

# 自動車用空気流量計

\*1 玉井 満(たまい みつる)

\*1 北村 和明(きたむら かずあき)

\*1 矢尾 信博(やお のぶひろ)

\*2 三好 紀臣(みよし のりおみ)

\*3 鶴岡 享彦(つるおか みちひこ)

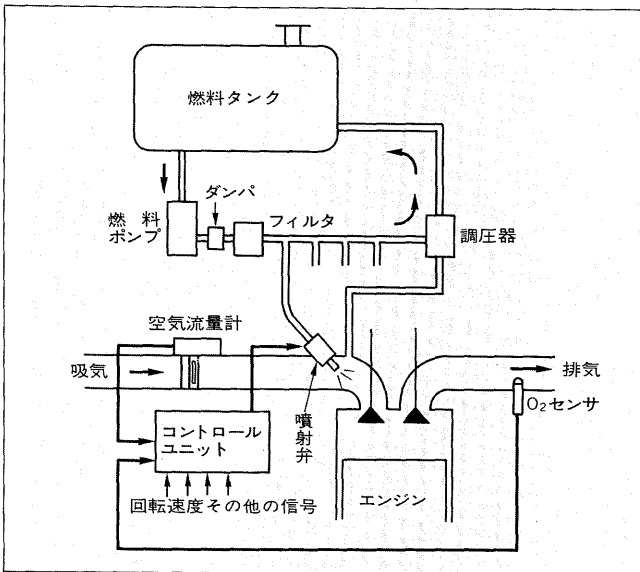
## 1 まえがき

自動車の排ガス規制及び低燃費化に対応して、電子燃料噴射システムが実用化されている。このシステムにおいて、適正な空燃比制御を実現するため、エンジンへの吸入空気流量の精密な計測が最も重要な計測対象の一つとなっている。

今回、カルマン渦と呼ばれる流体の流速に応じて生じる渦の周波数を光学的に検出し、電気出力する自動車用空気流量計を開発した。このカルマン渦流量計は、高精度、小形軽量、低価格であり、極めて広い流量測定範囲を有している。

本稿では、その原理、特長、特性、信頼性などについて紹介する。

図1 電子燃料噴射システム概念



## 2 原理と構成

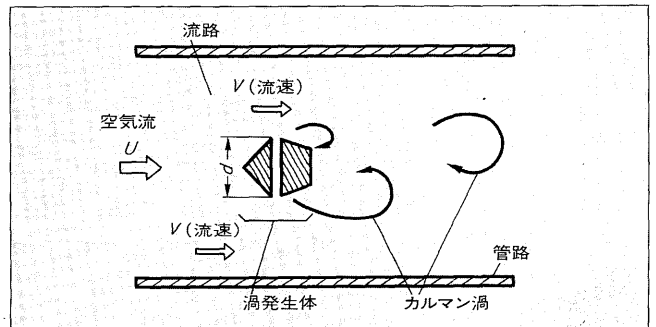
### 2.1 カルマン渦

流れの中に置かれた非流線形の柱状物体の下流には、カルマン渦と呼ばれる安定した渦列が発生する(図2)。柱状物体の代表長さ  $d$ 、流体の流速  $V$ 、その時の単位時間当たりの渦の個数(渦周波数)を  $f$  とすれば、 $St$  を定数として流速  $V$  との間には式(1)の関係が成立する。

$$f = St \cdot V / d \dots\dots\dots(1)$$

$St$  は、ストロハール数と呼ばれる無次元化量であり、柱

図2 カルマン渦式流量計の原理図



状物体の代表長さ  $d$  に関するレイノルズ数の広い範囲 ( $3 \times 10^2 \sim 10^5$ ) でほぼ一定値となる。ストロハール数のこの関係は、流体の種類、温度、圧力に関係なく成立する。

