

## ディーゼル車両の排ガス測定・評価手法の開発

車両制御技術研究部 動力システム  
主任研究員 芳賀 一郎

### 1. はじめに

日本の鉄道車両用ディーゼルエンジンの排ガスは、現時点では排ガス規制がないこと、検修現場等では簡単には測定できないこと等から、測定の機会が非常に少ない一方で、鉄道事業者からは、排ガス低減対策等の面から、排出実態の把握が求められている。

そこで、まず大型自動車等を対象とする、既存の排ガス規制の測定方法を調査した。そして、NO<sub>x</sub>等の規制対象排ガスについて、JRの検修工場等のエンジンベンチ試験台や走行中の気動車で、比較的容易に実施可能な排ガス測定方法を検討した。この方法を用いて、エンジンベンチ試験台および走行中の気動車で実際に排ガス測定を実施し、その排出実態を調査した。また、多数の営業列車で、走行中のノッチおよびエンジンの機関回転速度域ごとの使用頻度を調査し、その分析結果を基に、測定結果の評価に用いる試験サイクル案を作成した。これらについて紹介する。

### 2. 自動車の排ガス規制

自動車の排ガス規制では、対象の排ガス成分と規制値および試験方法が指定される<sup>1)</sup>。ディーゼル自動車の場合、対象の排ガス成分は、通常、NO<sub>x</sub>（窒素酸化物）、CO（一酸化炭素）、HC（炭化水素）、PM（粒子状物質）が指定され、規制値の単位は、大型車では「g/kWh」を用いる。試験方法は、シャシベース（車両単位）、エンジンベース（エンジン単体）のどちらで行うか、また、試験時の運転条件を指定した試験サイクル等が指定される。大型車は、エンジンベンチ試験台におけるエンジン単体の試験方法であるエンジンベースが指定される。

エンジンベースの試験サイクルには、定常モードと過渡モードがある。定常モードでは、エンジンの回転速度と負荷率とで示される複数の運転条件が指定され、その結果は、運転条件毎に決められた重み係数により積算する。一方、過渡モードでは、加速・減速・停止等を繰り返す走行パターンが指定され、これに基づいて測定対象の自動車を運転したとして、ベンチ試験台で、測定対象の自動車のエンジンを連続運転し測定する。

### 3. 排ガス測定方法

比較的小型の自動車は、専用の排ガス試験設備に自動車自体を搬入し測定するが、これをJR現場測定に準用するのは困難である。このため、鉄道車両の排ガス測定は、大型自動車と同様、ベンチ試験台におけるエンジン単体での測定が適切と考えられる。

そこで、JR工場のエンジンベンチ試験台で実施可能な排ガス測定方法を、仮設・撤去が容易なこと、必要な精度は確保すること等を考慮して検討した。主な課題は、排ガスのサンプリング方法、排ガス総流量の算出方法等である。

一方、排ガス測定のためだけに車両からエンジンを外すのは非効率なので、走行中の排ガス車上測定方法も合わせて検討した。

### 3.1 排ガスのサンプリング

ベンチ試験台の排ガスサンプリング用として、既設の排気管の改造が不要で、取付が容易なサンプリングアダプタを考案した(図1)。これは、排気管のフランジ接続部に挟み込むもので、複数のサンプリング口、温度・圧力等のセンサ取付座がまとめて設けてある。設置状態を図2に示す。サンプリングした排ガスは、このアダプタから、専用のホースを使用して排ガス測定器まで導く。JR工場ベンチ試験台における排ガス測定器設置例を図3に示す

### 3.2 大気補正

排ガス測定器で直接測定するのは、NO<sub>x</sub>等の排ガス成分別の体積濃度(単位はppmなど)である。この排ガス濃度は、様々な大気条件下の測定値を同一レベル(標準状態)に修正するため、以下の補正が必要とされる。

#### (1) 濃度のウェットベース換算

通常、排ガス測定器は、水分除去後のガス濃度を測定するので、元の水分を含んだ時の濃度に補正する。

#### (2) NO<sub>x</sub>濃度の温湿度補正

NO<sub>x</sub>濃度は温湿度の影響を受け易いので、標準状態における値に補正する。

総研ベンチ試験台において、同一エンジン・同一運転条件で、年間を通じて様々な大気条件で測定した結果について、上記補正前後を併せて図4に示す。補正後は概ね同一の値となり、補正の必要性と有効性が確認できた。これらの補正のために、大気圧、吸入空気の温度と相対湿度の測定は必須となる。

### 3.3 排気総流量の算出

排ガス規制値との比較には、濃度ではなく、排ガス成分別の排出量値(単位はkg/h)を要し、この算出には排ガスの総流量値を使用するが、排ガスは、大流量、煤が多い、高温、脈動大などのため、排ガス総流量の直接測定は難しい。

