

Readout

HORIBA Technical Reports

特集 高機能分析

March 1999 ■ No.19

U L E V用エンジン計測システム

Emission Measurement System for
Development of Ultra-Low Emission Vehicles

井上 香・米重芳一・武田賢二

Kaori INOUE, Yoshikazu YONESHIGE, Kenji TAKEDA

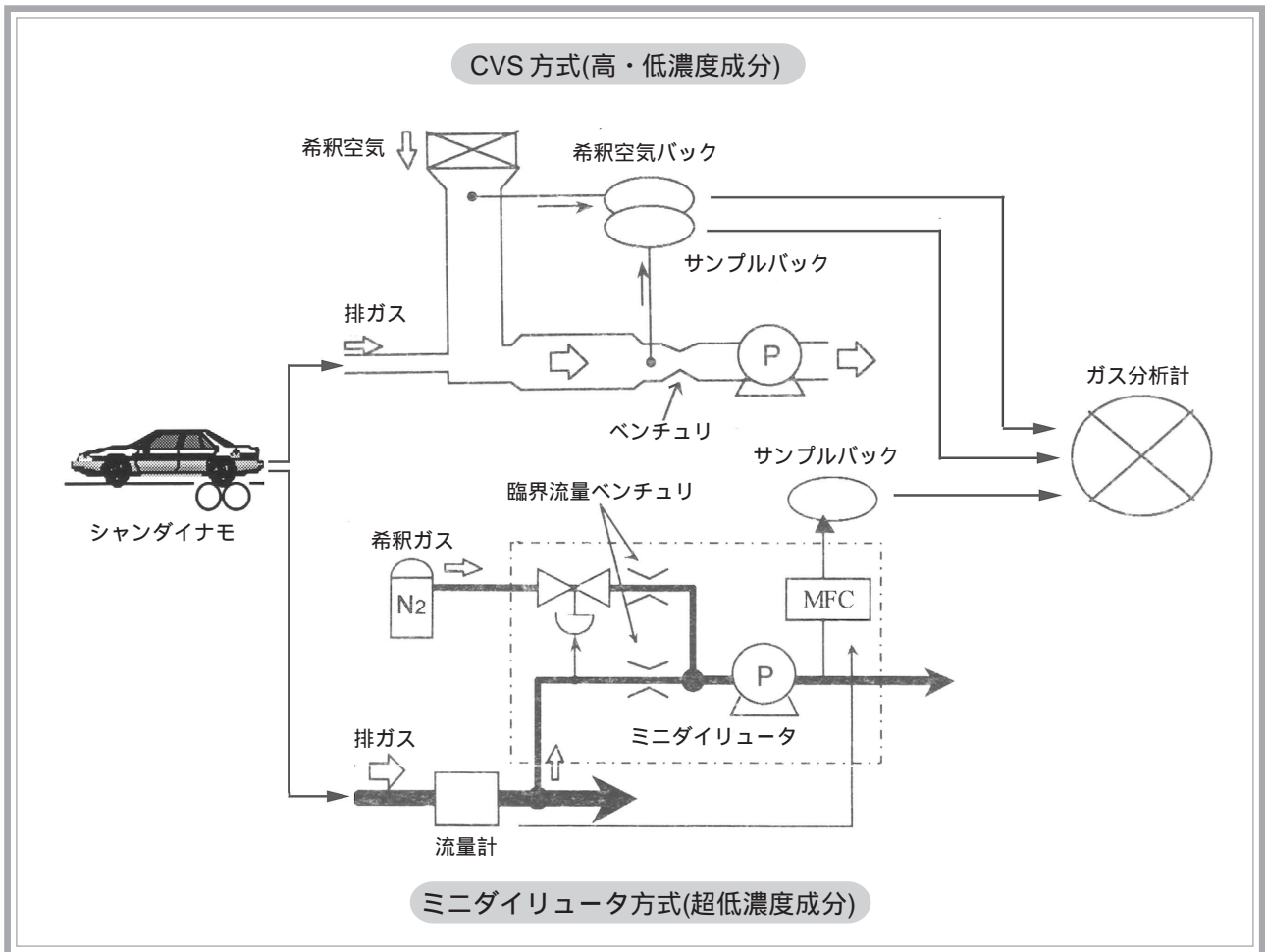
(Page14-18)

