

気動車の排出ガスを分析する

芳賀 一郎

車両制御技術研究部
(動力システム 主任研究員)

中村 英男

同
(同 主任研究員)

村上 浩一

同
(同 主任研究員)

前橋 心一

同
(同 研究員)



はが いちろう



むらかみ こういち



なかむら ひでお



まえはし しんいち

はじめに

気動車用ディーゼルエンジンの排出ガスの測定・分析は、排出ガス低減装置の開発や低減効果の検証には大変重要です。しかし、排出ガス測定は、JRの気動車やエンジンの検査・修繕を行う検修現場（以下、JR検修工場）では簡単にはできません。そこで、まず、厳しい排出ガス規制が実施されている大型ディーゼル自動車の排出ガス規制や測定方法を調査しました。それを基に、JR検修工場のエンジン台上試験装置（以下、エンジン試験台）や走行中の気動車で、比較的容易に実施可能な排出ガス測定手法を考案し、測定を行いました。また、多数の営業列車で、走行中のエンジンの運転状態を調査し、その結果を基に気動車エンジン用の試験サイクル案を考案しました。以下、これらについて紹介します。

排出ガス規制と試験サイクル

自動車などの排出ガス規制では、対象となる排出ガス成分と規制値および試験サイクルが指定されます。ディーゼル自動車の排出ガス規制の対象成分は、一般に、NO_x（窒素酸化物）、CO（一酸化炭素）、HC（炭化水素）、PM（粒子状物質）の4種です。大型自動車の排出ガス測定は、エンジン試験台においてエンジン単体で行い、規制値は各排出

ガス成分ごとに排出率[g/kWh]で示されます。

試験サイクルは、排出ガス測定時のエンジンの運転条件を指定したものです。その運転条件は、アイドリング時や最高出力時など複数が指定されます。各測定値は、単純平均するのではなく、運転条件毎に決められた重み係数を乗じて集計します。運転条件と重み係数は、走行中のエンジンの運転状態を代表するものとなるように決められています。

試験サイクルの例として、UIC（国際鉄道連合）制定の、鉄道用ディーゼル車両が対象の排出ガス規制で指定されるFサイクルを表1に示します。また、このFサイクルと、建設機械など自動車以外の移動体が対象の国内外の排出ガス規制で指定されるC1サイクル、国内の大型ディーゼル自動車対象の前回規制（新短期規制）で指定されるD13Mサイクルの3種の試験サイクルを図式化したものを図1に示します。この図では、一般的な気動車用エンジンに合わせて、定格回転速度を2000rpm、ローアイドルを600rpmと

