

⑪ 車載式フーリエ変換赤外分析装置の開発と 排出ガス中の亜酸化窒素およびメタン(温室効果ガス)の分析

環境研究領域 ※山本 敏朗 佐藤 進 常山 順子
岩田電業株式会社 岩田 恒夫 小川 恭弘

1. まえがき

環境負荷低減の為に今後導入が進む尿素SCR搭載ディーゼル車、ガソリン車において、搭載触媒の温度が低下した場合には、微量でも大きな温室効果を示す N_2O あるいは CH_4 の排出量の増加が予測される。このことから、路上走行時において排出ガス中の両成分の連続分析を可能とする車載式フーリエ変換赤外分析装置（以下、「車載式FTIR分析装置」と記す）を開発した。第1段階として同装置をガソリン車に搭載して走行試験を実施し、実路での N_2O 及び CH_4 の排出現象を探った。ガソリン車では、坂路等での加速運転時に、エンジン負荷が大きくなってエンジンの空燃比（以下、「A/F」と記す）制御が理論値制御から燃料過濃域（以下、「エンリッチ」と記す）制御へ移行する場合がある。このことが原因となって、排出ガス中の N_2O 及び CH_4 の排出量が增大する可能性が考えられた。

本報では、車載式FTIR分析装置を紹介するとともに、シャシダイナモメータ台上において、坂路走行等での加・減速運転状態を再現して、そのときのエンジンのA/F制御や触媒温度の低下等が N_2O 及び CH_4 の排出に及ぼす影響について解析した。

2. 実験方法

路上走行時において、A/Fエンリッチ制御の発現及び排出ガス状態を把握した上で⁽¹⁾、次に、そのときの排出ガス状態を、シャシダイナモメータ台上試験によって評価するため「A/Fエンリッチ制御評価用モード」を考案した。さらに、A/Fエンリッチ制御時の N_2O 及び CH_4 の排出状態を把握するため、シャシダイナモメータ台上に試験車両を設置し、同モードを運転した。 N_2O 、 CH_4 等の分析は、新開発の車載式FTIR分析装置（岩田電業製FAST-2200フーリエ変換赤外分析計）を用いて、0.2秒サン

リング（分析部の90%応答；2.1秒）で連続的に行った。

3. 車載式FTIR分析装置の開発

本報では、路上走行時における排出ガス中の N_2O 、 CH_4 等の分析に、既存の携帯型FTIR分析計とガスサンプリング装置を組み合わせることを検討した。ガスサンプリング装置は、排気管から排出ガスをFTIR分析部に導入する役割を有し、同装置の構造やサンプリング流量の設定は、測定精度や計測の応答性に影響することから重要となる。このことから、路上走行時の連続分析に適したガスサンプリング装置を構築するとともに、同装置による適切なサンプリング流量について調査・検討した。さらに、車載式FTIR分析装置の分析結果の信頼性を、定置式排出ガス分析計及び定置式FTIR分析計による分析結果と比較することにより検証した。

3. 1. 分析装置の概要

図1に、車載式FTIR分析装置の外観を示す。同装置の試験車両への搭載は、車両の荷台にFTIR分析部とガスサンプリング部を横並びに設置し、その背後にバッテリーとバージ用 N_2 ボンベを配置すること

