

## コールドスタート時におけるディーゼル車排出ガス中の 有害成分排出実態の解明

村上 雅彦\* 横田 久司 (\*非常勤研究員)

### 要 旨

使用過程の大型ディーゼル車 3 台（うち 1 台は酸化触媒装着車）について、コールドスタート後暖機しない状態での台上試験（東京都実走行パターン No. 5）を行い、有害成分の排出実態について通常試験時と比較した。その結果、全ての車両でホット走行時に比べて燃費は約 10 % 低下し、CO の排出係数は約 1.8 倍に増加した。これに対し、THC は触媒非装着車で約 1.3 倍、触媒装着車で 1.6 倍、NO<sub>x</sub> と DEP は触媒装着車のみで各 1.6 倍及び 1.4 倍増加したが、触媒非装着車では殆ど増加せず、コールド走行の影響はホット走行時の低減効果が高い触媒装着車に対してより顕著に現れた。またコールド走行時の排気温度と THC、NO<sub>x</sub> 及び CO の排出パターンは、走行に伴って徐々にホット走行時の状態に近づき、試験開始後約 1,000 秒（走行距離約 5 km）でほぼ同じ状態に達した。さらに排出される VOC（51 成分）の組成パターンを比較したところ、ホット走行時にも排出量の多いアルデヒド類が約 2 倍、アルケン類及び芳香族類が約 3 倍に増加したが、パターン自体に大きな変化は見られなかった。また発ガンリスク評価値はコールド走行時に触媒非装着車で約 10 %、触媒装着車で約 40 % 増加、オゾン生成係数は触媒の有無によらず約 2～3 倍に増加し、ホット走行による試験結果だけでは現実の環境負荷を正しく評価できない恐れがあることを明らかにした。

キーワード：自動車排出ガス、コールドスタート、CO、NO<sub>x</sub>、HC、VOC、DEP、リスク、光化学、MIR

## Characterization of Hazardous in Exhaust Gas from Diesel Vehicles in Cold Running Mode

MURAKAMI Masahiko and YOKOTA Hisashi

### Summary

To characterize the emission of hazardous from vehicles in cold running phase, CO, NO<sub>x</sub>, Volatile Organic Compounds (VOC, 51 species including 8 aldehydes) and particulate matter (DEP) in exhaust of 3 in-use diesel vehicles were determined. Under the cold condition, emission factor of CO was increased 1.8-fold for all vehicles, and that of THC was increased 1.6-fold and 1.3-fold for vehicle with and without catalytic converter, respectively. Although emission factor of NO<sub>x</sub> and DEP was identical to that observed in hot-stabilized condition for vehicle w/o cat., these were increased 1.6-fold and 1.4-fold respectively for vehicle w. cat. Both exhaust temperature and emission pattern of THC, NO<sub>x</sub> and CO under cold condition gradually approached to that under the hot-stabilized condition, and reached the state comparable to that

under the hot condition at 1000 sec after a test start (mileage of about 5km). Pattern of VOC composition in exhaust under the cold condition was almost identical to that under the hot condition. In the cold running phase, the cancer risk emission factor was increased to 1.1-fold and 1.4-fold for vehicle w. cat. and w/o cat. respectively, and the photochemical oxidant forming potential was increased 2-3 fold for all vehicles.

**Key words :** cold-start, cold-running, vehicle exhaust gas, CO, NOx, HC, VOC, DEP, photochemical, risk, MIR

## 1 はじめに

近年、自動車に起因する有害成分の排出をより現実の状況に近い状態で評価しようとする“リアルワールド”の考え方が提唱されており、この考え方に基づいてより精度良い推計を行うためには、実際の走行条件により合致した排出原単位の決定が必要となる。東京都では都内における自動車の走行状態（車速変化）の解析結果に基づいて作成した「東京都実走行パターン」を用いて走行試験を実施し、その結果により現実的な排出実態の解明と低減対策に取り組んできた。しかし、近年このような速度の変化に基づく走行パターンだけでは再現されない現実的な走行条件の変動要素（例えば道路の勾配や気温などの外的条件やエアコン使用による負荷の有無など）が有害成分の排出実態とその推計に影響を与えることが指摘されている。

こうした要素の一つに暖機の有無が挙げられる。エンジンが冷えた状態での始動（“cold start”）および十分に暖機を行った後の走行状態（“hot stabilized”状態、以下「ホット走行」とする）と同等のエンジン温度に到達するまでの走行状態（“cold running”状態、以下「コールド走行」とする）においては、十分に暖まった状態からの再始動（“hot start”または“warm start”）やホット走行と比較してエンジン内での燃焼効率が低下し、燃費の低下）と排出ガスの組成および量の変化を引き起こすこと、また排気後処理に種々の触媒を用いている車両の場合、コールド走行時には触媒温度が十分に上昇しないため触媒能が低下し、排出ガス中の有害成分の排出量や組成が大きく変化すること）が報告されている。

一般に車両の暖機はエンジン冷却水温度がある程度上昇するまでの数分間程度、停止状態で行われているのが実状である。従って走行によって暖機後と同様の

温度に達するまでの間は、必ず走行試験時とは異なるコールド状態での走行が行われていることとなり、この排出実態は“リアルワールド”の観点からは決して看過できない問題であることを示唆している。フランス都市部における乗用車の使用状況の調査の結果によると、コールド状態での走行の割合が高く（コールドスタート後2 km以内の走行が使用の40%を占める）、これに起因する有害成分の過剰排出が無視できないレベル（CO及び揮発性炭化水素（VOC）でそれぞれフランス国内排出量の30%及び46%に相当）にあると試算されている。こうした点を考慮し、米国および欧州の法定試験では、以前からコールドスタートを取り入れた試験法が採用されている。

