

食品医薬品工業用封入液無し圧力センサ “ エキレスシリーズ ”

“EKILESS Series” Fluid-less Pressure Sensors for Food and Drug Industries

川村 圭^{*1}
KAWAMURA Kei河野 信明^{*1}
KOUNO Nobuaki

近年、食品医薬品用圧力センサとして、封入液を使用しない圧力センサの需要が大きくなってきている。食品医薬品用圧力センサはこれまで、精度、耐久性などから封入液を介してシリコン圧力センサチップに圧力を伝播し測定する“隔膜式”が一般的であった。これに対し、シリコンオイルなどの封入液を必要としない、歪ゲージを金属板に接着した圧力センサが見直されつつある。しかし、その性能、耐久性は、“隔膜式”には遠く及ばず、食品医薬品用への応用は進んでいなかった。当社では、従来技術に新たな技術要素を付加することによってこれらの課題を解決し、本質的な安全性と高精度かつ高安定な性能を兼ね備えた「エキレス™センサシリーズ」を開発した。

The great demand for the pressure sensor designed without internal fluids for food and drug industries has been increasing in recent years. From the viewpoint of accuracy and durability, the pressure sensor for food and drug industries has traditionally employed the "diaphragm isolated" pressure sensor which measures the pressure by transmitting it to a silicone pressure sensor tip through internal fluids. On the contrary to the fact, the pressure sensor without internal fluids, featuring the strain gauge directly mounted on a metal plate, is gradually evaluated recently. Nevertheless, the performance and durability of the sensor are far behind from the ones of the "diaphragm isolated" sensor, thus delaying the application for the food and drug industries. Using new technologies as well as the conventional ones, we have overcome these hurdles and developed the "EKILESS sensor" series with essential safety and highly accurate and stable performance.

1. はじめに

食品医薬品工業のプロセスに多用される圧力センサには、以下のような特徴がある。

- (a) プロセス流体は、腐敗性、凝固性、腐食性が高いことが多く、プロセス内に小さな隙間や袋小路などの流体滞留部を嫌う。
- (b) ビールやミルクのように、製造プロセスの温度は低い蒸気などを使用する洗浄殺菌プロセスでは、温度が高い場合が多い。しかも、多品種少量生産の要求から頻りに高温/低温が繰り返されるため、温度繰返しに対する耐久性や安定性が必要である。
- (c) HACCP など、トレーサビリティを求める最近の管理手法に対応するためには、温度と並ぶ重要管理ポイントである圧力を求められる精度で測定し、記録装置や監視・警報装置に正確に発信する長期信頼性

が求められる。

これらの課題をクリアし、性能/耐久性/安全性の3つを兼ね備えた封入液の無い圧力センサ「エキレス™」を開発した。

2. エキレスシリーズの狙い

封入液を用いない圧力センサとして既に製品化されているものは、「静電容量型」と「歪ゲージ型」に大別される。これらの構造を、それぞれ図1、図2に示す。

静電容量形は、安価に製造することが可能で、取り扱い易い反面、以下のような欠点がある。

- (1) 図2のセラミックダイアフラム(電極)と基準電極の近接した隙間に結露が発生すると故障するため、前述の温度繰返しや低温プロセス、高温環境下での運転などに対する注意が必要である。
- (2) セラミックダイアフラムと金属ボディの間に、気密性を確保するためのパッキンが必要であり、これは取り外し洗浄が不可能であるため、サニタリ性が確保できない。

*1 IA事業本部フィールド機器事業部 第1技術部

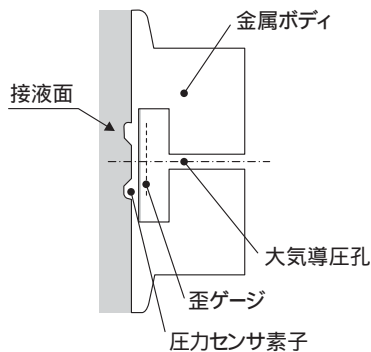


図1 歪ゲージ型の構造

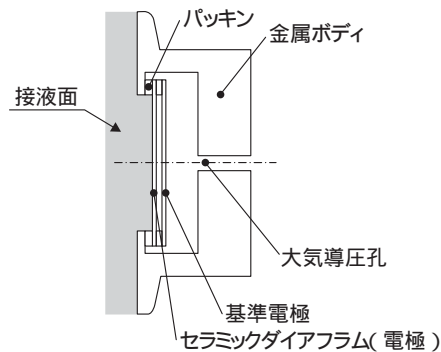


図2 静電容量型の構造

一方、図1の歪ゲージ方式では、圧力センサ素子の素材に高耐食ステンレス鋼(SUS316L)を採用し、素子表面と歪ゲージとの接合を接着剤により行う方式が既に実用化されているが、この方式には以下のような問題がある。

