

自動車整備科指導員のための メカトロニクス教材

沖縄県立浦添職業能力開発校 大城 浩史

1. はじめに

自動車整備の現場であるサービス工場での主な業務は、法定点検、継続検査（車検）とそれに伴う交換作業、重整備（エンジンの脱着など）、故障診断などがある。故障の種類には機械的なものと電子制御に関連するものなどがあるが、故障診断の中でも、電子制御装置の故障診断は特に難易度の高い整備作業に該当する。

近年、自動車は排気ガスのクリーン化、低燃費化、運転支援システム、自動運転技術の搭載などほぼすべてが電子制御によって成り立っており、搭載されるマイコンの数は小型車で50個、高級車では100個程度と言われている。自動車技術のエレクトロニクス化がますます進む中で自動車販売会社のサービス技術教育担当の方から「現場の整備士が新技術の対応に苦慮している」、「カーエレクトロニクスに強い訓練生を採用したい」などの声が数多く寄せられている。

沖縄県立浦添職業能力開発校自動車整備科では企業のニーズに応えるべく「基礎電子回路実習」等、3つのエレクトロニクス関連の実習を訓練に取り入れている。

「基礎電子回路実習」ではOPアンプを使用したO₂センサの出力信号判定、エアフロメータの制御回路製作、「デジタル回路実習」は汎用ロジックIC（74シリーズ）を使用した自動車用スピードメータの製作、また「マイコン実習」においてはZ80マイコンを使用したアセンブリ言語による自動車のス

テッピングモータ式ISCVの駆動など、自動車に搭載されている技術に関連付けカーエレクトロニクスの基礎を訓練生が習得できるようなカリキュラムになっている。

この中で特に「マイコン実習」が自動車の電子制御装置の故障診断や新技術への関連性が高いことから、今回マイコン制御の教材を製作した。

本稿では、上記の実習において訓練生が自動車の装置の構造、作動並びに機能をより理解できるように製作した教材の概要や使用方法、訓練効果などについて紹介する。

2. 教材の概要

本教材を製作するにあたり2つの目標を設定した。「訓練生が自動車のエレクトロニクス分野について興味を持つきっかけになる教材」、「電子制御装置の構造、作動が見てすぐわかる教材」である。

自動車には様々なエレクトロニクス化された装置があるが、その中から「電子制御スロットルシステム」と「可変バルブタイミング&リフト機構」を教材の候補として選定した。「電子制御スロットルシステム」は近年、自動車への普及率が非常に高く、装置の構造や作動についての理解は電子制御装置の故障診断において重要であり、また「可変バルブタイミング&リフト機構」は以前から一部の自動車に搭載されており、出力特性や排気ガス成分に多大な影響を及ぼす動弁系の装置であり、自動車のエンジン性能を理解する上で重要である。どちらの装置も単体もしくは車両に接続し任意にコントロールすることにより訓練生

が装置の構造や作動についてより理解を深めることができるということが選定理由である。

2.1 電子制御スロットルシステム

従来の自動車用エンジンの出力制御はアクセルペダルを踏み込むと、アクセルワイヤを介して吸入空気量を増減させるスロットルバルブを開閉することで行っていた（図1）。

近年は、アクセルペダルがアクセルワイヤを介してスロットルバルブと連結していない電子制御スロットルシステム（スロットルバイワイヤ）が非常に多くの自動車に採用されている（図2）。

電子制御スロットルシステムの制御ロジックは、運転者のアクセルペダルの踏み込み量を電気信号に変換し、ECU（エンジンコントロールユニット）が必要なトルクを演算し、電子制御スロットルを制御するシステムである。主な機能は、アクセル開度に応じた出力制御、アイドル回転数制御、オートマティク・トランスミッション変速時トルク制御、

