

# 特集 減圧式エバポリークチェックシステムの開発\*

## Evaporative Leak Check System by Depressurization Method

加納 政雄      小林 充幸      山田 悦史      長崎 賢司  
 Masao KANO      Mitsuyuki KOBAYASHI      Yoshichika YAMADA      Kenji NAGASAKI  
 天野 典保      宮原 秀樹  
 Noriyasu AMANO      Hideki MIYAHARA

Changes to OBDII regulations in North America now require more frequent leak checks to the evaporative emissions system. Conventional methods are unable to comply with the required 0.26 performance ratio due to various factors such as unstable tank pressure and fuel evaporation. These strict regulations require an innovative detection device. Using a vacuum pump, a leak check module with high detection frequency, leak diagnostic accuracy, and superior reliability has been developed. In the present paper, the details of the ELCM (Evaporative Leak Check Module) based on the depressurization method are reported together with the results of a study on the pressurization method.

**Key words** : Emission, Leak detection, Depressurization method

### 1. まえがき

大気環境改善のために、テールパイプエミッションの低減と共に、車両のエバポ系（燃料タンク、キャニスタ、配管等）から蒸散するガソリン蒸気、いわゆるエバポエミッション低減への要求が強まっている。<sup>1)</sup> 米国ではOBD II (Onboard Diagnostic) 規制によって、エバポ系にできたリーク穴よりガソリン蒸気が大気へ排出されることを防止する目的で、そのリーク検出が義務付けられている。05MYからはFig. 1に示すようにCARB (California Air Resources Board) のOBD II 規制改正により、市場でのリーク検出頻度確保が要求されている。しかしながら、従来からの車両走行時の吸気管負圧を利用する方法では、燃料タンクの揺れや温度変化に起因するタンク内圧変化が外乱となり、リーク検出頻度の確保が難しい。このようなことから、リーク検出頻度を確保するための画期的な検出手法の開発が求められている。

上記のような状況の中、常に安定した圧力を供給できるポンプを利用した、リーク判定精度、耐環境性、耐久信頼性、検出頻度の優れた減圧式外圧法でのエバポリークチェック方式を開発し、それに必要なバキュームポンプ、切換弁、圧力センサ、リーク基準オリフィスをコンパクトにまとめたモジュールを開発した。本論文では加圧式外圧法も比較検討したのでその結果も含めて報告する。

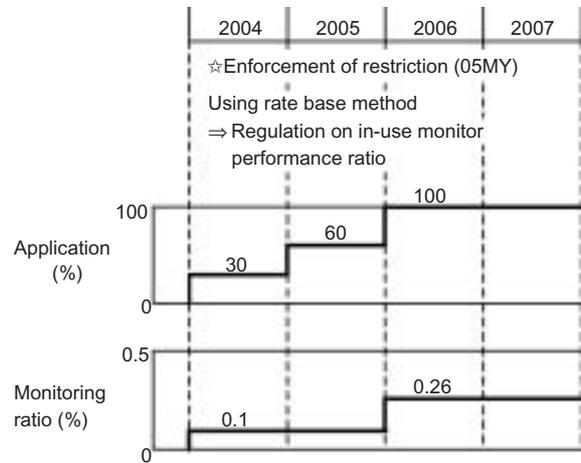


Fig. 1 Trend of OBD II regulations

### 2. システム説明

#### 2.1 外圧法のリークチェック方式

Fig. 2に今回開発した減圧リークチェック方式 (ELCM: Evaporative Leak Check Module) のブロック図を、Fig. 3にキーオフポンプ作動時の圧力挙動をタイムチャートで示す。

本システムは系を減圧するためのバキュームポンプ、減圧対象をリーク基準オリフィスとエバポ系に切替える切換弁、リーク基準オリフィスの圧力とエバポ系内の圧力を計測する圧力センサ、およびリーク基準オリフィス (φ0.02inch) から構成される。

作動はエンジン停止後に、バキュームポンプでリーク基準オリフィスを減圧し、その時のサチュレート圧力  $P_{ref}$  を測定する。次に切換弁をエバポ系側に切替え

\* Translated and reprinted with permission from SAE paper 2004-01-0143 © 2004 SAE International

