

スマート化の基本的な考え方と I o T・ビッグデータ等の活用

平成27年12月
商務流通保安グループ
高圧ガス保安室

産業保安のスマート化の基本的な考え方

○ 近年、産業・製品事故やそれに伴う死傷者数は減少している一方で、**重大事故**は、随時発生。その**状況・要因**も、**多様かつ複雑**なものとなっている。

○ 我が国では、現状、

① 多くの**プラント**で、全面的なリニューアルが遅れ、**高経年化**（※1）が進むほか、

② 高度な知見をもって、保守・安全管理の実務を担ってきた**ベテラン従業員が引退**（※2）の時期を迎えつつあることから、**今後、重大事故のリスクは増大**するおそれあり。

※1：2015年時点で、稼働年数40年以上のエチレンプラントは58.9%、2025年には、81.4%となる見込み。

※2：2014年時点で、石油精製事業所の51歳以上の従業員は、34.6%。

○ そうしたリスクに備えながら、海外事業所を含めた、**サプライチェーン全体の高度化への要請**にも対応していくため、諸外国に先駆け、**ヒトを補完するものとして、IoT、ビッグデータ等を活用**し、効率的かつ効果的な形で、現場の**自主保安力を高めていくこと**は、企業の**「稼ぐ力」の向上**にも資する。

○ 先進的なファシリティ・マネジメント（※3）を通じて、自主保安力を高める**「安全投資」**（設備・研究開発投資）を促進し、

① **安心・安全の確保**、及び、

② **企業の国際競争力の強化**を、同時に実現することを目指す。

※3：設備等の物的資源、物理的空間を最も合理的に管理・運営する方法。

産業保安のスマート化の検討の進め方

- 近年の産業・製品事故の事例について、状況・要因を分析。
- 企業のトップ・実務担当者からのヒアリング等を通じて、安全の確保に向けた最新の取組を調査。
- 定常時のデータを蓄積・分析した上で、異常・予兆の検知精度を高める取組など、IoT・ビッグデータ関連のプロジェクトを中心として、現場での課題を抽出。
- そうした取組の有効性、社会的なインパクトを評価した上で、企業の課題克服を後押しする、政策対応の方向性を検討・整理。

<政策対応例>

実施前

研究開発・実証実験の支援、イニシャルコストに対する金融支援、自主行動計画への位置づけ など

実施後

規制・制度の優遇措置、格付け・保険料のインセンティブ、顕彰、規格化、海外展開の支援 など

近年の産業保安に関する事故に見られる 課題と対応の方向性

プラント事故 ①

＜事故概要＞

二塩化エタン（塩化ビニルの原料）製造タンクの緊急放出弁が故障し、「開」の状態に。

タンク内の反応量が半分となり、温度が低下。

作業員が自身の判断により、加熱。その結果、別のタンク（塩酸タンク）に塩化ビニルモノマーが混入。鉄錆が触媒となり、タンク内の塩化水素と塩化ビニルモノマーが反応を起こした。

タンク内の温度と圧力が次第に上昇したが、当初上昇が小さかったため、作業員が異常に気付かず、長時間反応が継続。



爆発火災

＜施設・設備に関する課題＞

弁の故障を事前に予測できなかった。

＜運用・管理に関する課題＞

非定常時の**作業手順・ノウハウ**を**十分形式知化**できていなかった。

ビッグデータを活用し、異常反応を検知し、早期に知らせる仕組みができていなかった。

＜対応の方向性＞

- **高度なセンシング**技術の活用
（例：スマートバルブ、アコースティックエミッションセンサー）
- **既存センサーを活用**して、他箇所の異常データを推定
（例：ソフトセンサー）

- **作業支援システム**の開発
（例：定常時/非定常時運転支援システム（ダイセル方式））

- **運転データ間の相関関係から、異常を早期検知**
（例：インバリエント分析）
- **重要なアラームの絞り込み**
（例：近未来予測モデル/アラームマネジメントシステム）

プラント事故 ②

＜事故概要＞

レゾルシン（接着剤、殺菌剤の原料）製造タンクが、他の施設の影響により、インターロックが作動し、緊急停止。

これに伴い、タンク内の温度上昇を防ぐため、通常時とは別系統の冷却水と窒素による制御が行われた。

タンク内の温度低下が十分ではなかったため、作業員が自身の判断により、インターロックを解除。冷却水の循環を通常時の方法に変更。その結果、窒素供給も停止したが、その点は見落とされた。

