

ガスエンジン希薄燃焼技術 Y-NOCS

Lean-burn Technology Y-NOCS for Gas Engine

福留敏典 Toshinori Fukudome

鈴木 誠 Makoto Suzuki

迫田茂穂 Shigeho Sakota

●GHP事業部 開発室

1 はじめに

国内の1998年におけるガスヒートポンプ（以下GHPと略す）の普及容量は、1,467千HPに達しており、家庭用から、学校・病院・店舗・工場・各種ビルとさまざまな用途へ普及している。このエアコンをEHPとした場合の定格消費電力は100万kWを超え、石油代替エネルギーとしてガスの用途拡大、夏場の電力負荷平準化といった、わが国のエネルギー政策に貢献してきた。

GHP事業部では、環境負荷低減のために、NOx低減、ドレン水中和装置、排気脱臭触媒、代替冷媒等の開発に取り組んできた。NOxに関しては、横浜市等、一部の地域で排出規制が実施されているものの、業界自主規制の一環として取り組み、マップ制御による稀薄燃焼方式により、NOx排出量200ppm(12モード値)以下に対応してきた。今回、家庭用3HP GHP リビングメイト（図1）においてNOx排出量を100ppm(12モード値)以下とするため、空燃比フィードバックによる稀薄燃焼方式 Y-NOCS(Yamaha NOx Control System)を開発し商品化したのでここに紹介する。

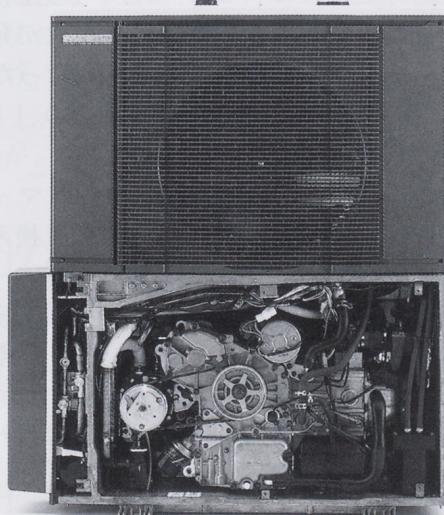


図1 リビングメイト外観

2 Y-NOCSの原理

従来、ガス種毎に設定されたスロットル開度・エンジン回転数を変数とするマップにより、ミキサの燃料制御弁開度を調整し、適正な空燃比にて稀薄燃焼させることで、NOx低減に対応してきた。しかし、燃料系・吸気系等の部品精度のばらつきにより、同一スロットル開度・同一エンジン回転数においても、製品間では、一定の空燃比のばらつきが存在している。現在まで、空燃比に影響する、エアクリーナ、ゼロガバナ、ミキサ等の部品の流量管理幅低減にも取り組んできたが、さらにNOxを低減させるためには、部品精度によらず、各製品において、最適な稀薄燃焼状態となるよう、空燃比のフィードバック制御を行うことが必要となってきた。これにより、長期間使用した場合の経時変化、気象条件の変化が発生した場合でも、安定した運転が可能となる効果も期待できる。

Y-NOCSでは、排気圧力の変化に着目して、失火が発生したか判定を行っている。運転中に適正な空燃比範囲を超えて、リーン化させていくと、混合気が部分的に失火しあり、燃焼が不安定になってくる。そのときの排気圧力波形は、図2のようになり、安定した状態の圧力波形と比較すると、最大値付近が低下していく。このような圧力波形の変化を検出するため、排気圧力の一定区間の面積値を計算し、過去16回の圧力波形面積値の移動平均との比較を行い、面積値が一定割合以下となったときに、失火と判定している。失火と判定する面積比率は、ガス種毎に設定されたスロットル開度・エンジン回転数を変数とするマップとなっている。

