

# 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、

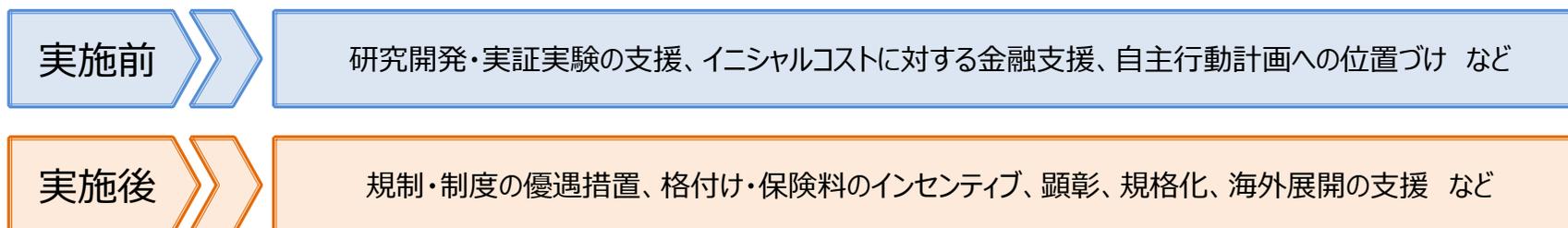
② **企業の国際競争力の強化**を、同時に実現することを目指す。

※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>



# 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

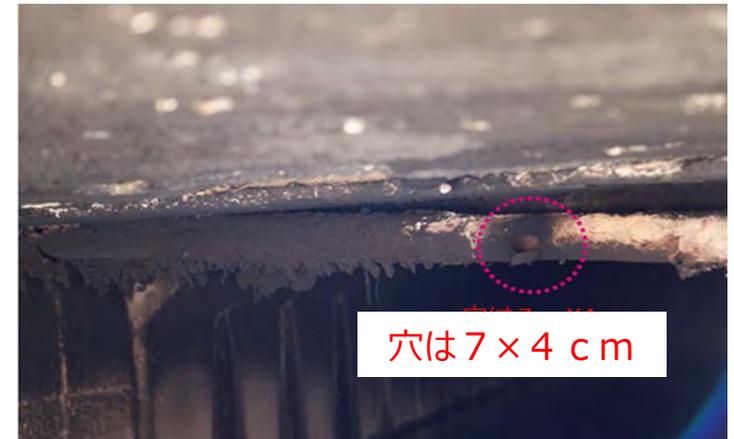
## <事故概要>

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

反応予測に基づき、システム（ダイセル方式）  
 原材料の投入時期・作業ノウハウの形式知化・  
 量等を自動化。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インテリジェントピグ

## 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。
- **インテリジェントピグ**(※2)は、一度に、**網羅的な検査**が可能。

人の手が届かず、また、配管が密集しているため、全てを検査することは不可能。

検査方式： インテリジェント・ピグ (検査ピグ) 方式

水等による圧送で走査

インテリジェント・ピグ (検査ピグ)

検査原理： 超音波法

※1：配管は高所や地中にも存在すること、全長が数百kmに及ぶこともあり、既存の技術では、網羅的な検査が難しい。

※2：超音波センサを搭載したピグが配管内部を走行する内視鏡検査技術。

加熱炉

加熱炉コイル

## 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。

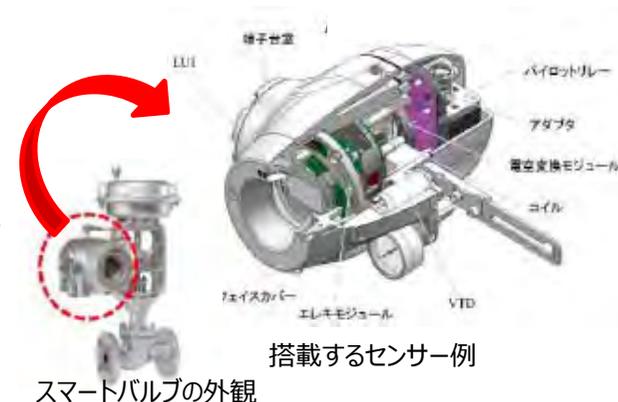
# 施設・設備面の課題への対応（２）

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。現在は、国内外の約80のプラントで導入済。



※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。

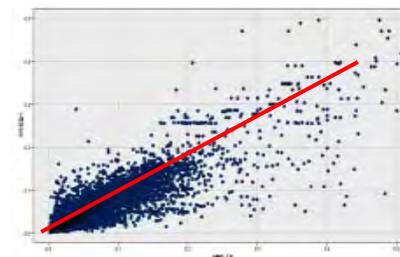
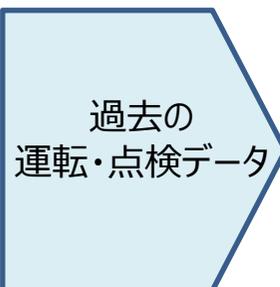
## 課題

