

# ENGINE REVIEW

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS OF JAPAN *Vol. 8 No. 2 2018*

JSAE エンジンレビュー

特 集：大気環境の現状と将来

コラム：リーンバーン



公益社団法人 **自動車技術会**

- コラム:● リーンバーン 1  
*Lean Burn*  
遠藤 浩之(三菱重工エンジン&ターボチャージャ株式会社)  
Hiroyuki Endo (Mitsubishi Heavy Industries Engine & Turbocharger)
- 『大気環境の現状と将来』特集号について 2  
*A special number "The current and future of the atmospheric environment"*  
山口 恭平((独)自動車技術総合機構)  
Kyohei YAMAGUCHI (National Agency for Automobile and Land Transport Technology)
- 『今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について (第十三次答申)』の概要及び今後の検討課題について 3  
*"Future Policy for Motor Vehicle Emission Reduction (Thirteenth Report)" and Issues to be Considered in the Future.*  
松川 尚生(環境省)  
Hisao Matsukawa (Ministry of the Environment)
- 給油時, 駐車時燃料ガスの発生メカニズムと対策 8  
*Mechanisms of Refueling and Evaporative emissions and there prevention techniques*  
山田 裕之(東京電機大学)  
Hiroyuki Yamada (Tokyo Denki University)
- 自動車から排出される未規制物質の現状 14  
*Current unregulated emissions from vehicles*  
岡山 紳一郎(一般社団法人日本自動車工業会将来エミッション評価分科会)  
Shinichiro Okayama (Japan Automobile Manufacturers Association, Inc. Future Emission Evaluation Experts Group)

■ JSAE エンジンレビュー編集委員会

委員長: 飯田 訓正(慶應義塾大学)

副委員長: 村中 重夫(元・日産自動車)

幹事: 飯島 晃良(日本大学)

委員: 遠藤 浩之(三菱重工エンジン&ターボチャージャ)

大西 浩二(日立オートモティブシステムズ)

金子 タカシ(JXTG エネルギー)

菊池 勉(日産自動車)

小池 誠(豊田中央研究所)

小酒 英範(東京工業大学)

清水 健一(元・産業技術総合研究所)

下田 正敏(元・日野自動車)

西川 雅浩(堀場製作所)

野口 勝三(本田技術研究所)

平井 洋(日本自動車研究所)

細谷 満(日野自動車)

山口 恭平(自動車技術総合機構)

山崎 敏司(編集)

発行所: 公益社団法人 自動車技術会

発行日: 2018年4月5日

発行人: 石山 拓二(京都大学)

〒102-0076 東京都千代田区五番町 10-2

電話: 03-3262-8211

ENGINE REVIEW

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS OF JAPAN

Vol. 8 No. 2 2018

● コラム

## リーンバーン

*Lean Burn*



遠藤 浩之

Hiroyuki Endo

三菱重工エンジン&ターボチャージャ株式会社

Mitsubishi Heavy Industries Engine & Turbocharger

最近、レース用エンジンがリーンバーンになっているらしいとの話は聞いていたが、先日行われた第 28 回内燃機関シンポジウムのフォーラムでの NISMO の講演論文<sup>1)</sup>を読んで納得できた。ポイントは、従来は出力制限が空気流量を制限するエアリストラクターだったものが、燃料流量制限に変わっているということだ。燃料流量制限となると、出力を出すには熱効率を上げていくしかない。熱効率を上げるには当然リーンバーンとなる。さらに最近のレース用エンジンはターボ過給が前提なので、空気流量を制御する自由度がある。筆者には詳細は分からないが、最近のフォーミュラー1用のエンジンでは、トーチジェット燃焼まで使ってリーンバーンでの高速燃焼を行っているとの噂もある。

このトーチジェット燃焼によるリーンバーンは、自動車用としてはホンダの CVCC が良く知られている<sup>2)</sup>が、産業用としては都市ガスを使った発電用ガスエンジンとして、実用化されている。2000 年からはミラーサイクルと組み合わせて発電効率 40%を実現<sup>3)</sup>。現在では発電効率 45%も目前に迫っており<sup>4)</sup> 同クラスのディーゼルエンジンよりも高い熱効率を実現している。ガスエンジンは予混合火炎伝播燃焼なので、リーンバーンでは燃焼が遅く、拡散燃焼のディーゼルエンジンより燃焼期間が長くなるのではと考えるのが一般的であるが、トーチジェット方式の場合は、副室内に量論比近傍の混合気を形成して火花点火し、副室噴口から燃焼ガスを主室内に噴出させるため、主室側からみると多点点火になっている。このため、主室側の空気過剰率が 2.0 近傍の希薄な条件でも燃焼期間は短く、等容度が高い燃焼が実現でき、結果として熱効率を高めることができる。

乗用車用ガソリンエンジンの世界でもやはり 1990 年代にリーンバーンが流行ったが、現在ではほぼストイキ燃焼が中心となっている。しかし今後、乗用車におけるレシプロエンジンの役割として発電用が主流になってくると、熱効率が最重要になってくる。そうするとガソリンエンジンでも、再びリーンバーンの時代が来るのではないか。そうすると産業用ガスエンジンの燃焼技術は実は進んでいるかも。そうは言っても三元触媒が使えなくなるので脱硝は問題だなあ。とか考えているところである。

ちなみに写真の MotoGP マシンは無過給なのでリーンバーンではないと思いますが、どなたかご存知の方教えてください。

### 【参考文献】

- 1) 松村,石川,星野、「レース用高負荷希薄燃焼におけるガス流動と混合気形成」、第 28 回内燃機関シンポジウムにて発表、2017 年 12 月
- 2) <http://www.honda.co.jp/50years-history/challenge/1972introducingthecvcc/index.html>
- 3) <http://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/384/384206.pdf>
- 4) <http://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/541/541044.pdf>

## 『大気環境の現状と将来』特集号について

*A special number "The current and future of the atmospheric environment"*

山口 恭平

Kyohei YAMAGUCHI

(独)自動車技術総合機構

National Agency for Automobile and Land Transport Technology

日本における自動車の歴史を振り返ると、経済発展とともにモータリゼーションが到来し、自動車の排出ガスに起因した大気汚染が深刻化した過去がある。その対策として、1966年(昭和41年)に排出ガス規制が国内に初めて導入された。国内初の排出ガス規制はガソリン車を対象に一酸化炭素(CO)の排出濃度を規制するものであったが、それ以降、規制対象成分や規制値、試験方法についても変更がなされ、順次強化されてきた。自動車メーカー等による尽力があつて、今日までに自動車の排出ガス性能は大幅に向上し、大気環境は改善されてきたところである。そのような状況下において、排出ガスに関する現在の課題は次の二点が挙げられる。

①台上走行と路上走行における排出量の乖離

②燃料蒸発ガスや粒子状物質(PM)、未規制成分への対応

まずは台上走行と路上走行における排出量の乖離である。2015年9月に発覚したフォルクスワーゲン社による排出ガス不正事案を受けて国内で実施された検証試験では、路上走行時の窒素酸化物(NOx)排出量は台上試験時の排出量に比べ、増加傾向を示す車両が多いことが明らかとなった<sup>(1)</sup>。その結果等を踏まえ、国内においては現在、路上走行検査の導入に向けた準備が進められている。関連する内容を既に発刊済みのJSAE エンジンレビュー Vol.7 No.5 2017<sup>(2)</sup>において特集しているので、詳細はそちらを参照されたい。

二点目の課題として、燃料蒸発ガスや粒子状物質(PM)、未規制成分への対応がある。自動車に起因した大気汚染物質として、これまではCOやNOxが取り上げられるケースが多かったが、昨今では、燃料蒸発ガスやPMが大きく取り上げられ、注目されている。また、COやNOxをはじめとする規制対象成分の排出レベルが低下するに伴い、アンモニア(NH<sub>3</sub>)や亜酸化窒素(N<sub>2</sub>O)などの未規制成分に対する関心も高まりつつある。

そこで、本特集においては、排出ガス規制等に関する今後の方向性をはじめに、燃料蒸発ガスや粒子状物質、未規制成分についても取り上げ、3名の専門家に解説記事を執筆頂いた。本特集が、自動車の更なる技術向上や将来のよりよい環境を作り上げていく上での一助となれば幸いである。

### 【参考文献】

- 1) 国土交通省・環境省 発表資料、排出ガス不正事案を受けたディーゼル乗用車等検査方法見直し検討会資料、  
[http://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha\\_tk10\\_000035.html](http://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_tk10_000035.html), (参照2017.12.12),  
[http://www.env.go.jp/air/car/conf\\_diesel/post\\_9.html](http://www.env.go.jp/air/car/conf_diesel/post_9.html), (参照2017.12.12)
- 2) JSAE エンジンレビュー 特集:「Real Driving Emission(RDE)」, Vol.7 No.5 2017,  
[https://www.jsae.or.jp/engine\\_rev/engineview\\_07\\_05.php](https://www.jsae.or.jp/engine_rev/engineview_07_05.php), (参照2017.12.12)

# 『今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について(第十三次答申)』の概要及び今後の検討課題について

“Future Policy for Motor Vehicle Emission Reduction (Thirteenth Report)” and Issues to be Considered in the Future.

松川 尚生

Hisao Matsukawa

環境省

Ministry of the Environment

## 1. はじめに

平成8年5月21日に環境庁長官から中央環境審議会に諮問された「今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について」を受けて、中央環境審議会はこれまでに中間答申(平成8年10月18日)から第十二次答申(平成27年2月4日)まで累次答申を行ってきた。

第十二次答申で挙げられた3つの課題(二輪車の排出ガス低減対策、ガソリン直噴車の粒子状物質対策及び燃料蒸発ガス低減対策)について、平成27年10月1日より中央環境審議会にて検討を開始し、平成29年3月22日の第59回自動車排出ガス専門委員会において報告書案をとりまとめ、平成29年5月31日に中央環境審議会から環境大臣へ第十三次答申<sup>①</sup>がなされた。

本稿では、第十三次答申の概要に加え、検討の背景及び今後の検討課題について紹介する。

## 2. 二輪車の排出ガス低減対策について

### 2.1. 我が国における二輪車規制の経緯

二輪車の排出ガス規制については、中間答申に基づき、軽二輪及び第一種原動機付自転車においては平成10年10月1日より、小型二輪及び第二種原動機付自転車においては平成11年10月1日よりCO、HC及びNO<sub>x</sub>の排出ガス規制が導入された。その後、第六次答申(平成15年6月30日)に基づき、排出ガス許容限度目標値の強化が行われた。さらに、第十一次答申(平成24年8月10日)に基づき、国連欧州経済委員会自動車基準調和世界フォーラム(以下「UN-ECE/WP29」という。)において策定された二輪車の世界統一試験サイクルであるWMTC(World-wide motorcycle test cycle)が導入されるとともに、排出ガス許容限度目標値の強化が行われている。

### 2.2. モード走行に係る排出ガス試験サイクル及び許容限度目標値

我が国におけるモード走行に係る排出ガス試験サイクルについては、2.1で述べたとおりWMTCを採用している。

許容限度目標値については、欧州において平成32年から規制予定であるEURO5の規制値について、いずれの規制物質においても、国内の自動車製作者等において技術的に対応が可能であることが確認された。よって、第十三次答申において、排出ガス許容限度目標値についてはEURO5と同様、Table.1のとおりとし、EURO5の適用時期を踏まえ、平成32年末までに適用を開始することが適当であると示された。

