

JCAPからみた日本の排気規制と 大気汚染防止効果について

柴田芳昭*

日本の大気環境の現状と自動車排出ガス規制の推移を欧米の規制と比較して紹介するとともに、自動車業界と石油業界の共同研究プログラムであるJCAP (Japan Clean Air Program) の概要及び排出ガス低減技術と燃料性状の影響、それらを使った大気質シミュレーションモデルによる大気改善効果の予測結果を紹介する。

A Trend of Exhaust Emission Regulation and Ambient Air Quality in Japan through JCAP Activities

Yoshiaki SHIBATA*

This report summarizes a trend of Japanese exhaust emission regulation comparing with American and European exhaust emission standards and ambient air quality in Japan. Based on these trends, this report also shows an outline of JCAP (Japan Clean Air Program, collaboration between Auto and Oil industry), the effects of fuel properties on emission reduction technologies and a prediction of future air quality using JCAP Air Quality model.

1. はじめに

わが国の自動車排出ガス規制は世界的に見ても厳しいものになっているが、都市域沿道等の一部地域では大気環境基準が達成されておらず、一層の排出ガス低減を行うことが求められている。(財)石油産業活性化センターは石油連盟及び(社)自動車工業会の協力の基に、平成9年度から経済産業省補助金事業として「大気改善のための自動車・燃料の技術開発」プログラム(JCAP: Japan Clean Air Program)に取り組んでいる。このJCAPでは合理的に達成可能な環境負荷低減のための自動車技術と燃料技術の排出ガスへの影響に関する研究を行い、その中長期的な方向性を明確にすることを目的としている。JCAPには平成9年度から平成13年度までの5ヵ年間実施

したJCAP とそれに引き続いて平成14年度から実施中のJCAP がある¹⁾。

JCAPでは、自動車排出ガス低減のための将来自動車技術に必要な燃料技術の評価研究及びその結果を用いて大気質シミュレーションモデルによる大気改善効果の予測と効果的な改善施策の提言を行っている。本稿では日本の排気規制動向とJCAPで評価している自動車燃料技術と大気改善効果について紹介する。

2. 日本の大気環境の現状と排気規制

2-1 大気環境の現状

日本における自動車排出ガスに関連する大気汚染物質には以下のものがある。

- 【CO₂】二酸化炭素。炭素の完全燃焼で発生。地球温暖化の原因。
- 【CO】一酸化炭素。化石燃料の不完全燃焼で発生。
- 【HC】炭化水素。炭素と水素の化合物。光化学スモッグの原因。

* (財)石油産業活性化センターJCAP推進部上席主任研究員
Chief Senior Researcher, JCAP Promotion Dept.,
Petroleum Energy Center
原稿受理 2004年4月15日

【NOx】窒素酸化物。主にNOとNO₂。酸性雨や大気汚染の原因。

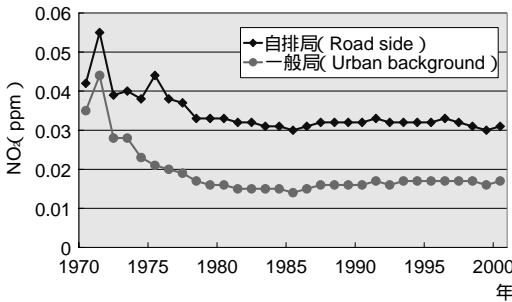
【PM】Particulate Matterの略。排気規制上の定義で、テールパイプから排出される粒子状物質。煤塵・粉塵・黒煙等。

