(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2004-132379
(P2004-132379A)
(43)公開日　平成16年4月30日(2004.4.30)

(51)Int.Cl.[7]	F I	テーマコード（参考）
F01N 3/08	F01N 3/08 ZABH	3G091

審査請求 有　請求項の数 12　ＯＬ　（全 11 頁）

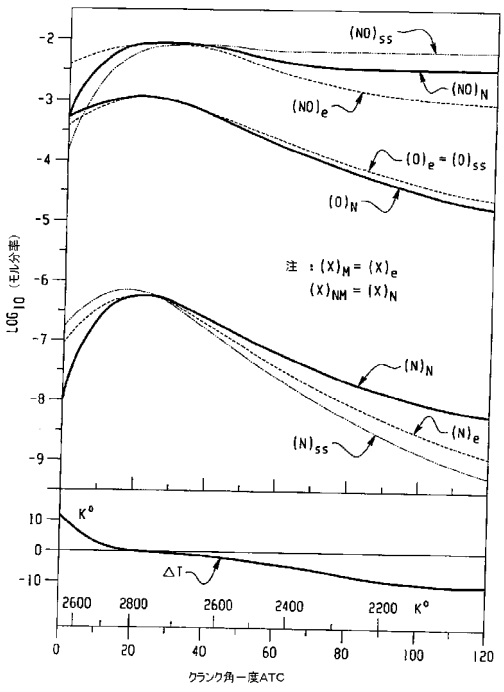
(21)出願番号　特願2003-354013(P2003-354013)
(22)出願日　平成15年10月14日(2003.10.14)
(31)優先権主張番号　10/269846
(32)優先日　平成14年10月11日(2002.10.11)
(33)優先権主張国　米国(US)

(71)出願人　590001407
ゼネラル・モーターズ・コーポレーション
ＧＥＮＥＲＡＬ　ＭＯＴＯＲＳ　ＣＯＲＰＯＲＡＴＩＯＮ
アメリカ合衆国ミシガン州４８２６５－３０００，デトロイト，ピー・オー・ボックス　３００，ルネッサンス・センター　３００，メイル・コード　４８２－シー２３－ビー２１
(74)代理人　100089705
弁理士　社本　一夫
(74)代理人　100076691
弁理士　増井　忠弐
(74)代理人　100075270
弁理士　小林　泰

最終頁に続く

(54)【発明の名称】実時間窒素酸化物（ＮＯｘ）推定法

(57)【要約】
【課題】内燃機関の燃焼プロセス中のシリンダ内NO_x生成量の実時間推定を行う方法を提供すること。
【解決手段】この方法は、温度、圧力および酸素含有量などの基本的なシリンダ内変数を考慮したモデルを使用する。この方法は、較正した内燃機関または較正していない内燃機関とともに使用でき、エンジン速度、エンジントルク、ＥＧＲ、噴射タイミングおよびエンジンブーストレベルの変動における影響を把握するのに用いることができる。
【選択図】　図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
内燃機関の燃焼プロセス期間でのシリンダ内NO_x生成量の実時間推定を提供する方法であって、
複数の入力値をシリンダの燃焼室から受け取るステップであって、前記入力値が、燃焼室内に捕捉された空気の質量と、燃焼室内に捕捉された燃料の質量と、シリンダ内の質量全体の一部である燃焼領域内に生成する化学種の全質量と、燃焼領域の平均NO_x温度から導出されるルックアップテーブルの相関値とから基本的に構成されるステップと、
シリンダからのNO_x生成量の実時間推定を生成する出力信号を複数の入力値から計算するステップと、
を含む方法。
【請求項２】
平均NO_x温度値が、捕捉された空気の質量値、上死点におけるシリンダ圧および最高温度におけるシリンダ圧で決定される、請求項１に記載の方法。
【請求項３】
平均NO_x温度値が数学的関係式
【数１】

$$T_{burn} = a\left(1+\frac{m_{air}}{m_{stp}}\right)^{b}\left[1+\frac{p_{T\,max}}{p_{TDC}}\right]^{c}$$

に基づいて計算され、T_{burn}は平均NO_x温度、m_{air}は捕捉された空気の質量値、m_{stp}は体積効率が１のときの標準温度および標準圧力で捕捉された質量値、P_{Tmax}は最高温度におけるシリンダ圧、P_{TDC}は上死点におけるシリンダ圧であり、ａ、ｂ及びｃは定数である、請求項１に記載の方法。
【請求項４】
平均NO_x温度がシリンダ内最高平均温度条件で決定される、請求項１に記載の方法。
【請求項５】
燃焼領域が、最高温度で燃焼させた燃料を化学量論量の空気および再循環排気ガスと反応させることを含む、請求項１に記載の方法。
【請求項６】
相関値が、燃焼領域で生成したNO_x化学種の化学平衡状態計算を含む、請求項１に記載の方法。
【請求項７】
化学平衡状態計算が、全ての化学種の全ギブス自由エネルギーを最小にすることによって、平均温度値で燃焼領域内に生成する化学種のモル分率を決定することを含む、請求項６に記載の方法。
【請求項８】
内燃機関の燃焼プロセス期間でのシリンダ内NO_x生成量の実時間推定を提供する方法であって、
シリンダ燃焼室の燃焼領域の平均NO_x生成温度値を計算するステップと、
平均NO_x生成温度値をルックアップテーブル中の相関値と相関させるステップと、
相関値、燃焼室内に捕捉された空気の量、燃焼室内に捕捉された未燃焼燃料の量、およびシリンダ内の質量全体の一部である燃焼領域内に生成する化学種の全質量を含めた計算から、シリンダ内NO_x生成量を推定するステップとを含む方法。
【請求項９】
平均温度値が数学的関係式

