

Readout

HORIBA Technical Reports

特集 高機能分析

March 1999 ■ No.19

トランジェント対応マイクロトンネル MDLT - 1302T

The MDLT-1302T Partial Flow Dilution Tunnel for
Transient Test Cycle PM Sampling

山岸 豊
Yutaka YAMAGISHI

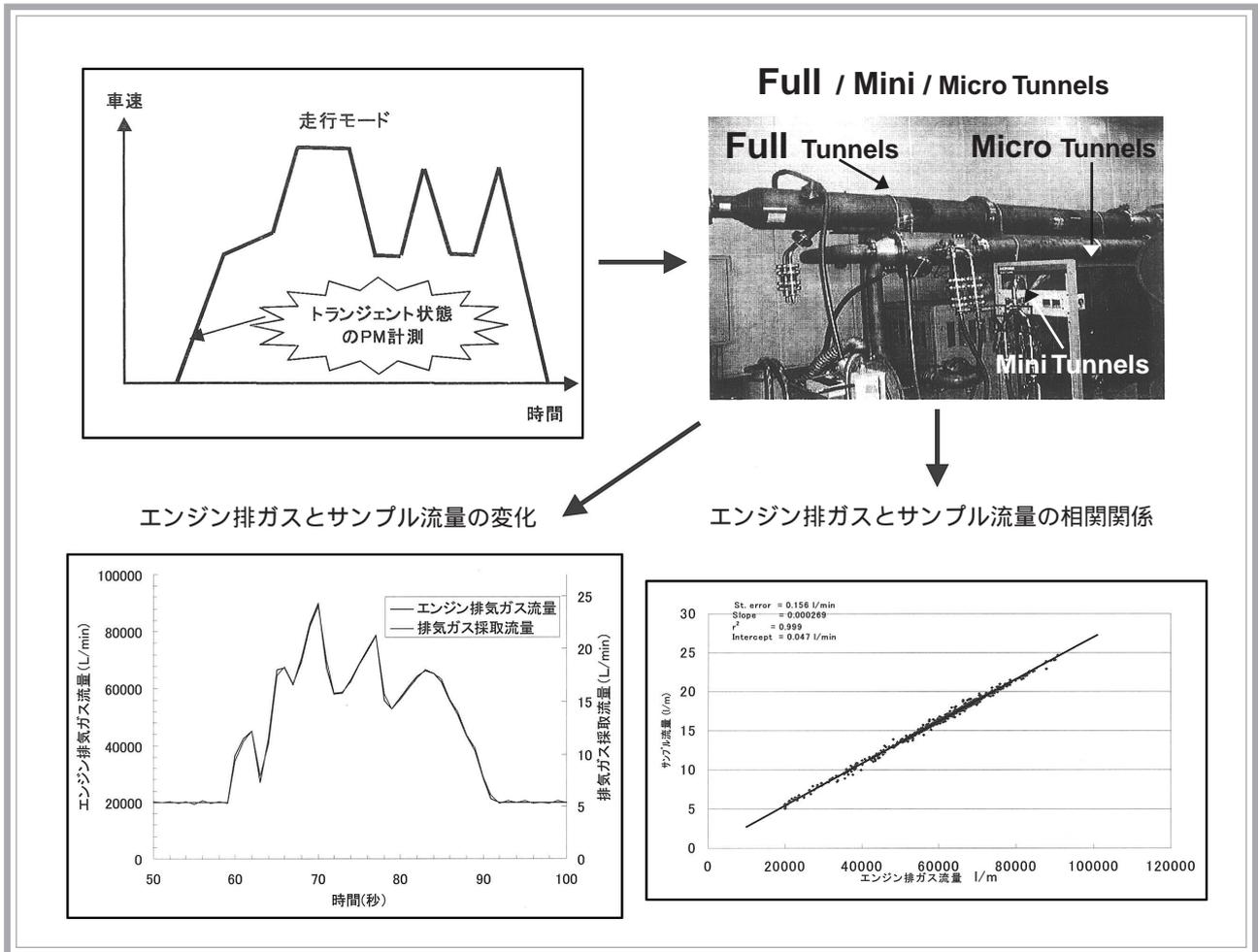
(Page45-49)