これに対して、我が国における法定試験では今年度から実施される新長期規制でコールドスタート・モードが取り入れられたものの、従来大型車に対する試験法では試験前に十分な暖機運転（台上で行う際には60 km/h定速走行状態で20分間）を行うよう定められており、始動時及びコールド走行状態での排出は全く考慮されていない。また、当研究所における実走行パターンによる走行試験でも通常これに準拠した暖機を行っており、従って従来台上試験では十分にエンジン及び駆動系が暖まった状態でのデータしか測定・収集されていなかった。また、近年の規制強化に伴ってディーゼル車でも酸化触媒などを含む排気後処理を備えた車両が増えつつある点を勘案すると、こうした最近の車両を含めたコールド状態での排出実態を明らかにする必要がある。

そこで今回、コールド走行中の自動車排出ガスにおける有害大気汚染物質の排出実態を明らかにするため、使用過程のディーゼル車3台（うち1台は酸化触媒装着車）について東京都実走行パターンNo.5による走行

試験を行い、従来通りの暖機を行った場合とコールドスタート直後に試験を開始した場合について、CO、NOx、全炭化水素（THC）及びディーゼル排気粒子状物質（DEP）の排出量と排気温度の一秒ごとの変化ならびに全排出係数、さらに VOC 各成分の排出パターンを比較した。

また、これらの有害成分の排出を環境負荷の観点から定量的に評価するため、カリフォルニア州 EPA（CARB）で公表されている発ガンユニットリスク値及び光化学大気汚染生成能（MIR 値：単位 VOC 変化量当たりの最大オゾン変化量）を用いた重み付けを行って排出時点でのリスク評価値およびオゾン生成係数を算出し、これらの環境負荷へのコールドスタートの影響について検討した。

## 2 調査方法

### (1) 調査車種及び試験方法

#### ア 測定対象車種

今回測定した車両は、昨年度計測した使用過程のディーゼル車の中からコールドスタート試験が実施可能であった 3 台（シャシダイナモメータに据え付けた状態でダイナモのみの暖機を行う必要があるため、エンジンを掛けずに駆動輪を空転できる車両でなければならない）を選んだ。主な車両諸元を表 1 に示す。

表 1 測定対象車両の主要諸元

車両記号	車種	排気量 (cc)	総重量 (kg)	等価慣性重量 (kg)	規制年次及び排気対策
KK1	普通/バン	9203	7960	6585	H10 年 EGR
KK2	普通/バン	7540	7990	6615	H10 年 コモンレール式燃料噴射・EGR
KR1	貨物/キャブオーバ	4570	6385	4830	H10 年 コモンレール式燃料噴射・EGR、酸化触媒

#### イ 試験方法

シャシダイナモメータ上で実車を走行させ、その希釈排出ガスを測定した。走行パターンは都内における自動車の実際の走行状態をモデル化した東京都実走行パターンのうち、No.5（平均車速 18.18 km/h）を用いた。また、等価慣性重量は 1/2 積載条件とした。ディーゼル燃料は全て硫黄分 40ppm 軽油を用いた。

コールド走行試験時は、始動時排気を考慮していない通常試験と条件を一致させるため、前回の運転停止

後室温で 6 時間以上経過した状態の車両のエンジンを始動させ、25 秒後から試験および試料採取を開始した。なお、シャシダイナモメータの暖機は通常通り（60 km/h 定速走行状態で 20 分間）行った。走行試験室内の空気及び希釈空気は 25℃、湿度 50% とした。

### (2) 自動車排出ガスの試料採取及び測定

#### ア 試料採取

走行試験中の排出ガスの全量を希釈トンネル中で CVS を用いて希釈後のガス量が常に一定となるように制御しながら希釈空気希釈した。DEP は直径 7 cm のテフロンコーティング石英フィルター上に捕集した。

炭化水素類の各成分は既報<sup>5)</sup>の方法により、吸着剤を充填した捕集管（炭化水素類には Supelco 製 PEJ-02、アルデヒド類には Waters 製 Sep-Pak を用いた）に希釈空気希釈した自動車排出ガスの一定量を通気し、容器を用いずに捕集した。ブランク測定用として希釈空気中の各成分を同様の方法により採取した。

#### イ 測定

希釈排出ガス中の CO、CO<sub>2</sub> および NOx 濃度は、希釈排出ガスの一部をテドラーバッグ内に捕集した後、自動測定装置によって測定した。THC 濃度は、希釈排出ガスをフレームイオン化検出器を用いて自動測定した。

炭化水素類は捕集管用オートサンプラー/加熱脱着装置（島津製作所製 TD1-TS）を装備した GC-MS（島津製作所製 QP-5050A）を、アルデヒド類は可視紫外吸光度検出器を装備した高速液体クロマトグラフィーを用い、いずれも既報<sup>5)</sup>の条件で測定した。また各成分の排出量は、測定した排出ガス中濃度の値から同様に測定した希釈空気中濃度（ブランク）の値を差し引いて求めた。ろ紙上に捕集した DEP は、秤量法により定量した。

