

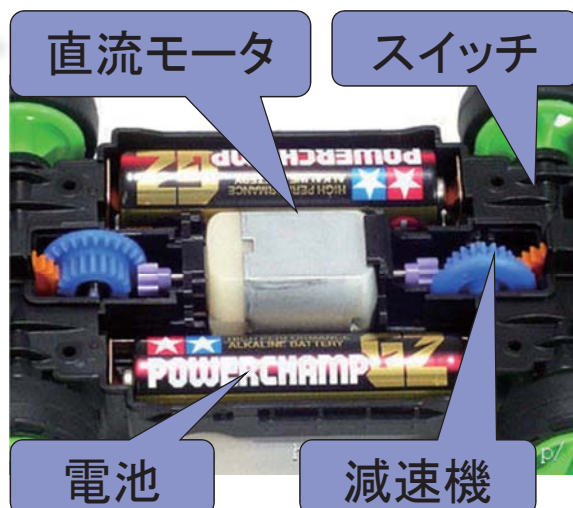
「エンジン/モータ」

## 2.自動車用モータ技術

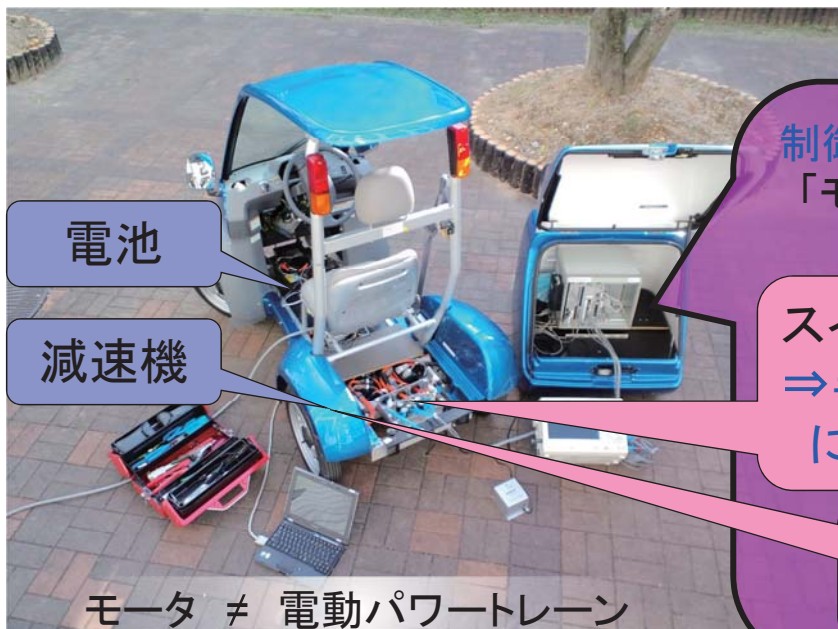
モータによるパワートレイン  
～直流モータ:ミニ四駆の場合～



モータ≡電動パワートレイン



# モータによるパワートレイン ～交流モータ:実際のEVの場合～



電池

減速機

制御器により連携される  
「モータ駆動システム」

スイッチ  
⇒半導体スイッチ  
による電力変換器

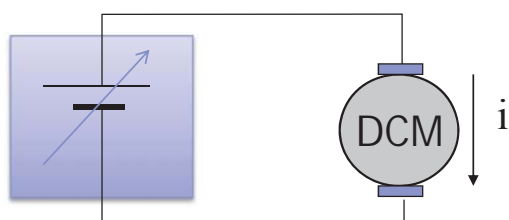
直流モータ  
⇒交流モータ

モータ ≠ 電動パワートレイン

## モータ≡電動パワートレイン

### ■ 直流モータの場合

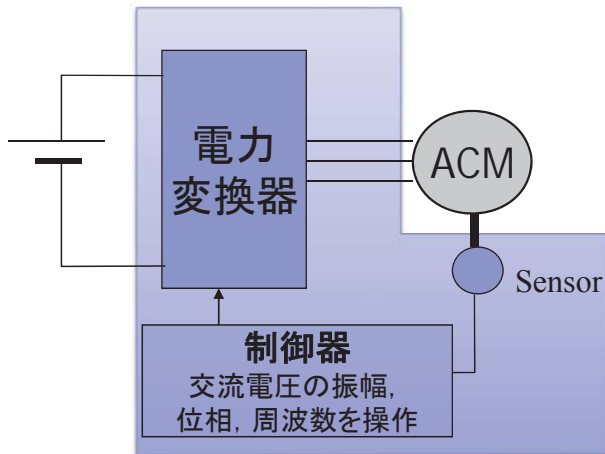
- 直流電源をつなげばひとまず回転
- 発生トルクは直流電流に比例
- ブラシという機械的構造の存在