株式会社 堀場製作所

Feature Article
特集論文

トランジェント対応マイクロトンネルMDLT-1302T
The MDLT-1302T Partial Flow Dilution Tunnel for
Transient Test Cycle PM Sampling

山岸 豊



要旨

エンジン排ガス中の粒子状物質(PM)の計測方法として、従来の定常試験法からトランジェント試験法への移行が検討されている。この度、ホリバは、PM捕集装置としてトランジェント対応マイクロトンネルMDLT-1302Tを製品化した。本装置を、ディーゼルエンジンをETCサイクルに基づいて評価した結果、応答速度0.5秒以内という高速サンプリングが可能であることを確認した。本稿では、MDLT-1302T開発上の技術課題と性能評価試験結果を紹介する。

Abstract

The present steady-state test cycle used for the measurement of particulate matter (PM) in engine emissions will be replaced by a new transient test cycle. Horiba has recently developed a PM sampling system using a partial flow dilution, the MDLT-1302T, to perform sampling during the transient test cycle. The MDLT-1302T has been evaluated using a diesel engine under the Euro Transient Cycle, and results confirm that a fast flow rate control has been achieved with a response time of less than 0.5 second. This paper describes the performance of the MDLT-1302T and the technical challenges encountered during its development.

1. はじめに

ディーゼルエンジンを搭載した車両が走行すると、テールパイプから放出される排ガス中のカーボン微粒子や高沸点炭化水素などが凝縮することによって粒子状物質 (PM) が生成される実際に路上を走行する状態をエンジン試験室で再現し、PMを計測するために希釈トンネルが用いられる。現在、自動車排ガス中のPMはこの希釈トンネルを用いた定常試験法に基づいて規制されているが、近い将来、過渡状況を把握できるトランジェント試験法への移行が検討されている。本稿では、トランジェント化のキーポイントである流量制御の高速化を中心にマイクロトンネルMDLT-1302Tを紹介する。

2. 希釈トンネルとトランジェント化の課題

PMの計測には、従来からは、エンジン排ガスの全量を希釈サンプリングする方式(フルダイリューション・トンネル)が用いられてきた。しかし、この方式では排気量の大きなエンジンを測る場合には、希釈トンネルも大きくしなければならない欠点があった。そこで、排ガスの一部を分流してサンプリングする部分希釈トンネルが使われている。

部分希釈法では、エンジンの排ガスを一定比率で希釈トンネルに分流し、トンネル内で清浄な空気により希釈・冷却させた後、この希釈排ガスの全てをトンネル出口に設けたフィルタを通過させ、PMを捕集する。式(1)にエンジン排ガスと希釈排ガスの関係を示す、

$$r = \frac{G_{exh}}{G_{tot} - G_{dil}} = \frac{G_{exh}}{G_{sam}} = const \quad \dots (1)$$

$$G_{sam} = G_{tot} - G_{dil}$$

ここで、 G_{exh} : エンジン排ガスの総流量

G_{tot} : 希釈後の排ガスの流量

G_{dil} : 希釈空気の流量

r : 排気ガス分割比

G_{sam} : 採取するエンジン排気ガス流量

(1)式が示すように、希釈後の排ガスの流量 G_{tot} を一定に保つためには、エンジン排ガス流量 G_{exh} の急激な変化に対し、希釈空気の流量 G_{dil} を素早くに制御する必要がある。そのため、希釈空気流量の計測と制御をいかに高速化するかがトランジェント対応マイクロトンネル実現の大きな課題であった。以下に、高速化へのアプローチを、時間的な経過を追って紹介する。

