

最近のインテリジェント センサ シリーズ

Intelligent Sensor Series

プロセス用センサのインテリジェント化は、マイクロプロセッサの導入によって高性能化・高機能化を実現した。さらに、通信機能を内蔵することによって保守性を飛躍的に向上させ、計装制御システムとの間でセンサの診断情報などを含めてその結合が密になり、センサの情報がシステムの大きく広がる可能性を持つに至っている。代表的なプロセス用インテリジェントセンサとしては、差圧・圧力伝送器と電磁流量計がある。差圧・圧力伝送器は、再現性・安定性に優れた半導体複合センサとマイクロコンピュータの組み合わせによって高精度・高機能を実現した。電磁流量計も励磁制御や流量スパンの直接設定・表示に加えて、その信号処理能力を生かした無電極式電磁流量計を製品化した。

佐瀬 昭* Akira Sase
福永正雄* Masao Fukunaga
嶋田 智** Satoshi Shimada
池川昌弘*** Masahiro Ikegawa

1 はじめに

プロセス用センサのインテリジェント化は、マイクロプロセッサの導入に始まる。当初はその信号処理・制御能力を利用した高性能化、高機能化が追求され、電磁流量計や超音波流量計として市場に登場した。これらのセンサの性能や信頼性がフィールドで実績を積み重ねるにつれて徐々に広がりを見せたが、まだすべてのプロセスセンサに波及するには至らなかった。しかし、通信機能を内蔵したセンサが登場するに及んで新たな展開をみせ、現在では新たに開発されるほとんどすべての電子式プロセスセンサがインテリジェントセンサに変わりつつある。またセンサへの通信機能の内蔵によって、センサと上位システムの関係の重要性が増している。本稿では、プロセス用インテリジェントセンサの動向について述べた後、代表的な製品である差圧・圧力伝送器および電磁流量計について述べる。

2 発展過程

電磁流量計や超音波流量計にマイクロプロセッサが初めて導入されたのは約10年前であり、その目的は、高性能化・高機能化の市場要求にこたえようとした場合に、デジタル信号処理・制御部のハードウェア増大を抑止するためであった。具体的には、駆動制御、流量積算、自動レンジ切換、流れ方向判定などの処理が中心であった。これら多様な要求をソフトウェアで処理することによって、ハードウェアの小形化、低消費電力化が可能となった。しかし、センサとしてみた場合には信号の変換・処理の手段をハードウェアからソフトウ

ェアに置き換えただけで、センサの出力信号は依然としてアナログ電流信号による一方向の伝送であり、システム的にはそれ以上の広がりはなかった。

しかし、これらの製品の登場によって新しい評価が生まれた。流量計の場合に、従来は目盛のFS(フルスケール)流量に相当する流速を数値計算し、それをバリオームなどのハードウェアで設定・記憶していた。また、検出器固有の感度係数も同様の手段で設定・記憶していた。このため、あらかじめ設定された目盛および検出器の組み合わせを変更する場合に困難が伴った。しかし、マイクロプロセッサの内蔵により、これらの情報は数値データとして扱うことができ、またその数値データに基づく計算は内部で容易にできるので、スパンとして目盛のFS流量を直接設定し、また、流量値を直接読み取ることが可能となった。さらに、検出器の固有データである感度係数も数値データとして検出器とは独立に設定可能となり、精度を犠牲にすることなく、変換器の目盛変更や検出器との組み合わせの変更が可能となった結果、センサとしての操作性が著しく向上した。これらはセンサ性能を示す数値として直接表現されないが、センサのインテリジェント化の一つの方向を示すものとして重要である。

一方、差圧伝送器のように差圧に比例したアナログ信号だけを出力するセンサでは、デジタル信号処理・制御を必要とする高機能化の要求はなかったが、検出部自体の性能向上につれてセンサ全体の精度向上が著しく、0.1%級の精度が要求されるようになった。差圧伝送器の性能推移を図1に示す。

* 日立製作所 那珂工場 ** 日立製作所 日立研究所 *** 日立製作所 機械研究所 工学博士

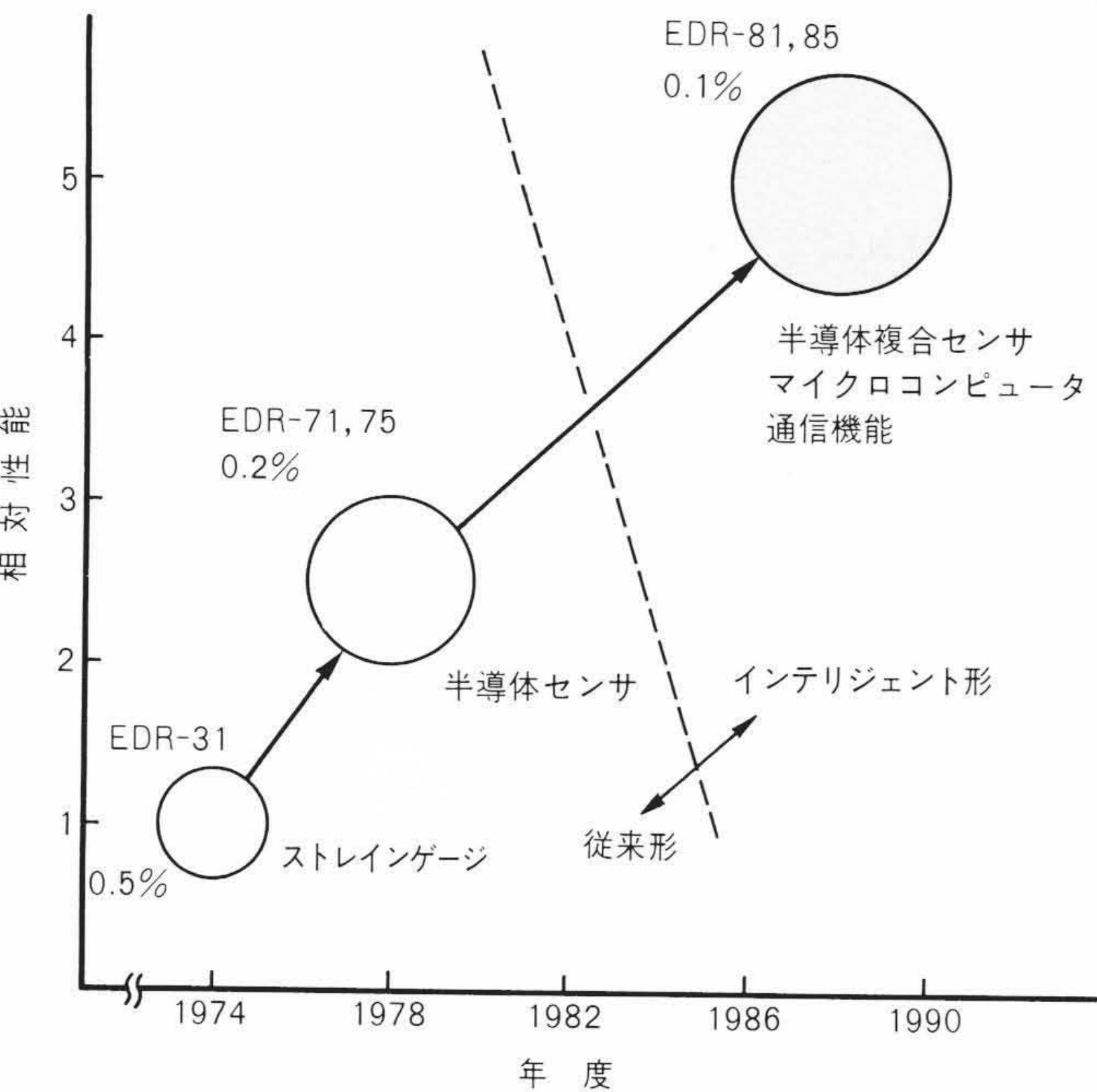


図1 差圧伝送器における性能推移 半導体センサとマイクロエレクトロニクス技術の向上に支えられて、着実な性能(精度)の向上がみられる。

表1 インテリジェントセンサを構成する技術(差圧伝送器の例) 独自に開発した技術もあるが、他の分野で開発・実用化された技術も多く、それらの総合的な組み合わせによって実現されている。