【数２】

$$T_{burn} = a\left(1+\frac{m_{air}}{m_{stp}}\right)^{b}\left[1+\frac{p_{T\,max}}{p_{TDC}}\right]^{c}$$

から決定され、T_{burn}は平均温度値、m_{air}は捕捉された空気の質量値、m_{stp}は体積効率が１のときの標準温度および標準圧力で捕捉された質量値、P_{Tmax}は最高温度におけるシリンダ圧、P_{TDC}は上死点におけるシリンダ圧であり、ａ、ｂ及びｃは定数である、請求項８に記載の方法。

【請求項１０】

空気流の質量、上死点におけるシリンダ圧、および燃焼領域内の最高温度におけるシリンダ圧に依存する、請求項８に記載の方法。

【請求項１１】

相関値が、NO_x化学種の化学平衡状態計算を含む、請求項８に記載の方法。

【請求項１２】

化学平衡状態計算が、全ての化学種の全ギブス自由エネルギーを最小にすることによって、平均温度値で燃焼領域内に生成する化学種のモル分率を決定することを含む、請求項１０に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、一般に、ディーゼルエンジンに関するものであり、より詳細には、ディーゼルエンジンから生成した排気ガス中のNO_xを実時間で推定するためのシステムおよび方法に関する。

【背景技術】

【０００２】

現在の製造ディーゼルエンジンは、通常、任意の種類のNO_x推定システムを採用していない。意味のある任意の実時間NO_x推定を省略することによって、ディーゼルエンジンは、燃焼プロセス中にNO_xレベルが潜在的に変化することに起因して他のエンジン動作パラメータが動的に調整できないとの事実から最適ではない状態で動作することが可能である。

【０００３】

NO_xを推定する現在の製造方法は、採用される場合、通常、完全に較正されたエンジンに対してのみ、すなわち、排気ガス再循環（ＥＧＲ）、ブースト圧力、燃料の量及びタイミングコントローラが設計されているものに対してのみ生成できるルックアップテーブルに基づいている。こうした技術を用いるときには、NO_xの実時間制御はできない。NO_xを制御するためには、上記のアクチュエータの中には変更すべきものがあり、したがって、ルックアップテーブルに含まれている元の値が変更されるからである。さらに、ルックアップテーブル法の使用は、主に、定常状態でのNO_xの推定に関係する。したがって、この方法によって実時間推定を行うことはできず、この方法の使用は固有の誤差源となる。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００４】

本発明の目的は、ディーゼルエンジンから生成した排気ガス中のNO_xを実時間で推定するためのシステムおよび方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【０００５】

内燃機関の燃焼プロセス期間でのシリンダ内NO_x生成量の実時間推定を提供する方法が本明細書に開示される。この方法は、燃焼室内に捕捉された空気の質量と、燃焼室内に

捕捉された燃料の質量と、シリンダ内の質量全体の一部である燃焼領域内に生成する化学種の全質量と、燃焼室内の燃焼領域の平均NO_x温度から導出されるルックアップテーブルの相関値とから基本的に構成される複数の入力値をシリンダの燃焼室から受け取ること、ならびに、シリンダからのNO_x生成量の実時間推定を生成する出力信号を複数の入力値から計算することを含む。

【０００６】

別の実施形態によれば、内燃機関の燃焼プロセス期間でのシリンダ内NO_x生成量の実時間推定を提供する方法は、シリンダ燃焼室の燃焼領域内の平均温度値を計算すること、平均温度値をルックアップテーブル中の相関値と相関させること、ならびに、相関値、燃焼室内に捕捉された空気の量、燃焼室内に捕捉された未燃焼燃料の量、およびシリンダ内の質量全体の一部である燃焼領域内に生成する化学種の全質量を含めた計算からシリンダ内NO_x生成量を推定することを含む。

