

エンジン排出ガス規制の動向と計測技術

Engine Emission Measurement Technologies Related to Emission Regulation Trends

井上 香

Kaori INOUE

近年、自動車・エンジンの排出ガス規制は大きく動いており、関連する計測技術への要求も複雑化している。たとえば、欧州連合において粒子数(PN)という新しいカテゴリの規制が導入され、米国では温室効果ガスとして亜酸化窒素(N_2O)の基準値が設けられるなど、新たな成分を規制対象として追加する動きが相次いでいる。このような新規制の導入にあたっては、対象成分を計測する方法もあわせて検討することが必須となっている。さらに、リアルワールドでの排出実態への関心の高まりや、ハイブリッド電気自動車をはじめとする次世代自動車の実用化により、規制の前提となる試験手順・計測条件も見直されている。本稿では、このような排出ガス規制の最新動向を、計測技術とのかかわりという視点から紹介する。

Recently, drastic changes in engine/vehicle emission regulations lead to complicated requirements for emission measurement technologies. One of the emission regulation trends is introducing limit values to new components/categories, e.g. particle number (PN) in EU countries and nitrous oxide (N_2O) as a greenhouse gas in US. To make such new standards effective, measurement techniques to be adopted must be carefully investigated and validated. Test procedures and measurement conditions defined in regulations have been revised in response to increasing interest in real-world emission behavior and diffusion of new-generation vehicles such as hybrid electric vehicles. This article gives an outline of some emission regulation trends, from the view-point of relation with measurement technologies.

はじめに

1960年代後半、深刻な光化学スモッグに悩まされていたカリフォルニア州で自動車排出ガスの規制が始まったのを皮切りに、日欧米で同様の規制が相次いで導入された。それから40年以上が経った現在、これらの地域ではエンジン排出ガス中の一酸化炭素(CO)・窒素化合物(NO_x)・炭化水素(HC)・粒子状物質(PM)に対する厳しい規制が実施されている。その結果、乗用車の排出ガスに至っては、「空気よりきれい」といわれるまでに浄化が進んだ。また、規制する対象カテゴリは、乗用車から重量車、二輪車、さらに建機や農機などのエンジンへも広がった。近年では新興諸国での排出ガス規制も確実に進んでいる。

エンジン排出ガスの計測技術は、このような排出量削減の過程において重要な役割を果たしてきた。その一方、上述の規制成分の排出量が十分下がってしまえば、排出ガス計測は各成分が「ほぼゼロ」であることを確認するだけの単純なものになり、その重要度も下がるようなイメージがあったように思う。ところが、現実には、従来の規制成分の排出量は確実に削減されているにも関わらず、排出ガス計測への要求はより複雑になっている。これは、各国において規制対象への新規成分の追加、あるいは従来成分も含む試験手順の見直しなどの大きな動きがあり、それぞれに計測技術の裏づけが必要とされるためである。本稿では、最近のエンジン排出ガス規制動向のうち、計測技術とのかかわりの大きいものを紹介する。

規制対象成分の追加

これまで、エンジンから排出される大気汚染物質として、CO・NO_x・HC・PMの排出質量が規制されてきた。これに対し、最近、粒子数(PN)という新しい考え方で粒子状物質の規制、あるいはアンモニア(NH₃)規制の本格導入などの動きが相次いでいる。さらに、かつては「有害物質」ではなかった温室効果ガスも、明確に規制対象として意識されるようになった。ここでは、例として、PN、および温室効果ガスとしての亜酸化窒素(N₂O)の規制と計測技術を取り上げる。

粒子数規制

従来の排出ガス規制では、「規定の専用設備を用いて希釈したエンジン排出ガスを、52℃以下(または47±5℃)の専用フィルタに通した時に捕集される物質」を、PMとして規制対象にしてきた。Figure 1に、PM捕集に使用される希釈トンネル設備の構成を示す。実際にフィルタに捕集される物質は、いわゆる「すす」のような固形物、凝縮したHCや硫酸ミストなどの液体、それらに吸着した気体のHCなどである。PMの排出質量は、捕集前後に秤量したフィルタ質量の変化量から算出する。この方法(フィルタ重量法)は、ある意味、エンジン排出ガス規制におけるPMの定義そのものといえる。

