圧 力 セ ン サ の 動 向*

新 宮 博 公**・山 口 義 人***

1. ま え が き

最近航空機、自動車等の交通機関に限らず、産業のあらゆる分野において「省エネルギー」、「低公害」、「信頼性および安全性の向上」が重要課題になり、これを解決するための技術開発が各観点から進められている。このなかにあつて、センサ技術の進歩も決して無視できない存在となっている。たとえば、自動車の燃費向上の手段としてマイコン（マイクロコンピュータ）によるエンジン制御が必須のもの（1980年代、米国）となりつつあるが、それにはクランクシャフトの位置を検出し、吸気管の圧力と温度を測定し、シリンダ当りの空気量を計算制御する方法が検討され¹⁾、圧力センサに強い関心が寄せられている。また、自動車用に開発された小型高精度半導体圧力センサは、医用電子の分野へ応用され、心臓の血流状態を測定する方法が開発された。さらに、航空機（F-14, 15, 16等）のDADCやAIC（Air Inlet Controller）、エンジン監視システムに圧力センサが重要な役割を果たしている。このように圧力センサの必要性は高まりつつあるが、その全般を調査した資料は乏しい。本稿では、圧力変換方式を整理分類し、各方式ごとに動作原理、適用性等を明らかにするとともに、未検討未解決の問題点をも探り出し、将来の研究開発に有用な調査資料を作成した。

2. 全 般 的 動 向

圧力変換器は一般にダイヤフラムまたはブルドン管のような圧力加算器（受圧要素）とポテンシオメータ、ストレンゲージのようなエレクトロメカニカルなセンサ（変換要素）とからなっている²⁾。実際の変換器に用いられる二つの要素の可能性のある組合せ（方式）およびそれらについての精度特徴等を第1表に示す。表に示された各種方式の変換器が開発され、製品化されているが、その際、より厳しい環境で、より広いレンジにわたって、より早く、より正確に圧力を測

定しなければならないという要求が常に存在するので、新型の変換器は年ごとに信頼性、寿命、精度、価格等が改良されている。とくに、信頼性は航空宇宙、自動車、一般工業計測においては最重要課題である。これは、接近できないような場所に設置される変換器の性能が長期間一定に保持されなければならないことが多く、しばしば整備を必要とする変換器は使用できないためである。また、苛酷な環境下での性能保持という要求は、一定の苛酷な環境下というだけでなく、もう一方の苛酷な環境下へ速く変化する環境要求も含まれる。さらに、圧力変換器が他のあらゆる変換器を種類や量で圧倒しているにもかかわらず、メーカー側は年ごとに強くなる要求（精度、信頼性、価格等）に対処しうる態勢になりつつある。

3. 原 理 と 適 用 性

3.1 電気抵抗型 このクラスは種類が多く、いろいろなものに使用されているが、基準器や応答速度の速いものには使われていない。ポテンシオメータ方式のものは、モニタやプロセス制御のための据付型にのみ用いられている。ワイヤや箔を用いたS.G.（ストレンゲージ）センサをもつ圧力変換器は工業計測や制御の分野で広く用いられている。個々のS.G.を用いる方式やダイヤフラムへ複合パターンを貼り付けたものは、線形範囲が制限されるために衰退しつつあるが、超高圧用には依然として活路がある。より高感度なものとして半導体S.G.が用いられるようになってきたが、ゲージファクタや抵抗の直線性が悪く、温度係数も悪いので、関連回路にむずかしい補償要素を必要とする。半導体S.G.をシリコンダイヤフラムの特定の個所に拡散させて作った半導体圧力センサが、このクラスの主流となりつつある。なお、半導体圧力センサについては、本特集号の別面に記されているので、本稿では略述だけとする。

3.1.1 ポテンシオメータ 初期の圧力変換器³⁾の構造は、第1図に示すようなものであり、受圧要素としてカプセル、ベローズ、ブルドン管が考えられる。接点材料、ワイヤは分解能や抵抗の観点から注意深く選択される。また、供給電圧は一般に10Vである。この方式のものは、低価格高出力レベルのため、簡単なシステムに広く使われてきた。しかし、構造上圧力変

