

磁界解析と磁気測定を援用した電磁装置の最適設計

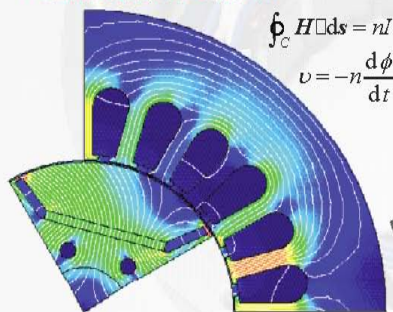
岡山大学大学院自然科学研究科
電磁デバイス学研究室

高橋則雄

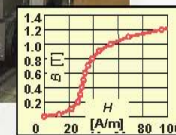
電磁デバイス学研究室

環境に優しい電気機器の開発

目に見えない
「電磁現象」の解析



解析に必要な
「材料特性」の測定



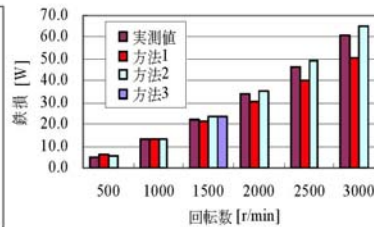
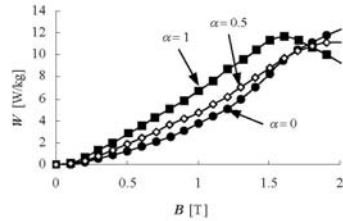
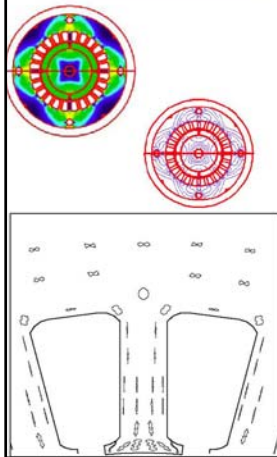
快適な生活の実現



1. 磁界解析と磁気測定を援用した電磁装置の最適設計

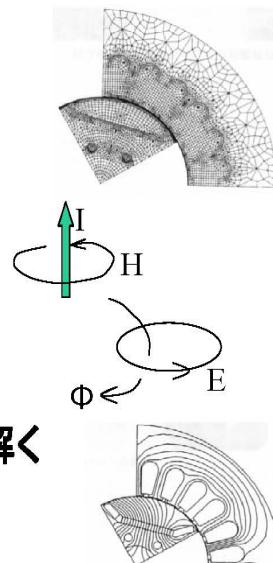
1. 有限要素法を用いた実機の現象に即した解析 各種電気機器の磁界の数値解析を、有限要素法(FEM)を用いて行っています。

モータの例



有限要素法を用いた磁界解析とは？

- (a) 解析したい領域を要素に分割
- (b) 磁界分布を表す法則
 - 電流の周りに磁界ができる (アンペアの周回積分の法則)
 - 磁束が変化すると電圧が生じる (ファラデーの電磁誘導の法則)
- (c) 連立方程式を作成して解く
- (d) 磁束分布などを求める