【発明を実施するための最良の形態】

【０００７】

上記および他の特徴を、図および以下の詳細な説明によって説明する。図は実施の形態の例である。類似の要素には同様の番号が付されている。

本明細書には、それぞれが燃料インジェクタから供給を受ける複数のシリンダを有する内燃機関の燃焼プロセス中の窒素酸化物（NO_x）生成率の実時間推定を提供する方法が開示される。本明細書で使用される「実時間」という用語は、各シリンダ内でその瞬間に生成されているNO_xの量の瞬間的な推定として定義される。実時間NO_x推定を提供するこの方法は、温度、圧力、酸素含有量および他の同様の変数など、シリンダ内の基本的な変数を考慮したモデルを使用する。シリンダ内モデルを適用すると、NO_x推定を行うための確固とした方法が提供される。この方法は、不点火または過剰な炭化水素の排出なしに安定な動作を維持しながら、あらゆる可能な排気ガス再循環（ＥＧＲ）率、ブースト圧ゼロから可能な最大ブースト圧（オーバーブースト以下）までのブースト圧およびタイミング変動とともに、動作速度の全範囲及び負荷に対して適切に適用できかつ正確である。さらに、シリンダ内モデルが簡単なため、パワートレイン制御モジュールの計算処理上のオーバーヘッドが最小限になるばかりでなく、高価なエンジン排出NO_xセンサの使用を省くのに用いることができる。

【０００８】

シリンダ内モデルを定義するために、エンジンの燃焼および排気データを分析して、NO_x排気ガス生成に最も影響を与えているシリンダ内パラメータを決定した。次いで、パラメータを燃焼サイクルレベルで識別した。それによって、この方法は一時的な挙動や排出物のサイクル間変動を予測することが可能になる。有利なことに、シリンダ内モデルを燃焼モデルと容易に統合することができる。

【０００９】

実時間排気ガス推定システムを開発するために、排気ガス形成プロセスに対するある種の仮定および簡略化を行った。例えば、図１に示すように、NO_xモル分率生成履歴を燃焼および膨張期間全体を通して平衡状態NO_xと比較すると、最高温度点後では平衡状態濃度の方が定常状態値よりも低いことがわかった。この観察値は、NO_x反応の化学動力学的性質に起因すると考えられる。しかし、膨張行程期間には、温度降下が化学反応よりもはるかに速かったので、NO_x濃度が最高温度到達後に著しく変化しなかったことも観察された。このことは、いわゆる「凍結された」NO_x濃度をもたらし、この凍結されたNO_x濃度は最高温度で形成された最大値の約９０％でほぼ一定である。

【００１０】

排気ガス生成プロセスに対する別の仮説および簡略化を図２に示す。図のように、各シリンダを燃焼領域と過剰空気領域の２つの領域に分離した。過剰空気領域は、未燃焼燃料および空気を含むシリンダの領域として定義される。燃焼領域は、化学反応の存在ならびにNO_x化学種および他の排出物の形成によって定義される。燃焼領域は、最高温度で燃焼した燃料の、再循環排気ガス（すなわち、ＥＧＲ）による過剰量の窒素をも含む化学量論

量の空気と反応させることによって特徴付けられる。したがって、排気ガス中の酸素比率は外気中の酸素よりも低い。最高温度条件では、平衡状態NO_xの形成と定常状態測定値とが一致することが観察されている。したがって、生成したNO_x量の推定を提供するために、シリンダ内最高平均温度条件時に、燃焼領域の化学的平衡状態計算を実施することができる。この計算は、全体的なシリンダ内温度ではなく、燃焼領域の平均温度で行われる。化学的平衡状態計算は、混合気中で生成される全ての化学種に対する全ギブス自由エネルギーを最小にして各成分のモル分率を決定することを含む。「化学種」という用語は、窒素酸化物等を含む混合気（燃焼領域）中で形成された全てのガス成分を意味する。この観察を踏まえて、膨張期間及び燃焼期間に生成される窒素酸化物に対する平均温度条件と相関関係がある化学平衡状態計算に基づいて、ルックアップテーブルを作成することができる。

【００１１】

燃焼領域は不均一温度分布領域であり、不均一排出物を形成する可能性がある。このモデルでは、燃焼領域の平均温度が平均NO_x生成温度であるものと仮定している。しかし、ほとんどの場合、温度の関数として排出物生成の挙動が非線形でああるため、この平均NO_x生成温度は実際の平均温度とは異なる。

【００１２】

平均NO_x生成温度の最終的な相関が、容易に実施でき且つ様々な効果を取り込むのに足るほど正確であり得る簡略化された形で決定された。この推定モデルは、捕捉された空気の質量、最高温度におけるシリンダ圧及び上死点におけるシリンダ圧に依存する。これらの入力変数を用いると、シリンダ内モデル出力はシリンダからのNO_x流量の実時間推定を提供する。このモデルは、最高温度が生じた後、１サイクルあたり１回しか実行されないため、実時間実施における化学反応統合モデルに比べてかなりの利点を提供する。

