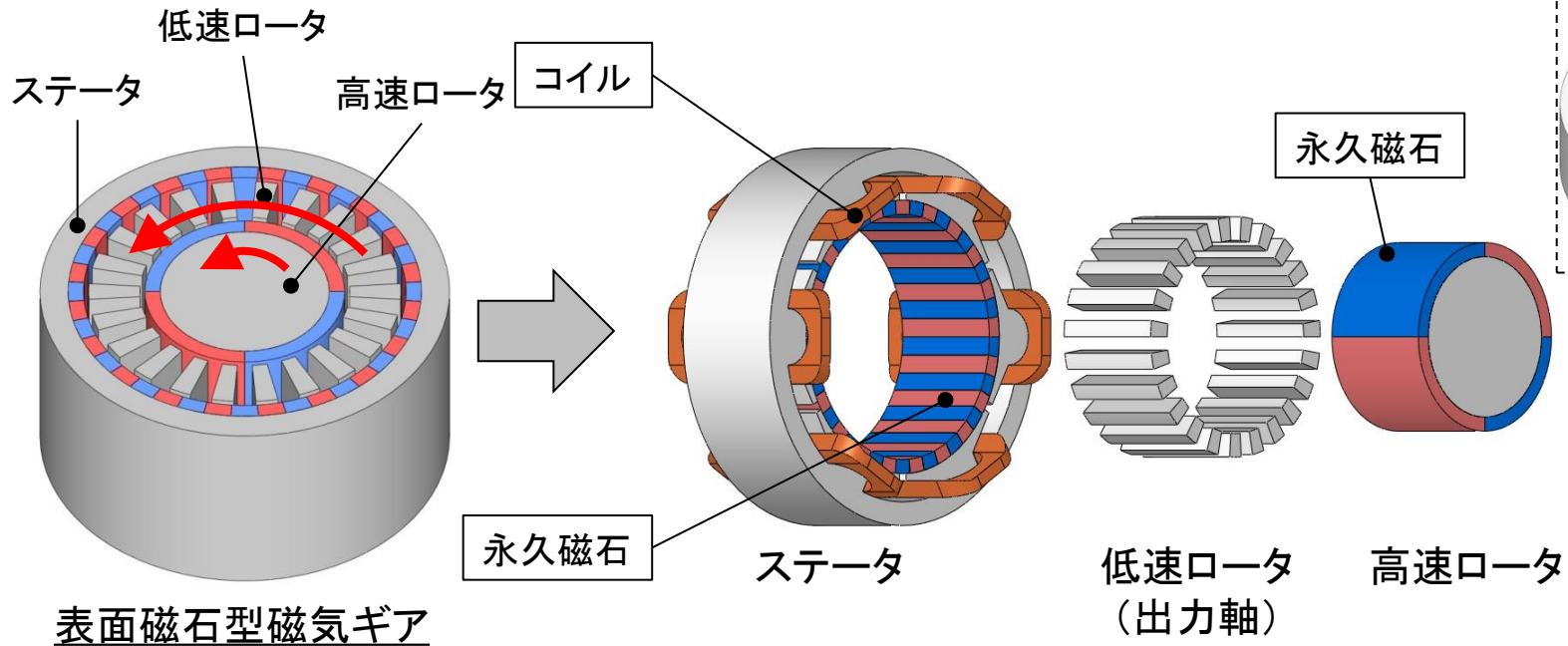


# 磁気ギアードモータとは



## 動作原理

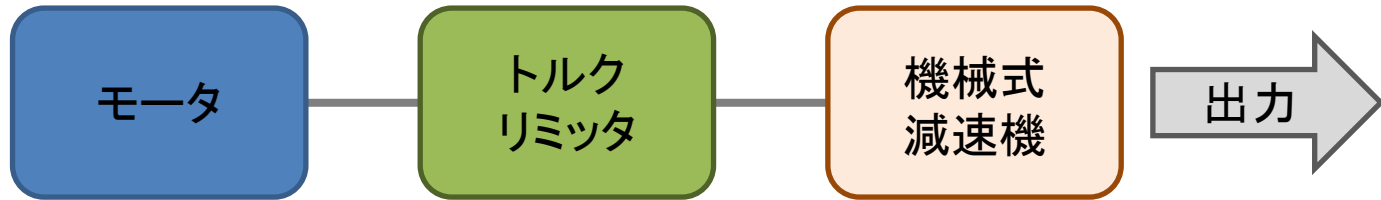
- (1) コイルの起磁力で高速ロータを回転させる。  
(ブラシレスモータの動作原理)
- (2) 高速ロータが回転することで、低速ロータが  
減速比に従って回転する。  
(磁気ギアの動作原理)

## 特長

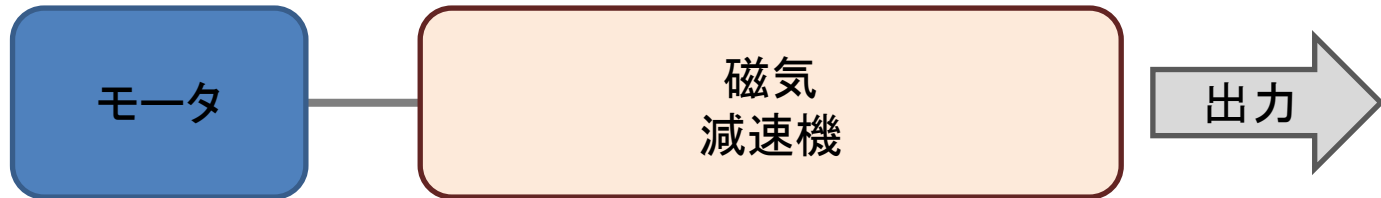
- 磁気ギアを内蔵  
⇒ 低速高トルクアクチュエータ
- 過負荷時に自動的に脱調  
⇒ 装置保護, 人命保護

