

環境規制に対応した自動車制御技術

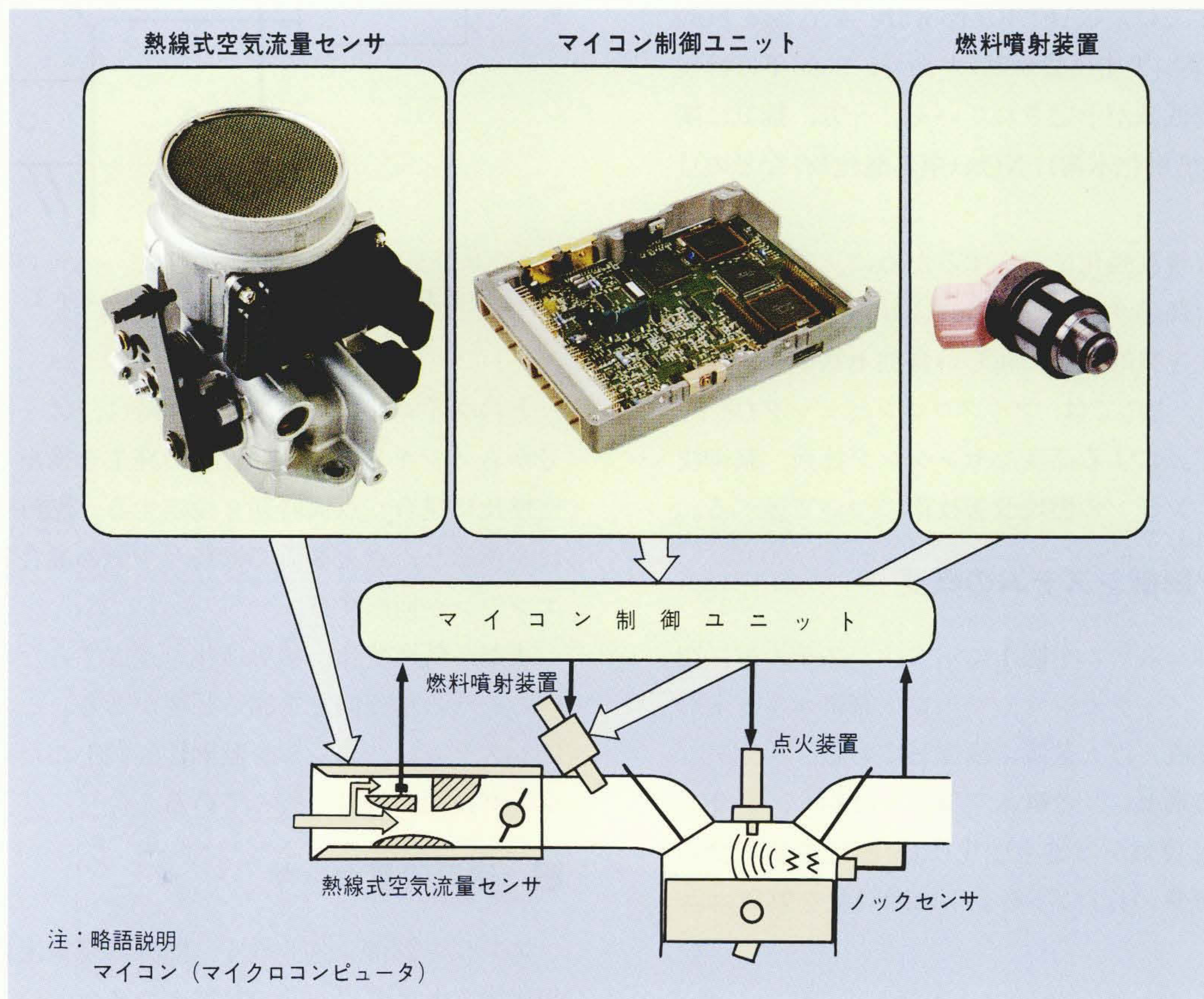
Automotive Control Technology to Respond to the Clean Air Act

森永茂樹* Shigeki Morinaga

徳田博厚** Hiroatsu Tokuda

荒井信勝*** Nobukatsu Arai

塩谷 真**** Makoto Shioya



環境規制に対応したエンジン制御システムの構成 熱線式空気流量センサは正確な空気量を計測し、マイコン制御ユニットは最適な燃焼が行われるように計算し、燃料噴射装置は正確に燃料を噴射する。これらの自動車部品で構成するエンジン制御システムは、低燃費化、排気浄化に大きく貢献する。

国際社会が直面する問題の一つである地球環境問題を契機に、自動車エンジンの低燃費化、排気浄化技術の提供が急務になっている。ガソリンエンジンの対応技術の基本は、燃焼改善と触媒の排ガス浄化効率の向上であり、そのためには、燃料、点火時期制御の精度向上が必須(す)である。

日立製作所は、制御精度向上策として、排気の問題となる低速時の精度が高い熱線式の空気流量センサを開発すると同時に、吸気管内の空気、燃料流の

動的モデルを用いた制御法を開発し、加減速運転時の精度を高めた。さらに、周波数分析方式による高精度ノック検出法を開発し、検出精度を高め、一つのセンサで全気筒のノックを検出し、点火時期を制御することでエンジンの熱効率を高めることができた。

以上の技術により、自動車の低燃費化、排気浄化に大きく貢献している。

* 日立製作所 日立研究所 ** 日立製作所 自動車機器事業部 *** 日立製作所 機械研究所 **** 日立製作所 システム開発研究所

1 はじめに

最近，地球温暖化，酸性雨，オゾンの問題など新たな環境問題がクローズアップし，北米を中心に自動車に対する規制が強化されつつある。米国の規制を表1に示す。この規制は，燃費，排気と診断に関する規制である。燃費に関しては，CAFE(Corporate Average Fuel Economy：企業別平均燃費規制)があり，2000年には現行の40%の燃費低減が予定されている。一方，排気に関しては，HC(未燃炭化水素)，NO_x(窒素酸化物)などの量の規制である。

以上のような規制強化に対応するために，各自動車メーカー，自動車部品メーカーでは，よりいっそうの低燃費化，排気浄化を目的とした新しい自動車制御システムを開発している。ここでは，マイクロコンピュータ(以下，マイコンと略す。)による高度なセンシング技術，制御技術を駆使したエンジンの燃焼改善技術について述べる。

