

三次元有限要素法による回転機の高 速高精度数値解析技術の開発

プロジェクト責任者

中村 雅憲 <東洋電機製造>

メンバー

河瀬 順洋, 山口 忠, 中野 智仁, 柴山義康 <岐阜大学>

西川 憲明, 上原 均 <独立行政法人海洋研究開発機構>

回転機の3次元解析の必要性

- これまでの回転機の磁界解析は計算時間を短縮するため、なるべく対称として扱い、解析モデルを小さくしてきた
- 実際の回転機ではたとえばギャップ長は必ずしも均一ではない
- 無方向性の電磁鋼板を使用しているが、圧延方向とその直角方向では磁気特性が5%程度違うといわれている
- 実機に近い状態を解析するには3次元解析が最適である

磁界と構造の連成解析

- 回転機を実機に近い非対称として扱うと、構造上の非対称も扱え、構造解析との連成により振動などの解析にも適用
- 磁界と構造の連成により、ギャップ長の不均一による軸の曲がりも算定できる
- 磁界と構造解析はともに再現性があるので、非対称あるいは不均一が回転機の諸特性に与える影響を正確に算定でき、回転機の性能向上に大変役立つ

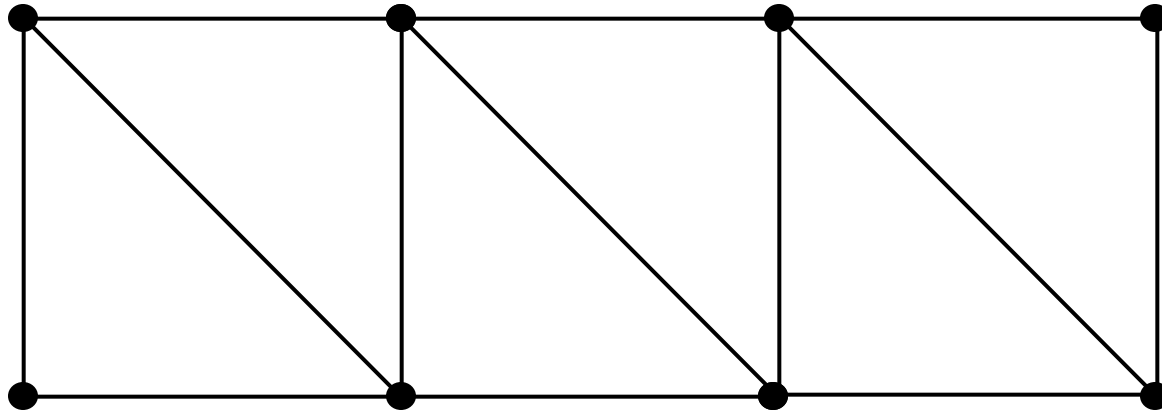
本年度の報告

- 新たな手法で、3次元の渦電流解析を行えるようにした→回転機の損失が評価可能
- これまで回転機を対称として解析していたが、実機に近い**非対称**でも解析が可能となった
- 回転機の磁界解析と構造解析の連成解析に一步前進した

