



松田 善介



中村 努

松田 善介 中村 努

公益社団法人 日本プラントメンテナンス協会 主幹研究員
< JAAM 会員 >

公益社団法人 日本プラントメンテナンス協会 理事 事務局長

製造業のデジタルトランスフォーメーションと メンテナンスの新潮流

1. はじめに

製造プラント／ファクトリーの現場におけるデジタルトランスフォーメーションは着実に進行中である。日本プラントメンテナンス協会では「現場から見たIoTステップ」を発表している。これまでに国内外で見聞きした活動から学んだ事も含め、「現場から見たIoTステップ」を紹介しつつ、製造業のデジタルトランスフォーメーションの今後とメンテナンスの新潮流を紹介する。

2. 内容

(1) 「現場から見た IoT 7ステップ」

2016年に筆者（松田）が発表した「現場から見たIoT7ステップ」は以下の通りである。

(2) 「現場から見た IoT7 ステップ」 における「見える化」<まず問題箇所 の「見える化」から>

① 問題箇所の見える化が必要な「現場」とは

「現場から見たIoT」の「現場」とはいったいどこを指すのか。これが第一の議論ポイントになる。過去のTPM優秀賞受賞企業の活動内容を分析し、「日本と海外の比較で見るともっとも顕著なのは、

海外ではサプライチェーン・物流が多い事であり、日本ではわずか7%弱である。これは大変意義のある知見であり、日本では工場や会社内での効率化が重視される傾向が強く、国際物流の標準化等への対応も遅れているとの指摘もある。海外ではサプライチェーンまで含めた広範囲な効率化を強力に進めてきており、今後日本が学んでいくべき点があると考えられる。」と記載されている。（参考資料①）

また「スマートマニファクチャリング」についても海外では、企業の枠を超えたバリューチェーン全体での価値追求の議論が多いのに対して、日本では「スマートファクトリー」に留まるものが多いともいわれている。

我々が対処すべき問題のある場所が「現場」であり、IoT（Internet of Things：モノ・コト）で「つなぐ」事ができるあらゆる場所や状況が「現場」であると考えている。単なるデジタル化適用ではなく、プロセスそのものをまったく違うものにする＜トランスフォーメーション＞のために製造・サービス・データの融合にIoTを用いるという事が方向性であろうと考えている。

② 見える化技術の進展と活用の広がり

センサーや様々な認識手段の技術革新が進み、その活用も大きく進んでいる。当会が行っている設備管理全国大会においても、ガス漏れも可視化できる高機能カメラ、音波の各種活用、レーザーキャナなどの活用事例が多く発表されている。またVR（仮想現実）やAR（拡張現実：実空間に合成）は製造業でも多く使われ始めている。大日本印刷株式会社天目隆平氏によると、VRにより「減多に起こる事のない事を“自分事”として体験」させる事がより簡単にできるようになったと言っており、センサーも五感すべてにむけた研究が世界で進んでおり、米IT大手のメタ・プラットフォームズ（旧フェイスブック）では、手首の筋肉の微弱な「筋電」をセンシングし、繊細なデバイスコントロールを目指す研究等も行われているとの事である。メタ・プラットフォームズ社等が描く「メタバース」はインターネット上の仮想空間において、自分のアバターを作成して行動できる仕組みを持ったものであり、アバターの形をしたほかのユーザーとも交流して、非現実的な体験ができるものを目指している。サイバーフィジカルシステムの導入が進めば、工場や設備を仮想空間の中でより臨場感をもって体感でき、保全の試行等もできるようになるだろう。日本はセンサー大国とも言われてきており、うまく連携すれば、日本の「見える化」のさらなる強化が図られ、大きな強みになるのではないかと考えている。

また法的規制が厳しい発電所やガス製造設備のような分野でさえも経産省主導で規制改革が進行中である。立ち合い検査や目視確認の分野に、ドローンやAIといったデジタル手段活用を促進している。

