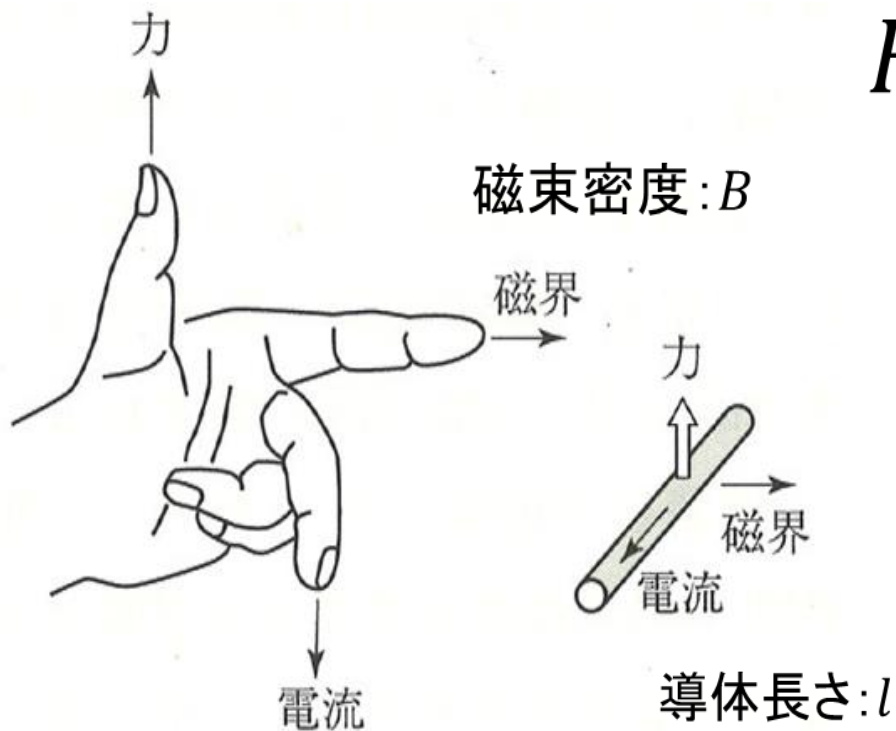


磁気回路設計の目的



(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

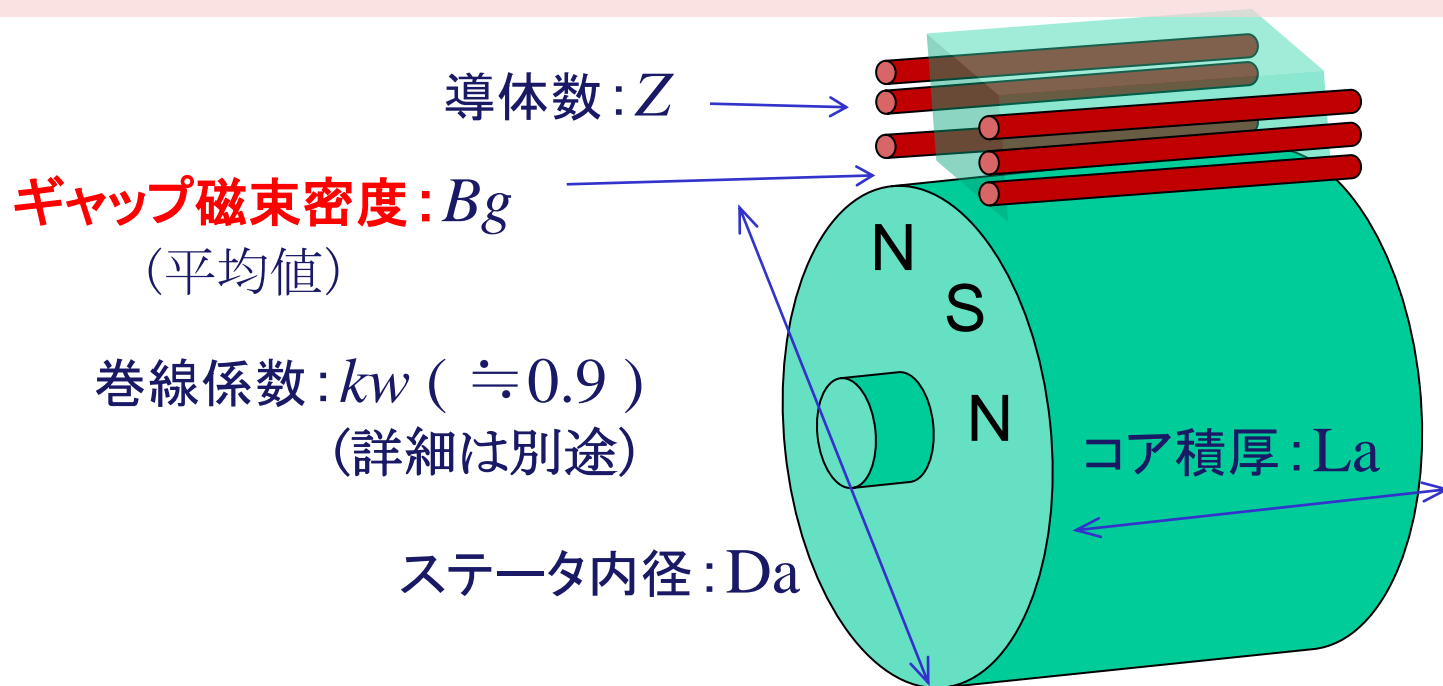
(原理)

