

高効率バスバーの開発

プロジェクト責任者

関富 勇治 株式会社松尾製作所

著者

関富 勇治^{*1}、小木曾 紀春^{*1}、河瀬 順洋^{*2}、山口 忠^{*2}、中野 智仁^{*2}、小寺 崇^{*2}、
西川 憲明^{*3}

* 1 株式会社松尾製作所

* 2 国立大学法人岐阜大学

* 3 独立行政法人海洋研究開発機構

利用施設：独立行政法人海洋研究開発機構 地球シミュレータ

利用期間：平成 24 年 4 月 1 日～平成 25 年 3 月 31 日

アブストラクト

本プロジェクトでは、三次元有限要素法による磁界解析をベースとしてバスバーの動作特性解析を地球シミュレータ上で実行し、高効率なバスバーを開発する事を目的としている。今年度はバスバー間のクリアランスと損失の関係および三相バスバーのレイアウトがバスバーの損失に与える影響を明らかにした。

キーワード：バスバー、近接効果、表皮効果、磁界解析、レイアウト

1. はじめに

バスバーは様々な電子部品に用いられており、非常に広い分野での利用が見込まれる。よって、バスバーの高効率化は、環境問題に対する省エネルギーの観点から非常に重要な問題である。しかし、電源システムの小型化に伴いスイッチングの高周波数化が進んでおり、バスバーで発生する損失を正確に解析するためには電磁誘導によるバスバー間の近接効果や表皮効果などを詳細に考慮する必要がある。これらを考慮するには、三次元メッシュの細分化やめっきを考慮する必要があるため、数千万以上の三次元メッシュが必要になり、莫大な計算時間を必要とする。そこで、ターゲットとしている問題サイズを現実的な時間で処理するために地球シミュレータの高速ネットワークが必要不可欠になる。今年度は高周波でのバスバー間のクリアランスと損失の関係および三相バスバーのレイアウトがバスバーの損失に与える影響を明らかにした。

2. 近接効果影響解析

2.1 解析モデルおよび解析条件

図1に解析モデルを表1に解析条件を示す。本モデルは近接効果の影響を調査するため、バスバー間のクリアランス 0.2mm から 1.0mm まで 0.2mm ずつの 5 ケースとバスバー間のクリアランス 2mm の計 6 ケースのモデルを作成した。また、バスバーの上下で周波数 200kHz の逆方向の電流を流して解析を行った。本解析は地球シミュレータを 4 ノード (32CPU) 使用して解析を行った。¹⁾

表1 解析条件

板厚 [mm]	0.5
板幅 [mm]	10
長さ [mm]	25
クリアランス [mm]	0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 2.0
電流の向き	逆方向電流

2.2 解析結果

電流密度分布のコンター図を図2に示す。近接効果の影響で逆方向の電流を流すと電流が引き付いている。

クリアランスと渦電流損の関係を図3に、クリアランスと渦電流損増加率の関係を図4に示す。クリアランスが小さくなる程、近接効果の影響が大きくなるためバスバーの損失が大きくなっている。