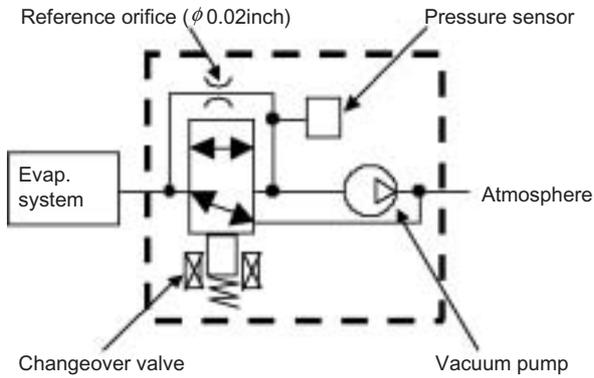


Fig. 2 Configuration of ELCM (At reference check)

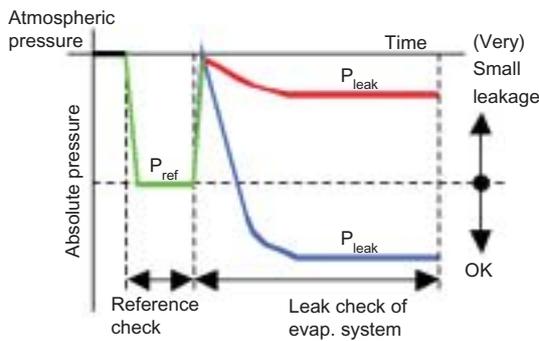


Fig. 3 Characteristics of ELCM

てエバポ系を減圧した時のサチュレート圧力  $P_{leak}$  を測定する。そして、測定された  $P_{ref}$  と  $P_{leak}$  を相対比較することにより、リーク基準オリフィスに対するエバポ系のリーク穴の大きさを判定することができる。Fig. 4 にポンプの特性と、リーク穴径との関係を示す。リーク穴を通る流量特性とポンプ特性の交点はそのリーク穴でのサチュレート圧力となる。例えば、エバポ系のリーク穴が、リーク基準オリフィスと同等であれば  $P_{ref} = P_{leak}$  となる。エバポ系のリーク穴がリーク基準オリフィスより大きければ  $P_{ref} < P_{leak}$  となり、逆に小さければ  $P_{ref} > P_{leak}$  となる。また、加圧方式は圧力印加方向が減圧方式の逆で表現できる。

減圧するためのポンプは流量特性（比速度）からベーン方式を採用し、ポンプの駆動には耐用年数（04MY以降一律15年15万マイル）・使用環境（ガソリン蒸気雰囲気での作動等）を考慮してブラシレスモータを採用した。さらに、バッテリー電圧の変動によるポンプ性能の変動を抑制するためにモータは定電圧駆動とした。減圧状態をモニタするための圧力センサは大気圧をモニタすることも考慮し、絶対圧センサとした。リーク基準オリフィスはCARB規格φ0.02inchに

対して、余裕を考慮して若干小さなリーク径を使用している。

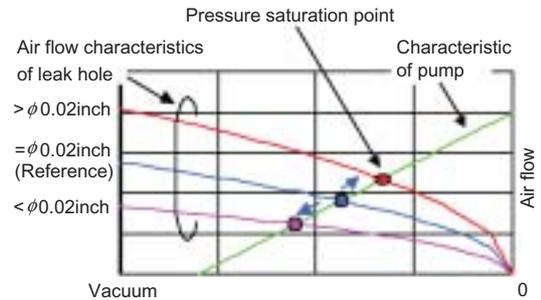


Fig. 4 Relation between pressure saturation point and leak hole diameter

## 2.2 減圧式リークチェックの圧力挙動の理論的検証

Fig. 5にリークチェック時のエバポシステム系のモデルを示す。任意の状態Aから、バキュームポンプでの減圧により時間  $\Delta t$  後に状態Bに変化するモデルを考えた。その際、前提条件を下記①、②に示す。

- ① 空間容積中のHC（Hydrocarbon）濃度は飽和濃度を保つ
- ② 燃料が蒸発しても、蒸発量は微小なため空間容積は変化しない（燃料の液面は変化しない）

