

令和元年度 IoT・AI時代のものづくりと 人の役割変化への対応調査研究

～“ものづくりDX”の推進に向けた
Π型能力と“スピード”を～

製造業のパラダイムシフトの実相～Π型の拡張（Π型⇒Π型2.0）

「Π型2.0」：Π型チーム⇒Π型学習⇒Π型能力⇒Π型人材

“アンラーニング”

デジタルマインド・デジタルリテラシー

ものづくりの根幹は維持（RTB）且つ DXで変革促進（CTB）

⇒ ものづくりDX

令和2年3月

一般社団法人 **日本機械工業連合会**

IoT・AI時代のものづくり人材調査専門部会報告書

は し が き

IoT・ビッグデータ・AI等による変革は、従来にないスピードとインパクトで進行しており、製造業は新たな時代を迎えております。従来のモノ、製品を作って売だけの時代から、製品の使用情報などを入手・蓄積・解析することにより、新しい製品や今までにないサービスの開発・提供が可能となるなど、これからの製造業は情報の使い方次第で想定を超えた展開が期待できる、まさに「新次元の製造業」が到来しつつあります。

人口減少、将来的な国内市場の縮小、新興国市場の成長といった環境のもと、世界の製造業が同様にIoT、AI化を競っていく中で、如何にして日本の製造業が持つ「強み」に更に付加価値のある新しい「強み」を獲得して競争力につなげていくか。また、人の役割変化にどう対応していくかは喫緊の課題です。

そこでIoT、AI等により新しい次元を迎える我が国製造業にとって、新しい現場力とは何か、新しい「人の役割」とは何か、その際に求められる人材とその育成・確保、管理方策等について提案し、我が国機械工業の競争力強化に貢献するため、平成29年度に「IoT・AI時代のものづくり人材調査専門部会」を設置して3年間にわたる調査を実施しました。

最終年度となる令和元年度（2019年度）調査では、これまでの活動を総括して、IoT・AI活用時代の捉え方、「ものづくりDX（デジタル・トランスフォーメーション）」の具体的なイメージとその推進人材について検討し、ものづくりDX推進のための問題提起を行いました。

デジタル化により格段のスピードと変革が求められる中、これまで地道に積み上げてきた日本の製造業がマインドギャップ等の壁を克服し「ものづくりDX」を推進していくためには、戦略的思考のデジタルマインドを持ってプロデューサー型・支援型リーダーのもとで「組織としてΠ（パイ）型能力」を発揮してCTB（Change the Business）に挑む、という道筋を明らかにしました。

本報告書はそれらの成果を取り纏めたもので、調査を進めるに当たってご指導、ご協力をいただいた皆様に厚く御礼を申し上げますとともに、各位の活動にお役立て頂ければ幸いです。

令和2年3月

一般社団法人 日本機械工業連合会
会 長 大 宮 英 明

IoT・AI時代のものづくり人材調査専門部会 名簿

(一社)日本機械工業連合会
(敬称略、企業・団体名五十音順)

部 会 長	(株)IHI 産業システム・汎用機械事業領域 事業推進部 次長	北 出 真 太 郎
委 員	(株)IHI 高度情報マネジメント統括本部 IoTプロジェクト部 情報科学技術グループ 主査	鈴 木 由 宇
委 員	(株)IHI原動機 管理室 情報システム部 情報システム部長	若 原 剛 人
委 員	(株)石井鐵工所 常務取締役 鉄構事業統括本部長	石 井 宏 明
委 員	オークマ(株) FAシステム本部 ソフトウェア技術部 主席技師	深 谷 安 司
委 員	川崎重工業(株) 技術開発本部 ものづくり推進センター ICTものづくり推進部 副部長	中 野 信 一
委 員	(株)栗本鐵工所 機械システム事業部 生産建設本部 機械製造部 部長	永 井 義 郎
委 員	(株)椿本チエイン 上席執行役員 グループIT戦略担当兼情報システム・総務担当兼モニタリングビジネス部長	山 本 雅 彦
委 員	(株)東芝 生産推進部 生産戦略室 企画担当 参事	若 林 伴 実
委 員	(株)西島製作所 東京支社 営業技術部 副部長	大 庭 弘 靖
委 員	パナソニック(株) モノづくり研修所 所長	登 和 則
委 員	(株)日立製作所 研究開発グループ 生産イノベーションセンタ 高信頼実装研究部 部長	高 橋 昌 義
委 員	日立造船(株) ICT推進本部 ICT事業推進部 部長	林 稔
委 員	ファナック(株) 研究統括本部長 兼 FIELD推進本部長補佐	松 原 俊 介
委 員	(株)三井E&Sホールディングス 技術統括部長	鎌 田 勤 也
委 員	三菱電機(株) FAシステム事業本部 名古屋製作所 開発部 主管技師長	松 本 浩 輝
委 員	三菱電機エンジニアリング(株) 常務取締役 名古屋事業所長	尼 崎 新 一
委 員	(株)明電舎 ICT統括本部 開発部 部長	生 路 裕 一
委 員	(株)安川電機 技術開発本部 技術企画部 国際規格担当参事	野 田 博 司
委 員	ロボット革命イニシアティブ協議会 インダストリアルIoT推進統括	水 上 潔
オブザーバー	(独)高齢・障害・求職者雇用支援機構 求職者支援訓練部 訓練企画課長補佐 新訓練推進室兼務	菅 沼 啓
オブザーバー	ロボット革命イニシアティブ協議会 総括専門職	益 子 龍 太 郎
調査機関	日鉄総研(株) 経済産業調査部 客員研究主幹	山 藤 康 夫
事 務 局	(一社)日本機械工業連合会 副会長 兼 専務理事	中 富 道 隆
	(一社)日本機械工業連合会 常務理事	土 屋 光 由
	(一社)日本機械工業連合会 業務部長	多 並 輝 行
	(一社)日本機械工業連合会 業務部担当部長	倉 田 正 明
	(一社)日本機械工業連合会 業務部課長	高 田 裕 子

～ 目 次 ～

Executive Summary	5
1. 本専門部会の前提（スタンス）と本報告書の構成	13
1-1. 調査研究の目的と方向性	13
1-1-1.DX の方向性と II 型の人材確保・育成	13
1-1-2. “II 型” とは.....	14
1-1-3.”II 型 2.0 “の提唱	14
1-2. 時間軸：主として 5～10 年後	14
1-3. 対象領域：主として生産プロセスに力点	15
1-4. IoT・AI などのデジタル先端技術とその特質.....	15
1-5. 本事業で実施してきたこと	17
1-5-1. 製造業のパラダイムシフトについて（本事業の先行事業）	17
1-5-2. 本事業の背景・目的	18
1-5-3. 平成 29 年度事業での実施内容	19
1-5-4. 平成 30 年度事業での実施内容	20
1-5-5. 令和元年度事業での実施内容	24
1-6. 本報告書の構成.....	25
1-7. “1.” のまとめ.....	27
2. IoT・AI 時代と DX の捉え方（用語や考え方の整理）	28
2-1. IoT・AI 時代と DX.....	28
2-1-1. IoT・AI 時代とは	28
2-1-2. 競争環境の変化.....	28
2-1-3. 既に概念を論ずる段階から実装へと進展	28
2-1-4. デジタル技術の積極的取込が競争力左右	29
2-1-5. ものづくり DX とは.....	29
2-1-6. DX とデジタル技術	29
2-1-7. 一つの輪でつながる DX 後の世界	32
2-1-8. 協調領域の拡大（『つながる』世界の拡張）の重要性.....	33
2-2. ものづくり環境の吟味	35
2-2-1. 国際ランキングから見た日本の現況	35
2-2-2. 不確実性の増大.....	37
2-2-3. 現代の四面楚歌.....	39
2-3. IoT・AI 時代のものでづくりとは.....	42
2-3-1. 従来のキーワード	43
2-3-2. DX 時代のキーワード.....	43
2-4. “2” のまとめ.....	53
3. ものづくり DX の具体的なイメージ(組織、人材、エコシステム).....	57

3-1. ものづくり DX とは、その意義	57
3-1-1. 製造業にとって DX は不可避	57
3-1-2. ものづくり DX の特性はスピード	58
3-1-3. オープンにつながるネットワーク化.....	58
3-2. “ものづくり DX” の基本的な考え方	59
3-2-1. ものづくり DX が引き起こすパラダイムシフト.....	59
3-2-2. ものづくり DX の主役～DT と CPS.....	62
3-3. ものづくり DX の進め方	66
3-3-1. 先進事例からみるものづくり DX の進め方	67
3-3-2. ものづくり DX 推進の考え方	68
3-3-3. ものづくり DX のイメージ	69
3-4. ものづくり DX 具体化のステップ	71
3-4-1. ものづくり DX の具体化.....	71
3-4-2. ものづくり DX とツールボックス	72
3-4-3. ものづくり DX を進めるための企業組織のイメージ.....	75
3-4-4. 既存の収益事業（RTB）と変革推進チーム（CTB）の役割・使命	77
3-4-5. CTB の切り出しと RTB との共存策.....	79
3-4-6. ものづくり DX 推進チーム（CTB）のリーダー像.....	82
3-5. “3” のまとめ	84
4.ものづくり DX 推進上の課題.....	88
4-1. ものづくり DX が乗り越えるべき壁（ギャップ）	88
4-1-1. 標準化ギャップ.....	88
4-1-2. リーンギャップ.....	88
4-1-3. マインドギャップ	89
4-1-4. スキルギャップ.....	90
4-2. デジタルマインドとⅡ型学習	91
4-3. 民主的なエコシステム（オープン、つながる）と協調領域の拡大.....	92
4-3-1. 民主的なエコシステム「オープン」「繋がる」	92
4-3-2. 協調領域の選分け・切出しとその拡大に向けて.....	96
4-4. 組織面の課題と人材面の課題	97
4-4-1. 目先の課題としての組織面の課題	98
4-4-2. 長期的課題としてのⅡ型人材の課題	101
4-5. デジタル経済に係る就業環境整備と法的枠組みの見直し.....	105
4-6. “4” まとめ	106
5. ものづくり DX の推進人材（人材像・育成上の課題・継続学習）	110
5-1. ものづくり DX 時代のものづくりと人の役割変化.....	110
5-1-1. ものづくり DX 時代の人材像	110
5-1-2. 求められる能力と資格	111

5-1-3. フラットなⅡ型組織の特徴.....	111
5-1-4. Ⅱ型チームのプロデューサー型・支援型リーダー像とメンバー像.....	112
5-2. Ⅱ型能力構築のための教育・研修体制	116
5-2-1. 既存従業員の教育研修面と世代間格差.....	116
5-2-2. デジタル技術に関するスキルギャップ対策.....	117
5-3. ものづくり DX 推進に必要な人材育成（既存人材）	119
5-3-1. 教育研修はコストではなく投資（人的資本投資）.....	119
5-3-2. ものづくり DX 推進のための人材戦略.....	120
5-3-3. ものづくり DX と匠の技についての考え方.....	122
5-3-4. 広義の TAKUMI4.0 と狭義の TAKUMI4.0	123
5-3-5. ものづくり DX と人の役割.....	125
5-4. ものづくり DX 推進人材の確保・育成（次世代人材）	128
5-4-1. 実学・理数系教育と実務・実習機会の重視.....	128
5-4-2. 第4次産業革命に向き合える教育を（スキルギャップへの対応）	129
5-4-3. 海外の新しい教育動向にも留意.....	132
5-5. “5” のまとめ.....	133
6. 問題提起、ものづくり DX 推進のために	136
6-1. ものづくり DX 推進のための仮説	137
6-1-1. 認識上の仮説	137
6-1-2. 人の役割は判断すること	138
6-1-3. 人の役割は考えること	138
6-1-4. 人材育成の方向性	139
6-2. 問題提起.1：協調領域の発掘・拡大を	140
6-2-1. 本来あるべき「競争領域の再検討」（☛C,M）	140
6-2-2. 国際標準化の取組等の「協調領域の発掘と拡大」を（☛K,A,G）	140
6-2-3. 協調領域としての「ものづくり DX 推進の壁」（☛K,A,G）	141
6-3. 問題提起-2. Ⅱ型能力の涵養を	142
6-3-1. 業種別（機械工業）共通教科書の制作を（☛K,A,G）	142
6-3-2. Ⅱ型能力の職業資格化（K,A,G）	143
6-3-3. アンラーニングの重要性と継続学習の仕組みづくり（☛C,M,K,A,G）	143
6-4. 問題提起-3. Ⅱ型能力構築と体験（体感）の機会・場、制度の見直しを.....	143
6-4-1. Ⅱ型能力構築のための体験（体感）の機会と場づくり（☛C,M,K,A,G）	143
6-4-2. 海外人材等の就業形態多様化と規制の見直し（☛K,A,G）	144
6-5. 問題提起-4. 教育制度の改革（実学教育の拡充強化を）	144
6-5-1. 実学・実習重視の実践的な産学官連携教育研修訓練制度の確立（☛K,A,G） ..	145
6-5-2. ダブルメジャー制の導入（従来型専門領域+デジタル領域）（☛K,A,G）	146
6-5-3. 既存人材向け継続教育と実践的な産学連携教育の推進を（☛C,M,K,A,G）	147
6-6. 問題提起-5：製造業に夢と魅力を～社会へのアピール肝要	147

6-6-1. 採用母集団としての理工系人材の減少の問題 (●K,A,G)	147
6-6-2. 「製造業に夢と魅力を」～就職先としての魅力度 (●C,M,K)	147
6-7. 残された課題	148
6-8-1. 産学連携による実学教育と業界共通の教科書作り (K,A,G)	148
6-8-2. プロデューサー型 (支援型) 人材の育成 (●C,M,K)	148
6-8-3. デジタルマインドとデジタルリテラシーの醸成・習得 (●C,M,K)	148
6-8-4. アンラーニングと継続学習の定着による II 型能力構築 (●C,M,K)	149
6-8-5. II 型能力の職業資格化 (K,A,G)	149
6-8-6. 就業環境変化への対応、法規制等の見直し (●K,A,G)	149
6-8-7. 日本ブランドの構築・普及 (●C,K,A,G)	149
6-8-8. ものづくり DX の中小企業への普及 (●C,K,A,G)	149
6-8-9. ものづくり DX を企画・推進するための層別要件の整理 (●C,M)	150
6-8-10. 報告書に関する中堅・若手技術者と製造業に関する現役学生層の意識調査..	150
7. 終わりに～要約とものづくり DX の推進にむけて	151
7-1. 要約. 1 : 本専門部会の前提 (スタンス) と本報告書の構成	151
7-2. 要約. 2 : IoT・AI 時代と DX の捉え方 (用語や考え方の整理)	152
7-2-1. IoT・AI 時代とは	152
7-2-2. キーワードからみたものづくり DX の特徴	152
7-2-3. 「オープン」「つながる」と協調領域の切り出し・拡大	153
7-2-4. 不確実性高まるものづくり環境	153
7-2-5. ものづくり DX と海外動向、トレンド	154
7-2-6. ものづくり DX とデジタルマインドの重要性	154
7-3. 要約. 3 : ものづくり DX の具体的なイメージ	155
7-3-1. ものづくり DX とは	155
7-3-2. ものづくり DX 推進の考え方	155
7-3-3. ものづくり DX 後の世界	156
7-4. 要約. 4 : ものづくり DX 推進上の課題	157
7-4-1. ものづくり DX の前提条件と壁 (ギャップ)	157
7-4-2. 「オープン」と「つながる」、協調領域	158
7-4-3. ものづくり DX 推進の長短課題	159
7-4-4. TAKUMI4.0 の新しい位置づけ	160
7-5. 要約. 5 : ものづくり DX の推進人材 (人材像・育成上の課題・継続学習)	161
7-5-1. ものづくり DX 推進人材に求められる能力	161
7-5-2. ものづくり DX を推進する人材像	162
7-5-3. ものづくり DX 推進人材の育成と課題	163
7-6. ものづくり DX の推進に向けて～ “スピード” が鍵	164
参考資料	166

Executive Summary

【はじめに】

2011年にドイツのインダストリー 4.0 が世に出てから早 9 年。世界中でデジタル化の波が巻き起こり、第四次産業革命の時代が到来した。日本機械工業連合会ではこうした海外動向を平成 26 年度（2014 年）から経年トレースしてきた。インダストリー4.0 はいまや議論の段階から実装の段階にシフトした。以下の議論では、「IoT・AI 時代」を「**IoT・AI 活用時代**」とみることにした。

インダストリー4.0 の概念は、大きな反響をもたらし、製造分野はもとより物流、中堅・中小企業、旅客・運輸、安全衛生、労働・仕事、教育・訓練、継続学習など、分野ごとに〇〇4.0 が唱導され、デジタル技術の活用が進んでいる。これがデジタル・トランスフォーメーション(Digital Transformation、以後 DX)である。

本専門部会ではこの国の国民性や歴史を踏まえたうえで DX を進める筋道を議論・整理・検討してきた。しかし、敢えて「**ものづくり DX**」と称する。「ものづくり」への拘り故¹である。「**ものづくり DX**」で**一番大事なことは**、デジタル固有の考え方の受容とデジタルの持つスピードに如何に我々が順応しつつ、ものづくりの基本と両立させるかにある。この両立という難事にスムーズに対応・適応できるのか。かつてない試練を迎えている。

【本専門部会の危機感】

本事業と先行事業を通じて思い浮かぶこと。それは戦後累々と築き上げてきた日本型製造業の強み²とされる諸々が崩れ去ってしまうという満腔の危機感である。デジタルの特徴を一言で表せば「スピード」であり、しかも桁違いの速さである。事業のスピード感もその速さに合わせていかなければならない。

WEF (The World Economic Forum³)は企業の「先行者」と「フォロワー」、「何もしない」の三つを比べ、先行者のみが成長し、市場を支配する(図3)と論じている。もはやDX は論じる前に走り出さなければ負けてしまうという瀬戸際の問題になった⁴。DX は単に IoT でデータを見える化した、あるいは、AI による予知保全を始めたといった、部分的なデジタル技術の導入だけでは済まない。この認識が必要である。今既にある取引連鎖を、従来の枠組みのさらに奥深くまで手を伸ばし、伸ばせる限りのネットワーク化(エコシステムの構築(図6))によって、確固とした競争力と成長力を獲得していくことが求められる。

【ものづくり環境の検討】

近年、米中対立などに代表される地政学的リスクの増大とともに、グローバリゼーショ

¹ 「このデジタル時代において、我々は現実との接触を失う経験をしている。」マルクス・ガブリエル著、大野和基訳、「世界史の針が巻き戻るとき」PHP 新書 (2020.2.28) p 47 の指摘はものづくり DX にも示唆的。

² 本専門部会では「従来の日本型の強みは、やって当たり前、もはや強みではない」との指摘がみられた。

³ WEFは年次総会「ダボス会議」で有名。2019年1月の白書で「第四次産業革命における製造業のイノベーションと技術の指針」を公表している。

⁴ 経済産業省 DX レポート～IT システム「2025 年の崖」の克服と DX の本格的な展開～

ンの挫折論⁵が浮上している。自然災害の脅威は日増しに強まりを見せ、国内の人口動態は予測を上回る減少が顕著である。このように不確実性はますます増大すると見込まれる。また、製造企業を取り巻く経営環境をみると、GAFA 等の ICT 系企業による垂直統合化の波が地上のものづくり分野に及びつつあるほか、第四産業革命の波は、欧米先進国企業に留まらず、途上国にも等しく押し寄せている。デジタル化によるリープフロッグ現象により、製造強国を標榜する中国では、日本の先を行く分野が登場してきた。

【ものづくり DX の考え方とデジタルの本質的变化】

ものづくり DX を、生産プロセスに当て嵌めたときのポイントは、事業全体の問題点の発掘・特定にある。問題点は、AS IS(現状のあるがまま)と TO BE(あるべき姿、あらまほしき姿)の乖離に潜む(図 2)。問題の所在が明確になれば、その解決手段としてのデジタルツールは概ね既に世の中にある⁶。飛躍的な技術進歩によって、例えば「実機のテストでは思いもつかなかったようなケースまでもソフトウェア上のシミュレーションにより試すこと⁷」ができる。従来は実機づくり等に多大の時間を要したところ、ものづくり DX の世界では DT (Digital Twin) とシミュレーションによって、ごく短時間でサイバーからフィジカルを産出できる。これが CPS(図 2)である。さらに AM(積層造形)によって従来型加工技術では不可能な加工すら可能になった。

デジタル化による圧倒的な速さは処理時間の短縮に留まらずコスト削減にも寄与する。これは、「データの発生源」と「利用先」が直接つながる中抜き効果 による。こうした背景にはソフトウェア技術の進歩⁸に支えられたデジタル技術固有の特質～①即共有・分析可能、②瞬時複製・瞬時移動、③高い再現性（復元性）、④ほとんどゼロの移動コスト、⑤伝送・複製による劣化極小、⑥データの蓄積容易化、⑦僅かな保存コスト、⑧仲間づくりのしやすさがある。ものづくり DX への挑戦は、デジタル化やソフトウェアの「本質的な変化」をフルに生かした対応によって、国際競争力を強化することにある。

【IoT・AI 時代とは「IoT・AI 活用時代」のこと】

IoT・AI 時代とは、IoT・AI に代表される技術革新の恩恵を受けられる時代。進化し続ける様々なデジタル技術を縦横に活用することができる時代。「IoT・AI 活用時代」である。世界との競争に勝ち抜くには DX による桁外れのスピード獲得が事業と業務の両面にわたる勝負の鍵となる。DX によってデジタルスピードをいかにして製造業に取込めるか。それが製造業のパラダイムシフトの最も重要なポイントである。ものづくり DX の推進によって工場の中がつながる。さらに本社スタッフからサプライヤー、サプライチェーンに留まらず、ユーザーともつながる。いわゆる Connected Industries として次々と「繋がり

⁵ 挫折論の一種であるがドイツの「新しい実在論」哲学者、マルクス・ガブリエルは近著で「現在のトランプ大統領の保護主義や EU の瓦解をみるにつけても『世界史の針は巻き戻っている』と感じる」と記している。(世界史の針が巻き戻るとき、2020.2.28、PHP 新書、p128)

⁶ ソフトウェアはそれ自体の開発は別として、既に開発された既存のソフトウェア・モジュールの組合せで対応可能な時代になった。したがってその限界費用は、限りなく小さい。つまり、このメリットをどう利活用するかの時代になっている。(本専門部会委員による指摘から)

⁷ ロボット革命・産業 IoT 国際シンポジウム 2019、Session 1 での Max Bajracharya 氏 (Toyota Research Institute, ロボティクス担当副社長) の発言に関する NSRI メモより

⁸ 上記脚注の「ソフトウェア」の項参照

合う」。ネットワークの世界(図 4)が出来上がる。つながれば必要な情報が必要な時に手に入り、相互に可視化され、全体の最適化に向けた判断を下すことができる。これが有機的に機能するとエコシステムとなり、Society 5.0 の世界(図 4)になる。

【ものづくり DX 検討のスタンス：Ⅱ型 2.0⁹の提唱】

本専門部会では、製品・サービスの問題よりは、比較的各社の土俵に乗りやすい生産プロセスに議論の軸足を置いている。その上で DX を推進できる人材の役割や必要な能力、人材像を検討した。今回は、先行事業において提唱した TAKUMI 4.0 を内包しつつ、現代の匠など、ものづくり専門人材やものづくりチームがいかにしてデジタルツール活用のための知識やノウハウを身に着けることができるかという、Ⅱ型能力の獲得に焦点を当てた。従来のⅡ型は複数の専門分野を表象したが、今般の「ものづくり DX」ではⅡ型チーム⇒Ⅱ型学習⇒Ⅱ型能力⇒Ⅱ型人材という流れ全体（Ⅱ型の拡張）を「Ⅱ型 2.0」と称する。

【ものづくり DX が目指すべき方向性：スピード】

不確実性が増大するものづくり環境を前提とすると、企業経営に最も重要な戦略は、変動対応力の強化如何にある。その具体策は「ものづくり DX」を如何に素早く推進するか以外には考えにくい。スピードが鍵である。これが「製造業パラダイムシフト論」の正体であった。

本専門部会の議論で目指したことは、「脱ものづくり」でも「ビジネスモデル論」でもなく、現状のままの製造業を肯定するのでもない。「ものづくり DX」による「魅力ある製造業」を提唱することである。ここで「現状のままの製造業」とは、例えば、「専門職や技術職等の非管理職冷遇」、あるいは「組織内根回しによる時間をかけたコンセンサスづくり」といった側面をさす。一方、「魅力ある製造業」とは、「ものづくり DX」により「瞬時の可視化」や「隔地間情報共有」による意思決定支援、あるいは、「ものづくり DX」の浸透により、「起業にトライでき、夢に挑戦できる」といった面を強調できる産業である。また、優秀な男女学生を惹きつける産業間競争において、勝ち抜ける産業に脱皮できなければならない。脱皮の可否は「ものづくり DX」推進の成否にかかっている。

【ものづくり DX 推進上の課題：マインドギャップ等の克服】

ものづくり DX の推進は、従来型の自前主義でクローズな競争主体の世界から、デジタル化によるオープンで繋がり合う世界(エコシステム)への迅速な転換(図 4)を必要とする。

⁹ そもそも“Ⅱ型”とは“Ⅱ型人材、Ⅱ型人間”といった使われ方をしていた（文部科学省「平成 14 年度 科学技術の振興に関する年次報告」など）。この場合、二つ以上の専門分野（A 分野と B 分野といったイメージ）を持ちつつ幅広い知識を有する人を指した。Ⅱ型以外では、スペシャリスト（Ⅰ型）、ジェネラリスト（一型）があり、両者を兼ねた T 型がある。T 型は一つの専門分野に幅広い知識を兼ね備えた人を指す。T 型の専門分野を複数にしたものがⅡ型である。本事業では平成 29 年度に「個人としてのⅡ型」に着目し、平成 30 年度にはⅡ型をチーム・組織へと拡張し、「拡張Ⅱ型」という考え方を提示した。今年度は「拡張Ⅱ型」をさらに「Ⅱ型チーム⇒Ⅱ型学習⇒Ⅱ型能力⇒Ⅱ型人材」へと拡張の流れを具体化した。この拡張の流れ全体が「Ⅱ型 2.0」である。ここで「Ⅱ型チーム」はものづくりとデジタルの専門家同士がチームを組むことを、「Ⅱ型学習」は両者が教え合いながら相互に学習すること、「Ⅱ型能力」は両専門を具備した組織能力または個人の能力を指す。但し、個人が直ちに両方を身に着けることはハードルが高い。そこでまずⅡ型チームを組んで組織として「Ⅱ型能力」を目指そうという考え方を採った。この流れは従来型のⅡ型を拡張した考え方である。ゆえに「Ⅱ型 2.0」とした。

そのためには協調領域の発掘・拡大(図7)とものづくりとデジタルの双方に通じたⅡ型能力の涵養が必要になる。しかし、Ⅱ型能力は一朝一夕に獲得できるものではない。そこで双方の専門家によるⅡ型のチームを編成し、チーム(集団)として目指す。これが目先の課題である。一方、Ⅱ型能力を目指す個人としてのⅡ型の人材を育成・支援することは長期の課題となる。

ものづくり DX を推進するためには乗り越えるべき壁(ギャップ)がある。本専門部会では、標準化ギャップ、リーンギャップ、マインドギャップ、スキルギャップの四つを挙げた。DX を進めるにはシステム規格など分野横断的な国際標準の策定が重要であり、業務を標準化するには業界で共通の教科書づくりが必要である。リーン生産方式は導入済みが前提である。デジタルマインドは受け入れないことには DX が進まない。デジタルスキルを身に着けることは、ものづくり DX の推進上不可欠といえる。

【Ⅱ型能力とⅡ型人材の確保育成：ものづくりの要諦を踏まえて】

従来型製造業は、「クローズ」な環境下で現場を掘り下げ、知の深化をはかる分析的なデカルト思考が支配的(図4)であった。しかし、Ⅱ型能力では、ものづくり能力に加えて、「オープン」でつながる世界(図4)において全体を捉えようとするシステム思考やデザイン思考のほかに、デジタルツールにチャレンジし、新価値の創造や知の探索を行うブレークスルー思考とスピード感も重視(図4)される。したがって「ものづくりの要諦」は引き続き確保し、従来型製造業の特長を損なうことなく、デジタルの特質を最大限活用できることが望ましい。

長期的にはⅡ型能力を身に着けたⅡ型の人材が主役となる。ものづくりの大切さ、難しさ、面白さを体感したデジタルネイティブや理数系志向の「優秀な学生」を惹きつけうる「夢のある魅力的な製造業」に変身すること。ここに機械工業としての将来がかかっている。

【ものづくり DX 推進に必要な新組織原理とプロデューサー型・支援型リーダー】

従来型のものづくりは、RTB(Run the Business)により、しっかりと収益基盤を支える一方、ものづくり DX の企画立案推進は、CTB(Change the Business)組織を立ち上げて次代に向けた準備を滞りなく進める(図1)。CTB チームにはものづくり各分野の専門家のみならず、デジタル系からも様々な専門家が蟄集する。各専門性をものづくり DX 推進というチーム目標に沿って結集する必要がある。従来型の管理統制型のチームではなく、フラットなⅡ型のチームとなる(図4)。このチームは自律分散型の組織となり、試行錯誤を繰り返しながら、チーム・集団による力でやり遂げるといった大胆なチーム運営が求められる。チームリーダーには、プロデューサー型・支援型のリーダーがふさわしいとされる。

CTB チームで開発する取組みは小さく始め、サイバー上で試行錯誤をした成果や効果は素早く見える化される。それが RTB 部隊に「感動・感銘」を与えられるかが鍵(図1)となる。そのインパクトが、RTB が DX に踏み出すきっかけとなる。ものづくり DX がエンジニアリングチェーンに波及し、さらにサプライチェーン(SC)や製品・サービスに及ぶ。こうしてスマート工場、スマート SC、繋がる製品・サービスが出来上がる(図1)。

【求められる人材像：デジタルマインド、アンラーニング、継続的組織学習】

ものづくり DX 推進上、II 型人材に求められる能力に、デジタルマインドとデジタルリテラシーがある。デジタルマインドとは、顧客志向・アイデア重視、柔軟迅速・変動対応、実験実証・早期実装、手戻り極小の戦略的思考であり、そうした思考を意図的に活用する姿勢や心持のことである。デジタルマインドで特に重視されるのが、システム思考、デザイン思考、リーンスタートアップ的発想、アジャイル開発的発想、モジュール思考などである。II 型のチームを組織・運営していくには、従来型の発想や経験・ノウハウからの外挿では対応が難しくなる。それゆえに、旧来型の知識に縛られた慣性や慣行を一旦捨て去り（アンラーニング）、新たにデジタル特有の発想や考え方（デジタルマインド）を学びなおす必要が生じる。アンラーニングとは固定観念や思い込みの一掃、或いは、学んだことをご破算にすることである。デジタル分野の技術革新は日進月歩である。指数関数的といわれる変化が当然とされる。組織としての継続学習力が求められる。

【II型能力の職業資格化】

II 型能力の獲得は難事である。そこで II 型能力のレベルを、II 型能力初級・中級・上級・TAKUMI4.0¹⁰と区分し、職業資格として制度化することが望まれる。職業資格化により、II 型能力は指標化され可視化される。また、資格制度を通してその普及が期待できる。

【第四次産業革命に向き合える教育を】

歴史上、産業革命は新たな教育を必要とし、教育は産業革命と呼応する形でその内容を変化させてきた(図 5)。第 1 次から第 3 次までは「機械」、「電気」、「情報・電子」それぞれの領域に匠と専門技術者を必要とした。第 4 次は、デジタルの世界。「機械とデジタル」や「電気とデジタル」、「情報・電子とデジタル」といったペア（II 型の組合せ）が必要になる。高等教育においても、ダブルメジャー制の本格的な導入・普及が急務である。このギャップ（壁）は明らかに一企業の手には負えない大きなテーマである。第 4 次産業革命に呼応する新たな教育体制の見直しを必要としている。企業側では継続教育体制の構築を、教育機関側では理数系教育や情報系教育に一層注力¹¹する必要がある。さらに両者が協力して、産学連携協働教育¹²(座学と実務実習の組合せ)による実学教育への制度改革に真剣に取り組む必要がある。

【終わりに～ものづくり DX の推進にむけて】

ものづくり DX とは¹³、単に「現状業務の改革」、或いは「カイゼン」という局所的な部

¹⁰ TAKUMI4.0 はものづくりの達人が匠と呼ばれたように、II 型能力の達人のレベルをいう。詳細は本文 5-3-2, 5-3-3 参照

¹¹ 英語圏では従来の STEM(Science, Technology, Engineering, Mathematics)に Art を加えた STEAM が、ドイツ語圏では MINT (Mathematics, Informatics, Natural Science, Technology) や Industry4.0 を意識した教育へのシフトが、イギリスでは教育 4.0 (Education 4.0) と銘打った議論が活発化している。

¹² ドイツのデュアルスタディやデュアルシステム参照 (日機連報告書; 平成 25 年度 国際交流の推進活動 理数系基礎学力の強化とものづくり人材育成の課題に関する調査研究報告書 (Ⅲ) ー理数系グローバル人材育成・教育に関する調査専門部会報告書ー、および、同報告書; 平成 19 年度「ものづくり人材育成のためのデュアルシステム」にはいずれも現地調査を踏まえたドイツの職業教育訓練制度の紹介がある。)

¹³ 本節の 4 つの段落は滋賀大学データサイエンス学部の河本薫教授の論考を参考に作成したものである。

分最適を目指すことではない。現状をその根底から見直し、新たなデジタルプロセスに組替えることである。すでにドイツの資料では¹⁴インダストリー4.0は根本的に生産メカニズムを「変えた（現在完了形）」と記されている。

本専門部会では「“ものづくり DX” 推進に向けた『Ⅱ型能力』のスピーディーな構築」と様々なデジタルツールを、機械工業の問題意識に沿って自在に使いこなすことの重要性を強調している。そのためには既就業者層にはⅡ型の継続教育が、次世代人材にはものづくりの素晴らしさの体感機会とⅡ型の実学重視教育への制度改革が必要である。また日本の強さの象徴としての「匠」は常に価値を考え続けられる人という捉え方や、匠が生み出す高度の暗黙知を形式知化できるフレームワークづくりが新しい強みとなる。長期的にはこうしたものづくりとⅡ型への拘りが製造業の夢と魅力を生むとしている。

今、最も必要なことは、Ⅱ型能力構築に取り組むための“アンラーニング”を多方面にわたって展開することである。協調領域を拡大するには経営マインドの大転換を要する。Ⅱ型の実学重視による業界共通の教科書づくりには、関係者間の共通認識の醸成と産学官の連携が、“海外人材”等の就業多様化に対する環境整備には国家レベルの議論が、標準化ギャップやリーン、マインド、スキルの各ギャップへの対応は、産学官連携による認識の共有と対策が必要である。いずれもそれぞれの検討の前提としてアンラーニングを必要としている。特に、製造業離れが進む理数系専攻学生などの次世代人材に対するアピールは、企業の壁を越えて連携し取り組むべき大問題である。日本の「ものづくり DX」は、夢のある魅力的な製造業として、持続的な成長発展を遂げるために残された、最後の貴重な機会かもしれない。スピード改革が命である。

¹⁴ Plattform Industrie4.0 「2030 Vision for Industrie 4.0」(2019年3月29日)

<問題提起、ものづくり DX 推進のために>

1. ものづくり DX 推進のための仮説（前提）

- 1-1. 認識上の仮説：II型能力（ものづくりとデジタルの両リテラシー）が必須
- 1-2. 人の役割：「判断する」と「考える」ことが重要
- 1-3. 人材育成の方向性：II型の実践的実学重視の産学連携教育が必要

2. 問題提起-1：協調領域の発掘・拡大を

（エコシステム形成とものづくり DX 推進の壁の克服を目指して）

- 2-1. 本来あるべき「競争領域の再検討」（●C,M）
- 2-2. 国際標準化の取組等の「協調領域の発掘と拡大」を（●K,A,G）
- 2-3. 「ものづくり DX の壁」：協調領域の拡大により突破（●K,A,G）

●（C,M,K,A,G）⇒提起したい対象層
C:企業経営層、M:企業管理層、
K:工業団体、A:学界、G:官界

3. 問題提起-2. II型能力の涵養を

（ものづくりの要諦とデジタルを使いこなす能力）

- 3-1. 業種別等の共通教科書の制作を（●K,A,G）
- 3-2. II型能力の職業資格化（初級、中級、上級、TAKUMI4.0）（●K,A,G）
- 3-3. アンラーニングの重要性と継続学習の仕組みづくり（●C,M,K,A,G）

4. 問題提起-3. II型能力構築と体験(体感)の機会・場、制度の見直しを

（ものづくり DX 人材育成に関する産業界の要望）

- 4-1. II型能力構築のための体験(体感)の機会と場づくり（●C,M,K,A,G）
- 4-2. 海外人材等の就業形態多様化と規制の見直し（●K,A,G）

5. 問題提起-4. 教育制度の改革(実学教育の拡充強化を)

（産学連携教育による実学教育の本格的導入と第四次産業革命に向き合える小中高教育と高等教育の改革を）

- 5-1. 実学・実習重視の実践的な産学官連携教育研修訓練制度の確立を（●K,A,G）
- 5-2. ダブルメジャー制の導入(従来型専門領域+デジタル領域)とII型学習を（●K,A,G）
- 5-3. 既存人材向け継続教育と実践的な産学連携教育の推進を（●C,M,K,A,G）

6. 問題提起-5：製造業に夢と魅力を～社会へのアピールが不可欠

（ものづくりの大切さ、新しいものを世に出せる、形式知化状況・匠の将来像、未来の工場）

- 6-1. 採用母集団としての理工系人材の減少の問題（●K,A,G）
- 6-2. 「製造業に夢と魅力を」～就職先としての魅力度を如何に高めるか（●C,M,K）

図 1 RTB と CTB の相互関係



図 4 ものづくり DX(製造業のデジタル化=パラダイムシフト)のキーワードとイメージ

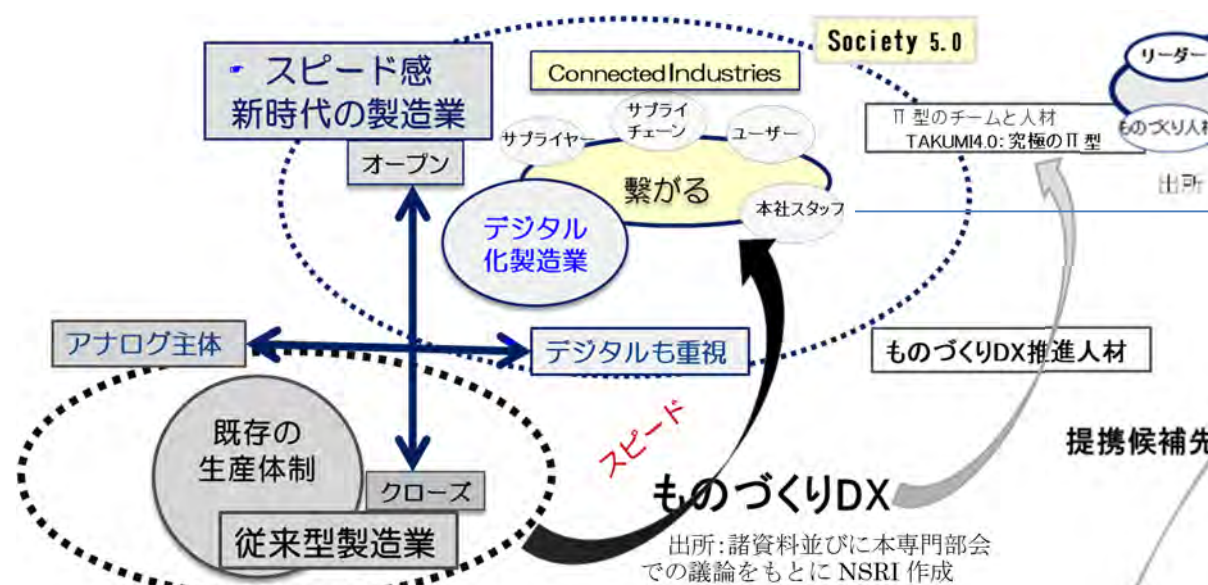
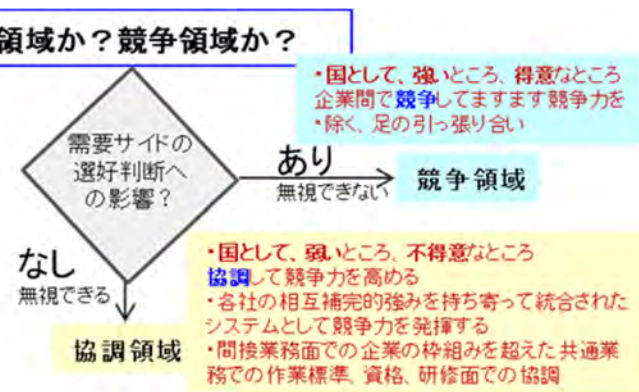


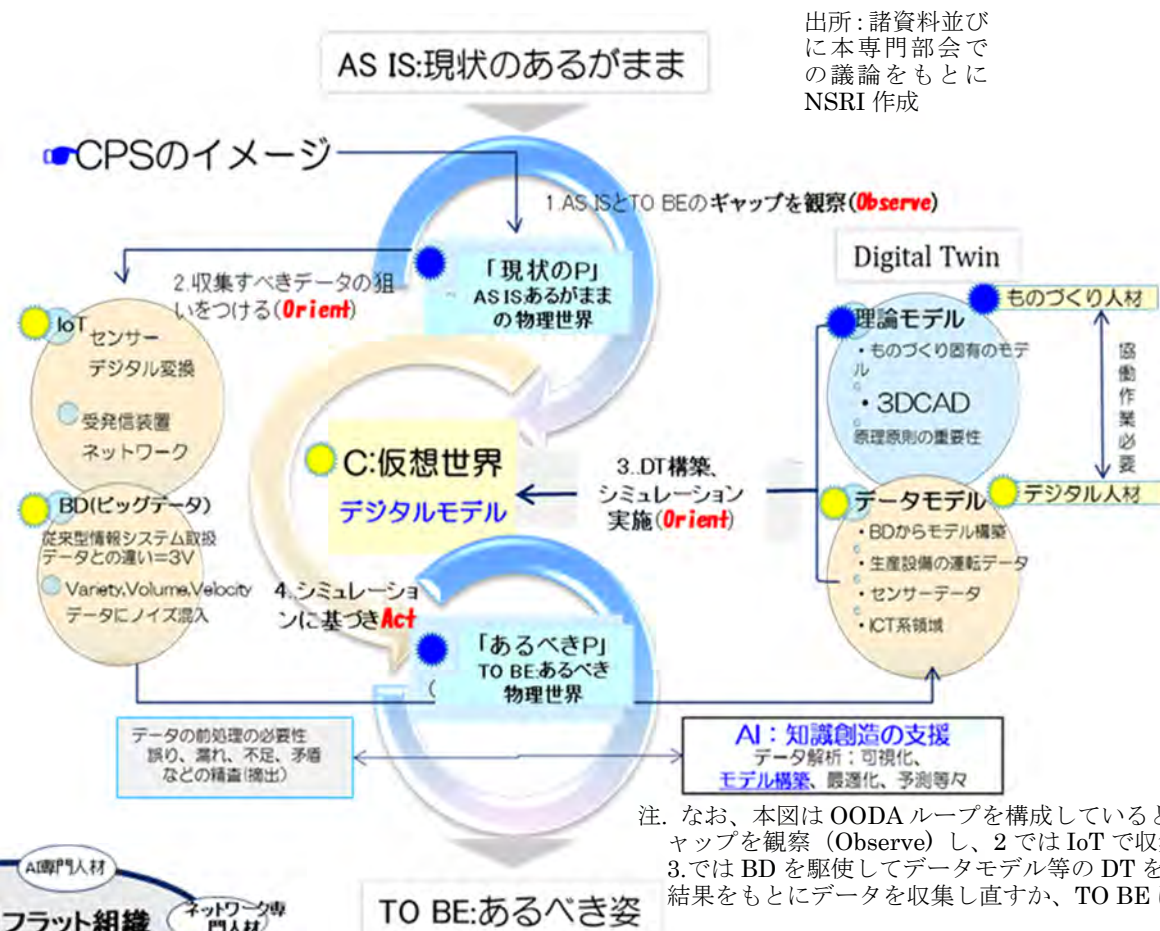
図 7 協調領域と競争領域の考え方

出所：諸資料並び
に本専門部会での議論をもとに
NSRI 作成



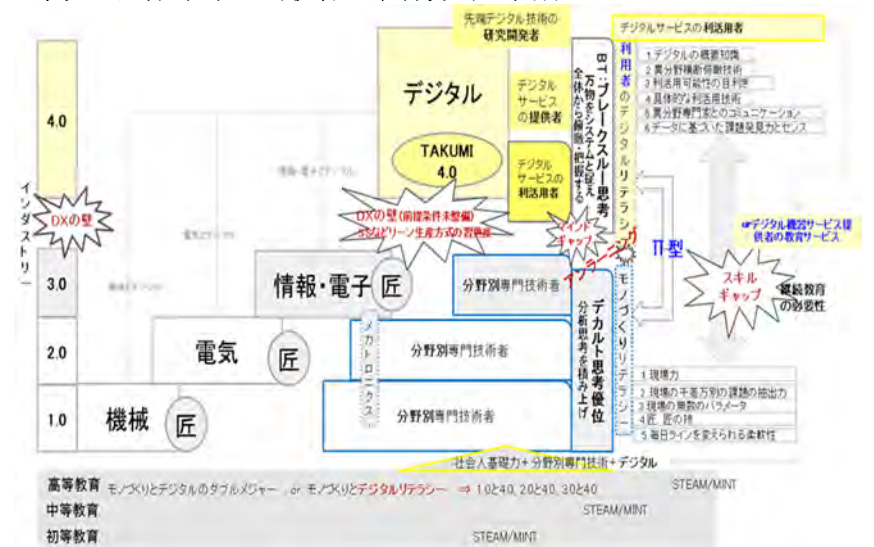
注:デジタル化によりネットワーク化、Connected Industries が進む(図左下、後述)。提携候補は単に社内の他事業部門や海外子会社に留まらず、中小企業や競合他社、異業種企業といった法人のほか、ギグワーカー等の個人や大学等の学生も含まれる。学生は実務実習経験のほかに AI 等の先端技術やアイデアの提供者となる可能性もある。

出所：ドイツの資料等を参考に NSRI 作成



注. なお、本図はOODAループを構成しているとも読める。1では、AS ISとTO BEのギャップを観察（Observe）し、2ではIoTで収集すべきデータの狙いをつける（Orient）、3.ではBDを駆使してデータモデル等のDTを構築（Decision）、4ではシミュレーション結果をもとにデータを収集し直すか、TO BEに向けた新たな意思決定（Action）を行う。

図 5 累次の産業革命と要教育・訓練分野の関係



注:上図の構成は縦軸に初等・中等・高等教育とインダストリー1.0～4.0を配し、横軸は概念的な時間軸を置いている。

本図で表現していることは同 1.0 から同 4.0 に対応する「分野別専門技術」と「匠と TAKUMI 4.0 の関係」のほか、デジタルの「研究開発者」とその「提供者」や「利活用者」の区別、デカルト思考と BT 思考の対比、スキルギャップの位置づけ、初等・中等・高等教育と実社会のつなぎの問題（社会人基礎力と分野別専門技術、及びものづくりリテラシーとデジタルリテラシー）、ものづくりとデジタルリテラシー間のスキルギャップ。さらに、II 型という概念自体が、DX の壁のほか、マインドギャップ、スキルギャップなどとともに、概ね同 1.0～同 3.0 と同 4.0 の間に横たわっていることなどを描いている。

また就業後における継続教育の重要性とデジタルサービス供給者によるデジタルリテラシー教育上の重要性を図示化している。

出所：“National Skills Strategy”ドイツ労働社会事情省、教育研究情報省、Jun.2019
のほか、本専門部会における教育関連の様々な議論を踏まえ、NSRI 作成

1. 本専門部会の前提（スタンス）と本報告書の構成

本専門部会が目指す基本的スタンスは、企業からの視点として、目先の現実的な課題に重心を置いた地に足の着いた検討を重視する。つまり、今あるリソースを踏まえて経営・組織の変革を促していくという視点である。しかし、目先の課題を検討するためのベースとしての抽象化¹⁵された上位概念や長期的な課題の検討も必要である。そこで、以下のような時間軸、対象領域、先端技術に関するスタンスを取ることを本専門部会の前提とする。

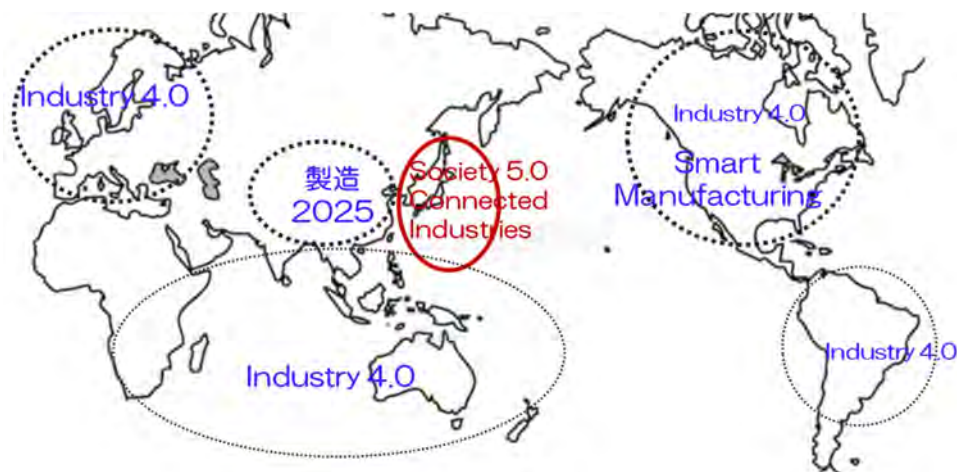
1-1. 調査研究の目的と方向性

1-1-1.DXの方向性とⅡ型の人材確保・育成

本事業の目的は、IoT・AI 時代（新時代、デジタル時代、DX¹⁶時代、インダストリー4.0、第四次産業革命）についての位置づけや考え方を明確にしたうえで、これらを DX と総称として議論の拡散を防ぎつつ、われわれが取り組むべき DX の方向性を検討するとともに DX を進めるための人材の在り方やその確保・育成についても検討することである。特に、ヒトの働き方と組織の変化や求められる人材像とその育成の問題にも取り組む。Ⅱ型¹⁷の人材とはどうあるべきか、或いは、Ⅱ型の人材の確保・育成のためには何が必要かといった課題について、これまでの本専門部会での検討結果を踏まえて整理する。

また、議論の前提として視野を世界に広げ(次図参照)、議論のバランスを取るために、前二年度と同様、本年度についても DX に関連する内外の現状、DX 進展後のイメージ、先進事例等に関する様々な情報を収集・分析・整理を行う。

図 8 世界で進む製造業のデジタル転換 (DX)



¹⁵ CTI Digital の Director Paul Johnson 氏は、The Drum Network の “Automation and employment: How universities must respond to Industry 4.0” の記事の中で、インダストリー4.0に向き合うときに、「厳格なソリューションに縛られることなく、抽象的にニーズを定義すべき」ことを説いている。
<https://www.thedrum.com/opinion/2020/01/30/automation-and-employment-how-universities-must-respond-industry-40>

¹⁶ DX: Digital Transformation の略称。経済産業省の「DX 推進ガイドライン」2018 年 12 月では「企業がビジネス環境の激しい変化に対応し、データとデジタル技術を活用して、顧客や社会のニーズを基に、製品やサービス、ビジネスモデルを変革するとともに、業務そのものや、組織、プロセス、企業文化・風土を変革し、競争上の優位性を確立すること」とある。

¹⁷ Ⅱ型については 1-1-2 参照。

注.多くの国で、“Industry 4.0”に関する英語資料が発信されている。Industry 4.0 は製造業に関する DX を指す用語として定着していることは明らかのようにみえる。

出所：白地図は以下のサイトから。IFS の 2016 年 6 月の白書「デジタル・トランスフォーメーションと製造業 今なすべきこと」を参考、また環インド洋諸国等については、Industry4.0 の検索結果(例、豪州、南ア、インド、タイ、マレーシア、インドネシア、ベトナム、フィリピン等) から、NSRI 作成

<https://search.yahoo.co.jp/image/search?rkf=2&ei=UTF-8&p=%E4%B8%96%E7%95%8C%E5%9C%B0%E5%9B%B3+%E7%99%BD%E5%9C%B0%E5%9B%B3>

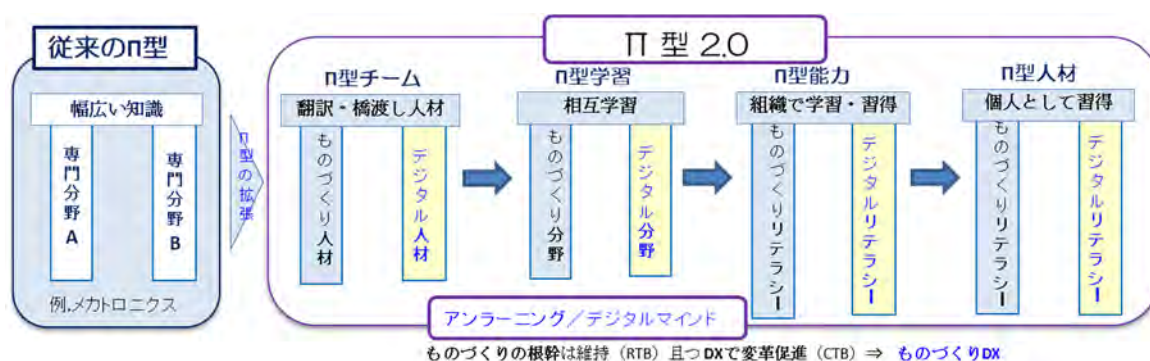
1-1-2. “Ⅱ型”とは

そもそも“Ⅱ型”とは何か。これまでは“Ⅱ型人材、Ⅱ型人間”といった使われ方をしていた(文部科学省「平成 14 年度科学技術の振興に関する年次報告」など)。この場合、二つ以上の専門分野(A 分野と B 分野といったイメージ)を持ちつつ幅広い知識を有する人を指した。Ⅱ型以外では、スペシャリスト(Ⅰ型)、ジェネラリスト(一型)があり、両者を兼ねた T 型がある。T 型は一つの専門分野に幅広い知識を兼ね備えた人を指す。その専門分野を複数にしたものがⅡ型である。

1-1-3.”Ⅱ型 2.0 “の提唱

本事業では平成 29 年度に「個人としてのⅡ型」に着目し、平成 30 年度にはⅡ型をチーム・組織へと拡張し、「拡張Ⅱ型」という考え方を提示した。今年度は「拡張Ⅱ型」をさらに「Ⅱ型チーム⇒Ⅱ型学習⇒Ⅱ型能力⇒Ⅱ型人材」へと拡張の流れを具体化した。この拡張の流れ全体が「Ⅱ型 2.0」である。ここで「Ⅱ型チーム」はものづくりとデジタルの専門家同士がチームを組むことを、「Ⅱ型学習」は両者が教え合いながら相互に学習すること、「Ⅱ型能力」は両専門を具備した個人の能力または組織能力を指す。但し、個人が直ちに両方を身に着けることはハードルが高い。そこでまずⅡ型チームを組んで組織能力として「Ⅱ型能力」を目指そうという考え方を採った。この流れは従来型のⅡ型を拡張した考え方である。ゆえに「Ⅱ型 2.0」とした(次図)。

図 9 従来のⅡ型、Ⅱ型の拡張、Ⅱ型 2.0



出所：本専門部会における議論を踏まえ、NSRI 作成

1-2. 時間軸：主として5～10年後

本専門部会での議論はその時間軸を以下のように設定している。

- ・5～10年後の日本のものづくりを考える。
- ・この時間軸については、一見実現が難しく手が届きそうにないような「未来」を考

えるというよりは、企業が現に有するリソースという現実を出発点とし、具体例などを踏まえた目先の課題をより重視することができる時間軸を念頭に置く。

この時間軸に関する考え方は、目先の問題であってもその効果が出るまでの時間が長期にわたるような人材育成や産学官連携、学校教育といった課題についても、5～10年のタイムスパンの中で俎上に挙げることで含んでいる。つまり、目先の現実的な課題を重視しつつも長期的課題も含めた両輪での検討を行う。なお、検討にあたっては、抽象化された上位概念の検討が複雑な現実の問題の本質的な理解には有用であるとの観点から、本報告書では抽象化のために図解を活用することとしている。

1-3. 対象領域：主として生産プロセスに力点

製造業のデジタル化については、主にその製品・サービス分野と生産プロセス（エンジニアリングチェーンとサプライチェーンなど）に係る分野の二つが考えられる。本専門部会では、前身の専門部会¹⁸での議論同様に、生産プロセスに軸足を置いた検討を行う。製品・サービス分野は多分に各社の競争最前線であり、業界全体で議論するのにはふさわしくないとの判断から、生産プロセスを検討対象としている。

- ・ものづくりは、生産プロセスと製品・サービスからなる。このうち、本専門部会では、どちらかという生産プロセスに力点をおく。
- ・製品・サービスは各社の**競争戦略**の発現したもの。一方、生産プロセスは**各社の共通認識**が得られやすく、「**協調**」¹⁹しやすい領域。
- ・企業の経営的な視点を検討のベースとする。その一方、企業の枠にとらわれない各社共通の領域にも関心を払い、国や業界等の関係機関にも訴求できるよう検討を行う。これは DX が各社の協調領域をどのように切り出して手をつなぐとともに**協調の輪をどれだけ拡大できるかが重要な鍵**を握っているからである。

1-4. IoT・AIなどのデジタル先端技術とその特質

本専門部会は、先端のデジタル技術を研究・開発する立場としてではなく、利活用する立場として取り扱う。先端デジタル技術の範囲は、IoT・AIに特定せず、デジタル技術全般を広く対象とするが、個々の技術には深入りしないことを基本スタンスとしている。

参考 1 デジタルと ICT の違い

デジタルと ICT の両者の区別は曖昧である。しいて言うとかつて ICT と呼んでいた領域と截然と区別することを意識してデジタルと称することが多く見られる。特に、**利用者視点で新規にビジネスを創造・提供する領域**であることを強調して**デジタルの語**が用いられる傾向にある。

なお、IT（情報技術）は ICT（情報通信技術）に含まれる。一方、**デジタルは ICT 技術**

¹⁸ 平成 26 年～28 年度「ものづくりパラダイムシフト対応調査専門部会」のこと（以下同様）

¹⁹ ここでいう「協調」とは、「役割分担をして／強みを持ち寄って／Win-Win の対等関係で／あらゆるツールを動員して・・・ユーザーの experience や satisfaction などを実現していく（すなわち DX）『デジタル時代のエコシステム』を前提とした考え方」（北出部会長）を指す。（以下同様）

を利活用したビジネス展開を含意している点で両技術を内包しているといえる。

注.デジタルという用語は、ICT を含み、ICT を活用した新ビジネス展開への活用が進んだことからその点を明確にするために使われるという考え方。

出所：本専門部会の平成30年度報告書 p 21 参照（一橋大学神岡太郎教授の所論参照）

参考 2 デジタル技術とは

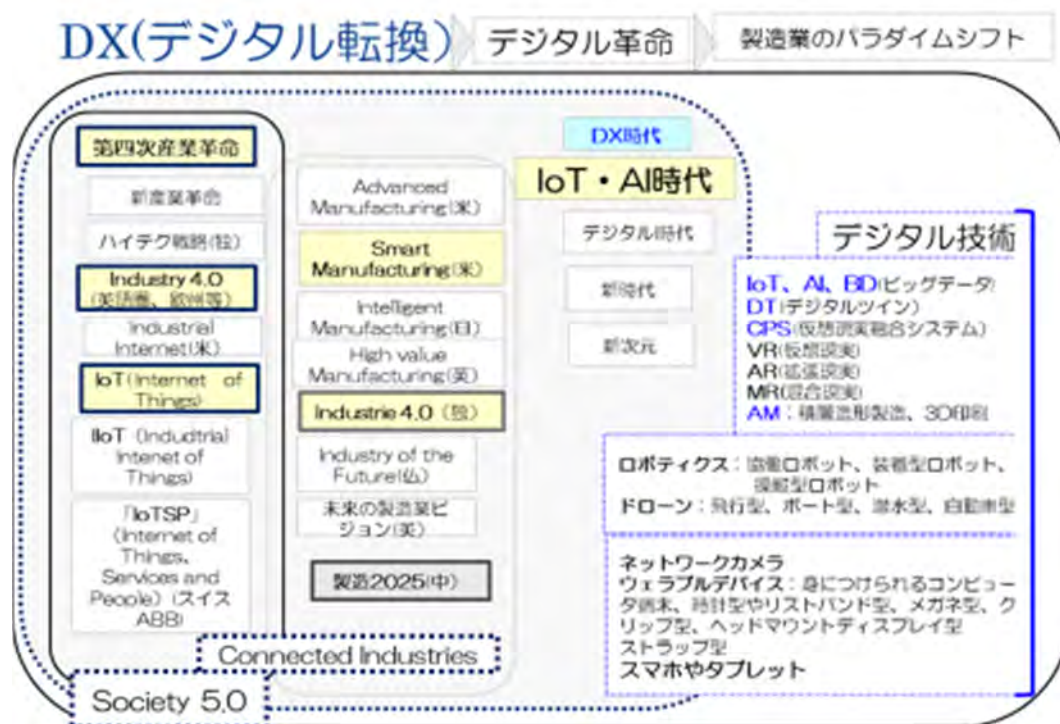
IoT・AI に関係する技術は、多くがインターネットなどの通信技術やコンピューター科学技術と深い関係にある。IoT・AI のほかには BD(ビッグデータ)、VR(仮想現実)、AR(拡張現実)、MR(混合現実)、AM(積層造形技術、3D プリンティング)、ロボティクス（協働ロボット、装着型ロボット、操縦型ロボット）、ドローン（飛行型、ボート型、潜水型、自動車型）、ネットワークカメラ、ウェアブルデバイス（身につけられるコンピューター端末：時計型やリストバンド型、メガネ型、クリップ型、ヘッドマウントディスプレイ型、ストラップ型）、さらにはおなじみのスマホやタブレットが挙げられる。

本報告書ではこうした技術をデジタル技術と総称する。

注.デジタル技術に関する技術名称と概念については次図を参照

出所：各種資料から NSRI 作成.