$$\tau = K \cdot i$$

⇒それ自体でほぼ完結,  
制御器の役割は  
シンプルで汎用化が容易

# モータ ≠ 電動パワートレイン



## ■ 交流モータの場合

- 交流電源をつないでも回転しないかもしれない
- 発生トルクは交流電源の周波数, 振幅, 位相に複雑に依存
- ブラシ⇒電力変換器+制御器

⇒電力変換器, 制御器とのシステムとして捉える必要

⇒制御器は複雑な役割を担う上, 多様な交流モータが存在するため専用化

## 直流モータから交流モータへ

従来は

- 可変速駆動(サーボ)⇒直流モータ
- 定速駆動⇒交流モータ

現在は

- 可変速駆動(サーボ)⇒交流モータ
- 定速駆動⇒交流モータ



## 直流モータから交流モータへ

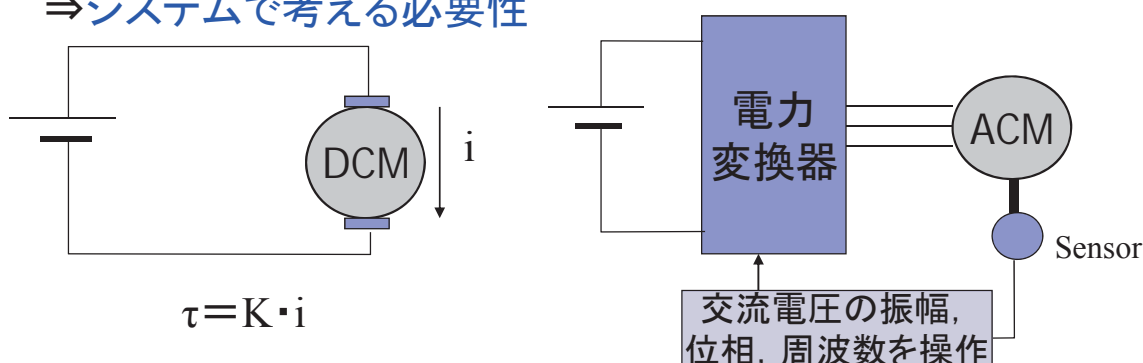
○高トルク, 高出力, 低慣性, 小型軽量,  
高効率, メンテナンスフリー

⇒移動体に求められるおおよそすべての点で凌駕

×電力変換器を用い, 制御を行うことが前提

⇒モータ単体では回転させることすら困難

⇒システムで考える必要性



## 交流モータ駆動の技術的課題

### ■ 制御が複雑

トルクは交流電流の振幅, 周波数, 位相の関数

⇒制御法・プロセッサの発展

### ■ 可変振幅・可変周波数 交流電源が必要

⇒電力変換器の普及

#### 直流モータ駆動の場合

#### ⌘ 制御が簡単

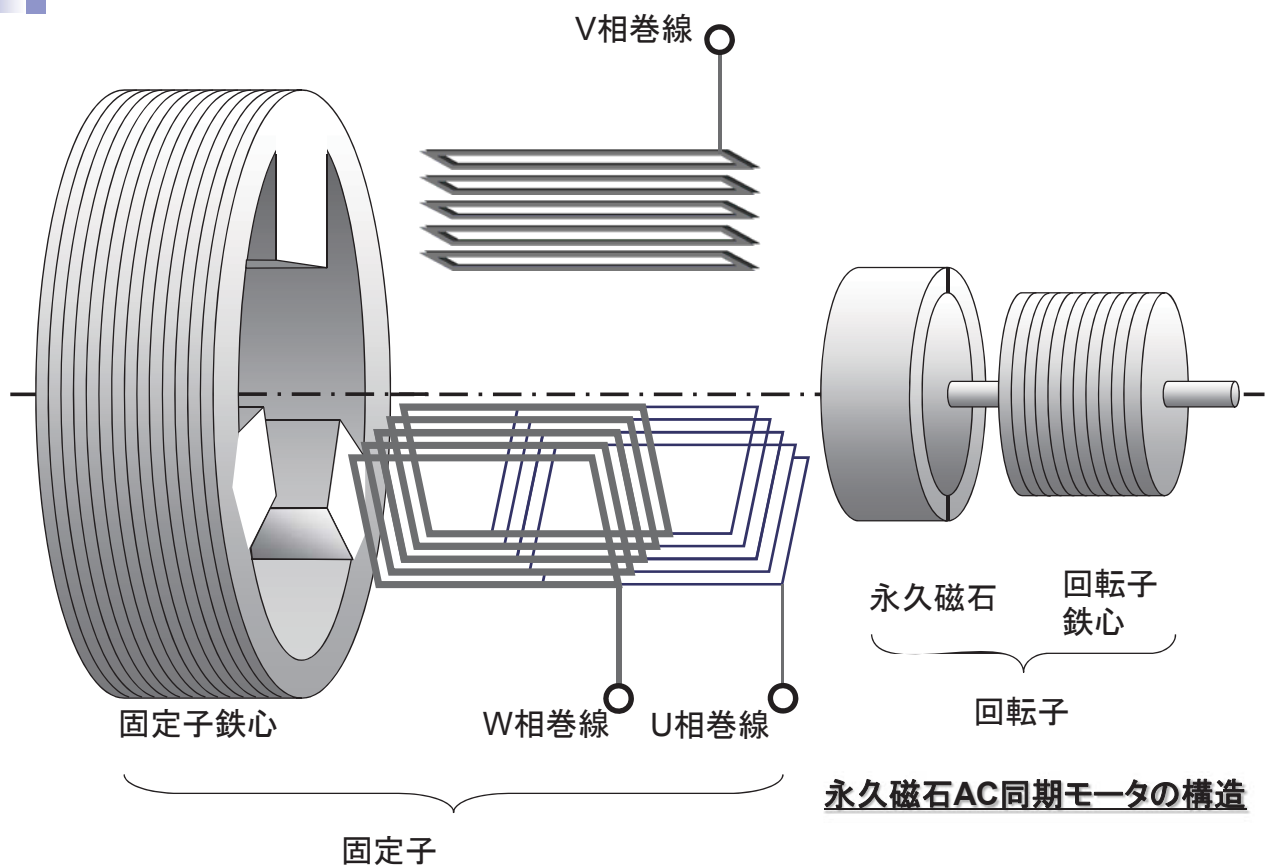
トルクは直流電流の  
振幅に比例

#### ⌘ 可変振幅直流

電源が必要  
(抵抗でも良い)

