

# 新差圧・圧力伝送器 DPharp EJX シリーズ

New DPharp EJX Series Differential Pressure and Pressure Transmitters

石川 環 <sup>*1</sup> ISHIKAWA Tamaki	尾土平 澈 <sup>*1</sup> ODOHIRA Tetsu	新国 雅章 <sup>*1</sup> NIKKUNI Masaaki
小山 越太郎 <sup>*1</sup> KOYAMA Etsutarou	津曲 哲郎 <sup>*1</sup> TSUMAGARI Tetsurou	浅田 龍造 <sup>*1</sup> ASADA Ryuuzou

市場で好評を得ている差圧・圧力伝送器 DPharp EJA シリーズに加え、マルチセンシング機能を持つ EJX シリーズを新たに開発した。第1の特長は、1つのセンサから差圧を出力するだけでなくライン圧力(静圧)も検知できるマルチセンシング機能で、これによって圧力計を不要とすることもでき、プラントにおけるコスト削減にも寄与する。第2として、長期安定性に優れたシリコンレゾナントセンサを搭載し、EJA で培った高品質と高信頼性をさらに向上させるとともに、応答速度を飛躍的に速め、より軽量化した。第3に、見易く設計された内蔵指示計、充実した診断機能および保守機能は、顧客に利便性をもたらす。

耐圧防爆、本安防爆、安全規格、EC 指令をはじめ、様々な規格に適合し、BRAIN, FOUNDATION Fieldbus の通信プロトコルを備え、ダイアフラムシール形、ねじ込み形圧力伝送器、差圧式質量流量伝送器などのファミリー機種をラインナップし、幅広いアプリケーションに対応できる。

We have developed the new DPharp EJX series of Differential Pressure and Pressure Transmitter with advanced silicon resonant sensor and added the series to the current EJA Series of the DPharp family. The DPharp EJX series employs a multi-sensing technology that enables the simultaneous measurement of both differential pressure and static pressure, thereby contributes to the cost reduction in plant installations. Moreover, the minimum response time in intelligent type differential pressure transmitters and downsizing have achieved with innovative technologies. The user-friendly multifunctional LCD display, improved self-diagnostics and maintainability provide users with increased operation efficiency. The EJX series offers a wide variety of models such as Diaphragm Sealed Gauge Pressure Transmitters, Diaphragm Sealed Differential Pressure Transmitters and Screw Mount Gauge Pressure Transmitters, while ensuring conformability to various standards and compatibility with BRAIN and FOUNDATION fieldbus communication protocols.

Thanks to those enhanced flexibilities and functionalities, the EJX series can provide excellent capabilities for versatile applications and further contributions to customers through the minimization of Total Cost of Ownership (TCO).

## 1. はじめに

1991年にDPharp EJシリーズ、1994年にDPharp EJA シリーズ差圧・圧力伝送器を発売して以来、世界中で120万台が稼動し今日に至っている。今回シリコンレゾナントセンサを進化させマルチセンシング機能を搭載し、さらに小形軽量化、高機能化を実現したEJXシリーズを開発した。

