

### 34. 超低公害自動車用次世代排ガス計測システムの開発に関する研究

担当機関 国土交通省 独立行政法人 交通安全環境研究所 後藤雄一

分野 大気

研究期間 平成13年～平成14年度

研究予算総額 81,409千円？

#### 研究の背景と目的

今後、排出ガスや粒子状物質（PM）の規制が一層強化される流れの中で、ディーゼル自動車やガソリン自動車、低公害自動車（ULEV、SULEVなど）からの排出ガス・PM排出量が大幅に低減し低濃度になりつつある。現在の自動車排出ガス計測システムは分析計が排出ガス中の水蒸気の干渉を受けるため環境大気により排出ガスを希釈トンネルにより希釈して水蒸気の影響を除いて排出ガス分析を行っている。一部の排出ガス成分では環境大気より清浄なため、従来の排出ガス計測法では到底対応できなくなっている。低濃度PMについては、低濃度排出ガスと統一的に測定する手法が未だ実現できていない。さらに、実走行状態に近い車両についてシャシーダイナモメータを用いた測定法が求められている。そのため、これら超低濃度の排出ガス及びPMに対する次世代の計測法が早急に必要とされている。本技術開発を行うことにより、今後の超低公害自動車に対応する排出ガス計測システムが確立する。その結果、超低公害自動車に対して高い計測精度で正確な評価をすることが可能となり、より低環境負荷な自動車の普及を促進する基礎とすることを目的とする。

#### 研究の成果

排出ガス流量導出の技術とシステム構築法が次世代排出ガス計測システムの基幹技術であるとの認識の基に、これらの技術を中心とした次世代自動車排出ガス計測システムの開発を行い、実用化を促進することが必要である。

排出ガス流量導出の技術を検討し、空気過剰率（空燃比、A/F）の算出法、燃料消費率の算出法、排出ガス流量の算出法について調査した。空気過剰率（空燃比、A/F）の算出については、排気ガス成分の分析によるカーボンバランス法による算出とO<sub>2</sub>センサを用いた算出を検討した。カーボンバランス法による算出では燃焼反応前後における炭素の質量保存を原理として排気ガス中のCO<sub>2</sub>、CO、HC濃度から空気過剰率を計算する。計算に当たって影響を与える因子として、燃料のH/C比（図1）、水性反応定数、排気中炭化水素の平均炭素数、排気組成の測定誤差（図2）が考えられ、それぞれの影響を明らかにし、定常運転では高い精度を有する可能性を示した。燃料のH/C比に対して±5%以下に抑えれば空燃比への影響は±1%以下となること、H/C比=1.85の時に空燃比12近傍で水性反応定数が1変化しても空燃比は約0.1程度変化すること、CO<sub>2</sub>の1%の測定誤差で空燃比の算出値に約1%の誤差を生じることなどが明らかになった。さらに、過渡運転時の空燃比をカーボンバランス法で推定する方法について検討し、従来のガス分析計を使用した場合は分析計の応答性を考慮する必要があり、信号ノイズを取り除くために平均化処理を行う手法が使用可能であるが実際の計測法としては困難であることを示した。O<sub>2</sub>センサを用いた算出では、その原理を明らかにし1.4Hz以上の高速応答で空燃比を電気信号として得ることが出来ることが分かった。

図3に示す構成のA/F方式排気流量計を試作し、基本的な性能を有することを確認した。システムを組み上げるのに必要な要素の導入を検討した。一方、排気ガス中のCO<sub>2</sub>成分等を高速CO<sub>2</sub>計（図4、表1）により高応答で計測し、カーボンバランス法から燃料流量を求め吸入空気量と合わせて高速で計測・演算することにより、多成分のガス分析が必要であり計算が複雑であった従来の手法の課題を克服して高応答かつCO<sub>2</sub>濃度計測のみで計算できる近似計算により排出ガス流量を求める可能性を示した。

