

Readout

HORIBA Technical Reports

特集 環境・エンジン・計測

September 1997 ■ No.15

エンジンからの排ガス流量計測希釈法 から流量直接計測法へ

Direct Measurement of Flow of Exhaust from Automotive
Engines

足立 正之・楨村 和紀

Masayuki ADACHI, Kazuki MAKIMURA

(Pages 25-29)

株式会社 堀場製作所

エンジンからの排ガス流量計測
希釈法から流量直接計測法へDirect Measurement of Flow of Exhaust
from Automotive Engines

足立 正之・榎村 和紀

Masayuki ADACHI and Kazuki MAKIMURA

【要旨】

環境保全の声が高まり、低燃費でしかもクリーンな排出ガスの自動車(LEV, ULEV)が実現されるようになってきた。これに対しエンジンの研究開発を支援する、排出ガス重量測定は、従来の希釈法に加えて、希釈をしない直接計測法への要求が高まり、これを実現するための流量計測技術が必要となってきた。本稿では、この排ガス流量計測の種々の技術と特徴を紹介し、さらにいくつかの測定結果について述べる。

Abstract

Tighter restrictions on emissions levels demand a measuring method that produces more reliable data on the flow of automotive exhaust for calculating emission mass. The laser Doppler velocity meter, ultrasonic flow meter, CO₂ tracer technique, and helium tracer flow meter are compared with the current CVS (Constant Volume Sampler) measurement method and experimental data are reported.

1 はじめに

今日の排ガス規制は、排ガス濃度に基づく規制と、排出総流量(総体積)を用いて排気ガス重量を規制される場合とがある。排ガス濃度計測には各ガス成分に対応したガス分析計を用い、重量の計測にはこれらの分析計に排ガス流量を計測するサンプリング系を組合わせて計測する。排気ガスのサンプリング法には、①定容量サンプリング法(Constant Volume Sampling: CVS)、②モーダルマス法、③ミニダイリユータ法などがある。

このうち、現在もっとも一般的に使用されているCVS法は、過渡的に流量が変化する排ガスを大気希釈して、希釈後の流量を一定の既知流量とし、希釈後のガス成分濃度との演算を用いて重量を算出する。CVS法は構造が簡単で理論的にも理想的な計測方法であるが、全排ガス流を大気を用いて希釈する。このため、対象とするガス成分によっては、すでに大気濃度の近くまで浄化されているクリーンな排ガスをさらに薄めるため、重量測定精度が極端に悪くなったり、より高感度の分析計が必要になる。つまり、無希釈あるいは純窒素(ゼロガス)を用いた希釈によるサンプリングが必要となる。

一方、モーダルマス法とは、連続に計測する無希釈のガス成分濃度と連続に計測する排ガス流量を掛け合わせ、連続の排出重量を得るものである。

また、ミニダイリユータ法とは、排ガスの一部を採取し、ゼロガスで一定希釈し、連続に測定する排ガス流量に比例した分をバッグ内に採取していくものである。いずれにせよ、排ガス流量を正確かつ連続に測定する必要がある

2. 排ガス流量計測技術

2.1 排ガス流量計測における必要条件

エンジン排ガスは流体としてさまざまな特徴を持つため、流量計は次にあげるような条件を満たす必要がある。

- ① 排ガスの過渡的な温度変化あるいは組成変化に対応できること
- ② 強い脈動に対して誤差を生じないこと。
- ③ 計測の際に圧損を生じないこと
- ④ 秒単位の流量変化を測定できる応答を持つこと。

2.2 測定場所による計測法の分類

図1に、計測点で分類した排ガスの流量計測法を示す。

図から分かるように、(1)エンジンの吸入空気と燃料流量を用いて算出する方法、(2)排ガスのテールパイプ流量を直接測定する方法、(3)CVSの希釈側空気流量測定法、(4)トレースガス法がある。

