

プラントの監視制御システムの高度化に貢献する 差圧・圧力発信器

Differential Pressure and Pressure Transmitters That Sophisticate Plant Monitoring and Control Systems

山下 真一郎 YAMASHITA, Shinichiro

坂上 智 SAKAUE, Satoru

富士電機の差圧・圧力発信器「FCXシリーズ」は、1989年の発売以来、さまざまな業界のプラントを監視制御する用途に使われてきた。このたび、お客さまの新たなニーズに応えるために開発した最新モデルの「FCX-A IVシリーズ」は、静電容量式圧力センサを適用し、高い測定精度と長期安定性ととも、高速応答性や高い視認性と操作性を実現している。本シリーズは、独自の構造により対水素透過用途に、最適なダイヤフラム材料の選択により耐食用途に使用できる。さらに、ピエゾ式圧力センサを用いて、静電容量式圧力センサの適用範囲を超えた超高耐圧が求められる用途に使用できる。

Since its release in 1989, Fuji Electric's FCX Series of differential pressure and pressure transmitters have been used to monitor and control plants in various industries. The FCX-A IV Series, the latest model developed to meet new needs, utilizes a capacitive pressure sensor to achieve high measurement accuracy and long-term stability, as well as fast response, high visibility, and better operability. Its unique structure allows this series to be used for hydrogen permeation resistance applications, and its use of optimal materials enables it to be utilized for corrosion resistance applications. Furthermore, the series uses piezo pressure sensors for applications that require ultra-high pressure resistance beyond the application range of capacitive pressure sensors.

① まえがき

富士電機の差圧・圧力発信器「FCXシリーズ」は、1989年の発売以来、機能・性能の進化を続けながら、化学、鉄鋼、ゴミ処理、石油などのさまざまな業界のプラントを監視制御する用途に使われてきた。本稿では、お客さまの新たなニーズに応えるために信頼性と使いやすさをさらに追及した最新モデルの差圧・圧力発信器「FCX-A IVシリーズ」について述べる。

② 「FCX-A IVシリーズ」の概要

FCX-A IVシリーズでは、心臓部である圧力検出部分に豊富な実績を誇る静電容量式圧力センサを適用して高い測定精度を達成するとともに、最適化した構造により長期安定性を実現している。さらに信号処理部を強化して測定周期も短縮している。また、幅広い用途に対応するために豊富なバリエーションをそろえている。例えば、機能安全が要求される現場に向けては、国際規格 IEC61508 の安全度水準（SIL）レベル2の認証を取得している。また、水素製造装置などへ適用する場合に必要な耐水素透過性を備えたタイプや、さまざまな酸およびアルカリを扱う設備に適用することができる耐食性を備えたタイプに加えて、高温・高真空中で使用できるタイプもラインアップしている。さらに、海底油田など超高耐圧が求められる用途向けに検出部にピエゾ式圧力センサを用いたタイプも用意している。図1に差圧・圧力発信器 FCX-A IVシリーズの外観を示す。



図1 差圧・圧力発信器「FCX-A IVシリーズ」

③ 「FCX-A IVシリーズ」の特徴

3.1 高精度と長期安定性

圧力検出部に採用している静電容量式圧力センサは、他の測定方式に比べ感度が高く、単結晶シリコン材料でできているためヒステリシスが小さいので安定性と再現性に優れている。また、構造の最適化で出力の長期安定性を実現している。さらに、センサを非圧縮性流体の中にフローティングしたアドバンスド・フローティング・セル構造により、さまざまな過酷な環境からセンサを保護し、センサの安定性確保に優れている。これらにより次に示す性能を実現した。