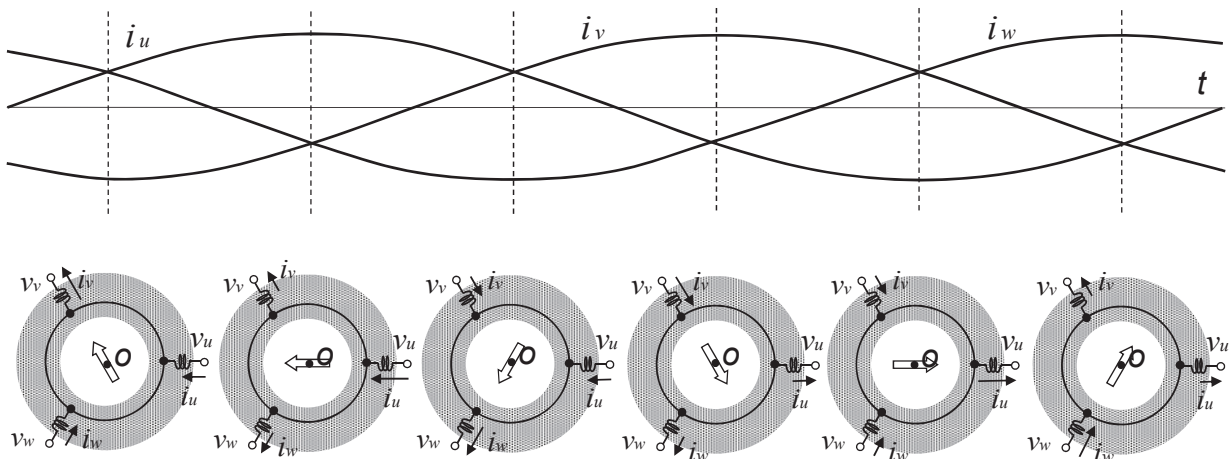
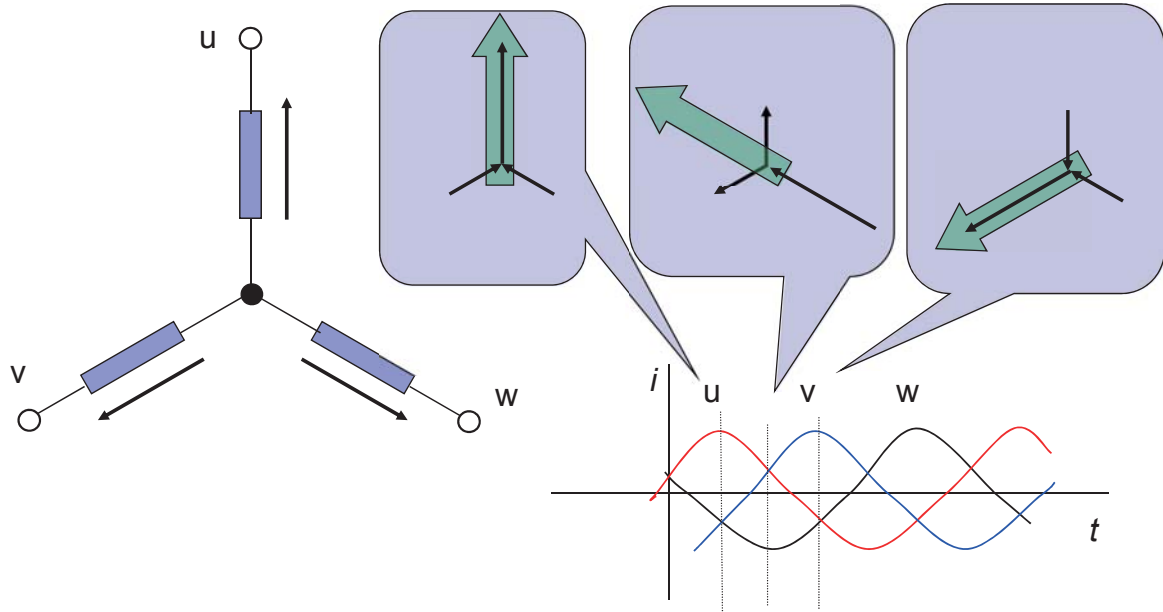
*現在, 技術的には解決済み*

1. 自動車用モータ(永久磁石同期モータ)の原理
2. インバータによるモータ駆動
3. 自動車用モータの制御法
  - 瞬時トルク制御～ベクトル制御～
  - 駆動範囲の拡大～過変調・1パルス制御～
  - 堅牢性とシステムの簡素化～センサレス制御～
4. 自動車用モータ技術の現状・課題