最高速度制限制御、クルーズコントロール制御、スリップ制御、車両姿勢制御などがある。

本教材は、車両を使用せず安全に動作確認が行えるアクセル開度に応じた出力制御機能を組み込んだ（図3）。

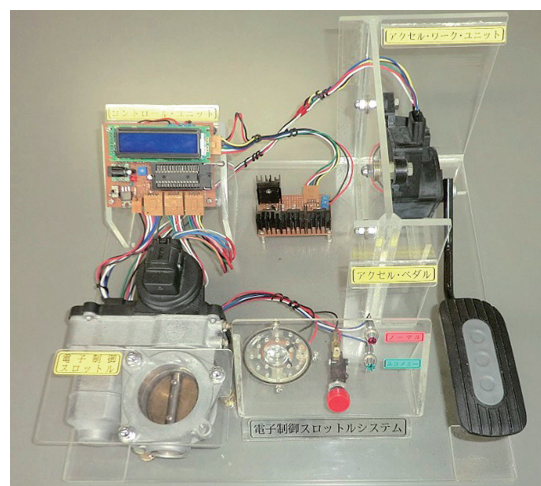


図3 電子制御スロットルシステム

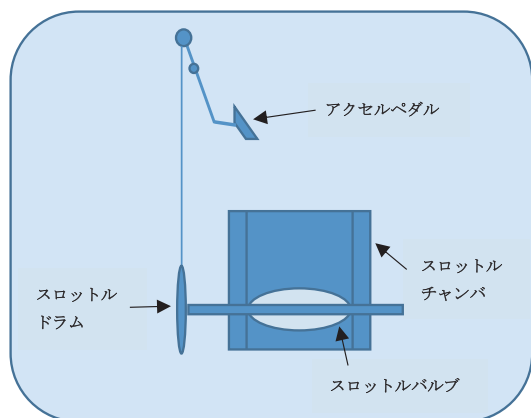


図1 機械式スロットルバルブ制御

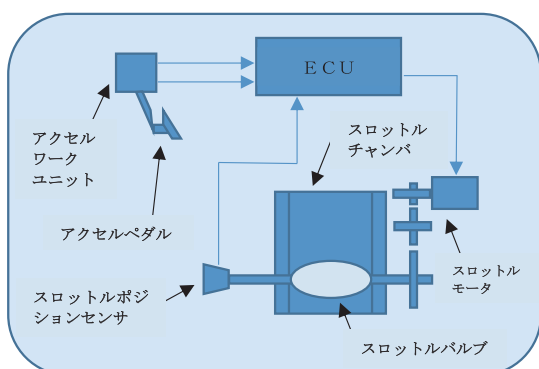


図2 電子制御スロットルシステム

2.2 可変バルブタイミング&リフトコントローラ

自動車はエンジンの回転速度や負荷に応じて最適なバルブタイミングが異なる。低温時やアイドル回転時は、オーバーラップを減らすことで排気ガスが吸気ポートへ吹き返す量を抑え、燃焼が安定し燃費向上を見込める。中負荷域はオーバーラップを大きくして内部EGR率を高め、NO_xを低減し、HCの再燃焼を促進、またポンピングロスが低減することにより燃費が向上する。高負荷域低中回転はインテークバルブの閉じタイミングを早くすることで吸気がインテークポートへ吹き返す量を抑え体積効率が向上する。高負荷域高回転ではインテークバルブの閉じタイミングを回転速度にあわせて遅くすることで、吸入空気の慣性力に合わせたタイミングにすると体積効率の向上が見込める。

以上のように、エンジンは走行状態によって最適なバルブタイミングが異なり、一つのバルブタイミングで低速回転時から高速回転時まで全域にわたって体積効率を最良にすることは難しい。したがって、走行状態に応じてバルブタイミングを変更すれば低速から高速まで様々な走行状態においても体積効率の向上が望める。

可変バルブタイミング&リフト機構は、吸気バルブと排気バルブの開閉時期及びリフト量すなわちカムプロフィールを走行状態に応じて変化させることで低速回転時から高速回転時まで全域で体積効率を向上させるシステムである。

