

# 持続可能な社会を実現する情報技術

Information Technologies for Realizing Sustainable Society

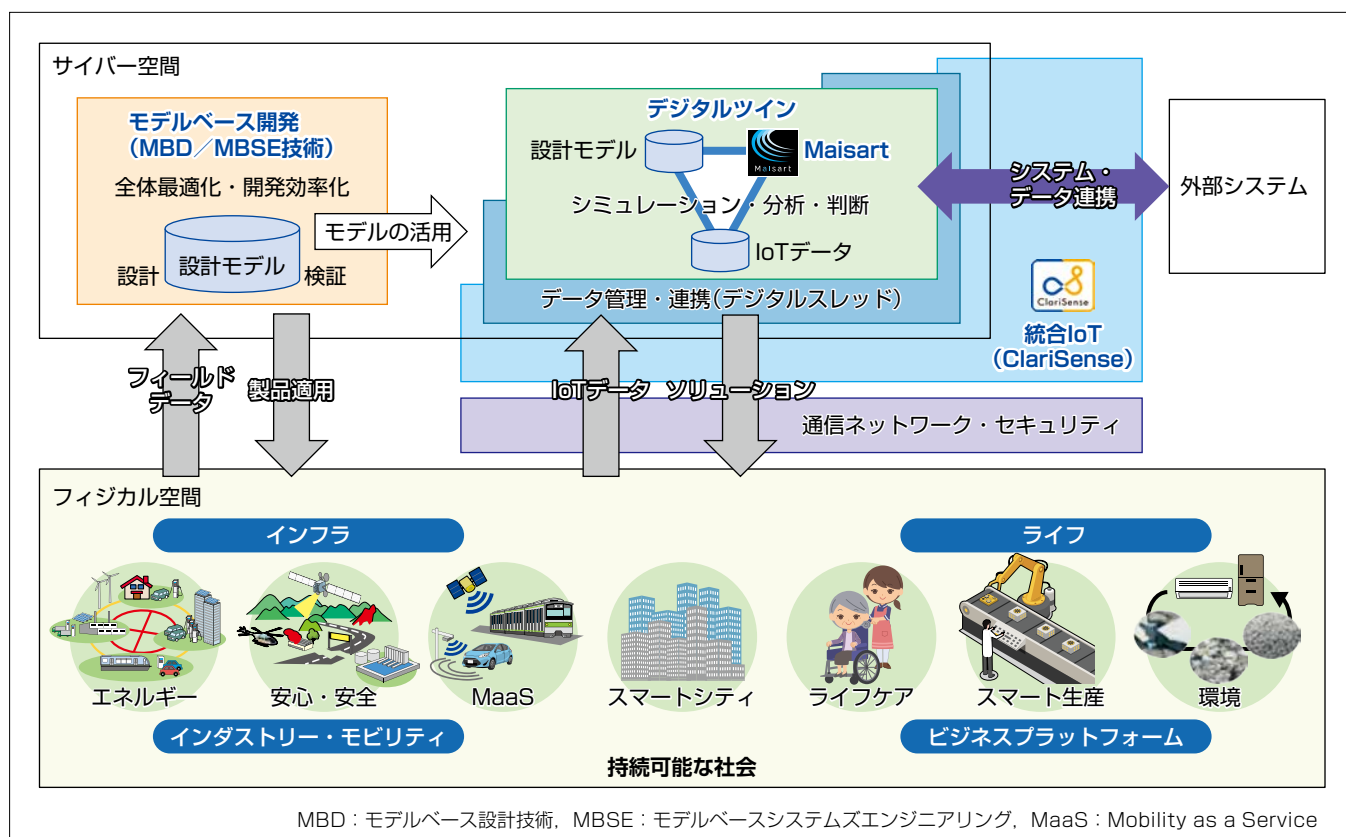


石原 鑑\*  
Akira Ishihara

## 要 旨

三菱電機の事業DX(Digital Transformation)はデジタルの力によって事業モデルを変革し、顧客や社会に最適なソリューションを提供し、持続可能な社会の実現に貢献する。ライフ、インダストリー、インフラ、モビリティの各分野で持続可能な社会を実現するソリューションを提供していく。当社の事業DXを支える情報技術の開発では、三つの先進的デジタル技術である、統合IoT(Internet of Things)“ClariSense(クラリセンス)”, AI技術“Maisart(マイサート)”, 機器・システムの設計・運用をデジタル化する“モデルベース開発・デジタルツイン技術”, これらの開発を事業とのシナジーを意識しながら追求していく。シナジーの結果として、高度なIoTソリューションや、サ

