

# モータの設計手順

要求特性の確認

(定格、最大トルク、回転速度、電源仕様)

設計検討

(サイズ、極数、誘起電圧定数、)



磁気回路計算

巻線設計

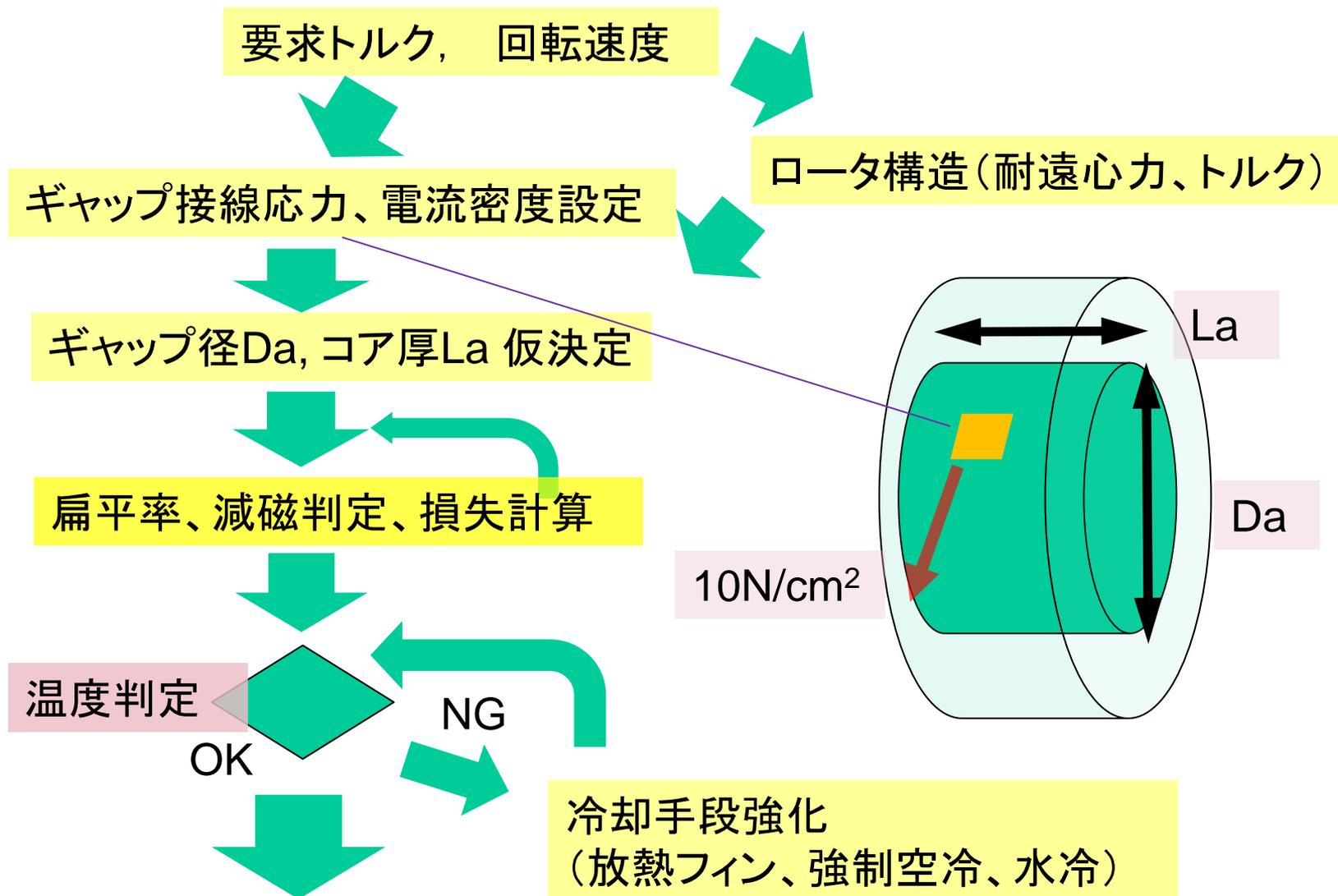
構造設計



基本諸元の決定

磁界解析検証

# ラジアルギャップモータの設計手順



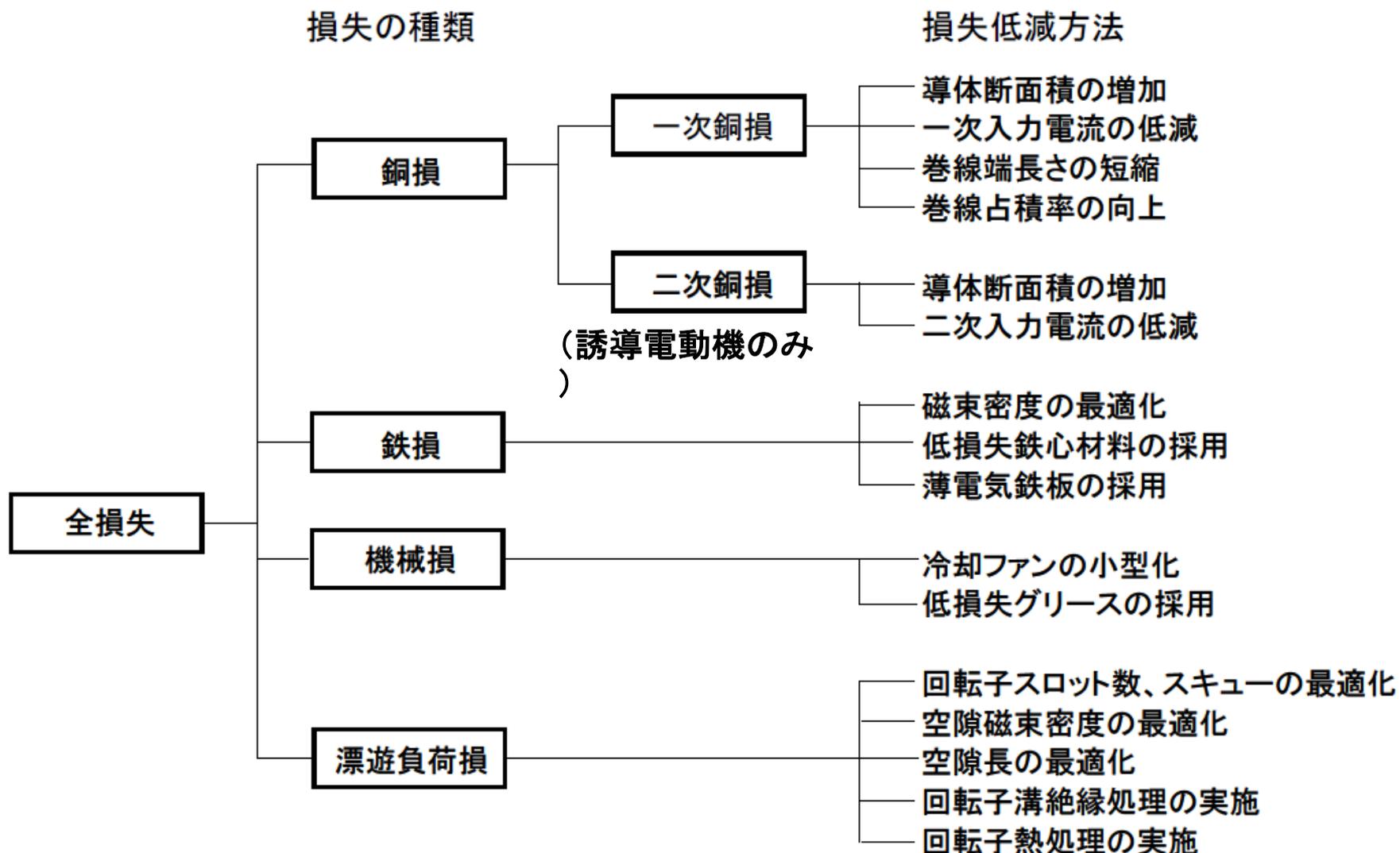
# 磁界解析検証：耐減磁判定

1. 短絡電流に対する耐減磁性確保
2. 最大電流、全位相に対する耐減磁性確保
3. 1または2の判定基準：EMF低下率（3%等）

# 磁界解析検証: コギングトルク

1. 繰り返し山数の確認(極数とスロット数最小公倍数)
2. 平均トルクが0になることを確認
3. コギングトルクを目標値以下に改善する。

# 定格出力の検討：発熱と冷却



# 銅損式(p6)

## 1・2 電気機器の損失

7

機器の特性算出は巻線がこの温度にあるとして行う。