## 3 結果

### (1) パターン全般での燃料消費率及び排出係数

燃料消費率（燃料 1 ℓ 当たりの走行距離）と THC、NOx、CO 及び DEP のパターン全般での排出係数に対するコールド走行の影響について検討した。

#### ア ガス状成分及び燃料消費率

今回測定した 3 台についてのホット及びコールド走行での燃料消費率と各ガス状成分及び DEP の排出係数とを図 1 に示す。

コールド走行時の燃料消費率は、全ての車種でホッ

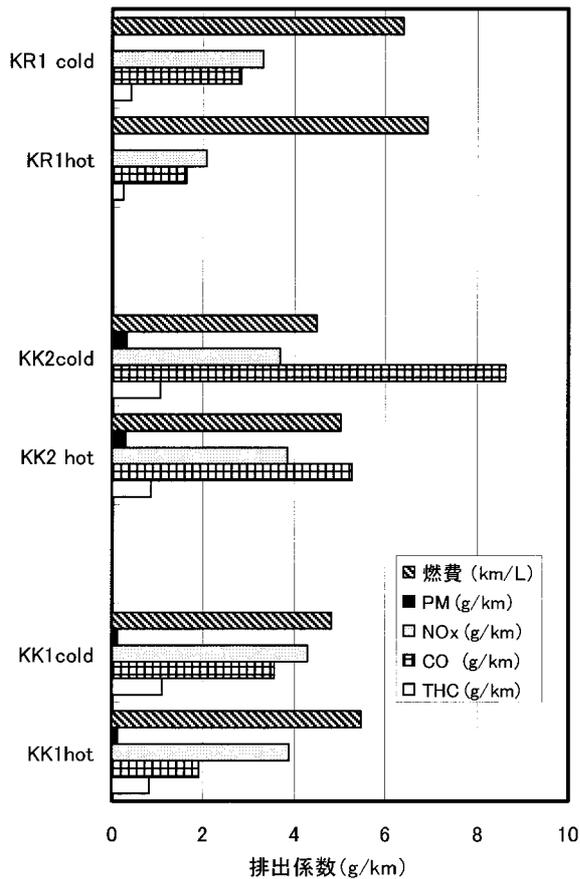


図1 ホット及びコールド走行での燃料消費率と各成分の排出係数

ト走行時に比べて約10%低下しており、車種による大きな違いは見られなかった。これは従来報告されていた結果とほぼ一致しており、エンジン冷間時の燃焼効率の低下に起因すると考えられる。

各有害成分の排出係数には、成分によりその影響の現れ方や程度に主に酸化触媒の有無に起因すると思われる違いが観察された。THC及びCO排出係数は、全ての車種でコールド走行時の方が増加する傾向を示したが、COの場合は車種に依らずコールド走行時には通常試験時の平均約 $1.8 \pm 0.1$ 倍と、酸化触媒の有無によらずほぼ同等に大幅な増加を示したのに対し、THCの場合、酸化触媒を持たないKK1及びKK2車がほぼ等しく2台の平均で $1.3 \pm 0.1$ 倍であったの 비해、酸化触媒を装着したKR1車では、コールド走行時にはホット走行時の約1.6倍と、より高い増加率を示した。これは、比較的触媒によって酸化されやすいCOの場合、排出係数が触媒温度の低下による触媒能力の低下の影響を受けにくいのに対し、炭化水素化合物の場合、酸化され易さの異なる多種の化合物が混在するため、全体の排出係数には触媒能力の低下の影

響が現れやすくホット時との差が大きくなるためと考えられる。

これに対してNOxの場合、KK1及びKK2車のコールドスタート時の排出係数はホット時に対して2台の平均が $1.0 \pm 0.1$ 倍であり、明らかな増加の傾向は見られなかった。米国FTP75モードによる検討でも、触媒を持たないディーゼル車ではコールドスタート(Phase 1)でのNOx排出係数はウォームスタート(Phase 3: Phase 2試験後、エンジン停止して600秒後に再始動しPhase 1と同じパターンを走行する)の場合と比べ、殆ど変わらなかった<sup>3)</sup>ことが報告されている。

一方、酸化触媒を装着したKR1車では、コールド走行時の排出係数はホット時の約1.6倍と大幅な増加を示した。現時点でその理由は不明だが、酸化触媒がNOxの分解に直接作用することは考えにくく、COやHCとの反応を含めた複雑な機構に起因する可能性もある。いずれにしても、今回に限らず酸化触媒を装備した車両のデータは現状では限られているため、さらに排気量や触媒の種類の異なる多くの車両についてのデータを収集し、検討を重ねる必要がある。

イ DEP 排出係数及び組成への影響

コールド走行及びホット走行時におけるDEPの排出係数及びDEP中の元素状炭素成分(EC)と可溶性有機成分(SOF)の割合の変化について検討した。

図2にKK1、KK2及びKR1車のDEP排出係数と

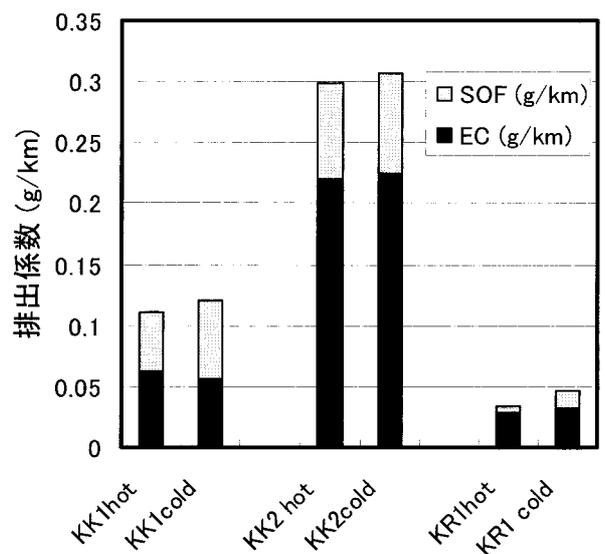


図2 ホット及びコールド走行でのDEP排出係数及び元素状炭素成分(EC)と可溶性有機成分(SOF)の比率

EC 及び SOF 量の内訳を示す。KK1 及び KK2 車でホット走行時とコールド走行時で EC 量はほぼ同等でそれほど大きな差は見られなかったのに対し、SOF 量はコールド走行時に 7 ~ 34 % 増加しており、その結果コールド走行時の DEP 排出係数がホット走行時に比べて若干高くなる傾向が見られた。これに対して酸化触媒を装着し排気量が小さい KR1 車は、他の 2 車に比べてホット走行時、コールド走行時ともに DEP の排出係数が低く、また DEP 中の SOF の比率も低いことを除けば基本的な傾向は上記 2 台とほぼ共通していた。しかし、コールド走行時の SOF 量はホット走行時の約 2.7 倍と大きく増加し、その結果 DEP の排出係数がホット走行時に比べて約 40 % 増加するという異なる傾向を示し、コールド走行の影響は他の 2 台よりも顕著であることを見いだした。