# 磁気ギアードモータによるメリット

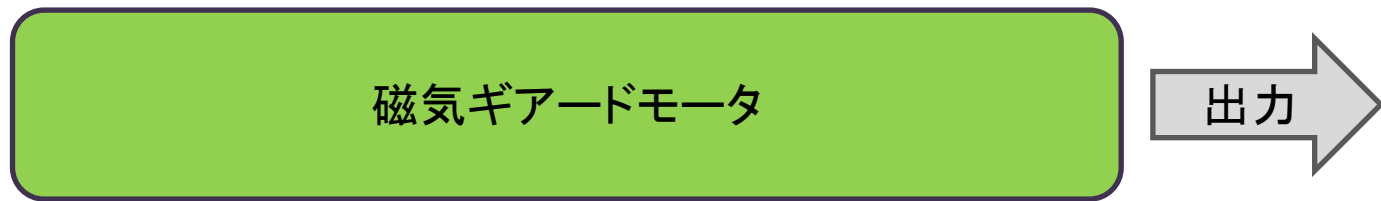
## 1. 従来の駆動システム



## 2. 磁気減速機を用いた駆動システム

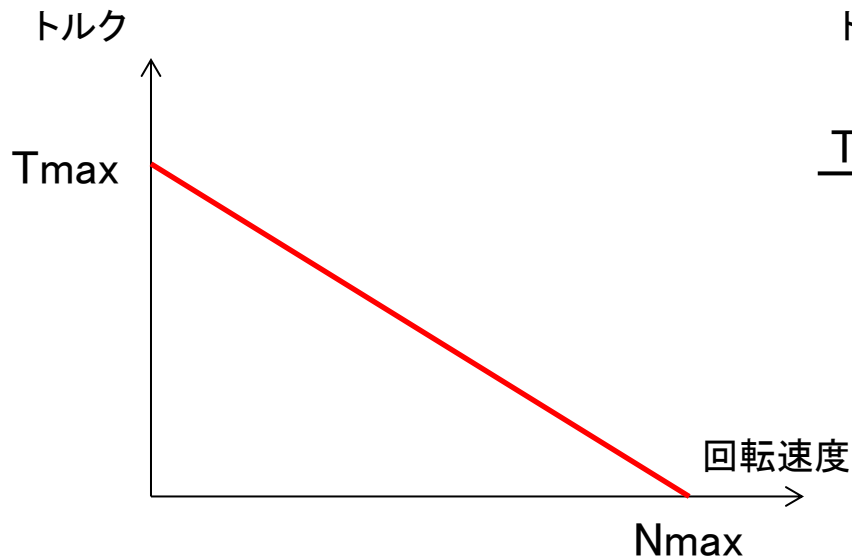


## 3. 磁気ギアードモータを用いた駆動システム

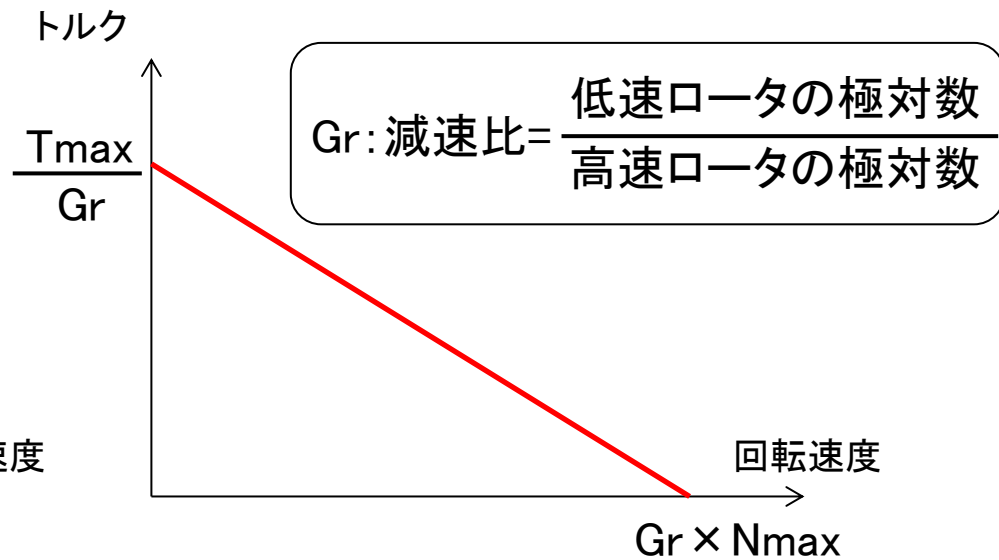


駆動システムの部品点数削減, 小型化が可能

# 磁気ギアードモータに要求される特性



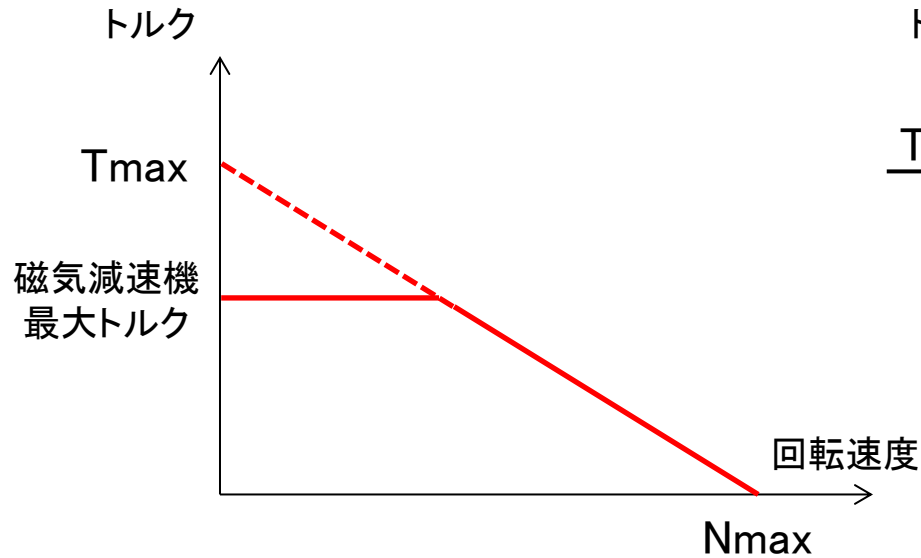
磁気ギアードモータ(低速ロータ)の要求特性



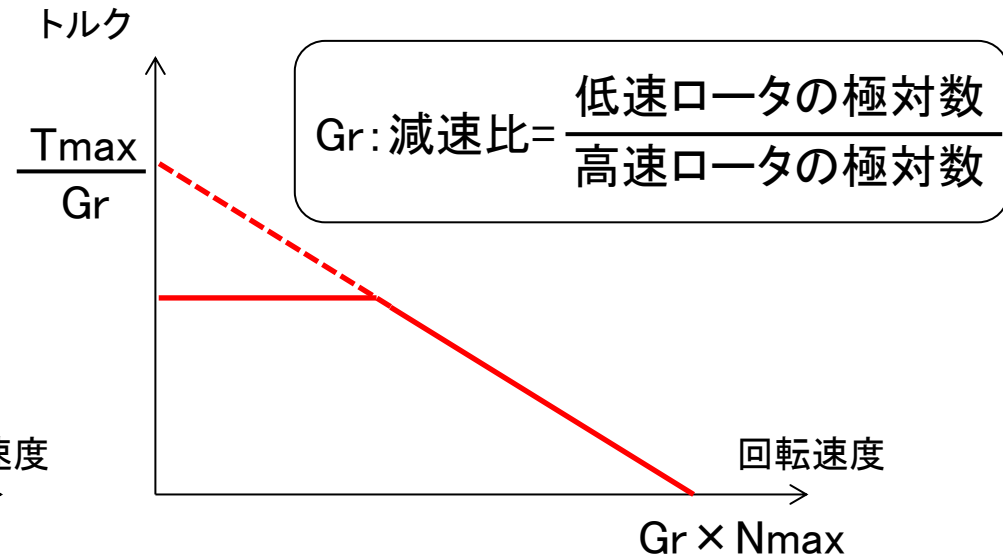
高速ロータの要求特性

- ブラシレスモータの原理で回転する高速ロータが要求仕様を満足する。

# 磁気ギアードモータに要求される特性



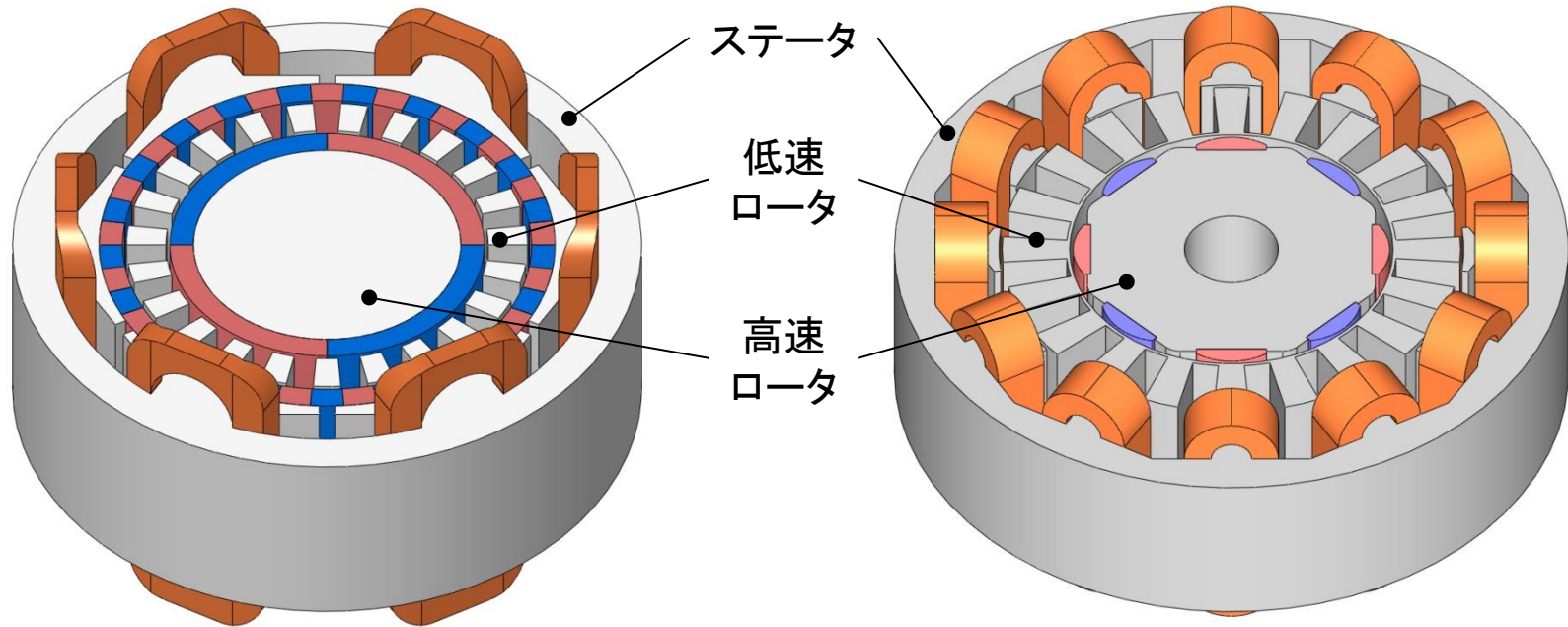
磁気ギアードモータ(低速ロータ)の要求特性



高速ロータの要求特性

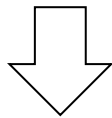
- ブラシレスモータの原理で回転する高速ロータが要求仕様を満足する.
- 磁気減速機としての最大伝達トルクが $T_{max}$ 以上である.

