

# デジタルマニュファクチャリングに向けた最新のFA技術

Advanced FA Technologies for Digital Manufacturing



秋田裕之\*  
Hiroyuki Akita

\*インダストリー・モビリティBA インダストリー・モビリティBA戦略室 プリンシパルエキスパート(工博)

## 要 旨

製造業では、変化に強いレジリエントなものづくりやサステナブル社会の実現に向けて、エコシステム全体での生産活動の効率化を狙ったDX(Digital Transformation)が進められている。生産現場では、全プロセスで個別識別された情報をリアルタイムにつなぎ制御することで生産効率の最大化が図られる。これを実現する“デジタルマニュファクチャリング”の3要素として、生産現場の自動化を進めること、バックヤード業務のデジタル化を業務全域で揃(そろ)えていくこと、生産現場とバックヤード業務をシステム統合することが必要と考える。三菱電機では、3要素の技術に磨きをかけるとともに、標準化、オープン化、セキュリティー強化を進めて、エコシステム連携のスキームづくりをより一層推進していく。

## 1. ま え が き

サステナブル社会のニーズや就労人口問題、VUCA(Volatility, Uncertainty, Complexity, Ambiguity)リスクへの対応のため、企業にはレジリエントな事業体質への変革が求められている。製造業では、2011年Industry4.0(独)で提唱されたIoT(Internet of Things)によってDXが進み、2016年Society 5.0(日)、2021年Industry5.0(独)では人、社会、環境の価値向上が提唱された。生産現場では、ヒト・モノ・コトがサイバー上で関連付いて、日々現場で生じる問題をシステム全体で自己修復する自律制御型のFAによって、多様なものづくりに対応することが提案されている<sup>(1)</sup>。

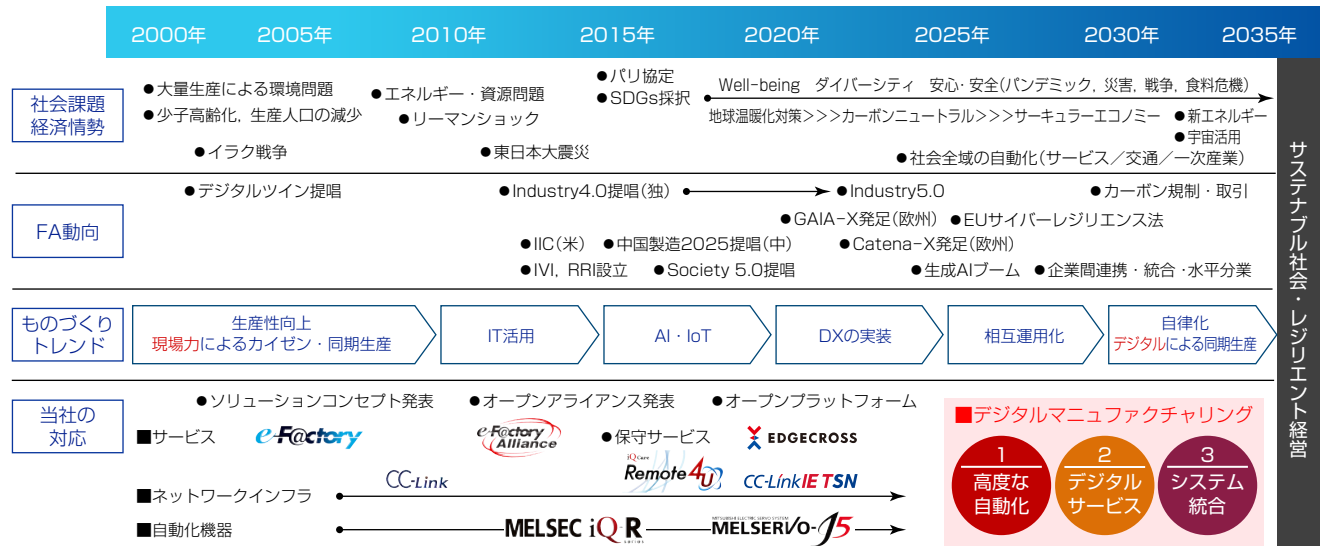
欧州ではGAIA-X、Catena-X等によってエコシステムがつながることで全体としての生産性やエネルギー効率を追求する動きが活発化し、各社の特徴を活用した水平分業が進んでいる<sup>(2)</sup>。エコシステム間では相互運用性を高めるためにオープン化が進んで、製造現場ではかつて現場力を高めて目指したジャストインタイムのものづくり(同期生産)が進化し、生産フローがデータドリブンで自律制御されることでより広範囲に変種変量の同期生産が実現されていく(図1)。