(a) 高精度測定： $\pm 0.065\%$ （標準）

(b) 長期安定性： $\pm 0.1\%/5$ 年

図2にFCX-A IVシリーズのゼロ点変動データを示す。

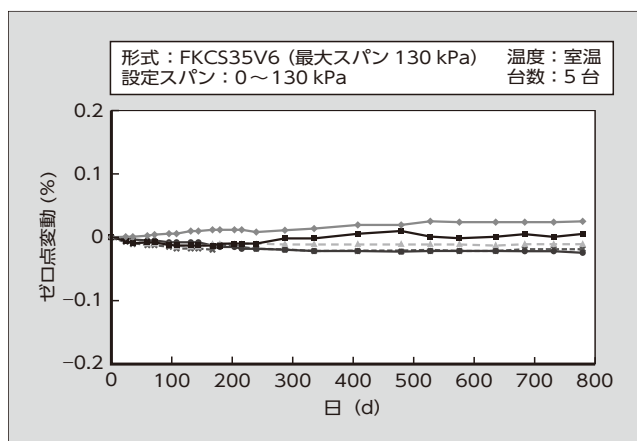


図2 「FCX-A IVシリーズ」のゼロ点変動データ

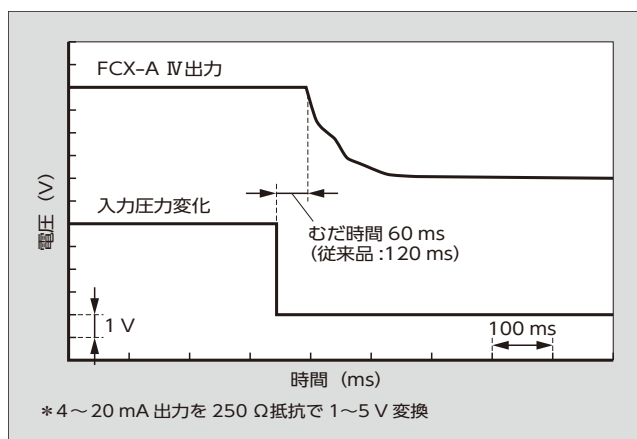


図3 「FCX-A IVシリーズ」の出力応答特性

3.2 高速応答性

プラントの操業を制御するDCS（分散制御システム：Distributed Control System）は、DX（デジタルトランスフォーメーション：Digital Transformation）が進む中で高速化、高信頼性化してきており、発信器をはじめとするフィールド機器に対しても、より高精度、高速化が求められている。FCX-A IVシリーズは、高速CPUの採用やソフトウェア処理の最適化により、旧シリーズより性能を向上し、圧力・差圧発信器として最高レベルの応答性（更新周期 40 ms、むだ時間 60 ms）を実現した。高速応答が要求されるガスタービンの蒸気流量測定などのプロセスに適している。図3にFCX-A IVシリーズの出力応答特性を示す。

3.3 高い視認性と操作性

本体のデジタル指示計に、デジタル測定値と単位が同時に表示されるため、正確なデータ把握も容易である。異常が発生したときには、エラーコードも表示され、状況把握や異常時の対応を迅速に行うことが可能である。また、FCX-A IVシリーズでは、バーグラフ表示を加え、直感的な把握を可能とした。デジタル指示計に内蔵している全てのパラメータの設定と調整は、指示計カバーを開けること

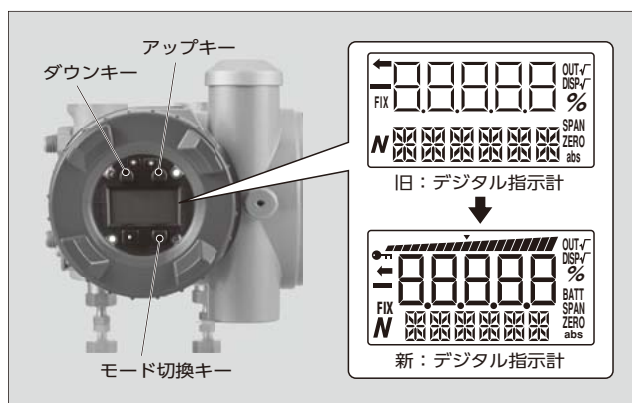


図4 「FCX-A IVシリーズ」のデジタル指示計

なく外側から非接触のスイッチで操作を行うことができる。図4にFCX-A IVシリーズのデジタル指示計の外観を示す。

3.4 認証レベル SIL2 の取得

安全規格 IEC 61508 に適合し、SIL（Safety Integrity Level）2 の認証を取得した。機能安全が要求されるフィールドでの使用が可能である。また、発信器 2 台の冗長化（組合せ）により、認証レベル SIL3 も実現可能である。

