

水車発電機の電磁場解析 シミュレーション

—高効率化のための渦電流損低減解析事例—

研究・開発機関 : サイエンス ソリューションズ株式会社
 利用施設 : 自社設備
 計算規模 : PC クラスタ 4 ノード 64 コア
 利用ソフトウェア : 電磁場解析ソフトウェア HPC-EMSolution

Before

- 従来より、大形回転機である発電機を対象に、開発・設計段階で大規模な三次元電磁場解析が積極的に行われています。
- しかし、水車発電機は設置する河川の水量と落差によって最適な回転速度が異なります。このため、設計の度に大規模な三次元解析を実施する必要がありますが、計算時間が膨大となるため現実的ではありませんでした。

After

- PCクラスタを用いて並列計算を行うことで、従来1ヵ月かかった計算が47時間と大幅な時間短縮が図れました。
- 計算時間を短縮できることで、高効率化を狙った形状変更を行う際に必要な大規模な三次元解析を実用的に行えるようになり、事前の検討を十分行うことが可能となりました。

■背景と目的

水車発電機は太陽光発電や風力発電と並んで、再生可能エネルギーを使用して発電できること、落差さえあれば発電できること、から設置可能範囲も広く、近年再注目されています。

水車発電機には塊状磁極鉄心が用いられることも多く、その表面損失の低減は効率向上には必須です。

塊状磁極鉄心の渦電流による表面損失を評価するため、図1に示す水車発電機モデルで電機子コイルエンドとコア端部も考慮した三次元電磁場解析を行います。

さらに塊状磁極鉄心上下部にある非磁性体の磁極端板(導電性)も考慮し、磁極表面に軸方向にスリット状のへこみを入れ、渦電流損の低減効果も評価します。

評価対象である塊状磁極鉄心と固定子スロットおよび界磁コイルを、形状周期対称性を利用して軸方向1/2、周方向1/5を有限要素メッシュで作成し、形状が複雑な

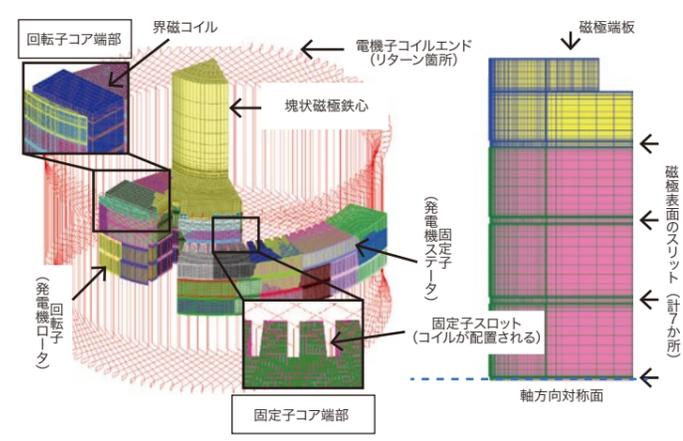


図1 水車発電機モデル

固定子スロット内の電機子コイルは、有限要素メッシュとは独立に定義することで、膨大なメッシュ数にならないように工夫しています。本モデルでは線電流として電機子コイルを模擬しています。

磁極表面のスリットは、軸方向対称面に1か所で上下にそれぞれ3か所ずつの計7か所、最上部は磁極鉄心上下部の非磁性体である磁極端板との間に設けています(図1右図参照)。

塊状磁極鉄心を用いた水車発電機モデルが大規模になる理由として、磁極鉄心表面に表皮厚さ(渦電流浸透深さ)を細かいメッシュ分割で表現しなくては計算精度が出ないことがあげられます。

本例では周波数50Hzで運転するため、スロット高調波(スロット数×周波数)で概算すると表皮厚さはおよそ0.2mmとなり、磁極鉄心表面に層状に非常に扁平なメッシュを作成する必要があります。

磁極表面にスリットを設けると、さらにメッシュ数は増え、計算時間が増大してしまうのが課題です。

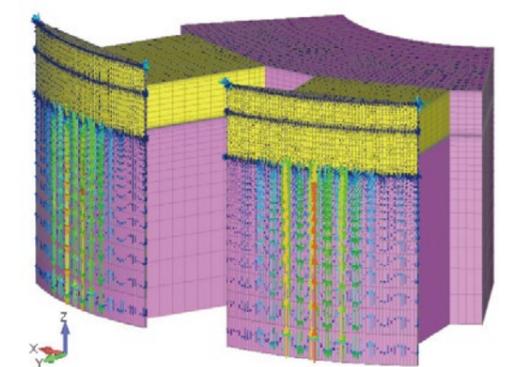


図2 塊状磁極鉄心の渦電流損ベクトル分布 (スリット無しの場合)

■利用成果

スリット有りの塊状磁極鉄心モデルはスリット無しのモデルよりもおよそ2倍(約230万六面体要素)大きなモデルとなるため、32並列の領域分割(図1の色分け)を行い、PCクラスタを用いて並列計算を行いました。この規模で300ステップ以上の計算が必要であるため、従来は1ヵ月かかった計算が47時間に短縮できました。

図2(スリット無し)では、磁極表面にスロット数の分だけループする渦電流分布が見られます。

一方、図3(スリット有り)では、渦電流はスリットを渡って流れるため、等価的に電気抵抗が高くなり、平均的に最大値が減少していることが確認できます。

図4に規格化した磁極鉄心と磁極端板の表面損失を示します。スリットを設けたことで表面損失はおよそ60%に低減でき、形状変更による効率向上の一手段として適当であることがわかります。

HPC-EMSolutionを活用することで、大規模なモデルでのパラメータサーベイが可能となりました。

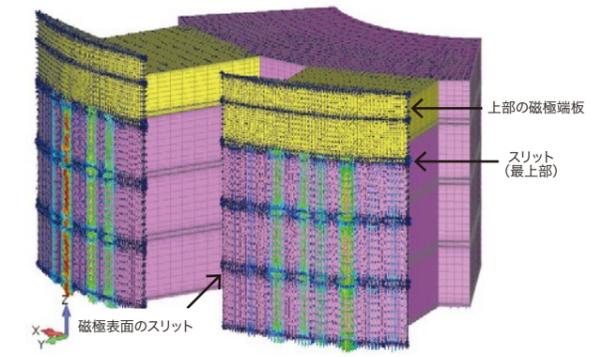


図3 塊状磁極鉄心の渦電流損ベクトル分布 (スリット有りの場合)

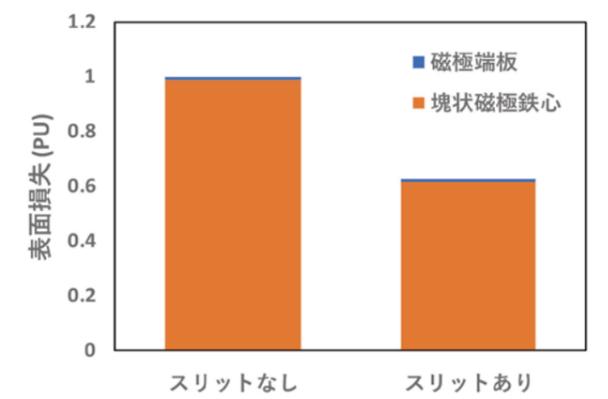


図4 塊状磁極鉄心の表面損失