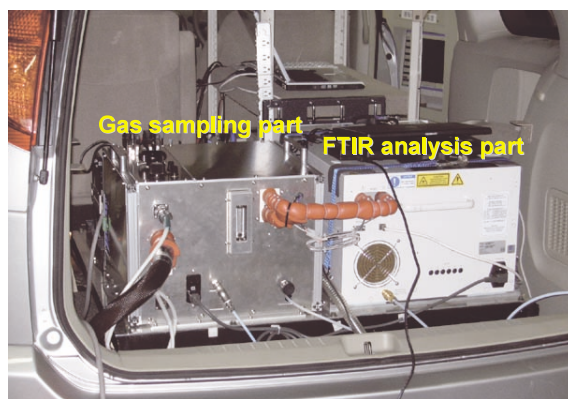


図1 車載式FTIR分析装置の外観

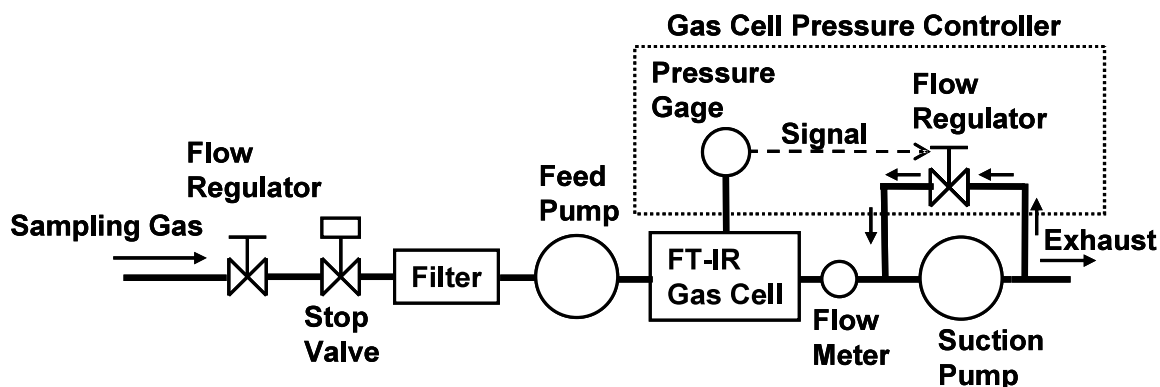


図2 ガスサンプリング装置の流路の概略図

により行う。総重量は、バッテリーを含めて約160kgとなる。また、図2に、ガスサンプリング装置の流路の概略図を示す。同図に示すように、ガスセル（赤外分光分析のためにガスを封入する容器）内のガス置換を円滑にするため、吸引ポンプをガスセルの後段に配置している。また、NH₃等の吸着性を有するガス成分の測定精度及び応答性の改善を狙いとして、サンプリングガスの接触面を少なくするために、ガスセルまでの部品数を少なくするとともに、ストレート配管により管長を短くした。

3. 2. ガスサンプリング流量の検討

実路走行時の排出ガス実態を把握するためには、刻一刻と変化する走行条件に対応したリアルタイム計測を実現する必要がある。そのためには、計測の応答性を改善することが必須となる。車載式FTIR分析装置では、排出ガスのサンプリング流量を増やして、ガスセル内のガス置換を速くすることによって、計測の応答が速くなることが期待できる。そこで、ガスサンプリング装置の設定流量を変化させて、応答性の改善効果を調査・検討した。

図3は、シャシダイナモメータ台上試験で、車速20km/hから60km/hへと加速運転したときのテールパイプでのCO濃度の変化を、定置式排出ガス分析計と車載式FTIR分析装置で比較した結果である。そして、同図は、車載式FTIR分析装置のサンプリング流量を、5ℓ/min、10ℓ/min及び20ℓ/minと変化させたときの応答性の変化を、無駄時間補正後に、CO濃度の相関図を用いて示している。応答性が改善されるに従って、相関が強くなることから、5ℓ/minでは、低応答であった計測値が、10ℓ/min及び20ℓ/minでは、高応答へと改善されていることがわかる。10ℓ/minと20ℓ/minで、相関性に大きな違いがみられず、10ℓ/minでの時定数が定置式排出ガス分析計と同程度であることから、実用的なサンプリング流量として10ℓ/minを採用することとした。