# 交流モータ駆動の基本原理(1)

交流による回転磁界の発生

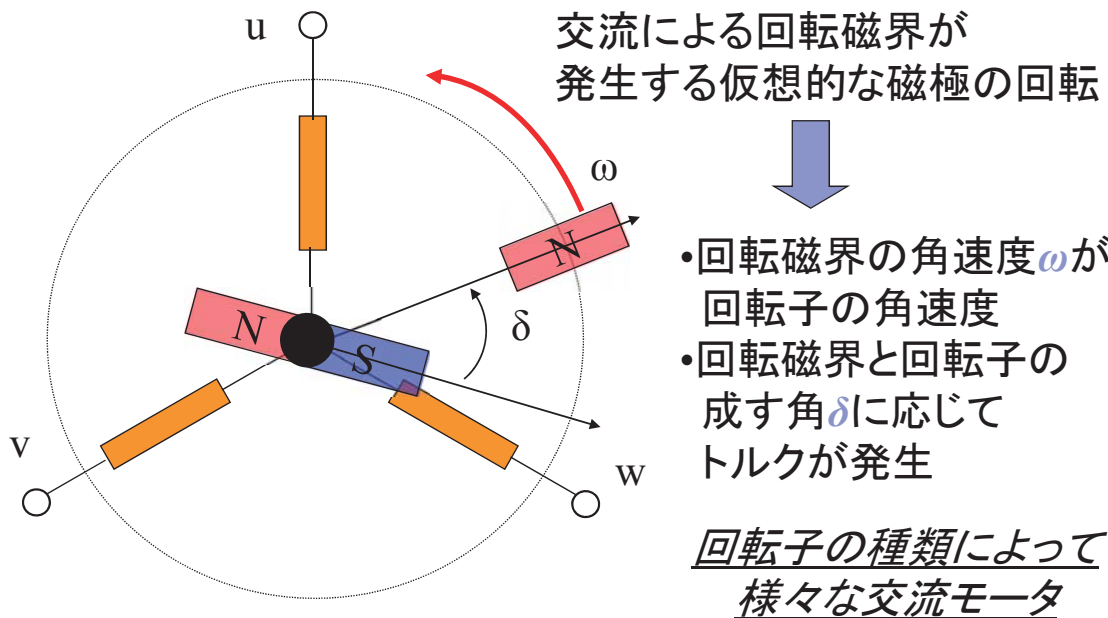


対称三相交流による回転磁界の発生

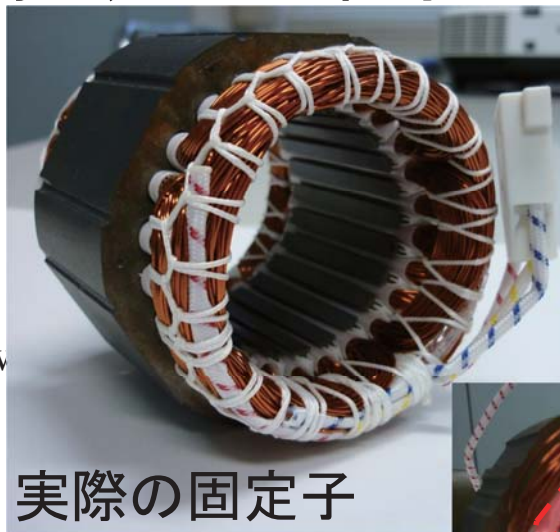
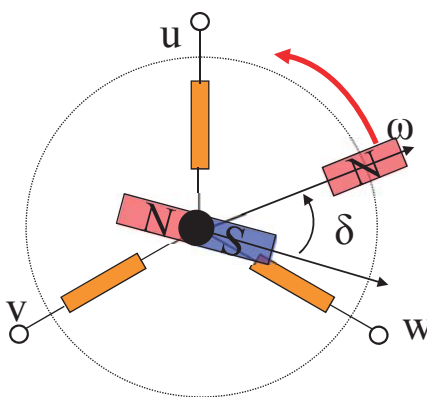