大分類	小分類	構成技術
検出部	センサ素子	●半導体複合センサ
変換部	回路素子	●ワンチップマイクロコンピュータ ●大容量メモリ ●不揮発性RAM ●ゲートアレー・ハイブリッドIC ●低消費電力回路素子
	表示素子	●液晶表示素子(LCD)
	実装技術	●表面実装技術 ●多層プリント基板
	応用技術	●通信技術 ●ソフトウェア技術

注：略語説明 LCD(Liquid Crystal Diode)

0.1%級ではセンサの温度や静圧に対する補正演算も高精度に行う必要があり、アナログ演算には限界があった。一方、分散形制御システム(DCS：Distributed Control System)の普及に伴って通信技術が確立し、DCSと制御機器間の信号伝送に適用されるようになった。それをDCSとセンサの間にも広げようとする製品が現れ、内蔵のマイクロコンピュータによって通信を制御するとともに、上に述べた各種の補正を高精度に行って、0.1%級の精度を実現している。それを実現する構成技術の一覧を表1に示す。マイクロコンピュータの持つインテリジェンスと通信の結合によって、インテリジェント

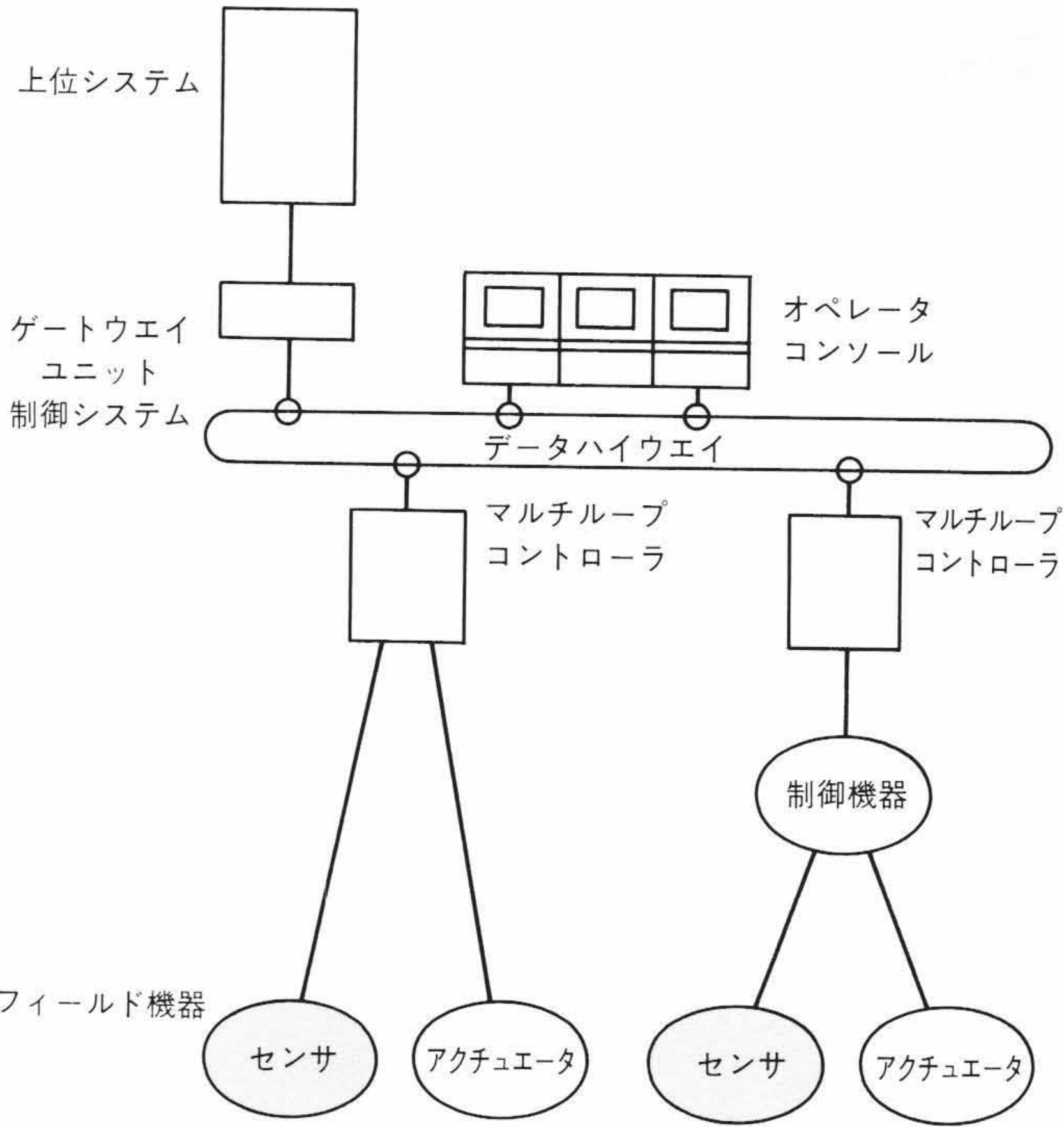


図2 計装制御システムの基本構成 デジタル制御システムの高度化、大規模化に伴って、センサと制御部の結合の重要性が増している。

センサは新たな発展段階を迎えた。

3 計装制御システムにおける位置づけ

計装制御システムの基本構成を図2に示す。従来、センサと制御システムの間はDC 4～20 mAの電流信号による一方向のアナログ信号伝送であり、センサとしてそれ以上の広がりにはなかった。しかし、インテリジェントセンサに通信機能が付与されたことにより、センサから制御システムへの信号伝送だけでなく、制御システムからセンサへのレンジ設定などの指令も行う双方向通信が可能となった。また、センサからの情報も一つだけでなく複数の情報を時分割多重で送ることも可能となり、センサの診断情報なども含めてその間の結合が非常に密になり、センサの情報がシステムの大きな広がりを持つ可能性を持っている。現在のインテリジェントセンサは、既存システムとの互換性を考慮してアナログ電流信号にデジタル信号を重畳させる方式であり、1：1の接続形態をとっている。次の段階としてこれらのセンサ類と上位システムをバスで接続し、全デジタルのシリアル通信によって、より高度な信号伝送を行おうとする動きがあり、フィールドバスとして注目を集めている²⁾。

