

車載式排出ガス分析装置を用いた実路走行時の環境負荷量の計測及び評価に関する検討（第2報）

—排出ガス増大要因となるエンジンの空燃比エンリッチ制御に関する解析—

環境研究領域

※ 山本敏朗

小川恭弘

上原円香

佐藤 進

理事

野田 明

1. まえがき

自動車排出ガス規制の強化は、地域全体の平均的な環境負荷量低減には有効であるが、登坂走行や渋滞走行のような公定試験では現れない走行条件での低減まで保証するものではない。このような走行条件となる沿道では、環境負荷量はその沿道に集中して増大する局所汚染が発生することも考えられる。本研究では、この問題に 대응するために、沿道局所での排出ガス実態調査を実施するとともに、排出ガス有害成分の増大が確認された場合には、その原因解明を通じて有効な沿道局所汚染対策を検討する。

新型ガソリン車においては、電子制御の発達によりエンジン制御システムが精緻化され、様々な制御が行われているが、それら制御の中には、公定試験モードでは出現しなくても路上走行時に出現して、結果的にCO、HC等の排出ガスの増大を引き起こす場合もあり得る。これまでに、シャシダイナモメータ台上試験（以下、台上試験と記す）により、エンジンの高負荷運転域等において、エンジンのフィードバック制御が停止し、空燃比（以下、A/Fと記す）制御が過濃側（以下、リッチ側と記す）に移行する「A/Fエンリッチ制御」が存在することを確認している。¹⁾この制御に移行すると触媒の酸化機能が低下してCO及びHCの大量排出を招くことから、このような制御は、高負荷運転時の排出ガス温度上昇に起因する触媒システムの熱劣化、エンジンのノッキング及び焼き付き、排気系部品の溶損等を回避するために必要と認められる場合以外には極力抑制すべきである。このことから、路上走行時における排出ガス有害成分増大の主要因の1つになり得るA/Fエンリッチ制御が、どのような道路環境条件（道路勾配や交通流など）において発現し、A/Fリッチ状態でのCO、HC等の排出量の増大



写真1 車載式排出ガス分析装置（プロトタイプ）の外観

を引き起こすかについて検証することは、沿道局所での自動車排出ガス有害成分の増大要因を解明する上で極めて重要であると考えられる。

本報では、路上走行時のCO、HC、NO_x等を精度よく計測するために必要な車載式排出ガス分析装置²⁾を試験車両に搭載して路上走行実験を実施し、走行時の道路勾配や交通流などの道路環境条件等とA/Fエンリッチ制御の発現との関連性を解析した。また、そのときのCO及びHCの排出量の増大現象を調査した。さらに、路上走行時において、A/Fエンリッチ制御の発現を車両の走行抵抗から推定する手法について検討した。

2. 車載式排出ガス分析装置の適用性

本試験で使用した車載式排出ガス分析装置は、株式会社堀場製作所が次期車載式排出ガス分析装置として開発中のものを、今回、同社から借用し、後述の台上試験により性能確認を行った上で、実路走行試験に供した。この車載式分析装置では、ガス分析