図1に、EJA(左)とEJX(右)の外観を示す。



図1 EJA(左)とEJX(右)の外観

\*1 制御プロダクトフィールド機器事業部 第2技術部

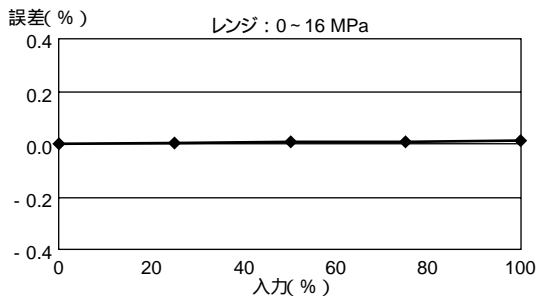


図2 静圧信号の精度

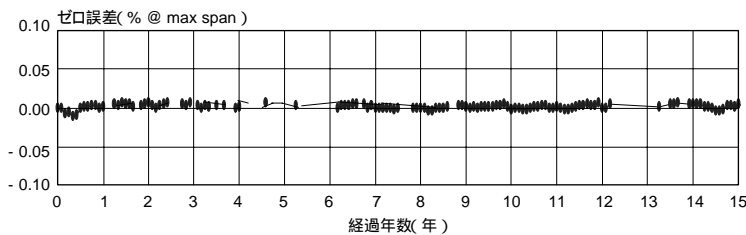


図3 長期ドリフト試験結果

## 2. 特 長

### 2.1 マルチセンシング

差圧伝送器は高圧側圧力と低圧側圧力の差を検出するが、オリフィス式流量計測においては流体密度補正等のため、高圧側圧力(以下、静圧という)も測定し流量演算する必要がある。EJXシリーズ差圧伝送器は、標準仕様として静圧の表示ができ、1台で2台(差圧計と圧力計)の機能を持つ。パラメータ変更により、高圧側圧力を低圧側圧力に切り替えることができ、タンク液位計測におけるタンク内圧測定も可能である。

DPharp 各シリーズに搭載されているシリコンレゾナントセンサは、MEMS技術により、シリコンダイアフラム上の引っ張り歪と圧縮歪が発生する所に2つの振動子が形成されている。それらの共振周波数は、次に示す式で表される。

$$f = \frac{4.73^2 h}{2\pi l^2} \sqrt{\frac{E}{12\rho} \left\{ 1 + 0.2366 \left( \frac{l^2}{h} \right) \varepsilon \right\}}$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \pm \varepsilon_{dp} + \varepsilon_{sp}$$

f : 共振周波数

E : シリコンのヤング率

: シリコンの密度

l, h : 振動子の長さ、厚さ

ε : 張力

ε<sub>0</sub> : 初期張力

ε<sub>dp</sub> : 差圧による張力変化

ε<sub>sp</sub> : 静圧による張力変化

差圧信号は2つの振動子の差演算により、静圧信号は和演算により算出することができる。振動子の共振周波数を下記の様に単純化して説明する。

$$f^2 = f_0^2 \cdot (1 + G_f \cdot \quad)$$

f<sub>0</sub> : 張力ゼロ時の共振周波数

G<sub>f</sub> : 振動子の自乗感度 (= 0.2366 · (l/h)<sup>2</sup>)

1つのシリコンダイアフラム上に配置された2つの振動子の共振周波数f<sub>1</sub>, f<sub>2</sub>の圧力による変化(f<sup>2</sup>)は下式となる。<sup>(1)</sup>

$$f_1^2 = f_{01}^2 \cdot G_f ( + \varepsilon_{dp1} + \varepsilon_{sp1} )$$

$$f_2^2 = f_{02}^2 \cdot G_f ( - \varepsilon_{dp2} + \varepsilon_{sp2} )$$

これらの関係式を用いると、[ f<sub>1</sub><sup>2</sup> - a · f<sub>2</sub><sup>2</sup> ]の演算で静圧の項が消えて差圧の信号が得られ、[ f<sub>1</sub><sup>2</sup> + b · f<sub>2</sub><sup>2</sup> ]の演算で差圧の項が消えて静圧の信号が得られることがわかる。適切な実測データから各係数を決めることにより、一つのダイアフラムの変形から、差演算と和演算で差圧信号と静圧信号を算出できることは、シリコンレゾナントセンサの大きな特長である。

静圧信号の精度を示したものが図2であり、精度は静圧について1 MPaで±0.2%である。この機能を利用し、さらに工夫を加えた差圧式質量流量伝送器では、静圧について、1 MPaで±0.1%の精度を実現している。

FOUNDATION Fieldbus形では差圧および静圧信号の同時取り出しは容易であるが、インテリジェント形での使い易さを考え、内蔵指示計による静圧表示機能を搭載した。