最近のインテリジェントセンサのうち、差圧・圧力伝送器と電磁流量計、およびコミュニケータの外観を図3に示す。

4 インテリジェント差圧・圧力伝送器

インテリジェント伝送器の基本的な構成を図4に示す³⁾。

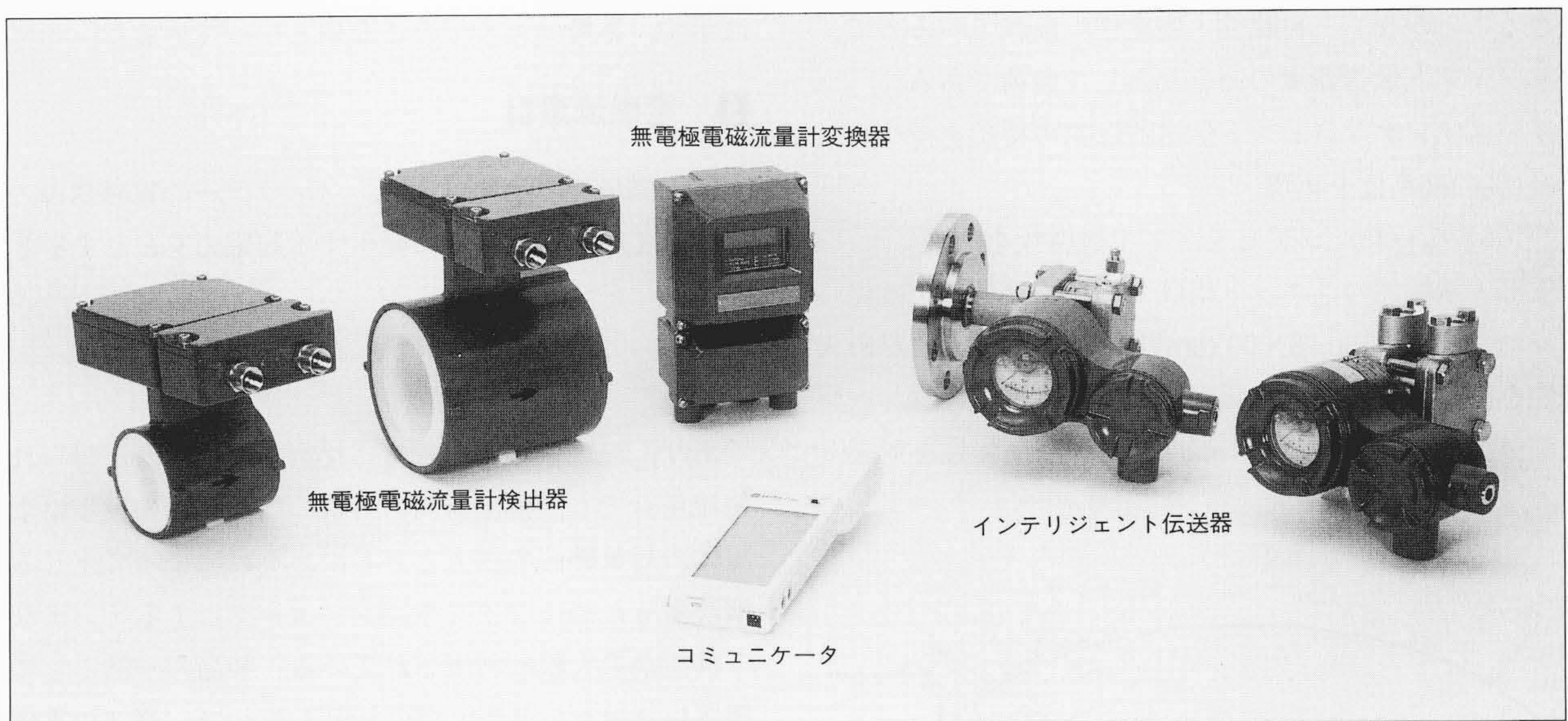
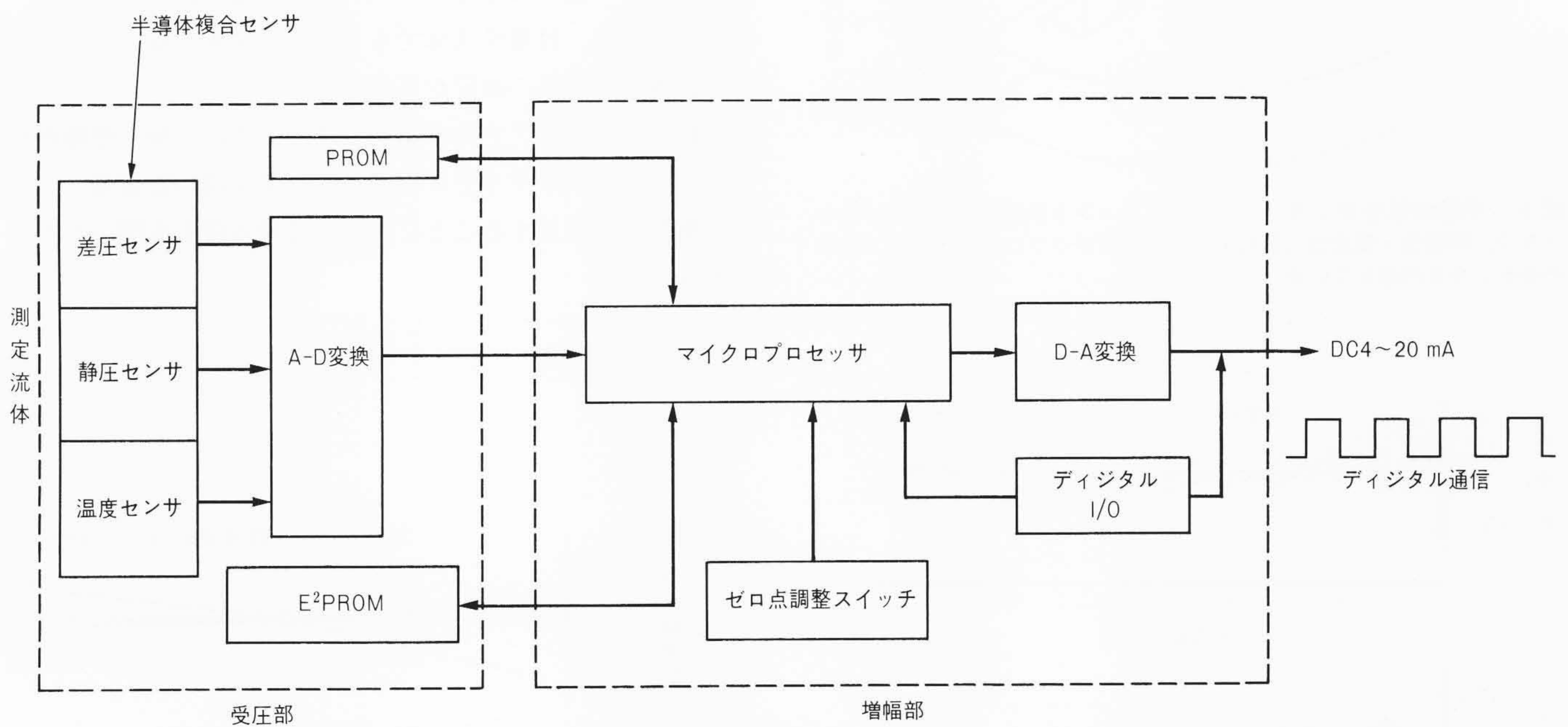


図3 インテリジェントセンサ 最近のインテリジェントセンサとしては、差圧・圧力伝送器と無電極電磁流量計がある。中央は通信を行うコミュニケーターである。



注：略語説明 PROM (Programmable ROM), E²PROM (Electrical Erasable PROM)

