

非接触浮上体の安定冷却と渦電流発熱対策

No.205

発明の名称：①非接触部の冷却装置、②超電導磁気軸受
 特許番号：①特許第4920629号、②特開2016-98904
 出願日：①2008年4月25日、②2014年11月21日
 総発明者：①総発明者：田中芳親、中内正彦、長嶋賢、清野寛、②山下知久、小方正文、宮崎佳樹、荒井有気、水野克俊（共有者：古河電気工業、ステンレスプロダクト）

目的と効果

超電導磁気軸受は高温超電導コイルと超電導バルクの磁気反発力を利用して、数トン超の大荷重のフライホイールを非接触で安定浮上させることが可能な小型の非接触軸受で、超電導フライホイール蓄電システムのコア技術です。冷却には液体窒素などの寒材を一切使用せず、ステーター側の高温超電導コイルは冷凍機による伝導冷却で50K（マイナス223℃）以下に冷却、非接触浮上するローター側の高温超電導バルク体はガスヘリウムにより冷却されます。図1のように毎分数千回転するフライホイールの回転軸が回転ブレを起こしたり、上下に振動したりすると、磁界変化が起こりコイルの冷却板に渦電流損（ジュール損）が発生、温度上昇するため安定冷却状態が維持できません。高温超電導コイルの冷却板

に渦電流発熱対策が欠かせません。

非接触浮上する高温超電導バルク体の安定冷却状態を維持し高温超電導コイルの冷却板に渦電流発熱対策を講ずることで、超電導磁気軸受の安定冷却・安定浮上でき、フライホイールの安定運転が可能となります。

技術の概要

①超電導バルク体の安定冷却法

図2にガスヘリウムの圧力と熱伝達率特性とフライホイールの気体摩擦抵抗（回転損失）の計算値の関係を示します。図2よりガスヘリウムの圧力を1～100Pa程度（1Paは約10万分の1気圧）の希薄ヘリウム雰囲気を設定すると、回転損失が実用上問題ないレベルまで低減され、かつ非接触浮上する高温超電導バルク体を安定冷却できる領域があることがわかります。

②コイル冷却板の渦電流発熱対策

図3は冷却板の細分化度合いと渦電流発熱の関係を示したもので、冷却板を構成する銅などの高熱伝導部材を幅1.5mm以下にすると渦電流発熱が実用上問題のないレベルに低減できることがわかります。なお、実証機のコイル冷却板には、製作性を考慮して図4のように直径1mmの無酸素銅（OFHC）の丸棒をポリエステル繊維でスダレ織りし、樹脂で固めて平板化したものを機械加工し部品化したものを使用しています。

発明余話

2015年9月に山梨県米倉山太陽光発電所で超電導フライホイール蓄電システムの実証機の性能試験が開始された当初、ガスヘリウムの封入圧力が低めの10Paに設定されたこともあり「本当に設計どおりにキチンと冷却できるだろうか?」「フライホイールが高速回転しても温度上昇しないだろうか?」と一抹の不安がありました。

しかし冷凍機による伝導冷却でもコイルが設計どおりマイナス253℃までキチンと冷却されることが確認でき、回転試験中も顕著な温度上昇が一切ないことも確認でき、私達の不安はすべて杞憂に終わりました。

半年間の検証期間で超電導フライホイールは延べ3,000時間、安定浮上を続け、超電導磁気軸受が安定した冷却状態を維持可能なことと開発完成度の高さを実証できたと考えています。

今回紹介した「コイル冷却板の渦電流発熱対策」の技術は、変動磁界中で使用される機器の冷却部材や放熱部材として役立つ技術とも考えています。

（山下知久／浮上式鉄道技術研究部）

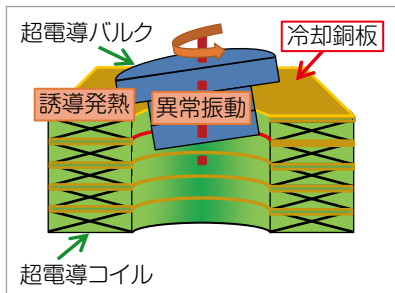


図1 超電導磁気軸受

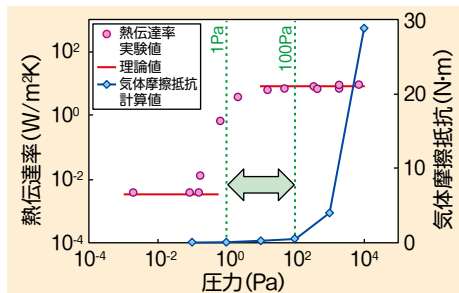


図2 ヘリウムの熱伝達特性とフライホイールの回転損失の関係

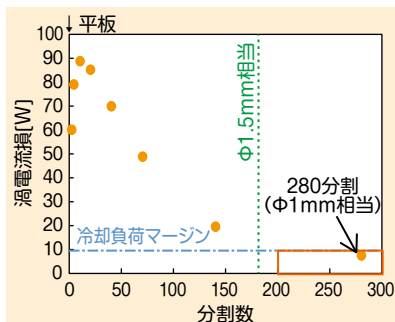


図3 コイル冷却銅板の細分化効果

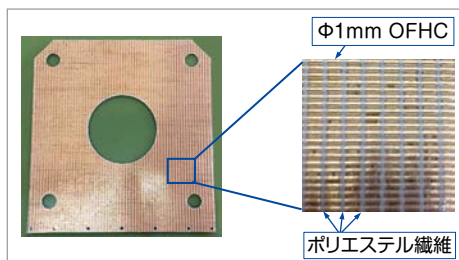


図4 低発熱コイル冷却板