

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}、大野 雄希^{*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 23 年 4 月 1 日～平成 24 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。今年度は高周波でのバスバーの近接効果・表皮効果を考慮した解析を行い、高周波バスバーの解析において近接効果・表皮効果を考慮する重要性を明らかにした。また、めっきを考慮したモデルにて材質や形状等を変更した解析を行い、各種条件がバスバーの効率に及ぼす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、めっき

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の近接効果・表皮効果を考慮した解析とめっきを考慮したモデルにて各種条件を変更した解析を行った。

2. 近接効果・表皮効果を考慮した解析

2.1 表皮メッシュサイズ検討

最適な表皮メッシュサイズを検討するため、表皮メッシュサイズを(1)式で計算される表皮深さ0.1477mmに対し0.05mmから0.4mmまで変更したモデルで損失を比較した。検討に用いた解析モデルを図1に表皮メッシュサイズに対する損失を図2に示す。表皮メッシュサイズを表皮深さ0.1477mmに対し約1/2以下にすることで損失はほぼ一定になっている。今回検討で用いたモデルは単純な形状のため実際に解析を行うモデルの表皮メッシュサイズは表皮深さの約1/3で作成する。

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\sigma\mu_0\mu_r}} \quad (1)$$

ここで、 ω は角速度 ($2\pi f$)、 σ は導電率、 μ_0 は真空の透磁率、 μ_r は比透磁率である。

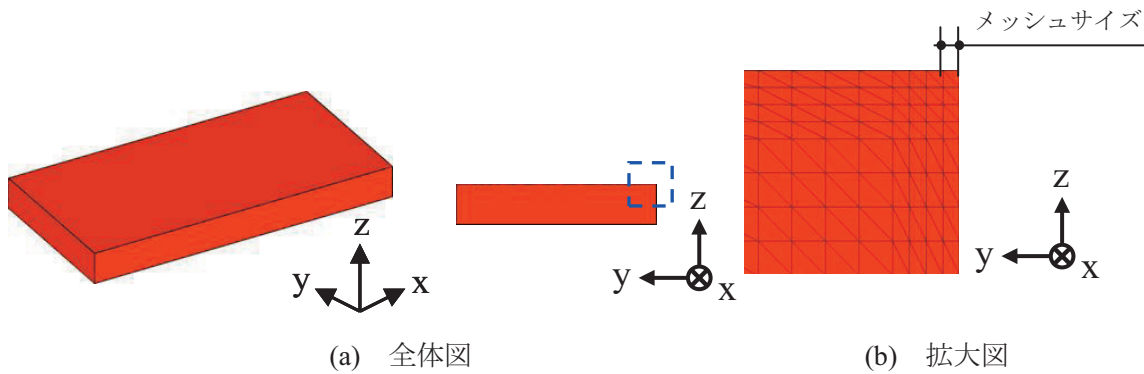


図1 解析モデル

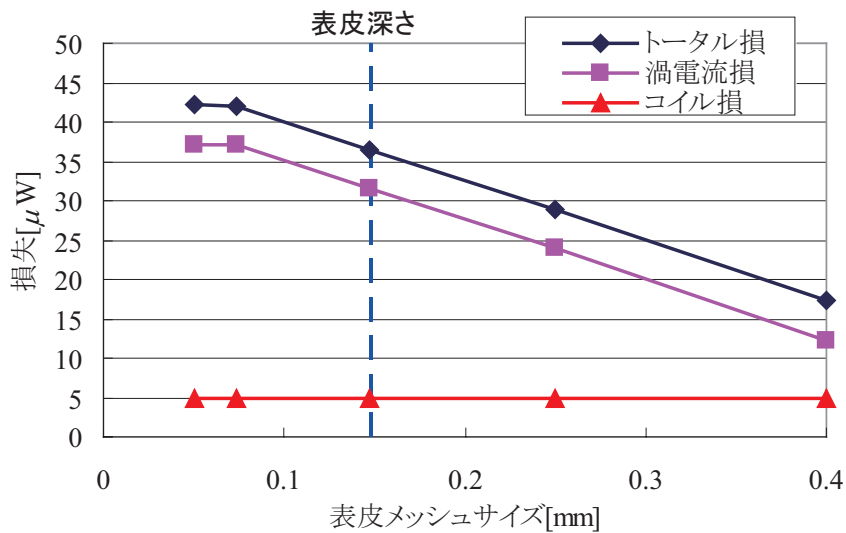


図2 損失

2.2 解析モデル

図3に三相バスバーの解析モデルを示す。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3000万を超える大規模なモデルとなっている。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。¹⁾

