

高負圧環境下向けプロセス隔離型差圧スイッチ 「J-2PDS」の開発・製品化

佐藤 裕之、佐藤 正史、兼平 遼



差圧式圧カスイッチは確実なプロセス隔離機能を有することが求められる。既存の二重ダイアフラム式スイッチは、高負圧環境下では気密ダイアフラムへの圧力影響により、設定した動作値からズレが生じる課題がある。対して、気密ダイアフラムを取り除いた一重ダイアフラム式スイッチは、低圧室と設定機構部が隔離されていないため、原子力施設等の使用では放射性ガスの流入による汚染拡大リスクが残る。

そこで当社では、高負圧環境下でプロセスの隔離機能を維持可能な差圧スイッチとして、「J-2PDS」を(株)大洋バルブ製作所と共同にて開発・性能検証し、製品化を行った。なお、本稿にて紹介する内容は、2022年度の日本保全学会[1]にて発表した内容である。

キーワード: 再処理施設、差圧スイッチ、プロセス隔離機能、気液移送設備

1. はじめに

原子力施設等で使用される差圧式圧カスイッチ（以下、「差圧スイッチ」という）は、プロセスから計測部に放射性物質を含むガスが流入した場合であっても、差圧スイッチ設定機構部及び差圧スイッチ外へガスが漏れることのないよう、確実なプロセス隔離機能を有することが求められる。また、真空ポンプを使用した気液移送設備等の高負圧環境下であっても設定値が変動することなく正確に動作する必要がある。

当社では、この条件を満たすプロセス隔離型差圧スイッチ「J-2PDS」を開発・製品化した。

2. 差圧スイッチの課題

2.1 二重ダイアフラム式差圧スイッチ

二重ダイアフラム式差圧スイッチは、気密ダイアフラムにより保守作業時においても設定機構部および低圧室間が物理的に隔離された状態を維持できる構造である。図1に二重ダイアフラム式差圧スイッチの構造を示す。

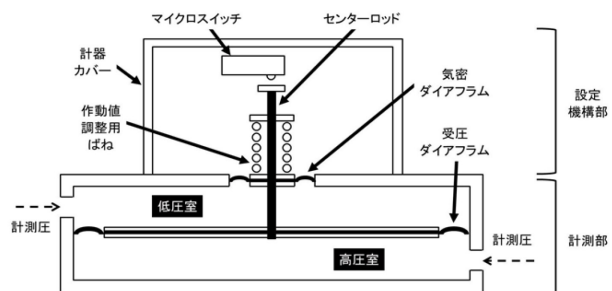


図1 二重ダイアフラム式差圧スイッチの構造

真空ポンプを使用した気液移送設備の詰まり検知のように、差圧スイッチの低圧室に加わる負圧が大きな系統では、低圧室の負圧が大きくなるに従い、気密ダイアフラム・センターロッドが下方に変化する。このことにより、気密ダイアフラムに差圧スイッチの作動を遅らせる方向の力が発生し、大気圧環境下で設定した動作値から逸脱して動作することから、低圧側が高負圧となる環境下における使用には適さない。

図2に気密ダイアフラムが動作値に及ぼす影響を示す。

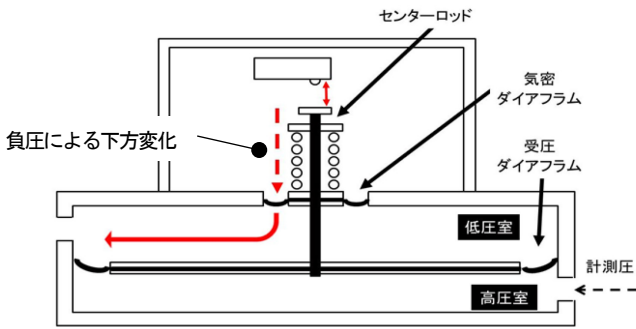


図2 気密ダイアフラムが動作値に及ぼす影響

2.2 一重ダイアフラム式差圧スイッチ

一重ダイアフラム式差圧スイッチは、高負圧環境下において動作値が離れる原因となる気密ダイアフラムを取り除いた構造である。図3に一重ダイアフラム式差圧スイッチの構造を示す。

