

# JEITA

## 予知保全技術に関する調査報告書 第3版

～21世紀のプラントの安全・安心操業の実現のために～

2025年7月

一般社団法人 電子情報技術産業協会

制御・エネルギー管理専門委員会 編

Japan Electronics and Information Technology Industries Association

---



## 巻 頭 言



国立大学法人 東京農工大学  
名誉教授 山下善之\*<sup>1</sup>

前回の調査報告書が刊行された 2012 年から十余年を経た今、製造業をとりまく環境は大きく変貌を遂げました。人口減少に伴う人材不足、熟練技能者の退職による知識継承の困難さ、老朽化設備の増加、さらには地球規模での環境問題や持続可能性への社会的要請は、従来の保全手法のみでは応えきれない段階に至っています。これまで積み重ねられてきた安全対策や改善努力にもかかわらず、事故やトラブルの報は絶えることなく、現場は日々新たな課題に直面しています。こうした時代的背景の下、予知保全技術は、単なる設備管理の効率化にとどまらず、社会の信頼を支える中核的な役割を担うものとして、かつてない注目を集めています。

2012 年当時を振り返ると、ビッグデータや IoT という言葉がようやく注目され始めた時期であり、AI もまだ限られた領域での適用にとどまっていた。保全の現場では、センサーや診断機器の導入が進みつつあったものの、データの活用は断片的で、最終的な判断は経験豊富な人材の勘や知識に大きく依存していました。それから十数年が経過した今日、AI は深層学習を中心に飛躍的な進歩を遂げ、異常検知や予兆診断においても実用的に活用できるレベルに到達しました。加えて、エッジコンピューティングやクラウド基盤の普及により、膨大な現場データをリアルタイムで処理・解析できる環境が整ってきました。さらに近年では、生成 AI が登場し新たな可能性を示しており、今後の活用に大きな期待が寄せられています。

一方で、こうした技術進歩の恩恵を受けている事例も着実に増加しています。大手化学プラントでの振動解析による回転機械の予知保全、製鉄所での AI を活用した炉内状態の予測、さらには中小企業でも導入しやすいクラウド型診断サービスの普及など、実用化の裾野は確実に広がりつつあります。

技術の進歩は目覚ましいものの、保全の現場で何よりも重要なのは、依然として人の役割です。経験豊かなベテランが蓄積してきた知見をどのように整理し、若手に引き継いでいくのか。センサーや AI が示す結果をどのように理解し、過大評価せず、また見過ごすこともなく適切に判断できるのか。こうした人材育成と組織的な仕組みづくりは、どの企業にとっても避けて通れない課題です。AI や IoT は人間の判断力を代替するものではなく、あくまで人の能力を拡張し、より良い意思決定を支援するツールです。現場における最終的な責任と判断は人間が担い、技術はその質を高める協働パートナーと認識すべきだと思います。

現場の実態に目を向ければ、労働力不足や知識の空洞化は深刻さを増しています。機器やシステムの多様化・高度化が進む一方で、設備の劣化や経年変化による突発的な故障や事故は繰り返され、日々の運転や保守におけるヒューマンエラーのリスクも依然として残されています。こうした中で、予知保全技術は、現場作業を補完し、人の負担を軽減しつつ、より高い安全性を確保する手段として期待されます。しかしながら、その実装にはなお多くの課題が残されています。投資対効果の不透明さ、導入・運用体制の未整備、標準化や制度面での対応不足など、克服すべき壁は少なくありません。本報告書にまとめられた最新の調査と分析は、まさにこれからの議論と実践を後押しする指針となるものです。

本報告書は、JEITA 制御・エネルギー管理専門委員会のワーキンググループによる長年の調査・議論を踏まえ、最新の技術トレンドや社会的要請を整理したものです。ここには、現場が直面する課題と、それに対する具体的なソリューションの萌芽が記されています。とりわけ、AI や IoT を駆使した異常検知・

予兆診断、それをする上でのロボティクスによる危険作業の代替、さらには国際標準化や制度面での整備は、今後の実装加速に不可欠な指針を提供しています。

以上のように、予知保全は単なる設備管理の高度化にとどまらず、社会の安全、安心、さらには持続可能な生産活動を支える基盤技術です。本報告書が、産業界におけるさらなる議論と実践を促し、技術の進歩と人間の叡智とを結び合わせることで、日本のみならず国際社会における安全で信頼性の高いものづくりの未来に貢献することを心より願っています。

\*1 公益社団法人 計測自動制御学会 名誉会員、公益社団法人 化学工学会 名誉会員

## 目 次

|   |    |
|---|----|
| 1. はじめに.....  | 4  |
| 2. 予知保全技術を求める社会的背景.....   | 5  |
| 2.1. 増え続けるプラント事故 .....  | 5  |
| 2.2. プロフェッショナルの引退と知識の空洞化.....                                     | 6  |
| 2.3. 保全現場の日々の問題 .....   | 6  |
| 2.4. プロフェッショナルサービスとプロセスサービス .....                                 | 7  |
| 2.5. 予知保全技術による安全・安心向上の期待.....                                     | 7  |
| 3. 保全現場の実態調査.....   | 8  |
| 3.1. 訪問調査活動(JR 西日本展示会・立命館大学) (2023 年度) .....                      | 8  |
| 3.2. 「新型コロナウイルス禍における操業現場の対応に関するアンケート報告書」からの考察.....                | 10 |
| 3.3. 過去の保全現場の実態調査.....  | 11 |
| 4. 予知保全技術を支える技術トレンド.....  | 15 |
| 4.1. 予知保全技術の範囲と対象.....  | 15 |
| 4.2. 予知保全対象のランク付けと絞込み.....  | 15 |
| 4.3. 保全現場が抱える課題に対する解決策.....                                       | 17 |
| 4.4. 商品化事例(1)「地上・地下インフラ 3D マップ」.....                              | 20 |
| 4.5. 商品化事例(2)「生産設備の安定操業・保安力強化を支援するクラウド型バルブ解析診断サービス」.....          | 23 |
| 4.6. 商品化事例(3)「フィールド機器の高度診断」.....                                  | 26 |
| 4.7. 商品化事例(4)「ガス漏れ検知可視化サーモグラフィカメラ G シリーズ」.....                    | 28 |
| 4.8. 商品化事例(5)「回転機故障予兆監視システム WISEROT」.....                         | 31 |
| 4.9. 商品化事例(6)「まるごとスマート保安サービス」.....                                | 34 |
| 4.10. 商品化事例(7)「ライフサイクルにわたるセキュリティ対策検討のアプローチ」.....                  | 37 |
| 4.11. 商品化事例(8)「リアルタイム設備保全、ホスト診断:統合機器管理パッケージ”PRM”」.....            | 39 |
| 4.12. 商品化事例(9)「遠隔自動振動診断システム“A-RMDs <sup>®</sup> 」と DX 技術の活用」..... | 42 |
| 4.13. 商品化事例(10)「現場 AI ソリューション “設備・品質らくらく予兆検知”」.....               | 44 |
| 5. 技術標準化と関連法規制や政府・業界の動向.....                                      | 47 |
| 5.1. 先進技術の導入にかかわる動向 .....   | 47 |
| 5.2. 予知保全技術におけるセキュリティにかかわる動向.....                                 | 54 |
| 6. 予知保全技術の課題と産業界の安全・安心実現への提言 .....                                | 57 |
| 6.1. 課題.....  | 57 |
| 6.2. 課題克服のための提言.....  | 57 |
| 7. 結び.....  | 58 |

## 1. はじめに

近年、IoT や AI、クラウド技術の急速な進展により、予知保全技術の分野にも革新の波が押し寄せています。これらのデジタル技術は、従来の保全手法に新たな視点と可能性をもたらし、現場の制約を超えた柔軟な対応や、故障予測の精度向上、保全業務の効率化など、多方面での活用が進んでいます。企業や現場では、こうした技術の導入に対する期待が高まっており、予知保全は単なる設備管理の枠を超え、スマート保全の中核技術のひとつとして位置づけられつつあります。

また、技術の進歩がもたらす恩恵を最大限に活かし、技術と人の協働によって、より高い安全性と生産性を実現することが、これからの予知保全のあるべき姿です。

本報告書はこうした背景を踏まえ、2009年3月に発行した初版(2008年度版)および、2012年1月に発行した第2版(2011年度版)をベースにし第3版として上梓するものです。IoT や AI を活用した新しい働き方を軸に、現場の実態調査や商品化事例を通じて、予知保全技術の最新動向と課題、今後の展望について整理・提言しました。プラントメンテナンスに携わる皆様が、これからの時代に求められるスマート保全の実現に向けて、本書を活用いただけることを心より願っております。

本報告書の作成にあたり、貴重な資料をご提供いただいた関係各位に深く感謝申し上げます。

2025年7月

一般社団法人 電子情報技術産業協会 JEITA  
制御・エネルギー管理専門委員会  
ワーキンググループ3 主査 飯田 清

### ■ JEITA について

一般社団法人 電子情報技術産業協会(JEITA: Japan Electronics and Information Technology Industries Association)は、電子機器、電子部品の健全な生産、貿易及び消費の増進を図ることにより、電子情報技術産業の総合的な発展に資し、我が国経済の発展と文化の興隆に寄与することを目的とした業界団体です。

世界中がインターネットで結ばれ、エレクトロニクス技術とIT(情報技術)が、様々な形でグローバルに浸透しています。このエレクトロニクスの進化とITの進展により、情報・通信・映像・音声等の技術が融合して新しいシステムや製品が生まれ、経済社会のみならず、人々の生活や文化に至るまで、従来の枠組みを超えた大きな変化がもたらされています。

JEITAは、まさに21世紀のデジタル・ネットワーク時代を切り拓いていくことを使命としており、電子情報技術の発展によって、人々が夢を実現し、豊かな生活を享受できるようになることを願っています。このため、政策提言や技術開発の支援、新分野の製品普及等の各種事業を精力的に展開するとともに、地球温暖化防止等の環境対策にも積極的に取り組んでいます。

## 2. 予知保全技術を求める社会的背景

### 2.1. 増え続けるプラント事故

技術の進歩と多面的な安全対策にもかかわらず、プラントの火災などの災害のニュースが後を絶たない。消防白書によると、近年の事故の増加傾向が数量的に把握できる。事故災害の要因報告を見ると、人的要因によるものが119件(30%)で、主には「操作確認不十分」「維持管理不十分」「誤操作」である。また、物的要因によるものが246件(62%)で、主には「腐食疲労等劣化」「施工不良」「故障」「破損」が事故につながっているという報告になっている。

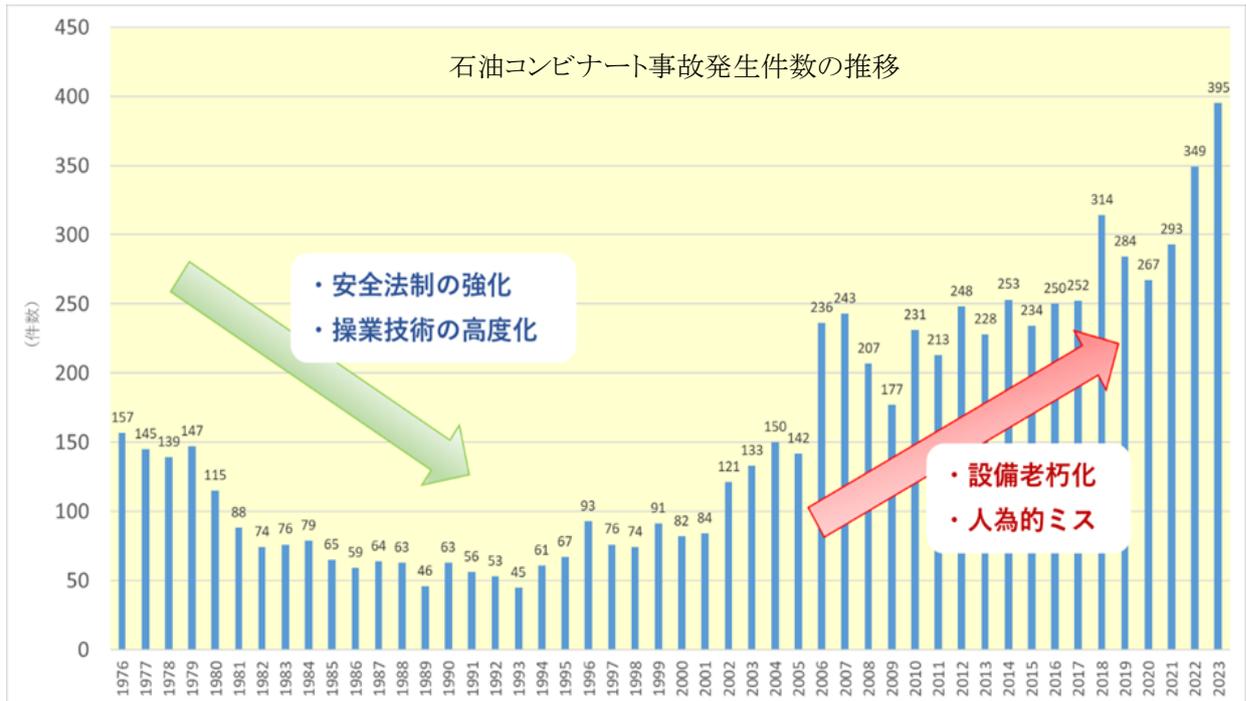


図 2.1.1 石油コンビナート事故発生件数の推移 \*1

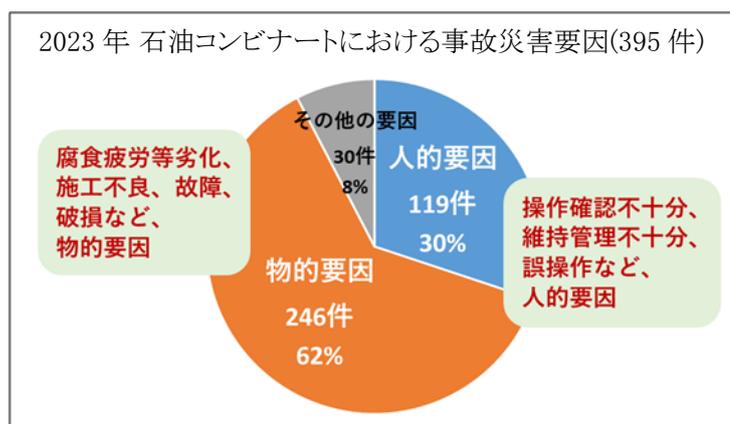


図 2.1.2 近年の石油コンビナート事故災害要因 \*1

\*1： 出展：消防庁 令和5年度版消防白書 石油コンビナート事故発生推移データより作成

本報告書の初版（2008年度版）の同様の円グラフ（図 2.1.3）と比べてみると、その増加は総数で243件から395件と数値で見ても1.6倍である。

分類では人的要因にまつわるものが 124 件から 119 件と減っている。これはシステム化や手順標準化などの管理強化による運営側の努力の結果であり、良い傾向と言えるだろう。しかしながら驚くことに、物的要因に類するものは 101 件から 246 件と実に 2.4 倍であり、グラフ内での説明のように「劣化・故障」などが大幅に増えている。「失われた 30 年」の陰には企業の設備投資の抑制があるが、プラントに費用をかけなかったことで設備の老朽化が社会全体で大きく進み、その影響がボディブローのようにじわじわと効いてきていることと推察される。この対策は大きく注目して喫緊に進める必要があり、一部進みつつあるが新規プラントの導入での税制優遇や補助金の導入など政策の面からの支援も大きく期待するところである。

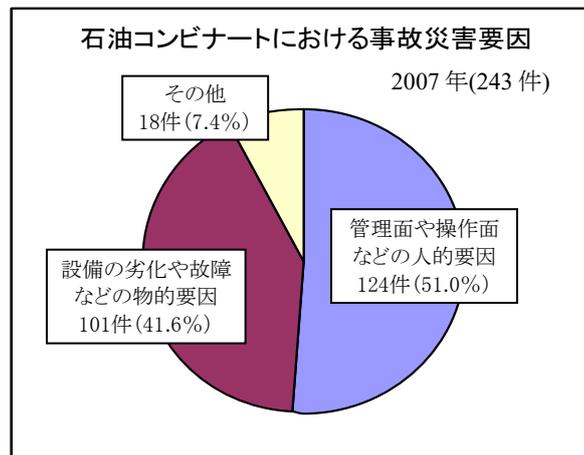


図 2.1.3 2007 年度の石油コンビナート事故災害要因 \*2

\*2： 出展：消防庁 平成 20 年度版消防白書より作成したもの(本報告書 2008 年度初版のものを再掲)

## 2.2. プロフェッショナルの引退と知識の空洞化

これらの災害件数増加の原因はいくつか考えられるが、その1つとして、プラントの保全現場におけるベテランの引退と技術継承の難しさが考えられるのではないだろうか。保全活動というのは、プラントの設備やシステム、計装機器などが設計・仕様どおりに正しく動作するための維持活動であり、現在でも専門担当者による現場作業が主体となっている。プラントには膨大な種類と数の機器類が設置されており、外見だけでは正常か異常かの判断は難しいものが多く、専門家が専門ツールを使った作業と判断を繰り返している。もちろん長年の作業を通して、その手順や判断基準は標準化・手順書化されるとともに保全記録の蓄積によって、後継者に引き継がれてきた。ハードの超高信頼化と作業標準化に伴い大きな故障はなくて当たり前になり、また、長引く不況の中で設備投資が抑えられ、大規模な改造・増設が行われない中では、後継者の新しい問題への対応力・応用力、試行錯誤の経験の場がどんどん減少しつつある。また、いろいろなツール類がシステム化・高機能化に伴いブラックボックス化されてしまい、1つ1つの機器やシステム全体の動作原理をしっかりと理解しなくとも生産活動、保全活動が粛々と行われる時代になってしまったともいえる。

さらに DX 化や AI などのサポートツールの登場により、新しい問題について考える必要の無い時代になってきているともいえ、センサーや AI が出してきた結果を見極める力が必要である。

## 2.3. 保全現場の日々の問題

プラントというのは、図 2.3.1 のように大規模なタンク、塔槽類、配管や加熱炉などの装置に数千、数万のバルブや計測機器類が装備され、24 時間連続で中央操作室のオートメーションシステムから運転・制御が行われている。数十年間の

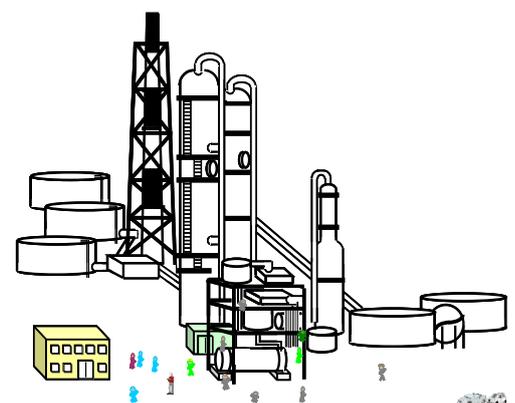


図 2.3.1 プラント現場の例

改善活動の積み重ねにより多くのトラブルの原因は排除されてきたが、その一方で設備劣化、経年変化による突発故障や事故は繰り返され、作業ミス・オペレーションミスも時折発生している。この問題は管理層、経営者も十分に認識しており、現場改善活動や継続的な教育、システム化した事例蓄積など様々な活動が継続されてきた。若手や新人育成のための、トレーニングプログラムやマニュアルの整備、ベテランとの知識共有・継承の仕組みの構築と継続が必要となる。

しかし、失われた 30 年以前などに比べると社会状況は大きく変化し、担当者の善意とやる気に依存した安全維持・品質向上活動が難しくなってきたのではないだろうか。

#### 2.4. プロフェッショナルサービスとプロセスサービス

今後、産業の成長とともに事業所内に組織化され、技術を蓄積してきた保全部門の維持が難しくなる考えると、これまで自社内の専門家により継承してきた高度な保全作業を外部委託するか、機械化・自動化することを検討しなければならない。しかし、現状の保全現場を見ると、高度な設備診断は自社内のベテランが担当し、外部プロフェッショナルへの委託は専門機器など機器ベンダーについてはある程度進んでいるものの、広く保全コンサルテーションサービスが受け入れられていない状況にある。この原因としては、保全技術領域や専門性が多岐に渡り、また、その経済価値を客観的に評価することが難しいために属人的なビジネスとしてのみ成立していることが考えられる。診断や保全などの専門技術の内容や信頼性に応じた適正な価格付け、ビジネスモデルが標準化されれば、このような問題が社会的に認知され、またベテランの技術継承も進むことが期待される。

本調査報告書では、サービスクラスの標準化の取り組みについて調査し、紹介する。(5.1.4 章 サービスクラス・カテゴリー)

#### 2.5. 予知保全技術による安全・安心向上の期待

設備劣化などの物理的要因による事故は、本来的には適切な保全活動(定期保全や日々の見回り活動)により予防されてきた。近年ではこれまでの保全活動に加え、非破壊検査機器や振動監視、バルブポジションのスマート化により、従来検知が難しかった配管の肉厚減、電動機やバルブの劣化などが検出可能になり、より安心な保全技術へ進化してきている。今後は、より安価で小型化されたセンサーの実装によりオンライン監視対象が拡大することで多くのデータが収集できるようになり、さらに AI が大きく進化したことで、故障時期や部品の適切な交換時期の予知を可能にする予知保全の期待はますます高まっている。

### 3. 保全現場の実態調査

#### 3.1. 訪問調査活動(JR 西日本展示会・立命館大学) (2023 年度)

労働者不足や COVID-19 の感染拡大によるソーシャルディスタンスなどの社会問題により、飲食業では専用のタブレットや携帯電話による注文システムが導入され、病院の受付や会計では専用端末での処理が導入されるなど、様々な分野で IoT 化が進んでいる。一方、飲食業界では配膳ロボット、医療・介護業界ではサポートロボット、モノづくり業界では溶接ロボットや組み立てロボットなど、様々な分野でロボットの採用が進んでいる。我々が調査を行っている予知保全分野において、どのようなロボット研究が進められているかを調査した。

2023 年度は、高所重作業対応の「汎用ロボット重機 空間重作業人機」の社会実装に取り組まれている(株)人機一体<sup>\*1</sup>の社長金岡克弥氏と「自走型配管ロボット」を研究されている立命館大学 理工学部ロボティクス学科アクチュエーション研究室<sup>\*2</sup>の准教授 加古川篤氏を訪問した。