【００１３】

燃焼サイクル期間に実時間NO_x推定を提供するシリンダ内相関モデルは、式（Ｉ）

【００１４】

【数３】

$$T_{burn} = a\left(1+\frac{m_{air}}{m_{stp}}\right)^{b}\left[1+\frac{p_{T\,max}}{p_{TDC}}\right]^{c} \qquad (I)$$

【００１５】

で表される数学的関係から決定され得る。ただし、m_{air}は捕捉された空気の質量（キログラム表示）、m_{stp}は体積効率が１のときの標準温度および標準圧力で捕捉された質量（キログラム表示）、P_{Tmax}は最高温度におけるシリンダ圧（キロパスカル表示）、P_{TDC}は上死点におけるシリンダ圧（キロパスカル表示）であり、ａ（ケルビン度表示）、ｂ及びｃは定数である。T_{burn}は、燃焼ガスのバルク温度ではなく、前述しかつ図２に示したように燃焼領域内の平均NO_x生成温度を表す。動作において、T_{burn}値は、化学的平衡状態計算に基づく静的値を含むルックアップテーブルと相関させられる。ルックアップテーブルは化学平衡状態計算に基づいているので、テーブル内に含まれている値は静的である。ルックアップテーブル中の値は変わらないものであり、アクチュエータの変更、エンジンの型に関係がなく、NO_xの定常状態での推定を必要としない。さらに、識別のために用いられるテストポイントの数を増やしたときに、定数ａ、ｂ、ｃは著しい変化を示さなかった。

【００１６】

このモデルは、NO_x生成量を変化させる様々な効果を獲得する追加の能力とともに、例外的な精度をもたらす。式（Ｉ）に示したシリンダ内数学的モデルが好ましいが、二次元のルックアップテーブルを使用して同様の結果を提供することもできる。二次元のルックアップテーブルでは、相関を得るための入力値として質量比および圧力比を使用し得る。このモデルの検証は、下記の表１に示すように記録された入力値を用いて、１．３リッ

トルのディーゼルエンジンを使用して行われた。

【００１７】

【表１】

制御	記録された変数
RPM（エンジン速度）	Torque（エンジントルク）
BMEP（ブレーキ平均有効速度）	IMEPs（個々のシリンダ平均有効圧力）
EGR DTY（EGR バルブ・デューティーサイクル）	MAIR（空気流量）
SOI（噴射開始角）	MAP（吸気マニホルド絶対圧力）
	IMT（吸気マニホルド温度）
	C02_in, C02_out （吸気および排気マニホルド二酸化炭素濃度）
	NOx_eng （排気 NOx の濃度（ppm））
	O2_eng（排気酸素濃度）
	A/F ベンチ（排出物ベンチの空燃比）
	SOI_pilot（パイロット試験での噴射開始角）
	fuel_main （主燃料噴射所望体積流量）
	fuel_pilot （パイロット試験での燃料噴射所望体積流量）
	smoke （ボッシュ煤煙数）
	EGR % （外気に対するＥＧＲの比率）

【００１８】

NO_x流量はシリンダ内モデルを用いて様々な条件下で推定され、同じ条件下で測った実際の測定値と比較された。エンジン回転数は毎分１５００、１８００、２４００、２８００、３０００回転（ＲＰＭ）に変えられ、負荷（ＢＭＥＰ）は０、２００、４００、６００、８００キロパスカル（ｋＰａ）に変えられ、ＥＧＲバルブ・デューティーサイクルは０、３０、６０パーセントに変更された。噴射タイミングは、タイミング調節済み（較正済み）、＋５度、－５度に変えられた。

【００１９】

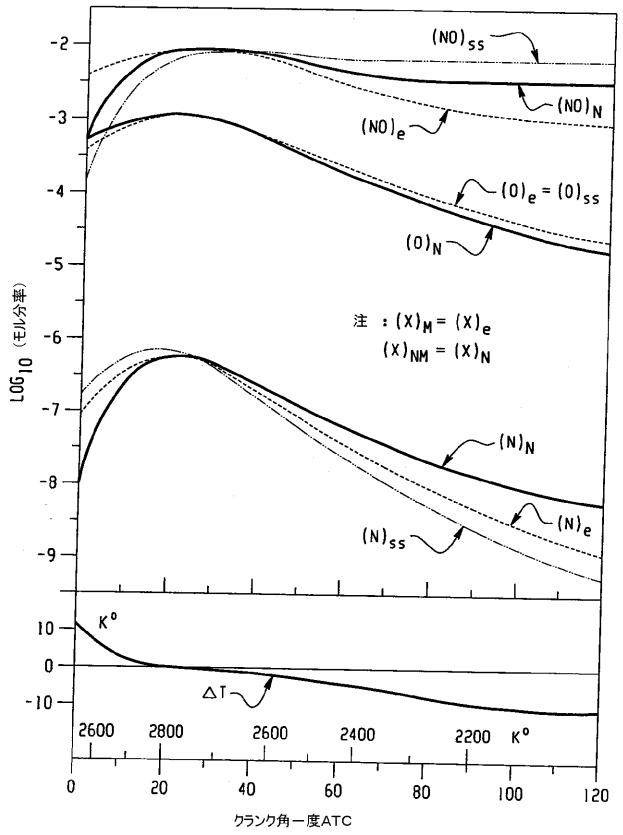
図３は、Ｓｉｍｕｌｉｎｋ関数ブロックフォーマットによるシリンダ内モデルの実行を示している。NO_x出力値を推定するための入力値は、（１）各サイクルにおける捕捉された空気、燃料およびＥＧＲの質量、（２）排気ガス濃度、すなわち、燃焼領域の質量とシリンダ内質量との比から決定された全シリンダ内質量の一部として燃焼領域内に生成される化学種の全質量、（３）最高温度時間までに燃焼した燃料の割合、及び（４）捕捉された空気の質量、最高温度におけるシリンダ圧および上死点におけるシリンダ圧に依存するT_{burn}相関に基づく化学平衡状態計算値を含む。

