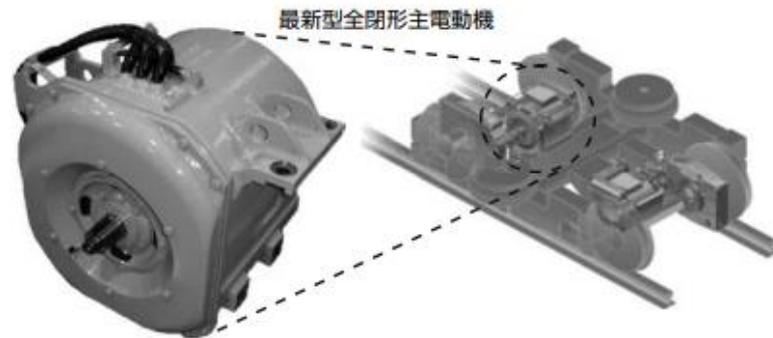


# 誘導モータ（交流をそのまま動力に変えられるモータ！）



## 製品実績

方式：全閉自冷式  
出力：225kW(1時間)  
質量：605kg



## ROTOR

回転子は、運転時抵抗を抑制しつつ始動時特性を考慮したスロット形状。さらには、スロット数も最適化。

## CORE

鉄心は、発生ロスの小さい材料を採用し、磁束の流れを見直し形状を最適化。

## COIL

電線は、電線占積率の向上による電線断面積の増加や、渡り部の短縮により、抵抗を抑制。



## FAN

冷却ファンは、冷却性能と機械的ロスのバランスを考え、形状を最適化。

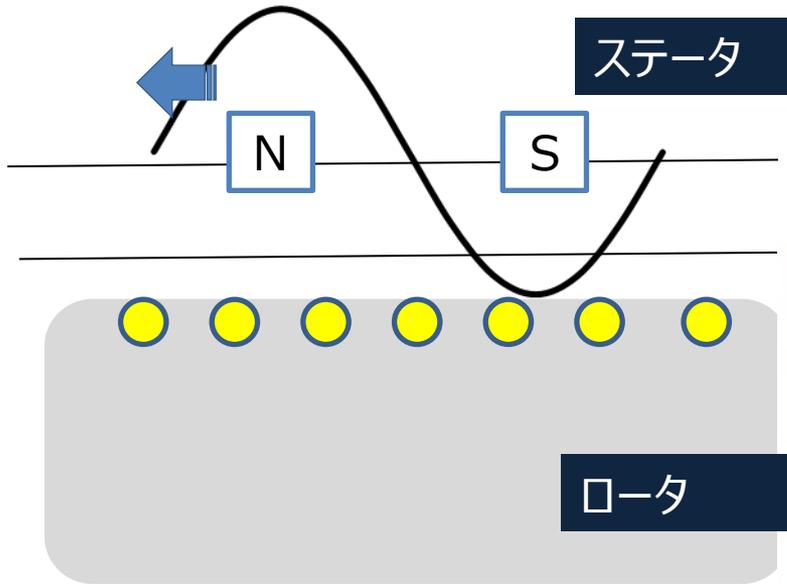
## FRAME

フレームは、磁束を通しやすく高効率設計に適した銅板製。

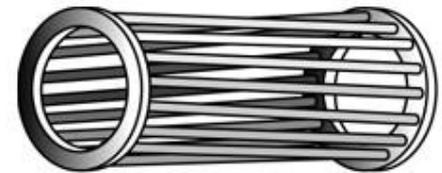
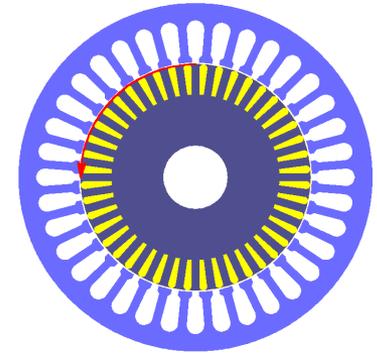
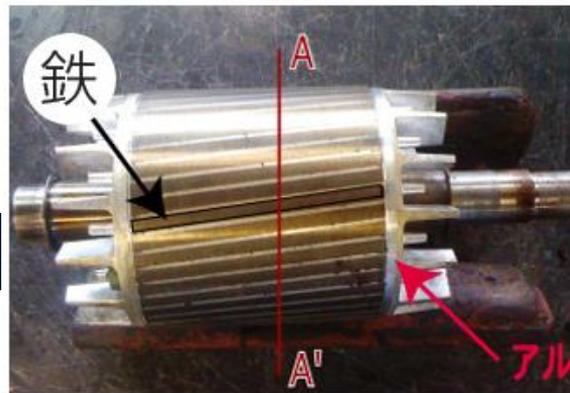
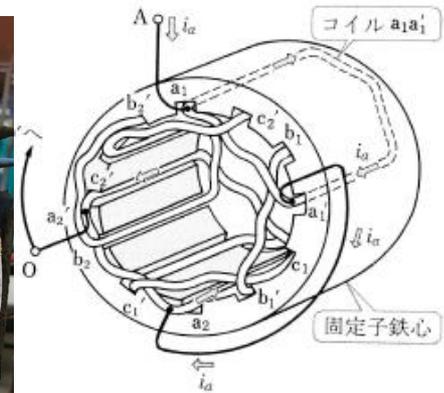


# 動作原理は簡単に・・・（電磁誘導で回りますが）

ステータ：コイルで、ロータに対して進行磁界を作ります



バーとエンドリングで短絡した回路に渦電流（誘導電流）が流れます



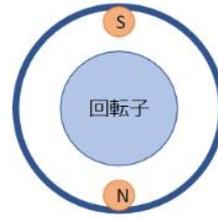
# 動作原理 (ざっくりと)

