

気動車の燃料消費量簡易推定手法

車両制御技術研究部 動力システム研究室
室長 村上 浩一

1. はじめに

温室効果ガスによる地球温暖化問題や原油価格の高騰などから、鉄道事業者においても省エネ車両の導入、効率的な車両運用や省エネ運転の実施など、エネルギー削減に向けた様々な取り組みが行われている。例えば、省エネ運転の関係では、運転方法によってエネルギー消費も大きく変化することが知られており、効果的な運転方法を探る研究¹⁾や実際の列車運行による試行などが行われている。

このようなエネルギー削減の取り組みにおいて、ディーゼル車両の場合には走行に伴う燃料消費量を定量的に把握した上で評価することがより重要となる。燃料消費量を把握する手段には、「運用中の給油データの活用」や「流量計の仮設による測定」が考えられる。前者の場合、車号ごとに給油量を記録・管理しているケースは少なく、このようなデータを利用することが難しい状況も多い。一方、後者の場合、流量計類の仮設や測定作業に多大な労力と技術を必要とするため、測定の実施例は少ないのが現状である。

そこで、ノッチやエンジン回転数などの車両情報を利用して燃料消費量を簡易に推定する手法を提案した。代表的な車両で燃料消費量を実測し、提案した簡易推定手法の妥当性を検証するとともに、本推定手法をモニタ装置（列車情報制御表示装置）に適用した車両で有効性などを検証した。本稿では、今回提案した簡易推定手法の概要や走行試験による妥当性の検証結果などについて紹介する。

2. 燃料消費量の測定方法

初めに、前述した燃料消費量の測定方法を説明する。測定方法は、自動車の燃料消費率試験方法で規定され、「入りと戻りの流量測定法」と「直接消費流量測定法」の2種類が定められている。図1に示すように、直接消費流量測定法は燃料の戻りラインを供給ラインに接続し、供給ラインに設置した一つの流量計で測定する方法である。

一般的にこの測定法が用いられるが、いずれの測定方法でもコモンレールやインジェクタから戻る高温・高圧で、かつ気泡などを含む燃料の処理が難しく、冷却用の熱交換器や気泡除去装置の設置など測定作業に労力や技術を要する。この測定法に基づき、実車で行った流量計や計測用燃料ホース類の仮設例を図2に示す。

