

# 自動車E/Gをベースにした 低NO<sub>x</sub>, 高信頼性GHP用E/Gの開発

Development of Car Engine-Based, Low NO<sub>x</sub>, Highly Reliable GHP Engine

前田 徹\*

Tooru Maeda

岡田 雄三\*\*

Yuuzoo Okada

鈴木 茂人\*\*\*

Sigeto Suzuki

## 要旨

GHP用E/Gは、燃料が都市ガスで多種類有り、一定低速運転に近く20000Hrの長寿命が要求されるなど自動車E/Gとは異なった使用条件にある。今回、量産されているLPGを燃料とするタクシー用E/G技術をベースとして、圧縮比、燃料供給システム、動弁系、ブローバイシステムなどを設計変更する事により低NO<sub>x</sub>、高信頼性GHP用E/Gを開発し、このE/Gを搭載したGHPの市場展開を近々予定しています。今後は、さらなる低NO<sub>x</sub>化、ノーメンテナンス化、さらなる長寿命化を図る事が課題です。また自動車E/Gをベースとして適切な設計変更を加える事により低NO<sub>x</sub>、高信頼性GHP用E/Gを実用化できる事を実証した事は、量産されている多種の自動車E/GをモディファイしてガスE/Gに転換できる可能性を示し、この事は、エネルギーの有効利用の一つの形であると考えています。

## Abstract

A GHP engine differs from a car engine in operating conditions in that it burns various types of city gases, runs at a constant low speed, and is required to have a long service life of 20,000 hours. A low NO<sub>x</sub>, highly reliable engine has been achieved by redesigning compression ratio, fuel supply system, valve gear and blow-by system on a production LPG taxi engine. In the near future, the GHP units equipped with this engine will be placed in the market. Our future targets are to achieve a lower NO<sub>x</sub> concentration, to establish a maintenance-free system and to design for a longer service life.

The fact that a practical, low NO<sub>x</sub>, highly reliable GHP engine is developed by properly redesigning a car engine indicates the possibility that various production car engines can be converted into gas engines. It also indicates the way towards effective use of energy.

## 1 はじめに

エネルギー効率化、エネルギーの有効利用等の目的により都市ガス、LPGを燃料とするヒートポンプ(GHP)が実用化され、市場で好評を得ている。現在日本では、'85年より生産が開始されて以来100000台稼働しており、その重要性は益々増してきている。ヤマハは、現在マツダ(株)の自動車用FE(2.0ℓ)E/GをベースとしGHP用として開発し生産をしている。近年環境保護の面より低EM(特に低NO<sub>x</sub>)化が強く要望されており、ここに自動車E/Gをベースにした、20HP低NO<sub>x</sub>、高信頼性GHP用ガスE/G(F2)を開発したので報告する。

\*; \*\* マツダ産業(株) 設計部

\*\*\* G H P 事業部技術部

## 2 GHPの紹介

GHPは、電気の空調機がモーターを使う代りに、ガス燃料を使用したE/Gでコンプレッサーを駆動し、冷、暖房を行うものである。更にE/Gの排気熱の有効利用もかかるものである。具体的なGHPのシステム例をFig 1に示す。

## 3 GHP用E/Gの開発目標

GHPはモーターでコンプレッサーを駆動するEHPと競合できるユニットである必要がある。そのためには、EHPは殆どメンテナンスが不要であるため、GHPユニットの寿命は10年(実働時間20000Hr)以上、E/Gのメンテナンスインターバルは、少なくとも1年(実働2000Hr)毎でなければならない。従来のGHP(FE E/G使用)は、