交流 (通常は3相)  
を流すとステータコイルによって  
進行磁界が作られる

回転数rpm

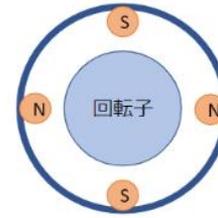
$$= 60 \times f \quad / \text{極対数}$$

$$= 120 f \quad / \text{極数}$$



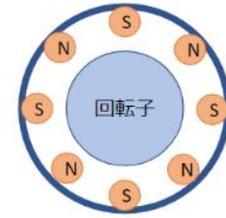
2極

1極対



4極

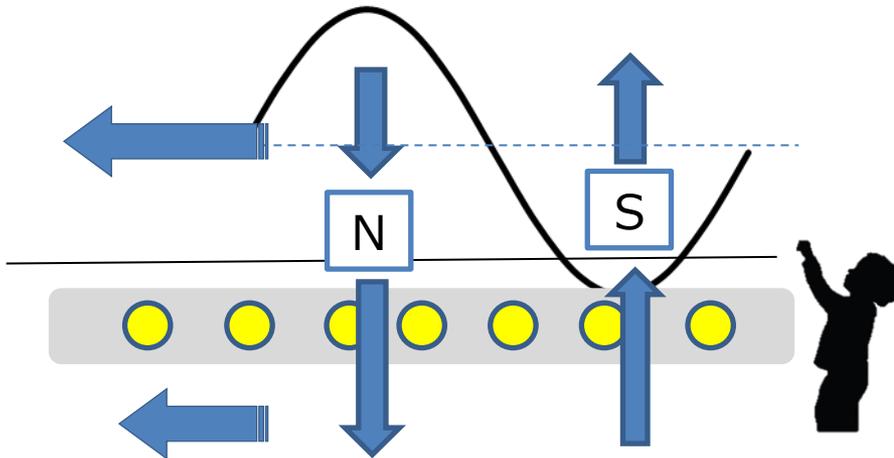