株式会社 堀場製作所

ULEV 用エンジン計測システム

Emission Measurement Systems for Development of Ultra-Low Emission Vehicles

井上 香 米重芳一 武田賢二



要旨

21世紀を目前にして、次世代パワートレインの研究開発の進展とともに、これを支えるエンジン計測システムもまた高度化・多様化が進んでいる。とくに、超低エミッション車(ULEV)の計測では、ガス分析計の高精度化とあわせて、サンプリングシステムの最適化が重要となっている。当社では、定容量希釈サンプリング装置の改良や空気精製機の採用、さらにはミニダイリュータなどの新しいサンプリング手法の積極的な導入を検討・推進している。

本稿では、サンプリングシステムの最適化を中心に、超低濃度ガス分析計や自動運転ロボットも含めた、ULEV用エンジン計測システムを総合的に紹介する。

Abstract

Looking toward the 21st century, the emission measurement systems that are indispensable for engine research and advanced powertrain development are becoming more and more complicated and diverse. Emissions measurements for the Ultra-Low Emissions Vehicle (ULEV) require not only highly-accurate gas analyzers but also an optimized emission gas sampling system. Horiba has suggested many options for ULEV emissions measurement including improvements of the constant volume sampler and the application of the dilution air refiner. Entirely new sampling systems such as the mini-diluter are regarded as beneficial and are being developed. This paper describes an integrated ULEV emission measurement system made up of gas sampling systems, gas analyzers, and an automatic driving system.

1. はじめに

環境問題への関心が高まる中、エンジン排ガスについてもより一層のクリーン化が求められている。たとえば、米国カリフォルニア州に代表される厳しい排ガス規制では、低エミッション車(LEV)レベルから超低エミッション車(ULEV)レベル、さらには Super ULEV(SULEV)レベルという超低濃度まで、段階的に一酸化炭素(CO)、全炭化水素(THC)、窒素酸化物(NOx)を削減するよう要求されている¹⁾。このような動きに対し自動車業界では、エンジンの燃焼制御や触媒の改良、燃料電池などの新たな動力系開発といった、高効率な低公害車実現へ向けての様々な取り組みがなされている。その最前線において排ガスの計測は不可欠であり、より高度な要求に応えるべく計測システムの開発が同時に進められてきた。

本稿では、ULEV計測という断面から、排ガスサンプリングシステムならびに分析計、さらに、データ処理等の周辺設備を含むエンジン排ガス計測システム全体について、当社の最新の取り組みを紹介する。

2. ガスサンプリングシステム

現在、エンジン排ガス規制は指定された運転モードでの各ガス成分の排出重量を対象にしており、ガスサンプリングシステムとして定容量希釈サンプリング装置(CVS)が用いられている。ULEVレベル以下の低濃度サンプルの場合、このようなサンプリング手法・システムに起因する計測誤差は、最終結果である排出重量に大きく影響する²⁻⁷⁾。そこでホリバでは、以下のような手法でCVSの最適化や代替法の検討を行い、その結果を製品にも反映させている。

2.1 定容量希釈サンプリング装置

図1に、CVSの構成概念図を示す。CVS法では自動車排ガスの全量を装置に導くと同時に、希釈後の流量が一定となるように希釈空気を導入する。希釈された排ガスと希釈に用いる空気は、それぞれサンプルバッグと大気バッグに補集される。排ガス成分の排出重量は、サンプルバッグおよび大気バッグ中のガス濃度の分析値と、バッグ採取していた間のCVS希釈流の総体積とを用いて算出される。

この方法の大きな特長は、定容量に希釈することで排ガス流量の測定が不要となることである。CVS法は、このように比較的簡単に排ガス成分の排出重量を計測できることから、広く用いられて来た。そ

の一方、ULEV車に適用する場合はもともと低濃度の成分がCVSでさらに希釈されてしまい計測が困難になる、との指摘がなされている。さらに、ULEV計測では、希釈空気中にも被測定成分がバックグラウンドとして含まれていることによる誤差も無視できない。

