

10MW 級の高出力を実現する超電導風力発電機

■超電導風力発電機

風力発電はクリーンエネルギーの代表格として現在世界中で注目を集めています。風力発電施設の設置規模は年々増加してきており、設置場所も、欧州では陸上だけでなく風況がより強く安定な洋上に風車を設置する「洋上風力発電」が普及してきています。また経済・環境的な観点から有利であるため、風車単機当たりの発電容量も増加傾向にあります。その一方で、発電容量の増加と同時に発電機の重量も増加するため、発電機の高出力密度・高トルク密度化、すなわちコンパクト・軽量化することが求められています。超電導発電機はそのための有効な技術として期待され、研究開発が行われています。

本研究室では、高温超電導材料（コイル、バルク）を用いてコンパクトで発電容量の大きな風力発電機に関する研究を行っています。今まで世界で実現例のない 10 MW 級の大容量風力発電機の実現を目指し、主に数値解析により発電機の電磁設計や解析モデルの構築を行っています。もし、10 MW 級の大容量風力発電機が実現すれば風力発電機としては世界最大出力を達成することになります。



図 1：欧州で実用化されている洋上風力発電機

■ 界磁超電導型風力発電機

超電導材料を風力発電機に応用する上で最もオーソドックスな構造は、回転子側の界磁コイルに超電導線材を用いた構造です。これにより界磁コイルへ大電流を流して強磁界を発生させることが可能となります。この発生磁界は従来の銅線コイルによる電磁石や永久磁石の数倍であるため、同じ発電機のサイズでありながら従来よりも大きな発電量が得られます。また、超電導発電機は従来のように鉄心を使わない空芯構造であるため、その分だけ重量が軽減出来るので、結果として発電機の高出力密度・高トルク密度化、すなわちコンパクト・軽量化が可能となるのです。

本研究では、この超電導発電機に対して有限要素法と呼ばれる数値計算手法を駆使して発電機の実出力特性や損失、レーストラック型界磁コイルに掛かる電磁力など、様々な角度から解析を行い、詳細な電磁設計を進めています。

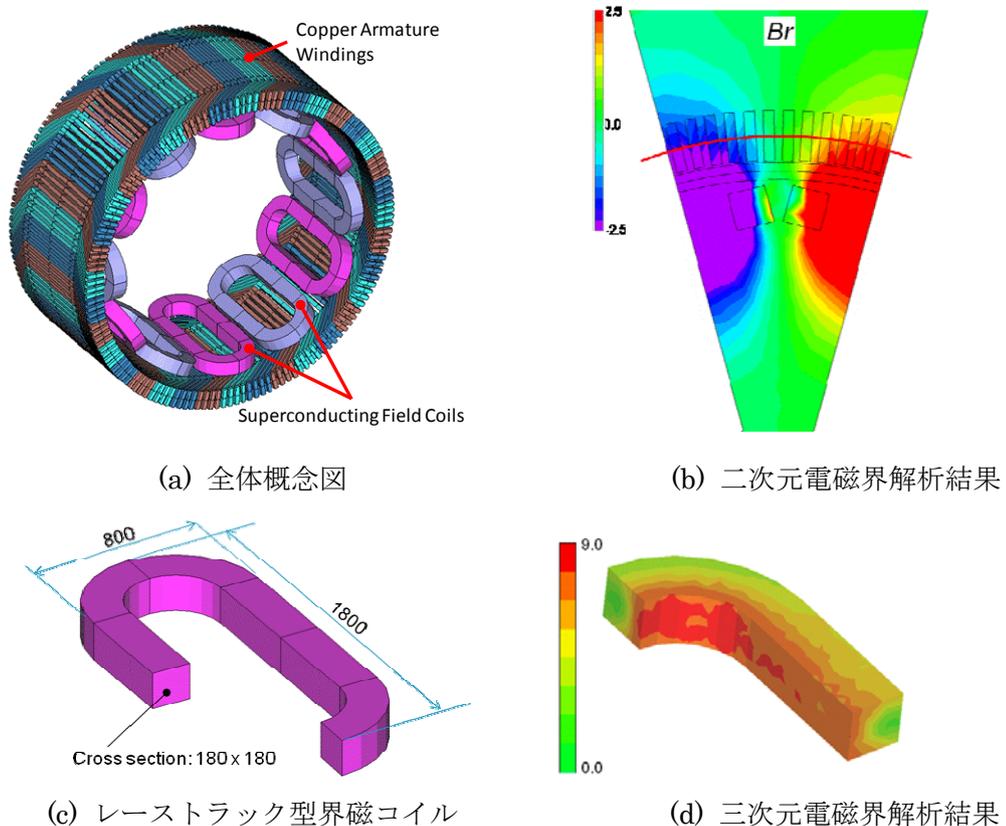
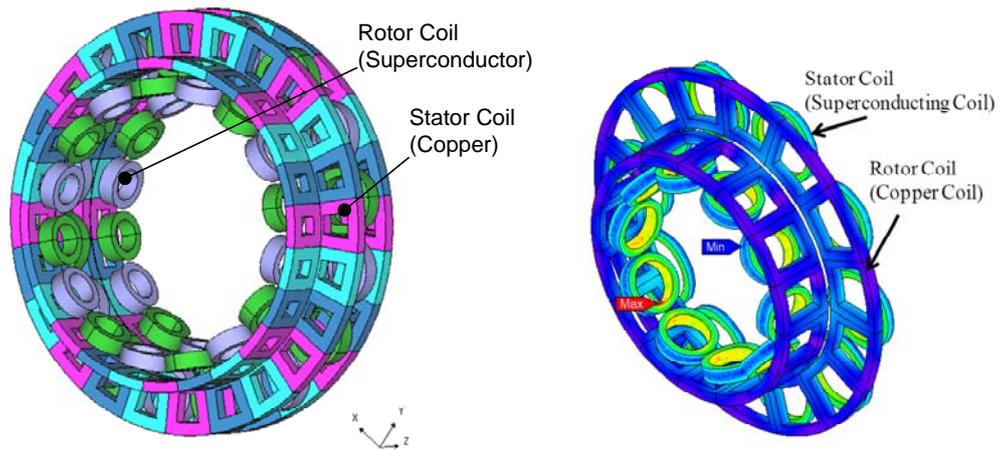