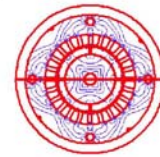


1. 磁界解析と磁気測定を援用した電磁装置の最適設計

有限要素法を用いた磁界解析で何が できるか？

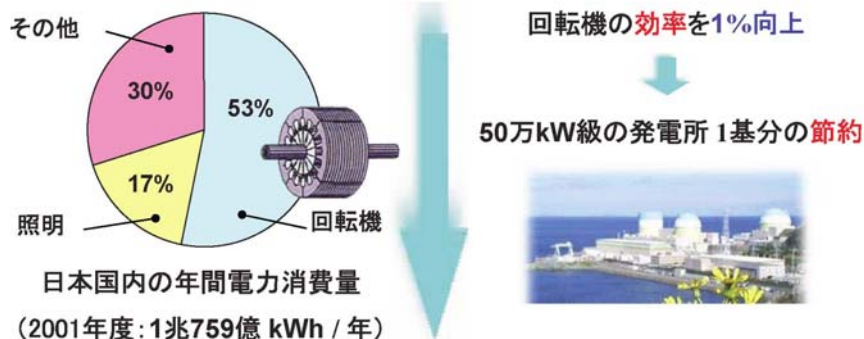
各種電磁装置の磁束分布、損失解析 →最適 設計

モータ(エアコン用、ハイブリッド自動車用、産業用、リニア
モータ、---)
磁石応用機器(MRI, 加速器---)
誘導加熱(インダクションヒーティング、---)
変圧器、リアクトル
磁気探傷
磁気シールド、建築物等による磁場の乱れ
超電導ケーブル



モータを解析する目的

- 回転機の需要の高まり(電力消費量の50%以上)
- 環境問題・省エネルギーに対する関心



高効率化を図ることが強く望まれている

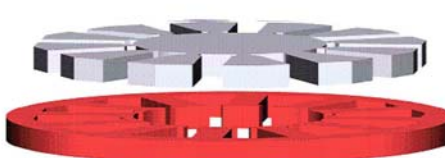
1. 磁界解析と磁気測定を援用した電磁装置の最適設計

モータを解析する際の問題点

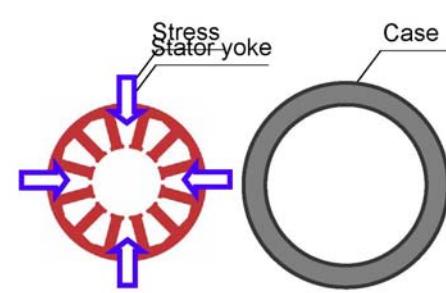
回転機の鉄損の解析値が実測結果と異なる

↓

回転機製造時の応力歪による磁気特性の劣化が原因(?)



Punching



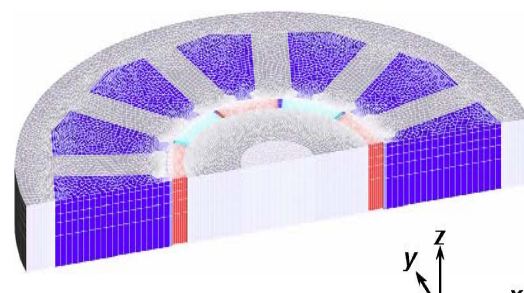
Shrink fitting

🔥🔥🔥🔥

有限要素法の解析モデル

解析モデル (3D)

- 回転子磁石の渦電流損失の解析



Analysis model (3D)

解析モデル

中心角180度, 積み厚:15mm
永久磁石:1.20T, ラジアル配向
節点数:211212, 要素数:184128
辺:総数 606082, 未知 506422

