

エネルギーの高效率な利用

秦 広
研究開発推進室
(主管研究員
将来指向課題リーダー)

小原 孝則
車両制御技術研究所
(部長)

長谷 伸一
電力技術研究所
(部長)



はた ひろし



おばら たかのり



はせ しんいち

はじめに

環境負荷の低い鉄道の利点をさらに伸ばし、エネルギーを高效率に利用する鉄道システムの実現に向け、省エネルギー技術、蓄エネルギー技術、創エネルギー技術を組み合わせ、車両の運行に関わるエネルギー消費を低減する研究・開発を行う計画です。

鉄道における省エネ技術をまとめた技術マップを図1に示します。車両の駆動用が中心になりますが、それ以外にもいろいろとアプローチがあることがわかります。

鉄道総研の将来指向課題の中で、省エネ関係を「エネルギーの高效率な利用」という大課題で進めていきますが、これは、車両関係の個別課題「車両のエネルギー消費低減」と電力関係の個別課題「電力の新供給システム」で構成されます(図2)。

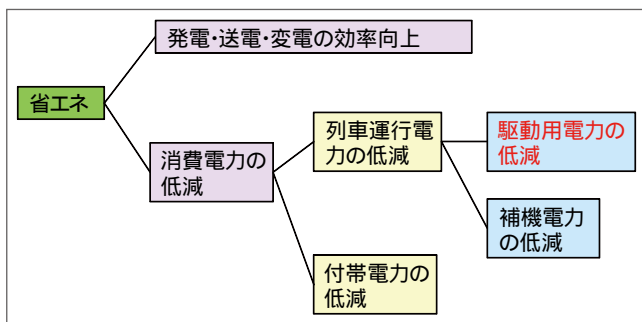


図1 鉄道の省エネ技術マップ

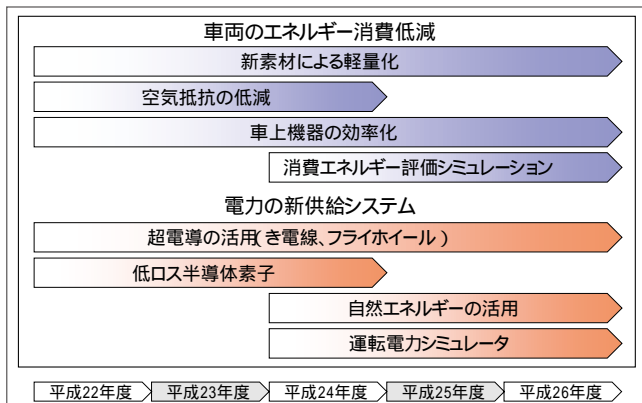


図2 「エネルギーの高效率な利用」の全体計画

車両のエネルギー消費低減

これまでに、再生電力の有効利用、エネルギー評価シミュレーションなど、車両の省エネに関する研究開発は個別に取り組まれてきました。また、ナノ技術を適用した金属材料や高分子材料の適用による車体や部品の軽量化が今後期待されます。これらの研究開発を合わせて、「車両のエネルギー消費低減」という個別課題で進めていきます。

新幹線、在来線ともに消費エネルギーを10%低減できるメニューの提示を目標にします。関係する子テーマについて以下に紹介します。

1 誘導主電動機の高効率化

最近の電車の主電動機は、交流モータの一種である誘導機が使われています。効率は約92%で、車両の主回路機器の中で最も損失が大きい機器です。最近、効率の高い永久磁石同期機の実用化が始まっていますが、1インバータで複数のモータを駆動することができないのでモータの数だけインバータが必要、インバータとモータの間に接触器を設ける必要があるためインシャルコストが高くなるという課題があります。そこで、もう一つのアプローチとして、誘導機を材料面と構造面で改善することに取り組んでいます。効率を約3%向上して約95%にすることを目標にしています。このうち構造面の改善のイメージを図3に示します。回転子の導体の上部を空けることにより、従来構造ではこの付近に強く発生する高調波磁界による損失を減らそうという考えです。テーマ実施期間中に実規模の高効率主電動機を試作する予定です。

