

# 電力の新供給システム



兎束 哲夫  
Tetsuo Uzuka

電力技術研究部 部長  
[専門分野] 地上の電力関係技術、  
省エネルギー

地上設備のエネルギー効率向上をめざして、新しい電力供給システムについて研究を行っています。これまで、300m長の超電導き電ケーブル製作と電車走行試験、超電導磁気軸受を用いた出力300kW・貯蔵容量100kWhのフライホイール製作、列車の消費電力・変電所供給電力・電車線電圧などを列車ダイヤに応じて計算するシミュレーターなどを開発しました。

## はじめに

鉄道事業者各社では、駅構内電力用として既に太陽光発電システムの実用化が進んでおり、き電電力用として風力発電システムの検討も始まっています。また電力貯蔵装置を中心に分散化電源システムについても、電力会社や経済産業省を中心に具体的検討が始まっています。

また、超電導ケーブルは既に電力会社による交流での実用化の実績がありますが、鉄道総研においては、従来から直流電気鉄道の電圧降下対策として

の適用を検討してきました。

そこで鉄道総研では、電気運転車両の運転エネルギー消費量を低減する新しい電力供給方式を開発することを目的に以下に示す5つの省エネルギー関連研究開発を実施しました。

- ①自然エネルギーを利用した電力システムの構築
- ②鉄道用フライホイールの開発
- ③エネルギー効率を向上するき電方式
- ④直流電気鉄道用超電導き電ケーブルの開発
- ⑤運転電力シミュレーターの開発

以下に、個々の研究開発の目的と概要および成果を紹介します。

## 自然エネルギーを利用した電力システムの構築

太陽光や風力を中心とした自然エネルギー（または再生可能エネルギー）を利用した発電の普及が進んでいますが、これらは天候によって出力が大きく変化する特性があり、電力系統への接続時にはその出力平準化が望まれます。

