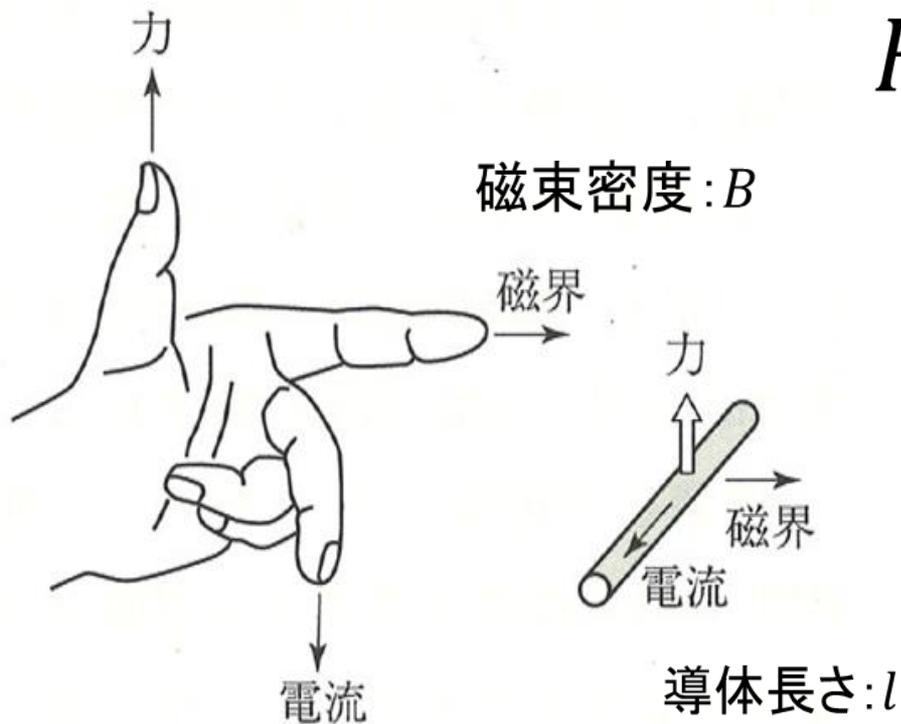


磁気回路設計の目的



(a) フレミングの左手の法則

$$F = B * l * i$$

大きな動力を得るには、

- 大きな磁束密度
- 大きなサイズ
- 大きな電流



効率良く大きな磁束密度を実現する

回転機(モータ)の基本計算

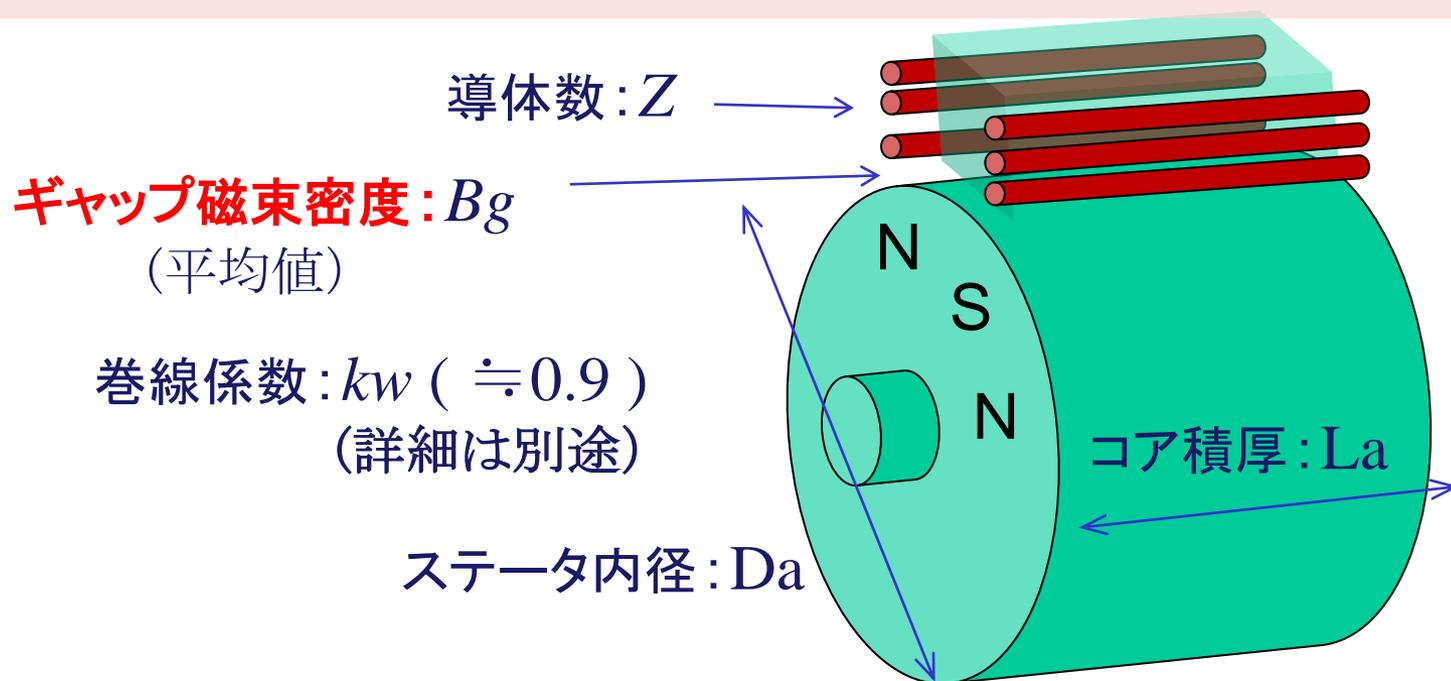
(原理)

起電力の法則: $e = B * l * v$

(モータでの設計計算)