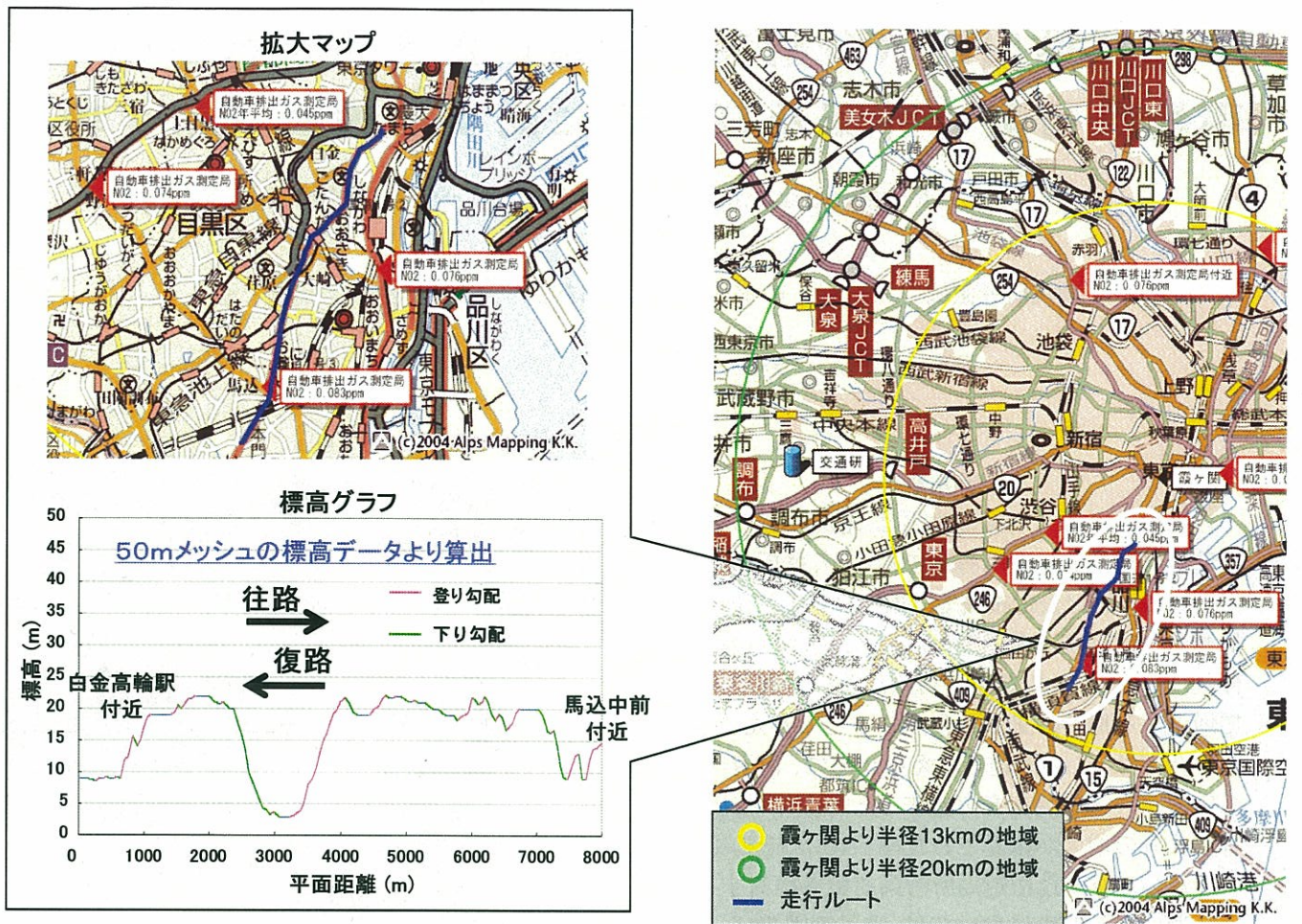


図1 走行ルート（都市内幹線道路急勾配ルート）の一例
 国道1号線（東京メトロ南北線：白金高輪駅付近～大田区：馬込中前付近）

方法として、COとCO₂に関してはNDIR方式を、またHCに関してはFID方式を、さらにNO_xに関してはCLD方式を採用して、最新の排ガス対策車に適應できるように従来型装置²⁾に比べて低濃度域での分析精度と信頼性の改善を図っている。

写真1に、供試の車載式排出ガス分析装置の外観を示す。これは、供試車両の荷台に設置した状態を示している。キャリブレーション用スパンガスとしてはN₂ベースでCO、CO₂、C₃H₈及びNOを混合した4種混合ガスを、またゼロガス及びFID用助燃空気は精製空気を用いている。

なお、車載式排出ガス分析装置の本試験への使用に当たっては、10・15モード、JC08モード、渋滞走行モード及び定加速モードの4パターンの走行モードを用いた台上試験を実施して、排出ガス分析及び排出ガス流量計測に関して実験室の定置型高精度計測器による同時測定結果と対比する性能評価

を行った。本装置により、本研究の目的の一つである路上走行時における排出ガス増大現象を捉えられることを確認した。

なお、渋滞走行モードは、都内幹線道路走行時の実測データにより構成したモードであり、定加速モードは、20～60 km/h、40～80 km/h及び80～120 km/hの3種類の速度変化に対して、それぞれ8種類の加速条件を設けて構成したモードである。

