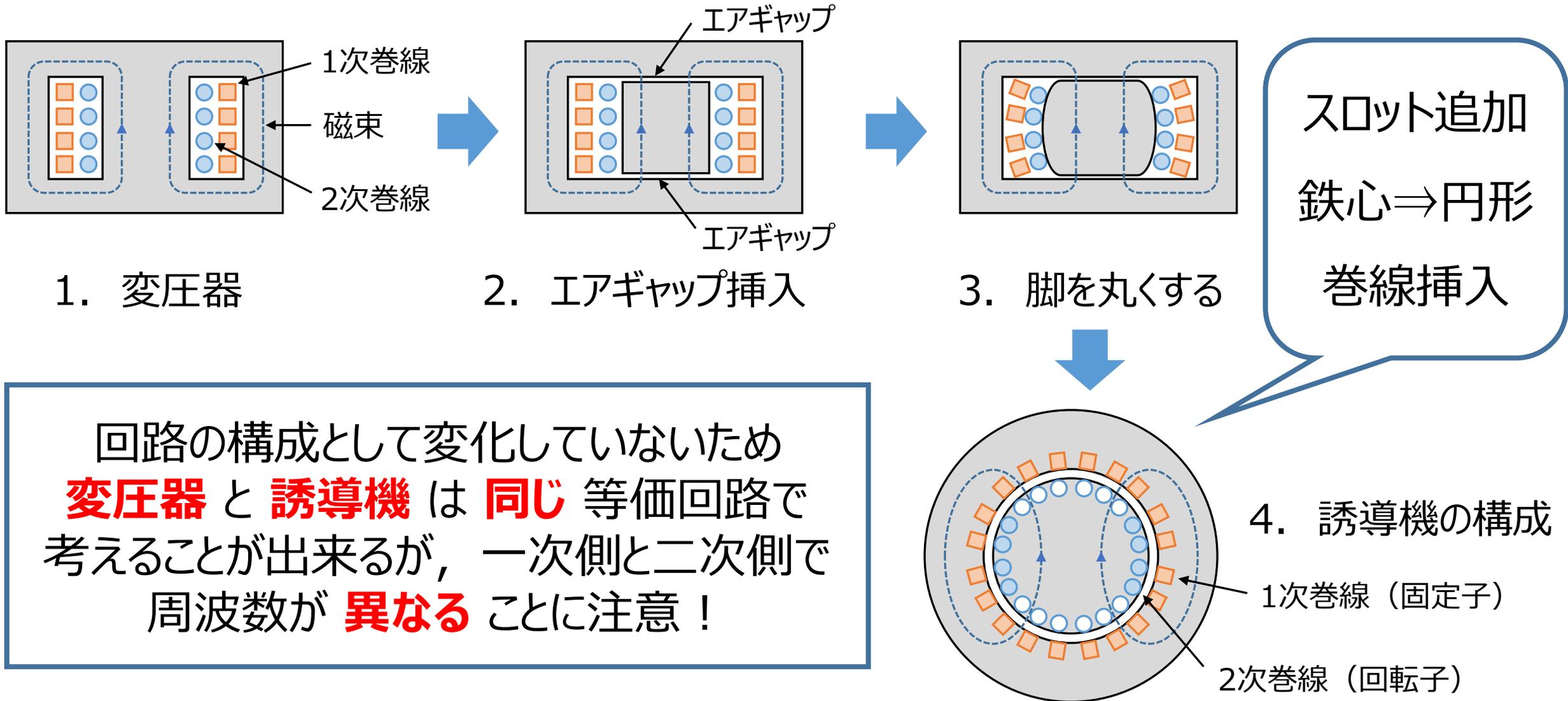


$$E_{2s} = 4.44 \cdot \underline{s} \cdot f \cdot N_2 \cdot \phi_m [\text{V}]$$

