

ハイブリッド車両向け 走行シミュレーション

小川 知行

車両制御技術研究部(動力システム研究室 研究員)



おがわ ともゆき

はじめに

架線の無い区間では、軽油を燃料としてディーゼルエンジンを使用した気動車(ディーゼルカー)が使用されています。近年はその代替として従来のディーゼルエンジンの他に蓄電装置を搭載したディーゼルハイブリッド車両(以下、ハイブリッド車)の開発・導入が進みつつあります。ハイブリッド車は、蓄電装置を工夫して利用することで、従来の気動車に対して、

- ・燃料消費量の低減
- ・排出ガスの低減
- ・加速性能の向上
- ・騒音の低減

などの効果が期待できます。このため、様々な方式のハイブリッド車の研究開発が進められています。鉄道総研では、ハイブリッド車両の設計、評価、運用の際に重要となる走行シミュレーターを開発していますので、紹介します。

ディーゼルハイブリッド車両の効果

ディーゼルハイブリッド車両は、蓄電装置を利用することで、主に次のような効果が挙げられます。

電車は、ブレーキをかけた時にモーターを発電機として使用して、回生電力を架線に返していますが、気動車では架線とつながっていないため回生ができません。ハイブリッド車は、回生電力を車両に搭載した蓄電装置に貯めることができます。回生された電力を有効に使用することで、エンジンの出力を減らすことができ、燃料消費や排出ガスの低減につながります。

また、エンジンは定格よりも小さな負荷で使用すると、効率が劣ったり排出ガスの割合が増加したりしがちです。気動車では、列車の走行に合わせてエンジンの効率が良くない負荷点でも使用しなければなりません。ハイブリッド車では、蓄電装置を使用することで、列車の走行状態にかかわらずエンジンにとって効率が良い負荷で動作させることが可能となります。これも、燃料消費や排出ガスの低減につながります。

さらに、ハイブリッド車では、図2のようにエンジンと蓄電装置の出力を合わせて使用することで、車両を加速させる引張力を向上させ、走行時間が短縮できる可能性を有しています。別の見方をすれば、これまでは必要な性能を得るために大きなエンジンが必要だったところが、小さい