図4 インテリジェント伝送器の構成(EDR-85形) 半導体複合センサとマイクロコンピュータを組み合わせたインテリジェント伝送器の基本構成を示す。特性はPROMに格納し互換性を持たせた。

測定対象の差圧は受圧部内に収められた半導体複合センサに伝えられ、センサの抵抗値が変化する。この変化を電気信号として検出し、A-D変換してマイクロプロセッサに取り込む。半導体複合センサには、差圧センサ、静圧センサおよび温度センサが形成されており、静圧と温度の信号も差圧の信号と同時に取り込まれる。差圧センサの温度特性と静圧特性は、内蔵のPROM(Programmable ROM)に格納してあり、これらの情報を用いて補正演算することによって、高精度で

温度・静圧特性の優れた出力を得ることができる。

半導体複合センサはシリコン単結晶を用い、ゲージ抵抗を拡散形成したもので、ゲージ抵抗の位置に生じるひずみによってその抵抗値が大きく変化することを利用して電気信号に変換する。半導体複合センサは、図5に示すように中央剛体と環状薄肉部を持つ円板で、ワンチップの中に差圧センサ、静圧センサ、温度センサが配置されており、それぞれの出力を得ることができる。半導体センサはヒステリシスやクリー

プを生じることがなく、再現性・安定性に優れているので、インテリジェント伝送器用のセンサとして最適である。

85シリーズインテリジェント伝送器は次の特長を持つ。

- (1) $\pm 0.1\%$ の高精度を実現
- (2) 1:100の広いレンジアビリティで機種数を削減
- (3) 受圧部・増幅部のユニット構成で相互の互換性を確保

基準レンジ78.4 kPa {8,000 mmH₂O} の差圧伝送器の入出力特性を図6(a)に示す。正負差圧に対して $\frac{1}{10}$ レンジ、 $\frac{1}{40}$ レンジで高精度を実現している。温度特性・静圧特性を同図(b)