# 従来の磁気ギアードモータ



高速ロータとステータに永久磁石を有するタイプ

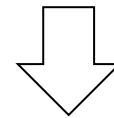
2008年, Atallah et. al.,  
The University Of Sheffield



シェフィールドタイプ

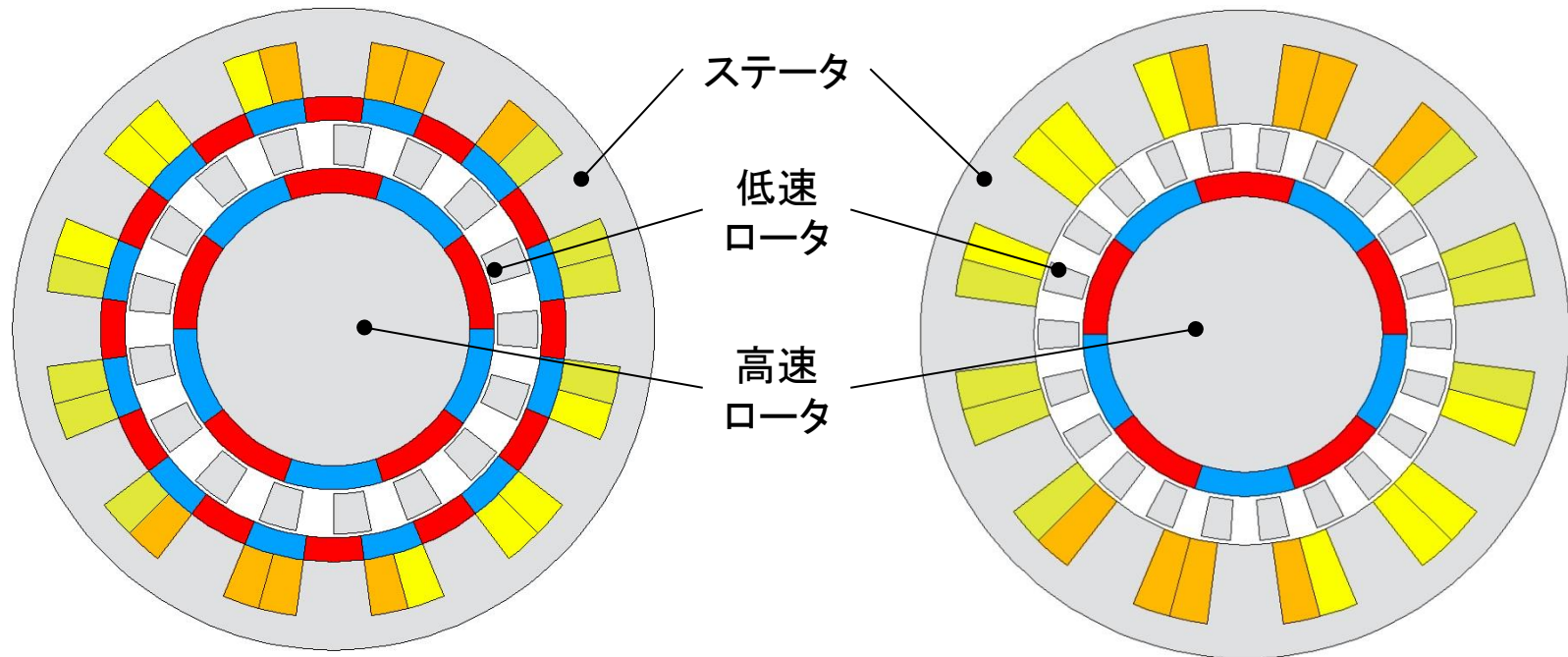
高速ロータのみに永久磁石を有するタイプ

2011年, Niguchi et. al.,  
Osaka University



阪大タイプ

# 従来の磁気ギアードモータ



シェフィールドタイプ

2008年, Atallah et. al.,  
The University Of Sheffield

- × 通電トルク
- × 生産性
- ◎ 最大伝達トルク

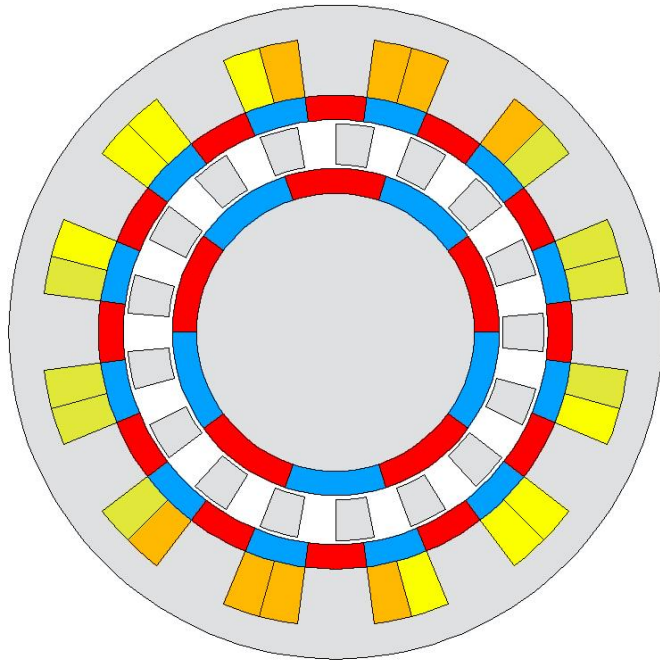
阪大タイプ

2011年, Niguchi et. al.,  
Osaka University

- 通電トルク
- ◎ 生産性
- × 最大伝達トルク

両タイプの長所を組み合わせた構造はできないのか？

# シェフィールドタイプの改良

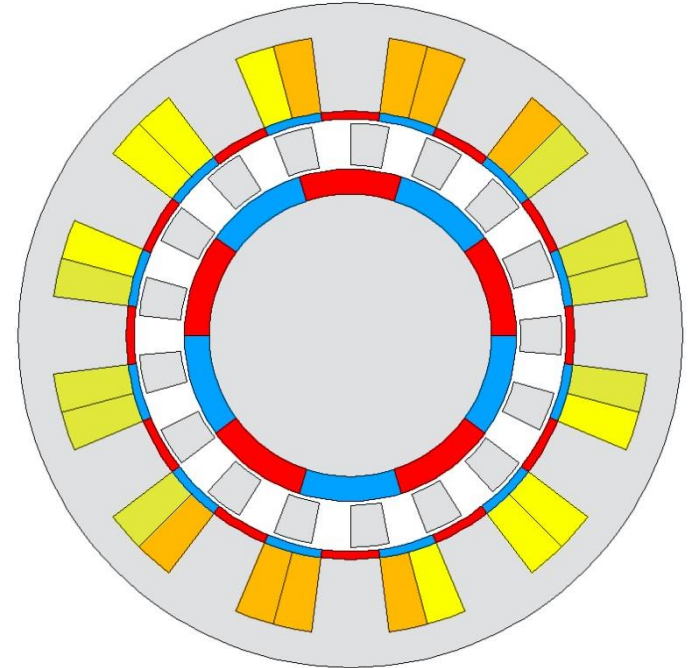
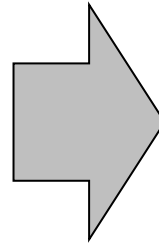