Table.1 二輪車のモード走行に係る排出ガス許容限度目標値

自動車の種別	許容限度目標値(平均値)				
	CO [g/km]	THC [g/km]	NMHC [g/km]	NOx [g/km]	PM <sup>※1</sup> [g/km]
二輪自動車 及び原動機 付自転車	1.00	0.10	0.068	0.060	0.0045

※1 直噴車に限る

### 2.3. アイドリングに係る排出ガス許容限度目標値

アイドリング規制については、我が国では、CO と HC について規制を行っているが、欧州では従来、CO のみ規制を行っており、HC については規制を行っていない。国際基準調和の観点から HC 規制を廃止するか否かについては、我が国における最新規制適合車の使用過程におけるアイドリング時の排出ガスレベルを見極めた上で判断する必要がある。

一方、CO について EURO5 の規制値は、国内の自動車製作者等において、技術的に対応可能であることが確認されている。よって、第十三次答申において、アイドリングに係る CO の排出ガス許容限度目標値については、EURO5 と同様、Table.2 のとおりとし、適用開始時期は、モード走行に係る排出ガス許容限度目標値と同様、平成 32 年末までに適用を開始することが適当であると示された。

Table.2 二輪車のアイドリングに係る許容限度目標値

自動車の種別	許容限度目標値	
	CO [%]	HC [ppm]
二輪自動車	0.5	1,000
原動機付自転車	0.5	1,600

## 3. ガソリン直噴車の粒子状物質(PM)対策について

### 3.1. 我が国における粒子状物質規制の経緯

我が国における PM 規制の経緯として、平成 6 年の短期規制よりディーゼル車に対する PM 規制が導入された。また、吸蔵型 NOx 還元触媒を装着した希薄燃焼方式の筒内直接噴射ガソリンエンジンを搭載した車(以下「リーンバーン直噴車」という。)の一部の車種では、DPF を装着したディーゼル車と同程度以上に PM が排出される実態があった。このことから、平成 21 年のポスト新長期規制からリーンバーン直噴車に対しても、ディーゼル車と同等の規制を導入した。

### 3.2. ストイキ直噴車の PM の排出実態及び低減対策

近年、国内で生産されているガソリン車においては、三元触媒が利用できる理論空燃比で燃焼する方式の筒内直接噴射ガソリンエンジンを搭載した車(以下「ストイキ直噴車」という。)が増加している。環境省が平成 27 年に実施した調査結果によると、ストイキ直噴車の PM の排出量は、既に規制が導入されているディーゼル乗用車の排出量を上回っている(Fig.1 参照)。UN-ECE/WP29 において策定された乗用車等における世界統一試験サイクルである WLTP(Worldwide

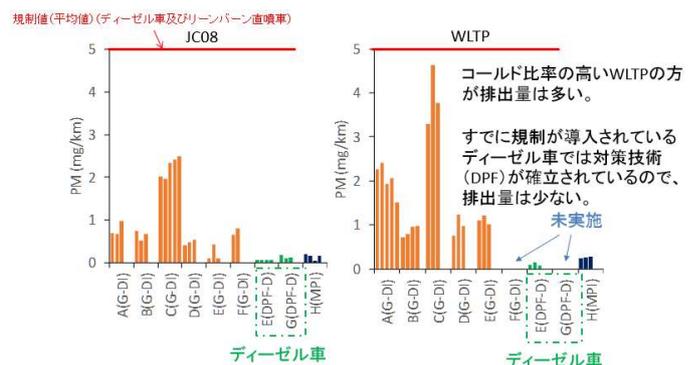


Fig.1 ストイキ直噴車の PM 排出量

harmonized Light vehicles Test Procedure)における排出量は、コールドスタートの影響等により、従来の JC08 モードを用いた試験法よりも、さらに大きな排出量となっている。

一方、調査対象車種のストイキ直噴車では、ディーゼル乗用車及びグリーンバーン直噴車の規制値を下回っていることから、第十三次答申では、ストイキ直噴車に対してもディーゼル車及びグリーンバーン直噴車と同水準の規制を導入することとし、排出ガス試験サイクルを含む排出ガス試験法については、WLTP(重量車にあつては JE05 モード)を適用し、PM の許容限度目標値については、ディーゼル乗用車及びグリーンバーン直噴車の規制値と同様、Table.3 のとおりとし、平成 32 年末までに適用を開始することが適当であると示された。

Table.3 ガソリン直噴車の排出ガス許容限度目標値

自動車の種別	許容限度目標値(平均値)
	PM
ガソリン・LPG 乗用車、ガソリン・LPG 軽貨物車及びガソリン・LPG 軽量車	0.005 [g/km]
ガソリン・LPG 中量車	0.007 [g/km]
ガソリン・LPG 重量車	0.010 [g/kWh]

#### 4. 燃料蒸発ガス低減対策について

##### 4.1. 給油時の燃料蒸発ガス低減対策

燃料蒸発ガス低減対策には、給油所への荷卸し時に排出される燃料蒸発ガス低減対策(Stage1)、自動車への給油時に排出される燃料蒸発ガス対策(給油所側における対策(Stage2)及び自動車側における対策(ORVR))並びに自動車の駐車時に排出される燃料蒸発ガス低減対策がある(Fig.2 参照)。

Stage1 は、欧米及びアジア諸国では既に対策が導入されており、国内においても都市部の自治体を中心に条例により導入が進んでいる。ORVR は、米国では導入されているものの、欧州及びアジア諸国では既に Stage2 の整備が進んでおり、ORVR 規制が導入される見込みはない状況である。特に我が国及び欧州は、UN-ECE/WP29 において国際基準調和の中心的役割を担っており、積極的に国際基準を国内、域内へ導入している。このような中、ORVR 規制を導入した場合、改造等での対応は不可能であり、設計・製造段階から抜本的な作り分けが必要となるため、日欧が主導する国際基準調和活動と整合しないこととなる。

Stage2 は、ORVR に比べて費用対効果に優れているとともに、既に国内でも対応機器が実用化され、導入例がある。しかしながら、燃料小売業は、規制対象の他業種と比較して、事業所当たりの VOC 排出規模が小さく、法的規制として導入することが合理的でなく、小規模な給油所にとっては、費用負担が大きいことから、第十三次答申においては、給油時の燃料蒸発ガス対策について燃料小売業界により自主的取組計画を策定し、Stage2 の導入を促進することが適当であると示された。

##### 4.2. 駐車時の燃料蒸発ガス低減対策

自動車の駐車時においては、燃料タンクに充滿している燃料蒸発ガスが温度変化により膨張するとともに、液相の蒸気圧が上がり蒸発が促進され、一部が排出される他、燃料配管のゴム材質の部分等から透過したガソリンが蒸発することによっても燃料蒸発ガスが発生する。前者は、自動車に搭載されたキャニスタがタンクから排出された燃料蒸発ガスを吸着することで低減でき、キャニスタを大容量化する等吸着性能を向上しつ

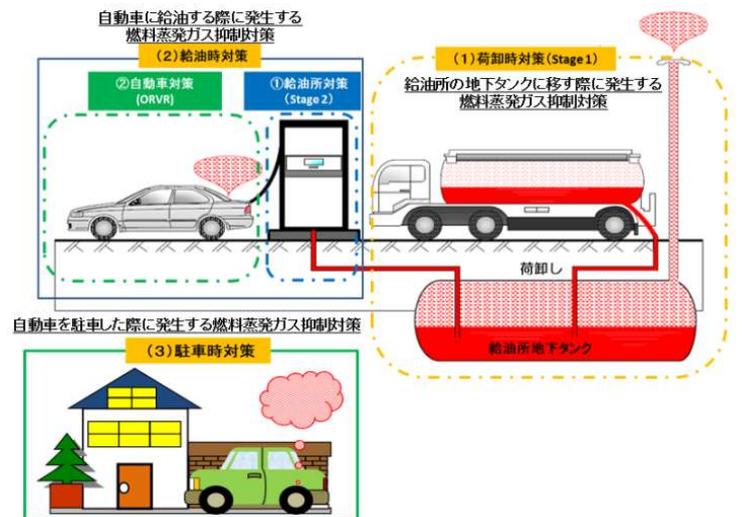


Fig.2 燃料蒸発ガス低減対策

つ、キャニスタに吸着された燃料蒸発ガスをエンジンに吸引する能力を向上させることにより、更なる低減が期待できる。後者は、燃料配管のゴム材質をより透過しにくいものに変更することで低減できる。

第十三次答申では、より長期間の駐車に耐え得る大容量のキャニスタを搭載することを目的として、駐車試験日数を現行の1日から2日へ延長するとともに、より透過しにくいゴム材質へ変更することを目的とし、排出ガス許容限度目標値を、2日あたり2gとすることが適当であると示された。また、パーシクル走行サイクル(キャニスタに吸着された燃料蒸発ガスをエンジンに吸引するための自動車のサイクル)を国際的に統一された試験サイクルであるWLTC(Low, Medium, High, Medium)を用いることが示された。

## 5. 次期答申に向けた検討状況

第十三次答申及び報告で示された今後の検討課題のうち、微小粒子状物質等に関する対策、アイドリング規制の見直し及び特殊自動車の排出ガス低減対策については、平成29年12月より自動車排出ガス専門委員会において検討が開始された。これらの検討課題のとりまとめは、平成32年前半を目途に行われる予定である。

### 5.1. 微小粒子状物質等に関する対策について

欧州では、PM粒子数(PN)規制がディーゼル重量車を除くディーゼル車に対して平成23年から実施され、ディーゼル重量車に対しては平成24年から実施されている。さらに、ガソリン又はLPGを燃料とする乗用車のうち直噴車に対しては平成26年から、ガソリン又はLPGを燃料とする小型商用車のうち直噴車に対しては平成27年から実施されている。

我が国において従来のPM規制における測定法は、フィルターの重量を測定する手法であり、測定精度の問題から、規制値の大幅な引き下げは困難である。また、環境省の平成27年度に実施した調査結果によると、PM重量とPM粒子数には一定程度の相関関係があり(Fig.3参照)、欧州の現行のPM粒子数の規制値( $6 \times 10^{11}/\text{km}$ )をPM重量に換算すると、現行のPM重量の規制値と比べ10分の1程度の排出量となる。したがって、PM粒子数を導入すれば、実質的にPM排出量を大幅に引き下げることが可能である。今後の検討課題として、我が国の環境基準達成状況及びPMの排出実態を踏まえつつ、PM粒子数規制の導入を検討する。

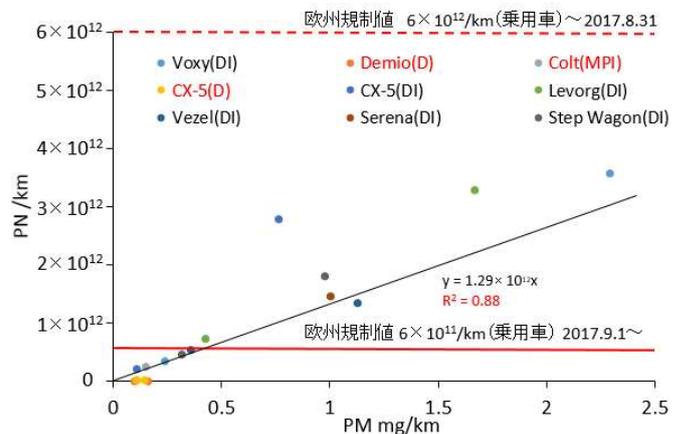


Fig.3 PMの重量と粒子数との相関関係

### 5.2. アイドリング規制の見直し

排出ガス低減対策として、触媒等の排出ガス低減装置が必要であるが、これらが十分な耐久性を有していない場合、使用過程においてその性能が劣化し、排出ガスの量が増大することが懸念される。このような使用過程におけるガソリン又はLPGを燃料とする自動車の排出ガス低減装置の適正な機能を確保するため、アイドリング規制が実施されており、二輪車については第十三次答申(平成29年5月)、四輪車については中間答申(平成8年10月)、特殊自動車については第六次答申(平成15年6月)において、アイドリング規制が導入、強化されている。