【SPM】Suspended Particulate Matterの略。大気環境中に浮遊している微粒子。環境基準対象は粒径10μm以下。

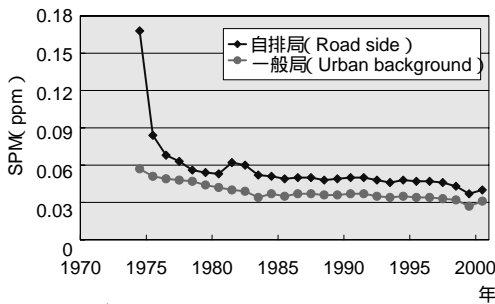
【SO₂】二酸化硫黄。硫黄を含む燃料の燃焼の排気ガスとして発生。

【オゾン】O₃(過酸化物質)。HC、NOxと反応しオゾンが生成される。光化学スモッグの原因。環境基準対象は光化学オキシダント。

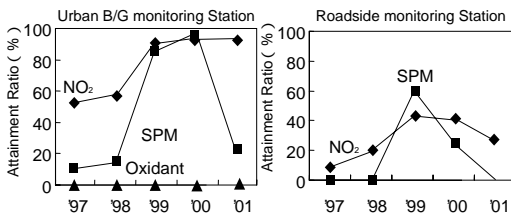
これらの物質の大気中の濃度は一般大気環境測定局(一般大気環境の汚染状況を常時監視する測定局、以下「一般局」と示す)と自動車排出ガス測定局



出典) 環境省データ。
Fig. 1 NO₂の平均濃度の推移



出典) 環境省データ。
Fig. 2 SPMの平均濃度の推移



出典) 東京都調査データ。
Fig. 3 東京都内の環境基準達成率の推移

(自動車走行による排出物質に起因する大気汚染の考えられる交差点、道路及び道路端付近の大気を対象にした汚染状況を常時監視する測定局、以下「自排局」と示す)において常時観測されている。この中で、ディーゼル車の排出ガスに関連して注目されているものが、NOxとSPM/PMである。

Fig.1、2に大気中のNOxとSPMの年間平均濃度の推移を示す。

一般局、自排局とも全国の年平均濃度は減少しているが、近年は下げ止まりの状況にある。Fig.3は東京都内における一般局、自排局における環境基準の達成率の推移を示す。都市部における達成率は依然低く、沿道大気を中心にさらなる改善が望まれる。

2-2 日本の自動車排出ガス規制について

ここでは、上述したように都市部の沿道大気環境に大きな影響を及ぼしていると考えられる自動車排出ガスの規制の推移について示す。

Fig.4はガソリン乗用車の排出ガス規制の推移を示す。縦軸は規制開始前の状況を100として排出ガスレベルをどの程度減少させる規制が行われたかを示している。1965年(昭和40年)に既に行政指導によるCO排出量の規制が始まり、1973年(昭和48年)に本格的な自動車排ガス規制を施行、1978年には昭和53年規制が施行された結果、CO、HC、NOxともに規制以前の1/10以下となった。