イバーとフィジカルをつなぐサイバーフィジカルシステムを実現する。さらにClariSenseの設計思想に従って、社内外のシステムを連携させ、各システムが自律的に進化するSystem of Systemsを実現することで、顧客の、そして社会の価値を永続的に向上させる。情報技術がもたらす未来は、効率化や利便性向上といったメリットを産業・社会へもたらすことが期待される。一方で、収集される情報範囲の拡大、制御される実世界のモノの範囲の拡大などによって、情報の真正性の確保やサイバー攻撃対策などの新たな課題が発生している。これらの課題解決に資する、基盤技術の開発にも引き続き取り組んでいく。



## 事業DXを実現する当社の先進的デジタル技術

統合IoT“ClariSense”でIoTデータを収集し、モデルベース開発技術によって作成した設計モデル、機器やシステムのシミュレータを組み合わせ、デジタルツインを構成する。AI技術“Maisart”がシミュレーション結果に基づいて分析、判断し、機器の最適制御や故障予兆検知などの顧客価値を創出する。ClariSenseのデータ連携技術によって企業の枠を越えてシステム連携し、持続可能な社会の実現に向けたシステムを実現する。

## 1. ま え が き

2004年にエリック・ストルターマン教授によって提唱されたDXは、“デジタル技術によって現実社会の対象物がシステムやネットワークに部品として組み込まれて相互作用を引き起こし、人々の生活があらゆる面でより良い方向に変化する審美的体験”という概念である<sup>(1)</sup>。従来の“デジタル化”が、ものづくりや業務のプロセスの電子化/IT化を通じて効率化を目指すものとすれば、DXは企業の枠組みを越えてビジネスに関わる全ての事象に変革をもたらし、社会全体を最適化していくものである。SDGs(Sustainable Development Goals)など持続可能な社会を実現するためにDXは大きな要因であり、DXの推進に情報技術は不可欠である。

本稿では、DXを支える情報技術に対する当社の取組みを俯瞰(ふかん)する。DXがもたらす持続可能な社会としてライフ、インダストリー、インフラ、モビリティの当社の取組み事例を示す。各事例は、当社が全社的視点・中長期的視点での事業戦略を構築・推進するために配置しているビジネスエリアの考え方に従って、インフラ、インダストリー・モビリティ、ライフの順に述べる。次に当社でのDXを支える情報技術に対する取組みを述べる。

## 2. 事業DXがもたらす持続可能な社会

### 2.1 インフラ

当社では、社会・電力インフラ設備の運用・保全業務の効率向上に貢献するIoTプラットフォーム“INFOPRISM”を用いて、様々な社会インフラ事業のニーズに応じたソリューションを提供している。電力インフラ向けには、INFOPRISMによる運用・保全業務に加えて、世界的な電力事業の進展と変動に対応するため“電力取引”と“電力制御”を総合的に扱う電力市場向けパッケージ型ソフトウェア製品“BLEnDer”シリーズを2003年から販売し、いち早く電力事業でのDXに取り組んでいる。最近では、脱炭素・カーボンニュートラル社会の実現に向けて、再生可能エネルギー(以下“再エネ”という。)や蓄電池のシステム監視制御・需給調整の開発を行っている。“BLEnDer DEP(Digital Energy Platform)”パッケージでは、小規模であるが無数に導入される多種多様な分散電源の有効活用を実現するため分散電源の統合監視・制御を行う<sup>(2)</sup>。また、現在開発を進める“マルチリージョンEMS(Energy Management System)”では、地域、天候、時間帯によって発電量が大きく変わる再エネを持続的かつ安定的に供給するために、