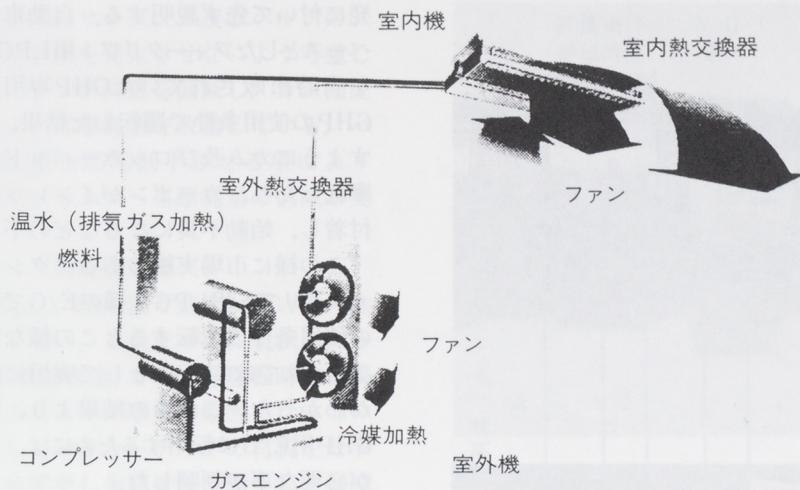


Fig 1 GHPシステム

Table 1 GHP用エンジンの主要開発目標及び主要諸元

項目	現量産中のFEエンジン	新開発 低NOx F2エンジン	(参考) タクシー用FEエンジン
<b>主要開発目標</b>			
1) 性能			
a トルク	127Nm/1400rpm(I3A)	137Nm/1600rpm(I3A)	
b 使用回転数範囲	700~2000rpm	700~2400rpm	
c 排熱回収率	(入力ー軸出力)×0.85 以上	(入力ー軸出力)×0.85 以上	
d EM値(NOx値)		500ppm 以下 (実用領域トルク70Nm以下)	
e エンジン制御	運転制御の無人化		
2) 耐久信頼性エンジン寿命	20000Hr	20000Hr	
3) サービス性 (交換インターバル)			
a オイル	2000Hr	4000Hr	
b オイルフィルター	2000Hr	4000Hr	
c 点火プラグ	4000Hr	4000Hr	
d エアクリーナーアレメント	4000Hr	4000Hr	
<b>主要諸元</b>			
1) 機関名	4サイクルエンジン	4サイクルエンジン	4サイクルエンジン
2) シリンダー数 径×行程	直4 86.0×86.0	直4 86.0×94.0	直4 86.0×86.0
3) 行程容積	1998	2184	1998
4) 圧縮比	9.8	8.4	10.3
5) バルブタイミング	$\frac{2}{53} \mid \frac{-2}{57}$ 8.0	$\frac{2}{53} \mid \frac{-2}{57}$ 8.0	$\frac{10}{40} \mid \frac{10}{40}$ 10.0
6) バルブリフト			
7) 燃料供給系	ダウンドラフト シングルボア式	ダウンドラフト シングルボア式 パワーバルブ付	ダウンドラフト 2ボア式 パワーバルブ付
8) 点火プラグ	標準タイプ, ギャップ0.5mm	白金タイプ, ギャップ0.5mm	標準タイプ, ギャップ1.1mm