2000年(平成12年)からは新短期規制が施行され、

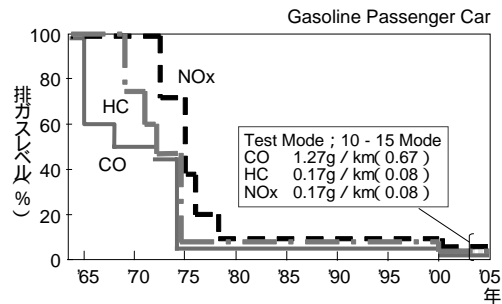


Fig. 4 ガソリン乗用車の排出ガス規制の推移

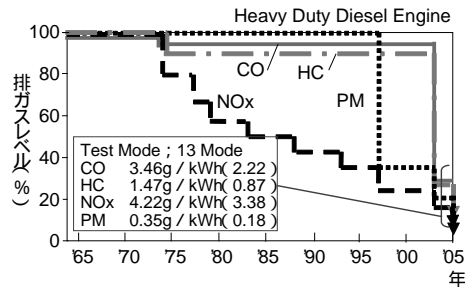


Fig. 5 大型ディーゼル車の排出ガス規制の推移

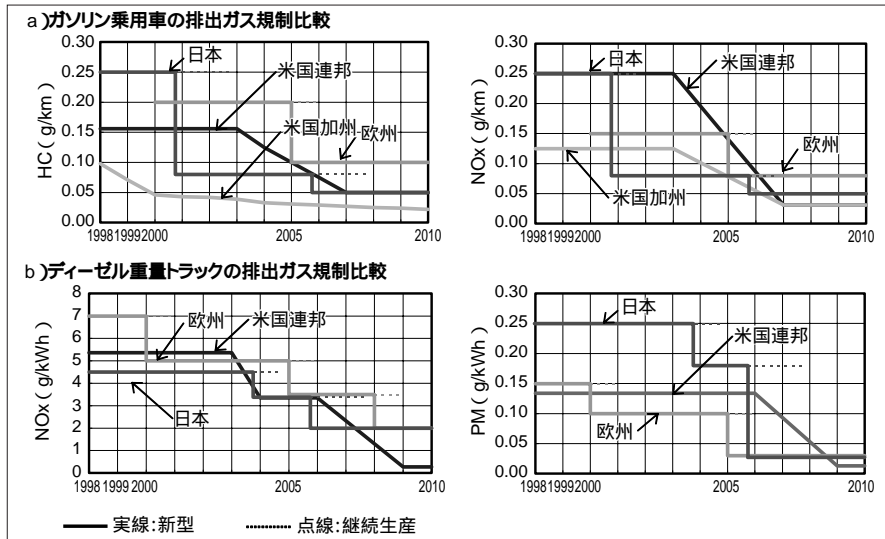


Fig. 6 日米欧の排出ガス規制値比較

2005年(平成17年)からは新長期規制が予定されている。これらにより自動車排出ガスに対する更に厳しい低減が求められており、自動車技術と燃料技術のより一層の連携が必要な状況になっている。

Fig.5は大型ディーゼル車の排出ガス規制の推移を示す。大型ディーゼル車についても1975年から規制が開始された。図から分かるように特にNOxの削減を目的として規制が行われたが、1997年になって初めてPMの排出規制が行われた。2003年(平成15年)からは新短期規制が施行され、2005年(平成17年)からは新長期規制が予定されている。さらなるNOx、PMの低減が求められている。

Fig.6は最近の排出ガス規制値の欧米との比較を示す。2005年以降はおおむね日欧米ともほぼ同レベルの規制値になることが分かる。

このように、ガソリン車もディーゼル車も規制が強化されているのに、近年は大幅な大気質の改善が見られていない。その理由の一つは、自動車保有台数は伸びつづけ、2000年には7,500万台に達している。こうした自動車保有台数の伸びが、大気質の改善を阻害しているものと考えられる。

2-3 JCAPの概要について

大気質の改善のためには、まず、自動車からの排出ガスのさらなる低減が必要である。このためには、ガソリンや軽油といった燃料品質の改良が大きな役割を果たしている。さらなる大気質の改善には、自動車業界と石油業界の協力が不可欠である。このような背景からJCAPが開始された。

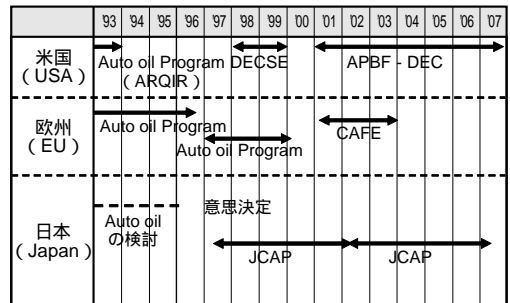


Fig. 7 日米欧のオートオイルプログラムの推移

Fig.7に、各国のオートオイルプログラムの実施状況を示す。米国では、1989年にAQIRP、いわゆるオートオイルプログラムが最初に開始された。このプログラムは米国自動車業界と石油業界の共同研究で、5年間に渡って実施された。その成果の一部として、リフォーミュレイティッドガソリンが導入された。その後、ディーゼル車の排出ガス低減技術を研究するためのDECSE(Diesel Emission Control Surfur Effect)やAPBF DEC(Advanced Petroleum Based Fuel Diesel Emission Control)が実施され、軽油の硫黄分低減に反映された。

一方、欧州では1993年にオートオイルプログラムが開始され、その成果は、欧州のEURO、EURO規制の検討に反映された。

日本でも、以前から自動車と燃料の共同研究の必要性を感じていたが、なかなか実現するまでに至らなかった。しかしながら、自動車業界と石油業界が一緒になって環境問題に対応して行くためには、欧