表1 Fサイクル

番号	エンジンの運転条件		重み係数
	機関回転速度	負荷率(%)	
1	定格	100	0.25
2	中間	50	0.15
3	ローアイドル	0	0.6

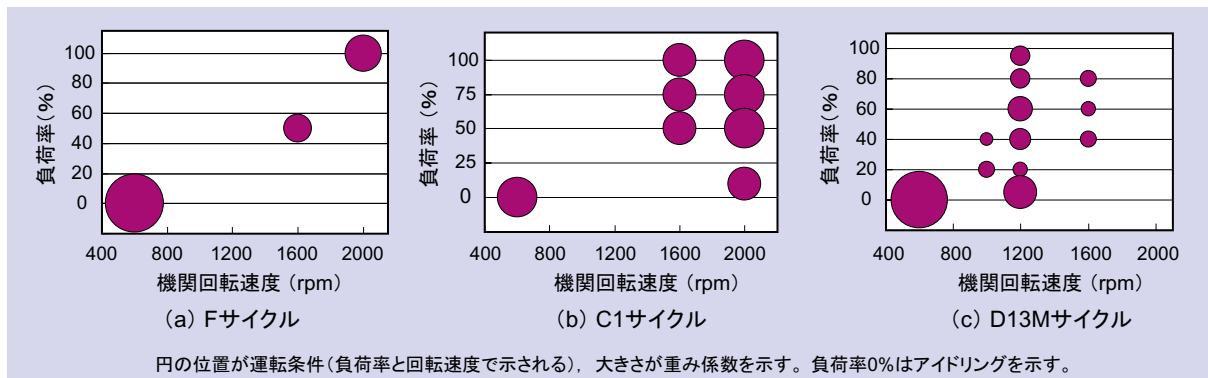


図1 試験サイクルの例

仮定して表示しています。円の位置が運転条件、大きさが重み係数を示します。

気動車用エンジンの 排出ガス測定方法

気動車の排出ガス測定は、大型自動車と同様、エンジン試験台におけるエンジン単体の測定が適切と考えられます。そ

こで、JR 検修工場におけるエンジン試験台測定を想定し、測定器の設置や撤去が容易で、必要な精度が確保可能な排出ガス測定方法を検討しました。また、排出ガス測定のためだけに気動車からエンジンを取り外すのは大変なので、走行中の気動車における車上測定方法も併せて検討しました。**エンジン試験台における排出ガスのサンプリング**

排出ガス測定では、まず、排出ガスの一部を排気管から採取するサンプリングが必要です。そこで、エンジン試験台用のサンプリング用アダプタを考案しました(図2)。このアダプタは、既設の排気管のフランジ接続部に挟み込んで設置するもので、複数のサンプリング口、温度・圧力などのセンサ取付座が設けてあります。これを用いれば、既設の排気管の加工が不要で、設置や撤去も容易です。その設置状態を図3に示します。排出ガスは、このアダプタからサンプリングし、専用のホースで排出ガス測定器まで導きます。JR 検修工場のエンジン試験台における排出ガス測定器の設置例を図4に示します。

気動車の車上測定における排出ガスのサンプリング

気動車の場合、排出ガスは、屋根上の排気管先端、または排気管下端の点検蓋などからサンプリングします。屋根上の排気管先端におけるサンプリング例を図5に示します。

大気条件の影響

排出ガス測定器で直接測定するのは、NO_xなどの成分別の体積濃度 [ppm] ですが、特にNO_x濃度は、気温や湿度などの大気条件の影響を受けます。このため、様々な大気条件下の濃度測定値を同一レベルで比較できるような補正が必要とされます。そこで、鉄道総研のエンジン試験台において、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下におけるNO_x濃度のばらつきを調査した結果を図6に示します。大気補正前は、同じ運転条件の測定にも関わらず大きくばらつきましたが、大気補正を行えば概ね同一の値となり、補正の必要性和有効性が確認できました。この大気補正を行うために、気温、相対湿度、大気圧の測定が必要です。

