



3Dバーチャルプラントを活用した 保安高度化並びに防災活動への取組について

千代田化工建設株式会社
デジタルトランスフォーメーション本部
デジタルプロダクト部 プラントデジタルツインセクション
久郷 信俊

1. はじめに

近年、日本のプラント産業において、漏洩による火災・爆発等の重大事故が増加傾向にある。これは設備の老朽化や熟練者の定年退職の進行が原因と考えられており、今後、設備の安全・安心操業をどの様に担保してゆくかが、日本のプラント産業の共通の課題となっている。

この課題解決のため、現行の設備管理や防災活動のあり方を見直し、近年、技術進展が目覚ましいデジタル技術を最大限に活用する取組みが進められている。本稿では、産業保安の高度化並びに防災活動への適用を目指した3Dバーチャルプラントの活用と取組みについて紹介を行う。

2. 重大事故増加の背景

図1は、消防庁特殊災害室が、石油コンビナート等の特別防災区域の特定事業所における事故件数についての統計資料であるが、平成元年を境に漏洩及び火災件数が増加に転じている。

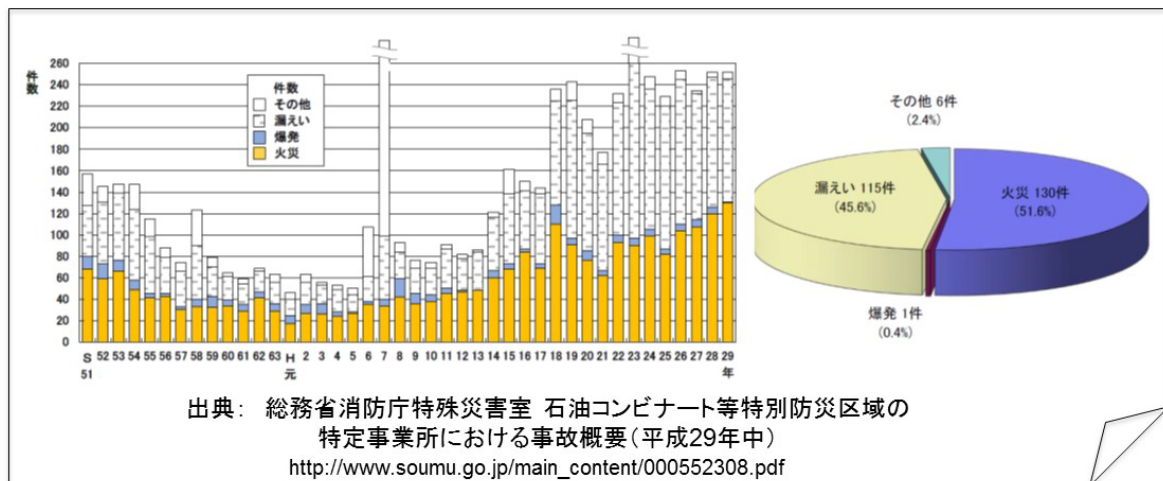


図1 石油コンビナートにおける事故件数の推移

このような日本の石油コンビナートでの漏洩・火災事故の増加は、一般的には2つ原因があると考えられている。一つは、国内の主要な石油・ガス・化学プラントは戦後まもなく建設されたものが多く、40年以上経過している設備もあり、その老朽化による不具合の増加である。もう一つは、団塊の世代である熟練の運転員・保全員の定年退職により、作業がより経験の少ない若手にバトンタッチされてゆく中で、設備老朽化による保全・検査作業の工数が増える一方、運転員・保全員の人数が減少方向にあり、設備管理がより厳しい環境になってきている点である。このような設備管理環境の変化は、国内石油・ガス・化学プラントが抱える共通課題となっており、従来の設備管理の方法や防災活動を見直す必要が出てきている。

3. 安全管理とデジタル活用

石油・ガス・化学プラント業界における重大事故増加の共通課題の解決においては、デジタル技術をうまく活用しデジタルトランスフォーメーション（デジタル技術を駆使して、ビジネス・仕事の在り方やそのプロセスを再構築すること）を推進することが有効である。この重大事故の防止に係る安全管理においては、事故発生防止と事故拡大防止の両側面から考える必要がある。