##### 3.1.1. 株式会社 人機一体

2023 年 12 月に高所での重量物などの作業に対応できるロボットが展示されている「JR 西日本グループイノベーション & チャレンジデイ 2023」へ訪問し、開発者の金岡氏に話を伺った。

「汎用ロボット重機 空間重作業人機」と呼ばれるこのロボットは、西日本旅客鉄道株式会社、日本信号株式会社と合同開発された。クレーン車のクレーン先端部分に人型ロボットが設置されており、操作室でオペレーターがディスプレイゴーグルを装着して操作する。(展示会ではクレーンから分離されたロボットと簡易操作室が展示されていた。)



図 3.1.1.1 汎用ロボット重機空間重作業人機(右)、オペレーター(左:青のシャツ)

ロボットに搭載されているカメラの映像がディスプレイゴーグルに映し出され、オペレーターの操作とロボットの動きが連動する。また、ロボットが受ける重みや反動がオペレーターにフィードバックされるためインタラクティブな作用で直感的な操作が可能となる。

このロボットを使用することで、鉄道架線の高所・高電圧取り扱い作業において人の安全が確保され、高所への資材の運搬が容易になり、少人数での作業(人手不足の解消)が実現されるであろう。

現在は人と同等のサイズのロボットの開発に取り組んでおり、今後、様々な分野での活用が期待される。(2024 年 8 月 1 日に発表。「立命館大学発スタートアップ 人機一体、世界初”ハイブリッド力制御方式”による人型ロボット<sup>\*3</sup>」)

### 3.1.2. 立命館大学工学部ロボティクス学科アクチュエーション研究所

2023年12月に立命館大学びわこ・くさつキャンパスを訪問し、自走型配管内検査ロボットの研究を行っている加古川氏に話を伺った。

こちらでは、現実世界(フィジカル空間)に直接働きかけを行うアクチュエーション技術に重きを置き、人間が物理的に不可能な作業を行うためのフィールドロボットやサービスロボットの研究開発を機構と制御の観点から研究を推進されている。具体的には、下水道管やガス管などの狭く有害物質が充満する環境を点検しながら進むための装置や水中、石油中を移動・作業するための装置などの研究開発である。



図 3.1.2.1 配管内を自走する配管内検査ロボット(XBot)

配管内検査ロボットは、前部ユニット(推進機構)と後部ユニット(ワイヤ駆動機構)の構成で、前部ユニットの駆動輪が配管側面に密着し配管内を前後上下に自走する。電源は有線(ケーブル)で供給され、先端のカメラユニットにより配管内を目視できる。

2023年から滋賀県草津市の内径 75mm の実際の下水道圧送管での実証実験を開始し、同県の他市町村でも展開がされている。

有線での電源供給による検査距離の制限(ケーブルの重量、電圧降下)などの課題はあるが、配管内の劣化、付着物による詰まりを目視できることは保守・保全分野において効果が非常に高い。

### 3.1.3. インタビューを終えて

金岡氏、加古川氏の両氏ともに 2011 年に発生した東日本大震災による原子力発電所事故の際に、作業者が入っていけないところや作業者の安全を確保するためにロボット技術が活用しきれていないことにもどかしさを感じられておられた。

保守・保全分野におけるロボット活用の拡大は、単にロボットが人に代わるのではなくロボットが人の安全のために代わる、「安全」がキーワードの一つである。例えば、引火性物質の蒸気または可燃性ガス等による爆発リスク環境での作業、タンクや煙突の高所作業、配管内やタンク内での酸欠の危険がある作業といったものへのロボット技術の活用が期待される。

防爆エリアでは防爆対応した電気電子機器の使用が求められているが、ロボット活用の促進のためには、ロボットの防爆対応や危険区域などの法令・規制の見直しが必要となる。

今回の調査では、ロボット技術をはじめとする新技術の可能性に触れ、保全現場やサービス事業における変化の兆しを感じる事ができた。特に、加古川氏から伺った「ロボットありきで考えるべきではない。まずは破損せず汚れない配管を作ることが重要であり、本質を見極めるべきだ」とのご指摘は、技術導入における本質的な視点の重要性を改めて認識させるものであった。

#### <参考>

\*1 : 株式会社人機一体 (<https://www.jinki.jp/>)

\*2 : 立命館大学工学部ロボティクス学科アクチュエーション研究所 (<https://actuation-lab.com/>)

\*3 : 二足歩行人型ロボットを用いた力制御ベースの全身遠隔操作システム ([https://www.youtube.com/watch?v=itPIHw\\_GnLg](https://www.youtube.com/watch?v=itPIHw_GnLg))

### 3.2. 「新型コロナウイルス禍における操業現場の対応に関するアンケート報告書」からの考察

2020年から発生した新型コロナパンデミックのさなか、我々は計測自動制御学会(SICE)及び化学工学会の分科会と協同して、定期保全が不可欠な化学・石油・ガスといった事業所を中心に、機器組立・半導体・非鉄金属・社会インフラを含む45事業所を対象に操業現場での感染防止策や技術の現状と期待に関するアンケート調査を行った。設問は多岐にわたっており、その結果は120ページを超える報告書としてまとめられ、2021年に「新型コロナウイルス禍における操業現場の対応に関するアンケート報告書」としてインターネットで公開されている。

このアンケート実施によって、あまり公表されていなかった各社の被害の実情や、感染防止対策とその対策下での操業のための取り組み・ご苦労が、ある程度明らかになった。

そのなかで、「期待される技術」について調査している項目がある。経済産業省のスマート保安アクションプランに示されていた25の技術(センサー・カメラなどのデータの取得技術、ドローン・ロボット活用などの作業効率化、異常検知・予知保全など保守高度化、等)を項目化し、これらの採用状況や今後の期待についてヒアリングされている。結果として、「AIにより問題発生前に予兆検知運転・保守業務に反映する技術」が大いに期待されている項目としてトップに挙げられていた。また、「プロセスデータによるプラント運転の異常検知」「画像認識による表面損傷や腐食等の異常検知」なども大きく期待される技術の上位に占められていた。これらは、コロナ禍による一時的な期待ではなく、従来から存在していたニーズであることは容易に想像できる。本アンケート結果を通じて、予知保全技術の重要性が改めて浮き彫りになっている。

また、別の節では「設備・操業を向上させるために既存システムで実用化が期待される技術・システム」について本調査委員会が項目化した技術(遠隔地のデータなどをリモート化、緊急遮断の意思決定システム、プラント安定化のための自動化・制御の高度化、アラーム管理向上、等)においては、「計装システム信頼性向上」という項目が期待されている最上位であった。「これを実際に運用されているか?」の設問に対しては運用中であるとしたユーザーは少なかったが、「開発中・検討中」「今後の課題」としてあげたユーザーの数を合わせるとトップであった。この為の施策として、フィールド機器の診断データ活用などの予知保全技術の活用が有用であるということが垣間見える。しかしながら、導入の阻害要因として「投資対効果が不明」ということをあげたユーザーも多く、このあたりの解消・払拭はベンダーとして急務であることが確認された。投資対効果を見せていくことは予知保全技術を商品化するベンダーとして重要なことである。

さて、世界を対象にして行った別の新型コロナの影響調査では、21%の企業がプラント停止を経験したというデータがあると聞く。一方、日本国内では「制御室から人が消えた」という事態は起こらなかった。「何とかなったね。良かったね。」で済ましている雰囲気もあるように感じられる。しかし、「喉元過ぎれば熱さ忘れる」に陥ることなく、起こり得たかもしれないリスクを洗い出し、次に備えておくことは非常に重要であるということがアンケート報告書を分析しながら感じた。

以上、予知保全技術という目線でアンケート結果を振り返った。以前、課題であった将来技術の現場実装は、ますます期待できることが本報告書に表れている。他にも興味深いと思われるテーマでの質問回答も多いので是非、本報告書を一読していただければ幸いである。

### 3.3. 過去の保全現場の実態調査

ここで本報告書第2版(2011年度版)に掲載していた過去の保全現場の実態調査結果について再掲する。ここで掲載されている当時の内容は今でも本質は変わらず、よく整理されているので再掲した。一方で、進化されていないことも課題との反省も業界として必要であると思われる。

#### 3.3.1. JEITA 専門委によるプラント訪問調査活動(2006年度～2008年度)

当予知保全ワーキンググループは、プラントの現場における予知保全技術の導入状況を調査し、その技術動向、課題を整理することを目標に活動してきた。予知保全ニーズの高い石油、化学プラントを水島、京葉地区コンビナートの数社について訪問し、予知保全技術やワーキンググループ活動への期待などをヒアリングした。

#### ■ ヒアリング内容(抜粋)

|               |  |
|---------------|--|
| 予知保全の実施状況     | 計装機器への導入は難しいが、大型回転機では導入が進んでいる。   |
| 予知保全技術へのコメント  | 予知診断の進まない理由:人間の判断が入る。使いこなすのが難しい。   |
| 予知保全、安全操業への期待 | 今はコストではない。事故があれば企業は成り立たない。安全が一番だ。異常があれば取り替えればよい。   |
| 回転機診断         | 壊れた場合のダメージが大きいもの(大型回転機)は台数が少なく(投資金額が少なく)すぐメリットが出る。<br>低圧電動機は劣化診断の需要が無い。買い換えたほうが安い。                     |
| 配管、静止機器診断     | サーモグラフィは温度の面情報が得られ配線・ケーブル・保温の影響がわかりやすい。  |
| バルブ診断         | 外から見てわかる(漏れ、グラウンド漏れ、動きが固い)<br>内弁を外さなくて健康診断できないか?全開、全閉をしないと不明。  |
| 無線診断          | セキュリティは実績をみてから。制御に採用するには慎重になる。<br>既存の計器にアドオンで設置し、まずはモニタリング用として評価したい。<br>無線の振動センサーがあれば、調節弁に振動センサーをつけたい。 |

#### ■ 調査からわかったこと

予知保全ワーキンググループの活動成果目標を模索しながら、プラントの保全現場における予知保全実施状況の調査を行った。現状、予知保全技術は技術的には商品化が進んでいるものもあるが、全体と

して現場への普及、保全業務改革という潮流を引き起こすには至っていない。技術の成熟度、コスト、人材育成など多面的な課題がある。

### 3.3.2. JEITA 専門委による機械メーカー訪問調査活動(2010 年度)

#### ■ 訪問先、日時

2010 年 5 月、石川県にある最大手建設機械メーカー、株式会社コマツ様の粟津工場を訪問した。数ある事業所のなかで中小型ブルドーザ、ショベル、ホイールローダ、モーターグレーダを生産するコマツ様中核工場である。こちらでは数十台の NC マシンが 24 時間フル操業している。これら NC マシンすべてに盤クーラが設置されていたのが目にとまった。NC マシン各社への購入仕様書の雛形には盤クーラの取り付け必須を明記しているそうである。

#### ■ 予知保全システム導入状況

複数台の大型 NC マシンをネットワークで結び、予防保全システムを構築・運用されていた。

NC マシン主軸のネットワークセンサーを活用し、振動・電流・絶縁抵抗・温度など状態コンディションをネットワークで監視 PC に送信・ロギングし、傾向管理する。閾値を超えたら保全部門にメールメッセージが自動発報される。NC マシンには約 15 点の項目の瞬時値が送信される抽出エンジンが用意されており、それを活用しシステム構築したものである。数年前から運用されているとのことであった。

このシステムの構築目的は、予期せぬ突発故障でその復旧に時間がかかることを避け、その前に手を打つためであるという。例えば、ベアリング、軸、ボウルスクリーなどの部品は入手に時間がかかり、それにより長期停止が余儀なくされる。「使えなくなってから入手する」ではなく、「使えなくなる前に察知し、部品を入手し備えておきたい」ということである。管理手法で人の手でやるのは従来からやっているが、それを自動的に得ることでよりよい成果を上げようということであり、同時には研究的な要素もあるとのことであった。明確な目的、意図をもって臨まれていた。

システム組み上げ・運用に関し、工夫、苦勞された点として、異常の判定閾値の設定があげられるという。閾値を過去データから収集しているものもある(例:状態の±3σ 超えで発報など)が、しかしながら数年経つと判定値がドリフトしていき、何が異常なのかあいまいになってしまう。メーカー推奨値などは大雑把だったり、マージンを持ちすぎたりして実用的でない数値も多い。初期データを計測し、メーカー推奨値との兼ね合いを工夫し設定するようにしたとのこと。かなりの時間と知恵で練り上げられているようであった。

また、システム構築の際は信号情報をネットワークにのせるため、監視 PC に FA 系 LAN と工場内情報 LAN の 2 ポート用意した。セキュリティの観点から、社内部門に許可申請したが問題となり、調整に手間取ったという。セキュリティの課題は導入障壁になりえるだろう。

#### ■ 診断成果事例

数ある成果のなかで一例を紹介していただいた。ある日、1 台の初期使用段階の NC マシンに絶縁抵抗の低下アラームが発報された。NC マシンの構造上、クーラント溜りが設置され、そこに電気ケーブルが浸された状態で施工されており、そのケーブル外皮の劣化が原因であった。ケーブル仕様の選定ミスか施工上の問題といえる。もしこのような検知が見逃され、そのまま経年し不調に陥ったとしても、経年劣化と判断されユーザー責任での修繕となっていたかもしれないが、メーカー責任での無償改修となった。漏電による機械不調は原因調査にも手間取り長期停止されることが予想されるが、それも回避できたことになる。

メーカーが入れたものをそのまま使うのではなく、自分たちですり合わせて活動されている予知保全の好例である。

前向きな活動されている事例のひとつだが、保全課長様の「積極的に活動することが大事である。」というお言葉が非常に印象に残った。



3.3.3. 石油学会によるアンケート調査(抜粋)

製油所や石油化学工場を操業する企業が多く参加する石油学会においても、予知保全技術への期待から、予知保全技術を使う立場でその活用状況を調査している。この調査は保全情報をオンライン化し、情報化することにより有効活用するという観点に主眼が置かれている。

表 3.3.1 石油学会 予知保全アンケートの範囲と検討結果(■:アンケート範囲)

|     |        | 回転機  | 静機械  | 電機設備   | 計装   |
|-----|--------|--|--|--|--|
| 運転中 | オンライン  | オンライン診断は確立済み<br>振動波形解析パッケージ搭載、ネットワーク化。                     | オンライン診断は確立済み<br>オンライン腐食モニタリング<br>分極抵抗法も適用可能<br>AE 技術によるクラック破壊の自動検出技術が実用化進展中                    | オンライン診断は確立済み(絶縁)<br>高压ケーブル等に適用中<br>大型トランス異状診断監視システム実用化進展中(石油での適用事例少) | オンライン診断は確立済み<br>デジタルセンサー:自己診断情報を、DCS を介し供給。導圧管診断<br>調節弁:流量開度の相関・ヒステリシス情報から異状診断<br>環境監視:計器室内のダスト、腐食性雰囲気診断 |
|     | オフライン  | ハンディターミナルによる振動解析簡易診断、スペクトルデータ収集<br>停止中スベア機器のベアリング点検、交換、芯出し | 運転中検査:ポータブル機器による<br>配管定点検査:超音波、放射線等<br>塔槽:外部からの肉厚検査等   | 停止しているスベアポンプに対して絶縁診断はモーターが定期的に行われている。診断機器からのデータは PC ヘマニユアル保管         | 緊急弁のパーシャルストロークテスト<br>運転中のレンジヤストロークテストが可能になり、普及   |
| 定修時 | 開放分解検査 | 大型回転機:分解点検、重要部位の劣化状況検査                                     | 配管:通常配管は運転中対応。加熱炉チューブ等は定修時抜管検査対応<br>塔槽:内部腐食状況は開放検査のみ<br>熱交:ほとんどが開放検査でチューブ減肉検査(超音波/渦流探傷)、一部抜管検査 | ほとんどが電気事業法に基づく定期点検でカバー   | 定期修理での点検検査項目が減少  |
| 備考  |        | オンライン監視診断技術に依存することが可能な状況(ただし、国内普及率は低い)                     | 運転中(オンライン/オフライン)監視診断には限界。開放分解検査が主たる判断要素。静機械検査情報管理システムが劣化判断に重要な役割を果たす。オンラインでは超音波診断に期待がかかる。      | ほとんどが定期検査でカバー。絶縁診断が最も重要であり、ケーブルは実用可能な状況であるが、モーターはまだオンライン化までできていない。   | オンライン/運転中検査調整が主流になりつつある。   |

## ■ アンケート結果(サマリ)

### 1) 回転機

オンライン監視診断技術は確立しており、主要回転機を中心としてオンライン監視のニーズは高いが、コスト面で導入が進まない状況にある。その観点からケーブル敷設の手間や費用がかからず、試験的に導入、撤去のできる無線センサーへの期待が見られた。

### 2) 静機械

オンライン腐食モニタリングは、約半数の製油所で主として常圧蒸留装置に導入されており、方式は電気抵抗法である。オンライン化は、技術面、コスト面で課題も多く、運転中検査、定修検査に多くを頼っているのが実情である。課題として、センサーの安定化、信頼性向上に加え、連続運転に対応した腐食劣化の予測システムへの期待が高かったため、静機械の検査情報管理システムの導入活用が進展しており、重要な位置付けにあると考えられる。静機械検査情報システムでは、某社パッケージがほとんどの製油所で活用されており、その有効性がわかる。

### 3) 電機設備

電機設備におけるオンライン監視は、主にケーブル絶縁等が実施されているケースがあるが、保安検査で義務付けられている検査が主体となっている。オンライン化への期待は、技術的なハードル、ニーズの面から、それ程高くはない。

### 4) 計装設備

計装機器では、センサーのデジタル化が進み、自己診断機能が搭載されるようになり、DCSで状況が把握できるようになってきている。FB（フィールドバス）環境での技術的な進展があるものの、FB自体の普及が遅れ、現状でのセンサー情報の収集管理システムはこれからといった状況である。DCS本体の監視については、リモート監視サービスがベンダーから提供されている。また一方で、導圧管詰まり等機器単体からプロセスや周辺環境と組み合わせた新しい診断技術が開発されつつある。

### 5) オンライン化

オンライン監視診断は回転機や電気ケーブル等実用性の高いものがあるが、状態監視把握の面からは、一部をカバーしているに過ぎない。オンラインシステムは、総じてコスト面、信頼性等が導入の足かせとなっており、会社によって設置台数にバラツキが見られた。今後は、無線化、信頼性向上に向けた改善に期待があり、実用化レベルが向上するにつれ、その役割の重要性が増してくるものと考えられる。

### 6) 情報化

状態把握の多くは運転中検査情報に依存していることから、今後も検査情報管理システムが重要な役割を果たしていく。また、運転中検査のデータは、紙や手入力で管理システムと連携しているのが現状である。今後は、ネットワーク化とデータの自動的な連携がキーポイントであり、改善が期待される。同時に、オンライン診断のデータが運転中検査情報へ連携されて、状態監視情報として統合的に扱えるシステム環境が期待される。

## 4. 予知保全技術を支える技術トレンド

### 4.1. 予知保全技術の範囲と対象

プラントにおける保全活動は、設備・機器が故障した後に修理対応していくことを前提とした事後保全 (BM)、摩耗などの状況にかかわらず予め計画した周期で定期的に点検・部品交換をする定期保全 (TBM)、劣化の状態を把握してそれに応じてメンテナンス期間を早める・繰り延べるなどをしていく状態監視保全 (CBM)、さらにプラントの稼働中に予知保全技術を使った診断技術を活用し、あとのくらの時間で壊れるかを予知・予測して保全計画をスパイラルアップさせていく予知保全に大別される。

これらはどれか1つで十分というものではなく、生産活動への影響が少ないものは事後保全、重要なものは定期保全で定期的に検査・調整・交換し故障を未然防止する、さらに定期保全するところを機器の状態を診断・予知して計画を見直すなど、組み合わせにより設備のポテンシャルを担保していく。

表 4.1.1 保全用語

| 用語   | 定義                      | 参考   |                                |
|------|-------------------------|--|--------------------------------|
| 事後保全 | 故障してから対応・修理する保全。BMともいう。 | JIS Z 8115-2019<br>(192-06-06)   |                                |
| 予防保全 | 定期保全<br>(時間計画保全)        | あらかじめ定めた期間ごとの計画に沿って行う保全。<br>TBMともいう。   | JIS Z 8115-2019<br>(192-06-12) |
|      | 状態監視保全<br>(状態基準保全)      | 現在の状態を把握、又は傾向を管理して状況判断し、<br>それに応じて保守間隔を早める・繰り延べるなどして<br>柔軟に対策・手段を施す保全。CBMともいう。 | JIS Z 8115-2019<br>(192-06-07) |
|      | 予知保全<br>(予兆保全)          | データを分析する、別の角度から深部を調査するなど<br>して将来の故障を予知・予測して最適なタイミングで施<br>す保全。CBMを発展させたもの。      | JIS Z 8141-2022<br>(6209)      |

予知保全の適応対象としては、バルブ・計器・回転機・パイプライン・塔・タンクなどすべての機器・設備が対象と考えられる。また、検知すべき事象は磨耗・腐食・亀裂・脆化などであり、予知する検出技術としては、振動・圧力・超音波・光・X線などの測定技術の応用が研究・開発されている。これらの技術を利用して集められたデータは膨大な量になるため、それをクラウドなどに記録・蓄積し、統計解析する AI 技術も開発対象となる。



図 4.1.1 予知保全対象となる機器、設備と事象

### 4.2. 予知保全対象のランク付けと絞込み

製造を行うためのプラント設備類のすべてに、予知保全のためのセンサー類を取り付けて稼働の状態を常時監視することは理想であるが、非常に多くのコストを必要とし、現実的ではない。そのため、現状では、故障した場合の被害が大きく、かつ、予知保全技術が確立された設備に対して重点的に診断機器が設置されている場合が多い。保全対象箇所は多岐に渡り、また、担当部門も細分化されている。