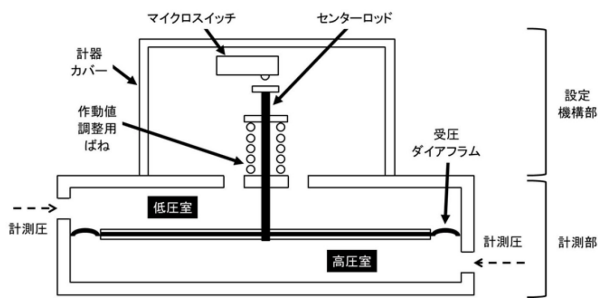


図3 一重ダイアフラム式差圧スイッチの構造

低圧室と設定機構部が隔離されていないため、プロセスにて発生した放射性ガスが低圧室に流入すると、計器内部にも流入する。差圧スイッチの保守作業時には、計器カバーを開放するため、流入した放射性ガスによって周囲に汚染が拡大し、作業員の被ばくリスクも高くなる。図4にプロセスからのガス流入が及ぼす影響を示す。

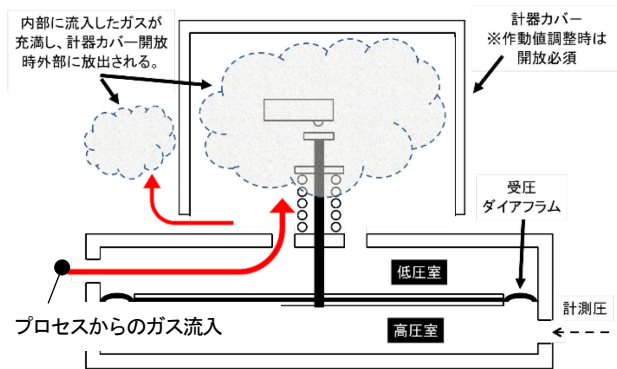


図4 プロセスからのガス流入が及ぼす影響

3. 新型差圧スイッチの開発

一重および二重ダイアフラム式差圧スイッチは、前項に示す課題があるため、高負圧環境下でも正確に動作し被ばくリスクが極めて低い新型の差圧スイッチを協力会社の(株)大洋バルブ製作所と共同で開発した。

(株)大洋バルブ製作所は差圧スイッチ開発に関する特許[2]を保有しており、再処理施設の真空機器の開発に携わったメーカーである。

3.1 金属ベローズを用いた差圧スイッチの検討

課題である動作値の変動をなくし、プロセス隔離機能を持たせるため、受圧部材に金属ベローズを採用する構造を考案した。また、差圧による受圧部の変位に応動するスイッチ機構部にはマグネットとリードスイッチを採用し、間接的に検知する方法を採用した。

図5に金属ベローズを用いた新型差圧スイッチの構造を示す。

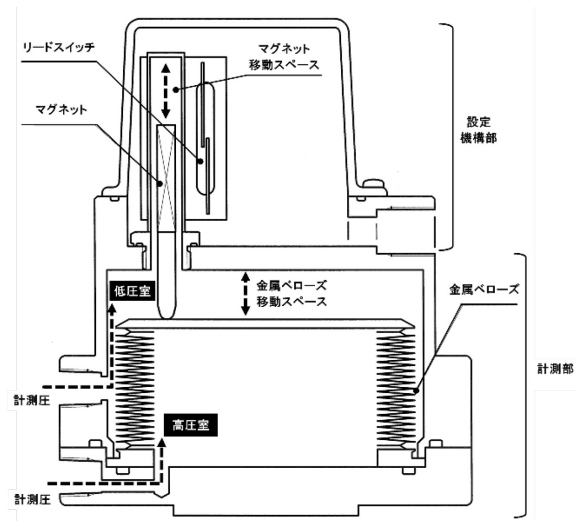


図5 金属ベローズを用いた差圧スイッチの構造

この構造により受圧部材である金属ベローズは差圧発生時のみ伸縮するため、動作値の変動が起こる可能性が低い。また、設定機構部と低圧室は計器内壁で仕切られているため、プロセスからの雰囲気は計測部の高圧室・低圧室(金属ベローズ移動スペース)・マグネット移動スペースのみ流入し、設定機構部から計器外部へ漏れることはない。

3.2 ショックアブソーバを用いたベローズの振れ防止対策

受圧部材に使用した金属ベローズの材質は、リードスイッチを作動させるために少量の空気伸縮変化ができ

る柔軟な SUS316L を選択した。

また、金属ベローズの縦方向の振れを防止するため、金属ベローズを挟む形で低圧室と高圧室にショックアブソーバを各 1 個ずつ設置し、金属ベローズの横方向の振れを防止するためにガイドを設けた。図 6 にショックアブソーバを用いた金属ベローズの振れ防止対策の構造を示す。