当社では自動化機器の提供に加えて、大規模化する生産システムのインフラ整備として高速大容量ネットワーク技術を展開してきた。また、2003年以降“e-F@ctory”と称して業務改善サービスを強化し、2018年にはオープンプラットフォームとして一般社団法人Edgecrossコンソーシアムを数社共同で立ち上げた。今後、工場の自律化、相互運用化に向け自動化、デジタルサービス、システム統合によるデジタルマニュファクチャリングを推進することが重要な役割と考える。

## 2. デジタルマニュファクチャリングのニーズ

図2に示すようにデジタルマニュファクチャリングでは、“生産現場の自動化”“バックヤード業務のデジタル化”“システム統合”を深化させ、製品、治工具、設備のデータがオープンネットワークを通じて個体識別されてつながり、リアルタイムに分析し制御することで工場全体の“7ゼロ指標(PICQMSD)+E(エネルギー)”<sup>(3)</sup>の改善効果の最大化が期待できる。

“生産現場の自動化”の今後の見通しとしては、変動に柔軟な生産に向けてロボット、サーボモーター、AMR(Autonomous



SDGs : Sustainable Development Goals, IIC : Industrial Internet Consortium, IVI : Industrial Valuechain Initiative, RRI : Robot Revolution & Industrial IoT Initiative

図1-ものづくりを取り巻く環境変化と当社の対応

■デジタルマニュファクチャリング：製品、治工具、設備の情報が個体識別されてつながり、リアルタイムに分析することでPICQMDS+Eを最適制御



PICQMDS : Production, Inventory, Cost, Quality, Maintenance, Delivery, Safety, OT : Operational Technology

図2-デジタルマニュファクチャリングの3要素

Mobile Robot (自律走行搬送ロボット)など汎用性の高い機器のニーズが拡大する。機器や設備はオープンにサイバー空間に接続され、ソフトウェアをダウンロードすることによって更新・機能拡張でき、変化への追従性が高められる。現場でのプロセス管理の面では、現場で稼働する制御機器や駆動機器がセンサーとしての役割を担いリアルタイムのプロセス状態を個体識別して取得することで傾向分析やトレーサビリティが強化される。また、生産ラインの制御機器が他の設備や自動倉庫、AMRと通信し連携することで、チョコ停や変動が生じた場合に工場全体で最適な生産スケジュール、物流計画に自動変更するなど、工場全体の自律制御が進められる。一方で自律制御された工場でも人と機械が安全に協調するためには、機械が異常を検知した場合の即応性や、異常・故障に対する自律的な原因分析技術が必要になる。

“バックヤード業務のデジタル化”については、工場での生産・出荷・保全の業務フローで、それぞれの業務が標準化されたデジタル化によって合理化されるとともに、業務全域で情報を連携することでシステム全体の最適制御が可能になる。設備・ライン立ち上げの業務フローでは、デジタルツインを用いることで設備や生産ラインの開発の合理化が図られる。デジタルツインモデルは、設備開発の段階だけでなく生産運用の段階でも現場改善や、工場全体の自律制御のために有用である。

