

大規模数値解析による 静止器高効率化技術の開発

川崎重工業、岐阜大学、海洋研究開発機構

田宮智彰
(川崎重工業(株)技術開発本部
システム技術開発センター)

2014/10/23
地球シミュレータ
産業利用シンポジウム2014

 **Kawasaki**
Powering your potential

背景

利用分野:「環境負荷を低減する技術開発」

- ◆ 環境負荷を低減するためには？
 - エネルギーの有効利用
 - 機器の高効率化、コンパクト化技術

地球シミュレータ産業利用シンポジウム2014

© 2014 Kawasaki Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved

 **Kawasaki**
Powering your potential

2

背景

エネルギーの有効利用

- 低温熱源バイナリタービン発電、小水力発電
- 二次電池による電力の平準化(鉄道、風力発電)

川重の電気機器(例)

- ◆ グリーンバイナリタービン
- ◆ 大容量ニッケル水素電池 ギガセル
※ 電力変換器含め、自社開発



タービン発電機



ギガセル

© 2014 Kawasaki Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved

 **Kawasaki**
Powering your potential

3

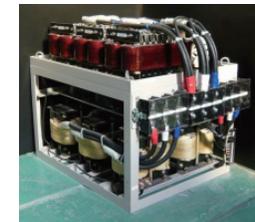
背景

機器の高効率化、コンパクト化技術

- ◆ 高効率化 : 電力使用量の低減
- ◆ 小型化 : 資源使用量の低減



これらを実施するためには
高度な電気機器設計技術が不可欠！



フィルタユニット

© 2014 Kawasaki Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved

 **Kawasaki**
Powering your potential

4

目的

- ◆ 解析対象: フィルタ用リアクトル
 - リアクトルの電磁気現象を有限要素法を用いた電磁界解析によって、定量的に解明する
 - 結果をフィードバックし、設計技術の向上に繋げる
 - ・ 高調波の影響（表皮効果を踏まえた要素分割）
 - ・ コイルの素線分割数の影響（解析領域の詳細化）
 - ・ 構造部材の影響（渦電流を考慮する領域の増加）

➡ 膨大な計算資源が必要になる！

地球シミュレータで解析

2013年度の進捗

◆ 銅線分割の影響

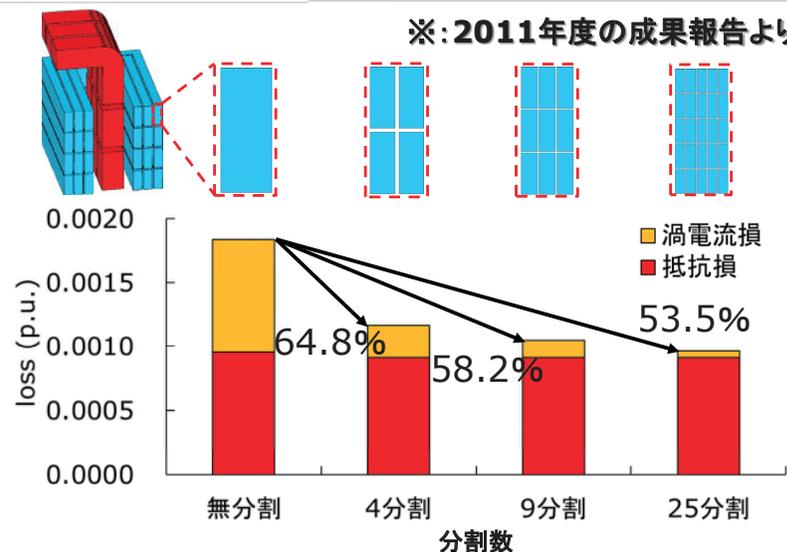
- 低周波数帯域 (60Hz) の検討は昨年度までに完了
- 今年度は高周波数帯域 (4.2kHz) で実施

◆ 冷却器の影響

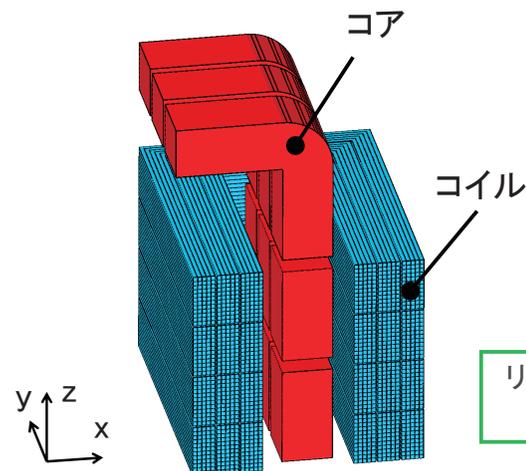
- リアクトルに冷却器 (アルミ製) を組み込んだモデルを作成
- リアクトル特性への影響を解析により検討