導体誘起電圧(/rpm): $ke = Bg * La * Da / 2 * 2\pi / 60$

誘起電圧定数 : $Ke = Z * kw * ke$

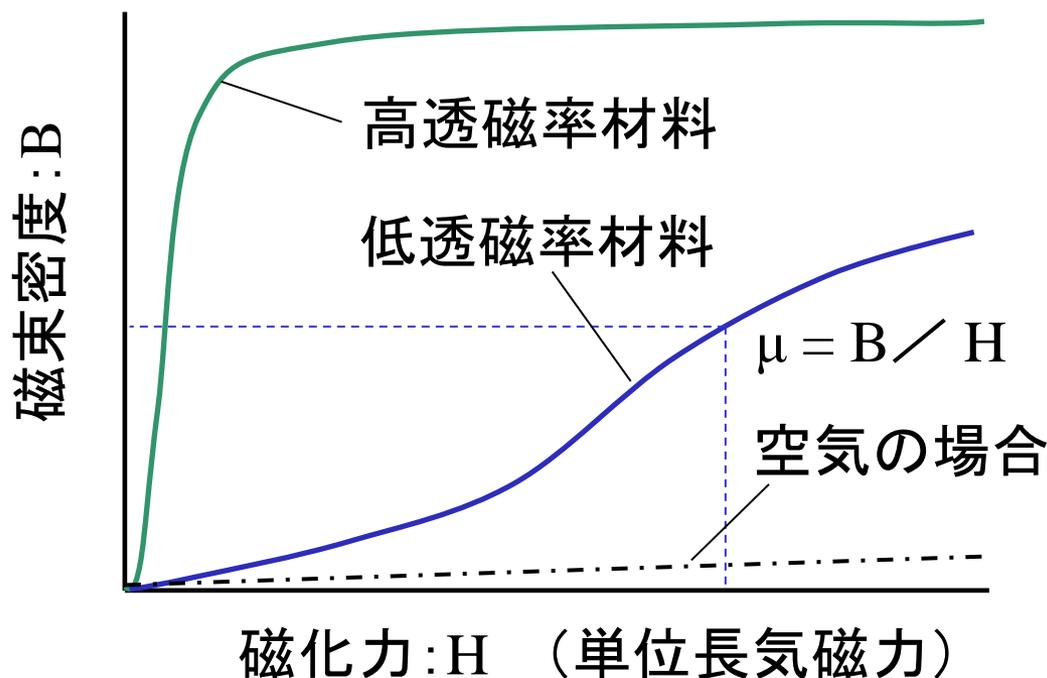


磁性材料の磁化挙動

空気と違い、簡単に磁化されるのが高透磁率材料

$$B = \mu_s * \mu_0 * H$$

$$\text{真空の透磁率: } \mu_0 = 4\pi / 10^7$$

