

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5015025号
(P5015025)

(45) 発行日 平成24年8月29日(2012.8.29)

(24) 登録日 平成24年6月15日(2012.6.15)

(51) Int.Cl.		F I			
CO1B	3/38	(2006.01)	CO1B	3/38	
HO1M	8/06	(2006.01)	HO1M	8/06	G
HO1M	8/04	(2006.01)	HO1M	8/04	G

請求項の数 8 (全 26 頁)

(21) 出願番号	特願2008-31573 (P2008-31573)	(73) 特許権者	000005326
(22) 出願日	平成20年2月13日(2008.2.13)		本田技研工業株式会社
(65) 公開番号	特開2009-190913 (P2009-190913A)		東京都港区南青山二丁目1番1号
(43) 公開日	平成21年8月27日(2009.8.27)	(74) 代理人	100106002
審査請求日	平成20年9月26日(2008.9.26)		弁理士 正林 真之
		(74) 代理人	100120891
			弁理士 林 一好
		(72) 発明者	岩本 淳
			埼玉県和光市中央1-4-1 株式会社本
			田技術研究所内
		(72) 発明者	三上 仁志
			埼玉県和光市中央1-4-1 株式会社本
			田技術研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 燃料改質器の制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

燃料改質器の改質触媒の温度を制御する燃料改質器の制御装置において、
前記改質触媒の温度を触媒温度として、当該触媒温度を検出する温度検出手段と、
前記改質触媒における改質反応を特徴付ける複数のパラメータのうちの2つを第1パラメータ及び第2パラメータとして、これら第1パラメータ及び第2パラメータを関連付ける相関モデルに基づいて前記触媒温度を推定する温度推定手段と、
前記温度推定手段の推定温度に基づいて、前記改質触媒の温度を制御する温度制御手段と、

前記第1パラメータを定義域とする複数の補正重み関数を定義し、これら複数の補正重み関数の各々に乗算される複数の局所修正係数を、前記温度検出手段の検出温度及び前記温度推定手段の推定温度に基づいて算出し、これら複数の補正重み関数及び局所修正係数に基づいて前記相関モデルを修正するモデル修正手段と、を備え、

前記第1パラメータは、触媒温度であり、

前記第2パラメータは、前記改質触媒における改質反応の発熱状態を示す触媒反応熱係数であることを特徴とする燃料改質器の制御装置。

【請求項2】

前記温度検出手段のモデルに基づいて、前記温度推定手段の推定温度に応じた前記温度検出手段の出力値を推定する検出値推定手段をさらに備え、

前記モデル修正手段は、前記温度検出手段の検出温度と前記検出値推定手段の推定温度

との偏差が収束するように、前記複数の局所修正係数を算出することを特徴とする請求項 1 に記載の燃料改質器の制御装置。

【請求項 3】

前記モデル修正手段は、応答指定型制御に基づいて前記複数の局所修正係数を算出することを特徴とする請求項 2 に記載の燃料改質器の制御装置。

【請求項 4】

前記相関モデルにおいて、前記第 1 パラメータを定義域とし前記第 2 パラメータを値域とし、前記第 1 パラメータのうち前記第 2 パラメータが変化する領域を変化領域とした場合、

前記複数の補正重み関数は、それぞれ、前記変化領域内において変化する関数であり、かつ、当該変化領域内において互いに交差するように設定されることを特徴とする請求項 1 から 3 の何れかに記載の燃料改質器の制御装置。

10

【請求項 5】

前記温度検出手段は、前記改質触媒のうち改質反応温度が最も高い部分の触媒温度を検出し、

前記温度制御手段は、前記温度推定手段の推定温度が前記改質触媒の所定の失活温度より小さくなるように前記改質触媒の温度を制御することを特徴とする請求項 1 から 4 の何れかに記載の燃料改質器の制御装置。

【請求項 6】

前記燃料改質器は、内燃機関を備える車両に搭載され、

20

前記改質触媒における改質反応は、発熱反応であることを特徴とする請求項 1 から 5 の何れかに記載の燃料改質器の制御装置。

【請求項 7】

前記温度制御手段は、所定の切換関数設定パラメータに基づくスライディングモード制御により、前記改質触媒の温度を制御することを特徴とする請求項 1 から 6 の何れかに記載の燃料改質器の制御装置。

【請求項 8】

前記燃料改質器の運転状態が定常状態にある場合には、前記切換関数設定パラメータは、- 1 から 0 の範囲内において 0 よりも - 1 に近い値に設定されることを特徴とする請求項 7 に記載の燃料改質器の制御装置。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、燃料改質器の制御装置に関し、特に改質触媒の劣化を考慮した制御が可能な燃料改質器の制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

水素エネルギーは、将来の石油代替エネルギーとして注目されているクリーンなエネルギーであり、近年、燃料電池や内燃機関のエネルギー源として利用されている。水素を利用した内燃機関の研究には、例えば、水素エンジン、水素添加エンジン、NOx 浄化装置の還元剤、及び燃料電池を用いた補助電源等がある。このような状況の下、水素の製造に関しても多くの研究がなされている。

40

【0003】

水素の製造方法としては、炭化水素燃料、水、及びアルコール等の水素分子を含む原料を、触媒改質、熱分解、電気分解などにより分解し、さらに再結合することで水素を製造する方法が知られている。近年では、これらの製造方法の中でも触媒改質により水素を製造する燃料改質器の研究が盛んに行われている。

【0004】

このような燃料改質器の改質触媒における改質反応としては、例えば、下記式(1)に示すような、炭化水素燃料(以下、単に「燃料」という)の部分酸化反応が知られている

50

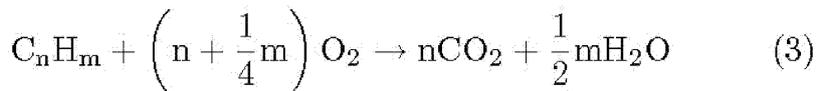
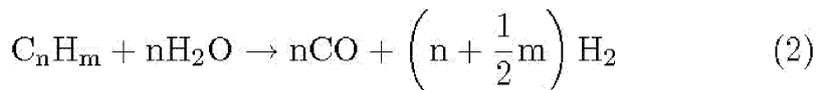
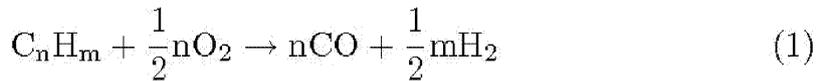
。この部分酸化反応は、炭化水素と酸素を用いた発熱反応であり自発的に反応が進行するため、一旦、反応が始まると、外部から熱を供給することなく水素を製造し続けることができる。

改質反応としては、この他、下記式(2)に示すような、水蒸気改質反応も知られている。この水蒸気改質反応は、炭化水素と水蒸気とを用いた吸熱反応であり、自発的に進行する反応ではない。このため、水蒸気改質反応は、部分酸化反応に対して制御しやすいものとなっている。その反面、外部からの熱供給などのエネルギーを投入する必要がある。

また、高温状態で燃料と酸素とを共存させた場合には、下記式(3)に示すような燃焼反応も触媒において進行する。

【0005】

【数1】



【0006】

以上のような燃料改質器において水素を効率よく製造するためには、以下のような理由により燃料改質器の改質触媒を最適な温度で維持することが重要である。

【0007】

例えば、軽油やガソリンを燃料として改質する場合、その最適な反応温度は比較的高温の範囲内に限定される。より具体的には、ロジウム及び白金を担持する改質触媒で部分酸化反応により上記燃料を改質した場合、その最適な反応温度は約800 から約1000の範囲内に限定される。

この最適な反応温度より低い温度で反応させた場合には、触媒活性が低いため、供給した燃料が未反応のまま排出したり、改質触媒上に有機溶剤可溶(SOF)成分として付着して、炭素質化することで活性がさらに低下したりする。

また、この最適な反応温度より高い温度で反応させた場合には、触媒がシントリングを起こし活性が低下したり、反応熱により固相反応が起こり、触媒の構成相が変化し失活したりする。

【0008】

特に軽油は、ガソリンと比較して、炭素数が多い炭化水素を含み分解しにくく、また、炭化水素分子の構成比が広範囲に亘っており均一に反応させることが難しいため、触媒上に炭素質が析出しやすい。このため、軽油はガソリンよりも高い温度で維持して反応させる必要がある。

そこで、水蒸気や酸素などの酸化剤を燃料改質器へ過剰に供給することにより、改質反応において炭素質の析出を抑制することが考えられる。しかしながら、水蒸気を過剰に供給すると、熱効率が低下するため、水素を製造するために多くの外部エネルギーが必要となる。また、酸素を過剰に供給すると、過燃焼により水素の収率が低下したり、過昇温により触媒の活性が低下したり、場合によっては失活したりするおそれもある。

【0009】

以上のように、燃料改質器により水素を効率よく製造するためには、改質反応が行われる改質触媒の温度制御が重要となっている。そこで以下では、改質触媒の温度を制御する技術について検討する。

【0010】

図15は、第1の技術としての燃料改質器101の制御装置103の構成を示す模式図である。

10

20

30

40

50

図15に示す第1の技術では、制御装置103は、燃料改質器101の改質触媒111の温度を検出する温度センサ121と、この温度センサ121の検出温度 $T_{CAT\ SENS}$ に基づいて、改質触媒111に供給する最適な空気の供給量 $G_{AIR\ CMD}$ 及び燃料の供給量 $G_{FUEL\ CMD}$ を算出し、これら指令値 $G_{AIR\ CMD}$ 及び $G_{FUEL\ CMD}$ を燃料改質器101に出力するコントローラ130と、を含んで構成される。

燃料改質器101は、コントローラ130からの指令値 $G_{AIR\ CMD}$ 及び $G_{FUEL\ CMD}$ に応じた空気及び燃料を改質触媒111に供給し、水素及び一酸化炭素を含む改質ガスを製造する。またここで、空気の供給量 $G_{AIR\ CMD}$ 及び燃料の供給量 $G_{FUEL\ CMD}$ を調整することで、改質触媒111の温度を制御することも可能となっている。

10

【0011】

図16は、第1の技術による燃料改質器の制御例を示すタイムチャートである。図16において、横軸は時間を示し、縦軸は温度及び燃料供給量 $G_{FUEL\ CMD}$ を示す。また、実線16aは改質触媒の実際の温度 T_{CAT} の時間変化を示し、一点鎖線16bは温度センサの検出温度 $T_{CAT\ SENS}$ を示し、判定温度は燃料の噴射を開始するのに最適な改質触媒の温度を示す。

図16に示すように、温度センサの検出温度 $T_{CAT\ SENS}$ は、実際の温度 T_{CAT} に対して遅れが生じる。このため、実際の燃料噴射開始時刻 t_2 は、最適な燃料噴射開始時刻 t_1 、すなわち実際の触媒温度 T_{CAT} が判定温度を上回った時刻 t_1 に対して遅れてしまう。この結果、改質触媒の活性化にかかる時間が増加したり、未反応の炭化水素の排出量が増加したりするおそれがある。

20

また、温度センサの検出部は、高温の水蒸気や還元性ガスにさらされるので、腐食や劣化を防止するために耐久性を向上する必要があるが、この場合応答性が低下してしまう。このため、温度センサを燃料改質器に用いた場合、上述のような検出遅れが顕著になる。