表 4.2.1 の例に示すような診断対象の重要度評価基準を定め、診断対象を選定していくことが望ましい。

表 4.2.1 プラント設備重要度ランクの設定例

| 重要度    |          | A           | B                             | C                              |                              |
|--------|----------|-------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| 重要度の判断 | 生産性      | プラント停止となる設備 | プラントの部分停止となる設備                | プラントの停止に関係ない設備                 |                              |
|        | 安全・災害・公害 | 労働衛生        | 労働者の安全確保にとって急迫した危険・有害な状況のある設備 | 労働者の安全確保にとって相当程度の危険・有害な状況のある設備 | 労働者の安全確保にとって特に危険・有害が認められない設備 |
|        |          | 災害          | 災害発生の可能性がある設備                 | 災害発生の可能性は低いが法規制の適用を受ける設備       | 災害発生の考えられない設備                |
|        |          | 公害          | 流出により公害規制値を超える可能性がある設備        | 流出すれば公害対象物が発生する設備              | 公害発生の恐れがまったく無い設備             |
|        | 設備管理     | 保全性         | 修理の復旧に 24 時間を越える設備            | 修理の復旧に 8~24 時間以内の設備            | 修理の復旧に 8 時間以内の設備             |
|        |          | 信頼性         | 月 1 回以上検査の必要がある設備             | 年 1 回以上検査の必要がある設備              | 2~3 年に 1 回程度検査する設備           |
|        |          | 保全費         | 設備の修復費用が全保全費用の 15%以上を占める設備    | 設備の修復費用が全保全費用の 5~15%を占める設備     | 設備の修復費用が全保全費用の 5%以下の設備       |

#### 4.3. 保全現場が抱える課題に対する解決策

保全現場が抱える課題を解決する要素として保全現場のスマート化がキーとなる。スマート保安官民協議会による「高圧ガス保安分野 スマート保安アクションプラン」(令和 2 年 7 月)ではプラントの将来像としてスマート化すべき課題が以下の様に示されている。

##### ①【情報の電子化】予知保全技術に役立てる情報基盤の整備

まずは徹底した情報の電子化により技術導入の基盤を整備する必要がある。将来的には、この情報基盤が経営課題を含む多様な課題への対応にも活用されることが期待される。

##### ②【現場作業効率化】現場作業の効率化と知識継承をする技術の実装

多様なスマート化の技術導入により現場作業の効率化と知識継承を実現する必要がある。現場の労働力不足における課題を解消する。

##### ③【意思決定の高度化】異常や原因を早期発見して意思決定する技術

AI 等の先進技術導入により、異常やその原因を早期かつ高精度に発見する。将来は、保全や制御システムを連動させて、ごく少人数でのプラント運転を目指す。

本調査報告書では、これらの課題を解決するに役立つと考えられる商品化事例を探索し、それらを 4.4 章以降で紹介する。表 4.3.2 では、これらの事例を上述した課題や将来技術への期待と紐づけて整理している。特に、予知保全技術として導入加速が期待される項目に印を付けている。(この表の項目は「新型コロナウイルス禍における操業現場の対応に関するアンケート報告書」でもまとめて使われている。)

表 4.3.1 予知保全技術の商品化事例

| No.     | 商品化事例               |
|---------|---------------------|
| 事例 (1)  | 地上・地下インフラ 3D マップ    |
| 事例 (2)  | クラウド型バルブ解析診断サービス    |
| 事例 (3)  | フィールド機器の高度診断        |
| 事例 (4)  | ガス漏れ検知可視化サーモグラフィカメラ |
| 事例 (5)  | 回転機故障予兆監視システム       |
| 事例 (6)  | まるごとスマート保安サービス      |
| 事例 (7)  | ライフサイクルにわたるセキュリティ対策 |
| 事例 (8)  | 統合機器管理パッケージ         |
| 事例 (9)  | 遠隔自動振動診断システム        |
| 事例 (10) | 設備・品質らくらく予兆検知       |

表 4.3.2 将来技術への期待と商品化事例

(期待度の”◎”は期待大を示す)

| 課題      | 課題の細分化       | 期待度                      | 実用化が期待される技術・システム             | 事例   |
|---------|--------------|--------------------------|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
|         |              |                          |                              | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) |
| 情報の電子化  | データの取得       | ○                        | センサー・カメラの設置によるデータの取得         | ○   |     |     | ○   |     |     |     |     |     |      |
|         |              | ○                        | 5G等を活用した機器データのリアルタイム連携       |     | ○   | ○   |     | ○   | ○   |     | ○   | ○   |      |
|         | データベースの構築・共有 | ◎                        | セキュリティが確保されたデータベース構築         |     | ○   |     |     |     |     | ○   |     |     |      |
|         |              |                          | 作業記録の完全電子化                   |     |     |     |     |     | ○   |     |     |     |      |
|         |              | ○                        | データベースのプラント間接続と情報連携による一元管理   |     | ○   | ○   |     | ○   | ○   |     | ○   | ○   | ○    |
|         | 情報の可視化と閲覧    | ◎                        | タブレット等での情報閲覧・記録              |     |     |     |     |     | ○   |     | ○   |     |      |
|         |              |                          | プラント運転状況の可視化                 |     | ○   | ○   |     |     | ○   |     | ○   |     | ○    |
|         |              | デジタルツインによるシミュレーションと状態可視化 |                              |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
| 現場作業効率化 | 知識データベースの活用  | ○                        | 知識データベースの活用                  | ○   | ○   | ○   |     | ○   | ○   |     | ○   | ○   | ○    |
|         |              |                          | インシデント事例を用いた自然言語処理による原因対策の提示 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
|         | XRを用いた遠隔指導   |                          | ウェアラブルと5Gを活用した作業支援           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
|         | ドローン・ロボットの活用 | ◎                        | ドローン等による高所・危険領域点検            | ○   |     |     |     | ○   |     |     |     |     |      |
|         |              |                          | ロボット巡回による監視データ自動取得           | ○   |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
|         | 運転・点検の遠隔操作   |                          | 点検作業ロボットの遠隔操作                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
|         |              | プラント運転の遠隔操作              |                              |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
|         |              | 複数事業所を一括して運転監視           |                              |     |     | ○   |     |     | ○   |     | ○   |     | ○    |

| 課題       | 課題の細分化             | 期待度          | 実用化が期待される技術・システム      | 事例                       | 事例  | 事例  | 事例  | 事例  | 事例  | 事例  | 事例  | 事例  | 事例   |
|----------|--------------------|--------------|-----------------------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
|          |                    |              |                       | (1)                      | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) |
| 意思決定の高度化 | 異常検知による事故・故障等の未然防止 | ◎            | プロセスデータによるプラント運転の異常検知 |                          |     | ○   |     | ○   |     |     |     | ○   | ○    |
|          |                    | ◎            | 画像認識による表面損傷や腐食等の異常検知  | ○                        |     |     | ○   |     |     |     |     |     |      |
|          |                    |              | 動的な危険エリア判定による作業員の安全確保 | ○                        |     |     | ○   |     |     |     |     |     |      |
|          |                    |              | ウェアラブルを活用したリアルタイム異常検知 |                          |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
|          |                    | 予兆検知によるO&M改善 | ◎                     | AIにより問題発生前に予兆検知しO&M業務に反映 |     |     |     |     | ○   |     |     |     | ○    |
|          | 運転・点検の自動化          |              | 運転パラメータ自動最適化          |                          |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
|          |                    |              | 異常発生時の自動制御            |                          |     |     |     |     |     | ○   |     |     |      |
|          |                    |              | プラント運転の全自動化           |                          |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
|          |                    |              | 点検作業の自動化              |                          | ○   |     |     |     |     |     |     | ○   |      |

#### 4.4. 商品化事例(1)「地上・地下インフラ 3D マップ」

##### 4.4.1. はじめに

高度経済成長を支えてきた各種設備は、運用開始から半世紀以上が経過したのもも多く、更新時期を迎えている。設備の維持管理においては、施設の改築や保守作業等に伴う掘削工事が実施される中で、地中に埋設された各種ケーブル(電気・通信等)の破断事故の発生による設備の操業停止リスクを常に抱えている。埋設状況を確認する方法として、既存図面が活用できるが、現場の実態と相違することも多く、試掘で確認することもある(試掘の実施にもケーブル破断事故の危険性あり)。

このようなリスクを回避する技術として、電磁波を活用した地下探査技術が存在する。現場条件によって適用範囲があるものの、現場の実態と一致した埋設物位置を高精度に把握することができ、既設図面の不確実性を改善する効果が得られる。

本商品は、約 1,000,000 m<sup>2</sup>の調査実績を有する、正確な地下情報を提供する技術である。

##### 4.4.2. 地上・地下インフラ 3D マップの概要

電磁波を用いた多配列地中レーダ技術による地中内部の可視化データと、点群レーザー測量を用いた地上の映像データを結合したインフラ 3D 探査システムである。従来のシングルアンテナレーダによる断片的な地下情報ではなく、面的に連続した3次元情報として、従来技術の約7倍のデータ密度(解像度)で地下情報を取得可能なことに加え、点群レーザー測量により地上位置の把握が容易となったことから、地下埋設物及び地上構造物の施設位置を3次元で一体的に可視化した空間地図情報を構築することができる。



図 4.4.2.1 地上・地下インフラ3Dマップ

##### (1) 多配列地中レーダによる地下探査

電磁波による多配列地中レーダを用いて対象範囲を面的に計測する。自社開発の解析専用ソフトを用い、取得した複数のデータを結合し、3次元(平面・縦断・横断)で取得データを解析する。3次元で解析することで埋設管の連続的な線形を捉え、線形変化点(平面・深度)や上越し・下越し・離隔等を明確にし、埋設状況を把握することができる。地中レーダの解析は、異なる物性の境界から受信した反射波の強度、波形、伝播速度などのデータを解析ソフトに表示させるため、埋設管の材質を問わず検知でき、台帳に未記載の残置管や不明管等の検出も可能である。また面的かつ連続的にデータ取得するため、一部の区間の検知確度が低下しても周辺のデータから管の連続性等を推定することが可能である。

さらに、現地にて表函物の種類や位置、占用台帳等の既存資料から調査結果を補完することで、埋設位置をより精度よく探査することができる。

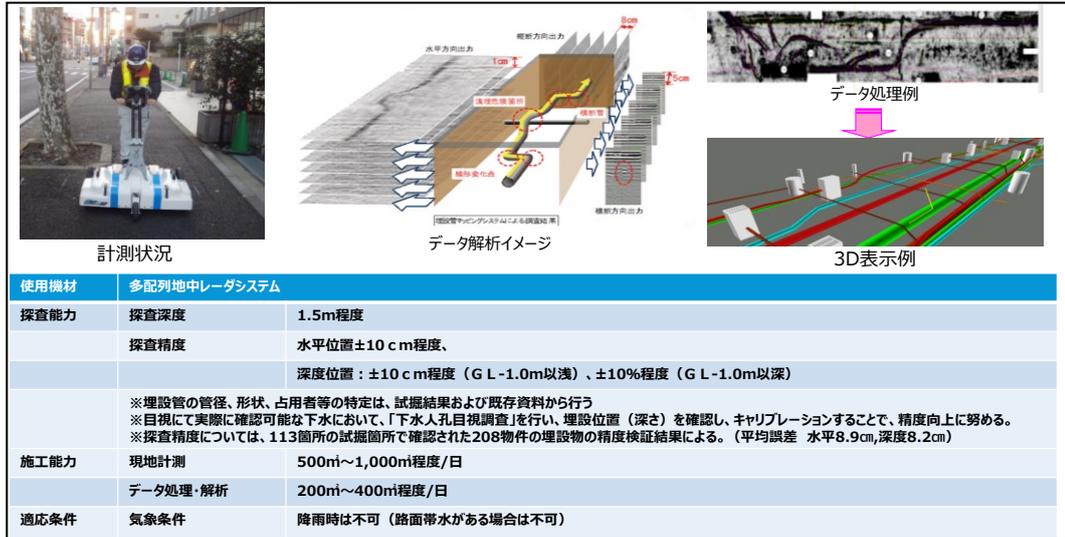


図 4.4.2.2 多配列地中レーダ 基本仕様

### (2) 点群レーザー測量

地上3次元レーザー計測は、測定範囲の地上部を点群データとして処理するものだ。

調査対象区間を現地の状況（支障物）を考慮し、約 20～30m を目安に数地点で機器を据え付け、測定対象物にレーザーを照射して距離と角度情報を取得し、3次元座標（XYZ）を付与する。



図 4.4.2.3 点群レーザー測量 基本仕様

### 4.4.3. 地上・地下インフラ 3D マップ活用事例

実際の掘削工事の状況をスマートフォン等で動画撮影したデータから、3D デジタルデータを構築する技術「ちかデジ」（NETIS 登録番号:KT-220240-A）との併用により、高精度な地下情報を構築できる。また、探査結果を AR（拡張現実）データ化し、スマートフォンやタブレット、サングラス型の AR グラスを通して見ることで、現況の地下情報を的確に把握することが可能だ。

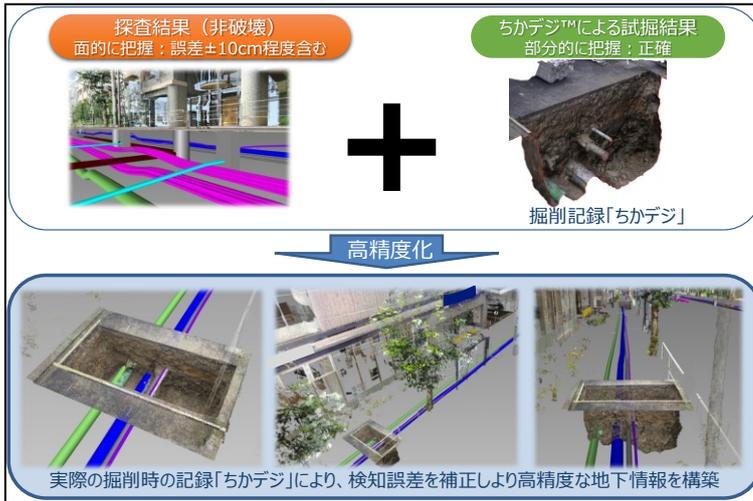


図 4.4.3.1 地上・地下インフラ3Dマップの高精度化

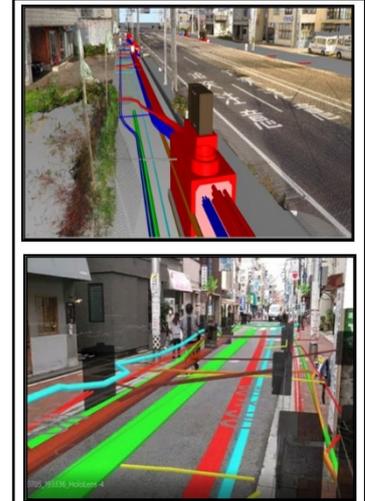


図 4.4.3.2 AR 表示映像例

### 4.4.4. 今後の展望

正確な地下情報を把握することは、掘削工事の安全確保やケーブル破断事故による作業停止リスクを回避するだけでなく、工事予算やスケジュールの変更を最小限に抑えることによるコスト削減や環境負荷軽減にもつながる。現在、高精度な地下情報をもとに ICT 施工や3D 設計等、新たな領域での試行を実施し、メンテナンスサイクルの適正化に努めている。今後も新たな場面で、新しい視点での技術開発が期待される技術だ。

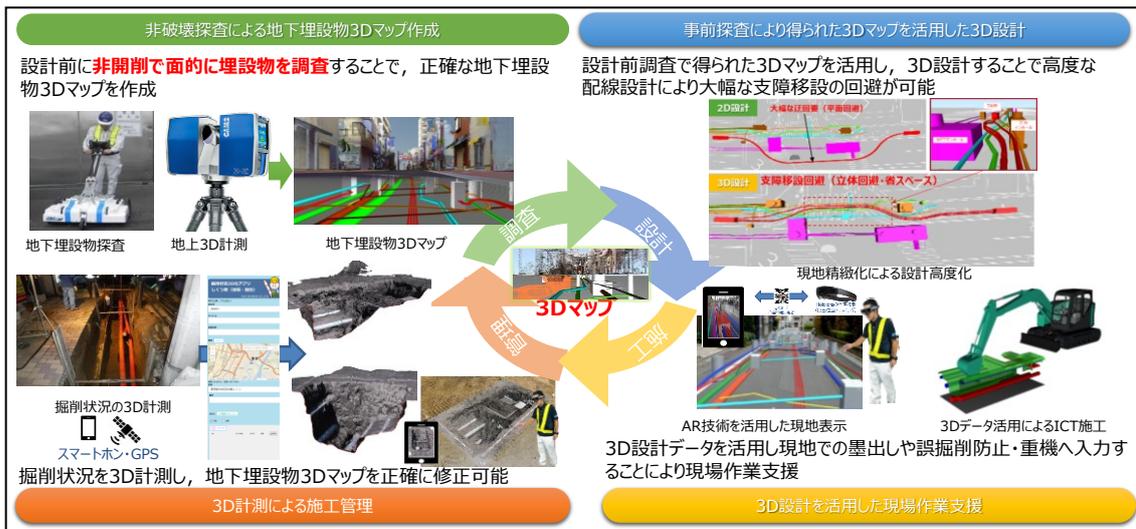


図 4.4.4.1 地上・地下インフラ3Dマップ

<参考文献>

- [1] 末永:「電線共同溝事業における埋設物非破壊探査の試行と使用効果の検証について」平成 20 年度近畿地方整備局研究発表会 論文集、調査・計画・設計部門 I -No.11.
- [2] 田中ら:「俱知安電線共同溝における地下埋設物の CIM 化の活用について」第 63 回(2019 年度)北海道開発技術研究発表会

#### 4.5. 商品化事例(2)「生産設備の安定操業・保安力強化を支援するクラウド型バルブ解析診断サービス」

##### 4.5.1. はじめに

生産設備やボイラー等、各種設備に使用されるバルブは、それら設備のプロセス量(流量・圧力・温度・液位など)を調節する機器であり、プロセス制御では欠かすことのできない重要な機器である。特に生産設備に使用されるバルブは、生産設備ごとに異なったプロセス条件(高温や低温、高圧や低圧)で稼働しており、バルブが発端となるプロセス異常が発生すると生産設備の停止・品質低下や事故・災害につながる危険性を持ち合わせている。ユーザーは生産設備を安定操業させるため、バルブの自主的な検査やメンテナンスに取り組まれている。昨今では、設備老朽化に伴うメンテナンス量の増加や、優れた技能を持った保全員の引退などもあり、十分に技能を持つ人員を確保することが難しくなりつつある。それらの制約を補うためにバルブ診断システムを導入し、メンテナンスノウハウの蓄積や業務効率化を目指している。

しかし、バルブ診断システムを導入してもそこから得られたバルブの稼働データを十分に活用できていないことが課題となっているケースが多くみられる。その原因は、バルブ診断システムを活用する人員の確保ができないことや、バルブ診断システムで得られた情報に対し、その内容を把握し対処するノウハウの不足によると考えられる。

そこでバルブ診断システムを提供するベンダーが保有する豊富な知見を盛り込んだアルゴリズムで稼働データを解析し、ユーザーでの解析を不要にすることで、これら課題を解決するバルブ解析診断サービスが提供されている。また最近では、バルブ解析診断結果をクラウド環境で提供するサービスが開始されている。

##### 4.5.2. クラウド型バルブ解析診断サービスとは

クラウド型バルブ解析診断サービスは、スマート・バルブ・ポジショナ(以下、スマートポジショナ)で計測・演算されるバルブの作動に関わる様々なパラメータを、バルブ診断システムで収集し、システムに蓄積されたバルブ稼働データを、ベンダーの保有する知見をもとに作り上げたバルブ稼働データ解析技術で解析し、バルブの健全性を評価した結果をユーザーへ提供するサービスである。

それにより、バルブ診断システムから得られたバルブ稼働データを、ユーザーが解析し、異常有無を診断すること無く、バルブ異常の早期発見や、異常進行予測を確認することが可能となり、生産設備の安定化や保安力強化に貢献する。

クラウド型バルブ解析診断サービスのバルブ種別による対応範囲は、グローブ弁・複座弁・ケージ弁・ダイアフラム弁・偏心軸回転弁・バタフライ弁・ボール弁の計7種類と、プロセス制御で使用される大半のバルブをカバーしている。これらバルブの診断可能事象を以下①～⑦に示す。

- ① スティックスリップ(固着・かじり)
- ② 内弁損傷、詰まり
- ③ ポジショナへの一定入力値に対するハンチング動作
- ④ 鈍化現象(固着・かじり発生前の不調状態)
- ⑤ 流体差圧に対する性能不足
- ⑥ 供給空気圧力不足
- ⑦ ポジショナ空気回路診断

※④～⑦については、空気圧測定可能型スマートポジショナで可能

なお、これら診断事象を元に健全性を評価した結果は、下記4段階で大別してユーザーに提供され、これらの結果に至った詳細な診断情報についても確認可能である。

開放推奨:オフライン診断※および整備の計画を推奨

詳細確認:オフライン診断※の実施を推奨

経過観察:今後の動向に注意

所見なし:特に処置の必要なし

※オフライン診断:バルブをオフライン(装置に影響を与えない)状態にして実施するテスト。バルブにステップ変化を与え、ポジションの応答状態を記録するテスト。

クラウド型バルブ解析診断サービスは、バルブ診断システムに蓄積されたバルブ稼働データをクラウドに自動送信・解析することにより、ユーザーは診断結果を時間・場所を選ばずにクラウド環境で確認することができる。(図 4.5.2.1)

なお、診断結果は、異常状況や部位が評価毎に色分けされ、視覚的に容易に確認可能(図 4.5.2.2)となっており、診断結果だけでなく、異常が発生した時点の実開度や、制御出力値をトレンドデータで確認する事が可能となっている。(図 4.5.2.3)

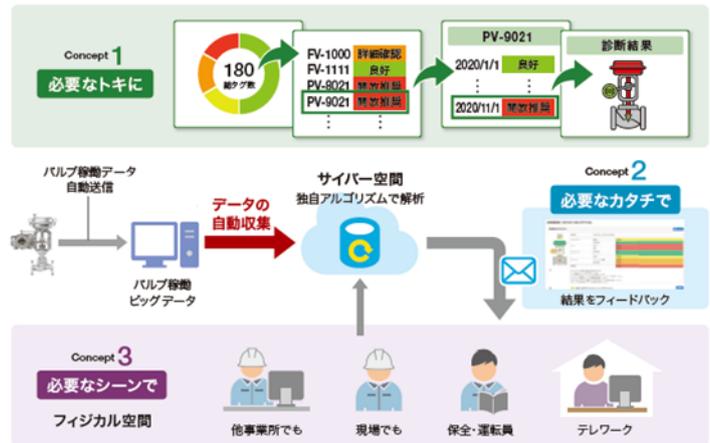


図 4.5.2.1 クラウド型バルブ診断サービスの活用イメージ



図 4.5.2.2 診断結果詳細画面

© 2023 Azbil Corporation. All Rights Reserved.



図 4.5.2.3 実開度等トレンド画面

© 2023 Azbil Corporation. All Rights Reserved.

