

## 超電導フライホイール向け高速回転軸用真空シールを開発しました

— 大容量の超電導フライホイール蓄電システムが可能に —

平成26年10月31日  
公益財団法人鉄道総合技術研究所

公益財団法人鉄道総合技術研究所（以下、鉄道総研）は、イーグル工業株式会社及び松井鋼材グループの協力により、許容回転速度が世界最高の高速回転軸用真空シールの開発に成功しました。これにより、鉄道総研が開発中の超電導フライホイール蓄電システムの大容量化が可能となります。

フライホイール蓄電システムとは、装置の内部にある大型の円盤（フライホイール）を回転させることによって電力を運動エネルギーとして貯蔵し、必要に応じて回転力を再び電力に変換するシステムです。劣化のない「蓄電池」として用途は幅広く、例えば、太陽光や風力等の不安定な発電システムと組み合わせて電力系統を安定化させるといった用途や、電気鉄道の回生失効対策などにも応用が可能です。鉄道総研で開発を進めている超電導フライホイール蓄電システム<sup>1)</sup>

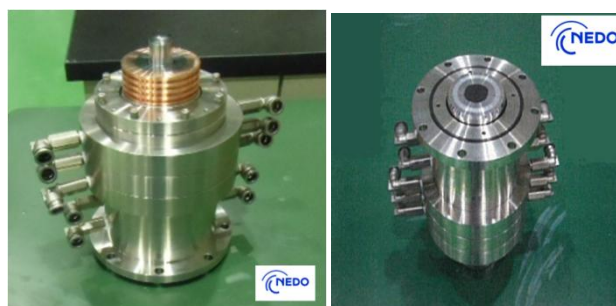
は、「超電導磁気軸受」によって回転体を非接触で浮上させているため、大型のフライホイールを使用しても損失が少なく、長期間の安定した運用が可能な実効性の高いシステムです。

一般に、フライホイール蓄電システムは、フライホイールを真空容器に格納して空気抵抗による損失を防止する必要があります。一方で、電気エネルギーと運動エネルギーを変換する発電電動機は、メンテナンスや冷却の効率を考慮すると真空容器外（大気中）へ設置するのが有利です。ここで、発電電動機とフライホイールを回転軸で機械的に接続するために、回転軸が高速回転しても真空容器内に空気を漏らさずに真空度を維持する、高速回転軸用真空シールが必要となります。

このたび、鉄道総研では、許容回転速度が世界最高（周速度 36.6m/sec）の高速回転軸用真空シールを開発するとともに、回転軸の高速回転時の温度安定に必要な高熱伝導・異種金属複合シャフトの製造法を確立しました。本技術を直径 100mm の回転軸に適用した場合、最高 7000 回転/分の、大容量のフライホイール蓄電システムが実現可能となります。また、本技術は、超電導モーター、超電導発電機等へ幅広く適用可能であり、これらの超電導機器の実用化も期待できます。

本技術開発において、鉄道総研がフライホイール蓄電システムの基本設計を行い、これに基づいてイーグル工業株式会社が磁性流体を用いた真空シール機構の設計及び製作を担当しました。また、今回の高速化の核となる複合シャフトについては、鉄道総研が構造を考案し、松井鋼材グループが製作を担当しました。

本技術開発の詳細は、平成 26 年 11 月 5 日の第 90 回低温工学・超電導学会研究発表会（コラッセふくしま）にて発表いたします。また、平成 27 年度には、山梨県米倉山において、山梨県のメガソーラー<sup>2)</sup>と本技術を適用した大容量超電導フライホイール蓄電システムとの連系試験を開始する予定です。本開発は、古河電気工業株式会社、クボテック株式会社、株式会社ミラプロ、山梨県企業局と共同で、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構の「安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発」プロジェクトの中で実施しています。