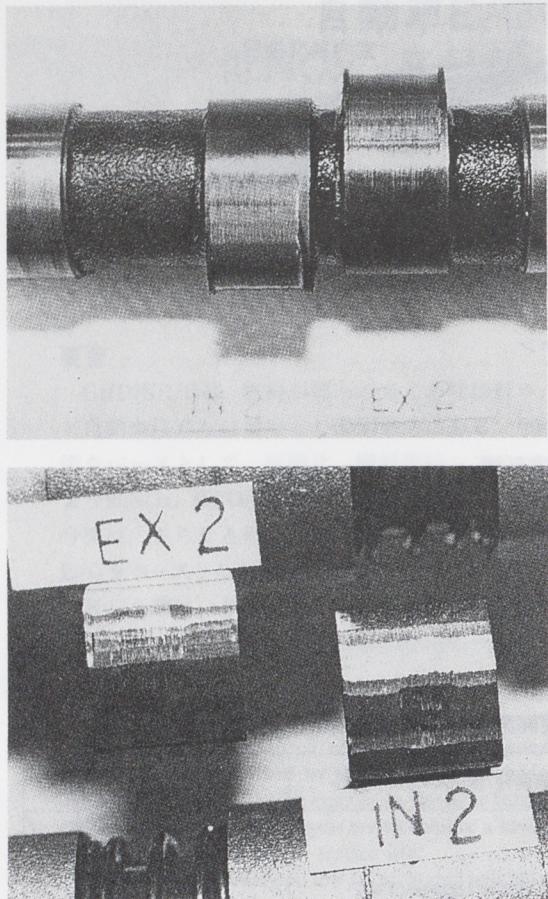


写真1 カムノーズとロッカーパッドのスカッフィング

1年メンテナンスを最低インターバルとして実用化されている。更に、環境保護の面から以下に報告するような技術開発が必要であった。低NOx、高信頼性E/G開発に於いては、市場要求を受け商品力を高めるために2年（実働時間4000Hr）インターバルを開発目標とした。更に、環境保護の面からEM値（特にNOx値）の低減が、厳しく要求されるようになってきており、NOx値500ppm以下をF2 E/Gの開発目標とした。以上のようにして設定した低NOx、高信頼性GHP用E/Gの主要開発目標及び主要諸元をTable 1に示す。

#### 4 GHP E/Gの開発項目

##### (1) GHP用E/Gにおける信頼性開発

F2 E/Gの信頼性開発は、FEの信頼性開発がベースになっている。そこでFE E/Gの信頼性開

発について先ず説明する。自動車（タクシー）用をベースとしたフォークリフト用LPG仕様E/G(FE)を当時市販されていたGHP専用オイルを使用しGHPの使用条件で運転した結果、写真1、2に示すようにカム及びロッカーパッドが異常スカッフ摩耗したり、カーボンがインレットバルブ傘部に付着し、始動不良になるなどの不具合が発生した。

この様に市場実績のあるタクシー用あるいはフォークリフト用LPG仕様のE/Gであっても、GHPの使用条件で運転するとこの様な不具合が発生しこのままではGHP用として実用に耐えられない事がわかった。これらの結果より、自動車用E/GをGHP用E/Gに転用するためには、下記の開発項目が必要な事が判明した。

- ①動弁系摩耗対策（カムシャフト、ロッカーアーム）
- ②オイル劣化改善
- ③インレットバルブのカーボン付着対策
- ④点火プラグ寿命向上

此処では、そのうち動弁系の摩耗とインレットバルブのカーボン付着の対策例について詳細説明をする。

##### (a)動弁系摩耗対策

カムノーズ及びロッカーチップ摩耗は出力低下の原因となるため、下記対策を実施し改善を図った。

###### i) オイル改善

E/G動弁系、特にカムノーズ摩耗には、E/Gオイルに古くから多目的添加剤として使用されているZnDTP (Zinc Dialkyl diThio Phosphate) のタイプが大きく影響する事はよく知られている。開発当初、既にGHP専用E/Gオイルとして推奨市販されていたオイルを使用したところ、写真1の様にカムノーズ及びロッカーチップが著しく摩耗した。これらのオイルは、ピッチングに対する耐摩耗性のあるZnDTP（セカンダリー／プライマリー）タイプでありスカッフィングに対する耐摩耗性が問題となるO.H.C E/Gには有効では無かった。この為、ZnDTPを耐スカッフ性のあるタイプ（セカンダリー単独）に変更しスカッフィングに対する耐摩耗性を向上させた。Fig 2にオイル変更によるカムノーズ摩耗量の低減を示す。

###### ii) カム面圧の低下(バルブスプリング荷重の低減)

バルブスプリングのサージング及びバルブのジャンピング、バウンスを発生させないよう考慮しつつ、バルブスプリング荷重を低減し、カム面圧を低下させカムノーズ摩耗量を改善している。バルブスプリング荷重を25%低下させる事によりFig2に示すように、カムノーズ摩耗量の低減が実現できた。

### iii) ロッカーチップの材質変更

カムノーズ付近は、相対滑り速度が遅いため油膜厚さが薄くなり易い。そのため特に現状のロッカーチップ材質(焼結合金)では低速運転時に金属接触が起り易くカムノーズ摩耗の原因になっている。この対策としてロッカーチップの材質をセラミック(Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>)に変更し金属接触を無くし、耐摩耗性の向上を図った。Fig2にロッカーチップ材のセラミック化によるカムノーズ摩耗量の低減を示す。

### (b) インレットカーボン付着対策

ガスE/Gでは、ガソリンE/Gの様に燃料によるインレットバルブの洗浄が行われないため、写真2に示すようにバルブ傘部にカーボンが付着する。このカーボンがE/G停止中に剥離する事があり、始動時に剥離したカーボンがインレットバルブとバルブシートの間に咬み込んで、コンプレッショ

評価条件：W.O.T. / 800r.p.m.

