

# 入換機関車の燃費低減に向けたシミュレーション技術の活用

長石 晋太郎\* 村上 浩一 ((財) 鉄道総合技術研究所)  
小川 知行 大谷 二千憲 (日本貨物鉄道 (株))

Simulation technology for fuel reduction of shunting diesel locomotive  
Shintaro Nagaishi\*, Koichi Murakami (Railway Technical Research Institute)  
Tomoyuki Ogawa, Fujinori Oya (Japan Freight Railway)

We have developed a simulation technology, which enable to calculate fuel consumptions for diesel locomotive. As a result of inspection by running data, the simulation technology has high quality of precision. We can grasp the current state of fuel consumptions and it's effect for consideration of energy conservation activities with this simulation technology

キーワード：ディーゼル機関車, 燃料消費量, 排ガス排出量, シミュレーション  
(Diesel locomotive, fuel consumptions, exhaust emissions, simulation)

## 1. はじめに

現在、地球温暖化などの環境問題が深刻化する中、鉄道は自動車などに比べてエネルギー効率に優れることから世界的に注目されている。その一方で、環境に関わる法規制は強化されており、例えば、エネルギーの使用の合理化に関する法律の改正(改正省エネ法)によって、多くの鉄道事業者でエネルギー消費量の削減が義務付けられるようになった。また、地球温暖化対策推進法(温対法)では、事業活動に伴うCO<sub>2</sub>排出量の定期報告が定められている。

このことは貨物輸送においても重要な課題である。貨物鉄道では、多くの列車が電化区間を走行しているが、日本の約4割は非電化であり、そこではディーゼル機関車が運用されている。ディーゼル機関車には、液体式と電気式の2種類があり、液体式は一部を除いて貨物駅での入換作業に用いられている。入換作業は発進と停止を繰り返すため、起動から低速域の燃料消費率や動力伝達効率が悪い条件においても多く使われる。このため、入換機関車のエネルギー消費量の試算も重要である。

そこで、入換作業に多用される液体式ディーゼル機関車(以下、ディーゼル機関車)に着目し、入換走行に伴うエネルギー消費量を推定するシミュレータを開発した。本シミュレータは、気動車用に製作した計算システム<sup>(1)</sup>をベースに展開したもので、ディーゼル機関車用エネルギー計算システム(以下、エネルギー計算システム)と呼んでいる。

本稿では、開発したエネルギー計算システムの概要と現車走行試験による検証結果を紹介する。さらに、省エネへ

の取り組みにつながるエネルギー計算システムの活用方法を提案する。

## 2. エネルギー計算システム

### 〈2-1〉 エネルギー計算システムの構成

図1にエネルギー計算システムの構成を示す。本計算システムは、運転曲線作成ソフトとエネルギー計算ソフトで構成される。

運転曲線作成ソフトは、運転曲線図を作成・描画するソフトであり、本エネルギー計算システムでは鉄道総研がSpeedy<sup>(2)</sup>の名称で開発・販売しているソフトを用いる。このソフトで車両形式や走行線区などの条件を指定すること