さらに、低公害ガソリン自動車、CNGトラック、大型ディーゼルエンジンの3種類の機関について、各種の走行モードで運転して試作したA/F方式排気流量計と高速CO<sub>2</sub>計により高応答で計測した。図5に低公害ガソリン自動車の場合の実験配位を示す。カーボンバランス法から燃料流量を求め吸入空気量と合わせて高速で計測・演算した結果とA/F方式排気流量計による結果を比較しA/F方式排気流量計の妥当性を調べた。図6に低公害ガソリン自動車における各排気流量測定法による流量比を示す。ここで、G<sub>a</sub>：吸入空気量、G<sub>f</sub>：燃料流量、(G<sub>a</sub>+G<sub>f</sub>)：吸入空気量と燃料流量による排気ガ

ス流量測定法、 $G_a(1+1/A_F)$  )：空燃比による排気流量測定法、 $G_a(1+1/A_{FCO2})$ ：CO<sub>2</sub> 濃度による排気流量測定法を示す。 $(G_a+G_f)$ と他の二つの方法では図5から分かるように加速部分等でずれが生じる。これは、燃料流量計の応答性が他の二つの方法に比べ劣っていることによる。図7に $(G_a+G_f)$ 、 $G_a(1+1/A_F)$  )と  $G_a(1+1/A_{FCO2})$ の3つの排気流量測定法の相関図を示す。

$G_a(1+1/A_F)$  )と $G_a(1+1/A_{FCO2})$ との間では非常に高い線形関係があり、1%以下の精度を持つ。CNGトラック、大型ディーゼルエンジンにおいても同様に高い精度で一致した。その結果、燃料の違うそれぞれの機関において高い精度でA/F方式排気流量計の排気流量値と高速CO<sub>2</sub>計を用いた排気流量値が一致することを示し、この方法が一般性を持つことを明らかにした。排気ガス流量がA/F方式排気流量計で十分に計測可能であることが分かったことから、この成果は排気ガス測定法の技術基準を定める場として用意されたISOにおいて提案し測定法として採用された。A/F方式排気流量計測法は、排気温度の制約を受けず高い応答性を持ち、コストの面でも比較的安価であることから、実用化が十分に可能であると考える。そこで本手法を基に正確に排出ガスを比例サンプリングする手法を検討し、排気系において計測された排気流量を元にその一部を正確に比例サンプリングする方法としてマスフローメータを利用した方法や臨界ベンチュリーを利用して分流する方法を検討した。また、次世代の超低濃度排出ガス計測システムを構築するために必要な高精度高感度排出ガス分析計の仕様条件について調査し、CO計、CO<sub>2</sub>計、O<sub>2</sub>計、CH<sub>4</sub>計、NO/NO<sub>x</sub>計、THC計のそれぞれについてT90の応答性、感度、線形性、再現性、ドリフト等を検討した。

PM計測やナノ粒子計測においては、光学的に排気系で直接計測する手法以外では必ず排気ガスサンプリングが必要である。PM計測や粒子計測がガス分析と異なる点は、サンプリングによりサンプリング流体の温度等が変化しガス粒子転換、粒子同士の凝集、分離が進むなど本来の粒子計測が難しくなる点である。このような転換を防ぐ方法はサンプリング直前の排気ガス状態を可能な限り維持することであり、粒子同士の凝縮を防ぐ方法は粒子同士の衝突する確率を減らすために粒子濃度を希薄にすることである。通常、車両から排出される排気ガスは周囲大気により急速に拡散・冷却している。それを模擬するために大量の希釈空気により高倍率の希釈を行うことにより粒子の凝集等を低減して計測する。排気ガス全体を高倍率希釈することは困難であることから、排気ガスの一部を比例ガスサンプリングしその場で高倍率することにより可能となる。この手法を実現するため、排気ガス流量を本方式で計測し比例ガスサンプリングにマイクロダイリュショントンネルを利用する方法が挙げることが出来る。ナノ粒子計測装置としてT90を400ms以下の高応答で10nm～1000nmまで計測可能なDifferential Mobility Analyzer(DMS500)で有望な計測装置の一つであると思われる。図8にDifferential Mobility Analyzer(DMS500)の写真、表2にその仕様を示す。

## 研究のまとめ

自動車排気ガス規制が一層強化される中で、規制施行上において極低濃度排気ガスやPM濃度を正確に計測することが是非とも必要であり、これらに対する次世代の計測法が早急に必要とされている。その超低公害自動車用次世代排出ガス計測システム構築の鍵となる排出ガス流量測定技術を開発するものである。