多変量伝送器として、複数のセンサを使った差圧と静圧を計測する伝送器は既に世の中に存在するが、1つのセンサで差圧と静圧を計測し、出力および表示できる差圧伝送器は世界初である。

### 2.2 高信頼性センサ

本器に使用しているシリコンレゾナントセンサは原理的に安定であり、フィールドでの長年の使用実績はもちろんであるが、15年の長期ドリフト試験結果においても、非常に優れた安定性を保持していることが実証されている(図3参照)。

シリコンレゾナントセンサの特長を、改めて下記に示す。

- (a) シリコン材料の優れた弾性特性を持つ。
- (b) ゲージファクタが大きく、( 2000 )圧力感度が非常に高い。
- (c) 振動子の共振周波数は機械的構造寸法で決まるため、ピエゾ抵抗式センサに比べ温度係数や不純物イオン感度が極めて小さく、長期安定性に非常に優れている。
- (d) 共振周波数を直接カウンタで読み込みCPUにて高精度のデータ処理が可能のため、インテリジェント化に対応でき、他の原理の圧力センサでは避けられない

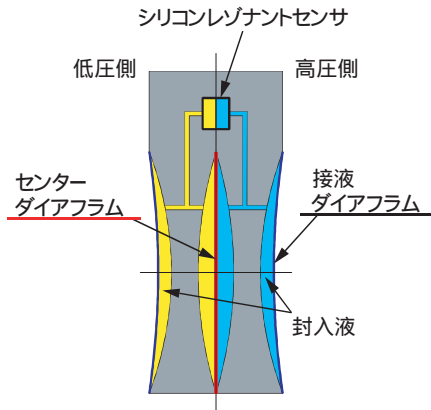


図4 EJA110の過大圧保護機構

A/D変換誤差が無いため、高精度化が容易である。  
 (e) ゲージファクタが大きいシリコン振動子の長所を最大限に活かすことにより、2つの振動子の信号処理のみで、圧電抵抗式センサ等と比べ安定な差圧信号と静圧信号を得ることができる。

2.3 高速応答

EJXシリーズでは、タービンの蒸気流量制御のような高速制御に対応できるように、新しい過大圧保護機構の採用、伝送部の高速演算化、および伝送部の改良により、63%応答時間として95 msecを実現した。

現用の差圧伝送器EJAシリーズでは、図4に示すように、測定圧力によって過大圧保護機構であるセンタダイアフラムが変位し、内部の封入液の移動が発生する。封入液が移動するときの管路抵抗が、応答時間に影響した。

今回EJXシリーズで採用した新過大圧保護機構を、図5に示す。この構造の特長は、高圧側(H側)と低圧側(L側)で独立の過大圧保護機構を有する点であり、この機構の採用により測定圧力範囲内で封入液は移動せず、高速応答を可能にした。