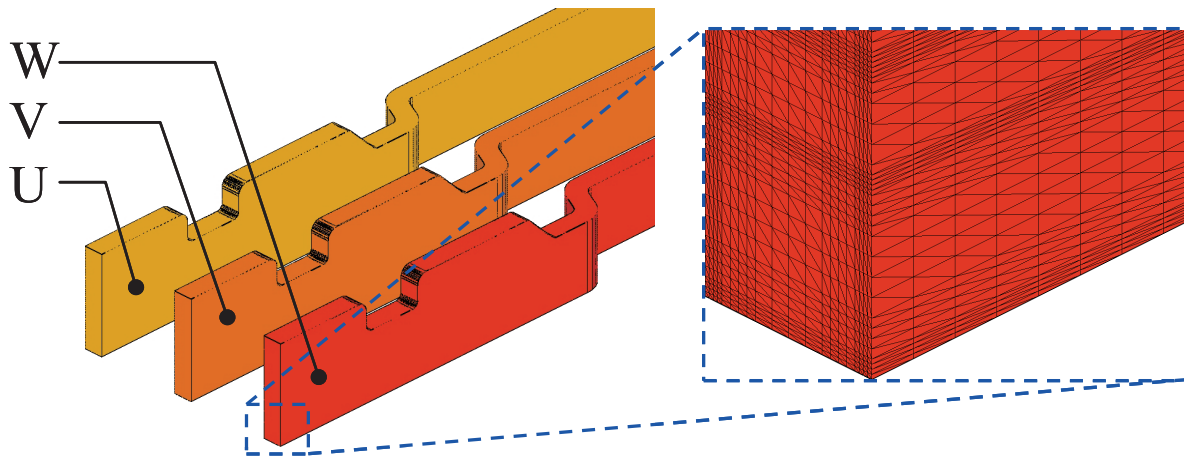


図3 解析モデル

2.3 解析条件

解析条件を表1に示す。本解析は200kHzの三相交流を流し解析を行った。

表1 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

2.4 解析結果

表2にバスバーの損失を示す。バスバーの損失のうち渦電流損の占める割合が70%以上を占めており、高周波バスバーの損失を正確に把握するには渦電流を考慮した十分細かいメッシュで作成したモデルでの解析が必要となる。

電流密度分布の結果を図4に示す。なお、比較のため渦電流を考慮していないモデルの解析結果も併せて示す。渦電流を考慮した解析では近接効果・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。