H22年度の成果

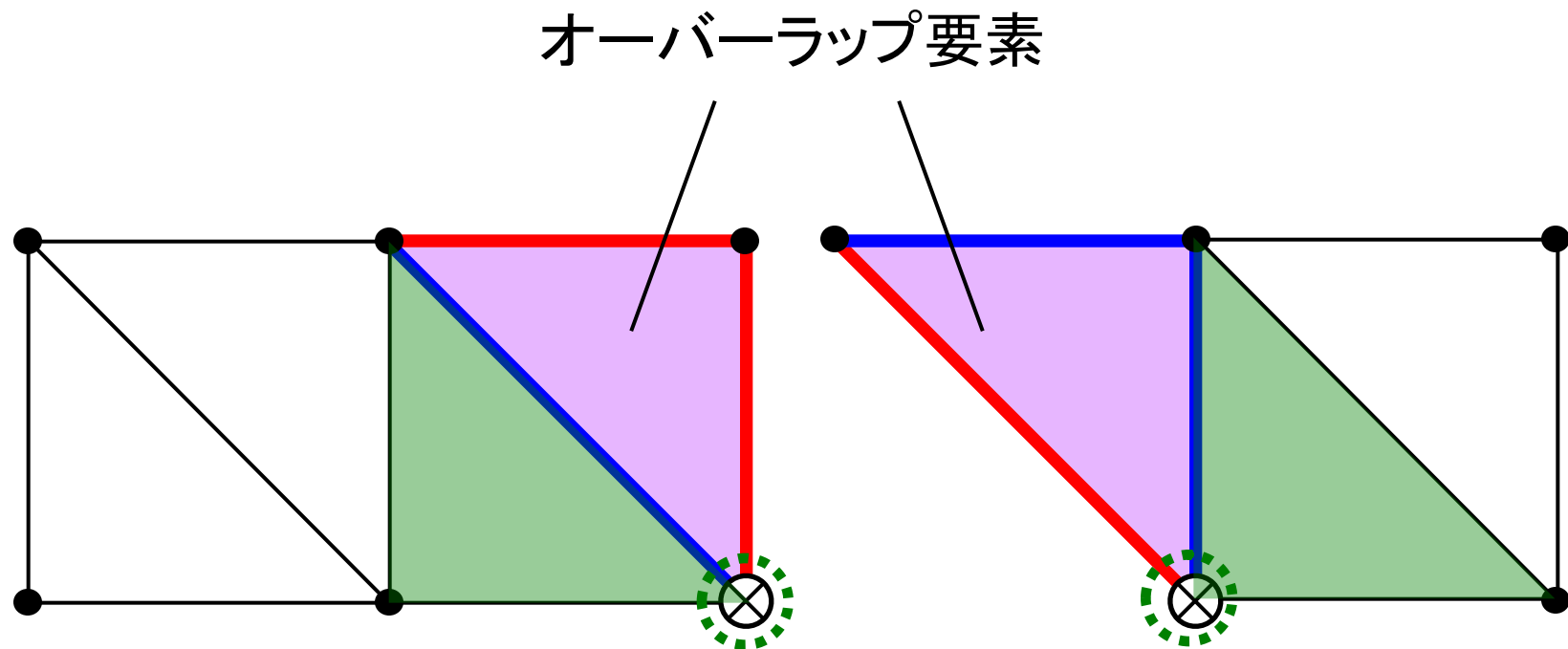
- 渦電流問題を高速に解くことができる手法 ($A-\phi$ 法) の実装
- 磁束分布の周期性により解析領域を削減することができる **周期境界条件** の導入。

領域分割の手順(A- ϕ 法)



辺数がほぼ均等になるように分割

領域分割の手順 (A- ϕ 法)



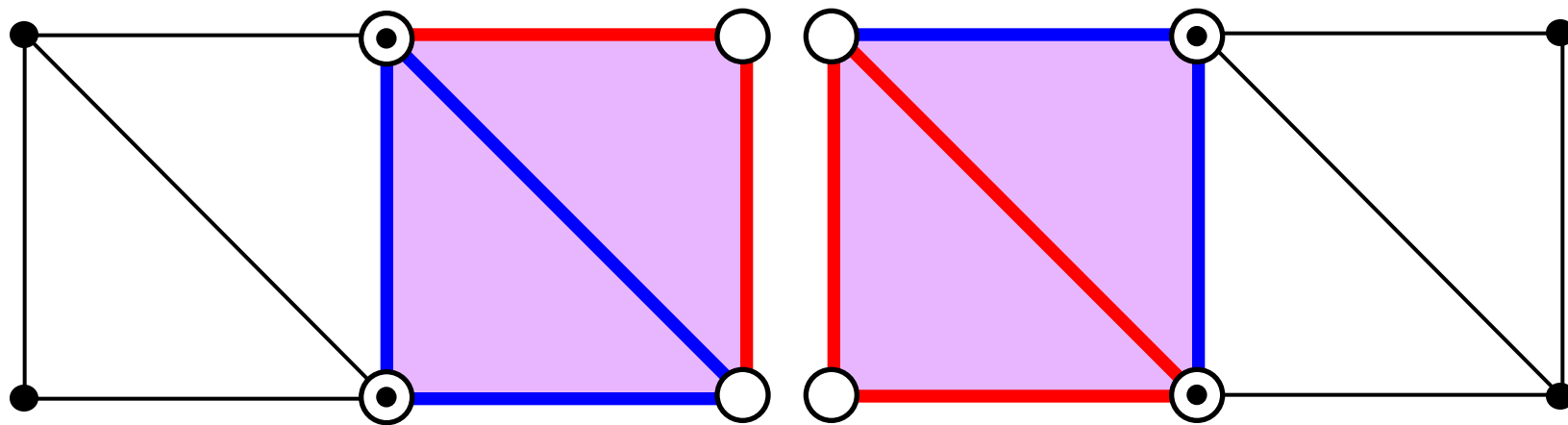
⊗ ポテンシャルが正しく計算できない節点

— 境界辺: 隣接する領域にポテンシャルを送信

— 外辺: 隣接する領域からポテンシャルを受信

領域分割の手順 (A- ϕ 法)

