

DIN and DKE ROADMAP

German Standardization Roadmap

ドイツ標準化ロードマップ

Industrie 4.0

Version 4



STANDARDIZATION
COUNCIL
INDUSTRIE 4.0

本翻訳はドイツ SCI 4.0 (Standardization Council Industrie 4.0) の協力のもと、IEC/SyC SM国内審議団体（国内委員会）にて発行しています。原文は下記を参照してください。

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

Published by



DIN e. V.

Saatwinkler Damm 42/43

10787 Berlin

Tel.: +49 30 2601-0

e-mail: presse@din.de

Internet: www.din.de



DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik

Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Stresemannallee 15

60596 Frankfurt am Main

Tel.: +49 69 6308-0

e-mail: standardisierung@vde.com

Internet: www.dke.de

Issue date: March 2020

Cover photo: Grafic works/

Stefan Müpfer – stock.adobe.com

序文

読者の皆様

6年前、標準化ロードマップ Industrie 4.0 の第1版が初めて公開されました。以来、多くのことが起こりました。この6年間で、「Industrie 4.0」という言葉は、一つのスローガンから十分に実証されたアプローチへと発展し、まったく新しいレベルの生産と、付加価値チェーン全体の構成および管理について記述できるまでになりました。技術的には、Industrie 4.0 は IT（情報技術）と OT（運用技術）の融合を表しています。

これにより、以前は分離していた標準化の分野の大幅なオーバーラップが引き起こされます。たとえば、以前は情報通信技術セクターに関連していた問題や要件、作業方法は、現在、機械工学および電気業界にもこれまで以上に大きな影響を与えています。

その結果、Industrie 4.0 についても再考すべきときが来しました。グローバルなデジタル付加価値システムとはどのようなものでしょうか？それに適した規範的なフレームワークをどのように特定し、実装することができるのでしょうか？[Plattform Industrie 4.0](#) における現在の[ミッションステートメント 2030](#) は、デジタルエコシステム的设计に対する包括的なアプローチを既に策定しており、Industrie 4.0 の発展を再調整するものです。そこで、(1) 自律性、(2) 相互運用性、(3) 持続可能性という3つの重要な戦略的行動分野が決定的な役割を果たします。[Standardization Council Industrie 4.0](#) (SCI 4.0) はこのアイデアを取り入れたうえで、標準化のための提言を策定することにより、これらのアプローチと DIN および DKE との連携を促進するという目標を立てました。

この標準化ロードマップ「バージョン4」により、Industrie 4.0 のビジョン、即ち相互運用性の実現を目指します。それは、ネットワーク化されたデジタルエコシステムのマシンが相互運用可能な方法で相互通信を行うことを意味します。高度な相互運用性のみが、企業や業界の境界を越えたネットワーク化を保証します。それには、標準と統合、統一された規制の枠組み、分散システム、人工知能が必要となります。

諮問委員会の議長として、私は Standardization Council Industrie 4.0 (SCI 4.0) が、その枠組みの条件を特定するうえで重要かつ協調的な役割を果たすことを嬉しく思うものであります。「[絶えず更新が行われる](#)」ドキュメントであるこの標準化ロードマップ Industrie 4.0 により、壮大な目的を持つ実行可能な行動に関する提言が作成され、すべての関係者に向けて発信されます。それには国際的な次元、即ち適切な標準規格の国際的な使用開始と調整も含まれます。

これまでの活動に関する提言の実施に関しては良いニュースがあります。たとえば、Industrie 4.0 参照モデルの統一に関する「[ISO/IEC 共同作業グループ 21](#)」

(ISO/IEC/JWG21) の活動は、最終技術報告書という形で完成に近づいています。最も新しい動きとしては、IEC/TC 65 による管理シェルの標準規格案が、大多数に採用されたことがあります。これにより、管理シェルをデジタルエコシステムの中心的な「[USB 標準](#)」にするための道が開かれます。そして、これらはサクセスストーリーのほんの一例にすぎません。



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
ZVEI-Führungskreis
Industrie 4.0 議長

もちろん、標準化ロードマップ Industrie 4.0 の最新バージョンでは、過去には考慮されなかったテーマも新たに取り上げています。さらに最近になり、Industrie 4.0 での人工知能 (AI) の使用に対する期待を大きく高めたのが、既存および潜在的な適用分野の多様性であり、また現在人工知能 (AI) に向けられている政治、科学、ユーザーからの注目でもあります。AI がもたらす新しいプロセスや設計の可能性は自動的に、共通の標準規格やガイドラインに関する疑問も生じさせます。その疑問とは、たとえば機能安全や労働安全衛生においては、計画的であって、部分的に認定された手順やシステムに関するものであり、AI システムでの動的な意思決定プロセスの使用に関してはまだ答えは分かっていません。

ここでは、工業生産に AI がもたらす影響（つまり、Industrie 4.0）について考え得る「垂直」分類を提示し、行動提言という形でまだ結論が出ていない問題への回答を提示することを試みます。

この標準化ロードマップの策定では、まだ人間とその知識が中心的役割を果たしています。この標準化ロードマッププロジェクトへの専門家の方々の積極的な関わり方と意欲にはいつも心を打たれます。皆さんの知識と意欲的な取り組みがなければ、今回の「バージョン 4」の完成を祝うことはできませんでした。そのことを念頭に置きつつ、この機会に、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精力的な努力に感謝申し上げます。

今取り組むべきことは、行動提言の実装を実現させるとともに、次のバージョンの準備を開始することです。

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であります。

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
ZVEI-Führungskreis Industrie 4.0 議長

サマリー

これまでの標準化ロードマップの伝統に従い、本バージョンでは、Industrie 4.0の現在の標準化状況に加えて、特に、可能な限り早期に修正または適合させる必要がある標準化のギャップと基準上の矛盾を明らかにする。そのため、行動および適用に関して策定された提言を各章の終わりに提示する。

2年前にバージョン3を公開して以降、重要な標準化プロジェクトが各国レベルで開始され、その後国際レベルで実施されてきた。

参照アーキテクチャモデル用メタ言語の設計

人間の役割は第一に、実行中のプロセスを制御および監視し、必要に応じてそれらを制御するために介入する開発者およびユーザーとしての役割である。ただし、工場と機械との相互作用および通信は、工場と会社の境界を超えるものとなる。このようにして、サプライヤ、物流会社、製造業者など、さまざまな分野の企業が一緒に、付加価値システムでネットワーク化される。非常に異なるシステムが相互に通信し、相互に作用する必要がある。それを成功させるには、インターフェイスの統一が必要となる。結果的に、これらのインターフェイスの設計は、可能な限り国際的調整が施された標準規格と仕様に基づいていることを前提とすることになる。

参照アーキテクチャモデル、即ち統一された概念的および方法論的構造は、さまざまな分野の専門家たちがその複雑さをマスターし、共通の言語を話すことを保証するための基礎を形成する。それが、具体的なシステムアーキテクチャの統一的な記述と仕様のための共通の構造を作り出す。ドイツで開発された参照アーキテクチャモデル Industrie 4.0 (RAMI 4.0) は、そうしたモデルを代表するものである。この参照アーキテクチャモデルは現在、国際標準規格に導入され、IEC PAS 63088として公開されている。

管理シェルとそのサブモデルの構造の記述

次の重要ステップは、データの交換に適したデータ構造とその意味を定義することだ。データとその定義された意味の標準化された交換は意味上の相互運用性と呼ばれる。管理シェルの概念は、このデータ交換のためにドイツで開発された[1]。生産システム自体から機械やステーション、機械内部の個別のサブアセンブリに至るまで、生産におけるハードウェア・コンポーネントおよびソフトウェア・コンポーネントは、これらの特性を満たすことで Industrie 4.0に対応したものとなる。そうした特性には、実際のオブジェクトの通信機能および関連するデータや機能が含まれる。したがってモデルは、生産に関わる個々のハードウェア・コンポーネントおよびソフトウェア・コンポーネントの間の Industrie 4.0に準拠した通信要件を記述するものとなる。ドイツで定義された管理シェル構造により、国際標準化のブレークスルー達成を手助けするため、その概念については SCI 4.0の調整の下、とりわけフランス、イタリア、中国との事前合意が為された。

標準化案 IEC 63278-1 ED1 “Asset administration shell for industrial applications - Part 1: Administration shell structure” (産業アプリケーションのためのアセット管理シェル) が IEC/TC 65における正式なプロジェクトとなったことで、最初の重要ステップが実行された。これにより、管理シェルをデジタルエコシステムの中心的「USB規格」にするための道が開かれた。このプロジェクトの作業は2020年2月に開始された。

Industrie 4.0 標準化の責任はドイツが担う

GoGlobal Industrie 4.0 資金調達プロジェクトによってドイツ連邦経済エネルギー省 (BMWi) は、2017 年 12 月以降、SCI 4.0 を通じてドイツが提唱する Industrie 4.0 概念のグローバルな統一に取り組んできた。こうして、標準化ロードマップに集められた行動提言は、Industrie 4.0 標準化ロードマップの行動提言として策定できることとなった。一般に、協力的な国は国際標準化団体に積極的に参加している。つまり、タイムリーで合意に基づいた協力は、望ましい目標の達成で重要な役割を果たすことになる。この作業と関連する国際標準化団体とを同期させるため、ドイツの観点からは、二国間および三国間の議論を通じて概念を安定させることが不可欠となる。具体的には、中国、日本、韓国、米国との二国間協力チャネルが開かれ、統一プロセスに積極的に関与している。ヨーロッパでは、フランス、イタリア、ドイツの 3 国間で協力関係が強化され、それが他のヨーロッパ地域の Industrie 4.0 コミュニティに作用し、ヨーロッパ全体へと広がる道を開くことになる。

国際レベルでの個々の協力は ISO および IEC の関連委員会に対応するものであり、そのため共同プロセスの設計と結果において高度な協力と透明性を必要とする。このアプローチは、Plattform Industrie 4.0 の国際化戦略と合致している。たとえば、標準化ロードマップ Industrie 4.0 は、DIN および DKE の関連作業グループと協議したうえで実施するために調整する標準作業の提言を定義する。

言い換えれば、専門家や世界のパートナー国とともに適切なソリューションを開発し、それらを IEC および ISO と共同で、統一されたアプローチにより調整することは Standardization Council の任務の一部ということである。こうしたアプローチに従い、個別の分野の間でより良い、より効率的な協力を確かなものとするために、ドイツが強く支持し、推進してきた 2 つの新組織が先ごろ設立された。それが IEC システム委員会「スマートマニュファクチャリング」(IEC SyC SM) と、これから管理シェルに関連する事柄に取り組むことが予定されている作業グループ IEC/TC 65/WG 24 である。

すべての協力作業で、これまでのトピックを超えるコラボレーションが計画されている。企業の組織的構造および価値創造構造の変化において、大きな変革が段階的に行われている。価値の創造は、データの評価を通じてプラットフォームやサービスへとシフトしている。人工知能 (AI) 技術の次のブレークスルーは、データを分析し、生産プロセスを監視する可能性を拡大する。

これらの例は、行動のための中心的提言の最初の実装が既に今年から始まっており、将来強化されることを示唆している。この標準化ロードマップも、たとえば研究プロジェクトで得られたり、標準化団体での作業などで得られたりした新しい研究成果を反映するため定期的に更新される。因って、このプロセスへの積極的参加を募るものである。

目次

序文	1
サマリー	3
1 はじめに	7
1.1 ドイツ標準化戦略.....	7
1.1.1 行動および適用に関する提言	9
1.2 標準化のデジタル化の意義.....	9
1.3 Plattform Industrie 4.0との協力.....	10
1.3.1 デジタルエコシステムの設計—Industrie 4.0のミッション ステートメント 2030.....	10
1.3.2 デジタルエコシステムの実装： 中心的アクターのネットワーク化.....	12
1.4 アプリケーション・シナリオの意義.....	14
1.4.1 ユースケースの例.....	15
1.5 技術的背景—2章および3章の構成.....	17
2 中核的トピックの標準化の必要性.....	21
2.1 ユースケース.....	21
2.1.1 バージョン3以降の状況と進展.....	21
2.1.2 最近の動向.....	22
2.1.3 行動および適用に関する提言	25
2.2 参照アーキテクチャモデル.....	26
2.2.1 バージョン3以降の状況と進展.....	26
2.2.2 最近の動向.....	27
2.2.3 行動および適用に関する提言	29
2.3 システムとそのプロパティ.....	30
2.3.1 バージョン3以降の進展と最近の動向.....	30
2.3.2 行動および適用に関する提言	43
2.4 相互運用性.....	46
2.4.1 バージョン3以降の状況と進展.....	46
2.4.2 最近の動向.....	49
2.4.3 行動および適用に関する提言	53
2.5 統合.....	54
2.5.1 バージョン3以降の状況と進展.....	54
2.5.2 最近の動向.....	56
2.5.3 行動および適用に関する提言	60
2.6 通信.....	61
2.6.1 バージョン3以降の状況と進展.....	61
2.6.2 最近の動向.....	65
2.6.3 行動および適用に関する提言	68
2.7 人間と仕事.....	69
2.7.1 バージョン3以降の状況と進展.....	69
2.7.2 最近の動向.....	74
2.7.3 行動および適用に関する提言	77

3	分野横断的トピックの標準化の必要性	82
3.1	オープンソース	82
3.1.1	バージョン3以降の状況と進展	82
3.1.2	最近の動向	84
3.1.3	行動および適用に関する提言	85
3.2	産業セキュリティ	85
3.2.1	バージョン3以降の状況と進展	85
3.2.2	最近の動向	87
3.2.3	行動および適用に関する提言	88
3.3	データ保護/プライバシー	90
3.3.1	バージョン3以降の状況と進展	90
3.3.2	最近の動向	91
3.3.3	行動および適用に関する提言	92
3.4	付加価値ネットワークの信用性	93
3.4.1	バージョン3以降の状況と進展	93
3.4.2	最近の動向	94
3.4.3	行動および適用に関する提言	94
3.5	機能安全	94
3.5.1	バージョン3以降の状況と進展	94
3.5.2	行動および適用に関する提言	98
4	産業アプリケーションにおける人工知能	99
4.1	状況と進展	99
4.2	最近の動向	100
4.3	行動および適用に関する提言	104
付録A	機能安全に関する詳細情報	106
付録B	I 4.0標準化環境の概要	112
B.1	ドイツのIndustrie 4.0関連標準化団体	112
B.2	欧州標準化団体および国際標準化団体	113
B.3	調整機関	115
B.4	Industrie 4.0イニシアティブ	116
B.5	標準規格開発団体 (SSO)	117
B.6	政治制度 (ドイツ、欧州)	118
	略語/略称	119
	執筆者	123
	参考資料・参考文献一覧	125
	英語版正誤表	131

1 はじめに

確実なことが一つある。将来の Industrie 4.0 プロジェクトを成功させるには、ドメイン境界や階層境界を越え、複数のライフサイクルフェーズにわたって、これまでにない高度なシステム統合が必要になることである。それは、コンセンサスに基づいた標準規格と仕様によってのみ達成できる。現在発行されている標準化ロードマップ Industrie 4.0 とともに、Standardization Council Industrie 4.0 (SCI 4.0) は DIN および DKE と共同で、産業界の専門家や研究者、科学者、政治の専門家が分野を越えて、Industrie 4.0 の現在の開発状況を明らかにし、標準規格、仕様、業界標準の要件の概要を示し、成功への原動力となる、戦略的かつ技術指向のドキュメントを提供している。

実装を成功させるために、SCI 4.0 はドイツ国内の利害関係者をまとめ上げ、また、産業界や研究機関、さらには標準化団体の DIN および DKE の専門家と協力して、ここで策定された行動および適用に関する提言に反映される、国としての確固たる基本的位置（国内における統一）を構築する。プロセスの最後に、デジタル生産規格の使用を開始し、まずは国内で、次に国際的にその調整を実施することが目標となる。

2章から4章で取り上げている行動提言は、1.1節で取り上げたドイツの標準化戦略と密接に関連しており、多くの標準規格エキスパートの日常業務にとって重要な参考資料となる。

1.1 ドイツ標準化戦略

今後数年間、この共同戦略は、ドイツの標準化団体である DIN および DKE における業務の基盤を形成することになる。他のドイツの技術規則やプラットフォームの発行者たちは、ドイツ標準化戦略を積極的にサポートしている。ドイツ標準化戦略[2]は、たとえば WTO 基準や、標準化に関する欧州規則、DIN とドイツ連邦共和国との間の標準協定および DIN の標準作業の原則において規定された標準化の規制的枠組みおよび原則に合致している。

DIN および DKE は、標準化を通じて業界のグローバル競争力、特にドイツのグローバル競争力に貢献する機関として、国内の政策立案者、産業界、社会から認められている。ドイツ標準化戦略の枠組みの中で、DIN および DKE は、ISO および IEC との国際的な関連と認識を重視し、この2つの国際機関の強化に取り組んでいる。

さらに、どちらの標準化団体も、標準化のためや、グローバル化に関するトピックの整理のため、フォーラムやコンソーシアム、その他の標準化団体との協力を含め、組織の境界を越えた協力を調整するためのグローバルなモデレーションプラットフォームであることを自認している。DIN と DKE の共同のテーマ別運営委員会は、標準規格の世界におけるデジタル変革を促進する触媒としての役割を担っている。

さらにもう一つ、標準化を支えている柱が産業界である。企業は長期にわたって適切に取り組み、それぞれのテクノロジー専門家とともに国内、ヨーロッパおよび国際的なレベルでの標準化を促進している。

経営幹部レベルや管理レベルでは、標準化は企業目標を達成するための戦略ツールとして使用される。標準規格委員会への参加は促進され、称賛されることとなる。

標準化戦略はまた、プロセスおよび機器の効率的な導入、進行遅延の回避についても注目する。ただし、特定の分野では、標準化プロセスが長くなると進捗に遅れが生じることがある。したがって、Industrie 4.0 や情報通信技術（ICT）などのダイナミックな将来の市場では、短期間で開発し、一般の人々が利用できるようになる発行形態が必要となる。それに関しては、適用規則、ガイドラインおよび仕様を使用して、対応する試みが既に行われている。ただし、最終的には、こうした形式の発行物は、国の標準規格作業を統合された方法で実施するために、コンテンツに一定の一貫性と調整を必要とする（提言 1.1-1 を参照）。

それは、国家標準規格作業の準備に有効な以下の形式の発行物により可能となる。

- [DIN 仕様](#)
- [VDE 適用ガイド](#)
- [VDI ガイドライン](#)
- [VDMA 仕様](#)

さまざまな研究プロジェクトが Industrie 4.0 に関する中心的な問題を取り扱っており、また標準化に関連している。たとえば、DIN と DKE は標準規格の開発におけるパートナーとして、連邦経済エネルギー省（BMWi）および連邦教育科学技術省（BMBF）がサポートしている多くのプロジェクトに関わっている。Industrie 4.0 の成功と行動提言の実施には、対応する資金調達プログラムが不可欠である。

WIPANO—特許と標準規格による知識および技術の移転

連邦経済エネルギー省（BMWi）の技術資金プログラム「WIPANO – Knowledge and Technology Transfer through Patents and Standards」（WIPANO—特許と標準規格による知識および技術の移転）は、2020 年から始まる次のラウンドに入るところである。プログラムには、特に中小企業（SME）をサポートする新しい要素が含まれている。また、将来さらに多くの中小企業をサポートするために、特許および標準化資金への参加を促進する。新しい資金調達の焦点である「エンタープライズ—標準化」により、BMWi は産業戦略 2030 によるさらなる施策に取り組んでいる。中小企業やフリーランサーは標準化作業の重要性に次第に気づき、この作業に協力するようになる。

DIN-Connect

DIN-Connect により、DIN と DKE は 2016 年にイノベーションを促進するプログラムを開始した。特に、DIN と DKE は、仕様の開発を目標とするプロジェクトをサポートしている。このプログラムは、主にスタートアップ企業と中小企業を対象としており、標準規格と仕様を活用してイノベーションを市場に移転することを目指している。

また、この標準化ロードマップは、たとえば研究プロジェクトで得られたり、あるいは標準化団体内の作業で得られたりした、新しい調査結果を反映するために定期的に更新されており、中小企業が大きく関与するようになってきている。

1.1.1 行動および適用に関する提言

1.1-1 世界的に受け入れられるためには、標準規格や仕様は国際機関によって策定および公開されることが望ましい。国内向け発行物という形態は、国内世論の形成をサポートするための先行基準という意味で適切なことがある。可能な発行形態には、DIN SPEC、VDE 適用規則、VDI ガイドライン、VDMA 仕様などがある。国内向け発行形態が想定される場合、ライセンスおよび使用条件が将来の円滑な国際化を可能にするものとなるよう注意する必要がある。

1.2 標準化のデジタル化の意義

デジタル改革は、業界とその製品、サービス、プロセスだけでなく、標準規格作業のデジタル化にも影響を及ぼしている。技術の進歩に伴い、標準化の可能性と要求は、情報へのアクセスの改善から機械解釈可能なコンテンツまで、常に進化を続けている。したがって、標準規格とサービスはデジタル付加価値チェーンに欠かすことのできない重要部分となる。

このような「デジタル標準規格」の開発と確立は、標準化をデジタル変革するために現在各国が実施している取り組みや国際的取り組みの最優先目標である。テーマが複雑であることから、焦点やアプローチが異なるプロジェクトが多数存在する。たとえば、ISO と IEC という2つの戦略的国際機関（B.3章を参照）は、標準化のデジタル改革の一般的実現可能性に関わっている。欧州の CEN-CENELEC タスクフォース「Digital Content」は、パイロットプロジェクトでデジタル標準に関する実践的な経験を積んでいる。国家レベルでは、DIN と DKE によるパイロットプロジェクトやワークショップ、資金調達プロジェクト、ツール開発があり、さまざまな角度からさまざまなパートナーとともに課題に取り組んでいる。

2020年初めに設立された [Initiative Digital Standards \(IDiS\)](#) は、その組織内で IT および改革に関するテーマをまとめることによって、標準化のデジタル化を促進することを目指している。関連する活動を特定することに加えて、標準化のデジタル化に貢献できるプロジェクトをサポートし、開発し、開始する計画である。

上記の例は、標準化ロードマップ Industrie 4.0 の実施方法と、SCI 4.0 がデジタル改革のカギとなる役割をどのように果たしているかを示している。また、この標準化ロードマップは、たとえば研究プロジェクトで得られたり、あるいは標準化団体内部での作業で得られたりした、新しい研究結果を反映するために定期的に更新されており、中小企業の関与が大きくなっている。そのことから、このプロセスへの積極的参加を推奨する。

1.3 Plattform Industrie 4.0 との協力

Industrie 4.0 は、産業的価値創造の根本的なイノベーションと改革プロセスを記述している。この変化の主要な側面は、グローバルなデジタルエコシステムにおける管理と作業の新しい形態である。今日の堅固で明確な付加価値チェーンは、新しいタイプの協力による柔軟で高度に動的でグローバルにネットワーク化された付加価値ネットワークに置き換えられつつある。データ主導型のビジネスモデルは、顧客の利益とソリューション指向を重視し、産業的価値創造の主要パラダイムとしての製品中心主義に取って代わるものである。可用性、透明性およびデータへのアクセスは、ネットワーク化された経済における中心的成功要因であり、競争力を決定的に左右する。

Plattform Industrie 4.0 は、この改革を推進すると同時に、企業、政治、労働組合、科学など、関係するすべての社会的アクター間の交流を可能にするために設立されたものである。

1.3.1 デジタルエコシステムの設計—Industrie 4.0 のミッションステートメント 2030

Plattform Industrie 4.0 は、さまざまな利益のイニシエータおよびモデレータとして、またアンパサダとしての役割において、すべての関係者、企業、科学機関、労働組合および業界団体の間における前競争的な情報交換のための環境を提供する。

このような背景から、Plattform Industrie 4.0 のアクターは、デジタルエコシステムの設計への総合的アプローチを策定することを決定した。デジタルエコシステムの設計の中核となるアイデアは、自律性、相互運用性、持続可能性という3つの戦略的行動分野に基づいており、これらは Industrie 4.0 の標準化におけるその重要度から後述においてより詳細に分類することとする（図1を参照）[3]。

ミッションステートメントは主に産業およびビジネスの拠点としてのドイツに焦点を当ててはいるものの、開放性ならびに欧州や世界のパートナーとの協力をはっきりと強調している。

産業社会のすべてのプレイヤーとの対話を通じて、ドイツ産業界にとって世界的に傑出した出発点を形作り、ドイツにおけるデジタル改革を持続的に成し遂げるため、そしてドイツの中規模企業の間で経済的成功をもたらす形で Industrie 4.0 を定着させるために、行動の枠組みが形作られる。

上述した、行動に関する3つの戦略的提言はすべて、それぞれに対応する Industrie 4.0 標準化活動と密接に関連しており、標準化ロードマップ Industrie 4.0 の関係ポイントで相互にリンクしている。

以下に、戦略的な行動分野について簡単に解説する。



図 1：ミッションステートメント 2030：デジタルエコシステムの設計

自律性

主権（sovereignty）の基本原則は、個々のビジネスモデルの定義および設計から Industrie 4.0 エコシステム内における個人の購入決定に至るまで、自己の意思による自律的な決定を行うための、また互いに公正な競争活動を行うための、すべての市場参加者（企業、従業員、科学機関、個人）の自由を重視している。それには次のことが必要となる。

- **デジタルインフラストラクチャ**：デジタルインフラストラクチャは、すべての参加者が平等にアクセスでき、制限なく利用できるものでなければならない。
- **セキュリティ**：データ保護、IT、情報セキュリティは、確固として確立された産業的および社会的価値を表す。これらは、Industrie 4.0 や、デジタルエコシステム内の協調の基本的要件である。この中で、産業セキュリティ（3章を参照）は重要品質特性である。
- **技術開発**：Industrie 4.0 の自律性には、デジタル産業価値創造の中核分野における技術的にオープンな研究、開発、革新が必要である。開発における技術的リーダーシップの役割に加えて、「設計による」データ保護とセキュリティは、持続可能性や相互運用性と同等にきわめて重要である。

相互運用性

敏捷性に優れた付加価値ネットワークを形成するさまざまなアクターの柔軟なネットワーク化は、中心的コアコンポーネントの一つである。エコシステムのすべてのパートナーが積極的に関わり、等しく貢献する高度な相互運用性は、企業や業界の境界を越えた直接的な運用およびプロセスに関連したネットワークの前提条件である。逆に、相互運用可能な構造とインターフェイスにより、メーカーと顧客の双方が制限を受けることなくデジタル価値創造ネットワークに参加し、最終的には新しいビジネスモデルを設計することが可能となる。

- **標準規格および統合**：個別のソリューションの Industrie 4.0 システムソリューションへの統合はその大部分が、標準規格の開発における集中的かつ長期的な取り組みに基づいたものである。その結果、統合がはるかに簡易なものとなり、相互運用性の基礎が確立されることになる。とりわけ、業界の枠を越えた参照アーキテクチャと、デジタル領域における実世界のデジタルイメージとしての管理シエルの確立により、新しいアプローチが可能になった。現在、さらなる詰め作業が行われており、一貫して「Industrie 4.0 のための USB 標準」の方向に進んでいる（2.3 節を参照）。

- **接続性**：アセットは共通の通信プロトコルを使い、またアナログ世界と仮想世界の間で同じ「コネクタ」を使用する。
- **明確なセマンティクス**：アセットは、情報の意味および内容を一貫した方法で理解する。アセットは同じ語彙を使い、デジタル手段で交換するメッセージを明確に理解しており、また、自律的に相互作用し、実行タスクを完了させる方法で通信することができる（2.4節を参照）。
- **AI アプローチの組み込み**：すべてのアクターが協力して、マシンデータおよびユーザーデータを使用し、リンクすることができる。また、人工知能を使用して、新しいソリューションやビジネスモデルへの道を開くことが可能だ。中でも、分散システムと人工知能が有力である（4章を参照）。

持続可能性

経済的、生態学的、社会的持続可能性は、社会的価値志向の基本である。その一方で、こうした持続可能性は Industrie 4.0 に組み込まれており、Industrie 4.0 では持続可能性の取り組みを大幅に進歩させることができる。したがって、Industrie 4.0 のイノベーションと実装のエコシステムは、Industrie 4.0 を通じて持続可能性を生み出し、さらには持続可能な Industrie 4.0 自体を生み出す素地となる。

- **良い仕事と教育**：Industrie 4.0 は人間を中心に、社会的パートナーシップに基づく対話において労働条件のさらなる改善に大きく貢献する（2.7節を参照）。
- **Industrie 4.0 への社会的関与**は、社会全体の改革プロセスを示すものである。これには、参加者の広範囲にわたる変化が伴う。最も重要な目標は、産業および社会のイノベーションという意味で Industrie 4.0 がそうした参加者に課題を与えるだけでなく、何よりも新しい機会を提供することである。
- **気候変動防止**：Industrie 4.0 は、リソース効率に新たな可能性をもたらすことができる。建設的でプロセスに関連したアプローチと組み合わせることで、資材サイクルを製品ライフサイクル全体に浸透させることができる。したがって Industrie 4.0 は概して、循環経済や、環境保護および気候変動防止を実現する重要な要因である（2.3.1項を参照）。

主権と相互運用性とを結び付けることで、Plattform Industrie 4.0 は国際ネットワークに重要な基盤をもたらした。それが、欧州の分散型オープンデータ・インフラストラクチャの**プロジェクト GAIA-X** [4]である。本書では、産業アプリケーションにおける人工知能に関する4章で GAIA-X プロジェクトを取り上げる。

1.3.2 デジタルエコシステムの実装： 中心的アクターのネットワーク化

ドイツには、これまで世界に類例のない方法で、戦略開発や構想のほか、試験および標準化による実装を含む、迅速に反応する構造が存在する。

Plattform Industrie 4.0 は、Industrie 4.0 実現のための課題を克服する方法に取り組んでいる Industrie 4.0 の専門作業グループの基本概念を策定し、科学、ビジネスおよび政治に関する具体的な提言を提供する。

SCI 4.0 は行動に関する戦略的提言を取り入れ、標準規格や仕様への組み込みを調整する。したがって、SCI 4.0 は、Plattform Industrie 4.0 のメンバーとさまざまな標準化団体との仲介役を果たすことになる。Plattform Industrie 4.0 との協力により、SCI 4.0 はドイツの利害関係者を結集し、国際委員会および国際コンソーシアムにおいてその利益を代表する。

Labs Network Industrie 4.0 (LNI 4.0) を使用することで中小企業 (SME) は、行動に関する戦略的提言を実行し、パイロットプロジェクトにおいて新しいテクノロジーやユースケースの試験を実施することができる。したがって LNI 4.0 は、市場投入前に、Industrie 4.0 コンセプトの試験と技術的および経済的実現可能性の確認を行うことができる。さまざまなテストセンターのパートナー間におけるコラボレーションによって、市場に関連する要件を生成することが可能となる。検証結果は SCI 4.0 に送られるため、標準化プロセスに直接組み込むことができる。

図 2 は、このコラボレーションがどのように機能するかを示している。

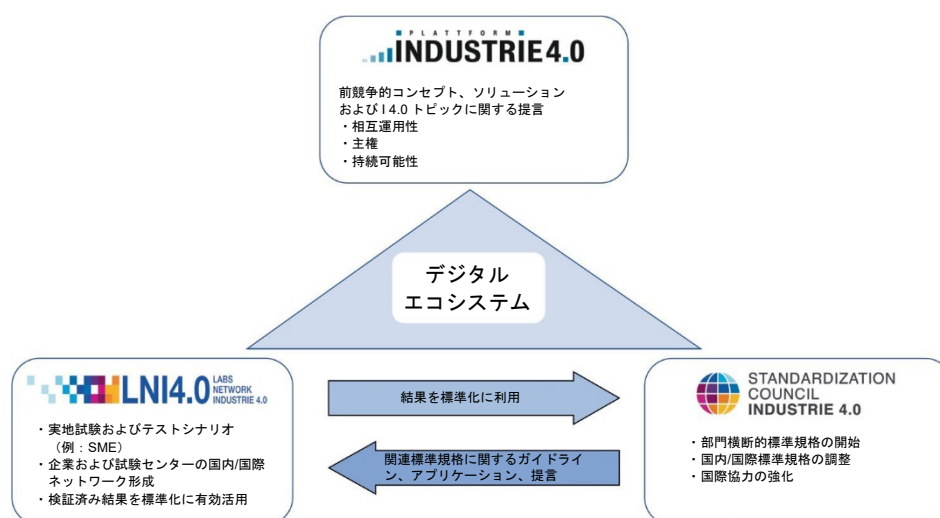


図 2 : 中心的アクターのネットワーク化

国際化の分野では、Plattform Industrie 4.0 とそのパートナーである Standardization Council Industrie 4.0 (SCI 4.0) および Labs Network Industrie 4.0 (LNI 4.0) が、数多くの二国間協力および多国間協力を通じて国内交流および国際交流を推進している。

パイロットプロジェクトでの標準化プロジェクトの実地試験を通じて、新しい Industrie 4.0 ソリューション、ならびにそれらで使用されている標準規格および仕様を初期段階でテストすることができる。結果は、そうした標準規格や仕様の今後の開発に直接組み込まれる。アジャイル標準化プロセスに対するこのアプローチは、オープンソースに関する 3.1.1 項で詳細に検討する。

1.4 アプリケーション・シナリオの意義

上述した経路を説明するために、アプリケーション・シナリオについて取り上げる。アプリケーション・シナリオは、ドイツの産業界がこうしたデジタル未来に参加するために必要な技術、作業組織、法律、社会のイノベーションを提示する。ただしアプリケーション・シナリオは、たとえば標準規格や研究、セキュリティ、法的枠組み、労働の各分野など、重大な課題と疑問が存在する場所を示すもので、それゆえに共通の枠組みを提供するものである。

その結果得られるのは Industrie 4.0 の構造の体系的な像であり、Vision 2030 の戦略的目標の実装に開発が貢献できるのはどこか、また例示という方式で貢献できる開発はどれかといった全体像である。因って、策定されたビジョンの実現に向けた企業における実装の初期段階の手順を示すことになる。Industrie 4.0 固有のユースケースの包括的コレクションは、[Labs Network Industrie 4.0](#) および [Plattform Industrie 4.0 の作業グループ 2](#) で確認することができる。

現在の標準化ロードマップ Industrie 4.0 は、これまでに作成されたアプリケーション・シナリオを取り上げ、総合的な技術状況に分類している（1.5 節を参照）。

したがって標準化の観点からは、相互にバリュー・プロポジションを提供し、金銭などの見返りにサービスを受け取る企業の付加価値ネットワークで構成されるエコシステムであると考えられる。Industrie 4.0 との関連では、次のようになる。

- 消費者や他の会社に物理的な製品を提供する製造会社
- ソフトウェアとサービスを提供し、それによって付加価値プロセスのサポートに貢献する企業（物流サービス、ソフトウェア・アプリケーション、エンジニアリングまたはメンテナンスサービスのプロバイダなど）、または技術統合タスクを実行する企業（システムインテグレータなど）

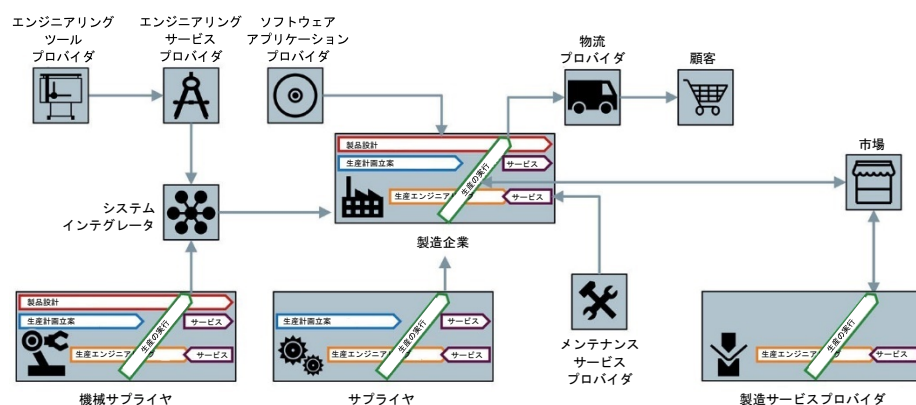


図 3 : 企業間付加価値ネットワークの例

図3はこの付加価値ネットワークを示しているが、これが万全な図であると主張するものではない。個々の企業間の付加価値関係は灰色の矢印で示されている。科学やビジネスでは、Industrie 4.0の付加価値ネットワークとそのサブシステムは、多種多様な機能と役割において人間が長期にわたって運用および開発を続けて行く—即ち人間の活動はIndustrie 4.0の付加価値プロセスにとって不可欠な一部であると考えられている。このような人間活動の重要性と、特にIndustrie 4.0の価値創造システムにおけるアイデアおよびインパルス発生源、イネーブラ（実現させる者）、開発者、意思決定者、監督者としての人間の機能は、参照アーキテクチャモデル（2.4節を参照）、相互運用性（2.4節を参照）、ならびに作業システム設計、作業設計および人間工学（2.7節を参照）の分野で、モデリングに明確に反映されていなければならない。

1.4.1 ユースケースの例

以下では、この付加価値ネットワークについて、3つの典型的なユースケースを使ってさらに詳しく説明する。個々のユースケースを異なるコンテキストで再度取り上げ、より詳細に説明を加える。

ユースケース 1：「生産能力市場」

最初の例は、要求に応じて3Dプリントサービスのサプライヤを仲介する市場運営者など新たなビジネスプレイヤーが、将来の市場においてその地位を確立することを想定している。参加企業間の主な付加価値関係を図4に示す。

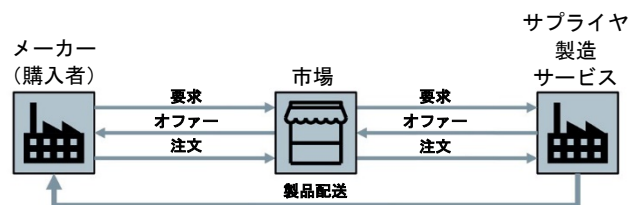


図4：市場運営者の確立

3Dプリントサービスを購入する者にとっての利点は、機械やノウハウの開発に投資することなく、市場で専門知識を購入できることである。3Dプリントサービスのプロバイダにとっての利点は、より大きな市場にアクセスできるようになることである。

この例は、要求の標準化の程度に応じて、ビジネスパートナー間のネゴシエーションを自動化できる限りにおいて、この標準化ロードマップに関連している。したがって、現在「製造に適合した設計」を介して密接に関連していることが多い、製品開発やプラントエンジニアリングなど、高度に絡み合った今の付加価値プロセスを切り離す可能性を持つ。

ユースケース 2：「製造特性の標準化された記述を使用しているユーザーサイトでの工作機械の統合」

2 番目のユースケースは、製造機械の特性を標準化することで、ユーザーがこれらの機械を容易に統合できることを示すものである。参加企業間の主な付加価値関係を図 5 に示す。

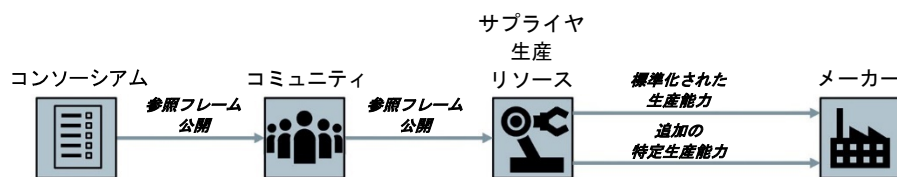


図 5：製造特性の標準化された記述を使用しているユーザーサイトでの工作機械の統合

OPC-Foundation [6]などのコンソーシアムが仕様の策定に当たっている。工作機械メーカーなどの産業部門は、その部門の OPC UA コンパニオン仕様を開発することによって、IEC 62541 シリーズの規格としても利用可能な OPC UA 規格を開発することに同意する。個々の工作機械メーカーはそれをサポートし、OPC UA コンパニオン仕様を実装しているものの、独自のセールスポイントも持つ工作機械を市場に出すことになる。工作機械のユーザーは、自社工場での工作機械の統合を簡易にできるという利点だけでなく、製造業者間の状態監視や予知保全、技術オープン生産の最適化、または既存の機械の改良簡素化といった利点も得ることになる。

このユースケースは、市場で既に確立されているメカニズムをさらに発展させて付加価値を生み出す方法の可能性を示すことができる限りにおいて、標準化ロードマップに関連する。

ユースケース 3：「支援システム」

デジタル化は、支援システムを使って、エネルギーや情報に関わる種類の仕事をサポートする包括的な技術的可能性をもたらす。一方、外骨格ロボットや人間＝ロボット相互作用などの支援システムは、エネルギーを必要とするサブタスクを実行するときに利用でき、また、経験に基づいて業務明細書を準備し表示するためのシステムといった情報支援システムも利用することができる。この点に関する代表的な技術はデータグラスである。ある特定の業務活動を支援する手段は、ニーズに基づいて確認することができ、2 種類の基本的な仕事を支援する装備から選択する。

参加企業間の主な付加価値関係を図 6 に示す。

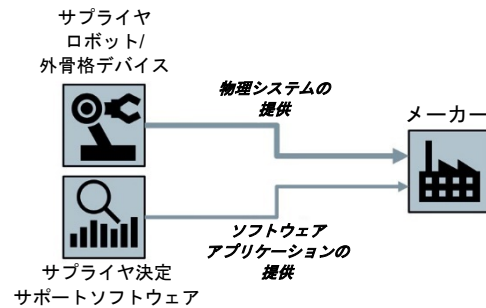


図 6：支援システム

このことは、2.7 節において、自動車生産における組立作業員による内装の最終組立の例によって詳細に説明している。このユースケースは、付加価値ネットワークで人間の仕事が重要な役割を担い続けること、社会技術的な側面がシステム設計とシステム運用で決定的な役割を果たすことを表している。

このユースケースは、たとえばデータグラスと外骨格ロボット、人間とロボットの協調、人工知能に基づく支援システムといった分野での、職業科学とシステム人間工学の観点からの標準化に対する具体的な必要性を示している。

1.5 技術的背景—2 章および 3 章の構成

バリュー・プロポジションを生成するため、参加企業は技術システムを使用する。しかし、サービスは別として、参加企業が提供する製品は技術システムでもある。

例として次のようなものがある。

- 工場やプラント、機械、自動車などの（メカトロニクス）システム、食品などの消費財、駆動装置などのコンポーネント、ねじおよびワッシャ
- プラント制御システムなどのハードウェアおよびソフトウェアシステム、製品およびプラント設計のためのエンジニアリングツール、データを体系的に収集するための情報プラットフォーム（新しい知見を得るためのデータ分析用ソフトウェアツールを含む）

これらの技術システムは通常、他の技術システムで構成されており、さまざまな方法で相互に作用する。こうした技術システムの多くは、さまざまなタイプの情報のキャリアであり、通信技術やクラウドプラットフォームなどの技術を用いており、対応する相互関係に従って技術システム間で情報をやり取りできる可能性が生まれる。その概略全般を示したのが図 7 であるが、これが万全な図であると主張するものではない。また、これらの技術システムとして考えられる具体例とそれらの相互関係を青いフォントで示してある。

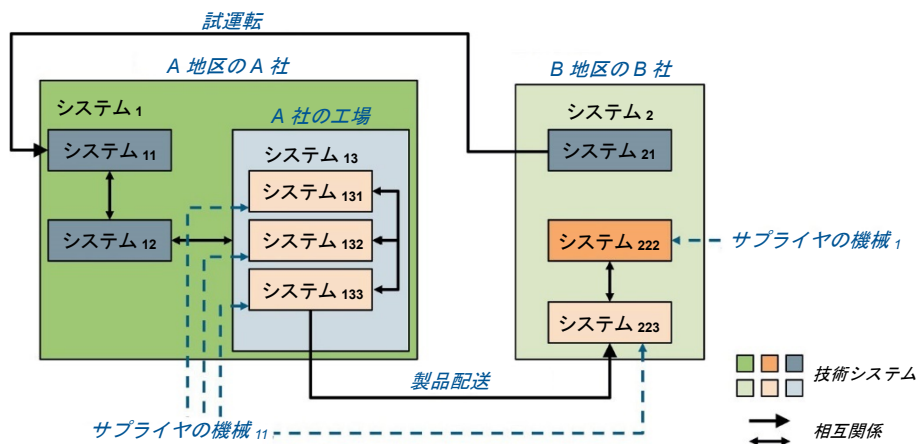


図7：技術システムとそれらの相互関係

要約すれば、システム間の相互運用性を確保しながら、異なるシステムを互いに独立した形で開発できる標準規格を開発する必要があるということになる（2.4節を参照）。さらに、標準規格によって、完成したシステムの個々のコンポーネントを、手間をかけずに交換することが可能になるため、ベースのインストールから目的の用途へと段階的に移行することができる。同時に標準規格は、持続可能性の基礎が全体的に確立されるよう、独自のシステムに対する主権の維持を保証しなければならない。

デジタルエコシステムの設計原理と国内標準化の観点から、参照アーキテクチャモデル Industrie 4.0 (RAMI 4.0) [7]の構造に基づき、3章で取り上げる標準化ロードマップの個別の側面は、次の考慮事項から生じてくる。考慮対象となる付加価値ネットワークは複雑であり、その特性および代表的な機能を理解する必要がある。このことを、ユースケースを使って説明することは有用であることが証明されている。これらのユースケースは異なる利益団体によってそれぞれ独立して策定されるため、ユースケースの記述に関する一般的な枠組みを設定することは目的に即している。この件は2.1節で取り上げる。

図7に従って使用および検討された技術システムは多様であり、一部は非常に複雑でもある。こうした技術システムは互いに独立して開発されるため、それを参照アーキテクチャとして構築する際の基となる一般的モデルに合致することは理にかなったことだ。システムビューに加え、アーキテクチャでも関連した埋め込みに対処しており、関連するプロセスだけでなく、これらのプロセスに関与するアクターについても考慮されている。この件は2.2節で取り上げる。

