

特集 HC吸着シートの開発*

Development of a Hydrocarbon Adsorption Filter

武山 雅樹

Masaki TAKEYAMA

加藤 直也

Naoya KATO

板倉 秀明

Hideaki ITAKURA

小田 浩一

Kouchi ODA

前田 邦峰

Kunitaka MAEDA

Under the LEV II EVAP regulations, it will become significantly important for Air Intake Systems to reduce Diurnal Breathing Loss. Therefore the authors have developed an air cleaner, which can adsorb evaporative emissions using an activated carbon filter. This filter contributes to satisfying the requirement of the LEV II and P-ZEV regulations for its useful life (15 years). The characteristics of this filter are: low flow restriction, low cost, and high adsorption performance.

Key words : LEV II, EVAP, P-ZEV, Diurnal Breathing Loss

1. はじめに

大気環境改善のために、車両走行時のテールパイプエミッションだけでなく、車両停止時のエバポエミッションを減らすことも重要な課題として認識されつつある。

エバポエミッションは燃料タンク、キャニスタ、インジェクタ、PCVシステム、燃料配管ゴム系部品を発生源としたHCが主な原因となる。このうち燃料タンクや配管系からの漏れは透過性低減、キャニスタの改良によって対策されているものの他の発生源については積極的な対策がなかった。

これらのエバポが発生する原因の一つは日中の温度上昇によるHCの蒸発であり、現象が長時間にわたることやその発生量が微量であることから計測することも困難であった。

2003年から米国では、DBL (Diurnal Breathing Loss) 試験とよばれる車両停止時の低温高温サイクルを中心に、エバポエミッションが厳しく規制される。特にLEVより厳しいP-ZEV (Partial-Credit Zero Emission Vehicle) では、燃料系からの漏れ出し量が3日×DBLで54mg以下と、現行比1/10以下の厳しい値である。これを満足するためには、吸気口からの漏れ量は、15mg以下に低減しなければならなかった。事前調査で、吸気系のHC源のひとつであるインジェクタからの漏れゼロでも規制値をクリアすることが不可能な場合があったため、吸気口からのHC漏れを防御する技術が必須と判断した。(Fig. 1)

2. 吸気管内HC挙動の計測

2.1 吸気管内挙動メカニズム

HCが吸気口から漏れ出すメカニズムをFig. 2に示

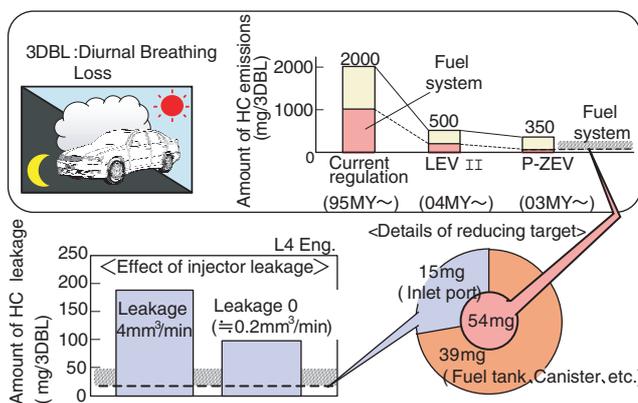


Fig. 1 Target of HC reduction in air cleaner inlet to meet the P-ZEV regulation

す。FTP (Federal Test Procedure) 条件ではプレコンディショニングのあと走行を行い、エンジン停止し、ホットソークロスと呼ばれる高温、短時間の車両停止状態に入る。この時、吸気ポートなどに付着したガソリン、インジェクタから吸気ポートへの漏れガソリン、PCV中のオイルやガソリンが吸気系に残留する。