事故発生防止の観点からのデジタル活用のキーワードは、以下の4つと考える。

- ①防災リスクアセスメントの実施（潜在的リスクの抽出、リスク評価、安全管理重点項目の洗い出し）
- ②新たなIoT技術・センサー技術（状態監視技術）の活用
- ③情報収集・統合と情報の共有・見える化（設備・管理情報）
- ④AI・ビッグデータ分析（最適運転対応、予知保全）

デジタル技術を活用し設備保安の高度化を図る際に、どのようなデジタル技術をどこに適用すればより効果的かといった問題に直面する。この問題に対しては、まず、① 防災リスクアセスメントを実施し、自設備の潜在的リスクを網羅的に抽出し、リスクを指標に設備の安全管理重点項目（IEFS：Important Element for Safety）を洗い出し、設備リスク管理を行うことが重要である。安全管理重点項目には、機器等のハードのみならず、作業・操作手順も含む必要がある。次に、安全管理重点項目が明確になれば、その状態を監視・管理するために、どのプラント情報を収集すべきか、デジタルのどの技術をどの場所に適用すべきかを考えることができる。特に、新たな監視項目や従来の監視・点検項目のデジタル化において、② 新たなIoT技術・センサー技術（状態監視技術）の適用・活用が合理的に実施できる。次に、安全管理重点項目を含む設備・管理に係る全ての情報につき、③ 情報収集・統合と情報の共有・見える化を行い、状態が良いのか、悪いのかが可視化できる様にする。状態が思わしくないものについては、④ AI・ビッグデータ分析で状態の予測等を行い、最適運転対応や予知保全を行う。

事故拡大防止の観点からのデジタル活用のキーワードは、以下の3つと考える。

- ①防災リスクアセスメントの実施（事故進展シナリオ、事故拡大防止対策）
- ②情報収集・統合と情報の共有・見える化（防災情報、事故現場情報）
- ③プラントVRの仮想体験型教育・訓練への活用（防災訓練、非正常作業）

備考：VR（Virtual Reality；仮想現実）：ディスプレイに映し出された仮想世界に、自分が実際にいるような体験ができる技術。

十分に事故発生防止上の安全管理を行った場合でも、事故が発生するリスクはゼロにはならない。従って、事故が発生した場合の事故拡大防止対策や緊急対応に、デジタル技術を活用し、有事の際に適切・確実に対応できる様に準備しておく必要がある。まず、① 防災リスクアセスメントで、自設備の潜在的リスク源で事故が発生した場合の事故進展シナリオを整理し、リスクの軽減のため事故拡大防止対策として必要となる保安・防災機器や手順を抽出し、これに係る安全管理重点項目を洗い出し、設備リスク管理を行う。この防災リスクアセスメントで得た事故進展シナリオやリスク情報は、② 情報の収集・統合を行うと共に、防災情報、事故現場情報の見える化を行い、プラント内及び周辺地域と消防局等の自治体とタイムリーに共有を行う。また、事故発生時の防災活動や非正常作業は、非常に高いストレスのかかる中で、冷静・確実に情報を収集・処理・伝達し、手順を進める必要があることから、プラントVR等を用いた仮想体験型の教育・訓練を適用し、その対応能力を高め、維持する。

4. プラントデジタルツイン概要

上述の様な設備保安や防災活動の高度化を図るには、プラントの膨大なデータから必要な情報を効率よく収集し、設備の位置情報と併せてデータを活用できるシステムであるプラントデジタルツインの活用が有効である。当社では、3Dプラントモデル（3次元電子図面であり、コンピュータ上でプラントのコンピュータグラフィックとして表現される。図2参照。）とプラントデータを統合し、データをBI（ビジネスインテリジェンス）や各種分析アプリケーションで使用できるプラントデジタルツインの導入サービスを行っている。