2 エンジン制御システムの概要

エンジン制御システムを図1に示す。システムは，空気流量センサ，ノックセンサ，マイコン制御ユニットおよび燃料噴射装置・点火装置で構成している。

熱線式空気流量センサで吸入空気量を計測し，シリンダに流入する混合気が理論空燃比(完全燃焼させるための燃料量と空気量の比)になるように燃料量を制御ユニ

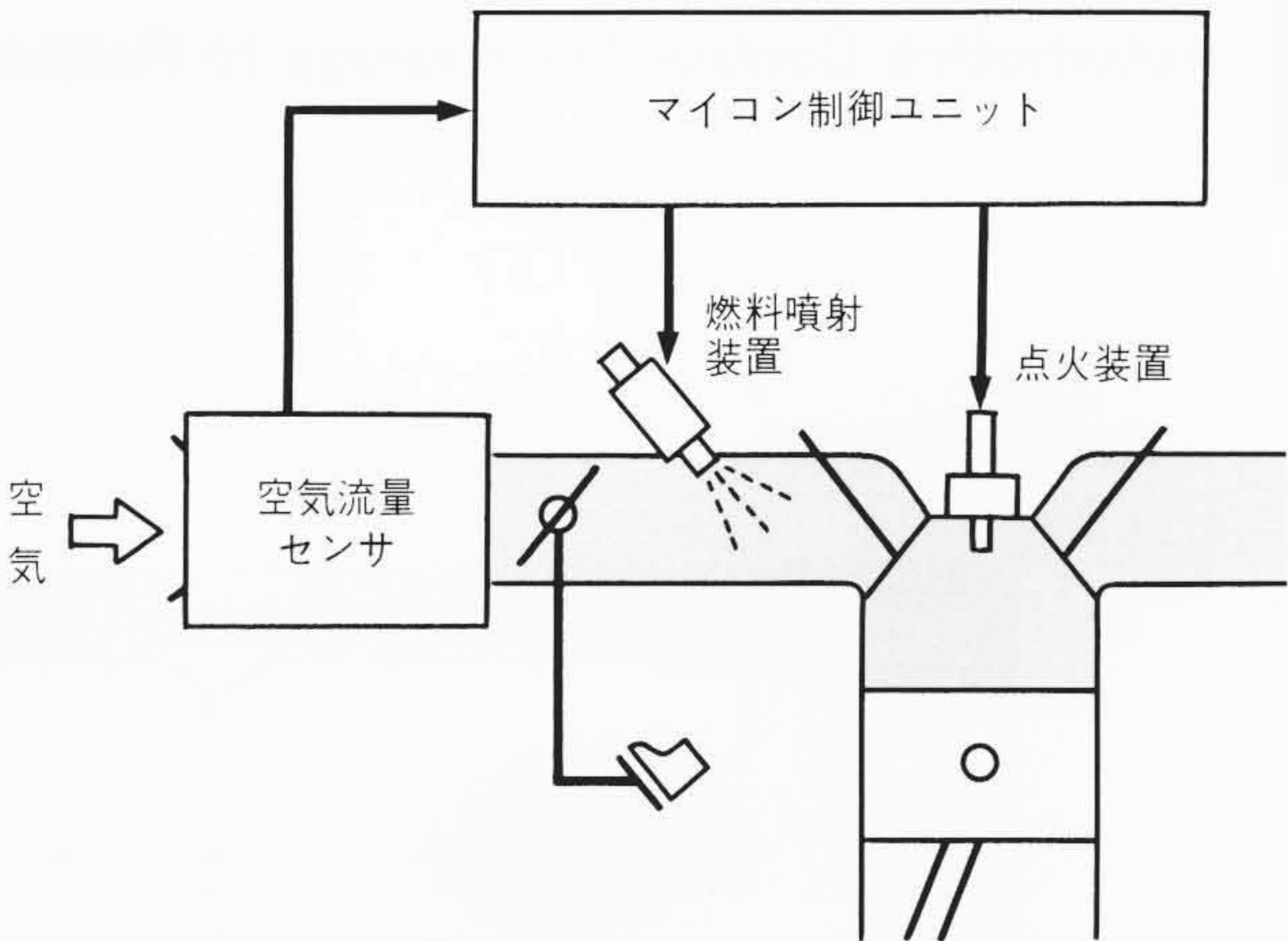


図1 エンジン制御システムの構成 よりいっそうの精度向上を図る必要があるエンジン制御システムを示す。

ットのマイコンで演算する。同時に，ノックセンサの信号からノッキング(異常燃焼)の発生を検出した結果で，空燃比に見合う点火時期を設定する。燃料噴射装置で燃料を供給し，点火装置で燃料と空気の混合気に着火し，エンジンが回転する。

また，低燃費比，排気浄化を達成するためには，よりいっそうの精度向上を図る必要がある。このエンジン制御システムは，エンジン制御性能向上のための高度センシング技術に特長を持っている。

3 空気流量センサ

エンジン制御システムで，熱線式空気流量センサを実用化するとともに，その状態をマイコンシステムによって高精度に引き出した。このことにより，低燃費化と排気浄化を両立させるエンジン制御システムを小型，低コストで実現した。

熱線式空気流量センサの原理は，放熱の流速依存性を利用する点で，航空機の風洞実験での空気速度の測定，乱流の計測などに古くから用いられている熱線風速計と同じである。乱流の計測では，タングステン線を加熱し，加熱電流を検出して流速を求める。また，電流が流速の四乗根に比例するため，速度が小さい領域の感度が高いという特性がある。エンジンの空気量測定でも，低空気量時の高い精度が要求されるため，この特性は利点として作用した。図2に示すように，直径20 μm程度の白金線を0.5 mm程度のセラミックス細管に長さ2 mmにわたって巻く方法を採用した。これにより，白金線を巻いたエレメントは断熱性が高まり，支持部への放熱が減り，精度を向上できた。

表1 米国の環境規制 年々強化される排気規制，燃費規制を示す。

(a) 排気規制

項 目	TLEV	LEV	ULEV
導入時期	1994～96	1997	1995～99
HC(g/mile)	0.125	0.075	0.04
CO(g/mile)	3.4	3.4	1.7
NO(g/mile)	0.4	0.2	0.2

注：略語説明 TLEV(Transient Low Emission Vehicle：暫定的低排気車)
LEV(Low Emission Vehicle：低排気車)
ULEV(Ultra Low Emission Vehicle：超低排気車)

(b) 燃費規制

項 目	20%CAFE	40%CAFE
導入時期	1995	2000
低 減 率	20%	40%

注：略語説明 CAFE(Corporate Average Fuel Economy：企業別平均燃費)