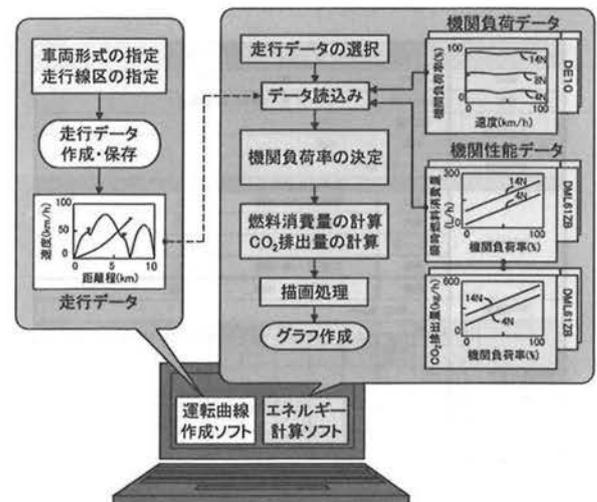


図1 システムの構成

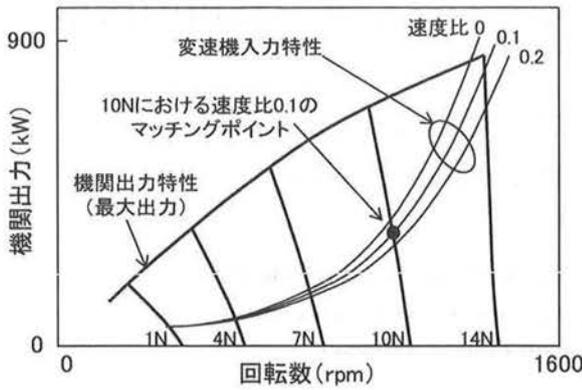


図2 機関出力特性と変速機入力特性

により運転曲線図が作成される。その結果をエネルギー計算ソフトで使用する「走行データ」として保存する。

次に、エネルギー計算ソフトは、運転曲線作成ソフトで作成した走行データを用いて、機関データ（機関負荷データと機関性能データ）からディーゼル機関車の燃料消費量や排ガス排出量を計算する。

〈2.2〉 エネルギー計算の仕組み

(1) 機関負荷率の決定

予め入力した「機関負荷データ」を用いて、走行データのノッチ及び速度から機関負荷率を決定する。機関負荷率は走行中の機関運転点を表すもので、各ノッチにおいて実際に使用される機関出力と最大出力の比で表される。ここで使用される機関出力は、図2に示すように各ノッチにおける機関出力特性と各速度比の入力特性を示した変速機入力特性の交点（マッチングポイント）から得ることができる。なお、速度比は変速機の出力回転数と入力回転数の比を示す。

(2) 瞬時燃料消費量などの決定

予め入力した「機関性能データ」を用いて、走行データ

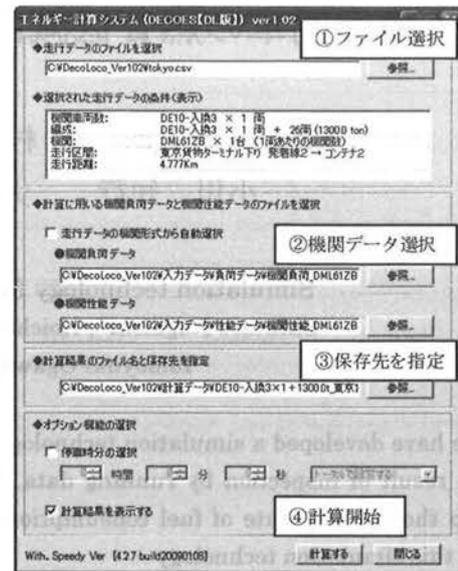


図3 入力画面

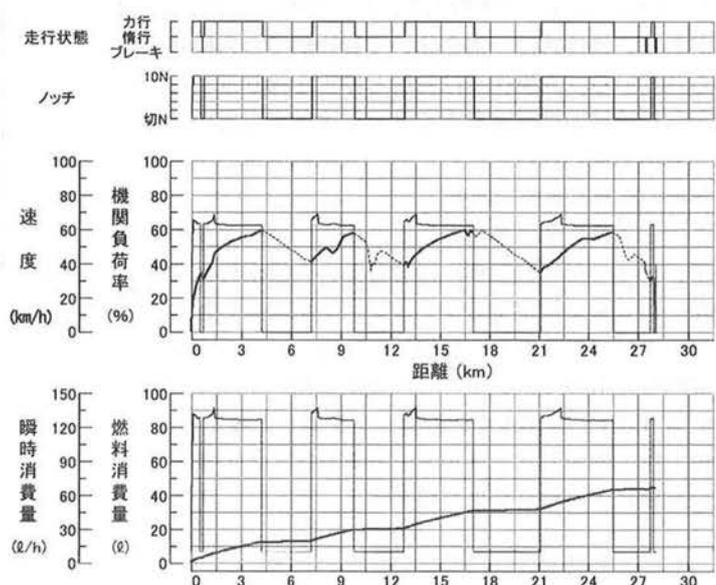
のノッチ及び機関負荷率から、単位時間当たりの燃料消費量（以下、瞬時燃料消費量）やCO<sub>2</sub>排出量及びNO<sub>x</sub>などの排ガス排出量（瞬時排出量）を決定する。なお、機関性能データは各ノッチにおける機関負荷率と瞬時燃料消費量などの関係を示したもので、これらには機関台上試験による実測値を用いる。さらに、瞬時燃料消費量や瞬時排出量を時間で積算することで、走行による燃料消費量やCO<sub>2</sub>排出量などを計算する。