今後の検討課題としては、我が国の最新規制適合車の排出レベルを見極めた上で、四輪車及び特殊自動車のCO規制値強化等について検討する。

### 5.3. 特殊自動車の排出ガス低減対策について

特殊自動車に関する排出ガス規制については、平成15年から公道を走行するオンロード特殊自動車のうちディーゼル特殊自動車に対して、大気汚染防止法及び道路運送車両法の枠組みにおいて規制を実施している。その後、第六次答申に基づいて平成18年からオンロード特殊自動車のうちガソリン又はLPGを燃料とする特殊自動車及びオフロード特殊自動車に対して、大気汚染防止法、道路運送車両法及び特定特殊自

自動車排出ガスの規制等に関する法律の枠組みにおいて、規制強化を行ってきたところである。

今後の検討課題としては、ディーゼル特殊自動車については、大気汚染状況、排出ガス寄与度、技術開発状況及び国際動向等を踏まえ、必要に応じて排出ガス規制の強化を検討する。また、ガソリン・LPG 特殊自動車については、現行試験サイクルである C2 サイクル(定常サイクル)を見直し、過渡サイクルの導入等を検討する。

## 6. おわりに

自動車排出ガス低減対策を進めるにあたっては、我が国の大気環境を考慮し、自動車の走行実態に即した対策を講じる必要がある。

一方、自動車産業がグローバル化している中、自動車排出ガス低減対策における国際基準調和は、排出ガス低減対策技術の開発に係る費用を低減し、開発期間を短縮して普及を促進する上で有効な方策となる。

よって、我が国では引き続き、国内の大気環境保全を考慮しつつ、国際基準の策定や見直しに積極的に参画、貢献した上で、国際基準調和についても検討する必要がある。

## 【参考文献】

- 1) 中央環境審議会、今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について(第十三次答申)、平成 29 年

# 給油時、駐車時燃料蒸発ガスの発生メカニズムと対策

*Mechanisms of Refueling and Evaporative emissions and there prevention techniques*

山田 裕之

Hiroyuki Yamada

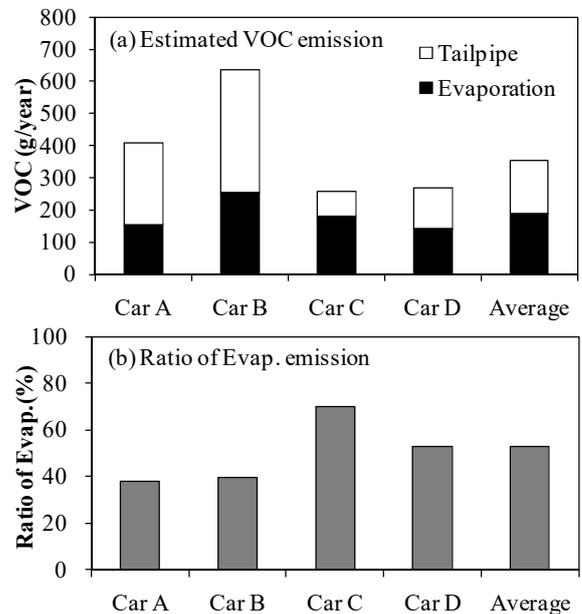
東京電機大学

Tokyo Denki University

**KEY WORDS:** Evaporative Emission, Refueling Emission, ORVR, Stage II, VOC (A1)

## 1. はじめに

日本国内における大気環境基準の達成状況をみると、光化学オキシダント(自排局達成率 0%)と PM<sub>2.5</sub>(自排局達成率 58.4%)の2つの達成率が低い状態である<sup>(1)</sup>。この2つの物質は、人為起源の前駆体が大気中の化学反応により有害物質となる、いわゆる二次生成の影響を強く受けることが知られている<sup>(2)</sup>。これらの物質についての気環境基準達成状況を改善するための方法のひとつとして、共通の前駆物質である揮発性有機化合物(Volatile Organic Compounds, 以下 VOC)の排出量削減がある。この考えの下で、自動車においても VOC 排出削減の努力が続けられてきた。自動車からの VOC 排出には、エンジン排気、いわゆるテールパイプエミッション以外に、ガソリン車の燃料タンク等からの燃料蒸気排出、いわゆる蒸発ガスの2つがあるが、これまでの対策はテールパイプエミッションについて重点的に行われており、蒸発ガスについてはあまり対策が行われてこなかった。その結果、図1に示すように、現在の車両からの VOC 排出は蒸発ガスが主となっている<sup>(3)</sup>という報告がある。この結果には、後述するキャニスタ破過、給油時蒸発ガスの影響が含まれていないため、実際には、この図以上に蒸発ガスの影響が大きい。従って今後、自動車からの VOC 排出をさらに抑制する場合には、蒸発ガスの削減を行うことが重要である。



**Fig.1** Estimated VOC emission from the results of this study (a) and ratio of evaporative emissions in total VOC

## 2. 蒸発ガスの種類と対策技術

自動車からの蒸発ガスは駐車時、給油時さらには走行中の3つ排出がある。ここではそれぞれの排出メカニズムおよび対策技術について述べる。

### 2.1 駐車時蒸発ガス

駐車中に排出される蒸発ガスは排出経路の違いにより2つに区別される。ひとつは燃料タンクや燃料配管などを、燃料が透過して排出されるパーミエーション(permeation)である。パーミエーションによる排出は燃料タンク、配管の材質に強く依存するため、排出量削減のために、多層樹脂タンクや金属タンク、またそれらと同等の燃料配管を用いることが効果的である。もうひとつの排出はブリージングロス(breathing loss)と呼ばれるものである。これは、燃料タンク内の空隙に存在する燃料蒸気が、日中の温度変化により膨張しタンク外に排出されるものである。このブリージングロスの排出に影響を与える因子は、タンク内空隙容量、日中の温度差および燃料蒸気圧であり、これらの情報からほぼ理論式により排出量を求めることが出来る<sup>(4)</sup>。このブリージングロスの対策として、ほぼすべての車両にはキャニスタ(canister)と呼ばれる装置が取り付けられている。このキ

キャニスタは活性炭で満たされており、タンク内圧を開放するための配管に取り付けられている。従ってタンク内の燃料蒸気がタンク外に排出される際に、燃料蒸気は活性炭により吸着され、タンク外に流出することを防ぐことが出来る。また、このキャニスタは運転中に吸気管の負圧を利用し、大気側から空気を吸いこみ、吸着した燃料蒸気をエンジンの吸気管に送り込む。これにより、吸着した燃料蒸気を燃料として利用するだけでなく、新たな燃料を吸着するためにキャニスタの吸着容量を回復する。一般的にキャニスタが通常の状態にある場合は、キャニスタの燃料蒸気捕集効率はほぼ 100%と考えるとよい。ただし、キャニスタが捕集可能な燃料蒸気には限界があり、燃料捕集量が増加すると、捕集効率は低下し、燃料タンク内の燃料蒸気は大気に放出されてしまう。この現象はキャニスタ破過 (break through) と呼ばれる。この破過の発生はブリージングロスの排出量とキャニスタの状態で決まる。破過による VOC 排出は前記のパーミエーションの排出よりも圧倒的に大きいため、駐車時蒸発ガスの排出見積もりを行う場合には、どの程度の破過による VOC 排出が発生したか、を評価することが重要である。

図 2 に様々な車両における3日間連続駐車時の駐車時蒸発ガスの日別排出量を占めす<sup>(5)</sup>。一般的に駐車日数が多いほど排出量が大きくなる傾向がみられるが、これは破過の発生によるものである。

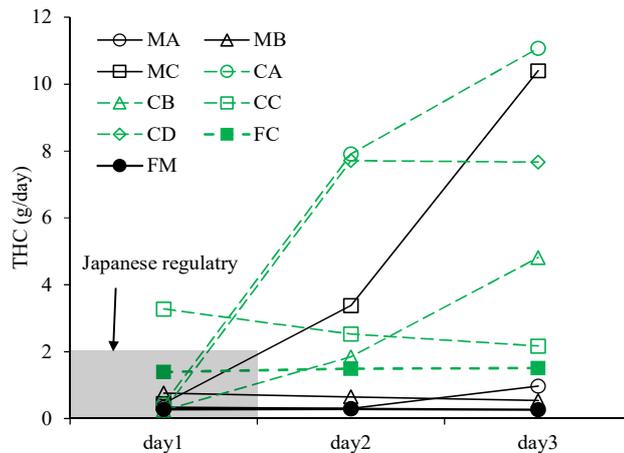


Fig. 2 Evaporative emissions during 3 days parking event with various cars.

## 2.2 給油時蒸発ガス

給油時に排出される蒸発ガスの排出メカニズムは、前記のブリージングロスに近い。排出されるガスはブリージングロス同様に燃料タンク内空隙に存在する燃料蒸気であり、給油時の場合は体積膨張ではなく、給油による燃料油面上昇にともなう空隙の減少により、給油口より大気に放出される。そのため排出係数は給油量 1L あたり(g/L)で評価される。図 3 に示すように、排出係数は燃料蒸気圧および気温が高いほど大きな値となる<sup>(6)</sup>。また、それらの因子以外に給油される燃料と燃料タンクの温度差にも影響を受ける。一般に給油される燃料の温度は燃料タンク温度よりも低く、その差が大きいほど給油時に燃料タンク空隙の燃料ガスが冷やされて収縮するため、排出係数は低くなる。

燃料蒸発ガスの対策としては、給油所側で対策を行う Stage II と車両側で対策を行う On-board Refueling Vapor Recovery (以下 ORVR)の2種類がある。

Stage II では、給油口から排出された燃料蒸気は計量機の給油ノズル外側に取り付けられた吸引装置により吸引される。一般的な Stage II においては、吸引された燃料蒸気は給油所の地下タンクに送られる。この際に給油速度と吸引速度を等しく設定することにより、給油によって増加した地下タンク内の空隙に吸引した燃料蒸気を貯蔵することが出来る。このような方式が一般的であるが、日本独自の技術として、燃料蒸気を圧縮冷却することにより、液化し再び燃料ラインに戻す、液化回収方式(Vapor Liquified Collection System, 以下 VLCS)も存在する。その概要を図 4 に示す。この場

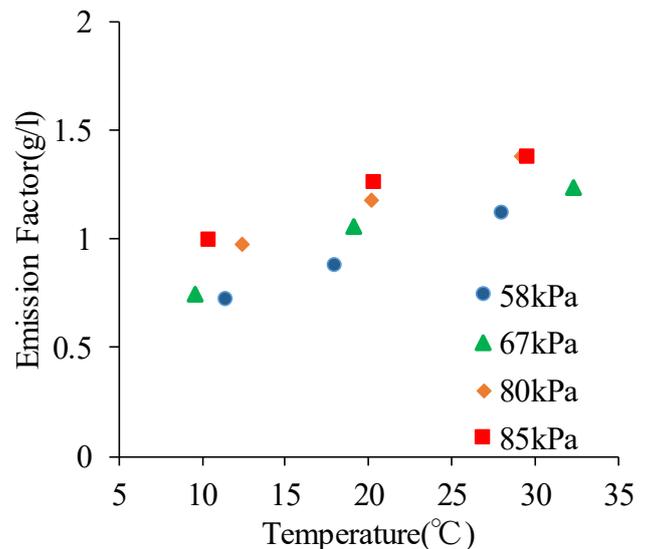


Fig. 3 Emission factor for refueling emissions with various RVP.