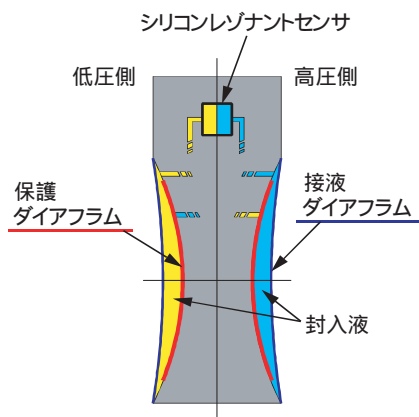


図5 EJX110の新しい過大圧保護機構

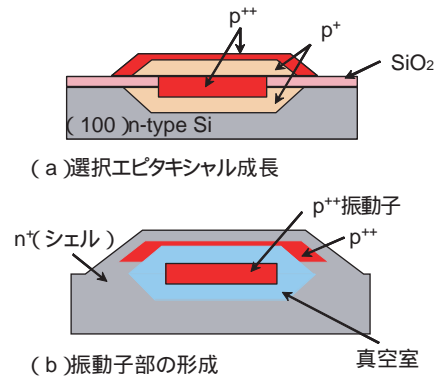


図6 振動子の断面構造

伝送部については次の3点により、性能、機能を維持したまま演算処理周期を従来の1/4に短縮した。

(1) 周波数検出

周波数信号の計数回路では、1パルス以下の端数を測定し、短いサンプリング時間でも分解能を落とさずに周波数を測定することができた。詳細は3.3項に述べる。

(2) 圧力算出演算の高速化

次の4つの方法により、現行のEJAに比べ処理速度を4倍向上させることができた。

- ・ 浮動小数演算を最小化し、固定小数演算を導入。
- ・ 変化の少ない演算係数はバックグランド処理などで算出し、圧力算出には最小限の演算に絞った。
- ・ デバイスの低消費電力化により、基準クロックを上げることができた。
- ・ マイクロプロセッサ自体のパフォーマンスが上がった。

(3) 振動子の改良

振動子部分の基本構造を変えずにマイクロマシニング技術を駆使し、振動子の出力電圧を1.5倍増加させることが可能となった(図6)。これにより出力の安定化が飛躍的に図られ、信号処理時間を大幅に短縮することが可能となった。

図7に、差圧伝送器の代表的な機種EJX110(Mカプセル)のステップ応答特性を示す。

2.4 自己診断機能の拡充

EJXシリーズは自己診断機能を充実させ、30項目に及ぶ診断を行い、約20種類のアラームを発する。アラームの数は機種により異なる。アラームの内容は、4つに分類できる。

- (a) 伝送器自体の故障
- (b) パラメータの設定ミス
- (c) プロセス量の異常
- (d) 使用環境が仕様範囲外

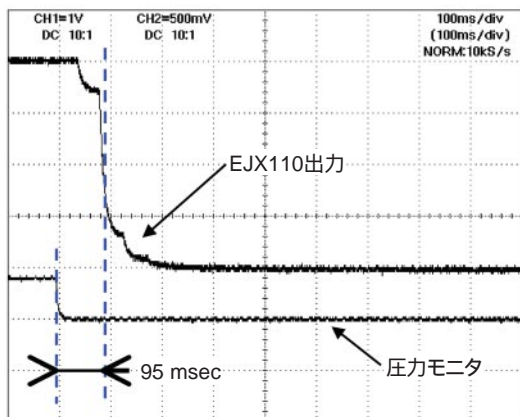


図7 EJX110のステップ応答特性

### 3. 構造

#### 3.1 構成

図8に、差圧伝送器EJXの構成を示す。全体は、受圧部と伝送部に分けられる。

新過大圧保護機構の採用により、受圧部の小形化が実現し、EJAより30%減の2.7kgとなった。

受圧部は、カプセル、カバーフランジおよびプロセスコネクタより構成されている。

伝送部は、変換部と端子箱で構成され、EJX全機種に使用できる。LCDデジタル指示計を内蔵しており、差圧信号と静圧信号のモニターが可能である。

#### 3.2 受圧部

温度の影響を受けにくく安定した測定が可能な差圧伝送器を実現するために、受圧部内部に封入されている封入液の液量を極力少なくすることに設計のポイントをおいた。前述の新過大圧保護機構を採用することにより、EJAに比べ約 $\frac{1}{10}$ の封入液量が達成できた。



図8 EJX110の構成部品

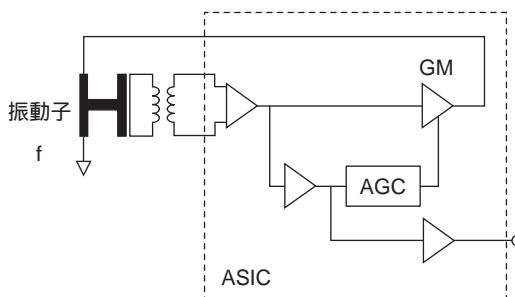


図9 励振回路ブロック図(振動子は1回路のみ示す)