3. ファーストステップ

・・・定常試験用マイクロトンネルの改良・・・

高速化の初期段階では、従来の定常試験用マイクロトンネルを少しでも早くしたいという観点から様々なアプローチを試みた。図1に定常試験用マイクロトンネルのフローを示す。

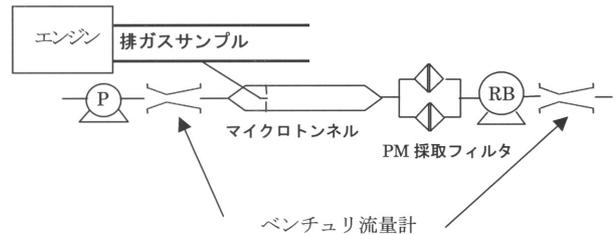


図1 定常試験用マイクロトンネルのフロー
Micro-tunnel flow for the steady-state test

3.1 ベンチュリ式流量計

ホリバの希釈トンネルは、高速応答で気体成分の粘性の違いによる誤差が生じないという長所を持つベンチュリ式流量計を用いている。ベンチュリ式流量計は、図2のように、管径を入り口側で急激に減少させ、出口側に向かって緩やかに拡大する構造になっている。流量は、入口部と最小断面積部との間の流速の違いにより生じる圧力差の平方根に比例することを利用して、流量を計測する。ベンチュリ流量計では流量が大きいほど、すなわち差圧が高いほど流量の計測精度は高くなる(図3)。なお、エンジン排ガスの密度はほぼ一定で、ベンチュリ式による流量計測における問題点とはならない。

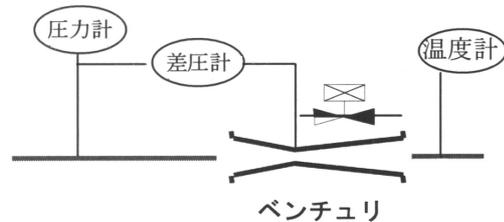


図2 ベンチュリ式流量計の構成
Configuration of the venturi flowmeter

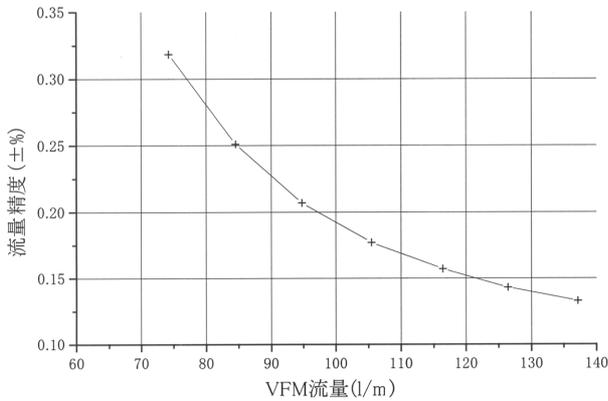


図3 ベンチュリー流量計の測定精度
Measurement accuracy of the venturi flowmeter

3.2 プロアポンプによる分流採取と予測制御

マイクロトンネルでは、トンネル～PM採取フィルタの後段に設けたポンプの回転数を制御することにより希釈排気ガス流量を調整する。大流量のポンプでは慣性が大きく、希釈空気流量の制御に用いた場合、無視できない応答遅れが生じてしまう。このため、希釈空気用ポンプには慣性の小さい小型プロアを、また、応答速度がそれほど重要ではない希釈排ガス制御用には正置換型のルーツプロアをそれぞれ用いている。ベンチュリ流量計とプロアとの組み合わせによる流量制御のステップ応答特性を図4に示す。この例では遅れ時間(T_d)は約0.4秒、90%応答時間(T_{90})は0.5秒という応答速度が得られた。