窒素供給停止により、タンク内の一部で温度上昇が進んだが、温度計を設置していない場所であり、作業員が気付かず。高温に伴い、ガスの分解が進み、温度・圧力が上昇。



爆発火災

＜運用・管理に関する課題＞

非定常時の**作業手順・ノウハウ**を**十分形式知化**できていなかった。

ビッグデータを活用し、異常反応を検知し、早期に知らせる仕組みができていなかった。

＜施設・設備に関する課題＞

プラントの設計上、タンク上部での温度上昇の発生は想定されていなかった。

＜対応の方向性＞

・**作業支援システム**の開発
(例：定常時/非定常時運転支援システム（ダイセル方式）)

・**運転データ間の相関関係から、異常を早期検知**
(例：インバリエント分析)
・**重要なアラームの絞り込み**
(例：近未来予測モデル/アラームマネジメント)

・事故情報の共有、プラント設計へのフィードバック。

ガス爆発事故 ③

<事故概要>

台湾高雄市内において、排水溝を横切る形で設置されたプロピレンガス管（石油化学メーカーにガスを供給）から、ガスが漏洩。

排水溝を通じてガスが拡散したことにより、複数の爆発火災が発生。

ガス漏洩の主な要因は、排水溝内の水による管の腐食の進展。

適切な保安検査が実施されていなかった点、管内圧力の急降下後も適切な対応が取られなかった点も、指摘されている。

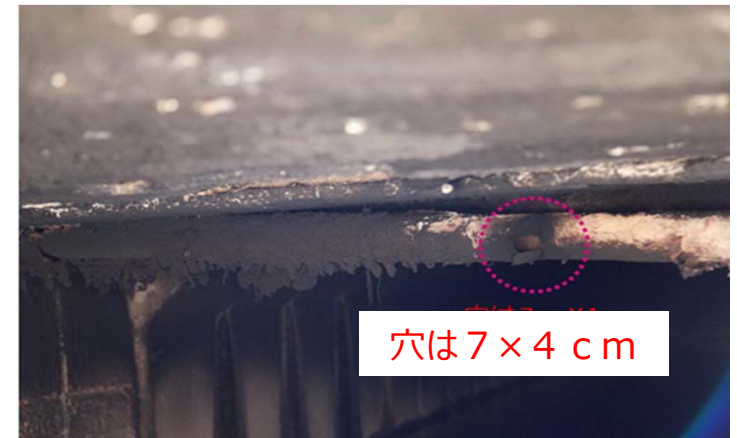


<施設・設備に関する課題>

- ・ 配管の状況を把握するセンサーが不足していた。
- ・ **配管の腐食を適切に把握**していなかった。

<運用・管理に関する課題>

非定常時の**作業手順・ノウハウ**を**十分形式知化**できていなかった。



<対応の方向性>

- ・ **高度なセンシング**技術の活用（例：インテリジェントピグ、埋設管腐食診断システム）
- ・ **作業支援システム**の開発（例：定常時/非定常時運転支援システム（ダイセル方式））

産業保安上の課題と対応の方向性

- 施設・設備面（故障・高経年化）、運用・管理面（誤操作・誤判断）の課題が判明。
- IoT、ビッグデータ等を活用し、それらの課題に対応しつつ、企業の自主保安力の向上を図る。