【００２０】

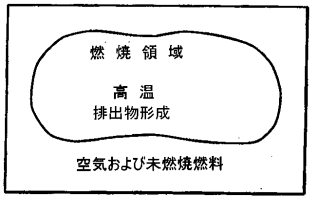
実際の測定値に対して推定したNO_x出力値を比較した結果を図４～図８のグラフに示す。図９は、使用した全テストマトリックスを示しており、このモデルと実際の測定値との全体的相関を表す。図９はまた、残留物および誤差率を示す。これらの結果は、明らかに推定モデルの健全性を示している。予測されたNO_x値は、ほとんどの条件下で実際の測定値とほぼ重なり合った。しかし、ある種の動作条件下では、ほとんどの条件下で得られた結果に比べて誤差率が比較的高いことが明らかである。理論によって拘束されることを望むものではないが、これらの相対的に高い誤差の可能な理由は、ａ）これらのポイントに対する残留物を観察するときのように、小さい絶対誤差値が高い誤差率をもたらしたかもしれない、小さい測定値の結果であること、又は、ｂ）高い当量比では希薄燃焼条件に比べてこのモデルが正確ではないことを示唆する、燃焼プロセスが大きな煤煙数を生じたことである。

【産業上の利用可能性】
【００２１】
有利なことに、燃焼サイクル期間のNO_x生成の実時間推定を提供するシリンダ内モデルは、少なくとも以下の利点を提供する。
（１）定常状態データに基づくがシリンダ内のサイクル毎のパラメータの関数である実時間「一時的」モデルである、
（２）サイクル毎に１回実行し、計算コストを最小にする、
（３）シリンダ内燃焼特性を推定するのに用いる燃焼モデルとの統合が簡単である、
（４）ディーゼル燃焼からのNO_x生成の推定に影響する有効なパラメータが低減される、
（５）このモデルの使用により、将来の排出基準を満たすために最終的にディーゼルエンジンの製造に必要となり得るエンジン外のNO_xセンサの使用を除去し得る、
（６）このモデルの採用にエンジンの較正が不要である、
（７）ルックアップテーブルは化学平衡状態計算に基づいているので、テーブル値は静的であって変化しない。
【００２２】
この発明を例示的な実施の形態に関して説明したが、当業者には理解されるように、この発明の範囲から逸脱することなく種々の修正を行うことができ、またその諸要素の代わりに同等のものを使用できる。さらに、特定の状態または材料がこの発明の教示に適合するように、その必須の範囲から逸脱することなく多くの変更を行うことができる。したがって、この発明は、この発明を実施するために企図した最良の形態として開示した特定の実施の形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲に含まれる全ての実施の形態を含むものとする。
【図面の簡単な説明】
【００２３】
【図１】定常状態および平衡状態におけるNO_xモル分率の計算値をクランク角度の関数として示したグラフである。
【図２】シリンダ内最高平均温度条件における燃焼室シリンダ内の燃焼領域および未燃焼燃料を含む過剰空気領域を示す図である。
【図３】マットラボ／サイマリンクフォーマットにおけるNO_x推定モデルのブロック図である。
【図４】NO_x流量のモデル予測値および測定値を、毎分１，５００回転（ｒｐｍ）で走らせた１．３リットルエンジンの試験番号の関数として示したグラフである。
【図５】NO_x流量のモデル予測値および測定値を、１，８００ｒｐｍで走らせた１．３リットルエンジンの試験番号の関数として示したグラフである。
【図６】NO_x流量のモデル予測値および測定値を、２，４００ｒｐｍで走らせた１．３リットルエンジンの試験番号の関数として示したグラフである。
【図７】NO_x流量のモデル予測値および測定値を、２，８００ｒｐｍで走らせた１．３リットルエンジンの試験番号の関数として示したグラフである。
【図８】NO_x流量のモデル予測値および測定値を、３，０００ｒｐｍで走らせた１．３リットルエンジンの試験番号の関数として示したグラフである。
【図９】図４～８に示したデータの誤差比較を示すグラフである。