表2 損失

コイル損 [mW]	渦電流損 [mW]	トータル損 [mW]
0.241	0.582	0.815

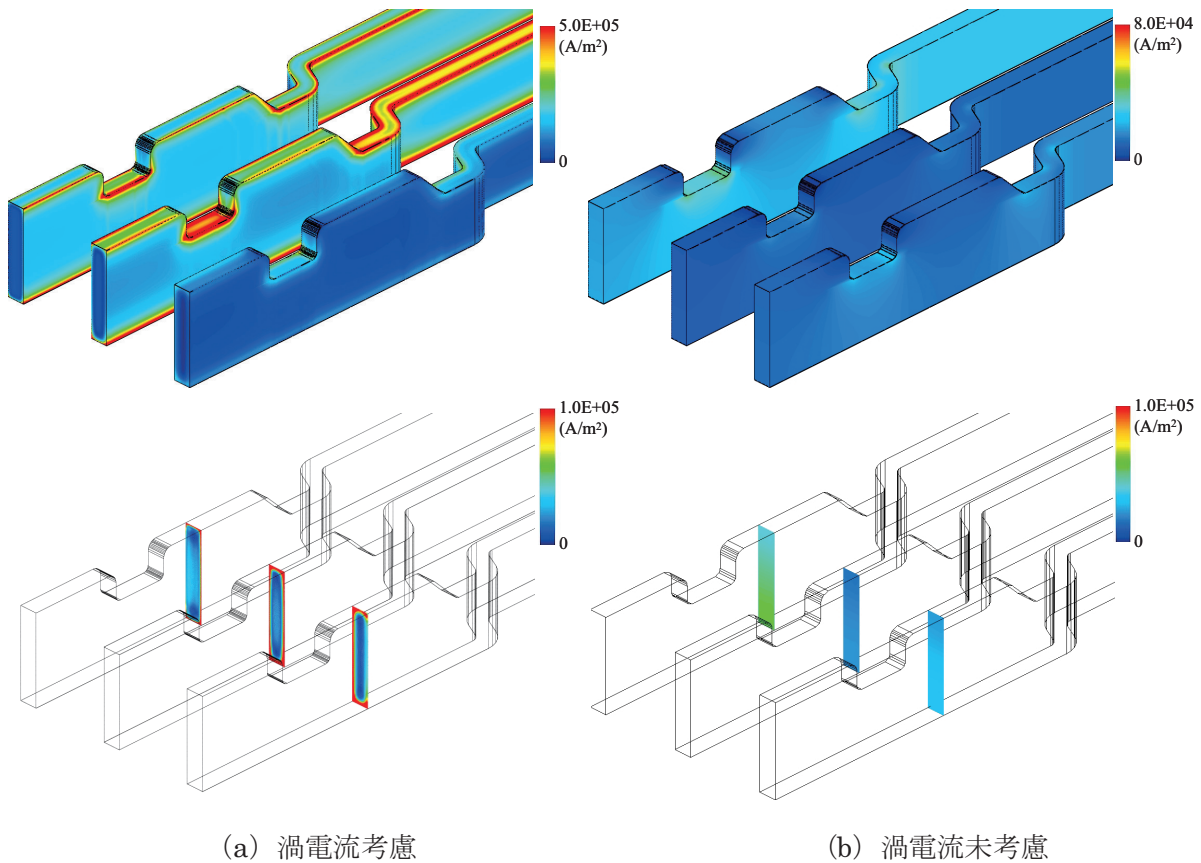


図4 電流密度分布

3. めっきを考慮した解析

3.1 解析条件

解析条件を表3に示す。基準の条件に対して各種条件を変更して解析を行った。但しめっき厚を変更した解析では母材導電率 2.0×10^7 [S/m] でも解析を行った。

表3 解析条件

項目	基準値	変更値
母材導電率 [S/m]	5.8×10^7	2.0×10^7 , 6.3×10^7 , 10.0×10^7
めっき導電率 [S/m]	6.3×10^7	1.6×10^7 , 5.8×10^7
周波数	200kHz	1kHz, 20MHz, 160MHz, 200MHz
めっき厚 [μ m]	5	1.4, 14, 70, 110, 140, 170
形状	ストレート	90度曲げ、45度曲げ、円弧、穴あり