■ : 主に施設・設備面の課題への対応

■ : 主に運用・管理面の課題への対応

＜設備（配管・弁）の安全・効果的な修理・交換＞

作業ノウハウの形式知化・現場での見える化、ヒトが行う作業の代替。

＜異常反応等の早期通知＞

・アラームマネジメント

必要なアラームだけを必要なヒトに対し、最適なタイミングで通知。

＜定常運転の安定化・効率化＞＜定常時/非定常時の作業支援＞

・モデル予測制御システム・定常時/非定常時運転支援システム（ダイセル方式）

反応予測に基づき、原材料の投入時期・量等を自動化。作業ノウハウの形式知化・システムによる作業の支援。

事後対応

→ 事前予知

ヒトに気付きを与え、ミスを防ぐ

＜設備（配管・弁）の故障・腐食予測＞

・腐食解析予測モデル

配管の各種データと腐食との関係解析から、配管腐食を予測。

・スマートバルブ／HART通信

HART通信（送信データ量を増加）を活用し、バルブの状態（最大作動速度等）の把握することにより、故障を予測。

＜異常反応等の早期検知・予測＞

・多変数解析

プラント内の運転データ間の相関関係分析から、早期に異常を検知。

・近未来予測モデル

運転データの推移から、未来の変動を予測。

ビッグデータを分析し、未来を予測

＜腐食箇所・状況の把握＞

・インテリジェントピグ

ピグの配管内走行による腐食箇所の網羅的な把握。

・配管用中性子&X線ハイブリッド腐食診断ロボット

ロボットの配管外部走行による腐食箇所の網羅的・高精度な把握。

・埋設管腐食診断システム

埋設管を掘り起こすことなく、腐食箇所を把握。

＜微細な傷の発見＞

・アコースティックエミッションセンサー

材料が変形する際に発する音波（アコースティックエミッション）をキャッチし、早期に傷を発見。

＜運転データ等の更なる収集＞

・ソフトセンサー

流量・温度から濃度を推定するなど、費用面・技術面からセンサーの新設が困難な場所において、データを推定。

・事故情報データベース

各種事故情報を集約・一般化。

設備・運転に係るビッグデータを収集

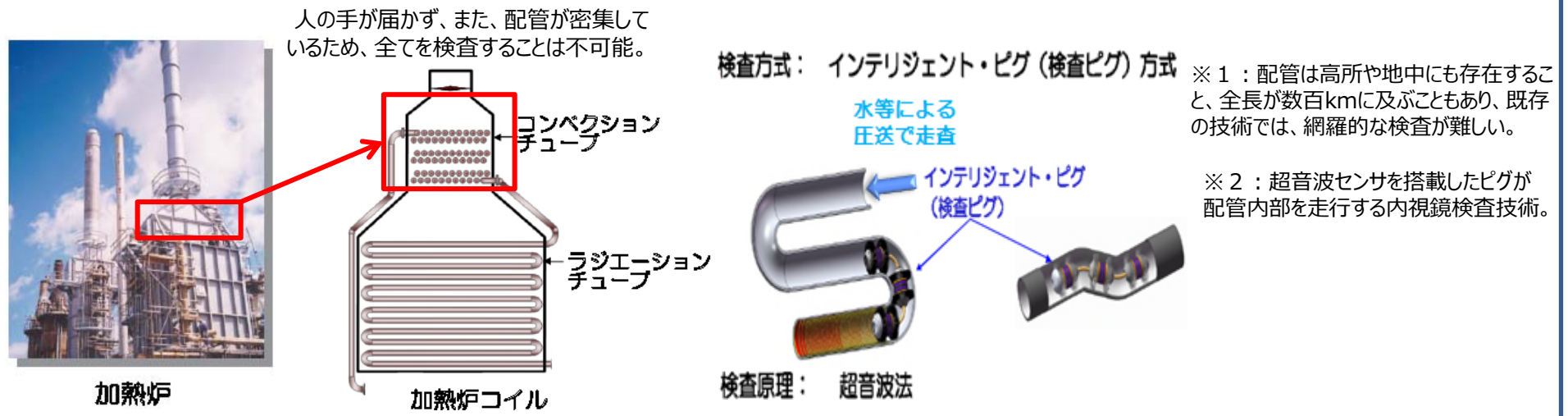
施設・設備面の課題への対応（１）

設備の腐食状況や微細な傷を把握するセンサー技術

①インテリジェントpig

概要

- 配管内部には腐食による減肉が生じるため、通常は、外面から検査を実施。その際には、抽出検査を行った上で(※1)、腐食が見つければ、その周辺も含めて、配管を交換。
- **インテリジェントpig**(※2)は、一度に、**網羅的な検査**が可能。



評価と意義

- 今後、様々な状況の配管に対応できる可能性があり、中期的には、**最も有望な検査技術**の一つ。**ビッグデータを蓄積する手段**としても有効。
- 多くのプラントで普及すれば、国レベルで、安全性の向上、検査・配管交換のコスト削減につながる。