図 10 IoT・AI 時代に係る用語と概念(本報告書での用法)



注 1. 上図は、デジタル技術の類似概念についてはそれぞれ丸四角で括ってある。本報告書では、例えば IoT・AI 時代の場合、DX 時代ともデジタル時代、或いは、新時代、新次元ともいうがいずれも同じことを指す。また、DX はデジタル革命の代わりに使う。製造業パラダイムシフトはものづくり DX と同じとみる。デジタル技術は数々ある技術を総称する意味で使用する。但し、こうした技術がすべて必要になるということではない。あくまで現在多くのメディアで取り上げられたり、製造業でも活用可能だとされたりするデジタル技術を網羅的に列挙したものすぎない。ものづくり DX というときにその対象となりうる技術群という意味合いで作成したものである。

出所：本専門部会並びに先行専門部会報告書等から NSRI 作成

注 2.VR(仮想現実)及び AR(拡張現実)とテレイグジスタンスについて、「テレイグジスタンスとは、人間が、自分自身が現存する場所とは異なった場所に実質的に存在し、その場所で自在に行動するという人間の存在拡張の概念であり、それを可能とするための技術体系」。ここでいう「異なった場所」が、コンピューターが生成した場所の場合には、「バーチャル世界へのテレイグジスタンス」は、「狭義の VR にあたる」。「現実世界をモデルとしたバーチャルな世界を用いる VR は、教育訓練や設計などの目的に使用される。」また、「バーチャル世界を実世界に重畳させて、そこへテレイグジスタンスすることもあり得る (AR)」

出所：舘 暉（東京大学名誉教授）「テレイグジスタンスの新展開」日本ロボット学会誌 Vol.36 No.10,pp.658~662,2018 から抜粋

参考 3 デジタル化の 2 つの本質的影響

- デジタル化の中抜き効果：データの発生源と利用先が直接つながるという中抜き効果により、スピードとコスト削減、生産性の上昇に寄与。
- オープンソースソフトウェアの利用可能性：ソフトウェアはそれ自体の開発は別として、既に開発された既存のソフトウェア・モジュールの組合せで対応可能な時代になっている。したがってその限界費用は、限りなく小さい。

出所：本専門部会委員の指摘やウィキペディアに基づき、NSRI 作成

1-5. 本事業で実施してきたこと

1-5-1. 製造業のパラダイムシフトについて（本事業の先行事業）

本事業の先行事業では「製造業のパラダイムシフト」の問題を扱った。新しいデジタ

ル技術が次々に登場し、製造業の中がデジタル化によってつながりの輪を次々と広げるとともに、繋がることで生まれる新しいネットワークが外へ外へと拡大し、製造業に係る全体がつながって大きなネットワークになろうとしている。世界では、リアルタイムで進みつつあるこのデジタル化・ネットワーク化の現象を踏まえて、製造業のパラダイムシフトと呼んでいる。内外の諸報告書の調査・分析や個別先進事例の収集・分析に基づいて、製造業のパラダイムシフトの実像を明らかにした。

なお、本事業の先行事業²⁰と通算した6年間の全体でみると、製造業におけるデジタル・トランスフォーメーションこそがパラダイムシフトを乗り切る手法であり、すでに概念の段階から実装の段階にきていることが明らかにされている。

1-5-2. 本事業の背景・目的

本事業では、製造業のパラダイムシフトの引き金でもあり、直接の変化を引き起こしているデジタル技術の象徴として、IoT と AI を事業名として取り上げるとともに、このシフトをデジタル革命と捉え、その実相を探りつつ、新時代のものでつくりと人材の在り方を探る中で、日本の機械産業の競争力強化に資する論点や課題を明らかにすることを目的とした。

IoT や AI に表象されるデジタル革命の実態を捉えるために、最新の諸外国の動向や国内の先端動向などを幅広く探索・調査し、整理するとともに、新時代となるデジタル革命の実相を探る活動を行った。また一方で、日本のものづくりがこれまで強みとしてきた現場の匠と呼ばれる熟練技能者や質の高い生産技術者、日々のカイゼン、無駄取により成長する生産工程といった現場力が、IoT や AI の利活用などのデジタル化・ネットワーク化という新しい流れの中で、従来通りの強みとしてその力を発揮し続けることができるのか、或いは、日本の製造業自体がデジタル革命のさ中に生き残ることができるのかという問題意識に焦点を当てつつ、新時代のものでつくりの在り方と新時代のものでつくりを牽引し支えていく「ものづくり人材」の対応の在り方を探ることにした

参考 4 現場の匠や現場力の例（現代の名工から）

例1. 工作機械などの修理保全（いすゞ自動車藤沢工場、千葉喜一氏）

- ・「機械は”生き物”として見ている。保全は様々なことができないといけない。」工作機械などの修理や保全に40年以上。現場の作業者とコミュニケーションをとることを大切に。「現場から機械設備の状態を把握することを徹底してきた。」
- ・「機械は気温や湿度といった環境の違いで稼働状態は微妙に変わることがある。」——長年の経験に裏付けられた臨機応変な保全対応も可能。
- ・「キサゲ加工でもμm単位の精度を出す。——機械でもキサゲ加工は一定の精度を出せるが、加工した時の熱で歪みが出るので、より精度を高くするには人の手でやらないといけない。」

例2. 貴金属製品の鋳込み（近藤鋳造所、近藤幸男氏）

- ・伝統工芸品の東京アンチモニー工芸品で70年以上の「戻し吹き」の鋳造歴。
- ・鋳型によって湯を戻すタイミングや炉の温度、温め方などが異なる。
- ・わずかな誤差で製品の厚みが変わる。多種多様な方に対応する上、同種類の製品の重さ

²⁰ 平成26年～28年度に実施したものづくりパラダイムシフト対応調査専門部会の「世界の製造業のパラダイムシフトへの対応調査研究」事業のこと

を均一化できる貴重な職人。
・鉛を含まない錫合金「エテナ」の開発に協力。「いろいろな注文が来るから楽しい。」

出所：日刊工業新聞、R1.11.22 記事 <https://www.nikkan.co.jp/articles/view/539100?isReadConfirmed=true>

1-5-3. 平成 29 年度事業での実施内容

【平成 29 年度事業の概要】

当年度は、ものづくりを取り巻く事業環境、中でも諸外国の製造業のデジタル化動向を検討し、IoT・AI 時代という新次元（新時代・デジタル時代）の製造業のイメージを固めるとともに、製造業のパラダイムシフトが新次元に向けて現に進行しつつあることを明確にする中で、日本の機械工業として如何に対応すべきか、及び、新時代に対応可能な人材像は如何にあるべきかについて、諸資料のほか、専門部会委員各位の意見を集約・分析しながら検討・整理を行った。

【本事業標題の IoT・AI 時代の位置づけとそのイメージの具体化】

製造業のパラダイムシフトは現代の産業革命、或いは、デジタル革命とも称されており、パラダイムシフトを進めるためにはデジタル・トランスフォーメーション（DX、デジタル化・ネットワーク化による変革）が必要不可欠であること、また、パラダイムシフト後の世界を、IoT・AI 時代と位置づけ、これを新次元の製造業として具体的なイメージを検討した。

中でも、IoT・AI 時代の製造業の製品のイメージを始め、新時代に目指すべき姿としてのスマートファクトリーや、スマートサプライチェーン、製品生涯追跡可能エンジニアリング、マスカスタマイゼーション、ビジネスモデル²¹などを検討した。

【諸外国の動向】

諸外国の動向調査では、ドイツを筆頭に英国、米国、中国、韓国を取り上げた。ドイツでは、デジタル化の進捗度合を測定したり、自社でチェックしたりといった普及啓発施策やインダストリー4.0 のモデル工場で実際にトレーニングを行う中小企業への技術移転の施策、デジタル工場内での作業のイメージなどに関する調査レポートが特徴的であった。英国では TES という製品の全生涯にわたるエンジニアリングサービスという考え方やそのツールを、また、米国では産業インターネットをキーとして世界中の企業を集めたテストベッド事業を取り上げた。米独は RA（レファレンスアーキテクチャー）に関して共同レポートを刊行し、標準化に向けた素早い動きがみられた。中国は、2019 年度激化した米中摩擦でターゲットになった製造 2025 などの国家施策を取り上げた。

【AI などのデジタル技術の動向】

製造業のパラダイムシフトを引き起こしているデジタル技術についても調査を行い、

²¹ ビジネスモデルの考え方として日機連の平成 28 年度製造業報告書「製造業のパラダイムシフト」では、「3-2-2.付加価値の源泉、製造業のサービス産業化」において、付加価値の源泉になりうる次の 6 つのパターンを挙げている。A.モノの所有そのものに価値、B.モノの機能そのものに価値、C.機能が稼働して認識される価値、D.必要な時に素早く提供される価値、E.空き時間帯の有する価値、F.資金負担軽減による価値の 6 つ。いわゆるサブスクリプションモデルは E と F の価値を実現しうるビジネスモデルの例に該当する。

ゲームチェンジング技術やハイプサイクル、半導体製造技術のロードマップ、DT(デジタルツイン)、CPS(サイバーフィジカルシステム)に加えて、AI(人工知能)に関する技術調査を実施した。外部講師についても AI に関する解説を中心テーマとして講演を依頼した。

【世界の先進事例とその示唆】

デジタル化の具体例を収集するために、世界の先進事例として GE 社、SAP 社、IIC(産業インターネットコンソーシアム)が公表しているいくつかのテストベッド事例を取り上げた。このほか、独ティessenクルップ社、Bosch 社などからデジタル化の進め方、既存の従業員がデジタル人材と PC を共有して同一業務を遂行するといった人材育成事例、新しい職種の紹介などを行った。

【専門部会メンバーの認識】

専門部会メンバーの意見を集約する書面記述式調査を実施し、新時代に関する委員の認識状況やデジタル化の現状に関する彼我比較、現場力と技能・スキルに関する認識などを調査することで次年度以降の展開を図るための基礎資料とした。

主な論点は、IT (デジタル) と OT (ものづくり) の両面から両者融合化の力が働くこと。生産・開発設計現場の現状と課題に関する部会委員の認識が危機感に満ちていること。新しい強みについての見方では、デジタル技術を活用していくことの重要性が認識されていること。新時代にむけた戦略転換には「ハード+アルファ」が必要とされていること。デジタル化に向けた組織面の検討に際し、RTB と CTB を区別する考え方があること。人材面からは「ものづくり」と「デジタル」の両刀使いという意味で II 型の人材を取り上げた。しかし、部会での議論では、個人が直ちに II 型能力を発揮することは難しいがチーム (II 型のチーム) としてであれば発揮できるのではという指摘がみられた。そのほかには、個人の成長とチーム発展のスパイラルに関する見方やブリッジ人材の重要性、デジタル化対策と人材ピラミッドの視点などが議論された。

1-5-4. 平成 30 年度事業での実施内容

【平成 30 年度事業の概要】

現代においてデジタル化、デジタル・トランスフォーメーション (DX) の流れは不可避である。世界は急激にこの流れを加速している。早急な対応が求められる。そこで本専門部会ではこうした問題意識から、平成 29 年度に引き続きデジタル技術革新に関する資料や海外の技術動向、政策動向、産業動向、企業の取組事例などを幅広く収集しつつ、外部講師による講演や専門部会における委員相互の議論を行い、記述式アンケートによる各委員の意向・考え方などの収集と分析を踏まえ、進行しつつある技術革新の潮流など、産業界を取り巻く環境や世界の動向の変化を探りながら、ものづくり人材のデジタル化対応のあり方について検討を行った。

【平成 30 年度事業の問題意識】

現在進行しつつある技術革新に、機械工業を中心とした製造業としてどう対応してい

くのか、また、ものづくり人材はそうしたデジタル化にどのように適応するのかについて検討した。具体的には、デジタル化や DX(デジタル・トランスフォーメーション)などの捉え方の明確化、デジタルならではのメリット、日本を取り巻く世界環境としての「現代の四面楚歌」、製造業に直接の影響を及ぼすとみられる世界的な潮流としての「メガトレンド」について検討した。

また、製造業におけるデジタル技術の具体的な展開である DT(デジタルツイン)や CPS(仮想現実融合システム) のイメージ化、製造業のパラダイムシフトとしてのデジタル化・DX の推進に必要なデジタルマインドの検討、製造業のパラダイムシフト・デジタル化のイメージを共有するための 2 軸 4 極図の検討を通して、II 型の人材や II 型チームから II 型組織へという「II 型の拡張」という概念を検討したほか、拡張 II 型が目指すべき 2 つの方向として「取込むべきデジタル型」と「取り組むべきこれからの+αの日本らしさ」の検討を行った。さらに、人材ピラミッドの層別にみたデジタル技術活用のイメージ図の検討をはじめ、匠と匠の科学の紹介、TAKUMI4.0 の再定義、ものづくり人材が TAKUMI4.0 を目指すイメージ図の検討、「匠」は TAKUMI4.0 へという道筋の検討や 2 軸 4 極図による人材面の検討を行った。

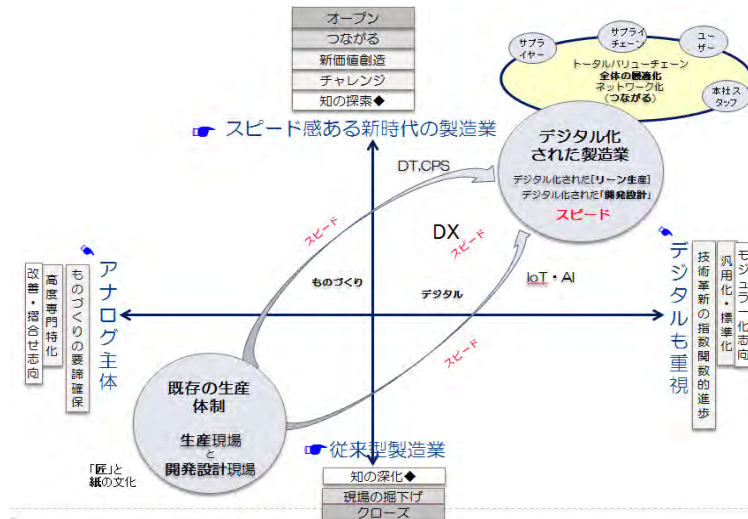
参考 5 「TAKUMI 4.0」とは？

累次の TAKUMI	対応する産業革命の変遷	1.0～4.0 それぞれの概要
TAKUMI1.0	第1次：蒸気機関 機械化・工業化、軽工業主体	欧米生産技術導入・代替期 ・開国前後の高度な職人技、分業、世襲制をベースに欧米の産業革命の成果を導入・代替を進める
TAKUMI2.0	第2次：電力と石油 大量生産、電動機、内燃機関、化学工業	終戦までの導入技術の消化・定着期 ・欧米へのキャッチアップを目指し、導入技術をベースに国産の技術開発に邁進する
TAKUMI3.0	第3次：コンピュータ・エレクトロニクス 自動化 (FA)、インターネット、PC、スマホ	国産技術改良・発展期 ・戦後から復興・成長・成熟に至る時期。ものづくり日本の土台ができるも、半導体等海外との貿易摩擦や為替変動に直面、 <u>海外投資と技術技能の深化は進むも、システム思考等は浸透せず</u>
TAKUMI4.0	第4次：デジタル革命 モノの自動化・自律化 IoT・BD、AI、DT、CPS、ロボティクス、大量個別受注生産	仮想現実融合期（デジタル技術を活用した CPS、DT 手法等の製造業への利活用期） ・ <u>デジタルツールを精進と修練によって使いこなし、改善・進化まで担える II 型の最終形としての人材・チームづくりを目指す</u>

注. 「TAKUMI4.0」とは、元々日機連の「製造業のパラダイムシフト」専門部会（平成 26～28 年）において、北出部会長から提言されたネーミングと考え方である。これからのものづくり人材は、「ものづくり」と「デジタル」という II 型の技術習熟が求められる。こうした II 型を目指すとき、従来の「匠」が有していた「精進と修練」の精神を、デジタル技術の習得にも発揮することができれば、デジタル技術の使いこなしだけでなく、デジタルツールのさらなる進歩・改善につながり、それは日本の新しい強みにつながるはず。これが当時の議論であった。その後、本年度事業では、II 型の議論が進むにつれ、II 型の人材を目指すという困難なプロセスの中で到達すべき最終形が TAKUMI4.0 という位置づけが生まれた。

出所：日機連報告書、平成 28 年度 世界の製造業のパラダイムシフトへの対応調査研究（新しい現場力と絶えざる進化を目指して）、および、同報告書、平成 30 年度 IoT/AI 時代のものづくりと人の役割変化への対応調査研究 p 86～90

図 11 四象限図による DX(製造業のパラダイムシフト)の方向感 (平成 30 年度)



注.平成 30 年度報告書におけるデジタル化(DX)のキーワードと方向性のイメージについて、横軸に「アナログ」と「デジタル」、また、縦軸に「従来型製造業、クローズ」と「新時代の製造業、オープン」を置いた四象限で DX の方向性を示したもの。

出所、本専門部会平成 30 年度報告書の p 5、p 56、p 59、p 95 等参照

【海外動向と世界の潮流】

世界中でデジタル化が注目され、DX が喧伝される根本には「デジタル化による桁外れのスピード」がある。こうした観点から世界的な潮流といわれる「メガトレンド」の検討を行った。検討の枠組みとして、「アナログ」と「デジタル」、「クローズ」と「オープン」、「ものづくり文化」・「自前主義」と「協調領域」・「エコシステム」、「製品の販売重視」と「所有から利用へ」などの対により、デジタル化のプロセスや人的対応の分析的かつ俯瞰的な枠組みとした。

【製造業のパラダイムシフト】

日本企業が得意としてきた生産現場の改善は、生産活動の「ある部分」において成果を上げる部分最適であった。パラダイムシフト後には、製造企業の全バリューチェーンが情報の環となって一つにつながる。つながると、全体の中でのボトルネックや問題点の特定が可能になる。事業全体を最適化・効率化する途が開ける。その効果は少なくとも 4 つある。第 1 に、最新ユーザー情報の解析による新しいビジネスの創出。第 2 に、企業内部外部とのつながりによる外部変動への迅速柔軟な対応。第 3 に、製品サービスの追跡による現況即把握や顧客との息の長い関係構築。第 4 に、供給サイドのネットワーク化による自然災害等による不測事態へのスピーディーな対応などである。

製造業がデジタル技術を活用していくためには、デジタル技術自体を育んできたデジタル世界に固有の考え方や発想(デジタルマインド等)の理解が必要と言われている。例えば、顧客志向、デザイン・アイデア重視、柔軟迅速・変動対応、実験実証・早期実装、手戻り極小の戦略的思考などである。

但し、ものづくり DX はデジタル技術活用ありきではない。あくまで現状をしっかりと観察し、「かくあるべし (TO BE)」を思い描けることが大前提である。「この問題が解決

されたら素晴らしい、画期的だ、痛快だ」といった思い無くして DX に取り組むのは本末転倒だと言える。

【新時代の製造業に求められる人材像】

これからのものづくりには、従来のようなものづくり技術だけの知識では対応できない。ものづくり企業は、こうした流れに逆らうことなく、自らデジタル技術を活用しつつ、新しいビジネス機会を掴みとることが肝要である。従って、ものづくり人材にも対応の対応が求められる。

当年度は前年度の“Ⅱ型”を踏まえ、“Ⅱ型の拡張”を検討した。Ⅱ型の人材という捉え方からⅡ型チームへ、さらにⅡ型組織へと“拡張”した。Ⅱ型チームはデジタル人材とものづくり人材の協働作業が前提である。「チームとしての能力」がより重要になることを指摘している。

Ⅱ型チーム(職場)のメンバーは、積極的に異領域の専門についても理解²²を深め合い、相互に教え合い、複数のスキルを身につけ続ける姿勢が求められる。一方、チームリーダーは、異分野間・異専門間のトランスレーター、多様な人材を自らつなげるハブ型人材、イノベーション人材であり、同時にチーム内の意思疎通を図り、ミッションを達成させるプロデューサーのような役割を負う。従来型の全体統制型コントロール重視型の管理体制ではなく、メンバー個々のスキルが最大限発揮されるような配慮と支援に重きを置き、障
碍は排除していくというフラットなスタンスへの転換(これも DX)が求められる。

【匠から TAKUMI4.0 への道筋】

「匠」から TAKUMI4.0 への到達イメージを、現在からの延長としての捉え方と劇的変化を経る場合の捉え方に分けて検討を行った。前者は匠の技を引き続き磨きながら、次世代への継承とともに暗黙知の形式知化などデジタル化への協力を行う。後者は、Ⅱ型チームに参画して、ものづくり技術に加え、デジタル技術の習得をも目指す。前者は広義の TAKUMI4.0、後者が狭義の TAKUMI4.0。ものづくり人材が、Ⅱ型に挑戦し、Ⅱ型を身につけた最終形としての「新しい匠」が狭義の TAKUMI4.0 であるとした。

参考 6 匠と匠の技、技能の科学

- ・匠とは、ある分野の技術・技能を名人芸にまで昇華させ、余人の追従が及ばないレベルにまで磨き上げた人であり、多くの経験(能動、受動)と研ぎ澄まされた五感により、玄妙な技や判断技能を有するに至った人をいう。
- ・ものづくりの分野において重視されてきた職人の技が『匠の技』である。この匠の技とは、個人の精進と修練によって鍛え上げられた暗黙知であり、「匠」の歩む「道」は終点の見えない、極め続ける「道」であるとされ、「道」を究め続けるという過程自体に意義や美を見出そうとする点で、武士道や芸道の「道」に通じるものがある。
- ・「技能の科学」では第四次産業革命・IoT の時代における「匠」・「匠の技」や「高度な技能」

²² 本専門部会での議論によると、AI の考え方とエンジニアリングの考え方は「真逆」とであるとされる。

は、「科学」し続けて形式知化(言語化・理論化)する努力(科学的な解明)が必須とされる。

出所：PTU 技能科学研究会編 「技能科学入門 ものづくりの技能を科学する」 2018.2.26(株) 日
科技連出版社から作成

1-5-5. 令和元年度事業での実施内容

【令和元年度事業の概要】

過去二年間の事業を踏まえ、IoT・AI 時代とは何かについて改めて検討を行い、機械工業が取り組む DX の基本的な考え方を整理した。また、検討対象の軸を「ものづくり」を強調する点におくとの観点から、単に DX ではなく、「ものづくり DX」と称することにした。ものづくり DX の具体的なイメージの明確化とともに、ものづくり DX を推進する人材像にも焦点を当てた。ものづくり DX という新時代に求められる人の役割変化とその変化にどう対応していくべきかについて検討を重ねた。そうした検討過程で明らかになってきた数々の乗り越えるべき壁についても問題として提起することにした。

【令和元年度事業の実施内容】

第 1 回（通算第 11 回）専門部会

1. 日 時：令和元年 6 月 19 日（水）15：00～17：00
2. 場 所：機械振興会館 6 階 6D-1 号室
3. 議 題：（1）最終年度（2019 年度）の検討課題について
（2）最新収集情報の報告

第 2 回（通算第 12 回）専門部会

1. 日 時：令和元年 8 月 23 日（金）14:00～17:00
2. 場 所：機械振興会館 5 階 5S-1 号室
3. 議 題：
（1）「製造業の製品ライフサイクル管理（PLM）活用によるデジタル変革とベストプラクティス」 PTC ジャパン(株) ビジネスディベロップメントディレクター・フェロー 後藤 智 氏
（2）RRI のドイツ調査報告等 水上 潔 委員(ロボット革命イニシア ティブ協議会 インダストリアル IoT 推進統括)
（3）＜討議＞ 前回議論を踏まえた今年度の取組み課題等

第 3 回（通算第 13 回）専門部会（見学会）

1. 日 時：令和元年 9 月 6 日（金）14:00～16:00
2. 場 所：ダイキン工業(株)堺製作所臨海工場
大阪府堺市西区築港新町 3-12
3. 見学先：工場の IoT 化、マスカスタマイズ生産、生産設備のモジュール化などで注目されるダイキン工業(株)堺製作所臨海工場

第 4 回（通算第 14 回）専門部会

1. 日 時：令和元年 10 月 31 日（金）14:00～17:00

2. 場 所：機械振興会館 6 階 6D-1 号室

3. 議 題：

(1) 「ジェネレーティブ・デザインを活用した設計と製造の融合」

オートデスク(株)技術営業本部 部長 加藤久喜 氏

(2) 討議：最終年度取りまとめ（たたき台）の内容検討

第 5 回（通算第 15 回）専門部会

1. 日 時： 2019（令和元）年 12 月 18 日（水）14：00～17：00

2. 場 所： 機械振興会館 6 階 6D-1 号室

3. 議 題：

(1) 動向調査報告：「IoT・AI 時代の内外動向について」

日鉄総研(株) 経済産業調査部 客員研究主幹 山藤康夫 氏

(2) <討議> 最終年度報告書取りまとめ（案）について

第 6 回（通算第 16 回）専門部会

1. 日 時： 2020（令和 2）年 1 月 16 日（木）14：00～16：00

2. 場 所： 国立研究開発法人産業技術総合研究所 臨海副都心センター別館
サイバーフィジカルシステム研究棟

（東京都江東区青海 2-4-7 産総研 臨海副都心センター内）

3. 見学概要：「サイバーフィジカルシステム研究棟」では AI 技術およびロボット技術が融合し、さまざまな機械が人と協働し、人を支援する「人・機械協働研究」を推進する。具体的には、生産分野、物流分野、創薬分野における模擬環境ショーケースを整備し、その模擬環境内における機械（加工機、ロボットなど）のみならず、作業員まで含めたサイバーフィジカルシステムを構築。これにより、環境情報・作業情報をデータ化し、AI 技術で処理することで、より効率的に生産性向上を図る。（2019.2.7 付け産総研ニュースから抜粋）

第 7 回（通算第 17 回）専門部会

1. 日 時：2020（令和 2）年 2 月 14 日（金）15：00～17：00

2. 場 所：機械振興会館 6 階 65 号室

3. 議 題： 2019 年度報告書（最終報告書）の内容について

1-6. 本報告書の構成

本報告書の構成は次図にあるとおりである。まず、第 1 章「本専門部会の前提」は、目的や事業スタンスを述べている。

第 2 章は本専門部会の標題である「IoT・AI 時代」とはそもそも何かといった考察や、昨年度から議論しているものづくり DX の捉え方（詳細は 2-1 の図 13 参照）などについて再

整理することから始めている。

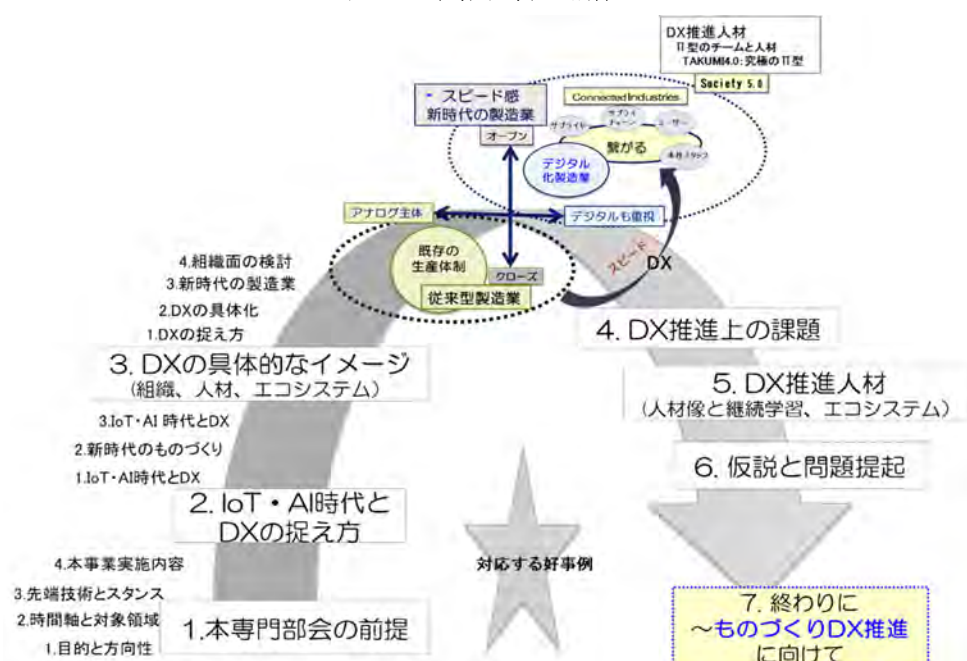
第3章は本専門部会の最大のテーマである「ものづくり DX」を具体的にどう進めていくのかに関するイメージを検討した。こうしたものづくり DX を推進するには、企画立案から具体的な実装にいたるまで人の役割が欠かせない。従来から蓄えてきたものづくりに関する知識・経験・ノウハウだけでなく、デジタルに関する知識も従来とは比べ物にならないくらい必要になる。こうした II 型の知識を獲得して実際の業務に落とししていくには組織面の見直しも必要になる。

いきなり個々人に II 型の知識を求めるというよりは、まずはチームとして集団として II 型の能力を身につけるべき。また、従来型の組織を継続運営して収益基盤を確保するミッションを負う RTB と変革を主導していく CTB を区別する視点も重要。これらが前年までの議論であった。今年度はさらに II 型チームを構築していくために必要な組織面の課題や目指すべき新しい組織の姿と RTB,CTB の議論をリンクしつつ整理・検討した。

第4章は、当面の対応として II 型チームを中心とした集団での II 型能力構築を目指す一方で、長期的には個々人の成長を支援してデジタルとものづくりの両方を身につけた II 型の人材を育成するという視点も不可欠であることから、II 型の人材像を検討するとともに継続的な学習環境の整備の必要性など、人材育成に関する課題を長期の課題として検討している。

第5章はものづくり DX を推進するための組織面や人材面の課題を検討した。

図 12 本報告書の構成



注. 上図の中央上部は、縦横二軸による四象限図をベースとしている。縦軸横軸は、それぞれものづくり DX に関する昨年度までの本専門部会での議論を踏まえている²³。ものづくり DX の基本構図は「アナログ」から「デジタル」に向かう転換・シフトであることから、これを横軸

²³ 本図中央上部の四象限図については本文で 2 章、3 章、5 章で繰り返し使用されるので詳細な説明は本文参照。

とした。従来型の製造業の特徴である自前主義やクローズといった特徴が縦軸の下に、新時代のデジタル化された製造業のキーワードである「オープン」「つながる」を縦軸の上に配した。第三象限が従来型製造業を、第一象限が「ものづくり DX」後のデジタル化された製造業を表わし、第三から第一への動きを「ものづくり DX」とした。ものづくり DX のところに「スピード」とあるのは、ものづくり DX ではスピードが何よりも重視されることを強調している。

1-7. “1.” のまとめ

- ・本専門部会は、第四次産業革命やインダストリー4.0 が脚光を浴び、とりわけ IoT や AI が注目される新時代において、機械工業を中心とする製造業が早急に取り組むべきテーマを「ものづくり DX」と名付けることにした。
- ・IoT・AI 時代とはものづくり DX を推進すべき時代と位置付け、ものづくり DX とは何かを明らかにすることを通して、求められる人材像やその確保育成策を検討する。これが本事業の目的である。
- ・検討対象はおおむね 5～10 年後を念頭に、主として生産プロセスに力点を置いた。先端デジタル技術は IoT・AI にとらわれず幅広く全体を一括してその利活用に焦点を当てた。
- ・本事業の先行事業では、インダストリー4.0 など広く海外の動向全般を調査するとともにこれからの目指すべき人材像 TAKUMI4.0 を提唱した。
- ・本事業の初年度（平成 29 年度）では、引き続き諸外国の動向をサーベイし、先進事例や特に AI に関する技術動向とその理解に焦点を当てた。
- ・二年度目（平成 30 年度）は、DX のより本質的な理解を促進するための縁として、DX による変革の在り方や取り組むべき方向性を抽象化した四象限図を検討した。同図は DX のキーワードを縦横二軸に配置することで DX の二項対立的構造化を行ったものである。
- ・三年度目（平成 31 年度、令和元年度）は、これまでの活動を総括して、本専門会の前提から IoT・AI 時代の捉え方、ものづくり DX の具体的なイメージ、ものづくり DX 推進人材のイメージを検討し、最後にものづくり DX 推進のための問題提起を行った。

2. IoT・AI時代とDXの捉え方（用語や考え方の整理）

過去二年間の活動をベースに現時点の情報を踏まえたうえで、改めて「IoT・AI時代とは何か」について、或いは、「デジタル化、デジタル・トランスフォーメーション（Digital Transformation（以後DX））とは何か」に焦点を当てつつ整理することにする。

2-1. IoT・AI時代とDX

2-1-1. IoT・AI時代とは

IoT・AI時代とは、IoT・AIに代表される技術革新の恩恵を受けられる時代。進化し続ける様々な**デジタル技術**を縦横に活用することができる時代だといえる。すなわち、機械工業の立場から見ると「IoT・AI活用時代」である。

2-1-2. 競争環境の変化

こうした技術革新の影響は、時に業種分類の垣根を越えた想定外の新たな競争相手の出現をもたらす。従来とは**競争環境**が様変わりする。既にGAFA等の巨大企業は、SNS等の分野を中心にICT系技術を駆使したプラットフォーム（事業基盤）を抑えるとともに、AI等の最新技術を駆使することによって、革新的なネットワーク型のサービスを世界中で展開している。さらに自動運転や自動配送といった分野では、サービスの範疇に留まらず、サービスの一部を担うものづくりの分野も視野に入れた活動を活発化させている。GAFA等のようなサービス業にとって、「ものづくり」はサービスを提供するための手段に過ぎないとはいえ、ICT系企業が垂直統合により、地上世界である「ものづくり分野」に進出してきた事実は重く受け止めるべきとされる。

これまで別世界であった業界や国地域が、目の前に新たな脅威として突如として出現しうる。我々はそのような時代の渦中にいる。習熟してノウハウを蓄積するのに時間のかかるものづくり技術に比べ、デジタル技術は一気に最先端に躍り出ることが可能なスピードが特徴である。デジタルの時代は新興国などのキャッチアップのみならず、リープフロッグ（一気の追い越し）までが可能²⁴な時代でもある。

2-1-3. 既に概念を論ずる段階から実装へと進展

Industrie 4.0に代表される欧米型のデジタルものづくり革命は、概念を論じる段階から実装の段階へと一段と前進しており、「日本型ものづくりの強みがかき消される危険性がある²⁵」。特に生産システムについては、デジタル技術の進展により、「生産システムの構築、改善方法が抜本的に変わりつつある」²⁶。これまでは「ライン、設備、ヒトという

²⁴ 例えばAI論文における中国勢の追い上げ（AI論文で世界一の中国、次はビジネス 研究者に聞く 2019/3/14 6:30 日本経済新聞 電子版 <https://www.nikkei.com/article/DGXMZO42409950T10C19A3X13000/>）

²⁵ 東京大学太田順教授は、R1.10.10 RRI 第31回 IoTによる製造ビジネス変革WG会合配布資料「次世代生産システムの設計・運用基盤構築と人材育成」の中で、同教授はこうしたデジタル化の流れに「生産システム技術者が追従できていない」として「D3(デジタル・トリプレット：実世界+情報世界+知識・モデル世界の3つを指す。詳細コラム3を参照)によるデジタル化の必要」性を指摘している。

²⁶ 同上

物理世界の中での生産システムの構築、改善の活動であったが、これからはデジタルを介した構築・改善に変化しつつある」²⁷。競争環境は劇的に変化していると言わざるを得ない。

2-1-4. デジタル技術の積極的取込が競争力左右

日本のものづくり産業が産業としての活力を盛り返し、さらなる成長・発展を遂げるためには、デジタル技術の積極的な取り込みとその利活用による競争力強化が不可欠である。厳しさを増すものづくり環境の制約条件や世界動向をみると、いずれの問題についてもその解決・克服のためには、デジタル技術の活用など、デジタル転換（DX）が不可欠だと喧伝されている。第四次産業革命はデジタル革命であり、DXの早急な取組み（スピード対応）が必須とされる。つまり、世界との競争に勝ち抜くにはデジタル化とネットワーク化を核とするDX（デジタル・トランスフォーメーション）による桁外れの事業と業務の両面にわたるスピード獲得が勝負の要となる。

2-1-5. ものづくりDXとは

同様にものづくり産業も「デジタル武装(デジタル化)」による事業の抜本的変革の時代を迎えている。これが「デジタル・トランスフォーメーション（DX）」である。このDXこそが製造業のパラダイムシフトの底を流れる正体である。DXはあらゆる産業において早急に取り組むべき課題とされる。医療や農業などをはじめ、物流、旅客・運輸などの移動分野、安全衛生、労働・仕事、教育、就業後の継続学習等の分野まであらゆる分野にDXの波が押し寄せている。本専門部会は機械工業を中心とした製造業を取りあつかう。そこで製造業におけるデジタル転換（デジタル化）であることを明確にするために関連する用語や諸概念を一括して「ものづくりDX」と称することにした。

2-1-6. DXとデジタル技術

第四次産業革命はデジタル革命であり、デジタルへの転換や対応が必須とされる。同様に製造業もデジタル転換（デジタル化）への早急な対応を迫られており、これは世界的な潮流である。製造企業はデジタル対応による事業の本質的な転換である「ものづくりDX」を迫られている。

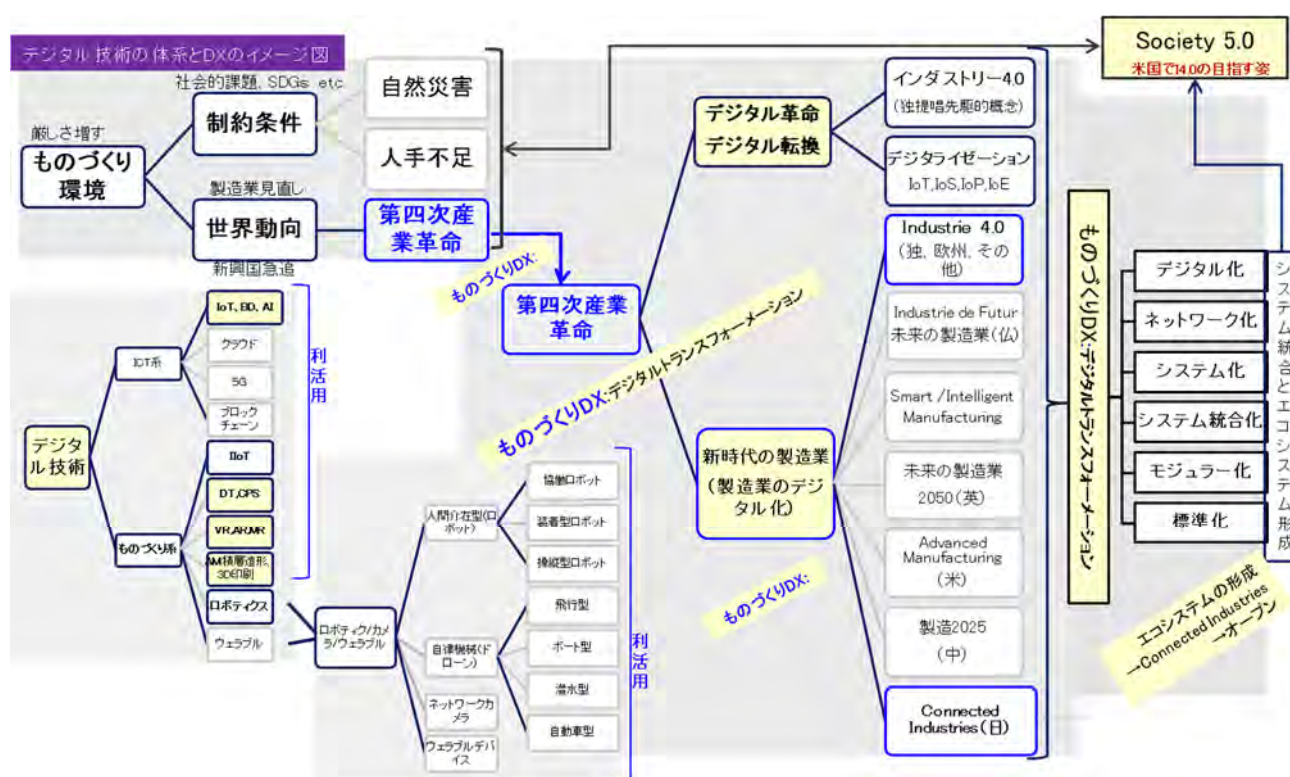
では、ものづくりDXに必要となる重要技術²⁸は何であろうか。海外のあるサイトではインダストリー4.0の流れの中で競争に打ち勝つための変革として、①人工知能、①②積層造形、③拡張現実、④IIoT、⑤協働の5つから、「もっとも適用可能な技術」を選択することの重要性が指摘（次図の注5.）されている。また別のサイトには、①ビッグデータ、②スマート工場、③CPS、④IoT、⑤相互運用性の5つがインダストリー4.0のキーとして紹介（次図の注6.）されている。両者に共通するのはIoTのみである。

²⁷ 同上

²⁸ 本専門部会委員からは「AI・IoTは、現在ハイプ曲線における失望期に位置。一般人の関心の低い内容になっていく。技術の普及・発展プロセス上の真の技術活用曲線に入る転換期という認識で技術の必要性と継続的研究を続ける必要がある」との指摘があった。

ものづくり DX には、次図に示す様なデジタル技術を自社の状況と取組み課題に合わせ適宜組合せ、活用できることが大切になる。デジタル技術とは、「AI」や「AR」のように個別の技術もあれば、「CPS」や「IoT」のようにネットワーク化されて全体をカバーするシステムとしてはじめて機能するもの、或いは「協働」や「相互運用性」のような考え方や捉え方に至るまで広範な領域を含む名称である。明らかにこれらの全てを一人で身につけることは不可能である。必然的にチームを構築し、チームの使命に沿って選択・分担（技術の「分業」）することになる。これは次図にみるデジタル技術の広範性から生まれる必然である。しかし、デジタル技術をツール²⁹として課題解決に役立てようとすると、だれにとっても全体を通底する基礎的な素養（デジタルリテラシー）が必要になる。これも明白である。

図 13 本専門部会における DX(デジタルトランスフォーメーション)の捉え方



注1. DX の背景. 厳しさを増すものづくり環境(制約条件、世界動向)は、いずれの問題についても解決・克服のためにはデジタル技術の活用が不可欠だと喧伝されている。第四次産業革命はデジタル革命であり、製造業もデジタル転換（デジタル化）への早急な対応を迫られる。これは世界的な潮流である。世界と伍していくにはそのスピードが勝負となる。

注2. デジタル化に伴うネットワーク化やシステム統合などにより、オープンイノベーションやエコシステムなどの新しい協業づくりへの踏み出しやその拡大・規模・巧拙などもあたらしい競争要因になろうとしている。企業はデジタル対応による事業の本質的な転換を迫ら

²⁹ 本専門部会では一般的にデジタル技術はツールとしてとらえようとする傾向がある。しかし、「道具としての IoT は、判りやすいが矮小な解釈の仕方である。IoT は、IT（情報技術）と OT（オペレーション技術）の融合であり、DX の概念を示したものと解釈するのが正しいのでは？ その中に道具としての AI や手段としての IoT（Internet of Things）がある。」との指摘がある。また「手探りの中で小さく始め、従業員の意識改革につなげていくツールだ」との認識や「ツールを使うことは目的ではない。あくまで手法であり、目的は別にあることを発展へとつなげる」といった指摘もある。6-3-1.で提起される「共通教科書作りにおいて活用できるデジタルツールを整理・共有化すること自体がものづくり DX を企画・推進することになる」はデジタル技術自体を整理することがツールとして使うために重要だという指摘である。

れているとの指摘³⁰もある。

注 2.DX はデジタル・トランスフォーメーションの略である。本専門部会では第四次産業革命に関連して表現されてきた様々な概念や戦略、政策、取組、呼称を一括して DX と捉えることにする。上図にあるようにデジタル革命、新時代の製造業を目指す取組、インダストリー4.0、デジタル化・ネットワーク化、様々なデジタル技術やプロセスなどを内包した用語として、DX を使用することにする。

注 3.本専門部会では第四次産業革命で要請されるデジタル化のような「〇〇化」を一括してものづくり DX と称する。その「〇〇化」のツールとしてのデジタル技術は、事業変革・プロセス変革の必要に即して適宜選択・活用される。

注 4.上図は DX がカバーする領域を概念的に表したものの。これからのものづくりは上図のような新しいプロセスや技術を実装していく必要がある。

注 5.豪州の Manufacturer' Monthly(2019.11.4)によると、競争力を維持するための変革として次の 5 つの分野から「もっとも適用可能な技術」を選択することの重要性が指摘されている。①人工知能、②積層造形、③拡張現実、④IIoT、⑤協働ロボットの 5 つ。しかしこれらの全てを一人で身につけることは不可能である。必然的にチームでチームの使命に沿って選択・分担（技術の「分業」）することになるが、いずれの場合も全体を通底する基礎的な素養は必要になる。

<https://www.manmonthly.com.au/The+top+five+technologies+of+Industry+4.0+>

注 6.ARC Advisory Group によれば、インダストリー4.0 のキーは次の 5 つだという。①ビッグデータ、②スマート工場、③CPS、④IIoT、⑤相互運用性。

出所：OTTOMOTORS COM、Five Key Industry 4.0 Technologies Jan 02, 2020

<https://ottomotors.com/blog/5-industry-4-0-technologies>

出所：諸資料及び本専門部会での議論をもとに NARI 作成

なお、ものづくりに応用されるような「デジタル技術」や関連概念をみると、上図（の注）にあるとおり、一連の人工知能（AI）、積層造形（AM、3D プリンティング）、拡張現実（AR）・VR（仮想現実）・MR（混合現実）、IIoT、協働ロボット等のロボティクス、ビッグデータ、スマート工場、スマートツール、CPS、DT (Digital Twin)、MBE (Model Based Engineering) など様々な範疇の用語が登場する。共通点はデジタルデータを扱うこと（データに基づくアルゴリズムやデータ駆動型のシステム）、ソフトウェアの役割が大きいこと、アジャイル性・スピード、相互運用性、遠隔操作性があることなどである。

特に、デジタル化によるスピードの威力や 3 次元造形力は破壊的ですからある。デジタル化による圧倒的な速さは、処理時間の短縮に留まらずコスト削減にも寄与する。これは、デジタル化がネットワークを介して「データの発生源」と「利用先」が直接つながる（中抜きできる）こと³¹による。これは、デジタル化の本質的な影響の一つだ³²という。また、AM(積層造形)の登場と実用化によって従来型加工技術では不可能な 3 次元加工すら可能になった。

こうした背景にはデジタル技術の次のような特質があると考えられている。①即共有・分析可能、②瞬時複製・瞬時移動、③高い再現性（復元性）、④ほとんどゼロの移動コスト、⑤伝送・複製による劣化極小、⑥データの蓄積容易化、⑦僅かな保存コスト、⑧仲間づくりのしやすさ。デジタル技術の特質を支えるのはソフトウェアであり、ソフトウェア技術自体の進歩である。また、ソフトウェアはそれ自体の開発は別として、既に関連された既存のソフトウェア・モジュールの組合せで対応可能な時代になっている。したが

³⁰ 日本経済新聞 R1.10.30 記事「デジタル対応 成否を分けるのは？」ボストン・コンサルティング。グループ CEO リッチ・レッサー氏インタビュー記事から

³¹ 本専門部会委員からの「2 つのデジタル化の本質的影響」に関する指摘にもとづく。一つは「データの発生源」と「利用先」が直接つながる（中抜き）効果、もう一つが「既存のソフトウェア・モジュールの組合せで対応可能」だという点である。

³² 同上

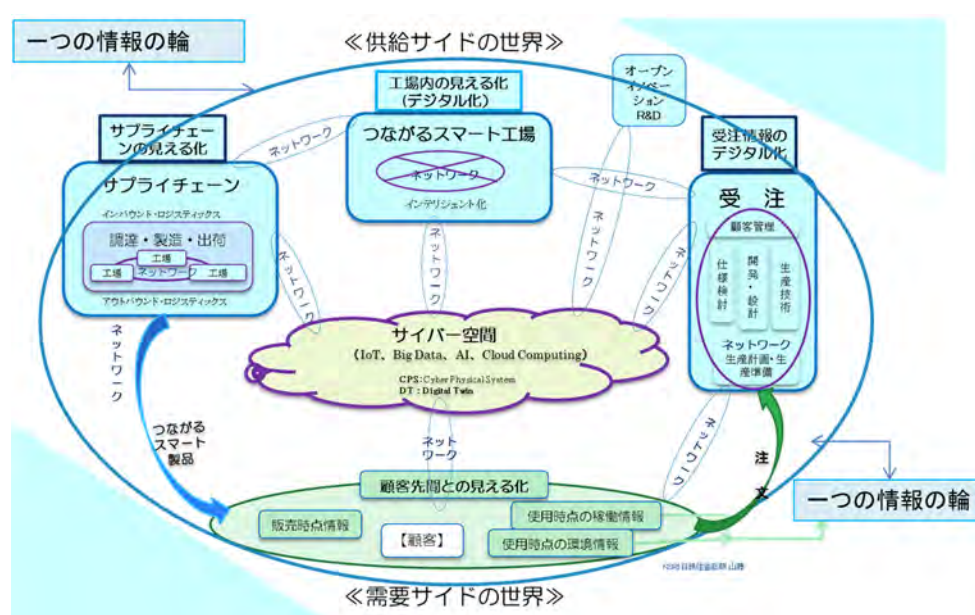
って、その**限界費用**は、限りなく小さい³³という。

ものづくり DX への挑戦は、このようなデジタル化やソフトウェアの「**本質的な変化**」によるメリットをフルに生かした**対応**によって、国際競争力を強化することにある。

2-1-7. 一つの輪でつながる DX 後の世界

DX が進み、DX が実現すると、様々なデータがデジタル化され、収集・蓄積・解析されて有用な情報が生産され共有される。そうした情報から新たな知見が生まれ、既存業務の効率化や生産性の向上のみならず、新たな**事業機会**が生まれる。データは事業上のあらゆる関係先や関係先のその先まで含めて必要に応じてつながり、解析される。瞬時に可視化され、適切な行動判断のための選択肢を提供する。

図 14 DX : 関係先が一つの情報の輪でつながる



注.ものづくり DX が究極の状態にまで進むと、顧客先からの注文情報をはじめ、様々な情報が営業、開発、設計、調達、製造、諸管理など本社や工場に留まらず、サプライチェーンのそれぞれとも繋がり合い、各所で必要な情報が共有可能になる。

- ・生産される製品・サービスも繋がる。顧客の使用状況や使用環境まで見えるようになる。販売後もサービス面など様々なつながりができ、生産した製品の生涯にわたって管理したり、規制に対応したり、トレースができるようになる。
- ・「つながるスマート工場」の完成度の高さが、QCD（効率や生産性）を左右するばかりでなく、顧客先から得られる情報の解析能力が、新たな製品サービスの開発に影響し、競争力を左右する。
- ・上図は DX により出来上がる姿を「情報」をキーにしてイメージした「環」を表している。

出所：日機連、平成 28 年度「世界の製造業のパラダイムシフトへの対応調査研究」の p 62 図表 36 をもとに一部改変したもの

ものづくり DX のおかげで製造業には様々なつながりが生まれる。センサー、ロボティクス、BD (Big Data)、コントローラ、機械学習が連携できる。製造に係るサプライチェーンと製造工程の中でもデジタル連携が加速し、多くの反復的な作業が自動化され、効率

33 同上

的で生産性が増大した製造現場であるスマート工場に生まれ変わる³⁴。

このつながりは、製品設計、開発、調達、生産、出荷、顧客関係をネットワークで結びつけ、データの解析や可視化により新たに生産された情報を活かすことで、業務の効率性と業務プロセス自体の最適化をもたらす。同時に全体のバリューチェーンの中から、データという事実に基づいた「真相」を見出すことが可能となり、業務プロセスの課題やビジネスモデルの見直しのヒントが生まれ、事業再構築が可能となり、競争力の毀損を防ぎ、さらなる発展の基盤を強化することができる³⁵。

2-1-8. 協調領域の拡大（『つながる』世界の拡張）の重要性

繋がった全体の最適化によって付加価値の増大とその極大化を図ること³⁶が期待される。しかし、繋がるためにはその前提としてつながるべき部分とつながるべきではない部分の峻別が求められる。特に企業間をつなげるには**協調領域**³⁷を如何に切り出すかが重要になる。（cf.AICE の事例⇒次のコラム参照）このように IoT・AI の時代は「どことどのようにつながるか」が重要である。その結末が「エコシステム」という新しい企業・組織間関係である。R&D 面に着目すると「オープンイノベーション」の世界になる。早急な取組みが求められる。（cf.AICE） また、ネットワーク効果を勘案すると、エコシステムは大きければ大きいほどその効果は大きくなる、繋がる世界を拡張する**協調領域の拡大**が重要である。

参考 7 従来の壁を破って協調領域での各社協調を実現した例（AICE）

AICE(アイス)：自動車用内燃機関技術研究組合

The Research association of Automotive Internal Combustion Engines

設立：平成 26 年 4 月 1 日

組合参加企業

いすゞ自動車(株)、スズキ(株)、(株)SUBARU、ダイハツ工業(株)、トヨタ自動車(株)、日産自動車(株)、(株)本田技術研究所、マツダ(株)、三菱自動車工業(株)、国立研究開発法人産業技術総合研究所、(一財)日本自動車研究所（9 企業 2 団体）

研究テーマ：「内燃機関の性能向上技術の基礎・応用研究」

- ・ 自動車用内燃機関の排気後処理技術の高度化研究
平成 26 年度から平成 28 年度の 3 年間で行ってきた研究事業（クリーンディーゼルエンジン技術の高度化に関する研究開発事業）で得られた成果を更に発展・拡大させるための研究を進める。公募により共同研究企業（自動車部品メーカー、計測器メーカー等）を募り、各分室及び大学委託により産学連携して共同研究を進め、産業界での開発効率化に資する成果導出を目指す。
- ・ 自動車用内燃機関の燃焼技術の高度化研究
SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）革新的燃焼技術の研究実施大学と連携して研

³⁴ 本節は IFS 社の 2016 年白書「デジタル・トランスフォーメーションと製造業 今なすべきこと」を参考にした。

³⁵ 同上

³⁶ CTI Digital の Director Paul Johnson 氏は、The Drum Network の “Automation and employment: How universities must respond to Industry 4.0” の記事の中で、「孤立は進歩の敵であること」を肝に銘じ、「プロセスとシステムが接続され、一貫していること」を確認すべきと主張している。
<https://www.thedrum.com/opinion/2020/01/30/automation-and-employment-how-universities-must-respond-industry-40>

³⁷ 前頁脚注参照

究を進める。

- ・モデル活用戦略調査

排気後処理技術の高度化研究及び燃焼技術の高度化研究の成果の一部であるシミュレーションモデルを、共通プラットフォームに搭載し、産学で有効に活用するための調査・検討を進める。

- ・エンジン性能調査

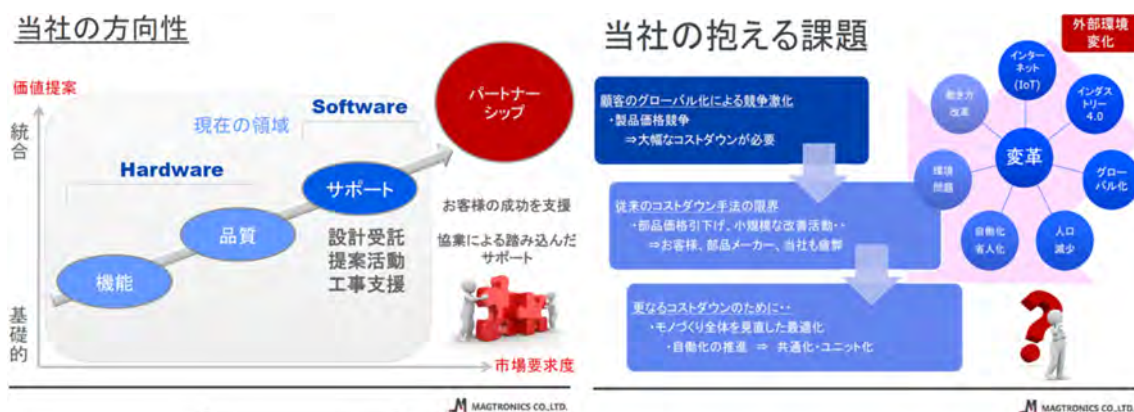
海外車種のエンジン性能調査として、車両及びエンジンの排出ガス、燃費、エネルギーフロー等の試験を行う。また、エンジンの各部品の摩擦力測定の実験を行う。

注.自前主義の典型的な業態とみられやすい自動車業界にあって、「内燃機関の性能」というキーとなりうる技術面において、各社の垣根を乗り越えて基礎・応用研究面での協調を実現した。さらに、成果を出しているとされる事例。競争一本槍とみられていた同業界にあって、協調領域をどう切り出すかに明るいヒントを与えた画期的な事例。

出所：AICE の HP から <http://www.aice.or.jp/about/index.html>

また、限られた経営資源を前提とし、グローバル市場での激しい国際競争に対応するためには、協調領域拡大に向けた努力が不可欠である。次の事例は、ドイツの製造受託会社の例である。同社が抱える課題にどう取組むか、その方向性を示している。同社は、環境変化に対する個社対応の限界から、サプライチェーンでの協業によるものづくりコンセプトの変革にまで踏み込んでいる。

図 15 個別対応の限界を協業により突破した事例（ドイツマグトロニクス社）



実現に向けた道のり



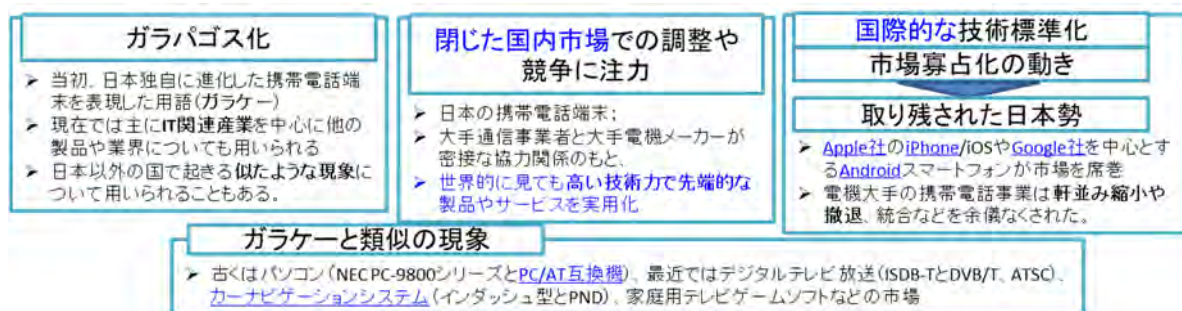
注.同社は、顧客のグローバル化による競争激化から製品価格競争に巻き込まれ、大幅なコストダウンを余儀なくされる。しかし、部品価格の引き下げや小幅な改善活動に励んだものの限界に突き当たる。そこでサプライチェーン全体の見直しと関係企業への粘り強い説得を行う。各社間で共通化・ユニット化を実現。こうして協業による踏み込んだサポートを可能とし、顧客の成功を支援する体制を構築することで、コスト引き下げの限界を突破することができた。

出所：「製造受託会社の課題解決に向けた取組み」株式会社マグトロニクスジャパン 代表取締役社長菅正彦～同社事業：工作機械・産業機器制御盤、操作盤 ケーブル・ハーネス加工
https://japan.ahk.de/fileadmin/AHK_Japan/3_Event/s/31_Veranstaltungen/2018/1107_BayernForum/3_Magtronics_JP.pdf

次は、高い技術水準と先見の明を持ちながら、国際的な技術の標準化や市場の寡占化の動きから取り残された事例を取り上げる。こうした現象はガラパゴス化と称される一連

のケースで観察されている。次図は「ガラケー」が海外製のスマホに駆逐された現象を整理したものである。

図 16 ガラパゴス化と国際標準の事例



出所：IT用語辞典 e-Words

<http://e-words.jp/w/%E3%82%AC%E3%83%A9%E3%83%91%E3%82%B4%E3%82%B9%E5%8C%96.html>

また、最近の人手不足を補う試みとして警備ロボを導入する動きがみられる。ビルの警備の役割を、警備ロボが担う。警備ロボは複数フロア間を移動する。フロア間の行き来にはエレベーター側のサーバーとロボットの制御盤の間でデータのやり取り（通信）が必要になる。データをつなぐためには関係企業がそれぞれ自社固有のデータ情報を提供し合わなければならない。人手不足への対応の可否は、関係企業間における連携と協調の成否が握っている事例³⁸である。まさに自前主義の殻を打ち破れるかが問われている。

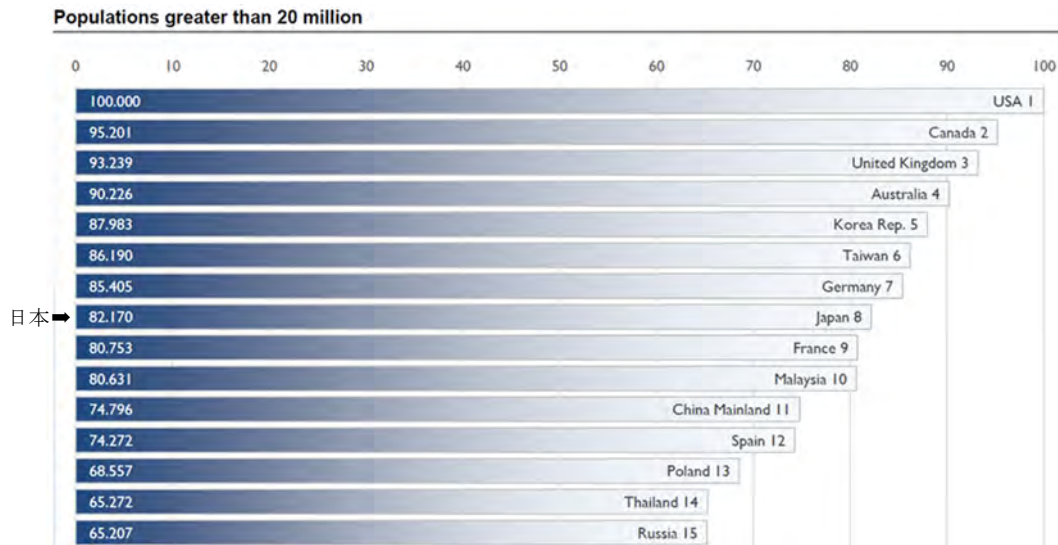
2-2. ものづくり環境の吟味

2-2-1. 国際ランキングから見た日本の現況

IMD はスイスの経営大学院である。1989 年以来、様々な国際競争力指標を発表している。その中に、デジタルランキングとタレントランキングがある。まずデジタルランキングを見ると、日本は 2019 年版で 23 位。2018 年の 22 位から一つランクダウンしたが、2017 年の 27 位からはランクアップしている。また、人口 20 百万人以上での比較では第 8 位となっている。デジタルランキングは、デジタルに関する「知識面」「技術面」「態勢面」の 3 つの指標から評価され、特に「事業の迅速性(55 位)」「規制の枠組み(40 位)」辺りの評価が低い。

³⁸ 日経ロボティクス 3 March の.56 (2020.2.10) p 16～p 21 から NSRI 作成

図 17 IMD の国際デジタルランキング(2019 年)



注.IMD 国際デジタルランキングのうち、人口 20 百万人以上という枠組みの中での国際比較。日本は第 8 位。トップは米国、次がカナダ、英国、豪州、韓国、台湾、ドイツ、その次が日本となっている。

出所：IMD の下記サイトから

<https://www.imd.org/wcc/world-competitiveness-center-rankings/world-digital-competitiveness-rankings-2018/>

参考 8 IMD の国際デジタルランキングの測定方法

	知識面	技術面	態勢面
主要因	新技術を発見したり、理解したり、打ち立てたりするためのノウハウ	デジタル技術を開発していきけるような全般的な文脈	デジタル変換を活用できるための国レベルでの備え
副要因	➢ 才能 ➢ 教育・訓練 ➢ 科学的な集中	➢ 規制の枠組み ➢ 投下できる資本 ➢ 技術的な枠組み	➢ 適応性のある態度・姿勢 ➢ 事業の迅速性 ➢ IT の統合

注.IMD 国際デジタルランキングの測定方法を見ると、3 つの指標（主要因）とそれぞれの副指標（副要因）、さらに細かな指標（要因）と順々に細分化して評価・配点され、これらを加算・総合したものが総合ランク値となる。その大小順がランキングに反映される。

出所：IMD の下記サイトから

<https://www.imd.org/wcc/world-competitiveness-center-rankings/world-digital-competitiveness-rankings-2018/>

次にランキングを構成する 3 つの指標それぞれの副指標に注目し、日本の評点の特に高い点と低い点に焦点を当てたものが次の表である。

ナレッジ指標（知識面）の副指標をみると、他国比特に目立つのは、才能面では「国際的な経験」「外国高度人材」が、また、教育訓練面では「教育投資」の不十分さや「科学専攻卒業生」が、科学的集中の面では女性研究者などが各国比劣位にあることである。また、テクノロジー指標の副指標をみると、資本面では「通信」への投資が、技術の枠組み面では「通信技術」が弱みとされている。将来への備え指標の副指標をみると、事業の迅速性面では「企業の迅速性」と「BD とデータ分析の浸透度」が、評価対象国・地域中の最下位という結果になっている。

日本の強みは、総じて「ハイテク特許取得」や「教育や R&D におけるロボット台数」、

「PISA の数学」、「ソフトウェアの著作権」などであり、それぞれ世界のトップクラスの評価があるにもかかわらず、よりイノベーションに密接な事業の迅速性、規制の枠組みといった点で大幅に劣後しており、弱みとなっている。

参考 9 IMD の国際デジタルランキング（ナレッジ指標の分野）

才能	教育訓練	科学的な集中
弱み：低評価項目	弱み：低評価項目	弱み：低評価項目
- 国際的な経験 - 外国高度人材	- 教育に占める公的支出額 - 科学専攻の卒業生	- 女性研究者 - 科学技術雇用者
強み：高評価項目	強み：高評価項目	強み：高評価項目
- PISA の数学 - 都市経営	- 先生生徒比率（大学および職業専門教育） - 従業員訓練 - 高等教育機関成就度合 - 女子の学位比率	- ハイテク特許取得 - 教育や R&D におけるロボット台数 - R & D 支出比率

注.国際人材のサブファクターの国際的な経験(63/63 か国等)、外国高度人材(60/63 か国等)、一方、高等教育における先生・生徒比率は全地域中の 1 位

参考 10 IMD の国際デジタルランキング（テクノロジー指標の分野）

規制の枠組み	資本	技術の枠組み
弱み：低評価項目	弱み：低評価項目	弱み：低評価項目
- 移民法 - 起業のしやすさ - 科学研究のための立法	- 通信への投資 - 銀行・金融サービス - 科学専攻の卒業生	通信技術
強み：高評価項目	強み：高評価項目	強み：高評価項目
どのサブファクターも 30 位超	IT メディア株式市場の資本化	- 移動体通信申込者 - 広帯域無線通信 - インターネットの利用者

注.規制の枠組みのサブファクターの移民法(56/63 か国等)、資本における通信投資が 57 位/63 か国等) 一方、移動体通信申込者では全体の 1 位。

参考 11 IMD の国際デジタルランキング（将来への備え指標の分野）

変化適応姿勢	事業の迅速性	IT 統合
弱み：低評価項目	弱み：低評価項目	弱み：低評価項目
グローバリゼーションの受け入れ姿勢	- 企業の迅速性 - 脅威と機会 - BD とデータ分析の浸透度	サイバーセキュリティ
強み：高評価項目	強み：高評価項目	強み：高評価項目
デジタル参加率	ロボットの普及度	- ソフトウェア著作権 - 電子政府

注.事業の迅速性のサブファクターの企業の迅速性、脅威と機会、BD とデータ分析の浸透度はいずれも全体の最下位(63/63 か国等)、一方、IT 統合におけるソフトウェア著作権では全体の 2 位。

出所：IMD の下記サイトから

<https://www.imd.org/wcc/world-competitiveness-center-rankings/world-digital-competitiveness-rankings-2018/>

2-2-2. 不確実性の増大

近年、米中対立などに代表される地政学的リスクの増大とともにグローバリゼーションの挫折論が浮上している。また、自然災害の脅威は日増しに強まりを見せ、国内の人口動態も同様に予測を上回る減少が顕著になりつつある。このように不確実性はますます増

大すると見込まれる。そこで関連するキーワードを挙げてみた。主な項目³⁹は以下の通りである。

グローバル化の挫折と地政学リスク

米中対立と新冷戦、中国製造 2025 と一帯一路、米国ファーストの動向と NATO（米欧関係）のほか、Brexit など欧州等の反移民の動きがある。また、地域紛争では、中近東から南アジア、東アジア（中国内陸、朝鮮半島）まで目が離せない。資源ナショナリズムも目に付く。2019 年 12 月に中国武漢で発生した**新型コロナウイルス**は、世界で猛威を振るっており、国際間の人的移動や物流に大きな影響を及ぼしている。こうしてグローバル・サプライチェーン（SC）は寸断リスクにさらされ、リバンドル化、リショアリングの動向とその行方が注目される。

自然災害の脅威

近年の目に見える異常気象の蔓延と地球温暖化のほか、地震・津波・台風、噴火・洪水といった自然災害のリスクは依然として要警戒レベルが続く。さらに、上記新型コロナウイルスのような**パンデミック**⁴⁰も現実の脅威になっている。

新経済成長ガイドンス

サーキュラー経済のほか、SDGs など企業経営を取り巻く制約は大きい。

国内の人的資源問題

国内の生産年齢人口は減少に転じている。こうした量的問題ばかりでなく、人材の質の面でも PISA の国際ランクの急落、デジタル対応教育導入上の問題、外国人労働と外国人二世教育・就業など問題は山積している。

こうした不確実性の時代に求められる経営指針として唱導されているのが「変動対応力」であり、「ダイナミック・ケイパビリティ（DC）」である。環境変化に対応するために、組織内外の経営資源をスピーディーに再結合・再構成する経営能力や組織能力が競争力の源泉になる⁴¹。DCに必要な三つの能力として次の3つが挙げられる。①Sensing：脅威や機会の感知、サプライチェーンデータの収集・連携、AIによる予測・予知能力、②Seizing：機会を補足し資源を再構成・再結合し、競争優位を獲得して工程設計やシミュレーションといったEC(Engineering Chain)の設計・開発能力、③Transforming：競争優位性を持続可能なものにするために組織全体を変容する変革力が挙げられる⁴²。生産、経営の双方にわたるプロセスの理解が事業プロセス改善のカギである。組織は、理解してい

³⁹ RRI 第3 2回 IoTによる製造ビジネス変革WG 会合 2019.12.04 での経済産業省製造産業局参事官中野剛志氏ご講演と配布資料「資料3」～“Connected Industries”政策の新展開～を元に NSRI 作成

⁴⁰ 世界保健機関（WHO）テドロス事務局長は、2020 年 3 月 11 日、「新型コロナウイルスはパンデミックと言える」と述べ、新型コロナウイルスの世界的な感染拡大について「パンデミック」を宣言した。
<https://www.cnn.co.jp/world/35150674.html>

<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20200312/k10012326751000.html>

⁴¹ RRI 第3 2回 IoTによる製造ビジネス変革WG 会合 2019.12.04 での経済産業省製造産業局参事官中野剛志氏ご講演と配布資料「資料3」～“Connected Industries”政策の新展開～を元に NSRI 作成

⁴² 同上

ないプロセスを改善することはできないとされる⁴³。

2-2-3. 現代の四面楚歌

ものづくりを取り巻く環境について、企業環境ベースと企業経営ベースに分けて考察する。前者はものづくり企業の危機であり、後者は製造業の危機である。

【企業環境ベース】

企業環境ベースではまず、「世界市場分断のリスク」が挙げられる。米国ファーストと中国製造 2025、および一帯一路などによる米中摩擦の激化、英国の EU 離脱（ブレグジット）、NATO と米国の関係、各地における地域紛争、資源ナショナリズムなど様々な地政学的リスクの増大を背景に、リバンドル・リショアリングの動きなどに、新たに新型コロナウイルスによるパンデミックが加わり、グローバル・サプライチェーンをめぐる環境は様変わりしつつある。

図 18 就業者数の見通し（万人）

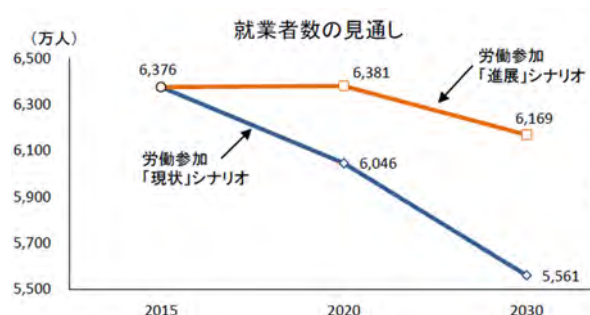
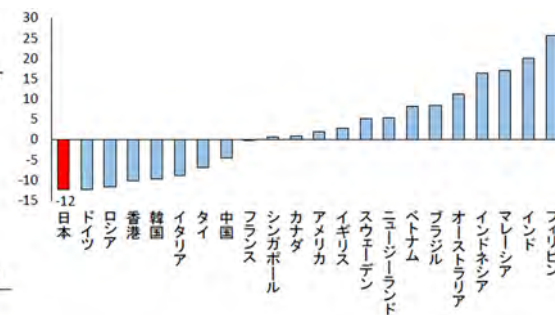


図 19 15～64 歳人口の変化率（%、2015～2030 年）



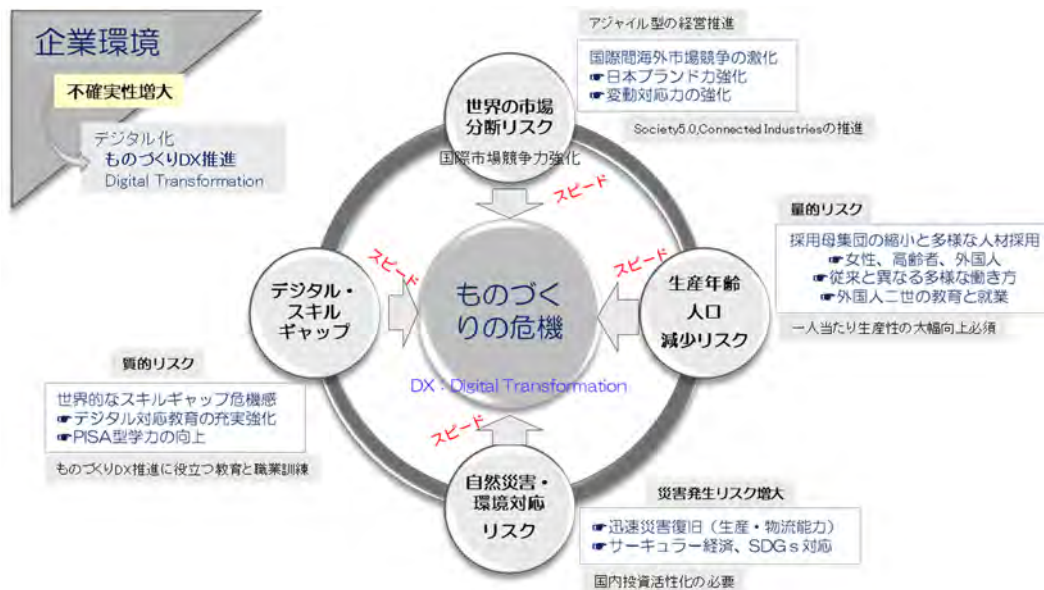
（左図出所）総務省「労働力調査」、J I L「平成 27 年労働力需給の推計」

（右図出所）日本は、総務省「国勢調査」、国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口（平成 24 年 1 月推計）」、他国は、J I L「データブック国際労働比較 2016」

生産年齢人口はすでに減少しており、2030 年にかけて減少が加速。国際的にみても、日本の生産年齢人口の減少率は大きい。これが次図の「生産年齢人口減少リスク」である。同図の「自然災害・環境対応リスク」は、近年の異常が恒常化しつつある現状を踏まえると、迅速災害復旧（生産・物流能力）やサーキュラー経済、SDGs 対応が制約条件として無視できない。「デジタル・スキルギャップ」については、デジタル対応教育の充実強化や PISA 型学力の向上のみならず、本事業のテーマである「ものづくり DX」推進に役立つ就業能力を高める教育と職業訓練が円滑に進めることができるかという懸念である。世界の多くの国がスキルギャップに対する強い危機感を共有している。

⁴³ 同上

図 20 現代の四面楚歌（企業環境ベース）



出所：本専門部会の平成 30 年度報告書をもとに、諸資料を勘案して作成

【企業経営ベース】

企業経営ベースの脅威をみると、次図の四つを挙げることができる。まず、デジタル系企業の垂直統合化の動き（次図の 12 時のところ）である。これは、デジタル企業の代表である GAFA 等による自動運転やドローンによる配送システムの構築、実店舗への進出などの動きに顕著である。GAFA 等（この四社のほか BAT などの中国勢も含める）については、A.地上の支配力、B.地上の垂直統合、C.地上進出に焦りといった表現がメディアの見出しになる。いずれも ICT 系の世界が目に見えない空中の話だとすると、ものづくりは地上にあって目に見えるという含意を含む。

例えば、Amazon による支配という表現をみると「アマゾンにはマザーボードという経済の基盤となるインフラ部分をコントロールしようとしている⁴⁴。」などその脅威を取り上げている。また、近年の巨大 IT 企業や DX が進んだ企業は「垂直統合」を志向しているとの指摘⁴⁵もみられる。一方、この動きは、ものづくりの取り込みが思うように進まないで「焦っている」という捉え方⁴⁶もある。

次に、欧米先進国企業による素早いデジタルプラットフォーム構築の動向（同図の 3 時のところ）である。クラウドコンピューティングを活用してプラットフォームの囲い込みが始まっている。DX の急速推進に関する欧米先進企業の動きは迅速を極める。これは対 GAFA 危機感から DX へ邁進せざるを得ないという事情から変革への抵抗感が小さい

⁴⁴ 次のサイト参照

https://motherboard.vice.com/en_us/article/7xpgvx/amazons-is-trying-to-control-the-underlying-infrastructure-of-our-economy

⁴⁵ METI 中野参事官の R1.12.4 RRI WG 会合 資料 3 の p 15

⁴⁶ グーグル副社長からパナソニックに移った松岡洋子氏：NHK “Yoky” がパナソニックを変える？2019 年 12 月 5 日の NHK オンライン

のではと考えられる。

図 21 現代の四面楚歌（企業経営ベース）



注. 本文中の「A の Amazon による支配」という表現、Amazon Is Trying to Control the Underlying Infrastructure of Our Economy - Motherboard

https://motherboard.vice.com/en_us/article/7xpgvx/amazons-is-trying-to-control-the-underlying-infrastructure-of-our-economy