2極対



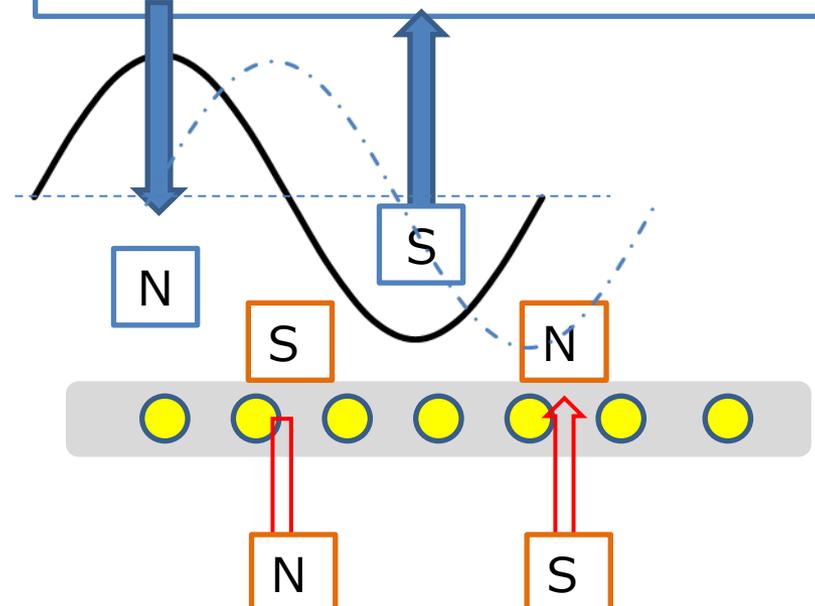
8極

4極対

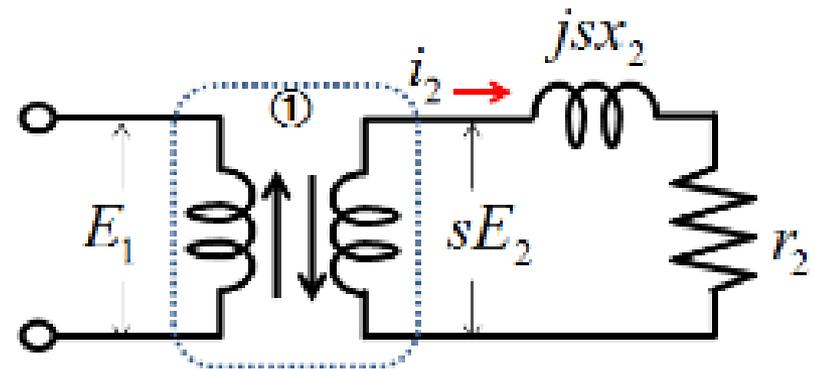
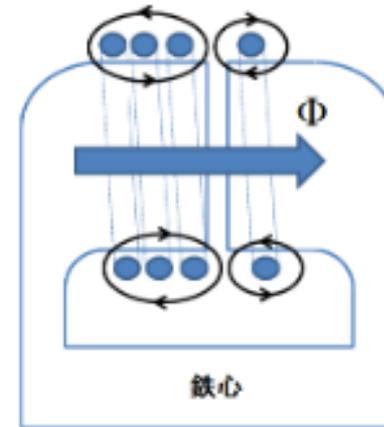
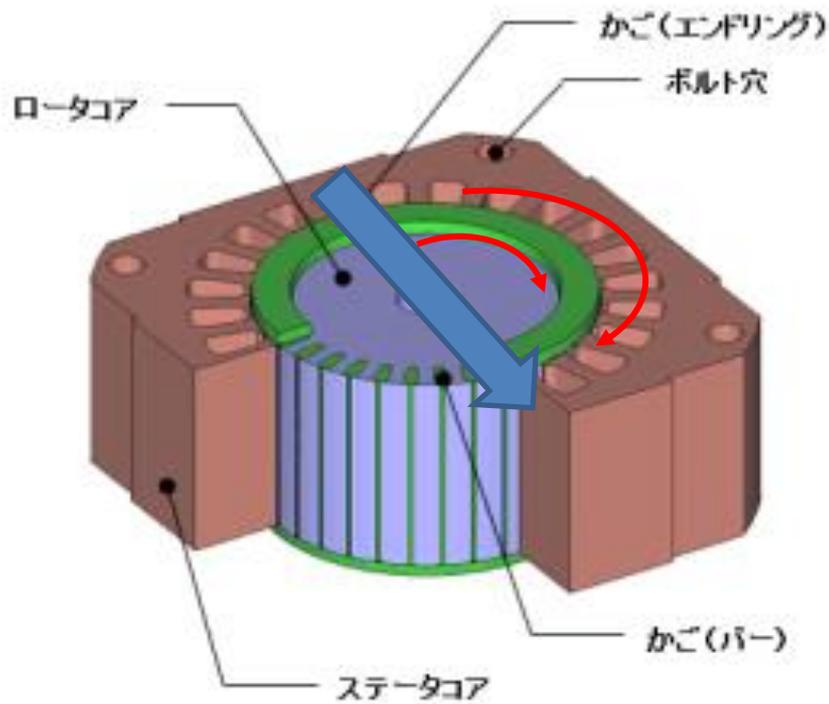
ステータの進行磁界より、ロータが遅く回転すると、  
ロータにいる人から見れば変動磁界が逃げて  
いくように見える。