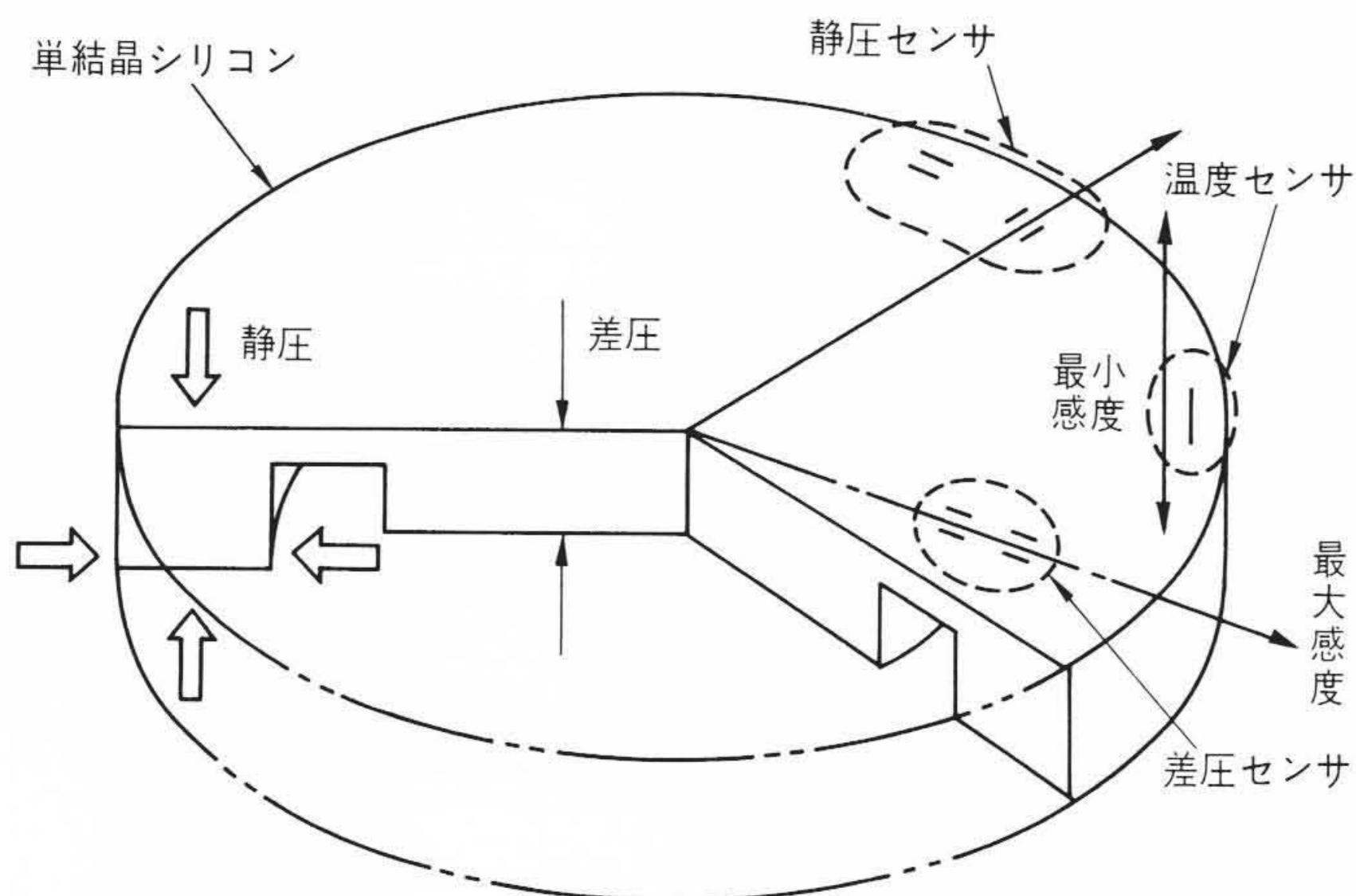


図5 半導体複合センサ インテリジェント伝送器に用いているセンサで、再現性・安定性に優れている。ワンチップに差圧・静圧・温度の各センサを内蔵している。

に示す。影響値も十分小さな値となっている。

5 電磁流量計

電磁流量計の動作原理は、ファラデーの電磁誘導の法則に基づいている。流体中に発生する起電力を E とすると、

$$E = k \cdot B \cdot d \cdot V$$

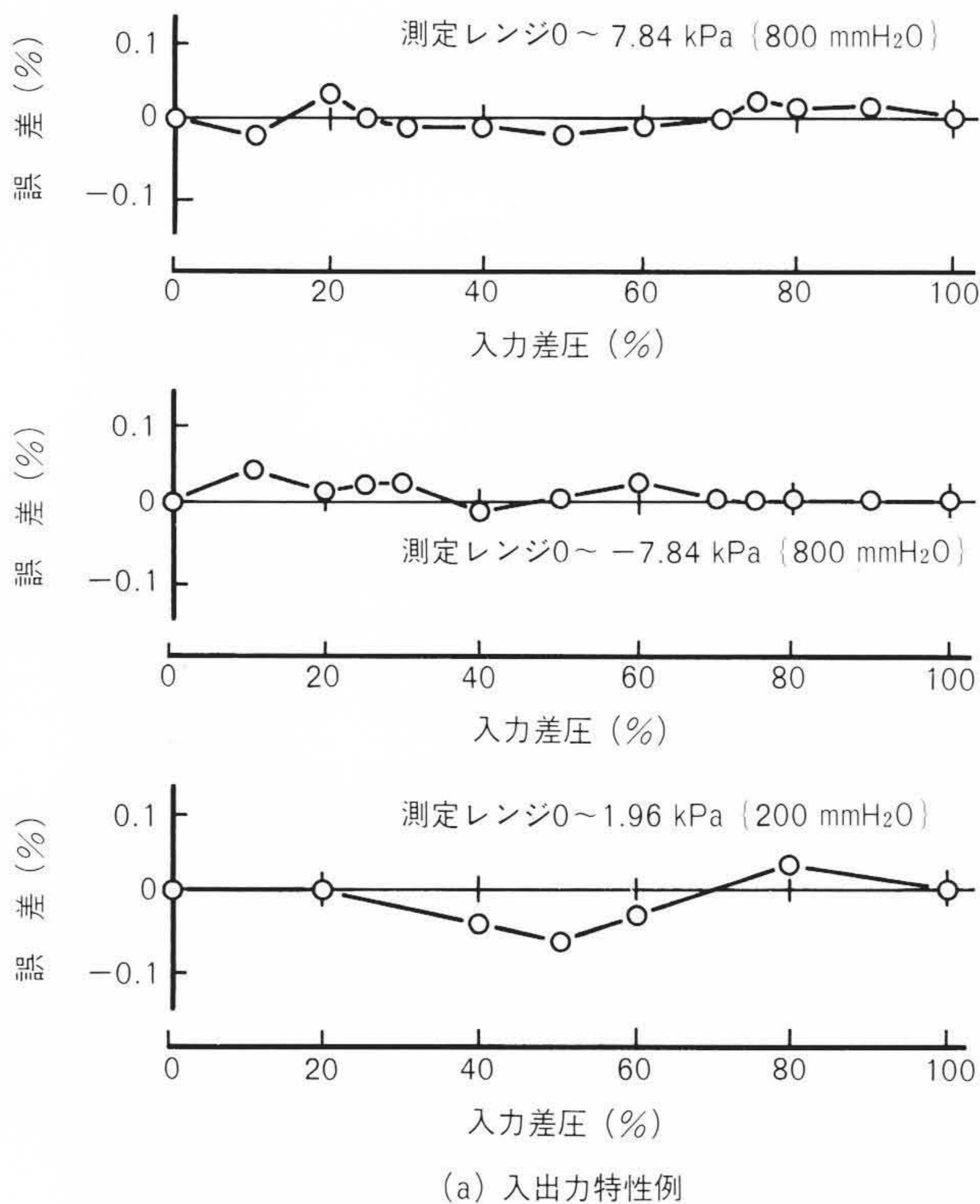
となる。ここで、 k : 定数、 B : 磁束密度

d : 内径、 V : 平均流速

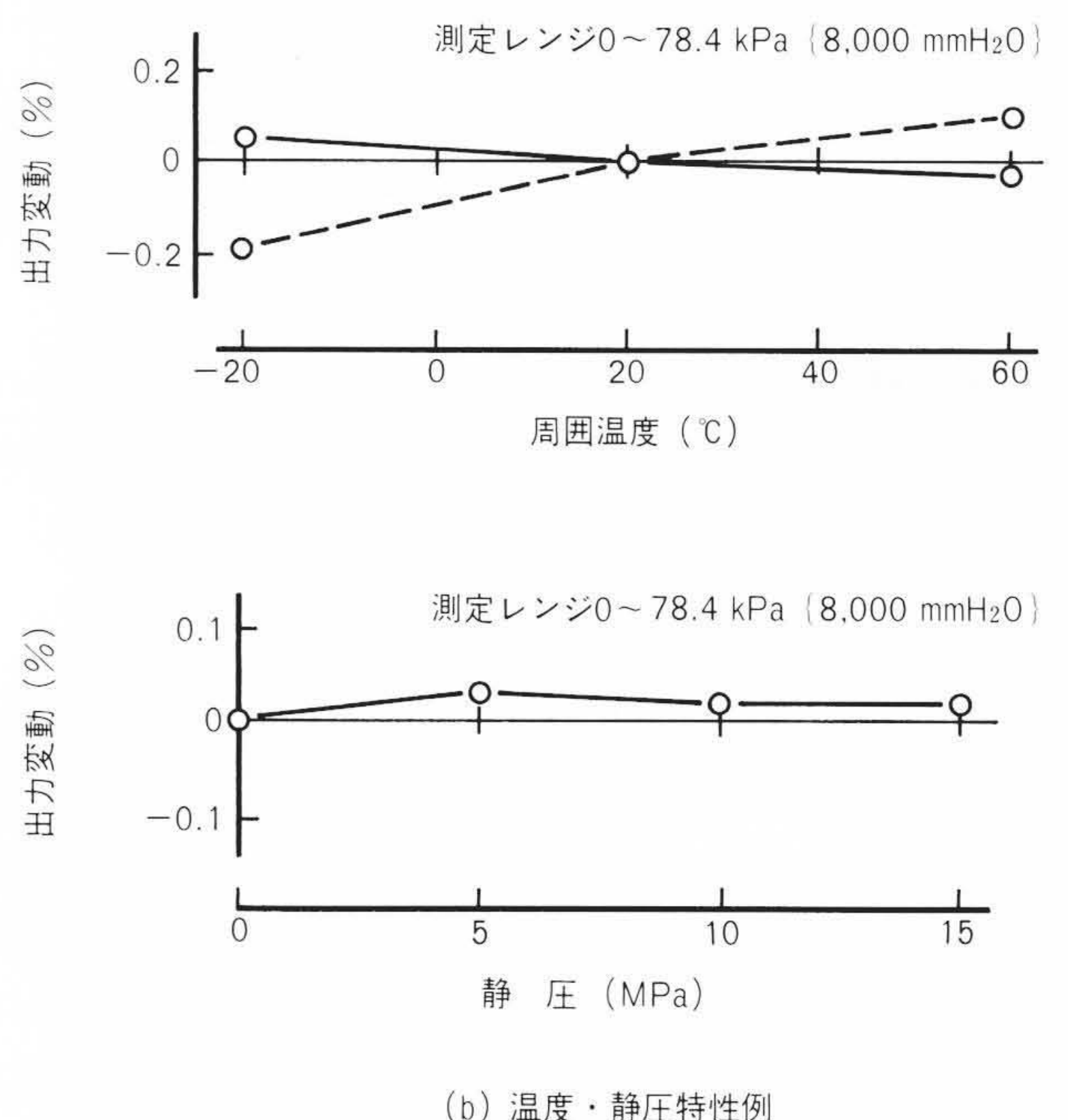
であり、流速すなわち流量に比例した起電力が得られる。電磁流量計でも、検出器側の材料・加工技術の進歩による測定流体の対象範囲の拡大とともに、それによって生じる問題を解決するためにマイクロコンピュータによるインテリジェント機能が最大限に利用されている。製品の一例として、無電極電磁流量計の原理・構成を図7に示す⁴⁾。従来の電磁流量計と異なる点は、接液するライニング内面に電極がなく、ライニングを介して面電極が形成されていることである。このため、従来製品に比べて次のような特長がある。

- (1) スラリー流体によるノイズの発生がない。
- (2) 粘性流体、付着性流体でもドリフトを生じない。
- (3) 低導電率流体の測定が可能

これらは従来のアナログ信号処理だけでは十分な性能が得られなかったが、マイクロコンピュータを用いた信号・ノイズ分離処理を採用することにより、性能の向上を図ったものである。