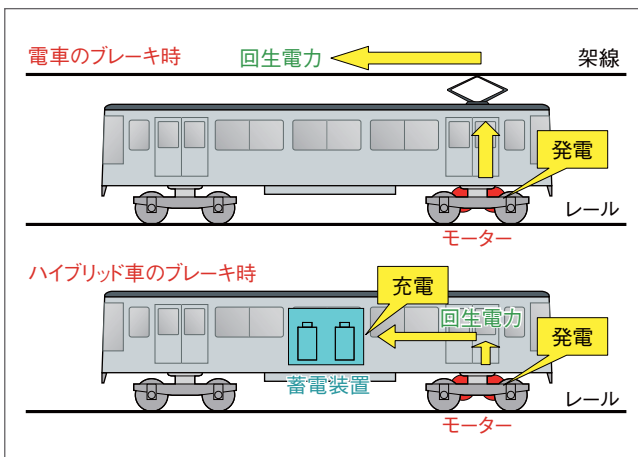


図1 ハイブリッド車の回生の仕組み

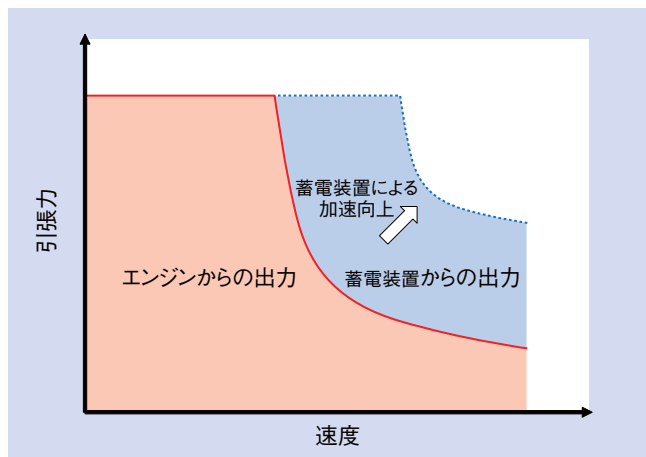


図2 加速性能の向上

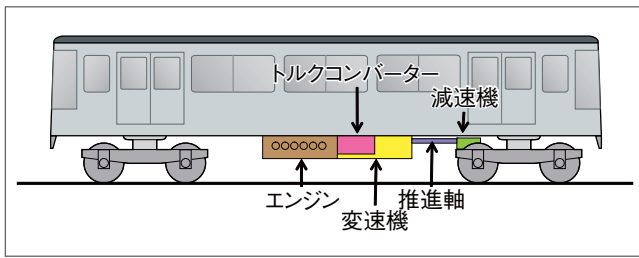


図3 気動車の構成例

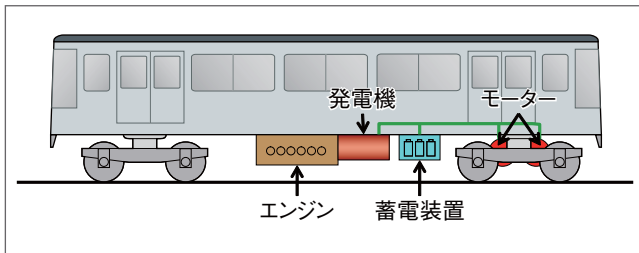


図4 シリーズハイブリッド車両の構成例

エンジンで済むようになります。

加えて、気動車では、駅に停車しているときも、車内の照明や空調などのためにエンジンをアイドリング運転させている必要がありますが、ハイブリッド車では、アイドリングストップが可能となり、騒音の低減につながります。

ディーゼルハイブリッド車両の構成

ディーゼルハイブリッド車両は、目的に応じて様々な方式が提案され、特徴も異なりますが、機器構成から大きく分けるとシリーズハイブリッド方式とパラレルハイブリッド方式の2種類に分類されます。従来からの気動車の機器構成を、図3に示します。

これに対して、シリーズハイブリッド方式は、図4のようにディーゼルエンジンと発電機を組み合わせたディーゼル発電機によって電気を発生させ、ディーゼル発電機と蓄電装置を組み合わせた電源により、モーターを駆動するため電車に近いシステムと言えます。シリーズハイブリッド方式を採用した車両としては、JR東日本のキハE200形とHB-E300系(図5)が実用化されています。また、貨物駅での貨車の入換を行う入換機関車として、JR貨物のHD300形式(図6)も実用化されています。

一方、パラレルハイブリッド車両は、気動車に比較的近い機器構成となっています。図7のようにトルクコンバーターを使用せず変速機にモーターを接続したJR北海道のモータ・アシスト式ハイブリッド車両(図8)と、図9のようにエンジンにモーターを接続したJR西日本のマイルドハイブリッド気動車(図10)が開発されています。



図5 JR東日本 HB-E300系



図6 JR貨物 HD300形式
(写真提供：JR貨物)

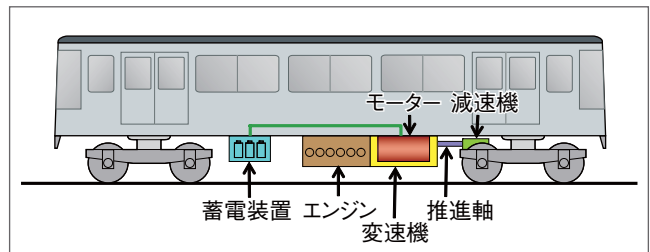


図7 パラレルハイブリッド車両(方式1)の構成例



図8 JR北海道 モータ・アシスト式ハイブリッド車両
(写真提供：JR北海道)

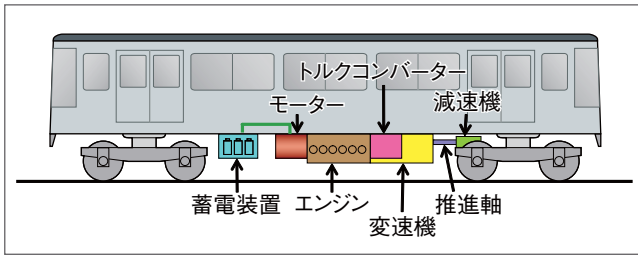


図9 パラレルハイブリッド車両(方式2)の構成例



図10 JR西日本 マイルドハイブリッド気動車(試験使用車両)
(写真提供: JR西日本)