電磁誘導の法則で、逃げて減っていく  
磁束を保持しようと、渦電流を流すが  
時定数があるので、磁場の発生は少し  
遅れて発生する。



# 誘導モータは 変圧器の派生で扱えます

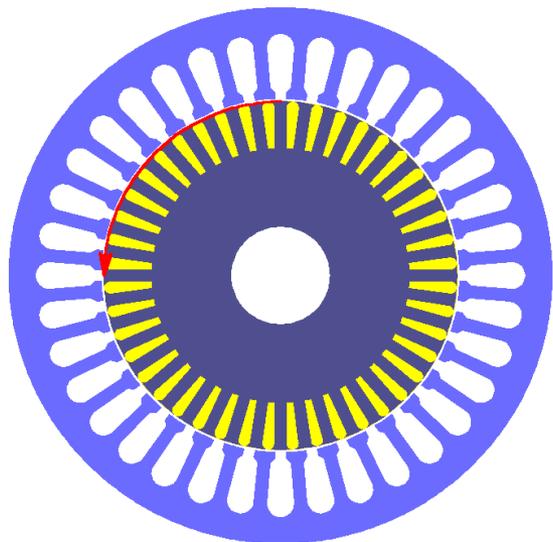


周波数  $f$  で励磁

周波数  $s f$  で  
電磁誘導される

$$S \text{ (すべり)} = \frac{\text{固定子の磁界速度} - \text{回転子の速度}}{\text{固定子の磁界速度}}$$

# 誘導モータの利点



- 3相の電力配線からつなげば、そのまま使える！  
ファン、ポンプ、コンプレッサなどで活躍
- 直流機のようなブラシがなく摩耗が無い（メンテ不要）
- 回転子をダイカストで作れるので作りやすい
- 磁石がないので安い
- 磁石がないので組立てやすい（回転子の吸引力が無い）
- 磁石が無いので高温減磁も気にしなくて良い
- コイルが回転しないので堅牢で高速化もしやすい



- インバータをつないで 電圧、周波数を制御すれば、  
回転数、トルクも思い通りに制御できる  
V/f制御、ベクトル制御
- 回転数は演算で推定できるのでセンサレスでも制御できる

