

超電導フライホイールの開発

超電導磁気浮上軸受けと高強度炭素繊維ロータの適用

Development of Superconducting Flywheel

Using a superconducting magnetic levitation-type bearing and high-strength carbon fiber rotor

(電力技術研究所 超電導G)

超電導バルク体による磁気浮上を利用した軸受けと、これを組み込んだ電力貯蔵フライホイールの開発を三菱重工業(株)と共同で行い、初のkWh級システムの開発に成功した。

(Superconductivity Research Group, Electric Power Research & Development Center)

The electric energy storage flywheel and the superconducting magnetic bearing was developed collaboration with Mitsubishi Heavy Industries Ltd. It is successfully the first kWh-class flywheel using this bearing

1

研究の背景

電気抵抗がゼロとなる超電導技術は、大電流を取り扱う電力分野で、発電・送変電・貯蔵と幅広い応用が期待されている。これらは基本的には、線材としての応用であるが、1986年に発見された酸化物超電導体では、バルク体と呼ばれる大きな結晶の状態で、超電導現象の1つである「磁束のピンニング」と呼ばれる効果により、通常の磁気の反発や吸引では実現できない空中に安定した磁気浮上を実現する。

この超電導磁気浮上を軸受けに応用すると、いままでの磁気浮上では不可能であった制御を必要としない画期的な磁気浮上が可能となる。

本研究は、機械式軸受けの摩擦による損失が大きく、長時間の電力貯蔵効率の低かったフライホイール電力貯蔵システムにおいて

1. 超電導磁気浮上を軸受けとして応用し軸受け損失の発生を大幅に改善
2. フライホイールに新素材を適用し、エネルギー貯蔵密度を飛躍的に上げる

以上の二つの特徴を持つ新型のフライホイールの開発を目指したものである。

2

開発の概要

1. 超電導フライホイール

第1、2図に超電導フライホイール外観、および内部構造を示す。

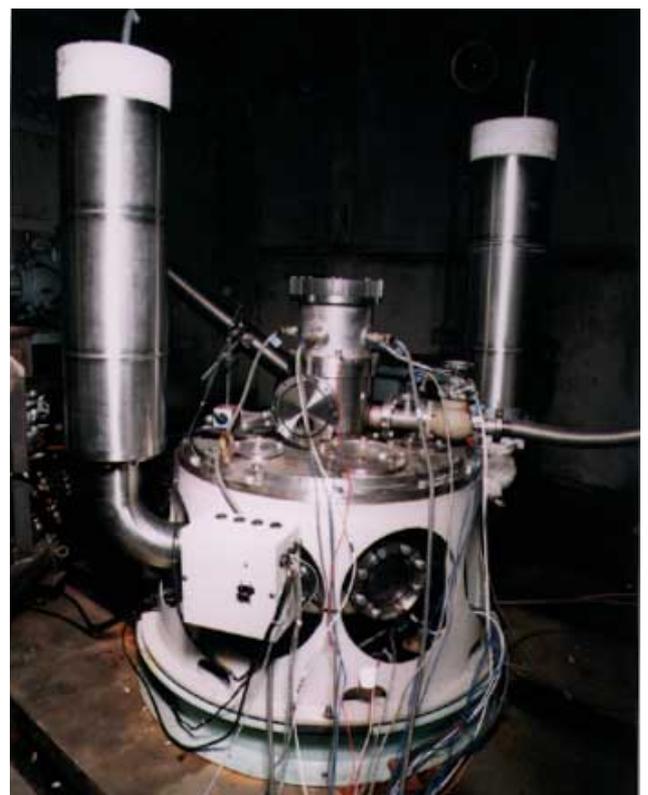
2枚の炭素繊維製のロータを中心に、その上部に電気エネルギーの入出力を行う発電電動機を、下部にロータを浮上させる超電導スラスト磁気軸受けを配置

し、それらの収納ケースは、高速回転時に発生する風損の抑制と極低温で使用される超電導軸受けの断熱を兼ねた真空容器となっている。

このフライホイールはロータの直径・重量が60cm・80kgfで、2万回転～1万回転の回転数変化で1kWhの電気エネルギーの充放電を行うことができる。

2. 超電導磁気浮上軸受け

超電導磁気浮上では超電導体の内部に磁力線が捕捉、固定されることによって、超電導自体が疑似永久磁石化され、通常の磁気浮上と同じ磁力線間の反発により浮上力が発生する。