状態Bの圧力は時間  $\Delta t$  の間に变化するエア量とエバポ量で決まる。エア量の差分による圧力は空間容積に流入する量と流出する量の差で決まるため気体の状態方程式から “ $P_0/V \times \{Q_{in} - Q_{out}(1 - C/100)\} \times \Delta t$ ” となる。また、エバポ量の差分による圧力は、空間容積中に供給されるエバポ量を前記前提条件の下、温度  $T_1 \rightarrow T_2$  でのエバポの収支による圧力変化分で近似し “ $(P_1 - P_{e1}) \times (T_2/T_1) + P_{e2}$ ” となる。よってリークチェック時のエバポ系内圧力の理論式は式(1)となる<sup>2)</sup>

$$P_2 = (P_0/V) \times \{Q_{in} - Q_{out}(1 - C/100)\} \times \Delta t + (P_1 - P_{e1}) \times (T_2/T_1) + P_{e2} \quad (1)$$

ここで、

- $P_0$ : 大気圧
- $P_1$ : 状態Aでのエバポ系内圧
- $P_2$ : 状態Bでのエバポ系内圧
- $P_{e1}$ : 温度  $T_1$  でのエバポ飽和蒸気圧
- $P_{e2}$ : 温度  $T_2$  でのエバポ飽和蒸気圧
- $T_1$ : 状態Aでの温度

- $T_2$  : 状態Bでの温度
- $V$  : 空間容積
- $d$  : リーク穴径
- $\Delta P$  : 大気と空間容積内圧との差圧
- $Q_{out}$  : ポンプから排出された気体(= $Q_a+Q_e$ )
- $Q_a$  : ポンプから排出されたエア
- $Q_e$  : ポンプから排出されたエバポ(= $Q_{out} \times C/100$ )
- $C$  : ポンプから排出された気体のHC濃度
- $Q_{in}$  : リーク穴からエバポ系内に流入したエア  
(= $\pi d^2/4 \times \alpha \sqrt{(2\Delta P/\rho)}$ )
- $\alpha$  : 流量係数
- $\rho$  : リーク穴を通る気体の密度

つまりエバポ系の内圧は排出空気と流入空気の収支で決まるが、(1)式より判定の誤差要因として、温度変化、ポンプから排出されるHC濃度、タンク内のエバポ蒸気圧が影響することを示している。

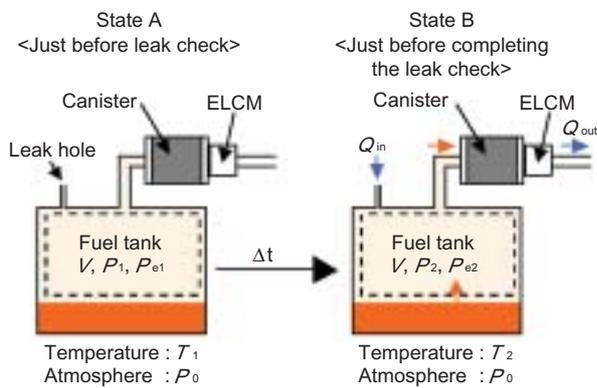


Fig. 5 Test model of depressurization method

### 2.3 加圧式リークチェックの圧力挙動の理論的検証

Fig. 6に加圧方式でのリークチェックのモデル図を示す。この場合減圧方式に比べ圧力印加方向が逆となるだけのため、理論式は、やはり式(1)で表される。

$$P_2 = P_0/V \times \{Q_{in} - Q_{out}(1-C/100)\} \times \Delta t + (P_1 - P_{e1}) \times (T_2/T_1) + P_{e2} \quad (1)$$

しかし、記号の意味合いが変わるため、その項だけを以下に記す。

- $Q_{out}$  : 漏れ穴から排出された気体(= $Q_a+Q_e = \pi d^2/4 \times \alpha \sqrt{(2\Delta P/\rho)}$ )
- $Q_e$  : 漏れ穴から排出されたエバポ(= $Q_{out} \times C/100$ )
- $Q_{in}$  : ポンプによりエバポ系内に流入したエア

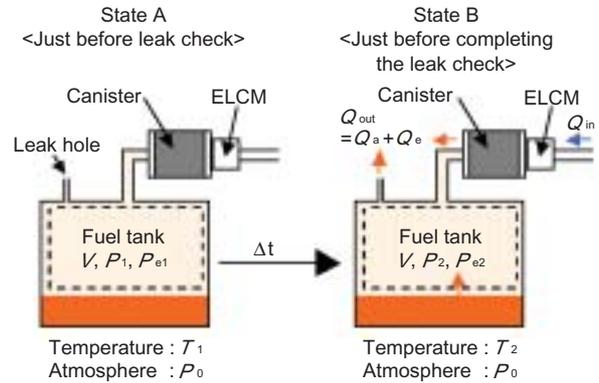


Fig. 6 Test model of pressurization method

### 2.4 減圧式と加圧式の理論的検証

いま、リーク基準オリフィスと同じリーク径を燃料タンクもしくは、パージラインに持つ系を考える。ここでオリフィス流量式は $Q = \alpha d^2 \pi / 4 \sqrt{(2\Delta P/\rho)}$ で表される。(d:リーク穴径)この式をリーク穴径で展開し、dでまとめると、