* 昭和55年11月5日、第18回飛行機シンポジウムにて講演。昭和56年3月14日原稿受理 Trend in Pressure Sensors

** 航空宇宙技術研究所 Hirokimi SHINGU

*** 三菱重工業(株)名古屋航空機製作所 Yoshito YAMAGUCHI

第1表 圧力変換器のタイプ一覧

型	変換要素	受 圧 要 素				適 用 精 度 (PSI)	精 度 (%)	特 徴 ・ 適 用	価 格
		直 接	ダイヤフラム	カ プ ル	ベ ル ド ン				
電 気 抵 抗	ポテンショメータ			○	○		±0.35	低価格, 構造簡単, 一般工業用	
	ワイヤまたは箔 S.G.	○	○		○	15~3 ×10 ³	±0.5	応答分解能ともに良, 温度補償容易	2~12万円
	非 接 着 形 S.G.		○				±0.5	精度性能向上容易	
	半 導 体 S.G.		○	○		7×10 ⁴	±0.25	小型, 軽量, 高感度	8~13万円
	拡 散 形 S.G.		○			700	±0.25	小型, 軽量, 高感度, 安定性良	8~13万円
電 磁 誘 導	ビスマスワイヤ		○						
	炭 素 混 合 抵 抗		○						
	可変リラクタンس		○	○	○	10 ⁴	±0.5	耐振動, 耐衝撃, 液体中で使用可	4~21万円
	差 動 変 圧 器		○	○	○	10 ⁴	±0.12	線形性良く適用範囲大	4~21万円
静 電 容 量	可 変 透 磁 率		○			10 ⁴	±0.2	機械的環境に強い	
	可変エアギャップ	○	○		○	10 ⁻³ ~ 5×10 ³	±0.2	高周波応答可能, 航空機 (F-14) のDADC, 自動車の吸気管圧力測定に使用	10~30万円
ピ エ ゾ 電 気	可 変 エ リ ア		○	○	○				
	石 英		○			5×10 ³	±0.5	高温 (1,000°F) で作動可能 周波数特性 50 kHz, 爆発圧力測定	2~16万円
振 動	ピエゾ電気セラミック, 他		○						
	ダイアフラム		○			0.5~30	±0.2	航空機 (F-15, 16) の DADC に使用	1,000万円
	シ リ ン ダ ー				○	15~900		分解能良, 航空機 (F-15) に使用	(計算装置を 含む)
	水 晶		○			15~200		精度安定性ともに良, 航空機 (VSA) に使用	
サ ー	弦		○					出力大, 高精度, 土木関係に使用可	
	エレクトロメカニカル		○	○		15~150	±0.5	静圧測定にのみ有効	
	エレクトロダイナミック		○	○	○				
ポ	エレクトロスタティック		○

第1図 ポテンショメータ方式

化に対応して抵抗体の上をかなりの距離にわたってワイヤを移動させなければならないために、(1)振動衝撃に対してきわめて敏感である、(2)周波数特性が悪い、(3)寿命が短い (最良ユニットでも 10 万サイクル)、(4)非線形誤差が大きい、というような欠点がある。

第2図 改良ポテンショメータ方式

あり、精度も 3% を越えるものが少なくない。航空機の場合、厳しい環境下での高精度高性能が要求されるので、第2図に示すようなポテンショメータの直接駆動方式が用いられている。この変換器は本質的にはメカニカルな装置であり、温度誤差はメカニズムに用いられている材料の温度係数や受圧部の弾性係数の変化

に関連している。パイメタルを用いてメカニカル部の熱膨張補正を行ったり、温度係数が正なる抵抗を用いて受圧部の弾性率の変化を電気的に補正したりすれば、精密な温度補償が可能となる。非直線性、ヒステリシス、再現性を含めた総合精度が0~40℃において±0.35%であるものが一般工業用として実現されている。ごく最近の連続プラスチックポテンシオメータは、巻線式に比して分解能、再現性がともによく、入出力の非線形特性をも容易に補正可能という利点を有しているが、その評価はまだ固まっていない。