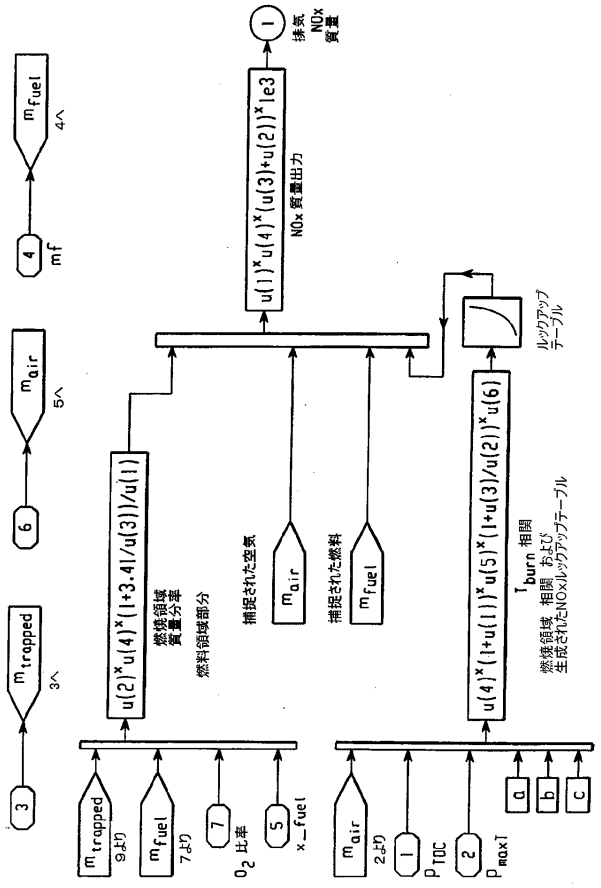
【図１】


(NO)ss
(NO)N
(NO)e
(O)e = (O)ss
(O)N
注 : (X)M = (X)e
(X)NM = (X)N
(N)N
(N)e
(N)ss
LOG10（モル分率）
K°
ΔT
2600 2800 2600 2400 2200 K°
0 20 40 60 80 100 120
クランク角一度ATC