図 2 : 界磁超電導型風力発電機 の 概念図 と 電磁界解析結果

■ 横方向磁束強化形超電導風力発電機

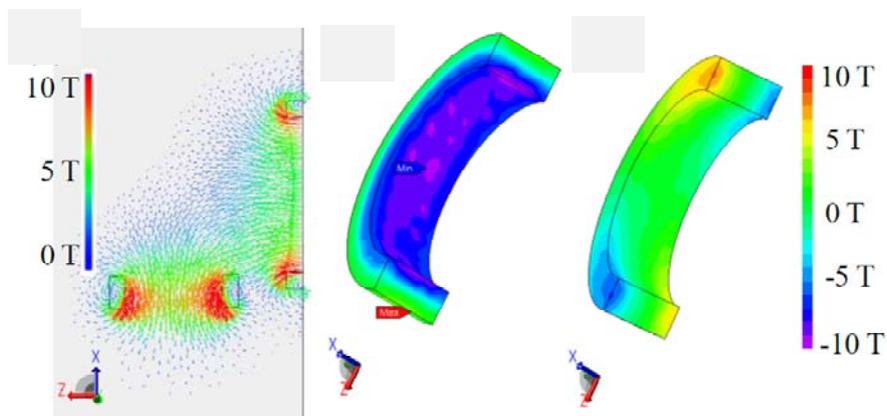
オーソドックスな構造である界磁超電導型風力発電機はレーストラック界磁コイルに局部的に強い電磁力が働き、形状を維持する支持構造の設計が難しいという問題があります。

そこで本研究室では、円形の超電導コイルを複数用いて界磁コイルを構成するという手法を提案しました。一般に円形コイルの方がレーストラックコイルよりも製作が簡単であり、かつ電磁力が周方向へ均一に分散するので支持構造もよりシンプルになるという特徴があります。