- 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。



配管の腐食状況を予測できる

### 評価と意義

- 適切な時期に、適切な場所のみ検査を行うことにより、**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

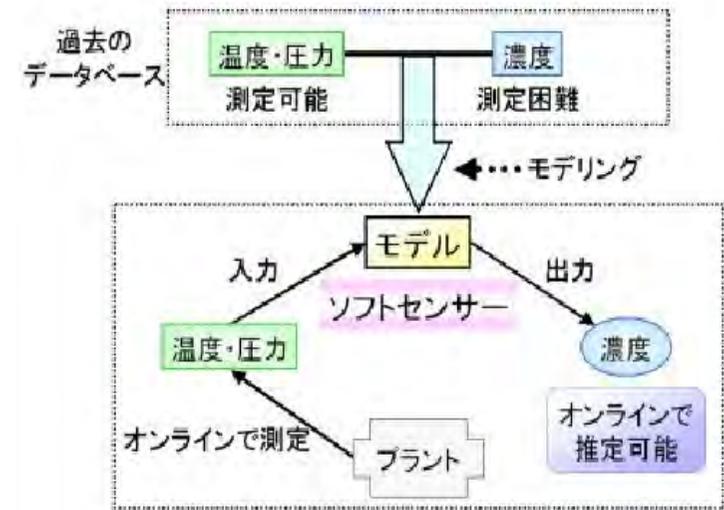
- モデルの改良のためには、複数の製油所におけるデータの蓄積が必要。

# 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。

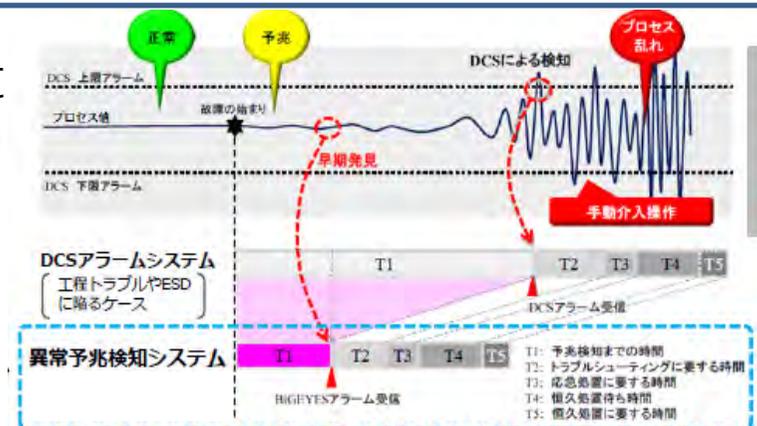
## 課題

- 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。

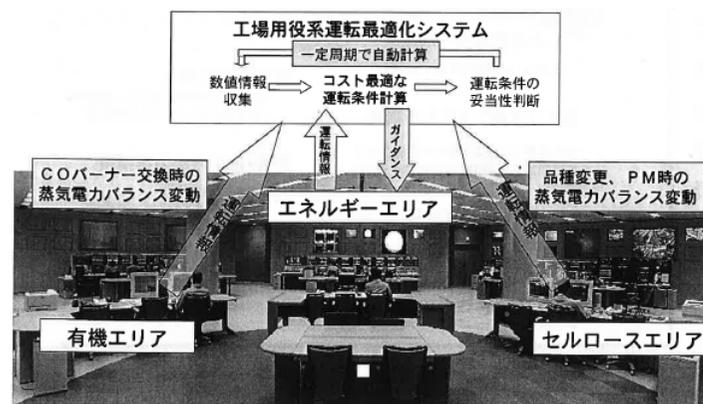
#### 課題

- 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成することが難しい。
- 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。