

# ディーゼル車両用消費エネルギー計算システムの開発

車両制御技術研究部 動力システム

主任研究員 村上 浩一

## 1. はじめに

地球温暖化や大気汚染など環境を取り巻く情勢は、厳しさを増しており、地球規模での具体的な取組みが求められている。日本国内でも様々な法律に基づいて環境保全が推進されており、例えば、エネルギーの使用の合理化に関する法律（省エネ法）<sup>1)</sup>によって、鉄道事業者にはエネルギー削減の取組みが義務付けられている。

このような情勢を踏まえ、環境への取組みを支援するツールとして、ディーゼル車両用消費エネルギー計算システム（以下「エネルギー計算システム」）の開発に着手した。エネルギー計算システムは、ディーゼル車両を対象に運転曲線作成ソフトから得られる走行データを用いて、燃費特性を示す機関性能データなどから、走行に必要な燃料消費量や排気される二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）排出量を推定するソフトウェアである。

本稿では、開発の背景と今回試作した、エネルギー計算システムの概要や活用例について、紹介する。

## 2. 環境保全を取巻く情勢

環境保全に関する法律は、基本理念などを定めた「環境基本法」を柱として様々な分野の法規制が制定され、地球温暖化問題など諸情勢に応じた改正により強化されている。現在、鉄道事業者や自動車製造メーカーに適用される主な規制内容を表1に示す。

最近では京都議定書の発行を受けて、2006年4月に「省エネ法」が改正された。この改正で物流の対策項目が新たに加わり、鉄道分野では車両を300両以上保有する鉄道事業者（特定輸送事業者）へ輸送に係る措置が課せられ、省エネの判断基準が初めて義務付けられた。

この判断基準には、取組み目標や低燃費車

表1 主な規制内容

名称	規制等の内容	目的及び事業者の責務等
省エネ法	旅客及び貨物の車両を300両以上保有する鉄道事業者（特定輸送事業者）に「輸送に係る措置」を課す	◇省エネの目標と計画を公表し達成する ・省エネ車の導入や効率的な運用の実施 ・エネルギー使用量及びCO <sub>2</sub> 排出量の報告
	自動車などエネルギーを多く消費する機器の製造事業者に「平均燃費の目標値」を課す（燃費基準規制）	◇機械器具の性能を向上し省エネを図る ・目標基準値を満たす省エネ車の開発 ・バスやトラックなど商用車も適用
温暖化対策法 <sup>*1</sup>	事業活動で温室効果ガスを多く排出する者及び省エネ法の特定輸送事業者に「排出量の算定と報告」を課す	◇温室効果ガスの排出を抑制する ・燃料の燃焼に伴うCO <sub>2</sub> 排出量の報告 ・電気の使用に伴うCO <sub>2</sub> 排出量の報告
大気汚染防止法	自動車の製造事業者に「新車の排出ガス排出量の許容限度値」を課す（排ガス規制）	◇排出ガスを抑制し大気汚染の防止を図る ・許容限度値を満たす低公害車の開発 ・大都市地域は自動車NO <sub>x</sub> ・PM法で規制強化
PRTR法 <sup>*2</sup>	活動の生産や使用などの過程で有害性の高い化学物質を排出する事業者「排出量の把握と報告」を課す	◇化学物質の管理改善と促進を図る ・対象化学物質の排出量と移動量を報告 ・国は物質、業種別などで集計し公表

注1. 温暖化対策法：地球温暖化対策の推進に関する法律

注2. PRTR法：特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律

両の導入促進など実施計画に関する公表の他、輸送に伴うエネルギー使用量及びCO<sub>2</sub>排出量の定期報告などがある。このように、鉄道事業者に対しても省エネへの積極的な取り組みが求められている。

### 3. エネルギー計算システムの概要

前述したような背景を踏まえ、列車の運用に伴う燃料消費量の実態把握や、この低減方策の検討などに活用可能なエネルギー計算システムの開発を進めている。

今回試作したエネルギー計算システムは、図1に示すように、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、列車の運転曲線（速度曲線及び時間曲線）の計算や描画を行うソフトウェアであり、基準運転時分の策定などに活用されている。今回のシステムには、鉄道総研が開発し、Speedy<sup>2)</sup>の愛称で提供しているソフトを用いている。なお、このソフトには、運転曲線の計算結果について、CSV形式のテキストファイルで作成・保存する機能を新たに加えている。