そこで、「吸入空気量+燃料消費量=排ガス総流量」(単位はkg/h)とみなし、吸入空気量を測定する方法を採用した。燃料消費量はベンチ試験台での通常の測定項目である。吸入空気量の測定は、総研エンジンベンチ試験台で、以下の3方法を比較検討した。

#### ① 吸気管内の空気流速(風速)を測定する方法

吸気管中心部に小型の風速計を設置して空気流速を測定し、空気密度、配管断面積等から空気流量を計算する。しかし、JR工場ベンチ試験台では、吸入空気はエンジン吸気口から直接取り込むため、風速計設置は困難である。車両でもエンジンの吸気管の加工を要するので難しい。



図1 サンプリングアダプタ



図2 アダプタ設置状態



図3 ベンチ試験台の排ガス測定

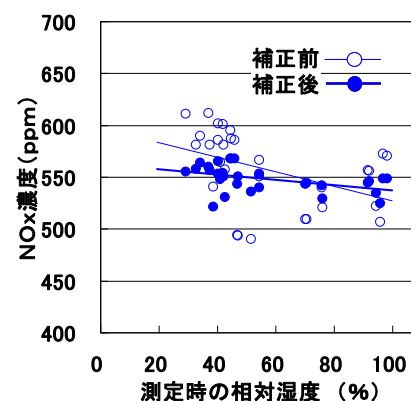


図4 温湿度補正前後の比較

## ② 過給空気の温度、圧力を測定する方法

エンジンの給気マニホールド内の吸入空気の温度、圧力測定値から過給空気密度を算出し、シリンダ容積、機関回転速度から吸入空気量を算出する。給気マニホールドにセンサ取付用の穴が設置してさえあれば、測定は比較的容易である。

## ③ カーボンバランス法

炭素バランス法ともいい、エンジンの入側（吸入空気＋燃料）と出側（排ガス）で総炭素原子数は不変という原理で算出する。規制対象外の CO<sub>2</sub> の濃度も測定する必要があるが、一般に CO 濃度測定器は CO<sub>2</sub> 濃度も測定可能であり、測定器やセンサの追加を要しないので比較的容易である。今回は、JR ベンチ試験台、車上測定とも本方法を使用した。

以上の計算の流れを図 5 に示す。

### 3.4 PM（粒子状物質：パーティキュレートマター）の測定

PM は、煤を含む、排気中の全ての粒子状物質のことで、その測定は、排ガスを希釈トンネルで空気により一定温度以下に冷却後、捕集フィルタに吸着させ、測定前後のフィルタの重量差から求める（図 6）。大型エンジンでは排ガス全量の希釈は難しいので、一部を分流して行う。PM の測定は、このような特殊な装置を必要とし、JR 現場では難しいため、代替手段として、連続測定が可能な光透過式スモークメータによる排気煙濃度測定を行う。なお、このスモークメータ測定値と PM 排出量との相関性を、現在調査中である。

### 3.5 ディーゼル動車の車上測定

排ガスのサンプリングは、屋根上の排気煙突先端、または排気煙突下端の点検蓋から取り込み、専用ホースで室内に設置した排ガス測定器に導く。ホースが長くなりすぎぬよう、排気煙突近傍の車内に測定器を設置する等の配慮を要する。屋根上の排気煙突先端のサンプリングプローブ取付状態を図 7 に示す。

## 4. 測定結果

### 4.1 ベンチ試験台における排ガス測定

前述の測定方法を用いて、総研および JR 工場ベンチ試験台で、新旧さまざまなディーゼル動車用エンジン 7 形式の排ガス測定と、既存の試験サイクルによる評価を行った（図 8）。使用した試験サイクルは、鉄道車両が対象の UIC