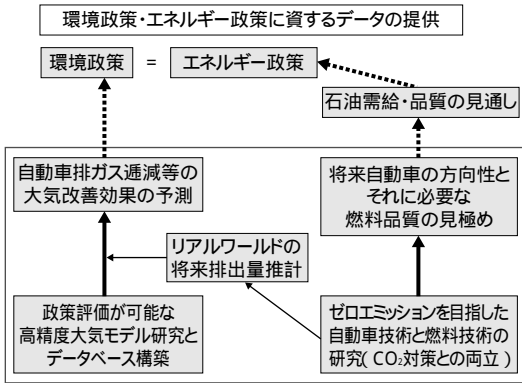


Fig. 8 JCAPの役割

米と同様な検討が必要との認識により、1997年からJCAPを開始し、現在のJCAPに至っている^{2,3)}。

JCAPの目的は、よりよい大気をめざした自動車技術と燃料技術の研究開発である。大気環境改善のための将来の自動車技術と燃料技術の見極め、新技術の導入による大気環境改善効果の予測し、大気環境改善のコスト・効果の評価による、より合理的な環境、エネルギー対策に資する技術情報を提供していくことである。Fig.8にその流れを示す。

Fig.9にJCAPの推進体制を示す。JCAPと同様に、経済産業省資源エネルギー庁の補助金事業として当センター内に産・官・学の代表者による研究委員会を設置し運営している。JCAP全体をステアリングする企画調査WGやナノ粒子研究や大気モデル研究の部分をステアリングする大気企画WGの元に、六つの技術領域毎のWGと二つ大気モデル研究

Grが実際の研究を推進している。JCAPにはなかった専門委員会では各分野の専門家の先生方から研究の技術的アドバイスを頂き、的確な成果を出すように進めている。研究計画や成果の承認は研究委員会判断頂いている。

2-4 自動車排出ガス低減技術について

JCAPにおける研究テーマ一覧表をTable 1に示す。ガソリン、軽油やオイル性状がエンジン排出ガスに及ぼす影響や最近話題になっているナノ粒子の排出について研究している。また、これらの結果を用いてより高精度な大気質予測シミュレーションモデルを開発し、低減施策の検討を行っている。

1) ガソリン車排出ガス低減技術と燃料性状影響

Fig.10にガソリン車(MPI: Multi Point Injection)の排出ガス低減技術を示す。酸素センサーと三元触媒による排出ガス浄化システムが主流である。触媒の浄化性能向上のため、触媒自身の改良や直下型触媒化、低温活性化を図っている。一方エンジンからの排出ガスそのものの改善のため、燃料噴射装置の改良も行われている。これらの技術に対する燃料性状(硫黄分、芳香族分、蒸留性状等)が排出ガスに及ぼす影響を研究している。

特に今後の燃費(CO₂)向上にガソリン直噴エンジンが有望である。燃費、出力性能に優れているが、希薄混合気による燃焼を行っている場合には、三元触媒が利用できない。排出ガス低減にはリーンNOx触媒を使用しているが、ガソリン中の硫黄分が多いと還元性能を確保するために多少燃費(CO₂)を犠牲する必要がある。JCAPのこれまでの研究で、ガソ