【0012】

図17は、第2の技術としての燃料改質器201の制御装置203の構成を示す模式図である。

図17に示す第2の技術では、触媒の熱モデルに基づいて改質触媒211の温度を推定し、この推定された温度に基づいて燃料改質器201の温度を制御する。より具体的には、制御装置203は、燃料改質器201の改質触媒211を加熱するヒータ215の温度 T_{PRE} 等を入力として、所定の触媒熱モデルに基づいて改質触媒211の推定温度 $T_{CAT\ HAT}$ を算出する触媒温度推定部232と、この触媒温度推定部232の推定温度 $T_{CAT\ HAT}$ に基づいて、改質触媒211に供給する最適な空気の供給量 $G_{AIR\ CMD}$ 及び燃料の供給量 $G_{FUEL\ CMD}$ を算出し、これら指令値 $G_{AIR\ CMD}$ 及び $G_{FUEL\ CMD}$ を燃料改質器201に出力するコントローラ230と、を含んで構成される。

30

【0013】

図18及び図19は、それぞれ、第2の技術による燃料改質器の制御例を示すタイムチャートである。より具体的には、図18は改質触媒が劣化する前の状態における制御例を示し、図19は改質触媒が劣化した後の状態における制御例を示す。また、図18及び図19において、実線18a、19aは改質触媒の実際の温度 T_{CAT} の時間変化を示し、一点鎖線18b、19bは触媒温度推定の推定温度 $T_{CAT\ HAT}$ を示す。

40

【0014】

図18に示すように、改質触媒が劣化する前の状態では、触媒温度推定部の推定温度 $T_{CAT\ HAT}$ は、改質触媒の実際の温度 T_{CAT} に一致する。これにより、最適な燃料噴射時刻 t_3 で燃料の噴射を開始できる。

一方、図19に示すように、改質触媒が劣化した後の状態では、触媒温度推定部の推定温度 $T_{CAT\ HAT}$ は、改質触媒の実際の温度 T_{CAT} に対してずれが生じる。すなわち、改質触媒が劣化すると昇温速度が遅くなるので、劣化する前の触媒熱モデルに基づいて推定した温度 $T_{CAT\ HAT}$ は、改質触媒の実際の温度 T_{CAT} に対して進むことと

50

なる。このため、実際の燃料噴射開始時刻 t_4 は、最適な燃料噴射開始時刻 t_5 、すなわち実際の温度 T_{CAT} が判定温度を上回った時刻 t_5 に対して進んでしまう。この結果、改質触媒の活性化にかかる時間が増加したり、未反応の炭化水素の排出量が増加したりするおそれがある。

【0015】

以上のように、第1、第2の技術では、改質触媒の劣化に合わせた温度制御が困難である。

ところで、以上のような技術の他、従来より、内燃機関の排気系に設けられた触媒の温度の制御に関しても多くの研究がなされている。そこで次に、このような内燃機関の排気系における触媒の温度制御に関する技術を、燃料改質器の改質触媒の温度制御に応用することを検討する。

10

【0016】

例えば、特許文献1には、上述の第1の技術と同様に熱モデルに基づいて触媒の温度を推定するとともに、この推定温度と触媒の温度を検出する温度センサの検出温度とを比較することで、触媒の劣化を検知する制御装置が示されている。また、この特許文献1の制御装置では、温度センサの検出温度が触媒のライトオフ温度以下である場合には、熱モデルに基づく触媒の推定温度を、温度センサの検出温度に応じて補正する。これにより、触媒の劣化を考慮した温度制御が可能となる。

【0017】

また、特許文献2には、熱モデルに基づいて触媒の温度を推定するとともに、この推定温度に基づいて点火時期や目標空燃比などのエンジンの制御にかかるパラメータを調整する制御装置が示されている。特に、この制御装置では、熱モデルに基づく触媒の推定温度と触媒の温度を検出する温度センサの検出温度との偏差に基づいて、熱モデルのモデル係数を修正する。これにより、触媒の劣化を考慮した温度制御が可能となる。

20

【特許文献1】国際公開2002-70873号公報

【特許文献2】特開2006-183645号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0018】

しかしながら、特許文献1の制御装置では、熱モデルに含まれる定数を修正するのみであるため、劣化後の触媒を十分な精度で再現できるものではない。また、熱モデルの修正時期も、触媒がライトオフ温度に達するまでの時期に限られている。このため、特許文献1の制御装置を燃料改質器の温度制御に応用した場合、未反応の炭化水素の排出量が増加したり、燃費が悪化したり、改質触媒の温度が過剰に上昇し劣化したりするおそれがある。

30

【0019】

また、特許文献2の制御装置では、線形モデルに含まれる定数のみを修正可能な逐次型最小2乗法により熱モデルを修正する。しかしながら、改質触媒の発熱特性等は非線形な関数で記述される。したがって、特許文献2の制御装置では、劣化後の触媒を十分な精度で再現することができない。このため、特許文献2の制御装置を燃料改質器の温度制御に応用した場合、始動直後に急速暖機制御実行時や触媒の再生制御実行時など、触媒の温度が急激に変化する際において、未反応の炭化水素の排出量が増加したり、燃費が悪化したり、改質触媒の温度が過剰に上昇し劣化したりするおそれがある。

40

【0020】

本発明は上述した点を考慮してなされたものであり、改質触媒の熱モデルの非線形性を考慮した制御が可能燃料改質器の制御装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0021】

上記目的を達成するため請求項1に記載の発明は、燃料改質器(1)の改質触媒(11)の温度を制御する燃料改質器の制御装置(3)において、前記改質触媒の温度を触媒温

50

度として、当該触媒温度を検出する温度検出手段(21)と、前記改質触媒における改質反応を特徴付ける複数のパラメータのうち2つを第1パラメータ(T_{CAT} , T_{CAT_HAT})及び第2パラメータ(C_{CAT})として、これら第1パラメータ及び第2パラメータを関連付ける相関モデルに基づいて前記触媒温度を推定する温度推定手段(32)と、前記温度推定手段の推定温度(T_{CAT_HAT})に基づいて、前記改質触媒の温度を制御する温度制御手段(30)と、前記第1パラメータを定義域とする複数の補正重み関数(W_0 , W_1 , W_2 , W_3 , W_4)を定義し、これら複数の補正重み関数の各々に乗算される複数の局所修正係数(K_{CL_0} , K_{CL_1} , K_{CL_2} , K_{CL_3} , K_{CL_4})を、前記温度検出手段の検出温度及び前記温度推定手段の推定温度(T_{CAT_HAT})に基づいて算出し、これら複数の補正重み関数及び局所修正係数に基づいて前記相関モデルを修正するモデル修正手段(34)と、を備えることを特徴とする。

10

【0022】

請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の燃料改質器の制御装置において、前記第1パラメータは、触媒温度(T_{CAT} , T_{CAT_HAT})であり、前記第2パラメータは、前記改質触媒における改質反応の発熱状態を示す触媒反応熱係数(C_{CAT})であることを特徴とする。

【0023】

請求項3に記載の発明は、請求項1又は2に記載の燃料改質器の制御装置において、前記温度検出手段のモデルに基づいて、前記温度推定手段の推定温度(T_{CAT_HAT})に応じた前記温度検出手段の出力値を推定する検出値推定手段(341)をさらに備え、前記モデル修正手段は、前記温度検出手段の検出温度(T_{CAT_SNS})と前記検出値推定手段の推定温度(T_{CSNS_HAT})との偏差(em)が収束するように、前記複数の局所修正係数を算出することを特徴とする。

20

【0024】

請求項4に記載の発明は、請求項3に記載の燃料改質器の制御装置において、前記モデル修正手段は、応答指定型制御に基づいて前記複数の局所修正係数を算出することを特徴とする。

【0025】

請求項5に記載の発明は、請求項1から4の何れかに記載の燃料改質器の制御装置において、前記相関モデルにおいて、前記第1パラメータを定義域とし前記第2パラメータを値域とし、前記第1パラメータのうち前記第2パラメータが変化する領域を変化領域とした場合、前記複数の補正重み関数は、それぞれ、前記変化領域内において変化する関数であり、かつ、当該変化領域内において互いに交差するように設定されることを特徴とする。

30

【0026】

請求項6に記載の発明は、請求項1から5の何れかに記載の燃料改質器の制御装置において、前記温度検出手段は、前記改質触媒のうち改質反応温度が最も高い部分の触媒温度を検出し、前記温度制御手段は、前記温度推定手段の推定温度が前記改質触媒の所定の失活温度(T_{CAT_H})より小さくなるように前記改質触媒の温度を制御することを特徴とする。

40

【0027】

請求項7に記載の発明は、請求項1から6の何れかに記載の燃料改質器の制御装置において、前記燃料改質器は、内燃機関を備える車両に搭載され、前記改質触媒における改質反応は、発熱反応であることを特徴とする。

【0028】

請求項8に記載の発明は、請求項1から7の何れかに記載の燃料改質器の制御装置において、前記温度制御手段は、所定の切換関数設定パラメータ(V_{POLE})に基づくスライディングモード制御により、前記改質触媒の温度を制御することを特徴とする。

【0029】

請求項9に記載の発明は、請求項8に記載の燃料改質器の制御装置において、前記燃料

50

改質器の運転状態が定常状態にある場合には、前記切換関数設定パラメータは、-1から0の範囲内において0よりも-1に近い値に設定されることを特徴とする。

【発明の効果】

【0030】

請求項1に記載の発明によれば、改質反応を特徴付ける第1パラメータ及び第2パラメータに対し、これらパラメータを関連付ける相関モデルに基づいて触媒温度を推定し、この推定温度に基づいて改質触媒の温度を制御する。このように、現実の改質触媒温度に対し遅れの無い推定温度に基づいて改質触媒の温度を制御することにより、オーバーシュートを起こすことなく目標温度に制御することができる。特に、改質触媒は、耐熱限界に近い高温域において使用するため、オーバーシュートを起こした場合には失活するおそれもあるため、温度のオーバーシュートは可能な限り避けることが好ましい。

10

また、第1パラメータを定義域とする複数の補正重み関数を定義し、この補正重み関数に乗算される複数の局所修正係数を、改質触媒の推定温度に基づいて算出し、これら複数の補正重み関数及び局所修正係数に基づいて相関モデルを修正するモデル修正手段を設けた。

これにより、例えば、改質触媒の劣化により相関モデルが現実の改質触媒の振る舞いからずれたものとなった場合であっても、モデル修正手段により相関モデルを修正することにより、現実の改質触媒の温度に近い温度を推定し、改質触媒を目標温度に近い精度で制御することができる。またここで、上述のような複数の補正重み関数を導入して相関モデルを修正することにより、例えば、改質触媒の劣化が非線形な特性を示す場合であっても、この劣化に合わせて相関モデルを修正することができる。したがって、さらに高い精度で改質触媒の温度を制御できる。

20

【0031】

請求項2に記載の発明によれば、第1パラメータを触媒温度とし、第2パラメータを触媒反応熱係数とした。これにより、改質触媒が劣化し、触媒反応熱係数の触媒温度に対する特性が変化した場合であっても、この特性変化を考慮して相関モデルを修正できる。したがって、改質触媒の温度をさらに高い精度で目標温度に制御することができる。