2 車体軽量化のための金属系新素材

軽量化のためにステンレス車体やアルミニウム合金車体が広く使われています。車体のさらなる軽量化の可能性を求めて、車体用のアルミニウム合金の材料組織をナノ構造

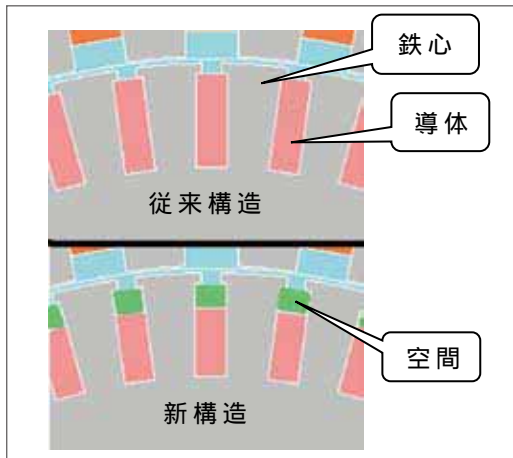


図3 誘導機の効率向上(構造面のアプローチ)

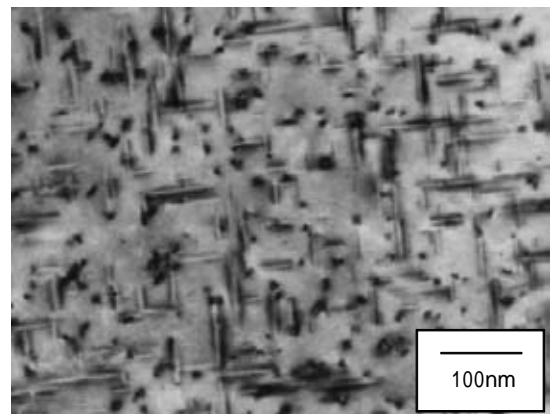


図4 ナノ制御したアルミ合金析出物の例(棒状)

制御する研究開発を進めています。ナノ構造制御したアルミニウム合金は著しく強度が高いという特徴があります。言い換えれば現在以上の薄肉化による軽量化の可能性があります。棒状にナノ制御を行った例を図4に示します。ナノ制御材の塑性加工性の確認、押出型材の試作と強度評価などハードルの高い課題があります。

3 車両の空気抵抗の低減

車両の空気抵抗は速度の2乗に比例します。そのため高速列車ではこれを小さくすることが省エネ上重要になります。そのためには、車体表面をなるべく平滑化することが一つの重要なカギになります。これまででも多くの研究開発が行われ、空気抵抗の低減が図られてきましたが、新幹線車両における台車部の平滑化や在来線車両における機器配置の最適化など、新たな視点で空気抵抗の低減に取り組みます。アプローチとして車両の模型による風洞試験(図5)を考えています。

4 車両軽量化のための高分子材料

高分子材料は、金属材料、無機材料と比べて高い比強度を有しており、軽量化には有効な材料です。FRPは車両の内装や一部の外装に使われて現在の軽量化に貢献しています。このさらなる拡大の可能性を追求していきます。当面は窓ガラスを高分子材料(樹脂)に置き換えることをめざして研究開発を行います。

5 空調装置用冷却システムの高効率化

以前は、空調などいわゆる補機で消費されるエネルギーは駆動用の1割と言われていました。しかし、インバータ制御の導入、回生ブレーキの使用、車両の軽量化などにより駆動用の消費エネルギーは大きく減りました。ところが最近の通勤電車は以前より冷房容量を増大する傾向があり、空調の電力は大きくなる傾向です。また、電車の空調機のCOP(効率)は家庭用のエアコンなどに比べて低く止まっています。これらの点から、空調電力の低減の重要性は増

