

計 装 設 備 維 持 規 格

（2025 年 10 月 10 日追補）

この追補は、2022 年 11 月 1 日に改訂された“計装設備維持規格”2022 年版の追補である。したがって、今後、**JPI-8S-5-2022** とは、この追補も含むものとする。

なお、この追補は、石油学会ホームページ上で、該当箇所のみを示す。2025 年 10 月 10 日の追補は次の 2 箇所である。

JPI-8S-5-2022 の該当頁： 43 頁（管理番号：8S-5-2022 追補 01） 2

JPI-8S-5-2022 の該当頁： 96 頁（管理番号：8S-5-2022 追補 02） 2

管理番号 8S-5-2022 追補 01 で挿入する **II.1 附属書 A** 46-1

管理番号 8S-5-2022 追補 02 で挿入する **II.6 附属書 B** 107-1

JPI-8S-5-2022 の該当頁： 43 頁（管理番号：8S-5-2022 追補 01）

5. 流量計の管理 コリオリ式流量計の経年劣化での管理ポイントとなるチューブ部分は、溶接構造のケース内に設置されているためチューブ肉厚測定は、困難である。そのチューブ管理における検討事例として、「コリオリ流量計のチューブ腐食による影響」を**附属書 A**に示す。

追記

（管理番号：8S-5-2022 追補 01）の**解説**

設備の信頼性向上のための改善を進めるには、最新の技術情報収集も重要な要素である。
数ある流量測定方式の中でも高精度で流量計測ができるコリオリ式流量計の導入が進んでいる。本附属書ではコリオリ流量計の計測原理や基本構成について説明し、流体から力学的作用を受けるチューブ部分について株式会社オーバル殿が取りまとめた「コリオリ流量計のチューブ腐食による影響」を附属書として添付することとした。

II.1 附属書 A 「コリオリ流量計のチューブ腐食による影響」を 46 頁と 47 頁の間に挿入する。次回改訂まで附属書のページを 46-1,2,3....と記載する。

JPI-8S-5-2022 の該当頁： 96 頁（管理番号：8S-5-2022 追補 02）

4 調節弁・緊急遮断弁の管理 調節弁・緊急遮断弁の維持管理に関しては、設置環境に起因する劣化や作動不良、内部流体の性状等に起因する機能低下など多くのトラブル事例が報告されている。代表的な事例を**附属書 A**に示す。また、調節弁における時間基準保全（TBM：Time Based Maintenance）から設備の状態に応じたメンテナンス（CBM: Condition Based Maintenance）への移行事例として「調節弁スマートポジショナによるバルブ診断技術」を**附属書 B**に示す。

追記

（管理番号：8S-5-2022 追補 02）の**解説**

設備の信頼性向上のための改善を進めるには、最新の技術情報収集も重要な要素である。
調節弁における時間基準保全（TBM：Time Based Maintenance）から設備の状態に応じたメンテナンス（CBM: Condition Based Maintenance）への移行事例として取りまとめた内容を附属書として添付することとした。

II.6 附属書 B 「調節弁スマートポジショナによるバルブ診断技術」を 107 頁と 108 頁の間に挿入する。次回改訂まで附属書のページを 107-1,2,3....と記載する。

Ⅱ.1 附属書 A コリオリ流量計のチューブ腐食による影響¹

1. はじめに

質量流量計であるコリオリ流量計は質量流量を直接計測できる計測原理を有し、数ある流量計の中でも高精度での流量計測をできることが知られている。本附属書ではコリオリ流量計の計測原理及び基本構成について説明し、株式会社オーバルが実施したチューブ腐食によるコリオリ流量計への影響確認事例について紹介する。

2. コリオリ流量計（質量流量）の計測原理

コリオリ流量計の計測原理を簡単に言えば、流体の流れにより発生する流路（チューブ）の機械的変形である。流体が流れるチューブは流体から力学的作用を受けるが、その量の検出には技術的な工夫が必要とされる。実際には、チューブを一定の周期（周波数）で振動させることで生じるチューブの変形をチューブのねじれ量として検出している。そのねじれ量が質量流量に比例するため、質量流量計として成立する。なぜコリオリ流量計と呼ばれるかについては、流体の流れにより発生するチューブへの力学的作用が「コリオリ力」として表現できるためである。

次にコリオリ流量計における質量流量の導出過程を説明する。前述したとおりチューブが一定の周波数で振動している際、チューブ内部に流体が流れるとその質量流量に比例したコリオリ力が働く。コリオリ力はチューブの流入側と流出側では逆方向に働き、ねじれが発生する。発生したねじれ量がチューブ内を通過する質量流量に比例するため、質量流量を求めることができる。一般的なコリオリ流量計では2本のチューブが向き合う様に振動しているが、チューブは1本でも流量計として成立する。したがって、チューブを1本としてねじれの発生について考え、質量流量を算出してみる。