以下、これらの問題点への対応策の例をあげる。

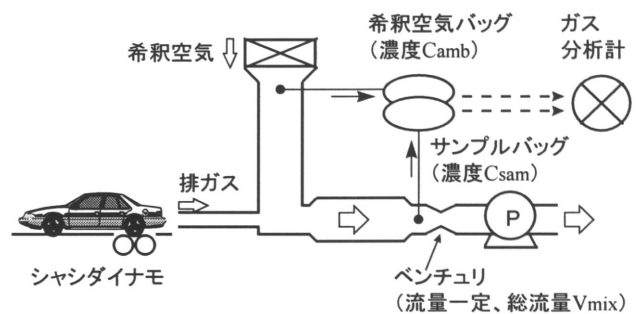


図1 CVS法排ガス計測システム

An emission measurement system using the constant volume sampler

2.1.1 希釈空気除湿による低希釈率化

バッグ濃度分析値の信頼性を確保するには、サンプルの希釈率をできるだけ小さくする方が有利である。その一方で、希釈にはサンプルバッグ内の露点を雰囲気温度以下に下げることがあり、ある程度の流量は必要である。希釈流量の設定にはこの両側面を充分考慮しなければならない。水分濃度を低く抑えたまま希釈率を下げるためには、希釈空気の除湿が効果的である。

図2に、米国の認証試験で用いられるFTP75モードを走行した際の、ミキシング部～バッグ入口およびバッグ内水分濃度の時系列変化の例を示す。ま

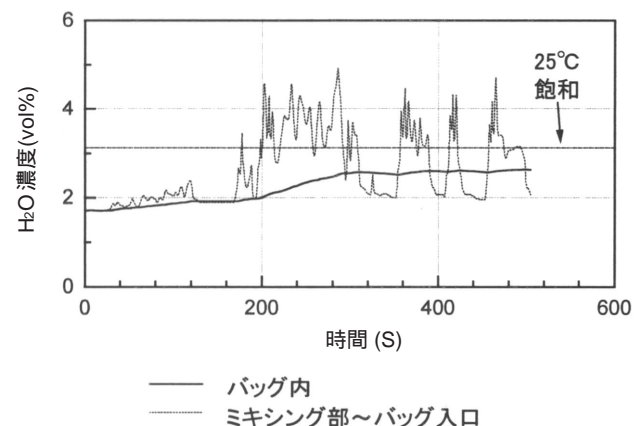
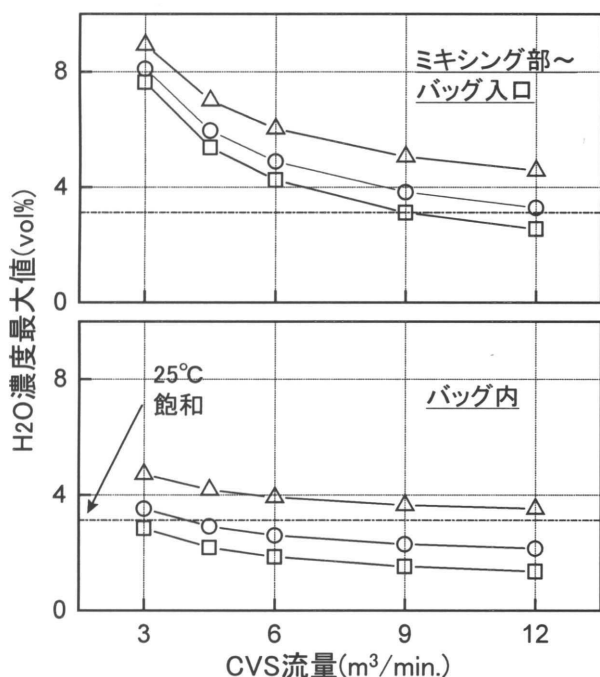


図2 CVS希釈後の水分濃度の時系列変化

(FTP75モードCTフェーズ, CVS希釈流量 6m³/min)
A time-trend chart of H₂O concentration after dilution in the CVS
(FTP75 CT phase, CVS total flow rate of 6m³/min.)