カムプロフィールの切り替えは、エンジンECUが、吸入空気量とエンジン回転速度等の情報を基にオイルコントロールバルブを駆動し、油路を切り替える。エンジンが低速回転時はローリフトカムで、高速回転時はハイリフトカムで吸気バルブまたは排気バルブを開閉し、走行状態に応じたエンジンの出力特性を得ることができる。

本教材は、吸気バルブの開閉時期及びリフト量すなわちハイリフトカムの切り替えを任意に設定できるようにした（図4）。

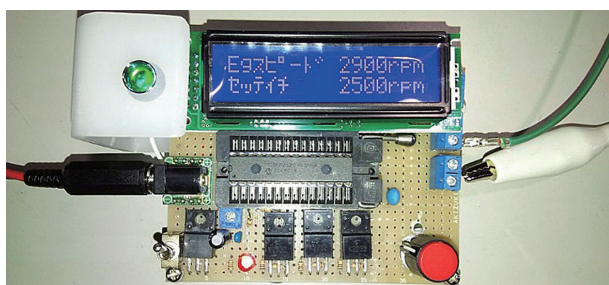


図4 可変バルブタイミング&リフトコントローラ

3. 教材の構成

本教材のコントロールユニットにはA/D変換モジュールとPWMモジュールを内蔵するMicrochip社製マイコンを使用する。プログラミング言語はC言語を用い、開発環境は同じくMicrochip社製の統合開発環境MPLAB IDEに同社純正のC18コンパイラを使用する（図5）。