注.B.近年の巨大 IT 企業や DX が進んだ企業は「垂直統合」を志向。(METI 中野参事官の R1.12.4 RRI WG 会合 資料 3 の p 15 から)

注.C.一方、この動きは、ものづくりの取り込みが思うように進まないで「焦っている」という捉え方もある。これは協業の芽？となりうる。(グーグル副社長からパナソニックに移った松岡洋子氏：NHK オンラインの 2019 年 12 月 5 日の記事「“Yoky” がパナソニックを変える？」から)

注.Connected Industries の理論的基礎～「共特化」の原理：社内外における相互補完関係による価値創造 (METI 中野参事官の R1.12.4 RRI WG 会合 資料 3 の p 15 から)

注.不確実性の高まりや重層的政策不確実性と米中等地政学リスクの高まりなどを映じて、グローバル化を前提としたモジュラー型ビジネスモデルは、システム的な変化に脆弱である。これが「モジュラリティの罠」である。これへの対応は、ダイナミック・ケイパビリティの強化（～変動対応力）が必要。(METI 中野参事官の R1.12.4 RRI WG 会合 資料 3 の p 15 から)

注.製造業のサービス化とは、消費市場への垂直統合のこと。(METI 中野参事官の R1.12.4 RRI WG 会合 資料 3 の p 15 から)

注.ダイナミック・ケイパビリティ⁴⁷が低い企業が、自前主義路線をとると失敗する。自社不足分は、他社との連携・協調・Open Innovation で補完するのが合理的。(METI 中野参事官の R1.12.4 RRI WG 会合 資料 3 の p 15 から)

出所：本専門部会の平成 30 年度報告書をもとに、諸資料を勘案して作成

三つ目が途上国や新興国の急激な変化（同図の 6 時のところ）である。アナログ時代のゆっくりとした時間の流れとは画然と異なるデジタルスピードの速さである。先進国であれば新旧機械・システムの混在は当たり前であり、こうした土壌を変革することは難事である。しかし、そうした遺産がないところでは遺産があるが故のわずらわしさが不要である。最初から理想的な最新の機械システムを構築することができる。また、デジタル化は従来の工業化では大規模な資本投下とその養成に多大な時間のかかる熟練技能が不可欠であった。しかし、デジタル化の取り込みは資金も時間も工業化と比べれば圧倒的に桁

⁴⁷ ここでいうケイパビリティとは「組織能力」の意。ダイナミック・ケイパビリティとは不確実な変動に対して迅速に対応できる組織能力を指すと考えられる。

が少なく済む。特にデジタルの最新システムは導入しやすい。東南アジア、南アジア、中近東、アフリカの各地域においては、デジタル化により一気にフロントランナーに浮上する可能性が否定できない。人口規模が大きく、市場としても急浮上している。新興国や途上国による「リープフロッグ（一足飛び）」が「想定外」とならないように備えなければならぬ。

四つ目が中国の動向（同図の 9 時のところ）である。「製造大国から製造強国へ」を掛け声として、米中摩擦でも名指しされた「製造 2025」戦略を打ち出し、量から質への大転換と製造強国の実現を標榜してオール国産化を目指す中国。未来の産業を、いち早くデジタルで創出するとともに、既存産業のデジタル化も併せて進める。すでにキャッシュレスや電動車の生産などで先頭を走り始めている。国策による資金力・研究力とそれを支える決断力は突出している。

このように、機械工業を中心としたものづくり産業は、従来にない米中摩擦等の国際間の地政学的かつ重層的な不確実性の高まりの下、経済を支える土台として柔軟かつ臨機応変に変動に対応していく能力の構築を迫られている。

2-3. IoT・AI 時代のものづくりとは

IoT・AI 時代とは、ものづくりの競争環境において、その不確実性がかつてない高まりをみせるなど、劇的環境変化に直面する時代である。製造業はそのような変動にも柔軟に弾力的に対応することが求められる。変動対応ニーズに応えうるとして注目を集めるのが、AI などの「デジタルツール」である。デジタルを使いこなすためには、人も組織もデジタルの特性に合わせた変革が求められる。これがデジタル変革であり、変革の波と流れがデジタル・トランスフォーメーション（DX）である。

すなわち現代は DX をいち早く進めることが必須の時代である。ここに製造業の**パラダイムシフト**の本質がある。我が国は 2016 年に **Society 5.0**⁴⁸を発表した。これはデジタルツールを使いこなすことによって、様々な社会課題に応えられる社会づくりを目指す考え方である。そのためには産業がデジタル化され、相互に繋がり合う **Connected Industries**⁴⁹を推進する必要がある。いずれも AI(人工知能)の活用や産業 IoT などを駆使することが前提とされている。第四次産業革命、あるいは新産業革命、インダストリー 4.0 などと称される所以である。

以後、IoT・AI 時代を DX 時代、あるいは新時代、IoT・AI 活用時代とも称する。DX は現に医療や農業なども含め、様々な分野で取り組まれている。本事業では製造業（主に生産プロセス）に的を絞る。他分野の DX との区別を明確にするため、「**ものづくり DX**」

⁴⁸ Society 5.0 は、狩猟社会 (Society 1.0)、農耕社会 (Society 2.0)、工業社会 (Society 3.0)、情報社会 (Society 4.0) に続く、新たな社会を指すもので、第 5 期科学技術基本計画において我が国が目指すべき未来社会の姿として初めて提唱された。https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/index.html

⁴⁹ Connected Industries は、2017 年 3 月開催のドイツ情報通信見本市で提唱された。第四次産業革命による技術の革新を踏まえて、「Society5.0」を実現していくため、様々な繋がりによって新たな付加価値の創出や社会課題の解決をもたらすための取り組み。

https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/connected_industries/index.html

と称することにした。以下ではその具体像を検討する。

2-3-1. 従来のキーワード

我が国は、「ものづくり大国」と自らを称してきた。しかし、CAD,CAM,CAE や MES など「ものに係るデジタル技術」の大半は海外製である。

参考 12 Industrie4.0 の先駆けとしての IMS (知的製造システム)

「ものに係るデジタル技術」の大半は海外製であるが、振り返ると既に、1989年に吉川弘之元東大総長の提唱による先端製造技術分野の国際共同プログラム IMS(Intelligent Manufacturing Systems:知的製造システム)という取組があり、日本では1995年から2010年までの15年間活動が続けられた。一方、IMS自体の活動はその後海外で続けられている。但し、世の注目度合という視点からみると主流はドイツに移り、インダストリー4.0が世界に広く流布された。このプログラム(IMS)はIndustrie4.0の先駆けとなるものであった。

出所：IMS(Intelligent Manufacturing Systems 製造科学技術センター
(<http://www.mstc.or.jp/business/ims/docs/ims20nenshi.pdf#search=%27IMS%28Intelligent+Manufacturing+Systems%27>)、研究開発：日立(https://www.hitachi.co.jp/rd/portal/glossary/en_i/ims.html)
のほか、http://dndi.jp/12-furukawa/furukawa_5.php や <https://www.ims.org/> などから NSRI 作成

また、従来のものづくり産業のキーワードは、「匠」「匠の技」「こだわり」「現場力」「現場の知恵」「擦り合わせ」などが挙げられる。主に、暗黙知に通じる特性が顕著である。一方、デジタル技術はその多くが形式知に属する。DXの要であるデジタル化は形式知化に近い概念である。従来のものづくりに関するキーワードの多くはデジタル化との親和性に乏しいことが特徴である。ここにものづくり DX に取り組む壁（ギャップ）が潜む。

コラム 1：新しいものづくりの在り方に関する発信力如何

- 我が国からは、インダストリー4.0やインダストリアル・インターネットのような新しいものづくりのあり方を発信できなかった。(東大、人工物工学研究センター梅田靖教授)
 - －標準化を通じた、企業間をまたがるネットワーク化、情報化に追従できていない、企業の壁を越えられなかった
 - －工場の中で、必要なものは既に全て自動化され、デジタル化されている
 - ・しかし、外につながらっていない
 - ・個社のやり方を自動化、情報化したので、汎用的なフレームワーク、プラットフォームを作れなかった

出所：東京大学大学院工学系研究科 人工物工学研究センター梅田靖教授、「次世代生産システムに向けた「デジタル・トリプレット」という考え方」、R1.10.10 RRI 第31回 IoTによる製造ビジネス変革WG会合配布資料から。なお、同資料からは、「標準化」「企業の壁」「外につながる」「個社のやり方」「汎用的」といったキーワードを拾うことができる。

2-3-2. DX時代のキーワード

DX時代(IoT・AI時代)のものづくりは、産業として生き残り、更なる発展を遂げるためには、新時代に即した変革を経て生まれ変わることが必要である。ここではものづくりDX(デジタルトランスフォーメーション)という文脈の中で、変革に係る諸側面から重要なキーワードを抽出していく。

2-3-2-1. オペレーション・マネジメントの変革

トヨタ生産方式は、米国の研究者によって調査研究・体系化され、さらに新しい考え

方が付加されて「リーン生産方式」として知られる。今や世界中の製造業は言うに及ばず、医療などのサービス業にまで適用され応用されている。「リーン生産方式」は現場を抱える企業の標準と化している。この「リーン」という考え方そのものが、シリコンバレーなどの ICT 系スタートアップ企業にも浸透し、新たに「リーンスター트업」として理論化されるに至った。リーンスター트업の考え方は DX を進める GE 社などの製造業界にも逆輸入されつつある。ここにもものづくりからデジタルへの影響が再びデジタルからものづくりに跳ね返ってきたという両者融合の芽をみることができる。

2-3-2-2. インダストリー4.0、新しいものづくりへの変革

インダストリー4.0 という「新しいものづくり」の特徴は、戦後の日本が築き上げてきた「暗黙知の強み」に対して、「デジタル技術を活用しながら形式知化を進める」という流れを強いることにある。その DX の迅速な実現が、これからの産業競争力として世界に広く認識されるようになっていく。製造現場等の暗黙知の優秀さでは日本が先頭を走っていたといわれている。しかし、インダストリー4.0 やスマートマニュファクチャリング、先進製造(Advanced manufacturing)で志向していることは、そうした人間の暗黙知を上回るスマート化、インテリジェント化を実現することである。ものづくり面の DX を進め新しいものづくりへの変革（ものづくり DX）は待ったなしだといえる。

ドイツでは DX により「リーン生産方式レベル」の製造業（この段階を論者によってはインダストリー2.5 とする見方⁵⁰もある）から、さらなる高みとしての「インダストリー4.0」への移行が重視され、もはや概念を論じる段階からいかに早く実装を終えるかという段階にきており、関心は中小企業への普及率⁵¹にある。

単に工場や機械装置などへのデジタル技術の導入・活用にとどまらず、「モノを作って売る」という段階から、販売後の「モノの機能を基点とした様々なサービス」を展開するインダストリー4.0 の世界へのシフトが重視される⁵²。そこでは、顧客の真に必要な本質的なニーズに長く付き合うことにより、製品寿命が尽きるまで、極力長い期間にわたり、価値を生み出し続けられる仕掛けを設計段階から組み入れていくこと⁵³が求められる。

2-3-2-3. 製造業のサービス化、コトづくり

「製造業のサービス化」とは「ものづくり＝ものの消費（所有価値）」から「コトづくり＝コトの消費（使用価値）」への流れでもある。但し、「もの」と「こと」は別物ではな

⁵⁰ “4th Industrial Revolution will inevitably cause major shifts” By Isaac Cheifetz PACE OF CHANGE July 26, 2019 — 2:10pm

<http://www.startribune.com/4th-industrial-revolution-will-inevitably-cause-major-shifts/513206192/>

⁵¹ 独 creditshelf AG のオンライン調査 3 回連続の研究「産業 SME と資金調達 4.0」（中規模の工業企業の計 259 人の財務上の意思決定者対象）によれば、「最も重要な運用データが利用可能で、サービスおよび保守契約の枠組み内で使用可能な製品の装備率」は、2017 年 34%、2018 年 44%、2019 年 53%と上昇している。<https://www.altfi.com/wire/683>

⁵² これが ICT とデジタルの違いだと指摘されている。（一橋大学神岡太郎教授「やさしい経済学」日経新聞、H30.12.10~12.14 など）

⁵³ コロンビアビジネススクールの論文には「高価な固定資産の稼働率改善の必要性」が指摘されている。

Aug 6, 2019, 08:10pm “The Future of Manufacturing Technology” Columbia Business School - the Eugene Lang Entrepreneurship Center Columbia Business School - the Eugene Lang Entrepreneurship Center
<https://www.forbes.com/sites/columbiabusinessschool/2019/08/06/the-future-of-manufacturing-technology/>

く、深く関連している。「もの」は「こと」の前提条件として存在する。「もの」があつて初めて使う（使用する）ことができる。いま問われていることは、「もの」を生み出してきたものづくり産業が、「もの」を使うことによって実現する「こと」を如何にサービスとして事業化できるかにある。先にみたとおり ICT ではなく「デジタル」と称される所以でもある。製品だけでなく、製品・サービスシステムを開発し、設計・生産するにとどまらず、販売した製品をトレースし続けて必要なサービスを提供できるかが重要であり、そうした組織体制作りの巧拙が競争領域となっている⁵⁴。

コラム 2 DX 推進には組織の見直しが必要となる背景

- 大陸間弾道弾等の近代兵器の発達は戦争への備えを大きく変えるきっかけになったという。それまでは敵を根絶やしに追い込む必要は必ずしもなく、皇帝の拿捕などトップにダメージを与えれば勝敗の帰趨は決まった。
- ところが近代兵器の登場は、トップがどこに潜もうが一瞬で壊滅できる可能性が出てきた。この結果、軍事組織は階層的な権力構造の見直しを迫られる。命令等の情報は、上意下達・実行報告というパターンでは途中を寸断されると機能しなくなる。
- そこで階層構造ではなく、ネットワークとしての情報伝達構造を設計する必要に迫られる。これが ARPANET を開発した時の考え方である。その後、Internet に発展していく。
- このように情報伝達の観点からみると、ネットワーク化の進展によって俊敏な情報伝達のメリットが階層構造によって阻害されることになる。階層構造の見直しが不可避である所以と考えられる。

出所：「人類の意識を変えた 20 世紀」ジョン・ヒッグス著、梶山あゆみ訳、2019 年、（株）インターシフト刊の p 345～346 をもとに作成

「もの」からの脱却の必要性は、戦後の経済成長によって基礎的な生活必需品などが行き渡った帰結でもある。一般に消費行動は、経済が成熟するにつれ、必要なものを揃えようとする段階から、豊かさをより実感できる新しい「機能」や「機能サービス」、「私だけのもの」、「私だけに特別なこと」といった個別化のニーズや「体験」したいといった欲求が主役になる段階へとシフトしていく。そこに製造業の新たな可能性が生まれる。その可能性を体現した言葉が「製造業のサービス化」であり、「コトづくり」であると考えられる。

コラム 3 従来型高品質品の大量生産に代わるものづくり戦略とは

- ・高品質な製品や不良品のないきめ細かなものづくり、製造工程での改善、コストダウンという「高品質なものづくり」は、日本メーカーの強みである。
- ・この強みを IoT や CPS 、AI といった新しい器に盛りなおす。
- ・一方、生産工学の現状の教育カリキュラムは古すぎる。
- ・生産科学に加えて、デジタル技術とシステム思考が必要。

注. 下記の資料からは「高品質なものづくり」が日本の強みとされ、工学カリキュラムやシステム思考などの論点が注目される。

出所：東京大学大学院工学系研究科 人工物工学研究センター梅田靖教授、「次世代生産システムに向けた「ディジタル・トリプレット」という考え方」、RI.10.10 RRI 第 31 回 IoT による製造ビジネス変革 WG 会合配布資料から。

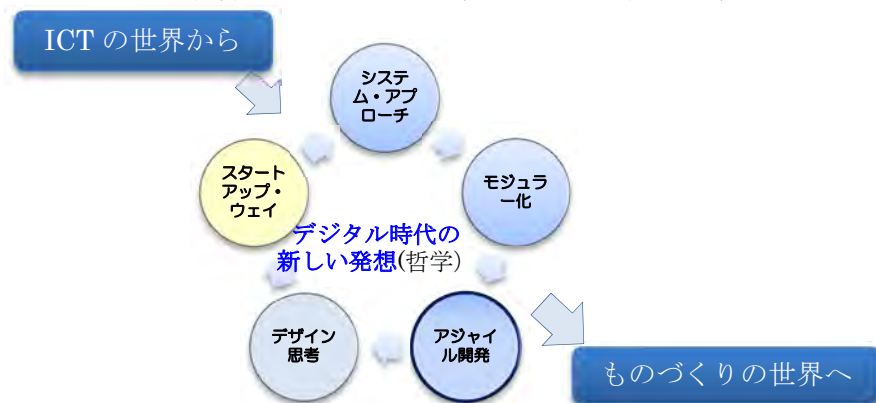
2-3-2-4. デジタルマインドへの変革

前述してきた DX という変革は様々な側面を有する。なかでも組織・風土・文化の変

⁵⁴ 東京大学梅田靖教授の資料（コラム出所蘭参照）を参考に記述。

革に大きな影響を及ぼすと考えられるのが、「デジタルマインド」⁵⁵である。デジタルマインドとは、顧客志向・アイデア重視、柔軟迅速・変動対応、実験実証・早期実装、手戻り極小の戦略的思考そのものであり、そうした思考を意図的に活用する姿勢や心持のことである。これはDXの「デジタル」を育んできたシリコンバレーの成功者がなじんできた考え方であり、発想法である。その代表的な概念を挙げたものが次図である。

図 22 ものづくり世界が取り組むべき新たな発想・考え方（デジタルマインド）



出所：エリック・リースの著書やIPAの報告書等を参考にNSRI作成

デジタルマインドで特に重要視されているのが、上図のシステム思考、デザイン思考、リーンスタートアップ的発想、アジャイル開発的発想、モジュール思考などである。いずれもデジタル技術と親和性の高い文化（デジタルマインド）的背景を有する。

【システム思考】

システム思考はシステム・アプローチともいう。「デカルト思考」の分析的アプローチ（後述）に対し、万物をシステムと捉えようとする「BT(ブレークスルー)思考」との類似性が高い。ものづくりDXによって個々の小単位のシステムが次々とつながり、より大きなシステムを構成する（System of system）ようになると、システムは高度化し複雑化の流れが激しくなる。局所に拘っていても対応が難しい。全体俯瞰的なシステム・アプローチが必要になる所以である。分析的アプローチはそのすべてが否定されるわけではなく、複数のシステムを考える場合には、当該システム全体の俯瞰的なアプローチに切り替えるという視点が重視される。

システム・アプローチの一般的な手順をみると、(1)モデルの構築、(2)目標の明確化と目標到達度の測定、(3)代替案または代替方略（ストラテジーstrategy）の列挙と選択、(4)機能、価格、信頼性等の分析、(5)代替案の優劣を決める評価と決定の規則を決めることだと⁵⁶いう。

⁵⁵ 平成30年度の本専門部会報告書の3-1-3.（p50～p55）参照

⁵⁶ コトバンクから

<https://kotobank.jp/word/%E3%82%B7%E3%82%B9%E3%83%86%E3%83%A0%E3%83%BB%E3%82%A2%E3%83%97%E3%83%AD%E3%83%BC%E3%83%81-1542120>

【モジュール思考】

モジュール思考は、全体を機能的なまとまりとみてこれを**部分（モジュール）に分割**して捉えようとする考え方や発想を指す。モジュールとは、1つの複雑なシステムまたはプロセスを一定の連結ルールに基づいて独立に設計できる部品・ユニットに分解すること⁵⁷。標準的なモジュールの組合せによって、選択のバリエーションをつくり出す。マス・カスタマイゼーションのベースとなるデジタル技術と考えられる。

インダストリー4.0が志向するマス・カスタマイゼーションのベースには、デジタル技術による「モジュラー化」がある。モジュラー化により分解された部品・ユニットを組合せることで、最終製品のかかなりの共通部分をカバーできるのであれば、真のカスタマイズ領域である残りの部分への対応だけでカスタマイゼーションが出来上がる。一から対応するのと比べればそのコストと時間の優位性は明らかである。

【アジャイル開発】

アジャイル開発は、ソフトウェアやコンピューターシステムの開発手法の一つ。顧客の要求条件や経営環境の変化に対し、俊敏かつ柔軟に対応することに主眼を置く。専門領域外のスキルを他のメンバーや他のステークホルダーと連携する能力も重要になる。

ソフトウェアの開発では往々にして様々な機能に特化した専門家が、横断型にチームを組む必要があることから、得意分野だけでなく、より広範な分野の業務も手に染めるなどチーム員同士が教え合いながら成長する。こうした風土の下でチーム一丸の開発を推進する。専門領域外のスキルを身に着け、他のメンバーや他のステークホルダーと連携する能力も重要になると⁵⁸いう。

【デザイン思考】

デザイン思考は、大学工学部のデザイン(設計)と美術大学のデザインを融合したものといわれている。デザイナーがデザインを行う過程で用いる特有の認知的活動を指す言葉。科学者は分析によって、デザイナーは総合によってそれぞれ問題解決を行う。最初に**発散思考**によって可能な限り多くの解決策を探り、その後で**収束思考**によってこれらの可能性を一つの最終案に絞り込んでいく。科学者は分析によって、デザイナーは総合によってそれぞれ問題解決を行う。デザイン思考はアイデアの「積み上げ」によるプロセスであり、「ブレインストーミング」の段階ではアイデアの幅に制限を設けることはほとんど、あるいは全くない。これにより、参加者の失敗に対する恐怖は小さくなり、アイデア出しの段階で広く多様な情報源を用いることができると⁵⁹いう。

⁵⁷ <https://jma-column.com/column-module03/>

⁵⁸ IPA「アジャイル領域へのスキル変革指針 アジャイル開発の進め方」2018.4
<https://www.ipa.go.jp/files/000065606.pdf#search=%27%E3%82%A2%E3%82%B8%E3%83%A3%E3%82%A4%E3%83%AB%E9%96%8B%E7%99%BA%E3%81%A8%E3%81%AF%27>

⁵⁹ 同上

コラム 4 ユニークな商品が相次いで誕生する舞台裏

「おそらく多くの会社では反対が多ければ、開発をやめてしまうだろう。アイデア段階ではどんな商品も否定しない。初動は軽く、意思決定は早くがモットー」。井下専務は開発担当者が自由にアイデアを出せる風土を作っているという。

出所：東洋経済オンライン ドンキで売れた！「焼き芋機」開発企業の正体 ユニークな商品が相次いで誕生する舞台裏 富田 頌子：東洋経済 記者 <https://toyokeizai.net/articles/-/241559?page=2>

【スタートアップ・ウェイ（リーンスタートアップ）】

リーンスタートアップは、シリコンバレーのスタートアップが製品開発を成功させている起業に関する方法論（スタートアップ・ウェイ）である。アメリカの起業家エリック・リース氏が 2008 年に提唱したマネージメント手法のこと。顧客を中心に据え「大きく考え、小さく始め、素早く成長する」「仮説、実験、検証、学習、反復」というサイクルを描く。システム・アプローチ、モジュラー化、アジャイル開発、デザイン思考のそれぞれを内包していると考えられる。元々はトヨタ生産システムの考え方から生まれたリーン生産方式をヒントとして「リーン（ムダがなく効率的）」と名付けられたと⁶⁰いわれている。

【BT(ブレークスルー)思考】

DXを進める際に重要とされる⁶¹デジタルマインドの中でも、特にシステム思考のようなシステム・アプローチが苦手だという指摘を目にすることが多い。ところが既に 2003 年に MIT の司馬政次教授によって、BT(ブレークスルー)思考（以下、BT 思考）という考え方の重要性が提示されている。内容的にはシステム・アプローチと相通じる点が多い。

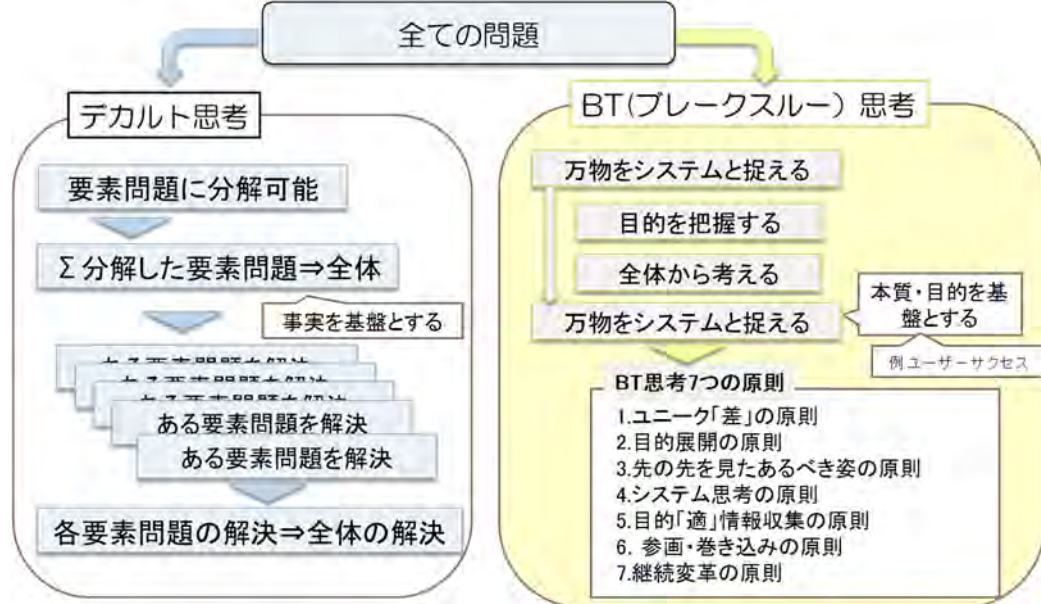
BT 思考では万物をシステムと捉え、いきなり細部から入るのではなく目的を把握した上で全体から考えよと説く。BT 思考の対局にあるのがデカルト思考である。デカルト思考では要素問題に分解可能で各要素を合わせれば全体の解が得られると考えて各要素問題に集中する。まさに日本企業が得意としてきたカイゼン活動はこの要素問題ではなからうか。BT 思考とは、「個々のシステムが繋がりあって大きなネットワークを形成していく中で問題を発見し、解決していくための思考方法」である。BT 思考⁶²はまさにデジタルマインドに相当する考え方ではないかと思われる。

⁶⁰ エリック・リース(著)、井口 耕二 訳「スタートアップ・ウェイ」予測不可能な世界で成長し続けるマネージメント、2018 年 5 月 28 日日経 BP 社のほか、コトバンクの人事労務用語辞典などから NSRI 作成 <https://kotobank.jp/dictionary/jinji/7/>

⁶¹ 平成 30 年度の本専門部会報告書 no3-1-3. (p 50～p 55) 参照

⁶² 「デカルト思考と BT 思考」とよく似たものに「錬金術にいう『ソルヴェ・エト・コアグラ』」がある。「ソルヴェ」は還元主義や分解のプロセス（≒デカルト思考）を、「コアグラ」は目的を持った統合のプロセス（≒BT 思考）をさすという。（「人類の意識を変えた 20 世紀」ジョン・ヒッグス著、梶山あゆみ訳、2019 年、(株)インターシフト刊の p 363）

図 23 デカルト思考と BT 思考



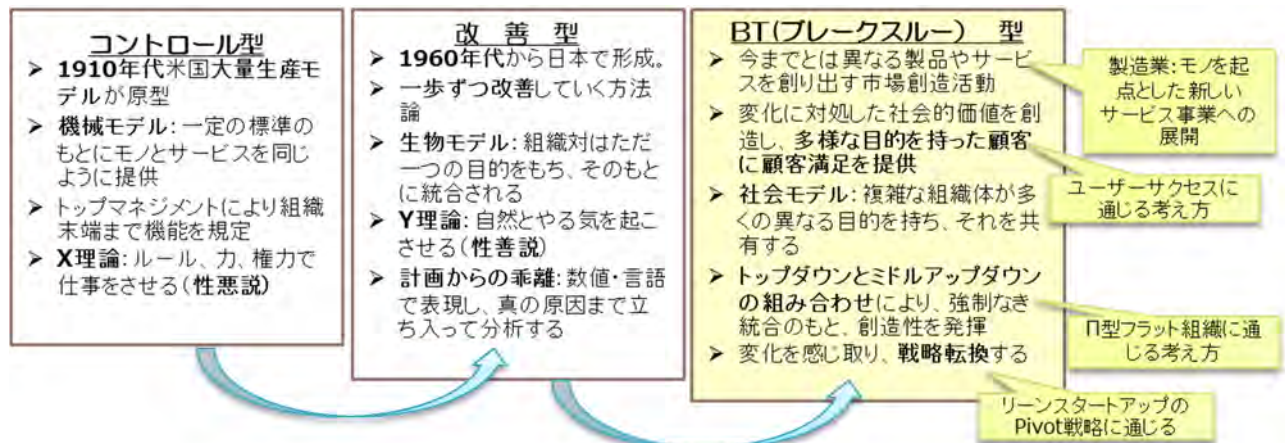
注. **デカルト思考**は部分最適にとどまる可能性を指摘しているように見える。また、**BT 思考**は我々が必要としている**システム思考**や**全体最適への志向を後押しする考え方**と思われる。

出所：北出部会長資料より。原典は、東洋経済新報社「ブレイクスルーマネジメント」MIT スローン・スクールの司馬政次教授著、2003 年 11 月

【BT(ブレイクスルー)マネジメント】

この BT 思考をマネジメント（以下、BT 型）に適用すると、マネジメントスタイルが次図の如くコントロール型から改善型へ、さらに BT 型へと進化する。

図 24 マネジメントスタイルの BT 型への変遷



出所：北出部会長資料より。原典 2003 年 11 月、「ブレイクスルーマネジメント」MIT スローン・スクールの司馬政次教授著、東洋経済新報社

同図左端のコントロール型は、第二次産業革命に端を発した大量生産モデルを管理運営するために考案された。同図中央の改善型は、日本の高度成長期に発達した一歩ずつ改善していくための管理運営法を理論化したもの。同図右端が BT 型の管理運営法である。その一つ目を子細にみると、現在、DX に伴い唱導されている処方箋と重なる点が多い。

二つ目の「新たな市場創造活動」は、新しいモノを起点としたサービス業への転換と同義である。「顧客満足⁶³の提供」は、ユーザーサクセス重視論と重なる。四つ目の「強制なき統合」は、後述のⅡ型のフラット組織の考え方に通じる。五つ目の「変化を感じ取り戦略転換」するについては、まさにリーンスタートアップの一部そのままである。このように BT 型のマネージメント⁶⁴では、変化の激しい時代には変化そのものを新たなビジネス機会と捉えることが重要だという。その要点は、次の 3 つである。

表 1 BT マネージメントの 3 つの要点

- ①既存のビジネス A から新しい市場であるビジネス B への移行、
- ②個人やグループの自発的な行動による創出、
- ③一見変化と無縁と思われるような産業からでも可能、

出所：北出部会長資料より。原典 2003 年 11 月、「ブレイクスルー・マネージメント」MIT スローン・スクールの司馬政次教授著、東洋経済新報社

BT を実践するには、②の実現がキーポイントである。一方、DX を進めるには、過去や既存の概念にとらわれないという「心の持ちよう（マインドセット）」を個から組織へと広げていく必要がある。つまり、個別の問題に焦点を当てるのではなく、当該問題の全体を捉えようとするシステム思考と類似した考え方が必要になる。企業がバリューチェーンの一部を担っているのであれば、自社のみにとらわれることなく、バリューチェーン全体を視野に入れなければならない。これが BT 思考であり、デジタルマインドが必要とされる所以でもある。

【制約条件を乗り越え、不確実性の高まりに備える変革】

新しいものづくりでは従来以上に社会的な制約条件を重視しつつ、同時に不確実性にも備えなければならないとされる。“SDGs”に象徴される気候変動や天然資源・エネルギーに関連した環境問題、循環経済⁶⁵、また、先進諸国にとどまらずゆくゆくは途上国でも生じる人口の高齢化問題。これらはいずれも事業展開上の制約条件である⁶⁶。また近年の国際関係を見ると 2-2-2.現代の四面楚歌でみてきたとおり、地域紛争や資源ナショナリズムなど地政学的リスクの高まりや米国ファーストやブレグジットにみられるグローバリゼーションの挫折のほか、パンデミックの出現や自然災害の激化など先行きの不確実性が

⁶³ 顧客満足とイノベーションの関係：既存顧客が重視する性能次元を向上させたり、飛躍的に発展させたりする改良・改善型イノベーションと従来重視されていなかった新しい性能を打ち出す破壊的イノベーションとは、対象となる顧客層は違うかもしれない。前者は既存顧客、後者は新規顧客となる可能性がある。新しい性能の場合、既存顧客はその価値を認識できなかった事例（CNC への MPU 採用のケース）がある。以上、日経 XTECH オンライン 2019/10/04 05:00 世界最強産業の盛衰史から探る「日本製造業の勝機」破壊的イノベーションに顧客の声は禁物、工作機械日米逆転劇の教訓 柴田 友厚＝東北大学大学院 経済学研究科 教授から NSRI 作成 <https://tech.nikkeibp.co.jp/atcl/nxt/column/18/00831/100200010/?P=1>

⁶⁴ 出所：北出部会長資料より。原典 2003 年 11 月、「ブレイクスルー・マネージメント」MIT スローン・スクールの司馬政次教授著、東洋経済新報社

⁶⁵ 2015.2 欧州委員会「Circular Economy Package」。「サーキュラー・エコノミー」ピーター・レイシー& ヤコブ・ルトクヴィスト著、日経新聞出版社(2016/11/23)

⁶⁶ 既出の東京大学梅田教授は「環境問題/持続可能性への対応、及び、それをイノベーションに結び付けようという本気度が違う。日本はおざなり、後追い、規制追従型。例えば、経営の意思決定への浸透、各事業への浸透が弱い」としている。（コラム 1 の出所資料から）

かつてない高まりを見せている。このように予期しうる制約条件のほか、想定外の制約条件も視野に入れる必要がある。そのためにはものづくり DX を早期に遂行してこうした制約条件をクリアし、かつ変動への備えをも万全に近づけなければならない。変動対応力の強化とものづくり DX の推進は裏腹の関係にある。

【制約条件の解決手段としてのデジタル技術活用への変革】

ニーズの多様化や環境問題などの制約条件をクリアしつつ循環経済を実現するためには、デジタル技術の利活用が必須とされ、第四次産業革命をめざす DX の推進がその主役とみられている。我が国の Society 5.0 や Connected Industries のほか、ドイツのハイテク戦略とその一部であるインダストリー4.0 を始めとして Through Life Engineering Service の英国、その他 EU や仏・伊等欧州諸国、中国、インド、タイなど今や世界中が DX に邁進し、第四次産業革命の実現を競っている。

【DX（デジタル・トランスフォーメーション）】

DX は、単に一气通貫の情報通信システムを整備し、生産資源にセンサーや通信手段を設置して BD を収集・解析するだけでは十分とは言えない。デジタル技術の特長を十分に引き出して事業に活かすためには、企業組織や人事制度、企業風土・文化にまで踏み込んだ変革が必要とされる。DX はそうした多面的な変革を内包した概念であると考えられる。しかも DX を必要としているのは単に製造業のみに留まらず、中堅・中小・零細企業や農業、医療、物流・流通、旅客運輸などの既存産業から、安全衛生や教育、労働、行政などのサービス分野にいたるまで幅広い。ほとんどの産業分野が対象となる。それ故に第四次産業革命と称される。

本専門部会では数ある DX の中において、とりわけ機械工業を中心とする製造業が主たる関心領域である。そこで我々が取り扱う DX を「ものづくり DX」と称する。以下では「DX」とある場合でも原則として「ものづくり DX」を念頭に置いて検討する。

【スピードを重視するDX】

DX 後の新しいものづくりが、従来型のものづくりと最も異なる点は「スピード」にある。デジタルならではの「スピード」が競争力を左右する。この「スピード」はデジタルゆえであるとともに、デジタルこそがスピードの淵源でもある。製造業のよって立つ基盤は、この「スピード」という点において最も激しくそのパラダイムがシフトしている。DX は、従来（アナログ時代）のスピード感覚から、「新たなものづくり（デジタル時代）」のスピード感覚への切り替えを目指すための変革でもある。

コラム 5 AI の活用が時間短縮（スピード）をもたらす例

多くのダッシュボードには収集された数多くのデータをみることができる。担当者は、ダッシュボード上のデータを監視し、何をすべきか決める必要がある。現行のダッシュボードは、AI を導入して自動化しているところはほとんどない。Plataine 社のソフトウェアは予め問題を予測し、どうしたら解決できるかの選択肢を即座に提示できる。

例えば、ある機械の部品が 62 度ではなく 60 度になっていて、作業者が本当に疲れている

月曜日であったとすると、その部品は故障しがちであるとか、こういったことが沢山起こりうるのでそれが品質問題を引き起こす。当社の AI を活用したソフトウェアはこうした問題を特定し、**診断、予後、治療**を施すことができるという。

注.ダッシュボードで見える化した段階は、ドイツの成熟指標⁶⁷によると③のレベルにとどまる。AI を導入して、予測からその診断、対応策まで可能になれば同指標の⑤のレベルから⑥の最適化のレベルに近づくことができるというのが当社の主張だと解釈できる。

出所.Composite World のオンライン「Composites 4.0: digital assistants, edge computing and the future of smart factories」10/17/2019 Ginger Gardiner Senior Editor, CompositesWorld
<https://www.compositesworld.com/blog/post/composites-40-edge-computing-digital-assistants-and-the-future-of-smart-factories>

【ティール組織】

Ⅱ 型チームなど、ものづくり DX を推進する組織の編成原理は、従来とは異なる新しい組織編成原理が必要になる。「ティール組織」は、従来型編成原理である**統制管理型のピラミッド型組織**に替わる編成原理として注目を集めている。**フラットなⅡ型組織**では構成員がそれぞれの分野の専門家である。そこで誰もが自由に議論し合いつつも相互に自分以外の専門性を尊重してその分野の決定等を委ね合う。同時に組織自体の使命・目的を理解し合い共有しあう。そうでないとある特定分野の専門性を理解していないリーダーの上からの決定が、その特定分野の専門性の知見と相いれないときには、組織の使命目的を達成することは難しくなる。従ってこのような場合には統制管理型の運営手法では予期していた組織の使命・目的の達成は難しくなる。フラットなⅡ型組織はティール組織の運営の考え方に通じる面がある(次の参考欄)。ティール組織の概要は以下の通り。

参考 13 ティール組織⁶⁸の概要

▶ 経営者の意思決定で動くのではなく、社員が自己管理して目的を遂行する。
▶ 取締役以外は階級がなく、原則すべての事業を所属員が自主決定する。
▶ 次の三つを要件とする ①企業の明確な 目的の共有 ②社員に 自主決定権 付与 ③社員が自己を偽らず 能力を最大限発揮 できる仕組み
▶ 細かな規則で組織を統制するヒエラルキー型に対し、ティール型には厳密な決まりごとがなく、柔軟に組織を運営できる

注 1.ティールとは Teal,青緑っぽい色のこと。**意識の発展段階を色で表す。赤**(red、脅しと恐怖による支配)、**琥珀**(amber、身分の上下による支配)、**オレンジ** (Orange、科学的マネージメントによる支配、企業の雇用関係)、**緑** (Green、家族や仲間意識などの関係性による支配)、**Teal**(青緑；組織と個人の目的すり合わせに基づく**自律分散型内発動機**の支配)の順に発展するとみる。

出所、注 1 は日刊工業新聞 2019 年 7 月 18 日 「用語」ティール組織、および山田裕嗣氏の以下のサイトなど参照

<https://organization.design/teal-organization-%E3%83%86%E3%82%A3%E3%83%BC%E3%83%AB-%E3%82%AA%E3%83%BC%E3%82%AC%E3%83%8B%E3%82%BC%E3%83%BC%E3%82%B7%E3%83%A7%E3%83%B3%E3%81%A8%E3%81%AF%E4%BD%95%E3%81%AA%E3%81%AE%E3%81%8B-c72441673630?gi=415b3a61cf45>

注 2.なお、この意識の発展段階はケン・ウィルバーのインテグラル理論の中で提唱される**意識のスペクトラム**に準拠するという。

出所、注 1 は日刊工業新聞 2019 年 7 月 18 日 「用語」ティール組織、および山田裕嗣氏の以下のサイト

<https://organization.design/teal-organization-%E3%83%86%E3%82%A3%E3%83%BC%E3%83%AB-%E3%82%AA%E3%83%BC%E3%82%AC%E3%83%8B%E3%82%BC%E3%83%BC%E3%82%B7%E3%83%A7%E3%83%B3%E3%81%A8%E3%81%AF%E4%BD%95%E3%81%AA%E3%81%AE%E3%81%8B-c72441673630?gi=415b3a61cf45>

⁶⁷ 3-2.具体化のステップの 参考「ドイツのインダストリー4.0 の成熟指標」の項参照

⁶⁸ もともとベルギー出身のフレデリック・ラルー氏が提唱した。日本では 2018 年 1 月に日本語訳『ティール組織』英治出版 が出ている。

[3%AB-%E3%82%AA%E3%83%BC%E3%82%AC%E3%83%8B%E3%82%BC%E3%83%BC%E3%82%B7%E3%83%A7%E3%83%B3-%E3%81%A8%E3%81%AF%E4%BD%95%E3%81%AA%E3%81%AE%E3%81%8B-c72441673630?gi=415b3a61cf45](https://toyokeizai.net/articles/-/24976)

【働きやすさが若者を惹きつける～グーグル】

次のコラムは「働きやすさ No1」と称されるグーグル式チーム運営の例である。そこにみられる特徴は、「オープンな雰囲気」、「誰でも聞きたいことがあればすぐ連絡を取れる」、「上下関係ではなく、フラットな組織」、「相互に提供し合うパートナーの関係」、「理不尽に上から押さえつけられるようなことはない」などであり、CTB チームに求められるフラットなⅡ型組織やティール組織にそのまま当てはまりそうなものが多くみられる。

コラム 6 優秀人材の吸収源たる吸収力の源泉は何か？（グーグルの働き方環境）

- ・ 社内の雰囲気は非常にオープン
 - ・ 誰でも聞きたいことがあればメールや「ハングアウト（ビデオ／テキストのチャットシステム）」を使ってすぐに連絡が取れる
 - ・ 知らない人であっても直接聞きに行ける
- ・ 上下関係で働くというよりはフラットな組織
 - ・ ミーティングでの発言は何でも発言していいという環境
 - ・ 世の中にインパクトを出せることに一番やりがいを感じる
 - ・ クリエータなどのパートナーとは相互に提供し合う関係
 - ・ 社員全員が知り合いのようなフラットな環境
 - ・ グーグルドキュメントにだれでも書き込み、編集できる
 - ・ 同じドキュメントに複数の人がどんどん情報を追記、終わると議事録が完成
- ・ 理不尽に上から押さえつけるようなことはない
 - ・ いろいろな働き方を推奨してくれるサポーターな環境（子育て面でも同様）
 - ・ ミーティングは短い（事前にアジェンダ周知、いきなり本題、来週までにやるべきことをその場で確認）
 - ・ 上司との進捗報告対話（1 on 1 meeting）では事前にアジェンダを決め、すべてカバーした後に action item に来週までにやるべきポイントを書き、上司に手交、上司と常に情報を共有、アップデートしていくと上司が仕事の進捗状況を把握できる仕組み

出所：東洋経済オンライン「働きやすさ No.1 グーグル式チーム仕事術 いやなら自分で変えればいい」 國貞 文隆(ジャーナリスト) <https://toyokeizai.net/articles/-/24976>

2-4. “2” のまとめ

- ・ IoT・AI 時代とは、IoT・AI に代表される技術革新の恩恵を受けられる時代。進化し続ける様々なデジタル技術を縦横に活用することができる時代である。
- ・ 第四次産業革命はデジタル革命であり、DX の早急な取組み（スピード対応）が必須とされる。つまり、世界との競争に勝ち抜くには DX による桁外れの事業と業務の両面にわたるスピード獲得が勝負の要となる。DX により製造業にスピードを取り込むこと。それが製造業のパラダイムシフトの最も重要なポイントである。本専門部会では製造業における DX であることを明確にするため「ものづくり DX」と称することにした。
- ・ 従来型製造業が、ものづくり DX の推進によってデジタル化された姿を、本専門部会の

先行部会に従って、関連するキーワードを横軸と縦軸に分けて整理した。

- ・横軸はアナログとデジタルの対比。但し、アナログからデジタルへシフトするというよりは、アナログにデジタル技術を重ね合わせる意を持たせ「デジタルも」としている。
- ・縦軸は「クローズ」と「オープン」・「スピード感」。「従来型の「自前主義」と「オープン」・「つなぐ」を対比した。DXによって工場の中のみならず、本社スタッフをはじめ、サプライヤー、サプライチェーン、ユーザーともつながっていく。Connected Industriesとして次々と「つながりあう」ネットワークが出来上がり、有機的に機能するとエコシステムとなる。その先に Society 5.0 の世界が広がる。
- ・製造企業はデジタル対応による事業の本質的な転換である「ものづくり DX」を迫られている。デジタル技術とは、個別の技術もあれば、システムとしてはじめて機能するもの、或いは技術を使うときの考え方や捉え方に至るまで広範な領域を含む名称である。明らかにこれらの全てを一人で身につけることは不可能である。それ故に必然的にチームを構築し、チームの使命に沿って選択される。しかし、その選択は事前には決まらず、取り扱う課題に依存する。明らかにデジタルに関する基礎的な素養（デジタルリテラシー）が必要になる。
- ・DXが進み、DXが実現すると、様々なデータがデジタル化され、収集・蓄積・解析されて有用な情報が生産され共有される。そうした情報から新たな知見が生まれ、既存業務の効率化や生産性の向上のみならず、新たな事業機会が生まれる。データは事業上のあらゆる関係先や関係先のその先まで共有・解析される。瞬時に可視化され、選択肢を提供する。
- ・このつながりは、製品設計、開発、調達、生産、出荷、顧客関係を結び、データから生産された情報を活かせば、業務の効率性やプロセスの最適化が可能となり、データという事実に基づいた「真相」に気付いたり、ヒントが生まれたりする。真の事業再構築により競争力の毀損を防ぎ、発展基盤を強化できる。
- ・ものづくり DXを推進して関係組織が繋がるためには、その前提としてつながるべき部分（協調領域）とつながるべきではない部分（競争領域）の峻別が求められる。IoT・AIの時代は「どことどのようにつながるか」が問われ、その結末が新しい企業・組織間関係としての「エコシステム」になる。
- ・IMDの国際デジタルランキングは、デジタルに関する「知識面」「技術面」「態勢面」の3つの指標から評価される。日本は特に「事業の迅速性(55位)」「規制の枠組み(40位)」辺りの評価が低い。
- ・「企業の迅速性」や「BD (Big Data) とデータ分析の浸透度」等は、評価対象国地域中の最下位。人材面では「国際的な経験」「外国高度人材」「教育投資」の不十分さや「科学専攻卒業生」の少なさが指摘されている。
- ・近年、地政学的リスクの増大をはじめ、グローバリゼーションの挫折、パンデミック、自然災害の脅威、国内の人口動態など、不確実性はますます増大すると見込まれる。

- ・こうした不確実性の時代に求められる経営指針として唱導されているのが「変動対応力」であり、組織変革力「Dynamic Capability(DC)」である。DCに必要な能力として、①Sensing、②Seizing、③Transformingの三つが挙げられる。
- ・ものづくりを取り巻く企業環境をみると、「世界市場分断のリスク」、「生産年齢人の減少」「自然災害・環境対応リスク」「デジタル・スキルギャップ」の4つがある。
- ・企業経営ベースの脅威をみると、「垂直統合化を進める巨大デジタル系企業」「デジタルプラットフォームを素早く構築している欧米先進国企業」「リープフロッグ（一足飛び）を目指す途上国や新興国」「量から質へオール国産化を目指す中国の動向」の4つがある。経済を支える土台として柔軟かつ臨機応変に変動に対応していく能力の構築を迫られている。
- ・DX時代（IoT・AI時代）に即した変革に係る諸側面から重要なキーワードを「オペレーション・マネジメント」「新しいものづくり」「製造業のサービス化・コトづくり」の3つの観点から抽出した。
- ・「リーンスタートアップ」は、ものづくりとデジタルが相互に影響しあってきた証である。世の関心はもはや概念を論じる段階からいかに早く実装を終えるかにあり、中小企業への普及率大小が課題である。
- ・インダストリー4.0やスマートマニュファクチャリングは、人間の暗黙知を上回るスマート化、インテリジェント化を実現すること。
- ・「製造業のサービス化」や「コトづくり」は、「もの」が「こと」の前提条件である点が重要である。「もの」があって初めて使う（使用する）ことができる。製品寿命が尽きるまで、長期間にわたり、価値を生み出し続けられる仕掛けは、設計段階から問われる。販売した製品をトレースし続け、必要なサービスを提供できる体制作りが重要である。
- ・一般に消費行動は、経済が成熟するにつれ、必要なものを揃える段階から、豊かさをより実感できる新しい「機能サービス」や「私だけに特別なこと」といった個別化のニーズや「体験」が主役の段階へとシフトする。そこに製造業の新たな可能性が生まれる。
- ・ものづくりDXは、組織風土文化のベースにある考え方や捉え方などマインド面にも大きな影響を及ぼす。特に、顧客志向・アイデア重視、柔軟迅速・変動対応、実験実証・早期実装、手戻り極小といった戦略的思考を意図的に活用する姿勢や心持のことを「デジタルマインド」と呼ぶ。
- ・デジタルマインドには、「システム思考」のほか、「モジュール思考」「アジャイル開発」「スタートアップ・ウェイ」「ブレークスルー思考」などがある。
- ・ものづくりを取り巻く様々の制約条件を乗り越え、不確実性の高まりに備えるための解決手段としてのデジタル技術活用への変革、つまり、ものづくりDXの推進は待ったなしであり、デジタルの特性は何よりもそのスピードにある。
- ・ティール組織はものづくりDXを推進するチームの組織編制の考え方として、従来型の

統制管理型と一線を画するフラットで個々の能力を引き出す組織論として注目される。

3. ものづくり DX の具体的なイメージ(組織、人材、エコシステム)

以下では平成 30 年度事業で検討⁶⁹した四象限図の考え方に立って、DX を具体化していくイメージを検討し、従来型の製造業が新時代の製造業にどのように移行（転換）していくのか、また、移行（転換）に対応する組織面で求められることは何か、という三つの視点から DX のイメージを考察する。

但し、ものづくり DX の推進は、「デジタル技術活用ありき」ではない。あくまで現状をしっかりと観察したうえで、「かくあるべし」、「かくあらまほし」といった TO BE を思い描けることが大前提である。この問題が解決されたら「素晴らしい」、「画期的だ」、「痛快だ」といった思い（問題意識）無くして DX に取り組むのは本末転倒だ⁷⁰と言える。以下はそうした前提の上で展開するものである。

3-1. ものづくり DX とは、その意義

ここでは製造業のパラダイムシフトに伴うものづくり DX の推進によって、従来型の製造業が新時代の製造業に転換することの意義を考える。さらに、ものづくり DX に関するキーワードを抽出して具体的な転換の方向性とその特性を検討する。

3-1-1. 製造業にとって DX は不可避

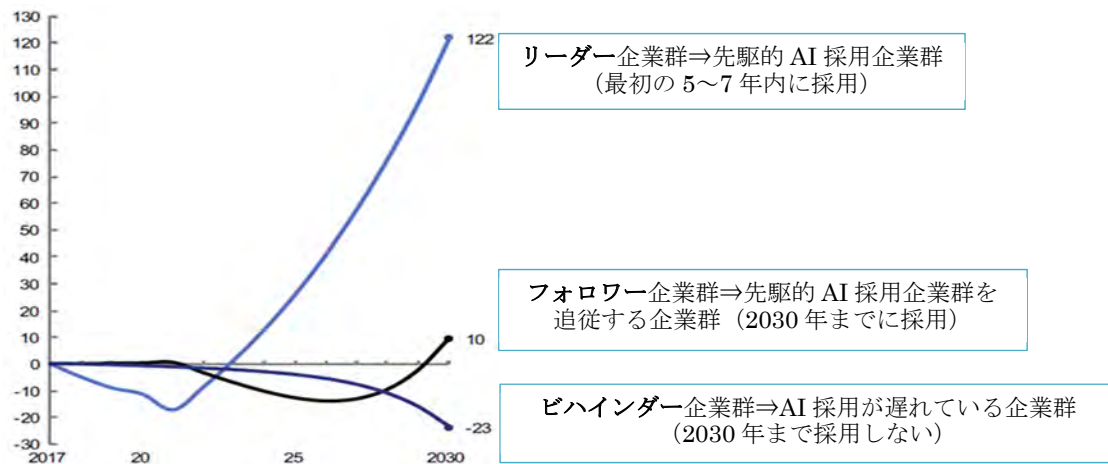
新時代はこれから本格化する。新時代を生き抜くためには、製造業の DX が不可避である。新時代の呼称は、第四次産業革命、インダストリー4.0、デジタル革命、デジタル転換など様々であるが、特に、デジタル化・ネットワーク化の積み重なりと考え方が重視される。

現在、世界中が DX に取り組んでいるといっても過言ではない。英語圏ではインダストリー4.0 を冠した取組みやシンポジウムが毎日のように報道されている。いずれも先進事例を取り上げ、自国の現況が遅延としていることに対する警鐘を発するものが多い。従来型の製造業から DX 型製造業へのいち早いシフトを説く。DX 型とは DX を推進する新時代の製造業の意である。DX によってデジタルスピードを身に着けることができた企業は、当初の投資負担があるにもかかわらず、その後の成長発展において優位に立てる。次図は WEF の AI 採用企業群に関する調査結果である。AI をいち早く採用することの有利性を示している。

⁶⁹ 1-5-4 の平成 30 年度要約の四象限図参照。3-2-1. で詳説

⁷⁰ CTI Digital の Director Paul Johnson 氏は、The Drum Network の “Automation and employment: How universities must respond to Industry 4.0” の記事の中で、「解決すべきことは何か」を問い、「導入すべきプラットフォームの外観ではなく、その達成目標 (TO BE) を明確に」すべきと説いている。
<https://www.thedrum.com/opinion/2020/01/30/automation-and-employment-how-universities-must-respond-industry-40>

図 25 先駆的 AI 採用企業群の累積キャッシュフローの相対的な変化率（再掲）



注. WEF のコメントを意識すると、「製造業ではデータと相互接続性の重要性が高まる。早期に AI を採用した企業群は、当初は投資先行負担がみられるが、2030 年には他を引き離して最大の利益を得る。しかし、安価で優れたテクノロジーを待っているはこの競争には勝てない。」

出所：WEF：White Paper January 2019 In collaboration with McKinsey & Company Fourth Industrial Revolution Beacons of Technology and Innovation in Manufacturing⁷¹

3-1-2. ものづくり DX の特性はスピード

製造業のパラダイムシフトと DX の推進は裏腹の関係にある。皆が DX を進めるからこそパラダイムシフトが生じるともいえる。しかしその本質は、機械学習や深層学習などの AI や、AM（積層造形法）のほか、VR/AR/MR、ロボティクス、IoT などのデジタル技術の飛躍的・加速度的発展にあり、その利活用に乗り遅れることは、競争力の喪失につながるという点にある。デジタル世界の技術革新とデジタル特有の桁違いの速さ（スピード）によって、今までは概念上の議論とってよかった物理世界（アナログ世界）と仮想世界（デジタル世界）の融合が、現実の世界で急速に具体化・現実化しつつある。このスピードこそがいち早く取り組んだ企業の競争上の優位を特徴付けている（上図）。

デジタル世界とアナログ世界を峻別する最も大きな特徴はこの「スピード格差」である。デジタル技術はサイバー上で瞬時に目的を達成できることが多い。アナログ世界ではいちいち試作して検証するといった手間と経費がかかる。サイバー上であれば適切なモデルやシステムが動かせれば済む。製造業のパラダイムシフトとは DX を推進することであり、デジタルのスピードに着目したデジタル技術の取込のことである。

DX を推進するには、デジタル技術を駆使できるような様々な資源の確保が必要になる。DX を推進できる人員の確保・投入や DX を進めやすくするように組織風土・文化にまでメスを入れる決断が求められる。結局のところ、DX の問題とは、デジタル特有のスピードを生かせるような改革を行えるかにある。

3-1-3. オープンにつながるネットワーク化

ものづくり DX では、データが主役である。IoT により収集・蓄積されたデータが AI などで解析される。機械装置の運転から機械の操作、労務管理、スケジュール調整・管理、

⁷¹http://www3.weforum.org/docs/WEF_4IR_Beacons_of_Technology_and_Innovation_in_Manufacturing_report_2019.pdf

予知保全の分野、補修部品の補充、装置の修繕スケジュールにまで、相当程度の自動的・自律的な活用が期待できる⁷²。従来ともすればデータは、事業の様々な機能分野で相異なる状態の下、それぞれが格納され「サイロ」状態であった。ものづくり DX はデータをあるサイロから別のサイロへと繋がりあうことを可能にする。それが共通データベースである。IoT デバイスはどれも共通のやり方で使えるように共通のやり方でプログラムされる。ものづくり DX はネットワーク化の活動でもある。

ネットワーク化では、自前主義中心から「オープン」な姿勢への切り替え⁷³により、社内各部署のみならず、社外の関係先やその先の先までつながる(これが“Connected Industries”の考え方)。データベース型のプラットフォーム経済が進行する中で、自社の位置づけを明確化し、どのようなデジタルエコシステムを形成していくか、或いは参画していくかという課題の検討を行う。従来から競争領域として意識してきた事業領域を見直し、他組織と協調していくことによる利点やその切出し方や拡大のありかたを検討する。

繋がることによって、事業全体が俯瞰しやすくなる。事業全体の最適化や効率化による競争力強化を実現する。さらにユーザーとも何らかの形でつながることにより、提供した製品・サービスの実際の使用状況や使用環境などのデータをフィードバックして活用する。カスタマーサクセスにつながるような新しい事業機会の探索を行う、といった絵が描ける。

そのためには、こうした変革を企画立案して、組織としての迅速な機関決定を行い、変革の具体化を推進していくことが求められる。

3-2. “ものづくり DX” の基本的な考え方

3-2-1. ものづくり DX が引き起こすパラダイムシフト

昨年度報告書においてデジタル化(本専門部会では2-1.の図13でみたように第四次産業革命やインダストリー4.0に伴うデジタル化やデジタル転換、デジタル化に伴う変容などデジタルに伴うシフトをすべて“DX”と称する)に伴うキーワードを列挙して四象限図に展開した。この図によって、「従来型の製造業」から「スピード感ある新時代の製造業」への道筋を抽象化して示した。(1-5-4の図「四象限図によるDX(製造業のパラダイムシフト)の方向感(平成30年度)」参照)

今年度は、この図に Connected Industries や Society5.0 などの上位概念のほか、個別ニーズ対応型、或いは、機能サービス主体の時代といった製造業という事業モデルが負うべき時代特性などを付け加えた図(次図)を用意し、以後、この図を中心に様々な付随する問題を検討していくこととする。さらに今年度は我々の検討対象があくまで「製造業のDX」、あるいは「ものづくりのDX」であることを鮮明にする意から、前述の通り、単に

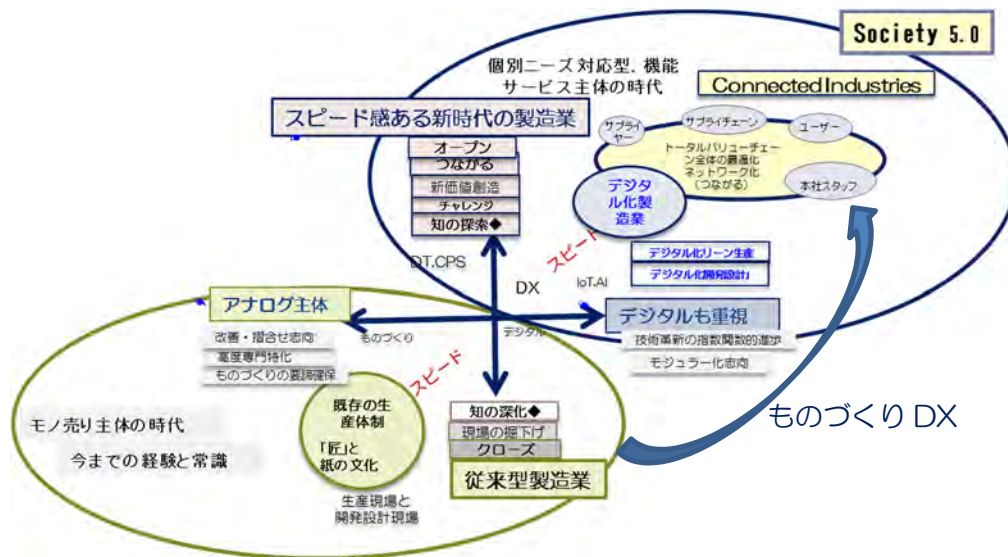
⁷² ものづくり DX によってどのようなことが期待できるのか。その具体的なユースケースが WEF の白書によって公開されている。(WEF は第四次産業革命の呼称を使用している。) 3-4-2 の二つの表参照。

⁷³ 多くの企業が自前主義からの脱却を標榜(トヨタ、コマツなどに関する関連報道が 2018 年以降目につく)する中、独フエニックス・コンタクト社は逆に垂直統合型自前主義を貫徹するといった報道もみられる。
出所: ものづくりニュース「ドイツの工場ってどんな感じ? ~フエニックス・コンタクト工場潜入記」

kenmochi.tomohisa 2018/5/1 オートメーション新聞

“DX”とするのではなく、“ものづくり DX”と称することになっている。

図 26 ものづくり DX と Connected Industries, Society5.0 の方向感（令和元年度）



注. 本図が今年度版である。これは平成 30 年度報告書における四象限図（p 5、p 56 等の「製造業のデジタル化（ものづくり DX）の 2 軸と 4 極によるイメージ図」を基に、新たに以下の 4 つを加えたもの

- ・本図でいうものづくり DX と国策「Connected Industries」と「Society5.0」との関りを明示
- ・従来型製造業が目指すべき方向性（スピード感ある新時代の製造業）を右下側に「楕円矢印」で明示
- ・従来型製造業の時代特性：「物売り主体、今までの経験と常識」（が肝要）を挿入
- ・新時代の製造業の時代特性：「個別ニーズ対応型、機能サービス主体の時代」を挿入

出所：平成 30 年度報告書をベースに変改したもの

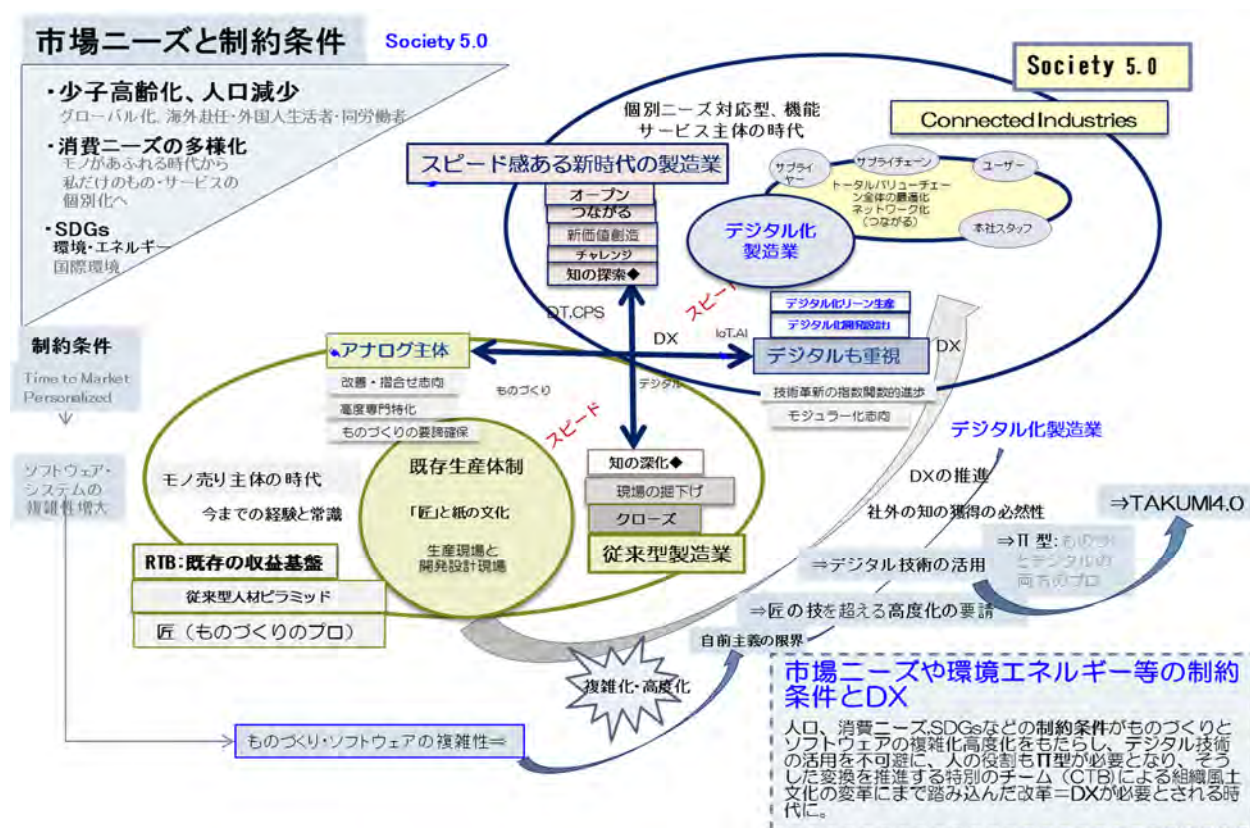
2-3-2.で既にみたとおり、新しいものづくりでは従来以上に社会的な制約条件を重視していくことが求められる。温暖化や異常気象といった環境・エネルギー問題は全地球規模の問題であり、若年労働力を主体とした人手不足等の少子高齢化の問題は待ったなしの国内問題である。また、デザイン思考が説くように、自社の製品サービスにとっての最終ユーザー(消費者)の真のニーズを把握し、ニーズ自体の多様化に即応していくことが重要になってくる。いずれも企業の生産活動にとっての制約条件である。ただ、こうした制約条件に向き合うには、向き合えるだけの手立てが必要である。デジタル技術はまさにこうした要請に応えることが可能なポテンシャルを有している。

少子高齢化と人口減少のほか、消費ニーズの多様化、SDG s といった市場ニーズと環境エネルギー等の制約条件のもとで、ものづくり DX の推進によって「スピード感ある新時代の製造業」をめざすことが、制約条件による数々の問題を解決していく糸口になりうる。次図はそうした可能性を示そうとした図である。

このような制約条件の強まりは生産・サービス活動の全般に対して、より高度で複雑なものづくりやシステム・ソフトウェアの構築を要請する。もはや旧来型の匠の技や改善活動などに依っているだけでは対応しきれない世界に入ろうとしている。従来型の既存の生産体制を抜本的に見直し、ものづくり DX を推進してデジタル化された新しい製造業を

再構築せざるを得ない。再構築に際しては Connected Industries が掲げる自社以外との連携を通じて、新しい民主的なエコシステムを創造する。それが製造業に求められるものづくり DX である。DX が実現した暁に訪れる社会が Society 5.0 となる⁷⁴。

図 27 市場ニーズと制約条件の多様化・複雑化が DX による新時代の製造業を生む



市場のニーズは例えば、消耗品、製品の監視、修理、保守、廃棄といったサービスの複雑化を通して、機械工業がビジネス化できる余地が拡大し、ユーザーサクセスやユーザー体験といった、従来は手が届かなかった領域が新たな事業可能領域として浮上する。制約条件の強まりは、デジタル技術の発展のおかげもあり、却って事業機会の拡大につながると考えられる。

コラム 7 インダストリー4.0の派生概念が向かう世界：コンポジット 4.0

未来のコンポジット製造にとって、その先駆けとなると期待される次の二つに注目する。いずれも新しいソフトウェアが可能にする。

一つは、「ツールトラッキング管理」、もう一つは「生産計画」。Plataine社は、2019年炭素繊維展 (2019.11.19-21、テネシー州) において先進コンポジットのためのエッジコンピューティングと未来のスマート CFRP 工場のための標準開発についてプレゼンする予定だ。

同社のアプリは、プリプレグの切削計画の最適化と材料や有効期間、利用のマネジメントに焦点を当て、無駄の削減や効率性の向上を実現する。同時に既存の ERP とコンピューター、CAD プログラムの間の橋渡しを行ったり、センサーや材料、機械、ツール、部品

⁷⁴ ロバート・ライス執筆の記事 (2019.12.6、Forbes Online) に「Industry 4.0 は、物理的資産とデジタル資産をつなぐ人間中心の社会である Society 5.0 に自然につながる」 (Martina Koederitz, General Manager US Industrial Market, IBM) とある。

<https://www.forbes.com/sites/robertreiss/2019/12/06/leaders-from-industry-10-share-the-future-of-industry-40-including-society-50/>

からのデータを収集したりする。

「**ツールトラッキング管理**」の必要性：プリプレグの寿命は 50 時間、作業時間は通常 30 時間、ところがツールが原因で 60 時間かかってしまうとアウト。そこで AI が作業のボトルネックを検知し、予め警報を出せばアウトにならずに済む。**原料の追跡管理**と同様に**ツールの追跡管理**が重要と考える所以。

例.あるツールがメンテを必要とするという警告発信、このルールを要する作業を自動的に停止、ツールのメンテを実施。このおかげで①.スクラップの発生や作業のやり直しを防げる、②.スループットの増加、③.ボトルネックの削減、④コストと低品質の削減、⑤.仕掛品の削減、⑥.ツール支出の削減が期待できる。

同社のソフトウェアは、**原料、機械、ツール、部品からデータを収集し、コンポジット生産におけるパターンを特定し、潜在的な問題点を予測する。**

生産管理ソフトでは、以下のトレース管理が可能である。**作業指示**への材料配分、ジョブへのマシン割り当て、**ツールメンテ**の推奨事項、**プロパティ**の自動継承、**不良品の梱包**、材料の有効期限、部品やツールの置き忘れ、**ボトルネック**の検出、**作業指示の遅れ**に対する警告を行う。