面積値を演算する区間（クランク角度）はエンジン回転数毎に設定し、圧力変化の検出・失火判定が適切に行われるようにしている。

失火判定条件: $S_0 \leq \alpha \times S_m$

S_0 : 判定を行う波形の面積値

S_m : 直前16回の波形面積の移動平均値

α : 失火判定比率

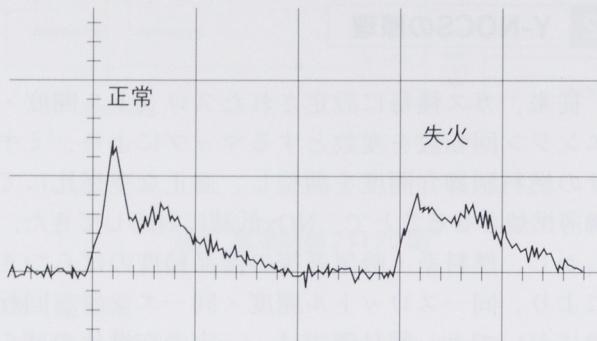
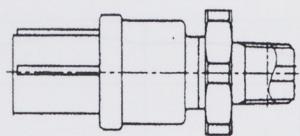
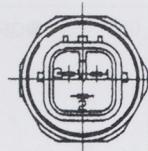


図2 排気圧力波形変化

3 システム概要

3.1 機器の構成

図3にY-NOCSシステム構成図を示す。エンジン回転数、スロットル開度、排気圧力、を入力信号とし、それらに基づいて、燃料制御弁開度の調整を行う。従来のマップ制御に対して追加した構成品は、排気圧力センサ(図4)で、長野計器製の蒸着形半導体圧力センサを使用しており、アルミ製排気熱交の排気出口付近に取付けている。Y-NOCSは、排気圧力の変化に着目しているため、排気圧力センサ出力値の固体差、温度ドリフトの影響を受らない反面、耐震性、酸性度の高いドレン水に対する耐食性、ドレン水による圧力通路の閉塞・凍結の影響、等々の課題もあった。

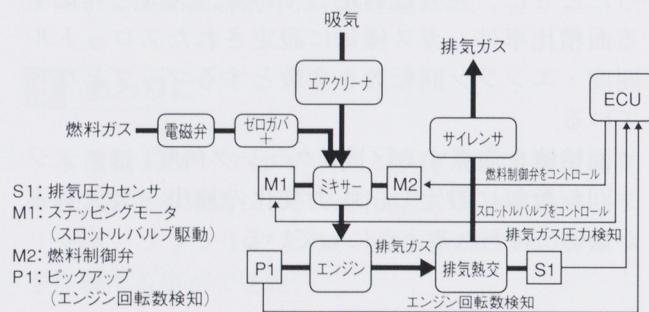


図3 Y-NOCSシステム構成図

3.2 制御概要

図5がY-NOCS制御概念図である。それぞれの制御内容を下記に示す。

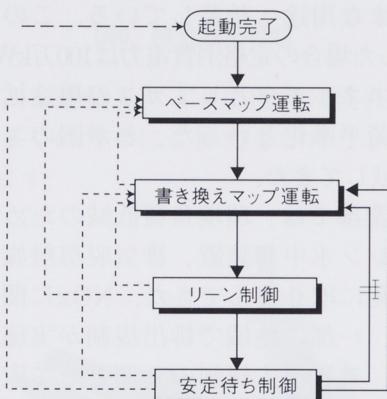


図5 Y-NOCS制御概念図

(1) ベースマップ運転

NOxの排出を若干犠牲にして、エンジンの運転性を優先させた運転。ガス種毎に設定されたエンジン回転数・スロットル開度を変数とするマップによりミキサの燃料制御弁開度を調整するもので、従来のマップ運転に相当する。エンジン起動後は、このマップから運転開始する。運転中何らかの原因で、失火が発生したり、エンジン回転数が不安定になった場合には、このベースマップで運転を行う。

(2) 書き換えマップ運転

稀薄燃焼運転を行うために、ベースマップから書き換えられたマップ(以下、書き換えマップと記す)による運転。初期状態は、ベースマップと同じマップとなっており、運転後に随時書き換えられていく。一旦、書き換えられたポイントには書き換え完了を示す“恒久フラグ”を立て、それ以降の書き換えは行わず、リーン制御にも移行しない。