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 : $Ke = Z * kw * ke$

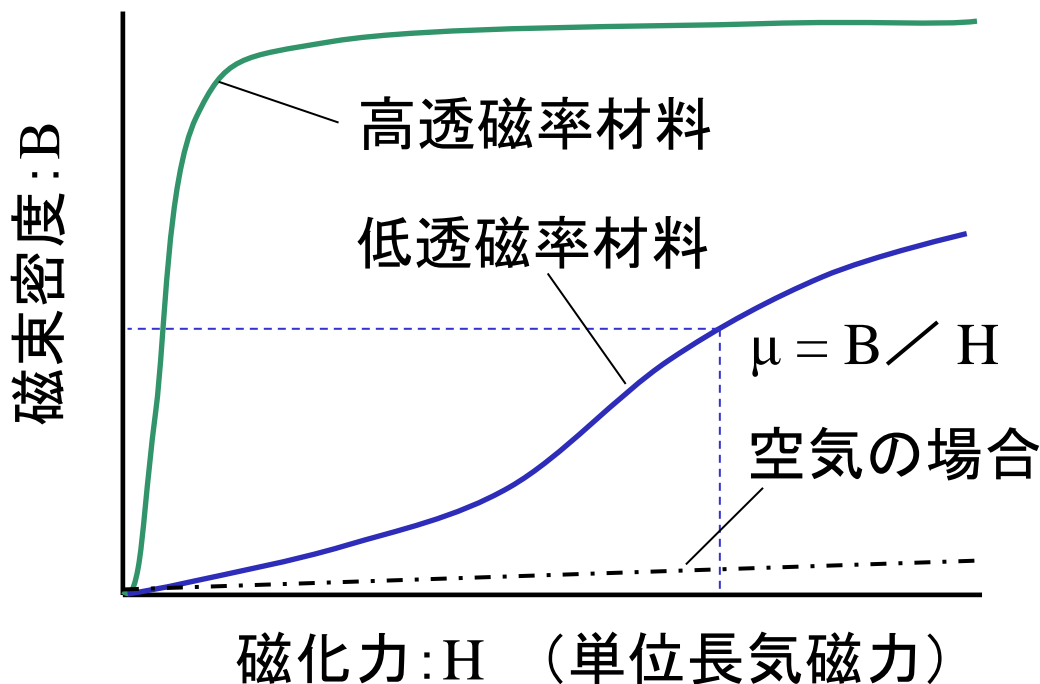


磁性材料の磁化挙動

空気と違い、簡単に磁化されるのが高透磁率材料

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