注.炭素繊維のプリプレグ加工を例とした AI 活用による、典型的な予兆保全のソフトウェア紹介事例。ツールに着目した追跡管理による予兆管理によって、ダウンタイムの削減などの効率改善やコスト削減が可能になると主張している。ドイツの成熟指標⁷⁵では⑤の予測のレベルに達している例。

出所.CompositeWorld のオンライン「Composites 4.0: digital assistants, edge computing and the future of smart factories」10/17/2019 Ginger Gardiner Senior Editor, CompositesWorld
<https://www.compositesworld.com/blog/post/composites-40-edge-computing-digital-assistants-and-the-future-of-smart-factories>

3-2-2. ものづくり DX の主役～DT と CPS

ものづくり DX と一般の DX とを区別する最たるものを、DT（デジタルツイン）と CPS（サイバー・フィジカル・システム）の観点から考える。

一般的に、ものづくりの場合、力学等の自然科学による裏付けがある。ドイツの大学では、工学は自然科学の応用科学である⁷⁶としている。SNS が対象とする DT(DigitalTwin) は、その多くが収集したデータに基づいて作成される「データモデル」である。一方、工学分野ではその分野特有の理論体系ゆえにすでに CAD のような「理論モデル」が存在する。したがって、ものづくり DX の場合には、理論モデルのほかに、新たに IoT により収集蓄積された BD を AI が解析して得られるデータモデルが利用可能である。この両方のモデルを活用して、より精緻なシミュレーションや予測などができるようになる。こうして得られた新たな知見を活用する結果、ものづくりは従来では未活用であった様々な知見が得られ可能性もある。また、実機モデルに頼って試作を繰り返し、時間のかかる開発活動から、サイバーモデル上で大量の計算を高速で実行・評価・改善をすることができる⁷⁷ようになる。これが CPS であるが、同じ DT,CPS といっても「ものづくり」にはものづくり特有の特徴がある。本専門部会が取り立てて「ものづくり DX」と称するのはそれだけの意味合いがあるからである。

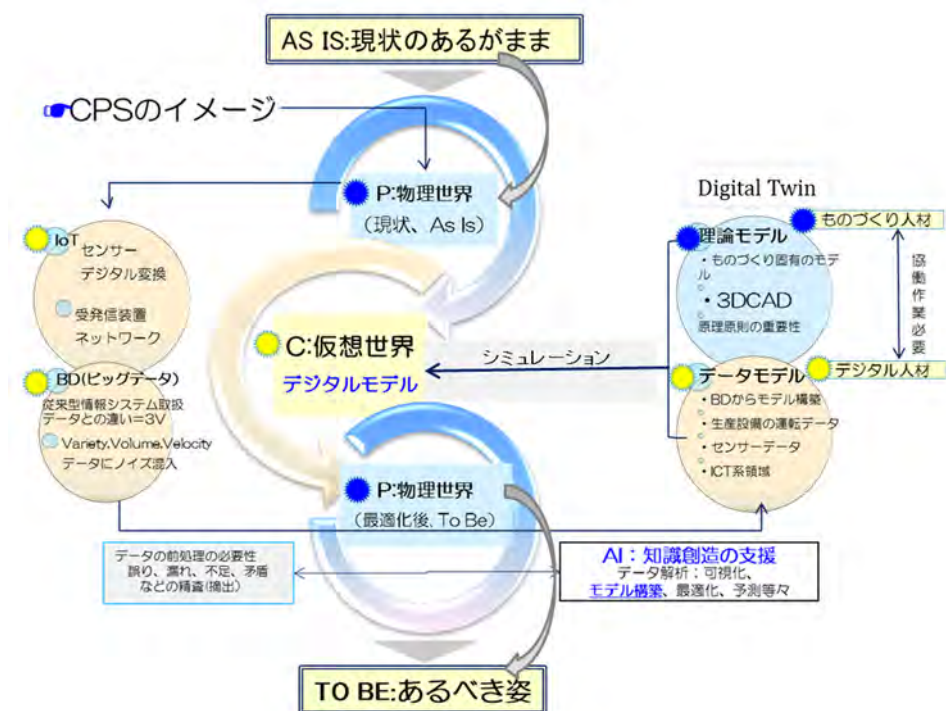
⁷⁵ 3-2.具体化のステップの参考「ドイツのインダストリー4.0 の成熟指標」参照

⁷⁶ フラウンホーファー研究所は応用研究と銘打っているが、その意は自然科学を実務に応用するための研究活動であるし、応用科学大学（Fach Hochschule の英訳名。現在はギムナジウムからの進学者が多いが元々はデュアルシステムの卒業生が受験対象であった。）は文字通り、自然科学などの科学を実務に応用することを主眼とする実践的で実務志向の大学である。

⁷⁷ DT 構築によるシミュレーションの実施について、「実機のテストでは思いもつかなかったようなケースまでもシミュレーション上でソフトウェアを駆使することにより試すことができる」（Max Bajracharya 氏、Toyota Research Institute,ロボティクス担当副社長、ロボット革命・産業IoT国際シンポジウム2019、Session 1（2019.12.9 開催、経済産業省とロボット革命イニシアティブ協議会の共催）での発言に関する NSRI メモより作成

ものづくり DX はいたずらに進めるものではない。現状の問題を正確に認識するところから始まるべきである。現状を AS IS とすると、そのあるべき姿（あらまほしき姿、TO BE）を構想することがその次のステップとなる。両者を比較考量するには現状を正確に把握することが必要である。そのためには現状をよく観察(Observe)して現状把握に最もふさわしいデータ群が選択される。従来のカイゼン活動ではこのデータ取得に多大の時間を要したほか、どのデータが最適かといった判断が属人的におこなわれていたところ、これからは IoT や BD を活用することによって、短時間で効率よく科学的にデータを収集することが可能になる。次図はものづくり DX における CPS の大まかなイメージである。

図 28 AS IS から IoT,BD,AI と DT を駆使する CPS によって TO BE へ



注.上図は、現状のあるがままを AS IS としこれを「ものづくり DX」によってあるべき姿である TO BE に近づける活動を示す。

- ・上図では「ものづくり DX」のツールとして IoT,BD,AI が登場する。IoT にはセンサーがあり、これをデジタル信号に変えて受信装置によってネットワークとつながり、エッジまたはクラウド等のコンピューティングによって膨大なデータ (BD ビッグデータ、DD ディープデータ) が集められ、蓄えられる。ここで AI など適宜の統計解析手法が駆使され、データ解析が行われ、データモデルが構築される。
- ・データモデルのほか、ものづくりには固有の理論や既知の事実に基づいた CAD モデルのような「理論モデル」が存在する。特に、ものづくりの「未知の部分」は「データモデル」が補完する。これらのモデルはいずれも「現状の P(物理世界)」を写しとったものである。それゆえこれらを「**デジタルの双子**」の意で DT(デジタルツイン)と呼ぶ。両モデルを駆使して、従来比精度の高いシミュレーションが可能になる。
- ・従来のような現物による試作を反復しつつ、徐々にあるべき姿に近づけるというアプローチは省略され、サイバー空間上で一気にあるべき姿を検証することが可能になる。従前とのスピード格差は比べようがないほど速くなる。
- ・こうした現実世界からストレートに「あるべき姿 (TO BE)」を作り出すことができる。これがサイバーフィジカルシステム (CPS) のイメージである。ものづくりにデジタル技術が適応していく流れが、「ものづくり DX」の根幹になる。

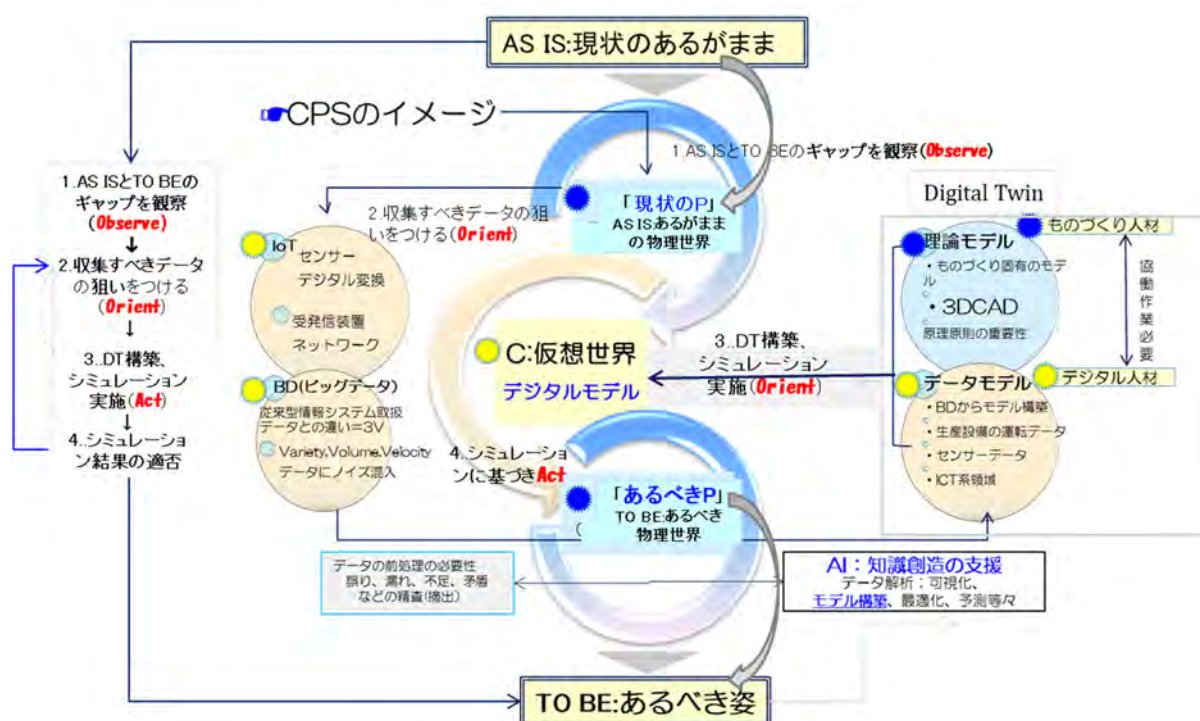
出所：本専門部会、平成 30 年度報告書の図に一部改変したもの

もともとのものづくりは自然科学がベースとはいえ、局面によっては熟練技能を有する匠の技が理屈を上回るパフォーマンスがありうる世界であった。これまで匠は、現場にみられる無限のパラメーターを、五感を研ぎ澄ますことによってカバーしてきた。経験と勘

を働かせた匠ならではの活躍が、日本の強みでもあった。しかし、大きな流れとして匠のような暗黙知は、科学の進歩とともにいずれは形式知化されていく。そうした形式知化の有力なツールとして AI は期待されている。つまり、ものづくりにおいて AI は、データ解析技術やモデル構築技術によって可視化したり、最適化・予測したりといった形式知化や知識創造の活動を支援する役割を果たすことができる。AI を活用したシミュレーション結果は、あるべき姿とのギャップを縮小する方向で評価され、実際の現実世界にフィードバックされる。こうして現状の物理世界はあるべき姿に近づけていくことが期待できる。

下図は、現状からあるべき姿に近づける手法として IoT や BD, AI, DT といった技術⁷⁸や CPS の考え方を図解している。よく見るとこの中に OODA ループが含まれている。この関係を明示したのが次図である。

図 29 AS IS から CPS によって TO BE に至る流れと OODA ループ



注. 上図は前図に OODA ループを書き足したものである。前図の「AS IS から IoT, BD, AI と DT を駆使する CPS によって TO BE へ」の流れは OODA ループを構成しているとも読めるからである。

- OODA は観察 (Observation) ,方向感 (Orient) ,試行決定 (Decide) 、行動 (Act) からなる。IoT に必要なセンサーにはどのようなデータをとるべきか、そのためのセンサーの選定、センサーの取り付け位置など事前に検討すべきことがある。
- その検討にはまず現状をきちっと観察 (Observe: 上図の左上と上部の “1” 参照) をする必要がある。
- 観察して分かったことを踏まえ、とりあえず狙い (Orient: 上図の左側の “2”) をつける必要がある。狙いに基づいて DT が構築され、最初のシミュレーションを実施 (Act: 同 “3”) する。
- その結果が大丈夫であれば (同 “4”、思わしくない場合には別のデータを使う、あるいは別のモデルを構築し直すなどの方向転換 (後述のリーンスタートアップの Pivot に類似) によって、あるべき姿に向けて活動を継続する。
- このように CPS の流れがほぼ OODA ループによって説明することができる。

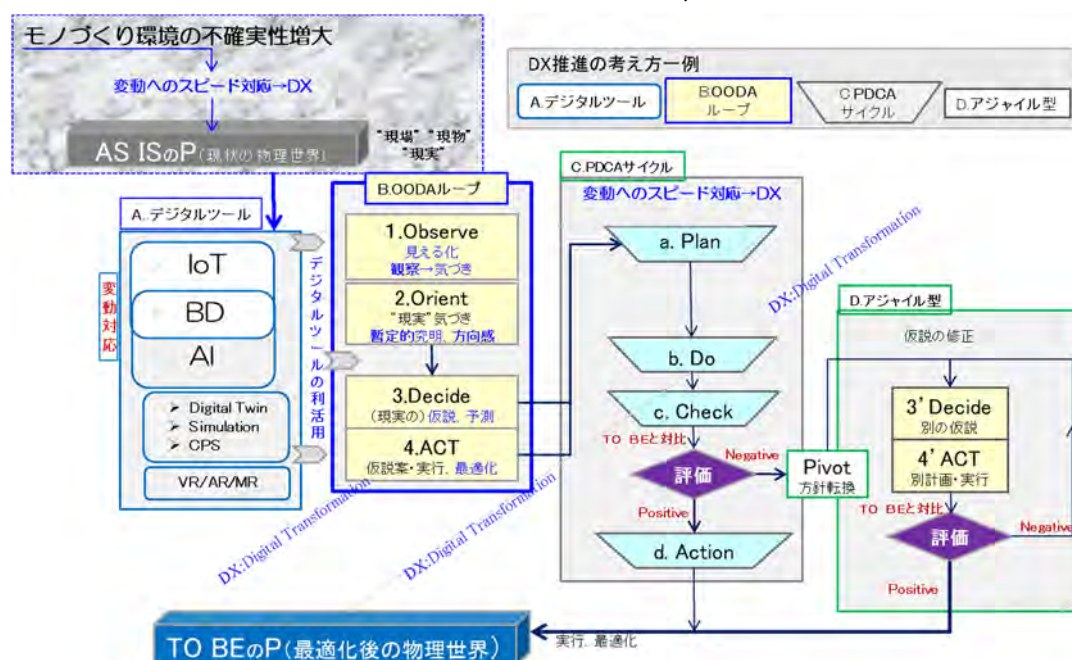
出所：本専門部会、平成 30 年度報告書の図に一部改変したものに OODA を付加したもの

⁷⁸ この他のデジタル技術には AM(3D プリンティングなどの積層造形)、AR/MR/VR, Cobot などがある。

上図にみる通り、現状のあるがまま (AS IS) は、あるべき姿 (TO BE) と比べるところからこの流れは始まる。この「比べる」は「観察する」ことでもある。ここに O (Observe) がある。次に、IoT によりデータを収集・蓄積して可視化されると、様々な観点から検討が進み、収集すべきデータの狙いをつける (Orient) ことができる。データ解析によりモデル構築が確定 (Decide) するとそのシミュレーション結果を用いて具体的な計画立案が可能となり、計画 (Plan) が遂行 (Act、Do) される。遂行結果は TO BE と比べられて適否を評価 (Check) される。また必要な行動 (Act) へとサイクルが回り、TO BE に近づいていく。なお、イタリック体はいわゆる PDCA に相当する。両者は対立した概念ではなく、相補的な関係にあることがわかる。

このようにものづくり DX の推進の流れを CPS という側面から見ると、OODA ループや PDCA サイクル、アジャイル型の生産などと密接な関連性が伺える。そこでこうした関連性を明示的に示そうと試みたのが次図である。

図 30 ものづくり DX と OODA ループ、PDCA、アジャイル型の関係



注 1. 上図はものづくり環境が不確実性の度を増す中であって、如何にして変動対応力を強化するかという問題意識から、CPS の考え方を応用するというスタンスから作成したもの。ものづくりは何よりも三ゲン (現場、現物、現実) を重視する。そこで現状とあるべき姿を比較考量する視点 (Observe) を明示した。

- まず、活用できる限りのデジタルツールを動員して観察 (Observe) することが出発点である。ここから OODA ループに入る。デジタルツールによって観察すべきデータの入手が効率よく行える。観察ができると何かに気付く。気づきからおおよその方向感 (Orient) を得ることができる。
- そこで仮説を立てる (Decide)。仮説に沿って計画立案 (Plan) が可能になる。これは PDCA サイクルの第一サイクルに相当する。同時に仮説の実行 (Act) は OODA ループの四つ目でもあり、同時に PDCA サイクルの二つ目の Decide にも通じる。その結果は TO BE との比較から評価・判断 (Check) される。
- 思わしくなければアジャイル型の方針転換 (Pivot) により、再度別の仮説により検証し直す。その結果が良ければその仮説に従って、何らかの行動 (Act) を現物世界に及ぼすことにより、最適化されたあるべき姿に近づいていく。
- この流れの全体が、特に生産プロセスと CPS に着目した場合、「ものづくり DX」で求められる変革の動きを分解したものとなる。

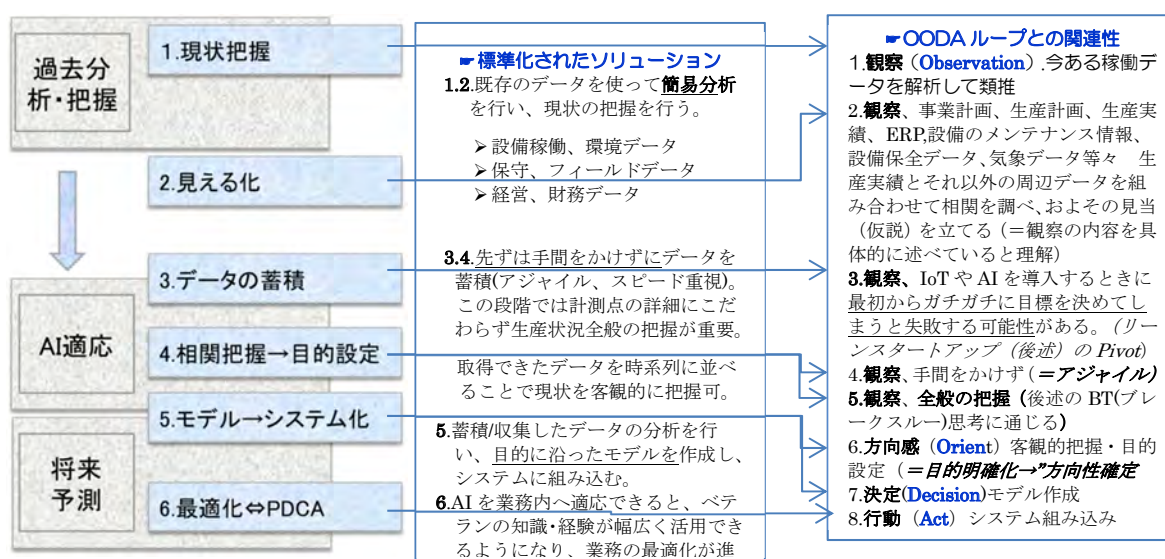
注 2. AS IS の P (現状の物理世界) は、絶えず外部環境の影響を受ける。外部環境の変動に対して不都合が生じると、現場のあるべき姿は変化して、現状との間に齟齬 (ギャップ) が生じる。そのギャ

- ップを正しく見極めて、あるべき姿を再構築しなければならない。
- そのためには**齟齬がどこでどのように発生しているのかの見極め**が重要である。これが**観察** (Observe) であり、IoT 等の出番である。観察の結果、**気づき**が得られれば暫定的な究明ができたことになり、**方向感**が得られる。これが **Orient** であり、さらにデータの詳しい解析によって**最初の仮説**を打ち立てることができる。これが **Decide**。この仮説ができると計画作りが可能になる。
 - これは**計画づくり**という **Act** であり、同時に **PDCA の計画 (Plan)** に移ることができる。計画を**実行 (Do)** した結果は **TO BE** のあるべき姿との**検証 (Check)** に素早く回され(**アジャイル型**)、思わしくない場合には**リスタートアップ**でいう **Pivot** (**最初の仮説の棄却の決断**)を行い、さらに IoT 等のデータを再度見直して**別の仮説**を検討し、実行し、さらに **TO BE** との**検証**を行い、**改善を施す** (PDCA の **Action**) というサイクルに戻ることで徐々に **TO BE** 近づくことができる。
 - こうしたサイクルを**サイバー上で素早く反復遂行可能**だという点。これこそが、何か行動を起こそうとすると、いちいち現物を介在させる手間を要したアナログ時代のやり方と、決定的に異なる点である。

出所：諸資料と部会での議論を踏まえ、NSRI 作成

この OODA ループに近い考え方と思われる実例が、次の三菱重工業の ENERGY CLOUD® Service である。このサービスの展開の仕方を見ていると（次図参照）、OODA のほかにアジャイル型の考え方やリスタートアップでいう最初に建てた方針を素早く見直し、思わしくない場合には迅速に方向を転換する (Pivot) という考え方が見て取れる。

図 31 三菱重工業の ENERGY CLOUD® Service



出所。本図左部は次の発表資料（※）を基に、中央の欄は発表者コメントに関する NSRI メモから、右の欄は同左発表者の説明に関する NSRI メモから「OODA」との関連性を付加したもの。

※第 32 回 IoT による製造ビジネス変革 WG 会合での「資料 2」～AI 技術を活用したプラントオペレーション最適化への取組み 2019.12.04。

なお、同社の技報によると ENERGY CLOUD® Service は「エネルギー利用の最適化などを通じて顧客の事業価値向上に貢献するソリューション」。「AI&IoT を活用した独自の分析予測技術」を活用しているという。詳細は「三菱重工技報 Vol.55 No.4 (2018) パワードメイン 新事業特集」参照

<http://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/554/554020.pdf#>

3-3. ものづくり DX の進め方

ではどのように DX を進めるべきか。ダボス会議で有名な世界経済フォーラム (WEF: The World Economic Forum) では 第四次産業革命 というメガトレンドへの取組み方を公表⁷⁹している。試行錯誤の苦しみの段階から、大規模な最新技術の実装の段階にどうや

⁷⁹ WEF, White Paper January 2019 In collaboration with McKinsey & Company Fourth Industrial -66-

って至ることができるか。

3-3-1. 先進事例からみるものづくり DX の進め方

WEF では収集した先行事例⁸⁰を分析し、事例に共通する要因(重要技術)として”① Connectivity, ② Intelligence, ③ Flexible automation”の三つを抽出している、①の Connectivity は、分散していたネットワークの結節点を結びつけることにより、次第に可視化される点を、②の Intelligence は、意思決定のためのイベント認識と翻訳を自動化する点を、③の Flexible automation は、応答メカニズム、自動化、遠隔運動を組み込む点を重要としている。

また、WEF では第四次産業革命に向けた取組み (DX) の中で、まずパイロット段階の取組みを如何にスケールアップできたかに焦点を当てる。そこから次の 6 つの要因を抽出している。①絶えず改善していくアジャイルなアプローチ、②従来の取引を超えた新しい連携を目指すテクノロジー・エコシステムの形成、③従業員のリ・スキリング(再訓練)への傾注、④スケールアップを可能にするデータアーキテクチャ、⑤イノベーションを生み出すアジャイルなデジタル研究、⑥ベストプラクティスの共有をサポートするガバナンスモデル、の 6 つである。

こうして抽出された 6 つの要因 (パイロット段階の取組からスケールアップできた要因) を可能にするために重要なこととして、WEF では次の 3 つを挙げている。

- a 人的資本への**投資を積極的に行う**
- b 経営トップが考えるベンチマークすべき概念を**リセットする**
- c 自前主義にとらわれずに大学やスタートアップ、テクノロジーサービスプロバイダーとの**協働に目を向ける**

なお、こうした DX がうまくいくかどうかは先進事例を見る限り企業規模とは無関係である。先進国であるかどうかも関係がない。

先進事例の先進性たるゆえんをみると、大きくは生産性、迅速性、顧客ニーズ対応の三つに分けられる。生産性の KPI では工場産出率の改善、生産性の改善、OEE の増大、品質・コスト削減、生産コスト削減が、迅速性の KPI ではエネルギー効率、在庫削減、リードタイム削減、市場投入時間の削減、生産品目変更時間短縮が、顧客ニーズ対応の KPI ではロットサイズの削減が顕著に観察されている。

次の事例は自動車の軽量化を具体化するための協業による新しいデジタル技術を開発・応用する例である。

Revolution Beacons of Technology and Innovation in Manufacturing など、第四次産業革命に関する一連の WEF 資料等から NSRI 作成

http://www3.weforum.org/docs/WEF_4IR_Beacons_of_Technology_and_Innovation_in_Manufacturing_report_2019.pdf

⁸⁰ WEF では 2019 年 1 月当初、9 事例を発表、その後同年 9 月には 16 事例、2020 年 1 月時点では世界の 44 工場が先進事例 “Lighthouse” として認定されている。日本企業は 2020.1.10 時点で初めて 3 社が、国内では 2 工場が認定された。国内工場は日立の大みか事業所と GE ヘルスケア・ジャパンの日野工場。海外では三井海洋開発の海洋施設 (ブラジル・リオデジャネイロ) が認定された。

<https://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/2001/14/news042.html>

コラム 8 ジェネレーティブ・デザイン技術と AM (積層造形) の融合 (オートデスクと GM)

- ・ オートデスクのジェネレーティブ・デザイン技術と AM (積層造形) を融合させ、従来の設計最適化技術では成し得なかったレベルの自動車軽量化を目指す。
- ・ ジェネレーティブ・デザインは、**複数の有効な設計案**を導き出す AI ベースのアルゴリズムを取り入れた設計探求技術。設計技術者は、強度、重量、材料など、**製造上の制約や製品の性能要件**を基に数多くの**設計案の候補**を生成させることが可能。
- ・ 次の三つの使われ方がある。①従来であれば複数の部品に分けて実現していたものを 1 部品にするなど、アディティブ・マニファクチャリング (AM、3D プリンティング) を前提として**新しい設計を追求する**使い方。②従来の設計を**軽量化**する一方で**強度**を向上するなど、**効率的な設計を得る**使い方。③設計の**初期段階でのアイデア出し**に使い、**人間では思いつかないような方法**を発見する使い方。
- ・ 技術はクラウドベースの設計システム「Fusion 360」の機能として利用可能、Fusion 360 の基本部分は学生には無料で開放。「Fusion 360 の地域別ユーザーコミュニティの中で最大規模なのは、実は日本だという。

出所：2018 年 5 月 7 日オートデスクと GM、将来の車両部品の軽量化を目指して ジェネレーティブ デザインで協業。新しい設計手法で未来の車を実現へ

<https://www.autodesk.co.jp/press-releases/2018-05-07>

出所：オートデスク、製造業向けソフトウェアの新バージョンを 4 月 5 日から順次発売

<https://www.autodesk.co.jp/press-releases/2018-04-05>

出所：ZDNet Japan「機械がさまざまなデザインを考案する「ジェネレーティブ・デザイン」の革新性」鈴木恭子 2018 年 12 月 28 日 16 時 50 分 <https://japan.zdnet.com/article/35130783/>

出所：日経 XTECH 2019/07/31 05:00 ニュース解説 「ジェネレーティブ・デザインが学生に人気」、米オートデスク社長兼 CEO 木崎 健太郎＝日経 xTECH／日経ものづくり
https://tech.nikkeibp.co.jp/atcl/nxt/column/18/00001/02662/?n_cid=nbpxnt_mled_dm

3-3-2. ものづくり DX 推進の考え方

ものづくり DX の主役は人材

DX は製造業では簡単には進まないといわれている。「匠」の技はその人固有の技であり、それ故に匠は尊敬を集めることができる。その技を形式知化してしまえば、匠の存在価値は低下してしまうと考えられがちである。しかし、デジタルネットワークの時代には、ひょっとしたことをきっかけにその技が拡散してしまうことは十分に考えられる。匠の技が個人に属する状態から組織知として共有され、その組織のブランド価値が高まれば、組織構成メンバー全部に裨益することができる。個々人としての能力向上と集団としての使命を実現していくというバランスが求められる。つまり、地道にデジタル技術を使って適切にマネジメントして行くことが大事という観点がうまれる。結局、DX を具体的に進めるのは人の役割である。

ものづくり DX の推進は小さなチームから

ところで DX を具体化するときには注意すべき点がある。それは既存の事業体の全部に対して一気にデジタル転換を進めることは現実的とは言えないという点である。そこでまず小ぶりのチームを新設し、既存事業からは完全に切り離された組織とし、経営トップとの密接な意思疎通の下で、DX の推進を主導する役割を負うといった取組みが先行事例にみられる。

このチームは DX 推進に伴う事業改革案から推進方策の検討、手始めに DX を手掛けるための小規模で効果の出やすい問題の発掘と問題解決のための DX 手法の検討、小規模

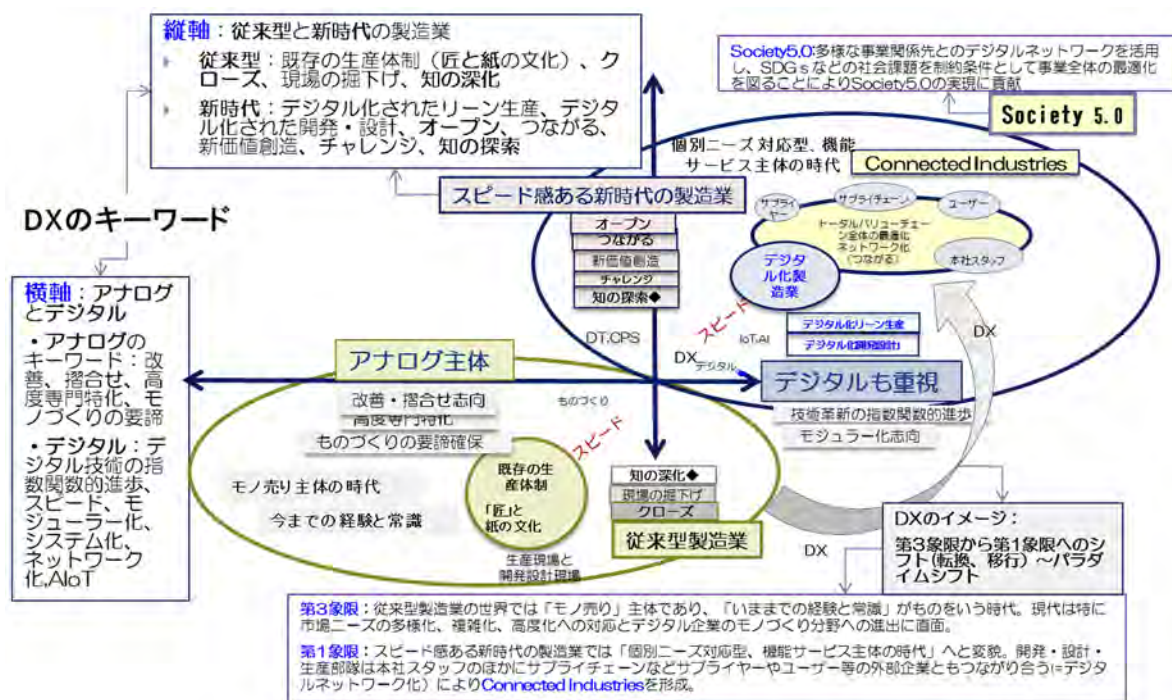
での実証実験等を行う。これがいわゆる CTB⁸¹である。CTB に対して既存事業を継続して収益を生み出し DX を支えるのが RTB である。この RTB チームは DX の推進主導が使命であることから、その内部には必然的にものづくり人材もデジタル人材も内包することになる。RTB は CTB の活動を受けて徐々にその成果を取り入れることによって、DX を一気に行うことの弊害を最小にしつつ、着実に DX の受け入れを進める。

3-3-3. ものづくり DX のイメージ

ものづくり DX の図示化

これまで見てきたとおり、本専門部会報告書の平成 30 年度版で使用した DX を図解した四象限図は、今年度版において新たにいくつかの要素を付加した図となった。さらにこの基本図を基に DX と市場ニーズや環境等の制約条件との関係図や DX 推進プロセスで必要となる組織変革としての RTB/CTB の位置づけを付け加えた図を取り上げてきた。ここでは改めて四象限図の成り立ちを DX のキーワードとの関係で説明を加えるとともに、DX のイメージを四象限図に付加するとともに、政府の提唱している Connected Industries や Society 5.0 との関連を明示して整理する(次図参照)。

図 32 製造業のパラダイムシフト～DX デジタル化～キーワードとイメージの整理



注.上図はこれまで見てきた製造業のDXを再整理したものである。DXのイメージは上図右下にあるとおり、第三象限から第一象限に向かう円弧矢印によって示される。第一象限は製造業の事業が関連する内外の組織と密接につながり、これがConnected Industriesを形成する。企業組織の垣根を超えたつながりが社会課題の解決を促しSociety 5.0の実現に向かって進歩する。この四象限はDXのキーワードを分類して得られた二組の対を両極とした横軸と縦軸からなる。横軸はアナログとデジタルを二極とし、縦軸は従来型製造業と新時代の製造業を二極としている。

⁸¹ RTB:Run the Bank/Business、CTB:Change the Bank/Business（出所：自動車技術 2017Vol.71 5月号 p 12～p 17「IoT とデジタル・トランスフォーメーション」森川博之東京大学先端科学技術研究センター教授（情報ネットワーク分野））～日本機械工業連合会平成 30 年度報告書 p 78 及び同平成 29 年度報告書 p 23～24 参照

ものづくり DX のキーワードと考え方の新旧対比

次表は、前図をもとにして重要な用語や考え方などを「従来型製造業」と「新時代（DX 後）の製造業」とに区分けして対比整理したものである。全般では、従来の現場に拘りを見せる傾向は、新時代においてもそのこだわりをデジタル分野にも適応してデジタルにもこだわりを持つ。組織文化は最も重要な転換を要する。特にデジタル特有のスピードに対応できるかが問われる。英語ではアジャイルと表現されることが多いが、俊敏・迅速といったイメージの実現が重要である。生産体制も大きな変革を要し、標準化・モジュラー化・システム思考を駆使して試作レスや在庫レスを志向する。事業運営の考え方もある根底からの変革が必要である。自前主義から脱却して協調領域を探索し、オープンにつながる方向へと歩みを進め、新しい価値創造へのチャレンジが求められる。また、ものを売り切る事業へのこだわりを捨て新しい事業を模索する必要がある。人口減少や SDGs などのものづくりを取り巻く制約条件はますます強くなると見込まれるが、その対応策はデジタル技術の活用にあると考えられている。

参考 14. DX による転換のキーワードや考え方を整理したもの

	従来型製造業 ～アナログ～	DX	新時代の製造業 ～アナログ+デジタル～
1.全般	・アナログ主体～ものづくり大国、現場主義、現場主導		・ものづくりの拘りをデジタルにも展開必須 ・世界は「システムのシステム」造りに邁進 個々のシステムを繋げて一つのシステムに
2.組織文化	・根回しによるコミュニケーションと時間のかかる意思決定		・デジタルネットワークによる瞬時の情報共有とコミュニケーション、スピード(アジャイル、俊敏、迅速)の文化
3.生産体制	・改善・摺合せ志向		・標準化・モジュラー化・システム思考
	・匠への依存と試作		・デジタル技術による匠の技の共有と試作レス
	・リーン生産(TPS) ・現物在庫圧縮		・デジタル化製造業（Connected Industries、Smart/Intelligent Manufacturing、Industry 4.0）への転換、AM により在庫はデジタル化
4.事業運営 の考え方	・知の深化 (内部への深堀)		・知の探索、協調領域の開拓 (内部に加え外部の知をも積極的に探索)
	・現場の掘り下げ		・新価値創造へのチャレンジ
	・自前主義（系列：グループ内上位下達による垂直的ネットワーク）		・オープン、つながる ・オープンイノベーション ・デジタルエコシステム ・自社事業関係先間民主的網羅的ネットワーク
	・物売り中心		・コトづくり、本質的なニーズの探究 ・モノ起点のサービス展開(製造のサービス化)
	直面する社会的技術的課題		左記課題への対応とその方向性

5.事業転換の背景要因	・ 少子高齢化 ・ 人口減少社会	・ 事業環境の制約条件（SDGs、循環経済）の増大に伴うシステムの複雑化・高度化への対応
	・ 消費ニーズの多様化、個別化の進展	・ 市場ニーズの多様化・複雑化の取込 ・ 自前主義の限界と外部の知獲得の必然性 ・ 有力な解決手段としてのデジタル技術
6.制約条件の圧力増大	・ SDGs（省資源・省エネと持続的成長の両立）	・ Society 5.0 を目指す Connected Industries における自社事業位置づけの明確化
	・ 時間の制約＝ものづくりのスピードアップ Time to Market	・ 時間の制約＝デジタルのスピード（桁外れ） ・ 競争時間の短縮化（指数関数的技術進歩、新技術の出現頻度）、ライバルもスピードアップ
7.次世代人材の確保育成	・ デジタル社会の到来への備え不十分 ・ 従来型教育体制の刷新	・ デジタルリテラシー（既存人材再教育・訓練） ・ 継続学習環境の整備 ・ 教育体系の抜本的見直し、二重学位、実務実習 ・ 外国人材の登用

注 1.上表は、従来型製造業（アナログ）から新時代の製造業（アナログ+デジタル）へというものづくり DX が、1.全般、2.組織文化、3.生産体制、4.事業運営の考え方の各側面で従来型から新時代に向けて何がどのように変化するかを示している。また、5.事業転換の背景要因、6.制約条件の圧力増大、7.次世代人材の確保育成については直面する社会的技術課題と課題への対応の方向性をまとめたものである。

注 2.ものづくり DX は、従来の取引の枠を超えた様々な経済主体を巻き込み、繋がり合い（Connected Industries）、デジタル技術を最大限に活用する活動である。その目指す最終的な社会が Society5.0 であるという位置づけができる。

出所：本専門部会での議論と諸資料から NSRI 作成

3-4. ものづくり DX 具体化のステップ

3-4-1. ものづくり DX の具体化

DX 具体化のステップの概要をみると、まず、当該事業の現状把握を行う。対処すべき問題を特定する。デジタルツールを手段として活用しつくす。例えば、センサーや通信装置、コンピュータ・ソフトウェアを活用したデータ収集・蓄積・解析を行い、構造化・見える化を実現する。観察・洞察・理解とモデル化・システム化、予測、自律化・最適化といったプロセスを検討する。ドイツの成熟指標はこの間のステップを図解している（次図）。

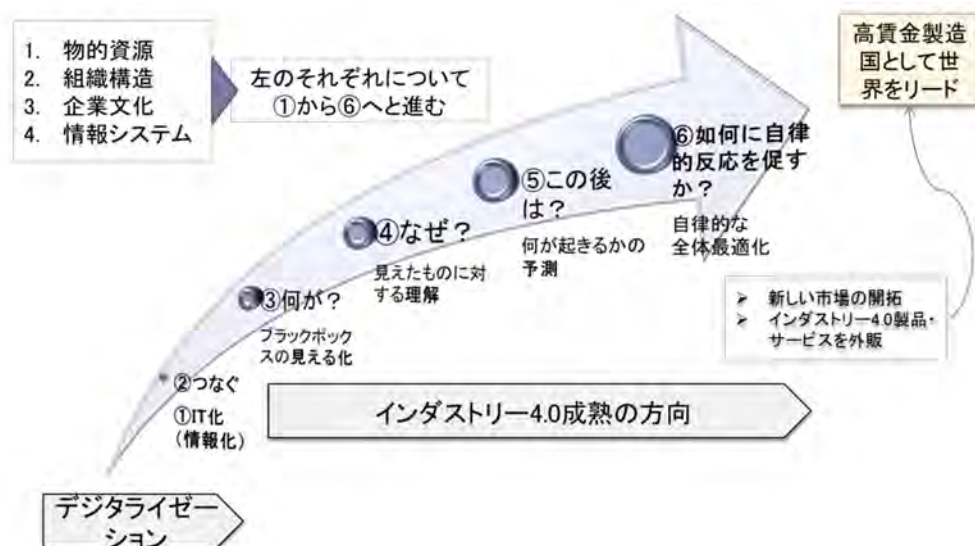
この図では①と②の IT を入れてつないだだけの段階はインダストリー4.0 とは呼ばない。つまり 3.0 の段階に過ぎないことを明示している。4.0 の段階とは③から⑥の段階をいう。「見える化」「その解析」「その予測」と進み、最終段階に「最適化」を位置づけている。これはあくまで製造工程の例示であるが、ものづくりが無駄なく、自動的に、最適な状態でおこなわれることが目的であり、問題が生じる前に「予測分析」機能を介して先手を打てる状態を狙っている。状態を瞬時に把握でき、次の行動へとつながることが重視⁸²されている。ドイツの考え方は、ダッシュボード上に可視化されたデータを人間がみて判断して行動に移すというよりは、人間がみて判断するところまで機械学習などの AI を活用して行動に移す選択肢まで表示させるという点にも力点がある。

特に管理者層は、所管業務はビジネス戦略と合致しているか、目標との乖離度合、業

⁸² IFS の 2016 年の白書「デジタル・トランスフォーメーションと製造業 今なすべきこと」を参考にした。

務の進行状況が顧客に価値をもたらすか、非効率なプロセスはどれか、時間と資源を無駄にしている要因は何か、といった情報を収集し、現況を把握でき、必要な行動をとるための判断ができるかに集中できるようになる⁸³。

参考：ドイツのインダストリー4.0の成熟指標



注.この図の注目点は3つある。

- ・1つは左上の四つ。インダストリー4.0の成熟化は決してITシステムのみには限らないという指摘である。物的資源、組織構造、企業文化も含めて転換すべきことが強調されている。
- ・2つはデジタルイゼーションとインダストリー4.0を区別していること。つないだだけではインダストリー4.0ではない。
- ・3つは、自律的な全体最適化がインダストリー4.0の目指す姿であり、ひいてはドイツが「高賃金国」として世界をリードするというドイツの矜持である。

出所：acatech Industrie 4.0 Maturity Index 2017.4.25の英語版から

https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/acatech_STUDIE_Maturity_Index_eng_WEB.pdf

上図の左上にある囲みには、物的資源のほかに、組織構造、企業文化、情報システムの4つそれぞれが転換すべきとその必要性が明示されている。インダストリー4.0、すなわち「ものづくりDX」において「物的資源（含む人的資源）」やITシステムの重要性は当然であろう。しかし、「企業組織」や「企業文化」はなぜ転換対象となるのであろうか⁸⁴。すでに2-3-2-4でみてきたとおり、デジタル武装をすすめるにはデジタルマインドが必要となる。こうした新しいマインドセットを生かすにはそれにふさわしい組織構造を必要とするからだと考えられる。

3-4-2. ものづくりDXとツールボックス

WEFでは、第四次産業革命を進めるにあたり、製造業を含むバリューチェーンの端から端までをカバーするデジタル化のユースケースとして92個の例をツールボックスとして取り上げている。ここではものづくりDXを推進するときの参考として以下に紹介（次

⁸³ IFSの2016年の白書「デジタル・トランスフォーメーションと製造業 今なすべきこと」を参考にした。

⁸⁴ CTI DigitalのDirector Paul Johnson氏は、The Drum Networkの“Automation and employment: How universities must respond to Industry 4.0”の記事の中で、「人も技術もプロセスも一緒に進化すること」の重要性を説いている。

<https://www.thedrum.com/opinion/2020/01/30/automation-and-employment-how-universities-must-respond-industry-40>

参考欄) する。製造業では、「デジタルアセンブリと機械」「デジタルメンテナンス」「デジタルパフォーマンス管理」「デジタル品質管理」「デジタル対応の持続可能性」の5つが分野ごとに例示されている。

参考 15 製造業のデジタル化のためのツールボックス

デジタル化分野	デジタルツールとユースケース
1. デジタルアセンブリと機械 ▶ ロケーティング ▶ 最適化 ▶ 作業・訓練標準化 ▶ プロセス制御 ▶ デジタルリーン ▶ 人工知能による制御 ▶ 可変性 ▶ モジュール生産	▶ 主要製造コンポーネント用のリアルタイムロケーティングシステム (RTLS) ▶ 生産ライン PLC のビッグデータ分析によるサイクルタイムの最適化 ▶ デジタル標準の作業/トレーニングを可能にするための光誘導アセンブリシーケンス Mixed Reality ▶ プロセスの最適化に適用される高度な IIoT ▶ 人工知能によるプロセス制御 ▶ デジタルリーンツール (eKanban、eAndon、eSpaghetti など) ▶ 人工知能誘導マシンのパフォーマンス最適化 ▶ デジタルで有効な可変タクトタイム ▶ デジタル対応のモジュール生産構成
2. デジタルメンテナンス ▶ 重作業 ▶ 機械アラーム ▶ 予測メンテナンス ▶ コスト最適化 ▶ リモート支援	▶ センサー分析による重作業のコスト最適化 ▶ 機械アラームの集約、優先順位付け、分析対応の問題解決 ▶ 履歴データとセンサーデータに基づいてデータを集約する予測メンテナンス ▶ エッジセンサーに基づくリアルタイムのパイプラインコストの最適化 ▶ 拡張現実を使用したリモートアシスタンス ▶ 逸脱の根本原因特定のための分析プラットフォーム
3. デジタルパフォーマンス管理 ▶ リモート最適化 ▶ ダッシュボード ▶ デジタルツイン ▶ アップグレード ▶ マシン・ERP 接続 ▶ 監視・視覚化 ▶ KPI レポート ▶ 労働力 ▶ 現場対応 ▶ デジタルツイン ▶ デジタル対応	▶ リモート生産最適化のための分析プラットフォーム ▶ 監視するデジタルダッシュボード ▶ OEE パフォーマンス ▶ リモート生産最適化のためのデジタルツイン ▶ 運用管理をアップグレードするエンタープライズ製造インテリジェンスシステム ▶ マシンレベルのデータをエンタープライズソフトウェアに接続する統合プラットフォーム ▶ リアルタイムの資産パフォーマンスの監視と視覚化 ▶ センサーベースの製造 KPI レポート ▶ 接続された労働力を強化するデジタルツール ▶ 現場に合わせたデジタル採用プラットフォーム ▶ 持続可能性のデジタルツイン ▶ デジタル対応のマンマシンマッチング
4. デジタル品質管理 ▶ スキャニング ▶ インライン検査 ▶ 作業指示書 ▶ デジタル手順 ▶ オペレーターガイド ▶ 品質障害対策 ▶ 品質管理 ▶ 品質監査 ▶ 品質改善	▶ 高コスト CMM (スキャン) のパフォーマンスを置換および改善するためのスキャン ▶ 最終製品の手動検査に代わる自動インライン光学検査 ▶ デジタル作業指示書と品質機能 ▶ 統合されたワークフローを備えたライン運用のデジタル化された標準手順 ▶ 行末検査でオペレーターをガイドする MR 眼鏡 ▶ フィールド品質の障害の集約、優先順位付け、高度な分析が可能な問題解決 ▶ IoT 対応の製造品質管理 ▶ デジタル品質監査 ▶ 予測分析による品質改善
5. デジタル対応	▶ 予測分析によるエネルギー最適化

の持続可能性 (エネルギー分野)	➤ IIoT リアルタイムエネルギーデータ集約およびレポートダッシュボード ➤ エネルギー管理のためのセンサーベースのデータ収集
---------------------	---

注.左側の明朝体は「デジタルツールとユースケース」から抽出したキーワード、NSRI 作成

出所：WEF, Global Lighthouse Network: Insights from the Forefront of the Fourth Industrial Revolution の P8 から NSRI 作成

http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Lighthouse_Network.pdf

次に、バリューチェーンの端から端までをカバーするデジタル化のユースケースとしては、「サプライチェーンネットワークの接続」「端から端までの製品開発」「端から端までのプランニング」「端から端までのデリバリー」「顧客との接続」の 5 つが提示されている。

参考 16 バリューチェーンの端から端までをカバーするデジタル化のユースケース

バリューチェーン各分野	デジタルツールとユースケース
1. サプライチェーンネットワークの接続 ➤ 需要集約 ➤ コストモデル ➤ 購入 ➤ 調達 ➤ SC 可視化 ➤ 品質追跡 ➤ 部品の追跡 ➤ サプライヤー管理 ➤ 人工知能 ➤ 共同データ分析	➤ エンドツーエンドのサプライヤネットワーク全体での需要の集約 ➤ Makeversus をサポートするためのコストモデル ➤ 購入決定 ➤ 支出インテリジェンスと自動支出キューブによりサポートされる分析主導型の調達 ➤ エンドツーエンドのリアルタイムサプライチェーン可視化プラットフォーム ➤ サプライヤーと材料の品質追跡 ➤ 表面スキャンに基づく独自のデジタルタグからの部品トレーサビリティ ➤ デジタルサプライヤーのパフォーマンス管理 ➤ サイト間のデジタルアプリケーションのスケーリングを加速する人工知能 ➤ プロセス最適化のための機器 OEM との共同データ分析
2. 端から端まで、製品開発 ➤ 迅速設計 ➤ 製品設計・テスト ➤ アイデアから市場 ➤ ロボティクス ➤ BD/AI 対応製品 ➤ VR ➤ VR と試作 ➤ 製品開発ライフサイクル ➤ 迅速外注	➤ 迅速な設計プロトタイピングのための 3D 印刷 ➤ 製品設計およびテスト用の 3D シミュレーション/デジタルツイン ➤ テストの自動化 ➤ アイデアから市場へのパフォーマンス管理のための高度な分析 ➤ ロボット工学を使用した製品開発 ➤ ビッグデータ/AI 対応製品の設計とテスト ➤ VR でサポートするプロトタイピング ➤ 製品開発ライフサイクルを通じたデジタルスレッドの実装 ➤ 迅速な外注プロトタイピング ➤ クラウドソーシングと競争によるデジタルソリューション開発
3. 端から端まで、プランニング ➤ 需要予測 ➤ 販売と運用、在庫 ➤ DT ➤ スケジューリング ➤ 動的最適化 ➤ 動的シミュレーション ➤ プラント割り当て ➤ 統合事業計画 ➤ SC 可視化 ➤ 製造流通最適化 ➤ 生産計画最適化	➤ 需要予測 ➤ リアルタイムの販売および運用計画 (S&OP) ➤ リアルタイムの在庫管理 (内部/外部) ➤ デジタルツインを使用した動的生産スケジューリング ➤ 動的ネットワーク最適化 ➤ 予測に基づく在庫補充 ➤ 動的な倉庫リソースの計画とスケジューリングのための分析 ➤ 倉庫設計の動的シミュレーション ➤ ノータッチマスタープランニング (プラントへの割り当て) ➤ デジタル統合事業計画 ➤ 閉ループ計画 ➤ エンドツーエンドのリアルタイムサプライチェーン可視化プラットフォーム

	➤ 製造と流通のフットプリントを最適化する高度な分析 ➤ 高度な分析によって最適化された生産計画
4.端から端まで、デリバリー ➤ 動的配信 ➤ ロボティクス対応 ➤ デジタル追跡 ➤ 物流管理 ➤ 注文管理 ➤ ピッキング ➤ 予測メンテナンス ➤ ユーバー化	➤ 動的配信の最適化 ➤ ロボティクス対応の物流実行 ➤ デジタルトラックアンドトレース ➤ 物流のための資産使用とヤード管理 ➤ ノータッチ注文管理 ➤ デジタル対応のピッキングと輸送 ➤ フリート資産の予測メンテナンス ➤ 輸送の「ユーパー化」 ➤ リアルタイムの制約に基づいた ATP (ネットワークプロトコル) ➤ デジタル物流管制塔
5.顧客との接続 ➤ 消費者行動追跡 ➤ カスタマイズ ➤ オンライン注文 ➤ 顧客配信 ➤ 注文配送用の顧客とのつながり ➤ 梱包 ➤ 顧客分析 ➤ 顧客の位置 ➤ 製品追跡測定 ➤ 顧客システムの DT	➤ 消費者の行動を追跡および測定するための接続されたデバイス ➤ 大規模なカスタマイズとビジネス対顧客 ➤ B2C オンライン注文 ➤ 新しい配信ソリューションを通じて、どこにいても顧客に配信 ➤ 製品を構成および注文し、配送を追跡するための顧客エンドユーザーインターフェイス ➤ スマート/インテリジェントパッケージ ➤ 無線周波数識別 (RFID) によって実現される顧客分析 ➤ 顧客洞察のためのオンラインコミュニティ ➤ GPS ベースの地図と顧客の位置 ➤ 3D 印刷 ➤ 製品のパフォーマンスを追跡および測定するための接続されたデバイス ➤ 顧客システムのデジタルツイン

注.左側の明朝体は「デジタルツールとユースケース」から抽出したキーワード、NSRI 作成

出所：WEF, Global Lighthouse Network: Insights from the Forefront of the Fourth Industrial Revolution の P9 から NSRI 作成

http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Lighthouse_Network.pdf

上の二つの表から「製造業のデジタル化のためのツールボックス」と「バリューチェーンの端から端までをカバーするデジタル化のユースケース」のそれぞれの応用の仕方を見ていると、我々が当面のターゲットにしているものづくり DX は製品面よりは生産プロセス面に比重を置いてきたが、前者の「製造業のデジタル化のためのツールボックス」のみならず、後者の「バリューチェーンの端から端までをカバーするデジタル化のユースケース」の中にも、生産プロセスに与える影響があるテーマが数多くあることがわかる。

例えば「エンドツーエンドのサプライヤネットワーク全体での需要の集約」をはじめ、「支出インテリジェンスと自動支出キューブによりサポートされる分析主導型の調達」「表面スキャンに基づく独自のデジタルタグからの部品トレーサビリティ」「プロセス最適化のための機器 OEM との共同データ分析」「デジタルツインを使用した動的生産スケジューリング」「消費者の行動を追跡および測定するための接続されたデバイス」「製品のパフォーマンスを追跡および測定するための接続されたデバイス」「顧客システムのデジタルツイン」などを挙げることができる。

3-4-3. ものづくり DX を進めるための企業組織のイメージ

一般的に、製造業においてもものづくり DX を推進するには、全組織がある日を境とし

て一気に DX を実行して新しい IT システムを稼働させ、IoT や AI を活用して目指すあるべき姿を実現するといったやり方は現実的ではなく実際のでもない。従来型の事業は従前どおり運営を続け収益を稼ぎ出し、ものづくり DX という投資を支える必要がある。そこでものづくり DX 推進チームの立ち上げが必要になる。このチーム（以下、CTB⁸⁵）はものづくり DX に必要な企画立案を行い、数々のアイデアを出し合い、いくつかの実証を通してその素晴らしさを従来型の組織に見せたり、体験させたりすることによって感動・感銘を与え、ものづくり DX に取り組むことの必要性を事業組織内に浸透させ、ものづくり DX を先導・普及させていくことが使命となる。組織内には AI や IoT、ネットワーク、データ解析、ものづくりの専門家といった多様な専門性を持った人材が蟄集する。CTB は必然的にフラットな II 型の組織となると考えられる。

ものづくり DX を進めるには、CTB（Change the Business、変革推進チーム）と RTB（Run the Business、既存事業による収益確保部隊）を峻別する位置づけとし、両組織を同時並行的に運営していく必要がある。次表は、従来型組織（RTB）ともものづくり DX 推進チーム（CTB）の特徴を対比したものである。この対比は RTB と CTB 間に横たわるギャップの数々を浮き彫りにしている。

次表では組織自体の対外開放度のほか、組織構成人材、組織構造、競争領域と協調領域、これまでの経験・ノウハウを重視する文化、失敗を選択肢としない文化、人員の統制管理方式に関するそれぞれの CTB における要件がどう変化するかについてまとめたものである。主な特徴をみると、対外開放度では開いた組織で事業ごとにメンバーを糾合する、構成メンバーは正社員以外のアドホックなメンバーが随時参加する、メンバー支援を主とするリーダー像、協調領域の選り分け、デジタルを受け入れるマインドセット、人材ピラミッド型の制御放棄などである。

参考 17 従来型組織ともものづくり DX 推進組織に求められる要件（組織原理）

従来型組織（RTB）	ものづくり DX 推進組織（CTB）
a.組織自体の対外開放度 ・人材ピラミッドに沿った外に対して閉じた固定的な組織	・フラットな II 型組織の集合体 ・外に対して開いた組織 ・事業ごとに最適な内外のメンバーを糾合
b.組織構成人材 ・組織構成員は主として社内人材（正規、非正規）と派遣人材	・組織構成員は正社員とアドホックな外部人材（スタートアップ、フリーランス、ギグワーカー等）による II 型チーム ・外部企業とも連携・協働（エコシステム、オープンイノベーション） cf. 独のワーク 4.0 ではフリーランスの組織化が議題に cf. オランダの ASML の半導体製造装置開発の仮想的 R&D
c.組織構造	・フラットな II 型組織、（cf. “Teal Organization ⁸⁶ ”）

⁸⁵ CTB:Change the Business の略

⁸⁶ ティール組織～ヒエラルキー型と対、「フラットな II 型組織」に通じる。2018 年 1 月に日本語訳『ティール組織』ベルギー出身のフレデリック・ラルー氏提唱。経営者の意思決定で動くのではなく、社員が自己管理して目的を遂行する。原則すべての事業を所属員が自主決定する。要件は①企業の明確な目的、②社員の自主決定権限、③社員が事故を偽らず能力を最大限発揮できる仕組みの三つ。出所；日刊工業

・人材ピラミッド、上下の管理社会、ホウレンソウ重視 ～（減点主義、ムラ主義、忖度主義、事なかれ主義、短期業績重視志向～アンケートから）	・新しいリーダー像が必要（IPA のレポート⁸⁷や最近のリーダーシップ研究（※）参照） ・メンバー個々の才能を十全に引き出せるように統括するのがリーダーの役目 ・異能人材間の翻訳機能や個々の人材の個性をバックアップする「いいね」感覚の支援がミッション
d.競争領域と協調領域 ・業務の大半を競争領域として社内に抱え込む傾向	・競争領域と協調領域が区別されて共存 ・競争領域部分は、固有の技術・ノウハウで差別化 ・協調領域では協調による規模の経済や範囲の経済によるコスト低減、効率化を実現
e.ものづくりで培ってきたこれまでの経験や知見を大事にする文化	・デジタルマインドの取り込みができる文化 ・デジタルとの「養子縁組」を受け入れる文化 ・「従業員」が、デジタルを進んで採用するように動機付ける条件を作成する方法の重要性
f.「失敗は選択肢ではない」という企業文化	・デジタルマインドで重要なポイント ・スマートなデジタル移行を行う方法は、従業員にさまざまなことを試して、うまくいかないことをやめる自由を与えること
g.ピラミッド型の階層制御方式	・エンジニアリング主導型の企業や科学に基づいた産業では、階層制御をあきらめる必要があること ・小規模から始め、検証済みのデータを生成してから、段階的に変更する必要。漸進的な変化に従業員を関与させる必要。一般に使用されるよりも乱雑な権限の分配を受け入れる必要がある。

出所：諸資料と本専門部会での議論をもとに NSRI 作成

3-4-4. 既存の収益事業（RTB）と変革推進チーム（CTB）の役割・使命

上の表でも明らかなごとく、CTB と RTB の関係は、相互に異質である。異質な組織は両立しにくい。したがって強力なトップダウンによる意志決定と運営支援が求められる。特に CTB は、その活動しやすさを担保したうえで、変革に必要な専門性の高い人材について社外を含めた事業の内外から確保する必要がある。必要な人材にはデジタル関係が含まれる。CTB は必然的に II 型チームとなる。両者は異なる役割・使命を有する。前表にあるとおり組織原理が異なるとともに次表のような役割・使命も異なる。ものづくり DX には RTB と CTB の組織原理も役割・使命も相異なるという経営認識が必要といわれる所以である。

表 RTB と CTB 両組織の役割と使命

既存の収益事業を担う組織 (RTB)	変革を推進する専門チーム (CTB)
●組織の役割	●組織形態：II 型チーム（DX の推進部署、事業変革主

新聞 2019 年 7 月 18 日 「用語」ティール組織

⁸⁷ IPA 独立行政法人情報処理推進機構「アジャイル領域へのスキル変革の指針 アジャイル開発の進め方」2018.4 <https://www.ipa.go.jp/files/000065606.pdf>

・従来の延長上で「ものづくり主体の事業」による収益確保に専念 ・事業基盤を支え、DX・事業変革を支援	導・先導部署、オープンイノベーション推進組織)
	●組織の役割：自社変革に適した新技術の選定と実装を先導事業として始動し、成果を素早く訴求し、変革を推進
	・新しいプロセス・事業・システムの創案とアジャイル流の開発により実証、実装を先導
	・アジャイル開発、デザイン思考、システム思考
	・小さいが効果の大きい問題の解決から着手
	・成果を PR しつつ、RTB に感動と共感の輪を広げ、新しい取組を普及させ、事業に貢献
●組織の使命 ・既に実績がある既存の組織を、経営目標に沿って着実に運営し、所期の目標を達成することが使命	・稼ぎ続ける RTB チームに「ワーオ」と言わせる成果を示しながら、変革の輪を RTB に広げる (例.旭鉄工)
	●組織の使命：DX 推進をめざし、DX により効率や生産性の改善と並行して、新たな稼ぎ方や付加価値の生出し方を検討 ・売り上げ増につながる課金方式の見直しや、モノの機能をサービスとして販売するという視点、DX に取組んで蓄積してきた自らのノウハウを体系化してサービスとして外販化するという視点等事業モデルの検討 ・生産プロセスの抜本的見直しによるイノベーション(効率と生産性の追求)を先導 ・従来の事業領域から他組織と協調すべき領域の洗い出し、協調後のビジョン作成、普及

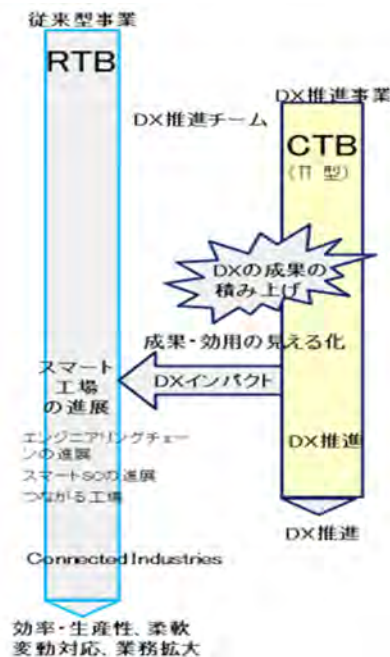
出所：諸資料と本専門部会での議論をもとに NSRI 作成

図 33 DX と RTB/CTB の共進化

RTB と CTB の関係は、既述の表「従来型組織とものづくり DX 推進組織に求められる要件 (組織原理)」と同「既存の収益事業 (RTB) と変革推進チーム (CTB) の役割・使命」の各表のとおりであるが、ものづくり DX の進展局面に応じて変化していく (右図)。

RTB は従来事業を滞りなく推進し、DX のための収益基盤をゆるぎなきものとするのが第一の使命である。その間、DX 推進を使命とする CTB が立ち上がり、DX の具体的な施策を展開する。試行錯誤を重ねつつ、成果を打ち出す。成果の見える化を工夫してこれを既存組織である RTB に示し、その共感を得つつ RTB の変革を先導し支援する。

こうしたサイクルが進行して RTB についても DX の波が及ぶとともに CTB を梃子とした DX が推進され、RTB も DX による進化と変革を果たし、デジタル化さ



出所：諸資料と本専門部会での議論をもとに NSRI 作成

れた製造業に変身することができる。したがってものづくり DX の当初は RTB と CTB は別々の活動に専念するが、CTB はその活動成果を RTB に還元していくことによって RTB も進化して新しい RTB となり、新事業への取組みや組織の変革を実現する。

次のコラムはパナソニックに 2017 年 4 月に新しく誕生したデザイン統括専門組織（FUTURE LIFE FACTORY）の解説である。デザインの視点からこれまでにない商品開発を使命とする。すぐに全組織を変えようとするのは難しいので「いったん事業とは切り離れたうえで動く」としている。課題として事業部門に引き継いでいないことを挙げている。まさに事業変革を担う一種の CTB の事例だと考えられる。

コラム 9 DX 推進に伴う組織見直しの類似事例（パナソニックの事業変革）

商品開発の「現場力」を変えるための取組み

1. 「FUTURE LIFE FACTORY（フューチャーライフファクトリー）」2017 年 4 月設立
2. パナソニック全体のデザインを統括する「デザイン本部」傘下の専門組織。
3. ミッションは、顧客の潜在ニーズを深掘りして、デザインの視点でこれまでにないプロダクトを生み出していくこと。
4. デザイン本部の臼井重雄本部長（家電を中心にプロダクトデザインを長らく続けてきた人物）約 9 年間の中国勤務を経て、16 年に家電のデザイン部門に戻る。
5. 「中国ではすでに IoT や AI（人工知能）などが家電の世界に導入され、デザインを含めた商品開発が大きく変わろうとしていた。なのに日本に戻ると依然として既存製品の深掘りに終始していた」。強烈な危機感を持った。「これじゃ勝てない」
6. 約 27 万人の従業員を抱える巨大組織だけに、すぐに組織は変えられない。ならば、「いったん事業とは切り離れたうえで動く」（臼井氏）。こうした考えで誕生。
7. 現在のメンバーは 6 人と少数精鋭だ。家電や住宅などのデザイナーに加えて、ハードやソフトの技術者から成る。家電や住宅などの事業部門から選抜された。事業部門の枠から離れることで、これまでの延長上にはないプロダクトのアイデア出しから試作、商品化までを目指すしている。
8. 「規模感を含めて事業部門に引き継いでいないのは課題だ」と臼井氏も認める。

注. この事例は「デザイン思考」を導入して商品開発の在り方を革新しようとするもので直接 DX を狙うものではないが、脅威の手本である中国勢が IoT・AI を導入した家電商品開発をしていることから、DX と無縁とはいえない。全社で一気に変革を狙わず、各事業部から選抜することで小さな専任チームを切り出して成功事例を積み、その流れを全社に浸透させようとしている点は Stora Enso 社の例とよく類似しており、この選任チームは、様々な専門家のより集まりである点からも CTB の事例だと考えられる。

出所：日経ビジネスオンライン 2019 年 10 月 22 日「パナソニック、「デザイン思考」で現場力強化に挑む」佐伯 真也、日経ビジネス記者
https://business.nikkei.com/atcl/gen/19/00067/101800048/?n_cid=nbpb_mled_mpu

3-4-5. CTB の切り出しと RTB との共存策

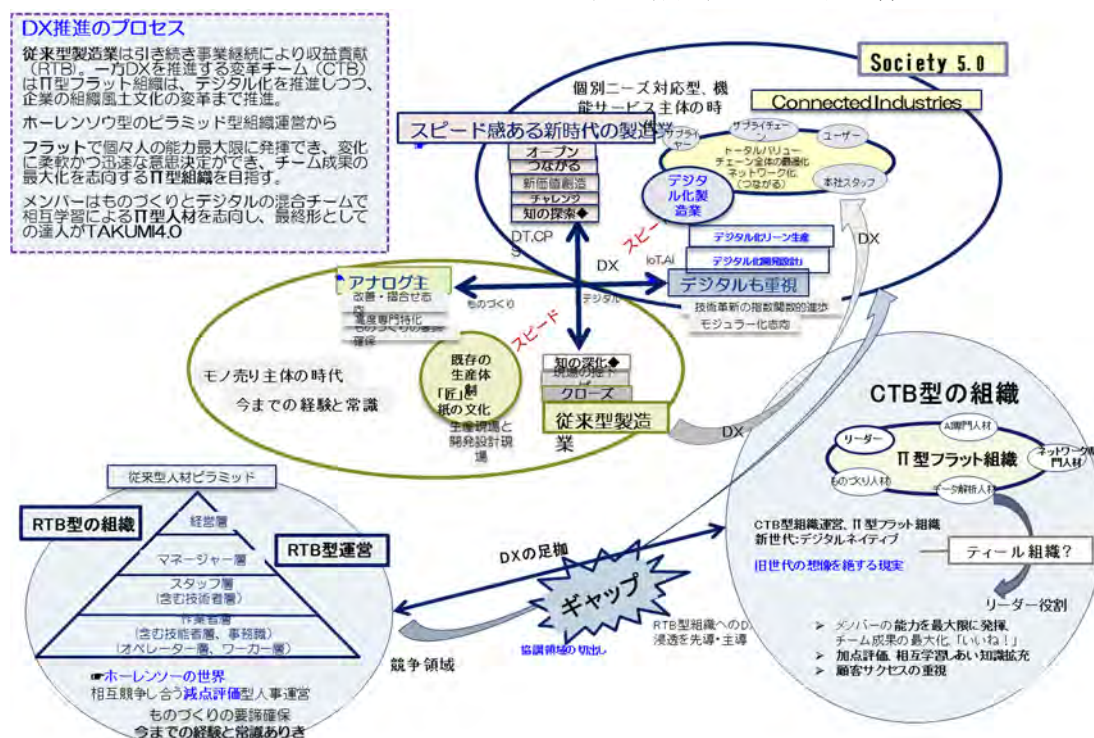
組織面から見ると、ものづくり DX とは、結局、RTB を堅実・着実に運営して商圏を維持拡大し、収益を稼ぎ出す一方で CTB を別途独立的に設置運営して DX の推進をリードさせていく取組みに他ならない。

次図は上半分（双方向十字矢印と二つの楕円部分）と下半分（三角形のピラミッド形と円の部分）からなる。上半分はすでにみてきたものづくり DX のイメージ図である。RTB と CTB の両組織の間にはその使命の乖離から生じるギャップ（溝）がある。またものづくり DX は左側の従来型を全否定して右上にシフトすることではなく、あくまで従来型を維持しつつ、いかにして右上のデジタル化を実現するかという非常に複雑な変革活動である。したがって横軸は「アナログからデジタルへ」ではなく、「アナログ」から「アナ

ログにデジタルも」重視した世界への転換が必要になるのである。なお、先進事例によれば、ものづくり DX を実際に推進するには、両組織間の相反する使命に起因するギャップ（溝）がいわゆる抵抗勢力として肥大化する可能性があり、両者のバランスをどうとるかが経営上の重要課題⁸⁸であるとされる。

従来型の事業運営組織（以下、RTB⁸⁹）はおおむね上図の左下のようなピラミッド型をなすことが多い。経営トップの下にマネージャー層、スタッフ層などと階層構造をなす。その運営方法はものづくりの要諦確保が重視される。今までの経験やノウハウといった常識に支配される。ハウレンソウが重きをなし、従業員相互が競争し合い、減点評価型の人事運営が行われていた。