図7に示したさまざまなシステムについては、一般的な原則に従って分類し、2.3節で取り上げているこれらの多様なシステムの特有プロパティを標準化することが適切となる。

システムが相互に作用できるようにするには、個々のシステムを相互運用可能な設計にする必要がある。システム間で交換されるデータや情報は多様である一方で、製品記述のように非常に複雑な場合もある。したがって、情報の構造および意味の形式化の基となる原理に合致することが求められる。相互作用には通信システムが欠かせないが、それは通信の技術的実装から独立している必要がある。この件については、2.4節で詳述する。

図 7 に示すように、技術システムは通常、別の企業が提供する別の技術システムで構成されている。したがって、そうした統合の際に準拠したインターフェイスに合致していることが適切である。このことは具体的には、2.5 章で説明している IT の観点からの統合と、3 章で取り上げている産業の安全に特に当てはまる。

図 7 に示したシステムは、相互に作用するものでなければならない。必要な前提条件は、システム間でのデータおよび情報の転送である。これには、ネットワーク面や、産業用通信システム（例：PROFIBUS などのフィールドバス、PROFINET などの産業用イーサネット）のほか、ミドルウェア技術（例：OPC-UA）が含まれる（2.5 節を参照）。通信システムの標準化は既に非常に進んでいるため、この標準化ロードマップではこれ以上取り上げない。ミドルウェアの概念とソリューションは多数存在する。この分野では、市場で統合が引き起こされることが想定される。

図 2 に示されている付加価値プロセスでは、人間はエンジニアや作業員として計画立案と実行に関与している。Industrie 4.0 におけるヒューマンフレンドリな作業、プロセス、製品設計のための提言および標準規格の定義と開発については 2.7 節で取り上げる。既存の標準規格を確認し、レビューを行い、必要に応じて更新するほか、新しい作業分野を確認することになる。これには特に、新しい形態の作業組織や、Industrie 4.0 の作業システムの適応設計、ソフトウェア・ユーザビリティなどのトピックが含まれる。

図 8 は、相互運用性（2.4 節を参照）、統合（2.5 節を参照）および通信（2.6 節を参照）の間の関係を示している。

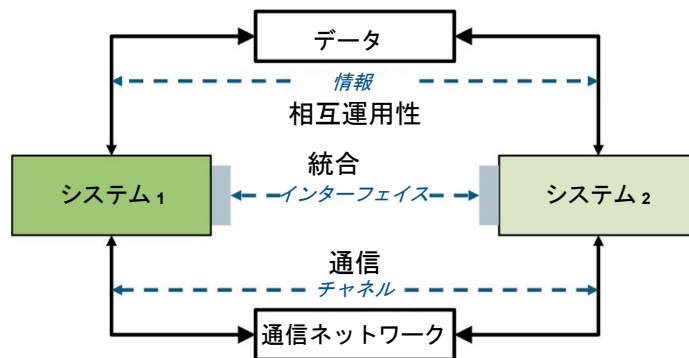


図 8：統合、通信、相互運用性間の関係性

付随する標準化活動と研究プロジェクトの枠組みの中で、中核的テーマである統合、通信、相互運用性における標準化のニーズなど、Industrie 4.0（3 章）にとって重要な分野横断的な問題は、相互にリンクされることになる。

標準化ロードマップ Industrie 4.0 の前バージョンと同様、参照アーキテクチャモデル RAMI 4.0 のすべてのレイヤーをカバーする、分野横断的トピックがより詳細に記述されている（図 9 を参照）。

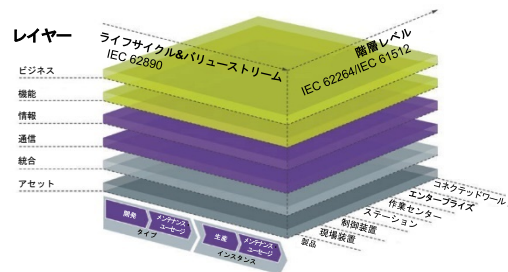
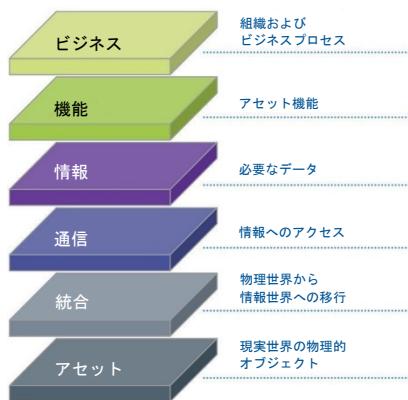


図 9 : RAMI 4.0 モデルのレイヤー

- ソフトウェア・アプリケーションを実装する場合、企業のオープンソース・ソフトウェアへの依存がますます強まることになる。これは、コストを節約し、イノベーションを推進し、知識移転を加速し、相互運用性を向上させるうえで最善の方法である。個々のソフトウェアプロバイダからの独立に加えて、タイムリーな更新とソフトウェアのカスタマイズを実行する機能が重要な役割を果たす。そのため、現在のオープンソース・プロジェクトについて、3.1節で詳しく説明する。
- 情報セキュリティの保護は、産業施設の信頼できる機能に不可欠である。制御装置や処理対象データへの攻撃は、人や環境に大きな損害を与え、インフラストラクチャを麻痺させ、企業のノウハウベースに損害を与える可能性がある。Industrie 4.0 との関連では、関係する企業間の相互作用が増加するにつれ、保護の必要性が大幅に増加することになる。本書の 3.2 節は、**産業セキュリティ**に関する行動のための、結果的に生じる追加の提言を取り上げている。
- 産業との関連では、システムが従業員の活動を記録するものであることから、これまで**プライバシー**とは主に従業員データの保護と考えられてきた。企業から消費者に向けての付加価値プロセスが、たとえば個別化された製品の生産における製造システムとリンクされていることから、Industrie 4.0 ではプライバシーの適用範囲が拡大される。そのためプライバシー機能を最初からプロセスに統合できるよう、標準規格は規制条項に適合したものでなければならない。3.3 節で、対応する行動を推奨する。
- 付加価値チェーン全体における、すべてのビジネスパートナーの**信用性 (trust-worthiness)** と貢献が結局は、最終結果の品質および信頼性を決定する。信用性は特に、信頼性、セキュリティ、機能安全、プライバシーなどの特性に影響を及ぼす。各参加者は提供されるコンポーネントの信用性に依存しており、自社による価値への貢献に関してコアバリューの提供を約束することができる。信用性は、標準規格と認証プロセスにより、一定の制限内で測定および検証することが可能である。現在の進展状況および行動提言を 3.4 節に示す。
- 4.1 節では、産業アプリケーションにおける AI の使用について初めて検討する。このことは、AI の用途や機能によっては、標準規格に記載されている要件の準拠に影響を与える可能性がある。たとえば、AI テクノロジーを使用して自動機能の動作適応を行う場合、自動化システムに対する AI の行動の影響を適合性評価で確認する必要がある。特に、機能安全要件のある産業アプリケーションがこれに当てはまる。したがって、特に AI の機能と影響力を考慮したうえで、規範的枠組みの条件が満たされていることを常に点検し、確認する必要がある。特にこの場合には、AI の影響範囲の客観的評価が必要となる。

2 中核的トピックの標準化の必要性

2.1 ユースケース

2.1.1 バージョン3以降の状況と進展

基本的な推進要因としてのユースケースが策定され、明確に理解されていれば、新しい標準化活動は非常に有用になるという点については国際的コンセンサスが高まっている。その点において、Industrie 4.0 との関連におけるユースケースの国際的に統一された理解は、標準化作業の中心的な出発点となる。ユースケースは、製造業が直面している困難な課題と、それに対応可能な技術的ソリューションとを結び付ける橋を築く手段である。ユースケースは、標準化のための新しい要件を導き出す可能性ももたらす。

「ユースケース」という用語の「現代的」解釈は、2011年に発行されたドキュメント「Concept Use Case 2.0」[5]に基づいている。インクリメンタル型システム開発の制御を可能にする要件を策定するための拡張性のある俊敏な手法を記述している。

多くの企業にとって、それは利害関係者とのコミュニケーションに最適なツールとなる。ユースケースは、システムがユーザーの目標達成にどのように貢献し、望ましい結果をどのように生み出すかを理解するのに有効である。ユースケースの付加価値は、確立された要件エンジニアリング技法を俊敏なアプローチへと統合することにある。したがって、ユースケースは俊敏性を求められるプロジェクトに対しても多くの利点をもたらす。

ユースケースの重要性は、Plattform Industrie 4.0でも非常に早い段階で認識され、評価されていた。たとえばドイツでは、ユースケースは実装例の形で収集され、作成され、オンラインマップ上に表示された[6]。その後、このアプローチは他の国でも採用され、実施された。

さらに、問題の記述とソリューション・アプローチの概念的分離が早い段階で認識され、これが「アプリケーション・シナリオ」の策定で考慮された。また、製造業界の多様性により、すべてのユースケースがすべてのユーザーに同じ関連性を持つわけではなく、問題の記述はさまざまな方法で実行できることも強調された。

その一方で、「ユースケース」という用語がきわめて異なるいくつかの方法で理解され、また使用されていることが次第に明らかになってきた。中でもこのことは、「ユースケース」に関する独立した章を持つ標準化ロードマップ Industrie 4.0 バージョン3へと結び付いた。この提言の核は、基本的に異なる3つのユースケースのカテゴリを区別するための提案である。

- 企業とそのビジネスモデルとの間の付加価値関係をビジネスの観点から記述するのが**ビジネスシナリオ**
- 技術システムがその適用との関連で記述されるのが**ユースケース**、即ち技術システムの外部アクターと技術システムおよび外部アクター間の相互作用を示したものである。
- 具体的な解決策が記述されているのが**実施例**

この提案は、Labs Network Industrie 4.0 の特定のユースケースなどのように国内において、また特に米国、中国、日本との協力という観点から国際的に、積極的に取り上げられ、実施されている。

2.1.2 最近の動向

ユースケースという手段の利用が最近勢いを増しており、標準化ロードマップ Industrie 4.0 バージョン3の準備に関連して2年前よりも広く議論されるようになってきている。そのことは、ユースケースが何を意味するのかについての詳細な理解が必ずしも確定されず、むしろこの主題は一段と複雑になったという事実に結び付く。

ユースケースを記述するとき、使用されるテンプレートについての議論はしばしば優先度が高くなるが、いったんテンプレートについての合意が形成されると、時に非常に「誠実」には満たされないことがある。一般に、具体的で高品質のユースケースの策定は複雑な作業である。この必要な複雑さを常に事前に認識しておくことが必要である。

一般的に、利用可能なリソースが理由で、焦点はむしろ「シンプル」または「軽い」方法で策定すべきユースケースの策定に焦点は当てられているように思える。これが理由となつて、Plattform Industrie 4.0 の「アプリケーション・シナリオ」の大規模な策定が行われなかったと考えられる。それというのも、一方では、既存のアプリケーション・シナリオの表現は既に非常に優れたものであり、したがって行動は緊急に必要なものではないからであり、またもう一方では、高品質のアプリケーション・シナリオの策定には非常にコストがかかることからである。IEC 62559-2に準拠したテンプレートでさえ、現在 Industrie 4.0 では広く受け入れられていないが、それはこの詳細度でユースケースに記入するには多大な労力を必要とするからであり、また、さらに悪いことには Industrie 4.0 のトピックの幅が広いことから、ユースケースの代表的なコレクションを取得するには、さまざまなユースケースの記述が多数必要になる。

特に、最近ではビジネスシナリオを記述した活動が増えている。幸いなことにビジネスシナリオは、特に Industrie 4.0 についての経営者との議論に参加するためのツールであることから、その方向でさらに勢いが増すことが期待できる。

こうした環境では現在、標準化のタスクはそれ自体の目標指向の進路を見出すことにある（提言 2.1-A1 を参照）。したがって、ユースケースを標準化との関連でコンパイルし、統合すべき理由についての合意が不可欠である。

過去においては、標準化活動は、ソリューションが実際に使用できることが証明された場合に限りて開始されることが多かった。それとは対照的に、特に IT 標準化環境においては、ソリューションはまだ市場に投入されていない段階で使われ始めることがしばしばある。したがって、将来の用途を標準化の観点から明確に把握することが重要である。市場の関連性と拘束力のある状況という2つの前提の下で標準規格を作成するために、そのようなユースケースは十分に正確で、かつ代表的なものでなければならない。

もちろん標準化は、ユースケースを収集し、さまざまな目的の下で記述する活動に誘発されることがある。しかし、必要な精度に関して、そうした入力を統合するのが標準化の本来の仕事である。このことは、標準化の観点からは絶対に必要である。

標準化のためのユースケースの統合セットの価値は次の通りである。

- *Industrie 4.0* ビジョンの統合：ユースケースは、製造業界における従来および将来の価値創造プロセスの基本原則を記述し、デジタル化によって可能になった新たな可能性を体系的に想定している。用語と概念の統合：ユースケースを用いて、基本的な用語および概念に同意し、それらを相互関係における適用との関連で説明することができる。
- 標準化の一般的必要性の正当化：ユースケースを通じて、標準化において埋めるべき根本的ギャップを特定できる。ただし、既存の標準規格と仕様を一貫して適用することで、ある程度は既に利用できている。
- 標準化のための要件の策定：ソリューションではなく、ユースケースを介して要件を特定する。そのことに関連して、標準規格および仕様のさらなる開発または新規開発のために開始された措置は、対応する要件に常にリンクさせることができる。

その結果、ユースケースは将来の標準化の設計における中心的要素となる。標準化の本来の目的を考慮して、図 10 に示すように、ユースケースの共通理解の概念を継続することを推奨する。

ユースケースは、システムアーキテクチャを使用した *Industrie 4.0* との関連における組織的なシステム開発に関する中心的要素でもある。ただし、この方法論は、スマートグリッドなど他の領域でより体系的かつ包括的に使用されている。それは、製造業の方がスマートグリッドよりも複雑であることが理由である可能性があるものの、将来は製造業の環境で生じるユースケースをさらに詳細に記述する必要があることも示唆している。

このことに関連した理解と分類を進めるため、関連作業を簡単に取り上げて行くことにする。早くも 2016 年に、Plattform *Industrie 4.0* と Industrial Internet Consortium (IIC) は、2 つの参照アーキテクチャの相補性に焦点を当てたホワイトペーパー[7]を作成していた。Industrial Internet Reference Architecture (IIRA) [8]のコンセプトは、業界間に共通する類似性と業界間の相互運用性に焦点を当てるものであり、一方で RAMI 4.0 は製造業界、つまり 1 つの業界のバリューチェーンに焦点を当てるものである（図 10 を参照）。



図 10：さまざまな観点からのユースケースの記述

RAMI 4.0 は基本的に、IIRA に基づく機能的な視点に焦点を当てているため、IIRA に基づいたビジネスおよび使用という視点は、製造業界の IIoT システムに関する実行・記述に対して必要かつ可能な追加の観点となる。

さらに、中心的な提言の 1 つが、ビジネスシナリオとユースケースおよび実施例を区別することである。特に標準化に関しては、Industrie 4.0 のための、ビジネス主導型でビジネス指向の用途を包括的に理解することが必要である。しかし、製造業の付加価値プロセスは複雑であるため、IIRA および IEC 62559-2 に従って以前に推奨されたテンプレートは強力すぎることから、IEC TC65 WG23 テンプレートの使用が、体系的なトップダウンアプローチとして提案されている（提言 2.1-1 を参照）。

このことに関連して、ユースケース 1「生産能力市場」とユースケース 2「機械の生産プロパティの標準化」を 2.2 節で詳しく取り上げる。

図 11 に示すように、使用の観点から、各種テンプレートの間には明確に定義された関係がある点に注意する必要がある。IIRA テンプレートは IEC TC65 WG23 テンプレートの改良版であり、IEC 62559-2 テンプレートは IIRA テンプレートの改良版である。

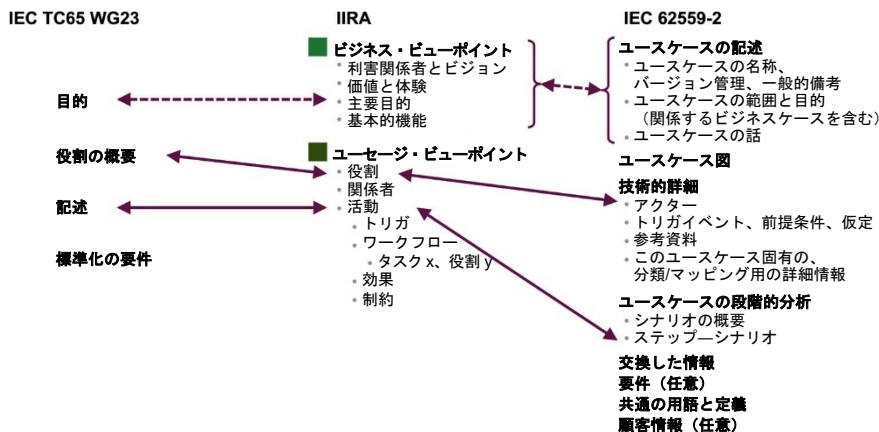


図 11 : テンプレート間の改良関係

この全体的な理解に基づくビジネスシナリオとユースケースの選択された参照例を以下に示す。

- **ビジネス・ビューポイント** : Platform Industrie 4.0 の適用シナリオ[9]、ならびに適用シナリオ「Value-based Service」（価値ベースサービス）[10]および「Seamless dynamic Plant Engineering」（シームレスな動的プラントエンジニアリング）[11]の詳細な説明は、ここで言及する価値がある。さらに、Platform Industrie 4.0 の作業グループ「デジタルビジネスモデル」の方法論に基づいたビジネスシナリオ[12]を取り上げておく。これは複数の作業グループ、特に中国との協力で使用されているものである（提言 2.1-A2 を参照）。

- **IIRA テンプレートに準じたユーセージ・ビューポイント**：最初に述べたように、ユーセージビューは IIC との交換では考慮されない。ユーセージビューのデザインは現在、二国間協力で深化および洗練が行われている。たとえば、「Usage view mass customization」と「Usage view equipment lifecycle management」[13]という共同文書は、ドイツと中国の下位作業グループである Industrie 4.0/インテリジェント・マニュファクチャリング[14]が改良と評価を行っている。SCI 4.0 と日本のロボット革命・産業 IoT イニシアティブ協議会による日独協力の一環として、「Usage view value-based service」[15]や「Usage view asset administration shell」[16]などの表現が作成された。この作業は、Labs Network Industrie 4.0 が策定中の「Usage view edge configuration」による補足を受ける（提言 2.1-2 を参照）。
- **IEC 62559-2 テンプレートに準じたユーセージ・ビューポイント**：ここでは、Plattform Industrie 4.0 による「Plug-and-Produce for Adaptable Factories」[17]と、ロボット革命・産業 IoT イニシアティブ協議会および Plattform Industrie 4.0 の「Functional View Value-based Service」[18]について取り上げる。
最後に、ユースケースの策定における社会技術的側面の体系的な検討、たとえば 2.2 節のユースケース 3「支援システム」の改良は、Industrie 4.0 の追加フォームに関する共同討議に至るための意図的なアプローチであることを強調しておく（提言 2.1-2、提言 2.1-A3 を参照）。

2.1.3 行動および適用に関する提言

2.1-1 Industrie 4.0 の一貫した代表的ユースケースのコレクションを取得するために、IEC TC65 WG23 のタスクフォース「Smart Manufacturing Use Cases」はドイツによる積極的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。

2.1-2 IIRA テンプレートなどの詳細な記述に基づいてユースケースを策定するさまざまな活動を継続して行く必要がある。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-PPP 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。

2.1-A1 「ユースケース」という用語に過度な負荷がかかることがないように、引き続き努力する必要がある。統一的な理解を規定することが目的ではないものの、それをさらに強化できるよう、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うことを推奨する。

2.1-A2 中国との協力で特に促進されているように、ビジネスシナリオの策定をさらに促進することを推奨する。少なくとも現時点では、ビジネスシナリオは IEC TC65 WG23 の対象範囲外にある。

2.1-A3 産業アプリケーションにおける社会技術的側面の重要性に関する議論はますます重要性を増している。こうした背景から、ユースケースおよびビジネスシナリオに関する Industrie 4.0 の議論をさらに深めることが重要である。

2.2 参照アーキテクチャモデル

2.2.1 バージョン 3 以降の状況と進展

参照アーキテクチャのモデリングは、重要でしばしば複雑な構造や機能の再現を体系化および簡素化する効果的なアプローチである。この主題分野における標準化の目的は、さまざまなメーカーの技術コンポーネントが準拠する標準化された枠組みを作成することである。これにより、産業環境での効率的なデータ交換が可能になるだけでなく、複数の異なるインフラストラクチャでデータを簡単に使用することが可能になる。

参照アーキテクチャモデルは、論理的枠組みと、必要なメカニズムおよびツールを提供し、新しい技術システムの開発や、既存のシステムの変更をライフサイクル全体を通してサポートする。

この枠組みは基本的に、デジタルエコシステムの多様な利害関係者の間における円滑な協力を支援するものとなる。ユースケース 1「製品市場」に適用される場合、参照アーキテクチャモデルでは、ハードウェアとソフトウェアのコンポーネント、ユーザーとサプライヤ業界、製品設計、3D 製品の製品リサイクルなど、あらゆる関係要因とその相互関係を考慮する必要がある。

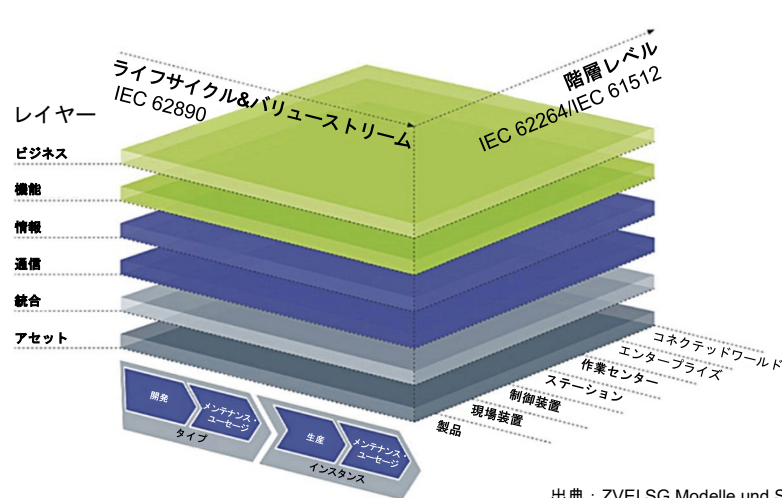
コンピュータ科学では、参照アーキテクチャは、アーキテクチャクラスの参照モデルとしての役割を持つ。アーキテクチャ（例：エンタープライズ IT アーキテクチャ、クラウドアーキテクチャ、IoT アーキテクチャなど）は、次の 2 つのレベルでシステムの構造を決定する：

(1) 特定のサブシステムへのシステムの構造化を含むオブジェクトレベルおよび (2) システム開発で順守される規則レベル。したがって、パターンを通じてなど、開発のメタレベルを規定する。これは、参照アーキテクチャが、特定のモデルパターン、即ちモデル化されるアーキテクチャの特定のクラス（例：「IoT」、「クラウド」、「IT」など）の理想的な典型モデルと見なされることを意味する。その特定のクラスの運用面と機能面の両方をカバーする。そのため、参照アーキテクチャモデルは、正確な意味においては「その」アーキテクチャ自体は指定せず、最小限の要件または側面を持つ枠組みのみを指定する。

以下本項では、過去および現在の標準化活動を詳しく取り上げ、この分野での適用および活動に関する主要な提言について説明する。近年、参照アーキテクチャモデル Industrie 4.0

(RAMI 4.0) など、Industrie 4.0 環境におけるさまざまな目的の参照アーキテクチャモデルの様子が発表されている（図 12 を参照）。

その間に RAMI 4.0 は、国際規格 IEC PAS 63088 として、国内および国際的標準化委員会や協力団体によって導入された。したがって、この世界で管理できるようにするために、物理世界のオブジェクトを情報世界で再現するモデルを開発する第一前提が満たされたことになる。このことに基づいて、他の国々で開発された国際的かつ適切な参照アーキテクチャモデルの間に、RAMI 4.0 および管理シェルとともに [IEC PAS 63088](#) を位置付けることが可能となった。その後、ISO および IEC の中で、多くの国内標準化活動（フランス、中国、日本、米国、韓国、スウェーデン）を一貫して設計し、参照アーキテクチャモデルに組み込むため、ISO/IEC 共同作業グループ 21 (ISO/IEC JWG 21) が設立された。



出典：ZVEI SG Modelle und Standards

図 12：RAMI 4.0

通告：RAMI 4.0 (IEC PAS 63088)

RAMI 4.0は、利害関係者ならびに産業部門における用途の分類に関する方向付けのための枠組みとして機能する。RAMI 4.0は、すべての要素とITコンポーネントをレイヤーやライフサイクルモデルに導入し、データ保護やITセキュリティを含め、複雑なプロセスを管理可能なパッケージに分割する。参照アーキテクチャはモデルパターン、つまりモデル化されるアーキテクチャクラスの理想的典型モデルと見なすことができる。Industrie 4.0は正確な意味においては、RAMI 4.0を伴う「その」アーキテクチャ自体は指定していないが、最小要件の枠組みだけは指定している。これには、情報世界にミラーリング（反映）するために物理的世界を記述する際のルールを用いた用語の定義と方法論が含まれる。

([The Reference Architecture Model RAMI 4.0 and the Industrie 4.0-component \[19\]](#)を参照)。

2.2.2 最近の動向

テクニカルレポート (TR) スマートマニュファクチャリング・メタモデル「スマートマニュファクチャリング参照モデル (SMRM) についてのメタモデリング分析アプローチ」の最近の動向では、2018年にこのロードマップのバージョン3で策定された行動提言は、IEC/TC 65/JWG 21によって既に実装されている。新たな参照アーキテクチャモデルのために現在策定中の追加の標準化では、IoT世界とのネットワーク化に焦点を当てている。そうした活動の一部を以下の概要で取り上げ、ネットワーク化の度合いを示すことで、どの程度複雑さが増しているかを明らかにする（付録Aを参照）。

活動の主な目的は、参照アーキテクチャモデルと関連する標準規格の特性の共通理解のために、参照アーキテクチャの現在の標準規格を統一する戦略を立てることである。

これらの活動は、ビッグデータ、フェデラル・クラウドコンピューティング、セキュアなデータ交換、システムアーキテクチャなどの重要なテーマをカバーしている。その結果、既存の参照アーキテクチャモデルに割り当てることができる新しい参照アーキテクチャが絶えず循環するようになる。同じように、新しい参照アーキテクチャモデルは、既存のモデルとの比較や調整が行われないことがしばしばある（提言 2.2-1、提言 2.2-2 を参照）。

結果として、「参照アーキテクチャ」や「参照アーキテクチャモデル」といった用語の本質的な違いについて、広く深い理解がまだ成立していないため、これらの用語の使い方や新しい標準規格の命名に混乱が生じている。今後、この分野は統一される（提言 2.2-3 を参照）。

新規および既存の参照アーキテクチャモデルの統一と互換性

当初より、RAMI 4.0 と IoT 世界を組み合わせることは、Plattform Industrie 4.0 の各作業グループにおける議論の中心であり、この複雑なトピックに関する新しいドキュメントが策定し続けられている。ここで、情報世界における I4.0 コンポーネントとしての表現および管理に関して、物理世界のオブジェクトが RAMI 4.0 に従って記述される Industrie 4.0 付加価値ネットワークを実現するための包括的な技術的原理について説明する。

参照アーキテクチャモデルのソリューションが異種混在であることは、この標準化ロードマップの旧バージョンで既に指摘されていた。特に Industrie 4.0 環境では、統一の必要性が以前よりあり、現在も存在する。国際レベルでは、このことは、ISO/IEC JTC1/AG8 や ISO/IEC JWG 21 および ISO/IEC JTC 1/SC41 などの作業グループや委員会が取り組んでいる。これらの活動の主な目的は、参照アーキテクチャモデルと関連する標準規格の特性の共通理解のために、参照アーキテクチャの現在の標準規格を統一する戦略を立てることである。

以下に活動の概要を示す。

→ ISO/IEC JTC1

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

作業グループ 08 はメタレベルでの統一の概念、特に JTC 1 関連のシステム統合コンテキストでの参照アーキテクチャとメタ参照アーキテクチャの現行の開発手順を調査している。作業グループ 08 はまた、メタ参照アーキテクチャの定義、概念、プロセス、モデルおよびテンプレートの開発に重点を置いているほか、関連する標準化組織との協力や、開発中のメタ参照アーキテクチャを使用したシステム統合を成功させるための JTC 1 の提言の策定にも取り組んでいる。作業の重複を避けるために、これらの活動は、ISO/IEC JWG 21 が並行して行っている活動との調整を必要とする（下記を参照）（提言 2.2-1 を参照）。

→ ISO/IEC 共同作業グループ 21

スマートマニュファクチャリング・メタモデル

「スマートマニュファクチャリング参照モデル (SMRM) についてのメタモデリング分析アプローチ」では、スマートマニュファクチャリング参照モデルの分析と記述のためのメタモデリングアプローチを取り上げている。これは、産業用 IoT の観点から明確な分離をもたらす一般的な Industrie 4.0 環境におけるスマートマニュファクチャリングの特定分野を意味する。現在、レポートは関連する 17 件の参照アーキテクチャモデルを特定している。これらの分析に基づいて、「スマートマニュファクチャリング」の分野からのさらなる知見が得られ、SMRM に移転される。そのため、SMRM は概念と重要関係の「メタ言語」として特徴付けることができ、スマートマニュファクチャリング・ユーザーに抽象

概念に関する自由を提供する（提言 2.2-2、提言 2.2-3 を参照）。

→ [ISO/IEC JTC 1 SC41 産業用モノのインターネット IIoT](#)

IoT のための参照アーキテクチャ

産業用 IoT の中心的な役割は、生産データを収集し、それをネットワーク経由で配信するセンサー、アクチュエータ、技術システムが担っており、そのデータはクラウドコンピューティング・レベルのアルゴリズムを使用してさらに処理することができる。

最も重要な IoT 標準規格の一つが、[ISO/IEC JTC 1 SC41](#) が発行した ISO/IEC 30141 IoT のための参照アーキテクチャである。この標準規格は、語彙（[ISO/IEC 20924](#)）に基づいて標準化された IoT 参照アーキテクチャと、産業のベストプラクティスアプリケーションを使用した一般的な設計を規定している。この標準規格は、コンテキスト固有の IoT アーキテクチャの開発の基盤として機能するため、産業用センサー、機械、プラント、その他の技術システムの基盤にもなる。概念の一般的な設計は、特定の技術要件や国内用途など、他の業界固有の領域に拡張することができる。

→ [ISO/IEC JTC 1 AG 20 産業用 IoT](#)

参照アーキテクチャモデルの標準マッピング

ISO/IEC JTC 1 SC 41 WG 20 産業用 IoT では現在、国際レベルでの統一活動をサポートするため、標準マッピングを目的としたさまざまな活動が行われている。そのため、関連する IoT 標準規格は、対応する RAMI 4.0 レイヤーと、Industrie 4.0 に関連する他の分野に分割される。マッピングは、現在の標準規格の全体像を提示し、産業用 IoT の領域における標準化のギャップを明らかにすることを目的としている。そのような活動には、多数の組織間におけるきわめて良好な協力が必要であり、産業慣行や研究といった他の活動によるサポートが必要となる（提言 2.2-A1 を参照）。

2.2.3 行動および適用に関する提言

2.2-1 要件管理における RAMI 4.0 の使用

連続的に構造化された要件管理のために、他の一般的な方法と比較し、RAMI 4.0 の使用を調べ、記述することを推奨する。

2.2-2 「参照アーキテクチャ」と「参照アーキテクチャモデル」という用語の区別と標準化

「参照アーキテクチャ」と「参照アーキテクチャモデル」という用語の区別に関して、SDO やコンソーシアムならびに対応する標準化活動（用語集への組み込みなど）の間で深く理解される必要があると考えられる。参照アーキテクチャの生成されたモデルパターンは、モデル化するアーキテクチャのクラスに従って区別することができる。即ち、参照アーキテクチャと参照アーキテクチャモデルの間には、運用上および機能上の違いが存在する。このことに関する統一的な理解は、標準化において形成され、標準規格で規定しなければならない。

2.2-3 新規および既存の参照アーキテクチャモデルの統一と互換性

現在、Industrie 4.0 環境の参照アーキテクチャモデル向けソリューションが異種混在状態にあるため、統一が必要になっている。（既存および新規の）参照アーキテクチャモデルの機能面と運用面について、即ち既存モデルで既にカバーされているかどうかについて、批評的レビューを行うことを推奨する。ただし、機能面と運用面が対応していない場合、さらなる統一活動を行ってはならない。そこで、ISO/IEC JTC1 WG08 と ISO/IEC JWG 21 の活動の調整が実施されることになる。

2.2-A1 Industrie 4.0 関連の研究プログラムにおける標準化

迅速な実施を可能にし、考え得る標準化のギャップを特定するために、国内研究プロジェクトおよび国際研究プロジェクトにおいて、現行の標準規格を積極的に適用することを推奨する。

2.3 システムとそのプロパティ

2.3.1 バージョン 3 以降の進展と最近の動向

Industrie 4.0 コンポーネントと管理シェル概念

情報世界を利用できるようにするために、オブジェクトはそのプロパティを利用して記述され、その記述は情報世界全体でそれぞれのオブジェクトに割り当てられ、他のオブジェクトとの関係で配置される。デジタルファクトリー概念（IEC TS 62832-1）に従い、組織の実際の価値または認識された価値を持ち、それゆえに管理される物理的または論理的オブジェクトはアセットと呼ばれる。

アセットのプロパティは、RAMI 4.0に従って「アセット管理シェル」で構造化される（2.2節を参照）。アセットとその管理シェルは、互いに一意的に関係づけられている。アセットとその管理シェルが一体となって、「Industrie 4.0 コンポーネント」（略称「I 4.0 コンポーネント」）を構成する（図 13 を参照）。管理シェルは、アセットまたはデータベースに保存することができる。

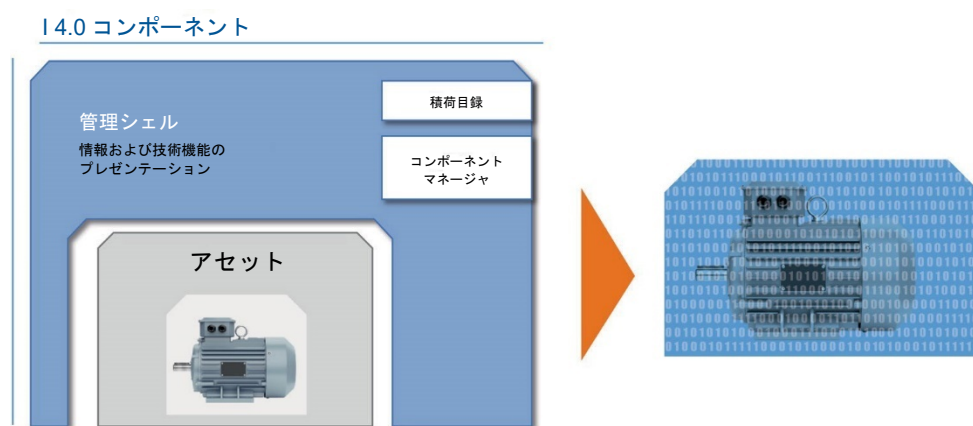


図 13 : アセットと管理シェルによる Industrie 4.0 コンポーネント

アセットは、デバイスやラインなどの物理的オブジェクトの場合も、ソフトウェアや概念、特許、アイデア、手法、プロセスなどの無形物の場合もあり得る。また、単純アセット（例：パイプ）、またはモジュール式アセット（例：機械、プラント、工場）の場合もあり得る。たとえば、2.1.1 項で取り上げているユースケース 2 の工作機械の（自己）記述は、この機械の管理シェルで再現することが必要である。

「管理シェル」という用語は、情報世界がアセット（例：I4.0 コンポーネントの一部）をシェル（殻）のように囲い込むという考えに基づいている[4]。（図 14 を参照）。

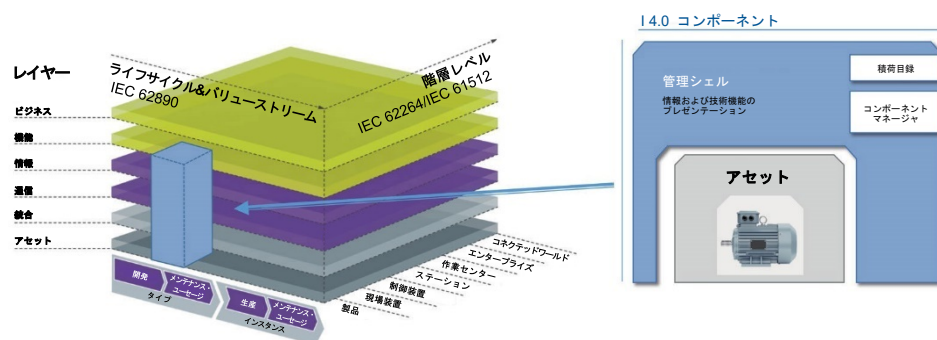


図 14：I4.0 コンポーネントおよび対応する RAMI レイヤー全体での分類

「はじめに」で記したように、たとえば、このような I4.0 コンポーネントには工作機械がある。システムが関連情報を標準化し、対応する RAMI 4.0 レイヤーを介して利用可能にすることができるよう、情報は、セマンティクスが定義されているプロパティを使って保存される。

管理シェルのオリジナルの概念構造は、調査結果に関する論文「[Structure of the Administration Shell](#)」[79]で、作業グループ「参照アーキテクチャ、標準規格および標準化」が ZVEI と共同で発表した。この論文は最終的な IT 仕様や実装要件を含んでいないが、通常は管理シェルに保存されるプロパティやデータ、機能を明確にするために当初使用された。

ドキュメント「[Details of the Asset Administration Shell](#)」(Part 1, Version 1.0) [86]は、管理シェルにおける情報の準備と構造化について説明している。このドキュメントの目的は、アセットおよび I4.0 コンポーネントに関する情報をバリューネットワークの I4.0 コンポーネント間で交換できるように管理シェルの構造を指定することである。このドキュメントでは、構造、つまり管理シェルのシリアル化と交換形式を定義している。「AAS の詳細」を含む「VWSID」のパート 1 は、UML ダイアグラムを使用したデータモデルの正確な定義と、XML および JSON でのシリアル化、さらには 1 つのコンテナにある 2 つの技術インフラストラクチャ間における管理シェルのシンプルでセキュアなトランスポートの定義に焦点を当てている（図 15 を参照）。

2018 年に公開された、最初のバージョンの拡張バージョン 2.0 [28]は、企業が管理シェルで情報を準備し、構造化する方法を記述している。この更新バージョンは、RDF 実装や、AML および OPC UA マッピングなど、AutomationML e. V. や OPC Foundation とともに開発したさまざまな興味深いトピックに関する情報を含んでいる。

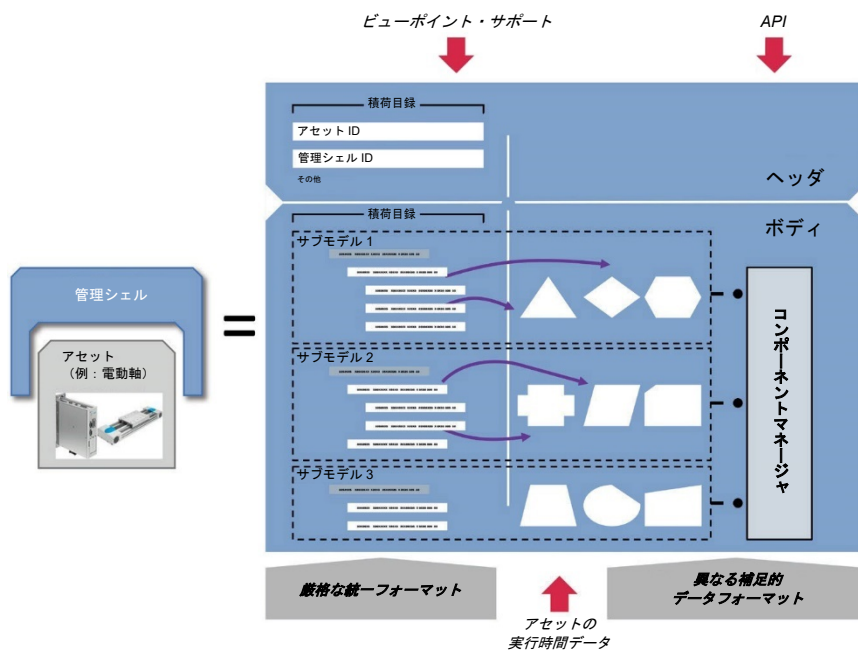


図 15: 管理シェルと考える得るサブモデルの構造

管理シェルのコンテンツおよび重要部分はサブモデルである。サブモデルにはさまざまなクラスがあり、そのことについては以下で詳しく説明する。管理シェルがどのサブモデルをサポートするかは、主にアセットのタイプ、ライフサイクルおよびアプリケーション・シナリオによって決まる。サブモデルは管理シェルに対して一意的に割り当てられ、一意の ID が与えられるため、具体的なアセットを一意的に参照する。

サブモデルの一般的要件

サブモデルは基本的に、プロパティと、機能、手法、サービス、ドキュメントおよびサブモデル自体の一部ではないその他の複雑なコンテンツへの参照で構成されている。可能であれば、サブモデルは、アセット像の完全なビューと特定の利点を備えているか、またはシナリオを提供するものである必要がある。その一例がエネルギー管理であり、エネルギー管理サブモデルのインターフェイスを介してすべての関連プロパティを提供することができる。

管理シェルのコンテンツ以外に、通信および統合のメカニズムが決定的な役割を担っている。14.0 コンポーネントの相互運用性は、管理シェルのコンテンツに大きく依存している。そのため管理シェルの主なタスクは、ライフサイクル全体を通じて標準化された方法によって、(製品や生産システム全体を含む)すべての関連アセットのデータと機能を登録し、使用できるようにすることである。IEC/TC 65 では、これらの概念を国際標準規格で記述するため、プロジェクト IEC 63278-1 ED1「産業アプリケーションのためのアセット管理シェルパート 1: 管理シェル構造」が、新しく設立された IEC/TC 65/WG 24 において開始された。これにより、管理シェルの概念を国際標準規格、または一連の標準規格へと発展させるための道が開かれる。標準化の提案では、「Trilateral Perspectives: Structure of the Administration Shell」(三国間展望: 管理シェルの構造) および「Usage view of Asset Administration Shell」(アセット管理シェルの使用状況ビュー) というドキュメントが取り上げられた。Platform Industrie 4.0 と SCI 4.0 はこの 2 つのドキュメントを、国際的なパートナー(フランス、イタリア、中国、日本)と共同で策定した。管理シェルの概念を国際化

するには、IEC 63278 シリーズの他の部分および他の標準規格が必要である。それには、I 4.0 言語などのインフラストラクチャ・メカニズムの記述と、特定のクラスのアセットのサブモデルの記述が含まれる（提言 2.3-8 を参照）。

現在の国内活動および国際活動は、管理シェルをさらに詳細に記述することを目的としている。その一方、Plattform Industrie 4.0 作業グループは、具体的側面と実用的な支援を含むいくつかの仕様を公開している。

「Administration Shell in Practice」[29]という発行物は、管理シェルの内容の重要な側面をまとめており、Industrie 4.0 において企業が、標準化された方法でデータを使用および管理する方法と、その実現方法を示している。重要な目的は、サブモデル、典型サブモデルおよび管理シェル間の相互作用を指定する方法に関するガイダンスをユーザーに提供することである。

管理シェルの概念は、アセットとの、またアセット間でのスムーズなデータ交換のために一貫して使用し、また標準化する必要がある（提言 2.3-1 を参照）。今後の展開としては、エージェントベースのシステムについても、Industrie 4.0 コンポーネントに移行することになるだろう。個々の仕様および記述については、2.5.1 項で取り上げる。

デジタルファクトリー

国際標準規格 IEC 62832 「デジタルファクトリー」は、管理シェル（上記を参照）でのアセット記述用のテンプレートとなる。IEC 62832 は 3 つの部分に分かれており、アセットタイプや具体的アセットを記述するために、辞書エントリ（例：クラス、プロパティ）を使用する枠組みを定義している。したがって、従来のエンジニアリングとスマートマニュファクチャリングの両方で、プロパティを使用するための国際的に拘束力のある基盤となっている。

これらの記述には、アセットの機能要件、アセットのプロパティ、可変データ、特定のアセットへの機能要件の割り当て、構造的構成、ならびにアセット間のその他の関係を含めることができる。この標準規格は、アセットのライフサイクルのすべてのフェーズ、即ち、設計、構築、試運転、運用、メンテナンス、解体を考慮している。

特定のアセット（「PS アセット」、実オブジェクトまたは論理オブジェクト）は、アセット記述（「DF アセット」、仮想表現）によって記述されている（図 16 を参照）。アセットのタイプはアセットクラスによってモデル化されるため、同じプロパティセット（例：製品タイプ）を共有する 1 つまたは複数のアセットを表す。記述されたアセットがモジュール構造を持つ場合、それに対応するアセット記述（またはアセットクラス）もモジュール構造を記述することができる。特定のアセット間の関係は、アセットリンクによって表される。データ要素は、アセットの静的プロパティまたは可変データを記述するのに使用することができる。この構造を通じて、デジタルファクトリーに関する一連の標準規格は、Industrie 4.0 システムの重要原則を定めるものとなっている。管理シェルの記述との一貫性は、一貫した記述の重要な前提条件である（提言 2.3-3 を参照）。