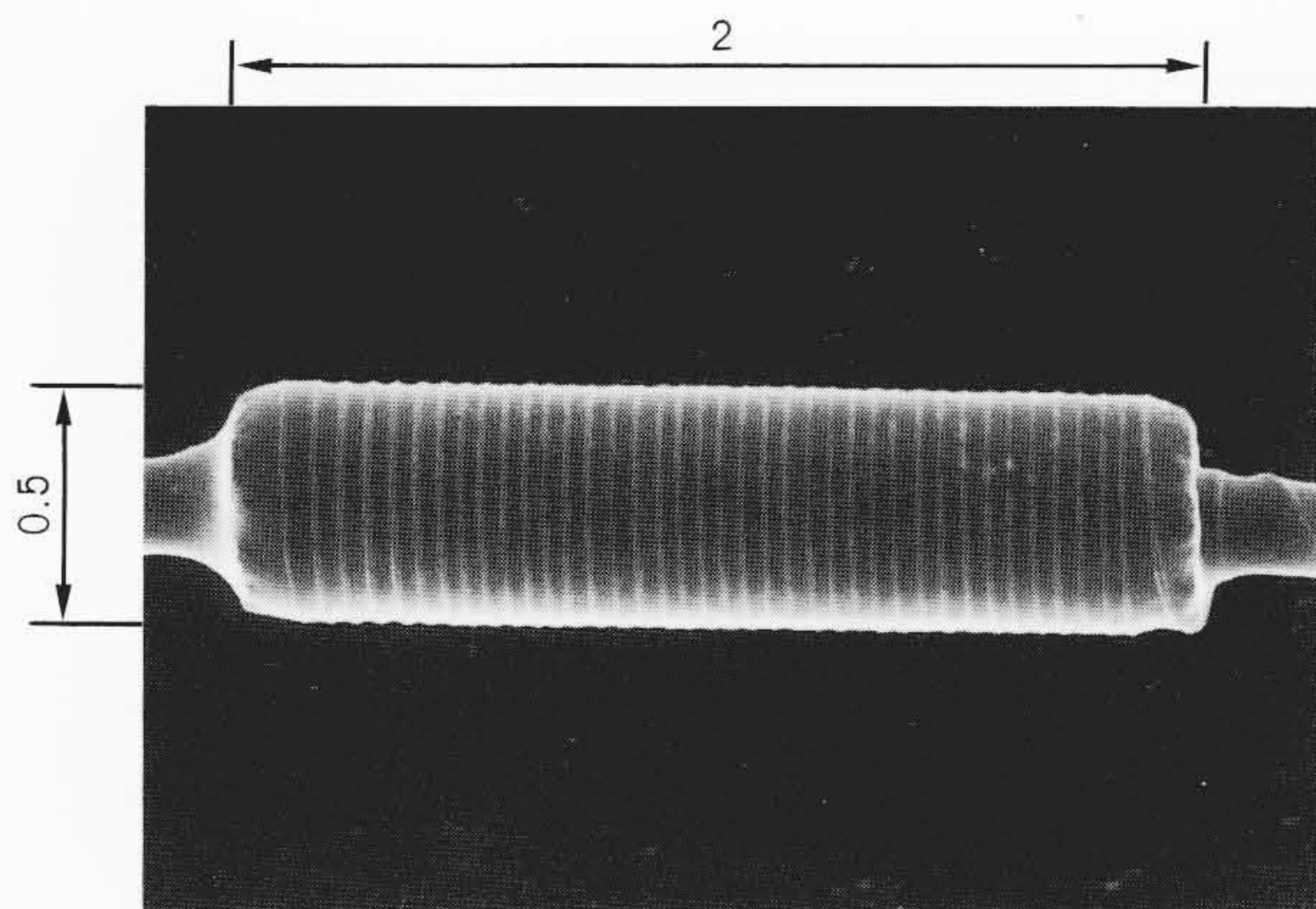


図2 熱線式空気流量センサのエレメント 直径 $20\mu\text{m}$ の白金線を、 0.5mm 程度のセラミックス細管に巻いたエレメントを示す。

また、長さ 2mm の小さなエレメントで測れるのは、局所的な速度である。空気の通路の速度分布が一様なときは、中心にエレメントを配置すればよい。しかし、実際のエンジンでは取付けが制限され、一様な速度分布を得ることは困難である。このため、分流によって、平均的な流速を作る方法を検討し、メイン通路を分流したバイパス通路にエレメントを配置した(図3参照)。これにより、通路内の速度分布が不均一であっても、高精度な測定ができるようになった。その結果、燃焼改善に大きく寄与する空燃比精度を、従来に比べて3倍向上させた。