図1に示すように、コリオリ力 F_{c1} 及びコリオリ力 F_{c2} は逆方向に働くため、点 O 周りのモーメント M は以下の式で表される。

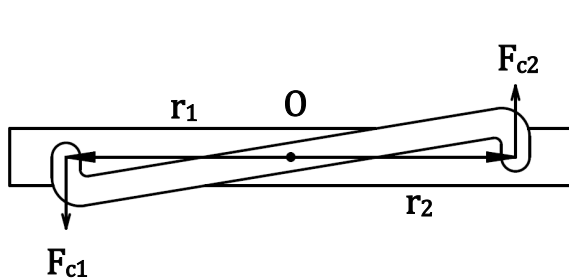


図1 チューブに働くコリオリ力

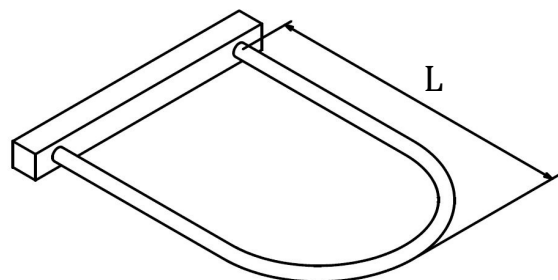


図2 チューブの代表長さ

$$M=r_1 \cdot F_{c1}+r_2 \cdot F_{c2} \quad \cdots (1.1)$$

チューブ内を流れる流体の質量を m 、チューブの角速度を ω 、チューブ内の断面平均流速を U とすると

$$F_c=2m\omega U \quad \cdots (1.2)$$

$F_{c1}=F_{c2}=F_c$ 、 $r_1=r_2=r$ であるから、式(1.1)は

$$M=2rF_c=4mr\omega U \quad \cdots (1.3)$$

次に、図2に示すチューブの代表長さを L 、時間を t 、質量流量を Q_m とすると

¹ 株式会社オーバル 磯田伸一郎、若松武史、本宮武志、安方遼太郎

$$Q_m = m / t \quad \dots (1.4)$$

$$U = L / t \quad \dots (1.5)$$

式(1.4)、(1.5)を式(1.3)に代入すると

$$M = 4Q_m t r \omega L / t = 4Q_m r \omega L \quad \dots (1.6)$$

チューブは弾性変形をするので、式(1.1)のモーメントに反発する。反発する際のチューブのばね定数を K 、ねじれ角を θ 、トルクを T とすると

$$T = K\theta \quad \dots (1.7)$$

$T=M$ とおくと、式 (1.6)、式 (1.7)から

$$Q_m = K\theta / 4r\omega L \quad \dots (1.8)$$

式(1.8)により、発生したねじれ角（ねじれ量）がチューブ内の質量流量に比例することが分かる。その一方、ばね定数のように温度によって変化する項を含んでいることから、温度補正が必要になる。したがって、コリオリ流量計の構成要素としては流路であるチューブ、チューブを一定の振動周波数で振動させるための電磁オシレータ、ねじれ角を検出するための電磁ピックアップ、ばね定数を温度補正するための温度センサなどが必要になる。

3. コリオリ流量計の基本構成

コリオリ流量計の一般的な内部構造を図 3 に示す。電磁ピックアップ、電磁オシレータはマグネットとコイルの組み合わせで、一方のチューブにマグネットが、もう一方のチューブにはコイルが固定されている。電磁オシレータはチューブを一定の振動周波数で振動させるためにチューブの中央に設置される。電磁ピックアップはチューブの左右に設置されており、質量流量に比例したチューブのねじれによって生じる位相差（出力波形の時間的な位相ずれ）を検出する。また、チューブに貼り付けられた温度センサにより、流体温度に近い温度計測が可能である。

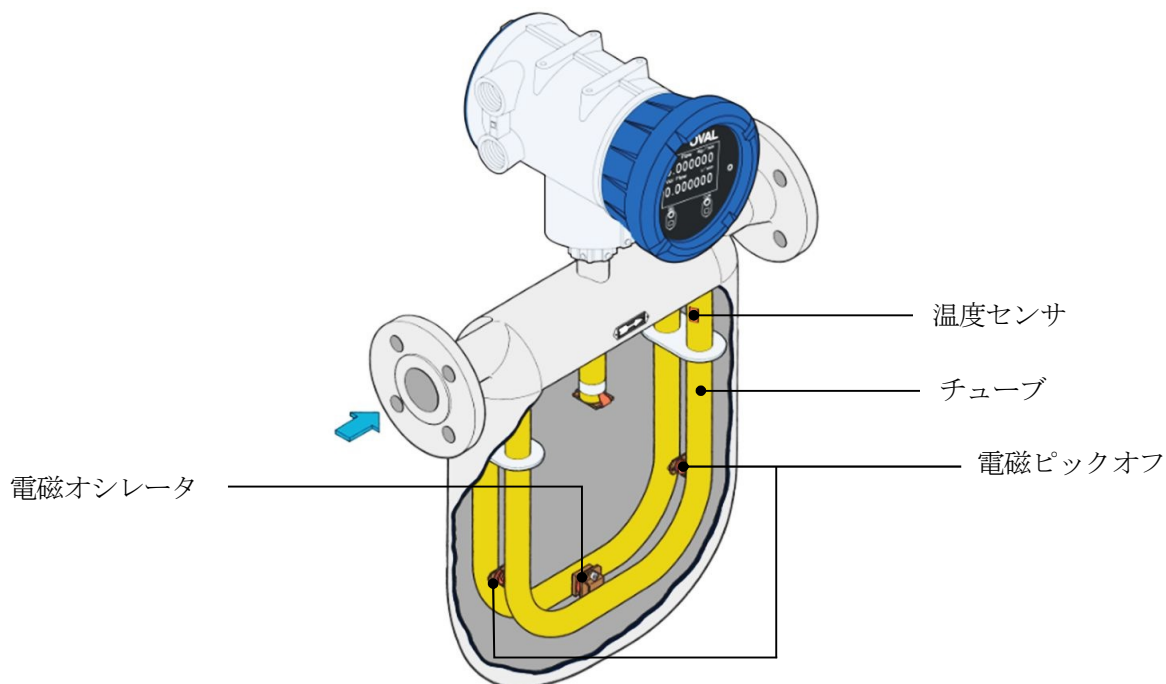


図 3 コリオリ流量計の一般的な内部構造

4. チューブ腐食による流量計測への影響

コリオリ流量計の接液部には可動部を有する部品がない。このことから、流量計の維持管理については製造者が独自に定めた検査項目と定期的な精度検査を実施することがその中心となる。一方、腐食性流体及び研磨性を有するスラリー流体なども計測対象に含まれることに加え、使用されているチューブは検出感度を高めるために薄肉である。したがって、腐食及び摩耗の発生が懸念される場合、チューブ減肉の有無についての確認が必要になってくるが、実際には溶接構造をしていることもあり、製造後のチューブ肉厚測定は困難である。このため、腐食及び摩耗によるチューブ減肉が質量流量計測を始めとする各機能へ及ぼす影響について把握しておくことは製造者・使用者の双方に有益と考えた。本附属書では特にチューブが腐食（コロージョン）により、減肉した場合の影響確認事例について紹介する。

4.1 腐食試験

腐食によりチューブを減肉させるため、腐食液としてステンレス鋼用の焼錆除去剤を用いた腐食試験を実施した。腐食試験に用いた焼錆除去剤の主成分は硝酸であり、コリオリ流量計の接液部材質選定基準では腐食の可能性が極めて高く、SUS316L の適用を不可としている。腐食試験方法を表 1 に示す。