sf : **すべり周波数**

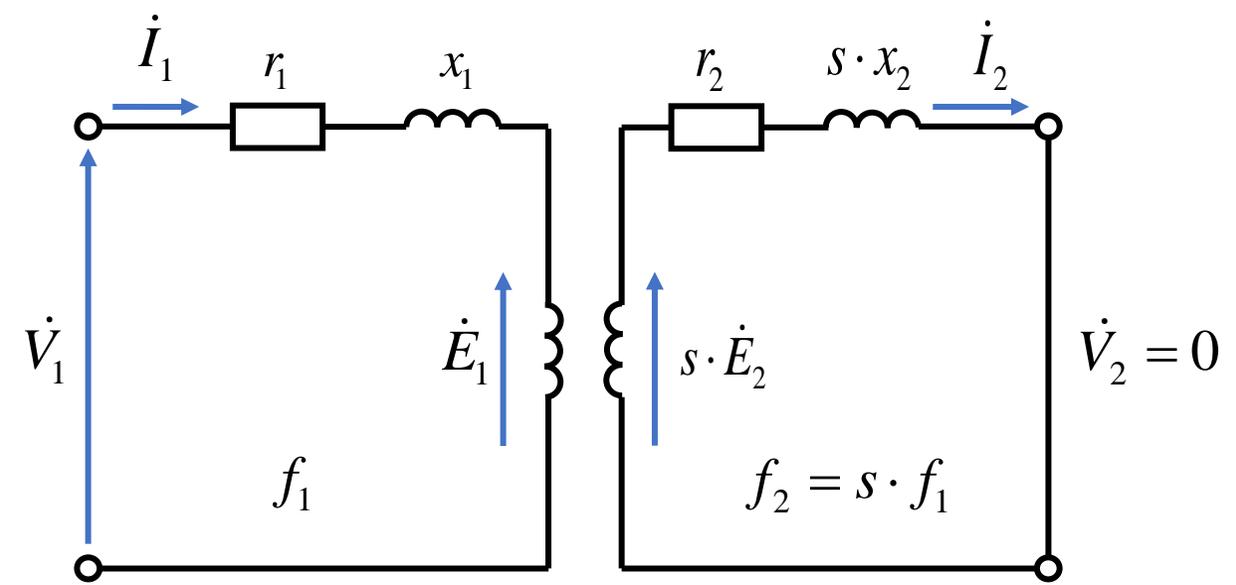
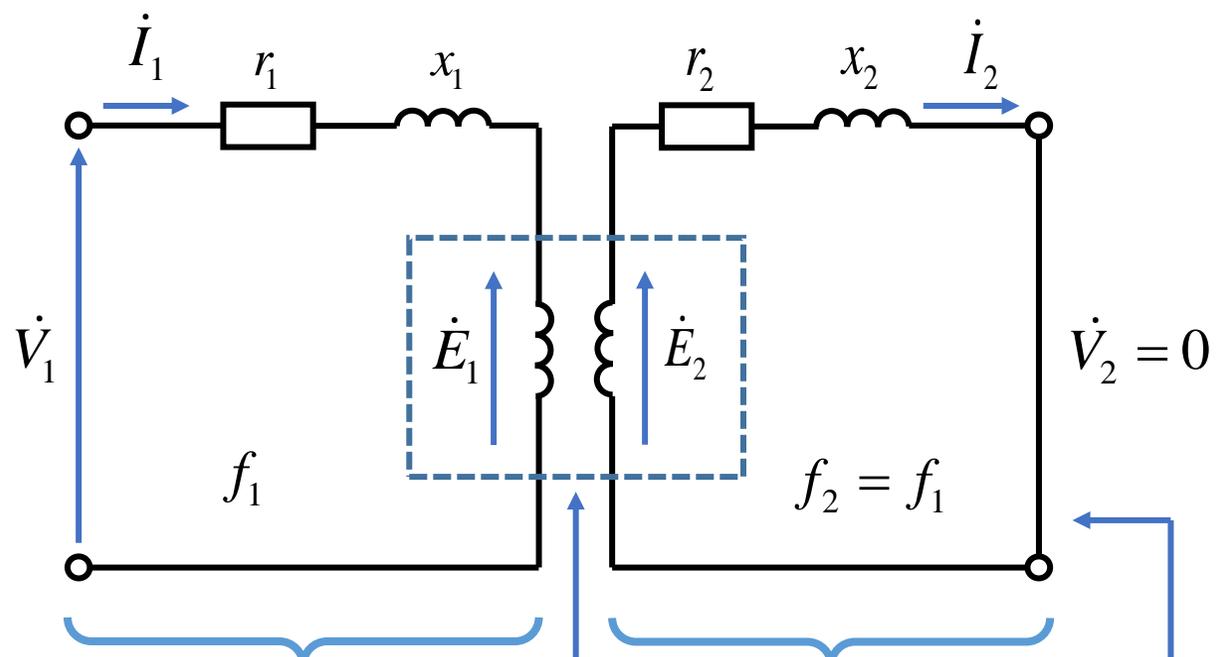
この式は、**回転** 時の誘導起電力は
停止 時の s 倍になることを表す