# 誘導モータ (IM)の弱点

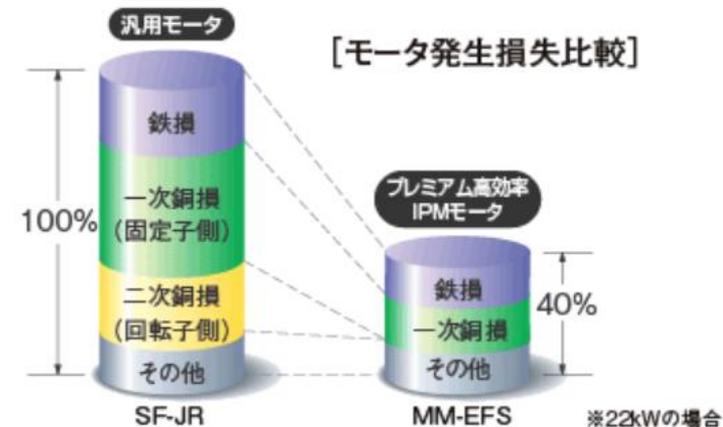
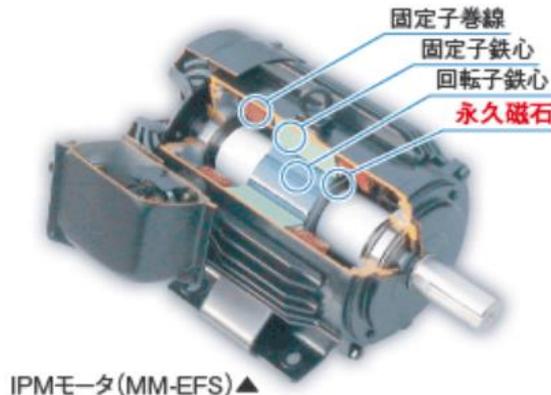
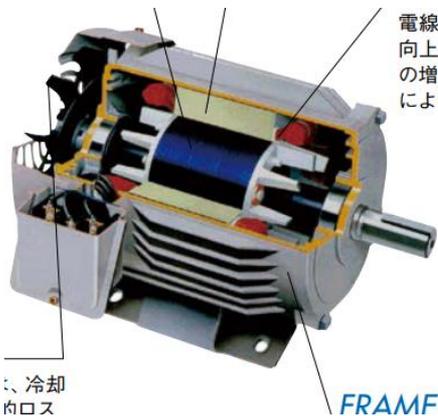
磁束作るのに励磁電流が必要  
 トルクを流すのに2次銅損が必要  
 (回転子にながれる損失。回転子がアルミ製でもなぜか銅損)

低速大トルクが苦手な誘導モータ

誘導モータ : 電磁石      しかし V/fで磁束を変えることができるという利点がある  
 永久磁石モータ : 永久磁石

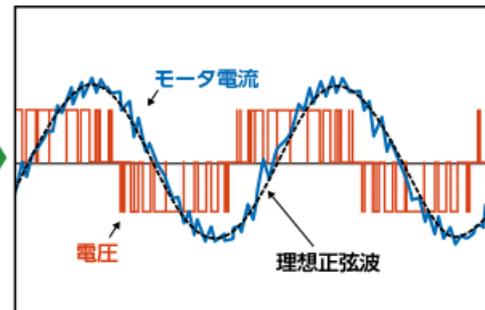
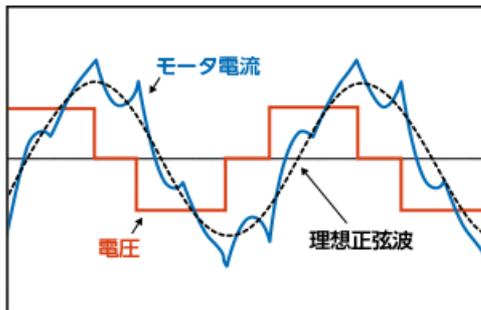
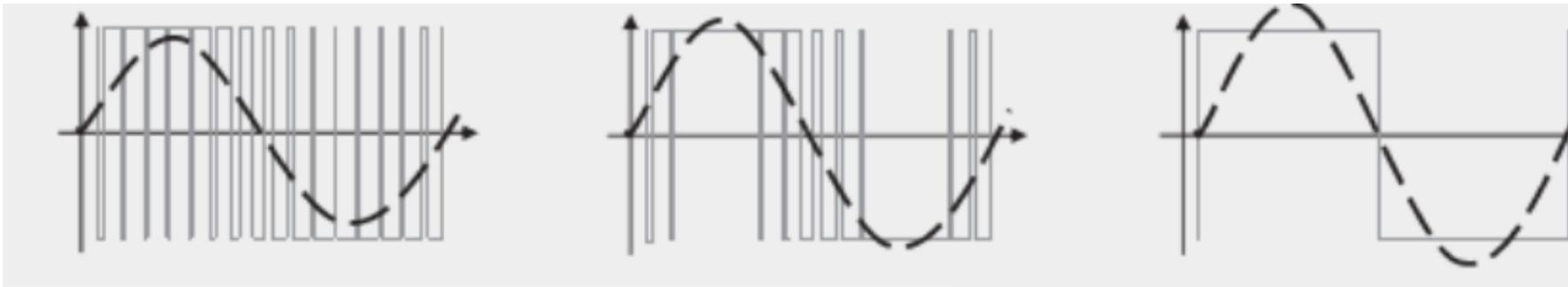
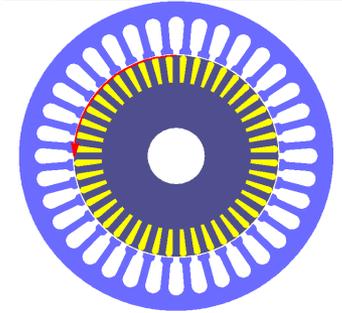
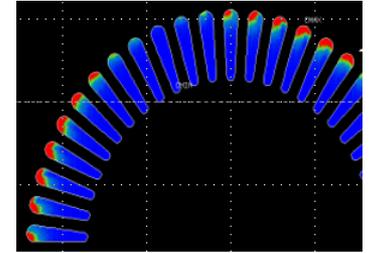
しかし高速低トルク域では 優劣逆転