合は、給油速度と吸引速度を同等とする必要がないため、回収効率を高めることができる。

車両側の対策であるORVRにおいては、給油口に挿入されたノズルと給油された燃料を用いたリキッドシールという技術により、燃料タンク内の空隙の燃料蒸気が給油口より大気に放出されるのを防ぐ。そして燃料蒸気はタンク内より、キャニスタに導入され、キャニスタにおいて吸着される。ブリージングロスと比べ排出される燃料蒸気が多いことに加え、短期間に排出されるため吸着熱によりキャニスタの温度が上昇し吸着効率が低下するため、非常に大型のキャニスタが必要となる。一方でこの大型のキャニスタはブリージングロスの対策としても活用されるため、破過の発生を減らし駐車時蒸発ガスの削減も同時に行うことができる。

世界的に見ると、Stage II による対策を行っている地域が多いが、米国では Stage II から ORVR に切り替えており、中国も ORVR を導入することを検討している。図 6 には ORVR と Stage II の一種である液化回収方式を用いた場合に排出割合を対策なしの場合の比として示す。これによると、どちらの場合も回収効率は 95% 程度となっている<sup>(7)</sup>。

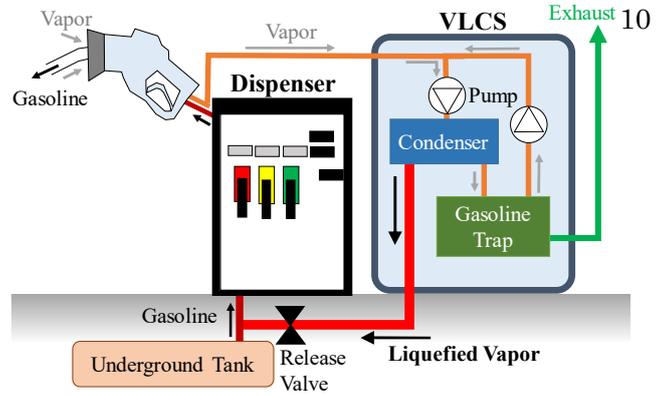


Fig. 4 Outline of Stage II (VLCS)<sup>(7)</sup>.

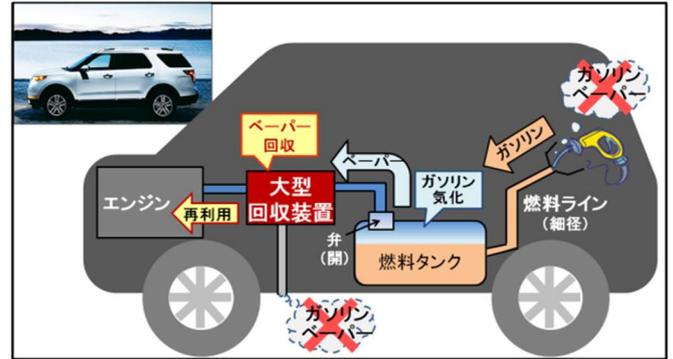


Fig. 5 Outline of ORVR<sup>(8)</sup>.

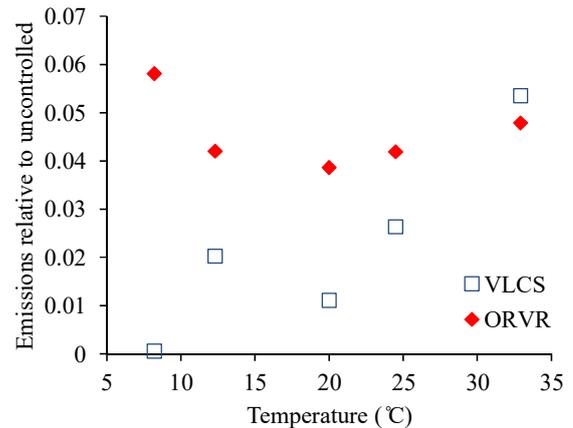


Fig. 6 Refueling emissions of ORVR and VLCS relative to uncontrolled emissions as a function of temperature.

### 2.3 走行時蒸発ガス

走行時に発生する蒸発ガスは、一般的には駐車時蒸発ガスにおけるパーミエーションと同じメカニズムで排出されると考えられている。ただし、走行中にキャニスタの容量回復を頻繁に行わない車両の場合には、エンジンの熱等で燃料タンクの温度が上昇し、それにより燃料タンク空隙の燃料蒸気がキャニスタに導入され、破過が発生する可能性がある。この走行中蒸発ガスに対する規制が行われているのは米国だけであり、測定には特殊なシャーシダイナモを内包する Sealed Housing for Evaporative Determination (SHED)が必要であるため、日本国内での測定例は少なく不明な点も多い。

### 3. 蒸発ガスの排出量

ここでは人為起源 VOC の中で蒸発ガスがどの程度の割合を占めるのか、について議論を行っていく。図 7 には過去の研究<sup>(9)</sup>において算出した車 1 台から 1 年間に排出されるパーミエーションによる蒸発ガス排出量を示す。これによると、温度の高い地域で多量に排出する傾向となっている。

図 8 に 1 年間の破過による蒸発ガス排出量を、タンク内の空隙 1 L あたりで示している。これによると、破過による排出が多いのは、比較的内陸部である。これは、1 日の温度変化によるブリージングロスがキャニスタに負荷をかけるためであり、比較的 1 日の温度差が激しい内陸部で排出量が増加する。

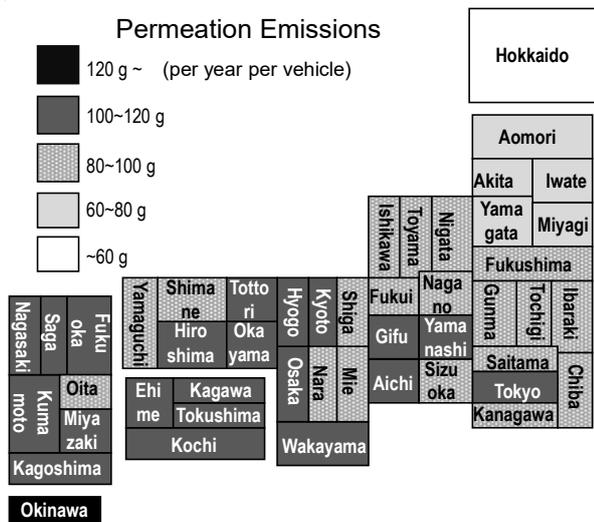


Fig. 7 Map of permeation emissions per year from single gasoline vehicle.

図 9 には蒸発ガスの年間排出量を都道府県ごとに示している。図 7, 8 において車両 1 台当たり、もしくはタンクの空隙 1 L あたりの排出特性を議論したが、トータルの排出量を見ると車両登録台数の多い地域での排出が多い傾向となっている。最も排出が多かったのは、車両の登録台数の最も多い愛知県であった。車両登録台数が二番目に多い都道府県は東京都であるが、以下の 2 点の理由により、蒸発ガス排出が 2 番目に多かったのは車両登録台数で三番目の埼玉県であった。その理由は、車両登録台数が二番目に多い東京都と比べ、車両登録台数の差がごくわずかであった点、蒸発ガスの多くを占める破過による排出が、1 日の温度差が大きいため東京都より多量であった点の 2 点である。

ここまで駐車時蒸発ガスの排出量見積り結果について述べてきた。給油時蒸発ガスについては、前出の排出係数とガソリンの年間販売量から、燃料蒸気圧、気温を考慮することにより算出することが出来る。図 10 には日本の人為起源 VOC に占める、自動車起源 VOC の割合を示す。自動車起源の VOC は全体の 18%程度を占めており、その中で最も多いのが燃料蒸発ガスである。また、駐車時蒸発ガスは大型車を含めたディーゼル車のテールパイプエミッションとほぼ同等という結果になった。

### 3. 蒸発ガスのオゾン生成への寄与

VOC のオゾン生成への寄与は、物質ごとに異なる。そのため、オゾン生成への寄与を議論する場合は、排出総量で行うのではなく、Maximum Incremental Reactivity (以下 MIR)を用いて行うのが一般的である。MIR とは物質ごとに定められた値であり、その物質のオゾン生成への寄与度の高さを表している。蒸発ガス等の様々な物質からなるガスの MIR を見積もるためには、それらを構成する成分を求め、それらの成分の MIR を構成比で平均することにより求めることが可能である。

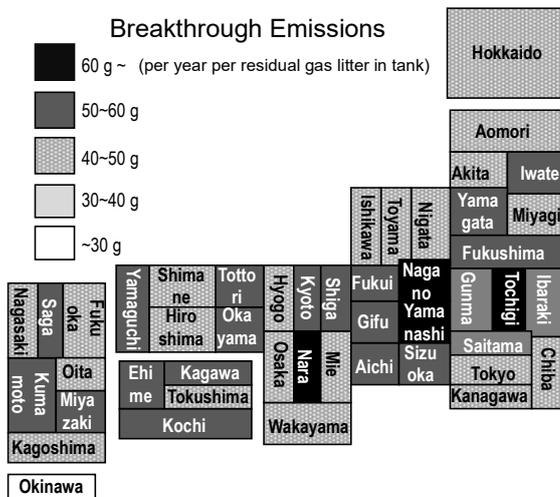


Fig. 8 Map of VOC emissions per year and per residual gas volume in tank (L) in case breakthrough appears.

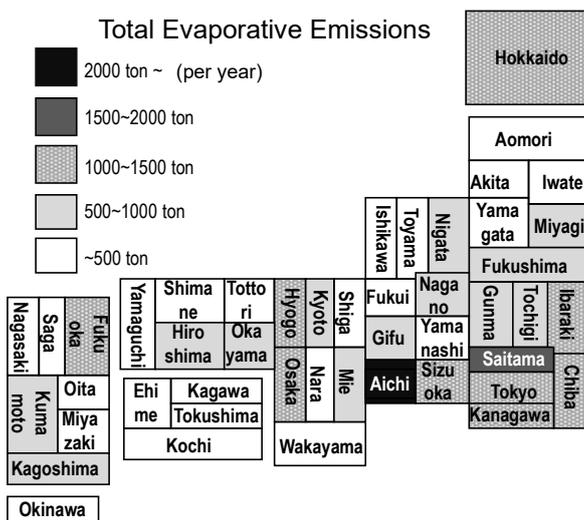


Fig. 9 Map of total evaporative emissions per year.