(a) 概念図

(b) 三次元電磁界解析結果



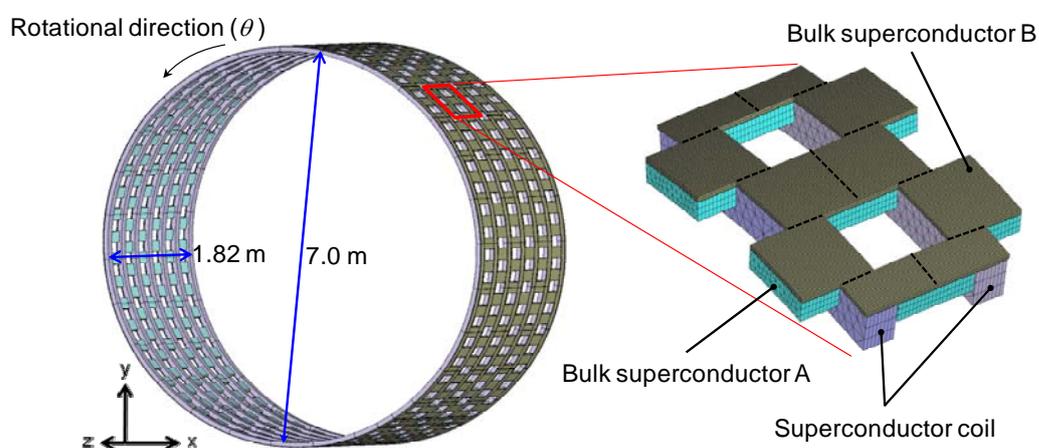
(c) 円形界磁コイルの電磁界解析結果

図 3：横方向磁束強化形超電導風力発電機概念図と電磁界解析結果

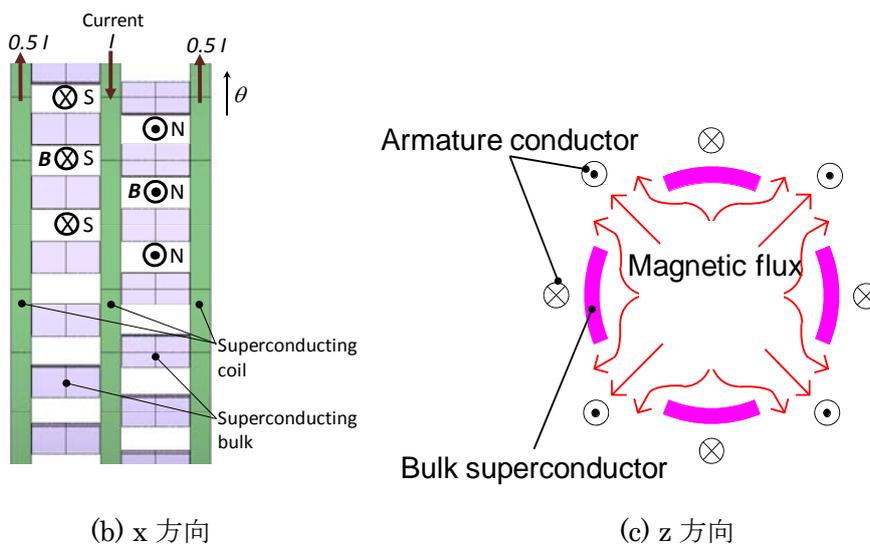
■ バルク磁気遮蔽型超電導風力発電機

超電導コイルを用いた発電機構造が世界で数多く提案されている一方で、バルク超電導体を用いたモータ、発電機の研究も盛んです。バルク超電導体の用途の一つとして「磁気遮蔽材」があります。

本研究室ではこの特徴を活かした風力発電機的设计に取り組んでいます。図 4(b)のように超電導コイル対向させ、その間にバルク超電導体を配置します。この超電導コイルへ互いに逆方向に電流を流すことで、「カスプ磁界」と呼ばれる磁界が発生します。この時、配置したバルク超電導体が磁気遮蔽材として働くことで、局所的に磁界が集中して放出され、N-S 構造の磁界が作られます(図 4(b), (c))。このようにして磁界を発生させることで通常よりも強い直流界磁を発生させることが狙いです。こちらはシミュレーションだけでなく、学生自身が実験装置を設計・製作し、バルク超電導体の磁気遮蔽特性の実験なども行っています。



(a) 回転子構造の概念図



(b) x 方向

(c) z 方向

図 4 : バルク磁気遮蔽型超電導風力発電機の回転子構造と磁界発生メカニズム

■ シンプルかつ効率的な超電導風力発電機モデルの構築

超電導風力発電機を電力系統に導入した際の発電機の挙動をシミュレーションすることは、超電導風力発電機を実用化する上で非常に重要です。このような解析を行うための発電機のモデリングには様々な手法が提案されています。しかし、モデルによっては運転中に発生しうるいくつかの擾乱を考慮しきれない、計算時間が非常に長く掛かってしまうなどの問題があります。さらに超電導発電機は従来の発電機と構造が異なるため、複雑な超電導特性を考慮した解析モデルの構築が求められています。

本研究室では以上の問題を解決するため、「シンプルかつ効率的」な超電導風力発電機の解析モデルの構築を進めています。提案するモデルには使用する超電導線材の非線形特性、冷却条件、三次元効果、ダンピングや保護条件などが含まれており、MATLAB/Simulink を用いて有限要素法により構築された発電機モデルとの連成解析を進めています。

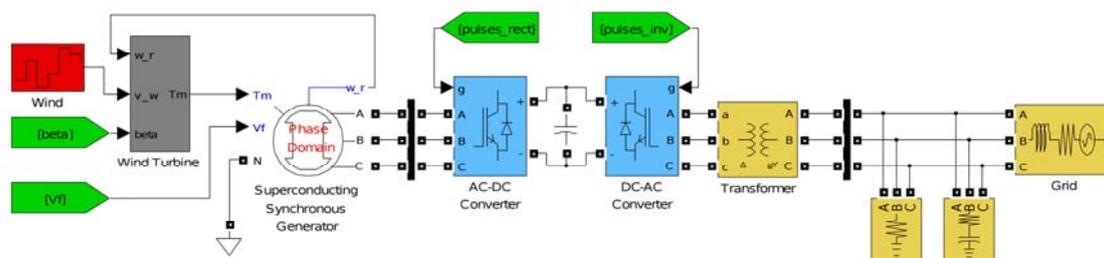


図 5 : Simulink による超電導風力発電機の解析モデル

■ 発表文献

1. H. Ohsaki, Y. Terao, and M. Sekino: "Wind Turbine Generators using Superconducting Coils and Bulks", IOP Publishing, Journal of Physics Conference Series, 234 032043, 2010.
2. M. R. Quddus, M. Sekino, H. Ohsaki, N. Kashima, and S. Nagaya, "Electromagnetic design study of transverse flux enhanced type superconducting wind turbine generators," IEEE Transactions on Applied Superconductivity (in press), 2011.