電子制御スロットルを用いた自動車エンジン モデルベースアイドル回転数制御システム

正 員 渡辺 徹(日立製作所)

正 員 高橋信補(日立製作所)

正 員 瀬古沢照治(日立製作所)

Model based Idle Speed Control System for automobile engine using Electric Throttle System
Tohru Watanabe Shinsuke Takahashi Teruji Sekozawa

Recently, it has been important to decrease fuel consumption of automobile engine for the sake of reducing the amount of CO₂. The consumption is less, if idle speed is lower. However idling stability at low idle speed tends to be worse than the one at the high idle speed. So idle speed control must be more accurate. In this paper, we propose an engine model based feed-forward idle control system. The model based control system has obtained several better control results.

キーワード：アイドル回転数制御、エンジンモデル、フィードフォワード制御、電子制御スロットル

1. 緒言

従来、自動車へは排気ガスに含まれる有害成分の抑制が求められていた。近年これに加え CO₂ 排出量削減要求が強まっている。自動車からの CO₂ 排出量抑制にはエンジンシステム効率化による燃料使用量の削減が重要である。高効率化に向け、エンジン部品の特殊加工による摩擦低減⁽¹⁾、燃料筒内直接噴射エンジン(DI エンジン)での成層希薄燃焼の実現などの取組みがなされている。また、電子制御スロットルなどの新デバイスの採用も DI エンジンを中心に盛んになっている。スロットルを電子制御することでエンジントルクを自由に設定でき、非線形性の強いエンジンの運転性を大幅に向上できる。

エンジンシステムの高効率化を考えたとき、アイドル回転数制御が占める割合は大きい。一般的な 10 モード走行試験で、減速過程を含めたアイドル運転に要する燃料量は 20 から 25%ともいわれている⁽²⁾。このアイドル燃料消費はアイドル回転数を低くすることで削減できる。しかし、アイドル回転数が低いとアイドル安定性が悪くなりエンジンストールを発生しやすくなる。低燃費化のためには、より高精度なアイドル回転数制御が必要となる。ここで、アイドル回転数制御はエンジンストールを避け、エンジン回転数を所定の値に保つ制御である。アイドル運転中においても、エアコンやライトといった車載機器の利用によっては、エンジンにかかる負荷トルクは急変する。一方、エンジントルクは吸入空気量、燃料噴射量、点火タイミングにより決まる。これらを如何に操作し、負荷と出力の釣り合いをとってエンジン回転数の変動を抑えるかが問題になる。

アイドル回転数制御の高精度化の方法として、吸気系フ

ィードバック制御への H ∞ 制御の適用⁽³⁾や、燃料噴射量を非線形ゲイン PID 制御する方法⁽⁴⁾が検討されている。文献(3)の方法は、エンジンモデルを線形近似した上で H ∞ 制御の適用を試みたものである。吸気バイパス管のソレノイドバルブ(ISC バルブ)を操作してアイドル回転数制御している。しかし、実際のエンジンは吸気から燃焼によるトルク発生までに大きなムダ時間を含む非線形システムである。回転数変化を検出、フィードバックし、ISC バルブを操作する H ∞ 制御の構成では負荷の変動に対して即応性が悪い。また回転数変化に対してロバスト性はあるが、トルクの釣り合いについて保証はなく、応答波形は規定できない。

このほか吸気系フィードバック制御の改良法としては車載機器利用状態からゲインスケジュールを行い応答性を向上することが考えられる。しかし回転数変動後に吸気が増量される限り負荷増に即応したトルク増は成し得ない。

文献(4)の方法は、燃料噴射量を操作量とした非線形ゲイン PID 制御と車載機器利用時の燃料増量補正とで、アイドル回転数を制御するものである。従来の吸入空気を操作量とするフィードバック制御に比べ即応性が高まり、アイドル安定性の向上が見られる。しかし、吸気に関しては ISC バルブの動作限界などから、燃料増加時に空気量が不足する恐れがある。この場合、空気と燃料の混合比が理論空燃比の 14.7 からずれる。これは排気に含まれる有害成分を増加させ⁽⁵⁾、環境面から問題がある。

