

# 第5回 回転機の基本原則, 直流機

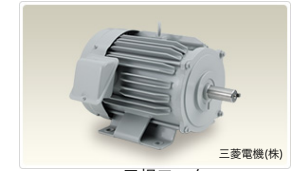
## 今日のテーマ

- ・ 回転機の原理を説明するための法則は？
- ・ 回転機はどんな種類があるの？
- ・ 直流機と交流機は何が違うの？
- ・ 直流機のトルクと起電力を表わす式は？

# 6 回転機の基本原則

- 6.1 フレミングの法則
- 6.2  $iB$ 則,  $vB$ 則と電気-機械エネルギー変換の原理
- 6.3 回転機の基本原則

- 6.3.1 直流機の基本原則
- 6.3.2 ブラシレスDCモータの基本原則
- 6.3.3 三相正弦波交流による回転磁界の発生
- 6.3.4 三相同期機の基本原則
- 6.3.5 三相誘導電動機の基本原則

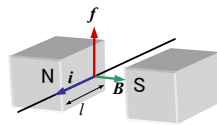


三相モータ

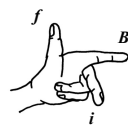
- 6.4 巻線の基本構造
- 6.5 回転機における電気-機械エネルギー変換の流れと効率

## 6.1 フレミングの法則

$iB$ 則とフレミングの左手の法則

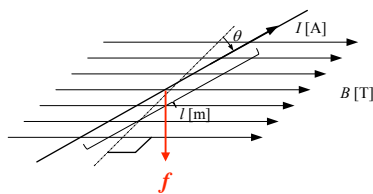


$$\mathbf{f} = (\mathbf{i} \times \mathbf{B})l$$



左手

[例題6.1] 磁界中の直線導体に働く電磁力



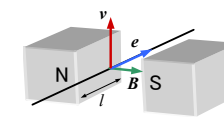
$$B_{\perp} = B \cos \theta$$

$$f = IB_{\perp}l = IBl \cos \theta$$

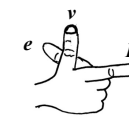
方向は、磁界の方向に垂直に下向き

## 6.1 フレミングの法則

$vB$ 則とフレミングの右手の法則

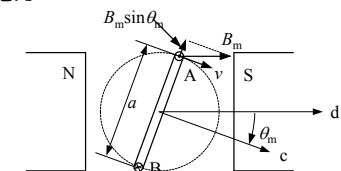
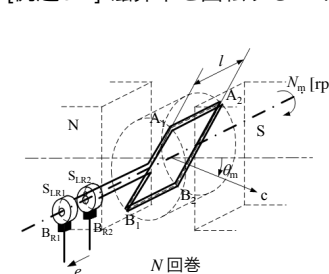


$$\mathbf{e} = (\mathbf{v} \times \mathbf{B})l$$



右手

[例題6.2] 磁界中を回転するコイルの起電力



$$v = \pi a N \omega_m$$

$$B_{\perp} = B_m \sin \theta_m \quad \theta_m = 2\pi N_m t \equiv \omega_m t$$

$$e = v B_{\perp} (2Nl) = Nal \omega_m B_m \sin \omega_m t$$



## 6.2 $iB/l$ 則, $vB/l$ 則と電気-機械エネルギー変換の原理

$$\mathbf{f} \cdot \mathbf{v} = (\mathbf{i} \times \mathbf{B})l \cdot \mathbf{v} = -\mathbf{i} \cdot (\mathbf{v} \times \mathbf{B})l = -\mathbf{i} \cdot \mathbf{e}$$

機械出力 ← 電気入力  
電気 - 機械エネルギー変換

$$-\mathbf{f} \cdot \mathbf{v} = \dots = \mathbf{i} \cdot \mathbf{e}$$

機械入力 → 電気出力  
機械 - 電気エネルギー変換

		発電機	電動機
$iB/l$ 則	$\mathbf{f} = (\mathbf{i} \times \mathbf{B})l$	機械入力	機械出力
$vB/l$ 則	$\mathbf{e} = (\mathbf{v} \times \mathbf{B})l$	電気出力	電気入力

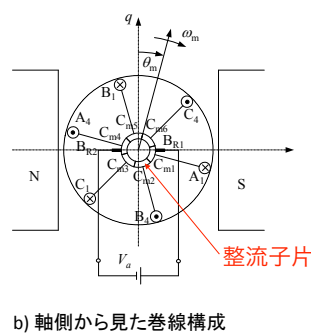
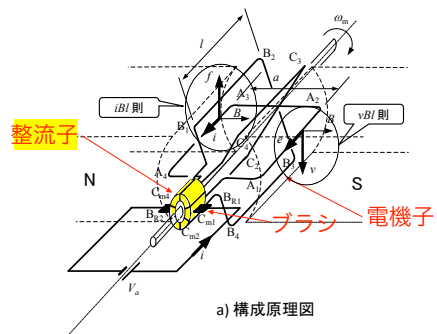
## 1.2 電気機器の種類と特徴