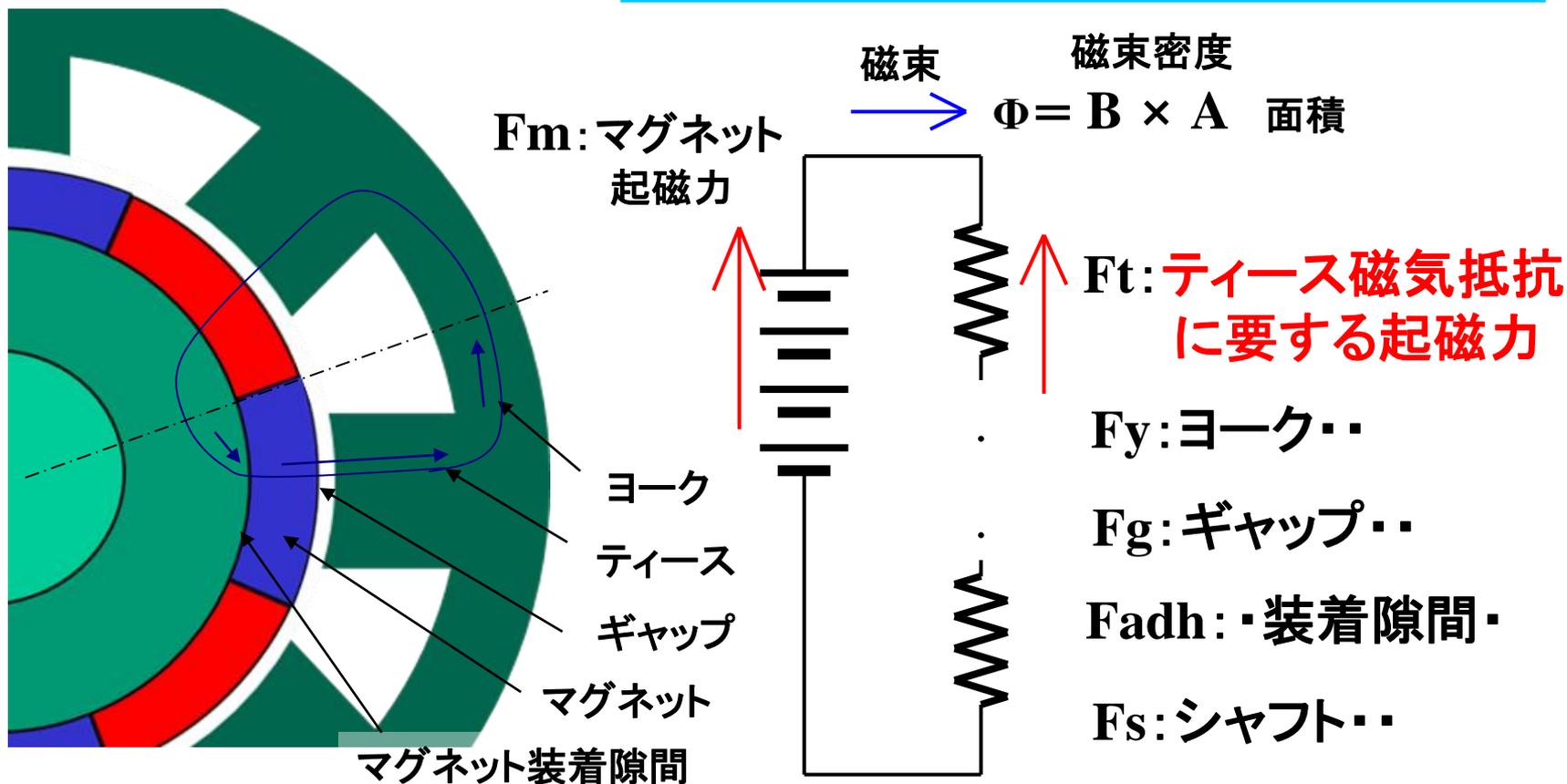


磁化曲線と物質の透磁率

磁気回路計算

磁気回路モデル

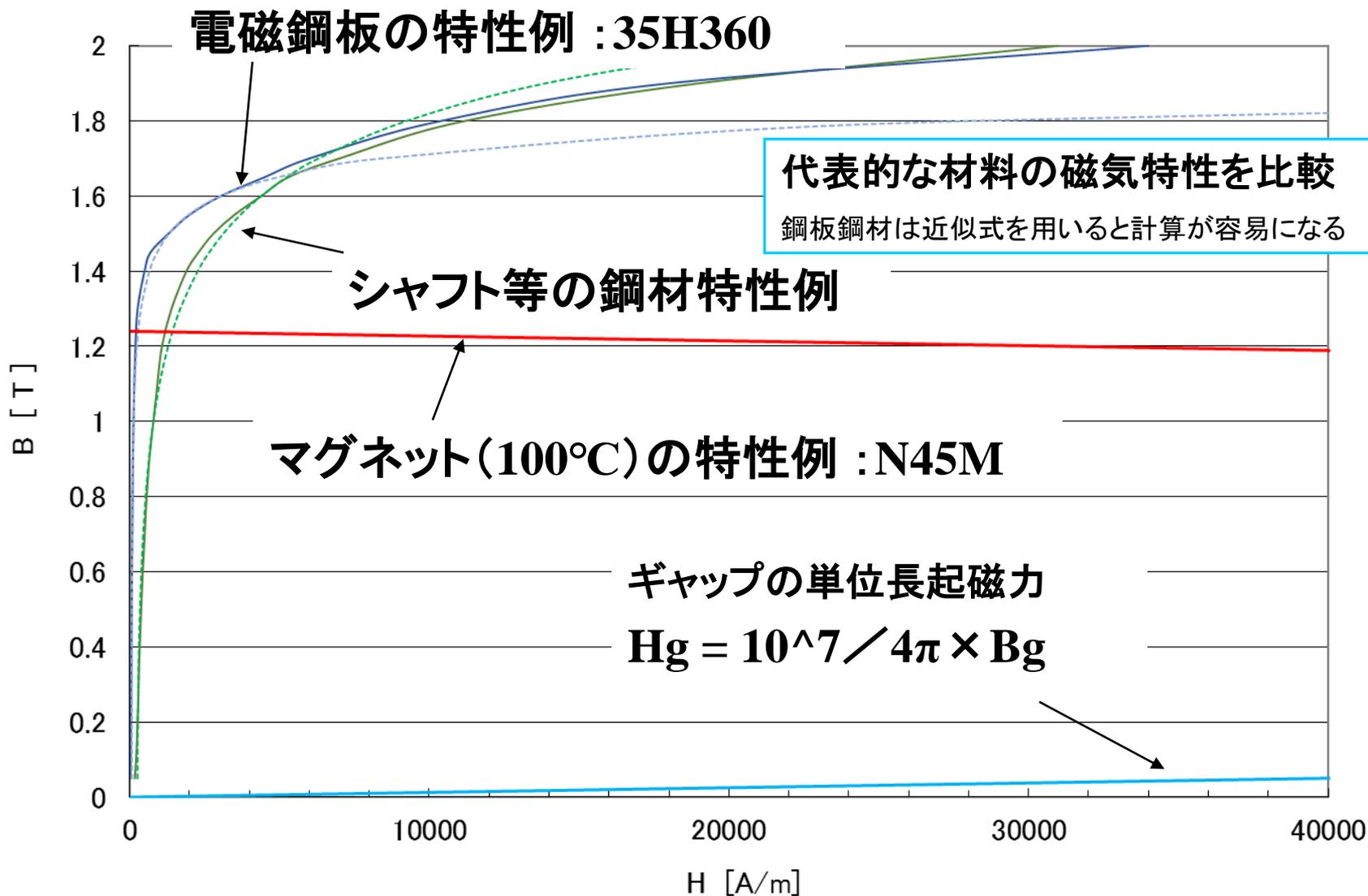
磁気回路は電気回路に例えると理解しやすい



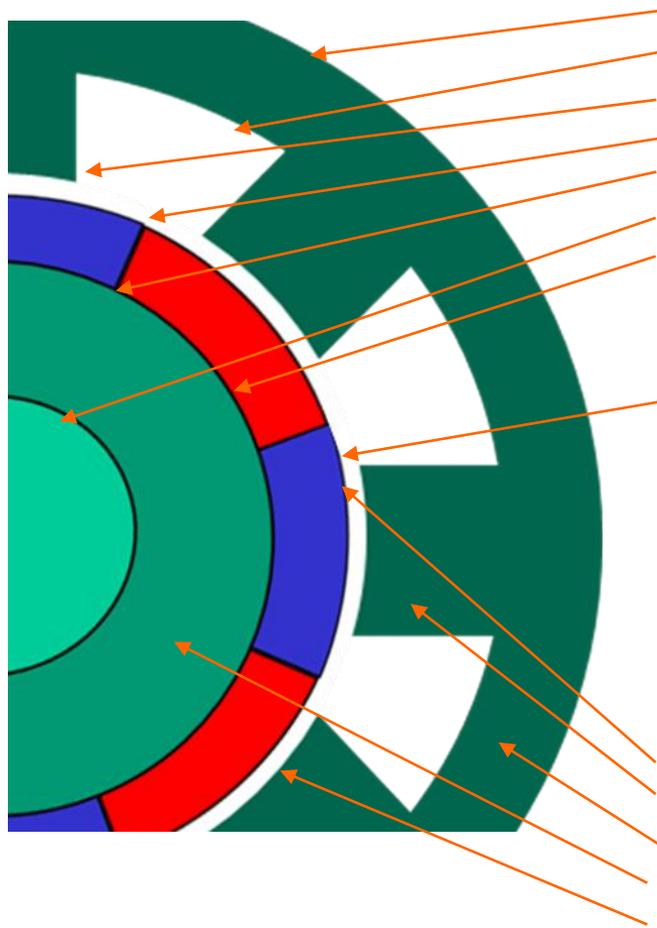
最小部分(マグネット1個分)
の磁気回路で検討する。

$$H = f(B), \quad F = H \times L$$
$$F_m = F_t + F_y + F_g + F_{adh} + F_s$$

使用材料の磁気特性



計算例：磁路の面積と長さ



| | | | |
|-------------|------|-------|--------|
| ヨーク外径 | Dyo | [m] | 0.0588 |
| ヨーク内径 | Dyi | [m] | 0.053 |
| ステータ内径 | Dsi | [m] | 0.0486 |
| マグネット外径 | Dmo | [m] | 0.048 |
| マグネット内径 | Dmi | [m] | 0.04 |
| ロータヨーク内径 | Dri | [m] | 0 |
| マグネット嵌合隙間 | Ladh | [m] | 0.0001 |
| 極数 | Np | | 8 |
| ティース幅 | Wth | [m] | 0.006 |
| スロット数 | Ns | | 12 |
| ポールアーク(極弧率) | Rp | | 0.67 |

