電磁工学講座 超伝導工学分野　牟田研究室　　磁束ポンプを用いた全超電導発電機

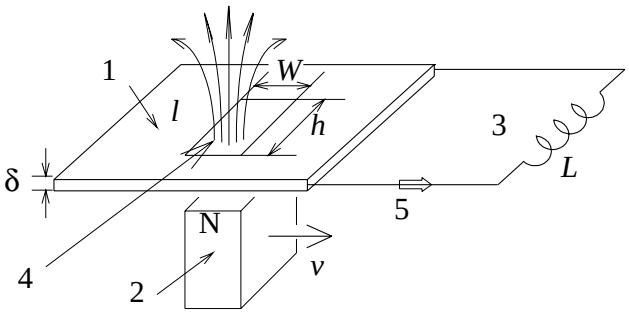
牟田研究室は、1995 年 10 月に発足した研究室です。21 世紀のキーテクノロジー「超電導技術[1]」の電力機器への応用研究を行っています。回転機と静止器の 2 つのグループでゼミをし、国際的な協力体制の元で超電導発電機、超電導変圧器、超電導送電ケーブル、超電導スイッチ、超電導マグネット、酸化物超電導体の研究を行っています。その中で、全超電導発電機の研究を紹介します。

国家プロジェクトとして界磁巻線を超電導化した 70 MW 発電機の開発が今年度終了しますが、電機子巻線も超電導化すれば研究中の超電導変圧器、超電導送電ケーブル等とあわせて超電導電力系統が構築でき、高効率・高密度化が図れ、CO_2 削減にも寄与します。また、発電機の励磁機も磁束ポンプを用いて超電導化すれば、磁束一定のため電圧変動率は小さくなり、安定度が向上するとともに、電流リードを細くできるのでより小型化が図れます。こうした点から全超電導発電機の研究を行っています。

図 1 に示すように、20 kVA 級の全超電導発電機を自作し、これに磁束ポンプと呼ぶ所謂超電導励磁機を適用した超電導界磁巻線のブラシレス励磁系を確立し、その発電に世界で初めて成功しました。1988 年のことです。これは世界的にも例を見ない新タイプの全超電導機であり、特性解析・実験的研究を継続しています。磁束ホンプの動作原理を図 2 で説明します。超伝導状態にある Nb ストリップに磁石を近づけて下部臨界磁界以上の磁界を印加すると、その部分 $(W \times h)$ だけ常伝導状態になります。常伝導領域の周囲は超伝導状態ですから常伝導領域の周囲に遮蔽電流が流れます。磁石を矢印の方向に負荷コイルと Nb ストリップで囲まれた空間まで移動させると、遮蔽電流は負荷コイルを流れることになります。外側の配線は印加磁界では下部臨界磁界を越えない NbTi で構成してありますので、磁石が配線を通り過ぎても磁束は補足されたままになります。この原理を巧みに利用したのが磁束ポンプ励磁機です。

これまで、磁束ホンプを用いて界磁巻線を励磁できること、電機子巻線まで超電導化した全超電導発電機で電気出力を得られることを実証し、磁束ホンプの励磁特性解析まで行ってきました。現在、次期国家プロジェクトに合わせた励磁系の設計を行うと共に、励磁機に採用した磁束ポンプは、延世大学との研究協力に展開し、韓国電気研究所の界磁超電導発電機の開発研究をサポートするために、研究員を受入れるとともに 30 kVA 超電導発電機の設計、特性評価を行い、次のステップに進んでいます。

図 1: 20 kVA 級の全超電導発電機の概観



1: Nb ストリップ,
2: 磁束印加用磁石,
3: NbTi 超電導コイル (負荷),
4: 常伝導領域 $(W \times h)$,
5: 永久電流

図 2: 磁束ポンプの原理

[1]超電導と超伝導を使い分けていますが、現象や物理を言うときには「超伝導」、導電体や複合化材料や電気的特性を議論するシステムを指すときには「超電導」を用いました。