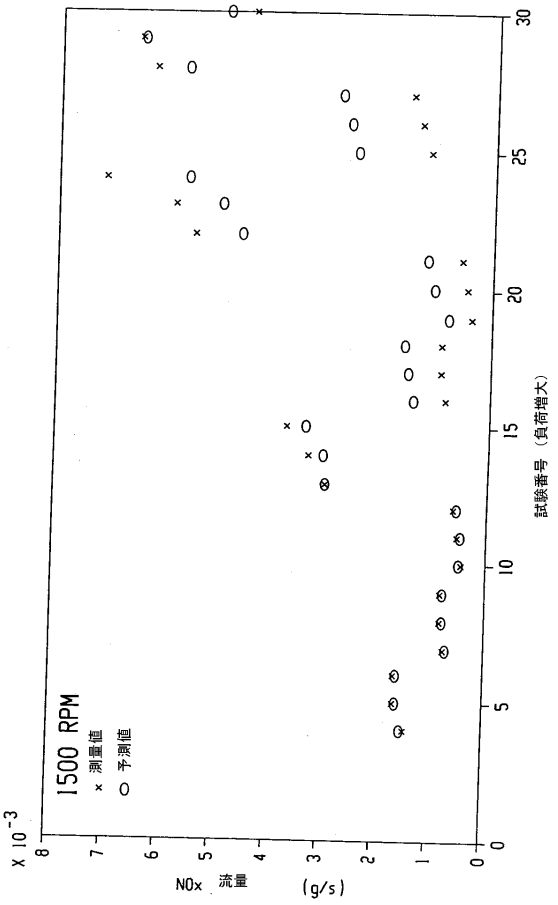
【図２】


燃焼領域
高温
排出物形成
空気および未燃焼燃料

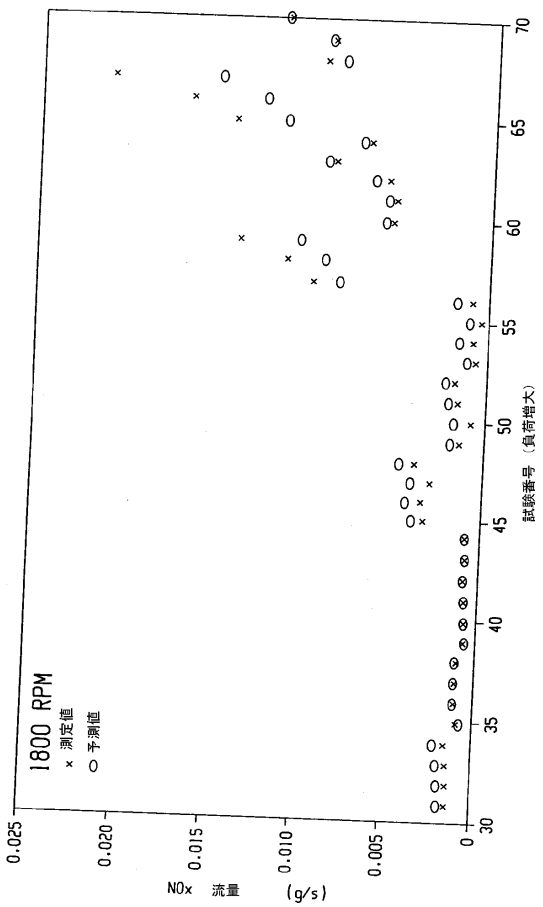
【図３】


排気 NOx 質量
u(1)*u(4)*(u(3)+u(2))*1e3
NOx 質量出力
mfuel 4へ
mf
mair 5へ
6
mtrapped 3へ
3
u(2)*u(4)*(1+3.41/u(3))/u(1)
燃焼領域 質量分率
燃料領域部分
捕捉された空気
mair
捕捉された燃料
mfuel
τburn 相関
燃焼領域 相関 および 生成されたNOxルックアップテーブル
u(4)*(1+u(1))*u(5)*(1+u(3)/u(2))*u(6)
ルックアップ テーブル
mtrapped 9より
mfuel 7より
O2 比率
x_fuel
mair 2より
1
PTDC
2
Pmax1
a
b
c