評価時間：100Hr

A：対策前

B：オイル性状変更

C：B+バルブスプリング荷重25%減少

D：C+ロッカーチップ材質変更

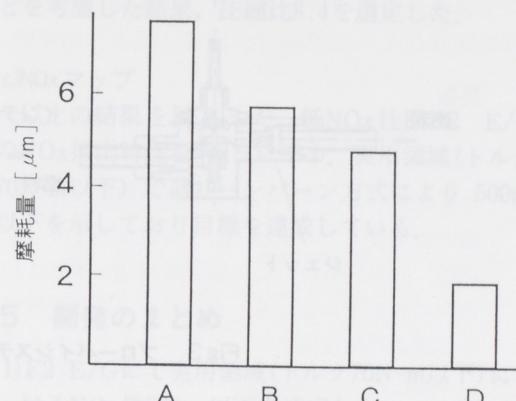


Fig2 カムシャフト摩耗

ンが低下し、始動不良につながる。カーボン付着の主要因は、プローバイガスに含まれているオイルミストがバルブ傘部に付着し、燃焼熱で炭化されて次第に堆積した結果である事が各種のテスト

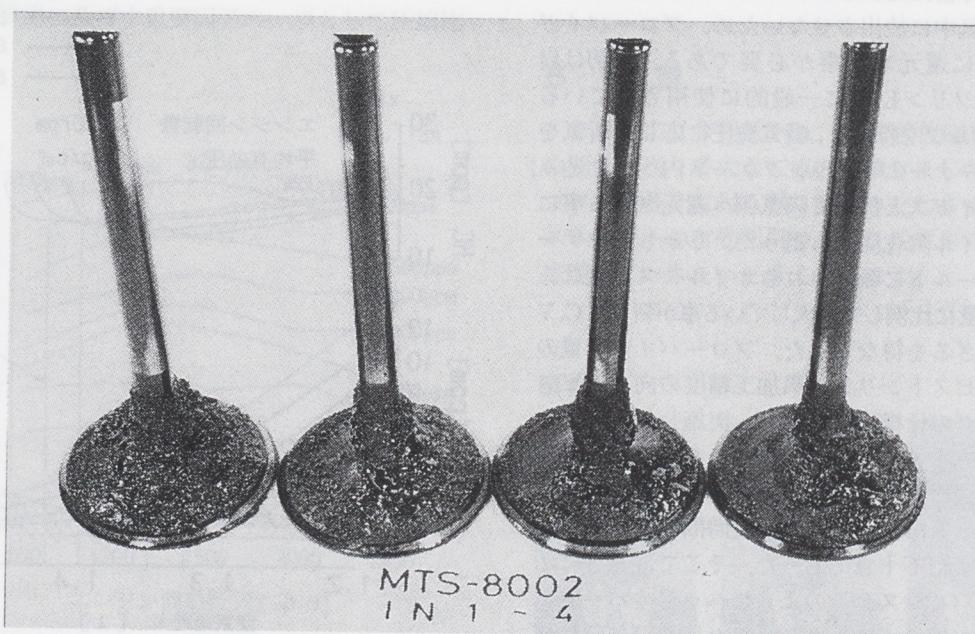


写真2 インテークバルブの付着したカーボン

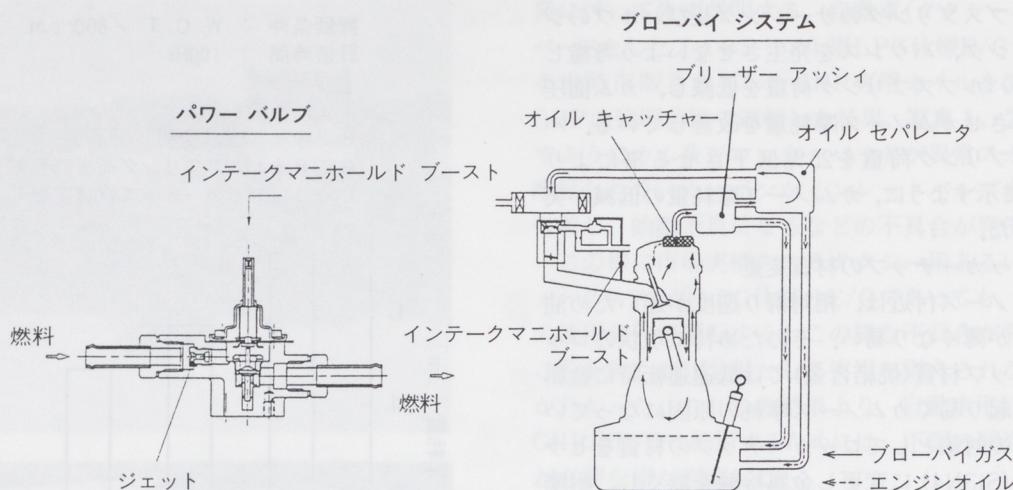


Fig. 3 プロ-バイシステム(FE)と燃料供給システム(F2)

結果で解明された。従って、プロ-バイガス中のオイルミストを除去する事がカーボン付着の防止に有効でありプロ-バイガスからのオイルミスト量の低減とオイルミストの分離の二通りの対策を実施した。

#### i) プロ-バイガス量の低減（オイルミスト量の低減）

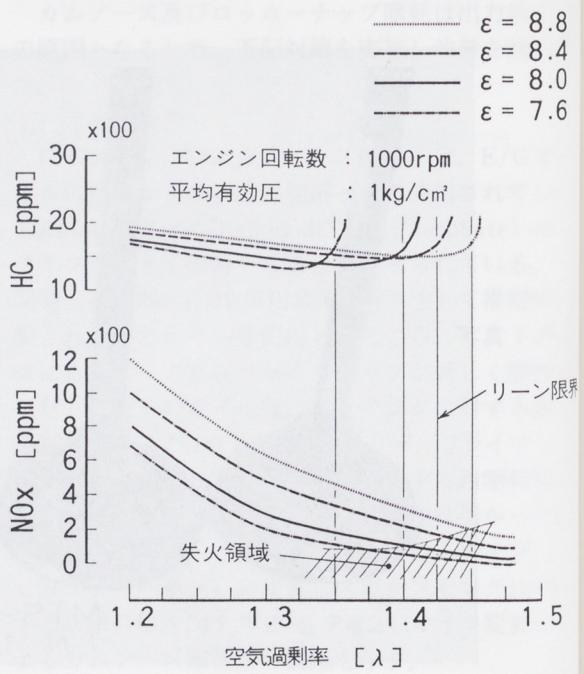
環境保護の面から未燃焼ガス中の有害物質(HC等)を多く含んだクランクケース内のプロ-バイガスを大気中に放出させないため、プロ-バイガスをE/Gに還元する事が必要である。当初は自動車用ガソリンE/Gに一般的に使用されているP.C.Vバルブを採用し、吸気負圧に応じた新気をエアクリーナーよりクランクケース内へ送り込み、プロ-バイガスと併せて吸気側へ還元させる事により、オイル劣化防止も狙った。しかしインテークマニホールドに吸入されるオイルミスト量は、循環ガス量に比例して増大している事が判りP.C.Vを廃止せざるを得なかった。プロ-バイガス量の低減は、ピストンリング溝加工精度の向上とピストンリングの仕様変更により、実施した。

#### ii) プロ-バイガス中のオイルミストの分離

i) の方法により吸気に戻されるオイルミスト量を低減させる事はできたが、長時間の使用条件を考えるとまだ不十分であった。そこで、Fig.3に示すプロ-バイシステムのようにヘッドカバー内にSUSウール入のオイルキャッチャー及び外部にブリーザーアッシィ、オイルセパレーターをもうけ