課題

- 水圧による走行のため、稼働中のプラントや枝分かれした配管には対応できないという、技術課題あり。

②アコースティックエミッションセンサー

概要

- 金属疲労等で**設備に傷**が生じれば、継続的に歪みによる音波が発生。**アコースティックエミッションセンサー**は、**その音波を検知**する技術。
- **早期に傷を発見可能**。弁・配管・タンク等、**設備の種類を問わず、検査が可能**。
- 検査会社が開発・検査を実施。検査費用は、例えば配管では、100m／日で、数十万円程度。



〔 材料の表面に設置し、信号処理を行うことにより、設備の亀裂や摩擦摩耗の進行を非破壊で評価 〕

評価と意義

- 普遍性のある技術であるため、産業保安に留まらず、土木・建築や工作機械など、**他産業への横展開も期待**できる。
- 多くのプラントで普及すれば、国レベルで、安全性の向上、検査・配管交換のコスト削減につながる。

課題

- 当該センサーを用いた検査手法について、国内基準（JIS等）の整備が不十分。

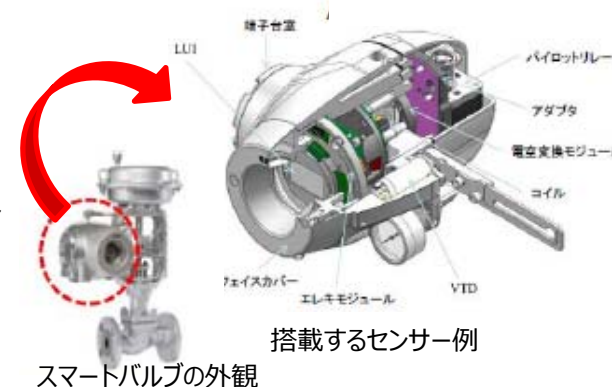
施設・設備面の課題への対応（２）

設備の動作状況から故障・寿命を予測するビッグデータ・AI技術

①スマートバルブ／HART通信を活用した高度センシング

概要

- プラント制御のためには、調整弁(バルブ)を健全に保つことが重要。従来は、調整弁を修理すべきタイミングが正確に分からないため、定期検査を行わざるを得なかった（TBM: Time Based Maintenance）。
- **スマートバルブ**(※1)を導入することにより、**状態監視**を実現（CBM: Condition Based Maintenance）。**検査のタイミング・回数を最適化**することに成功。
- **HART通信**(※2)を導入することにより、データ回線が古い既存プラントでも、速やかに**スマートバルブを導入することが可能**となった。



※1：調整弁に各種センサーを搭載し、稼働状態について、あらゆる角度からセンシング、データ解析を行う次世代バルブ。

※2：既に配備されているアナログ回線でも、スマートバルブが計測した複数のデータ同時に送信することを可能にする通信プロトコル。

評価と意義

- 状態監視により、不要な検査(既存の定期検査の約6割)をなくし、**大きなコストカット**を実現できる(※3)。
- 世界的にも**先駆的なシステム**であり、今後、プラントを新設する**新興国への輸出**も期待できる。

※3：全てのスマートバルブに人工知能を搭載し、スマートバルブ間で膨大な計測データを行き来させることにより、バルブ同士で連携し、自動的に流量・圧力等を調整するシステムの導入に向けて、技術開発が進められている。

課題

- スマートバルブ導入による具体的なコスト削減額が明らかでなく、広範な普及に至っていない。

②腐食解析予測モデル

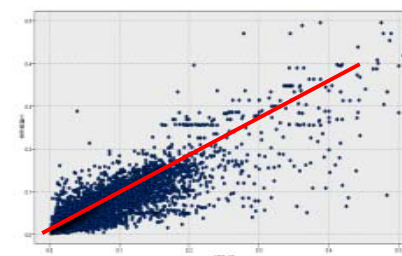
概要

- 製油所の配管は、定期的に腐食や減肉状況を検査することが必要。従来は、どの配管で腐食や減肉が進んでいるかを把握できず、高所等、計測困難な場所にある配管を含め、全ての箇所を検査するためには、多額の費用と時間がかかっている。
- 製油所が有する、各種ビッグデータと配管の腐食率との相関関係を分析することにより、**腐食率を予測するモデル**を作成。腐食率の推移を予測すれば、**適切な時期に、適切な場所のみを検査することが可能**となる。