続いて、エネルギー計算ソフト（愛称名：Decoes）は、運転曲線作成ソフトで作成した走行データに対する燃料消費量やCO<sub>2</sub>排出量などを算出するソフトウェアである。このソフトは、次に示すような手順により各種の計算を実行する。

初めに、速度と機関回転数の関係を設定した機関負荷データを用いて、走行中の機関回転数を求める。そして、燃費特性やCO<sub>2</sub>排出特性を設定した機関性能データから瞬時燃料消費量（単位時間当

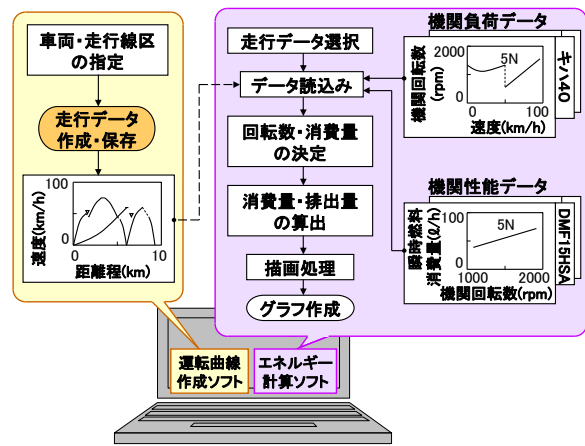
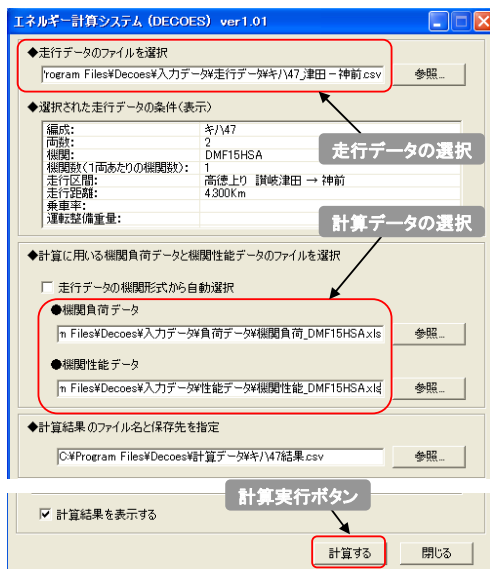


図1 システム構成

#### 計算条件設定画面



#### 計算結果表示画面

計算条件			
編成	キハ47	× 2両	乗車率 10%
機関	DMF15HSA	× 1台	(1両あたりの機関数)
走行区間	高徳	上り	
走行距離	讃岐津田	→ 神前	走行状態の分析
走行距離	4,300 km		
計算結果(その1)			
走行状態	力行	00時間 03分 35秒	[72.9%]
	惰行	00時間 00分 39秒	[13.2%]
	ブレーキ	00時間 00分 41秒	[13.9%]
	停車	00時間 00分 00秒	[0.0%]
	合計	00時間 04分 55秒	[100.0%]
平均速度	52.83 km/h		
			計算結果
計算結果(その2)			
		編成	1両あたり
燃料消費量	走行	6.466 ℓ	3.233 ℓ
	停車	0.000 ℓ	0.000 ℓ
	合計	6.466 ℓ	3.233 ℓ
走行燃費			1.330 km/ℓ
	CO <sub>2</sub> 排出量	0.027 kg	0.014 kg
排出ガス総排出量	CO <sub>2</sub> 排出量	14.870 kg	7.435 kg
	NOx排出量	0.118 kg	0.059 kg

図2 計算条件設定と計算結果の表示画面

りの消費量)や瞬時のCO<sub>2</sub>排出量(単位時間当りの排出量)を決定し、これらの値と時間から燃料消費量やCO<sub>2</sub>排出量の総量を算出する。なお、機関負荷データには車両諸元から求めた計画値を、機関性能データには機関台上試験で得た実測値を用いる。