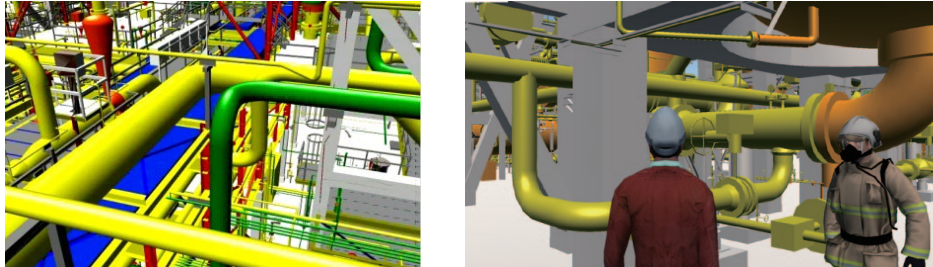


図2 3Dプラントモデル例

図3に、千代田プラントデジタルツインの概要を示す。プラントデジタルツインは、図3に示す通り、実プラントの各種設計、運転、保全、検査等データを3Dプラントモデルと連携し活用するBIツールである「3Dプラントモデル・データプラットフォーム」に、ディープラーニングを用いたAIエキスパートシステムやシミュレーションにより、生産最適化、故障予知、プラント延命化等を目的としたデータ分析を行う各種「アプリケーション」を連携したシステムである。実プラントと仮想空間プラント（コンピュータ内の3Dプラント；以後3Dバーチャルプラントと呼ぶ）の2つのプラントをデジタル連携するものであり、実プラントの状態データを、3Dバーチャルプラントで確認、活用、分析することができる。

新設プラントでは、3D統合設計を行えば、設計結果として3Dプラントモデルが作成されるので、設計時の3Dプラントモデルをプラントデジタルツイン構築に有効活用できる。一方、既設プラントで二次元設計を行ったプラントでは、3Dプラントモデルがないため、既設の実プラントを3Dレーザースキャナでスキャンし、スキャンデータを基に3Dプラントモデルを作成する等してプラントデジタルツインを構築する。

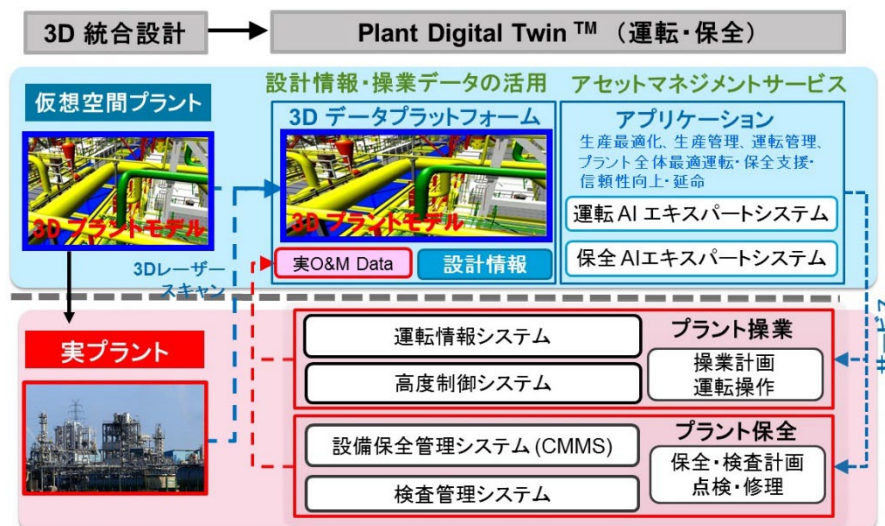


図3 千代田プラントデジタルツイン

5. 3Dプラントモデル・データプラットフォームの活用メリット

3Dプラントモデル・データプラットフォームを活用することで実現すること、活用メリット、従来の2Dデータから3Dデータを使うことによる仕事の改善点について、以下に記載する。

■実現すること

- プラント関連情報・知識の集約・共有
- プラントの状態の見える化
- 設備管理・運転の分析・最適化

■活用メリット

- 漏洩事故による生産ロス低減
- 定修期間の短縮
- 情報収集・共有時間の短縮
- ミス・見落としの低減
- 事故の低減
- 防災・非常作業等の教育・訓練の効果向上、等

■2Dデータから3Dデータへ

- 実機と同じ構成であり情報を理解しやすく、間違えが減る
- 現場確認を最小限にでき体楽になる

また、プラントにおいて、3Dプラントモデル・データプラットフォームを用いることで、従来よりも情報の理解や作業効率が高くなると考えられる具体的な活用例を以下に示す。

- 設備・作業情報共有
- 保全・検査計画と管理
- 定修計画と管理
- 現場確認前の3Dによる事前確認
- 設備状態把握
- シミュレーション・分析
- 教育・訓練
- 技術伝承

6. 3Dプラントモデル産業保安高度化データプラットフォーム

6.1 システム概要

図4に、NEDO研究開発事業（2017～2018年度）※において構築並びに活用効果の評価を行った、3Dプラントモデル産業保安高度化データプラットフォームの概要を示す。

