

京都大学 工学部 正員 西田耕之助

1. はじめに

自動車排気による大気汚染の評価、予測、ならびに防止策には、自動車の運転条件と排気成分の関係について十分な基礎資料が必要である。米国（ロスアンゼルス）では排気による汚染（光化学スモッグ）が激しい障害を頻発し、多くの研究から排気のスモッグ前駆物質が自動車の諸要因（走行様式、速度条件、車種、燃料の組成など）で大きく変化すると指摘されたが、排気成分の測定法が確立されていないためにさまざまな成績が報じられた。このため、米国では非分散型赤外分析計による方法またはこれに相当する方法で、比較的測定が容易なCO（直接人体に有害な成分）とn-hexane（スモッグ成分の指標）を測定することにより、排気の有害性を評価すると定められ、排気中のスモッグポテンシャルの高いオレフィンとn-hexane値が常に正比例すると仮定された。さらにテストサイクル、排出基準値の設定により、この測定法が排気の試験法に採用された。しかし、光化学スモッグの実質的な防止の奥から問題点も多く、測定法の改善が叫ばれている。わが国でも、排気による都市の大気汚染が軽視できない状態であるうえに、自動車の対米輸出で米国の排気規制が適用されることから、米国に準じた排気規制の実施に踏みきられた。しかし、わが国の自動車は気筒容積1,000～1,500クラスが大半で、米国（気筒容積350～600cc）とは異なり、その上都市域における自動車の走行状況も大きく異なる。それゆえ、わが国の実状における自動車排気による大気汚染の評価と、その効果的な防止のための系統的な基礎資料をえることを目的として一連の実験を行なった。

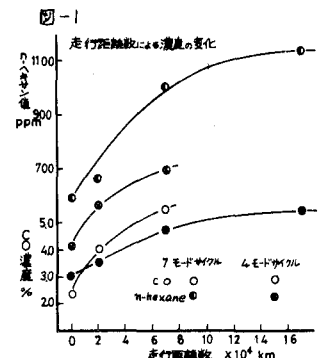
2. 自動車排気の低級炭化水素と無機ガス成分

米国とわが国で、自動車排気のテスト法に採用されたシャーレーダイナモテストによる評価は、実際の都市走行での排出状況と大巾に異なると指摘されている。そこで、都市の平坦な舗装道路上で、走行させた国産乗用の運転条件を系統的に制御して排気成分を測定した。実験車は1,500cc車（プリンススカイライン、1961年型車2台、1964年型車1台、1967年型車1台）である。実際の都市の大気汚染への貢献度の大きい中古車についての成績はつぎのとおりである。排気成分はガスクロマトグラフィーで測定し、エンジン要素の変化も検討した。アイドル時（エンジンの回転数600～4,000rpm）の測定成績からみると、一時停止に相当する600rpmでは、燃料消費率約290g/ps・h、排気温度約50℃で、排気成分濃度はCO 6.5%、炭化水素約5,100ppm、（構成比；パラフィン約36%、オレフィン約28%、アセチレン約9%）を示し、排出量はCO 1,760g/h、炭化水素206g/hで、アイドル時に多量の未燃焼成分が排出される。定速条件（10～80km/h）はトランスミッションの位置で規定したが、排気中のCO、炭化水素濃度および量はトランスミッションのシフトアップや車速の増大につれておおむね低下する。お回速（30～80km/h）では、50km/hで燃料消費率（約223g/ps・h）が最小で、燃料あたりの走行距離（7.5km/l）が最高を示した。排気成分の濃度はCO 3.1～4.6%、炭化水素約900～2,100ppm、（構成比；パラフィン約73%、オレフィン約14%、アセチレン約11%）で、排出量はCO約1600～3900g/h、炭化水素約104～142g/hである。初期速度0～50km/hから終末速度10～60km/hへの加速条件で、排気

成分の濃度はCO 2.9~8.0%, 炭化水素約1800~5200ppm (構成比: パラフィン約64%, オレフィン約22%, アセチレン約13%)を示し, 排出量はCO約1500~4600g/h, 炭化水素約250~840g/hで, 加速条件により排気組成と排出量が大幅に変化する。初期速度20~60km/hから終末速度0~40km/hへの減速条件で, 排気成分の濃度はCO 6.2~7.9%, 炭化水素約2800~8200ppm (構成比: パラフィン約60%, オレフィン約26%, アセチレン約14%)と非常に高い値を示すが, 減速時は排出ガス量が少なかったために排出量はCO約240~940g/h, 炭化水素約200~617g/hと低い。また, 減速条件で排気の組成と排出量が大きく異なる。ついで, 実験車の既走行距離数と排気成分の関係について測定し, エンジンの疲労度の影響を検討した。すなわち, 同系統の車種で新車(約150km)から約17万km走行までの4台を用いた。新車と約2万km走行車のエンジンの出力はほぼ定積値で, 約7万km走行車では出力が約11%, 約17万km走行車では約30%低下する。排気のCOと炭化水素濃度もエンジンの疲労度とともに増大し, 約7万km走行車は新車より3~5割高く, 約17万km走行車は新車の2~3倍に達する。さらに, 街路上での実測と比較するためにシャシー・ダイナモテストによる測定を行った。米国の7モードサイクルによる新車の値はCO 3.1%, n-hexane 591ppmで, 米国の規制値(CO 2.3%, n-hexane 410ppm)をこえる。既走行距離数によるサイクル値の増加傾向は(図-1)ロードテストの場合と大差がない。わが国の4モードサイクルによる測定ではCO 2.4%, n-hexane 411ppmで, 規制値(CO 3.0%)より低い。