したがって、渦周波数  $f$  を計測することにより流体の流速(流量)を測定することができる。

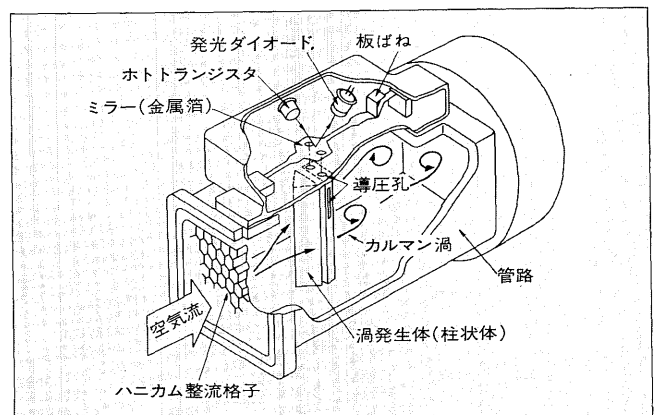
### 2.2 空気流量計の構成

空気流量計の構成を図3に示す。

空気流は、流量計の管路に前置されたハニカム状の整流格子によって整流され、矩形管路を流れる。渦発生体は管路中に設けられ、その両端部から流速に比例した渦を放出する。渦発生体は、広い流速の範囲で安定で強い渦を発生させ、かつ流速と渦周波数との良好な直線性が成立するように設計されている。渦発生体は、二等辺三角形と台形の渦柱が一定の間隔を保って組み合わされた特長ある構成になっている。

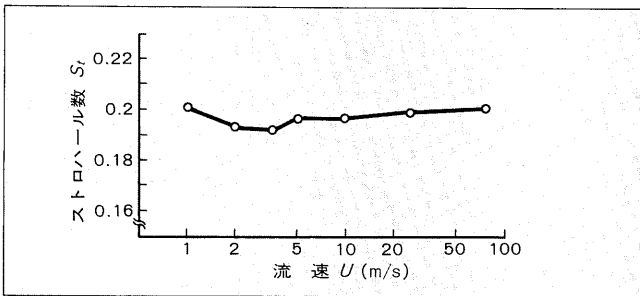
この発生体によるストロハール数と流速の関係を図4に示す。1~75m/sまでの広い流速範囲で、ストロハール数は一定値(約0.2)を示し、渦周波数との良好な比例関係を

図3 空気流量計の構成



\*1 東京工場 第一設計部 \*2 川崎工場 装置開発部 \*3 (株)富士電機総合研究所 電子機器開発部

図4 ストロハール数と流速



保っている。

渦発生体の両端部から交差的に放出される渦によって、渦発生体の側面の圧力も交差的に変化する。この圧力変化は、渦発生体の下流側台形柱に設けられた導圧孔を介してミラー部に導かれる。

ミラーは、細いスパンバンドで吊られ、スパンバンドの軸まわりに回転振動する。外部振動、脈圧などの外乱を考慮して、スパンバンドを板ばねで一定の張力になるように張り、安定な振動が得られるよう設計されている。

渦による圧力変化は、導圧孔を介して導かれ、ミラーに作用し、ミラーはスパンバンドの軸まわりに振動する。耐食性の高い金属箔で作られたミラーは、非常に軽く、低流速時の微小圧から動作し、かつ急激な流速変動に十分追従できる優れた特性を有している。

ミラー上面には、発光ダイオード及びホトトランジスタが取り付けられている。常時発光の発光ダイオードの光は、ミラーで反射され、ホトトランジスタに入り、電流に変換される。ミラーの振動は、反射光量の変化としてホトトランジスタによって検出される。

発受光素子による検出原理の詳細を図で説明する。図5は、発光ダイオードの発光電流を一定に保って、ミラー振り角  $\theta$  を変化させた時の、ホトトランジスタのエミッタ電流  $I_e$  の変化の様子を示す。  $\theta - I_e$  曲線の傾斜がほぼ一定な部分(図5のA-A'部分)の中点を、ホトトランジスタの動