このうち、CVS希釈空気流量測定法は、CVSのメイン流量から希釈空気流量を差引くことによって排ガス流量を計測する差量法である。従って、CVSメイン流量が大きくなればなるほど、測定する希釈空気流量の絶対値に対して求める排ガス流量の割合が小さくなり測定精度が悪化する。一方、希釈空気流量の測定は、常に組成が安定し温度変化も少ない大気を対象にしているため、前述の条件①が要求されないので計測には都合が良い。なお吸入空気と燃料流量による計測法は、ここでは議論しない

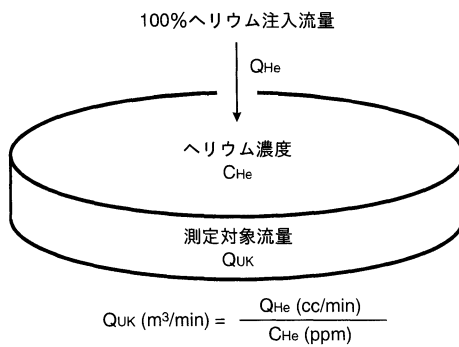


図1 ヘリウムトレース法の原理
Measurement principle of exhaust gas flow using helium gas

2.3 流体としての性質を利用した低圧損流量計

流体の性質を利用した流量計測器として、圧損が低くしかも排ガス流れにあまり影響を及ぼさない、渦流量計・熱線式流量計そしてピトー管があり、テールパイプ直接測定、CVS希釈流量測定に使われている。これらはいずれも一方向の流れしか計測できず、エンジンのアイドリング運転時のような強い脈動流の場合には、脈動を抑える機構が必要となる。そのうえ、圧力や温度の補正が必要となり、これらの計測誤差も含まれるため、精度の高い値を得ることはさらに困難となる

2.4 非接触の流量計

非接触の技術としては、レーザドップラ流速計(LDV)、超音波流量計、そしてトレースガス法があり、どの場合も圧力損失は無視でき、エンジン排ガス測定には都合が良い。

2.4.1 レーザドップラ流速計

非接触の流量計測技術であるが、トレーサとしての微粒子を混入させ、レーザによって形成される干渉縞領域を、微粒子が通過する際に発する光の散乱信号から流速を計測し、流量を算出する方法である。装置は大掛かりであり、そのうえレーザ発生装置を含む光学系が高価である。性能面而言えば、微小空間での流速計測から流速を求めるため、変動流速流の場合、揺らぎが大きく全体流の平均流

速をとる際、測定点を多くとるか、あるいは時間平均を取る必要があり、計測時間が長くなる欠点がある。

2.4.2 超音波流量計

管内に2つの超音波発振子をそれぞれ、上流、下流に配置し、送受信を交互に行い、そこで得られる時間差をもとに流速さらに流量へと換算する。

この方法は、完全な非接触型の流量測定技術で、超音波の飛行距離間の平均流速が測定でき、変動流に対しても超音波のパルスを制御することで十分な性能を発揮することができる。

2.4.3 トレースガス法

トレースガス法にはCO₂トレース法とヘリウムトレース法がある。他の方法は温度補正が必要であるのに対して、この方法ではガス容積濃度は温度に依存しないことから、温度補正を必要としない長所がある。

(1) CO₂トレース法

テールパイプの直接排ガスのCO₂濃度とCVSにより希釈された後のCO₂濃度の比を測定し、CVSにおける希釈率を求めて排ガス流量を算出する。従ってエンジンからのCO₂の排出量の測定とCVSの使用が前提となる上、直接および希釈のCO₂濃度計測の遅れが誤差の原因となる

(2) ヘリウムトレース法

図2にヘリウムトレース法の計測概念図を示す。

ここで、 $Q_{He}(ml/m)$ は排ガス中に注入する100%ヘリウムの流量、 $C_{He}(ppm)$ は排ガス中で完全に混合した場合のヘリウムの濃度、 $Q_{UK}(m^3/m)$ は求める排ガス流量である。従って、 Q_{UK} は $Q_{He}(ml/m)$ を $C_{He}(ppm)$ で割れば算出できることになる。

