

## コモンレール式エンジンの効率マップの作成

高重 達郎\* 古谷 勇真 近藤 稔 (鉄道総合技術研究所)

### Creation of common-rail diesel engine efficiency map

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

Common rail diesel engines used in diesel cars cannot be used except for the notch set by the master controller, but the diesel engine itself has a usable notch called the intermediate notch. By measuring the performance of the intermediate notch, it is possible to set a low fuel consumption and a tractive effort suitable for the running line section. In this study, a device to operate the intermediate notch was fabricated, engine performance tests were conducted, and an engine efficiency map was created.

キーワード : コモンレール式ディーゼルエンジン, 馬力, 燃料消費率, 排出ガス

Keywords : common-rail diesel engine, engine power, fuel consumption, exhaust gas

### 1. はじめに

近年では鉄道や自動車、航空などの運輸部門において低燃費・低排出ガスに対する意識が高まっている。これらへの取り組み例として、動力ではハイブリッド化や電動化の導入、車体では軽量化などが挙げられる。鉄道においても、電動化や軽量化など様々な取り組みが挙げられる。

これらの取り組みの中でも比較的容易に実施できるのは運転方法の変更である。自動車においては、運転者のアクセルペダルの踏み込み量によってエンジンの運転領域は0~100%の負荷を自由に選択することができる。そのため、緩やかな加速を試みることで低燃費を実現することができる。一方、鉄道のディーゼル車においても運転方法によって低燃費を実現することができるが、エンジンの制御を司るGCS (Governor Control System) にて、エンジン運転領域は特定の運転点のみを使用する制御になっている。気動車ではノッチ信号の組み合わせでエンジンの運転点を決定しているため、エンジンの運転領域は0~100%の負荷のうち、最大31点しか使えない。さらに、実際の運転時には車両の引張力などを考慮して、点数を絞りマスコンに割り振られたノッチを使用するため、自動車のように運転領域を自由に選択することはできない。そのため、鉄道事業者やエンジンメーカーでは出荷時にはマスコンに割り振られたノッチでしかエンジンの馬力測定を実施しない。

一方、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) もエンジンには設定されているが、これらの中間ノッチのエンジン性能を測定した実績はなく、中間ノッチのエンジン性能を測定することで、エンジン効率

の最も良いノッチを明確にし、低燃費や走行線区などに適したノッチの見直しが可能となる。

そこで、マスコンに割り振られていない中間ノッチを運転できる装置を製作して、エンジン単体の性能試験を実施し、エンジンの効率マップを作成した。

### 2. 試験条件

〈2・1〉 エンジン諸元 本試験では鉄道用の最新型エンジンであるコマツ製のコモンレール式ディーゼルエンジンを使用した。本エンジンの外観を図1に、諸元を表1にそれぞれ示す。

コモンレールとは燃料噴射装置の種類を表している。その機能は図2に示すように、サプライポンプと呼ばれる燃料噴射ポンプからコモンレールと呼ばれる蓄圧室に燃料が蓄圧され、そこから高圧の燃料を各気筒のインジェクタに分配している。インジェクタには電子制御されたソレノイドが設けられており、運転条件に応じた噴射量・噴射タイミングに制御することが可能である。国鉄時代のエンジンの燃圧と比べて、コモンレール式は10倍以上の圧力になっており、高圧とすることで燃料が微細化され、燃焼効率が向上した。また、電子制御化したことで、1回の燃焼行程において、複数回の燃料噴射が可能となり、燃焼温低減や排出ガス低減が図られている。

なお、本エンジンのノッチは30分割されており、表2に示すようなノッチ割りになっている。



図 1 コモンレール式ディーゼルエンジンの外観

表 1 エンジン諸元

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
ボア×ストローク	140×165mm
総排気量	15.24L
圧縮比	16.7 : 1
着火順序	1-5-3-6-2-4
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