3.1.2 ワイヤまたは箔ストレンゲージ ストレンゲージ (S.G.) 変換器は、圧力をホイートストンブリッジの腕の歪みに伴う抵抗変化に変換する。S.G. 材としてはニクロムと白金の2種が用いられている。この方式の利点は、(1)早い応答、(2)無限に近い分解能、(3)内部の機械部品の動きが少ない、(4)誤差の少ない作動、(5)温度効果に対する補償のしやすさ、(6)低い出力インピーダンス、(7)加速度に影響されない、等であり、欠点は、(a)零点付近の出力が得にくい、(b)15 psi 以下のレンジのものでは振動誤差が大、(c)出力レベルが低い、(d)励磁場と出力場とを分離する必要がある、(e)零バランスや較正を含めた信号調整が必要、等である。受圧要素は通常平板または波形のダイヤフラムか直線上のチューブであり、その上に歪みセンサが接着されている。受圧要素に直接取り付けられた S.G. をもつ設計は少なく、たいていの変換器では変形用部材を別に用いて、これを S.G. とともに歪ませる設計になっている。

3.1.3 非接着型ストレンゲージ ポテンシオメータによらずに変位を検出する方法として最初に考えられたのは、第3図に示すように歪みゲージをダイヤフラムに接着しない方式であった。この形式の変換器は、精度、寿命、周波数特性、温度特性等を飛躍的に改善した。F.S. (フルスケール) の0.5%以下の精度のものが珍らしくないが、製作や取扱いが困難なためにデリケートで高価格になることが欠点である。この

第3図 非接着型ストレンゲージ方式

第4図 バルク型半導体 S.G.

第5図 拡散型半導体 S.G.

変換器の F.S. 出力は、励振電圧を 10V とした場合、60~80 mV となるが、補償用および調整用抵抗により 30~40 mV まで低減可能である。これらの抵抗は、零点や F.S. 出力の調整、熱的零点シフトや熱的感度シフトの補償に用いられる。

3.1.4 半導体ストレンゲージ 動作原理としては、シリコンやゲルマニウムなどの半導体のピエゾ抵抗効果を利用するものと、P-N 接合層の状態変化を利用するものとが考えられるが、後者の実用例は少ない。第4図はバルク型とよばれるもので、ワイヤと S.G. 同様に受圧部に貼り付けてブリッジを形成させ、圧力→応力→電気抵抗→電圧の変換を行なっている。ゲージの抵抗値 R は、ゲージの長さ、断面積、比抵抗をそれぞれ l , A , r とすれば、 $R = rl/A$ となる。 r は $10^{-3} \sim 10^3 \Omega \text{ cm}$ 程度であり、結晶に含まれる不純物濃度によって決まる。P(N) 型半導体では、引張応力によって r が増加 (減少) する。ゲージの感度は、単位歪み当りの抵抗変化の割合であり、通常 80~200 ぐらいである。本方式の特徴は、(1)小型軽量、(2)高感度、(3)周波数特性がよい、(4)検出に必要な容積変化が小さく、測定系の乱れがほとんどない、等である。

3.1.5 拡張型半導体ストレンゲージ 本方式は、前述のバルク型と異なり、Si 単結晶ダイヤフラムを用いることにより、受圧部のヒステリシスをなくし、高精度化を実現したことが大きな進歩である。第5図にその概略構造を示す。詳細は次編「最近の半導体圧力センサ」にゆずる。

3.1.6 ビスマスワイヤ、炭素混合抵抗 第6図に原理を示す⁴⁾が、受圧部と後方の固定板との間に圧力

第6図 炭素混合抵抗方式

により抵抗値が変化する物質が入れてあり、その圧力-抵抗の関係より圧力測定が可能となる。ヒスマスワイヤや炭素混合抵抗をグリスに入れて作ったものは、温度に対してかなりの感度を持ち、ヒステリシスが大い。原理的には、出力が大い、製造が簡単、丈夫、信頼性大、低価格等が考えられるが、まだ実用化されていない。

3.2 電磁誘導型 可変インダクタンス型の圧力変換器は広い適用をもっている。これは、熱による零シフトや感度の変動が $-50 \sim +250^{\circ}\text{C}$ において $\pm 0.25\%$ 以下であるという特質を有しているからである。相互インダクタンスのプッシュプル変動により作動する変換器は差動圧型として広範囲に用いられているが、プランジヤーの可動質量が大いため、可変リラクタンス方式に比べ、加速度や振動に対する感度は高い。