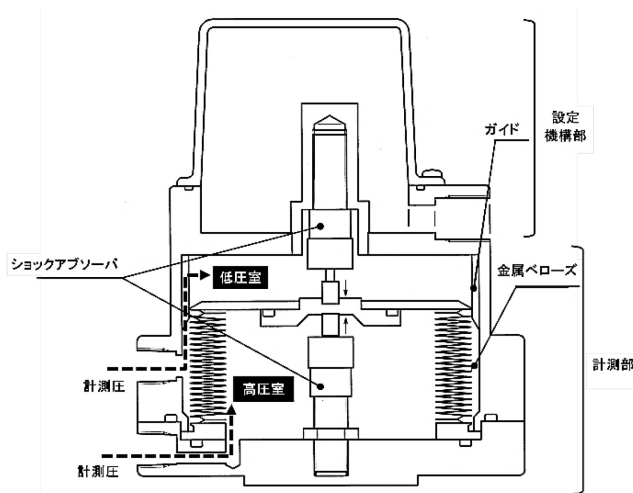


図6 ショックアブソーバを用いた金属ベローズの振れ防止対策の構造

3.3 新型差圧スイッチの試作機の製作

新型差圧スイッチの性能を確認するため、試作機を製作した。図7に外観を示す。



図7 新型差圧スイッチ試作機の外観

4. 新型差圧スイッチ試作機の性能検証

新型差圧スイッチの試作機について、動作値、耐圧、耐久性、耐震性、プロセス隔離性能を確認するため、各種試験を実施し、性能・特性を確認した。

4.1 動作確認試験

各計測レンジにおける動作精度および ON 動作から OFF 動作までの接断差を確認するために動作確認試験を実施した。

試験は、差圧スイッチを任意の設定値に調整し、動作値

および復帰値を採取した。動作値採取は、①高圧室を加圧した時の ON 動作②低圧室を減圧した時の ON 動作の 2 種類を実施した。復帰値採取は①高圧室を加圧し ON 動作させ高圧室を減圧した時の OFF 動作②低圧室を減圧し ON 動作させ低圧室を加圧した時の OFF 動作の 2 種類を実施した。表 1 に計測レンジ・動作精度・接断差を示す。

動作確認試験の結果から、設定値が大きくなるに従い復帰までの接断差も広がる傾向にあったため、同じ接断差で使用できる範囲として計測レンジを 4 つに分割し、各レンジにおける動作精度および復帰までの接断差を製品の製作仕様として決定した。各製品仕様の動作精度および切断差の設定値は、再処理施設で使用している従来製品と比較し、同等となるように決定した。

表 1 計測レンジ・動作精度・接断差[単位: kPa]

製品仕様	計測レンジ	動作精度	接断差
仕様1	0.3~2.0		≤0.080
仕様2	1.5~5.0		≤0.175
仕様3	3.0~7.0	±0.03	≤0.200
仕様4	5.0~12.0		≤0.350

4.2 耐圧試験

計測レンジ以上の圧力を印加し、外部リークや変形、設定値の変動がないことを確認するために耐圧試験を実施した。耐圧試験は、①高圧室および低圧室から印加する「気密耐圧試験」②高圧室から印加する「動作耐圧試験」③低圧室を一般的な真空ポンプでひける真空圧の-97 kPaまで減圧する「負圧(真空)試験」の 3 種類を実施した。表 2 に計器耐圧値を示す。

耐圧試験の結果から、気密耐圧値および動作耐圧値、負圧耐圧値以下では外部リークおよび設定値の変動が生じないことを確認した。

表 2 計器耐圧値 [単位: kPa]

①	気密耐圧値	200
②	動作耐圧値	20
③	負圧(真空)耐圧値	-97

4.3 耐久性試験

長期間の使用においても差圧スイッチの動作が持続することを確認するため、耐久性試験を実施した。耐久性試

験では、5,000 回の ON-OFF 動作を繰り返し、100、500、1,000、2,000、5,000 回の各ポイントにおいて動作値および復帰値を 3 回ずつ採取した。表 3 に結果を示す。