一方、今後PM排出量削減がますます進むと見込まれることから、一定の重さのあるフィルタごとPMを秤量するフィルタ重量法では精度確保が難しい、との指摘がされている。また、欧州を中心に、「人体に影響が大きいのは排出粒子のうちでも特に微小なものであり、粒子径という視点を規制にも加味すべき」との意見が聞かれるようになった。これらの背景のもと、自動車に関する国際基準調和を議論している国連の委員

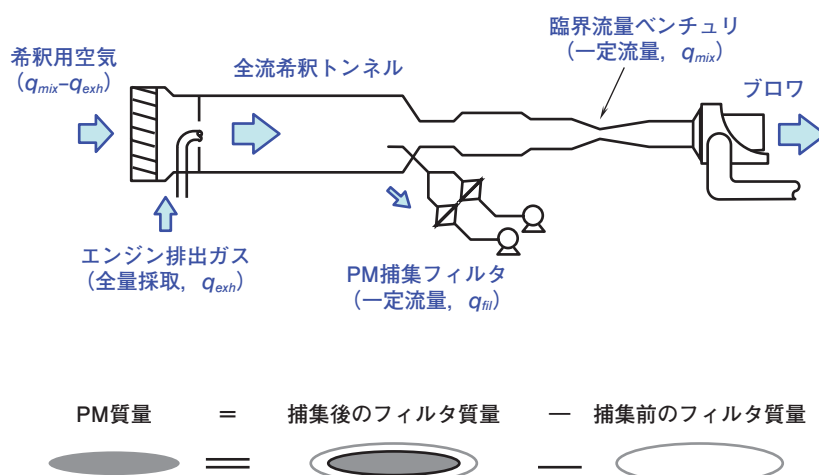


Figure 1 Schematic of Full Flow Dilution System for Particulate Mass Emission Measurement

会(WP. 29)の下に、既存の粒子計測法の最適化または代替計測法の確立を目指すグループ(PMP)が組織された。このPMPの活動の結果、新しい計測法として提案されたのが「固体粒子数計測システム」である。この方法では、名前のお通り、固体粒子を重さではなく数で計測する。このように粒子数をカウントする方法は、粗大粒子に左右されてしまう質量での計測に比べて微小粒子の排出量が反映されやすいと考えられ、低濃度計測にも向くとされる。このPMP法で計測される粒子数は、「PN」として、欧州連合(EU)加盟国の規制にすでに導入されつつある^[1, 2]。

Figure 2に、国連の発行する国際規則(UNECE規則)に記載されている固体粒子数計測システムの構成図を示す^[3]。このシステムでは、まず前段の分級器で2.5 μm 以上の粗大粒子を取り除き、次に液体のみで構成される揮発性の粒子を蒸発させ、最後に残った固体粒子を検出下限23 nmのカウンタで計数する。ここで、液体粒子をわざわざ蒸発させるのは、そのような粒子の生成・消滅がサンプリング条件に大きく影響され、計測の再現性を悪化させる要因になるためである。このように、EUで規制されるPNは、計測精度を重視した結果、微小粒子の一部である液体粒子をあえて取り除いたものとなっている。なお、粒子数という考え方には欧州以外でも関心が持たれており、23 nm以下のさらに微細な粒子をどう考えるかなどの議論も続いている。

温室効果ガスの規制

近年、エンジン排出ガス規制の新しい対象として、いわゆる温室効果ガス(GHG)への関心が高まっている。主な対象は排出量の多い二酸化炭素(CO_2)であるが、同じく温室効果を持つメタン(CH_4)や N_2O を含めて議論される場合もある。米国の環境保護庁(EPA)では、2012年から、小型車の排出ガス中の $\text{CO}_2 \cdot \text{CH}_4 \cdot \text{N}_2\text{O}$ に対してGHGとしての規制値を導入した^[4]。重量車やそのエンジンについても、同じく2014年からのGHG規制導入を決めている^[5]。

