

シャシ・ダイナモメータを活用した エンジン故障探究技術教育方法に関する研究*

高橋 和夫¹⁾

北原 成倫²⁾

高野 剛³⁾

Research on engine failure investigation technology education method using chassis dynamometer

Kazuo Takahashi

Masanori Kitahara

Tuyoshi Takano

With the increasing complexity of electronic engine control, there is a demand for advanced fault diagnosis technology, but in fault diagnostic training using an engine bench, there is a limit in reproducing the load condition of the engine. In this paper, driving test was conducted while applying load by chassis dynamometer, data was collected on various driving conditions, and fuel injection control was verified. Moreover, several kinds of fault conditions can be reproduced and characteristic data in each fault condition can be found.

Key Words: heat engine, electronics and control, engine control, diagnosis, chassis dynamometer.

1. はじめに

乗用車用ガソリン・エンジンは、1970年代から燃料噴射装置が電子制御化されたのを皮切りに、点火時期制御、アイドル回転数制御などを加えたエンジン総合制御システムへと進化してきた。近年では燃費性能や環境性能への要求の高まりから、可変バルブ・タイミング機構、電子制御スロットル機構等の新たな制御が加わり高機能化、複雑化が進んでいる¹⁾。また、複雑化したシステムの故障診断を効率的に行うためにOBD機能の搭載が義務化され、外部診断器を用いた故障診断作業が一般化してきている。

本学では、これらのエンジン電子制御装置の構造・作動の理解と、故障診断技術習得を目的として、ベンチ・エンジンと外部診断器を組み合わせた実習教育を行ってきた。ベンチ・エンジンでは、実際の車両に比べて各センサ、アクチュエータの取り付け位置の把握や信号電圧測定作業が容易に行える利点はあるものの、エンジンの運転状態としてはアイドルリングや空吹かしでの無負荷運転状態か、ATの出力軸を固定してトルク・コンバータのストールを利用する限定的な負荷運転状態しか再現できず、過渡状態での微妙な故障診断は不可能な状態であった。また、故障状態の再現については、ベンチ・エンジンに備えられた故障設定スイッチにより、各センサ、アクチュエータ内部、配線（電源線、信号線、アー

ス線）、ECU内部について、それぞれ断線及び短絡の故障設定が可能であるが、電氣的故障以外でECUが故障を認識できずダイアグノーシス・コードが表示されない故障現象については再現が困難であり、十分な実習教育がなされていないのが現状である。

本稿では、シャシ・ダイナモメータ上で様々な運転状態を再現しつつエンジンの各系統に故障を設定し、正常時と故障時のECUデータの比較により故障部位とその状態を学生に理解させる方策について検討することとした。

2. 試験車両

表1に試験車両のエンジンに関する主要諸元を示す。車両の選択に当たっては、実習で使用しているベンチ・エンジンと同型式のエンジンを搭載したグレードとした。

Table 1 試験車両の諸元

車名型式	トヨタ NRE-160
エンジン型式	1NR-FE
総排気量	1329 cc
最高出力	70 kW/6000 min ⁻¹
最大トルク	121 N·m/4000 min ⁻¹
燃料噴射制御	Lジェトロニック方式
点火装置	ダイレクト・イグニション
変速機	CVT
その他	1弁式電子制御スロットル装置 吸・排気連続可変バルブ・タイミング ステッピング・モータ式EGRバルブ

* 2019年8月8日受理, 第51回全国自動車短期大学協会研究発表会において発表。

1)・2)・3) 新潟工業短期大学 自動車工業科

(950-2076 新潟県新潟市西区上新栄町5-13-7)

3. 使用機器

シャシ・ダイナモメータでは出力測定の際に、加速時間測定、定速度走行試験、定負荷走行試験、モード走行試験などが可能であり、故障状態に応じて症状やデータが確認しやすい試験項目を使い分けることができる。走行試験中のECUデータはDENSO製外部診断器DST-iと故障診断ソフトDST-PCを用いて取り込み、DST-ViewerによりCSVファイルに変換し、表計算ソフトでデータ編集を行った。

DST-PCによるECUデータ・モニタでは、今回の試験車両の場合、最大206項目の測定が可能であるが、モニタ数が多いほどサンプリング間隔が大きくなってしまいうため、主に空燃比制御に関わる項目を選択し、表3に示す26項目の測定を行った。このときのサンプリング時間は34msecである。