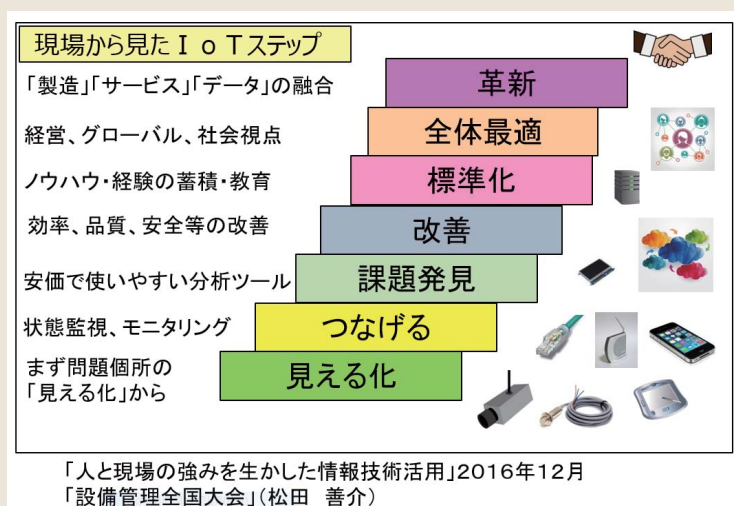


図1 現場から見たIoT 7ステップ

(3)「現場から見たIoT7ステップ」 における「つなげる」＜状態監視、モニタリング＞

①「見える化」でセンサしたものを次のステップにつなげる技術として、ローカル5G等が注目されている。総務省の調査結果によると、製造業では「屋内の生産、製造現場」で活用したいという答えが最も多かった。ローカル5Gは限定した領域に通信網をはる事ができる。より高精密な映像などの大量データを遅延なく送る事ができるので、工場内リモート点検作業等での活用や、熟練作業員が工場内の複数作業員に指示を行う事などにも活用できるとしている。

またドイツのインダストリー 4.0の最新のロードマップでも、産業用通信における現在および将来の動向の特徴として、工場の階層レベル内および階層レベル間の通信量が大幅に増加し、通信の柔軟性や設置の容易さから、空間的および組織的に分散している通信は無線になるとしている。(参考資料②)

設備の稼働状態監視にしても、信号灯の色を検知するIoTシステムなどの簡易なサービスも多くなってきている。当会が提唱している設備総合効率 (OEE) においても、算出用のソフトウェアが多数出てきており、OEEのリアルタイム「見える化」が可能になり、「リアルタイムな現場ロスの顕在化」が図れるようになってきている状況がわかる。またグローバルな工場群をダッシュボードでリアルタイム監視できるものも増えてきた。また各種BIツール等の活用促進が進むなど、課題の発見や問題点の絞りこみに役に立つ便利なデジタル技術は多くなってきており、日本企業での活用も結構進んできている。

② 古い設備もつなげる

製造業においては、古い設備でもメンテナンスして何十年も使いこなす事は多い。そこでインダストリー 4.0でも、設備の特性を表すデジタル情報をモノに付与することで、古い設備もデジタル世界へ転写する役割を担う標準アーキテクチャー構築を目指す「管理シェル」(Administration Shell) という考えをすすめている。

(4)「現場から見たIoT7ステップ」 における「課題発見」＜安価で使いやすい分析ツール＞

① 安価で使いやすい分析ツールとして、AIは候補の一つだが、目的に応じて理にかなった「安価で使いやすい分析ツール」を使えば良いと思っている。AIにしてもいろいろあり製造業で役に立つのは主に「分析用AI」や「制御AI」といった機能別AI等であり、解決したい課題に適したAIを使っていく事が重要である。慶応大学理工学部管理工学科の栗原聡教授は、「“人工知能”という非常にインパクトが強く感じるが、今のAIは電卓やコンピューターといったITの延長線であり、単に計算して最適な答えを求めているに過ぎない」と言っている。また「アルゴリズム」という言葉も難しく聞こえるが、要するに「計算法」の事で、西暦800年頃中東にいたアル・フワーリズミーという人がインドの数の

計算法を学び教えた事で、「アルが言うには (インドの計算はこうやるんだよ)」を語源として後世に伝わったものである。「論語」の「子 (孔子) のたまわく」のようなものである。

