

■ 列車の省エネ運転方法の検討

1. はじめに

JR西日本は、地球環境保護のため、エネルギー消費量の低減を目的として、安全・安定輸送を前提にエネルギー消費を抑えた省エネ運転を推進しています。具体的には、省エネ運転理論と運転方法を検討し、それらを実際の列車で効果を検証するとともに、各職場での実践を進めています。

本稿では、現在の主流である回生ブレーキを有した電車为例にとり、これまでに検討してきたエネルギー消費量を抑えるための運転理論および検証結果を紹介します。

2. 省エネ運転理論

(1) 列車の運転方法と消費エネルギー

列車の運転方法と消費エネルギーの関係について説明します。図1に、列車の最もシンプルな走行パターンである、「力行(加速)」→「だ行(慣性走行)」→「ブレーキ(減速)」で駅間を走行する場合の走行に伴うエネルギーの関係を示します。

駅発車後、列車を加速させるために電力を消費します。この電力を力行電力量と呼びます。そして、駅に停車するため、ブレーキをかけます。その際に、駆動用モータを発電機として動作させ、列車の運動エネルギーを電気エネルギーに変換し、他の列車等に供給します。この供給する電力を回生電力量、この時のブレーキを回生ブレーキと呼びます。

力行電力量から回生電力量を差し引いたエネルギーを走行に伴う消費エネルギーとし、省エネ運転方法の評価指標としました。

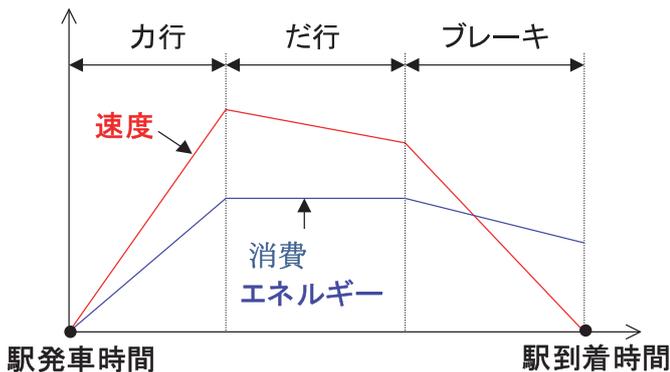


図1：走行時の速度と消費エネルギーの関係

(2) 省エネ運転の検討条件および理論

① 検討条件

ここで、検討に使用する加減速力について説明します。運転士が力行、ブレーキ時に使用する加減速力は、複数の設定があり、ハンドルの操作で選択可能です。運転士が実際に使用している加速力を調査したところ、力行は基本設定の加速力が主に使用されていますが、ブレーキ時の減速力は様々でした。そこで、力行条件は基本設定の加速力に固

定し、減速力を変化させることによって消費エネルギーがどのように変化するか検討することにしました。

また、鉄道の特徴として定刻運転があり、駅間を決められた時間で走行することは大前提です。省エネ運転でもその前提は変わらないため、駅間の所要時間は一定として検討することにしました。

② 省エネ運転理論

省エネ運転を考えるにあたり重要な力行電力量と回生電力量の大きさについて説明します。

エネルギー変換効率や走行抵抗等の影響により、力行電力量(電気エネルギー)の一部は列車の運動エネルギーに変換されずに失われます。同様に、列車の運動エネルギーの一部は回生電力量(電気エネルギー)には変換されずに失われます。図2に力行およびブレーキ時のエネルギー損失のイメージを示します。図2に示すように、投入した力行電力量よりも運動エネルギーは小さく、回生電力量は、運動エネルギーよりもさらに小さくなります。よって、力行電力量の全てを回生電力量として回収することはできません。以上のことより、投入する力行電力量を極力小さくすることが消費エネルギーの低減につながると考えられます。

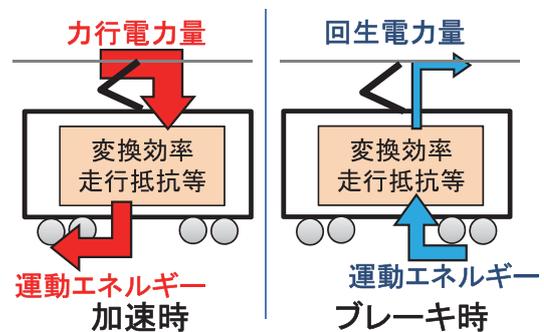


図2：エネルギー損失イメージ

加速力が一定という条件で検討しているので、力行電力量を小さくするには、力行時間を短くすれば良いということになります。

具体的な省エネ運転方法を、図3を用いて説明します。図3のパターンAが省エネ運転を表しています。パターンAはパターンBと比較し、力行時間が短くなっているため、力行電力量が小さくなっています。力行時間を短くすると、列車の最高速度が低くなるため、決められた所要時間で駅に到着するには出来るだけ高い速度を維持する必要があります。そのため、パターンAではパターンBに比べ、ブレーキ減速力を大きくすることでブレーキ時間を短くし、高い速度を維持できるようにしています。こうすることにより、パターンBと同一の所要時間で、より少ない消費エネルギーでの走行が可能となります。

