

INDUSTRIE 4.0



Semantic

AI



IIoT

PCF



Cloud

AAS

Use
Cases

Safety



5G

Security

RAMI
4.0

ドイツ標準化ロードマップ

INDUSTRIE 4.0

VERSION 5

Responsible for the translation: Robot Revolution & Industrial IoT Initiative. The Initiative gratefully acknowledges the kind permission of Standardization Council Industrie 4.0 (SCI 4.0) to undertake and publish this translation.

翻訳について:この翻訳の責任はロボット革命&産業 IoT イニシアティブ協議会(RRI)にあります。RRI はドイツ SCI 4.0 (Standardization Council Industrie 4.0) の翻訳許可に対して深く謝意を表します。

原文は下記を参照してください。

<https://www.sci40.com/english/german-roadmap/>

PUBLISHED BY

DIN

DIN e. V.

Am DIN-Platz
Burggrafenstr. 6
10787 Berlin
Tel.: +49 30 2601-0
Email: info@din.de
Website: www.din.de

DKE

DKE German Commission for Electrical,
Electronic & Information Technologies

Merianstraße 28
63069 Offenbach am Main
Tel.: +49 69 6308-0
Email: service@vde.com
Website: www.dke.de

Photo credit:

Cover: VDE

Chapter entry pages:

Pugun & Photo Studio (S. 5),

kras99 (S. 9, 15, 39, 43), Alex (S. 83) – stock.adobe.com

2023 年 1 月

序文



Dieter Wegener 教授・博士
 SCI 4.0 諮問委員会委員長
 DKE パイスプレジデント
 DIN FOCUS.ICT 委員長
 ZVEI-Führungskreis Industrie 4.0 議長

読者の皆様

近年、Industrie 4.0 は理論的な概念から現場で実証された手法へと進化してきました。製品やサービスにも、Industrie 4.0 概念のアセット管理シェルに沿ったデジタルツインが導入され市場に投入されています。アセット管理シェル用の最初のサブモデルテンプレートは「デジタルエコシステム用統合プラグ」としてすでに利用可能であり、最初のユースケースとして実装することができます。

ドイツや欧州の政策立案者は、将来のゴールを達成するためにはデジタルエコシステム戦略が重要だと考えています。そのため、デジタルエコシステムをさらに拡充するための複数のイニシアティブが開始されました。そのひとつの例が、2022年3月30日に欧州委員会によって提案された持続可能な製品のためのエコデザイン規則案です。この規則ではデジタル製品パスポート(DPP)が義務付けられ、「DPP4.0」では Industrie 4.0 概念の適用が提言されています。DPP4.0 によって、欧州の価値観に基づくデジタルエコシステムのビジョンが少しずつ実現に向かってきているのです。

Plattform Industrie 4.0 における 2030 Vision for Industrie 4.0 は、Industrie 4.0 の発展と方向性を定めるデジタルエコシステム形成に向けた、総合的な指針を策定したものです。本書では、主に以下の戦略的行動分野を取り上げています。

1. **相互運用性**: すべてのアクター間でのシームレスな連携と完璧なデータ交換
2. **自律性**: 個々のアクターに依存しない、自由な意思決定
3. **生態学的・社会的持続可能性**: 社会的価値志向の基本

これらの実現には、標準規格と統合、統一された規制の枠組み、分散化システムと人工知能が必要となります。

ドイツ標準化ロードマップ Industrie 4.0 のバージョン 5 は、同ロードマップのバージョン 4 を基に作成しています。相互運用性の達成、つまりネットワーク化されたデジタルエコシステム上での、machine-to-machine (M2M) および machine-to-human (M2H) 通信の標準化を目指すものです。Standardization Council Industrie 4.0 (SCI 4.0) は、DIN および DKE との連携により、Industrie 4.0 における規範的な行動提言を策定するという任務を担っています。

諮問委員会の議長として、私は SCI 4.0 が、産業関連のさまざまなテーマに対して、国内および国際的なレベルで人々を束ねるこの重要な機能を引き続き果たしていることを光栄に思います。標準化ロードマップ Industrie 4.0 は、ドイツだけでなく国際的にも注目を集めています。

たとえば人工知能(AI)に対しては、すでに適用されている分野、今後適用する可能性がある分野が多様化したことによりその重要性が増しています。人工知能が新しいプロセスや動的な設計オプションを生成するという事実に対し、該当する標準、仕様やガイドラインが適用できるのか、できるとしたらどのように適用されるのかという疑問が依然として提起されています。たとえば、部分的に認証された方法やシステムに対する機能的安全性という点で、動的な意思決定プロセスに AI を使用することへの疑問に対して、満足できる答えはありません。

人間を機械に置き換えることが目的ではありません。機械によって人間はより仕事がしやすくなり、重要な役割に集中できるようになるのです。そのため、標準化ロードマップ Industrie 4.0 の開発で中心となるのは、人間、人間の知識、人間の要求です。

この「標準化ロードマップ Industrie 4.0 プロジェクト」への、専門家の皆様の意欲と精力的な取り組みにはいつも頭が下がる思いです。皆様のその惜しめない知識と努力なしには、今回の「バージョン 5」の完成を迎えることはできなかつたでしょう。そのことを念頭に置きつつ、この場を借りて、また SCI 4.0 諮問委員会を代表して、すべての執筆者と参加者の真摯な努力に感謝申し上げます。

今取り組むべきことは、行動提言を確実に実行するとともに、Industrie 4.0 に向けた標準化戦略をさらに的を絞って発展させることです。

本書がお読みになる方全員にとってお役に立つことを願うものがあります。

Dieter Wegener 教授・博士
SCI 4.0 諮問委員会委員長
DKE バイスプレジデント
DIN FOCUS.ICT 委員長
ZVEI-Führungskreis Industrie 4.0 議長

序文.....	1
1 はじめに.....	5
1.1 革新的な研究分野 Industrie 4.0 におけるニーズ.....	6
1.2 標準化ロードマップ Industrie 4.0 の提言実行現状	6
1.3 将来の展望:標準化におけるさらなる作業についての行動提言	7
2 デジタルエコシステム設計の原則と要件.....	9
2.1 Industrie 4.0 におけるデジタルエコシステム.....	10
2.2 相互運用性のあるデジタルエコシステムの基盤としてのセマンティクス.....	10
2.3 産業用データスペースの自律性	11
2.4 社会的持続可能性 - 人間中心の Industrie 4.0 システム	11
2.5 Industrie 4.0 の持続可能性と生態学的側面.....	12
2.6 側面の概要.....	12
3 標準化ロードマップ Industrie 4.0 の行動提言 (Version 5)	15
4 利害関係者と標準化の環境.....	39
4.1 ドイツ、欧州および世界の標準化の分類と環境.....	40
4.2 ドイツの状況	40
4.3 世界の状況.....	41
4.4 調整機関—スマートマニュファクチャリング	41
5 重要テーマにおける標準化	43
5.1 側面 1:相互運用性.....	44
5.1.1 産業アプリケーションにおける特性とシステム統合.....	44
5.1.2 参照アーキテクチャモデル.....	49
5.1.3 セマンティクスと特性	52
5.1.4 デジタルツイン実装用ツール	55
5.1.5 産業用通信.....	61
5.1.6 Industrie 4.0 における機能安全	64
5.1.7 産業オートメーションにおける人工知能.....	68
5.2 側面 2:自律性	71
5.2.1 データスペース.....	71
5.2.2 産業セキュリティ.....	72
5.2.3 プライバシー	75
5.2.4 信用性	75
5.3 側面 3:持続可能性.....	76
5.3.1 Industrie 4.0 における持続可能性の側面.....	76
5.3.2 持続可能性モジュールの概要	77
5.3.3 社会的持続可能性の側面と行動提言.....	80
6 標準規格と仕様の開発要件.....	83
6.1 オープンソースにおける要件	84

目次	
6.2 ユースケースにおける要件	86
6.3 機械可読性のある標準規格における要件	87
6.3.1 現行の標準化活動	88
6.3.2 断片化とSIM－標準情報モデル	88
6.3.3 ツールのサポートとタクソミ	89
6.3.4 用語の統一	89
6.3.5 標準規格とその使用者のための新たなスキル	90
6.3.6 クロスドメイン参照	90
付録 A Industrie 4.0 標準化環境	91
A.1 ドイツの Industrie 4.0 関連標準化団体	92
A.2 Industrie 4.0 関連欧州標準化団体および国際標準化団体	93
A.3 調整機関	95
A.4 標準規格開発団体 (SSO)	96
A.5 政策機関の概要 (ドイツ、欧州)	97
A.6 最新の標準化環境の概要	97
略語/略称	101
執筆者	103
参考文献	107

A grayscale photograph of an industrial robotic arm in a factory. The arm is the central focus, extending from the bottom right towards the top left. It has a complex, multi-jointed structure with various sensors and components. In the background, other robotic arms and factory equipment are visible, creating a sense of a busy industrial environment. A teal rectangular box is overlaid on the right side of the image, containing the text '1 はじめに'.

1 はじめに

1.1 革新的な研究分野 Industrie 4.0 におけるニーズ

ドイツでは初期の段階から、Industrie 4.0 はすべてのプレイヤー間の密接な連携を必要とする共同プロジェクトだという認識があった。これには、市場の成熟に向けた基本的なコンセプトの開発と技術開発の両方が重要となる。この洞察に基づき、Plattform Industrie 4.0 の環境から、協同技術開発を目的として組織が複数設立された。標準化組織にとってこれは、これらの組織との協力を定義し、実践しなければならないことを意味する。これは市場の成熟に向けた技術開発が企業や市場関係者によってそれぞれ独立して行われ、その後で標準規格や仕様によって要件の標準化が行われる「従来の」技術開発競争とは異なる。

1.2 標準化ロードマップ Industrie 4.0 の提言実行現状

これまでのバージョンでも繰り返し強調してきたように、標準化ロードマップ Industrie 4.0 は初版から「絶えず更新が行われる」ドキュメントだと考えられてきた。それゆえに、議論の基礎として、定期的かつ継続的に更新されるべきだと認識されている。標準化ロードマップ Industrie 4.0 のバージョン 4 [2] の Progress Report [1] において、バージョン 4 で策定された行動提言の実施状況の最新情報をまとめられている。同時に、Progress Report [1] は、バージョン 5 (このバージョン) が向かうべき方向性も見据えている。

Industrie 4.0 は現在、概念段階から実践段階への過渡期にある。開発されたコンセプトの実用化と Industrie 4.0 強化をサポートするために、数多くのイニシアティブが開始されている。ほんの数例だけでも、アセット管理シールの技術推進役としての Industrial Digital Twin Association (IDTA)、アセット管理シールのサブモデルの開発開始に向けたサポートとしての InterOpera プロジェクト、自動車生産用データスペースの推進役としての CATENA-X、ECLASS や IEC CDD のセマンティクス機能のエンドツーエンドな利用を目指すプロジェクトとしての COMDO (第5章 1.1 参照) などが挙げられる。本ロードマップの出版の時点で設立が進められていた「Manufacturing-X」の取り組みは、Industrie 4.0 用の産業横断的なデータスペースの実装を意図したもので、ドイツ政府のデジタル戦略のひとつである。

IEC 63278-1¹「産業アプリケーションのためのアセット管理シール – パート 1: アセット管理シール構造」の導入の成功を受けて、アセット管理シールをデジタルエコシステムの中心的な「統合プラグ」とし、国際的な標準化においてそれをさらに定着させるため、重要な標準化プロジェクトが今、国際的にひとつに統合された。IEC 63278 シリーズの規格である IEC 63278-2²「情報メタモデル」および IEC 63278-3³「アセット管理シールのセキュリティ規定」に加えて、アセット管理シールのコンセプトの利用と標準化のための基礎がさらに構築されている。

同様に、持続可能な開発がますます推進され、規範的な実践が進められている。このひとつの例がデジタル製品パスポートだ。これは産業の循環型経済を長期にわたって支えることになるだろう。IEC 63278-1 に規定されているアセット管理シールの構造に基づく分散化アプローチが可能となり、IEC 61406「識別リンク」に従うことで、製造会社の使いやすいウェブサイトや、標準化された製品に関する機械可読な情報に、製品 ID を用いてアクセスできるようになった。各サブモデルが、たとえば技術データや製品文書の送信用など、特定のユースケースに対応した、標準化されたデータセットを表現する。今後のサブモデルでは、規制要件、サービス情報、さらには環境情報まで、デジタル情報として保管・検索ができるだけでなく、標準化もされる。このように、デジタル製品パスポートの構造は、新しいデジタルビジネスモデルの開発にも活用できる。

¹ IEC 63278-1「産業アプリケーションのためのアセット管理シール – パート 1: アセット管理シール構造」

² IEC 63278-2「産業アプリケーションのためのアセット管理シール – パート 2: 情報メタモデル」

³ IEC 63278-3「産業アプリケーションのためのアセット管理シール – パート 3: アセット管理シールのセキュリティ規定」

1.3 将来の展望: 標準化におけるさらなる作業についての行動提言

持続可能性、レジリエンス、相互運用性、技術的な自律性は、ますます Industrie 4.0 における標準化の中心的なテーマとなっている。この標準化の目的は、Industrie 4.0 のこれらの戦略的目標を実現するための可能性を十分に高めることができるような前提条件を作成することでなければならない。

ドイツ標準化ロードマップ Industrie 4.0 バージョン 5 は、持続可能性の全体的な理解に基づいたものである。これは、生態学的、経済的、社会的目標を同時に達成することによって成し遂げられる。そのため、**持続可能性**を全体的に実現するべく、これらの側面の相互作用についても考慮する必要がある。このようにして、持続可能性の生態学的側面はデジタル化の力を借りて前進させることができ、資源やエネルギーの効率の改善だけでなく廃棄物排出の削減にも貢献できる。さらに、Industrie 4.0 は気候変動防止に貢献する循環型経済の基盤も構築する。社会的な側面では、作業のデジタル化は、専門家と管理者の教育・訓練に加え、組織的でグローバルな枠組みの条件に関し、特に人間と機械との新たな協調の状況を背景に、新たな要求を生み出すだろう。これらの生態学的・社会的側面は、このふたつが持続可能性の経済的側面と相互に作用する場合にのみ達成される。

持続可能性の各側面に加えて、Industrie 4.0 におけるバリューネットワークのレジリエンスと技術的自律性が標準化の焦点となりつつある。とりわけコロナ禍や、ごく最近ではウクライナでの戦争により、レジリエントなバリューネットワークの重要性と必要性が浮き彫りになった。「ハイパースケーラー」への依存度を下げながら**データの自律性**を確保するために必要な条件は、(国際的)自律型**データスペース**を、科学的根拠に基づきプロアクティブに設計することにあるかもしれない。そうしたデータスペースは、データドリブンでスケーラブルなビジネスモデルを実現するために、欧州の法制度とバリューシステムに即したデータ交換の基礎を形成する。相互運用性を確保し、多国間のデータ交換を実現するために、標準化と承認のプロセスは、Industrie 4.0 に相応しい**IT セキュリティ**と共に何よりも必要となる。

Industrie 4.0 は、特に危機的な状況において、イノベーションのバックボーンとなることを示した。**統合**のテーマ(例:トレーサビリティ、信用性、倫理を考慮した Industrie 4.0 におけるデータスペースや人工知能)と用途の課題(例: Industrie 4.0 による持続可能でカーボンニュートラルな生産)の両方に取り組みなければならない。これらのテーマについては、次章以降で扱う。

デジタル化の影響は、産業だけでなく標準化作業にも広がっている。たとえば、コロナ禍と地政学的な衝突により、より柔軟で迅速に反応できる標準化プロセスの必要性が改めて浮き彫りになった。結果として、標準化団体は、ユーザーフレンドリーなデジタルプラットフォームという形で、最新のテクノロジーをこれまでより頻繁にかつ迅速に導入し、開発速度を上げる必要に迫られるだろう⁴。

⁴ CEN-CENELEC のレポートを参照



2 デジタルエコシステム 設計の原則と要件

読者の皆様が Industrie 4.0 の標準化のテーマに着手しやすくなるよう、これからロードマップの構造を論じるとともに「デジタルエコシステム」などの基本的な用語を説明していく。標準化ロードマップ Industrie 4.0 バージョン 5 は、全 10 章の構成となっており大きく次の 3 つのセクションに分かれている。

セクション 1 は第 1 章から第 4 章までで、ドイツ標準化ロードマップ Industrie 4.0 の基本について論じている。たとえば、産業用データスペースといった用語と概念について、そして進行中または完了したイニシアティブの状況についても取り上げている。さらに第 3 章では、行動提言のサマリーが確認できる。

セクション 2 は、第 5 章と第 6 章で構成され、最新の主要なテーマを取り扱っている。アセット管理シェルのようなさまざまな側面を説明し、これらの標準化がなぜ必要なのかについて論じている。

セクション 3 (付録 A 以降) には、参考文献や Industrie 4.0 の分野の関連出版物および活動の概要など、追加情報が記載されている。

基本的な用語については、この後のセクションで説明している。

2.1 Industrie 4.0 におけるデジタルエコシステム

標準化という観点から、現状においてあらゆるデジタルエコシステムの中心となる 4 つの側面がある。

1. **セマンティクス**: 相互運用性のあるデジタルシステムの基盤となる。
2. 「**産業用データスペース**」の概念: データの自律性、データのセキュリティ、およびデータの完全性を維持・確保しながら、データに基づき新たな価値を創出する。
3. 「**人間中心の Industrie 4.0 システム**」: 人間中心の作業設計とそのさまざまな側面 (例: 作業設備、作業環境) の基礎となる。
4. 「**Industrie 4.0 の持続可能性と生態学的側面**」という考え方: 産業界を中心に気候・環境目標を実現する。これには、産業設備からの廃棄物排出の監視と削減、および製品とその環境への影響に関する予防的な環境保護も含まれる。

これらの 4 つの側面について、これから詳細に論じていきたい。

2.2 相互運用性のあるデジタルエコシステムの基盤としてのセマンティクス

標準化において、セマンティクスは相互運用性のあるデジタルエコシステムの基盤であると考えられている。

厳密には、デジタル化においてはセマンティクスの概念には多種多様な見解があるため、共通理解を得るのは難しい。この違いは特に、言語学や哲学、ひいてはコンピュータサイエンスのような畑違いの分野のそれぞれが、セマンティクスの概念に踏み込んでいることから生じている。

一例として意味論では、音声または文字、意味されるもの、そして音声から連想されるイメージとの三者関係から、記号を「現実として」理解している。この対比として「使用説」があり、これは交換された記号の意味を、使用される文脈の中で捉えている。コンピュータサイエンスにおいては、情報はそのプロセスによって意味が与えられるという見方に該当する。

相互運用性を達成する際にセマンティクスが重要な役割を果たすことから、標準化戦略では、相互運用性を効率的に確立する特定のユースケースへの共通理解が欠かせない。

これには主として、デジタルエコシステムに関する相互運用性にとって重要となる。これらが産業用のさまざまなデータドリブン型サービスや機能の根拠となるからである。システムの相互作用は、土台となるデジタルプラットフォーム上で行われる。これらのプラットフォームでは、プロセスの送り手と受け手のシステム間のつながりが全く未知の場合であっても、同じ相互作用のタスクを処理しなければならない。この点で、セマンティック表現の標準化は、相互運用性を確立するための重要な要素として、デジタルエコシステムにおけるシステム間の相互作用機能をサポートする。Industrie 4.0 の分野では、現時点で個々の標準規格が多数あり、それによってシステム間の相互運用性を実現している。共通理解を得るためには、知識をどのように表現し、交換し、理解または処理できるかが重要である。それゆえ、この知識をどのように共有するこの手段についての共通理解が求められ、その手段は標準規格という形であることが望ましい。

2.3 産業用データスペースの自律性

データスペースについては、デジタルエコミーのコンテキストで議論される。ここで追求されるのは、データに基づいた付加価値の創出という最重要目標であり、利害関係者のために**データの自律性**、**データのセキュリティ**および**データの完全性**を維持・確保しながら実現する必要がある。この目的のために、データスペースは信頼できる共用トランザクションスペース(セキュリティメイン)を参加者に提供し、そこを経由することで、データが利用可能となり、共同での評価や管理が実現される。これにより、データを提供、評価、管理するための分散型または集中型インフラストラクチャに基づいた、データ交換やデータ利用のための一般に受け入れられる基盤が構築される。

業界団体の「データエコミー」や「プラットフォームエコミー」の提案にも、その例が見られる。

データスペースでは、技術、法律、営利に関する原則 [3] が定義されている。製造業ではすでに多くの例が存在しており、各企業はデータから付加価値を創出している。このような例のすべてに共通する課題は、それぞれの経済的スケーラビリティの向上であることが多い。共通の技術、法律、営利原則を提供することにより、データスペースはさまざまな例においてもデータスペースを一貫性ある方法で活用し、具体的な価値を実現する可能性を示す。これによって、特定の例を別の用途へより簡単に転用できるようになる。その上、データスペースは新たな用途を切り開く可能性も秘めている。ここでは特に以下のテーマについて触れておきたい。

- 大量生産から顧客固有の生産への移行
- 信頼できるレジリエントなバリューチェーン
- データドリブン型のビジネスモデル
- 循環経済
- サプライチェーンの透明性

これらは、広範で分散型のデータ利用を前提としているが、データセキュリティと知的所有権(IP)保護の両立という緊張した領域において、同時に企業や事業体の境界線を越えた協力が求められるという、データ利用の根本的な問題も存在する。

しかしながら、データの自律性、データのセキュリティ、データの完全性に関わる各関係者の具体的な要件はユースケースに大きく依存するため、データスペースの技術的特性だけでなく、個別のケースにおいて関連するコストベネフィットも常に考慮しなければならない。このように、データスペースは適切な特性を提供することに加え、市場の要件と規制の枠組みの条件の相互作用において、それ自身が経済的であることを示すものでなければならない。

2.4 社会的持続可能性 - 人間中心の Industrie 4.0 システム

社会技術的アプローチに従い、作業システムの設計と標準化においては、社会的要素と技術的要素との間の相互作用を考慮に入れなければならない。従って、Industrie 4.0 システムの導入のような技術的な変化には、常に組織の調整が必要となり、作業タスク、活動、従業員に影響を及ぼす [4]。そのような人間中心の観点により、革新的な支援システムといった Industrie 4.0 の要素が、人間中心の作業設計の標準化された側面と定義された仕様を考慮することなく導入された場合に生じる「技術による強要」を防ぐことができる [5]。

ここで留意しておきたいのは、職業安全衛生法の基本原則も、Industrie 4.0 システムの運用実施と評価に関する標準規格と合わせて考慮しなければならない点だ。このテーマに関する情報は、職場における労働者の安全衛生の標準化の役割に関する政策文書から得ることができる [6]。

人間中心の作業設計と付随するさまざまな側面(作業設備や労働環境など)に関する基盤は、標準化ロードマップ Industrie 4.0 のバージョン 4 において、Industrie 4.0 に関してより深く検討されている [2]。これらの基盤はまだ有効であり、個々のテーマ検討の際の枠組みとなっている。こうしたテーマは、Industrie 4.0 の人間中心設計にとって話題性があり重要なために例として選ばれた。このロードマップの複数の節で説明されており、新たな行動提言に裏付けられている(第3章参照)。

「人間中心の Industrie 4.0 システム」についての行動提言は、ロードマップ V4 [2] で策定されているが、Progress Report [1] では言及されていない。このバージョン 5 においては個々の節で要約した形で取り上げている。

2.5 Industrie 4.0 の持続可能性と生態学的側面

生態学的持続可能性とデジタル化のテーマは、最近の最もホットな話題であり、「2つのトランスフォーメーション」として言及されることが多い。

欧州グリーンディールの発表により、欧州委員会は新たな成長戦略を約束した。これは、EUを公正で豊かな社会にすることを目指すために、現代的かつリソースベースで競争力のある経済を実現し、2050年までに温室効果ガスの実質排出量をゼロとし、資源の利用に頼ることなく経済を成長させるものである [10]。デジタル技術は、グリーンディールの持続可能性目標の達成にとってきわめて重要な前提条件だと考えられている [10]。

世界最大の単一市場である欧州連合は、加盟国と共に、グローバルなバリューチェーンに適用され、デジタルエコシステムにも適用可能な標準規格を設定することができる。同時に、持続可能性の公約は、第三国とのEU貿易協定の枠組みの中で、たとえば標準規格を組み込むことによって継続的な強化が可能である [10]。

「2つのトランスフォーメーション」を成功させるには、持続可能性の各側面をデジタルで記録し、データや情報の形で利用可能にする必要がある。デジタルエコシステムでの、自動化、標準化された、ほとんどコストのかからない持続可能性データの「運用」だけが、適用範囲の拡大へとつながり、気候、環境および持続可能性に大きな影響を与える。

結果として、「Industrie 4.0 の持続可能性と生態学的側面」というテーマに関しては、産業データスペースの相互運用性と自律性の側面に対してさまざまなところで相互参照されており、同様に第5章「重要テーマにおける標準化」の全節とも相互に参照されている。

2.6 側面の概要

標準化ロードマップ Industrie 4.0 は、業界がデジタルエコシステムへのスムーズな移行を実現するためのガイドとしての役割を果たす。「2030 Vision for Industrie 4.0」で概要を示すように、ドイツの観点から、相互運用性、自律性および持続可能性の3つの行動分野はデジタルエコシステムにとって最も重要である(図1参照)。



図1: 2030年のビジョンとしての Industrie 4.0 における戦略的行動分野

(出典: © Plattform Industrie 4.0/INFOGRAFIK PRO GmbH) (BMWK 2019b)

自律性は、自由な設計や自己決定ができることで、デジタルビジネスモデルの競争力を保証する。このためには、多様化によって個々のサプライヤやソリューションプロバイダへの依存度を下げる、確固たるデジタルインフラストラクチャ、データセキュリティ、技術開発の推進が必要である。

持続可能性の目標は、現代の産業的価値創造、ひいては生活水準を守ることである。このためには、質の良い仕事と教育、社会参加、気候変動防止が必要である。

相互運用性は、連携とオープンエコシステムの基盤となる。このためには、規制の枠組み、分散化システムと人工知能に加えて、標準規格と統合が必要である。したがって自律性の基本的な構成要素のひとつとして、相互運用性は不可欠となる。

これら 3 つの行動分野は、産業、科学、政治および社会におけるすべてのプレイヤーの今後のイニシアティブと活動を行うにあたり、重要かつ長期的な方向性を示している。3 つの行動分野はそれぞれ、標準化に関してさらに多くの必要な行動に細分化される。このロードマップでは、現在の観点からそれぞれの行動分野において最も興味深い下位側面に着目している。

相互運用性から見た標準化の必要性は、以下に細分化される。

- サプライチェーンの個々のプレイヤー間のスムーズな情報交換のための、産業アプリケーションにおけるプロパティとそのシステムの統合
- Industrie 4.0 のシナリオのスムーズな実施を目的とした構造的枠組みを実装するための、参照アーキテクチャモデル
- ヒューマン=マシンインターフェイスのような相互作用ポイントでの解釈可能な相互作用である、セマンティクスとプロパティ
- Industrie 4.0 のデジタルツインの実装において基本概念となるアセット管理シェル
- 産業用通信、ネットワーク化したシステムの通信方法
- 全体の安全性の一部であり、ひいてはフレキシブルな生産施設の前提条件でもある、Industrie 4.0 における機能安全
- 産業オートメーションにおける、人間と機械の相互作用にも関わる人工知能

産業用データスペースの自律性から見た標準化の必要性

- 主に生産システム、機械、設備における妨害破壊行為、スパイ活動、または改ざんに対する情報技術の包括的な保護に注目した産業セキュリティ
- 特にデータ保護に関するプライバシー
- サプライチェーン内のデータの信用性
- 自律型多国間データ共有のための「ゲームのルール」としての、アクセスの仕組みの確立

持続可能性から見た標準化の必要性

- Industrie 4.0 における持続可能性の側面。データ品質による持続可能性
- 持続可能性モジュールの一覧(例: 固定設備や可動設備、プロセス)
- Industrie 4.0 の設備の設計と運用における社会的持続可能性の側面と行動提言

もちろん、他の 2 つの行動分野でも下位側面は重要となる。これらのケースには、関連する章に相互参照の注釈がつけられている。

3 標準化ロードマップ Industrie 4.0 の行動 提言 (Version 5)

5.1.1 産業アプリケーションにおける特性とシステムの統合

[HE 5.1.1-1 V5] 社会技術的システム設計

Industrie 4.0 の価値創造システムにおける標準規格では、適時明確にすべきことがあり、次のことを早期に検討しながら人間中心の Industrie 4.0 作業システムを設計する必要がある。それは、社会技術的側面、そこから派生する価値創造システム全体とその構成要素に対する要求工学、そして Industrie 4.0 の価値創造システムにおけるユーザーの重要な役割として可能な限り早い段階から作業者を関与させること(理想的には設計パートナーとして)についてである。この過程で、使用中の Industrie 4.0 の付加価値システムとネットワークでの作業者の経験を記録、文書化し、知識と経験を適切に管理することで、開発と導入が進められている最中の各 Industrie 4.0 システムでよりヒューマンフレンドリーな設計を実現するために活用するものとする。

[HE 5.1.1-2 V5] 従業員にとって複雑な情報の取捨選択と提示

複雑な情報は、従業員が理解し処理可能な方法で選択、提示したほうがよい。さまざまな選択と可視化のオプション(例:情報のタイプや量)が役立ち、人間工学的設計の原則を考慮する必要がある。また人工知能のアルゴリズムでデータが処理され提示される場合は、これを透明化するべきである。これは特に、標準規格 [DIN EN ISO 9241-112](#) や [DIN EN 894-1](#) と人工知能の分野の標準化に関係する。

[HE 2.7-22 V4] [HE 2.7-24 V4] ⇒ [5.1.1-2 V5]

[HE 5.1.1-3 V5] 社会技術的側面を考慮するための最小限の標準規格

社会技術的側面を考慮するための最小限の標準規格の策定は、人間工学や作業設計に関するさまざまな一般的標準規格に照らして検討されるべきである。作業システム設計に関するステートメントは、現在数多くの標準規格で分散して取り上げられている。つまり、運用計画立案者が Industrie 4.0 ソリューションを計画する際に、そのようなステートメントを見つけ出し、十分に考慮にすることがこれまでより困難になっている。そのため、人間工学標準化における関係の概要も改善する必要がある。

このような背景から、運用計画立案者には、Industrie 4.0 に関するすべてのプロセス関連ステートメントの要約を記載したドキュメントを提供することを推奨する。これはまず、Industrie 4.0 ソリューションの作業システム設計のガイドに実装されるべきである。

[HE 2.7-1 V4] [HE 2.7-2 V4] ⇒ [HE 5.1.1-3 V5]

[HE 5.1.1-4 V5] システム設計プロセス全体との関連における標準規格の見直し

作業システム設計のプロセスに関する規範的なステートメントを含む既存の標準規格を、この点についての参考として利用できるかどうか、利用できる場合どのような方法か、およびこうした既存の標準規格に対する補足や修正には何が必要なのかについて、検討しなければならない(特に、[DIN EN ISO 6385](#)、[DIN EN ISO 10075 Part 2](#)、[DIN EN ISO 13407](#)、[DIN EN ISO 27500](#))。

[HE 5.1.1-5 V5] 人間と機械の間での、適応的で動的なタスクの割当て

人間と機械の間で厳格なタスクの割当て(機能分割)をすると、多くの場合、認識、状況評価、影響、結果のフィードバック、それらの結果としての学習や能力開発の機会について、適切な機会が提供されない。そのため、機能の分割は動的で適応性のあるやり方で設計するのが理想的である。いずれにしても、この機能の分割には透明性が求められるほか、従業員が理解でき、それに対して影響力を持てるように設計する必要がある。さまざまな従業員がひとつの作業システムで(並列で同期して、または非同期で)働いている可能性も考慮に入れなければならないだろう。従業員の安全、セキュリティ、心理社会的影響に特に注意し、適応性のあるタスク割当てについてのプロセスに付随する評価手順を開発し、標準化に組み込むべきである。機械は、人間に動的に適應するため、人体の寸法などを記録し評価することができるということも考慮に入れなければならない。この結果、DIN EN 614-2、ISO/TS 15066、DIN EN ISO 10218、DIN EN 894-1 および 3、DIN EN ISO 29241-2、DIN EN ISO 10075-2、DIN EN ISO 11064-1、5 および 7、DIN EN ISO 13861、機械に対する C 規格、ISO/TS 15066、人工知能に関する標準規格 (ISO/IEC JTC1 SC42)、DIN EN ISO 9241-110 および -112、DIN EN ISO 11064-5、DIN EN ISO 11064 などの標準規格には補足または修正が必要となる。

[HE 2.7-4 V4]、[HE 2.7-11 V4]、[HE 2.7-12 V4]、[HE 2.7-14 V4]、[HE 2.7-15 V4]、[HE 2.7-16 V4]、[HE 2.7-20 V4]、[HE 2.7-23 V4] ⇒ [HE 5.1.1-5 V5]

[HE 5.1.1-6 V5] 支援システムの学習プロセスの設計

動的なタスク割当ての特殊なケースとして、従業員が協働ロボットを教育するプロセスは、人間工学に基づいて設計する必要がある(期待に応える、エラー耐性がある、自己記述的など)。たとえば、ISO/TS 15066 と DIN EN ISO 10218-2 は改訂が必要である。

[HE 2.7-25 V4] ⇒ [HE 5.1.1-6 V5]

[HE 5.1.1-7 V5] 各種支援システムの設計

各種支援システムを設計する際には、それらが従業員の特性やタスクの特性に確実に適したものかに注意する必要がある。そうでなければ、認知的・身体的要求だけでなく、タスクの処理品質にも、望ましくないマイナスの影響が出るおそれがある。これに加えて、従業員に十分な操作の余地が残されているか、支援システムの使用がスキルの喪失につながらないかも検討しなければならない。支援システムは、特に障害のある人にとって、専門職に参加するための新たな機会の門戸となる。支援システムの表示は、タスク設計に合わせたものにする必要がある。たとえば、DIN EN ISO 894-2 と DIN EN 11064-2 など、支援システムの設計に関する標準規格は、修正が必要である。

動的で休止ができない監視活動や制御活動の遂行に(モバイル)支援システムが使われる場合、こうした動態が制御オプションにもたらす影響を考慮に入れなければならない。DIN EN 894、DIN EN ISO 9241 および DIN EN ISO 11064 シリーズは修正が必要である。

[HE 2.7-18 V4]、[HE 2.7-19 V4] ⇒ [HE 5.1.1-7 V5]

[HE 5.1.1-8 V5] 特性とプロパティ

プラグ & プロデュースのコンセプトにおける重要なステップとして、要件の調整とデバイスの特性の保証がある。このことを念頭におき、標準規格では、さまざまなインスタンスに関する幅広い属性をカバーする必要がある。

[HE 2.3-7 V4] ⇒ [HE 5.1.1-8 V5]

[HE 5.1.1-9 V5] メンテナンス情報の入力の標準化

たとえば、iIRDS (修理、メンテナンス、変換) に基づいて、状態監視システムおよび予知保全システムに最新のメンテナンス情報を入力するための、Industrie 4.0 のコンポーネント (設備や製品) のインターフェースの標準化が挙げられる。産業環境では、概念、特許権、手順やプロセスといった無形のものもアセットに含まれる。計画文書などの概念的アセットの特性は、標準化した辞書の見出しとして含める必要がある。

[HE 2.3.19-1 V5]

[HE 5.1.1-10 V5] 標準化辞書における概念的アセットのプロパティ

計画文書のような概念的アセットのプロパティは、IEC/SC 3D の共通データ辞書のような標準化された辞書に含める必要がある (例: VDI 2770 の仕様書)。さらに、計画文書は、人間と機械/Industrie 4.0 コンポーネントの間で伝達可能であることが求められる。

[HE 2.3-5 V4] ⇒ [HE 5.1.1-10 V5]

[HE 5.1.1-11 V5] ECLASS と CDD の間におけるプロパティの持続可能で一貫した統一

Industrie 4.0 コンポーネントに対する標準化されたセマンティクスの基本的な重要性を考えると、Industrie 4.0 コンポーネント間で相互作用が重複するのを防ぐため、同じセマンティクスに対して異なる標準規格が複数存在することは許容できない。現在、IEC、ISO および ECLASS において複数の場所で行われている並行開発を調整する必要がある。プロパティを調和させる活動は、関係する ECLASS 委員会および IEC の委員会で促進しなければならない。特に、既存のプロパティを同じセマンティクスレベルおよびシンタックスレベルに揃え、適応させる必要がある。新しいプロパティを指定するための標準化されたメカニズムと手順は、プロパティのさらなる相違を回避するため、ECLASS と CDD の間で同期させなければならない。理想的には、プロパティ (および、クラス、値、単位など他の構造要素) の発行団体は、セマンティクスの同一の要素が同じ名前とコードを持つ、つまり同じことを意味するように、統一ステップ後にそれぞれの標準規格を相互に連動させる必要がある。コンテンツの不一致を構造的に防止するため、共通コンテンツはすべてのデータベースで同一に維持・処理するか、共通データベースで管理する必要がある。主な発行団体は IEC と ECLASS であり、おそらく将来的には ISO も加わることになるだろう。その成果は公開する必要がある。

[HE 2.5-2 V4] ⇒ [HE 5.1.1-11 V5]

[HE 5.1.1-12 V5] 標準化された辞書

既存のフィールドバスプロファイル、コンパニオン仕様、デバイスやコンポーネントのプロパティを定義するその他の仕様は、ECLASS や IEC CDD などの標準化された辞書に転送する必要がある。さらには、そうしたプロファイルや仕様は、セマンティクスの適切な方法 (たとえば、図表や代数) で示すことができるようにしなければならない。

[HE 2.3-4 V4] ⇒ [HE 5.1.1-12 V5]

5.1.2 参照アーキテクチャモデル

[HE 5.1.2-1 V5] 産業用クラウドプラットフォーム

コグニティブサービス、リアルタイム・アプリケーションおよびデータマーケットプレイスの将来の要件に対応する柔軟で拡張可能なアーキテクチャに向けた、オープンでリアルタイムのセキュアな分散オペレーティングシステムの標準化活動は、関連する委員会で取り上げる必要がある。ハイブリッド・クラウドプラットフォーム、IIoT アプリケーションおよびサイバーフィジカルアーキテクチャは、核心要素として調査する必要がある。すべての IT リソース、生産手段および技術構築機器の統一されたライフサイクル管理は、AI がサポートする未来の自律生産のためのリアルタイム対応クロスドメイン付加価値ネットワーク用統合インフラストラクチャの作成と同じく、産業用クラウドプラットフォームの一部である。

[HE 2.3-23 V4] ⇒ [HE 5.1.2-1 V5]

5.1.3 セマンティクスと特性

[HE 5.1.3-1 V5] ヒューマン-マシンインターフェイス

Industrie 4.0 の価値創造ネットワークとそれに関する Industrie 4.0 作業システムのためのプランニングツールとして、デジタルツインにおいて、ここで前提とする動的な人間と機械の機能分割におけるタスクや活動に関連するプロセス（および人間が積極的な役割を果たす他のすべての価値創造プロセス）のモデリングを実現するために、Industrie 4.0 の参照アーキテクチャモデルを、作業および組織心理学の標準規格に従い、一種の活動プロセスモジュールで補足するプロジェクトを開始する必要がある。

[HE 5.1.3-2 V5] ヒューマン-マシンインターフェイス

これは、[HE 5.1.3-1 V5] に規定するアプローチを、どのように標準規格へと昇華できるかを検討する必要がある (ISO 6385、ISO 10075 Part 2、ISO 13407、ISO 16982、ISO 18529、ISO 27500 のような既存の標準規格の補足および改訂/更新、またはその他/新規の Industrie 4.0 関連または AI 関連の標準規格への統合)。

[HE 5.1.3-3 V5] 効果的な規範的インフラストラクチャの保証

早期の段階でインフラストラクチャにおける準備を進めること、および、コンセンサスペースで標準化を行う将来を確実にするために、ISO、IEC、CEN/CENELEC および各国の委員会は、ドキュメント中心の標準規格から標準規格の内容をデジタルで付加価値のあるサービスとして提供する形態へのデジタルトランスフォーメーションプロセスを通じ、共同の取り組みを行うことが推奨される。そのため、国際的標準化団体への積極的な参画が重要である。

[HE 5.1.3-4 V5] デジタルツインのコンテキストにおけるセマンティクス

ISO/IEC JTC 1/SC 41/WG 6 は、セマンティクスとデジタルツインの関係を、クロスドメインの規範的な方法で説明する必要がある。

[HE 5.1.3-5 V5] Industrie 4.0 の言語

既存の VDI/VDE 2193 (Part 1 と Part 2、「I4.0 コンポーネントの言語」) は、ガイドラインとして利用することができ、Industrie 4.0 のコンポーネント間の相互運用性の重要な基礎を形成する。この Industrie 4.0 言語を、国際的標準化に用いることが推奨される。

[HE 2.4-5 V4] ⇒ [HE 5.1.3-5 V5]

[HE 5.1.3-6 V5] セマンティクスのツール

セマンティクスのツール、すなわち、製品を分析、定義、説明またはサイバーフィジカルに設計するために使用できるツールや成果物の開発を推奨する。これらは、その用途(例: 組み合わせての提供)や特性に従って標準化する必要がある。

[HE 5.1.3-7 V5] オントロジーの品質基準

既存のオントロジーの要件は、根本的に見直す必要がある。この点については、オントロジーの品質基準を、オントロジーのコンセプトの明確な特定(例: コンセプトの同音異義語や同義語の回避)が可能になるよう開発する必要がある。

5.1.4 デジタルツイン実装用ツール

[HE 5.1.4-1 V5] アセット管理シェルコンセプトの一貫した利用、および国際的標準化

メンテナンス機能やライフサイクルレコードでの知識の保存など、上述したプロセスをサポートするには、標準化されたセマンティクスによる標準化インターフェイスを介して、アセットが生産システムやプラントオペレータとデータ交換を行えることが必要である。アセット管理シェルまたはその一般的なサブモデル、ならびに Industrie 4.0 のコンポーネント間の通信が標準規格で定義されている場合は、これはアセット管理シェルのコンセプトによって実現される。IEC 63278 シリーズに関する IEC/TC 65/WG 24 の活動をサポートし、推進することを推奨する。

[HE 2.3-1 V4] [HE 2.3.2 V4] ⇒ [HE 5.1.4-1 V5]

[HE 5.1.4-2 V5] アセット管理シェルとデジタルツインのコンセプトの同期

ISO/IEC JTC 1/SC 41/WG 6 で現在開発中のデジタルツインと産業 IoT のコンセプトと、IEC/TC 65/WG 24 で現在開発中のアセット管理シェルのコンセプトを同期させることを推奨する。

[HE 5.1.4-3 V5] Industrie 4.0 コンテキストでの ISO/IEC-21823 シリーズ

DIN の NA 043-01-41 IoT およびその他の関連機関と委員会は、業界の直接的言及に関連して、現行の ISO/IEC 21823 シリーズの標準規格を慎重に検討し、国内委員会に報告する必要がある。

[HE 2.4-3 V4] ⇒ [HE 5.1.4-3 V5]

[HE 5.1.4-4 V5] アセット管理シェルとデジタルツインのコンテキストにおける国際的オペレーション

ISO/IEC JTC 1/SC 41/WG 6、IEC TC 65 および ISO/IEC JTC 1/SC 41/AG 20 は、産業用 IoT、アセット管理シェル、デジタルツインに関して、すべての関係団体と「産業セクター」での協力と交流を継続すべきである。

[AE 5.1.4-5 V5] デジタルツイン実装用の OPC UA コンパニオン仕様

デジタルツインを生産環境で実装するには、OPC UA コンパニオン仕様におけるセマンティクスの標準化された情報を使用する必要がある。相互運用が可能なセマンティクスにより、製造におけるデジタルツインは、産業固有および産業横断しての双方で効率よく利用可能となり、高い価値を生み出す。

[HE 5.1.4-6 V5] アセット管理シェルのコンテキストでの OPC UA

アセット管理シェルの概念は、OPC UA において継続的に拡張する必要がある。この目的のために、生産情報についての標準化されたセマンティクスへのさらなるニーズが、開発を担当する OPC UA 作業グループに報告される。「信頼できる唯一の情報源」という意味で、機械工学やプラントエンジニアリングの製品のような生産からの情報は、OPC UA コンパニオン仕様を利用してその発信源で標準化し、現行の IEC/TC 65/WG 24 標準規格のコンテキストにおいて調和させなければならない(例:2つのテクノロジーの識別と相補性を説明する必要がある)。