【0032】

請求項3に記載の発明によれば、温度検出手段のモデルに基づいて、この温度検出手段の出力値を推定し、さらに、この推定温度と温度検出手段の検出温度との偏差が収束するように、局所修正係数を算出する。ところで、これら推定温度と検出温度との偏差は、改質触媒の劣化に起因する。このような偏差が収束するように局所修正係数を算出することにより、改質触媒の劣化に合わせて適切に相関モデルを修正することができる。

30

【0033】

請求項4に記載の発明によれば、応答指定型制御に基づいて複数の局所修正係数を算出する。例えば、このような複数の局所修正係数を同時に算出する場合、互いに干渉し、周期的に振動する挙動を示したり、発散したりする場合がある。しかしながら、応答指定型制御に基づいて複数の局所修正係数を算出することにより、このような干渉を引き起こすことなく安定して算出することができる。

【0034】

40

請求項5に記載の発明によれば、第2パラメータが変化する領域を変化領域として、複数の補正重み関数を、このような変化領域内において変化するものとし、さらに、この変化領域内で互いに交差するように設定した。すなわち、第2パラメータが変化する領域のみ重点的に修正することで、過剰な演算負荷をかけることなく、相関モデルを精度よく修正することができる。

【0035】

請求項6に記載の発明によれば、温度検出手段により、改質触媒のうち改質反応温度が最も高い部分の触媒温度を検出し、さらに、改質触媒の推定温度が所定の失活温度より小さくなるように改質触媒の温度を制御する。これにより、改質触媒が失活温度を上回ってしまい、劣化するのを防止することができる。

50

【0036】

請求項7に記載の発明によれば、例えば、燃料改質器を内燃機関が設けられたボンネット内に収めることにより、改質触媒の温度をさらに高い精度で制御することができる。つまりボンネット内は、風雨の影響を大きく受けることも無いため温度変化が小さい。このため、改質触媒の温度の推定精度をさらに向上することができる。

【0037】

請求項8に記載の発明によれば、所定の切換関数設定パラメータに基づくスライディングモード制御により、改質触媒の温度を制御する。これにより、例えば、改質触媒の温度を所定の範囲内に収めるような制御を行い、安定して燃料改質器を運転することができる。

10

【0038】

請求項9に記載の発明によれば、燃料改質器の運転状態が定常状態にある場合には、切換関数設定パラメータを、-1から0の範囲内において0よりも-1に近い値に設定する。これにより、特に、昇温時における余分な燃料の消費を抑えることができ、また、改質触媒の温度のオーバーシュートを抑えることもできる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0039】

図1は、本発明の一実施形態に係る燃料改質器1とその制御装置としての電子制御ユニット(以下、「ECU」という)3の構成を示す模式図である。

【0040】

燃料改質器1は、改質触媒11がその内部に設けられた筒状のガス通路12と、このガス通路12の一端側から空気及び燃料を供給する空気供給装置13及び燃料供給装置14と、を含んで構成される。すなわち、この燃料改質器1は、改質触媒11の入口側におけるガスの流れと、改質触媒11の出口側におけるガスの流れとが同一方向となるストレートフロー型である。

20

【0041】

空気供給装置13は、図示しないコンプレッサ、及びバルブ等で構成され、ECU3から出力される制御信号(GAIR CMD)に応じて、ガス通路12内に空気を供給する。

燃料供給装置14は、図示しない燃料タンク、バルブ、及びインジェクタ等で構成され、ECU3から出力される制御信号(GFUEL CMD)に応じて、ガス通路12内に燃料を供給する。

30

これら空気供給装置13及び燃料供給装置14により供給された空気と燃料は、ガス通路12内において混合され、燃料ガスとして改質触媒11に供給される。

【0042】

改質触媒11は、空気供給装置13及び燃料供給装置14から供給された燃料ガスを改質し、水素、一酸化炭素、及び炭化水素を含む改質ガスを製造する。より具体的には、この改質触媒11は、燃料ガスを構成する炭化水素燃料と空気との部分酸化反応、すなわち発熱反応により改質ガスを製造する。

本実施形態では、改質触媒11として、セリア及びロジウムの粉末を、セリアに対するロジウムの質量比が1%となるように秤量し、この粉末を水系媒体とともにボールミルに投入して攪拌・混合することでスラリーを製造し、このスラリーをFe-Cr-Al合金製の担体にコーティングした後、これを600で2時間に亘り乾燥・焼成して調製したものをを用いる。

40

【0043】

また、燃料改質器1には、ガス通路12内の燃料ガスとともに改質触媒11を予熱し、改質触媒11の活性を促進するヒータ15が設けられる。

この他、燃料改質器1には、改質触媒11の温度を検出し、検出した温度を検出温度TCATSNSとしてECU3に出力する温度検出手段としての触媒温度センサ21と、ヒータ15の温度を検出し、検出した温度を検出温度TPREとしてECU3に出力する

50

ヒータ温度センサ（図示せず）とが設けられる。またここで、触媒温度センサ 21 は、改質触媒 11 のうち温度が最も高い部分の温度を検出するように燃料改質器 1 に設けることが好ましい。

【0044】

以上のように構成された燃料改質器 1 は、例えば、内燃機関を備える図示しない車両に搭載される。この場合、燃料改質器 1 により製造された改質ガスは、排気を浄化する触媒やフィルタを備える内燃機関の排気系に導入することが好ましい。

【0045】

ECU3 は、各種センサからの入力信号波形を整形し、電圧レベルを所定のレベルに修正し、アナログ信号値をデジタル信号値に変換するなどの機能を有する入力回路と、中央演算処理ユニット（以下「CPU」という）とを備える。この他、ECU3 は、CPU で実行される各種演算プログラム、このプログラムで参照されるマップ及びテーブル、及びプログラムの演算結果等を記憶する記憶回路と、燃料改質器 1 に制御信号を出力する出力回路とを備える。

10

【0046】

図 1 には、以上のような ECU3 のうち、燃料改質器 1 の制御に係る機能ブロックのみを示す。より具体的には、ECU3 の機能ブロックは、燃料改質器 1 を制御する触媒温度制御手段としてのコントローラ 30 と、改質触媒 11 の温度を推定する触媒温度推定手段としての触媒温度推定部 32 と、モデル修正手段としてのモデル修正部 34 と、各種パラメータを設定するパラメータ設定部 36 と、を含んで構成される。

20

【0047】

触媒温度推定部 32 は、後に詳述する熱差分方程式に基づいて改質触媒 11 の温度を推定し、推定した温度を推定温度 T_{CAT_HAT} としてコントローラ 30 及びモデル修正部 34 に出力する。

モデル修正部 34 は、検出温度 T_{CAT_SNS} と推定温度 T_{CAT_HAT} とに基づいて、触媒温度推定部 32 の熱差分方程式に含まれる相関モデルを修正する。

コントローラ 30 は、触媒温度推定部 32 から入力された推定温度 T_{CAT_HAT} と、パラメータ設定部 36 から入力された改質触媒 11 の目標温度 T_{CAT_TARGET} との偏差が収束するように、後に詳述するスライディングモード制御に基づいて燃料改質器 1 の空気供給量 G_{AIR_CMD} 及び燃料供給量 G_{FUEL_CMD} を算出し、これら算出した空気供給量 G_{AIR_CMD} 及び燃料供給量 G_{FUEL_CMD} を燃料改質器 1 に出力することで、改質触媒の温度を制御する。

30

パラメータ設定部 36 は、改質触媒 11 の目標温度 T_{CAT_TARGET} 、及び改質触媒 11 による水素製造量（燃料改質器の負荷） G_{CYL} を、燃料改質器 1 の運転状態に応じて設定し、これら目標温度 T_{CAT_TARGET} 、及び水素製造量 G_{CYL} をコントローラ 30 及び触媒温度推定部 32 に出力する。

【0048】

図 2 から図 5 を参照して、コントローラ 30 の構成について詳細に説明する。

図 2 は、コントローラ 30 の構成を示すブロック図である。

コントローラ 30 は、推定温度 T_{CAT_HAT} が目標温度 T_{CAT_TARGET} に収束するように制御入力 U_{SL} を算出するスライディングモードコントローラ 31 と、水素製造量 G_{CYL} 及び制御入力 U_{SL} に応じて燃料供給量 G_{FUEL_CMD} 及び空気供給量 G_{AIR_CMD} を算出する燃料供給量マップ 311、空気供給量マップ 312、及び補正量マップ 315 と、を含んで構成される。

40

【0049】

ここで、スライディングモード制御について説明する。スライディングモード制御とは、制御量の収束速度を指定できる所謂応答指令型制御を発展させたものであり、制御量の目標値に対する追従速度と、外乱が印加された場合の制御量の収束速度を個別に指定できる制御である。

上述のように燃料改質器の改質触媒は、改質ガスを製造する際には高温で使用されると

50

ともに、その温度範囲も限定されている。例えば、このような温度範囲を超えた場合には失活してしまうため、改質触媒の温度のオーバーシュートは可能な限り避けることが好ましい。また、温度範囲を下回った場合には、改質反応の速度が低下して自律運転に支障をきたす場合がある。そこで、このようなスライディングモード制御を行うことにより、オーバーシュートを起こすことなく、所定の温度範囲内に改質触媒の温度を制御することが可能となる。

また、以下の説明において、記号(k)は、離散化した時間を示す記号であり、所定の制御周期ごとに検出又は算出されたデータであることを示す。すなわち、記号(k)が今回の制御タイミングにおいて検出又は算出されたデータであるとした場合、記号(k-1)は前回の制御タイミングにおいて検出又は算出されたデータであることを示す。

10

【0050】

スライディングモードコントローラ31の動作について説明する。

まず、下記式(4)に示すように、改質触媒の推定温度 $T_{CAT\ HAT}(k)$ と、改質触媒の目標温度 $T_{CAT\ TARGET}(k)$ との偏差を、加算器301により算出し、これを温度偏差量 $e(k)$ として定義する。

【数2】

$$e(k) = T_{CAT\ HAT}(k) - T_{CAT\ TARGET}(k) \quad (4)$$

【0051】

次に、 V_{POLE} 設定部302により推定温度 $T_{CAT\ HAT}$ に応じた V_{POLE} を検索し、この検索された V_{POLE} と、遅延演算器303により算出された前回制御時の温度偏差量 $e(k-1)$ との積を算出する。 V_{POLE} は-1より大きく0より小さい値に設定される切換関数設定パラメータであり、後に図5を参照して詳述する V_{POLE} テーブルに基づいて設定される。

20

【0052】

次に、下記式(5)に示すように、温度偏差量 $e(k)$ と積 $V_{POLE} \times e(k-1)$ との和を、加算器305により算出し、これを切換関数 $\sigma(k)$ と定義する。