※https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100832.html

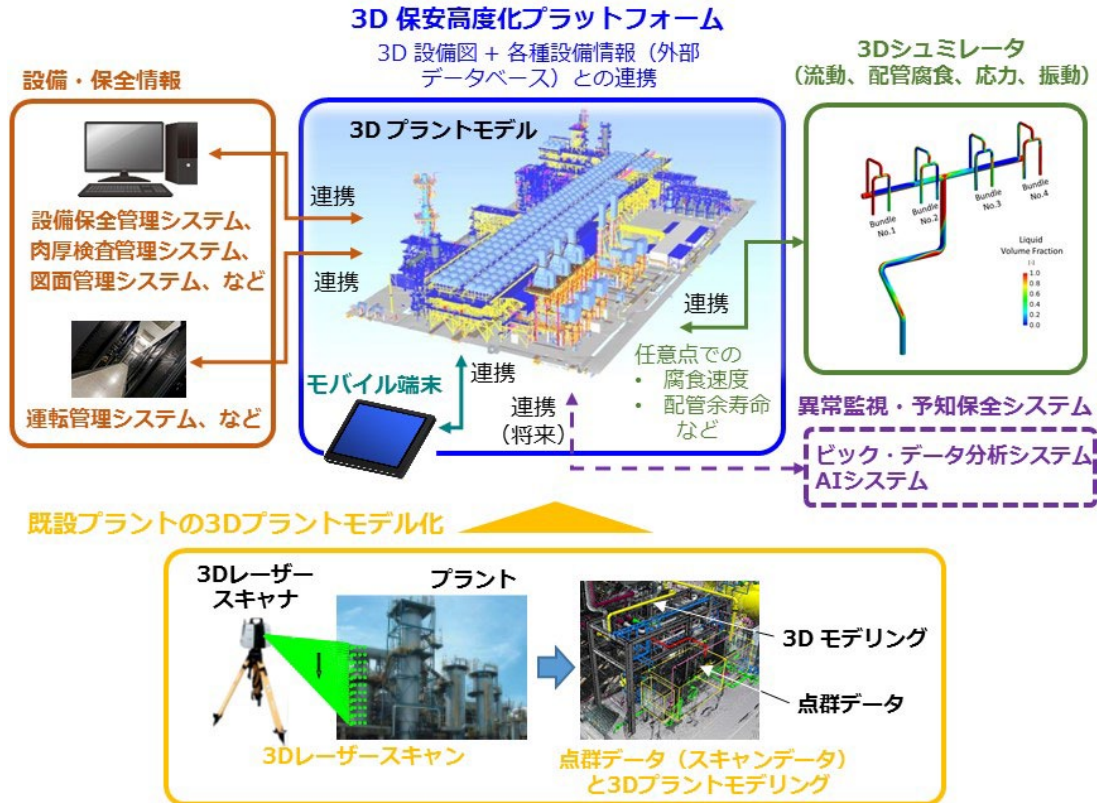


図4 3Dプラントモデル産業保安高度化データプラットフォーム概要（NEDO研究開発事業（2017～2018年度）の成果）

図4において、当該システムは、実プラントで使用されている設備安全管理システム、肉厚検査管理システム、図面管理システム、運転管理システムの設備・運転・保安データを3Dプラントモデルとデータ連携し、3Dプラントモデル上で、これらのデータを機器の3次元上の位置と関連付けて見ることができるシステムである。また、モバイル端末で実プラントの状態や作業進捗等の情報を記録し、その情報を3Dプラントモデルと連携し閲覧・管理できる。さらに、管内流動、腐食、振動、ガス拡散、火災輻射熱、爆風圧等の3Dシミュレータと3Dプラントモデルを連携し、設備形状データ、及び、設備・運転・保安データを3Dシミュレータに送り、計算し、その結果を3Dプラントモデル上に表示し、結果の評価を行うことができる。

3Dプラントモデル産業保安高度化データプラットフォームの適用イメージとして、図5に、事業所（プラント）間データ統合とデータ環境センター概念図を示す。図5より、各事業所でプラントのデータ統合を行った3Dプラントモデル産業保安高度化データプラットフォームは、事業所間及び本社間でもデータ連携を行い、情報を共有することができる。これにより、本社・事業所間の情報共有速度が格段に向上し、また、コミュニケーションも質・量共に飛躍的に向上すると考えられる。

さらには、地方自治体等の外部組織との間で、共有が有用と考えられる情報、例えば各種申請書類やリスク情報について、タイムリーに提出・共有ができ、申請手続きの効率化、地域防災の高度化への貢献が可能となると考える。