企業の各拠点の再エネを含む分散型電源・蓄電池・需要家機器を制御し、再エネ電力を複数の拠点間で融通し合うことで脱炭素目標の達成と経済的な需給運用の実現を両立することを目指している。今後、来る脱炭素・カーボンニュートラル時代に向けて、“INFOPRISM”“BLEnDer”を始めとして、他事業分野のIoTシステムを連携させてDXを加速していく。

### 2.2 インダストリー・モビリティ

インダストリーについて、当社では2003年から生産現場向けに、現場起点でデジタル技術を活用するFA-IT統合ソリューション“e-F@ctory”を提供している。e-F@ctoryによって生産現場のデジタル化をいち早く実現しており、近年ではDX実現に向けた研究開発を進めている。一例として、切削加工、レーザ加工、放電加工などの様々な工作機械に搭載されている当社の数値制御装置(CNC)向けに開発を進めている工作機械デジタルツインがある<sup>(3)</sup>。工作機械デジタルツインは、現実の工作機械から収集したデータを用いてシミュレーションモデルを更新する仕組みと、加工シミュレーションの結果を現実の生産に反映する仕組みとを持つ。工作機械デジタルツインを活用することで、設備設計から加工、保守など、エンジニアリングチェーン上の様々なフェーズで、複数の企業が連携して最適な生産活動を実現できる。最適な加工による加工時の使用電力量・廃棄物量の削減や、リモート保守によるダウンタイム削減やメンテナンス担当者出張回数抑制などを通して、持続可能な社会の実現に貢献する。また、環境負荷低減に向けて、再エネ活用や製品ライフサイクル視点での取組みなどが注目されている。当社の、生産性と環境負荷を等価に扱い最適化する生産管理構想“Environment and Energy Just In Time”に基づく生産・設備オペレーションの最適化は、現場知見と情報技術の活用によって日々のオペレーションを最適化し、生産性を落とさずに環境負荷を低減する取組みである。この取組みを工場単位の最適化から工場群管理の視点での最適化に発展させることで、持続可能な社会の実現につなげる。

モビリティについては、センサの高性能化や通信インフラの整備によって自動車の自動運転制御や鉄道のATO(Automatic Train Operation)による自動走行など、その高度化が進んでいる。この節では当社の取組みの中から鉄道事業を中心に述べる。当社では鉄道車載機器から地上設備まで鉄道システム全般に幅広く製品やシステムを提供し、鉄道の安全・安定輸送に貢献してきた。これまで培った技術を基に次世代鉄道輸送システムの実現に向けた統合ソリューションに取り組んでいる。その中で、持続可能な安定輸送を支える車両メンテナンスのDXの取組みとして、“鉄道LMS

(Lifecycle Management Solution) on INFOPRISM”を提供している<sup>(4)</sup>。そこでは、鉄道車両に搭載された様々な機器の稼働データがTCMS(Train Control and Management System)によって列車上で集積され、地上と列車間の無線を通じてリアルタイムにクラウド上に送信・蓄積される。こうして収集された稼働データや列車や機器の保守データなどを基に最新のAI技術などを駆使した故障の予兆検出や検査の省力化に資する技術の向上に努めている。