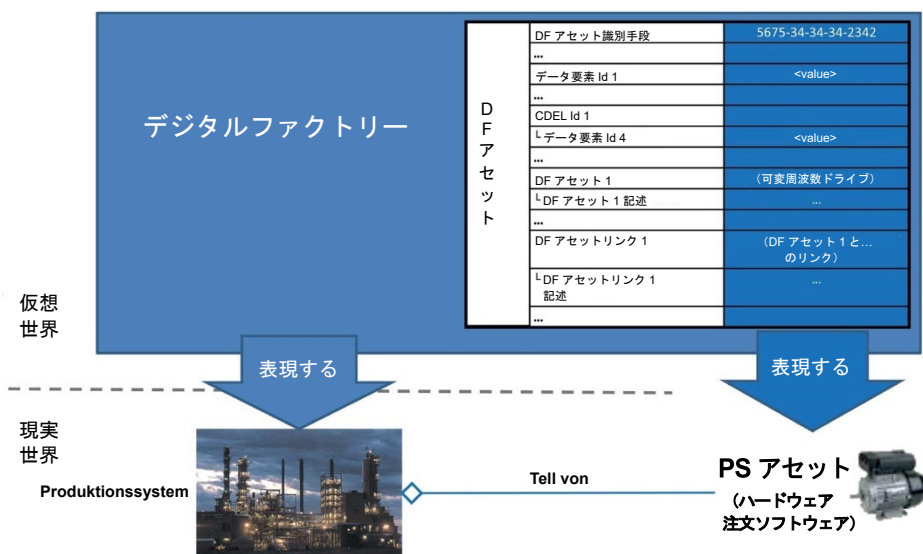


図 16 : デジタルファクトリーと DF アセットは製品システムおよび PS アセットを記述する

IEC 62832 は、そのような記述をサポートするデータ型を定義する。具体的なデータの意味（例：製品記述、モジュール記述、インターフェイス記述、機能記述）は、基本的な辞書エントリから派生したものである。これらの辞書エントリは、IEC 61360 や ISO 22745 においてのように、(eCl@ss e. V.の一般的データ辞書 CDD または CDP などの) 辞書で定義することができる。

特性とセマンティックプロパティ

特性の範囲と詳細レベルによって、アセットがどの程度正確に記述されるかが決まる。「プロパティ」という用語は、標準化された説明を持つ特性に対して確立されている。管理シェルの仕様により、情報モデリングにプロパティを使用することに一貫して焦点を当てている仕様が存在する。Industrie 4.0 の実装の基礎としての製品、生産手段、コンポーネントおよび個々の部品の記述については、標準化されたプロパティを標準化された伝送フォーマットと組み合わせて伝送できるように生産単位を有効化しなければならない。これにより、受信システムはデータを正しく理解し、それを発注書や製造指図書、メンテナンスノートなどの後続プロセスで使用することができる。この概念は、「意味上の相互運用性」とも呼ばれている。

プロパティを詳細に検討すると、データ型やデフォルト値などの特性も備えていることが分かる。アセットのプロパティとそのプロパティの特性を区別するために、後者を属性と呼ぶ（2.6.1 項を参照）。プロパティとその属性は、統合と相互運用性の基礎を形成するものである。個々のプロパティにはそれぞれ名前が付けられ、その属性はデータとしてコンパイルされる。プロパティは、対応するシステムモデルのさまざまな技術段階で使用される。この標準化ロードマップでは、モデリングおよびプロパティの使用について、特に統合というテーマに関し、後続の章で詳細に取り上げている（2.5 節を参照）。プロパティは、現在既に購入プロセスにおいてその利用が十分確立されており、エンジニアリング分野においても最初の適用領域を特定することができる。

将来、プロパティはライフサイクル全体で使用されるようになる。その結果、eCI@ss と IEC CDD の標準化された特性とプロパティによって記述されるデバイスクラスとコンポーネントクラスが拡張される。OPC UA Companion Standards にプロパティを提供するドライブやポンプのようなデバイスクラスもある（提言 2.3-4 を参照）。

ライフサイクルの運用フェーズでプロパティを使用すると、個々のアセット（例：シリアル番号など）にとって追加のプロパティが重要であり、計画文書に含める必要があることが明らかになる（提言 2.3-5 を参照）。機械やシステムとの相互作用に依存してアセット内で動的に変化する特性も必要である（提言 2.3-6、提言 2.4-1 を参照）。

これは、タイムスタンプや価値の妥当性ステートメントなど、さらに特有のプロパティが重要であることを意味する。DIN SPEC 92000（プロパティ・バリューステートメント）は、そのための有望なパスを示している（提言 2.3-7 を参照）。

IEC 62832 は、機能要件の記述をサポートしている。既にプロセス機器の分野では一般的に使用されているが（IEC 61987 の OLOP）、他分野では無視されている（提言 2.3-9 を参照）。この標準化ロードマップでは、3.4 節などでプロパティについて詳しく取り上げている。

l 4.0 システムにおけるプロパティの特別なポジションは、プロパティの使用と方法論をさらに発展させるための数多くのプロジェクトや活動からも明らかであり、そこから将来の要件と傾向が導き出されることになる。ドイツ連邦経済エネルギー省（BMW）が資金提供したプロジェクト「Semantic Alliance for l 4.0 - SemAnz40」では、Industrie 4.0 のユースケースで情報交換を行うための適切なセマンティックベースを形成するための機能の使用方法が示されている[30]。その他の活動には、たとえば作業グループ NA 060-30-04-05「製品特性およびライブラリ」のVDMA ガイドライン「Interoperability through standardized features」[24]や、NAMUR オープンアーキテクチャに関する活動、Drive 4.0 に関する ZVEI 活動などがある。

データに関しては、Industrie 4.0 システムにおいて、転送、処理、結合、集約、評価、解釈が行われる。このようなシステムでは、システムで利用可能なデータとそこから得られる情報とに基づいて、決定が自動的に行われ、活動が制御される。その結果、保存および入力されたデータの品質と信用性が最も重要になる（3.4 節を参照）。

Industrie 4.0 システムにおける適切で専門的なデータ解釈とさらなる使用に関しては、各データポイントに関する重要コンテキスト情報が不可欠になる（提言 2.3-10 を参照）。目的は、上述した基準や他の基準および情報要件に基づいて、標準化された構造、目次、入力マスクを定義することである。データが持つ多様性から、すべての「情報フィールド」に入力可能であったり、または入力する必要があったりするわけではないが、最低限の基準を設定することが必要である。「データに対する正当な利益」により、データの詳細またはコンテキスト情報へのアクセス権が規制される。

製品の幾何特性仕様

Industrie 4.0 コンセプトの実装には、製品の要件を正確、完全かつ明確に定義してラベル表示することが必要である。このような背景から、「製品の仕様と検証」（GPS）のための ISO システムが開発された。これを、全地球測位システム（GPS）と混同しないよう注意する必要がある。原理は ISO 14638 に記述されている。ISO システムは、図面/モデル内の GPS シンボルを可能な限り参照する製品の製造標準規格を記述するために開発されたもので

ある。

デジタルネームプレート

物理的オブジェクトとそのデジタル画像をリンクするには、堅牢で明確な識別が必要不可欠である。FNC1 や RS、GS、EOT などの「印刷不可能な ASCII 文字」に基づくデータ要素や制御文字で構成される従来の機械可読マークは複雑すぎ、一意性が部分的であり、インターネットと直接リンクができない。DIN SPEC 91406 は、簡潔な認識可能 QR コードで一意的 URL を使用することにより、この問題を解決するアプローチについて記述している。とはいえ、この徹底した簡潔化は標準規格の本体にとって革命的なものであり、DIN SPEC 91406 の国際化に加えて、ほぼすべての機械可読マークの適用規格に適合することも必要である。

防爆に関する特別要件により、専門委員会 DKE/K 241 は電子型プレートの標準化を推進し、暫定標準規格 DIN VDE V 0170-100 を草案として公表した。策定された概念は例外なく適用することが可能であり、したがって、事実上すべての産業部門に移転したり、拡張したりすることができる（提言 2.3-11、提言 2.3-12 を参照）。

システムライフサイクル、ライフサイクルレコード

生産だけでなく、製品や技術機器、生産システム全体の全ライフサイクルにおいて、使用に転じることが可能な多くのデータが蓄積される。理想的に実現された場合、テクニカルプラントとすべての Industrie 4.0 コンポーネントのライフサイクルデータのすべてが同じ形式で管理シェルにより収集され、ライフサイクル全体を通して（特定のアクセス権で）利用できるようになる。内容は、タイプとインスタンスのライフサイクルデータに分化される。

ライフサイクルレコードの策定と定義は、とりわけ次のような現行の課題に対応するものである。

- 継続的エンジニアリング[25],
- 使用
- メンテナンス、修理、改造、変更
- 適切廃棄

[DIN 77005-1 「Life cycle record for technical objects」](#)（技術オブジェクトのライフサイクルレコード）では、プラントとその部品に関する情報を構造化された方法で管理する方法を指定している。この目的には、階層的に構造化されたさまざまなタイプのライフサイクルレコードを利用することができる。メタデータは、ユーザーが責任を割り当て、情報を検索し、情報間の関係を定義するのに有効である。適用方法により、ライフサイクルレコードが均一に管理され、常に最新かつ完全に保たれる。DIN 77005-1 に準拠したライフサイクルレコードは説明を要しないほど分かりやすく、ライフサイクルのすべてのフェーズに関与するすべての関係者が理解できる。これらは、すべての Industrie 4.0 コンポーネントのライフサイクルレコードの基礎として機能するものである。

[DIN 77005](#) シリーズのパート 1 は、意図的に技術的にニュートラルな状態になっている。ライフサイクルレコードの基本原則も、ICT を広く使用することなく実現可能であり、また有用である。ただし、記述されている構造および方法の付加価値は、主として最新の ICT を使用することで利用できるものとなる。

以下では、デジタルライフサイクルレコードは、[DIN 77005-1](#) の要件の実装に対する包括的な情報技術サポートであると認識されている。プラントやその部分に関するすべての情報を

時間的に要約して構造化した、学際的な情報スペースを実装する。この情報スペースの構造はモデルに基づいたものである。ライフサイクルレコードモデルは、一連の標準化モデルに基づいている。

統合する重要モデルには、[IEC 82045-2](#)、[IEC/TS 62771](#)、[W3C SOSA](#) および [IEC 62507](#) で記述されているモデルがある。ライフサイクルレコードモデルは、タイプとインスタンスの分離およびライフサイクル管理のために IEC 62890 に導入されたさまざまなライフサイクルモデルも常に反映していなければならない。オブジェクトの構造は、IEC 81346 に基づくさまざまな側面を含め、時間軸に沿って理解できる方法で再現しなければならない。すべての情報を、オブジェクトやそのパーツにリンクしなければならない。

I 4.0 コンポーネントのためのライフサイクルレコードと管理シェルは、基本的に目的が同じであり、規範的基本を幅広く共有している。したがって、ライフサイクルレコードは、Industrie 4.0 の標準化作業に管理シェルのサブモデルとして組み入れるのに適している。ライフサイクルレコードのモデルは、VDI 2770 で既に公開されている管理シェルモデルをはるかに超えている。ライフサイクルレコードの観点での、運転状況と設置状況の統合に関する問題は、これから議論されることになる。

情報の統合と集計以外に、デジタルライフサイクルレコードは、このデータの長期的な可用性を保証する。データ統合は、情報を長期間保存するための要件を満たすのに十分なロバストネスを備えてなければならない。

ライフサイクルレコードの作業では、個人情報と意思決定ニーズに焦点を絞る。その意味で、ライフサイクルレコードとそれに含まれる情報のビューは特に重要である。ビューは、人が自らの役割に関連して情報を評価するのを助け、背景知識をリンクすることで必要な対策を導入するのをサポートする。このような拡張アプローチは、I 4.0 コンポーネントとその管理シェルに移転する必要がある（提言 2.3-13 を参照）。因って、デジタルライフサイクルレコードは、アクターが情報や（自動的に行われた）決定をサマリー形式で評価し、必要に応じて修正するのを支援する。ライフサイクルレコードの構造により、継続的なトレーサビリティが保証される。

健全性

技術システムの重要特性の一つは、そのメンテナンスがどれだけ適切に有効化され、サポートされているかである。それを「健全性」と呼ぶ。故障診断や予防保守の可能性、コンポーネントの相互互換性、モジュール性など、結果として生じる要件は、技術システムの計画および設計段階から考慮に入れなければならない。

健全性の基本的な側面については、[DIN EN 60300-3-10:2015-01](#) で取り上げられている。特に、システムの垂直統合と水平連携により、Industrie 4.0 には、これらの側面の補足を求める新しいソリューションがもたらされる。Industrie 4.0 プラントのメンテナンスプロセスに関与するすべての関係者の共通理解は、メンテナンスに関するさらなる基本的標準規格によって促進される。欧州委員会 CEN/TC 319 「メンテナンス」では、現在、作業グループなどが「メンテナンス管理」と「保全技術」の標準規格に取り組んでいる。これらの標準規格は、Industrie 4.0 設備のメンテナンスプロセスにおける基本的なタスク、役割の定義および方法を具体化かつ標準化することを目的としている（提言 2.3-14 を参照）。

Industrie 4.0 システムの保守性のもう 1 つの側面は、それぞれのサブシステムが持つさまざま

まなライフサイクルの考慮である。サブシステムの陳腐化が統合されたシステム全体の陳腐化を引き起こすことがあってはならず、そうでなければシステム全体の健全性はもはや維持不能となる。したがって、I.4.0 システムの標準規格も、この点を念頭に置いて作成することが必要である（提言 2.3-19 を参照）。

DIN EN 62402-09 は、オブジェクトの陳腐化管理に関する要件を定め、製品のライフサイクル中に入手できなくなる可能性があるあらゆる種類のオブジェクトに対応する。したがって、Industrie 4.0 設備や製品を考案し、開発する場合は、早い段階で陳腐化管理を考慮する必要がある（提言 2.3-17 を参照）。

I.4.0 システムのメンテナンスは基本的に、メンテナンスのためのさまざまなサービスプロバイダ（製造業者、オペレータ、産業サービス）間の高度な相互作用によって特徴付けられる（図 17 を参照）。

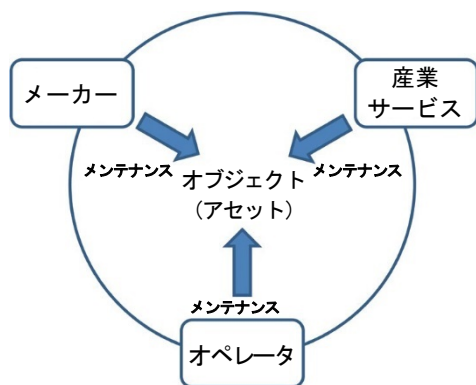


図 17: メンテナンスのためのさまざまなサービスプロバイダ（製造業者、オペレータ、産業サービス）間の相互作用

この相互作用の基礎は、それぞれのコンポーネントとアクターの共通「言語」である。そのような共通「言語」はとりわけ、用語の統一された理解とメンテナンスのための調整されたプロセスに基づいている。メンテナンスに関するプラント固有ではない基本的標準規格は、メンテナンス固有の側面を管理する専門家独自またはセクター独自の標準規格の基盤となる。DIN EN 13306: 2018-02 は、関係するオブジェクトのタイプやメンテナンスアクターに関わりなく、あらゆるタイプのメンテナンスおよびメンテナンス管理の基本用語の統一定義を定める（提言 2.3-15 を参照）。

相互関係のある包括的メンテナンス組織の基本的プロセスは、DIN EN 17007 で詳細に記述されており、メンテナンスに関わるすべての関係者間における、プロセスの統一理解を保証する（提言 2.3-16 を参照）。

アセット管理内におけるメンテナンスに関する DIN EN 16646 は、役割の理解を指摘しており、したがって I.4.0 プラントのライフサイクルにおけるメンテナンスの重要な位置も示している。

今後、リアクティブで定期的な予防保全戦略から予知保全戦略への切替がますます進むことになる。将来、インテリジェントでネットワーク化された I.4.0 システムは、潜在的な障害の

ほとんどを発生以前に検出するようになる。その基礎となるのが状態監視技術である。この技術では、プラントからのデータは、適切なセンサー技術を使用して可能な限り包括的に記録され、評価される。状態監視の規範的基礎は、データの処理、交換、表示の間の、機械の状態監視および診断を対象とする ISO 13374 である。さらに ISO 13381 は、機械の状態監視と診断に基づいた故障予測の原則を記述している。

現在の標準化に関するもう一つの焦点は、システムのライフサイクル全体に関わるメンテナンス関連のデータや情報を入手可能とし、企業間で使用できるようにするための、データおよび情報のドキュメンテーションと交換である（「システムライフサイクル」の項を参照）。

技術的通信のための業界団体である tekomp によって開発された iiRDS (intelligent information Request and Delivery Standard) は、業界や製造業者に依存しないインテリジェントなメンテナンス関連情報の提供を可能にする。メーカーは顧客に必要な使用情報を標準化された方法で提供でき、顧客はさまざまなメーカーの情報を標準化された方法でシステムに統合することができる。このようなことを実現するのが、コンテンツを意味論的にアクセス可能にする際の基礎となる標準化メタデータである。

2018 年に設立された iiRDS コンソーシアムの目標の一つは、標準化されたメカニズムと標準化された語彙の仕様であり、それは、Industrie 4.0 との関連において、製品ライフサイクル全体で発生するケースについて、状況固有情報およびコンテキスト固有情報の生成を可能にするものである。通常、受取側として言及するのは人間だけだが、このメカニズムは機械間の情報にも必要となる。特に、次に挙げる機能は Industrie 4.0 に従って実行される[32]。

- ユーザーと用途というコンテキストに動的に適応する。
- 仕様からメンテナンスまでのすべてのライフサイクルフェーズに的を絞った情報を提供する。
- 構成の変更や更新の後でも、提供されたシステムに適合する。
- 支援とセンサー情報および操作パラメータを動的に統合する。
- さまざまな検索およびフィルター機能をサポートする。

したがって、iiRDS のメタデータは、技術ドキュメンテーションの標準化された語彙を表す（提言 2.3-18 を参照）。iiRDS コンソーシアムは現在、VDI 2770 を担当する委員会と共同で、そのガイドラインの互換性を保証している（提言 2.3-19 を参照）。

予知保全は、保全性に焦点を当てた現在のもう一つの標準化である。2019 年、ドイツと中国の標準化協力委員会 (DCKN) 内で、予知保全標準化の原則を記述した「Standardization Roadmap of Predictive Maintenance for Sino-German Industrie 4.0」（中独 Industrie 4.0 のための予知保全標準化ロードマップ）の更新版が策定された。その主要なコンテンツは、IEC/SC 65E 内のプロジェクト IEC 63270 ED1「Industrial automation equipment and systems - Predictive maintenance」（産業オートメーション機器およびシステム-予知保全）に取り込まれた（提言 2.3-20 を参照）。

予知保全の領域では、そのようなシステムで関係者の行動がどのように考慮されるかを検討することも重要である。したがって、設備の状態監視の場合、基本的には設備の動作の変化を、その原因まで追跡できることが重要になる。そのため、オイル交換などの手作業も、可能な限り最新の方法でシステムに通知する必要がある。最近数か月の間に開発された「Input and Transmission of Maintenance Information for Condition Monitoring - Digitization of Offline Information」（状態監視のための保全情報の入力と送信—オフライン情報のデジタル化）に

関するガイドラインVDI/VDE 3711 パート 1 は、人間と状態監視システム間のインターフェイスを標準化しており、予知保全へのアプローチでも考慮しなければならない。VDI/VDE 3711 パート 1 の対象範囲は、個々の機器の状態監視ソフトウェアやデータ分析ツールのシステムメーカーから、全体のシステムメーカーやその顧客/ユーザーにまで及ぶ。VDI/VDE 3711 パート 1 を国際規格にするため、DKE/K 931 委員会「オートメーションのシステム側面」を介して、プロジェクト案として IEC に提出できるかどうか現在検討されている（提言 2.3-21 を参照）。

妥当性確認および試験

公的に定められた手法は、標準規格や試験仕様および方法を作成する際、効率を高め、経済原則を順守するのに有効である。ETSI TC MTS ではさらに、オブジェクト指向機能を備えたテスト言語「TTCN-3」、コンフォーマンステストサイト、テスト記述言語（TDL）、テスト目的言語（TPLan）を開発した。試験手順は、「Conformance」（適合）、「Interoperability」（相互運用性）、「Security」（セキュリティ）および「Performance」（性能）（CISP）試験として定義および分類される。これは、CISP テストバリエーションの運用ツール（テストプラットフォーム）の役目を果たす。CISP はまた、上記の記号論的コンテキストで既に説明されているように、検証可能なプロパティを表す（モーフィズム）。試験手順は、情報世界（2.6.2 項を参照）と物理世界（アセット）の両方で I4.0 コンポーネントに適用可能な CISP モーフィズムごとに作成することができる。

最善の場合、CISP 試験によって、修正可能なエラーを多数発見することができる。ただし、試験が成功しても、それはエラーがないことを証明するものではなく、エラーの有無は公的に定められた手法による検証に委ねられることになる。一定の仮定および条件の下で一連の試験を実行することで仮定が誤っているか正しいか、つまり妥当性を確認できるがゆえに、試験は原則として一種の妥当性確認である。妥当性確認作業は、モデルシミュレーション用のセマンティックツールを使用することで、きわめて良好ではないにしても適切に機能する。

ETSI の技術委員会「試験および仕様の方法—試験作業グループ（MTS-TST WG）」は、IC テクノロジーのガイドライン、試験カタログおよび試験仕様の作成を行っている[33]。そのため、TST 作業グループは、既に使われている試験開発言語と手法から得た知識を活用している（提言 2.3-22 を参照）。

IoT 適用分野における最新の技術的進展は、それぞれのネットワーク層に基づいた、通信プロトコルや、接続されたシステム（ノード）間の接続性評価、IT セキュリティおよびパフォーマンスに関する試験手順を作成および推奨することで認知される。現在、MQTT、CoAP、LoRaWAN の試験仕様と提言、ならびに IEC 62443 から派生したプロファイルのセキュリティ試験目標のカタログが策定されている。現在の進展状況は、ETSI ポータル[34]で確認できる。

ETSI MTS/TST は、ETSI TC SmartM2M、oneM2M、AIOTI、IETF、ISO/IEC JTC1/WG10、ISA、OASIS、OPC Foundation、OMA、Eclipse など他の標準化組織と連携している。さらに、TC MTS/TST は ETSI Centre for Testing and Interoperability（CTI）ときわめて緊密な連携を維持している。CTI は、oneM2M の試験開発や Intelligent Transport Systems（ITS）もサポートしている。

環境シミュレーション/製品認定

環境シミュレーションは、幅広い学際的なアプローチによる工学分野である。製品の品質を改善し、評価するための不可欠なツールであり、また、製品開発プロセスの基本的要素とし

て、製品ライフサイクル（ライフサイクル・エンジニアリング）の個々の段階で、リソース効率と製品の持続可能性に大きく貢献することができる。次のステップで構成されている。

- 環境の影響の測定および評価
- 制御された境界条件下における、実験室と仮想世界の両方での環境効果シミュレーション
- 物体に対する環境の効果の評価
- 環境に対する物体の効果の評価

製品テストの方法論に関する手順と要件は、たとえば DIN EN 60068-2 で定義および説明されている。

環境シミュレーションは、関連するすべての環境の影響を考慮に入れたうえで、製品の機能と寿命に関するデータを収集および評価するための体系的テクノロジーおよび方法論的ツールである。環境シミュレーションは、*Gesellschaft für Umweltsimulation GUS e. V.*（環境シミュレーション協会）が実施する[26]。

Gesellschaft für Umweltsimulation が開始した研究プロジェクトでは、環境の影響に応じて、製品の寿命を数値的に調査および予測できることが示された。これには2つのことが必要である。一つは、環境の影響をデジタル形式で記録する必要がある点だが、その大部分が物理的または化学的な性質であるため、かなりの範囲で可能である。もう一つは、環境の影響が製品に及ぼす効果、または製品のベースとなる材料に直接及ぼす効果を、記録し、定量化し、デジタル形式に変換しなければならない点である。記録と定量化は、既に成熟した方法論と経験が蓄積されている環境シミュレーションテーマである。Industrie 4.0における製品認定の問題点は、管理シェルで環境効果の包括的なデジタル画像を作成するために、環境の影響を既存のシミュレーション手順に統合できるようデジタル形式に変換することである。

環境センサーとデータ

持続可能性とリソース効率とは、Guidelines 2030 for Industrie 4.0の一部を形成する[1]。産業生産や材料、物流チェーンの商品に対する環境効果の調査、またはその逆に環境に対する産業生産の影響調査を行うため、適切な環境センサー技術（例：湿度、温度、排出、UV放射、マルチスペクトル画像）を使用することが必要となる。このような環境センサーは通常、時間参照や位置参照を備えた環境センサーデータを提供し、そうしたデータは、時系列にそって、マップに（また、これらを組み合わせた形で）表示することができる。次にデータは、産業生産およびロジスティクスからの生産および品質に関する検査データと融合される。

Industrie 4.0における環境データに関するドイツ連邦環境庁（UBA）の別の研究プロジェクトでは、事業会社および密接に関連するプロセスからのデータに焦点を当てている。環境データは体系化され、可用性とデータ形式について確認が行われる。完全な相互運用性とトレーサビリティに関して障害が特定され、ソリューションは運用慣行において試験が実施される。企業におけるポリシーと実際の実装に関する提言に加えて、プロジェクトの結果には、2021年の標準化に関する具体的な提言が含まれることが期待されている。このプロジェクトでは、標準化ロードマップ14.0バージョン3の行動提言に対応し、さらなる開発ならびに具体化を実行している。

ここで標準化は、正しいプロセス提言、即ち Industrie 4.0 システムで相互運用を可能にする方法に関わる難しい問題に直面している。

産業用クラウドプラットフォーム

「産業用クラウドプラットフォーム」の分野では、Industrie 4.0は標準化されたIT体制に焦点を当て、14.0コンポーネントのネットワークングを企業内部（垂直統合）と企業境界（水

平連携)の両方でサポートする。このような背景から、現在の技術システムをクラウド対応ソリューションに切り替え、新しいITアーキテクチャを導入するという目標を立てる企業が増加している。

垂直統合は、オートメーション・ピラミッド(図18を参照)に示されているように、異なる企業レベルでのさまざまなプロセスの相互作用を通じて実現されるものである。Industrie 4.0では、過去数十年にわたって歴史的に成長してきたそうした動かすことのできないヒエラルキーを解消することが必要である。それは、領域レベルから企業レベルまで、企業内のすべての生産システム、プロセスおよびサービスの継続的なネットワーキングを達成するという主要な基本目標を使用によって達成される。クラウドプラットフォームは、柔軟なITアーキテクチャへの迅速な移行に必要なツールを提供することから、将来、決定的な役割を果たす可能性がある。

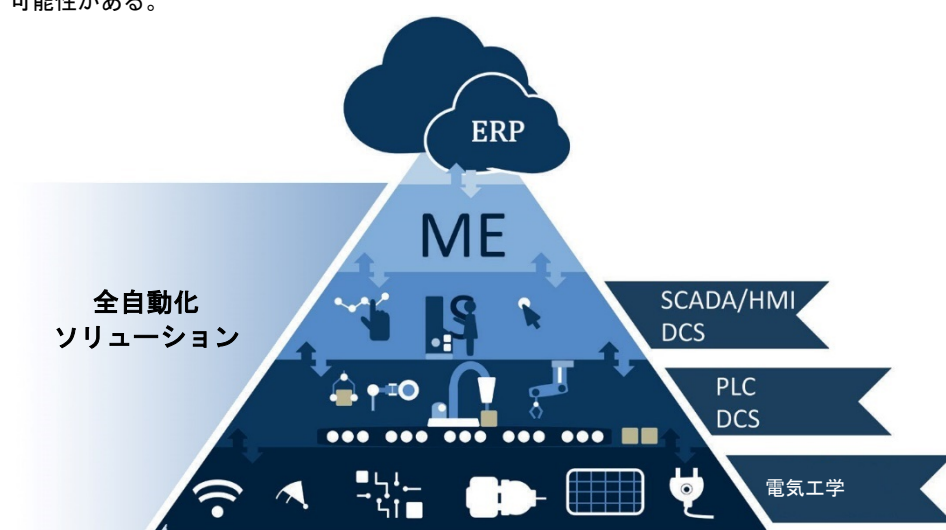


図18: オートメーション・ピラミッド

現在のサーバー指向ソリューションをクラウドソリューションに移行するには、アプリケーションプログラムを、以前蓄積プログラム制御の「オンサイト」で実行していたクラウドで実行することが必要である。そのために、「リアルタイム要件」、ストレージおよびインターフェイスを備えたバックエンドプロセスを、クラウド運用プラットフォームに合わせて開発しなければならない。産業環境に存在する条件が満たされていることが必要である。現段階で、上記概念の標準化は過去数年間にわたり、開発済みの標準規格(LNI 4.0など)に実用的環境を提供している国内や欧州、海外の標準開発機関、業界団体、研究プロジェクトから非常に効果的な実用的サポートを受けている。

産業用クラウドプラットフォームは、既に生産現場で積極的に使用されている[36]。産業用クラウドプラットフォームは、複数のテクノロジーと概念に基づいており、いくつかの標準規格(クラウドコンピューティング、エッジコンピューティング、IoT、セキュリティなど)を組み合わせたものである。メーカーが自社の製品をネットワーク化してデジタルサービスを提供または使用する場合、現在500件を超える商用オファーから選択することが可能である。競争相手よりも迅速に行動するため、企業は動的で柔軟な標準化されたクラウドITインフラストラクチャを求めている。企業が標準のテクノロジーとプロセスをITアーキテクチャに統合した場合、ITシステムやアプリケーションの配備の迅速化や、実証済みの標準規格による互換性、エラー削減などのメリットを得られる。

Industrie 4.0 では、企業のクラウド IT アーキテクチャは、標準規格および参照アーキテクチャモデル（RAMI 4.0、IDSA-RAM、IIRA など）に基づいている必要がある。IT アーキテクチャと、企業がビジネスモデルの基盤とする枠組みの要件に応じて、適切な標準規格を的を絞って使用する必要がある。

相互運用性の適切な標準規格は、データ交換を効率的にサポートし、コンポーネント間のシームレスな統合を可能にするものでなければならない。そのためには、ICT 技術と OT 技術の大幅な統一が必要となる。現在、[38]に示すように、上述したテクノロジーを標準規格に基づいて組み合わせた、生産用のオープンで分散型の、リアルタイムでセキュアなオペレーティングシステムが求められている。エコシステムの基礎として、人工知能のためのデータ主導型サービスを含め、未来の工場の多目的オートメーション用に標準化されたインターフェイスを備えたオープンな IT バックボーンが必要である。そこで、クラウドから、エッジテクノロジー、製造現場のリアルタイム・アプリケーション用マシンに至るまで、将来の要件に合った柔軟で拡張可能なアーキテクチャが標準化される可能性がある（提言 2.3-23 を参照）。

2.3.2 行動および適用に関する提言

2.3-1 管理シェル概念の一貫した使用および標準化

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。これは、管理シェルまたはそのサブモデル、ならびに I4.0 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、管理シェルの概念によって実現される（2.5.1 項を参照）。

IEC/TC65 WG 24 IEC 63278-1 ED1 「産業アプリケーションのためのアセット管理シェル—パート 1：管理シェル構造」の活動をサポートし、推進することを推奨する。

2.3-2 管理シェルに関する標準規格シリーズの別途部分の国際化

一連の標準規格のさらなる構造へのアプローチは、国内的には、Plattform Industrie 4.0/AG 1 の作業に基づくべきであるとの提案が為されている。この意味において、IEC/TC65/JWG 21 TF 8 「デジタルツインおよびアセット管理シェル」および IEC/TC 65/WG 24 の活動との調整にも注目が集まっている。後述の提言 2.3-15 では、入念に策定された DIN 77005-1 に基づいて、デジタルライフサイクル・ファイルについて説明する。

2.3-3 デジタルファクトリー

IEC TS 62832-1 および管理シェル IEC 63278-1 ED1 の一貫性の試験「産業アプリケーションのためのアセット管理シェル—パート 1：管理シェル構造」、ならびに IEC/TC65 WG 24 の管理シェルに関する標準化活動を含む標準規格の他の計画済み部分。

特性とプロパティ

2.3-4 既存のフィールドバスプロファイル、コンパニオン仕様およびデバイスと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、eCI@ss 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、適切な意味論的方法（例：グラフィック/代数）で提示できることが必要である。

2.3-5 計画文書などの概念的アセットの特性は、IEC SC 3Dのような標準化された辞書に含める必要がある（たとえばVDI 2770の仕様書など）。さらに、計画文書は、人間と機械/4.0コンポーネントの間で伝達可能であることが必要である。

2.3-6 マスターデータに加えて、パラメータと状態変数も標準化された辞書に含めることができるという前提条件を作成しなければならない。これは、プロパティの表現と分析に関連する意味論的手法の使用にも適用される。

2.3-7 拡張インスタンス関連の属性は、標準規格の対象としなければならない。たとえば、DIN SPEC 92000のIEC 61360シリーズへの移行がこれに該当する。

2.3-8 管理シェルのサブモデルを標準化するための準備活動が開始される。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、その基本的機能を標準化する必要がある。つまり、個々のプロパティと機能を備えたIndustrie 4.0パートナーが補完できる基本/必須のプロパティと基本/必須の機能がともに必要であることを意味する。これは、たとえばエネルギーに関しては、同じ必須のプロパティと機能をさまざまなアセットで利用できなければならないためであり、それはたとえば、あるプラントの単一または複数のシステムの全コンポーネントを同じ方法で簡単に統合または制御できることになる。特定の修正は引き続き可能である。

2.3-9 機能要件（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。

2.3-10 基本情報、必須情報、コンテキスト情報を備えた標準化された構造は、Industrie 4.0システムに統合されたすべてのデータを伴い、統合のための明確な最小限の要件を含むものであることが必要である。構造と最小要件の定義を標準化する必要がある。モデルとの必要な体系的連携を考慮しなければならない。

次に挙げる情報は、システムに統合されたデータとともに、標準化された形式で「供給」される「データプロファイル」の内容である。「データプロファイル」は、管理シェルのサブモデルとして設計することができる。

- それぞれの数値がデフォルトで表示される、データの情報内容の可能な限り正確な記述、データの精度に関する情報、単位の表示、期間など（例：キログラム、ユーロ、1年当たり）
- 数値がどのように決定されたか、基づく個別データの数、測定技術の説明（特性とプロパティ）、使用された記録と計算方法の可能な限り正確な記述
- たとえば生産プロセスにおける正確な位置と時間を含む、データソースの地理的な場所のドキュメンテーション
- 直接関係する国内レベル、EUレベル、国際レベルの明確な法的規制および行政規制（例：製品、環境、廃棄物法）があるデータの影響を受ける法律分野のドキュメンテーション（例：EU産業廃棄物指令、REACH、国連気候条約）
- 正当な利害関係を持つ人（例：州、当局、企業、製造業者、消費者）のために定義され、法的に確立されたアクセス権の定義
- データ所有者およびデータに関する詳細についての追加の連絡担当者のドキュメンテーション

デジタルネームプレート

2.3-11 DIN SPEC 91406 (PAS 法による) および VDE V 0170-100 でのデジタルネームプレートのアプローチは継続され、適切な形式で国際的に実装される。

2.3-12 DIN VDE V 0170-100 ならびに DIN SPEC 91406 に沿った機械可読マークに関するすべてのアプリケーション規格の適合

システムライフサイクル、ライフサイクルレコード

2.3-13 DIN 77005-1 に基づくデジタルライフサイクルレコードのモデルは、AAS (アセット管理シェル) のサブモデルと見なされる。2018 年末から利用可能な AAS メタモデルの仕様は、これに必要な基本事項を規定している。ライフサイクルレコードのサブモデルを、IEC/TC65 WG 24 内の管理シェルに関する国際標準化作業によって、さらに詳細に規定し、サポートすることを推奨する (提言 2.3-1、提言 2.3-2 を参照)。

保全性

2.3-14 製造業者とオペレータ両方の観点、またはユーザーの観点からの、特に予知保全の標準規格に関連したメンテナンスの諸側面の検討

2.3-15 DIN EN 13306:2018-02 に準拠した統一的メンテナンス用語を、メンテナンスに関する事項を含むすべての標準規格で使用する。

2.3-16 DIN EN 17007:2018 にあるような、メンテナンスに関するプロセス仕様を含むすべての標準規格における統一プロセスインターフェイスの検討

2.3-17 DIN EN 62402-09 にあるような、起こり得る陳腐化リスクの可制御性の観点からの、Industrie 4.0 ソリューションを規制するすべての規定の評価

2.3-18 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現行のメンテナンス情報を入力するための I4.0 コンポーネント (プラットフォームおよび製品) のインターフェイスの標準化

2.3-19 デジタルメーカー情報の最小限の要件に関する VDI 2770 パート 1 国際化の調査

2.3-20 中国の調整による標準化プロジェクト IEC 63270 ED1 「産業オートメーション機器およびシステム—予知保全」へのドイツ人専門家の積極的参加

2.3-21 VDI/VDE 3711 パート 1 「状態監視のためのメンテナンス情報の入力と送信—オフライン情報のデジタル化」の国際化の取り組みの適切なタイミングでの検査は、国内委員会 DKE/K 931 によって実施される。

妥当性確認および試験

2.3-22 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、マシン実行と、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。

産業用クラウドプラットフォーム

2.3-23 オープンで分散型のリアルタイムでセキュアなオペレーティングシステム

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。

2.4 相互運用性

2.4.1 バージョン 3 以降の状況と進展

ネットワーク化された生産の場合、ダイナミックでオープンなエコシステムのすべてのアクターは、情報および知識の相互交換において追求する目的と対応する概念について合意しなければならない。そのような複雑な分散構造は、I4.0 準拠通信のニーズを満たし、最終的には関係するすべてのアクター間のシームレスな協力[74]を可能にするように設計しなければならない[75]、それを相互運用性と呼ぶ。その一例が、1.4.1 項のユースケース 2 である。

ここでは、さまざまな工作機械がそれぞれの現在の生産能力に関する情報を交換しており、そうした能力は、I4.0 生産ネットワークや製造指図書との関連で評価されることになる。工作機械のさまざまな（サブ）システムからの複雑な情報を提供、処理および解釈する必要がある。参加している（サブ）システム（または I4.0 コンポーネント）の管理シェル間の相互作用により、エコシステムのバリューチェーン[76]を実装するための I4.0 システムの調整が行われる。その目的のために、情報レベルのこうした技術システムで、情報の保管、交換、処理を高度に相互運用するため、管理シェルには共通言語が必要となる。

IEC PAS 63088 および管理シェルの構造に基づいて、この共通言語は、意味論的に明確に定義されたメッセージで構成される相互作用パターンを使用して開発され、ガイドライン [VDI/VDE 2193](#) パート 1 およびパート 2 で定義されている（提言 2.4-5 を参照）。

Fuchs-Kittowski に基づく知識ピラミッド（図 19）は、知識創造の構造化された表現の基本的パラダイムとして使用することができる。このシステムは、原材料としてのデータ（構文）だけでなく、情報や知識も連携して提供し、処理することができる。したがって、意味とコンテキスト情報を提供することが重要である。

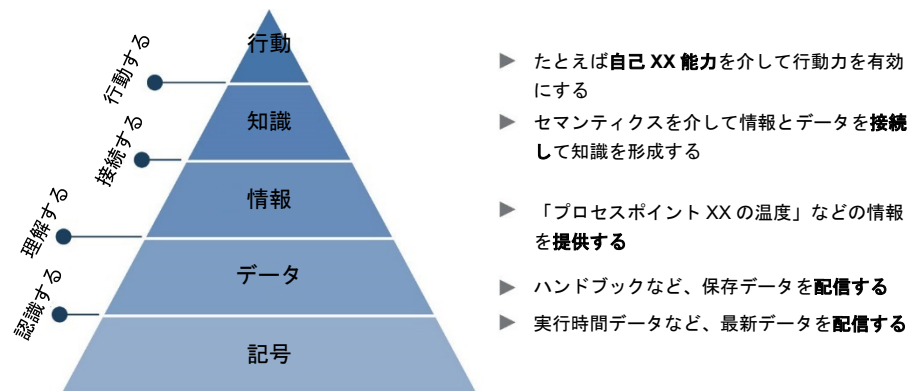


図 19 : Fuchs-Kittowski に基づく知識ピラミッド (出典 : [19])

マシンツーマシン通信およびマシンツーマン通信に関しては、交換されるデータはすべての通信パートナーに対して同じ意味でなければならない。このことは、次の場合に実現できる。

- (1) 共通の語彙が使用されている場合 (プロパティモデル)
- (2) 個々の用語が使用されているコンテキストが分かっている場合 (情報モデル)
- (3) メッセージ交換レートの合意された形成ルール (メッセージの形成ルール) が順守されている場合
- (4) 語彙やセンテンスの交換シーケンスが、意図した方法で解釈可能な場合 (相互作用モデル) [77]

情報のネットワーク (セマンティクス) から知識 (プラグマティクス=語用論) が生まれ、そこから自動化され継続的に最適化される行動 (行動または決定) を導き出すことができる。情報が論理関係にどのようにリンクされるかは、オントロジーによって決定される。これらは、それぞれの文脈で知識を表現するために、個々の用語の形式的起源を明示的に指定する必要がある。

相互運用性は、アクター間の円滑なコミュニケーションとシームレスな統合のための重要コンポーネントであり、したがって、以下で詳述するように、標準化において特別な役割を果たすことになる[74、75]。

データモデル

データはデータベースシステムに保存され、主に使用するデータモデルに従って分類される。データはオブジェクトであるが、「情報」は観察によって作成されるため、「イベント」の概念と密接に関連している。イベントの例としては、「表」または「裏」の結果が出るコインのトスがある。「H OR T」という情報は、トスから生じたコインのランダムな位置から取得され、「H」や「T」は表現、つまりコイントスのアルファベットからのデータ要素である。通信工学では、「H」および「T」は送信者 (コイン) と受信者 (観察者) の間の通信用メッセージである。したがって、コーディング、データ、情報を区別することが有用である。この差別化の原理は、「より高いレベルの通信」でも保たれる。データと情報は、データパターンモデルに入力するか、これと組み合わせることができる。データ型モデルとデータパターンモデルを使用して、システムの状態の分析や、専門知識を利用したシステムコンポーネント間の相互運用性の試験を実行することができる。

セマンティクス

セマンティクスは、表徴の意味の研究である。記号三角形（図 20 を参照）では、記述的オントロジドメインとセマンティック説明ドメインの関係として示されている。一般的に言えば、この知識領域では、単語、表徴（例：絵文字、交通標識）、一連の表徴、センテンス、その他興味をひくものの表現を扱う。

システムが他のシステムと連携して情報を交換する場合、システムはお互いを理解しなければならない。したがって、情報は統一されたセマンティクスに従わなければならない。これは、製造指図書をそれらの間で独立して（再）分散する機械や、異なる測定の結果収集されたセンサーデータに適用される。しかし、「セマンティクス」とは正確には何なのか？セマンティクスは、記号とその意味の関係を取り扱う。記号は、図形文字（交通標識など）や、またはオブジェクトに名前を付ける英数字ユニット（単語など）である。オブジェクト（観察の対象）は、意味論的に決定されるべき現実的または概念的対象である。このオブジェクトは、用語によって記述（定義）される。オブジェクトは名前（記号）で識別される。同時に、オブジェクトの記述（用語）は参照され、意味を説明する。名前と用語とオブジェクトの関係は「記号三角形」に記述されている。オブジェクトは現実世界に属する。記号と用語の定義は、情報世界のコンポーネントである。

したがって、（送信者と受信者など）2 つ以上のパートナーが情報を交換する場合はセマンティクスが必要となる。共通のセマンティクスがなければ、シグナルは存在するが、パートナーはその意味を理解できない。人々は協力して仕事をする。人々は言葉（記号）を使ってコミュニケーションを図る。使用する記号表示の用語（定義）が同じであれば、人々はお互いを理解できる。それゆえ人々は自分たちが話している対象のセマンティクスに同意していることになる。

ヒューマン＝マシン・コミュニケーションでは、人間と機械が送信者と受信者として向かい合う。機械はデータを処理し、人間は言葉で考える。人間と機械がお互いを理解するためには、機械のセマンティクスが人間の概念に対応していなければならない。機械は、意味を理解せずに記号を使用する。機械は人間によって設計されたものであるため、記号には適切な意味を割り当てることができる。それを実現するために開発者は、マシンソフトウェアをプログラミングするとき、ユーザーと同じ用語の理解を得ることから始め、伝達される用語の正しい名前をユーザーに提供しなければならない。

マシンツーマシン・コミュニケーションでは両方のマシンが、構文（基本的記号の組合せ）とセマンティクス（意味の記述）の両方によってお互いを理解する必要がある。両方のデータの解釈について明確な一致が必要だ。データが時々機械可読データの形式による追加の記述で強化されたことがあり、そうした場合にこの一致が実現される。こうしてデータは情報になる。

情報モデル

数学代数的な意味で、情報モデルは、複数の基本セット（型）、変数と公理、型間の規則と関数を備えた複合抽象データ型（ADT）である。したがって、複合データの意味を抽象的なデータ型（数学的には項代数）として表し、それによって意味のその部分のみが、記述にも含まれているモデルに組み込まれる。人間が理解できるテキスト形式のモデルを備えたデジタル的に利用可能な情報モデルでは、機械がそれを解釈することは困難である。数学的形式は機械と人間の両方にとって理解可能であり、即ち解釈することができる。因って、たとえば ADT としては、情報モデルの数学的形式が好ましいものとなる。

情報モデルの作成手順は、用語集やシソーラスから、オブジェクト指向の分類（例：AutomationML）、形式的ロジック（例：オントロジー）やセマンティック表現に基づくモデルまで多岐にわたる。情報モデルは、準形式モデルや形式モデルとセマンティクスの言語表現、つまり記号三角形のモーフイズムの間の橋となる（2.5.2 項を参照）。最後に、セマンティクスは、異種混在状態でのシステム間の相互運用性を実現するための基礎を形成する。