これは、コールド走行時には SOF の原因物質となる未燃の燃料成分及び不完全燃焼に起因する成分の排出量が増加することに加えて、酸化触媒装着車ではホット走行時には高い効率でこれらの成分を分解出来ているのに対し、コールド走行時には触媒温度の低下による失活で分解効率が低下するためと考えられる。

## (2) 各成分の排出状況及び排気温度の瞬時値の比較

コールド走行時には、当初室温状態にあったエンジンが始動～走行中の発熱によって暖まり、徐々に通常試験時のホット走行と同等の状態に移るため、各成分の排出状況も温度上昇に伴って徐々にホット走行時に近づくことが予想される。そこで、希釈排出ガス中の各成分濃度（排出係数に比例する）と排気管排出時点の排出ガス温度、及び車速の計測値を一秒ごとにプロットし、コールド走行時とホット走行時におけるそれらの時間変化挙動について検討した。図 3 に KK2 車（酸化触媒非装着）、図 4 に KR1 車（酸化触媒装着車）についての結果を示す。

### ア 排出ガス温度

エンジンの熱状態の変化を調べるため、ホット走行時及びコールド走行時の排出ガス温度の時間変化を調べ、比較した。なお運転状況を示すため、図 3 (a) 及び図 4 (a) には車速変化を示した。

ホット走行の場合は、試験開始時の約 150 °C から車速の増減にほぼ同期して 30 °C 程度の中で上下しながら 300 秒後程度までは時間と共に低下する傾向を示し、その後 1000 秒後まではほぼ 130 °C 前後で推移した後、

試験終了時には約 100 °C となった。試験前半に排気温度が低下する傾向を示したことは、平均車速が 17.9 km/h と比較的遅く試験前半に停止（アイドリング）状態の割合が多い No. 5 パターンにおける負荷が、試験前の暖機走行での負荷と比較して軽いことを示唆している。

これに対してコールド走行の場合、試験開始時の排気温度はほぼ試験時の大気温度に等しく、その後ホット走行時と同様に車速の増減につれて上下しながら時間と共に上昇してホット走行時の値に接近し、約 1,000 秒経過後（約 5 km 走行後）にほぼホット走行時と同様の値に収束した。なお、以上の排気温度及び変化の傾向は、排気量に依らず今回測定した車両に共通するものであった。このことは No. 5 パターン程度の走行状態（平日の都内一般道での走行に相当し、都内区部の平均車速 18.5 km に近い）では、コールドスタート後、通常試験時と同じホット走行の状態に達するまでに約 1,000 秒間、5 km の走行が必要であることを示している。

また、米国運輸省（U.S. Department of Transportation）では、米国家定走行試験パターン LA-4（平均車速 25.6mph (41.2 km/h)）による実験でコールドスタートから 505 秒後（3.59 マイル (5.78 km) 走行後）にホット走行時と同等の熱安定状態に到達したと報告しており、走行パターンや負荷、車種の違いはあるものの、今回の結果と類似した傾向が見られている。

### イ THC

希釈排出ガス中の THC 濃度は、ホット走行時、コールド走行時共に車速の変化に同期して増減し、酸化触媒を持たない KK2 車（図 3 (a)）、酸化触媒付きの KR1 車（図 4 (a)）共に試験開始時は全体的にコールド走行時の方が高い濃度を示すが、時間の経過に従って両者の差は徐々に少なくなり、約 1,000 秒後以上ではほぼ同等の値に収束した。これは、前述の排気温度の変化と一致しており、コールドスタート後のエンジン本体が冷えた状態では燃焼反応の速度・効率が低いために不完全燃焼による生成物や未燃の燃料成分が多く排出されるが、走行による発熱で徐々にホット走行時の状態に移行していることを示している。

また、収束前のホット走行時とコールド走行時の排出パターンの違いについて調べたところ、酸化触媒を持たない KK1 及び KK2 車（図 3 (a)）ではアイドリング状態での THC 濃度はホット走行時、コールド走