3. 排気ガスの防止法について

自動車排気の制御法は米国で多く研究され, 米国のテスト基準から認可されているものも少なくない。しかし, それらはいずれも実用的見地から多くの問題点が指摘され, より有効, 安価, かつ構造ならびに取扱いの簡単な装置の開発がのぞまれている。本研究では都市の大気汚染に貢献度の大きい中古車の場合を含めた自動車排気の防止法で, しかも一般への普及性のある方法を見出すために最近わが国で推奨されている方式について検討した。すなわち, 吸入気



の燃焼効率の向上により, 不完全燃焼成分の排出減少を目的とした点火改良装置, 行政的見地から有効な排気対策法といわれているアイドル調整および二次空気注入装置について効果ならびに問題点を検討した。点火改良装置は従来の点火系の火花放電特性を改良する装置で, 放電初期に強力な火花点火エネルギーを与え, 混合気の燃焼初期の冷焰期間の短縮と火焰伝播速度の増進効果をもつ。実用車にこの装置を付け, 速度条件を系統的に規制したロードテスト(速度条件は前記と同じ)による測定で, アイドル時(600~4000rpm)に燃料消費が約20%節減され, 排気のCOと炭化水素の濃度は約48%, 排出量は約45%減少する。点火改良装置を付けた場合と付けない通常の場合の炭化水素濃度を図-2に示す。定速時には燃料消費が約21%節減され, 燃料あたりの走行距離は約30%増大する。排気成分の濃度の減少率はCO約39%, 炭化水素約51%で, 排出量はCO約28%, 炭化水素約40%低下する。加速条件では, 加速時間が約20%短縮して燃料利用率の増進を示し, 燃料消費は約13%節減される。排気のCOと炭化水素の濃度および排出量は約16~17%減少する。加速時の点火改良装置による無機ガス成分の濃度変化の様子は図-3に示す。減速条件では, 燃料消費が約19%減少し, 排気濃度はCO約35

%, 炭化水素約18%低下する。排出量の減少率はCO約49%, 炭化水素約22%で、減速時のCO排出が大巾に軽減される。また、同系車種で既走行距離数と点火改良装置の燃料消費、排気成分に及ぼす効果を測定した。燃料消費率の減少率は新車で約8%, 約2~17万km走行車では約14~15%を示し、排気のCOと炭化水素濃度の減少率は新車で約16~25%, 約2~7万km走行車で約20~31%, 約17万km走行車では約49~55%と半減し、点火改良装置の効果がエンジンの稼働度の大きい中古車ほど顕著である。さらに、シャーユーダイナモテストをも行なった。米国の7モードサイクルで、新車はCO 18~23%, N-hexane 360~468ppmで減少率は約30~33%を示す。アイドル調整法による不完全燃焼成分の排出減少は著しいが、この方法はあくまでもアイドルアジャストメントスクリューの異常開度を正常位置に再セットすること、最良開度よりも締め込んでCO濃度を減少させると加速時や都市走行時にエンジンの出力不足、エンストなどを起こすおそれがある。すなわち、この方式は通常のエンジン整備基準の徹底にはかならない。二次空気注入装置はアイドル時のCO濃度と燃料吸入をもっとも大きく減少させるが、マニホールドバキウムで作動するスプリング制御機構が運転条件の変化に十分追従しないため、速度が多様に変化する実際の都市走行では出足不足、加速性の低下などの欠点がある。点火改良装置を付けてアイドル調整法の手法で最良のスクリュー開度にセットした場合に最大の軽減効果がえられる。

図-2 回転数による炭化水素合計の変化 (7マイル時)

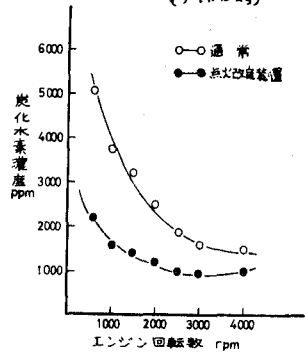
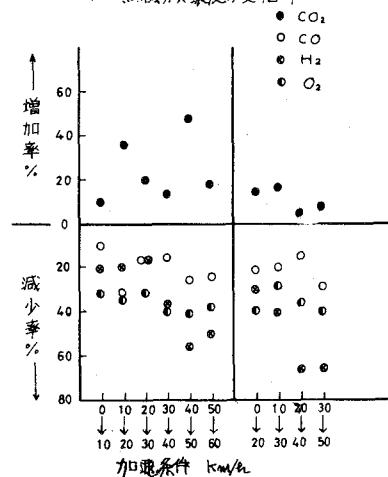