3.2 解析モデル

解析モデルを図5に示す。今年度は各種条件による影響を正確に把握するため単純な形状で解析を行った。

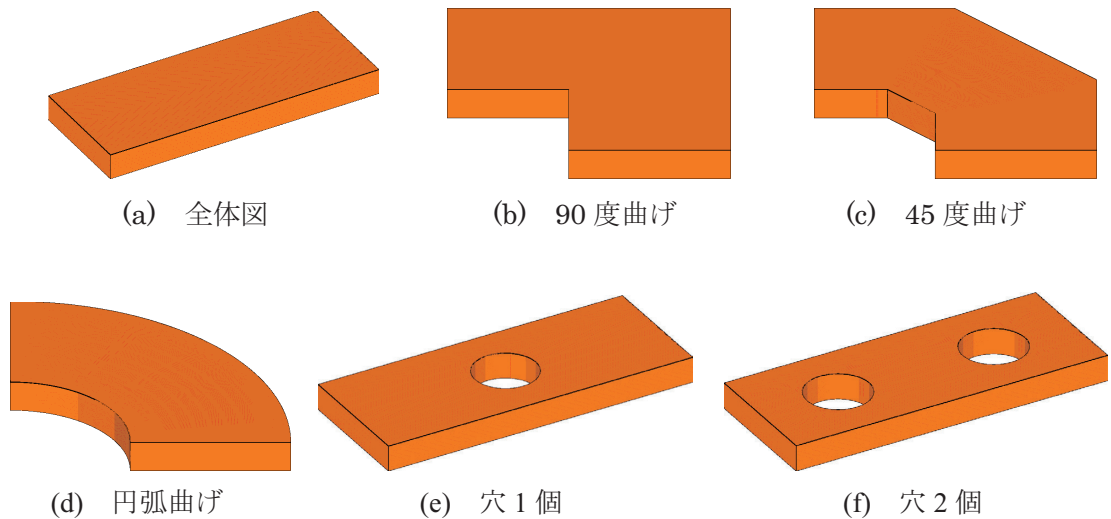


図5 解析モデル

3.3 解析結果

3.3.1 導電率による影響

図6に母材及びめっきの導電率を変更した時のバスバーの損失を示す。母材の導電率が高くなるとバスバーの抵抗値が小さくなるため損失が低下している。また、めっきの導電率を変更しても母材に比べめっきの体積が非常に小さいため、バスバーの損失はほとんど変化していない。

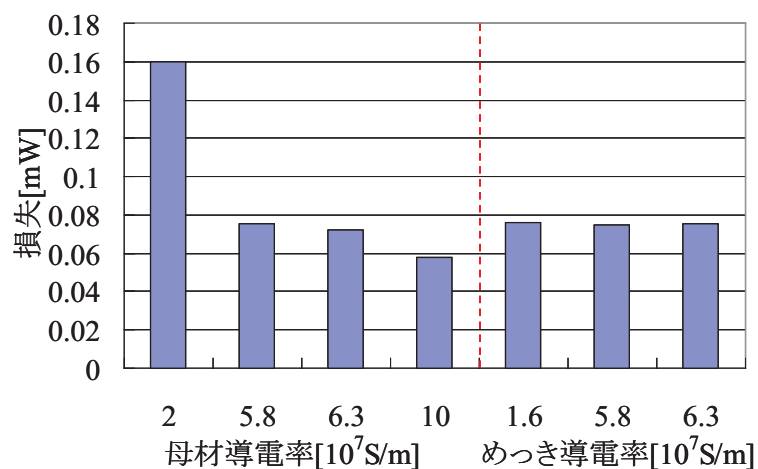


図6 導電率による影響

3.3.2 周波数による影響

図7に各周波数におけるバスバーの損失とバスバーの損失のうちめっきの損失が占める割合を、図8に周波数におけるバスバーの電流密度分布を示す。(1)式より周波数が高くなると表皮深さが小さくなるため、バスバーの抵抗が大きくなり損失が増加している。また、高周波になると表皮深さに対するめっきの占める割合が大きくなるためバスバーの損失のうちめっきの損失が占める割合が大きくなっている。