- (1) 使用する接着剤の機械的強度の劣化や経年変化により、測定誤差を生じ易い。
- (2) ステンレス鋼はシリコン結晶とは異なり、過大な応力に対して塑性変形するため、測定レンジに対して許容できる圧力が測定レンジの2倍程度が現実的である。このため、過大圧による出力誤差、破損などに対する注意が必要である。

これらの静電容量方式と歪ゲージ方式との比較から、静電容量方式は食品医薬品用圧力センサとしては、本質的に不向きであることが判った。このことから、我々は歪ゲージ方式を採用し、その問題点に改良を加えることによって、性能/耐久性/安全性を兼ね備えた封入液の無い圧力センサ「エキレス™」の開発を企画することとした。

3. エキレスシリーズの特長とその実現技術

既存の封入液無しサニタリー圧力センサへの改善要求として、下記項目がある。

- ・ 金属ダイアフラムの高耐圧化
- ・ 耐久性の高い歪ゲージの接合
- ・ 温度特性の改善
- ・ サニタリー性の高い接液部構造

エキレスシリーズではこれらの問題を解決し、サニタリープロセスに最適な圧力センサを実現した。以下に、課題への技術的対応について紹介する。

3.1 金属ダイアフラムの高耐圧化

3.1.1 金属材料の選定

前述のように、歪ゲージ型封入液無し圧力センサは、受圧ダイアフラム(皿パネ)構造の金属板にダイレクトに歪ゲージを形成し、電気信号に変換するタイプの圧力センサである(図1参照)。

この方式は、センサ素子が直接接液面に露出するため、材料金属の強度や耐食性が圧力センサ全体の耐圧力、耐食性と密接な関係にある。このため、材料の選定は非常に重要な設計ポイントとなる。

エキレスシリーズでは、センサ素子の材料として高張力/高耐食のCo-Ni合金を採用した。Co-Ni合金は、SUS316Lに比較して3倍以上の強度(0.2%耐力や引張強さ)を有すると同時に、耐食性についても遥かに優秀であり、センサ素子材料として最適である。

3.1.2 センサ素子の形状最適化

エキレスシリーズの設計では、材料自体の強度向上に加え有限要素法(FEM)の構造シミュレーションにより、耐圧強度と圧力感度の2つのパラメータによる最適設計を行った。

図3は、センサ素子部分に圧力を加えた状態を、FEMにてシミュレートした出力例である。画面左端を中心線とする半断面で、圧力は下面から上に向かって加わり、それによるダイアフラムの変形量を拡大して表示している。色の分布は、加圧により発生する応力分布である。素材として選定したCo-Ni合金の0.2%耐力と、目標耐圧仕様から、ダイアフラム形状を設計した。

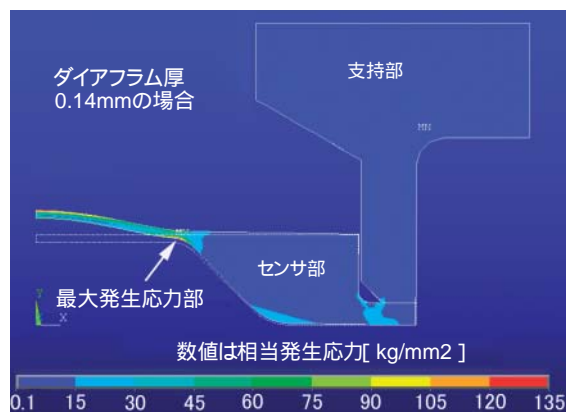


図3 解析結果出力例

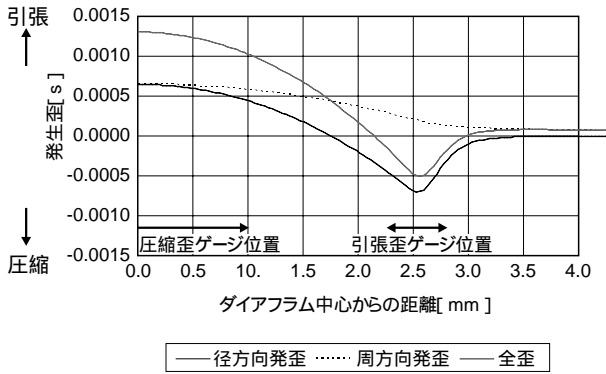


図4 ダイアフラム表面歪分布

図4は、上記FEMによって計算したセンサ素子の歪ゲージ形成面の表面歪分布である。これをもとに、圧力感度を最大化するゲージ配置を行った。

上記最適化設計の結果として、耐圧強度を従来のステンレス鋼(SUS316L)タイプに比較して3.3倍、感度を15%に向上することができた。

以上によって、エキレスシリーズは既存の一般的な製品に比較して、表1のような大きな改善効果を得られた。

3.2 耐久性の高い歪ゲージの接合

一般的な歪ゲージ型圧力センサでは、受圧ダイアフラムに歪ゲージを接着剤で接合する。この接着方式は、構造が単純で安価に製作できるメリットがある一方、温度衝撃や温度繰返しに対する耐久性や経年変化といった問題を生じ易く長期安定性を確保することが難しい。