[HE 5.1.4-7 V5] セマンティクスに関する既存の標準規格 (ISO 13584 または IEC 61360) の補足

情報の世界で必要となるデータフォーマットは、ISO 13584 または IEC 61360 から取得したものである。ECLASS のプロパティも、これに基づいてコード化される。ただし、アセット管理シェルとそのサブモデルは、アセットの純粋に記述的な特性と比較して、運用利用目的のための追加のプロパティタイプを必要とする。これは、アセットの状態とパラメータ、およびその測定値とアクチュエータの値(動的データ)である。コマンドと機能全体(技術的機能と呼ばれる)も、同じ概念を用いて記述されなければならない。今日の標準規格におけるプロパティの概念は、動的な値を正確に表現できるよう、データモデルにおけるこのようなセマンティクスを拡張することである。それは、たとえば ISO 13584/ IEC 61360 データモデルにおいて該当する新しい属性によって実行できる。機能/コマンドのモデルは、これから開発されるものか、標準規格で定義されている既存のものである。

[HE 2.5-1 V4] ⇒ [HE 5.1.4-7 V5]

[HE 5.1.4-8 V5] AAS サブモデルの包括的開発

アセット管理シェルのサブモデルの開発と国際化は、IDTA、ISO および IEC において進めることを推奨する。サブモデルの適用は、他の分野でも適用できるように、できる限り包括的なアプローチをとる必要がある。

[HE 5.1.4-9 V5] アセット管理シェルのサブモデルとしてのデジタルライフサイクルレコード

デジタルライフサイクルレコードの情報モデルは、技術システム用のアセット管理シェルのサブモデルとしてマッピングする必要がある。さらに、DIN 77005 シリーズを国際的な標準化に引き上げることを推奨する。

[HE 2.3.13 V4] ⇒ [HE 5.1.4-9 V5]

[HE 5.1.4-10 V5] AAS サブモデルの標準化

シミュレーションには、運用モデルと適切なツールが必要である。ツールとモデルには、機械での実行と、その環境での考慮対象システムの特性を分かりやすく表現するための共通のセマンティクスが必要である。

[HE 2.3.22 V4] ⇒ [HE 5.1.4-10 V5]

[HE 5.1.4-11 V5] AAS サブモデルの標準化

機能的要件(例:役割と期待される機能)とその達成(例:サポートされる役割、提供される機能)が標準化された辞書に含まれるよう、また生産システムによる生産プロセスの実行を計画できるよう、条件を作成しなければならない。

[HE 2.3-9 V4] ⇒ [HE 5.1.4-11 V5]

[HE 5.1.4-12 V5] デジタルネームプレート

2022年9月、デジタルネームプレートに関する IEC 61406 (DIN SPEC 91406 をベースとする) が発表された。さらに、VDE V 0170-100:2021-02「デジタルネームプレート」に基づき、機械可読なマーキングについて全適用規格を修正する必要がある。

[HE 2.3-11 V4] [HE 2.3.12 V4] ⇒ [HE 5.1.4-12 V5]

[HE 5.1.4-13 V5] AAS サブモデルとプロパティの標準化

アセット管理シェルのサブモデルの標準化に向けて、準備活動が開始されようとしている。統合は、IEC/TC 65/WG 24 と連携して行う必要がある。サブモデルは、その基本プロパティにおいて標準化されなければならない。つまり、Industrie 4.0 のパートナー関係により個々のプロパティや機能を通じて拡張可能な基本/必須のプロパティと基本/必須の機能が存在しなくてはならないことを意味する。たとえば、これはエネルギーを考慮する場合、同一の必須プロパティと機能を異なるアセットで利用可能にすることで、あるシステムのすべてのコンポーネントやプラントのシステムに対する要件を、同じ方法で簡単に統合または制御できるようになることを意味する。個別の追加は引き続き可能である。

[HE 2.3-8 V4] ⇒ [HE 5.1.4-13 V5]

5.1.5 産業用通信

[HE 5.1.5-1 V5] 異種混在産業用ネットワーク

グローバルモバイルネットワーク技術の新しい標準規格を設定するか、既存の標準規格を拡張して、ローカル産業用ネットワークと産業用モバイル無線ネットワークの間のシームレスな移行を可能にする必要がある。5G においてイーサネット、TSN、OPC UA を統合する 5G-ACIA のドキュメントが、このような異種混在状態にある産業用ネットワークの標準化の出発点となり得る。

[HE 2.6-1-V4] ⇒ [HE 5.1.5-1 V5]

[HE 5.1.5-2 V5] ネットワーク管理

さまざまな産業用通信ネットワークを管理するためのサービスおよびインターフェイスは、統一的に、かつアプリケーションの観点から指定される必要がある。ネットワークの提供(管理サービス)と通信サービスの提供(制御サービス)を区別する必要がある点を考慮しなければならない。

[HE 2.6-2-V4] ⇒ [HE 5.1.5-2 V5]

[HE 5.1.5-3 V5] Industrie 4.0 における通信デバイスの統合

デバイスおよびネットワーク管理用の適応機能を備えた通信デバイスは、Industrie 4.0 コンポーネントとしてモデル化される。アセット管理シェルの通信サブモデルには、適切なプロパティとサービスを指定する。

[HE 2.6-3 V4] ⇒ [HE 5.1.5-3 V5]

[HE 5.1.5-4 V5] データトラフィックモデル

(有線および無線)通信ネットワークの計画では、産業用データ通信シナリオを指定できるようなモデルを開発する必要がある。

[HE 2.6-4 V4] ⇒ [HE 5.1.5-4 V5]

[HE 5.1.5-5 V5] 通信ネットワークとサービスの信頼性評価

プロバイダとユーザーの間のインターフェイスにおける産業アプリケーションの観点から、定量的で透明性があり、契約上安全な評価を可能にする、通信ネットワークおよび通信サービスの信頼性評価の標準規格を策定する。

[HE 2.6-5 V4] ⇒ [HE 5.1.5-5 V5]

[HE 5.1.5-6 V5] リアルタイム通信の評価

(有線および無線)産業用リアルタイム通信システムの評価のためのパラメータと方法は標準規格で要約され、かつ、統一的に定義される。

[HE 2.6-6 V4] ⇒ [HE 5.1.5-6 V5]

[HE 5.1.5-7 V5] 検証と試験

Industrie 4.0 の通信規格では、製品の性能、適合性および相互運用性を実証するために使用可能な試験仕様を定める。

[HE 2.6-7 V4] ⇒ [HE 5.1.5-7 V5]

[HE 5.1.5-8 V5] 周波数スペクトル

産業オートメーションに適用する周波数スペクトルの世界的調和を目指す取り組みは、測定およびオートメーション技術の専門家による積極的支援を受ける必要がある。業界団体および Plattform Industrie 4.0 は、周波数使用計画で検討するため、行政機関(ドイツの BNetzA など)のために議論のテーマと要件を設定する必要がある。こうした事柄は、国際的な調整を必要とする。3,700~3,800MHz の周波数レンジでローカル周波数を使用するための周波数割当てについて、ドイツに適用される規制は、国際的調和のために全世界に適用されるものでなければならない。また、非公共産業ネットワークの運用のための概念と、公共ネットワーク事業者との共同ネットワーク運用の概念を調和させることも推奨する。

[HE 2.6-8 V4] ⇒ [HE 5.1.5-8 V5]

[HE 5.1.5-9 V5] 産業用非公共モバイルローカルエリアネットワークの標準規格

非公共ローカル産業ネットワークを提供できるよう、グローバルモバイルネットワーク技術の新しい標準規格を制定するか、既存の標準規格を拡張し、使えるようにする必要がある。出発点は、5G-ACIA のホワイトペーパー「産業シナリオ用 5G 非公共ネットワーク」であることが望ましい。

[HE 2.6-9 V4] ⇒ [HE 5.1.5-9 V5]

[HE 5.1.5-10 V5] (異種混在) 産業用ネットワークと 5G ネットワークのシームレスな統合

ネットワークスライシング概念を使用すると、公共 5G ネットワーク内の非公共産業用 5G サブネットを仮想化して、Industrie 4.0 固有の通信要件を持つアプリケーションとサービスを提供することができる。ただし、(異種混在の) 産業用ネットワークと 5G ネットワークとのシームレスな統合を可能とするには、この二つのインフラストラクチャ間のオープンインターフェイスを定義しなければならない。5G インフラストラクチャにアセットを配置する機能に注意する必要がある。

[HE 2.6-10 V4] ⇒ [HE 5.1.5-10 V5]

[HE 5.1.5-11 V5] 3GPP 仕様のモバイル通信システム

3GPP におけるモバイル通信システムの仕様プロセスが急速に進歩していることから、5G-ACIA では、通信のさまざまな側面に関する出版物が次々に発行されている。こうした出版物は、Industrie 4.0 での使用という観点から、産業用通信を再評価するうえでも役立つ。5G での TSN と OPC UA の統合、データラフィックモデリング、または通信ネットワークと通信サービスの信頼性評価といったトピックは、将来の標準化プロジェクトの情報源になり得る。したがって、5G-ACIA の作業には注意する必要がある。

[HE 2.6-A1 V4] ⇒ [HE 5.1.5-11 V5]

[HE-5.1.5-12 V5] 産業用通信におけるセキュリティ

合意に基づく一般に受け入れられるセキュリティモデルを開発し推進することを推奨する。コンテンツはフィールドバスの標準規格に統合される必要がある。

[HE 5.1.5-13 V5] シングルペアイーサネット (SPE)

SPE (シングルペアイーサネット) 標準規格の、フィールドバス標準規格への統合を進めることを推奨する。関連標準規格は、IEC 61158-2 の IEEE に含める必要がある。

[HE 5.1.5-14 V5] Advanced Physical Layer (APL)

APL (Advanced Physical Layer) 標準規格の、関連するフィールドバス標準規格への統合を進めることを推奨する。技術仕様 (IEC TS 63444) が第一歩であり、次に IEC 61158-2 へのコンテンツの統合を行う必要がある。

[HE 5.1.5-15 V5] 産業用位置管理のための一貫した標準化

産業用位置管理には、以下の側面の一貫した標準化が必要である。

- (1) 位置データを決定するテクノロジー
- (2) 位置データのフォーマット
- (3) データストレージ (集中/分散) に関する取決め
- (4) データ転送用プロトコル
- (5) アプリケーションと可視化ツール

[HE 2.6-11 V4] ⇒ [HE 5.1.5-15 V5]

5.1.6 Industrie 4.0 における機能安全

[HE 5.1.6-1 V5] エンジニアリングプロセスにおける機能安全

標準化ロードマップ Industrie 4.0 のバージョン 4 で説明している Industrie 4.0 概念の実装は、プラントおよびコンポーネントの一層のモジュール化を進め、エンジニアリングプロセスに対しても大きな影響を与える。Industrie 4.0 概念では、プラント安全性と機能安全の問題をどのように考慮することができるかを検討する必要がある。これは、アセット管理シエルの概念を「安全なアセット管理シエル」へと拡張することで実現できる。この点で「モジュールタイプパッケージ (MTP)」イニシアティブは特筆すべきものである。このイニシアティブは、オートメーション技術の分野全般でとりわけ機能安全の分野における Industrie 4.0 の側面を考慮するだけでなく、形態を変化させながら生産を行うためのプラント建設に、Industrie 4.0 の原則をうまく適用できる基本的な方法についても説明しているからだ。

[HE 3.5-1 V4] ⇒ [HE 5.1.6-1 V5]

[HE 5.1.6-2 V5] 安全とセキュリティの標準化活動

安全とセキュリティに関する作業は、さらに深化させ、より具体的なものにする必要がある。これは、IEC TR 63069 または IEC TR 63074 の改訂の一環として行うべきである。今後の作業では、特に新たな機械規則 (EU Machinery Regulation) を念頭に置き、その情報セキュリティ要件に対応する必要がある。

[HE 3.5-4 V4] ⇒ [HE 5.1.6-2 V5]

[HE 5.1.6-3 V5] ライフサイクル全体のオンタイムのリスク管理のための標準化された手順と方法

技術文書の機密性を損なうことなく、ライフサイクル全体のオンタイムのリスク管理が可能となるよう、標準化された手順と方法を開発する必要がある。最新のドイツと中国の協定に従い、まずガイドラインを作成する必要がある (ロードマップのバージョン 4 で紹介した、I4.0 の機能安全に関する中国=ドイツ・ホワイトペーパー)。これにより、Industrie 4.0 を適用するさまざまなシナリオがプラントの安全にもたらす可能性がある影響 (リスクの増加、またはリスク低減策の妥協) に対して、利害関係者の意識を高める。さらに、安全およびセキュリティ関連の付属文書を、デジタルネームプレートなどを介して、デジタルで交換可能にする可能性を模索する必要がある。

[HE 3.5-2 V4] ⇒ [HE 5.1.6-3 V5]

[HE 5.1.6-4 V5] 潜在的に危険なシステムまたは安全に関わるシステムとのヒューマン=マシンインターフェイスのための設計要件

潜在的に危険なシステムまたは安全に関わるシステムとの相互作用のためのインターフェイスの設計要件は、ユーザビリティ設計の範囲を超えている。機能安全の側面と人間と技術的信頼性の相互作用の側面を考慮しなければならない。

次の関連標準規格を詳細に調べる必要がある: DIN EN ISO 13849-1 および 2、DIN EN ISO 26800、DIN EN 894、DIN EN ISO 9241-11 および 210。

[HE 2.7-21 V4] ⇒ [HE 5.1.6-4 V5]

5.1.7 産業オートメーションにおける人工知能

[HE 5.1.7-1 V5] AI と Industrie 4.0 のための標準化された用語と定義

「人工知能」に重点を置いた既存の(国際的)標準規格の用語の定義は、Industrie 4.0 での適用性に関して、一貫性の検証が継続的に実施され、産業オートメーションに向けて必要に応じて調和、明確化される。適用に関する不整合や障害が特定された場合は、対応する標準規格委員会で処理される。文書の範囲(仕様、標準規格および規制法)も明確に定義する必要がある。これに関して、既存の規制はより厳格なものにしなければならない。また、AI をベースとしたシステム開発において、AI メソッドの使用を特別に配慮した上で、用語ならびに使用する概念の相互関係に対して共通で一貫した基本的理解を持つことは、産業用 AI システムの開発における学際的な協力の重要な基盤となる。

[HE 4.1-1 V4] ⇒ [HE 5.1.7-1 V5]

[HE 5.1.7-2 V5] AI と Industrie 4.0 の(特に規制活動における)コンテキストでの既存の用語と定義の一貫した適用

規制、その核となる側面、および規制が適用される規制すべき(サブ)システムは、規範的なコンテキストではあいまいで部分的に矛盾があるため、的を絞って規制することも、標準化の義務(「標準化要求」)に基づいて適切に対処することもできない。そのため、既存の AI の定義(および、該当する場合は[HE 5.1.7-6 V5] のメソッド)または品質要件([HE 5.1.7-7 V5] 参照)を一貫して(かつ、規制のコンテキストで)使用すること、または、必要な場合は、既存の標準化された定義の適切な補正に努めることを推奨する。ただし、(既存の定義に部分的に直交する)独自の定式化された参照の作成は推奨しない。同様に、リスクの高い AI システムや安全などについては、既存の標準規格とは適宜明確に区分する必要がある。

[HE 3.5.3 V4] も参照のこと。

[HE 5.1.7-3 V5](ソフトウェア)イノベーションの標準化に関するエンジニアリング専門職のための教育と訓練の強化

人工知能は、主にソフトウェアを中心としたイノベーションとソリューションで構成されている。ソフトウェアを集約したシステムにおけるイノベーションのコンセプトと標準化の役割全般、とりわけそのようなシステムを理解することは、産業において非常に重要である。イノベーションと標準化に関する職業訓練と学校教育の強化が求められる。これに向けて、DIN と DKE によって最初のイニシアティブが、すでに国レベルで始まっている。これらはさらに強化していく必要があり、該当するイニシアティブ(研究と資金調達)には政治的な後押しと支援が必要である。

[HE 5.1.7-4 V5](研究)イノベーションと標準化の結合の強化

国の標準化機関による研究プロジェクトへの参画を強化、推進する。これにより、最新の規範と最先端科学との比較を促進し、助言的かつ統合的な機能として新しい(科学的な)知見を国内または国際的に導入することを目指す。(複数の研究プロジェクトで構成される)大型の科学的イニシアティブにおいて、規範的要素に注目した(同期化とオーケストレーションの)プロジェクトも(よく使われる科学交流プラットフォームと同期化に加えて)検討する必要がある。さらに、欧州レベルでは、これは各国の標準化機関の標準化および科学に関する多国間交流を実現し、欧州の基本的な連邦構造をとって国際的標準化へのレバレッジ効果ももたらす。

[AE 2.2-A1 V4] ⇒ [HE 5.1.7-4 V5]

[HE 5.1.7-5 V5] 標準化マップのさらなる継続的更新と行動戦略の導出

Industrie 4.0 のコンテキストでの AI のための標準化活動の最初のマップが、標準化ロードマップ Industrie 4.0 の前回のバージョン 4 からの行動提言に基づいて作成された。標準化ロードマップに記載されている AI に向けたさまざまな行動提言を活用するため、人工知能全般の、その中でも産業アプリケーション AI 向けの標準化マップの開発と継続的更新を推奨する。特に、ISO、IEC および欧州レベルでの他の国際標準化活動(例: Stand.ICT.eu プロジェクトや人工知能フォーカスグループ)との交流を積極的に推進する必要がある。

[HE 4.1-6 V4] ⇒ [HE 5.1.7-5 V5]

[HE 5.1.7-6 V5] AI システムの分類と評価の基準

AI メソッドの統一されたロケーションフレームワークと評価フレームワークは、水平標準化団体が開発する必要がある。技術システムの自律性の適切な分類、Industrie 4.0 の評価方法に必要な測定基準、ならびにその他の要件、コンセプトおよび方法論は、垂直標準規格委員会が取り扱うべきであり、適切な方法で標準規格委員会が採用する必要がある。品質機能に関する AI メソッドの特性([HE 5.1.7-7 V5] 参照)を考慮する必要がある。AI メソッドの正確な定義、品質基準または品質パラメータ、他の(規範的)定義から明確な区別しなければならない。Industrie 4.0 に関しては、垂直標準規格と関連する水平標準規格の不一致は、標準化の中で適切に検討し、対処するものとする。

[HE 4.1-3 V4] ⇒ [HE 5.1.7-6 V5]

[HE 5.1.7-7 V5] Industrie 4.0 における AI ベースのシステムの品質説明、テスト方法と適合性評価

AI は、(サブ)システムの信頼性、信用度、セキュリティ/安全など、品質を変えることができるツールだと考えられている。そのため、世界共通の基準の定義や、AI ベースのシステムの性能を承認および比較するためのワークフローが求められる。(エンジニアリング)ワークフローや評価基準を適用する際の重要な作業ステップの説明は、特に非常にクリティカルなシステムでは、EU の AI 規制法案に従って、関連する既存の標準規格を考慮しながら規範的に定義しなければならない([HE 5.1.7-8 V5] も参照)。特に、開発、テスト、承認、運用およびメンテナンスといった個々のプロセスのステップの定義を、システムとサブシステムの構成の説明に加えて、AI ベースの部品とそれらの品質基準への影響にも考慮しながら記載する必要がある。この目的のために、承認、信頼性、予測性、制御性、説明可能性、サイバーセキュリティ(セキュリティ)、機能安全(安全)、不確実性といった、特徴的な(品質)機能の意味の均一な定義と説明が必要である([HE 5.1.7-1 V5]、[HE 5.1.7-2 V5] および [HE 5.1.7-6 V5] も参照)。

[HE 5.1.7-8 V5] 人工知能に関する垂直標準化の強化

既存の標準化活動(例: 特に IEC や ISO における電気工学、オートメーション)と(基本的に ISO/IEC JTC 1/SC 42 における)既存の AI 標準化活動の統合を強化する。この目的のために、標準化活動は、ISO や IEC の該当する(テーマに特化した、可能であれば垂直の)団体に移行することを推奨する。ISO や IEC における AI 関連の標準化活動への ISO/IEC JTC 1/SC 42 のさらなる関与が推奨される。

[HE 4.1-7 V4] ⇒ [HE 5.1.7-8 V5]

5.2.1 データスペース

[HE 5.2.1-1 V5] Industrie 4.0 のセキュリティ確保 — 欧州におけるサイバーセキュリティのための法関連の標準化の適合性

新しい法的枠組み (NLF) の下、CEN/CENELEC での欧州規則を裏付けるセキュリティ標準化活動の焦点は、現在、無線機器用のサイバーセキュリティ (RED) に関する作業である。今後予定されている「サイバーレジリエンス法」により、CEN/CENELEC でのセキュリティ関連の作業が広範に及ぶことが予測されている。これは、Industrie 4.0 のセキュリティにとって、セキュリティの水平標準規格の形で、欧州エリアのみならず世界的に非常に重要なものである。暗号化 (およびデータ保護) における地域差は、特にグローバルレベルの通信において、セキュリティ標準規格のプロファイリングとアジャイルな実装の可能性を強めることになるかもしれない。

[HE 3.2-1 V4] ⇒ [HE 5.2.1-1 V5]

[HE 5.2.1-2 V5] データスペースを保護・管理する、グローバルに相互運用可能なアイデンティティ管理とセキュリティ機能

データスペースに関する国際標準規格のみが、グローバルコラボレーションを保護し、保証することができる。eIDAS のような欧州のソリューションの基本的要素は、世界的に補完されるか、アクセス可能にして承認を受けなければならない。

5.2.2 産業セキュリティ

[HE 5.2.2-1 V5] インテグレータおよびオペレータ向けの標準化されたセキュリティ開発プロセス

IEC 62443-4-1 は、コンポーネントサプライヤのセキュリティエンジニアリング・プロセスを定義している。これは、「セキュリティエンジニアリング」という意味での包括的で一貫したセキュリティアーキテクチャの実装を可能にするために、付加価値ネットワークの一部を形成する他の関係者 (機械製造会社、オペレータ、インテグレータなど) を考慮するように拡張しなければならない。

[HE 3.2-7 V4] ⇒ [HE 5.2.2-1 V5]

[HE 5.2.2-2 V5] 組み込みシステムのセキュリティ要素の汎用インターフェイス

Industrie 4.0 デバイスでの暗号ベースのセキュリティ機能の実装は、攻撃から保護されなければならない。適切なセキュリティハードウェアを統合することで、高いセキュリティレベルを実現できる。ただし、特殊な境界条件を備えた市場で入手可能なアセンブリは多種多様で複雑なため、統合コストが高額になり、製造業者やインテグレータにとって、とりわけ中小企業にとって適用時のハードルが比較的高くなる。多くのハードウェアメーカーが統一プログラミングインターフェイスとしてサポートしている「汎用トラストアンカーAPI」が役立つ。

[HE 3.2-8 V4] ⇒ [HE 5.2.2-2 V5]

[HE 5.2.2-3 V5] キー管理をサポートするグローバルインフラストラクチャ

「ゼロトラスト」の原則により、企業の IT と OT の両方 (または、Industrie 4.0 の適用シナリオ全体) をカバーするエンドツーエンドのセキュリティアーキテクチャの実装を目指す。ここで、その結果としてのセキュリティメカニズムは、可能な限りグローバルに相互運用が可能であり、たとえばキー管理に適したインフラストラクチャにサポートされていることが重要である。

[HE 5.2.2-3 V5]

[HE 5.2.2-4 V5] Industrie 4.0 セキュリティ管理プロセス

Industrie 4.0 の枠組み内でのネットワーク化の進展により、ドメイン間で相互作用が可能な、セキュリティ管理のための調整された協調的なプロセスと標準規格が必要となる。これには以下に挙げるものが含まれる。

- 動的に再構成可能な自動化システム用のセキュリティ管理のサポート(プラグ & オートメート)
- セキュリティ管理へのデジタルツインの統合
- セキュアな動的パッチ管理
- 脆弱性情報用の統一された機械可読フォーマット
- 継続的コンプライアンス監視
- レジリエンス、事業継続性
- セキュリティイベントハンドリング
- サプライチェーンセキュリティ

[HE 3.2-10 V4] ⇒ [HE 5.2.2-4 V5]

[HE 5.2.2-5 V5] ソフトウェアサプライチェーンにおける必要な情報成果物としての SBOM の確立 (Industrie 4.0 用)

既存の標準規格である ISO/IEC 5962:2021、SPDX および OWASP CycloneDX のソフトウェア部品表 (SBOM) の規格、および法的規制要件 (US: EO 14028 section 4 (e)、EU: CRA および NIS2.0) を検討する。

[HE 5.2.2-6 V5] 「セキュリティトレーニング」ガイドライン

IT セキュリティのさまざまな側面について、製品とシステムの計画段階および開発段階で考慮しなければならない(「Security by Design」)。生産と IT の世界が融合し、能力要件が根本的に変化することから、生産に携わる従業員には新たな IT セキュリティ知識が必要になる。重要な組織的セキュリティおよびプロセス固有のセキュリティに関する側面は、それらの実装に関して該当する標準規格において考慮する必要がある。「セキュリティトレーニング」の適切なガイドラインの標準規格は、そこから導出しなければならない。

[HE 3.2-11 V4] ⇒ [HE 5.2.2-6 V5]

[HE 5.2.2-7 V5] アセット管理シエルのセキュリティ

アセット管理シエルに含まれている個々の項目には、バリューチェーンでの運用における完全性、アクセス/機密性、および検証可能な処理のためのセキュリティメカニズムが必要である。IEC/TC 65 内での作業を継続する。

[HE 5.2.2-8 V5] アセット管理シエルのタイプおよびインスタンス情報を交換するためのセキュリティ基準

タイプやインスタンスに関する情報を交換するために、オンラインとオフラインのオプションが用意されている。転送ファイルのデータ形式が提案されている。真正性および機密性を確保するためのメカニズムは、グローバル標準規格として定義し、確立しなければならない。アクセス API が定義される。これは、セキュアな識別手段([HE 5.2.2-11 V5] 参照)およびアクセス制御([HE 5.2.2-9 V5] 参照)のコンセプトに合わせた調整が必要である。

[HE 3.2-6 V4] ⇒ [HE 5.2.2-8 V5]

[HE 5.2.2-9 V5] Industrie 4.0 のアクセス、役割、承認メカニズム

Industrie 4.0 の共同作業の枠組みにおけるデータおよびリソースへのアクセスし、また使用するには、標準化されたルールが必要である。IEC 62351 などの既存概念を出発点として利用できる。実装に関わる境界条件には、スケーラビリティや、特定の垂直要件の形式による表現の可能性が含まれる。

[HE 3.2-5 V4] ⇒ [HE 5.2.2-9 V5]

[HE 5.2.2-10 V5] アジャイルシステムのセキュリティ

異なる形で規定されていることもある、さまざまなセキュリティドメイン内のエンティティの Industrie 4.0 通信または協力のため、(能力と特性に基づく)セキュリティプロファイルの技術的交渉に用いる標準規格の定義。

これには以下に挙げるものが含まれる。

- 関係するパートナーの識別と認定(要件とソリューション)
- 協力パートナーの信頼性評価
- 情報の分類に対する技術サポート、および適切に分類されたデータの取扱いに関する要件
- 特に AI メソッドを使用する場合は、その品質を保証しなければならない。評価方法が重要であり、開発する必要がある(研究)。
- トピック品質証明書
- 定義の信用性プロファイル — 機能、サプライチェーン、トレーサビリティ、(クラウドの信用性)、信用性フレームワーク(ISO/IEC JTC 1/SC 41)

[HE 3.2-3 V4] ⇒ [HE 5.2.2-10 V5]

[HE 5.2.2-11 V5] 産業向け 5G セキュリティ

5G の機能と可能性には、動的で柔軟かつスケーラブルなセキュリティアーキテクチャが可能であることが求められる。適切な産業ユースケースに基づいて、5G 規格の枠組み内において、ISO/IEC 27001 や IEC 62443 のような既存のセキュリティ規格を考慮したうえでセキュリティ要件の策定が可能でなければならない。

- 産業セキュリティガイドラインは、特に Industrie 4.0 ベースの企業間通信において実行可能でなければならない。
- IEC 62443 や ISO/IEC 27001 の適用は、特に企業内での業務に関して可能でなければならない。
- デバイス、機械、プラントの通信メタデータの保護を保証しなければならない。このことは特に、電気通信事業者が信号チャネルを介して収集できるデータに適用される。
- 業界互換のセキュリティ要件を、5G 標準化プロセスに積極的に組み込む必要がある。

[HE 3.2-9 V4] ⇒ [HE 5.2.2-11 V5]

[HE 5.2.2-12 V5] セキュアなドメイン間通信のためのセキュリティインフラストラクチャ

セキュアな通信には、セキュアな識別手段(識別子と属性)とトラストアンカーが必要である。セキュアな識別手段を生成および管理し、その信用性を確保するには、セキュアなインフラストラクチャが必要となる。そのための要件としては、スケーラビリティ、レジリエンス、採算性、長期的な目的適合性、および地域の法的権限を超え、かつそれから独立した(ユーザー定義の)信用性などがある。セキュアな Industrie 4.0 通信をサポートするためのクロスドメイン・ガバナンス機構を定義し、標準化しなければならない。

これには、すべての産業関係者の緊密な連携が必要になる。全国および地域のソリューション(eIDAS など)の使用と統合の可能性については、規制当局の支援を得て調査し、実地試験/パイロットプロジェクトにより検証しなければならない。

[HE 3.2-2 V4] ⇒ [HE 5.2.2-12 V5]

5.2.3 プライバシー

[HE 5.2.3-1 V5] バリューネットワーク内での個人情報の保護

バリューネットワーク内での個人データの保護から、バッチサイズ 1 のオーダーメイドの製品に必要な個人データの保護までの、プロセスの標準規格の定義:

- それぞれのコンテキストにおけるデータと情報の分類規則(コンテキストは、データの機密性と有意義性に大きな影響を与えるため強い関連性がある。たとえば、薬物データベースにリンクできるようにならない限り、インターネットでの注文で使用する商品番号は無害に見えるが、リンクされると、その製品が抗がん剤や向精神薬であることなどが明らかになる。商品番号の形式が医療機器を意味するという知識も重要である)。
- 機密データと情報の交換に関する規則(どのデータがどのような状況下で受け渡しされるか、受け手はそれをどのように処理できるか、必要に応じて削除する必要がある場合)
- 協力パートナーの信用性の評価方法: 方法の例としては、メーカーの宣言、証明書、監査がある。

[HE 3.3-1 V4] ⇒ [HE 5.2.3-1 V5]

[HE 5.2.3-2 V5] 従業員の個人データまたは個人関連データの取扱い

大規模なデータ収集、保存、処理は、Industrie 4.0 にとって不可欠である。その意味での安全目標には、データの可用性、完全性、機密性、および法律に則った処理が含まれる。従業員にとっては、たとえば支援システムを使用する際に収集される個人データまたは個人関連データの取扱いが、特に関係が深い。たとえば、DIN EN ISO 27500、ISO 924 ff.および ISO 26800 は、追加または修正が必要である。

[HE 2.7-6 V4] ⇒ [HE 5.2.3-2 V5]

[HE 5.2.3-3 V5] データ保護基準と Industrie 4.0 シナリオの関係

Industrie 4.0 シナリオに関連する既存の標準規格の目的に対する適合性を明確にしなければならない。

- ドメインの境界(例: 管轄区域間の境界)を超えた自動通信の場合、関連するデータ保護要件と、そこから派生した関連セキュリティ要件の調和が必要になる。
- アクセス制御基準は、たとえば、EU からデータ保護のレベルが EU と同等であると認められている第三国または認められていない第三国へなど、バリューチェーンでの国境を越えたデータ転送の場合、特にそのような認識が許可されたりまたは撤回されたりする可能性があることから、それぞれのデータ保護レベルが確実に考慮されるようにするため、ドメイン指向の方法でリソースが管理できなければならない。アクセス制御基準のドメイン指向管理は、こうした認識ダイナミクスを機能的にカバーするものでなければならない。データ保護基準は、Industrie 4.0 プロセスで製造された「インテリジェント」家電製品(家電製品、おもちゃなど)とその通信ニーズ(メーカーへの返信を含む)に適用しなければならない。

[HE 3.3-3 V4] ⇒ [HE 5.2.3-3 V5]

[HE 5.2.3-4 V5] データ保護規制に準拠した監査

個人データを処理したり、データ保護に適合する方法で危険なインターフェイスでの作業を行ったりする際の監査プロセス用標準規格の定義。次のような方法がある。

- データ保存(例: 集計)のロギングの方法
- 機密データを後で集計または削除できるよう、ローカルで処理および評価する方法

[HE 3.3-2 V4] ⇒ [HE 5.2.3-4 V5]

5.2.4 信用性

[HE 5.2.4-1 V5] Industrie 4.0 バリューネットワーク内でのコラボレーションの信用性に関するプロセス標準の定義

これには、以下の事柄が含まれる。

- 「信用性機能プロファイル」の標準化
- 協力パートナーの信用性の評価方法。メカニズムの例としては、メーカーの宣言、証明書、監査がある。
- 機密データや情報を交換するためのルール
- B2B 用の最小限のセキュリティ要件
- プロセスとコンポーネントの統合
- 規制条項の順守

[HE 3.4-1 V4] ⇒ [HE 5.2.4-1 V5]

[HE 5.2.4-2 V5] 信用性のための機械可読プロファイル

信用性のための機械可読プロファイルは、[HE 5.2.4-1 V5] および [HE 5.2.4-3 V5] の自動実装の前提条件である。

[HE 5.2.4-3 V5] バリューチェーン(信頼の連鎖)に沿った、標準化された信用性管理メカニズムの定義

サプライチェーンに沿った価値貢献の信用性は、製品のライフサイクルの間に変化することがある。

サプライヤと顧客間の二者関係を越える政府の規制もあり、これには信頼の連鎖の管理が必要である。

5.3.2 持続可能性モジュールの概要

[HE 5.3.2-1 V5] 「持続可能性の基本的要素」

Industrie 4.0 システムにおいて、持続可能性の側面をデジタルかつ自動的に取得、評価するための実装に関し、デジタルデータの取得とさらなる処理のためのさまざまな標準モジュールを定義することを推奨する。これらの標準モジュールは、その後、必要に応じてより大きな情報単位に柔軟に集約できる。

[HE 5.3.2-2 V5] (産業)プラントでの気候と環境のデータ

(産業)プラントや生産施設の気候、環境データと、その他の生態学的持続可能性の側面は、標準化された書式で記録、提示し、比較可能にする必要がある。

[HE 5.3.2-3 V5] 生産施設における社会的持続可能性の側面

(産業)プラントや生産施設の社会的持続可能性の側面は、標準化された書式で記録、提示し、比較可能にする必要がある。

[HE 5.3.2-4 V5] (産業)プラントや生産施設向けのデジタル持続可能性パスポート

(産業)プラントや生産施設の生態学的/社会的持続可能性の側面は、生態学的持続可能性や社会的持続可能性のデータを混在させることなく、均一で明確に構成されたデジタル持続可能性パスポートに統合する必要がある。

[HE 5.3.2-5 V5] モバイルプラントでの気候と環境のデータ

モバイルプラントや移動手段の気候、環境データと、その他の生態学的持続可能性の側面は、標準化された書式で記録、提示し、比較可能にする必要がある。

[HE 5.3.2-6 V5] 社内プロセス

社内プロセスを説明し、第三者とプロセス情報を共有するための標準化されたフォーマットを開発し、確立することを推奨する。

[HE 5.3.2-7 V5] プラントおよびサイトでの直線的プロセス

(産業)プラントや複数のサイトでの主に直線的のプロセスの説明のため、標準化されたフォーマットを開発することを推奨する。これは、プロセス内、または協力アクターの間でデータや情報をやりとりするための標準化された方法を不可欠な部分として定義する。

[HE 5.3.2-8 V5] アセットをまたぐ循環プロセス

複数のアセットをまたぐ循環プロセスの説明のため、標準化されたフォーマットを開発することを推奨する。これは、循環プロセス内、または協力アクターの間でデータを共有するための標準化された方法を不可欠な部分として定義する。

[HE 5.3.2-9 V5] 製品の気候と環境データ

製品に直接関係する気候と環境のデータは、標準化された書式で収集、提示し、比較可能にする必要がある。

[HE 5.3.2-10 V5] 製品用デジタル持続可能性パスポート

製品の気候、環境データとその他の持続可能性側面をデジタルで文書化し利用可能にするため、デジタル持続可能性パスポートの内容と構成について、標準化したモジュール式フォーマットを開発し、確立することを推奨する。

[HE 5.3.2-11 V5] デジタルエコシステム/ネットワーク

ネットワーク全体の評価に着目した、デジタルエコシステムやネットワークの持続可能性評価のための標準規格が必要である。

5.3.3 社会的持続可能性の側面と行動提言

[HE 5.3.3-1 V5]

時間および場所とは無関係に作業を組織する可能性が高まっているため、モバイル作業がさらに広まり、コロナ禍でこの流れが一気に加速した。モバイル作業の設計オプションは、定置作業のものとは本質的に異なる。たとえば、DIN EN ISO 9241-1:1997 は、追加または修正が必要である。データ転送問題など、特定の側面の標準化の妥当性を評価できるよう、生産環境でモバイル/場所を選ばない作業の普及に関するデータの収集を推奨する。作業機器を操作する必要性やさまざまな場所で作業する人への情報の伝送がともなう、場所を選ばない作業に関連するユースケースは、データグラスのような支援システムの標準化に含める必要がある。特に、動画や音声データの伝送の遅れは、離れた場所からの作業(例:トラブルシューティング)のパフォーマンスを低下させユーザーの認知負荷が増す。

[HE 2.7-7 V4] ⇒ [HE 5.3.3-1 V5]

[HE 5.3.3-2 V5]

インクルーシブな作業設計について、既存の標準規格を追加・拡大する、または個別に検討することでどの程度考慮されているかを検討しなければならない。例として、Industrie 4.0 作業システムの設計を、さまざまな障害を持った作業員固有の能力、要件、ニーズに合わせたり、障害を持つ人をシステム設計プロセスに含めたりすること(早期の適切な参加)が挙げられる。また、支援システム、ユーザーインターフェイスなどの標準化が、少なくとも2つの感覚器官とシンプルな言語によって情報を提供できるようになっているかどうかについても見直す必要がある。

6.1 オープンソースコンテキストでの要件

[HE 6.1-1 V5] オープンソースコミュニティとの標準化の協力の強化

オープンソースコミュニティとの標準化の協力を強化することを推奨する。ここで、Industrie 4.0 の枠組み内の仕様(例: DIN SPEC や VDE SPEC)は、試験的な試みの良い契機となる。

[HE 3.1-1 V4] ⇒ [HE 6.1-1 V5]

[HE 6.1-2 V5] シナジーの特定と連絡窓口の設定

Industrie 4.0 の普及を加速するため、オープンソース実装の開発を、より広い範囲まで推し進める必要がある。ここでシナジーを特定し、特に標準化による相互作用において、オープンソースプロジェクトの利用や協力がしやすくなる(例: DIN DKE OSPO 経由の)連絡窓口を設定しなければならない。

[HE 3.1-2 V4] ⇒ [HE 6.1-2 V5]

[HE 6.1-3 V5] 相互関与

オープンソースと標準化を共同で進められる可能性をより効果的に活用し、活動は共同で考えなければならない。そのため、標準化はオープンソースプロジェクトに、より緊密に関与することを推奨する。同様に、オープンソースソリューションは、標準化活動において(Industrie 4.0 の分野で)一層考慮する必要がある。

6.2 ユースケースのコンテキストでの要件

[HE 6.2-1 V5] ユースケースによる標準化活動の正当化

原則として、すべての標準化プロジェクトは、事例/ビジネスシナリオ/ユースケースに基づいて正当化する必要がある。この目的のためのインプットとして、IEC 63283-2 のユースケース集が利用できる。ユースケースが IEC 63283-2 にないことを見つけた場合、そのユースケースの欠落を IEC/TC 65/WG 23 TF Use Cases に報告する必要がある。

[HE 6.2-2 V5] データスペースのユースケースを追加する IEC 63283-2 の補足

[HE 6.2-1 V5] の結果を分析して、IEC 63283-2 は、「データスペース」ユースケースによりどの程度まで補足可能であり、また補足が必要かを判断する(責任機関: IEC/TC 65/WG 23 TF Use Cases)。

[HE 6.2-3 V5] ユースケースの体系的整備

製造産業におけるデータの提供、評価および管理についての事例/ビジネスシナリオ/ユースケースの体系的な整備(責任機関: Gaia-X コミュニティ、ZVEI データエコノミー作業グループ、VDMA プラットフォームエコノミー・作業グループなど)。

注釈: この行動提言には、特に、標準化ロードマップ Industrie 4.0 バージョン 5 の「産業データスペース」の章で紹介したテーマ(データスペースが新しい用途を開く可能性をもたらす)の詳細も含まれる。

[HE 6.2-4 V5] 標準化に関する行動提言

IEC/TC65/WG 23 ユースケースで策定された標準化に関する要件からの、標準化に関する行動提言の導出(責任機関: IEC/TC 65/WG 23 TF ギャップ分析および標準化に関する提言)

[HE 6.2-5 V5] ユースケース集の分析

たとえば、ISO/IEC JTC 1/SC 41、ISO/IEC JTC 1/SC 42 などからの、IEC/TF 65/WG 23 ユースケースの完了に関する既存のユースケース集や新規のユースケース集のスクリーニング(責任機関: IEC/TC 65/WG 23 TF Use Cases)

[HE 6.2-6 V5] IEC/TC 65/WG 23 のタスクフォース「Smart Manufacturing Use Cases」の支援

IEC/TC 65/WG 23 のタスクフォース「Smart Manufacturing Use Cases」(IEC TR 63283-2「産業プロセスの測定、制御および自動化 — スマートマニュファクチャリング — パート 2: ユースケース」)は、Industrie 4.0 についての一貫した代表的ユースケース集を取得するために、ドイツからの積極的なサポートを必要とする。これは、タスクフォースが Industrie 4.0 環境の多様なユースケースを体系的に統合するための中心的ハブとしての立場を確立するのに役立つ。

[HE 2.1-1 V4] ⇒ [HE 6.2-6 V5]

[HE 6.2-7 V5] ユースケースの記述に関する国際的調整

IIRA テンプレートなど、より詳細な記述に基づきユースケースを定式化するさまざまなコンセプトは、継続する必要がある。例としては、中国と日本との共同活動や、Labs Network Industrie 4.0 の厳選された活動のほか、特に AI-PPP4 内の人工知能に関連して計画されているものなど、EU レベルでの活動もある。

[HE 2.1-2 V4] ⇒ [HE 6.2-7 V5]

[AE 6.2-8 V5] 「ユースケース」という用語の使用

「ユースケース」という用語に過度な負荷がかかるといけないよう、引き続き努力する必要がある。統一的理解を規定することが目的ではないものの、この標準化ロードマップで形成された理解に関連させて活動の位置付けを行い、それをさらに強化できるようにすることを推奨する。

[AE 2.1-A1 V4] ⇒ [AE 6.2-8 V5]

[HE 6.2-9 V5] 作業の組織化と設計のためのユースケース

作業の組織化と設計は、作業システムの主要要素であり成功するための重要な要素である。ユースケースは、作業の組織化とタスク構造について目標とするイメージを特徴づけ、ユーザーを巻き込むためにどのような対策が計画されているかを記述する必要がある。作業システムの設計のさらに中核的な要素は、(たとえば、DIN EN ISO 6385 に則り) 人間工学に基づくタスクに適した作業機器の設計である。そのため、関連のあるユースケースは、この要件を達成する方法を記述する必要がある。社会技術的ユースケースは一般的に、新しい能力要件を示唆するため、能力と能力開発の必要性をどのように判定し、または少なくとも推定するか、Industrie 4.0 コンポーネントの設計は、Industrie 4.0 作業システムの能力維持、能力開発、学習/発達促進設計にどのように貢献するか、また Industrie 4.0 作業システムの能力維持、能力開発、学習/発達促進設計に関して他にどのような方法を検討し、設計すべきかについて、各ユースケースで記述する必要がある。将来を見据えた作業設計では、想定される身体的および心理的危険とその予防を記述し、評価するためのユースケースを開発することが重要である。