3.5 HART 通信対応

HART プロトコル出力を標準装備し、国外の現場においても水平展開が容易な HART 通信（最新版 Revision7）に対応している。上位コントローラと連携してエンジニアリング、監視、機器管理など、HART システムへの対応が可能である。

3.6 さまざまな用途への対応

(a) 耐水素透過用途

測定対象に水素が含まれていると、異種金属から構成されている発信器の受圧ダイヤフラム部にわずかに起電力が発生してそこに水素イオンが整列し、ダイヤフラムの中に透過していく。これを水素透過現象といい、ダイヤフラム内に水素が透過すると、正確な測定ができなくなる。この対策として、シールダイヤフラム母材に金メッキを施し、さらに絶縁体であるセラミック膜を形成した金・セラミックコーティングシールダイヤフラムにすることで、水素透過を長期にわたり抑制できる。本構造は富士電機の独自技術であり、水素精製プラントなどでの正確な水素測定に貢献する。図5に金・セラミックコーティングシールダイヤフラムの構造を示す。

(b) 耐食用途

従来から使用されているハステロイ C、モネル、タンタルに加え、チタンとジルコニウムをシールダイヤフラム材質にラインアップした。豊富な耐食材料からの最適

〈注〉 HART：フィールドコムグループインコーポレイテッドの商標または登録商標

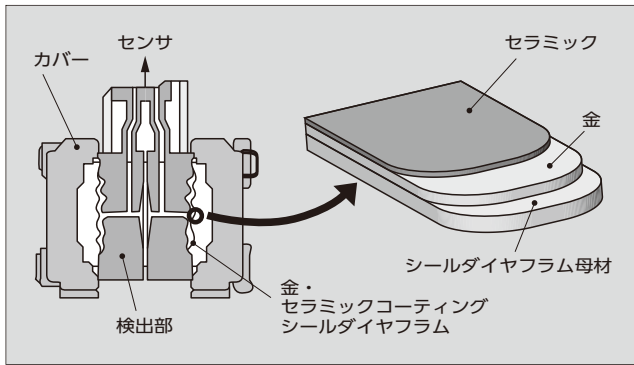


図5 金・セラミックコーティングシールダイヤフラムの構造

な材料選択により、腐食に対応するための保守頻度を下げることができる。

4 超高压用途への対応

4.1 静電容量式圧力センサの限界

圧力発信器が使われる海底油田の圧力は100 MPaくらいのもが多いが、油田の深度化が進む近年では130 MPaを超えるものも出てきている。このような超高压下では静電容量式圧力センサを適用することが困難となる。検出される静電容量は、電極面積、電極間距離、電極間を満たす封入オイルの誘電率により決まるが、封入オイルの誘電率は圧力に応じて変化し、高压域になるほどセンサの高压側と低压側で誘電率の差が大きくなり、誤差の要因となる。また、低压領域では平行に対向した電極による均一なギャップで静電容量が形成されるが、高压領域ではダイヤフラムが変形しギャップが不均一となりこれも誤差要因となる。さらに、海底油田において測定する流体である原油、地下水、水蒸気には硫化水素、塩分が含まれており、腐食性が高い。このため、シールダイヤフラムなどの接液部には高い耐腐食性が必須である。

4.2 ピエゾ式圧力センサによる超高压対応

超高压用途向けにピエゾ式圧力センサを用いたタイプを開発した。図6に超高压対応圧力発信器の外観を示す。

ピエゾ式圧力センサでは、圧力によってダイヤフラムに生じる応力をピエゾ抵抗値の変化として検出する。ピエゾ式圧力センサは、表面に抵抗や配線パターンを、裏面にドライエッチングでダイヤフラムを形成したSi基板とガラス基板とを表面活性化接合で接合した後、チップの形に切