シェフィールドタイプ

2008年, Atallah et. al.,  
The University Of Sheffield

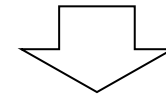
- × 通電トルク
- × 生産性
- ◎ 最大伝達トルク

通電トルク  
アップ



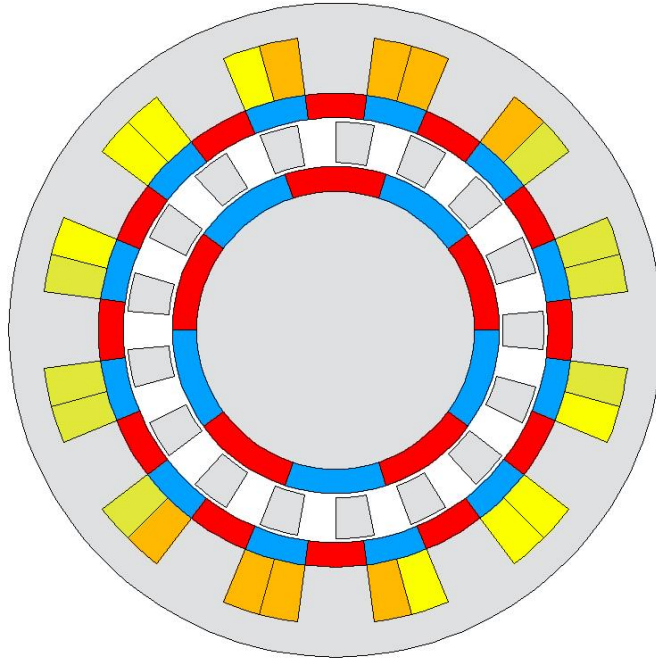
改良シェフィールドタイプ

ステータ内周の永久磁石を薄肉化



- ・磁気ギアとしての最大伝達トルクは低下
- ・通電トルクは増加
- ・生産性は未改善

# 新しい磁気ギアードモータ1

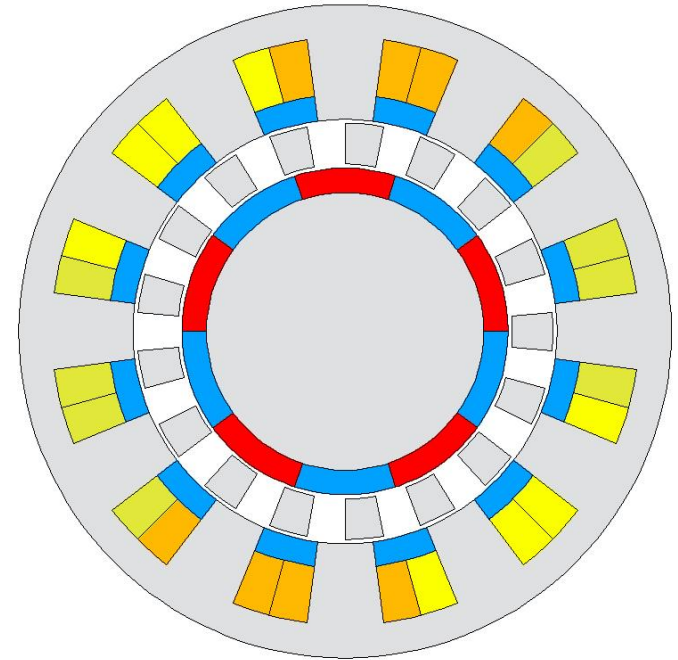
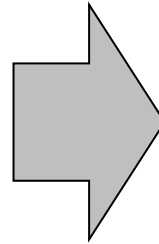


シェフィールドタイプ

2008年, Atallah et. al.,  
The University Of Sheffield

- × 通電トルク
- × 生産性
- ◎ 最大伝達トルク

通電トルク  
アップ



3/4PMタイプ

主磁気回路上にあるステータ側の  
永久磁石を排除

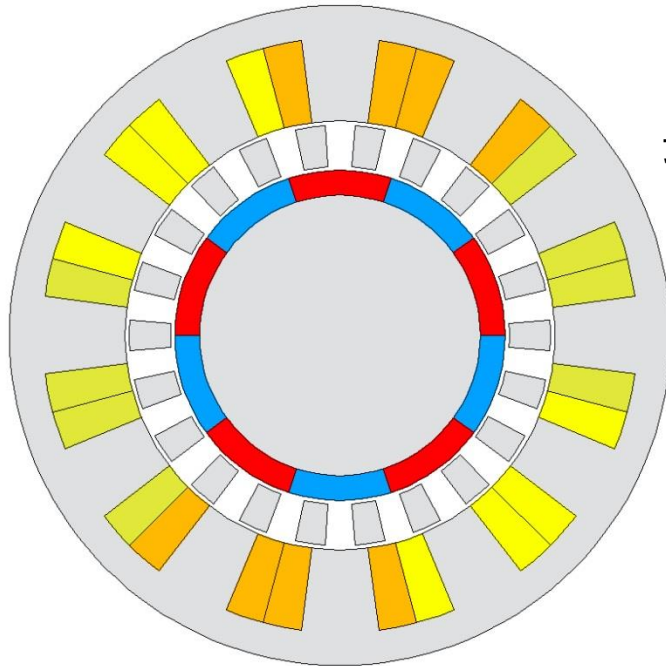


- ・磁気ギアとしての最大伝達トルクは低下
- ・通電トルクは増加
- ・生産性向上

\*ステータ側の永久磁石は同一極性



# 新しい磁気ギアードモータ2

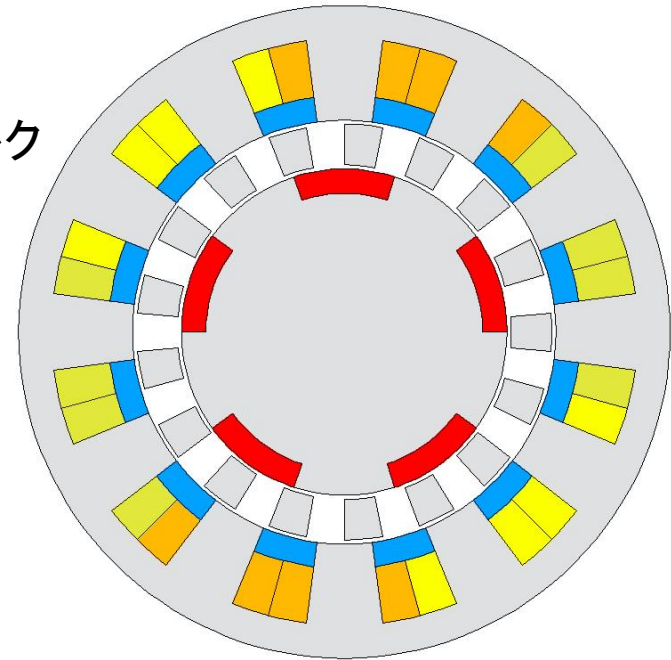
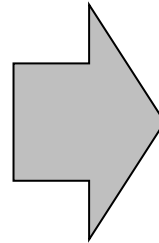