3. 3. 分析結果の信頼性の検証

車載式FTIR分析装置を車載装置として使用する場合、車両の振動や高速サンプリングによって分析精度が低下する可能性がある。このため、シャシダイ

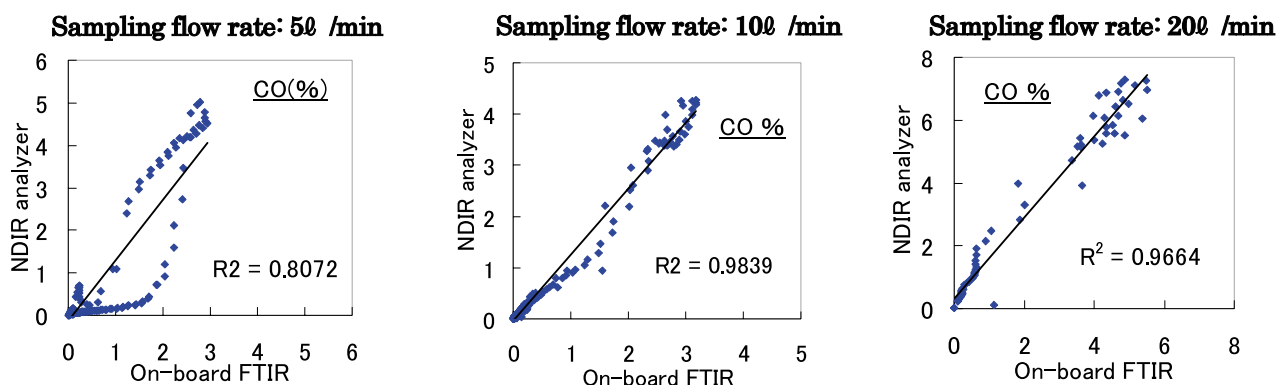


図3 ガスサンプリング流量の計測応答性への影響

ナモメータ台上試験を実施して、同分析計の分析結果を、同時測定の設定式排出ガス分析計及び定置式FTIR分析計による分析結果と比較対照することにより分析結果の信頼性を検証した。その結果を、図4に示す。直噴リーンバーンエンジンのリッチスパイク発生時のNO_x (NO+NO₂)、N₂O及びCH₄の排出状態を示し、供試の車載式FTIR分析装置による各成分の検出ポイントは、全てにおいて、いずれの定置式分析計の検出ポイントとも一致している。また、同図より、車載式FTIR分析装置の測定値は、定置式FTIR分析計のピーク値と比較して、CH₄及びN₂Oともに87%~100%の範囲であった。これらのことから、同装置は、実路走行時のCH₄及びN₂Oの排出量を測定するための車載装置として使用可能であると判断した。

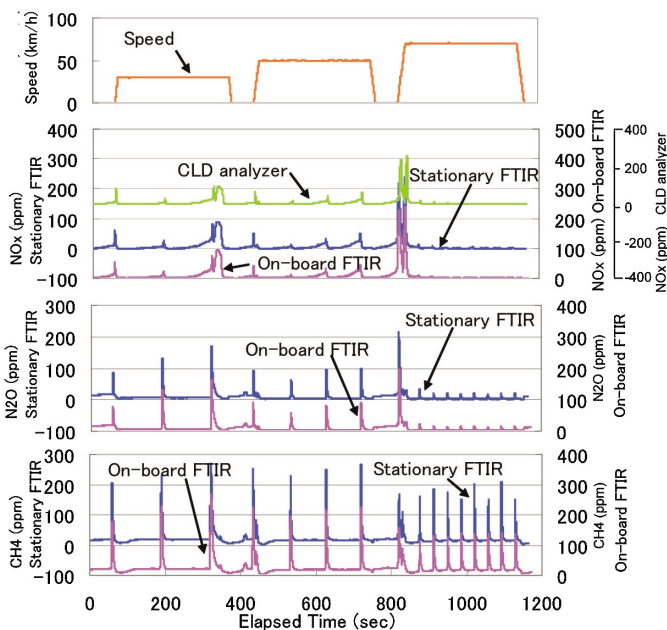


図4 車載式FTIR分析装置の性能評価

4. 実験結果及び考察

4. 1. 空燃比エンリッチ制御の発現状態の評価

路上走行時のA/Fエンリッチ制御の発現状態を、シャシダイナモメータ台上試験により評価する手法について検討した。A/Fエンリッチ制御は、主に勾配抵抗と加速抵抗が増加し、その結果として走行抵抗値が増大することにより発現する。従って、勾配抵抗と加速抵抗を路上走行時に適合するように設定して台上試験を行い、そのときのA/Fエンリッチ制御の発現状態を確認すれば路上走行時に発現するエンリ