このように生産現場のデータと全業務フローを連携させる“システム統合”を進めて工場全体を制御することで、日々生き物のように変化する工場のコンディションや需要変動に対して、工場のROI(Return on Investment)を最大化することが期待できる。

### 3. 生産現場でのリアルタイム制御技術の進化

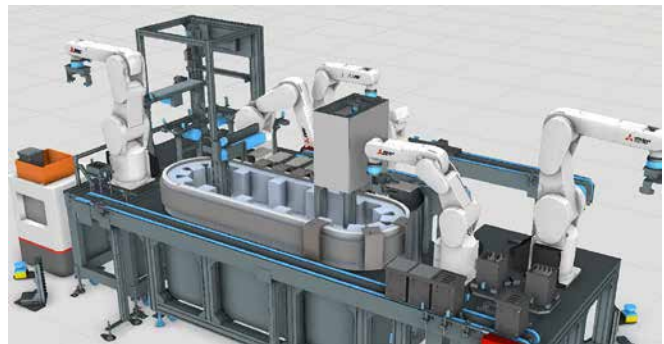
変動に柔軟な生産への対応事例として、ロボット、サーボモーターなど汎用性の高い機器によって生産ラインを構築するリニアトラックシステムと、工場全体の自律制御に求められる即応性や異常原因分析につながる要素技術である、多軸同期制御技術、高速制御技術、AI画像検査技術について述べる。

#### 3.1 リニアトラックシステムと多軸同期制御技術

変種変量生産のニーズに向けてロボットやサーボ軸の多用化が想定されるが、それぞれが連動して機能するためには多軸サーボ軸のリアルタイム制御技術が必要になる。図3は、複数ロボットとリニアトラックシステムを組み合わせた生産ラインコンセプトのモデルラインである。ロボットの組立て工程に同期して複数のワークがリニアサーボ駆動で搬送され適時組立てを実現するとともに、生産機種の変化や生産数量の変化に対して柔軟にプロセスを変更できる。各工程で生じるわずかな時間差やトラブルに対してロボットやリニアトラックの干渉回避や動作変更が必要になるが、図3(b)に示すデジタルツインと連動させることで、あらかじめ動作をシミュレーションし多軸サーボ軸をリアルタイムで制御できトラブル予防が可能になる。



(a) 実機



(b) 3Dシミュレーションモデル

図3-リニアトラックシステム

#### 3.2 高速駆動制御技術

図4(a)にモーターの巻線工程でのノズルの回転軸と送り軸の同期制御によるリアルタイム制御の高速化の事例を示す。一般的に製造リードタイムのネックになる巻線工程には設備費低減の目的から高速化が求められる。一方で、電線を整列に配置させるためには、電線を巻き付けるノズルの回転中に送り軸を階段状に駆動する必要があるが、動作が高速化するにつれて追従遅れによる整列崩れが発生し、品質不良につながるため巻線速度が制限される。この事例では、通信速度の高速化とともに、駆動曲線に電子カムを用いて加速度及びその微分(ジャーク)を滑らかにつなぐことで当社従来比7倍の高速化を実現した。この技術は、多軸の同期制御で指令値に対する追従性の高さを示す性能であり、工場の自律制御で現場の安全性確保や、3.1節に述べたロボットとサーボ軸が協調制御する場合で動作の品質を高める技術である。なお、PLC(Programmable Logic Controller)“iQ-Rシリーズ”，汎用サーボ“MELSERVO-J5”シリーズでは電子カム制御の適用範囲を拡大しており、様々な用途で活用できる高速制御技術である。

#### 3.3 AI外観検査ソフトウェア“MELSOFT VIXIO”

図4(b)にAI技術を用いた画像検査技術として3.2節に述べた整列巻線状態を検査した事例を示す。AI学習に必要なサンプルは良品約100点と少ないことが特長であり、入手性の良さから導入に要する時間を大幅に短縮できる。また、この