② 製造業におけるAIの適用に関しては、設備異常予知等で「メンテナンス」が一番多いと考えているようである。次は品質状態の予測や分析に適用しようとしている。これは日本企業の見方と概ねあっている。

AIの適用状況については、IT能力と各分野の専門能力 (メンテナンス等) の2軸でまとめた。(図3)

AIの適用事例で一番効果がわかりやすいのは「ディープラーニング」等を外観検査などに使う方法である。外観チェックにかかる人数を削減する効果までは期待できるのでうまくやれば効果は大きい。しかしあくまでも人間がAIの先生なので優れた検査技能者は必要であ

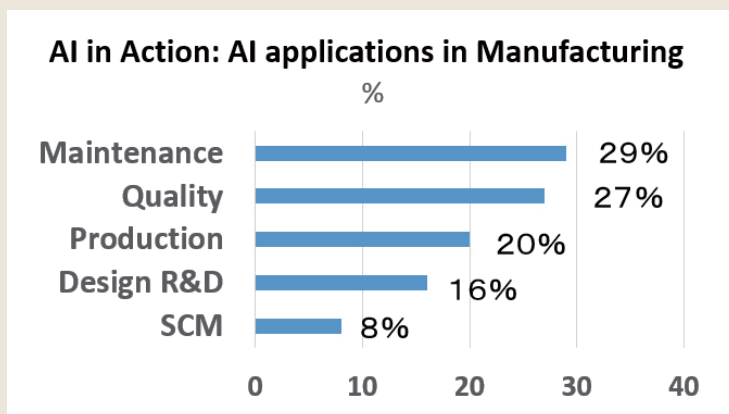


図2 製造業におけるAIの適用分野 (参考資料③)

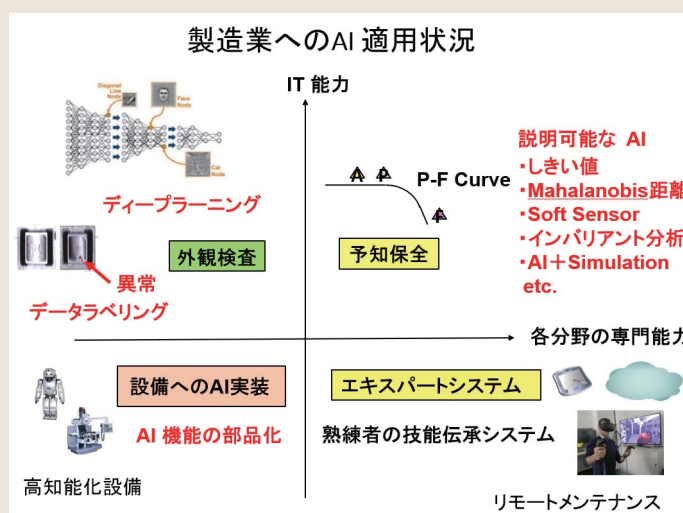


図3 製造業へのAI適用状況

る。また異常や正常の学習データを収集する「ラベリング」という工程が結構大変な作業であるが、人の脳の活動を「見える化」する「ブレインテック」が進歩してきており、熟練者が画像から異常と感じた脳波を瞬時に検知する事で約1/10程度にラベリング時間を短縮できる可能性も見えてきている。さらには人の精神集中の度合いまでも判断し得られた結果のレベル付けまでできるとの事である。(参考資料④)

次にAI機能の部品化も工作機械などでも進んでいる。センサーや加工条件最適化データ等とうまく連動させて賢い加工をさせようとしている。AIについて知っていなくてもいいし、ことさら学ばなくてもいいので、特に匠の技にこだわる日本企業では「こういったものをAI部品化してくれないか」とどんどんIT側に提案すべきである。日本企業におけるAI活用勝ちパターンの一つとも思う。

「エキスパートシステム」自体は一世代前のAIの考えであるが、こういったものの必要性は製造業でも多くなってきており、新しいアプローチもいろいろ出てきて、技術技能伝承の役に立つ事がわかってきている。