[HE 2.7-3 V4] ⇒ [HE 6.2-9 V5]

6.3 機械可読性のある標準規格のコンテキストにおける要件

[HE 6.3-1 V5] 標準規格のデジタル化と標準化のための、Industrie 4.0 のメカニズム、原則およびオントロジーの適応

RAMI 4.0(参照アーキテクチャモデル Industrie 4.0)およびアセット管理シェルのような Industrie 4.0 のコンセプトとメカニズムは、標準規格と標準化のデジタル化のコンテキストにおいて、今後も調査を続け、適用する。原則として、Industrie 4.0 の課題は、標準規格と標準化のデジタル化に移転可能であるため、対象となるソリューションの整合性または互換性を確保する必要がある。最初のステップは、Industrie 4.0 関連の情報単位とセマンティクスのメカニズムを特定し、標準規格情報モデル(SIM)に統合することである。

[HE 6.3-2 V5] Industrie 4.0 適用の場合における断片的な標準規格情報の利用

SMART 標準規格と想定される情報モデル(SIM)を効果的に利用するには、断片的なセマンティック情報を扱う対象システムが、そのような情報をすぐに利用できる状態になっていなければならない。そのため、アセット管理シェルや他の Industrie 4.0 システムのコンテキストで、デジタル標準コンテンツのインポート、処理、再利用ができる方法を考案する必要がある。最初のステップは標準規格のサブモデルの開発であり、それにより、さまざまな拡張段階にある標準規格から、ドキュメントベースの情報と断片的な(提供ベースの)情報の両方を表現できるだろう。

[HE 6.3-3A V5] 参照する定義の利用と統合(IEV など)

用語の一意性を確立するためには、名称と定義が 1 対 1 で対応することを目指す必要がある。この目的に対して、IEV(IEC 60050)における参照の定義は、すでに標準化の専門用語を統合した状態となっており、極力変更せずに利用すべきである。新しく定義せざるを得ない場合、新たな IEC TC 1 プロジェクトの一部として、参画する委員会を特定し、定義を調整して、IEV を補足または修正する必要がある。

[HE 2.4-4 V4] ⇒ [HE 6.3-3A V5]

[HE 6.3-3B V5] 関連するすべての標準的定義の体系的な比較

IEV(IEC 60050)の拡張と、技術委員会の標準化プロジェクトの両方において、定義の再利用を促進するために、有効な標準規格から関連のあるすべての用語のエントリを収集する必要がある。専門用語のデータベースと関連のあるエントリを体系化するツールを使用すべきである。他の標準規格からの逸脱については、各技術団体が注釈で説明しなければならない。

[HE 6.3-3C V5] 系統的マッチングへのソフトウェアサポートによる支援

IEC/TC 1 およびその他の技術団体での関連のあるすべての用語エントリの収集は、完全性を保証するためにデータベース主導型にする必要がある。可能性のある選択肢を管理可能にし、情報に基づく選択をするために、テキスト比較のサポート、定義の事前構築、およびルール違反の指摘において、コンピュータによる支援を利用すべきである。

[HE 6.3-3D V5] ソフトウェアサポートによる形式の検証の支援

用語の形式上の不一致を防ぐため、ISO/IEC 専門業務用指針、パート 2:2021、ISO 10241-1:2011(2022 年に確認)、ISO 860:2022 および ISO 704:2022 に従い、定義作成のための形式要件を検討する必要がある。要件準拠の検証は体系的に行い、可能であればツールによるサポートを受ける。

[HE 6.3-4 V5] 標準規格利用者のためのスキル

Industrie 4.0 に関連する SMART 標準規格の開発と利用に必要なスキルを見直す。

注:「リーダーシップ」のテーマに関する **[HE 2.7-5 V4]** は、標準化の具体的な可能性が特定されていないことから、最新のロードマップでは扱っていないことに触れておく必要がある。「生涯学習」のテーマに関する **[HE 2.7-9 V4]** も、VDI/VDE Society for Measurement and Automation Technology (VDI/VDE 計測・自動制御技術分科会)の「Arbeitswelt Industrie 4.0」専門委員会において、該当するガイドラインが作成されたため、もはや取り上げていない。さらに、「作業環境、作業空間、ワークステーションの設計」のテーマに関する **[HE 2.7-28 V4]** は、このテーマが法的側面に関係することから最新版には含まれていない。標準化ロードマップ Industrie 4.0 のバージョン 4 [\[2\]](#) も参照のこと。



4 利害関係者と 標準化の環境

4.1 ドイツ、欧州および世界の標準化の分類と環境

この章では、ドイツ、欧州および世界の標準化を取り巻く環境について概説する。現在の標準化環境の全体像は、付属書で確認することができる。

4.2 ドイツの状況

ドイツの Industrie 4.0 標準化戦略を実行するために、2013年に Plattform Industrie 4.0 が創設された。そして、Standardisation Council Industrie 4.0 (SCI 4.0) と Labs Network Industrie 4.0 (LNI 4.0) がこれに続いた。図2に示すように、この3つの組織が影響し合うことで迅速な対応が実現し、戦略、構想、テスト、標準化が相互に織り込まれた構造が形成される。さまざまな試験センターのパートナー間における連携によって、市場に関連する要件を生成することが可能となる。検証された結果はその後、SCI 4.0 を通じて標準化プロセスに直接組み込まれる。Plattform Industrie 4.0 が定義する知見や概念も考慮され、SCI 4.0 を介して適切に焦点を絞った方法で国際標準化に反映されることになる。その結果、市場性のある製品の開発が加速され、Industrie 4.0 概念に関して言えば、ドイツが常にトップを維持することが可能になる。

Plattform Industrie 4.0 は、3つの業界団体 BITKOM、VDMA、ZVEI によって設立されたものであり、現在、連邦経済・気候保護省 (BMWK) および連邦教育研究省 (BMBF) が主体となって管理している。Plattform Industrie 4.0 は、産業界、科学分野、労働組合、政界および消費者グループの代表者が結集し、工業国としてのドイツという共通の未来を実現するための作業に協力して当たっている。標準化に加えて、焦点となる分野には、研究およびイノベーション、ネットワーク化したシステムのセキュリティと安全、法的枠組み、雇用と(追加)訓練などの活動分野がある。ドイツの標準規格団体である DIN と DKE は、これらの作業グループに参加し、特に国際的レベルでその成果を標準化プロセスに適用するにあたり、Plattform Industrie 4.0 をサポートしている。

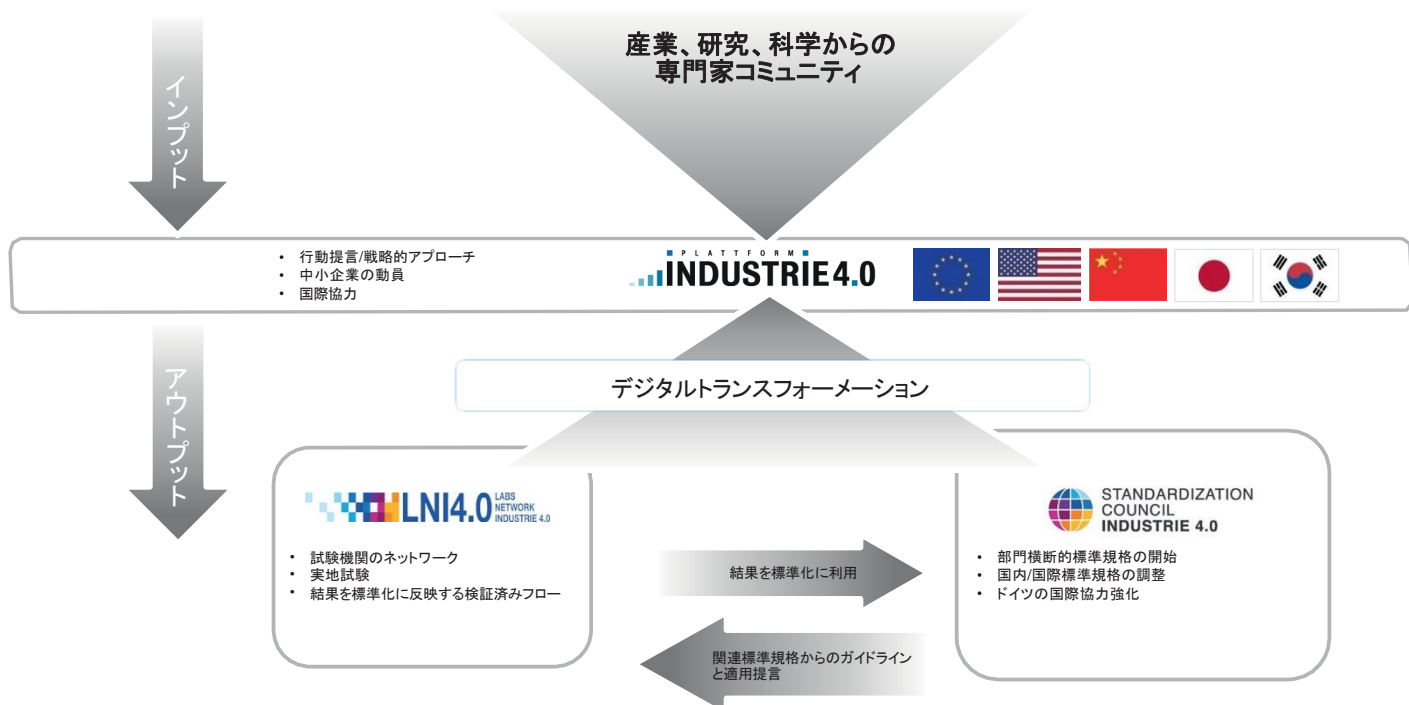


図2: 中心的アクターのネットワーク(出典: SCI 4.0 より)

DIN と DKE は、業界団体の BITKOM、VDMA、ZVEI とともに、**Standardization Council Industrie 4.0 (SCI 4.0)**を設立した。SCI 4.0 は、標準化活動を調整する責任を担っており、Industrie 4.0 のコンテキストでの標準化に関するあらゆる事柄に対応する連絡窓口としての機能を果たしている。Plattform Industrie 4.0 と連携することで、SCI 4.0 はドイツの利害関係者をまとめ上げ、国際機関や国際コンソーシアムにおいてその利益を代表している。また、SCI 4.0 は、特定されたニーズを満たす新たな標準化プロジェクトに着手、実行することで、試験センターでの実地試験というコンセプトもサポートしている。

Labs Network Industrie 4.0 (LNI 4.0)は、Plattform Industrie 4.0 の企業と BITKOM、VDMA、ZVEI によって設立されたものである。Industrie 4.0 に関連する新しいテクノロジーやビジネスモデル、ユースケースを試験センターで試験し、市場投入前にそれらの技術的および経済的な実現可能性を検証することができる。したがって LNI 4.0 は、特に中小企業にとって、理想的な実験室や実験用環境を提供するということである。SCI 4.0 との緊密な連携により、新しい Industrie 4.0 ソリューションと、それらの基となった標準規格および仕様の試験が可能になる。そしてその結果は、国内外の両方で、標準規格や仕様のさらなる開発に直接組み込まれることになる。

4.3 世界の状況

関連する欧州委員会と国際委員会、および重要な調整機関の概要をここにまとめる。

- **CEN/TC 310**「高度オートメーション技術とその応用」
- **CEN/TC 319**「メンテナンス」
- **CEN/TC 438**「積層造形」
- **ISO/TC 184**「オートメーションシステムおよび統合」
- **IEC/TC 65**「工業用プロセス計測制御およびオートメーション」
- **ISO/IEC JTC 1**「情報技術」
- **ISO/IEC JTC 1/SC 41**「インターネット・オブ・シングスおよびデジタルツイン」
- **ISO/IEC JTC 1/SC 42**「人工知能」
- **ISO/TC 307**「ブロックチェーンおよび分散型台帳テクノロジー」

4.4 調整機関—スマートマニュファクチャリング

ドイツ主導の下、**ISO/TMBG/SMCC**⁵「スマートマニュファクチャリング調整委員会」は、Industrie 4.0 のテーマに関する国際的な取り組みを積極的に推進してきた。ここでの目的は、学際的な形で作業を調整し、特に共通の国際的アプローチの創出に関して実施提言を作成することである。同時に、国際的取り組みを形成するうえで重要な役割を担う国内プラットフォームを関係者に提供するため、国内委員会が DIN に設置された。

IEC/SyC SM⁶ドイツが議長を務める「スマートマニュファクチャリング・システム委員会」は、IEC の Standardization Management Board (標準管理評議会 (SMB)) の直下に配置され、2018 年にその業務を開始した。**IEC/SyC SM** のタスクは、標準化活動の調整に加えて、特に関連する標準規格団体とコンソーシアムとの連携におけるギャップと重複を特定することである。**ISO/TC 184**⁷と **IEC/TC 65**⁸の作業の間に重複が多数存在するため、この 2 団体は、2017 年 7 月に ISO/IEC の共同作業グループ 21 (**ISO/IEC JWG 21**)⁹「スマートマニュファクチャリング参照モデル」を設立した。**ISO/IEC JWG 21** は、ドイツと日本が共同で主導している。その目的は、特にライフサイクルや、アセットに関連する技術的・組織的階層などのさまざまな側面に関して既存の参照モデルを調整し、スマートマニュファクチャリングの参照モデルを開発することである。さらに、アセットの仮想表現において欠かせないスマートマニュファクチャリング・コンポーネントの基本アーキテクチャの開発も計画されている (Industrie 4.0 コンポーネント)。

CEN-CENELEC-ETSI「スマートマニュファクチャリングに関する調整グループ」(**SMa-CG**¹⁰)は 2019 年に設立され、DIN/DKE が主導している。同調整グループは、スマートマニュファクチャリングに関する現在の欧州の活動について助言し、CEN、CENELEC および ETSI と、SDO および標準化に関するその他の第三者機関との足並みを揃えている。

⁵ **ISO/TMBG/SMCC**「ISO スマートマニュファクチャリング調整委員会」(SMCC)


⁶ **IEC/SyC SM**「スマートマニュファクチャリング・システム委員会」

⁷ **ISO/TC 184** オートメーションシステムおよび統合

⁸ **IEC/TC 65** 産業プロセス、測定、制御およびオートメーション

⁹ **ISO/IEC JWG 21** 共同作業グループ 21「スマートマニュファクチャリング参照モデル」

¹⁰ **SMa-CG** CEN-CENELEC-ETSI「スマートマニュファクチャリングに関する調整グループ」



5 重要テーマにおける 標準化

5.1 側面 1：相互運用性

5.1.1 産業アプリケーションにおける特性とシステム統合

デジタルエコシステムでは、サプライヤ、物流会社、製造業者など、さまざまな産業の企業が、複雑な付加価値システムの中で絡み合っている。バリュープロポジションを提供するために、企業は、工場、プラント、ツール、可変式ソフトウェアや制御システム、エンジニアリングツール、さらには単なるネジに至るまで、さまざまな技術システムを用いる。

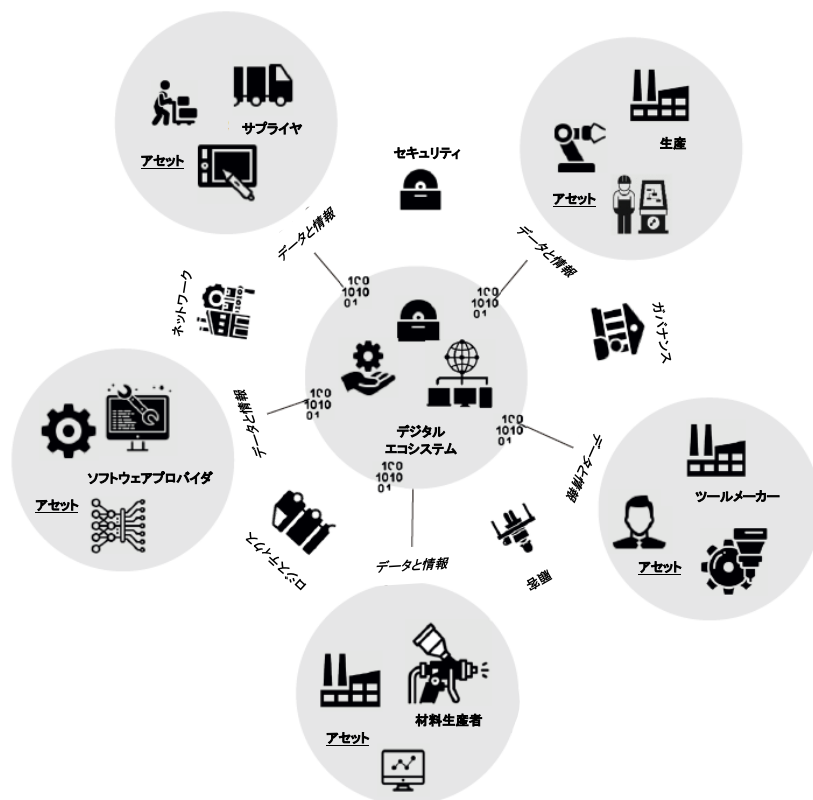
工業生産環境における技術システムの相互運用性 [11]、[12]、[13] のためには、システム間の情報交換が重要な役割を果たす。特に異種混在システムには、外部機関の助けを借りずに独立して意図的に相互作用する能力または**特性**が必要である(5.1.3 項も参照)。システムを分類し、データと情報をシンプルな値で表現するために、プロパティまたは特性がこの目的で使用される。

5.1.1.1 技術システム

よく知られているように、Industrie 4.0 とは、運用中に環境やユーザーのニーズに適合させることができる [15] インテリジェントな**技術システム** [14] を開発し、また、多種多様な技術サブシステムを新興のデジタルビジネスプロセスに、従来より広範囲に、極めて効率的に統合することである。「インテリジェンス」を「問題解決能力」と理解した場合、技術システムが人間または組織に対して定義された問題を解決する限りにおいて、インテリジェンスの属性が技術システムにあると考えることができる。そのようなシステムは、データの構成、処理、保管、および他のシステムとのデータ交換を、簡単かつ包括的に行うことができる必要がある。

システム間の相互作用と通信は、これらの関係において安定した相互作用を条件とする(図 3 参照)。そのため、Industrie 4.0 標準化の目的は、そのようなシステムが互いに独立して構築可能であると同時に、完全に相互運用可能な形で運用できる方法を特定することである。

図 3: 工業生産環境でのアセットと相互運用性
(出典: O. Meyer, Fraunhofer IPA)



工業生産環境での**相互運用性**は、自律かつ独立して運用されている異種混在システムが、物質界または実世界からの外的影響の助けを受けることなく、目標とする方法で協働し、明確に情報を交換する能力を指す [15] (5.1.3.1 項の「意味上の相互運用性」も参照)。Industrie 4.0 において「**アセット**」とは、単なる技術システムではなく、組織にとって価値のあるオブジェクトである (IEC TS 62443-1-1:2009¹¹および ISO/IEC 20924:2021¹²を参照)。

5.1.1.2 社会技術システムとしてのアセットの要件

すべてのアセットは、参照アーキテクチャモデル Industrie 4.0 を使って、その複雑な相互関係の中でアーキテクチャの観点から記述できる [12]。技術システムでの人間と機械またはプラントとの間の相互作用が含まれる場合、私たちは**社会技術システム**について言及している [16]。Industrie 4.0 のバリューネットワークは、その本来の性質上、System of Systems であるため、これは技術的に理解されている相互運用性の面だけでなく、Industrie 4.0 作業システムの人間中心設計の面にも結果をもたらす。こうした結果はとりわけ、テクノロジー、組織および人の総合的な見解と設計 (社会技術システム設計) が不可欠な、システム設計の分野で生じる。これが結果として行動提言となる [HE 5.1.1-1 V5]。

Industrie 4.0 バリューネットワークの代表的なプロパティのひとつが、それらが System of Systems で構成されており、そのため本質的に複雑度が高いということである。この傾向は、技術的イノベーションが速いペースで継続し、変化のダイナミクスが (破壊的イノベーションのレベルまで) 拡大することにより、さらに深まるだろう。上記のように、Industrie 4.0 の価値創造ネットワークのこのような複雑さは、Industrie 4.0 作業システムの人間中心設計と構成によって、システム全体に関する要件の定義と目標の計画段階においてさえも大きな課題である。マイクロレベルの設計 (例: 支援システム、ヒューマン=マシンインターフェイスの設計) では、これは、学習に資する作業設計を目的とする場合は特に、人工知能、オートメーションおよび支援システム (例: データグラスやタブレット) の使用と、行動と意思決定、学習要件、および開発のインセンティブの範囲の設定とを慎重に比較検討することが重要であることを意味する。

したがって、複雑さは常に低減するべきであるという一般的論は当てはまらず、代わりに差別化した考えが必要となる。複雑な情報の選択と提示も、バランスをとる必要がある [HE 5.1.1-2 V5]。

将来を見越した予防的な作業設計という意味では、この全体的統合の考え方は、ごく初期の段階で採用すべきである。ただし、Industrie 4.0 の要素が後で既存のシステムに統合されることになったとしても、要件の決定段階の早い時点で、技術的側面に加えて社会的側面も考慮する必要がある (社会技術要件エンジニアリング)。標準化ロードマップ Industrie 4.0 のバージョン 4 [2] では、作業設計者はこの複雑な要件を処理する際に支援が必要だと指摘した。ドイツの標準規格委員会 NA 023-00-06 AA「Ergonomics for work design and product design for integrated and intelligent digitalization (統合されたインテリジェントなデジタル化に向けた作業設計と製品設計のための人間工学)」は、そのため、導入知識の提供を目的として、現在、企業の作業設計者をサポートするプロジェクトに取り組んでいる [HE 5.1.1-3 V5]。

作業者は、Industrie 4.0 システムの作業システムの将来の主要ユーザーとして、またその経験的知識をもってそれぞれの作業システムの使いやすさと人間中心設計に重要な貢献をする開発・設計パートナーとして、その役割を評価し、考慮されるべきである。

システム設計のプロセス全体に対しては、(反復的な) 要件定義、開発、実現および実装の従来のウォーターフォールモデルではなく、テクノロジー、環境、世界経済および社会文化の開発ダイナミクスを考慮した、アジャイルな反復的アプローチが必要となる。これが、最先端技術と社会技術要件に対応するプロセスと結果の品質を保証する唯一の方法だからである [HE 5.1.1-4 V5]。

人間と機械の間での動的なタスクの割当て (機能分割) にはさまざまな可能性がある (例: タスクの割当てがアルゴリズムに基づいて日々調整されシステムによって指定される場合、タスクの割当てがオペレータによって日々決定される場合)。これらは、さまざまな心理社会的効果に関連している (例: 自己効力感の経験)。しかし、タスクの割当ては、タスク処理の前にプランナが決定し、従業員にはそれに影響することができない通常のプロセスとは相反しているため、従業員に対して透明性があり理解可能なものとする必要がある。

¹¹ IEC TS 62443-1-1:2009「産業用通信ネットワークネットワークおよびシステムセキュリティ - パート 1-1: 用語、概念およびモデル」

¹² ISO/IEC 20924:2021「情報技術 - モノのインターネット (IoT) - 語彙」

従業員の安全、セキュリティ、心理社会的影響に特に注意を払い、適応性のあるタスク割当てのプロセスに付随する評価手順を開発し、標準化に組み込む [HE 5.1.1-5 V5]。これは、データ保護のテーマにも関係している。

デジタル支援システムを使って作業する際の人間と機械の間の機能分割の動的な設計において、その場の状況、現在のタスク、作業者の持つ知識とスキルなどにより、そのプロセスに引き続き人間が関与する場合、また、人間に行動および意思決定、学習や開発の機会についての余地が残されている場合は、ソリューションは、Industrie 4.0 作業システムの人間中心設計として分類することができる。「学習に資する作業設計」や「人間の作業能力の予防/維持」の側面に加えて、これは同時に、Industrie 4.0 の価値創造プロセスの全体的な信頼性の向上につながる可能性が高い。なぜなら作業者が、異常や予期せぬシステムの状態に積極的に、またその状況に合わせて適切に対応する立場にあり、その状況が維持されるからだ。この方法で、特にリスクの高いプラントにおいて、人間と環境への重大な結果につながる可能性のあるエラーを防ぐことができる [HE 5.1.1-5 V5]、[HE 5.1.1-6 V5]、[HE 5.1.1-7 V5]。

5.1.1.3 Industrie 4.0 のプロパティと共通言語

各アセットには、情報の世界で記述されるある特性またはプロパティがあり、「特性」、「機能」、「プロパティ」という用語は、互換的に使われることが多い。意味の違いをはっきりとさせるため、「機能」と「プロパティ」という用語の用法を以下に示す。このコンテキストでは、**機能**は物質界で観察されるアセットの特性であり、アセットの分類にも使用できる。**プロパティ**は、情報の世界でそのような機能を定義する表現である。国際的に標準化されたプロパティの使用を推奨する。

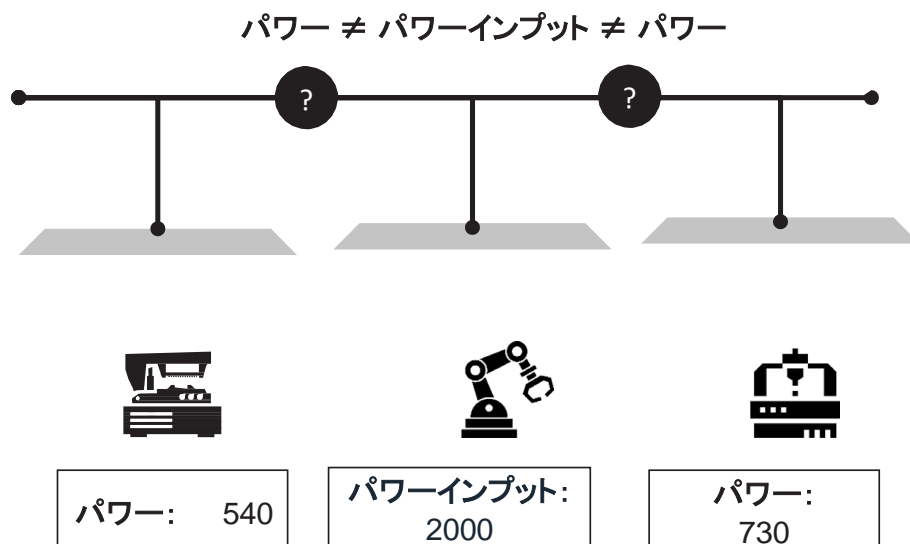
各機能は、アセットに恒久的に割当てられている。たとえば、あるアセットの機能は、そのコンポーネント、材料および形状により定義され、プロパティによって余すことなく記述することができる。特に、システムの境界を越えて、コンテンツの損失を最小限に抑えながら情報を取得し通信する情報技術システムの能力は、標準化されたプロパティを使用することで実現する。意味上の相互運用性のコンセプトは、機能の表現の交換により、**標準化されたプロパティ**という意味で、受信システムがそのデータを事実上正しい形に解釈し、注文、生産指示、メンテナンス情報などのその後のプロセスで利用することが可能となることを想定している。

アセットの特性の記述は、その表現にとって不可欠な前提条件である。ここで、機能の定義と指定、使用における値の仕様、識別、および属性や参照を持つ(バイナリ)データの技術的表現の形式での送信データのスキーマを考慮する。そのような形式の情報によって、情報を持つ機能のリストとして物質界のアセットを取得し、それを仮想世界に忠実に反映することができるようになる。

しかしながら、機能のみでアセットを表現するのは十分ではない。アセットが他のアセットと情報を交換するために(図 4 参照)、相互作用のメカニズムを備えた**セマンティクス**(5.1.3 項も参照)に基づいた**共通言語** [17] を定義して、情報を処理するための統一モデルを提供しなければならない。人間にとっては、それぞれの環境で相互作用するための経験と知識に基づき情報をあいまいなまま解釈し、実際の行動のコンテキストについての仮定をいつでも修正できれば十分であるが、機械はその行動のコンテキストが明白な場合のみ適切に機能できる [18]。これは、開発、製造、販売プロセスなどの企業間のコンピュータ支援プロセスの実行には、このような機能と可変プロセスの状態が、運用情報の世界を越えて明確に定義されることが欠かせないということを意味する。この方法でのみ、両側のコンピュータは送信された情報を解釈し、互いに理解することができる。

生産に関する他の重要な規範的活動は、個別生産や連続生産に使われる機械およびプラント工学製品のための **OPC UA** [20] のような、セマンティックインターフェイス標準規格に依存する。アセット間のデータ交換には、ライフサイクルの生産段階からのセマンティック的に標準化された情報や、識別などの関連する必要情報が含まれる。インターフェイスの標準規格には 2 つのクラスがある。ドメイン固有の標準規格は、ロボット、マシンツール、射出成形機といった、個別の機械やコンポーネントのタイプに関する固有の情報を定義する。インターフェイス標準規格シリーズ「**OPC UA for machinery**」は、状態監視、結果の送信、ジョブ管理やエネルギー管理といった選択したユースケースに基づいたクロスドメイン情報を定義する。生産のデジタルツイン用の生産情報の包括的な意味上の記述を目的とする。

図 4: Industrie 4.0 の最大の挑戦「リ
ンガフランカ」(出典: O. Meyer,
Fraunhofer IPA より [1])



2022年の時点で、機械およびプラント工学製品用の OPC UA インターフェイス標準規格には、約 60 の仕様が規定されており [21]、オープンソースとして公表されている。全世界で約 600 の企業¹³、組織、およびさまざまなセクターの委員会が、生産からクラウドシステムへの生産情報の相互運用可能な通信のためのデファクトスタンダードとして、生産用の統一言語の開発に関与している¹⁴ ([AE 5.1.4-5 V5] も参照)。

5.1.1.4 特性マッピング用の標準化された辞書の作成

特性をマッピングする方法は、標準規格で規定されている。相互運用性の要件を満たすプロパティは、たとえば、ECLASS **コンテンツ開発プラットフォーム** (CDP) [22] の **辞書エントリ** を介して、IEC 61360-4 **共通データ辞書**¹⁵ (IEC CDD) により IEC において、または ISO 22745¹⁶ により ISO/TC 184/SC 4¹⁷ 「産業データ」において標準化されている。

プラグ & プロデュースとして知られているものを達成するために、なじみのあるプラグ & プレイ概念を、情報技術からオートメーション技術に転用する取り組みが現在行われている。プラグ & プロデュース概念の重要なステップは、要件の調整とデバイスの特性の保証である [19] [HE 5.1.1-8 V5]。IEC 62832¹⁸ シリーズ「デジタルファクトリーフレームワーク」のコンセプトでは、さまざまなアセットのプロパティ・バリューステートメント間の関係を記述することであり、自動化された方法でそれらと比較することで、この点をさらに深く追求する。さらに、以下の同様の活動を検討する必要もある。

- ECLASS と IEC CDD の調整 ([HE 5.1.1-11 V5] も参照)
- IEC CDD におけるシステムコンポーネントの包括的記述
- IEC 作業グループによる将来的な記述という方法での、ドメインからの標準化モデルの定義
- OPC UA コンパニオン仕様からプロパティの記述までのマッピングの手順の開発 ([AE 5.1.4-5 V5] および [HE 5.1.4-6 V5] も参照)

¹³ VDMA「OPC UA 作業グループの概要」

¹⁴ VDMA「OPC UA に基づくグローバル生産言語」

¹⁵ IEC 61360-4「共通データ辞書」

¹⁶ ISO 22745 シリーズ「産業オートメーションシステムと統合オープン技

術辞書およびマスターデータへの適用」

¹⁷ ISO/TC 184/SC 4「産業データ」

¹⁸ IEC 62832 シリーズ「デジタルファクトリーフレームワーク」

プロパティの標準化においてもひとつ着目するのが、**メンテナンスに関する文書化と交換**およびアセットのライフサイクル全体の情報である [HE 5.1.1-9 V5]。そのため、最終的な目的は、技術文書用の適切な語彙を標準化することである。この作業は、**iiRDS** 標準規格および **VDI 2770 Part 1**¹⁹[HE 5.1.1-10 V5] の枠組みの中で継続される。**iiRDS** コンソーシアムと VDI 委員会の共同作業は、2つの標準規格間の互換性を確実なものとするために、ここ数年活発に行われている。この目的で、**VDI 2770 Part 1** をさまざまな言語に翻訳するために必要な準備が2022年に詳細に検討され、国際的 NWP(新作業の提案)の申請が **IEC/TC 3/WG 28**²⁰に提出された。プロジェクトは、ドイツ主導の下、**IEC PAS 63485 ED1**²¹「Intelligent Information Request and Delivery Specification(インテリジェント情報の要求と配信の仕様)(iiRDS) – 情報アーキテクチャ用プロセスモデル」として開始された。

IEC では、**IEC TC 65/ SC 65E/WG 2**²²および **IEC SC 3D**²³において現在作業が進められている。**IEC TC 65/SC 65E/WG 2** は、製造におけるインテリジェントアセットの記述を標準化する方法を開発中であり、2つのコンピュータシステム、たとえば顧客のシステムとサプライヤのシステム間において、機能や機能リストを使用した電子的なデータ交換に、アセットの記述をどのように使用できるかを規定する。

クラスとプロパティの定義、構成および識別、製品データの構造設計、辞書およびオントロジー、情報の発行、IEC CDD のメンテナンスと品質管理は、**IEC SC 3D** において継続して実施される [HE 5.1.1-12 V5]。

現在の標準規格にセマンティクスを含めるための拡張は、ここ数年で活発に進められている([HE 5.1.4-7 V5] も参照)。2021年に発表された、**ホワイトペーパー**「Modelling the semantics of data of an Asset Administration Shell with elements of ECLASS (ECLASS の要素を持つアセット管理シェルデータのセマンティクスのモデリング)」には、ECLASS 辞書への要件が説明されている。これには特定のデータタイプの利用に対するセマンティック要件が含まれている。ECLASS 協会は、このような要件を実装するプロジェクトを開始し、相互運用性を裏付けるデータ構造の定義を始めている。これらの修正とデータ構造は、ECLASS 13.0 の次の版で発表があると予想される。

IEC では **IEC SC 3D** が、IEC 辞書の基本的定義を更新し、IEC 辞書に対するセマンティック要件を裏付ける作業を開始している。新規プロジェクトは 2022 年に開始した。

- **IEC 61360-1**²⁴: 標準規格の第 4 版は第 5 版として改訂され、セマンティック作業からのメソッドと要件を考慮したものとなる。たとえば、「動的プロパティ」の裏付けも議論される。
- **IEC 61360-6**²⁵: 第 1 版は改訂予定であり、IEC CDD におけるセマンティックコンテンツの定義に対するガイドラインが改良されることとなる。
- **IEC 61360-7 DB**²⁶: 多くの異なるドメインで平等に使用することができるデータ構造を規定した、新しい製品データ辞書が発行された。

5.1.1.5 グローバルな規範的環境でプロパティを調和させる取り組み

IEC、ISO および ECLASS において、現在数箇所で見られる並行開発は、関係する団体間での**プロパティを調和させる**活動によってさらに調整する必要がある [HE 5.1.1-11 V5]。この中で、ECLASS と IEC が ISO と協力して 2020 年末に開始した共同プロジェクト COMDO(スマートマニファクチャリング用 One COMmon Data Repository)が、単一の共通データリポジトリの開発の実現を目指して活発に進められた。ここでも、関連するユースケース全体での実装計画を策定するため、共通リポジトリ(図 5 を参照)の現在の実装アプローチに進展があった [HE 5.1.1-12 V5]([HE 5.1.4-7 V5] も参照)。次のステップは、プロジェクトパートナーの技術運営委員会(IEC/SMB、ISO/TMB、ECLASS Board)に対して実現可能な実装案を提出することである。

(CDD)」

²⁴ **IEC 61360-1** 第 5 版「関係する分類スキームの標準データ要素タイプ - パート 1: 定義 - 原則と方法」

²⁵ **IEC 61360-6** 第 2 版「電気コンポーネント用標準データ要素タイプと関連する分類スキーム - パート 6: コンセプトの使用のための CDD モデリングガイドライン」

²⁶ **IEC 61360-7 DB**「クロスドメインコンセプトのデータ辞書」

¹⁹ **VDI 2770 パート 1**「プロセスエンジニアリングプラントの運用 - 加工産業のためのデジタル製造情報の最低条件 - 基本」

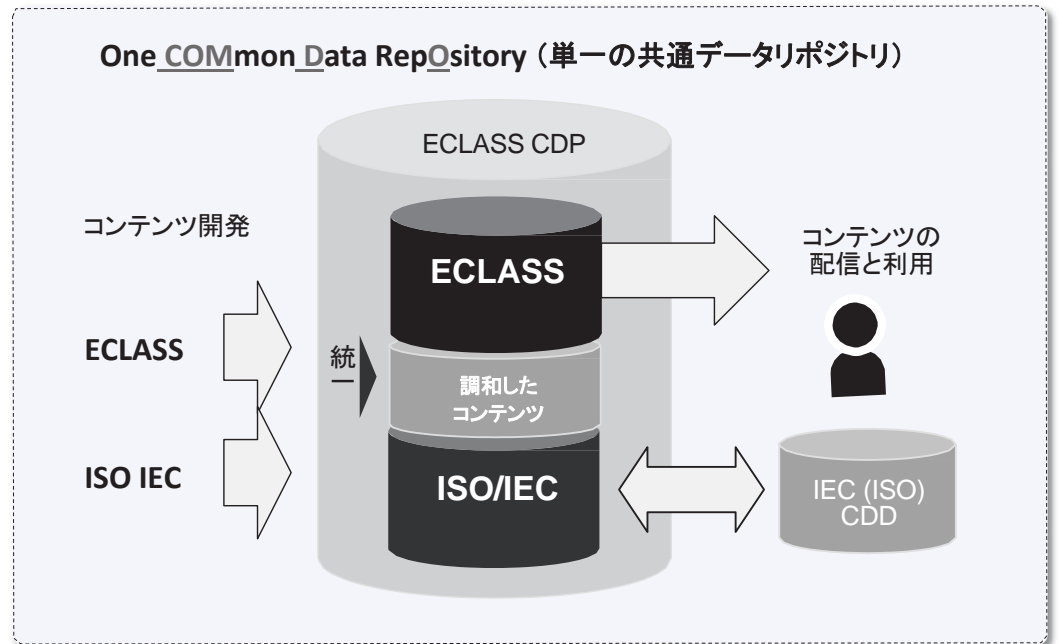
²⁰ **IEC/TC 3/WG 28**「インテリジェント情報の要求と配信の仕様(iiRDS) - 情報アーキテクチャ用プロセスモデル」

²¹ **IEC PAS 63485 ED1**「インテリジェント情報の要求と配信の仕様(iiRDS) - 情報アーキテクチャ用プロセスモデル」

²² **IEC TC 65/SC 65E/WG 2**「製品のプロパティと分類」

²³ **IEC SC 3D**「製品のクラス、プロパティおよび識別 - 共通データ辞書」

図5: COMDO プロジェクトにおけるプロパティの統一(出典: O. Meyer, Fraunhofer IPA, COMDO より)



5.1.2 参照アーキテクチャモデル

参照アーキテクチャモデルは、Industrie 4.0 のシナリオのスムーズな実装に必要なツールと成果物を提供し、構造的枠組みを設定する。参照アーキテクチャモデルは、バリューチェーンにおいて技術オブジェクトの統合と相互作用を保証することから、特にデジタルエコシステムで特別な役割を担っている。

ソフトウェアシステムのアーキテクチャは、相互作用するコンポーネントの組成上の関係という意味で、基本的にシステムの構造と理解されている(ISO/ IEC/IEEE 42010²⁷および [HE 2.2-1 V4] と [HE 2.2.-2 V4] に関する Progress Report [1] を参照)。中でも、これらの関係の影響についての知識があれば、アーキテクチャ設計者は技術システム内で要件を効率よく実装できる [23]。そのため、(ソフトウェア)システムの一般的に認められている構成原則という意味で、参照アーキテクチャは、要件の実装とその理解のプロセスを体系化するために非常に有用であり、標準化において重要な役割を担う。

5.1.2.1 Industrie 4.0 用参照アーキテクチャモデルに対する新たな要件

そのような参照アーキテクチャのモデリングは、通常システムレベルだけでなく規制レベルでも実施される。これは最終的には、ライフサイクルにおける技術システムの進展を、事前に定義したルールに従って取り込むことを目的としている。両方のレベルを利用することで、別のパターンが生じることがある。これらはモデルとして取り込まれることが多く、アーキテクチャ設計者が完全なアーキテクチャ(例: 企業 IT アーキテクチャ、クラウドアーキテクチャ、IoT アーキテクチャ)を構築するために必要な参照ポイントとなる。ルール準拠は、バリューチェーンにおける相互運用性の基本的な前提条件であり、出発点である。これによってアーキテクチャ設計者は、各システムを個々の部分と、その複雑さの両方で記述することができる([HE 2.2-3 V4] に関する Progress Report [1] からの結果も参照)。

参照アーキテクチャモデル Industrie 4.0 (RAMI 4.0)[12] は、Industrie 4.0 の最も重要な側面を三次元で整理統合したものである。そのコンセプトは IEC PAS 63088 として発表されており、国際標準規格としての出版は準備中である。これにより、Industrie 4.0 のすべての参加者が、確実に共通の考え方を採用し共通の理解を構築することになる。

²⁷ ISO/IEC/IEEE 42010「システムとソフトウェアエンジニアリングアーキテクチャの記述」

図 6: 参照アーキテクチャモデル Industrie 4.0 (RAMI 4.0) (出典: Plattform Industrie 4.0 および ZVEI)

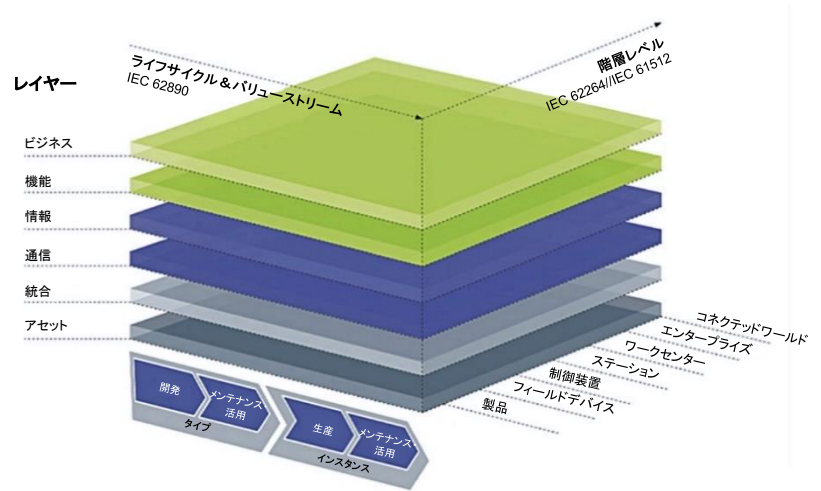


図 6 に示すように、Industrie 4.0 の基本的側面は 3 つの軸で構成されている。このモデルの 3 軸に応じて、機械などのオブジェクトを分類できるようになる。こうして、高度に柔軟な Industrie 4.0 の概念は RAMI 4.0 で記述と実装が可能となる。参照アーキテクチャモデルによって、今日の世界から Industrie 4.0 の世界へと段階的に移行できる。このテーマに関する詳細は、標準化ロードマップ Industrie 4.0 のバージョン 4 で説明している [2]。

特に、意味上の相互運用性は、RAMI 4.0 に関して重要な役割を担う(第 2 章および 5.1.3 項)[12]、[24]。RAMI 4.0 と記号三角形の記述要素は、互いに直接関係している。RAMI 4.0 の X 軸は、タイプの開発からインスタンスの活用までを表し、セマンティックな手段により(「タイポグラフィ」としての記号三角形のセマンティクスの領域から)宣言される。RAMI 4.0 の Y 軸は、ネットワーク化された起業家的・技術的世界、すなわち安全とセキュリティのゾーンの製品が含まれ、物理的・技術的手段で(モノ(デバイス、機械など)の記号論の領域から)実現される。RAMI 4.0 の Z 軸は、システムアーキテクチャを含み、標準規格に用いられる言語的・オントロジー的手段によって捉えることができる。なぜなら、それは統合、通信、情報の導出、機能およびビジネスプロセスに関するもので、そこではアセット(つまり意味論上かつ物質的にモノと見なされるもの)が使用され、組み込まれるからである。