阪大タイプ

2011年, Niguchi et. al.,  
Osaka University

- 通電トルク
- ◎ 生産性
- × 最大伝達トルク

最大伝達トルク  
アップ



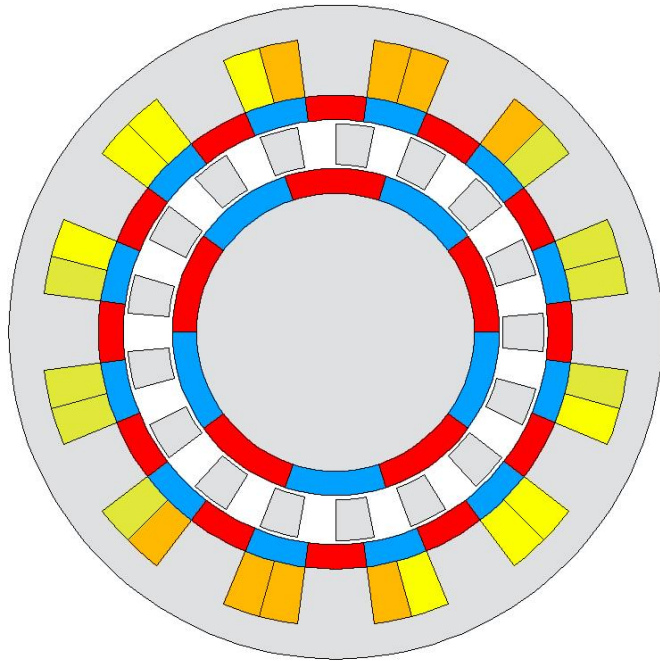
1/2PMタイプ

高速ロータの半分の永久磁石を  
ステータのスロットに配置



- ・磁気ギアとしての最大伝達トルクは増加
- ・通電トルクは減少
- ・生産性はやや低下(磁石量はほぼ同等)