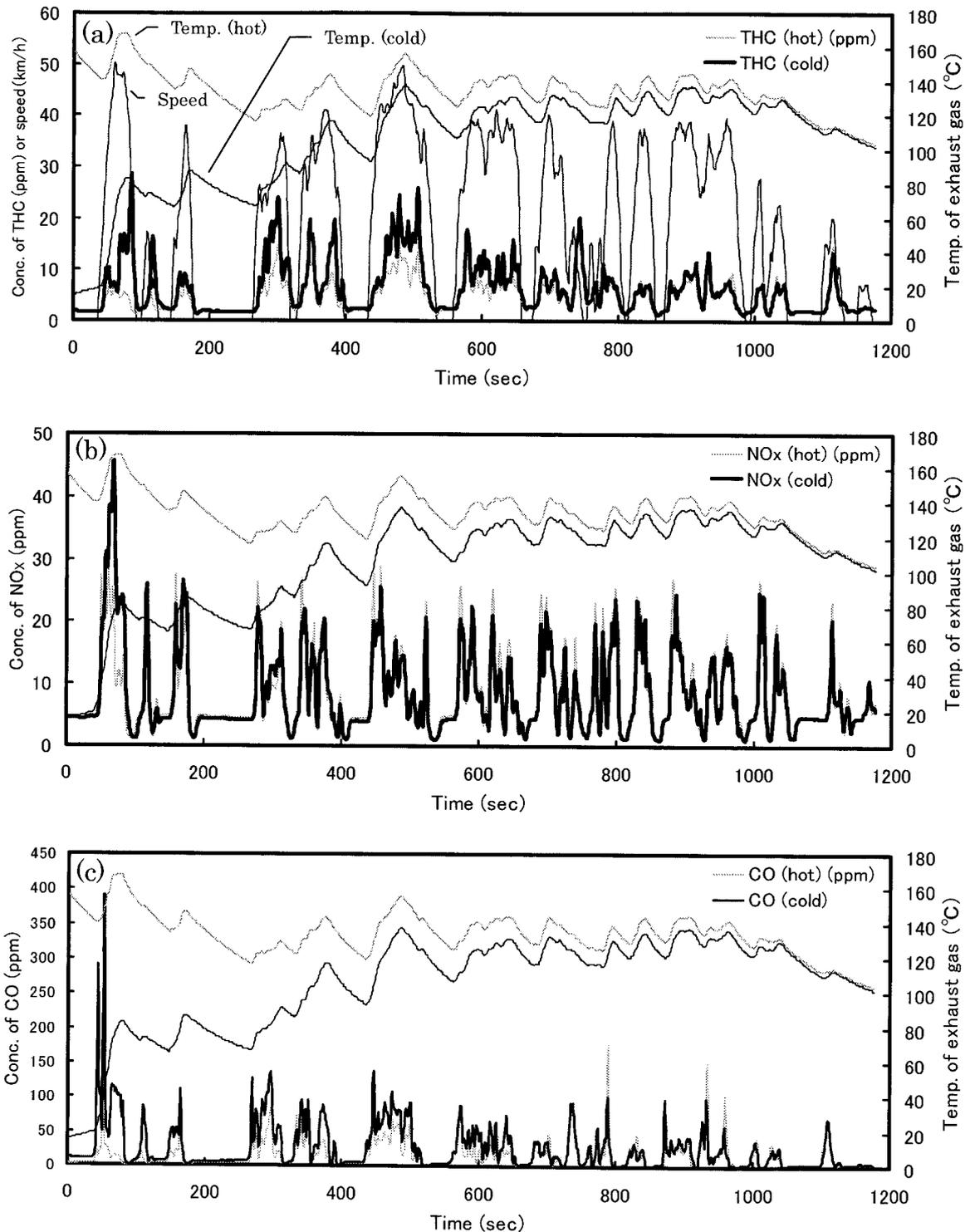


図3 KK2車におけるホット走行及びコールド走行中の排出ガス温度と希釈排出ガス中の各成分濃度の変化 (東京都実走行モードNo.5) : (a) THC ; (b) NOx ; (c) CO

行時共にはほぼ同等であったのに対し、加速時～車速の高い状態でのピーク濃度には大きな差が生じ、明らかにコールド走行時の濃度の方が高い値を示した。一方、酸化触媒付きのKR1車(図4(a))の場合は、ピーク濃度だけでなくアイドリング状態のTHC濃度も明らかにコールド走行時の方が高く、試験開始時にはホ

ット時の約5倍の濃度を示すことを見いだした。このアイドリング状態でのホット時及びコールド時のTHC濃度差も時間の経過と共に小さくなり、約1,000秒後にはコールド時とほぼ同等の値となった。