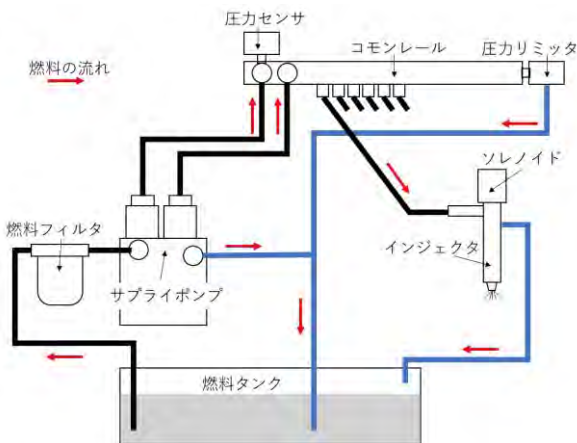


図 2 コモンレールの構成と機能

表 2 ノッチ割り

マスコンノッチ	中間ノッチ
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	

〈2.2〉 測定機器 試験ではエンジンの馬力・熱効率・排出ガスの測定を行った。測定機器の外観を図 3 に、仕様については、表 3～表 6 に示す。燃料流量は、自動車の燃料消費量の測定方法に規定された直接消費流量測定法<sup>1)</sup>に基づき、燃料配管中に設置した流量計で測定した。また、排出ガス濃度は、排気管から直接試料を採取する直接測定法<sup>2)</sup>に基づき、排出ガス分析計で測定した。



図 3 試験装置の外観

表 3 試験装置の諸元

型番	エディックダイナモメータ TWD-370P
方式	うず電流式電気動力計
吸収動力	385kW
回転速度	1800～6000rpm
定トルク範囲	500～1800rpm

表 4 燃料流量計の諸元

名称	容積式流量計
型式	XFS-1234
測定範囲	0.6～120L/h
精度	±1.0%以内
メーカー	ココリサーチ

表 5 排ガス分析計の諸元

名称	ポータブル燃焼排出ガス分析計
型式	testo350
測定対象	NO <sub>x</sub> 、CO、HC、CO <sub>2</sub> 濃度
測定原理	CO <sub>2</sub> 濃度は非拡散形赤外線分析 (NDIR) 上記以外は定電位分解法
精度	±5% (NO <sub>x</sub> )、±5% (CO)、±0.3Vol% (CO <sub>2</sub> )
メーカー	テストー

表 6 スモーク濃度計の諸元

名称	光透過式スモークメータ
型式	MEXA-600SW
測定対象	スモーク濃度
測定原理	光透過式
メーカー	堀場製作所

また、中間ノッチの性能を測定するために、図 4 に示す簡易制御卓を製作し<sup>3)</sup>、本試験にて使用した。この制御卓により、中間ノッチを含めたすべてのノッチ条件にも対応可能となる。なお、本試験では 30 分割されたすべての測定点ではなく、16 点を測定した。測定は各値が安定してから 20 秒間の平均値とした。



図 4 簡易制御卓の外観

### 3. 測定結果

〈3・1〉馬力結果 馬力試験結果を図 5 に示す。馬力に関してはノッチが上がるごとに馬力も増加しており、両者の間には相関があることを確認した。ここで、1 ノッチは緑、2 ノッチはオレンジ、3 ノッチは水色、4 ノッチは紫、5 ノッチは黄色で表し、中間ノッチは数字が大きくなるにつれて濃い色となるようにグラデーションで表している。以下、全てのグラフは同様に表記している。

なお、出力については修正係数<sup>4)</sup>を加味した値となっている。

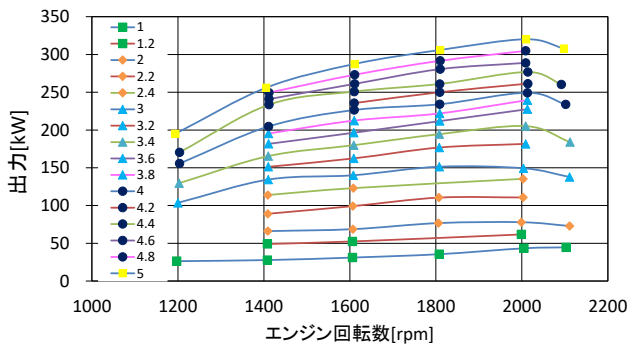


図 5 出力

〈3・2〉燃料消費率結果 全体の測定結果を図 6 に、最も燃料消費率の値が少ない領域の拡大図を図 7 に示す。燃料消費率は単位出力当たりで表しており、ノッチが低いほど燃料消費率が高い、すなわち燃費が悪いことを表している。また、エンジン回転数がトルクピークの 1400rpm の時に最も燃費が良い。