「ライフサイクル & バリューストリーム」軸は、記号三角形ではコンセプトから製品への段階的な意味の変化として理解され、そのためセマンティックな手段(例: グラフベースの成果物や様相論理)によって記述される。

5.1.2.2 インダストリアル IoT (IIoT) の環境における現在の作業

たとえば IEC 62832 シリーズ「デジタルファクトリーネットワーク」の意味でのネットワーク化したスマートファクトリーは、モノのインターネット (IoT) とデジタルツインのビジョンの上に構築される(5.1.4 項も参照)。そのようなファクトリーは、産業機械、建物、家電製品、または自動車など、あらゆる「モノ」が IoT という意味でネットワーク化されている。前のセクションで説明したように、バリューチェーンにおいて、さまざまなタイプの情報を処理し、相互運用可能かつセマンティック的に正しい形で情報を交換することができる生産施設である。

製造業界では、インダストリアル IoT (IIoT) についてよく言及されている。これは、センサーや装置をネットワークに接続し、データを収集することから始まる。このデータは、ERP のようなソフトウェアシステムや物理的アセットと連動して、生産プロセスまたは物流を最適化することで生産性を大幅に改善することができる。センサーは、さまざまな実データセットの集合を取り込み、最新の生産情報を追跡するために必要である。実データセットは、デジタルツインによって対象とするデータセットとリアルタイムで比較できる。

ネットワーク化の側面は、IoT の基礎となる参照アーキテクチャとともに、ISO/IEC JTC 1/SC 41²⁸「インターネット・オブ・シングスおよびデジタルツイン」において積極的に標準化されている。この中で ISO/IEC JTC 1/SC 41 によって多くの標準規格が現在リストアップされており、これがインテリジェントシステムの開発にとって重要な基本的要素となる。ドイツでは、同じ名前の作業委員会 DIN NA 043-01-41 AA²⁹が、こうした標準規格の開発に多大な貢献を果たしている([HE 5.1.4-3 V5]、[HE 5.1.4-4 V5] も参照)。

²⁸ ISO/IEC JTC 1/SC 41「インターネット・オブ・シングスおよびデジタルツイン」

²⁹ DIN NA 043-01-41 AA「モノのインターネット (IoT) とデジタルツイン」

- ISO/IEC 30141:2018³⁰、第1版(2018-08-30)「モノのインターネット(IoT) - 参照アーキテクチャ」を現在作成中。
- ISO/IEC 21823³¹シリーズ「モノのインターネット(IoT) - IoTシステムの相互運用性」、最初の第4部まではすでに発行済み。
- ISO/IEC 30165:2021³²、第1版(2021-07-06)、「モノのインターネット(IoT) - リアルタイム IoT フレームワーク」
- ISO/IEC TR 30176:2021³³、第1版(2021-11-04)、「モノのインターネット(IoT) - IoTとDLT/ブロックチェーンの統合: ユースケース」
- ISO/IEC 30162:2022³⁴、第1版(2022-02-07)、「モノのインターネット(IoT) - インダストリアル IoTシステム内のデバイスに対する互換性要件とモデル」
- ISO/IEC 30147:2021³⁵、第1版(2021-05-28)、「モノのインターネット(IoT) - ISO/IEC/IEEE 15288 システムエンジニアリングプロセスにおけるIoTの信用性活動の統合」

5.1.2.3 標準化におけるクラウドコンピューティングと産業クラウドプラットフォーム

IoTは、処理や分析が可能で、ユーザーが利用可能な大量のデータを生み出す。このプロセスは、継続的なフィードバックループ内で行われ、通常は、人間または機械学習や人工知能のようなインテリジェントソフトウェアのいずれかによって、ほぼリアルタイムで実行される。高速化され、信頼性の高まったサービスからユーザーが恩恵を受けられるようにするためには、通常、ローカルでの演算能力やデータ可用性が必要である。これは、エッジコンピューティングのコンテキスト、すなわちユーザーの物理的ロケーションまたはデータソースの近くで実現でき、機密性の高いアプリケーションの使用や帯域幅を節約するための低遅延など、組織に大きな利益をもたらすことができる。エッジコンピューティングにより、組織は多数の拠点に共通のリソースプールを分配したり、増え続けるデバイスやデータの需要を満たすよう集中管理のインフラストラクチャの規模を拡大したりできる。IoTとクラウドコンピューティングが連動し、たとえばIoTゲートウェイは、エッジ、クラウド、または中央データセンターの間でデータを送信し、さらにローカルで処理することができる。

産業クラウドプラットフォーム(例: IoTアーキテクチャを基盤としたもの)やクラウドコンピューティングは、デジタルエコシステムの設計において中心的な役割を担う。サービスプラットフォームとのネットワーク化の際に特定の通信プロトコルやネットワークにしばられない、異種混在のスマートオブジェクト(センサー、アクチュエータ、モジュール)のリモート管理のような、クラウドベースのプラットフォームのIoTソリューションが、現在のエネルギー危機において機能し始めている。ISO/IEC JTC1 Advisory Group on Systems Integration Facilitation (SIF) (システム統合の促進(SIF)に関するISO/IEC JTC1 諮問グループ)³⁶ [25] は、JTC1委員会の専門性を高め、複雑な市場の要求に合わせたシステム統合の分野で標準化を活用するために2016年に設立された。そのためこのグループは、モノのインターネットとエッジコンピューティング、およびそれらが持続可能な開発目標と欧州グリーンディール [26] に及ぼす影響について、International IoT Security Round Table (国際的IoTセキュリティラウンドテーブル)とのさらなる標準化作業や情報交換を推奨する(5.3項も参照)。

高レベルの信用性を確立し、インフラストラクチャ、データ、サービスの相互運用性と携帯性を向上させるため、他のイニシアティブも、データ共有やデータ自律性のコンセプトに貢献している。たとえば、参照アーキテクチャの開発(International Data Spaces Association IDSA [27])、人工知能、データテクノロジー、ロボットなどのバリューベースの信頼性の高いテクノロジーの研究、開発、応用(Big Data Value Association BDVA [28])、機械レベルの相互運用性に必要なツール(OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) [16] をベースとした umati [29])といった、オープン標準規格に基づく自律したデータ共有の基本原則が、Gaia-Xの枠組み内で進められている。

³⁰ ISO/IEC 30141:2018「モノのインターネット(IoT) - 参照アーキテクチャ」

³¹ ISO/IEC 21823 シリーズ「モノのインターネット(IoT) - IoTシステムの相互運用性」

³² ISO/IEC 30165:2021「モノのインターネット(IoT) - リアルタイム IoT フレームワーク」

³³ ISO/IEC TR 30176:2021「モノのインターネット(IoT) - IoTとDLT/ブ

ックチェーンの統合: ユースケース」

³⁴ ISO/IEC 30162:2022「モノのインターネット(IoT) - インダストリアル IoTシステム内のデバイスに対する互換性要件とモデル」

³⁵ ISO/IEC 30147:2021「モノのインターネット(IoT) - ISO/IEC/IEEE 15288 システムエンジニアリングプロセスにおけるIoTの信用性活動の統合」

³⁶ システム統合の促進(SIF)に関するJTC 1 諮問グループ

このような学際的な連携は、本来、柔軟で拡張可能なルールに基づいたフレームワークアーキテクチャ上に構築されなければならない [HE 5.1.2-1 V5]。これによって、コグニティブサービス、リアルタイム・アプリケーション、データ主権、マーケットプレイス、その他デジタルエコシステムにおける、現在および将来の多くの要件のための世界的に認められた枠組みが実現するはずである。このために、たとえば Gaia-X エコシステムは、規制、産業、および技術に関する標準への規範的貢献（「標準規格のアーキテクチャ」[30] として知られる）を、そのようなエコシステムへの参加者が利用できるようにする。Gaia-X アーキテクチャ [31] の最新版で策定されているこの一連の規則は特に、高レベルの相互運用性とセキュリティを保証する。

5.1.3 セマンティクスと特性

セマンティクスに関する標準化のニーズは、人間に対応する Industrie 4.0 システムの導入と使用において特別な注意を要する。

Industrie 4.0 システムは、相互作用点またはヒューマン=マシンインターフェイスで、人間に適した（つまり「解釈可能」な）相互作用を行うことができる場合、人間に適していると言える。

5.1.3.1 意味上の相互運用性

参照アーキテクチャモデル（RAMI 4.0 など）において、相互運用性は通常、コンテンツに関する情報とデータを交換するための通信レイヤー上で定義される。同時に、セマンティクスとシンタクスの両側面を含む、**意味上の相互運用性**のための独立したレイヤーが、すべてのモデルに用意されているわけではない。意味上の相互運用性には、このように交換したデータの形式と意味が含まれる。機械とプロセスの間で交換した情報の意味を維持することができる場合、機械とプロセスの間の相互運用性は「セマンティック」と呼ばれる。

つまり、意味上の相互運用性には、たとえば、継続測定プロセスが測定値を保存プロセスに引き渡す時など、異なるドメインに由来するプロセス間でデータ形式を通信する能力が含まれる（IEC ホワイトペーパー「Semantic interoperability: challenges in the digital transformation age」[32] も参照）。この時、測定プロセスと保存プロセスの間での通信または同期を可能とするためには、両者の間に共通理解がなければならない。また、測定データの制作者と使用者の表現の間には、互換性も必要である。たとえば、アナログ測定装置がデジタルメモリーに接続されている場合、必要に応じて、一定の作業範囲でアナログ値はデジタル値へ、またはその逆に、マッピングされなければならない。

ヒューマン=マシンインターフェイスを検討するとき、機械の解釈と人間に適した解釈は異なるということに注意する必要がある。「人間に適した」とは、人間は自らに適したある専門的知識を表現し、自己判断ができる、またはその可能性があることを意味する。丁寧に説明すると、人間に適した相互作用とは、表徴、センテンス、および記号は、人間と機械によって同等の方法で意味的に解釈され、人間と機械の間で交換可能であることを意味する。これは、標準規格に基づくこともあるが、いずれにせよ、FOL またはグラフ理論のコンセプトという方法など、共有される意味上の表現に基づいて解釈される。

機械が解釈する能力（マシン=マシンインターフェイス）は、人間が解釈する能力とは異なる。機械は、相互運用可能な形で、つまり、環境や時間に依存する方法でプロセスを実行または制御できるようにするために、言語やルール（例：青写真）を解釈する必要がある。一方、人間は数学的に精密で自明の宣言型プロセス記述に、経験に基づいて対処できる。ただし、人間の作業員または機械の使用者は、それを行う必要な資格を持っていることを前提とする。

Industrie 4.0 作業システムを、学習に資する方法、そして人間に適した形で設計できるようにするために、システム全体レベルで理解できる方法で、情報の流れと人間とシステムのインターフェイスを設計することが必須となる。これに加えて、用意する適切な支援システムは、システムの習熟と理解、および、業務で必要な際にコンテキストを認識する作業員の能力をサポートするものでなければならない [HE 5.1.3-1 V5]、[HE 5.1.3-2 V5]。

5.1.3.2 セマンティクスの表現形式に対する要件

要求された特性をセマンティクスの分類する必要性は、なによりもまず標準化自体に関係する。機械が解釈可能、かつ直接リンクできて分析が可能な文書やコンテンツへと標準規格をデジタル化するには、適切なセマンティクスのラベル、すなわち標準規格文書を記述するためのオントロジーだけでなく、コンテンツの生成や管理、適用ができる適切なツールやプロセスも必要となる。関連する問題は、たとえば、DKE Digital Standards Initiative（デジタル標準規格イニシアティブ）または SemNorm で対応する。

Digital Standards Initiative IDiS [33] の見解では、自身をひとつのコミュニティと捉え、デジタル標準規格と関連する標準化のデジタルトランスフォーメーションの共通理解(とメリット)を業界とともに開発し、収集したユースケースに基づいてデジタル標準規格の共通ビジョンを策定することを使命としている(SMART 標準規格に関する 6.3 項も参照 [33])。

DIN の CONNECT プロジェクト SemNorm³⁷では、「実行可能なセマンティック標準規格の作成ガイド」が作成された。標準規格の「実行可能性」とは、コンピュータに転送され記号のまま実行可能な CP アセットのデータとプロセスの操作モデルを意味する。標準規格の「セマンティクス」とは、その公理とプロセスの変数を人間が「読み取り」可能で、そのモデルで分析可能な宣言的モデルを意味する。

操作モデルと宣言的モデルの両モデルとも、Industrie 4.0 生産システム用など、ドメイン固有の言語で表現される。ツールチェーンと作業プロセスにおける関連する変更は、それぞれの利害関係者、すなわち発行団体としての標準規格団体や使用者としての企業のインフラストラクチャに効果的に定着させるため、十分な準備が必要である。そのため、初期の段階でインフラストラクチャにおける準備をすること、すなわち、将来のデジタル標準規格の要件に適切に対応できるように、適応や拡張のニーズを特定し対処することを推奨する [HE 5.1.3-3 V5]。標準化の目的は、工業製品の生産に向けた Industrie 4.0 オントロジーを策定するための操作的成果物と宣言的成果物を提供することである。

操作的表現と宣言的表現の両方のフォーマットを統合したモデル、すなわち**表現の形式**は現在模索中である。操作的意味論で表現される仕様の実行可能性は、生産プラントの IT の力を借りて実現できるのに対して、Industrie 4.0 生産プロセスの宣言的意味論は、たとえば生産プラントの CCM ユーザー、製造会社、サプライヤの非操作的知識を表し、動的に進化するプロセスのグラフで表現される。

物理学またはテクノロジー、オントロジーまたは標準規格、そしてセマンティクスまたは相互運用性は、**3 つの代表的な(記号的)ドメイン**を形成する。その中で「モノ」またはアセットのために、アーキテクチャ、協調行動、データタイプ、そして場合によっては使用するテクノロジー(人工知能、モノのインターネット、クラウド、エッジコンピューティングなど)が定義されている。記号的ドメイン間の関係はモーフィズムと呼ばれ、(1) セマンティクス/人間、(2) オントロジー/標準規格、(3) モノ/アセットの3つのつながりのないドメインからの、成果物の意味上の割当てという意味を持つ。

5.1.3.3 デジタルツインのコンテキストにおけるセマンティクス

デジタルツインは、サイバーフィジカルシステム(アセット)のイメージを再現する。したがってデジタルツインは、サイバーフィジカルアセットの動作をミラーリングする自律的なデジタルアセットである。ミラーリングするとは、ここでは、サイバーフィジカルアセットの動作をセマンティクス的手段で分析的に反映することを意味する。つまり、デジタルツインは、サイバーフィジカルアセットのプロセスと並行して、アセットのライフサイクルのさまざまな段階についての情報とサイバーフィジカルアセットの動作の分析情報、そして必要に応じて、モデルでのタイムリーな検証またはシミュレーションを実行し、適宜修正のため、サイバーフィジカルアセットに結果をフィードバックする。

標準化の目的は、分析およびシミュレーション用の実行可能なモデルを構築するために、(パズルに当てはめるような)セマンティックモデルの構築に必要な意味上の成果物(他ではツールと呼ぶ)を提供することである。デジタルツインには、セマンティックモデルを分析し、結果のデータをサイバーフィジカルアセットに提供する、このようなツールがある。シミュレーションや分析からセマンティックデータを提供することにより、デジタルツインは、サイバーフィジカルアセットと互換性のあるデータスペースの構成と構築に関与する。ISO/IEC JTC 1/ SC 41/ WG 6³⁸「デジタルツイン」(5.1.4 項を参照)の現在の標準規格では、セマンティクスとデジタルツインの関係の説明には、現時点でほとんど注意が向けられていない。このことについては、現在、規範的基盤として技術的実装を裏付けるため、迅速な対応が必要である [HE 5.1.3-4 V5]。

³⁷ VDE DINCONNECT Projekt SemNorm #602608(2022)を参照のこと。

³⁸ ISO/IEC JTC 1/ SC 41/ WG 6「デジタルツイン」

5.1.3.4 I4.0 言語

Industrie 4.0 コンセプトの要件を満たす生産では、デジタルツイン間の相互作用が求められる。柔軟性の向上は、さらなるモジュール化、分散化、またアセットの自律性の向上と密接に関係する。デジタルツインは、プロセスにおける情報テクノロジーの部分となる。そのため、Industrie 4.0 コンポーネント(アセットとデジタルツイン)の交換には、標準化された形式が必要となる。これは、VDI/VDE 2193 に定義された I4.0 言語 [34] によって実現する。この言語によって、オントロジーに必要な語彙の交換が可能となり、Industrie 4.0 コンポーネントの相互運用可能な動作が可能となる。そのため、I4.0 言語を国際的に標準化することが推奨される [HE 5.1.3-5 V5]。

仕様で用いられる成果物、すなわち「セマンティック標準」は、操作的または宣言的意味論の表現的要素である、規範的要件のための「I4.0 言語」、および機械固有の I4.0 エンジニアリングの構成的要素からなる。たとえば、製造プロセスにおけるひとつまたは複数のセマンティック軌跡は、仕様もしくは標準規格におけるあるシンボルまたはフレーズで名前付けをすることができる。

サイバーフィジカルシステムの仕様を背景とした、タイプグラフの方法による現在の曲線のセットは、広範囲に実装された製造プロセスでも見られる、モデル化した、または必要とされるセマンティクスに正確に一致する。

このように、機械との「人間に適した相互運用」は、3 つのモーフィズムを周期的に連続して適用することでのみ明確にできる。ここでオントロジーの記号は製造プロセスの状態を示す。これは、意図されたセマンティクス、たとえば、アセット管理シェルのサブモデルの解釈という方法によって定義される(5.1.4 項を参照)。サブモデルは、特定の状態にある技術サイバーフィジカルアセットのパラメータを更新する。これに対し、デジタルツインが必要に応じて分析を行う。

人間が認識的に共有可能で、かつ機械が操作的に共有可能であるモデルは、(汎用 IT ではなく)デジタルツインによって解釈できることが理想的である。デジタルツインには分析機能がある、たとえばセマンティックモデルのシミュレーションと、モデルと技術プロセス間の状態をリアルタイムで同期することによって。同期するために、デジタルツインはその機械の(OT)処理プロセスと疎結合したり、密結合したりできる。密結合は短時間で実行すべきものであるのに対し、疎結合は環境に依存し、たとえば、SCADA ツールを使ったグラフ分析を実行できる。セマンティックドメインにデジタルツインを配置することで、デジタルツインは、その機械の表現に加えて、アセット管理シェルによるサブモデルの特定と仕様を通じて管理できるアセットにもなる。

5.1.3.5 Industrie 4.0 のセマンティクス用ツール

ここでの「ツール」は、分析、定義、記述のため、またはサイバーフィジカルエンジニアリングでは、製品の製造のために使用できる、あらゆる支援と成果物と考えられる。そのため、その用途と特性は、標準化された、すなわち組み合わせ可能な方法で利用可能であるべきだ [HE 5.1.3-6 V5]。標準化されたツールと成果物の組み合わせは、サイバーフィジカルアセットにおける通信または連携機能を、ネットワークのような分散型の方法で設定することにより系統的に実現される。協調状況監視(CCM)ネットワークの最小基本的要素は、利害関係者三者(機械オペレータ、機械サプライヤ、機械部品メーカーの間)の無制限に組み合わせ可能な関係(フラクタルという)で構成される。この利害関係者はそれぞれ、他のサブネットワークにも参加できる。

CCM データスペースは、CCM ネットワーク全体の最新の状態を表す。これは、グラフ理論、データタイプ理論、セマンティックルールなどの操作理論に基づく組み合わせ可能な成果物のセキュアな基盤に基づき、データスペースとプロセススペースをセマンティック分析する機能を利用する。

標準化の目的は、成果物のさまざまな記号的カテゴリと、技術的、セマンティクスの、さらにはセーフティクリティカルな成果物からなるその特徴的プロパティを特定することである。あるカテゴリ内の成果物(ライブラリに格納されているものなど)は、互いに組み合わせることができる。

5.1.3.6 オントロジー

オントロジーは、製品または製品の製造に対して言語学的に策定された要件であり、これによって検証が可能となる。このために、一意の識別が可能となる検索基準が必要とされる(オントロジー検索ポイント)。

たとえば、IEC 63278-1³⁹第1版「産業アプリケーション用アセット管理シェル」パート1:アセット管理シェル構造」では、データモデルはオントロジーに基づいて定義されると述べている。実データのセマンティクスは、一般的にこれらのオントロジーを参照することにより文書化される([35]と[36]も参照)。

オントロジーはさまざまなアプリケーションドメインに由来し適用される。例としては、標準的プロパティに基づいた特定の用途のための材料の選択を可能とする材料科学のオントロジー、建設業界のオントロジー、または電子カタログでの製品の表現を標準化する製品データ辞書などが挙げられる。

オントロジーベースのデータを、生産システムの計画や文書作成において特に効果的にするには、基盤となるオントロジーが、一定の最低品質条件を満たさなければならない。たとえば、オントロジーで定義されたコンセプトが世界的に一意に識別されるか、または特別なプロパティが一意に特定されたデータタイプに基づき、互換性のある物理単位で定義されなければならない(IEC 62832⁴⁰シリーズ参照)。オントロジーにおけるコンセプトは、明確に描写され、一意に識別可能である必要がある(例:同音異義語や類似語のコンセプトを避ける)。オントロジーで使われるコンセプトや成果物には明確な定義が必要であり、また成果物間の関係は明確に定義しなければならない。そのため、オントロジーの品質基準を標準化し、この品質基準に従って使用されるオントロジーを選択できるようにすることを推奨する[HE 5.1.3-7 V5]。

5.1.4 デジタルツイン実装用ツール

5.1.4.1 アセット管理シェル

アセット管理シェル(AAS)の基本概念は、意味上の相互運用性の考え方に基づいている。特にこれには、Industrie 4.0において互いに相互作用し人間と通信するという、機械、デバイスおよびセンサーの能力が関わる。結果として生じるデジタルの関係から、物理的オブジェクトをデータやインテリジェンスと組み合わせることでデジタルエコシステムで機能させる、スマート Industrie 4.0 システム [14] が生まれる。

現実世界のプロパティを情報の世界で利用可能にするには、異種混在の製造業者のデータを上位のネットワークで交換する場合は特に、アセット間のデータ交換のために必要な柔軟性を実現するモデリングツールが必要となる。これは、ユニバーサル「統合プラグ」と言及されることが多く [37]、バリューチェーンに従ったデータ交換に使用され、それによりデジタルエコシステムでの相互運用性を確立する。

アセット管理シェルでは、情報の世界のデータは切り離されてはいないが、そこで定義されたプロパティを備えたサブモデルの形で体系化された方法で作成される。この結果、デジタルエコシステムの相互運用性の要件に従い、標準化された方法で、情報の処理、モデル化、検索、発見または転送ができるようになる。こうして、各アセット管理シェルは、他のアセット管理シェルとの関係において、サブモデルによって明確かつ十分に記述される一方で、アセット管理シェルのプロパティをアセットに明確に割り当てることができる(5.1.1 項と 5.1.3 項も参照)。アセットとそれに付随するアセット管理シェルは、一体となって「Industrie 4.0 コンポーネント」を形成する [12](図 7 参照)。

デジタルツイン(5.1.2 項と 5.1.3 項も参照)においては、アセット管理シェルは国際的標準規格に基づいた実装と呼ばれ「アセットのデジタル表現」と定義されている。

アセットのデジタルツインは、Industrie 4.0 において中心的な役割を担う。デジタルツインを介して、すべてのデータや情報の交換や保管ができ、ライフサイクル全体を通じさまざまなアクターに対して利用可能にできる [38](図 8 参照)。

実際に、現在さまざまな製造業者が、それぞれのコンポーネントに対して個々のデジタルツインを作成している様子が散見される。たとえば、部品メーカーA は、自動車のエンジン用にデジタルツインを開発し、部品メーカーB は、トランスミッション用に独自でデジタルツインを開発する。このことで、自動車の全体像を得るのが難しくなっている。ここで求められる相互運用性を実現するため、適切なフォーマット、アクセス権およびインターフェイス用の仕様が必要とされる([HE 5.1.3-4 V5]も参照)。

デジタルツインから取得したデータは、(新製品向けの)市場分析の改善や(既存製品向けの)製品の改良に役立つため、製品計画や製品開発にもメリットがある。

このテーマは、現在 VDI/VDE-GMA / GPP 7.10 [39] によって扱われている。

³⁹ IEC 63278-1 第1版「産業アプリケーション用アセット管理シェル」パート1:アセット管理シェル構造」

⁴⁰ IEC 62832-1:2020「産業プロセスの測定、制御およびオートメーションデ

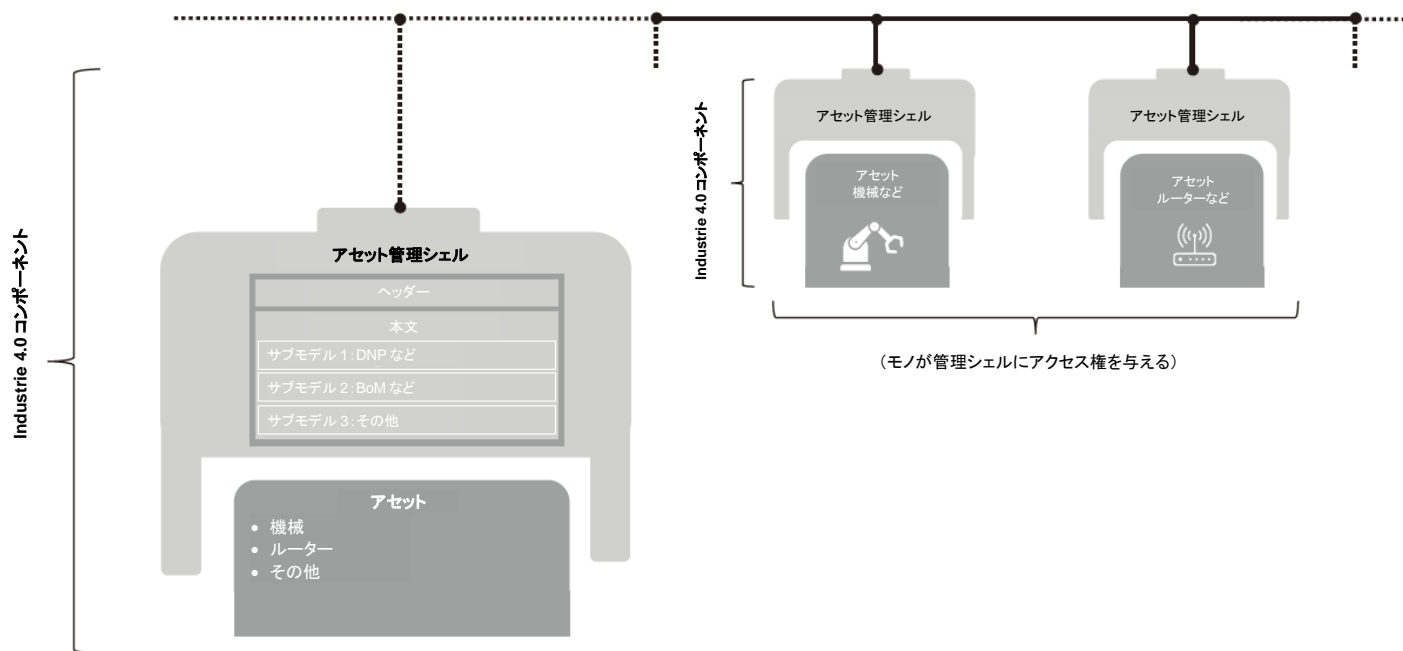


図 7: Industrie 4.0 コンポーネントの一部としてのアセット管理シェル(出典: Fraunhofer IPA)

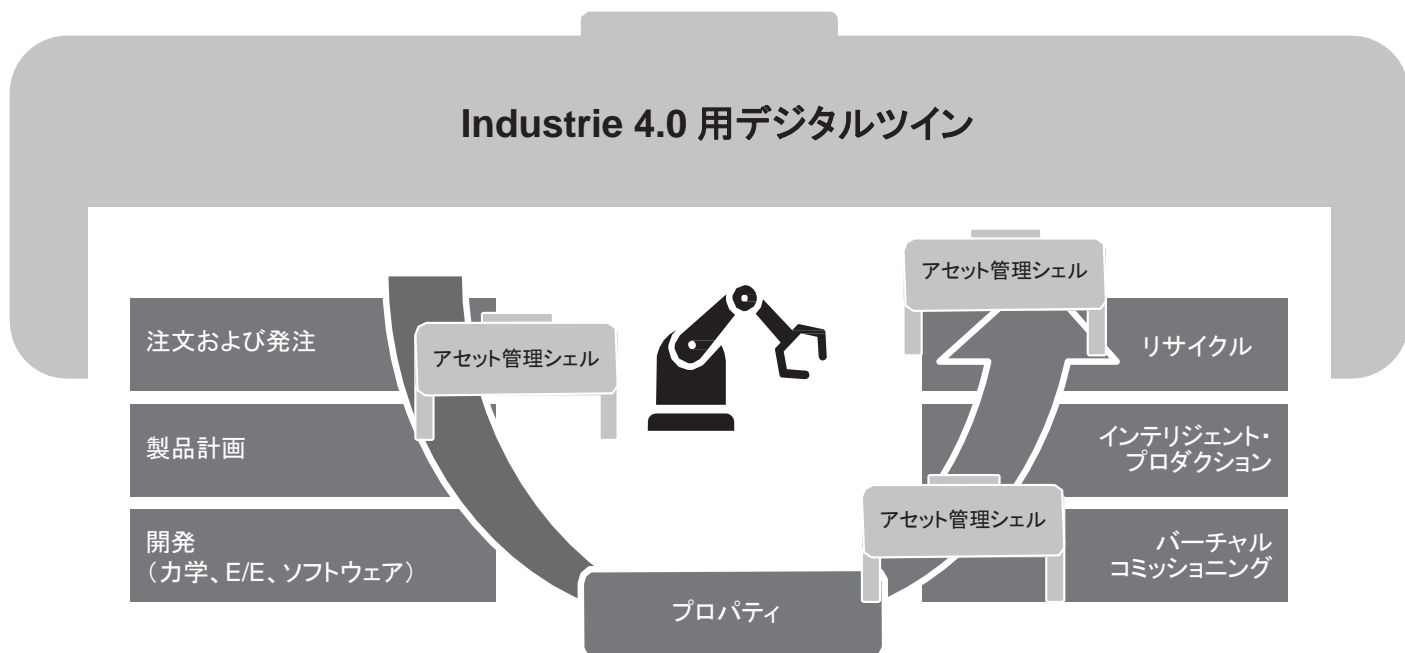


図 8: 価値創造におけるアセット管理シェルとデジタルツイン(出典: IDTA および Plattform Industrie 4.0)

5.1.4.2 国際協力における行動の必要性

この考え方は、IEC/TC 65/WG 24⁴¹「産業アプリケーション用アセット管理シェル」の国際標準規格シリーズ IEC 63278⁴²「産業アプリケーション用アセット管理シェル」から技術的に取り上げたもので、産業分野でのデジタルツインの相互運用可能な実装を目的としている。IEC/TC 65/WG 24 は、近年非常に活発である。

IEC 63278-1 に関する作業は、ドイツの強力な支援によって進められており、標準規格は公開(2023年に予定)の最終段階にある。現在のプロジェクトである IEC 63278-2⁴³「情報メタモデル」および IEC 63278-3⁴⁴「アセット管理シェルのセキュリティ規定」により、アセット管理シェルのコンセプトの利用と標準化のための基礎が現在さらに構築されている。

ドイツでは、アセット管理シェルの開発は、Plattform Industrie 4.0、業界団体、工業会社および IT 企業のドイツコンソーシアム、科学および政治機関、IDTA が主導している [40]。現在の作業には、IEC/TC 65/WG 24 の作業における、コンセプトの再利用により詳細な記述を可能にするサブモデルの標準化が含まれる。さらに、アセット管理シェルのエンドツーエンドの利用とサブモデルのロールアウトを加速するために、アセット管理シェルのコンセプトは積極的に標準化されなければならない。そのため、IEC 63278-シリーズのアセット管理シェルの標準規格の策定に関する IEC/TC 65/WG 24 の活動を支援し、この作業を国際的に推進することが引き続き推奨される [HE 5.1.4-1 V5]。

モノのインターネット(5.1.2 項も参照)に加えて、デジタルツインも、デジタルの世界でオブジェクトのイメージを創造する測定値に基づくことから、インテリジェントな総合ソリューション(スマートエブリシング)への道を開くものと思われる。この中でセンサーは、データの同期とトランザクションをとおして仮想世界へのミラーリングを可能にするために必要なデータストリームを提供する(ISO/IEC JTC 1/SC 41 2021 年ビジネスプランを参照)。デジタルツインのコンセプトは、現在、国際委員会 ISO/IEC JTC 1/ SC 41/ WG 6 において詳細な標準化が進められている(2022年の夏の ISO/IEC JTC1/SC 41/AG 27「デジタルツイン戦略」の解散後。HE 2.3-2 V4 [2] を参照)。ドイツでは、この活動は DIN NA 043-01-41 の作業に活発に反映されている。たとえば、ISO/IEC の委員会は、産業コンテキストでのデジタルツインを見ているだけでなく、複数のセクターにわたって世界的に応用することを検討している。複数のデジタルツインからのデータは、このように組み合わせられ、船、橋、建物、工場、サプライチェーン、または街といった、実世界のオブジェクトを複合的に表示できる。

現在、デジタルツインに関連する多くの規範的プロジェクトが開始されており、IEC/TC 65/WG 24 での現行の開発に足並みを揃える必要がある。

[HE 5.1.4-2 V5]:

- PNW JTC1-SC41-333 ED1 第1版「デジタルツイン—参照アーキテクチャ」
- PWI JTC1-SC41-6「IoT とデジタルツインのユースケースのためのガイドライン」
- PWI JTC1-SC41-7「デジタルツイン—成熟モデル」
- PWI TR JTC1-SC41-11「デジタルツイン—DTw twinning の対応指標」
- ISO/IEC 20924 ED3 CDM「モノのインターネット (IoT) とデジタルツイン—語彙」
- ISO/IEC TR 30172 第1版 DTR「デジタルツイン—ユースケース」
- ISO/IEC 30173 第1版 CD「デジタルツイン—コンセプトと用語」

アセット管理シェルに関わる標準規格の一貫性に関しては、ISO/IEC 21823 シリーズの現在の作業、特に ISO/IEC 21823-1⁴⁵「モノのインターネット (IoT) —IoT システムの相互運用性—パート1: フレームワーク」が、IEC/TC 65/WG 24 によって実施されている。アセット管理シェルのための最新の標準規格の草案における「相互運用性」は、ISO/IEC JTC/SC 41 と連携して検討されており、必要に応じて修正される。国内レベルでは、この活動は、DIN NA 043-01-41 や DKE/AK 931.0.16⁴⁶「産業アプリケーション用アセット管理シェル」のような国内委員会によってサポートされている [HE 5.1.4-3 V5] (セマンティクスに関するさらなる行動提言については [HE 5.1.3-4 V5] も参照)。

⁴¹ IEC/TC 65/WG 24「産業アプリケーション用アセット管理シェル」

⁴² IEC 63278 シリーズ「産業アプリケーション用アセット管理シェル」

⁴³ IEC 63278-2「産業アプリケーション用アセット管理シェル—パート2: 情報メタモデル」

⁴⁴ IEC 63278-3「アセット管理シェルのためのセキュリティ規定」

⁴⁵ ISO/IEC 21823-1「モノのインターネット (IoT) —IoT システムの相互運用性—パート1: フレームワーク」

⁴⁶ DKE/AK 931.0.16「産業アプリケーション用アセット管理シェル」

中心となる特別なテーマは、産業用デジタルツインの分野におけるすべてのプレイヤー間での連携の設計についてである。ISO/IEC JTC 1/SC41/WG 20⁴⁷「産業セクターの専門領域リエゾングループ (SLG 1)」は、産業セクターにおける標準規格の統一に多大な貢献をしている。WG 20 が提示している連携する産業関連団体のリストは、以下のとおり広範にわたる: IEC TC 65、IEC TC 65/WG 24、IEC/ SyC SM、ISO/TC 10、ISO/TC 39、ISO/TC 39/SC 10、ISO TC 184/ IEC TC 65、ISO/IEC JWG 21、ISO TC 184/SC 1、ISO TC 184/SC 4、ISO TC 184/SC 5、ISO TC 261 および ISO TC 299。デジタルツインでは、最初の提言が ISO/IEC JTC 1/SC41/WG 20 によって策定されている。これは、ISO/IEC JTC/SC 41 と IEC TC 65⁴⁸「工業用プロセス計測制御およびオートメーション」の協力関係を改善し、たとえば、垂直「スマートマニュファクチャリング」のテーマについての共同諮問グループの形で、共同作業に着手させるためのものである [HE 5.1.4-4 V5]。

5.1.4.3 デジタルツイン実装のためのツールとしての OPC UA とコンパニオン仕様

デジタルツインにおいては、OPC UA に関わる利害関係者は次のような課題に直面している。それは、生産用の統一言語としての情報交換のための「文法」と「語彙」の定義の確立（「Study on interoperability in mechanical and plant engineering: The global language of production as a basis for Industrie 4.0」[41] も参照）と、デジタルツイン実装への貢献である。したがって、生産のデジタルツインを可能にするため、また、最終製品のデジタルツインと対照的にその運用における生産手段のデジタル表現に対処するため、生産における情報の意味上の記述に関心が集まっている。デジタル化は継続しているため、生産情報用の標準化されたセマンティクスの妥当性は高まり続けている ([HE 5.1.1-11 V5] と [HE 5.1.3-4 V5] も参照)。現在、約 40 の作業グループが、新たなインターフェースの標準規格を積極的に開発している。「OPC UA for machinery」の統一活動は、特にかなりの妥当性を得ている。

アセット管理シェルデータの利用に加え、生産情報もさらなるシステムと IT 環境において直接かつ独立して利用・処理できる。この意味で、OPC UA コンパニオン仕様の利用は、デジタルツインの実装において重要な役割を果たす [AE 5.1.4-5 V5]。

5.1.4.4 アセット管理シェルとの相互作用における OPC UA

OPC UA 規格 [20] は、生産におけるメーカーに依存しない製品データの交換のためのソリューションであるオープンインターフェイス規格 (IEC 62541 シリーズ「OPC Unified Architecture」)として、長い間確立されてきた。umati (universal machine technology interface)[29] のイニシアティブは、オープンソーステクノロジーの世界的な受け入れの拡大と、適合性の向上に貢献している。umati により、機械およびプラント工学における OPC UA インターフェイス規格のセクター横断的な試験と、関係するコミュニティでのグローバルな情報交換を実現する。

加えて、アセット管理シェル的手段により、認定されたどの場所からも希望するデータを要求できる。これは、たとえば OPC UA に基づき、標準化された通信インターフェイスによって可能となる。製品のライフサイクル全体に対する中心的な情報ノードであるアセット管理シェルとは対照的に、OPC UA の情報は、相互運用可能な形でリアルタイムに伝達される。この方法で、動的な情報と長期的に妥当な情報の両方が、アセット管理シェルと OPC UA インターフェイスとの間で通信できる。この目的では、長期のコンセプトは、複数のレベルでの情報の重複を排除するために、OPC Foundation と IEC/TC 65/WG 24 との協力によって開発される [HE 5.1.4-6 V5]。

5.1.4.5 セマンティクスデータのモデリングに関する標準化活動

標準化された辞書の重要性が、有用なアセット管理シェルを作成する基本的側面のひとつとしてこの数年の間で増している。2022年、IEC TC 65/SC 65E/WG 2 において、セマンティクスの既存の標準規格を補うアセット管理シェルのサブモデルをサポートするため、国際的レベルで重要な活動が開始された [HE 5.1.4-7 V5]。

セマンティクスにおけるアセット管理シェルの要件を満たすため、ホワイトペーパー「Modelling the Semantics of Data of an Asset Administration Shell with Elements of ECLASS」では、特定のデータタイプを使用するためのセマンティック要件を検討している。

⁴⁷ ISO/IEC JTC 1/SC41/WG 20「専門領域リエゾングループ (SLG 1)」

⁴⁸ IEC TC 65「工業用プロセス計測制御およびオートメーション」

この文書で、ECLASS の概念的データモデルに欠落している必要な構造を特定している。さらに、ホワイトペーパーは、ECLASS データモデルのさらなる開発への提案を列挙し、アセット管理シエルのメタモデルの必要な要素が IEC 61360-4「共通データ辞書」または ECLASS のどちらにも対応されていないケースを説明している。ECLASS データモデルの拡張の提案が、特定されたギャップに対して策定されている。

ホワイトペーパーの発見事項に基づき、ECLASS 協会は、新たなプロジェクトで、アセット管理シエルのサブモデルをサポートするデータ構造の定義を始めた。スマートマニファクチャリングで使用するための世界的に適用可能なデータ構造を定義する提案は、プロジェクト PNW 65E-928(「IEC 6xxxx DB—スマートマニファクチャリングのための共通データコンセプト」)で受け入れられた。これらのデータ構造は、IEC 61360-7「DB—クロスドメインコンセプトのデータ辞書」で定義され、たとえば、アセット管理シエルのサブモデルを定義するために利用できる。最初のサブモデルとして、「デジタルネームプレート」サブモデルが、該当するデータ構造によりサポートされている。

ECLASS での活動と並行して、IEC/TC 3/SC 3D もデータモデルに必要な拡張を調査している。アセット管理シエルの最初のプロトタイプとしてのサブモデルテンプレートは、「IEC 共通データ辞書」(CDD)においてすでに実現している。

5.1.4.6 相互運用性のためのサブモデルの包括的開発への道筋

データのモデリングは、アセット管理シエルのコンセプトの中心となるコンポーネントである。実世界ではアセットは物理的(またはバーチャル)コンポーネントとして存在するのに対し、アセット管理シエルは、情報の世界で定義されたモデルを使ってそれを表現する。ここで、アセット管理シエルは、特徴的なメタ情報モデルを備えた定義された構造を持つ。

アセット管理シエルには、アセットに関する最も重要な基本情報に加えサブモデルが含まれる(図9参照)。これにより、アセットのプロパティ、パラメータ、および変数の記述のマッピングが可能となる。ひとつのアセット管理シエルは、さまざまな機能を実現する複数のサブモデルを内包することができる。

ここ数年で、アセット管理シエルのサブモデルの標準化のために数多くの準備活動が行われてきた。このため、IEC 63278 シリーズの標準規格のさらに多くの国際化の提言([HE 5.1.4-1 V5]も参照)が活発に推進・実行されてきただけでなく、サブモデル開発のための対応構造の設定に関する準備作業も IEC/TC 65/WG 24 において開始された。この点で、IDTA も産業デジタルツインのための開発活動をひとつにまとめ、アセット管理シエルに基づくオープンテクノロジーのソリューションとして、業界とともにそれらを開発することに積極的に取り組んできた。

過去2年間で、IDTA はサブモデルの共同開発を通じ、産業におけるデジタルツインの早期の確立に尽力してきた。このおかげで、IDTA ネットワークは急激な成長を遂げている。中でも、Digital Twin Consortium [42]、Digital Data Chain Consortium (DDCC)、Open Manufacturing Platform (OMP) などの関連する他のイニシアティブやコンソーシアムとの協力関係を構築する積極的な戦略は、特筆すべき点である [40]、[42]。

IEC/TC 65/WG 24 の作業の枠組みの中での標準化の調整は、IDTA「WG サブモデル」によって行われている。この作業グループは、現在約30のサブモデルプロジェクトをサポートし、「産業設備用デジタルネームプレート」、「アセット管理シエルへのモジュールタイプパッケージ(MTP)データの組み込み」、「製造における産業設備用技術データのための汎用フレーム」および「コンタクト情報用サブモデル」などの、重要なサブモデルをすでに公開している [43]。

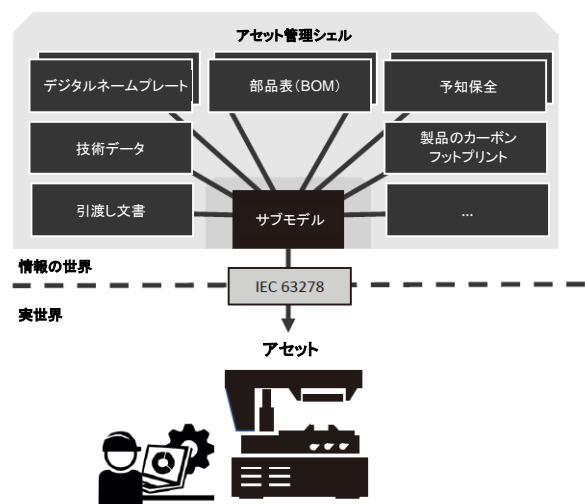


図9: アセット管理シエルのサブモデルの包括的開発
(出典: O. Meyer, Fraunhofer IPA)