- ◎ 境界点 : 隣接する領域にポテンシャルを送信
- 外点 : 隣接する領域からポテンシャルを受信

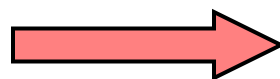
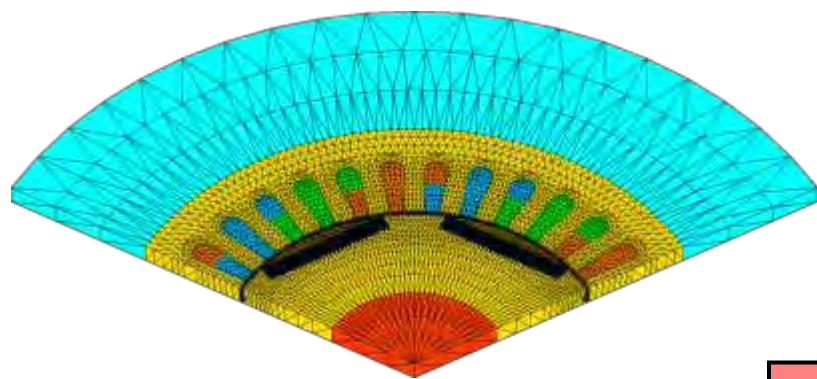


- 境界辺 : 隣接する領域にポテンシャルを送信
- 外辺 : 隣接する領域からポテンシャルを受信

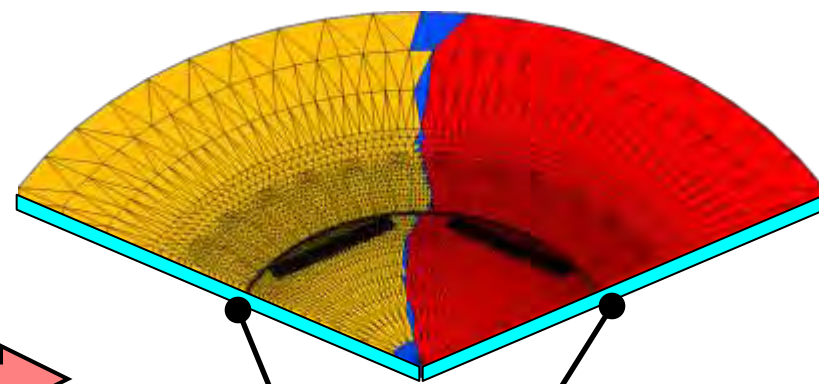
周期境界条件を考慮した並列計算手法

IPMモータ
周方向1/3モデル