銅損(60Hz)

※: 2011年度の成果報告より

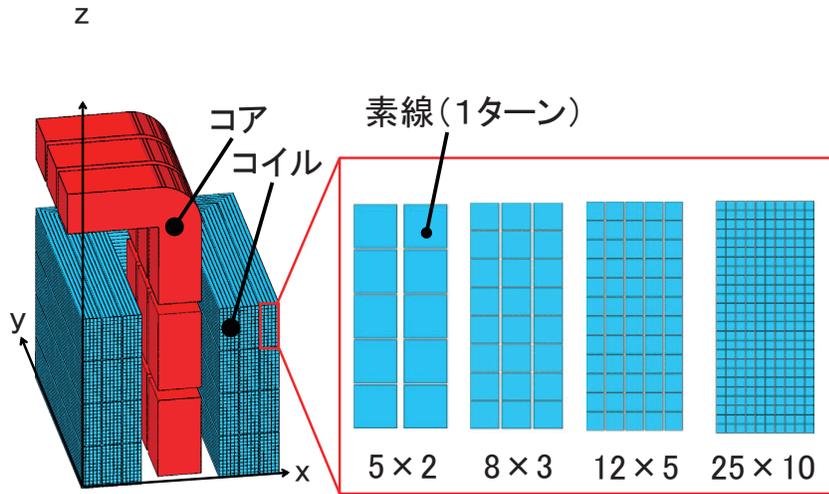


解析モデル



リアクトル全領域の
1/8をモデル化

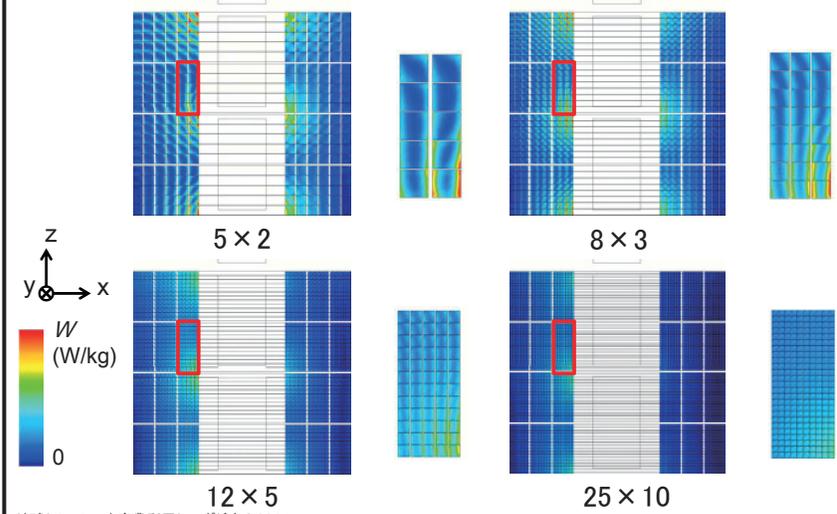
解析モデル



地球シミュレータ産業利用シンポジウム2014

© 2014 Kawasaki Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved

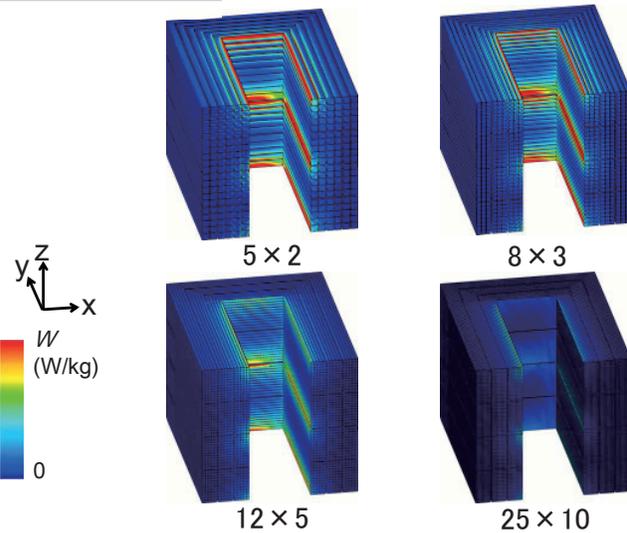
渦電流密度分布



地球シミュレータ産業利用シンポジウム2014

© 2014 Kawasaki Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved

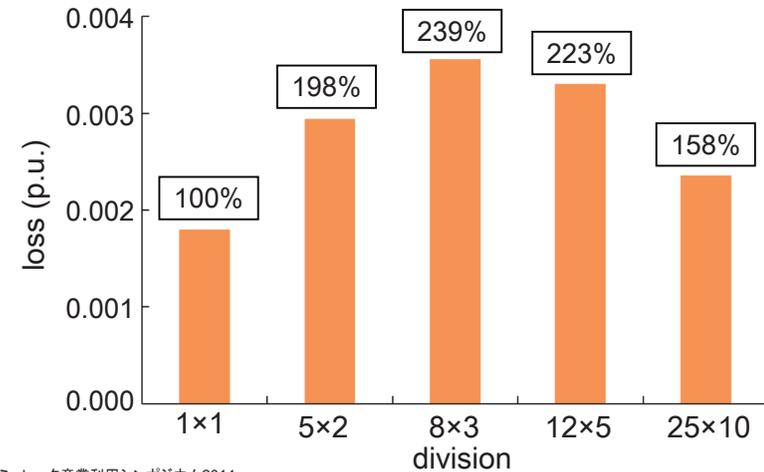
銅損分布



地球シミュレータ産業利用シンポジウム2014

© 2014 Kawasaki Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved

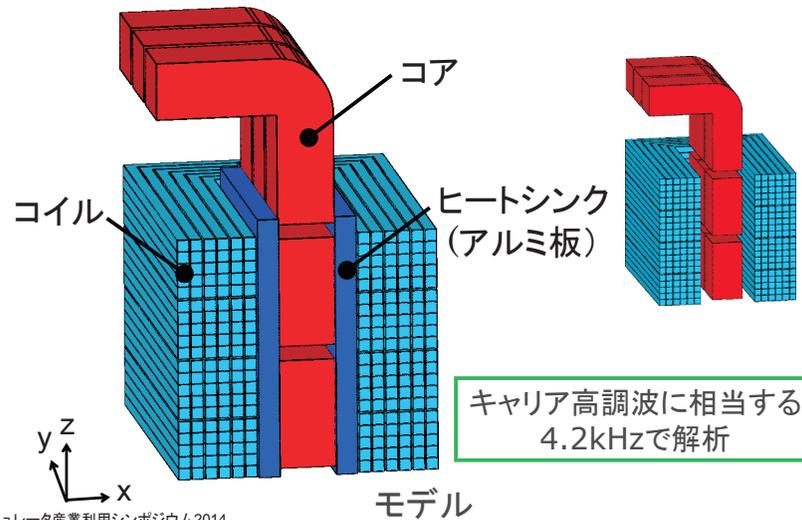
銅損特性



地球シミュレータ産業利用シンポジウム2014

© 2014 Kawasaki Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved

解析モデル

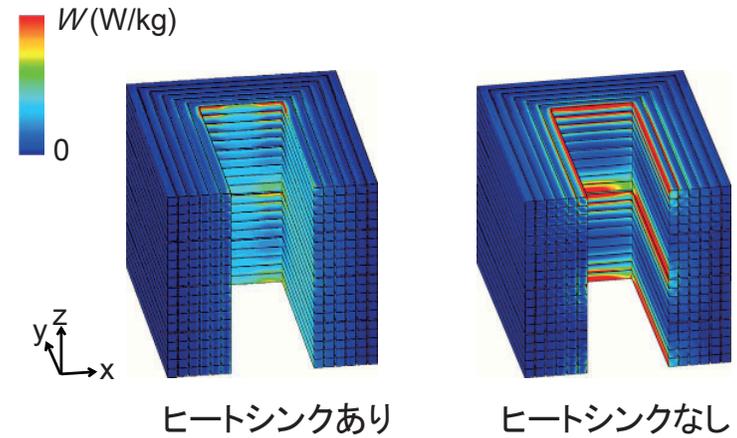


© 2014 Kawasaki Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved

Kawasaki
Powering your potential

13

銅損分布

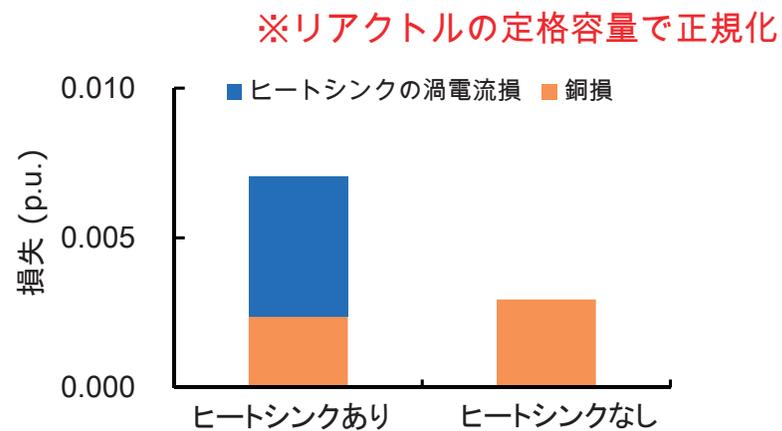


© 2014 Kawasaki Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved

Kawasaki
Powering your potential

14

損失特性



地球シミュレータ産業利用シンポジウム2014

© 2014 Kawasaki Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved

Kawasaki
Powering your potential

15

パフォーマンス

素線分割

| | | | | |
|-------------|---------|---------|----------|----------|
| 銅線分割数 | 5×2 | 8×3 | 12×5 | 25×10 |
| 周波数 (Hz) | 4,200 | | | |
| 要素数 | 3,936万 | 1億632万 | 1億1,170万 | 1億7,192万 |
| 収束判定値 | 1.0E-13 | 1.0E-11 | | |
| 解析方法 | A-φ法 | | | |
| 計算時間 (min.) | 58.84 | 285.01 | 292.81 | 650.176 |
| ベクトル演算率 (%) | 99.019 | 99.649 | 99.641 | 99.675 |
| MFLOPS | 3,676.6 | 6,511.8 | 6,638.6 | 7,083.8 |

16ノード^①(128CPU)使用

地球シミュレータ産業利用シンポジウム2014

© 2014 Kawasaki Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved

Kawasaki
Powering your potential

16

まとめ

◆ 銅線分割

- 高周波帯域における素線分割を明らかにした。
中途半端な分割では銅損が増えてしまう。

◆ 冷却器

- 冷却器を磁気シールドとすることで、巻線への漏れ磁束の低減および銅損の低減と期待した効果が得られる
- 一方で冷却自体の損失が大きいいため、効率は下がる

地球シミュレータ産業利用シンポジウム2014

© 2014 Kawasaki Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved

 Kawasaki
Powering your potential

17

今年度の内容



- ◆ 近年、移動体の電動化が加速している
- ◆ 移動体への電力変換装置の開発が望まれる
求められる要素技術
 - 小型・軽量化**⇒電力変換装置の高周波化によって達成**

地球シミュレータ産業利用シンポジウム2014

© 2014 Kawasaki Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved

 Kawasaki
Powering your potential

18

今年度の内容

◆ リアクトルにおける課題

● 高周波化による損失増加

鉄損、特に渦電流損の増加が懸念
しかし...従来のリアクトルの設計手法は高周波に対応していない



- ◆ 地球シミュレータの利用によって、高周波帯域におけるリアクトルの電磁気現象を定量的に明らかにする
- ◆ 設計・試験・解析の比較し、設計技術を確立する

地球シミュレータ産業利用シンポジウム2014

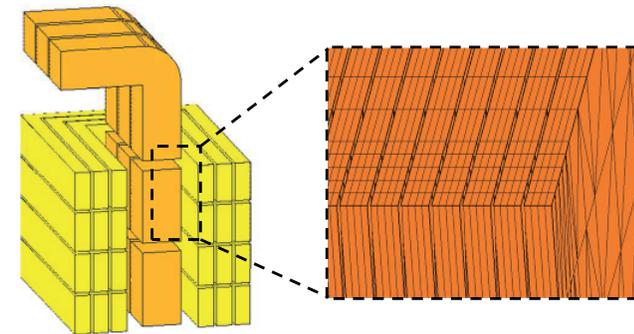
© 2014 Kawasaki Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved

 Kawasaki
Powering your potential

19

今年度の内容

- ◆ コアの積層鋼板をモデル化し、鋼板内の渦電流を考慮



地球シミュレータ産業利用シンポジウム2014

© 2014 Kawasaki Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved

 Kawasaki
Powering your potential

20

まとめ

地球シミュレータの利用による成果

- ◆ これまで困難であったリアクトルの詳細な領域における、定量的評価が可能となった。
 - 大規模数値解析が可能である
 - 実験では見えない磁束・渦電流の可視化
 - 設計技術へのフィードバック
- ◆ 利用の際のサポートの充実
 - 解析実施における課題解決に、一緒に取り組んでいただいた