等価回路の導出 (変圧器から誘導機への変形)



回路の構成として変化していないため
変圧器 と **誘導機** は **同じ** 等価回路で
考えることができるが、一次側と二次側で
周波数が **異なる** ことに注意！

等価回路の導出 (左: 停止時, 右: 回転時)



1次回路
(固定子)

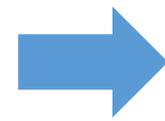
2次回路
(回転子)

変圧器結合
(**静止器**)

回転子巻線
は **短絡**

すべり によって2次回路にかかる
回転磁界の **周波数** は1次回路と
異なるため, **周波数** によって変化する
回路パラメータも同様に変化する

1次側と2次側の **周波数** が異なるので **変圧器** として考えることができない



周波数 を考慮して 等価回路を再度考慮する

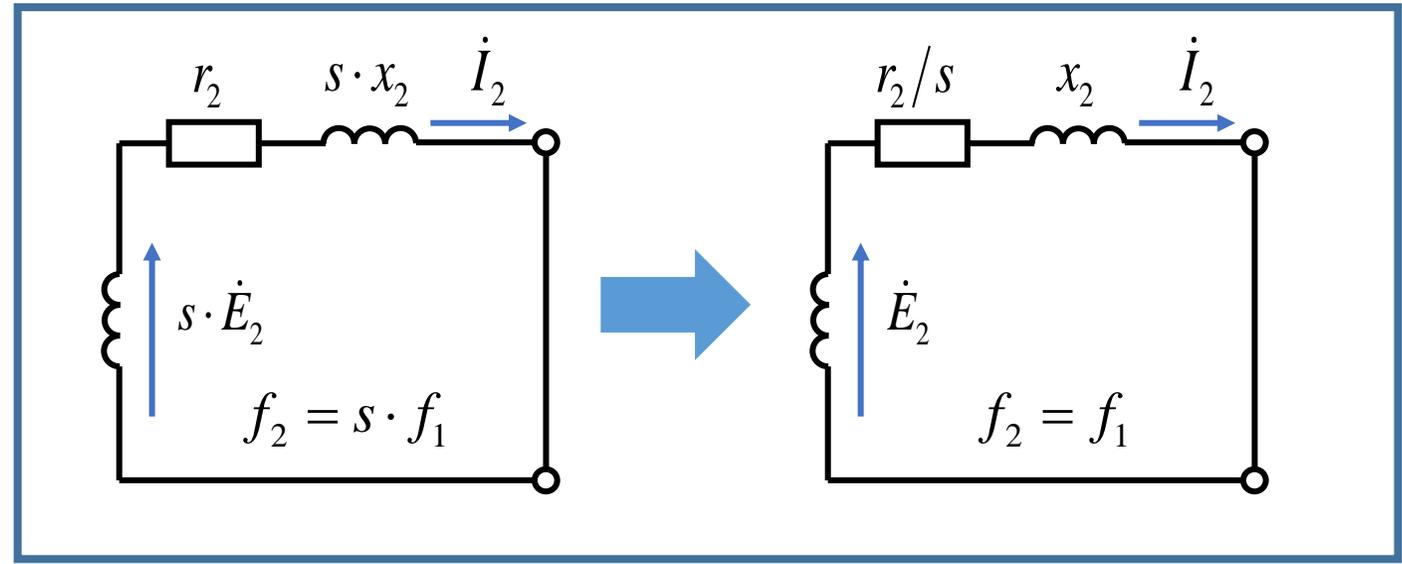
2次回路の電流
$$i_2 = \frac{s\dot{E}_2}{\sqrt{r_2^2 + (sx_2)^2}}$$

- 分子：2次巻線の誘導起電力[V]
- 分母：2次回路のインピーダンス[Ω]

式変形

$$= \frac{\dot{E}_2}{\sqrt{\left(\frac{r_2}{s}\right)^2 + x_2^2}}$$

1次側と2次側で周波数を等しいものとして考えられる



電動機 を考えているため、等価回路内に **機械的出力** を導入する必要がある

$$\text{2次入力: } \frac{r_2}{s} I_2^2 = \left(r_2 - r_2 + \frac{r_2}{s} \right) I_2^2 = \left(r_2 + \frac{1-s}{s} r_2 \right) I_2^2 = r_2 I_2^2 + \frac{1-s}{s} r_2 I_2^2$$