（国際鉄道連合）と EU の排ガス規制でそれぞれ指定される F サイクルと C1 サイクル（いずれ

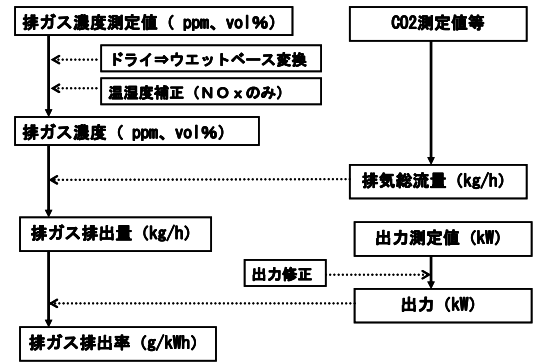


図 5 計算の流れ

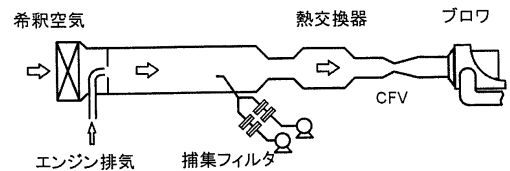


図 6 PM の測定方法



図 7 屋根上のプローブ取付状態

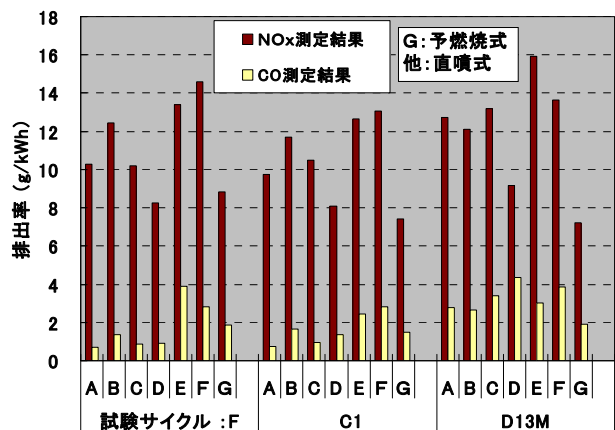


図 8 排ガスベンチ測定結果

も ISO8178-4 に記載)、国内の大型ディーゼル自動車対象の 2005 年までの前回規制（新短期規制）の D13M の 3 種で、いずれも定常モードの試験サイクルである。

#### 4.2 走行中の排ガス測定

走行中の排ガスサンプリングは、屋根上の排気管先端で行った。図 9 は、約 20% の上り勾配を速度約 44km/h で均衡走行時の測定結果を示す。ベンチ測定のような定常値を得るためには、同じ運転条件で 10 分程度の連続力走行を要することがわかった。

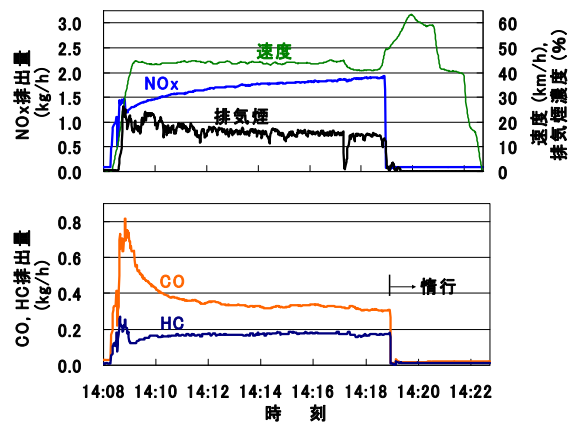


図 9 排ガス車上測定結果

### 5. 試験サイクル

試験サイクル（試験モードともいう）は、排ガス測定時のエンジンの運転条件と、各運転条件の測定値の重み付けを示すもので、ディーゼル動車の走行実態を反映したものである必要がある。国内の大型自動車では、現行排ガス規制（新長期規制）からは過渡モードが用いられているが、特殊な制御装置を備えたベンチ試験台を要するので、UIC や EU の鉄道車両用排ガス規制と同様、定常モードを使用することとした。

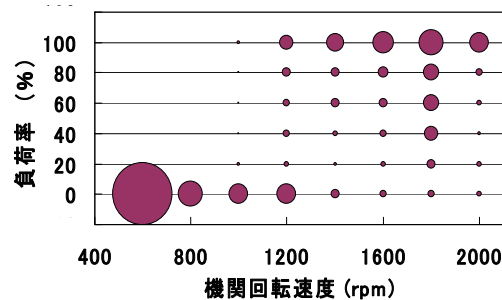


図 10 気動車の運転状態調査結果

#### 5.1 ディーゼル動車の運転状態の調査結果

JR の特急車、一般車で計 100 本以上の列車の走行中のエンジンの運転状態を調査し、集約した結果を図 10 に示す。縦軸は、ノッチをエンジンのトルク換算の負荷率に換算したもの（負荷率 0% はアイドル）、横軸は機関回転速度で、200rpm 刻みで集計した。円の大きさが使用頻度を示す。

アイドルと高負荷（すなわち高ノッチ）の使用頻度が高いこと、既存の試験サイクルとはかなり異なることなどがわかった。

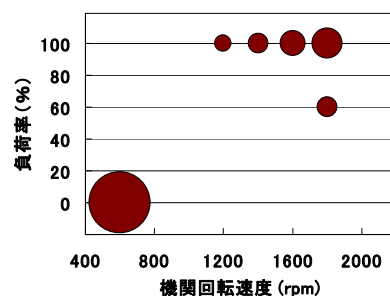


図 11 試験サイクル案

#### 5.2 試験サイクル案

運転状態の調査結果を基に試験サイクル案を作成した。作成にあたっては、調査結果を最大限反映すること、類似の試験条件は集約し、試験条件数をなるべく減らすこと等を考慮した。考案した試験サイクルの一例を図 11 に示す。円の位置が運転条件、円の大きさが重み係数を示す。

### 6. おわりに

現在、PM の簡易測定方法の検討、ディーゼル機関車についても排ガスの排出実態や運転状態の調査を行うこと等を実施中あるいは計画中である。

### 文献

- 1) 大気汚染防止法第 19 条に基づく「自動車排出ガスの量の許容限度」（昭和 49 年 1 月 21 日 環境庁告示 1 号）