| | | | |
|----------|--|--------------------|-----------|
| ギャップ長 | $Lg = (Dsi - Dmo) / 2$ | [m] | 0.0003 |
| マグネット厚さ | $Hm = (Dmo - Dmi) / 2$ | [m] | 0.004 |
| ティース長さ | $Lth = (Dyi - Dti) / 2$ | [m] | 0.0022 |
| ヨーク長さ | $Ly = \pi * (Dyo + Dyi) / 2 / Ns / 2$ | [m] | 0.0073173 |
| ロータヨーク長さ | $Lry = \pi * (Dmi + Dri) / 2 / Np / 2$ | [m] | 0.0039270 |
| ギャップ面積 | $Ag = \pi * (Dmo + Da) / 2 * (Lm + Lt) / 2 / Np$ | [m ²] | 0.0006027 |
| マグネット面積 | $Am = \pi * (Dmo + Dmi) / 2 * Lm / Np * Rp$ | [m ²] | 0.0003679 |
| ティース面積 | $Ath = Ka * Wth * Lt$ | [m ²] | 0.0001811 |
| ヨークの面積 | $Ay = Ka * (Dyo - Dyi) / 2 * Lt$ | [m ²] | 0.0000875 |
| ロータヨーク面積 | $Ary = (Dmi - Dri) / 2 * Lm$ | [m ²] | 0.0006355 |
| ティース極弧率 | $Rth = Wth / (\pi * Dsi / Ns)$ | | 0.4715702 |