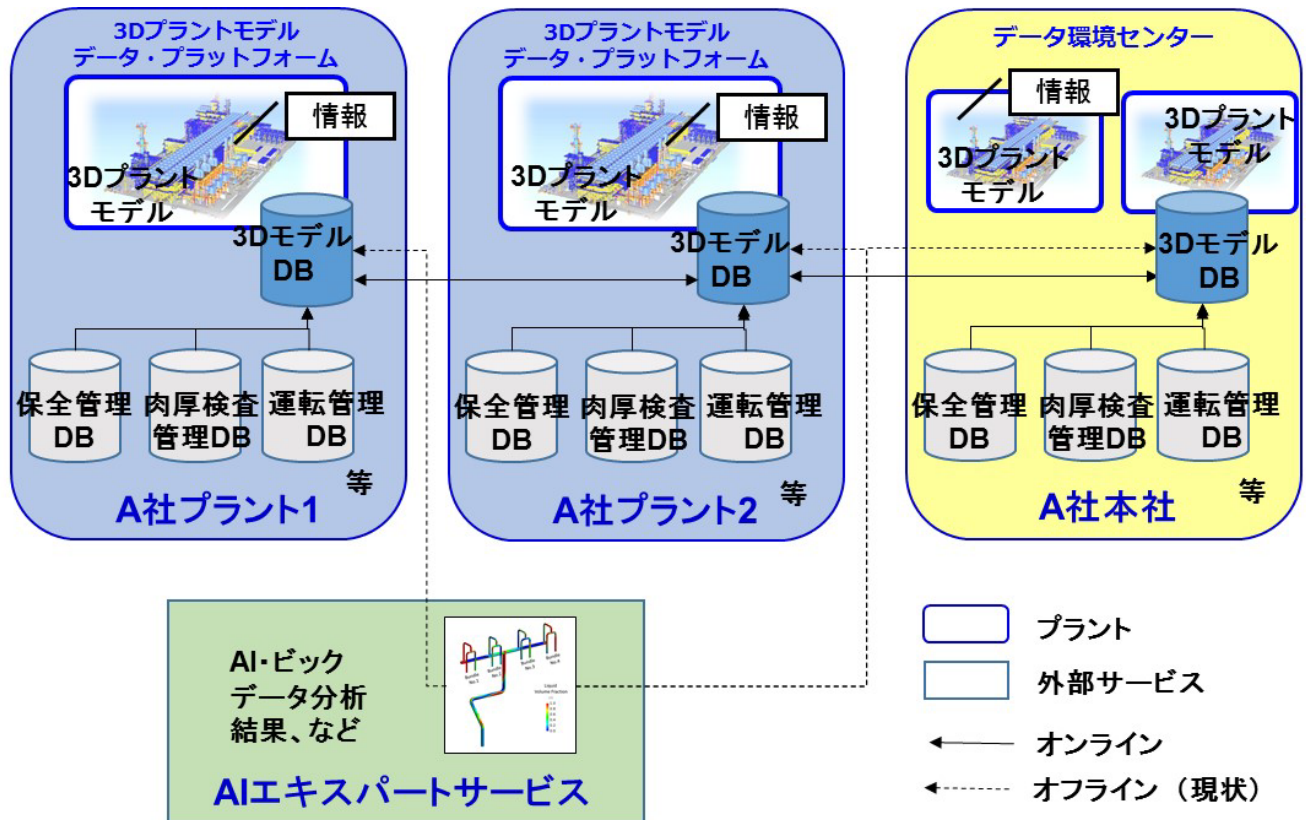


図5 事業所（プラント）間データ統合と本社データ環境センター概念図

6.2 デジタル活用の腐食漏洩管理の高度化

近年、増加傾向にある国内の石油・ガス・化学プラント配管漏洩事故（図1参照）に対し、配管腐食漏洩管理を高度化し、安全なプラント操業を如何に担保してゆかが大きな課題となっている。

プラントの配管系は、配管材質、内流体の組成、温度・圧力等の運転条件、配管形状等により腐食モードが異なり、配管の腐食減肉や割れ等として問題が進行する。また、配管系はプラント内を縦横に敷設されており、また、その物量も膨大であることから、網羅的に配管の腐食状態を管理することが難しい設備である。従来の配管腐食管理は、定点の肉厚計測で行っており、肉厚計測点以外の場所の腐食は基本的には管理できていない。しかしながら、配管全面の肉厚検査はコスト的に不合理であり、このギャップを埋める技術開発が期待されている。