一方、近年は鉄道事業者において省エネルギーを目的とした蓄電装置の設

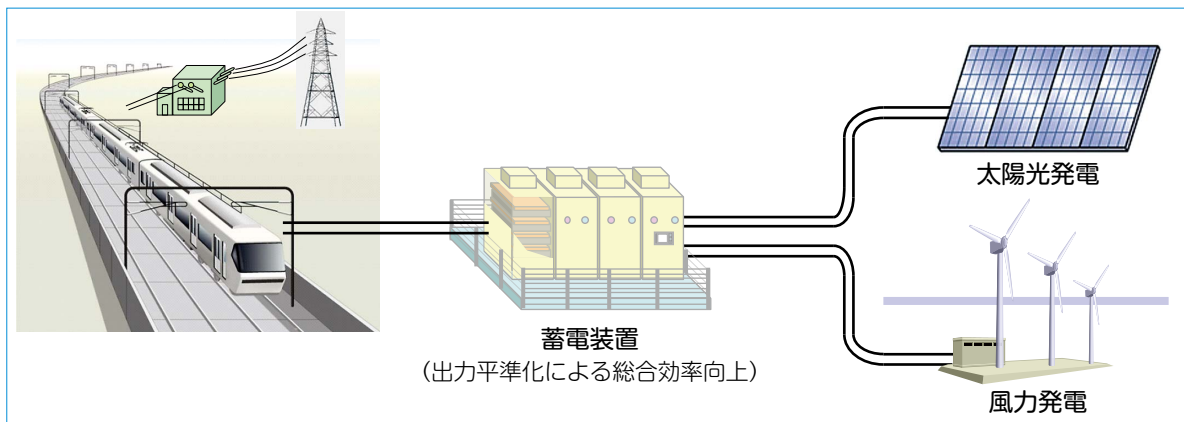


図1 自然エネルギーを利用した電力システム

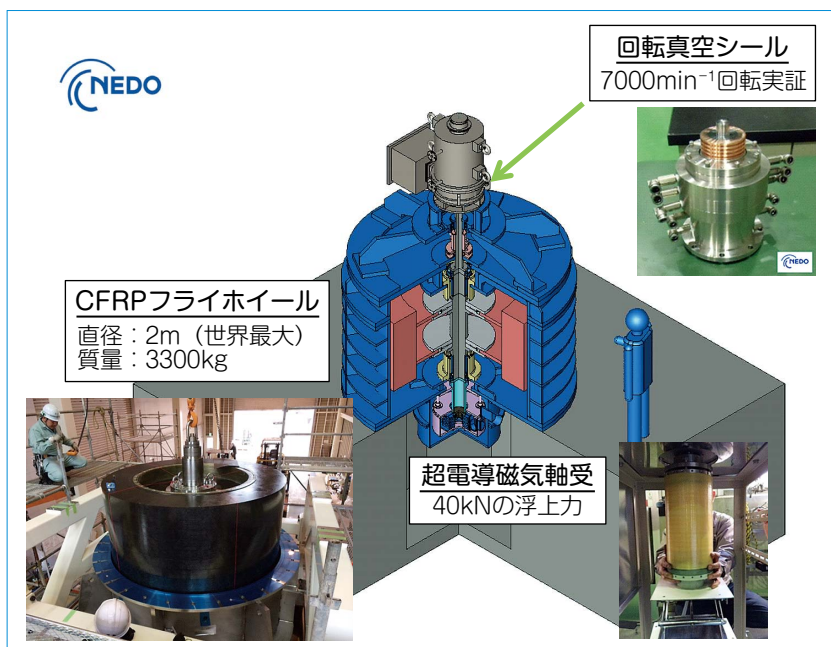


図2 超電導磁気軸受フライホイールの300kW/100kWh実証機

置が相次いでいます。こちらは電気車の力行・回生によって大きく変動する運転エネルギーの平準化が目的となっています。そこで、電気鉄道に導入された蓄電装置に自然エネルギー発電装置を接続することにより、負荷・発電それぞれの時間変化を吸収し、総合効率を向上することが自然エネルギーを利用した電力システムの目的です(図1)。

まず、蓄電装置の制御手法を開発し、自然エネルギー発電の蓄積を優先する制御モードと、運転電力平準化を優先する制御モードを考案しました。さらに、仮想的な通勤線区において自然エネルギー発電と電力貯蔵装置を併用した電力供給システムの省エネルギー効果を、電力シミュレーションにより試算し、自然エネルギー発電と電力貯蔵の組み合わせで、最大で4%程度の省エネルギー効果を得る見通しを得ました。

次いで、鉄道総研所内にある既設の電気鉄道用蓄電装置への自然エネルギー接続を模擬するため、電源制御システムを製作しました。さらに実証システムと所内試験線を走行する車両走行と組み合わせて、その効率性を確認しました。

### 鉄道用フライホイールの開発

電気エネルギーを回転体(ローター)の運動エネルギーに変換して蓄えるフライホイールは、1980年代から電気鉄道の蓄電媒体として使用実績があります。しかし、軸受部分が摩耗するために保守作業が必要であり、またエネルギー効率低下の原因ともなっていました。

そこで、鉄道総研が培った浮上式鉄道の知見を利用して、軸受部分を超電導磁石で構成して浮上させ、軸受の機械的損失と保守作業を根本的に低減するのが超電導磁気軸受フライホイール

です。

開発すべき要素技術として、まず超電導磁気軸受の浮上力と制御方法および安定性の解析を行い、プロトタイプ軸受を製作しました。また、軸受以外にも、ローター駆動用の電動発電機の容量、構造や電力変換機の仕様を決定し、製作しました。液体窒素中で実施した静荷重試験では、設計通りの電磁力が発生していることを確認し、非接触浮上支持・非接触駆動にて毎分2000回転以上の回転に成功しました。

次いで、山梨県が米倉山に建設した大規模太陽光発電所の負荷平準化用として設置するため、CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic:炭素繊維強化樹脂)製のローターなどの部品製作を経て、世界最大容量の100kWh級フライホイール実証機が2015年3月に完成しました(図2)。

一方、仮想的な通勤線区に多数のフライホイールを設置した場合の運行電力エネルギーを試算したところ、最大で10%程度の省エネルギー効果を得る見通しを得ました。

### エネルギー効率を向上するき電方式

電力用半導体材料のほとんどはシリコンですが、SiC(炭化ケイ素)に代表されるワイドギャップ化合物半導体は、素子の耐圧向上と損失低減が見込まれており、車両駆動用インバーターとして実用化が開始されました。そこで、これら低ロス半導体素子を地上電力設備に用いてエネルギー効率の向上を試みました。