このような酸化触媒の有無によるTHC排出パターンの違いの原因は明らかではないが、排気温度から推

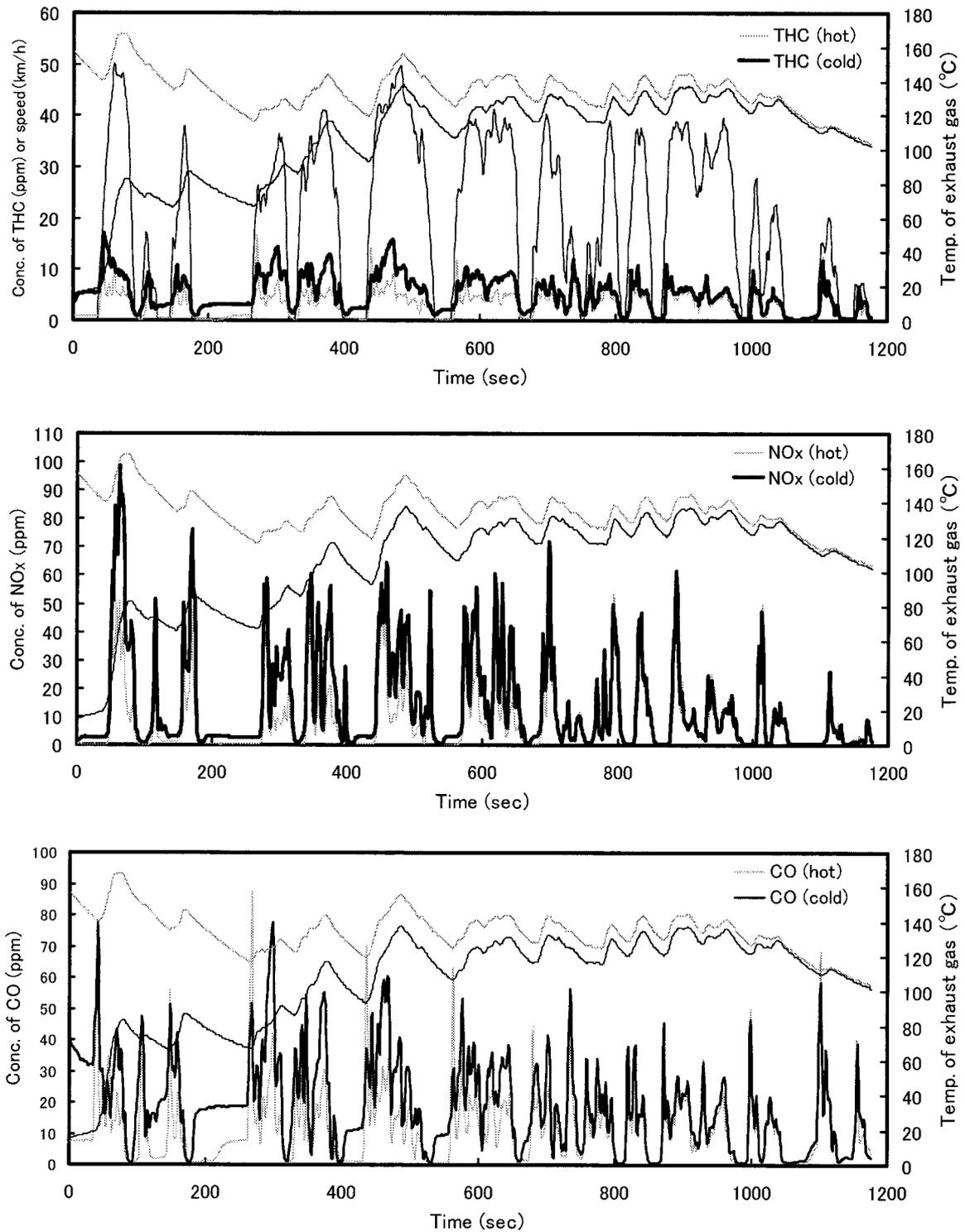


図4 KR1車（酸化触媒付き）におけるホット走行及びコールド走行中の排出ガス温度と希釈排出ガス中の各成分濃度の変化（東京都実走行モードNo.5）：（a）THC；（b）NOx；（c）CO

定されるようにコールド走行時のアイドリング状態ではホット走行時のアイドリング状態と比較して触媒温度もかなり低いと予想され、触媒の能力が十分でないために排出ガス中のHCを十分に酸化分解できないことが影響するものと考えられる。

ウ NOx

NOx濃度（図3（b）及び図4（b））も、走行状態や車両の違いに関わらず車速の変化に同期して上下するパターンを示し、KK1及びKK2車（図3（b））では、試験開始後最初の走行時（40～90秒）を除いてホット時、コールド時の濃度に大きな差は見られな

ったが、加速時～走行中に見られるピーク濃度は排気温度がほぼ等しくなる 1,000 sec 以上も含めた全期間においてホット走行時の方がわずかに高くなる傾向が見られた。一方、アイドリング時の NOx 濃度は、600 秒前後まではホット走行時の方がわずかに高くなる傾向を示したが、それ以上ではほぼ同等の濃度となった。

これに対して、KR1 車の場合 (図 4 (b)) は上述の KK1 及び KK2 車の場合と異なり、排気温度が同等となる 1,000 秒前後まではピーク時、アイドリング時ともにコールド走行時の方が明らかに高い濃度を示した。これは、(1)で述べた走行パターン全般での NOx 排出係数でもホット走行時とコールド走行時に大きな差が見られなかった他の二台と異なり、KR1 車の場合はコ

