

設計 Story① 重希土類 Dy・Tb フリーの MAGFINE®を使用した IPM ロータの設計

<課題>

・エアコン用コンプレッサや車載モータ用途の IPM 構造高効率モータに使われる Nd 焼結磁石に含まれる重希土類 (Dy、Tb) の資源調達リスクが高い。

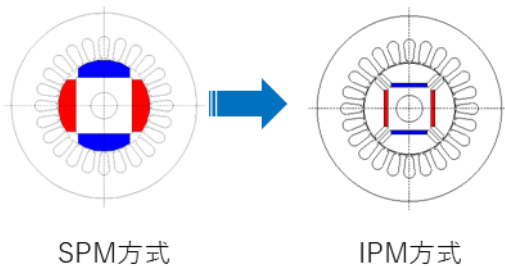
<成果>

・重希土類 (Dy、Tb) フリーの異方性ボンド磁石 (MAGFINE®) を使って IPM ロータを設計したことで、資源調達リスクを軽減。

<事例の詳細>

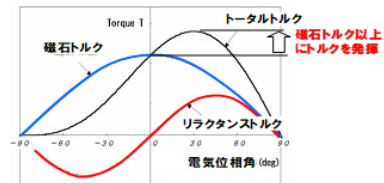
一般的に、エアコン用コンプレッサや車載モータには、Nd 焼結磁石を使った IPM 構造の高効率モータが使用されている。そういったモータは、ロータの内側に Nd 焼結磁石を埋め込むことで、磁石トルクに加えてリラクタンストルクを有効活用する IPM (Interior Permanent magnet) 構造にすることで、トルクを増やしている。

しかし、Nd 焼結磁石は板状の形状が最もコストメリットが高いため、IPM もその延長上で設計され、リラクタンストルクの使用に限界があった。



SPM方式

IPM方式



マグネットトルクとリラクタンストルク

一方、当社が開発した異方性ボンド磁石 MAGFINE®は、重希土類 Dy、Tb を含んでいないため資源調達リスクを軽減できるものの、Nd 焼結磁石の 1/2 の磁力であるため、同サイズで同出力を出すためには、ロータの設計を工夫する必要があった。

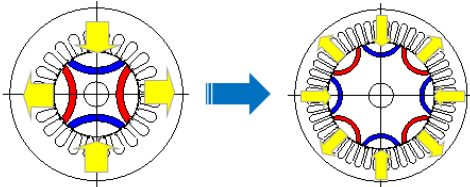
設計ポイントとしては、磁力不足を補うために、下記トルクに関する式の①～④に関わる項目についてボンド磁石の利点である形状自由度を活かして設計するものとした。

$$T = P_n \left\{ \underbrace{\Phi_m I \cos \beta}_{\text{磁石トルク}} + \frac{1}{2} \underbrace{(L_q - L_d) I^2 \sin 2\beta}_{\text{リラクタンストルク}} \right\}$$

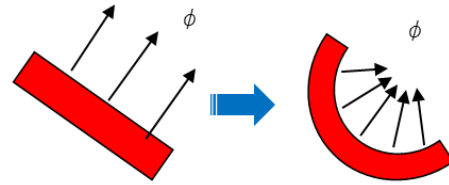
P_n : 極対数
 Φ_m : 鎖交磁束
 L_d : d軸インダクタンス
 L_q : q軸インダクタンス

- ① 磁石多極化
スロット起磁力分散化による減磁性向上

ステータ逆磁界



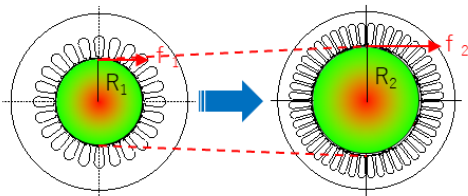
- ② 磁石形状 矩形→円弧
磁石表面積S増加によるφm向上



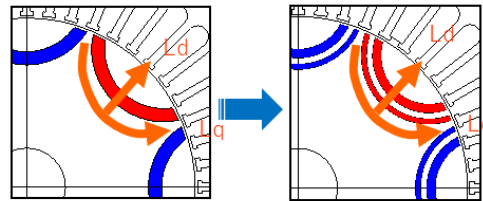
単純形状 (Nd焼結)

円弧形状 (MF)

- ③ ロータ径UP
ロータ表面積Sによるφm向上→推力f向上
トルク $T \propto \frac{\text{半径}R \times \text{推力}f}{UP}$



- ④ 多層化
Lq-Ld増加によるリラクタンストルク向上



Lq:小

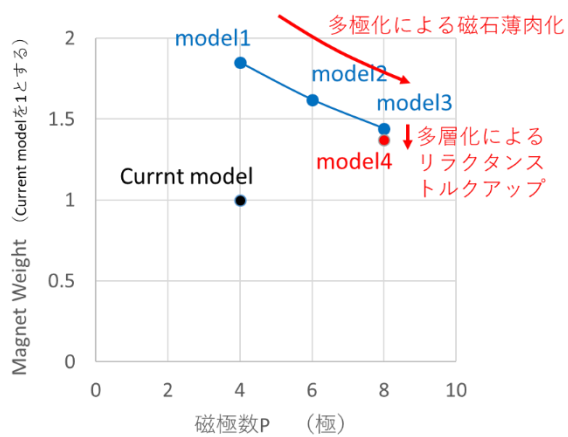
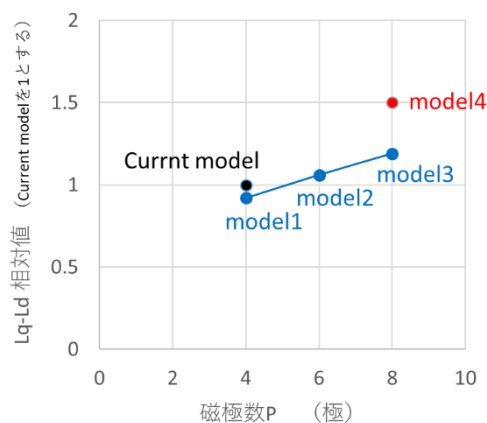
Lq:大 (2経路)

解析例

Nd 焼結磁石で構成されている Current model に対し、下記モデルにて MAGFINE®での検討を実施した。

| model | Current model 4pole-24slot | Model1 4pole-24slot | Model2 6pole-36slot | Model3 8pole-48slot | Model4 8pole-48slot 二層type | |
|-------------------|-------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------------|--|
| magnet | Dy含Nd Sintered | Dy Free MAGFINE | | | | |
| Rotor O.D (mm) | 55 | 55 | 64.4 | 69.2 | 69.2 | |

極数とリラクタンストルク (Lq-Ld) の関係 及び 極数と磁石重量の関係を下記に示す。



結果として下記に示すように同等トルク性能で希土類資源指数を 44%下げることができた。

| | Current model Nd焼結 | Model4 MAGFINE |
|--------------------|-----------------------|-------------------|
| 磁石使用量 | 100g | 137g |
| Nd使用量 | 26g | 42.5g |
| Dy使用量 | 5g | 0g |
| 希土類資源指数 Nd+10Dy | 76 | 42.5 (44%削減) |

※2011年時点の市況価格等をもとに算出