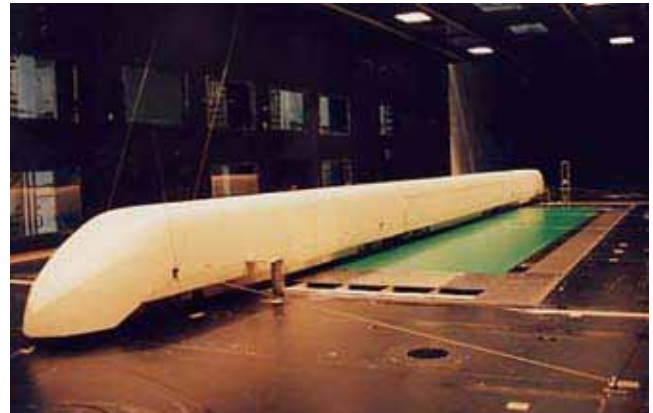


図5 風洞試験用模型と移動地板

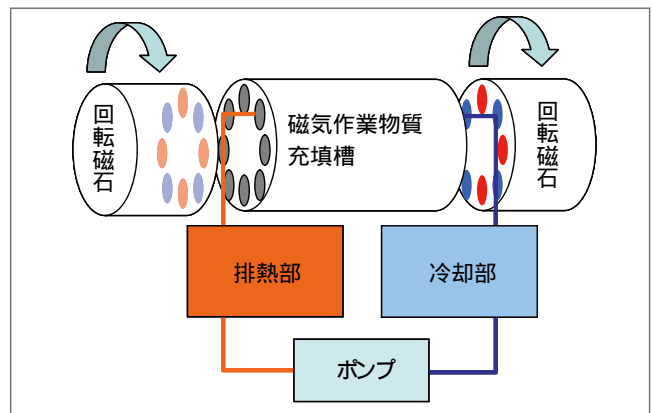


図6 磁気冷凍空調の基本構造

しています。

この課題に取り組むため、磁気冷凍の応用を考えています。これは、磁性体は磁界を加えると発熱し、磁界を取り去ると温度が下がるという性質を用いるものです。図6のように交互にN、Sの磁石を近づけると熱を移動させることができます。つまり空調機をつくることができます。

最終的には車両の空調機レベルの50kW級で構成することを目標として、まずは小さい容量で試作を進めています。

6 消費エネルギー評価ソフト

図1からわかるように省エネ技術はさまざまなものがありますが、ある施策をある線区で取り入れた時にどの程度省エネになるかを評価することは重要です。これを実現するために、走行シミュレーションソフトにエネルギー関係の計算ソフトを織り込んで、任意の線区、任意の性能の車両での消費エネルギーの算出、損失がどの機器でどの程度発生しているかがわかるソフトを開発します。き電系の損失とあわせて評価することが重要なので、後述の電力のソフト開発と連携して進めています。

電力の新供給システム

電力関係の一つ目は超電導ケーブルあるいは高電圧直流き電という新しい電力供給方式によるき電損失の低減です。損失の10%低減を目標にしています。また、この方式にも対応した消費エネルギー評価ソフトを開発します。もう一つの柱は、自然エネルギーと電力貯蔵装置による分散化エネルギーの鉄道への適用です。関係する子テーマについて以下に紹介します。

1 低ロス半導体の適用

直流から交流を作るインバータは産業用・家庭用に広く使われ、電車の主回路などにも使われています。その心臓部は高速で電流をオン、オフできる電力用半導体素子です。その中にはシリコンの膜が使われていますが、これを炭化ケイ素(SiC)に置き換えることにより損失を半分以上にする研究開発が進められています。これを背景に、鉄道への応用を進めています。当面は鉄道の変電所に設置されている整流器のシリコンダイオードにSiCを適用して、損失低減を図ります。また、後で紹介しますが、開発を予定している高電圧直流き電システムにおいては、変電所に設ける遮断器はSiCを使用して無接点化することを考えています。図7は低ロス半導体であるSiCが使われた変電所のイメージです。