図 34 DX 推進のプロセスに企業組織見直しを要する背景



注.上図は、従来型製造業については「デジタルも」重視してデジタル化された製造業を目指すという図。一気に転換するわけにはいかないので、DX推進チーム（CTB）を分離して個々が変革の方向を先導し、徐々に成果を見せながら既存組織（RTB）の変革を支援する。

- ・従来型は自前主義などのクローズな慣行をオープンなつながりによるエコシステムを形成（Connected Industries）。匠の技のような「知の深化」から外部知識を積極的に登用活用する「知の探索」を進め、新価値の創造にチャレンジする。
- ・CTBはII型のフラットな組織でRTBとは相いれにくい組織文化とならざるを得ない。このギャップをどう埋めるかがものづくりDXの最も重要な課題となる。

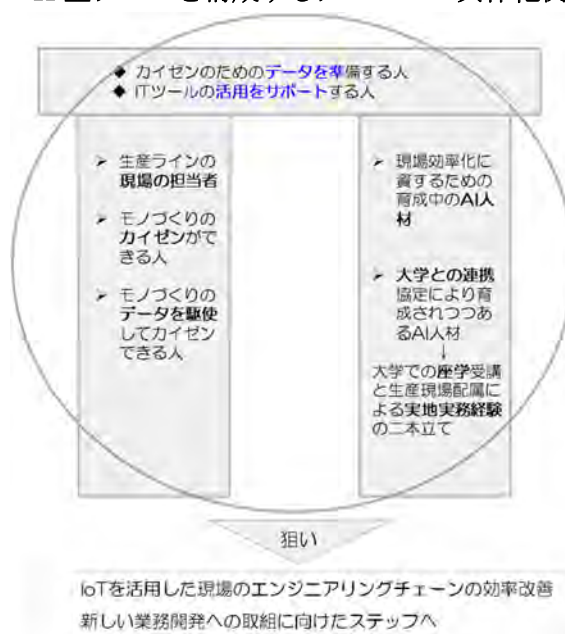
出所：諸資料と本専門部会での議論をもとに NSRI 作成

⁸⁸ フィンランドの STORA ENSO 社の事例は、落ち込んだ業績を立て直して事業変革するプロセスが CTB チームの選抜とその活躍にあることを如実に示している。

⁸⁹ RTB:Run the Business の略

CTB チームの一つの事例として本専門部会では見学先企業の実践例を踏まえ、「工場内の IoT ルームに集うメンバーの様子」が II 型組織のイメージと合致したとの指摘がみられた。工場内に IoT ルームがあり、そこにもものづくり系から「生産ライン現場の担当者」「ものづくりのカイゼンができる人」「ものづくりのデータを駆使してカイゼンできる人」（次図の左側の足部分）とデジタル系の「現場効率化に資するための育成中の AI 人材」「現場効率化に資するための育成中の AI 人材」（次図の右側足の部分）が集い、さらに「カイゼンのためのデータを準備する人」「IT ツールの活用をサポートする人」（次図の横バーの部分）が両者の橋渡しを行いながら、現場の問題解決にあたる体制になっている。AI 人材育成の連携大学における**座学**受講と生産現場配属による**実地実務経験**の二本立てであり、その狙いは IoT を活用した現場のエンジニアリングチェーンの効率改善と新しい業務開発への取組に向けたステップへ踏み出すことにあると考えられる。次図はそのイメージである。

図 35 II 型チームを構成するメンバーの具体化例



出所：第3回部会でのダイキン工業（株）臨海工場の見学を踏まえた第4回部会での中野委員の意見に基づき作成

3-4-6. ものづくり DX 推進チーム（CTB）のリーダー像

CTB にみられるようなものづくり DX 推進チームのリーダーには新しいリーダー像が必要とされ、従来型人事評価システムがスクリーニングしてきたようなタイプとは異なるタイプが求められる。ものづくり DX 推進担当の CTB チームは、メンバーがそれぞれの専門性を有していることやメンバー個々の才能を十全に引き出せる必要があることから、異能人材間の翻訳機能や個々の人材の個性をバックアップする「いいね」感覚の支援がミッション（次参考）となる。したがって組織自体もピラミッド型ではなく、“Teal Organization” で言われているようなフラットな II 型組織を志向することになる。CTB のようなチームリーダーは「プロデューサー型・支援型」の新しいタイプが必要とされている。

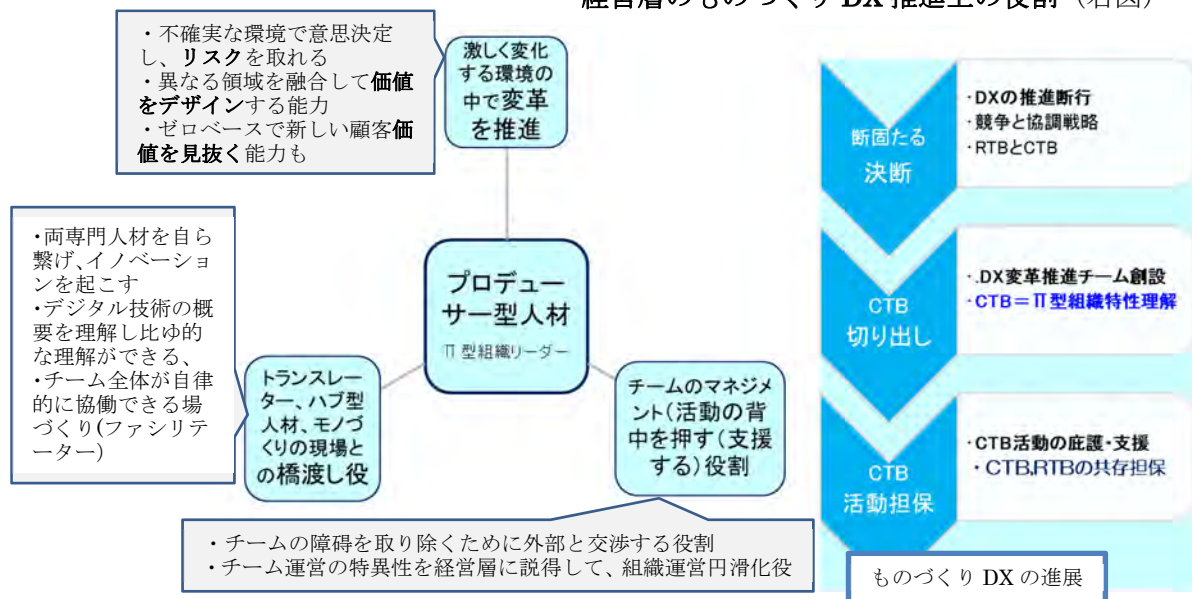
参考 18 プロデューサー型・支援型リーダー像の一端

リーダー像の側面	プロデューサー型・支援型リーダー像の例
プロデューサー型・支援型リーダー像の概要	▶ 全体俯瞰力に留まらず、専門家間の橋渡しや翻訳能力にも優れ、メンバーの能力を最大限に引き出すことができる。 ▶ 加点評価のもとで II 型学習や相互学習による知識拡充を重視してチーム成果の最大化に努める。「いいね！」感覚の支援型リーダーシップ
能力パターン	▶ 顧客サクセスを重視 ▶ システム思考やデザイン思考、リーンスタートアップにも通曉したデジタルマインドを具備
個別能力例	① 自社の取り組むべき真の課題の設定をその本質から考え抜く(メンバーと共に) ② 課題解決に使えるデジタル技術の選定等に必要な人材を社内外から募集発掘登用 ③ デジタル技術を活用した事業革新プロセス革新のアイデアや企画の募集結集 ④ ものづくり DX の概念やその実現戦略の企画立案社内説得 ⑤ 異分野・異専門間のブリッジ・ハブ人材(コミュニケーション、チームワーク)

出所：諸資料並びに本専門部会での議論をもとに NSRI 作成

それでは、こうしたプロデューサー型・支援型リーダーと経営トップの役割はどう異なるのか。次図は、CTB のリーダーとしての「プロデューサー型・支援型」人材のイメージと経営層の役割を対比することによってそのイメージを検討したものである。

図 36 II 型組織のリーダー（プロデューサー型・支援型）期待される役割と能力（左図）
経営層のものづくり DX 推進上の役割（右図）



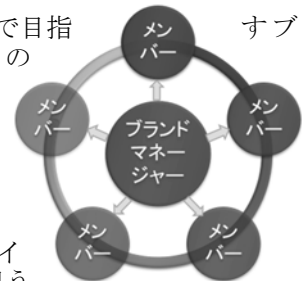
出所：諸資料並びに本専門部会での議論をもとに NSRI 作成

上図のプロデューサー型・支援型の右下に伸びる囲みに「チームのマネジメント」として「活動の背中を押す(支援する)役割」とある。この役割は、「支援型リーダー」とも呼ばれ、フラットな組織の中でのリーダーの在り方を示している。

次のコラムは支援型リーダーが企業のブランドマネージャーの中に見出せる例である。ここにはブランドマネージャーについて「マネージャーは全員で目指すブランドの姿を実現できるようにメンバー一人ひとりを支援する」のが役割になるという。

コラム 10 (※) 最近のリーダーシップ研究「支援型リーダー」

- マーケティングとデザイン思考を専門とし、ブランド・マネジメントを研究する一橋大学鈴木智子准教授は、最強の経営資源は人だと喝破されている。カネ・モノ・情報・時間・知財などがある中で、こうした経営資源を使いこなすのは「人」だからだという。
- ブランドづくりの仕組みの人づくりが大事であり、社員全員が関与するブランドづくり活動の仕組みを習慣的な取組みとして組織に埋め込むことが大切であり、ブランド育成型の組織構築の重要性を説く。
- ブランドマネージャーの役割について、マネージャーは「全員で目指すブランドの姿を実現できるようにメンバー一人ひとりを支援する」のが役割になる。
- 従来型の「支配型リーダー」「管理型リーダー」とは一線を画する。ヒエラルキーの頂点ではなく、メンバーが集う円形の中心に立つ。つまり上限関係ではなく、お互いが支えあう関係にある。これを「支援型リーダーシップ」と呼ぶ。
 ■ブランドマネージャーに関する上記指摘は、IPA のいうアジャイル型組織のリーダー像と重なるばかりか、我々の考える CTB を担う II 型チームのリーダー像とも通底しあえる指摘だと考えられる。



出所：一橋大学 国際企業戦略研究科 鈴木智子 准教授、一橋ビジネスレビュー誌 2019 WIN 号の p 104~115 から NSRI 作成

次の事例は、科学技術の急速な高度化に直面してこれを克服し、国際競争に勝ち抜くために変動対応力を備えようとする、組織経営自体も変わらざるを得ないことを示して

いる。同様に複雑高度化するリーダーにはシステム面からその負担を軽減する仕組みが工夫されている。

コラム 11 サイエンス型産業に典型的な技術革新への対応に必要な組織経営論

1. 科学・技術的な革新の波は、専門知識間にまたがる統合的知識のさらなる広範囲化を要請している。考慮すべき現象の再現メカニズム解明を阻むさまざまな複雑性が、より高い頻度で発生してくるためである。
2. 複雑性のレベルがある閾値を超えると、少数の優秀な統合型人材に頼ることの限界が急速に露呈してくる。彼らの情報処理能力（“脳力”）限界にヒットするためである。
3. このような状況を打破するためには、関連するすべての人材の情報処理能力を適材適所で広範囲に駆使する総動員型の組織経営方式が求められてくる。総動員化の範囲は、企業内の諸部門のみならず企業の境界すらも恒常的に飛び越えていかざるをえない。
4. 総動員型の組織を構築するためには、各自にスタンド・アローン（stand-alone）で専門・統合知識の深化を求めるだけでなく、各自の専門・統合知識や情報処理能力を自律的に共有化・ネットワーク化する“自律分散型”システムの導入が要請される。
5. 最適戦略が、刻々と変化していく組織内外の状況ならびにそれらに直面している人々の知識・ノウハウが高度に「一目瞭然化」・「共有化」された組織でしか、迅速かつ安価に探索できなくなってきた

注1. 本コラムはオランダの半導体製造装置メーカーASML社の事例である。

注2. 技術革新が進むと取り扱う技術が高度化するばかりでなく、複雑性も増す。すると、少数の優秀な人材だけでは処理に限界がくる。関連する様々の専門人材を集めてそれぞれの専門知識・ノウハウを「一目瞭然化」、「共有化」できないとこうした技術革新に対応できなくなる。

注3. ASML社は「共有化」のために外部専門研究機関や大学、関連メーカーとの密接な関係を構築し、人的にも親密な交流と連携を実現した。ソフトウェアの複雑性に対応するために UML(Unified Modeling Language)を導入し、抽象度を高め、開発すべきシステム要素を抽出し、相互依存性を明確化することで成果を上げた。

注4. 1と2、3は自前主義では対応が難しくエコシステム形成の必要性を、さらに、様々な専門家を募集して新たなチーム（Ⅱ型チーム）構築が必要なこと、4と注3はそのために UMLを導入するなどして自律分散型システム（Ⅱ型チームがいくつもできてⅡ型組織になる）を構築する必要があることを示している。5.は変動対応可能な組織は、システム化によって「一目瞭然化」・「共有化」された組織であることを示唆している。

出所：一橋ビジネスレビュー2004. WIN.52 巻3号 「日本のサイエンス型産業が直面する複雑性と組織限界」一橋大学イノベーション研究センター教授中馬宏之をもとに NSRI 作成

3-5. “3” のまとめ

ものづくり DX であるべき姿に（イメージとその意義）

- ・ものづくり DX の推進を具体的に製造業の生産プロセスに当て嵌めたときにどんな姿が描けるか。ものづくり DX によって、AS IS(現状のあるがまま)を TO BE (あるべき姿、あらまほしき姿) に近づけることができる。その手段として IoT や BD, AI を駆使して DT と CPS を構築する。これがおおざっぱなイメージである。
- ・例えば「実機のテストでは思いもつかなかったようなケースまでもサイバー空間のシミュレーション上で、ソフトウェアを駆使することにより試すこと」ができる。このように TO BE を目指そうとすると、従来は現物の実機づくり等に多大の時間を要したところ、ものづくり DX の世界では DT によるシミュレーションによって、ごく短時間で同様のことができる。IoT や BD, AI, DT といったデジタル技術を活用すれば、仮想世界（サイバー）と現実世界（フィジカル）の融合（CPS）により、ものづくりが素早くかつ高効率に市場投入できるようになる。

ものづくり DX の意義、スピード

- ・ 現物の実機テストに要する時間とサイバー上のシミュレーションにかかる時間を比べれば、デジタルのスピードが圧倒的に速い。ものづくり DX の推進に残されれば「時間」の勝負だけでも遠く及ばなくなる。冒頭のグラフが示す通りである。
- ・ つまり、製造業の DX は不可避であり、いち早く取り組んだところが勝利を得、様子を見ていたところは敗退を覚悟せざるを得ないということである。DX の本質が、デジタルが有する別格のスピードにあるからであり、製造業のパラダイムシフトとは DX の波に乗り遅れるなということの裏返しの表現に過ぎない。
- ・ アナログ世界とデジタル世界を峻別する最も大きな特徴はこの「スピード格差」にある。
- ・ ものづくり DX とはこのスピードに着目したデジタル技術を製造業に取り込むことにほかならない。それ故に「製造業のパラダイムシフト」と表現される。その主役が「データ」「であり、「デジタル化」と「ネットワーク化」である。
- ・ ものづくり DX のキーワードとして挙げられる「オープン」や「つながる」。それによって、「自前主義」は放棄を迫られ、「スピード感あふれるオープンでつながり合う製造業（Connected Industries）として再構築される。顧客志向が強まり「知の探索」を容易にして「新価値創造」への「チャレンジ」を可能にする。
- ・ 温暖化や異常気象、エネルギー問題、少子高齢化といった現代社会が抱える問題は、ものづくり DX で導入されていく様々のデジタル化ツールを駆使して解決されていく。そして目指す姿が Society5.0 である。
- ・ デジタルツールを使いこなすには相応の知識や心構えなどの理論武装が必要になる。本専門部会ではものづくり DX のイメージとして特に生産プロセスに焦点を当て、DT と CPS を取り上げた。現状(ASIS)把握からあるべき姿(TOBE)を目指す中で、IoT や BD, AI の活用を位置付けるとともに DT を組み込むことで出来上がる CPS を描いている。
- ・ DT についてはものづくりに固有な「理論モデル」と IoT などから収集・蓄積・解析される「データモデル」を対比させることで、ものづくり DX の特徴を明らかにした。
- ・ CPS からみたものづくり DX の流れを OODA ループや従来からある PDCA との関係を検討し、さらにピボットなどのアジャイル開発の流れとも関係づけることで、ものづくり DX 推進の考え方を検討した。

チームで取り組む「ものづくり DX」

- ・ 「ものづくり DX」を具体的にどう進めたらよいのか、またそれによって従来の日本型製造業の強みはどうなるのかが問題となる。
- ・ 本専門部会での議論によれば、従来型のものづくりの強みを維持しつつ、独自のものづくり DX を重ね溶け合わせることによって、従来型の強みを土台としつつ、新時代の新しい強みを創り上げていく。さらに、サイバーとフィジカルのみならず、そこにヒューマンの要素を加味する取組み(デジタル・トリプレット)を重視していく。

- ・従来型のものづくりは RTB(Run the Business)により、しっかりと収益基盤を支える一方で、ものづくり DX の企画立案推進は CTB(Change the Business)組織を立ち上げて次の時代に向けた準備を滞りなく進める。つまり、ものづくり DX 推進の主役は人であるという考え方を第一としている。

ものづくり DX の前提と取組み方の検討

- ・ものづくり DX を進める際の前提となる考え方を整理した。例えば、ものづくり DX 推進チームである CTB は、決して一人のスーパーマンや一人の天才、匠といった「個人商店」に頼りながら進めるものではなく、「II型」のチーム・集団による力でやり遂げることを目指す。一人の 100 歩より 100 人の 1 歩を重視する。
- ・AI そのものの開発を目指すのではなく、AI を使いこなすことを重視する。デジタル重視一点張りではなく、従来型事業を継続しつつ、時代の変化の備えとして変化の芽（ものづくり DX）をかつてないスピードで胚胎・育成する。
- ・ものづくり DX の推進の当初の主役は CTB チームであるが、CTB チームだけがやれば済む話ではない。CTB で開発する取組みは小さく始めるべきとされている。
- ・CTB の活動により、サイバー上で試行錯誤をした成果や効果は素早く見える化される。それが RTB 部隊に「感動・感銘」を与えられるかが鍵となって RTB に対するインパクトとなり、RTB が DX に踏み出すきっかけとなる。デジタルとの融合への一歩が始まる。
- ・ものづくり DX がエンジニアリングチェーンに波及し、さらにサプライチェーン（SC）や製品・サービスに及ぶ。こうしてスマート工場、スマート SC、繋がる製品・サービスというものに係る関係先が、楕円状に繋がり合う世界が出来上がる。

ものづくり DX と変革後の世界

- ・ものづくり DX によって対比すべき多くの側面がある。本専門部会ではそうした観点から組織文化をはじめ、生産体制、事業運営の考え方がものづくり DX によってどう変化するのか、また、ものづくりが直面する事業の背景要因や事業への制約要因、次世代人材などの課題と対応の方向性についても整理している。
- ・ものづくり DX は、俯瞰的にみると、IT 化・情報化の段階から、「つなぐ」という段階に進み、今までブラックボックスだったところが見える化されて、新しいことに対する気づきが生まれる。そこからなぜかという疑問に対する解明が進み、次に何が起きるかという予測が可能となるレベルへと進む。
- ・予測が可能となると自律的な対応を考えることができるようになる。自律的な対応が進むと全体最適が視野に入る。こうしたものづくり DX が逐次進み、積み上げられる過程が第四次産業革命と呼ばれるデジタル革命の進行プロセスになっていく。

ものづくり DX 具体化と組織面の検討

- ・ものづくり DX は従来型組織（RTB）をして一気にこれを変革しようとしても難しい。まずは、変革推進チーム（CTB）を立ち上げ、CTB がいろいろなアイデアを出して小さ

く試しながら、その成果を RTB 側に納得させていく。

- ・CTB チームにはものづくりの各分野の専門家とデジタル系の各分野の専門家が蟻集する。それ故に CTB チームはフラットな II 型の組織になる。
- ・ものづくり DX を推進するという共通目標の下に結束して変革を進める。RTB で培ってきた常識は通用しない。ソフトウェアの分野で開発されてきた考え方や発想であるアジャイル開発やデザイン思考、システム思考、リーンスタートアップ等を取り入れていく。
- ・CTB チームは組織の役割も使命・機能も RTB とは全く異質である。CTB を切り出して RTB との併存を図りつつ、RTB 側をも巻き込んで DX という変革を遂行する必要がある。
- ・経営層に期待される役割はもちろんのこと CTB チームを率いるリーダーの資質も従来とは真逆になる。それゆえにパラダイムシフトと称され、新しい産業革命と呼ばれる。
- ・CTB のリーダーはプロデューサー型の支援型のリーダーとなる。チーム内にどのような専門家を招集するかを決める。各専門家の能力を最大限に引き出しつつ、チーム全体の目標が達成できるよう橋渡し・翻訳する。個々の専門家の背中を押し、専門家の仕事がしやすいように支援する。新しいタイプのリーダー像が必要になる。

4.ものづくり DX 推進上の課題

4-1. ものづくり DX が乗り越えるべき壁（ギャップ）

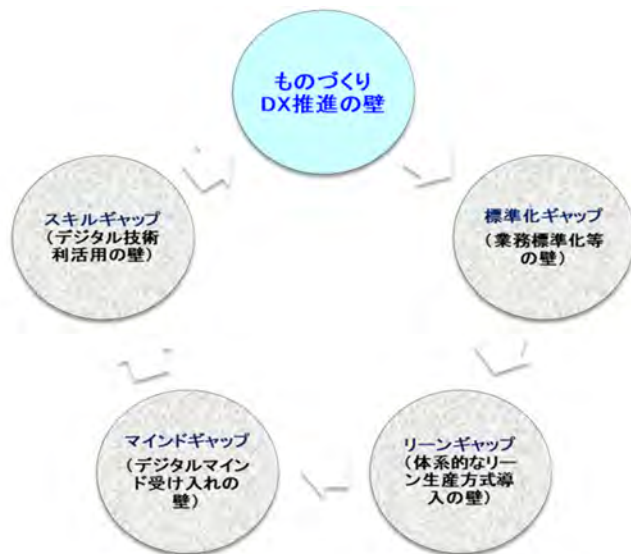
日本の現状はインダストリー3.0段階にきているといえるのか。或いは同3.0から同4.0を目指すための準備ができているのか。ものづくりサイドが、ものづくりDXを推進してデジタル技術を活用するためにはそれなりの前提条件があるはずである。次図はこうした問題意識の下に検討した結果を「ものづくりDX推進の壁（ギャップ）」としてまとめたものである。

図 37 ものづくり DX 推進の壁

この図では、標準化とリーン、マインド、スキルの四つをものづくりDX推進の壁(ギャップ)としている。

4-1-1. 標準化ギャップ

標準化ギャップは業務標準化等の壁を指す。デジタル化の威力を発揮するための標準化の壁（業務標準化、シンプル化や用語の標準化等とのギャップ）を乗り越え、業務系を複雑にしない簡素な仕組みをデジタルで構築する必要がある。



出所：諸資料並びに本専門部会での議論をもとに NSRI 作成

システムのシンプル化や用語の標準化等のほかに機械装置・工具等の作業は、標準化されていればいるほど、効率や生産性が改善されやすいといった、デジタル化の果実が得えられやすくなる。カスタマイズ領域を極力最小にして、標準化されたシステムを使いこなすことでこのギャップを乗り越えることができる。

参考 19 ドイツにおける業務標準化の試み

- 独工作機械工業会 (VDW)は、“umati”をインダストリー4.0の「共通言語」と位置づけ、**I4.0の成功の前提条件**と主張している。
- VDW が主体となって策定中の“umati” (universal machine tool interface ユーマティー) は工作機械向け共通インターフェース規格。産業機械向けデータ交換仕様である OPC UA(OPC Unified Architecture)に基づく。
- 異なる制御システムを使う工作機械がネットワークを介して ERP や MES などの IT システムとつながる（データ交換できる）。これまで工作機械と IT システムをつなぐにはユーザー側がソフトウェアを開発する必要があったが、“umati”に対応した工作機械を導入すれば比較的簡単に IoT 化できるとされる。

出所：日経ものづくり 2019.12 号 p 85

4-1-2. リーンギャップ

リーンギャップギャップは体系的なリーン生産方式導入の壁のことである。大企業は別にして中小企業の中には、ジャストインタイム (JIT) やカンバン方式、5S といったリ

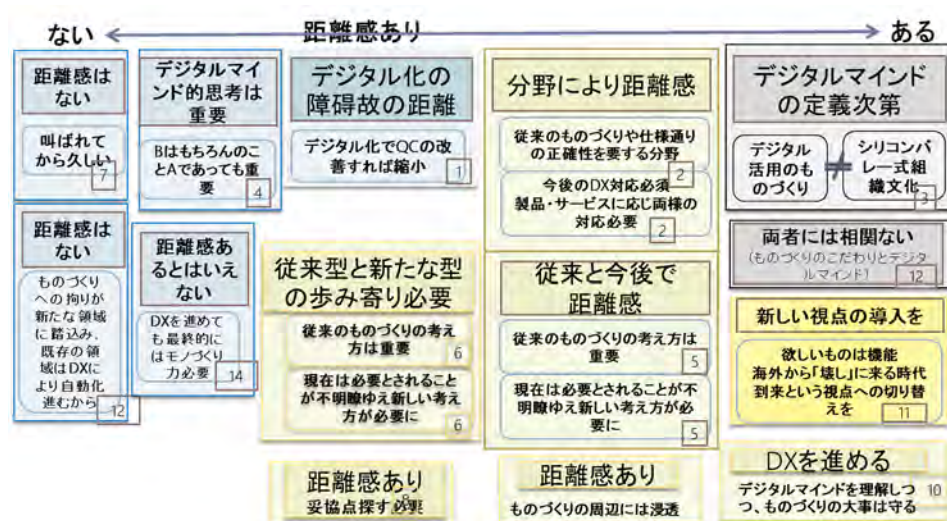
ーン生産方式⁹⁰を咀嚼して導入し実践するまで至らない場合があるかもしれない。これがリーンギャップである。なお、5S やボトルネック理論などを包摂した理論体系としてのリーン生産が導入・消化したレベルをインダストリー2.5 と称するケース⁹¹もみられる。

4-1-3. マインドギャップ

マインドギャップは、デジタルマインド受け入れの壁のことである。デジタルマインドを受け入れたり、BT 思考への切り替えをしったりといったマインドギャップは、本専門部会のアンケートでも確認することができる。マインドギャップは「アンラーニング」の壁という。従来の考え方をいったんご破算にして学びなおすことには多大のエネルギーと気持ちの切り替えを要する。

本専門部会ではこのマインドギャップを書面形式のアンケートで測定を試みた。部会委員に対する認識調査の回答結果（次図）から得られたデジタルマインド受け入れの距離感によれば、距離感があるとする回答から距離感はないとする回答までばらつきの大きい結果が得られた。

図 38 専門部会委員におけるデジタルマインド受け入れとの距離感



注. アンケート調査の実施概要は次の通り。実施時期は令和元年（2019 年）5 月 9 日～同年同月 31 日、配布先：本専門部会委員（18 人）、回収：14 人／6 月 12 日 現在、設問形式：自由記述式、一部選択式の併用で質問事項は「劇的な変革先行事例ではデジタルマインド(いわゆるシリコンバレー式の組織文化を尊ぶ風潮や心持)が目につくが、ものづくりに拘れば拘るほどデジタルマインドの受け入れとは距離感があるのではないか？」

出所：本専門部会での委員対象の書面方式アンケート調査（2019.5）結果から NSRI 作成

⁹⁰ リーン生産方式とは、プロセス管理を徹底して効率化することで、従来の大量生産方式と同等以上の品質を実現しながらも作業時間や在庫量が大幅に削減できる生産方式。少量多品種生産に対しても、柔軟に対応できる。企業改革の重要なツールとして活用されている。グロービス経営大学院の下記サイトから https://mba.globis.ac.jp/about_mba/glossary/detail-12042.html

⁹¹ “4th Industrial Revolution will inevitably cause major shifts” By Isaac Cheifetz PACE OF CHANGE July 26, 2019 — 2:10pm <http://www.startribune.com/4th-industrial-revolution-will-inevitably-cause-major-shifts/513206192/>

4-1-4. スキルギャップ

アンラーニングと継続学習環境の整備

スキルギャップは、デジタル技術利活用の壁である。デジタルサービスの利活用者として最低限必要な知識・体験が不十分な状態を指す。II 型チームの組成と運営の壁でもある。アンラーニングとともにギャップを埋めるための継続学習を通してギャップを埋める努力が求められる。スキルギャップを埋めるための学習環境未整備は大きな課題だといえる。

ドイツのスキルギャップ対策

世界で職業教育訓練の模範とされるドイツにおいては、目下、DX の流れを背景とした職業教育訓練を時代に合わせる「現代化」の取り組みが始まっている。ドイツでは学生生活から職業生活への接続を介在する制度として高校生にはデュアルシステムが、大学生等にはデュアルスタディ⁹²や長期のインターンシップなどのさまざまな実務実習機会があり、スムーズな就業を支援してきた。現代は、インダストリー4.0 の時代である。ICT の浸透によりデジタルリテラシーを身に着けることが必須との立場から、学生時代の学習のみでは不十分であるとして、就職後の CET (Continuous Education and Training、継続教育訓練⁹³) の強化が叫ばれている。継続教育 4.0 イニシアティブである。継続教育のための資格制度やカウンセリングなど様々の施策が「ドイツスキル戦略」として 2019 年 6 月に採択（次参考欄）され、2019 年 9 月 5 日には英語版 National Skills Strategy が公刊された。

参考 20 ドイツスキル戦略 (Nationale Weiterbildungsstrategie) の概要

開発主体 ～17 主体	➤連邦労働社会省、連邦教育研究省、連邦経済エネルギー省、 ➤ドイツ雇用主連合、ドイツ労働組合連合、 ➤各州政府（労働社会問題大臣、教育文化問題大臣、経済問題大臣の常任会議）、 ➤ドイツ熟練労働者連合、ドイツ商工会議所協会、労働組合（IG Metall、Gesamtmittel, GEW、Ver.di、IG BCE）、ドイツ化学雇用者連盟連合および連邦雇用庁
日程	➤2019 年 6 月 12 日—採択 ➤2019 年 9 月 5 日——英語版 ➤2021 年—戦略遂行状況のレビューレポート公刊予定
根拠法等	➤スキル開発機会法（Qualifizierungschancengesetz）
内容	➤連邦雇用庁による継続的な教育と訓練に関するカウンセリング ➤構造変化の影響を受ける労働者にも継続的な教育と訓練のサポートを提供

⁹² デュアルスタディはデュアルシステムの大学生版のこと。学校における理論学習と企業における実習を反復する職業教育訓練制度のこと。日本機械工業連合会の調査研究では平成 19 年度にデュアルシステムを主眼とした調査研究を、平成 23～25 年度の理数系教育の問題の中でデュアルスタディや MINT など平成 19 年度以降の最新情報を紹介している。

⁹³ ドイツのカイザーслаウテルン工科大学 (Rheinland-Pfalz 州) における「成人教育における学術的な継続教育」のうち「サイエンスとエンジニアリング」コースの例をみると、受講者数約 2 千人、希望者はコースと自身の希望との合致をインターネットで自己診断、オンラインプラットフォームの提供、オンラインセミナー受講や資料の取得、電話相談、学期に一回大学側指定のセミナー参加により 2～3 年で修士号取得、受講者の約 80% 修了。同大の無料オンライン教育では 5～7 時間／テーマで中小企業の管理職が「自社のデジタル化の判断や別のコース受講のきっかけ」となるような構成となっている。以上、「ドイツにおける職業訓練状況等調査報告書」令和 2 年 2 月、(独) 高齢・障害・求職者雇用支援機構 による。

背景と目的	▶労働者や企業のニーズに合わせて、生涯学習の新しい文化を確立するため ▶仕事と資格のプロファイルを変え、新しい職業の出現につながる、仕事の世界のデジタル変換の増加によってもたらされる課題に対処すること ▶労働力の現在および将来のすべてのメンバーが、変化する仕事の世界で資格とスキルを維持および調整し、スキルアップやキャリア変更ができるようにすること
-------	--

注.本戦略の特徴は以下の通り。①開発主体が連邦政府や州政府の各労働・教育・経済省庁のみならず、労働者団体や経営者団体、各業種を網羅する労働組合、化学雇用者連盟など 17 もの団体が参画していること、②労使双方の生涯学習を新しい文化とするという決意、③DX に伴う仕事の変化によってもたらされる課題に国の上下を挙げて取り組もうとする姿勢など、注目に値する戦略である。

出所：National Skills Strategy September 5, 2019 から NSRI 作成

<https://www.bmas.de/EN/Our-Topics/Initial-and-Continuing-Training/national-skills-strategy.html>

4-2. デジタルマインドとII型学習

II 型チームができて加入することになったメンバーはお互いの専門について学び合わなければならない。これは相互のスキルギャップを埋めるための学習である。ものづくり側はデジタルを、デジタル側はものづくりを学ぶ。II 型の学習である。本来異質の分野を学ばねばならないことから特にものづくり側には「デジタルマインド」が必要である。II 型学習を続けることはマインドギャップを埋めることにも通じる。

Society 5.0 では社会が抱える様々な課題をデジタル技術の活用によって解決していくことが謳われている。負担の大きい荷役や高齢者等の介護、建築土木現場など、様々なシーンで人間の苦役を代替してくれるロボットの開発が待たれるところである。ロボットのようなサイバー系の技術とフィジカル系の技術の両方を必要とするような分野では、それぞれの専門家の協働作業が不可避である。特に IT や OT の出身者はそれぞれが使い慣れている用語を使うと相手方には通じていないケースが多々あるという⁹⁴。両者の融合・統合は難しい課題である。この問題はまさに II 型チームが抱えるはずの問題を先取りしている事例と考えられる。

最先端のロボティクスを研究開発している企業の経営者によると、「ロボティクス分野の研究開発には、機械や電子、ソフトウェア、データサイエンス、機械学習、等々の様々な背景を持つ専門家が集い、学際的な連携の下で研究開発を行っている。重要なことはまず専門家が集まって学際的なチームになることである。次に、自分の専門外の分野についても学習したり、担当したりする。異分野の人の意見に耳を傾け、聞くというスタンスがことさら大事なことである。したがって適切な人材の選抜と学習とともにサイバーとフィジカルの両者のバランスをとる必要がある」⁹⁵という。

この発言内容をみると、II 型チームにおいてII型の学習を継続的に進める必要があるという本専門部会の考え方そのものである。ものづくり DX の推進にはこうしたデジタルマインドの受け入れと II 型学習への取組み、生涯にわたって技術進歩を自らの仕事に生かしていくための継続学習の重要性を理解し、実践していくことが必要になる。特に、日進月歩・指数関数的進歩の技術革新への対応力と世代によらずデジタル技術等新技術の概要把握や新技術の自社事業への応用可能性を継続的に学習していくための環境を整備し

⁹⁴ Max Bajracharya 氏 (Toyota Research Institute, ロボティクス担当副社長) による、ロボット革命・産業 IoT 国際シンポジウム 2019、Session 1 での発言に基づく NSRI メモより作成

⁹⁵ 同上

ていく必要がある。

4-3. 民主的なエコシステム（オープン、つながる）と協調領域の拡大

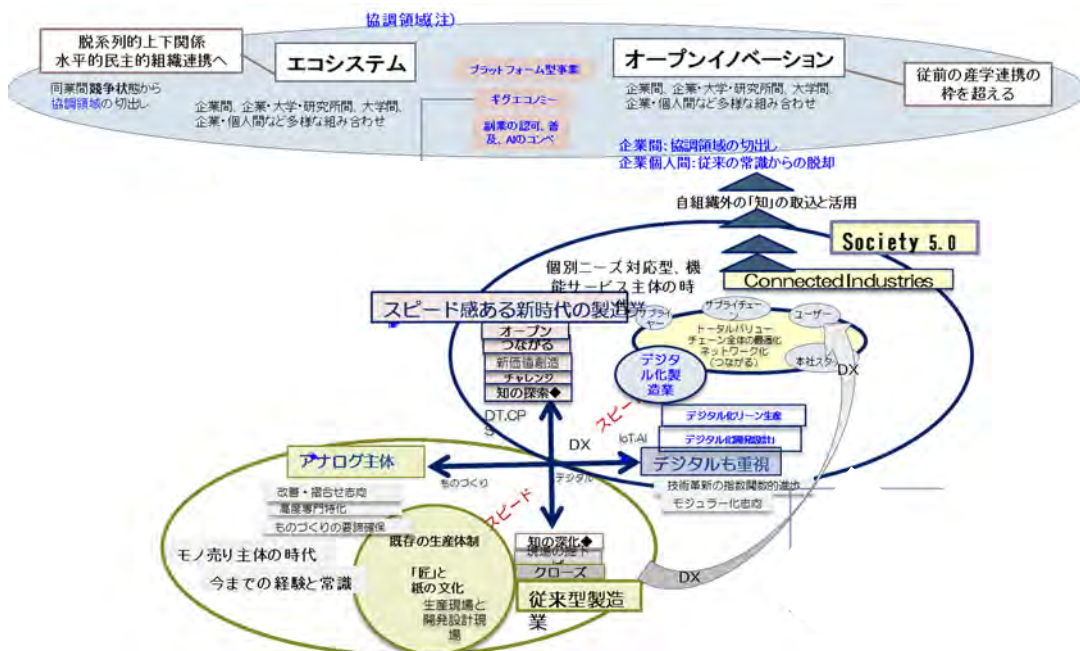
従来は自前主義が当然であった。ものづくり DX になると「オープン」で「つながる」世界が生まれる。自前主義の放棄という企業版「文化革命」が必要になる。

4-3-1. 民主的なエコシステム「オープン」「繋がる」

既述の「DX 推進のプロセスに企業組織見直しを要する背景」図にあるとおり、ものづくり DX を推進していくときのキーワードには「オープン」と「つながる」がある。その結果、様々な組織との新しいネットワークが出来上がる。従来の取引の枠を踏み越えた新しいつながりが重視されている。そこでは各組織が得意とする領域の専門性をを持ち寄り、共通するミッションに沿って力を合わせ、バリューチェーンの全体最適化や事業の拡大を志向する。そうして出来上がった取引関係は上下関係ではなく、民主的なエコシステムとなる。これはものづくり DX 推進チームである CTB がフラットな Π 型組織になるのと同様に、組織同士の関係もフラットで、つまり民主的で、Π 型の、多様な専門性を糾合したあたかも「生態系」をつくるがごとく連携をおこなうことから「エコシステム」なる用語が使われる。

次図はものづくり DX によって出来上がる Connected Industries が形成するエコシステムのイメージを描いたものである。

図 39 オープンでつながる世界：エコシステム・オープンイノベーション



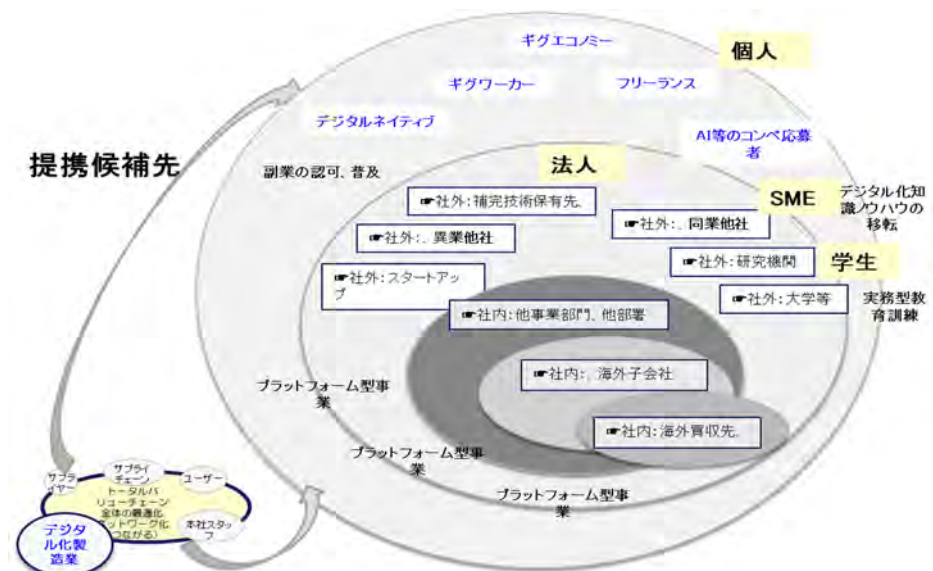
注. ここでいう「協調」とは、「役割分担をして／強みを持ち寄って／Win-Win の対等関係で／あらゆるツールを動員して・・・ユーザーの experience や satisfaction などを実現していく（すなわち DX）『デジタル時代のエコシステム』を前提とした考え方」（北出部会長）を指す。（以下同様）

出所：諸資料と本専門部会での議論をもとに NSRI 作成

顧客価値や顧客満足の最大化、カスタマーサクセスといった価値観を共有し、SDGs

や循環経済への貢献を踏まえた相互補完的・民主的・国際的な企業間関係の構築に注力していく（例、AICE⁹⁶）必要がある。この関係は、オープンイノベーションという研究開発面のみならず、サプライチェーンでもエンジニアリングチェーンでも同様にして連携の輪を広げられる。次図は連携の輪の可能性を図示化したものである。

図 40 デジタル化製造業とエコシステム、オープンイノベーションの提携候補先



注. デジタル化によりネットワーク化、Connected Industries が進む(図左下、後述)。提携候補は単に社内の他事業部門や海外子会社に留まらず、中小企業や競合他社、異業種企業といった法人のほか、ギグワーカー等の個人や大学等の学生も含まれる。学生は実務実習経験のほかに AI 等の先端技術やアイデアの提供者となる可能性もある。

出所：ドイツの産業クラスター（産学官の集える場としての人脈形成から協業が始まる～平成 31 年 4 月 RRI 訪独調査団資料から NSRI 作成）

次のコラムはそうしたオープンイノベーションを地で行って見事に経営危機を乗り切った例を紹介している。

コラム 12 典型的なオープンイノベーション事例～秘匿データをネットに公開！

1. Gold Corp 社というカナダの金鉱山会社は閉山寸前であった。その危機をオープンイノベーションに賭けることで切り抜けている。
2. ポイントは門外不出だったはずの鉱山データをインターネット経由で公開し、世界中の地質学者から知恵を糾合しようと決断したこと。もし盗まれれば産業スパイとして訴えるような「極秘データ」を自ら進んで世界にさらけ出したという。賞金総額は 575 千ドル。1位の賞金は 105 千ドル。50 カ国以上の国々から 1400 人以上の科学者、エンジニア、地質学者が、「データをダウンロード」し、「バーチャルな探査事業」を始めた。応募提案の中からトップ 5 を選出。そのうちの 4 つが試掘された。なんと次々と金脈が見つかったという。
3. もう金は見つからないとあきらめかけていたその時に、バーチャルな試みだけで一度も現地を訪問せずに発見することができた。データの解析パワーが鉱山専門家の知識や智慧を上回った事例である。
4. ネット社会にさらけ出すというトップの勇断。デジタル変革の見本。データをオープンに。こうした試みが鉱山業界に新しい未来をもたらしたといえる。

出所：“The World is Flat” Thomas Friedman 著には「ザ・ゴールドコープ・チャレンジ」として紹介されている。最近のチャレンジ事業は、“Change the Future of Mining”。（ゴールドコープ社 HP のサイトから）NSRI 作成

<https://www.goldcorp.com/English/home/default.aspx>

⁹⁶ AICE については、2-1.の参考「従来の壁を破って協調領域での各社協調を実現した例（AICE）」を参照

同様に次のコラムも、オランダの半導体製造装置メーカーASML 社の世界シェア奪取に大きく貢献したオープンイノベーションの研究開発版の例である。こちらは研究所や大学、メーカーなどと形成したエコシステムによる協業が成功要因と考えられている。

コラム 13 研究開発のオープンイノベーションにより世界シェア奪取できた事例

1. ASML 社は、システム設計だけを社内で行う。ほかの R & D 機能は、外部研究機関（ツァイスやフィリップス、IMEC など）に全面的に依存する。
2. IMEC は、世界有数の半導体デバイス・装置・材料・検査メーカーが一堂に会して英知を結集する“出会いの場”を提供する。
3. その場として IIAP（IMEC Industrial Affiliation Program）と呼ばれるデバイス・装置・材料メーカーが参加する様々の共同プロジェクトが走る。
4. 90 年代後半以降に、超解像技術（RET）と呼ばれる複雑高度な技術の本格的な導入により、各種デバイス・装置・材料メーカーとの緊密なコラボレーションなしには露光装置の迅速な開発が難しくなってきた局面においてコラボレーションの機会を活用できたことが ASML 社の勝因と考えられている。
5. コラボレーションを容易にするために、大学との連携の下、UML(Unified Modeling Language) に基づくソフトウェア・アーキテクチャを早期に導入して、増大する露光装置用制御ソフトウェアの複雑性に対処していた。
6. これにより装置構造の一目瞭然性を、モジュラー設計思想に基づき相当程度に高めるとともに、シミュレーターとの自動接続が図られ、より下位の抽象度レベルで各種並行動作や継起的動作の最適制御性を確認することができるという。

出所：一橋ビジネスレビュー 2004. WIN.52 巻3号「日本のサイエンス型産業が直面する複雑性と組織境界」一橋大学イノベーション研究センター教授中馬宏之をもとに NSRI 作成

ものづくり DX といっても工場の、或いは設計開発等の生産関係のデジタル化（システム化）の段階それ自体は、あくまでもものづくり DX の途中経過に過ぎない。その最終ゴールは、その事業の製品・サービスのあらゆる関係先の個々のシステムが必要に応じて繋がり、統合されたシステムとして機能し、その事業の全体最適が実現することによって一層の事業拡大を実現することである。

新時代の製造業におけるキーワードには、「オープン」「つながる」「新価値創造」「知の探索」「オープンイノベーション」「エコシステム」などがある。関係者全体がつながる協調領域⁹⁷では相互協調しつつ、自社の競争領域では差別化を徹底するという発想の大転換が求められる。何を協調領域として切り出すかの判断がきわめて重要なテーマになる。

次の事例は「オープン」にして「つながる」ことにより利便性がえられる例である。

コラム 14 中小町工場の機械加工技術と加工委託希望先とのマッチング（キャディ(株)）

キャディ（CADDi）による製造プラットフォーム構築事例 ・各種板金部品をオンデマンド発注できるサービス 1. 依頼者が図面をアップロードするとわずか 7 秒で見積価格が表示される。 2. 依頼者は造りたい部品の 3D-CAD データと素材や個数、納期などを入力。 3. 図面はキャディのシステムが自動解析。7 秒で見積金額を表示。 4. 依頼者が「発注」ボタンを押すと、登録先工場が部品を造り、検品・梱包して納品。価格も納期も当初の表示通り。この間、相見積もりは発生しない。
--

⁹⁷ 「協調領域」については本報告書の 1-3, 1-5-4, 2-1, 3-3-2, 3-3-3, 3-4-2, 4-2 で繰り返し取り上げており、本報告書で注目しているポイントの一つである。

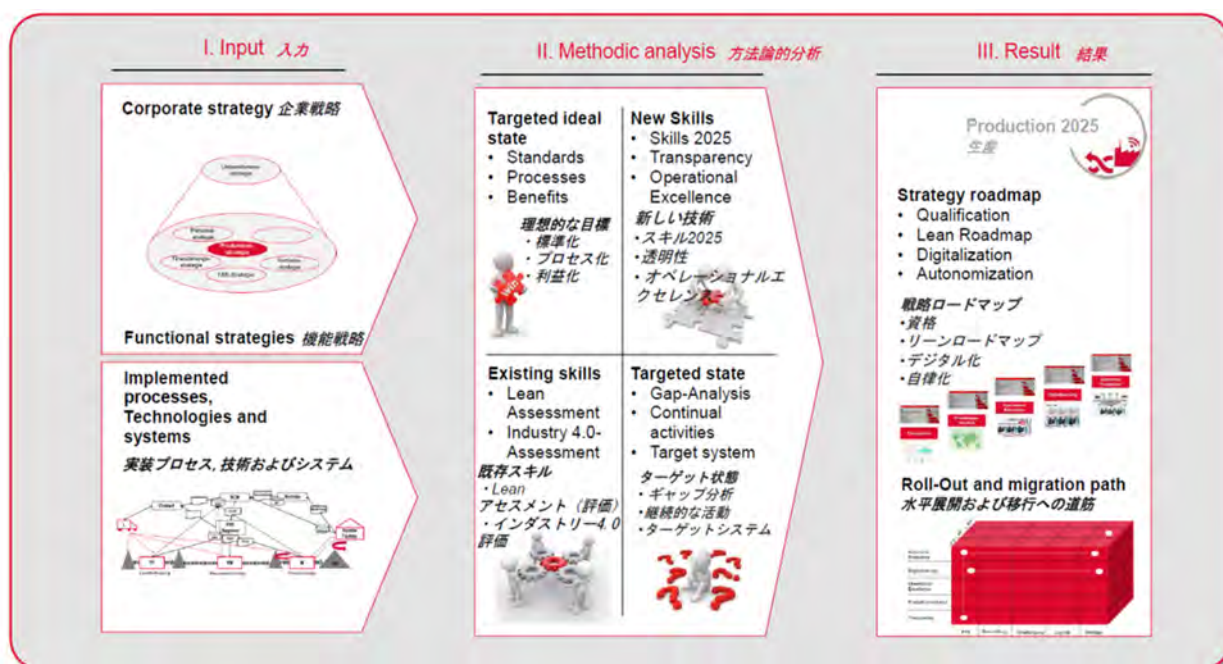
- ・依頼主は主に産業機械などの企業。従来、300 点くらいの板金部品を使うような場合、幾つかの協力工場に分散して発注。依頼先の調達担当者はその調整に苦勞するが、キャディは一括で請け負える。
- ・独自に開発したアルゴリズムが、板を用意して輪郭に沿って切断、穴開け、曲げ、溶接、塗装といった具体的な製造工程を自動ではじき出す。手間がかからない分、コスト削減が可能。受発注の両面にメリットが生まれる。
- ・アルゴリズムの役割：現在 100 社あるパートナーの町工場に実際に発注した場合に価格が幾らになるか。工程と材料費などから町工場ごとの製造原価等を推定する QCD モデルにより、システムが製造原価を元に最も安く最も納期が早い町工場を瞬時に選出。キャディが製造責任を負って顧客に納品。町工場は「製造原価＋マージン」で受注でき、かつ黒字を確保できる。
- 高度なソフトウェア技術をベースに、板金部品の製造プロセスや製造原価計算の実務、品質保証の知識、サプライチェーンの運用知識を備えた人材を抱えていることが「三方よし」のサービス提供を可能にしている。

注.本事例のようなシステム構築により、調達担当者が調整に手間取る時間を瞬時に短縮。ものづくり DX のスピードが生かされている。また、当社はデジタルとものづくりの各分野の専門家を両方揃えている。まさに II 型チームを抱えていることが看取できる。

出所：出所：日経 BP オンライン「キャディ 代表取締役 加藤 勇志郎氏」山田 剛良＝日経 xTECH／日経ものづくり <https://tech.nikkeibp.co.jp/atcl/nxt/mag/nmc/18/00009/00014/>

次のドイツ企業の事例は DX の進め方と考え方を知ることができる例である。インダストリー4.0 の実装に向けた戦略立案から方法論的分析を経て戦略ロードマップと移行過程の明確化を行っている。

図 41 HAWE 社のデジタル化および自動化への道（その 1）



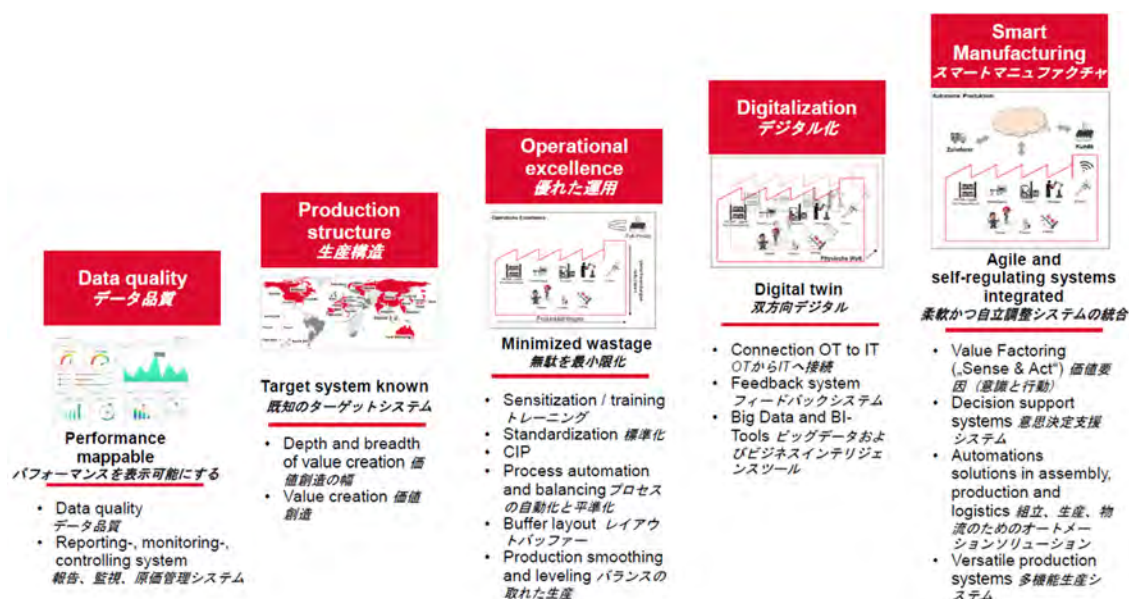
注.HAWE ジャパンの HP <https://www.hawe.com/ja-jp/>

注.左端のインプットでは、企業戦略と機能戦略、実装プロセス、技術とシステムを入力。次に、理想的とする目標 (TO BE) の下で新技術の展望を行う。既存スキルであるリーンの評価とインダストリー4.0 の評価を行い、ギャップ分析によりターゲット状態を検討。2025 年における職業資格やリーンのデジタル化、自律化の戦略ロードマップ (生産 2025) を取りまとめ、DX の移行への道筋を打ち出している。

出所：Industry 4.0 -The Roadmap to Digitalization & Smart Manufacturing at HAWE インダストリー4.0 -HAWE デジタル化および自動化への道 07.11.2018 。注は NSRI メモ等により作成 https://japan.ahk.de/fileadmin/AHK_Japan/3_Events/31_Veranstaltungen/2018/1107_BayernForum/5_Hawe.pdf

前図の右端のロードマップを拡大したものが次図である。本ロードマップでは⁹⁸、①データ品質で報告、監視、原価管理システムのパフォーマンスを表示可能にする。②生産構造で価値創造の既知のターゲットシステムを取り扱い、③運用好事例では、無駄を最小限化するトレーニングや標準化、プロセスの自動化・平準化などを取り扱う。④デジタル化では、OT と IT をつなぎ、フィードバックシステムによりビッグデータ等の双方向通信による DT を構築。⑤スマートマニュファクチャリングでは、アジャイル（柔軟）な自律調整システムへの統合を行う。統合により、意識と行動の要因分析や意思決定支援システム、組立・生産・物流のオートメーションソリューションや多機能生産システムが稼働する。

図 42 HAWE 社のデジタル化および自動化への道（その 2）



注. 上図のキーワードは、価値創造の幅、ムダの最小限化、トレーニング、レイアウトバッファ、OT と IT の接続、BD, DT, ビジネスインテリジェンス、アジャイル・自律的システムの統合、価値要因としての意識と行動、意思決定支援システム、組立・生産・物流の自動化ソリューション、多機能生産システムなどである。

出所: Industry 4.0 -The Roadmap to Digitalization & Smart Manufacturing at HAWE インダストリー4.0 -HAWE デジタル化および自動化への道 07.11.2018

https://japan.ahk.de/fileadmin/AHK_Japan/3_Events/31_Veranstaltungen/2018/1107_BayernForum/5_Hawe.pdf

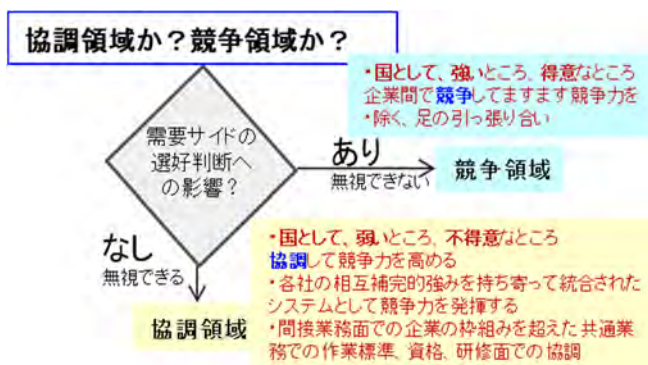
4-3-2. 協調領域の選分け・切出しとその拡大に向けて

これまで多くの企業は業務の大半を競争領域として社内に抱え込む傾向にあった。ものづくり DX が進むと、競争領域と協調領域は区別（次図）されて共存する状態が多くなる。競争領域部分は、固有の技術・ノウハウで差別化に勤しむ一方、協調領域では協調による規模の経済や範囲の経済の追求、さらにはネットワーク効果によるコスト低減、効率化、より広範な領域をカバーする全体最適の実現をとおして、より大きな付加価値を追求するようになる。従来の事業領域から他組織と協調すべき領域を選び分け切り出すとともに、協調後のビジョンを構想する。ビジョンの関係者との協働構築・共有・普及がカギとなる。共有されたビジョンをもとに**協調領域の更なる拡大**が求められる。

⁹⁸ この解説部分は HAWE 社のファイルと NSRI メモ等により作成

間接業務面でも協調するメリットは大きい。 図 43 協調領域か？競争領域か？

個別企業の枠組みを超えた業務の
共通化・標準化ができれば、それを教
育システムに組み込むことでドイツの
ような入社研修の負担軽減やシステム
化のカスタマイズ費用の削減に寄与し
うる。業界での作業の標準化をはじめ、
DX に伴い発生する新しい業務に対応
した資格制度の検討など、デジタルに
対応した基礎的な知識や実習などの研
修面での協調もその意義は大きい。



注.ここでの協調領域か競争領域かという切り分けの視点は、
需要家の選考判断への影響度合いの強弱に求めている。
出所：諸資料並びに本専門部会での議論をもとに NSRI 作成

既述の通り、ものづくり DX 推進のためには、業務系を複雑にしない仕組みをデジタ
ルで構築することが必要である。デジタル化の威力を発揮するための標準化の壁（業務標
準化、シンプル化や用語の標準化等とのギャップ）をクリアする努力は、各社がそれぞれ
競争し合う必要があるだろうか。協調領域として選り分けたうえで産学官連携による標準
化や産学連携教育の領域とすることにより、協調領域の拡大に努めるべきである。

システムのシンプル化や用語のほかに機械装置・工具等の基礎的な共通的な作業面や
安全面などでの標準化も協調可能な領域ではないかと考えられる。

ものづくり DX 推進では、知の深化（内部への深堀）から知の探索へという流れがあ
る。自社内部に加え外部の知をも積極的に探索するには全体像を明確にしたうえで協調す
べき領域を選り分け切り出すとともに更なる拡大を図ることが重要になる。

4-4. 組織面の課題と人材面の課題

ものづくり DX の推進にはII型チーム⁹⁹にみられるように、ものづくりの専門家とデジ
タルの専門家の協働作業が必要になる。一般的に従来のものづくり産業には十分なデジタ
ル専門家は少ない。また、前提として、ものづくり DX を推進するにふさわしい人材が供
給されることが必要。小中学、高等教育の役割は極めて大きい。

それゆえ本専門部会での議論においてもII型人材をいきなり目指すのではなく、まず
はII型チームを組織してII型学習を経てチームとしてII型能力を獲得するという見方が
主流であった。これは、平成 30 年度において「II型の拡張」、あるいは「拡張II型」と称
した考え方をさらに具体化したものである。それ故に従来型のII型の議論と区別する意味
でII型を拡張する流れ全体を「II型 2.0¹⁰⁰」と称する。また、ものづくり DX を考えると

⁹⁹ 本事業では、II型については、II型が表彰する二つの専門知識、一つは「ものづくり」に関する専門知識と
もう一つは「デジタル」に関する専門知識の両方を指す用語としている。したがって「II型チーム」は
ものづくりを専門とする人材とデジタルを専門とする人材からなるチームのことを指す。

¹⁰⁰ 本事業では平成 29 年度に「個人としてのII型」に着目し、平成 30 年度にはII型をチーム・組織へと拡
張し、「拡張II型」という考え方を提示した。今年度は「拡張II型」をさらに「II型チーム⇒II型学習
⇒II型能力⇒II型人材」へと拡張の流れを具体化した。この拡張の流れ全体を「II型 2.0」として従来の

きには「目先の課題」と「長期の課題」を区別して考えることが重要との意見がみられた。以上から、本節ではⅡ型チームの組成のような組織面の課題を「目先の課題」とし、Ⅱ型人材の育成については一朝一夕には成し遂げがたいことから「長期の課題」と区別することにした。

4-4-1. 目先の課題としての組織面の課題

多様な専門家を糾合したフラットなⅡ型チーム

本専門部会での議論で目先の課題とされたこと、それは「Ⅱ型能力の獲得をチーム（集団）として目指す」ことである。チームの構成員の基本は、今いる現役の従業員を主体としてそこにデジタル系スタートアップなどのVBやデジタル系フリーランス等多様な外部組織・人材によるメンバーが参画してⅡ型組織を構築する。AIのように高度な専門人材の場合については必ずしも正社員とすることにとらわれず、日本全体での高度人材をシェアリングするという視点もありうると考えられる。このチームがものづくりDXを推進する取組みには大学やスタートアップ、フリーランサーといった他組織との協業や、デジタル技術に秀でた若手個人への権限移譲など、従来の枠組みにとらわれない斬新な発想の下での人員登用を可能とする組織を構築していく必要がある。特にチーム運営については年齢や従来の人事評価の枠組みからではなく、専門性をより重視した対等で創造的なチームづくりやエコシステムづくりにより実現していくことが重視されるべきである。従来型の企業にとって未経験の重たい課題ではないかと考えられる。

参考 21 他部署出身者からなるDX戦略チームの例（住友化学）

同社はDX戦略チームを立ち上げて全社的なデジタル化を推進中

- DX戦略チーム（全社のデジタル革新（DX）を推進するチーム）の構成メンバーは、デジタル革新部（大規模データを解析するデータサイエンス専門部署で生産や研究、営業などのDXを支えること）と生産技術部、技術・研究企画部、IT推進部のメンバーで構成
- 工場とR&D、サプライチェーン、オフィスの4分野でDXを推進
- 各部署からの「相談事はすべて引き受ける」（副社長言）が、解析をすべて引き受けるのではなく、アドバイスの場合もある。
- 相談事の種類ごとにビジネス版SNSで情報を共有し、技術的な人のネットワークを広げる。
- 「長い間変わらなかった設備運転のやり方がここから変わる」（執行役員、工場長）
- 先行事業の日報電子化では月報作成時間を6時間から20分程度に短縮できた。
- 今後のデータ解析の重要な基盤となる。

注.本事例の「DX戦略チーム」が本報告におけるCTBチームに該当する。その構成員はものづくり系（生産技術部、技術・研究企画部）とデジタル系（デジタル革新部、IT推進部）の両方の部署出身からなるという点も本報告書と同様の対応になっている。

出所：日刊工業新聞、令和2年2月27日付け「挑戦する企業」住友化学③からNSRI作成

Ⅱ型と区別している。ここで「Ⅱ型チーム」は前脚注のとおり、「Ⅱ型学習」は両者が教え合いながら相互に学習すること、「Ⅱ型能力」は両専門を具備した個人の能力または組織能力を指す。但し、個人が直ちに両方を身に着けることはハードルが高い。そこでまずⅡ型チームを組んで組織として「Ⅱ型能力」を身に着けようという考え方を採った。この流れは従来型のⅡ型を拡張した考え方である。ゆえに「Ⅱ型2.0」とした。

アンラーニングと継続学習

また、ものづくり DX に必要となる組織課題として先述した「デジタルマインドの醸成」に加えて「アンラーニング（＝固定観念や思い込みの一掃、学んだことをご破算にする学習法、以下の参考欄やコラム欄参照）の重要性を挙げる必要がある。従来型の思考パターンや習慣、経験、ノウハウをいったん組織全体でアンラーニングした後に白紙の状態デジタルを新規に学習し直す。就業後も継続的に学習すること（継続学習、以下の参考欄参照）が求められる。これも従来型企业にとっては越えがたい壁となろう。

「学習」に関連した用語を拾ってみると、アンラーニングのほかに、リラーニング（再学習）、コンティニュアス・ラーニング（継続学習）、ライフロング・ラーニング（生涯学習）、リカレント教育（ただし、この言葉はここ 1～2 年の英語文献では見当たらない）、リフレッシュ教育（リカレントと同様に英語文献では見当たらない）がある。本報告書では「アンラーニング」と「継続学習」の二つに絞って使うことにする。

参考 22 継続学習に関連した用語

用 語	概 要	意 味
・アンラーニング※ Unlearning	・一旦リセットして学 び直すこと、学習棄 却、学びほぐし	・一度学習した知識や価値観を <u>意識的に棄却</u> し、新たに学習し直すこと
・リラーニング Relearning	・再学習	・一度学んだことをもう一度学ぶこと
・コンティニュアス・ラ ーニング Continuous learning, continual learning, constant learning, lifelong learning	・継続学習 （英語では左の如く 複数の言い回しがあ るが、要は従業員の継 続的学習を指す）	・「絶え間ない学習」とも呼ばれ、常に知識 を拡張して新しいスキルと専門知識を獲得 するという概念。 ・ドイツは略称が CET（Continuing Education and Training）と国家スキル戦略 中に明確な位置づけ ¹⁰¹
・ライフロング・ラーニ ング Lifelong learning	・生涯学習（昭和 56 年の中央教育審議会 答申「生涯教育につい て」より） ・ドイツでは国家スキ ル戦略において「 新し い生涯学習文化 」の構 築を標榜 ¹⁰² してい る。	・人々が自己の充実・啓発や生活の向上のた めに、自発的意思に基づいて行うことを基本 とし、必要に応じて自己に適した手段・方法 を自ら選んで、生涯を通じて行う学習
・リカレント教育 Recurrent education	・経済協力開発機構 （OECD）が 1970 年 代に提唱した生涯教 育の一形態	・「職業上必要な知識・技術」を修得するた めに、フルタイムの就学と、フルタイムの就 職を繰り返すこと。我が国では、働きなが ら学ぶ場合、心の豊かさや生きがいのために学 ぶ場合、学校以外で学ぶ場合もこれに含 める（この意味では成人の学習活動という意 味合いに近い）。
・リフレッシュ教育	・「リカレント教育」 の一種	1) 職業人を対象 2) 職業志向の教育 3) 高等教育機関で実施されるもの

出所：用語ごとの諸検索結果を踏まえ、NSRI 作成

¹⁰¹ National Skills Strategy September 5, 2019

<https://www.bmas.de/EN/Our-Topics/Initial-and-Continuing-Training/national-skills-strategy.html>

¹⁰² 同上

ちなみに「アンラーニング」を検索すると、以下のような説明が得られる。「硬直化した思考様式や行動様式」をどう解きほぐすかに焦点が当てられており、「学びほぐし」の視点が協調されている。「いったん離れて、冷静に問い直す」ことであり、いわゆる「意識改革」とは異なる用語であるといえる。

参考 23 ※「アンラーニング」検索結果の一部

※アンラーニング：特定の分野や方向に固執し、ひたすら熟達化を進めるのではなく、むしろ熟達を求めるあまり硬直化してしまった自らの思考様式や行動様式をいかに解きほぐすかに焦点を当てる考え方。「学びほぐし」の視点が、現在のビジネスに必要な大人の学び、一人前以降の学びへつながっていくと考えられている。ずっとあたりまえだった知識や価値観をアンラーンするためには、自分自身の置かれている状況やこれまでにやってきたことを批判的に振り返る「リフレクション」(内省)のプロセスが欠かせない。自分は仕事を「正しく行っているか」を振り返るのではなく、仕事において「正しいことを行っているのか」を、いったん職場や日常業務から離れて、冷静に問い直す機会が求められている。

出所：「日本の人事部」<https://jinjibu.jp/keyword/detl/538/>

以下の説明によれば、学習は「概念を知り、理解し、内部化する技術」であり、アンラーニングは「既に学習した概念を無効にするか、基本的に棚上げ」にし、「破棄する必要がある」とまで言い切っている。デジタル世界のリテラシーを学ぶには、ものづくりで培ってきたことをいったん破棄して学ぶことが、デジタルリテラシーを身に着ける近道であることが含意されている。

参考 24 「ラーニング」(「リラーニング」、※「アンラーニング」検索結果の一部

※What are the learning relearning and unlearning?

回答者 Badarinarayan Burli、ServiceNow のスタッフソフトウェアエンジニア

2017 年 10 月 15 日回答

- **学習**は、概念を知り、理解し、内部化する技術。概念は現実のものでも想像上のものでもよいが、知識、つまり現実全体のアイデアに貢献するもの。
- **再学習**は、あらゆる規模と方向の変化の新鮮な証拠に対応するために、すでに学んだ概念を成形すること。
- **未学習**は、それと矛盾する証拠を優先して、既に学習した概念を無効にするか、基本的に棚上げする。
- **Relearning と Unlearning の重要な違い**は、Relearning では、基本的な理解は概念については変わらないが、知識の精神を損なわずに修正が加えられること。ただし、Unlearning では、概念は意味がなく、破棄する必要がある。

<https://www.quora.com/What-are-the-learning-relearning-and-unlearning> .