事例では巻き乱れをコンター図で視覚的に表現し改善をアシストするとともに、巻き乱れ結果から巻線工程の条件を変更する機能を織り込んでいる。AI外観検査の技術と加工条件へのフィードバック技術は工程内の自律制御に必要な要素であり、今後も進化させていく。

(本号“外観検査ソフトウェア“MELSOFT VIXIO””<https://www.giho.MitsubishiElectric.co.jp/giho/pdf/2024/2404103.pdf> 参照)

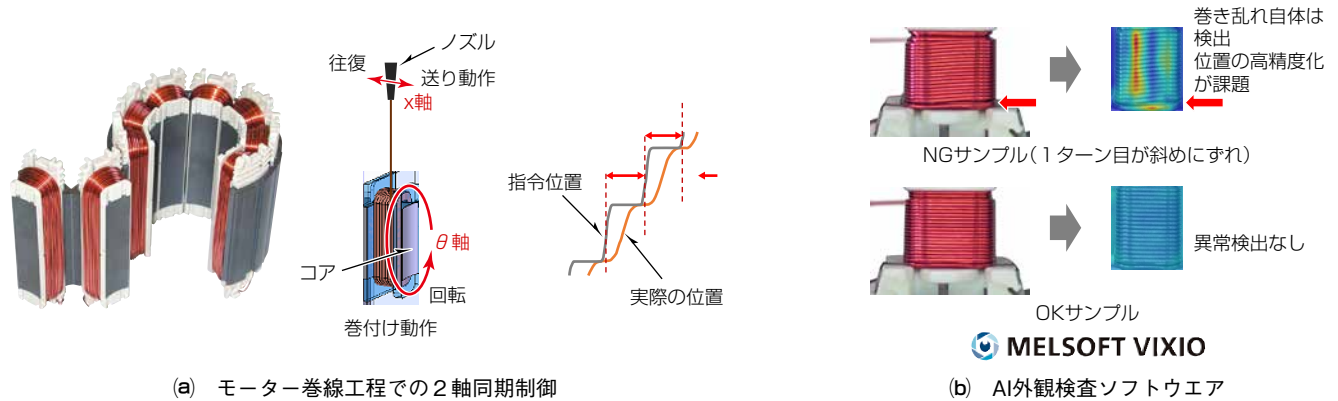


図4-リアルタイム制御の高速化事例

## 4. バックヤード業務でのデジタルサービス

設備を用いたものづくりでは設備開発期間短縮や設備のチョコ停改善、サイクルタイム改善など設備に起因する多くの改善が求められる。これらの対策のキーになるデジタルツイン技術について、3Dシミュレーターとモジュラーデザインコンセプトを述べる。また、生産業務全般でデータ収集・可視化・分析・診断による継続的な運用改善を支援するツールであるデータマネジメントソリューションについて述べる。

### 4.1 3Dシミュレーター“MELSOFT Gemini”

製造設備や製造ラインは、製造する製品や生産量によって一品一様のカスタム仕様である場合が多く、製造後、瞬時に計画どおりのサイクルタイムで想定どおりに動作することが難しい。多くの場合は計画との差異によるデバッグや調整作業に多くの手間を必要とし、手戻りが必要な場合には生産遅延や設備コスト増加の問題につながる。

3Dシミュレーター“MELSOFT Gemini(メルソフトジェミニ)”では、サイバー空間上にシミュレーションモデルを構築し、現実の生産や加工をサイバー空間上で精緻に模擬できる。それによって、設備動作を事前に検証して手戻りの少ない実機立ち上げが可能になる。図5の例では、サイバー空間でマウスを用いたロボットティーチングによって開発工数が削減でき、プログラムデバッグでは、ラダープログラムと連動した3Dモデルの動作検証によって、様々な角度、速度で視覚的に動作確認ができるため、実機で見つけにくかったバグの発見が容易になりデバッグ時間が短縮できる。