## 2.3 ライフ

当社は、IoT家電とそのデータを活用することで、最適環境IEQ(Indoor Environmental Quality)、安心・見守り、生活支援といった領域で、快適で豊かな暮らしを支えるライフソリューションの実現を目指している。2019年に、グローバルIoT共通プラットフォーム“Linova”を稼働させ、インターネットを介して当社IoT家電のデータを収集・管理する基盤を構築した。2020年に、家電統合アプリケーション“MyMU”をリリースし、Linovaが管理する家電を横断的に制御する仕組みを顧客に提供した。ライフソリューションとして、例えば“あったかリンク”では、給湯器と浴室暖房機を連動して制御できる。給湯器の湯はりに合わせて脱衣室や浴室の暖房を開始することで、居室との寒暖差を小さくし、ヒートショックによる身体負担を軽減するなど、安心で快適な温度環境を提供する。そのほか、冷蔵庫の扉の開閉回数から、離れて暮らす家族の生活状況を確認する、炊飯器の炊飯履歴から、米の消費傾向を分析して残量不足を予測し自動発注するといった例がある<sup>(5)</sup>。このように、IoT機器の状態や操作の履歴などのデータを個人が特定できないような形で分析し活用することで、顧客のライフスタイルに応じた価値を提供する。また、顧客の利用だけでなく、製品の企画、製造、運用、廃棄、再利用までの製品ライフサイクル全体を通してデータを活用していくことで、適時適切な保守や、買い替えタイミングでのリプレースの提案といった新たな価値の創出も可能になる。

## 3. 事業DXを支える情報技術の取組み

当社は、統合IoT“ClariSense”、AI技術“Maisart”<sup>(6)</sup>、“モデルベース開発・デジタルツイン技術”、これら三つの先進的デジタル技術とそれらを支えるセキュリティ、ネットワーク制御等の基盤技術の開発を両面で推進している。ClariSenseで機器からデータを“賢く”収集・蓄積する。現場から収集したデータ、モデルベース開発技術によって製品設計時に作成した設計モデル、機器やシステムのシミュレータを組み合わせでデジタルツインを構成する。Maisartが現場から収集したデータやシ

ミュレーション結果に基づいて、分析、判断し、機器の最適制御や故障予兆検知などの顧客価値を創出する。こうして実現されたデジタルツインシステムは、ClariSenseのシステム・データ連携技術によって、企業の枠を越えて垂直・水平に連携し、System of Systemsを形成し、個々のシステムが自律的に進化を続けることで、持続可能な社会の実現に向けた終わらないシステム進化のものがたり(ナラティブ)を形成していく。

この章では、統合IoT“ClariSense”“モデルベース開発・デジタルツイン技術”、データ管理・連携(流通)技術、セキュリティ技術、通信ネットワーク技術について述べる。

### 3.1 統合IoT“ClariSense”

統合IoT“ClariSense”は、当社が強みとする機器に対する知見やセキュリティ、ネットワーク設計などの技術資産を、IoTシステム構築の手助けになる設計ガイドやツールなどに統合・共有することで、IoTシステムの開発効率化を目指す取組みである。ClariSense設計ガイドは、IoTシステム設計ガイド、マイクロサービス設計ガイド、DevOps<sup>(注1)</sup>構築ガイド、API(Application Programming Interface)設計ガイド、ネットワーク設計ガイドなどから成り、各事業での活用が進んでいる。これら設計ガイドによって、当社IoTシステムのアーキテクチャをそろえて、各事業に最適なIoTシステムを創出している(図1)。

IoTシステムの設計では、マイクロサービス導入がポイントになる。システム利用者からはビジネス変化への追従要求、開発者からはシステムを構成するサービスの再利用性要求がある中、マイクロサービスの導入は有効な解決策の一つである。一方、マイクロサービスを適切に導入するには、設計上の留意点を正しく理解する必要がある。

当社では、新規システム開発と、モノリシックなシステムからの移行開発の二つの開発パターンに対して、ビジネスケーパビリティに基づいたマイクロサービスへの分割の粒度の考え方や、ISO/IEC(International Electrotechnical Commission) 9126の品質特性に基づいた親和性の考え方