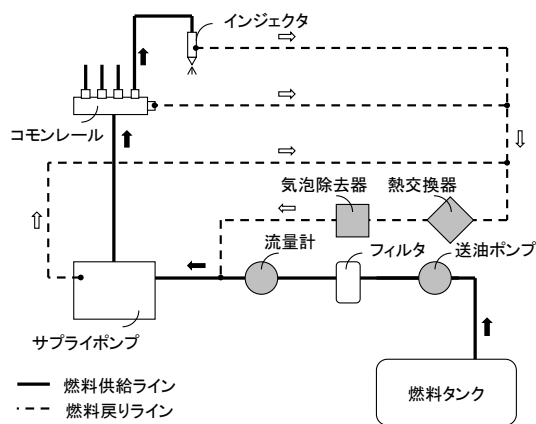


図1 直接消費流量測定法

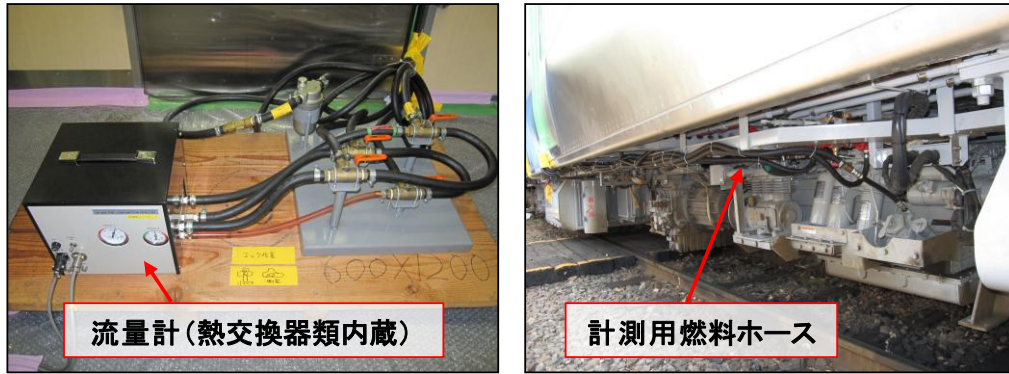


図2 燃料消費量測定の設定例

3. 燃料消費量の簡易推定手法

列型噴射ポンプ（以下「噴射ポンプ」）を採用したエンジンを対象として、車両情報などから燃料消費量を簡易に推定する方法を検討し、図3に示すように大別して2種類の手法を考案した。エンジンは燃制ノッチ（燃料制御用のノッチ）で制御されるが、変速機のクラッチ切換え時などを除けば、ほとんどノッチ指令と同じ値の燃制ノッチで制御される状況を踏まえ、最も簡易な方法としてエンジンベンチで取得したエンジン単体の燃費性能を示すデータを用い、走行中のノッチ指令とエンジン回転数から燃料消費量を推定する手法を考案した。この方法を簡易手法1と呼ぶ。次に、エンジンは最終的に噴射ポンプのコントロールラック位置（以下「ラック位置」）によって制御され、その結果、エンジンの出力性能及び燃料消費量が決定する。ラック位置はエンジンの制御情報であるが、電子ガバナタイプの噴射ポンプでは比較的容易に取り出すことができる。

そこで、エンジンベンチ試験で取得した燃料消費量から噴射量を求め、さらに、ラック位置と噴射量の関係を線形近似式で表現した推定噴射量を用い、走行中のエンジン回転数とラック位置から燃料消費量を推定する手法を考案した。この方法を簡易手法2と呼び、考え方を以下に述べる。

噴射量は、エンジンにおける吸込、圧縮、燃焼及び排気の一行程で、一つのシリンダへ噴射される燃料の量を表わす。この噴射量 q (mm^3/st) は、式(1)に示すように燃料消費量 Q (L/h) とエンジン回転数 Ne (rpm) の関係で示すことができる。

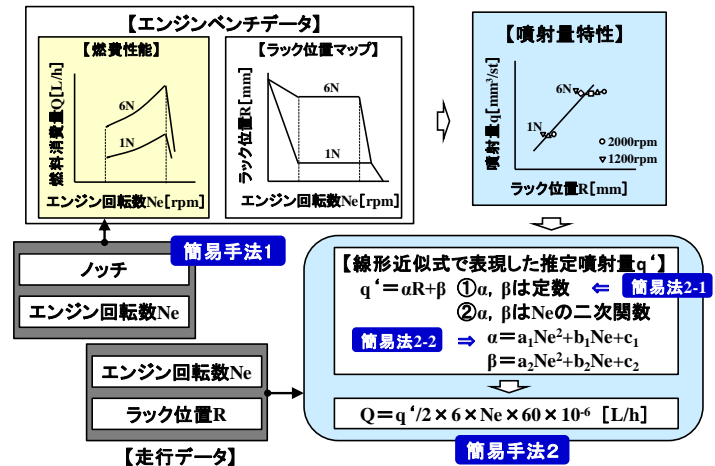


図3 燃料消費量の簡易推定手法

$$q = Q / \left(\frac{6}{2} \times Ne \times 60 \times 10^{-6} \right) \quad (1)$$

そこで、式(1)を用いて、エンジンベンチ試験で取得した各ノッチにおける燃料消費量 Q (L/h)

から噴射量 q (mm^3/st) を算出し、さらにラック位置 R (mm) と噴射量 q (mm^3/st) の関係を 1 次関数の線形近似式で表現した値を推定噴射量 q' とする。この推定噴射量を用いて、走行中のエンジン回転数 N_e 及びラック位置 R から燃料消費量を推定する手法を簡易手法 2-1 と呼ぶ。但し、ラック位置 R と噴射量 q の相関は高いが、エンジン回転数により変化が見られるところもあるため、線形近似式の 1 次と 0 次の係数をエンジン回転数の関数として表現し、エンジン回転数の変化を考慮した方法を簡易手法 2-2 と呼ぶ。