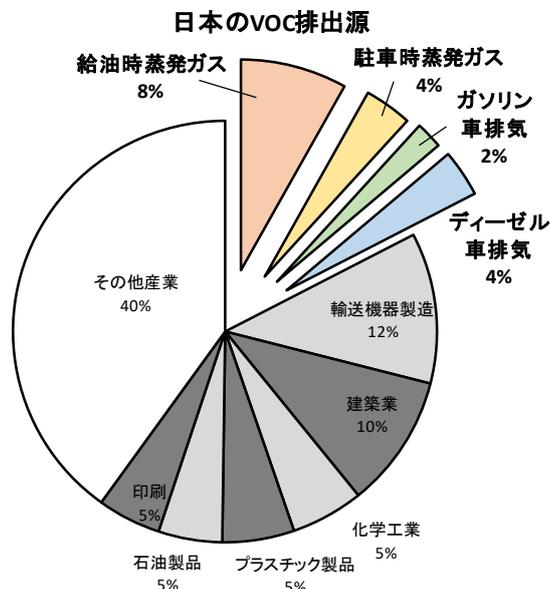


Fig. 10 Breakdown of annual VOC emissions in Japan

図 11 には試験に用いたガソリン、パーミエーションおよび破過により排出された駐車時蒸発ガスの成分を示す。成分を見ると、パーミエーションは燃料とほぼ等しく主成分の alkane が 50%程度、aromatics が 30%程度、alkene が 20%程度であった。破過においては、aromatics ほとんど検出されず、その分 alkane と alkene の割合がそれぞれ多い結果であった。

図 12 には図 11 の結果から求めた各エミッションの MIR を示す。この結果によると、破過は比較的 MIR の高い aromatics が含まれていないにも関わらず、元の燃料よりもオゾン生成への寄与が高いことが分かる。これは、alkene の MIR が高いことに起因する。燃料およびパーミエーションの MIR をみると、成分の割合で最も大きかった alkane がオゾン生成への寄与で見ると最も低い結果となった。

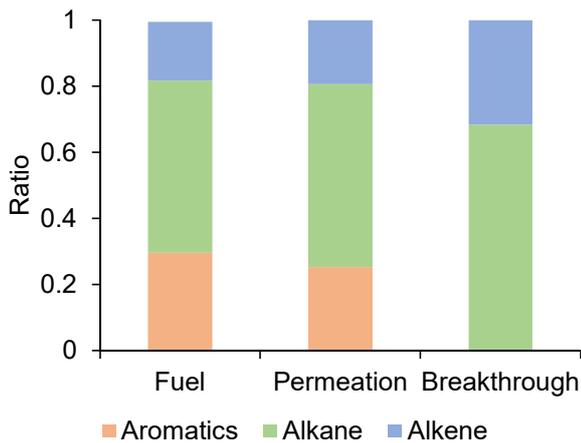


Fig. 11 Compositions of gasoline, permeation emission and breakthrough emission.

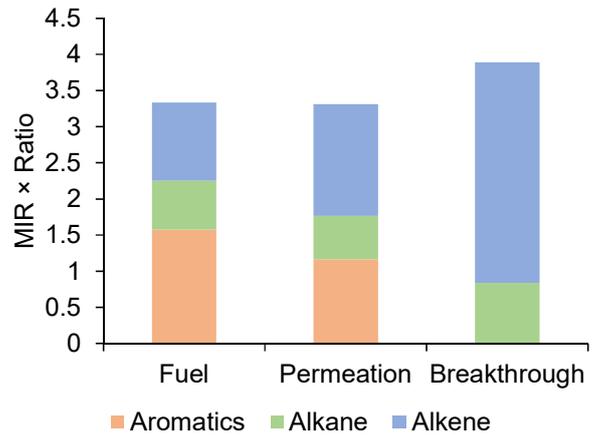


Fig. 12 MIR of gasoline, permeation emission and breakthrough emission.

図 13 には同様に給油時蒸発ガスの成分分析結果を、図 14 にはそれより得られた MIR を示す。これによると、給油時蒸発ガスの結果は破過の結果とほぼ同様であった。これはどちらも燃料空隙に存在する燃料蒸気に起因するエミッションであるためである。

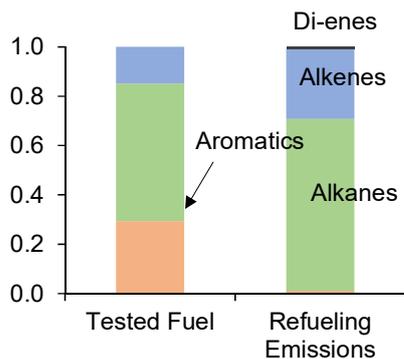


Fig. 13 Compositions of gasoline and Refueling emission.

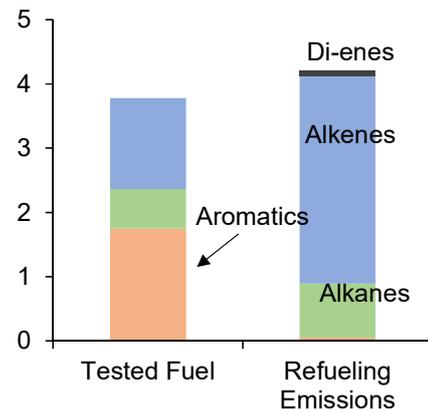


Fig. 14 MIR of gasoline and Refueling emission.

#### 4. 蒸発ガスの規制動向

2 章で議論したように、蒸発ガスの対策技術は大方確立されている、と言ってもよい。これらの技術が、普及するかどうか、は排出規制がどの程度厳しいものであるか、に強く依存する。駐車時蒸発ガスについての日本国内の規制は、欧州と同等で、現在 24 時間の駐車中に温度変化を 20→35→20℃と変化させ、その間の THC 排出量が 2g 以下となっている。この内容で求められているのは、20→35℃で発生するブリージングロス 1 日分を吸収するだけのキャニスタ容量と、1 日で 2g 以下のパーミエーションである。一方米国では、48 時間、72 時間の試験を実施しており、キャニスタは 3 日分のブリージングロスを吸収できる容量が必要となる。パーミエーションについても、0.35g と日本よりも厳しい状況である。ただし、日

本と欧州においても、評価期間を48時間に延ばすことと、排出量を1日ではなく2日で2g以下とすることがほぼ決定した。また、この改訂に合わせて、密閉式タンクについての規制も行われる。この密閉式タンクとは、タンク内を密閉することにより、日中に温度が上昇してもタンク内の燃料蒸気をキャニスタに送らないシステムである。そのためタンク内は大気圧と比べ加圧された状態となる場合が多く、給油時に給油口を開けた際に加圧された燃料タンク内の燃料蒸気が外に吹き出すこと(パフロス)が懸念されている。そのため、このようなタイプの車両はキャニスタをブリージングロスの吸収のために用いるのではなく、給油時に給油口を開ける前にタンク内圧を、キャニスタを通して抜くことにより、タンク内の燃料蒸気をキャニスタで捕集することを求めている。

駐車時蒸発ガスについては、前記のように米国ではORVRにより、欧州ではStage IIにより対策が行われているが、日本ではいまだに対策が行われていない。そのような状況下において、環境省ではStage IIによる対策を促すことを決定した。ただしこれは規制ではなく、他の固定発生源同様に業界に自主的な取り組みを求めるものである<sup>(10)</sup>。

#### 【参考文献】

- 1) 環境省:平成27年度大気環境モニタリング実施結果, (2017)
- 2) 松本淳:はじめての大気環境化学, コロナ社(2015)
- 3) 山田裕之:ガソリン乗用車からのVOC総排出量に占める蒸発ガスの割合, 自動車技術会論文集, vol.44 No. 1 p. 165-170 (2013)
- 4) H. Hata et al.: Estimation model for evaporative emissions from gasoline vehicles based on thermodynamics, Science of the Total Environment, (Accepted).
- 5) H. Yamada et al.: Evaporative Emissions in Three-Day Diurnal Breathing Loss Tests on Passenger Cars for the Japanese Market, Atmospheric Environment, Vol. 107 p. 166-173 (2015).
- 6) 揮発性有機化合物(VOC)排出インベントリ検討会:平成28年度VOCインベントリについて, 環境省 (2017)
- 7) H. Yamada et al.: Refueling Emissions from cars in Japan: Compositions, Temperature Dependence and Effect of Vapor Liquefied Collection System, Atmospheric Environment, Vol. 120 p. 445-462 (2015).
- 8) 神奈川県:ガソリンベーパー対策-もっとさわやかな大気のために- <http://www.pref.kanagawa.jp/cnt/f531508/> (2017年11月6日確認)
- 9) 山田裕之・猪俣敏・戸野倉賢一:日本国内におけるガソリン自動車からの蒸発ガス排出総量推計手法の開発, 自動車技術会論文集, vol.45 No. 1 p. 443-449 (2014)
- 10) 環境省中央環境審議会:今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について(第十三次答申), 環境省 (2017).

# 自動車から排出される未規制物質の現状

Current unregulated emissions from vehicles

岡山 紳一郎

Shinichiro Okayama

一般社団法人日本自動車工業会将来エミッション評価分科会

Japan Automobile Manufacturers Association, Inc. Future Emission Evaluation Experts Group

KEY WORDS: air quality, emissions, fuel, hazardous air pollutant, volatile organic compound (D2)

## 1. まえがき

自動車から排出される物質で、有害性が高い物質(HC, CO, NO<sub>x</sub>, PM)については排出ガス規制で管理され、1970年代の規制開始前に比べ、1/100レベルに低減が進んでいる。一方、1990年代後半にその有害性から注目を浴びた未規制物質はHC等の規制の強化に伴い、大きく低減された。

最近、PM<sub>2.5</sub>等の大気環境基準達成のための課題が注目されるに当たり、新たな視点としてこれまでの自動車排出物質の拡散のみではなく、排出されたガス成分が光化学反応で粒子化する二次生成を解明する等、大気反応解明の必要性が出ている。この二次生成を解明するには、要因となる個別HC成分を明確にする必要があるが、1990年代から培っていた未規制物質の分析技術の応用が可能となっている。

今回は、未規制物質分析の歴史と最近の大気中での化学反応の解明や新たな注目物質、新たな注目分野について解説する。

## 2. 有害物質としての未規制物質

1990年代の後半から、CO, HC, NO<sub>x</sub>, PM以外の物質として、ベンゼン等の未規制物質が注目されるようになった。理由は健康に影響を及ぼす有害物質としての注目度が上がったからである。ベンゼン等の未規制物質は、それまでのHCと異なり、含有量がppbレベルと微量であり、捕集方法、サンプルガスの濃縮方法、アーティファクト対策、妨害物質との干渉対策を含めた分析方法の確立が課題となったが、分析化学研究者、自動車排気研究者が協力し、測定法が確立した。この結果として、自動車起因の主な未規制物質の計測法は、JASOのテクニカルペーパー(TP-06003:個別炭化水素, TP-06004:アルデヒド・ケトン類, TP-06005:N<sub>2</sub>O, TP-07002:1-ニトロピレン, TP-07003:アンモニア, TP-07004:多環芳香族類)としてまとめられている。現在、米国のACES(Advanced Collaborative Emissions Study)対象物質約600物質の測定が可能になっている。

我が国の化学物質排出総量データベースとして、PRTR(Pollutant Release and Transfer Register: 化学物質排出移動量届出制度)が確立されているが、自動車排出が認められた11物質については、テクニカルペーパーに記載された方法で計測が実施されている。

このPRTRで求められた自動車排出ガス中の未規制物質の総量推計は、ベンゼン等の“個別物質はHCに比例する”と仮定し、個別物質/HC比率(図1)を求めた。この比率を既存のHC排出総量に掛け、各有害物質の排出総量kg/年が求められた。

自動車メーカーは、“個別物質はHCに比例する”という原理に従い、Cold start時を中心とした高濃度HCの低減対策を実施した。一方、石油業界では燃料中のベンゼン低減を実施することで、総合的なベンゼンの排出総量低減が実現した。

2016年度に公開された最新のPRTRの報告書によれば、自動車起因となっている有害物質中、最も有害性が高いとされたベンゼンも年々減少しているのが図2<sup>1)</sup>で示されている。図3<sup>2)</sup>に大気環境基準の達成率を示すが、2008年度にはベンゼンの大気環境基準:3μg/m<sup>3</sup>を超える沿