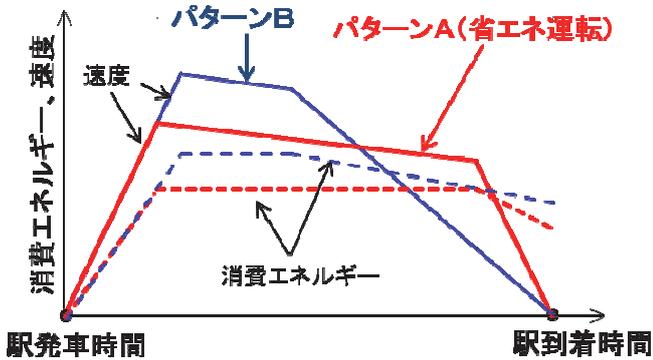


図3：省エネ運転方法イメージ

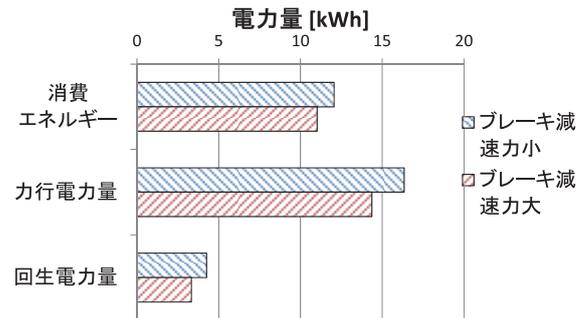


図5：試運転データ分析結果

3. 理論の検証

(1) シミュレーションによる検証

シミュレーションを用いて省エネ運転理論の検証を行いました。検討条件は、今までと同じです。すなわち、加速力、駅間の所要時間を一定とし、ブレーキの減速力は可変としました。よって、力行時間はブレーキの減速力を変えることで調整し、ブレーキ減速力が大きい程力行時間が短くなります。

シミュレーション結果を図4に示します。図4より、シミュレーションにおいても、ブレーキ減速力が大きい、つまり、力行時間を短くした運転方法の方が、消費エネルギーが小さくなることが確認できました。

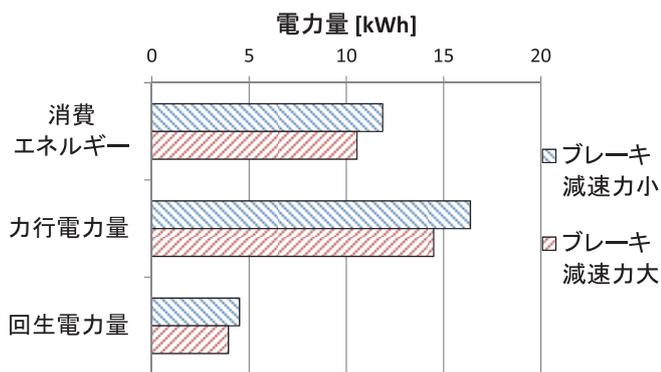


図4：シミュレーション結果

(2) 実際の列車データによる検証

① 試運転による検証

省エネ運転理論を実際の列車で検証するため、試運転を実施しました。

走行条件は前項のシミュレーションと同一としました。

測定結果を図5に示します。図5より、シミュレーション結果と同様に、ブレーキ減速力が大きい、つまり、力行時間を短くした運転方法の方が、消費エネルギーが小さくなることが確認できました。

② 営業列車データによる検証

現在、複数の営業列車に力行電力量および回生電力量の情報を含む、様々な列車情報を収集できる装置を搭載しています。そのデータを用いて消費エネルギーの分析を実施しました。

分析対象は、次の条件に合致する特定の駅間を選定しました。選定条件は、図1と同様、駅間の運転操作が力行→だ行→ブレーキのみ一走行する実績の多い区間としました。また、実際の運転時間には、ダイヤ乱れの影響等によりバラつきがあるため、一定以上運転時間が異なるデータは分析対象から除外しました。力行時間と消費エネルギーの関係を図6に示します。図6より、シミュレーション結果と同様に、力行時間を短くした運転方法の方が、消費エネルギーが小さくなることが確認できました。

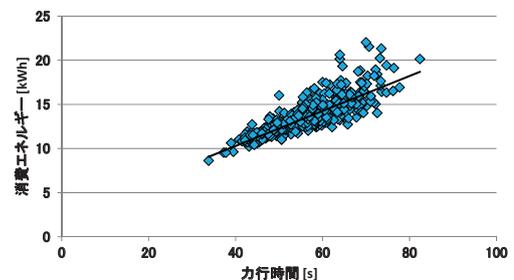


図6：力行時間と消費エネルギーの関係

4. おわりに

以上の運転理論は、一駅間の運転操作が、力行→だ行→ブレーキというシンプルな条件で検討しました。実際の運転操作は、駅間距離が長い場合や制限速度等により、力行およびブレーキが複数回発生する場合もあり、複雑です。回生ブレーキについては、機器の容量の制約から、高い速度からのブレーキ力を回生ブレーキだけではまかなえず、運動エネルギーを熱エネルギーとして消費する機械ブレーキで補っています。また、他の列車等、回生電力量を吸収できるものがなければ、回生ブレーキは失効し、機械ブレーキに切り替わります。このように、ブレーキ時の運動エネルギーから変換される回生電力量の大きさは様々な運転条件により変化します。今後はこれらについても検討を行い、省エネ運転の深度化を図っていく予定です。