受圧部は、圧力の各種外乱の影響を受け難い対称構造である。カプセル内の高圧側と低圧側の封入液量のバランスをとり、温度や静圧の変化による封入液の膨張収縮に起因する影響を極小化した。

接液ダイアフラムは、EJAシリーズで実績のある耐食性に優れたハステロイC-276を使用している。外部に露出している溶接部はなく、ボディはSUS316L鍛造品を使用しており、耐腐食性の高い構造になっている。

カバーフランジを締め付ける時の荷重の影響を軽減するために、機械的アイソレーションに配慮した。シールダイアフラムの溶接面とガスケット締め付け面を分け、締め付け荷重でシールダイアフラムに歪が発生するのを防止した。

プロセスとの取り合いの部分であるカバーフランジは、IEC61518準拠の構造を採用した。

#### 3.3 伝送部

振動子の励振方式は、EJAと同じ方法を採用している(図9)。低消費電流でありながら徹底した低ノイズ化設計によるASICを新たに開発し、従来に比べ3倍以上の高性能化を実現している。全体ブロック図を、図10に示す。

振動子からの周波数信号は、計数回路の基準クロック

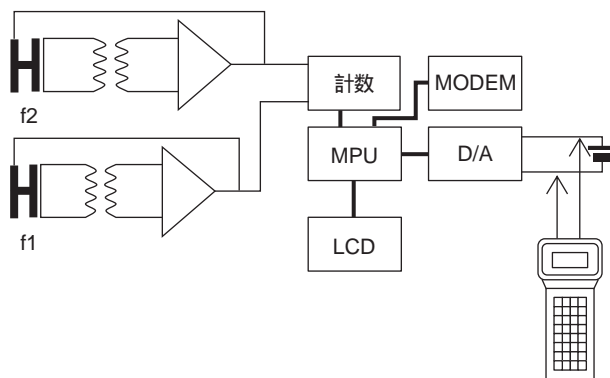


図10 ブロック図



図 11 内蔵指示計の表示画面

と非同期であるため、EJAで採用しているレシプロカル方式の計数回路では、サンプリング時間の両端で基準クロック以下の測定できない時間(端数時間)が発生し、測定値には±1カウント分の誤差が発生する。

レシプロカル方式のまま高速演算処理を実現するために、基準クロックを上げずにサンプリング時間を短くすると、この誤差が拡大され計数回路の分解能が悪化する。基準クロックを大幅に上げると消費電流が増加してしまい、製品仕様が満足できなくなる。

EJXでは従来のレシプロカル方式に加え、この端数時間を64倍に拡大して測定するタイムエキスパンション方式<sup>2)</sup>を採用した。タイムエキスパンション方式では、専用のカウンタを設けるなどして低消費電流で高速、かつ従来に比べ5倍以上の高分解能を実現できた。

DA変換部には多重D/A変換方式を採用することにより、高分解能でありながら、従来に比べ10倍以上の高速応答性を実現している。4-20 mA出力回路には16 bitのD/A変換回路を採用し、電流出力範囲はNAMUR(規格)NE43に対応している。

### 3.4 内蔵指示計

EJXでは全体を小形化した一方で、内蔵指示計についてはEJAよりも大きくし、認識し易さを重視した(図11)。

表示内容も、バーグラフ、プロセス値、べき数、単位情報を加えた。

#### (1) プロセス値表示

出力%値、出力実目値、差圧、静圧%値、静圧、の中から選択し、複数のプロセス値を交互に表示させることができ、最大4種類のプロセス値を切り替え表示させることが可能である。