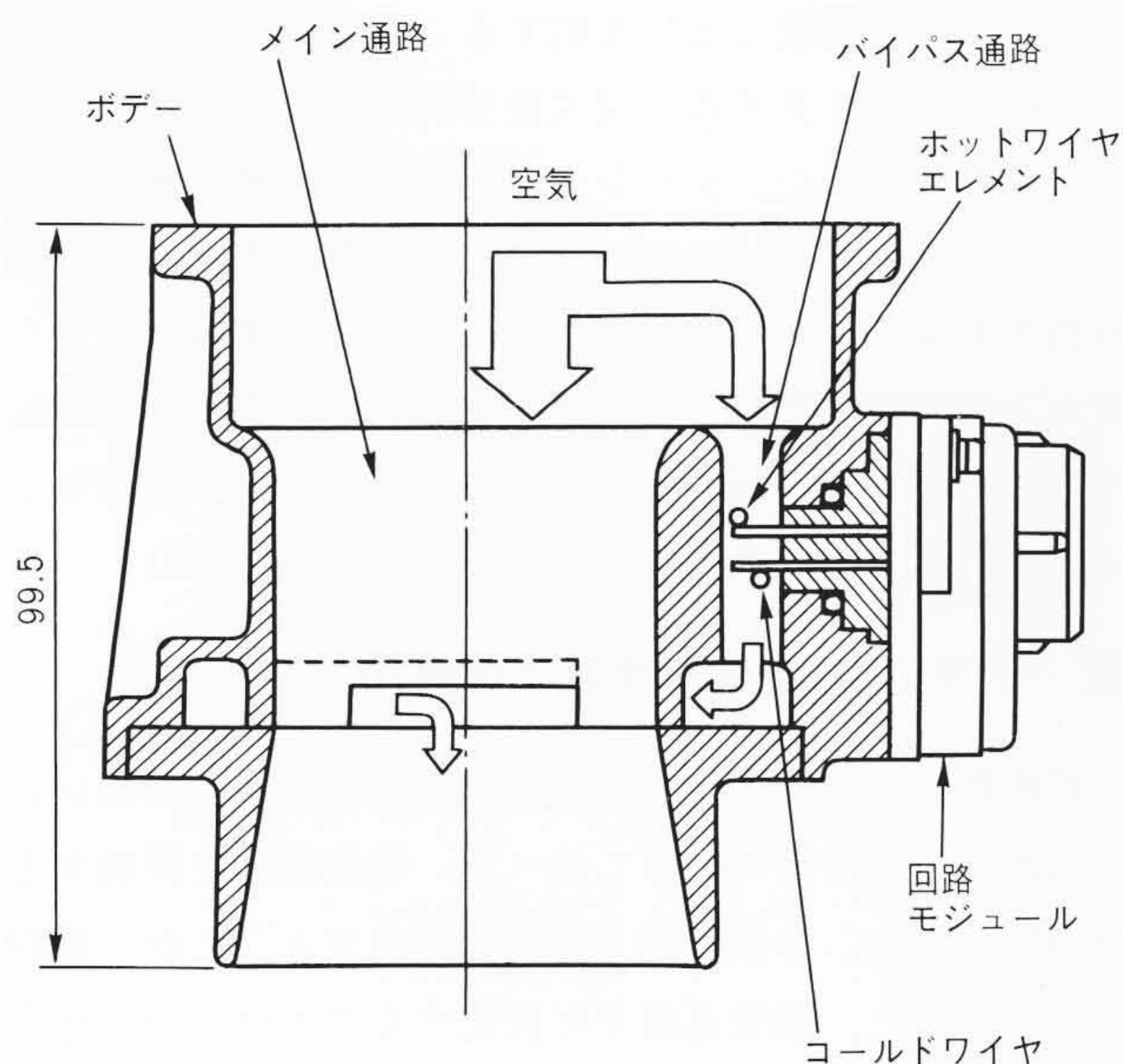


図3 熱線式空気流量センサの構造 バイパス通路にエレメントを配置し、高精度な空気量を測定する。

4 シリンダ内空気量推定法

燃料制御ではシリンダ内の空気量に応じて燃料を噴射するために、低燃費化、排気浄化にとって、その空気量を正確に測定することが重要である。熱線式空気流量センサと燃焼部であるシリンダ内では、空気流量に時間的差異があり、特に、自動車の加減速時の排気浄化性能を低下させる原因となっていた。そのため、空気流量センサからシリンダまでの流体力学的なモデルを制御ユニット内のマイコンに組み込み、過渡時のシリンダ内の空気流量を推定し、空燃比を精密に制御できるようにした。

シリンダ内の空気量推定法の概要を図4に示す。アクセルペダルと直結しているスロットルの開度 α (スロットル開度)に応じたスロットル通過流量の定常値 Q_a と回転数 N に応じたシリンダ内流量の定常値 Q_c をあらかじめ求めて、マイコン内に記憶する。計測した空気流量 $Q_{t,0}$ を基準に、過渡運転時にはスロットル通過流量の定常値 Q_a により、1行程先の予測空気量 Q_t を求め、シリンダ内流量 Q_c との差から非定常モデル式で吸気管内圧力 P を推定する。この推定圧力 P により、シリンダ内流量をマイコンに記憶したマップから求める。

推定結果の一例を図5に示す。スロットル開度が変化している過渡運転時に、吸気管内圧力の推定値と実測値が一致し、モデルが正確であることがわかる。そこで、制御で重要なシリンダ内流量 Q_c は、推定された吸気管内