走行シミュレーションの必要性

以下に、ハイブリッド車両用の走行シミュレーションが必要な事例について紹介します。従来の鉄道車両は、電車でも気動車でも、車両の加速する方法は1通りだけになっていました。具体的には、電車であれば、架線から集めた電気は、その瞬間にモーターから出力される力となり、車両を加速させます。気動車であれば、エンジンから出力した力は、その瞬間に車両を加速させる力となります。一方、ハイブリッド車は、エンジンからの力を電気に変換し、蓄電装置に蓄えることができます。したがって、エンジンからの力で加速することはもちろんのこと、蓄電装置に蓄えた電気がある時には、蓄電装置からモーターを通じて出力した力で加速させることもできます。このため、モーターやエンジンからの出力によって車両性能が決まっていた従来の鉄道車両とは異なった使い方が可能となるのです。例えば、エンジンが止まったままの状態でも、蓄電装置からの電気によって加速していくことが可能となります。一方で、このような特徴を活かすには、これまでの設計の仕方を大きく変える必要があります。ハイブリッド車は、蓄電装置で充放電しながら走って行くことになり、蓄電装置の残量(SOC)によって加速性能が変わってきます。そこで、時々刻々のSOCをシミュレーションによって計算した上で、車両の速度を求めていき、目的地までの到達時間を割

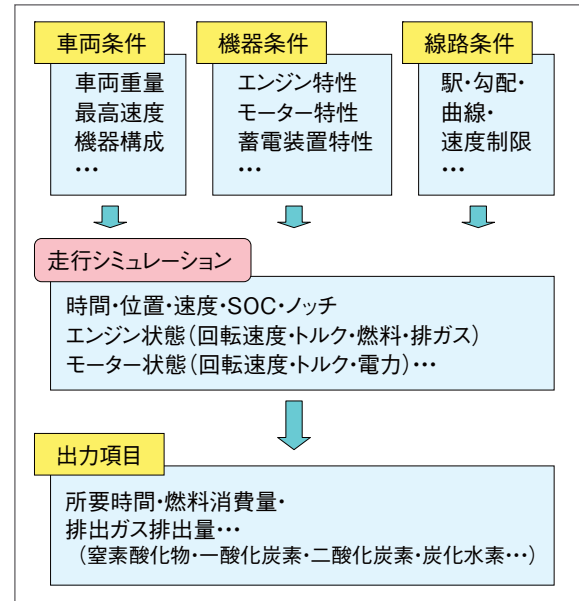


図11 走行シミュレーションの入出力

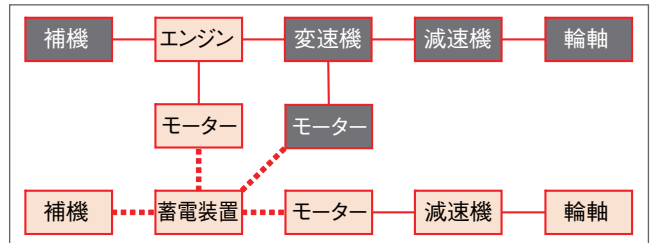


図12 シミュレーターの機器モデル
(シリーズハイブリッド方式の例 赤: 選択された機器)

り出すことになります。

また、ハイブリッド車の効果として期待される環境負荷の改善効果は、エンジンの大きさ、蓄電装置の大きさ、充放電の仕方などの様々な要素によって変わってきます。特に、エンジンや蓄電装置の形式や数を変えて設計するとすると、その都度、試作車両を作り、燃料消費量や排出ガス排出量を測っていたのでは、コストも時間も大変なものになってしまいます。そこで、走行シミュレーションによって、燃料消費量や排出ガス排出量が予測できれば、そのようなロスを省くことが期待されます。

シミュレーターの特徴

開発した走行シミュレーターは、図11のように、車両・機器・線路の条件を入力すると、時々刻々の位置や速度やSOCなどを計算し、各駅間や全体の所要時間や燃料消費量や排出ガス排出量などが計算される仕組みとなっています。