図2に示すように、エネルギー計算ソフトは「対象とする走行データの選択」

と「計算に用いる機関負荷データや機関性能データの指定」による簡便な操作で各種の計算を実行し、これらの計算結果を表示する。さらに、力行やブレーキなどの使用時間や割合に関する分析と、図3に示すような形態で、走行距離に対する燃料消費量の変化などを表わすグラフ描画機能を持つ。

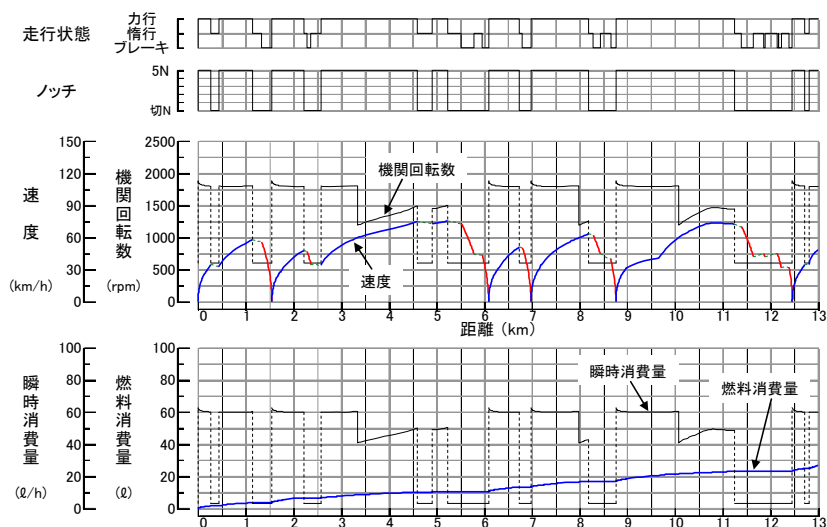


図3 グラフ描画例

#### 4. 計算精度の検証

燃料消費量の実測値と計算値を比較し、エネルギー計算システムの妥当性や計算精度について検証を行った。なお、燃料消費量の測定は、四国旅客鉄道株式会社の協力を得て、2008年6月から7月にかけて、高徳線の高松-徳島間で実施した。対象はキハ47形式で、図4に示すような流量計を室内に設置し、走行時の燃料流量を連続測定した。

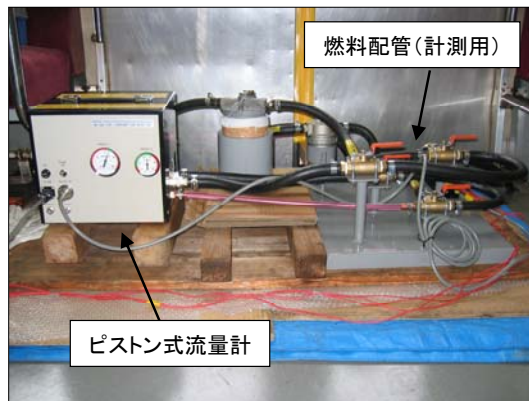
一例として、讃岐津田-神前間(距離4.3km)における燃料消費量の実測値と計算値を表2に、その時の走行パターンを図5に示す。実測値は2.50で、計算値(条件A)は3.20である。

実測値と計算値(条件A)の差が大きい理由は、計算に用いる運転曲線作成ソフトの走行データは「速度制限内で最も早く走れるパターン」であり、実際の走行は「その結果に余裕時分などを考慮した基準運転時分に基づいた運転」で、両者の走行パターンに異なる点も多いからである。

そこで、実走行における惰行区間を計算条件に加え、ほぼ同様な走行パターンを再現した計算



(a) 試験車両



(b) 流量計の仮設状況

図4 試験車両と仮設状況

値（条件 B）では 2.7ℓ で、実測値との差はわずか 0.2ℓ である。同様に、他駅間も概ね ±0.2ℓ の範囲にあることから、エネルギー計算システムには妥当性があり、計算精度も高いものと判断する。

表2 実測値と計算値

		計算値		実測値
		条件A	条件B	
計算条件	編成	キハ47(2両)	←	キハ47 2両
	ノッチ	5N	←	
	乗車率	10%	←	
	惰行区間	指定なし	指定あり*	
運転時間(分:秒)		4:55	5:06	5:05
内訳	力行	3:35	3:00	3:15
	惰行・ブレーキ	1:20	2:06	1:50
燃料消費量		3.2 ℓ	2.7 ℓ	2.5 ℓ