ッチ制御の評価が可能となる。これまでの調査により、首都圏幹線道路において2%を超える道路勾配の区間が10%程度存在することがわかっている。⁽²⁾ このことから、この道路勾配を2%と最も小さく見積もった上で、図5に示す定加速モード運転を順次実施してA/F制御状態を確認する「A/Fエンリッチ制御評価用モード」を作成した。なお、同図に示す加速度は、市場代表性を有する10・15モード、11モード及びJC08モードにおいて出現する加速度を目安に、①~④を通常の加速度、また⑤~⑧を急加速度として設定した。

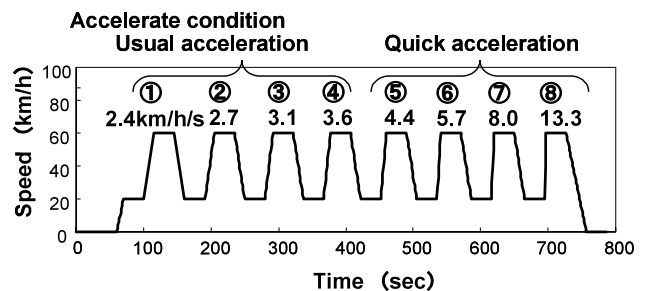


図5 A/Fエンリッチ制御評価用モード

4. 2. 空燃比エンリッチ制御によるN₂O及びCH₄の排出

次に、供試の車載式FTIR分析装置を普通乗用車等に搭載して、シャシダイナモメータ台上で「A/Fエンリッチ制御評価用モード」を運転した。その試験結果の一例を、図6に示す。同図より、加速度の増加に伴いA/Fがリッチ側に変動して理論値制御からエンリッチ制御に移行していることがわかる。この変化により、CH₄及びN₂Oの排出が徐々に増大している。また、NH₃の排出は、A/Fのリッチ変動に連動して変化し、A/Fが1.3近傍の時にピークとなり、1.0近傍までリッチ化が進むとこえって排出が低下している。このNH₃の排出挙動は、リッチ化がより進むと排出ガス中のNO濃度が減少して、触媒上でのNOと還元性物質によるNH₃生成反応が抑制されるためである。ここで、N₂Oは、300℃台の触媒温度が低い状態の時に、触媒上のNH₃が酸化されて生成される説⁽³⁾、⁽⁴⁾が有力である。これらのことから、同図のN₂O排出状態を観察すると、排出量が増大している走行条件は、急加速走行時(図5中の⑥、⑦及び⑧の加速度条件)のA/Fがリッチ変動、続いてリーン変動と大きく変動している場合であることがわかる。この条件では、触媒温度が300℃台に低

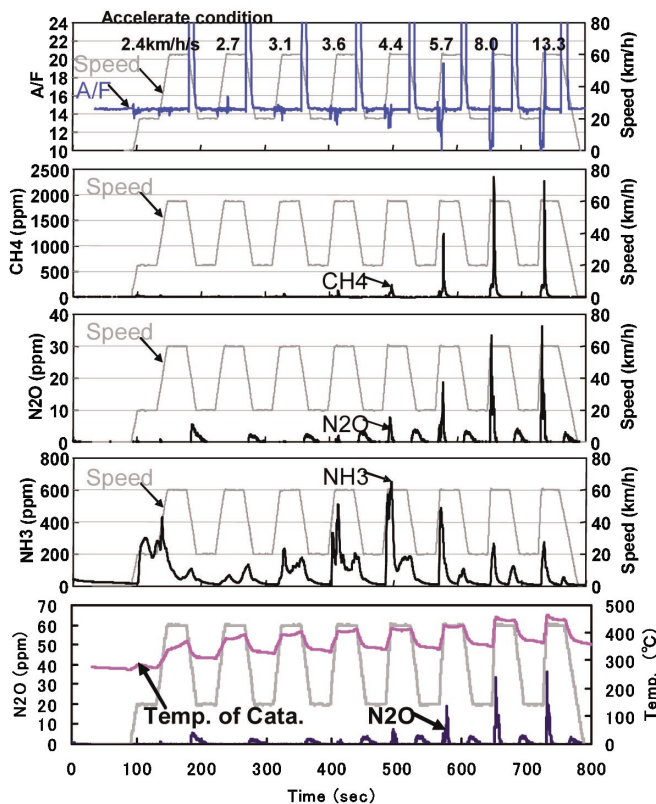


図6 A/Fエンリッチ制御によるCH₄及びN₂Oの排出状態(道路勾配:0%)