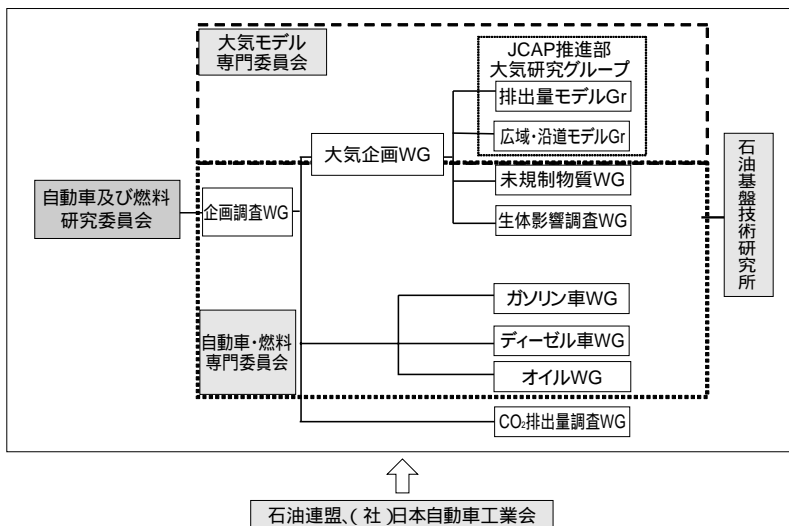


Fig. 9 JCAPの推進体制

Table 1 JCAP 研究テーマ一覧

WG	研究テーマ
ガソリン車WG	<ul style="list-style-type: none"> ・ガソリン性状の排出ガスへの影響把握 ・ガソリン硫黄分の排出ガス・燃費への影響把握 ・CO₂の削減を目指した望ましいオクタン価の把握
ディーゼル車WG	<ul style="list-style-type: none"> ・将来型の車両 / エンジンと燃料の組み合わせで、排出ガス、CO₂低減ポテンシャル評価
オイルWG	<ul style="list-style-type: none"> ・後処理装置(DPF、DeNOx触媒など)に対するオイル成分(Ash、P、S)の影響を把握
未規制物質WG	<ul style="list-style-type: none"> ・大気放出を想定した微小粒子の測定 ・燃料・潤滑油性状が微小粒子に及ぼす影響の把握 ・車両からの微量排出物質排出実態の正確な把握
CO ₂ 排出量調査WG	<ul style="list-style-type: none"> ・オクタン価向上や低硫黄化による石油精製側のCO₂排出量の増加と自動車での燃費改善(CO₂削減)との総合評価
大気モデル研究グループ	<ul style="list-style-type: none"> ・高精度な沿道・広域大気質シミュレーションプログラム ・超広域から沿道までの可変スケール大気モデル・微小粒子の生成拡散モデル・走行実態を再現できる次世代交通モデル

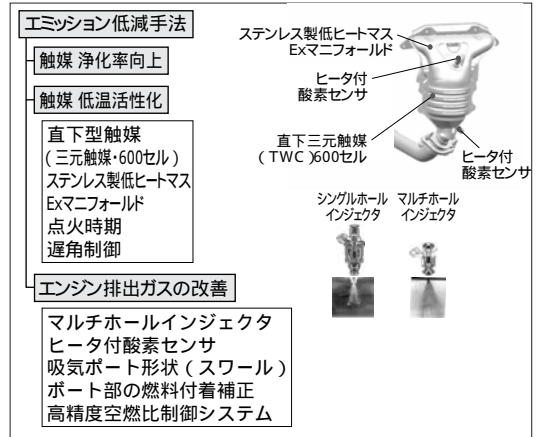


Fig. 10 ガソリン車(MPI)の排出ガス低減技術

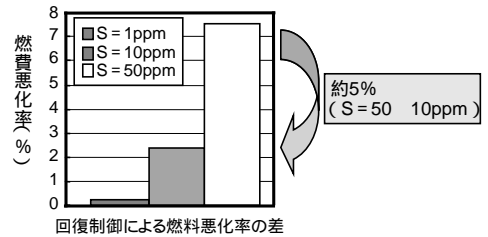


Fig. 11 ガソリン硫黄分の燃費影響

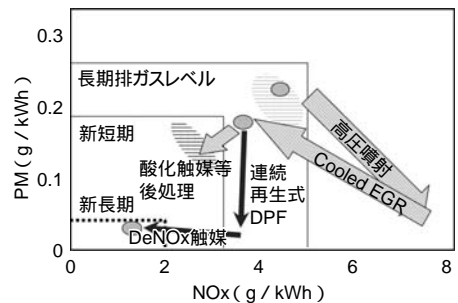
リン直噴エンジン車の場合、燃料中の硫黄分を50ppmから10ppmに低減することにより、リーンNOx触媒システムの硫黄被毒再生用に使用する燃料が減少するため、10・15モードの燃費が約5%向上出来ることが判った (Fig.11)。

また、ガソリンオクタン価と燃費(CO₂)の関係性を明らかにするために圧縮比を替えたエンジンを使用して感度解析を通じてその関係を把握し、製油所からエンジン排出までを含めた総合的なCO₂削減を目指した、望ましいオクタン価を明らかにしていく予定である。

2) ディーゼル車排出ガス低減技術と燃料性状影響

Fig.12にディーゼル車の排出ガス低減技術を示す。エンジン本体からの排出ガスを低減する技術には高圧噴射燃料噴射系を高圧化してPMを低減)やCooled EGR(Exhaust Gas Recirculation: 再循環する排気ガスを冷却してNOxを低減)がある。新短期規制や新長期規制には後処理装置が必要となる。