\* 実走行における惰行区間を指定

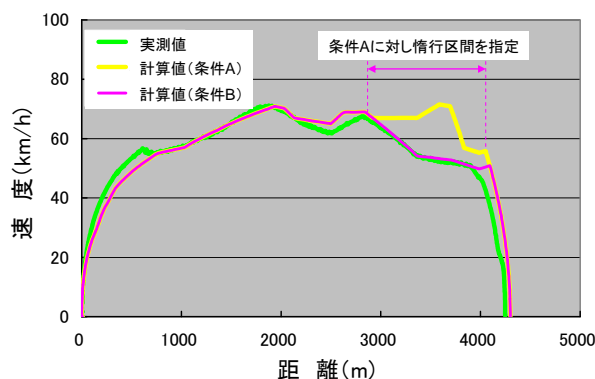


図5 走行パターンの比較

## 5. 活用例

エネルギー計算システムは、燃料削減など省エネに有効な方策検討に活用できる。エネルギー計算システムを用い、これらについて検討した結果の一例を表3に示す。

運転操作や運用面では「惰行を多くするノッチ操作」「機関ブレーキの使用」など、車両設計面では「車両の軽量化」「機関使用域の最適化」などが有効である。例えば、平坦で駅間距離が 10km とするモデル線区をキハ 40 形式で走行した場合、「惰行を多くするノッチ操作」により 0.31ℓ の燃料削減が試算される。このように、想定した方策による削減効果を定量的に把握することが可能である。

表3 省エネの方策と期待効果

項目	方策の内容	期待される効果
惰行を多くするノッチ操作	最大ノッチで速やかに加速し、制限速度や最高速度に到達した時点で惰行時間を多く取れるようなノッチ操作を行う。	■ 5N 運転では 0.31ℓ の燃料削減 ・ 4N 運転と 5N 運転を比較 ・ 条件: モデル線(平坦線 10.0km)、キハ 40(2両)
機関ブレーキの使用 アイドルストップの実施	下り勾配の抑速などで機関及び排気ブレーキを使用する。また、停車時間の長い留置では、アイドルストップを実施する。	■ アイドル運転に必要な燃料を削減 ・ 無負荷で概ね 2.0~5.0ℓ/h の削減量
快速ダイヤによる運用	停車駅を少なくした快速ダイヤで列車運用する。	■ 快速ダイヤでは 6.17ℓ の燃料削減 ・ 各駅(14 駅停車)と快速(5 駅停車)を比較 ・ 条件: 実路線 A(距離 25km)、キハ 40(2両)
車両の軽量化	車体構造の工夫や搭載品の改良などで、車両の軽量化を図る。	■ 例えば、10t の軽量化により 4.15ℓ の燃料削減 ・ 重量 38.6t(現状)と 28.6t(対策)を比較 ・ 条件: 実路線 A(距離 25km)、キハ 40(2両)、各駅停車(14 駅)
機関使用域の最適化	効率の良い回転域で機関を使用する。これには、変速機の多段化やベルト式無段変速機(CVT)の採用がある。	■ 例えば、変速機の CVT 化で 4.85ℓ の燃料削減 ・ DW10(現状)と CVT(対策)を比較 ・ 条件: 実路線 A(距離 25km)、キハ 40(2両)、各駅停車(14 駅)
高性能な駆動機器の採用	燃焼効率の優れた機関や伝達効率の優れた変速機など高性能な駆動機器を採用する。	■ 高性能な機関の採用で 10.39ℓ の燃料削減 ・ キハ 40(250PS)と 載換車(360PS)を比較 ・ 条件: 実路線 A(距離 25km)、キハ 40(2両)、各駅停車(14 駅)

## 6. おわりに

地球温暖化問題などを背景としたエネルギー削減の風潮は、自動車を始め、鉄道、船舶、航空の各分野に押し寄せている。省エネへの取り組みに役立つよう、今後も本エネルギー計算システムの深度化を進める予定である。

## 参考文献

- 1) エネルギーの使用の合理化に関する法律，最終改正，平成 20 年 5 月 30 日 法律第 47 号
- 2) 平野純一，富井規雄，山下修：運転曲線作成システム SPEEDY の開発，RRR，1992.5