情報モデルは、データオブジェクトタイプとそれらの依存関係のセットであり、これらはすべて ADT として記述され、その数学的代数的意味を定義する。情報モデルは、そのセマンティックデータモデルと同等である。既に、多数の情報モデルが作成されている。注目すべき例としては、フィールドバスプロファイル（産業用通信接続を備えた測定機器および制御機器のパラメータおよび動作の定義）、OPC UA コンパニオン仕様があるが、ほかにも情報モデルの記述ツールとなる、EDDL（Electronic Device Description Language）や AutomationML などの抽象的モデルがある。セマンティクスの観点から、ドメイン知識は既に情報モデルに移転されており、それが相互運用性に重要な貢献を行っている。

オントロジー

情報システム間の相互運用性を確立する形式的手段としてオントロジーは、主要なエンティティと側面を包括的情報モデルとして記述する。したがって、さまざまなアクターが、異なる適用分野と目的のためにオントロジーを確立することに専念している。

オントロジーの言及した「論理関係」は「エンティティ関係」構造であり、グラフでは「ノードエッジ」データ構造として表すことができる。一方、プロセスとデータ構造の両方を同じようにグラフとして表すことができるよう、プロセスの相互運用性にもグラフは使用される。したがって、オントロジー的なデータ構造の「論理関係」は、静的なグラフ構造の動的化（すなわち、有向枝の挿入）によって、シミュレーション可能なグラフ操作意味論で扱うことができる。オントロジーと処理ネットワークは両方とも、適切なツールで妥当性確認が行える（提言 2.4-2 を参照）。

専門用語

VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA) と VDMA は、Industrie 4.0 の実現に向けメンバーとともに歩み、これを支え、また数年間、Industrie 4.0 に関連する用語の開発に取り組んできた。そのため、Industrie 4.0 のトピックに関しては、I 4.0 コンポーネントや I 4.0 システム、I 4.0 プラットフォームなど、数多くの用語が策定されている。

VDI の現状報告書「Industrie 4.0 Terms」（2017 年 4 月）では、エコシステムや価値創造ネットワークなど、自動化の技術環境でほとんど使用されていない非技術用語も策定された [78]。

2.4.2 最近の動向

相互運用性に関する標準化の現在の傾向は、意味上の相互運用性、意味の表現、セマンティックネットワークの応用、データセット全体から情報をマッピングするためのデータレイク、相互運用性を技術的に使用可能なアーティファクトに翻訳するための標準化されたメカニズムおよびツールの開発、Industrie 4.0 との関連における新しい用語の標準化など、さらに多くの課題に取り組んでいる。

意味上の相互運用性

ホワイトペーパー「[Semantic interoperability - Challenges in the digital transformation age](#)」[80]は、IECのMSB（マーケティング戦略委員会）によって作成された。このホワイトペーパーは、複数の業種における意味上の相互運用性や、関連する業界固有の標準に関連する現在および将来の課題の評価を取り上げている。

ホワイトペーパーの主な目的は、アプリケーションやドメインの内部の相互運用性ならびにアプリケーションとドメインの間の相互運用性を改善し、既存のテクノロジーや標準規格と比較するユースケースレビューに基づいて推奨事項を策定するために、セマンティック技術のアプリケーションを、既存の情報モデルとともに使用できる条件を特定することである。

意味上の相互運用性は情報ライフサイクル全体に、デバイスとシステム間では水平方向に、また異なるシステム間では垂直方向に影響を及ぼす。したがって、このホワイトペーパーの内容は次のように、幅広い読者を対象としている。

- (1) IECの意思決定者
- (2) 情報モデリング/知識表現のためのリソース提供を決定する管理職
- (3) 製品およびシステムのライフサイクル管理責任者
- (4) オントロジー開発者およびセマンティック技術者
- (5) ツールの標準規格に基づいた意味上の相互運用性の策定に携わるエンジニア

IoTの相互運用性

国際機関ISO/IEC JTC 1/SC 41は、モノのインターネット（IoT）の水平的側面に取り組んでいる。ISO/IEC 21823シリーズは、相互運用性の共通理解を確立することを目的とした標準規格である。ISO/IEC 21823-1の目的は、情報を交換し、相互に効率的に使用できるような枠組みの中での技術システム開発である。現在、相互運用性やトランスポートメカニズム、通信インフラストラクチャの互換性に関するISO/IEC 21823-2 [82]、ならびにオントロジー、データ形式などを含む構文上の相互運用性に関するISO/IEC 21823-4など、このシリーズの新たな草案が作成されている。

特にISO/IEC 21823-3 [83]は、完全に定義されたドメイン概念レベルでシステムによって共有されるデータを理解する能力として、意味上の相互運用性を定義するものである（ISO 18308-1を参照）。この仕様は、意味上の相互運用性を実現するためにオントロジーを適用することで、センサー、デバイス、システムおよびサービスがコンテキスト情報とデータを表現できるようにするための意味上の相互運用性に対するオントロジー主導アプローチを規定している（提言 2.4-3を参照）。

この作業は、オントロジーとしてモデル化されたISO/IEC 30141に基づいており、ISO 21823-1の意味上の相互運用性の5つの側面、即ちトランスポート、構文、セマンティクス、動作およびポリシーの相互運用性に焦点を絞っている。この標準規格は、既存のさまざまなIoTプラットフォームと各種の垂直ドメイン（例：スマートファクトリー、スマートシティなど）のIoT参照アーキテクチャへの統合を可能にすることを目指している。意味上の相互運用性のこの部分の主な貢献は、IoT参照アーキテクチャのOWL仕様を備えたドメインベースのIoT参照モデルである。さらに、既存のオントロジーについても記述している。

以下は、IEC/SC 65E によって策定された IEC PAS 63178 「Smart manufacturing service platform - Service-oriented integration requirements of the manufacturing resource/capability」（スマートマニュファクチャリング・サービスプラットフォーム—製造リソース/能力のサービス指向統合要件）の総合的調査結果である。

- クロスドメイン情報モデルの異種混在状態を克服しなければならない。
- ドメイン固有のトップレベル・オントロジーおよび対応する基礎的バリューを備えたマルチオントロジー・アプローチおよびハイブリッドオントロジー・アプローチを優先する。
- ドメインベースの IoT 参照モデルには、機械可読の形式的記述が付属する。

IEC PAS 63178 は、産業における意味上の相互運用性に関する垂直統合およびシステム運用フェーズを集中的に取り上げている。この標準化ロードマップは、いくつかのライフサイクルフェーズを意味上の相互運用性でカバーする必要があることを示している（2.3 節および提言 2.4-2 を参照）。IEC ホワイトペーパー「Semantic Interoperability - Challenges in the digital transformation age」[80]は、意味上の相互運用性の要件、課題および潜在的行動領域についての知見を提供する。

IoT システムの相互運用性に関する新たな国際仕様が現在策定中である。たとえば、ETSI レポート TR 103 535 V0.2.2（2019-03）SmartM2M [81]は、意味上の相互運用性の使用に関するガイドラインを取り上げ、その目標を次のように説明している。このドキュメントの主な目的は、産業に対するその重要性の認識を高め、その潜在的な経済的価値を明らかにするために、モノのインターネットにおける意味上の相互運用性を促進することである。中心となるのは、産業における意味上の相互運用性の使用に関するガイドラインの策定である。

ETSI レポートでは、テクノロジーの現状について説明し、ヨーロッパのプロジェクトやコンソーシアムのプロジェクトに焦点を当て、科学、標準化、産業による既存のソリューションを取り上げている。言及している標準規格の数はわずかである。執筆者たちは、意味上の相互運用性の利点が、必要なテクノロジーの成熟に役立つ方法ではまだ活用されていないと結論付けている。彼らは、そうした状況の主に組織的および主観的な理由を説明し、制約を克服するための提言を記している。その分析は、関連委員会における議論に寄与するものとして含めることができる。ただし、ETSI TR の結果は十分なものではない。

クロスドメイン IoT サービスの開発を可能にするため、oneM2M などの標準規格が商用 IoT プラットフォームで使用するために開発された。このようなクロスドメイン IoT サービスの例は、「ETSI TR 103 545 SmartM2M; Pilot test definition and Guidelines for testing cooperation between oneM2M and Ag equipment standards」に、AEF ISO 11783、ETSI EN 302 637-3 および oneM2M の間における協力の例として取り上げられている（提言 2.4-1 を参照）。

情報データレイク

技術システムに関しては、現在、情報データレイク（IDL）が、プロデューサ（パブリッシャ）とコンシューマ（サブスクライバ）の間で標準化オペレーションとして送受信されるさまざまなドメインのあらゆるプロパティ、データおよび情報のグローバル構造化コンテナの代表的概念となっている。その中間には、データ処理プロセスからと、場合によっては未知のデータパターンを認識するための AI 近似法からの情報（情報モデルの属性）による生の公開データの強化がある（図 20 を参照）。

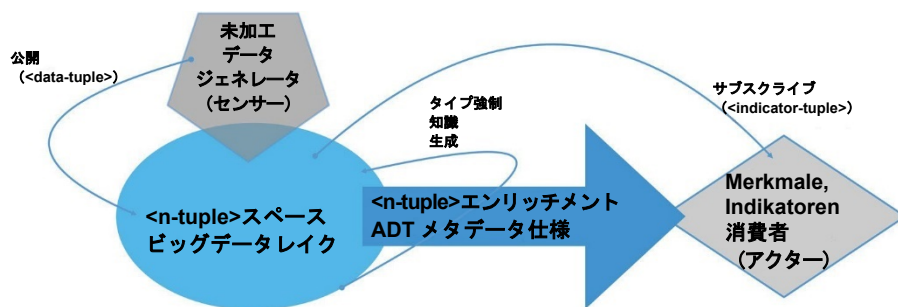


図 20 : Big Data Lake Concepts でモノに関する知識が生成される際の理解の意味論的側面
 (出典 : ETSI GS ISI 006 v1.1.1 (82019-02) - ISI Enrichment Process (Data Lake))

オントロジー

世界中のオントロジー分野で数多くの活動が行われている。さまざまな委員会が（例：OMG、W3C、IDSA、NIST の「インダストリアル・オントロジー・ファウンドリー」）、必要な調整度合いが異なる標準指向オントロジーに取り組んでいる。これは、それぞれの委員会の観点から、ドメイン固有の標準規格を、即ち相互運用性の基礎を表現する必要があるからである。そうしたオントロジー分散開発のシナリオには、メカニズムモデル、プロセスモデルおよび手順モデルが存在する。ただし、このように提供されるいくつかのオントロジーがナレッジスペースに統合される段階では、すべてのアクターが同じプロセスに従うか否か、同じパターンが知識モデリングに使用されるか否か、結果として得られたオントロジーを使うことができ、同じプロセスに従ってさらに開発できるか否かについては、これらの成果物に基づいて公的に定められた手法によって確定することはできない。そのような異なるドメイン同士が交わる場合（それは Industrie 4.0 の重要な機能でもある）、回避可能な統合作業やメンテナンス作業が増加する。

そうしたドメインが発展を続けた場合、変化を長期的に追跡することが困難になる。このことは、あるドメインの創成プロセスが調整されていたとしても、他のドメインと組み合わせれば、その結果を認識することが困難になることから、オントロジーの創成、使用およびさらなる開発のライフサイクルにあるギャップを露呈するものとなる（提言 2.4-2 を参照）。

専門用語

Industrie 4.0 の分野で新しい用語を定義するために、多くの活動が始まった。たとえば、技術委員会 VDI/VDE-GMA 7.21 「Industrie 4.0」では、「専門用語」作業グループが現在、Industrie 4.0 の基本的な用語、参照モデルおよびアーキテクチャの概念の統一的理解の形成に取り組んでいる。基本的用語の共通理解を実現するために、国家機関、業界団体、産業コンソーシアムの関連する作業グループと連携して用語を策定することを目的としている。用語集は 2 カ国語（ドイツ語/英語）で発行され[78]、Plattform Industrie 4.0 Web サイトで公開されている[85]。

この作業グループは常時活動しており、用語集の範囲拡大や、国内機関および国際機関（例：IEC/TC 65/WG 23 「TF 用語と定義」、IEC/TC 65/WG 1 「用語と定義」）との収録項目の集約を行っている。

国際レベルでは、IoT に関連する新しい用語が ISO/IEC 20924 で公開されている。この標準規格には、IoT の適切な用語ベースを形成する用語が多数含まれている。さらに、IEC/TC 65/WG 1 は、情報技術用語の策定に関する提案を行っている。

さまざまな重複や矛盾する用語が、国内レベルおよび国際レベルの技術文献や規范文書で依然として使われているため、ユーザーの観点からすると、そうした用語を使用する意欲が大幅に削がれる可能性がある。そのため、そうした用語を RAMI 4.0 の適用分野にどのように割り当てることができるかも明確ではない（提言 2.4-4 を参照）。

2.4.3 行動および適用に関する提言

2.4-1 ETSI TR 103535 V0.2.2 (2019-03) の結果の分析

この分析は、「意味上の相互運用性」を中心とする、関連委員会での議論に寄与するものとして含めることができる。

- 意味上の相互運用性の基礎となる産業標準規格、公的標準規格、またはコンソーシアム標準規格には、意味論的に関連する多くの情報モデルが既に存在する。これらのモデルは ETSI TR の対象範囲には含まれない。
- ETSI TR における意味上の相互運用性という用語は、情報世界のみを反映したものである。このレポートは、データ集約型アプリケーションへの垂直方向の情報フローのみに焦点を当てているものと思われる。産業部門には水平方向のデータフローもあり、実際の反応も考慮しなければならない（図 18 を参照）。
- ETSI TR は、専ら動作可能時間のみを取り上げているように思われる。計画立案から運用、メンテナンスに至るまでの製品やプラントのライフサイクルは、部分的にしか反映されていない。
- IT オントロジーと OT 情報モデリングの間の連携はまだ確立されていない。ただし、これは喫緊の必要事項である。

このようなクロスドメイン IoT サービスの例は、「ETSI TR 103 545 SmartM2M; Pilot test definition and Guidelines for testing cooperation between oneM2M and Ag equipment standards」に、AEF ISO 11783、ETSI EN 302 637-3 および oneM2M の間における協力の例として取り上げられている。これらの活動は順守し、また、必要に応じて統一する必要がある。

2.4-2 ライフサイクル全体にわたるオントロジーの確固とした指定

ライフサイクル全体にわたるオントロジーの確固とした指定のための標準的なメカニズム、語彙、方法論は、それぞれにおいて使用する要素とパターンに従って策定することを推奨する。このことに基づいて、公的に定められた手法による検証ステップで、さまざまなオントロジーを知識空間にまとめたときのマッチングの質をチェックし、ナレッジエンジニアの行動に関する提言を導き出す必要がある。この意味において関連する側面は、たとえば、知識提供のための個別のダイナミクスとプロセスを備えたドメインの多様性や、分散型知識エンジニアリングおよび多様なオントロジーバージョンである。

2.4-3 ISO/IEC 21823 シリーズへの適合

DIN NA 043-01-41 IoT およびその他の関連機関と委員会は、業界への直接的言及に関連して、現在の ISO/IEC 21823 シリーズ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。セマンティクスに関する DIN/DKE 委員会がさらに含まれることになっている。

2.4-4 専門用語の重複

特に同一または同義の用法における用語の重複は、他の規范文書でのさらなる誤用を回避するため、関係機関が特定、検査、区別し、適応させるべきである。用語は、ISO/IEC 20924 など現在の国際標準規格や、語彙に関して IEC/TC 65/WG 23 で進められている活動と統合することを推奨する。

2.4-5 IEC 標準化のための VDI/VDE 2193 パート 1 および 2 の提言

既存の VDI/VDE 2193 (I 4.0 コンポーネントの言語) は、2020 年 1 月から使用できる。管理シェルを詳細に扱うパート 1 とともに、これは I 4.0 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ものである。したがって、このガイドラインは、管理シェルに関する IEC 標準規格書にも含める必要がある。VDI/VDE 2193 など既存の概念では、相互作用において社会技術的側面を考慮する必要がある (例: 人的アセット管理シェル、人間管理シェル)。研究プロジェクトで、詳細に研究することを推奨する。

2.5 統合

2.5.1 バージョン 3 以降の状況と進展

統合では通常、可能な限りシームレスに接続し、たとえば共通のセマンティクスベースなどより大きな全体へと統合するさまざまなシステムとそのコンポーネントの能力を考慮する。ユースケース 1「生産能力市場」(1.4.1 項を参照)を見ると、単語の創成に関与するすべてのアクター (パイヤー、市場運営者、サプライヤ) のシステムとプロセスが互いにシームレスに接続できることが不可欠であることが分かる。

たとえば、ユースケース 1 のパイヤーは、3D プリントリクエストをサプライヤに転送し、標準化されたインターフェイスを介して (たとえば、CAD データの形式で) 製造指図書を 3D プリンタに自動的に送信することができる。ただし、統合は効果的ネットワーキングの成功の原因となるだけでなく、常に相互運用性 (2.4 節を参照) および通信 (2.6 節を参照) との関連で確認を受ける必要がある。

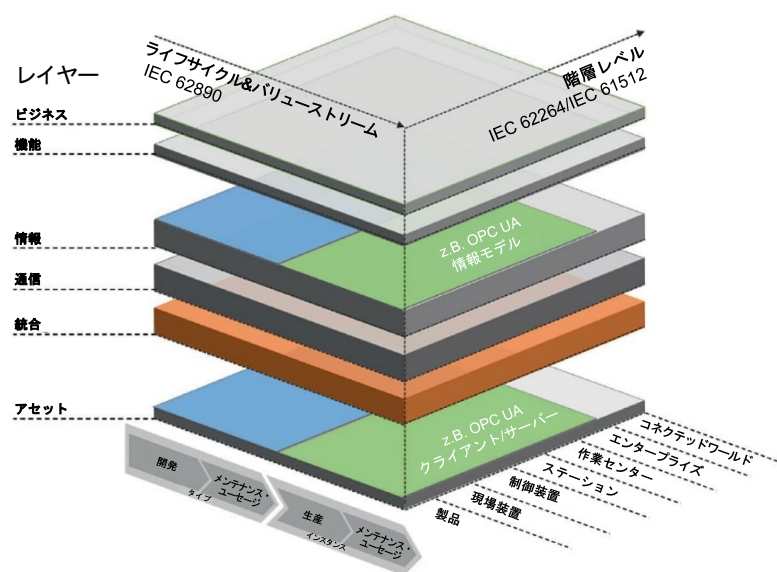


図 21 : RAMI 4.0 の統合レイヤー (出典 : Plattform Industrie 4.0[41])

関連システムとプロセス間の接続は、対応するプロパティによって情報世界において記述される。それぞれのインターフェイスを明確に記述するプロパティは相互に関連しており、それに応じて管理シェルに正式に、かつ機械処理可能な方法でマッピングされる[57]。この時点で、エンジニアリングの役割はますます重要になる。以下の項に示すように、このようなシームレスな統合のために、既存のエンジニアリング・ソリューションを適応させ、拡張し、標準化することが必要になることがしばしばある。

エンジニアリングは、個々のシステム間の重要な関係情報が、他のシステムとそのコンポーネントの I4.0 準拠情報要素として提供される規範的統合概念の策定に寄与する。統合標準規格は、物理世界と情報世界間の橋渡しをするものであることから、この意味できわめて重要である。

情報システムでは、大量のデータが収集および処理され、運用中にコンポーネント間で交換される。エンジニアリングでは、そうした個々のコンポーネントの組み合わせにより、プラントの個々のコンポーネントだけで提供される機能と比較して、新しく、より高いレベルの機能が作り出される[57]。多くの場合、コンポーネントとデータ交換の連携は、エンジニアリングプロセスに際して接続されるコンポーネントのデータ構造が異なる異種混在インターフェイスをベースとしている。これは、どのコンポーネントも他のコンポーネントのデータ構造を認識しておらず、そのため、常に適応を必要とすることを意味する。つまり、デバイスを交換する場合、製造業者とユーザーが常に高いコストを負担することになる。ここで、標準化された統合手順が重要な役割を果たし、この統合作業の規模を大幅に縮小することを可能にする。

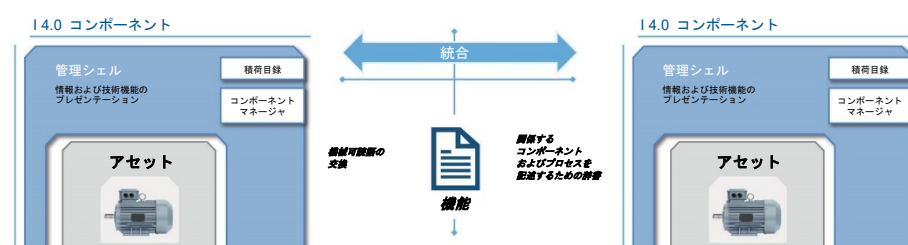


図 22 : I4.0 コンポーネント間のプロパティ交換

通常技術システムは、認識可能な特性、つまりプロパティの総和によって特徴付けられる。プロパティは、通信に関与するコンポーネント間で機械可読語として交換される（図 22 を参照）。したがって、プロパティは、I4.0 コンポーネントの関連特性を記述するための主要な基準となる。たとえば、関係するコンポーネントとそのプロセスを説明する辞書でのプロパティの包括的定義は、メーカーとユーザーがともに、それぞれの環境に対し構造化された方法でシステム特性を適用するのに有効である。同時に、プロパティの包括的で標準化されたセマンティクスによって、以前行われていたデータモデルから他のデータモデルへの一般的「翻訳」がインターフェイスで不要になった。ただし、そうした通信では、異なっているが意味論的には同一の構造が通信プロセスの障害にならないよう、構造に依存しない抽象化が必要である。これは現在のプロパティ記述ではまだ実現されていない。

プロセスが RAMI 4.0 で一様に構造化され、プロパティの標準化されたフォーマットが使用されている場合、相互に互換性のあるプロセス記述が作成され、それは、RAMI 4.0 時間軸を使用して、やがて相互に関連付けられることも可能になる。Industrie 4.0 では「自動化されたエンジニアリング」が求められているため、このようなソリューションは基本的に重要である。たとえば将来は、ERP システムから事前構成された MES への発注では不十分になる。それどころか MES は、製品に適した生産ラインのほか、最高生産価格や必要納期などのパラメータを特定するための追加情報を必要とし、そのため MES の生産管理機能は、必要かつ注目の拒否につながる可能性がある行動であっても取ることができる。

近年、構造化されたプロパティリストを使って、産業プロセス用のさまざまなタイプの機器やデバイスを記述するための標準化活動が多数行われてきた。たとえば、DIN の作業委員会 NA128-00-01 AA「プロパティ辞書ファンダメンタルズおよび規則」は、国際的ドキュメントシリーズの [ISO/IEC Guide-77](#)、[ISO 13584](#)、[IEC 61360-1](#)、[ISO 29002](#) と互換性のある、構造要素の開発手順および標準化手順である [DIN 4002](#) 標準規格シリーズを策定した。

プロセス制御デバイス、測定および制御機器、ならびにそれらの動作環境と動作要件の記述に関する [IEC 61987](#) シリーズや、[IEC 61360](#) シリーズの方法論と情報モデルに基づいたすべての電気技術分野の概念の共通リポジトリに関する IEC 61360 共通データ辞書 (Common Data Dictionary : IEC CDD) など、他の標準規格は製品データ技術の構造化と機能記述の基礎を構築した。CDD データベースは、標準データ要素タイプおよびコンポーネントクラスの IEC リファレンスコレクションであり、IEC Webstore から自由にアクセスでき、IEC 小委員会 3D (IEC SC 3D) によって管理されている。さらに、IEC 61360 は、語彙の構造と使用法を詳細に紹介し (IEC 61360-1)、詳細データモデルを指定し (IEC 61360-2)、語彙の内容に関する重要な品質基準を規定している (IEC 61360-6)。

また、eCl@ss は、(IEC 61360/ISO13584-41 に基づく) 最も重要な ISO/IEC 準拠産業規格の一つとして国際的に確立されており、現在、製品およびサービスの分類と一意の記述のための最も重要な参照データ規格の一つでもある。中心となる製品マスターデータサーバーを使用し、eCl@ss に基づき統一された分類構造を確立することで、材料マスターデータおよびデータ複製のメンテナンス作業が軽減され、データの透明性が高まる[43]。

2.5.2 最近の動向

「統合」というトピックとプロパティシステムの標準化、ならびに産業用 IoT プラットフォームとアプリケーションのさらなる統合コンセプトは、IEC、ISO、eCl@ss、W3C など多くの国際グループが取り組んでいる。ドイツでは、VDI/VDE、特にその測定および自動化技術委員会 (Society for measurement and automation technology)、GMA のほか、ドイツ電気電子工業連盟 (ZVEI) の自動化部門、Plattform Industrie 4.0 の作業グループ「参照アーキテクチャ、標準規格および標準化」が、システム統合の問題とプロパティによる統合の側面を扱っている。上記およびその他の活動を以下で取り上げる。

eCl@ss および CDD

eCl@ss は 40,000 を超える製品クラスと 18,000 を超えるプロパティによって、各業界で取り引きされる商品やサービスの大部分をカバーしている。2017 年春、eCl@ss の理事会は、標準化のギャップを明らかにし、デジタル化および Industrie 4.0 に関連するトピックに対処するため、「Digitalization Expert Group」(DEG) という専門家グループを設立した。DEG は中でも、デジタル化に関する eCl@ss の全活動の調整、要件の収集および他の団体や協会との連携管理を担当している[44]。

IEC と eCl@ss は、双方の間で重複するコンテンツを持続可能な形で統一することを目指して、2015 年から協力関係にある。アセットの記述的プロパティに関する標準規格は既に IEC と ISO に存在しているが、これらはまだ十分に成熟した内容にはなっていない(提言 2.5-1 および提言 2.5-2 を参照)。

W3C Web of Things アプローチ

World Wide Web Consortium (W3C) は、IoT プラットフォームとアプリケーションドメインのオープンな統合標準規格の策定に取り組んでいる。特に、W3C の標準化作業の枠組みの中で、以下に挙げるプロジェクトは、Industrie 4.0 の将来の Web ベースアプリケーションに備えるうえで重要になる可能性のある数多くの革新的トピックを取り扱っている(B.5 章を参照)。このイノベーションモデルに基づいて、W3C は現在、IoT プラットフォームとアプリケーションドメイン間の相互運用性の「イネーブラ」として、*Web of Things* に集中的に取り組んでいる(提言 2.5-3 を参照)。現在 W3C は、*Web of Things (WoT) Thing Description* のための共通表現を持つ形式モデルに取り組んでおり、これは、とりわけアセット(ここでは *Thing*) のメタデータとインターフェイスを記述する。*Web of Things* の外観と動作は、インターネット上の(つまり Web 上の)人々の相互作用モデルの動作と可能な限り一致する必要があり、そのため *Web of People* から *Web of Things* への転換を可能にする[45]。

WoT に準拠した「Thing」アーキテクチャモデルは、次の 5 つの重要要素によって分類される：(1) 動作、(2) 相互作用の形式、(3) データスキーム、(4) セキュリティ構成、(5) プロトコル接続[46]。統合は、たとえば(統合)パターンのように、パターンとして見られ(記号三角形の実装モーフイズム、図 24 を参照)、*thing-to-thing* や *cloud-to-gateway* のような異なる関係性において派生する。特に機械の場合、記述の形式(WoT Thing Descriptions)で(メタ)データを提供することと、このデータ(内在)を自己記述する能力は、相互作用の形式にとってきわめて重要である(図 23)。

図 23 に示す概念には、わずかな語彙に基づいたさまざまなデバイスやさまざまなアプリケーションの統合を可能にするいくつかの相互作用タイプが含まれている。たとえば、WoT は、インターフェイスの形式的記述のための適用方法(プロセス構造)を定義する必要がある。この形式的記述に基づいて、IoT エンドデバイスおよびサービス(おそらくマイクロサービスも)、基盤となる実装についての知識や考慮なしに、さらには複数のネットワークプロトコル間で、相互に通信することができる。さらに、WoT は IoT の動作を定義して、そこからプログラム生成を導出することを可能にする標準化を実施する。ここでの課題の一つは、「伝統的な」統合インターフェイスとは対照的に、(統合)パターンの要素の(分離的ではなく)接続的な特性に基づく、標準化されたインターフェイスの開発である(提言 2.5-3 を参照)。

W3C の WoT は、実装の基礎として、次の既存 RFC (コメントのリクエスト)を規範的に参照する[47-61]。

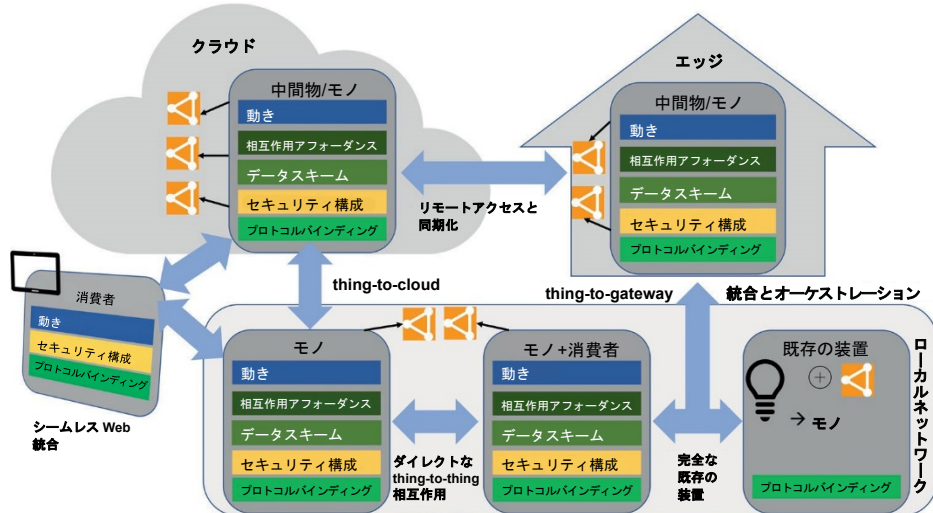


図 23：「相互作用の形式」を理解することの意味論的側面を介したモノの相互作用の全体像

Industrie 4.0 の観点から、今後ますます IIoT ベースになる仕事の世界の用途を考慮すると、適切な標準化が絶対に不可欠であるように思える。特に、相互運用性やセマンティクスの側面についての、Web 上の人間の自然な振る舞いに適応した規範的ガイドラインの開発が必要である。また、対応するセマンティクス上の概念を、既存または現在策定中の標準規格と同じ方法で考慮する必要がある。

個別の実装関係について検討する場合、（実際のまたは概念的な技術オブジェクトのための）テクノロジードメイン、（プロパティまたは特性の言語表現のための）オントロジードメイン、ならびに（ここではグラフと代数データ型理論である、数学的計算の形態によるワークピースの意味の表現と計算のための）セマンティクスドメインという 3 つの関連ドメイン間において可能性のある意味論的關係（いわゆる「モーフィズム」）が形成される[62]。2 つのドメイン間の線としてグラフィカルに表示されるこの 3 つの關係はすべて、記号三角形の中に示され（図 24 を参照）、標準化された「実装ガイドライン」として理解することができる。言い換えれば、3 つの関連する「実装」の比較可能性を確立する標準規格が存在することになる。

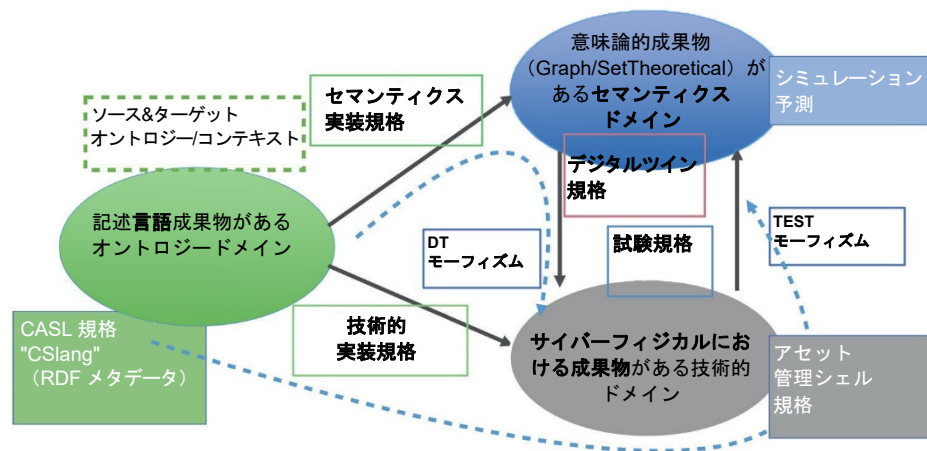


図 24 : オントロジー/テクノロジー/セマンティクスの 3 ドメイン間における相互作用の理解のセマンティクスの側面 (出典 : DINCONNECT project specification (09-2018))

IoT に基づく統合概念

統一された用語、リファレンスアーキテクチャ、相互運用性などの基本的なトピックと並行して、ISO/IEC JTC 1 は現在、システム統合の領域において、ISO/IEC 30161 「Internet of Things (IoT) - Requirements of IoT data exchange platform for various IoT services」 (モノのインターネット (IoT) —さまざまな IoT サービスのための IoT データ交換プラットフォームの要件) のような作業を集中的に行っている。この標準規格は、ミドルウェアコンポーネントで構成される IoT のデータ交換プラットフォームについて記述する。コンポーネントはネットワーク機能に関連付けられており、IoT のコンポーネントのネットワーク構成、通信メカニズムおよび各種機能プロパティが含まれる。

現在の国際標準化活動 (ISO/IEC JTC 1/WG 8、IEC/TC/65/WG 23) は、統合をシステムの観点から見るだけでなく、一般的な参照アーキテクチャモデル間の完全な統合を視野に、複雑なコンテキストでの統合についても取り組んでいる。その好例が、スマートマニュファクチャリング分野でのメタモデルの作成である (2.2.2 項を参照)。このことは付録 B.5 に示されている。

国内活動

国内レベルでは、「統合」をテーマとする活動が多数ある。たとえば、ドイツでは JTC1/SC 41 「モノのインターネットと関係技術」の仕事を反映した DIN NA 043-01-41 AA が、IoT 参照アーキテクチャ (ISO/IEC 30141) に基づく現在の統合コンセプトや、専門知識による統一活動 (NIA 年次報告書 2019 を参照) に定期的に取り組んでいる。

ZVEI のメンバー企業の社員と研究機関の専門家で構成される ZVEI 作業グループ「システムアスペクト」は、自動化技術関連の製品およびシステムのメーカーとユーザーの観点から、数年にわたりこのテーマと課題に取り組んできた。この作業グループは 2010 年の時点で既に、ガイドライン 「Life Cycle Management for Products and Systems of Automation」 (自動化関連の製品およびシステムのライフサイクル管理) で、ライフサイクル管理というテーマに関するオペレータとメーカーの間の共通理解の根本的基礎となる一般的適用が可能なモデル、用語、プロセスおよび戦略を定義していた。その成果は、後に国際標準規格 (IEC 62890) に取り込まれただけでなく、参照アーキテクチャモデル Industrie 4.0 (RAMI 4.0) にも重要事項として組み込まれた。

プロセス制御エンジニアリング（PCS）ではNAMURが、プロジェクトグループ PROLIST（「属性リスト」プロジェクトグループ）を続けることで、PCSコミュニティの特性を明確に定め、属性リストを策定することを目的として、またそれを国際標準規格に導入し、産業部門における一般利用を可能にするため、数年間作業を行ってきた[63]。今日、その成果はeCI@ssデータベースに、関連する製品ごとに格納されている。また、これらの特性の大部分はIEC CDDで利用できるようになった。

2.5.3 行動および適用に関する提言

2.5-1 セマンティクスに関する既存の標準規格（ISO 13585-1 または IEC 61360）の補足

情報世界で必要なデータ形式は、ISO 13585-1 または IEC 61360 から取ったものである。eCI@ssのプロパティもこれに基づいてコード化される。ただし、管理シェルやサブモデルでは、アセットの純粋に記述的なプロパティと比較して、運用目的のための追加のプロパティタイプが必要となる。それは、アセットの状態とパラメータ、ならびに測定値とアクター値（動的データ）である。コマンドと（技術機能と呼ばれる）機能のすべても、同じ概念を用いて記述しなければならない。今日の標準規格におけるプロパティの概念は、動的な値を正しく表すことができるよう、データモデルにおける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 データモデルの対応する新しい属性で実行することができる。機能/コマンドのモデルは開発されるか、標準規格で定義されている既存のものである。

2.5-2 eCI@ss と CDD の間における特性の持続可能で一貫した統一：

Industrie 4.0 コンポーネントの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、I 4.0 コンポーネント間の重複した相互作用を防ぐため、同じセマンティクスに対し複数の異なる標準規格の共存は認められない。今日、IEC、ISO、eCI@ss に関しては、特定の場所における並行開発を調整する必要がある。

プロパティを統一する活動は、関係する eCI@ss 委員会および IEC 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意味論的レベルおよび構文的レベルに揃え、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、eCI@ss と CDD の間で同期させる必要がある。理想的、プロパティ（ならびにクラス、値、単位など他の構造要素）の発行団体間は、意味論的に同一の要素が同じ名前とコードを持つよう、つまり同じことを意味するよう、統一ステップ後に標準規格を相互に連動させる措置が取るべきである。コンテンツの不一致が生じるの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保つか、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 および eCI@ss であり、おそらく将来は ISO も加わることになるであろう。その成果は公開する必要がある。

2.5-3 Web of Things との関連における標準化

WoT 統合の概念は、関連する国内委員会が監視し、国内標準化活動への適用性について分析する必要がある。

特にこのテーマは複雑であるため、標準規格設定機関同士の連絡を通じて、さらには標準規格設定機関とオープンソースコンソーシアムおよび業界コンソーシアムとの間のカテゴリ C の連絡を通じて、強化される協力関係に注意することが必要である。

その大半がゲートウェイベースであり、最新の直接通信の要件を満たすことができないおそれがある既存の「伝統的」プロトコル標準化とは対照的に、完全な意味論的支持によって、すべてのレイヤーにわたる I4.0 コンポーネントのシームレスな統合が開発されることになる（付録 A を参照）。提案として、このクラスの標準規格は、IoT 参照アーキテクチャ（ISO/IEC JTC1/SC41/30141）に従って開始または構造化する必要がある。

2.6 通信

2.6.1 バージョン 3 以降の状況と進展

Industrie 4.0 の実装における本質的な側面は、価値創造に関係するすべてのインスタンスのネットワーク化である。これは、たとえば、製品市場（ユースケース 1、1.4.1 項を参照）や支援システム（ユースケース 2、1.4.1 項を参照）の実装に関係する。

製品市場の実現では、サービスユーザー、市場、サービスプロバイダ間のグローバルコミュニケーションが最優先事項である。ただし、統合されたデータの概念には、生産領域へのシームレスな通信も必要となる。

将来の支援システムでは、たとえば、拡張現実アプリケーションのためのブロードバンド通信や、生産プロセスと支援機能の間で可能な限り高度な同時性を確保するための時間確定性を備えた通信が新たに必要になる。

現在使われている通信システムは、新たに開発されるシステムによって補完または置き換えられることになるだろう。例としては、Time Sensitive Networking (TSN) や第 5 世代モバイルネットワーク（5G）に関連して開発中のシステムがある。

IEEE や 3GPP 通信規格は、ユーザーデータトラフィックの物理レイヤーおよびメディアアクセス制御サブレイヤーを定めている。IP、TCP、HTTP などのインターネット上位層を産業用通信システムで使用しない場合、または使用することができない場合には、サービス、プロトコルおよびプロファイルに関する同様の標準規格が、[IEC 61158-1](#) および [IEC 61784-2](#) 標準規格シリーズに用意されている。産業用無線通信システムは、[IEC 62591:2016](#)（WirelessHART）、[IEC 62601](#)（WIA-PA）、[IEC 62734](#)（ISA100a）および [IEC 62948](#)（WIA-FA）で標準化されている。さらに、無線通信ソリューションの共存管理に関する [IEC 62657-2](#) の一連の標準規格についても言及する。

Industrie 4.0における通信要件はきわめて多様である。その結果、非常に異なる有線および無線の通信システムが使用されることになる。OPC UAにより、通信レベルと情報レベルの両方で産業用通信システムの異種混在状態を克服するインターフェイス規格が定められている。このインターフェイス規格は、既存の通信ソリューションを補足するものであり、デバイスとその機能を記述するサービス指向アーキテクチャ（SOA）や情報モデル（OPC UA Companion Specification）などの概念をベースとしている。SOAは、コンポーネントや機械、プラントが所定の生産タスクを実行するように設計またはプログラミングされておらず、基本的な機能をサービスとして提供できるように設計またはプログラミングされている場合に、コンポーネントや機械、プラントがより柔軟に機能することを可能にする。これには、データ（測定値、設定およびパラメータ値）をデバイスから転送する機能だけでなく、機械可読形式でそのデータを意味論的に記述する機能も含まれている。

有線通信の初期状況

産業用通信システムでは、IEEE 802.3（Ethernet）に基づく有線通信の高度な要件に対して高度なソリューションが既に提供されている。製造現場だけでなくオフィスも含む Industrie 4.0 ネットワークの場合、モジュール化や、モジュールの柔軟な追加、排除、再配置に関して、従来の要件に加え、新たな要件がある。コンポーネントの非階層的ネットワークに加え、センサーやアクチュエータの数の増加、ならびに診断目的などのための操作機器の拡張ネットワーク接続の増加により、データトラフィックが増加しているだけでなく、ネットワークトポロジに関する要件が変化してきている。

トポロジに関しては、現在2つのタイプが存在する。一つは、産業オートメーションで一般的に使用されているアクティブな線形トポロジで、そこでは各サブスクリバにスイッチがあって、入力ラインと出力ライン、ならびにデバイスへの内部接続が確立されている。これとは対照的に、構造化された建築物のケーブル配線には、構内、建築物およびフロアという3つの階層レベルを持つ星型ケーブル配線がある。

無線ベース通信の初期状況

無線ベース通信の通信リソースは、急速に増大する通信要件を満たすのに必要な規模へと拡張することができない。特に、電波スペクトルは非常に限られている。現在、無線通信では、通常は単一用途のために独占的に利用することのない無線スペクトルを使用している。また無線通信用途は、規制当局による周波数の割当てを通じてのみ優先される。ただし、生産プロセスの柔軟性とインスタンスの可動性により、通信関係を必要なレベルに適合させることもできる。たとえば、IEC 62657-2は、手動または自動で実装可能な、周波数に依存しない共存管理について記述している。作動中の通信システムをそれぞれの通信要件に適合させるため、管理サービスおよび制御サービスは、柔軟な通信システム（モバイル無線システムなど）が提供する。

5G Alliance for Connected Industries and Automation（5G-ACIA）により、ドイツに国際的専門委員会が設立され、携帯電話機器メーカーや携帯電話事業運営会社、自動化技術専門家、産業用無線ベース通信のユーザーなどが、情報やアイデアを交換し、第5世代携帯電話の標準化プロジェクトの準備に取り組んでいる（提言 2.6-A1を参照）。

この標準化ロードマップの2年前のバージョンで取り上げた産業ネットワーク通信の現在の進展および実装状況は次のようになっている。

異種混在状態の産業ネットワーク

産業用通信では、TSN、5G、新しいWLANの開発、OPC-UAなどの技術が現在議論されている。5Gに産業用Ethernetソリューションを統合するための概念は、5G-ACIAのホワイトペーパー[64]で取り上げられている。現在利用可能なモバイル無線ソリューションは、IPトラフィックは送信できるが、Ethernetパケットは送信できない。この作業の目的は垂直統合である。そのため5G-ACIAでは、TSNとOPC UAの統合も計画している。将来のWLANソリューションに関しては、このような活動は知られていない。TSNとの接続が想定されている。標準化によるシームレスな移行の実現可能性はいまだ不明である。これが提言2.6-1につながっている。

ネットワーク管理

産業用通信は、それぞれ独自のデバイスとネットワーク管理ソリューションを備えた非常に多様なネットワークが特徴となっている。既存の知識では、産業用通信のための5G、Ethernet、インターネット、TSN、WLANなどの管理サービスを標準化するには不十分である。最初に、相互運用可能な管理のためには、どのタイプの機器やどのパラメータを考慮すべきかを明確にすることが必要になる。特に5Gネットワークの場合、この点で標準化がどの程度可能かが不明である。これが提言2.6-2につながっている。

IEC 62657のパート1 [65]およびパート2 [66]は、産業用ワイヤレスソリューションの共存管理に使用することができる。IEC 62657のパート3およびパート4は現在作成中である。

Industrie 4.0における統合

生産プラントのライフサイクルにおける最も多様な技術の通信システムを統一的に処理に対する場合の要件も、通信システムの役割に影響を与える。それらは、目的（通信）を達成するための手段であるのみならず、生産プラントの一部でもある。オフィス通信とは対照的に、自動化では、生産プロセスに柔軟性が求められるため、産業用通信に対する要求は常に変化する。

したがって、Industrie 4.0コンポーネント用の通信アセットも開発する必要がある。その点に関連して、どのアセットがデジタル表現の定義から最も大きな利益を得るかを確認することが必要になる。モデム、スイッチ、基地局などのアクティブアセットに加えて、回線、コネクタ、アンテナシステムなどのパッシブアセットも、管理シェルで記述する必要があるか否かについて議論が行われている。現在の知識は標準化には不十分であり、それが提言2.6-3が策定された理由である。

データトラフィックモデル

モバイル通信では、データトラフィックモデルを使用してネットワークの設計を行っている。そのような手法は、産業用通信ではまだ一般的でない。Industrie 4.0では、映像伝送、拡張現実アプリケーションおよび触覚制御の使用が増加するだろう。したがって、産業用通信にはデータトラフィックモデルの仕様も必要になる。このことをベースに、たとえば、TSN、5Gネットワークスライス、Ethernet、WLANなど、さまざまなデータトラフィッククラスに必要な設定が行えるようになる。最初のコンセプトが、5G-ACIAホワイトペーパー[67]で紹介されている。提言2.6-4では、標準化の準備としてこの作業の継続を提案している。