「予知保全」はメンテナンス専門能力とIT能力の両方がうまくかみ合わないとうまくいかない難しい領域である。「AIが設備を止めろと言っています」と言ってもそれに単純に従う現場はほとんどない。AIにしても「説明可能なAI」が必要であり、各種検討されてはきている。しきい値判断や、品質工学的なMahalanobis距離判断ですむような用途も多いが、「インバリエント分析」のように設備システム内の多くのセンサー間の正常状態における関係性をあらかじめ数式化しておき関係性を逸脱すれば異常とみなす結構ハードな手法の積極的検討も日本企業で進んできている。海外の事例では、AIとシミュレーションを組み合わせる動きや、「エキスパートシステム」的な知識体系強化ツールと組み合わせで対処する動き等が多くなってきている。

③ メンテナンスの進化（海外での方向性）

メンテナンスの進化に関して海外では

図4のように見ている事が多い。

この中で、「Predictive（予知）」の次の段階である「Prescriptive」に関してはGFMAM（Global Forum on Maintenance & Asset Management）の「メンテナンスフレームワークver.2」（参考資料⑤）で取り上げられている。Prescriptiveという言葉の日本語訳について辞書の直訳（規定、命令等）では、英語の“telling people what they should do”のニュアンスが伝わらないと考え、当会では、「和訳案」として「予示」（よじ：前もって示す）という国語辞典にもある言葉を充てている。

Prescriptiveの概念については、データに基づいて医者が患者にアドバイスするようなものである。具体的なイメージが少しわかる海外講演も出てきた。VALEのMalcolm Mcrae氏はPrescriptiveの段階でどうやって「何をやるべきか」を見つけるかについての一例として、AI等による分析結果をウェブで限定公開し、多くの識者の反応を得

てベストと思う解を見つけるという方法もあると言っていた。(参考資料⑥)

(5)「現場から見たIoT7ステップ」における「改善」

「改善」という言葉の本来の意味は「目的を達成するために、正しい方向に向かわせる」という事である。一方「改良」は「目標を達成する手段をもっと適したものにする」との意味と言われている。「善」の語源は、むかし羊（ひつじ）を神前に捧げて裁判を行い、原告と被告がそれぞれ「言」を述べたのが始まりで、「善」のもとの字形は「羊」を傘にしてその両下サイドに「言」を並べたような形である。裁判の結果「神の意志にかなうこと」が「善」となり「正しい」という意味を持つようになったという事である。一方、「良」という字は「穀物の中から特に良いものだけを選び出す為の器具の形からできた象形文字」との事である。