- 小領域1
- 小領域2
- オーバーラップ要素



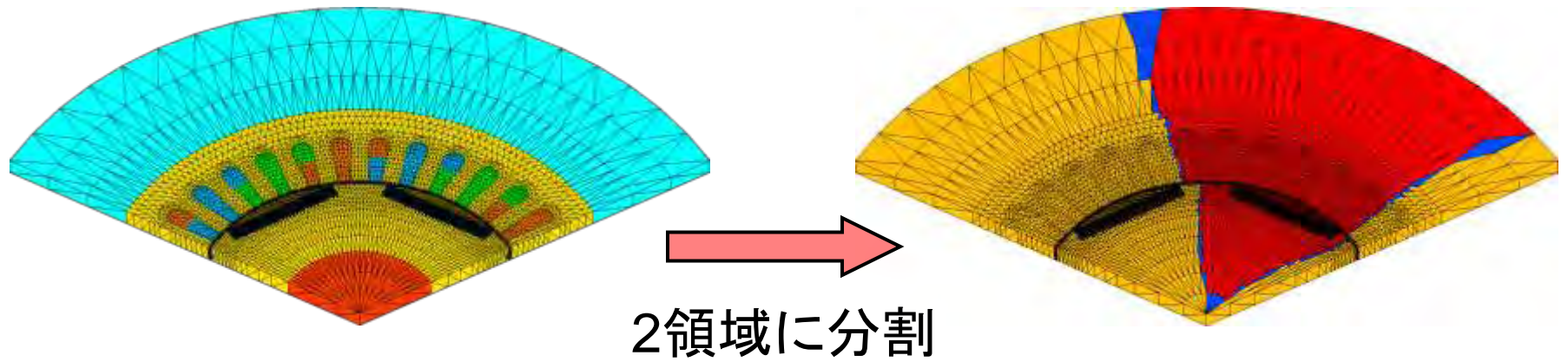
2領域に分割



周期境界上のポテンシャル
について通信が必要

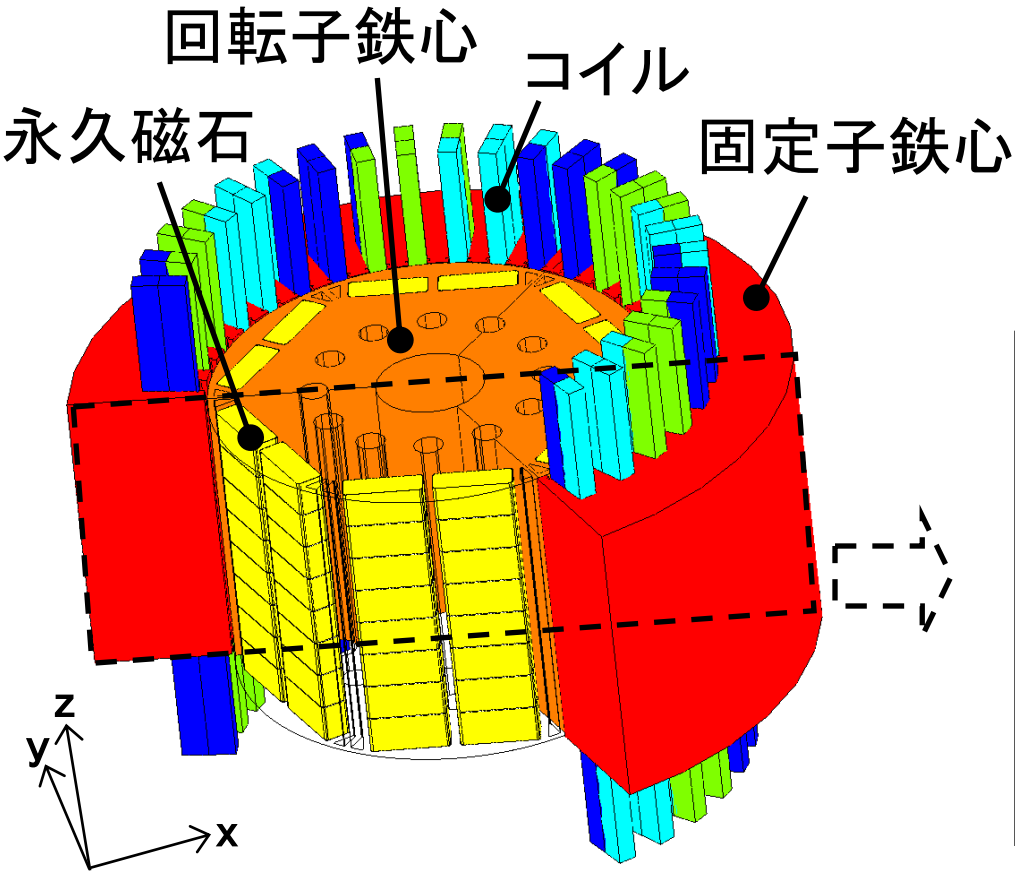
周期境界条件を考慮した並列計算手法

対応する周期境界上の辺を
同一の辺とみなして領域分割



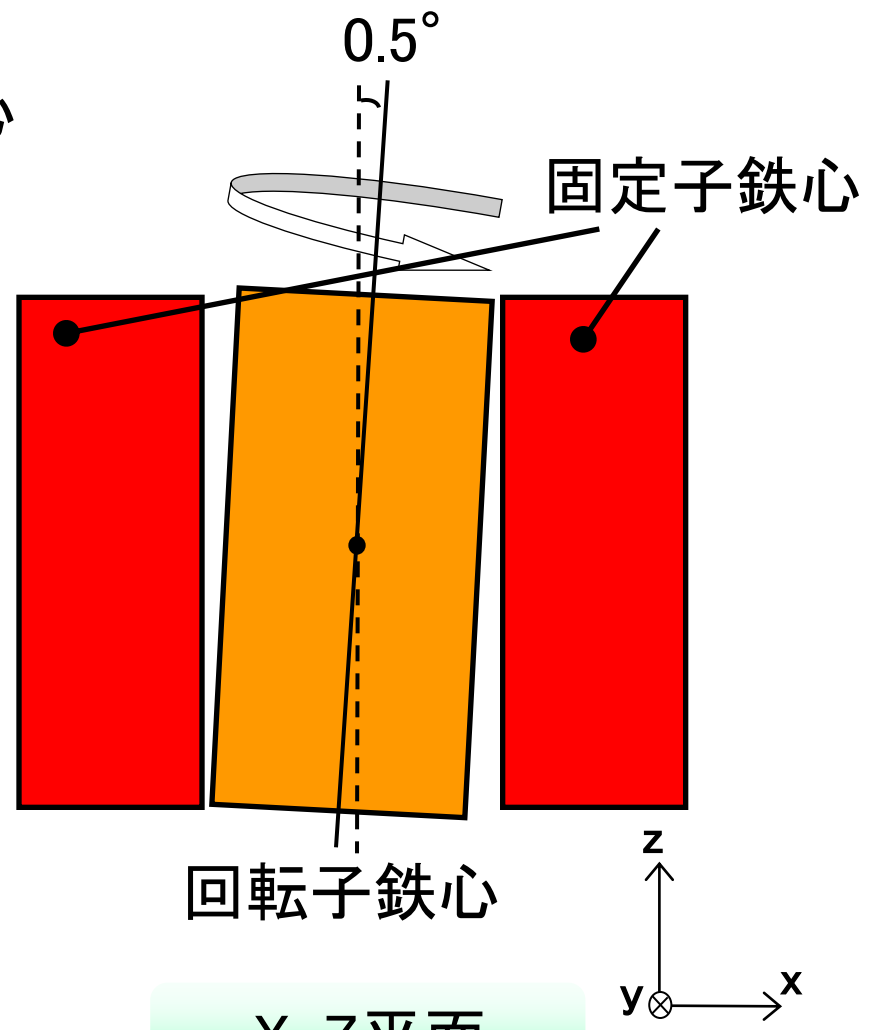
周期境界の通信が**不要**

解析モデル(A-φ法)