JCAPでは将来型排出ガス低減技術(NOx吸蔵還元型触媒、尿素SCR、連続再生式DPF)における燃料性状(硫黄分、芳香族、90%留出温度)の排出ガスへの影響を研究している。現在までの検討結果をまとめると以下ようになる。



注) エンジンベース国内13モード。

Fig. 12 ディーゼル車の排出ガス低減技術

(1) NOx吸蔵還元型触媒の硫黄分による燃費影響は50ppm S10ppm化による硫黄被毒再生頻度変更で燃費が約4%向上。

(2) NOx、PM同時浄化触媒への硫黄分による触媒のNOx吸蔵能への影響は硫黄除去を同一硫黄消費基準で実施した場合; 50ppm > 10ppm > 1ppmとなる。

3) ディーゼル車後処理装置とオイル性状影響

JCAPでは連続再生式DPF(CR DPF)やNOx吸蔵還元触媒などの後処理装置に及ぼすオイル組成の影響も研究している。

CR DPFは、エンジン油中の添加剤由来の金属分

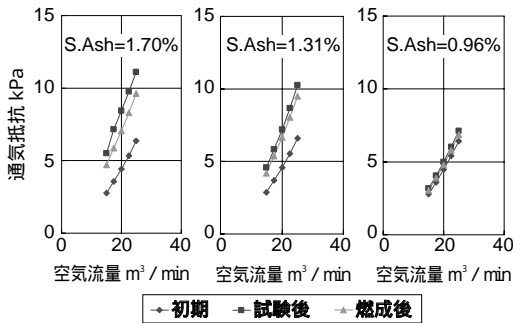


Fig. 13 オイル中のアッシュ分とCR DPFの通気抵抗

により目詰まりすることが懸念されるため、オイルアッシュ量や添加剤の種類・組成の影響について評価した。

また、NO_x吸蔵還元触媒は、エンジン油中のP、S分による被毒が懸念されるため、エンジン油中のP、S分の影響について評価する予定である。

現在までの検討結果をまとめるとCR DPFに及ぼすアッシュ分の影響は以下になる⁴⁾。

(1) オイルの硫酸灰分を低減すると、DPFのアッシ

ュ堆積量は減少し、圧損上昇も緩和される。DPFに堆積したアッシュの主成分はCaSO₄であった (Fig.13)。

(2) アッシュはDPFの下流側に多く堆積する傾向がみられ、主としてフィルター表面に堆積し、DPF壁内部への進入は少なかった。

(3) 今回検討した結果では、DPFに堆積したアッシュを逆洗エアブローで完全には除去できなかった。

2-5 大気質シミュレーションモデルについて

JCAPではエンジン暖機時の排出ガスやエバポ(燃料蒸発ガス)を含む自動車排気排出量推計モデル、交通流を考慮した交差点近傍過渡排出量推計モデル、LESに基づく沿道拡散モデル、二次有機粒子モデルを開発した。これらを用いて、関東圏、都内交差点近傍の高濃度大気汚染をシミュレーションし、新短期、新長期規制による改善効果を明らかにした。

JCAPで構築した大気モデルは、関東圏全域を5kmグリッドで計算する「広域モデル」と、交差点周辺を2~5mグリッドで計算する「沿道モデル」の二つである。

「沿道モデル」では、交通量が多く、大気汚染の厳しい交差点近傍を対象にし、ビル形状や高架道路、アンダーパスなどの複雑地形における自動車排ガスの拡散挙動を解析することを主眼とし、自排局におけるNO_x、SPMの濃度を推計した。領域全体の規模は約500m四方である。

一方、「広域モデル」は化学反応の影響を考慮するために、200kmほどの領域を対象とし、主に海陸風による大気汚染物質の流れを計算するとともに、NO_x、O₃、二次粒子の濃度を推計する(Fig.14)。

このモデルを使って2015年の大気質の改善効果を予測した結果をFig.15に示す。新長期規制まで導入すれば、2015年にはSPMに対する自動車排気の寄与度は大幅に低減するが、NO_xに対しては寄与度が残ると予測される。さらに大気環境改善が必要な場合は、自動車以外も含めNO_x低減も進める必要があることを提言した^{5,6)}。