エキレスシリーズでは、センサ面と歪みゲージとの接合を接着剤ではなく、蒸着(スパッタリング)によって行っている。蒸着ゲージ方式は、従来の接着剤貼付けゲージ方式に比べ、密着力が強く信頼性の高い接合のため、歪ゲージの剥がれの問題が無く、繰返し温度衝撃に対しても耐久性で大きく有利になる。エキレスシリーズの歪ゲージは、蒸着方法として反応性スパッタリングを採用し、CrOx(酸化クロム)薄膜のゲージを形成する。さらに、このCrOxゲージは、接着剤貼付けゲージに比べてゲージ感度が約5~10倍と非常に高く、センサの検出電圧が大きく取れるため、S/N比を大きく改善することができる。

表1 エキレスシリーズと一般的な無封液圧力センサの比較

製品	センサ素材	保証耐圧	破壊耐圧
一般的封液無しセンサ	SUS316	1.5倍	10倍 復帰不可
エキレスシリーズ	Co-Ni合金	5倍	10倍 復帰可能

破壊耐圧は既存一般製品では過大圧印加後、出力異常でセンサの復元は不能。
エキレスシリーズでは、ゼロ調範囲内に復元保証。

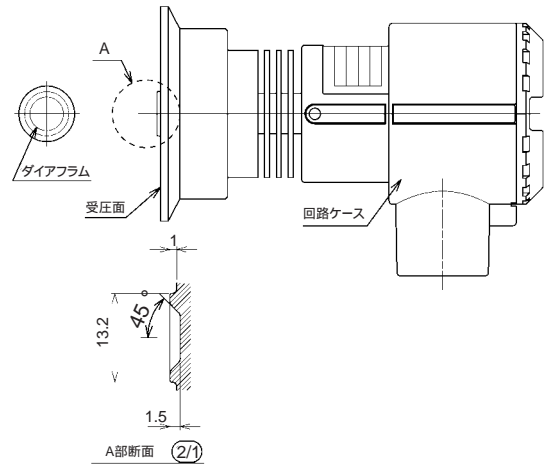


図5 接液面構造

3.3 温度特性の改善

一般的な歪ゲージ型圧力センサは、温度特性が十分ではなかった。これに対し、エキレスシリーズが採用したCrOxゲージは、温度特性が極めて良好である。Crなど金属は、本来正の温度係数を持っているが、酸素と反応させることによって半導体的な特性に近づき、負の温度係数を持つ。この特性を利用し酸素との反応時間を制御して、極めて温度係数を小さくすることができた。また、4つの抵抗体を用いた差動ブリッジ方式による信号検出方式を採用することにより、温度誤差を最小化できた。この時の4つの抵抗体は、全て同じ条件下で蒸着、生成されるため、温度係数が4つ共極めて近い値をもっており、差動ブリッジで出力を得た時さらに温度係数を小さくすることができる。