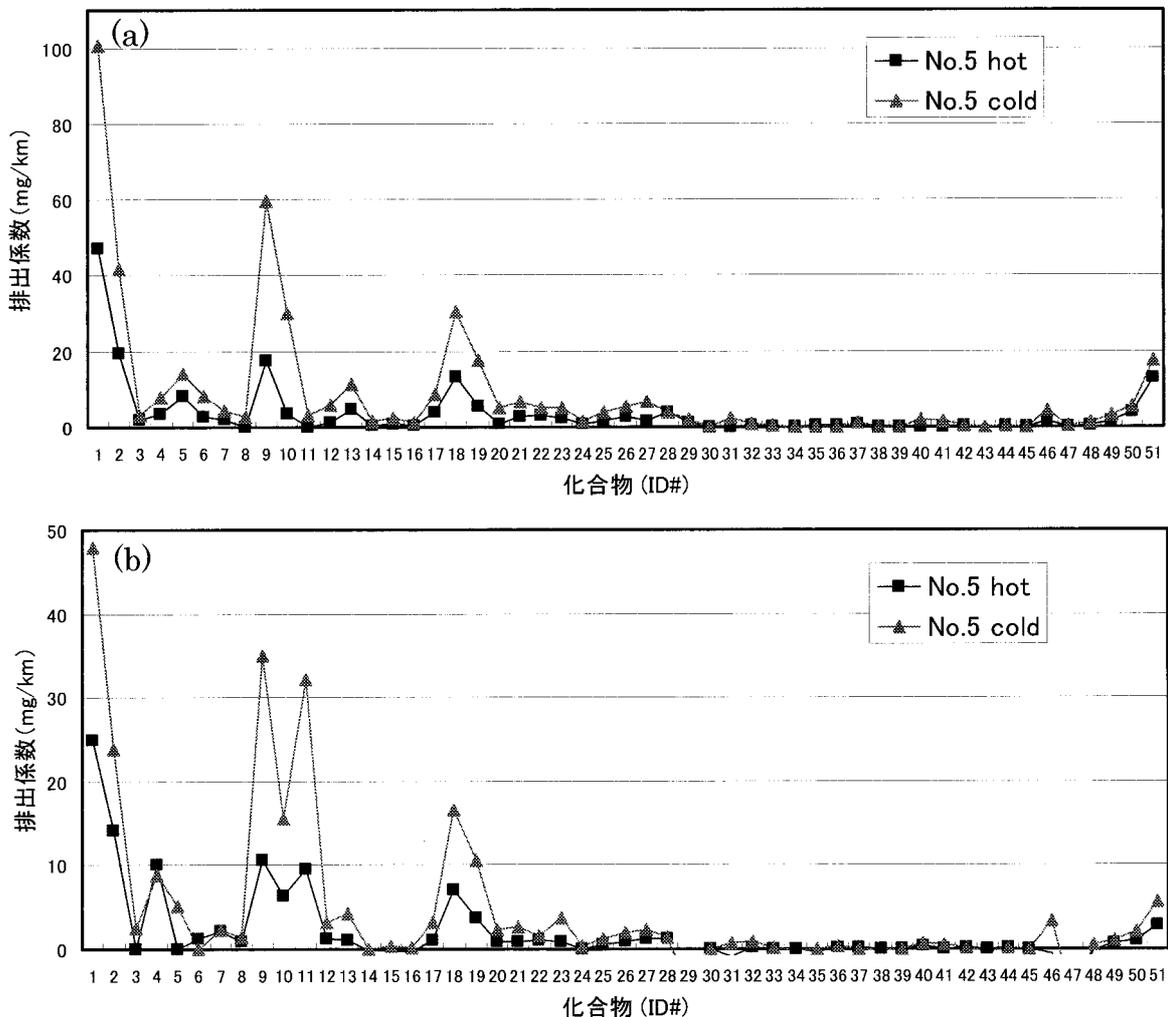
ールド走行時の方が明らかに高い値を示したことと良く一致している。

エ CO

CO 濃度も全ての車両において加速～走行時に高くなる車速の変化に同期した増減を示し、走行時・アイドリング時共に約 1000 秒後まではコールド走行時の方がホット走行時よりも高いという、ほぼ THC に類似した傾向を示した。

(3) VOC 排出パターン及び環境負荷 (発ガンリスク及び光化学反応ポテンシャル) への影響

排出ガス中の VOC 類及びアルデヒド類 (計 51 成分) の定量を行い、排出される VOC の組成 (排出パターン) に対するコールド走行の影響について検討し



- #1 Formaldehyde, #2 Acetaldehyde, #3 Acrolein, #4 Acetone, #5 Propionaldehyde, #6 Crotonaldehyde, #7 Butylaldehyde, #8 Benzaldehyde, #9 1-Butene, #10 1,3-Butadiene, #11 t-2-Butene, #12 c-2-Butene, #13 1-Pentene, #14 2-Methyl-1,3-butadiene, #15 t-2-Pentene, #16 c-2-Pentene, #17 2-Methyl-1-pentene, #18 Benzene, #19 Toluene, #20 Ethylbenzene, #21 p,m-xylene, #22 Styrene, #23 o-Xylene, #24 Isopropylbenzene, #25 Propylbenzene, #26 1,3,5-Trimethylbenzene, #27 1,2,4-Trimethylbenzene, #28 Isobutane, #29 2-Methylbutane, #30 2,2-Dimethylbutane, #31 2,3-Dimethylbutane, #32 2-Methylpentane, #33 3-Methylpentane, #34 2,4-Dimethylpentane, #35 2-Methylhexane, #36 2,3-Dimethylpentane, #37 3-Methylhexane, #38 2,2,4-Trimethylpentane, #39 2,3,4-Trimethylpentane, #40 2-Methylheptane, #41 3-Methylheptane, #42 Cyclopentane, #43 methylcyclopentane, #44 Cyclohexane, #45 Methylcyclohexane, #46 Butane, #47 Pentane, #48 Hexane, #49 Heptane, #50 Octane, #51 Nonane

図 5 ホット及びコールド走行時における VOC 排出パターンの比較 : (a) KK2 車, (b) KR1 車

た。さらに、求めた各成分の排出係数をカリフォルニアEPA (CARB) の発ガンユニットリスク値) で重み付けした「リスク評価値」と、光化学大気汚染生成能 (MIR 値：各 VOC 単位重量当りの最大生成オゾン重量)) で重み付けした「オゾン生成係数 (走行距離 1 km 当たりのオゾン生成量 (g))」を算出し、コールドスタート時の走行によって生じる環境への負荷の定量的評価を試みた。

ア 各 VOC 成分の排出係数への影響

図 5 に酸化触媒を持たない KK1 車 (図 5 (a)) と酸化触媒を装着した KR1 車 (図 5 (b)) について得られたホット走行時及びコールド走行時の VOC (51 成分) の排出パターンを示す。横軸の化合物は識別番号で表し、下部の凡例に化合物名との対応を示した (なお、この識別番号は 2004 年度年報 52P の表 2 に対応している)。

車両および走行条件に関わらず共通して高い排出係数を示したのは、アルデヒドまたはカルボニル類ではホルムアルデヒド (ID#1)、アセトアルデヒド (ID#2)、アセトン (ID#4)、プロピオンアルデヒド (ID#5)、アルケンでは 1-ブテン (ID#9)、1, 3-ブタジエン (ID#10)、t-2-ブテン (ID#11)、1-ペンテン (ID#13)、芳香族ではベンゼン (ID#18)、トルエン (ID#19)、o-キシレン (ID#23)、1, 3, 5-及び 1, 2, 4-トリメチルベンゼン (ID#26 及び ID#27)、アルカン類ではイソブタン (ID#28)、オクタン (ID#50) 及びノナン (ID#51) で、いずれもディーゼル車からの排出係数及び検出頻度が高い、ディーゼル車排出ガスに特徴的な成分<sup>5)</sup>である。また KR1 車では、ホット走行時、コールド走行時共に他の 2 台及びこれまでに測定した酸化触媒を持たないディーゼル車の結果<sup>5)</sup>と比較してアルケン類中での t-2-ブテンの割合が高い傾向が見られた。この傾向は三元触媒を装着したガソリン車の場合にも見られることと併せて、酸化触媒装着車に固有である可能性もあるが、これについてはさらに多くの車両での検討が必要である。

またコールド走行時とホット走行時の VOC パターンを比較すると、全体的にコールド走行時の排出係数の方が高くなる傾向が見られるものの全ての車両においてパターンそのものには大きな変化は見られず、コールド走行時に特異的に生成する成分の存在は確認されなかった。コールド走行時における主な排出成分の

排出係数の増加の割合は、どの車種の場合もホルムアルデヒド (ID#1) 及びアセトアルデヒド (ID#2) が約 2 倍、1-ブテン (ID#9) が約 3.5 倍、ベンゼン (ID#18) が約 3 倍、オクタン (ID#50) 及びノナン (ID#51) が約 1.5 ~ 2 倍程度と、車両による大きな違いは見られなかった。