従来の車両をそのまま使用しながら送電損失を低減する直流き電方式として、変電所から6kVの高電圧で送電

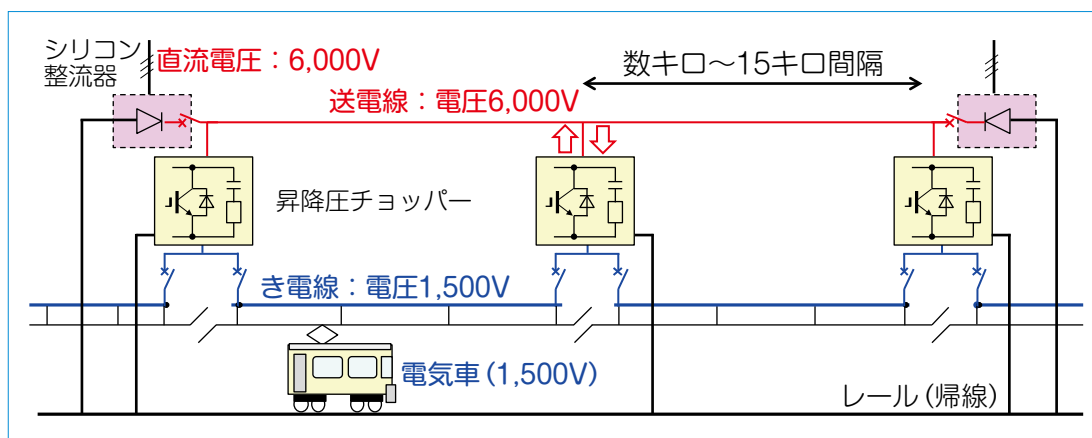


図3 高電圧直流き電方式

し、中間の昇降圧チョッパー電力変換器で1.5kVを車両に供給する方式を提案しました(図3)。この高電圧き電方式を仮想的な通勤線区に適用する場合、中間に設置する電力変換器効率を95%とした試算において、最大で4%程度の省エネルギー効果を得る見通しを得ました。そこで、変換器の詳細設計によってスイッチング周波数とフィルター定数を決定しました。

また、SiCダイオード素子を用いた低圧整流器を試作したところ、全波整流器では効率はあまり向上しないことがわかりました。一方、高電圧き電では従来からの機械式直流高速度遮断器の製作が困難になります。そこで、高電圧き電用の直流高速度遮断器の主回路方式を提案するとともに、1.5kV用半導体遮断器ミニモデルを試作し(図4)、性能評価ならびに高電圧き電適用時の優位性を明らかにしました。

### 直流電気鉄道用超電導き電ケーブルの開発

現状の直流き電方式では送電線の抵抗による電圧降下が大きいため、3~5kmおきに変電所が設けられており、その設備維持に多大なコストがかかっています。そこで、電気抵抗ゼロの超電導ケーブルを導入できれば、電圧降

下の低減による変電所間の延伸(集約化)や負荷平準化ができるとともに、回生失効や送電損失の低減による省エネ効果も期待できます。また、帰線(レール)電流も超電導ケーブルで送電することで双方向通電となり、漏えい磁場を低減できるとともに電食の問題も解決することが可能です。

開発した超電導き電ケーブルはレアアース系超電導物質と液体通路を同軸構造としており、過冷却液体窒素を冷媒として、片端の冷凍機から反対端まで往復させる「Go-Return」方式の超電導ケーブルの構造を定めて試験装置を組み上げ、30m級ケーブルの製作と通電試験、冷却試験を行い、15000Aに及ぶ電流量などの緒特性について評価した後、所内試験線を用いて世界初の車両走行を実現しました(図5)。さらに信頼性向上を図ったターボ冷凍機を製作するとともに、300m級ケーブルを製作し、車両走行を実施しました。

一方、超電導き電ケーブル敷設に関して複数の仮想的な線区で試算し、3.5



図4 半導体遮断器ミニモデル

~16%程度の省エネルギー効果の見通しを得ました。

### 運転電力シミュレーターの開発

これまで紹介してきた様々な省エネルギー技術の導入を検討する際には、路線のどこにどのような技術を導入し、それがどの程度の効果が期待できるか試算が必要となります。鉄道総研ではダイヤに従った電車走行に伴って電力計算を行うシミュレーターソフトを保有していましたが、車両性能の模擬および運転方法の模擬精度が粗かったため、計算精度に限界がありました。