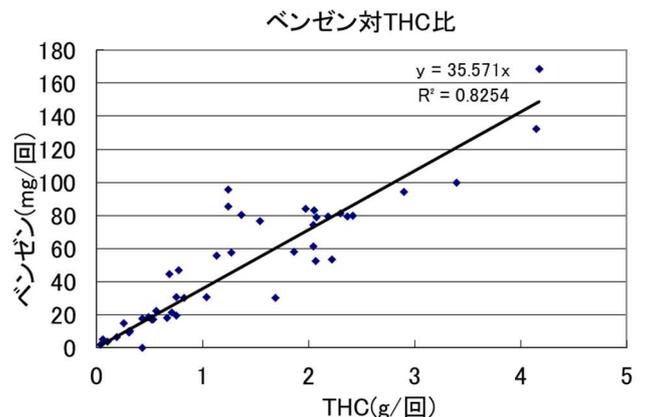


Fig.1 ベンゼン-THC 相関

道測定点はゼロになることが判る。また、2010 年度以降、全ての測定局で大気環境基準の達成が保たれていることが図 4<sup>2)</sup>に示されている。

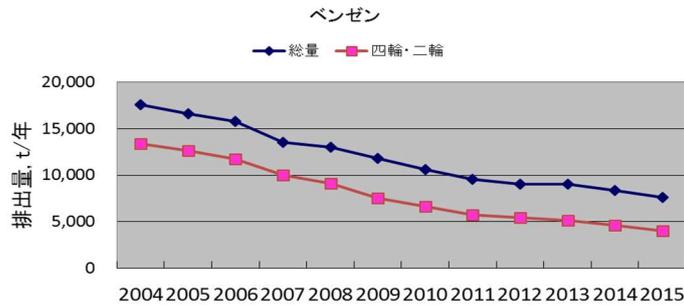


Fig.2 PRTR ベンゼン排出総量の推移<sup>1)</sup>

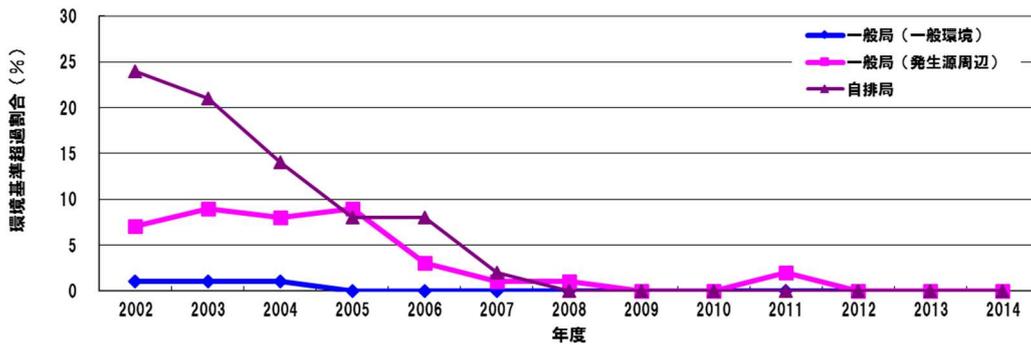


Fig.3 大気環境基準の達成状況<sup>2)</sup>

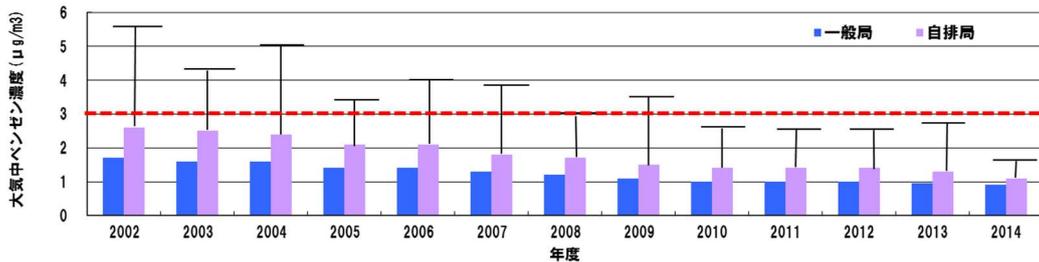


Fig.4 大気環境観測値の推移<sup>2)</sup>

### 3. 大気改善に向けた最近の課題

#### 3.1. 大気環境の実態把握

1960 年代の後半より、自動車の大気環境への影響が注目され続けているが、1990 年代以降の排気規制強化に伴うディーゼル車への DPF 装着や NO<sub>x</sub>触媒装着、ガソリン車の混合比制御の緻密化、触媒性能の向上により、大気環境は急速に改善され、NO<sub>2</sub> や SPM の大気環境基準は、ほぼ達成されている。現在の残課題は PM<sub>2.5</sub> とオキシダントである。

この章では、まず、注目度が高い PM<sub>2.5</sub> について現状の振り返りを実施した。図 5<sup>3)</sup>に一般環境大気測定局(一般局:住居地域に多い)、と自動車排出ガス測定局(自排局:沿道)における PM<sub>2.5</sub> の基準達成比率を示す。2009 年に PM<sub>2.5</sub> が大気環境基準として制定され、本格的な観測データが集まり始めた 2010 年から 2014 年にかけては、達成率が 20~40%と低レベルで推移していたが、2015 年には 80%近いレベルまで急速に改善したことが示されている。この状況を全測定点について、網羅的に解析したのが図 6<sup>4)</sup>である。横軸には PM<sub>2.5</sub> の年平均値、縦軸には日平均値 35 μg/m<sup>3</sup> を超過した日数をとり、各観測点の値をプロットしている。西日本と東日本の一般局を左列に、西日本と東日本の自排局を右列に配置し、上側が 2014 年、下側が 2015 年結果を示している。一般局、自排局とも西日本は日平均値 35 μg/m<sup>3</sup> を超過した特異日の日数が多く、その為年平均値も大きくなっていることが判る。また、2015 年は 2014 年に比べ、日平均値 35 μg/m<sup>3</sup> を超過した日数が少なくなり、それに伴い、年平均値が改善していることが判る。この原因として、大陸からの移流分が減少している可能性が考えられる。一方、一般局と自排局の年平均値に関しては大きな差は無く、自動車の寄与は小さくなっていることが示唆される。

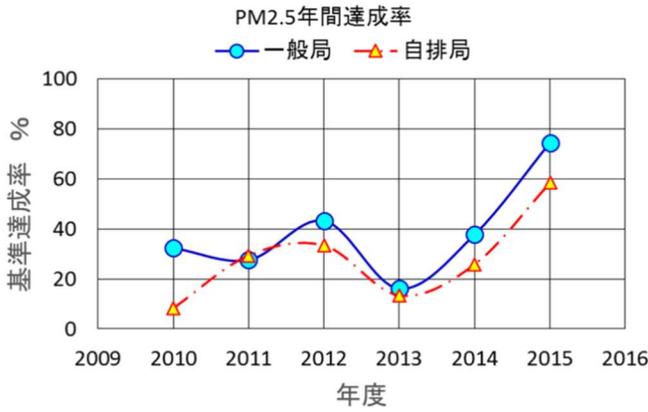


Fig.5 PM<sub>2.5</sub> 大気環境基準達成割合<sup>3)</sup>

3.2. 大陸からの移流問題

次に、大陸からの移流の影響度を解明するために、北京 PM<sub>2.5</sub> の経年変化を図 7<sup>5)</sup>に示す。解析は、在北京の米国大使館が1時間毎に公開している PM<sub>2.5</sub> 観測値データベースを使用した。日本でのニュース報道が盛んになった 2013 年に観測値も急増しているが、2015 年以降、改善が見られる。

この北京 PM<sub>2.5</sub> の推移と、国内への移流の影響を解析するため、下記の仮定を置いて北京 PM<sub>2.5</sub> 濃度と比較した。

仮定：『短期基準＝日平均値』の未達率が国内への移流の影響度合いである(図 8)<sup>3)</sup>。

この図 8 で求めた国内移流影響のカーブと、北京 PM<sub>2.5</sub> 年平均値の経年推移のカーブとの形状が類似していることが判る。これら2つの数値の相関係数を示すのが図 9 である。国内への移流影響指標と北京 PM<sub>2.5</sub> の相関係数:R<sup>2</sup>は 0.83~0.92 であり、相関が高いことが判る。この相関から、2015 年度の国内 PM<sub>2.5</sub> の低減に、大陸での PM<sub>2.5</sub> 改善が寄与していることが判る。

一方、2016-2017 上期の北京 PM<sub>2.5</sub> の改善を見ると、70 μg/m<sup>3</sup>と改善の鈍化傾向が見られる。また、図 9 の相関式を用いて北京 PM<sub>2.5</sub> が 70 μg/m<sup>3</sup>まで下がる場合を試算すると、日本への影響が 11~16%以下まで減少すると予測できる。この場合、国内 PM<sub>2.5</sub> の未達部分については、国内発生源の寄与が大きいものから対応する必要があると考えられるので、今後、更なる解析が必要となる。