現在の活動は主に、産業用途の基本的サブモデルの開発に向けられている。しかし、サブモデルは、異なる構造、通信、統合といったさらなる側面だけでなく、他のセクターのためにも開発される。現在利用可能なサブモデルでは、複雑なプラントやアセット管理シェルのネットワークなど、包括的な Industrie 4.0 ソリューションにはまだ十分ではないからだ [HE 5.1.4-8 V5]。さらに、サブモデルの開発促進のために必要な専門知識を集め、それを次の開発段階で実装できるようにするために、方法論的な知識も深め、拡大しなければならない。ここで、たとえば、IDTA は InterOpera [44] 資金調達プロジェクトと緊密に連携して、産業用の相互運用可能なサブモデルの開発と、標準規格のさらなる開発のための共通基盤を構築している。その目的は、具体的で実用的なユースケースに基づいた、アセット管理シェルの 50 のサブモデルを開発することである。このコンテキストにおいて、プロジェクトの結果は、特定のサブモデルをさらに作成するために、アプリケーションへの参照に関する技術委員会 (TC) やその他の機関に対処するための標準化で利用される。

標準化のすべての利害関係者は、IDTA に協力して、まだ不足しているサブモデルを開発し、現在進行中の活動に貢献することが奨励される。

→ 技術文書のためのサブモデルの標準化

標準化ロードマップ Industrie 4.0 のバージョン 4 [2] が示すように、デジタル技術文書には標準化された交換フォーマットがまだ必要である。デジタル技術文書用の交換フォーマットとして、iiRDS や VDI 2770 などのいくつかの標準規格が確立されたため ([HE 5.1.1-10 V5] も参照)、これらを調整して、アセット管理シェルの世界にサブモデルとして移行する作業が集中的に行われている。iiRDS に基づくサブモデルの開発活動は、InterOpera において順調に開始された。これらの活動は、コンテンツをセマンティクスのアクセス可能かつ交換可能とし、複数のプロバイダが利用できるようにするため、拡張技術文書をより均一に表現することを目的としている (IDTA サブモデル「引渡し文書」の補足として、すでにレビューが行われている) [43]。IEC TC 3/WG 28 における国際的プロジェクト IEC PAS 63485 ED1 の枠組みの中で、さらなる作業が進められている最中である。

アセット管理シェルの概念は、極めて包括的なアプローチであり、すべてのプロパティとビューをさまざまなサブモデルにマッピングするという複雑さを解決しようとしている。DIN 77005⁴⁹ シリーズの標準規格「技術オブジェクトのライフサイクルレコード」に従い、デジタルライフサイクルレコードのアプローチでは、やや異なる目的が追求されている。ここで着目しているのは、デジタルアセット文書の標準化された構成と、その結果としての、アセットのライフサイクルにおけるさまざまなアクターとそのソフトウェアシステム (例: 企業資源計画システム (ERP)、文書管理システム (DMS)、製品データ管理システム (PDM) など) によるデジタルライフサイクルレコードの共同処理の可能性である。すべてのデータ、つまりアセットの現状に関するデータを保管できるアセット管理シェルの概念とは対照的に、デジタルライフサイクルレコードの概念は、アセットのライフサイクルにおけるそれぞれの段階でさまざまなアクターによって必要とされるアセットの関連情報に限定される。したがって、アセットのライフサイクル全体にわたるより横断的なアプローチに焦点を当てている。DIN 77005-1⁵⁰ によって、技術オブジェクトのためのライフサイクルレコードの要件は策定済みである。これに基づき、オブジェクト関連の文書化された情報のための情報モデルは、DIN 77005-2⁵¹「技術オブジェクトのライフサイクルレコードーパート 2: デジタルライフサイクルレコード」で定義された。DIN 77005-2 で示すようなデジタルライフサイクルレコードは、アセット管理シェルのサブモデルとして実現できる [HE 5.1.4-9 V5]。しかし、Industrie 4.0 におけるスタンドアローンのアプローチとして、デジタルライフサイクルレコードを実装することも可能である。DIN 77005-2 の草案は、2022 年 8 月から入手可能となっている。

→ シミュレーションの分野でのサブモデルの標準化

[HE 5.1.4-10 V5] に関して、2022 年、Plattform Industrie 4.0 「SG AAS サブモデルシミュレーション」のイニシアティブについて、「シミュレーションモデルの規定」サブモデルの作成に対応する申請書が公開調査段階で提出された。これは、2022 年末に策定、公開されている。このサブモデルを使用して、製造業者全体の「サプライヤ」から、「インテグレータ」と「オペレータ」が使用するためのシミュレーションモデルを提供できる。その上、潜在的な使用者によって、製造業者からモデルを要求することができる。サブモデルは、Industrie 4.0 コンポーネント用のシミュレーションモデルの検索、問い合わせ、提供をサポートする。このモデルには、シミュレーションの目的、シミュレーション環境への統合、および管理に関する情報が含まれる。

⁴⁹ DIN 77005 シリーズ「技術オブジェクトのライフサイクルレコード」

⁵⁰ DIN 77005-1:2018-09「技術オブジェクトのライフサイクルレコードーパート 1: 構造的なコンテンツ関連の仕様」

⁵¹ DIN 77005-2「技術オブジェクトのライフサイクルレコードーパート 2: デジタルライフサイクルレコード」

→ 機能要件(能力とスキル)のためのサブモデルの標準化

一方、標準化された能力の記述を取り込むためのアセット管理シェルの子モデルに関する作業も、いくつかの IDTA 作業グループで同様に開始された [HE 5.1.4-11 V5]。能力とは、技術的に中立、すなわち、それが実装される方法に依存しない機能(「能力」または「スキル」)の記述である。ここでの核となるタスクは、プロセス記述の要件として、またデバイスの能力としてもこれらの能力を記述することである。理想的には、これらは自動的に比較され、互いに一致させる必要がある。

→ アセットの識別におけるサブモデルの標準化

IEC/SC 65E⁵²「企業システムにおける装置及び統合」は、両方の提言を実装した委員会である [HE 5.1.4-12 V5]。VDE V 0170-100 は、IEC 63365⁵³第 1 版「デジタルネームプレート—デジタル製品マーキング」として国際的標準化に取り込まれ、DIN SPEC 91406 は、IEC 61406「識別リンク—明確な二意性の機械可読識別」として国際的に公開された。アセット管理シェルで使われる「産業設備用デジタルネームプレート」サブモデルは、物理的アセットとアセット管理シェル間のリンクとして機能する。デジタルネームプレートはこうして、欧州グリーンディールの 2050 年の目標 [26] に貢献し、アセットのラベリングへの新たなアプローチをサポートする(5.3 項も参照)。

現時点では、アセット管理シェルの子モデルを標準化するために、まだ多くの準備措置を開始し、実施する必要がある。IDTA の現在の活動の中心は、産業用の基本的サブモデルの開発にあるが、InterOpera [44] は固定観念にとらわれず、さまざまな業界からのより幅広いユースケースを対象としている。たとえば、固有だがよく使われるサブモデルも検討し、貴重な経験を得ている [HE 5.1.4-13 V5]。プロジェクトの結果を受けて、標準化における技術委員会(TC)やその他の団体は、さらに具体的なサブモデルを作成するために、その関連性に応じたアプローチを受け入れることになる。

5.1.5 産業用通信

エンドツーエンドのシームレスな通信は Industrie 4.0 に欠かせない側面であり、産業用通信を視野に入れながら、コンバージドネットワークとタイムセンシティブネットワーク(TSN)という用語がますます重要になってきている。

5.1.5.1 産業用通信におけるコンバージドネットワーク

コンバージドネットワークは、IT、OT およびフィールドバスをひとつの物理的ネットワークに統合する。これにより、設備の柔軟性と簡素化を推進し、コスト削減につながるものの、各サービスにおいてサービス品質(QoS)が必要となる。サービス、パケットはそれぞれ、それ自身の QoS に基づいて送信される。標準規格と仕様は、コンバージドネットワークには必須である。相互運用可能なプロトコルだけでなく、ネットワーク構成も標準規格を遵守し、均一でなければならない。後者は、有線通信と無線通信間のシームレスな移行を可能にする。

IEEE による通信規格が道を開き、TSN で重要な特徴が加えられる。コンバージドネットワークの要件のために、レイヤー2 を準備中である。TSN は、今日または将来的に、5G や Wifi (wireless fidelity (ワイヤレス・フィデリティ))との関連で言及されるだろう。OPC UA のようなインターフェイス規格にも、それぞれの標準規格に TSN が組み込まれることになる。

コンバージドネットワークは、リソースと能力を意識し、ネットワークのサービス利用者の要件に対しサービス品質を実現する。ネットワーク設定は、一定の範囲でネットワークの一部になる。TSN とプロファイルは、これらの要件に応えるもので、レイテンシ、可用性、リソース管理、時刻同期を考慮する。

Industrie 4.0 のための産業用通信は、コンバージドネットワークによる恩恵を受ける。

この章で挙げる行動提言は、コンバージドネットワークの基本的な考え方に従ったもので、以下の事柄をサポートする。

- 相互運用可能なプロトコル
- 相互運用可能な構成
- 有線ネットワークと無線ネットワークの間の移行の実現と簡素化
- 均一の試験仕様

⁵² IEC/SC 65E「企業システムにおける装置及び統合」

⁵³ IEC 63365 ED1「デジタルネームプレート—デジタル製品マーキング」

TSN (IEEE 802.1 TSN Taskgroup) と IEC/IEEE 60802⁵⁴「産業オートメーション用の TSN プロファイル」(IEEE 802.1 Profile 60802、IEC Profile 60802) は特に、異種混在の産業用ネットワークの要素を接続する。標準化作業は本格化しており、2023 年に初版が発行される見通しである。5G-ACIA によるホワイトペーパー「Integration of 5G with Time-Sensitive Networking for Industrial Communications」[45] や、OPC Foundation による技術論文「OPC UA for Field eXchange (FX)」[46] などのその他の出版物では、コンバインドネットワークへの接続を示している。TSN を備えた Wifi が計画されており、このアプローチに従う予定である [HE 5.1.5-1 V5]。

標準化ロードマップ Industrie 4.0 のバージョン 4 [2] で策定された、さまざまな産業用通信ネットワークのネットワーク管理のためのサービスとインターフェイスに関する行動提言 [HE 5.1.5-2 V5] は、さらに重要になるだろう。ここではまだ、これらを均一に、アプリケーションの観点から規定する必要がある。現時点では、報告すべき活動はほとんどない。コンバインドネットワークを背景として、この行動提言を遂行する機会が浮上してきている。

このモデリングは、さまざまな(無線)通信ソリューションの効果的な共存管理の基盤であり、通信の「機密性」だけでなく、アプリケーションの機密性も考慮することができる [HE 5.1.5-3 V5]。たとえば、アセット管理シエルのモデリングでは、アプリケーションは通信における変化に適応して反応することができ、その逆も同様である(例: 無人運転車は、通信状態が悪くなったとき、停止ではなく減速する)。IDTA に、アセット管理シエルのサブモデルを開発する作業グループが設立された。ここでは、WG24 内でサブモデルを IEC 規格に置き換えることを計画している。

これまでのところ、通信ネットワーク計画の分野では、知られている活動はない。シナリオは、均一な試験仕様の基盤となり得るもので、これに従ってシミュレーションの段階でネットワークを試験できる。データ通信の特徴付けも、終わることのない、常に新しいユースケースの調査において、いつも変わらず役割を果たしている。ここで何かに合意することは、効果的なステップであると思われる。シナリオが正式な試験仕様に組み込まれないとしても、その合意「だけ」は確定する [HE 5.1.5-4 V5]。

ドイツのガイドラインでは現在、信頼性評価の要件を策定している。VDI/VDE Guideline 2192⁵⁵「Industrie 4.0 システムにおける相互運用性—サービス品質—特徴的なパラメータと影響のある量」を、国際標準規格に発展させるべきである [HE 5.1.5-5 V5]。

サービスレベル仕様書(SLS)の交渉について言えば、(プロバイダとエンドユーザーの)両方のサイドで、現時点ではかなり多くの不確実性がある。SLS は、サービスレベル合意書(SLA)の技術面の補足を意図したものである。たとえば、誰が何をどのように測定するか、そして誰がどの側面の責任者なのかを交渉しなければならない。国際協定は、草分け的なものとなるだろう。SLA の補足としての SLS という用語は、5G ACIA によって、同じ名前のホワイトペーパー「Service Level Specifications (SLSs) for 5G Technology-Enabled Connected Industries」[47] で議論されていた。

産業用のリアルタイム通信システムの評価は、企業にとってますます重要になってきている。ドイツのガイドラインが準拠している行動提言—VDI/VDE Guideline 2185 Blatt 4⁵⁶「産業オートメーションにおける無線ベースの通信—産業オートメーションアプリケーションのための無線ソリューションの計測的性能評価」では、産業用無線通信システムの評価のためのパラメータと方法が説明されている。産業用リアルタイム通信システムの評価に対する国際的アプローチは、IEC 61360-7「DB-クローズドメインコンセプトのデータ辞書」で開始された [HE 5.1.5-6 V5]。

アプリケーション指向の、通信技術に中立な試験仕様は、通信テクノロジーにおいて将来さまざまな開発が行われても存続できる持続可能なソリューションの前提条件である。フィールドバスコンソーシアムが協力し [48]、IEC/IEEE 60802 のための試験仕様の作成を始めている。このコンテンツを国際標準規格にも統合することを、さらに推奨する。IEC/IEEE 60802 は準備中である [HE 5.1.5-7 V5]。

⁵⁴ IEC/IEEE 60802「産業用オートメーションのための TSN プロファイル」

⁵⁵ VDI/VDE-Guideline 2192「Industrie 4.0 システムにおける相互運用性—サービス品質—特徴的なパラメータと影響のある量」

⁵⁶ VDI/VDE Guideline 2185 Blatt 4「産業オートメーションにおける無線ベースの通信—産業オートメーションアプリケーションのための無線ソリューションの計測的性能評価」

5.1.5.2 Industrie 4.0における5Gシステム

周波数帯の国際調整は、5G-ACIA ホワイトペーパー「5G for connected industries and automation」[49]で扱っている。このテーマの国際調整について、具体的な作業はまだ始まっていない。このアプローチを追求することを推奨する [HE 5.1.5-8 V5]。

産業用の民間モバイルローカルエリアネットワークに関連する標準規格へのニーズはいまだにある [HE 5.1.5-9 V5] (5G ACIA ホワイトペーパー「5G Non-Public Networks for Industrial Scenarios」[50]を参照)。

(異種混在の)産業ネットワークと5Gネットワークをシームレスに統合するため、さまざまなタイプのインフラストラクチャのためのアーキテクチャと必要なインターフェイスを記述する標準規格が、依然として必要とされる [HE 5.1.5-10 V5]。詳細はまだ均一に規定されていない(例: 公共ネットワークと民間ネットワーク間の受け渡し)。

可能性のあるアプローチのひとつは、[HE 5.1.5-11 V5]と組み合わせ、IEC SC 65 TC 65C/ WG 16⁵⁷「デジタルファクトリー」での作業を開始することである。IEC SC 65 TC 65C/ WG 16では、産業オートメーションに3GPP指定のモバイル無線システムを適用するための要件を記述する提案がある。これについての標準化作業はまだ着手されていないため、実施を推奨する。

5.1.5.3 産業用通信におけるセキュリティ

Industrie 4.0 環境での通信量の増加を受け、特にデジタルエコシステムにおける相互運用性に関してセキュリティ面を考慮し、攻撃に対する十分な信頼性とセキュリティを確保しなければならない。

さらに技術規格を参照することで(例: OPC UA、5G-ACIA)、IEC/IEEE 60802「産業オートメーションのためのTSNプロファイル」(IEEE 802.1 Profile 60802、IEC Profile 60802)の重要性が増すだろう。プロファイルの最新の草案 1.4は、セキュリティモデルについてのセクションの補足が行われている。これらは、セキュリティ・バイ・デザインアプローチ(セキュアなコンバージドネットワーク)に準じている [HE-5.1.5-12 V5]。プロファイルの最新の草案は、セキュリティモデルについてのセクションの補足が行われている。さらなるセキュリティに面については、5.2.2項を参照のこと。

5.1.5.4 SPEとAPL-プロセス産業の要件に対する答え

イーサネットの物理層のためのプロセス産業の要件は、IEEE 802.3 標準規格の拡張をもたらした。シングルペアイーサネット(SPE)は、環境、トポロジー、センサー市場の要件を考慮する。ベースはイーサネットのため、ゲートウェイの削減、プロトコルに関する柔軟性、電力供給などが利点である。これは、OTネットワークへの統合を促進し、Industrie 4.0をサポートする。現在のIEEE規格(例: IEEE P802.3dg 100 Mb/sのロングリーチ・シングルペアイーサネット)は、リンク速度とセグメント長に対する要件を標準化する。加えて、IEEEからの関連する標準規格を、IEC 61158-2⁵⁸「産業用通信ネットワークフィールドバス仕様-パート2: 物理層の仕様とサービスの定義」に含めることを推奨する [HE 5.1.5-13 V5]。

プロジェクト Ethernet Advanced Physical Layer (APL) [51]から、さらに要件が生じる。ホワイトペーパー「Ethernet – To the Field」[52]は、接続の詳細に関して説明している。まとめると、SPEと同等である2線式イーサネットは、爆発性エリア向け機能で補完されると同時に、設置と電源供給が簡素化され、センサーとフィールドデバイス用の共通プロトコルとサービスの利点をイーサネットにもたす。プロジェクトの結果は、現在、IECにおいて技術仕様(IEC TS 63444⁵⁹第1版「産業ネットワークイーサネット APL ポートのプロファイル仕様」)に組み込まれている最中である。関連するフィールドバス規格への統合が望ましい [HE 5.1.5-14 V5]。

5.1.5.5 産業用位置管理

オブジェクトのローカリゼーションは、とりわけますます動的になりモバイル化が進む生産プロセスの透明性の点で、Industrie 4.0における重要な要件である。とりわけ、位置データは材料の流れを最適化し、検索時間を最小化し、モバイルで操作する設備や生産エリアをより効率的に活用するのに役立つ。このように、このデータは、人件費、材料費およびエネルギーコストが高い国において、工業生産の未来を守る永続的な効果がある。

⁵⁷ TC 65C WG 16「デジタルファクトリー」

⁵⁸ IEC 61158-2「産業用通信ネットワークフィールドバス仕様-パート2: 物

理層の仕様とサービスの定義」

⁵⁹ IEC TS 63444 第1版「産業ネットワークイーサネット APL ポートのプロファイル仕様」

位置データの収集、管理および提供の選択肢は多方面にわたり、無線ベースのメソッドから光学位置決め技術にまで及ぶ。このため、さまざまなレベルでの調整が必要である [HE 5.1.5-15 V5]。これには、あらゆるローカリゼーション技術の標準化、および位置データのその後の処理と提供の両方が含まれる。したがって、PROFIBUS ユーザー組織内でテクノロジーグループとして管理されるオープン位置判定規格 **omlox** [53] は、すでに産業用位置管理を調整するための非常に高度なイニシアティブである。

omlox から、機械データのセマンティクスにおけるアセット管理シェルとの調整 (OPC Foundation)、産業用ビルにおけるローカリゼーション技術の統合 (BuildingSmart)、および物流などにおける屋外環境でのシームレスな位置判定 (OpenGeospatial Consortium) が開始されている。**omlox** の準備作業は、上記の側面に、確実に価値のある貢献をすることができる。

5.1.6 Industrie 4.0 における機能安全

まずは安全の定義から始める。安全とは、資産または環境への損傷の結果として直接的・間接的にもたらされる身体的傷害や人間の健康への害などのリスクが容認できる範囲であることを指す。

機能安全は、総体的な安全の一部として、システムまたは設備がその入力に正しく反応するかどうかに左右される。電気モーターのコイルの中の温度センサーを使って、オーバーヒートが起こる前にモーターをシャットダウンする過熱保護装置は、機能安全の一例である。高温に耐える特殊な断熱材を用意することは、機能安全の例ではない。これは安全性の例であり、同じ危険に対してしか保護することができない。安全も機能安全も、システム全体と、それに作用する環境を評価せずに判断することはできない (DIN EN 61508 (VDE 0803) 付録 1:2005-10⁶⁰「電気/電子/プログラマブル電子安全関連システムの機能安全」)。

5.1.6.1 Industrie 4.0 における機能安全の原則

機能安全の原則を順守できるよう、たとえば、モーターが回転してバルブを開く必要がある、といった実際の機能は開発時点で考慮されていなければならない。この点で極めて重要な疑問は、誤作動とはどのようなものか (モーターが誤った方向に回転し、バルブを開くのではなく閉じてしまう)、そしてどのようにその問題を防ぐことができるかである。

この原則に従い、起こり得る事柄が、シンプルで表面的なレベルから非常に深い詳細なレベルまで、すべて文書化されている。長年知られている系統的错误を削減する方法のひとつで、一貫してさらに開発が進められているものは「V モデル」である (図 10 参照)。

この反復プロセスモデルは、当初はソフトウェアの設計と開発のために作られたもので、現在はメカトロニクスシステムの設計にも使われている。複数の開発段階に分割されるソフトウェア開発プロセスに加えて、V モデルでは、これらの段階を試験段階と比較し、それにより品質保証の手順を定義する。

顧客の要件から始まり、実装できるまで、機能および技術仕様は左側でより詳細度を増していく。各実装は、左側の仕様に対して、右側に示す試験ステップを使用して試験される。

図 11 は、V モデルの実際の応用例を示している。

このプロセスでは、さまざまな実装ステップが、デジタル化プロセスの枠組み内にマッピングされる。個別の状況により、個々のライフサイクルの段階を分けることができる。

定義された安全機能とその運用の技術的実装において、実装プロセスは、ハードウェア、ソフトウェアおよび試験のエリアに分割される。これにより、実装時とプラントの運用時の両方で、自動化された試験プロセスの利用が可能となる。このアプローチは、機能安全コストを抑えながら、SIS の構築と運用の包括的なデジタル化を実現する。

生産における一貫したモジュール化の基本的な前提条件は、個々のモジュール情報を均一に記述することである。この目的のため、アセット管理シェルのサブモデル「アセット管理シェルへのモジュールタイプパッケージ (MTP) データの組み込み」が、IDTA で 2022 年に開発された [43]。これは、そうした記述を均一に、産業横断的かつ製造業者横断的な標準規格「MTP」(モジュールタイプパッケージ)により規制する [HE 5.1.6-1 V5]。

⁶⁰ DIN EN 61508 (VDE 0803) 付録 1: 2005-10「電気/電子/プログラマブル電子安全関連システムの機能安全」

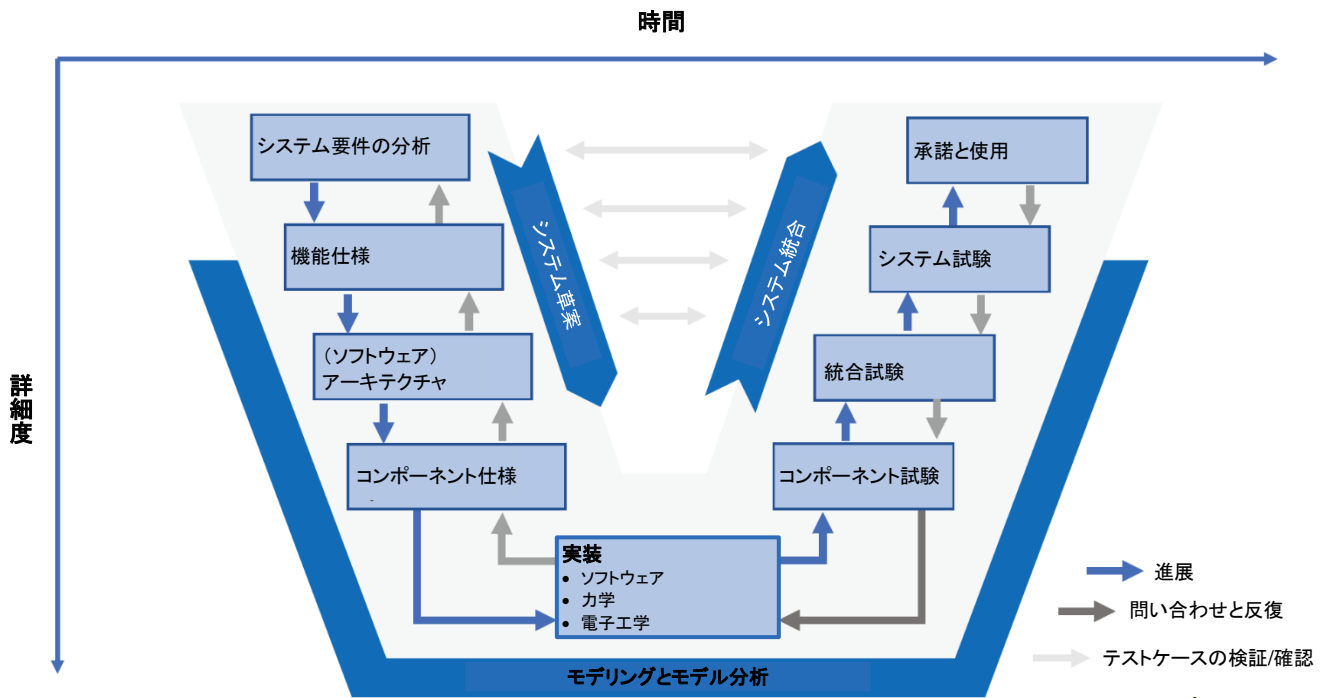


図 10: Vモデル: 系統的エラーを削減する反復プロセス
 (出典: V-Modell: VDI 2206:2004-06 – VDI Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung)

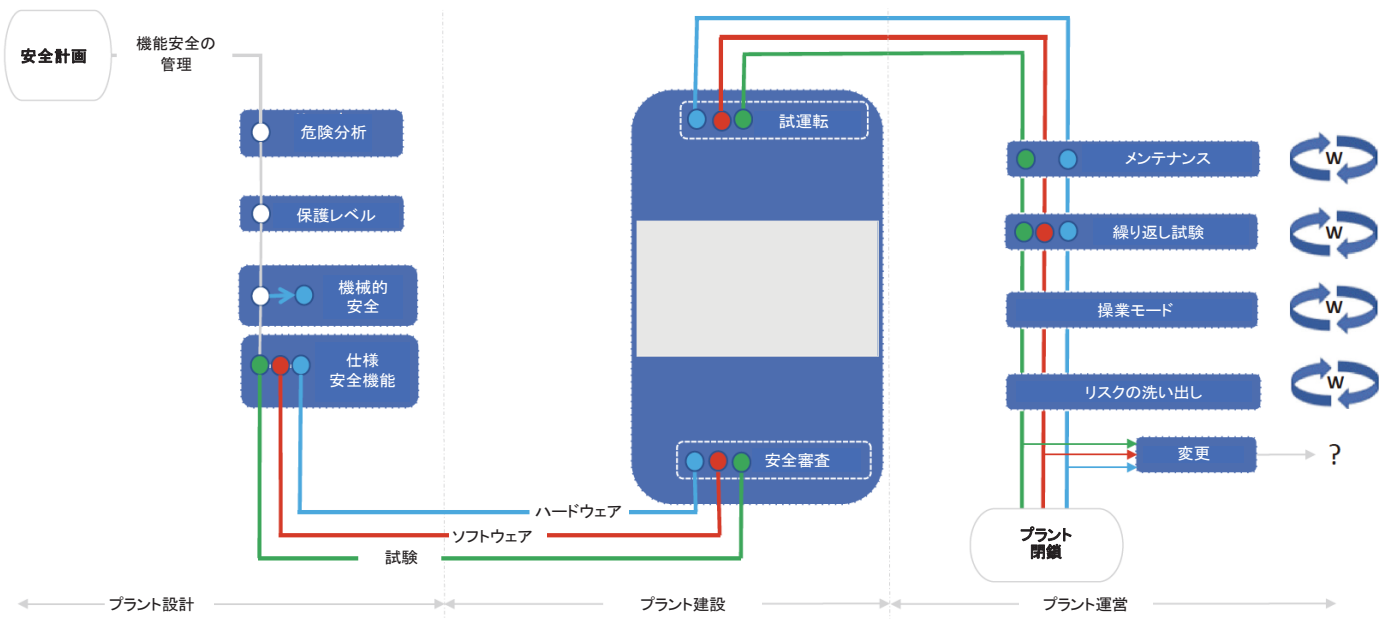


図 11: Vモデルの実際の応用例

5.1.6.2 機能安全とサイバーセキュリティ

「機能安全」と「サイバーセキュリティ」は相互依存の関係にあり、この分野の標準化作業はより細部にまでわたり行う必要がある [HE 5.1.6-2 V5]。

「セキュリティ」と「安全」は、どちらもドイツ語では「Sicherheit」と表現されるため、機能安全とサイバーセキュリティという二つのコンセプトの間にどのような違いがあるのかという疑問がたびたび生じる。

英語では違いはより明白である。機能安全は機械から人々を守り、サイバーセキュリティは機械を人々から守る(図 12 参照)。

そのため、これらの定義や用語の記述に関しては、英語の方がドイツ語よりもずっと的確である。専門家やユーザーにとって、この区別はシンプルで極めて自明のことである。一方、この分野に詳しくない人は、安全を意味するのか、セキュリティを意味するのか、最初ははっきり理解しているとは限らない。

近年「セキュアでなければ、安全ではない」という言葉が繰り返し話題となる。⁶¹ これは、プラントが外部からの攻撃に対して保護されていないならば、機械からの人間の保護も、もはや保証できないということを示す。

特にインターフェイスでは、安全対策とセキュリティ対策が互いに影響し合うことを無視することはできない。包括的なリスク査定またはリスク評価を複雑なシステムに設定しなければならないとき、このことが特に問題となる。これには、安全リスク評価とセキュリティリスク評価が含まれる。包括的なリスク査定では、両方の代表的要素の専門的交換が行われる。これによって、それぞれの分野のどの要件または対策が、他方の分野にも影響を与える可能性があるかを示す必要がある [HE 5.1.6-3 V5]。

Industrie 4.0 システムのための人間中心設計の基準について考慮することは、これらのシステムの機能安全に密接に関わる。人間のオペレータのニーズや能力に合わせた設計は、エラーや事故の防止に役立つからだ。インターフェイスの設計には、特別な配慮をすべきである。そのため、標準化ロードマップのバージョン 4 からの以下の行動提言 [2] をここで再び取り上げる [HE 5.1.6-4 V5]。

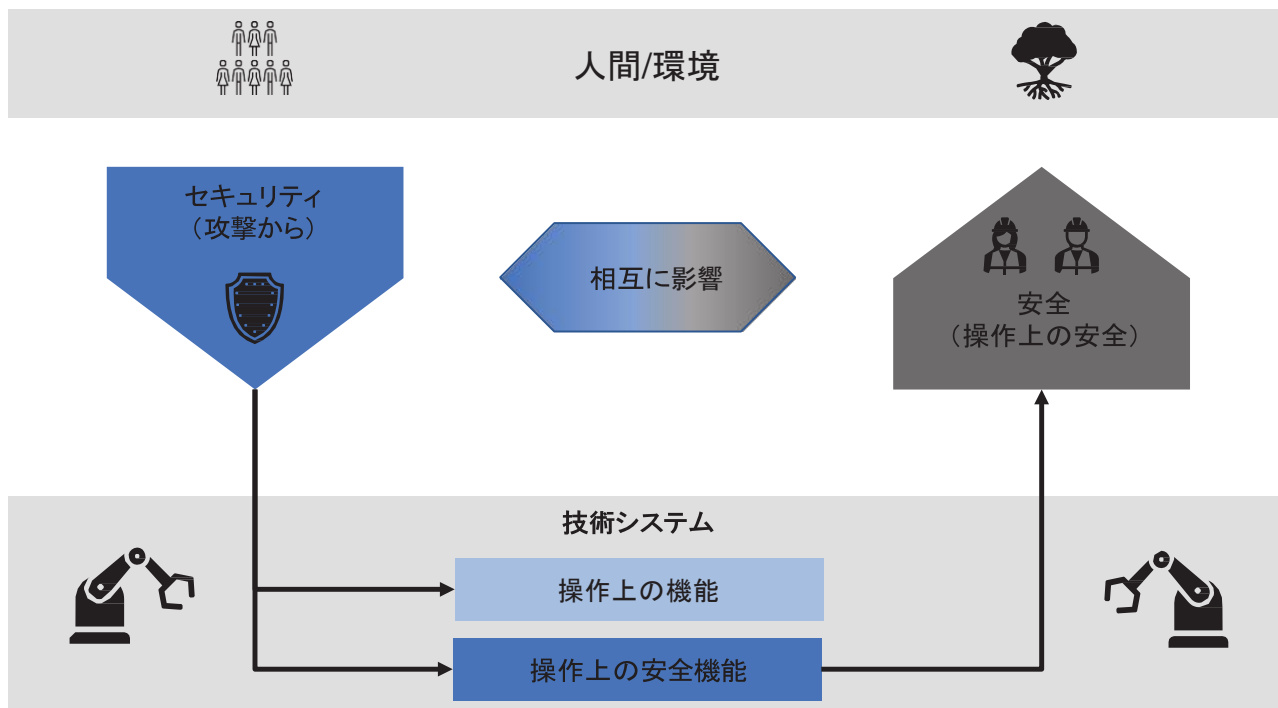


図 12: 安全とセキュリティの違い(出典: DKE)

⁶¹ [ドイツ語: Wenn es nicht sicher ist, ist es gefährlich.]

5.1.6.3 IEC 61508:機能安全に関する国際標準規格シリーズ

IEC 61508⁶²シリーズの標準規格の範囲(図13参照)は、着想、計画、開発、実現、試運転、メンテナンスおよび修正から、廃止や撤去に至るまでをカバーする。標準規格シリーズの要件が一貫して実装されれば、その結果、製品とプラントの安全な開発と運用のための管理システムになる。これに加えて、特殊な製品の分野に対してはさらに規範的な仕様がある。

これらの分野のひとつひとつが、そのコンテンツをそれぞれの適用分野に具体的に適合させた標準規格シリーズを使用する。鉄道用途で利用される製品またはシステムに対する要件は、医療用電気機器の分野の要件とは全く異なるのだから、このことは理解できる。しかし、機能安全での基本は、いずれにしても、IEC 61508シリーズの標準規格で規定されている。

好例としては、標準規格シリーズ ISO 26262⁶³「路上走行車—機能安全」がある。これは、自動車業界向けの独立した標準規格が挙げられる。基本的な考え方は、IEC 61508シリーズの標準規格(SIL など)に基づき、業界固有の要件(ASIL など)に合わせて修正されている。

機能安全に関するその他の最新の話題や、このテーマについての詳細な情報は、DKE のウェブサイト

「<https://www.dke.de/de/arbeitsfelder/core-safety/funktionale-sicherheit>」でも確認できる。

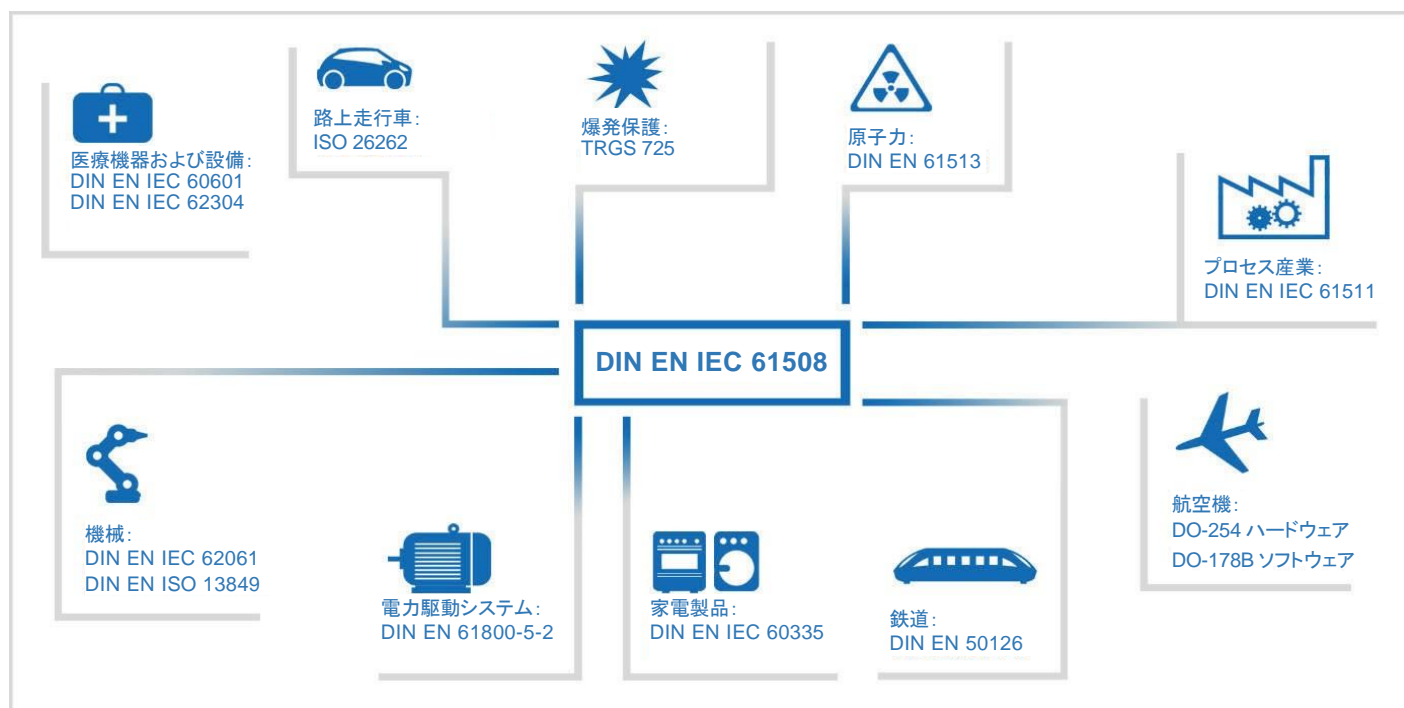


図 13:機能安全に関する標準規格シリーズ(出典:DKE)

⁶² IEC 61508 シリーズ「電気/電子/プログラマブル電子安全関連システムの機能安全」

⁶³ ISO 26262 シリーズ「路上走行車—機能安全」

5.1.7 産業オートメーションにおける人工知能

人工知能(AI)は、ここ数年で至るところで活用されており、AIなしでの今日のデジタル世界は想像できない。AIは経済生活の幅広い領域に進出し、人間の仕事、学習、通信、消費の方式を一変させている。現時点でも、AIの応用例は数多く存在している。AIの重要性は、産業アプリケーションでも急速に増している。専門家は、将来のAIは産業の価値創造に大きな影響を持ち、企業がAIの利用を拒否しがたくなるだろうと予想している。

その兆候は多く見られ、Speech assistant(発話支援)やチャットボットが例として挙げられる。文書調査用プログラム、画像認識用システム、工場で人間と相互作用する産業用ロボット、または自律走行の物流システムなどもそうだ。AIはすでに多くの企業で、プロセスの最適化とその安定性の確保、生産性の向上、継続的な生産品質の確保、エネルギーコストの削減などに使われている。これらは主に、意思決定プロセスを支援する分析活動である。人工知能の利用により、融通の利かない事前定義されたパターンではなく、観察と既存の(背景)知識に基づいた適応が可能になる。AIはこのように、進歩を推進し、経済力、ひいては社会全体の繁栄を守るテクノロジーである。英語では、産業用人工知能または産業用AIという表現も使われており、ドイツ語圏の国でも頻繁に使われるようになってきた。これには、産業アプリケーションまたはIndustrie 4.0において人工知能が適用される全分野が含まれる[54]、[55]。

AIの標準化は、ドイツや欧州において極めて重要なものとなっている。ドイツ政府によるAI国家戦略[56]、[57]、および欧州委員会の戦略と規制活動[58]のためだ。AIにおいては、国内および世界レベルで、コンソーシアムベースおよび完全合意の形で、数多くの標準規格や仕様が発行済みまたは開発中である。AIの破壊的な特性のため、世界中の規制・立法当局は、AIとその影響、たとえば、AIの適用において確立された法的枠組みの正しい解釈との妥当性についても関心を強めている。

科学研究分野で30年以上前に始まった人工知能は、その歴史から、「視覚認知、言語認識、意思決定、言語間の翻訳など、通常は人間の知能が必要なタスクを実行できるコンピュータシステムの理論と開発」とされている[59]。この定義により、研究と(科学的)作業に必要な余地が生じる。さらに、AIは技術システムで(人間のような)知能を実現するという目標に基づいているという点で、特にテクノロジーに依存しないものでもある。つまり、この目標を実現するためであればどのようなテクノロジーも、このテーマの対象となり得ることを意味する。あるテクノロジー、アプリケーション、またはメソッドが人工知能であるかどうかを明確に区別することは、孤立した二次的な話題としてだけでなく、そうした定義からすると不可能に近い。しかし、規範的なコンテキストでの具体的な技術的問題を考慮する場合、法または規制の要件を考慮する場合、またはそれらを再定義する場合、より具体的で、解釈の余地が少ない検討範囲や適用範囲を詳細に記述したAIの定義を使用するという課題に直面する。究極的には、その(AI)の定義が、その後のすべての適用、規制、規範的、法的な検討、仕様とコンテンツに関する基盤となる。普遍的に受け入れられた定義がない場合、または既存の定義がグループの作業や意図または公表に対して不適切であったり、不正確すぎたりする場合、典型的なアプローチでは「カスタム」の定義を作成するか、既存の定義を再定義または詳細化して、仕様、標準規格、規制ガイドラインなどの文書の正確性と自己参照を可能な限り実現する。

しかし、基盤となる定義の変更は、開発済みの仕様も変更、拡張または修正しなければならないという事実につながる可能性もある。その上、異なる定義に基づく(例:さまざまな標準規格または仕様からの)コンテンツは、直接一緒に適用することはできない。定義の差が大きく、しかも具体的であればあるほど、コンテンツの統合や共通での適用を特定することが難しくなる。コンテンツの矛盾のリスクが高まり、コンテンツの調整がずっと難しくなる。これが、私たちが今直面している状況である。まだ共通で使われるAIの定義がないため、なおさらである。

2022年以来、世界中の集中的な議論を経て、人工知能の定義について規範的な意見の一致が得られた。AIシステムは「人間が定義した特定の目的に対して、コンテンツ、予想、提言、決断などのアウトプットを生み出す設計されたシステム」であるというものだ(ISO/IEC 22989⁶⁴参照)。問題は、この定義はまだとても弱く、現状の定義の差という問題を直接解決するものではないということである。

⁶⁴ ISO/IEC 22989:2022「人工知能—人工知能の概念と用語」

これを反映した国内レベルの作業は、DIN/DKE 合同委員会「人工知能」(NA 043-01-42 GA⁶⁵)内で行われており、その中の、産業アプリケーション用人工知能に関する SCI 4.0 専門委員会のメンバーは、Industrie 4.0 アプリケーションの一貫性を継続的にチェックするためにメンバーとしても積極的に活動している。この作業は、継続し、強化する必要がある [HE 5.1.7-1 V5]。欧州レベルでは、CEN/CENELEC JTC 21「人工知能」が 2021 年 6 月に設立され、そのドイツ国内での作業も NA 043-01-42 GA において行われている。これにより、国内の活動を戦略的に束ね、欧州および国際的な標準化活動につなげた。AI における標準化を調整、統合し、調和させる取り組みも、特に欧州レベルで、とりわけ欧州の規制活動のコンテキストで、強化する必要がある。

(EU の AI 規制法案 [60] で定義されるような)ハイリスク AI システムは、安全システムとはみなされないシステムである可能性もあるが、同様の要件が適用される。ただし、これらのハイリスク AI システムが、将来も一貫して安全システムとみなされる必要があるかどうかは明確ではない(フェイルセーフ、機能安全という意味で。5.1.6 項も参照) [HE 5.1.7-2 V5]。