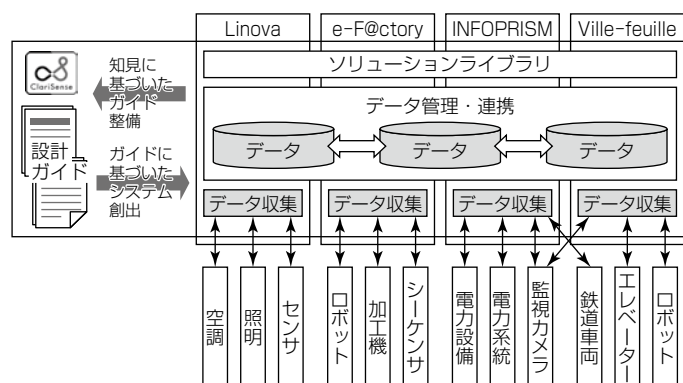


図1. IoTシステムとClariSense設計ガイド

をまとめた設計ガイドラインを整備している。例えば、品質特性のうち性能効率性では、マイクロサービスを独立したコンテナとしてそれぞれの実行環境上で動作させることが可能になるため、マイクロサービスと親和性が高いと言える。

現在、設計ガイドラインを活用しつつ、インフラ、インダストリー・モビリティ、ライフ、ビジネスプラットフォームの各ビジネスエリアで、マイクロサービスへの移行に取り組んでいる。また、コンテナ化を進めることによって、クラウドやエッジといった実行環境への依存性を排除した基盤整備にも取り組んでいる。

(注1) 開発担当者と運用担当者が連携して協力する開発手法を指す造語。

### 3.2 モデルベース開発・デジタルツイン技術

MBD(Model Based Development)は設計効率化が目的とされている。MBDの代表例として挙げられている自動車事業では設計期間が1/3になったとされており、欧州メーカーが匠(たくみ)の技を持った日本のメーカーレベルの車体を短期間で実現している<sup>(7)</sup>。また、ミッションクリティカルな航空宇宙分野では、要求・要件、機能を漏れなく洗い出し、要求・機能モデルを複数のエンジニアが共有し、全体最適を実現するMBSEが発展している。

当社は、モデルベース設計(いわゆるMBD)と、システムズエンジニアリングを加速するMBSEを包含する広い範囲を“モデルベース開発”と定義している。製品のライフサイクルを鑑みて、製品構想からの設計／開発過程をロジカルに形式知化することでシステム全体最適化と開発効率化を実現し、製品のライフサイクルを通じて顧客に継続的な価値向上を提供する。

さらに、製品開発時に作成したモデルを活用し、社会課題を解決するソリューションを実現するデジタルツインを構築する。製品モデルに加えて、当社の持つドメイン、機器、物理の知見を豊富に盛り込んだモデルに基づくシミュレーションに、IoTデータを入力することで精度の高い現場環境を再現する。現場環境をモデルで再現させるには、製品モデルと市場に出荷された現物とを、ライフサイクル全般にわたって結び付けて、IoTデータと関連付けて管理する必要がある。これを可能にするのが3.3節で述べるデータ管理・連携(流通)技術であり、ClariSenseのガイドに従ったIoTシステムによって“賢く”データ収集するとともに現物とデータを結び付けて、サイバーフィジカルシステムを実現するキー技術になっている。

### 3.3 データ管理・連携(流通)技術

System of Systemsでは、他者と新しい価値を

共創することが重要である。DXによる新たな価値創出の一つの鍵はデータであり、様々な場所で生み出されるデータの管理と活用の技術が重要な要素になる。2.2節で述べた当社事例“鉄道LMS on INFOPRISM”を支えるデータ管理・連携技術の開発事例を述べる。データ管理技術の取組みである“デジタルスレッド技術”は、機器の誕生から運用、廃棄までに生まれる情報(設計、製造、運用来歴、稼働データ等)を結び付けて管理・活用する技術である(図2)。この技術は、機器来歴の各種データの真実性保持と同時に、各データを組み合わせた活用を可能にし、アセット管理の高度化に寄与する。