また「目的」という言葉は「本来めざしたいこと（的:まと）」であり、一方「目

メンテナンスの進化（海外における方向性事例）

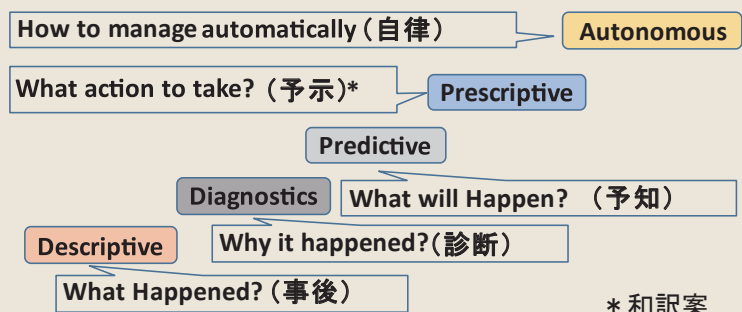


図4 メンテナンスの進化（海外における方向性）

アセット状態監視・意思決定技術の進化

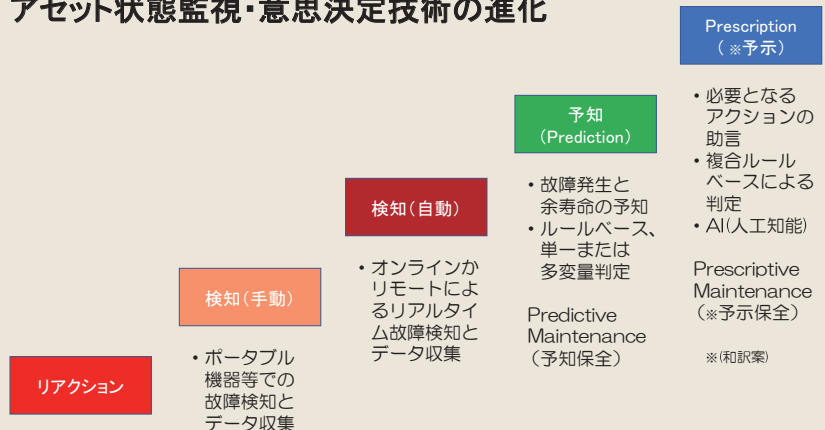


図5 メンテナンスの進化（技術的視点）

標」は「その実現のためのマイルストーン（標：しるし）」である。これは両方とも大事であるが、違いの認識は必要である。「目的と目標」の関係を図で示す。（図6）最近の企業経営に関わる議論でも「目的（パーパス）」が重視される方向になってきており、「パーパス経営」として大きく注目されている。

このように「改善」という活動は「目的」達成にむけ、正しい方向に向かわせているmindsetかどうか問われる事になる。

（6）「現場から見たIoT7ステップ」における「標準化」＜ノウハウ・経験の蓄積・教育＞

当会では「Smart Manufacturing」の議論にも着目しており、「SyC SM」（Systems Committee Smart Manufacturing）の国内審議に参加している。「SyC SM」はSmart Manufacturingのような広い分野にまたがる議論については各TC（技術委員会）が連携して議論を行うように橋渡しをする役割が必要になると考え、2018年に発足した。日本は世界の議論に加わる事的重要性を認識し、この活動に積極的に参加し活動してきており、適時議論内容の公開発表があるので標準化の動向として注目する必要があると考えている。

（7）「現場から見たIoT7ステップ」における「全体最適」＜経営、グローバル、社会視点＞

インダストリー 4.0はドイツが2011年に提唱したが、その後グローバルに多くの活動が始まった。現在では「デジタルトランスフォーメーション」という言葉が使われる事が多くなったが、インダストリー 4.0の概念は着実に浸透してきている。

このインダストリー 4.0の進行に関連し、米国の動きで注目すべき活動がある。それは、2016年に創設された、産・学・官連携の「CESMII（The Clean Energy Smart Manufacturing Innovation Institute）」： <https://www.cesmii.org/> である。

CESMIIのCEO John Dyck氏によれば、「近年スマートマニュファクチャリングやインダストリー 4.0という言葉が飛び交ってきている。しかし、適応しようとする製造分野等の専門知識を持っている

「目的」と「目標」

目的は本来めざしたい事： 的（まと）

目標はその実現のためのマイルストーン： 標（しるし）



目的(Purpose)	目標(Objective)
なぜ やる気	なに 集中
主観的	客観的
定性的	定量的
アウトカム（質的成果）	アウトプット（量的成果）
試行錯誤の継続	一定期間不変
Purpose 前に（pur）置く（pose）	Objective 前に（ob）投げ出された（ject）