図5 ミラー振り角とホトトランジスタのエミッタ電流

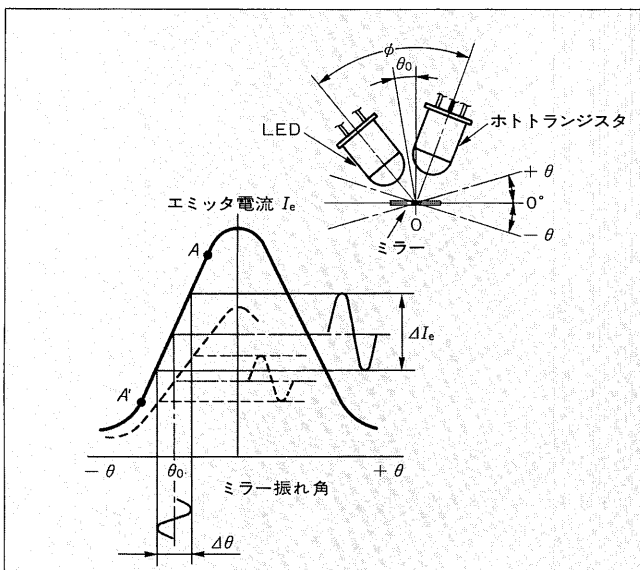


図6 空気流量計の構造

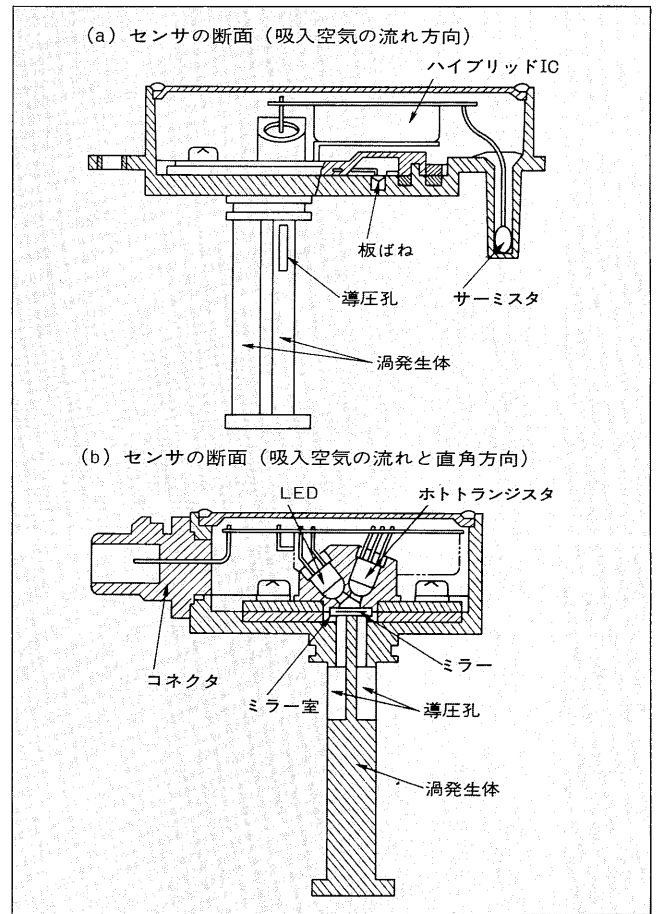
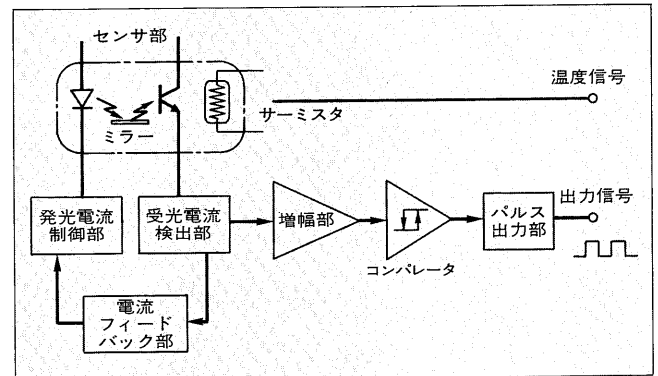


図7 検出回路ブロック図



作点となるように、傾き角  $\theta_0$  が設定されている。

発受光素子は、ミラー反射面に対しあらかじめ決定された  $\theta_0$  の傾き角をもって配置され、高い検出感度を得ている。

ホトトランジスタで検出された電気信号は、図6に示すハイブリッドICに接続される。回路ブロック図を図7に示す。吸入空気中のカーボンやごみなどによりミラーが汚れ、光の反射率が低下すると、ホトトランジスタのエミッタ電流変化が図5の破線で示すように小さくなってしまふ。このため図7の電流フィードバック回路によって、ホトトランジスタのエミッタ電流変化の平均値が一定値になるように、LEDの電流値を制御して、常に安定な信号を得るようにしている。

### ③ 特長と仕様

吸入空気の管路、渦発生体、ミラー、発受光素子、電子回路で構成されたこの空気流量計の主な特長は、次のとおりである。

- (1) 計測可能な流量範囲が広く、しかも高精度である。
- (2) 電気出力は流量に比例するパルス出力であり、マイクロコンピュータ制御に適している。
- (3) 急加減速時などの過渡応答に優れている。
- (4) 構成が簡単で小形・軽量である。
- (5) 吸入空気温度測定のための温度センサを内蔵している。主な仕様を表1に示す。