排出ガス流量導出の技術を検討し、空気過剰率(空燃比、A/F)や排出ガス流量の算出法について調べ、測定精度、応答性、耐熱性、経済性などの観点から、A/F方式排気流量計を提案した。空気過剰率算出について排気ガス成分の分析によるカーボンバランスを用いた方法とO<sub>2</sub>センサを用いた方法を検討し、A/F方式排気流量計を試作して基本的な性能を確認した。さらに、低公害ガソリン自動車、CNGトラック、大型ディーゼルエンジンの3種類の機関について、各種の走行モードで運転し試作したA/F方式排気流量計と高速CO<sub>2</sub>計により高応答で計測した結果、燃料の違う各機関において高い精度でA/F方式排気流量計の値と高速CO<sub>2</sub>計を用いた排気流量値が一致することを示し、この方法が実用性を持つことを明らかにした。また、PM計測やナノ粒子計測に必要な粒子サンプリングシステム、粒径計測システム等への本システムの適用可能性を検討した。

A/F方式排気ガス流量計測法は、ISOに新計測法として提案され、発行したISO16183の中にその成果が反映された。また、本方式は低コストで排気ガス流量を計測する方法として実用化が進められており、本研究の成果は他への波及効果を含めて目的を達成することが出来た。

研究発表

発表題名	掲載法/学会等	発表年月	発表者
Heavy duty engines – Measurement of gaseous emissions from raw exhaust gas and of particulate emissions using partial flow dilution systems under transient test conditions	ISO16183	2002	
A/F 方式排気ガス流量計の開発	交通安全環境研究所研究発表会	2004	後藤 雄一、佐藤辰二