信頼性評価

Industrie 4.0の結果として、大量消費市場向け通信技術への指向が強まり、また通信ネットワークの複雑化が進んだことで、通信サービスのプロバイダとユーザーの間に明確な分離が生じつつある。そのため、特に有料の通信サービスでは、通信サービスの提供に関する要件を明確で、請求が行えるように策定、決定、確認することが必要となる。

VDI/VDE ガイドライン 2192 [68]は、Industrie 4.0 システムの標準化で使用するインタラクティブ技術システムの特性と影響変数を定めている。ポイントは、システムのサービスパフォーマンスに関する定量的ステートメントを可能にする非機能プロパティである。そのような定量的ステートメントは、サービス品質（QoS）[68]と呼ばれるパラメータにマッピングされる（提言 2.6-5 を参照）。

リアルタイム通信の評価

リアルタイムは、サイバーフィジカルシステム（CPS）にとって重要な特性である。長距離用の、柔軟で、適応性があり、自律的なネットワークシステムにおけるリアルタイムという特性に関する議論が生じることが予想されることから、産業用リアルタイムシステムに関連するコンセプトやプロパティをまとめ、統一する標準規格の策定を緊急優先事項とする必要がある。産業用無線通信システムに関する [VDI/VDE ガイドライン 2185](#) [69]のパート 4 に、最初のアプローチが示されている（提言 2.6-6 を参照）。

妥当性確認および試験

デバイスとシステムの機能性および信頼性に関する産業用通信の厳格な要件は、明確な試験戦略が必要であることを意味する。その点に関連して、必須ではない機能が非互換性をもたらす可能性があるという事実を考慮しなければならない。また、さまざまなスタックアーキテクチャが可能であり、それらのコンポーネントは異なる標準設定機関（3GPP、IEEE、ETSI、IETF、IEC など）によって指定されていることも覚えておく必要がある。通信設備の整合性および相互運用性を検証する方法を定める規定を設けなければならない。産業用通信デバイスの潜在的製造業者が多数に上ることから、適合性評価戦略を実施することを推奨する。

5G-ACIA ホワイトペーパー[70]では 5G コンポーネントの試験について取り上げており、その結論は他の通信技術にも適用可能である。また、標準化のための知識ベースはいまだ不十分である（提言 2.6-7 を参照）。

セキュリティ

Plattform Industrie 4.0 の作業グループ AG3 では、通信に関連して情報セキュリティ（IT セキュリティ）についても議論が行われている。たとえば、アプリケーションの柔軟性とそれに伴って必要になる通信の俊敏性、さらには通信技術の特性（例：セルの変更の必要性、接続の適応性）から、追加要件が生じる。現在の動向、行動提言、セキュリティの適用については、3.2 節で取り上げる。

周波数スペクトル

産業オートメーション用の周波数スペクトルの世界的な割当てを得るための取組みは、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てきた。5G-ACIA は、2019 年の世界無線通信会議（WRC-19）における産業オートメーション用無線スペクトルの調和をサポートするテクニカルレポートを作成した。産業オートメーションに関し 14 件の新しいユースケースが報告されている。その結果を、ITU-R（WP5A、WP5D）および RSPG（EU 委員会の諮問機関）に提出するための準備作業が行われた。それは関連する政府機関や行政との緊密な協力のもとに実施されたものである。

3,700~3,800 MHz の周波数レンジ（VV ローカルブロードバンド）[71]でローカル周波数を使用するための周波数割当てに関する行政規則により、Bundesnetzagentur（ドイツ連邦ネットワーク局）はこの周波数レンジをローカル用途で利用できるよう設定している。その結果、これらの周波数は、通知された要件に従って、産業オートメーション、特に I 4.0 に使用できるようになった（提言 2.6-8 を参照）。

産業用ローカルモバイルネットワーク

5G-ACIA では、非公共ネットワークでの 5G テクノロジーの使用に関する議論が始まっている[72]。公共のモバイルネットワークから産業用 5G ネットワークを分離することで、Industrie 4.0 の基本要素としての 5G の採用が増加することになる。ただし、標準化による実装の実現可能性はまだ不明である（提言 2.6-10 を参照）。

産業用広域ネットワーク

ネットワークスライシングのコンセプトにより、非公共の産業用 5G サブネットを公共 5G ネットワークで仮想化することが可能になる。この概念は、品質保証がカスタマイズされている複数の論理ネットワークが同一の物理インフラストラクチャを使用できることを想定している。そのため、産業オートメーションの各種通信要件に対応できる。

5G アーキテクチャでネットワークスライシングを可能にするための必須要件とそれに対応した技術仕様は、3GPP SA1 および SA2 が策定した。ネットワークスライシングを使用するには、アプリケーションの特定要件をどのように考慮することが可能かを指定する必要がある（提言 2.6-10 を参照）。3GPP の作業以外に標準化が必要かどうかはまだ不明である。

産業立地管理

オブジェクトのローカリゼーションは現在、産業オートメーションの最も緊急を要する要件の一つである。解像度や精度が異なる多数のソリューションが知られている。位置データと関連情報の交換ポイントはオープンである。位置データの送信に関する要件および既存のサービスとパラメータの仕様を整理する。最先端技術の評価が行われ、適切な仕様を選択されるか、新たに策定される。ローカリゼーションが必要であるにもかかわらず、現在、標準化について産業界はほとんど関心がない。それは、オートメーションシステムで統一的に使用できない個別かつ独自のソリューションという危険を作り出す（提言 2.6-11 を参照）。

2.6.2 最近の動向

産業用通信における現在および将来の動向は、次のように特徴付けることができる。

- 工場の階層レベル内および階層レベル間の通信量が大幅に増加する。インスタンス自体の柔軟性または可動性のいずれかの理由により、空間的および組織的に分散しているインスタンス間の通信は無線になる。
- 通信要件は、製造プラントのライフサイクル全体にわたって変化することなく永続的に存在するのではなく、生産の柔軟性に応じて変化する。Industrie 4.0 プロセスの不安定さは、アプリケーションプロセスと通信プロセスの間の通信も必要とする。

異種混在状態の産業ネットワーク

5G-ACIAはこのトピックに関して2つの作業項目を開始した。最初の作業項目であるIntegration of 5G with Time-Sensitive Networking for Industrial Automation（産業オートメーションのための5Gと時間的制約のあるネットワーク化の統合）というコンセプトは、プロジェクトIEEE/IEC 60804 [73]（[IEC 61672-1](#)、[IEC 61672-2](#)）に準拠したTSNの統合のために策定された。2番目の作業項目Integration of OPC UA with 5G network（OPC UAと5Gネットワークの統合）では、5GとOPC UAの統合の可能性が議論されることになる（提言2.6-1を参照）。

ネットワーク管理

5G-ACIAの作業項目5G Network Exposure Interface for Enterprises（エンタープライズのための5Gネットワーク露出インターフェイス）では、非公共ネットワークのネットワークリソースや、携帯電話事業者の専用ネットワークサービスへの統合的アクセスを可能にするための対策について議論が行われている。明確に指定された使いやすいインターフェイスを介したネットワークへのアクセスは、デバイス接続の管理、構成および通信サービスの管理をサポートするものであることが求められる。ネットワークの起動や接続確立（プラグアンドワーク）などの管理機能を調和させなければならない。たとえば、現在開発中の[DIN SPEC 16593-2](#) Mechanisms for bootstrap, announcement and location of industrial IoT components（産業用IoTコンポーネントのブートストラップ、アナウンス、場所のメカニズム）では、産業用IoTにおける通信パートナーの動的仲介のための統合的メカニズムが定義される。そのメカニズムにより、通信パートナーは、IIoTコンポーネント特有の実装技術とは無関係に、Industrie 4.0システムでお互いを見つけ合うことができるようになる。

通信パートナーを仲介するため、以下のメカニズムを検討することが計画されている。

- フェーズのセキュリティ関連事項を統合的に考慮したIIoTコンポーネント（ブートストラップ）のスタートフェーズ用通信インフラストラクチャ
- ルックアップ（広告）を可能にするため通信エンドポイントを認識させる。
- 通信エンドポイントのルックアップ（ルックアップ）

活動の過程で、実装のための完全な技術的実装の詳細仕様であるDIN SPECが、IIoTコンポーネントの動的仲介のための統合的メカニズムの概念仕様に加えて定義され、開発者はそのメカニズムの実装に仕様を使うことができる。DIN SPECワークショップは、現在並行して開発されているすべてのソリューションの内容を比較し、それを仕様の出発点にするために設けられ、使用されるものである。また、（IT、セキュリティ/クラウド、機械工学、プラントエンジニアリングなど）さまざまな分野の専門知識を組み合わせることを目的としており、ここで提起された疑問に対する定義済みソリューションを（学際的に）統合する。このDIN SPECは、Plattform Industrie 4.0などの関連団体の既存の標準規格や提言への統合も意図している。

DIN SPECの枠組みの中で、特に

- 有力な通信パートナーが特定され、可能なアプリケーション・シナリオに基づいてこれらの通信パートナーを仲介するための要件が導き出され、
- 通信パートナーの（動的）仲介のための具体的な既存のソリューションが比較および評価され、
- これらのソリューションのセキュリティメカニズムを総合的に検討して、実装のソリューションパターンの要件を定義し、
- ソリューションパターンの記述が導き出され、さらに、
- 具体的な実装についての記述が行われる。

これが提言 2.6-2 につながっている。「VV ローカルブロードバンド」（管理規則）は、3,700~3,800 MHz の周波数レンジでローカル周波数を使用するための隣接ユーザー間の協定を定めている。ここでは、IEC 62657-2 がこのプロセスをサポートできるかどうかを調べる。

信頼性評価

5G-ACIA の作業項目 **Key Performance Indicator (KPI) for 5G technology-enabled connected industries** (5G テクノロジー対応コネクテッドインダストリーズの主要業績評価指標 (KPI)) でも、信頼性評価を取り扱っている。これらは VDI/VDE ガイドライン 2192 とともに、産業用通信ソリューションの標準化された信頼性評価の基礎を形成する可能性がある（提言 2.6-5 を参照）。

リアルタイム通信の評価

5G-ACIA の作業項目 **Performance testing - Field trial - Objectives, Requirements and Methodology** (性能試験—フィールドトライアル—目的、要件、方法論) および **5G Performance Evaluation for Connected Industries and Automation** (コネクテッドインダストリーズとオートメーションのための 5G 性能評価) では、産業用 5G ソリューションのリアルタイム動作を評価する方法について議論が行われる。アプローチと結論は、異種混在状態の産業ネットワークの観点から評価し、必要に応じて適応を実施する（提言 2.6-6 を参照）。

周波数スペクトル

5G-ACIA では、スペクトル規制のさらなる進展（即ち、現在および将来のスペクトル割当ての条件）に関する議論、ならびに産業への影響に関する議論が引き続き行われる。もう一つのトピックは、ネットワークスライシングを含む 5G Industrie 4.0 ソリューションを有効にするリソース活用に関するオプションである。Industrie 4.0 のスペクトル提供に関し、種々のモデルが欧州など世界中で議論されている（提言 2.6-8 を参照）。

既存の標準規格または策定中の標準規格の適用性を検証しなければならない。必要に応じて、異なるメーカーの製品の相互運用性を確認するため、適合性テストを実行できるようプロファイルを指定する必要がある。

ここで、無線通信を含む、Industrie 4.0 の理想的ネットワーク構造がどのような姿をしているかを確認する必要がある。これには、Industrie 4.0 コンポーネント内の通信、部分的にモバイルの、さまざまな Industrie 4.0 コンポーネント間のネットワーク化、高レベルの自動化デバイスとの通信、商用 IT への接続、データストレージ用クラウドおよびクラウドベース・サービス用クラウドが含まれる。確認されたソリューションは標準化される。Industry 4.0 ネットワークに診断機能および監視機能を実装するためには、アクティブ（ルーター、スイッチ、リピータなど）とパッシブ（回線およびプラグ）両方の、有線通信システム用インフラストラクチャ・コンポーネントの仮想表現が必要となる。統一的な視点を獲得するため、インフラストラクチャ・コンポーネントのプロパティ（製品記述データおよび運用データ）とステータス情報を標準化することになる。

アプリケーションプロセス内でこうしたサービスを利用するために、通信デバイスを Industrie 4.0 コンポーネントとみなし、開発段階で RAMI 4.0 のレイヤーに取り込んだ事柄を考慮することは有効であろう。新しい通信技術と、通信システムの記述された適応性も、セキュリティに新しい要求をもたらす。さらに、アプリケーションの移動性と時間確定性のために、通信システムは測位と時間同期サービスを提供しなければならない。

2.6.3 行動および適用に関する提言

2.6-1 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Ethernet、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になり得る。

2.6-2 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、またアプリケーションの観点から指定する必要がある。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。

2.6-3 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。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。

2.6-4 （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。

2.6-5 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。

2.6-6 （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要約され、標準規格で統一的に定義される。

2.6-7 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検証するのに使用可能な試験仕様を定める。

2.6-8 産業オートメーション用の周波数スペクトルの世界的調和を実現するための取組みは、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。3,700~3,800 MHz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世界中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運用のための概念と、公共ネットワーク事業者との共同によるネットワーク運用の概念を統一することを推奨する。

2.6-9 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ホワイトペーパー「Non-public Networks」（非公共ネットワーク）[72]でなければならない。

2.6-10 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 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および 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 ネットワークのシームレスな統合を可能にするには、2 種類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。

2.6-11 産業立地管理には、次に挙げる項目の統一された標準化が必要である。

- (1) 立地データを決定するテクノロジー
- (2) 立地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) アプリケーションおよび可視化ツール

2.6-A1 3GPP におけるモバイル無線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連した発行物を出している。そうした発行物は、Industrie 4.0 における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、データト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。

2.7 人間と仕事

2.7.1 バージョン 3 以降の状況と進展

Industrie 4.0 の作業プロセスでは、人間は機械のオペレータ、メンテナンススタッフ、生産計画立案者、プログラマなど、社会技術的作業システムのアクターとしてさまざまなタスクに関与している。ユーザーフレンドリーで持続的成功が可能な作業の基準は、先見性のある新たに再設計された作業システムの計画立案で考慮に入れることができる。機能、スキル、能力、限界がある人間を設計に含めると、人間工学に基づいた効率的で柔軟な作業システムが出来上がる。

人に優しい作業の基準のヒエラルキー（図 25 を参照）は、人間工学の分野における標準化作業の指針となる。基本的基準は、個々の人間の身体的および精神的な能力に関連した活動の実行可能性である。さらに、作業は無害でなければならない。したがって、事故や健康へのダメージだけでなく、取扱いミスも、適切な設計によって回避しなければならない。現在そして未来において、人間工学に基づく設計の支援システムや自動化ソリューションが、他の方法では実行不可能であったり、人間が実行すると健康に有害であったりするタスクを引き継ぎ、サポートする。適応可能で、また適合性がある技術により、こうしたサポートは関係する個人に合わせて調整することができる。仕事が個人にインパクトを与えることがあってはならず、したがって作業負荷が最適になるよう設計する必要がある、個人は肉体的または精神的なオーバーワークやアンダーワークから守られることになる。



図 25 : Hacker (2005) によるヒューマンフレンドリな仕事の基準

動的サイバーフィジカルシステム、高度情報可用性、複雑な人間=テクノロジー相互作用など、Industrie 4.0 で行われている開発は、負荷を軽減する効果を備えている。ただし、設計が不適切な場合は、逆の効果が生じる可能性がある。たとえば、単調さは、人がテクノロジーの助手になり、単調で簡単な残り仕事を行わなければならないときに生じる。個人の作業負荷に関する限り、オーバーワークとアンダーワークという両極端を回避しなければならない。最高の基準は、新しいスキルを学び伸ばすことを可能にすることで、個人の成長を促進するよう作業を設計するケースである。従業員の継続的かつ個人的資格、作業システムの責任の一部移転および人間=技術相互作用の人間工学に基づいた設計により、資格喪失を回避し、学習を促進することができる。

作業システム設計の人間工学原理

DIN EN ISO 6385 (現在は 2016 年版) は、国際的に受け入れられている作業システムの基本規格である。それは、作業タスク処理のための作業組織内部や、作業区域、職場および作業環境における活動での、作業員および作業設備と人間=技術インターフェイスとの相互作用に関わる、人間工学に基づいた設計の基本を形成する (図 26 を参照)。その内容は、生産、サービスの提供または知識ベースの作業やロジスティクスで使用されるシステムなど、多岐にわたる作業システムに適用される。作業システムに関する人間中心の設計の基本的概念と、所定の作業設備の使用に対する適合性は、標準規格に規定されている。さらに、人間工学に基づいた作業設計の中心となる用語が定義されており、設計を必要とする作業システムの重要コンポーネントにも名前が付けられている。

設計 ...



図 26 : DIN EN ISO 6385 に準拠した設計が可能な作業システムの要素

本項は、これらの要素に沿った構成になっている。ただし、重要なのは、作業システムの個々の設計要素だけではない。相互接続された動的で複雑な生産システムの時代には、要素間の相互作用も特別な役割を果たす。Industrie 4.0 作業システムにおいては、人間と技術的設備（例：機械、ワークベンチ）の相互作用が多いため、一方で製造に関連し（例：機械指令 2006/42/EC、2009/127/EC）、他方で日常業務における使用に関連した（例：職場の規則）法的要件が関わってくることになる。

欧州連合の国々では、基礎となる規則が、詳細情報については、実装を成功させるための適合性の推定をもたらす可能性のあるいわゆる統一規格も参照できるため、この規定は特別な役割を果たしている。安全要求と人間工学要件は機械指令に記述されており、標準規格を参照して定められている。作業タスクの人間工学的設計が明らかに DIN EN 614 シリーズに基づいており、また相互作用および情報インターフェイスの人間工学的設計が明らかに DIN EN 894 シリーズに基づいている場合、機械に関わる作業タスクおよび活動の設計に不可欠な要件が実装される。当然、必要に応じて比較可能性の証明も提供されるのであれば、他の要件や統一されていない標準規格（例：DIN EN ISO 9241 シリーズ）も設計目的に使用することができる。したがって、機械の安全性設計では、機械指令を実装する標準規格の人間工学的要件に準拠することを推奨する。

模範的ユースケース「車両組立支援システム」

既にユースケース 3（1.4.1 項を参照）で簡単に説明したように、デジタル化は、支援システムにおけるタイプが異なる作業をサポートするための包括的な技術的可能性をもたらす。以下に挙げる概念的ユースケースは一つの例であり、そうした機能的側面を組み込んでいる。仕事は、自動車製造の一環として組立技術者が行う内装の最終組立である。

使用されている技術は、動的なシートサポートとしての外骨格ロボット、内装の大部分のハンドリングと取付作業をサポートする協働ロボット、さらには状況に応じて使用できるデータグラスである。形状が異なる多様な製品の組立および品質保証に関する情報を提供すると同時に、カメラ技術を使ってプロセスをドキュメント化し、また特殊な状況では、改善に関する提案や組立作業員からの類似の情報を（言語による記録を含め）記録するための情報を提供する。上司や専門家などとのコミュニケーションの可能性も含まれている。

ここでのアクターは、支援システムおよび支援機能の組立作業員、組立管理者、作業システムプランナ、作業プロセスプランナ、組立制御、機械および電気メンテナンスの担当者、ソフトウェアおよびハードウェアのメーカー担当者である。技術支援が失敗した場合に、生産ラインが停止するのを防ぐため、ロボットや支援システムなしで組立プロセスを実行することが可能でなければならない。同じく、制限値を超えたり下回ったりしてはならない。プロセスの結果、内装部品（例：シートベンチ、ダッシュボード）が組み立てられる。

車両と内装部品はベルトコンベヤに載っていて、1人の作業員がエクソスケルトン・チェアなどのパワーアシストシステムやハンドリングロボットを使って車両に内装部品を取り付ける。部品の位置決めは大まかな場合も細かい場合も、人間＝ロボット協調によって実行する。オプションとして、ねじ止めに関する部品固有の情報をデータグラスを使って確認することができる。データグラスは、画像や言語を使った改善案の記録にも使用することができる。データグラスのカメラシステムを利用して、作業手順のドキュメント化も行われる。

作業システムの設計

Industrie 4.0は、企業の作業プロセスおよび価値創造プロセスの設計の柔軟性に新たな可能性をもたらすことができる。人間工学に基づいた作業システムの設計は、体系的かつ戦略的なアプローチによる、Industrie 4.0ソリューションの計画、実装および運用をサポートする。

作業組織の設計

作業組織は、運用構造と組織構造に細分化できる。運用構造の設計には、企業内で製品の製造またはサービスの提供を保証するプロセスが含まれる。組織構造は、運用構造を有効にし、サポートするよう設計する必要がある（提言 2.7-2 を参照）。

タスクおよび活動の設計

変化するタスクや活動、ならびに新しいタスクや活動の人間工学に基づいた設計は将来、作業員のパフォーマンスや健康、安全、福祉を維持および改善する機会をもたらす。次に挙げる例は、作業負荷の恒久的最適化の原則とすることができる。

- オーバーワーク、アンダーワーク、不必要な繰り返し、その他のバランスを欠いた作業負荷、体調不良、単調さ、心理的飽和、退屈、不満を回避する。
- 作業中の従業員に、タスク処理に関する有意義なフィードバックを提供する。
- 社会的および専門的な接触の機会がない孤立状態での仕事を回避する。
- 作業の優先度、ペース、アプローチに関して作業員に適切な選択の自由を与える。

製品、機器、インターフェースの設計

DIN EN ISO 6385によると、作業機器には、ツール、ハードウェアおよびソフトウェア、機械、ならびに作業システムで使用されるその他のコンポーネントが含まれる。従業員との相互作用はインターフェースを介して行われる。またインターフェースの設計は、人間の性質および特性に適応させる必要がある。安全で健全な作業設計という目的に関しては、人間工学に基づいた作業システム設計の指針となる原則の方が、用途に適した作業機器の設計に関する指針よりも包括的で広範囲にわたるように思える。

たとえば、現在改定作業が行われている [DIN EN ISO 10075-2 Ergonomic principles related to mental workload](#)（精神作業負荷に関する人間工学的原理）では、単調さを回避し、タスクを個別に実行できるよう、信号表現のモード変更を可能にすることが推奨されている。この点における Industrie 4.0 テクノロジーに関連した機会とリスクについては、現在行われている同標準規格の改定作業で協議されている。

スマートデバイス、ウェアラブルデバイス、その他サービスとネットワーク化された同様のテクノロジーにより、製品やシステム、サービス間の境界が曖昧になっている。その結果、人間と機械または技術システムとの間に新たな相互作用が生じる可能性があり、それが起こる可能性があるハザードや人間工学的設計の評価に問題をもたらすことになる。議論で取り上げられたり、標準化で話題になったりすることが増えている「持ち込みデバイス」や「ユーザーエクスペリエンス」（[ISO 9241-210](#)の「ユーザーエクスペリエンス」の定義を参

照)などのトピックは、システムの利用の成否や経済的利用が、そのシステムの使用体験の質に大きく依存することを示している。

作業環境、作業空間、ワークステーションの設計

DIN EN ISO 6385-12には、作業システムの他の要素（作業機器など）との相互作用を考慮したうえで、作業環境、作業空間、ワークステーションのヒューマンフレンドリ設計の用語定義および要件が含まれている。したがって、作業環境には、作業員を取り巻く物理的、化学的、生物学的、組織的、社会的、文化的な要因が含まれる。この標準規格は、とりわけ、環境の客観的および主観的な評価を考慮し、健康、安全および福祉の維持について認められた制限が守られ、作業員が環境に影響を与えることが可能であることを求めている。

作業空間は、タスクを実行する作業システム内において、1人または複数の者に割り当てられる区域である。ワークステーションは、タスクに必要な条件下における、作業環境内の機器の組合せと空間的構成を意味する。DIN EN ISO 6385-12は、とりわけ、作業空間とワークステーションの設計に関し以下の要件を定めている。

- 静止姿勢での作業と動き回る能力の両方が可能であるものとする。
- そこから身体強度を加えても安全な固定された面を提供するものとする。
- 体格、姿勢、筋力、体の動きを考慮するものとする。

作業環境の特定の側面については、既存の標準規格で規定されている（例：DIN EN 12464-1の職場の照明を参照）。さらに、いくつかのVDIガイドラインが存在する（例：VDI 2058 **パート 3** Assessment of noise in the working area with regard to specific operations（特定の操作に関する作業エリアの騒音評価））。基本的な要件は、*Technischen Regeln für Arbeitsstätten* (ASR) [Technical Rules for Workplaces]（職場の技術規則）で取り上げられている。これらは、*Arbeitsstättenverordnung* [German Workplace Ordinance]（ドイツ職場条例）の要件を詳述したものである。

学習と能力開発を促進する作業設計

実行可能かつ無害で、欠陥がないように設計されているだけでなく、個人的な成長の機会も提供する作業タスクは、ヒューマンフレンドリな作業設計の基本的基準を満たし（図 22）、健康と学習に有益であり、結果的にやる気と生産性を向上させるものと考えられている[87-90]。

標準規格においては、学習の促進は主に人間工学に基づいた設計に関連して取り上げられる。仕事に関連するタスクの要件や、それに関連する精神的ストレスおよび精神的緊張に関与することで、学習プロセスを開始できるようになる。このようにすることで、学習を促進することができる（DIN EN ISO 10075-1）。さらに、既存の標準規格は、学習を促進するよう人間と技術システムとの対話を促すことで、ソフトウェアの設計に関する情報を提供している（DIN EN 29241-ff/ISO 9241-ff）。

1.4.1 項で取り上げた「支援システム」の場合、組立タスクの実行とそのタスクに関連したメンタルな相互作用が、学習プロセスを構成することを意味する。このようにして、人間はタスクを実行する方法を学ぶことができ、必要な運動能力を継続的に改善することができ、システムやさまざまなコンポーネントの相互関係についての理解を深めることができる。同様に、エラーや障害が発生する理由について多くの知識を獲得し、システムを理解するようになる。

2.7.2 最近の動向

作業システムの設計

最近のさまざまな研究により、Industrie 4.0 は、一定レベルの成熟度を達成した場合のみ、作業システムで成功し、持続可能となることが確認された。Industrie 4.0 に関連して acatech[67]が実施したスキル開発に関する調査によると、企業が必要とする最も重要なスキルはデータの評価と分析（企業の 60.6%）であり、次がプロセス管理（53.7%）である。このことは、リストで IT 固有スキルの前に示されている。過去 12 か月間に、中小企業の Industrie 4.0 プロジェクトに関連して Deloitte が実施した *Industrie 4.0 im Mittelstand*（中小企業の Industrie 4.0）という調査の結果、調査対象企業の 86%がプロセスの最適化を実施中であることが分かった。こうした背景から、作業システムの設計は常に、Industrie 4.0 ソリューションの技術計画と並行して実行しなければならない。

標準規格の [DIN EN ISO 6385-12](#) は、作業システムの設計を、多数の設計フェーズで構成され、再設計や再構築が行われる反復かつ構造化されたプロセスとして定義している。DIN EN ISO 6385-12 に加えて、他の多くの標準規格で、作業システムの設計プロセスに関連する情報が取り上げられている。たとえば、[DIN EN ISO 27500 : 2017-07](#)、[DIN ISO 45001 : 2018-06](#) または [DIN EN ISO 9000 ff](#) が、作業システム設計の枠組み条件を記述している一方で、たとえば、[DIN EN 16710-2 : 2016-10](#) は、作業システム設計の分析方法を規定している。このテーマは複雑であるため、いずれの標準規格にも運用実装に関する情報は含まれておらず、結果として、各企業内の状況に基づいて決定することになる。

2019 年 3 月、ISO 国際規格ワークショップ Ergonomics standards for robotic, intelligent and autonomous systems（ロボット工学、インテリジェント、自律システムの間人工学標準規格）に大きな衝撃が走った。ロボット工学、インテリジェント、自律システムに関する各作業グループの成果が、改定される [ISO/TR 9241-810](#) に組み込まれることになったのである。このグループはまた、人間工学、スマートマニュファクチャリング、外骨格デバイスの各分野におけるさまざまな活動の評価を行うことになっている。国レベルでは、人間工学に関する DIN 標準規格委員会の内部で、作業グループ「Industrie 4.0 における作業および製品の設計」が、人間工学に関する標準規格の修正が必要かどうかを慎重に検討し、判断する責任を負っている（提言 2.7-1 および提言 2.7-2 を参照）。

Industrie 4.0 の付加価値システムにおける人間の役割を考えた場合、社会技術的な観点は、将来を見据えた作業設計にとって非常に大きな利点をもたらす。作業システム設計の社会技術的プロセスにとって重要な問題は、作業員を参加させるためのアプローチである。多くの場合、I4.0 コンポーネントの適用についてはいまだ不明であるため、作業員の参加は現実的であるとは思えない。同時に、ユーザーの参加は、十分に記述された最先端の分野である（たとえば、DIN EN ISO 9241 ではユーザビリティへの一つのルートとして記述されている）。この点において、適切な社会技術的ユースケースが役立つ場合がある（提言 2.7-3 を参照）。

作業組織の設計

デジタル化がもたらす利点の一つは、情報フローおよびデータフローの処理をテクノロジーでサポートし、変更できるため、情報を水平方向および垂直方向に統合できるほか、企業の内外で統合できるようになることである。このことに基づいて、組織のタスクの一部または全部を、テクニカルサポートシステムに移転することが可能になる。上記のユースケースに話を戻すと、こうした進展は、たとえば、スタッフ配置計画では以前よりも多くの基準を考慮することが可能になることを意味する。在席や評価以外に、人間工学的側面を、たとえば、ストレス変化に関する計画を立てるために体系的に考慮することができる。

デジタル化はまた、（人間＝ロボット相互作用の形態など）部分的に、または（無人輸送システムなど）完全な形で技術システムに大きな物理的負荷を課すサブタスクの組織的割当ての可能性を広げる。そうすることで、作業プロセスや付加価値プロセスの間に行われる仕事に関連したタスクが総体的なものとなるだけでなく、それを継続的改善（組織のさらなる発展など）に使うことも可能になる。これにより、作業時間や場所に関して柔軟性が高まり、改善の余地も広がることになる。この柔軟性を持続させるには、リーダーシップおよび共同決定の修正や場合によっては分散化に加えて、企業内のプレゼンスや仮想空間でのプレゼンスから、限られた接触可能性や、各ケースで使用される通信方法および通信メディアの情報の豊富さまで、全体をカバーする協プロセスの修正が必要になる。

デジタル技術を使用するには、デジタル技術と人間の相互作用が必要である。人間との相互作用がテクノロジーとの相互作用に取って代わられた場合、人間が社会的に孤立するおそれがある。それはたとえば、モバイル作業においてや、人間＝ロボット協調との関連において、または複数の機械が関わるネットワーク化された作業で起こり得る。労働安全衛生に関連して、社会的孤立の防止は雇用主の組織的義務の一部である（提言 2.7-4 を参照）。

上記に基づき、注文状況に応じて（たとえば、顧客の変更要求が遅れた場合においても）、機敏に運用構造を再構成でき、また年齢に応じた作業構造といった人間工学的側面についてもさらに考慮することが可能になり、勤務成績や労働力の効率が、勤続期間全体を通して向上することになる。同様に、学習と資格のコンテンツは作業負荷に応じて計画し、作業活動に統合できるため、技術開発のダイナミクスも、それを使用するために必要な知識とスキルを与えるという観点から考慮することができる。これは、従業員と管理者の双方に関係する（提言 2.7-5、提言 2.7-6 を参照）。

組織構造は、デジタル化の領域における非常に動的な進展を考慮して迅速に決定を下せるように設計する必要がある。そのために、分散型の機能指向アプローチを利用することができ、協力指向でプロジェクトに関連した作業方法をサポートする。これは、プロセスの変更により上部構造の調整が必要になる場合があることも意味する。デジタル改革プロセスの導入に成功した企業の組織構造は、複数の部門にまたがる作業グループという特徴がある（提言 2.7-7、提言 2.7-8、提言 2.7-9 を参照）。

タスクおよび活動の設計

Industrie 4.0 要素を使用することは、タスクおよび活動の設計にも影響する。機能は、人間と機械の間で共有が続く。機能の割当ては、柔軟に変化できるよう、動的に行う必要がある。これは、人間＝ロボット協調などの社会技術システムで既に目にする事ができる。ロボットは従業員の作業タスクを完全または部分的に引き継ぐことができ（またその逆の場合もある）、また従業員は作業タスクの一部について、ロボットや支援システムによってサポートされる。将来の人間とシステムの相互作用は、さまざまな形を取る（提言 2.7-11 を参照）。

将来、静的な運用要素に加えて、制御室、制御ステーションまたはマルチマシン操作のモバイルオペレーティングシステム（例：タブレット、スマートフォン）が一般的になるだろう。そのため、機械オペレータは複数の機械を同時に監視し、制御し、保守し、修理することが可能になる。従業員は、固定式および移動式の制御ステーションでタスクの調整を行う。従業員への、機械と注文へのタスク機能の可変であると同時に明確な割当て、ならびに現在の状況や変化に関するフィードバックが必要である。

Industrie 4.0 の作業システムでは、プロセスと製品は、人工知能または自己学習アルゴリズムによって異なる方法で制御される。そのため作業システムは、部分的に自律的な動き方をする。たとえば、協働ロボットや他の AI 対応システムは、独立して動作を最適化することができる。情報支援システムは、たとえば、体験ベースタスクの記述やデータグラスを介したプレゼンテーションの作成に使用される。機能の割当てや、従業員の行動範囲への作用は、タスクおよび活動の人間工学的設計の要件に基づいていることが必要である（提言 2.7-12 を参照）。

デジタル化は、たとえば、支援システム—即ち複雑な情報のタスクに適した透明性のあるフィルタリングと提示または可視化—によって情報作業をサポートするための、包括的な技術的可能性をもたらす。この情報は、たとえば、（複数の（センサー）ソースからの）構造化されていない多次元データからアルゴリズムを使ってデータアナリストが取得し、次に機械オペレータが利用できる形に変えられ、機械で使用したり、「リアルタイム」で処理したりできるようになる。Industrie 4.0 における将来の作業タスク設計では、従業員は作業プロセスの試験（例：管理シェルによるシミュレーション、仮想現実）を行うことができる。そのため、目標達成の定量的および定性的な予測、ならびに作業プロセスの予測と計画が可能になる。シミュレーションで決定された作業シーケンスは、機械に転送され処理される。プロセス産業の現在のソリューションは将来、機械、プラントまたは自動機械用に同じように開発され、従業員はタスクを計画、決定、実行および評価できるようになる（提言 2.7-13 を参照）。

将来のネットワーク化された技術システムとの相互作用も、おそらくは状況によって、行動の範囲を変えることになる。それにより、新しい設計と資格要件が生じる。完全に自動化された産業用ロボットとは対照的に、協働ロボットは、従業員が学習したり、または教えたりすることを可能にする。たとえば、従業員は手動誘導によって、新製品のバリエーションを生産するようにロボットを設定することで、タスクを何度も変更することができる（提言 2.7-14、提言 2.7-15 を参照）。

将来、人間のタスクには、監視、チェック、計画立案、制御などのプロセスが増加することが予想される。そのため、機能の共有、相互作用、情報提供に関する新しい要件が生まれる。

製品、機器、インターフェイスの設計

データグラス、外骨格デバイス、協働ロボットなどの新しいテクノロジーでは、それぞれのタスクに関係するヒューマン=マシンインターフェイスの設計に新しいコンセプトが必要になる。それは現在、さまざまな標準化委員会および標準化活動で議論されている（例：[DIN EN 614](#) シリーズの改定とその ISO レベルへの移行計画）。

統一された標準規格と特定の製品規格に加えて、DIN EN ISO 9241 シリーズの標準規格は、製品や作業機器およびインターフェースの設計に可能な方向性を提示する。DIN EN ISO 9241-210 は、人間とシステムの相互作用が人間中心の設計によって特徴付けられる場合の活動を記述している。それには、通常はユーザーを包含し、またフィードバックを収集する反復的で迅速な手順が必要となる。一方、DIN EN ISO 9241-112 は、その一般の妥当性が、仮想または拡張インターフェースでのアプリケーションにまで及ぶような情報の提示の包括的の原則を定めている。こうした情報提示の原則を、協働ロボットなど物理的相互作用を特徴とし、またその結果としての特異性とハザードを特徴とする製品に移転できるか否かについては、現在研究中である（提言 2.7-19 を参照）。

作業環境、作業空間、ワークステーションの設計

ISO/TC 159/SC 3「人体測定および生体力学」委員会、ならびに NA 023-00-03「人体測定および生体力学」共同作業委員会は現在、体のサイズに関するデータの更新、データ抽出のための新しいテクノロジー（例：3D ボディスキャニング、デジタルエルゴノミクス）の使用、安全性評価生成の前提条件としてのテクノロジーの要件といったテーマについての議論および開発に取り組んでいる。したがって、適応機器によって、ワークステーションを個々の従業員に適応させることが可能になる（提言 2.7-27 を参照）。

学習と能力開発を促進する作業設計

デジタル化の分野における急速な発展は、作業タスクの変化や、時には組織構造のかつてないほど急激な変化をもたらす。その結果、人間が満たさなければならない要件（資格、能力、スキルなど）も、さらに激しく変化することになる。結果的に、すべての関係者（管理職者および従業員）の知識（生涯学習）の継続的な進歩が重要であるのと同様、新規または変更された作業状況に対処する能力の重要性が高まっている。同時にデジタル化は、作業プロセスに適切な学習状況を組み込むことによって学習を促進し、また職場ベースの学習を統合するよう作業を設計する大きな機会をもたらす。これには、経験に基づいた業務明細書や、特定タスクの定期的割当ても含まれているため、個人は高度な慣行を身に付けたり、関係するタスクに段階的な変更を加える方法を学んだりすることができる。これはデジタル化によって、効率およびイノベーションに関連した目標と、スキルや「実地学習」を促進するように作業設計を行うための従業員関連の目標とを整合させようという企業の取組みであると考えられる（提言 2.7-29、提言 2.7-30 を参照）。

2.7.3 行動および適用に関する提言

作業システムの設計

2.7-1 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、人間工学および作業設計に関するさまざまな一般的標準規格において検証することになる。上述したように、作業システムの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、それらを見つけ出し、検討することが困難になっている。そのためには、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。

2.7-2 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含むドキュメントを提供することを推奨する。それはまず 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することが必要となる。

2.7-3 社会技術的ユースケース

作業組織と設計は、作業システムの主要要素であり成功要因である。各ユースケースでは、ユースケースの基礎となる作業組織とタスク構造の目的についてと、ユーザーの参加を実現するためにどのような対策を計画立案するかについて記述する必要がある。作業システム設計の別のコアコンポーネントとしては、（たとえば、DIN EN ISO 6385 に準拠した）作業機器のタスクに適した人間工学的設計がある。したがって、各ユースケースでは、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通常、新しい能力要件を示唆する。I 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どのような方法を検討し、設計すべきかについて、能力と能力開発の必要性の判定方法、または少なくとも推定方法を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ハザードとその防止を記述し、評価するためのユースケースを採用することが重要である。

作業組織の設計

2.7-4 将来人間と機械の間で起こることが予想されていて、動的にさえなり得る機能分割により、機械の自律的機能から、行動および意思決定それぞれの範囲の分割、人間の独立した決定に至るまで、自由度が異なる行動が生成される。その結果、DIN EN 614-2、ISO/TS 15066、DIN EN ISO 10218-2 などの標準規格を補足または修正することが必要になる。

2.7-5 Industrie 4.0 の条件下では、従業員の管理が変化する。それに関連して、リーダーシップの人間中心的側面をまとめ、開発し、トレーニングを実施するには、企業内で組織的役割を確立することが有効に思える。彼らの仕事には、Industrie 4.0 を社内で受け入れ、企業のビジョンとミッションからデジタル化戦略を導き出すことが含まれる。たとえば、DIN EN ISO 27500、ISO 9241 ff および ISO 26800 は追加または修正が必要である。

2.7-6 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、整合性、機密性および法律に則った処理が含まれる。たとえば、DIN EN ISO 27500、ISO 9241 ff および ISO 26800 は追加または修正が必要である。

2.7-7 時間および場所とは無関係に作業をまとめ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ることになる。その設計オプションは、定置作業のものとは大きく異なる。たとえば、DIN EN ISO 9241-1:1997 は追加または修正が必要である。

2.7-8 作業組織の漸進的な自動化と機械化は、人間同士の相互作用プロセスの減少につながる可能性がある。従業員の精神的ストレスに対する潜在的影響という意味で、社会的孤立の問題を特定して評価するよう注意しなければならない。次に挙げる標準規格を補足または修正する必要がある：DIN EN ISO 10075-2、DIN EN ISO 10075-2、DIN EN 6142。

2.7-9 作業組織を技術開発に対し継続的に適応させるには、従業員の適応学習と資格認定行動が必要である。学習を促進するよう仕事を設計することで、生涯学習をサポートしなければならない。たとえば、DIN EN ISO 27500、ISO 9241-11/-20/-100/-171/-210、ISO 26800、DIN EN ISO 10075-2 は追加または修正が必要である。また、このトピックに関するガイドラインは VDI 技術委員会 7.22 にて作成中である。

2.7-10 Industrie 4.0に関連する変化や枠組みの拡張が理由で、組織とその環境に対する理解を広げる必要がある。純粋にデジタル方式で実行される可能性があるプロセスでは、組織の仮想環境も考慮する必要がある。たとえば、DIN EN ISO 9001:2015 は追加または修正が必要である。

タスクおよび活動の設計

2.7-11 人間と機械/プラント間の相互作用は、タスク、相互作用および情報の段階的变化に対して動的設計が可能であることが必要だ。これらのレベルにおいては、機械の自動機能から、行動の分割、人間の完全かつ唯一の行動まで、程度の異なる行動が存在する。たとえば、DIN EN 614-2、DIN EN 894-1/3、ISO/TS 15066、DIN EN ISO 10218-2、DIN EN ISO 29241-2、DIN EN ISO 10075-2、DIN EN ISO 11064-1/5/7、DIN EN ISO 13861、機械に関する C 規格は修正が必要である。

2.7-12 将来、技術システムは自動化され、また短期的には生産プロセスに動的に適應されることになる。再構成プロセスは、人間と機械の機能分割に影響を与えるため、適應可能な自動化としてマッピングする必要がある。たとえば、DIN EN 614-2、DIN EN 894-1、DIN EN ISO 29241-2 は修正が必要である。

2.7-13 将来、生涯学習とデジタルリテラシーの重要性が増す。従業員の資格に対する技術的サポートの新たな可能性から、従業員は他のより多様なタスクを実行できるようになる。その結果、DIN EN ISO 27500、DIN EN ISO 9241-11/20/100/171/210、DIN EN ISO 26800、DIN EN ISO 10075-2 は修正が必要となる。

2.7-14 将来、機械やその他の技術システムも人間の記述的特性（例：身長、姿勢、表情）を認識し、それらに適應できることが求められることを考慮しなければならない。それに応じて、人間は行動を変えることになる。その結果、タスクと活動の設計に関する新しい要件が生じる。たとえば、DIN EN ISO 6385、DIN EN 614-2、DIN EN 894-1、DIN EN ISO 29241-2 は修正が必要である。

2.7-15 ヒューマン=システムインターフェイスは、並行して作業する複数の従業員、複数の機械、異なる製品および数量を区別できる設計にしなければならない。人間工学に基づいたタスク設計の要件では、将来は複数の機械や複数の固定およびモバイル制御装置/監視装置、さらにはそれらの機械や装置で実行される複数のプロセス、ならびに複数の従業員による同時使用のためにインターフェイスを設計する必要があることを考慮する必要がある。この提言は、タスクインターフェイスの設計のみならず、相互作用および情報インターフェイスの設計でも必要である。たとえば、DIN EN ISO 9241、10218 および 11064 のシリーズ、ならびに DIN EN 614 および 894、機械に関する C 規格は修正が必要である。

2.7-16 将来の作業タスク設計では、従業員が作業プロセスの試験（例：管理シェルによるシミュレーション、仮想現実）を行うことができなければならない。変化は、人間工学に基づいたタスク設計から、試行的な処理、その後の実際の実装および作業組織や職場の設計要件変更を通して引き起こされる。たとえば、DIN EN ISO 11064、894 および 9241 のシリーズ、ならびに DIN EN 614-1 および 2、機械に関する C 規格は修正が必要である。

2.7-17 支援システムは、ルートの最適化、時間の節約、タスクの順序など運用組織上の目標に関連して、タスクが処理されるシーケンスまたはその背後にあるシステムを指定することができる。インターフェイス設計は、従業員が次の業務をいつ受け入れるか、次の業務をどのように実行するかなどを決定できるものでなければならない。従業員はプロセスを制御し、決定を下せなければならない。たとえば、DIN EN 614-2、DIN EN ISO 10075-2 および機械に関する C 規格は修正が必要である。

2.7-18 (支援) システムからオペレータへのフィードバックは、ステータス、構造、プロセスおよび内容に関してタスクに適合させなければならない。最初に行うのはタスクの設計である。タスク設計の後に表示設計が、タスク設計に沿って実施される。たとえば、DIN EN 894-2、DIN EN ISO 11064-1 および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。

製品、機器、インターフェイスの設計

2.7-19 Industrie 4.0 に関連した支援システムによる作業プロセスは、従業員に対し監視活動や制御活動という負担を課す。通常の作業とは対照的に、こうした活動はいつでも中断できるものではなく、また独自のダイナミクスにより制御可能性に影響を及ぼす。DIN EN 894、DIN EN ISO 9241、DIN EN ISO 11064 シリーズは修正が必要である。

2.7-20 Industrie 4.0 に関しては、静から動への相互作用 (static to dynamic interaction) と情報表現が適切なインターフェイスとともに設計が行われる。技術システムの自己動的コンポーネントを備えた作業システムも、動的な相互作用および情報が必要である。次に挙げる標準規格は改定が必要である：DIN EN 894 シリーズ、DIN EN ISO 9241-110/112、DIN EN ISO 11064-5。