(3) エネルギー計算システムの操作と機能

図3に示す入力画面で、「走行データ」のファイルを選択してから（図中①）、機関データを選択し（図中②）、保存先を指定して（図中③）計算ボタンを押すと（図中④）、図4に示すような計算結果が表示される。分析シートでは、燃料消費量やCO<sub>2</sub>排出量はもちろん、力行時間や機関負荷率など、走行状態の割合も表示される。グラフ表示では、横

エネルギー計算システム出力結果																																																																			
計算条件																																																																			
組成	DE10 × 1両 + 12両 (400.0 ton)																																																																		
機関	DML612D × 1台 (1両あたりの機関数)																																																																		
走行区間	〇〇線 下り																																																																		
走行距離	A駅 → B駅																																																																		
走行距離	31.272 km																																																																		
計算結果(その1)																																																																			
走行状態	力行 00時間 28分 09秒 [43.7%] 積行 00時間 17分 12秒 [26.7%] ブレーキ 00時間 01分 29秒 [2.2%] 停車 00時間 17分 30秒 [27.2%] 合計 01時間 04分 19秒 [100.0%]																																																																		
平均速度	40.08 km/h																																																																		
機関負荷状態 (走行時間/割合)	<table border="1"> <tr> <th>機関負荷率 (%)</th> <th>100</th> <th>80</th> <th>70</th> <th>60</th> <th>50</th> <th>40</th> <th>30</th> <th>20</th> <th>10</th> <th>0</th> </tr> <tr> <td>0%</td> <td>05:14:41</td> <td>23:2%</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>25%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>50%</td> <td></td> <td></td> <td>05:57:51</td> <td>05:50:11</td> <td>05:30:31</td> <td>05:05:34</td> <td>04:36:43</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>75%</td> <td></td> <td></td> <td>11:2%</td> <td>31:9%</td> <td>21:6%</td> <td>31:8%</td> <td>05:15:14</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>100%</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>28:4%</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	機関負荷率 (%)	100	80	70	60	50	40	30	20	10	0	0%	05:14:41	23:2%									25%											50%			05:57:51	05:50:11	05:30:31	05:05:34	04:36:43				75%			11:2%	31:9%	21:6%	31:8%	05:15:14				100%							28:4%			
機関負荷率 (%)	100	80	70	60	50	40	30	20	10	0																																																									
0%	05:14:41	23:2%																																																																	
25%																																																																			
50%			05:57:51	05:50:11	05:30:31	05:05:34	04:36:43																																																												
75%			11:2%	31:9%	21:6%	31:8%	05:15:14																																																												
100%							28:4%																																																												
力行時平均機関負荷率	63.73 % (力行100)																																																																		
計算結果(その2)																																																																			
燃料消費量	走行 61.214 ㇲ / 停車 2.946 ㇲ / 合計 64.160 ㇲ																																																																		
走行燃費	0.487 km/ㇲ																																																																		
排出ガス総排出量	CO <sub>2</sub> 排出量 147.107 kg																																																																		