# 動作原理



シェフィールドタイプ

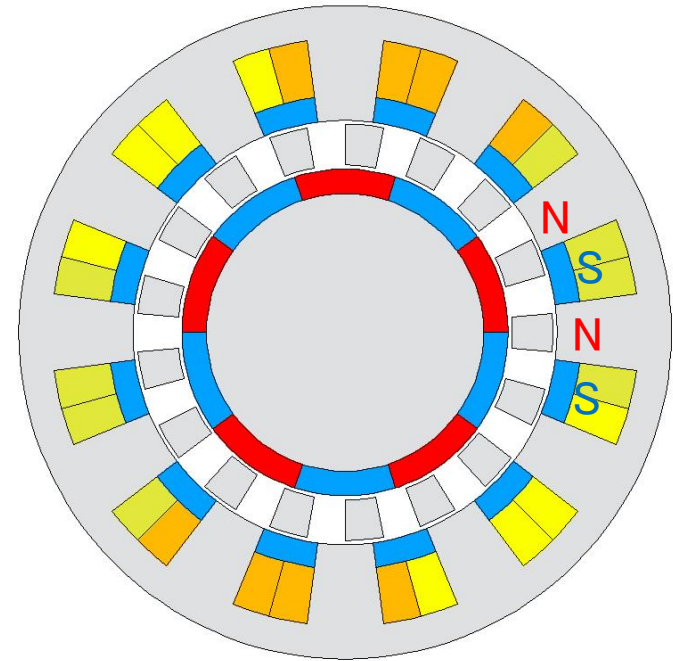
高速ロータ極対数:  $N_h$

低速ロータ磁極数:  $N_l$

ステータの極対数:  $N_s$

$$N_l \pm N_h = N_s$$

減速比  $Gr = \mp N_l / N_h$



3/4PMタイプ

高速ロータ極対数:  $N_h$

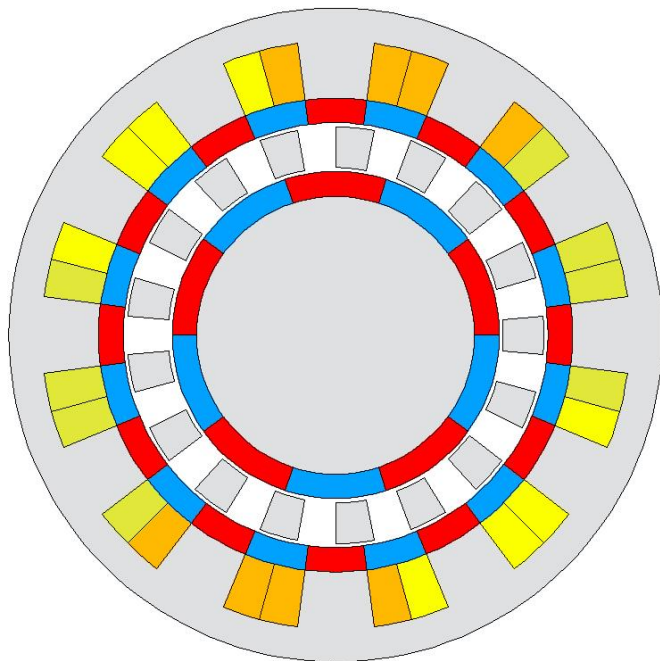
低速ロータ磁極数:  $N_l$

ステータの極対数:  $N_s$

$$N_l \pm N_h = N_s$$

減速比  $Gr = \mp N_l / N_h$

# 動作原理



シェフィールドタイプ

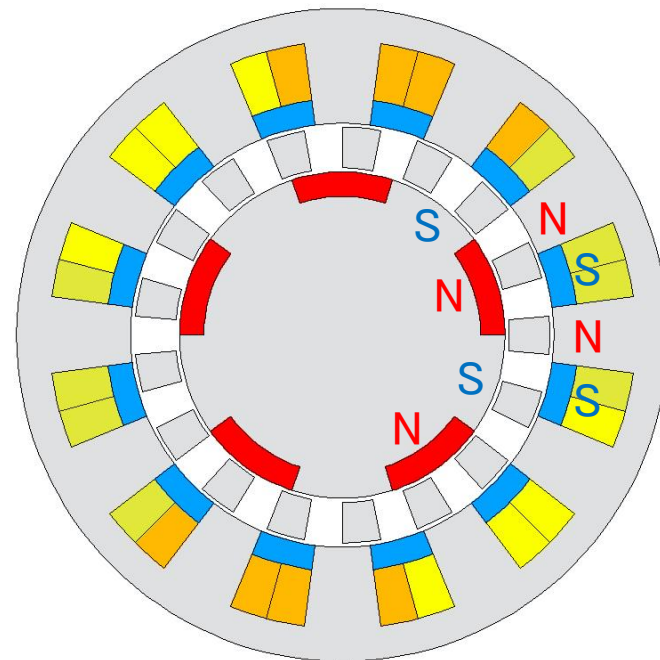
高速ロータ極対数:  $N_h$

低速ロータ磁極数:  $N_l$

ステータの極対数:  $N_s$

$$N_l \pm N_h = N_s$$

減速比  $Gr = \mp N_l / N_h$



1/2PMタイプ

高速ロータ極対数:  $N_h$

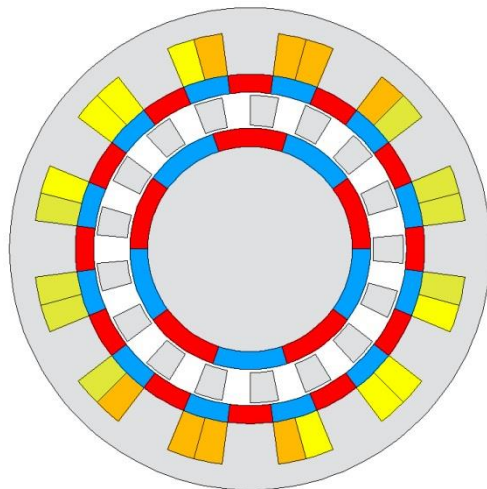
低速ロータ磁極数:  $N_l$

ステータの極対数:  $N_s$

$$N_l \pm N_h = N_s$$

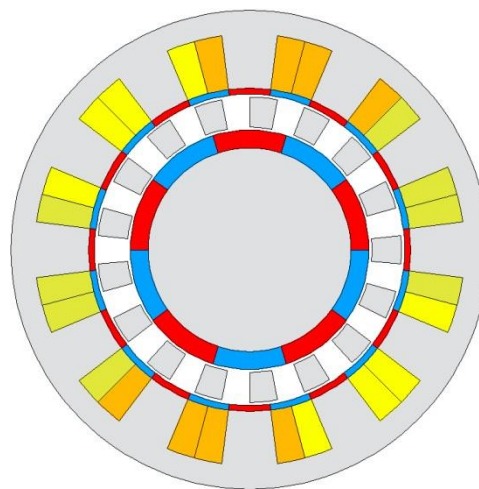
減速比  $Gr = \mp N_l / N_h$

# 比較モデル



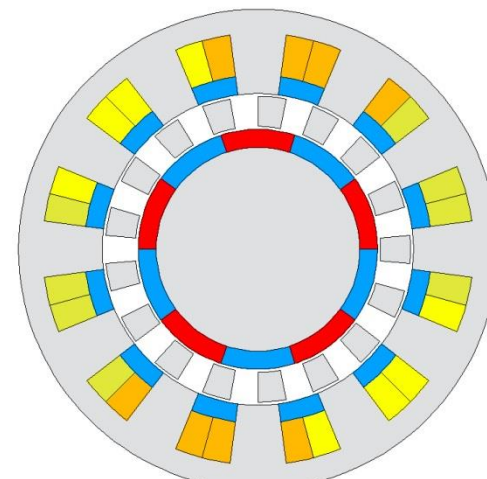
シェフィールドタイプ

減速比: 3.4



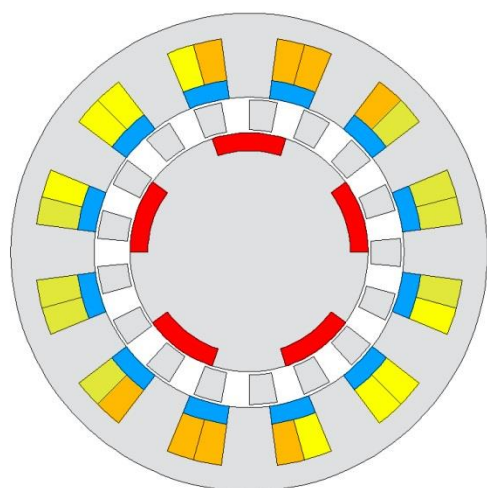
改良シェフィールドタイプ

減速比: 3.4



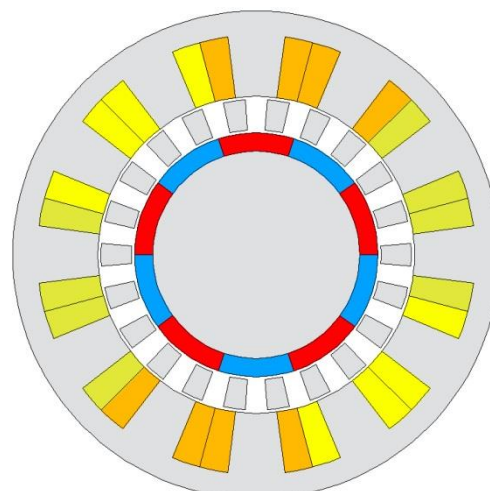
3/4PMタイプ

減速比: 3.4



1/2PMタイプ

減速比: 3.4



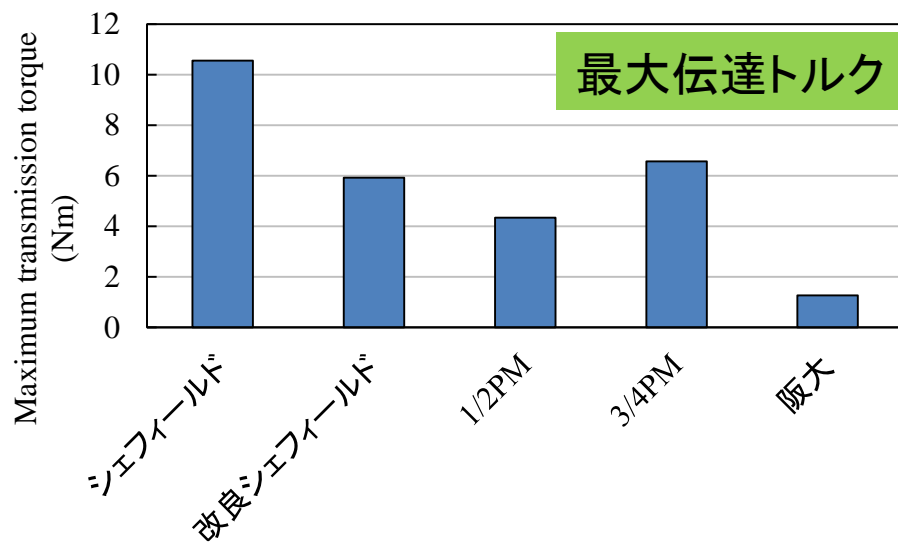
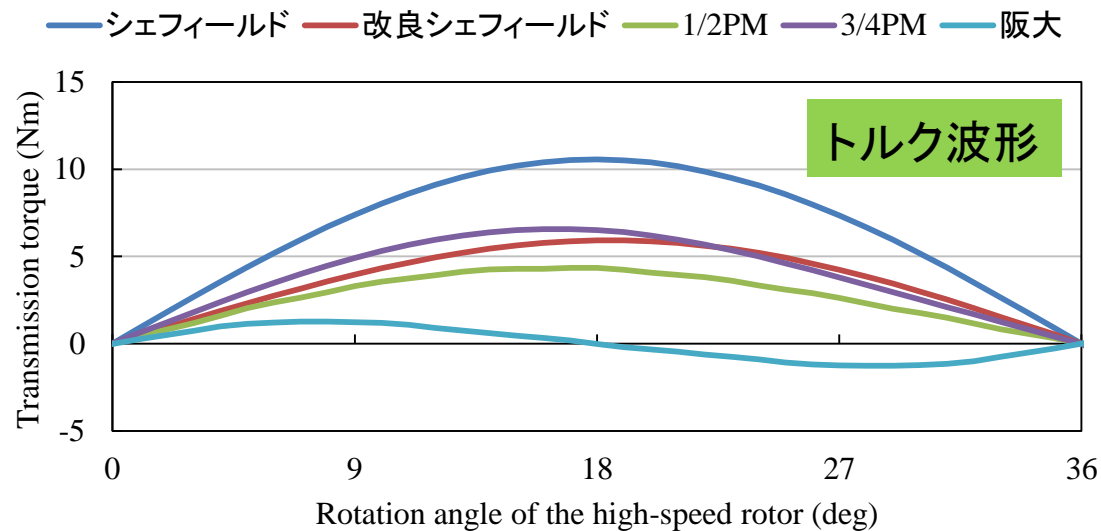
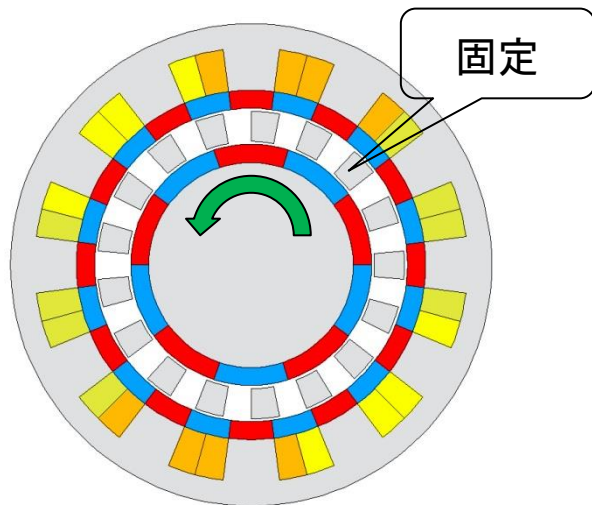
阪大タイプ