3.2.1 可変リラクタンス 磁気を通すことのできる材料でできたダイヤフラムが2個の対称型のEコア-インダクタンス組立の間に支持されており(第7図参照)、各コアに対して磁気回路が構成される。磁気抵抗はギャップとともに変化し、インダクタンスの値が決まる。このためダイヤフラムの動きは二つのコイルのインダクタンス(図の L_1, L_2) の変化となって現れる。 L_1/L_2 の比は、ブリッジ回路で容易に測定され、圧力差に比例した出力電圧が発生する。この方式の特徴として、(1)激しい振動や衝撃に耐えうる、(2)許容オーバーロード値が大い、(3)固有振動数が高く、内部容積が小さく、変位に伴う容積変化が小さいため、気体のみならず液体に対しても応答しうる、(4)浸食性の被測定体に対するゲージ圧測定のみでなく、差圧測定も可能である、(5)高い AC 信号出力レベルをもつ、等がある。静的誤差の幅は $\pm 0.5\%$ のオーダーであり、非直線性の影響がその大部分を占めている。ヒステリシスや非再現性に基づく誤差は 0.2% 以下にすることができる。規定圧力レンジの6倍もの許容過加圧をもつものもある。D. C. システム使用の増加に対処するため、28V (D. C.) 励振で $0 \sim 5\text{V}$ (D. C.) の出力をもつ、絶対圧、ゲージ圧、差圧タイプの変換器が売りに出されている。この種の変換

第7図 可変リラクタンス方式

第8図 LVDT 方式

器は比較的早くから開発されたにもかかわらず、現在でも広く用いられており、製造メーカーとして、Celesco 社、Enterprises 社等がある。

3.2.2 差動変圧器 第8図は、通常 LVDT (linear variable differential transformer) と呼ばれる圧力変換器の原理図である。1次、2次コイルの間の非接触型コアが動くため、各2次コイルと1次コイルの間の相互インダクタンスが変化し、コア変位に比例した差電圧が2次回路に発生する。この線形性は、コア材の磁気特性、2個のコイルの間隔、2次側の抵抗、コイルの巻線の設計等による。このタイプのものは、広汎に用いられており、Ametek 社、Columbia Research Laboratory 社、Gulton 社、Schaevitz 社等で製作されている。

3.3 静電容量型 応答が速く、熱に強く、精度も高いので、航空機(F-14, B-1, JA-38 等)の DADC の主要センサや自動車用エンジンの吸排気センサとして使われている。

この型の代表的なものとして、可変エアギャップ方式の原理を第9図に示す。固定電極、ダイヤフラム間の容量を C_1, C_2 、間隔を d 、励振電圧を E とする。ダイヤフラムが固定電極の中心にあれば、 $C_1 = C_2$ 、 $E_1 = E_2$ となるが、 x だけ変位すると、差電圧 ΔE が

$$\Delta E = E_1 - E_2 = \frac{x}{d} E$$

となり、 ΔE は誘電率や電極の面積に無関係となる。

第9図 可変エアギャップ方式

第10図 ピエゾ電気方式

この信号の取出しには、ブリッジと同期検波方式、容量変化による発振周波数変化等を用いる。利点は、(1)寸法が小さい、(2)高周波に应答可能、(3)温度に強い、(4)直線性がよい、(5)分解能が高い、(6)静圧、動圧ともに測定できる、等であるが、出力インピーダンスが高い、関連電子回路が複雑になる等の欠点もある。米国の Bendix 社、Setra System 社等では、ダイヤフラムに恒弾性材として優れた熔融石英を用いた容量型変換器を開発しており、再現性、精度、温度ドリフトが従来のものより1桁以上改善されている。従来型圧力変換器のメーカーとして、Datametrics 社、Disa Electronics 社、Rosemount 社等10社にあまる会社があり、 10^{-7} torr $\sim$ 5,000 psi にわたる広いレンジのものが製造されている。

3.4 ピエゾ電気型 ピエゾ電気材料として水晶を用いたときの例を、第10図に示すが、検出感度を上げるために、水晶はスチールハウジングのなかに積層されている。圧力がダイヤフラムに加えられると、水晶に応力が作用し、これに比例した量の電荷が発生するので、その電荷量を測定すれば圧力が求まる。出力信号は、電圧ではなく電荷であり、変換器から読み出し器への入力電圧は入力回路のシャント容量(ケーブルの浮遊容量により変化する)ので、Charge Amp を用いて電荷の入力回路への拡散を防ぐ必要がある。しかし、一定圧力が加わっている間に、電荷のリーク、分散を防ぐ手段がないために、本方式は動圧に対して