標準規格と仕様は、それぞれの適用可能なテクノロジーの標準規格に基づく。AI は、活発な研究分野を代表しており、ここでは、言語処理 ([61]、[62]、[63]) またはテキストから画像への変換 ([64]、[65]、[66]) などのこれまで以上に大規模な変換モデルのように、新しい革新的なアルゴリズムやソリューションが非常に短い間隔で開発されている。その最前線は、目まぐるしいスピードで変化している。結果として、科学と標準化の関係がますます強固になり、時間短縮につながっていることは好影響の 1 つである。このように、研究結果が(公的出資が投入される可能性がある)プロジェクトの枠組み内の規範的活動に直接組み込まれたり、または科学的イニシアティブがきっかけとなったりすることが頻繁に発生している。しかしここでの課題は、非常に複雑な(国内外の)調整、確立した規範的調整と整合メカニズム、関連する委員会や調整役は、科学的視点からは一部知られていないことが時々あり、これがしばしば国内活動の意図が国際的レベルでは矛盾する原因になるということである。特に、国際的研究プロジェクトや標準化におけるイニシアティブにおいて、とりわけ、ドイツや欧州とは異なる国家標準化政策をもつ国(例: 中国)と相対する場合に顕著である。国際的に調和した標準化活動において、この基本的にはプラスの開発をよりのを絞って活用するために、そしてドイツと欧州の利益にプラスの効果を実現するために、科学と標準化の間の結びつきを強化する必要がある [HE 5.1.7-3 V5]、[HE 5.1.7-4 V5]。

CEN/CENELEC JTC 21 の「戦略的諮問グループ」は、欧州に焦点を合わせた標準化ロードマップと戦略の開発をその目標のひとつとして掲げる。国際レベルでは、標準化マップと進行中および公開済み(標準化)プロジェクトの開発を目的として、ISO/IEC JTC 1/ SC 42 の諮問グループ「人工知能」が 2021 年の秋に設立された。同じ SC の他の作業グループは、アドホックグループにおいてそれぞれの主題とする分野において、さらなるプロジェクトのためのロードマップ戦略を策定している。産業アプリケーションにおける AI において、最も重要な標準化団体とその構造組織の概要は継続的に更新されており、たとえば、SCI 4.0 とその専門家評議会「産業アプリケーションにおける人工知能」により、各機関ベースで全国展開される [HE 5.1.3-5 V5]。

標準化ロードマップ Industrie 4.0 の V4 では、AI メソッドのための評価の枠組みの確立に向けた行動提言が述べられていた。この行動提言に基づいて、水平 AI メソッドとシステムの標準規格と仕様は、ISO/IEC 5392⁶⁶ や ISO/IEC 42001⁶⁷ など、すでに国際レベルで公開されている。DIN/DKE 合同委員会「人工知能」の国内委員会の作業を通じて、この方法で策定された標準規格と仕様の結果は、SCI 4.0 専門家評議会「人工知能」により、産業アプリケーションにおいて Industrie 4.0 の要件に関して確認することができ、それに基づいて垂直標準化作業の開始が可能となる。これまでに実施された作業の結果、すでにプラスの効果が得られていることから、これらの活動は継続し強化すべきである [HE 5.1.7-6 V5]。このコンテキストでは、追加の規制活動 ([HE 5.1.7-1 V5] と [HE 5.1.7-2 V5] を参照) とメソッドの一般的な品質特性 ([HE 5.1.7-7 V5] も参照)、およびこれらへの影響を Industrie 4.0 コミュニティ側での水平標準規格に考慮するか導入する必要がある。

⁶⁵ NA 043-01-42 GA 「DIN/DKE 合同作業委員会「人工知能」」

⁶⁶ ISO/IEC 5392「情報技術—人工知能—知識工学の参照アーキテクチャ」

⁶⁷ ISO/IEC 42001「人工知能管理システム」

Plattform Industrie 4.0によって策定された適用シナリオ [67]、[68] が示しているように、Industrie 4.0 は、製品開発のライフサイクル全体、リサイクルまでの製品の使用、および(特殊なものも含む一連の)機械工学、システム統合、グリーンフィールドとブラウンフィールドの両サイトでの物流や解体を含む(柔軟な)プラント運用に影響がある。同じことが、AI の適用可能性にも当てはまる。これは、Industrie 4.0 において、製品と生産のライフサイクルのすべての段階および側面で原則として使用され、または使用可能とされる。(メカトロニクス)製品、機械およびプラントの開発は、すでにその高度な学際という特徴を持っている。たとえば、機械の開発には、機械設計のための設計技師、電気技師、必要に応じて、電気/電子と空気圧または水圧の側面を立案するための流体工学技師、制御ソフトウェアのための自動化技師などが関与する。情報や通信技術全般、特に AI の利用の増加により、AI 専門家、コンピュータ科学者、データ分析者なども加わり、この輪は拡大している。したがって、系統的(学際的)な開発と、そのようなシステムの一部としての AI ベースのソリューションの運用が、どのようにしたら可能かという課題が生じる。これは、AI 工学とも呼ばれる。

研究における多くの作業 [69]、[70]、[71] および実践 [72]、[73] で明らかにされたように、学際的なシステム開発は、共通の(概念的な)理解を創り上げる、またはそのような理解に依拠するという根本的な課題に必ず直面する。人工知能の分野のメソッドやアルゴリズムの使用によって、さらに課題は拡大し、ニーズも増す。産業オートメーションまたは Industrie 4.0 に必要な技術用語を考慮した均一な共通の(規範的に定義され、一貫した)用語は、(非常にコストがかかる可能性のある)誤解を避けるために、開発とそれによる協力関係を大幅に強化する([HE 5.1.7-1 V5] も参照)。Industrie 4.0 でのシステムは、クリティカルなアプリケーションであり複雑なシステムであることが多い。信頼性、信用性、安全とセキュリティ、および制御性など、高度な特定の品質基準が求められるのはそのためである。AI を伴わないシステム開発における、これらの要件やシステムの(実行時の)プロパティの評価や証明は、すでに(たいていの場合)ベストプラクティス、標準規格、および仕様で対処されている一方、AI ベースのシステムまたはサブシステム用の認められた手順や開発メソッド、その評価とプロパティの証明が、業界では不足している [HE 5.1.7-8 V5]。

この結果、それぞれのライフサイクル段階においてさまざまな(品質)要件が生じ、ライフサイクルの特定の段階の前、たとえば機械が生産的運用に入る前に、安全配慮のような検証が必要になる可能性もある。アプリケーションやライフサイクルの段階のすべてにおいて、同一要件というわけではない。特に、機械学習のような学習法を使っているときは、(安全などの)特定の境界条件への準拠は、(継続的な)学習法が使われている場合であっても、機械の(生産的な)ライフタイム全体で保証されなければならない。

現在、水平組織で人工知能を扱う規範的活動について焦点が当てられている。これは、AI のように破壊的で幅広く適用可能なメソッドとテクノロジーの分野のための論理的な最初のステップである。現在、AI の標準化活動の大部分は、ISO/IEC JTC 1/ SC 42 に集中している。しかし、実施済みの初期導入段階の後、AI の標準化へのこの集中的アプローチは、多くの側面とテーマに加え、他の標準化活動への多くの依存をもたらし、その一部は非常に異種混合であることは明らかである。このことで、中央標準化団体の煩雑さや人的要件が大幅に増加し、この中央団体外における関連する標準化活動との一貫性の確保が(テーマに固有な詳細内容については特に)一層難しくなっている。Industrie 4.0 での AI に関連する側面ではなおさらである。この理由から、中央 AI 団体から(多くがすでに存在している)テーマ固有の標準化団体、たとえば、IEC TC 65 の団体([HE 5.1.7-8 V5] 参照)への標準化プロジェクトの再割当てまたは移動を追求する必要があり、同時に調整団体の強化が求められる。

現在、AI の話題は、機械学習のような学習法(サブシンボリック AI)の利用と同一視されがちである。何十年も存在してきた、シンボリック AI の大規模な研究・適用分野、すなわち(例:数理論理学の手段による)形式知の処理や対応する推論のメカニズムは、この中では軽視されることが多い。しかし、明示的な(デジタル)モデルは、たとえば MCAD や ECAD など、製品、機械およびプラントの開発プロセスで使われるため、これらは産業オートメーションにおいても重要な役割を果たす。さらに、物理的(サブ)システムの(例:アセット管理シェルのサブモデルの形での)基本的(デジタル)記述および運用データ(アセット管理シェルの API)へのアクセスは、Industrie 4.0 においてデジタルツインとアセット管理シェルの開発と応用の一部として開発中である(5.1 項、特に 5.1.3 項と 5.1.4 項を参照)。AI のメソッドとアルゴリズムは、この情報に基づいて自動処理を行うことができる。

しかし、これには提供される情報のための適切な形式的な基礎が必要となる([HE 5.1.3-4 V5] と [HE 5.1.4-2 V5] も参照)。多くの場合、アセット管理シェルの子モデルのようなソフトウェアのイノベーションは、迅速なイノベーションサイクルにより、(アジャイルな)標準化の枠組みの中で(コンソーシアムによって)開発される。(意味上の)相互運用性、国際的な容認と規範的・規制的境界条件の一貫性を確保し、それにより Industrie 4.0 において(シンボリック)AIメソッドの適用を可能にするために、コンソーシアムによる標準化団体/コンソーシアムと標準化の間での密接な協力、調整および情報交換が、Industrie 4.0においてAIをうまく使用するために必要である([HE 6.1-1 V5] と [HE 6.1-3 V5] も参照)。

AI テクノロジーは、人間、組織の環境、および社会全体に絡んでいる。そのため、AI ソリューションをうまく設計するには、AI が活用され、人間と相互作用する社会技術システムを常に考慮する。社会技術システム設計のコンセプトでは、テクノロジーの利用と組織の両方を最適化し、そこではタスクが統一要素となる必要性が明確に求められる。基本原則は、使用者が可能な限り最善の方法でタスクを完了させるのに役立つ AI ソリューションを設計するため、人々のニーズを特定し、分析して利用することがベースとなる。AI の長所と短所、機会とリスクは、このようにテクノロジーとその開発だけでなく、その適用の概念にも依拠している。社会技術的視点によってこの背景がもたらされ、それは AI ライフサイクルの各段階で社会技術システムの固有の側面に注意しながら、完全な AI ライフサイクルの全体を通じて考慮されなければならない。そのため、AI ソリューションの設計には、影響を受ける人々のすべてのグループが参加型の方法で関与する系統的なアプローチが必ず必要となる([HE 5.1.3-2 V5]、[HE 5.1.1-4 V5] と [HE 5.2.3-2 V5] を参照)。より詳細な情報については、人工知能に対するドイツ標準化ロードマップ第2版の「社会技術のシステム」の章を参照のこと [74]。

5.2 側面2：自律性

5.2.1 データスペース

デジタル自律性拡大を実現するには、データスペース用の標準規格が重要な役割を担う。どのタイプであれデータスペースには、アクセス保護と制御のための適切な ID 管理とセキュリティ機能が求められ、これには、国際的な連携をサポートし保護する国際標準規格が必要となる。電子本人認証、認証および信頼サービス (eIDAS) のような欧州のソリューションの基本的要素は、世界的に追加されるか、アクセス可能にして受け入れられなければならない。セキュリティレベルは、サポートするビジネスモデルの要件を満たさなければならない。必要な仕様には、ガバナンスに関するルールに加えて、技術アーキテクチャや実装品質が含まれる [HE 5.2.1-1 V5]、[HE 5.2.1-2 V5]。

広範囲にわたるテクノロジー、コンポーネント、標準規格および準備作業を構築する取り組みがすでに始まっている。ドキュメント「Design principles for data spaces」の「building blocks」により、**データスペースを構築し**構造化するための系統的アプローチが利用可能となっている [3] (図 14)。基本的要素は、相互運用性の技術的分野、信用とデータ価値、ガバナンスに分けられる。データスペースを構築するため、ここで基本的要素と呼ぶものには、データモデルの基盤としてのアセット管理シェルや、ID 管理のための eIDAS 規制のような、データエコシステムの要件を満たす具体的な実現例が多数含まれていなければならない。ここで触れている基本的要素以外に、具体的でドメイン固有のデータスペースの設定時に、基本的要素がさらに必要となることがある。このモデルに従うことで、さまざまなデータスペース間の相互運用性が促進される。

標準化により、基本的に技術的観点からデータスペースを形成することができる。既存の標準規格はデータスペースの技術的実装のための基盤を形成できる一方、既存の標準規格の拡大と新たな標準規格の策定は、「デジタルエコノミー」での新たな要件のため有用かつ必要である。これにはまず、データスペースの構造またはアーキテクチャについての、必要な用語の均一な定義(用語集)を含む、均一な考え方が必要である。この上に構築することで、契約者とデータスペースを接続して複雑な機能を実現するゲートウェイコンポーネントのような、中心的な機能の具体的な定義や標準化と同時に、最低限のサイバーセキュリティ要件、および認証や承認などの分散化した ID 管理が必要となる。

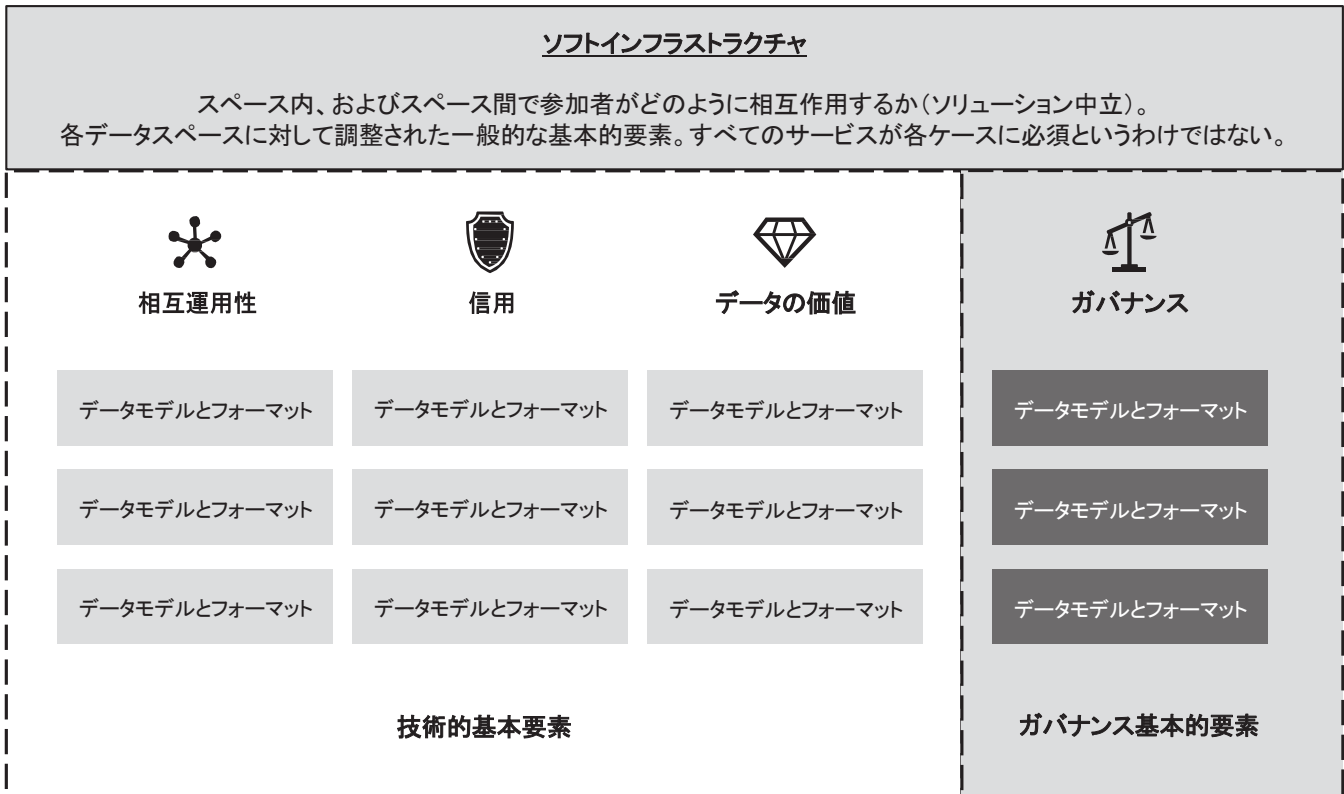


図 14:「Design Principles for Data Spaces (データスペースのための設計原則)」(CC-BY-4.0 [3])によるデータスペース構築のための基本的要素

データの価値創造を実現するためには、データとサービスを配置するメカニズムが求められ、分散化された企業間の共通システムでトランザクションを追跡可能にするために、その他のメカニズムが必要となる。これらの問題は、幅広い標準化活動において取り上げなければならない。国内(DIN)および国際的(ISO、CEN-CENELC)標準規格団体は、データスペースの要件、構造およびコンポーネントの動作の標準化にすでに取り組んでいるが、たとえば、RDF から RDF-star への移行に関する W3C 内の作業など、他の分野での標準化の取り組みも調整しなければならない。国際的な調整と協力の精神のもと、標準化作業は、データ取引を扱う隣接したテーマにも結び付けなければならない(例: IEEE P3800 [75])。

技術的標準化活動に加えて、**ガバナンス**、法的枠組み、運営基盤などの分野から他の活動が求められている。ここで、作業原則に関する作業は、さまざまなアプローチによりすでに実施されている。例としては、**Data Sharing Coalition [76]**、**SITRA「Rule Book for a fair data economy」[77]** または **IDSA の作業 [27]** などが挙げられる。

全体として、すでに使われている標準規格、開発中の標準規格、および欠けている標準規格の周りの複雑な状況を伝えることができる必要がある。

このタスクはすでに、**データスペース業務提携 [78]** で部分的に扱われているが、さらなる作業が必要である。

原則としてデータスペースを扱う標準規格や、データスペースの目的を具体的にサポートする標準規格など、さまざまな標準規格があるのは確かである。しかし、これらはより個別の活動であり、包括的なコンテキストにはあまり透明性がないという印象だ。**BDVA [28]** TF6.SG6(標準規格)はここで、**データスペース業務提携 DSBA [79]** と緊密に連携して、共通の包括的でオープンなアプローチにより、データスペースの透明性と統一された標準規格のアジェンダを策定する作業を行っている。

5.2.2 産業セキュリティ

情報セキュリティは、強固に確立された産業的価値と社会的価値を象徴する。Industrie 4.0 にとっての基本的な要件であり、デジタルエコシステム内で連携を実現する。多くの課題を抱えているものの、世界中で Industrie 4.0 への高レベルの信用を生み出し、バリューチェーンに沿った信用性の重要な側面となっている。

この章では、セキュリティの中でも「産業セキュリティ」に焦点を当てる。具体的には、生産システムにおける情報テクノロジーの包括的な保護、および妨害行為、スパイ活動または改ざんに対する機械とプラントの保護などについてとなる。データ保護(プライバシー)と機能安全は、5.2.3 項と 5.1.6 項で扱っている。

5.2.2.1 相互運用性の側面としての産業セキュリティ

政治的緊張および危機の際には特に、サイバー攻撃が政治的目的のために使われがちである。サイバー攻撃は、政府機関や重要インフラだけにとどまらず、多大な損害を引き起こすことがある。たとえば(すき間産業の)生産者を標的にした攻撃は、サプライチェーン全体を停止させ、経済の価値創造、繁栄、防御可能性に影響を及ぼす。

その間にも、組織犯罪の攻撃が、国が指揮する攻撃に匹敵するレベルで実行されている。このことは、リスク分析において考慮されなければならない、それ相応の効果的な防御手段が必要となる。

さらに、IT やオフィス分野で昔から使われているセキュリティソリューションは、産業アプリケーションには不向き、または不十分である。さまざまなセキュリティ要件が、特に、リアルタイム要件とロバストネス要件、産業用コンポーネントのライフサイクル、および産業プラントの継続的可用性の要件によって決定される。産業セキュリティも、従来のデータ中心の通信セキュリティにおけるデータと情報の保護よりも、ずっと広い意味を持つ。産業セキュリティは、通信・保管されたデータと情報だけでなく、バリューチェーン全体や関連するアセットのライフサイクル全体にわたって、デバイス、プロセス、インフラなどあらゆるアセットにも影響する [HE 5.2.2-1 V5]。

セキュリティレベルの相互運用性と相互比較性の確保に加えて、将来の標準規格は、実装の障害の克服にも貢献する必要がある (ISO/IEC JTC/ SC 41 参照)。そのような「認識されている」障害には以下のようなものがある。

- 価値創造へのセキュリティ投資の貢献が不明確: ただし、クリティカルなインフラストラクチャなど一部のセンシティブな分野では、政府の規制により、適切な対策の実施についての強制力が増していこう。
- 信頼できるソリューションのための適度な認証の取り組みをとまう、一般的に適用可能で業界と互換性のある実装標準規格の欠如。

- 従来の確立された開発プロセスや運用プロセスでは対応できない、セキュリティ対策によるシステムのさらなる複雑化への懸念。
- Industrie 4.0 のバリューネットワークの信用性を評価する、標準化された方法の欠如。たとえば、データ保護要件に関してなど(信用性についての [HE 5.2.4-1 V5] も参照)。
- Industrie 4.0 のグローバルな信用基盤の欠如。たとえば、通信や制御データの送信時に世界的に一貫した暗号化の可能性を提供するなど。

セキュリティに対する実装の障害を克服するための重要な貢献としては、ISO/IEC JTC1/SC 41/WG 3⁶⁸「IoT 基礎的標準規格」の ISO/IEC TS 30168⁶⁹仕様「IoT および産業用デバイスのための汎用アプリケーションプログラミング」がある [HE 5.2.2-2 V5]。

ネットワークセキュリティメカニズムだけに(非効率に)頼るのではなく、産業アプリケーションとシステムを直接(すなわち、アプリケーションレベルで)保護する必要性が高まっている。これは、要求があればエンドツーエンドのセキュリティ、たとえばノウハウの保護、ライセンスの保護、またはデータ保護の対策のサポートと実装が可能であることを意味する。「ゼロトラスト」の原則により、企業の IT と OT 分野の両方(または、Industrie 4.0 の適用シナリオ全体)をカバーするエンドツーエンドのセキュリティアーキテクチャの実装を目指す。ここで、その結果としてのセキュリティメカニズムは、可能な限りグローバルに相互運用が可能であり、たとえばキー管理に適したインフラストラクチャにサポートされていることが重要である [HE 5.2.2-3 V5]。

セキュアな生産の世界とセキュアな製品の世界は同一である。悪意あるコードは、生産設備または開発ツールへ不正アクセスを仕掛けることで製品に侵入する可能性がある。そのため、生産条件のセキュリティプロパティと、信用できるサプライチェーン全体のつながりの検証が必要である。サプライチェーンに沿ったソフトウェアのセキュアな管理の重要な要素は、SBOM(ソフトウェア部品表)である。この目的で、該当するサブモデルは InterOpera [44] において、IDTA と協議の上で 2022 年に開始された。SBOM は、ソフトウェアの作成に使われるライブラリ、ライセンス、著作権、その他について信頼できる情報を伝え、ソフトウェアの更新の管理、および新たに出現した脆弱性やリスクの追跡と排除をサポートする [HE 5.2.2-4 V5]。既存の標準規格 ISO/IEC 5962:2021「SPDX®仕様 V2.2.1」、SPDX および OWASP CycloneDX のソフトウェア部品表(SBOM)標準規格 [80] および規制要件 [81] を考慮する。バリューチェーンに沿った脆弱性管理の自動化可能なメカニズムは、これによってサポートができ、相互運用可能な標準規格として定義する必要がある [HE 5.2.2-5 V5]。

⁶⁸ ISO/IEC JTC1/SC 41/WG 3「IoT 基礎的標準規格」

⁶⁹ ISO/IEC TS 30168 第1版「モノのインターネット(IoT) - 産業用 IoT デ

バイスのための汎用トラストアンカーアプリケーションプログラミング」

人工知能メカニズムによってサポートされるアプリケーションには、それ自身に合わせて特別にカスタマイズされた保護機能が必要となる。入力データや機能コンポーネントが意図的に操作されて結果が破損する可能性を排除し、信頼性という点でユーザーが期待する機能をアプリケーションが正確に提供するように保証するためである。その結果として、データやコンポーネントとシステムの従来の整合性保護は、まったく新しい問題に直面する(ISO/IEC JTC 1/SC 42を参照)(5.1.7項を参照)。

アセット管理シェル、デジタルツイン、ブロックチェーンを基盤としたインフラストラクチャ、量子技術、データスペースと信用性、標準化そのもののデジタル化といった新しいコンセプトでは、「セキュリティ・バイ・デザイン」を準備し実現するという意味で、付随するセキュリティ作業も必要である [HE 5.2.2-6 V5]。

アセット管理シェル(5.1.4項を参照)は、Industrie 4.0用のデジタルツインを記述するもので IEC TC 65で標準化されている。セキュリティに関する作業も、IEC/TC 65/WG 24で始められた [HE 5.2.2-7 V5]、[HE 5.2.2-8 V5]。アセット管理シェルは、マッピングされたアセットのセキュリティも、たとえばデジタル IDを管理することによってサポートする。アセット管理シェルは、アセットに組み込まれたトラストアンカーと相互作用し、サプライチェーンに関するデータとマッピングされたアセットのセキュリティ証明書を包含できる。ここで、汎用トラストアンカーAPI(ISO/IEC TS 30168) ([HE 5.2.2-2 V5]も参照)が、実装において重要な役割を果たす可能性がある。直接またはアセット管理シェル経由でのアセットとの相互作用のため、エンドツーエンドのセキュリティ用のメカニズムを用意し、ゼロトラストコンセプトに対応すべきである。

アセット管理シェルに含まれるデータの整合性、真正性および機密性を保護するために、アセット管理シェル自体のセキュリティが保証されなければならない。この目的で、アクセス制御のルールを使用する。セキュアなアセット管理シェルは、セキュアで信頼できるインフラストラクチャでのみ実現できる。このため、エンドツーエンドのセキュリティ用のメカニズムを用意してゼロトラストコンセプトに対応しなければならない [HE 5.2.2-9 V5] ([HE 5.2.2-7 V5]も参照)。

5.2.2.2 欧州規則を裏付けるセキュリティ標準化

新しい法的枠組み(NLF)の下、CEN/CENELECでの欧州規則を裏付ける**セキュリティ標準化**の焦点は、現在、無線機器指令(RED)のためのサイバーセキュリティに関する作業である。今後予定されている「**サイバーレジリエンス法**」[82]により、CEN/CENELECでのセキュリティ関連の作業が広範に及ぶことが予測されている。これは、I4.0のセキュリティにとって、セキュリティの水平標準規格の形で、また欧州地域のみならず世界的に非常に重要なものである([HE 5.2.1-1 V5]も参照)。暗号化(およびデータ保護(5.2.3項を参照))において予想される地域差は、特にグローバルレベルの通信において、セキュリティ標準規格のプロファイリングとアジャイルな実装の可能性を強いることになるだろう [HE 5.2.2-10 V5]。

5.2.2.3 Industrie 4.0用5Gセキュリティ

第5世代のモバイル通信(5G)は、可用性、セキュリティおよびキャパシティなど幅広い要件を満たすことを意図している [HE 5.2.2-11 V5]。データと、データソースやデータシンク間のデータ移動は、動的に変更・処理できる。ネットワークはこうしてインテリジェントになる。そのため、ISOのOSIモデルでは、5Gテクノロジーは1~7のすべての階層に配置することができる。

5Gテクノロジーとその用途は、以下に集約できる。

- 製品開発の一部としての5Gコンポーネントのインストール
- 現場での5Gのローカル使用と組織による運営
- 携帯電話会社が提供する5Gサービスの使用

この間、IEEEではTSNセキュリティに関する作業、すなわちデバイスの試運転/ブーストラップ用のプロファイル定義であるIEC/IEEE 60802「産業オートメーション用のTSNプロファイル」があった([HE-5.1.5-12 V5]も参照)。これは「セキュリティ・バイ・デザイン」の原則に従い通信セキュリティが組み込まれ、ドメイン間通信をサポートするものである [HE 5.2.2-12 V5]。

5.2.3 プライバシー

データ保護の分野では、EU 一般データ保護規則 (GDPR) [83] が、世界的な標準化にも影響を与える重要な基盤となっており (例: ISO/IEC JTC 1/SC 27/WG 5⁷⁰における「アイデンティティ管理とプライバシー技術」)、さらなる規則も準備中である。

e プライバシー規則は、2014 年からすでに策定が進められている。位置データの保護が期待されるため、また、GDPR の一部の規制分野のように通信の保護が同意によって交渉可能なものではないため切り離せない関係にある。

それに加えて、データの使用とデータ使用者の技術的・経済的側面の両方に影響するデータ法、デジタルサービス法、デジタル市場法、データガバナンス法のような規制 [84] は準備中であり、この点で標準規格となる可能性がある。したがって、これらの規制は注視すべきである [HE 5.2.3-1 V5]。

たとえば会社の協定で定義されている従業員の個人データを取り扱いについては、とりわけ Industrie 4.0 システムの受け入れと満足度に影響を与える可能性がある。そのため、標準化ロードマップ Industrie 4.0 のバージョン 4 からの以下の行動提言 [2] をここで再び取り上げたい [HE 5.2.3-2 V5]。

AI 法は特別な役割を果たす。なぜなら、データの使用と評価には人工知能が大きく貢献しており、時にはデータの評価者はそのデータの対象者について、対象者本人よりもよく知っているケースがあるからだ。また、パフォーマンス向上に伴い、AI の意思決定支援は実質的には支援の役割を越えている。

標準化の妥当性は、欧州委員会が AI 法に関係のある標準化イニシアティブに着手している事実からも、言うまでもなく明らかである。興味深いことに、これは CEN/CLC ではなく、JTC 1 で行われている ([HE 5.2.3-1 V5] を参照)。

GDPR の履行の過程で、2 つの側面が注目に値する。

5. EDPB (欧州データ保護委員会) [85] は、GDPR のための実装提言の主要な発信源として設立された。また、カテゴリ C のリエゾンを通じて、ISO/IEC JTC 1/SC 27/WG 5 にも参加している。この点で、その分析と提言に従うことが強く推奨される。
6. 現在、ISO/IEC JTC 1/SC 27⁷¹「情報セキュリティ、サイバーセキュリティ及びプライバシー保護」には多くの標準規格があり、そのほとんどが GDPR を下支えする ISO/IEC JTC 1/SC 27/WG 5 にある。少数の標準規格が CEN/CENELEC JTC 13 で練り直されており、または欧州のニーズに合わせて修正されている [HE 5.2.3-3 V5]。

英米で提唱された「データオーナーシップ」の概念はまだ普及していない。データ保護を商業的に協議することのできない基本的権利と見なす原則とはまったく相いれないためである。インターネットサービスプロバイダのような大規模なプロバイダと、サービス利用やその代償としての個人データ利用について真剣に交渉するには、個人ユーザーの弱さは常態的であることが、このコンセプトの発端となった可能性がある [HE 5.2.3-4 V5]。

5.2.4 信用性

「信用性」のテーマは、現在、さまざまな場所で標準化への道を模索している。信用性の定義と原則は、ISO/IEC JTC 1/WG 13⁷²「信用性」に記載されている。デバイスのサプライチェーンに関する信用性は、ISO/TC 292/WG 4⁷³「製品およびドキュメントの真正性、整合性、信用性」で取り扱っている。ISO/IEC JTC 1/SC 41 と ISO/IEC JTC 1/SC 42⁷⁴「人工知能」は、IoT と人工知能に関連する信用性に対応している。「サプライチェーンの整合性、透明性、信用 (SCITT)」についての新しいグループが、インターネット・エンジニアリング・タスクフォース (IETF) [86] において現在結成されている。ISO/IEC JTC 1/SC 27/WG 4⁷⁵「セキュリティコントロールおよびサービス」では、「データの来歴」(PWI 5181)の信用性も問題とする作業に着手しているところである [HE 5.2.4-1 V5]。

⁷⁰ ISO/IEC JTC 1/SC 27/WG 5「アイデンティティ管理とプライバシー技術」

⁷¹ ISO/IEC JTC 1/SC 27「情報セキュリティ、サイバーセキュリティ及びプライバシー保護」

⁷² ISO/IEC JTC 1/WG 13「信用性」

⁷³ ISO/TC 292/WG 4「製品およびドキュメントの真正性、整合性、信用性」

⁷⁴ ISO/IEC JTC 1/SC 42「人工知能」

⁷⁵ ISO/IEC JTC 1/SC 27/WG 4「セキュリティコントロールおよびサービス」

Gaia-X の枠組みの中で(5.1.2 項も参照)、サービスの自己記述性のための「トラストフレームワーク」[87] が規定され、標準化に組み込まれる予定である。

信用性は、状況によりさまざまな品質に関係している。標準化団体において、「真正性、整合性、レジリエンス、可用性、機密性、プライバシー、安全性、説明責任、有用性、持続可能性/環境プロパティ(CO₂フットプリント)、または社会的規則への準拠」のような「特性/属性」が議論されている。特にバリューチェーンに沿って、これらの属性の品質を保証し、確証を提供する上で、セキュリティが重要な役割を果たす。信用性の期待と能力プロファイル、および信用性の期待と能力交換プロトコル(TECEP)は、現在審議中である [88]。サプライチェーンでの信用性は、主張された能力、または信用性の期待と能力プロファイルの検証を通じて証明される。契約締結の決定は、期待に関係する能力の査定に基づいて行うことができ、その結果、信頼できるビジネス関係が生まれる。次のステップは、信用性のためのプロファイルの機械可読の定義だろう。このソリューションは、アセット管理シェルの枠組み内でも実現できる可能性がある [HE 5.2.4-2 V5]。

サプライヤと顧客という二者関係での信用性を保証するだけでなく、バリューチェーンのさまざまなステーションに遡って品質の検証や確認ができる必要がある(「信頼の輪」という点が新しい [HE 5.2.4-3 V5] ([HE 5.2.4-1 V5] を参照)。オートメーションにより「信用性管理」が可能となり、これにより信用性についてのステートメントの更新が可能になるだろう。ISO/TC 292/WG 4 が、そのようなアーキテクチャに対する要件を記述するフレームワークを開発している。

5.3 側面 3 : 持続可能性

5.3.1 Industrie 4.0 における持続可能性の側面

持続可能性のテーマは、標準化ロードマップ Industrie 4.0 において、ロードマップのバージョン 4 の公開時から不動の地位を得ている [2]。ここでは特に社会的・生態学的側面に焦点が当てられており、それらの側面の Industrie 4.0 への根本的な統合である。ロードマップのバージョン 5 では、持続可能性のテーマは他とは区別して徹底的に検討され、独立した複数の章で提示されている。これには包括的な新しい行動提言も含まれ、詳細を以下に説明する。

Industrie 4.0 に関連する持続可能性の標準化の現状に関しては、生態学的側面、社会的側面、経済的側面により個々に検討しなければならない。

過去数十年で継続してその重要性が増している環境セクターは、特にドイツに関しては、Industrie 4.0 に準拠した多数の標準規格を誇っている。例としては、空中への排出の測定、たとえば CO₂ の日次または年次の平均を判断するための排出データの数理統計学的評価、汚染物質とその濃度を判断するための物理・科学的解析法などがある。前述の分野における標準規格は、長い間実践の中で定着しており、さまざまな法的規制に不可欠な部分となっている。

気候と環境面を評価するための標準規格や仕様は、すでに存在しているか現在策定中である。しかし、これまでのところ、データの透明性と品質に関してかなりの問題を抱えている。その上、まったく異なる参照ポイント(アセット)のデータを定期的に組み合わせるため、結果のさらなる活用や重要性が著しく損なわれることになる。

現在の標準化活動に関しては、最近発表された標準化ロードマップ循環経済について触れておきたい。このロードマップは、電気工学、ICT、バッテリー、包装、樹脂、織物、建設、自治体、さらにはデジタル化、ビジネスモデル、管理などの重要なテーマについての広範な標準規格の調査の他、特定された標準化のギャップを埋めるためのそれぞれに対応する行動提言が含まれている。しかし、廃棄物とリサイクルのセクターの標準規格は、共同のバリューネットワークでの工業製品の製造を対象としている Industrie 4.0 システムでは、明確な製品の参照ができる標準規格を除いては、限られた利用しかされていない。

さらに、実地でのアセット管理シェルの標準化された実装に取り組んでいる InterOpera [44] プロジェクトに触れておく必要がある。ドイツの連邦環境庁は、サブモデルについて 2 つの提案を提出している。ひとつは(産業)プラントを参照した環境データセット、もうひとつは製品を参照した環境データセットであり、2023 年の公開を予定している。

5.3.2 持続可能性モジュールの概要

5.3.2.1 「持続可能性の基本的要素」

気候、環境などの持続可能性の側面をデジタルエコシステムにデジタルかつ完全に統合し、ならびに持続可能性の評価の作成の自動化を目指す行動提言がある。

高度に動的で柔軟に運用されるデジタルエコシステムにおいて、持続可能性の側面を定性的・定量的に記録、評価するため、必要なデータと情報をデジタルに記録し、アセットに応じて個々に管理しなければならない。デジタルエコシステムで利用可能なアセット、すなわちデータ参照ポイント、および異なる形式のデータ集約または発信から、以下に詳述する**持続可能性モジュール**という結果が得られる。これは「**モジュラーシステム**」として互いに柔軟に組み合わせ、より大きな情報単位に「組み立てる」ことができる(組み合わせモジュール:たとえば、プラントおよび製品用のデジタル持続可能性パスポート)。データの品質または最低品質基準は、各モジュールに対して定義する必要がある。デジタル情報管理は、より大きな情報単位、つまり組み合わせられたモジュールが「個々のパーツ」、すなわち基本モジュールに再び分解できる必要がある。これは、エラー解析とエラーの排除を容易にする、デジタルかつ自動的に生成された持続可能性の成果の品質保証のための基本的な要素である。現在、そのような基本モジュールの基準としての役割を果たす標準規格や仕様はない。

気候、環境および持続可能性の情報のアプローチ、または構造化と管理は、本質的にデータと情報のアセットへの分類と割当てに従っており、結果としてアセット管理シェルのモデルアプローチに基づく[HE 5.3.2-1 V5]。

以下では、ここまで説明してきたような、さまざまな持続可能性の標準モジュールについて、より詳細に説明し実装を提案する(図 15 を参照)。

5.3.2.2 固定式プラント用の持続可能性モジュール

モジュール: (産業)プラント/生産施設/サイトおよび関係する気候データ/環境データ/生態学的持続可能性の側面(アセット:産業プラント/生産施設)

気候と環境データは、(産業)プラント/生産施設について、標準化された形式で定期的かつ継続的に収集される。報告が義務付けられていることも多い。これは多くは、大気中や水中への排出および廃棄物が対象とされている。上述したように、排出の測定や汚染物質負荷の計算を扱う標準規格や仕様は数多くあり、そのためこの分野のデータの状態と品質は、「快適」から「非常に良い」と分類することができる。同時に(産業)プラントの排出データは、多くの場合手元にあるかプラント管理者が所有しており、状況に応じて利用可能にできる。

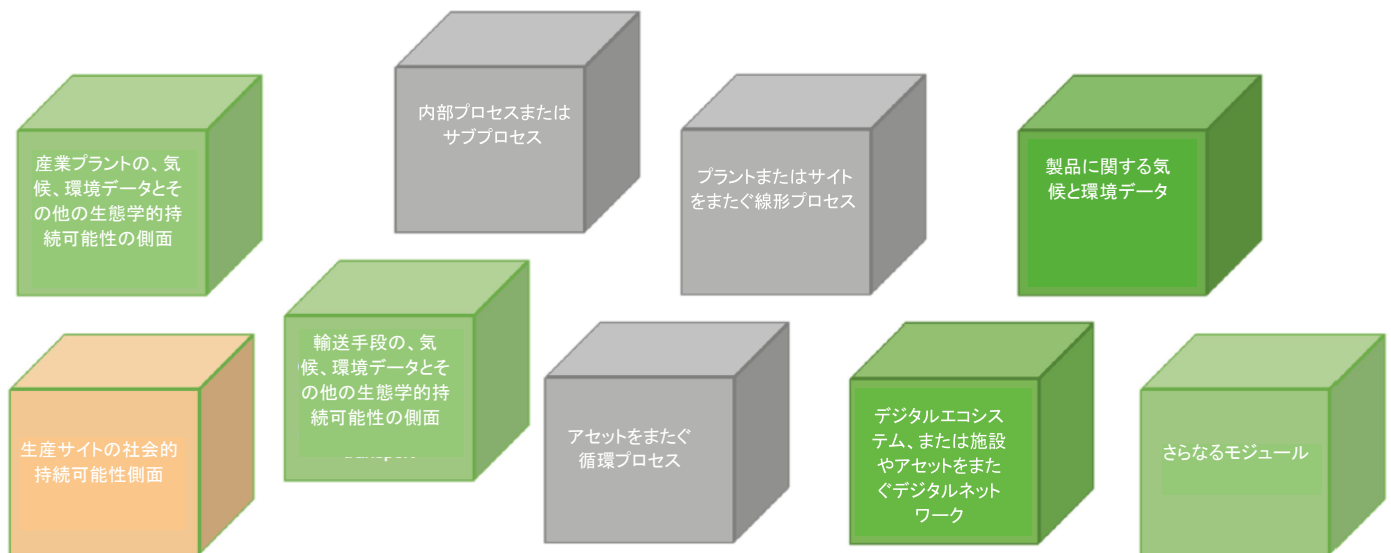


図 15:さまざまなモジュールで形成される「持続可能性の基本的要素」(出典:D. Meurer)

(産業)プラントまたは生産施設における排出などの**環境的持続可能性の側面**を明確に標準化して比較できる状態で提示するためには、施設に係る排出の記録と提示のための標準フォーマットを開発し、実地で確立することを推奨する。

これはまた、データの取得は 1 回のみで、その後はこのデジタル「ソースデータセット」を、たとえばさまざまな経営上の報告義務など、それ以降のすべてのデータ利用の基礎として使用するという目的にも役立つ [HE 5.3.2-2 V5]。

モジュール: (産業)プラント/生産施設/サイトおよび関係する社会的持続可能性の側面(アセット: 産業プラント/生産施設)

気候、環境データと生態学的持続可能性の側面に関する、(産業)プラント/生産施設/サイトについての前述のモジュールと類似して、この基本モジュールは、(企業ではなく)生産施設の社会的持続可能性の側面に注目する。生産施設の社会的持続可能性についてのデータは、標準化されたデータフォーマットではまだ十中八九入手できず、一貫性のあるデジタル形式にもなっていない(5.3.3 項を参照)。

また、(産業)プラントまたは生産施設の**社会的持続可能性の側面**を定期的に記録したうえ、明確で統一された形式で提示することで、これらを比較可能にするためにも、経営に関連した社会的持続可能性の側面のプロパティの提示と定義のための標準化されたフォーマットを開発し、実装することがここでも推奨される [HE 5.3.2-3 V5]。

組み合わせモジュール: (産業)プラント/生産施設/サイト用デジタル持続可能性パスポート(アセット: (産業)プラント/生産施設)

上記の環境および社会的持続可能性の 2 つの基本モジュールを組み合わせると、(産業)プラント、**生産施設**および、該当する場合は**サイト**(図 16 を参照)のためのデジタル持続可能性パスポートになる。これは、将来的には経済的持続可能性の側面によって補完することができ、それにより、参照ポイントは(産業)プラントまたは生産施設であり、企業ではないことが保証されなければならない。

(産業)プラント/生産施設に関し、主に環境と社会的持続可能性の側面を統合し、関連するあらゆる持続可能性データをほぼ完全かつ明確に提示することで、(産業)プラントと生産設備の持続可能性のパフォーマンスに関する相互比較性が実現するだろう。将来、このような持続可能性パスポートは、国際的バリューチェーンにおける生産施設の持続可能性評価にも使用されるかもしれない。そのため、上記の環境と社会的持続可能性についての 2 つの基本モジュールで構成される、(産業)プラントと生産施設用の**標準化されたデジタル持続可能性パスポート**を確立することを推奨する [HE 5.3.2-4 V5]。