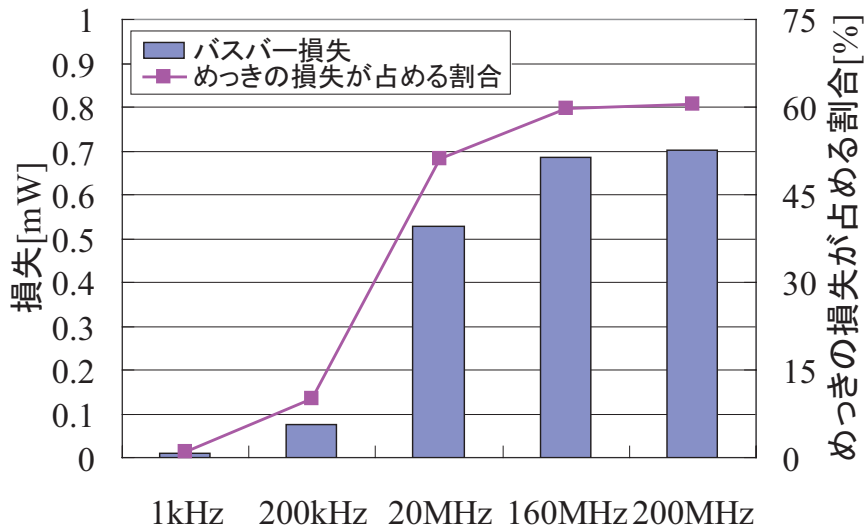


図7 周波数による影響

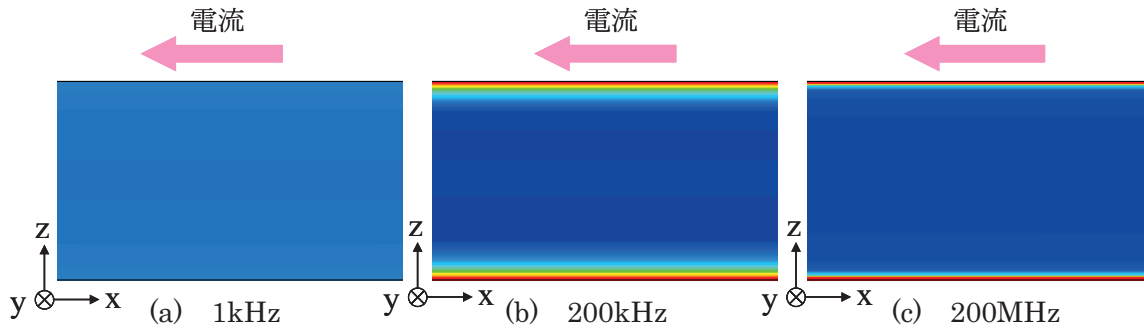


図8 電流密度分布

3.3.3 めっき厚による影響

めっき厚を変更した結果を図9に示す。めっき厚を厚くするとバスバーに流れる電流のほとんどがめっきに集中しているため母材の導電率による影響は小さくなっている。

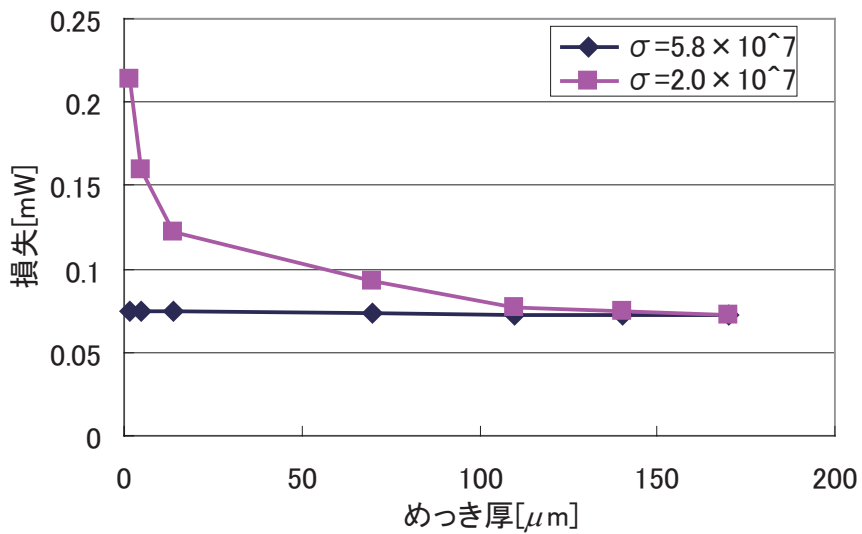


図9 めっき厚による影響

3.3.4 形状による影響

図10に曲げ形状を変更した結果を、図11に穴の数を変更した結果を示す。曲げ形状では円弧に対し曲げ角度を90度にするると損失が約10%増加している。また、穴あり形状では穴の数に比例して損失が増加している。