表 1 腐食試験方法

項目	内容
対象機器	チューブ形状：U 字管、チューブ材質：SUS316L 口径：25mm
腐食液	焼錆除去剤（ステンレス鋼用、主成分：硝酸）
試験方法	① 腐食前に流量精度試験、振動周波数測定をおこなう ② チューブ内部を一定期間腐食させる（腐食期間 1 回目） ③ 腐食期間 1 回目後の流量精度試験、振動周波数測定をおこなう ④ チューブ内部を再度、一定期間腐食させる（腐食期間 2 回目） ⑤ 腐食期間 2 回目後の流量精度試験、振動周波数測定をおこなう

今回の試験ではチューブの減肉による質量流量計測への影響確認を目的としているため、腐食試験前後での質量流量精度比較が必須となる。したがって、腐食させた後に流量計を分解し、チューブをカットして実際のチューブ肉厚を測定し、正確な減肉量を把握することができない。そこで、チューブ肉厚を変化させた場合の振動周波数をコンピュータシミュレーション（解析手法として固有値解析を用いた。以下、固有値解析と称す）により求め、チューブ肉厚の減肉率と振動周波数の変化率との関係を把握した（固有値解析結果）。次に腐食試験前後で実際の振動周波数を測定し、腐食前の振動周波数に対する腐食後の振動周波数の変化率を実験値として求めた。これら固有値解析結果と腐食試験から得られた実験値とを比較して、おおよその減肉量として推定した。

表 2 に固有値解析によるチューブ肉厚の減肉率と振動周波数の変化率との関係、表 3 には腐食試験から得られた実験値を示す。振動周波数は温度により変化するため、実際に測定された振動周波数を 20℃での値に換算してから実験値を算出している。なお、振動周波数はチューブ内が水で満たされた状態で測定する。固有値解析結果、腐食試験から得られた実験値共にチューブの減肉に伴って振動周波数はマイナスシフトすることが確認された。

一般的にコリオリ流量計の振動周波数 f は、チューブのばね定数を K 、チューブ内の流体を含む、チューブ全体の質量を M とすると以下の式で近似することができる。

$$f=(1/2\pi)\sqrt{(K/M)}$$

チューブのばね定数が一定の場合、振動周波数はチューブ内の液体の密度に依存する。したがって、振動周波数を監視することで流体密度を計測することが可能となる。

なお、チューブのばね定数はチューブの形状（チューブの断面形状によって決定される断面二次モーメント）及びチューブ材質のヤング率に依存する。

今回確認されたチューブ減肉による振動周波数の変化要因としては

- ・チューブ内の流体を含む、チューブ全体の質量変化
- ・断面二次モーメントの低下（中空円の断面二次モーメントを算出する際の内径の増加）

が挙げられる。

この内、チューブ全体の質量変化についてはチューブの減肉によるチューブ質量の減少量>チューブの減肉部分で増加する流体質量の関係となる。このことから、チューブ全体の質量は腐食前と比較して減少するものと判断できる。チューブ全体の質量減少は振動周波数のプラスシフト要因となるため、チューブの減肉による振動周波数のマイナスシフト要因としてはばね定数の低下（断面二次モーメントの低下）による影響が大きいものと考えられる。

表 2 固有値解析によるチューブ肉厚の減肉率と振動周波数の変化率との関係

チューブ肉厚の減肉率 [%]	固有値解析結果から求めた振動周波数の変化率 [%]
2.7	-0.50
4.0	-0.75
5.3	-1.01
6.7	-1.28

表 3 腐食試験から得られた実験値

試験条件	振動周波数の変化率 [%]
腐食期間 1 回目	-0.52
腐食期間 2 回目	-1.07

固有値解析結果と腐食試験から得られた実験値とを比較した結果、今回実施した試験では腐食前のチューブ肉厚と比較して腐食期間 1 回目で約 2.7%の減肉、腐食期間 2 回目で約 5.3%の減肉が生じたものと推定された。

4.2 腐食試験前後での流量精度試験

腐食試験によりチューブを減肉させた時の質量流量計測への影響について確認した。まず、腐食前の状態において流量計の常用最大流量である 10,800 kg/h で流量校正係数を決定する。決定した流量校正係数を使用し、10,800 kg/h、5,400 kg/h の 2 点での流量精度（器差）を確認する。腐食前の流量校正係数を用いて、腐食期間 1 回目後、腐食期間 2 回目後に前述した 2 点での器差を確認することでチューブを減肉させた時の質量流量計測への影響を調べた。表 4 に質量流量精度試験条件を示す。

表 4 質量流量精度試験条件

項目	内容
質量流量精度（定格値）	±0.1%RD（液体の場合）
試験流量	10,800 、5,400 kg/h

図 4 にチューブ腐食試験前後での流量精度試験結果を示す。腐食前の器差が流量計の定格質量流量精度の±0.1%以内であったのに対し、腐食期間 1 回目後の器差は約+3.7%、同 2 回目後の器差は約+7.9%プラスシフトしていることが確認された。チューブ肉厚の減肉量と器差との関係を整理したものを表 5 に示す。腐食によるチューブ肉厚の減肉によって、定格値の質量流量精度を大幅に逸脱する結果となった。