そこで、VVVFインバーター駆動

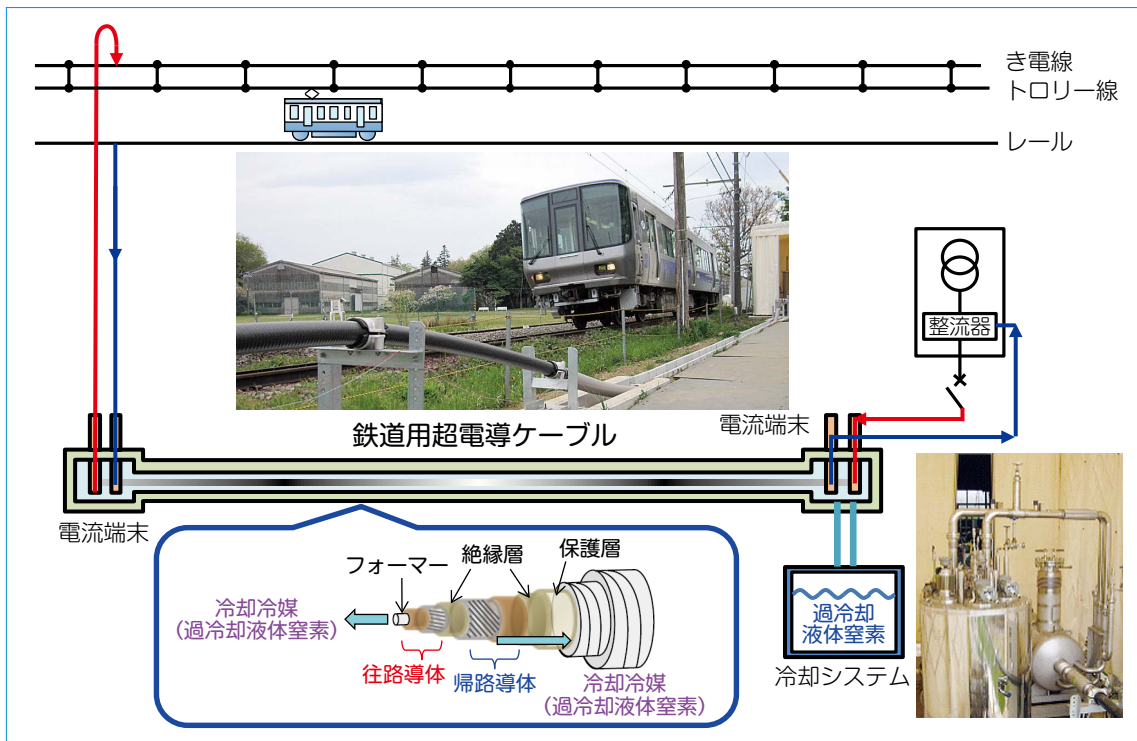


図5 超電導き電ケーブルの構成

の直流電気車を電圧源として表現し、力行時および回生時のき電回路の架線電圧変化の影響を反映した走行モードを的確に再現するとともに、導入が進んでいる各種の電力貯蔵装置にも対応する計算アルゴリズムを提案し、運転の忠実な再現と組み合わせた高精度なシミュレーターを開発しました。

JR西日本殿の多大なる協力を得て実施した実車走行試験では、変電所を限定して線区を独立させ、かつ車両重量と運転操作を精密に制御して、計算精度を確認しました。

なお、これらの研究の一部は国土交通省の補助金と文部科学省の科学研究費および新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の助成を受けて実施いたしました。

### 成果の活用

上で紹介した研究成果は、実用化に向けて今後もそれぞれ開発を継続します。

自然エネルギーを利用した電力システムの構築では、鉄道事業者各社に導入が進んでいる電力貯蔵装置を用いて、自然エネルギー電力と鉄道運転電力を組み合わせたシステムの実用化に向けて提案いたします。

鉄道用フライホイールの開発では、製作した300kW/100kWh級超電導磁気軸受フライホイールの実証機を、2015年度に米倉山太陽光発電所に移設し、東京電力の実電力系統との連系試験を実施する予定です。

エネルギー効率を向上するき電方式では、高電圧き電方式の可能性を示したことを受け、次の研究開発課題において、電力変換器を製作します。

直流電気鉄道用超電導き電ケーブルの開発では、所内試験線での走行試験から得られた知見をもとに、実用化へ向けた研究開発を進めます。電力需給のひっ迫や電圧降下、電食の課題を有する鉄道路線も多いため、これら課題に対する導入方法や効果についても検

討を進めていきます。

運転電力シミュレーターの開発では、開発したシミュレーターを用いた様々なエネルギー計算を行って、地上側のみならず、車両および運転を交えた総合的な省エネルギー技術の開発を目指します。

### おわりに

地上の電力設備にもまだまだ省エネルギーの可能性を示すことができました。なお、ここに紹介した省エネルギー技術は回生電力有効活用や伝送損失の低減など、それぞれの効果が重複しています。したがって、同一線区に複数の技術を適用した場合の省エネルギー効果は、必ずしも単体技術の総和とは一致しないことに注意が必要です。今後とも、運転・車両・地上が連携した省エネルギーを追求していく所存です。RRR