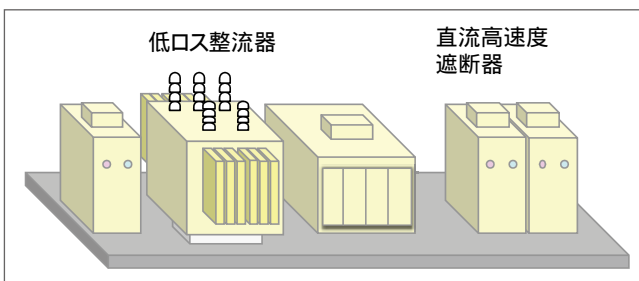


図7 低ロス半導体を適用した変電所のイメージ

2 超電導き電システムの開発

鉄道総研では、超電導技術の在来方式鉄道への応用としていくつかの取り組みをしています。その一つが、き電線を超電導ケーブルに置き換える試みです。き電線は電気抵抗を小さくするため太い銅線を使っていますが、それでも距離や通電電流によってはある程度の損失になります。たとえば10両編成の通勤電車が6000kW消費して加速している時は、4000Aが流れることになります。き電線と帰りの電流が流れるレールを合わせた抵抗をたとえば0.04とすると、ここで発生する損失は640kWと、電車の消費電力の1割程度になります。これは小さな数字ではありません。この改善を目的として、超電導線を適用することを検討しています。

直流電気鉄道のか電線への応用を考えると、交流送電に見られるエネルギー損失がないため、超電導の低損失で高電流密度という特徴を最も有効に生かすことができます。さらに送電損失の低減の他、電圧降下が小さくなることから、回生ブレーキ時により遠方の電車に回生電力を送ることが可能となり、回生失効を減らす効果も得られます。一般的な直流電気鉄道の電圧は1.5kVなので電気絶縁はやりやすいですが、電流容量は大きなものが求められます。また、液体窒素冷却の超電導ケーブルとトロリ線を接続するために約250mごとにき電分岐を設ける必要があるため、低温部への熱侵入を小さくすることが非常に重要になります。

鉄道総研では既に1.5kV 1.5kAの超電導ケーブルを試作しました(図8)。今後導体の大電流容量化、低温部への熱侵入の低減などの課題に取り組んでいきます。

3 超電導フライホイールの開発

エネルギーを回転体に蓄積するフライホイールは、従来

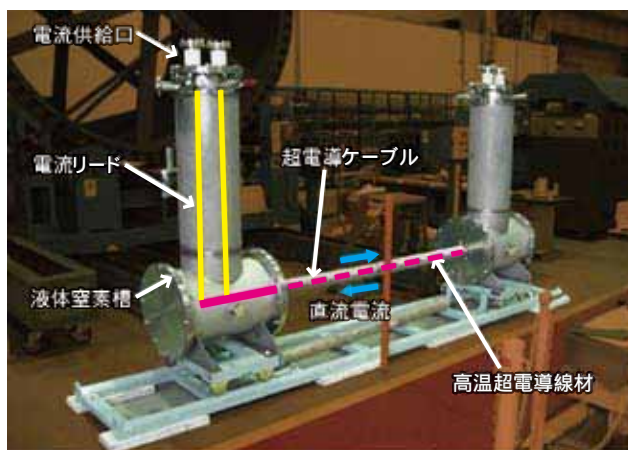


図8 試作した超電導ケーブル

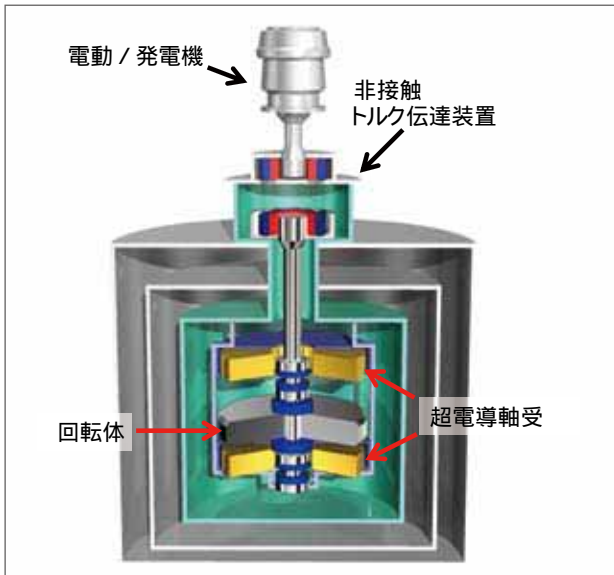


図9 超電導フライホイールのイメージ

から内外で開発されてきました。この軸受に超電導材料を適用して非接触とする構造の超電導フライホイールの研究開発に取り組んでいます。非接触であるので保守の手がかからないこと、二次電池のように寿命がないことがメリットです。イメージは図9のようになります。