2.7-21 潜在的に危険なシステムまたは安全クリティカル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使用可能な設計の範囲を超えており、それは後者が (機能安全、IT セキュリティおよび信頼性の観点から) 安全な設計との関係に対応していないためである。調べるべき関連標準規格は次の通り：DIN EN ISO 13849-1/2、DIN EN ISO 26800、DIN EN 894、DIN EN ISO 9241-11/210。機械設計への適用に関しては、そうした設計目標について説明し、参考資料を取り上げる必要がある。

2.7-22 機械オペレータが、処理できる情報量を選択することができ、選択した量 (DIN EN ISO 9241-112 など関連する標準規格の選択) に応じて機械がデータを可視化できるよう、Industrie 4.0 に関連する機械オペレータのために複雑な情報の単純な表現をサポートする必要がある。

2.7-23 作業システムにおける自律的または完全に自動化されたプロセスの使用および製品は、従業員に対し透明性を持つ必要がある。相互作用は予測可能かつ理解可能で、従業員の適切な状況認識を可能にするものであることが必要である。これは、たとえば、通知、アドバイスおよび説明を与えることによって実現できる (相互作用および一般的動作は必ずしも予測可能ではなく、予測の可否は完全に状態や状況に依存している。ただし、状態や状況は、特定のセマンティクスによってシミュレーションすることができる)。

たとえば、次に挙げる、DIN EN 894-1、ISO/TS 15066、DIN EN ISO 10218-2、人工知能 (ISO/IEC JTC1 SC42) および自己学習アルゴリズムに関する標準規格 (4.1 節を参照) は改定が必要である。

2.7-24 「複雑な情報の提示」という要件における適応の必要性

情報は、機械オペレータがそれぞれの情報を選択することができ、情報が機械の近くで可視化されるよう提供する必要がある。この形式のヒューマン＝マシン相互作用は、とりわけ、さまざまなタスク（例：組立、監視）および運用モード（例：メンテナンス、トラブルシューティング、整備）を意味する。情報の人間工学的設計は、必要なプレゼンテーションと処理に合わせて調整する必要がある。たとえば、次の標準規格は適応が必要である：DIN EN ISO 9241-112、DIN EN 894-1。

2.7-25 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（例：期待に応える、エラー耐性がある、自己記述的）。たとえば、ISO/TS 15066、DIN EN ISO 10218-2 は改定が必要である。

2.7-26 外骨格デバイスの要件は、標準規格において具体的に定める必要がある。該当する標準規格はまだない。新しいプロジェクトを開始する必要がある。

2.7-27 外骨格デバイスなど、身体で支える支援システムを使用することで、エネルギー集約的活動を減らすことができる。そうしたシステムの1回限りの使用や、変動する長期的および短期的な使用による新しいリスクは回避する必要がある。たとえば、DIN 33411 および DIN EN 1005 は改定が必要である。

作業環境、作業空間、ワークステーションの設計

2.7-28 作業空間およびワークステーションを設計する場合は、外骨格デバイスやデータグラス、移動ロボット、無人輸送システム（ユースケースを参照）などの新しいテクノロジーを使用する可能性を考慮する必要がある。たとえば、交通路や避難経路に関する新しい要件が発生する。

学習と能力開発を促進する作業設計

ここで概説した開発は、部分的には非常に動的なものであり、現在進行中の開発は、標準化において採用することが推奨されているさまざまなアプローチを提供する。

2.7-29 技術システムの構築および設計では、特にヒューマン＝マシンインターフェイスの設計では、学習を促進する設計の側面を考慮する必要がある。これは、将来を見据え、運用プロセス（制御および情報プロセス、通信およびフィードバックプロセス）を考慮すべきケースである。

2.7-30 生涯学習を定着させるための手順は、継続的な改善プロセスの一部として定義する必要がある（また、既存の専門知識は段階的学習によって更新する必要がある）。

3 分野横断的トピックの標準化の必要性

3.1 オープンソース

3.1.1 バージョン3以降の状況と進展

Industrie 4.0 の分野でも、標準化に関連してオープンソースの重要性が高まっている。標準規格や仕様に類似した方法によって、オープンソースは、協働プロセスの間に開発され、すべての市場関係者が使用するために提供されるオープンテクノロジーの形を取る。したがって、このテーマは、新しいドイツ標準化戦略（DNS 1.1 節を参照）に一つの目標として取り込まれている。DIN および DKE はパートナーシップを確立しており、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手法を利用する方法を模索している。この目標を達成するために、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立ち上げ、DIN および DKE もまた、CEN-CENELEC と ISO/IEC で同様のプロジェクトに参加している。

ただし、オープンソースを標準化と同等と見なしたり、混同したりすることがないように注意する必要がある。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、オープンソースソフトウェアとして市場に提供される。オープンソースの公開は、長年にわたって市場で確立されており、なおかつオープンソースプロジェクトの特定の条件および要件に合わせて調整されている特定のライセンス条件の対象である。オープンソースソフトウェアを使用したり、ソフトウェアを変更または拡張したりする場合は、ライセンス条件が、ソフトウェアでユーザーが何を実行できるかを定義するものであることから、そうしたライセンス条件を詳しく調べる必要がある。

ここで重要な用語は、オープンソースライセンスが分類する手段となる、いわゆるコピーレフトである。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およびさらなる開発が、同じライセンスの下でのみ配布されることを意味する。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、制約が少ないもの（弱いコピーレフト）や、コピーレフトが一切ないライセンス（表 1 の選択例を参照）もある。ユーザー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ようとする場合は、ライセンスを 1 つのソースコードに結合できることを確認する必要がある。たとえば、GPL プロジェクトのソースコードを Eclipse プロジェクトで使用することはできない。

オープンソースプロジェクトは、さまざまな形で標準化を補完する。

- 標準規格/仕様はオープンソースソフトウェアに実装される。オープンソースは次第に、オープンソースで実装されている標準や仕様（例：open62541/Eclipse Milo）などのテクノロジーを、市場に迅速に広める方法となりつつある。
- 仕様は、オープンソースプロジェクトの一部として策定される。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ており、そうしたテクノロジーは上述したように、市場においてオープンソース形式で直接入手できるか、または標準化へと反映される。
- コンセンサスに基づいた標準規格の共同開発とオープンソース形式での実装：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行き、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行える。このタイプの手順の例が、図 27 に示した「アジャイル標準化」アプローチである。このアプローチの後には、試験と検証を通じて LNI 4.0 が続き、標準化にフィードバックを返す（例：AASX Package Explorer, BaSys/BaSyx）（提言 3.1-1 を参照）。

表 1：ライセンスの例によるコピーレフトのカテゴリ

強いコピーレフト	弱いコピーレフト	コピーレフトなし
→ GPL（一般的パブリックライセンス）	→ LGPL（劣等GPL） MPL（Mozillaパブリックライセンス） EPL（Eclipseパブリックライセンス）	→ Apache 2.0 BSD（Berkeley Software Distribution） MIT（マサチューセッツ工科大学）
ソフトウェアのあらゆる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、ソースコードが入手可能でなければならない。Linuxは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がある。	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で作成された。それはフリーソフトウェアおよび商用ソフトウェア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、独立した拡張と新しい開発は別のライセンスの下で配布されることがある。	これらの（パーミッシブ・ライセンスとも呼ばれる）無料ライセンスは、どのような条件下で変更やさらなる開発を行わなければならないかを規定していない。つまり、オープンソースまたは商用ソフトウェアとしてライセンスすることが可能だ。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。

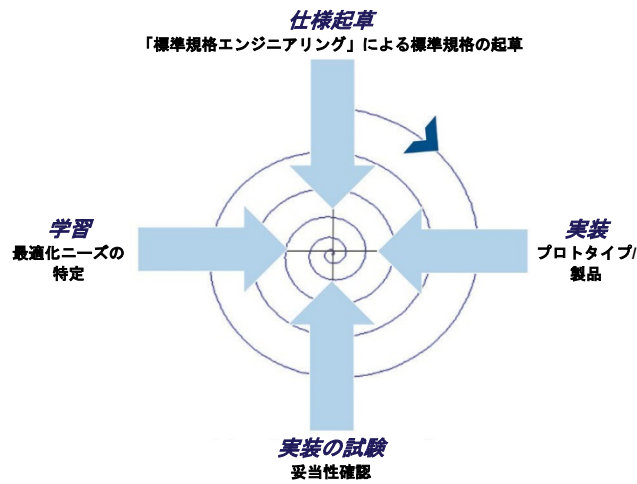


図 27：アジャイル標準化

3.1.2 最近の動向

以下では、Industrie 4.0 に直接関連し、標準化と密接に関係している、現在のオープンソーステクノロジーとプロジェクトを取り上げる。

プロジェクト : [open62541/Eclipse Milo](#)

ユースケース 2「機械の製造特性の標準化」に関する 1.4.1 項では、OPC UA 規格が取り上げられており、この標準化ロードマップでも繰り返し言及されている。この標準規格は、[IEC 62541-100 : 2015](#) シリーズとして公開され、関連するオープンソース実装が多数存在する。ここでは、C で実装された [open62541](#) と Java で実装された [Eclipse Milo](#) について説明する。Eclipse Milo は Eclipse EPL-2.0 の下でライセンス供与され、open62541 は Mozilla MPL-2.0 の下で供与される。どちらも弱いコピーレフトライセンスであるため、ライブラリは変更せずに、商用ソフトウェアでも使用することができる。これらのプロジェクトは、[GitHub](#) でダウンロードすることができる。

プロジェクト : [AASX Package Explorer](#)

AASX Package Explorer は、管理シェル用オープンソースプロジェクトのサンプル実装である (2.3 節を参照)。このソフトウェアツールを使用して、管理シェルを作成および編集することができ、簡単に相互交換できる。AASX Package Explorer は、Industrie 4.0 の中心的仕様である Details of the Asset Administration Shell - Part 1 (アセット管理シェルの詳細—パート 1) を実装している。このツールは、XML 形式および JSON 形式の管理シェルを作成し、他のファイルとともに AASX コンテナに格納する。eCl@ss IRDI による概念記述は自動的に作成され、参照される。たとえば、BMEcat、AutomationML、OPC UA 用のインポート機能およびエクスポート機能によって、他のデータ形式および実際の企業データを非常に迅速に統合することができる。AASX Package Explorer は Eclipse EPL-2.0 の下でライセンス供与されており、[GitHub \[91\]](#) からダウンロードできる。

プロジェクト : [BaSyx](#)

[BaSys 4.0](#) 研究プロジェクトは、生産プロセスの効率的な可変性を実現する生産プラントの基本システムの開発に関係していた。プロジェクト内で開発された概念は、オープンソースプロジェクト [BaSyx](#) に実装された。BaSyx は、サービスベースのプロダクション用に管理シェル、通信サービスおよびサブモデルを実装するミドルウェアを実装している。BaSyx では、レジストリやディスカバリ用のサービスが定義されており、それが管理シェルのパート 2 とパート 3 の基礎として細部にわたり機能する。BaSyx は、プログラミング言語の Java、C++、C#での実装を簡易にする SDK を提供する。BaSyx は Eclipse EPL-2.0 の下でライセンス供与されており、[GitHub \[92\]](#) からダウンロードできる。生産プロセスの連続的エンジニアリングに関する BaSyx ミドルウェアのさらなる開発に焦点を当てたフォローアッププロジェクト [BaSys 4.2](#) は、2019 年半ばに開始された。

テクノロジー : [分散型台帳/ブロックチェーン](#)

標準化ロードマップのバージョン 3 では、Hyperledger などのオープンソースプロジェクトのオープンテクノロジーとして開発された分散型台帳テクノロジー/ブロックチェーン (DLT/BC) が提示された。何よりも求められているのは、このテクノロジーを産業用に標準化することであり、現在多くの標準化団体に取り組んでいる。ISO TC 307 の国内委員会である DIN NA 043-02-04 AA「ブロックチェーンおよび電子式分散型台帳技術」に特別に諮問されたが、これらの活動については、ZVEI の「Blockchain Study : Automation and Digitalization」[\[93\]](#)の 4.4 節で確認することができる。

現時点で、このテクノロジーに基づくデータの最初の市場が出現していることに注意する必要がある。たとえば、ブロックチェーンによる価値創造パートナー間の相互作用に管理シェールを使用する方法がある。IoT デバイスからのデータをそうした市場を通じて販売し、車両データをセキュアに記録し、異なるメーカーの機械をネットワーク化することができる。

上記のプロジェクトに加えて、オープンソースを活用した標準化に関する提携のためのイニシアティブが、パイロットプロジェクトとして DIN、DKE および CEN-CENELEC で開始されている。CEN-CENELEC では、電子インボイスのパイロットプロジェクトが CEN/TC 434 において開始された。標準化作業と並行して、技術委員会の専門家たちがオープンソース検証ソフトウェアを開発した。パイロットプロジェクトでは、技術委員会の作業の結果としてソフトウェアが CEN-CENELEC によってどの程度認識されるか、またどの規則が適用されるべきかを確認することになる。このグループはまた、オープンソースコミュニティとのコラボレーションに最適な発行形式および開発形式の分析を行っている。

JRC の研究 The relationship between Open Source Software and Standard Setting (オープンソースソフトウェアと標準設定の関係) では、標準化団体に対し提言を行っている。また、IEC SMB ahG 76 マスタープラン実装のレポート「New ways of working」(新しい作業方法) も、枠組み条件に必要な変更を示している(提言 3.1-2 を参照)。

3.1.3 行動および適用に関する提言

3.1-1 パイロットプロジェクトを通じてアジャイル標準化をさらに発展させ、標準化とオープンソースとの連携を強化することを推奨する。Industrie 4.0 の枠組み内にある仕様(例: [DIN SPEC](#)、[VDE SPEC](#))は、パイロットプロジェクト実施の良い契機となる。

3.1-2 Industrie 4.0 の普及を加速するために、オープンソースとしてのサンプル実装の開発を一段と強かに推し進める必要がある。ライセンス提言と法律専門家の意見を活用して、オープンソースプロジェクトの利用、特に参加が容易にできることを確認する必要がある。

3.2 産業セキュリティ

3.2.1 バージョン 3 以降の状況と進展

情報セキュリティは、確固として確立された産業的価値および社会的価値を表す。それは、Industrie 4.0 や、デジタルエコシステム内の信頼できる提携の基本要件である。関係する課題に関わりなく、それは世界中で、Industrie 4.0 への高レベルの信用を生み出しており、バリューチェーンにおける信用性の重要な側面である。本項では、「産業セキュリティ」という意味でのセキュリティピック、つまり、妨害行為、スパイ行為、操作からの生産システムの情報技術や、機械、プラントの総体的保護に焦点を当てる。この意味で、データ保護(プライバシー)と機能安全は、産業セキュリティの代表的保護目標である。これらのピックについては、3.4 節および 3.5 節で取り上げる。

将来の標準規格は規制要件との互換性がなければならず、規制要件は国内（「ドイツ IT セキュリティ法」を参照）および欧州に起源を有するもののいずれもあり得る。特に、[European Cyber Security Act](#)（欧州サイバーセキュリティ法）は、デジタル製品、サービスおよびプロセスの EU 全体に関わる認証のためのサイバーセキュリティ体制を規定することを目的としており、そのため同等のセキュリティレベルを備えた製品の欧州「[デジタル単一市場](#)」の前提条件を形成する。特に、新しい法的枠組み（[New Legislative Framework](#) : NLF）と EU サイバーセキュリティ法との関係については、今後検討する必要がある。NLF の中心概念は、関連する欧州指令で製品の必須要件のみを指定することであり、技術的枠組みの条件は、統一された標準規格で定める。EU サイバーセキュリティ法は、まだ NLF 自体には明確に対応しておらず、そのため 2 つの規制アプローチ間の相互作用をさらに明確にすることが求められる。これには、当局、立法者、標準化団体の間のタイムリーで建設的かつ包括的な調整が必要になる。特に IEC/TC65、IECEE CMC WG31 および ISO/IEC JTC1/SC27 で、産業セキュリティ分野での将来の認証をサポートするための国際標準化活動が行われている（3.2.1 項を参照）。

その間、開発原理「Security by Design」は、産業セキュリティで広く受け入れられている。その結果、セキュリティ機能が計画、開発、製造プロセスに最初から統合される。これは、適切なプロセスと製品規格、さらには要件と認証基準が特に必要であることを意味する。

標準化ロードマップ Industrie 4.0 バージョン 3 の公開以降、特に産業セキュリティとデータ保護の分野で、新しい重要な進展があった。

したがって、IT およびオフィス分野で従来使用可能であった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適切または不十分であると認識されている。さまざまなセキュリティ要件は、特にリアルタイム要件とロバストネス要件（2.6 節を参照）、産業用コンポーネントのライフサイクル（2.3.1 項を参照）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。

同時に、企業の IT 領域と OT 領域の両方（または Industrie 4.0 アプリケーション・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は産業セキュリティにとって不可欠である。

これは、価値創造チェーン（IEC/TC 65、ISO TC 292）に沿って適用される産業適合性の特殊な側面/境界条件を備えたセキュリティ標準の定義に関する多様/多数のイニシアティブにつながった。ネットワークのセキュリティメカニズムのみに依存するのではなく、産業アプリケーションとシステムを直接（つまり、アプリケーションレベルで）保護する必要性がますます高まっていることが分かる。このようにして、エンドツーエンドのセキュリティ、または、たとえば、ノウハウ保護、ライセンス保護、データ保護のための対策が実装できる。

公共のエリア全体にわたる I4.0 ドメイン間の通信は、業界標準のセキュリティメカニズムによって保護できなければならない。企業の境界を越えたデバイス、マシン、システムの通信セキュリティは、I4.0 パートナーの（外部）電気通信プロバイダとは無関係に、関係者が制御および保証しなければならない。

特に、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の保護は、新しい要件を生み出す。ここでセキュリティ機能は、信用性に関して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し、結果が入力データや機能コンポーネントの意図的操作によって

改ざんされることがないようにする必要がある。その結果、データまたは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/SC42 を参照）。

産業セキュリティに関しては、信用性への期待は、価値創造チェーンに沿って重要性を増すことになった。これにより、重要性の高い「サプライチェーン」に沿ったデータ、システム、プロセスの整合性の保護と証明が行われ、将来の標準規格に反映されることになる（ISO/IEC JTC1 WG13）。

安全レベルの相互運用性と比較可能性を確認することに加えて、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 JTC1/SC41）。

そのような「認識されている」障害を次に挙げる。

- 価値創造へのセキュリティ投資の不明確な貢献：ただし、重要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、適切な対策の実施の強制が増えることになる。
- グローバルな信用基盤の欠如。たとえば、通信や制御データ送信のグローバルに一貫性のある暗号化の可能性が生じる。
- 信頼できるソリューションのための適度な認証作業を伴う、一般的に適用可能で業界互換の実装標準の欠如
- データ保護要件に関する Industrie 4.0 の価値創造ネットワークの信用性評価の欠如（提言 3.2-10 を参照）
- 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り、システムの複雑さが増すことへの懸念（提言 3.2-11 を参照）

3.2.2 最近の動向

（標準化ロードマップバージョン 3 の公開以降の）過去数年間、次の委員会で I 4.0 関連のセキュリティ標準に関する作業が開始され、一部は既に完了しており（付録 BB を参照）、また、（対象範囲を適合/拡張した）新しい作業グループ/委員会が取り扱った。

- DIN、DKE および CEN-CENELEC：IEC、ISO および ISO/IEC JTC1 の国際組織に対応
- IEC/TC 65/WG10：IEC 62443 の標準化
- IEC/TC 65/SC 65E/WG 8：OPC：クライアント/サーバー-SW インターフェイスの包括的セキュリティ
- IEC/TC 65/WG 23 タスクフォース・サイバーセキュリティサイバーセキュリティ関連のスマートマニュファクチャリング・シナリオと要件を特定する。
- IEC/TC 65/WG 23 サイバーセキュリティ認証
- ISO/TC 292/WG4：製品およびドキュメントの真正性、整合性、信用性/偽造防止
- ISO/TC 292/WG8：サプライチェーンセキュリティ
- JTC1/SC27/WG3 セキュリティ評価、試験および仕様
- JTC1/SC27/WG4 セキュリティコントロールおよびサービス
- JTC1/SC 31 「自動認識およびデータ取得技術」
- JTC1/SC 41 モノのインターネットと関連技術
- JTC1/SC 42 人工知能
- JTC1/WG 13 信用性

3.2.3 行動および適用に関する提言

3.2-1 EU サイバーセキュリティ法と新しい法的枠組みの調和

EU サイバーセキュリティ法と新しい法的枠組み（NLF）という2つの規制アプローチの相互作用に関する当局、立法者、標準化団体の間の建設的かつ包括的な調整は迅速に行う必要がある。

3.2-2 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）および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的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。国内および地域的ソリューション（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る試験を実施しなければならない。

3.2-3 アジャイルシステムのセキュリティ

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の（能力とプロパティに基づく）セキュリティプロファイルの技術的交渉のための標準規格の定義。

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用性評価
- 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：その品質を保証する必要があり、評価方法が重要であり、開発しなければならない（研究）。
- トピック品質証明書
- 定義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）。JTC 1/SC41 信用性フレームワーク。

3.2-4 包含されている/相互作用するコンポーネントのセキュリティ特性に基づいて複合製品のセキュリティ特性を判定する方法

システムのセキュリティ特性は、コンポーネント（SW および HW）が持つそれに対応した特性と構造によって、複雑でほぼ非線形的な方法で決まる。ひとたび標準化作業が適切な成熟度に達すれば、この問題に対するより詳細な調査が求められ、またアクセスを容易にすることが必要になる。

3.2-5 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。

3.2-6 管理シェルのタイプ情報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標準
タイプやインスタンスに関する情報を交換するためのオンラインオプションおよびオフライン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および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（提言 3.2-2 を参照）およびアクセス制御（提言 3.2-5 を参照）の概念と調和させなければならない。

3.2-7 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、価値創造ネットワークの一部を形成する関係者（オペレータおよびインテグレータなど）を考慮するよう拡張しなければならない。

3.2-8 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

14.0 デバイスでの暗号ベースのセキュリティ機能の実装は、攻撃から保護しなければならない。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することができる。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の多様性と複雑さは、高い統合コストにつながり、したがって製造業者およびインテグレータにとって、なかでも中小企業にとって、適用閾値が相対的に高くなる。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「Generic Trust Anchor API」が役立つ。

3.2-9 産業向け 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、容量に対する幅広い要件を満たすことを目的としている。データや、データの送信元と受信先間のデータ転送は、動的に変更したり、処理したりすることができる。その結果、ネットワークはインテリジェント化される。したがって、ISO-OSI モデルでは、5G テクノロジーを 1~7 のすべてのレベルに配置することが可能である。

5G テクノロジーとその用途はクラスター化することができる。

- 製品開発の一環としての 5G コンポーネントのインストール
- 現場での 5G のローカル使用と自組織による運用
- モバイルプロバイダが提供する 5G サービスの利用

5G の新機能と可能性には、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 規格の枠組みにおいて、ISO/IEC 27001 や IEC 62443 などの既存のセキュリティ規格を考慮に入れたうえでセキュリティ要件を策定すること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 14.0 ベースの企業間通信において実装可能でなければならない。
- IEC 62443 および 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、プラントの通信のメタデータ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。

3.2-10 Industrie 4.0 セキュリティ管理プロセス

I4.0の枠組み内で増加するネットワーク化には、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が必要である。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のセキュリティ管理のサポート（プラグ&オートメート）
- デジタルツインのセキュリティ管理への統合
- セキュアな動的パッチ管理
- 脆弱性情報の統一的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

3.2-11 「セキュリティトレーニング」ガイド

ITセキュリティのさまざまな面については、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セキュリティの問題は、それらの実装を対象とする標準規格で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基準は、そこから導出しなければならない。

3.3 データ保護/プライバシー

3.3.1 バージョン3以降の状況と進展

個人データの保護は、個人だけでなく社会全体にも利益をもたらす。自分のデータに何が起るかを知り、それに影響を及ぼすことができれば、自信を持ってデジタル化に対処することができる。デジタル化されたプロセスとシステムが従業員の活動に関するデータを収集しており、またそうしたデータは実績の監視にも使うことができることから、産業プロセスにおいては、データ保護はこれまで主に従業員のデータ保護として行われてきた。企業と消費者という側面とシステムが産業用製造システムにリンクされていることから、Industrie 4.0は適用分野を拡大する。このことは、カスタマイズの製品や個人に合わせて作られた製品（バッチサイズ1）の工業生産に最も顕著に現れる。例としては、個人の健康に関する大量のデータを必要とする義歯や、個人で作成した個人の写真がプリントされた個性的な衣服などがある。いずれの場合も、保護しなければならない個人データが製造システムに送られることになる。

したがって、標準規格は規制要件と互換性がなければならず、また規制要件をサポートする必要がある。科学論文では、「...by design」（設計による...）という用語または実装は、セキュリティと同様、プライバシーというトピックの発展原理として一般に受け入れられている。これは、プライバシー機能を最初から開発プロセスおよび製造プロセスに連続的に統合する必要があることも意味する。つまり、プライバシーには適切なプロセスと認証基準も必要だということである。この原理は既に、データ保護の標準化で、特にISO/IEC JTC 1/SC 27/WG 5において、標準規格プロジェクトと「標準文書」に反映されている。

標準化ロードマップ Industrie 4.0 バージョン 3 の公開以降、特にデータ保護の分野で、新しい重要な進展があった。その進展とは、当時策定された行動提言に基づく次の通りである。

EU の一般データ保護規制 (GDPR) は 2018 年 5 月に発効した。これには、設計によるプライバシーの領域の要件が含まれているだけでなく、市場原理を超えて、つまり EU 市民がサービスの受け手としてサービスプロバイダに会うあらゆる場所に影響を及ぼす。これは EU の外に拠点を置くサプライヤにも影響する。そのため、国際標準規格は ISO/IEC JTC 1 および ISO によって策定されている。

人工知能メカニズムの用途はデータ処理やビッグデータにも関係しており、さらなる問題をもたらす。このトピックによって、特にデータ保護のコンプライアンスはますます困難になっている。それは、多くの用途 (特に機械学習の分野) で包括的なデータセットに依存することが増えており、そのためデータエコノミー/データ最小化および目的制限原則など、現在のデータ保護法の基本原則に反することになるからである。さらに AI アプリケーションは、たとえば、「学習」することから、動きを変えることが頻繁にある。それが、セキュリティ評価およびデータ保護リスク評価を困難、あるいは不可能にする。

「モノのインターネット」のデバイスは、家庭用電化製品および (子供用および大人用) おもちゃとして、一般家庭に定着しつつある。そうしたデバイスの多くが原則として、または機能の範囲を拡張して家庭からデバイスへとデータを送信するために、製造元や「クラウド」サービスプロバイダとの連絡を必要とする。これまでのところ、子供の質問をインターネット上の音声認識システムに送り、そこから回答を得て、「知的に」応答する Cayla 人形などのおもちゃで特に顕著である。カメラ付きロボットなどの他のおもちゃは、「子供部屋の写真」をそれぞれの連絡先パートナーまたはプラットフォームに送信する。Industrie 4.0 の参照は、「サービス化」の傾向から生じている。以前は切り離されていたデバイスがネットワークサービスを使い、またデータをネットワークサービスに送っている。多くの場合、対応するインターフェイスは文書化されていないか不十分であり、安全性も十分ではない。同時に、リソースに関わる理由から、Telnet などの旧式でセキュアでないプロトコルが「復活」しており、保護問題の増加を引き起こしている。

3.3.2 最近の動向

(標準化ロードマップバージョン 3 の公開以降の) 過去数年間、次の委員会で、Industrie 4.0 のプライバシーに関する標準規格に関わる作業が開始され、一部は既に完了しており、また対象範囲を適合させ/拡張した新しい作業グループ/委員会が取り扱ってきた。

DIN および DKE : IEC、ISO および ISO/IEC JTC1 の国際組織に対応

- ISO/IEC JTC 1/SC 27 「情報セキュリティ、サイバーセキュリティ、プライバシー保護」
- ISO/IEC JTC 1/SC 27/WG 5 「アイデンティティ管理およびプライバシー技術」
- ISO/PC 317 「消費者保護 : 消費材およびサービスのためのプライバシーバイデザイン」
- CEN-CENELEC/JTC 13 「サイバーセキュリティおよびデータ保護」
- CEN-CENELEC/JTC 13/WG 5 「データ保護、プライバシーおよびアイデンティティ管理」

現在の作業は、プロセス指向のプライバシー標準規格と、ユーザーと消費者のプライバシーを可能にする標準規格が中心になっている。

3.3.3 行動および適用に関する提言

3.3-1 付加価値ネットワークの信用性

付加価値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の個人に合わせて作られた製品に必要な個人データの保護までのプロセス基準の定義：

- それぞれのコンテキストにおけるデータおよび情報の分類規則（コンテキストは、データの感受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、たとえば、抗がん剤や向精神薬であることが明らかになる。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：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。

3.3-2 データ保護規制に沿った監査

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）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

3.3-3 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）を越えた自動通信の場合、関連するデータ保護要件と、それから派生した関連セキュリティ要件の調整が必要になる。
- 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。

3.4 付加価値ネットワークの信用性

3.4.1 バージョン3以降の状況と進展

信用性（*trustworthiness*）という用語は、さまざまな標準化活動において重要性が増しており、さまざまな状況で多数の委員会が使用している。諮問グループ ISO/IEC JTC1 AG7 は、JTC1、JTC1 1/WG、その他の ISO 委員会および IEC 委員会、SDO の SC の作業の相互ステータスをレビューし、JTC1 の共通定義を作るタスクを引き受けた。その一方で、JTC1 AG7 は作業を終え、JTC1 WG13 「信用性」が設立された。

JTC1 によると、「信用性」とは、影響を受ける「利害関係者」の期待に検証可能な方法で応える能力と同義である。信用性は、信頼性、可用性、レジリエンス、セキュリティ、プライバシー、安全性、説明責任、透明性、整合性、真正性、品質またはユーザビリティなどの特性に関係する場合がある。JTC1 によれば、信用性は、製品、テクノロジー、サービス、データ、情報の属性として、また組織のガバナンスに関連して適用することができる。Industrie 4.0 の場合、バリューチェーンにおいて信用性が特に重要となる。製造業者は顧客に対し、上述した特性（セキュリティなど）のそれぞれに関して品質を約束したいが、それは自社のサプライヤによる品質保証にも左右されることになる。厳密に言えば、製造業者が保証できるのは、I4.0 コンポーネント/Industrie 4.0 システムに自社が加えた付加価値のみである。供給した部品/コンポーネントの品質を評価するには、包括的で証明可能な基準が必要である。

したがって、「信用性」は、供給品/コンポーネントやデバイス/システムの使用を決定するための基礎や、ビジネス関係の枠内での協力（例：契約の締結、従業員の雇用）の基礎を形成する。こうした決定は常にリスクを伴うものであり、最終的には検証可能/証明可能な事実という基盤に基づいて行われることになる。そのため、（将来の）標準化に関して2つの行動ラインが形成される。

- 事実の検証可能な基盤を、たとえば、プロセスや認証基準を通じて、可能な限り高く保つ。
- 危険なプロセスは、この基盤の上で整理する。

検証可能性メカニズムは、真正性と整合性にとって特に重要である。ただし、配送以前（＝「上流」）の物流チェーンにおける従来型の制御はすべて、ビジネスパートナーの作業や、（いずれのサプライヤが、ビジネスケースを顧客に完全に開示することを望んでいるかといった）データ保護/プライバシーの点で当然ながら制限を受ける。ただし、I4.0 の枠組み内でのデジタル化により、トラック&トレースや分散型台帳などの新しいアプリケーションの可能性が開かれ、そこから標準化プロジェクトにもつながることになる。サプライチェーンにおけるセキュリティの一般的管理プロセスも、関連するすべての標準化活動と同様に非常に重要であり、信用性は、契約の起草から製品の廃棄まで、ライフサイクル全体にわたってユースケースの全フェーズに関係してくる。後者の場合、たとえば、制御されたりサイクルプロセス外での無許可の再利用（例：セキュアな識別手段や汚染されたコンポーネントの再利用）を防止することが重要である。重要インフラストラクチャや消費者保護の場合は、標準化プロジェクトは国内および国際的な規制と調整する必要がある。

3.4.2 最近の動向

重要なのは JTC1 WG 13 での作業である。その他の活動も、JTC1 内のさまざまな SC や、ISO TC 292、IIC、ZVEI、VDMA、さらには日本および NIST との I4.0 プロジェクト内で行われている。

3.4.3 行動および適用に関する提言

3.4-1 I4.0 付加価値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。
- 分類されたデータと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

3.4-2 データ保護要件に関連した評価

Industrie 4.0 付加価値ネットワークの信用性は、データ保護要件との関係で評価する必要がある。

3.5 機能安全

3.5.1 バージョン 3 以降の状況と進展

Industrie 4.0 に関連する機械およびプラントの安全性については、製品と操作の安全性の面で考慮しなければならない。機械およびプラントの安全性の設計と評価は、適用されるすべての規制とハザードを考慮したうえで実行すべき基本的で複雑な作業である。IEC 116/CENELEC ガイド 32 は、たとえば、Industrie 4.0 のユースケースとの関連においても考慮される基本的なハザードを対象としている。

頻繁に取り上げられる機能安全（基本規格 IEC 61508 に従い）[94]は、ソフトウェアとプログラム可能なハードウェアを使用することから、（特に機械環境に関する IEC 62061 や ISO 13849 の）リスク低減のための手段として、必然的に Industrie 4.0 に関連した技術に近いものとなるが、プラントや作業環境の安全の一部の分野に過ぎない。

機能安全はリスク低減の重要な要素である。機能安全システムの目的は、施設の運用リスクが高すぎて許容運用リスク（限界リスク）を下回らない場合に、その施設の運用リスクを低減することである。機能安全システムの要件は、初期設計の検討から設備の廃棄まで、全ライフサイクルをカバーしている。機能安全に関連して考慮される機能ユニットは、アクチュエータや論理処理（制御）、センサー、必要なすべてのインターフェイスおよび設備を含む、リスク低減に必要な機能の全域をカバーする。さらに、（電気だけでなく、油圧および

空気圧も含む) 補助動力源の故障など、機能を制限する外部の影響要因を考慮しなければならない。

このテーマに従い、機能安全に関する標準規格は、機械やプラントの安全装置として使用する、システム内部の障害の制御方法と戦略を順守することを定めている。機能安全機器に関する基本原則は、それぞれのアプリケーション用に選択された技術に関係なく、アプリケーションから生じるリスクを低減できることが必要である。

機能安全要件に関し選択された既存の安全基準は次の通り。

- [DIN EN ISO 12100](#) : 機械類の安全性—設計のための一般原則—リスクアセスメント及びリスク低減
- [IEC 61508-1](#) : 電気・電子・プログラマブル電子安全関連系の機能安全
- [IEC 61511-1](#) : 機能安全—プロセス産業分野の安全計装システム
- [ISO 13849-1](#) : 機械類の安全性—制御システムの安全関連部
- [IEC 62061](#) : 機械類の安全性—安全関連の電気・電子・プログラマブル電子制御システムの機能安全
- [IEC 61131](#) : プログラマブルコントローラ
- [ISO 13850](#) : 機械類の安全性—非常停止機能
- [DIN EN 50156-1-03](#)、[VDE 0116-1-03](#) : 炉の電気機器および付属装置
- [ISO 23125](#) : 工作機械—安全性—旋盤

これらすべての標準規格に共通するのは、偶発的および系統的なエラーの発生に対する対策が、機能安全コンポーネントの開発および適用には必要だということである。さらに、エラーの発生による影響を制御するための対策を講じなければならない。

個々のケースに適用される対策は、それぞれのケースで目標とするリスク低減と、使用するテクノロジーによって異なる。詳細は、ISO 13849-1、IEC 61508-1、IEC 62061、IEC 61131 など関連する基本規格に定められている。

さらに、DIN EN 81、DIN EN 201、DIN EN 692/DIN EN 693、DIN EN 746-1/DIN EN 746-2、DIN EN 50156-1、IEC 61511 で定められているように、安全装置とその使用に関するアプリケーション固有の要件がある。これらの要件は、アプリケーション固有の特性を反映している。詳しい説明と記述、追加説明が付録 A にある。ISO 12100 はリスク評価の出発点であり、とりわけ機能安全の要件を導き出している。

現在の安全関連の（特に安全性に関する）概念と安全性検証の方法は、これまでのところ、主として、決定論的で予測可能なシステム動作の仮定に基づいている[97]。これまでこの決定論的動作は、事前に明確に定義されていた可変プロセスが実行される建設段階および設計段階の基礎として、定義されたプラントが使用される場合において想定することができた。今日の安全基準では、安全に関する容認および承認の前に、システムが完全に開発され、構成されていることを前提としている（[DIN EN 61508-3/VDE 0803-3:2011-02](#) を参照）。そうした基準に従えば、安全に関連する修正（修理を含む）は、少なくとも影響を受けたサブシステムの安全関連検査および承認を改めて行うことなしに実行することはできない[98]。

安全技術の現状は、決定論的センサー/ロジック/アクチュエータの原則に従っている。ただし、Industrie 4.0 の最も強力な形式では、将来、生産プロセスを柔軟かつインテリジェントにリンクするために、機械学習分野のアルゴリズムが機械工学やプラントエンジニアリングの運用機能にも使用されることが予想されている[99]。

将来、Industrie 4.0 に関連して、生産モジュールを注文連関で再結合することにより生産システムに適応性を持たせようという議論が行われることになる。システムの適応性とは、最小限の労力で意図した通りに再設計を行うことができる能力と可能性をいう[95]。この適応性は、特定の注文に合わせて個々の生産モジュールの再結合・ネットワーク化を行い、その注文に対応する製造ラインへと自動構成することによって実現される。個々のモジュール（Industrie 4.0 コンポーネント、2.3 節を参照）は、柔軟に、また主として無線ベースで相互にネットワーク化される。

そのため、システムの実行時に（サブ）システムで構成されるシステムが作成され、システム全体の組合せの根本的複雑さが増大する。システムコンポーネントの構造および全体的な動作、ならびに相互依存性は、個々のシステムの開発時に予測することができないか、困難である。こうした特性により、システム全体の予想動作に関する記述が不確実なものになる。その結果、安全性リスクと機能安全の分析および評価に現在広く使用されている方法が限界に達するが、それは、そのような動的システムやシナリオが、現在の安全基準ではカバーされていないか、対象範囲から明示的に除外されているためである[96]。

つまり、専門家間で議論されている Industrie 4.0 アプリケーション・シナリオの妥当性は、安全性を分析および評価するための現在の方法では検証できないか、実行時に許可される機械またはプロセス工学プラントのダイナミクス、変動性、可変性および学習能力に関して大きな制限がある場合にのみ検証できる。したがって、現在の安全工学手法を汎用生産プラントの新規要件や変更された要件に適合させるか、または新たな安全工学手法を開発する必要がある（図 28 および提言 3.5-1 を参照）。

例として、従来のセキュリティアーキテクチャに対し Industrie 4.0 ユースケースが及ぼす影響を示す。生産ホール内のシステムの動的構成、つまり機械の物理的な選択と配置は、たとえば、以下に対する影響力を有する場合がある。

- 工場の避難経路、または防火コンセプトへの影響
- プラントの部品、機器、建物の部品または生産エリアの人間の安全距離の変化
- 十分な資格を認定されていない部品またはプロセスを選択し配置することによる防爆への影響
- ワークピースと製造プロセス、または化学物質とプロセスの不適切な組合せによるハザードの変化
- 機械またはプラントのコンポーネント、または安全装置の不適切な使用

したがって、Industrie 4.0 ユースケースは、プラントでの実装に関して、リスク管理手法（HAZOP、または IEC/ISO 12100 に基づくリスク分析など）を使って評価する必要がある。特に、高度な複雑さ、ネットワーク化、構成調整の高速化という問題については、システムのライフサイクル全体にわたるリスク管理および情報提供に関し新しいアプローチが必要である。

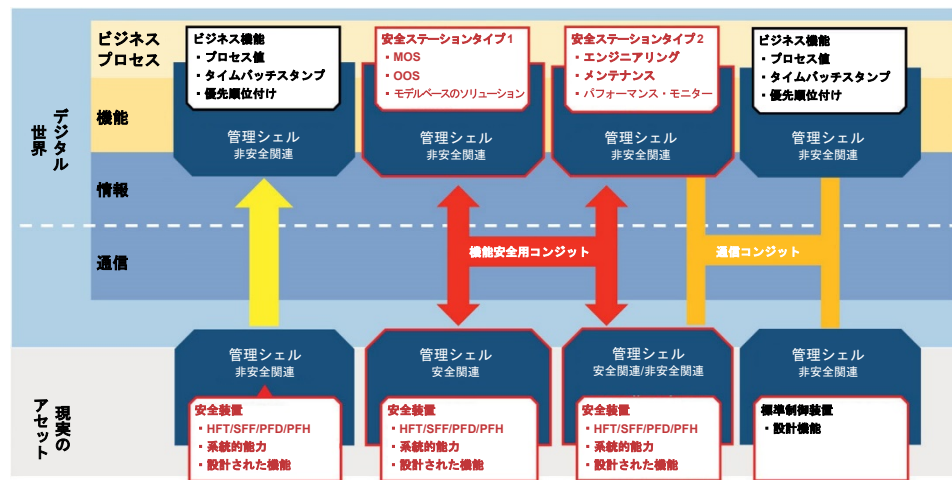


図 28 : 汎用生産プラントの機能安全要件

Industrie 4.0 環境、特に管理シェルの定義（図 28 を参照）と機能安全で考慮すべき事項との相互作用については、中国とドイツの間の Industrie 4.0 協力の枠組みの中で議論された。SINO-German Whitepaper on Safety for Industrie 4.0 and Intelligent Manufacturing（Industrie 4.0 とインテリジェントマニュファクチャリングの安全に関する中国/ドイツ・ホワイトペーパー）では、両国の視点を理解して適用することを可能にするアプローチが提示された。このホワイトペーパーでは、管理シェルの概念を「機能安全対応」/「機能安全非対応」というプロパティで補足することが提案されている。この管理シェルの設計（機能的に安全である/安全でない）によっては、安全機能を、関連するエンジニアリング機能および監視機能とともに Industrie 4.0 作業空間内に分散させ、必要な調整に柔軟に対応することが可能である。したがって、意味上の相互運用性の機能安全プロパティの側面をモデル化し、ライフサイクル全体を通して検討することができる（提言 3.5-2 を参照）。

既に述べたように、注文に関係した生産モジュールの再結合による汎用生産システムは、Industrie 4.0 に関連して取り上げられている。したがって、使用されている情報やネットワークテクノロジーに対する攻撃および操作のセキュリティ、ならびに新しいテクノロジー（AI など）の影響の可能性に関わる疑問が既に取り上げられている。ただし、どちらの側面も全体として安全に影響を与える可能性があり、対象を絞った効率的な対策の手順を新たに策定する必要がある。

機能安全と情報セキュリティに関する標準規格の一般的適用の最初の草案は、IEC によってテクニカルレポート TR 63069 で提示された（提言 3.5-4 を参照）。このレポートでその概要が記されている戦略は、リスク分析から得られる情報セキュリティ対策によって「セキュリティ環境」を作り出すことを目的とする手順を記述しており、安全設備を含めた生産プラントを十分セキュアな方法で稼働させることが可能になる。この意味での技術的要件は IEC 62443 に記載されている。

3.5.2 行動および適用に関する提言

3.5-1 Industrie 4.0 コンセプトの実装は、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引き起こす。Industrie 4.0 コンセプトでは、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、管理シエルのコンセプトを「安全な管理シエル」へと拡張することで実現できる。

3.5-2 標準化された手順と方法を開発することで、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を可能にする必要がある。最新のドイツと中国の協定に従い、最初にガイドラインを作成する必要がある（I 4.0 の機能安全に関する中国＝ドイツ・ホワイトペーパー）、それは、プラント安全性に関するさまざまな Industrie 4.0 アプリケーション・シナリオがもたらすことが考えられる影響（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を敏感にさせる。

3.5-3 産業環境における AI システムの使用がプラント安全性に及ぼす影響を考慮する必要がある。AI を使用するときどの程度安全要件を満たすことができるかについて、また、そうした要件を標準規格でどのように記述できるかについて、Explainable AI（説明可能な AI）など、AI の研究や応用に関する最新の調査結果を検討すべきである。

3.5-4 安全性とセキュリティに関する作業をさらに深化させ、より具体的なものにする必要がある。これは、IEC TR 63069 改訂の一環として行うべきである。技術仕様（TS）または国際標準規格（IS）としての公開に向けたさらなる開発について協議する必要がある。

4 産業アプリケーションにおける人工知能

4.1 状況と進展

人工知能（AI）は、ドイツ経済を維持するために必要な、重要基幹技術と見なされている。Industrie 4.0に関連した手順とプロセスにおいて、AIは製造業およびサービス業で価値を創造する大きな可能性を秘めている。将来、事前定義され固定的な製造チェーンおよび付加価値チェーンが、柔軟で可変の動的な生産およびサービスのエコシステムへと姿を変えることになる。従来のものだけでなく、新しく設計された生産プロセスや、物流などの隣接プロセスも、AIによって改善することができる。このようにして、最適化され、適応性が高く、フォールトトレラントであり、またとりわけその複雑さゆえに今日まで実現できなかった製品、プロセス、サービス、または新しいビジネスモデルを実現することができる。ここで決定的な要素は、技術システムの高い適応性と問題解決能力である。

ISO/IEC 2382で人工知能は、論理的推論、学習、自己改善など、通常人間の知能に関連付けられている機能を実行するデータ処理システムの開発に特化したコンピュータサイエンスの一分野として記述されている。産業の観点から見た場合、AIテクノロジーは「技術システムが自らの環境を認識し、認識したものを処理し、独立して問題を解決し、新しい解決方法を見つけ出し、決定を下し、特に経験から学び、それによってより良い仕事をし、行動できるようにする方法およびプロセス」（Russell and Norvig 1995）と理解されるべきものである。