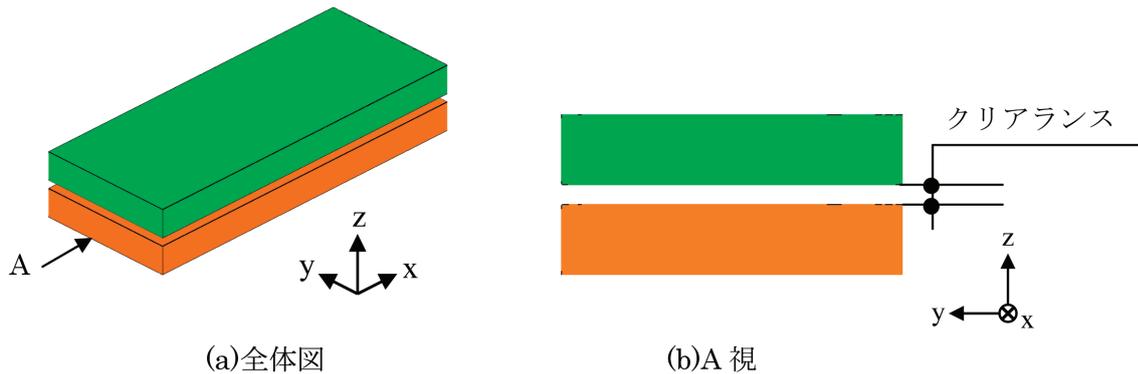


図1 解析モデル

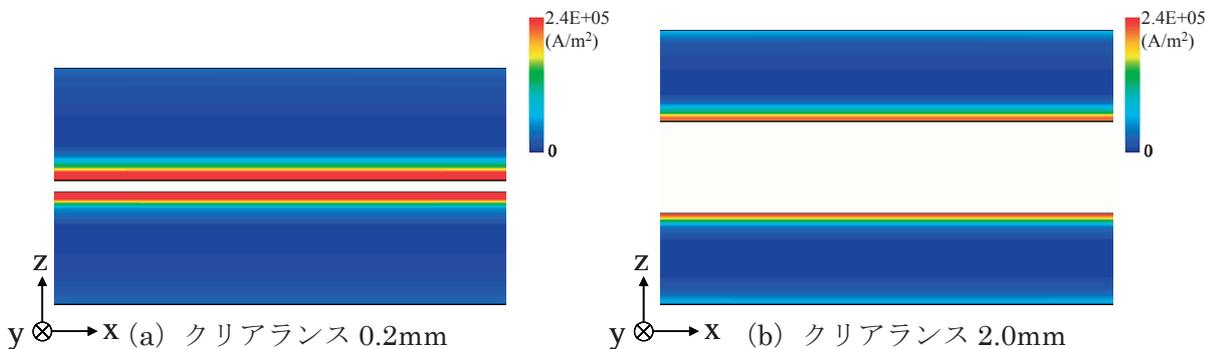


図2 電流密度分布

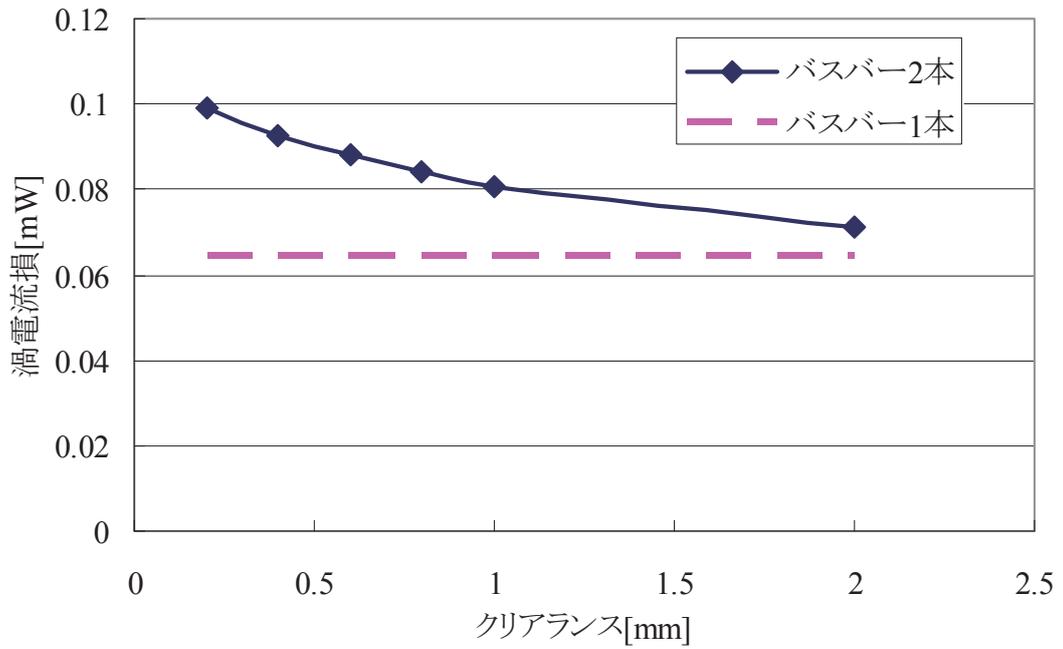


図3 クリアランスと渦電流損の関係

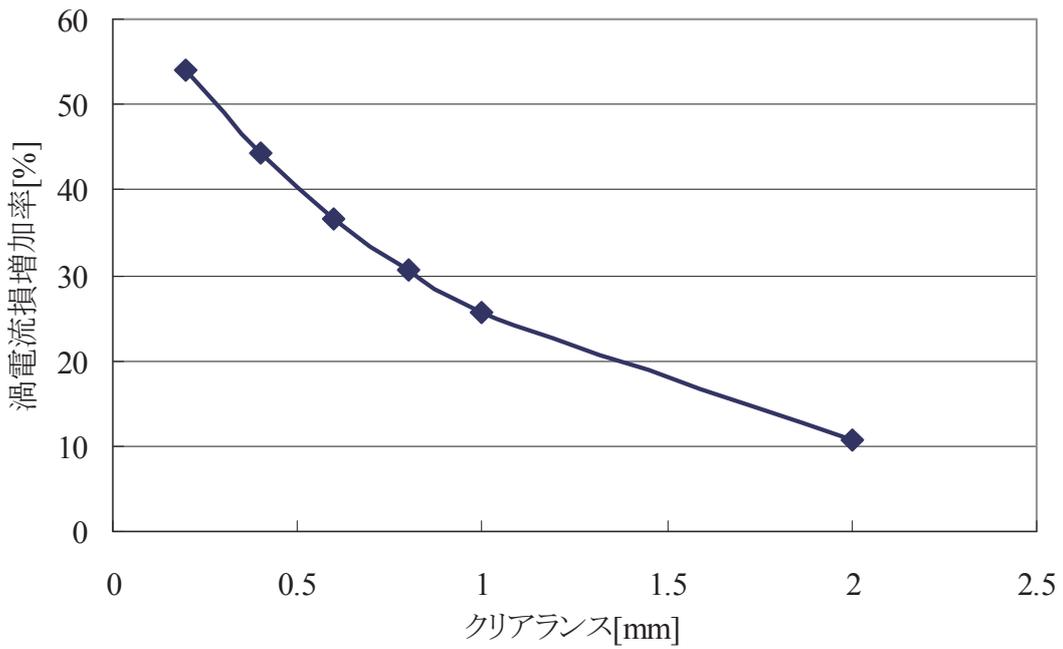


図4 クリアランスと渦電流損増加率の関係

3. 効率化レイアウトの検討解析

3.1 効率化レイアウトの検討

表皮効果のイメージ図を図5に示す。表皮効果の影響でバスバーに流れる電流は長手方向の表面に集中する。そこで、近接効果には電流が集中している図5(b)の赤色の部分の距離が重要になると考え、効率化レイアウトとして図6(b)のように真ん中のバスバーの電流が集中する部分を隣接するバスバーのほとんど電流が流れない中心部に隣接するようなレイアウトを考えた。