### 4.5.3. クラウドサービスのセキュリティ

生産設備で使用するクラウドサービスの必要要求事項としてセキュリティの確保があるが、外部からの侵入に対し、制御系を守る為に、片方向通信機器、通信事業者の閉域網、ID・パスワード管理等によりセキュリティを確保している。(図 4.5.3.1)



図 4.5.3.1 クラウドサービスのセキュリティイメージ

#### 4.5.4. 今後の展望

現在、バルブ解析診断サービスの利用ユーザーは保全部門である場合が殆どだが、このサービスを製造部門の方々にも利用いただくことで、より一層の生産設備安定化に貢献できると考えている。その為には、診断結果をより判り易くするための WEB コンテンツや、診断結果の通知機能の充実が望まれる。また、最近では空気圧センサーを搭載したスマートポジションでの診断知見が蓄積されつつあり、より高精度な診断を提供できる日も近い。

<参考文献>

[1] アズビル(株) ウェブサイト

「Dx Valve Cloud Service は、バルブの診断結果を3つのコンセプトで提供」、「セキュリティ対策も万全」

<https://aa-industrial.azbil.com/ja/products/service/control-valve-solution/services/dx-valve-cloud-service>

#### 4.6. 商品化事例(3)「フィールド機器の高度診断」

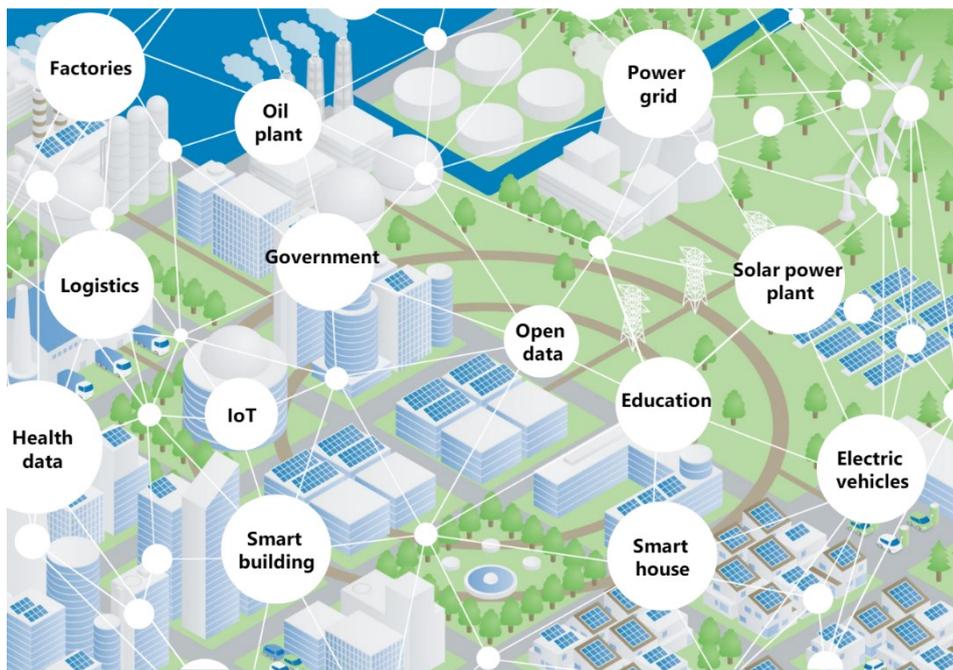
##### 4.6.1. はじめに

現在フィールド機器で主に使用されるネットワーク通信は、プラントに敷設することを前提としたものである。フィールドバス技術の登場によって、通信のデジタル化や IT 技術の活用でフィールド機器の高度化(多機能化、高速化、デジタル化)が可能となったが、依然として 4-20mA やそれをベースとした HART 通信がフィールド機器では主流である。また、フィールドネットワークと言っても限られた場所(プラント内もしくはその特定の区域)だけで通信するものであり、インターネットのような世界中の機器が繋がるようなものではない。そのため、複数の標準化された通信規格があり、業種やお客様の意向によって通信形式が選択されるような状況であった。

しかしながら、Industry4.0、IoT、DX がここ十年にうたわれるようになり、IT 技術がフィールド機器、フィールドネットワークに影響を与え始めている。この流れはフィールド機器の役割や機能の構成、ワークスタイルなどを大きく変える可能性を持っている。

##### 4.6.2. 「IT と OT の融合」

フィールド機器およびそれらが繋がるシステムは、一つのプラント内にとどまらずあらゆるシステムに複雑につながり、相互に連携する世界(System of Systems)へと向かっている。System of Systems とは、あらゆるものが複雑につながり、構成要素のそれぞれがシステムとして扱われ、運用の独立性とマネジメントの独立性を保ちながら連携し、単独では実現できない目的をシステム全体として、創発的に実現するものである。



IT (Informational Technology)と OT (Operational Technology)の融合は、その世界を実現するために重要な意味を持っている。本稿執筆時点では、多くのフィールド機器メーカーが新しい技術を取り入れている過渡期の状態であるため、必ずこうなると言い切ることは難しいが、以下二つの観点で今後の展望をしめす。

#### ■ IT 技術由来のネットワーク通信技術の普及

イーサネットをベースとした Ethernet-APL、Bluetooth など IT 技術由来の通信技術の搭載がフィールド機器で始まっている。

Ethernet-APL は電源供給可能、且つ防爆規格に対応しているため、危険場所に設置する 2 線式含むフィールド機器をイーサネット経由で接続することができる。これにより、イーサネットの特徴である高速・大容量の通信が可能になるだけでなく、プラント全体のネットワークをイーサネットに統一することができるため、ネットワークの管理コストが削減される。さらに、イーサネットを用いることで原理的にはフィールド機器を直接インターネットに接続することが可能になるため、フィールド機器からインターネット上にあるクラウドやサーバに直接データを送信したり、インターネットに接続している他の機器と直接データのやり取りが可能となる。また、Bluetooth はスマートフォンやタブレットなどのほとんどの携帯端末に標準で搭載される通信規格である。フィールド機器に Bluetooth が搭載されることによって、これまで専用端末で行っていたようなフィールド機器の設定やモニタリングをスマートフォンやタブレットに置き換えることが可能となる。また、スマートフォンやタブレットはインターネットにも接続することができるため、Bluetooth を経由して取得したデータを簡単にクラウド等にアップロードすることが可能となる。

#### ■ AI 技術を活用した、新しい測定・予測技術の確立

フィールド機器がデジタル化・多機能化されたとはいえ、データ量やその処理能力には設置場所に由来して劇的に向上させることが難しい状況である。先に述べたネットワーク通信技術の普及によりフィールド機器がインターネットとの親和性が高くなると、フィールド機器内部に持つ測定情報や機器情報をクラウド等の外部に格納することで、これまでとは比べ物にならないほどのデータ量とその処理を行うことができる。例えば、過去に格納された情報をもとに、これまでのトレンドを示すだけでなく、AI 技術と組み合わせて、その未来を予測する可能性も秘めている。また、一台のフィールド機器情報だけでなく、プラントの同一プロセスに設置されている複数の測定情報を組み合わせて、これまで見えてなかった状態やその傾向も測ることが可能になってくる。

これらの技術が実用化されれば、未来を予測し、より効率的なプロセス制御が可能となったり、機器の予知診断が可能となり、少ない人数でのオペレーションや機器・設備保全ができるようになる。

### 4.6.3. まとめ

このように IT 技術由来の通信技術が徐々にフィールド機器に浸透し始めている。これまでのフィールド機器に対して起こってきた高度化と異なる点は、これまでのワークスタイルを変える可能性を持っていることである。一方でフィールド機器に対しては、これまで閉じられた世界の中だけで通信を行ってきたものが、インターネットに直接接続できるようになるため、データ運用におけるセキュリティ耐性をより強く求められる。これらをうまくバランスを取りながらフィールド機器の世界を革新していくことが期待される。

<参考>

[1] 「System of System」: <https://www.yokogawa.co.jp/solutions/featured-topics/system-of-systems/>

#### 4.7. 商品化事例(4)「ガス漏れ検知可視化サーモグラフィカメラ G シリーズ」

##### 4.7.1. はじめに

ガスは匂いを感じることはあっても肉眼で見ることができない。ガス漏れ検知は対象箇所近づき、ガス検知器を使って検知する方法が主流である。しかしこの方法は効率性や安全性に懸念が残る。

ここで、サーモグラフィカメラでガス漏れを可視化する技術を紹介する。カメラは対象箇所の全体像を写しだし、漏れをカメラのビューファインダーまたはスクリーン上に煙のように表示する。画像はリアルタイムで見ることが可能である。

メンテナンス作業を行う上で最も大切なのは、作業員がプラントの状況を最大限に把握していることである。ガス漏れ検知可視化サーモグラフィカメラ G シリーズは、問題の原因追跡に非常に重要なツールとなる。

##### 4.7.2. サーモグラフィカメラの利点

ガス漏れ検知にサーモグラフィカメラを使用することでいくつかの利点がある。

###### ・検査員の安全性

カメラで撮影をすることで、ガス漏れ源からの距離を大きく確保することが可能となる。漏れ量によっては数十、数百メートルの距離での検知も可能である。それによって検査員はガスの吸引や爆発などの危険からより回避され、安全性が高まる。

###### ・作業効率の改善

ガス検知器にてガス漏れ源を探索しながら特定化することは大きな工数となる。カメラでの撮影であれば検知箇所を面で見るといことになり、ガス漏れ源特定の即応性や工程の時間的作業効率の改善が期待できる。

###### ・実証結果としての画像情報

ガス漏れ源を撮影することで、画像としてデータを残すことが可能となりそのまま実証結果となる。報告書作成に有利な資料であり、その後の検証用データとしても有用となる。



図 4.7.2.1 ガス漏れ検知可視化  
サーモグラフィカメラ G シリーズ



図 4.7.2.2 撮影風景

##### 4.7.3. 測定原理

ガスはその気体の種類によって固有の分光感度を持ち、特定の波長に吸収、放射がある。特に赤外線領域に吸収波長帯があるガスが存在する。すなわち、ガスが赤外線を放射している。この赤外線を

サーモグラフィカメラが受光、撮影するということである。あるいはガスが撮影を遮るようにゆらゆらしているということである。

その波長はガス種によって固有であり、以下ベンゼンと六フッ化硫黄の例を示す。

サーモグラフィにおいてその波長のみを撮影するように改良したものがガス漏れ検知可視化サーモグラフィGシリーズである。

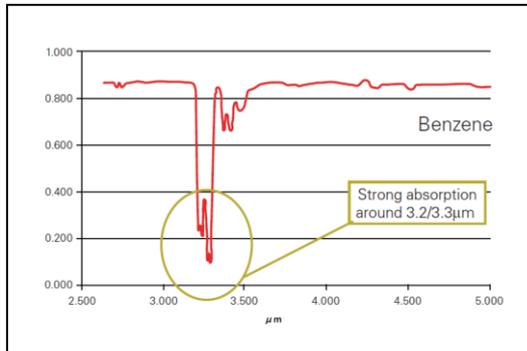


図 4.7.3.1 ベンゼン分光感度グラフ

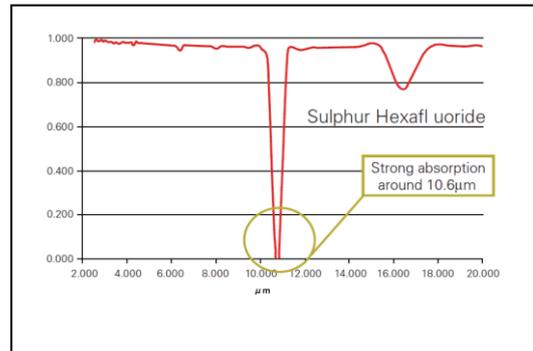


図 4.7.3.2 六フッ化硫黄分光感度グラフ

#### 4.7.4. 検知ガス種

上述したとおり、ガスはその気体の種類によって固有の分光感度を持つ。その種類はさまざまであるが、ガス漏れ検知可視化サーモグラフィカメラ G シリーズではガス種に応じた波長感度を持つカメラを用意しており、そのガス種の一列を下記に提示する。

- ・メタン、ベンゼン、プロパンなど炭化水素系および揮発性有機化合物(VOC)ガス
- ・六フッ化硫黄
- ・一酸化炭素
- ・二酸化炭素
- ・アンモニア
- ・各種冷媒ガス など



図 4.7.4.1 画像事例:フレアスタック

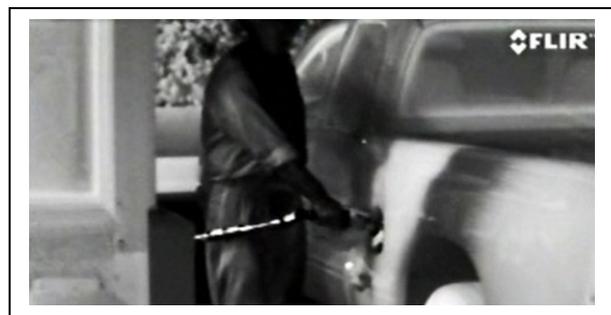


図 4.7.4.2 画像事例:ガソリン

#### 4.7.5. 濃度定量化

ガス漏れ検知可視化サーモグラフィカメラ G シリーズではガス漏れを撮影して画像データを残すことが主な仕事となる。ここで最新タイプでの炭化水素系用カメラでは、ガス種やいくつかのパラメータを事前入力することでその濃度を計算する機能も付加している。この機能によってさらにガス漏れ可視化業務のより高度化が可能となっている。

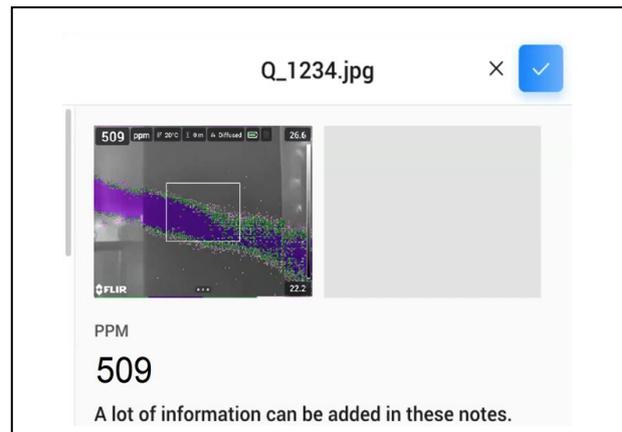


図 4.7.5.1 定量化イメージ

#### 4.7.6. 今後の展望

このカメラは可搬型タイプであり、検査員が持ち運びながら撮影をする。取得した画像データはカメラ内に保存するが、昨今の潮流のように画像データをクラウドデータベースへ保存するオプションも存在し、さらにその拡張の開発も進めている。

あるいはドローン搭載により、可搬では実施しづらい場所でのガス漏れ可視化も可能とするべく開発もサードパーティーと協業で進めている。



図 4.7.6.1 クラウドイメージ

#### 4.7.7. まとめ

ガス漏れ可視化サーモグラフィカメラの技術は、特に石油化学産業において使用実績が多く、米国では EPA による 0000a にて業務実行として推奨されている。

ガス検知器などの従来技術と補完しながらカメラとしての利点を十分に活用することで、検査のコスト削減を可能にし、またプラントをメンテナンスする検査員の安全性そして企業の収益性をより確保し、ひいては地球温暖化などの環境問題などにも貢献する最先端ツールであると考えている。

4.8. 商品化事例(5)「回転機故障予兆監視システム Wiserot」

4.8.1. はじめに

生産ラインで稼働しているモーターやファン、ポンプ、ブロワなどの設備が突発的に故障すると、復旧までに数時間から数日間を要する事態となり、その間の生産停止による莫大(ばくだい)な修復コストや機会損失が発生するケースが多い。このような突発故障を未然に防ぐため、モーターをはじめとした機械設備の異常振動を監視する保全の取組みが増えている。また、近年、企業や事業所では、保全業務にIoT (Internet of Things) 技術の導入を上位方針とすることも増え、その施策として振動計測に取り組む事例も拡大している。しかし、振動計測を保全業務に取り入れたくても、保全担当者がしきい値を設定するのは非常に困難であり、導入に踏み込めないケースも多い。回転機故障予兆監視システム「Wiserot (ワイズロット)」は電動機メーカーの回転機に対する故障知見やそれら対策ノウハウが集約されており、保全担当者がしきい値が決め切れないという困り事も解決できるシステムである。

また従来、データ伝送に無線式を用いていたが、より高い分解能で分析するために LAN 式の伝送方式を追加している。

4.8.2. 「Wiserot」の概要

Wiserot は、センサーに圧電型加速度ピックアップを使用し、振動の計測帯域を切り替えることにより回転機や機械設備の機械振動とベアリング振動を区別して計測することで設備故障の予兆を監視するシステムである。センサーのデータ伝送に無線式を使う Wiserot (図 4.8.2.1) は、鉄鋼、化学、自動車、食品・飲料など分野を問わず導入されており、国外からのニーズも多く、EU・インド・東南アジア・台湾・中国の無線認証を取得している。

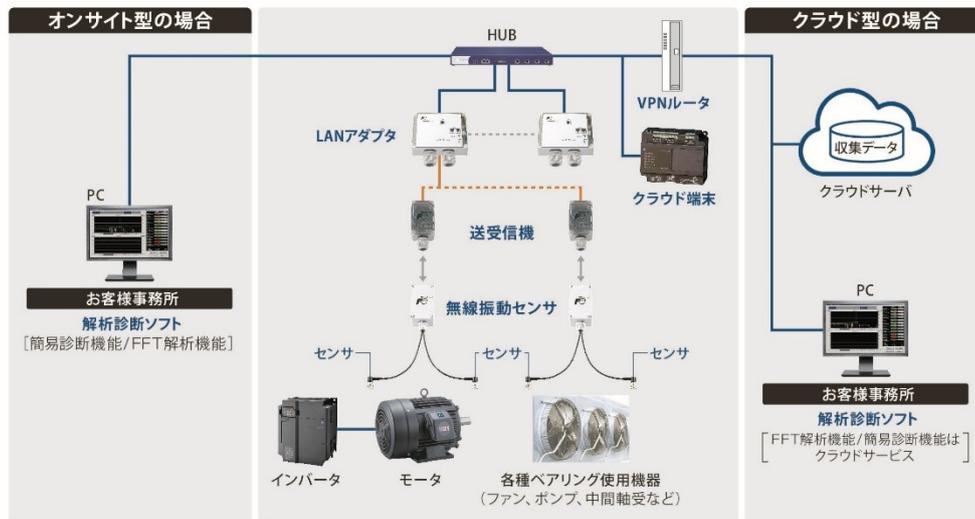


図 4.8.2.1 無線伝送式 Wiserot のシステム構成

従来の無線伝送式 Wiserot は、設置作業の容易性を考慮した設計で、314 MHz 特定小電力無線とバッテリー搭載により完全な無線化を実現されている。不具合箇所を正確に特定するために必要な大容量データ伝送には不向きな場合があった。

そこで、大容量の計測データに対応するため、有線通信および常時電源供給 (AC アダプタ採用) による LAN 伝送式をシリーズに加えた。設置場所や状況に応じて、無線式と併用することが可能である。図 4.8.2.2 に LAN 伝送式振動センサーの外観を、図 4.8.2.3 にシステム構成図を示す。

(a) 大容量データ伝送が可能になり、従来の 4,096 点のデータ量から、262,144 点までデータ伝送が可能になった。これにより、FFT 周波数解析の分解能が従来の 6.25 Hz から 0.09 Hz に大幅に向上し、さ

らに精密な診断が可能になり、例えばベアリングの不具合箇所などが正確に特定できるようになった。



図 4.8.2.2 振動センサーと送信器(LAN 伝送式)外観

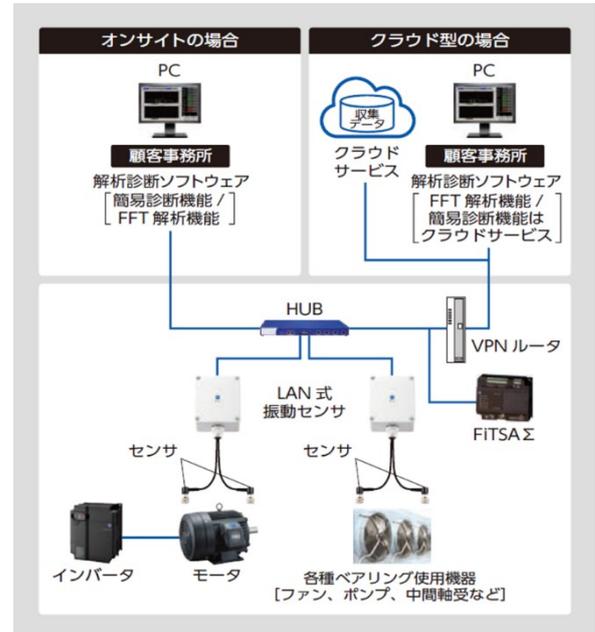


図 4.8.2.3 LAN 伝送式 Wiserot のシステム構成図

(b) イーサネット通信の採用により、従来の無線中継器(送受信機)が不要となる。これにより、シンプルなシステムが構築でき、現地取付け作業時に専門性を要していた無線環境調査も不要である。

### 4.8.3. 診断判定方法

機械的振動とベアリング振動の測定は表 4.8.3.1 に示す計測帯域で行う。

#### (1) 機械的振動(低周波振動)の判定

アンバランスやミスアライメントなどの機械的故障に対して、機械振動評価の一般的指針である JIS-B-0906 に準拠した絶対判定基準データを搭載しており、回転機の定格容量に応じて「良好」「注意」「危険」を判定する。また、設置箇所の剛性など顧客設備固有の条件に応じて、任意の相対判定基準値を設定することも可能であり、設備や設置環境に応じたきめ細かい運用が可能である。

#### (2) 軸受けベアリング振動(高周波振動)の判定

ベアリング傷やグリス切れなどの軸受けベアリング振動について、異常判定の基準となるしきい値の設定は、従来、顧客の担当者だけでは困難であった。しかし、本システムはメーカーの絶対判定基準 Q 値を搭載している。Q 値は対象設備のベアリング型式と回転数を入力するだけで自動的にしきい値のチューニングを行うので、しきい値の設定をゼロから考えなくても良い。

#### (3) インバータキャリア振動ノイズの除去

インバータで駆動される電動機には、高周波振動の領域にキャリア振動ノイズが重畳される。ベアリングの良否判定は高周波振動を分析するが、そのことにより誤判定を招き、本来正常にもかかわらずベアリングが危険域と間違えられる恐れがある。Wiserot は独自のフィルタ処理技術によりキャリア振動ノイズを除去し、ベアリング本来の振動だけを計測することで正確な判定を実現している。