核心となる超電導軸受、クライオスタット(低温容器)の壁を隔ててトルクを伝達する装置、液体窒素などの冷媒なしで冷却できる伝導冷却装置など多くの開発課題があります。

4 自然エネルギーを利用した電力システム

最近、太陽光や風力による発電が世界的に進展しています。日本の鉄道でも駅設備などの屋根に太陽電池を設けた例があります。このような太陽光発電と電力貯蔵装置を組み合わせ、その時の電力系統への電力潮流の制御について

研究開発を行います。既存の電力システムに新しい発電システムが加わることになるため、各機器が相互に干渉することなく機能する制御方式の確立が課題になります。図10は自然エネルギーを利用した電力システムのイメージです。

5 高電圧直流き電方式

き電電圧を高くすれば、き電損失を低減することができます。ヨーロッパでは直流3000Vが実用化されていますが、これを超える電圧の直流き電システムを検討します。電力供給設備の開発に加え、き電回路の絶縁を維持するための絶縁方式の確立、現在、直流3000Vを上回るき電電圧に対して遮断可能な遮断器が存在しないため、低ロス半導体素子を用いた新しい遮断器の開発などを併せて行います。

6 新供給システムと運転電力シミュレータ

先に述べた超電導ケーブルや高電圧直流き電方式という新供給システムにも対応した消費エネルギー評価ソフト(運転電力シミュレータ)を開発します。先に述べた車両側のソフト開発と連携して行います。これが実現すると、鉄道システムの電力の流れが評価できるため、車両を走らせることなく、新しい車両の消費エネルギーの評価や列車ダイヤごとのエネルギーの評価が行えるようになります。

おわりに

省エネは言うまでもなくCO₂排出低減による地球温暖化防止に深くリンクしており、この面でも重要性がますます高まっています。鉄道の省エネに寄与できるよう努めていきます。

なお、本研究の一部は、国土交通省の補助金を受けて実施しました。RRR

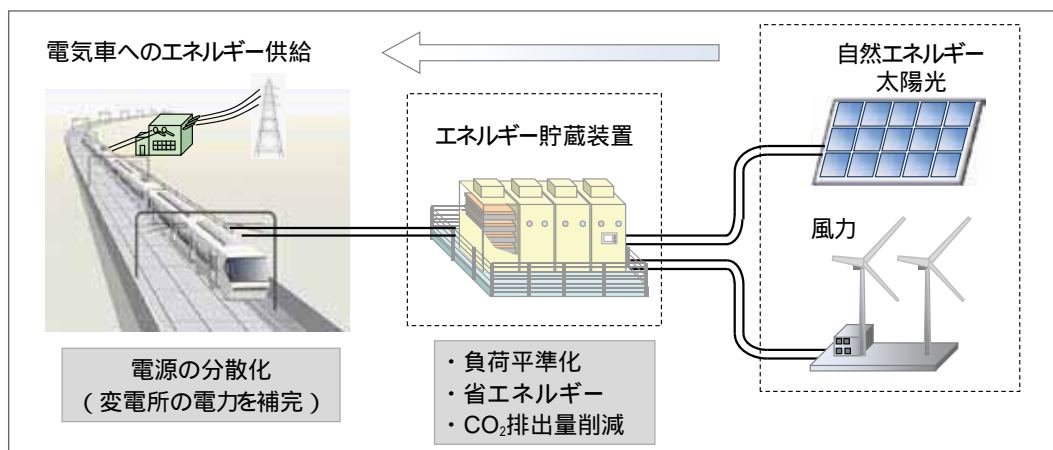


図10 自然エネルギーを利用した電力システムのイメージ