減速比: 2.2

高速ロータ極対数: 5  
 ステータスロット数: 12  
 サイズ:  $\phi 80 \times 30\text{mm}$   
 コイル: 10ターン, 2Y結線  
 永久磁石:  $B_r = 1.25\text{T}$

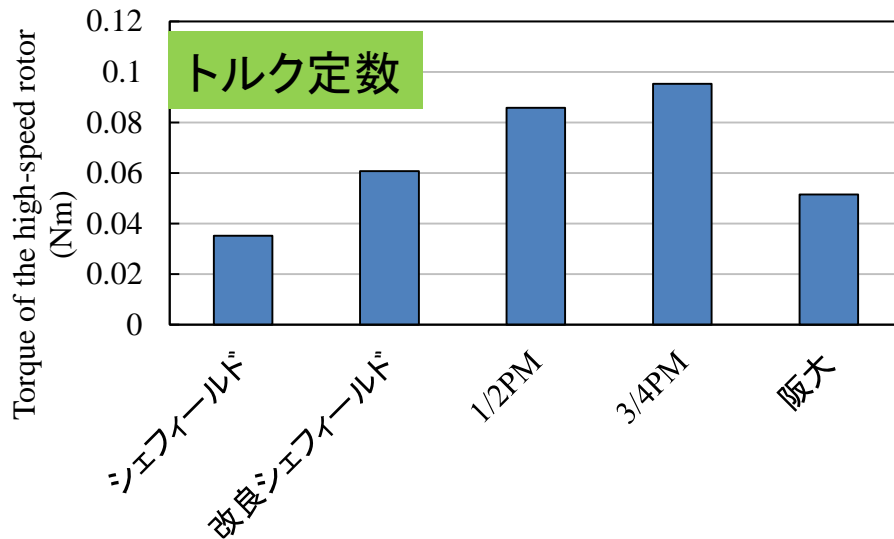
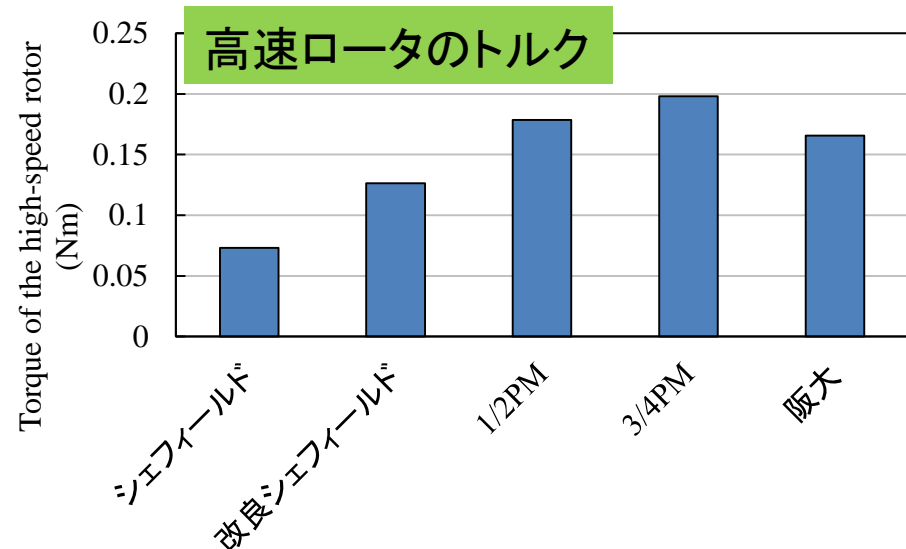
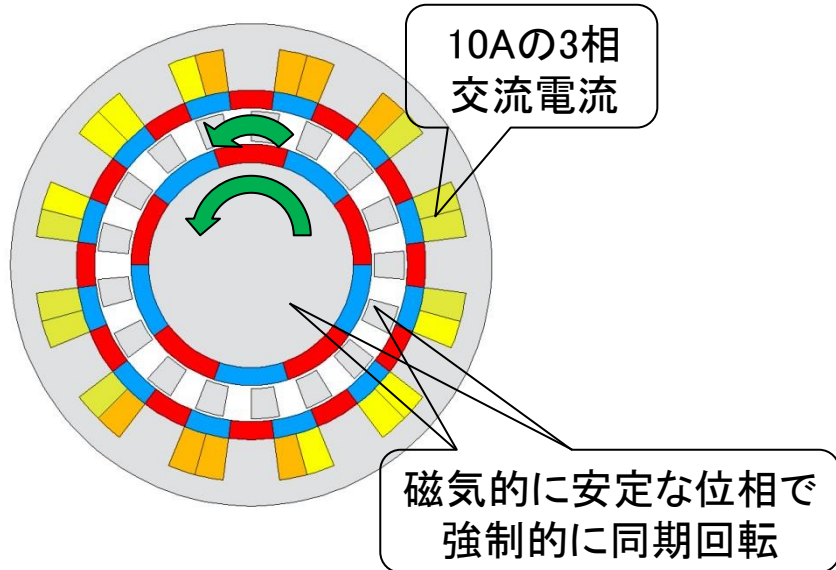
2次元有限要素解析により比較

# 最大伝達トルク



- 提案した2つのタイプは、シェフィールドタイプに比べて最大伝達トルクは低下
- しかし、いずれも阪大タイプの3倍以上

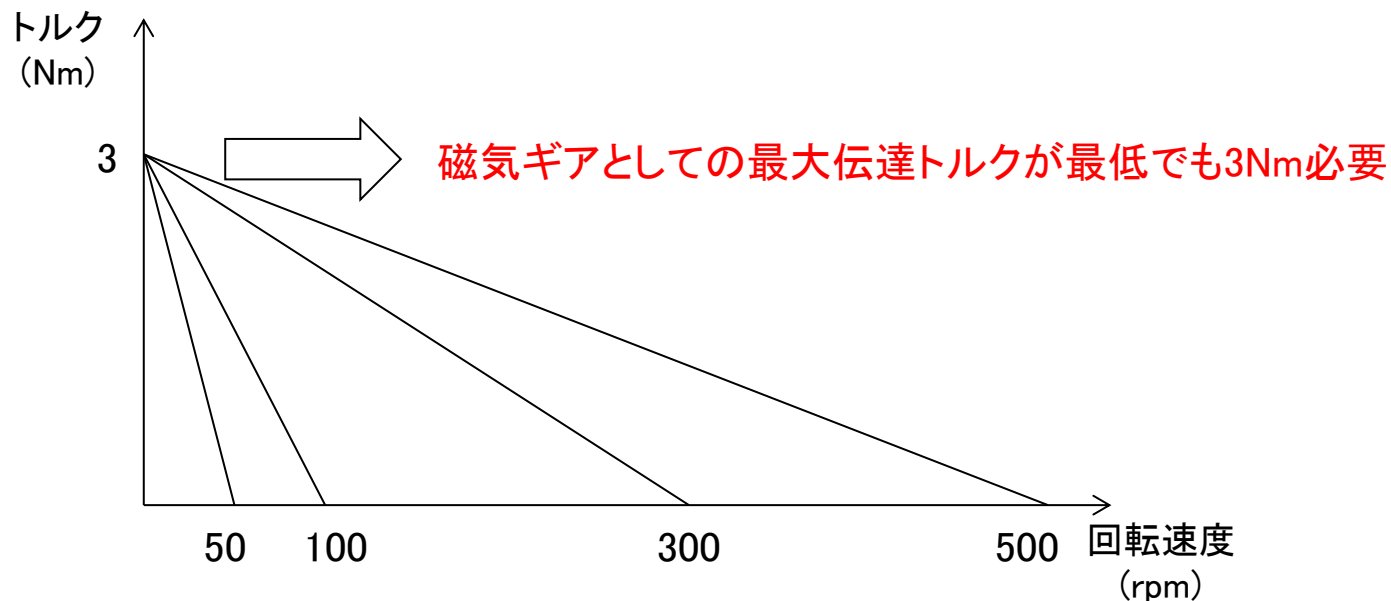
# トルク定数



高速ロータのトルク × 減速比 ÷ 電流

- シェフィールドタイプのトルク定数が低いことを確認.
- 阪大タイプのトルク定数が低い理由は、減速比が低いこと。(3.4に対して2.2)
- 1/2PM, 3/4PMのトルク定数が大きいことを確認.