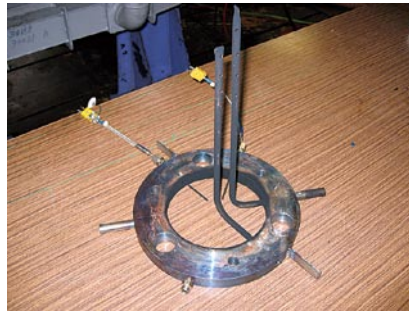


図2 サンプリングアダプタ

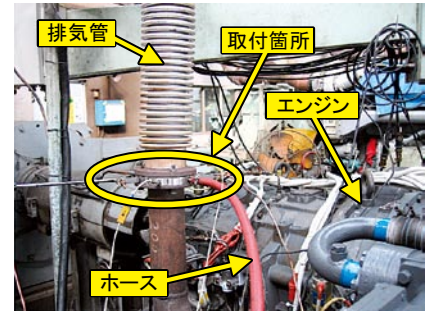


図3 アダプタ設置状態

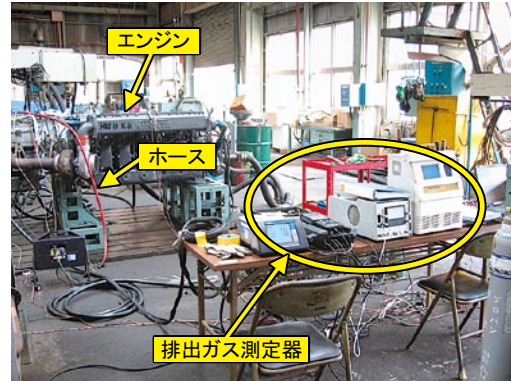


図4 エンジン試験台の排出ガス測定

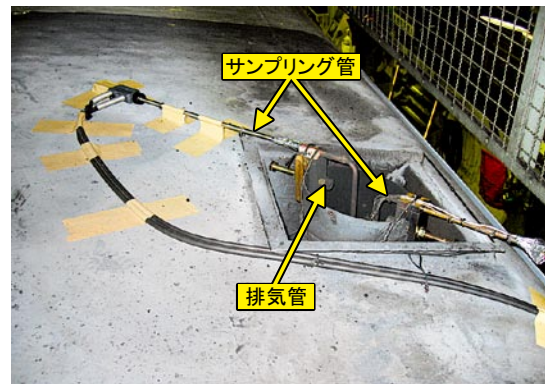


図5 屋根上の排出ガスサンプリング

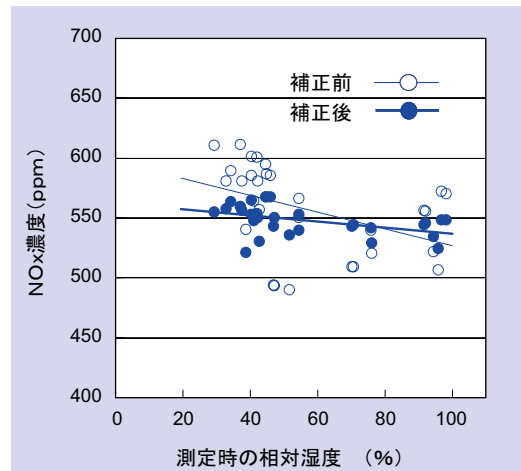


図6 大気補正前後の比較

排出ガスの全排出量の算出

排出ガス規制値 [g/kWh] との対比には、まず前述の大気補正後の成分別体積濃度 [ppm] を成分別の排出量 [kg/h] に換算する必要があります。しかし、この換算に必要な排出ガス全排出量 [kg/h] を流量計などにより直接測定することは、排出ガスの流量が大きい、すすなどの粒子が多い、高温、脈動が大きいなどの理由で困難です。このため、排出ガス全排出量 = 吸入空気量 + 燃料消費量 [kg/h] であることから、吸入空気量を測定して間接的に算出します。吸入空気量の測定は、吸気管内の空気流速(風速)を測定する方法、過給空気の密度を測定する方法などがありますが、JR 検修工場のエンジン試験台や自動車ではセンサの設置が難しい場合があります。

そこで、カーボンバランス法(炭素バランス法ともいう)を採用しました。この方法は、エンジンの入側(吸入空気 + 燃料)と出側(排出ガス)で総炭素原子数は不変という原理を利用して算出するものです。カーボンバランス法は、排出ガス規制対象外のCO₂(二酸化炭素)濃度の測定を必要としますが、一般にCO濃度測定器はCO₂濃度も測定可