表1.1 電気機器の分類

- 回転機 (リニアモータも含む)
  - 直流機 → 整流子機 [特徴: 制御性がよい, 保守の手間がかかる]
  - 交流整流子機
  - 誘導機 → 交流機 [特徴: 構造簡単, 丈夫, 大容量, 無保守性]
  - 同期機
  - ステッピングモータ, 電磁石
- 静止器
  - 電磁機器 ... 変圧器, リアクトル, キャパシタ
  - パワーエレクトロニクス機器 ... 整流装置, インバータ, 直流変換装置, 交流変換装置

## 6.3 回転機の基本原則

### 6.3.1 直流機の基本原則



回転子 (電機子, 整流子, 軸)  
界磁 (磁極鉄心, 界磁巻線)  
固定子 (界磁, 継鉄, 軸受, ブラシ等)

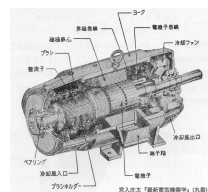
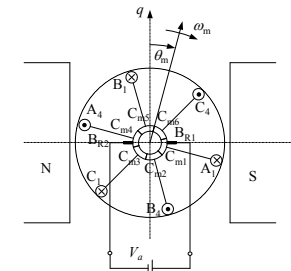


図 提供: 一般社団法人電気学会『電気機器・パワーエレクトロニクス通論』

### 6.3.1 直流機の基本原則

#### 1. トルク



b) 軸側から見た巻線構成

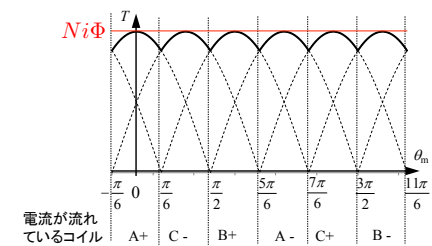


図6.9 回転角に対するトルク

コイル辺に働く力  $f = NiB_m l \cos \theta_m$  [N]

トルク  $T_M = aNiB_m l \cos \theta_m$  [N・m]

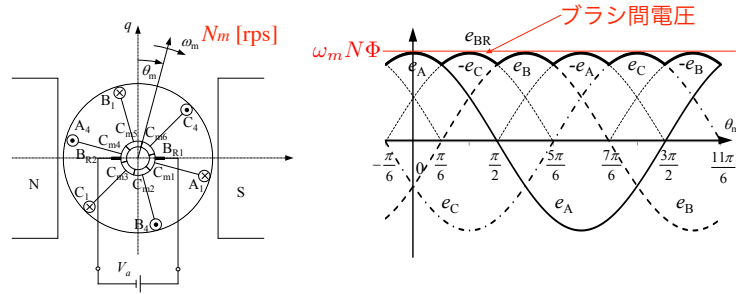
$T_M = Ni\Phi \cos \theta_m$  [N・m]

(有効全磁束  $\Phi = alB_m$ )

図・写真提供: 一般社団法人電気学会『電気機器・パワーエレクトロニクス通論』

### 6.3.1 直流機の基本原理

#### 2. 誘導起電力



b) 軸側から見た巻線構成

図6.10 コイル電圧とブラシ間電圧

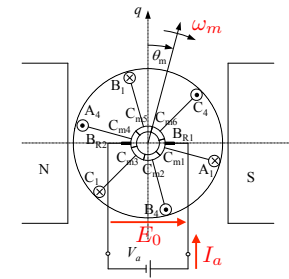
コイルAの起電力  $e_A = \omega_m N \Phi \cos \omega_m t = \omega_m N \Phi \cos \theta_m$  [V]

- (1) 各コイルの起電力は、周波数が $N_m$  [rps], 振幅が周波数に比例した正弦波交流電圧
- (2) 整流子とブラシによって交流から直流への変換 (整流)
- (3) コイルA, B, Cには振幅, 周波数が等しく, 位相が互いに $120^\circ$ 異なった正弦波電圧 (三相交流発電機の基本原理)

図・写真提供: 一般社団法人電気学会『電気機器・パワーエレクトロニクス通論』

### 6.3.1 直流機の基本原理

#### 1 + 2. トルクと誘導起電力 (コイル, 整流子片が多い場合)



トルク  $T_M = N I_a \Phi$  [N·m]

誘導起電力  $E_0 = -\omega_m N \Phi$  [V]