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

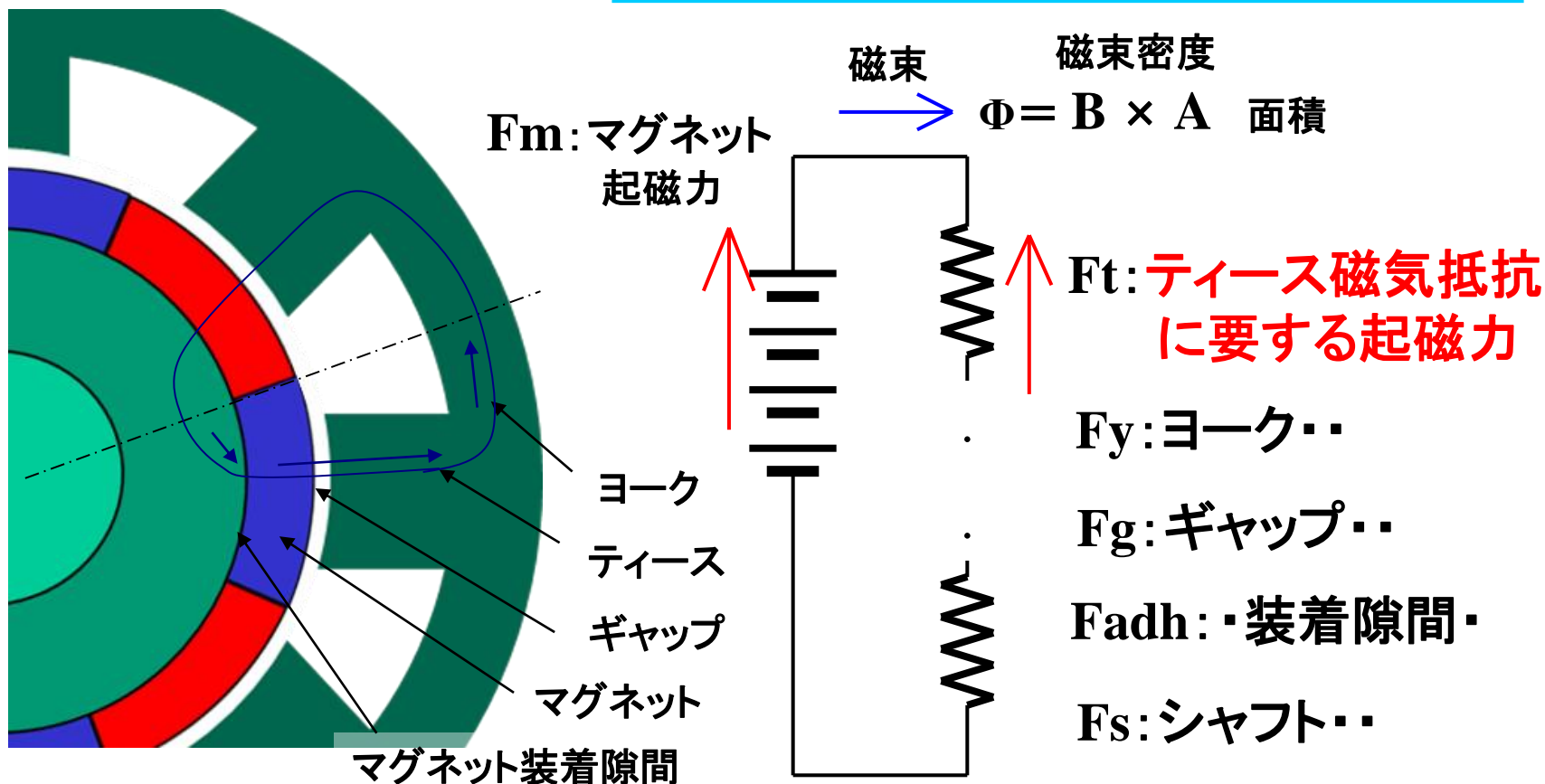


磁化曲線と物質の透磁率

磁気回路計算

磁気回路モデル

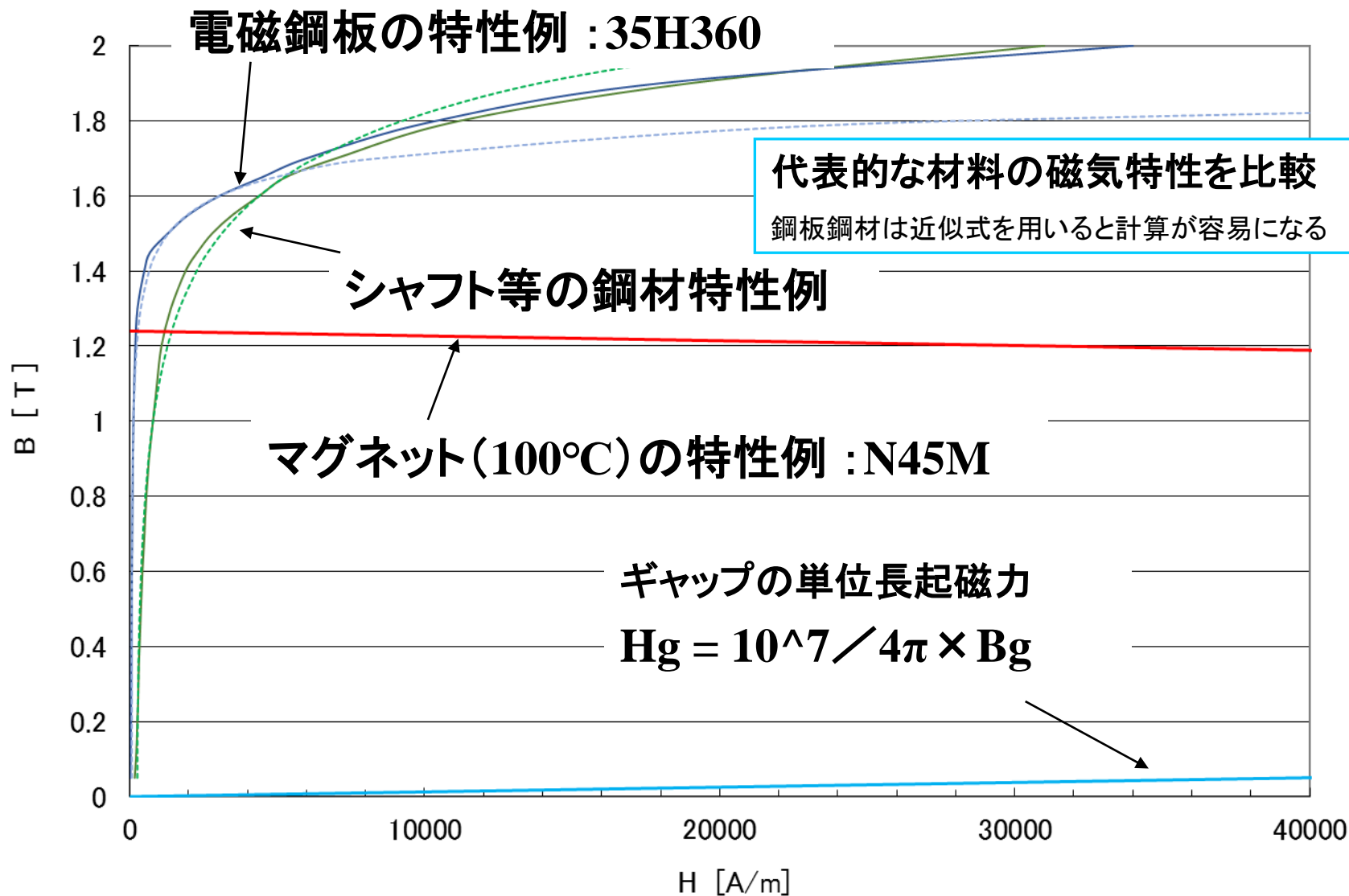