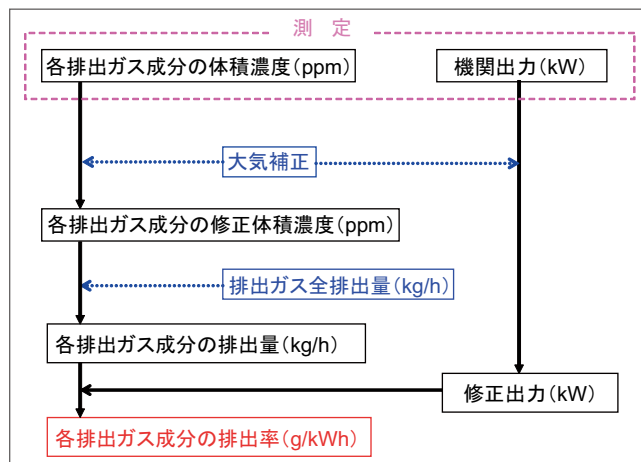


図7 計算の流れ

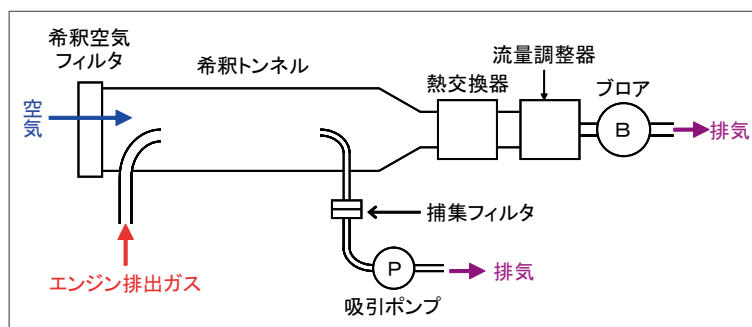


図8 PMの測定方法

能であり、測定器やセンサの追加を必要とせず、比較的容易に測定できます。

以上の測定値の計算の流れを図7に示します。

PM(粒子状物質：パティキュレートマター)の測定

PMとは、すすなど、排気中の全ての粒子状物質のことで、その測定方法は、NO_xやCOなどとは全く異なります。PMの測定は、まず、希釈トンネルという装置で、排出ガスを空気により一定温度まで冷却後、捕集フィルタに吸着させます。そして、吸着前後の捕集フィルタの重量差(電子天秤などを使用して測定する)からPMの排出量を求めます(図8)。大型エンジンでは排出ガス全量の希釈は難しいので、一部を分流します。PMの測定は、このような特殊な装置を必要とし、JR 検修工場での測定は難しいため、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(オパシメータともいう)(図9)による黒煙濃度測定を行うことにしました。

エンジン試験台における測定結果

前述の測定方法を用いて、鉄道総研とJR 検修工場のエンジン試験台で、新旧さまざまな自動車用エンジン7形式の排出ガス測定と、既存の試験サイクルによる評価を行いました。このうち、NO_xとCOの結果を図10に示します。使用した試験サイクルは、前述のFサイクル、C1サイクル、D13Mサイクルの3種です(図1)。

自動車用エンジンの試験サイクル

試験サイクルは、出力や大きさが様々なエンジンの排出ガス測定結果を、同一の基準で客観的に評価できることが必要です。また、運転条件と重み係数は、走行中の自動車のエンジンの運転状態を十分に反映していることが重要です。試験サイクルの測定で良い(排出量が小さい)結果を示しても、実際の走行中の排出量が多いのでは意味がありません。