解析条件

有限要素法(非線形渦電流解析)
固定子:測定値
回転子:S45C
無負荷
ICCG法 収束判定値:10⁻⁶
NR法 収束判定値:10⁻³

1. 磁界解析と磁気測定を援用した電磁装置の最適設計

焼きばめ時の磁気特性の測定

- 焼きばめ(Shrink fitting)が施されている状態で回転子を取り除く
- バックヨーク部と焼きばめ部にかけて励磁巻線を巻く

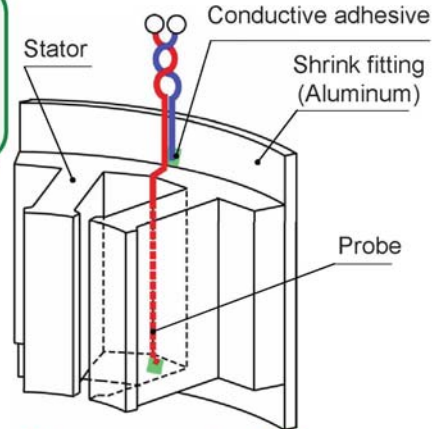
$$H = \frac{NI}{l}$$

$$B = \frac{\phi}{S}$$

N : コイルの巻数
 I : 電流
 l : 平均磁路長
 S : 断面積
 ϕ : 鎖交磁束数

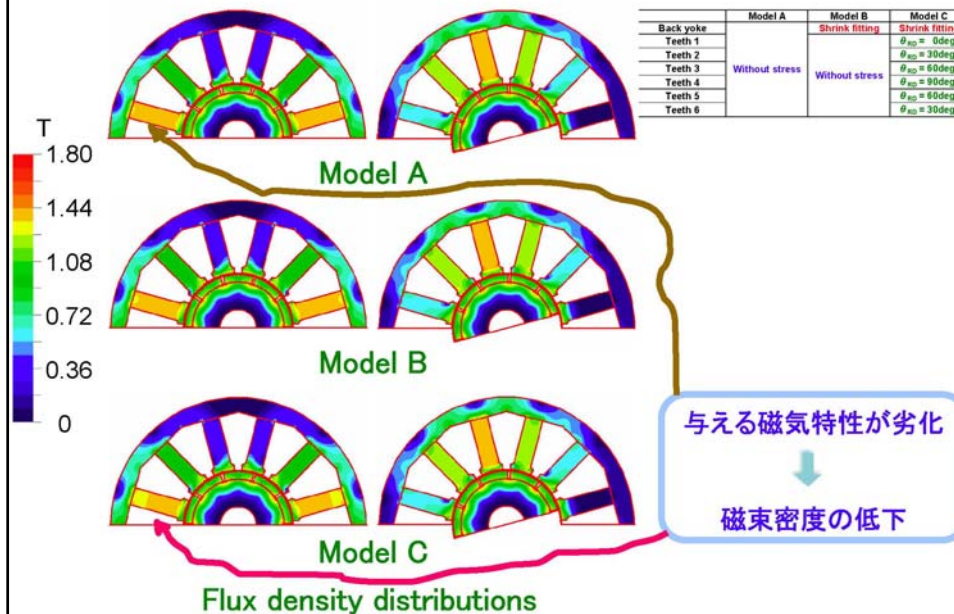


Measurement under Shrink fitting

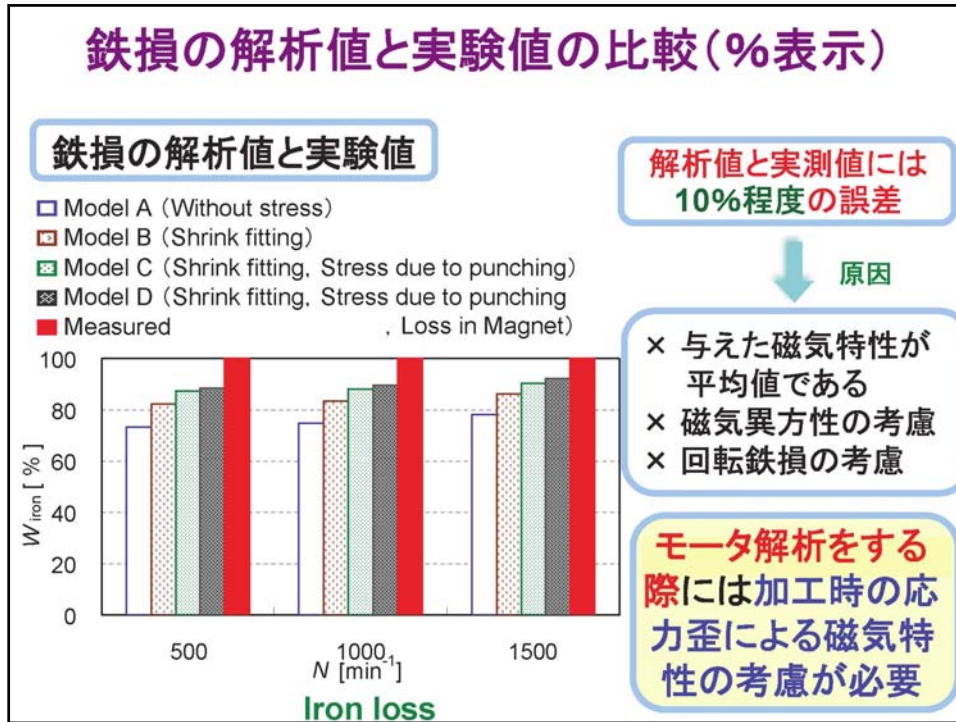


Measurement of B

磁束密度分布 (0deg./15deg.)