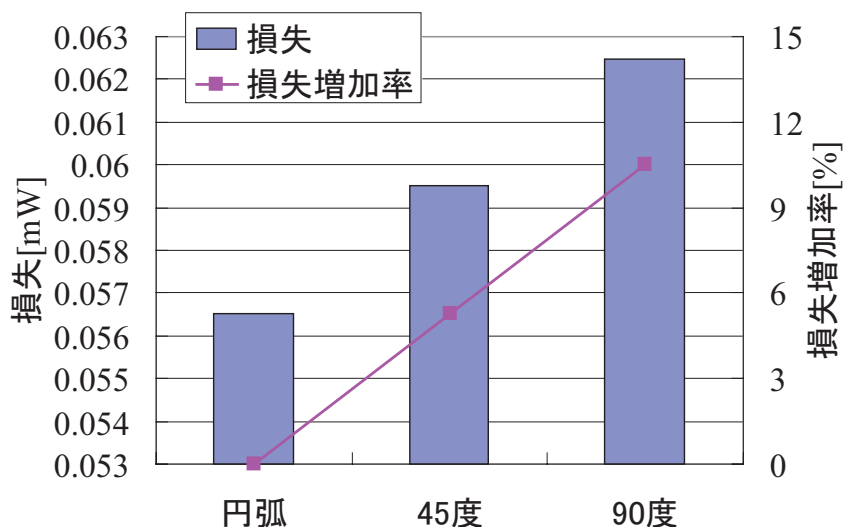


図10 曲げ形状による影響

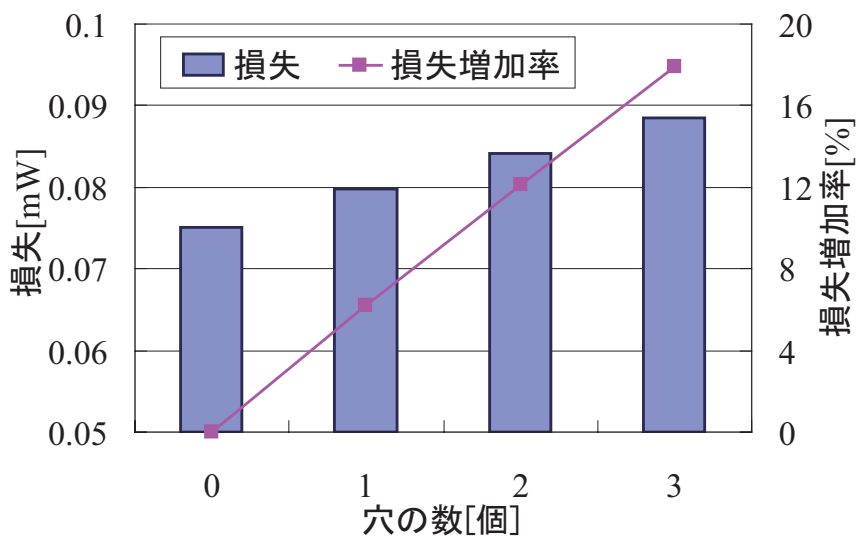


図11 穴の数による影響

4. まとめ

今年度の解析の結果、高周波でのバスバーの損失のうち渦電流損が占める割合が非常に高く、高周波バスバーの解析をする際、渦電流を考慮する重要性を明らかにした。さらに、表皮深さに対するめっきの厚みが大きくなるとバスバーに流れる電流のほとんどがめっきに集中するため、高周波バスバーの解析をより正確に解析を行うにはめっきを考慮して解析を行う必要がある。

今後、今年度に得られた科学的知見をもとに高効率バスバーの開発を行っていく。

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.

外部発表等

- 1) 小木曾紀春, 関富勇治, 河瀬順洋, 山口忠, 中野智仁, 大野雄希, 西川憲明: 「地球シミュレータによるバスバーの磁界解析」, 電気学会全国大会, 5-145, 2012