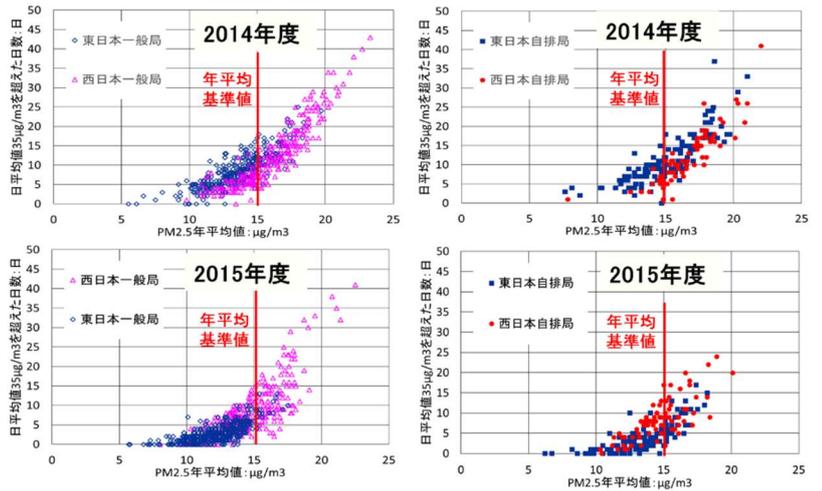


Fig.6 PM<sub>2.5</sub> の状況<sup>4)</sup>

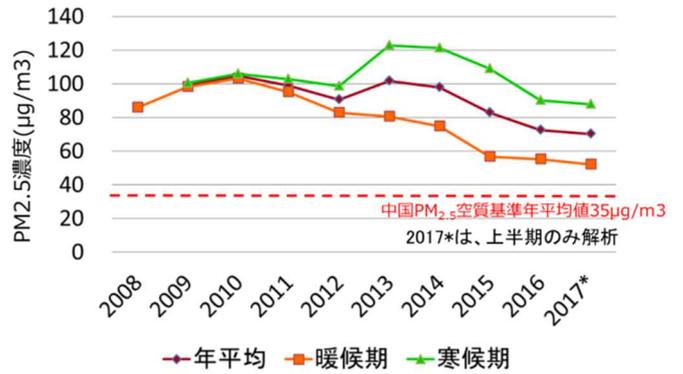


Fig.7 中国 PM<sub>2.5</sub> の推移<sup>5)</sup>

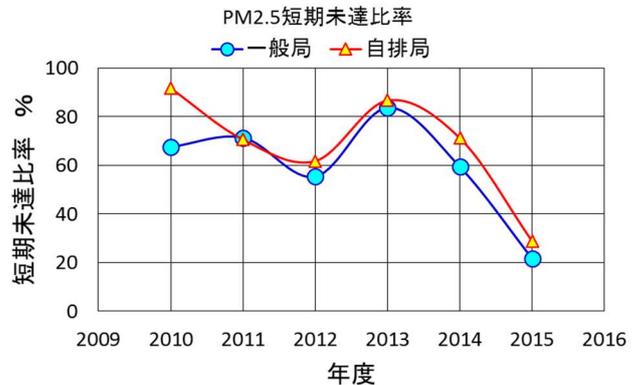


Fig.8 国内への移流の影響度合い<sup>3)</sup>

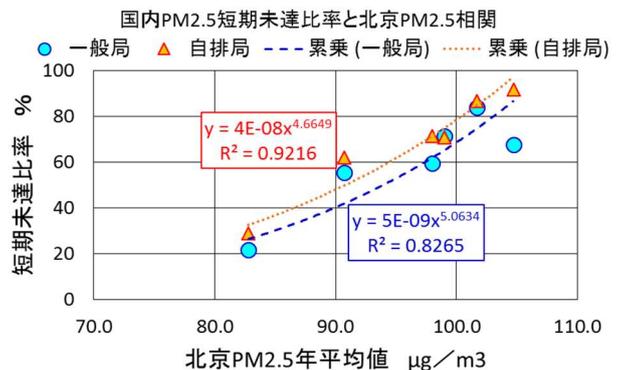


Fig.9 北京 PM<sub>2.5</sub> と大陸からの移流の関係

3.3. 大気中での二次生成を考えた取り組み

大気中PM<sub>2.5</sub>の実態把握，発生源解析を実施する場合，発生源から粒子の形で排出される一次粒子のみではなく，発生源からガスの形で排出される物質が大気中での反応，例えば光化学反応で粒子化する二次粒子にも注目する必要がある。図 10<sup>6)</sup>によれば，二次粒子は一次粒子よりPM<sub>2.5</sub>全体に対する割合が大きく，PM<sub>2.5</sub>全体の60%位となると考えられる。成分としては，二次有機粒子(SOA)，硫酸アンモニウム，硝酸アンモニウムが代表的なものとして挙げられる。

この二次粒子の大気中での反応を再現する方法として図 11<sup>7)</sup>に示す Smog Chamber 試験法がある。二次生成の要因と考えられるガス成分をテフロン製反応容器に封入し，紫外線(UV 光源)を照射することで，光化学反応の再現が出来る。封入するガス成分は，単物質以外に，燃料蒸発ガスやエンジン排出ガスを用いることも可能である。

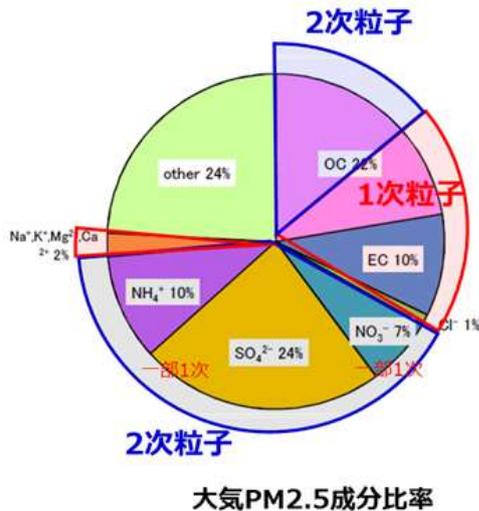


Fig.10 二次生成と一次生成の比較<sup>6)</sup>

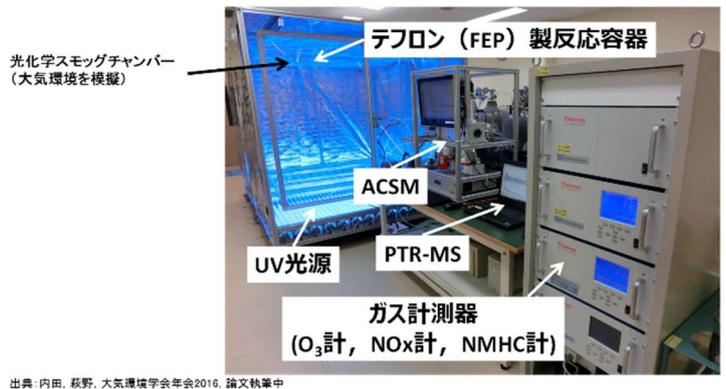


Fig.11 Smog Chamber 試験概略図<sup>7)</sup>

図 12 にガソリン液滴やガソリン蒸気を封入した際の光化学反応の再現を示す。図中 a)はガソリンを液滴で入れた場合，b)は給油時ガソリン蒸気を入れた場合を示す。O<sub>3</sub>(オゾン)は双方で生成することが判る。一方，SOA は a)ガソリン液滴の場合のみ，生成することが判る。この要因を解析するため，各々のVOC (volatile organic compounds)成分の調査を行った。図 13<sup>8)</sup>によれば，ガソリン液滴の場合，トルエンが大きな割合を示すのに対し，給油時ガソリン蒸気はペンタンやブタン等のアルカン類が多いことが判る。この結果から，二次生成にはトルエン等のアロマ類の寄与が大きいことが明らかになる。

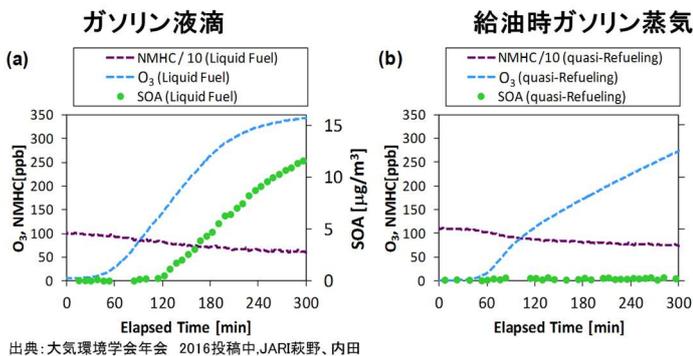


Fig.12 Smog Chamber 試験結果エバポ<sup>8)</sup>

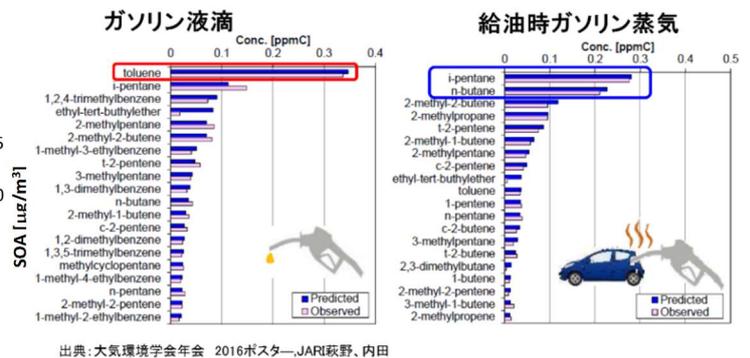
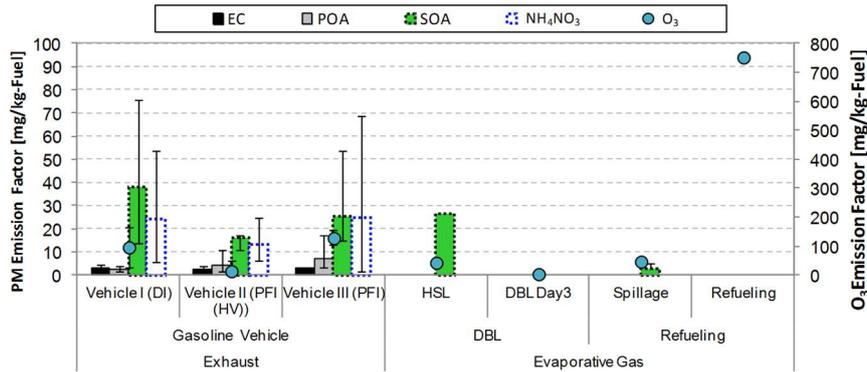


Fig.13 Smog Chamber 内の VOC 成分<sup>8)</sup>

次に、図 14<sup>7)</sup>にガソリンエンジンの排出ガスを封入した際の粒子生成を示す。直噴ガソリン車(DI)、ポート噴射ガソリン車(PFI)、PFI 式のハイブリット車(PFI(HEV))の 3 車種を用い、東京都 No.4 モード、JC08 モード、WLTC モード、NEDC モードを冷機始動から運転した場合の排出ガスを Smog Chamber に封入した。各々のエラーバーは、4 種類のモードのデータ存在範囲を示す。また、燃料蒸発ガス試験の中で、Hot soak loss (HSL) 試験、Diurnal Breathing Loss (DBL) 試験でキャニスタが破過した場合の Day3、燃料液滴、給油時ガソリン蒸気を封入した結果も比較した。どの車種でも SOA の排出が顕著である。また、HSL 試験でも SOA の排出が顕著である。冷機始動時の場合は、未燃のガソリン成分に含まれるトルエンが、HSL 試験の場合は燃料ホース等の高分子部品から透過するトルエンの排出が多い。SOA 以外の無機の二次生成物質は、排出ガスを封入した場合の硝酸アンモニウムの排出が顕著になることが判った。このように VOC の個別成分に着目することで、今後の課題である二次生成についても、解析が可能となることが判った。



出典: 大気環境学会年會講演 2017.9.6, JARI 萩野ら

Fig.14 排気の Smog Chamber 試験結果とエバポ試験の比較<sup>7)</sup>

#### 4. 排出ガス領域の新たな注目点

##### 4.1. アンモニアの排出

3.3. 項での Smog Chamber 試験で、排出ガスを封入し、二次生成を見た際に硝酸アンモニウムが観察された。この前駆体となる硝酸は、排出ガス中の NO<sub>x</sub> であると考えられるが、アンモニア(NH<sub>3</sub>)の排出については、三元触媒が過濃混合気の雰囲気で多く発生することが一般的に知られている。図 15 によれば、過濃混合気の指標である CO が排気規制の強化により減少するに伴い、NH<sub>3</sub>も減少していることが判る。しかし、CO が低レベルの場合でも高 NH<sub>3</sub> レベルになる場合がある。NH<sub>3</sub> が高排出になる一因として、三元触媒での NO<sub>x</sub> 浄化反応を促進するための瞬時燃料噴射=リッチスパイク時の NH<sub>3</sub> 高排出があることを図 16 に示す。