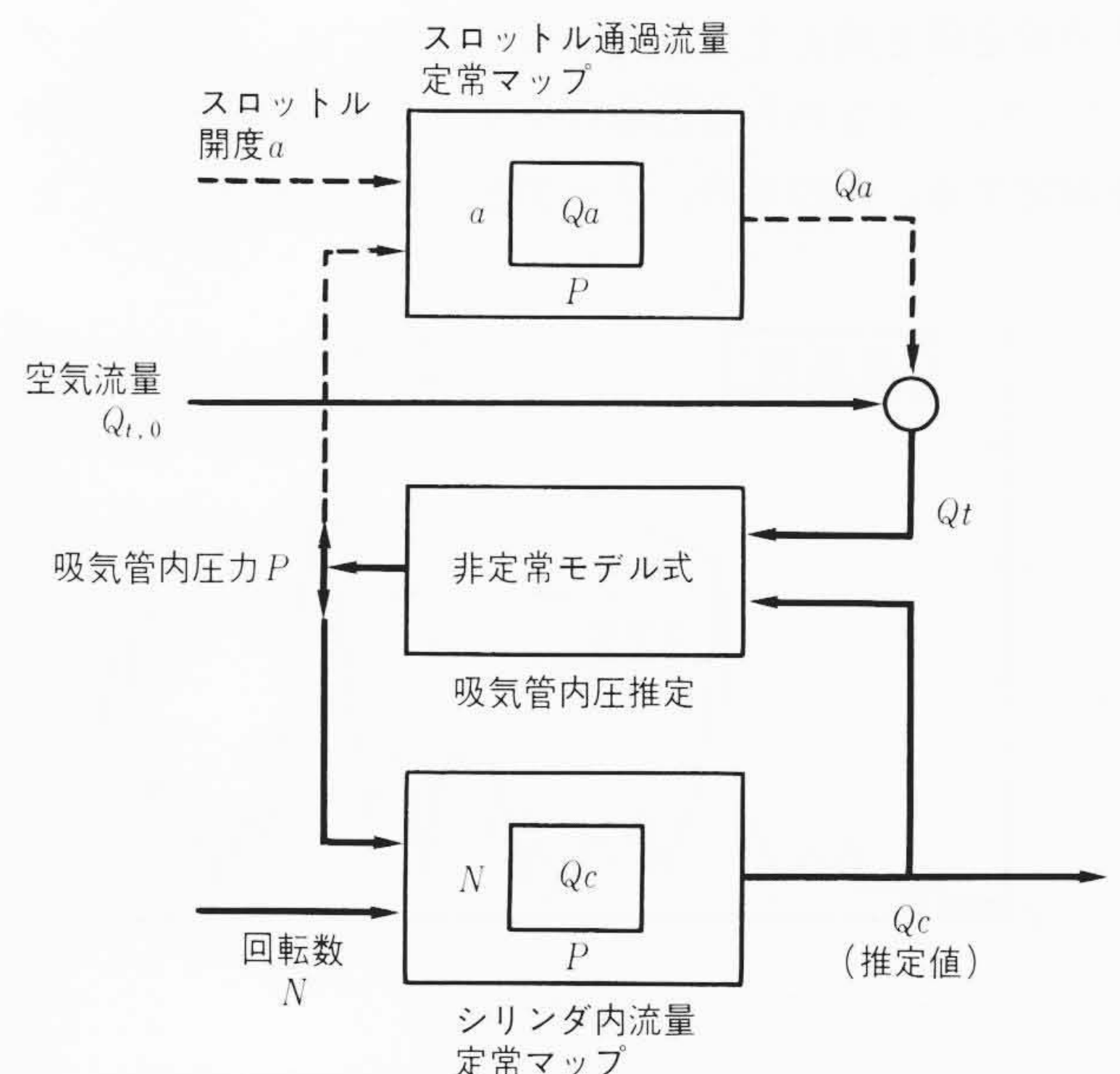


図4 シリンダ内空気量推定法の概要 吸気管内圧力を推定することにより、シリンダ内空気量を求める。

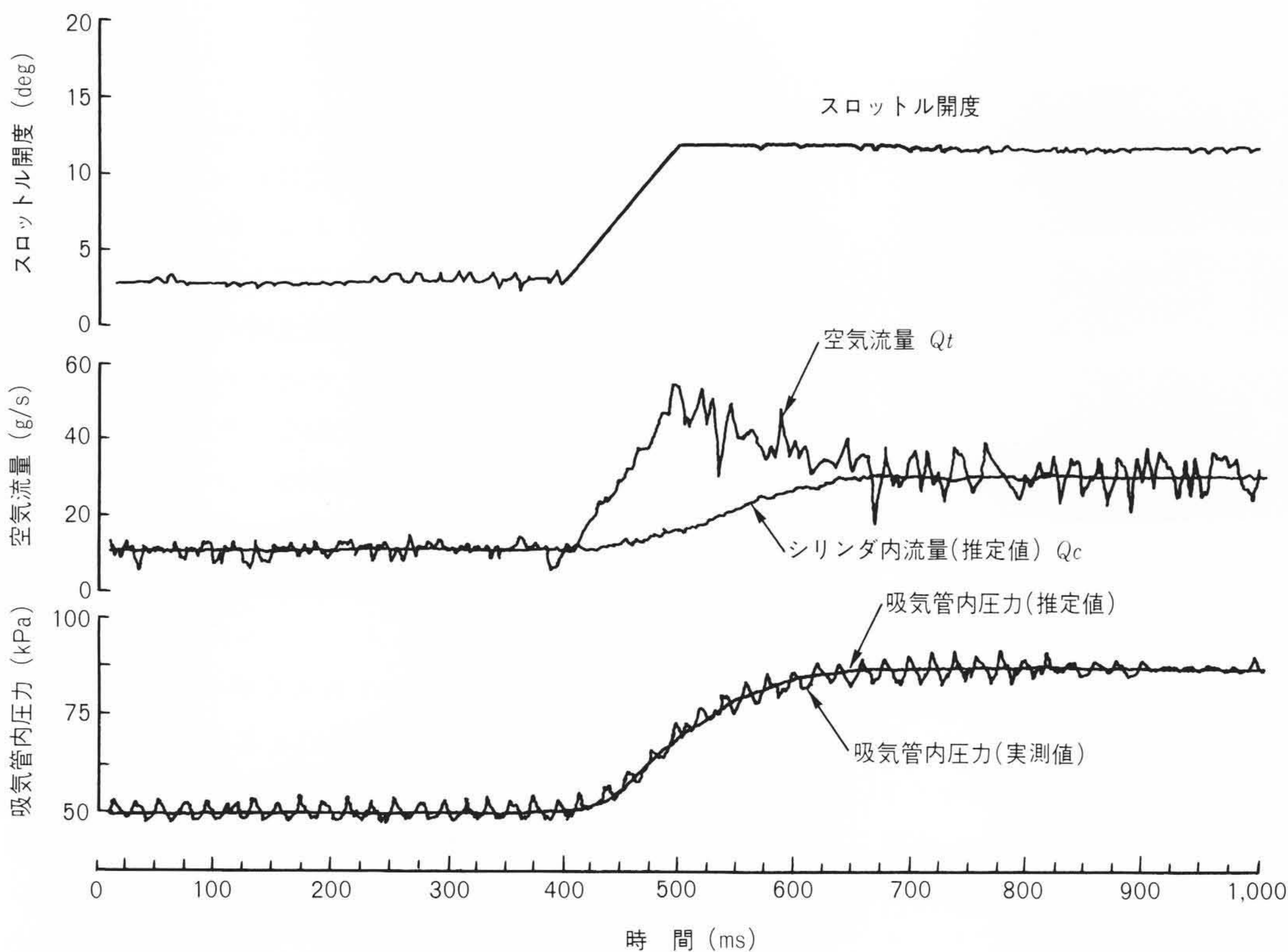


図5 推定結果の一例
スロットル開度に変化している過渡運転時に、吸気管圧力の推定値と実測値がよく一致している。

圧力 P によって決定されるため、このモデルによって Q_c が正確に推定されることになる。その結果、加速時の燃料量の変動を $\frac{1}{3}$ に低減した。

5 ノッキング検出法

点火時期の制御では、空気流量に応じた点火時期の値をあらかじめ設定する。さらに、燃費を低減するために、その設定値を補正する。この補正制御では、ノッキング（ノック）、すなわち自己着火が発生する直前に点火時期を設定する。そのため、ノックを高精度に検出すること

が、エンジン保護のため重要な課題である。従来はシリンダブロックの特定の振動周波数成分でノック現象が代表されるとして検出していた。しかし、広い範囲の周波数のノック検出性能が不十分であり、高速域(3,000r/min以上)で、燃費を増大させていた(図6参照)。

そこで、ノックの検出性能を上げる必要がある。ノックが生じると、複数の共鳴周波数成分の振動が同時に発生し、しかも燃焼ごとに変動することを見いだした。そのため、リアルタイムの周波数分析をもとにノックを判定することにした。シリンダブロックの振動を検出し、演算方法の改良で、マイコンによるリアルタイム周波数分析を実現し、共鳴周波数ごとにノックを調べ、大きく現れる周波数を燃焼ごとに選定する。ノック検出率が従来に比べて1.5倍に向上したことにより、ノック制御なしに比べて燃費を低減することができた(図7参照)。

6 シリンダ内燃焼計測と評価法

低燃費化、排気浄化のために、制御の面からのエンジンの燃焼改善技術について述べた。燃焼改善を評価するために、燃費、排気、動力性能を測定することが一般的である。また、燃焼過程を可視化することは、いっそうの燃焼改善のために必要なことである。