表 2 リスク評価値及びオゾン生成係数への影響

	車両					
	KK1 (9270cc)		KK2 (7540cc)		KR1 (4570cc)	
	Hot	Cold	Hot	Cold	Hot	Cold
リスク評価値 ( $\times 10^4 \text{ m}^2$ )	338	371	901	938	106	150
Cold/hot 比	1.10		1.04		1.41	
オゾン生成係数 ( $\text{O}_3 \text{ g/km}$ )	0.93	1.82	1.13	3.08	0.75	1.91
Cold/hot 比	1.95		2.74		2.54	

イ 「リスク評価値」及び「オゾン生成係数」への影響

ホット走行時及びコールド走行時における各成分の排出係数に CARB の発ガンユニットリスクを掛けて合計したリスク評価値、及び光化学応性 (MIR 値) を掛けて合計したオゾン生成係数を算出し、コールド走行によるこれらの環境影響を評価した (表 2)。

コールド走行時のリスク評価値は全ての車種でホット走行時に比べて高い値を示したが、その増加の割合は KK1 及び KK2 車では 10 % 以下で、それほど大きな影響は見られなかった。これに対して酸化触媒を装着した KR1 車は非装着車に比べて排気量当たりのリスク評価値は低いが、コールド走行時にはユニットリスク値が最も大きい DEP の排出係数が増加したことの影響を受けてホット走行時と比較してリスク評価値は約 40 % 増加し、コールド走行時の影響がより顕著であることがわかった。

一方、オゾン生成係数は、ホット走行時にはどの車種でも 1 g/km 前後とこれまでのディーゼル車の平均 (1.1 g/km)<sup>5)</sup> とほぼ同等の値を示したのに対して、コールド走行時にはいずれの車種でも通常試験値ホット走行時の値に比べて約 2 倍から 3 倍と大きく増加し、酸化触媒の有無による車両間の差は特に見られなかった。

#### 4 おわりに

国内では大型ディーゼル車、特に最近の排出ガス対策が成された車両での有害大気汚染物質の排出に対するコールドスタートの影響に関するデータは殆ど存在せず、今後自動車の環境影響についてリアルワールドの観点からより精度良い推計を行うためには、更に検討を重ねてこれらの影響について明らかにする必要がある。

さらに、各有害大気汚染物質の排出傾向とこれに対するコールドスタートの影響においては、酸化触媒の有無に起因すると思われる傾向や挙動の違いが見られた。これまでの検討では検体数が限られるため、更なる検討が必要であるが、今回の結果の多くは酸化触媒付きの車両の場合、特にコールド走行時の排出量が通常試験時（ホット走行時）とは大きく異なることを示しており、今後、新長期規制の実施に則して酸化触媒または酸化触媒式DPFを装着した車両の増加が予想されることを考慮すると、早急にその排出実態を把握する必要があることを示唆している。

実際の利用形態を考慮すると、殆どが営業用途である大型車の場合には一度スタートすると長距離を走行するケースが多いため、全体の中でコールド走行の占める割合は小さいと考えられる（都内の営業車の1日当たりの走行距離の最多出現頻度は約100km）であり、今回の結果に基づいてコールドスタート後5kmの走行でホット走行と同じ状態に達すると仮定すると全体の5%相当）。しかし、今後の規制強化に伴って通常のホット走行状態での有害成分排出量が減少した場合、相対的にコールド走行時の排出量増加率が高くなるため、コールドスタートの寄与が大きくなる恐れがある。

一方、自家用車の台数の占める割合が多い小型車の場合は、逆に一回の走行距離が短く（都内の自家用車の日走行距離の最多出現頻度は約20km<sup>10)</sup>）、コールド走行の占める割合が高いことから小型車（ディーゼル含む）ではコールドスタートの影響がより大きく寄与すると考えられるため、今後これらについても同様の検討を行う必要がある。

#### 参考文献

1) M. Baker, Fuel Consumption and Emission Models for Evaluating Traffic Control and Route Guidance Strategies, Mater thesis,

Queen's University, Kingston, Ontario, Canada (1994).

- 2) J. Yanowitz, M. S. Graboski, L. B. A. Ryan, T. L. Alleman and R. L. McCormick, "Chassis Dynamometer Study of Emissions from 21 In-Use Heavy-Duty Diesel Vehicles", Environmental Science and Technology, 33 (2), 209-216 (1999).
- 3) T. Schmitz, D. Hassel and F. J. Weber: "Determination of VOC-components in the exhaust of gasoline and diesel passenger cars": Atmospheric Environment, 34 (27), 4639-4647 (2000).
- 4) R. Joumard and M. Andre: "Cold start emissions of traffic", Science of the Total Environment, 93, 175-82 (1990).
- 5) 村上雅彦ら：自動車排出ガス中の揮発性有機化合物の排出実態、東京都環境科学研究所年報、pp.49-56、(2004).
- 6) Intelligent Transportation Systems - Impact Assessment Framework: Final Report: U.S. Department of Transportation, Volpe National Transportation Systems Center, September 30, 1995.
- 7) U.S. EPA : CONSOLIDATED TABLE OF OEHHA/ARB APPROVED RISK ASSESSMENT HEALTH VALUE (updated Aug. 23, 2004)
- 8) 村上雅彦ら：自動車排出ガス中の炭化水素類の排出実態及びリスク評価試算、東京都環境科学研究所年報、pp.97-104 (2003).
- 9) US EPA: PROPOSED AMENDMENTS TO THE TABLES OF MAXIMUM INCREMENTAL REACTIVITY (MIR) VALUES
- 10) 横田久司ら：自動車利用形態別排出量推計手法の検討（その1）、東京都環境科学研究所年報、pp.125-132 (2003).