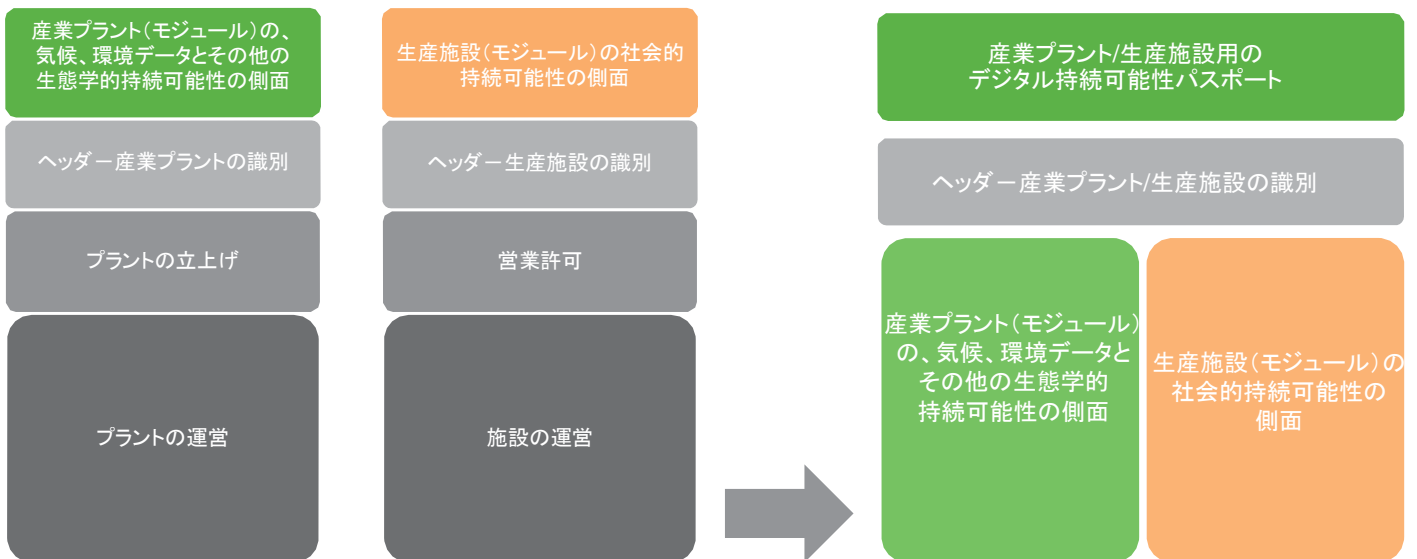


図 16: (産業)プラント用の気候と環境データおよび生産施設用の社会的持続可能性の側面のモジュールから構成される、(産業)プラントと生産施設用のデジタル持続可能性パスポート(出典: D. Meurer)

5.3.2.3 移動式プラントの持続可能性モジュールと輸送手段

モジュール: 移動式プラントと輸送手段、および関連する気候データ/環境データ/生態学的持続可能性の側面(アセット: 移動式プラント)

上記の固定式プラントや施設用の基本モジュールと類似して、気候、環境データおよびその他の生態学的持続可能性の側面は、**移動式プラント**または輸送手段(例: 自動車、トラック、列車、船、飛行機など)にも割り当てることができる。ここで主眼となるのは、化石燃料からの温室効果ガスの排出についてである。固定式プラント、すなわち生産施設や製品用モジュールと組み合わせることで、今では、サプライチェーン全体にわたる持続可能性を示すことができる [HE 5.3.2-5 V5]。

5.3.2.4 プロセス用持続可能性モジュール

モジュール: 内部プロセスまたはサブプロセス(アセット: プロセス)
物理的なオブジェクトに加え、プロセスも Industrie 4.0 システムにおけるアセットと見なすことができ、デジタルに管理できる。

これには、検討中のプロセス専用の記述が必要となる。**内部プロセスまたはサブプロセス**は、その全体がプラント/施設内で行われており、そのためプロセスデータへのアクセスが最大限に保証されるという利点がある。一方で、課題となっているのは、それぞれの施設または企業に属していない第三者にプロセス情報が渡る場合である [HE 5.3.2-6 V5]。

生産システム内の環境的に関連のあるデータとその集約や評価を国際的に標準化した例として、ISO 20140 を挙げることができる。

モジュール: プラントまたはサイトをまたぐ直線的プロセス(アセット: プロセス)

産業エコシステムを基本的に直線的に通過するプロセス(例: サプライチェーン)は、その情報の鎖が長いと、(産業)プラントやサイト間をまたいで連続している。結果として、プロセスチェーン全体は数多くのアクターや法人で構成され、それが地域や世界各地に分散され、さまざまな国に配置される。これが中心的な課題となる。そのようなプロセスに沿ったデータの集約、および IT 技術の実現は、実際には実装の障害にはならないが、プロセスチェーン内の多様なアクター間(ほとんどが企業)での信頼できる情報の伝送は障害となる。各国を対象とする国際条約は、部分的な支援しか提供できない。

標準化が求められている。すなわち、一方では国際的に(例: 国際的サプライチェーンにおいて)適用可能であり、他方では、非常に透明性があり分かりやすく、該当する標準規格が第三者(特に政府機関)において、十分に検証可能な企業間の合意が必要である。また、標準規格が相応に受け入れられ、国際協定やその他の法的規制に盛り込まれるか、法的拘束力を持って定着することが必要である [HE 5.3.2-7 V5]。

このプロセスで得た有効な持続可能性関連のデータは、個々のデータ要素が関連するもの、およびその集約方法により、製品のカーボンフットプリント(PCF)、企業のカーボンフットプリント(CCF、サイト固有、またはサイト横断)、さらにはバリューチェーン全体のカーボンフットプリントの計算にも使用できる。CO₂ 排出量以外にも多くの持続可能性パラメータがあり、今後も関連することを留意しておきたい。そのようなパラメータも、このデータを基礎に計算できる。

Catena-X のようないくつかの調査プロジェクトに加えて、ドイツでは ZVEI ショーケースをベースとして産業 ESTAINIUM ネットワークが形成されている。これは、オープンソースとバリューチェーンをまたぐ分散トラストテクノロジー(分散型台帳)に基づく、実用的な持続可能性データ交換ネットワークを作成し、それを標準化することを目的とする。アドホックグループ 94「電気工学セクター用製品のカーボンフットプリントデータ」

(ahG94)は、PCF データの標準化の目的に特化して IEC 内に設立された。持続可能性関連データのオントロジーは、ISO 20140-5 の第2版で標準化しており、現在策定中である。

モジュール: アセットをまたぐ循環プロセス(アセット: プロセス)(例: 循環経済を実行するための)循環プロセスのデジタル化かつ自動化されたデータと IT 表現、およびその包括的な評価に関して、実装へのさまざまな障害を克服する必要がある。循環プロセスにおけるデータの集約と IT 関連データの伝送が課題を提起する一方で、**循環プロセス**内のアクター間で機密かつ立証可能な情報伝送が行われている。そこでは、関与するアセットとアクターは、通常さまざまな立地、さらにはさまざまな国に分散しており、このため管轄区域も異なる。上記の問題は、法的規制や国際条約では解決できず、ここでも唯一の選択肢となるのは標準化である [HE 5.3.2-8 V5]。

5.3.2.5 製品用持続可能性モジュール

モジュール: 製品に関連する気候と環境データ(アセット: 製品、製品に直接関係する)製品についての気候と環境データは、多様な方法で収集、表示、そして多くが集計、文書化されるために相互運用性はない。結果として、主題の部署でもセクター全体でも、デジタルエコシステムで利用することができない。また、製品の承認に関する法的に拘束力のある情報(例: 危険有害性情報)は、直接・間接的に製品を参照するデータと同様、任意の追加情報(例: 証明書、ラベルなど)と混在することが多い。EU が提案するデジタル製品パスポートの導入に関して、コンテンツと構造の点で統一された、製品に関連する気候と環境データの作成と提示に関する標準化ができる限り早急に必要となる。

このような標準化された製品データの集計は、製品に関連する気候と環境データを、可能な限り 1 回のみ収集し、このデジタル「ソースデータセット」をそれ以降のデータ利用のベースとして使う、そしてこれを可能な限り自動的に行うという目的にも即している [HE 5.3.2-9 V5]。

組み合わせモジュール: 製品用デジタル持続可能性パスポート(アセット: 製品、製品に直接・間接的に関係する)

製品用デジタル持続可能性パスポートには、気候、環境およびその他の持続可能性の側面に関する多様な情報を納める必要がある。製品を直接参照する気候と環境データは、ここでは十分ではなく、たとえば、サプライチェーン(モジュール: 直線的プロセス)、リサイクル(モジュール: 循環プロセス)、および生産された場所(モジュール: 生産施設用デジタル持続可能性パスポート)についてのデータで補完する必要がある。上記のモジュールは、互いに組み合わせることができる。

目標は、持続可能性のデータを、すべてのデータ品質要件、特に Industrie 4.0 システム固有の要件を満たすような方法で記録し、デジタルに文書化することでなければならない。要するに、製品関連の持続可能性データは、Industrie 4.0 に対応しなければならない。このようにして初めて、生産中かつ自動的にデジタル製品パスポートを作成し、標準化されたアクセス権を利用することでそれらを読むことができるようになる [HE 5.3.2-10 V5]。

5.3.2.6 ネットワークとデジタルエコシステム用持続可能性モジュール

モジュール: デジタルエコシステム、または施設やアセットをまたぐデジタルネットワーク(アセット: ネットワーク)

Industrie 4.0 へのシフトや、柔軟でローカルな生産からグローバルに運営するデジタル生産やサービスネットワークへと移行する中、企業の境界線はますます曖昧になってきている。今日の標準化された持続可能性の評価は、ほとんどが企業レベルまたは施設やサイトのレベルに言及するもので、この形式のままデジタルエコシステムやネットワーク構造に移行することはできない。

中心的な課題となるのはネットワーク構造である。これは、純粋な線形プロセスでも循環プロセスでもなく、多様に変化するアクターが関わる、多様で拡散した、未特定のネットワーク構造からなる。このため、ネットワーク全体の評価は、複雑なタスクとなる。

デジタルエコシステムは、多数のアクターとサービスで構成されていることから、このモジュールは、そのアクターとサービス、およびネットワーク自体の全体で構成される組み合わせモジュールと考えられる [HE 5.3.2-11 V5]。

5.3.3 社会的持続可能性の側面と行動提言

Bendel と Latniak [89] は、「方向付けの知識」は、デジタル化の背景で企業の作業設計者にとっての中核であると考えている。ここで重要な貢献ができるのが標準化であり、また、人間作業の設計に関する前述の基準を具体的に裏付け、とりわけ設計の提案をすることにより、科学的知見の実用化への移行も推進できる。さまざまな学問分野からの専門家が関わる反復的な探索のプロセスは、デジタル化された作業の世界でもこれらの基準の妥当性が高いことを示した [90]。技術的信頼性のような基準は、デジタル化にとって特に敏感であることが指摘され、包摂性、個性や多様性の配慮、労働安全衛生への明確な責任といった新しい基準が追加された。

既存の標準規格の修正と改訂、および作業を安全で健康的なものにすることを目的とした Industrie 4.0 における新しい課題への対処が、一部のケースで必要である。Industrie 4.0 と人工知能テクノロジーによる、安全で、人間工学に基づき、ストレスを最適化した設計のこうした問題を扱う重要な委員会は、[NA 023-00-06 AA](#)⁷⁶「統合されたインテリジェントなデジタル化に向けた作業設計と製品設計のための人間工学」である。この委員会は、条件を明確化し、定義を導き出し、改訂が必要な標準規格を見直し、現在の活動を監視している。委員会の作業は、ここに示すロードマップの定期的な改訂にも組み込まれる。さらに、これが理にかなっているところでは、関連する委員会を動かす推進力となる。Progress Report で触れているように、委員会は現在、前述の方向性の知識を提供することを目的に、企業の作業設計者をサポートするプロジェクトに取り組んでいる (Progress Report [\[1\]](#)、[\[HE 2.7-1 V4\]](#) と [\[HE 2.7-2 V4\]](#) を参照)。

Progress Report [\[1\]](#) は、標準化ロードマップ Industrie 4.0 の前回のバージョンでの行動提言への対処における、さらなる重要な実績を概説している。これは特に、[ISO 10075](#)⁷⁷シリーズの標準規格「精神的作業負荷に関する人間工学の原則」の改訂と、2021 年に設立され、DIN の標準規格委員会「人間工学」の一部である合同作業委員会 [DIN NA 023-00-08 GA](#)⁷⁸「合同作業委員会 NAErg/NAFuO/NAM: Exoskeletons」への提言の移行に関係している。

人間中心の作業設計は、固定式の Industrie 4.0 プラントの設計と運営、移動式施設や輸送手段、モバイルワークの中での作業やそれらを使用した作業の両面で役に立つ、持続可能性のひとつの側面と理解することができる。特に、産業のコンテキストでのモバイルワークは、現場での作業と比べて、設計や評価に対する新たな課題を提起する。コロナ禍によって加速された、Industrie 4.0 におけるモバイルワークの普及に関するデータの調査に加えて、たとえば、モバイル支援システムのための設計のオプションや要件を標準化に組み込むことが、それゆえ推奨される [\[HE 5.3.3-1 V5\]](#)。

さらに、コロナ禍により従来の対面での会議をバーチャル会議へ切り替えざるを得なかったことにより、コストと時間を大幅に節約できるという副次的な影響もあった。同時に、ブレインストーミング、信頼関係の構築、デリケートな意思決定など、対面での人間同士の交流は、デジタル媒体を使ってもコミュニケーションに完全には置き換えることはできないということも明らかになった。


要するに、オンライン会議やウェブベースの開発プロセスなくしては、標準化の協力の未来はもはや想像できないと言える。ただし、バーチャルと物理的接触をインテリジェントに混合する必要性は明確に特定されたが、これは現在、ごく初歩の形で標準化の実践に反映されている。

障害のある人々の職業生活への参画も、持続可能性と社会的正義のひとつの側面と理解することができる。包摂的な作業設計プロセスで、Industrie 4.0 の要素から生じる参加や防止の機会を積極的に利用し、同時に障害者のための技術的変更にとまらぬ特定のリスクを回避し、または代替テクノロジーを提供することが重要である [\[HE 5.3.3-2 V5\]](#)。

⁷⁶ [NA 023-00-06 AA](#)「統合されたインテリジェントなデジタル化に向けた作業設計と製品設計のための人間工学」

⁷⁷ [ISO 10075](#)「精神的作業負荷に関する人間工学の原則」

⁷⁸ [DIN NA 023-00-08 GA](#)「Gemeinschaftsarbeitsausschuss NAErg/NAFuO/ NAM: Exoskeletons」



6 標準規格と仕様 の開発要件

6.1 オープンソースにおける要件

オープンソースは、Industrie 4.0 においてすでに本質的な役割を果たしている。これを示すイニシアティブが数多くある。これは特に、標準化との相互作用において重要である [HE 6.1-1 V5]。

標準規格や仕様と同様に、オープンソースとは共同のプロセスで開発され、市場のあらゆる参加者がオープンに利用できるテクノロジーのことを指す。そのため、オープンソースがドイツの標準化戦略に目標として含まれていても、何ら驚くことではない。「DIN と DKE がパートナーシップを確立し、オープンソースプロジェクトと効果的に協力し、標準化においてオープンソースの技術とメソッドを利用する方法を模索する。」この目標を達成すべく、DIN はパートナーシップを確立するためのイニシアティブを開始し、CEN/CENELEC や ISO/IEC で同様のプロジェクトにも参加している。概念的な開発や試験的な取り組みに加えて、オープンソースへのニーズに対応する DIN および DKE の中心的な連絡窓口として、「Open Source Program Office」(OSPO) の開設も計画されている [HE 6.1-2 V5]。

オープンソースプロジェクトでは、ソースコードが共同で作成され、ソフトウェアが開発され、それが市場に提供される。すべてのオープンソースソフトウェアは、コンテンツに関して「オープンソース」という言葉を定義する 4 つの基本的な自由を利用者に認めている。

- 自由 1:ドキュメント/プログラムを使用できる基本的な自由
- 自由 2:オープンソースドキュメント/プログラムを詳しく調べ、各自のニーズに合わせて修正する自由。これには、オープンソースドキュメント/プログラムコードへの無制限のアクセスが必要となる。
- 自由 3:オープンソースドキュメント/プログラムを再配布する自由
- 自由 4:オープンソースドキュメント/プログラムを改良し、その改良を一般に公表する自由

Open Source Initiative (オープンソースイニシアティブ) (OSI) [91] は、オープンソースの詳細な定義を示す。OSI はコミュニティにおいて確立した組織であり、公式の認証機関でも拘束力を持つ機関でもないが、広く認知されている [91]。

公開には、長年にわたって市場で確立されてきた、オープンソースプロジェクト特有の条件や要件に合わせてカスタマイズされた特定のライセンス条件(オープンソースライセンス)が適用される。こうしたさまざまなライセンス条件には、利用者に発生する義務が明記されているため、オープンソースソフトウェアの使用、修正または拡張する場合、注意深く確認しなければならない。欧州委員会の Licence Assistant [92] は、この概要をうまく説明している。

オープンソースライセンスに関連する概念として、「コピーレフト」がある。強いコピーレフトとは、オープンソースソフトウェアのすべての変更とさらなる開発が、同じライセンスの下でのみ配布可能である、ということの意味する。強いコピーレフト(この原則からの逸脱を認めないライセンス)以外に、規制が緩いもの(相互ライセンス)やコピーレフトを一切排除したもの(パーミッシブライセンス)もある。利用者が、さまざまなオープンソースソフトウェアを新しいソフトウェアに拡張したい場合は、複数のライセンスをひとつのソースコードに組み合わせることができることを確認しなければならない。たとえば、GPL ライセンスでのプロジェクトのソースコードは、Apache v2 ライセンスのプロジェクトで使用できない。

ライセンスに加えて、オープンソースを使用またはこれに貢献する際に、より綿密に検討すべき重要な側面が他にもある。一方では、権利や義務、ポリシー(知的財産権、独占禁止法など)、商標の取り扱いに関して、オープンソースプロジェクト内のさまざまなパートナーの協力について記述した、公式化された一連のプロセスやルールが役に立つ。他方で、どの権利が貢献団体としてプロジェクトに譲渡されるかを明確にしなければならない。ここでは互恵的なアプローチが比較的一般的である。つまり、選択したオープンソースライセンスの下でプロジェクトが使用者に付与するのと同じ権利が、プロジェクトに譲渡されなければならないことを意味する。

以下、オープンソースプロジェクトと標準化が、互いに補完し合うことができる方法をいくつか紹介する [HE 6.1-3 V5]。

1. 「従来型」の仕様の策定: オープンソースコミュニティが標準規格や仕様の策定に関与し、DIN と DKE が定める標準化プロセスを順守する。この場合、標準規格/仕様の作成は、通常の標準化団体のオープンソースコミュニティにより行われる。
2. 標準規格団体が運営するオープンソースコミュニティに標準規格の策定を委任: ここでは、標準規格団体と緊密に連携して標準規格を策定するオープンソースコミュニティが形成される。ポイント 1 とは対照的に、作成作業は標準化団体の外で行われる。

表 1: コピーレフトのカテゴリとライセンスの例

パーミッシブライセンス	相互ライセンス	強いコピーレフト
→ Apache 2.0	→ LGPL (劣等 GPL)	→ GPL (一般的パブリックライセンス)
→ BSD (Berkeley Software Distribution)	→ MPL (Mozilla パブリックライセンス)	
→ MIT (マサチューセッツ工科大学)	→ EPL v2 (Eclipse パブリックライセンス)	

これらの無料 (パーミッシブ) ライセンスは、変更やさらなる開発を行う条件を規定していない。つまり、オープンソースまたは独自開発としてライセンスすることができる。Apache 2.0 ライセンスの特殊な機能は、使用、変更または配布のための特許権の付与を明示的に規定していることである。

無料ライブラリの配布を促進するため、より弱いコピーレフトライセンスが LGPL により作成された。これはフリーソフトウェアおよび独自開発ソフトウェアへのリンクを許可する。このカテゴリには、MPL と EPL も含まれる。ここでは、既存のコードへの変更はコピーレフトの対象になるが、独立した拡張と新規の開発は別のライセンスの下で配布することができる。

ソフトウェアの変更とさらなる開発には、元のコードと同じライセンス条件が適用される。つまり、これらはソースコードでも利用可能としなければならない。Linux が GPL の下で作成されたため、GPL は特別な役割を担っている。一般に、商用コピーレフトライセンスは減少する傾向にある。

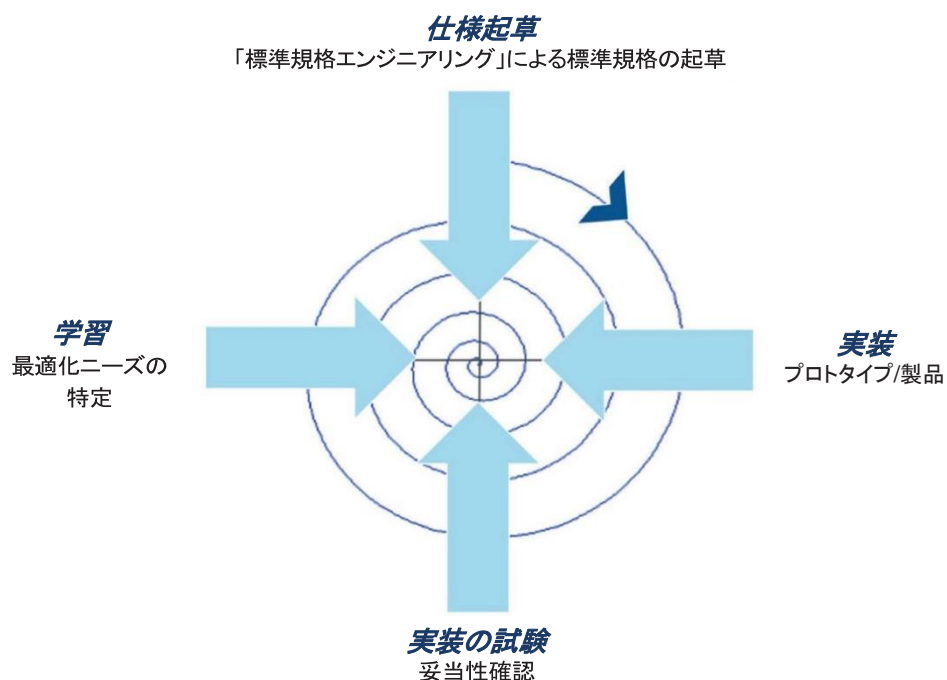
3. **オープンソースコンテンツに基づいた仕様の作成: 特定の状況下でオープンソースコンテンツを使用するための補完的な要件を確立する、従来の標準化活動。**
4. **仕様の策定のためのインプット:** オープンソースコミュニティをサポートして、潜在的な開発の可能性を評価する。この洞察により、仕様に組み込むことができるアプローチやアイデアの評価が可能となる。
5. **コンセンサスに基づいたアプローチによるオープンソース要素の作成:** オープンソースコミュニティへの貢献を目的とした標準化団体の関与。ある意味で、この状況はポイント 4 の逆である。ポイント 4 ではイニシアティブがオープンソースコミュニティから発生するのに対し、ここでは、オープンソースコミュニティに供給する目的で標準化団体でソフトウェアの作業が行われる。
6. **オープンソースライセンスの下での「補完的」ソフトウェアの開発:** このモデルでは、該当するオープンソースソフトウェアは、標準規格を規定または定義しない補完的な活動と見なされるが、標準規格の要件のさらなる開発と実装に役立つ模範的な参照実装である。

この結果、Industrie 4.0 セクターには以下の利点が生まれる。

- オープンソースは、テクノロジー、ひいては標準を素早く市場に位置づけるための理想的な方法である。
- 相互運用性インターフェイスやこれに類似した相互運用性テクノロジーの領域では、開発はオープンソースで行われる。上記の説明のように、それはオープンソースの形で市場で直接入手可能であり、それがまた標準化へと反映される。相互運用性は Industrie 4.0 にとって重要な要素であると、明言する必要はない。
- 既存のインターフェイスを標準化することで、そのようなコンポーネントの長期的な可用性と安定性につなげることができる。オープンソースを介したテクノロジーの普及に加えて、機能性、特に機能ギャップに関する情報が標準化へと戻っていき、標準化ではそれに基づいて非常に迅速かつ具体的な対応ができる。このタイプの手順の例が、[図 17](#) に示す「アジャイル標準化」アプローチである。

オープンソースや標準化に密接に関係している、Industrie 4.0 を取り巻く現行のイニシアティブを以下に示す。

図 17: 並行開発ーオープンソースと標準化 (出典: DKE)



IDTA: 仕様策定作業を加速、検証、実証するため、IDTA (5.1.4 項を参照) は、アセット管理シェルに関連したオープンソースプロジェクトを Eclipse 財団と協力して推進している。この目的のために、オープンソースは協調的モデルを提供し、デジタルツインのテクノロジーを広める。Eclipse の Digital Twin Top-Level Projekt⁷⁹ は、Eclipse AASX Package Explorer⁸⁰、Eclipse AAS Model for Java (AAS4J)⁸¹、Eclipse AAS Web Client⁸² および Eclipse BaSyx (Eclipse BaSyx™) などのプロジェクトで構成され、アセット管理シェルのコンセプトと仕様 (例: 「アセット管理シェルの詳細ーパート 1」) を実現し、オープンソースライセンス (例: Apache v2.0 または MIT) の下でそれらを利用可能にした。

Catena-X と GAIA-X: Gaia-X と同様に、仕様とオープンソースは Catena-X においても重要な役割を果たす。Catena-X は、標準化には直接関係していないが、Catena-X 内での活動と知見は、コンソーシアムとの協力 (IDTA 経由など) を通じて、既存の仕様または標準規格 (例: Catena-X 内のデジタルツイン用標準規格としてのアセット管理シェル) への貢献として組み込まれている。Catena-X の成果は、Apache v2.0 オープンソースライセンスの下、Eclipse Tractus-X⁸³ プロジェクトでオープンソースとして利用可能である。

Gaia-X ベースのデータスペースを実現するためのもうひとつのコンポーネントが、Eclipse Dataspace Connector⁸⁴ である。ここでは、組織間での自律的なデータ交換のためのコンポーネントが開発されている。

活動を標準化へリンクし、移行することは、プロジェクト実施における重要な要素である ([HE 6.1-3 V5] を参照)。独自の標準規格によるさらなる環境の分析は、早急に回避すべきである。

6.2 ユースケースにおける要件

ユースケースのテーマは、IEC 62559⁸⁵ シリーズ「ユースケースの方法論」において幅広く取り上げられており、このコンテンツは一般にも受け入れられている。ユースケースの課題は、方法論でもテンプレートでもなく、それぞれの条項で説明されている内容を実際のビジネス環境に適用することである。ユースケースは常に、目的、あるいは特定のテーマについてのステートメントを追求するもので、そのテーマについては事前に明確性を確保し、合意されていなければならない。高品質のユースケースの作成には、非常に時間がかかる。標準化ロードマップ Industrie 4.0 の前回のバージョンでは、これに関する方向付けと行動提言を提供している。

⁷⁹ <https://projects.eclipse.org/projects/dt>

⁸⁰ <https://projects.eclipse.org/projects/dt.aaspe>

⁸¹ Eclipse AAS Model for Java

⁸² Eclipse AAS Web Client

⁸³ <https://projects.eclipse.org/projects/automotive.tractusx>

⁸⁴ <https://projects.eclipse.org/proposals/eclipse-dataspace-connector>

⁸⁵ IEC 62559 シリーズ「ユースケースの方法論」

これまで、標準化は通常、市場への投入後にのみ行われていたため適用範囲は明確に定義された。今日では、標準化が市場への投入前に始まるが多いため、多くの命題、アイデアやコンセプトをソリューションと同時に検討しなければならない。ユースケースは、市場の要件と可能なソリューション、および結果としての標準化の要件との間の橋渡しをするために、実装の観点から要件を構造的に精緻化するための考えうる方法論である [HE 6.2-1 V5]。

5.2.1 項で説明したように、データスペースは新しいアプリケーションを開拓する大きな可能性を秘めている [HE 6.2-2 V5]。しかし、バリューチェーン内や企業の境界をまたぐデータの広範かつ分散的な利用をめぐる標準化には、現在、いくつかの課題が浮上している。これは、企業のセキュリティおよび知的財産保護の面で、データ使用における根本的な課題となっている。

約 50 のスマートマニュファクチャリングのユースケースを集めた、世界的に同意されたユースケース集がある (IEC 63283-2⁸⁶第 1 版「工業用プロセス計測、制御およびオートメーションスマートマニュファクチャリング—パート 2: ユースケース」)。このユースケース集は、スマートマニュファクチャリングの「代表」としてとされている。ユースケースの詳細はすべて同等で、互いに補完しており、それぞれが約 5 ページ程の長さである。ユースケースの方法論とテンプレートは IEC 62559 に準じる。

ユースケースをさらに統合することにより、IEC 63283-2 を更新することを提案する。これには、たとえば、AI または Catena-X [HE 6.2-3 V5] 環境からの、そしておそらく標準化ロードマップ Industrie 4.0 からのインパルスも必要である [HE 6.2-4 V5]。このため、既存および新規のユースケース集のスクリーニングを行うことを推奨する [HE 6.2-5 V5]。

国際協力の分野では、ドイツのユースケース活動が、IEC/TC 65/WG 23⁸⁷「産業プロセスの測定、制御およびオートメーション用スマートマニュファクチャリングのフレームワークとコンセプト」の「スマートマニュファクチャリングユースケース」タスクフォースと、重要な国際的 (二国間) 協力を通じて調整されるよう Personal union が保証している [HE 6.2-6 V5]。

邦訳注

*Personal union とは、同一人物による、関連性のない異なる役職や職務を遂行することを意味する。本文脈において Personal union はドイツのユースケース活動およびタスクフォースに参加するメンバーを指す。

LNI 4.0 のたたき台の一部としての「エッジマネジメント」の使用状況ビューに関する作業、およびビジネスビューレベルでの、特に日本の協力で実施されているデジタルビジネスモデルの結果は特筆すべきものがある。⁸⁸ さらに (中国、日本、韓国によるものを含む) 二国間協力において、アセット管理シェルおよびデータスペースに関するユースケースの議論が始まっている。標準化に向けて、この対話が強化されることが期待される [AE 6.2-8 V5]、[HE6.2-7 V5]。

さまざまな発表や出版物に関するフィードバックによると、ビジネスの観点、アプリケーションの観点、およびこれらから派生する実装の観点への一貫性のある分離が受け入れられ、支持されている [AE 6.2-8 V5]。

ユースケースの一部としての社会技術的側面または設計例は、作業設計者、エンジニアなどの学際的な協力をサポートし、人間中心設計にプラスの影響があることを実証し、ソリューションへの実用的アプローチを通じて人間中心設計の抽象的な要件の移行を推進することができる [HE 6.2-9 V5]。ifaa が提供するような事例集は、この点でも有益である [93]。

6.3 機械可読性のある標準規格における要件

標準化ロードマップ Industrie 4.0 のバージョン 4 [2] で、標準規格のデジタル化のテーマ ([2] の 1.2 項を参照) が導入され、「自動評価のためにデジタル方式で策定された標準規格および仕様」の行動提言 [HE 4.1-8A V4] で、Industrie 4.0 にとっての重要性が浮き彫りとなった。その行動提言では、Industrie 4.0 環境における標準規格⁸⁹の自動評価のため、デジタル標準規格の使用が推奨された。この目的のため、そうした標準規格の一般的な可用性と、適切な評価手順の開発が求められた。標準化ロードマップ Industrie 4.0 のバージョン 4 についての Progress Report [1] では、SMART 規格に関する DKE と DIN の準備作業に言及している。初期の活動はすでに 2016 年に実施されており (IEC 大会)、それが 2020 年半ばの Initiative Digitale Standards IDiS [33] の設立と、欧州レベル (CEN および CENELEC) と国際レベル (ISO と IEC) での数多くの作業グループの形成につながった。

⁸⁶ IEC 63283-2 第 1 版「工業用プロセス計測、制御およびオートメーションスマートマニュファクチャリング—パート 2: ユースケース」

⁸⁷ IEC/TC 65/WG 23「工業用プロセス計測制御およびオートメーション用スマートマニュファクチャリングのフレームワークとコンセプト」

⁸⁸ https://www.platform-i40.de/IP/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/Edge_Management.html

⁸⁹ 注: SMART 規格は、標準規格や標準化のデジタル化のコンテキストで、現在、国際的に定着しているデジタル規格の呼称である。

6.3.1 現行の標準化活動

IDiS は、SMART 規格を扱う、ドイツの国内利害関係者グループである [33]。IDiS のネットワークは学際的で、そのネットワークグループは、産業、科学など、幅広い分野における協会からの代表者で構成されている。IDiS は、標準規格の使用者に、現在の欧州および世界での SMART 規格の開発に参加する機会を提供し、DKE と DIN が国際的標準化コミュニティにおいて国の利益を代表する際のサポートをする。

Plattform Industrie 4.0 の作業グループ「テクノロジーおよびアプリケーションのシナリオ」と連携して、最初のアプリケーションシナリオが調査・記述され、2 件のホワイトペーパーとして公開された。ホワイトペーパー「Scenarios for the digitalization of standardization and standards」[94] は、デジタル標準規格の開発について、機械可読性と機械解釈可能性から人工知能による作成と使用まで、考えられる 4 つのシナリオを記述している。このシナリオでは、中でも建設、オートメーションおよびアフターセールスの分野において、初期の潜在的な適用分野（コンテンツ利用）を取り上げている。ホワイトペーパーで説明された実用新案は、その後さらに ISO や IEC で議論され、SMART 規格の基本的な機械の適用性を記述するための共通基礎として受け入れられている。もうひとつのホワイトペーパー「Use Cases of SMART Standards」[95] では、デジタル標準規格で満たすべき要件と機能性を説明している。ユースケースは、Industries 4.0 の分野を含め、集められたユーザーストーリー（ドイツと欧州から約 100 件）に基づいて作成された。

CEN/CENELEC では、近年、SMART 規格のテーマについて数多くのパイロットプロジェクトが実施されている。現在 5 つのワークストリーム（作業グループ）があり、それぞれが、標準化の専門家と使用者による要件の収集と分析、標準化プロセスと関連するワークフローへの SMART 規格の影響の調査など、SMART 規格のさまざまな側面を扱っている [96]。

国際レベルでは、ISO は ISO SMART 内のサブグループと共に欧州レベルの作業グループと類似した作業グループを形成し、IEC が SG 12 の「タスクフォース」とともに同様の作業グループを形成している。これらの作業グループは、コンテンツとプロジェクト参加者の両面で、欧州のワークストリームと大部分が重複するのが特徴である。これにより、欧州から国際レベルへの（その逆方向も同様）ノウハウの移転が確実になる。これは最初の SMART 規格、またはそれに基づいた（レベル 3）サービスを 2024 年までに利用可能にし、またその後、レベル 4 コンテンツに向けた共同開発をさらに進めていくために極めて重要である。2022 年の初めから、ISO と IEC の最初の合同作業グループも、成果を交換し足並みを揃えていくために業務を開始している。

さらに、SAM（標準アーキテクチャモデル）と SAS（標準管理シェル）の最初のアイデアが考案された。両概念は Industrie 4.0 のアイデア（RAMI 4.0 とアセット管理シェル）に基づいているため、SMART 規格に関連する機能性と責任をよりうまく分類し、議論するために役立つだろう。アプリケーション間の理解を深め、差別化を進めるために、SAM は、RAMI モデルに従って、SMART 規格の活動と機能を異なる次元（アプリケーション層、実用性レベル、標準ライフサイクル）に割り当てる。一方 SAS は、よりテクニカルなモデルで、SMART 規格のコンテンツへの一貫したアクセスを提供するための、機能と責任の分割方法を説明する [HE 6.3-1 V5]。SMART 規格に向けたドイツ国内コミュニティである IDiS では、アセット管理シェルとデジタル標準規格のサブモデルのテーマについて、最初のパイロットプロジェクト（期間は約 15 か月）が 2021 年半ばに開始された。

6.3.2 断片化と SIM - 標準情報モデル

XML 文書（NISO-ST5）は、今日すでに標準化において生成されている。荒削りではあるが、基本的に標準文書のレイアウト構造に基づいて断片化されている。しかし、標準規格のコンテンツを理解するためのシステムには、対応するセマンティクスの構築が必要となる。その理論的基礎となるのは、CEN/CENELEC のプロジェクト 2 において開発された SMART 規格用の情報モデルであり、これは現在 IEC（IEC SG 12-タスクフォース 3）でさらに開発が進められている。

プロジェクトは、標準化のすべての必須要素(要件、コメント、公式、表など)を定義し、これらの要素間の関係を記述する。ここでは、「ドキュメント」よりも「規定」が標準化の中心的要素である。規定は、自己完結型の情報(定義、注釈、要件、推奨事項など)であり、標準化に対応する関係性がある。規定はさまざまな形(テキスト形式、表形式、公式またはモデルとして表現)で存在できる。これは、適用可能な標準化ルール(ISO/IEC 専門業務用指針パート2)とこれまでに特定された中で最も重要なユースケース「要件管理システムにおける規範的要件の提供」の両方と一致する。SIM もまた、IEC 実用新案のレベル 3 の基本的な考え方に準じており、すべての規範的情報の意味論上の捕捉に努めている。

標準規格文書の断片化がもたらす課題は数多く、奥が深い。現在の標準規格策定プロセスと標準規格適用プロセスはどちらも文書ベースである。断片化のメリットを享受し、それにより標準規格の適用時によりの絞った情報の利用ができるように、標準規格プロセス全体にわたって、すなわち、コンテンツの作成からコンテンツ管理、コンテンツ配信、コンテンツの利用まで調整する必要がある [HE 6.3-2 V5]。

6.3.3 ツールのサポートとタクソノミ

SMART 規格のコンテンツを、機械で使用可能かつ解釈可能にできる範囲は、これに必要な構造化された情報を、すでに標準規格の策定プロセスで(つまり委員会の作業内で)取得できる範囲に直接左右される。次に、構築のタイプとセマンティック強化の範囲で、このタスクの難易度を決定する。ここから SMART 規格用の情報モデル(SIM)が力を発揮し、標準規格のコンテンツを断片化・ネットワーク化する方法と、メタデータを追加する方法を定義する。

標準規格の断片化の主な目標のひとつは、的を絞ったアプリケーション指向の方法で情報を提供することである。Industrie 4.0 アプリケーションにおいてもこれを可能にするために、Industrie 4.0 に関連する情報ユニットを標準規格内で特定し、適宜情報モデル(SIM)において考慮する必要がある。これにより、標準規格作成プロセスでそれらをすでに作成できるか、下流の強化プロセスで考慮することができる。

このため、不可欠なセマンティックコンセプトと Industrie 4.0 の共通オントロジーシステムおよびタクソノミシステムは、CDD の要素の参照または機能システムや I4.0 オントロジーの一般的な統合、セマンティック ID の使用、または製品やアセットの能力記述へのリンクなど、標準規格作成プロセスにおいてより強固かつ持続的に定着していなければならない([HE 6.3-1 V5] を参照)。

生成された断片のサイズは、信頼性の高い自動的利用のためにコンテンツをアクセス可能にできる程度だけでなく、それらを作成するために必要な労力にも大きく影響する。このように、断片のサイズが小さくなるほど、ユーザーフレンドリーなツールによるサポートの重要性が増す。標準規格のコンテンツを取得したり、使用するオントロジーや分類システムの管理に必要な追加的労力を最小限に抑えたりするためである。

6.3.4 用語の統一

1 対 1 の用語は、サイバーフィジカルシステムの均一な自己記述と相互運用性のための基本的要件である。しかし、現行の標準化には、必要なコンセプトに多数の矛盾が含まれる。委員会の作業では、以下により定義の再利用を奨励し促進する必要がある。

1. 参照する定義の利用と集約([HE 6.3-3A V5] を参照)
2. 関連するすべての標準定義の体系的な比較([HE 6.3-3B V5] を参照)
3. この体系的比較におけるソフトウェアによる支援([HE 6.3-3C V5] を参照)
4. 形式の確認のためのソフトウェアによる支援([HE 6.3-3D V5] を参照)

国内の Harbsafe 2 [97] プロジェクトチームが、行動提言に従った用語データベースの調整をサポートできるソフトウェアベースの支援システムを開発した。データ入力後、他のエンタリとの不一致や、定義における形式エラーがあると注記が生成される。意味範囲に基づく用語の概要や、定義的特徴の論理的表現も可能である。この目的でさまざまな機械学習法が使われ、事前選択や構造化の自動化を実現する。このプロジェクトは、数多くの国内委員会だけでなく国際委員会でも発表され、現在は利用段階にある。標準化における用語インベントリの統一は、SMART 規格の導入と利用のための重要な成功基準であり、これに準じた重点的な方法で継続する必要がある。

6.3.5 標準規格とその使用者のための新たなスキル

将来的にシステムに関連するもうひとつの側面は、デジタル情報の作成者としての標準化専門家や消費者としての標準化利用者の、資格変更の要件定義に関するものである。標準化プロセスそのものがさらにデジタル化され、業界で一般的に使われる情報作成のための方法(オントロジー、知識グラフ、モデリング技術、形式記述フォーム、疑似コードなど)や、情報提供のための方法(交換フォーマット、API アクセス、マッピングメカニズム)は、将来の標準化作業でますます活用されるようになるだろう。

さまざまなサブプロセスや関連するタスクを完全に実行するための将来的な要件は異なり、タスクを処理しなければならない人に対する要件(または、該当する習熟度における必要なコンピテンシーの有効性)も異なる [HE 6.2-6 V5]。

6.3.6 クロスドメイン参照

人工知能の分野の最新の手法、特にこのケースでは自然言語処理(NLP)は、さまざまなドメインでの機械の言語理解力を向上させる基盤である。この目的のために、事前学習済み言語モデル(例: German BERT)が使用され、多種多様なテキストで訓練される。モデルの事前学習では、テキストとそのテキストに含まれる情報が由来するドメインの基本的な理解を得る。

国際規格やドイツ言語の標準規格に基づく言語モデルは、さまざまなプロジェクト(IDiS でのパイロットプロジェクトを含む)で訓練されている。こうした事前学習済み言語モデルは、さまざまなユースケース用に改良できる。これらのユースケースのひとつは、たとえば DKE DiTraNo プロジェクトで調査されたように、関連する標準規格のコンテンツ(要件や製品のプロパティなど)の抽出である。⁹⁰ さらに、標準規格への質問と、回答としての標準規格の関連するテキストの一節を組み合わせたデータセットが作成されている。こうして、事前学習済み言語モデルは、質問に対する適切なテキストの一節を特定し、抽出することを学習する特殊なモデルの形にさらに改良できる。その上、統計的分類指標によって、ルールベースのアプローチに基づき、関連する標準規格のコンテンツを特定することができる(DINソフトウェアの SNIF ツール⁹¹のように)。したがって、特に内容的に要件を表していないテキストは、おそらく拒否されるだろう。

この意味でこれまでのところ、標準規格は主に AI を介して検討されてきたが、ここで(も)人工知能による標準規格の適用と評価は、興味深いユースケースを表していることに留意する必要がある。この場合 AI メソッドは、標準規格におけるセマンティック情報の特定などのサポートに使用することができる。また規範的コンテンツを処理し、将来的にそれを最適化したり、さらに発展させたりできる SMART 規格の消費者と見なすこともできる([74] を参照)。

⁹⁰ <https://www.dke.de/ditrano>

⁹¹ <https://www.dinsoftware.de/de/normeninformationen/snif>

付録 A Industrie 4.0 標準化環境

Industrie 4.0 に関する現行の標準規格の概要の詳細については、以下で確認できる。

<https://www.din.de/en/innovation-and-research/industry-4-0>

<https://www.dke.de/en/areas-of-work/industry>

A.1 ドイツの Industrie 4.0 関連標準化団体

DKE	
DKE/GK 914	人間と環境を保護するための電気、電子およびプログラマブル電子システム (E、E、PES) の機能安全
DKE/AK 914.0.4	IEC 61508-2 の更新
DKE/AK 914.0.6	Cooperation ITEI/信頼性
DKE/K 931	オートメーションのシステム側面
DKE/AK 931.0.12	ライフサイクル管理
DKE/AK 931.0.14	スマートマニュファクチャリングと Industrie 4.0
DKE/UK 931.1	産業オートメーションシステムの IT セキュリティ
DKE/AK 931.1.3	機能安全と IT セキュリティ
DKE/K 941	エンジニアリング
DKE/AK 941.0.2	Automation ML
DKE/K 956	産業用通信
DKE/AK 956.0.2	産業用無線ネットワーク
DKE/AK 956.0.6	Cooperation ITEI/無線
DIN	
DIN Standards Committee on information technology and selected IT applications (DIN 情報技術・選定 IT アプリケーション標準規格委員会: NIA)	DIN 情報技術・選定 IT アプリケーション標準規格委員会 (NIA) は、選定された IT アプリケーションを含む、IT 分野における標準規格を策定する。その年次報告書は、専用 Web サイトで公開されている。
DIN NA 043-01 FB	Special Division Basic Standards of Information Technology (情報技術基本規格特別部)
DIN NA 043-02 FB	Special Division Horizontal Application Standards of Information Technology (情報技術水平アプリケーション標準規格特別部)
DIN NA 043-04 FB	Special Division Information Security (情報セキュリティ特別部)
DIN NA 043-04-27 AA	情報セキュリティ、サイバーセキュリティおよびプライバシー保護
DIN NA 043-01-41 AA	モノのインターネット (IoT) とデジタルツイン
DIN/DKE NA 043-01-42 GA	DIN/DKE 合同作業委員会「人工知能」