3. 試験方法

供試車両は、軽貨物車、中量貨物車及び三元触媒付普通乗用車の計3台で、2台の貨物車に対しては「車両重量+半積載状態（車載装置一式の重量約170 kgを含む）」の値を、乗用車に対しては「車両重量+車載装置一式の重量約170 kg」の値を設定した。台上試験では、各々の車両総重量での走行抵抗及び慣性抵抗を与えた。

車両の走行条件は交通流（車の流れ）や道路勾配

表1 供試車両の主要諸元

車種	軽貨物車(半積載状態)
総排気量 mL	656
燃料供給装置	電子燃料噴射・ストイキ制御型
車両重量 kg	940 (車両総重量 1400 kg)
排出ガス認定レベル	☆☆☆

等の道路環境条件の影響を大きく受ける。本研究では、沿道局所での排出ガス実態を調査するために、道路勾配条件に着目し、霞ヶ関を中心に半径20km圏内の主要幹線道路を対象に、走行距離8km毎に分割して、それぞれの走行区間の平均勾配や勾配変化等の道路勾配データを算出した。これらのデータを抽出条件として統計的手法により、走行試験ルート(都市内幹線道路の代表的な道路勾配ルート2種類と都市内幹線道路急勾配ルート2種類)を抽出した。各ルートの道路勾配データは、50mメッシュの標高データベースとGPS等から取得した道

路の緯度・経度データを用いて算出した。図1に、都市内幹線道路急勾配ルートの一例として、国道1号線の一部(東京メトロ南北線:白金高輪駅付近~大田区:馬込中前付近)を示す。この道路勾配条件は、往路で登り勾配:最大5.6%、平均1.4%、復路で登り勾配:最大3.9%、平均1.5%である。路上走行試験は、走行試験ルートを往復した。

4. 試験結果と考察

4.1. 路上走行試験における試験結果と解析結果の一例

路上走行試験の解析例として、供試車両に軽貨物車(半積載状態)を用いた場合を考察する。供試軽貨物車の主要諸元を表1に示す。供試車両の排出ガス性能は、平成12年度基準の排出ガス75%低減レベルであり、軽貨物車ではトップクラスである。