過去の
運転・点検データ

ビッグデータから
相関関係を抽出



配管の腐食状況を予測できる

評価と意義

- 不要な検査をなくす、あるいは、検査箇所を必要部分のみに絞り込むことにより、**大きなコストカット**が可能。
- 実用化に向けて、モデルの更なる改良が必要。実用化後、多くのプラントで普及すれば、国レベルで、検査コストの削減につながる。

課題

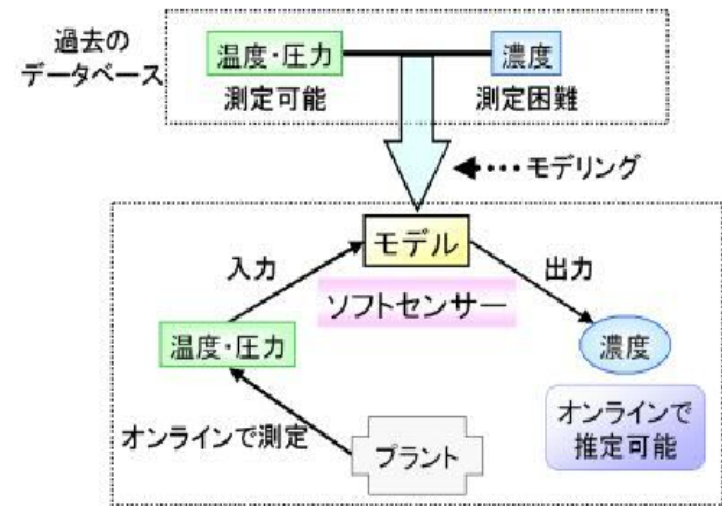
- モデルの改良のためには、複数の製油所におけるデータの蓄積が必要。

運用・管理面の課題への対応

①ソフトセンサー

概要

- プラントでは、保安の観点から、多数のセンサー（温度・圧力計等）を設置することが望ましいが、コスト面から容易でない。
- **ソフトセンサー**は、例えば、**温度と圧力のセンサーデータから濃度を推定**する、いわば「第3のセンサー」を生み出す技術。多様なデータが収集可能となり、安定的な運転に資する。
- ガスや液体の成分分析を行う場合、作業までにタイムラグが発生するが、ソフトセンサーを利用すれば、**リアルタイムで分析が可能**となる。
- 現在は、東京大学を中心に研究が進められており、複数のプラントで実証中。



評価と意義

- ソフトセンサーは、中期的に、**プラントの保安力を底上げ**できる技術。
- 現状では、世界的に見ても商業化されておらず、**大きなビジネス機会を獲得できる可能性**あり。

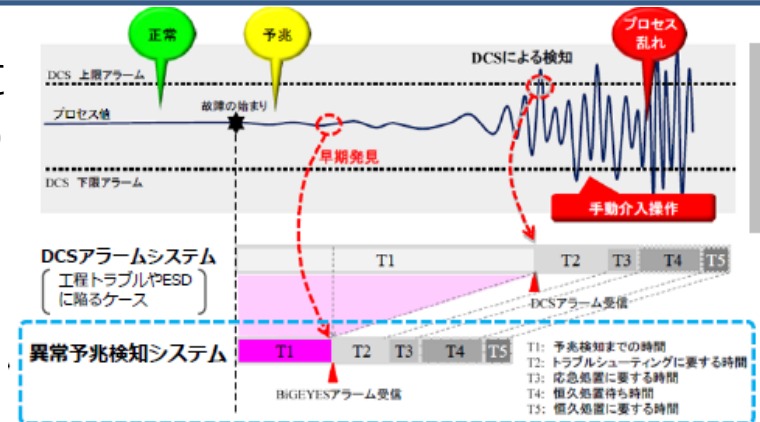
課題

- 化学プラントは、製品や生産量に応じてプラント構成が変わるため、汎用性のあるモデルの開発が必要。

②多変数分析

概要

- プラント内の様々な数値（温度、圧力、流量等）は複雑に関係し合っているため、熟練運転員であっても、システム全体の挙動を把握することは困難。
- **既に蓄積されている数値の関係性から、「いつもの動きを見える化」し、現在のデータと比較することによって、「いつもと違う」を発見する技術。製品化も開始。**