本研究では、近年普及が進んできた電子制御スロットルを用いて、排ガス悪化の恐れのない吸気系制御による新たなアイドル回転数制御方式を提案、試作車にて評価する。

本システムでは、電子制御スロットルという大容量かつ高応答性な吸気デバイスの特長を生かし、フィードフォ

ード制御を中心とした制御を行う。制御にはスロットル開度とエンジントルクのモデルと、負荷の予測モデルを利用する。予測した負荷に釣り合うトルクをつねに出力するべくスロットルを操作する。このトルクの釣り合いにより回転数は目標値に滑らかに収束することが保証できる。またフィードバック制御も併用することで、定常的な偏差なども取り除く。ここで、燃料や点火タイミングについては、通常どおり最適点にとるようにしており、排気ガスや燃焼効率の悪化の恐れはない。

以下、2 章では電子制御スロットルを用いたエンジン制御システムの構成と特徴を説明する。3 章ではアイドル回転数のフィードフォワード制御に必要なエンジンシステムモデルを示すとともに、アイドル回転数制御系の構成を示す。4 章では、試作車を用いた実験により提案システムの有効性を評価する。

2. エンジンシステムの制御構造

図 1 に、本研究で提案するところの、電子制御スロットルを用いた自動車エンジン制御システムの構成を示す。従来量産車では、アイドル回転数制御のためにスロットルをバイパスする管と、管の空気流量を調整する ISC バルブを設けていた。また、スロットルをアクセル操作により開閉するためのアクセルケーブルが張られていた。提案システムでは、吸気バイパス管、ISC バルブ、アクセルケーブルを廃止し、代ってスロットル弁に駆動用モータを取り付けた。スロットルコントロールモジュール(TCM)は駆動用モータを 1ms 周期でフィードバック制御して、目標開度にスロットルを合せる。目標開度信号は ECU から TCM へ 10ms 毎に送信している。

クランク軸にはクランク角センサが置かれ、ECU はこの計測値をもとにエンジン回転数を求める。その他 ECU には、排気中の酸素濃度を検出する O₂ センサ、冷却水の温度を測る水温センサ、アクセルペダル踏み角を検出するセンサ、ライトやエアコンのスイッチ情報が入力されている。ECU ではこれらの入力をもとに、アイドル回転数制御、空燃比制御、点火制御などの演算を行う。

ここで、アイドル回転数制御はエンジン出力を調整してエンジン回転数を所定の値に保つ制御である。エンジン出力トルクは吸入空気、インジェクタからの燃料量、点火タイミングにより変化する。量産車のアイドル回転数制御は、エンジン回転数をフィードバックして ISC バルブを開閉操作する PID 制御を基本に、ライトオン時に一定量バルブ開度を増すなどの補正を加える制御となっている。また、負荷の急変時には一時的に点火タイミングを早めたり空燃比を濃くする補正を行う場合もある。しかし、本来の最適点以外での運転は排気ガスの悪化や燃焼効率の低下を伴う。

本システムでは、電子制御スロットルを用いたフィードフォワード型のアイドル回転数制御を行う。空燃比や点火タイミングは、負荷変化時にも通常通り最適点にとる。この制御システムを実現するには大きく 2 つの課題がある。

図 1 エンジン制御システム

Fig.1. Engine control system

図 2 エンジンモデル

Fig.2. Engine Models

一つ目の課題は、車載機器の使用に伴う負荷トルクの変化を、負荷量が急変する過渡状態を含め推定することにある。二つ目の課題は、負荷量に一致するエンジントルクを発生するためのスロットル開度を算出することである。これには、スロットル開度の変化とエンジントルクの関係モデルを明らかにしなければならない。