磁気回路は電気回路に例えると理解しやすい



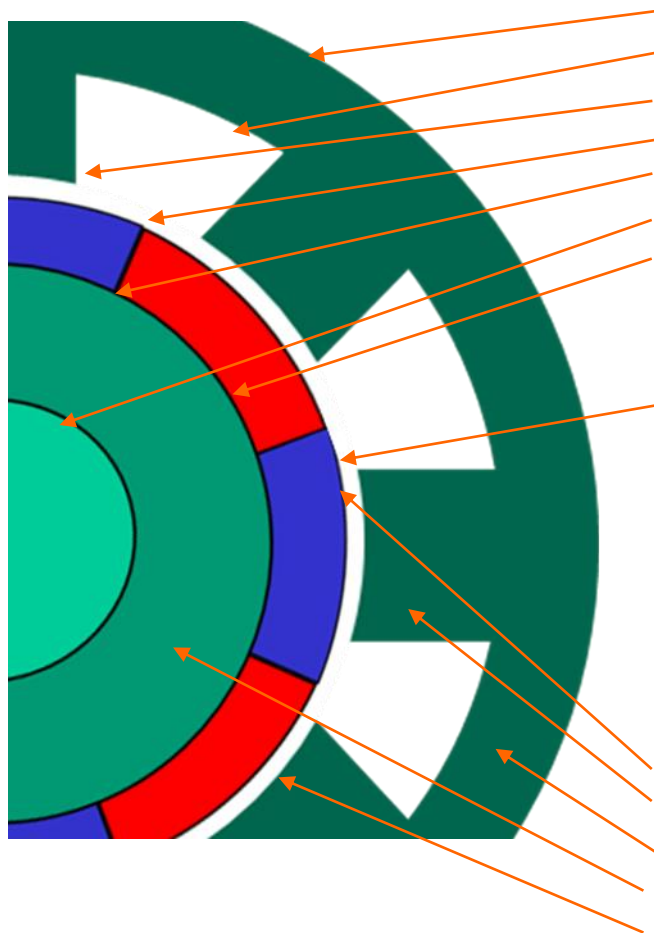
最小部分(マグネット1個分)
の磁気回路で検討する。

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