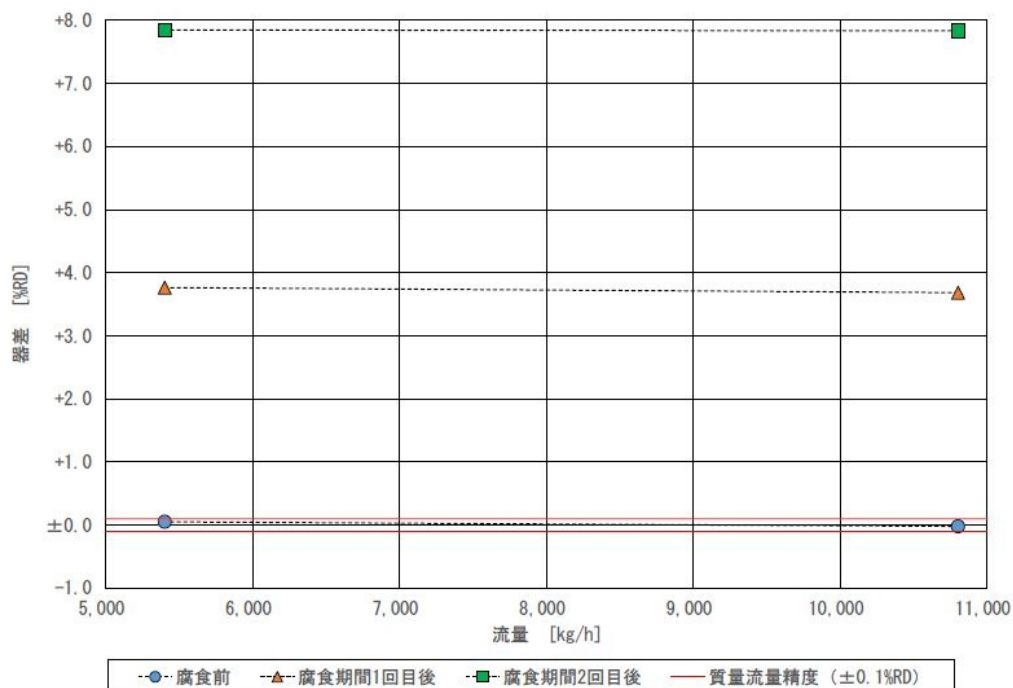


図 4 腐食試験前後での流量精度試験結果（試験流体：水、試験方法：ひょう量法＜停止法＞）

表 5 チューブ肉厚の減肉率と器差の関係

試験条件	チューブ肉厚の減肉率 （推定値） [%]	器差 [%] （10,800 kg/h）	密度指示変化量 [g/mL]
腐食前	—	-0.02	—
腐食期間 1 回目	2.7	+3.68	+0.02733
腐食期間 2 回目	5.3	+7.83	+0.05705

腐食試験後に器差がプラスシフトすることにより、ある質量流量に対して得られる位相差が腐食前よりも増加していると判る。これは、減肉によりチューブのばね定数が減少したためと推定される。

また、チューブ形状が異なるコリオリ流量計（チューブ形状：弓形管、口径：25mm、接液部材質：SUS316L）においても同様の試験を実施した。チューブ肉厚の減肉率と振動周波数及び器差の関係を表 6 に示す。弓形管のコリオリ流量計についても U 字管のコリオリ流量計同様、腐食前と比較して振動周波数のマイナスシフト、器差のプラスシフトが確認された。

表 6 チューブ肉厚の減肉率と振動周波数及び器差の関係（チューブ形状：弓形管）

試験条件	チューブ肉厚の減肉率 (推定値) [%]	器差 [%] (14,400 kg/h)	密度指示変化量 [g/mL]
腐食前	—	±0.00	—
腐食期間 1 回目	2.0	+1.93	+0.02108
腐食期間 2 回目	5.3	+5.99	+0.06049

5. まとめ

5.1 考察

コリオリ流量計のチューブ肉厚が腐食及び摩耗により減少した場合、以下の状況となる。

- 1) 振動周波数は腐食前と比較してマイナスシフトする（密度計測としてはプラスシフト）
- 2) 質量流量精度（器差）は腐食前と比較してプラスシフトする

試験結果から腐食によるチューブ肉厚の減肉により、ばね定数が変化したことで質量流量計測及び振動周波数（密度計測）の各機能が影響を受けることが確認された。コリオリ流量計における質量流量計測、振動周波数の基本式のいずれにもばね定数の項が含まれていることから、ばね定数の変化を何らかの方法によって検出することでチューブの減肉判断及び計測機能の劣化判断への活用が可能となる。

ばね定数の変化を検出する方法としては一定条件下での振動周波数（密度指示値）若しくは電磁オシレータに印加する電圧（ドライブ電圧）を観測する方法を提案できる。一方で振動周波数若しくはドライブ電圧はチューブの減肉、詰まり及び付着だけでなく、正常状態での流体温度及び流体密度によっても変化してしまう。これらをばね定数の変化として検出・判断するためには、観測する条件を一定にしなければならない。

5.2 結論

コリオリ流量計のチューブにおける余肉の量は、口径、フランジ規格及び使用温度により異なるため一概には言えないが、表 5 及び表 6 に示される 5%程度の減肉率において直ちに漏えい事故が発生することはないと考えられる。また、減肉率 5%程度における密度指示の変化量はチューブ形状及び計測する流体の密度などによって幅はあるものの、定期的な観測により十分検出可能である。チューブの減肉による破損が原因でチューブから漏えいが発生したとしても、不活性ガスが封入された一定の耐圧性能を有するケースで覆われていることから、外部への漏えい事故までに至ってしまう事態及びコリオリ流量計自体が漏えい流体の着火源となる可能性は想定しにくい。

したがって、漏えい防止の観点においては、流体の性状、温度、圧力等の使用条件が一定となる環境において、定期的に観測する密度の値に有意な変化（密度が大きくなる方向）が現れた場合、チューブの減肉が進んでいると判断することが可能と考えられる。

一方、減肉による保証精度の逸脱の検出については、減肉率に対する精度変化が大きすぎることから、外乱影響等の影響が大きく、密度の定期的な観測では実現が困難と考えられる。この点については技術革新を行うべく取り組んでいるところである。

参考文献

- [1] コリオリ方式とは何か～測定原理／構造と現場適用法、(株)オーバル／小林誠司、工業技術社「計装」、2018 年 Vol.61, No.8

Ⅱ．6 附属書 B 調節弁スマートポジションナによる バルブ診断技術¹

1. はじめに

2020 年代に入り、プラント及び生産現場では設備の老朽化及び労働人口の減少が深刻な課題となっており、特に定期修理工事（定修）においてその影響が顕著になっている。作業員の確保が難しくなる一方で、熟練作業者の退職が進行し、技術継承の問題も顕在化している。また、設備の使用年数の増加により保全作業の複雑化・作業量の増大が進み、定修の長期化及び安定操業への悪影響が懸念されている。

これらの課題に対処するため、2020 年以降、AI 及び IoT などの先端技術を活用した「スマート保安」の導入が本格化している。これにより、現場作業の効率化及び設備保全の高度化が進み、少人数でも高い保全品質を実現できる体制の構築が期待されている。とりわけ、HART®通信に代表される産業ネットワーク技術を活用することで、現場機器の状態監視及び診断情報を遠隔で一元的に取得できるようになり、DCS（分散制御システム）を中心とした高度な機器管理が可能となっている。

このような取り組みは、設備の状態に応じたメンテナンス（CBM: Condition Based Maintenance）への移行を加速させており、定修期間の短縮及び突発的な対応の削減につながっている。特に、調節弁（コントロール・バルブ）などの重要機器においては、状態の可視化が故障予知及びプロセス異常時の迅速な原因特定に寄与し、石油・化学プラントにおける保安力の向上に貢献している。