表 4.8.3.1 診断項目と判定基準

| 診断項目        | 計測帯域                  | 振動種類     | 判定項目                            | 判定基準                         |
|-------------|-----------------------|----------|---------------------------------|------------------------------|
| 機械的振動       | 低周波<br>(10 ~ 250 Hz)  | 速度(mm/s) | 実効値                             | 振動評価基準 (JIS B0906) に準拠した絶対判定 |
|             |                       | 変位 (μm)  | オーバーオール、<br>回転数成分 (n)、電磁成分 (2f) | 相対判定                         |
| 軸受けベアリングの振動 | 高周波<br>(1 k ~ 10 kHz) | 加速度 (G)  | 実効値                             | 相対判定                         |
|             |                       |          | Q値 (軸受診断評価値)                    | 富士電機独自規格による転がり軸受け絶対判定        |

\*さまざまな現場の状況に対応できるよう、ユーザーによるしきい値設定を変更できる。

#### 4.8.4. 予兆診断結果の監視・分析

診断結果やデータ分析は次の機能を使う。

##### (1) 設備一括監視

設備全体の状態を「良好」「注意」「危険」の 3 つに大分類して一覧画面で表示されるので、全体像が一目で掴めるようになっている。

##### (2) トレンド監視

一括監視画面で注意や危険など状態変化が発生した設備については、トレンド監視画面で故障兆候をさらに分析する。センサー毎に機械振動・ベアリング振動・表面温度のトレンドがしきい値と重ねてグラフ表示され、中長期的な傾向が掴むことができる。(絶対判定や相対判定を行うことができる。)

##### (3) FFT 周波数解析による原因分析

トレンドグラフで故障予兆を確認後、さらに故障要因を分析する際に使用する。機械振動の周波数解析を行うことでアンバランスやミスアライメントなどの機械的な故障判別ができ、ベアリング振動の加速度波形と周波数のエンベロープ解析を行うことでグリス切れや内輪傷、外輪傷といったベアリングの故障判別や不具合箇所を特定することができる。

#### 4.8.5. おわりに

この商品は、たとえば熱処理プラントの排気ファンで使用された際、ファン故障による突発故障で復旧に数日かかり多額の機会損失が年に数回発生していたのが、予兆を掴んで事前対処することにより突発故障を 0 回に抑えることが出来て大きな効果が得られている。このほか数多くのプラントで長年にわたり設備故障を予兆検出し、突発故障を防いできた実績がある。

本稿が、振動計測を導入しようと考えられているすべてのユーザーに少しでも役立てれば幸いである。

<参考文献>

[1] 税所俊治, LAN 式回転機故障予兆監視システム, 富士電機技報 Vol.93 No.03 (2020)

4.9. 商品化事例(6)「まるごとスマート保安サービス」

あらゆる設備の保守・保全においては、要員の高齢化や慢性的な人材不足、さらに熟練技能の継承力の低下が進んでおり、それらの対応は喫緊な課題であると長らく指摘されてきた。これらを解決するためには、設備信頼性の維持・向上に加え、トラブル発生時の迅速な対応および故障の予兆検知による未然防止を実現するための保全の高度化・先進化が不可欠である。

他方、政府と民間事業者が連携し、「スマート保安」の実現に向けた取り組みが加速度的に推進されており、IoT、AI、ビッグデータ解析等の技術を活用した保安・保全の高度化および業務効率化が進展している。本稿では、予知保全技術を活用し、これらの社会的・技術的要請に応える「まるごとスマート保安サービス」という商品について解説する。

4.9.1. まるごとスマート保安サービスの概要

定期的な点検・保全業務を計画どおり行う TBM (Time Based Maintenance: 時間基準保全) は安定稼働を支える基本的な手法として広く採用されている。一方で、設備の様々な情報をもとに、設備状態を把握分析し、その状態に応じて保守・保全を行う CBM (Condition Based Maintenance: 状態基準保全) や予知保全へシフトすることで、保守・保全業務を最適化・効率化させることが求められている。また、保全現場では、①保全業務に人手がかかっている、②設備事故や突発的な停止の再発・未然防止が不十分、③知見や技術が属人化して共有されていない、④データが分散し一括管理・利活用がされていない、などがある。これらの課題に対し、主に大規模な受変電システムを対象として包括的に解決するソリューションが「まるごとスマート保安サービス」である。

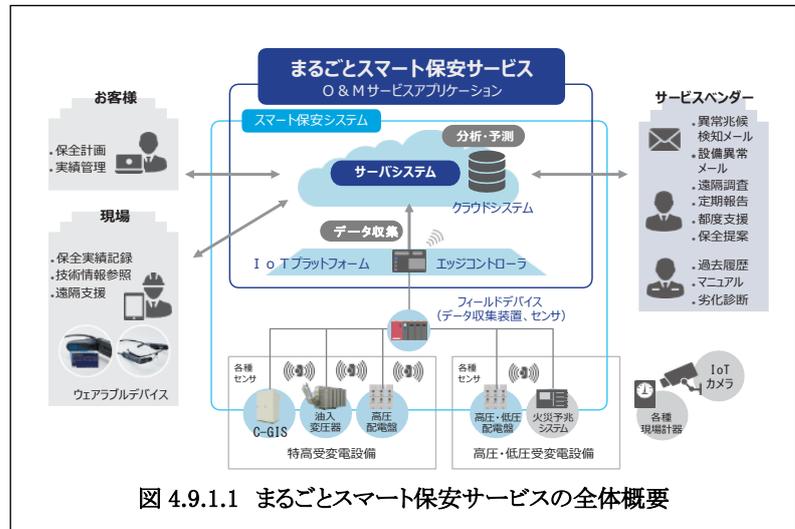


図 4.9.1.1 まるごとスマート保安サービスの全体概要

まず、ISO18435 (O&M 統合モデル) に準拠している「スマート保安システム」が構築される。これは、特高受変電設備や高圧・低圧受変電設備に取り付けられている各機器やセンサーがデータ収集装置に集められ、IoT プラットフォームや分析・予測のためのサーバシステムで構成される。各種センサー・データ収集装置及びクラウド上のサービスアプリケーションにより、オンラインで劣化状態や劣化現象の常時監視を行い、設備の予知保全を実現する。電気事故統計では電気火災が毎年一定数起きているが、電気盤内の火災検知用に工夫・アレンジされた火災予兆システムを組み合わせることも行う。設備の稼働状態をデータ化し、長期間にわたり傾向監視を行うことで設備の稼働状態やその健全性、劣化兆候を把握する。

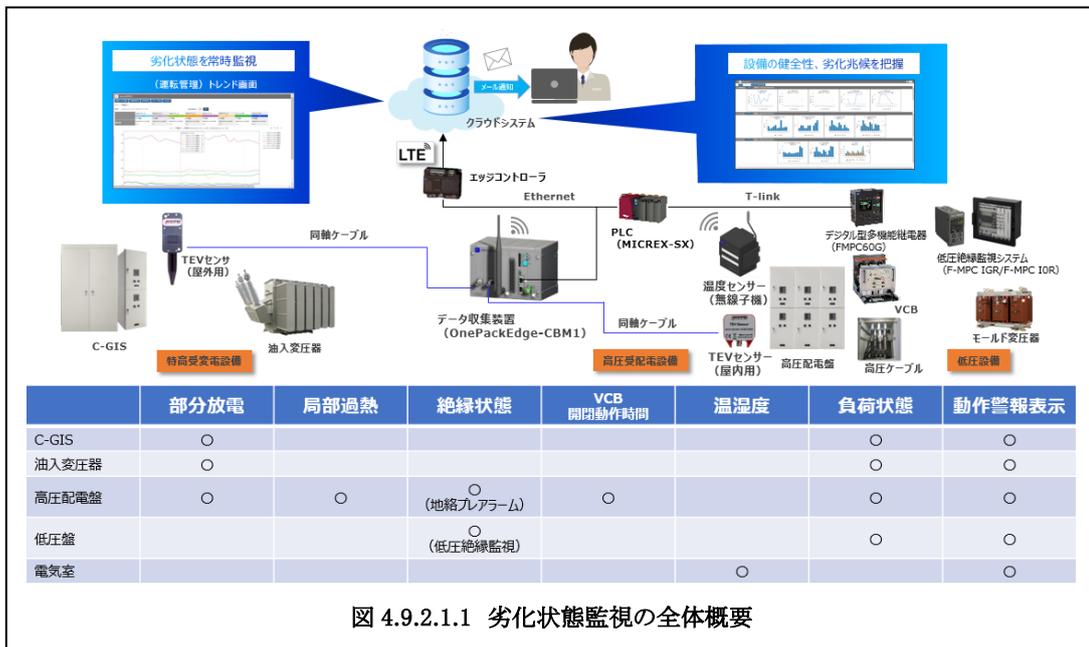
機能としては、(a)各種センサー及びデータ収集装置を設置して劣化状態を常時監視する運転管理、(b)設備台帳をベースにした各設備機器の点検計画とそれに基づく点検実績、トラブル等修理実績等の保全実績を可視化する保全管理、(c)収集した運転管理データ・保全管理データを傾向監視・分析する予兆管理がある。

「まるごとスマート保安サービス」はこれらの構築をユーザーと一体になって組み上げていく。システム規模や予算によっては段階的に進めることもできる。そしてその構築後は、蓄積されたデータの分析支援、異常兆候のキャッチアップ通報、課題解決の遠隔支援・診断を行い、ユーザーの管理部門や現場スタッフとやり取りを行うものである。概要を図 4.9.1.1 に示す。これらの機能により、先に上げた課題解決として、①保全業務の効率化、②設備の安定稼働、③知見や技術の共有、④データの一括管理・利活用が実現する。

4.9.2. スマート保安技術による予知・予兆保全

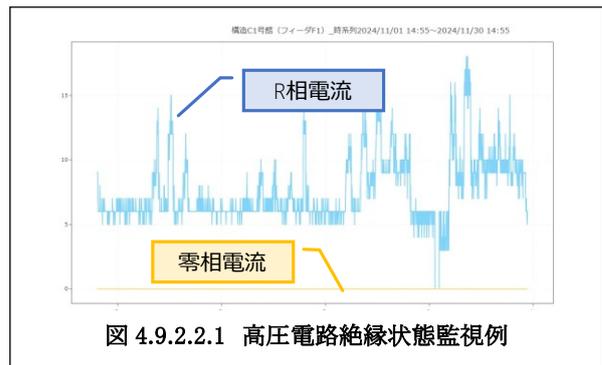
4.9.2.1 設備全体の継電器及び各種センサー類の動作・警報の活用

特別高圧受変電設備の計測類、継電器及び各種センサー等の動作・警報表示等はクラウドシステムでデータ収集・常時監視し、電気主任技術者をはじめとする電気保安員は端末からクラウドシステムにアクセスすることで中央監視設備の設置場所以外からでも詳細を確認することができる。TEV(Transient Earth Voltage:過渡接地電圧)センサーや漏れ電流測定センサーを追加し、従来から取り込まれている母線電圧や負荷電流データを組み合わせ、部分放電の推移も負荷電流との変化を合わせながら診断し、予知保全につなげる。従来は、部分放電や局部過熱、絶縁状態は時折、発注される点検を施すことで一時的な報告書等で個別データを得ることが多いが、その劣化状態を常時監視し、また一元的にある各データを組み合わせることで相関を分析することで劣化予兆を把握する。これを効率的に可視化することが従来の受変電監視システムと大きく違うところである。図 4.9.2.1.1 に全体概要を示す。



4.9.2.2 絶縁状態の予知保全

高圧電路の絶縁状態は、「漏れ電流監視」、「プレアラーム検知」機能を搭載したデジタル形多機能リレーで検出する。低圧電路には電路の構成に合わせて、低圧絶縁監視システム(Igr、Ior方式)により活線状態で絶縁状態を監視する。具体的には絶縁劣化により地絡警報が発生する前に、地絡整定値の50%でプレアラーム検知を行い、VCBの二次側高圧電路の零相電流とR相電流の相関から絶縁劣化予兆を監視する。(図 4.9.2.2.1)



#### 4.9.2.3 絶縁劣化・機器劣化の予知保全

絶縁が劣化した時に発生する放電電荷量をTEV センサーで測定し部分放電を常時監視、キャッチする。対象は、C-GIS、油入変圧器、配電盤である。図 4.9.2.3.1 のように各点の部分放電を周囲の温湿度と同時に相関を見ることで設置環境との関連性を勘案し、絶縁劣化の兆候を把握する。

また、VCB(Vacuum Circuit Breaker:真空遮断器)のグリス固化、機構部劣化等の劣化現象で変化する開・閉極動作時間をデジタル形多機能リレーで常時監視する。従来は、年次点検の整備後に動作確認試験で動作時間を測定していたが、オンラインで稼働中の動作時間を監視し、動作時間の傾向変化を見ることで点検整備時期の判断をする。図 4.9.2.3.2 は VCB の負荷電流を組み合わせた開極・閉極動作時間監視例である。

#### 4.9.2.4 異常過熱の予知

従来はサーモラベルの色変化で実施していた導体接続部の異常過熱や配電盤の局部過熱を、無線通信式温度センサーでブスバーの温度を常時監視する。稼働中の充電部のサーモラベルの色確認は実施できない場合が多いが、従来は監視できなかった箇所の温度監視により、負荷電流、室温を加味した対象物の異常過熱の予兆検知が可能である。図 4.9.2.4.1 はその傾向監視例である。

### 4.9.3. おわりに

「まるごとスマート保安サービス」を導入することで、従来は年 1 回実施していた受変電設備点検を、3 年に 1 回へと延伸することが可能となる。本措置を適用するには保安規程の改定と、経済産業省 産業保安監督部への変更届の受理が必要となるが、本サービスを活用することで所定の技術的要件を満たすことができ、規程変更が認められる。本サービスには、こうした対応の実績や申請ノウハウが多数蓄積されており、点検周期の延伸によって年次点検に関わるコストを 66%削減できる。また、日常巡視点検についても遠隔監視機能により点検頻度を 3 カ月に 1 回以上へと見直すことができ、これまで点検に投入されていた人員リソースを他の保全業務や戦略業務へと再配置することで、冒頭に挙げた課題の解決にも大きく貢献する。

以後、スマート保安は政府ほか各方面の取組みにより本格的な普及フェーズへと移行することが期待される。「まるごとスマート保安サービス」は、今後も予知保全に資する劣化診断機能のさらなる高度化を図るとともに、多様な IoT 機器やデジタルトランスフォーメーション(DX)技術の統合を進め、持続的な保全価値の創出に貢献していく。

<参考文献>

- [1] 須長祐悟・福島宗次, 保守、点検の効率化と予知保全の実現に貢献するスマート保安サービス, 富士電機技報, 2023 年 1 月, vol.96,no.1, p.53-58.

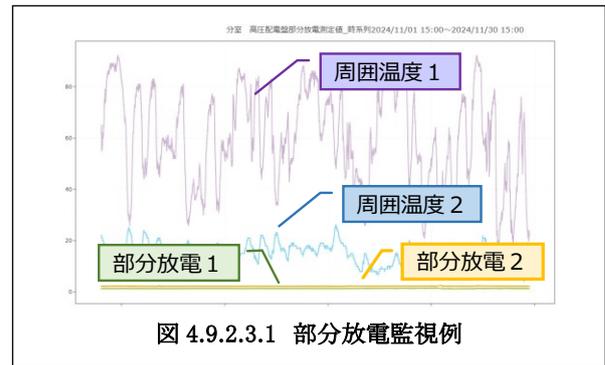


図 4.9.2.3.1 部分放電監視例

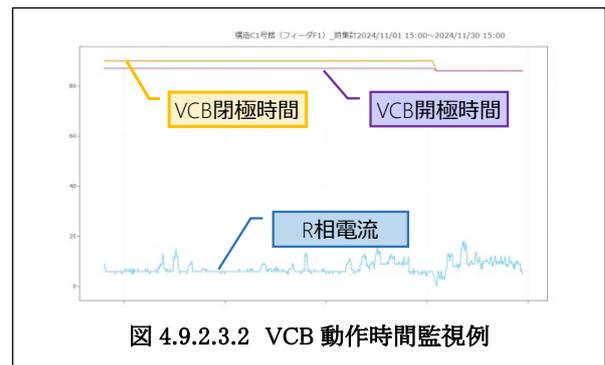


図 4.9.2.3.2 VCB 動作時間監視例

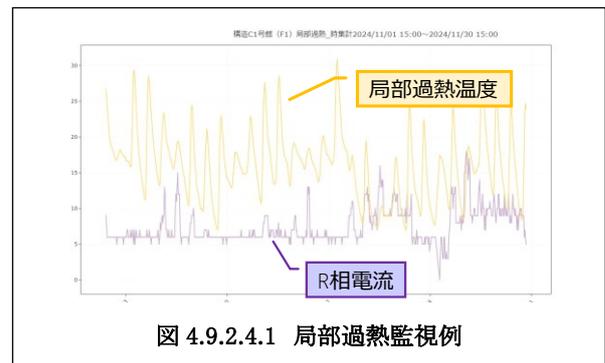


図 4.9.2.4.1 局部過熱監視例

#### 4.10. 商品化事例(7)「ライフサイクルにわたるセキュリティ対策検討のアプローチ」

##### 4.10.1. 2023 年度での状況

2011 年当時の制御システムにおけるサイバーセキュリティインシデントの多くはマルウェア感染であった。その侵入経路は USB メモリなど外部記憶装置からの経路が多数だったが、各メーカーによるお客様への対策提案や啓もう活動の成果により、これら外部記憶装置経由での感染は減少傾向にある。一方で、IoT/IIoT の活用や Digital Transformation(DX)化の加速により、制御システムが他システムとネットワークを経由して接続されるケースが増加し、制御システムに対するサイバーセキュリティの脅威は多様化することになった。この多様化した脅威に対応するためには、制御システムに対し継続的な監視を行い、インシデントやインシデントの兆候をとらえて未然に対処を行う、まさに異常や異常の兆候をとらえる予知保全といえる活動が重要となる。またそのためには事前準備となるセキュリティ対策の実施も必要となる。そこで、この準備から予知保全の活動に至るまでのアプローチをまとめたセキュリティプログラムについて紹介する。

##### 4.10.2. セキュリティプログラム

制御システムのライフサイクルにわたってセキュリティ対策を継続的に行い、サイバーセキュリティリスクを管理するためのアプローチがセキュリティプログラムである。セキュリティプログラムは 6 つのフェーズに分かれている。以下、各フェーズにおける取組を紹介する。

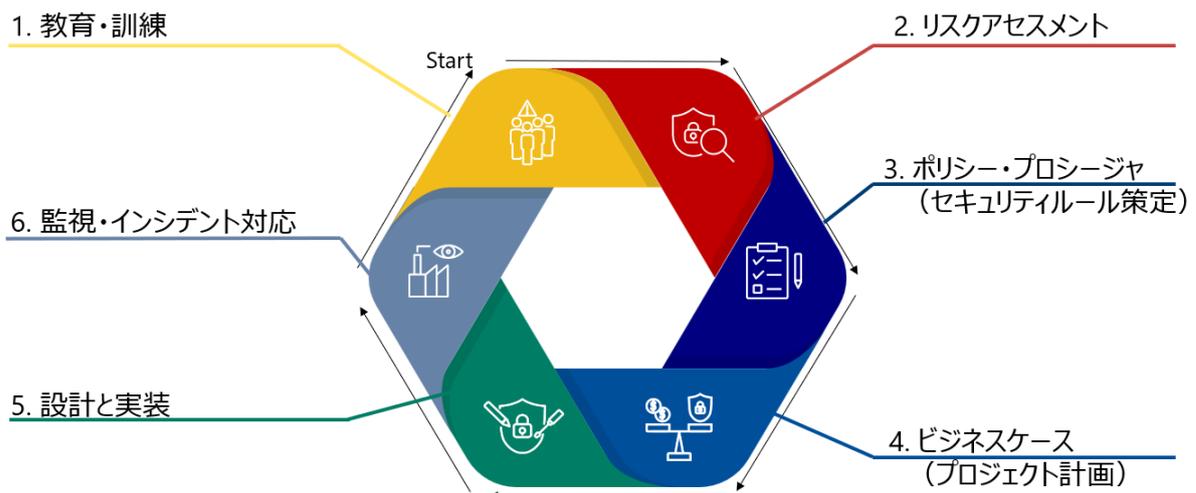


図 4.10.2.1 セキュリティプログラム

##### 4.10.3. 教育・訓練

継続的なセキュリティ対策を行うには、セキュリティ対策に対する理解を深めることが重要である。特にサイバーセキュリティ脅威に対する組織の理解・意識が低いと、セキュリティ対策は単なる「手間」や「コスト」とみなされてしまい、結果的にセキュリティ対策の実施やその定着に必要な体制や予算、個人のモチベーションを確保することが難しくなる。そこで教育・訓練を行い、制御システムに対するセキュリティ対策についての理解を浸透させ、組織全体にセキュリティの重要性を理解する文化を醸成する。

##### 4.10.4. リスクアセスメント

制御システムに対し、想定される脅威とその脅威がもたらす影響、現状の対策を踏まえたリスクを評価し、結果を基にリスクを許容できるか否かを検討することがサイバーセキュリティにおけるリスクアセスメントである。リスクアセスメントの実施にあたっては、その手順や基準をあらかじめ定めておくことが重要である。これにより評価プロセスや評価基準の透明性が増し、結論の妥当性を複数の関係者間で共有しやすくな

る。リスクアセスメントにより組織的なリスク管理と適切な投資判断を行うことができるようになるとともに、外部ステークホルダーからの説明要請があった際に、自社のセキュリティ耐性や取り組み状況を説明しやすくなる。

#### 4.10.5. ポリシー・プロシージャ

制御システム及びその運用・保守などの業務におけるセキュリティ対策の方針と手順を定めたものがポリシー(方針)・プロシージャ(手順)である。組織において、セキュリティに関するポリシーやプロシージャが明確でないことは、セキュリティ上の脆弱性の1つといえる。ポリシーやプロシージャで扱われるトピックとしては、例えばアクセス管理や通信監視などが挙げられる。アクセス管理であれば、「必要な情報」に「必要とする人」だけがアクセスできることがポリシーであり、これを実現する手順、例えばユーザーIDの発行やそれに基づくアクセス制御を行うための手法や運用ルールを具体的に定めたものがプロシージャとなる。明確なポリシーとプロシージャを定義することは、組織内において必要なセキュリティ対策に関する共通理解を深めるとともに、セキュリティ対策の実現イメージをつけやすくする。結果として組織のセキュリティガバナンスを確立することにつながる。