次のDBL試験の昇温時にガソリンやオイルが蒸発し、HCとなって吸気口側へ拡散し、大気に漏れ出す。3日間の車両放置の総量(3DBL)が規制対象となる。

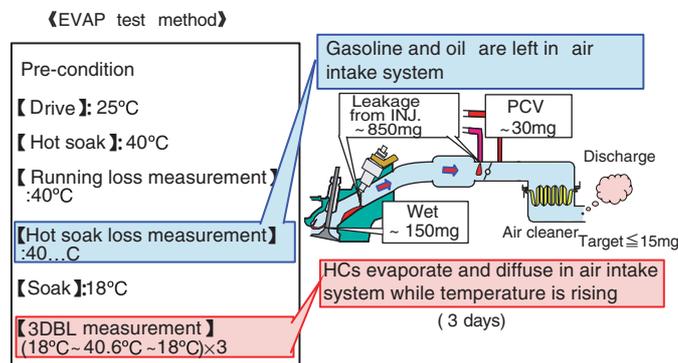


Fig. 2 Mechanism of HC discharge from inlet port

* Translated and reprinted with permission from SAE Paper 2003-01-0565 © 2003 SAE International

2.2 吸気管内HC挙動計測方法

確実なHC低減対策を見出すためには、DBL試験中に発生し吸気系を移動するHC成分とその量を正確に把握することが重要と考えた。そのために吸気系内のガスを多点分析する必要があった。多点計測のために、吸気系内のガスをサンプルしすぎると、系内のHC拡散に影響する。よって少量サンプルでの計測が必要である。さらに3日間での総漏れ量15mg程度という希薄なHCを成分ごとに計測可能にすることも計測上の大きな課題であった。

吸気系の容積と、多点サンプルするガスの総量、および拡散への影響から、1回のガスサンプル量は1mLと設定した。様々なハイドロカーボンの混合ガスを成分ごとに計測できるのは、ガスクロマトグラフィー法である。ガスクロ法でも1mLというサンプル量では、重質HCがシリンジや針の壁面で液化し、全成分を全量ガスクロに投入するのは困難だった。

また、オイル成分はガソリン成分よりもさらに重質なため、ガスクロ分析の標準カラム温度範囲では検出できなかった。

これらの課題解決のために、シリンジによるガスサンプルの後、塩化メチレンを溶剤として追加吸入して、サンプルガスとミキシングすることで、重質分をすべてガスクロに注入可能とした。さらにガスクロのカラム最高温度をオイル分析に十分な340に上昇して、吸気系内に漂う全成分の分析を可能にした。(Fig. 3)

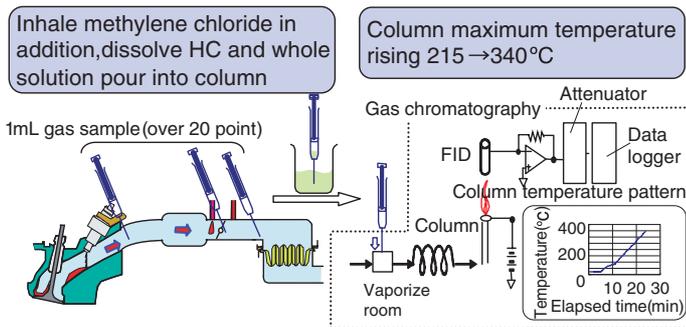


Fig. 3 Analysis method of HC in air intake system

ただし、計測の後処理として、分析結果から塩化メチレン反応を除去し、カラム清掃を毎回行うこととした。ガソリンとオイルの混合ガス1mLを分析した結果をFig. 4に示す。改良後はガソリン中の重質分やオイル成分が検出可能となった。

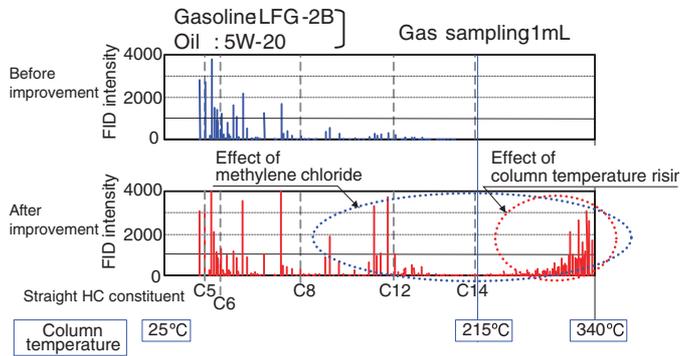


Fig. 4 Gas chromatography evaluation

2.3 吸気管内HC挙動

V6エンジンをを用いてCARB試験条件での吸気系のHC挙動を計測した。HC成分は、軽質なものから重質なものまで、四つのグループに仕分けし、吸気系内の場所ごとに時間経過時の推移を測定した。環境温度はDBL試験昇温時を模擬した。