図2に、供試軽貨物車による国道1号線ルート(図1参照)走行時におけるエンジンのA/F制御状態の調査結果を示す。上側のグラフは、路上走行

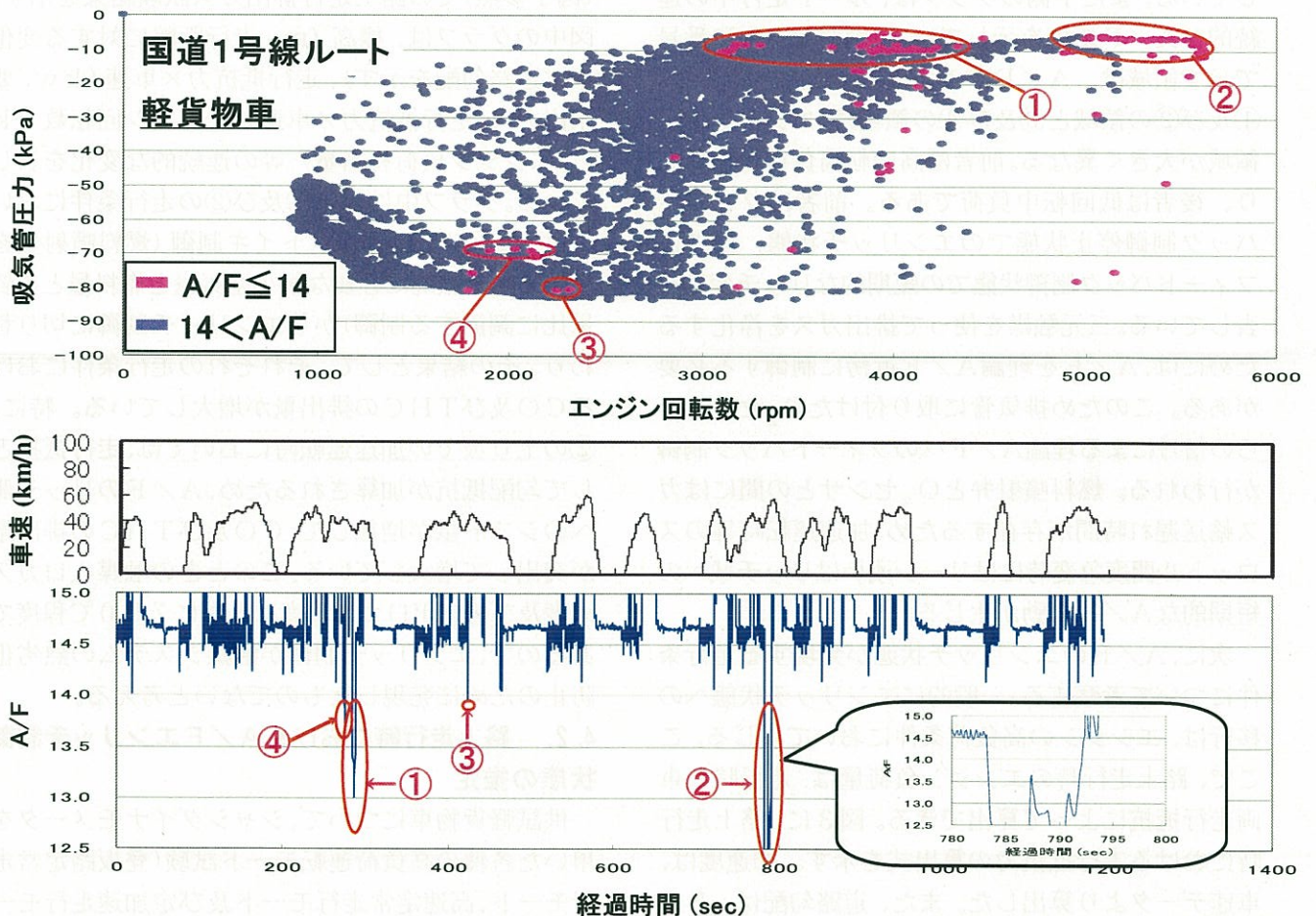


図2 路上走行試験結果の一例

軽貨物車による国道1号線ルート走行時におけるエンジンのA/F制御状態

$$\text{走行抵抗力} = \text{転がり抵抗力} + \text{空気抵抗力} + \text{加速抵抗力} \\ + \text{勾配抵抗力} = \text{必要な駆動力}$$

$$\text{転がり抵抗力(N)} = \text{転がり抵抗係数} \times \text{車両総質量(kg)} \\ \times \text{重力加速度(m/s}^2\text{)}$$

$$\text{空気抵抗力(N)} = \text{空気抵抗係数(kg/m}^3\text{)} \times \text{全面投影面積(m}^2\text{)} \\ \times \text{車速の2乗((m/s)}^2\text{)}$$

$$\text{加速抵抗力(N)} = (\text{車両総質量(kg)} + \text{使用変速段における回転} \\ \text{部分の慣性相当質量(kg)}) \times \text{加速度(m/s}^2\text{)}$$

車載計測

$$\text{勾配抵抗力(N)} = \text{車両総質量(kg)} \times \text{重力加速度(m/s}^2\text{)} \times \sin \theta$$

θ : 道路勾配

標高データより算出

$$\text{要求出力(kw)} = \text{走行抵抗力(N)} \times \text{車速(km/h)}$$

図3 路上走行時における走行抵抗力（必要な駆動力）の算出式

時のエンジン使用領域とそのときのA/F状態を示している。また下側のグラフは、ルート走行中の連続的なA/F変化を示している。両グラフ中に番号で示す領域は、A/Fが1.4以下である。ここで、①及び②の領域と③及び④の領域は、エンジン使用領域が大きく異なる。前者は高回転高負荷状態であり、後者は低回転中負荷である。前者はフィードバック制御停止状態でのエンリッチ状態、後者はフィードバック制御状態での短期的なリッチ変動を表している。三元触媒を使って排出ガスを浄化するためには、A/Fを理論A/F近傍に制御する必要がある。このため排気管に取り付けたO₂センサからの信号による理論A/Fへのフィードバック制御が行われる。燃料噴射弁とO₂センサの間にはガス輸送遅れ時間が存在するため、加速運転時等のスロットル開度急変時にはリーン或いはリッチ域への短期的なA/F変動が生じる。