#### 4.10.6. ビジネスケース

ビジネスケースとは、中長期的なセキュリティ対策の実装に向けたプロジェクト計画である。全てのサイバーセキュリティリスクに短期間で対応し終えることや、リスクをゼロにすることは現実的ではない。そのため、リスクアセスメントの結果を基に、セキュリティ対策への投資とその優先順位・期間など、実践的で目的にかなった計画と合意の形成を実現する。

#### 4.10.7. 設計と実装

ここまでに検討されたセキュリティ対策とその導入計画に従い、具体的な設計と実装を行う。制御システムへの技術的なセキュリティ対策の導入については、セキュリティ対策の導入による予期せぬ通信断や遅延、平時および緊急時のオペレーションの阻害などが発生しないように十分な事前検証が必要である。安定した制御システムの運用を維持し続けるためには、各制御システムベンダーの推奨に従うことが望ましい。また新たな技術的対策の導入に伴い運用上の変更が生じる際は、その内容について必要な関係者が十分に理解し、習熟するための期間・機会を十分に設けることが望ましい。

#### 4.10.8. 監視・インシデント対応

ここまでのフェーズで「人」・「プロセス」・「技術」観点で、必要なセキュリティ対策が実装され、インシデントやインシデントの兆候をとらえるための準備が完了する。そして、実装したセキュリティ対策の実行状況を継続的に監視し、インシデントやインシデントの兆候をとらえ、未然に対処を行うことで予知保全となる。例えば、制御システムへのアクセス履歴を取得する場合、単に履歴を取得・保存するだけでなく、履歴を監視し、通常とは異なる挙動を検出することでインシデントの兆候をとらえ、実態の確認・調査といった対処を行うことが、予知保全にあたる。このようにセキュリティ対策を「導入して終わり」という一過性の対処とせず、継続的に監視し、その結果を活用することが、サイバーセキュリティインシデントの発生を未然に防ぐ、または被害を最小限に抑えるために重要となる。

#### 4.10.9. まとめ

多様化するセキュリティの脅威に対し、制御システムを安心・安全に運用するためには、ライフサイクルにわたってセキュリティ対策を考えることが重要である。ただ単にセキュリティ対策を導入するだけでは一過の対処となり、多様化するセキュリティの脅威に対処し続けることが難しい。導入したセキュリティ対策の実行状況を監視し、インシデントやインシデントとなる兆候をとらえる予知保全の活動につなげることで、制御システムを継続して安心・安全に運用することが可能になる。このようなセキュリティ対策のアプローチの1つとして、セキュリティプログラムについて紹介した。

#### 4.11. 商品化事例(8)「リアルタイム設備保全、ホスト診断:統合機器管理パッケージ”PRM”」

##### 4.11.1. はじめに

プラントを構成する装置や設備などのプラントリソースを財産の視点で管理する EAM (Enterprise Asset Management) に対して、機器や装置の状態をリアルタイムで管理する PAM (Plant Asset Management) は、従来の保全員の勘や経験に頼っていた保全作業を情報技術に置き換え、フィールド機器(以下、機器)や装置のリアルタイム一元管理を行う。統合機器管理パッケージ(PRM)は PAM として位置づけられる。

##### 4.11.2. 信頼性の高いプラント運転を実現する設備保全

###### ■ 設備保全の課題

設備保全の目的は生産性の維持、拡大であり、それには信頼性の高いプラント運転が求められる。プラント設備・機器の故障はプラントの操業に大きな影響を与えるため、これを防ぐための適切な設備保全活動が必要である。一方、保全活動には、コスト削減要求や設備保全リソース不足とともに保全技術・ノウハウ継承の難しさなどの課題が深刻化している。

###### ■ 課題への対応

これらの課題の解決には、人に依存した設備保全から、機器の待つデータを元に IT など最新技術を利用した設備保全への移行が必要である。インテリジェント化された機器の採用のみならず機器の持つデータの活用が必要であり、デジタル通信技術や診断技術の利用が求められる。

##### 4.11.3. 統合機器管理パッケージ(PRM)導入による信頼性の高いプラント運転

統合機器管理パッケージ(PRM)は、データや履歴を含むプラント設備情報をデータベース化し、デジタル通信技術や診断技術などを活用して、効率的かつ精度の高い設備保全活動を支援し、設備保全コストを最適化した信頼性の高いプラント運転を実現し生産性の向上に寄与する。

信頼性の高いプラント運転を実現するには、設備状態を把握しその維持を確実に行うとともに、将来の突然の機器故障を防止するための故障の予知が求められる。

###### ■ プラント設備情報のデータベース化と一元管理

PRM はプラントの設備・機器に関する情報をデータベース化し、一元管理する。通信機能付きの機器は、現場ベースの正確な機器台帳がデジタル通信を利用し自動で作成される。機器のパラメータ情報が保存でき変更管理や機器交換に利用できる。アラーム・イベント、診断結果、操作・点検記録、パラメータ変更履歴はデータベースで一元管理され、保全作業準備や作業後の確認などの局面で高品質で効率的な設備保全の実施を支援する。

###### ■ 設備状態の把握

###### 機器異常時の迅速な対応

インテリジェント化された機器には診断機能が搭載されている。機器本体の故障に加え差圧伝送器の導圧管つまり検出のようなプロセスインターフェース診断、さらに温度などの周囲環境に関連する情報や運転実績を利用した診断などその進化は留まらない。PRM は機器で感知した異常や予兆を自身のクライアント画面に通知、表示するのはもちろん、遠方よりリモートで監視している保全員や制御システムの HMI をとおし運転員にも通知、共有できる。

###### 機器全体の健全性の把握

プラントには多くの機器が存在しそれらの状態を把握することは困難である。「フィールドアセット KPI<sup>\*1</sup> レポート」は機器から収集した(機器診断の)状態や受信したアラームやイベントの状況から機器全体の健全性をグラフ化、レポート化し容易に把握可能とする。

フィールドアセット KPI レポート機能により、個別に把握していた機器の稼働状態を定量的に把握でき、

機器の潜在的な異常の発見、不具合の原因の特定や解析が統計的に行える。また、設備保全作業の優先順位付けの参考データとして利用できる。

「フィールドアセット KPI レポート」には以下が示される。

### 1. 機器ステータス情報

PRM のステータス色、あるいは NAMUR NE 107\*2 の分類ごとにまとめて集計・表示する。通信形式、機器モデル、機器ベンダーに分類され集計する。

### 2. 機器アラーム／イベント情報

機器アラーム／イベント発生数を集計し、ワーストランキングを表示する。通信形式、機器モデル、機器ベンダーにより分類され集計される。

### 3. 機器稼働率情報

機器稼働率として以下の 3 種類の KPI を表示する。

- Overall Device Effectiveness (ODE): 機器アラーム／イベントの発生を伴わずに機器が正常に稼働していた時間的割合

- Time Availability (TA): 機器が PRM と正常に通信できていた時間的割合

- Performance Availability (PA): 機器が PRM と正常に通信し、かつ、機器アラーム／イベントの発生を伴わずにフィールド機器が正常に稼働していた時間的割合

\*1 KPI : Key Performance Indicators、評価指標

\*2 NAMUR NE 107:ドイツのプロセスオートメーションのユーザー団体である NAMUR が、フィールド機器の診断機能についてまとめた要求仕様。

### ■ 故障の予知

機器には予期せぬ故障や誤動作が起きる可能性があり、その場合には運転や保全に大きな影響を与える。その予兆を事前に察知し回避することでできればその損失(生産ロス)を回避することができる。

PRM の「異常到達日予測機能」は機器状態の時間的な変化を監視し、予期せぬ故障や誤動作の削減を目的としている。具体的には調節弁診断の KPI や機器パラメータの値を時系列に監視し、設定したしきい値に達するまでの期間を予測し異常になるタイミング(到達日)を示す。これをもとに計画的な保全対応が行え、突然の故障や誤動作を予防できる。また、劣化の状況をもとに定修計画を立案でき、不要な保全の削減も可能となる。

### 1.4 機器稼働率情報

#### 1.4.1 機器稼働率サマリ

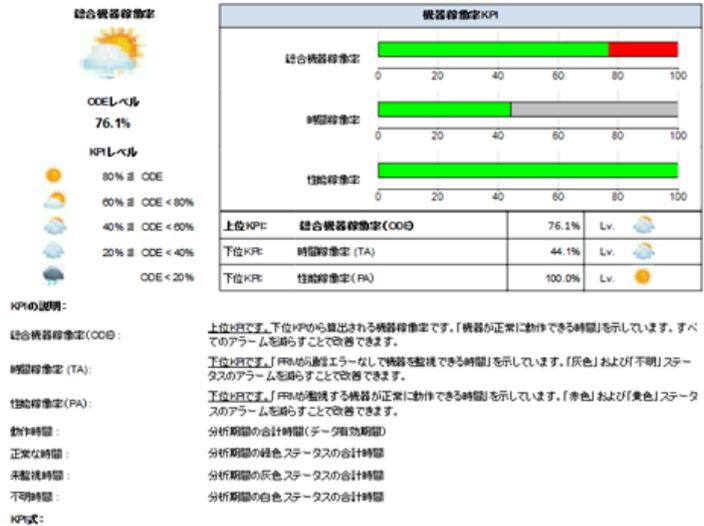


図 4.11.3.1 フィールドアセット KPI レポートの例

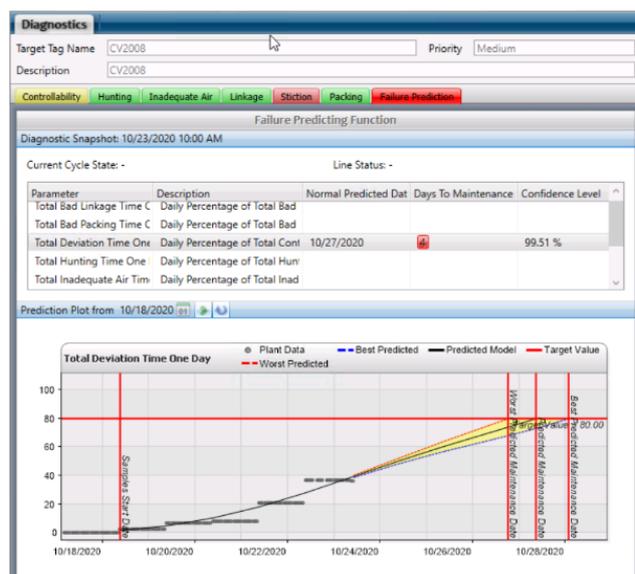


図 4.11.3.2 調節弁診断における異常到達日予測機能の例

なお、PRM の調節弁診断はベンダーや機種にかかわらず、統一的な基準を用いて複数の制御バルブを診断できる特徴を持つ。

#### 4.11.4. 今後の展開

PRM は上位の統合情報サーバ(Collaborative Information Server:CI サーバ)と接続でき、CI サーバで PRM の持つ機器情報が利用できる。CI サーバは制御システムを始めとしてさまざまな機器やシステムと接続し、統合する統合情報サーバであり、制御システムの扱うプロセスデータと PRM の持つ機器情報を合わせて利用することにより、CI サーバの特長である IT 領域の最新技術を活用した操業／生産の効率維持向上、複数のプラント全体の統合オペレーションをさらに進化させる。また、CI サーバは OPC UA サーバ機能を実装しており、PRM の持つ機器情報をセキュアに上位システムに送ることでさらなる活用も可能となる。

<参考文献>

[1] 「General Specifications 統合機器管理(PRM)」横河電機株式会社 GS 30B05A10-01JA

### 4.12. 商品化事例(9)「遠隔自動振動診断システム“A-RMDs®”とDX技術の活用」

#### 4.12.1. 予知保全実現のための異常兆候予知技術の動向

予知保全とは、「機械や設備に故障が起きる兆候を事前に検知して、保全業務を行う保全」の事であり、また「状態基準保全」と言われる CBM(Condition Based Maintenance)がある。これらは、設備の異常兆候を未然に検知する技術がキーとなる。

設備の異常兆候の検出技術としては、従来から取り組まれている設備診断技術と近年注目を集めているプロセス状態の変化をAIなどで捉える異常兆候予知技術に大きく分類される。

設備診断技術は故障物理に基づく技術であり、想定した異常現象に対し結果として生じる振動・温度などの物理量の変化を捉えようとするものであり、回転機械では異常兆候が振動として現れることが多く、振動診断が多く導入されてきた。一方、既設のプロセスセンサー情報を利用したDX技術による異常兆候予知技術は、DCS、PLCなどの計装システムにて収集される大量のプロセスデータを用いてAIなどのDX技術によりモデル化し、異常兆候を検出しようとするものである。

#### 4.12.2. 設備診断技術

設備診断技術の研究は米国のアポロ計画に関連して1964年より開始され、各種の手法が開発された。1970年代になると、欧米を中心にこれらの技術を設備状態の監視、診断に適用する試みが始まった。我が国では1970年代後半にかけて設備診断技術と呼ばれる技術分野が確立してきた。当ベンダーでは、1974年に予知保全技術導入の検討を開始し、翌1975年には振動法による傾向管理を開始している。

設備診断システムは、ポータブル測定器を使った「人による定期的なデータ収集」と重要機器に導入されているセンサーを常設した「オンラインでの常時監視システム」が主流であったが、近年になって両者の間ともいえる無線を利用したデータ収集システムの導入が進んできている。

この設備診断システムの特長は、10kHz以上の加速度領域をベアリング加速度として監視している点にある。当ベンダーのメンテナンス研究所によると、軸受の異常兆候は軸受の固有振動ではなく軸受鋼どうし(内輪・外輪と玉・コロ)の摺動によるものであり、それは約14kHzをピークとした周波数となる。この周波数は固有振動数ではないため軸受のサイズには無関係であり、かつ、この帯域はS/N比が高く小さな傷の段階からとらえることができ、異常の早期検出が可能となることになった。なお、右図に示す加速度領域の周波数範囲による検出感度の相違を見ると前述の約14kHzをカバーしている20kHzまでの範囲が傷による衝撃波形を良く検出しているのに対し、10kHzまでの範囲では衝撃波形の検出精度がかなり下がっている。5kHzまでに至ってはほぼ再現



図 4.12.2.1 振動診断器開発の歴史 (ポータブル)

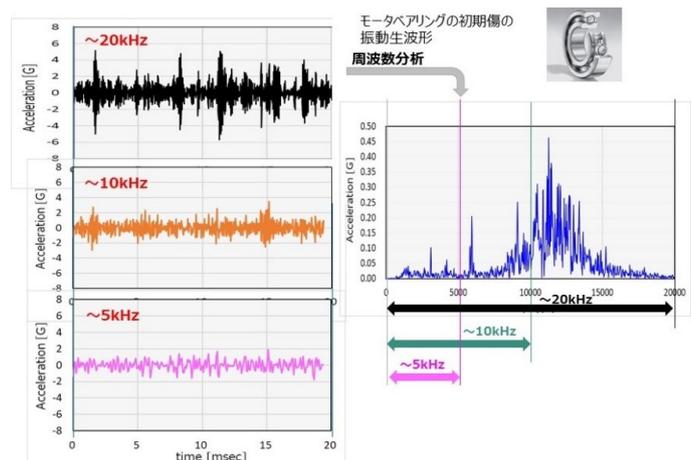


図 4.12.2.2 周波数帯域毎の軸受異常検出感度

できていない事がわかる。

4.12.3. 遠隔自動振動診断システム(A-RMDs®)

計測データに基づく異常原因の診断は、未だ専門家の診断によるところが大きいのが実状であるが、当ベンダーでは、新しい取り組みとして遠隔自動振動診断システム「A-RMDs」の適用を進めている。

A-RMDs (Asahi-kasei Remote Diagnosis system)とは、インターネットを介して計測した振動データから自動で解析・診断を行うシステムである。本システムは、当ベンダーのおよそ半世紀の診断実績をベースにした知識ベースで構築されており、近年、脚光を浴びるAI・機械学習等とは異なるものである。具体的には、ナレッジは実際の診断エキスパートたちの知見を「事象×パラメータ」の形で整理したものである。このナレッジは診断理論(故障物理)をベースに実際の診断事例に基づくものであり、診断の根拠が説明可能な内容となっていることが特長である。

なお、当ベンダーグループでは、無線振動診断データ収集システムの導入による回転機器予知保全の対象機器拡大にあわせ、異常予知レベル向上のため、A-RMDs と組み合わせた現場導入を順次進めている。

4.12.4. DX 技術を活用した予知保全の取り組み

製造 IoT プラットフォームとしてネットワーク上で簡単にデータの収集・蓄積ができるデータベース環境やプログラムレスで基礎データ分析・多変量解析から各種予測モデル開発までが行えるデータ分析ツールなどの DX 環境が整いつつある。一方で近年は多品種変量生産が主体であり、運転条件が目まぐるしく変化し、温度、圧力などのプロセス量の変化はもちろん、回転機器診断では最も重要である回転数も変化しており、異常兆候予知の基本となる傾向管理を難しくしている。

そこで DX 技術を利用し、製品銘柄の変更等による流量やプロセス温度、回転数などの状態変化に対応した傾向管理手法の確立に取り組んでいる。また、装置によっては共振やアンバランスなどの設備状態の変化が加工精度などの製品品質に影響を及ぼす事もあり、設備診断システムから得られる設備状態のデータと DCS などから得られるプロセス状態、品質状態などのデータを活用し、最適な運転条件の構築にも取り組んでいる。

また、従来の振動診断技術では振動レベルの低下により正常状態との分別が難しかった低速領域(およそ 300rpm 以下)において、AI により見出した新たなパラメータにより S/N 比を高め、検出感度を上げる新たな手法の開発にも取り組んでいる。今後も設備診断技術と DX 技術の活用により、更なる予知保全の精度向上・高度化を目指していきたい。

<参考文献>

- 1) 福永辰也:「設備診断技術と DX 技術の最適化による予知保全の進化への取り組み」計測技術, 2020.11 pp.1-6 (2021.11)
- 2) 福永辰也:「設備診断技術と DX 技術の最適化による予知保全の進化への取り組み (Ver.2)」計測技術, 2023.4 pp.8-13 (2023.4)

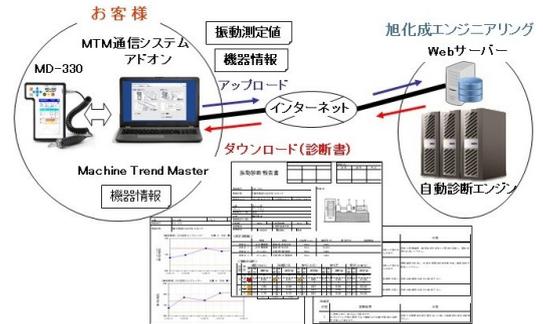


図 4.12.3.1 A-RMDs のシステム構成

「A-RMDs」の知識DBとは

振動診断理論をベースにAECの振動診断のノウハウにより構築!  
AECの経験した多くの事例により検証を重ね、診断精度を向上!!

The image shows a screenshot of the A-RMDs knowledge database. It features a complex table with multiple columns representing various diagnostic parameters such as vibration levels, rotation speeds, and machine types. The table is organized into sections, with some rows highlighted in yellow and blue to indicate specific diagnostic rules or conditions. The interface includes various filters and search options, reflecting a sophisticated data management system used for remote diagnosis.