透明な石英ピストンを持つ単気筒エンジンを用いた燃

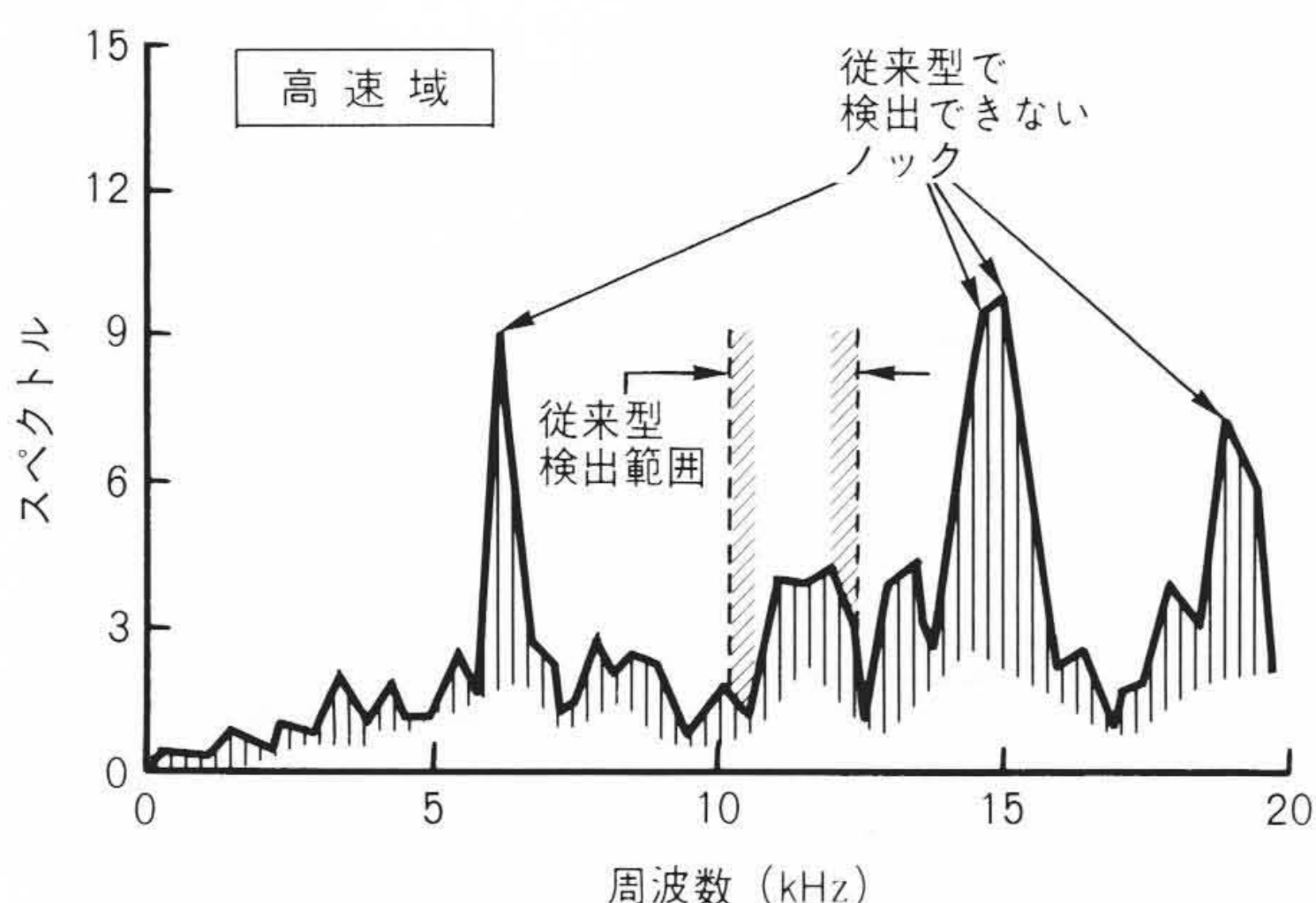


図6 ノックの周波数分析と従来のノック検出の問題点
高速域などでノックを検出することができず、燃費を増大させていた。

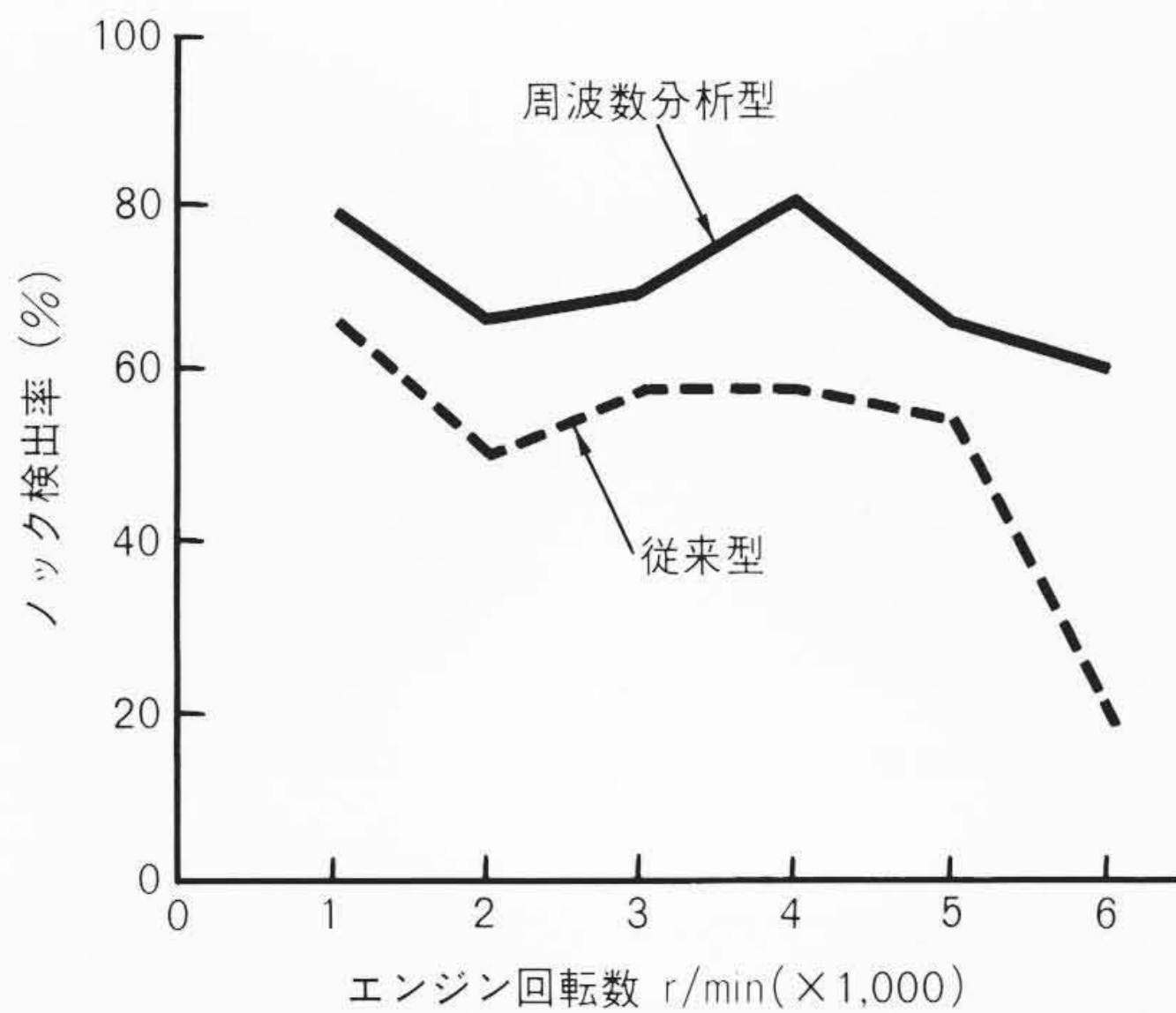


図7 ノック検出率の比較 新しく開発した周波数分析型は、従来型に比べてノック検出率が向上している。

焼過程測定装置の概略を図8に示す。この装置のために、点火プラグー体型燃焼光検出器を試作した。この検出器は、図9に示すように点火プラグの中心電極にガラスファイバを埋め込み燃焼室内の光を外部に導き、燃焼光を光ファイバで光電変換器に入力し、電気信号に変換した。シリンダ内の混合気への着火は、この検出器の点火プラグで行った。また、石英ピストン、ミラーを介して燃焼火炎を観察できるようになっている。