製造業では、サプライチェーンでの品質向上やカーボンニュートラルへの取組みとしてデータトレーサビリティのニーズが高まっている。これら取組みは、サプライチェーン上の複数ステークホルダーの協調によって実現される。当社では、複数ステークホルダー間での信頼の置ける情報共有基盤の技術開発を行っている。この情報共有基盤は、複数ステークホルダー間で、製品流通情報と製品関連情報(炭素排出量など)を、その正当性を担保しながら共有管理し、ステークホルダーのアクセスレベルに応じたデータアクセス制御が可能である。現在、異業種間データ共有やデータ流通の観点でのルールや仕組み作りが国内外で進んでいる。当社でも、MaaSなど複数の移動事業者でのデータ相互利用や業種間データ共有促進に向けたデータ流通管理技術の開発を進めていく。

### 3.4 セキュリティ技術

機器がインターネットとつながることで、サイバー攻撃を受けるリスクが格段に高まる。設計から運用まで全体俯瞰的なセキュリティ対策が必要になる。当社では、設計・実装・試験の各フェーズで実施すべきセキュリティ対策の取組みをClariSense設計ガイドとしてまとめて、指針を示しつつ、各フェーズで必要な要素技術を開発している。

設計に向けては、セキュリティ脅威を網羅的に洗い出す

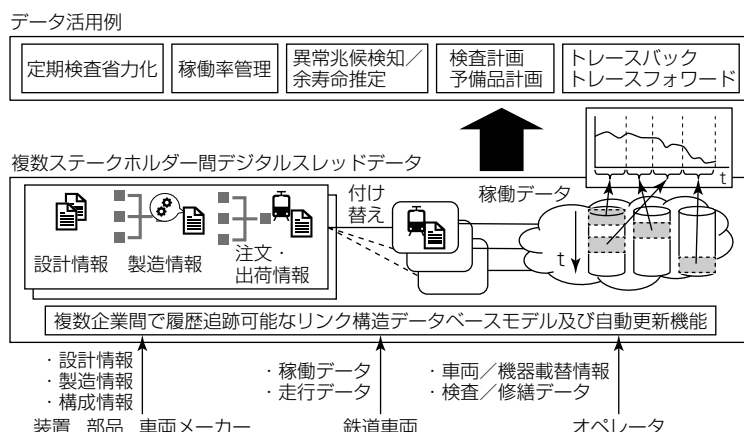


図2. デジタルスレッド技術の概要

ことで、必要なセキュリティ要件を漏れなく抽出できるセキュリティ分析技術を開発している。実装・試験に向けては、量子コンピュータでも解けない暗号アルゴリズム、安全な鍵管理やデータ保護を実現する耐タンパ技術、センサの誤動作を誘発する攻撃に対するセンサ攻撃対策技術などを開発している。また、クラウドサービス活用時のセキュリティ実装ガイドの作成、コード静的解析・脆弱(ぜいじゃく)性診断・ファジングなどによる出荷前での脆弱性検出のための技術も開発している。

また運用時に必要なサイバー攻撃監視として、システムログから攻撃を検出するログ監視技術を開発している。既知の攻撃についてはパターンマッチングで精度高く攻撃を検出し、未知の攻撃については正常時と異なる振る舞いからAIを活用して検出する。制御システム向けには、通信パターンから攻撃を検知する許可リスト型ネットワーク監視技術も開発している。さらに、攻撃の疑いが発見されたときに、AIを活用して人による解析作業を省力化する技術も開発している。最近では、当社機器が接続された模擬システム(ハニーポット)を公開し、攻撃者にアタックさせることで攻撃トレンドを把握する取組みも行っている。これらの活動によって、サイバー攻撃への対処能力の向上や、セキュリティ設計の品質向上も図ろうとしている。セキュリティに関する取組みの全体像を図3に示す。

### 3.5 通信ネットワーク技術

鉄道、自動車、工場等では、多くの機器同士が連携するため、ネットワークのリアルタイム性、高信頼性、最適化が必要である。当社は、これまでTSN(Time Sensitive Networking)技術を活用し、制御・情報通信の混在下で、リアルタイム性を担保するCC-Link IE TSN、ネットワーク障害の高速検知・経路切替え・障害迂回(うかい)を実現するEthernet<sup>(注2)</sup>スイッチ技術、最適なパラメータを機器仕様やネットワーク構成に基づいて自動算出するネットワーク設定最適化技術等を開発し、様々な産業分野へ適用してきた。