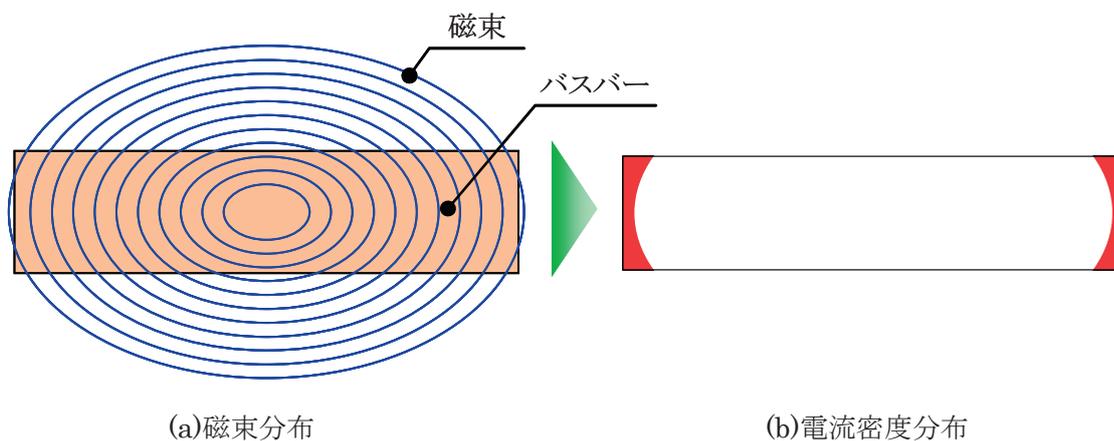


図5 表皮効果イメージ

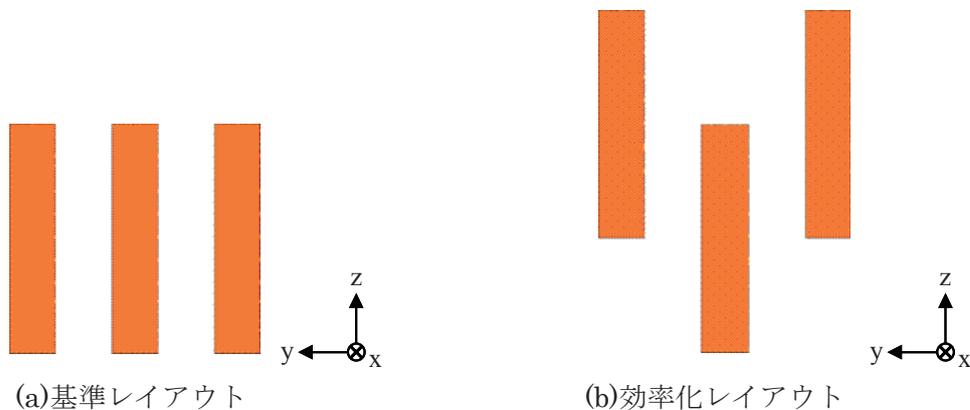


図6 効率化レイアウトの検討

3.2 解析モデル

解析モデルを図7に示す。図6の基準レイアウトと効率化レイアウトの他に2種類のレイアウトと丸線バスバーで2種類のレイアウトをそれぞれバスバー間のクリアランス2.5mmと5mmで解析モデルを作成した。