【数3】

$$\sigma(k) = e(k) + V_{POLE} \times e(k-1) \quad (5)$$

30

【0053】

ここで、切換関数設定パラメータ V_{POLE} と、温度偏差量 $e(k)$ の収束速度との関係について説明する。

図3は、横軸を前回制御時の温度偏差量 $e(k-1)$ とし、縦軸を今回制御時の温度偏差量 $e(k)$ と定義した位相平面を示す図である。

この位相平面において、 $\sigma(k) = 0$ を満たす温度偏差量 $e(k)$ 及び $e(k-1)$ の組み合わせは、図3に示すように、傾きが $-V_{POLE}$ の直線となる。特にこの直線は、切換直線と呼ばれる。また、図3に示すように、 $-V_{POLE}$ が1より小さく0より大きい値に設定することにより、 $e(k-1) > e(k)$ となるので、温度偏差量 $e(k)$ は0に収束することとなる。スライディングモード制御は、この切換直線上における偏差量 $e(k)$ の振る舞いに着目した制御となっている。

40

すなわち、今回制御時の温度偏差量 $e(k)$ と前回制御時の温度偏差量 $e(k-1)$ との組み合わせが、この切換直線上に載るように制御を行うことで、外乱やモデル化誤差に対してロバストな制御を実現し、改質触媒の温度をその目標値に対しオーバーシュートすることなく収束させることができる。

【0054】

図4は、切換関数設定パラメータ V_{POLE} と、温度偏差量の収束時間との関係を示す図である。より具体的には、横軸は温度偏差量の目標値に対する収束時間を示し、縦軸は切換直線の傾き $(-V_{POLE})$ を示す。図4に示すように、収束時間は、 $-V_{POLE}$ が0から1に近づくに従い長くなる。

50

【0055】

図5は、上述の V_{POLE} 設定部302に格納された V_{POLE} テーブルの構成を示す図である。より具体的には、横軸は推定温度 $T_{CAT\ HAT}$ を示し、縦軸は切換関数設定パラメータ V_{POLE} を示す。また、上限温度 $T_{CAT\ H}$ 及び下限温度 $T_{CAT\ L}$ は、それぞれ、改質反応を効率よく行うために予め設定された改質触媒の上限温度及び下限温度である。より具体的には、上限温度 $T_{CAT\ H}$ は、失活温度、すなわち、改質触媒がこの温度を上回ると失活したり劣化したりするおそれのある温度である。また、下限温度 $T_{CAT\ L}$ は、改質触媒がこの温度を下回ると改質反応の速度が低下するおそれのある温度である。したがって、改質触媒の温度は、この下限温度 $T_{CAT\ L}$ から上限温度 $T_{CAT\ H}$ までの範囲内で定常的に運転することが好ましい。そこで、改質触媒の目標温度 $T_{CAT\ TARGET}$ は、通常、これら下限温度 $T_{CAT\ L}$ と上限温度 $T_{CAT\ H}$ との間に設定される。

10

【0056】

上述のように、 V_{POLE} は-1より大きく0より小さな値に設定されるとともに、 V_{POLE} が0に近づくに従い温度偏差量の収束速度は速くなり、 V_{POLE} が-1に近づくに従い温度偏差量の収束速度は遅くなる。

そこで、本実施形態では、下記式(6-1)、(6-2)、(6-3)に示すように、推定温度 $T_{CAT\ HAT}$ に応じて切換関数設定パラメータ V_{POLE} を設定する。

【数4】

$$V_{POLE} \approx 0 \quad (T_{CAT\ HAT} \leq T_{CAT\ L}) \quad (6-1)$$

20

$$V_{POLE} \approx -1 \quad (T_{CAT\ L} < T_{CAT\ HAT} < T_{CAT\ H}) \quad (6-2)$$

$$V_{POLE} \approx 0 \quad (T_{CAT\ HAT} \geq T_{CAT\ H}) \quad (6-3)$$

【0057】

このように切換関数設定パラメータ V_{POLE} を設定することで、推定温度 $T_{CAT\ HAT}$ が下限温度 $T_{CAT\ L}$ と上限温度 $T_{CAT\ H}$ の間にある場合には、改質触媒の温度を緩やかに目標温度 $T_{CAT\ TARGET}$ に収束させ、推定温度 $T_{CAT\ HAT}$ が下限温度 $T_{CAT\ L}$ と上限温度 $T_{CAT\ H}$ の間にない場合には、改質触媒の温度を速やかに目標温度 $T_{CAT\ TARGET}$ に収束させることができる。結果として、改質触媒の温度は、下限温度 $T_{CAT\ L}$ と上限温度 $T_{CAT\ H}$ との間を漂うように制御されることとなる。

30

【0058】

図2に戻って、以上のように算出された切換関数 (k) に基づいて到達則入力 $U_{RCH}(k)$ 及び適応則入力 $U_{ADP}(k)$ を算出し、さらに、下記式(7)に示すように、これら到達則入力 $U_{RCH}(k)$ 及び適応則入力 $U_{ADP}(k)$ の和を加算器309により算出し、これを制御入力 $U_{SL}(k)$ として定義する。

【数5】

$$U_{SL}(k) = U_{RCH}(k) + U_{ADP}(k) \quad (7)$$

【0059】

40

到達則入力 $U_{RCH}(k)$ は、温度偏差量を切換直線上に載せるための入力であり、下記式(8)に示すように、増幅器306により切換関数 (k) に到達則制御ゲイン K_{RCH} を乗算することで算出される。

【数6】

$$U_{RCH}(k) = K_{RCH}\sigma(k) \quad (8)$$

【0060】

適応則入力 $U_{ADP}(k)$ は、モデル化誤差や外乱の影響を抑制し、温度偏差量を切換直線上に載せるための入力であり、下記式(9)に示すように、積分器307により切換関数 (k) の積分を算出し、さらに増幅器308によりこの積分値に適応則制御ゲイン K

50

U_{ADP} を乗算することで算出される。また、この式(9)において、 T は制御周期である。

【数7】

$$U_{ADP}(k) = K_{ADP} \sum_{i=0}^k \Delta T \sigma(i) \quad (9)$$

【0061】

なお、これら到達則制御ゲイン K_{RCH} 及び適応則制御ゲイン K_{ADP} は、上述した改質触媒の温度制御の方針の下、温度偏差量が安定して切換直線に載るように、実験に基づいて最適な値に設定される。

10

【0062】

燃料供給量マップ311及び空気供給量マップ312は、それぞれ、所定の供給量決定用の制御マップに基づいて、水素製造量 G_{CYL} に応じた燃料供給量及び空気供給量のマップ値 $G_{FUEL\ MAP}$ 及び $G_{AIR\ MAP}$ を算出する。

【0063】

補正量マップ315は、所定の補正量決定用制御マップに基づいて、スライディングモードコントローラ31の制御入力 U_{SL} に応じた燃料供給量及び空気供給量の補正量 $G_{FUEL\ FB}$ 及び $G_{AIR\ FB}$ を算出する。

【0064】

ここで、補正量決定用制御マップの設定方針について説明する。

例えば、推定温度 $T_{CAT\ HAT}$ が目標温度 $T_{CAT\ TARGET}$ より低い場合には、改質触媒の温度を上昇させる必要がある。この場合、空気供給量を増やすか、燃料供給量を減らすことで、改質触媒の温度を増加させることができる。ただし、燃料供給量を減らすことで水素製造量が低下するおそれがあるため、空気供給量を増やすことで改質触媒の温度を増加させることが好ましい。

20

また、例えば、推定温度 $T_{CAT\ HAT}$ が目標温度 $T_{CAT\ TARGET}$ より高い場合には、改質触媒の温度を低下させる必要がある。この場合、空気供給量を減らすか、燃料供給量を増やすことで、改質触媒の温度を低下させることができる。ただし、燃料供給量を増やすことで未燃の燃料の排出量が増加するおそれがあるため、空気供給量を減らすことで改質触媒の温度を低下させることが好ましい。

30

以上のような方針の下、補正量決定用制御マップは、上述の供給量決定用制御マップと合わせて設定される。

【0065】

以上のように算出された燃料補正量 $G_{FUEL\ FB}$ 及び空気補正量 $G_{AIR\ FB}$ は、それぞれ、燃料供給量マップ値 $G_{FUEL\ MAP}$ 及び空気供給量マップ値 $G_{AIR\ MAP}$ に、加算器313、314により加算されて、これら加算された値を燃料供給量 $G_{FUEL\ CMD}$ 及び空気供給量 $G_{AIR\ CMD}$ と定義して、燃料改質器に出力する。

【0066】

図1に戻って、触媒温度推定部32は、下記式(10)に示すような熱差分方程式に基づき、改質触媒11の推定温度 $T_{CAT\ HAT}(k)$ を算出する。

40

【数8】

$$\begin{aligned} \frac{T_{CAT\ HAT}(k) - T_{CAT\ HAT}(k-1)}{\Delta T} = & \\ + A_{CAT} \{T_{CAT\ HAT}(k-1) - T_A(k-1)\} & \\ + \frac{B_{CAT} G_{CYL}(k-1)}{L_{CAT} G_{CYL\ MAX}} \{T_{PRE}(k-1) - T_{CAT\ HAT}(k-1)\} & \\ + C_{CAT}(k-1) K_C(k-1) G_{CYL}(k-1) & \end{aligned} \quad (10)$$

50

【 0 0 6 7 】

この式(10)において、右辺第1項は、移流項であり、改質触媒11と大気との間の熱の移動による寄与を示す項である。右辺第2項は、伝熱項であり、改質触媒11とヒータ15との間の熱の移動による寄与を示す項である。また、右辺第3項は、発熱項であり、改質触媒11における改質反応により発生する熱の寄与を示す項である。特にこの式(10)において、発熱項は、改質触媒11の発熱反応に関わる項であり、改質触媒11の劣化に伴い変化する。

【 0 0 6 8 】

また、式(10)における係数やパラメータは、以下のように定義される。

C_{CAT} は触媒反応熱係数を示し、後述の図6に示す相関モデルに基づいて算出される

10

K_C は触媒反応熱係数 C_{CAT} の修正係数を示し、モデル修正部34により算出される

L_{CAT} は改質触媒の積層方向に沿った長さであり、予め設定された値を用いる。

T_A は大気温度であり、図示しない大気温度センサの検出温度を用いる。

G_{CYLMAX} は燃料改質器1の最大水素製造量であり、予め設定された値を用いる

また、 A_{CAT} 及び B_{CAT} は、それぞれ、移流項及び伝熱項のパラメータであり、実験に基づいて最適な値に設定される。本実施形態では、これらパラメータ A_{CAT} 及び B_{CAT} を、劣化する前の改質触媒11に基づいて設定するが、これに限るものではない。例えば、所定時間使用し劣化したものに基づいて、これらパラメータや定数を設定してもよい。

20

【 0 0 6 9 】

図6は、第1パラメータとしての改質触媒の温度 T_{CAT} と、第2パラメータとしての触媒反応熱係数 C_{CAT} との相関モデルの構成を示す図である。

触媒反応熱係数 C_{CAT} は、改質触媒における改質反応の発熱状態を示す係数であり、触媒温度 T_{CAT} の非線形関数として表わされる。

また、この触媒反応熱係数 C_{CAT} と触媒温度 T_{CAT} の相関は、改質触媒の劣化とともに変化する。より具体的には、実線6aは、劣化する前の改質触媒における触媒反応熱係数 C_{CAT} と触媒温度 T_{CAT} の相関を示し、破線6bは、劣化した後の改質触媒における触媒反応熱係数 C_{CAT} と触媒温度 T_{CAT} の相関を示す。このように、触媒反応熱係数 C_{CAT} の劣化に伴う特性の変化も、定率的なものではなく非線形なものとなっている。