さらに、拡大図 (図 7) を見ると 5 ノッチよりも中間ノッチである 4.6 や 4.8 ノッチの方がトルクピーク付近において燃費が良いことが分かる。

また、馬力と燃料流量に式 (1) と式 (2) を適用して熱

効率を算出し、結果を図 8 に示す。

$$Q_1 = q \times a \times 1000 / 3600 \quad \text{式 (1)}$$

ここで、

$Q_1$  : 燃料から吸収した熱量[kW]

$q$  : 燃料流量[L/h]

$a$  : 軽油の発熱量<sup>5)</sup> 38.04[MJ/L]

この熱量と試験で測定した馬力  $W$  から、熱効率  $e$  を求める。

$$e = W / Q_1 \quad \text{式 (2)}$$

図 8 より、高いノッチでエンジン回転数が低い領域で 35% を超える高い効率を示し、低いノッチでエンジン回転数が高い領域で 20% 以下の低い効率を示すことが分かった。このような熱効率のマップを参考にして、最適な運転点を選択することも可能となる。

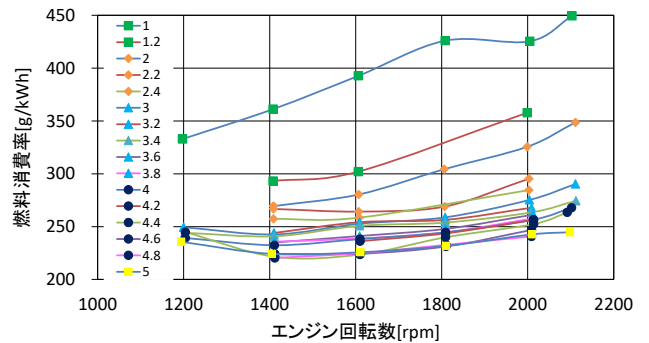


図 6 燃料消費率 (全体)

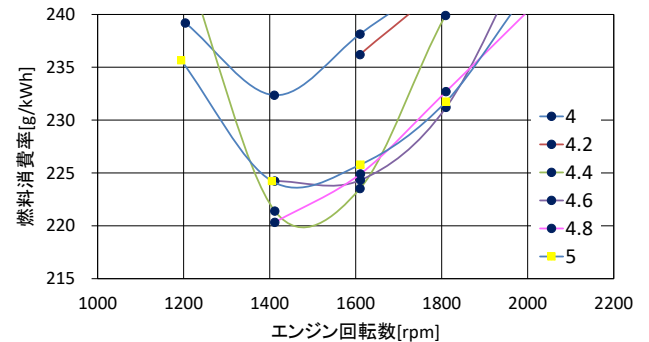


図 7 燃料消費率 (拡大)

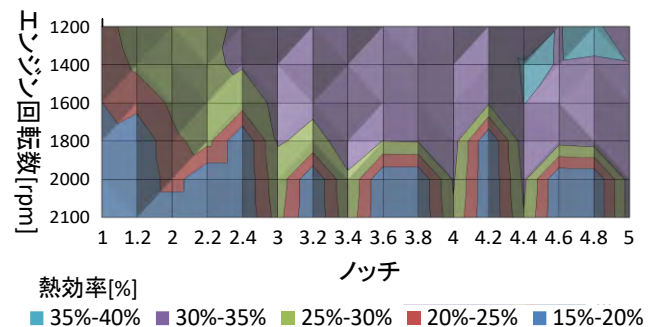


図 8 エンジンの熱効率マップ

〈3・3〉排出ガス結果 本試験で測定した排出ガスは NOx、CO、PM (スス) であり、それぞれの測定結果を図 9～図 11 に示す。ここで示す NOx および CO の値は計測器で測定した乾き状態 (ドライベース) に対し、内燃機関の排出物および粒子状排出物の測定方法<sup>6)</sup>に基づき、測定した排出ガス濃度から湿り状態 (ウェットベース) の性能濃度に換算し、さらに排気質量流量などから算出した値である。

NOx 排出率については、ノッチにより傾向にばらつきがあるが、3 ノッチ以降では 1800rpm 付近で排出率が低く、トルクピークで高い傾向にある。一般に NOx 排出量は燃焼温度が低いほど少なくなるが、単位出力当たりの排出率として求めた場合、1800rpm 付近が最も排出率が低くなる。

CO 排出率については、2 ノッチ以降はエンジン回転に反比例の傾向にある。一般的に CO は未燃焼ガスに含まれており、エンジンが低回転領域では未燃焼ガスが多いものと考えられる。