次のコラム欄は人間の学習とロボットのような機械の学習の根本的差異を指摘している。Society5.0 ではロボットが活躍するが、その教示作業が負担となりうる。そこで教示の簡素化・効率化が技術開発上の課題となっている。また、ロボットの学習法として“Fleet Learning”(艦隊学習)がある。これは一台のロボットが学習すると、瞬時に多数のほかのロボット(艦隊と見立てる)も学習できてしまう。人の場合、誰かが学習したとしてもほかの誰かに瞬時に学習内容を移転することは不可能である。ロボットのような機械と人の学習における差異は明らかであり、ソフトウェアの可能性をみることができる。

コラム 15 ロボティクスにおける「学習」

- 現代のロボットには教示作業が不可欠である。しかし、一台一台に教示を施すのは大変な手間である。Society 5.0 が謳うように、家庭ごとにだれもがロボットを活用できるような社会を展望すると、この教示の簡素化・効率化は必須の課題となる。
- そこで近年のロボティクスは、教示作業の機械化・自動化等による効率化に焦点をあてた研究開発が注目されており、実際に開発が進んでいるという。
- ロボットに効率的に学習させる方法として、“Fleet Learning”がある。これはある一台のロボットが学んだことを、瞬時に他の多数のロボットも学べることをいう。これは人間の場合には技術技能の伝承活動に相当し、手間暇時間のかかる作業である。しかし、ロボティクスでは瞬時に可能になる。この隔絶したスピード感とその正確性、記憶の不風化が（ソフトウェアの）特長である。
- このほかに、Memory Based Autonomy, Learning from People, Learning from Imagination, Learning from Simulation, High speed sharing of Experience といった手法が紹介されている。蓄積された知識から、あるいは、人から、想像から、シミュレーションから、体験の高速共有によってといった、いずれもソフトウェアならではの手法が提案され、未知の領域や未体験知の探索を目指して研究開発が進んでいる。
- 人間と機械という対比の中でソフトウェアによる機械学習が、II型学習のように「専門外のことを、時間をかけて学ぶ」という人の苦手領域をカバーできる可能性がある。

出所：Max Bajracharya 氏（Toyota Research Institute, ロボティクス担当副社長）による、ロボット革命・産業 IoT 国際シンポジウム 2019、Session 1 での発言に基づく NSRI メモより作成

4-4-2. 長期的課題としての II 型人材¹⁰³の課題

長期的課題には、DX を実際に具体化していくための人材育成の問題がある。DX に伴い、従来のものづくり時代とは異なる新しい人の役割が求められる。デジタル技術は、従来のものづくりの延長のままで身につきにくい。その習得は必須ではあるものの、既存人材が新技術を習得するには時間がかかる。長期的課題が無視できない所以である。

フラットなII型チームとプロデューサー型・支援型リーダー

3-4-5. でみてきた「プロデューサー型・支援型リーダー」をどう育成していくか。これも重い課題であり、今後に残された課題の一つである。少なくとも従来ともすればありがちであったある特定の分野の専門に長けたI型でも論功行賞型でもないことは確かである。使命(ミッション、目標、目的)最優先型の「フラットな組織運営」や「平等な雰囲気づくり」のほかに、試行錯誤を含め、大胆な経営判断とマネジメントスタイルを刷新できるといったプロデューサー型・支援型リーダーに求められる能力は広大無辺であり、さらにデジタル特有の桁外れのスピードへの対応力も必要になる。

II型人材の育成上重要な職業資格による指標化と TAKUMI4.0

II 型人材の育成は一朝一夕にはいかない重い課題である。そこでII型人材を目指す人が自分の立ち位置を自覚でき、企業側にもわかりやすい職業資格制度が重要になる。例えば II 型資格初級、中級、上級といった具合である。本専門部会ではその前身部会の時代に打ち立てた TAKUMI4.0 をII型人材の最終形として位置付けてきた。II 型人材の職業

¹⁰³ 「II型人材」とは、ものづくり DX 時代に長期的に目指すべき人材像のこと。具体的にはII型能力の各レベル（初級・中級・上級・TAKUMI4.0）のいずれかを有する人材の総称として用いる。要するに「II型人材」は幅広い知識の下で、両知識をより深く融合できる人材を指す。なお、本事業では、従来のII型の議論（複数の専門分野を深く融合できる人材）と区別する意味で、II型を拡張した「II型 2.0」を提唱している。詳細は、1-1-2, 1-1-3 の項参照。

資格をⅡ型初級、中級、上級、TAKUMI4.0と四段階に分けることによって、Ⅱ型上級資格者のうちさらに精進を重ねた人の資格としてTAKUMI4.0を位置付けることが可能となる。

2013年にフランスで設立された学費無料のエンジニア養成機関「42」のように、卒業という概念の代わりにレベルを認定することで社会でのその人材のコンピテンシーを証明するという考え方を援用すれば、Ⅱ型のスキルレベルを初級、中級、上級、TAKUMI4.0というレベルを認定したり、日本機械学会生産システム部門 生産システム設計スキル評価小委員会「生産シミュレーションによる生産システムデジタル」によるレベル認定（次参考欄）を行うことでものづくりDXの推進人材にそのレベル感に応じた就業能力の指標を提供したり、といったことが可能になる。またものづくりDXの推進人材を目指す個人にとっても目指すべきキャリア像やキャリア開発の指標としてこうしたスキルレベルがあることは、人材育成上も人材確保上の有意義であると考えられる。

参考 25 生産システムデジタル設計スキル標準 v1.0

- ◇ 一般社団法人日本機械学会生産システム部門 生産システム設計スキル評価小委員会「生産シミュレーションによる生産システムデジタル設計スキル標準 v1.0（2017.12.7）」では、「従来の人材教育は現場カイゼン型の活動が中心であり、今後の生産システムシミュレーションを活用する生産システム設計人材教育には現状では対応できない。
- ◇ 一方、デジタル人材育成の必要性が認識されつつあり、生産システム設計領域での早急な人材育成スキルの基準化が期待されている」として、人材が担う業務（タスク）、習得するスキル・知識、専門分野とレベルなどがスキル標準の構成として挙げられている。
- ◇ レベルの定義は以下のとおり

	新スキル標準検討共通レベル定義
レベル7	社内外にまたがり、生産システム設計に関わるテクノロジーやメソドロジ、生産革新をリードするレベル。市場への影響力がある先進的な生産方式や生産体制の創出をリードした経験と実績を持つ、世界で通用するプレーヤ。
レベル6	社内外にまたがり、生産システム設計に関わるテクノロジーやメソドロジ、生産革新をリードするレベル。社内だけでなく市場から見て、プロフェッショナルとして認められる経験と実績を持つ、国内のハイエンドプレーヤ。
レベル5	社内において、生産システム設計に関わるテクノロジーやメソドロジ、生産革新をリードするレベル。社内で認められるハイエンドプレーヤ。
レベル4	横断的な専門性を獲得したプロフェッショナルとして、生産システム設計に関する専門スキルを駆使し、業務上の課題と発見と解決をリードするレベル。プロフェッショナルとして求められる経験を体系化し、その後の他メンバーの業務遂行に貢献する。
レベル3	要求された作業について、独力で遂行するレベル。生産システム設計の専門性を持つプロフェッショナルを目指し、必要となる応用的知識・技能を有する。
レベル2	要求された作業について、上位者の指導の下、その一部を独力で遂行するレベル。生産システム設計の専門性を持つプロフェッショナルに向けて必要となる基本知識・技能を有する。
レベル1	要求された作業について、上位者の指導を受けて遂行するレベル。生産システム設計の専門性を持つプロフェッショナルに向けて必要となる基本知識・技能を有する。

出所：一般社団法人日本機械学会生産システム部門 生産システム設計スキル評価小委員会「生産シミュレーションによる生産システムデジタル設計スキル標準 v1.0（2017.12.7）」

https://www.jsme.or.jp/msd/html/95/productionSimulationStandard_V1.0.pdf

フランスのエンジニア養成機関「42」（2013年設立、学費無料）では、卒業資格の替りにエンジニアの段階別習得レベルを付与する仕組み（次参考欄）を取り入れている。

参考 26 フランスの 2013 年設立の学費無料エンジニア養成機関「42」

➤ 2019 年 11 月 13 日、DMM.com はフランスのエンジニア養成機関「42」の東京校として、一般社団法人「42 Tokyo (フォーティーツー・トキョー)」の設立を発表。同法人の事務局長は、半年前まで「42」のフランス校に通っていた長谷川文二郎氏。 ➤ 本日から第 1 期生の募集を開始し、2020 年 1 月に入学試験「Piscine (ピシン)」を実施。2020 年 4 月に開校予定。5 年間で 50 億円を投資。 ➤ フランス発のエンジニアの養成機関「42」は、フランスでインターネット・携帯電話などの通信事業を展開する「Free (フリー)」を立ち上げた実業家のグザビエ・ニエル (Xavier Niel) が設立。フランスの教育環境や雇用の閉塞感に対する危機感から、グザビエが自身の資金を投じ、教育者として働いてきたニコラス・サディラクなどの協力を得て、2013 年に誕生。2016 年シリコンバレー校設立。現在は世界 12 カ国で展開。
➤ 「42」の最大の特徴は学費が無料で、学歴も家庭環境も問わず、16 歳以上であれば誰もが平等に挑戦可能。教師から生徒への一方通行の教育ではなく、生徒同士が学び合う“ピア・ラーニング”を取り入れ、教室は 24 時間 365 日開放される。 ➤ 「42」のカリキュラムは実践型で、生徒同士が協力し合って学んでいくシステム。例えば、42 には教科書や授業のようなカリキュラムは存在しない。 ➤ 世界の企業から最新の課題が共有され、それが課題として取り上げられる。その課題を解決する方法をインターネットで調べたり、友だちと協力したりしながら解いていく“問題解決型”の学習システム。
➤ 「42」には基礎的なプロジェクトから、専門的なプロジェクトまで合計 30 以上のプロジェクトがあり、随時アップデートされる。学生は自分のペースに合わせて、世界最先端の旬な技術課題に触れられる。 ➤ 生徒同士が協力し合い、対面で課題の答え合わせをピア・ラーニング方式。生徒は課題を解決し提出すると、システムによってランダムに生徒がマッチングされ、生徒同士で対面での答え合わせが始まる。当然、マッチングされる相手の習熟度レベルはバラバラ。 ➤ 答え合わせに選ばれた相手が自分よりも習熟度が低く、相手が理解するまで書いたコードの説明しなければならないケースもある。「ただ、このコードレビューの仕組みによって、人に教える能力が養われるほか、自分の知識が整理できる。自ら学ぶ力、人に教えたり、教わったりする力が自然と身につくので、個人的には肌感覚では 42 の生徒はコミュニケーション能力が高い傾向にあるという。
➤ 「42」には卒業の概念がなく、その代わりに“レベル”という概念がある。 ➤ 課題を解くごとに、経験値としてポイントがもらえ、経験値が溜まるとレベルが上がっていく。「42」が定義した“エンジニアとして一人前”のレベル 7 から 10 だという。 ➤ 前述の通り、卒業の概念がないので、一定のレベルになった段階で自由に進路を選ぶこともできる。
➤ 「42」にはフランス語で“スイミングプール”という意味を持つ入学試験「ピシン」があり、その試験で好成績を収めた人が入学可能となる。 ➤ 「この“ピシン”には『スイミングプールで溺れないように 4 週間、必死にもがいてくれ』というメッセージが込められている。実際、4 週間の間に試行錯誤を繰り返し、失敗しながらもがき続けた学生のみが合格する仕組みだという。

出所:新國 翔大(CONTRIBUTOR,フォーブス ジャパン編集部 エディター)、2019/11/13 10:00 Forbes On-Line ついに黒船上陸——学費無料の仏発エンジニア養成機関「42」東京校が来春オープン 学費無料、24 時間 365 日オープン、教師なし——
https://forbesjapan.com/articles/detail/30568?utm_source=owned&utm_medium=referral&utm_campaign=mailmagazine_1113_1882&utm_content=art2

第四次産業革命に沿う次世代人材の教育・訓練制度

さらにその成果が表れるのはだいぶ先の話であるが、Society5.0 を目指してインダストリー4.0 などの取組みが英語圏¹⁰⁴でも加速しており、各国は DX の加速を目指して鎬を

¹⁰⁴ 2019 年 11 月 6 日、Integr8 (米国デトロイトで開催された、インダストリー4.0 に焦点を当てた世界的な技術と製造のカンファレンス)に関するロバート・ライズ (Forbes のコトリビュータ、専門はリーダーシップ戦略)執筆の記事 (2019.12.6、Forbes Online、再掲)に「Industry 4.0 は、---人間中心の社会である **Society 5.0** に自然につながる」(Martina Koederitz, General Manager US Industrial

削り合っている。こうした産業革命の進展に学校教育も速やかに適応していくことが必要であり、産業間の国際競争は今や教育改革の質と量を競う国際間競争と同義となっている。こうした認識の早急なる共有が必要である。教育面の改革を進めないと将来の競争力が失われる。将来世代のための教育改革の動向については、産業界としても従来以上の関心を注ぐ必要がある。また、生産年齢人口の減少も予想以上の速さで進んでおり、外国人労働者の問題を含め、対策検討は焦眉の急となっている。

なお、スイスの競争力ランキング指標を発表していることで知られる経営大学院 IMD による世界タレントランキングの 2019 年版（次参考欄）では、日本は 63 か国等の中の総合順位は 35 位と比較対象のなかの半分以下のランクに過ぎない。IMD の評価の考え方は、AI、ロボティクス等の新技術の登場が、ビジネスや政策立案者、教育機関の現在および将来の課題の再定義を必要としていること、再定義された教育による人材育成が国際競争力を左右するという点にある。

参考 27 IMD の世界タレントランキング（2019 年）日本総合 35 位（／63 か国等）

2019 IMD World Talent Ranking (WTR) : IMD World Competitiveness Center 刊行

- 1.WTR の概要：各国等の経済が高度なスキルを備えた専門家を育成し、惹きつけ、保持する程度を評価したもの。
- 2.評価概念：現在のダイナミックな環境では、AI、ロボティクス等の新技術の登場が、ビジネスや政策立案者、教育機関の現在および将来の課題の再定義を必要としており、熟練した教育を受けた労働力を育成することが競争力の強化と長期的な繁栄を可能にする。
- 3.調査対象：63 か国地域
- 4.評価項目：「投資と開発（国内人材）30 位」、「アピール（海外人材）26 位」、「準備（高度なスキルと能力の利用可能性）49 位」の 3 つ。
- 5.2019 の変更点：Executive Opinion Survey の以下の質問。
 - ・「個人の安全保障と財産権」および「学校制度は競争経済のニーズを満たしている」⇒「正義は公正に管理されているか」および「初等および中等教育は競争経済のニーズを満たしているか」
 - ・「学校の科学は競争経済の必要性を満たしている」（サーベイ）⇒「最初の大学の総学位に占める科学と工学の割合」（ハードデータ基準）
 - ・追加項目：「教育投資の GDP 比に年齢の側面を勘案」と「環境の品質に対する懸念の高まり」の 2 つが追加（評価基準は 32）
- 6.ランキングの含意：投資と開発の重視により、長期的な人材開発に焦点を当てること。特に「純粋に学術的な側面＋見習いプログラムと従業員トレーニングの効果的な実施」が重要。
- 7.日本の低ランク項目（相対的弱点、50 位以下の項目）
 - ・投資と開発（国内人材）～公的教育投資（55 位）
 - ・アピール（海外人材）～生計費指数（59 位）、海外出身高度人材（51 位）
 - ・準備（高度なスキル・能力）～国際経験（63 位、最下位）、上級管理職（60 位）、大学教育（51 位）、マネジメント教育（53 位）、言語スキル（62 位）

注.日本の弱点が明らかにされている。公的教育投資が GDP 比で他国に大きく見劣り、高等教育における語学力、海外留学・海外インターンの少なさ、経営管理層の弱さ、いずれも 63 か国等の中で下位～最下位クラスである。

出所：IMD <https://www.imd.org/wcc/world-competitiveness-center-rankings/world-talent-ranking-2019>

次参考欄は、日本でも新技術の登場を背景とした産学連携による新しい教育が始まる

Market, IBM) とある。さらに「パネラーはインダストリー4.0の将来に対するビジョンについて洞察を共有」し、「真の未来は Society 5.0 になる（IBM、Martina Koederitz）と予測。」この予測を変革的洞察の 1 つと総括している。ごく自然に Society 5.0 の用語が使用されている点が特徴的である。
<https://www.forbes.com/sites/robertreiss/2019/12/06/leaders-from-industry-10-share-the-future-of-industry-40-including-society-50/>

うとしているという報道内容である。企業の協力の下、学生に給与を支給し、社会でプロジェクトリーダーにふさわしい博士の排出が志向されている。

参考 28 東大、情報科学研究で新組織 博士学生に給与 600 万円

- ▶ 東京大学大学院情報理工学系研究科は 4 日、情報科学技術の教育・研究を産学連携で進める新組織を 2020 年度に立ち上げると発表した。
- ▶ 同大の人工知能（A I）、数理・情報やデータサイエンス、バーチャルリアリティー、情報セキュリティの各教育研究センターを活用し、潜在的な社会ニーズに迫るプロジェクトなどを運営する。これをリードする博士課程学生に、通常の助教の給与を上回る年約 600 万円の給与支給を目指し、企業に資金提供などを呼びかける。
- ▶ 情報科学分野は社会ニーズが高く、プロジェクトリーダーにふさわしい優れた博士課程学生であれば、採用の期待もあり企業は高額な資金提供を検討する状況にある。同大同研究科は日本で博士学生の経済支援が半端な状況を一気に変えることを狙い、すでに数社の合意を得ている。企業人のリカレント教育（再教育）も手がける。20 年 1 月 17 日に東京都文京区の本郷キャンパスで説明会を開く。

出所：日刊工業新聞 2019 年（令和元年）12 月 10 日 火曜日
<https://www.nikkan.co.jp/articles/view/00540723?isReadConfirmed=true>

一方、ものづくりとデジタルの双方に焦点を合わせた次世代人材育成事業に関して、本邦でも一部でその第一歩となる取組みが始まろうとしている。サイバーとフィジカルに知的活動を加えた「デジタル・トリプレット」に基づく人材育成事業が産学連携の枠組みの下でプログラム開発が進められている。

コラム 16. デジタルものづくり中核人材育成事業

- ◇ 産学連携デジタルものづくり中核人材育成事業「DIGITAL TRIPLET 型生産システム構築人材育成プログラムの開発」2018.6～2019.2、東京大学、(株)デンソー、(株)野村総合研究所
- ◇ CPS に、ヒトが価値を産み出す「知的活動世界」を統合した D3(Digital triplet)の概念に基づく生産システム構築人材育成プログラムを開発。ラーニングファクトリとそのサイバー環境において、生産システムの運用、故障診断、新規設計の問題を演習方式で解決するプログラムを提案する。
- ◇ 本事業の目的：現実の生産システム製造工程をサイバー空間上に構築して DT を構成し、工程の状況をデータ化。このデータ群を用いたシステムの状態分析と制御、状況判断・解釈に基づく改善等の意思決定、さらには新規の DT 環境を構築・更新するスキルの習得を促進することで、人材育成への展開を目指す。

出所：東京大学太田順教授による R1.10.10 RRI 第 31 回 IoT による製造ビジネス変革 WG 会合配布資料から

4-5. デジタル経済に係る就業環境整備と法的枠組みの見直し

AI、IoT、BD、DT、CPS、ネットワーク等のデジタル人材などの専門家を社外から調達する場合、ギグワーカー、AI オークションに参加する人、その他のフリーランスとして活動する人などのほか、オープンイノベーションやエコシステムを構成する他組織の人など多様な人材が協働することになる。

従って就業形態や就業現場の態様は大きく変化すると考えられる。例えば、自社内に外部の人が入り、一定期間だけ協働する、ネットを介して協働するなど多様なパターンが考えられる。海外人材を含むこうした多様な人材が働けるような法的な枠組みは従来の延長線では取り扱えない問題が出てくる可能性がある。別途、労働法、会社法、競争法、情

報保護法などの多岐にわたる本質的な検討が必要になる。(ドイツの Arbeiten4.0 のような取組)

ちなみに、ドイツのフレキシブル・ワークの例(次表)をみると、多様な人材が多様な働き方をしていることがうかがえる。デジタル人材やデジタル技術の習得を目指す人にとってこうした就業環境の整備を進めることが習得の促進にも資すると考えられる。

参考 29 ドイツのフレキシブル・ワークの例

短期交代労働 (KAPOVAZ)	ある期間は、予め定められた一定の時間数勤務する
部分退職	定年退職への準備として、個人の労働時間を段階的、定期的に短縮する
<u>無定形労働フレックスタイム</u>	労働時間数は定められているが、 <u>従業員は働く場所と期間を自由に選択</u> できる
信頼労働時間制度	(無定形労働とは異なり)労働量は定められており、従業員は会社と調整して <u>労働時間の長さ、場所、期間を決める</u> ことができる
自律的労働	在宅勤務などで、予め定められた労働量で労働時間は個別に決めることができる。 <u>在宅勤務法</u> に従う。
<u>労働時間口座</u>	労働者が個人の口座に残業時間などの <u>労働時間を貯蓄</u> し、休暇などに利用できる。
期間幅モデル	一定の期間の中で(労働時間法の範囲内で)労働時間を延長または短縮できる
<u>モジュラー制度</u>	従業員ごと、またはグループごとに個別に時間モデルを選ぶことができる。 <u>日次、週次、月次、年次のモデル</u> がある。
生産時間制	グループの仕事や目標で用いられる管理指標で、実際の時間に対する目標時間の割合として定められている
サバティカル (<u>長期有給休暇制度</u>)	時間残高や無給休暇などを補償するため、業務に関連する通常長期の余暇休暇付与の目的で設計される
フルタイム・セレクト休暇	フレキシブルな <u>無給特別休暇</u> 。監督者の承認により年間20にまでの無給休暇を付与する

出所:株式会社リクルート リクルートワークス研究所 グローバルセンター「ドイツのフレキシブル・ワーク」より <https://www.works-i.com/column/flexibleworkuk/detail003.html>

4-6. “4” まとめ

ものづくり DX 推進の前提条件と「壁」

- ・ものづくり DX を推進するには、その準備段階としての前提条件がきちんと備わっているかという問題意識が重要である。
- ・ものづくり DX 推進のための前提条件として、次4つの「ギャップ」が「壁」となる。このギャップには①標準化のギャップのほか、②リーンギャップ、③マインドギャップ、④スキルギャップがある。

標準化の壁とリーンギャップ、マインドギャップ、スキルギャップ

- ・ものづくり DX とはデータをデジタル化し、そこで生産された情報をネットワーク化に

より共有することがその原点であろう。とするとネットワーク化の効果を最大にするためにはデータ形式だけでなく、用語や業務のやり方・内容に至るまで標準化・共通化・共有化されている必要がある。

- ・リーマン生産方式は今や製造業のみならず世界の多くの産業で無駄を省き現場力をあげるための共通ツールとして共有されている。もともとはトヨタ生産方式から発展したものであるから、ギャップがあるだけで国際競争力には危険信号が点る。
- ・マインドギャップは、ものづくり DX への取り組みスタンスや業種によっても異なるが、このギャップを如何に早く埋めきるかが勝負である。
- ・スキルギャップは最も認識しやすいギャップである。インダストリー4.0 関連の英語資料を見ると頻繁にこのギャップに関する危機感の表明がみられる。
- ・こうしたギャップを埋めつつ、II 型学習の必要性を認識することが必要である。ものづくりをマスターするだけでは不十分であり、デジタルについても最低限そのリテラシーを身に着けるべき時代が来ている。

自前主義からつながる世界へ

- ・ものづくり DX の推進によってオープンでつながる世界が広がる。従来の自前主義にとらわれている企業は一気に競争力を失うリスクが増大してきた。ものづくり DX ではデジタルが「つながる」・「オープン」・「スピード」という性格を有することから、「脱自前主義」「脱系列」「脱上下関係」という転換が不可避である。どこの何とつながるのか。あるいは、何をオープンにしていくのか。協調領域の設定という考え方が重要になる。
- ・従来では考えられなかった様な企業や大学、研究所、スタートアップ、事業主などを集めて仲間を組み（エコシステムの形成）、そうしたつながりから新しい事業機会を見つけることに成功した企業がブルーオーシャンに進むことができる。企業間対等の原則で民主的なエコシステムを形成する。垣根を超えた仲間づくりは、文殊の知恵を組織間で生み出せる。

業界全体の無駄削減と協調領域の設定

産業競争力の観点からは協調領域の拡大が必要である。

- ・協調領域と競争領域の考え方のポイントは、その製品・サービスの需要家の選考判断への影響度合いにある。その領域が直接に企業の競争力を左右するのであれば、それぞれがしのぎを削って競争する。競争により需要家にとってますます魅力的な製品・サービスが提供できる。但し、足の引っ張り合いは避けたい。
- ・その領域が競争を左右するほどでもなければ、協調して協力しあうことにより、企業ごとに資源を費消しあうという業界全体の無駄を減らすことができる。
- ・国として、強いところ、得意なところは、企業間で競争してますます競争力に磨きかける。他方、国として、弱いところ、不得意なところや苦手な技術であっても、公知・既知の部分は各社が協調して投資の無駄を省き競争力を高めていく。

- ・各社それぞれの事業が相互補完的ゆえに強みを発揮しうる場合には、各バリューチェーンのそれぞれを持ち寄って統合されたシステムを組み上げて繋がり合うことが全体としての競争力強化につながる。

ものづくり DX を推進による国際競争力の強化を

- ・協調領域とはそもそも業界共通の課題や各社共通の課題を発掘し、切り分けたうえで、連携・協業・協同・協働していこうという発想である。ものづくり DX で「つながる」ための考え方である。
- ・間接業務面でも協調するメリットは大きい。個別企業の枠組みを超えた業務の共通化・標準化ができれば、それを教育システムに組み込むことでドイツのような入社研修の負担軽減やシステム化のカスタマイズ費用の削減に寄与しうる。業界での作業の標準化をはじめ、DX に伴い発生する新しい業務に対応した資格制度の検討など、デジタルに対応した基礎的な知識や実習などの研修面での協調もその意義は大きい。
- ・個社ではできにくかった取組みが協調することで可能になる領域が日々増大している。

ものづくり DX を推進のための目先の課題と長期の課題

- ・こうしたものづくり DX の具体化を検討する過程であぶりだされた課題をみると、いずれも一朝一夕には難しい課題が多い。そこで目先の課題と長期の課題を分けて考えることが重要になる。
- ・目先の課題は、Ⅱ型能力の獲得をチーム（集団）として目指すこと。DX を推進するチーム（CTB）は、ものづくりとデジタルの両人材の混成チーム（Ⅱ型チーム）となる。Ⅱ型チームは、現役の従業員を主体としつつも、**デジタル専門人材**¹⁰⁵としてのデジタル系スタートアップやデジタル系フリーランス等の多様な外部組織や外部人材も構成員として参加する。
- ・Ⅱ型チーム（組織）では、他組織との協業や若手への権限移譲など従来とは異なる人材登用が可能な組織への改組が必要となる。チームの運営スタイルは、従来型の管理統制型のピラミッド型というよりは、むしろ各専門家同士は対等・フラットで創造的であることを原則とするようなチームづくりが求められる。また、**Ⅱ型チームのリーダー像**は、これまでのような論功行賞型やⅠ型（単一の専門特化型）ではなく、各専門分野を横断的に見渡すことのできる全体俯瞰力に長けたプロデューサー型・支援型¹⁰⁶の人材が必要になる。
- ・一方、長期の課題としては、**Ⅱ型人材**を目指す個人を育成・支援することである。Ⅱ型人材は短期間で一気にこれを確保育成することは難しい。そこでまずⅡ型チームを形成してもものづくりとデジタルの専門家が相互に学習しあう（Ⅱ型学習）といった新しい環

¹⁰⁵ デジタル専門人材が有するスキルの例として、WEF ではデータアナリスト、デジタル技術機器操作スキル、4 IR 技術（第四次産業革命関連の技術）やデジタルツールの使用、プログラミングとコーディング、意思疎通・協働・変動管理、問題解決、事業ニーズのデジタルへの翻訳、品質、サイバーセキュリティを挙げている。（WEF, White Paper “Global Insights from the Forefront of the Fourth Industrial Revolution”, Dec.2019 より作成）

¹⁰⁶ 詳細は本文 4-3-1. を参照

境下で日進月歩のデジタル技術の習得に勤しむ必要がある。こうしたⅡ型の修練研鑽を積み、腕を上げつつ、さらに前人未到の域を目指す人材が本専門部会とその前身の部会で取り上げてきた TAKUMI 4.0 である。つまりⅡ型人材の最上位レベルが TAKUMI4.0 となる。

ものづくり DX における TAKUMI4.0 の位置づけ

- ・ TAKUMI 4.0 とは狭義には、ものづくりに習熟した現場力をデジタル化し、DT/CPS といったデジタルツールを使いこなし、ツールの改善にも寄与できるⅡ型人材の最終形(Ⅱ型の初・中・上級というレベルを経た最終の到達点レベル) である。
- ・ 広義にはデジタルマインドを理解し、暗黙知の形式知化・デジタル化に協力しつつ、本業のものづくりの技を磨き続ける人材としている。
- ・ マインドギャップやスキルギャップを克服していく意味でも、Ⅱ型の職業資格を初級、中級、上級、TAKUMI4.0 とレベルを設けることによって、Ⅱ型能力の資格化と指標化が可能となり、Ⅱ型人材の長期的な人事育成にも資することが可能となる。

多様な専門人材との協働環境に必要な就業環境整備

- ・ ものづくり DX が進むと、オープンイノベーションやエコシステムを構成する他組織の人など多様な人材が協働するケースが増大する。従って就業形態や就業現場の態様は大きく変化する。そうした就業環境の整備が必要になる。
- ・ ドイツのフレキシブル・ワークの事例は参考になる

5. ものづくり DX の推進人材（人材像・育成上の課題・継続学習）

前章の「3.ものづくり DX の具体的なイメージ」においては、主としてものづくり DX を推進するための場としての組織とその在り方に焦点を当ててきた。現代の組織論において「その組織の機能を執行するのは人」であり、「人が場をつくる」とされる¹⁰⁷。そこで本章でも組織から人へと焦点をシフトすることにする。

昨年度までの本専門部会の議論によると、日本版の「マイスター(熟練技能者や匠)」はこれからも必要であるという声が多い。しかし、現実にはニーズ等の多様化が進み、マイスターだけでは対応しきれない複雑・高度な案件が増大するという見方も少なからずみられる。我々は従来同様に熟練技能や匠を尊重し伝承し、着実に次世代を育成していく一方で、ものづくり DX という新しい課題にも同時並行的に取り組む必要に迫られている。

以下ではものづくり DX 時代の「ものづくり」と「人」の役割がどう変わるか、さらにそうした変化にどう対応するか、新時代に求められる人材像、その確保育成策について検討する。

5-1. ものづくり DX 時代のものづくりと人の役割変化

これまでものづくりに従事してきた RTB に属する「従来型の既存人材」も、遅かれ早かれ最低限のデジタルリテラシーを身に着ける必要がある。こうした観点から、ものづくり DX 時代の人材像のほかに、ものづくり DX を推進する CTB 型のフラットな組織内で求められるリーダー像やメンバー像とはどのような人材像かにまで踏み込んだ検討を行う。

5-1-1. ものづくり DX 時代の人材像

ものづくり人材は、これまではものづくりに関する技術・技能・ノウハウに専念していれば問題なかった。ところがものづくり DX 時代の人材は、単にデジタル技術を理解するのみならず、デザイン思考やシステム思考といった従来とは全く異質な思考や発想・考え方などのデジタルマインドを習得しつつ、進歩発展を続けるデジタル技術を使いこなすことが必須になる。デジタル技術の習得には時間がかかる。Ⅱ型人材の育成は、長期の課題とならざるを得ない。習得したデジタル技術をⅡ型チームの中で駆使することによって、加速する「デジタルスピードの世界」への対応力を身につけることを通してⅡ型人材となる。そしてデジタルスキル等の向上を目指して、Ⅱ型人材の「初級」から同「中級」、「上級」、さらにはその最終形としての「TAKUMI4.0」へと精進していく。

つまり、IoT・AI時代に向けて、ものづくり DX を進めるための人的要件として、個々人のデジタル活用能力を高めること、及び、従来とは異なる新しい組織形態のなかでの協働作業ができること。この二つへの適応能力が重要になる。既にみてきたように究極的にはⅡ型の人材としてⅡ型能力を磨き究めた TAKUMI4.0 を目指す。異質で多様な人材が

¹⁰⁷ 一橋大学 国際企業戦略研究科 鈴木智子 准教授執筆の一橋ビジネスレビュー誌 2019 WIN 号(p 104～115)所収の論文から

協働する必要がある。Ⅱ型チーム内でのチームワークを発揮できることが重要になる。

5-1-2. 求められる能力と資格

ものづくりに係る人材にとって本当に優秀とされる根幹たる能力とは「問題を発見する気づき力、課題を設定して解決できる力、事業を具体的に推進できる力、俯瞰力ある人材」だといわれてきた。この点は時代が変わっても変わらないと指摘（本専門部会書面アンケート調査結果）されている。但し、従来と大きく異なる点がある。それは、これからの優秀な人材はデータの利活用ができるといったデジタルに習熟した人材であり、ものづくりとDXの両方に通曉したⅡ型の人材であるという点である。IoT・AI時代のものづくりが、デジタル技術の活用を不可避とする以上、そこで働く人にはデジタル技術の使いこなしが求められる。この点に関し、本専門部会の議論では「ツールはあくまでツールであり、ツールを使う立場の人が身に付けておくべきこととして以下を挙げている。

- AI・IoT 活用に資するデータの取り方
- 目的やデータの質・量に応じた各種 AI 手法の選定方法
- データ準備や AI・IoT 活用の勘所
- 正しい結果の解釈、および業務における意思決定

従って、究極的にはものづくり技術とデジタル技術の両方に通じる「Ⅱ型人材」が必要になる。しかし、AI・IoT活用方法を理解¹⁰⁸し、横展開していくためには、それなりのリソースと時間が必要になる。

これまで長い時間をかけて知識や技能・ノウハウを磨いてきた「ものづくり人材」が、いきなりデジタル技術に挑戦することには無理があり、現実的とはいえない。そこでまず、両技術に通曉した専門家を集めた「Ⅱ型チーム」の組成から始めるのが实际的（専門部会での議論）である。Ⅱ型チームのなかで相互に学習しあうⅡ型学習を通じて、最終的にはⅡ型のリテラシーを身に付けていく。そして、ものづくり技術の習熟に加えてデジタル技術も段階を踏みながらレベルアップをはたしていく。これが「Ⅱ型人材」である。デジタル技術も使いこなせる究極の達人の資格がTAKUMI4.0となる。

Ⅱ型チームに集まった両技術それぞれの専門家が、相互に非専門分野を学習し合い（Ⅱ型学習）、ものづくりとデジタル技術の融合に挑戦する。こうしてⅡ型チームは徐々にⅡ型能力やⅡ型リテラシーを向上させるに伴い、ものづくりDXも一步一步進むことになる。

5-1-3. フラットなⅡ型組織の特徴

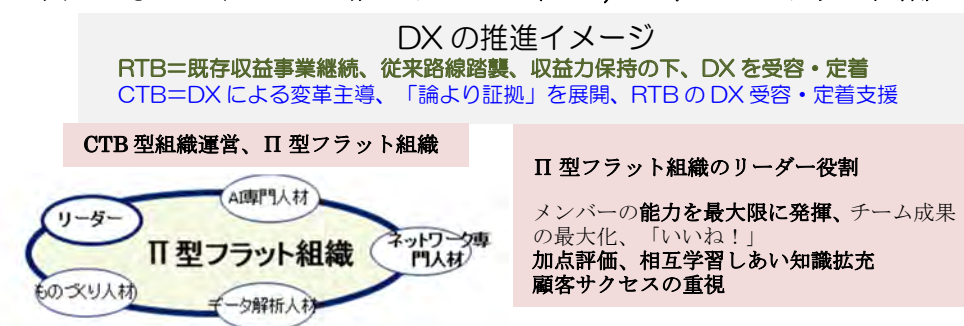
ものづくりDXを推進する過程では、デジタルネイティブといわれる新世代ともフラ

¹⁰⁸ AIを利活用する際に留意すべき点として本専門部会委員から以下の指摘があった。「AIは次の二面性がある。一つは現場の改善や効率化に適用するケース。Excelマクロのようなレベルで、特殊なAI人材を必要としない。既存エンジニアがマスター可能であり、早急に普及させるべき分野。もう一つは、ビジネス変革など従来と異なる使い方をするケース。こちらは、AIの性能、仕組み、何ができるのかといった中身をより知っておく必要がある。」という。

ットな関係のもとデジタル技術を「デジタル」と「ものづくり」の考え方や技術等を相互に学習・補完し合い、伝承しつつ、新時代の製造業への変革を進めていくことが求められる。こうしたⅡ型の学習を要することから、ものづくりDXにはⅡ型組織自体のフラット化の必要性が生まれる。

Ⅱ型チームがいくつもできていくと、組織そのものがフラットなⅡ型の機能を有するようになる。これがフラットなⅡ型組織である。フラットなという点はIPAの資料でも確認できる。また、「ティール組織」(フレデリック・ラルー、2018.)の目指す姿とも重なる。次図はものづくりDXの変革を担うCTB型の「フラットなⅡ型チーム/組織」をイメージ化したものであり、RTBとCTBの役割の違いとともに、Ⅱ型フラット組織運営者であるリーダーの役割の特徴を示したものである。ものづくりDXを推進するには、Ⅱ型フラット組織のリーダーが従来型リーダーと異なる役割を負っており、チームマネジメントも異質であるという点の理解が重要である。

図 44.ものづくりDXの推進イメージ (RTB,CTB、Ⅱ型フラット組織)



注.ものづくりDXではものづくり機能のすべてがDXの変革を推進するための収益源として継続的に稼働を継続する。その間、CTBが変革を先導していく。CTBは変革の立案と実証、実装を主導するからリーダーの役割は、RTBのそれとは根本的に異ならざるを得ない。メンバー個々の専門能力を最大限引き出せるかがリーダーの最も重要な役割になる。

出所：諸資料からNSRI作成

5-1-4.Ⅱ型チームのプロデューサー型・支援型リーダー像とメンバー像

すでに化学産業の事例でみたように、ものづくりとデジタルの業務文化にはそれぞれの特徴がある。

Ⅱ型チームのプロデューサー型・支援型リーダー像

Ⅱ型チームのメンバーはいずれも相異なる固有の分野については専門家である。従って従来型のピラミッドスタイルでの「支配型リーダー」「管理型リーダー」といったマネジメントスキルでは対応が難しい。リーダーはヒエラルキーの頂点に位置するのではなく、メンバーが集う円形の内側に立つか、メンバーとともに円周上にいるといったイメージである。つまり上限関係ではなく、お互いが支えあうフラットな関係づくりが重視される。

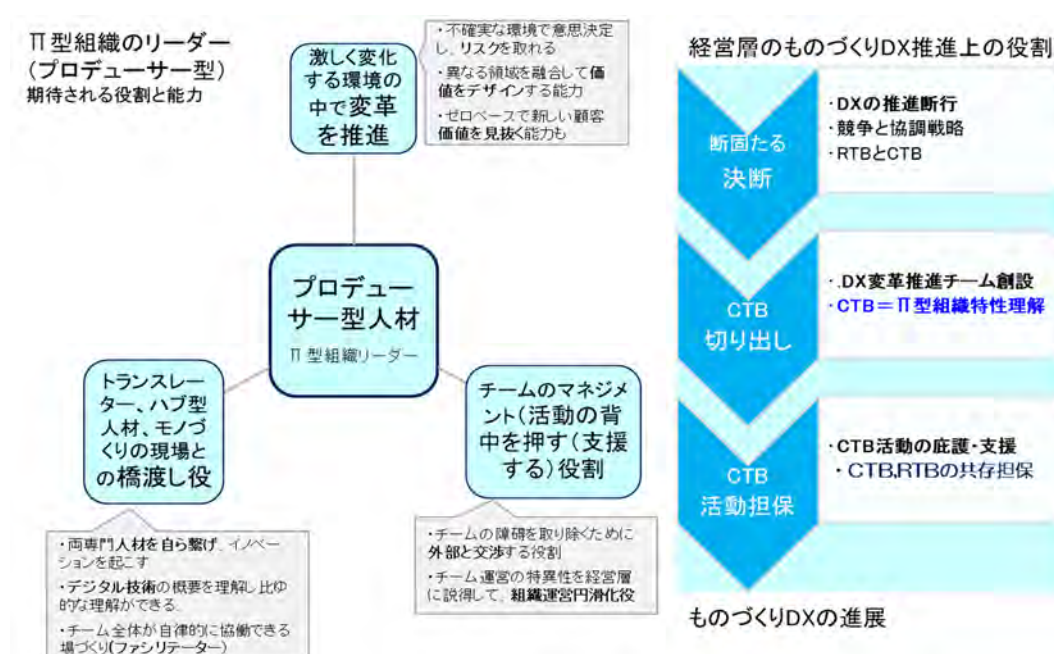
前述の化学産業の例をみると、AIの考え方とエンジニアリングの考え方は真逆だと指摘している。Ⅱ型チームのリーダーには、ものづくりとデジタル両者間の考え方の大きな溝について、橋渡し(ブリッジ)機能や翻訳・調整・統合する機能が求められる。業務内容や業務手順、業務用語、業務の考え方などの分野ごとに、統制管理主体の従来像とは異なる

るⅡ型チーム特有の新しいリーダー像¹⁰⁹の共有とその切り替えが必要になる。こうしてⅡ型チームを率いる新しいリーダーは、異文化の橋渡しなどチーム内のコミュニケーションネットワークの構築を主導したり、個々の専門性を最大限にまで引き出せたりできるスキルが求められる。リーダーは、メンバー一人ひとりがチームの目的を共有し、かつ各員が持つ固有の潜在能力を十二分に発揮できるように支援しつつ、チーム全体としての成果をミッションとして最大化できるようにリードする、アウトカム重視の役割を負う。いわば「プロデューサー型」¹¹⁰の支援型のリーダーである。

プロデューサー型・支援型リーダーと経営層の役割の違い

では、こうしたⅡ型チームのリーダー、或いは、プロデューサー型・支援型リーダーと経営層の役割は具体的にどう異なるのか、どう役割分担されるのか。この問題を整理してみたものが次図である。

図 45 CTB のリーダーとしての「プロデューサー型」人材のイメージと経営層の役割



注・CTBは従来型事業であるRTBの中で、デジタルツールを駆使して従来とは異なる新しい事業や業務運営等の仕組や社風・事業文化に挑戦する組織である。

- したがって先行事例を見るまでもなく、いわゆる既存の事業部門RTBからの「風当たり」が強くなる。RTBサイドからCTBを見るとその働き方ややっていること、勤務時間、人事評価も含めて異端であり、異質でありすぎる可能性が高い。RTBサイドからは単なる批判に留まらず、CTBの活動自体を妨害する動きすらありうる。つまり、経営層はそうした動きを予め含んだうえでCTBの独立した活動を担保する言動や組織作りが重要になる。
- 一方、プロデューサー型・支援型リーダーはそうした外部圧力から専門性の高い個々のメンバーの活動

¹⁰⁹ 知識創造の理論で高名な一橋大学野中郁次郎名誉教授は、知識創造のプロセス（ビジョン、対話、実践、場、知識試算、環境といった要素からなる）を実践できるのは「フロネシス（アリストテレスが唱えた概念で、賢慮、実践的智慧、実践的理性）を備えたリーダーだ」という。その特徴は、卓越した「善い」目的を作る能力、他者とコンテキスト（文脈）を共有し、場を触発する能力、ありのままの現実を凝視する能力、賢慮を伝承・育成する能力を有すること。日本経済新聞 2019.9.27「私の履歴書」から作成。

¹¹⁰ 本項で指摘されるリーダー像はあまりにスーパーマン的すぎるという議論がみられた。過去の日機連のレポート「機械工業の展望と課題（ものづくり環境の将来像を探る）」平成17年3月をみると、求められる人材像として「スーパープロデューサー」（同p4）や「プロデューサー的人材」、「総合的な思考力」、「人材を見守る人材」、「人材を生かす人材」といったⅡ型チームのリーダー像と重なるようなキーワードが並んでいる。（同p3）しかし、今回は支援型という概念を明確に打ち出している。

の障害となるものを排除してメンバーの自発性、創意工夫、デジタルマインド（デジタル文化）というなじみの薄い文化の導入等を許容して個々の能力発揮を保証する必要がある。かつ、デジタル技術の概要を理解できて情報処理ができる人材であることが求められる。

- こうした人材の確保育成が大きなテーマであり、諸外国でスキルギャップとして指摘されている問題の最もハードルが高いテーマでもある。

出所：諸資料並びに本専門部会での議論をもとに NSRI 作成

経営層に求められる役割はものづくり DX を推進するという断固たる決断とそのため
の推進チーム（CTB）の従来型組織（RTB）からの切り出しと CTB の活動をきちっと庇
護・保証し外部から妨害されないよう支援することである。プロデューサー型・支援型リ
ーダーの役割は、激しく変化する環境下でもものづくり DX を推進すること、多様なメンバ
ー間の橋渡し機能を発揮するとともに、メンバーの力量を十全に引き出せるよう支援する
こと¹¹¹である。このような経営層の決断と支援の下、プロデューサー型・支援型リーダー
による CTB チームの運営・推進の円滑化が、ものづくり DX に立ちふさがるスキルギャ
ップなどの壁を乗り越えるための起爆剤であったり推進力となったりする。

ものづくり DX の決断や進展を託せるような経営層が十分に確保できない場合にはど
うしたら良いか。そこで CIO のシェアリングという考え方が浮上し、推進団体（CIO シェ
アリング協議会）が活動を始めている。次のコラムはその実例である。

参考 30 CIO のシェアリング（兼任、兼業、ノウハウ共有の取組み）

「CIO シェアリング協議会」（2019 年 11 月設立）：CIO としての高いスキルを持つ人
材を複数企業で共有する「CIO シェアリング」を支援する任意団体。

1. CIO シェアリング協議会が推奨するのは、1 人の優れた人材が複数企業で CIO 職を掛け
持ちする働き方だ。「IT ガバナンス方針の構築やシステム刷新のグランドデザイン策定
など、高度な CIO スキルを必要とする業務は常にあるわけではない。フルタイムの雇用
でなくてもよいのではないか。有能な人材に、より多くの企業で能力を発揮してもらい
たい」と坂本理事は言う。
2. CIO シェアリング協議会では、高い CIO スキルを有する人材をメンバーとしてストック
しておく。CIO 人材の非常勤雇用などを望む会員企業からの相談を協議会で受け、ニー
ズに合う人材を紹介する。その後、企業と CIO 人材とが直接契約する。
3. 企業と CIO 人材の契約は個別交渉——、「例えば 2000 万円の年収を得る実力の CIO を、
週 2 日勤務で年 800 万～900 万円で雇用する、といったイメージ」（坂本理事）
4. 契約形態としては、非常勤雇用、顧問委嘱、業務委託など様々な形式を想定。ただい
ずれの場合でも、その企業の CIO としての肩書を持ち、相応の権限と責任を有すること
を重視する。このことが IT コンサルタントに戦略策定などを依頼する場合との違いだ。
5. CIO シェアリングの課題は、——例えば、受け入れ側の企業の人事制度が追いつか
ない可能性——。

注. CIO シェアリング協議会の HP <https://tech.nikkeibp.co.jp/atcl/nxt/column/18/00001/03226/>

出所：2019/11/25 05:00／ニュース解説／CIO も「シェアリング」、変革リーダーの新たな活用策
は日本に根付くか／矢口 竜太郎＝日経 xTECH／日経 SYSTEMS

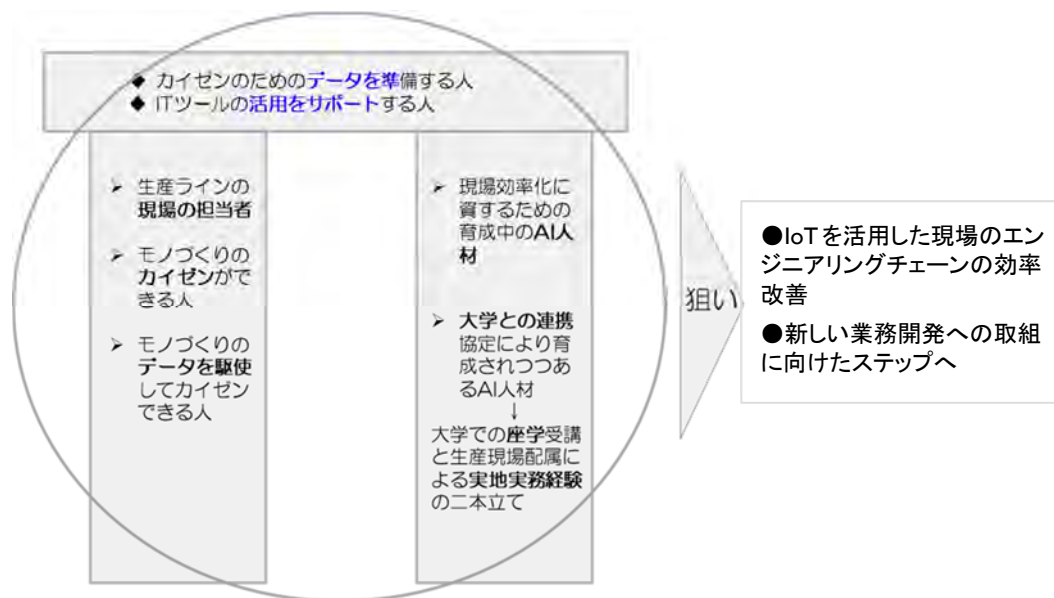
II 型チームのメンバー

一方、II 型チームのメンバーは、それぞれ固有の専門分野に通暁している必要がある。

¹¹¹ WEF の“Fostering agile industry leadership”の項では「アジャイルのみが生き残るリーダーシップ
4.0」第 4 産業革命からの抜本的な技術の変化は、組織とリーダーがデジタル経済で繁栄する方法に大き
な影響を与える。これまでに以上に組織とリーダーは、俊敏性(agile)を維持して適応し続けられるか、或
いは、混乱を招きよせるリスクを抱えてしまうかと指摘している。Global Agenda Annual Meeting of
the New Champions 2019 Leadership 4.0: Succeeding in a New Era of Globalization Dalian,
People's Republic of China 1-3 July http://www3.weforum.org/docs/WEF_AMNC19_Report.pdf

次図は本専門部会で実施した工場見学先¹¹²で目にした「IoT を活用した現場の改善活動」をもとに、委員の意見を踏まえた II 型チームの構成メンバーのイメージを表したものである。II 字の左足はものづくり系専門人材を、右足はデジタル系 AI 人材を、横バーは改善のためのデータの準備者と IT ツールのサポートする人を配したものである。

図 46 II 型チームを構成するメンバーの具体化例



注. II 字の左足は「ものづくり系専門人材」を、右足は「デジタル系 AI 人材」を、横バーは「改善のためのデータの準備者」と「IT ツールのサポートする人」を配した。

- ・ものづくり系には生産ライン現場担当者と改善ができる人、ものづくりデータを駆使してカイゼンができる人がいる。
- ・AI 人材には、大学での受講と現場での実地経験の両建てで育成中の人員が現場効率化に参画している。
- ・横バーのデータを準備する人と IT ツールの活用をサポートする人材はものづくりと AI の両専門家の間をつなぐ役割を負うことになる。この 3 種類の人材が II 型チームを構成する。

出所：諸資料並びに本専門部会での議論をもとに NSRI 作成

大胆な業務変革に成功したとして有名な事例（Stora Enso 社）によれば、変革に活躍した人材、すなわち CTB チームに選抜されたメンバーをみると、その多くが実は従来型人事評価では優秀と評価されていなかったという。しかし、RTB での仕事と全く異なる事業変革のための新しい仕事には見事にはまり、大いにその役割を果たし終えた(次の図)という。従来の長期雇用や総合職育成中心の職能主義人事制度では対応しきれない可能性がある。

¹¹² 第 13 回 IoT・AI 時代のものづくり人材調査専門部会（見学会）、2019（令和元）年 9 月 6 日（金）13：30～15：30、見学先：ダイキン工業（株） 堺製作所 臨海工場

図 47 製糸業から再生材料企業へと大変革を遂げた老舗企業、Stora Enso 社

Stora Enso社（製紙業から再生材料企業へ）			オープン	つながる	新価値創造	チャレンジ	知の探索	効果
問題意識	変革手法その1	⇒ 変革手法その2	○	○	○	○	○	○
経営不振によるリストラからの脱却	⇒ コンサルタント頼らず、従業員を信頼	⇒ 選抜チーム編成 徹底議論 破壊的イノベーション	変革推進チーム(CTB)にはだれでも参加できる	経営トップ層はチームに深く関与・必要なスキル・戦略・構造化思考・デジタル等を差し向かいで教授し、上下なく徹底議論	チームのアイデアをプロジェクト化しつつ、事業拡大に邁進	チームの活動は社内には軋轢・衝撃・ノイズを生じた。本活動の具体的な成果を社内にも示し、正当化の証拠として克服	従来型人事選抜から外れる人材のポテンシャルを引き出し、新しい働き方やアイデアを糾合することができた。	グローバル企業に脱皮 大変革で株価倍増
2000年から経営不振	⇒ 社内自由応募・人材発掘システムの枠外から人材を集める	⇒ デジタイゼーション プロジェクト化						
2011年までに1/3リストラ		⇒ 成果示しつつ 全社巻き込み						

注.経営不振とリストラの断行という負のスパイラルから脱却するために、経営陣は外部コンサルを活用することなく、自社内の人員で対処する戦略を採用。変革推進チーム(CTB)の人選を公募し、経営陣はこのチームに深く関与して議論にも参加、CTB から出てくるアイデアを事業化。その間、社内の既存組織(RTB)との軋轢が生じたが、その成果が正当化の根拠とされ経営陣の事業化採択の決断により、変革は成功し、株価が倍増した。しかし、CTB メンバーは従来型人事選抜スキームからは外れた人材であったという。RTBでの役割とCTBでの役割は異なる。その評価も異ならざるを得ないことを示している事例である。

出所: StoraEnso 社: HBR How the World's Oldest Company Reinvented Itself January 30, 2018 から NSR 作成

<https://hbr.org/2018/01/how-the-worlds-oldest-company-reinvented-itself>

5-2. IT能力構築のための教育・研修体制

ものづくり DX に伴い、人の役割が変化していくと、求められるスキルや資格も変わる。それゆえに既存の従業員にも何らかのスキル対策等が必要になる。これが 2-2-3. でみたスキルギャップである。以下では既存組織で既に働いている従業員に焦点を当てるとともに、デジタル技術に特有の世代間格差にも注意を向けながらスキルギャップの問題を考える。また、ものづくり DX を進める際に必要となる、人材面で重視すべき視点・認識の在り方について、他業態の先進事例を取り上げる。

5-2-1. 既存従業員の教育研修面と世代間格差

既存の従業員は、CTB のチームの一員になるか否かに係らず、これからのデジタル時代には、デジタル関連の知識やデジタル業務に関する訓練などのデジタルリテラシーを高めるための独学独習(自己啓発)やさまざまな教育研修を受講していくことになる。企業内研修のほか、業界団体、大学、国・地方の研究機関、民間の教育研修コースなどを履修し、デジタルに関する知識の習得や、経験を積むこと¹¹³が求められる。先行するデジタルプラットフォームやデジタルプロバイダーは教育用のプログラムを提供¹¹⁴している。学生向けに無償提供してその利活用を奨励することで就職後の普及啓発に資するといった取り組みがすでにみられる。

¹¹³ 関連して本専門部会での議論に『技術はもはや協調領域』という指摘にあるように、IT 業界では盛んに輪読会や勉強会が行われており、技術の共有が進んでいる。製造分野においても今後、IoT/ICT 分野に関しては、積極的にこのような場に参加して、技術や問題意識の共有を行ない、参加者と協調していくことが重要になる」という。

¹¹⁴ GE の Predix や Siemens の MindSphere、PTC の教育プログラム(豪州 RTB 大)、Don Glaser 社の Simulation Solutions、Emerson 社の Performance Learning Platform (ハンズオンの訓練が可能)
<https://www.emerson.com/en-us/automation/services-consulting/educational-services/performance-learning-platform>

また、これから習得すべきデジタル技術は、技術自体が絶えず更新され続ける宿命の下にある。今までできないといわれていたことがいつの間にかできるようになる。デジタル技術は、新しい技術が頻々と出現する変化の激しい領域であり、日進月歩の世界である。デジタル技術の変化に即しつつ学習し続けるという変化対応力は、一般に若年世代が中高年世代を上回ると考えられる。この点はドイツでも同様に指摘されている。ものづくりの現場で行われてきた従来型の技術技能の伝承法は、デジタル技術の場合には通用しにくい。OJT だけでは難しい。業務の繁忙を勘案した比較的短期間で有効な、Off-JT による教育研修の機会を適切に提供することが必要になる。未就業世代については、これからのデジタル教育の充実に期待することができる。問題は中高年等既存世代の学習意欲を如何に引き出しつつ、デジタル技術に関する知識と経験を積み重ねる機会をどう確保するかにある。

5-2-2. デジタル技術に関するスキルギャップ対策

デジタル技術に関するスキルギャップを埋める試みで先行している事例をみると、デジタル化に伴う大胆な配置転換を宣言したケース(ドイツ、コンチネンタル社)、従来の延長線上で対応するが、教育研修に特別の配慮を行っているケース(ダイキン、コマツ)がある。また、不足するデジタル技術者を外部からリクルートして社内の DX を推進するケース(GE、SAP)など様々である。AI の専門家を糾合して問題解決にあたらせる仕組みをコンペ形式で実行する仕組みを構築したケース(SIGNATE)もみられる。

また、ものづくり DX を進めるときの人の立場や働き方・考え方に関して、他業態ではあるが、Chemical Engineering Magazine 誌はオンライン上¹¹⁵で、次のような興味深い指摘を行っている。論旨は「今や多くの企業がすでに、デジタル技術ツール(データ分析、クラウドコンピューティング、機械学習、人工知能などのさまざまなテクノロジー)を駆使した運用改善に取り組んでいる。しかし、その新技術を採用するのは会社ではなく人が主体である。新技術の採用に当たって従業員を如何に巻き込み組み込むかが最も重要である。」と人的資源重視の考え方が大事であることのほか、ものづくり DX の具体化にあたって次の 6 つの視点を重視すべきことを解説している。

- 1 つ目の「これまでの「経験」という文化を見直すべき」では、これまでの経験がデジタルという新しい概念を導入する上で障壁となり抵抗となるという。これは、4-1-4. スキルギャップの「アンラーニングと継続学習環境の整備」のところすでにみてきた「アンラーニング」の議論そのままである。
- 2 つ目は、ルーペレベルではなく、全体でプロセス内の相互作用を確認できるズームアウトにシフトすること。これは機械学習ツールを備えた AI を使用することが可能になる。BT 思考で取り上げた万物をシステムとして捉え全体から考えるという説明と同様である。
- 3 つ目は、失敗の許容、階層制御をあきらめる、小さく始める、段階的に変更する、権

¹¹⁵ ChemEngOnline “Workforce 4.0: The Human Side of Digital Transformation” By Scott Jenkins, Chemical Engineering magazine | December 1, 2019
<https://www.chemengonline.com/workforce-4-0-the-human-side-of-digital-transformation/?printmode=1>

限の下位分散譲渡といった指摘がリーンスタートアップの主張と重なる。

- 4 つ目はデジタル系にもものづくり現場の人が参画することの重要性を説いている。まさにⅡ型チームのことである。特に、現場の人から見ると、機械学習アルゴリズムは魔法のブラックボックスにしか見えず、予測結果を信頼すべきか判断がつかなくなるといふ。
- 5 つ目はデジタル化によりシステム化が進むことで、それまでのプロセス知識が失われることが懸念されている。そのための対策として「オフラインによる体験型トレーニング」の重要性が指摘されている。機械工業でも参考になるように思われる。
- 6 つ目は、エンジニアとデジタルのそれぞれの発想が真逆であることを指摘している。方や理論的に論理的に思考していくのに対し、デジタルではデータが主役である。データが主役となると問題の適切な定義が重要となる。両者の発想が正反対だという認識がⅡ型チームの運営・参加上きわめて大事な点ではないかといえる。

参考 31 ものづくり DX の重視すべき観点・認識（化学産業の“労働力 4.0”）

重視すべき観点・認識	ものづくり DX 推進で重視すべき観点・認識の解説
1.これまでの「経験」という文化を見直すべき¹¹⁶ アンラーニング	▶ものづくり DX が進んだ新時代の製造業においては、現場において培われてきた これまでの経験 は、先入観、既存のバイアスなどの考え方や習慣、慣行に大きな影響を及ぼしてきている。 ▶そうした土壌は デジタルという新しいテクノロジーを取り込む際には、逆にデジタルテクノロジーの有する考え方や習慣、慣行との間に障壁となり、導入の抵抗 となりうる。
2.「ルーペレベル」から「ズームアウト」へ¹¹⁷ BT 思考	▶ものづくり DX が進むと、問題が生じたときにエンジニアは根本原因を明らかにするために 分析作業のための調査 に時間を取られていたが、より積極的な分析に移行することができ、 現場の機械装置等のレベルや「ルーペレベル」ではなく、ユニット操作レベルまたはプラント全体でプロセス内の相互作用を確認 できるようになる。 ▶こうした「ズームアウト」は、 機械学習ツールを備えた AI を使用することで実現可能 となる。
3.「リーンスタートアップ¹¹⁸」的取組が重要に 失敗許容文化、フラット、小規模から	▶ものづくり DX をスマートに移行する方法は、さまざまなことを試して、うまくいかなかった従業員に やめる自由を与えること 。「 失敗は選択肢ではない 」という企業文化は、ものづくり DX の支障となる。 ▶ エンジニアリング主導型の企業や科学に基づいた産業では、階層制御をあきらめる必要がある ことが多いため、 デジタル技術の採用に苦労 することがある。「企業は 小規模から始め、検証済みのデータを生成してから、段階的に変更 する必要がある。 ▶こうした変革に従業員に を如何に関与させるが重要 。そのためには、一般に考えられるよりも「 乱雑な権限の分配（権限の下位分散譲渡） 」が必要になる。
4.AI モデル構築に	▶ものづくり DX という IT エンジニアとデータサイエンティスとによって

¹¹⁶ この指摘は、「アンラーニング(これまで学んだことをご破算にして学びなおすこと)」の必要性とつながる指摘である。「5-3. ものづくり DX 推進に必要な人材像の検討」参照。

¹¹⁷ 「ズームアウト」できるということは、ものづくり DX によって BT(ブレークスルー)思考で求められる「目的を把握し、万物をシステムと捉え、全体から考える」ことができるということに繋がると考えられる。

¹¹⁸ エリック・リース著、「スタートアップ・ウェイ」日経 BP 社、2018、中田敦「GE」日経 BP、2017、本専門部会の平成 30 年度報告書 p 51、p 54～55 参照

II 型チームを	は現場の参画が重要¹¹⁹に	担われがち（本報告書の II 型チームに入るべき人材に相当）であるが、これは逆にものづくりの現場からみると大きな障壁となる。 ➤機械学習アルゴリズムそのものが現場の人にとって「魔法のブラックボックス」であるように見える可能性があることから、予測結果を信頼すべきかどうか判断がつかなくなる。 ➤回避するためには、デジタルをツールとして活用すべき現場の人々に AI モデル構築の段階から参画してもらうこと（現場の人と AI モデル構築する人、これも II 型チーム）が必要になる。
オフライン 体験型訓練	5.プロセス知識喪失の懸念とオフラインの体験型トレーニングが重要に	➤デジタルツールへの依存度が高まると、プロセスに関する知識が失われる。オフラインの体験型トレーニングが重要である。実践的な学習のギャップを埋めるシミュレータベースのトレーニング（VR/AR/MR の活用など）を提供する学習環境を整備する必要がある。 ➤「若いエンジニアにとっては、操作上の感覚が不十分であり、最大のギャップは経験的な学習を如何に補うかにある。すでに「ハンズオントレーニングを可能にするポータブルでコンパクトな自動化テクノロジートレーニングソリューション」が利用可能¹²⁰である。
アンラーニング の必要性	6.エンジニアとしての発想とデジタルの発想が真逆だという理解と認識¹²¹が重要に	➤AI の考え方とエンジニアリングの考え方は真逆である。「エンジニアとして、私たちは皆論理的に考え、質問に対する論理的な答えを考え出し、それを何らかの論理システムに「プログラム」するように訓練を積んできた。 ➤「AI はまったく逆の方法で機能する。そのため、心を開いて、適切な質問をし、データに答えを見つけさせることにもっと集中する必要がある。」「問題を適切に定義できるかが AI を使いこなすための要である。」

出所：Chemical Engineering Magazine 誌 ChemEngOnline “Workforce 4.0: The Human Side of Digital Transformation” By Scott Jenkins, Chemical Engineering magazine | December 1, 2019
<https://www.chemengonline.com/workforce-4-0-the-human-side-of-digital-transformation/?printmode=1>

5-3. ものづくり DX 推進に必要な人材育成（既存人材）

ものづくり DX 推進にはそうした新時代に求められる人材像の検討が必要になる。CTB の組織にみるように様々な専門性を持った人材が集う中で、ものづくり DX を推進するという重大な使命を達成するためには、それぞれが持てる能力を最大限に発揮できるような環境の整備や管理の仕組みが求められる。先行事例等によれば、そうした観点から新しい人材像や人的資源管理の仕組みが提案¹²²されている。

ここでは先行する事例を踏まえ、II 型チームにみられる様なものづくり DX に必要な人材像をイメージするために、必要とされる人材の要件をはじめとして、「アンラーニング」などの新しい概念の紹介と継続学習を中心とした人的投資の重要性、ものづくり DX を進めるための人材戦略、匠の技とデジタル化といった問題を検討する。

5-3-1. 教育研修はコストではなく投資（人的資本投資）

II 型チームがチームとして機能するためには、メンバーそれぞれがものづくりとデジ

¹¹⁹ IT などのデジタル系技術者ともものづくり技術者の両者が参画する II 型チームの発想と通底する考え方。

¹²⁰ エマーソン・エレクトリック（EMERSON ミズーリ州セントルイス、www.emerson.com）は、パフォーマンス・ラーニング・プラットフォームを導入。これは、ハンズオントレーニングを可能にするポータブルでコンパクトな自動化テクノロジートレーニングソリューション。デジタル変革を促進するために不可欠な能力を強化し、従業員のスキルのギャップを埋めるのに役立つ。

¹²¹ ものづくりとデジタルの発想が真逆であることをアンラーニングによって体得する必要性がある。

¹²² 平成 30 年度本専門部会報告書の第四章、4-1-2、4-1-3、p 68～p 72 参照。特に、IPA「アジャイル開発の進め方」2018.4、GE デジタル社、SAP 社、Stora Enso 社、本専門部会アンケート調査など。

タルという異分野の学習を怠りなく進める意欲と熱意、チームワークが求められる。問題はこうしたメンバー個々の成長をどう担保するか、どのような教育研修機会が用意できるかである。ものづくり人材がデジタル技術のような新しい技術を身につけるには、相応の社内外の教育研修制度の拡充や研修に没頭できる環境整備などが必要になる。研修を受ける場合、研修後の研修者と上司の認識にギャップが生じがちであり、そうした問題を回避できるような受け入れ態勢にも配慮が必要（昨年度の部会議論から）である。

既存従業員に対する教育研修機会の提供は、人的資本投資とする戦略的投資スタンスが肝要である。本専門部会（第三回）で実施した見学先では大学との連携を進め、新入社員を中心に大学当該研究室に送り込み座学を受けさせるとともに、現場での実習実務研修も経験させるというプログラム¹²³を組んでいる。第四次産業革命は概念的な段階から**実装の段階へものづくり DX 具体化の段階**に移ってきている。ものづくり DX の推進によって人材を入れ替えるべき領域が浮上しても、大多数を占める既存の人材を最新技術ノウハウで武装し直すという戦略を優先すべきである。ドイツの例を見ても基本方針はほぼ同様（次の参考欄参照）である。産業革命の進行という構造変化の影響を受ける労働者に対する継続的な教育と訓練のサポートを提供し、変化する仕事の世界で資格とスキルを維持および調整し、スキルアップやキャリア変更ができるようにするといった方針を掲げる。教育研修制度の再構築は、設備投資に劣らず最優先の投資対象となる。

参考 32 ドイツの国家スキル戦略

1. 連邦労働社会省と連邦教育研究省は、社会的パートナー、州政府、商工会議所、熟練工団体、連邦雇用庁など 17 の関係組織によって、国家スキル戦略（Nationale Weiterbildungsstrategie）が開発され、2019 年 6 月 12 日に公式に採択された。
2. 国家スキル戦略は、スキル開発機会法（Qualifizierungschancengesetz）に基づき、連邦雇用庁による 継続的な教育 と拘束力がある訓練に関する カウンセリング を内容とする。第四次産業革命による 構造変化の影響 を受ける労働者にも資格や会社の規模に関係なく 継続的な教育と訓練 をサポートする。
3. 国家スキル戦略の開発は、仕事と資格のプロファイルを変え、新しい職業の出現につながる デジタル変換の増加 によってもたらされる課題に対処できるようにすることを目的とする。ドイツの人々の雇用機会を維持し、拡大するためには、 継続的な教育と訓練 が重要になることから、労働力の現在および将来のすべてのメンバーが、変化する仕事の世界で資格とスキルを維持および調整し、スキルアップやキャリア変更ができるようにすることが目的である。
4. 次のステップは、戦略の具体的な実装にある。2021 年に、ドイツ連邦政府とそのパートナーは、 国家スキル戦略の実施に関するレポート を発行する予定である。

出所：National Skills Strategy September 5, 2019

<https://www.bmas.de/EN/Our-Topics/Initial-and-Continuing-Training/national-skills-strategy.html>