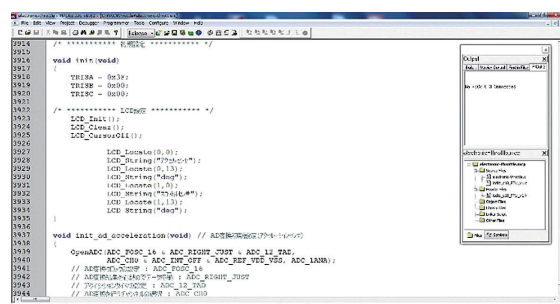


図5 MPLAB IDE

3.1 電子制御スロットルシステム

電子制御スロットルシステムのブロック図、フローチャート概要をそれぞれ図6、図7に示す。

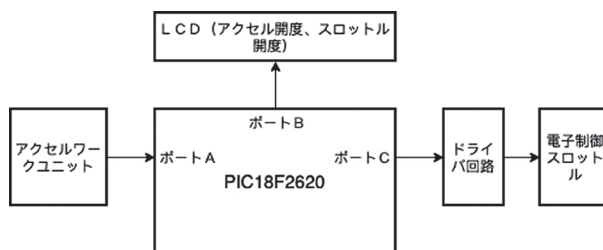


図6 ブロック図

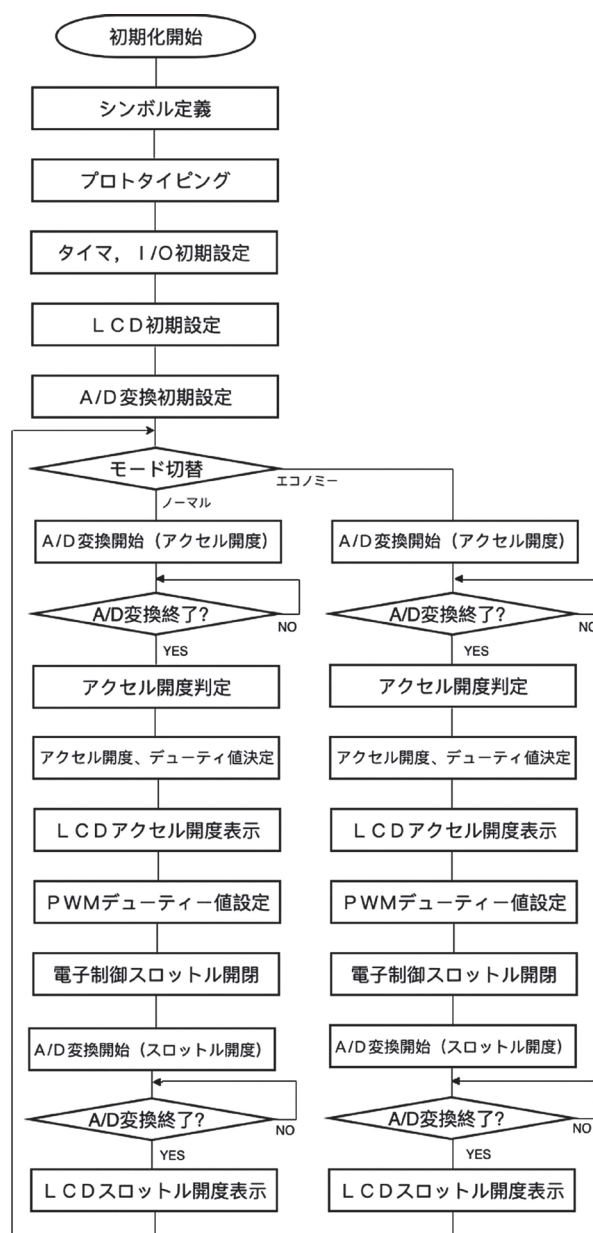


図7 フローチャート概要

(1) アクセルワークユニット

アクセルワークユニットは運転者のアクセルペダルの踏み込み量を電気信号に変換する装置である。

小型自動車に搭載されているアクセルワークユニットを教材に使用した（図8）。

(2) コントロールユニット

コントロールユニットはアクセルワークユニットからの電気信号を基に、ドライバ回路へ駆動信号を出力する。マイクロコンピュータはMicrochip社製のPIC18F2620、回路基板は72mm×95mmの片面ユニバーサル基板を使用した（図9）。

(3) ドライバ回路

ディスクリート半導体素子を使用して50mm×70mmの片面ユニバーサル基板に製作した（図10）。

(4) モード切り替えスイッチ

ノーマルモードと省燃費走行用のエコノミーモードを切り替えることができる（図11）。

(5) 電子制御スロットル

電子制御スロットル制御用モータは、DCモータを採用しており、減速ギアを介してスロットルバルブを駆動している。使用するユニットは、アクセルワークユニットと同一の車種に搭載されている電子制御スロットルを使用した（図12）。