4. 簡易推定手法の検証

提案した簡易推定手法の妥当性などを検証するため、261 系特急気動車で走行試験を実施し、ノッチ、エンジン回転数などの車両情報及び燃料消費量を測定した。なお、261 系特急気動車は空気ばね車体傾斜装置を有し、本装置を稼働させる空気圧縮機の早込め機能を持つ。走行距離約 361km における燃料消費量の実測値と各推定手法による計算値の比較結果を図 4 に示す。

図 4 に示すように、簡易手法 2-2 の計算値は、早込めを含む各ノッチにおいて実測値と概ね一致し、誤差は 4% 以下であることから、

簡易法として十分な精度であると判断する。但し、簡易手法 2-1 の計算値はアイドルでの誤差が大きい。この要因はエンジン回転数の変化を考慮しない推定噴射量による影響と推定する。また、簡易手法 1 の計算値はアイドルと早込めでの誤差が大きい。この要因はエンジンベンチで取得したアイドルの燃料消費量は補機なしの条件であり、実車のように補機が動作している状態に対応できないためと推定する。

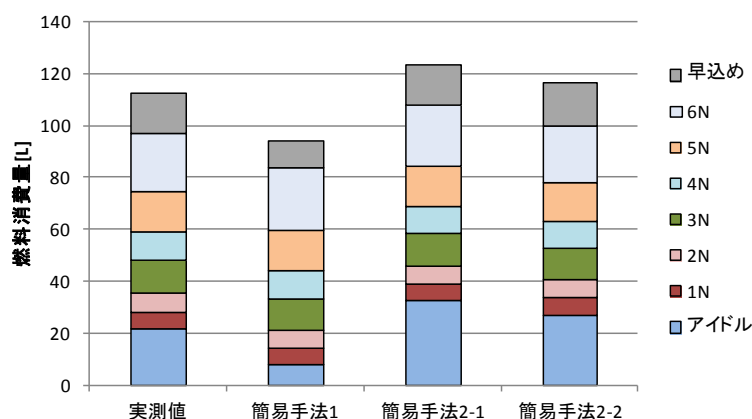


図 4 燃料消費量の比較 (実測値と計算値)

5. 簡易推定手法の適用例

提案した燃料消費量の簡易推定手法の中で最も簡易な方法である簡易手法 1 をモニタ装置に組み込み、モニタ画面に燃料消費量などをリアルタイムで表示する燃費モニタ装置を開発した。本モニタ装置の表示画面 (燃費モニタモード) と実車への搭載例を図 5 に示す。本モニタ装置の特長は、燃料計測の [開始] [停止] ボタン操作で、この間の燃料消費量 (L) や走行燃費 (km/L) を計算・表示する他、時間軸、又は距離軸で燃料消費量などの推移をグラフに表示する。また、燃料消費量などのデータをモニタ装置に付属するデータロガーに記録しており、このデータを利用した詳細な分析も可能である。

開発した燃費モニタ装置の有効性などを検証するため、本モニタ装置を試験的に導入した 1500 型気動車で走行試験を実施した。走行距離約 73km における燃料消費量 (積算値) の実測値とモニタ装置による計算値の比較を表 1 に示す。また、代表的な区間における燃料消費量 (瞬時値) の比較を図 6 に示す。

燃料消費量 (積算値) の計算値と実測値の差は 3% 前後であり、燃料消費量 (瞬時値) の計算値は概ね実測値と同じで実態を再現している。この結果から前述の早込め機能など特殊な機能を