工業所有権

特許等の名称	願書年月日	公告番号	公告期日	登録番号
Ga- 法で制御されるマイクロトンネルに対する排ガス逆流によるトンネルシステム汚染防止法	10月出願予定			

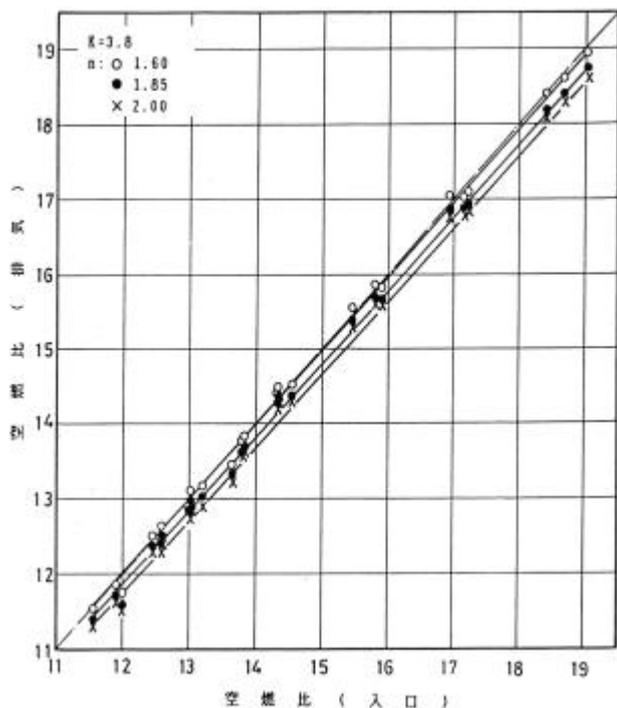


図1 空燃比の計算に及ぼすH/Cの誤差の影響

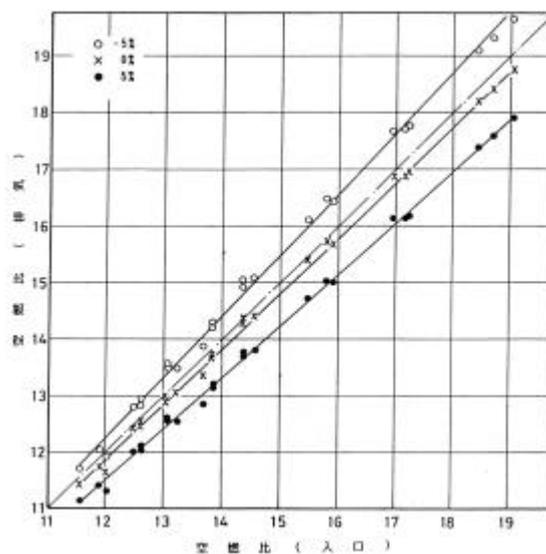


図2 空燃比の計算に及ぼすCO2の測定誤差の影響

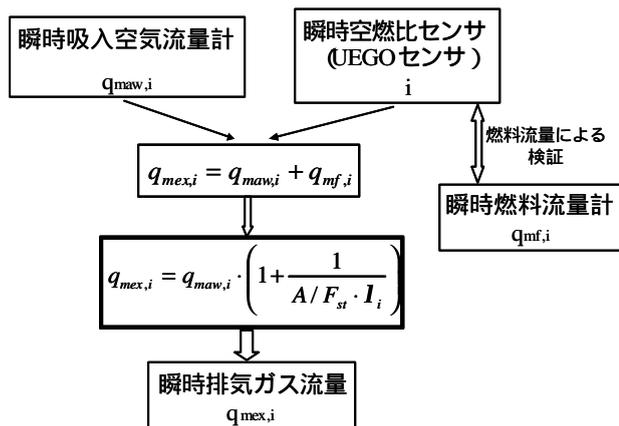


図3 A/F方式排出ガス流量計の構成図



図4 高速CO/CO2計のセンサ部

表2 高速CO2計の仕様

Measurement principle	Non-Dispersive Infra-Red(NDIR)
Components measured	Carbon Dioxide (CO <sub>2</sub> )
Number of channels	2
Measurement ranges	0-20,000 ppm
Response Time T <sub>90-10%</sub>	<5ms (350mm sample tube length)
Drift	<±2% FS/hour
Linearity	<±2% FS
Ambient sampling conditions	0-40
Sample gas flow	~5 L/min (@atmospheric pressure)
Output	0-10V, 47
Power supply	AC 50/60 Hz, 110/230V

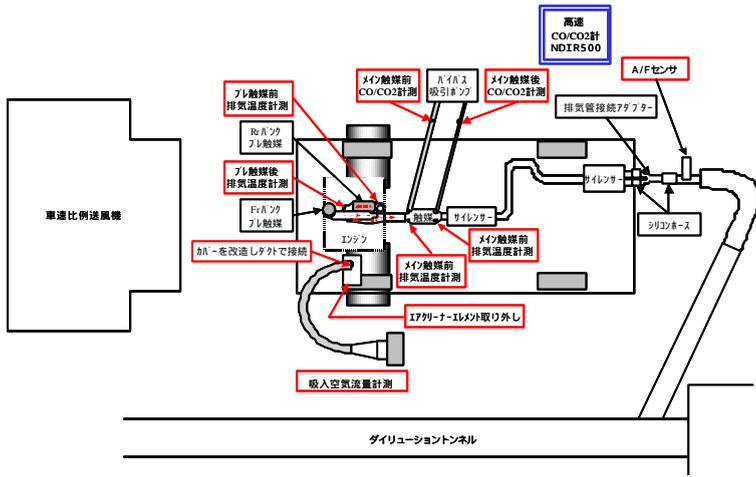


図5 低公害ガソリン自動車の実験配位

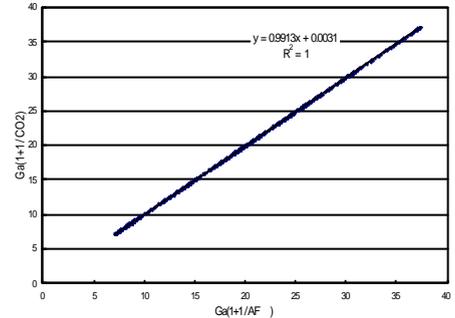
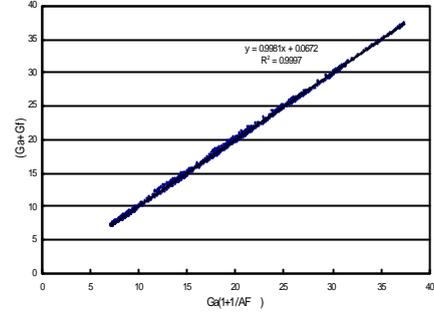
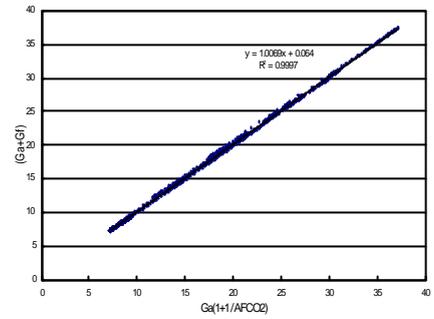