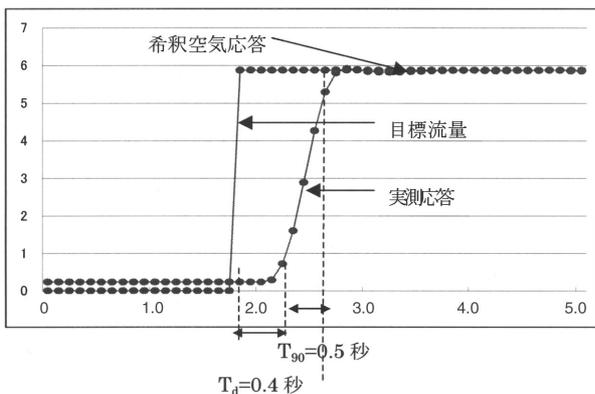


図4 空気プロアによる流量制御のステップ応答
The step response of flow control using the air blower

一方、実際に自動車を走行させたとき出る排気ガスは、ステップ状ではなく幅を持って変化する。応答時間として、 T_{90} が0.5秒でも実用上は問題ないが、 T_d はさらに短くすることが望ましい。

そこで、PM採取を開始する前に所定モードで走行し、あらかじめ排気ガス流量の時系列データを採取しておく。そして、このデータに基づき遅れ時間を補正して実際のPM試験を行う、すなわち学習にもとづく予測制御法を採用した。

この予測制御法の導入により、図5のシミュレーション結果が示すように、希釈トンネルによるエンジン排ガスのサンプリング誤差を±5%以内に抑えることが可能となった。

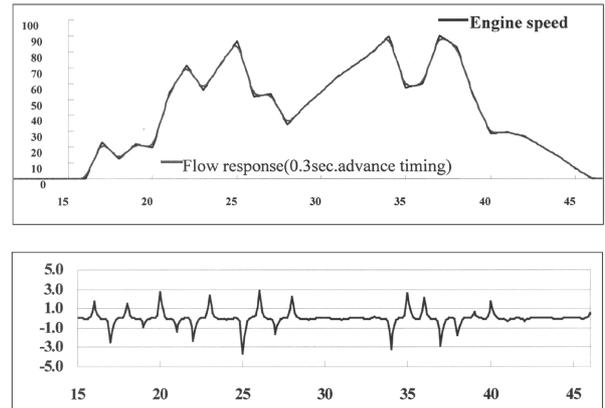


図5 予測制御法による流量制御誤差
Flow control error by the predictive control method

4. さらなる高速化

・・・MDLT-1302Tの開発・・・

ホリバはより早い流量制御に向けトランジェント対応マイクロトンネルMDLT-1302Tを開発した。図6にMDLT-1302Tのフローを示す。以下に、MDLT-1302Tに適応した新たな要素技術を紹介する。

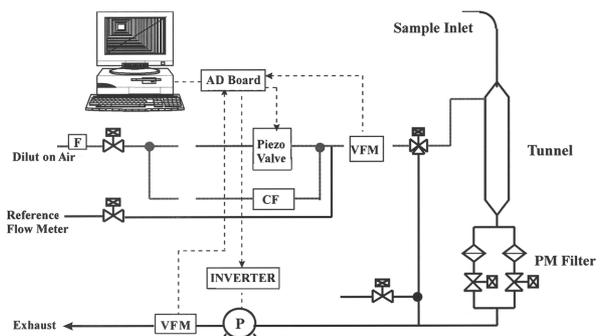


図6 MDLT-1302Tのフロー
MDLT-1302T flowchart

4.1 ピエゾバルブによる高速制御

トランジェント計測において問題となる“遅れ時間”発生の大いなる要因は、(1)排気ガス流量計測の出力と実際の排ガスの採取ポイントまでへの到達時間の差、(2)マイクロトンネルの流量制御の遅れ時間の二つがある。前者の要因は事前の排気ガス学習による予測制御で補正できる。ここでは、マイクロトンネル自体の高速化と言う論点から、後者の改善点について述べる。