また、生産運用時には、サイバー空間上に構築したシミュレーションモデルと生産現場の制御機器や駆動機器からのデジタルデータを連携させることで、設備稼働率向上、サイクルタイム短縮、歩留り改善といった生産性向上の効果が得られる。図6では、人と設備が混在したラインでのデジタルツイン活用例を示す。実機の動きをPLCの信号で取得し、サイバー空間のデジタルモデルのプログラムの動作タイミングに同期させることで、人作業を変更した場合の改善効果や増員の影響等をシミュレーション上で確認できる。改善策の良否判定をサイバー空間で効率良く検証でき、改善活動の効率化が図れる。その他、実機と計画との動作時間の差分の見える化や、リピート設備で変更したポイントの事前検証など、様々な活用策によって現場での改善活動をサポートする。

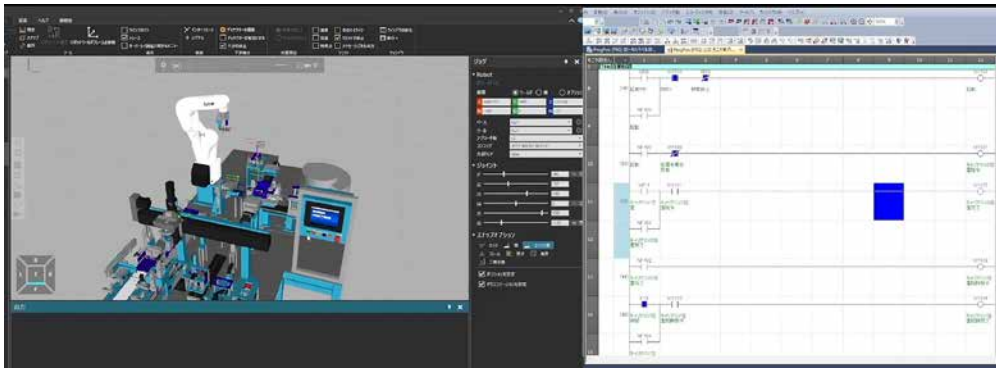


図5-デジタルツインによるプログラム検証例

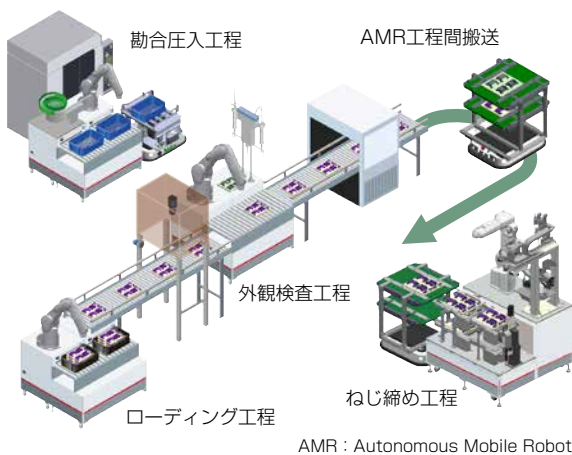


図6-デジタルツインによる人・機械の協調モデル例

4.2 生産ラインのモジュラーデザイン“ブロックコネクトセル”<sup>(注1)</sup>

設備設計から製造、運用まで一連の業務プロセスを合理化するサービスとして設備のモジュラーデザインを実現した。図7に示すように、ねじ締め、洗浄、外観検査等の装置及び搬送用AMRを標準化し実機として提供しており、組み合わせることでライン構築が可能である。製品に合わせて治工具、ロボットハンドを製作することで、様々な組立て作業に適合できる。組み合わせたラインは3Dシミュレーター“MELSOFT Gemini”で動作検証が可能であり、ワークの動線や工程のサイクルタイムを事前に検証することで開発工数を削減できる。バックヤード業務としては、設備稼働率管理、生産進捗管理、ねじ締め品質管理などのサービスを提供しており、デジタルマニュファクチャリングを丸ごと提供することで、生産ラインの早期立ち上げと生産運用での生産管理、品質管理を支援する。