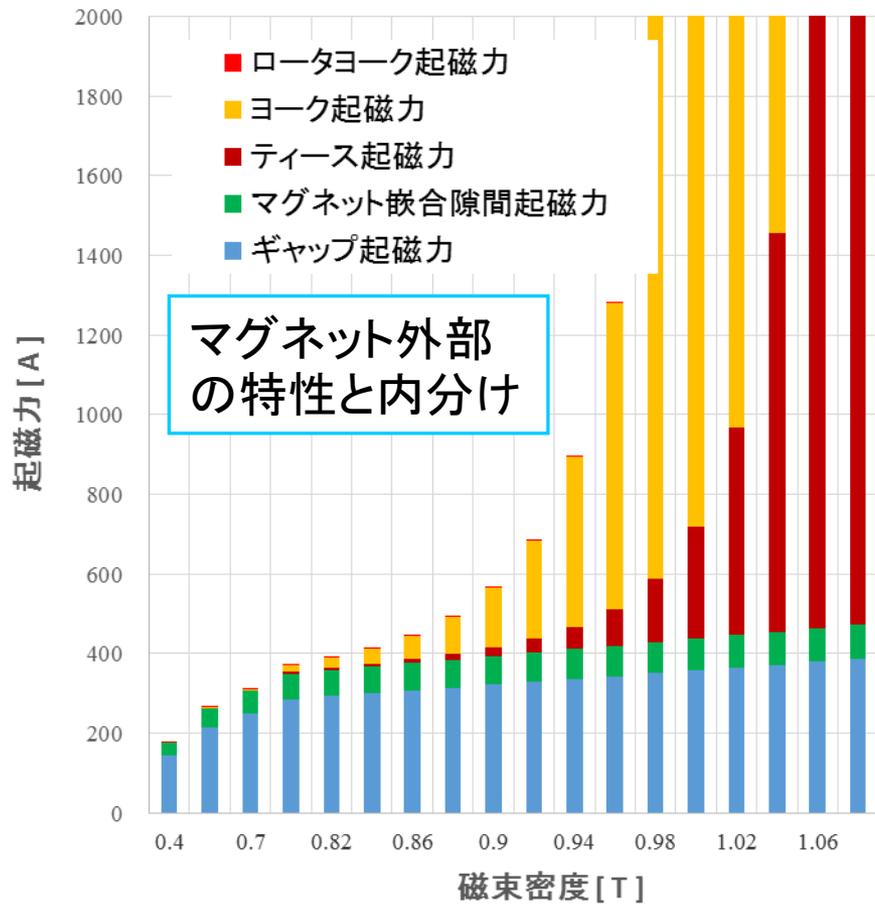
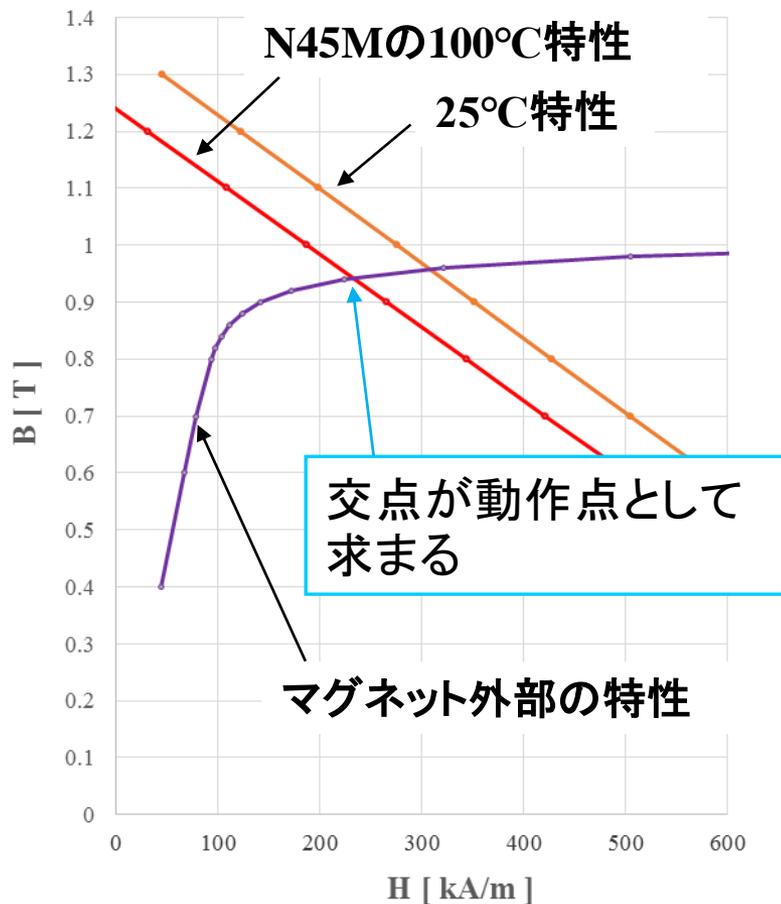
単純化して概算を試みる