図 4.12.3.2 A-RMDs のナレッジイメージ

4.13. 商品化事例(10) 「現場 AI ソリューション “設備・品質らくらく予兆検知”」

4.13.1. はじめに

製造現場では、既存の設備を最適なコストで保全し、生産性を向上させて最大の利益を上げることが求められている。近年では、AI(人工知能)を搭載した解析ツールなどを活用することで、工場内の問題を未然に防ぎ、生産性の向上につなげる取り組みに注目が集まっている。

当ベンダーは、石油、化学、鉄鋼、食品、医薬品等の IA(Industrial Automation)分野において長年にわたり培ってきたドメイン知識をベースに、IA 分野に特化した独自の AI 技術を開発し、実践的な解決を数多く実施してきた。プラントや工場での設備異常予測解析、異常原因特定解析、および製品品質予測解析において機械学習技術を活用したコンサルティングサービスの実績を多く持つ。これらの独自の AI 技術と経験を活かし、2020 年にハードウェア上で動作する3つの AI 製品(GX/GP 未来ペン、GA10 違和感検知、Python 対応 e-RT3 Plus)を同時にリリースした。3 つの AI 製品群は現在、新たな価値を生み出すソリューションビジネスとして展開中である。AI の導入にはデータサイエンスなどの高度な専門知識が必要になり、技術面やコスト面での障壁が高い。そこで、ユーザー自身が簡単に AI 技術を利用し、設備劣化や製品の品質低下の予兆を現場で検知できるソリューション「設備・品質らくらく予兆検知」を開発した。このソリューションは、熱処理炉、滅菌器、加硫機など単一の装置に着目することにより AI の利用をより単純化したもので、専門知識がなくても簡単に予兆検知機能を利用することができる。これにより、現場において設備劣化や製品の品質低下の予兆を捉えることが可能となった。本稿では、今回開発した「設備・品質らくらく予兆検知」を紹介する。

4.13.2. 設備・品質らくらく予兆検知

「設備・品質らくらく予兆検知」は、SMARTDAC+ R5.0 レコーダ・データロガー本体と「設備・品質らくらく予兆検知ツール」で構成される。レコーダ・データロガーで収集したデータを使い、「設備・品質らくらく予兆検知ツール」にて「予兆検知モデル」および「プロファイル波形」の作成を行う。これらをレコーダ・データロガーにロードして「ヘルスマニタ機能」と「プロファイル機能」を使用するという流れである。



図 4.13.2.1 設備・品質らくらく予兆検知 全体構成

4.13.3. ヘルスマニタ機能

「ヘルスマニタ機能」は、独自開発した AI 技術により、装置から SMARTDAC+ R5.0 本体で収集したプロセスデータが、正常か異常かを、「予兆検知モデル」を使用して判定する。つまり、プロセスの良否判定(OK または NG の判定)を行う機能である。また、装置から収集したプロセスデータがどの程度正常か、あるいはどの程度異常データに近いかを数値化した「ヘルムスコア」を合わせて出力する。これにより、現場作業員は、良否判定の結果と「ヘルムスコア」の値から装置や製品の品質に問題が起きているかどうかを判断することができる。



図 4.13.3.1 ヘルスマニタ機能

4.13.4. プロファイル機能

「プロファイル機能」は、バッチや連続プロセスにおいて、各工程のプロセス値があらかじめ作成した上下限值範囲内にあることをリアルタイムにチェックし、範囲を逸脱すると警報を発報する機能である。上下限値の範囲を示す波形のことを「プロファイル波形」と呼ぶ。また、

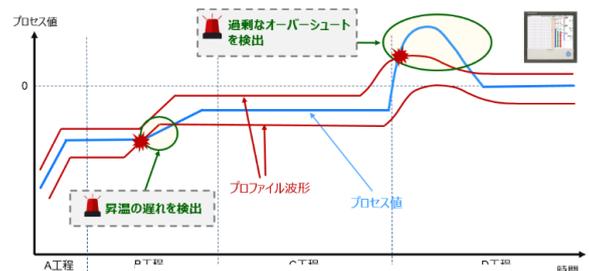


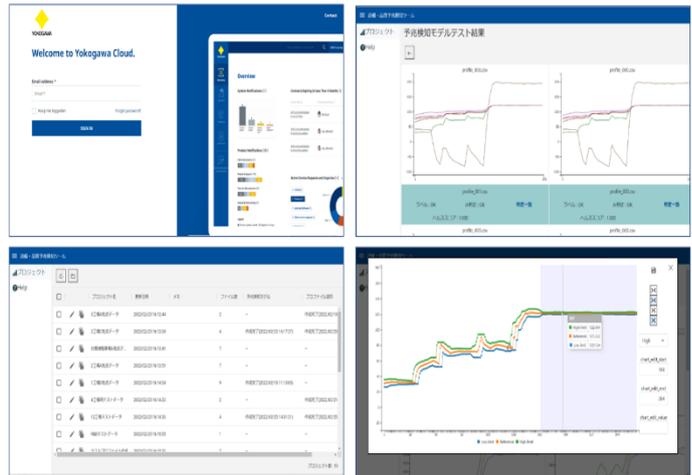
図 4.13.4.1 プロファイル機能

バッチプロセスにおける理想的なプロセス値(ゴールデンバッチ)を表示し、現在のプロセスデータと比較することができる。

4.13.5. 設備・品質らくらく予兆検知ツールの特長

a) AI 専門知識不要で簡単に利用可能

「予兆検知モデル」は、レコーダで記録した複数のデータに対して、正常データと異常データを指定するラベリング作業を行うだけで作成することができる。「プロファイル波形」は、複数の正常な記録データから自動で作成することができる。作成後、ツール上で波形を修正することも可能である。作成した「予兆検知モデル」および「プロファイル波形」は、SMARTDAC+ R5.0 本体にロードして使用する。いずれも AI の専門知識やコンサルティングを必要とせず、手持ちの記録データを活用して、簡単に AI 技術を利用することができる。



b) 多様な記録データフォーマットに対応

「予兆検知モデル」および「プロファイル波形」を作成する際に使用する記録データは、SMARTDAC+本体で記録したデータだけでなく、レコーダ DXAdvanced のデータや他社製レコーダで記録したデータも読み込むことができる。また、ユーザーが独自に作成した CSV ファイルも読み込むことができるので、AI 学習に必要な異常データが手元がない場合は、ユーザーが作成した CSV ファイルを異常データとして指定し、AI 学習に利用することができる。

図 4.13.5.1 設備・品質らくらく予兆検知ツール

c) 「予兆検知モデル」の判定シミュレーション機能

作成した「予兆検知モデル」を SMARTDAC+ R5.0 本体で使用する前に判定テストを行うためのシミュレーション機能が搭載されている。この機能により、実際の装置で AI 判定を行う前に、テストデータの判定結果(OK/NG)と「ヘルススコア」の値を事前に確認することが可能である。

d) クラウド版・オフライン版の 2 種類が利用可能

「設備・品質らくらく予兆検知ツール」は、クラウド版とオフライン版の 2 種類がリリースされている。クラウド版は、ソフトウェアのインストールを必要とせず、事前にアカウントを登録するだけで、PC の Web ブラウザから手軽に「予兆検知モデル」や「プロファイル波形」を作成することができる。オフライン版は、1 台の PC にソフトウェアをインストールして使用する形態で、PC をネットワークに接続していなくても利用可能である。

4.13.6. 「設備・品質らくらく予兆検知」適用事例

4.13.6.1 熱処理炉

熱処理炉に取り付けられたバーナーの劣化や炉の密閉性異常により、炉内温度がハンチング(振動)すると、熱処理工程が異常となり、炉で製造している製品の品質に影響する。また、バーナーが故障すると修理が必要となり、その間製造が中断するため製品リードタイム

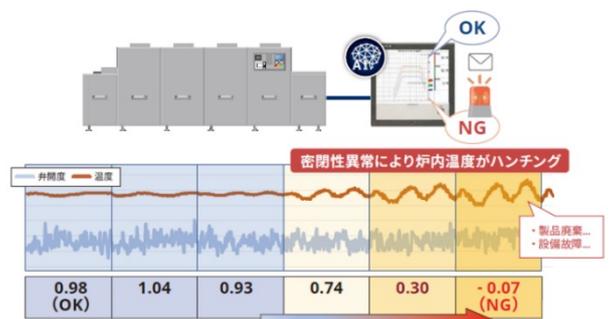


図 4.13.6.1.1 熱処理炉の予兆検知

の遅延を招く。「ヘルスマニタ機能」を利用することで、炉内温度が炉の密閉性異常によりハンチングを始めると、「ヘルスコア」が徐々に低下していくことを確認することができた。このヘルスコアの低下を捉えることで、製品破棄につながるような異常が発生する前に検知が可能となる。

### 4.13.6.2 滅菌器

滅菌処理の真空引き工程において、バルブの緩みやパッキンの劣化などにより滅菌器内部の真空到達時間が長くなると、蒸気が液化し、滅菌器から試料などを取り出す際に再汚染を引き起こす恐れがある。最悪の場合は、製品のロットアウトを招く。真空到達時間に注目して「ヘルスマニタ機能」を利用することで、真空到達時間が長くなるにつれてヘルスコアの値が徐々に低下していくことを確認することができた。真空到達時間の遅れは数値的には正常であるため、従来機能である固定の上下限值アラームで検出することは難しい。しかし、ヘルスコアを用いることで、遅れを数値化し検知することが可能である。さらに製品のロットアウトや装置故障の未然防止につながる。

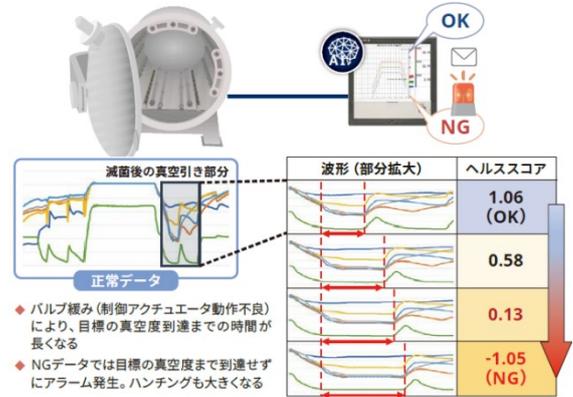


図 4.13.6.2.1 滅菌器の予兆検知

### 4.13.6.3 加硫機

タイヤなどのゴムの加硫工程に使用される加硫機の内に取り付けられたパッキン等が劣化すると、加硫工程での加圧が正常に行われず、製造物の品質に大きな影響を与える。圧力などのプロセス値に対して「ヘルスマニタ機能」を利用することで、加硫機のパッキン劣化による圧力リークを「ヘルスコア」にて捉えることが可能である。「ヘルスコア」を用いることで、加硫器内部に取り付けられたパッキンの交換のタイミングや、タイヤなどの製造物の品質が判定できるため、メンテナンスに伴うダウンタイムや製品不良率を低減することが可能となる。

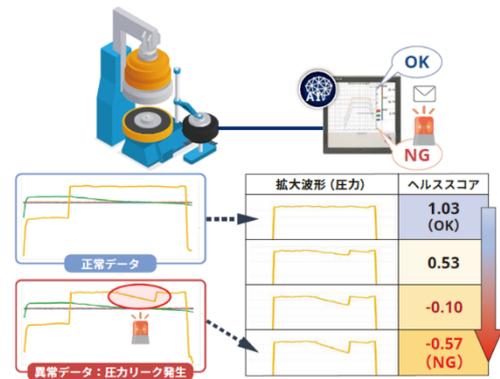


図 4.13.6.3.1 加硫機の予兆検知

### 4.13.7. 今後の展望

「設備・品質らくらく予兆検知」ソリューションにより、お客様は AI の専門知識や高額な費用が発生するコンサルティングを必要とせず、現場で手軽に AI 機能を搭載した予兆検知システムを導入することが可能となった。今後は、複数のプロセスデータから自律的に学習をして AI 判定モデルを作成し、さらにより良いモデルを自律的に選択して進化していくシステムを構想中である。

<参考文献>

[1] 鹿子木宏明, 松原崇充, “プラント操業への人工知能・機械学習活用とロードマップ”, 人工知能を活用した研究開発の効率化と導入・実用化《事例集》, 技術情報協会, 2019, p. 449-458

[2] 古川陽太, 小淵恵一郎, 他, “横河電機によるプラント設備での機械学習活用方法”, 人工知能を活用した研究開発の効率化と導入・実用化《事例集》, 技術情報協会, 2019, p. 459-467

[3] 服部仁, 坂上正徳, 他, “簡易導入可能な AI 製品群 (レコーダ, PLC)”, 横河技報, Vol. 63, No. 1, 2020, p. 27-32

\* e-RT3, SMARTDAC+ は、横河電機株式会社の日本国およびその他の国における登録商標または商標です。

## 5. 技術標準化と関連法規制や政府・業界の動向

近年、予知保全技術の高度化とともに、収集・解析される膨大な設備データの保護や、サイバー攻撃への対策が重要な課題となってきた。IoT や AI の導入によって、設備の遠隔監視や自動診断が可能となる一方で、これらの技術が扱う情報の機密性・安全性を確保するためには、データ保護やサイバーセキュリティの観点からの対応が不可欠である。予知保全の信頼性と持続可能性を高めるためにも、これらの分野との連携がますます求められる。

さらに、予知保全技術の社会実装を推進するには、既存の法制度との整合性を図るとともに、新たな技術に対応した法規制の整備が必要だ。DX の進展に伴い、サービス化された予知保全技術が普及する中で、産業保安や標準化の観点からも法制度との連携が重要となる。先進技術の導入に伴う法制度の動向や、政府・業界の取り組みについて調査した。

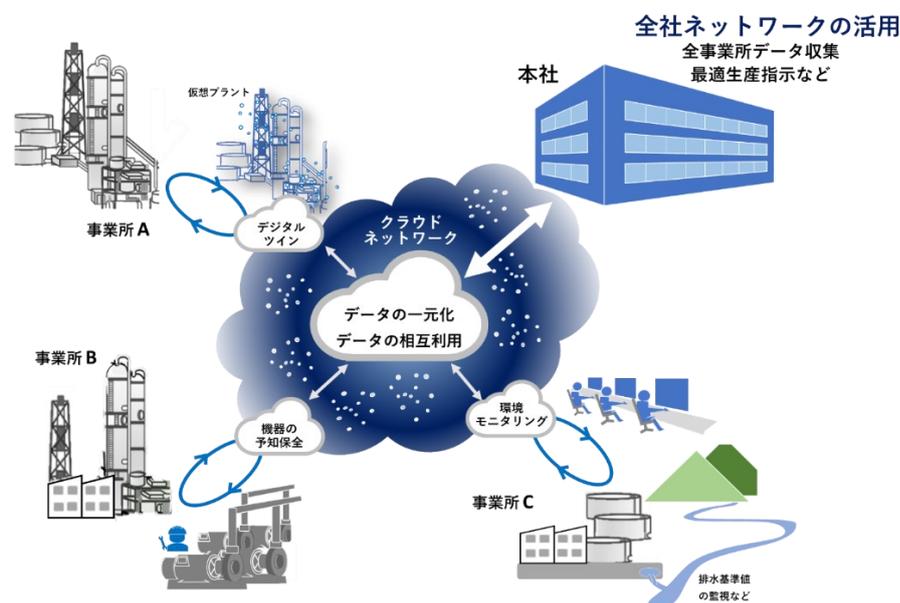


図 5.1 最新の工場システムイメージ

### 5.1. 先進技術の導入にかかわる動向

#### 5.1.1. スマート保安

スマート保安は、デジタル技術導入やデータ活用を通じて、産業保安（設備監視・メンテナンス）の高度化・効率化・安全性向上を図る取り組み・コンセプトであり、経済産業省により設置されたスマート保安官民協議会が「スマート保安推進のための基本方針」（2020年6月）を発表するなどして提唱している。

具体的には、IoT活用（リアルタイム状態監視とアラート発信）、ビッグデータ解析（異常兆候早期検知、故障・事故の未然防止）、AI活用（設備状態の診断、異常・故障予測、最適保全計画提案）、ドローン、ロボットの活用（危険区域での効率的で安全な点検作業）、遠隔監視・操作（人が現場に赴く必要性の低減）といったテクノロジーを活用して保安業務を高度化することを目指している。

これらにより労働者の安全確保、設備故障・事故の未然防止への期待とともに、業務効率改善やコスト削減も期待されている。

また、スマート保安の導入を推進するために、規制緩和と技術基準の見直し、リスクアセスメントの強化、

データ活用の促進、遠隔監視の導入、技術認定制度の導入、教育・訓練の整備などに関して、これまでに高圧ガス保安法・電気事業法・消防法などの関連法規が改正されてきている。技術認定制度である高圧ガス保安法における認定事業者制度(2017年4月)、認定高度保安実施者制度(2023年12月)が創設されている。

### 5.1.2. AI 関連の国際規格 ISO/IEC 42001「AI マネジメントシステム」(2024 年 発行)

ISO/IEC 42001 は、AI システムを安全かつ安心して活用するための国際規格「AI マネジメントシステム」(AIMS)であり、2024 年に発行された。この規格は、AI 技術の急速な進展に対応し、組織が AI システムを適切に運用するための枠組みを提供するものである。対象は、AI ベースの製品を開発・提供する企業のみならず、それらを利用するすべての組織である。

近年では、AI チャットアシスタントの普及などにより、日常生活においても AI に触れる機会が増加している。予知保全技術においても、設備の状態を予測するために AI による大量データの分析が活用されており、労働力不足への対応策としても AI の導入が進んでいる。

ISO/IEC 42001 では、AI システムの特性に応じたリスク管理、データの透明性、性能や安全性の継続的な改善が求められている。この AIMS の認証取得により、より多くの組織が安全で信頼性の高い AI システムを導入できることが期待されている。

### 5.1.3. フィールド機器通信

#### 1) フィールド機器通信の現況

プラントの現場に設置されたセンサーやバルブなどのフィールド機器は、自己診断機能や複数のセンサー信号(マルチバリアブル)のデジタル化により、保全や操業の高度化に寄与する技術として 1990 年代以降注目されてきた。FOUNDATION Fieldbus や HART といった通信技術は、その期待のもとに発展してきたが、標準化には長い時間を要し、地域や用途に応じて IEC 標準に含まれるものと含まれないものが混在する状況となった。

国内では、既設設備への導入に際して専用ケーブルの敷設や機器交換が必要となることや、また、設備投資が控えられた時期でプラント新設・全更新の機会に恵まれなかったこともあり、導入の進展は緩やかであった。

ベンダー各社は個別に対応機器の開発と普及活動を続けてきたが、こうした中、2015 年に FOUNDATION Fieldbus 協会と HART 協会が統合し、FieldComm Group が発足した。同グループでは互いの技術を持ち寄る形で FDI(フィールド機器統合)技術の開発を続けており、メーカー・ユーザー・大学などの研究機関が参加し、双方向デジタル通信の利点を活かしたデータ活用が推進されている。

#### 2) フィールド機器通信の種類

現在、デジタル通信で主流になっているのは、PA(Process Automation)の業界では HART や FOUNDATION Fieldbus であり、FA(Factory Automation)の業界では PROFINET と言われている。FieldComm Group へのヒアリングでは、これらを統合し Ethernet-APL を発展させていく動きが期待されている。これらフィールド機器通信には多くの種類があるが、これらを整理し特徴をまとめた。なお、ここではフィールド通信(プラント屋外でのセンサーとの通信)の調査に限定し、ステーション間通信である BACnet(ビル系で多用)や Modbus などは含めていない。

##### ■ HART (Highway Addressable Remote Transducer)

プロセス制御及び自動化システムで使用されるデジタル通信プロトコルで、アナログ信号とデジタル信号を同時に伝送できるため、アナログ機器とデジタル制御システムの間で双方向通信が可能である。4-20 mA のアナログ信号とデジタル情報を同じケーブルで送信できるため、既存の

アナロググループに HART 通信を追加できる。主に石油・ガス、化学などの製造業や電力、水処理プラントで活用されている。

- HART-IP  
HART プロトコルをインターネットプロトコル(IP)上で使用するための拡張機能で、無線や有線のネットワークを介して HART デバイスと通信できるようにしている。HART-IP は、リモートアクセスや診断、データ収集などの用途で使用される。主にプロセス制御や自動化産業である製造業、エネルギーで活用されている。
- Ethernet/IP  
産業用イーサネットベースの通信プロトコルで、イーサネット上でデバイス間のデータ交換を実現し、自動化プロセスをサポートする。CIP(Common Industrial Protocol)を使用してデバイスを接続し、リアルタイム通信を提供する。主に自動車、食品・飲料、化学などの製造業や電力で活用されている。
- WirelessHART  
プロセスオートメーションのためにデザインされた無線技術で、既存の HART 機器と互換性を維持しながら、HART プロトコルに無線機能を追加した。ネットワークの自己組織化や自己修復など、信頼性の高い操作や柔軟性を備えている。主に石油・ガス、化学などの製造業や電力・水処理プラントで活用されている。
- ISA100.11a  
オートメーション分野で監視から制御まで幅広く適用可能な工業用無線規格で、高い信頼性と時間確定型の通信、高いセキュリティ技術を備えている。異なるベンダー間の機器の相互運用性とネットワーク拡張性を有している。主に石油・ガス、化学などの製造業や電力・水処理プラントで活用されている。
- FOUNDATION Fieldbus  
プロセス制御用のデジタル通信プロトコルで、デバイス間のデータ交換を効率的に行い、プロセス自動化をサポートする。マルチドロップトポロジーをサポートし、複数のデバイスを 1 つの通信回線で接続できる。主に化学、食品・飲料、自動車などの製造業や電力などで活用されている。
- Ethernet-APL (Advanced Physical Layer)  
プロセス産業向けの高信頼性の有線通信プロトコルで、長距離での通信が可能である。4-20 mA のアナログ信号と同じケーブルで通信できるため、既存のアナロググループに適用できる。主に石油・ガス、化学などの製造業や電力で活用されている。
- PROFINET  
産業用イーサネットベースの通信プロトコルで、オートメーション及び制御アプリケーションに使用される。リアルタイム通信やデバイス設定の柔軟性を提供する。プロファイルベースのアプローチを採用し、異なるデバイスを統合できる。主に自動車、食品・飲料、化学などの製造業で活用されている。

表 5.1.2.1 プロトコル対比表

| プロトコル               | 特徴                   | 通信方式                           | データ速度            | 通信距離                | ネットワーク構造            | 適用分野              |
|---------------------|----------------------|--------------------------------|------------------|---------------------|---------------------|-------------------|
| HART                | アナログとデジタルの双方向通信      | 4-20mA のアナログ信号線にデジタル通信信号を重畳    | 最大<br>19.2 kbps  | 1,000 m             | ポイント<br>ツーポイント      | 既存のアナログシステム       |
| HART-IP             | HART プロトコルを IP 上で使用  | TCP/IP ネットワークに接続               | 最大<br>100 Mbps   | 100 m<br>(標準イーサネット) | IP ネットワーク           | IP ベースのシステム       |
| Ethernet/IP         | イーサネットベースの通信プロトコル    | 10/100BASE-T                   | 最大<br>100 Mbps   | 100 m<br>(標準イーサネット) | ライン型、スター型、ツリー型、リング型 | 工場の自動化            |
| WirelessHART        | HART プロトコルの無線版       | 無線ネットワーク上のデータ配送経路を決定するルーティング機能 | 最大<br>250 kbps   | 300 m<br>(障害物あり)    | メッシュネットワーク          | 無線を必要とする環境        |
| ISA100.11a          | 柔軟性の高い無線通信           | トンネリング                         | 最大<br>250 kbps   | 100 m～<br>600m      | メッシュネットワーク          | 高信頼性とセキュリティを求める場所 |
| FOUNDATION Fieldbus | プロセス制御用のデジタル通信プロトコル  | 2 線式のフィールドバス                   | 最大<br>31.25 kbps | 1,900 m             | バス型、スター型            | プロセスオートメーション      |
| Ethernet-APL        | 高信頼性の有線通信プロトコル       | 10BASE-T1L に基づくシングルペアイーサネット    | 最大<br>10 Mbps    | 1,000 m             | スター型、リング型           | IIoT 環境           |
| PROFINET            | 産業用イーサネットベースの通信プロトコル | IEEE802.3 に完全準拠した全二重通信         | 最大<br>100 Mbps   | 100 m<br>(標準イーサネット) | ライン型、スター型、ツリー型、リング型 | 柔軟なネットワーク構築が必要な場所 |