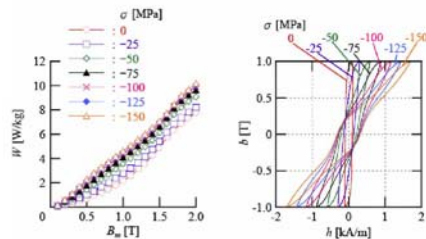
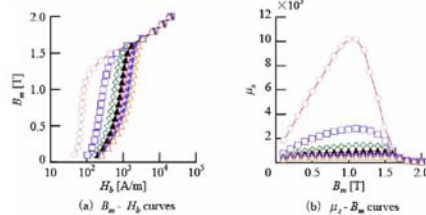
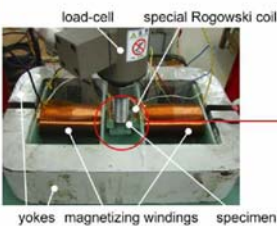
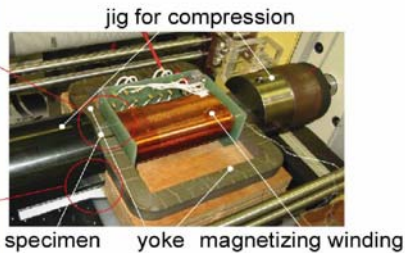
1. 磁界解析と磁気測定を援用した電磁装置の最適設計



2. 解析精度向上のための磁気特性測定技術

磁性材料の材料定数を高精度に測定できる試験器を用いて、種々の使用条件下での磁気特性測定を行っています。測定された結果は、有限要素法による磁気回路解析に使用します。

応力の影響の測定例



1. 磁界解析と磁気測定を援用した電磁装置の最適設計

回転磁界の測定

magnetizing winding air-cooling device

yoke

$B_x [T]$ $B_y [T]$ $B_z [T]$

機械角 [deg]

magnetizing winding for TD (outside) magnetizing winding for RD (inside)