図6 目的と目標

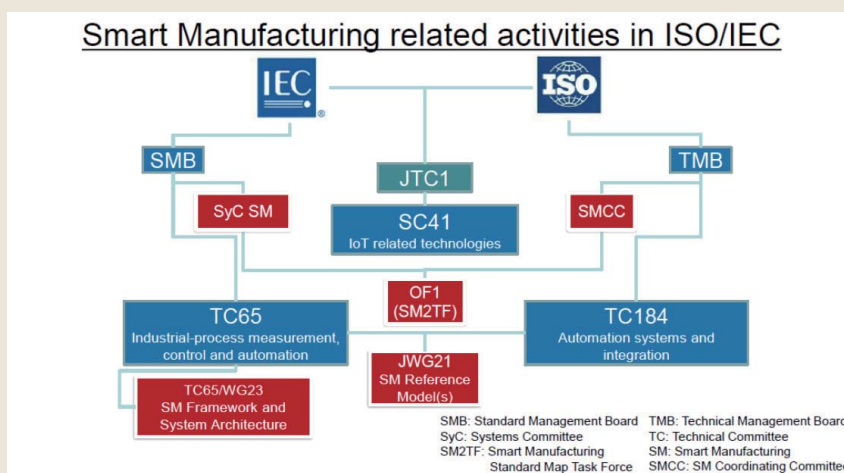


図7 スマートマニュファクチャリング国際標準化に関するISO/IECの活動（参考資料⑦）

人達や組織の助けがなければ、多くのシステムインテグレーターやメーカーは、必要とされる熟達した技術やスキルを見定める事や、最新の自動化システムを実装するために必要とされる技術者そのものを見つけるのが難しいことに、だんだん気づいてくるようになってきた。そこで、来るべきデジタル化産業界に必要とされる人材を国を挙げて育成していこうとする試みが始まった」という事である。

我が国においても、JFEスチール株式会社との二階堂英幸氏は設備管理全国大会にて「10年後の設備管理について」という講演の中で、「日本の専門家ネットワーク集団の最高の技術が全現場に反映されるように、設備管理は個社の活動から連携の活動に変革すべき」と訴えている。これはCESMIIと同様の課題認識であり、当会もそういった活動に貢献できれば素晴らしいことである。

尚、CESMII活動においては図8のようなカリキュラム作成を考えている。

（8）「現場から見たIoT7ステップ」における「革新」＜「製造」「サービス」「データ」の融合＞

東京通信大学の前川徹教授は、DX:デジタルトランスフォーメーションの本質について「DXは、単なるデジタル化や効率の追求だけでなく、イノベーションを興し、組織・ビジネス・企業文化の変革をおこすもの。」と述べている。そしてDXが市場にもたらした7つの変化を、①プラットフォームビジネス、②シェアリングエコノミー、③分解と組み換え、④個別最適化、⑤サブスクリプション、⑥データドリブン、⑦自動化と上げている。前川教授はまた同時に「まったく新しいことを生み出すパイオニアになる必要はない。2番手でも3番手でもよいので、顧客が何をしたいのか、何を欲しているのかをしっかりとつかみ、自社のできる範囲でイノベートしていけばよい」とも述べている。（参考資料⑨）

新型コロナ禍の経験を通して、日本社会はいろいろな面でデジタル化そのものの

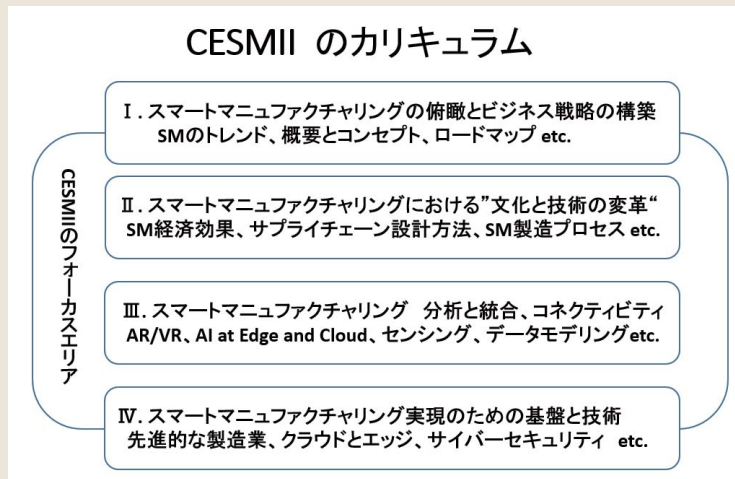


図8 CESMIIのカリキュラム (参考資料⑧)

が大きく出遅れ、それを効率的に使いこなす国々との違いをまざまざと思い知らされた。我々は素直にこれを認め、「デジタルトランスフォーメーション」に関して進んでいる海外などの動向を貪欲に学んでいくべきであるが、同時にしっかり社会や市場の要求を見据えて、自らの得意なやり方で進めていくべきと考える。