本稿では、2020 年代初頭における定修を取り巻く課題を整理し、それに対してどのような技術的対応がなされているかを、実際の変革事例を通して詳述することを目的とする。

2. バルブ診断について

2.1 バルブ診断の現状と課題

2010 年代までのバルブ保全は、プラントにおける定期修理工事のタイミングに合わせた、いわば時間基準保全（TBM : Time Based Maintenance）が中心だった。

これは法的要件及び安全性を確保するため、定期的（多くは数年ごと）にバルブを開放し内部を確認するという手法だが、現実には 60%以上のバルブで操業に支障が生ずるような所見が見つからず、内部確認と消耗部品の交換にとどまるケースが大半を占めていた。

また残りの約 40%で劣化等の所見が見つかったとしても、その劣化がプロセス全体に与える影響は明確でないことが多く、それを裏付ける定量的なデータも現時点（2025 年現在）では存在しておらず、結果的に消耗部品交換などの予防処置が慣例として行われてきた。

¹ アズビル株式会社 アドバンスオートメーションカンパニー
戦略事業開発 2 部 DX バルブソリューショングループ 小山 晋一

このような状況から、TBM はコスト及び作業工数の面で非効率となるリスクが高く、2020 年代以降、作業を最小限に抑えつつも安全性と信頼性を確保できる保全手法への移行が求められている。とくに定期メンテナンス時の作業負担を軽減しつつ、将来的に深刻化が懸念される保全人材の不足（2030 年頃を見据えた課題）への対応を進めることが、プラント運用における重要なテーマとなっている。

2.2 バルブ診断技術の進化

状態基準保全（CBM）手法を進めるにあたり、バルブの制御機能及び制御中のバルブの状態を検出する機能（以下、診断パラメータ）を備えたスマート・バルブ・ポジショナが必要になる。スマート・バルブ・ポジショナに搭載された様々な診断パラメータ（バルブの位置、速度、トルク、圧力、温度など）は、HART®通信を用いてリアルタイムで上位の機器管理システムにて収集され蓄積される。これらの蓄積データは、2020 年代以降に普及したデジタル技術を活用して分析され、調節弁の状態が診断される。これらのデータを基に、バルブの、詰まり、漏れなどの状態を診断し、その結果に基づき、具体的な点検内容及び設備対応が策定されるため、計画的なメンテナンスが可能となり、運用効率の向上及び突発的な故障リスクの軽減が期待される。このように、バルブ診断技術は 2020 年代現在の現場における効率化と安全性の向上に大いに寄与しており、特にスマート・バルブ・ポジショナを中心とした先進的なシステムは、2030 年代のプラント運用の革新に不可欠な要素となっている。

2.3 バルブ診断技術の応用

バルブ診断を持続可能な取り組みとして運用推進する為には、ユーザーにとって 2 つの課題がある。

1 つ目は「業務負荷」、2 つ目は、「診断タイミングとレベル」である。クラウド型バルブ診断は、この課題を解決し支援する取り組みであり、次項よりその課題について述べる。

(1) 業務負荷

ユーザーは生産設備の安定化を図るために、日々数多くの業務を担っている。その一環としてバルブの健全性把握、メンテナンス最適化を目的とする診断ツールを導入している場合、ユーザーは数多くの業務負担に加え、診断ツールの運用及び評価をする時間の確保が困難になり、診断ツールを活用しきれないケースが頻繁に見受けられる。

また担当の交代・異動・退職などにより、診断ツールの運用業務の引継ぎがスムーズに行われず、結果的に活用がされていない事がある。2020 年代に入り、感染症対策、働き方及び現場運用の在り方が見直される中で、現場に直接赴かなくてもバルブの状態を把握できる“リモート診断”の重要性が高まり、現場負荷を抑えつつ、保全の効率と精度を両立する手段として注目されている。

(2) 診断タイミングとレベル

バルブ解析診断サービスでは、システムに蓄積されたデータを 1 ヶ月または半年ごとに手動収集して、その後 1～3 週間ほどかけて分析・解析を行うため、月ごと、半年または 1 年ごとに報告

を行うことが多かった。しかしバルブの重要度次第ではもっと頻繁に確認したいことがあるにも関わらず、ユーザーがデータを欲するタイミング、例えば整備計画策定時などに有効なデータを適時提供できない事は、従来の解析診断サービスの大きな課題だった。