図6 超高压対応圧力発信器（ピエゾ式圧力センサ内蔵）

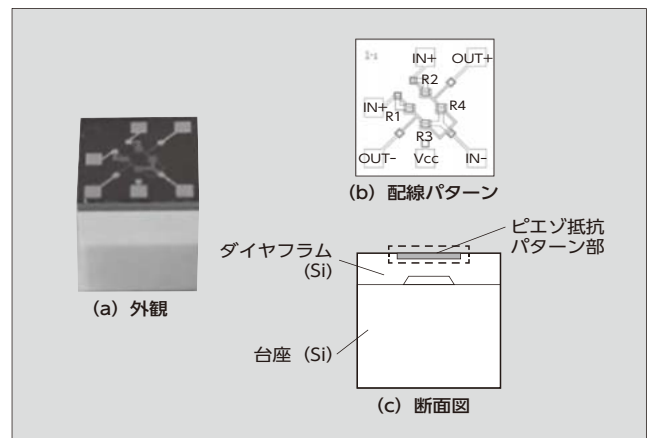


図7 ピエゾ式圧力センサの構造

断して製作される。そのチップの構造は図7に示すように非常に単純である。また、表面活性化接合は常温で基板同士を直接接合する方法であるため、一般的によく用いられる陽極接合のように高温、高電圧を加えないので、基板の変質や残留応力をもたらすことがない。静電容量式圧力センサに比べて変形して誤差要因となる部分が少ないため、超高压下でも測定精度が低下せずに圧力を検出することができる。

さらに、腐食性がある高压力の測定流体と接するシールダイヤフラムには機械的強度が高く耐腐食性が良い材質であるインコネルを採用して耐腐食性を高めている。

ここまで述べてきた特徴を備えるFCX-A IVシリーズのラインアップを表1に示す。

表1 「FCX-AⅣシリーズ」のラインアップ

形式	FKC	FKG	FKA	FKE	FKB	FKD	FKP	FKH	FKR
	 差圧(流量)	 圧力	 絶対圧力	 レベル	 リモート シール形 圧力	 リモート シール形 差圧 (流量)	 圧力 (ダイレクト マウント)	 絶対圧力 (ダイレクト マウント)	 超高圧力 (ピエゾ式ダイレ クトマウント)
最大スパン (kPa) [URL]	1 6 32 130 500 3,000	130 500 3,000 10,000 50,000	16 130 500 3,000	32 130 500	130 500 3,000 10,000 50,000	32 130 500	130 500 3,000 10,000	130 500 3,000	70,000 150,000
質量(kg) (指示計なし)	3.1	2.9	2.9	約9～19	約4～18	約9～19	1.8	1.8	1.5
精度定格	±0.065%		±0.2%	±0.2%	±0.2%	±0.2%	±0.1%	±0.2%	±0.065%
ダイヤフラム 材質	316 L SS ハステロイC モネル タンタル 316 L SS金メッキ 金&セラミックコーティング		316 L SS ハステロイC モネル タンタル	316 L SS ハステロイC モネル タンタル チタン ジルコニウム 316 L SS金メッキ			316 L		インコネル 625 インコネル 625+ 金メッキ
プロセス接続口 寸法	Rc1/4			各種フランジ規格			NPT1/2、Rc1/4、Rc1/2、 NPT1/4		autoclave F250C
共通仕様	スパン設定範囲：1～1/100URL 測定周期：40 msec 温度範囲 接液部：－40～＋120℃ (高温タイプも用意)*1 周囲温度：－40～＋85℃ 電源電圧：DC10.5～45 V 出力信号：DC4～20 mA					サポート通信プロトコル：HART その他付加仕様：デジタル指示計、脱脂処理、酸素禁油処理*2、 塩素測定用、ステンスタグプレート、ローカル調整機能*3			

*1 FKR：-40～+100℃
*2 FKR：酸素禁油処理は選択不可
*3 FKR：塩素測定用は選択不可

5 あとがき

プラントの監視制御システムの高度化に貢献する差圧・圧力発信器「FCX-AⅣシリーズ」について述べた。今後
もさらに高度な省エネルギー制御の実現や自動化の促進に
貢献するべく、お客さまの多様なニーズに応える製品メ
ニューの拡充に尽力していく所存である。

参考文献

(1) 木代雅巳ほか. 新型差圧・圧力発信器「FCX-AⅢシリーズ」.
富士時報. 2008, vol.81, no.2, p.162-165.



山下 真一郎

計測機器の事業支援に従事。現在、富士電機株式
会社パワエレ インダストリー事業本部ファクト
リーオートメーション事業部計測機器部主任。



坂上 智

計測機器の開発に従事。現在、富士電機株式会社
パワエレ インダストリー事業本部開発統括部計測
機器開発部主任。



＊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。