表2にシャシ・ダイナモメータの主要諸元を、表3にデータ・モニタ項目を示す。

Table 2 シャシ・ダイナモメータの仕様

メーカー	MAHA Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co.KG.
国内代理店	株式会社ダイノテック
機種	MSR500/2 4WD
ローラ外径	504 mm
許容軸重	2500 kg
使用可能最大速度	300 km/h
モータ駆動最大速度	約 200 km/h
モータ出力	2 × 22 kW
個別出力計測	260 kW
連続出力計測	1000 kW
定トラクション制御	約 7000 N

Table 3 データ・モニタ項目

項目	単位	項目	単位
TIME	msec	目標空燃比	—
車速	km/h	実空燃比	—
エンジン回転数	min ⁻¹	A/F センサ電圧	V
エンジン負荷値	%	A/F センサ電流	mA
絶対負荷値	%	O ₂ センサ電圧	V
吸入空気量	g/s	点火時期#1	°
インタークマニ ホールド圧力	kPa	補機バッテリー 電圧	V
エンジン冷却 水温	°C	EGR 現在 ステップ数	step
吸入空気温度	°C	EGR 目標開度	%
外気温度	°C	F/B 補正值	%
アクセル開度	%	F/B 学習値	%
スロットル開度	%	F/B 実施状態	ON/OFF
噴射時間#1	μs	F/C 実施状態	ON/OFF

4. 正常時のエンジン出力及び ECU 制御データ確認

4.1. エンジン出力測定

図1にエンジン正常時の出力特性を示す。試験車両のトランスミッションはCVTであり、測定中に変速比が変化するため出力の絶対値を計測することは不可能であるが、今回は故障設定時と比較するための参考データとして取り扱うこととした。

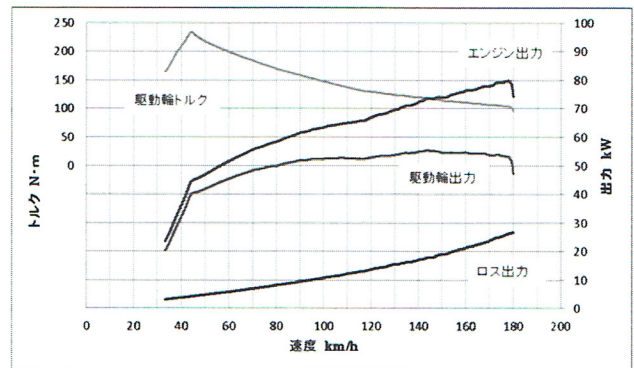


Fig.1 エンジン正常時の出力特性

4.2. ECU データの検証

出力測定と同時にデータ・モニタ機能でECUデータを取り込み、燃料噴射制御の検証を行った。

試験車両の燃料噴射制御はLジェトロニック方式であるので、基本噴射時間は以下の式によって求められる⁽²⁾。

$$\text{基本噴射時間} = k \times \frac{\text{吸入空気量}}{\text{エンジン回転速度}} \quad (1)$$

ここで、kはインジェクタの流量特性や燃料圧力で決定される定数である。この計算値はデータ・モニタ項目中では「絶対負荷値」と呼ばれ、エンジンの体積効率を表す⁽³⁾。

この絶対負荷値と実際の噴射時間の関係をグラフにすると図2のようになる。負荷が大きい領域と小さい領域とで計算値と実噴射時間に開きがあり、基本噴射時間に対して補正が行われていることが予想された。

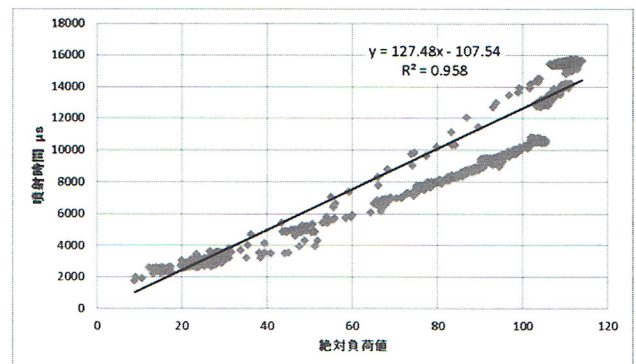


Fig.2 絶対負荷値と噴射時間

データ・モニタの項目から、「目標空燃比」によりアクセル開度 70%以上で出力増量補正が行われ、空燃比センサの信号を基に決定される「F/B 補正值」と「F/B 学習値」により空燃比フィードバック補正が行われていることが分かった。これらの補正係数を用いて式(2)により計算すると、噴射時間との関係は図3のようになる。グラフの傾きはインジェクタの噴射率であり、y 切片が無効噴射時間を表している。なお、測定は完全暖機状態で行い、吸入空気温も数℃程度の変化だったため、暖機増量補正と吸入温度補正については考慮していない。

