

2050年カーボンニュートラルに向けた 鉄道総研の研究開発



重枝 秀紀
Hidenori Shigeeda

鉄道総合技術研究所
電力技術研究部長

古川 敦
Atsushi Furukawa
鉄道総合技術研究所
理事

村本 勝己
Katsumi Muramoto

聞き手
鉄道総合技術研究所
企画室長

はじめに

村本 鉄道総研では2021年11月10日に「脱炭素化に求められる鉄道技術」をメインテーマとして鉄道総研講演会を開催しました。鉄道総研としては、対外的に脱炭素化を前面に押し出して研究開発の展望を発信したのはこれが初めてだったと思います。あれから半年ほど経過しましたが、本日は、講演されたお二人に、改めて2050年カーボンニュートラルに向けた鉄道総研の研究開発についてお聞きしたいと思います。

まずは、鉄道総研の研究開発推進部を分掌する理事として基調講演された古川さんにお伺いします。新年度となりましたが、昨年度から振り返って鉄道総研の取り組み状況などについてお話しただけないでしょうか。

古川 そもそも、11月の鉄道総研講演会で鉄道の脱炭素化を取り上げたのは、鉄道事業者の

方々の脱炭素化への関心が近年非常に高く、とくに2020年10月の菅総理大臣の「2050年カーボンニュートラル宣言」以降、「鉄道総研では脱炭素化についてどういう取り組みをやっているんだ?」というご質問を受ける機会が増えてきたことも背景にあります。それまでは、当初から「脱炭素化」を目標に掲げて実施してきた研究開発テーマはなかったのですが、一方で省エネルギーに関する研究開発は昔からいろいろやってきていましたので、講演会では「脱炭素化」を「CO₂排出量削減」と「省エネルギー」という切り口に分けて、これまでの研究開発成果を整理するとともに、2050年カーボンニュートラルに向けた研究開発について展望しました。さらに2022年度からは、鉄道総研の事業計画に研究開発の方針の一つとして「2050年カーボンニュートラルの実現に向けた鉄道の脱炭素化」

を明記しました。「脱炭素化」に向けて新たに開始する取り組みもありますが、継続して行われている研究開発についても、より「脱炭素化」に踏み込んで取り組んでいくことになります。

村本 鉄道総研としても避けて通れない課題ですから、全所的に取り組んでいくということですね。では、鉄道総研の脱炭素化関連テーマの中核といえる電力技術研究部長の重枝さんに、鉄道の脱炭素化に関する状況をお聞きしたいと思います。率直な質問をさせていただくと、長期的には商用系統電力の再生可能エネルギー（以下、再エネ）比率は上がっていくでしょうから、電化率の高い日本の鉄道の脱炭素化も必然的に進むと考えていいのでしょうか。

重枝 電力供給側のロードマップはそのとおりだと思いますが、それだけで鉄道の脱炭素化が進むのかというところが単純な話ではありません。鉄道のエネルギー需要は朝と夕方にピークがあり、昼間にピークがある一般の電力需要とは、平準化という点でこれまでは相性がよかったと思います（図1）。しかし、太陽光による再エネ比率がさらに上がってきて昼間の発電量が増大しても、今のままでは鉄道ではあまり有効活用できなくて無駄になってしまいます。これは、系統電力を買おうが、鉄道事業者が自家発電しようが根本的には同じことです。

したがって、蓄電池などを活用した需給バランス調整が必要となりますし、需給調整市場も整備されてきています。ただし、ビジネスとして成立するのかどうかはまだ不透明であり、鉄道事業者としても参入するかどうか、当面は様子見という状況ではないかと思えます。

古川 2024年度には需給調整市場の商品が出そろうといわれていますが、まだ制度設計の途中でもあって、鉄道事業者にとって魅力的なものになるのかどうか、鉄道総研としても関係機関などと情報共有して注視していく必要があると考えています。