(大気側) (真空側)  
開発した高速回転軸用真空シール

## ■ 用語解説

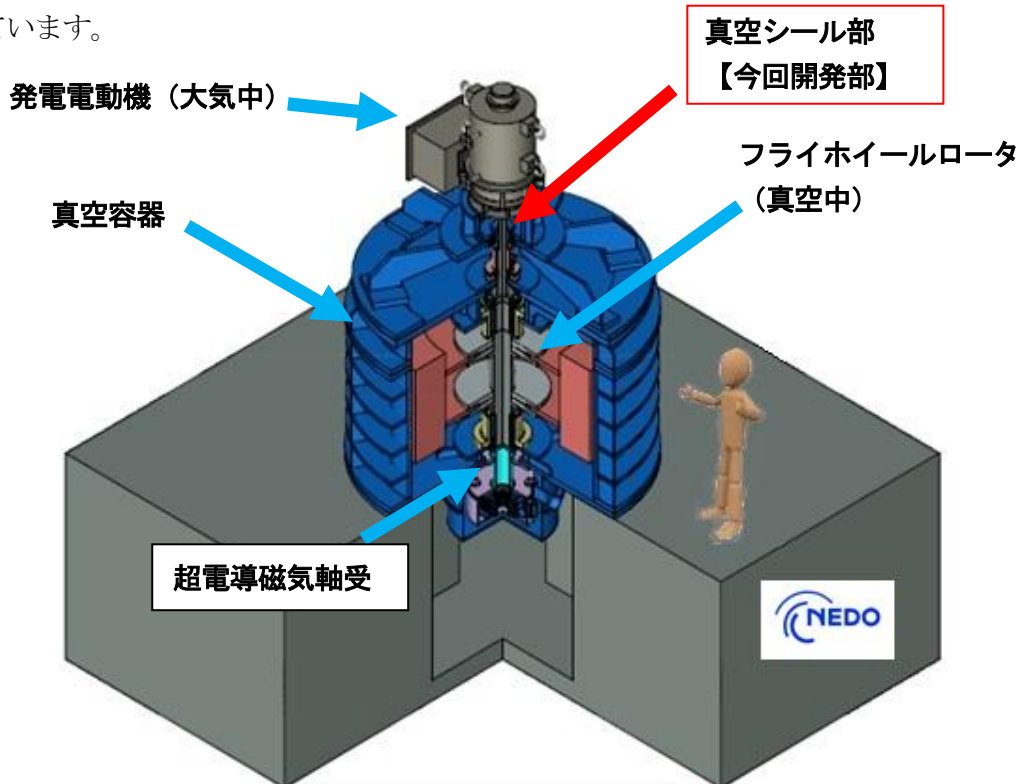
### 1) 超電導フライホイール蓄電システム

フライホイール蓄電システムは、電気エネルギーを高速回転体の運動エネルギーに変換して貯蔵する装置で、電力の入出力を高速かつ繰返して行うことができます。従来は、回転体の機械的軸受損失が大きく、かつ軸受の摩耗により長期間の運転が困難でしたが、鉄道総研が考案した超電導マグネットと超電導バルクからなる「超電導磁気軸受」を用いることで回転体を非接触で浮上させる軸受が可能となり、低損失でメンテナンスフリーの電力貯蔵装置を実現します。特に、超電導磁気軸受は重いフライホイールを非接触で支えることができるため、他の軸受を使用した場合よりも大容量の蓄電システムが実現できます。

また、発電電動機は運転中に発熱しますが、真空容器中に設置すると効率的な冷却が困難となる上に、メンテナンスも煩雑になります。鉄道総研のフライホイール蓄電システムでは、発電電動機を真空容器外（大気中）に設置することで冷却およびメンテナンスを容易にすると同時に、発電電動機の容量アップなどにも容易に対応できるようにしました。

### 2) 山梨県米倉山メガソーラー

全国有数の日射量を有する山梨県では、地球温暖化対策実行計画の中核として、山梨県甲府市に東京電力殿と共同で「米倉山太陽光発電所」を建設しました。44.7haの広大な用地の中、高台に約8万枚の太陽光パネルが設置され、一般家庭約3,400軒分の電力量に相当する年間1,200万kWhを発電しています。山梨県では、超電導フライホイールとの組み合わせによる系統連系試験用に、山梨県独自の1,000kWの太陽光発電所を建設し、平成26年8月に運転を開始し、実証試験に向けた基礎データを取得しています。この実証試験用のフライホイールは、電力システムを安定化するための短周期蓄電用で、容量100kWhで計画しています。