(注1) 三菱電機システムサービス(株)製



(a) ブロックコネクトセルモデル図

ねじ締め品質データ

作業中	部品コード	判定
取出パレット	AAAAAAAAAA	OK
返却パレット	AAAAAAAAAA	
蓋	AAAAAAAAAA	
本体	AAAAAAAAAA	

位置	ねじ締めトルク (N/m)	ねじ浮き高さ (mm)	判定	異常
①	99999.99	99999.9	OK	
②	99999.99	99999.9	OK	
③	99999.99	99999.9	OK	
④	99999.99	99999.9	OK	
⑤	99999.99	99999.9	NG	ねじ浮き異常
⑥	99999.99	99999.9	OK	
⑦				
⑧				

ねじ締め位置

取り出し	母材高さ	ねじ締め挿入角度	深さ不足(底突き)	ねじ締め空回り	ねじ浮き	ねじ喰(く)いつき	ねじ締め
OK	NG	OK	OK	NG	OK	-	-

(b) ねじ締め品質管理の例

出典：三菱電機システムサービス(株) 展示資料

図7-生産ラインのモジュラーデザイン

### 4.3 生産現場でのデータマネジメントソリューション“GENESIS64”“EcoServerⅢ”“Maisart”“EcoAdviser”

生産オペレーションでは、生産進捗、仕掛、在庫、ライン稼働率、品質、エネルギー等の状態把握と分析によってそれぞれのデータを関連付けた総合的な改善が求められる。当社ではデータマネジメントのためのSCADA(Supervisory Control And Data Acquisition)ソフトウェアとして、大容量データを扱うことができ、生産現場のシステムだけでなく、MES(Manufacturing Execution System)やERP(Enterprise Resource Planning)などのITシステムともつながる“GENESIS64”を提供している(図8)。毎秒10万点の高速データ収集で膨大なデータ蓄積と高信頼性を担保し、IT情報とOT情報を統合・加工する機能によってサーバーや機器の制約を超えたデータ活用を可能とする特長を持っている。(本号“三菱電機SCADAソフトウェア“GENESIS64””<https://www.giho.MitsubishiElectric.co.jp/giho/pdf/2024/2404106.pdf> 参照)



図8-GENESIS64

また、エネルギー管理では、原単位管理による精緻な省エネルギー活動を支援している。フィールドネットワークに接続した計測機器からの消費電力データと制御機器からの生産情報を関連付けてデータ収集するデータ収集サーバー“EcoServerⅢ”，データ分析・診断に関しては、当社AI技術“Maisart”によってエネルギーロス診断、省エネルギー対策の効果検証をトータルサポートする省エネルギー支援アプリケーション“EcoAdviser”を提供している。

## 5. システム統合に向けたインフラ整備

工場全体の改善効率を最大化するためには、業務フローに必要なデータを現場から必要なタイミングで収集し、業務間と同じデータをひも付けして活用することが必要である。データ連携のためのインフラ技術として必要性の高い高速・大容量ネットワーク技術、セキュリティーサービスについて述べる。

### 5.1 高速・大容量ネットワーク“CC-Link IE TSN”

今後、ロボットやサーボモーターの多軸同期制御の必要性が増す中、TSN(Time Sensitive Networking)技術の特徴である①高速・大容量、②リアルタイム性、③制御通信と情報通信の統合は、将来の自律型デジタルマニュファクチャリングに期待される通信技術と言える。それらを実現する当社の高速・大容量ネットワーク“CC-Link IE TSN”の概要を図9に示す。長距離配線性能としては、ツイストペアケーブルの最大局間距離100mに対して550mまで伸ばすことができ、容量拡大として従来比2倍のリンクデバイス点数を確保した。大規模な生産システムでの多軸同期制御や人と機械の協調制御での品質、安全の確保に有用な技術として今後も進化を図っていく。