のみ有効である。熱的に強い(1,000°Fのものもある)ので、エンジンインディケータの分野で容量型と激しく争っている。宇宙の研究に、また風洞、衝撃波管にも用いられている。一般に圧力レンジは0 $\sim$ 5,000 psi であるが、 1.4×10^4 psi に及ぶものもある。周波数応答が高い(50 kHz 以上)ため過渡信号の測定に用いられており、測定精度は、 $\pm 0.5 \sim \pm 1.0\%$ (F.S.) である。この方式のものは、種類が多く、製造メーカー(Celeco社、Kristal Instrument 社等十数社)も多い。なお、水晶以外の材料として、ロッシェル塩、トルマリン、磷酸カリウム等がある。

3.5 振動型 精度がきわめて高く、圧力をディジタル量として計測するため、近年航空機用として盛んに用いられるようになっている。

3.5.1 振動ダイヤフラム 本変換器は、周辺固定の円形ダイヤフラムの固有振動数がダイヤフラムに加えられた圧力により変化することを利用したものであり、出力は周波数としてピックアップされる。第11図に動作原理を示す。コイルに可変電気信号を印加すれば、ダイヤフラムは振動するが、その駆動周波数と固有振動数が等しいときには、変換器応答がピークに達する。この現象を電氣的に連続して取り出すようにすれば、差圧($P_1 - P_2$)は駆動周波数より求められる。ダイヤフラムの材料は、ヒステリシスのないことが最重点項目であり、ベリリウム銅、Ni-Span C 等が適している。本方式の特性は、レンジ 1.0 $\sim$ 44.0 in Hg、周波数 1 $\sim$ 3.3 kHz、分解能 10^{-4} inHg、ヒステリシス 10^{-3} inHg (Max)、再現性 10^{-3} inHg となっており、F-15、16 の DADC 等に用いられている。

3.5.2 振動円筒 製品例として、Solartron 社のものを第12図に示す。ピックアップコイル(速度検出コイル)と駆動コイルとによって、内側の振動円筒がその共振周波数で振動するように閉ループ(電気回路)が組まれている。円筒の固有振動数は、作用する圧力 P_1 によって変わるので、駆動周波数を測定すれば、 P_1 が求まる。本変換器は振幅 5V、デューティサイクル 50% の矩形波出力をもつ。再現性やヒステリシス性能がきわめて高く、分解能は原則として無限大で

第11図 振動ダイヤフラム方式

第12図 振動円筒の例

第13図 振動水晶方式

ある。航空機(F-15)のAIC, ミサイルの誘導系統, 地上整備器材, 配管内流量計等に広く用いられている。

3.5.3 振動水晶 これは、水晶の固有振動数が応力により変わることを利用している。第13図は、ベローズと受感素子とを組み合わせた絶対圧変換器の例である。加速度や地球重力の影響を受けないようにするために、トルクバランスやシーソー式の配列が選ばれる。圧力 P_1 がピボットまわりのトルクに変換され、このトルクが水晶に印加され、その固有振動数が変化するので、共振周波数で駆動することにより圧力測定が行なわれる。受感素子の縦方向弾性率は非常に高いので、最大変位は数ミクロン程度である。このため、再現性がきわめてよく、ヒステリシスが小さい。製品の仕様例をあげれば、再現性 0.005% (F.S.), ヒステリシス 0.005% (F.S.), ナル安定性 0.008% (F.S.), 周波数範囲 40 Hz~36 kHz のものが製造市販されている。用途としては、航空機 (P-2V/VSA) のDADCがあるほかエンジン計測に広く使われている。

3.5.4 振動弦 原理は第14図に示すとおりである。きわめて細い線 (通常タングステン) が磁界中に張られており、その機械的振動数はワイヤの長さや張力で決まる。ワイヤが磁界中で振動すると、電気信号

第14図 振動弦方式

が発生し、増幅される。この増幅された信号をワイヤへ同相フィードバックすることにより、その振動は持続する。受圧部へ圧力が印加されると、ワイヤの張力が変わり、ワイヤの機械的振動数も変わるので、これをピックアップすることにより圧力が計測できる。本方式には、(1)出力が大、(2)精度が高い、という利点がある反面、(a)温度変化、振動、衝撃に対してきわめて敏感である、(b)非線形性やヒステリシスによる誤差が大きい、(c)安定性が悪い、という欠点もある。