ドイツでは、特に連邦政府の国家人工知能戦略のために、人工知能の標準化のトピックがきわめて重要になっている。このため、標準化ロードマップ Industrie 4.0 のバージョン 4 では、人工知能のトピックが初めて明確かつ具体的に扱われるようになった。

産業アプリケーションにおけるAIの標準化では、水平的な側面と垂直的な側面を区別しなければならない。一方で、アプリケーションのすべての領域で有効な水平規格（複数のドメインで共通的に適用可能な規格）がある。それは、たとえば、（技術または情報に関わる）システムの品質測定に一般的に適用可能な標準規格である（図 29 を参照）。対照的に、Industrie 4.0のように、各種適用分野にも標準規格は存在する。そうした適用分野では、具体的な用途および適用分野の具体的な要件を反映した標準規格が策定される。

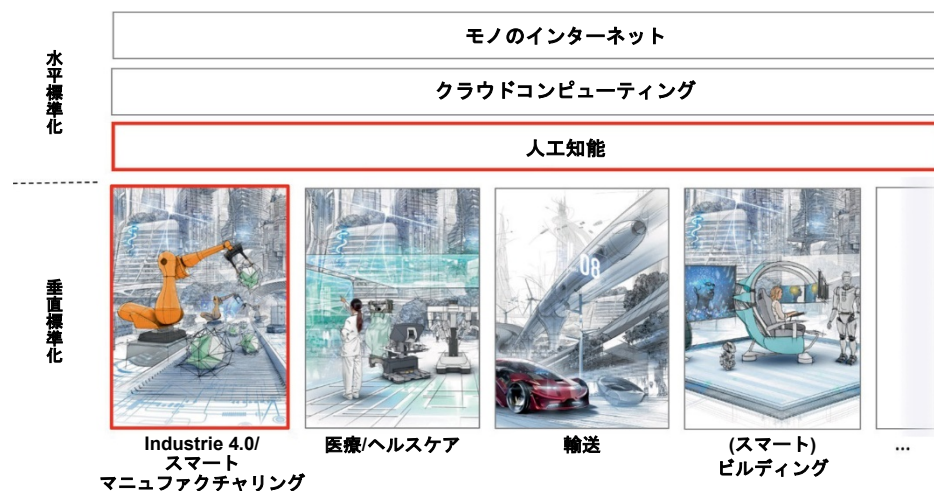


図 29 : 水平標準化と垂直標準化の関係

4.2 最近の動向

ドイツ産業界では数年にわたって、人工知能とその関連トピックが重要視されてきた。VDMA、ZVEI、Bitkom などの関連団体の活動では、多様な作業グループが AI に関わるさまざまな側面やアプリケーションに取り組んでいる。そこでは、アプリケーション・シナリオや適用例という形で、AI アプリケーションの多様な記述が検討されているが、その国内的および国際的な互換性と比較可能性は、さまざまな理由（例：統一的記述方法の欠如、異種混在性の視点および大きく異なる抽象化レベル）から、いまだ明らかになっていない（提言 4.1-2 を参照）。

広範な広がりを見せている AI の一分野が機械学習である。現在、学習プロセスに適したデータの選択など、いくつかの課題がある（提言 4.1-4A、提言 4.1-8A を参照）。データ品質、適切なデータの調達、その整合性、セキュリティおよび主権は、AI の使用において基本的な役割を果たす。国内的にもまた国際的にも、これらの側面は、たとえば、欧州の官民パートナーシップである Big Data Value Association などさまざまな団体によって検討されており、ISO/IEC JTC 1/SC 42「人工知能」国際委員会でも取り扱われている。GAIA-X プロジェクトは、欧州のエコシステムを強化するためにネットワーク化されたデータインフラストラクチャを構築することを目指している。標準規格は、相互運用性やデータの整合性、主権、セキュリティに関する要件を特定し、最終的に AI 利用の成功を実現させるための技術的実装を策定するという、基本的な役割を果たすことができる（提言 4.1-9 を参照）。このようにして、GAIA-X エコシステムの規制の枠組みと、欧州の法的枠組み内で非公開方式によって開発された標準規格との間のインターフェイスが定義できる。

GAIA-X エコシステムに関するプロジェクト作業はまだ進行中ではあるが、既に活用分野が登場しつつある。2019 年の初めに、グループ間 AI プロジェクトグループが、Plattform Industrie 4.0 の作業グループ 2「テクノロジーおよびアプリケーション・シナリオ」（AG2）の主導の下に設立された。このプロジェクトグループは、アプリケーション・シナリオに基づいて、インダストリー 4.0 との関連で、「人工知能」というトピックの一般的処理と位置付けに取り組んでいる。Plattform Industrie 4.0 の定義されたアプリケーション・シナリオと、AG 2 および Plattform Industrie 4.0 AI プロジェクトグループの作業の枠組み内でのさらなる開発は、行動、標準化および標準化のニーズに関する具体的提言を導き出すための出発点となる。（テクノロジーに依存しない）アプリケーション・シナリオと、具体的な技術参照を伴う適用例の両方をさらに改良する必要がある（提言 4.1-2 を参照）。

Plattform Industrie 4.0 AI プロジェクトグループの活動の枠組みの中で、Industrie 4.0 に適した人工知能技術および手法の一般的ロケーションフレームワークの必要性も確認された。ロケーションフレームワークは、人工知能アプリケーションの（技術的に中立な）効果を反映するとともに、（BITKOM によって開発された AI 技術の周期表のように）使用される可能性のある技術を、たとえば可能性が高まりつつある自律のための技術を自律性クラスの形で表現するといったコンテキストに組み込むためのフレームワークとなることを目指している（提言 4.1-3、提言 4.1-4A を参照）。

産業アプリケーションで AI を使用することは、AI のアプリケーション目的と機能によっては、標準規格に記述された要件の実現に影響を与える可能性がある。たとえば、AI テクノロジーを使って自動機能の動作適応を行う場合、自動化システムに対する AI の活動の影響を適合性評価で考慮しなければならない。このことは特に、機能安全要件がある産業アプリケーションに当てはまる。したがって、特に AI の機能と影響力を考慮したうえで、規範的枠組み

の条件が満たされていることを常に点検し、確認する必要がある（提言 4.1-4A を参照）。特にこの場合には、AI の影響範囲の客観的評価が必要となる（提言 4.1-3 を参照）。

AI に対する現在の高い関心は、AI の適用と標準化に関して、多くの協会や研究機関、コンソーシアム、学会での諸活動につながっている。Standardization Council Industrie 4.0 (SCI 4.0) は、産業用 AI 標準化における同様の作業の重複を回避し、異なる活動間の交流を促進し、最終的に、可能な限り統一された国内世論を形成するために、Expert Council for Artificial Intelligence in Industrial Applications（産業アプリケーション用人工知能専門協議会）を設立した。その目的は、ドイツ経済における Industrie 4.0 での AI 利用に関連し、また適切な標準化活動に関連した、要件および標準化のニーズの統合を実現するための標準化活動の国内調整と調和である（図 30 を参照）。

Expert Council for Artificial Intelligence in Industrial Applications は重要な役割を担っており、産業アプリケーション用人工知能の分野における標準化と調整に関する議論の中心となっている。そのタスクには、ユースケースの収集（提言 4.1-2 を参照）とそれらに基づく標準化要件の導出、行動提言の策定および仕様、ならびに現在策定中のさまざまな国内および国際的標準化ロードマップと将来策定されるロードマップへのそれらの組み込み、さらには国内および国際的な標準化活動の調整（提言 4.1-1、提言 4.1-7 を参照）が含まれる。

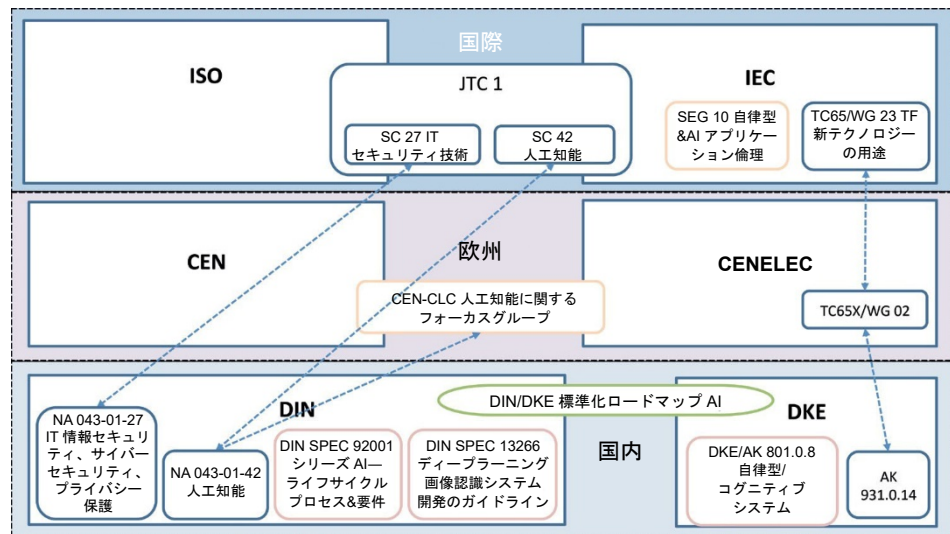


図 30 : Industrie 4.0 に関連して AI に取り組んでいる国内および国際標準化団体の概要

標準化に関連した連邦政府の AI 戦略の目的に適切に対処するために、AI のさまざまな側面に関する詳細かつ継続的情報を提供する 2 つの標準化ロードマップが開始された。2018 年 11 月、自律型機械および車両の AI 標準化に関する倫理的側面を特定するプロジェクトが開始された。このプロジェクトは、倫理的ルールをテクノロジー、プロセス、サービスの要件の標準化に組み込む手段についてその概略を提示すること目的としている。このプロジェクトの結果は、2020 年秋に最初のバージョンが公開される Standardization Roadmap Artificial Intelligence に含まれることになっている。

Standardization Roadmap Artificial Intelligence は、主に次の 7 つのトピックに対応することを目的としている。基盤（データ、用語、分類、AI 要素）、倫理/責任ある AI、品質と認定、AI システムの IT セキュリティ、産業オートメーション、モビリティとロジスティクス、医療の

AI。結果は公開後さらに処理され、標準化ロードマップ Artificial Intelligence に統合される。

現在、いくつかの水平側面が、既にドイツ国内において DIN SPEC 仕様という形で策定中であり、これらと、以下で取り上げる委員会の相互関係を図 30 に示す。DIN SPEC 92001 シリーズは、人工知能のライフサイクルおよび品質要件を対象とする。DIN SPEC 92001 シリーズのパート 1 は、主に AI 品質の最も重要な面を記述する人工知能の一般的品質メタモデルを提示する。シリーズのパート 2 は、ロバストネスのトピックを集中的に取り上げ、パート 1 の品質モデルに関する AI 固有の品質要件を提示する。DIN SPEC 13266 は、ディープラーニング画像認識システムの開発に関するガイドラインを記述しており、2020 年の第 2 四半期に公開された。DIN SPEC は AI の一般的側面に焦点を絞っており、そのため Industrie 4.0 固有の標準規格および仕様の策定に使用することができる。DKE/AK 801.0.8 内で、VDE 適用規則 VDE-AR-E 2842-61-1 Development and trustworthiness of autonomous/cognitive systems (自律型/認知型システムの仕様と信用性) が作られ、自律型/認知型システムに対応する用語とコンセプトが定義された。信頼できるシステムの実現を目的として、ライフサイクル全体を考慮するシステムおよびアプリケーション・アーキテクチャの参照モデルが開発される。安全性インテグリティレベル (SIL) やラムダ (故障確率) など、機能安全領域のアプローチが、この参照システムに移転される。適用規則は、管理要件や AI ブループリントの開発、市場監視の諸側面など、水平側面を対象とする。

コンポーネント、機械、システムの開発および運用において、限界値、手順または基準値など、標準規格で規定されている要件の順守は基本的な役割を果たす。現在、標準規格や仕様は人に読まれ、理解され、適切に考慮されることを目的として、そのほとんどが文書形式で提供されている。その結果、規範的情報の機械による処理および解釈は、現在のところ限られた範囲でのみ可能である。人工知能を使用するときに、標準規格に含まれる情報が効率的に考慮されるようにするには、その情報が適切な方法によって利用でき、また機械処理が可能でなければならない。その目的のためには、コンテンツのデータ構造、(交換) フォーマット、形式化や数式化、ならびに対応するアクセスの可能性を確立しなければならない (提言 4.1-8 を参照)。

「デジタル規格」は、AI の適用以上に重要であることに注意する必要がある。Industrie 4.0 は、デジタル規格の適用において先駆的な役割を果たすことができる。AI は、そのことから恩恵を受けることが可能なアプリケーションである (提言 4.1-8A を参照)。以前のアプローチとは対照的に、この場合、標準化の観点に変化が生じる。これまでは AI に関する標準規格が検討されてきたが、これからは AI による標準規格の適用および評価も検討対象となる。

AI または関連する側面については、さまざまな標準化団体で検討されている。

2018 年 4 月、ISO/IEC JTC1 合同委員会の中に、SC 42 「人工知能」委員会が設立された。ISO および IEC 内での AI 標準化の焦点として、SC 42 の作業では AI エコシステム全体を検討対象としている。さらに SC 42 の作業は、人工知能アプリケーションを開発する ISO および IEC 委員会のオリエンテーションガイドとしての役割も担っている。現在、同委員会が取り扱うテーマには、AI の用語と概念、機械学習、ビッグデータ、AI の信用性 (例: セキュリティ、安全性、プライバシー、ロバストネス、レジリエンス、信頼性、透明性、可制御性)、AI のアプリケーションとユースケース、AI のガバナンスへの影響、AI の計算アプローチ、倫理および社会的懸念、リスク管理、AI に関係するデータ品質、品質要件などの標準化がある。(図 30 を参照)。

このような標準規格を策定する動機は、対象分野とその多様なコンポーネントの概要を高いレベルで記述し、さまざまな利害関係者に基本的理解と共通言語を提供することである。

ISO/IEC JTC 1/SC 27 は、情報セキュリティ、サイバーセキュリティ、プライバシー保護というテーマを取り扱っている。現在、このテーマに関連して 2 件の研究が準備されている。プライバシーに対する AI の影響に関する研究と信用性に関する研究である。

IEC/SEG 10 は、テクノロジーを受け入れるための重要なアプローチとして、自律型アプリケーションと AI の倫理的側面を取り扱っている。具体的には、社会的関連性のある側面を検討し、IEC 標準管理評議会（SMB）への提言を作成している。

IEC/TC 65/WG 23 のタスクフォース「新技術の使用」は、新技術の評価と「スマートマニユファクチャリング」の分野での標準化との関連性を担当している。ここでは、産業アプリケーションにおける人工知能は、将来の技術と見なされている。この垂直 AI 分野での作業は、作業グループ DKE/AK 931.0.14 による国内レベルでの作業に反映されている。

欧州レベルの作業についても図 30 に示す。「人工知能に関するフォーカスグループ」は、2019 年 4 月に CEN-CENELEC 内に設立された。フォーカスグループは、ヨーロッパにおける AI の開発と普及について CEN および CENELEC に対し助言を行う。欧州における特定のニーズに対応する方法についてはこのグループが取り組んでいるが、一般的にグローバルな問題は、可能であればグローバルレベルで対応している。何よりも、このフォーカスグループは、欧州委員会が設置した「人工知能に関する AI ハイレベル専門家グループ」のガイドラインと、欧州の人工知能に関する [COM \(2018\) 237](#) を考慮に入れることにしている。フォーカスグループは、欧州の AI 標準化に関する共通ビジョンの作成に取り組んでいる。CENELEC 技術委員会 CLC/TC 65X では、産業オートメーションにおける AI の使用について、欧州レベルでの検討が行われている。

ISO/IEC JTC 1/SC 42 「人工知能」対応の国内委員会および AI に関する CEN CENELEC フォーカスグループは、DIN の情報技術・選定アプリケーション標準規格委員会内の作業グループ「人工知能」（NA 043-01-42 AA）である。（水平標準化では通常のことではあるが）ここでは Industrie 4.0 は、要件がユースケースでカバーされている多くの適用分野の一つと見られている。産業用途での人工知能についての SCI 4.0 Expert Council は、この水平組織と産業アプリケーションに関する委員会、特に IEC/TC 65 との連携を図るために設立されたものである（提言 4.1-7 を参照）。

Horizon 2020 の下で EU が資金提供している [Stand.ICT.eu](#) コンソーシアムプロジェクトの一環として、AI 標準化と欧州レベルおよび国際レベルでの標準化で現在進められている活動の概要が作成されている。そのドキュメントの更新版が準備中である（提言 4.1-6、提言 4.1-7 を参照）。

4.3 行動および適用に関する提言

AI 関連技術の標準化は、水平方向の問題（例：用語）とセクター固有のニーズの間のバランスのとれた差別化を目指すべきである。

4.1-1 Industrie 4.0 のための標準化された人工知能用語

「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、必要に応じて明確化される。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。

4.1-2 アプリケーション・シナリオと適用例

Plattform Industrie 4.0 の作業グループ 2 の準備作業に基づいて、Industrie 4.0 の人工知能に関する国内で調整して策定するアプリケーション・シナリオと適用例を、二国間の作業グループおよび国際的作業グループと専門家グループ、さらに標準規格委員会が取り入れることになっている。統一テンプレートの使用および IIRA Viewpoints の適用を目指す必要がある。

4.1-3 AI メソッド適用のための標準化された評価フレームワーク

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。

4.1-4A AI メソッドが既存の標準規格に記載されている機能の要件をどの程度満たしているかの確認

産業アプリケーションで人工知能を使用する前に、関連する標準規格の要件が満たされているかどうかを確認しなければならない。

4.1-5 AI の信用性

人工知能や、AI プロセス、AI 技術または AI メソッドが使用されるシステムの信用性の重要性を詳細に調査する必要がある（提言 4.1-1、提言 4.1-2 も参照）。特に、IT セキュリティや機能安全などの分野横断的テクノロジーへの基本的参照を確認する。

4.1-6 標準化マップの開発と継続的な更新および行動戦略の導出

AI の標準化ロードマップ（特に提言 4.1-1、提言 4.1-2、提言 4.1-4A、提言 4.1-5 を参照）に記載されている行動に関するさまざまな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、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（提言 4.1-7 も参照）。

4.1-7 （国内および国際）標準化ロードマップおよびガイドラインとの同期、調整および交流

人工知能をはじめ、水平標準化委員会における産業オートメーションの要件の保護と確認、垂直標準化という意味での Industrie 4.0 用人工知能の要件と標準化活動の調整および調和については、標準化活動に関わる委員会同士の交流を強化しなければならない。特に、水平標準化団体（ISO/IEC JTC/1 SC/42 など）による、Industrie 4.0 での垂直ニーズおよび要件への関わりが必要であり、それはこうした団体の業界代表や、垂直および水平標準化団体の各国代表および研究機関代表が参加することによってのみ確実に期することができる。このタスク

は、Industrie 4.0に関連した標準化活動の調整と調和を担当していて、水平標準化団体と緊密に連携し、人工知能の課題にはっきりとした姿勢で対応する組織に委託するべきである。

4.1-8A 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

Industrie 4.0 と、特に AI の使用は、デジタル方式で策定された標準規格および仕様の適用において先駆的役割を果たすことができる。それには、デジタル方式で策定された標準規格と適切な評価手順の両方が使用可能であることが必要である。自動評価のためにデジタル方式で策定された標準規格の適用について、調査し、促進することが必要である。たとえば、機械による解釈が可能な標準規格を使って、コンポーネント、機械、システムの開発における自動評価を行い、標準規格への開発の適合性を自動的にチェックすることができる（提言 4.1-4A を参照）。

4.1-9 データの主権、整合性、セキュリティを確保するための標準化

AI に関連した自動学習プロセスに適した統合データの必要性を確認するため、適切なデータの管理、保存、交換、使用およびデータの主権、整合性、セキュリティを確保するための標準化の適用について調査し、推進することが必要である。

付録 A 機能安全に関する 詳細情報

表2：安全装置の設計に関する現在のすべての関連基準の基礎となる基本手順は次の通りである。

1. デバイスの予想リスクを推定するリスク分析が実行される。
2. 安全機能が、特定されたリスクに割り当てられる。
3. 安全機能に、リスク低減係数が割り当てられる。
4. 安全機能の技術設計が指定される。
5. 安全機能を実装する。
6. 安全機能の試運転を行う。
7. 安全機能を作動させる。
8. 安全機能を修正する。
9. 安全機能の使用を終了する。
10. 安全機能を処分する。

この一連の活動を安全ライフサイクルと呼ぶ。

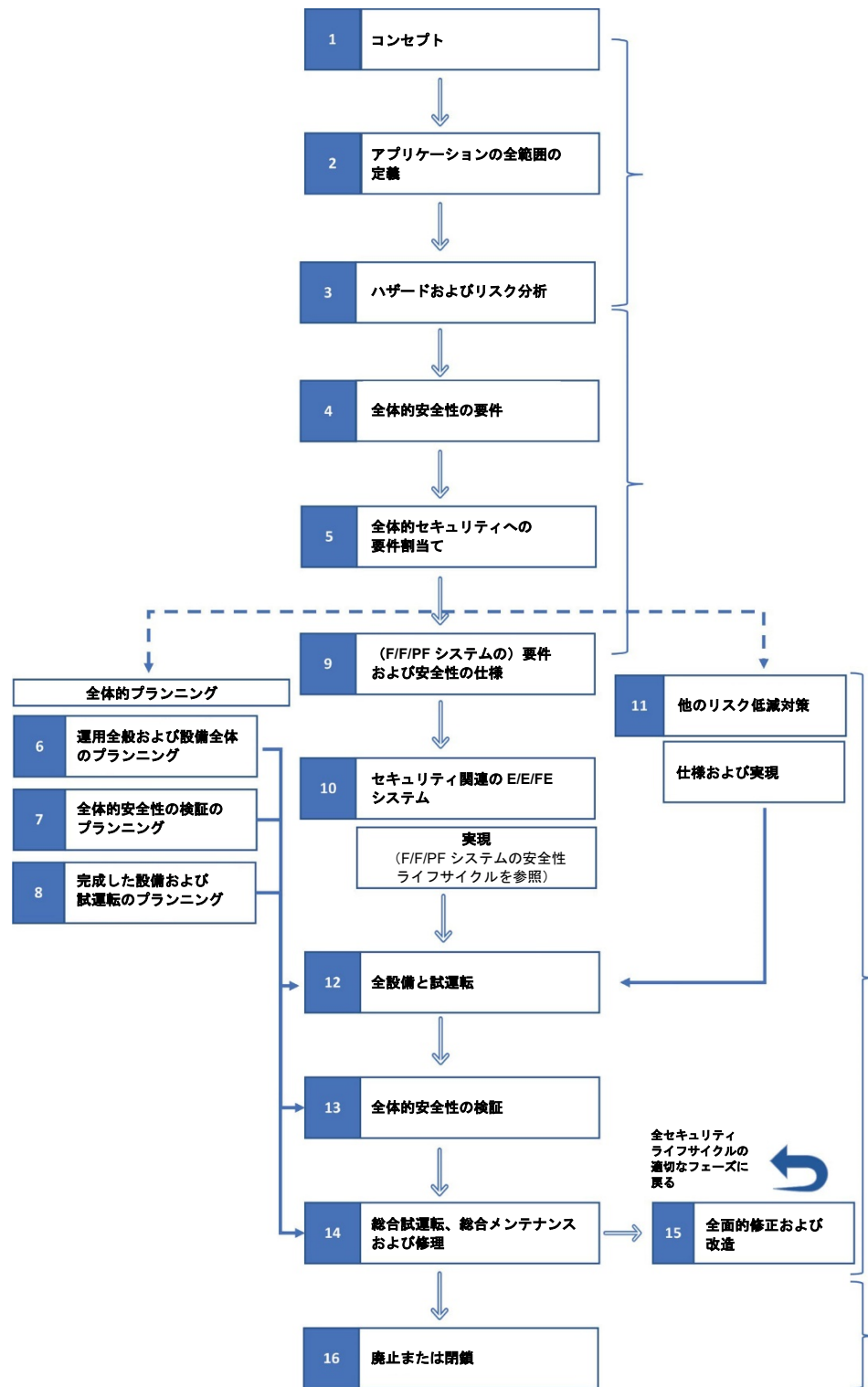


図 31 : IEC 61508-1 に規定された安全ライフサイクル

リスク分析は、ライフサイクルのステップ1で実行される。この例はISO 12100のベースとなっているプロセスである。

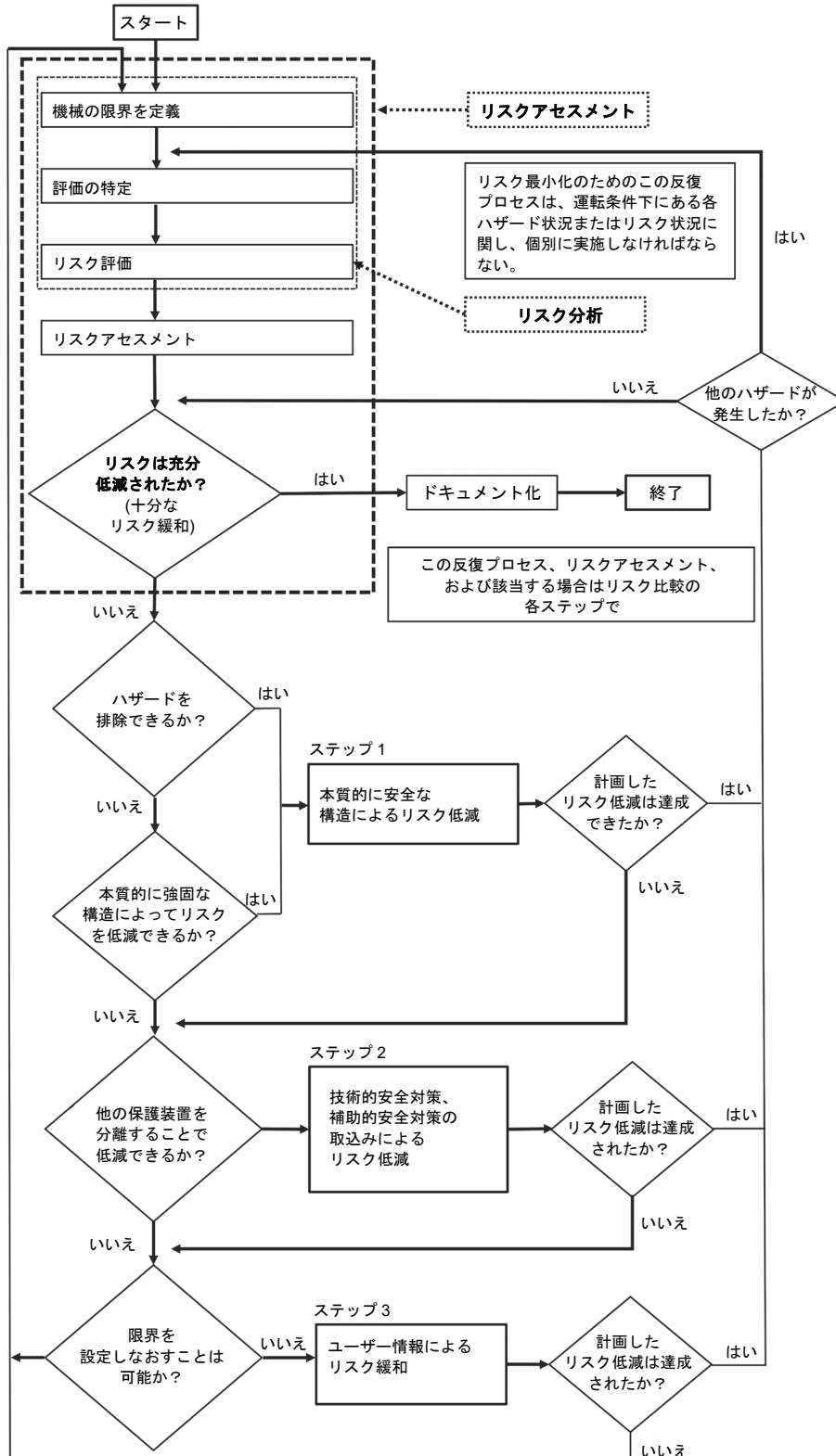


図 32 : ISO 12100 に基づく必要なリスク低減の定義

このようなプロセスに従って技術的リスクの低減が必要な場合（上記のプロセスに加えて、多くの代替策がある）、必要な技術的要件を策定するさまざまな方法がある。よく使用されるのは、定性的手法である。

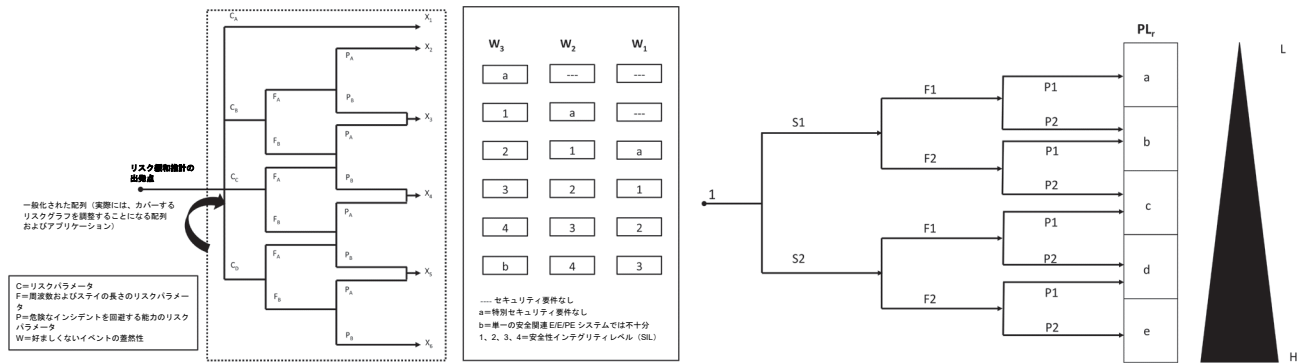


図 33 : IEC61508/ISO13849 におけるようなリスク低減の実装

これらの方法を用いる場合、それぞれの方法に応じて決定パラメータを調整する必要がある。ライフサイクルのステップ 2~6 が完了すると、前のステップで定義された要件が満たされていることを証明するために、それぞれのケースで評価が必要になる。ステップ 5 および 6 では、追加の機能試験が実施される。ライフサイクルのステップ 7 では、安全装置の正しい機能の定期的点検が実行される。ステップ 8 では、技術変更手順のほかに決定プロセスを確立する必要がある。これにより、変更に際して考慮されるライフサイクルフェーズの識別が可能になる。ステップ 9 と 10 では、リスクの原因が完全に排除されるまで、安全装置の有効性を適切に維持しなければならない。

アプリケーションに依存しない方法で安全機能のコンポーネントを開発するためのこれら考慮事項から生じる要件を定式化するために、一般的な要件レベルが、関係する基本規格（ISO 13849 および IEC 61508）で定式化され、次の仕様が作られた。

表 3 : 規範的要件の概要

ISO 13849			IEC 61508 (高頻度作動要求又は連続モード)			IEC 61508 (低頻度作動要求モード)		
要求	必要な許容性		要求	必要な許容性		要求	必要な許容性	
PL	下限	上限	SIL	下限	上限	SIL	下限	上限
a	1,00E-04	1,00E-05	-			-		
b	1,00E-05	3,00E-06	1	1,00E-05	1,00E-06	1	1,00E-01	1,00E-02
c	3,00E-06	1,00E-06	1			1		
d	1,00E-06	1,00E-07	2	1,00E-06	1,00E-07	2	1,00E-02	1,00E-03
e	1,00E-07	1,00E-08	3	1,00E-07	1,00E-08	3	1,00E-03	1,00E-04
			4	1,00E-08	1,00E-09	4	1,00E-04	1,00E-05

2つの標準規格の技術要件を比較する場合、主として次の点を考慮する必要がある。

PLが定義されたときに仕様が拡張されたため（PL b と c）、ISO 13849（パフォーマンスレベル PL）と IEC 61508（安全性インテグリティレベル SIL）に基づく要件の構造は異なっており、それは適用が頻繁に行われる分野に集中しているが、IEC 61508 は考慮対象のリスク低減を線形分割する。

IEC 61508 は、安全装置の2つの動作モードを区別する。これは、通常動作の間、それぞれの安全機能が作動しないことが想定されている適用分野があるという事実を考慮に入れている。その結果、異なる方法で考慮しなければならない複数のエラーモデルだけでなく、他の要件パラメータ（要件ごとのエラー vs. 稼働時間ごとのエラー）も生じることになる。

基本規格は、安全機能用のコンポーネントの設計、開発、製造の要件を定めている。

これらの要件には、表3に示す一般的要件を満たすために、エラーを回避し、識別し、制御するための対策が含まれている。

偶発的エラーと系統的エラーの両方を考慮しなければならない。さらに、ハードウェアとソフトウェア両方のエラーおよび補助電源装置の故障など外部からの影響も考慮する必要がある。上記の要件は、個々のコンポーネントとアプリケーション固有のデバイスの組合せの両方を意味する。

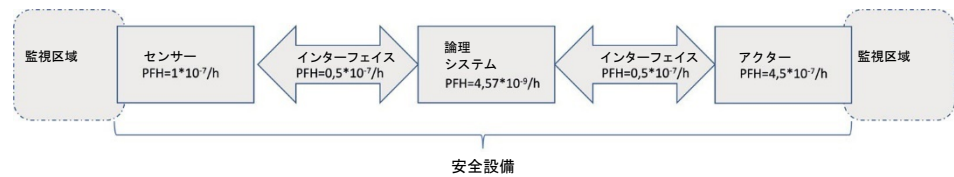


図 34 : 安全装置の境界

図 34 で取り上げたデバイスは、センサーと監視区域の接続から、アクチュエータと危険源の接続にまで及んでいる。起動パラメータは、全体的配列に必要なリスク低減であるため、すべてのコンポーネントを個別に、または組み合わせて検討する必要がある。シンプルな構成では、個々のコンポーネントの信頼性を足し合わせることで、全体的配列の信頼性を得ることができる。関連するコンポーネント以外に、インターフェイスも考慮しなければならない。

さらに、既存の診断機能を検討する必要があるため、図 28 ではすべてのインターフェイスが双方向機能として示されている。アプリケーションによっては、統計的パターンに従って発生する偶発的エラーに関する全体的配列の信頼性に加えて、摩耗などの系統的エラーの原因や、監視対象メディアの（例：腐食による）影響も考慮しなければならない。

上述したハードウェアエラーに加えて、ソフトウェアエラーも考慮する必要がある。ソフトウェアエラーは基本的に決定論的性質のものであることを考慮しなければならない。つまり、ソフトウェアの中に存在するか、存在しないかという点だ。この点を考慮することで、適切なソフトウェア開発プロセスの、検査と機能試験で十分にバックアップできる要件が得られる。

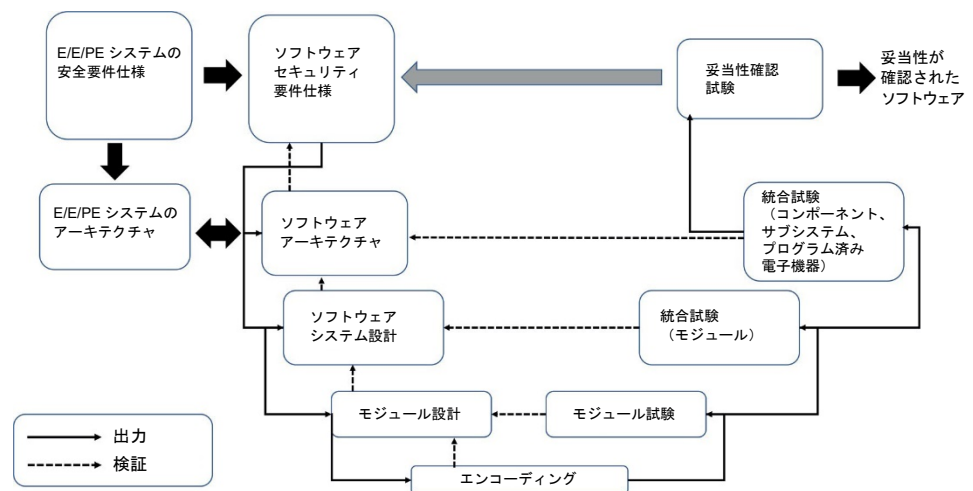


図 35 : IEC 61508-1 に準拠したソフトウェア開発プロセスは、IEC 61508-3 で指定されたソフトウェア開発プロセスを示している。

個々の活動の設計については、作成するソフトウェアに十分なレベルの品質を確保する対策の個別バンドルの定義案が IEC 61508-3 に含まれている。

付録 B | 4.0 標準化環境の概要

Industrie 4.0に関する現行の標準規格の概要については、以下で確認できる。
www.din.de/go/industrie-4-0 (<https://www.din.de/en/innovation-and-research/industry-4-0>)
www.dke.de/Normen-Industrie40 (<http://www.dke.de/de/industrie40>)

B.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	機能セキュリティー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 Information Technology and Selected Applications (DIN情報技術・選定アプリケーション標準規格委員会 : NIA)	DIN情報技術・選定アプリケーション標準規格委員会 (NIA) の対象範囲は、情報技術の分野および選定された情報アプリケーション分野における標準規格の策定である。その年次報告書は、専用Webサイトで閲覧できる。
NA 043-01 FB	Special Division Basic Standards of Information Technology (情報技術基本規格特別部)
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)
NA 043-01-27 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
NA 043-01-41 AA	モノのインターネット
NA 043-01-42 AA	人工知能
DIN NA 060 NA 060-30 FB	Standards Committee Mechanical Engineering Section Automation systems and integration (標準規格委員会機械工学部門オートメーションシステムおよび統合)
VDI/VDE Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (VDI/VDE計測・自動制御技術分科会)	
VDMA	
コンパニオン仕様	

B.2 欧州標準化団体および国際標準化団体

IEC : 国際電気標準会議	
IEC/TC 65	産業プロセス、測定、制御およびオートメーション
IEC/TC 65/WG 10	産業プロセス測定および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ー
IEC/TC 65/WG 16	デジタルファクトリー
IEC/TC 65/WG 19	産業プロセス測定、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	産業プロセス測定、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ーの要件を橋渡しする枠組み
IEC/TC/WG 23	スマートマニュファクチャリング・フレームワークとシステムアーキテクチャ
IEC/TC/WG 24	産業アプリケーション用アセット管理シェル
IEC/SC65	産業プロセスの測定、制御およびオートメーション
IEC/SC 65A	システム側面
IEC/SC 65B	測定装置および制御装置
IEC/SC 65C	産業用ネットワーク
IEC/SC 65E	エンタープライズシステムのデバイスと統合
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	情報セキュリティー、サイバーセキュリティー、プライバシー保護
JTC 1/SC 27/WG 3	セキュリティー評価、試験および仕様
JTC 1/SC 27/WG 4	セキュリティー管理およびサービス
JTC 1/SC 31	自動認識およびデータ取得技術
ISO/IEC JTC1/SC 41	モノのインターネットと関連技術
ISO/IEC JTC1/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	セキュリティーおよびレジリエンス

ISO/TC 299	ロボット工学
ISO/TC 307	Blockchain und Technologien für verteilte elektronische Journale
CEN : 欧州標準化委員会	
CEN/TC 114	機械安全
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	時間的制約のあるネットワーク
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	
FG-5GML	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	産業用サイバーセキュリティプログラムは、IEC 62443に基づく7つのサイバーセキュリティ証明を定めている。
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 (TRF)	IEC 62443パート2-4、3-3、4-1、4-2用TRF

B.3 調整機関

CEN-CENELEC ETSI	
<p>スマートマニュファクチャリングに関する CEN-CLC-ETSI/SMa-CG 調整グループ</p>	<p>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)は2019年に設立され、DIN/DKEIによって管理されている。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、標準化に関するSDOおよび他の第三者に対し、CEN、CENELECおよびETSIのポジションを同期させる。グループの事務局はドイツにある。</p>
ISO	
<p>ISO/TMBG/SMCC スマートマニュファクチャリング調整委員会 (SMCC)</p>	<p>同じようにドイツの主導の下、ISO/SMCCスマートマニュファクチャリング調整委員会はその後、Industrie 4.0に関する国際的な取組みを積極的に推進してきた。ここでの目的は、委員会全体でIndustrie 4.0に関する調整を行い、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作成することである。同時に、関係者に国際的な取組みを形成するうえで決定的な役割を果たす国内プラットフォームを提供するため、国内委員会がDINIに設置された。</p>
IEC	
<p>IEC /SyC 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)に対し直接責任を負っており、2018年にその業務を開始した。IEC/SyCのタスクは、標準化活動の調整に加えて、特に関連する標準化団体とコンソーシアムDas unter deutschem Vorsitz stehende Gremiumの協力により、ギャップと重複を特定することである。</p>
<p>IEC/SyC Communication Technologies and Architectures (通信技術とアーキテクチャ)</p>	<p>2019年半ば、IEC/SyC「通信技術とアーキテクチャ」が、以前のIEC/SEG 7から分かれて設立された。SyCのタスクは、通信技術とアーキテクチャの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1つの目的は、通信技術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>

B.4 Industrie 4.0 イニシアティブ

Standardization Council Industrie 4.0

www.sci40.com/

Plattform Industrie 4.0

www.plattform-i40.de/

作業グループ 1 : 参照アーキテクチャ、標準規格および仕様

作業グループ 2 : 技術および適用シナリオ

作業グループ 4 : 法的枠組み

作業グループ 3 : ネットワーク化されたシステムのセキュリティ

作業グループ 5 : 作業およびトレーニング

作業グループ 6 : Industrie 4.0 におけるデジタルビジネスモデル

Labs Network Industrie 4.0

www.lni40.de/

GAIA - X

www.data-infrastructure.eu/

iDIS : Initiative Digitale Standards

5G ACIA : Alliance for Connected Industries and Automation

B.5 標準規格開発団体（SSO）

OPC - Unified Architecture	
プラットフォームから独立した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	
ecl@ss	
標準化されたISO準拠のプロパティ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の代替手段としての新しい目的であり、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らす。
WebPerf	パフォーマンス：さまざまな要件に俊敏に対応し、この高いパフォーマンスを均一的な統合で実装する機能
WebPayments	モノの間の支払いトラフィック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	標準規格に基づいているがモノの間で統合される、水平および垂直の両方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いた対応セキュリティアーキテクチャの開発（視点）
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）生成の代替として非ブラウザベースのアプリケーション開発にも対応

B.6 政治制度（ドイツ、欧州）

BMWi：ドイツ連邦経済エネルギー省

BMBF：ドイツ連邦教育研究省

欧州委員会

マルチ・ステークホルダー・プラットフォーム（Multi Stakeholder Platform、略：MSP）

デジタイジング・ヨーロピアン・インダストリー（Digitising European Industry、略：DEI）

略語/略称

3GPP	3rd Generation Partnership Project
AAL	Ambient Assisted Living
acatech	German National Academy of Science and Engineering
AK_STD	<i>Arbeitskreis Standardisierung</i> (Working Group Standardization)
AAS	Asset Administration Shell
AASX	Asset Administration Shell Explorer
ADT	Abstract data type
AML	Automation Markup Language
B2B	Business-to-Business (ビジネスツービジネス)
BITKOM	<i>Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V.</i> (Federal Association for Information Technology, Telecommunications and New Media)
BMBF	<i>Bundesministerien für Bildung und Forschung</i> (Federal Ministries of Education and Research) (連邦教育研究省)
BMEcat	eビジネス向けカタログ標準規格
BMWi	<i>Bundesministerium für Wirtschaft und Energie</i> (Federal Ministry for Economic Affairs and Technology) (連邦経済エネルギー省)
BSD	Berkeley Software Distribution
BSI	<i>Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik</i> (Federal Office for Information Security) (連邦情報セキュリティ庁)
BZKI	<i>Begleitforschung für zuverlässige Kommunikation in der Industrie</i> (Accompanying Research – Reliable wireless communication in industry)
CDD	Common Data Dictionary (共通データ辞書)
CEN	<i>Comité Européen de Normalisation</i> (European Committee for Standardization) (欧州標準化委員会)
CENELEC	<i>Comité Européen de Normalisation Électrotechnique</i> (European Committee for Electrotechnical Standardization) (欧州電気標準化委員会)
CPPS	Cyber Physical Production System
CPS	Cyber Physical System (サイバーフィジカルシステム)
CVRF	Common Vulnerability Reporting Framework (脆弱性情報を報告・共有するための枠組み)
DEI	Digitising European Industry
DG CONNECT	Directorate Generale CONNECT (コミュニケーションネットワーク・コンテンツ技術総局)
DG GROW	Directorate General GROW (域内市場・産業・起業・中小企業総局)
DG RTD	Directorate General Research and Innovation
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung e. V.</i> (German Institute for Standardization) (ドイツ規格協会)
DIN SPEC	DIN Specification (DIN仕様)
DKE	<i>Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE</i> (German Commission for Electrical, Electronic & Information Technologies of DIN and VDE)
DNS	German Standardization Strategy (ドイツ標準化戦略)
EBN	R & D phase standardization (研究開発段階標準化)