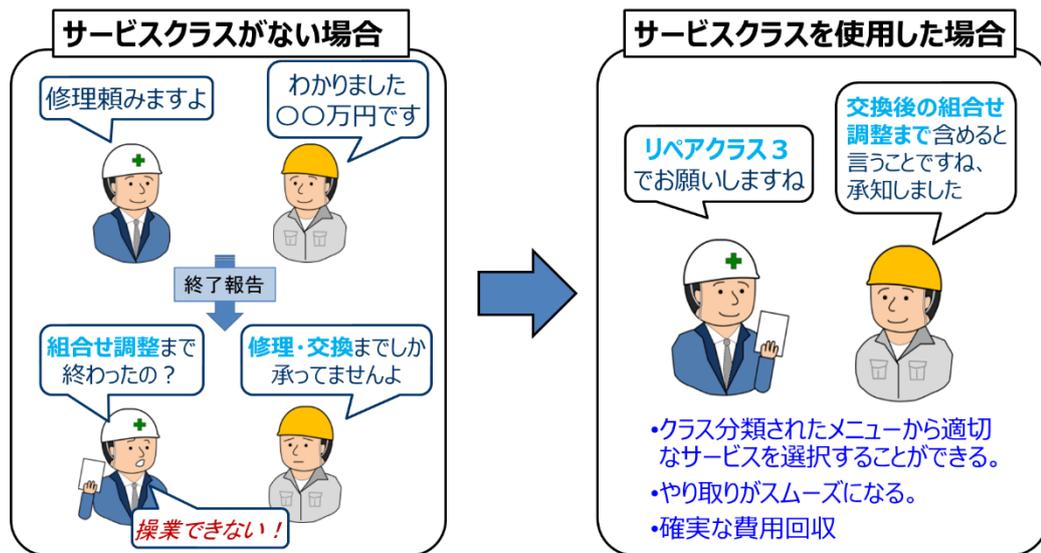
5.1.4. サービスクラス・カテゴリー

アフターサービスなどの業務発注にも便利な提供サービスの標準クラス分類

予知保全に効果的なサービス商品をいざ購入しようとした際、ユーザーにとって価値の査定がしづらく、その金額査定について昔ながらの工数積算になることも多くなり、価値に見合った取引となっていない場面がある。また、提供サービスの仕様についても事前の取り決めでベンダーとユーザー間で齟齬を生じていることも少なからずあり、その場合、購入サービス業務が完了していざプラント立ち上げの際に事前取り決め以上の調整業務が発生してしまい、やむなくサービスベンダーが緊急対応せざるを得ない状況に陥ることがある。そしてそのサービスフィーに対し事後精算できる場合はよいが、うまくいかないケースもよく見受けられる。これらのことは健全なサービスビジネスの発展を阻害している。当 WG ではこのことに対する問題意識を常に持って活動してきており、これらのジレンマに有効なのがここで紹介する「サービスクラス」というカテゴリーである。

これは、サービスベンダーが提供するサービス業務の度合い・範囲を標準化しておき、購入者がその購入したい業務のクラスを指定しておく。このことで行き違いが無くなる。

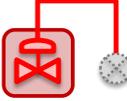
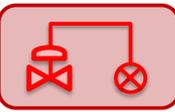
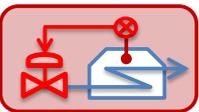
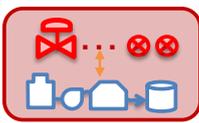
ベンダーにとっては、提供サービスの棚卸とそれらの再組み合わせによる新しいサービスの創造ができて価値に見合った取引が活性されていく効果も期待できる。



具体的には、クラスを 0～6 までの 7 カテゴリーとしている。サービスクラスの各クラスの概要説明と体系について表 5.1.4.1 に示す。クラス 0 はカタログの提供、問い合わせ対応など基本的なメニュー、クラス 4 はシステム製品に関する業務要件、クラス 6 はプラントの操業収益・運用までの提供サービスをいう。クラス 4 がクラス 3 を包括していることはなく、サービスクラスはおのおの独立していると考えてよい。また、ベンダーはすべてのクラスを提供する義務はなく、提供するクラスは製品のカタログや Web サイトなどを利用して告知することになる。

クラス分類は SLA (Service Level Agreement) のようなサービスのレベル(水準)の分類ではなく、サービスの業務をクラス分けしていると理解したほうが良い。

表 5.1.4.1 サービスクラスの各クラスの概要説明と体系

| クラス | サービス種別  | スコープ<br>(サービス対象)   | 業務判断の<br>主体 <sup>(注1)</sup> | ユーザーの<br>購入物    | ベンダーの<br>提供サービス           | 業務形態         |
|-----|---|--|-----------------------------|-----------------|---------------------------|--------------|
| 0   | 基本サービス<br>(製品購入に伴うサービス)                         | <br>納入製品のみ                    | ユーザー                        | 製品              | 製品関連<br>サービス              | 無償提供         |
| 1   | 製品関連標準サービス<br>(メニュー化されたサービス)                    |  |                             |                 |                           | 製品<br>サポート   |
| 2   | 製品関連カスタムサービス<br>(メニュー化されていないサービス)               |  |                             |                 |                           | 製品<br>サポート   |
| 3   | 製品関連応用サービス<br>(製品をユーザーの使用環境に<br>適合させるサービス)      | <br>納入製品の利用環境、<br>他社品との接続を含む  | ベンダー                        | システム<br>ソリューション | システム<br>ソリューション<br>関連サービス | プロジェクト<br>支援 |
| 4   | システム関連サービス<br>(オートメーションシステムを<br>正常に稼働させるサービス)   | <br>他社品を含むシステム全体              |                             |                 |                           | プロジェクト<br>管理 |
| 5   | プラント関連サービス<br>(オートメーションシステムと<br>プラントを結合させるサービス) | <br>他社機器を含め、生産装置<br>が機能すること |                             |                 |                           | 総合請負         |
| 6   | 拡張プラント関連サービス                                    | <br>生産プラント全体                |                             |                 |                           |              |



詳細については当 JEITA 専門委員会で発行している「産業オートメーション・サービスクラス 定義と運用」を参照されたい。

これを運用するメリットをあらためて記すと、

①ユーザーにとってのメリット

- ・サービスメニューを比較・選択しやすくなる。
- ・類似のサービスメニューについてベンダー間の比較が容易になる。
- ・サービスの目的と内容が明確化され不要な発注が避けられる。
- ・これまで見落としていた本来必要なサービスを漏れなく選択できる。

②ベンダーにとってのメリット

- ・価値基準での契約が可能になる。
- ・サービスメニューの整理・統合、新規開発が促進される
- ・人材の育成、リソースの最適配置、事業効率の最適化が進められる。

③ユーザー・ベンダー双方のメリット

- ・コミュニケーション不全による誤解が減り、不要なトラブルを回避できる。
- ・ユーザー・ベンダー間の良好な関係が構築され、潜在的な課題への前向きな取組みが進む。

などがあげられる。

また、このサービスクラスは先行してヨーロッパ各国でも開発・運用されていたものであり、クラスカテゴリーは同じようにクラス 0～6 であって、相互互換が取れるようになっている。主だった国における制定団体は表 5.1.4.2 のとおりである。またこのほか、オランダ・ベルギーでも制定されたとのことである。

表 5.1.4.2 ヨーロッパ各国でのサービスクラス

| 国    | 主幹協会・団体 | 名称  |
|------|---------|---|
| フランス | GIMELEC | Service Classes   |
| イギリス | GANBICA | Assessment and Selection of Automation and Control Services |
| ドイツ  | ZVEI    | Services in Automation                                      |

サービスクラスは、いろいろなサービスの価値に応じて分類しユーザーとベンダー間の意思疎通をスムーズにする仕組みである。これを利活用することで、冒頭で述べた問題を解決し、価値基準のサービスビジネスの実現が大きく進むであろう。

## 5.2. 予知保全技術におけるセキュリティにかかわる動向

操業データや生産システムにおける予知保全技術の適正な活用を支える基盤に、セキュリティは不可欠な存在となっている。OT (Operational Technology) と IT の融合やサイバー脅威の増加により、技術の信頼性と安全性を確保するリスクマネジメントが重要視されている。本セクションでは、そのリスクマネジメントについての指針が示されている国際規格や法・ガイドライン、ひいては診断ツールに触れておきたい。

### 5.2.1. セキュリティ関連の国際規格・ガイドライン等

- IEC 62443 産業システムセキュリティ (IEC 62443-1-1 2009年 発行, IEC 62443-4-2 2019年 発行, 一部未発行パートあり)

IEC 62443 は、化学工場、発電所、鉄道、ビルなどにおける産業用オートメーションおよび制御システム (IACS: Industrial Automation and Control System) のセキュリティを確保するために策定された国際規格である。

工場 IoT 化の進展より、従来は外部と接続されていなかった制御システムが、外部ネットワークと接続される機会が増加している。これに伴い、ハッカーやサイバー攻撃による制御不能や情報漏洩といったインシデントのリスクが高まっている。

IEC 62443 では、こうしたリスクに対処するために、ユーザーやベンダーが実施すべきセキュリティ対策が定義されている。本規格の目的は、制御システム的设计・導入・運用におけるサイバーセキュリティ対策のフレームワークを提供し、システムの信頼性と安全性を向上させることである。

IEC 62443 は 4 つの主要なパートで構成されており、それぞれのパートは対象組織が異なっている。

- IEC 62443-1: IACS に関わるすべての組織や個人が対象。IEC 62443 での用語や概念、システム全体のセキュリティに関する基本的なガイドラインである。
- IEC 62443-2: 対象は主に IACS を管理・運用する組織 (アセットオーナー) であり、運用をサポートするサービスプロバイダーも含まれる。セキュリティ管理のフレームワークや、リスクアセスメントと管理、セキュリティプログラムの策定と実行に関するガイドラインである。
- IEC 62443-3: システムインテグレーターが対象。システム全体のセキュリティ設計や、アーキテクチャに関する具体的な要件を規定している。
- IEC 62443-4: 製品開発者やベンダーが対象。制御システムのコンポーネント (ソフトウェア、ハードウェア) のセキュリティ要件を定義している。

この規格に基づいた認証を受けることで、制御システムやそこに組込まれている製品のセキュリティ品質を高め、顧客に対する信頼性を確保できることが期待される。

- 工場システムにおけるサイバー・フィジカル・セキュリティ対策ガイドライン Ver1.0 (経済産業省 2022年発行)

IoTの普及以降、さらなる自動化に取り組む一方で、工場内の機器やシステムがインターネットやクラウドに接続されるようになってきたことにより、新たなセキュリティ上のリスクも増えている。また、ランサムウェアによる企業の情報を抜き取るといったサイバー攻撃も巧妙化しつつあり、あらゆる工場でサイバーセキュリティの対策が必要となりつつある。このガイドラインでは、これらのような状況で工場がどのようにセキュリティ対策を推進すればよいかを示されている。

このガイドラインの目的は、工場がインターネット、クラウド、サプライチェーンとつながることでセ

セキュリティリスクが増加するが自らリスク対策を立案・実行することでセキュリティを強化することとしている。

#### ■ サイバーセキュリティ基本法

サイバーセキュリティ基本法(2015年1月施行)は、国内におけるサイバーセキュリティの確保を図ることを主な目的として国および地方公共団体、重要インフラ事業者などに対してサイバーセキュリティ対策を強化するための基本的な枠組みを提供している。その後の改正により、政府のサイバーセキュリティ戦略の強化や、民間企業との連携強化が図られ、重要インフラへのサイバー攻撃に対する防衛策を強化するなど、様々な改正が行われている。

#### ■ 経済安全保障推進法

本法(2022年5月成立、段階的に施行)は柱として ①重要物資の安定供給の確保、②基幹インフラ役務の安定提供の確保(外部からのリスク低減、サイバー攻撃からの保護強化など含む)、③先端技術の開発支援、④特許出願の非公開に関わる制度が定められており、段階的に創設・改正されてきた。

サイバーセキュリティは、現代社会のインフラを守るための根幹と位置づけられており、経済安全保障の実現に不可欠な要素であるとされている。

#### ■ サイバーセキュリティ経営ガイドライン

経済産業省と独立行政法人 情報処理推進機構(IPA)は「サイバーセキュリティ経営ガイドライン」(2015年12月Ver1.0公開<sup>\*1</sup>)を策定した。ここでは企業の経営者が認識すべき3原則と経営者がセキュリティの担当幹部(CISO<sup>\*2</sup>など)に指示すべき重要10項目をまとめ、事業者が取り組むべき具体的な対策や管理手法を示している。このガイドラインは適宜更新され<sup>\*1</sup>、最新の脅威に対応するための指針が記されている。

\*1 : 2017年11月にVer.2.0が公開、2023年3月にVer.3.0が公開されている

\*2 : [最高情報セキュリティ責任者] Chief Information Security Officer の略

また、IPAは、「中小企業の情報セキュリティ対策ガイドライン」(2023年4月第3.1版)も公開しており、「経営者編」と「管理実践編」に分けて対策の考え方や具体的な方策を紹介している。

今後もデジタル保全技術の進展に対応した法制定やガイドラインの整備が、重要技術やインフラの保護、スマート保安技術の導入、サイバーセキュリティ対策の強化を後押しし、プラントやインフラの安全性と効率性の向上につながる事が予測される。これにより、安全が一層確保され、リスク管理や保全技術の高度化が促進されることが期待される。

### 5.2.2 制御システムセキュリティ自己評価ツール「J-CLICS」

いわゆる OT(Operational Technology)など、制御システムに関してのセキュリティ対策は業務用 PC などの社内 IT インフラとは違ったツボがあり、管理ポイントは変わってくる。例えば「プラントを緊急停止するためにコンソール PC を操作したが、慌てていたのでログインパスワードを数回間違え、その為にコンソール PC がロックしてしまった。」では話にならないのである。従って制御システムには社内 IT インフラと違った角度からセキュリティ対策を構築する。制御システム向けの対策として何が有効かを知りたい際に、

手軽で有用なのが「制御システムセキュリティ自己評価ツール J-CLICS」である。これは Check List for Industrial Control Systems of Japan の頭文字をとって命名されており、「ジェイクリクス」と呼ぶ。

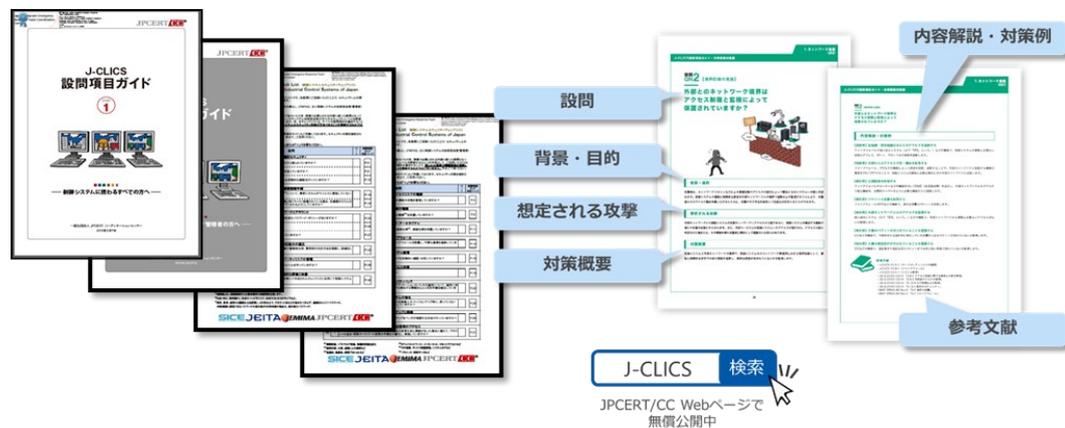
この J-CLICS は、JEITA の制御・エネルギー管理専門委員会 WG2 と日本電気計測器工業会 (JEMIMA)、計測自動制御学会 (SICE) で構成しているセキュリティ合同 WG が制御システムユーザ・有識者の協力のもとで作成し、JPCERT コーディネーションセンター (JPCERT/CC) から公開されているものである。

この J-CLICS は現在、「STEP1」「STEP2」「攻撃経路対策編」で構成されている。

まず STEP1 と STEP2 であるが、これは「セキュリティ対策を始めたいが何をすればよいかわからない」というユーザー向けに、チェックリスト形式で「現場で実施しやすく、高い効果が期待できる対策」が導き出されるよう纏められており、セキュリティ対策の最初のステップに活用してもらうことが想定されている。STEP1 には、最初に行うべき基本の 10 項目、STEP2 には技術的な項目を含む追加の 11 項目の対策が記載されている。

攻撃経路対策編は、さらに「何のために、どんな対策をするべきかわからない」というユーザー向けに、攻撃経路対策視点で「どの攻撃経路の、どの攻撃手順」への対策が不足しているかが確認できるように作成されたチェックリストである。内容は、制御システムへの主要な 4 種類の攻撃経路 (ネットワーク経路・無線 LAN 経路・持ち込みデバイス経路・物理アクセス経路) について、想定される攻撃手順を列挙し、各攻撃手順の成立条件を崩す対策をあげていく形で作成したものになっている。

これらはすべて JPCERT/CC の Web サイトから無償でダウンロードして利用いただけるものであり、非常に有用性が高いのでは是非一度、使ってみていただきたい。



## 6. 予知保全技術の課題と産業界の安全・安心実現への提言

2012年に発行した調査報告書(第2版)では、「診断結果の信頼性」や「診断機器の耐久性、耐環境性」「機能性、操作性」などが課題となっていたが、現在は技術改良・進化により改善されてきた。しかし、これまでの章で紹介した新たな技術(クラウドやAIなど)の出現と活用により、新たな課題が見えてきた。

### 6.1. 課題

#### ■ フィールド機器のデジタル化の普及

予知保全技術の普及には、現場のセンサーや操作端のデジタル化が不可欠である。情報収集のためには、センサーの増設だけでなく、既存のアナログ機器のデジタル化も必要だが、機器やケーブル、インターフェースの仕様が障壁となり、多くの現場で導入が進んでいない。フィールド機器のデジタル化は、予知保全の実現に向けた重要な鍵である。

#### ■ IoT機器やインフラなどのセキュリティ対策

IoTデバイスやクラウドの活用によりネットワーク環境が複雑になる中で、セキュリティ対策の重要性は一層高まっていく。しかし、機器自体にセキュリティ対策が施されていたとしても、それを使用する側のセキュリティ意識が十分とは言えない事例が散見される。実際に、ウイルス感染などの被害が発生してから初めて対策に着手するケースも存在する。これは、セキュリティに対しての意識と知識やスキルを向上させることが肝要であり、課題となっている。

#### ■ 導入コストと効果のバランス

新しい技術は、広く普及する前は導入コストが高くなりがちであるが、その導入費用対保全費用削減効果が見合わなければ導入に踏み切れない。高い導入コストが技術の普及を阻んでいるために実証データの蓄積が進まないため、その技術の一般的普及と導入コスト低減が進まないというジレンマの状況がある。

### 6.2. 課題克服のための提言

上記のような課題は、一部の企業が解決に向けて取り組んでも解決には至らない。そこで、診断技術を提供するベンダーだけでなく、それを利用するユーザー、また、プラントの安全規制を定める行政機関それぞれにやるべきことがあると考えられる。

#### ■ ベンダーの役割

ベンダーは、予知保全技術の円滑な導入と活用を支援する重要な立場にあり、技術革新とユーザー支援の両面で積極的な対応が求められる。導入支援をはじめとして上記課題解決のためのガイドラインやツール・トレーニングの提供、データ解析しやすい環境整備、既存機器との互換性を考慮した製品開発、導入コストの抑制、投資対効果の提示などが必要になる。

#### ■ ユーザーの役割

ユーザー側も実用化をベンダー任せにせず、導入効果についての仮説を立て、試験、評価、改善、再試験のサイクルを回す姿勢が求められる。また、単独や1対1の共同開発でありがちな技術の権利化、囲い込みが類似製品の追従を阻み、ひいてはその技術の進化を妨げる場合がある。未熟な技術を育てるためには、複数企業でアイデアを出し合い、技術だけでなく、事例を共有することで完成度を高める努力が必要である。

#### ■ 行政機関の役割

日本のプラント事情として、安全基準や法令が革新技术の導入を妨げる場合もある。技術の進歩を反映した法令整備や、特区制度を活用した柔軟な技術評価の推進が求められる。また、企業が設備投資を円滑に進められるよう、補助金や税制優遇措置などの支援策をさらに講じることが重要であり、スマート保安官民協議会のような産官学の連携をさらに促進することで、技術面と制度面の両面から革新を支える活動が期待される。

## 7. 結び

今回の調査では、ロボット技術をはじめとする新たな技術へのヒアリングを実施し、予知保全の未来像を描く上で貴重な示唆を得ることができた。技術の進化に触れるたびに新たな可能性を感じ、予知保全技術分野が今後どのように変化していくかについて、大きな期待を抱いている。

初版・第2版で掲載した商品化事例の中には、新技術への置き換えなどを理由に販売終了となったものも存在する。今回の改訂ではそれらを再掲していないが、以下に挙げる技術は今なお示唆に富むものであり、何かの機会に合わせて参照いただければ幸いである。

- ・音響診断:音響による設備診断への展開(初版)
- ・放射線配管肉厚診断:放射線透過式配管厚さ測定装置(第2版)
- ・配管腐食診断技術:Scan-WALKER～スキャンウォーカー(第2版)
- ・4ch 無線式ポータブル振動診断装置 神童君 Pro(第2版)
- ・組み立て加工ライン向け あんどん型保全管理システム(第2版)
- ・テキストマイニング「レクシオン プロ」(第2版)

また、初版・第2版の巻頭言は、元東京都立産業技術大学院大学学長の川田氏により、エスプリの効いた内容で執筆いただいていたことも特筆すべき点である。

当ワーキンググループとしては、産業界の持続的発展に資するべく、現状技術の課題整理と将来技術への期待を踏まえた提言を業界団体としてまとめ、関連団体や行政機関への働きかけも視野に入れた活動を継続していく所存である。

本報告書が業界および関係者の理解と問題意識を喚起し、予知保全技術のさらなる発展の一助となることを願ってやまない。

## JEITA 制御・エネルギー管理専門委員会 ワーキンググループ3

| 氏名       | 所属                |
|----------|-------------------|
| 飯田 清(主査) | 横河ソリューションサービス株式会社 |
| 植月 禎明    | アズビル株式会社          |
| 片山 和人    | アズビル株式会社          |
| 中瀬 博史 *1 | アズビル株式会社          |
| 澤田 充弘    | 横河電機株式会社          |
| 山下 俊也    | 横河ソリューションサービス株式会社 |
| 白井 呂尚    | 横河ソリューションサービス株式会社 |
| 斎藤 芳明    | 横河ソリューションサービス株式会社 |
| 小森 龍信    | 横河ソリューションサービス株式会社 |
| 島田 強     | 横河ソリューションサービス株式会社 |
| 油谷 訓男    | 富士電機株式会社          |
| 佐藤 英紀    | 富士電機株式会社          |
| 安達 昌弘    | 富士電機株式会社          |
| 結城 義敬    | 計測自動制御学会          |

\*1 : 2023年3月まで

**商標情報**

本調査報告書に記載されている社名、製品名などは、一般に各社の商標または登録商標です。また、本文中で特に言及することが必要な場合は、記載していることがあります。

禁 無 断 転 載

予知保全技術に関する調査報告書

第3版

2025年7月

発行 一般社団法人 電子情報技術産業協会 (JEITA)

<http://www.jeita.or.jp/>

制御・エネルギー管理専門委員会

〒100-0004 東京都千代田区大手町 1-1-3

大手センタービル