

# エンジンの効率マップ作成に対応する制御・計測システムの開発

古谷 勇真\* 高重 達郎 (鉄道総合技術研究所)

Development of control-and-measurement system for creating efficiency-maps of engines

Takemasa Furuya\*, Tatsuro Takashige, (Railway Technical Research Institute)

In order to measure the detailed efficiency of the engine, we developed a portable-console for the engine and a measurement system that supports CAN communication. As a result, we were able to create efficiency maps and find highly-efficient operating ranges of engines.

キーワード：エンジン制御，効率マップ，計測  
(engine control, efficiency maps, measurement)

## 1. はじめに

社会的な脱炭素化の流れを受け、非電化区間を走行する既存の鉄道車両に対しても、環境性能の更なる向上が強く求められつつある。燃料を高圧で噴射することで、燃費の向上と排出ガスの浄化を実現するコモンレール式エンジンの適用も広がっている。

ディーゼル車両に使用されるエンジンには、マスコンに割り振られたノッチ（ここでは、力行ノッチと呼ぶ）に加えて、マスコンに割り振られていないノッチ（ここでは、中間ノッチと呼ぶ）がある。効率の高い運転領域を選択的に使用することで燃費改善を目指す際、エンジンの詳細な効率マップの取得が不可欠であるが、これまでの燃費や効率等の評価は力行ノッチに対するものだけで、中間ノッチを含む全燃制ノッチの詳細な測定・評価の実績はない。

そこで、エンジンの効率マップ作成に対応する、中間ノッチを含む全燃制ノッチを出力可能な可搬式エンジン簡易制御卓と CAN 通信に対応した計測システムで構成される、制御・計測システムを開発した。

## 2. エンジン試験装置及び供試エンジンの概要

鉄道総研は、エンジンの馬力・熱効率・排ガスの測定等に対応した台上試験機を所有している。台上試験機は、エンジンの起動・停止に係る操作卓を有しており、非常停止ボタンや動力計の異常等を検知してエンジンを自動停止させるインターロック機能を有しているが、中間ノッチの出力には対応していなかった。そこで、台上試験機との保護連動機能を有する、可搬式エンジン簡易制御卓の開発を目指した。

台上試験機の外観を図 1 に、開発した制御・計測システムの機能確認に使用した供試エンジンの諸元を表 1 に示す。



図 1 台上試験機の外観

表 1 供試エンジンの諸元

名称	コモンレール式 ディーゼルエンジン
型式	4 サイクル、水冷、直列、横形、 直接噴射式
吸気方式	ターボチャージャー、 水冷アフタークーラ
シリンダ数	6
総排気量	15.24L
定格出力	331kW/2000rpm
最大トルク	1813Nm/1400rpm
乾燥重量	約 1940kg
燃料噴射システム	コモンレール式

## 3. 可搬式エンジン簡易操作卓の開発

〈3・1〉 仕様及び構成 可搬式エンジン簡易操作卓の機器仕様は、台上試験機や供試エンジンの制御装置（GCS：Governor Control System）と独立した機器として構成する前提として、以下のように決定した。

- (1) 台上試験機の制御卓と共存可能であること。
- (2) 制御プログラムを変更することで、様々なエンジン形式に対応可能な汎用性を有すること。
- (3) 機能確認や保守・修理が比較的容易に実施可能であること。
- (4) 本制御器の制御部と GCS は絶縁されること。

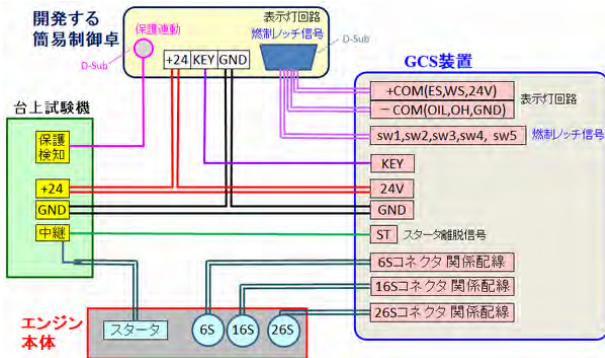


図 2 接続回路図

1 項については、最初に接続回路図 (図 2 参照) を作成した上で、各機器が共存するために必要な条件を整理した。

2 項については、オープンソースの開発環境でプログラム変更が可能な Arduino ボードを制御部に使用すると共に、個別制御されたビット指令を組み合わせて燃制ノッチを生成する構成として、任意の出力パターン設定に対応する汎用性を確保した。