(a) 分析シート



(b) グラフ表示

図4 計算結果の画面

軸を距離としてノッチや瞬時燃料消費量などが表示されるので、車両の操作に応じた瞬時燃料消費量などの変化を確認できる。

3. 現車試験

(3-1) 走行条件

東京貨物ターミナル駅において、入換作業を模擬した試験を実施し、走行中の燃料消費量を測定した。試験車両はDE10形式ディーゼル機関車で、試験用の貨車はデッドウェイトコンテナを使用することで、最大荷重である1,300t(26両)をはじめいくつかの列車を組成した。現車試験の状況を図5に示す。走行条件として、コンテナホームで貨車を連結して着発線へ移動する走行(以下、引上げ)と、着発線で貨車を連結してコンテナホームへ移動する走行(以下、押込み)を実施し、エネルギー計算システムの計算結果と比較を行った。

(3-2) 測定の概要

ディーゼル機関車の燃料消費量を測定した事例はあまりなく、20年ほど前に実施された程度である<sup>(3)</sup>。なお、大型機関車に対応できる小型で汎用の流量計が既存品にはないため、測定範囲を300L/hに拡大したものを新製した。この流量計の検出方式は容積式(ピストン式)で、精度は±0.2%以内である。図6に測定回路と仮設状況を示す。流量計は、補助燃料タンクと第2燃料フィルタの間に設置し、測定時以外は通常の回路を構成するバイパス回路を設けた。

(3-3) 測定結果と計算値の比較

1,300t列車の走行に関する測定値と計算値の比較結果を図7に示す。図7(a)は引上げ時のもので、加速時のノッチ扱いは測定値と計算値が多少異なるため瞬時燃料消費量はずれているが、それ以外は全般的に一致している。また、速度は最高速度付近で多少の差がみられる程度で良く一致しており、所要時間はほぼ同じである。

図7(b)は、引上げ及び押込み走行に関する燃料消費量の



図5 現車試験の状況

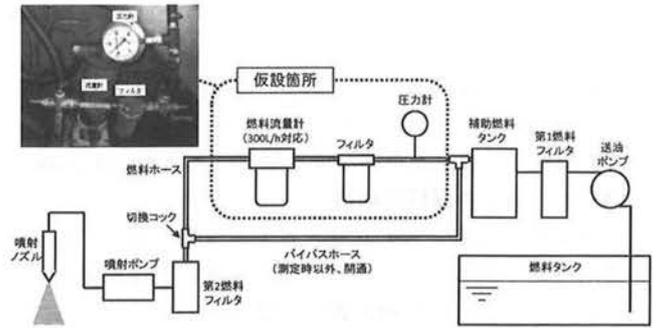


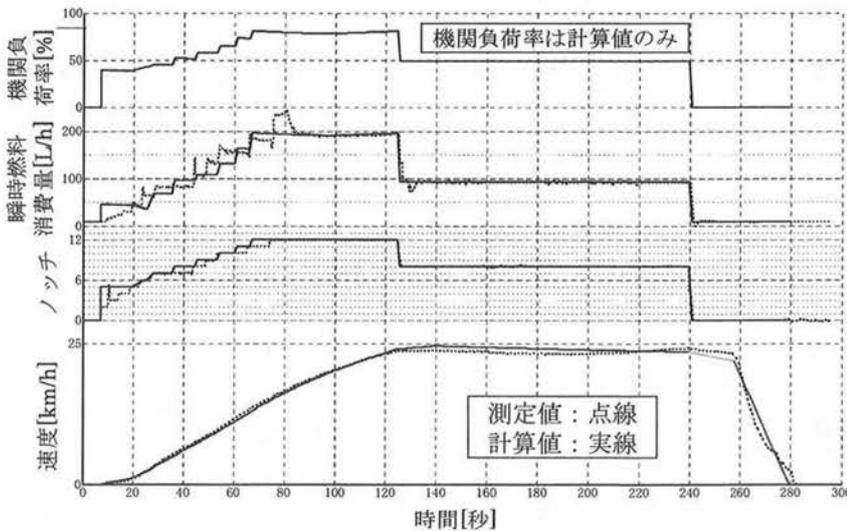
図6 燃料流量の測定回路

比較である。いずれの走行も測定値と計算値がほぼ同じで、誤差は最大3%程度である。このように、エネルギー計算システムは現車走行を良く再現できていると言え、計算精度も比較的高いものと判断できる。