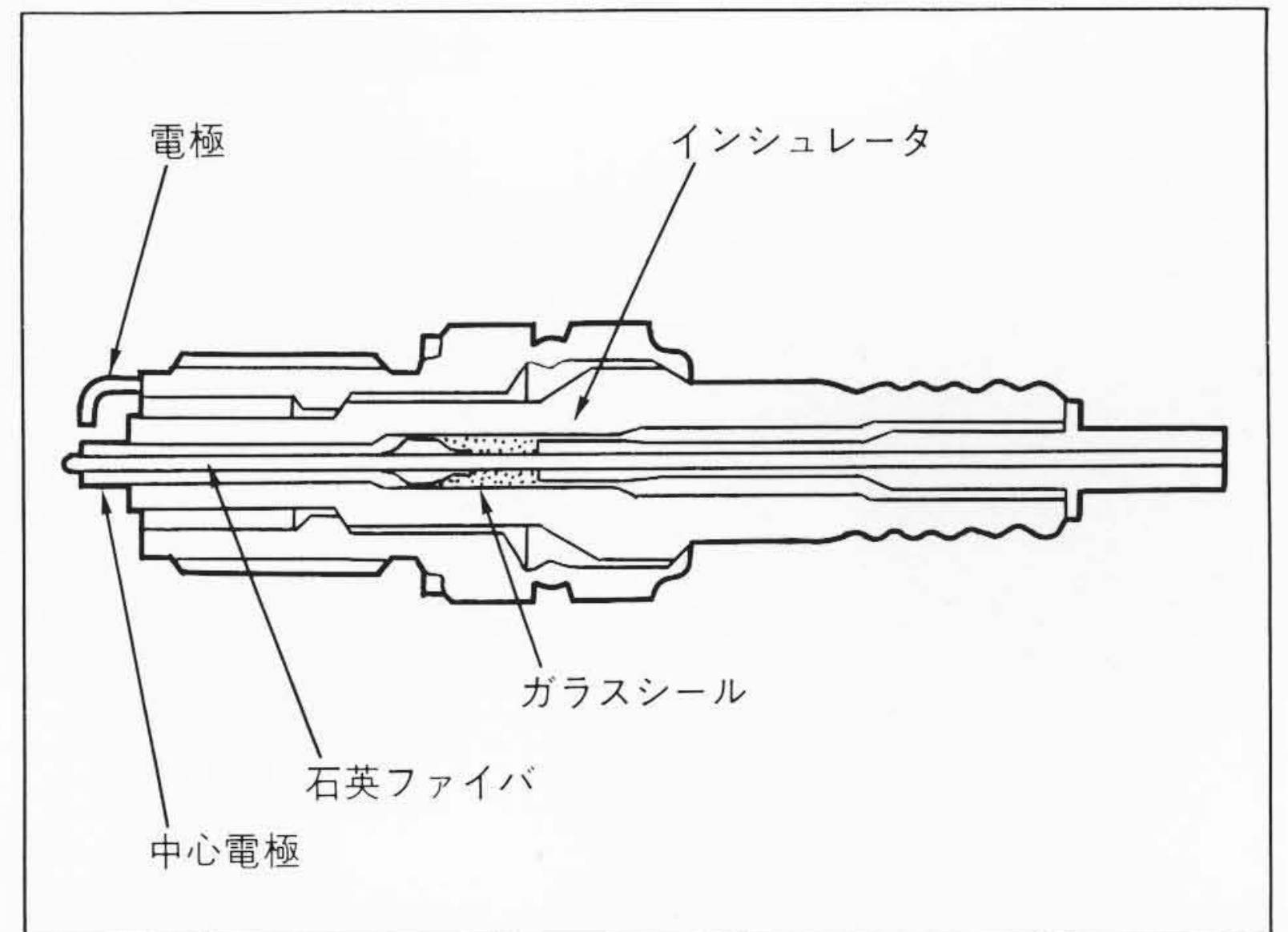


図9 点火プラグー体型燃焼光検出器 新しく試作した点火プラグー体型燃焼光検出器で、シリンダ内部の空燃比を測定することができる。

二つのタイプの燃料噴射弁で燃焼火炎状態を観測した結果を図10に示す。タイプAは、燃料噴霧の平均粒径が約200 μm の噴射弁であり、タイプBは、平均粒径が約30 μm である。タイプAを用いた場合、排気初期(a-4)に黄赤色の火炎が観測され、不完全燃焼が発生して排気を悪くしている。一方、タイプBを用いた場合、噴霧粒径が小さいため、燃料の蒸発が早く、シリンダ内で大きな液滴、液膜が形成されず、完全燃焼となっている。このよ