(3) リーン制御

燃料制御弁の開度を変化させて、空燃比をリーン側に持っていく制御。書き換えマップ運転時、

エンジン回転数が目標回転数範囲内にて安定すると、リーン制御に移行する。リーン制御では、燃料制御弁開度を段階的に閉じていき、失火が起きないか、また、エンジン回転数が安定しているかを判定する。失火が発生するか、エンジン回転数が不安定となると、リーン化を終了する。また、燃料制御弁開度を閉じる総量は、あらかじめマップ（下限マップ）で制限しており、失火の発生がなくても、その開度になった時点でリーン化を終了する。リーン化が終了すると、そこから燃料制御弁開度をマップにて設定された量だけリッチ側へ戻すエンリッチ処理を行い、燃料制御弁開度のオフセット値（ベースマップの値とリーン制御後の値の差）を決定する。但し、下限マップに到達してリーン化を終了した場合は、その開度からオフセット値を決定する。

(4) 安定待ち制御

リーン制御にて選定した燃料制御弁開度でしばらく運転し、運転性に問題がないかを、失火の有無、エンジン回転数の安定性により判定を行う。失火発生等で安定して運転できないと判定された場合、燃料制御弁開度を一定量リッチ側へ戻し、オフセット値を修正し、再度安定待ち制御に入る。安定して運転が可能と判定されたらマップの書き換えを行う。燃料制御弁開度のマップ値に急激な変化があると、エンジン回転数ハンチング等の不具合が発生するため、マップの書き換え対象領域全てについて、(3)で決定したオフセット値により、書き換えをおこなう。

以上、一連の動作をタイムチャートにしたもののが、図6である。

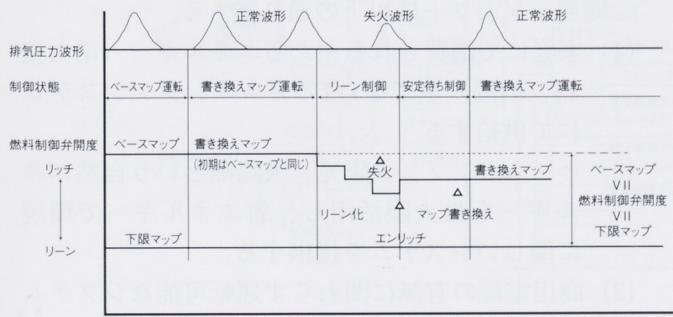


図6 Y-NOCS作動タイムチャート

3.3 効果

図7に、Y-NOCSによるNOx低減の効果を示す。ベースマップ運転時においては、ミキサ、エアクーラー、ゼロガバナ等の部品の流量管理幅による空燃比ばらつきのため、NOx値は、

上限側（リッチ側） 387 ppm

下限側（リーン側） 73 ppm

の範囲にあるが、一連の制御を行った後の書き換えマップ運転においては、

上限側 100 ppm

下限側 54 ppm

となり、全数目標の100ppm以下となっている。

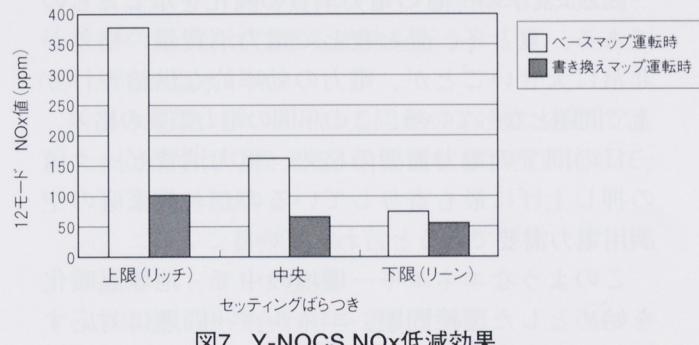


図7 Y-NOCS NOx低減効果

4 おわりに

地球規模の環境が問題とされる中、GHPにおいて取り組むべき技術課題は、代替冷媒、熱効率向上、排気浄化、リサイクル等数多くある。今後とも、環境負荷の極小化を追求し、豊かで快適な生活空間を提供する商品の開発に努力していきたい。

なお、本システムはGHP開発室 要素技術グループにおいて先行開発された制御方式であり、商品化にあたって、排気圧力センサメーカーの長野計器（株）様はじめ、多大な御協力を頂いた社内外関係各位に、紙面をお借りして深く感謝の意を表する。

●著者



福留敏典



鈴木 誠



迫田茂穂