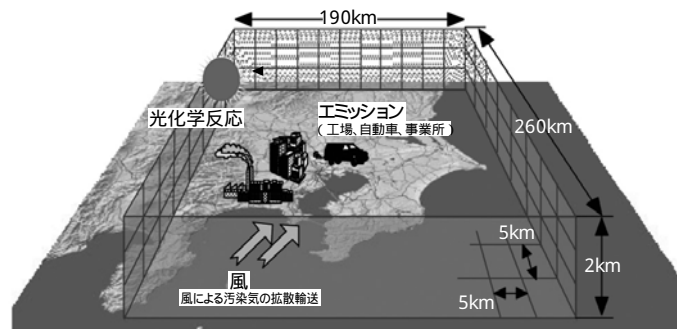
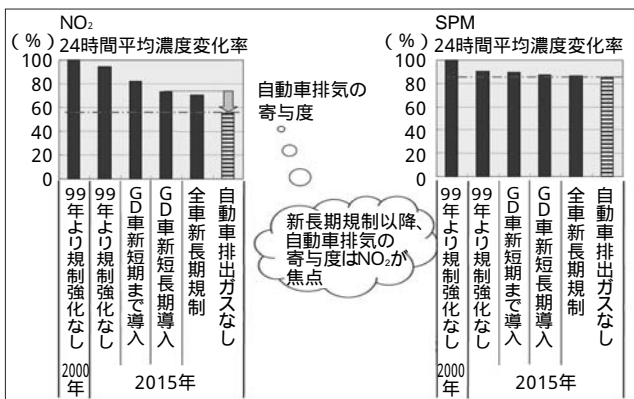


Fig. 14 広域大気モデルの計算領域



注) 冬期・自動車NO_x法規制地域平均。いずれも1999年12月10日の気象条件にて計算。
Fig. 15 2015年の大気質改善効果予測図

をさらに精度の高いデータと高度なツールとするために以下の四つのキーワードで研究を進めている。

- リアルワールドエミッションの推計
- マルチスケールモデルによる広域から沿道までの統一的な解析

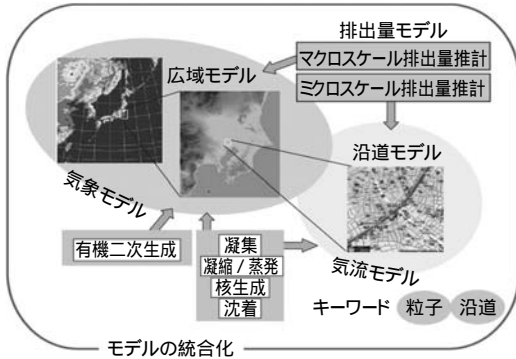


Fig. 16 JCAP 大気モデルの全体像



Fig. 17 追従走行試験



Fig. 18 沿道観測の概要

沿道における高推計精度モデルの構築
超微小粒子の動力学的な挙動解析モデル構築
Fig.16にJCAP モデルの全体像を示す。東アジアからの長距離輸送を扱え、かつ沿道モデルと連結するために東京都区部を1kmメッシュでシミュレーションする、マルチグリッドサイズモデル、実走行車両のリアルワールドエミッションを推計するマクロ/ミクロの排出量推計モデル、沿道モデルも含めて統一して扱える統合化モデル、凝集、沈着、凝縮等のプロセスをモデル化し、数濃度を推計する超微小粒子モデル等を構築している。

2 - 6 超微小粒子の研究について

JCAP では、近年、健康影響が懸念され、欧州を中心に議論がされている超微小粒子についても取り組んでいる。

現在の超微小粒子の測定には三つの課題が考えられている。一つ目の課題は測定機器の標準校正方法が未確立であるため、器差・再現性の確認が必要なこと。二つ目は微小粒子の粒径分布が排出ガスの希釈・サンプリング条件により分布が大きく変化すること。最後はエンジン技術・燃料技術の排出レベルへの影響が不明確なことである。

未規制物質WGではELPIやSMPS等の微小粒子の計測機器を国内の研究機関から広く協力を頂き、クロスチェックを実施し、計測機器間の精度や再現性の実力を評価した。

その結果、装置間で粒子径は概略一致するが、粒子数濃度の相違は大きい。また、機種ハード・ソフトが異なると粒子数濃度の相違は大きいことなどを明らかにした⁷⁾。

一方、自動車から大気放出される排出ガス中の微小粒子の実態を評価するため、テストコース上で先行する試験車の大気放出時の微小粒子を、追従走行する計測車により測定する追従走行試験やシャングアイ上の車を簡易的な風洞で覆い排出ガスを放出して微小粒子を測定する簡易風洞試験などにより微小粒子の排出実態を研究している (Fig.17)。