誘導モータ : 電磁石      V/fで磁束を弱めて、鉄損を抑制  
 永久磁石モータ : 永久磁石      磁石の誘起電圧 $d\Phi/dt$ を打ち消す電流必要、鉄損大



# インピーダンスが低い（高調波損失が大）

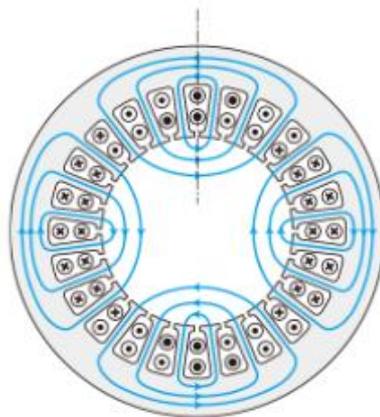
電車のVVVF制御では  
低速PWM 非同期（正弦波電流位相とスイッチング位相が独立）  
中速以降は同期制御で 23パルス→13→9→5→3 → 1パルスで動くが  
パルスが粗いと、インバータのスイッチングによる電流リップルが大きく、  
リップル磁束も打ち消そうとして、回転子の導体が反応して、電流がながれて  
モータ損失が大きくなる  
スイッチングを増やすと、リップルが小さくなりモータ効率はあがるが、  
今度はインバータロスが増えるので  
SiCなど高周波でも低損失なデバイスが使われつつある



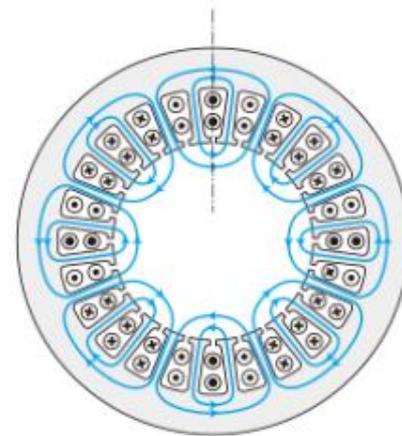
従来のインバータでのモーター電流波形

高速スイッチング適用時のモーター電流波形

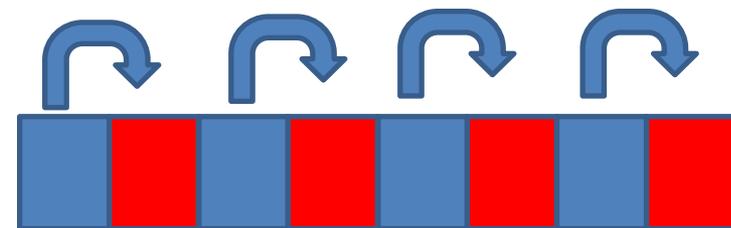
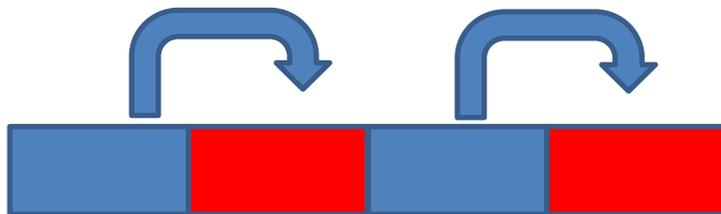
# 磁石式モータと比べての (IM)の弱点 ①多極設計で小型化したいが、。