洗練されたデザインのバーグラフにより、現在のプロセス量が正常動作範囲内か否か、一目で判断することが可能になった。

実目表示の場合の単位は、任意に6文字まで設定・表示できる。よく使用する流量単位などを設定でき

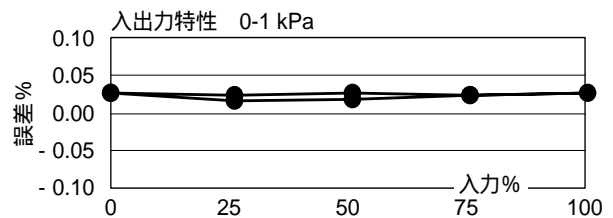
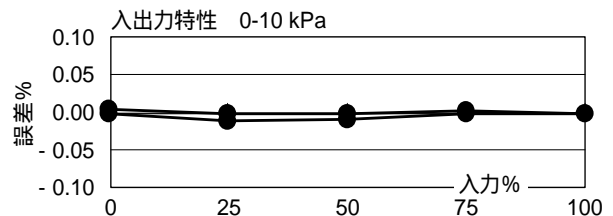
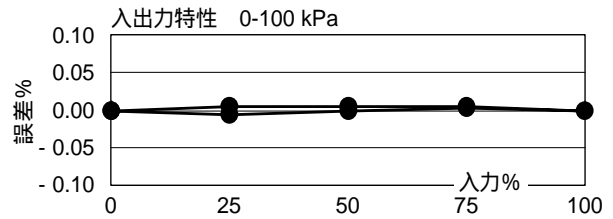


図 12 入出力特性

る機能を拡充した。同時に実目表示で使用されるべき数(x10, x100, x1000)も表示可能とした。

#### (2) アラームメッセージ表示

異常検知時にはアラーム番号に加えて内容を示す短縮メッセージを表示させる。アラーム番号をドキュメントで調べなくても、短縮メッセージにより素早く内容を把握することができる。

パラメータ設定、プロセス量、使用環境のアラーム発生時にはアラーム番号とプロセス値を交互に表示するが、伝送器自体のアラーム発生時には、アラーム情報のみを表示し、最小限の時間で必要な情報を得ることができる。

## 4. 性能

代表的な機種であるEJX110(Mカプセル、測定圧力範囲±100 kPa)の特性例を示す。

### 4.1 特性

図12に、測定レンジ0-100 kPa、0-10 kPa、0-1 kPaにおける入出力特性を示す。

図13に、-40から80まで周囲温度を変化させたときのゼロ点の変化を示す。

図14に、静圧を0 MPaから最高使用圧力16 MPaまで変化させたときのゼロ点の変化を示す。



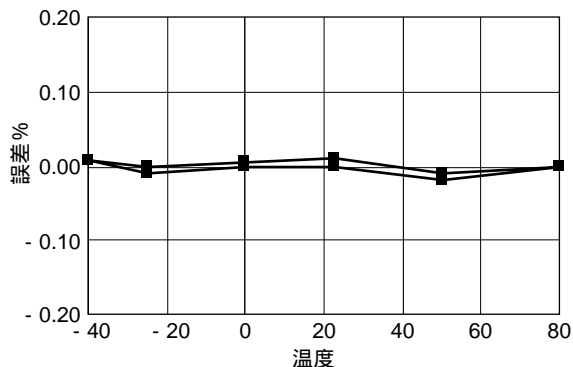


図 13 ゼロ点に対する周囲温度変動の影響  
レンジ：最大レンジの  $\frac{1}{10}$

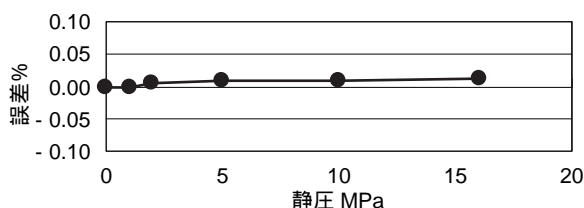


図 14 ゼロ点に対する静圧変動の影響  
レンジ：最大レンジの  $\frac{1}{10}$

#### 4.2 過大圧の影響

通常、差圧伝送器を設置する場合には三岐弁を介して取り付けられることが多く、プラント立ち上げ時や保守作業の際に三岐弁の操作によっては、差圧伝送器に測定圧力範囲を越える過大圧が片側にかかる場合がある。