第1図 1kWhフライホイールユニット

ここで、磁力線自体は超電導体の内部の特定箇所には捕捉、固定されるため、空間的な磁気分布が変化できず、磁気の吸引と反発が同時に起こる形で、安定した磁気浮上を実現する。

第3図は今回のフライホイールに組み込んだスラスト軸受けの磁気浮上状況を示したものである。

浮上側にはネオジウム系の永久磁石がリング状に組み込まれ、フライホイールと同じ回転に耐えるため、最外周にロータ材の炭素繊維製リングで補強されている。固定側は、先に開発に成功した直径10cmの大型超電導バルク体が、液体窒素冷却容器を兼ねたガラス繊維FRPに埋め込んである。

このスラスト軸受けは、80kgfのロータを1cm浮上させる性能を持ち、約180kgの最大載荷能力と、超電導フライホイールの定格回転数である2万rpmに耐えることができる。

3. 高強度フライホイールロータ

フライホイールによるエネルギー貯蔵は、電気エネルギーをフライホイールの回転エネルギーに変えて貯蔵を行うもので、その貯蔵量はフライホイールの大きさに比例し、速度には2乗に比例する。

第4図に示すのは、今回開発したロータで、素材にはCFRPと呼ばれる炭素繊維強化プラスチックを用い



第4図 ロータ

た。炭素繊維の強度は、鉄の10倍、チタンの3倍ほどの強度を持ち、現在、実用化されている材料としては、最高の機械強度を持っている。

さらに、第1図に示すとおり、ロータには3種の異なるCFRPを内、中、外層に配置し、内側に向かって弾性率を落とす構造とした。この構造で回転時に部材内部に圧縮応力を発生させ、遠心力により生じる引張応力を相殺させるとことで、みかけロータ内部に発生する応力を減少させ、高速回転が可能となっている。

これらの高強度化技術により、高回転の強い遠心力に耐え、エネルギー貯蔵量を向上することが可能となった。

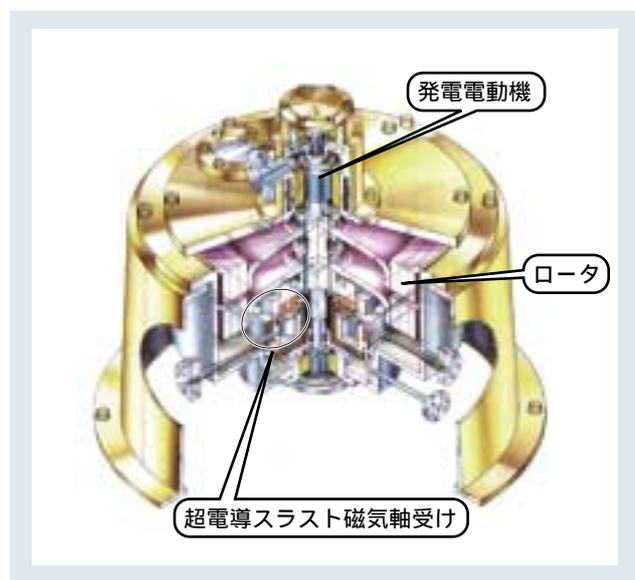
回転試験では2万7千回転に耐え、設計上必要である2万回転を大幅に上回ることを確認した。

3 1kWh級超電導フライホイール試験結果

超電導磁気浮上軸受けの開発により損失は1万回転で1W以下という低損失な軸受けを実現でき、高強度ロータの開発により、これまでにない高回転（2万回転～1万回転（周速はマッハ2））で充放電を行う初のkw級のフライホイールの運転に成功した。

4 今後の展開

今回、1kWh級超電導フライホイールの開発に成功した。また、超電導軸受けはラジアル方向の振動に弱く、回転体に高いバランス精度を必要とすることが分かった。今後は、ラジアル方向の振動に強い超電導軸受け構造の検討および浮上力を上げる手法を検討し、回転体のバランス精度を今以上に必要としなく今以上の荷重に耐える超電導軸受けの開発を進める。



第2図 内部構造図



第3図 超電導スラスト軸受け