$$d = K \cdot \rho \quad (2)$$

と表される (K:定数)。

減圧方式ではリーク基準オリフィス (径:  $d_{ref}$ ) を通過する流体とエバポ系に発生したリーク穴 (径:  $d_{leak}$ ) を通過する流体は、共に空気であるため(2)式からそれぞれの差圧 $\Delta P$ が同じであれば、 $d_{ref} = d_{leak} = K \cdot \rho_{air}$ となり誤差は生じない。

しかし、加圧方式では、リーク基準オリフィスを通る流体は空気であるが、エバポ系に発生したリーク穴を通る流体はエバポである。従って(2)式より、 $d_{ref} = K \cdot \rho_{air}$ 、 $d_{leak} = K \cdot \rho_{evp}$ で表され、 $\rho_{air} < \rho_{evp}$ であるため $d_{ref} < d_{leak}$ となる。つまり、 $P_{ref} = P_{leak}$ と測定された場合、実際は $d_{ref} < d_{leak}$ となっているので、リーク基準オリフィスよりも大きいリーク穴が存在しても、穴径を過小判定することになる。

## 3. リークチェック実験結果

### 3.1 実験装置

Fig. 7に本研究で用いたエバポリーク判定精度の計測システムを示す。リーク穴位置はFig. 7に示すような燃料タンク位置のほかにパージラインおよびキャニスタ大気側にも配置し計測した。減圧方式と加圧方式でも評価を実施した。

ポンプ駆動時の圧力変化はFig. 2に示す位置に配置

されている圧力センサで計測し、減圧方式では大気ポートからの排出HCを、加圧方式ではエバポ系に付加したリーク穴からの排出HCを接触燃焼式センサのHC濃度計にて測定した。

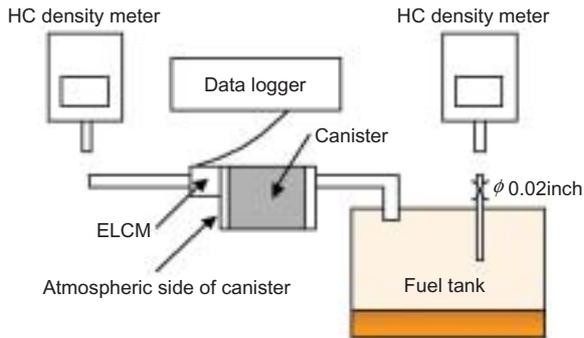


Fig. 7 Test equipment

### 3.2 実験条件

雰囲気温度25°Cで評価用小型タンク（容積5 L）に試験ガソリンとしてEPA（Environmental Protection Agency）試験燃料相当品（Reid Vapor Pressure：62kPa）を1 L入れ計測を実施した。

排出HC量の計測については80 Lの燃料タンクに燃料を40%入れ、燃料タンクにリーク穴を配置してリークチェック時間10分での排出HC量を、排出HC濃度の積分で求めた<sup>3)</sup>。その時の圧力センサの波形も同時に確認した。次項より温度変化による圧力挙動式の検証、HC濃度によるリークチェック判定誤差の確認、リークチェック時のHC排出量の測定、本システムを用いたリークチェック時の圧力挙動を示す。

### 3.3 圧力挙動理論式の実験的検証結果（温度変化の影響）

Fig. 8に減圧方式での計算値と実験値の比較を示す。条件として、温度が安定な場合とリークチェック中に急激な温度変化があった場合で評価した。計算値は実験値とほぼ一致しており、式(1)からリークチェック時の圧力挙動を求めることができる。

これにより、もしリークチェック中に燃料温度が上昇し、沸点近くになると、燃料の急激な蒸発の影響を受け、エバポ系内圧が変動し、φ0.1穴のものを穴径大（φ1.0）と誤判定してしまう。すなわち、急激な燃料の蒸発する条件下では誤判定の可能性があるため、その場合はリークチェックを回避する必要がある。この解決のためには、リークチェックをエンジン停止