(a) 入出力特性例



(b) 温度・静圧特性例

図6 インテリジェント伝送器の特性例(EDR-85形) 再現性に優れたセンサとマイクロコンピュータによって精度 $\pm 0.1\%$ を実現し、周囲温度や静圧に対する影響も小さい。

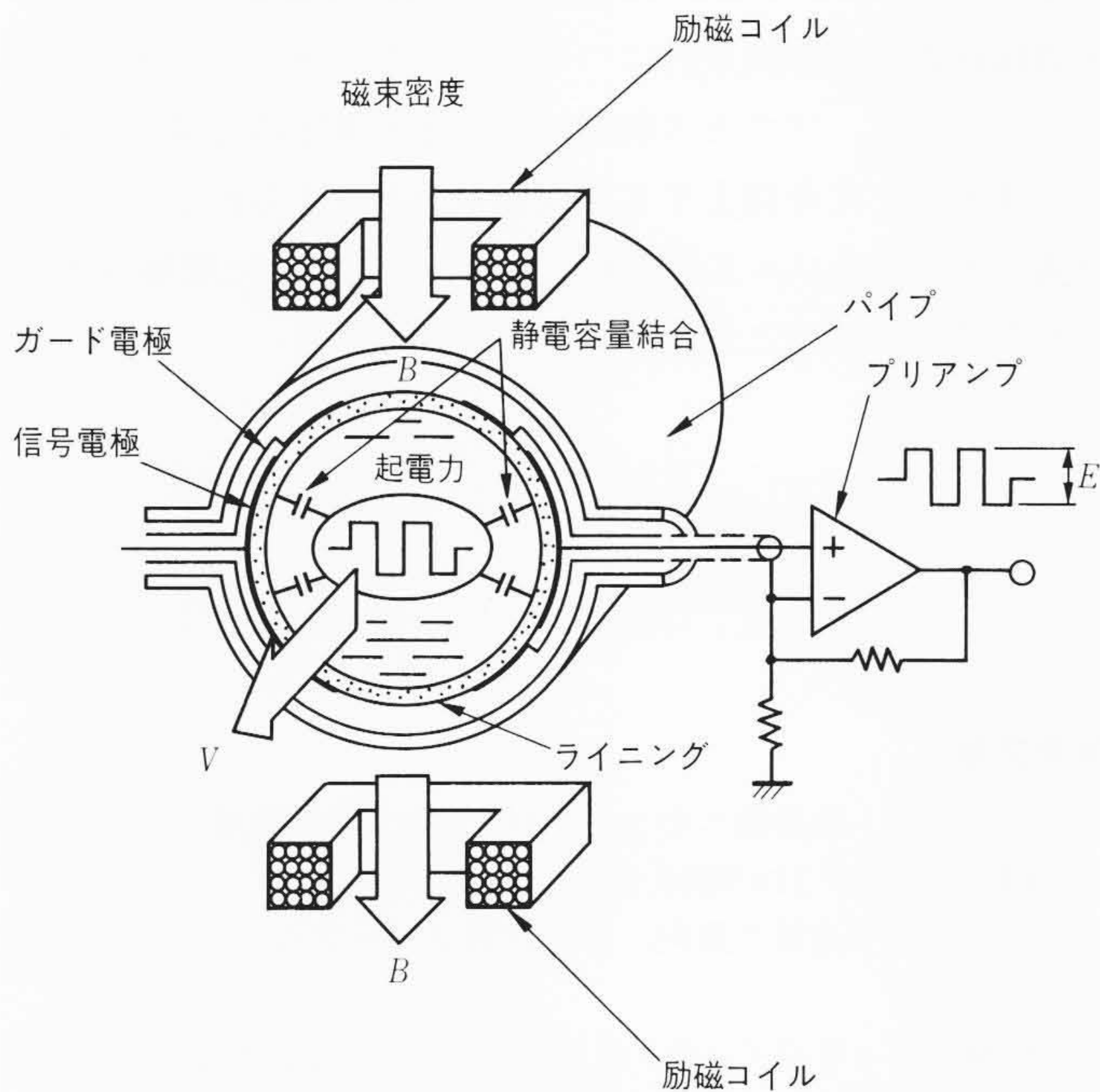
従来製品で測定できない対象を測定可能とし、メンテナンス周期も大幅に伸びる。図8(a)に直線性、同図(b)に温度影響測定例を、同図(c)に流体導電率影響の例を示す。いずれも従

来の電磁流量計に比べて性能・安定性が向上し、適用範囲が拡大している。

また最近のCAE(Computer Aided Engineering)技術の発達により、従来、実験や手計算によって行っていた電磁流量計の設計・評価にスーパーコンピュータや汎(はん)用大形コンピュータを用い、その特性を予測して最適化を図る試みが行われている。図9はこのような目的で開発した三次元電磁流量計解析システムの解析例であり⁵⁾、すでに製品の開発・設計に適用を開始している。