このようにヘリウムトレース法はCVSを必要としない。また、ヘリウムは、高温下あるいは、化学的に活性な雰囲気の下でも安定なため、トレーサに非常に適している。質量分析計で計測する際には、質量数4を計測しておけば他の共存成分からの干渉もなく計測できる。正確に測定するためには、ヘリウムガスとサンプルガスの完全な混合が必要条件であり、ミキシングのために注入点から採取点まで、ある程度の距離を隔てる必要がある。この間の容積(デッドボリューム)によって、反応の時間遅れ(タイムラグ)が生じ、誤差の原因となることも考えられるが、最近の報告では、ヘリウムガスが比較的短距離で混合することが確認されており、顕著な誤差原因とはならない¹⁾。

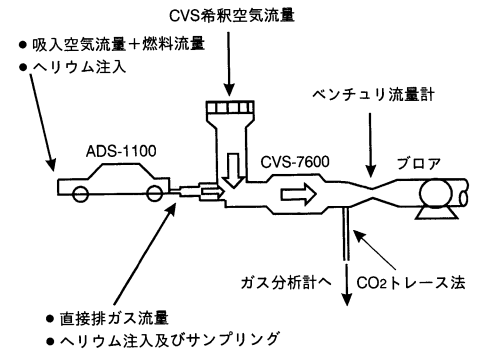


図2 排ガス流量計測
Exhaust flow measurement

3. FTP75走行モードを用いた測定例

図3に、ここで用いた実験装置の構成図を示す。

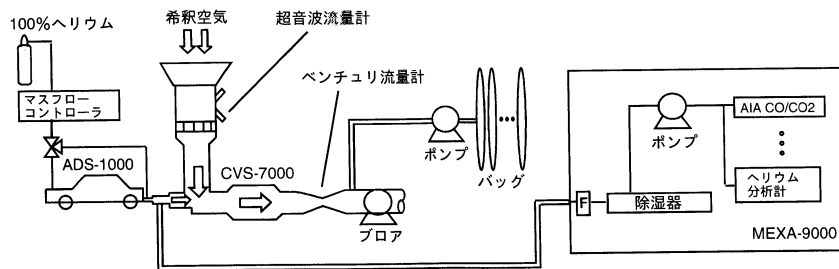


図3 実験セットアップ
Experimental setup

100%ヘリウムは、マスフローコントローラによって標準流量に制御され、エンジンインテークあるいはテールパイプから注入可能となっている。テールパイプから採取された排ガスは、サンプルラインを通りガス分析計へと導かれる。ここで排ガス中の粒子状物質と水分の除去が行われ、排ガス分析計及びヘリウム分析計へと導かれる。この構成によりヘリウムトレース法が計測する流量は排ガスを脱水した流量であり、同じく脱水したガス成分濃度と直接掛算することにより各成分の排出重量が算出される。

一方、CVS希釈側にはベンチュリ流量計あるいは超音波流量計が取り付けられるようになっている。また、希釈後にバッグヘサンプリングし、通常の排ガス重量測定も可能である。

走行モードは米国で認証試験に用いられているFTP75トランジェントモードを用い、ロボットドライバ(堀場製作所製ADS-1100)によって運転される。

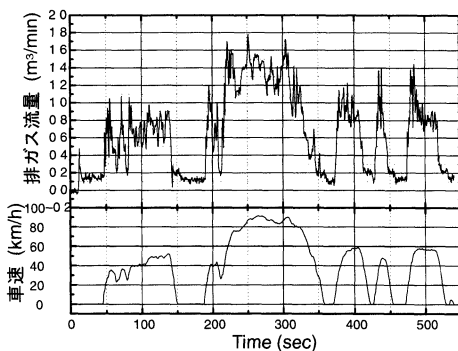


図4 CVS希釈空気測定法：
ベンチュリ流量計(Car A)
CVS dilution air method with ultra sonic flow meter(Car A)

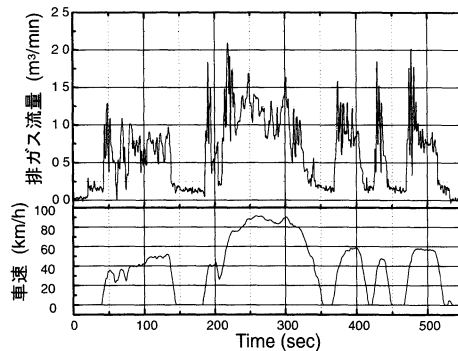


図5 CVS希釈空気測定法：超音波流量計(Car B)
CVS dilution air method with ultra sonic flow meter(Car B)