① 「データ」に関しては、欧州の「GAIA-X」という製造業のデータ連携の動きが注目されている。(参考資料⑩)

これは、米国のクラウドプロバイダーの優越性がこのままでは欧州製造業の分野にも及んでいくのではないかと懸念から、欧州の企業により多くのデジタル主権を与えるべく、新しいデータインフラ構築をしようとして2019年から始まった動きである。

GAIA-Xは、次世代のデータインフラストラクチャであり、オープンで透明性のある安全なデジタルエコシステムであるといわれている。信頼できる環境でデータとサービスを利用、照合、共有できる。主に欧州企業のイノベーションを促進しながら、デジタル主権が保証された連携システムとなっているとの事である。(参考資料⑪)

そしてそのGAIA-Xに準拠したデータベースを構築する最も大きなユーザーイニシアティブの一つが、自動車産業の「Catena-X」であり、そこからより具体的な姿を伺い知る事ができる。Catena-Xはドイツ自動車産業を中心に進められてきており、サプライヤーやリサイクル業

者まで含めたバリューチェーン全体で、GAIA-Xに準拠の標準化されたデータ交換を可能にして、他社のデータも活用してより競争力を高め、自社のデータの「価値化」も図り、「データからもより多くの利益が得られる製造業体質」への変革を図ろうとしている。

GAIA-Xに関しては日本企業との連携

もすでに始まっている。特に日独は「ものづくり」でお互いこれまで長じてきた事や、米国のクラウドプロバイダーの脅威を共に共有できる間柄でもあるので、連携から得るものは大きいと考える。(参考資料⑬)

②「見える化」の項でもサプライチェーンや物流の重要性に言及したが、サプライチェーン4.0として、議論されてきているのが「フィジカルインターネット」である。デジタルインターネットでは、発信者が出したデジタル信号が、複数の「パケット」に分解して格納され、それが複数のルーターを経由して、受信者に伝送される。一方、フィジカルインターネットでは、パレット等の「規格化された容器」に詰められた貨物が、各種の物流センターを経由して、目的地まで運ばれるという事を実現しようとしている。

日本でも経産省主導で、フィジカルネットワーク実現会議が発足している。(参考資料⑮)

GAIA-Xの基本構造略図

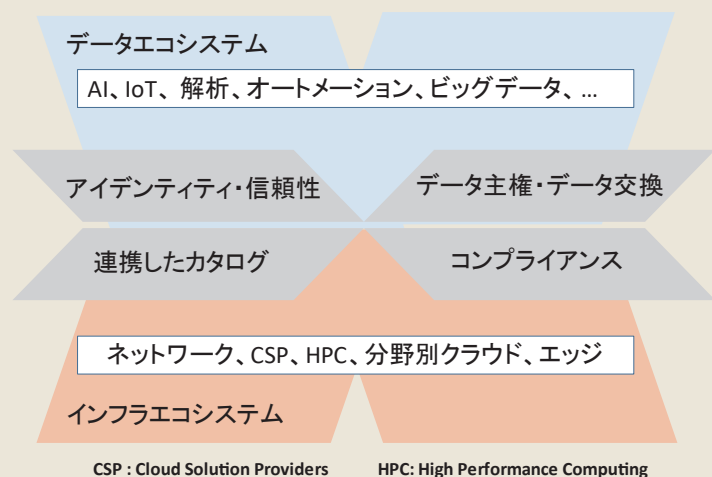


図9 GAIA-Xの基本構造略図 (参考資料⑫)

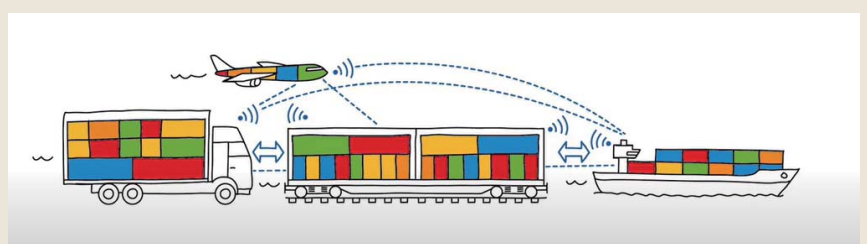


図10 フィジカルインターネットの物流イメージ (参考資料⑭)