持たない一般的な車両の場合，燃料消費量の簡易推定には簡易手法 1 で十分であると判断する。

燃費モニタ装置により走行中の燃料消費量や走行燃費などをモニタ画面で容易に確認でき，また記録データを用いて燃料消費量の実態などを詳細に分析することも可能である。このことから，簡易推定手法を適用した燃費モニタ装置は，省エネ運転の検討や効果の検証など省エネ運転への取り組みに役立つことが期待される。

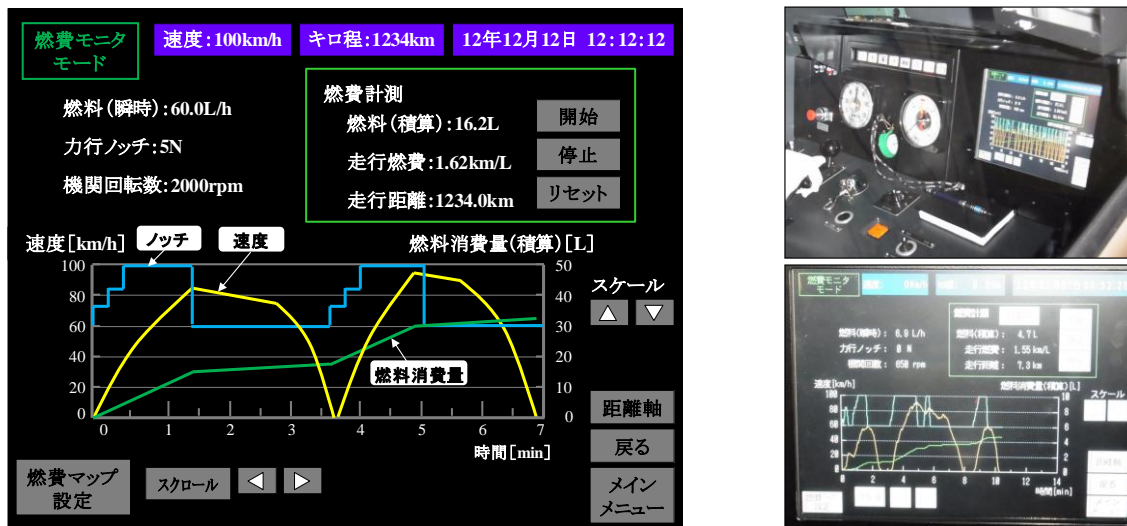


図 5 燃費モニタモードの表示画面と実車への適用例

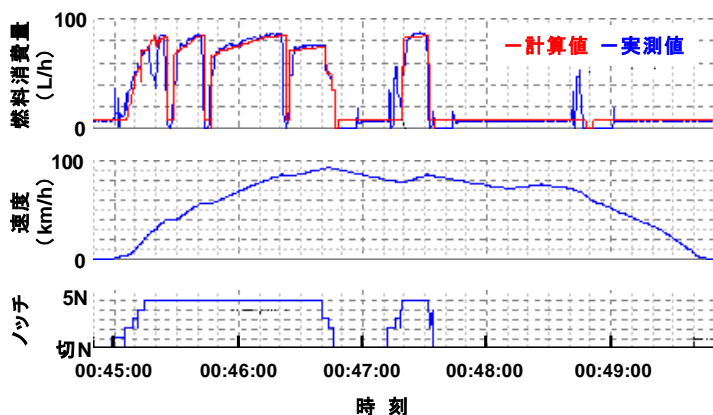


図 6 燃料消費量(瞬時値)の比較

表 1 燃料消費量(積算値)の比較

	燃料消費量(L)		
	実測値	計算値	誤差
往路	43.8	45.0	2.7%
復路	43.7	45.0	2.9%

6. おわりに

提案した簡易推定手法の検証などに当たり，エンジンベンチ試験や走行試験の実施など様々な面でご協力頂きました関係各位に対し，厚く御礼申し上げます。今回得られた成果がディーゼル車両の省エネへの取り組みに役立つことを期待する。

参考文献

- 1) 熊澤，村上，近藤，小川：エネルギー消費の少ない運転方法を探る，RRR，vol.69，No5，2012