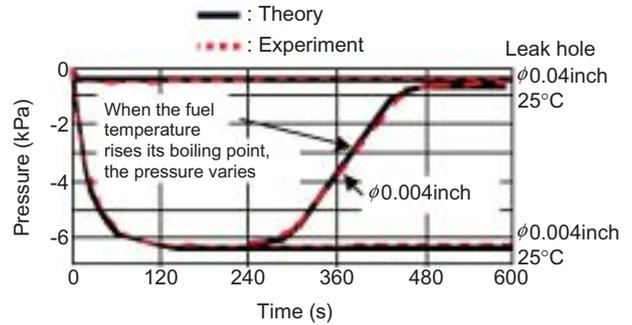


Fig. 8 Comparison between theory and experiment

数時間後（燃料状態の安定時）に行えばよいと考える。また、式(1)から、燃料温度のほかに排出HC濃度の影響があることが分かっている。これを次項で説明する。

### 3.4 HC濃度における判定誤差の実験的検証結果

Fig. 9にリーク穴位置と判定穴径誤差の関係を示す。

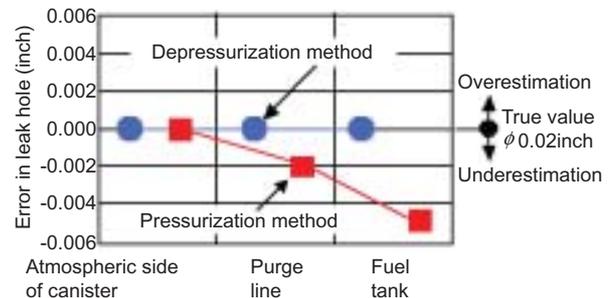


Fig. 9 Relation between leak hole position and error in leak hole

減圧方式ではHCを外部に排出しないため、穴位置によらず判定誤差がほとんど無い。しかし、加圧方式ではリークチェック中にリーク穴からHCが大気中に排出されると、規制値の閾値であるφ0.02inchのリーク穴に対してφ0.02inchよりも大きなリーク穴を、小さなリーク穴と誤判定してしまう。

Fig. 10にリークチェック時に温度変化がない場合における加圧方式でのサチュレート時のモデルを示す。

各モードにおける流量を見てみると、リファレンス時は

$$Q_{in} |_{ref} = Q_{out} |_{ref} = d^2 \pi / 4 \alpha \sqrt{2 \Delta P_{ref} / \rho_{air}}$$

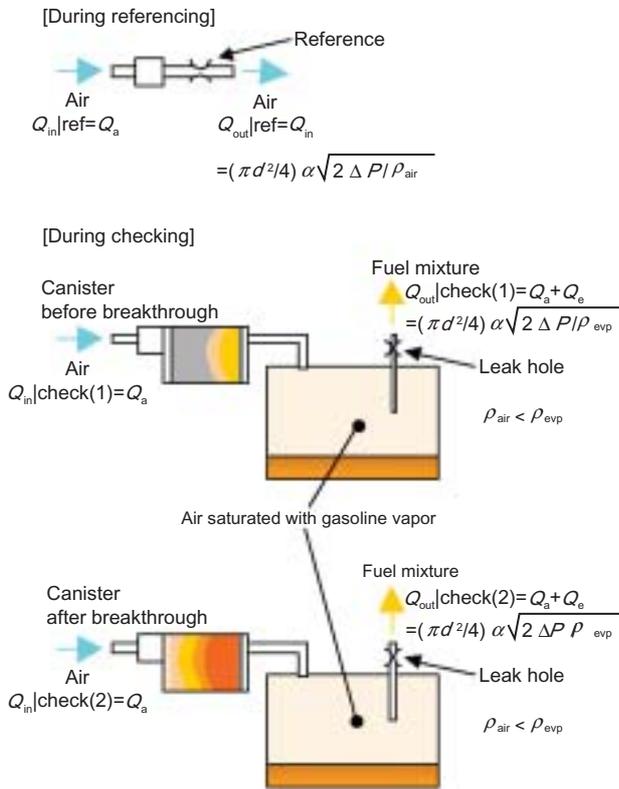


Fig. 10 Test model with saturated inner pressure of evaporative system by pressurization method