3 項については、機器間配線等の接続部に D-Sub 等のコネクタを積極的に使用して誤配線防止と結線作業の簡便化を図った。また、制御器内部の基板等を機能毎にブロック化して構成し、機能確認や組込作業等の効率化を図ると共に、動作確認用 LED を配置して調整・確認作業を簡便化した。

4 項については、本制御器に供給される DC24V から絶縁型 AVR で DC5V の内部制御電源を生成し、燃制ノッチはフォトカプラを介して GCS に出力する構成とした。

表 2 に、供試エンジンのノッチ割りを示す。なお、力行ノッチや中間ノッチの割り当てはエンジン形式毎に任意設定されるため、Arduino ボードの制御プログラムは、供試エン

表 2 ノッチ割り

力行ノッチ	中間ノッチ
アイドル	
1	1.1、1.2、1.3
2	2.1、2.2、2.3、2.4
3	3.1、3.2、3.3、3.4、3.5、3.6、3.7、3.8、3.9
4	4.1、4.2、4.3、4.4、4.5、4.6、4.7、4.8、4.9
5	

ジンに応じて燃制ノッチの出力設定を適宜変更する必要がある。

開発した可搬式エンジン簡易制御卓 (以下、簡易制御卓) を図 3 に示す。市販のアルミケースをベースに制作したもので、指令モード選択スイッチによって、中間ノッチを含む全ての燃制ノッチを出力する「燃制指令モード」と、力行ノッチのみを出力する「力行指令モード」の切替が可能で構成とし、燃制指令の出力状態を示す LED 表示灯は、制御器出力側 (5V 系) と GCS 接続側 (24V 系) で別々に設置した。

Arduino-Nano と同等の性能を有する制御部には、燃制ノッチの出力以外にも 2CH のアナログ出力と 1CH の I2C 通信 (LCD 表示用) の機能を持たせており、LCD を外部接続することで出力中の燃制ノッチは数値でも確認できる。簡易制御卓の制御部の諸元を表 2 に示す。



図 3 可搬式エンジン簡易制御卓

表 2 制御部の諸元

メインチップ	Atmega328 AVR
開発環境	Arduino IDE
動作電圧	5 V
メモリ容量	32 kB
SRAM	2 kB
動作周波数	16 MHz
I/O ピン 許容最大電流	40 mA
寸法	18×45 mm
重量	7 g

〈3・2〉 使用方法 簡易制御卓の基本的な使用方法を図 4 に示す。Arduino ボードで構成される制御部は、キースイッチを回すことで電源が供給されて起動し、初期化処理等が終わると動作表示灯 LED が点滅を開始する。その後、燃制ノッチの指令モード選択等の準備操作を経た上でエンジンの始動指令が入力されると、GCS に対する燃制ノッチが出力される。なお、エンジン始動に係るボタン操作は台上

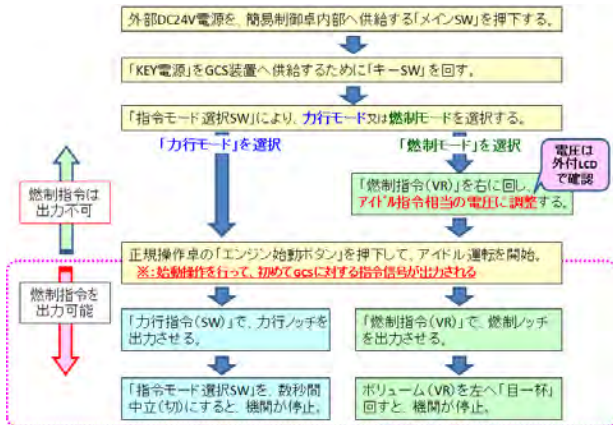


図 4 基本的な使用方法

試験機側で扱う構成とすることで、簡易制御卓を使用しない場合と統一し、誤操作が生じないように配慮した。

簡易制御卓の制御部は、台上試験機側の保護動作を常時監視しており、これを検知した場合は速やかに強制アイドル運転に切り替えることで、台上試験機側との保護連動を実現した。なお、保護連動用 D-Sub コネクタへの外部接続配線は変更可能となっており、保護連動を無効化するための D-Sub コネクタも製作した (図 5 参照)。