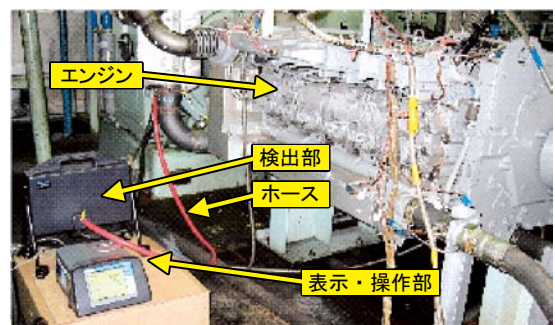


図9 光透過式スモークメータ

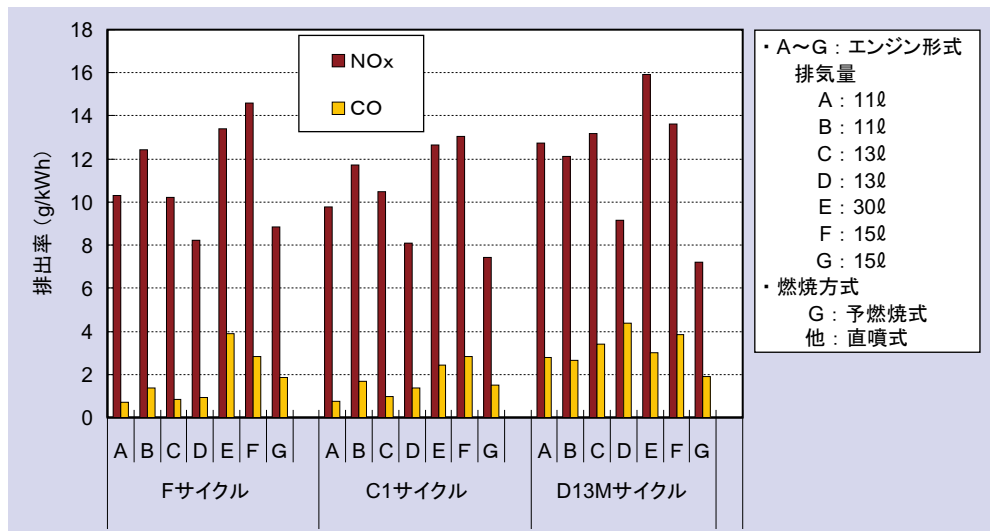


図10 排出ガスのエンジン試験台測定結果

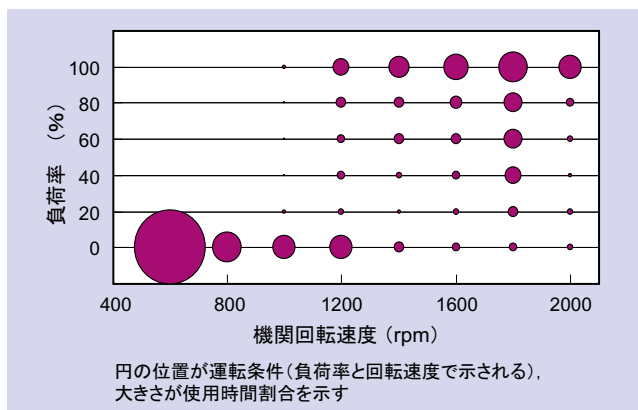


図11 気動車の運転状態調査結果

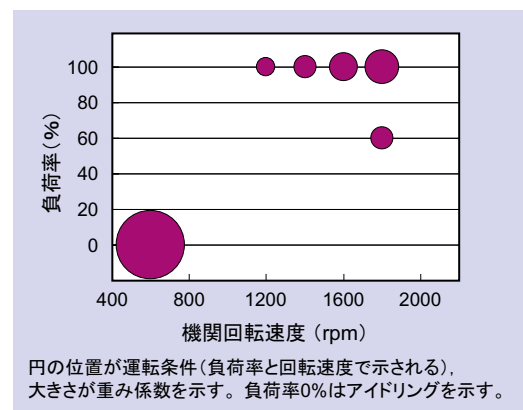


図12 試験サイクル案

そこで、走行中のJRの気動車エンジンの運転状態のデータを多数収集し、この調査結果を基に、新たに気動車用の試験サイクル案を考案しました。

気動車用エンジンの運転状態の調査

図11は、JRの特急用気動車と普通・快速用気動車の総計100本以上の列車で、走行中のエンジンの運転状態のデータを収集、集計した結果です。横軸は機関回転速度、縦軸はエンジンの負荷率を示します。負荷率0%はアイドリング、負荷率100%はその機関回転速度における最高出力を意味します。負荷率は20%刻み、機関回転速度は200rpm刻みで集計しました。それぞれの円の位置が運転条件、大きさがその運転条件の使用時間を示します。

調査の結果、走行中の気動車のエンジンは、アイドリングと高負荷（高出力）の時間が長いこと、既存の試験サイクル（図1）とはかなり異なることなどがわかりました。

試験サイクル案

試験サイクル案の考案にあたっては、調査結果（図11）

を最大限反映すること、運転条件数はなるべく減らすことなどを考慮しました。試験サイクル案の一例を図12に示します。

作成した試験サイクル案を用いれば、既存の試験サイクルに比べ、より実態に近い評価ができることとなります。また、この試験サイクル案を用いて集計した値が小さければ、実際の走行中の排出量も小さいこととなります。

おわりに

本稿では、気動車用エンジンの排出ガスの分析手法として、検修現場で実施可能な排出ガス測定方法と気動車エンジン用の試験サイクル案を紹介しました。

現在は、ディーゼル機関車の排出ガス車上測定方法や、PMの簡易測定方法を検討中です。また、排出ガス低減対策として、DPF（ディーゼルパーティキュレートフィルタ）による排出ガスの処理や、バイオディーゼル燃料などの軽油代替燃料の排出ガス低減効果の調査などを行っています。RRR