下し、リッチ変動時のNH₃排出のピークが250~500ppmである。このNH₃がその後のリーン変動によって触媒に流入するO₂と反応してN₂Oが生成されたものとする。また、図中の全ての減速走行時には、5ppm程度であるがN₂Oの排出が観測される。これは、減速運転により触媒温度が低下し、触媒に吸着しているNH₃が、燃料カット制御により導入されるO₂と反応することによってN₂Oが生成されたものであると推察される。

以上より、新開発の車載式FTIR分析装置がN₂OやCH₄等の分析において、十分に実用に耐え得ることが実証されたことから、今後は、触媒温度が比較的低温になりやすく加・減速運転が繰り返される坂路等での渋滞走行時のN₂O排出挙動について調査する予定である。

5. まとめ

路上走行時において排出ガス中のN₂O及びCH₄(温室効果ガス)等の連続測定を可能にする車載式フーリエ変換赤外分析装置を開発した。同装置をガソリン車に搭載してシャシダイナモメータ台上試験を実施し、空燃比エンリッチ制御時のN₂O、NH₃及びCH₄の排出状態を調査した。その結果、以下の点が明

らかとなった。

(1) ガスサンプリング装置の設定流量を変化させて、応答性の改善効果を調査・検討した結果、5l/minでは、低応答であった計測値が、10l/min及び20l/minでは、高応答へと改善されることがわかった。そこで、実用的なサンプリング流量として10l/minを採用した。

(2) NO_x(NO+NO₂)、N₂O及びCH₄の検出において、新開発の車載式フーリエ変換赤外分析装置は、定置式排ガス分析計及び定置式FTIR分析計の検出ポイントとよく一致した。また、車載式フーリエ変換赤外分析装置の測定値は、定置式FTIR分析計のピーク値と比較して、CH₄及びN₂Oともに87%~100%の範囲にあった。これらのことから、同装置は、実路走行時のCH₄及びN₂Oの排出量を測定するための車載装置として使用可能である。

(3) 加速運転時に生じる空燃比エンリッチ制御状態では、N₂O、NH₃及びCH₄の排出量が増大した。また、N₂Oは、空燃比エンリッチ制御時(急加速走行時のA/Fがリッチ変動、続いてリーン変動と大きく変動しているとき)や、その後の燃料カット制御により、触媒温度が低下したときに(図6より300°C台と推定する)、触媒上でNH₃が酸化されて生成される可能性が高いことを示した。

参考文献

- (1) 山本, 小川, 佐藤: 車載計測システムを用いた実路走行時の環境負荷量の計測および増大要因の解析(第2報) — 排出ガス有害成分の増大要因となるエンジン制御状態に関する考察 —, 自動車技術会論文集, Vol. 38, No. 6, pp. 229-234
- (2) 山本, 小川, 佐藤, 常山, 袋: 車載式排出ガス分析装置を用いた路上走行時の環境負荷量の計測および増大要因の解析 — 排出ガス有害成分の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考察 —, 交通安全環境研究所報告第12号, pp. 1-12, 2008
- (3) 小池, 小高: 自動車排出ガス中亜酸化窒素測定法の検討, 平成4年度(第22回)交通安全公害研究所講演概要, pp. 101-104
- (4) 小池, 鈴木, 小高: 自動車から排出される亜酸化窒素の排出挙動に関する研究(第3報) — 三元触媒車から排出されるアンモニアと亜酸化窒素のFTIR法による解析 —, 自動車技術会1995年秋期学術講演会講演前刷集 9540237