supporting jig

specimen

slit auxiliary yoke

電磁石による磁気特性の測定

hole probe

3. 電気電子機器磁気回路の最適化

磁気ヘッドの例

650 100 100 650

2000

20 100

coil mail pole

shield

SUL

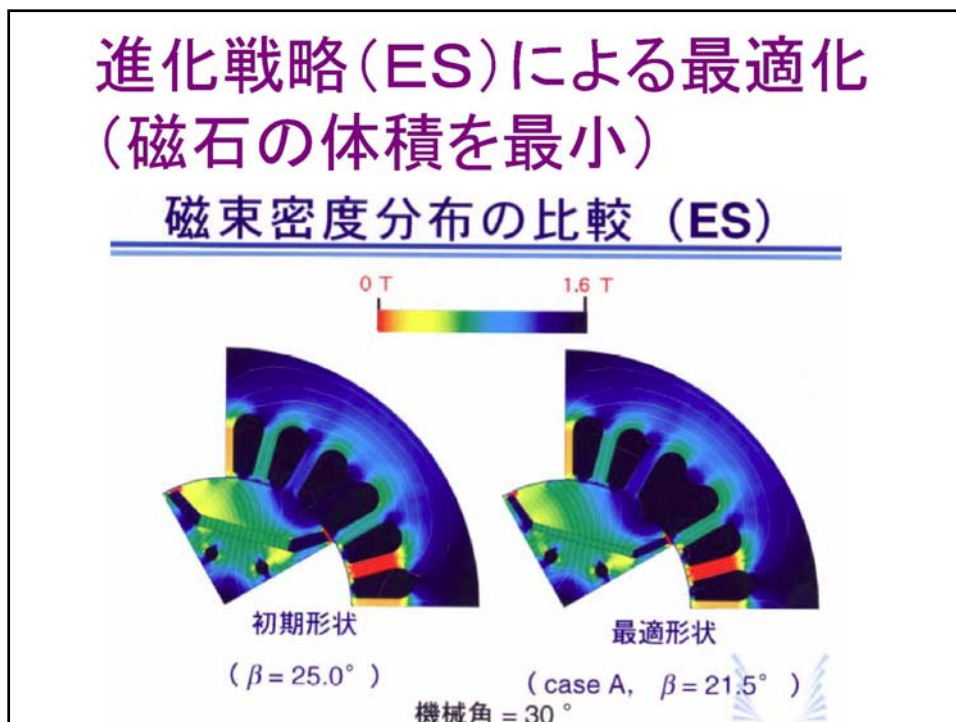
medium

70

Intermediate layer

50 40 60 40 40 40

1. 磁界解析と磁気測定を援用した電磁装置の最適設計



1. 磁界解析と磁気測定を援用した電磁装置の最適設計

共同研究を行なった例

1つのコイルで**均一**に加熱することは不可能

ゾーンコントロール

誘導加熱コイルを**数個**に分け、各コイルの電流や周波数を調整し、グラファイトに生じる渦電流を操作

誘導加熱装置の渦電流解析

(1) 中心部の渦電流損が小さいという問題を解決したい

(2) 均一加熱を実現する電流パターンを求める

ゾーンコントロールの解析結果

与える電流

1 2 3 4 5 6 7 8

150kHz 40kHz

eddy current loss [W/mm³]

graphite area

analyzed value
theoretical value

- ・実現可能な電流値において**均一加熱**が可能
- ・得られる渦電流損も十分な値

1. 磁界解析と磁気測定を援用した電磁装置の最適設計

磁界解析のリアクトル設計への適用

三相リアクトルヨーク部に方向性ケイ素鋼板を使用

小型軽量化および高効率化が可能

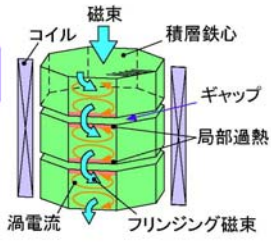


リアクトル...90度接合(バット接合)

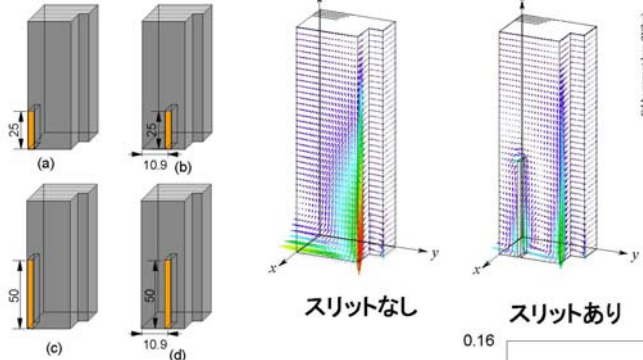


フリッジング磁束による渦電流が鉄心のギャップ部に集中

温度上昇, 局部過熱

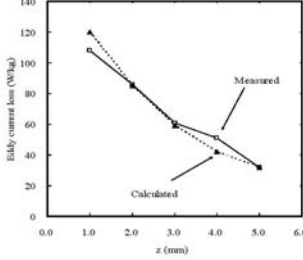


スリットによる損失低減



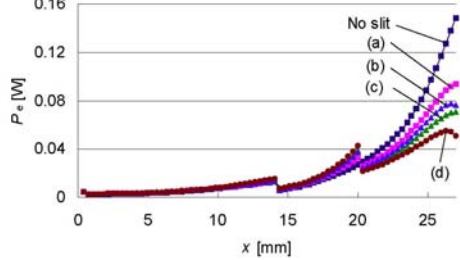
スリットなし スリットあり

渦電流損の解析と実測の比較



周波数[Hz]	60	300	Total
スリットなし	47.5	60.8	108.3
スリット位置(a)	40.0	53.1	93.1
スリット位置(b)	37.8	50.5	88.4
スリット位置(c)	36.1	49.0	85.1
スリット位置(d)	33.3	45.9	79.3

渦電流損が25%程度低減



スリットによる渦電流損の変化