図-3 点火改良装置の取り付けによる燃機ガス濃度の変化率



4. 京都、大阪の都市域における自動車の走行パターン

自動車排気の大気汚染への貢献度の算定や都市計画的対策には、自動車の走行状態の把握が必要で、米国では都市の平均的走行パターンを11モードサイクル(のちに7モードに改編)で示し、排気テストに採用され、わが国では、4モード案が提唱された。本研究では、都市の平均的走行パターンを合理的に導く方法を検討した。すなわち、京都、大阪での走行実験の成績を解析し、実測による走行モードの遷移確率から単純マルコフ連鎖理論を適用してもっとも妥当な走行サイクルを導いた。京都、大阪では平均車速が約17~25km/hで、走行モードの時間比はアイドル25~40%, 加速22~29%, 定速18~27%, 減速17~20%で、交通量が増えると車速が低下しアイドル時間が増して定速が減少する。京都中心部について導かれた合成6モードサイクルが京都、大阪の都市域での走行様式の代表としてもっとも妥当であることをみとめた。各地区の実測と合成サイクルの時間比を表-1に、合成サイクルのパターンを図-4に示す。ついで、シャーユーダイナモテストにおける速度条件の評価係数について検討した。本研究で導かれた各合成サイクルによる排気濃度(新車)CO 2.8~3.0%, n-hexane 604~612ppmは米国の7モードサイクルと大差がなく、わが国の4モードサイクルより大である。さら

に、合成サイクルの各速度条件での排出量に、前述の街路走行による排気の成績をあてはめた。COと炭化水素のモード別排出割合はサイクルのパターンで大きく異なり、わが国の4モードサイクルでは定速時（25～44%）が最大を示す。京都、大阪の走行を代表する合成6モードサイクルでは加速時（23～36%）が最大で、アイドル（23～36%）がこれにつぐ。定速（14～23%）はやや低く、減速（9～11%）がもっとも低い。つぎに、京都の市街域について、中心部と外周部の交通密度、走行サイクルを考慮した排気成分の排出量を推定した。市街地を走行する自動車は全てガソリン車で、しかも本研究に使用した1500cc車で代表できると仮定すると、市域1km²あたりの自動車の排出量 Γ (g/km²/台/h) は $\Gamma = \frac{f_i f + f_o k + \frac{y}{x}}{(S_1 + S_2)(1 + \frac{y}{x})}$

表-1 実測と合成サイクルのモードの時間比

分類	項目	モード数	平均車速	モードの時間比 %			
				アイドル	加速	定速	減速
実測	京都中心	3～14	20.8	30.3	25.8	26.9	17.0
	京都外周	3～24	25.2	25.2	28.5	26.9	20.3
	大阪中心	3～33	17.0	40.0	22.0	18.2	19.8
従来モード	船舶技術4モード	4	—	35.0	14.0	45.0	6.0
	米國7モード	7	51.5	14.6	31.4	21.9	32.1
最適合成モード	京都中心	6	—	22.2	36.3	21.6	20.0
	京都外周	7	—	21.4	27.7	30.1	20.9
	大阪中心	6	—	32.6	30.4	12.8	24.2

ここで、 f_i 市中心部走行での排出量、g/k/台、 k 市外周部走行での排出量、g/k/台、 S_1 中心部面積km²、 S_2 外周部面積、km²、 x 中心域で存在する自動車数、台/k、 y 外周域で存在する自動車数、台/k で示され、中心部には合成6モード、外周部には合成7モードを適用し、市全域の自動車数を20～30万台/日とすると、ガソリン自動車からの排出量はCO186～191トン/日、炭化水素27～28トン/日と推定された。

5. 自動車排気による大気汚染の実状

わが国では排気成分の汚染の実態についての資料がまわめて少ないことから、大阪市と府下で比較的交通量の大きい地点（曽根崎警察署前、府立成人病センター前、堺市役所前、守口市大日交差点、阪奈道路大東ゲート）を選び、COおよび炭化水素成分に着目した測定を行なった。これらの地味での炭化水素とCO濃度は通過交通量増減とよく対応するが、測定時の地上風速がもっとも大きく影響し、有料道路では料金収納員へのCOによる障害を無視できないことをみとめた。さらに、最近建設の進んでいる長大な自動車道路トンネル内と出口付近の汚染についても測定し、トンネル出口から40～80m付近までトンネル排気流が影響することとみとめた。

おわりに、

わが国における近年のモーターリゼーションの急速な進展から、自動車にかかわる諸問題は重要な社会問題となっており、排気による大気の汚染も今後一層激化すると予想されるが、その軽減、防止についての基礎資料がまわめて少ない。本研究では、この問題について衛生工学的見地から実験的検討を加え若干の成果をえた。しかし、都市の自動車分布、排気成分と車種、都市構造（道路事情）と走行様式、気象要素と汚染度など今後の検討を待つところも多い。

図-4 代表的走行サイクル