また、早稲田大学の高田祥三名誉教授によれば、最近日本でも物流センターの建設が盛んにおこなわれており、物流設備等のメンテナンスに関する相談がどんどん多くなってきているという事である。このように、今や物流はフィジカルな「設備管理」の現場としても脚光を浴びており、当会としても今後の動向に注目している。

3. まとめ

欧米はサイバーのような概念化・抽象化に強みを持っていると言われているが、日本の強みは、「設備（現場）と人間」である。現状に満足せず、常に危機意識を持ちつづけ、行動する事である。欧米では、サイバーとフィジカルの繋がりを意識して新たなプラットフォームや道標

として新しい視点を世界規模で作り上げようとしている。メンテナンスにおいても、Prescriptiveのようなデジタルトランスフォーメーションを前提とした概念が先行して提示され、その実例が今後発表されるようになるであろう。新しい潮流に多くの製造プラント／ファクトリーは対応をすすめている。

3. 参考資料

- ①「JIPM 社団法人化 40 年、TPM 提唱 50 年のあゆみ」：2021 年版
- ②「ロボット革命協議会公開調査資料「ドイツ標準化ロードマップ Version 4」
<https://www.jmfrri.gr.jp/document/library/1673.html>
- ③ <https://www.youtube.com/watch?v=5YBfcG-2Mk>
- ④「脳波 x AI で熟練の暗黙知発掘へ」（日経産業新聞：2022 年 1 月 26 日）
- ⑤「The Maintenance Framework-Second Edition-English」
<https://gfmam.org/publications>
- ⑥ How Artificial Intelligence is Reshaping Asset Management : Malcolm Mcrae Head of AI and Advanced Analytics VALE)
- ⑦ スマートマニュファクチャリング国際標準化フォーラム 2020 小田信二氏講演資料
<https://www.jmfrri.gr.jp/1333/1429/1426.html>
- ⑧ 経団連 DX レポート（2021 年 5 月 19 日）
https://www.jmfrri.gr.jp/content/files/Open/2021/20211004_RRI%20Sympto/H-RRI-02.2.pdf
- ⑨「デジタルトランスフォーメーションの本質とは」（日本オラクル株資料）
- ⑩ Catena-X と GAIA-X の公募プロジェクトに関する調査報告書 ver.1.0
https://www.jmfrri.gr.jp/content/files/Open/2021/20211216_CatenaXGAIA-X/Catena-X%20and%20GAIA-X%20project_excerpt.pdf
- ⑪「Gaia-X_Communication - Briefing.pd」
https://gaia-x.eu/sites/default/files/2021-10/Gaia-X_Communication%20%20-%20Briefing.pdf
- ⑫「Gaia-X_Standard_Presentation_210401.pdf」
https://www.ossbig.at/wp-content/uploads/2021/04/Gaia-X_Standard_Presentation_210401.pdf
- ⑬ <https://www.jmfrri.gr.jp/1333/1429/1426.html>
- ⑭「The Physical Internet: Interconnected logistics networks, sharing assets and capabilities 2020/6/29」
<https://www.youtube.com/watch?v=DD1z5PBe7Kk>
- ⑮「経産省 第一回フィジカルネットワーク実現会議資料」
https://www.meti.go.jp/policy/economy/distribution/PI_jitugenkai/001/06_3.pdf

まつだぜんすけ／山形大学卒。1973年に日本電気株式会社入社。2007年NECエレクトロニクス株式会社 取締役執行役員常務。2011年社団法人日本プラントメンテナンス協会入職。主幹研究員、TPM優秀賞審査員、TPM優秀論文審査員。GFMAM (Global Forum on Maintenance and Asset Management) "Maintenance Framework 改訂プロジェクト"メンバー。

なかむらつとむ／1989年日本プラントメンテナンス協会入職。2014年～2018年 GFMAM (Global Forum on Maintenance and Asset Management) Board Member。2016年日本プラントメンテナンス協会理事。