まず、希釈空気の流量制御方法として、プロアの回転数を制御する方式に代えて、加圧空気を用いてピエゾバルブの開度を調整し、高速で流量を制御する手法を採用した。加圧空気を用いる方法としては、従来、熱線式流量計と制御バルブを組み合わせた流体制御素子(マスフローコントローラ)があったが、計測精度、応答速度のいずれも不十分であった。

そこで、ホリバはベンチュリ流量計にピエゾバルブを組み合わせる方法を新たに開発した。また、このピエゾバルブと臨界流量オリフィス(CFO)を併用することにより、応答時間をさらに短縮した。これらの手法により、ステップ応答特性はTd, T90ともに0.2秒と大幅に改善された(図7)。

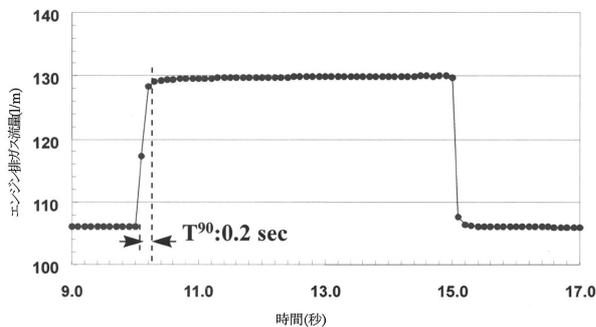


図7 ピエゾバルブによる流量制御のステップ応答
The step response of flow control using the piezo valve

4.2 流量制御用エレクトロニクス

高速な流量制御を行うためには、流量計や流体制御素子自体の性能向上に加え、信号処理系も高速でなければならない。とくに、ベンチュリ流量計の差圧計センサの出力から瞬時流量を演算し、目標流量との比較結果を流体制御素子にフィードバックするエレクトロニクス系がとりわけ重要な要素である。たとえば、ピエゾバルブにはヒステリシスがあり、バルブ開度すなわち流量とピエゾ素子への印加電圧は一意に定まらない。したがって単純に一定の目標電圧を印加するのではなく、短いサイクルで目標電圧を変えて調整するクローズドループ制御が必要となる。一般的に、制御理論では目標とする応答時間よりも一桁早い制御が必要とされている。MDLT-1302Tでは、流量制御の応答時間を200ms以内とする目標をさだめ、AD変換、流量演算、DA変換など無駄時間を最小にする工夫した上で、制御用エレクトロニクス系としては20msの高速制御ループを設計した。

5. MDLT-1302Tのトランジェント応答性の評価

ディーゼルエンジンをETC(Euro Transient Cycle)モードで運転したときの、エンジン排ガス流量とサンプル採取流量の時間変化の一部を図8に示す。

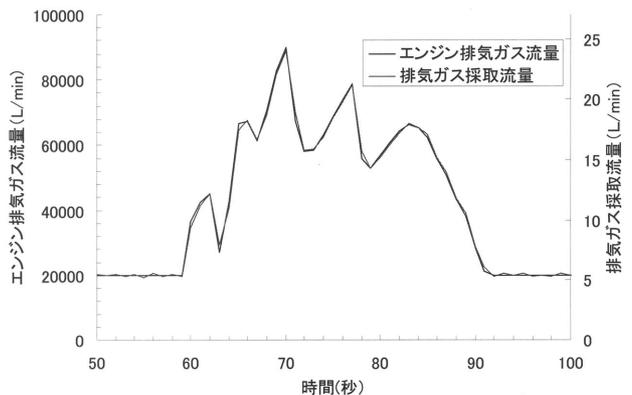


図8 ETCモード走行時のエンジン排ガス流量とサンプル流量の変化
The flow rate change of engine exhaust gas and sample gas in the ETC mode transit-time.