30

【 0 0 7 0 】

図6に示すように、触媒温度 T_{CAT} が所定の第1温度 T_L に達するまでは、改質触媒が活性化されておらず改質反応が起こらないため、触媒反応熱係数 C_{CAT} は0に近い値となる。

触媒温度 T_{CAT} が第1温度 T_L を超えてから所定の第2温度 T_H に達するまでは、触媒温度 T_{CAT} の上昇とともに触媒反応熱係数 C_{CAT} も増加する。ここで、劣化前の改質触媒では、劣化後の改質触媒と比較して、触媒反応熱係数 C_{CAT} は触媒温度 T_{CAT} の上昇とともに速やかに増加する。

40

また、触媒温度 T_{CAT} が第2温度 T_H を超えると、触媒温度 T_{CAT} にかかわらず、触媒反応熱係数 C_{CAT} は所定の上限値で略一定となる。

【 0 0 7 1 】

触媒温度推定部32は、このような改質触媒の相関モデルに基づいて、推定温度 T_{CAT} に応じた触媒反応熱係数 C_{CAT} を算出する。また、上述の説明では、第1パラメータを改質触媒11の触媒温度 T_{CAT} としたが、実際の制御では、触媒温度 T_{CAT} を推定温度 T_{CAT} に置き換えた上で、触媒反応熱係数 C_{CAT} を算出する。

また、本実施形態では、実線6aに示す劣化する前の改質触媒の相関モデルに基づいて、触媒反応熱係数 C_{CAT} を算出する。この場合、破線6bに示すような劣化後の改質触

50

媒の相関モデルは、後述のモデル修正部 3 4 により算出される修正係数 K_C を触媒反応熱係数 C_{CAT} に乗算することで再現される。

【 0 0 7 2 】

図 1 に戻って、触媒温度推定部 3 2 は、上述のような相関モデルに基づいて推定温度 $T_{CAT\ HAT}$ に応じた触媒反応熱係数 C_{CAT} を算出し、さらに、(1 0) 式に示す差分方程式により、改質触媒 1 1 の温度を推定する。すなわち、上述の式 (1 0) を変形して導出される下記式 (1 1) により、推定温度 $T_{CAT\ HAT}$ を算出する。

【 数 9 】

$$T_{CAT\ HAT}(k) = \left\{ 1 + A_{CAT}\Delta T - \frac{B_{CAT}G_{CYL}(k-1)\Delta T}{L_{CAT}G_{CYL\ MAX}} \right\} T_{CAT\ HAT}(k-1) + \frac{B_{CAT}G_{CYL}(k-1)\Delta T}{L_{CAT}G_{CYL\ MAX}} T_{PRE}(k-1) - A_{CAT}T_A(k-1)\Delta T + C_{CAT}(k-1)K_C(k-1)G_{CYL}(k-1)\Delta T \quad (11)$$

【 0 0 7 3 】

モデル修正部 3 4 は、触媒温度センサ 2 1 の出力値を推定する検出値推定手段としての温度センサモデル 3 4 1 と、後述の修正アルゴリズムに基づいて触媒温度推定部 3 2 の相関モデルの修正係数 K_C を算出する修正係数算出部 3 4 2 とを含んで構成される。

【 0 0 7 4 】

温度センサモデル 3 4 1 は、触媒温度センサ 2 1 の出力を再現するセンサモデルに基づいて、触媒温度推定部 3 2 から出力された推定温度 $T_{CAT\ HAT}$ に応じて、触媒温度センサ 2 1 の検出温度を推定する。より具体的には、温度センサモデル 3 4 1 は、触媒温度センサ 2 1 の応答遅れを考慮した、下記式 (1 2) に示すセンサモデルに基づいて、出力推定温度 $T_{CSNS\ HAT}$ を算出する。

【 数 1 0 】

$$T_{CSNS\ HAT}(k) = -K_S T_{CSNS\ HAT}(k-1) + (1 + K_S) T_{CAT\ HAT}(k) \quad (12)$$

【 0 0 7 5 】

この式 (1 2) において、 K_S はセンサ遅れ係数を示し、 $-1 < K_S < 0$ において、実験やシステム同定により最適な値に設定される。

【 0 0 7 6 】

修正係数算出部 3 4 2 は、触媒温度センサ 2 1 から出力された検出温度 $T_{CAT\ SNS}$ と、温度センサモデル 3 4 1 から出力された出力推定温度 $T_{CSNS\ HAT}$ との偏差が収束するように、修正係数 K_C を算出する。つまり、この修正係数算出部 3 4 2 は、検出温度 $T_{CAT\ SNS}$ と出力推定温度 $T_{CSNS\ HAT}$ との偏差は、主に改質触媒の劣化に起因するものであるとすることにより、修正係数 K_C を算出する。

【 0 0 7 7 】

上述のように、触媒反応熱係数 C_{CAT} は、触媒温度 T_{CAT} に対して非線形な特性を示すとともに、劣化の進行に対しても非線形な特性を示す。したがって、修正係数 K_C を算出する際に、従来より知られている逐次型最小二乗法や、固定ゲイン法等といった制御アルゴリズムを適用した場合、モデル内の定数しか同定できないため、触媒反応熱係数 C_{CAT} の非線形な特性を再現することは困難である。また、非線形性を再現する手法として、テーブルやマップの特性を学習するニューラルネットワーク制御が従来より知られているが、この手法は安定性に欠けるため、燃料改質器の温度制御に応用するのは困難である。

【 0 0 7 8 】

そこで、本実施形態では、複数の補正重み関数 W_i ($i = 0, 1, 2, 3, 4$) を定義し、制御対象となる修正係数 K_C を、下記式 (1 3) に示すように、これら補正重み関数

10

20

30

40

50

W_i を乗算して重み付けされた局所修正係数 K_{CL_i} ($i = 0, 1, 2, 3, 4$) の和として分解する。

【数 1 1】

$$K_C(k) = 1 + \sum_{i=0}^4 W_i(k) K_{CL_i}(k) \quad (13)$$

【 0 0 7 9 】

図 7 は、補正重み関数 $W_0 \sim W_4$ の構成を示す図である。

図 7 に示すように、補正重み関数 W_i は、それぞれ、改質触媒の温度 T_{CAT} (推定温度 T_{CAT_HAT}) を定義域とし、0 から 1 を値域とした関数である。 10

また、これら補正重み関数 W_i は、それぞれ、触媒反応熱係数 C_{CAT} が変化する温度の領域、すなわち第 1 温度 T_L から第 2 温度 T_H までを変化領域として、この変化領域の間において、その値が変化するとともに、この変化領域内において互いに交差するように設定されている。より具体的には、この変化領域内に温度 T_1, T_2, T_3 を略等間隔に設定し、これにより変化領域を 4 つの領域に分けた上で、各補正重み関数 W_i は以下のように設定される。

補正重み関数 W_0 は、温度が 0 から T_L まで 1 であり、 T_L から T_1 にかけて 1 から 0 まで減少し、 T_1 以上は 0 である。

補正重み関数 W_1 は、温度が 0 から T_L まで 0 であり、 T_L から T_1 にかけて 0 から 1 まで上昇し、 T_1 から T_2 にかけて 1 から 0 まで減少し、 T_2 以上は 0 である。 20

補正重み関数 W_2 は、温度が 0 から T_1 まで 0 であり、 T_1 から T_2 にかけて 0 から 1 まで上昇し、 T_2 から T_3 にかけて 1 から 0 まで減少し、 T_3 以上は 0 である。

補正重み関数 W_3 は、温度が 0 から T_2 まで 0 であり、 T_2 から T_3 にかけて 0 から 1 まで上昇し、 T_3 から T_H にかけて 1 から 0 まで減少し、 T_H 以上は 0 である。

補正重み関数 W_4 は、温度が 0 から T_3 まで 0 であり、 T_3 から T_H にかけて 0 から 1 まで上昇し、 T_H 以上は 1 である。

またここで、各関数 W_i の和は、全ての温度において 1 となる。

【 0 0 8 0 】

次に、以上のような補正重み関数 W_i を用いた修正係数算出部 3 4 2 の動作について説明する。 30

図 8 は、修正係数算出部 3 4 2 の構成を示すブロック図である。

まず、下記式 (14) に示すように、触媒温度センサから出力された検出温度 T_{CAT_SNS} と、温度センサモデルから出力された出力推定温度 T_{CSNS_HAT} との偏差を、加算器 3 4 3 により算出し、これをセンサ温度偏差量 $em(k)$ として定義する。

【数 1 2】

$$em(k) = T_{CAT_SNS}(k-1) - T_{CSNS_HAT}(k-1) \quad (14)$$

【 0 0 8 1 】

次に、補正重み関数マップ 3 4 4 a, 3 4 4 b, 3 4 4 c, 3 4 4 d, 3 4 4 e に基づいて、推定温度 T_{CAT_HAT} に応じた補正重み関数 W_0, W_1, W_2, W_3, W_4 を算出する。 40

次に、下記式 (15) に示すように、各補正重み関数 $W_0 \sim W_4$ とセンサ温度偏差量 $em(k)$ との積を乗算器 3 4 5 a, 3 4 5 b, 3 4 5 c, 3 4 5 d, 3 4 5 e により算出し、これを重み付き誤差 $ew_0, ew_1, ew_2, ew_3, ew_4$ として定義する。

【数 1 3】

$$ew_i(k) = W_i(k)em(k) \quad (15)$$

【 0 0 8 2 】

次に、コントローラ 3 4 6 a, 3 4 6 b, 3 4 6 c, 3 4 6 d, 3 4 6 e により、局所修正係数 $K_{CL_0}, K_{CL_1}, K_{CL_2}, K_{CL_3}, K_{CL_4}$ を算出する。こ 50

のコントローラ 3 4 6 a ~ 3 4 6 e は、応答指定型制御、より具体的には、所定の切換関数設定パラメータに基づくスライディングモード制御により、下記式 (1 5) ~ (1 9) に示すように局所修正係数 $K_{CL0} \sim K_{CL4}$ を算出する。

【数 1 4】

$$K_{CLi}(k) = K_{CLNLi}(k) + K_{CLRCHi}(k) + K_{CLADPi}(k) \quad (15)$$

$$K_{CLRCHi}(k) = -K_{RCHL} \times \sigma_{Li}(k) \quad (16)$$

$$K_{CLNLi}(k) = -K_{NLL} \times \text{sign}(\sigma_{Li}(k)) \quad (17)$$

$$K_{CLADPi}(k) = -K_{ADPL} \sum_{j=0}^k \sigma_{Li}(j) \quad (18)$$

$$\sigma_{Li}(k) = ew_i(k) - Sl \times ew_i(k-1) \quad (19)$$

10

【 0 0 8 3 】

また、式 (1 5) ~ (1 9) における係数やパラメータは、以下のように定義される。

K_{CLNLi} は、重み付き誤差 ew_i を、切換直線上に拘束するための入力である。

K_{CLRCHi} は、重み付き誤差 ew_i を、切換直線上に載せるための入力である。

K_{CLADPi} は、モデル化誤差や外乱の影響を抑制し、重み付き誤差 ew_i を、切換直線上に拘束するための入力である。

K_{NLL} は等価入力制御ゲインであり、 K_{RCHL} は到達則制御ゲインであり、 K_{ADPL} は適応則制御ゲインであり、それぞれ、重み付き誤差 ew_i が安定して切換直線に載るように、実験に基づいて最適な値に設定される。