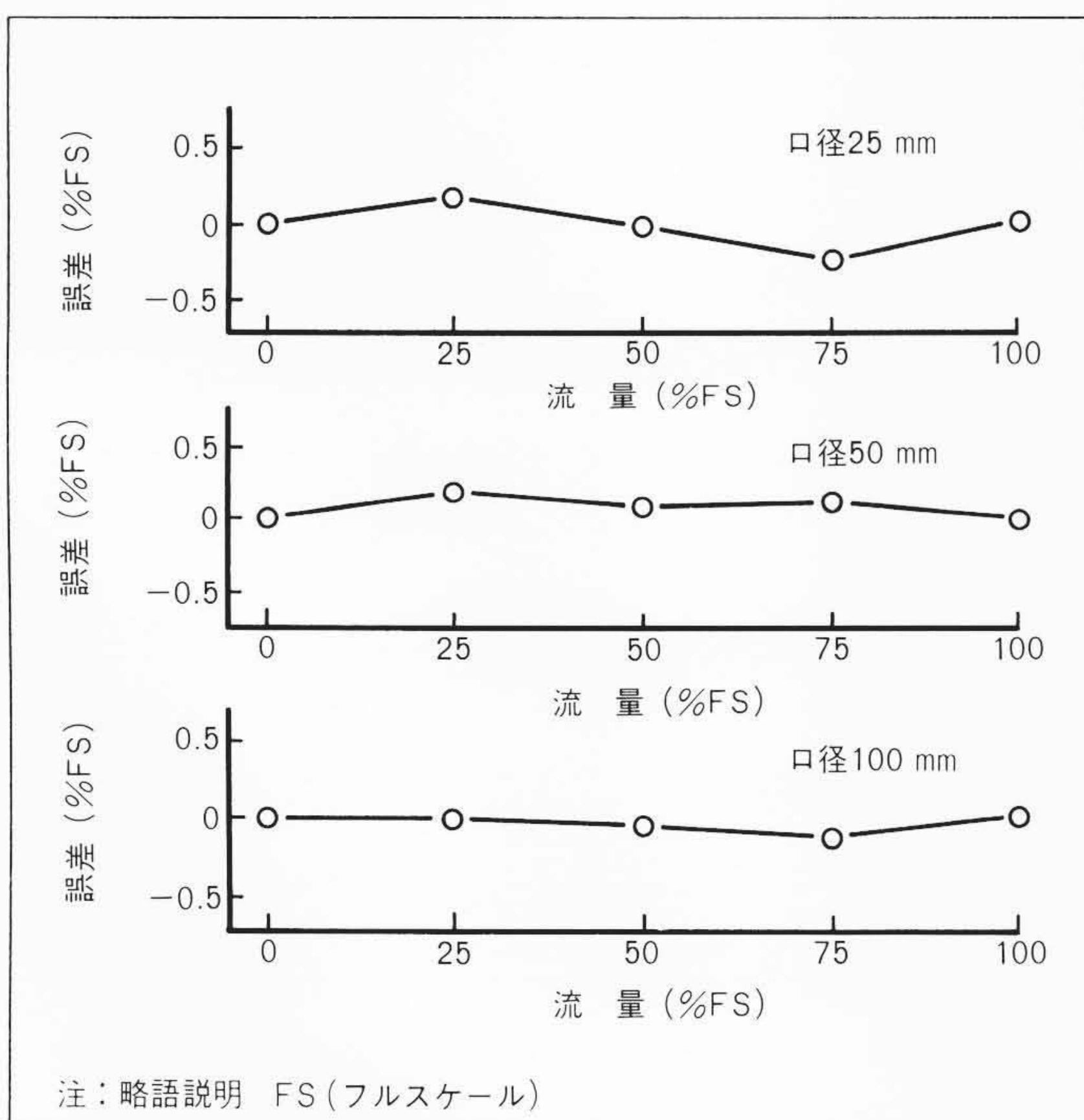
6 コミュニケーションシステム

インテリジェント センサ シリーズには、信号伝送路を用いたデジタル通信機能が付加され、遠隔からの定数設定やモニタ・自己診断など、据付け時・保守時に簡便に実行でき



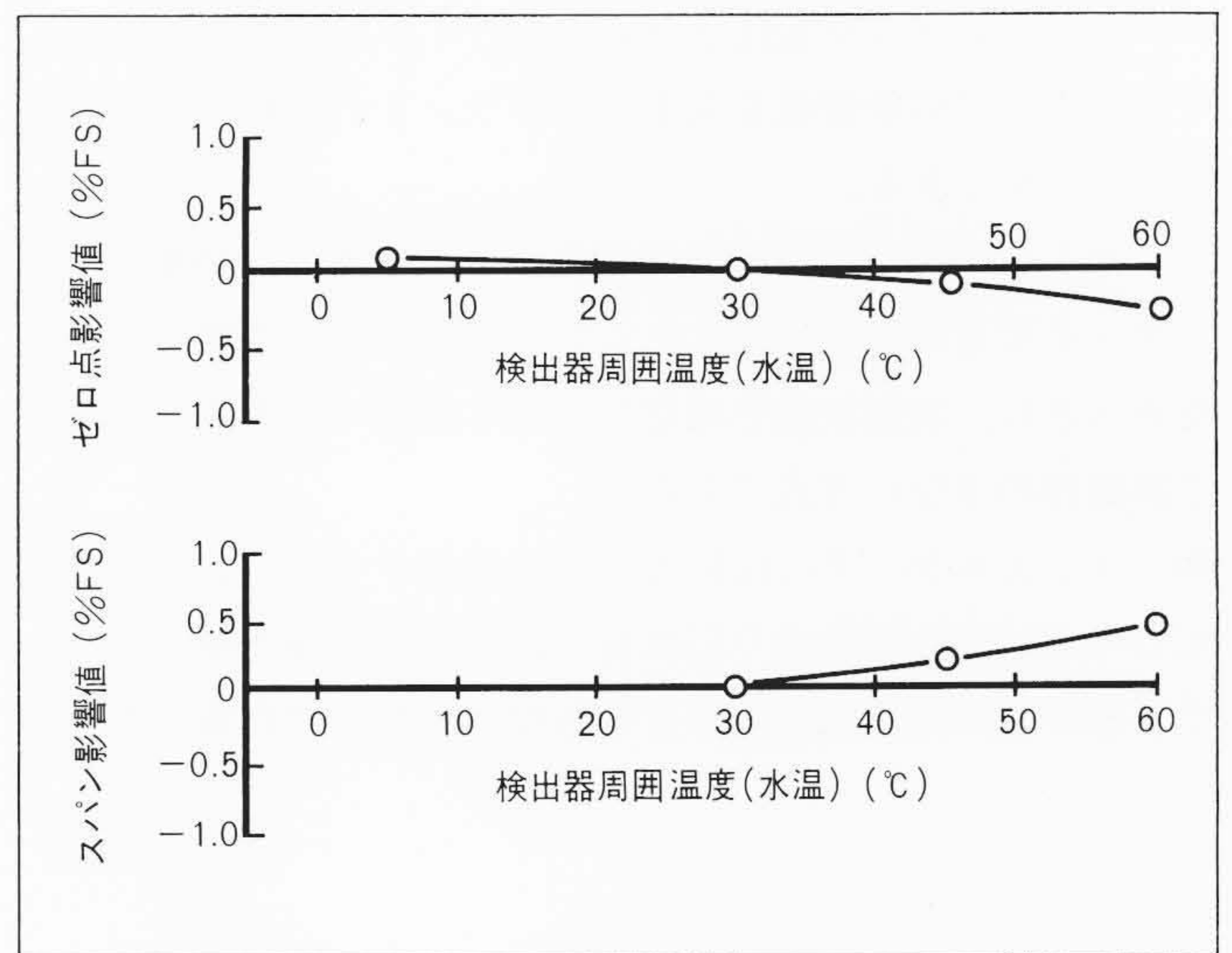
注：略語説明 B(磁束密度)、E(流体中に発生する起電力)