3. アイドル回転数制御の構成

＜3・1＞ エンジンシステムモデル

(1) 空気系・トルク発生モデル スロットル開度とエンジントルクの関係は、気体に関する理論式と、エンジン燃焼に関する理論をもとに導出できる⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾。図 2 にこのエンジンモデルを示す。アイドル運転では、スロットルは絞られた状態となり、吸気管内圧と外気圧の差は 700mmHg 程度と大きい。そのためスロットル通過空気 Qa とスロットル部分の吸気管開口面積 A は式(1)に示す単純な比例関係となる⁽⁸⁾。

$$Qa = Ga \cdot A \quad [g/s] \tag{1}$$

ここで、吸気管開口面積 A[mm²]とスロットルの開度 θ の関係は代数的に決まる。Ga は車両固有の定数で、今回の試作車では、標準状態において Ga は 0.2445 [g/mm²s]であった。

式(2)は、外気を吸収することで、吸気管内圧が高まり、シリンダの吸入量が増加するまでのチャージ遅れを表している。式(3)は、シリンダに吸入した空気が、吸気、圧縮、

爆発行程を経て燃焼圧を発生するまでの行程遅れを表している。

$$Q_c = \frac{1}{1+\gamma_s} Q_a \quad [\text{g/s}], \quad (2)$$

$$Q_i = e^{-L} s Q_c \quad [\text{g/s}] \quad (3)$$

ここで、 Q_a はスロットルを通過する空気流量、 Q_c はシリンダに吸入される空気流量、 Q_i はシリンダ内で燃焼する空気量である。式(2)の遅れ時定数 γ_s は、エンジンの基本特性である体積効率、吸気管容積、排気量及び回転数により変化する。式(3)のムダ時間 L はエンジン回転数に反比例する。今回試作に用いたエンジンは直列 4 気筒、総排気量 2156cc、吸気管容積 3300cc、スロットル口径 55mm である。実測データをもとに上記 γ_s 、 L を求めると、

$$\gamma_s = \frac{174.9}{N} \quad [\text{s}], \quad L = 2.5 \frac{30}{N} \quad [\text{s}] \quad (3a)$$

(ただし、 $N[\text{rpm}]$ はエンジン回転数) であった。

燃焼により発生するトルク T_i (図示トルク) はシリンダに充填された行程空気量に理論上比例する。燃焼トルク T_i からクランクやカムの摩擦、空気の吸引、点火に要するエネルギーといった損失トルク T_{loss} を差し引いたものが、クランク軸からとりだせるエンジントルク T_e である。式(4)にエンジントルク T_e のモデル式を示す。

$$T_e = T_i - T_{\text{loss}} = \alpha \frac{Q_i}{N} - T_{\text{loss}} \quad [\text{kgfm}] \quad (4)$$

ここで、 α は空燃比や点火タイミングにより若干変化するが、これらが最適点を取り続ける限り定数として扱える。また T_{loss} は、ほぼ回転数に比例して増加する傾向にある。無負荷の状態アイドル運転しているとき、軸出力は 0 である。すなわち T_e は 0 で、 T_i と T_{loss} は一致する。

以上が、エンジンのスロットルからシリンダ吸気・燃焼までの空気系モデルならびにトルク発生モデルである。

(2) 車載機器負荷トルクモデル エンジントルクがエンジンの回転数を増す方向に働くのに対して、エンジンを停止するに働く抗力が負荷トルクである。式(4)の最右辺の損失トルク T_{loss} はエンジン内部で発生する一つの負荷トルクである。この他、エンジン外の子載機器から発生する負荷トルクがある。代表的なものに電気負荷とエアコン負荷がある。