チェック時はキャニスタのHC吸着状態によらず

$$Q_{in} | check + Q_e = Q_{out} | check$$

$$H = d^2 \pi / 4 \alpha \sqrt{(2 \Delta P_{check} / \rho_{evp})}$$

となる。簡単のためにポンプ能力 ( $Q_{in}$ ) 一定とすると

$$Q_{in} | ref = Q_{in} | check$$

$$\Rightarrow d^2 \pi / 4 \alpha \sqrt{(2 \Delta P_{ref} / \rho_{air})}$$

$$= d^2 \pi / 4 \alpha \sqrt{(2 \Delta P_{check} / \rho_{evp})} - Q_e$$

$Q_e > 0$  なので

$$d^2 \pi / 4 \alpha \sqrt{(2 \Delta P_{ref} / \rho_{air})}$$

$$< d^2 \pi / 4 \alpha \sqrt{(2 \Delta P_{check} / \rho_{evp})}$$

$$\Delta P_{ref} / \rho_{air} < \Delta P_{check} / \rho_{evp} \text{ また } \rho_{air} < \rho_{evp}$$

$$\therefore \Delta P_{ref} < \Delta P_{check}$$

となり、実際のリーク穴より小さい穴と誤判定する。これを回避するためには、リーク部分のHC濃度をモニタできれば、誤差を補正できると考える。

### 3.5 燃料蒸発量の影響

Fig. 11に各燃料の温度と蒸発量の関係を示す。RVP100kPaの燃料では約38℃が沸点となる。沸点以上の温度でリークチェックを実施すると、エバポ系内の気体をポンプで吸引しても、燃料が沸騰しているため減圧できず“リーク有り”と誤判定してしまう。それを回避するために、リークチェックはその温度以下で実施すればよい。

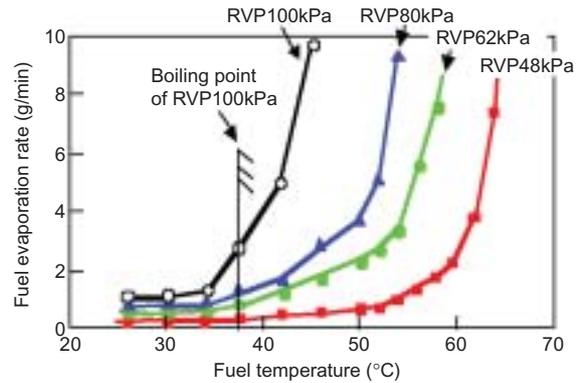


Fig. 11 Changes in the evaporation rates of fuels

### 3.6 リークチェック時の排出HC量

Fig. 12にリークチェック時に大気に排出されるHC量の計測結果を示す。大気に排出するHC量を濃淡で示してあり、白色の部分エバポ規制値である500mg以下の排出量を示している。条件は温度25℃、タンク容量80L (40%燃料)、リークチェック時間10分とした。

Fig. 12に示すように、減圧方式はリーク穴径によらずHCをほとんど外部に排出しない。一方、加圧方式ではリーク穴径に比例してHC排出量が増加し、規定のリーク穴径以下でも、リークチェック時に規定以上のHCを外気へ排出することが分かる。

## 4. ELCMの圧力特性

Fig. 13にELCMでリークチェックを行った際の圧力挙動を示す。グラフはELCMに内蔵されている圧力センサの信号を記録したものである。グラフに示すように、エバポ系にリーク穴が存在しても、ELCMを用いた減圧方式リークチェックは正確にエバポ系のリークを判定できることを確認した。