L_i は、重み付き誤差 ew_i に対する切換関数である。

Sl は、切換関数設定パラメータであり、- 1 より大きく 0 より小さな値に設定される。

【 0 0 8 4 】

次に、上記式 (1 3) に示すように、乗算器 3 4 7 a , 3 4 7 b , 3 4 7 c , 3 4 7 d , 3 4 7 e 及び加算器 3 4 8 により、局所修正係数 $K_{CL0} \sim K_{CL4}$ と局所修正係数 $W_0 \sim W_4$ との積を算出するとともに、これら積を足し合わせて、修正係数 K_c を算出する。

30

【 0 0 8 5 】

図 9 及び図 1 0 を参照して、燃料改質器の制御の手順について説明する。

図 9 は、ECU による燃料改質器のメイン制御の手順を示すフローチャートである。なお、このフローチャートには、燃料改質器の温度制御に係る手順のみを示し、燃料改質器の暖機制御や終了制御などの手順は省略する。また、各ステップは、例えば 5 m s e c の制御周期で実行される。

燃料改質器のメイン制御では、先ずステップ S 1 において、後に図 1 0 を参照して詳述する触媒温度推定処理を実行し、ステップ S 2 に移る。

ステップ S 2 では、空気供給制御を実行する。このステップでは、上記式 (4) ~ (9) に基づいて空気供給量 G_{AIRCMD} を算出し、燃料改質器の空気供給装置に出力する。

40

ステップ S 3 では、燃料供給制御を実行する。このステップでは、上記式 (4) ~ (9) に基づいて燃料供給量 $G_{FUELCMD}$ を算出し、燃料改質器の燃料供給装置に出力する。

【 0 0 8 6 】

図 1 0 は、触媒温度推定処理の手順を示すフローチャートである。

ステップ S 1 1 では、モデル修正処理を実行する。このステップでは、上記式 (1 3) ~ (1 9) に基づいて、改質触媒の触媒反応熱係数 C_{CAT} の修正係数 K_c を算出する。

ステップ S 1 2 では、温度推定処理を実行する。このステップでは、上記式 (1 1) に基づいて、改質触媒の推定温度 T_{CATHAT} を算出する。

50

ステップS13では、検出温度推定処理を実行する。このステップでは、上記式(12)に基づいて、触媒温度センサの出力推定温度 T_{CSNS_HAT} を算出する。

【0087】

図11から図14を参照して、燃料改質器の制御例について説明する。

図11及び図12は、それぞれ、比較例及び本実施形態の改質触媒の温度 T_{CAT} と切換関数設定パラメータ V_{POLE} の時間変化を示すタイムチャートである。

ここで、本実施形態の比較例とは、コントローラ30の入力として、触媒温度推定部32の推定温度 T_{CAT_HAT} の代わりに、触媒温度センサ21の検出温度 T_{CAT_SNS} を用いたものを示す(図1参照)。

【0088】

図11を参照して比較例のタイムチャートについて説明する。

開始時刻から時刻 t_5 までの間は、検出温度 T_{CAT_SNS} は下限温度 T_L より小さいため、切換関数設定パラメータ V_{POLE} を0付近の値に設定することで、改質触媒の温度を目標温度 T_{CAT_TARGET} に速やかに近づける制御を行う。

時刻 t_5 において、検出温度 T_{CAT_SNS} が下限温度 T_L を上回ったことに応じて、切換関数設定パラメータ V_{POLE} を-1付近の値に設定することで、改質触媒の温度を緩やかに T_{CAT_TARGET} に近づける制御を行う。

その後、改質触媒の温度 T_{CAT} が目標温度 T_{CAT_TARGET} を上回ると、改質触媒における改質反応が活発になり、水素製造量が増加するとともに、触媒の温度も急激に上昇する。

時刻 t_6 において検出温度 T_{CAT_SNS} が上限温度 T_H を上回ったことに応じて、切換関数設定パラメータ V_{POLE} を0付近の値に設定することで、再び改質触媒の温度を速やかに目標温度 T_{CAT_TARGET} に近づける制御を行う。

しかしながら、図11に示すように、温度センサの検出温度 T_{CAT_SNS} は、実際の触媒温度 T_{CAT} と比較して遅れがある。このため、以上のようなスライディングモード制御を行った場合であっても、実際の触媒温度 T_{CAT} は、上限温度 T_H を大きくオーバーシュートしてしまい、改質触媒が劣化するおそれがある。

【0089】

図12を参照して本実施形態のタイムチャートについて説明する。

開始時刻から時刻 t_7 までの間は、推定温度 T_{CAT_HAT} は下限温度 T_L より小さいため、切換関数設定パラメータ V_{POLE} を0付近の値に設定することで、改質触媒の温度を目標温度 T_{CAT_TARGET} に速やかに近づける制御を行う。

時刻 t_7 において、推定温度 T_{CAT_HAT} が下限温度 T_L を上回ったことに応じて、切換関数設定パラメータ V_{POLE} を-1付近の値に設定することで、改質触媒の温度を緩やかに T_{CAT_TARGET} に近づける制御を行う。

その後、改質触媒の温度 T_{CAT} が目標温度 T_{CAT_TARGET} を上回ると、改質触媒における改質反応が活発になり、水素製造量が増加するとともに、触媒の温度も急激に上昇する。

時刻 t_8 において推定温度 T_{CAT_SNS} が上限温度 T_H を上回ったことに応じて、切換関数設定パラメータ V_{POLE} を0付近の値に設定することで、再び改質触媒の温度を速やかに目標温度 T_{CAT_TARGET} に近づける制御を行う。

これにより、図11に示すように、実際の触媒温度 T_{CAT} は、上限温度 T_H をオーバーシュートすることなく、再び目標温度 T_{CAT_TARGET} に向けて収束し始める。

すなわち、本実施形態では、実際の触媒温度 T_{CAT} に対して遅れの無い推定温度 T_{CAT_HAT} に基づいて、燃料改質器を制御することにより、改質触媒の温度を下限温度 T_L と上限温度 T_H との間に制御できる。

【0090】

図13及び図14は、それぞれ、改質触媒の劣化前及び劣化後の改質触媒の温度 T_{CAT} と、燃料供給量 G_{FUEL_CMD} と、修正係数 K_C の時間変化を示すタイムチャートである。

10

20

30

40

50

図13に示すように、改質触媒が劣化する前の状態では、相関モデルを修正することなく、すなわち、修正係数 K_C を1から変化させることなく、実際の触媒温度 T_{CAT} に近い推定温度 T_{CAT_HAT} を算出できる。これにより、最適な燃料開始時刻 t_9 で燃料の供給を開始できる。

また、図14に示すように、改質触媒が劣化した後であっても、修正係数 K_C を1から変化させて、相関モデルを修正することで、実際の触媒温度 T_{CAT} に近い推定温度 T_{CAT_HAT} を算出できる。これにより、最適な燃料開始時刻 t_{10} で燃料の供給を開始できる。

【0091】

以上、本実施形態によれば、改質反応を特徴付ける改質触媒11の温度及び触媒反応熱係数 C_{CAT} に対し、これらパラメータを関連付ける相関モデルに基づいて触媒温度を推定し、この推定温度 T_{CAT_HAT} に基づいて改質触媒11の温度を制御する。このように、現実の改質触媒温度 T_{CAT} に対し遅れの無い推定温度 T_{CAT_HAT} に基づいて改質触媒11の温度を制御することにより、オーバーシュートを起こすことなく目標温度 T_{CAT_TARGET} に制御することができる。特に、改質触媒11は、耐熱限界に近い高温域において使用するため、オーバーシュートを起こした場合には失活するおそれもあるため、温度のオーバーシュートは可能な限り避けることが好ましい。

また、改質触媒の温度を定義域とする複数の補正重み関数 W_i を定義し、この補正重み関数に乗算される複数の局所修正係数 K_{CL_i} を、改質触媒の推定温度 T_{CAT_HAT} に基づいて算出し、これら複数の補正重み関数 W_i 及び局所修正係数 K_{CL_i} に基づいて相関モデルを修正するモデル修正部34を設けた。

これにより、例えば、改質触媒11の劣化により相関モデルが現実の改質触媒11の振る舞いからずれたものとなった場合であっても、モデル修正部34により相関モデルを修正することにより、現実の改質触媒11の温度 T_{CAT} に近い温度を推定し、改質触媒11を目標温度 T_{CAT_TARGET} に高い精度で制御することができる。またここで、上述のような複数の補正重み関数 W_i を導入して相関モデルを修正することにより、例えば、改質触媒11の劣化が非線形な特性を示す場合であっても、この劣化に合わせて相関モデルを修正することができる。したがって、さらに高い精度で改質触媒の温度を制御できる。

【0092】

また本実施形態によれば、第1パラメータを触媒温度 T_{CAT} とし、第2パラメータを触媒反応熱係数 C_{CAT} とした。これにより、改質触媒11が劣化し、触媒反応熱係数 C_{CAT} の触媒温度 T_{CAT} に対する特性が変化した場合であっても、この特性変化を考慮して相関モデルを修正できる。したがって、改質触媒11の温度をさらに高い精度で目標温度 T_{CAT_TARGET} に制御することができる。

【0093】

また本実施形態によれば、触媒温度センサ21のモデルに基づいて、この触媒温度センサ21の出力値を推定し、さらに、この推定温度 T_{CSNS_HAT} と触媒温度センサ21の検出温度 T_{CAT_SNS} との偏差 e_m が収束するように、局所修正係数 K_{CL_i} を算出する。ところで、これら推定温度 T_{CSNS_HAT} と検出温度 T_{CAT_SNS} との偏差 e_m は、改質触媒の劣化に起因する。このような偏差 e_m が収束するように局所修正係数 K_{CL_i} を算出することにより、改質触媒の劣化に合わせて適切に相関モデルを修正することができる。

【0094】

また本実施形態によれば、応答指定型制御に基づいて複数の局所修正係数 K_{CL_i} を算出する。例えば、このような複数の局所修正係数 K_{CL_i} を同時に算出する場合、互いに干渉し、周期的に振動する挙動を示したり、発散したりする場合がある。しかしながら、応答指定型制御に基づいて複数の局所修正係数 K_{CL_i} を算出することにより、このような干渉を引き起こすことなく安定して算出することができる。

【0095】

10

20

30

40

50

また本実施形態によれば、触媒反応熱係数 C_{CAT} が変化する領域を変化領域として、複数の補正重み関数 W_i を、このような変化領域内において変化するものとし、さらに、この変化領域内で互いに交差するように設定した。すなわち、触媒反応熱係数 C_{CAT} が変化する領域のみ重点的に修正することで、過剰な演算負荷をかけることなく、相関モデルを精度よく修正することができる。