図7 電磁流量計の動作原理(FMR-5I形) 一定の磁界中を流体が移動すると起電力が発生する。無電極電磁流量計では、ライニング内の面電極でこの起電力を検出する。

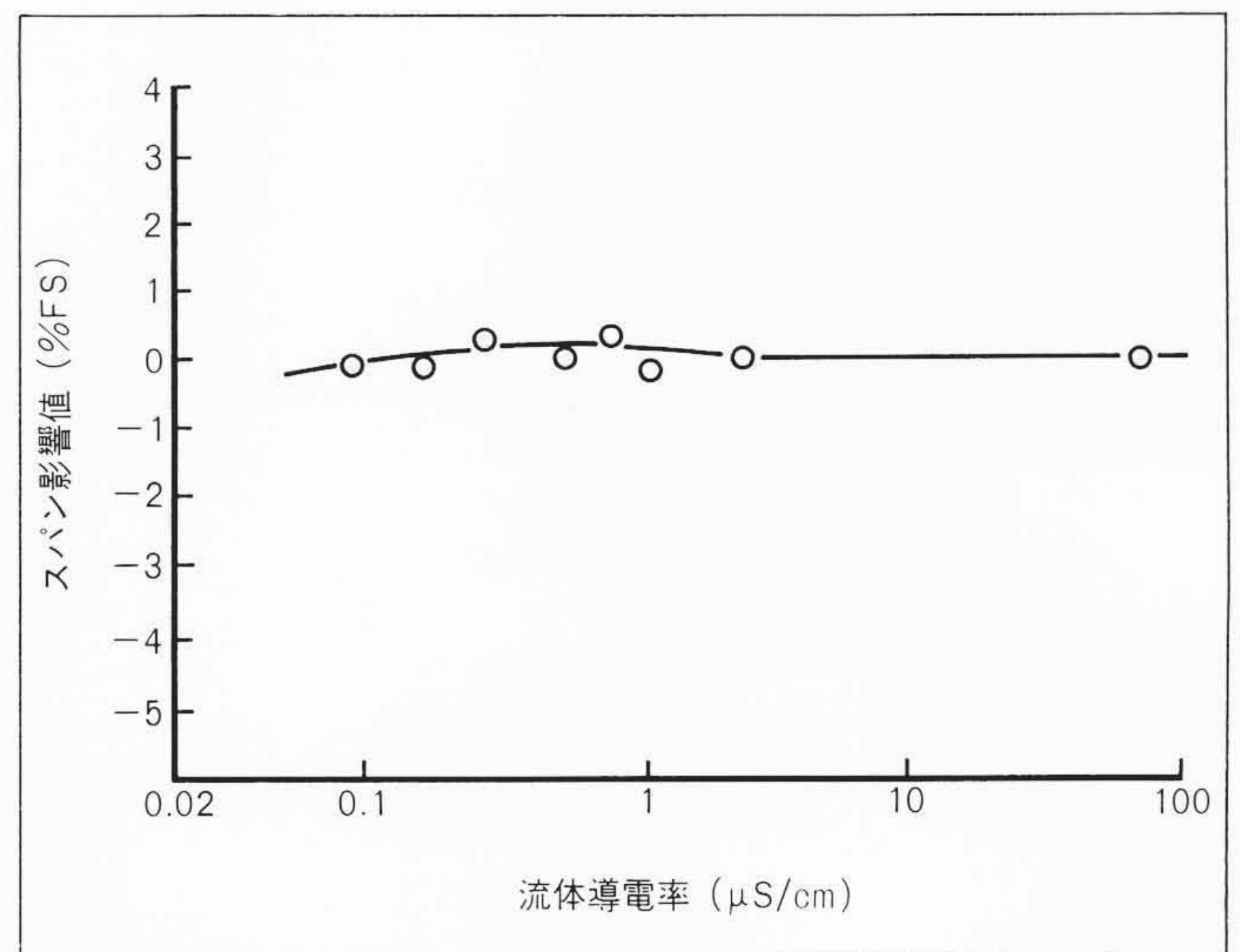


(a) 直線性の例

図8 無電極電磁流量計の特性例 直線性、温度影響とも良好な性能が確認されている。導電率は $0.05 \mu\text{S}/\text{cm}$ まで測定可能で、従来形で測定できない範囲も測定可能である。



(b) 温度影響例



(c) 導電率影響例

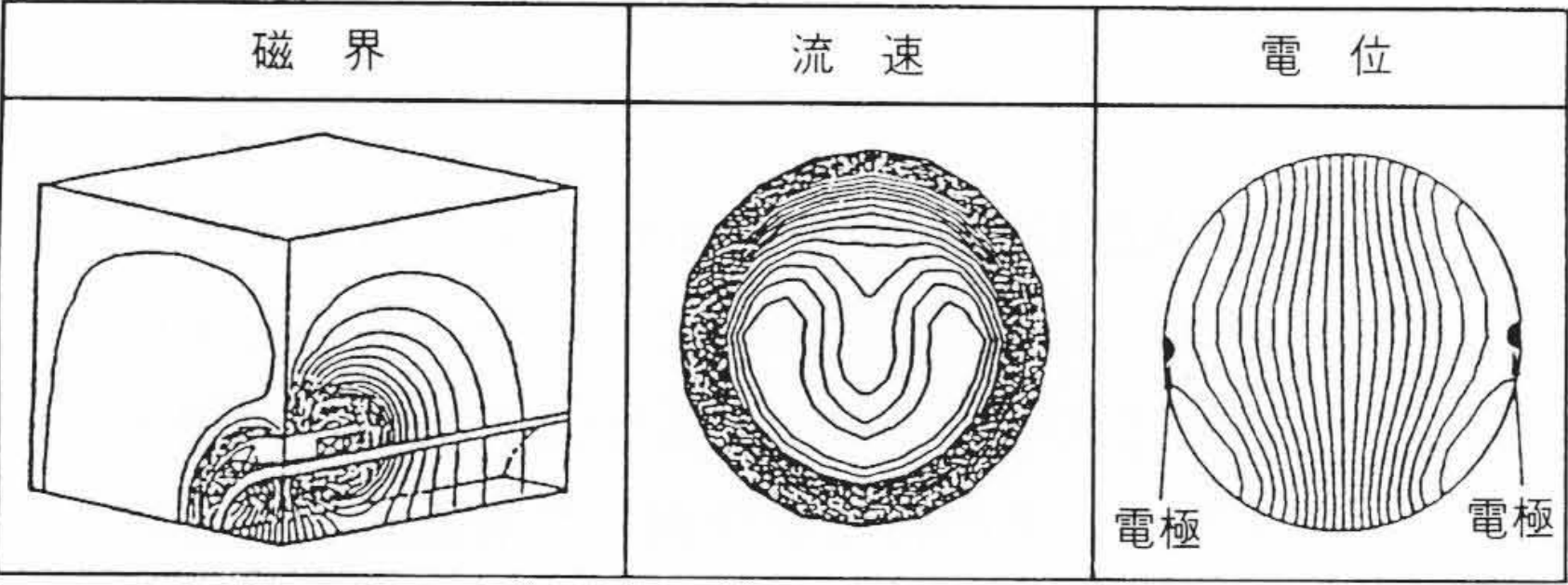


図9 電磁流量計解析システムによる解析事例 電極を含む断面でみた検出器内の磁界，流速，電位の分布を示す。実験では得られない細部の特性が容易にみられる。

る機能を持っている。通信操作はセンサ出力に影響を与えることなく，簡便で誤操作しにくい方式が望ましい。そこで，以下に述べる方式を採用して優れた操作性を実現した。

- (1) 通信方式はアナログ電流出力にデジタル信号を重畳する方式を採用しているため，デジタル通信を実行してもアナログ電流レベルを変化させることなく，計測を続けながらモニタや自己診断情報を入手し，プラントの運転状態を把握することができる。
- (2) コミュニケータには大形液晶パネルを用い，必要な表示にタッチするだけで操作できる方式とした。主な設定値が一括表示され，設定状態を確認しながら操作できるので，簡便で誤操作の少ない方式である。
- (3) コミュニケータにはICカードを装着することができる。ICカードには1枚当たり55台分の設定値を記憶させることができるので，操作時にメモをとらなくても後で作業した結果

を確認することができる。また，RS-232C端子を介してパーソナルコンピュータと接続し，設定値の管理を行うことができる。

7 おわりに

インテリジェントセンサの動向と代表的な製品である差圧・圧力伝送器と電磁流量計について述べた。センサのインテリジェント化は，プロセス制御の高度化・保守の容易さを実現する技術として今後ますます進展すると考えられる。センサ技術・エレクトロニクス技術・通信技術をさらに発展させて，これらのニーズにこたえていきたい。

参考文献

- 1) 西野，外：検出端へのマイクロプロセッサの適用，日立評論，63，2，109～114(昭56-2)
- 2) フィールド通信の動向，日立計測ジャーナル，2，1，15～16(平2-3)
- 3) 佐瀬，外：日立インテリジェント差圧・圧力伝送器，日立計測ジャーナル，2，2，21～27(平2-9)
- 4) 福永，外：日立無電極電磁流量計，日立計測ジャーナル，2，2，4～12(平2-9)
- 5) M. Kaiho：Computer Aided Engineering System for an Electromagnetic Flowmeter, 5th International IMEKO-Conference on Flow Measurement, 91～98(Oct. 1989)