5-3-2. ものづくり DX 推進のための人材戦略

ものづくり DX を具体的に進めるための人材戦略として次の 3 つの戦略がありうる。

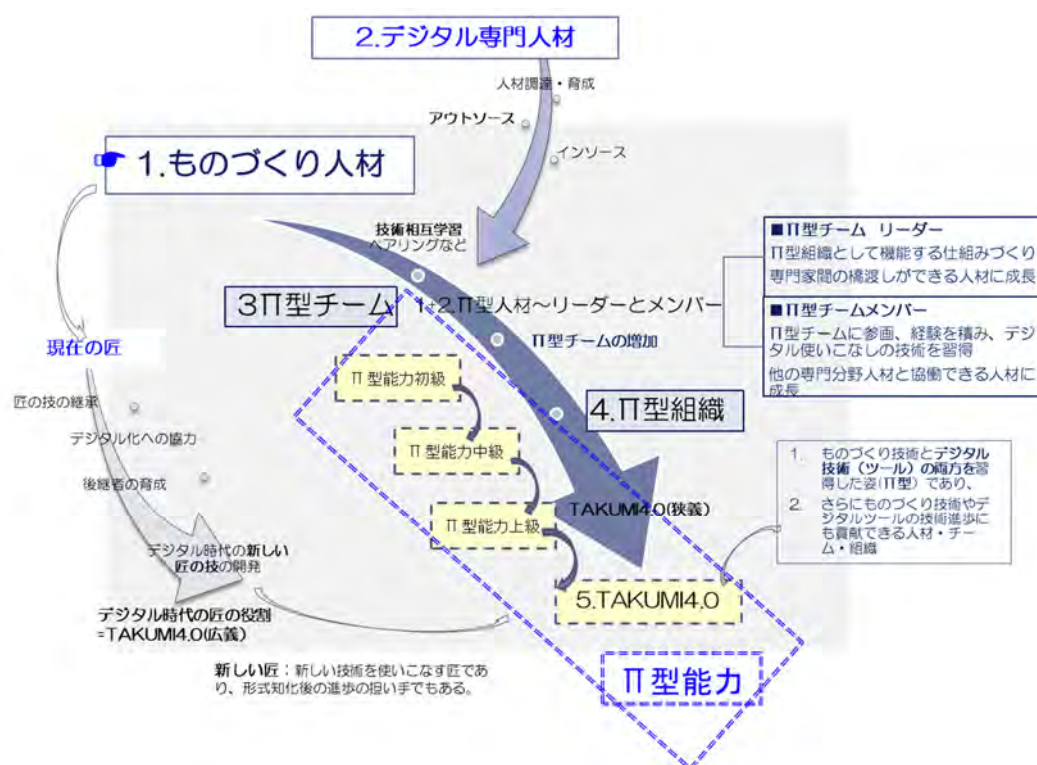
①即戦力として外部の人的資源を素早く活用するという戦略。②長期的に教育研修を重視

¹²³「ダイキン情報技術大学(2017 年設立)」：1 年目は座学中心。17 年 7 月に情報科学分野で包括連携契約を締結した大阪大学の教授が教鞭をとる。ダイキンのシステム担当者など社員も講義を受け持つこともある。2 年目は、社内の各部門で現場の課題に取り組む演習が中心。4 カ月ごとに 3 クールで複数の部門を体験。18 年入社新卒社員 351 人のうち、理系出身の希望者 100 名。期間は 2 年。学ぶことに専念。東洋経済オンラインから作成。 <https://toyokeizai.net/articles/-/271400>

した内部人材の登用・育成に注力するという戦略。③短期的には外部資源を活用しつつ、長期的には内部組織からの登用・育成を行うという外部・内部の併用戦略。そのどの戦略を採用するかは各社の置かれている状況による。そうした事情とは別にものづくり人材を中心において彼らがⅡ型チームの活動を通じて時間をかけて徐々にⅡ型人材に変身していくプロセスを検討した。

まず、社内のものづくり人材からⅡ型人材を目指す人員を選抜する。Ⅱ型チームに必要なデジタル専門人材は社内で不足する場合は外部から調達する。Ⅱ型チームの中でⅡ型学習を通じて相互の技術知識や考え方、専門用語、文化などを幅広く学び合いながら、協働作業を行う。徐々に相互学習が進む。そしてⅡ型能力の初級レベルから中級、上級へと腕を上げる。上級レベルの中からさらに達人のレベルに達する人材が TAKUMI4.0 を称することができる。

図 48 ものづくり人材が「Ⅱ型能力」の獲得を目指すイメージ



注.本図のイメージについて；

- ものづくり人材から **TAKUMI4.0(狭義)**を目指すには、デジタル専門人材の力を借りる必要がある(本文①外部の人的資源活用戦略)。次いで**Ⅱ型チーム**の中で相互に**Ⅱ型学習**したり、内部外部の教育研修を受けたりする(本文②教育研修重視の内部人材登用育成戦略)。
- Ⅱ型能力はまずチームとしての獲得を目指す。この間、チームメンバーは、**Ⅱ型能力**を初級から**中級**、**上級**へとレベルを上げ、最終的にものづくりのデジタル技術を究めた人材が**TAKUMI4.0(狭義)**となる(本文③長期的な内部人材登用育成戦略)。
- 一方、ものづくり人材のうち、匠やベテランの技能習熟層のうち、狭義のⅡ型を目指すことが難しい層は、その熟達した暗黙知をベースに「ものづくり DX」の支援・協力を行う。それが可能な層は TAKUMI4.0(広義)と称する。
- なお、デジタル時代の匠の役割のうち、**TAKUMI4.0(広義)**の場合の役割には、①匠の技のデジタル化協力、②匠の技の継承と技の深化、③デジタル技術使いこなしの技の継承支援、④デジタル時代の新ステージにおける新しい高度な匠の技の追及・習得がある。また、新しい技術を使いこなす「新しい匠」であり、形式知化後の進歩の担い手でもある

出所：平成 30 年度本専門部会報告 p 89 をベースに本年度部会議論を踏まえて修正

II型人材の習得レベルの職業資格化

II 型チームの中で、II 型学習をする人は、習得レベルに応じて初級・中級・上級・TAKUMI4.0 と II 型能力を段階的に引き上げることができる。このレベルを職業資格化できれば、習得レベルが見える化され、ものづくり人材が II 型人材を目指すときの指標の役割を果たすことができる。

一方、前図の左下側部分。現在の匠はデジタル時代において重要な役割を果たすことが期待されている。それはこれまでに培ってきた技能・ノウハウといった暗黙知を形式知化することへの協力と自身の後継者の育成支援、さらにはデジタル化後の新しい技能・ノウハウの獲得と深化の 3 つである。本専門部会の前身の部会ではこれを広義の TAKUMI4.0 と呼び、II 型人材の最終形の方は狭義の TAKUMI4.0 と区別した。

5-3-3. ものづくり DX と匠の技についての考え方

ものづくり DX と匠の関係

ものづくり DX と匠の関係に関する本専門部会の前身の部会から続く議論を振り返ると、根底にあるのは匠が有する秀逸の暗黙知とは言え、究極的には形式知化されなければならない。しかし、新しい技術が出てくればそれに対応した新しい技能・使い方、すなわち新しい暗黙知が生まれる。DX がどれだけ進んでもその段階に応じた新しい匠が必要になる。つまり、形式知化の進展と匠と匠の技の関係は二者択一ではなく、相互関連してスパイラル的發展を要する。この点において本専門部会では匠の技を重視してきた。本節では匠と匠の技に焦点を当て、そのデジタル化についての考え方を整理する。

次のコラムは日本料理の暗黙知を形式知化しなければならない理由とその考え方の事例である。匠の捉え方の一面としての「知識の体系化」の重要性が指摘されている。大学との連携の下で、言語化、概念化、体系化が進んでいるという。

コラム 17 暗黙知を形式知に変える体系化（日本料理のケース）

フォール：フランスには宮廷があったことも食文化を成熟させた理由のひとつでしょう。太陽王と呼ばれたルイ 14 世には 50 人の王子がおり、彼らには 500 人のシェフが仕えていました。ベルサイユには「王の菜園」があって、多くの食材が開発・研究されていました。そのあとフランス革命があって、シェフたちが街に出て行った、というわけなのだけれど。

小山：エスコフィエ（*1）により、フランス料理がきちんと体系化されていることもあるでしょう。私は東京大学の関連研究領域の皆さんと一緒に、日本料理の体系化を試みています（GUSTO、東京大学日本料理グローバル研究連携ユニット）。

日本料理を技術、農学、医学、歴史、文化、素材の 6 つの視点から言語化しようとしているのですが、フランス料理のそれが階段のようにステップ・バイ・ステップだとしたら、日本のそれはロック・クライミング級に難しい（笑）。言語化できていないというのはつまり概念ができていないということで、概念がないところに体系はつくれない。昨今のフュージョンブームもこの空虚な状況から来ているのではと危惧しているところです。

・フィリップ・フォール◎LA LISTE 代表/フランス観光局局長/パリ・フード・フォーラム責任者。50 年仏トゥールーズ生まれ。フランス外務省に入省。メキシコ大使を経て、08～11 年駐日フランス大使。

・小山裕久◎料亭「青柳」三代目主人/NPO 法人日本料理文化交流協会/農林水産省 日本食普及の親善大使。49 年徳島生まれ。92 年、平成調理師専門学校を設立。10 年、仏政府より農事功労章オフィシエ。

*1 ジョルジュ・オーギュスト・エスコフィエ（1846 年- 1935 年）/シェフでありながら、料理考案・レシピ集の著述を通じて、伝統的なフランス料理の体系化・革新に貢献した。「近代フランス料理の父」とも呼ばれている。

出所：Forbes JAPAN 2019 年 12 月号の記事。2019/12/22 10:40 配信のフォーブスオンラインから。WHY

本専門部会では「“ものづくり DX” 推進に向けた『II 型能力』のスピーディーな構築」と様々なデジタルツールを、機械工業の問題意識に沿って自在に使いこなすことの重要性を強調している。そのためには既就業者層にはII型の継続教育が、次世代人材にはものづくりの素晴らしさの体感機会と II型の実学重視教育への制度改革が必要になる。

「匠」常に価値を考え続けられる人⇒形式知化フレームワークづくりが新しい強みに

ものづくりとは「この世にないものをつくること」である。そしてものづくりが続く限り、新しい暗黙知が生まれ続ける。生産技術や製造技術を科学する人がいる限り、暗黙知の形式知化の流れは続く。科学の進歩を背景とした形式知化によって新しい高度なモデルが構築され、サイバー世界は現実世界に近づき続ける。しかし「現実とサイバー世界が100%一致することはない」とすると、新しい暗黙知を生み出し続ける匠の役割も終わることはないといえよう¹²⁴。

また、本専門部会では、日本の強さの象徴としての「匠」は「常に価値を考え続けられる人であり、匠が生み出す高度の暗黙知を形式知化できるフレームワークづくりが新しい強みとなる」というという捉え方が指摘されている。

5-3-4. 広義の TAKUMI4.0 と狭義の TAKUMI4.0

匠と匠の技

匠（の技）という言葉について、本節ではものづくりに携わる人材で一定以上の技能レベルに達したヒトが有する技で技能・ノウハウ・知識・知見を総称した意で用いる。ベテラン人材や習熟した人材の技も同様である。昨年度の本専門部会の議論にみられたとおり、これからものづくり DX を進めるに当たり、現状の延長線上（次図の A）で考えるのと劇的な変革の方向（次図の B）で考えるという二つの相異なる方向を提示した。次図は両方向におけるものづくり DX への道筋を示したものである。

広義の TAKUMI4.0

まず、A の現在の延長上でのものづくり DX では、匠の技の形式知化に協力するとともに引き続きその技を継承し深化発展させることが第一である。また、デジタル技術を使いこなして¹²⁵新しい匠の技を開発することも期待されている。デジタル化に協力しつつも、ものづくり DX を進めた後の新しいステージにおいて、さらに上のレベルを目指し続ける。この方向を極め尽くした姿が先述した広義の TAKUMI4.0 となる。

¹²⁴ 本項はロボット革命・産業 IoT 国際シンポジウム 2019, Session 1 の Panel Discussion でのモデレータ、経済産業省中野参事官の発言に基づく NSRI メモより作成

¹²⁵ 東京大学梅田靖教授によれば、デジタル・トリプレット (D3、4-4-2 のコラム「デジタルものづくり中核人材育成事業」参照) の目的は「デジタル情報基盤を活用して、日本型製造業がどのように価値を生み出していくかという、ヒトによる使いこなしの部分を支援することにあるという。ここでのものづくり DX は外部に開発を委託するのではなく、自社内のエンジニアが主導することが前提となっている点に留意したい。出所：2-3-1.のコラム：新しいものづくりの在り方に関する発信力如何」の同教授資料より。

狭義の TAKUMI4.0

B は、ものづくり人材にデジタル専門人材が合流してⅡ型チームを構成し、Ⅱ型の相互学習により、Ⅱ型の活動を協働で展開する。ものづくり人材は匠の技のような暗黙知をデジタル表現が可能のように理解・感得することにより形式知化に協力していく。匠の技がメンバーの如何を問わず共有され、継承でき、匠と同じ判断ができるようになる。こうして新しいデジタルものづくりが構築される。この間、ものづくり人材もデジタル技術を使いこなし、ものづくりとデジタルの融合が進む。その最終形の究極の姿が先述の狭義の TAKUMI4.0 に他ならない。

新しい匠の役割と TAKUMI4.0

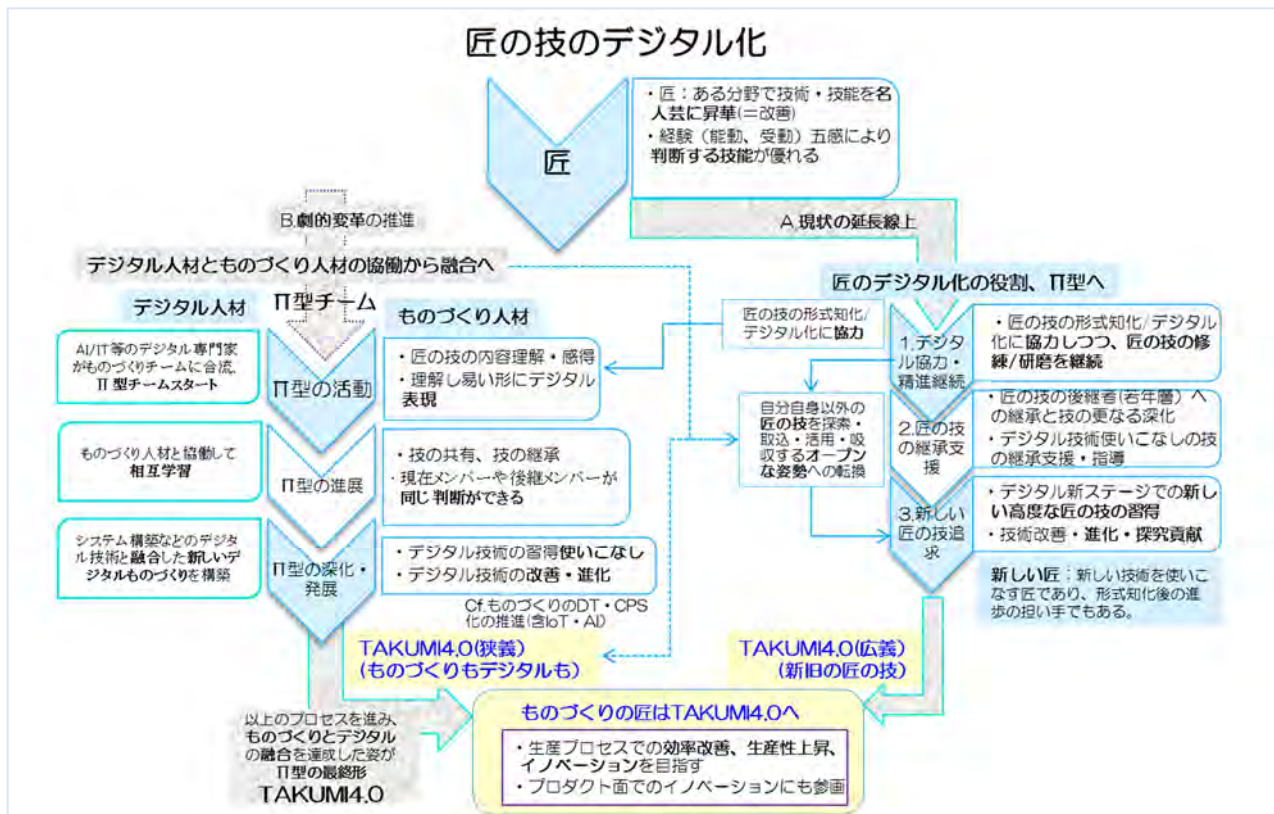
ものづくり DX では自動化を目指すのは当然であるが、自動化対象となる技術技能をさらに改善して進化・探究する役割は、「新しい匠」が担う。これは日本におけるものづくり DX が、他国と差別化できる一つの重要なポイントになると考えられる。

次図の B.劇的変革の推進ケースでは、デジタル人材とものづくり人材が一つのチームを作り、そこでⅡ型の活動を展開する。ものづくり人材は匠の技の内容を理解・感得し、ものづくりに詳しくないデジタル人材に理解可能な形に翻訳する。両者は相互に学習（Ⅱ型学習）しあう。ものづくり人材は、デジタルツールなどの技術を習得しこれを使いこなせるように精進を積む。やがてデジタル化された技術の改善・進化にまで参画できるようになる。これが究極の最終形、狭義の TAKUMI4.0 のレベルである。

デジタルを使いこなす新しい「匠」

これからの時代にデジタル技術が浸透して形式知化が進むとこれまで蓄積してきた宝はあっという間に乗り越えられてしまう。デジタルと匠を融合し、匠がデジタルを使いこなすことで更なるレベルの匠になる。これは一人の話ではなく、日本全体がチームとしてものづくり力を高めていく。それが次図の要点であり、論点である。

図 49 匠の技のデジタル化（現在の延長と劇的変革の推進）



注.上図は匠の技がデジタル化に際し、どう取り扱うべきかを検討している。現状延長線上と劇的変革の二つの場合を取り上げる。

- ・A.匠の現状の延長線上に向かう道筋（右側の下向きの矢印の先にある広義の TAKUMI4.0 に向かうケース。このケースでは、匠の培ってきた暗黙知をデジタル化できるように形式知化するプロセスに協力することが主眼である。
- ・B.の匠側（あるいはものづくり人材側）に劇的変革が生じるケース（左側の矢印の先にある狭義の TAKUMI4.0 に向かうケース）。このケースでは、ものづくり側がII型チームに参加し、積極的にデジタル化を受け入れ、相互学習（II型学習）により消化して使いこなせるレベルを目指すことを狙っている。
- ・下向きの矢印は主として生産プロセスのイノベーションを主としているが、プロダクトイノベーションにも参画する場合があります。

出所：平成 30 年度本専門部会報告書 p 93

5-3-5. ものづくり DX と人の役割

AI は人の思考を支援し、最適化をガイドする

デジタルトリプレット（以下、D3）について改めて整理してみたものが次のコラムである。D3 は実世界＋情報世界＋知識・モデル世界の三つを指す。この中で特に焦点が当たるのが AI に対する取組み姿勢である。従来ともすれば「作業をそのまま AI ツール化する」とされてきたが、D3 では「意思決定のメカニズムを踏まえて AI 化することでヒトの課題解決・価値創出のプロセスを支援」するにあるという¹²⁶。AI にガイドされた人の思考という点が協調されている。WEF の第四次産業革命に関するツールボックス¹²⁷をみると、「AI が支援するプロセス制御」、「AI がガイドする機械性能の最適化」といった例

¹²⁶ コラム 1 の東京大学梅田靖教授資料のほか、同人工物工学研究センター「Digital Triplet 型生産システムの提案」<http://race.t.u-tokyo.ac.jp/course/value-creation/68941/>

¹²⁷ WEF, White Paper “Global Lighthouse Network: Insights from the Forefront of the Forth Industrial Innovation, Dec. 2019 の p 9

を見ることができる。

コラム 18.II 型活動の具体例としてのデジタル・トリプレット¹²⁸（以下、D3）

- ◇ D3 は実世界＋情報世界＋知識・モデル世界の三つを指す。
- ◇ D3 は、設計・生産・使用・メンテ・再生産・循環といったライフサイクルにわたるエンジニアリング活動の統合的支援を目指すイメージであり、具体的には明示化、形式知化、蓄積・アーカイブ化、再利用、横展開、教育、汎化知識の抽出等のヒトの知的活動（ヒトの知でデータから価値を産み出す活動）を積極的に活用する仕組みを構築すること。
- ◇ 生産段階では、技術者や現場の熟練者は、デジタル情報を中心にエンジニアリング活動を行う。この活動には D3 自体の開発、改善活動も含まれる。
- ◇ 従来型の AI アプローチは「作業をそのまま AI ツール化する」であるが、D3 では「意思決定のメカニズムを踏まえて AI 化することでヒトの課題解決・価値創出のプロセスを支援」する。これによりシステムがヒトの思考をガイドする。これが従来方式と異なる点。
- ◇ 「常に向上し続けるシステム」という点が日本型生産システムの特長。ものづくり DX にあってもこの特長を維持・発展させる必要性が強調されている。

出所：コラム 1 の東京大学梅田靖教授資料のほか、同人工物工学研究センター「Digital Triplet 型生産システムの提案」<http://race.t.u-tokyo.ac.jp/course/value-creation/68941/> も参照しつつ、NSRI にて編集作成

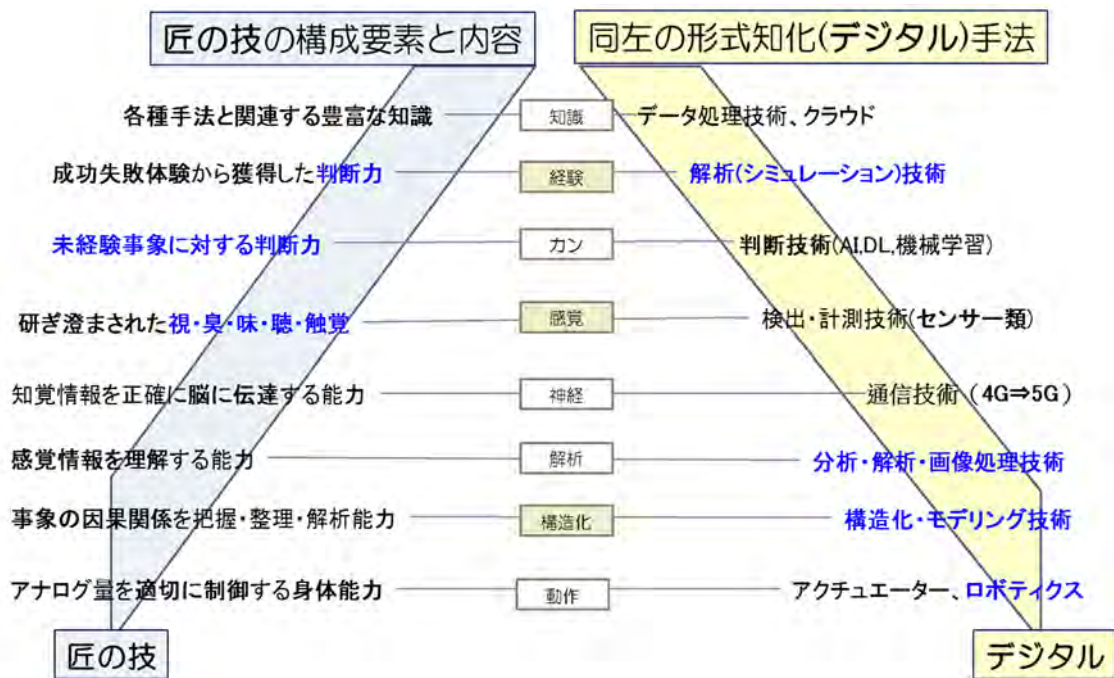
匠の技は絶えず科学され解明され、いつかは形式化されてデジタル化されていく。こうした関係を見える化するには匠の技をデジタル化可能な形にその構成要素を分解整理する必要がある。こうした観点から匠の技の構成要素ごとにそれぞれデジタル化手法と対比してみたものが次図である。

構成要素として取り上げたものは、知識、経験、カン、感覚、神経、解析、構造化、動作の 8 つ。各要素のデジタル化がどの程度可能かについては、その時々デジタル技術の発展段階や関連デバイス等ハードの購入・設置費用のほかに、デジタル化する手間暇コストなどの要因に依存する。しかし、本専門部会の議論では、匠の技のデジタル化が完全に進むとは考えにくく、デジタル化が進んでも依然として匠の技は必要になるとの見方が優勢であった。現場のパラメーターは無敵だという見方¹²⁹もある。

¹²⁸ 平成 30 年度 本専門部会報告書、p 75 参照。（図表 28 拡張 II 型人材・チーム・組織が「取組む」これからの日本らしさ のところで D3 について「現実とデジタル化（DT）に対して人の知見を入れながら発展させる形へ」と表現）

¹²⁹ 現場のパラメーターの無限性に関して、本専門部会の委員の一人は「感性を重視した日本のものづくりは、デジタル技術の発展の常にあるものかもしれない。「ひと」という数億を超える多くのセンサーと思考力と自己変化を可能とする「もの」を、デジタルを介して再現しようとした「物」としてのコンピュータ・ロボットには、現時点では限界があり、それゆえ「匠」という概念が存在している。」と指摘する。ここに記載された意見は、「IoT・AI 時代のものづくり人材調査専門部会 最終報告書に向けての委員からの意見」令和 2 年（2020 年）2 月 19 日～26 日による。以下同様。

図 50 「匠の技」とその形式知化（デジタル化）手法の対比



出所：日本機械工業連合会「ものづくりパラダイムシフト専門部会」2016.09.21 における島津製作所 小林委員配布資料 「TAKUMI 4.0 についての考察」から NSRI 作成

伝統の強みを支えとするデジタル・トリプレット

ハーバード大学のロブソン教授は、日本の現場力復権のカギを握るのは「モノには魂が宿る」と考える古来の伝統にあるという。道具をいたわる、守破離によるイノベーション、道具に対する美意識や感謝の心、人の手が加わることに価値を認めるなど、デジタル・トリプレットを裏付けるような考え方に着目している。

コラム 19 モノには魂が宿る～匠の技を引き続き尊重すべき背景

1. 日本製品が尊敬される理由（道具をいたわり、特別な注意を払うものづくり故）
「日本人はすべてのモノ（道具）をいたわり、特別な注意を払って扱います。庭師の道具でも、包丁でも、何でも。道具をいたわる人が大切に作っているモノなので、日本の製品は今も世界中から尊敬されています。高い「技術」が使われているだけでなく、作る人が自分の仕事に誇りを持ち、そのプライドをかけて特別な注意を払って作っているからです。」^{注.1}
2. 芸道では厳しい訓練と原理原則の体得からイノベーションを生み出す(守破離)
「私の友人は茶道の専門家ですが、5～8 年間はずっと、他の人の動きと同じ動きをするという厳しい訓練を積んだと言います。そうやって厳しい原理原則を体得した後に初めて、イノベーションが生まれるのです。」^{注.2}
3. 生活や仕事環境を豊かにする美意識や感謝の心
「人間らしく生きるためには、道具をただ道具として使うのではなく、美意識や感謝を持って扱うことで私たちの生活や仕事環境は豊かになります。そのことに気づいて、日々、使うペンや紙にまでこだわっている人もいます。特別な注意を払って作られたモノにはそれだけの価値があるし、人々はそうして作られたモノから喜びや満足感を得るのです。」^{注.3}
4. デジタル・トリプレットは日本の伝統？人の手を加えることによる価値
「日本のものづくりの特徴として面白いのは、自動で作る技術を持っているだけでなく、その過程に何らかの人の知恵を入れることで、製品に特別な「品質」を与える技術も持

っている点です。ものづくりの過程を単に自動化して、機械で同じモノを作るのとは違います。」^{注4}

5. 機械が作ったものにはない価値

「現場において機械化や現代化は重要ですが、そんな中でもこうした古き良きものづくりの品質も残すといいいのではないのでしょうか。世界の人々が尊敬している日本の製品も、技術的にはパーフェクトではないかもしれないけれど、そこに機械が作ったものにはない特別な魅力がある。人の手を加えることの価値を認識すべきでは。」^{注5}~

注1. 仕事に誇りとプライドを持って働くことが伝統的に日本のものづくりの骨格にあった？

注2. PTU 技能科学研究会編 「技能科学入門 ものづくりの技能を科学する」 2018.2.26(株) 日科技連出版社にある「匠」の解説そのもの。現場力が創造性を阻害するわけではない。原理原則が身につけばそれ以外のことに思考をまわせる。

注3. ものづくり DX をすすめるにもこうした美意識や感謝の心、特別の注意が払えるものづくり環境に留意したい。

注4. ドイツや米国の製造業革新に対抗できるかもしれない視点に D3 や「人の手を加える」がある。

注5. Made in Japan をブランド化していくときの根底に来る考え方になるのでは。

出所：日経ビジネスオンライン：ハーバード大教授が語る「モノには魂が宿る」の強さ 池松 由香 ニューヨーク支局長 2019年10月21日

<https://business.nikkei.com/atcl/gen/19/00067/101600046/?P=1>

5-4. ものづくり DX 推進人材の確保・育成（次世代人材）

5-4-1. 実学・理数系教育と実務・実習機会の重視

ものづくり DX 推進人材の検討の場面では次世代人材の確保・育成に関する議論が活発に行われた。中でも現行の義務教育や高等教育と産業界ニーズとが乖離しているとの認識から、実学教育の重要性を反映した制度改革に対する強い期待感が表明¹³⁰された。

海外ではドイツの Dual Hochschule¹³¹, Fachhochschule¹³²における座学と企業の相互連携による実務・実習制度が有名である。特にドイツの大学レベルにおける Dual System である Dual Study¹³³におけるデジタル化への対応が注目される。ドイツの教育は企業ニーズと密接に関連した教育を行う点で特筆に値する。企業と教育機関のシームレスといっ

¹³⁰ 本専門部会委員によると「企業や他の大学・高専・高校との情報交換、人材交流を密として、時代にマッチした教育を実施し、時代にマッチした人材を育成」すべき。「近年より多くを対象にできるように低いレベルでの平等性を達成しようとしてきた。その為、義務教育や高等教育部分における産業界ニーズとはずれてしまった。」「ドイツは一貫した教育体系のもとで DX を進めているが、日本は不透明な状況下で進む状況にある。日本の特色を生かした教育体系（指針）が必要だ。」という。構成要素として取り上げたものは、知識、経験、カン、感覚、神経、解析、構造化、動作の8つ。各要素のデジタル化がどの程度可能かについては、その時々のデジタル技術の発展段階や関連デバイス等ハードの購入・設置費用のほかに、デジタル化する手間暇コストなどの要因に依存する。しかし、本専門部会の議論では、匠の技のデジタル化が完全に進むとは考えにくく、デジタル化が進んでも依然として匠の技は必要になるとの見方が優勢であった。現場のパラメーターは無限だという見方もある。

ここに記載された意見は、「IoT・AI 時代のものづくり人材調査専門部会 最終報告書に向けての委員からの意見」令和2年（2020年）2月19日～26日による。以下同様

¹³¹ Duale Hochschule Barden-Würtemberg(英語名：Baden-Wuerttemberg Cooperative State University (DHBW)。入学希望者は提携企業に申込み。採用されると、企業が学生として DHBW に登録。3か月ごと大学と企業を反復するデュアルシステムの大学版。学士と修士の両コース。DHBW はかつて職業アカデミー（1974 設立）と称していたが、卒業生の活躍等により、2009 年にバーデンビュルテンベルグ州の州立大学に昇格。詳細は日機連平成 19 年度報告書、および、日機連平成 23～25 年度報告書参照

¹³² Fachhochschule の英語名を直訳すると「応用科学大学」（邦文資料の専門大学）。7 セメスターのうち 1 セメスターが長期のインターンシップ。また進学校からの生徒は入学前に一定期間の企業実習を義務付けるなど、実践的な実務教育が特徴で、科学を実業界に応用する大学。エンジニアの主要な供給源とされる。詳細は日機連平成 19 年度報告書参照

¹³³ Dual Study（デュアルスタディ）は Dual System（デュアルシステム）の大学生版のこと。学校における理論学習と企業における実習を反復する大学版の職業教育訓練制度のこと。日本機械工業連合会の調査研究では平成 19 年度にデュアルシステムを主眼とした調査研究を、平成 23～25 年度の理数系教育の問題の中でデュアルスタディや MINT など平成 19 年度以降の最新情報を紹介している。

てよい密接なつながりが明確であり、ドイツの国際競争力の重要性が社会に共有されている。個々の企業の競争力が次世代人材の教育を担う教育機関によって支えられている。この点は次のコラムにも大学の役割として、「研究・教育、(中小企業等への) 技術移転、(知識の) 社会移転」の四つが挙げられていることにもよく現れている。

コラム 20 インダストリー4.0 を担うドイツの大学の教育機関としての使命 (一例)

- インダストリー4.0 の社会実装を進めるうえでの大学の役割について、大事なことは、“holistic”な視点から考えていくことである。
- 従来の研究・教育だけが大学の役割ではもはやない。技術移転と知識移転が重要である。研究は大学固有の役割として、教育は学生や院生のために、そして技術移転は中小企業等のために、最後の知識移転は社会が新しい科学技術を理解し、許容し、社会の中に受け入れることを目指す。
- データやデジタルインフラのセキュリティの問題をはじめとして、気候変動対策の観点からはその新技術と CO2 排出の問題を説明できなければならない。また、新技術の導入によって働き方や労働環境にどのような変化を及ぼすのかについても明らかにしていかなければならない。
- 教育機関は社会の期待に答えていくようなアプローチが求められている。

出所：本項はロボット革命・産業 IoT 国際シンポジウム 2019、Session 2 の Panel Discussion でのパネリスト、Reiner Anderl 氏 (インダストリー4.0 研究評議会 科学委員長、ダルムシュタット工科大学教授 (博士) の発言に基づく NSRI メモより作成

ものづくり DX が進む日本の製造業が引き続き「夢や魅力ある製造業」であるためには、大量生産時代に失われてしまった「ものづくり」の大切さと価値教育を取り戻す必要がある。新しいものを生み出す「ものづくり」の難しさと面白さを教育段階で体感させることができる実学教育¹³⁴が必要である。実学という面で先行している国内事例をみると、高専、技術科学大、職業大 (PTU) があり、私学では例えば金沢工大、豊田工業大が実学重視の教育をしているといわれている。こうした一部で行われている取組みが、今後、産学連携の下で他の高等教育機関にも普及していくことが期待される。

5-4-2. 第 4 次産業革命に向き合える教育を (スキルギャップへの対応)

産業革命は第 1 次 (以下、1.0 と表記) の段階から社会に大きな影響を与えてきた。産業革命が要請するスキルを学校教育や企業訓練の場で習得することで雇用が生まれ、経済が発展してきた。次図にみるとおり、1.0 の時は機械分野の専門家を必要とした。同様に 2.0 は電気の、3.0 は情報・電子の、4.0 はデジタルの専門家を必要としている。

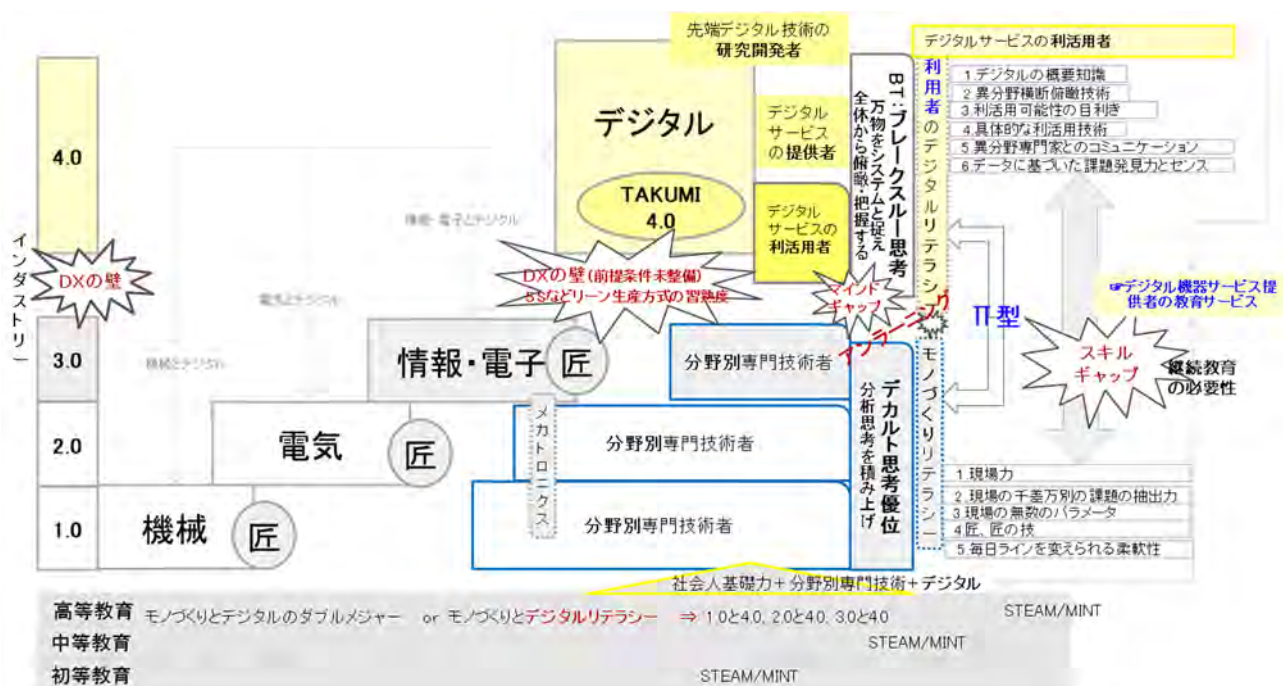
1.0 から 3.0 までは該当する分野それぞれに関する専門特化型・専門深化型 (またはデカルト思想的・分析的) 学習を要したのに対し、4.0 では各分野それぞれがデジタルリテラシーの学習を必要とする探索型・横断型 (またはブレークスルー思想的・システム思想的) の II 型学習となる点が異なる。ここで II 型学習のような二つの専門を同時に学習しなければならないという厄介な問題が生じる。この問題がスキルギャップである。

スキルギャップは、機械とデジタルの間 (1.0) に、電気とデジタルの間 (2.0) に、情報電子とデジタルの間 (3.0) に生じる。このギャップは、次世代人材の場合は、初等、中等、高等教育において、また現役世代では新たな継続学習システムの導入によって埋め

¹³⁴ 本専門部会委員の意見から引用

ていかなければならない。これは高等教育をはじめ、多くの分野においてダブルメジャー制のような新規の取組みを必要とする。既存人材もデジタル分野を中心とする指数関数的技術進歩に応じた継続的な学習を生涯にわたって続けていく必要性が出来たことを意味する。

図 51 累次の産業革命が要請する理数系・技術系教育とリテラシー、スキルギャップ



- 注1. 本図の構成は、インダストリー1.0 から 4.0 に至る産業革命が要請する分野別専門技術と匠とTAKUMI4.0の関係、デジタルの「研究開発者」とその「提供者」、「利活用者」の別、デカルト思考とBT思考の対比、スキルギャップの縮小という課題、初等・中等・高等教育と実社会のつながりの問題、スキルギャップの穴埋めすべき知識範疇からなる。
- 注2. 4.0の要請するデジタルが、3.0までと根本的に異なる点は、従来の学習が専門特化型・専門深化型（またはデカルト思考的）であるのに対し、4.0では各分野それぞれがII型学習を必要とする探索型・横断型（またはブレークスルー思考的）である点である。
- 注3. スキルギャップは1.0では機械とデジタルの間に、2.0では電気とデジタルの間に、3.0では情報電子とデジタルの間に生じる。このギャップは、次世代人材の場合は、初等、中等、高等教育において、また現役世代では新たな継続学習システムの導入によって埋めていかなければならない。
- 注4. 多くの分野においてダブルメジャー制のような新規の取組みを必要としている。

出所：“National Skills Strategy”独労働社会事情省、教育研究情報省、Jun.2019のほか、本専門部会における教育関連の様々の議論を踏まえ、NSRI作成

なお、今回は取り上げることができなかったが、スキルギャップには日本特有のギャップがもう一つある。それはエンジニアリング教育の欠落である。機械、電気などの専門に拘り過ぎてそれらを取りまとめる「ものづくりの学問」をしてこなかったという吉川弘之氏が指摘する問題である。ここでいう「ものづくりの学問」とは、いわゆるエンジニアリングのことを指すと考えられる。一方、米国では1960年代に生まれたコンピューター科学学科において、専門分化した工学領域を総合する教育をしてきたと述べている(下のコラム参照)。

コラム 21 日本の工学教育の問題点、領域の縦割りと設計方法教育の欠如

❖ 米国のコンピューター科学学科は 1960 年代に生まれた。電気工学科の多くが「電気工学とコンピューター科学」の学科に再編。計算機理論に論理学、学習理論など、人間の知的能力の自動化を目指した。それが AI、深層学習につながっている。

❖ 日本では、コンピューター科学は各領域の中に閉じ込められ、**領域が縦割りのままの教育**が続き、今日の閉塞的状况をつくっている。機械、電気などの専門に切り分けたことは、学問としては大成功。しかし、**ものづくりとはそれらを取りまとめること。多くの領域を総合すること。**ものづくりのための設計の方法は大学教育の中心ではなかった。つまり「**ものづくりの学問**（エンジニアリング）」をしてこなかった。

出所：令和 2 年（2020 年）3 月 2 日付け日刊工業新聞、「ものづくりをデザインする」－大学への期待－吉川弘之氏（東京電機大学学術顧問、日本学術振興会学術最高顧問、産業技術総合研究所最高顧問）と射場元忠彦氏（東京電機大学学長）との特別対談記事をもとに NSRI 作成

このエンジニアリングについて、国際エンジニア協会の定義をみると、「コンピューター工学やインターネット工学、システム工学」がエンジニアリングの定義にそのまま含まれている。まさに我々がスキルギャップで問題にしていることである。彼我の違いが明瞭にみられる。

参考 33 「エンジニアリング」について

- 「エンジニアリング」：ラテン語の「インゲニウム」に由来し、**素晴らしいアイデア、天才の閃光**のようなものを意味。16 世紀に作成され、もともとは**芸術の発明者**と呼ぶ職業を説明していた。
- エンジニア：**数理科学と自然科学（生物学と物理）の知識を、判断力と創造性を発揮しながら、物質と自然の力を利用する方法を、人間の利益のために開発し活用する職業**である。
- エンジニアの科目：**生物工学、コンピューター工学、電気電子工学、金融工学、産業工学、インターネット工学、システム工学**など。

出所：国際エンジニア協会（International Association of Engineers）の HP から
http://www.iaeng.org/about_IAENG.html

参考 34 「国際エンジニア協会」について

- **国際エンジニア協会（IAENG）**
 - ・ エンジニアとコンピューター科学者のための非営利の国際協会。
 - ・ 沿革：1968 年にエンジニアおよびコンピューター科学者のグループによって設立。
当初：設立メンバーのプライベートクラブネットワークとして設立。
その後：IAENG メンバーシップはエンジニアリングおよびコンピューターサイエンスコミュニティのすべてのメンバーに開かれた。
 - 現在：IAENG のメンバーには、100 か国以上の研究センター長、学部長、学部長、教授、研究科学者/エンジニア、経験豊富なソフトウェア開発ディレクターおよびエンジニア、大学の大学院生および学部学生などが含まれる。
- ・ 目標：**エンジニアリングのさまざまな分野の専門家間の協力を促進し、技術の進歩と発展のための環境を整えること。**
- ・ 目的：エンジニア間の相互作用を促進する：**学者から産業界への工学技術の適用を進める。**；エンジニアと科学者の間で自由に情報とアイデアの交換を促進する。
- ・ IAENG Congresses Co-chairs：米 3 名、英 3、香港 2、独 1 墨 1、豪州(中国系)1、韓 1
- ・ Editors of IAENG Journals：米 5 名、英 2、仏 2、中 1、韓 1、香港 1

出所：国際エンジニア協会（International Association of Engineers）の HP から
http://www.iaeng.org/about_IAENG.html

5-4-3. 海外の新しい教育動向にも留意

理数系教育の面では英語圏の STEM,STEAM とドイツ語圏の MINT がある。いずれも第四次産業革命を乗り切るために重要とされる科目の頭文字を連ねたものである。このうち、英語圏では Technology に加えて Engineering が、ドイツ語圏では Informatics が入っているのが特徴的である。また、英語圏の STEAM は STEM に A (Art) が加わることで感性や探究力、創造性などの新しい教育の必要性が強調されている。

ドイツでは、インダストリー4.0 に対応した取組みが進行している。様々なモデルプロジェクトが国全体で取り組まれている。製造業関連の職業訓練においては、連邦政府、州、市、大学、職業学校、商工会議所等、企業が明確な役割のもと連携し、全体が一丸となってデジタル化に対応した人材育成に向けて取り組んでいる。関係する各所において最新機器を導入した訓練が展開されており、指導者の育成も並行して行われていると¹³⁵いう。例えば、カイザースラウテルン工科大では、デジタルメディアを活用した授業の推進や、教師になる学生のデジタルメディア活用に関する教育を進めている (JEED 調査結果)。

英国では 2019 年 11 月にキングズカレッジにおいて“Education 4.0”関連のシンポジウム¹³⁶が開催され、次回は 2020 年春に予定されている。教育機関が、インダストリー4.0 が推進する仕事の世界に適応するために必要な転用可能なスキルを持つ、丸みを帯びた創造的な個人をどう養成していくか、といった就業後に必要となるスキルと学校教育で得られるスキルのギャップが課題とされ、生徒一人ひとりを対象とする個別化や人と人のコミュニケーション欠如の問題、将来の不確実性の問題、AI,VR のほかホログラムをどう生かすかといった幅広い議論が取り交わされている。

フランスでは教育環境や雇用の閉塞感に対する危機感から、インターネット・携帯電話などの通信事業を展開する「Free (フリー)」を立ち上げた経験を持つ、実業家のグザビエ・ニエル (Xavier Niel) が自身の資金を投じ、2013 年、学費無料のエンジニア養成機関「42」を設立(4-4-2 にも記載あり)。現在は世界 12 カ国で展開、令和 2 年春東京校開校予定。生徒同士が学び合う“ピア・ラーニング”を取り入れ、教室が 24 時間 365 日開放される。卒業という概念の代わりにレベルがある。レベル 7~10 が一人前とされる¹³⁷。

インドではアントレプレナーシップ教育を学校で始めるべきだという議論が出ている。起業の文化を育むために、生徒は①チャンスに挑戦し失敗を恐れない、②アイデアを構造化する挑戦とリスクを果敢にとることへの称賛、③様々な機会を通してアイデアの表現力や集合知の活用を学ぶ、④革新能力スキルを磨くためのハンズオン経験学習の機会を提供、⑤様々な情報を共有したり、試作したりできるプラットフォームへのアクセス権、といった教育内容への注文と学習者への支援のためのエコシステムや経営層レベルのメンター

¹³⁵ 独) 高齢・障害・求職者雇用支援機構 (JEED) 求職者支援訓練部新訓練推進室「ドイツにおける職業訓練状況等調査の概要」p 8 による

¹³⁶ News & Views from the ALT Community ~ (ALT:Association for Learning Technology)
<https://altc.alt.ac.uk/blog/2020/01/m25-ltg-autumn-2019-education-4-0/>

¹³⁷ 出所: フォーブス ジャパン編集部 エディターテクノロジー / LOGO 2019/11/13 10:00
新國 翔大氏 (CONTRIBUTOR) の記事から作成
https://forbesjapan.com/articles/detail/30568?utm_source=owned&utm_medium=referral&utm_campaign=mail_magazine_1113_1882&utm_content=art2

の重要性が指摘¹³⁸されている。

世界で進む教育改革についての理解を深める必要がある。OECD の 2030 年という未来の子供たちに求められるコンピテンシーを検討した OECD Education 2030。IB（国際バカロレア）は、より広い世界からの受験を期待して試験登録料を廃止した。先述のフランスのエンジニア養成機関は「卒業」という概念の替りに「習得レベル」を認定することで学生のコンピテンシーを保証している。デンマークでは「森の幼稚園」（次の参考欄）において、従来の教える教育から自ら考え解決策を探らせる教育へと転換している。

参考 35 デンマークの「森の幼稚園」

■デンマークの森の幼稚園～自分で考え、答えを見つけ出す力を養う、創造性と助け合い。

- ・地面に横たわる大木によじ登る子どもや広い原っぱを駆け巡る子どもたち。デンマークにある「森の幼稚園」では、雨の日も雪の日も天気に関係なく、3～6 歳の子どもたちが一年中森に出て行き、一日の大半を過ごす。子どもたちは、四季の変化や天気によって森の表情が変わることを目の当たりにしながら、自然のなかにあるものを使っていかに遊ぶかを考える。
- ・「自由に遊びながらクリエイティビティを豊かにすることと、子どもたちがお互いに助け合うことを身につけるのが、森の幼稚園の教育目的」と園長は話す。保育士は、子どもたちの力を信頼し、問題が起きたとしても、解決策を教えるのではなく、常に「あなたは思うの？」と問いかける。
- ・自分で考え、答えを見つけ出す力を養う。「遊びのなかで生きる力を養っていくことが、教育につながる。読み書きといったスキルは、どのみち学ぶことになるから」

出所：Forbes オンライン 2019/06/03 から；<https://forbesjapan.com/articles/detail/27557>

但し、海外が先行しているからといって、彼らに危機感がないわけではない。むしろ、危機感大なるがゆえに先行しているともいえる。イギリスのあるサイト¹³⁹をみると、「教育はスキル供給の中心」であり、「高等教育は、次世代が産業界に参入する準備をすることが任務」だという。さらに、「インダストリー4.0に直面した大学が、今こそ革新を受け入れ、教育の顔を変えるデジタルソリューションを受け入れなければならない」とある。

5-5. “5” のまとめ

我々は従来同様に熟練技能や匠を尊重し伝承し、着実に次世代を育成していく一方で、ものづくり DX という新しい課題にも同時並行的に取り組む必要に迫られている。

必須となるデジタルリテラシー

- ・これまでのものづくりに従事してきた RTB に属する「従来型の既存人材」も、遅かれ早かれ最低限のデジタルリテラシーを身に着ける必要がある。単にデジタル技術を理解するのみならず、デザイン思考やシステム思考といった従来とは全く異質な思考や発想・考え方などのデジタルマインドを習得しつつ、進歩発展を続けるデジタル技術を使いこなすことが必須になる。デジタル技術の習得には時間がかかる。II 型人材の育成は、長期の課題とならざるを得ない。このためには、企業ベースでの努力とともに、こうした能

¹³⁸ The Hindu com ”Entrepreneurship should begin in school” Aravind Chinchure Feb.08.2020
<https://www.thehindu.com/education/entrepreneurship-should-begin-in-school/article30769384.ece>

¹³⁹ CTI Digital の Director Paul Johnson 氏は、The Drum Network の “Automation and employment: How universities must respond to Industry 4.0” から NSRI 作成。
<https://www.thedrum.com/opinion/2020/01/30/automation-and-employment-how-universities-must-respond-industry-40>

力を備えた産業人材の供給に向けた教育制度の改革（小学～大学）が不可欠である。

Ⅱ型人材の最終形としての TAKUMI4.0

- ・習得したデジタル技術をⅡ型チームの中で駆使することによって、加速する「デジタルスピードの世界」への対応力を身につけ、Ⅱ型人材となる。そしてデジタルスキル等の向上を目指して、Ⅱ型人材の「初級」から同「中級」、「上級」、さらにはその最終形としての「TAKUMI4.0」へと精進していく。
- ・この間、デジタルネイティブといわれる新世代ともフラットな関係のもと、「デジタル」と「ものづくり」の考え方の違いや技術等を相互に学習・補完し合い、伝承しつつ、新時代の製造業への変革を進めていくことが求められる。
- ・IoT・AI活用時代に向けて、ものづくりDXを進めるための人的要件として、個々人のデジタル活用能力を高めること、及び、従来とは異なるフラットという新しい組織形態のなかでの協働作業ができること。この二つへの適応能力が重要になる。

長期的に目指すべきⅡ型の人材像

- ・ものづくりに係る人材にとって本当に優秀とされる根幹たる能力とは「問題を発見する気づき力、課題を設定して解決できる力、事業を具体的に推進できる力、俯瞰力ある人材」だといわれてきた。この点は時代が変わっても変わらないものの、これからの人材は加えるに「データの利活用ができるデジタル習熟人材」であることが優秀であることの追加条件となる。ものづくりとDXの両方に通暁しているⅡ型の人材が求められる。
- ・Ⅱ型チームのなかで相互に学習しあうⅡ型学習を通じて、最終的にはⅡ型のリテラシーを身に着けていく。そして「Ⅱ型人材」のうち、ものづくり技術の習熟に加えてデジタル技術も段階を踏みながらレベルアップをはたしていく。デジタル技術も使いこなせる究極の達人をⅡ型人材の最終形として TAKUMI4.0 とした。

リーダー像

- ・ものづくりDXを推進する過程では、デジタルネイティブといわれる新世代ともフラットな関係のもとデジタル技術を「デジタル」と「ものづくり」の考え方や技術等を相互に学習・補完し合い、伝承しつつ、新時代の製造業への変革を進めていくことが求められる。それ故に、ものづくりDX推進チームにはⅡ型組織自体のフラット化が必要になる。
- ・CTBチームのリーダーはヒエラルキーの頂点に位置するのではない。メンバーが集う円形の内側か、円周上にいるといったイメージである。上下関係ではなく、お互いが支えあうフラットな関係づくりが重視される。
- ・AIの考え方とエンジニアリングの考え方は真逆だ（アンラーニングの必要性）との指摘がある中で、Ⅱ型チームのリーダーには、ものづくりとデジタル両者間の考え方の大きな溝について、橋渡し(ブリッジ)機能や翻訳・調整・統合する機能が求められる。
- ・リーダーは、メンバー一人ひとりがチームの目的を共有し、かつ各員が持つ固有の潜在

能力を十二分に発揮できるように支援しつつ、チーム全体としての成果をミッションとして最大化できるようにリードするアウトカム重視の役割を負う。いわば「プロデューサー型」「支援型」のリーダーである。

経営層とプロデューサー型・支援型リーダーの役割

- ・経営層に求められる役割は、ものづくり DX を推進するという断固たる決断である。さらに、推進チーム（CTB）の従来型組織（RTB）からの切り出しと CTB の活動をきっちりと庇護・保証し外部から妨害されないよう支援することである。
- ・プロデューサー型・支援型リーダーの役割は、激しく変化する環境下でもものづくり DX を推進すること、多様なメンバー間の橋渡し機能を発揮するとともに、メンバーの力量を十全に引き出せるよう支援することである。

スキルギャップとその対策

- ・ものづくり DX に伴い、人の役割が変化していくと、求められるスキルや資格も変わる。それゆえに既存の従業員にも何らかのスキル対策等が必要になる。これがスキルギャップである。これから習得すべきデジタル技術は、技術自体が絶えず更新され続ける宿命にある。
- ・デジタル技術の進歩に即しつつ学習し続けるという変化適応力は、一般に若年世代が中高年世代を上回る。ドイツでも同様であるという。ものづくりの現場で行われてきた OJT 主体では難しい。業務の繁忙を勘案した比較的短期間で有効な、Off-JT による教育研修の機会を適切に提供することが必要になる。

新技術の採用に当たって重視すべきこと：アンラーニング

- ・これまでの経験がデジタルという新しい概念を導入する上で障壁となり抵抗となることから、アンラーニングが必要になる。
- ・細部に注目して分析するルーペ方式から、全体が見渡せるズームアウトへのシフトが重要になる。失敗の許容、階層制御をあきらめる、小さく始める、段階的に変更などのリーンスタートアップなどの新しい視点への切り替え（アンラーニング）が重要である

継続的な学習環境整備の重要性

- ・ものづくり人材がデジタル技術のような新しい技術を身につけるには、相応の社内外の教育研修制度の拡充や研修に没頭できる環境整備などが必要になる。既存従業員に対する教育研修機会の提供は、人的資本投資を是とする戦略的投資スタンスを取ることができのかにかかっている。

II型能力の職業資格化と TAKUMI4.0

- ・II 型能力は、習得レベルに応じて初級・中級・上級・TAKUMI4.0 と段階的表示が可能である。II 型能力のどれかの資格を得た人材が、II 型人材であった。このレベルに職業資格を導入できると、習得レベルが見える化され、ものづくり人材が II 型人材を目指すときの指標の役割を果たすことができる。

- ・Ⅱ型人材がさらにⅡ型学習を積み重ね、Ⅱ型能力を極めることができた人材が「狭義の TAKUMI4.0」。一方、匠として技を磨き続ける一方で暗黙知の形式知化・デジタル化に協力を惜しまない匠は「広義の TAKUMI4.0」である。

DXが進んでも残る匠の技

- ・匠の技は絶えず科学され解明され、いつかは形式化され、デジタル化されていく。しかし、本専門部会の議論によれば、匠の技のデジタル化が完全に進み切るとは考えにくい。デジタル化が進んでも依然として匠の技は必要になる。

西欧等に見る新しい教育のトレンド

- ・製造業がイノベーションの原動力として重視されるとともに、インダストリー4.0 や AI の進歩を背景とした海外の教育動向が注目される。
- ・ドイツでは大学の役割として「研究、教育、（中小企業等への）技術移転、（知識の）社会移転」の四つが挙げられており、伝統的に実学的な理数系教育への注力と実務・実習機会の重視のもと、インダストリー4.0 への対応が進んでいる。
- ・英国でも“Education 4.0”と銘打ったシンポジウムが開催されている。デンマークでは早くも幼児教育の段階から従来の教える教育から自ら考え解決策を探らせる教育へという転換の試みがみられる。インドではアントレプレナーシップを教育に取り組もうという考え方が注目される。
- ・日本でも様々な努力が見られるが、小学～大学の各段階で DX やインダストリー4.0 のもと
たらず変化に対応できる人材教育を実現していくことが求められている。

従来の「専門分野+デジタル」といったダブルメジャー制的学习が必然に

- ・スキルギャップは、機械（1.0¹⁴⁰⁾ とデジタルの間に、電気（2.0）とデジタルの間に、情報電子（3.0）とデジタルの間に生じる。
- ・このギャップは、次世代人材の場合は、初等、中等、高等教育において、また現役世代では新たな継続学習システムの導入によって埋めていかなければならない。
- ・これは高等教育をはじめ、多くの分野においてダブルメジャー制のような新規の取組みを必要とする。
- ・既存人材もデジタル分野を中心とする指数関数的技術進歩に応じた継続的な学習を生涯にわたって続けていく必要性が出来たことを意味する。

6. 問題提起、ものづくり DX 推進のために

以上の調査研究の検討結果を踏まえ、「ものづくり DX」を推進するためには必要であるが、実現には時間を要すると考えられる問題の提起とその仮説(前提)を提示する。

¹⁴⁰ () 内の小数は累次の産業革命の数字を指す。

6-1. ものづくり DX 推進のための仮説

以下で「問題提起」と題したテーマは、本専門部会で議論された多岐にわたる考え方に立脚したものである。こうした考え方を集約し、整理したのが以下の問題提起のための「認識上の仮説」である。すなわち、「認識」「判断」「考えること」「人材育成」に係る4つである。「認識」は「ものづくり」の立場からみてどのような考え方・捉え方を重要とみているか、「判断」もデジタルツールを使いこなすうえでどのような判断を重視しているか、「考えること」はデジタルツールを使いこなすこれからの人材にとって大事とされる能力を、「人材育成」は各社が協調して取り組むべきテーマとして議論されたものである。以下の囲みは本専門部会での議論を抜粋したものである。

6-1-1. 認識上の仮説

・ ものづくりに軸足を置く

- ・ここは「ものづくりの根幹」「ものづくりの本質」「ものづくりに直結」という「ものづくり」そのものに軸足を置こうという議論である。

- A) デジタル時代を迎えても「ものづくりの根幹」は変わらない。むしろ、生産科学などの科学する力や形式知化する力など、従来以上に「ものづくりの本質」を考える力が重視される。
- B) どれ程ものづくり DX が進むとも、「ものづくりの根幹」は変わらない。ものづくり専門人材とは、基礎技術を身に着け、「ものづくりの本質」を考えることができる人材。
- C) 新技術そのものはプラットフォームやプロバイダーが供給者責任として、使い方の伝授・教授を行う。
- D) しかし、準備・蓄積すべきデータの取捨選択や軽重判断、素材特性の捉え方・整理分類、競争力になり収益化できるような AI の使い方など、ものづくりに直結するところはものづくり側（ドメインの知識のある側）が揃えるべき。

・ Ⅱ型能力の捉え方

- ・デジタルを使いこなす能力を重視する。

- A) ものづくり DX に必要なデジタル系新技術の開発は、デジタルプラットフォームやデジタルソリューション系のプロバイダーに任せると同時に、機械工業としてはそうした新技術の中から使えるものを発掘・導入して「使いこなす」ことが大事。
- B) これからは、ものづくり人材であっても所管分野のものづくりの専門性以外にも、デジタルツールを「使いこなす」ための「デジタルリテラシー」や「デジタルマインド」を合わせて身に着けることが必要。
- C) ものづくり DX を推進するためのⅡ型チームに参画することが例外ではなくなる。チームワーク力や異なる専門家同士のコミュニケーション能力とそのための表現力や言語化能力が重要。
- D) データを扱える人材（データサイエンティストやモデルビルダー、ネットワーク技術者等々）はこれからの高等教育等に期待。
- E) 大事なことはシステム上で必要な人がすぐ見つかれば、必要な技術を見つけられて任意に組合せることができるような仕掛け（コンテンツ）。
- F) 必要となる専門人材を必要な個所に随意に配属できるように組合せられる土壌が必要。

6-1-2. 人の役割は判断すること

・重要だとされる判断のパターン

- ・成否の判断のほかに、良否の判断、軽重の判断、使い方の判断、見極めの判断、選り分けの判断、切り出しの判断などがある。

A) デジタルツールを使って出てきた結果を正しく判断できる。
B) ものづくりの現状からあるべき姿を構想して実現するための課題を正確に設定できる。
C) どのようなデータを準備したり蓄積したりすべきかといったものづくりに直結するデータの軽重判断ができる。
D) 人材や素材等の特性の捉え方・整理分類の判断ができる。
E) デジタル技術であってもツールとして使う限り、使い方に関する人の判断力や実際に使うための新たな技能とそれを身に着けるための判断力が必要。
F) AI の場合に出力データの結果をみて、顧客のニーズとの適合性などの良否が判断できる。
G) スピードを追うべきところとじっくりしっかり取り組むべきところを見極めできる。
H) 競争一辺倒の事業・業務の中から協調領域を切り出すことができる。

6-1-3. 人の役割は考えること

・重要だとされる「考える」パターン

- ・「考える」には、考えだす、考え付く、考え抜く、考え続ける、構想するなどがある。考える対象として挙げられているのが、「ものづくりの本質」「あるべき姿 (To Be)」「コンテンツ」「人材のリクルート法」「システム全体」などである。

A) 「ものづくりの本質」を考える力が重視される。
B) ものづくりの現状からあるべき姿を構想して実現するための課題を正確に設定できる。
C) 今必要とするこうした人材を海外人材も含めてどうリクルートすればいいかを考えられる
D) ブレークスルー思考ができる、物事の本質をつかめる、コンテンツ（仕掛け）を考えだせる。
E) AI をどこにさえば競争力になり収益につながるかを考えられる。
F) 競争領域から協調領域を切り出すための理論づけができる。

- ・人の役割は、常に新しい価値を考え続けることであり、新しい価値を作り続けること。これは匠の役割でもある。一方、“IoT・AI 活用時代”においては、作った価値は、次々とデジタル化され、機械化、自動化、システム化される。これがスムーズに、かつ、次々に継続されると人（匠）の価値も高まる¹⁴¹。つまり、“暗黙知を形式知に変えること”は、コラム 16「暗黙知を形式知に変える体系化（日本料理のケース）」と同様に匠の価値を上げることに繋がる¹⁴²。

¹⁴¹ 本項は本専門部会委員からの指摘を踏まえて作成したものである。

¹⁴² 同上

6-1-4. 人材育成の方向性

・ 協調領域としての人材育成

- ・「ものづくり」と「デジタル」の具備という新しい**Ⅱ型能力**を**既存人材**及び**次世代人材**の両面にわたり、いかにして育成・養成するかは大きなテーマである。産学官がともに検討していくべき協調領域としても重要である。

G) 既存人材は、Ⅱ型能力構築のために研修・実習を受け続ける**継続学習**が必要になる。

H) 次世代人材は、新しい教育訓練プログラムの下で**実学実習重視**の**産官学連携教育**システムが必要になる。

・ 暗黙知の形式知化による人材育成

- ・日本には「凄い匠の技」という暗黙知が知的な財産としてある。これを産学連携の芽という観点から協調領域に据え、言語化・概念化・体系化できれば、システム化・モジュール化・デジタル化の流れに乗ることができる。

➤ 技術進歩の激しい時代に、匠の暗黙知だけに頼ることは難しい。

➤ 宮本武蔵のように剣の道を究めたり、旧軍のように柔剣術流の腕を磨き続けていたりしては勝てないという指摘あり（山本七平「日本はなぜ敗れるのかー敗因 21 か条」(榊角川書店)。