図8 空気流量計の外観

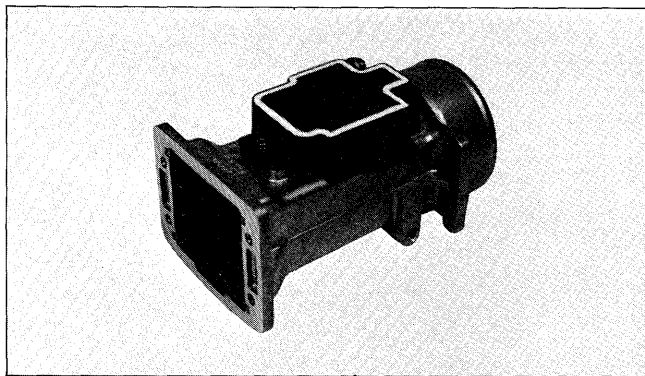


表1 空気流量計の仕様

| 項目   | 仕様                      |
|------|-------------------------|
| 測定範囲 | 流量：2~150l/s(流速：1~75m/s) |
| 電源電圧 | 直流：5V±0.25V             |
| 使用温度 | -30~+110℃               |
| 出力電圧 | 高レベル側：3V以上，低レベル側：1V以下   |
| 消費電流 | 40mA以下                  |

### ④ 特性

#### 4.1 流量係数 K 値

流量係数  $K$  値は、測定流量  $Q$ 、渦発生体部の流路断面積  $A$  として、式(1)を少し変形して次式で示される。

$$K = f/Q = St / (A \cdot d) \quad \dots\dots\dots(2)$$

$K$  値は、流路内ストロハール数によって決まり、図9の特性曲線をもつ。

図10は、100台の渦流量センサについて  $K$  値のばらつき(器差)を調べた結果である。ばらつきの標準偏差が、0.3%以内で、器差による  $K$  値のばらつきは極めてわずかである。

ソニックノズルを流量基準値として、 $K$  値の再現性の試験を行った。1台の流量計の  $K$  値を20回測定して得られた再現性は、最大0.5%以内であり、良い再現性を示した。

図9 流量特性

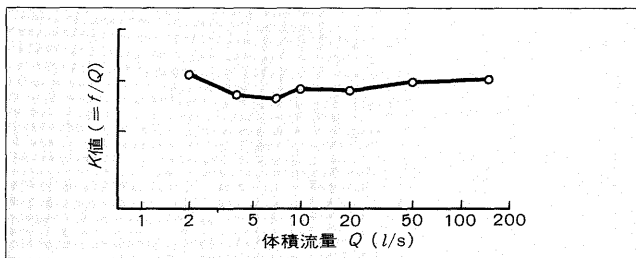


図10 K 値のばらつき (器差)

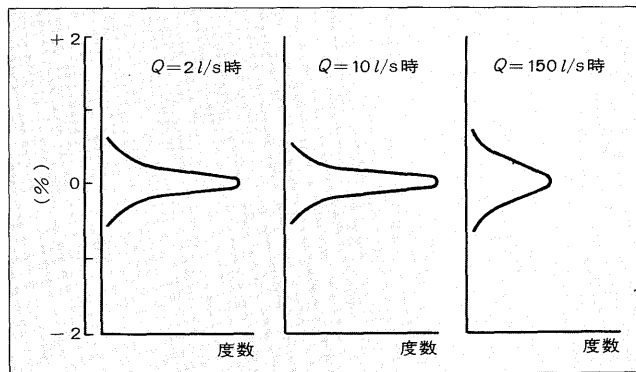
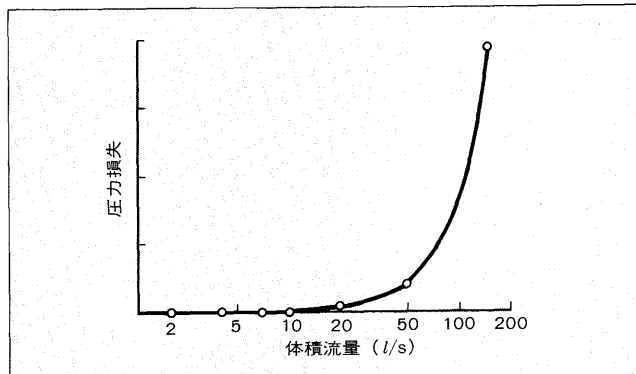