Fig. 5に計測結果を示す。HC源に最も近いサージタンク(Plenum chamber)では、C4からC11以上までのガソリンとオイルの全成分が存在しており、時間経過とともに濃度が低下する。

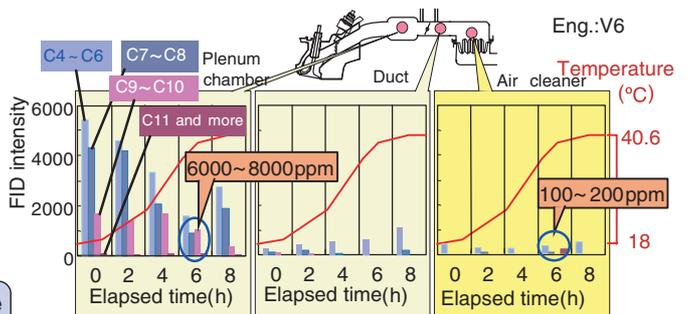


Fig. 5 HC behavior in air intake system

サージタンク上流の吸気ダクトでは大幅に濃度低下しC11以上の重質分は見られなかった。

ここでは時間経過とともに、濃度が上昇した。これはサージタンクから時間経過とともに拡散したためといえる。サージタンクから最も遠いエアクリーナでは、吸気ダクトよりもさらに濃度低下し、その濃度は100~200ppmで、時間による差が小さいことが特徴である。またC11以上の重質分が、PCVから6時間かけてわずかに到達している。

以上のように、吸気系HCは、エアクリーナで最も低濃度化し、DBL試験中の濃度は100~200ppm、C11以上のPCV(オイル)成分もわずかに存在した。

そこで、HC後処理は、エアクリーナに付加することとし、吸着材はキャニスタでHC除去に実績のある活性炭を使用することにした。

3 . HC吸着エアクリーナの開発

次に活性炭の配置方法、活性炭の細孔仕様、活性炭量の適正化(劣化対策)について述べる。

3.1 活性炭配置方法の考察

吸気系に活性炭を置いたときの吸着メカニズムを説明する。(Fig. 6)

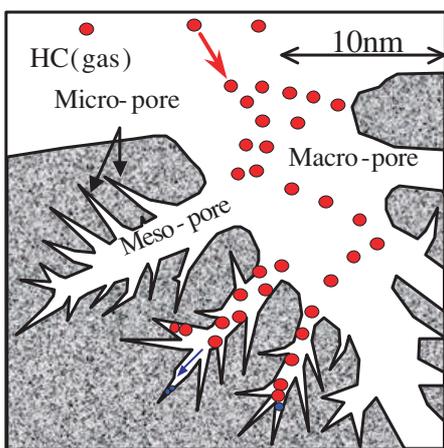


Fig. 6 HC behavior in activated carbon

HCは、マイクロ孔、メソ孔で液化し、毛細管現象により吸着される。吸着が行なわれるとマクロ孔のHC濃度が低下し、活性炭周辺のHCが濃度拡散によりマクロ孔に進入してく。すなわちHCが拡散でしか移動しないときには活性炭周りに濃度変化が起こり、活性炭粒間に多少の空隙があってもHCの吸着は可能である。そのため、HC通路に活性炭を充填する必要はなく、吸気通路全面に均一にまぶすことにより、吸気圧力損失の上昇を最低限にしつつ、HC吸着を可能にすることにした。

3.2 活性炭細孔径の考察

活性炭の能力で重要なのは吸着するHC分子に対する細孔の大きさである。HC分子の大きさは計算で求められる。(Fig. 7)