【熟練運転員の現場力、制御システム監視に次ぐ“第3の目”】

評価と意義

- **ヒトが気付かない変化を感知**できる点、**複雑な設定が不要**な点、**現場負担を低減**させる点において、極めて有用性の高い技術。
- 今後は、AI技術との組合せにより、現在、**ヒトが担っている原因特定も包含する技術に発展する可能性**。
- 普遍性のある技術であるため、産業保安に留まらず、社会インフラや通信業界など、他産業への横展開も期待できる。

課題

- 現在、発電プラントや石油精製・石油化学プラントにおいて実証中。過去のアナログ対応との比較分析等により、一定の有効性が確認されている。今後、一層の精度向上が必要。

③近未来予測モデル／アラームマネジメント

概要

- 異常には必ず兆候があるが、運転員が気付かないケースあり。要因は、作業の時間的余裕のなさ、アラームの洪水状態による重要なアラームの埋没。
- **近未来予測モデル**は、過去のデータを元に「**未来の変動**」を予測し、異常時に大画面に表示。
- **アラームマネジメント**は、システムアラームやプロセスアラーム等の複数情報の1ウィンドウ化やフィルタリング等により、「**必要なアラームだけ**」を「**必要なヒト**」に対し、「**最適なタイミング**」で通知。それら技術の製品化も開始。



評価と意義

- 熟練運転員が減少する中、当該技術による運転員のサポートは重要。非定常運転（停止・稼動）の多いバッチ式の化学プラントでは、特に有効。
- 今後は、AI技術との組合せにより、モデル予測制御システムと連携することで、**プラントの自動化**を進められる可能性。
- 普遍性のある技術であるため、産業保安に留まらず、社会インフラや通信業界など、他産業への横展開も期待できる。

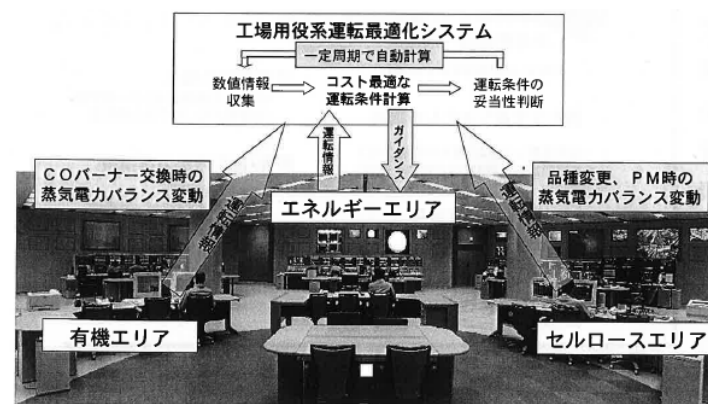
課題

- 事業者の認知度は高い。現場レベルでは、その有効性を正しく理解している者が少なく、システム当たりの設置コストに見合う価値が認識されていない。

④非定常/異常時運転支援システム

概要

- プラント事故の多くは、非定常運転時（停止・稼動）、異常時に発生。これは、非定常時、異常時の作業手順やノウハウの形式知化が十分でないことが一因。特に、化学プラントでは、製品や生産量に応じて、プラントの構成等が異なるため、標準的な手順書を作ることが難しい。
- ダイセル方式では、定常時・非定常時の作業要素のプロセスを抽出し、840万あったノウハウを8種・41動作に整理した上で、システムに落とし込むことにより、**ヒトによる定常時・非定常時の運転を支援**。
- その結果、工場では、**保安力の向上に加え、オートメーション化が進展**。
- このシステムは、多様な運転状況を想定しているため、他のプラントや他業種にも導入可能。



DCS化・IPC統合により全ての情報をリアルタイムに共有。その情報を基に、システムによる用役系全体の最適運転を行っている。

評価と意義

- 短・中期的に、**プラントの保安力向上**が最も期待できる技術。
- プラントにおいて、**ビッグデータの活用を開始するきっかけ**となる。

課題

- ダイセル方式の導入には、各事業所におけるノウハウ抽出のために長い時間（1事業所で4～5年程度）がかかる。他事業所へは展開されてきている。