$$\text{噴射時間} = \frac{\text{基本噴射時間} \times (1 + \text{F/B 補正值} + \text{F/B 学習値})}{\text{目標空燃比}} \quad (2)$$

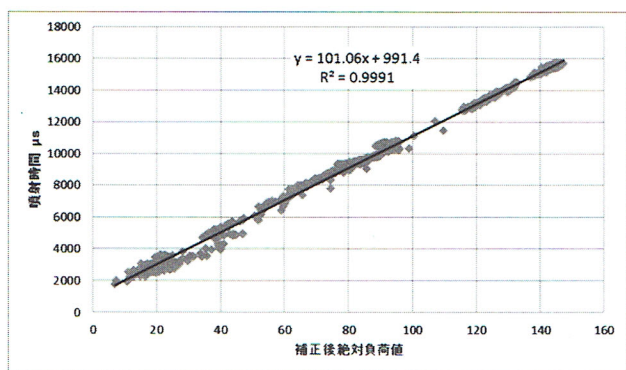


Fig.3 補正後絶対負荷値と噴射時間

次に、無効噴射時間（電圧補正時間）の影響を調べるため、オルタネータのコネクタを外した状態でバッテリー・チャージャを接続し、電圧を約 11V から 15V まで変化させて走行試験を行い、前述の方法で無効噴射時間を求めた。バッテリー電圧と無効噴射時間の関係は図4のようになる。

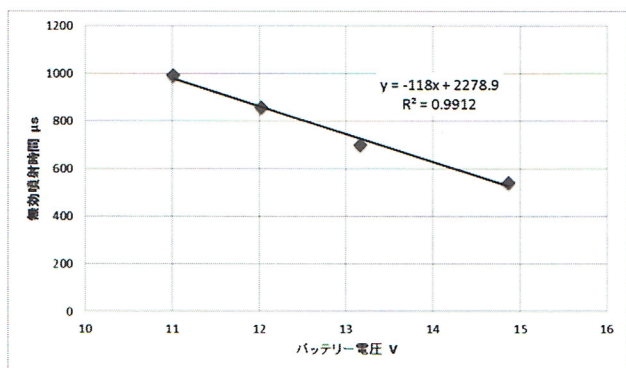


Fig.4 バッテリー電圧と無効噴射時間

最後に、JC08 モード走行試験により、これまでの検証結果の確認を行った。出力測定時に比べてバラつきが大きいのは、加減速の繰り返しにより負荷の変動が激しく、過渡時空燃比補正が働いているためだと思われるが、データ・モニタで得られた数値から計算によって過渡時空燃比補正を再現することはできなかった。

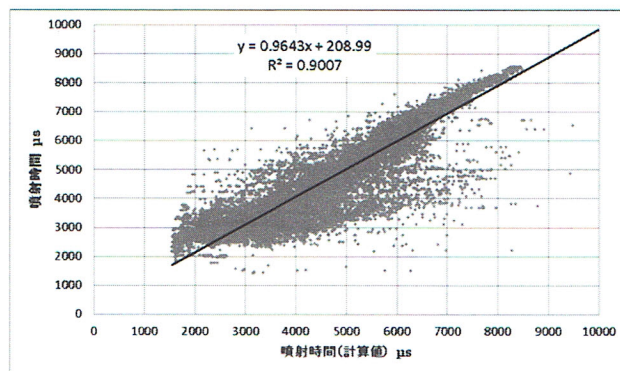


Fig.5 JC08 モード走行時の噴射時間

5. 故障設定

故障状態を設定するに当たり、以下の点に留意した。

- (1) ダイアグノーシス・コードが発生しないこと。
- (2) 測定データから故障箇所を理論的に推測できること。
- (3) 不具合現象を運転中に体感できること。
- (4) 正常/故障の切り替えが短時間で行えること。