DIN NA 060	標準規格委員会機械工学
DIN NA 060-30 FB	オートメーションシステムおよび統合部門運営委員会
VDI/VDE 計測・自動制御分科会	
VDMA	
コンパニオン仕様	

A.2 Industrie 4.0 関連欧州標準化団体および国際標準化団体

標準規格団体

IEC – 国際電気標準会議

IEC/TC 65	工業用プロセス計測制御およびオートメーション
IEC/TC 65/WG 10	工業用プロセス計測制御のセキュリティーネットワークおよびシステムセキュリティ
IEC/TC 65/WG 16	デジタルファクトリー
IEC/TC 65/WG 19	工業用プロセス計測制御およびオートメーションで使用されるシステムおよび製品のライフサイクル管理
IEC/TC 65/WG 20	工業用プロセス計測制御およびオートメーション – 安全性およびセキュリティの要件を橋渡しする枠組み
IEC/TC 65/WG 23	スマートマニュファクチャリングのフレームワークとシステムアーキテクチャ
IEC/TC 65/WG 24	産業アプリケーション用アセット管理シェル
IEC/TC 65	工業用プロセス計測制御およびオートメーション
IEC/SC 65A	システム一般
IEC/SC 65B	計測及び制御装置
IEC/SC 65C	工業用ネットワーク
IEC/SC 65E	企業システムにおける装置及び統合

ISO/IEC

合同 ISO/TC 184 – IEC/TC 65/ JWG 21	スマートマニュファクチャリング参照モデル
ISO/IEC JTC 1	
情報技術合同技術委員会	
ISO/IEC JTC 1/SC 27	情報セキュリティ、サイバーセキュリティ及びプライバシー保護
ISO/IEC JTC 1/SC 27/WG 3	セキュリティ評価、試験および仕様

ISO/IEC JTC 1/SC 27/WG 4 セキュリティ管理およびサービス

ISO/IEC JTC 1/SC 31 自動認識及びデータ取得技術

ISO/IEC JTC 1/SC 41 インターネット・オブ・シングスおよびデジタルツイン

ISO/IEC JTC 1/SC 42 人工知能

ISO/IEC JTC 1/AG 7 信用性

ISO/IEC JTC 1/AG 8 システム統合のためのメタ参照アーキテクチャおよび参照アーキテクチャ

ISO/IEC JTC 1/AG 11 デジタルツイン

ISO – 国際標準化機構

ISO/TC 184 オートメーションシステムおよび統合

ISO/TC 184/SC 4 産業データ

ISO/TC 108/SC 5 機械システムの状態監視と診断

ISO/TC 261 積層造形

ISO/TC 292 セキュリティおよびレジリエンス

ISO/TC 299 ロボット工学

ISO/TC 307 ブロックチェーンおよび分散型台帳テクノロジー

CEN – 欧州標準化委員会

CEN/TC 114 機械類の安全性

CEN/TC 310 高度オートメーション技術とその応用

CEN/TC 319 メンテナンス

CEN/TC 438 積層造形

CENELEC – 欧州電気標準化委員会

CLC/TC 65X 産業プロセスの測定、制御およびオートメーション

CLC/TC 65X/WG 02 スマートマニュファクチャリング

IEEE – 電気電子技術者協会

IEEE 802 TSN (Time Sensitive Networking)

IEEE P2806 工場環境における物理オブジェクトのデジタル表現のシステムアーキテクチャ

DR_WG デジタル表現作業グループ

ETSI

3GPP	3rd Generation Partnership Project
ESI	電子署名
ISG SAI	AI の安全確保
Cyber	サイバーセキュリティ
ISG MEC	マルチアクセス・エッジコンピューティング
oneM2M	
SmartM2M & SAREf	スマートアプリ参照オントロジー

ITU-T

FG5GML	5G を含む未来のネットワークのための機械学習(フォーカスグループ)
--------	------------------------------------

IECEE

IECEE CMC WG 31	サイバーセキュリティ証明
IECEE OD 2061	IEC 62443 に基づく「7つのサイバーセキュリティ証明を指定する産業用サイバーセキュリティプログラム」
IECEE OD 2037	ch. 12/Annex 5: 産業用サイバーセキュリティ認証構造
IECEE Test Report Forms (TRFs)	IEC 62443 パート 24、33、41、42 用 TRF

A.3 調整機関

CEN-CENELEC-ETSI

CEN-CLC-ETSI/SMa-CG

スマートマニュファクチャリングに関する調整グループ

CEN-CENELEC-ETSI「スマートマニュファクチャリングに関する調整グループ」(SMaCG)は2019年に設立され、DIN/DKEが主導している。この調整グループは、スマートマニュファクチャリングに関する現在の欧州の活動について助言し、CEN、CENELEC および ETSI と、SDO および標準化に関するその他の第三者機関の足並みを揃える。グループの事務局はドイツにある。

ISO

ISO/TMBG/SMCC

スマートマニュファクチャリング調整委員会 (SMCC)

同じようにドイツ主導の下、ISO/SMCC「スマートマニュファクチャリング調整委員会」は、Industrie 4.0 のテーマに関する国際的な取り組みを積極的に推進してきた。ここでの目的は、委員会全体のテーマを調整し、特に国際的な共同アプローチに関してそれを実施するための提言を策定することである。同時に、国際的な取り組みを形成する上で重要な役割を担う国内プラットフォームを関係者に提供するため、国内委員会が DIN に設置された。

IEC	
<p>IEC/SyC SM System Committee Smart Manufacturing (スマートマニュファクチャリング・システム委員会)</p>	<p>ドイツが議長を務める IEC/SyC SM「スマートマニュファクチャリング・システム委員会」は、IEC の標準管理評議会 (SMB) の直下に配置され、2018 年にその業務を開始した。IEC/SyC のタスクは、標準化活動の調整およびギャップと重複の特定に加えて、特に関連する標準規格団体とコンソーシアムの協力にある。</p>
<p>IEC/SyC COMM Communication Technologies and Architectures (コミュニケーション技術及びアーキテクチャ)</p>	<p>2019 年半ば、IEC/SyC COMM「コミュニケーション技術及びアーキテクチャ」が、以前の IEC/SEG 7 から分離する形で新たに設立された。</p> <p>SyC のタスクは、通信技術とアーキテクチャ分野の標準化である。SyC は、通信技術とアーキテクチャの分野における活動を調整し、調和させることを目的としている。IEC の委員会と緊密に連携して、通信技術分野で進行中の業務をサポートする。もうひとつの目的は、通信技術とアーキテクチャの分野で、他の標準規格開発団体 (SDO) および業界団体と協力することである。</p>

A.4 標準規格開発団体 (SSO)

OPC – Unified Architecture	プラットフォームに依存しないサービス指向アーキテクチャとしてのデータ交換の標準規格
AutomationML	プラント設計データの保存と交換のための中立的な XML ベースのデータ形式によるオープンスタンダード
ECLASS	標準化された ISO 準拠の特性を使用した製品およびサービスの分類と明確な記述のためのデータ規格
NAMUR	作業グループ 2.8:「オートメーションネットワークとサービス」(Namur Open Architecture NOA)
W3C (2.5.2 項を参照)	
W3C WoT リソース	W3C WoT Wiki
W3C WoT 利益団体	
W3C WoT 作業グループ	
WebRTC	対応する WoT 規格、正式な記述に基づいて、モノの間の基本的なリアルタイム機能を取り扱う。WebRTC は、World Wide Web Consortium (W3C) によってオープンスタンダードとして標準化されている。
WebAssembly	ブラウザにおける JavaScript の代替としての需要が高まってきている。ブラウザの外部で使用可能にするための開発 (spinoff) と組み合わせることで、ブラウザベースのアプリケーションのパフォーマンスを、従来の Web アプリケーションのパフォーマンスドメインにもたす。

WebPerf パフォーマンス:さまざまな要件に俊敏に対応し、均一的な統合により高いパフォーマンスでこれを実装する機能

WebPayments モノの間の支払いシステムの統合を導入し、それによってモノは自律的に行動することができる。標準規格について尋ねる(PSD2、EU、EMV intl、WeChat、Tencent、SCS(中国))

Immersive Web およびモノと人との関係に適用可能な AR/VR 統合

Webauthn 標準規格に基づく対応するセキュリティアーキテクチャの表現。ただし、モノの間で一体的に保存され、水平および垂直の両方向のすべてのモデルレイヤーに沿って対応する統合に基づく(視点の問題)

拡張可能 Web ブラウザの不可欠なコンセプトとしての拡張性の導入。後に、WASI(WebAssembly System Interface)を介して、Java(バイトコード)生成の代替手段として非ブラウザベースのアプリケーションの開発にも対応

A.5 政策機関の概要 (ドイツ、欧州)

BMWK – ドイツ連邦経済・気候保護省

BMBF – ドイツ連邦教育研究省

EC – 欧州委員会

MSP – マルチ・ステークホルダー・プラットフォーム

A.6 最新の標準化環境の概要

DIN NA 023-00-06 AA「統合されたインテリジェントなデジタル化に向けた作業設計と製品設計のための人間工学」

ISO 10075「精神的作業負荷に関する人間工学の原則」

DIN NA 023-00-08 GA「合同作業委員会 NAErg/NAFuOAFuO/NAM: Exoskeletons」

IEC TS 62443-1-1:2009「産業用通信ネットワーク-ネットワークおよびシステムセキュリティ-パート 1-1:用語、概念およびモデル」

ISO/IEC 20924:2021「情報技術 – モノのインターネット (IoT) – 語彙」

VDI 2770 パート 1「プロセスエンジニアリングプラントの運用 – 加工産業のためのデジタル製造情報の最低条件 – 基本」

IEC/TC 3/WG 28「インテリジェント情報の要求と配信の仕様 (iiRDS) – 情報アーキテクチャ用プロセスモデル」

PWI PAS 3-1 ED1「インテリジェント情報の要求と配信の仕様 (iiRDS) – 情報アーキテクチャ用プロセスモデル」

IEC 61360-4「共通データ辞書」

ISO/TC 184/SC 4「産業データ」

ISO 22745 シリーズ「産業オートメーションシステムと統合 – オープン技術辞書およびマスターデータへの適用」

IEC TC 65/SC 65E/WG 2「製品のプロパティと分類」

IEC SC 3D「製品のクラス、プロパティおよび識別 – 共通データ辞書 (CDD)」

IEC 61360-1 第 5 版「関係する分類スキームの標準データ要素タイプ – パート 1: 定義 – 原則と方法」

IEC 61360-6 第 2 版「電気コンポーネント用標準データ要素タイプと関連する分類スキーム – パート 6: コンセプトの使用のための CDD モデリングガイドライン」

IEC 61360-7 DB「クロスドメインコンセプトのデータ辞書」

ISO/IEC JTC 1/SC 41「インターネット・オブ・シングスおよびデジタルツイン」

DIN NA 043-01-41 AA「モノのインターネットとデジタルツイン」

ISO/IEC 30141:2018「モノのインターネット (IoT) – 参照アーキテクチャ」

ISO/IEC 21823 シリーズ「モノのインターネット (IoT) – IoT システム用相互運用性」

ISO/IEC 30165:2021「モノのインターネット (IoT) – リアルタイム IoT フレームワーク」

ISO/IEC TR 30176:2021「モノのインターネット (IoT) – IoT と DLT/ブロックチェーンの統合: ユースケース」

ISO/IEC 30162:2022「モノのインターネット (IoT) – インダストリアル IoT システム内のデバイスに対する互換性要件とモデル」

ISO/IEC 30147:2021「モノのインターネット (IoT) – ISO/IEC/IEEE 15288 システムエンジニアリングプロセスにおける IoT の信用性活動の統合」

ISO/IEC JTC 1/SC 38「クラウドコンピューティング及び分散プラットフォーム」

ISO/TMBG/SMCC「ISO スマートマニュファクチャリング調整委員会」(SMCC)

IEC 63278-1 第 1 版「産業アプリケーション用アセット管理シエル – パート 1: アセット管理シエル構造」

IEC 62832-1:2020「産業プロセスの測定、制御およびオートメーション – デジタルファクトリーフレームワーク – パート 1: 一般原則」

ISO/IEC JTC 1/SC 41/WG 6「デジタルツイン」

IEC/TC 65/WG 24「産業アプリケーション用アセット管理シエル」

IEC/SyCSM「スマートマニュファクチャリング・システム委員会」

IEC 63278-2「産業アプリケーションのためのアセット管理シエル – パート 2: 情報メタモデル」

IEC 63278-3「アセット管理シエルのセキュリティ規定」

PNW JTC1-SC41-333 第 1 版「デジタルツイン – 参照アーキテクチャ」

PWI JTC1-SC41-6「IoT およびデジタルツインユースケースのガイドライン」

PWI JTC1-SC41-7「デジタルツイン－成熟モデル」
PWI TR JTC1-SC41-11「デジタルツイン－DTw twinning の対応指標」
ISO/IEC 20924 第 3 版 CDM「モノのインターネット (IoT) とデジタルツイン－語彙」
ISO/IEC TR 30172 第 1 版 DTR「デジタルツイン－ユースケース」
ISO/IEC 30173 第 1 版 CD「デジタルツイン－コンセプトと用語」
ISO/IEC 21823-1「モノのインターネット (IoT)－IoT システムの相互運用性－パート 1: フレームワーク」
DKE/AK 931.0.16「産業アプリケーション用アセット管理シェル」
ISO/IEC JTC 1/SC 41/AG 20「産業セクターの専門領域リエゾングループ (SLG 1)」
IEC/TC 65「工業用プロセス計測制御およびオートメーション」
DIN 77005 シリーズ「技術オブジェクトのライフサイクルレコード」
DIN 77005-1:2018-09「技術オブジェクトのライフサイクルレコード－パート 1: 構造的なコンテンツ関連の仕様」
DIN 77005-2「技術オブジェクトのライフサイクルレコード－パート 2: デジタルライフサイクルレコード」
DIN SPEC 91406「IT システム、特に IoT システムにおける物理的オブジェクトと物理的オブジェクトの情報の自動識別」
IEC/IEEE 60802「産業用オートメーションのための TSN プロファイル」
VDI/VDE-Guideline 2192「Industrie 4.0 システムにおける相互運用性－サービス品質－特徴的なパラメータと影響のある量」
VDI/VDE Guideline 2185 Blatt 4「産業オートメーションにおける無線ベースの通信－産業オートメーションアプリケーションのための無線ソリューションの計測的性能評価」
IEC/TC 65/WG 16「デジタルファクトリー」
IEC 61158-2「産業用通信ネットワークフィールドバス仕様－パート 2: 物理層の仕様とサービスの定義」
IEC TS 63444 第 1 版「産業ネットワークイーサネット APL ポートのプロファイル仕様」
IEC 61508 シリーズ「電気/電子/プログラマブル電子安全関連システムの機能安全」
ISO/IEC JTC 1/SC 41/WG 3「IoT 基礎的標準」
ISO/IEC TS 30168 第 1 版「モノのインターネット (IoT)－産業用 IoT デバイスのための汎用トラストアンカー・アプリケーションプログラミングインターフェイス」
ISO/IEC JTC 1/SC 27/WG 5「アイデンティティ管理とプライバシー技術」
ISO/IEC JTC 1/SC 27「情報セキュリティ、サイバーセキュリティ及びプライバシー保護」
ISO/IEC JTC 1/SC 42「人工知能」
ISO/IEC JTC 1/SC 27/WG 4「セキュリティコントロールおよびサービス」

ISO/IEC JTC 1/WG 13「信用性」

ISO/TC 292/WG 4「製品およびドキュメントの真正性、整合性、信用性」

IEC 62559 シリーズ「ユースケースの方法論」

IEC 63283-2 第 1 版「工業用プロセス計測、制御およびオートメーションスマートマニュファクチャリングーパート 2:ユースケース」

IEC/TC 65/WG 23「産業プロセス測定、制御およびオートメーション用スマートマニュファクチャリングのフレームワークとコンセプト」

IEC 62832 シリーズ「デジタルファクトリーフレームワーク」

IEC/SC 65E「企業システムにおける装置及び統合」

IEC 63365 第 1 版「デジタルネームプレートーデジタル製品マーキング」

略語/略称

用語	略語
適用に関する提言(Anwendungsempfehlung)	AE
Advanced Physical Layer	APL
Artificial Intelligence(人工知能)	AI
Common Data Dictionary(共通データ辞書)	CDD
Digital Product Passport(デジタル製品パスポート)	DPP
electronic IDentification, Authentication and trust Services(電子識別、認証、および信頼サービス)	eIDAS
General Data Protection Regulation(一般データ保護規則)	GDPR
行動に関する提言(Handlungsempfehlung)	HE
Industrial Digital Twin Association	IDTA
Industrial Internet of Things(インダストリアルIoT)	IIoT
INDUSTRIE 4.0	I4.0
Information technology(情報技術)	IT
Intellectual Properties(知的財産)	IP
Intelligent Information Request and Delivery Specification(インテリジェント情報の要求と配信の仕様)	iiRDS
Labs Network I 4.0	LNI 4.0
Module Type Package(モジュールタイプパッケージ)	MTP
New Legislative Framework(新しい法的枠組み規則)	NLF
New Work Proposal(新規作業提案)	NWP
Operational technology(運用技術)	OT
Quality of Service(サービス品質)	QoS
Reference Architecture Model Industrie 4.0	RAMI 4.0
Single Pair Ethernet(シングルペアーサネット)	SPE
Standardization Council Industrie 4.0	SCI 4.0
Standards Information Model	SIM
Time Sensitive Network(タイムセンシティブネットワーク)	TSN

執筆者

Adolph, Dr. Lars, BAuA – Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund

Bedenbender, Dr. Heinz, VDI – Verein Deutscher Ingenieure e. V., Düsseldorf

Böll, Dr. Marvin, DKE – Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Offenbach

Börkircher, Dr. Mikko, METALL NRW – Verband der Metall- und Elektroindustrie Nordrhein-Westfalen e. V., Düsseldorf

Brumby, Prof. Dr. Lennart, Duale Hochschule Baden-Württemberg, Mannheim

Czarny, Damian, DKE – Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Offenbach

de Meer, Jan, HTW c/o smartspacelab.eu

Faath, Andreas, Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA), Frankfurt

Gayko, Dr. Jens, DKE – Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Offenbach

Haack, Daniel, DIN – Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin

Hadlich, Dr. Ing. Thomas, Rockwell Automation, Düsseldorf
Holoyad, Taras, Bundesnetzagentur (BNetzA), Mainz
Hörcher, Dr. Günter, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA

Jeske, Dr. Tim, ifaa – Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e. V., Düsseldorf

Jöst, Matthias, omlox

Kirchhoff, Dr. Britta, BAuA – Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund

Klasen, Dr. Wolfgang, Siemens AG, München

Köpp, Thomas, Verband der Metall- und Elektroindustrie Baden-Württemberg e. V. (Südwestmetall), Stuttgart

Kötter, Wolfgang, GITTA mbH – Gesellschaft für interdisziplinäre Technikforschung Technologieberatung Arbeitsgestaltung mbH, Berlin

Lachenmaier, Dr. Jens, Universität Stuttgart
Laible, Holger, Siemens AG, Nürnberg
Leboucher, Yves, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Lee, Sascha Man-Son, DKE – Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Offenbach

Legat, Dr. Christoph, HEKUMA GmbH, Hallbergmoos
Lindenberg, Uwe, SGS-TÜV, Dortmund
Löwen, Prof. Dr. Ulrich, Siemens AG, Erlangen
Marko, Angelina, BITKOM, Berlin
Meurer, Doris, UBA – Umweltbundesamt, Dessau

Meyer, Olga, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart

Müller, Andreas, Schaeffler AG, Nürnberg

Nickel, Peter, Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA), Sankt Augustin

Olbort, Johannes, Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA)

Orzelski, Andreas, Phoenix Contact GmbH & Co KG, Blomberg

Petschulies, Anna, DIN – Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin

Plagge, Michael, Eclipse Foundation Europe
Pröll, Dieter, Siemens AG, Nürnberg
Rannenberg, Prof. Dr. Kai, Goethe-Universität, Frankfurt
Reich, Johannes, SAP, Walldorf

Rudschuck, Dr. Michael, DKE – Deutsche Kommission
Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und
VDE, Offenbach

Schewe, Frank, Phönix Contact

Schnäpp, Dieter, Universität Braunschweig

Sehnert, Katharina, DIN – Deutsches Institut
für Normung e. V., Berlin

Sieber, Peter, HIMA Paul Hildebrandt GmbH, Brühl
Simon, Anja, Labs Network Industrie 4.0

Steinbuss, Sebastian, IDSA

Stock, Dr. Patricia, REFA Fachverband e. V. – REFA-Institut,
Darmstadt

Teuscher, Andreas, SICK AG, Waldkirch

Tenhagen, Detlef, HARTING Stiftung & Co. KG, Espelkamp

Underberg, Dr. Lisa, ifak, Magdeburg

Weber Martins, Thiago, SAP

Weber, Ingo, Siemens AG, Karlsruhe

Wegener, Prof. Dr. Dieter, Siemens AG, München

参考文献

-
- [1] DIN/DKE and SCI 4.0, **Progress report – German Standardization Roadmap 4.0**. [Online]. Available: <https://www.din.de/de/forschung-und-innovation/themen/industrie4-0/roadmap-industrie40-62178> (accessed: Dec. 18 2022).
-
- [2] DIN/DKE, **German Standardization Roadmap Industrie 4.0 – Version 4: DIN and DKE ROADMAP**. SCI 4.0 [Online]. Available: <https://www.din.de/de/forschung-und-innovation/themen/industrie4-0/roadmap-industrie40-62178> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [3] L. Nagel and D. Lycklama, “Design Principles for Data Spaces – Position Paper,” 2021.
-
- [4] E. Ulich, **Arbeitspsychologie**, 7th ed. Zürich: vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 2020. [Online]. Available: <https://vdf.ch/arbeitspsychologie-e-book.html?search=Arbeitspsychologie&description=true>
-
- [5] Ulich and Eberhard, “Arbeitssysteme als Soziotechnische Systeme – eine Erinnerung,” **Journal Psychologie des Alltagshandelns / Psychology of Everyday Activity, Vol. 6 / No. 1, ISSN 1998-9970**, 2013.
-
- [6] BMAS, **Grundsatzpapier zur Rolle der Normung im betrieblichen Arbeitsschutz**. [Online]. Available: <https://www.bmas.de/DE/Service/Presse/Meldungen/2015/grundsatzpapier-normung-betrieblicher-arbeitsschutz.html> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [7] United Nations, **United Nations Conference on the Human Environment, Stockholm 1972 | United Nations**. [Online]. Available: <https://www.un.org/en/conferences/environment/stockholm1972> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [8] [WCED, **Report of the World Commission on Environment and Development – Our Common Future**. [Online]. Available: <https://sustainabledevelopment.un.org/milestones/wced> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [9] United Nations, **United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, Brazil, 3-14 June 1992 | United Nations**. [Online]. Available: <https://www.un.org/en/conferences/environment/rio1992> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [10] COM, **640 final: The European Green Deal, COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE EUROPEAN COUNCIL, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS**. [Online]. Available: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0021.02/DOC_1&format=PDF
-
- [11] Bitkom, **Vorschlag zur systematischen Klassifikation von Interaktionen in Industrie 4.0 Systemen: Hinführung zu einem Referenzmodell für semantische Interoperabilität**. White Paper. [Online]. Available: https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Bitkom_Thesenpapier.pdf?__blob=publicationFile&v=5
-
- [12] R. Heidel, M. Hoffmeister, M. Hankel, and U. Döbrich, Eds., **Industrie 4.0: The reference architecture model RAMI 4.0 and the Industrie 4.0 component**. Berlin, Wien, Zürich, Berlin, Offenbach: Beuth Verlag; VDE Verlag, 2019. [Online]. Available: <https://www.beuth.de/de/publikation/rami-4-0-and-the-industrie-4-0-component/296158879>
-
- [13] Shi-Wan Lin et al., **Architecture Alignment and Interoperability. An Industrial Internet Consortium and Plattform Industrie 4.0 Joint Whitepaper IIC:WHT:IN3:V1.0:PB:20171205**. [Online]. Available: https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/whitepaper-iic-pi40.pdf?__blob=publicationFile&v=7
-
- [14] B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl, and M. ten Hompel, Eds., **Handbuch Industrie 4.0 Bd. 2: Automatisierung**, 2nd ed. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2017.
-

-
- [15] U. Epple, "Merkmale als Grundlage der Interoperabilität technischer Systeme," **auto**, vol. 59, no. 7, pp. 440–450, 2011, doi: 10.1524/auto.2011.0939.
-
- [16] N. C. Karafyllis, "Soziotechnisches System," in **Mensch-Maschine-Interaktion: Handbuch zu Geschichte – Kultur – Ethik**, K. Liggieri and O. Müller, Eds., Berlin, Heidelberg: J.B. Metzler Verlag, 2019, pp. 300–303.
-
- [17] M. Both, J. Müller, and C. Diedrich, "Automatisierte Abbildung semantisch heterogener I4.0-Verwaltungsschalen durch Methoden des Natural Language Processing," **auto**, vol. 69, no. 11, pp. 940–951, 2021, doi: 10.1515/auto-2021-0050.
-
- [18] C. Diedrich, T. Hadlich, and M. Thron, "Semantik durch Merkmale für Industrie 4.0," in **VDI Springer Reference, Handbuch Industrie 4.0 Bd. 2: Automatisierung**, B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl, and M. ten Hompel, Eds., 2nd ed., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2017, pp. 417–432.
-
- [19] T. Deppe, L. Nothdurft, and U. Epple, "DIN SPEC 92000 als Enabler für Plug-and-Produce-Konzepte," **atp**, vol. 62, no. 4, pp. 78–85, 2020, doi: 10.17560/atp.v62i4.2461.
-
- [20] OPC UA, **Unified Architecture – OPC Foundation**. [Online]. Available: <https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-ua/> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [21] OPC Foundation, **List of Documents – OPC Foundation**. [Online]. Available: <https://opcfoundation.org/developer-tools/documents/> (accessed: Nov. 4 2022).
-
- [22] ECLASS, **eptos™ – ECLASS ContentDevelopmentPlatform PROD – CDP-7.2.0**. [Online]. Available: <https://www.eclass-cdp.com/portal/info.seam> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [23] R. Reussner and W. Hasselbring, Eds., **Handbuch der Software-Architektur**, 2nd ed. Heidelberg: dpunkt.verlag, 2009.
-
- [24] J. Reich, L. Zentarra, and J. Langer, "Industrie 4.0 und das Konzept der Verwaltungsschale – Eine kritische Auseinandersetzung," **HMD**, vol. 58, no. 3, pp. 661–675, 2021, doi: 10.1365/s40702-020-00645-4.
-
- [25] JTC1 SIF, **JTC 1 Advisory Group on Systems Integration Facilitation (SIF) – JTC 1**. [Online]. Available: <https://jtc1info.org/technology/advisory-groups/jtc1-advisory-group-on-systems-integration-facilitation-sif/> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [26] COMM/DG/UNIT, **A European Green Deal: An official website of the European Union**. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [27] IDSA, **Home – International Data Spaces**. [Online]. Available: <https://internationaldataspaces.org/> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [28] BDVA, **Home – BDVA Big Data Value Association**. [Online]. Available: <https://www.bdva.eu/> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [29] umati, **umati – universal machine technology interface – connecting the world of machinery**. [Online]. Available: <https://umati.org/> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [30] Gaia-X, **Architektur der Standards: Gaia-X Architecture Document – 21.12 Release: Gaia-X European Association for Data and Cloud AISBL**. [Online]. Available: https://www.gaiax.es/sites/default/files/2022-01/Gaia-X_Architecture_Document_2112.pdf (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [31] Gaia-X, **Gaia-X – Architecture Document – 22.04 Release: Draft**. [Online]. Available: <https://gaia-x.eu/wp-content/uploads/2022/06/Gaia-x-Architecture-Document-22.04-Release.pdf>
-

-
- [32] IEC, **Semantic interoperability: challenges in the digital transformation age**. [Online]. Available: <https://www.iec.ch/basecamp/semantic-interoperability-challenges-digital-transformation-age> (accessed: Nov. 2 2022).
-
- [33] DKE – VDE, IDiS – **Initiative Digitale Standards**. [Online]. Available: <https://www.dke.de/de/normen-standards/normung-strategie/deutsche-normungsstrategie/idis> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [34] Plattform Industrie 4.0, **I4.0-Sprache – Vokabular, Nachrichtenstruktur und semantische Interaktionsprotokolle der I4.0-Sprache**. [Online]. Available: <https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/hm-2018-sprache.html> (accessed: Nov. 2 2022).
-
- [35] OPC Foundation, **OPC 10001-5 Unified Architecture Amendment 5 Dictionary Reference – Release 1.04: OPC UA Online Reference – Online versions of OPC UA specifications and information models**. [Online]. Available: <https://reference.opcfoundation.org/> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [36] AutomationML consortium, **AutomationML – The Glue for Seamless Automation Engineering: Whitepaper AutomationML – Part 6: AutomationML Component**. [Online]. Available: <https://www.automationml.org/about-automationml/specifications/>
-
- [37] DKE, **Verwaltungsschale als Rückgrat der Industrie 4.0 und des Digitalen Zwilling: Fachinformation**. [Online]. Available: <https://www.dke.de/de/arbeitsfelder/industry/verwaltungsschale> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [38] C. Wagner et al., “The role of the Industry 4.0 asset administration shell and the digital twin during the life cycle of a plant,” in **2017 22nd IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation: September 12-15, 2017, Limassol, Cyprus**, Limassol, 2017, pp. 1–8.
-
- [39] VDI, **Digitale Transformation – VDI/VDE-GMA Fachbeirat FB 7 Digitale Transformation – Neuer Fachausschuss VDI/ VDE-GMA/GPP 7.10 „Planung und Entwicklung hybrider Leistungsbündel“**. [Online]. Available: https://www.vdi.de/fileadmin/user_upload/VDI-Aufruf_7.10-VDI.de.pdf (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [40] IDTA, Home – **IDTA – Der Standard für den Digitalen Zwilling**. [Online]. Available: <https://industrialdigitaltwin.org/> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [41] VDMA/FKM, **Studie „Interoperabilität im Maschinen- und Anlagenbau“: Die Weilsprache der Produktion als Grundlage für Industrie 4.0**. [Online]. Available: <https://www.vdma.org/weltsprache-der-produktion>
-
- [42] Digital Twin Consortium, **About Us – Digital Twin Consortium is The Authority in Digital Twin™**. [Online]. Available: <https://www.digitaltwinconsortium.org/about-us/> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [43] IDTA, **Downloads – IDTA Deutsch**. [Online]. Available: <https://industrialdigitaltwin.org/> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [44] InterOpera, **Startseite – InterOpera – Digitale Interoperabilität in kollaborativen Wertschöpfungsnetzwerken der Industrie 4.0**. [Online]. Available: <https://interopera.de/> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [45] 5G-ACIA, **Integration of 5G with Time-Sensitive Networking for Industrial Communications – 5G-ACIA: White Paper**. [Online]. Available: <https://5g-acia.org/whitepapers/integration-of-5g-with-time-sensitive-networking-for-industrial-communications/> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [46] OPC Foundation, **Extending OPC UA to the field: OPC UA for Field eXchange (FX): Technical Paper**.
-

-
- [47] 5G-ACIA, **Service-Level Specifications (SLSS) for 5G Technology-Enabled Connected Industries – 5G-ACIA: White Paper**. [Online]. Available: <https://5g-acia.org/whitepapers/service-level-specifications-slss-for-5g-technology-enabled-connected-industries/> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [48] TIACC, **Home | TIACC**. [Online]. Available: <https://www.tiacc.net/> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [49] 5G-ACIA, **5G for Connected Industries and Automation (Second Edition): White Paper**. [Online]. Available: https://5g-acia.org/wp-content/uploads/5G-ACIA_WP_5G-for-Connected-Industries-and-Automation-Second-Edition_SinglePages.pdf
-
- [50] 5G-ACIA, **5G Non-Public Networks for Industrial Scenarios: White Paper**. [Online]. Available: https://5g-acia.org/wp-content/uploads/5G-ACIA_5G_Non-Public_Networks_for_Industrial_Scenarios_09-2021.pdf
-
- [51] FieldComm Group, ODVA Inc., OPC Foundation, PROFIBUS Nutzerorganisation e.V, **Ethernet-APL**. [Online]. Available: <https://www.ethernet-apl.org/> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [52] Ethernet-APL™, **Ethernet – To the Field: Ethernet-APL™. Ease of adoption. Seamless integration. Simplified installation. Greater range. Valuable data**. [Online]. Available: https://www.ethernet-apl.org/wp-content/uploads/2022/08/Ethernet-APL_Ethernet-To-The-Field_EN_FINAL_June-2021.pdf
-
- [53] omlox, **omlox is an open and interoperable standard that is revolutionizing real-time locating**. [Online]. Available: <https://omlox.com/> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [54] J. Lee, **Industrial AI: Applications with Sustainable Performance**, 1st ed. Singapore: Springer Singapore; Imprint Springer, 2020.
-
- [55] Plattform Industrie 4.0, **Industrie 4.0 – KI in der Industrie 4.0: Orientierung, Anwendungsbeispiele, Handlungsempfehlungen: Wegweiser**. [Online]. Available: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/service/publikationen/industrie-4-0-ki-in-der-industrie-4-0-orientierung-anwendungsbeispiele-handlungsempfehlungen-1769482> (accessed: Dec. 19 2022).
-
- [56] BMWK, **Strategie Künstliche Intelligenz der Bundesregierung: Publikation – Schlüsseltechnologien**. [Online]. Available: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Technologie/strategie-kuenstliche-intelligenz-der-bundesregierung.html> (accessed: Dec. 19 2022).
-
- [57] BMBF, Home – **KI Strategie**. [Online]. Available: <https://www.ki-strategie-deutschland.de/home.html> (accessed: Dec. 19 2022).
-
- [58] European Commission, **White Paper on Artificial Intelligence: a European approach to excellence and trust | European Commission**. [Online]. Available: https://commission.europa.eu/document/d2ec4039-c5be-423a-81ef-b9e44e79825b_en (accessed: Dec. 19 2022).
-
- [59] Oxford University Press, **artificial intelligence – Quick Reference: The theory and development of computer systems able to perform tasks normally requiring human intelligence, such as visual perception, speech recognition, decision-making, and translation between languages**. [Online]. Available: <https://www.oxfordreference.com/display/10.1093/oi/authority.20110803095426960;jsessionid=812D4FEA8CA56AD4C6A2C104E37A3A57> (accessed: Dec. 19 2022).
-
- [60] European Commission, **Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council Laying Down Harmonised Rules on Artificial Intelligence (Artificial Intelligence Act) and Amending Certain Union Legislative Acts Com/2021/206 Final: 2021/0106(COD)**. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021PC0206> (accessed: Dec. 19 2022).
-

-
- [61] L. Floridi and M. Chiriatti, "GPT-3: Its Nature, Scope, Limits, and Consequences," **Minds & Machines**, vol. 30, no. 4, pp. 681–694, 2020, doi: 10.1007/s11023-020-09548-1.
-
- [62] A. Vaswani **et al.**, "Attention Is All You Need," Jun. 2017. [Online]. Available: <http://arxiv.org/pdf/1706.03762v5>
-
- [63] W. Fedus, B. Zoph, and N. Shazeer, "Switch Transformers: Scaling to Trillion Parameter Models with Simple and Efficient Sparsity," Jan. 2021. [Online]. Available: <http://arxiv.org/pdf/2101.03961v3>
-
- [64] J. Yu **et al.**, "Scaling Autoregressive Models for Content-Rich Text-to-Image Generation," Jun. 2022. [Online]. Available: <http://arxiv.org/pdf/2101.03961v3>
-
- [65] A. Ramesh, P. Dhariwal, A. Nichol, C. Chu, and M. Chen, "Hierarchical Text-Conditional Image Generation with CLIP Latents," Apr. 2022. [Online]. Available: <http://arxiv.org/pdf/2204.06125v1>
-
- [66] C. Saharia **et al.**, "Photorealistic Text-to-Image Diffusion Models with Deep Language Understanding," May. 2022. [Online]. Available: <http://arxiv.org/pdf/2205.11487v1>
-
- [67] BMWi, **Fortschreibung der Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0: Ergebnispapier**. [Online]. Available: https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/fortschreibung-anwendungsszenarien.pdf?__blob=publicationFile&v=8 (accessed: Dec. 19 2022).
-
- [68] BMWi, **Technologieszenario „Künstliche Intelligenz in der Industrie 4.0“: Working Paper**. [Online]. Available: https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/KI-industrie-40.pdf?__blob=publicationFile&v=17 (accessed: Dec. 19 2022).
-
- [69] acatech, **Strategie. Advanced Systems Engineering. Leitinitiative zur Zukunft des Engineering und Innovationsstandorts Deutschland**. [Online]. Available: <https://www.acatech.de/publikation/die-advanced-systems-engineering-strategie/download-pdf?lang=de> (accessed: Dec. 19 2022).
-
- [70] acatech, **Engineering smarter Produkte und Services Plattform Industrie 4.0 STUDIE. Michael Abramovici (Hrsg.): Forschungsbeirat**. [Online]. Available: https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/hm-2018-fb-smart.pdf?__blob=publicationFile&v=5 (accessed: Dec. 19 2022).
-
- [71] W. F. Lawless, Ed., **Systems Engineering and Artificial Intelligence**, 1st ed. Cham: Springer International Publishing AG, 2021.
-
- [72] ZVEI, **AI in Industrial Automation: White Paper**. [Online]. Available: https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2021/April/AI_in_Industrial_Automation/AI-in-Industrial-Automation-White-Paper-NEU.pdf (accessed: Dec. 19 2022).
-
- [73] acatech, **Einordnung der Beispiele der Industrie 4.0-Landkarte in die Anwendungsszenarien.: Forschungsbeirat**. [Online]. Available: https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/hm-2018-fb-landkarte.pdf?__blob=publicationFile&v=5 (accessed: 19.12.222).
-
- [74] DIN/DKE, **German Standardization Roadmap Artificial Intelligence. 2nd edition 2**. [Online]. Available: <https://www.din.de/resource/blob/891106/57b7d46a1d2514a183a6ad2de89782ab/deutsche-normungs-roadmap-kuenstliche-intelligenz-ausgabe-2--data.pdf> (accessed: Dec. 19 2022).
-
- [75] IEEE, **DATA TRADING SYSTEM WORKING GROUP**. [Online]. Available: <https://sagroups.ieee.org/3800/> (accessed: Nov. 1 2022).
-

-
- [76] Data Sharing Coalition, **Home – Data Sharing Coalition**. [Online]. Available: <https://datasharingcoalition.eu/> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [77] Sitra, **Rulebook for a fair data economy**. [Online]. Available: <https://www.sitra.fi/en/publications/rulebook-for-a-fair-data-economy/> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [78] DSBA, **The Data Spaces Business Alliance – Data Spaces Business Alliance**. [Online]. Available: <https://data-spaces-business-alliance.eu/> (accessed: Dec. 18 2022).
-
- [79] DSBA, **The Data Spaces Business Alliance – Data Spaces Business Alliance**. [Online]. Available: <https://data-spaces-business-alliance.eu/> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [80] OWASP Foundation – CycloneDX, **OWASP CycloneDX Software Bill of Materials (SBOM) Standard**. [Online]. Available: <https://cyclonedx.org/> (accessed: Dec. 19 2022).
-
- [81] NIST, **Executive Order 14028, Improving the Nation’s Cybersecurity**. [Online]. Available: <https://www.nist.gov/itl/executive-order-14028-improving-nations-cybersecurity> (accessed: Dec. 19 2022).
-
- [82] European Commission, **Cyber Resilience Act: Policy and legislation – Publication**. [Online]. Available: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/cyber-resilience-act> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [83] GDPR, **General Data Protection Regulation (GDPR) Compliance Guidelines**. [Online]. Available: <https://gdpr.eu/> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [84] European Commission, **European Data Governance Act**. [Online]. Available: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/de/policies/data-governance-act> (accessed: Dec. 18 2022).
-
- [85] EDPB, **EDPB | European Data Protection Board**. [Online]. Available: https://edpb.europa.eu/edpb_en (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [86] IETF, **Home – Internet Engineering Task Force (IETF)**. [Online]. Available: <https://www.ietf.org/> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [87] Gaia-X, **Introduction | Gaia-X Trust Framework**. [Online]. Available: <https://compliance.gaia-x.eu/guide/#latest-release> (accessed: Dec. 18 2022).
-
- [88] Plattform Industrie 4.0 and rri, **IIoT Value Chain Security – The Role of Trustworthiness: International Paper**. [Online]. Available: https://www.plattform-40.de/IP/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/IIoT_Value_Chain_Security.pdf?__blob=publicationFile&v=9
-
- [89] A. Bendel and E. Latniak, “Soziotechnisch – agil – lean: Konzepte und Vorgehensweisen für Arbeits- und Organisationsgestaltung in Digitalisierungsprozessen,” **Gr Interakt Org**, vol. 51, no. 3, pp. 285–297, 2020, doi: 10.1007/s11612-020-00528-8.
-
- [90] A. Tisch and S. Wischniewski, Eds., **Sicherheit und Gesundheit in der digitalisierten Arbeitswelt: Kriterien für eine menschengerechte Gestaltung**, 1st ed. Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, 2022. [Online]. Available: <https://portal.dnb.de/opac.htm?method=simpleSearch&query=Sicherheit%20und%20Gesundheit%20in%20der%20digitalisierten%20Arbeitswelt>
-
- [91] Opensource.org, **The Open Source Definition | Open Source Initiative**. [Online]. Available: <https://opensource.org/osd> (accessed: Nov. 1 2022).
-

-
- [92] Joinup, **JLA – Find and compare software licenses**. [Online]. Available: <https://joinup.ec.europa.eu/collection/eupl/solution/joinup-licensing-assistant/jla-find-and-compare-software-licenses> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [93] ifaa, **ifaa-Beispielsammlung „Digitalisierung & Industrie 4.0“**. [Online]. Available: <https://www.https://www.arbeitswissenschaft.net/angebote-produkte/checklistenhandlungshilfen/ue-che-tw-beispielsammlung> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [94] DIN/DKE, **Szenarien zur Digitalisierung der Normung und Normen: Whitepaper**. [Online]. Available: <https://www.dke.de/idis-whitepaper-1-de> (accessed: Dec. 19 2022).
-
- [95] DIN/DKE, **Whitepaper. Anwendungsfälle von SMART Standards**. [Online]. Available: <https://www.dke.de/resource/blob/2184670/57d8b37f0af3927334664e7cff57502a/idis-whitepaper-2-de---download-data.pdf> (accessed: Dec. 19 2022).
-
- [96] CENELEC, **Smart Standards -What is it?** [Online]. Available: <https://experts.cenelec.eu/key-initiatives/smart-standards/> (accessed: Nov. 1 2022).
-
- [97] DKE, **Harbsafe2**. [Online]. Available: <https://www.dke.de/de/arbeitsfelder/cybersecurity/harbsafe2> (accessed: Nov. 1 2022).
-



DIN e. V.

Am DIN-Platz
Burggrafenstr. 6
10787 Berlin
Tel.: +49 30 2601-0
Email: info@din.de
Website: www.din.de



DKE ドイツ電気電子情報技術委員会

Merianstraße 28
63069 Offenbach am Main
Tel.: +49 69 6308-0
Email: service@vde.com
Website: www.dke.de

2023 年 1 月