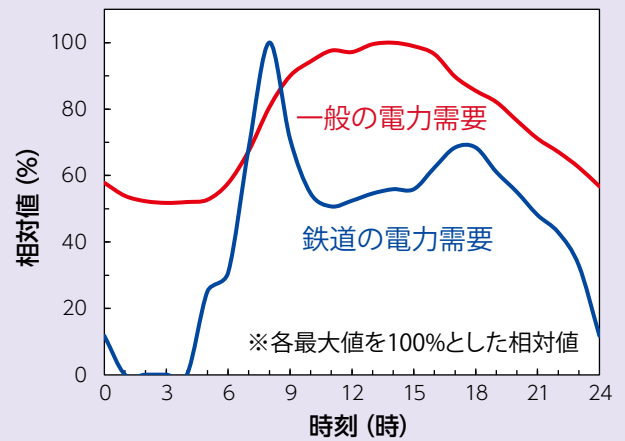


図1 1日の電力需要のイメージ

鉄道総研の脱炭素化へのこれまでの取り組み

村本 ではここで、鉄道総研の脱炭素化に関連するこれまでの取り組みをおさらいしたいと思います。表1は2000年のRESEARCH 21から振り返って都合20数年分の研究開発テーマから該当するものをピックアップしたものです。実際は、この3倍くらいあるんですが、代表的なものや特徴的なものだけを抜き出しました。これをご覧になって、いかがでしょうか。

古川 率直に言って、それなりにやってきているなという印象と、まだまだこれからだという印象の両方ですね。先に申し上げたとおり、鉄道は省エネルギーについては昔からいろいろやっていきますから件数としてはそれなりにあります。しかし、RESEARCH 2020が開始された2015年くらいまでは、CO₂排出削減に対して世間が今ほど高いモチベーションにはなっていませんでしたから、ここに記載されて



CO₂排出量削減

- 燃料電池の鉄道車両用電源への適用の基礎的研究
- 燃料電池の長期劣化特性
- 燃料電池電車用電力変換装置の開発
- 燃料電池ハイブリッド電車の開発
- 燃料電池鉄道システムの低炭素化
- バイオマスのまくらぎへの適用に関する研究
- バイオ燃料を用いたディーゼルエンジンの性能評価

CO₂排出量削減・省エネ

- 電力リサイクル車両のシステム開発
- 変電所の電力貯蔵
- エネルギー再生利用バッテリー駆動型車両の開発
- 電力貯蔵装置制御手法の研究
- 超電導磁気軸受を用いた鉄道用フライホイール蓄電装置の基礎的検討
- 鉄道用フライホイール蓄電装置用超電導磁気軸受に関する研究
- 在来線交流電車のバッテリーハイブリッド化
- 鉄道用フライホイールの高効率化
- 高機能超電導磁気軸受を適用した鉄道用フライホイールの開発
- 車載環境に対応したリチウムイオン電池の劣化評価方法の開発
- 鉄道用フライホイールの実用化技術開発
- 車両・地上設備の消費エネルギー予測に基づくエネルギーネットワーク制御手法の開発
- 車両駆動用蓄電池の高頻度通電に対する耐久性評価
- 超電導フライホイールの充放電等の特性向上
- 超電導フライホイールの省メンテナンス・コンパクト化設計手法
- 超電導磁気エネルギー貯蔵システムの基盤技術の構築
- スマート蓄電システムの制御法の構築
- リアルタイムエネルギー協調制御

省エネルギー

- 車両用超電導主変圧器の開発
- 鉄道車両の空気抵抗低減方法およびその評価
- 省エネ運転支援システムの開発
- 主回路パラメータ変更によるエネルギー消費量抑制に関する研究
- 鉄道車両用消費エネルギー計算手法の開発
- 高機能整流器の開発
- 超電導き電ケーブルの長尺化技術の構築
- 車両構体の強度に関する構造最適化手法の構築
- プレス成型体を適用した車両構体に関する提案
- 車両周りの乱流流れ場の影響評価
- 高効率誘導電動機等の開発
- 高電圧き電用電力変換器の高機能化
- 鉄道用超電導き電ケーブル導入に向けた要素技術開発
- 超電導き電システムの開発
- 高機能運転電力シミュレータによる省エネ効果の評価
- ディスク形モーターの設計手法
- キロメートル級超電導き電システム
- 超電導き電システムの間接続に関する技術構築
- リアルタイム省エネ運転手法の開発
- 利便性を考慮した省エネダイヤ作成
- 貨物列車の消費エネルギー概算手法の開発
- ディスク形ダイレクトドライブモーターの開発