【0096】

また本実施形態によれば、触媒温度センサ 21 により、改質触媒 11 のうち改質反応温度が最も高い部分の触媒温度を検出し、さらに、改質触媒 11 の推定温度 T_{CAT_HAT} が所定の失活温度 T_H より小さくなるように改質触媒 11 の温度を制御する。これにより、改質触媒 11 が失活温度 T_H を上回ってしまい、劣化するのを防止することができる。

10

【0097】

また本実施形態によれば、例えば、燃料改質器 1 を内燃機関が設けられたボンネット内に収めることにより、改質触媒 11 の温度をさらに高い精度で制御することができる。つまりボンネット内は、風雨の影響を大きく受けることも無いため温度変化が小さい。このため、改質触媒 11 の温度の推定精度をさらに向上することができる。

【0098】

また本実施形態によれば、所定の切換関数設定パラメータ V_{POLE} に基づくスライディングモード制御により、改質触媒 11 の温度を制御する。これにより、例えば、改質触媒 11 の温度を所定の範囲内に収めるような制御を行い、安定して燃料改質器 1 を運転することができる。

20

【0099】

また本実施形態によれば、燃料改質器 1 の運転状態が定常状態にある場合には、切換関数設定パラメータ V_{POLE} を、-1 から 0 の範囲内において 0 よりも -1 に近い値に設定する。これにより、特に、昇温時における余分な燃料の消費を抑えることができ、また、改質触媒の温度のオーバーシュートを抑えることもできる。

【0100】

本実施形態では、ECU 3 が、温度推定手段、温度制御手段、モデル修正手段、及び検出値推定手段を構成する。具体的には、図 1 の触媒温度推定部 32 が温度推定手段に相当し、コントローラ 30 が温度制御手段に相当し、モデル修正部 34 がモデル修正手段に相当し、温度センサモデル 341 が検出値推定手段に相当する。

30

【0101】

なお本発明は上述した実施形態に限るものではなく、種々の変形が可能である。

例えば、上述した実施形態では、ヒータ 15 の温度を検出する温度センサを設け、この温度センサの検出温度 T_{PRE} を用いて、改質触媒の推定温度 T_{CAT_HAT} を算出したが、これに限らない。例えば、ヒータの温度センサの検出温度 T_{PRE} に代わり、マップにより推定した温度 T_{PRE_HAT} を用いて、改質触媒の推定温度 T_{CAT_HAT} を算出してもよい。

【0102】

また、上述した実施形態では、第 1 パラメータを改質触媒の温度 T_{CAT} とし、第 2 パラメータを触媒反応熱係数 C_{CAT} として相関モデルを定義したが、これに限らない。例えば、第 2 パラメータとして改質触媒の水素製造量や、改質触媒の入口温度等の、改質触媒における発熱反応に係る量を用いて相関モデルを定義してもよい。

40

【0103】

また、上述した実施形態では、コントローラ 346a ~ 346e において、スライディングモード制御に基づいて局所修正係数 $K_{CL_0} \sim K_{CL_4}$ を算出したが、これに限らない。例えば、PID 制御、最適化制御、バックステッピング制御、H 制御等の従来より知られている手法に基づいて局所修正係数 $K_{CL_0} \sim K_{CL_4}$ を算出してもよい。中でも、重み付き誤差 e_{W_i} を指数関数的に収束させることで、各局所修正係数 $K_{CL_0} \sim K_{CL_4}$ の干渉を防止できるスライディングモード制御やバックステッピング制

50

御が好ましい。

【図面の簡単な説明】

【0104】

【図1】本発明の一実施形態に係る燃料改質器とその制御装置の構成を示す模式図である。

【図2】前記実施形態に係るコントローラの構成を示すブロック図である。

【図3】前記実施形態に係る温度偏差量 $e(k-1)$ と $e(k)$ との位相平面を示す図である。

【図4】前記実施形態に係る切換関数設定パラメータ V_{POLE} と、温度偏差量の収束時間との関係を示す図である。

【図5】前記実施形態に係る V_{POLE} 設定部に格納された V_{POLE} テーブルの構成を示す図である。

【図6】前記実施形態に係る触媒反応熱係数 C_{CAT} と触媒温度 T_{CAT} との相関モデルの構成を示す図である。

【図7】前記実施形態に係る補正重み関数 $W_0 \sim W_4$ の構成を示す図である。

【図8】前記実施形態に係る修正係数算出部の構成を示すブロック図である。

【図9】前記実施形態に係るECUによる燃料改質器のメイン制御の手順を示すフローチャートである。

【図10】前記実施形態に係る触媒温度推定処理の手順を示すフローチャートである。

【図11】前記実施形態の比較例に係る改質触媒の温度と切換関数設定パラメータの時間変化を示すタイムチャートである。

【図12】前記実施形態に係る改質触媒の温度と切換関数設定パラメータの時間変化を示すタイムチャートである。

【図13】前記実施形態に係る改質触媒の劣化前の改質触媒の温度 T_{CAT} と、燃料供給量 G_{FUEL_CMD} と、修正係数 K_C の時間変化を示すタイムチャートである。

【図14】前記実施形態に係る改質触媒の劣化後の改質触媒の温度 T_{CAT} と、燃料供給量 G_{FUEL_CMD} と、修正係数 K_C の時間変化を示すタイムチャートである。

【図15】第1の技術としての燃料改質器の制御装置の構成を示す模式図である。

【図16】第1の技術による燃料改質器の制御例を示すタイムチャートである。

【図17】第2の技術としての燃料改質器の制御装置の構成を示す模式図である。

【図18】第2の技術による燃料改質器の制御例（触媒劣化前）を示すタイムチャートである。

【図19】第2の技術による燃料改質器の制御例（触媒劣化後）を示すタイムチャートである。

【符号の説明】

【0105】

- 1 ... 燃料改質器
- 11 ... 改質触媒
- 21 ... 触媒温度センサ（温度検出手段）
- 3 ... ECU（制御装置）
- 30 ... コントローラ（触媒温度制御手段）
- 32 ... 触媒温度推定部（触媒温度推定手段）
- 34 ... モデル修正部（モデル修正手段）
- 341 ... 温度センサモデル（検出値推定手段）
- 342 ... 修正係数算出部
- 36 ... パラメータ設定部