た、図3に、それらの最高値がCVS希釈流量でどう変わるかをシミュレーションした結果を示す。バッグ中の水分濃度は希釈空気の水分濃度に大きく依存しており、希釈空気中の水分濃度を低くすれば、比較的小さいCVS希釈流量でも露点は充分下がることがわかる。ただし、ガスが平均化されるバッグ内に比べ、バッグ入口までの水分濃度はかなり高くなる場合があるため、その部分の配管は加熱しておく必要がある。



希釈空気中のH₂O濃度(vol%)
 —△— 3.12, —○— 1.68, —□— 0.86

図3 CVS希釈後の最高水分濃度(FTP75モードCTフェーズ)
 Maximum H₂O concentrations after dilution in the CVS (FTP75 CT phase)

2.1.2 可変流量 CVS

CVS法では、臨界流量ベンチュリ(CFV)が希釈後流量の制御に多く用いられる。この場合、希釈後流量は各CFV固有の一定臨界流量で固定であり、モード中の排ガス流量最大時においても充分な希釈率となるように設定する。このため、排ガス流量が低い部分では必要以上に希釈されてしまう。これに対し、走行モード中でも希釈後流量を変更可能としたのが可変流量CVSである。一例として、ベンチュリを臨界前領域で流量計として用い、希釈流量の制御は下流のプロワで行う方式があげられる。この方法では、CVS希釈流量はベンチュリの臨界流量以下の範囲で連続的に可変である。また、別の例として、異なる流量に対応する複数個のCFVを設けて、外部からの信

号で切り換える方法もある。いずれの方法でも、流量を細かく設定することで過度の希釈を避けることができる。

2.1.3 希釈空気精製機

希釈空気精製機(DAR)は、CVS法での大きな誤差要因のひとつである希釈空気によるバックグラウンドのレベルを下げ、また同時にその変動を抑える目的で使用される。この装置を用いた場合、希釈空気中のCO, THC, NO_xの濃度はそれぞれ0.1ppm/ppmC以下まで低減することができる。

図4に、バックグラウンド濃度レベルを3段階に変化

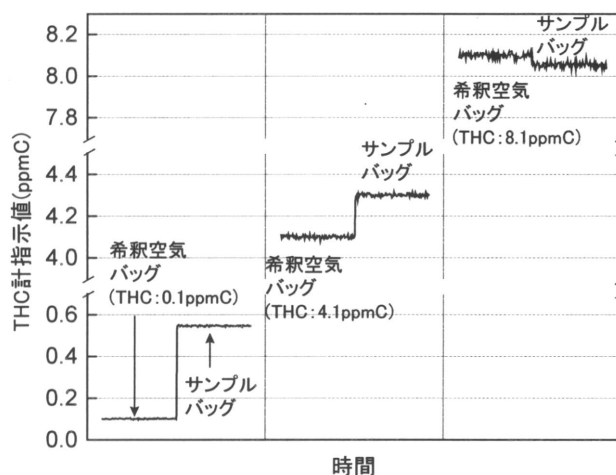


図4 希釈空気中のTHC濃度とTHC計指示
 (FTP75モードSフェーズ, CVS希釈流量6m³/min)
 Changes in THC analyzer outputs due to the THC concentration in the ambient air
 (FTP75 S phase, CVS total flow rate of 6m³/min)

させた場合の、サンプルバッグ・大気バッグ分析時の分析計時系列出力のシミュレーション例を示す。成分はTHCで、試験車両からの排出パターンはすべて同一である。いずれも最終的な排出重量は同じであるが、バックグラウンド濃度が低いほど両方のバッグ濃度は低くなり、分析計のノイズの影響を受けにくい。さらに、両バッグの濃度差はバックグラウンド濃度が低い時ほど大きく、以下に述べるような排出重量算出時の誤差も生じにくくなる。