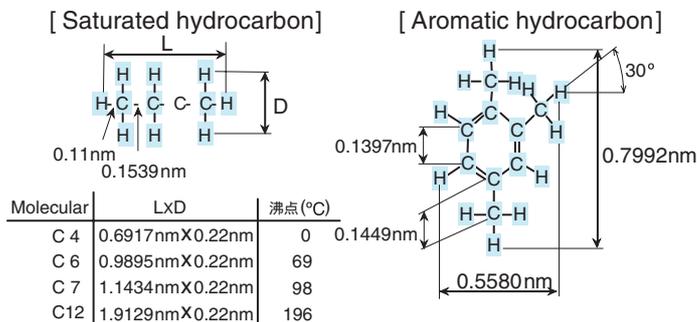


Fig. 7 Size of HC molecular (Gasoline)

HCの分子はFig. 8のようになっており活性炭が吸着するHCの大きさは0.7~2nmといえる。活性炭内では、Fig. 8のようにHC分子は、それよりやや大きな孔に吸着されることがわかっている¹⁾。先の計測により、エアクリーナに到達するHCのうち、C6以下の成分が大部分を占めたことから、確実なHCの漏れ出しを行うためには、1.2nmの細孔を中心に増加すべきと考えた。

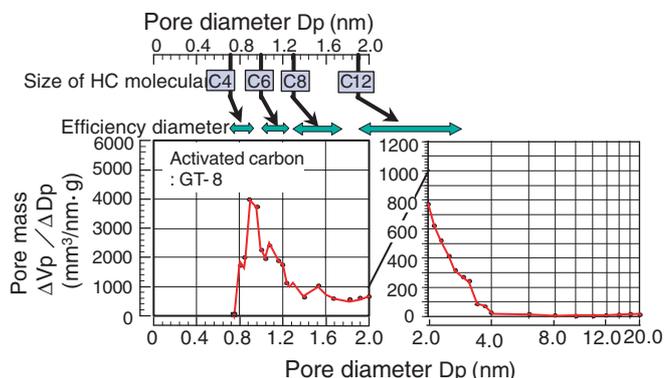


Fig. 8 Pore diameter of activated carbon

3.3 活性炭量の考察

対象製品が15年間性能を維持できればOBD対象から外すことが認められる。そこで寿命を満足する活性炭量について検討した。実車吸気系では活性炭がHCガスを吸着し、走行時のエンジンへの吸入空気中でHCを脱離させるサイクルが繰り返される。これを模擬した吸着脱離繰り返し試験を行うと、活性炭の残存HCが増加し、それに従い活性炭のHC除去性能が低下する。(Fig. 9)