次に、A/Fのエンリッチ状態が発現する走行条件について考察する。一般的にエンリッチ状態への移行は、エンジンの高負荷条件において生じる。ここで、路上走行時のエンジン負荷量は、走行時の車両走行抵抗によって算出できる。図3に、路上走行時における走行抵抗力の算出式を示す。加速度は、車速データより算出した。また、道路勾配は、50mメッシュの標高データベースとGPSから取得した道路の緯度・経度データを用いて算出した。

図4に、供試軽貨物車による国道1号線ルート(図1参照)での路上走行排出ガス試験結果を示す。図中のグラフは、標高(m、走行距離に対する変化率は道路勾配を示す)、走行抵抗力×車速(kw、要求出力)、走行抵抗力×車速/エンジン回転数(kJ、エンジン負荷相当量)等の連続的な変化を表している。グラフ中に示す①及び②の走行条件においては、エンジン制御がストイキ制御(燃料噴射量を燃料の完全燃焼に必要な最小空気量と燃料量との質量比に調節する制御)からエンリッチ制御に切り替わり、その結果として、それぞれの走行条件におけるCO及びTHCの排出量が增大している。特に、②の上り坂での加速運転時においては、走行抵抗として勾配抵抗が加算されるため、A/Fのリッチ側へのシフト量が増加して、CO及びTHCの排出量が突出して増大している。このときの触媒入口ガス温度及び触媒出口ガス温度はともに700℃程度であるので、エンリッチ制御が触媒システムの熱劣化防止のために発現したものでないとする。

4.2. 路上走行時におけるA/Fエンリッチ制御状態の推定

供試軽貨物車について、シャシダイナモメータを用いた各種の高負荷運転モード試験(登坂路定常走行モード、高速定常走行モード及び定加速走行モードより成る試験)を実施して、エンジンのA/Fエンリッチ制御域を調べた。その結果を、図5に示す。