この課題を解決するため、クラウド型バルブ診断技術が登場している。

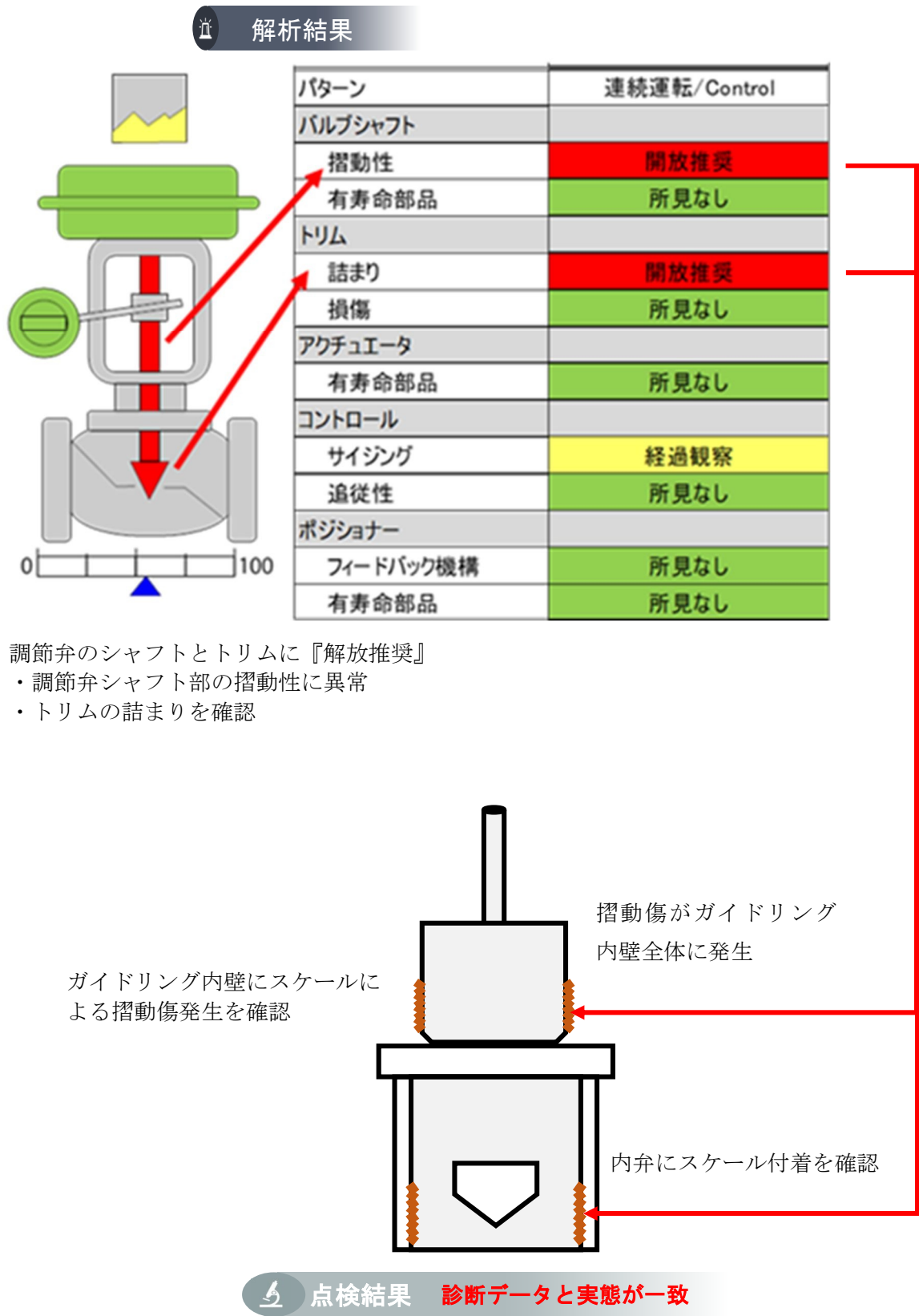
機器管理システムで収集、蓄積されたスマート・バルブ・ポジショナからのバルブ診断パラメータは、メーカー独自の診断アルゴリズムを用いて自動的に解析され、その診断結果はレポートなどを待たずにユーザー自ら、PC 及びスマホを用いて確認することができる。診断結果は、5 項目（バルブシャフト、トリム、アクチュエータ、コントロール、ポジショナ）に対して 4 段階（良好、経過観察、詳細確認、開放推奨）で評価され、その結果は視覚的表現を用いてユーザーに提供され、更に複数のバルブの状態も一目で把握できるように配慮されている。

3. 導入事例紹介

以下では、具体的な導入事例を通じて、バルブ保全の最適化及びクラウドサービスの活用によるコスト削減、安全操業の実現について詳しくご紹介する。これらの事例は、各企業が直面する課題に対してどのように対応し成果を上げているかを示すものであり、他の企業にとっても参考となる貴重な情報になると思われる。

3.1【事例 1】蒸気プロセスにおける調節弁診断事例

始めに調節弁診断の導入事例として、蒸気プロセスにおける調節弁診断を行った事例を紹介する。開放整備の前に対象調節弁の解析診断を実施した結果、シャフトの摺動性とトリムの詰まりに異常が発生し、開放推奨判定となっていた。その結果を踏まえ、調節弁の開放点検と比較検証作業を実施したところ、プラグの摺動部にあるガイドリングの内壁に付着したスケールによって摺動傷が発生しており、この傷の影響で摺動性についてバルブ解析診断が異常と判断し、開放推奨判定となっていた。さらに、トリムの詰まり判定においても、内弁にスケールの付着が発生していたことからバルブ解析診断の判定内容の整合性を確認した。実際に診断したデータと調節弁の内弁状況が一致しデータの有効性を確認できた事例である。この結果から診断技術で調節弁の異常兆候を捉えることが可能と判断され、2020 年代後半にはプラント現場の DX を促進するため監視対象を更に増やし、状態基準保全へと舵を切る動きが加速している。（図 1）



3.2【事例 2】調節弁メンテナンスコストの最適化事例

2017 年バルブ解析診断を導入、以後 3 年間の診断結果をもとに開放点検と比較検証を実施、解析結果がプラント及び装置の設置環境を加味した精度の高いものとするために、各調節弁の条件に合ったしきい値の見直しを行った。その結果、翌年 25 台分のメンテナンスをスキップさせ多額のコスト削減を実現した。さらに、以降の保全計画でも、既に 43 台のスキップが可能となる予定で更に大幅のコストが削減される見込みである。