表 3 耐久性試験結果

回数	設定値 [kPa]	動作値 [kPa]	誤差 [kPa]	判定基準 [kPa]	復帰値 [kPa]	接断差 [kPa]	判定基準 [kPa]	判定
0回	0.490	1	0.489	-0.001	±0.030	0.458	0.031	0.08以内
		2	0.489	-0.001		0.458	0.031	
		3	0.489	-0.001		0.458	0.031	
100回	0.490	1	0.484	-0.006	±0.030	0.458	0.026	0.08以内
		2	0.488	-0.002		0.459	0.029	
		3	0.480	-0.010		0.457	0.023	
500回	0.490	1	0.480	-0.010	±0.030	0.453	0.027	0.08以内
		2	0.480	-0.010		0.453	0.027	
		3	0.480	-0.010		0.453	0.027	
1000回	0.490	1	0.482	-0.008	±0.030	0.454	0.028	0.08以内
		2	0.483	-0.007		0.453	0.030	
		3	0.483	-0.007		0.454	0.029	
2000回	0.490	1	0.483	-0.007	±0.030	0.449	0.034	0.08以内
		2	0.483	-0.007		0.450	0.033	
		3	0.482	-0.008		0.449	0.033	
5000回	0.490	1	0.485	-0.005	±0.030	0.453	0.032	0.08以内
		2	0.484	-0.006		0.454	0.030	
		3	0.486	-0.004		0.454	0.032	

耐久性試験の結果、5,000 回までの範囲において動作値の変動がなく、表 1 に示す動作精度・接断差内であることを確認した。

4.4 加振試験

振動の影響を確認するため、JIS に準拠して一般的な電子機器の試験に基づき正弦波掃引連続加振試験を実施した。加振試験の様子を図 8 に示す。

加振試験では、差圧スイッチの設定値を 0.49 kPa に調整し、設定値に近い 0.40 kPa を加圧した状態で、X,Y (横) 方向は 20 Hz で 2.0 G を 140 秒間、Z (縦) 方向は 20 Hz で 1.0 G を 140 秒間加振し、加振前後の動作値・復帰値の確認と加振中の誤動作の有無を確認した。

加振試験の結果、加振中の誤動作が無く加振前後の動作値・復帰値採取において表 1 に示す動作精度・接断差内であることを確認した。

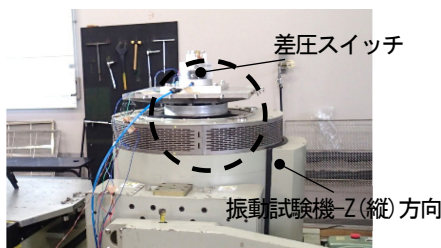


図 8 正弦波掃引連続加振試験の様子

4.5 内部ばく露試験

プロセスから計器内部に腐食性ガスが流入した場合を想定し、①内部機構の腐食②動作値への影響③腐食性ガスが計測部から設定機構部へ流入しないこと (プロセス

隔離性能)を確認するため、内部ばく露試験を実施した。腐食性ガスは硝酸水溶液 13.6 mol/L へ Air を通気させたときに発生する硝酸ガスとし、24 時間連続して計測部高圧室・低圧室に流入した。

試験は、ガス抜き (空気置換) 後、0 日 (ガス抜き直後)・30 日後・60 日後の動作値および復帰値を確認した。また、プロセス隔離性能は設定機構部内のガス濃度を測定し確認した。図 9 に内部ばく露試験の模式図を示す。

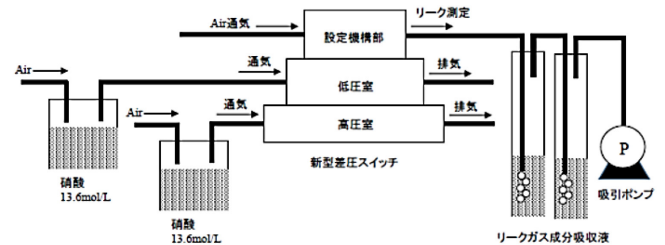


図 9 内部ばく露試験の模式図

設定機構部へのガス侵入検証について、設定機構部の Air を分析し、硝酸を構成するガス濃度を測定した結果、定量下限値未満であったため、本試験条件の範囲においては計測室と設定機構部とのプロセス隔離性能が保たれていることを確認できた。

内部機構の腐食および動作値への影響は、ガス流入 24 時間後、30 日・60 日経過後の動作値を確認した結果、全て表 1 に示す精度内であったため、腐食性ガス流入後 2 か月間は正常動作が見込めることを確認できた。また、動作試験後にスイッチを分解し腐食状態を確認した結果、内部部品に明らかな腐食がないことを確認した。図 10 に内部腐食状態確認状況を示す。