鉄道へのモータリフト喚起

- 振り車両の乗り心地評価と改善技術の研究
- 曲線高速走行インテリジェント台車の開発
- 新幹線用低コスト型セミアクティブ制振装置の開発
- 車体弾性振動の解析および低減法の研究
- 車内騒音の音源と伝達系における低減法の研究
- 鉄道振動環境における酔い誘発要因の解明と低減・防止法の研究
- 車内快適性の評価手法の開発
- 制御付き軸ダンパによる車体制振システムの開発
- 可変減衰軸ダンパを用いた上下制振制御システムの実用化
- 車体減衰性能の評価と向上に関する研究
- 旅客からみた駅・車内環境の評価技術の研究
- 高速鉄道の振動・低周波音の複合環境が乗客に及ぼす影響の評価
- 在来線高速化をめざした車体傾斜と操舵技術の開発
- 曲線通過速度と乗り心地を両立する走り装置の実用化
- 複数運動モードに対応した乗り心地向上策の研究
- 複数モードを考慮した車体弾性振動のモデル化と低減手法
- 振動と騒音の感覚特性に基づく車内快適性の研究
- 非常温温熱環境の快適性予測モデルの構築
- 乗り心地を向上させる車体傾斜システムの開発
- 上下制振制御装置の適用範囲拡大および性能向上に関する開発
- 上下制振制御装置の適用範囲拡大および性能向上に関する開発
- 台車・車体間の前後振動絶縁による快適性向上
- 曲線通過時の高速走行に対応した振り制御システムの性能向上
- 低コスト複合型上下制振制御システムの開発
- 伝搬特性に対応した車内騒音低減対策の実用化
- 日射環境下における車内温熱快適性評価手法
- 温熱体感予測モデルを用いた車内空調制御の快適性評価手法

表1 鉄道総研における脱炭素化に関連する研究開発テーマの経緯

いるほとんどの研究開発テーマの主目的は、省エネ、車内快適性向上やスピードアップといったもので、脱炭素化という目標に向かっては必ずしも言えないと思います。RESEARCH 2025になって改めて方向性を脱炭素化・カーボンニュートラルに定めて再スタートしたというのが正直なところですよ。

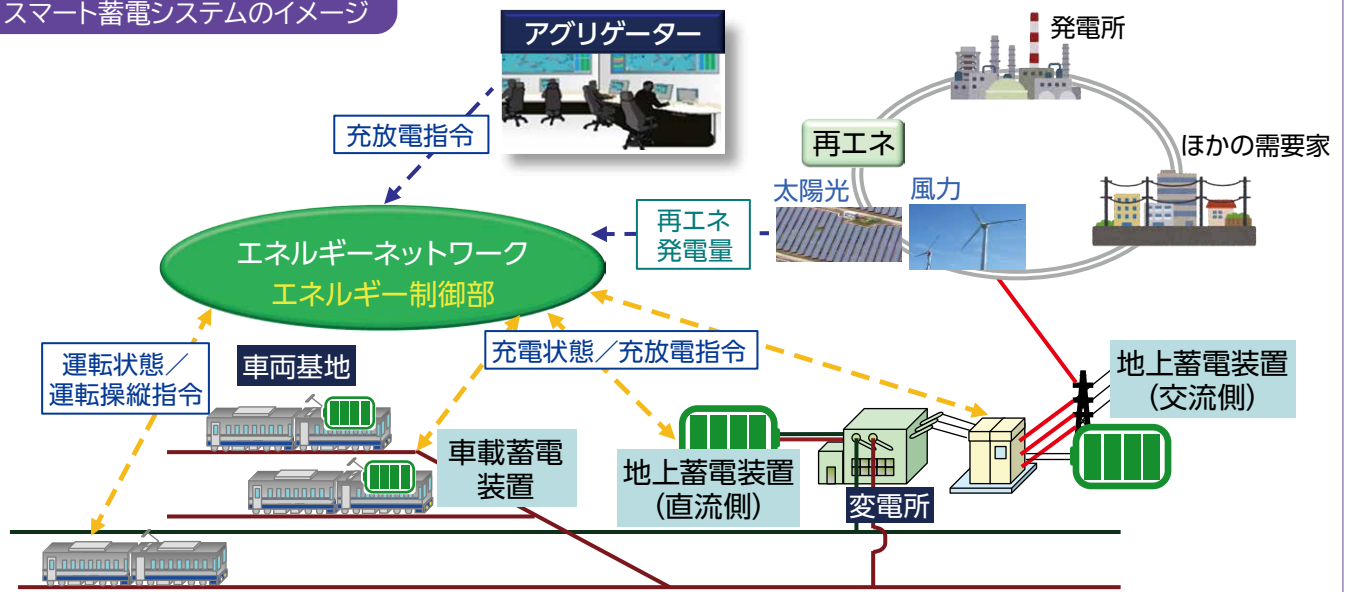
とはいっても、脱炭素化に関連してこれだけの下積みがあるのは大きなアドバンテージですので、これまでの知見を継承して新たな取り組みも加速していきたいと思っています。