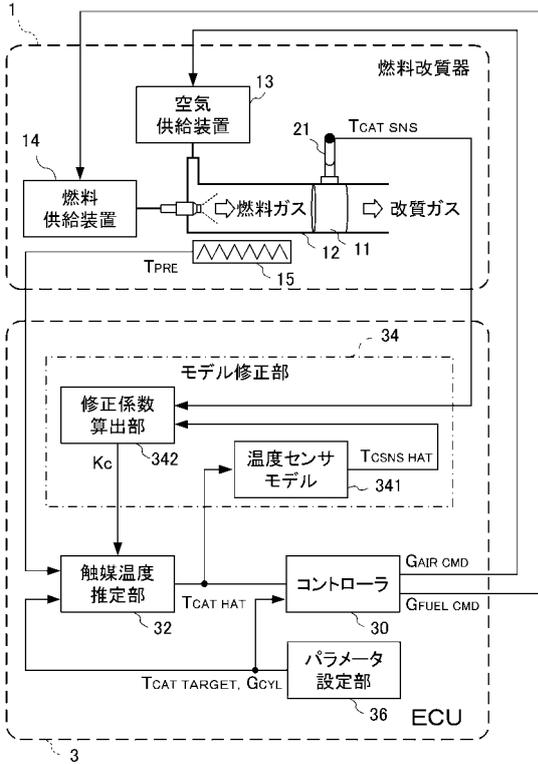
10

20

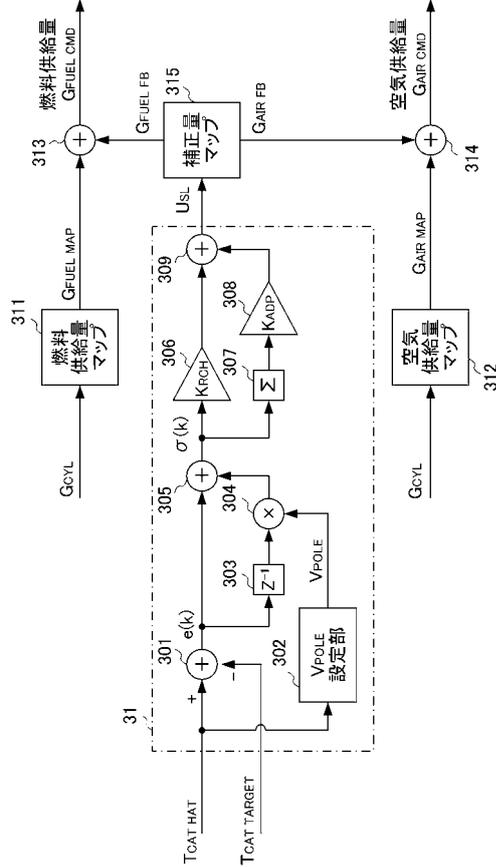
30

40

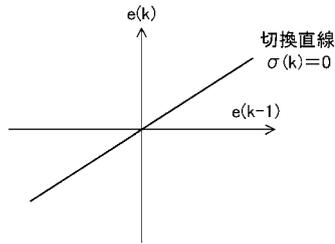
【図1】



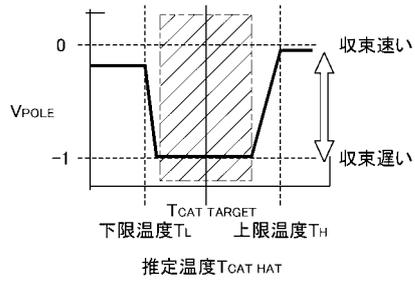
【図2】



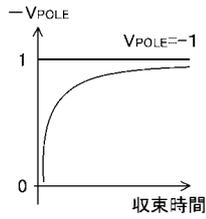
【図3】



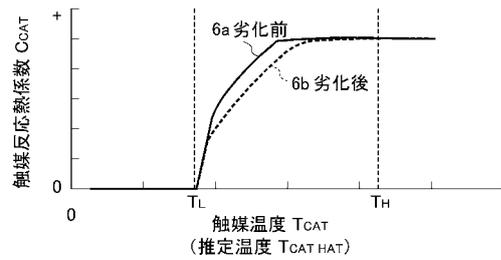
【図5】



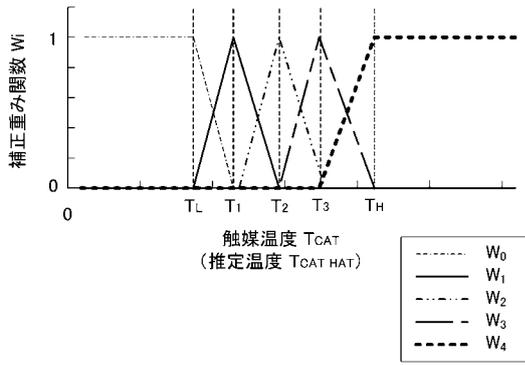
【図4】



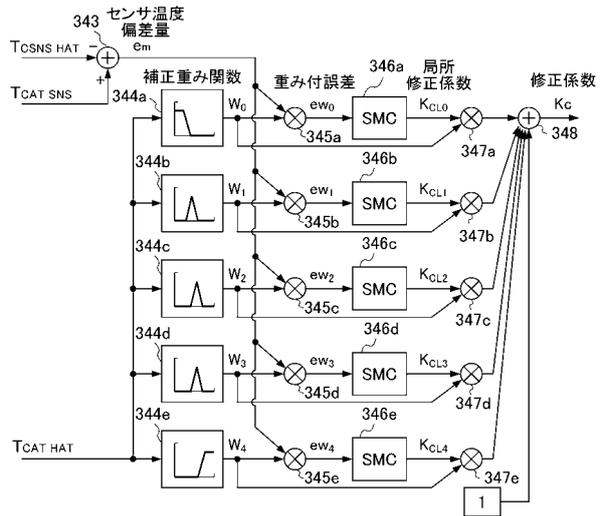
【図6】



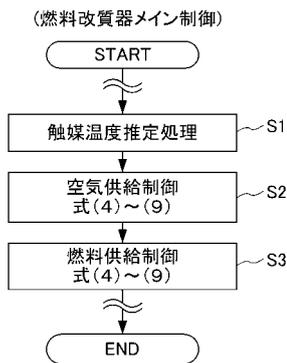
【図7】



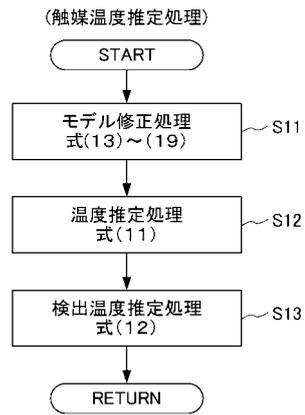
【図8】



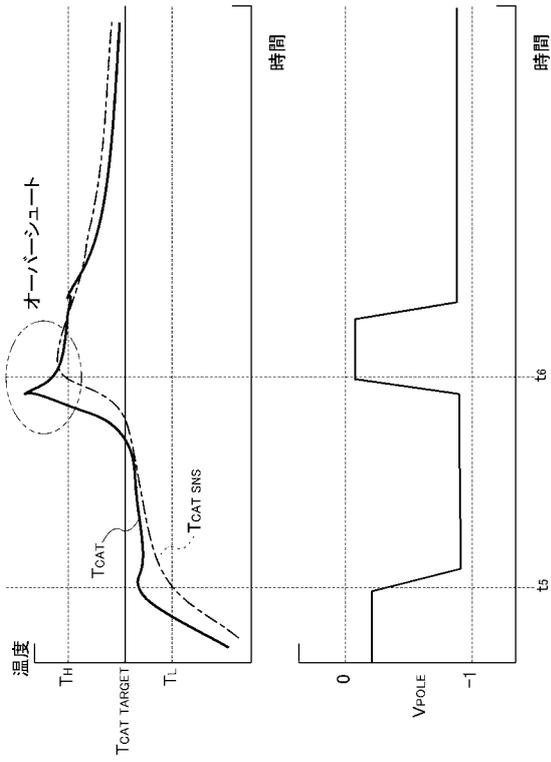
【図9】



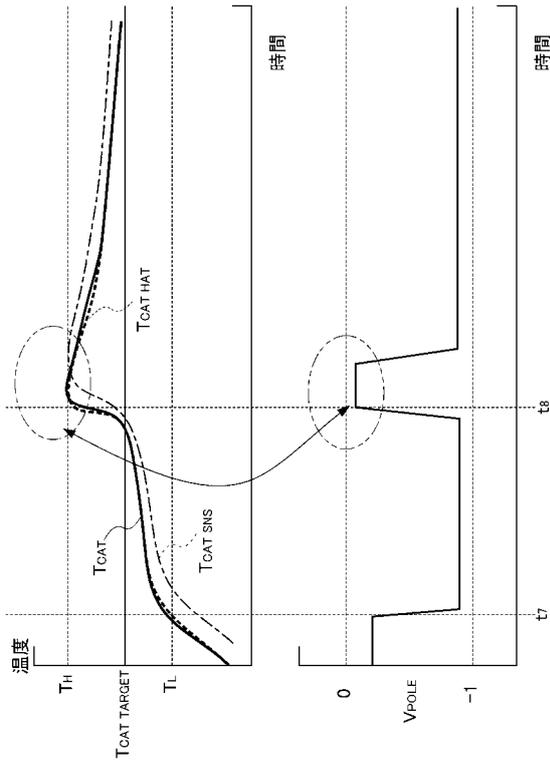
【図10】



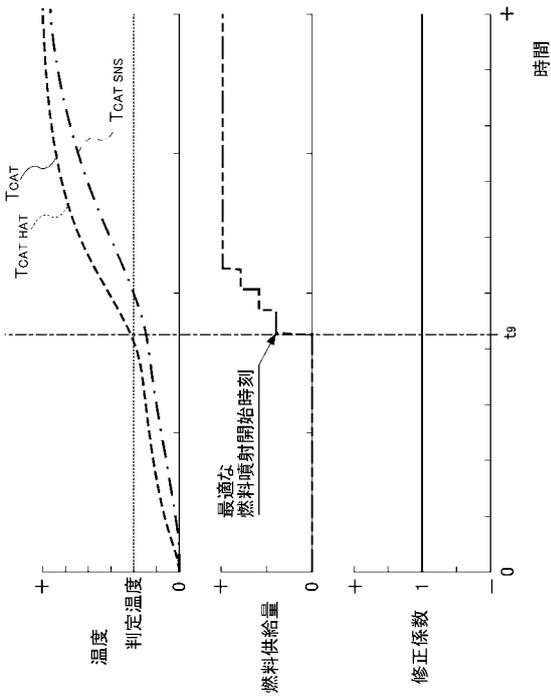
【図11】



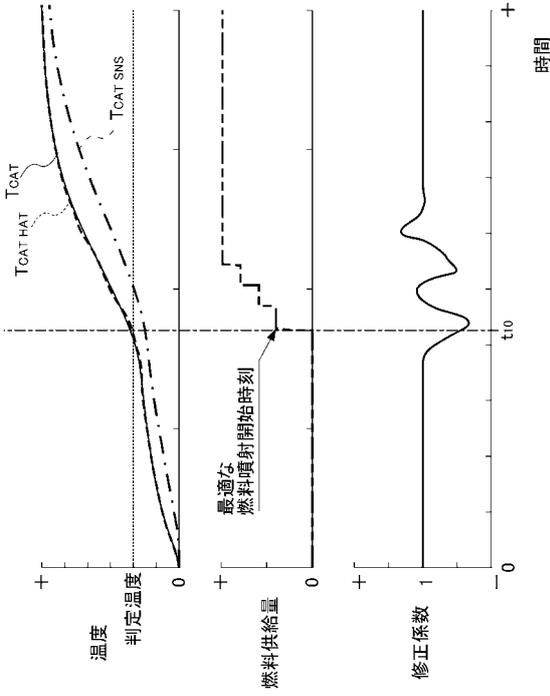
【図12】



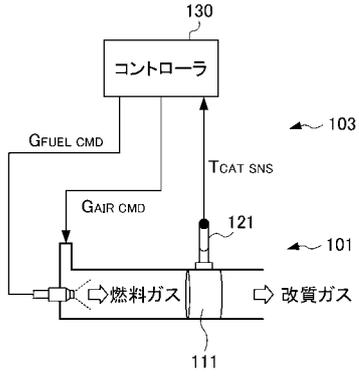
【図13】



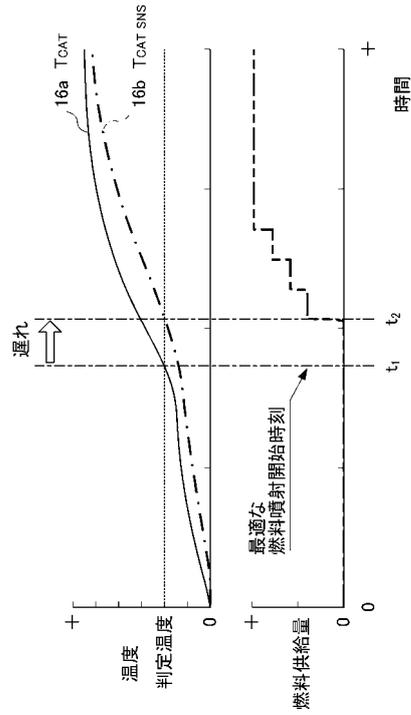
【図14】



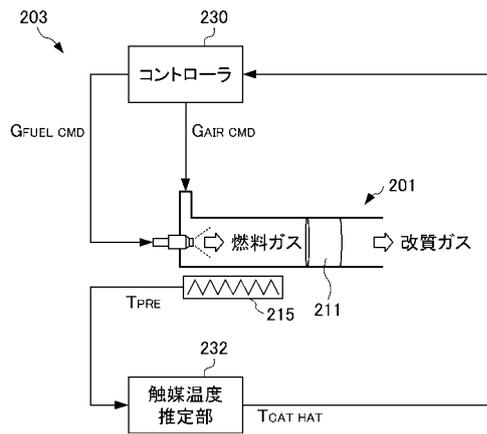
【図15】



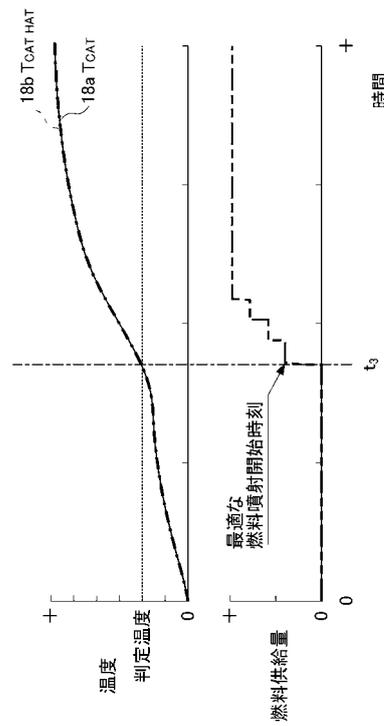
【図16】



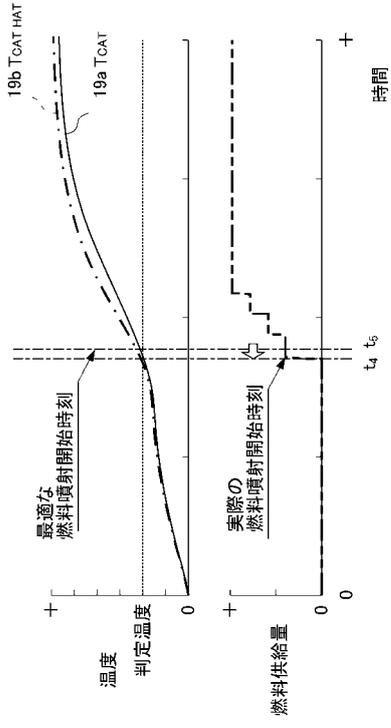
【図17】



【図18】



【 図 19 】



フロントページの続き

- (72)発明者 本橋 剛
埼玉県和光市中央1-4-1 株式会社本田技術研究所内
- (72)発明者 安井 裕司
埼玉県和光市中央1-4-1 株式会社本田技術研究所内

審査官 佐藤 哲

- (56)参考文献 特開2003-112902(JP,A)
特開2006-183645(JP,A)
国際公開第02/070873(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C01B 3/00 - 3/58
H01M 8/04
H01M 8/06