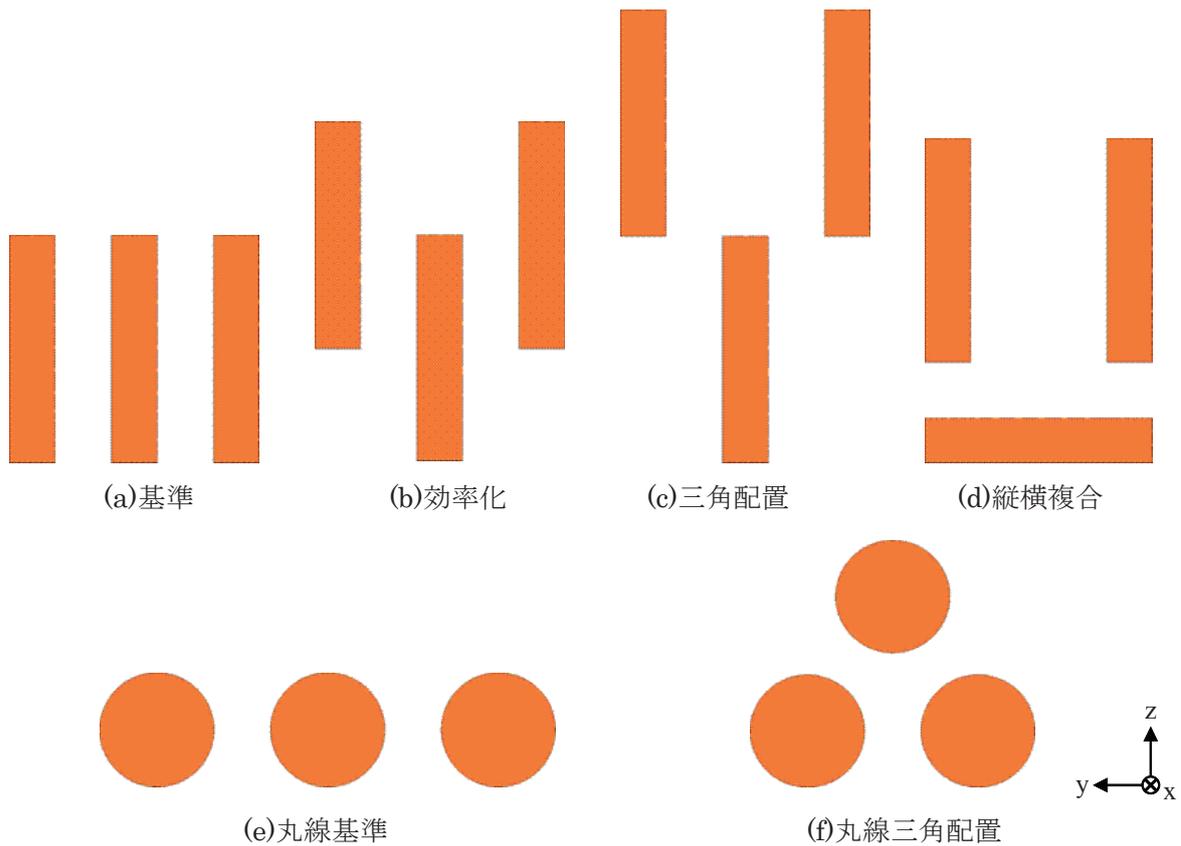


図7 解析モデル

3.3 解析結果

図8に基準レイアウトと効率化レイアウトの電流密度分布を示す。効率化レイアウトでは隣接するバスバーが重なり合っている箇所の近接効果が大きくなっている。

図9に各レイアウトに対する損失の関係を示す。最も損失の小さくなった効率化レイアウトでバスバー間のクリアランスが2.5mmの時、基準レイアウトより10.2%損失が低減した。