式1に、CVS法における成分Xの排出重量M_xの計算式を示す。C_{sam}, C_{amb}はサンプルバッグおよび大気バッグのガス濃度分析値、V_{mix}は総希釈流量、P_xはガス密度である。DFは平均希釈率にあたるもので、計算により求める。式2に、ガソリン車でのDF算出式を示す。[CO₂]_{sam}, C[CO]_{sam}, [THC]_{sam}はそれぞれサンプルバッグ中の二酸化炭素(CO₂), CO, THCの濃度分析値(単位は%)である。

$$M_x = \rho_x \times \left(C_{sam} - C_{amb} \times \left(1 - \frac{1}{DF} \right) \right) \times V_{mix} \dots (1)$$

$$DF = \frac{13.4}{[CO_2]_{sam} + [CO]_{sam} + [THC]_{sam}} \dots (2)$$

このDFの算出法はいくつかの仮定,すなわち理論空燃比での燃焼,水の凝縮は起こらない,希釈空气中に既存のCO₂・CO・THC濃度は無視できる,などに基づいているため,現実には誤差を含むことが避けられない。式1から明らかな通り,ULEV測定時のようにサンプルバッグ濃度C_{amb}が下がって大気バッグ濃度C_{amb}との差が小さくなると,DF誤差が排出重量M_xの計算結果に影響しやすくなる。これを避けるためには,図4で説明したように,大気バッグ濃度C_{amb}を下げてサンプルバッグ濃度C_{amb}との差を再び大きくすること,つまり,DARによる希釈空気の影響が有効であることがわかる。

2.1.4 希釈空気比例サンプリング CVS 法

DF 誤差の影響をキャンセルできる別の方法として,希釈空気比例サンプリングCVS (PAS-CVS) 法が考案されている⁸⁾。この方法では,大気バッグへの採取流量を希釈空気の実流量に比例して連続的に変化させる。式3に,PAS-CVS法での排出重量M_xの計算式を示す。ここでV_{dil}は希釈空気流の総体積である。

$$M_x = \rho_x \times (C_{sam} \times V_{mix} - C_{amb} \times V_{dil}) \dots (3)$$

このように,PAS-CVS法は排出重量の計算にDFを用いないため,リーンバーンエンジンやディーゼルエンジンなど,理論空燃比からのずれが大きいエンジン排ガスの計測に効果が期待できる。

2.2 ミニダイリュータ

CVS 法の最適化を図る一方で,他のサンプリングシステムも検討され始めている。図5に,その代表であるミニダイリュータ^{9,10)}の構成例を示す。ミニダイリュータ法では排ガスの一部を一定比率で希釈し,サンプルバッグへの採取流量は実排ガスの流量に比例して変化させる。希釈用ガスには窒素(N₂)あるいは精製空気を用い,バックグラウンド補正用の希釈ガスのバッグ採取は行わない。式4に,ミニダイリュータ法での排出重量M_xの計算式を示す。C_{bag}はサンプルバッグの濃度分析値,V_{tp}は実排ガスの総体積,DRは排ガスの希釈率である。

$$M_x = \rho_x \times C_{bag} \times V_{tp} \times DR \dots (4)$$

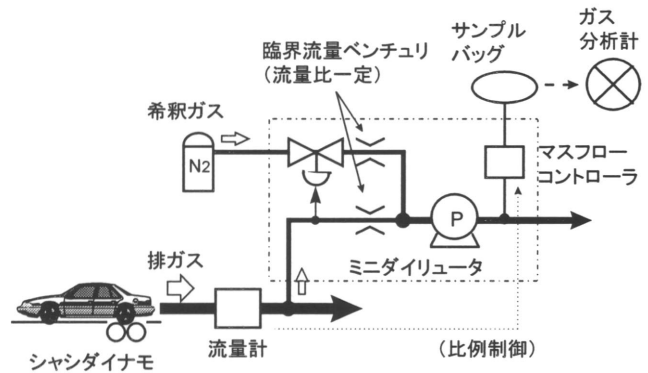


図5 ミニダイリュータ法排ガス計測システム
An emission measurement system using the mini-diluter method

ミニダイリュータ法では排ガス希釈率を最小限に抑えることができるほか,CVS法のようなDF値を用いたバックグラウンドの補正は不要である。このことから,排ガス中の超低濃度成分計測に対して非常に有用な技術となる可能性が大きい。一方,バッグ採取流量の制御には排ガス実流量の正確な測定とフィードバックが重要で,この点が技術的なキーポイントとなっている。