## 交流モータ駆動の基本原理(2)

固定子巻線により回転磁界を発生

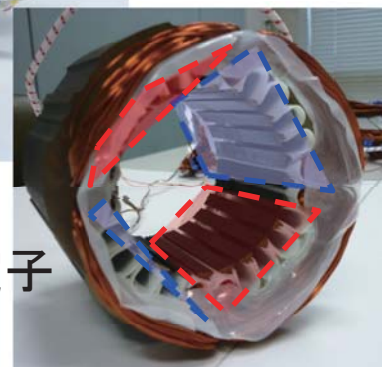


## 交流モータ駆動の基本原理(3)



プレスされた珪素鋼板を積層して構成

巻線の一部を取り除いた固定子  
ティース(歯)に銅線を巻いてコイルを形成



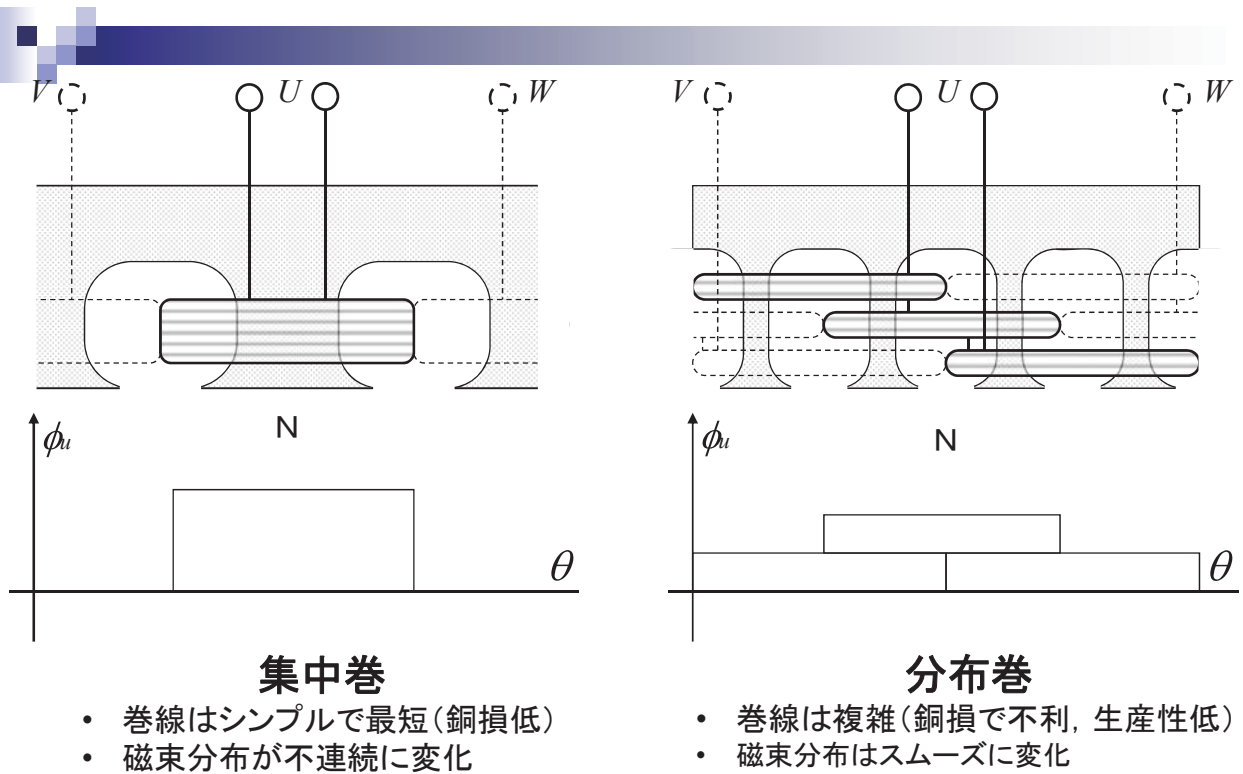
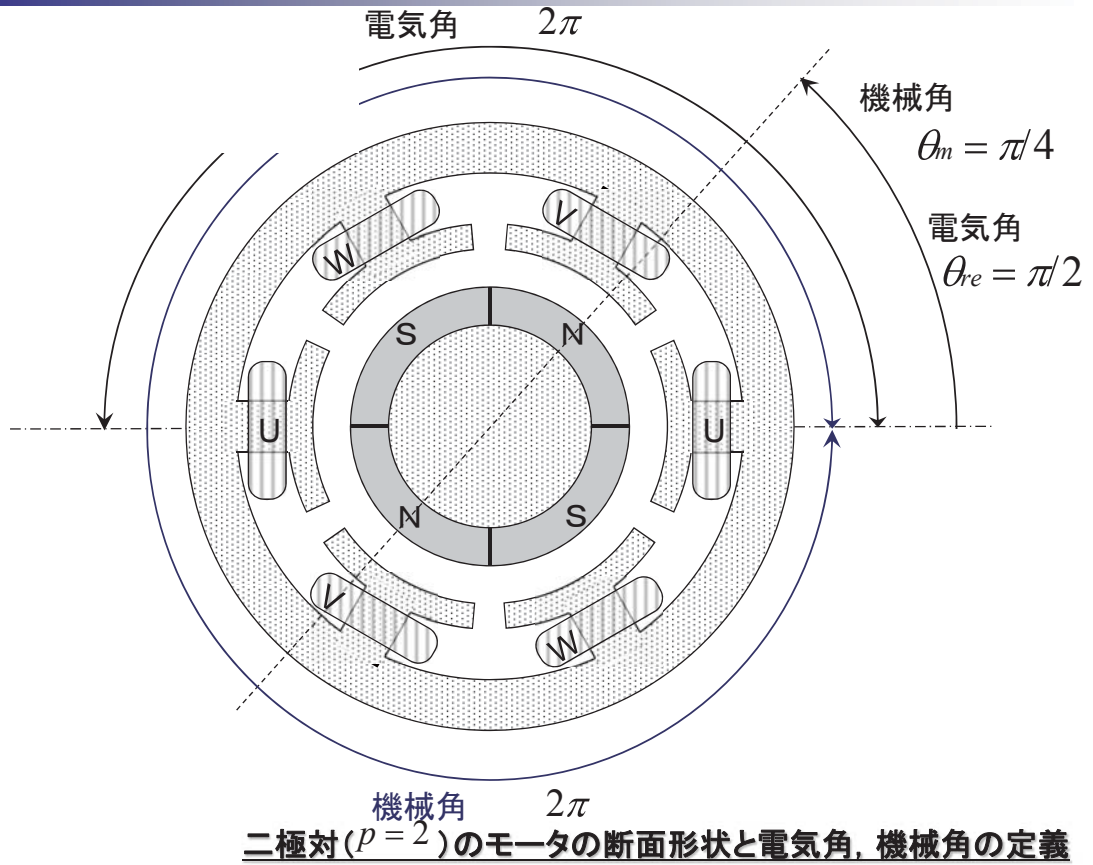