運転中の指令モード切替は、燃制指令が力行指令と一致する場合、かつ「力行指令モード」から「燃制指令モード」の片方向のみを許容した。指令モード切替をスムーズに実施できるように、外付け LCD 表示器の 2 行目には常に燃制指令の状態が表示される (図 6 参照)。

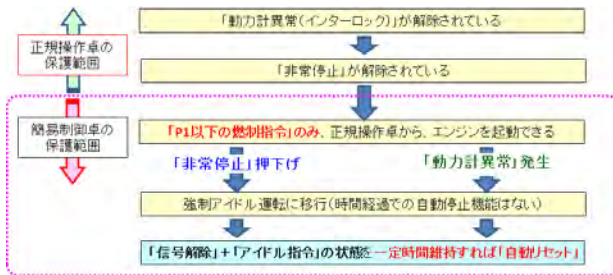


図 5 保護連動の仕組み



図 6 LCD の表示内容

#### 4. CAN 通信に対応した計測システムの開発

〈4・1〉 機器構成 GCS の内部制御情報は、車両走行試験やエンジンベンチ試験にて計測する機会が多く、これらと同時に計測できる構成が望ましい。従来は、GCS の内部制御情報の計測に「DDS(Data Display System)」を用いていたが、DDS は計測対象のエンジン型式に応じた ROM 交換等が必要であり、CAN 通信を利用する新型の共通レール式エンジンの GCS には対応していない。そこで、新たに CAN 通信に対応した計測システムを開発した。

CAN 通信に対応した計測システムを図 7 に示す。市販されている汎用計測ユニットを活用することで、コスト低減と汎用性確保の両立を図った。追加した CAN ユニットで GCS から出力される内部制御情報等を取得し、従来から使用する計測ユニットで取得する運転操作情報や車両速度等と同時に記録する構成とした。また、エンジンメーカーから提出された CAN 通信仕様に加え、SAE-J1939<sup>(1)</sup>も参考にして幅広い CAN 情報の計測にも対応した。

なお、CAN 通信に対応可能な製品であれば、図 7 に示した汎用計測ユニット以外でも、同様の機能は実現できる。



図 7 CAN 通信に対応した計測システム

〈4・2〉 計測結果の一例 鉄道総研の台上試験機を使用した計測結果の一例を図 8 に示す。左側は計測信号を時系列で表示したチャートと、右側は数値を一覧表示するように設定した。数値表示部の右端列が、CAN 通信から取得した GCS の内部制御情報である。図 8 は、燃料回路に容積式燃料流量計を設置して燃料使用量を実測し、CAN 通信で得られる燃料使用量 (計算値) との比較に向けた準備作業を併せて実施した計測結果である。今後、CAN 通信による燃料使用量 (計算値) と容積式燃料流量計の実測値の比較等を実施し、計測システムの実用精度についても検証を進める予定である。

なお、本論文で紹介した制御・計測システムを用いて取得したエンジンの効率マップは、別の論文<sup>(2)</sup>にて紹介したので、そちらを参照されたい。



図 8 計測結果の一例

## 5. おわりに

エンジンの効率マップ作成に対応する、中間ノッチを含む全燃制ノッチを出力可能な可搬式エンジン簡易制御卓と CAN 通信に対応した計測システムで構成される、制御・計測システムを開発した。台上試験機を用いた機能確認を実施し、双方とも良好に動作することが確認された。

可搬式エンジン簡易制御卓は、既存のエンジンベンチ設備の改造を伴わずに未対応のエンジンが使用できる特徴を有することから、今後登場する新型エンジンの試用等に活用したいと考えている。

CAN 通信に対応した計測システムは、計算値ではあるものの燃料使用量を流量計の仮設を行わずに把握できる。これにより、DDS を使用する従来の計測方法では、圧力センサや燃料流量計の仮設が必須であった測定項目についても、測定精度等に影響が生じない範囲では、GCS からの CAN 通信を代用できると考える。特に、燃料流量の実測が困難な現車走行試験等における燃費や効率の概算測定・評価が可能となる点で有用性は非常に高く、既に複数の現車走行試験等での使用実績もある。

今回得られた成果が、今後の車両開発や既存車両の効率向上検討の一助となることを期待する。

## 文 献

- (1) SAE Org.: "J1939", (2015)
- (2) 高重達郎、古谷勇真、近藤稔: "コモンレール式エンジンの効率マップの作成", 第 29 回鉄道技術連合シンポジウム (2022)