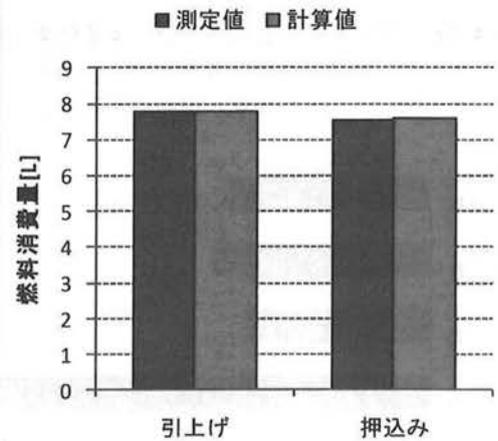
4. エネルギー計算システムの活用

(4-1) 現状の把握

ディーゼル機関車の燃料消費量は、油面計から知ることもできるが、1回の貨車けん引走行など短時間の作業について正確に把握することは困難である。上述したように、エネルギー計算システムは現車走行を再現し、燃料消費量な

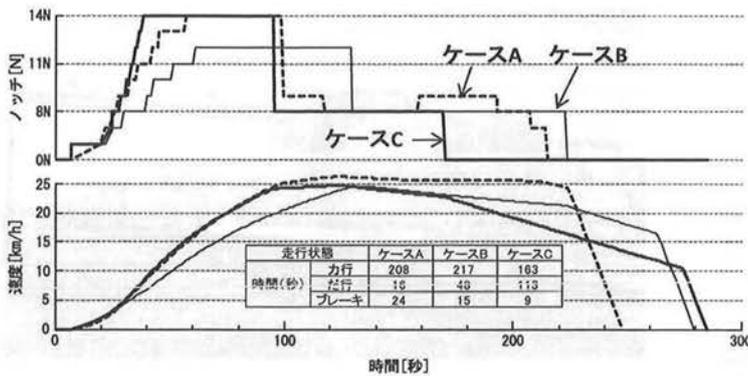


(a) 引上げ走行

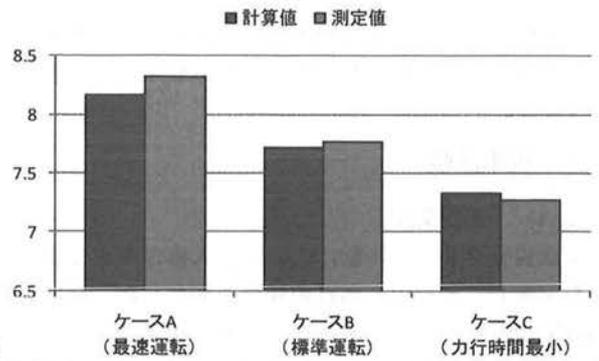


(b) 燃料消費量

図7 測定値と計算値の比較 (1,300t)



(a) シミュレーションによる走行状態の比較



(b) 燃料消費量 (引上げ、押込みの平均)

図 8 運転操作の比較 (1,300t)

などを精度よく計算できることから、現状を定量的に把握するための有効なツールであり、加えて、定期報告が必要なCO<sub>2</sub>排出量などのより正確な算出根拠にも活用可能である。