以上の点を踏まえ、今回はエア・クリーナ・エレメントの詰まり、EGR バルブの密着不良、燃料圧力低下（燃料フィルタの詰まり）の3種類の故障を設定した。

5.1. エア・クリーナ・エレメントの詰まり

エア・クリーナは、エンジンに吸入される空気からゴミやホコリを除去し、エンジンを保護する役割を担っているが、使用過程で徐々に目詰まりを起し、出力低下の原因となる。

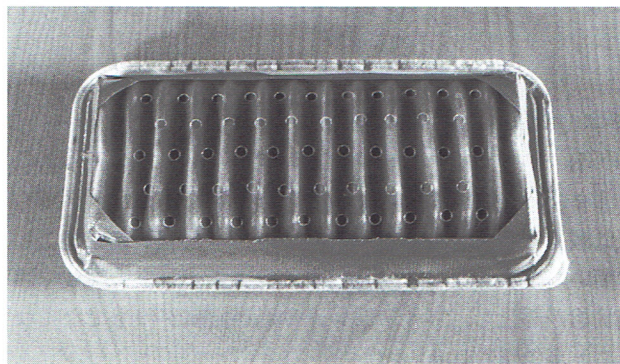


Fig.6 エア・クリーナ・エレメント故障設定状態

エア・クリーナ・エレメントが詰まった状態を再現するため、図6に示すようにエレメントの吸入側を通気性の無いプラスチック製のシートで覆った。シートには、パンチャーを用いて直径約5mmの孔を開け、穴の数で通気性を調整した。試験車両の場合、孔数を40個とすると、アイドリング付近では正常に運転でき、負荷を上げるにつれて出力が低下する状態を作ることができた。

図7は、正常時とエア・エレメント詰まり時の吸入空気量の違いを表したものである。吸入空気量の低下がそのまま出力低下の原因となっている。

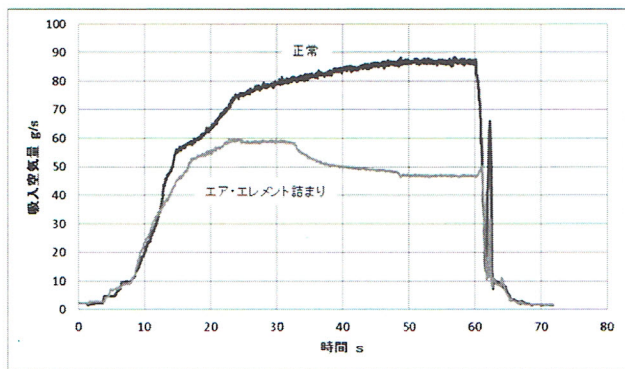


Fig.7 吸入空気量の違い

この状態での出力特性を図8に示す。高負荷域で空気量が不足し、出力が正常時の約60%程度に低下している。

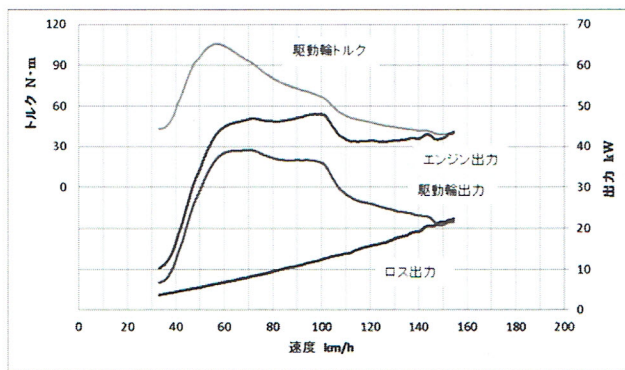


Fig.8 エア・エレメントが詰まった状態での出力特性

5.2. EGRバルブの密着不良

EGRバルブは、エンジンの運転状況に応じて排気ガスの一部を吸気側に再循環させ、燃焼温度を下げることでNOxの低減を図る装置である。このバルブが密着不良を起こして開いたままとなると、特に吸入空気量の少ない領域で燃焼状態が悪化し、アイドリングや低速回転が円滑でなくなることが予想される。