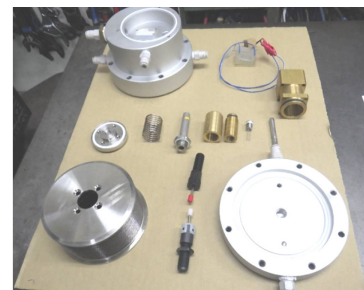


図 10 内部腐食状態確認状況

5. 新型差圧スイッチ「J-2PDS」の製品化

5.1 完成品のデザイン変更

開発した新型差圧スイッチの製品化にあたり、現場での扱いやすさを追求し外観をシンプルな形状へデザイン変更した。試作機より凹凸を減らし、計器蓋をねじ込み

式へ変更。さらに蓋にザラつき加工を施すことで計器蓋開閉の際に工具を使用しなくても手だけで力が加わる形状とした。図 11 に完成品の外観、図 12 に構造図を示す。

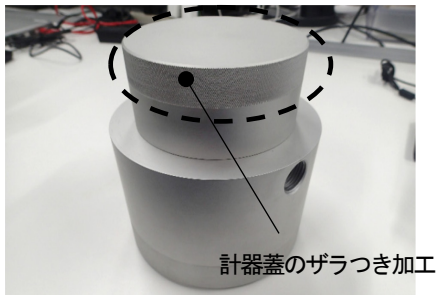


図 11 完成品の外観

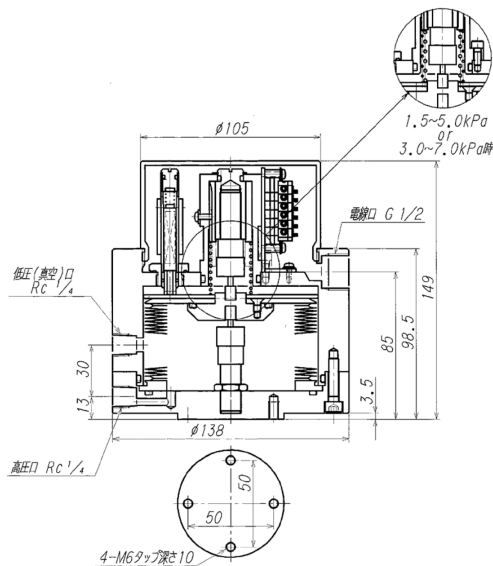


図 12 構造図

5.2 実用新案登録と命名

ベローズの振れ防止対策として実施した「差圧容器と移動体との間にショックアブソーバを 2 体設け、第 1 ショックアブソーバと第 2 ショックアブソーバのショック吸収エネルギー値に強弱差を設ける改良」の有効性が確認できたため、本件を実用新案[3]として申請し、登録された。

また、計器略称を「J-2PDS」とした。命名由来は「J (J-tech) -2PDS (差圧スイッチ : PDS+汚染に備える : Prep)」である。

6. まとめ

金属ベローズとマグネット、リードスイッチを組み合わせたことでプロセス隔離機能を有する差圧スイッチを開発した。

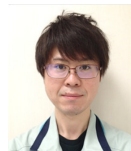
本計器は真真空に近い高負圧環境下や地震・振動・腐食性

ガス流入の可能性がある使用状況においても、安定した動作が見込めることから、プラントの汚染拡大防止、安全・安定操業、保守時の安全性の向上に寄与できるものとする。

2021 年より、一般販売[4]を開始しており、多くのプラントに採用して頂けるようマーケティング活動を行っている。

参考文献

- [1] 佐藤裕之、佐藤正史、兼平遥、他 “高負圧環境下向けプロセス隔離型差圧スイッチ「J-2PDS」の開発・製品化”、日本保全学会 第 18 回学術講演会 要旨集、2022、pp.625-630.
- [2] 特許第 5311568 号 ベローズ型差圧式圧力スイッチ及び圧力検出システム (日本原子力研究開発機構と(株)大洋バルブ製作所の共同保有)
- [3] 実用新案登録第 3221482 号 差圧検出装置、(株)大洋バルブ製作所とジェイテックの共同保有)
- [4] 販売元 : (株)大洋バルブ製作所 (現在は受注生産)



佐藤 裕之
(株)ジェイテック
電気・計装保修部 計装グループ



佐藤 正史
(株)ジェイテック
電気・計装保修部 計装グループ



兼平 遥
(株)ジェイテック
電気・計装保修部 計装グループ