電気負荷は、ライト、デフォッグ、ラジエータファンといった電気機器から発生する負荷である。電気機器の使用することによりバッテリーから電力が放電される。車載発電機は放電電流を補うために発電量を増す。発電回転数が一定の場合、発電量と発電に要する発電トルクは比例する。発電機はエンジンクランク軸から動力を得ており、エンジン側からみると、発電トルクは負荷トルクとなる。

エアコン負荷は、2 種の機器の複合した負荷である。一つはコンデンサファンや室内ファンといった電気機器による負荷である。もう一つは、触媒冷却のためのコンプレッサ駆動に要する機械的負荷である。コンプレッサはエンジン

クランク軸とベルトで結合してあり、駆動/停止は、コンプレッサ回転軸上のクラッチの締結/断絶より行える。

以上の負荷トルクのうち、エンジン内部の負荷トルク T_{loss} は、エンジン回転数、水温などにより変化するが、アイドル運転では、その変化の仕方はゆっくりとしたものである。これにより生じる回転偏差はフィードバック制御により解消できる。一方、車載機器からの負荷は急激に変化する。しかし、その変化の仕方は、使用する機器毎に再現性がある。そこで、車載機器による負荷変化パターンを時系列データとしてモデル化する。

図 3 に、ハイビーム(パッシングによる前照 4 灯の点灯、60[W]×4 灯、計 240[W])時の発電電流変化の測定結果を実線で示す。時刻 0 でのハイビームを点灯とともに発電電流が急増し、突入電流のピークを迎えた後、定常値へと収束している。時刻 0 より前での発電は、点火などに要する電流であり、アイドル運転ではほぼ一定である。これはハイビームによるものではないので差し引いてよい。図 3 に発電電流をもとに作成した、コントローラに設定するハイビームによる負荷パターンの基本型を点線で示す。

同様に図 4 にエアコン始動に伴う、車載発電機の発電電流量の変化を示す。この発電トルクと、コンプレッサの駆動トルクを足しあわせたものがエアコン負荷である。コンプレッサは、エアコンスイッチ投入後、数百 ms 後にクラッチが締結することで駆動する。駆動トルクはクラッチの

図 3 ハイビーム点灯による発電電流量変化と負荷パターン基本型

Fig. 3. Load current and load torque prototype generated by high beam

図 4 エアコン始動による発電電流量変化と負荷パターン基本型

Fig. 4. Load current and load torque prototype generated by air conditioner

滑りを経てほぼステップ上に変化すると考えられる。図 4 にエアコン負荷の負荷パターン基本型を点線で示す。この負荷パターン基本型に、車両特性に応じて一定の係数を掛けたものが実際の負荷トルクである。係数については実車において適合する。

以上の負荷パターンをサンプリングし、負荷トルクモデル時系列データを構成した。

＜3・2＞ アイドル回転数制御系の構成 エンジン外の車載機器から発生する負荷トルクの総量 T_{load} とエンジントルク T_e が常に一致していれば、エンジン回転の変化はなく、理想的なアイドル運転となる。すなわち、式(4)より、式(5)に示すように T_{load} とエンジン内部損失トルク T_{loss} の和が燃焼トルクと常に一致すればよい。

$$T_{load} + T_{loss} = \alpha \frac{Q_i}{N} (= T_i) \tag{5}$$

ここで、エンジン内部損失などゆっくりと変化する負荷については、フィードバック制御で補償できる。一方、車載機器から発生する急激に変化する負荷トルクに対しては、エンジンモデルを用いてフィードフォワード制御を行うことでアイドル安定性の向上が図れる。

図 5 にこのフィードバック制御とフィードフォワード制御を組み合わせて行う制御系の構成を示す。詳細を説明する。

フィードバック制御とフィードフォワード制御の操作量はそれぞれ空気量とした。式(1)と開度と面積の代数関係から、空気量を開度に換算しスロットル目標開度を求める。これにより開度と面積の非線形性の影響が取り除ける。

フィードバック制御には一般的な PID 制御を用いた。クランク角センサで検出するエンジン回転数を制御量としている。これにより負荷の変動がない状態では安定した運転を保証できる。