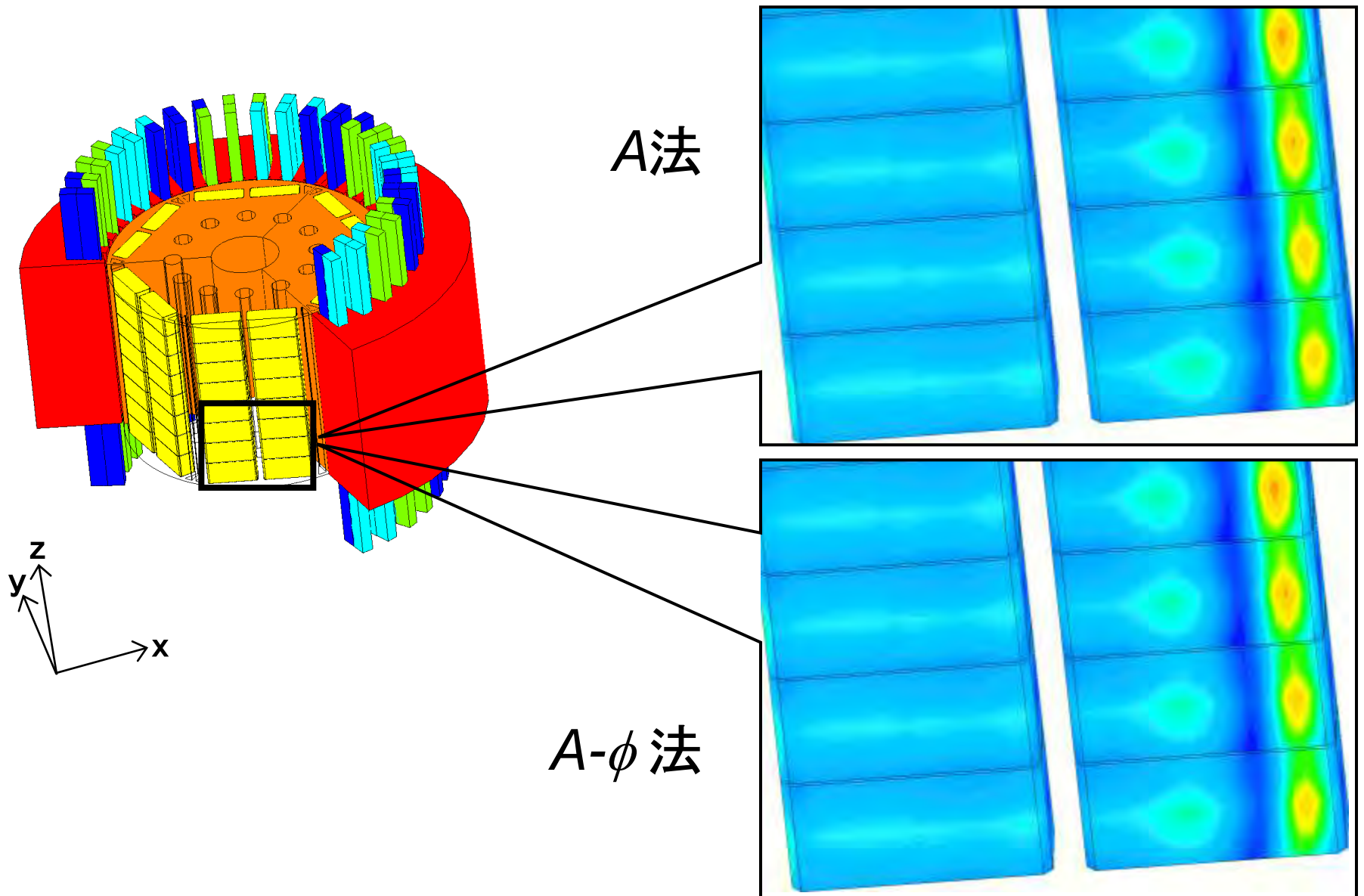
要素数: 5,788,908

全体図



X-Z平面

渦電流密度分布(永久磁石中)



計算時間(1ステップ目)