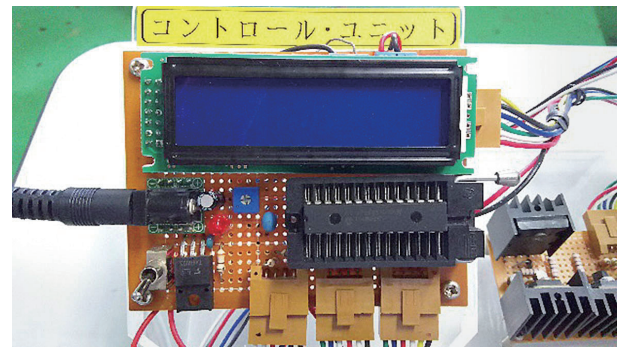


図9 コントロールユニット

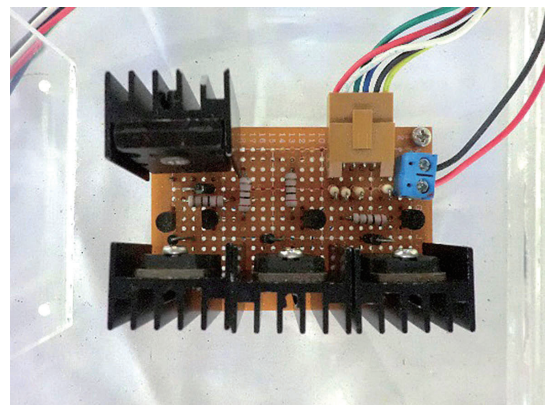


図10 ドライバ回路

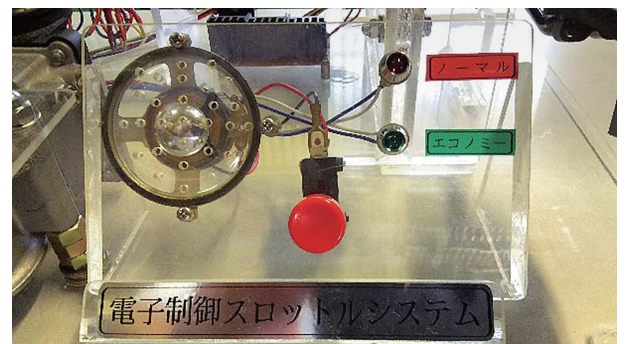


図11 モード切り替えスイッチ及表示器

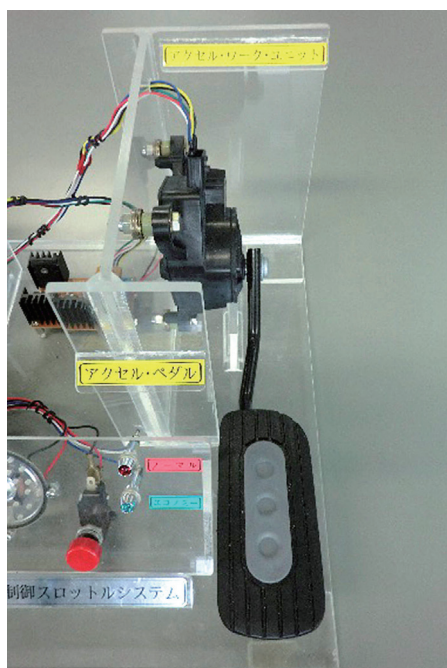


図8 アクセルワークユニット

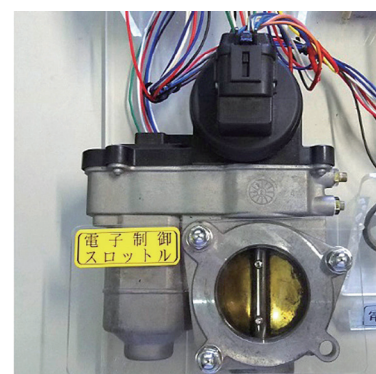


図12 電子制御スロットル

3.2 可変バルブタイミング&リフトコントローラ

可変バルブタイミング&リフトコントローラのブロック図，フローチャート概要をそれぞれ図13，図14に示す。

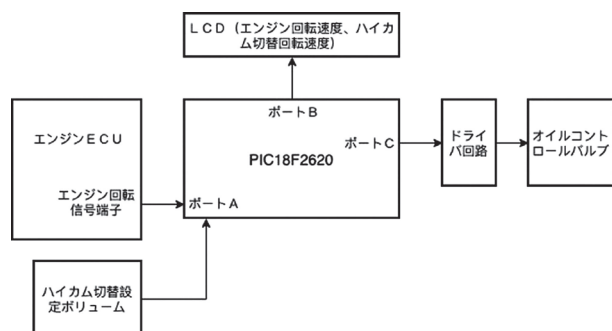


図13 ブロック図

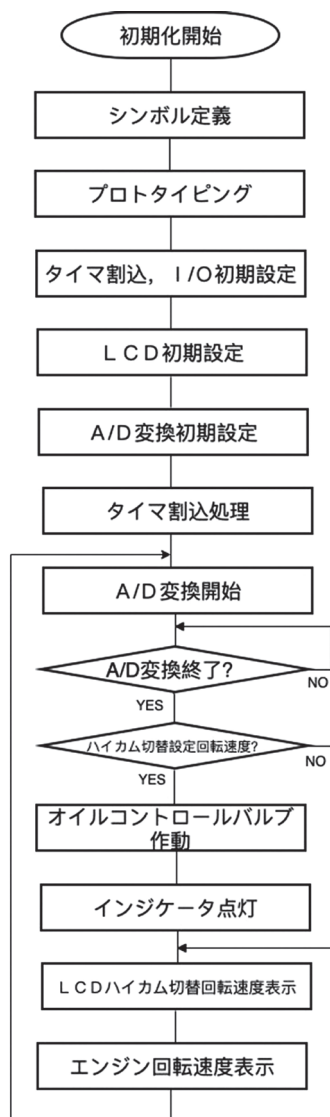


図14 フローチャート概要

(1) コントロールユニット

コントロールユニットはECUからのエンジン回転信号を基に，ドライバ回路へ駆動信号を出力する。マイクロコンピュータは，Microchip社製のPIC18F2620，回路基板は72mm×95mmの片面ユニバーサル基板を使用した。