フィードフォワード制御では、 T_{load} の負荷が増加したときに、 $\Delta T_i = T_{load}$ だけ燃焼トルク T_i を増加するために必要な空気量増分 ΔQ_a を求める。ここで設計目標回転数 N_o で運転を維持するときに増加しなくてはならない燃焼空気量 ΔQ_i は、式(5)より理論的には

$$\Delta Q_i = \frac{T_{load}}{\alpha} N_o \tag{6}$$

である。燃焼空気増量 ΔQ_i を実現するために現時点で増加すべきシリンダ吸入空気量 ΔQ_c は式(3)より理論的には

$$\Delta Q_c = e^L s \Delta Q_i \tag{7}$$

である。式(7)の右辺は L 時間後の燃焼吸気量増量である。

図 5 のフィードフォワード制御では、この L 時間後の燃焼吸気量予測のために L 時間後の負荷 $T_{load}(t+L)$ を予測し、 $\Delta Q_i(t+L)$ を求めることで ΔQ_c を算出してしている。これが「時系列データ選択」、「行程遅れ補償・空気量換算」ブロックである。まず、「時系列データ選択」ブロックで機器のスイッチオンを検出し、該当機器の負荷パターン ΔPL の時系列データを選択する。「行程遅れ補償・空気量換算」ブロックでは ΔPL の時系列データから、現時刻 t か

ら $L[s]$ 後に機器より発生する負荷トルク $T_{load}(t+L)$ ($= \Delta PL(t+L)$) を求め、式(6)の関係からこれに釣り合うエンジントルク増を行うための空気量 $\Delta Q_i(t+L)$ 、即ち $\Delta Q_c(t)$ を求めている。ここで L は式(3a)の N に設計目標値 $N_o = 700\text{rpm}$ を代入した値に取っている。

式(7)の ΔQ_c だけシリンダ吸入空気増加するには、式(2)より、スロットル通過空気量を現時点で

$$\Delta Q_a = (1 + \gamma s) \Delta Q_c \tag{8}$$

だけ増加すれば良い。この ΔQ_a がフィードフォワード制御操作量として理論的に必要とされる量である。「チャージ遅れ補償」ブロックでは、式(8)に従いスロットル通過空気増量 ΔQ_a を求めている。

この制御系を実装するにあたり制御周期は 10ms とした。式(8)は制御周期で離散化した上で、後退差分により近似計算した。また、負荷パターンは L だけ時間軸をずらして記録(図 3、4 の破線以降を記録)し省メモリ化した。

以上が、提案制御系の構成の詳細である。本制御によってエアコンコンプレッサの様にスイッチオン後、 L 時間以降に始動するように設定できる負荷トルクに対しては常時エンジントルクと釣り合いを取ることができる。

スイッチオン後直ちに負荷トルクが増加するパッシングによるハイビーム点灯に対しての本制御による回転数応答をシミュレーションで確認する。目標回転数は現行市販車の制御仕様に従い、点灯前の無負荷時には 700rpm 、点灯後は滑らかに 750rpm までアイドルアップさせる。図 6 に結果を示す。時刻 0 で点灯後、スロットル操作でエンジントルクが増すまでの 100ms 程度(行程遅れ L 相当)の間に 10rpm

図 5 アイドルスピード制御系構成

Fig. 5. Block diagram of idle speed control system

図 6 シミュレーション結果

Fig. 6. Simulation result

図 7 ハイビーム負荷パターン

Fig. 7. Load Torque pattern generated by High Beam

図 8 エアコン負荷パターン

Fig. 8. Load Torque pattern generated by air conditioner

程度回転が一旦落ち込む。その後トルクの釣り合いが回復し、速やかに目標回転数に収束することがわかる。

4. 負荷パターンの設定と制御性能評価

3 章で示したアイドル回転数制御システムを試作し、評価する。評価は、電気負荷の代表例であるハイビーム（パッシングによる前照 4 灯の点灯、60[W]×4 灯、計 240[W]）と、機械装置の駆動を含むエアコンの 2 種類の負荷発生時のアイドル安定性について行う。評価実験には、乗用タイプの市販車に、電子制御スロットル、TCM、ECU を追加した試作車を用いる。