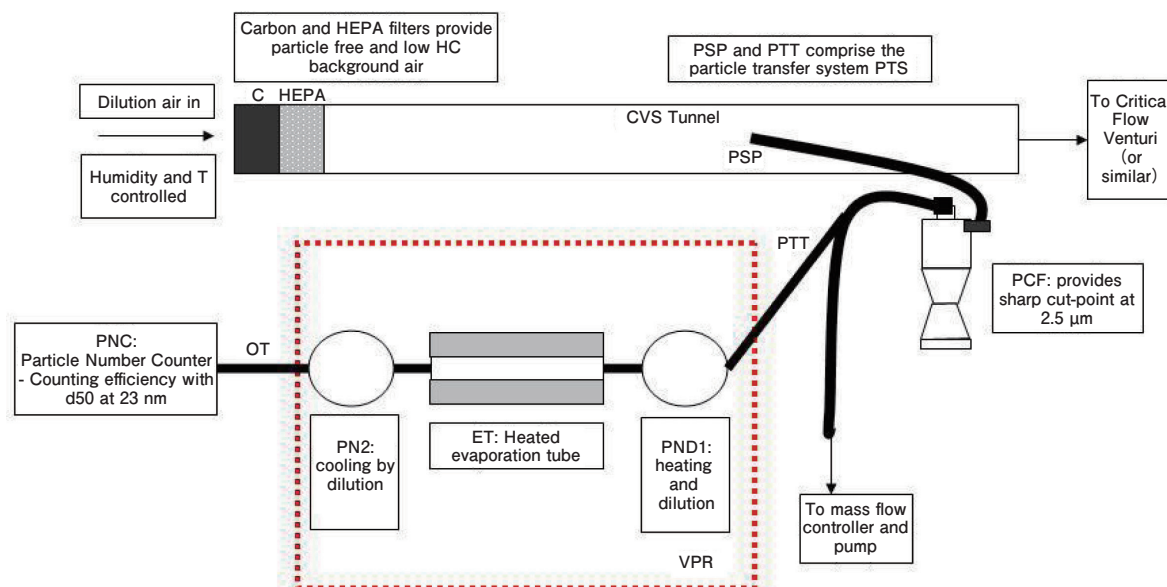


Figure 2 Schematic of Recommended Particle Sampling System by PMP^[3]

上の対象成分のうち、CO₂の排出量は燃費算出の目的で以前より計測されていた。また、HCを「CH₄以外のHC(非メタン炭化水素, NMHC)」として規制する地域があることから、排出ガス中のCH₄濃度分析法もすでに確立されている。一方、規制に関連してN₂Oの計測が要求されるのはこれが最初であり、どのような分析方法を採用するのかが注目されている。特に小型車の場合、もともとN₂Oは低濃度でしか排出されないと予想されるのに加え、それを大気で希釈してサンプリングするのが標準法であることから、実際の測定濃度はほとんど大気レベル(320 ppb程度)というケースも考えられる。EPAで可能性のある分析方法を比較検討した結果、小型車のGHG規制のアナウンスの中で、このような低濃度計測においてはレーザー赤外分光法が有望、との見解が示された^[6]。同時に、この手法はまだ新しく計測器としての普及には時間がかかるとの理由から、小型車でN₂O実計測の開始が2015年から2017年に延期された^[6]。

試験手順・計測条件の見直し

排出ガス規制を目的とする自動車・エンジンの試験では、試験室内に設置したダイナモメータを用い、車両やエンジン単体を規定のパターン(試験サイクル)で運転させる手法がとられてきた。Figure 3に試験室、Figure 4に試験サイクルの例を示す^[7]。最近では、実路を走行しての「リアルワールド」の計測、あるいは次世代自動車の計測など、試験手順や計測条件にも多くの新しい要素が加わりつつある。



Figure 3 Example of Vehicle Test Cell with a Chassis Dynamometer

リアルワールドの計測

ダイナモメータを用いる排出ガス試験法は、試験条件が統一でき、計測値の再現性も確保しやすいという利点がある。その一方で、排出ガスのNO_x規制を強化しても沿道のNO₂濃度がなかなか下がらないことなどから、より実走行に近い試験を実現するための検討がされてきた。たとえば、試験サイクルをより実情を反映しやすいものに改良する試みもそのひとつである。さらに進んで、一律の試験サイクルによらない試験法(オフサイクル試験法)を採用するという動きも出ている。