(2) ドライバ回路

ディスクリート半導体素子を使用してコントロールユニット上に製作した。回路基板は47mm×72mmの片面ユニバーサル基板を使用した。

(3) 回転信号入力端子

エンジンECUの回転信号端子からのエンジン回転信号をコントロールユニットに入力する。

(4) 出力信号端子

オイルコントロールバルブへの制御信号を出力する。

(5) LCD表示器，インジケータ

エンジンの回転速度並びにハイカム切り替え回転速度を表示する。エンジン回転速度がハイカム切り替え回転速度に達すると，インジケータが点灯する。

(6) ハイカム切り替え設定ボリューム

ローリフトカムからハイリフトカムへ切り替わるエンジン回転速度を設定することができる（図15）。

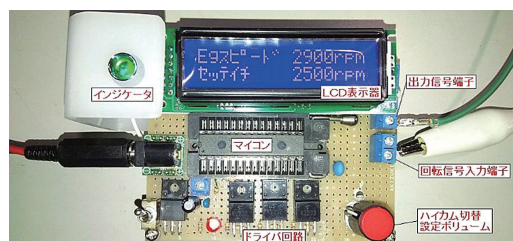


図15 可変バルブタイミング&リフトコントローラ

4. 教材の使用法

4.1 電子制御スロットルシステム

- ①安定化電源をコントロールユニットに接続し，直流電圧を12Vに設定する。
- ②トグルスイッチをONにすると開始音が鳴り，待機状態になる。
- ③LCD表示器の1行目にアクセル開度，2行目にスロットル開度が表示される（図16）。