実験にあたり、図 3、4 に示したハイビーム負荷パターンの基本型、エアコン負荷パターン基本型を、実車条件にあわせ値換算した。この換算作業で、センサの遅れやスロットル弁動作遅れなどの微少なモデル化誤差も吸収した。これらモデル化誤差はエンジン自体の遅れに比べ小さく負荷量の計測誤差の範囲にある。ハイビームの場合、点灯後の定常状態で点灯前の回転数を維持するのに必要なトルクを求める。このトルクと点灯後の発電電流量から発電量と発電トルクの比例係数を求め、先に計測した基本負荷パターン（図 3）の値を換算する。つぎに、基本パターンの外形を保持する代表点を選び、実際のエンジン回転数の応答を観察、代表点の値を数回にわたり手調整することでモデル化誤差を吸収した。このときトルクの急峻な立上がりについてはランプをつけ、スロットル操作が動作範囲に収まるようにした。代表点間は滑らかに補完した。図 7 に最終的に得た負荷パターンを示す。エアコンについても、基本負

図 9 ハイビーム点灯実験結果

Fig. 9. Experimental Result about high beam

図 10 ハイビーム点灯時スロットル開度変化

Fig. 10. Throttle angle at lighting high beam

図 11 エアコン始動実験結果

Fig. 11. Experimental Result about air conditioner

図 12 エアコン始動時のスロットル開度変化

Fig. 12. Throttle angle at starting air conditioner

荷パターン（図 4）をもとに、誤差吸収の調整を行った。図 9 に最終的に得たエアコン負荷パターンを示す。いずれの負荷パターンも基本パターンの概形を保持している。

以上の負荷パターンをコントローラに設定した状態で、アイドル安定性を確認した。目標回転数はシミュレーションと同様、無負荷の 700[rpm]から、滑らかに 750[rpm]までアイドルアップする。実験は提案制御システムの他に、

PID 制御のみでスロットルを操作するシステム、PID 制御に併せて機器使用時に微少な固定量だけスロットル開度を増加させる制御（従来制御）を併用したシステムの 3 種について行った。機器使用時に微少な固定量だけスロットル開度を増加させた応答は、従来の機械式スロットルを用いたシステムにおいて、負荷トルク変化時にバイパス管に流れる空気量を増加させる制御を行った応答に相当する。

図 9、10 にハイビーム点灯の実験結果を示す。時刻 0 でライトを点灯している。図 9 はエンジン回転数応答である。ライト点灯後のエンジン回転数変化を比べると、提案システムは、PID 制御や従来制御を行ったシステムに比べ回転の変動が少なく速やかに目標回転数に収束している。スイッチオン直後の回転落込み量と、回転回復に伴うオーバーシュート量を加算した回転変動量を比べると従来制御より 30%程度の改善がある。図 10 に提案システムでのスロットル開度変化を示す。点灯とともに一瞬大きく開かれ吸気管内に十分に空気を充填し、エンジントルクをすばやく立ち上げている。

図 11、12 にエアコン始動の実験結果を示す。時刻 0 でエアコンスイッチをオンにしている。図 11 はエンジン回転数応答である。提案システムでは、スイッチオン直後の回転落込み量と回転回復に伴うオーバーシュート量を加算した回転数変動量が従来制御に比べ 30%程度改善されている。エアコンコンプレッサ始動前後(0.56 秒前後)では、わずかな回転変動があるが回転の落込みは生じていない。図 12 に提案システムでのスロットル開度変化を示す。エアコン始動に伴い、まず電気負荷が増加しその後コンプレッサ駆動の負荷が加わるため、スロットルは 2 度に渡り大きく開きエンジントルクを 2 段に分けて立ちあげている。