# N-T特性に基づく比較



- 電源電圧12Vのとき、積み厚とターン数を変更することで、4つのN-T特性を満足する最小の積み厚を計算する。
- トルク定数とインダクタンスは、ターン数10、積み厚30mmのときの値を基準として、ターン数と積み厚の影響のみを受けると仮定する。

$$K_t = \frac{Z}{10} \times \frac{L_s}{30} \times K_{t0}$$


$$L = \frac{Z^2}{10^2} \times \frac{L_s}{30} \times L_0$$

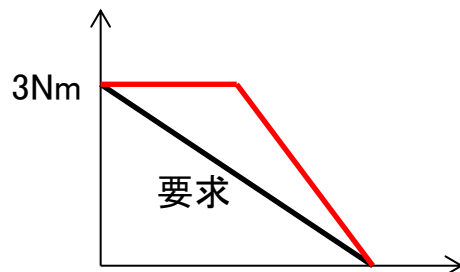
- 直流電源とインバータ、インバータとモータ間の抵抗はゼロ、鉄損は発生しないとする。

# N-T特性を満足する最小積み厚

Model	No load rotation speed			
	50 rpm	100 rpm	300 rpm	500 rpm
シェフィールド	360	185	67	44
改良シェフィールド	110	58	23	16
3/4PM	61	34	15	(14)
1/2PM	70	40	(21)	(21)
阪大	200	(71)	(71)	(71)

単位: mm

 : 最大伝達トルクの制約を受けている




- 低速高トルク寄りの要求仕様に対しては、3/4PMタイプ、1/2PMタイプの順に有利である。
- 高速低トルク寄りになるほど、最大伝達トルクが大きいシェフィールドタイプや改良シェフィールドタイプが有利になると推測できる。



# N-T特性を満足する最小積み厚時の磁石重量

Model	No load rotation speed			
	50 rpm	100 rpm	300 rpm	500 rpm
シェフィールド	2372	1219	442	290
改良シェフィールド	431	227	90	63
3/4PM	282	157	69	(65)
1/2PM	231	132	(69)	(69)
阪大	530	(188)	(188)	(188)

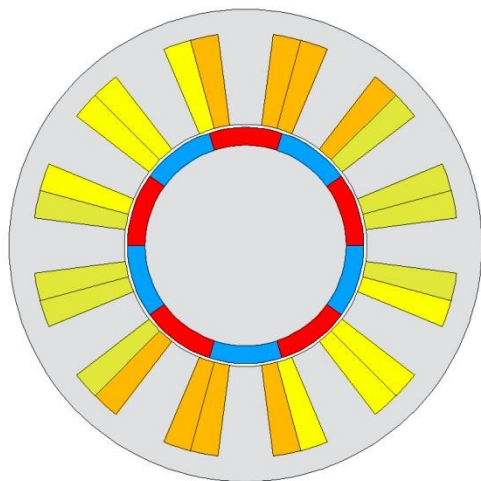
単位:g

 : 最大伝達トルクの制約を受けている

- 低速高トルク寄りの要求仕様に対しては、1/2PMタイプの磁石重量が最も小さい。
- 高速低トルク寄りの要求仕様になるほど、シェフィールド型や改良シェフィールド型の磁石重量が最も小さくなる。

# N-T特性を満足する最小積み厚 ~ BLDCとの比較 ~

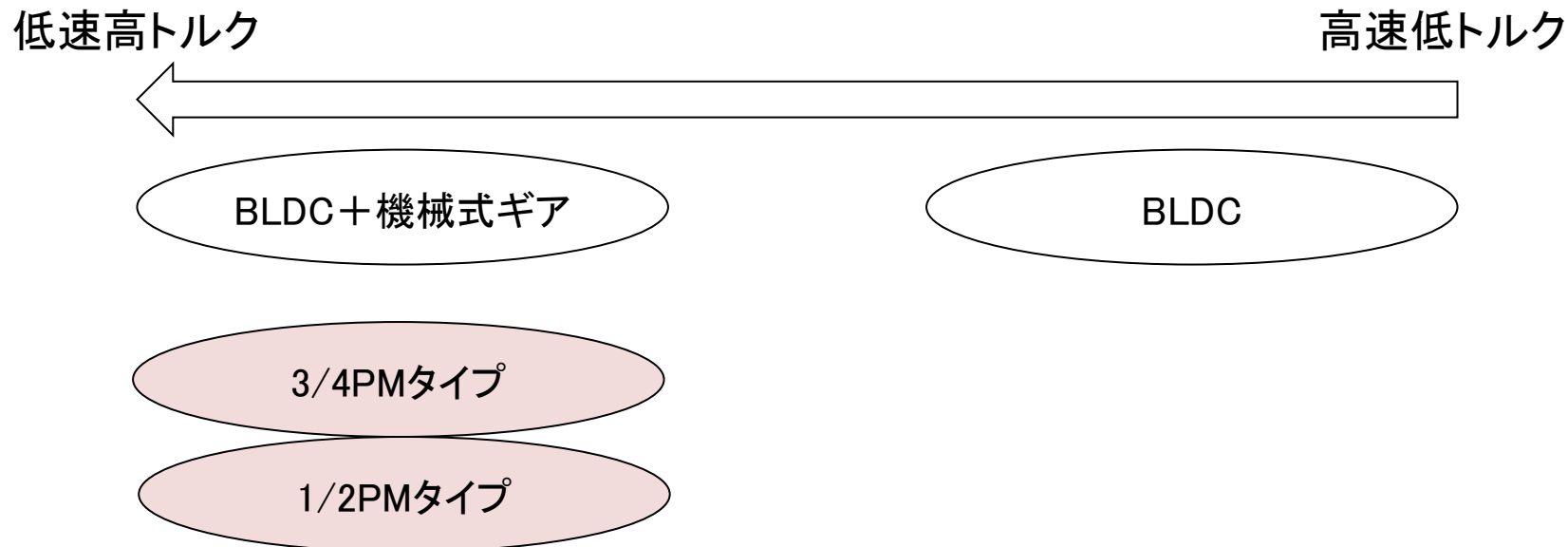
Model	No load rotation speed			
	50 rpm	100 rpm	300 rpm	500 rpm
シェフィールド	360	185	67	44
改良シェフィールド	110	58	23	16
3/4PM	61	34	15	(14)
1/2PM	70	40	(21)	(21)
阪大	200	(71)	(71)	(71)
BLDC	100	54	22	15



10P12SのBLDC

- 高速低トルク仕様では、BLDCには勝てない。
- 低速高トルク仕様では、3/4PMと1/2PMがBLDCより有利である。

# 比較結果に基づく得意な領域



- 高速低トルク仕様では、BLDCには勝てない。
- 低速高トルク仕様では、3/4PMと1/2PMがBLDCより有利である。
- しかし、ここはBLDC単独ではなく、機械式ギアと組み合わせて対応する領域である。
- 磁気ギアードモータ(特に1/2PMと3/4PM)は、BLDC+機械式ギアに取って替わる可能性がある。