この走行シミュレーターは、先ほど紹介したいくつものハイブリッドシステムに対応していることが特徴です。複

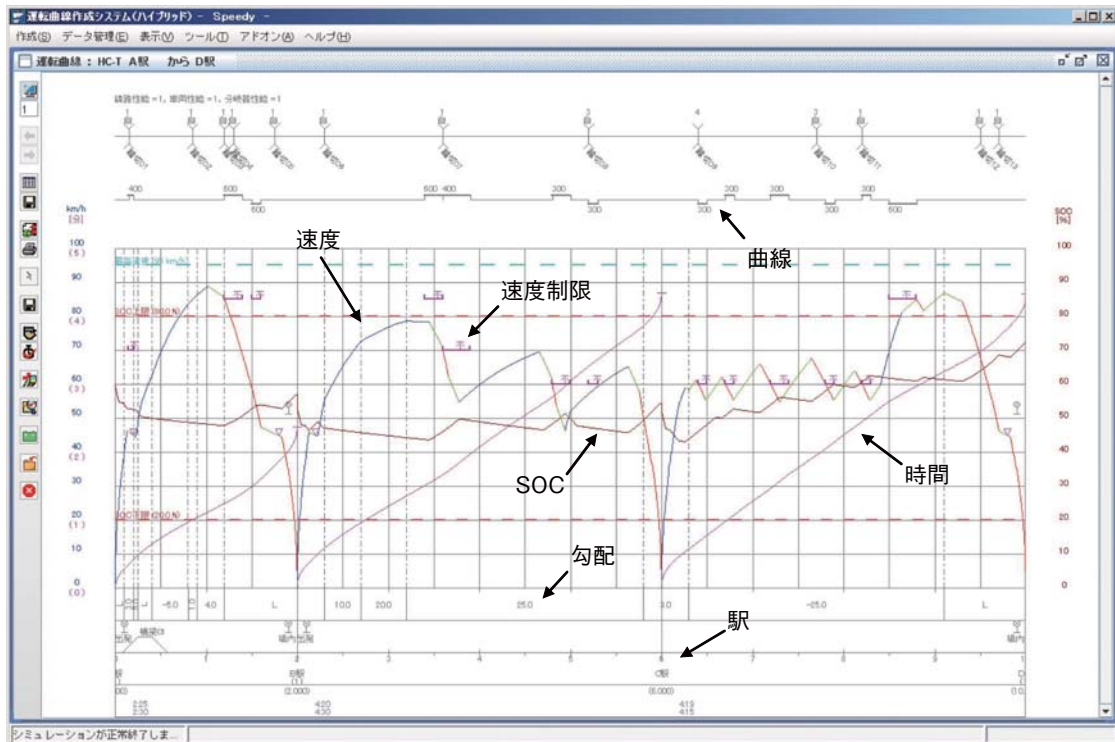


図13 シミュレーション結果の例

数のハイブリッドシステムへの対応のために、走行に使用される機器を選んでいくことで、いろいろな方式のハイブリッド車両を再現することができる仕組みを設けています。具体的には、図12のようにエンジン・変速機・モーター・蓄電装置などの機器があり、これらの機器は、接続関係によって役割が変わってくるようになっています。

また、ハイブリッド車両による環境負荷改善効果の評価するときには、駅間距離や勾配の状況によって大きく変わってくるため、列車の走行の仕方を適切に再現する必要があります。実際の線路データで実際の運転を模擬して走行できるように、この走行シミュレーターは、鉄道総研が開発し、いくつもの鉄道事業者で列車ダイヤを決めるための走行時間の計算に使用されている運転曲線作成システム「SPEEDY」をベースに構築しています。このため、実際の線路データに基づいて勾配や速度制限なども忠実に再現してシミュレーションができることはもちろんのこと、ハイブリッド車が導入されたときのダイヤ作成にもそのまま使用できるようなシステムになっています。

シミュレーターのユーザーインターフェイス

開発した走行シミュレーターのユーザーインターフェイスを紹介します。図13に示すのが、走行シミュレーションの結果を示した運転曲線の画面です。横軸を距離として、縦軸に速度・SOC・経過時間の変化が表示されます。特に

速度は、力行・惰行・ブレーキの状態に応じて、色を変えて表示するようになっています。また、線路の情報として、駅の位置はもちろんのこと、勾配・曲線・信号・踏切などの情報とともに表示されます。これらによって、ハイブリッド車の走行状態がわかりやすくなっています。

おわりに

ディーゼルハイブリッド車両は、環境負荷が少なく、今後の発展が期待されています。今後は、開発したシミュレーターの改良を進めていくとともに、シミュレーターを活用して、ハイブリッド車の設計・評価に役立てていく予定です。[RRR]

文献

- 1) 野元浩：「エコロジートレイン」, 山海堂, pp.87-149, 2007
- 2) 添田正・杉山義一・小川知行・芳賀一郎・長石晋太郎：「入換用ハイブリッド機関車の環境性能評価」, 電気学会産業応用部門大会, 3-99, 2011
- 3) 網島洋一：「走れ！ダーウィン」, 中西出版, pp.187-200, 2009
- 4) 薬師寺健祐：「JR西日本における技術開発」, JREA, pp.42-44, 2010
- 5) 中村英男・近藤稔・村上浩一・小川知行・熊澤一将・山下修：「ディーゼルハイブリッド車両用運転シミュレータの開発」, 鉄道総研報告, Vol.25, No.1, pp.37-42, 2011