ベンチでの吸着脱離試験品、実機耐久品の残存HC成分をガスクロ分析した結果をFig. 10左側に示す。

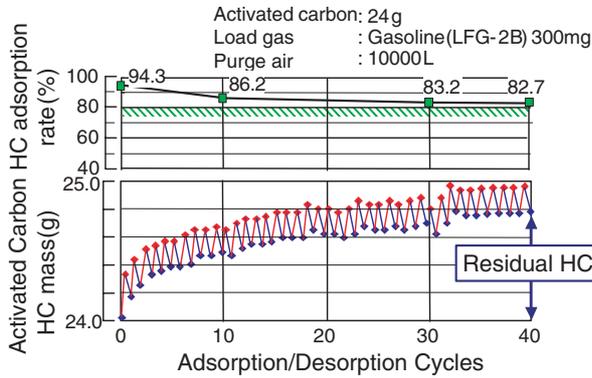


Fig. 9 Degradation phenomena of activated carbon

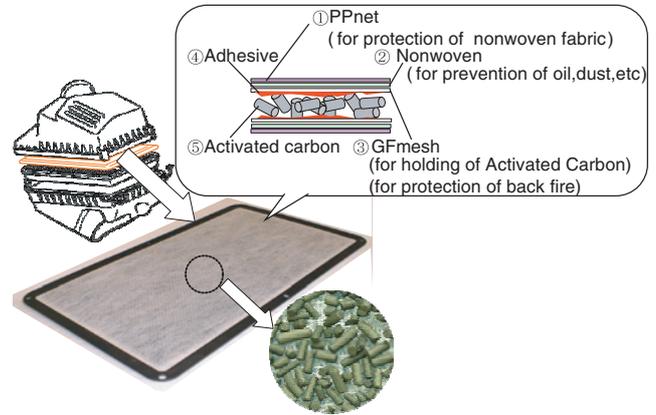


Fig. 11 HC adsorption filter

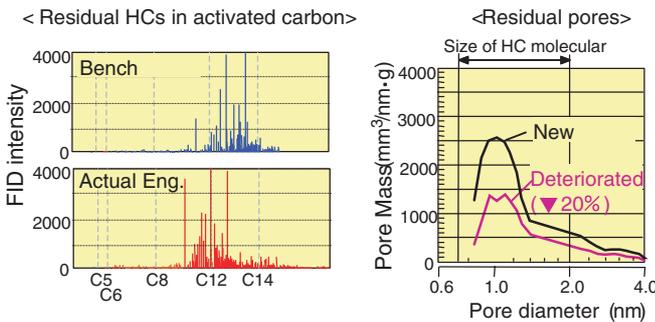


Fig. 10 Residual HCs and pores after degradation

ともに主な残存成分はC10～C14のガソリン重質分である。これらの1nmから2nmの分子が、Fig. 10のように4nmまでの孔を埋めていた。よって、劣化対策としては、0.8～4nmの細孔増加が有利といえる。これは、先ほどの吸着対策の1.2nmを中心とした細孔増加とは範囲が異なる。1粒の活性炭では、吸着性能優先のため1.2nmを中心とした細孔を増加し、劣化対策としては活性炭の量を必要十分とすることで細孔量を確認した。

3.4 HC吸着エアクリナーの開発

エアクリナーに内蔵される活性炭封入シートの試作品をFig. 11に示す。

シートはHC負荷の低いエアクリナークリンサイドに組みつけられ、活性炭はFig. 11のように均一に配置し、PPネット、不織布、GFメッシュでサンドイッチした活性炭を接着剤で固定、活性炭を均一にまぶしてある。

また1.2nm以下の細孔を増加という提案に対して、活性炭メーカーにて従来のキャニスタ向けより1.2nmを中心としたの細孔を集中的に多くした新活性炭が開発された。(Fig. 12)

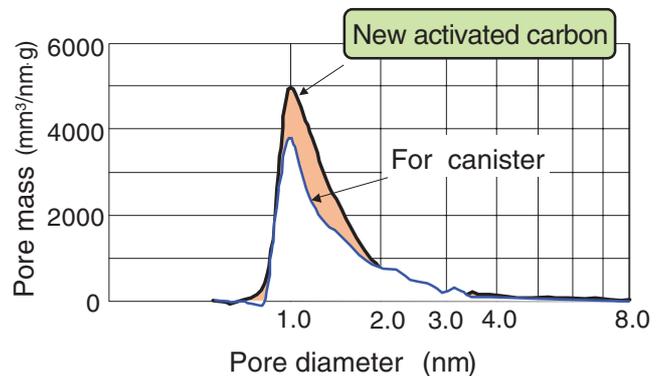


Fig. 12 Increase of 1.2nm pore in activated carbon

最後に劣化対策として0.8～4nmの細孔を適正化するため、シートを用いたHC除去性能の評価を行った。評価結果をFig. 13に示す。

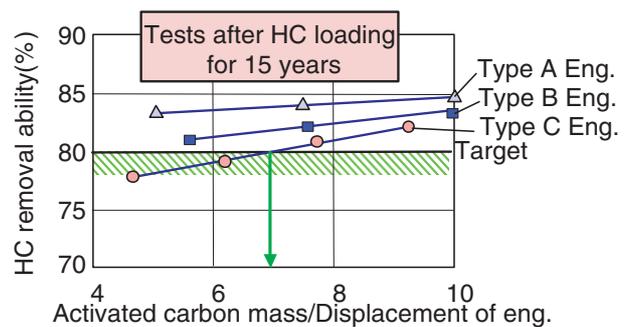


Fig. 13 Adequacy of activated carbon mass

試験はベンチにて、シートへのHC供給とエアによるHCの脱離を繰り返す加速条件で行い、15年分の負荷をシートに与えた。その時の吸着性能を評価し、活性炭の適正量をエンジン排気量1Lあたり7gと決定した。