この課題を解決するために、プラントの流量・圧力・温度等の運転データや肉厚計測データ等を用い、腐食シミュレーションを実施し、肉厚検査を行っていない大部分の配管の腐食度合いや残存配管肉厚を予測し、その結果を、3Dプラントモデル・データプラットフォームの3Dプラントモデル上に表示することにより、これまで困難であった配管の網羅的な腐食管理、漏洩前の予知保全（漏洩事故未然防止）を実現可能とする技術を開発した。

図6に、3Dプラントモデル・データプラットフォームを活用し、3Dプラントモデルの製油所配管系上に、腐食速度の実測値及び計算結果を連携・表示した事例を示す。

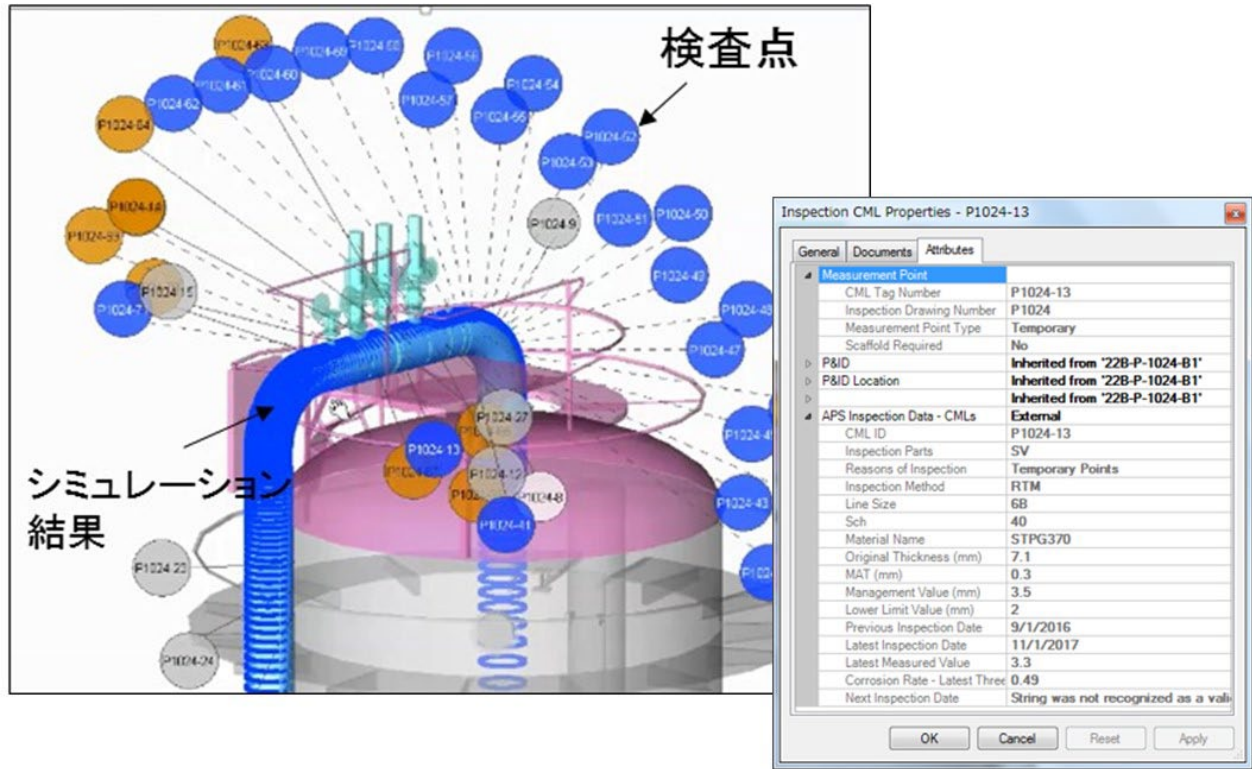


図6 3Dプラントモデル・データプラットフォームを活用した製油所配管系の腐食速度の実測値及び計算結果の連携・表示事例 (NEDO 研究開発事業 (2017～2018 年度) の成果)