地球シミュレータ 8ノード(64CPU)使用

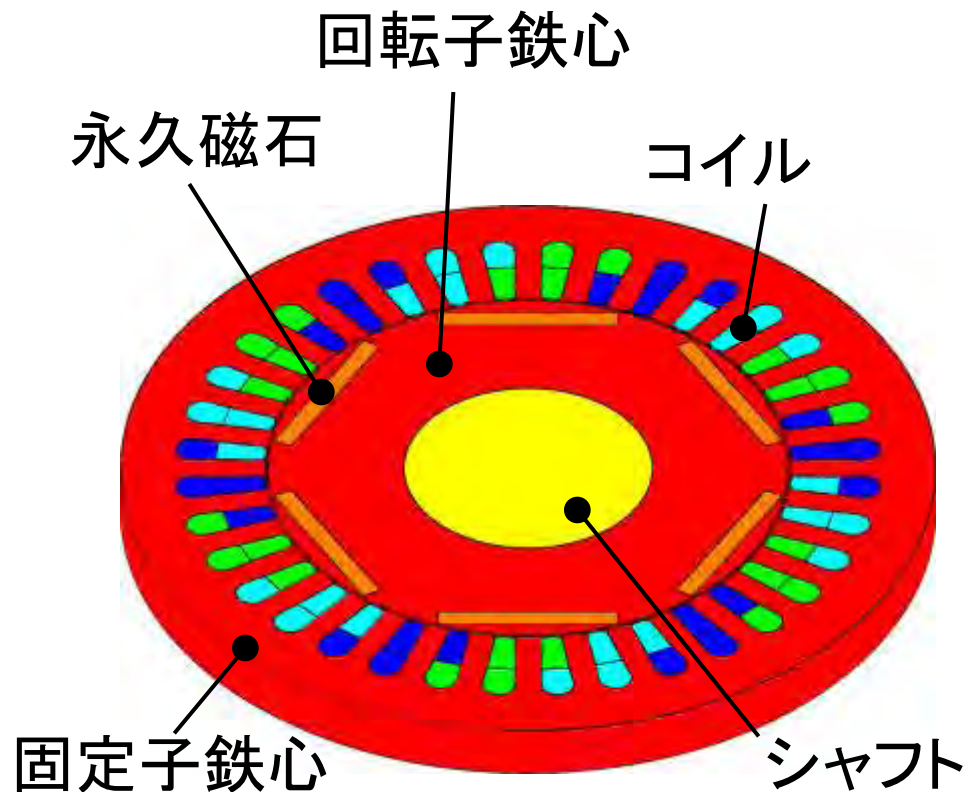
	計算時間(s)	CG法の 反復回数
A- ϕ 法	655.2	195,453
A法	984.3	473,610