スモーク濃度については、ノッチにより傾向にばらつきがあるが、1600~1800rpm 付近で最もススが少ない傾向にある。

ただし、現時点では日本国内の鉄道については排出ガス規制が存在しないため、排出ガスの測定結果については、仕様検討の上では参考値となる。

#### 4. 終わりに

コモンレール式ディーゼルエンジンの各種性能試験を実施し、中間ノッチも含めた効率マップを作成した。その結果、以下の知見が得られた。

1. 馬力については、ノッチと出力の間に単調増加の傾向があることを確認した。
2. 燃料消費率については、ノッチの増加に伴って燃費が良くなる傾向にあるが、最も燃費が良くなるのは中間ノッチの 4.8 ノッチの時であった。
3. 排出ガスについては、項目によって最良のノッチやエンジン回転数に違いが見られるが、必ずしもマスコンハンドルに割り振られたノッチが最適とは限らない。

今回得られた知見が、今後の車両開発やエンジン換装時の参考となることを期待する。

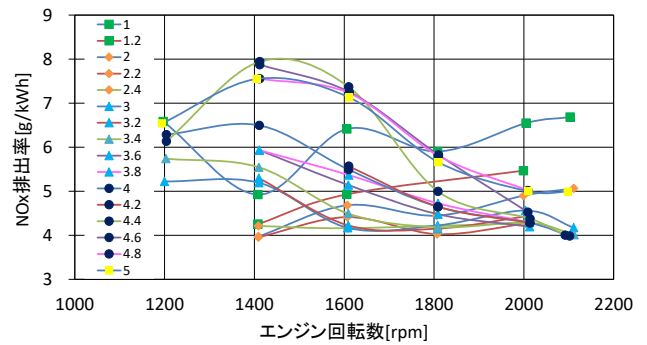


図 9 NOx 排出率

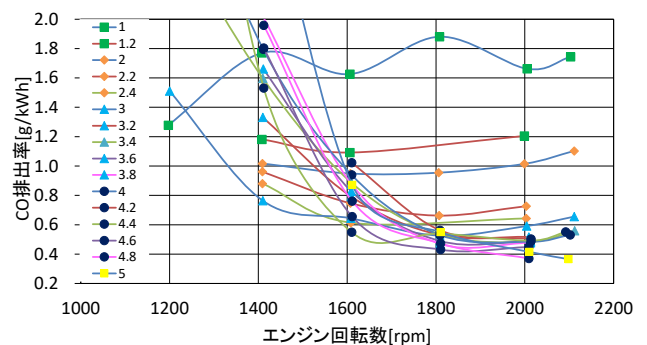


図 10 CO 排出率

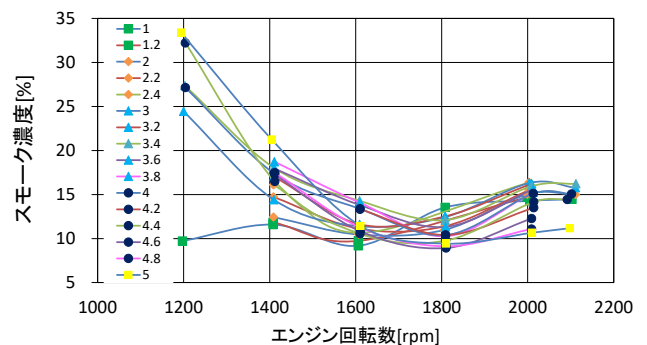


図 11 スモーク濃度

#### 文 献

- (1) 日本産業標準調査会：JIS D 1012 (自動車-燃料消費率試験方法), 2005.3
- (2) 日本産業標準調査会：JIS D 1030 (自動車-排気ガス中の一酸化炭素、二酸化炭素、全炭化水素及び窒素酸化物の測定方法), 1998.3
- (3) 古谷勇真他：“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”, 第 29 回鉄道技術連合シンポジウム, 2022
- (4) 日本産業標準調査会：JIS D1001 (自動車用エンジン出力試験方法), 1993.8
- (5) 経済産業省 試験エネルギー庁：エネルギー源別標準発熱量・炭素排出係数 (2018 年度改訂) の解説, 2020.01
- (6) 日本産業標準調査会：JIS B 8008-1 (往復動内燃機関-排気排出物測定-第 1 部：ガス状排出物及び粒子状排出物の台上測定), 2009.4