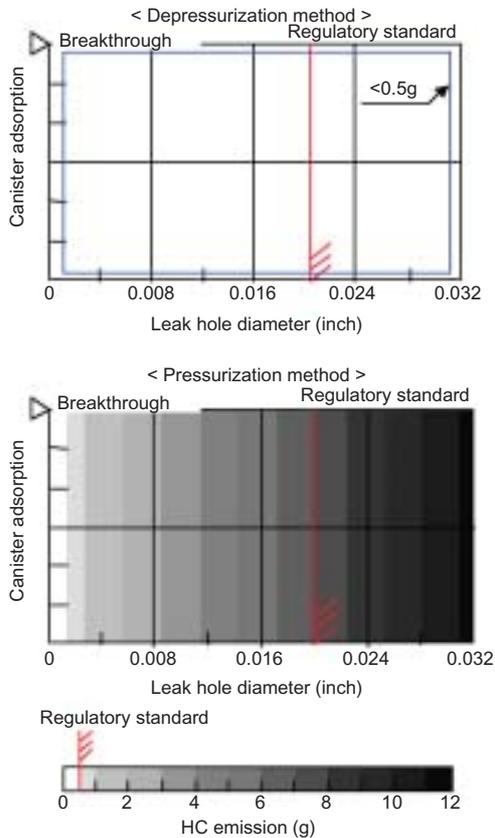


Fig. 12 Comparison on HC emission quantities

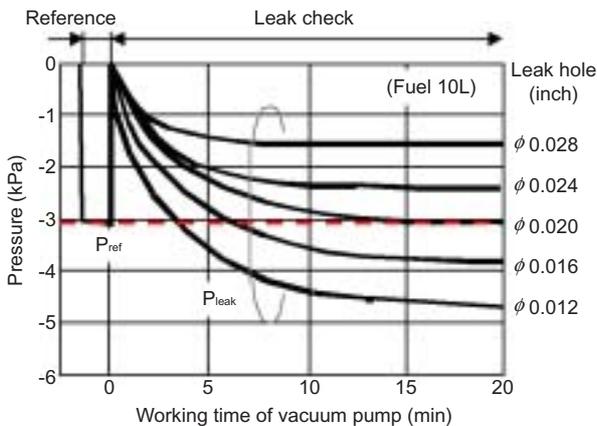


Fig. 13 Actual performance of ELCM

また、Fig. 14に燃料残量とリークチェック時間の関係を示す。外圧法ではガソリン残量により空間容積が異なるため、チェックに要する時間が変化するが、正確にリークチェック可能である。

試験条件  
 雰囲気温度：25℃  
 タンク容量：80 L

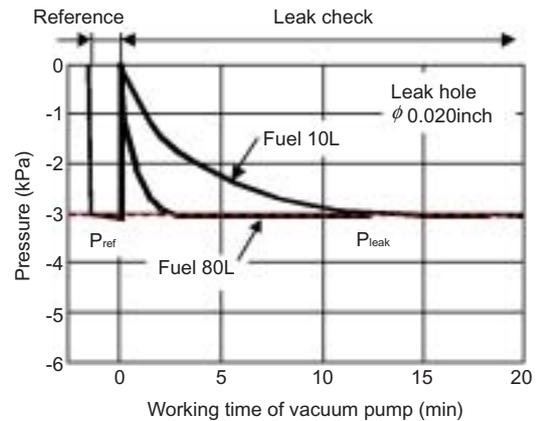


Fig. 14 ELCM characteristics per fuel amount

## 5. まとめ

今回開発した減圧リークチェック方式を検証した結果、

- ① 正確にリークチェックが可能であることを確認した。
- ② 燃料タンクもしくは、パージライン上にリーク穴がある場合でも外気にHCをほとんど排出しないことを確認した。
- ③ ELCMは燃料残量に左右されず、正確にリークチェック可能であることを確認した。
- ④ キーオフ後エバポ系の安定した状態でリークチェックを行うため、07MYのOBD IIで増加されるリーク検出頻度が確保できた。

ELCMは、負圧式ポンプ、ポンプ駆動用のブラシレスモータ（使用環境・使用寿命を考慮）、圧力センサ、減圧通路をエバポ系とオリフィス区間とを切り換える切換弁、リーク基準となるオリフィスから構成され、04MYから製品化されている。

## <参考文献>

- 1) Code of Federal Regulation, Title 40, Part86, Subpart B, “Emission Regulations for 1977 and Later Model Year New Light-Duty Vehicles and New Light-Duty Trucks; Test Procedures”
- 2) 内田茂男：流体力学序説 (1990)
- 3) 太田，他：自動車技術会学会講演会前刷り集 (1999), pp, 55-99.



<著者>



加納 政雄  
(かとう まさお)  
機能品技術3部  
エバポシステム製品の開発に従事



小林 充幸  
(こばやし みつゆき)  
機能品技術3部  
エバポ製品の開発・設計に従事



山田 悦史  
(やまだ よしちか)  
機能品技術1部  
吸気系コンポーネントの開発・  
設計に従事



長崎 賢司  
(ながさき けんじ)  
パワトレイン制御開発部  
ガソリンエンジン制御システムの  
開発に従事



天野 典保  
(あまの のりやす)  
(株)日本自動車部品総合研究所  
研究1部  
エバポ製品の研究・開発に従事



宮原 秀樹  
(みやはら ひでき)  
トヨタ自動車(株)  
第2エンジン技術部  
OBD制御の開発に従事