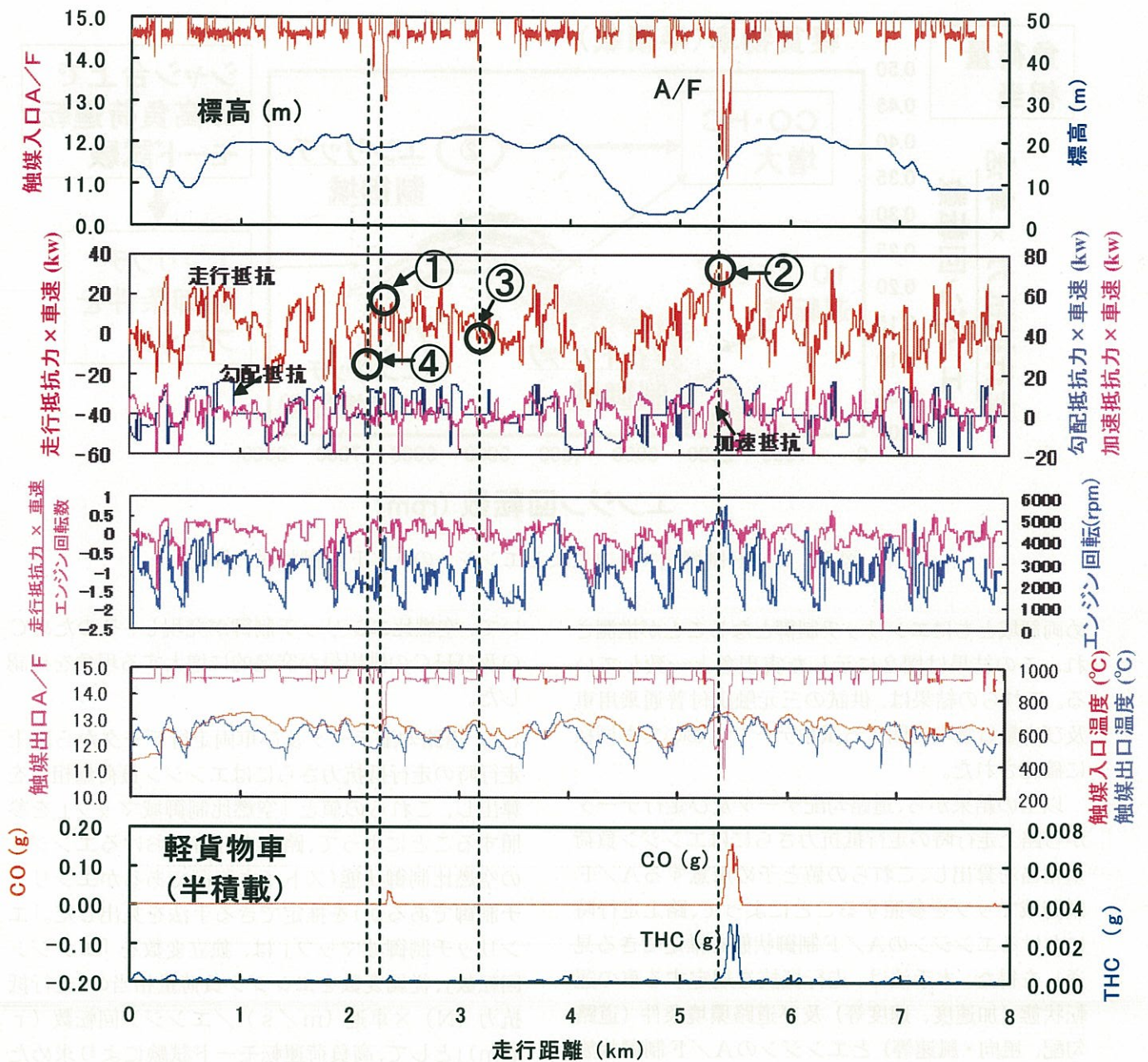


図4 路上走行排出ガス試験結果の一例

エンジン要求出力（走行抵抗力×車速）とエンジンA/F制御状態の関係

エンリッチ制御域は、エンジン負荷量に相当する量として本研究において導入する「走行抵抗力 (N) × 車速 (m/s) / エンジン回転数 (rpm)」を縦軸に、またエンジン回転数を横軸とするグラフに、エンリッチ制御とみなせるA/F 13.5以下の場合について青点をプロットした。以下、このグラフを「A/F制御域マップ」と定義する。ここで、エンジン制御がエンリッチ制御となるのは高負荷高回転域であるため、エンジン制御がストイキ制御からエンリッチ制御に移行する境界領域に「エンリッチ制御境界線」を引くことができると考える。従って、

負荷量とエンジン回転数で決定されるエンジン使用条件が、図中に示すエンリッチ制御境界よりも高負荷域にあれば、エンジンのA/F制御はエンリッチ制御となる。図中の①領域と②領域は、図2においてエンリッチ制御となった①と②の走行条件における走行抵抗力×車速 (kw) からエンジン負荷量相当を算出してプロットした結果である (図4中の「走行抵抗力 (N) × 車速 (m/s) / エンジン回転数 (rpm)」と「エンジン回転数」のグラフを参照)。①領域はエンリッチ制御境界線付近にあり、②領域はエンリッチ制御境界よりも高負荷側にあるた