オフサイクル試験の手法のひとつは、エンジン回転やトルクなどが規定の条件範囲(コントロールエリア)内にある間の排出ガスを評価するというものである。Figure 5に、コントロールエリアのイメージを示す^[8]。実路試験では、採取した時系列データ

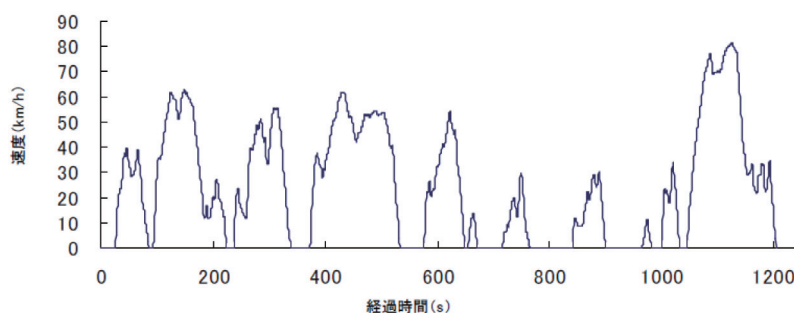


Figure 4 Example of Driving Cycle for Light-duty Vehicle Test(Japanese JC08 mode)^[7]

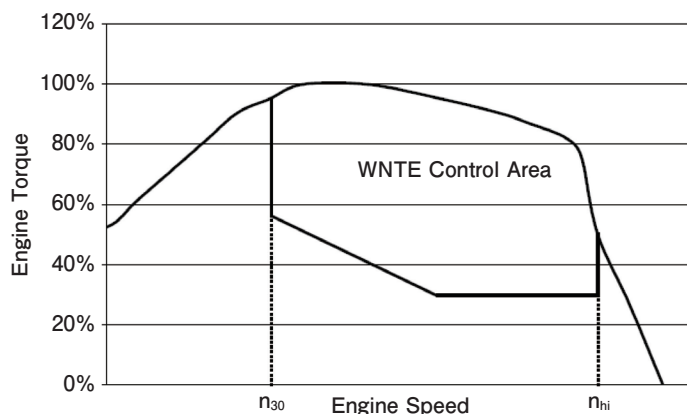


Figure 5 Example of Control Area for Off-cycle Emission Test(WNTe)^[8]

中、指定のエリア内でかつ継続時間等の条件も満たしていた区間のデータのみを採用する。これに近い考え方は、米国EPAにおける重量車の使用過程車試験プログラムにすでに採用されている。EPAのプログラムでは、市場に出回っている車の抜き取り試験の形で、実路走行でのガス成分・PMの排出量を評価する^[9]。このような実路試験では、専用の車載型排出ガス計測システム(PEMS)が必要である。そのため、実際に試験プログラムが導入される前に、かなりの時間をかけてPEMSの評価が実施された。

EU加盟国でも、重量車の次期規制(Euro VI)より、実路走行による使用過程車試験が導入されることになっている^[10]。ただし、その方法は、累積エンジン出力(またはCO₂排出量)が基準値と等しくなる区間ごとに排出ガスを評価するというもので、米国とはかなり異なる。なお、EUでは、リアルワールド計測に対する関心が非常に高く、小型車への実路走行試験導入を前提に、採用すべき評価手法などの検討が進められている。また、日本においても、重量車にオフサイクル試験を導入する方針がすでに示されている^[11]。こちらも現在、どのように実現するかが議論されている段階である。

ハイブリッド電気車の計測

ここ数年、エンジンに加えバッテリーでも走行ができるハイブリッド車(HV)やプラグインハイブリッド車(PHV)の普及が急速に進んでいる。HV・PHVの場合、従来の試験手順のままでは、規制成分の排出量や燃費を正しく求めることができない。もちろん、バッテリーの状態が排出ガスや燃費に影響するためである。各国の排出ガスや燃費の計測方法には、すでにHV・PHVに関する規定が盛り込まれている。その扱いは、エンジン由来のエネルギーだけでバッテリーが充電されるHVと、外部充電の可能なPHVとで異なる。