図11 圧力損失特性



#### 4.2 圧力損失

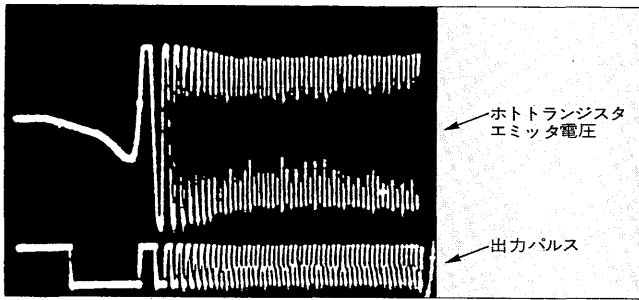
渦流量計は、流路内の渦発生体で流れをさえぎるため、圧力損失を生じる。圧力損失は、流速(流量)のほぼ二乗に比例して増加するが、渦発生体の上流側三角柱や、流路出口部の形状を工夫することで安定な渦の発生と圧力損失の低減を図った。図11に、圧力損失特性を示す。圧力損失は、従来のベンチ形流量計に比較して、低流量域から中流量域では極めて低いレベルにある。

#### 4.3 応答特性

自動車用空気流量計は、加減速運転での吸入空気量の急激な変化に、確実に応答しなければならない。

図12は、2l/sから90l/sまでスロットバルブを30msで全開させた時の応答性を示す。図の上部の波形が、ミラーの振動を検出しているホトトランジスタのエミッタ出力であり、下部の波形は出力パルスを表している。いずれの波形も流量変化に対して極めて忠実に追従し、パルス抜けな

図 12 応答特性



⑤ 信頼性

自動車用空気流量計は極めて高い耐久性、信頼性が要求される。このため信頼性試験は、耐久試験、限界試験、環境試験、電気試験、実車耐久試験など多岐にわたっており、各開発ステップごとにこれらの試験を繰り返し実施し、信頼性、耐久性の確立を図った。

表 2 に試験項目の代表をあげる。

耐久試験後の流量計の K 値の変化は極めて小さく、要求される特性値を十分に満足するものであった。

表 2 信頼性試験項目

|             |                |
|-------------|----------------|
| 1 常温作動      | 9 落下試験         |
| 2 高温試験      | 10 環境試験(5種類)   |
| 3 低温試験      | 11 耐薬品試験       |
| 4 高温高湿試験    | 12 耐電磁波試験      |
| 5 熱衝撃試験     | 13 シリーズ試験(2種類) |
| 6 耐水試験      | 14 電気試験(4種類)   |
| 7 耐塩水試験     | 15 限界試験(4種類)   |
| 8 振動試験(3種類) | 16 実車耐久試験      |

⑥ あとがき

この空気流量計の開発にあたり、実車試験、ベンチ試験を通じ、幾多の技術的御指導、御援助を頂き多くの改良を積み重ねてきた。製品として発売できるまでに育てて頂いた、トヨタ自動車(株)、愛三工業(株)の関係部署の方々の御尽力にここで深く感謝する次第である。今後は、更に機種種の拡大充実を図ることと、ボイラの空燃比制御などのプロセス分野におけるローコストセンサなどへの応用を併せて考えていく所存である。

参考文献

- (1) 田坂一美ほか：EFI用新型空気流量計の開発，自動車技術，39，10，pp.1155～1160（1985）

ルス抜けなど発生していないことがわかる。

最近公告になった富士出願

〔実用新案〕

| 公告番号        | 名称                | 考案者                            | 公告番号        | 名称           | 考案者            |
|-------------|-------------------|--------------------------------|-------------|--------------|----------------|
| 実公昭60-41806 | 液冷回転電機            | 松本 守<br>加藤 哲<br>辻 義克<br>山本 博祥  | 実公昭60-42021 | ボルト穴のリーマ加工装置 | 矢島 正晴          |
|             |                   |                                | 実公昭60-42377 | 電力量計の軽負荷調整装置 | 小林 一俊          |
| 実公昭60-41828 | 組立式超電導回転子のトルク伝達装置 | 藤井 久<br>新藤 義彦                  | 実公昭60-42424 | 多点入力切換器      | 竹内 弘典<br>吉沢 孝二 |
| 実公昭60-41829 | 超電動回転子            | 新藤 義彦<br>近藤 香<br>石原 昭<br>藤野 治之 |             |              |                |



\*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する  
商標または登録商標である場合があります。