今後建設予定の新規装置にもバルブ解析診断が標準採用され、生産性向上及び保安力強化に貢献している。（図 2）

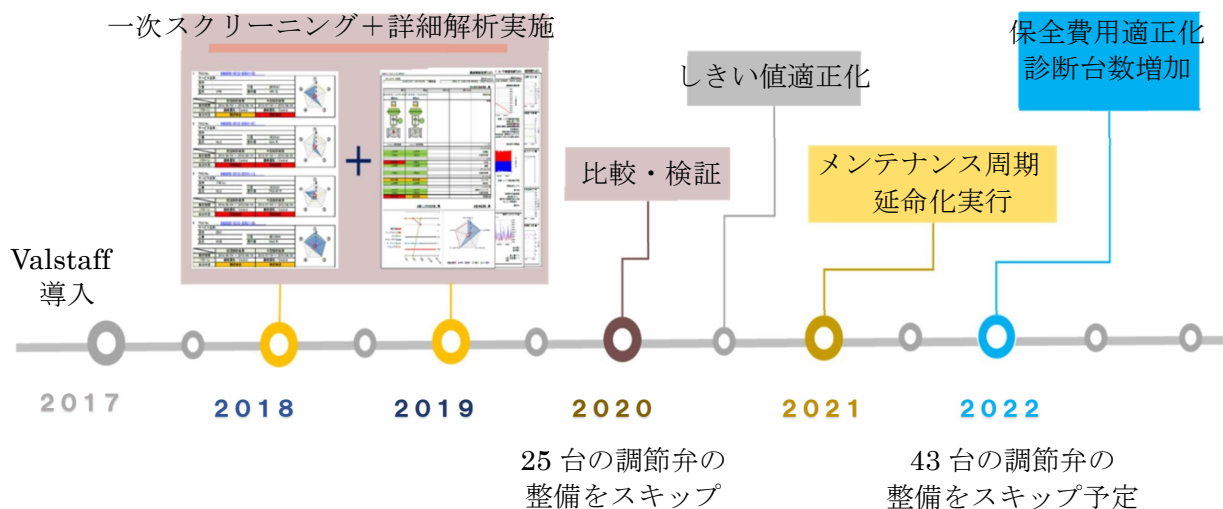


図 2 毎年調節弁メンテナンスに費やすコストを最適化した事例

3.3【事例 3】クラウド型バルブ診断を導入し業務効率を改善できた運用事例

最後にクラウド型バルブ診断サービスを導入することで業務効率を大幅に改善できた事例である。既に機器管理システムの導入は完了していたが上手く活用されておらず、保全業務は過去の知見及び経験が重視された時間基準周期で実施され、開放点検を実施するも、6 割程度が「問題なし」という結果になっていたにも関わらず、状態保全への切り替えが進まない状態が続いた。しかしある時、大幅な保全費用見直しの機会にあたり、バルブ診断は状態基準保全への変革の足掛かりに成り得るとの観点から、開放点検結果の比較検証を実施、その結果、診断で「良好」と判断された調節弁は不具合もなく診断データと実体が一致していたため、メンテナンス周期をスキップすることに成功した。さらにその後、監視業務及び診断業務負荷の軽減を目指し、自動診断を用いたクラウド型バルブ診断を導入、日常業務及び在宅勤務時にも Web 上で確認できるようになったことから業務の効率化が実現できた。

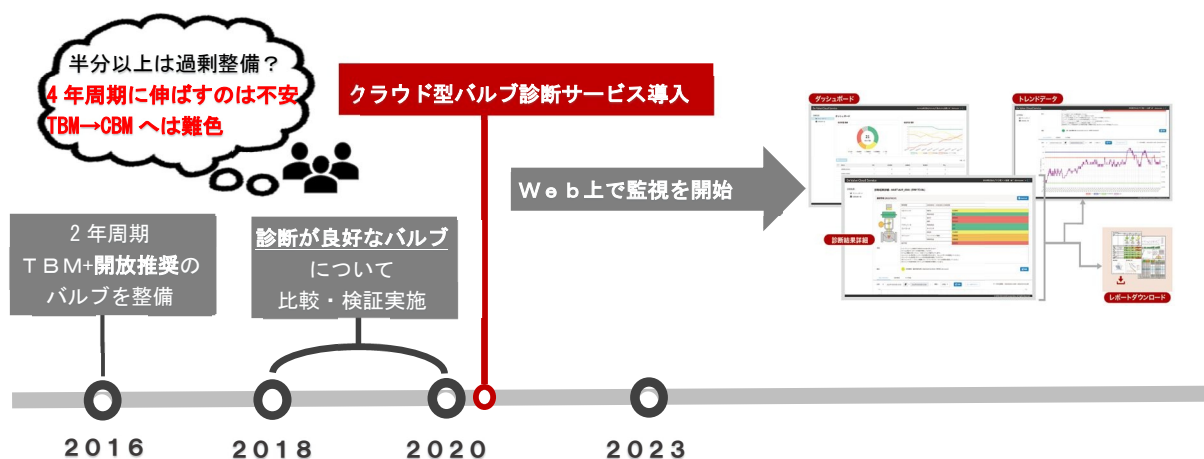


図3 クラウド型バルブ解析診断サービスを導入し、業務効率を改善できた運用事例

4. 診断導入の為の設備環境等

4.1 スマートポジショナ

スマート・バルブ・ポジショナは従来の機械式ポジショナと異なり、マイクロプロセッサを搭載し、上位システムからの制御信号と調節弁の弁軸位置のフィードバック信号を比較、目標開度に制御することができる。またマイクロプロセッサの搭載により、制御性能の向上だけでなく、調節弁の状態を監視し、異常及び不安定動作の傾向を早期に検出するための診断機能も備えている。また圧力センサを搭載し、供給空気圧力、ノズル背圧、ポジショナ出力空気圧力も監視できる。これにより、締切り異常、操作器異常、摩擦異常などの新たな診断機能が追加され、従来のモデルでは検知が難しかった調節弁の異常兆候も、より詳細に検出することが可能となった。

4.2 通信環境の対応について

DCS メーカーが提供する機器管理システムの多くは、HART®通信のやり取りに DCS の制御用ネットワークを併用している。これは配線コストの削減に繋がるが、制御自体に影響を与えない様に機器管理の為の通信は低速にならざるを得ない。（図4 参照）

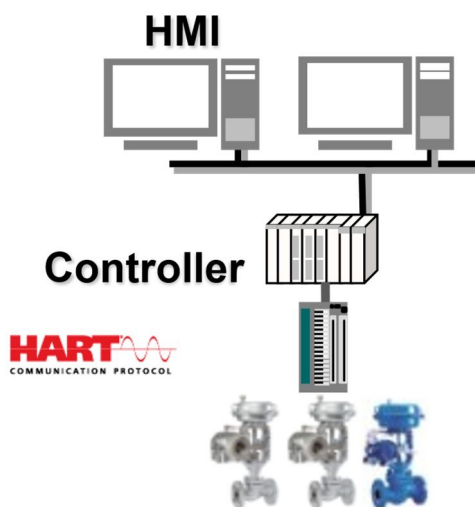


図4 制御ネットワーク仕様

対して、メーカーによっては制御用ネットワークと異なる個別のネットワークを利用する仕様もある。現場機器から個別ネットワークへの配線が必要になる為、配線コストは発生するが、本来の DCS で重要な制御への影響を考慮する必要がないため、高速通信を実現することができる。これにより、調節弁の実開度などの診断変数を 1 秒周期で取得でき、プラント操業中の保安業務に活用できることに加え、ループチェックの自動化及びインターロック試験の効率化を実現し、定修作業の手法を大きく変革させている。(図 5 参照)