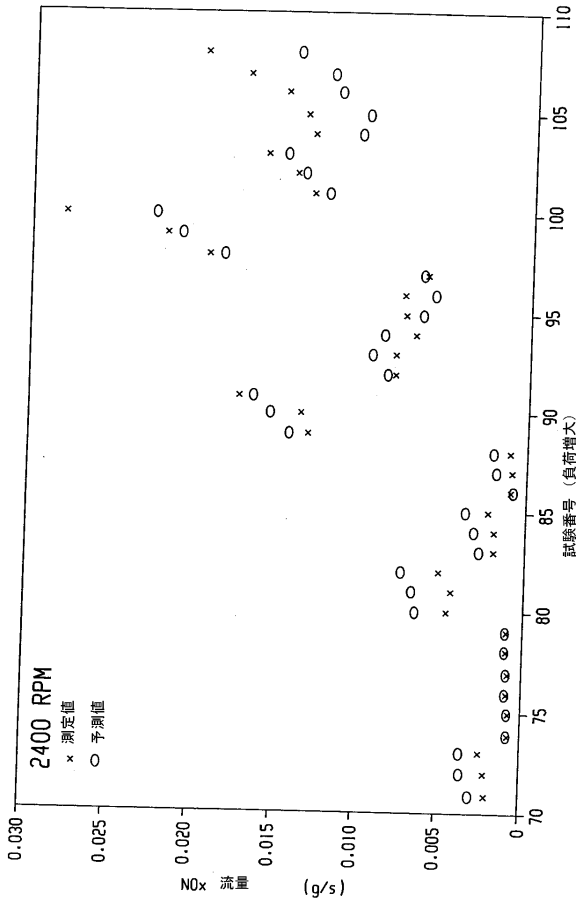
【図４】


1500 RPM
× 測量値
○ 予測値
X 10-3
NOx 流量 (g/s)
試験番号（負荷増大）

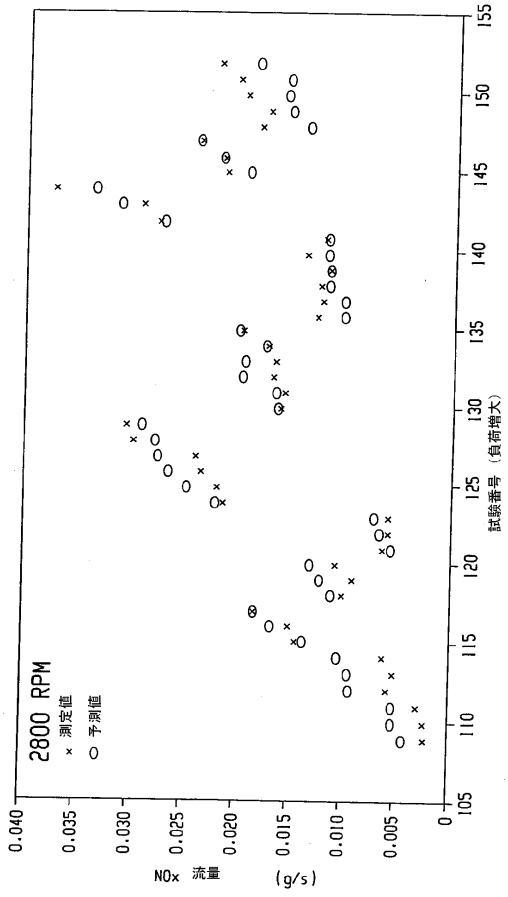
【図５】


1800 RPM
× 測定値
○ 予測値
NOx 流量 (g/s)
試験番号（負荷増大）

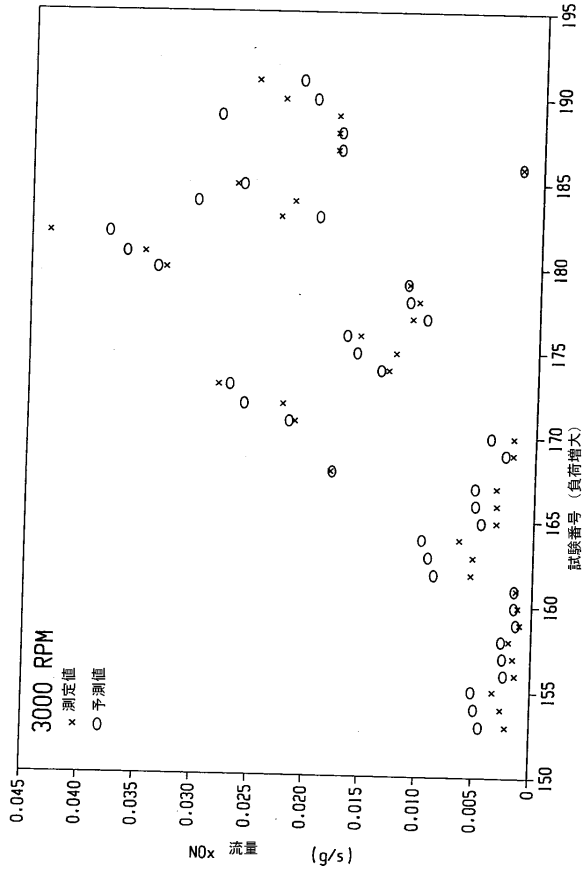
【図６】


2400 RPM
× 測定値
○ 予測値
NOx 流量 (g/s)
試験番号（負荷増大）

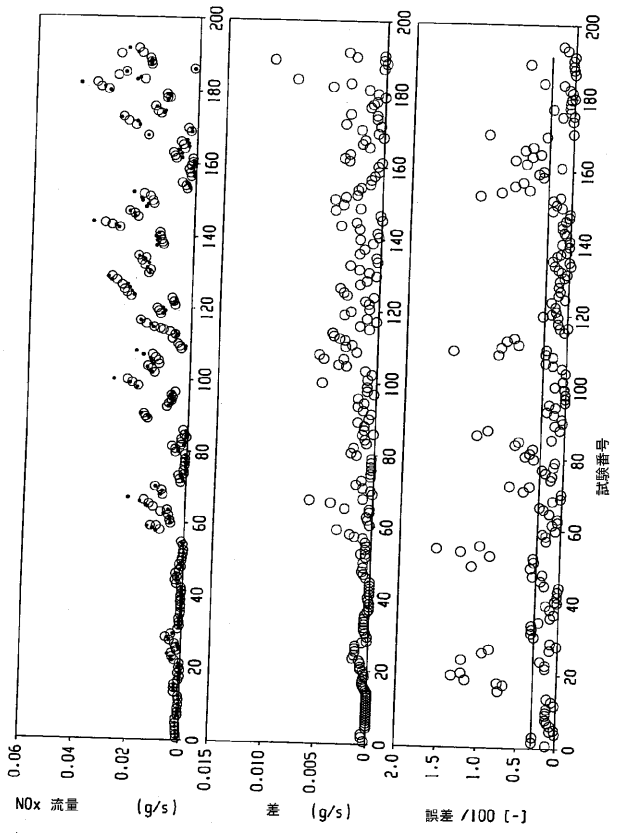
【図７】


2800 RPM
× 測定値
○ 予測値
NOx 流量 (g/s)
試験番号（負荷増大）

【図８】


3000 RPM
× 測定値
○ 予測値
NOx 流量 (g/s)
試験番号（負荷増大）

【図９】


0.06
0.04
0.02
0
NOx 流量 (g/s)
0.015
0.010
0.005
0
差 (g/s)
2.0
1.5
1.0
0.5
0
誤差 /100 [-]
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
試験番号

フロントページの続き

(74)代理人 100080137
弁理士 千葉 昭男
(74)代理人 100096013
弁理士 富田 博行
(74)代理人 100091063
弁理士 田中 英夫
(72)発明者 モアタズ・アリ
アメリカ合衆国ウィンスコンシン州５３７０５，マディソン，イーグル・ハイツ ６０１，アパートメント・エフ
(72)発明者 アニュパン・ガンゴパダエイ
アメリカ合衆国ミシガン州４８０８５，トロイ，スコッチパイン・ドライブ ４７１６

Ｆターム(参考) 3G091 AA18 BA00 BA14 BA31 DB13 EA00 EA01 EA02 EA33 EA34
HB05