3.4 サニタリー性の高い接液部構造

エキレスシリーズでは、接液面の凹み(図5参照)を45度のテーパ状で滑らかな形状にし、ガスケットなどの無い完全溶接構造とした。また、溶接方法は凹凸や酸化の

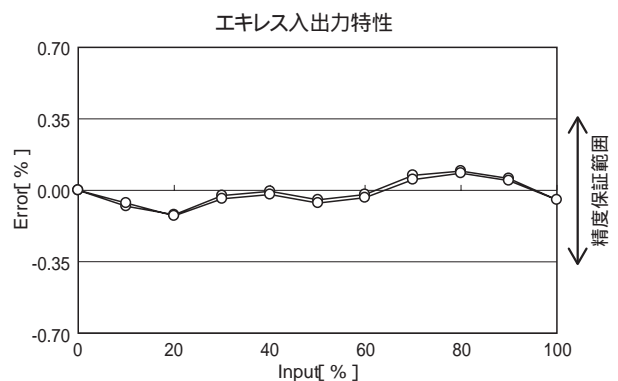


図6 入出力精度特性

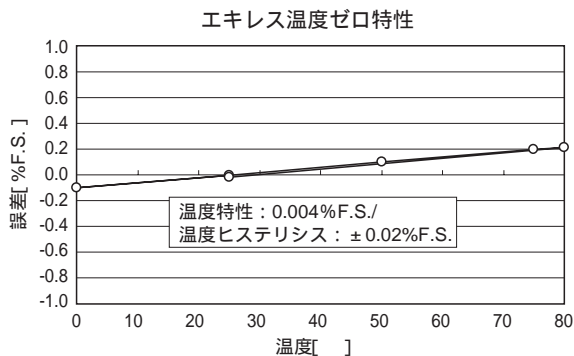


図7 温度ゼロ特性

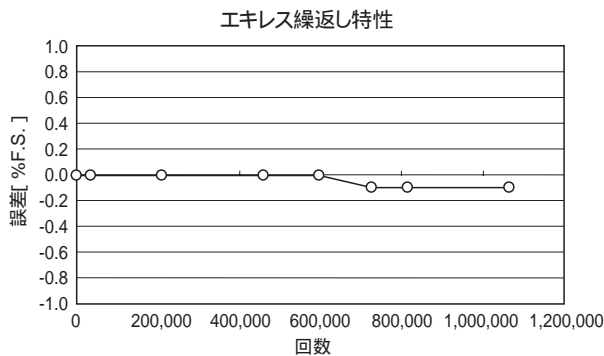


図9 繰返し入力特性

ない電子ビーム溶接法を採用した。これにより、接液流体の滞留部が無く、溶接部の腐食の心配も無いサニタリー性の高い構造を実現している。

4. エキレスシリーズの主な仕様

エキレスシリーズの主な仕様は、以下の通りである。

< 型名 : JP261 / 262 / 263 >

仕様

測定レンジ : 0 ~ 200 kPa, 0 ~ 500 kPa, 0 ~ 1 MPa
 - 100 ~ 100 kPa, - 100 ~ 300 kPa,
 - 0.1 ~ 0.9 MPa

精度 : スパンの ± 0.35%

温度特性(ゼロ点) : ± 0.025% of span/

動作温度範囲 : 本体 - 10 ~ 80 , 接液部 - 20 ~ 80
 (接液部洗浄時 150 連続)

出力信号 : 4 ~ 20 mA DC, 2線式

最大加圧 : スパンの 5倍

限界耐圧 : スパンの 10倍

(定格5倍以上 10倍以下の過大圧でゼロ点調整可能範囲内の出力誤差)

取付部 : サニタリクランプ 1S/1.5S(共用), 2.5S, 18 - M22, 14 - M22

受圧材質 : Co-Ni(ダイアフラム部)および SUS316L

質量 : 約 270 ~ 530 g(タイプによる)

構造 : JIS 防浸形 IP67

時定数 : 10 ms 以下

5. エキレスシリーズの特性例

以下に、エキレスシリーズの入出力特性、温度ゼロ特性、過大圧特性、繰返し圧力特性を、図6, 7, 8, 9に示す。

図に示すように、精度、温度特性、耐過大圧特性、耐久特性などプロセス計装で重要な製品実力を達成することができた。

(1) 入出力特性

入力ポイント(往復):

0% 10% 毎 100% -10% 毎 0%

(2) 温度特性

温度サイクル:

25 0 25 50 75 80 25

(3) 過大圧特性

過大圧印加後にゼロ点を測定、定格レンジ1 MPaサンプルを使用した。

(4) 繰返し入力特性

定格圧力を印加しゼロ点の変動を測定した。

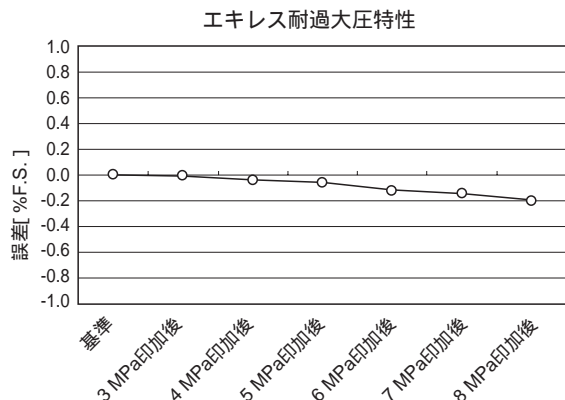


図8 耐過大圧特性

6. おわりに

エキレスシリーズでは、封入液を使用することなく、高耐食、高耐圧、高感度、および長期安定性を兼ね備えた食品医薬品用圧力センサを実現した。

今後は、現状ラインナップされていない乳業などの小型タンクのレベル測定などが可能な低圧レンジを拡充し、市場のニーズに応える所存である。

* エキレス™ は、横河電機(株)の登録商標です。