エンジン正常時にJC08モードでの走行試験を行い、EGRバルブの作動を確認したところ、バルブの開度をコン

トロールしているステップ数が、最大でも約40ステップであり、主に加速時に瞬間的に開いては閉じる動作を繰り返すことが分かった(図9)。また、アクティブ・テストにより、アイドリング状態で強制的にEGRバルブを作動させると、10ステップ前後からエンジン回転にばらつきが見られ、30ステップ程度でエンストを起こすことが確認された。

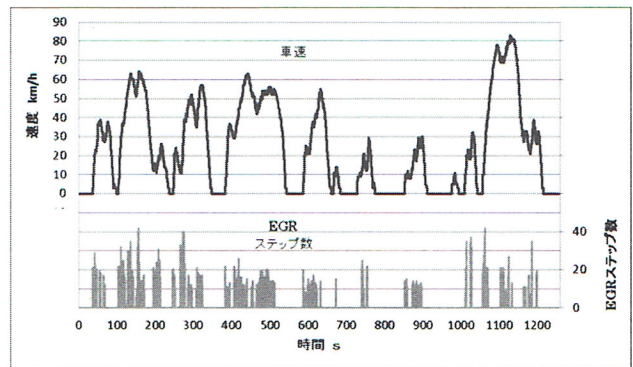


Fig.9 EGRバルブ作動状態

「EGR ステップ数」のアクティブ・テスト制約条件は、①エンジン回転時、②車両停止時であり、このままではシャシ・ダイナモメータ上での走行試験は不可能である。そこで図10のように、外部からEGRバルブのステップ・モータを操作し、25ステップの開度で固定することにした。このとき、車両ハーネス側には予備のEGRバルブを接続し、ECUが断線と認識しないようにした。

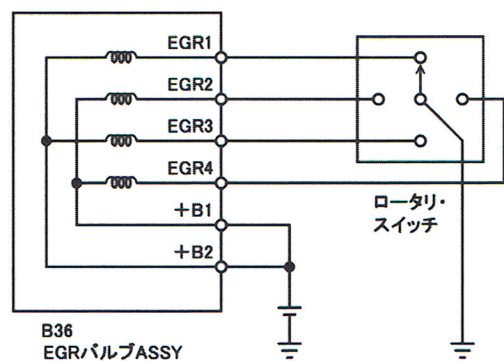


Fig.10 ステップ・モータ強制駆動回路

この状態で走行試験を行ったところ、負荷が低いときほど調子が悪く、負荷が上がるにつれて正常な状態に近付くことが体感できた。図11は、11モード走行パターンで走行したときの正常時と故障時のインテークマニホールド圧力を示したものである。アイドリング時に90kPa付近の高い値を示し、回転が安定しないことから変動幅も大きくなっている。

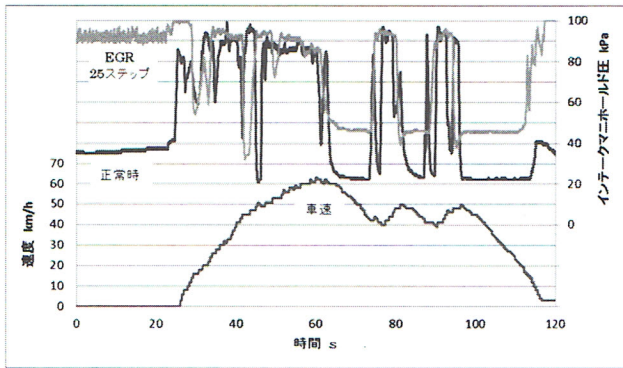


Fig.11 インテークマニホールド圧力

次に出力測定を行ったところ、正常時に比べ、約 10%前後の出力低下が確認された (図 12)。EGR により相対的に吸入空気量が低下していることと、燃焼速度が低下している可能性が考えられる。