村本 ちょっと細かく見ますと、2000年スタートのRESEARCH 21で、鉄道車両用燃料電池や変電所の電力貯蔵の研究に着手しているところが目を引きます。燃料電池車両については現

在も開発継続中ですが、変電所の電力貯蔵についてはどうなったのでしょうか。

重枝 当時考えていた変電所の電力貯蔵は再生電力の有効利用による省エネなどを目的としており、列車の加減速に応じて多頻度の充放電を行うことから、鉄道総研では当時の蓄電池よりも応答が早く寿命が長いと期待される電気二重層キャパシターを活用した蓄電装置を開発・実用化しました。その後、リチウムイオン蓄電池の高性能化が進んで、現在の蓄電装置の主流となりましたが、蓄電装置の研究開発で得た制御手法などのノウハウを活用し、再生可能エネルギーを貯めることで電力貯蔵の利用価値を高めるためのエネルギーマネジメントの方に研究開発をシフトしました。その流れが現在のスマー

図2 スマート蓄電システムのイメージ



ト蓄電システムの開発につながっています。

村本 鉄道総研としては、バッテリーなどのハードウェアについては、その時代のベストなもの、コストパフォーマンスのいいものを選択して活用することとして、それらを鉄道でうまく活用するためのマネジメントを勉強していくということにしたということですね。

2050年カーボンニュートラルに向けて

村本 それでは、2050年カーボンニュートラルに向けた鉄道総研の今後の研究開発の展望をお聞かせください。

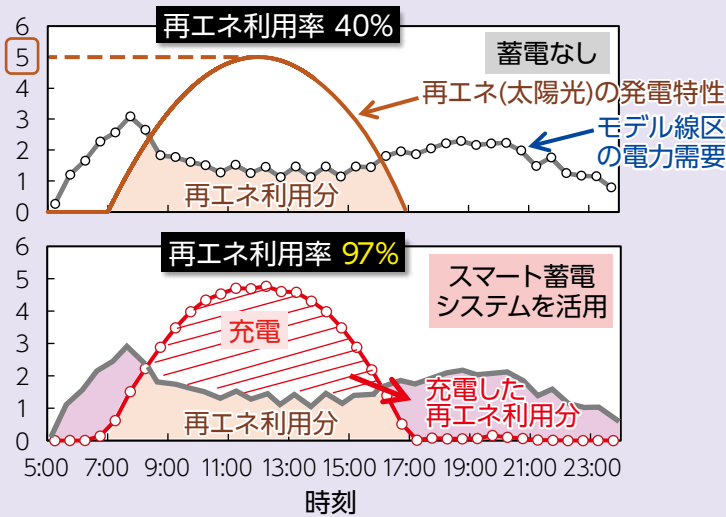
重枝 2050年はもちろんですが、その前に2030年のCO₂削減目標46% (2013年比) に向けた取り組みが当面の課題となります。先に申し上げたように、需給バランスをうまく調整できなければ再エネの活用比率を上げることはで

きません。鉄道総研では、RESEARCH 2025において「電力ネットワークの電力協調制御による低炭素化」という大課題を設定しています。その一例として、鉄道電力システムのさらなる省エネと再エネ活用の促進を目指すスマート蓄電システム(図2)をご紹介します。