3. 低濃度用分析計

ULEV 計測では当然分析計も高精度のものが要求され,従来分析計の1/10の濃度レンジ,たとえば,THCであれば0-1ppmCレンジが必要と見積もられている¹¹⁾。これを受けて,THC計,CO計,NO_x計のそれぞれに対して,精度を一桁あげるために検出器や信号処理法の改良が図られた。現在,ULEV用のMEXA-7000LEシステムの分析計として,それぞれ最低レンジでCO 0-10ppm,THC 0-1ppmC,NO_x 0-1ppmのものが実用化されている。

また,ULEV計測であっても,エンジンスタート直後の期間には高濃度のガスが排出される。この間に分析計などにHCが吸着すると,その後の低濃度試料の測定に影響する可能性がある。これを避ける方法として,たとえばCVSとの組み合わせ時に,高濃度バッグ用・低濃度バッグ用に専用分析計と配管ラインを設けて使い分けることも行われている。

4. 自動運転ロボット

排ガス濃度は走行状態の微妙な違いによって変化するため、同一車両の試験であっても運転者ごと、あるいは試験ごとに排ガス測定がばらつくことがある。特にULEV計測においては、このような運転条件による差も大きな意味をもつ。この誤差要因を最小にする手法としては、自動運転ロボットの採用があげられる。

図6に、自動運転ロボットと人間の運転者との、CO・THC排出重量の再現性の比較例を示す。両成分とも、自動運転ロボットの方が再現性に優れていることがわかる。さらに、自動運転ロボットは長時間あるいは低温低圧下での運転にも使用できるため、ULEV開発に欠かせない耐久試験などにも非常に有用である。

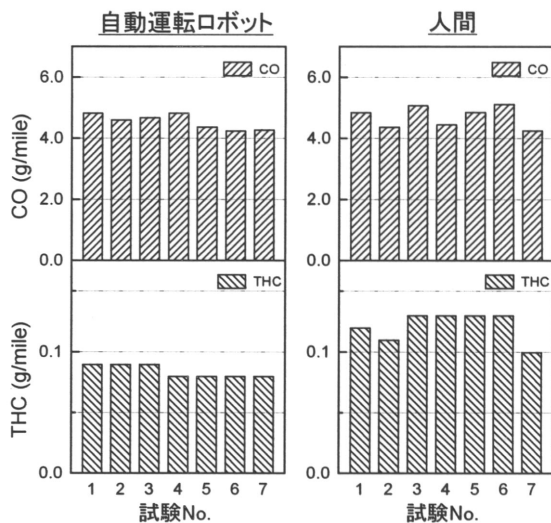


図6 自動運転ロボットと人間による排出重量再現性
Repeatability of mass emissions by an automatic driving system or a human driver (FTP75)

5. おわりに

以上、本稿では、主に規制対応のためのULEV計測に必要な不可欠なシステム、特にガスサンプリングシステムや低濃度用分析計について述べた。しかし、これらは実際に必要とされる計測システムのごく一部にすぎず、これ以外にも多くの要求・課題が残されている。世界をリードする排ガス計測機器の専門メーカーとしてこれらの要求にできる限り応えることで、ULEVの開発に貢献していきたい。

参考文献

- (1) California Air Resources Board : Proposed Regulations for Low-Emission Vehicles and Clean Fuels, 13 August, 1990
- (2) 澤野ほか：自動車技術, Vol.50, No.3, p.21-26 (1996)
- (3) 齊藤：自動車技術, Vol.50, No.3, p.27-31 (1996)
- (4) J.F.Hood,et.al.: SAE paper 980404 (1998)
- (5) Tayama,A.,et.al.: SAE paper 982555 (1998)
- (6) Inoue,K.,et.al.: SAE paper 1999-01-0150 (1999)
- (7) 井上ほか：自動車技術, Vol.53, No.3, p.10-15 (1999)
- (8) Silivis,W.,et.al.: SAE paper 1999-01-0154 (1999)
- (9) Silivis,W.,et.al.: SAE paper 1999-01-0151 (1999)
- (10) 依田ほか：自動車技術学会学術講演会前刷集 No.27-99, p21-24 (1999)
- (11) 武田：Readout, Vol.6, p.55-61 (1993)



井上 香

Kaori INOUE

エンジン計測開発部



米重芳一

Yoshikazu YONESHIGE

システムインテグレーター部
部長



武田賢二

Kenji TAKEDA

システムインテグレーター部
チームリーダー