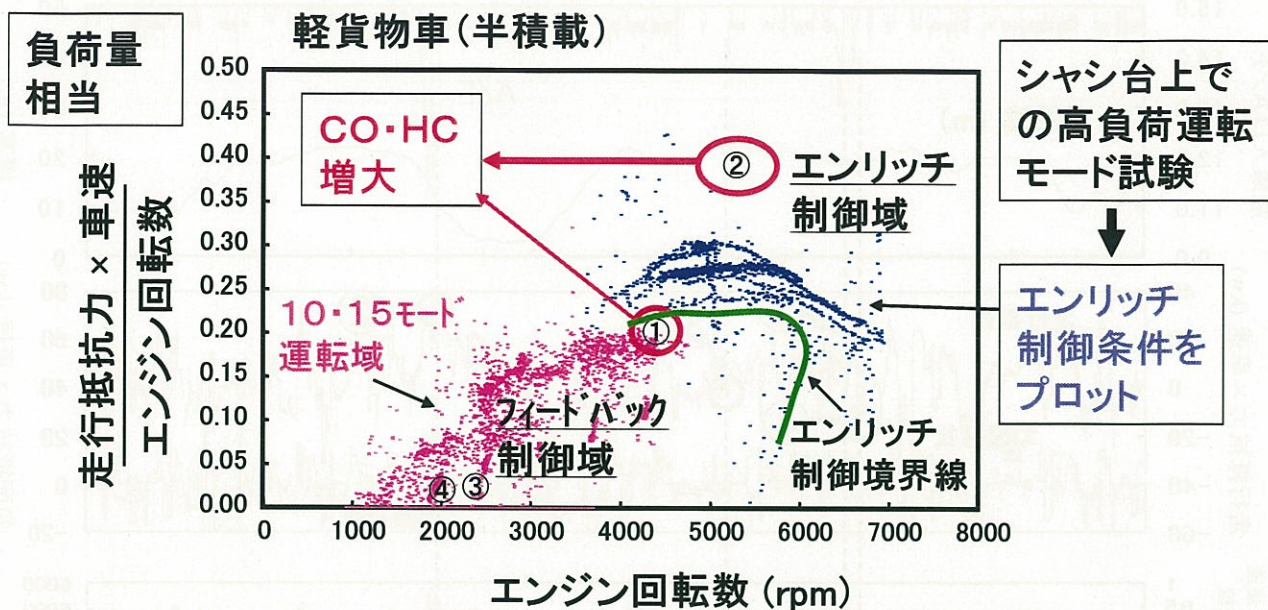


図5 A/F制御域マップによるエンジンのA/F制御状態の推定

め両領域ともにエンリッチ制御となることが推測され、この結果は図2に示した実現象と一致している。これらの結果は、供試の三元触媒付普通乗用車及び中量貨物車に関する試験データにおいても同様に確認された。

以上の結果から、道路勾配データ及び走行データから路上走行時の走行抵抗さらにはエンジン負荷量相当を算出し、これらの値と予め用意するA/F制御域マップを参照することによって、路上走行時におけるエンジンのA/F制御状態を推定できる見通しを得た。本手法は、走行抵抗を規定する車の運転状態（加速度、速度等）及び道路環境条件（道路勾配、風向・風速等）とエンジンのA/F制御状態との関係を明らかにすることができる。そのため、エンリッチ制御に起因する局所的な汚染対策を考える上で有効であると考えられる。

5. まとめ

路上走行時のCO、HC、NO_x等の連続測定を可能にする車載式排出ガス分析装置を用いて、沿道局所での自動車排出ガス有害成分の増大要因となり得るエンジンの空燃比制御が過濃側に移行する空燃比エンリッチ制御状態について調査し、以下の結論を得た。

(1) 試験車両として軽貨物車（半積載状態）を用いて、霞ヶ関を中心に半径20km圏内の主要幹線道路を対象にした路上走行試験を行った。その結果、急勾配の坂路での加速時や平坦路での急加速時にお

いて、空燃比エンリッチ制御が発現し、そのためCO及びHCの排出量が突発的に増大する現象を確認した。

(2) 道路勾配データ及び車両走行データから路上走行時の走行抵抗さらにはエンジン負荷量相当を算出し、これらの値と「空燃比制御域マップ」を参照することによって、路上走行時におけるエンジンの空燃比制御状態（ストイキ制御であるかエンリッチ制御であるか）を推定できる手法を見出した。「エンリッチ制御域マップ」は、独立変数を「エンジン回転数」、従属変数をエンジン負荷量相当の「走行抵抗(N) × 車速(m/s) / エンジン回転数(rpm)」として、高負荷運転モード試験により求めたエンリッチ制御域をプロットして作成した。

今後は、本手法によるエンジン制御状態推定の確度を向上させるとともに、本手法の局所汚染対策等への適用方策について検討する予定である。

6. 謝辞

本研究は、開発中の車載式排出ガス分析装置を株式会社堀場製作所から借用して実施した。ここに記し謝意を表す。

7. 参考文献

- (1) 山本 他：自動車技術会2006年春季大会学術講演会前刷集No. 66-06, P5-8
- (2) 山本 他：平成17年度交通研研究発表会講演概要, P31-36