100kwh 級超電導フライホイール蓄電システムの概要

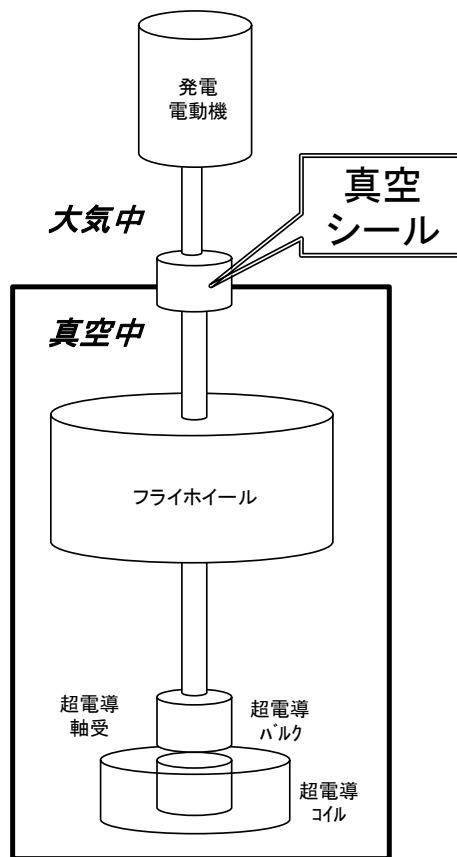
## 参考資料

### 1. 許容回転速度が世界最高速の高速回転軸用磁性流体真空シール

磁性流体真空シールとは、ナノサイズの磁性微粒子を液体中に分散させた「液体でありながら磁石に吸い付く」性質をもつ磁性流体を、磁石を用いて回転軸の周りに磁気回路を構成して安定的に保持することで気密性を維持する、低トルクでクリーンな真空シール機構です。

これまでイーグル工業株式会社では、半導体製造装置向けなどの、周速 0.001~1m/sec 程度の比較的低速な回転軸用の磁性流体真空シールを数多く開発製造し、近年では周速 8 m/sec が可能な製品を製作した実績がありました。しかしながら、現在開発中のフライホイール蓄電装置では、回転軸の目標周速が 36.6m/sec と桁違いに高速になることから、高速回転に対応可能な磁性流体真空シール装置の開発に取り組んできました。

このたび、高速回転する回転軸そのものの冷却性能向上が課題解決の鍵と見定め、イーグル工業株式会社が開発した耐熱磁性流体およびシール構造と、鉄道総研が考案した異種金属複合軸構造を組合せて採用することで、回転軸の周速が 36.6m/sec（直径 100mm の回転軸を用いた場合の最高回転数 7000 回転/分に相当）の高速回転下でも長期間安定して運用可能な、許容回転速度が世界最高速の高速回転軸用の磁性流体真空シールを実現することができました。（特許出願済）



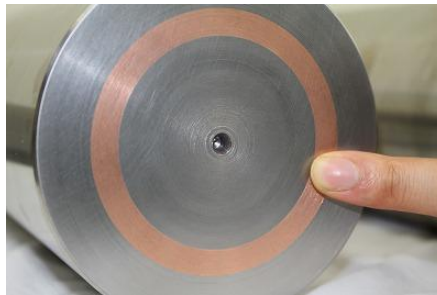
真空シールが使われる部分

## 2. 高熱伝導・異種金属複合シャフトの製造法確立

超電導フライホイール蓄電装置の運転時には、真空シール部の発熱によってシールをしている磁性流体の温度が上昇し、シール性能を損なう可能性があります。そこで、ステンレス製の回転軸に放熱機能を持たせることが必要となります。このたび、ステンレス製の回転軸の内部に高熱伝導性を有する銅合金材を高精度で同心円状に配置し、強固に一体化することが可能な複合シャフトの製造法【MMS法】<sup>1)</sup>の確立に、鉄道総研と松井鋼材グループが成功しました。（特許出願済）

今回開発した複合シャフトは外径 100mm の析出硬化系の SUS 6 3 0 材（磁性流体を保持して真空シールするのに必要な磁性部材）の内部に、外径 80mm の銅合金材（放熱部材）と外径 64mm のマルテンサイト系の SUS 4 0 3 材（回転力伝達部材）を配置する 3 層構造となっており、構成部材のうち銅合金材と SUS 4 0 3 材の低温での材料特性を利用し、構成部材相互を強固に嵌合させたものです。同心度も目標の 0.01mm 以下を達成し、独自の製法を確立できたと考えています。MMS 法は回転軸の外径が 200mm に大径化しても適用できる工業的な製法です。

1) MMS 法は Multi-Material-Structure 法の略で、松井鋼材グループ（MMS）に由来するものです。【商標登録済】



異種金属複合シャフト