3.6 サーボ型 精度がきわめて高く、圧力変換器校正用の基準器として用いられている。エレクトロスタティック方式のものは、数 mmH₂O 程度の気圧を正確に測定できる。このレンジの変換器はユニークであり、有力な圧力標準として使用できる。これらは、低いガス流量、低い角加速度、航空機の上昇率の測定にも用いられている。

第15図はエレクトロメカニカルサーボの原理図である。受圧ベローズ内の圧力が P_1 となると、差圧 ($=P_1-P_2$) に応じて平衡ビームが変位し、この変位が電圧として検出 (差動変圧器を使う) される。この電圧は、増幅、同期整流され、復元コイルを流れる。復元コイルによる電磁力と受圧ベローズによる力とが平衡し、サーボ系が構成されるので、電流を測定すれば差圧が求まる。ループゲインが十分大きければ、平衡ビームの変位量はわずかで済み、かつ、バネ定数 (受圧ベローズ、零設定スプリング)、変位検出器、増幅器のゲイン変動の影響を受けることも少なく、高精度の変換が可能である。本方式は、静圧または準静圧に対してのみ有効である。

3.7 その他 第1表以外に今後変換器として使用可能性のあるものを二つだけとりあげ、その動作原理を略述する。

第16図は、インダクタンスまたは容量の変化をトランジスタ発振器の発振周波数 f に変換する方式である。圧力が零のときの f を f_0 とすれば、被測定圧力 P_1 は周波数偏差 $\Delta f (=f-f_0)$ の関数となる。本

第15図 エレクトロメカニカルサーボ

第16図 発振方式

第17図 光電方式

方式では、発振器の長期安定性が最重要課題であり、使用条件は通常シリコントランジスタの動作範囲に限定される。長所として、(1)小型軽量、(2)動圧、静圧ともに測定可能、(3)遠隔計測に便利、(4)高出力レベル等があげられ、短所として、(a)使用温度範囲が限られている、(b)高精度化がむずかしい、(c)感度および零点が熱によって変化しやすい、(d)価格が高いこと等があげられる。第17図は、光電方式の原理図である。ダイヤフラムの変位によって光源から光電変換要素への光路の大きさが変わるので、発生する光電流も変わる。したがって、光電流の大きさより圧力 P_1 を知ることができる。長所として、(1)構造が簡単、(2)動圧、静圧ともに測定可能等があげら

れ、短所としては、(a)受圧要素(たとえば、ダイヤフラム)の変位を大きくする必要がある、(b)長期安定性がよくない、(c)使用温度範囲が狭いこと等があげられる。

4. 開発の流れ

圧力変換器の開発における現状と将来について、その流れをまとめると次のようになる。

(1) 変換器の原理は数十年来ほとんど変化していないし、単体素子としての開発はほぼ終了の状態にあると思われるので、今後は集積化、小型化が開発の主流となるだろう。

(2) 圧力センサも、他のセンサ(光センサ、磁気センサ等)と同様に、IC技術に支えられて小型高性能化が進んでおり⁶⁾、応用分野も一般計測から工業計測、航空宇宙、原子力等のシステム計測までを網羅しつつある。

(3) 信頼性向上はしばしば低価格性に逆行する²⁾ので、各種要求を総合的に満たすような技術開発を行ない、ユーザー側からみた要求、すなわち、長期間の性能維持と適正価格での多量供給を実現することが今後ますます必要になる。

(4) 半導体圧力センサは、温度変動の影響度の大きいことが欠点であったが、IC技術を上手に使いこなすこととセンサ自体の長所短所を使いわけた上手な動作方式とを組み合わせること⁶⁾により、高性能化、多能化が達成されつつある。

(5) マイコンとトランスデューサとを結びつけると種々の有益有用な制御が可能となるが、現在マイコンの低価格かつ高性能化が進みつつあるので、マイコンと圧力センサとを結びつけた制御技術の観点から考えると、後者の低価格化要求は今後ますます厳しくなるだろう。いま、そのことを自動車の省エネ化を例にとってみる。燃料費高騰に伴い、自動車は電子エンジン制御を余儀なくされる時代に入りつつあり、1980年