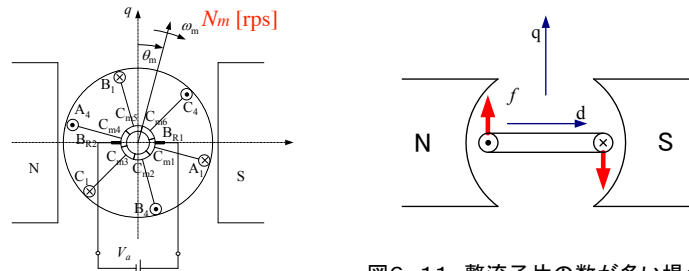
機械出力  $P_M = \omega_m T_M = \omega_m N I_a \Phi = -E_0 I_a = -P_E$  電気入力

- (1-1) トルク  $T_M$  は 電機子電流  $I_a$  に比例する
- (1-2) 誘導起電力  $E_0$  は 回転角速度  $\omega_m$  に比例する
- (1-3) トルクと回転速度は,  $I_a$  と  $E_0$  で独立に制御できる
- (2-1) 電気入力  $-E_0 I_a$  が 機械出力  $\omega_m T_M$  に変換される (電動機)
- (2-2) トルクに逆らって外部から機械エネルギーを供給すると, 機械入力  $-\omega_m T_M$  が 電気出力  $E_0 I_a$  に変換される (発電機)

図・写真提供: 一般社団法人電気学会『電気機器・パワーエレクトロニクス通論』

### 6.3.1 直流機の基本原理

#### 3. d軸 (直軸) とq軸 (横軸)



b) 軸側から見た巻線構成

図6.11 整流子片の数が多い場合の磁極とコイルの位置関係

磁界の作る磁束の軸: d軸 (直軸)

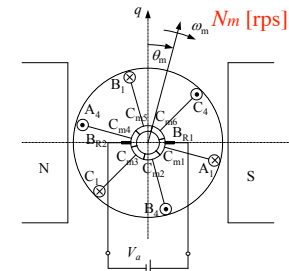
電機子巻線の作る磁束の軸: q軸 (横軸)

電機子反作用: 電機子電流による界磁磁界への影響

図・写真提供: 一般社団法人電気学会『電気機器・パワーエレクトロニクス通論』

### 6.3.1 直流機の基本原理

#### [例題6.4]



b) 軸側から見た巻線構成

コイル数, 整流子片数は十分に多い

電機子電流  $I_a = 10$  [A]

回転速度  $N_m = 1500/60$  [rps]

コイルの巻数  $N = 20$  [回]

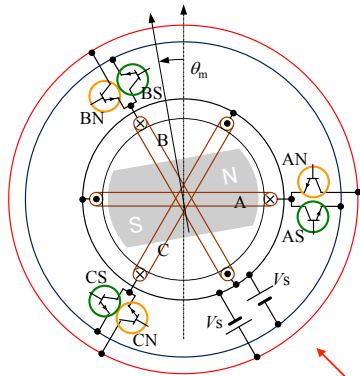
コイル辺  $a = 0.2$  [m]  $l = 0.1$  [m]

磁束密度  $B_m = 1$  [T]

- (1) 発生トルク  $T_M = N I_a \Phi = N I_a (l a B_m) = 20 \times 10 \times 0.1 \times 0.2 \times 1 = 4$  [N·m]
- (2) 機械出力  $P_M = \omega_m T_M = (2\pi N_m) T_M = 2\pi \times \frac{1500}{60} \times 4 = 628.3$  [W]
- (3) 直流電源電圧  $E_0 = \frac{P_M}{I_a} = \frac{628.3}{10} = 62.8$  [V]  
 $E_0 = \omega_m N \Phi = (2\pi N_m) N (l a B_m) = 62.8$  [V]

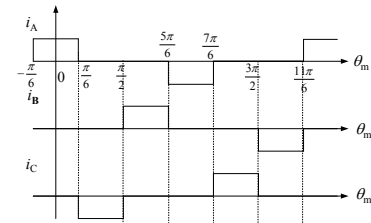
図・写真提供: 一般社団法人電気学会『電気機器・パワーエレクトロニクス通論』

### 6.3.2 ブラシレスDCモータの基本原理



a) 構成原理図

整流子の代わりにトランジスタで  
コイルに流れる電流をスイッチング



b) コイル電流波形

回転界磁形： 電機子静止， 界磁回転

回転電機子形： 界磁極静止， 電機子回転

図・写真提供： 一般社団法人電気学会『電気機器・パワーエレクトロニクス通論』

### レポート (第5回)



テキスト 第6章

問題 (1), (2), (8a), (8b)

直流機と交流機の違いについて説明せよ。  
そして、なぜ直流電動機が交流電動機に取って  
代わられるようになってきたかを考察せよ。