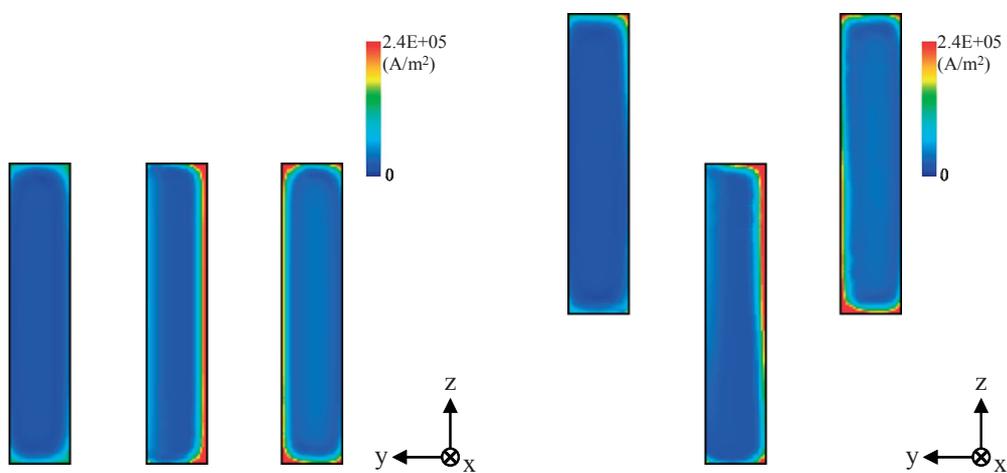


図8 電流密度分布

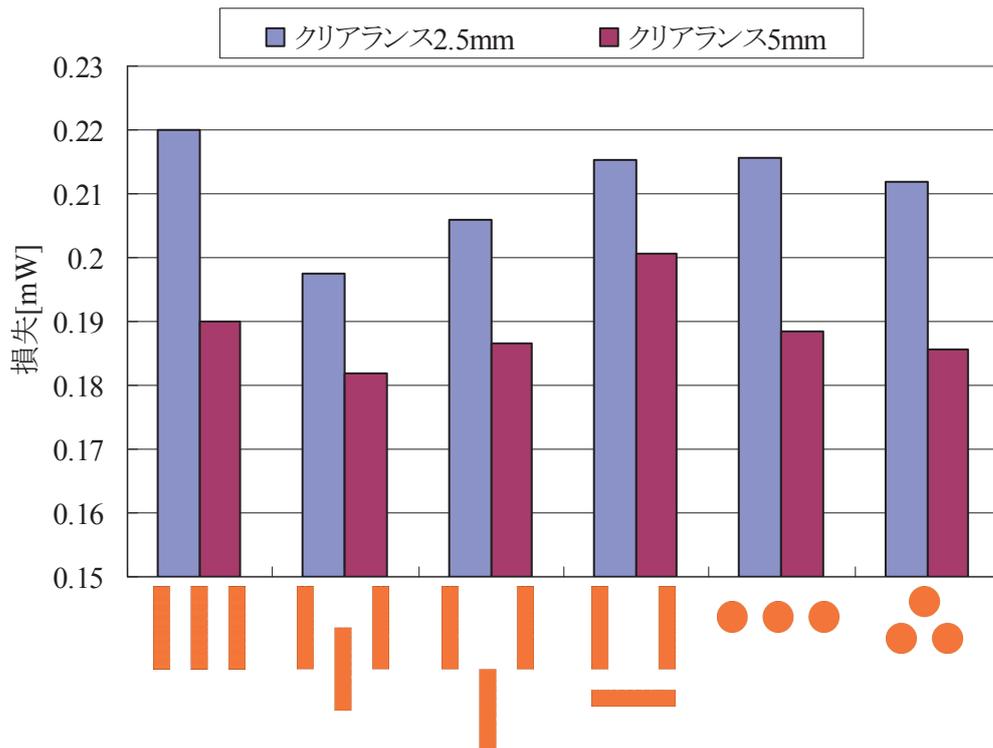


図9 損失×レイアウト

4. 実機形状解析

4.1 解析モデル

解析モデルを図10に示す。基準モデルに対して効率化モデルは、効率化レイアウトの検討で最も効率の良かったレイアウトでモデルを作成した。本モデルは近接効果・表皮効果を考慮するため、表皮メッシュを表皮深さの約1/3で作成しており、要素数は48,599,352である。本解析は地球シミュレータを18ノード（144CPU）使用して解析を行った。

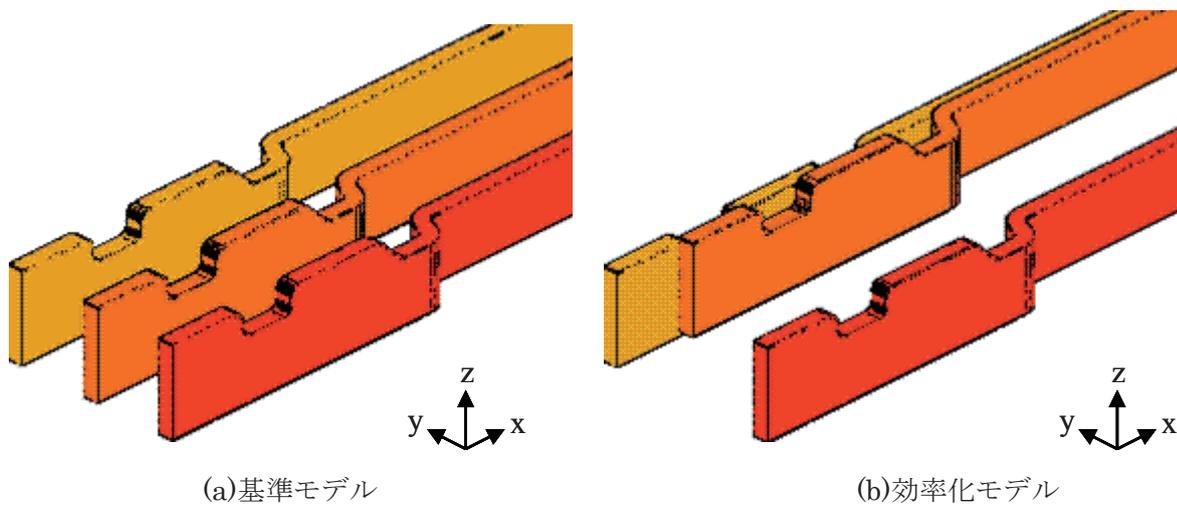


図10 解析モデル

4.2 解析条件

解析条件を表2に示す。本解析は200kHzの三相交流を流し解析を行った。

表2 解析条件

周波数 [kHz]	200
導電率 [S/m]	5.8×10^7
表皮深さ [mm]	0.1477
表皮メッシュサイズ [mm]	0.05

4.3 解析結果

電流密度分布の結果を図11に示す。近接効果・表皮効果の影響でバスバーに流れる電流のほとんどが表面に集中している。

図12にバスバーの損失を示す。効率化レイアウトにすることでバスバーの損失が2.6%低下している。効率化レイアウトの検討では10%程度損失が低下していたがクリアランスが大きくなっているため、近接効果の影響が小さくレイアウトを変えることによる影響も小さくなっていったと考えられる。しかし、今後小型化するにはバスバー間のクリアランスは小さくなっていくため、レイアウトがバスバーの効率に与える影響は大きくなっていくと考えられる。