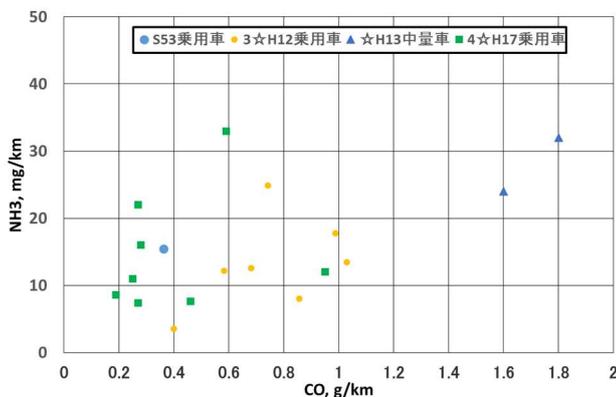


Fig.15 NH<sub>3</sub> と CO の関係

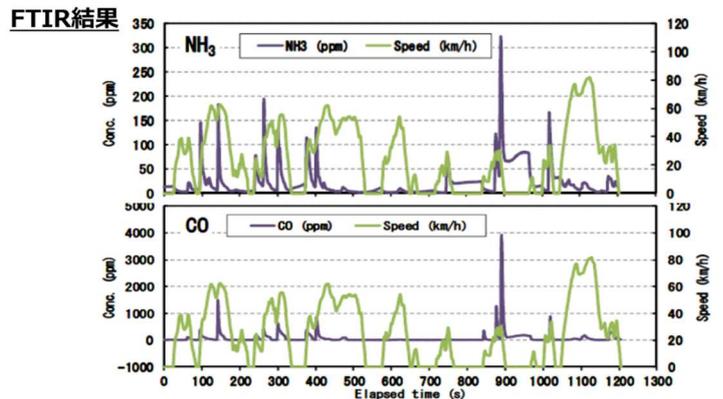
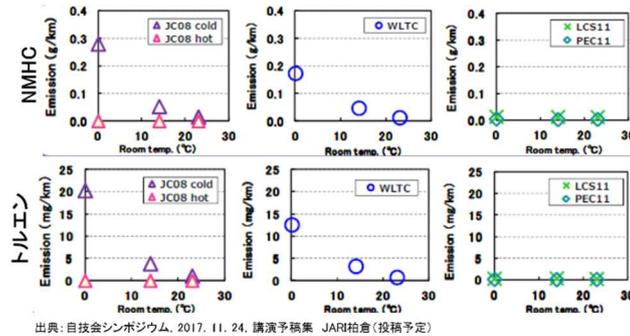


Fig.16 リッチスパイク時の NH<sub>3</sub> 排出

### 4.2. 環境温度を考慮した Real world 排気

国交省からの報告によれば、日本の一般的な環境温度範囲は-1~33℃である<sup>9)</sup>。一方、排出ガスの公定法であるJC08モードは、25±5℃の範囲で実施されており、0~20℃の中間温度域においては、排出実態のデータが少ない状況にある。この中間温度を含む範囲での非メタン炭化水素(NMHC : Non Methane Hydrocarbons)と二次生成に影響が大きいと考えられる排気中のトルエンの温度影響について、測定した結果を図17<sup>10)</sup>に示す。供試車両は直噴ガソリン車を使用した。

結果によれば、冷機始動を含むJC08 ColdやWLTCにおいて、環境温度が0℃付近の低温になると、NMHC、トルエンとも増加することが判る。今後、ポート噴射式等を含め、排出実態の把握を行う必要があると考えられる。



出典：自技会シンポジウム、2017. 11. 24. 講演予稿集 JARI柏倉(投稿予定)

Fig.17 低温試験時のNMHC(上段)とトルエン(下段)<sup>10)</sup>

### 4.3. 燃料性状を考慮した Real world 排気

新たに注目すべき項目として、PM・PNに影響するガソリン性状がある。蒸留特性で80%留出点(T80)が高い場合や、アロマ成分、特にC12以上のアロマ成分が多いガソリンでは、PM、PNが大幅に増加することが知られている。相川らが提唱したPM-Index<sup>11)</sup>は、二重結合や炭素数の多いアロマ成分のような高沸点成分を多く含む重質な燃料ほど値が高くなる。また、ガソリン車のPM排出量と高い相関を示すため、PM-Indexを指標としてPM排出量を低減する議論が盛んである。

図18<sup>10)</sup>に示す3種類の燃料を用いて、各種の試験モードを走行した際のPMの値を図19<sup>10)</sup>に示す。3種類の燃料のうち、最も重質であるGH燃料は、最も軽質のGLの約4倍のPM排出量になることが判る。今後、RDE(Real Driving Emission)試験での市場燃料の使用が規定されることを含め、PM-Index またはその代替法を用いた燃料品質確保の検討が、大気改善の重要な要素となる。

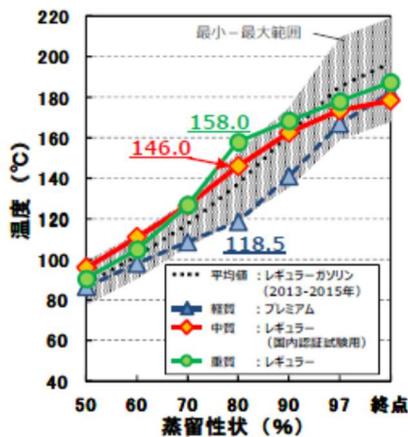


Fig.18 燃料感度試験に用いた試験燃料の蒸留特性<sup>10)</sup>

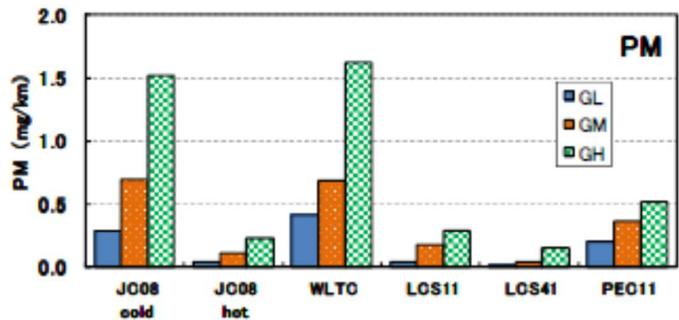


Fig.19 PM排出量に影響を及ぼすガソリン燃料性状<sup>10)</sup>

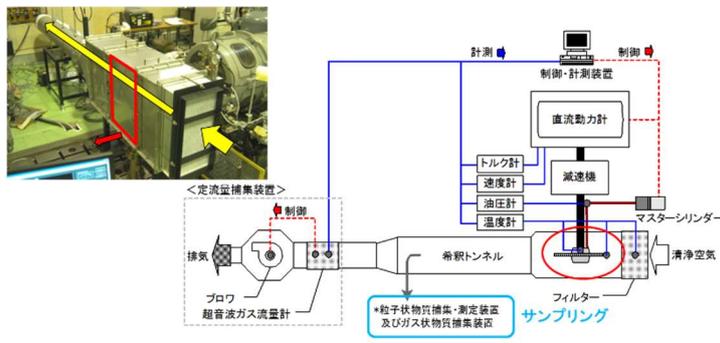
5.非排出ガス領域の新たな注目点

これまで、自動車からの排出は、公定試験法が整備されているテールパイプからの排出ガス・粒子成分、燃料蒸発ガス成分が主流であった。しかしながら、これらの低排出化が進んでいる現在、非排出ガス(Non Exhaust Gas)である、ブレーキ粉塵やタイヤ粉塵がPM<sub>2.5</sub>全体に対する相対的寄与率が大きくなりつつある。ブレーキ粉塵やタイヤ粉塵は国連等での注目度が上がり、その計測法についての議論が盛んになっている。

5.1. ブレーキ粉塵

国連 GRPE(The Working Party on Pollution and Energy)傘下の PMP-IWG(Particle Measurement Program-Informal Working Group)で計測法の議論が実施されており、2019年6月に向け、新たな試験法制定を目指し活動中である。また、ISO や JASO でも計測法議論が進んでいる。

図20<sup>12)</sup>に萩野らが提案しているブレーキ粉塵捕集装置の略図を示す。基本的には、自動車排気計測用の希釈トンネルを応用したものであるが、トンネルの先端部分にブレーキユニットが収納された箱がある。ブレーキユニットは動力計に直結されており、各種の走行モード試験(JC08 や WLTC 等の過渡を含む)の粉塵量把握ができる装置である。この装置の重要点は、希釈空気流量である。流量が大きすぎると粉塵濃度が低くなり過ぎて計測精度が悪くなる。一方、流量が小さすぎるとPM<sub>10</sub>やPM<sub>2.5</sub>サイズの浮遊粒子の生成を再現できない。これまでの経験では、0.5~1.0 m<sup>3</sup>/min.程度が適切と思われる。



出典:2013大気環境学会年会、萩野ら

Fig.20 ブレーキ粉塵捕集装置の概略図<sup>12)</sup>

図21<sup>13)</sup>にこの装置を用いて測定したPM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>サイズのブレーキ粉塵の排出重量を示す。3車種で、JC08モードやJE05モード、NEDCモード、WLTCモードの各走行モードを走行した。解放空間に粉塵が排出されるディスクブレーキは、閉鎖空間内のドラムブレーキに比べ、多くの粉塵が検出される。日本や米国で多用されるブレーキ摩擦材(パッド、ライニング)であるNon asbestos Organic (NAO)材の場合、ディスクブレーキの粉塵量は1~2 mg/kmであり、直噴ガソリン車から排出される粉塵量と同レベルである。一方、欧州で多用されるLow Steel (LS)材の場合、5~8 mg/kmと粉塵量が多いことが判る。

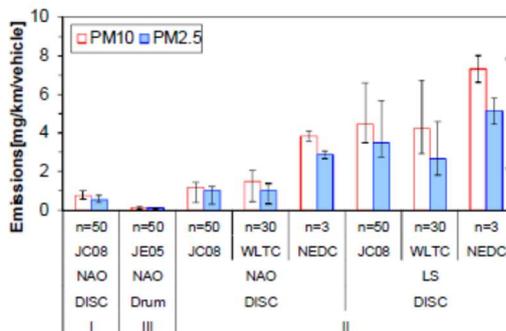


Fig.21 摩擦材質、試験モード別ブレーキ粉塵量<sup>13)</sup>



状物質 (PM<sub>2.5</sub>) (2017)より作図.

[http://www.env.go.jp/air/osen/jokyo\\_h27/full\\_h27.pdf](http://www.env.go.jp/air/osen/jokyo_h27/full_h27.pdf)

4) 国立環境研究所:環境数値データベース(2017)より作図.

<http://www.nies.go.jp/igreen/index.html>

5) 在北京米国大使館:PM<sub>2.5</sub>公開データ(2017)より作図.

<http://www.stateair.net/web/historical/1/1.html>

6) 環境省:大気汚染状況,微小粒子状物質(PM<sub>2.5</sub>)の成分分析結果(2016)より作図.

[http://www.env.go.jp/air/osen/jokyo\\_h26/rep08\\_h26.pdf](http://www.env.go.jp/air/osen/jokyo_h26/rep08_h26.pdf)

7) 内田里沙:大気中での光化学反応を考慮した自動車排出ガス測定,自技会シンポジウム, No.08-17, Real World で見た自動車の排出物質講演要旨集(2017)

8) 萩野浩之, 内田里沙, 第 57 回大気環境学会年会要旨集, p.311(2016)(発表時のポスターを引用).

9) 国交省, 排出ガス不正事案を受けたディーゼル乗用車等検査方法見直し検討会第 6 回, 別紙① ガイドライン P.16(2017).

10) 柏倉桐子:排出ガスへの燃料影響・温度影響,自技会シンポジウム, No.08-17, Real World で見た自動車の排出物質講演要旨集(2017).

11) 相川孔一郎:ガソリン成分が PN(排出粒子数)に与える影響—PM エミッション指標の提案—, 第 22 回内燃機関シンポジウム講演論文集, p.25-50(2011).

12) 萩野浩之, 大山求明, 佐々木左宇介:ブレーキ摩耗形塵試験機の開発と排出計測に関する研究 その 1:ブレーキ粉塵の排出動態, 第 54 回大気環境学会年会講演要旨集, p.486(2013)(発表時のスライドを引用).

13) Hagino, H.: Measurement of brake wear particle and gas emissions using a dynamometer system under urban city driving cycles, Euro Brake 2017(2017)

14) 利根川義男, 藤川達夫, 佐々木左宇介:乗用車タイヤ摩耗粉塵の測定手法開発, 第 54 回大気環境学会年会講演要旨集, p.550(2013)(発表時のスライドを引用).

15) 利根川義男, 自技会シンポジウム, No.04-15, 自動車の大気環境影響を考える, 2015. 10. 30. より作図