図5 集中巻と分布巻の巻線構造と空間磁束分布の違い



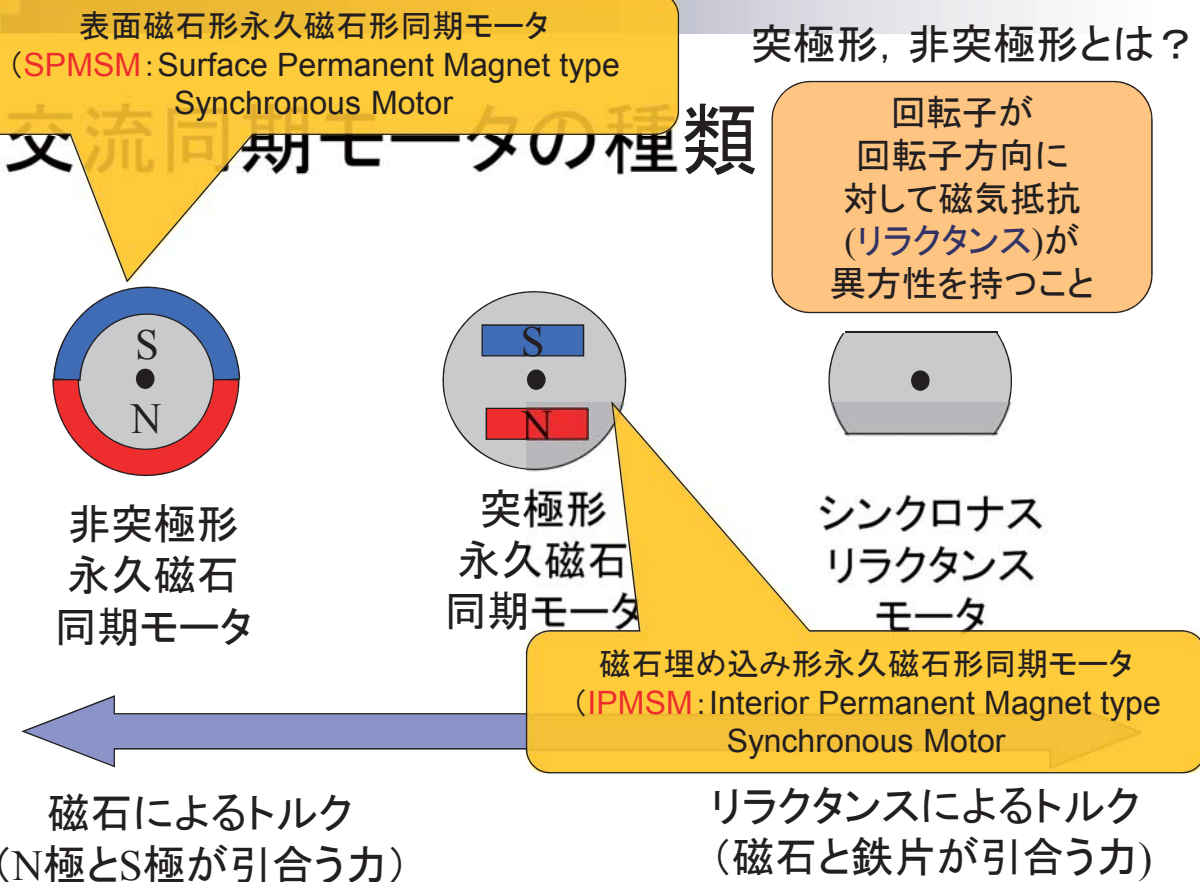
# 交流モータの種類

回転子の種類=交流モータの種類

同期とは？

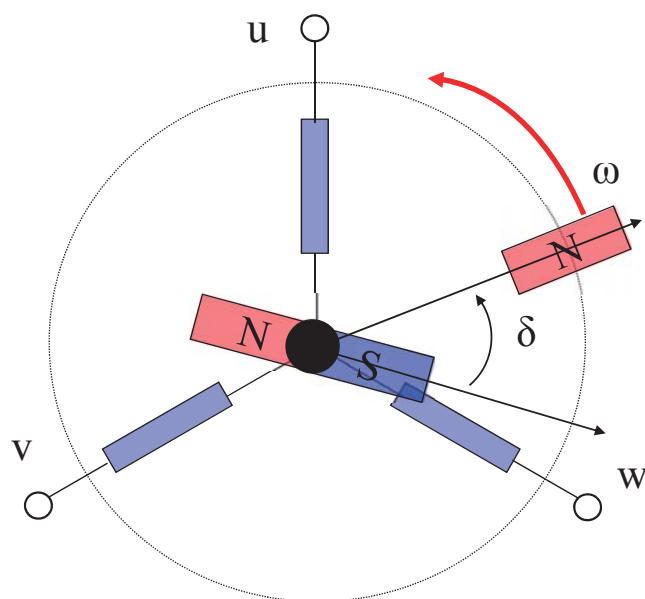
交流の周波数と  
回転子の回転の  
周波数が一致  
していること

- 同期モータ(SM)
  - 永久磁石同期モータ
    - 非突極形
    - 突極形
  - シンクロナスリラクタンスモータ
  - 巻線形同期モータ
- 非同期モータ
  - 誘導モータ(IM)
    - かご形
    - 巻線形



1. 自動車用モータ(永久磁石同期モータ)の原理
2. **インバータによるモータ駆動**
3. 自動車用モータの制御法
  - 瞬時トルク制御～ベクトル制御～
  - 駆動範囲の拡大～過変調・1パルス制御～
  - 堅牢性とシステムの簡素化～センサレス制御～
4. 自動車用モータ技術の現状・課題

## 交流同期モータの駆動(1)



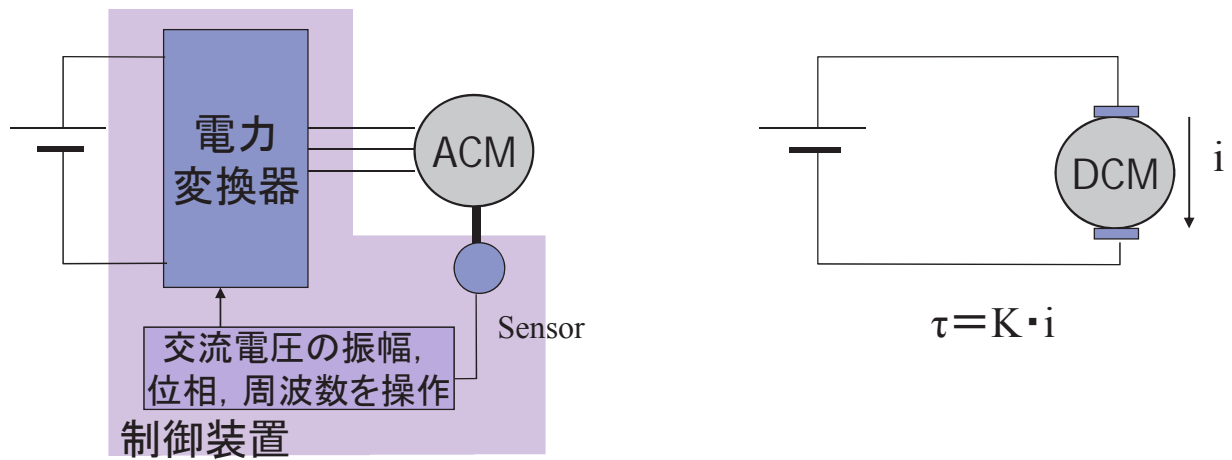
- 回転磁界の角速度 $\omega$ が  
回転子の角速度
- 回転磁界と回転子の  
成す角 $\delta$ に応じて  
トルクが発生