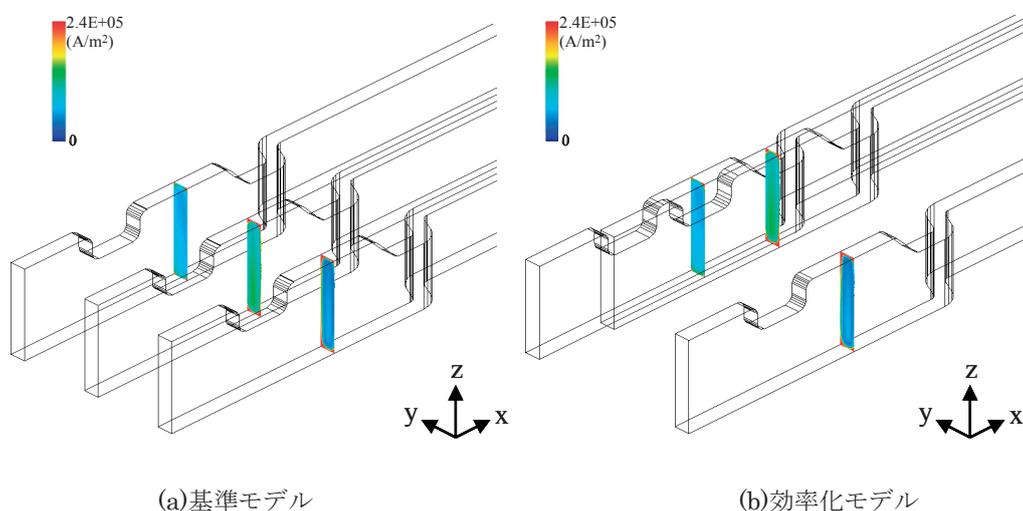


図11 電流密度分布

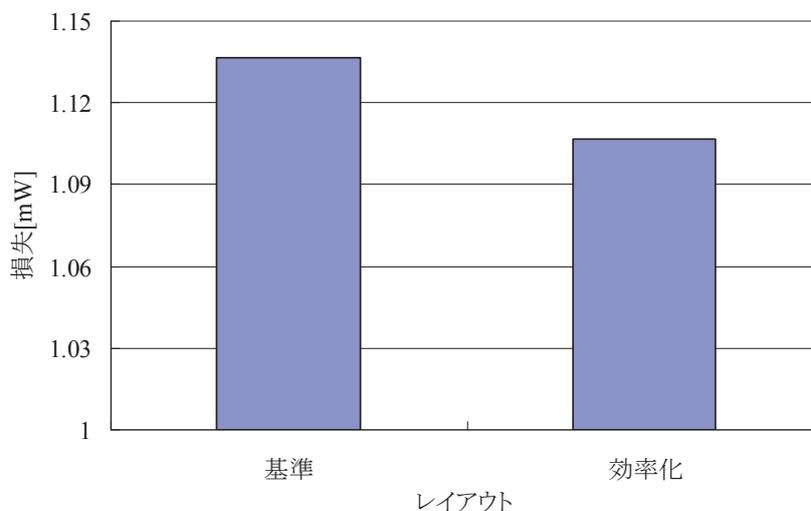


図12 損失×レイアウト

5. まとめ

今年度の解析の結果、バスバー間のクリアランスに対する損失の関係と三相バスバーのレイアウトがバスバーの損失に与える影響を明らかにした。また、バスバーのレイアウト変更による効率化は近接効果の影響が大きいほど効果が大きいため、今後電源システムの小型化によりスイッチング周波数の高周波数化やバスバー間のクリアランスが減少すると、近接効果の影響が大きくなるため、バスバーのレイアウトは非常に重要になっていく。

謝 辞

地球シミュレータを利用するに際して、独立行政法人海洋研究開発機構地球シミュレータセンターシミュレーション応用研究グループの皆様には、親切なご指導と多大なアドバイスを頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 中野智仁, 河瀬順洋, 山口忠, 鶴飼真吾, 中村雅憲, 西川憲明, 上原均: 「回転機のための電圧源を考慮した三次元有限要素解析の並列計算手法」, 電気学会マグネティックス・静止器・回転機合同研究会資料, MAG-10-40/SA-10-40/RM-09-26, 2010.