6月の時点で米国車の15%はそうになっている¹⁾。おそらく、後10年もたてば、ほとんどの車はマイコンによって電子エンジン制御されるようになる。

その際、MAP (Manifold Absolute Pressure) 計測は必須の項目であり、絶対圧センサの高信頼性と低価格性を実現しなければ、省エネ化(制御)の費用が燃料価格の上昇分を上まわることにもなりかねない。また、圧力センサを需要の面からみると、「これまでに世界のあらゆるところで、あらゆる目的に生産されてきた絶対圧センサをデトロイトの自動車メーカーはわずか1年余で使い尽してしまうだろう」といっても過言ではないほどである。省エネ化が強く叫ばれている情勢からして、自動車用圧力センサの需要は、1980年代以降大きく伸び続けるだろう。しかし、それは一般計測用に比して価格の面で約2桁小さく、性能の面で約1桁厳しくしなければならない²⁾ので、両者の隔りは3桁になり、生産条件はいちだんと厳しくなる。

(6) 圧力変換における受圧要素、変換要素はともに、ヒステリシス、クリープ、温度変動の影響、経年変化、入出力(圧力-変位)間の非直線性等の少ないことが要求されるが、これらは要求は、主として、材料面での進歩(Ni-Span C, 熔融石英, 単結晶シリコン, セラミック材), および材料加工法の進歩によってなし遂げられてきたし、今後もそうなるだろう。

(7) 製造売却後はアフターサービスは、信頼性のある再校正装置を含め、十分有効でなければならないので、製品開発の過程において、高性能低価格のみならず、保守およびサービスのしやすさ等をも考慮することの必要度は今後高まることはあっても、減少する

ことはない。

5. あとがき

圧力変換器の選択は、明らかに「それをどのように使うか」に依存するので、あらゆる目的に対して最良のものはありえない。開発を進めるときには、使用目的に応じて第1表の各方式のなかで最適なものを採用すべきである。しかし、小型軽量、高精度、高信頼性、低価格、対環境性および対温度特性の良さ等は、あらゆる方式に対して共通した要求であり、圧力センサはそれらの要求をどのように満たすかによって進歩してきたし、将来もそうなるものと予想される。

参考文献

- 1) ウォルバ, W.G., ワイズ, K.D.: マイクロコンピュータ時代のセンサ開発, Nikkei Electronics (1980. 6), pp. 171-196.
- 2) Russ, R.F. and NEUBERT, H.K.P.: What You Should Know before You Select Pressure Transducers, Control and Instrumentation (Sept. 1974), pp. 50-53.
- 3) チアス, A.R., ハール, W.F.J.: トランスジューサも IC 技術で低コスト化の時代, Nikkei Electronics (1973. 5), pp. 114-118.
- 4) Statham Instruments, Inc.: Introduction to Transducer for Instrumentation.
- 5) MEYER, R.C.: A New Digital Pressure Transducer, ISA Transactions, Vol. 12, No. 2 (Oct. 1972).
- 6) 白水俊次, 佐藤正三, 君島 進, 野田龍三: Si 圧力センサーとその応用, 電気通信学会技報 ED 79-20, (1974), pp. 93-99.
- 7) 五十嵐伊勢美: 最適システムの展開, 日本の科学と技術, Vol. 21, No. 205 (1980. 9), pp. 83-90.

一特 集一

最近の半導体圧力センサ*

西 原 元 久**

1. はじめに

近年、航空機のみならず自動車や産業のあらゆる分野において、省エネルギー、低公害、信頼性および安全性の向上が重要課題となり、各観点からその技術開発が進められている。これを支える技術としてエレクトロニクスは重要な柱である。半導体技術の進歩によ

りもたらされた VLSI (大規模集積回路), 高性能なマイクロコンピュータは高度な機能を低価格で実現するもので、その応用はあらゆる分野に浸透してきている。たとえばマイクロコンピュータによる自動車エンジンの制御は、燃費向上と排ガス低減に大きな効果を示し、80年代の自動車には不可欠のものとなりつつある。

このような機器のエレクトロニクス化はあらゆる分野に広がりがつつあるが、このためには情報を検出する各種のセンサが不可欠で、そのため高精度、高信頼性でかつ低価格な新しいセンサの開発が広く進められて

* 昭和55年11月5日, 第18回飛行機シンポジウムにて講演。昭和56年2月13日原稿受理 Recent Semiconductor Pressure Sensors

** (株)日立製作所日立研究所 Motohisa NISHIHARA