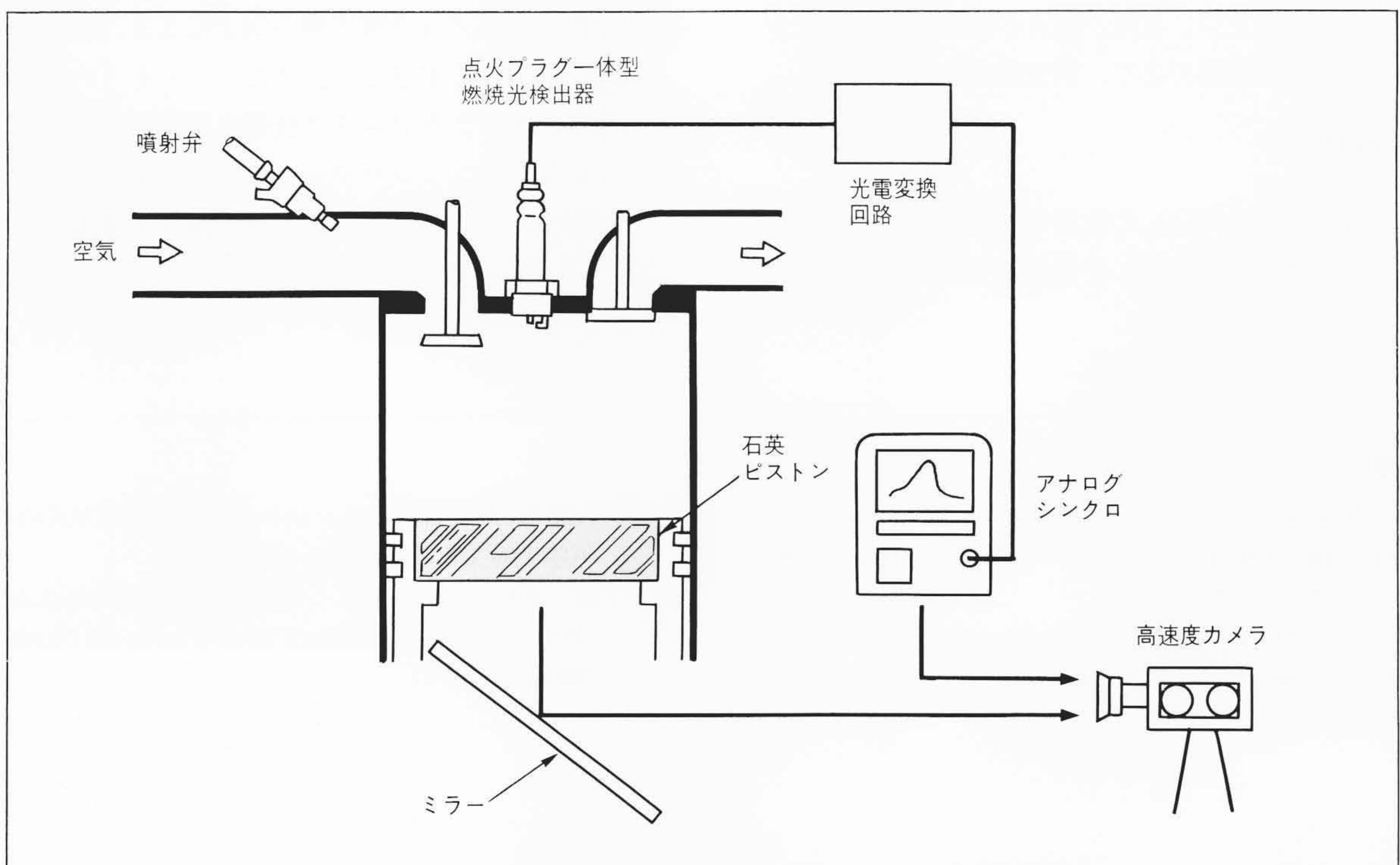


図8 単気筒エンジンの可視化装置 石英ピストンによって、シリンダ内での燃焼過程を観察できる。

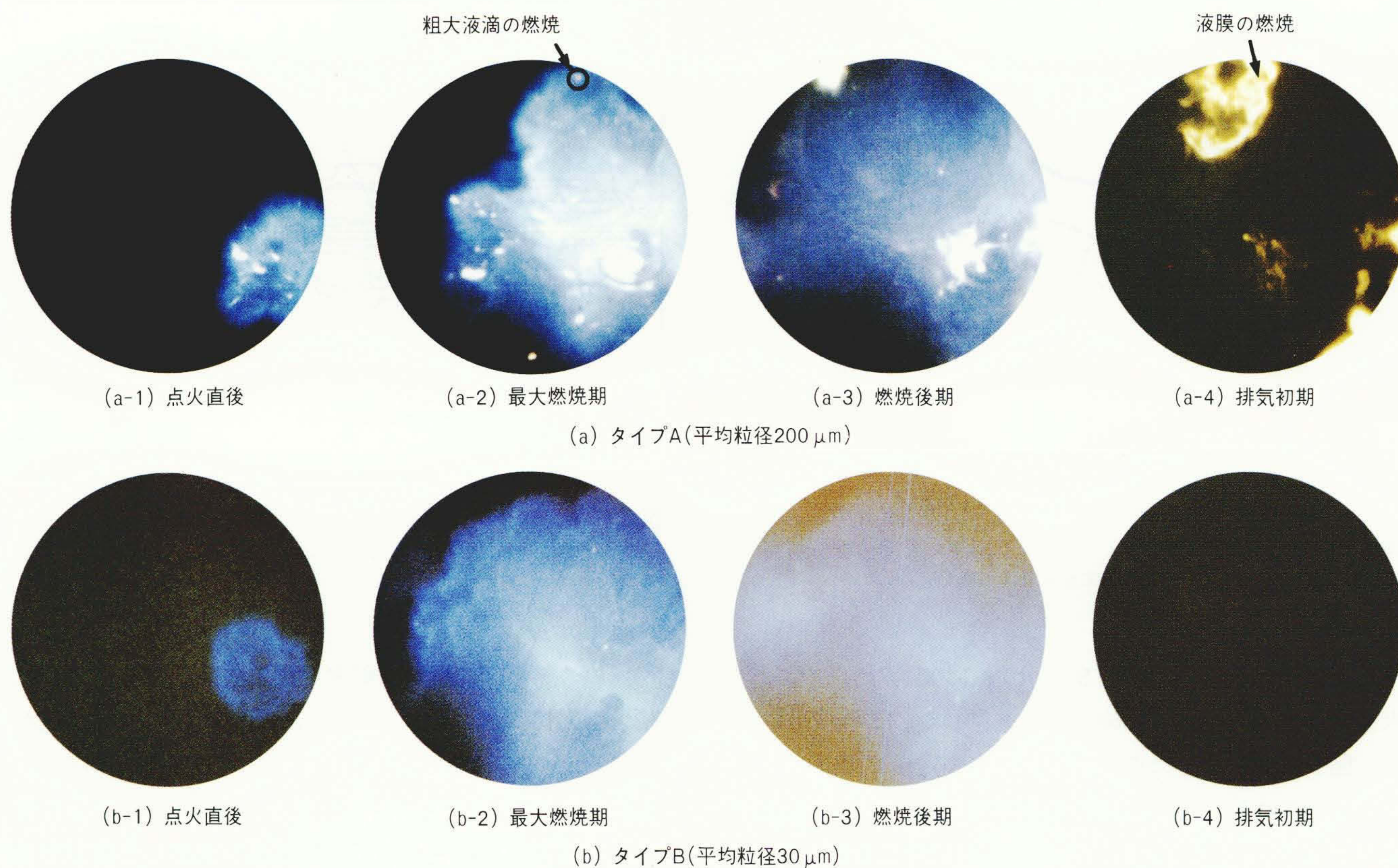


図10 燃焼火炎の観測結果 可視化装置による燃焼火炎を観測し、噴霧粒径の大きさにより、燃焼状態が大きく変わることがわかる。

うに、エンジンの燃焼過程を可視化することは、低燃費化、排気浄化に役立つ。また、種々の燃焼シミュレーション技術も非常に重要であり、研究開発を進めている。

7 おわりに

以上、環境規制に対応した自動車制御技術について述べた。バイパス通路に配置した熱線式空気流量センサ、

動的モデルによるシリンダ内空気量の推定、および周波数分析によるノック検出率の向上により、低燃費化、排気浄化に大きく寄与した。また、いっそうの規制強化に対して、エレクトロニクス技術を駆使して、電子スロットル応用のエンジンパワートレイン制御、希薄燃焼エンジン制御、電気自動車などの研究開発を推進しており、社会に貢献していく考えである。

参考文献

- 1) Y. Ohyama, et al. : A Hot Wire Air Flow Meter for Intake Air Flow Measurement, SAE Technical Paper Series 890301 (1989-2)
- 2) N. Arai, et al. : Advanced Design for Bypass Type of Hot-Wire Air Flow Meter, SAE Technical Paper Series 900259 (1990-2)
- 3) 瀬古沢, 外 : 自動車エンジンの空燃比制御方式の提案, 電気学会論文集C, 107巻, 4号 (1978-4)
- 4) M. Kaneyasu, et al. : Engine Knock Detection Using Multi-Spectrum Method, SAE Technical Paper Series 920702 (1992-2)