1.5倍高速

PC(intel Core i7 3.2GHz搭載)1台だと
49,046秒(約13.6時間)。

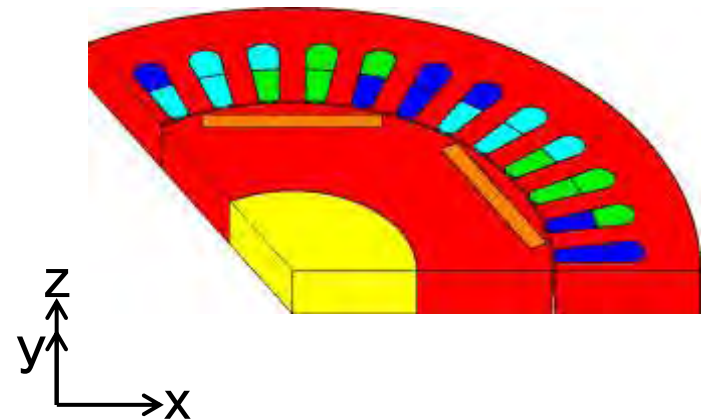
地球シミュレータの**75倍**の時間を要する。

解析モデル(周期境界)



1/11モデル
(軸方向1/11,周方向1/1)

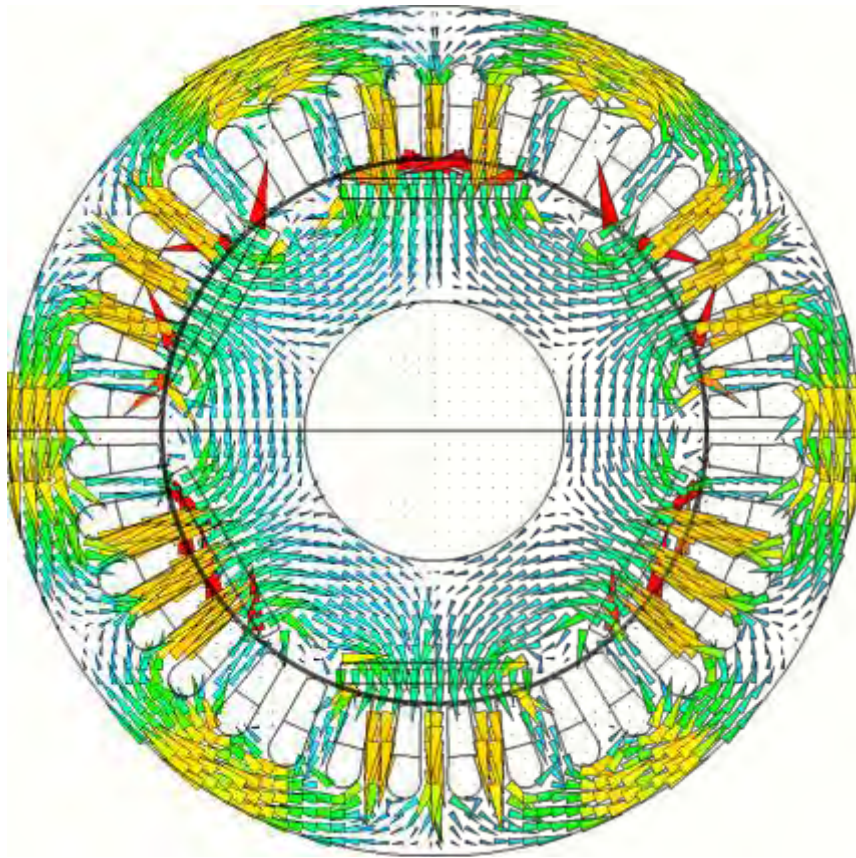
要素数: 7,155,360



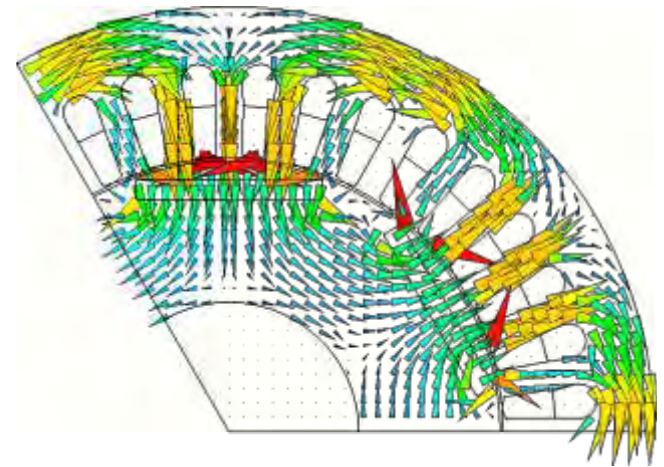
1/33モデル
(軸方向1/11,周方向1/3)

要素数: 2,385,120

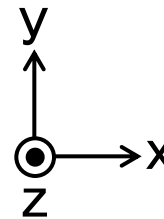
磁束密度ベクトル分布



1/11モデル



1/33モデル



計算時間(1ステップあたり)

地球シミュレータ 8ノード(64CPU)使用

	計算時間(s)	CG法の 反復回数
1/11モデル	678.4	238,345
1/33モデル	256.5	163,338