プロ-バイガス中のオイルミストを分離するようにした。これにより、吸気に戻されるオイルミストをほぼ100%除去できるようになった。

この様な対策を積重ねFE E/Gの信頼性を確立している。F2 E/Gの信頼性は、以上の技術の横展開とメンテナンスインターバル4000Hrを達成す

Fig. 4 圧縮比のNO<sub>x</sub>, HCへの影響

るためにオイルの改善とオイル量のUp、さらに白金プラグを採用している。

## (2)低NO<sub>x</sub>F2 E/Gの開発

前述したように、環境保護の面から低NO<sub>x</sub>化がGHP用FE E/Gへの課題であった。低NO<sub>x</sub>化手法は、コスト及び信頼性の面からリーンバーン方式を採用した。FE E/Gでのプリテストの結果、リーンバーンによる出力低下が大きく、コンプレッサーの要求出力を満足できなかった。そのためFE E/Gと同シリーズである10%排気量が大きいF2 (2.2 ℓ) E/Gを採用している。

### (a)リーンバーン方式

実用運転領域においてリーンバーンさせ低NO<sub>x</sub>化を図るとともに、過負荷に対しては空燃比をリッチ化して出力を確保する考え方の基に、Fig3に示すような燃料供給系のシステムを採用した。本システムは、実用運転領域(トルク70N·m以下)では吸気管負圧によりパワーバルブをoffして、リーンセットによりNO<sub>x</sub>低減を達成している。また、吸気管負圧が-85mmHg以下となる過負荷領域では、パワーバルブをOnとして、メインジェットに加えてバイパス通路からも燃料を供給し、空燃比を適切に補正し、出力を確保するシステムとしている。

### (b)最適圧縮比の選定

NO<sub>x</sub>排出に及ぼす重要因子の一つとして圧縮比

があり、最適化を図った。Fig4に圧縮比を変化させた場合のNO<sub>x</sub>排出濃度、HC排出濃度を示す。NO<sub>x</sub>濃度は空気過剰率を上げるほど低下するが、ある程度リーン化すると失火が発生して急激にHCが排出するようになるとともに、運転が不安定となる(リーン限界)。圧縮比のバラツキ、熱効率などを考慮した結果、圧縮比8.4を選定した。

### (c)NO<sub>x</sub>マップ

以上の結果を踏まえた、低NO<sub>x</sub>仕様F2 E/GのNO<sub>x</sub>排出特性をFig5に示す。実用領域(トルク70N·m以下)ではリーンバーン方式により 500ppm以下を示しており目標を達成している。

## 5 開発のまとめ

- (1)F2 E/Gにて実用領域(トルク70N·m以下)におけるNO<sub>x</sub>値500ppm以下を達成した。
- (2)定期交換部品メンテナンスインターバル4000Hrを実現した。
- (3)GHP使用条件下においてE/G寿命20000Hrを実現した。

以上の品質を折込んだ低NO<sub>x</sub> E/Gを搭載したGHPを'93 5月より生産しています。今後の課題としては、a)さらなる低NO<sub>x</sub>化 b)ノーメンテナンス化 c)さらなる長寿命化を図る事である。

## 6 謝 辞

おわりに、今回低NO<sub>x</sub>、高信頼性GHP用 E/Gの開発に当たり多大なご協力を頂きましたガス会社、マツダ㈱各社に対し厚く感謝いたします。今後もエネルギーの有効利用のため、鋭意さらに開発を推進していきたいと考えています。

### ■著者

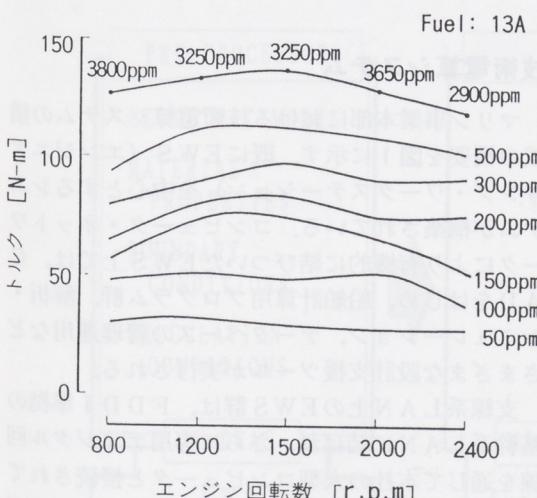


Fig5 NO<sub>x</sub>排出特性 [ppm]



前田 徹

岡田 雄三

鈴木 茂人