〈4.2〉 省エネ運転の検討

エネルギー計算システムは、省エネ運転の検討や検証にも適用可能である。ここでは、運転操作の条件を変えてシミュレーションした燃料消費量の違いについて述べる。シミュレーションの対象区間は引上げ及び押込み走行であり (走行距離はいずれも 1.3km)、図 8(a)は押込み走行の比較を示す。図 8(a)に示す運転操作のケース A は最も速い走行 (最速運転)、ケース B は標準的な走行 (標準運転)、ケース C は力行時間が最も短い走行 (力行時間最小) である。

図 8(b)は運転操作別による燃料消費量の比較を示し、シミュレーションの運転操作と同様に走行した際の測定値も併記した。この結果から、燃料消費量が最も少ない省エネ運転は、力行時間の割合が少ないケース C のような運転操作であり、走行時間もほぼ変わらずに燃料消費量を減らせることが分かった。また、測定結果の燃料消費量も同様な傾向を示している。このことから、エネルギー計算システムを用い、様々な運転条件に対する燃料消費量を比較・分析することで、適切な省エネ運転の方法を導き出すことができると言える。

〈4.3〉 アイドリングストップによる効果の試算

エネルギー計算システムを使って、入換機関車のアイドリングストップによる効果を把握できる。図 3 に示したよ

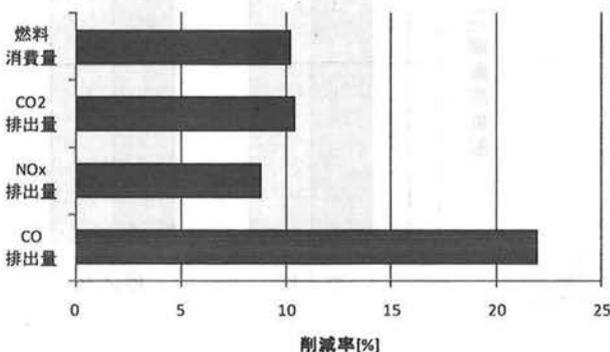


図 9 アイドリングストップによる効果

うに、エネルギー計算システムでは「停車時分の選択」ができるようになっており、例えば、1 日の入換作業について計算する場合に、停車時間をまとめて設定できる。この時間を変更することで、アイドリングストップによる燃料消費量などの変化を計算できる。ここでは、東京貨物ターミナル駅における平均的な 1 日の入換作業において、入換機関車を留置時間中にアイドリングストップした場合の効果を試算した。その結果、図 9 に示すように燃料消費量を約 10%、CO<sub>2</sub> 排出量を約 10%、NO<sub>x</sub> 排出量を約 9%、CO 排出量は約 22%削減することも可能である。

このように、エネルギー計算システムを用い、燃料消費量などの削減量だけでなく削減の割合も容易に試算できるので、アイドリングストップの有効性をより具体的に把握できると言える。

5. おわりに

地球環境の悪化により、鉄道への期待が高まる中、鉄道事業者はより省エネな輸送機関としての役割を担っていく必要がある。車両の面から省エネに取り組むためには、まず現状を把握することが重要である。

本稿で述べたように、エネルギー計算システムはディーゼル機関車の現車走行を再現し、燃料消費量などを正確に計算できる有効なツールである。さらに、本エネルギー計算システムを用いて、省エネ運転の検討など省エネ対策にも活用できる。開発したエネルギー計算システムが省エネへの取り組みに役立つことを期待する。

最後に、現車試験を行うに当たり、様々なご協力をいただいた関係各所の皆様に感謝いたします。

文 献

- (1) 村上・前橋・小川・山下:「ディーゼル車両用消費エネルギー計算システムの開発」, R&M, Vol.17, No.8, p.13-16 (2009)
- (2) 平野・富井・山下:「運転曲線作成システム SPEEDY の開発」, RRR, Vol.29, No.5, p.9-14 (1992)
- (3) 谷・坪・草・松佐・金沢:「ディーゼル車の経済運転方法 (第 2 報) - 現車試験と解析 -」, 鉄道技術研究所速報, No.A-85-189 (1985)