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

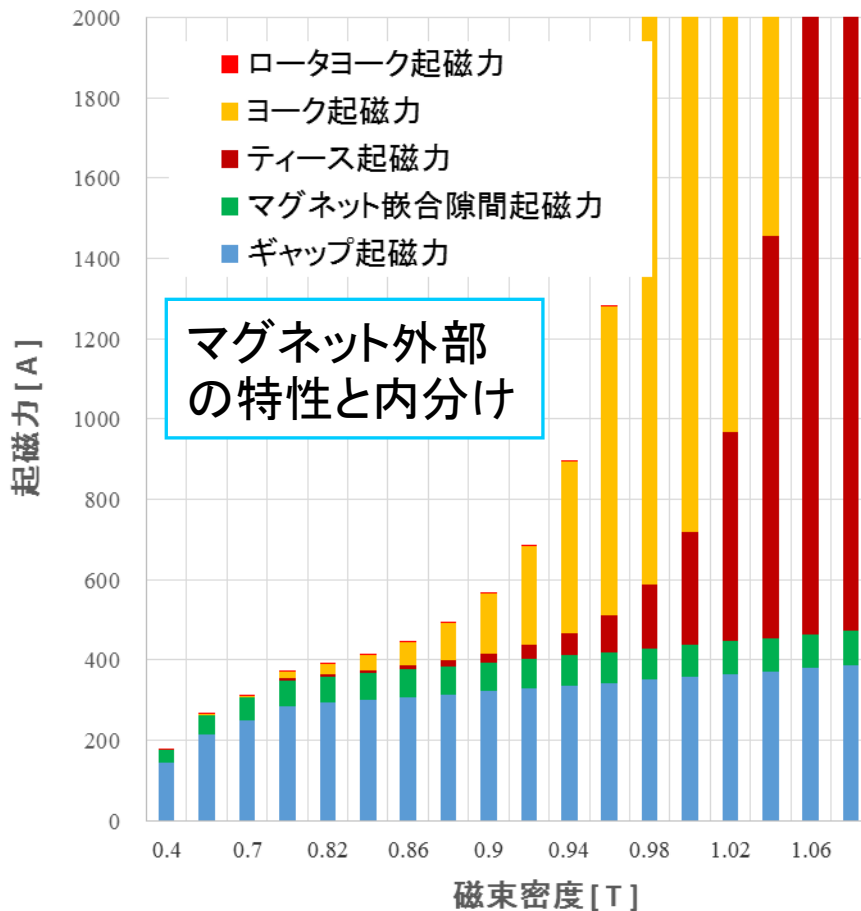
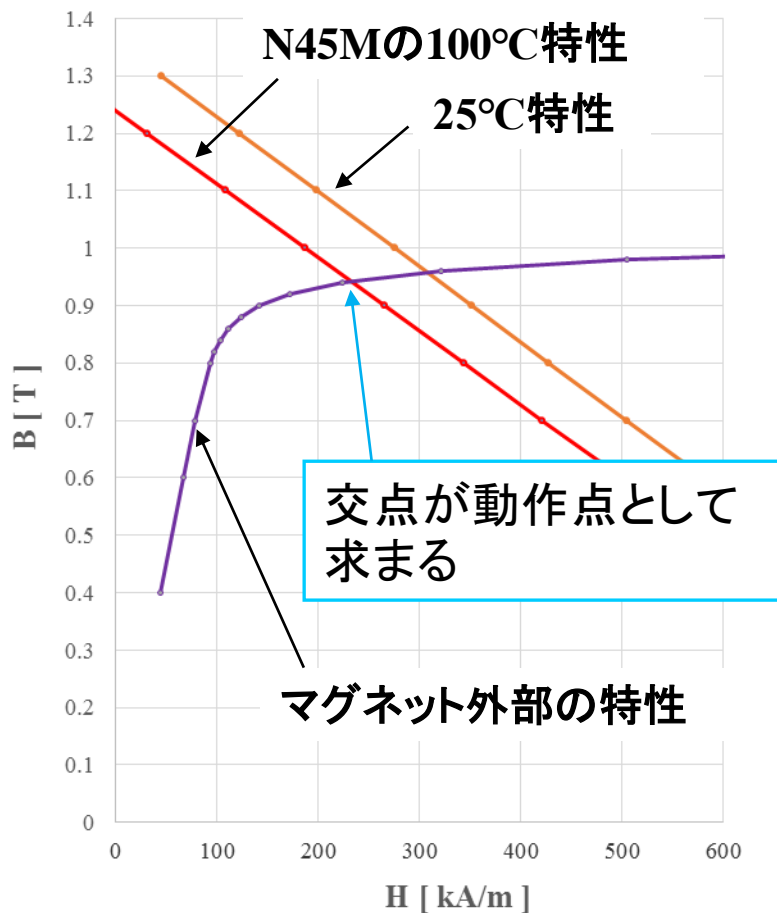
単純化して概算を試みる

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