図16 LCD表示器



図19 エンジンECU

- ④モード切り替えスイッチを押して「ノーマルモード」と「エコノミーモード」を切り替えるができる（図17）。

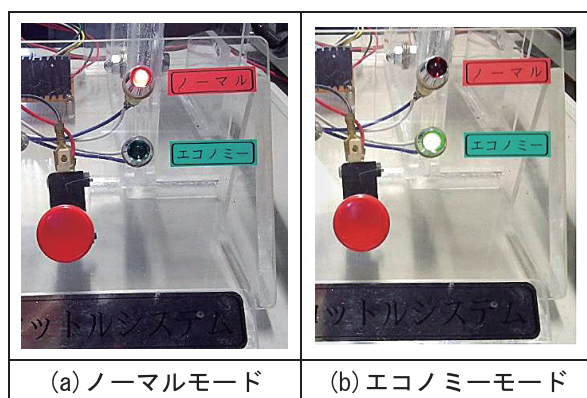


図17 モード表示器

- ②車両のオイルコントロールバルブのコネクタを外し、コントロールユニットの出力信号端子と信号線で接続する（図20）。

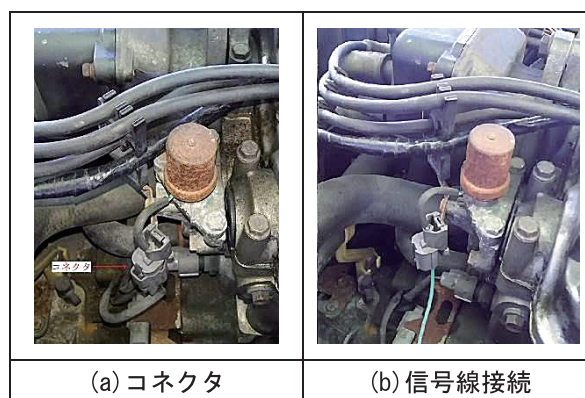


図20 オイルコントロールバルブ

- ⑤アクセルペダルの踏み込み量，速度及びモードによって，電子制御スロットルのスロットルバルブ開度及び開閉速度が変化する（図18）

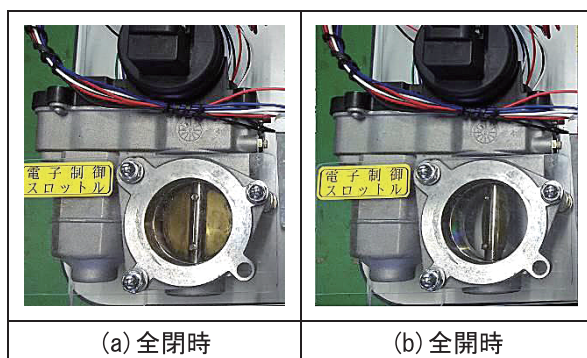


図18 電子制御スロットル

4.2 可変バルブタイミング&リフトコントローラ

- ①コントロールユニットの回転信号入力端子に車両のエンジンECUのエンジン回転信号端子を信号線で接続する（図19）。

- ③車両に搭載されているバッテリーに電源線を接続し、コントロールユニットに電源を供給する（図21）。

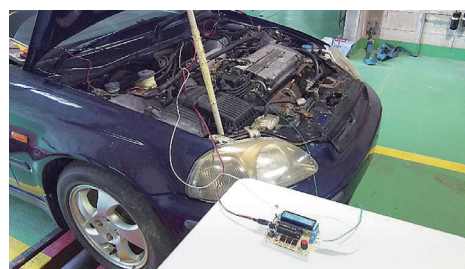


図21 コントロールユニットと車両の接続

- ④エンジンを始動する。コントロールユニットの電源をONすると，LCD表示器の1行目にエンジン回転速度，2行目にハイリフトカムへ切り替わるエンジン回転速度（設定値）が表示される。ハイカム切り替え設定ボリュームを左に回すとハイカムへ切り替わる回転速度が低くなり，右に回すと高くなる。また，ハイカムに切り替わるとインジケータが点灯する（図22）。

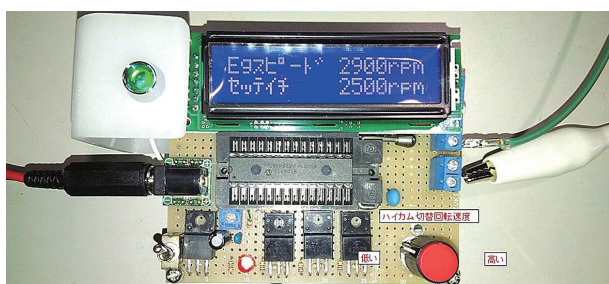


図22 コントロールユニット

- ⑤シャシーダイナモメータや排気ガス測定器を使用することで、エンジン出力や排気ガス成分の変化等を比較できる（図23）。



図23 動力性能試験並びに排気ガス測定

5. 教材の訓練効果

本教材は、電子制御燃料噴射装置の構造・作動や故障診断実習等に活用できる。以下にそれぞれの教材の訓練効果を記す。

5.1 電子制御スロットルシステム

車両搭載の電子制御スロットルは本体を取り外すまでに、コネクタ及び上部カバー取り外し等の作業が必要である。また、取り外し後はエンジン始動ができず動作確認を行うことができない。システム構成部品についても、アクセルワークユニットやエンジンECU等、電子制御スロットルとは離れた位置に取り付けられており、それぞれの装置の機能や関連性を理解するのが難しい。本教材は、電子制御スロットルシステム制御に関連する装置がアクリルボード上に配置されており、それぞれの装置の機能や関連性を容易に理解することができる。訓練生から「それぞれの装置の機能がわかりやすい」、「ノー