15年相当の劣化シートの実機評価はシャシーメーカーで行われ、規制値をクリアした。

4 . おわりに

- ・ 1mLのガスサンプルで、吸気系を拡散するガソリンからオイルまでのHC成分計測が可能となった。
- ・ 吸気系を拡散するHCに対する活性炭の吸着と劣化のメカニズムを明らかにし、吸気系HC吸着シートの活性炭仕様を決定できた
- ・ 開発したHC吸着シートはP-ZEVを満足した

5 . 謝辞

本研究にあたって多大なご協力を頂いたトヨタ自動車(株)殿、キャラクター工業(株)殿に厚く感謝の意を表します。

< 参考文献 >

- 1) Hideaki Itakura, Naoya Kato, Tokio Kohama, Yoshihiko Hyoudou, and Toshimi Murai, " Studies on Carbon Canisters to Satisfy LEVII EVAP Regulations ", SAE Paper No.2000-01-0895.
- 2) Harold M. Haskew and William R. Cadman, " Evaporative Emissions Under Real Time Conditions ", SAE Paper No.891121 (1989)
- 3) Harold M. Haskew, William R. Codman, and Thomas F. Liberty, " The Development of a Real-Time Evaporative Emission Test ", SAE Paper No.901110 (1990)
- 4) Harold M. Haskew, William R. Cadman, and Thomas F. Liberty, " Real-Time Non-Fuel Background Emission ", SAE Paper No.912373 (1991)
- 5) J. E. Urbanic, E. S. Oswald, N. J. Wagner, and H. E. Moore, " Factors Affecting the Design and Breakthrough Performance of Evaporative Loss Control Systems for Current and Future Emission Standards ", SAE Paper No.890621 (1989)
- 6) H. R. Johnson and R. S. Williams, " Performance of Activated Carbon in Evaporative Loss Control System ", SAE Paper No.902119 (1990)
- 7) Ames A. Grisanti, Ted R. Aulich, and Curtis L. Knudson, " Gasoline Evaporative Emissions-Ethanol Effects on Vapor Control Canister Solvent Performance ", SAE Paper No.952748 (1995)
- 8) Michael E. Payne, Jack S. Segal, Matthew S. Newkirk, and Lawrence R. Smith, " Use of Butane as an Alternative Fuel Emission from a Conversion Vehicle Using Various Blends ", SAE Paper No.952496 (1995)
- 9) Philip J. Johnson, James R. Jamrog, and George A. Lavoie, " Activated Carbon Canister Performance During Diurnal Cycles: An Experimental and Modeling Evaluation ", SAE Paper No.971651 (1997)
- 10) Philip J. Johnson, Roger J. Khami, Jeffry E. Bauman, Thomas D. Goebel, Vernon L. Clark, David L. Hirt, and Paul J. Luft, " Carbon Canister Development for Enhanced Evaporative Emissions and On-Board Refueling ", SAE Paper No.970312 (1997)
- 11) Marek C. Lockhart, " Predicting Tank Vapor Mass for On-Board Refueling Vapor Recovery ", SAE Paper No.970308 (1997)
- 12) George A. Lavoie, Philip J. Johnson, and Jeffry F. Hood, " Carbon Canister Modeling for Evaporative Emissions: Adsorption and Thermal Effects ", SAE Paper No.961210 (1996)



< 著 者 >



武山 雅樹
(たけやま まさき)
(株)日本自動車部品総合研究所
第3研究室
パワートレイン分野の研究に従事



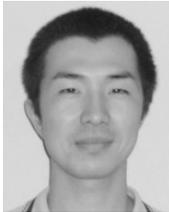
加藤 直也
(かとう なおや)
(株)日本自動車部品総合研究所
第3研究室
パワートレイン分野の研究に従事



板倉 秀明
(いたくら ひであき)
(株)日本自動車部品総合研究所
第3研究室
パワートレイン分野の研究に従事



小田 浩一
(おだ こういち)
豊田紡績(株) AIS技術部
エアクリーナ開発に従事



前田 邦峰
(まえだ くにたか)
豊田紡績(株) AIS技術部
エアクリーナ開発に従事