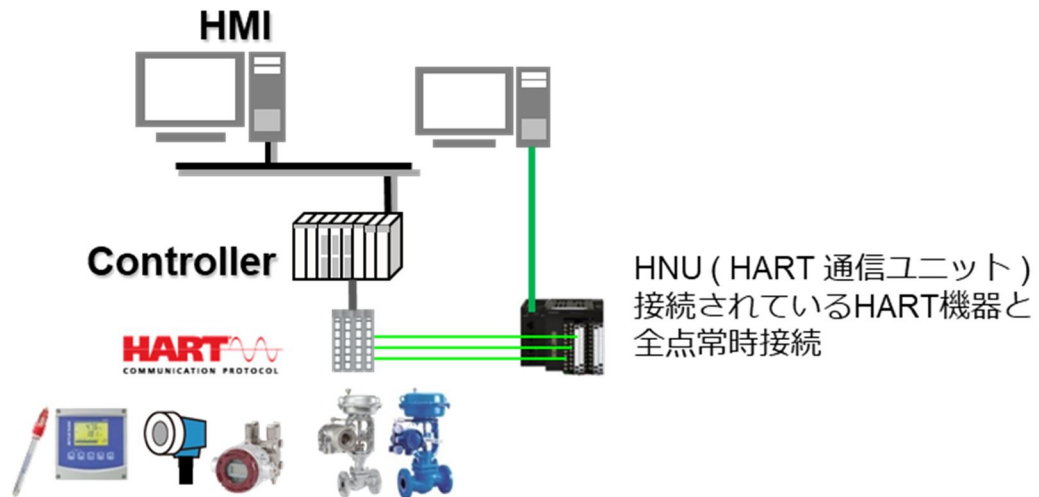


図 5 個別ネットワーク仕様

4.3. サイバーセキュリティ対策と運用監視

クラウド上の WEB コンテンツを通じて毎週のパルプ診断結果、全体の傾向をサマライズしたレポートを提供、ユーザーは任意の環境下で結果を確認できる。

クラウド上にパルプ情報をアップロードすることで生ずるプロセス挙動に繋がる情報の公開の懸念に対し、以下の 3 つのセキュリティ対策を講じている。

第一に、「片方向通信機器」により不正アクセス及びウイルス侵入を防ぐ。第二に通信事業者の閉域網を活用して安全なデータ転送を実現する。第三に ID とパスワードに加えて、特定の環境からのみアクセス可能にする対策を講じている。(図 6 参照)

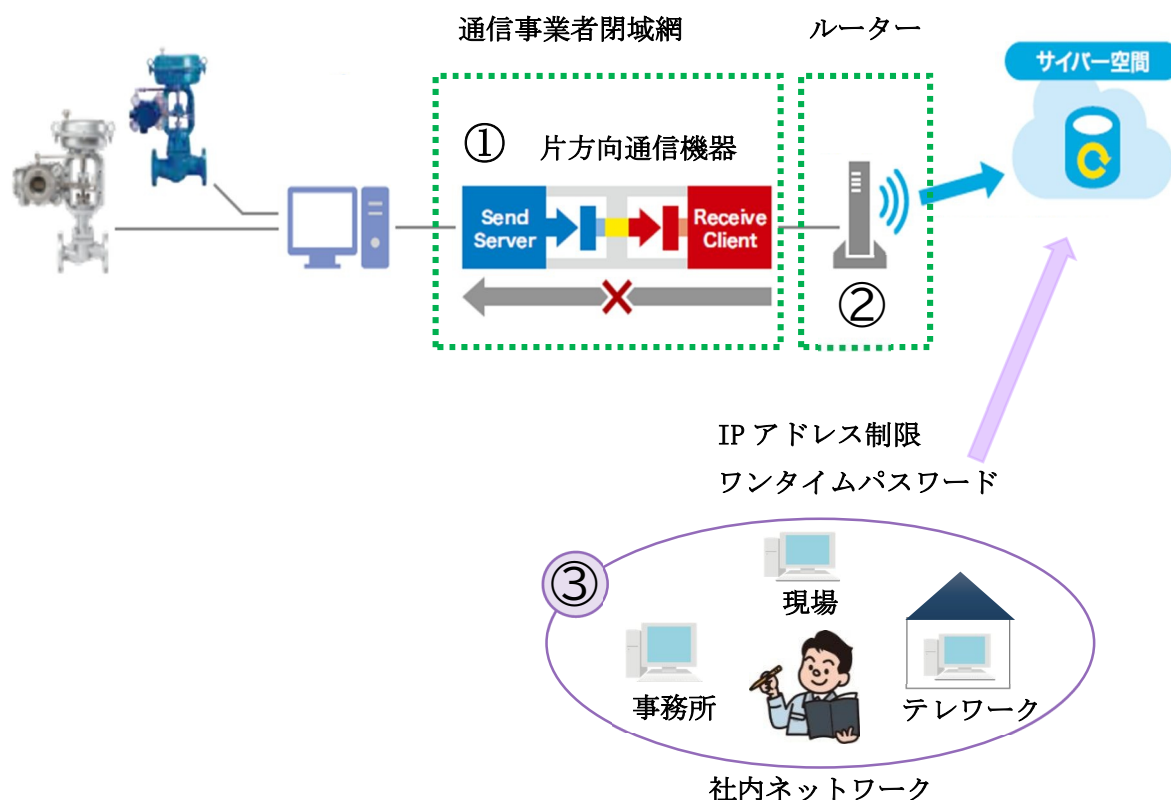


図 6 サイバーセキュリティ対策と運用監視

5. おわりに

本稿では、バルブ診断を活用した定修作業の DX 化への貢献について述べ、調節弁（バルブ）の重要性とそのメンテナンスに関連する現状の問題点を明らかにし、最新の DX と IoT 技術を駆使した「バルブ解析診断」の進化に焦点を当てた。バルブ診断はプラント運用における安全性と効率性を向上させ、持続可能なプロセス管理を実現する鍵となると確信する。

定修現場における労働人口不足に対する答えとしては、十分ではないことを自覚した上で、バルブ診断は定修作業全体の DX 化への必要な要素であると考えている。さらに、未来において、新たなセンサ技術及び AI の発展により、バルブの健全性評価が更に高度化し、稼働寿命から最適なアクションプランの提案が可能になることが期待される。これにより、プラント運用のリアルタイム監視と予防保全が一層効果的に行われ、生産性と安全性が飛躍的に向上することを目指す。

参考文献

- (1)山崎 史明・小山 晋一：電気学会産業応用部門大会シンポジウム論文「バルブ診断技術とクラウド環境の構築」2022 年
- (2)佐々木 天詩・日岡 民生：バルブ診断におけるデジタル技術活用の現状と期待,『計装』2023 年 10 月号

HART®は、FieldComm Group の登録商標です。