マルモードとエコノミーモードの違いがよく理解できた」「各装置の関連性がわかった」などの声が聞かれた。

5.2 可変バルブタイミング&リフトコントローラ

可変バルブタイミング&リフト機構はエンジン本体の上部、シリンダヘッドに内蔵されており、エンジンECUからの出力信号により制御されるが、一定のエンジン回転速度に達したときのみ制御されるので特定の条件でしかエンジン出力や排気ガス成分の変化等についての学習ができない。また、エンジンが高速回転時に作動するので、作動確認において安全性の面でも考慮する必要がある。本教材は、ハイリフトカムへ切り替わるエンジン回転速度を任意に設定できるので、走行状況に応じたエンジン出力や排気ガス成分の変化等の測定が可能であり、安全性も確保できる。訓練生から「バルブタイミングやリフト量を変化させることで出力特性や排気ガス成分に影響を及ぼすことがわかった」、「自分の車にも取り付けたい」などの声が上がった。

6. 今後の課題と発展性

本教材は、まだまだ改善、発展の余地があり、今後は各種入出力信号の測定や故障診断に活用できるようテキストの充実を図りたい。

近年アクセルとブレーキの踏み間違いによる誤発進を抑制する装置の搭載が増えているが、これは超音波を利用したクリアランスソナーやバックソナー等で障害物が近づくとブザーで知らせエンジンの出力抑制を行うシステムである。今回製作した電子制御スロットルシステムに、以前自動車の障害物検知機能の説明用教材として製作したクリアランスソナーを組み込むことで誤発進抑制装置の機能を付与することができる。現在鋭意製作中である。（図24、25）。

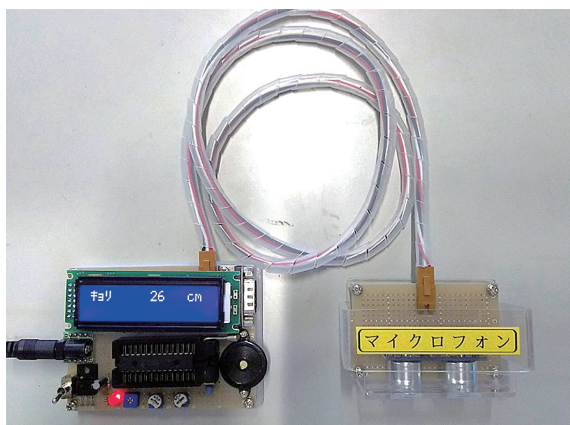


図24 クリアランスソナー

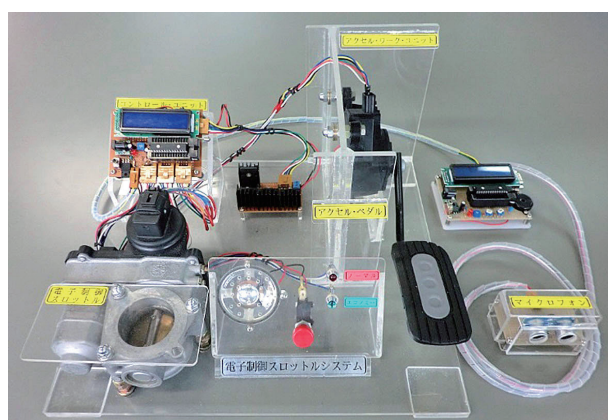


図25 電子制御スロットルシステム
(誤発進防止装置付) 製作中

7. おわりに

自動車整備業界においては、自動運転車等の普及に伴う自動運転等先進技術に係る点検・整備が導入されると、より一層新技術に対応した自動車整備士の需要が高まることが予想される。今後も、訓練生が「自動車のエレクトロニクス分野に興味を持つ」、 「電子制御装置の構造、作動が見てすぐわかる」この2つのコンセプトを基本にカリキュラムの中で活用できる教材製作に取り組んできたい。