適切な大きさ, 周波数, 位相  
を持つ回転磁界を発生

任意の大きさ, 周波数, 位相  
を発生させる**交流電源**が必要

## 交流同期モータの駆動(2)

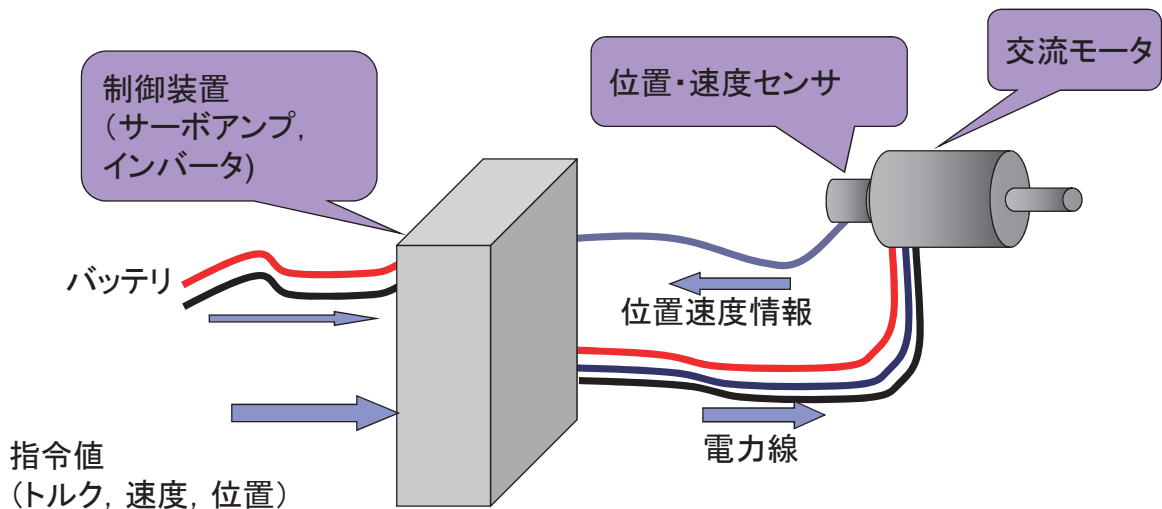


- 直流モータにおけるブラシを制御装置が電氣的に代替
- 制御装置がなければ回りもしない

電力変換器・制御を含めたシステムとして捉える必要

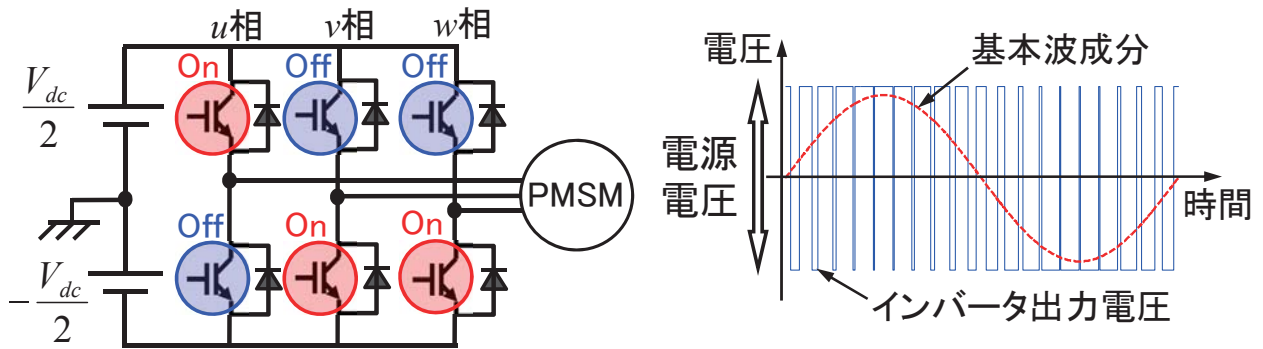
## 交流同期モータの駆動(3)