ただし、これは A 種、E 種、B 種絶縁の場合で、F 種、H 種絶縁の機器では 115°C とする) で、断面積 1 mm<sup>2</sup>、長さ 1 m のときの抵抗  $\rho$  は  $\rho=0.021$  [Ω] であるから、断面積  $q$  [mm<sup>2</sup>]、長さ  $l$  [m] の銅線の電気抵抗  $R_d$  は

$$R_d=0.021\frac{l}{q} \quad [\Omega] \quad (1 \cdot 7)$$

として表される。

この銅線に  $I$  [A] が流れるときの電流密度は  $\Delta=I/q$  [A/mm<sup>2</sup>] であり、銅損  $W_{cd}$  は

$$W_{cd}=I^2R_d=(q\Delta)^2 \times 0.021\frac{l}{q}=0.021\Delta^2ql \quad [\text{W}] \quad (1 \cdot 8)$$

# 鉄損式(p6)

ヒステリシス損係数

うず電流損係数

歯の部分の鉄損は

$$\begin{aligned} w_{ft} &= B_t^2 \left\{ f_{ht} \sigma_h \left( \frac{f}{100} \right) + f_{et} \sigma_e d^2 \left( \frac{f}{100} \right)^2 \right\} \\ &= B_t^2 \left\{ \sigma_{Ht} \left( \frac{f}{100} \right) + \sigma_{Et} d^2 \left( \frac{f}{100} \right)^2 \right\} \quad [\text{W/kg}] \quad (1 \cdot 5) \end{aligned}$$

ここに、 $B_t$ ：歯の部分の磁束密度 [T]， $f_{ht} \sigma_h = \sigma_{Ht}$ ， $f_{et} \sigma_e = \sigma_{Et}$  ( $f_{ht} > 1$ ， $f_{et} > 1$ ) で表される。そして  $\sigma_{Ht}$ ， $\sigma_{Et}$  の値は実際の機械の場合，第1・2表のような値である。

# 機械損式 (p7)

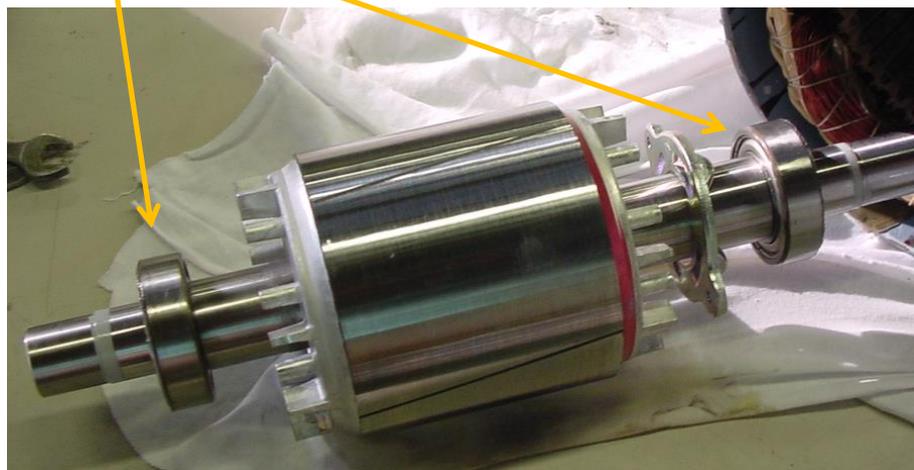
1・2・3 機 械 損 機械損としては回転子の風損，軸受の摩擦損およびブラシの摩擦損があるが，このうち軸受損失は一般に小さいのでここでは省略する。