EDDL	Electronic Device Description Language
EN	<i>Europäische Norm</i> (European Standard) (欧州規格)
EPL	Eclipse Public License
ERP	Enterprise Resource Planning
ETSI	European Telecommunications Standards Institute (欧州電気通信標準化機構)
EU	European Union (欧州連合)
GDPR	General Data Protection Regulation
GL	<i>Grundlagen</i> (Fundamentals)
GMA	<i>VDI/VDE Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik</i> (VDI/VDE Society for Measurement and Automatic Control)
GUI	Graphic User Interface
HAZOP	Hazard and Operability Process
HE	<i>Handlungsempfehlung</i> (提言)
HTTP	Hypertext Transfer Protocol (ハイパーテキスト転送プロトコル)
IACS	Industrial Automation and Control System
IEC	International Electrotechnical Commission (国際電気標準会議)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers (電気電子技術者協会)
ICT	Information and communications technology (情報通信技術)
IML	Fraunhofer Institute for Material Flow and Logistics (フラウンホーファー物流ロジスティクス研究所)
IOSB	Fraunhofer Institute of Optronics, System Technologies and Image Exploitation (フラウンホーファー・オプトエレクトロニクス・システム技術・画像処理研究所)
ICT	Fraunhofer Institute for Information and Communications Technologies (フラウンホーファー・情報通信技術研究所)
IoT	Internet of Things
IPA	Fraunhofer Institute for Process Automation
IloT	Industrial Internet of Things
IPA	Fraunhofer Institute for Manufacturing Engineering and Automation (フラウンホーファー生産技術・オートメーション研究所)
IP45G	Information platform for 5 G – Industrial Internet
ISA	International Sociological Association (国際社会学会)
ISO	International Organization for Standardization (国際標準化機構)
IT	Information Technology (情報技術)
ITA	Industry Technical Agreement
ITG	<i>Informationstechnische Gesellschaft im VDE</i> (Information Technology Society) (VDE情報技術ソサエティー)
ITU	International Telecommunication Union (国際電気通信連合)
ITU-R	International Telecommunication Union, Radiocommunication Sector (国際電気通信連合無線部門)
JETI	JTC1 Emerging Technology and Innovation
JIS	Joint Initiative on Standardization
JTC	Joint Technical Committee der IEC und ISO

JSON	JavaScript Object Notation
JWG	Joint Working Group (共同作業グループ)
KI	Artificial Intelligence
KMU	<i>Klein- und Mittelständische Unternehmen</i> (Small- and mid-sized enterprises, SMEs) (中小企業)
LGPL	Lesser General Public License
LNI 4.0	Labs Network I 4.0
M2M	Machine-2-machine (マシンツーマシン)
MOM	Manufacturing operations management (製造オペレーション管理)
MPL	Mozilla Public License
MRK	<i>Mensch-Roboter-Kollaboration</i> (human-robot collaboration) (人間=ロボット協調)
NA/NIA	DIN Standards Committee on Information Technology and Selected Applications
NAMUR	User Association for Automation in Process Industries (装置産業の自動化に関するユーザー協会)
NIST	National Institute for Standards and Technology (USA) (米国標準技術研究所)
NLF	New Legislative Framework (新しい法的枠組み規則)
DNS	German Standardization Strategy (ドイツ標準化戦略)
OGC	Open Geospatial Consortium
OMG	Object Management Group
OPC-UA	Open Platform Communications – Unified Architecture
OpenAAS	Open Asset Administration Shell (オープンアセット管理シェル)
OT	Operational Technologies (運用技術)
PAiCE	Platforms, Additive Manufacturing, Imaging, Communication, Engineering (プラットフォーム、積層造形、画像、通信、エンジニアリング)
PAS	Publicly Available Specification (公開仕様書)
PPP	Public Private Partnership (官民パートナーシップ)
RAMI 4.0	<i>Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0</i> (Reference architecture model Industrie 4.0)
RDF	Resource Description Framework (資源技術の枠組み)
RoboPORT	<i>Crowd-Engineering-Plattform für Robotik</i> (Crowd-Engineering platform for robotics)
RM-SA	<i>Referenzmodell-Systemarchitektur</i> (Reference model for system architecture) (システムアーキテクチャ参照モデル)
ROSIN	<i>Qualitätsgesicherte ROS-Industrial-Softwarekomponenten</i> (Quality-assured ROS industrial software components)
SC	Standards committee (標準委員会)
SCI 4.0	Standardization Council I 4.0
SDO	Standards Developing Organization (標準規格開発団体)
SemAnz40	<i>Semantische Allianz 4.0</i> (Semantic Alliance 4.0)
SeRoNet	<i>Service Roboter Netzwerk</i> (Service Robot Network) (サービスロボットネットワーク)
SG	<i>Strategiegruppe</i> (Strategy Group) (戦略グループ)

SIL	Safety Integrity Level (システム安全性能尺度)
SMCC	Smart Manufacturing Coordinating Committee (ISO) (スマートマニュファクチャリング調整委員会)
SMB	Standardization Management Board (IEC) (標準管理評議会)
SOA	<i>Service-orientierte Architektur</i> (Service-oriented architecture) (サービス指向アーキテクチャ)
SSO	Standards Setting Organization (標準規格策定機関)
SyC SM	System Committee Smart Manufacturing (IEC)
TACNET 4.0	<i>Tactiles Internet – Konsortium</i> (Tactile Internet – Consortium)
TC	Technical Committee (技術委員会)
TCP	Transmission Control Protocol
TR	Technical Report (技術報告書)
TS	Technical Specification (技術仕様)
UK	<i>Unterkomitee</i> (Subcommittee) (小委員会)
UML	Unified Modelling Language (統一モデリング言語)
VDE	<i>Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik e. V.</i> (Association for Electrical, Electronic & Information Technologies) (ドイツ電子情報通信学会)
VDE AR	VDE Application rule (VDE適用規則)
VDI	<i>Verein Deutscher Ingenieure e. V.</i> (Association of German Engineers) (ドイツ技術者協会)
VDI/VDE GMA	<i>VDI/VDE Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik</i> (VDI/VDE Society for Measurement and Automatic Control) (VDI/VDE計測・自動制御技術分科会)
VDMA	<i>Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V.</i> (German Engineering Federation) (ドイツ機械工業連盟)
VV	Administrative regulation (管理規則)
VWS	Administration shell (管理シェル)
VWSiD	Administration shell in detail (管理シェル詳細)
W3C	World Wide Web Consortium
WG	Working Group (作業グループ)
WTO	World Trade Organization (世界貿易機関)
WoT	Web of Things
XML	Extensible Markup Language (拡張マークアップ言語)
ZDKI	<i>Zuverlässige drahtlose Kommunikation</i> (reliable wireless communication)
ZVEI	<i>ZVEI Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V.</i> (Central Association of the Electrical and Electronics Industry)

執筆者

執筆者索引—Industrie 4.0に関するドイツ標準化ロードマップ	
Adolph, Dr. Lars	BAuA – Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund
Ammon, Ernst	Technische Hochschule Nürnberg
Becker, Jochen	CERT@VDE, VDE e.V – Verband Deutsche Elektrotechnik, Frankfurt am Main
Bedenbender, Dr. Heinz	VDI – Verein Deutscher Ingenieure e. V., Düsseldorf
Bellinghausen, Vanessa	BSI – Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, Bonn
Börkircher, Dr. Mikko	Metall NRW – Verband der Metall- und Elektro-Industrie Nordrhein-Westfalen e. V., Düsseldorf
Braunmandl, Dr. – Ing. Andre	BSI – Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, Bonn
Brumby, Prof. Dr. Lennart	Duale Hochschule Baden-Württemberg, Mannheim
Cäsar, Joachim	Fraunhofer Institut für Chemische Technologie ICT, Pfingsttal-Berghausen
Czarny, Damian	DKE – Deutsche Kommission Elektrotechnik im DIN und VDE, Frankfurt am Main
de Meer, Jan	Smart Space Lab GmbH, Berlin
Diedrich, Prof. Dr. Christian	ifak – Institut für Automation und Kommunikation e. V., Magdeburg
Fliehe, Marc	VdTÜV – Verband der TÜV e. V., Berlin
Friedrich, Dr. Jochen	IBM Deutschland GmbH, Mannheim
Focke, Guido	thyssenkrupp AG, Essen
Gayko, Dr. Jens	SCI 4.0 – Standardization Council Industrie 4.0, Frankfurt am Main
Gobert, Dr. Jonas	Plattform Industrie 4.0, Berlin
Harner, Andreas	CERT@VDE
Hartmann, Dr. Wilfried	BASF SE, Ludwigshafen
Heidel, Roland	Heidelcom Kommunikationslösungen e.K., Kandel
Hörcher, Dr. Günter	Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart
Jännicke, Dr. Lutz	Phoenix Contact GmbH & Co KG, Blomberg
Jeske, Dr. Tim	ifaa – Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e. V., Düsseldorf
Jochem, Michael	Robert Bosch GmbH, Stuttgart
Diller, Jürgen	Huawei Technologies GmbH, Düsseldorf
Kenji-Kipker, Dr. Dennis	Universität Bremen, CERT@VDE
Kirchhoff, Britta	BAuA – Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund
Klasen, Dr. Wolfgang	Siemens AG, München
Köpp, Thomas	Südwestmetall – Verband der Metall- und Elektroindustrie Baden-Württemberg e. V., Reutlingen
Korfmacher, Dr. Sebastian	KAN – Kommission Arbeitsschutz und Normung, Sankt Augustin
Kötter, Wolfgang	GITTA mbH – Gesellschaft für interdisziplinäre Technikforschung Technologieberatung Arbeitsgestaltung mbH, Berlin
Lachenmaier, Dr. Jens	Universität Stuttgart
Laible, Holger	Siemens AG, Erlangen
Lamm, Andreas	DIN – Deutsches Institut für Normung e.V, Berlin
Lange, Holger	DKE – Deutsche Kommission Elektrotechnik im DIN und VDE, Frankfurt am Main

Leboucher, Yves	SCI 4.0 – Standardization Council Industrie 4.0, Frankfurt am Main
Legat, Dr. Christoph	Hekuma GmbH, Hallbergmoos
Löwen, Prof. Dr. Ulrich	Siemens AG, Erlangen
Metzger, Theo	BnetzA – Bundesnetzagentur Mainz
Meurer, Dr. Doris	UBA – Umweltbundesamt, Dessau
Meyer, Olga	Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart
Mosch, Dr. Christian	VDMA – Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V., Frankfurt am Main
Müller, Andreas	Schaeffler Technologies AG & Co. KG, Nürnberg
Nickel, Peter	Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA), Sankt Augustin
Orzelski, Andreas	Phoenix Contact GmbH & Co KG, Blomberg
Petschulies, Anna	DIN – Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin
Rannenberg, Prof. Dr. Kai	Johann Wolfgang Goethe-Universität, Frankfurt am Main
Rauchhaupt, Dr. Lutz	ifak – Institut für Automation und Kommunikation e. V. Magdeburg
Reischle-Schedler, Gunther	IBM Deutschland GmbH, Düsseldorf
Rennoch, Axel	Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS, Berlin
Rohmus, Dr. Dominik	LNI 4.0 – Labs Network Industrie 4.0, Berlin
Sammer, Robert	SGS-TÜV Saar GmbH, Saarbrücken
Schmidt, Johannes	InfAI – Institut für Angewandte Informatik e. V., Leipzig
Schrundner, Robert	ident.one, Bruchsal
Sehnert, Katharina	DIN – Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin
Sieber, Peter	HIMA Paul Hildebrandt GmbH, Brühl
Stock, Petra	Refa – Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung, Darmstadt
Tenhagen, Detlef	Harting Stiftung & Co. KG, Espelkamp
Tausch, Alina	BAuA – Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund
Usländer, Dr. Thomas	Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung (IOSB), Karlsruhe
Uslar, Dr. Matthias	OFFIS – Institut für Informatik, Oldenburg
Voß, Dr. Stefan	BAuA – Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund
Weber, Ingo	Siemens AG, Karlsruhe
Wegener, Prof. Dr. Dieter	Siemens AG, München

参考資料・参考文献一覧

- [1] Plattform Industrie 4.0, Details of the Asset Administration Shell Part 1 – The exchange of information between partners in the value chain of Industrie 4.0, [Online], 2018
- [2] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Die Deutsche Normungsstrategie [Online], März 2017
- [3] Plattform Industrie 4.0, *Leitbild 2030 für Industrie 4.0: Digitale Ökosysteme global gestalten*. [Online]. Available: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Leitbild-2030-f%C3%BCr-Industrie-4.0.pdf?blob=publicationFile&v=10##> (accessed: Jan. 14 2020).
- [4] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), *Das Projekt GAIA-X: Eine vernetzte Dateninfra- struktur als Wiege eines vitalen, europäischen Ökosystems*. [Online]. Available: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/das-projekt-gaia-x.html##> (accessed: Feb. 20 2020).
- [5] OPC Foundation, *OPC-F Working Groups*. [Online]. Available: <https://opcfoundation.org/about/working-groups/opcf-wg##> (accessed: Jan. 14 2020).
- [6] R. Heidel, M. Hoffmeister, M. Hankel, and U. Döbrich, Eds., *Industrie4.0 Basiswissen RAM4.0: Referen- zarchitekturmodell mit Industrie4.0-Komponente*, 1st ed. Berlin, Berlin, Wien, Zürich: VDE Verlag GmbH; Beuth Verlag GmbH, 2017. [Online]. Available: <https://content-select.com/de/portal/media/view/58a1b07c-9f54-4f96-80ea-0d61b0dd2d03>
- [7] Ivar Jacobson, Ian Spence, Kurt Bittner, *Learn the Agile Way to Do Use Cases: The Guide to Succeeding with Use Cases*. Use-Case 2.0. [Online]. Available: <https://www.ivarjacobson.com/publications/white-papers/use-case-ebook##> (accessed: Jan. 14 2020).
- [8] Plattform Industrie 4.0, *Landkarte »Anwendungsbeispiele Industrie 4.0«*. [Online]. Available: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/Karte/SiteGlobals/Forms/Formulare/karte-anwendungs-beispiele-formular.html?oneOfTheseWords=Suchbegriff+eingeben##> (accessed: Jan. 14, 2020).
- [9] Shi-Wan Lin (Thingswise), Brett Murphy (RTI), Erich Clauer(SAP), Ulrich Loewen (Siemens), Ralf Neubert (Schneider Electric), Gerd Bachmann (VDI), MadhusudanPai (Wipro), Martin Hankel (Bosch Rexroth), *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.iicon-sortium.org/pdf/JTG2_Whitepaper_final_20171205.pdf## (accessed: Jan. 14, 2020).
- [10] Plattform Industrie 4.0, *Benefits of Application Scenario Value-Based Service*. Working Paper. [Online]. Available: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/benefits-applica-tion-scenario.pdf?blob=publicationFile&v=7##> (accessed: Jan. 14, 2020).
- [11] *VDI Status Report Seamless and Dynamic Engineering of Plants*. Application Scenario SDP. [Online]. Available: <https://www.vdi.de/ueber-uns/presse/publikationen/details/vdi-status-report-seamless-and-dynamic-engineering-of-plants##> (accessed: Dec. 12, 2019).
- [12] Plattform Industrie 4.0, *Digitale Geschäftsmodelle für die Industrie 4.0*. Ergebnispapier. [Online]. Avail- able: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/digitale-geschaefts- modelle-fuer-industrie-40.pdf?blob=publicationFile&v=7##> (accessed: Jan. 14 2020).
- [13] Standardization Council Industrie 4.0, DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informati- onstechnik in DIN und VDE, *Use Case "Equipment Lifecycle Management": Sub-Working Group Industrie 4.0/Intelligent Manufacturing of the Sino-German Standardisation Cooperation Commission*. [Online]. Available: https://sci40.com/files/assets_sci40.com/img/sci40/190506_AK_EquipmentLifeCycleMan- agement.pdf## (accessed: Dec. 12 2019).
- [14] GLOBALPROJEKT Qualitätsinfrastruktur, Ed., "Unterarbeitsgruppe Industrie 4.0: Ansätze für Nor- mungsarbeit vertieft," Dec. 2018. Accessed: Jan. 14 2020. [Online]. Available: https://www.gpqi.org/news_de-details/unterarbeitsgruppe-industrie-4-0-ansaeetze-fuer-normungsarbeit-vertieft.html
- [15] Plattform Industrie 4.0, *Usage Viewpoint of Application Scenario Value-Based Service*. Discussion Papier. [Online]. Available : <https://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/hm-2018-usage-viewpoint.pdf?blob=publicationFile&v=8##> (accessed: Jan. 14 2020).
- [16] Plattform Industrie 4.0, *Usage View of Asset Administration Shell*. Discussion Papier. [Online]. Available: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/2019-usage-view-asset-administration-shell.pdf?blob=publicationFile&v=6##> (accessed : Jan. 14 2020).
- [17] Plattform Industrie 4.0, *Industrie 4.0 Plug-and-Produce for Adaptable Factories: Example Use Case Defini- tion, Models, and Implementation*. Working Papier. [Online]. Available: <https://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/Industrie-40-Plug-and-Produce.pdf?blob=publicationFile&v=7##> (accessed: Jan. 14, 2020).

- [18] Robot Revolution Initiative, *International Standardization Collaboration Progress Report: WG1: "Functional Viewpoint of Application Scenario Value-Based Service"*. based on the joint statement between Plattform Industrie 4.0 and RRI. [Online]. Available: <https://www.jmfrri.gr.jp/english/document/library/877.html> (accessed: Jan. 14, 2020).
- [19] R. Heidel, M. Hoffmeister, and M. Hankel, *Industrie 4.0: The reference architecture model RAMI 4.0 and the Industrie 4.0 component*, 1st ed., 2019.
- [20] NAMUR, *Willkommen bei der Interessengemeinschaft Automatisierungstechnik der Prozessindustrie*. [Online]. Available: <https://www.namur.net/de/> (accessed: Feb. 20, 2020).
- [21] The Open Group, *About Us*. [Online]. Available: <https://www.opengroup.org/> (accessed: Feb. 20, 2020).
- [22] NAMUR, *NAMUR Open Architecture*. Accessed: Jan. 14, 2020. [Online]. Available: <https://www.namur.net/de/fokusthemen/namur-open-architecture.html>
- [23] International Data Spaces Association, *About the International Data Spaces Association*. [Online]. Available: <https://www.internationaldataspaces.org/> (accessed: Feb. 20 2020).
- [24] VDMA, *Interoperabilität durch standardisierte Merkmale: Neuer Leitfaden des VDMA ab sofort verfügbar*. [Online]. Available: <https://sud.vdma.org/viewer/-/v2article/render/39398565> (accessed: Jan. 14, 2020).
- [25] VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik, *Anwendungsszenario DDA – Durchgängiges und dynamisches Engineering von Anlagen*. Statusreport. [Online]. Available: http://jahresbericht.vdi.de/fileadmin/user_upload/VDI-Statusreport_Anwendungsreport_DDA_-_Durchgaengiges_und_dynamisches_Engineering_von_Anlagen.pdf (accessed: Jan. 14, 2020).
- [26] Gesellschaft für Umweltsimulation GUS e. V., *Home: Willkommen bei der GUS e. V.!* [Online]. Available: <https://www.gus-ev.de/> (accessed: Jan. 14 2020).
- [27] Plattform Industrie 4.0, *Verwaltungsschale in der Praxis: Wie definiere ich Teilmodelle, beispielhafte Teilmodelle und Interaktion zwischen Verwaltungsschalen*. Diskussionspapier. [Online]. Available: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/2018-verwaltungsschale-im-detail.pdf?blob=publicationFile&v=10> (accessed: Jan. 14 2020).
- [28] Plattform Industrie 4.0, *Details of the Asset Administration Shell: Part 1-The exchange of information between partners in the value chain of Industrie 4.0 (Version 2.0)*. Specification. [Online]. Available: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Details-of-the-Asset-Administration-Shell-Part1.pdf?blob=publicationFile&v=3> (accessed: Jan. 14, 2020).
- [29] Plattform Industrie 4.0, *Verwaltungsschale in der Praxis: Wie definiere ich Teilmodelle, beispielhafte Teilmodelle und Interaktion zwischen Verwaltungsschalen*. Diskussionspapier. [Online]. Available: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/2019-verwaltungsschale-in-der-praxis.pdf?blob=publicationFile&v=7> (accessed: Jan. 14 2020).
- [30] Semantische Allianz für Industrie 4.0, *SemAnz40: Semantische Allianz für Industrie 4.0*. [Online]. Available: https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/21871937/SemAnz40_1510217473136.pdf/dc1cc7f4-42f4-4086-9d38-38caa91f6f0e (accessed: Jan. 14, 2020).
- [31] ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e. V., *Antrieb 4.0 – Vision wird Realität: Merkmale, Daten und Funktionen elektrischer Antriebssysteme in Industrie 4.0 für Hersteller, Maschinen- bauer und Betreiber*. [Online]. Available: https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2018/November/Antrieb_4.0_-_Vision_wird_Realitaet_-_erweiterte_Auflage/ZVEI_BR_Vision_Antrieb_4.0_2018_DOWNLOAD.pdf (accessed: Jan. 14 2020).
- [32] Ulrike Parson, *iIRDS – der neue Auslieferungsstandard für die Technische Dokumentation*. [Online]. Available: <https://www.parson-europe.com/de/wissensartikel/427-iirds-auslieferungsstandard-technische-dokumentation.html> (accessed: Feb. 20, 2020).
- [33] *Terms of Reference (ToR) for ETSI TC MTS TST WG (Testing)*.
- [34] ETSI, *ETSI Portal*. [Online]. Available: <https://portal.etsi.org/tb.aspx?tbid=860&SubTB=860> (accessed: Jan. 12, 2020).
- [35] ETSI, *Testing, Interoperability and Technical Quality*. [Online]. Available: <https://portal.etsi.org/Services/Centre-for-Testing-Interoperability> (accessed: Jan. 14, 2020).
- [36] Bitkom Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V., *IoT-Plattformen – aktuelle Trends und Herausforderungen: Faktenpapier*. Handlungsempfehlungen auf Basis der Bitkom Umfrage 2018. [Online]. Available: <https://www.bitkom.org/sites/default/files/file/import/180424-LF-IoT-Plattformen-online.pdf>

- [37] *Digital Reality in Zero Defect Manufacturing: QU4LITY*. Grant agreement ID: 825030. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/825030> (accessed: Dec. 12, 2019).
- [38] "FabOS – offenes, verteiltes, echtzeitfähiges und sicheres Betriebssystem für die Produktion," 2019. Accessed: Dec. 12, 2019. [Online]. Available: <https://www.fab-os.org/>
- [39] OpenStack, *The OpenStack Foundation*. [Online]. Available: <https://www.openstack.org/foundation/> (accessed: Jan. 14, 2020).
- [40] Apache Software Foundation, *The World's Largest Open Source Foundation*. [Online]. Available: <https://www.apache.org/> (accessed: Dec. 12 2019).
- [41] Plattform Industrie 4.0, *Plattform Industrie 4.0: Die Verwaltungsschale im Detail*. von der Idee zum implementierbaren Konzept. [Online]. Available : https://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/verwaltungsschale-im-detail-pr%C3%A4sentation.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (accessed: Jan. 14 2020).
- [42] Plattform Industrie 4.0, *Beziehungen zwischen I4.0-Komponenten – Verbundkomponenten und intelligente Produktion: Fortentwicklung des Referenzmodells für die Industrie 4.0-Komponente SG Modelle und Standards*. Erlebnispapier. [Online]. Available: https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2017/Juni/Beziehungen_zwischen_I4.0_Komponenten/Beziehungen-zwischen-I4.0-Komponenten-zvei.pdf (accessed: Jan. 14 2020).
- [43] eCI@ss, *eCI@ss IN DER ANWENDUNG -USE CASES UND BEST PRACTICE*. [Online]. Available: https://www.eclass.eu/fileadmin/downloads/ecl_BestPractice-de.pdf (accessed: Jan. 14, 2020).
- [44] eCI@ss, *MIT DATEN UND SEMANTIK AUF DEM WEG ZUR Industrie 4.0*. Ein Whitepaper des eCI@ss e. V. [Online]. Available: https://www.eclass.eu/fileadmin/downloads/ecl-Whitepaper_2018_DE_klein.pdf (accessed: Jan. 14, 2020).
- [45] W3C, *Web of Things Working Group Charter*. [Online]. Available: <https://www.w3.org/2016/12/wotwg-2016.html> (accessed: Jan. 14, 2020).
- [46] W3C, *Web of Things (WoT) Architecture: W3C Candidate Recommendation 6 November 2019*. [Online]. Available: <https://www.w3.org/TR/wot-architecture/> (accessed: Jan. 14, 2020).
- [47] IANA, *Link Relations*. [Online]. Available: <https://www.iana.org/assignments/link-relations/link-relations.xhtml> (accessed: Jan. 14, 2020).
- [48] OASIS, *MQTT: OASIS Standard*. [Online]. Available: <https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/os/mqtt-v3.1.1-os.html> (accessed: Jan. 14, 2020).
- [49] S. Bradner, *Key words for use in RFCs to Indicate Requirement Levels.: Best Current Practice*. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc2119> (accessed: Jan. 14, 2020).
- [50] T. Berners-Lee, R. Fielding, and L. Masinter, *Uniform Resource Identifier (URI): Generic Syntax: Internet Standard*. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc3986> (accessed: Jan. 14, 2020).
- [51] M. Duerst and M. Suignard, *Internationalized Resource Identifiers (IRIs): Proposed Standard*. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc3987> (accessed: Jan. 14, 2020).
- [52] T. Hansen, T. Hardie, and L. Masinter, *Guidelines and Registration Procedures for New URI Schemes: Best Current Practice*. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc4395> (accessed: Jan. 14, 2020).
- [53] E. D. Crocker and P. Overell, "Augmented BNF for Syntax Specifications: ABNF: Internet Standard," IETF, Jan. 2008. Accessed: Jan. 14, 2020. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc5234>
- [54] N. Freed, J. Klensin, and T. Hansen, *Media Type Specifications and Registration Procedures: Best Current Practice*. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc6838> (accessed: Jan. 12, 2020).
- [55] C. Bormann and P. Hoffman, "Concise Binary Object Representation (CBOR): Proposed Standard," IETF, Oct. 2013. Accessed: Jan. 12, 2020. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc7049>
- [56] E. R. Fielding and E. J. Reschke, *Hypertext Transfer Protocol (HTTP/1.1): Semantics and Content: Proposed Standard*. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc7231> (accessed: Jan. 14, 2020).
- [57] Z. Shelby, K. Hartke, and C. Bormann, *The Constrained Application Protocol (CoAP): Proposed Standard*. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc7252> (accessed: Jan. 14, 2020).
- [58] B. Leiba, "Ambiguity of Uppercase vs Lowercase in RFC 2119 Key Words: Best Current Practice," IETF, May. 2017. Accessed: Jan. 12, 2020. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc8174>
- [59] E. T. Bray, *The JavaScript Object Notation (JSON) Data Interchange Format: Internet Standard*. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc8259> (accessed: Jan. 14, 2020).

- [60] M. Nottingham, *Web Linking: Proposed Standard*. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc8288##> (accessed: Jan. 14, 2020).
- [61] Sebastian Käbisch and Takuki Kamiya, *Web of Things (WoT) Thing Description: W3C Candidate Recommendation 6 November 2019*. W3C Working Draft. [Online]. Available: <https://www.w3.org/TR/wot-thing-description/##> (accessed: Jan. 14, 2020).
- [62] Institut für Automatisierungstechnik/Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg, *Semantik für Industrie 4.0-Systeme: Die Basis für den Informationsaustausch in Industrie 4.0-Anwendungsszenarien*. [Online]. Available: https://www.eclass.eu/fileadmin/images/content/projekte/semanz/Broschuere_Semanz40.pdf## (accessed: Jan. 14, 2020).
- [63] Wolfgang Ahrens, Hasso Drathen, Oskar Kroll, Günter Löffelmann, Peter Zgorzelski, *Standardisierte Merkmale als Schlüssel für den unternehmens-weiten Datenaustausch im Engineering-Umfeld*. [Online]. Available: https://www.eclass.eu/static/documents/wiki/prolist/2006/EKA206_01.pdf## (accessed: Jan. 14, 2020).
- [64] 5G-ACIA, "Integration of Industrial Ethernet Networks with 5G Networks," (White Paper), November 2019. Accessed: Dec. 12, 2019. [Online]. Available: https://www.5g-acia.org/fileadmin/5G-ACIA/Publikationen/5G-ACIA_White_Paper_Integration/WP_5G_Integration_of_Industrial_Ethernet_Networks_with_5G_Networks_Download_19.11.19.pdf
- [65] IEC/EN 62657-1:2015 "Industrial communication networks – Wireless communication networks – Part 1: Wireless communication requirements and spectrum considerations"
- [66] IEC/EN 62657-2 Ed.2.0:2017 – "Industrial communication networks – Wireless communication networks – Part 2: Coexistence management"
- [67] 5G-ACIA, "A 5G Traffic Model for Industrial Use Cases (White Paper)," Nov. 2019.
- [68] VDI/VDE 2192 Blatt 1 „Quality of Service – Beschreibung und Beispiele.“, Gründruck 2019.
- [69] VDI/VDE 2185 Blatt 4, „Funkgestützte Kommunikation in der Automatisierungstechnik Messtechnische Performancebewertung von Funklösungen für industrielle Automatisierungsanwendungen“, 2019.
- [70] 5G-ACIA, "Selected Testing and Validation Considerations for Industrial Communication with 5G Technologies," (White Paper), Nov. 2019.
- [71] Bundesnetzagentur, "Verwaltungsvorschrift für Frequenzuteilungen für lokale Frequenznutzungen im Frequenzbereich 3.700-3.800 MHz: VV Lokales Breitband," Nov. 2019.
- [72] 5G-ACIA, "5G Non-Public Networks for Industrial Scenarios," White Paper, Jul. 2019.
- [73] IEC 60802: Time-sensitive networking profile for industrial automation
- [74] Plattform Industrie 4.0, *The Asset Administration Shell: Implementing digital twins for use in Industrie 4.0: A starter kit for developers*. [Online]. Available: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/VWSiD%20V2.0.html##> (accessed: Jan. 14, 2020).
- [75] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), *Positionspapier – Interoperabilität: Interoperabilität – Unsere Vision für Industrie 4.0: Maschinen sprechen in vernetzten digitalen Ökosystemen interoperabel miteinander*. [Online]. Available: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Positionspapier-Interoperabilitaet.pdf?blob=publicationFile&v=3##> (accessed: Jan. 14, 2020).
- [76] Plattform Industrie 4.0, *Weiterentwicklung des Interaktionsmodells für Industrie 4.0-Komponenten*. Diskussionspapier. [Online]. Available : <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/interaktionsmodell-i40-komponenten-it-gipfel.pdf?blob=publicationFile&v=5##> (accessed: Jan. 14 2020).
- [77] *German Standardization Roadmap Industrie 4.0*. DIN/DKE – Roadmap. [Online]. Available: <https://www.din.de/blob/65354/57218767bd6da1927b181b9f2a0d5b39/roadmap-i4-0-e-data.pdf##> (accessed: Dec. 12 2019).
- [78] VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik, *Industrie 4.0 – Begriffe/Terms*. [Online]. Available: <https://www.vdi.de/ueber-uns/presse/publikationen/details/industrie-40-begriffeterms##> (accessed: Jan. 14, 2020).
- [79] Plattform Industrie 4.0, *Struktur der Verwaltungsschale: Fortentwicklung des Referenzmodells für die Industrie 4.0-Komponente*. Ergebnispapier. [Online]. Available: https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2016/april/Struktur_der_Verwaltungsschale/Struktur-der-Verwaltungsschale.pdf## (accessed: Jan. 14, 2020).
- [80] Christian Diedrich et.al, *Semantic interoperability: challenges in the digital transformation age: IEC White Paper*. [Online]. Available: <https://www.iec.ch/whitepaper/##> (accessed: Jan. 14, 2020).

- [81] ETSI, *ETSI TR 103 535 V0.2.2 (2019-03): SmartM2M; Guidelines for using semantic interoperability in the industry*. Technical Report. [Online]. Available: <https://docbox.etsi.org/SmartM2M/Open/AIOTI/ST547/Draft%20TR%20103%20535v0.2.2%20consultation.pdf###> (accessed: Dec. 12, 2019).
- [82] ISO IEC/CD 21823-2 “Internet of Things (IoT) – Interoperability for IoT Systems – Part 2: Transport interoperability
- [83] ISO/IEC 21823-3 Internet of Things (IoT) – Interoperability for IoT Systems – Part 3: Semantic interoperability
- [84] ETSI, *ETSI GS ISI 006 V1.1.1 (2019-02): Information Security Indicators (ISI); An ISI-driven Measurement and Event Management Architecture (IMA) and CSlang – A common ISI Semantics Specification Language*. Group Specification. [Online]. Available: https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/ISI/001_099/006/01.01.01_60/gs_isi006v010101p.pdf### (accessed: Jan. 14, 2020).
- [85] Plattform Industrie 4.0, Glossar. [Online]. Available: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/DE/Industrie40/Glossar/glossar.html###> (accessed: Jan. 14, 2020).
- [86] Plattform Industrie 4.0, *Details of the Asset Administration Shell: Part 1 – The exchange of information between partners in the value chain of Industrie 4.0 (Version 1.0)*. Specification. [Online]. Available: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/2018-verwaltungsschale-im-detail.pdf?blob=publicationFile&v=8###> (accessed: Jan. 14, 2020).
- [87] W. Hacker, *Allgemeine Arbeitspsychologie: Psychische Regulation von Wissens-, Denk- und körperlicher Arbeit*, 2nd ed. Bern: Huber, 2005.
- [88] C. Schlick, H. Luczak, and R. Bruder, *Arbeitswissenschaft*. Heidelberg: Springer, 2010. [Online]. Available: <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10361974>
- [89] H.-J. Bullinger, D. Spath, H.-J. Warnecke, and E. Westkämper, *Handbuch Unternehmensorganisation: Strategien, Planung, Umsetzung*, 3rd ed. s.l.: Springer-Verlag, 2009. [Online]. Available: <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10288838>
- [90] M. Patterson, P. Warr, and M. West, “Organizational climate and company productivity: The role of employee affect and employee level,” *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, vol. 77, no. 2, pp. 193–216, 2004, doi: 10.1348/096317904774202144.
- [91] aorzelskiGH, *admin-shell/aasx-package-explorer: aasx-package-explorer/builds/*. [Online]. Available: <https://github.com/admin-shell/aasx-package-explorer/tree/master/builds###> (accessed: Jan. 12, 2020).
- [92] Eclipse Foundation, *Eclipse BaSyx*. [Online]. Available: <https://projects.eclipse.org/projects/technology.basyx/downloads###> (accessed: Jan. 14, 2020).
- [93] ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e. V., *Automation und Digitalisierung: Potenzial und Einsatz von Blockchain- und Distributed-Ledger-Technologien in der Automatisierungstechnik*. Studie. [Online]. Available: https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2019/Februar/Blockchain-Studie/Blockchainstudie_14.02.19.pdf### (accessed: Jan. 14, 2020).
- [94] *Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme – Teil 3: Anforderungen an Software (IEC 61508-3:2010)*
- [95] D. Steegmüller and M. Zürn, “Wandlungsfähige Produktionssysteme für den Automobilbau der Zukunft,” in *Springer Reference Technik, Handbuch Industrie 4.0: Bd. 1: Produktion*, B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl, and M. ten Hompel, Eds., 2nd ed., Berlin: Springer Vieweg, 2017, pp. 27–44. Accessed: Jan. 14 2020.
- [96] Kasper, Björn, Stefan Voß, “Neue Anforderungen an die Sicherheitsnachweisführung von Maschinen und Anlagen im Kontext von Industrie 4.0,” in *sicher ist sicher*. [Online]. Available: <https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Aufsaeetze/artikel2093.pdf?blob=publicationFile&v=3>
- [97] P. Liggesmeyer and M. Trapp, “Safety in der Industrie 4.0,” in *Springer Reference Technik, Handbuch Industrie 4.0: Bd. 1: Produktion*, B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl, and M. ten Hompel, Eds., 2nd ed., Berlin: Springer Vieweg, 2017, pp. 107–123.
- [98] B. Kasper, “Maschinen und Anlagen in der digitalen Produktion – Neue Anforderungen an die Sicherheitsnachweisführung,” in *baua: Aktuell*.
- [99] K. Wickert, “Algorithmen: Chance und Herausforderung für die Maschinensicherheit,” in *sicher ist sicher*.

- [100] ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e. V., *Menschenzentrierte Künstliche Intelligenz in der Industrie: Zehn Handlungsempfehlungen für Deutschland und Europa: Positionspapier*. [Online]. Available: https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2018/Juli/Menschenzentrierte_Kuenstliche_Intelligenz_in_der_Industrie/Menschenzentrierte-Kuenstliche-Intelligenz-in-der-Industrie-Positionspapier.pdf### (accessed: Feb. 20, 2020).
- [101] Big Data Value Association (BDVA), *Home*. [Online]. Available: <http://www.bdva.eu###> (accessed: Feb. 20, 2020).
- [102] European Union, *Artificial Intelligence: Public-Private Partnerships join forces to boost AI progress in Europe*. Shaping Europe's digital future. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/artificial-intelligence-public-private-partnerships-join-forces-boost-ai-progress-europe###> (accessed: Feb. 20, 2020).
- [103] Plattform Industrie 4.0, *Exemplification of the Industrie 4.0 Application Scenario Value-Based Service following IIRA Structure*. Working Paper. [Online]. Available: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/exemplification-i40-value-based-service.pdf?blob=publication-File&v=7###> (accessed: Feb. 17, 2020).
- [104] Bitkom Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V., *Digitalisierung gestalten mit dem Periodensystem der Künstlichen Intelligenz: Ein Navigationssystem für Entscheider*. [Online]. Available: https://www.bitkom.org/sites/default/files/2018-12/181204_LF_Periodensystem_online_0.pdf### (accessed: Feb. 17, 2020).
- [105] DIN-Deutsches Institut für Normung e. V., *Ethikaspekte in der Normung und Standardisierung für Künstliche Intelligenz in autonomen Maschinen und Fahrzeugen*. [Online]. Available: <https://www.din.de/de/din-und-seine-partner/presse/mitteilungen/ethikaspekte-in-der-normung-und-standardisierung-fuer-kuenstliche-intelligenz-in-autonomen-maschinen-und-fahrzeugen-322602###> (accessed: Feb. 17, 2020).
- [106] DIN-Deutsches Institut für Normung e. V., *DIN SPEC 92001-1:2019-04: Künstliche Intelligenz – Life Cycle Prozesse und Qualitätsanforderungen – Teil 1: Qualitäts-Meta-Modell*. [Online]. Available: <https://www.beuth.de/de/technische-regel/din-spec-92001-1/303650673###> (accessed: Feb. 17, 2020).
- [107] Ralph Welge, Henrik J. Putzer, Janina Laurila-Dürsch und Stefan Heusinger, *Entwurfsmethodiken für Systeme mit Komponenten der Künstlichen Intelligenz*.
- [108] P. Rauh and C. Wischusen, *Standards of the Future*.

英語版正誤表

ドイツ SCI 4.0 より英語版の正誤表が提供されました。本邦訳版では下記の修正を反映しています。

訂正箇所			誤	正
頁	行	章		
15	上から 10行目	1.4	reference architecture models (see Chapter 2.4)	reference architecture models (see Chapter 2.2)
19	上から 17行目	1.5	in Figure 2, humans are involved in the plan-ning and execution	in Figure 3, humans are involved in the plan-ning and execution
27	下から 4行目	2.2.1	ISO/IEC Joint Working Group 21	ISO/TC 184 – IEC/TC 65 Joint Working Group 21
27	下から 3行目	2.2.1	ISO/IEC JWG 21	ISO/TC 184 – IEC/TC 65/JWG 21
28	下から 11行目	2.2.2	IEC/TC 65/JW 21	ISO/TC 184 – IEC/TC 65/JWG 21
28	下から 7行目	2.2.2	(see Annex A)	削除
29	下から 25行目	2.2.2	ISO/IEC JWG 21	ISO/TC 184 – IEC/TC 65/JWG 21
29	下から 18行目	2.2.2	WG 08 is dealing	AG 08 is dealing
29	下から 16行目	2.2.2	The WG 08	The AG 08
29	下から 10行目	2.2.2	ISO/IEC JWG 21	ISO/TC 184 – IEC/TC 65/JWG 21
29	下から 9行目	2.2.2	ISO/IEC Joint Working Group 21	ISO/TC 184 – IEC/TC 65 Joint Working Group 21
30	上から 3行目	2.2.2	ISO/IEC JTC 1 SC41 Industrial Internet of Things IIoT	ISO/IEC JTC 1 SC41 Internet of Things and related technologies
30	上から 16行目	2.2.2	ISO/IEC JTC 1 AG 20 Industrial IoT	ISO/IEC JTC 1 SC 41 AG 20 Sectorial Liaison Group (SLG 1) on Industrial IoT (IIoT)
30	上から 19行目	2.2.2	ISO/IEC JTC 1 SC 41 WG 20 Industrial IoT with the aim of standard mapping.	ISO/IEC JTC 1 SC 41 AG 20 Sectorial Liaison Group (SLG 1) on Industrial IoT (IIoT)
31	上から 3行目	2.2.3	The activities of ISO/IEC JTC1 WG08	The activities of ISO/IEC JTC1 AG 08
31	上から 4行目	2.2.3	ISO/IEC JWG 21	ISO/TC 184 – IEC/TC 65/JWG 21
31	下から 6行目	2.3.1	IEC TS 62832-1	IEC 62832-1 PRV

32	上から 4行目	2.3.1	Chapter 2.1.1	Chapter 1.4.1
32	下から 5行目	2.3.1	2018	2019
35	下から 8行目	2.3.1	(see Chapter 2.6.1)	削除
36	上から 12行目	2.3.1	[Property Value Statements]	[Data Exchange on the Base of Property Value Statements]
36	上から 17行目	2.3.1	e.g. in Chapter 3.4	削除
36	下から 1行目	2.3.1	"Product specification and verification" [GPS]	"Geometrical product specifications" [GPS]
37	下から 12行目	2.3.1	Life cycle record for technical objects	Lifecycle record of technical objects
41	下から 20行目	2.3.1	Chapter 2.6.2	Chapter 2.5.2
45	上から 5行目	2.3-2	IEC/TC 65/JWG21	ISO/TC 184 – IEC/TC 65/JWG 21
48	図タイトル	2.4.1	Figure 19	Figure 19
49	上から 18行目	2.4.1	Figure 20	Figure 24
51	下から 10-9行目	2.4.3	both horizontally between devices and systems and vertically across different systems	both vertically between devices and systems and horizontally across different systems
52	上から 11行目	2.4.2	(see ISO 18308-1)	削除
58	下から 18行目	2.5.2	und	and
59	上から 6行目	2.5.2	Chapter B-5	Annex B-5
61	上から 9行目	2.5.2	ISO/IEC JTC 1/WG 8	ISO/IEC JTC 1/AG 8
61	上から 9行目	2.5.2	IEC/TC/65/WG 23	IEC/TC 65/WG 23
63	上から 7行目	2.5-3	(see Annex A)	削除
63	上から 9行目	2.5-3	ISO/IEC JTC 1/SC 4/30141	ISO/IEC 30141
75	下から 2行目	2.7.1	Figure 22	Figure 25
90	下から 19行目	3.2.2	Annex BB	Annex B

98	上から 12行目	3.5.1	IEC 61508-1 (link destination) cchttps://www.vde- verlag.de/iec- normen/217177/iec-61508- 1-2010.html.	IEC 61508-1 (link destination) https://www.vde- verlag.de/iec- normen/217177/iec-61508- 1-2010.html
100	上から 1行目	3.5.1	IEC/ISO 12100	ISO 12100
105	下から 3行目	4.2	VDE-AR-E 2842-61-1 (link destination) file:///E:/L/RR/L/19 SyC/ÆW»[h]bvló/Version4/ "https://www.dke.de/de/new s/2019/referenzmodell-ver trauenswuerdige-ki-vde- anwendungsregel	VDE-AR-E 2842-61-1 (link destination) https://www.vde- verlag.de/standards/180057 4/e-vde-ar-e-2842-61-1- anwendungsregel-2020- 07.html
105	下から 3行目	4.2	"Specification and design of autonomous/cognitive systems"	"Development and trustworthiness of autonomous/cognitive systems"
118	上から 7行目	B.2	IEC/TC/WG 23	IEC/TC 65/WG 23
118	上から 7行目	B.2	Smart Manufacturing Framework and System Architecture	Smart Manufacturing Framework and Concepts for industrial-process measurement, control and automation
118	上から 8行目	B.2	IEC/TC/WG 24	IEC/TC 65/WG 24
118	上から 9行目	B.2	IEC/SC 65	削除
118	下から 14行目	B.2	JTC 1/SC 27/WG 3	ISO/IEC JTC 1/SC 27/WG 3
118	下から 13行目	B.2	JTC 1/SC 27/WG 4	ISO/IEC JTC 1/SC 27/WG 4
118	下から 12行目	B.2	JTC 1/SC 31	ISO/IEC JTC 1/SC 31
118	下から 9行目	B.2	ISO/IEC JTC 1/AG 7	ISO/IEC JTC 1/WG 13
118	下から 3行目	B.2	Condition monitoring and diagnostics of machine systems	Interoperability, integration, and architectures for enterprise systems and automation applications
119	上から 2行目	B.2	Blockchain und Technologien für verteilte elektronische Journale	Blockchain and distributed ledger technologies
119	上から 4行目	B.2	Machinery safety	Safety of machinery
119	上から 12行目	B.2	Time sensitive networks	LAN/MAN Standards Committee

124	上から 2行目	List of abbreviations	Ambient Assisted Living	Active Assisted Living
125	上から 15行目	List of abbreviations	Fraunhofer Institute for Process Automation	削除
125	上から 19行目	List of abbreviations	International Sociological Association	International Society of Automation
125	下から 14行目	List of abbreviations	KI	AI
125	下から 4行目	List of abbreviations	National Institute for Standards and Technology	National Institute of Standards and Technology
126	上から 13行目	List of abbreviations	Standards committee	Sub-committee
130	上から 10-11行目	List of sources and references	[5] OPC ... 2020]	削除
130	上から 12-15行目	List of sources and references	[6] R.Heidel ... 2d03	削除
130	上から 16行目	List of sources and references	[7]	[5]
130	上から 19行目	List of sources and references	[8]	[6]
130	上から 22行目	List of sources and references	[9]	[7]

DIN e. V.

Saatwinkler Damm 42/43
10787 Berlin
Tel.: +49 30 2601-0
e-mail: presse@din.de
Internet: www.din.de

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik
Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE
Stresemannallee 15 · 60596 Frankfurt am Main
Tel.: +49 69 6308-0
Fax: +49 69 08-9863
e-mail: standardisierung@vde.com
Internet: www.dke.de