過大圧による出力シフトやシリコンダイアフラムの破壊を回避するために、過大圧保護機構が搭載されている。図 15 に、過大圧の影響を示す。

過大圧の影響が小さい点と軽量化により、三岐弁なしのダイレクトマウント計装も可能とした。

#### 5. 仕様

図 16 に、差圧伝送器 EJX110 の測定圧力範囲を示す。

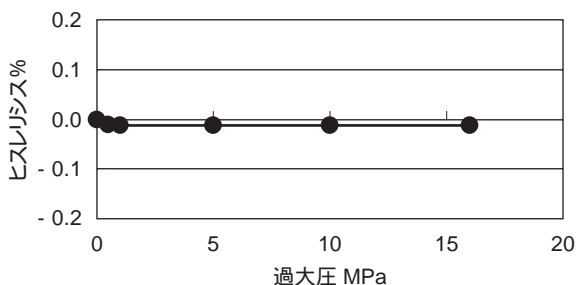


図 15 過大圧の影響  
レンジ：最大レンジ

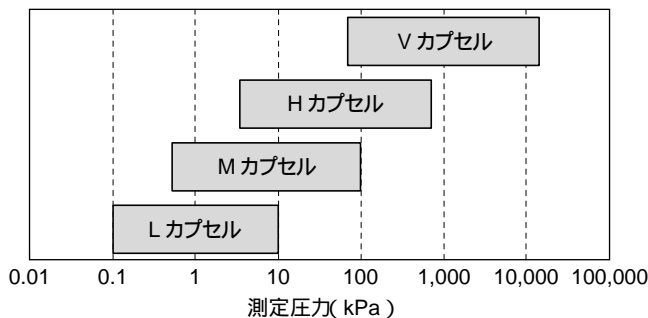


図 16 差圧伝送器の測定圧力範囲

0.1 kPa から 14 MPa までを 4 種類のカプセルでカバーする。このうち、M、H、V カプセルのレンジアビリティは 1 : 200 であり、1 つのカプセルで広範囲の差圧計測が可能である。

BRAIN 通信により、ハンドヘルドターミナル BT100、BT200 や DCS からのリモート設定やモニタリングが可能である。FOUNDATION Fieldbus 通信も、ラインナップされている。

様々なアプリケーションに対応するため、圧力伝送器、絶対圧伝送器、フランジ取り付け形差圧伝送器、ねじ込み式圧力伝送器、高静圧形差圧伝送器、ダイアフラムシール付差圧・圧力伝送器、サンタリ形差圧・圧力伝送器、差圧式質量流量伝送器などのファミリー機種を持ち、各種本安防爆、耐圧防爆の認可、および安全伝送器 Safety Integrated Level 2 (SIL2) の認証を取得している。

#### 6. おわりに

新差圧・圧力伝送器 EJX シリーズの特長、構造、特性について紹介した。

シリコンレゾナントセンサのマルチセンシング機能は、新しいアプリケーションを創り出し、これらを利用したソフトウェアと組み合わせることにより、導圧管の詰まり診断など高度な診断機能も可能にする。EJX を単なる差圧伝送器としてではなく、多機能伝送器として発展し続けるように、これからも次世代のセンシング技術を開発し提案していく所存である。

#### 参考文献

- (1) 三枝徳治, 後藤茂, 桑山秀樹, 山県通昭, “DPharp 電子式差圧伝送器”, 横河技報, vol. 36, no. 1, 1992, p. 21-28
- (2) 片野和也, “時間測定器の使い方”, トランジスタ技術, vol. 31, no. 2, 1994, p. 331-340

\* DPharp EJX は、横河電機㈱の登録商標です。その他、本文中の製品名、各システム名は、それぞれ各社の商標、或いは登録商標です。