計算例：磁束密度と要求起磁力

マグネットの磁束密度を仮定すれば要求起磁力が計算できる

| | | | | | | | |
|---------------|--|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| マグネット仮磁束密度 | Bm | [T] | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1 | 1.05 |
| ロータ側磁束 | $\Phi_r = B_m \cdot R_f \cdot A_m$ | [Wb] | 0.000294 | 0.000441 | 0.000589 | 0.000736 | 0.000773 |
| ステータ側磁束 | $\Phi_s = B_m \cdot R_f \cdot \pi (D_{mo} + D_{mi}) / 2 \cdot L_m / N_s \cdot R$ | [Wb] | 0.000138 | 0.000207 | 0.000276 | 0.000345 | 0.000362 |
| ギャップの磁束密度 | $B_g = \Phi_r / A_g$ | [T] | 0.488282 | 0.732422 | 0.976563 | 1.220704 | 1.281739 |
| ティースの磁束密度 | $B_{th} = \Phi_s / A_{th}$ | [T] | 0.762400 | 1.143600 | 1.524800 | 1.906000 | 2.001300 |
| ヨークの磁束密度 | $B_y = \Phi_s / 2 / A_y$ | [T] | 0.788689 | 1.183034 | 1.577379 | 1.971724 | 2.070310 |
| マグネット嵌合隙間磁束密度 | $B_{adh} = B_m$ | [T] | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1 | 1.05 |
| ロータヨーク磁束密度 | $B_{ry} = \Phi_r / 2 / A_y$ | [T] | 0.4630708 | 0.694606 | 0.926142 | 1.157677 | 1.215561 |
| SPCC近似式 | { SPCC B-H カーブより読み取り: 近似式 $H = 10^{(0.476 \cdot B^2 + 2.424)}$ } | | | | | | |
| 35A360近似式 | { 35A360 B-H カーブより読み取り: 近似式 $H = 10^{(0.2445 \cdot B^4 + 1.8825)}$ } | | | | | | |
| ギャップの単位長起磁力 | $H_g = 10^{7/4} / \pi \cdot B_g$ | [A/m] | 388562 | 582843 | 777124 | 971405 | 1019976 |
| ティースの単位長起磁力 | H_{th} | [A/m] | 92 | 200 | 1600 | 128613 | 637790 |
| ヨークの単位長起磁力 | H_y | [A/m] | 95 | 230 | 2490 | 378368 | 2367547 |
| マグネット嵌合隙間単位長起 | $H_{adh} = 10^{7/4} / \pi \cdot B_{adh}$ | [A/m] | 318310 | 477465 | 636620 | 795775 | 835563 |
| ロータヨーク単位長起磁力 | H_{ry} (SPCC式) | [A/m] | 336 | 450 | 680 | 1153 | 1341 |
| ギャップ起磁力 | $F_g = H_g \cdot L_g$ | [A] | 143 | 214 | 286 | 357 | 375 |
| ティース起磁力 | $F_{th} = H_{th} \cdot L_{th}$ | [A] | 0 | 0 | 4 | 283 | 1403 |
| ヨーク起磁力 | $F_y = H_y \cdot L_y$ | [A] | 1 | 2 | 18 | 2769 | 17324 |
| マグネット嵌合隙間起磁力 | $F_{adh} = H_{adh} \cdot L_{adh}$ | [A] | 32 | 48 | 64 | 80 | 84 |
| ロータヨーク起磁力 | $F_{ry} = H_{ry} \cdot L_{ry}$ | [A] | 1 | 2 | 3 | 5 | 5 |
| 総起磁力 | $\Sigma F = F_{th} + F_y + F_g + F_{adh} + F_{ry}$ | [A] | 177 | 266 | 374 | 3493 | 19191 |
| マグネット要求起磁力 | $\Sigma H = \Sigma F / H_m / 1000$ | [kA/m] | 44 | 67 | 93 | 873 | 4798 |
| N45M | (マグネット B-H特性) | | | | | | |
| 磁束密度 | bm | [T] | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1 | 1.2 |
| 100°C 磁界強度 | hm110 : $H = 500 - 500 / (1.24 - 0.6) \cdot (B - 0.6)$ | [kA/m] | 656.25 | 500 | 343.75 | 187.5 | 31.25 |
| 25°C 磁界強度 | hm20 : $H = 1040 - 1040 / 1.36 \cdot B$ | [kA/m] | 734.12 | 581.18 | 428.24 | 275.29 | 122.35 |

マグネット動作点と起磁力の内わけ



| | | |
|--------------|--------|-----------|
| マグネット動作点磁束密度 | [T] | 0.94 |
| ロータ側磁束 | [Wb] | 0.0003458 |
| ステータ側磁束 | [Wb] | 0.0001623 |
| ギャップの平均磁束密度 | [T] | 0.5737308 |

| | | |
|---------------|-------|-----------|
| ティースの磁束密度 | [T] | 0.8958198 |
| ヨークの磁束密度 | [T] | 0.9267101 |
| マグネット嵌合隙間磁束密度 | [T] | 0.94 |
| ロータヨーク磁束密度 | [T] | 0.5441081 |