2.6倍高速

PC(intel Core i7 3.2GHz搭載)1台だと
11,433秒(約3.2時間)。
地球シミュレータの**45倍**の時間を要する。

H22年度の成果 まとめ

- $A-\phi$ 法による渦電流解析の並列計算
 - A法よりも1.5倍高速

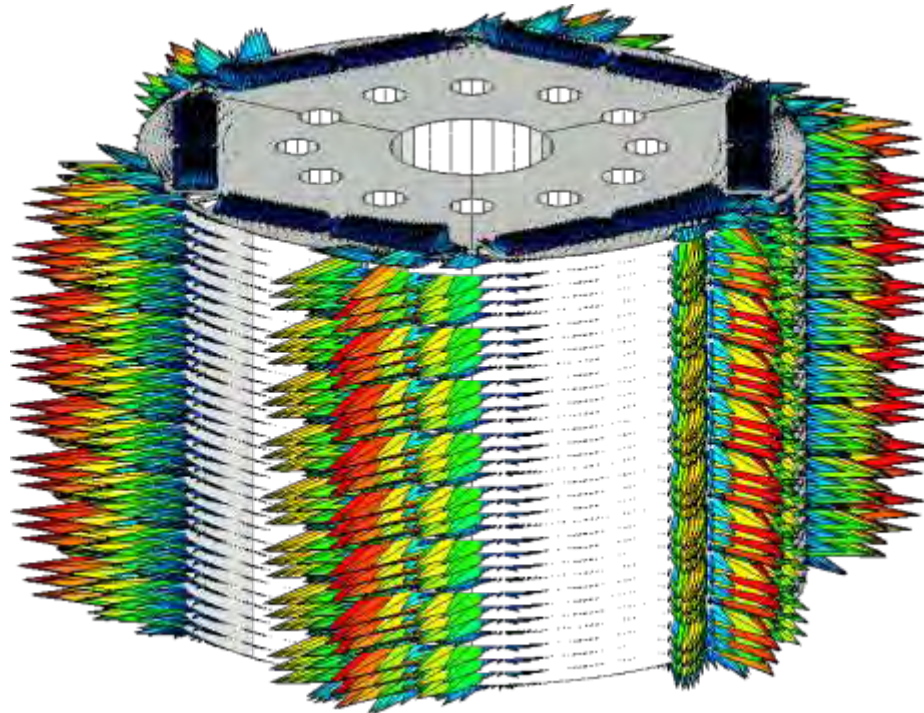
- 周期境界を用いた磁界解析の並列計算
 - 解析領域を1/3に減らすことで約2.6倍の高速化を達成。

積層ギャップ及び面内渦電流の考慮（今後の予定）

- 回転機の鉄心は、絶縁された薄い鋼板を積み重ねて構成される。
- 回転機の損失を精度よく計算するためには、鋼板間の絶縁（積層ギャップ）と、鋼板に流れる渦電流（面内渦電流）を考慮する必要がある。
- 規模がかなり大きくなるため、ESでないと計算できない。

鉄心の応力解析(今後の予定)

- 磁界解析によって求めた電磁力分布を入力として、応力解析を行う。
- 応力分布がわかれば、振動・騒音をシミュレーションで把握することができるようになる。



回転子鉄心の
電磁力分布