(a) 4極巻線



(b) 8極巻線

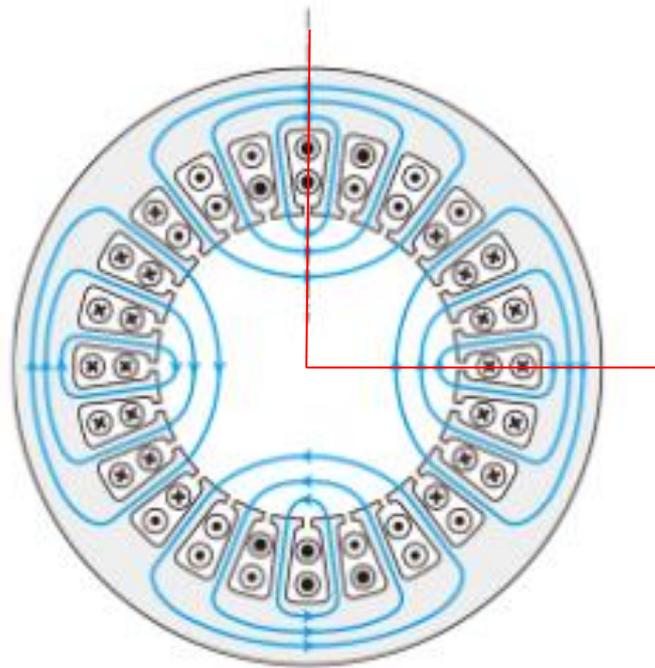
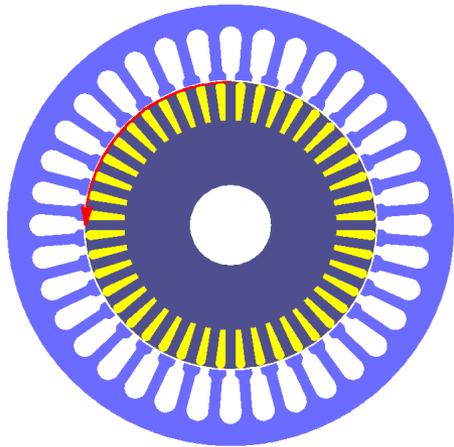


極数が少ないと波長が長いので、  
1極の磁束が多い = 磁気回路幅が太くなる

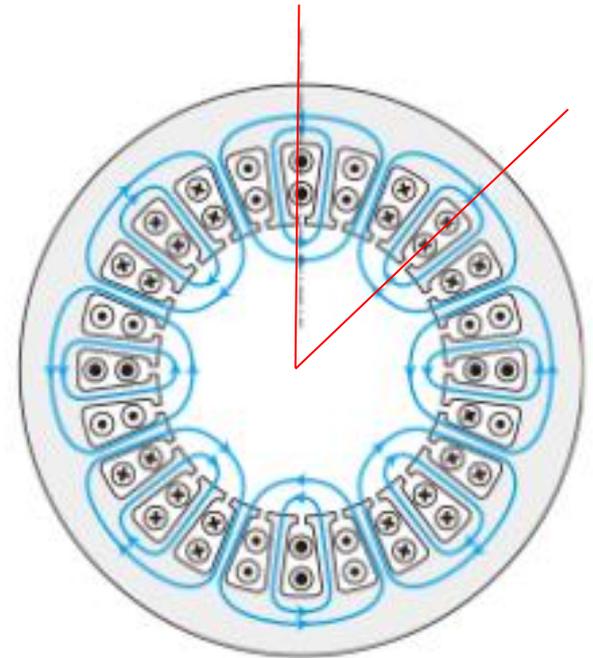
極数が多いと波長が短いので、  
極の磁束が少ない = 磁気回路幅が細い  
その分ロータ径を大きくできる  
= トルクが増やせる