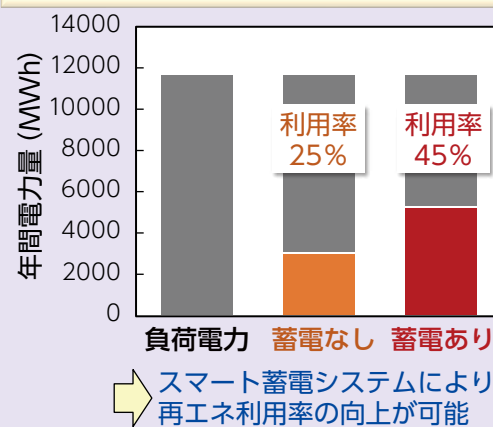
重枝 図3は、鉄道総研が開発した列車運行電力シミュレーターで計算したモデル路線の例ですが、昼間の太陽光発電による電力供給が鉄道の電力需要よりも過大になる分を充電して、朝夕を中心とした鉄道の電力需要に合わせて放電するというものです。あくまで試算ですが、その路線の1日の電力需要に匹敵する発電量をもつ太陽光発電設備と、その発電量を全量蓄電可能な蓄電装置を設けた場合、発電量が最大となる夏季なら約97%、年間平均でも約45%の運行電力を太陽光だけでまかなうことができます。スマート蓄電システムでは、変電所に設置する蓄電装置のほかに、蓄電池を搭載した車両も一翼を担います。

重枝 また、2050年の最終目標に向かっては、やはり高性能・大容量の蓄電システムの実用化は不可欠だと思います。鉄道総研では、これまで蓄積してきた超電導技術を活用した超電導フライホイールの実用化に向けた研究開発を今後も続けてまいります。さらに、現在実用化を目指している超電導き電ケーブルの開発で得た知





■日中の余剰発電電力をほかの時間帯に放電
 ■非再生エネ電源 (石炭、天然ガスなど)



➡スマート蓄電システムにより
 再生エネ利用率の向上が可能

図3 スマート蓄電システムによる再生エネ (太陽光) の利用率向上の試算例

見を踏まえて超電導エネルギー貯蔵装置 (SMES) の鉄道での応用に向けた研究開発にも着手しました。

古川 日本で省エネが注目されたのは1970年代の石油ショックが最初だと思います。そのため、これまでは省エネというと化石エネルギーの使用量を減らすということを意味していました。しかし最近では2050年カーボンニュートラルに向けて非化石エネルギー使用率を高める、という観点も加えられており、国ではその方向で省エネ法 (正式名称は「エネルギーの使用の合理化等に関する法律」) の改正作業を進めていると聞いています。鉄道総研でも、スマート蓄電システムの研究開発を進め、再生可能エネルギーを鉄道で利用するための環境を整えていくとともに、電力技術以外のCO₂削減に向けた取り組みとして、非電化路線の脱炭素化に向けた燃料電池車両、架線レス電車の開発に加えて、気動車などにおけるバイオ燃料の活用に向けた研究開発も行います。ただし、バイオ燃料は各分野で争奪戦が激しくなるといわれていますし、蓄電池に使用するリチウムなどのレアメタルやレアアースもますます入手困難になると考えられますので、あまりこれだと決めつけずに、中長期的な動向を見ながら手広く検討を進めていく必要があると思います。

古川 また、中長期的には、あらゆる研究開発

テーマにおいてカーボンニュートラルに貢献するか、という評価にさらされる時期が来ると思います。これまでは、研究開発成果の実用化段階では、コストが重要だったわけですが、今後はそれに加えて脱炭素かどうかということも積極的に評価していかなければならないかもしれません。例えば、現状、製造時にCO₂を大量に排出するセメントを使用する工法やコンクリート部材についても、ジオポリマーなどのより低炭素な材料や、カーボンリサイクルが確立した材料・工法に置き換えるといった選択肢も現実味を帯びてきます。結局のところすべてCO₂排出量も含めてコストに換算されることとなりますが、そういった点はおもに材料技術研究部が中心となってキャッチアップしていくこととなります。

先ほど話に出たように、2050年のカーボンニュートラルに向けた中間目標として、2030年のCO₂排出量46%削減目標があります。鉄道総研としては、現行の基本計画RESEARCH 2025からスタートした脱炭素化に資する研究開発を次期基本計画 (2025～2029年度) に引き継ぎ、2030年の削減目標に貢献できる成果が創出できるように、所内・所外の関係各所と分野横断的に連携を取って進めて参ります。

村本 本日はお忙しいところありがとうございました。