図9はETCモード全体(1800秒)にわたり、一秒ごとに測定したときの二つの流量の相関関係を示す。ここでは、サンプル採取流量は式1にあらわした希釈排ガス流量および希釈空気流量から計算している。図8からわかるように、排ガス流量(入力)に対して、排気ガスサンプル流量は遅れ時間約0.2秒で追従させることが出来た。また、図9が示すように、両者の相関係数は0.998となっており、良好な比例制御が実現できていることが確認できる。これらの結果、MDLT-1302Tは、最小の遅れ時間と十分な高速応答性をもっており、とくに、コールドスタート時の排ガス評価に有効に働くことを明示している。日本国内の試験サイクルの一つである10・15モードで評価

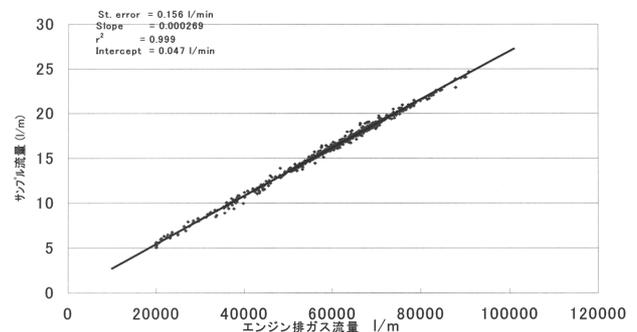


図9 ETCモード走行時のエンジン排ガス流量とサンプル流量の相関関係
The correlation of engine exhaust gas flow rate and sample gas in the ETC mode transit-time.

し、ETCと同様、優れたトランジェント対応性能を確認した(図10)。

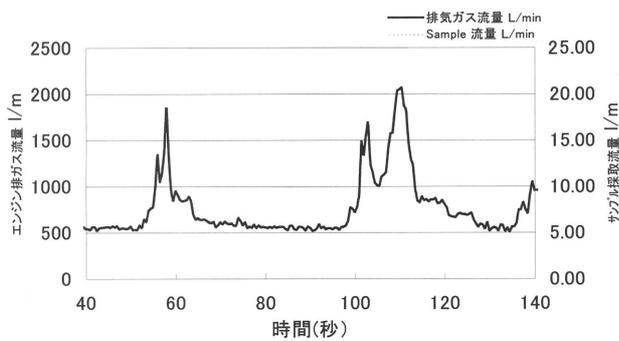


図10 10/15モード走行時のエンジン排ガス流量とサンプル流量の変化
The flow rate change of engine exhaust gas and sample gas in the 10/15 mode transit-time

7. おわりに

排ガス計測法のトランジェント化に向けての世界の動きが急激に加速している。当社は基礎実験研究に全力を傾注し、早々にMDLT-1302Tを製品化した。開発途上で数々の課題が生じたが、いずれも、電気、機械およびソフトウェアの各設計担当者とのチームワークで乗り越えてきた。

今後は、お客様のご評価、新たな課題をいただく中から、更なる進展に向かって励んでいきたいと願っている。

6. MDLT-1302 T の全体構成

MDLT-1302 Tの外観を図11に示す。エンジン試験室内に設置される希釈トンネル部(DLT-1302)と希釈流量制御部(DLS-2300)、および、計測操作室内に設置される操作・表示部とから構成されており、VFM、ピエゾパルプなどの制御ユニットは19インチラックに収めている。エンジン排気管から希釈トンネル入口までは、およそ1.5 m以内の加熱トランスファー管で接続する。この他、加圧空気がユーティリティとして必要となる。表示・操作部からは、エンジン排ガス流量の入力方法、リアルタイム入力制御/事前学習予測制御の選択、希釈空気制御モードの選択など、基本的な運転操作条件の設定ボタン、瞬時流量および積算流量の表示ができる。また、外部からの運転操作および瞬時流量出力も可能となっている。



山岸 豊
Yutaka YAMAGISHI

エンジン計測開発部
マネージャー



図11 トランジェント対応マイクロトンネル MDLT-1302
The MDLT-1302T Partial Dilution Tunnel for
Transient Test Cycle PM Sampling