図6において、配管肉厚検査点は3Dプラントモデル上に丸印（中の数字は検査点番号）と矢印（検査点を指す）で表示されている。その配管肉厚検査点の丸印は、外部の配管肉厚検査管理システムのデータと連携しており、丸印をクリックすると、その検査点の配管材質、検査方法、検査履歴等が表示されたウインドウ画面が現れ、関連情報が閲覧できる仕組みとなっている。また、配管肉厚検査点の丸印の色は、その実測の腐食速度に応じ検査点を色分けし表示（青色、黄色、灰色）している。腐食速度は、黄色の方が青色よりも速く、灰色の検査点は、配管肉厚検査管理システムに実測値がない又は腐食速度の計算に必要な実測値の数が不足している検査点を示している。さらに、3Dプラントモデルの配管上に、腐食シミュレーションで算出した腐食速度分布（色分けのルールは上記実測値と同様）を表示し、実測値がない配管部位を含め、網羅的に配管系の腐食速度の予測値を確認できる様になっている。

この様な3Dプラントモデル・データプラットフォームを配管腐食管理に活用するシステムを使い、配管肉厚検査計画（前回の検査の腐食速度等の結果を見て、次回の検査すべき点を定める）を行った場合、従来の2次元図面や検査結果表を使用して行った場合と比べ、どの程度、作業時間が削減可能かベンチマークを行った。その結果、配管肉厚検査計画の作業時間を80%程度（従来の方法で時間が短縮できる作業項目の作業時間を100%としている）短縮できることがわかった。また、3Dプラントモデル・データプラットフォーム活用の配管腐食管理は、従来想定管理となっていた配管肉厚検査点以外の多くの場所に対して、計算による腐食速度の予測値を利用できることから、より合理的・網羅的な検査計画が実施でき、増加傾向にある腐食漏洩による火災・爆発事故を減少できるものと期待できる。

7. プラントVRの防災活動への適用

現在、石油・ガス・化学プラント業界では、熟練者の退職に伴い、設備の運転や保全、防災活動の主体が若手にシフトしてゆく方向にあり、今後、デジタル技術を上手く活用し、如何に若手の業務遂行を補完・手助けできるかが重要となってくる。こうした課題を解決するために、当社では、若手への技術伝承や防災活動・非常作業の教育・訓練について、3DプラントモデルをVR化（以後、プラントVRと呼ぶ）し、仮想体験型教育・訓練ツールとして活用するシステム構築支援サービスを行っている。

図7に、プラントVR図を示す。図6の左図の通り、プラントVRは、プラントの実際の色・質感に近い表現となるよう加工されたコンピュータグラフィックであり、機器形状は、教育・訓練で使う部分について、実際の機器形状に近い形状に変更している。図7の右図は、加熱炉のプラントVRであり、加熱炉内部の燃焼室に火炎のコンピュータグラフィックを重ねて作成している。



図7 プラントVR図

図8に、プラントVRの仮想体験型教育・訓練ツールの画面を示す。

教育・訓練受講者は、ヘッドセットを装着し、あたかも3Dバーチャルプラントの中に身を置き、通常、実機で教育・訓練を行うことが出来ない以下について、仮想体験しながら習得できるようになっている。

- プラントの非常作業
- 防災活動 等

この仮想体験型教育・訓練ツールは、各プラントの非常作業手順や防災活動のシナリオを組み込み、実際に即して手順やシナリオを習得できるようになっている。また、当該ツールにおいては、複数人で手順やシナリオを分担し学習を進めることができる機能を追加予定である。



図8 プラントVRの仮想体験型教育・訓練ツール画面

8. まとめ

近年、日本のプラント産業の共通の課題として漏洩による火災・爆発等の重大事故の増加があり、設備の老朽化や熟練者の定年退職の進行が原因と考えられている。この課題を解決するために、保安高度化を図るためのデジタル技術としての3Dプラントモデル産業保安高度化データプラットフォームを活用することで、作業時間の大幅短縮、網羅的配管腐食漏洩管理の実現等を図ることができるものとする。

また、熟練者の退職に伴い、設備の運転や保全、防災活動の主体が若手にシフトしてゆく方向にあり、今後、デジタル技術を上手く活用し、如何に若手の業務遂行を補完・手助けできるかが重要となってくる。こうした課題を解決するため、通常実機で行うことが出来ない防災活動・非定常作業の教育・訓練に対し、プラントVRの仮想体験型教育・訓練ツールを活用することで、若手が仮想体験を通じ、より効果的・効率的に学習することができるものとする。