今後、産業用IoTプラットフォームのネットワークレイ

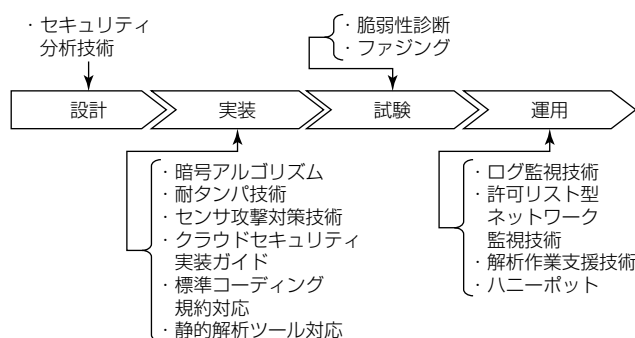


図3. セキュリティに関する取組みの全体像

ヤでは、クラウド技術、仮想化技術、ネットワーク・スライシング技術等によって、ネットワークの迅速・柔軟な拡張、リソースの共有、最適化等が期待される。当社も、物理ネットワークを性能要件の異なる論理ネットワーク(スライス)に分割/統合し、多様なアプリケーションを効率的に収容するネットワーク仮想化技術、伝送遅延時間の要求に応じて、ネットワーク構築時に最適な通信リソースを迅速に割り当てるSDN(Software Defined Network)コントローラ技術等を開発してきた。これらの仮想化技術は、汎用物理サーバで実現されていたVNF(Virtual Network Function)から、安価な導入コスト、迅速なネットワーク機能変更、運用管理の自動化等を実現するために、マイクロサービスなどCNF(Cloud Native Function)の活用に進展する。これによって、ネットワークの設備と機能が分離され、柔軟なサービスの設計、ネットワークを基盤としたビジネス、新サービス等の価値創造に期待が高まる。

(注2) Ethernetは、富士フイルムビジネスイノベーション(株)の登録商標である。

## 4. む す び

事業DXで実現する持続可能な社会の例と、それを支える情報技術に対する当社の取組みを述べた。技術の社会実装を支える標準化に向けて、ISO/IEC、IIC(Industrial Internet Consortium)、DTC(Digital Twin Consortium)、DSA(Data Society Alliance)、GAIA-X(欧州統合データ基盤プロジェクト)等複数団体が活動しており、標準化の取組みも進めていく。DXの概念を示したエリック・ストルターマン教授は、DX推進に当たって、DXがもたらす社会が真の意味でのGood lifeをもたらすよう、情報技術の研究者は審美的な観点を意識しながら、技術開発に取り組まなければならないとした。我々の技術開発も、常にそれが人々の日々の生活に与える影響を意識しながら進捗していく。

## 参 考 文 献

- (1) Stolterman, E., et al.: Information Technology and the Good Life, Information Systems Research, 687~692, Kluwer Academic Publishers (2004)
- (2) 石崎 啓, ほか: 脱炭素社会の実現を支える分散電源向けIoTプラットフォーム“BLEnDer DEP”, 三菱電機技報, **95**, No.11, 669~672 (2021)
- (3) 藤田智哉, ほか: FA-IT統合ソリューションによる工作機械デジタルツインの実現, 日本機械学会誌, Vol.124, 22~25 (2021)
- (4) 吉本剛生, ほか: 車両メンテナンスの効率化と安定運行に貢献する“鉄道LMS on INFOPRISM”, 三菱電機技報, **94**, No.12, 669~673 (2020)
- (5) 平國 悟, ほか: 快適で豊かな暮らしを支えるライフソリューションの最新技術, 三菱電機技報, **95**, No.9, 552~555 (2021)
- (6) 三嶋英俊: 三菱電機でのAI技術の現状と今後の展望, 三菱電機技報, **94**, No.6, 318~323 (2020)
- (7) モデルベース開発の日本普及課題, (株)フォーイン (2020)