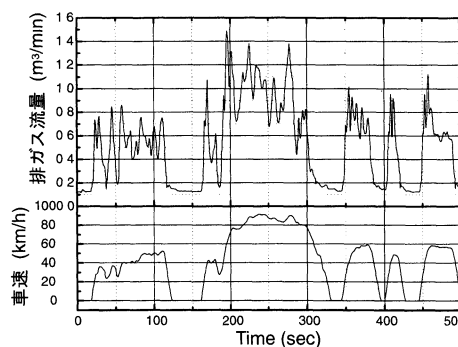


図6 ヘリウムトレース法による直接排ガス流量
(Car C)
Direct exhaust flow rate with Helium trace method(Car C)

3.1 CVS希釈流量測定による排ガス流量測定

図4にベンチュリ流量計による排ガス流量測定結果を示す。

差量法であるにもかかわらず、エンジン作動時の流量変動やアイドリング時の比較的低流量域も安定した計測結果が得られている。著者らが別に行った低圧損流量計と比較して、脈動による誤差は顕著に少ない結果となった。ただし、本方法は圧損を生じるためテールパイプに対して多少の負圧を返すこととなる。

図5に超音波流量計を用いた排ガス流量計測結果を示す。

ベンチュリ流量計同様の差量法であるが、ベンチュリ流量計と同レベルの計測結果を得ることができた。脈動による影響は、本方法が両方向の流れを計測できることから、時間的に平均化された流量が計測されると考えられ、また、圧損を生じない方法なのでエンジンの運転条件に対する影響も考慮しなくて良いと判断している。

3.2 ヘリウムトレース流量計を用いた直接流量計測法

図6にヘリウムトレース法を用いた排ガス流量計測結果を示す。直接計測法であることや、脈動の影響を受けないことなどの利点により、アイドリング時の流量は平均化された安定した結果となる。また、ここでの流量は排ガス中の水分を除去したドライベース流量なので、その分実際のウエットベース流量よりは水の体積分低く計測される。通常のテールパイプ排ガス直接測定では、脱水されたガス成分濃度が計測されるので、このドライベース流量と直接掛け合わせ、排出重量を算出することが出来る。他の流量計ではウエットベース流量しか計測できないので、ガス成分濃度をウエットベースに変換する処理が必要で、大きな誤差要因となっているが、ヘリウムトレース法ではこの処理が省けるために、排ガス重量計測の精度が高くなることが報告されている¹⁾。

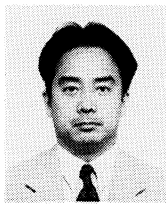
4. まとめ

以上述べてきたように、排ガス流量計測には測定点、測定方法により数々の方法が存在し、最終目的である排ガス重量を正確かつ簡便に計測するという観点で見れば、世界中で最適な手法を模索している状況にある。ここでは単に流量だけを正確に計れるというだけでなく、ガス濃度計測との組合せや試料採取方法との組合せを最適化し、さらにエンジン開発のツールとしての簡便性がうまく調和した方法が、将来生き残って行くと思われる。

CVS法は低濃度成分の場合には測定精度上の限界も見られるが、CO₂のような高濃度成分については精度が高く、排ガス流量計測を含むような新しい重量測定手法より優れている。このような事から、将来の排出重量測定は、CVS法と流量計測を用いる新手法との併用、あるいは対象成分ごとにこれらを使い分けて行くものと思われる。

参考文献

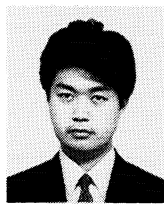
- 1) M Adachi, et al, SAE Paper No 971020



足立 正之

Masayuki ADACHI

エンジン計測開発部 チームリーダー
1985年入社
エンジン排気ガス測定装置の
開発に従事



槇村 和紀

Kazuki MAKIMURA

エンジン計測開発部
1994年入社
エンジン排気ガス測定装置の
開発に従事