図7 (Ga+Gf), Ga(1+1/AF), Ga(1+1/AFCO2)の相関図

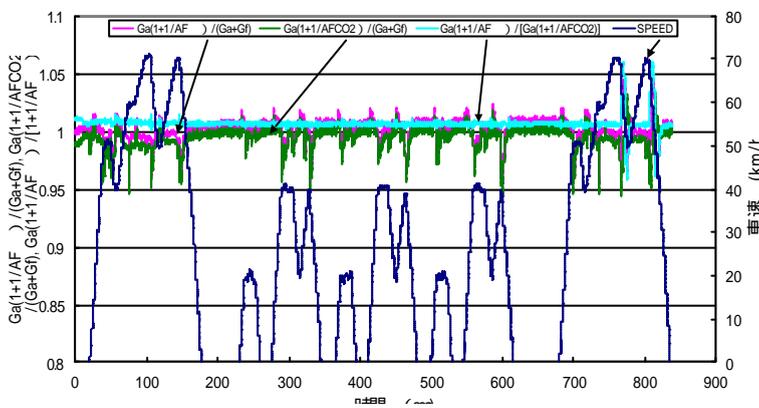


図6 低公害ガソリン自動車における各排気流量測定法による流量比



図8 Differential Mobility Analyzer (DMS500)

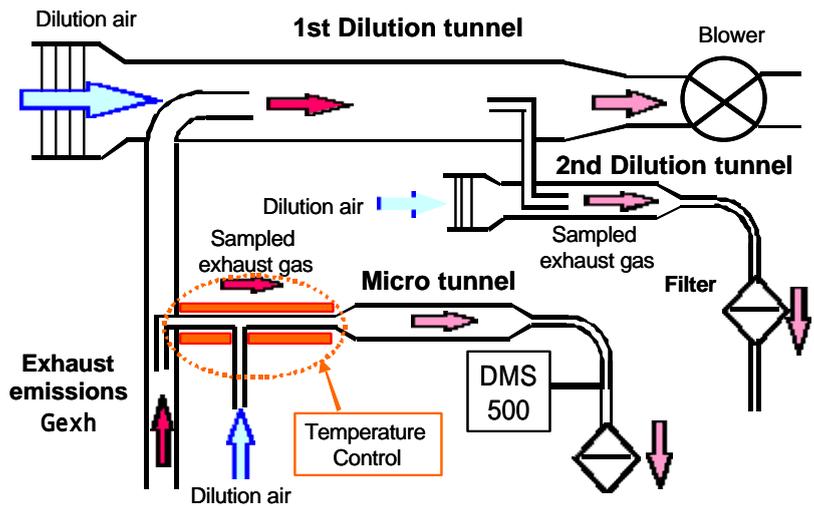


図9 粒子計測システム概要図

Measurement principle	Aerosol electrometry
Size classification	Electrical mobility classification
Charging	Unipolar Diffusion
Sample channels	1
Time response	10-90% < 400ms
Instrument size(mm)	n=940, w=350, d=520 + pump
Electrical Supply	100-115/220-240V AC
Particle size range	5nm to 1000nm
Output spectrum elements	16 / decade
Size resolution	0.15 to 0.25 decade
Max data logging rate	10 samples / s
Analogue outputs	4(software configurable) 0-10V 47
Auxiliary analogue inputs (logged with DMS500 data)	4: -10 to +10V

表2 Differential Mobility Analyzer (DMS500)の仕様