### 5.2 OTセキュリティー

デジタルマニュファクチャリングで、クラウドを用いてオープンに接続するには、マルウェア感染による操業停止、機密データ流出などの脅威に対して、制御システムに関するセキュリティー規格IEC62443や経済産業省の工場向けセキュリティーガイドラインに基づいたOTセキュリティーへの対策が急務になっている。当社では、金融業界などで培ったセキュリティーの実績、FA事業で培った生産現場管理の実績、各製作所でのIEC62443の取得、経済産業省のセキュリティーガイドラインへの参画の知見を基に、OTセキュリティー課題の抽出から対策立案、導入、運用に至るまでの提案をワンストップで提供している。OTセキュリティーのシステム導入には工場を稼働停止させて現状分析する必要があったが、これを避ける技術として、セキュリティー対策の試行・評価をシミュレーションできる工場模擬環境と仮想攻撃

ツールを開発し工場の可用性を担保した。運用面では、データアナリストが常駐する24時間体制のオペレーションセンターによるサービスを提供し、運用上で発見したリスク分析結果をセキュリティー対策にフィードバックすることで改善のPDCA(Plan, Do, Check, Action)を提供する。

制御とITを融合した産業用ネットワーク技術

**CC-Link IE TSN**

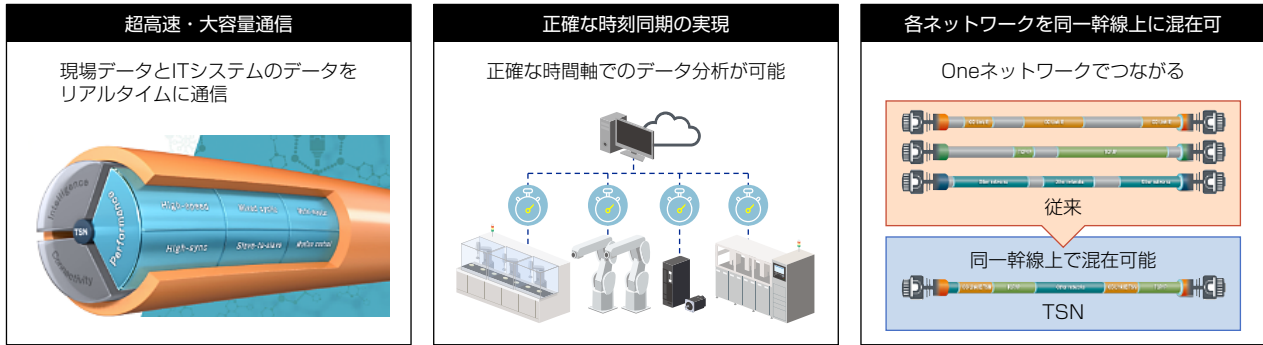


図9- 高速大容量通信技術CC-Link IE TSN

## 6. む す び

デジタルマニュファクチャリングの3要素として、生産現場の自動化をより高度化・標準化し変化しやすく進化させること、バックヤード業務のデジタル化を業務全域で揃えていくこと、生産現場とバックヤード業務をシステム統合することを挙げて、それぞれの技術、サービスについて述べた。個別識別された情報がリアルタイムにつながり改善効率を最大化できるものづくり、これをデジタルマニュファクチャリングのあるべき姿と考えて、標準化、オープン化、セキュリティーを強化し、エコシステム連携のスキームづくりをより一層進めていく。デジタルマニュファクチャリングの進化によって、エコシステム全体での社会課題解決と変化に強いレジリエントな製造業のものづくりを支援していく。

## 参 考 文 献

- (1) 榎木哲夫：DXのその先のFA：暗黙知とシステミック思考，三菱電機技報，97，No.4，1-01（2023）
- (2) 経済産業省，厚生労働省，文部科学省：2023年版 ものづくり白書 概要，3～10（2023）  
<https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2023/pdf/gaiyo.pdf>
- (3) 樋野本宜秀，ほか：生産革新活動の深化とグローバル拡大，三菱電機技報，87，No.12，706～710（2013）