以上の実験から、モデル化誤差を吸収した負荷パターンを容易に設定できること、代表的な負荷である電気負荷、エアコン負荷に対して従来システムに勝る制御性能を得られることが分かる。

5. 結言

本報告では、気体に関する理論式をベースにしたエンジンモデルをもとに、フィードフォワード制御を行うアイドル回転数制御システムの構成を示した。本システムでは、吸入空気量の調節手段として、大容量かつ動作の速い電子制御スロットルと採用することで、吸気系の制御でありながら高精度な回転数制御を実現する構成となっている。さらに、試作車を用いてハイビームとエアコンの使用時のアイドル安定性を評価した。評価実験により従来市販車で考えられてきた制御方式に比べ、機器使用による回転数変動量でみて 30%程度のアイドル安定性の改善が確認できた。

本制御でとったアプローチは、エンジンの目標トルクを設定し、これを実現するものである。トルク制御の観点からも有為な結果といえる。今後、車両における総合的な駆動力制御に向けての展開を検討する。

(平成 10 年 12 月 11 日受付、平成 11 年 7 月 7 日再受付)

文 献

- (1) 志村眞：「VQ 型・V6 エンジン」，自動車工学臨時増刊，52～83，1995-5
- (2) 中島泰夫・深田定彦・井上光正・南雲慎一・寺坂克統・石澤静夫・村中重夫・村瀬功・後藤隆治・山本忠弘・川村佳久：自動車用ガソリンエンジン，山海堂，昭 63
- (3) 井上仁志・武富大児・鷲野翔一・岸真友・太田快人・木村英紀：「H ∞ 制御理論によるアイドルスピードコントロールシステムの設計」，自動車技術会 学術講演会前刷集 921，072，1992-5
- (4) 栗原優・五十嵐雅敏・片岡龍次：「燃料主導型アイドル制御の開発」，自動車技術会 学術講演会前刷集 945，105，1994-10
- (5) 瀬古沢照治・高橋信補・塩谷真：「空燃比精密制御方式の開発」，自動車技術会 学術講演会前刷集 912，180，1991-10
- (6) 渡辺徹・高橋信補・瀬古沢照治・阿田子武士：「電子制御スロットルを用いた自動車エンジン動的モデルベースアイドルスピード制御システムの提案」，平 6 電気学会 C 部門大会，B-2-4
- (7) C.F.Aquino: "Transient A/F Control Characteristic of 5 Liter Central Fuel Injection Engines", SAE Paper, 810494(1981)
- (8) 森康夫・土方邦夫：流れと熱の工学 II，共立出版，昭 52

渡辺 徹 (正員) 1968 年 6 月 17 日生。92 年東京理科大学理工学部情報科学科卒業。94 年同

大学大学院修士課程修了。同年(株)日立製作所入社。同社システム開発研究所にて自動車制御システム、およびシステム生産性技術の研究開発に従事。電子情報通信学会、計測自動制御学会などの会員。

高橋信補 (正員) 1960 年 4 月 4 日生。83 年東京工業

大学機械物理工学科卒業。85 年同大学大学院修士課程修了。同年(株)日立製作所入社。同社システム開発研究所にて自動車制御、化学プラント制御システム、SCM、及び、金融におけるリスク管理技法の研究開発に従事。計測自動制御学会の会員。

瀬古沢照治 (正員) 1954 年 5 月 15 日生。79 年東北大

学大学院工学研究科修了。同年(株)日立製作所システム開発研究所入所。自動車エンジン制御システム、上-下水道/河川運用管理制御システム、プラント制御システム、医療分析システムの研究開発に従事。計測自動制御学会の会員(工学博士)。1995 年計測自動制御学会技術賞受賞。