# IMモータで多極設計は難しい

1mmのギャップで1Tをつくるには800ATは必要（モータサイズによらず空隙で決まる）  
励磁極数が増えると、少ないコイル数で800ATを作ることになる  
小型モータでは1極あたりのコイル面積が足りなくて、熱限界から多極化できない  
磁束を作るために極数分だけ励磁電流を流すので多極にすると力率が低下する



(a) 4極巻線



(b) 8極巻線

# 実際のカatalogより、



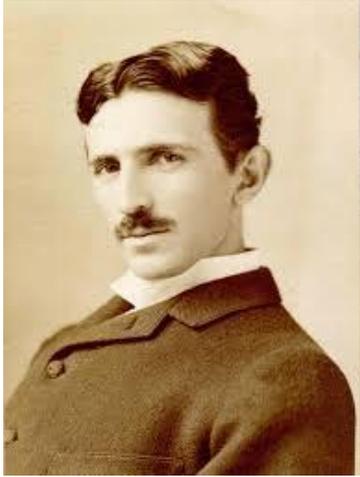
IMは多極にするとトルクは増えるが、力率は悪化する

2極： 水ポンプ

4極： ファン

6極： ファン・コンプレッサ

極数 [P]	出力 [kW]	わく番号	電圧 [V]	周波数 [Hz]	負荷特性								定格電流 [A]	定格回転速度 [min <sup>-1</sup> ]	定格トルク (N·m)	最大トルク [%]	始動トルク [%]	始動電流 [A]	効率クラス [IEコード]	
					50%負荷			75%負荷			100%負荷									
					電流 [A]	効率 [%]	力率 [%]	電流 [A]	効率 [%]	力率 [%]	電流 [A]	エネルギー消費効率 [%]								力率 [%]
2極	0.75	80M	200	50	2.12	80.8	63.3	2.57	82.9	76.3	3.12	82.8	83.8	3.2	2855	2.5	348	378	23.7	IE3
			200	60	1.89	81.4	70.5	2.39	83.3	81.6	2.99	82.9	87.3	3.1	3430	2.1	327	312	20.8	
			220	60	1.92	80.4	63.7	2.33	83.3	76.1	2.82	83.8	83.2	2.9	3465	2.1	390	382	22.9	
			230	60	1.96	79.8	60.2	2.33	83.1	73.0	2.77	84.1	80.9	2.9	3470	2.1	423	419	24.0	
4極	0.75	80M	200	50	2.66	82.2	49.4	3.04	84.0	63.5	3.55	83.8	72.8	3.6	1420	5.0	303	390	24.6	IE3
			200	60	2.15	86.2	58.3	2.62	86.9	71.4	3.19	86.0	78.8	3.3	1710	4.2	274	315	21.4	
			220	60	2.31	84.7	50.3	2.67	86.5	63.8	3.12	86.6	72.8	3.2	1730	4.1	330	386	23.9	
			230	60	2.43	83.6	46.3	2.74	86.1	59.8	3.14	86.6	69.2	3.2	1735	4.1	358	424	25.2	
6極	0.75	90L	200	50	2.78	82.2	47.3	3.20	84.1	60.4	3.74	83.8	69.0	3.8	960	7.5	239	203	21.0	IE3
			200	60	2.33	84.8	54.8	2.83	85.7	67.1	3.45	84.8	74.0	3.5	1150	6.2	211	152	17.3	
			220	60	2.47	83.4	47.8	2.86	85.3	60.6	3.35	85.3	68.9	3.4	1160	6.2	254	186	19.5	
			230	60	2.57	82.5	44.4	2.91	85.0	57.1	3.35	85.3	66.0	3.4	1165	6.1	277	204	20.7	



GEフランスで1882年、誘導モーター（交流電動機）を発明するも認められず  
1884年にアメリカに渡りエジソン（直流）のもとで働くが、交流vs直流で  
エジソンと反目し1年後に独立、  
WH（ウエスチングハウス）の下で交流発電を実用化

ニコラ・テスラ

（セルビア：1856-1943）