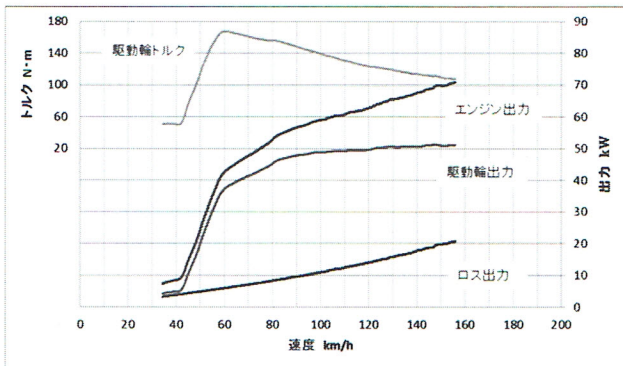


Fig.12 EGR バルブ 25 ステップでの出力特性

5.3. 燃料圧力低下

燃料圧力の狂いは、そのまま空燃比の狂いとして現れ、結果としてエンジン不調をもたらす。燃料圧力が狂う原因としては燃料切れ、フューエル・フィルタ、パイプの詰まり及び亀裂、プレッシャ・レギュレータの不良などが考えられるが、今回は燃料配管の途中にオリフィスを設けることで燃料フィルタが詰まりぎみになった状態を再現した。

図 13 に装置の外観を示す。オリフィス部はバイク用のキャブレターのジェットが取り付けられるように M8×1.5 のねじ部を設けた。番手を変えながら試験をしたところ、#37 (内径 0.37mm) のジェットを用いると、アイドリングでは正常値、負荷が大きくなり、噴射量が増えると燃圧が低下する状態を作ることができた。なお、接続は燃料配管のクイック・カブラ部で行い、5 分程度で脱着が可能である。

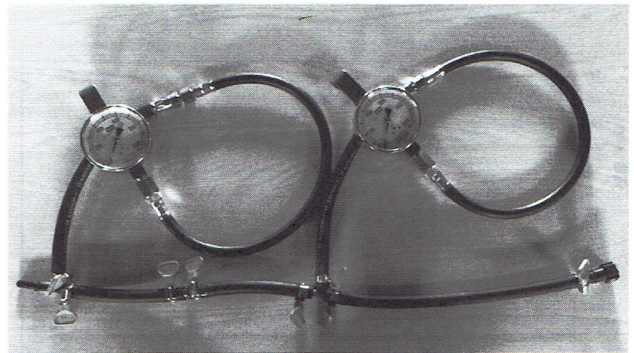


Fig.13 燃料圧力低下装置

故障設定時、50km/h 一定速度モードで走行したときのアクセル開度と燃料圧力の関係を図 14 に示す。アイドリング付近では正常値の約 330kPa を保っているが、アクセル開度が約 10%になると燃料圧力が低下し始め、30%付近で正常値の約半分まで落ち込んでいる。なお、アクセル開度 40%以上では出力低下が激しく、速度を維持することができなかった。別途に出力測定を行った際、アクセル全開状態では燃料圧力は約 110kPa まで低下した。

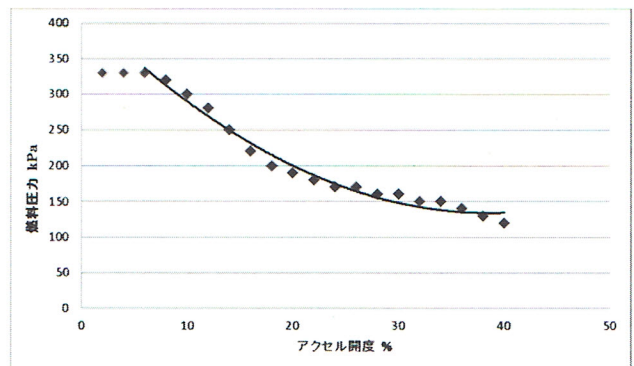


Fig.14 アクセル開度と燃料圧力

燃料フィルタの詰まりを再現した状態で走行すると、アイドリングから低速・低負荷領域では特に異常は感じられないが、加速時、高負荷時にトルク感が無く、正常時よりアクセルを踏み込まなければならない状態が確認できた。これは燃圧低下により燃料噴射量が不足し、空燃比がリーン方向に狂ったためと考えられる。

図 15 及び図 16 は、11 モード走行パターンで走行したときの正常時と故障時のフィードバック補正值と学習値を示したものである。加速時に F/B 補正值、学習値共に噴射量増量方向に大きく振れており、燃圧低下による噴射量減を噴射時間を延長することにより補おうとしていることが分かる。

6. まとめ

シャシ・ダイナモメータと外部診断器のデータ・モニタ機能を組み合わせることで、従来のベンチ・エンジンのみを使用した実習では実施できなかった負荷を変化させながらのデータ収集が可能になった。ここで得られたデータを解析し、基本噴射時間の算定プロセス、出力増量補正及び空燃比フィードバック補正の影響度など、燃料噴射制御に関する理解を深めることができた。