回転子に
供給 される電力

2つの抵抗の **直列** 接続

2次 **銅損**

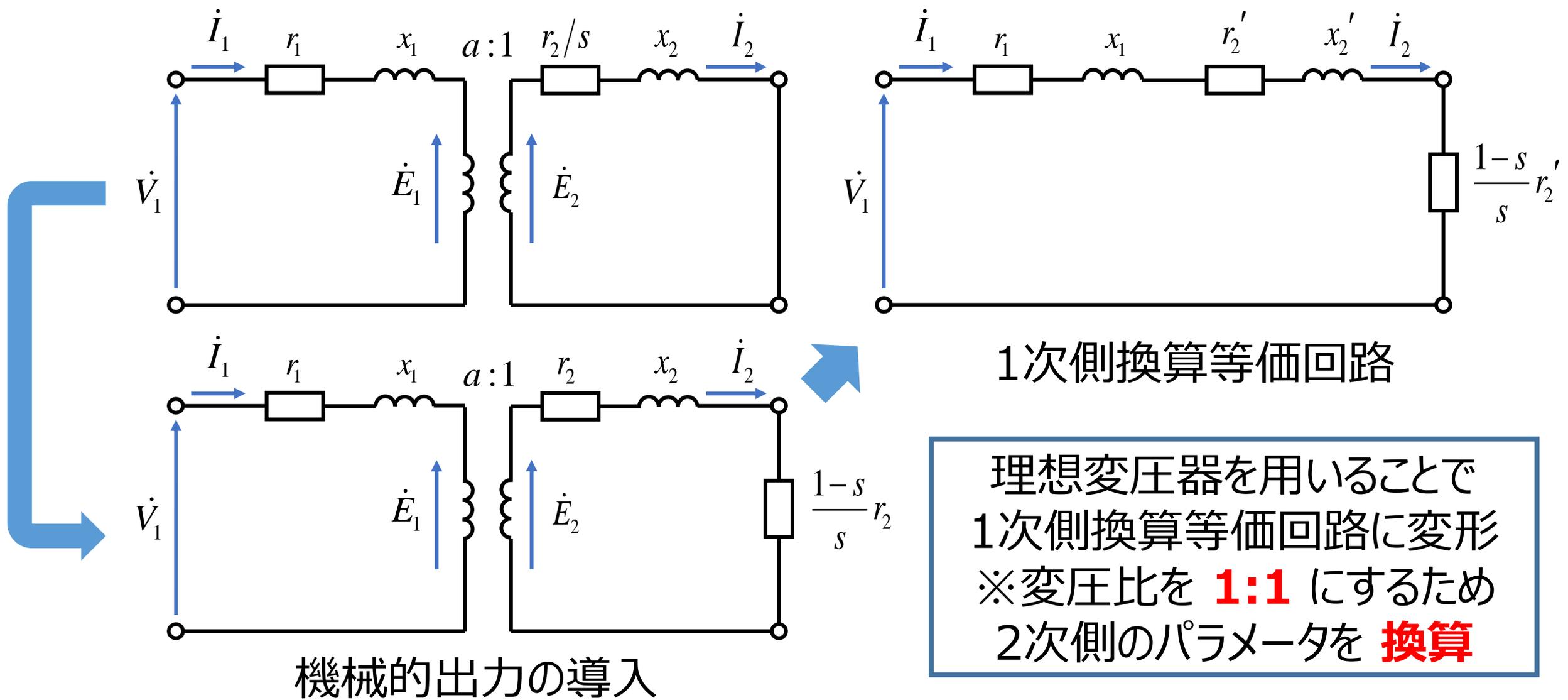
機械的出力

➡ $P_0 = P_2 - P_{c2} = \frac{r_2}{s} I_2^2 - r_2 I_2^2 = \frac{1-s}{s} r_2 I_2^2$

2次抵抗を銅損と機械的出力に
分離 することが出来た

※すべりの大きさが機械的出力に大きく関わってくる！

1次側換算等価回路（励磁回路を除く）



理想変圧器を用いることで
1次側換算等価回路に変形
※変圧比を **1:1** にするため
2次側のパラメータを **換算**