一般的な交流モータの制御系の構成の概要



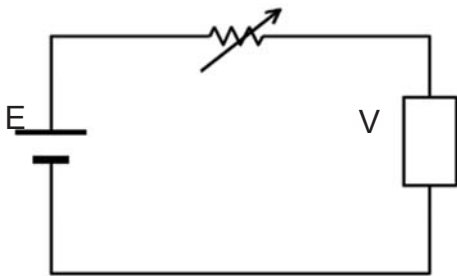
## スイッチから電力変換器へ

- 単なる電源のON・OFFから、モータに任意の周波数・振幅の交流を供給するためのスイッチングに

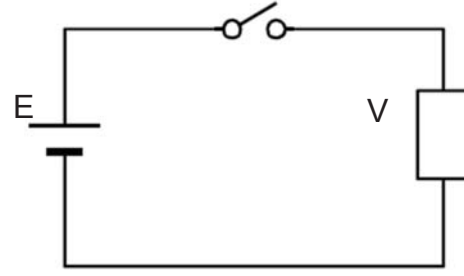


スイッチング周波数と損失・電圧の精度のトレードオフ

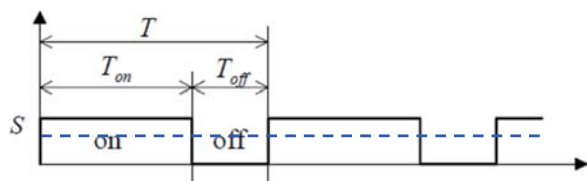
## スイッチによる電圧の調整



- 抵抗による調整
  - 抵抗による電圧降下 ( $V=E-IR$ )を利用
  - 抵抗で電気エネルギーが熱( $I^2R$ )として失われる

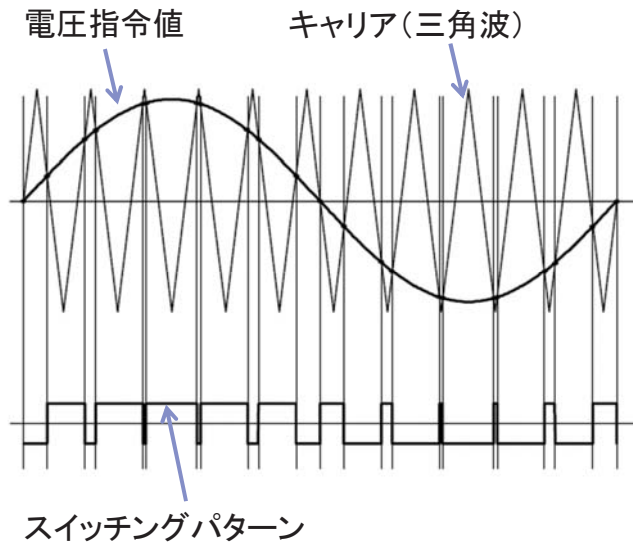


- スwitchングによる調整
  - オン・オフによる平均電圧  $\bar{V}$



- ほぼ電力損失(電圧×電流)は発生しない  
(on: 電圧=0, off: 電流=0)

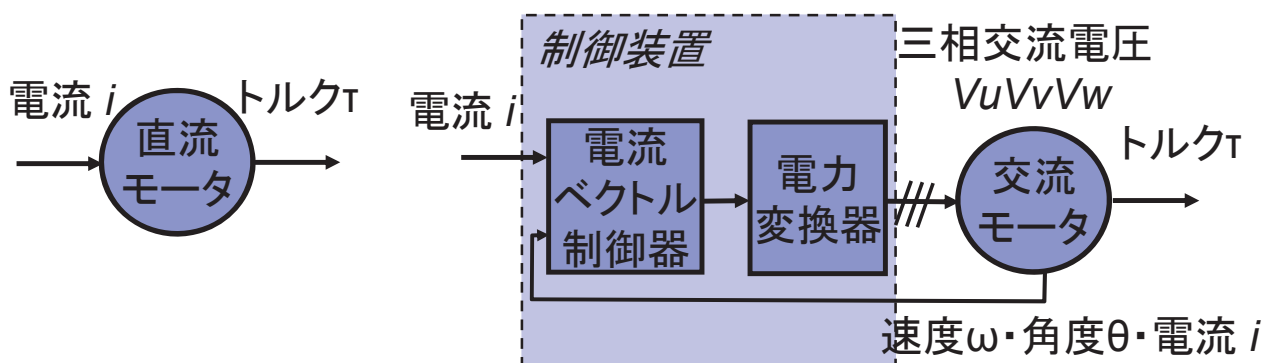
# 三角波比較型パルス幅変調 (PWM:Pulse Width Modulation)



- 電圧指令値を三角波と比較することにより、電圧振幅の大小を、on時間の長短に変換
  - キャリア周波数が高いほど精度の高い変換が可能
- ↕
- スwitchングによる損失は僅かながら存在

## モータ駆動システムの制御

- 制御目的: 高応答なトルク制御



トルクと電流は比例

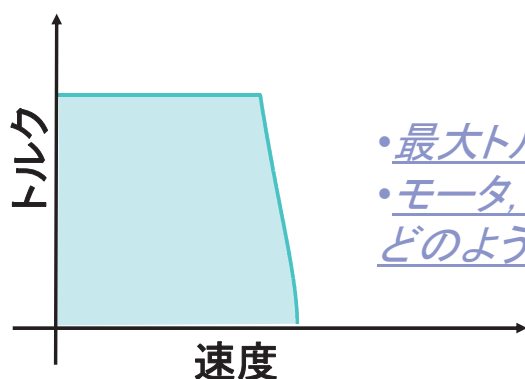
モータ状態に応じて三相交流電圧の周波数・振幅を電力変換器で制御し、トルクと電流の比例関係を実現

制御装置(電力変換器)により直流モータ化



## モータ駆動システムの速度トルク特性

- ある速度までは、最大トルクは一定
- ある速度を超えると最大トルクは単調減少

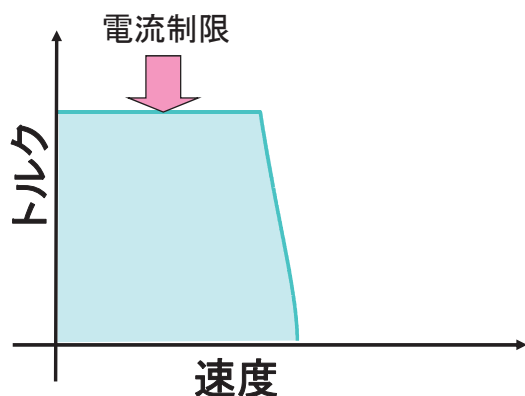


- 最大トルクや最高速度は何で決まるのか
- モータ, 電力変換器, 制御は  
どのようにかわるのか

## モータ駆動システムの速度トルク特性

- トルクの上限は何で決まるのか  
⇒トルク∝極対数 × 磁束 × 電流

モータの形状・材料



- 電力変換器の電流制限  
⇒半導体, 冷却
- モータ(固定子)の発熱  
⇒モータの冷却
- 磁石の減磁  
⇒磁石の性能(減磁耐力)