現在までの結果をまとめると以下ようになる。

- (1)同一粒子発生源を用いた各種測定装置のクロスチェックを実施し、SMPS、ELPIともにメーカー・仕様を統一してデータを比較する必要がある。
- (2)微小粒子の粒径分布は燃料硫黄分の低減により核モード粒子 (サルフェート由来?) の生成が抑制される傾向にあり、定常走行時における核モード粒子の生成条件は限定的である。

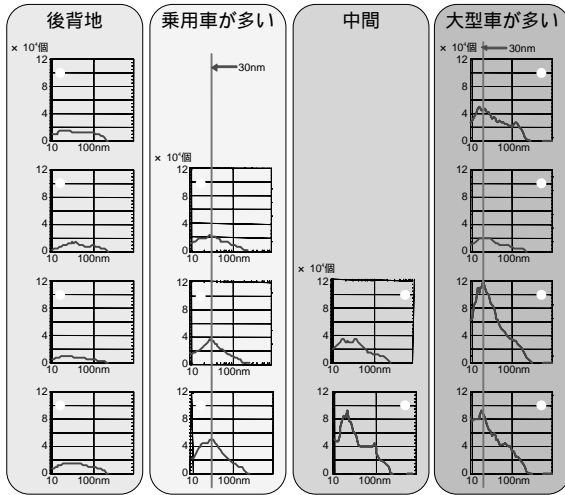


Fig. 19 測定地点別の粒子数濃度分布

(3)排出ガス後処理装置(CRT)装着及び燃料の低硫黄化により微小粒子は低減できる可能性がある。

また、ナノ粒子モデルの入力データや検証データを収集するために、ナノ粒子の沿道観測を実施している。交通環境の特徴と大気中粒子の粒径分布との関連を明確にするため、都内のさまざまな沿道環境における観測を実施した。観測地点は、交通センサスの東京都交通データの相関解析から、交通環境への影響が大きい交通量、大型車混入率、混雑時平均車速の上位と下位地点に現地踏査をふまえ、13地点でSMPS(Scanning Mobility Particle Sizer)による粒径別微小粒子状物質数濃度および気象データを測定した(Fig.18)。

各地点での数濃度分布は、形状から四つの類型に分類することができた。特に乗用車の多い地点では粒径30nmに数濃度ピークがあるのに対し、大型車混入率の高い地点では、粒径18nmに数濃度が高い分布が見られた(Fig.19)。

3. さいごに

本報告では、日本の自動車排出ガス規制と大気環境の現状、JCAPで取り組んでいる排出ガス低減技術と将来大気質予測について紹介した。紹介した内容はJCAPの各WGの技術報告書及びの研究計画に基づいたものであり、各WGの委員各位に感謝の意を表したい。また、JCAPの技術報告書及びJCAPの最新の活動状況は、次のJCAPホームページに掲載されているので参考にさせていただきたい。

http://www.pecj.or.jp/jcap/index_jcap.htm

参考文献

- 1) 柴田芳昭「JCAP の成果とJCAP の計画」『エンジンテクノロジー』第22号、P 54、2002年
- 2) 中田雅彦「オートオイルプログラムとJCAP」『エンジンテクノロジー』第16号、P 48、2001年
- 3) 小俣達雄「JCAP の活動概要とその成果」『エネルギー学会誌』第82巻、5号、P 242、2003年
- 4) 財石油産業活性化センター「連続再生式DPFの詰まりに及ぼすオイルアッシュの影響調査」『JCAP技術報告書』PEC 2003JC 01、2003年
- 5) 財石油産業活性化センター「大気モデル技術報告書(1)」『JCAP技術報告書』PEC 2001JC 04、2002年
- 6) 財石油産業活性化センター「大気モデル技術報告書(2)」『JCAP技術報告書』PEC 2001JC 05、2002年
- 7) 財石油産業活性化センター「微小粒子計測に係わるクロスチェック技術報告書」『JCAP技術報告書』PEC 2002JC 01、2003年