また、3種類の故障設定を試み、それぞれについてデータ・モニタにより特徴的なデータを得ることができた。これらの手法を今後の実習教育に取り入れ、燃料噴射制御に関する学生の理解度向上とエンジン故障探究技術の習得に役立てていきたい。

今後の課題としては、以下の点が挙げられる。

- (1) 実習授業に取り入れるに当たり、走行試験を実施する時間配分や人数配分を検討すること。
- (2) 過渡期空燃比補正の影響を検証し、加減速の激しいモード走行試験時においても計算上の噴射時間と実際の噴射時間が一致する条件式を見出すこと。
- (3) 今回開発した故障設定手法を排気量や出力域などの異なる車両に適用すること。
- (4) 走行データ収集からファイルの変換、データ整理の流れを効率化し、時間と手間を省くこと。
- (5) 燃料噴射制御だけに留まらず、点火時期制御や電子制御スロットル機構、可変バルブ・タイミング機構などについても制御データ検証を行い、それぞれについて故障設定手法を確立すること。

謝辞

本研究の遂行にあたり「財団法人 東京自動車技術普及協会」の助成金を頂きましたことを記し、感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 高尾光則, 宮本正彦: パワトレイン機器分野の将来動向・開発動向, デンソーテクニカルレビューVol.11 No.1
- (2) 一般社団法人 日本自動車整備振興会連合会: 二級ガソリン自動車 エンジン編
- (3) トヨタ自動車(株): カローラアクシオ NRE-160型 整備要領書

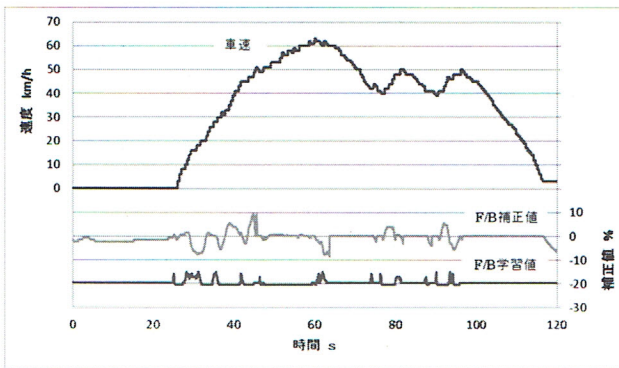


Fig.15 正常時の F/B 補正值及び学習値

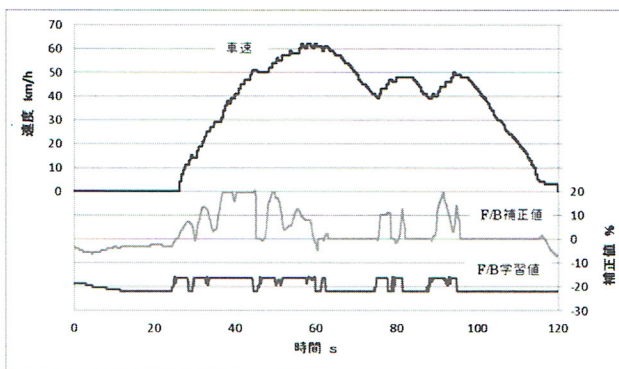


Fig.16 燃圧低下時の F/B 補正值及び学習値

この状態で出力測定を行った結果が図 17 である。高負荷域で燃料噴射量が不足する影響は大きく、出力は正常時の約 30%程度となっている。

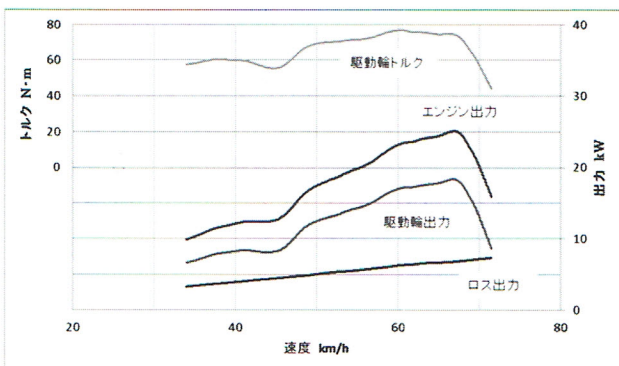


Fig.17 燃圧低下時の出力特性