HVの計測時は、試験前後におけるバッテリー充電量の情報が必要になる。試験後に充電量が増加している場合は、実際の走行に要するよりも余分にエンジンが動作していたことになり、燃料消費量もガス排出量も多めになっているはずである。充電量が減少していればもちろん逆である。そこで、HVの計測においては、試験車について充電量変化(電気量収支)と各成分の排出量

の関係をあらかじめ求めておく。試験時には、この関係から求めた係数を用いて排出量を補正し、電気量収支ゼロの時の排出量や燃費を求める。

一方PHVでは、満充電からの走行開始を想定する必要がある。Figure 6に、そのような場合のバッテリー充電量の推移のイメージを示す。走行開始後しばらくはバッテリーからのエネルギーを主にした走行(プラグイン(CD)走行)が続く。その後バッテリーが一定量まで放電されると、エンジン主体でバツ

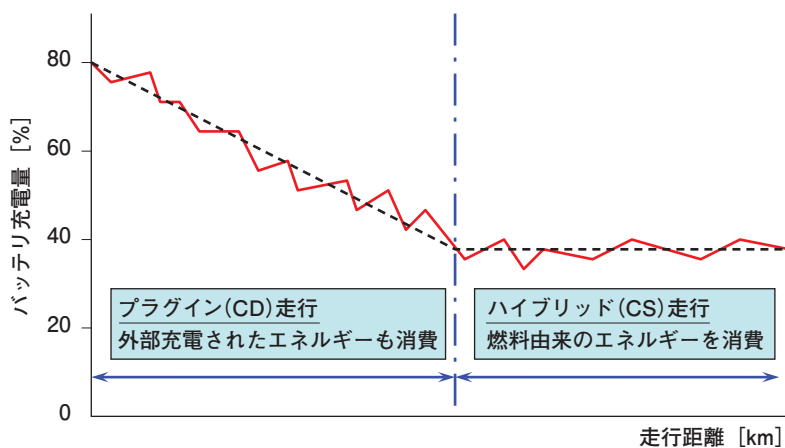


Figure 6 Battery State of Charge during Driving a Plug-in Hybrid Electric Vehicle

テリの充放電をバランスさせながらの走行(ハイブリッド(CS)走行)に移る。CS走行時のエンジン条件は通常のHVと同等とみなせるが、CD走行では大きく異なる。そのため、PHVの計測では、両方の条件での計測値を組み合わせるのが普通である。ただし、現時点では、その方法が日欧米でそれぞれ異なるという、複雑な状況となっている。

おわりに

現在、本当に健康に影響するものをより効果的に規制したいという根本的な要求や、最先端の次世代自動車の実用化による状況の変化により、エンジン排出ガス規制の考え方が大きく変化している。また、各国・各地域の関心に応じてそれぞれ新しい提案が出てくるため、全体像を把握するのが大変難しくなっている。試験方法を世界的に統一しようという活動もされているが、まだまだその途上、というのが実情である。逆に、その統一のために試験方法が変化している面もあり、排出ガスの規制と試験方法はまさに過渡期にあるといえる。今後も出てくると予想される新たな計測要求に対し、分析計・計測機器メーカーの立場からの確にサポートしていくことの重要性を改めて実感している。

参考文献

- [1] Regulation(EC)No 715/2007 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2007
- [2] Regulation(EC)No 595/2009 of the European Parliament and of the Council of 18 June 2009
- [3] UNECE Regulation No. 83 rev 4(April 26, 2011)
- [4] Federal Register Vol. 75, No. 88, 25324-25728(May 7, 2010)
- [5] Federal Register Vol. 76, No. 179, 57106-57513(September 15, 2011)
- [6] Federal Register Vol. 77, No. 199, 62624-63200(October 15, 2012)
- [7] 国土交通省告示第1268号(平成18年11月1日)
- [8] Global Technical Regulation No. 10(September 9, 2009)
- [9] Federal Register Vol. 70, No. 113, 34594-34626(June 14, 2005)
- [10] Commission Regulation(EU)No 582/2011 of 25 May 2011
- [11] 中央環境審議会：今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について(第十次答申)(平成22年7月28日)



井上 香

Kaori INOUE

株式会社 堀場製作所
開発本部 開発企画センター 産業活性化推進室
兼 経営戦略本部 自動車計測事業戦略室