風損  $W_m$  については次の近似式で計算できる。

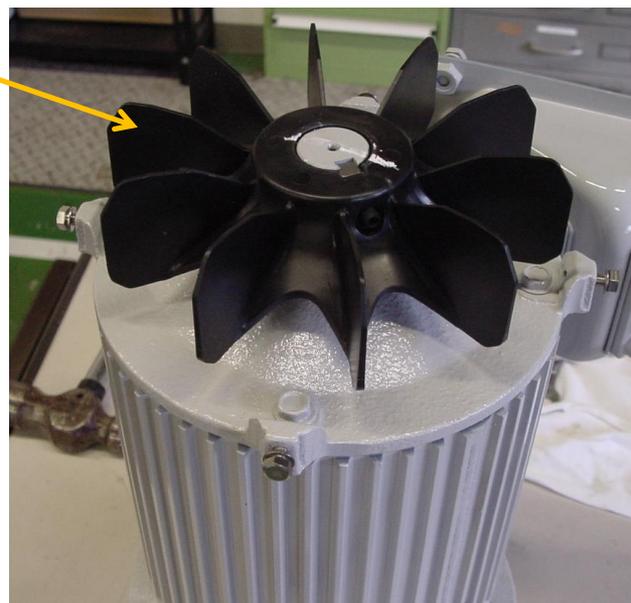
$$W_m = 8 D \times (l_1 + 15) \times v_a^2 \times 10^{-4} \quad [\text{W}] \quad (1 \cdot 11)$$

ここに， $D$ ：回転子の外径 [cm]， $l_1$ ：成層鉄心の見かけの長さ [cm]， $v_a$ ：回転子表面の周辺速度 [m/s]

軸受



冷却ファン



# 温度上昇 (p24, p135)

## 5・2・10 温度上昇

電機子の温度上昇は、基本式である式 (3・33) から求めることができる。しかし、本設計例では冷却構造として外被表面冷却他力方式を採用しているため、鉄損および銅損はフレーム表面から放熱されることになる。フレーム表面積はフィン付フレームを採用することで、鉄心の外径表面積に対して3~5倍に増やすことができる。本設計例での冷却面積  $O_s$  は、鉄心外径表面積の4倍とすると

$$O_s = \pi \times 220 \times 165 \times 4 \times 10^{-6} = 0.456 \text{ m}^2$$

内部損失  $W_i$  は、電機子銅損、漂遊負荷損および鉄損の和として

$$W_i = 451 + 135 + 256 = 842 \text{ W}$$

外気に対する熱の伝達率を  $\kappa = 30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  とすると、温度上昇  $\theta_s$  は

$$\theta_s = \frac{842}{30 \times 0.456} = 61.5 \text{ K}$$

である。銅線の損失による発熱は電機子鉄心を通して放熱されることになるので、電機子と銅線の温度差は開放形より大きくなる。銅線の温度上昇は電機子より15 K高いとみて、約76.5 Kと推定される。

# 熱の伝達率： $\kappa$ (p135)

表 10.2 境膜伝熱係数  $h$  の概略値 [ $\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$ ]

伝熱系	境膜伝熱係数
自然対流：空気	3~10
：水	300~800
強制対流：空気	20~50
：水	2000~6000
沸騰：水	1500~35000
凝縮：水	5000~15000 ✓

現代の化学工学Ⅱ 化学工学会編 朝倉書店 p63伝熱係数より

# 絶縁材料：絶縁の種別（p9）

表 1・4 電気機器の温度上昇限度〔℃〕

機器の種類または部分		耐熱クラス					
		105 (A)	120 (E)	130 (B)	155 (F)	180 (H)	
空冷形 回転機	交流機の電機子巻線 直流機の回転電機子巻線	60	75	80	105	125	
	界磁巻線	多層巻線	60	75	80	105	125
		単層裸巻線	65	80	90	110	135
変圧器	油入変圧器の 巻線	油自然循環の場合	55	—	—	—	—
		油強制循環の場合	60	—	—	—	—
	乾式変圧器の巻線	55	70	75	95	120	

- 〔注〕 1. この表の数値は回転機，変圧器ともに温度測定は抵抗法によった場合を示す。  
2. 詳細は，JEC-2100-2008，JEC-2200-2014 を参照されたい。