➤ 日本料理体系化の試み（Forbes Japan2019.12 記事）が東大との協働で進行中。

~~~~~

以下は、本専門部会による問題提起である。問題提起をする場合、だれに向けて提起するのかという点が問題になる。同専門部会委員からは「**トップダウン**」の重要性<sup>143</sup>や業界団体や企業の連合体による取り組みの必要性のほか、特に、企業主導の取組は、景気変動の影響を受けやすいことから、変動を緩和して取組が維持拡大できるような**政府主導**、或いは、**政府の強力なリーダーシップ**や**支援**に期待する声<sup>144</sup>があがっている。また、この報告書を読んだ若手の反応を知りたいという要望もみられる。

ここでは、提起したい対象層として企業経営層 (C)、企業管理層 (M)、工業団体 (K)、学界(A)、官界 (G) 別に (●C,M,K,A,G) で示すこととした。但し、対象層以外であってもこうした問題意識を共有することが重要である。その意味では以下の対象層としたところはあくまで対象のメイン層の意味合いに過ぎない点には留意したい。

<sup>143</sup> 本専門部会委員からは「現時点では企業の重要人物へのメッセージが必要。事業部、事業所、部門、チーム任せな感が否めない」と指摘している。

<sup>144</sup> このほか「企業全体にまで浸透していない(発信力の不足)」「協調領域につながる領域は国のフォローが必要」との委員指摘があった。

## 6-2. 問題提起.1：協調領域の発掘・拡大を

(エコシステム形成とものづくり DX 推進の壁の克服を目指して)

### 6-2-1. 本来あるべき「競争領域の再検討」(●C,M)

● (C,M,K,A,G) ⇒提起したい対象層  
C:企業経営層、M:企業管理層、  
K:工業団体、A:学界、G:官界

- ・商品・プロダクト・サービスの分野
- ・個社はユーザーの真に本質的ニーズ究明と訴求できるデザイン、見た目、使い勝手、配色、などやるべきところに専念するなどその得意分野に集中して競うべき。
- ・競争領域としてきた中のどこを協調領域とするべきか、何を標準化すべきかの方向性を産学連携で検討すべき。→残された課題

### 6-2-2. 国際標準化の取組等の「協調領域の発掘と拡大」を(●K,A,G)

- ・以下は、本専門部会の議論<sup>145</sup>をもとに、拡大可能な候補となる領域を挙げたもの<sup>146</sup>。

- A) **国際標準の策定**：巨大な DX、システム規格の時代、分野横断的な標準の時代において、国際標準策定は重要な協調領域となる。
- B) **分野別候補**：①人材育成・教育研修、②経理財務人事総務などの共通化による間接業務効率化・省人化、③比較劣位技術開発、④基板技術開発 (AICE の例参照)、⑤データ形式などのシステム基盤構築、⑥生産技術・生産管理・生産準備等々の最終ユーザーの商品等選考・選択に直接影響なさそうな分野、⑦競争力の弱い分野
- C) **機能からみた候補**：⑧各社共通性が高く、⑨各社製品サービスに直結しない領域について業界単位で検討 (産学官連携に同業間連携)、⑩ものづくりデータの収集・蓄積によるデータ資産化、
- D) **働き方改革にも資する候補**：⑪業界としての二重投資の排除・無駄取り  
(「工場内でのムダ」の排除から「同業間のムダ」(重複投資のムダ)の排除へ)  
(AICE のように業界として共通性の高い協調領域を切出し、対外競争力を強化)  
(個社別自前主義の放棄可能性と共有財産化のメリットを産学官連携で検討)  
(業界全体の固定費削減による損益分岐点の引き下げ (=円高対応力強化策))
- E) **形式知化に資する候補**：暗黙知を言語化・概念化・体系化してシステム化・モジュール化・デジタル化の流れに乗せるという課題を産学連携で取り組む
- F) **業界全体の「灯台」の役割に資する候補**：産官学連携の組合せ拡大※と目指すべきエコシステムの道標となるデジタル化 (ものづくり DX 推進のための) 産業構造ビジョン (ものづくり DX 推進後の姿や協調後のエコシステム姿のなど、企業が進む方向性を示した新しい産業構造ビジョン) の構築
- G) **日本ブランド構築に資する候補**：“Made in Japan”, 或いは “Japan Made” をブランド化するための要件整理と日本の強みをデジタル化で強化する方策を産学官連携で検討。→残された課題  
(Cf. 日本ブランド (強み) の基礎～高品質、高耐久性、高機能、カワイイ等の追及)

<sup>145</sup> 協調領域の拡大に関して「自前主義で競争し差別化技術を開発し、競争・成長してきた日本企業が、今後、連携をとって主体的に、協調領域の拡大や標準化を推進するのは、頭ではその必要性は分かっているが、実際は難しい」との意見も部会委員からは上がっている。

<sup>146</sup> 協調領域の拡大に関して、本専門部会委員からは「情報システム系の企業とものづくり系企業の関係は、対立的に捉えられがちであるが、今後、「対立」から「協調」へと流れが変わると、対立的商売関係からある程度標準化されたデジタルツールの活用へ向けて、新しい協調的商売関係が生まれてくる可能性がある」との指摘がみられた。また、別の委員からは「技術の発展に伴いシュリンクしていく部分は競争領域として引き続き残る一方で、デジタル革命に伴う協調領域は拡大していく。両者の融合された世界観へのシフトが変革だ」という。しかし、現実の機械工業では協調領域はまだほんの一部、その拡大には時間がかかる」とする見方もみられる。

※協調領域を拡大していくための「つながる」ための組合せとして以下が挙げられる。

- (大学等と公立研究機関（含む公設試）との産学協働の研究開発)
- (産々協働、学々協働、研々協働、学研協働（基礎研究、応用研究、エンジニアリング）)
- (学生、院生の実務実習参加による人材育成と新人社員研修の負担解消)

## コラム 22. ※ブランド力：1社だけでなく地域全体が認められること

「信州桔梗が原メルロー1985年」は、1989年、90年と2年連続でヨーロッパのワインコンクールで大金賞を受賞。---「メルシャン1社で良い辛口ワインを造っても、地域全体でワイン産地として認められなければ、将来日本ワインの発展はない」（メルシャン技術者浅井昭吾氏の言）---「例えば、桔梗が原、或いは長野、信州という地域をワインの醸造地として有名にしないと、世界では認められないという考えの下、自社の技術を公開するなどして日本ワイン産業全体を支援してきた。

出所：キリンHD 常務執行役員兼メルシャン取締役溝内良輔氏）～ある講座の基調講演記録（令和元年5月26日）から

## 6-2-3：協調領域としての「ものづくりDX推進の壁」(K.A.G)

ものづくりDXを推進するためには、以下の諸ギャップ（ものづくりDX推進の壁）を解消しておくこと<sup>147</sup>が必要。これがDXを進め、相応の成果を生むための条件である。いずれのギャップも企業を横断する取組みが重要になる。したがって、この取組み自体が協調領域であることは明らかである。

### 標準化ギャップ

- ・国際標準化に向けた取組み
  - ・業務の標準化、業務のシンプル化<sup>148</sup>、間接業務の標準化
  - ・デジタルリテラシーのための教科書、継続学習向けの教科書
  - ・II型学習やII型チームでの経験を積むための体験・研修・実習機会の提供
- ～各社がデータを囲い込み外部に公表しない風潮がある。協調なくして勝てない。
- ・II型能力構築のための職業資格制度の導入

### リーンギャップ

- ・現在の業務への「リーン」導入・定着最優先によるデジタル化のための前提条件整備
  - ・事業所別無駄取りから業界全体の無駄取りへの転換
- ～海外企業は積極的に「リーン」に取組み、日本語のローマ字をそのまま掲示している。
- ～日本のこれまでの強みはやって当たり前、もはや強みではない。

### マインドギャップ

- ・デジタルマインドの受け入れのためのアンラーニング研修体制の整備
- ・デジタルリテラシーを身に着けるための教育研修体制の整備
- ・II型チームでの働き方、リーダーシップ、チームワークを経験できる機会の提供

<sup>147</sup> この点に関して本専門部会委員から「デジタル人材は、超大手企業は別にして、実際のところは重宝されていない。多能工化や即席チームなど自力でDXに取り組もうとしているのが実態」との指摘あり。

<sup>148</sup> 本専門部会では、「日本人だからいろいろな要求に応えようとする。結果的に複雑になる。業務系を複雑にしないような仕組みがデジタル技術をどう使えば可能になるか示すことが重要」との指摘がみられた。

## スキルギャップ

- ・デジタルリテラシーの底上げのための**教育研修機会**の整備
- ・各業種に必要なデジタルツール使いこなしのための**随時随所で可能な学習環境整備**
- ・従来型専門とデジタルの**ダブルメジャー制**の高等教育機関への導入
- ・従来型ビジネスをやり続けながら（RTB）、次代への準備（CTB）を早急に着手できるような**経営・マネジメントスキル**（両者のバランスとコントロール）を磨く必要
- ・II型チームにおける新しいメンバーシップ、チームワーク力の涵養
- ・II型チームのリーダーとしての**プロデューサー型・支援型リーダーシップ**の涵養

### 6-3. 問題提起-2. II型能力の涵養を

（ものづくりの要諦とデジタルを使いこなす能力の融合）

ものづくり DX が必須となる機械工業では、「ものづくりの根幹」「ものづくりの本質」「ものづくりに直結」という「ものづくり」そのものに軸足を置きつつ、さらに**デジタルの使いこなし**という二刀流（II型能力）が強く求められる。II型能力に関する認識の重要性に鑑みると、**デジタルを使いこなす能力**はいうに及ばず、**ものづくりに係る能力**もそれと同等以上に重要だという指摘<sup>149</sup>（本専門部会での議論）が特徴的である。

●（C,M,K,A,G）⇒提起したい対象層  
C:企業経営層、M:企業管理層、  
K:工業団体、A:学界、G:官界

#### 6-3-1. 業種別（機械工業）共通教科書の制作を（●K,A,G）

- ・デジタル時代にふさわしい「ものづくりの根幹」を支え、かつ、**デジタルマインドやデジタルリテラシー**を身に着けられる**共通教科書**の作成を<sup>150</sup>
- ・標準ギャップ、リーングャップ、マインドギャップ、スキルギャップ対策といったII型の人材を育成するには、異分野の人が学びあえる企業・教育機関**共通の教科書**が必要
- ・産学官で次世代人材が世界を相手に**競争していくための土俵・インフラ作り**として、**業界全体で有用なコンテンツ作り**に取り組む必要
- ・日本企業の弱点の挽回強化策として、システム思考や全体最適的な物事の捉え方といったデジタル系コンテンツへの注力が必要
- ・共通教科書の「共通」のイメージとしては「**業界毎に**、あるいは**生産形態・課題毎に**」であり、教科書は「**ものづくり DX に活用できる IoT, AI の技術分野を整理、共有化**」されたもの
- ・共通教科書の活用には座学と実学の両面がある。
- ・座学には当該企業内のみならず企業間連携で実施するケースも必要。

●OECD Education 2030 のような**海外の動向**も継続的にウオッチする要あり

●日本の高専や職業大（PTU）、金沢工大等の高等教育機関の一部にみられる先進的な**実践的プログラム**を、他の高等教育機関全体に普及させる必要。

<sup>149</sup> 本専門部会での議論をみると、「我が国の国民性や歴史を踏まえたうえで DX を進めるには『ものづくりに拘る』必要がある」、「日本のものづくりをどうするかという議論が重要だ」「ものを作る根幹は変わっていない。基礎技術を押さえておかないとものづくりは成り立たない。デジタル化を進めても結果が正しいか判断できる人間こそがものづくりができる人材だ」「技術が進歩しても、ものづくりの本質を掘み取り考え抜ける人材の重要性は不変だ」などが挙げられる。

<sup>150</sup> 産学連携による実学教育などで使える業界共通の教科書作りといった取り組みやその準備は、企業にとって、ボランティア、手弁当になってしまいがち。国の強力な支援が必要。（本専門部会委員）

### 6-3-2. II型能力の職業資格化 (K,A,G)

#### ・II型能力構築のための職業資格制度の導入

- ・II 型初級、中級、上級、TAKUMI4.0 の資格制度化とそれを可能にする共通教科書作り
- ・II 型能力の資格化 (II 型能力初級、中級、上級、TAKUMI4.0)、こういった資格が II 型能力のレベル感としての共通指標となる

### 6-3-3. アンラーニングの重要性と継続学習の仕組みづくり (●C,M,K,A,G)

#### ・アンラーニング

「アンラーニング」については本専門部会委員から次のような意見<sup>151</sup>が寄せられている。ある委員は「**アンラーニング**は重要視すべきキーワード。ここから全てが始まっていくと言っても過言では無い。**アンラーニング**から企業の変化が生まれたり、機関の注目度も高まったり、教育体系が確立されたりする（期待大）。働き方改革の起点ともなる」と述べている。同様に結果的にアンラーニングの必要性を指摘した見方に「ものづくり DX によって、新しいコンセプトの製品開発や、IT 業界並みの高速な製品開発を進めるには、IT 業界の開発論(デザイン思考・アジャイル開発など)を取り入れる必要」があるという。

- ・デジタルリテラシーを醸成する上で欠かせない**アンラーニング**と**継続学習**の仕組みづくりを**共通教科書作り**と並行して実施する必要。
- ・ものづくりリテラシーを一旦捨て去る覚悟（アンラーニング）が必要
- ・まっさらな状態で**デジタルマインド**や**デジタルリテラシー**を学びなおす必要
- ・デジタル技術の日進月歩に合わせるためには「**継続学習**」を習慣化する必要
- ・既存人材用と次世代人材用教科書がリンクするよう配慮する。

## 6-4. 問題提起-3. II型能力構築と体験(体感)の機会・場、制度の見直しを (ものづくり DX 人材の育成に関する産業界の要望)

### 6-4-1. II 型能力構築のための体験(体感)の機会と場づくり (●C,M,K,A,G)

本専門部会では、ものづくり DX 人材で求められる人材像として、「プロデューサー型・支援型」、或いは、「BT(ブレイクスルー)型」といったタイプ別や全体俯瞰力や本質把握力、システム思考、デザイン思考、モジュラー思考、アジャイル開発、リーンスタートアップなどのものづくりにとって真新しい未知とっていい能力の必要性を挙げてきた。こうした問題は実際にやってみて経験を積みながら身に付けていくという道筋が最も一般的である。したがってそのような経験を積み、体験(体感)するための機会と場が必要になる。

- ・理念をいうのは可能だが実際問題として如何に育てたらよいか→残された課題。
- ・プロデューサー型・支援型・ブレイクスルー (BT) 型などいずれもスーパーマン的要

<sup>151</sup> ここに記載された意見は、「IoT・AI 時代のものづくり人材調査専門部会 最終報告書に向けての委員からの意見」令和 2 年（2020 年）2 月 19 日～26 日による。以下同様。

素が多い。(そこをシステム化でカバーしたとされる事例が ASML)。

- ・体感の機会 (ものづくりの楽しさ、難しさ、面白さ)
- ・体験の機会 (プロデューサー型・支援型リーダーの体験)
- ・継続学習の場 (デジタルマインドとデジタルリテラシーを継続的に学べる場)

☛ (C,M,K,A,G) ⇒提起したい対象層  
C:企業経営層、M:企業管理層、  
K:工業団体、A:学界、G:官界

#### 6-4-2. 海外人材等の就業形態多様化と規制の見直し (☛K,A,G)

ものづくり DX を目指す人材がⅡ型能力を構築するためには関連する法整備等の規制見直しが必要となる。

##### ・多様化する就業形態と法制度等の規制見直し

- ・ものづくり DX 推進に伴うⅡ型チームやⅡ型組織へと新しい組織形態への発展が必要となる中で、ギグワーカーやスタートアップなどの多様な就業形態との協働作業<sup>152</sup>が想定される。
- ・ものづくり DX に必要となる種々の専門能力を発掘してその融合・活用を可能にするためには、多様な就業を可能にする法規制等の見直しが必要になる。

##### ・海外人材の問題への対応

- ・少子高齢化が進み、近年は人手不足がクローズアップされている。自動化等の省人・省力化投資を進める必要があるが、当面の人手不足は海外人材が埋めている。
- ・特に IT 系やデジタル人材は層の厚い海外人材を受け入れていく必要がある<sup>153</sup>。
- ・但し、海外の IT 系やデジタル人材を受け入れるうえで、言葉や文化の違いといった、従来の海外人材に関する問題点だけでなく、IT 人材の持つ意識のスピード感や、『最低限の機能を持った製品を少しずつブラッシュアップしていく』といったアウトプットの出し方の違いなど、IT 人材ならではの文化 (デジタルマインド) も認める組織作りが求められる<sup>154</sup>。
- ・本報告書は、DX 時代に対応した人材の確保について議論してきたが、DX 時代のものづくりを支える海外人材の確保についても引き続き検討が必要である。

### 6-5. 問題提起-4. 教育制度の改革 (実学教育の拡充強化を)

(産学連携教育による実学教育の本格的導入と第四次産業革命に向き合える小中高教育と高等教育の改革を)

「ものづくり DX」に着手するためにはその前提条件未整備という壁が立ち上がる。アンラーニングの必要性や BT 思考・システム思考などを必要とするマインドギャップ、スキルギャップなど、どれをとっても大きなギャップ (壁) である。このギャップ (壁) の解消は、明らかに一企業の手には負えない大きなテーマである。国の教育体系にまでさかのぼらざるを得ない。企業側では継続教育体制を各社協調して取り組む必要がある。教育機関側では初等・中等・高等の段階ごとに理数系教育の強化に留まらず、システム系やコ

<sup>152</sup> ~ものづくり DX 推進に伴い、正社員主体の就業環境から、プロジェクトだけの外部メンバー等の既存の枠組みでは扱えない就業環境が生まれる。スタートアップや異業種の専門家に加え、ギグワーカーなどの新しいフリーランスのほか、こうした専門性の高い海外人材など、様々なメンバーが正社員と「対等の立場」で協働することが求められる。⇒6-8-6.

<sup>153</sup> 本項の指摘は本専門部会委員から寄せられた本報告書に関する意見 (令和 2 年 2 月 27 日) による。

<sup>154</sup> 同上による。

ンピューター系などの**情報系教育**に一層注力する必要がある。第四次産業革命に向き合える教育の改革は喫緊の課題である。

第四次産業革命について、本専門部会では「ものづくり DX」と捉えること<sup>155</sup>にしている。すでにみてきたとおり、「ものづくり DX」における人間の役割には「判断の重要性」と「考えることの重要性」の二つがある。人間の判断において重要とされるパターンには、成否の判断のほか、良否の判断、軽重の判断、使い方の判断、見極めする判断、選り分けの判断、切り出す判断などがある。また、「考える」には「考える」のほかに「考えだす」、「考え付く」、「考え抜く」、「考え続ける」、「構想する」などがある。考える対象として「ものづくりの本質」のほかに「あるべき姿 (To Be)」や「コンテンツ」、「人材のリクルート法」「システム全体」など多くの領域がある。

問題提起-3 でみたとおり、II型能力を構築するためにはII型の体験(体感)の機会とそのため場が必要になる。ものづくり DX 人材の育成は、II型である以上、AI・IoT 活用といった分野だけでなく、ものづくりの**実学・実習**なども重要である。ドイツなどで先行する **実学・実習重視の実践的な産学官連携教育研修訓練制度**の本格的な導入と拡充が求められる<sup>156</sup>。本制度のイメージとして例えば、大学の工学部教育の中で、フラットなII型チームのリーダーになるための経験が積めるカリキュラム(例えば、**文理さまざまなバックグラウンドを持つメンバーによるプロジェクトやハッカソンの実践**など)などが考えられる。

#### 6-5-1. 実学・実習重視の実践的な産学官連携教育研修訓練制度の確立 (●KAG)

##### ・産学連携 PBL の導入 (企業の実課題を教育の場で)

- ・ **実学・実習訓練重視の教育研修訓練制度**を産官学で開発し、「海外との競争に耐える学生」を育成・確保する必要。

本専門部会では**実学教育の重要性**に関する次のような指摘が相次いだ。

- ・ 現代の専門性は変化している。ものづくり DX を進めるに際して、コモディティ化している部分ではなく、**本当に専門としてやるべきところに注力**すべき。
- ・ スピードが重視されるが、スピードを追うべきところと**スピードを度外視してもじっくりしっかり取り組むべきところ**を区別すべき。

●参考：海外では企業（シーメンスやロックウェル、GE など）が**現に使っている技術**を、高等教育機関でそのまま**教材**<sup>157</sup>として使用している。

●参考：CDIO (Conceive, Design, Implement, Operate) やワシントン協定 (国際間実質的同等性相互認証) といった技術者の国際水準での「質」保証のための**国際的枠組みへの加盟**

●文部科学省「**理工系人材育成戦略**」：付加価値の高い理工系人材の戦略的育成の取組

<sup>155</sup> この点に関して「米独との参照は構わないが、その背後に働く上での文化の違いが大きい。日本独自の進め方が大事」との指摘が本専門部会委員からあった。本報告書ではそれをものづくりへのこだわりとの意から「ものづくり DX」を推進すると表現している。

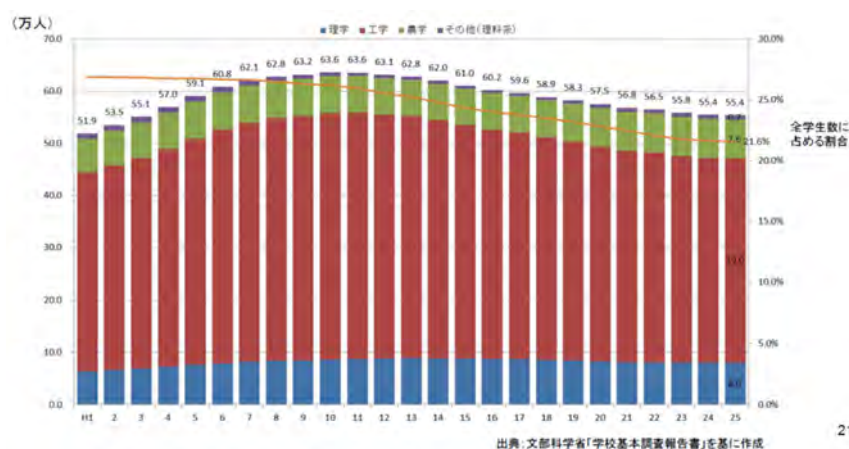
<sup>156</sup> 職業訓練は重要であるが、企業では職業訓練生にスポットを当てて活用しようという文化がみられない (本専門部会委員からの指摘)。とするとここにも「アンラーニング」すべき対象があることがわかる。

<sup>157</sup> シーメンスの MindSphere や GE の Predix。ベトナムの ICT 企業 FPT 社は FPT 大学など各地の大学教育プログラムに DX と AI を導入した。また、オートデスク社のジェネレーティブ・デザインのソフトウェア Fusion 360 の基本部分は学生に無料で開放されている。3-3-1.のコラム参照。

を始動するため、平成 25 年（2013 年）3 月策定。

[https://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/education/detail/\\_icsFiles/afildfile/2015/03/13/1351892\\_02.pdf](https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/detail/_icsFiles/afildfile/2015/03/13/1351892_02.pdf)

図 52 理学、工学、農学部学生の学生数の推移



出典：文部科学省「学校基本調査報告書」を基に作成  
出所：文部科学省「理工系人材育成戦略」本体（上記 URL から）

#### 〈海外参考事例～「問題提起-4 教育制度の改革を」関連〉

- 海外事例：①ドイツの大学におけるデュアルスタディ、②中国の実学的カリキュラム、③シーメンスやロックウェル等の企業が展開するデジタルプラットフォーム、④OPC-UA などのインダストリー4.0 テクノロジーを教材とした米独等大学の実践的カリキュラム
- プロバイダーのソフトウェアが教材として使用されている。①GE の Predix や②Siemens の MindSphere、③PTC の教育プログラム（豪州 RTB 大）、④Don Glaser 社の Simulation Solutions、⑤Emerson 社の Performance Learning Platform（ハンズオンの訓練が可能）
- ドイツではインダストリー4.0 対応のモデルプロジェクトとして、職業訓練（デュアルシステム等）においても、関係組織間の明確な役割連携の下、デジタル化に対応した取組みが進行中。（JEED 資料）
- インドではアントレプレナーシップ教育を学校で始めるべきだという議論が出ている。起業の文化を育むために、生徒は①チャンスに挑戦し失敗を恐れない、②アイデアを構造化する挑戦とリスクを果敢にとることへの称賛、③様々な機会を通してアイデアの表現力や集合知の活用を学ぶ、④革新能力スキルを磨くためのハンズオン経験学習の機会を提供、⑤様々な情報を共有したり、試作したりできるプラットフォームへのアクセス権、といった教育内容への注文と学習者への支援エコシステムや経営層レベルのメンターの重要性が指摘<sup>158</sup>されている（5-4-3 の再掲）。

#### 6-5-2. ダブルメジャー制の導入（従来型専門領域+デジタル領域）（●KAG）

- ものづくり DX はアナログとデジタルの両刀使い(II型能力)を必要としている。第1次産業革命以来、産業界の要望は教育界に反映され、その結果、産業の持続的な成長を通じて経済が発展してきた。
- 第四次産業革命では従来型の専門分野ごとにデジタルを必要としている。高等教

<sup>158</sup> The Hindu com "Entrepreneurship should begin in school" Aravind Chinchure Feb.08.2020  
<https://www.thehindu.com/education/entrepreneurship-should-begin-in-school/article30769384.ece>

育でも機械とデジタル、電気とデジタル、メカトロニクス(機械と電気)とデジタル、情報・電子とデジタルといった「従来型専門領域」と「デジタル領域」のダブルメジャー制を本格的に導入することが急務となっている。

### 6-5-3. 既存人材向け継続教育と実践的な産学連携教育の推進を (●C,M,K,A,G)

- ・既存人材にはデジタルに関する「**継続教育**<sup>159</sup>」が、次世代人材にはデジタルに関与した「実学・実践的」な産学連携教育が必要。
- ・既存人材の場合、**アンラーニングと継続学習**は必須。そのためにも**共通教科書**が不可欠。

● (C,M,K,A,G) ⇒提起したい対象層 C:企業経営層、M:企業管理層、K:工業団体、A:学界、G:官界

## 6-6. 問題提起-5：製造業に夢と魅力を～社会へのアピール肝要

(ものづくりの大切さ、新しいものを世に出せる、形式知化状況・匠の将来像、未来の工場)

### 6-6-1. 採用母集団としての理工系人材の減少の問題 (●K,A,G)

この問題は、文科省の理工系人材育成に関する産学官円卓会議、理工系人材育成戦略などで指摘されている。また、国際競争力ランキングで有名なスイスの経営大学院 IMD の「国際デジタルランキング」最新版では、人材面で「**国際的な経験**」「**外国高度人材**」「**教育投資**」の不十分さとともに「**科学専攻卒業生**」の少なさが指摘されている。

### 6-6-2. 「製造業に夢と魅力を」～就職先としての魅力度 (●C,M,K)

本専門部会では、これからものづくり DX を進めるには長期的な戦略として「製造業に夢と魅力を」アピールする必要性や重要性を指摘する声が上がった<sup>160</sup>。また、「IT 業界の人気の背景には、高給といったメリットだけでなく、プロダクトが**社会にインパクト**がある、企業のリーダーが**面白いビジョン**を語る、といった**ワクワク感**を学生が感じるから。」さらに、「今の IT やサービスが活躍できるのも、インフラ設備メーカーによる下支えがあってこそ」という**事実がうまく発信されていない**と現状の問題点が指摘されている。

一方、具体案として、ある委員は、コラム 16 のように「**“暗黙知を形式知に変える”ためのフレームワーク形成**」の取組みや、**匠の価値向上の将来の絵姿(イメージ)を広く社会に発信**していくことが長期的に“製造業に夢と魅力を”に繋がると指摘している。

別の委員は、「『ものづくり』の大切さと価値教育」の復活により、「**新しいものを生み出せる『ものづくり』の難しさ**と面白さを**教育段階で体感させる**」ことが必要だと指摘している。同様に「空飛ぶクルマなど、**新しいものを世の中に出せる**のは製造業の魅力」であり、「製造業でも、とがった製品を作り、社会に対するインパクトが語れると魅力に」なる。また「**未来を語る**ことが必要で、それが若者に魅力として映るのではないか<sup>161</sup>」と。

<sup>159</sup> 継続教育に関しては、国内の高等職業能力開発機関に対する期待として「中小企業人材へのサポート」と既存雇用者のスキルアップ」の二つが指摘された。中小企業は、「新規雇用も難しいが、既存雇用者が業務を離れて訓練を受けるのも難しい。」「業務を継続しながら新規技術の習得ができるような仕組み」が期待される。(本専門部会委員)

<sup>160</sup> 「夢と魅力を」という主張の背景には、「DX は進みつつあるが、工場に入れば旧態依然の部分がまだまだ残っている」(本専門部会委員)或いは「最近の優秀な学生は ICT 系を志望し、製造業には見向きもしない」という現実がある。

<sup>161</sup> この点に関して別の委員からは「人生の価値観やワークライフバランスが変化し、やりがいがある、達成感がある仕事で出来る、待遇が良い、等では魅力ある製造業とは言えない時代になってきている。多

これを前提に「未来工場のあり方を、働き甲斐や働き方改革も含めてメッセージとして社会に発信（アピール）」していくことが重要といった指摘<sup>162</sup>があった。

## 6-7. 残された課題

本項で取り上げた「仮説」や「問題提起」は、それぞれ本専門部会でのものづくり DX に関する議論から抽出されたものである。問題点の所在とその大まかな課題を整理した。しかし、その大半の具体策についてまでは時間の制約もあり、検討するまでに至っていない。そこで以下に「残された課題」として記し、今後の検討のための縁とする。

### 6-8-1. 産学連携による実学教育と業界共通の教科書作り (K,A,G)

- II型能力を構築するための産学連携教育を進めるにも、デジタルマインドやデジタルリテラシーを学習するにも、そのベースとして共通の教科書作りが欠かせない。
- 業種ごとに共通の教科書があれば、人材育成のもろもろの局面で役立つばかりでなく、II型の職業資格を検討する際にも基準・標準としての役割を担える。
- 教科書づくりそのものが「標準化ギャップ」や「スキルギャップ」「リーングャップ」「マインドギャップ」の解消にも役立つ。

### 6-8-2. プロデューサー型（支援型）人材の育成 (●C,M,K)

- ものづくり DX 推進上の長期の課題「プロデューサー型（支援型）人材」の確保育成
- CTB を率いるII型チームのリーダー
- チーム編成や運営の考え方、個々の専門家集団を管理統制型ではないフラットで一人ひとりの力量を最大限に引き出すような新しいリーダーシップ像
- リーダーシップ像とともにフラットな組織に合わせた評価制度や、人事制度を検討していく必要<sup>163</sup>

### 6-8-3. デジタルマインドとデジタルリテラシーの醸成・習得 (●C,M,K)

- II型能力構築に必要なデジタルマインドとデジタルリテラシーを如何に習得するか
- デジタル技術の進歩発展に潜むデジタル特有のものの考え方（例、スタートアップウェイ）やサイバー上での検討に必要な発想の転換
- BT 思考やデザイン思考、システム思考等の習得

数の若者の本音の意見が聞きたい」と若年層に対する意識調査の必要性を指摘する意見があった。

<sup>162</sup> ここに記載された意見は、「IoT・AI時代のものづくり人材調査専門部会 最終報告書に向けての委員からの意見」令和2年（2020年）2月19日～26日をはじめ、部会での議論などによる。

<sup>163</sup> この点を提案した本専門部会委員は、その例として「上長が部下を評価する評価制度から、お互い同土を評価しあう360度評価など」を挙げている。

#### 6-8-4. アンラーニングと継続学習の定着による II 型能力構築 (●C,M,K)

- アンラーニング（＝固定観念や思い込みの一扫、学んだことをご破算にする学習法）を経て、デジタルを新規に学習し直す**継続学習**の仕組みの検討と導入<sup>164</sup>
- ものづくり DX の推進に必要となる「**学習し続ける組織**」の構築
- 管理統制型組織運営から**民主的でフラットな相互支援型 II 型学習**の研修体験の場構築
- 既存従業員に対する充実した教育研修機会の提供
- 業務の繁忙を勘案した**比較的**短期間で有効な、Off-JT による**教育・研修・訓練・機会**の提供

#### 6-8-5. II 型能力の職業資格化 (K,A,G)

- II 型能力の職業**資格化**（初級、中級、上級、TAKUMI 4.0）による能力見える化・指標化

#### 6-8-6. 就業環境変化への対応、法規制等の見直し (●K,A,G)

- ものづくり DX 推進に伴い、正社員主体の就業環境から、プロジェクトだけの外部メンバー等の既存の枠組みでは扱えない就業環境が生まれる。
- スタートアップや**異業種**の専門家に加え、ギグワーカーなどの新しいフリーランスのほか、こうした専門性の高い**海外人材**など、様々なメンバーが正社員と「**対等の立場**」で協働することが求められる。
- 多様な人材が「対等な関係」を保証された環境下で働けるような**法的枠組み**が必要になる。
- **海外人材の問題**は長期的な展望の下、きちっとした議論が必要である。
- ドイツの Arbeiten 4.0 では、労働法、安全衛生法、会社法、競争法、情報保護法など多岐にわたる検討が進行中である。

#### 6-8-7. 日本ブランドの構築・普及 (●C,K,A,G)

- “Made in Japan” ,” Japan Made” を**ブランド化**するための要件整理
- 日本の**強み**をブランドとしてデジタル化して強化・発信する方策<sup>165</sup>を産学官連携で検討

#### 6-8-8. ものづくり DX の中小企業への普及 (●C,K,A,G)

- 日本のものづくりを支えている中小企業に関するメッセージが必要

<sup>164</sup> アンラーニングと匠の教育の強化については、本専門部会委員から「政府主導」で進めてほしいとの要望が出されている。

<sup>165</sup> 「一企業ではカバーしにくい分野に「**対外発信力**」の強化がある。これは**業界団体や公的機関**にを期待したい。」また、「発信力強化には人材交流や資金力を強化する必要があり、日本政府が強制的な指導力を発揮すべき」（本専門部会委員）との指摘があった。

#### 6-8-9. ものづくり DX を企画・推進するための層別要件の整理 (C, M)

- 「経営層」「部門長」「チームリーダー」「チームメンバー」夫々の要件（「役割」「マインド」「スキル」など）を立場毎に整理<sup>166</sup>
- 「チームリーダー」「チームメンバー」になり得る人材への育成や外部からの登用の方法や課題の整理

#### 6-8-10. 報告書に関する中堅・若手技術者と製造業に関する現役学生層の意識調査

- ものづくり DX を推進する為に挙げてきた諸々の課題や提言に関する中堅・若手技術者等の反応
- 夢のある魅力的な製造業のために必要ではと提言していることに関する現役学生層等の反応

<sup>166</sup> デジタル化を進めるための人材ピラミッド上の経営層、マネージャー層、スタッフ層、作業層別に役割・能力。位置づけなどを整理したイメージについては、本事業の平成 30 年度版の 4-2-1.(p77~81)において、当時の部会メンバーを対象とした書面調査に基づいて検討している。

## 7.終わりに～要約とものづくり DX の推進にむけて

現在の日本に求められるものづくり DX とは<sup>167</sup>、単に「現状業務の改革」であったり、これまで日本企業が得意としてきた「カイゼン」という部分最適を目指したりするレベルで満足することではない。外観検査の目視工程を深層学習によって自動化したという事例は、AI の活用という視点からは、価値ある一步を踏み出した事例である。しかし、デジタル革命としてのものづくり DX の視点からみると、現状の業務プロセスの改善のレベルに留まっている事例と捉えることもできる。

ものづくり DX とは現状の業務プロセスを否定し、抜本的な業務改革（BPR<sup>168</sup>）のみならず、全体最適を達成できる新たなプロセスに組替える文字通りの「構造改革＝Restructuring（≠リストラ）」であり、現状のビジネスモデルそのものの抜本的変革にまで踏み込むという「真の改革」「破壊と創造」に取り組むことにほかならない。

例えば、KOMTRAX を標準装備するという決断は、後日、新しいビジネスモデルを産み出した例として有名にはなるものの、この決定自体は、生産工程での円単位のコスト削減努力を続けてきた現場からみると、驚天動地の決断に見えたのではないかと推察される。

改革とはそれまでの先輩が積み重ねてきた数々の努力の否定につながりかねないものである。その壁を乗り越えるだけの将来展望をストーリー化して語り合い、納得の輪を拡げていく忍耐と根気や努力が求められる。デジタル革命とは経営層は言うに及ばず、マネージャー層、スタッフ層など企業人が心から真剣に取り組むべき改革である。ものづくり DX に取り組むことは、パラダイムシフトに乗り遅れずに**スピード競争の時代**を勝ち抜くための改革そのものである。

以下は本報告書の要約である。

### 7-1. 要約.1：本専門部会の前提（スタンス）と本報告書の構成

- ・本専門部会は、第四次産業革命やインダストリー4.0 が脚光を浴び、とりわけ IoT や AI が注目される現代において、機械工業を中心とする製造業が早急に取り組むべきテーマを「**ものづくり DX**」と名付けることにした。つまり、ものづくりのデジタル・トランスフォーメーションである。
- ・本専門部会が掲げる「IoT・AI 時代」とは、ものづくり DX を推進すべき時代と位置付けることができる。ものづくり DX とは何かを明らかにするとともに、求められる人材像やその確保育成策を検討する。これが本事業の目的である。
- ・検討対象はおおむね 5～10 年後を念頭に、主として生産プロセスに力点を置いた。先端デジタル技術は IoT・AI に捉われず幅広く捉えることとし、その利活用に焦点を当てた。
- ・本事業の先行事業では、パラダイムシフトやインダストリー4.0 などに関する海外の進捗

<sup>167</sup> 本節の 4 つの段落は滋賀大学データサイエンス学部の河本薫教授の論考を参考に作成したものである。

<sup>168</sup> Business Process Re-engineering、BPR の略称

状況を調査するとともに、パラダイムシフトが目指すべき人材像として TAKUMI4.0 を提唱した。

- ・本事業の初年度（平成 29 年度）では、引き続き諸外国の動向をサーベイし、先進事例や AI に関する技術動向とその理解に焦点を当てた。
- ・二年度目（平成 30 年度）は DX による変革の在り方や取り組むべき方向性を抽象化した四象限図を検討し、DX の本質的な理解を促進した。この図は DX のキーワードを縦横二軸に対比化することで DX の構造を視覚化したものである。
- ・三年度目（平成 31 年度、令和元年度）は、これまでの活動を総括して、本専門部会の前提の検討から、IoT・AI 時代を **IoT・AI 活用時代**とする捉え方、ものづくり DX の具体的なイメージ、**II型の拡張**を具体化した「**II型 2.0**」の提唱、ものづくり DX 推進人材のイメージを検討し、最後にものづくり DX 推進のための問題提起を行った。

## 7-2. 要約.2：IoT・AI 時代と DX の捉え方（用語や考え方の整理）

### 7-2-1. IoT・AI 時代とは

- ・IoT・AI 時代とは、IoT・AI に代表される技術革新の恩恵を受けられる時代であり、進化し続ける様々なデジタル技術を縦横に活用できる時代であることから、「**IoT・AI 活用時代**」とみることにした。
- ・第四次産業革命はデジタル革命であり、DX の早急な取組み（スピード対応）が必須とされる。DX による桁外れのスピード獲得が世界との競争に勝ち抜くカギである。DX により製造業にスピードを取り込むこと。これが製造業パラダイムシフトの最も重要なポイントである。

### 7-2-2. キーワードからみたものづくり DX の特徴

- ・ものづくり DX の推進によってデジタル化された製造業の姿を、本専門部会の先行部会の検討結果に従って、キーワードとして二軸による対比構造に整理した。
- ・一つは、「アナログ」と「デジタルも」の対比。この「デジタルも」にはアナログとデジタルの重ね合わせという意で「も」を付している。
- ・もう一つは「クローズ」「自前主義」と「オープン」「つなぐ」・「スピード感」の対比。DX によって工場の中のみならず、本社、サプライヤー、サプライチェーン、ユーザーともつながっていく。Connected Industries として次々と「つながりあう」ネットワークが出来上がり、エコシステムとなる。その先が Society 5.0 の世界である。
- ・「ものづくり DX」により製造企業は、デジタルによる「スピード」競争という環境の激変に晒され、企業体の体質転換を迫られる。デジタル技術は、個別技術からシステム、或いはその考え方や捉え方に至るまで広範な領域を含む用語である。全ての専門知識を個人が身につけることは不可能である。チームで分担してカバーし合うことになる。製造業にもデジタルリテラシー（デジタル技術の素養）が必須になる。

### 7-2-3. 「オープン」「つながる」と協調領域の切り出し・拡大

- ・DXが進みDXが実現すると、デジタル化・ネットワーク化により様々なデータが収集・蓄積・解析されて有用な情報が生産され共有される。そうした情報から新たな知見が生まれ、既存業務の効率化や生産性の向上のみならず、新たな事業機会が生まれる。データは事業上のあらゆる関係先や関係先のその先まで共有・解析される。瞬時に可視化され、選択肢を提供する。
- ・このつながりは、製品設計、開発、調達、生産、出荷、顧客関係を結ぶ。データから生産された情報を活かせば、業務の効率性やプロセスの最適化が可能となる。データという事実に基づいた「真相」に気付く。ヒントが生まれる。真の事業再構築により競争力の毀損を防ぎ、発展基盤を強化できる。
- ・ものづくりDXを推進して関係組織が繋がるためには、その前提としてつながるべき部分（**協調領域**）とつながるべきではない部分（**競争領域**）の峻別が求められる。IoT・AI活用の時代は「どことどのようにつながるか」が問われ、その**拡大**が新しい企業・組織間関係としての「エコシステム」につながる。

### 7-2-4. 不確実性高まるものづくり環境

- ・IMDの国際デジタルランキング（63か国地域対象）は、デジタルに関する「知識面」「技術面」「態勢面」の3つの指標から評価される。日本は特に「事業の迅速性(55位)」「規制の枠組み(40位)」辺りの評価が低い。
- ・「企業の迅速性」や「BDとデータ分析の浸透度」等は、評価対象国地域中の最下位。人材面では「国際的な経験」「外国高度人材」「教育投資」の不十分さや「**科学専攻卒業生**」の少なさが指摘されている。
- ・近年、地政学的リスクの増大をはじめ、グローバリゼーションの挫折、自然災害の脅威、国内の人口動態など、不確実性はますます増大すると見込まれる。
- ・こうした不確実性の時代に求められる経営指針として唱導されているのが「**変動対応力**」であり、組織変革力「**Dynamic Capability(DC)**」である。DCに必要な能力として、①Sensing、②Seizing、③Transformingの三つが指摘されている。
- ・ものづくりを取り巻く企業環境として、「世界市場分断のリスク」、「生産年齢人口の減少」「自然災害・環境対応リスク」「デジタル・スキルギャップ」の4つを取り上げた。
- ・企業経営ベースの脅威として、「垂直統合化を進める巨大デジタル系企業」「デジタルプラットフォームを素早く構築している欧米先進国企業」「リープフロッグ（一足飛び）を目指す途上国や新興国」「量から質へオール国産化を目指す中国の動向」の4つに注目した。経済を支える土台として柔軟かつ臨機応変に対応していく能力の構築を迫られている。

### 7-2-5. ものづくり DX と海外動向、トレンド

- ・内外の関心はもはや概念を論じる段階からいかに早く実装を終えるかにある。ドイツでは、中小企業への普及拡大とともに、次世代人材に対する教育訓練プログラムの開発・試行や教育指導者層への再教育などが課題として取り上げられ、施行がスタートしている。
- ・米独のみならず多くの国でインダストリー4.0 やスマートマニュファクチャリングに取り組んでおり、人間の暗黙知を上回るスマート化、インテリジェント化を目指している。
- ・「製造業のサービス化」や「コトづくり」は、「もの」そのものより「もの」の使い方に焦点がある。しかし、「もの」があって初めて使う（使用する）ことができる。製品寿命が尽きるまで長期間トレースしながら、収益を収受できる仕掛けづくりがポイントである。開発設計段階の知恵が問われている。
- ・一般に消費行動は、経済が成熟するにつれ、必要なものを揃える段階から、豊かさをより実感できる新しい「機能サービス」や「私だけに特別なこと」といった個別化や「体験」のニーズ（UX<sup>169</sup>）が主役の段階へとシフトする。そこに製造業の新たな可能性が生まれる。

### 7-2-6. ものづくり DX とデジタルマインドの重要性

- ・ものづくり DX は、組織・風土・文化のベースにある考え方や捉え方など、マインド面にも大きな影響を及ぼす。これをデジタルマインドと称する。例えば、顧客志向・アイデア重視、柔軟迅速・変動対応、実験実証・早期実装、手戻り極小といった戦略的思考を意図的に活用する姿勢や心持のこと。「システム思考」のほか、「モジュール思考」「アジャイル開発」「スタートアップ・ウェイ」「ブレークスルー思考」などがある。
- ・ものづくり DX の推進によって、ものづくりを取り巻く様々の環境制約を乗り越え、不確実性の高まりへの備えとすることは待ったなしである。デジタルの特性<sup>170</sup>は何よりもそのスピードにある。
- ・デジタルマインドが生かせるチームの在り方として、従来型の統制管理型と一線を画するフラットで個々の能力を引き出す組織論が注目される。ティール組織はその一例である。

<sup>169</sup> User Experience の略。ユーザーが製品・サービスを通じて得られる体験のこと

<sup>170</sup> デジタルの特質にはスピードのほかにデータ発生源と利用先が直接つながる中抜き効果やオープンソフトウェアの活用による既存のモジュールの組合せが可能といった点が挙げられる。

## 7-3. 要約.3：ものづくり DX の具体的なイメージ

### 7-3-1. ものづくり DX とは

#### ・ものづくり DX のあるべき姿（イメージ）

- ・製造業の生産プロセスにおける「ものづくり DX」推進後の姿を、AS IS(現状のあるがまま)から TO BE (あるべき姿、あらまほしき姿) に近づけるプロセスとしてイメージする。TO BE に近づく手段が IoT や BD, AI であり、DT と CPS の構築である。
- ・例えば「実機のテストでは思いもつかなかったようなケースまでも、サイバー空間のシミュレーション上で、ソフトウェアを駆使することにより試すこと」ができる。従来は現物の実機づくり等に多大の時間を要したところ、ものづくり DX の世界ではごく短時間で同様のことができる。仮想世界と現実世界の融合（CPS）により、製品・サービスの素早く高効率な市場投入により、事業機会を広げることができる。

#### ・ものづくり DX の意義、スピード

- ・現物の実機テストとサイバー上のシミュレーションを比べれば、デジタルスピードの圧倒的速さは自明である。アナログ世界とデジタル世界を峻別する最も大きな特徴はこの「スピード格差」にある。
- ・ものづくり DX の本質は、デジタル技術を製造業に取り込み、スピードを獲得するところにある。冒頭のグラフが示す通り、いち早く取り組んだところが勝利を得、様子を見ていたところは敗退を覚悟せざるを得なくなる。
- ・ものづくり DX はそれ故に「製造業のパラダイムシフト」とも表現される。その主役が「データ」であり、「デジタル化」と「ネットワーク化」である。
- ・従来型の「自前主義」は放棄を迫られ、「スピード感あふれるオープンでつながり合う製造業（Connected Industries）として再構築される。顧客志向が強まり「知の探索」を容易にして「新価値創造」への「チャレンジ」を可能にする。
- ・温暖化や異常気象、エネルギー問題、少子高齢化といった現代社会が抱える問題は、ものづくり DX 推進の過程で導入される様々のデジタル化ツールを駆使して解決されていく。その目指す社会が Society5.0 の世界である。

### 7-3-2. ものづくり DX 推進の考え方

#### ・DT・CPS、ものづくり DX の特徴と推進の考え方

- ・DT についてはものづくりに固有な「理論モデル」と IoT などから収集・蓄積・解析・構築される「データモデル」がある。両者をともに必要とする点が、SNS とは異なる「ものづくり DX」特有の特徴である。
- ・CPS からみたものづくり DX の流れを、OODA ループや PDCA、ピボットなどのアジャイル開発の流れとも関係づけることで、ものづくり DX 推進の進め方の考え方を整理・検討した。

#### ・チームで取り組む「ものづくり DX」

- ・「ものづくり DX」を具体的にどう進めたらよいのか、またそれによって従来の日本型製造業の強みはどうなるのかについて検討した結果が以下である。
- ・現状の足元にある「ものづくりの強み」を維持しつつ、独自のものづくり DX を重ね溶け合わせることによって、革新的変化を視野に入れた新しい強みを創り上げていく。さらに、サイバーとフィジカルのみならず、そこにヒューマンの要素を加味する取組み(デジタル・トリプレット)を重視していく。
- ・従来型のものづくりは RTB(Run the Business)組織により、しっかりと収益基盤を支える一方で、ものづくり DX の企画立案推進は CTB(Change the Business)組織を立ち上げて次の時代に向けた変革の準備を滞りなく進める。ものづくり DX 推進の主役は人であるという考え方を重視する。

#### ・ものづくり DX の前提と取組み方の検討

- ・ものづくり DX を進める際の前提となる考え方を整理した。例えば、ものづくり DX 推進チームである CTB は、決して一人のスーパーマンや一人の天才、匠といった「個人商店」に頼りながら進めるものではない。「パイ型」のチーム・集団による力でやり遂げることを目指す。一人の 100 歩より 100 人の 1 歩を重視する。
- ・AI そのものを開発したり、AI 固有の専門知識を身に着けたりするのではなく、AI を使いこなすことを重視する。デジタル重視一点張りではなく、従来型事業を継続しつつ、時代の変化の備えとして変化の芽(ものづくり DX)をかつてないスピードで胚胎・育成する。
- ・ものづくり DX 推進の当初の主役は CTB チームであるが、CTB チームだけがやれば済む話ではない。CTB の成果がやがて RTB の変革に波及することが期待される。

### 7-3-3. ものづくり DX 後の世界

#### ・ものづくり DX と変革後の世界

- ・CTB の活動により、サイバー上で試行錯誤をした成果や効果は素早く見える化される。それが RTB 部隊に「感動・感銘」を与えられるかが鍵である。RTB に対するインパクトが DX に踏み出すきっかけとなる。
- ・ものづくり DX がエンジニアリングチェーンに波及し、さらにサプライチェーン(SC)や製品・サービスに及ぶ。こうしてスマート工場、スマート SC、繋がる製品・サービスが生まれる。関係先が、楕円状に繋がりが合い、Connected Industries の世界になる。
- ・ものづくり DX によって影響を受ける組織文化、生産体制、事業運営の変化の方向を検討した。また DX の場面ごとのツールや組織イメージも検討し整理した。

#### ・ものづくり DX 具体化と組織面の検討

- ・ものづくり DX の進め方を俯瞰的時系列的にみると、IT 化・情報化の段階から、「つなぐ」

というネットワークの段階に進み、「見える化」されて、新しいことに対する「気づき」が生まれる。そこから「なぜか」という疑問に対する説明が進み、次に何が起きるかという「予測」が可能となるレベルへと進む。

- ・予測が可能となると「自律的な対応」を考えることができるようになる。自律的な対応が進むと「全体最適」が視野に入る。こうしたものづくり DX が逐次進み、積み上げられる過程が第四次産業革命と呼ばれるデジタル革命の進行プロセスになっていく。

#### ・従来型組織（RTB）TAKUMI4.0 と変革推進チーム（CTB）

- ・従来型組織（RTB）は、ものづくり DX によって一気に変革しようとしても難しい。まずは、変革推進チーム（CTB）を立ち上げ、CTB がいろいろなアイデアを出して小さく試しながら、その成果をみて RTB 側が感動し、納得し、受容していく過程が不可欠である。
- ・CTB チームにはものづくり各分野の専門家とデジタル系各分野の専門家が蟬集する。CTB チームの専門性を総合力として十二分に引き出すためには、「フラットなΠ型の組織」が望ましいとされる。
- ・CTB チームは、ものづくり DX の推進という共通目標の下に結束して変革を進める。RTB で培ってきた常識は通用しない。ソフトウェアの分野で開発されてきた考え方や発想であるアジャイル開発やデザイン思考、システム思考、リーンスタートアップ等を取り入れる「デジタルマインド」の形成が必要になる。
- ・CTB チームは組織の役割も使命・機能も RTB とは全く異質である。経営層は CTB を切り出して RTB との併存を図りつつ、RTB 側をも巻き込んで DX という変革遂行の司令塔として意思決定を行う責任を負う。
- ・経営層に期待される役割はもちろんのこと、CTB チームを率いるリーダーの資質も従来とは真逆になる。それゆえにパラダイムシフトと称され、新しい産業革命と呼ばれる。
- ・CTB のリーダーはプロデューサー型・支援型のリーダーとなる。チーム内にどのような専門家を招集するかを決める。各専門家の能力を最大限に引き出す。チーム全体の目標が達成できるよう橋渡し・翻訳を任務とする。個々の専門家の背中を押し、仕事しやすくするように支援する。新しいタイプのリーダー像が必要になる。

## 7-4. 要約.4：ものづくり DX 推進上の課題

### 7-4-1. ものづくり DX の前提条件と壁（ギャップ）

#### ・ものづくり DX 推進の前提条件と「壁」

- ・ものづくり DX を推進するには、その準備段階として「ものづくり DX 推進」の「壁（ギャップ）」の解消・整備が前提条件となる。
- ・本事業では、壁（ギャップ）として、①標準化のギャップのほか、②リーンギャップ、

③マインドギャップ、④スキルギャップの4つを取り上げた。

・標準化の壁とリーンギャップ、マインドギャップ、スキルギャップ

- ・ **ものづくり DX** とはデータをデジタル化し、そこで生産された情報をネットワーク化により共有することがその原点であろう。とするとネットワーク化の効果を最大にするためにはデータ形式だけでなく、用語や業務のやり方・内容に至るまで**標準化・共通化・共有化**されている必要がある<sup>171</sup>。特に**国際標準の策定は各社協調すべき重要な領域**である。
- ・ **リーン生産方式**は、今や製造業のみならず世界の多くの産業で無駄を省き現場力強化のためのツールとして共有されている。もともとはトヨタ生産方式から発展したものである。リーンギャップがある状態<sup>172</sup>では国際競争力に危険信号が点る。
- ・ **マインドギャップ**は、ものづくり DX への取組みスタンスや業種にもよるが、このギャップを如何に早く埋めきるかが勝負の鍵である。
- ・ **スキルギャップ**は最も認識しやすいギャップである。インダストリー4.0 関連の英語圏の資料を見ると、このギャップに関する危機感が頻繁に見受けられる。
- ・ こうしたギャップを埋めつつ、**II型学習**の必要性を認識することが必要である。ものづくりをマスターするだけでは不十分であり、デジタルについても最低限そのリテラシーを身に着けるべき時代が来ている。

#### 7-4-2. 「オープン」と「つながる」、協調領域

・自前主義からつながる世界へ

- ・ ものづくり DX の推進によって、オープンでつながる世界が広がる。従来の自前主義にとらわれている企業は、一気に競争力を失うリスクが増大してきた。ものづくり DX ではデジタルが「つながる」・「オープン」・「スピード」という性格を有することから、「脱自前主義」「脱系列」「脱上下関係」という「真逆の転換」が不可避である。
- ・ どの何とどのようにつながるのか。あるいは、何をオープンにしていくのか。どこを協調領域にするのか、という考え方や捉え方が重要になる。
- ・ 従来では考えられなかった様な企業や大学、研究所、スタートアップ、事業主などを集めて仲間を組み（エコシステムの形成）、そうしたつながりから新しい事業機会を見つける。見つけることができた企業がブルーオーシャンに進む。企業間対等の原則で民主的なエコシステムを形成する。垣根を超えた仲間づくりは、文殊の知恵を組織間で生み出すことにつながる。

<sup>171</sup> 本専門部会の議論では「現場が5Sやリードタイムが短縮化され効率化しているとITの投資効果が出やすいのと同様に、業務が標準化されてからIT化すれば効率化を生む」、また「業務の本質は不変なので如何にシンプルにできるかは大変重要な問題だ」、「業務系を複雑にしない仕組みを、デジタル技術を使って示すことが重要」との指摘がみられた。

<sup>172</sup> 本専門部会の議論では「現場が5Sになっているとデジタル化できるが、なっていないとデジタル化できない。業務をもっとシンプルにして本当にやらなければならないことは何か」を突き詰めて考える必要があるとの指摘がみられた。

### ・業界全体の無駄削減と協調領域拡大の考え方

- ・協調領域と競争領域を区別する考え方のポイントは、その製品・サービスに対する需要家の選考判断への影響度合いにある。その領域が直接に競争力を左右するのであれば、それぞれが鎬を削って競争する。競争により需要家にとってますます魅力的な製品・サービスが提供できる。但し、足の引っ張り合いは避けたい。
- ・その領域が競争を左右するほどでもなければ、協調して協力しあうことにより、企業ごとに資源を費消しあうという**業界全体の無駄**を減らすことができる。
- ・国として、強いところ、得意なところは、企業間で競争してますます競争力に磨きをかける。他方、国として、弱いところ、不得意なところや苦手な技術であっても、公知・既知の部分は各社が協調して**投資の無駄**を省き競争力を高めていく。
- ・各社それぞれの事業が相互補完的ゆえに強みを発揮しうる場合には、各バリューチェーンのそれぞれを**持ち寄って統合されたシステム**を組み上げて繋がり合うことが全体としての競争力強化につながる。

### ・協調領域拡大による国際競争力の強化

- ・協調領域とはそもそも業界共通の課題や各社共通の課題を発掘し、切り分けたうえで、連携・協業・協同・協働していこうという発想である。ものづくり DX で「**つながる**」ためのベースとなる考え方である。
- ・間接業務面でも協調するメリットは大きい。個別企業の枠組みを超えた業務の共通化・標準化ができれば、それを教育システムに組み込むことでドイツのような入社研修の負担軽減やシステム化のカスタマイズ費用の削減に寄与しうる。
- ・業界での作業の標準化をはじめ、DXに伴い発生する新しい業務に対応した資格制度の検討やデジタルに対応した基礎知識、実習・演習など、研修面での協調の意義は大きい。
- ・個社ではできにくかった取組みが協調することで可能になる領域が日々増大している。

## 7-4-3. ものづくり DX 推進の長短課題

### ・ものづくり DX を推進のための目先の課題

- ・ものづくり DX 具体化を検討する過程であぶりだされた課題をみると、いずれも一朝一夕には難しい課題が多い。そこで目先の課題と長期の課題を分けて考えることにする。
- ・目先の課題は、II型能力の獲得をチーム（集団）として目指すこと。DX を推進するチーム（CTB）は、ものづくりの専門人材<sup>173</sup>とデジタル専門<sup>174</sup>の両人材の混成チーム(II

<sup>173</sup> 本専門部会の議論では「ものづくり専門人材」については「ものづくりの根幹は不変」という見方がある。具体的には「デジタルツールを使った結果の正しさを判断できる」「良否判断の基準をつくれる」「顧客のニーズを正しく理解してものづくりに反映できる」といった点があるが、その根底に「基礎技術を理解して本質的なものづくりを考えることができる」とことの重要さがあると指摘されている。

<sup>174</sup> デジタル専門人材が有するスキルの例として、WEF ではデータアナリスト、デジタル技術機器操作スキル、4IR 技術（第四次産業革命関連の技術）やデジタルツールの使用、プログラミングとコーディング、意思疎通・協働・変動管理、問題解決、事業ニーズのデジタルへの翻訳、品質、サイバーセキュリティを挙げている。（WEF, White Paper “Global Insights from the Forefront of the Fourth Industrial Revolution”, Dec.2019 より作成）また、本専門部会の議論では「情報システム向け要件定義ができる

型チーム)となる。Ⅱ型チームは、現役の従業員を主体としつつも、デジタル専門人材としてのデジタル系スタートアップやデジタル系フリーランス等の**海外人材**を含めた多様な外部組織・人材も構成員として参加する。

- ・Ⅱ型チーム（組織）では、他組織との協業や若手への権限移譲など、従来とは異なる人材登用と運営が可能な組織への改変が必要となる。チームの運営スタイルは、従来型の**管理統制型のピラミッド型**ではなく、**各専門家同士は対等・フラットで創造的であること**を原則とする。また、Ⅱ型チームのリーダー像は、これまでのような論功行賞型やⅠ型（単一の専門特化型）ではなく、**各専門分野を横断的に見渡すことのできる全体俯瞰力に長けたプロデューサー型・支援型**<sup>175</sup>の人材が必要になる。

#### ・ものづくり DX を推進のための長期の課題

- ・長期の課題としては、Ⅱ型人材を目指す個人を育成・支援することである。Ⅱ型人材は短期間で一気にこれを確保育成することは難しい。そこでまずⅡ型チームを形成してもものづくりとデジタルの専門家が相互に学習しあう（Ⅱ型学習）といった新しい環境下で日進月歩のデジタル技術の習得に勤む必要がある。こうしたⅡ型の修練研鑽を積み、腕を上げつつ、さらに前人未到の域を目指す人材が、本専門部会とその前身の部会で取り上げてきた TAKUMI 4.0 である。

### 7-4-4. TAKUMI4.0 の新しい位置づけ

#### ・ものづくり DX における TAKUMI4.0 の位置づけ

- ・TAKUMI 4.0 とは狭義には、ものづくりに習熟した現場力をデジタル化し、DT/CPS といったデジタルツールを使いこなして精進を重ね、ツールの改善にも寄与できるⅡ型人材の最終形(Ⅱ型の初・中・上級というレベルを経た最終の到達点レベル)である。
- ・広義にはデジタルマインドを理解し、暗黙知の形式知化・デジタル化に協力しつつ、本業のものづくりの技を磨き続ける人材としている。
- ・デジタル経済に係る就業環境整備と法的枠組みの見直し
- ・海外人材や多様な就業形態のもとで各人材が働けるような法的枠組みは、従来の延長線では取り扱えない可能性が高い。ドイツの Arbeiten 4.0 のように、別途、労働法、安全衛生法、会社法、競争法、情報保護法などの多岐にわたる本質的な検討が必要になる。

---

人」「情報処理の上手な人」との指摘があった。

<sup>175</sup> 詳細は本文 4-3-1.を参照

## 7-5. 要約.5：ものづくり DX の推進人材（人材像・育成上の課題・継続学習）

我々は従来同様に熟練技能や匠を尊重・伝承し、着実に次世代を育成していく一方で、ものづくり DX という新しい課題にも同時並行的に取り組む必要に迫られている。但し、ものづくり DX の進展に合わせ、伝承すべき技術・技能の内容は変化していく。

### 7-5-1. ものづくり DX 推進人材に求められる能力

#### ・必須となるデジタルリテラシーとⅡ型能力

- ・ものづくり DX が進むと、RTB に属する「従来型の既存人材」も、遅かれ早かれ最低限のデジタルリテラシーを身に着ける必要に迫られる。
- ・単にデジタル技術を理解するのみならず、デザイン思考やシステム思考といった従来とは全く異質な思考や発想・考え方などのデジタルマインドを習得しつつ、進歩発展を続けるデジタル技術を使いこなす。エンプロイヤビリティ上も企業競争力上も必須になる。
- ・デジタル技術の習得には時間がかかる。Ⅱ型人材の育成は、長期の課題となる。
- ・習得したデジタル技術をⅡ型チームの中で駆使することによって、加速する「デジタルスピードの世界」への対応力を身につけ、スキルギャップを克服してⅡ型の人材となる。

#### ・Ⅱ型能力のレベル指標としての職業資格の導入

- ・Ⅱ型能力は、習得レベルに応じて初級・中級・上級・TAKUMI4.0 と段階的表示が可能である。このレベルに職業資格を導入できると、習得レベルが見える化され、ものづくり人材がⅡ型人材を目指すときの指標の役割を果たすことができる。
- ・Ⅱ型学習を積み重ね、Ⅱ型能力を極めることができたⅡ型人材が狭義の TAKUMI4.0。一方、匠として技を磨き続けながら暗黙知の形式知化・デジタル化に協力を惜しまない匠は広義の TAKUMI4.0 とした。

#### ・ものづくり DX 人材に必要な能力

- ・IoT・AI 活用時代に向けて、ものづくり DX を進めるための人的要件として、ものづくり個々人のデジタル活用能力（Ⅱ型能力）を高めること、及び、従来とは異なるフラットという新しい組織形態のなかでの協働作業ができること。この二つへの適応能力が重要になる。
- ・Ⅱ型能力を身に着ける過程では、デジタルネイティブといわれる新世代ともフラットな関係のもと、「デジタル」と「ものづくり」の考え方の違い（マインドギャップ）や技術等を相互に学習・補完し合い、伝承しつつ、新時代の製造業への変革を進めていくことが求められる。
- ・ものづくり DX が進んでも残る匠の技
- ・匠の技は絶えず科学され解明され、いつかは形式化され、デジタル化されていく。しかし、本専門部会の議論によれば、匠の技のデジタル化が完全に進み切るとは考えにくい。

デジタル化が進んでも依然として一定の匠の技は必要になる。

## 7-5-2. ものづくり DX を推進する人材像

### ・長期的に目指すべきⅡ型の人材像

- ・ものづくりに係る人材にとって、本当に優秀とされる根幹たる能力とは「問題を発見する気づき力、課題を設定して解決できる力、事業を具体的に推進できる力、俯瞰力ある人材」だといわれてきた。この点は時代が変わっても変わらないものの、これからの人材は「データの利活用ができるデジタル習熟人材」であることが加わる。これがこれからの優秀さである。Ⅱ型の能力・リテラシーの構築・増強が求められる所以である。
- ・Ⅱ型チームのなかで相互に学習しあうⅡ型学習を通じて、最終的にはⅡ型の能力・リテラシーを身に着けていく。そしてものづくり技術の習熟に加えて、デジタル技術も段階を踏みながらレベルアップをはたしていく。「Ⅱ型人材」のうち、デジタル技術も使いこなせる究極の達人がⅡ型人材の最終形 TAKUMI4.0 である。

### ・リーダー像

- ・ものづくり DX を推進する過程では、デジタルネイティブといわれる新世代ともフラットな関係を築き、「デジタル」と「ものづくり」に関する考え方や技術等を、相互に学習・補完し合い、伝承しつつ、新時代の製造業への変革を進めていく人材が求められる。それ故に、Ⅱ型チームでは相互に学習・補完が進めやすいフラット化が必要になる。
- ・CTB チームのリーダーの位置は、ヒエラルキーの頂点ではない。メンバーが集う円形の内側か、円周上にいるといったイメージである。上下関係ではなく、お互いが支えあい、支援し合うフラットな関係づくりにより、個々の専門性の総和を最大化する。
- ・AI の考え方とエンジニアリングの考え方は真逆だとの指摘がある中で、Ⅱ型チームのリーダーには、ものづくりとデジタル両者間の考え方の大きな溝について、橋渡し(ブリッジ)機能や翻訳・調整・統合する機能が求められる。
- ・リーダーは、メンバー一人ひとりがチームの目的を共有し、かつ各員が持つ固有の潜在能力を十二分に発揮できるように支援しつつ、チーム全体としての成果をミッションとして最大化できるようにリードする、アウトカム重視の役割を負う。いわば「プロデューサー型」「支援型」のリーダーである。

### ・経営層とプロデューサー型・支援型リーダーの役割

- ・経営層に求められる役割は、ものづくり DX を最優先課題に位置づけ推進するという断固たる決断である。その上で、推進チーム（CTB）の従来型組織（RTB）からの切り出しと CTB の活動をきちっと庇護・保証し外部から妨害されないよう支援することである。
- ・プロデューサー型・支援型リーダーの役割は、激しく変化する環境下でもものづくり DX を推進するメンバーを選定し、多様なメンバー間の橋渡し機能を発揮するとともに、メンバーの力量を十全に引き出せるよう支援することである。

### 7-5-3. ものづくり DX 推進人材の育成と課題

#### ・スキルギャップとその対策

- ・ものづくり DX に伴い、人の役割が変化していくと、求められるスキルや資格も変わる。それゆえに既存の従業員にも何らかのスキル対策等が必要になる。これがスキルギャップである。
- ・これから習得すべきデジタル技術は、技術自体が絶えず更新され続ける宿命にある。デジタル技術の進歩に即しつつ学習し続けるという変化適応力は、一般に若年世代が中高年世代を上回る。ドイツでも同様であるという。ものづくりの現場で行われてきた OJT 主体では難しい。業務の繁忙を勘案した比較的短期間で有効な、Off-JT による教育研修と実習の機会を適切に提供することが必要になる。

#### ・海外のスキルギャップ対策と新しい教育のトレンド

- ・海外では製造業がイノベーションの原動力として再重視されるとともに、インダストリー4.0 や AI の進歩を背景とした特に西欧圏の教育動向が注目される。
- ・ドイツでは大学の役割として「研究、教育、(中小企業等への) 技術移転、(知識の) 社会移転」の四つが挙げられており、実学的な理数系教育への注力 (MINT) と実務・実習機会重視の伝統のもと、インダストリー4.0 への対応が進んでいる。
- ・英国でも“Education 4.0”と銘打ったシンポジウムが開催されている。デンマークでは早くも幼児教育の段階から従来の「教える教育」から「自ら考え解決策を探らせる教育」へという転換の試みがみられる。

#### ・アンラーニングの必要性

- ・これまでの経験は、デジタルという新しい概念を導入する上で障壁となり抵抗となることから、いったんご破算にして学びなおす「アンラーニング」が必要になる。
- ・細部に注目して分析する「ルーペ (ズームイン)」方式から、全体が見渡せる「ズームアウト」へのシフトが求められる。この他、リーンスタートアップのような「失敗の許容」、「階層制御」の放棄、「小さく始める」、「段階的に変更」などなどの新しい視点 (デジタルマインド) への切り替えが重要である。

#### ・継続的な学習環境整備の重要性

- ・ものづくり人材がデジタル技術のような新しい技術を身につけるには、相応の社内外の教育研修制度の拡充や研修に没頭できる環境整備などが必要になる。
- ・人的資本投資を是とする戦略的投資スタンスのもとで、既存従業員に対する充実した教育研修機会が提供できるかが問われる。

## 7-6. ものづくり DX の推進に向けて～“スピード”が鍵

1年前の2019年3月29日、ドイツのプラットフォーム インダストリー4.0 から、ニュースとして「2030 Vision for Industrie 4.0」が発表された。そこには、インダストリー4.0 は根本的に生産メカニズムを「変えた」と現在完了形で記されている。さらに**ガチガチのバリューチェーンは、柔軟で俊敏な、つながったバリューシステム**になると言明されている。また、インダストリー4.0 の全体を展望する指針として、「自律性」「相互運用性」「持続可能性」の三つを挙げている。

本専門部会での検討結果を短縮すると「“ものづくり DX”推進に向けた『II型能力』の構築」をスピーディーに速やかに築き上げることが最も重要だという点にある。

機械工業にとってII型能力とは、様々なデジタルツールを、機械工業の問題意識に沿って自在に使いこなすことである。デジタルツールは日進月歩の技術である。しかしその気になれば、オープンソフトウェアの如くいつでも導入可能である。II型とはその字形の両足をそれぞれ「ものづくり」と「デジタル」に見立てたものである。「II型能力」を身に着けるためには従前のような**自前主義**へのこだわりを捨て去るとともに、**デジタル特有のものの考え方や発想**に親しみ、まずやってみること、**失敗**を排除せずに、むしろ失敗を学習経験や無形知的資産とみるような前向きの捉え方をする。こうした**発想の大転換**をするために提案されているのが「**アンラーニング**」である。「アンラーニング」とは、従来学んできたこと、経験してきたこと、蓄えてきた知見やノウハウなど、ものづくりに特有のリテラシーをいったんご破算にすることである。そのうえで**デザイン思考、システム思考、モジュール思考、リーンスタートアップ的発想**を新たに学びなおす。このような素養が「**デジタルリテラシー**」であり、**考え方や心持のありようが「デジタルマインド」**である。「**デジタルリテラシー**」と「**デジタルマインド**」が身につけば、デジタルスピードをものづくりに取り込むプロセスである「ものづくり DX」を推進することができる。

結局、**製造業のパラダイムシフト**とは、ものづくり DX を推進することによって、**デジタルの持つ圧倒的なスピードを製造業に取り込むこと**にほかならない。

「**II型人材**」は、ものづくりとデジタルの両方に通じた「II型能力」を身に着けた人材である。機械工業として即スーパーマンを求めるわけにはいかない。本専門部会ではまずチームを組み、チームとして「II型能力」を学習するという方向を考えてみた。ものづくり各分野の専門家とデジタル各分野の専門家からなる「**II型チーム**」をつくる。それぞれの専門家がお互いの専門を学習しあう「**II型学習**」を進める。学習が進むにつれ、II型能力は、順次、初級から中級、上級へとレベルを上げる。その最終到達レベルをTAKUMI4.0とした。このII型のチームがII型学習し、II型能力を高め、II型人材となる一連の流れは昨年度報告書の「II型の拡張」に相当する。今年度はこの「II型の拡張」のながれを“II型 2.0”として従来型のII型との違いを打ち出した。

「**II型人材**」とは、前述各級のII型能力を有し、かつ、幅広い知識の下で、ものづくりとデジタルの両知識をより深く融合できる人材を指す。

ものづくり DX の推進の究極の目標は、既存組織（RTB）のデジタル化普及（DX）にある。しかし、一気に進めることは現実的とは言えない。そこでものづくり DX の推進チーム（CTB）を立ち上げ、ここで様々な取組みをやってみる。小さな試行錯誤を繰り返し、RTB になるほどという成果を積み重ねつつ、RTB 自体にもデジタル化による変革を及ぼす。

CTB はⅡ型チームである。それぞれの分野で一家言のある専門家集団である。そうした専門性をチーム全体で総合し、融合して初めて成果が生まれる。Ⅱ型組織は必然的に従来型統制管理型の組織ではなく、**民主的でフラットな組織**になる。リーダーは各メンバーの専門性を最大限発揮できるようにプロデュースし、また、その活動を支援する。それゆえにものづくり DX の推進チームのリーダーは**プロデューサー型・支援型のリーダー**が必要になる。

機械工業にとっての第四次産業革命とは、「**ものづくり DX**」推進による**デジタルスピードの機械工業への取込**のことであり、その取込の必然性が「**製造業のパラダイムシフト**」という概念を生んだ。いずれにせよものづくり DX の流れにいち早く取り組むその**スピードこそ**が鍵であり、競争優位に立つための大前提となる。ものづくり DX を前に、立ち止まってじっくり検討しているときは過ぎた。デジタルツールは、すぐ目の前にある。すぐに取り組む。すぐ始める。ものづくり DX の最も重要な要件はまさに「**スピード**」にある。

もう一つ大事なことは、人口減少が進む中で**次世代の優秀な人材を如何に製造業に引き寄せるか**という難問がある。GAFA に代表される IT 系企業はその影響力が地上のものづくりに及びつつあることだけが問題ではない。**理数系の最優秀層を惹きつける力**が圧倒的だという点にある。**産業間での人材獲得競争**が始まった。ティール組織のようなフラットなⅡ型組織の本格的導入など、若者を惹きつける働き方改革にまで踏み込む覚悟こそ、ものづくり DX が突き付けているテーマである。**アンラーニング**の必要性もここにある。

## 参考資料

- “National Skills Strategy” ドイツ労働社会事情省、教育研究情報省、Jun.2019  
<https://www.bmas.de/EN/Our-Topics/Initial-and-Continuing-Training/national-skills-strategy.html>
- acatech DISCUSSION “Revitalizing Human-Machine Interaction for the Advancement of Society” Perspectives from Germany and Japan H.Kagermann, Y.Nonaka(Eds.)
- acatech Industrie 4.0 Maturity Index 2017.4.25 の英語版から  
[https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/acatech\\_STUDIE\\_Maturity\\_Index\\_eng\\_WEB.pdf](https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/acatech_STUDIE_Maturity_Index_eng_WEB.pdf)
- VDI/VDE Agents for the realization of Industrie 4.0” VDI Status Report August 2019
- VDI/VDE ”Arbeitswelt Industrie 4.0” VDI-Statusreport November 2016
- VDI White Paper “Industry 4.0 a Discussion of Qualifications and Skills in the Factory of the Future ; A German and American Perspective” April 2015
- Industriall “The Challenge of Industry 4.0 and the Demand for new answers”2018
- [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Global\\_Lighthouse\\_Network.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Lighthouse_Network.pdf)
- WEF, Global Lighthouse Network: Insights from the Forefront of the Fourth Industrial Revolution
- WEF Insight Report “Top10 Emerging technologies 2019”, June 2019
- WEF “5 reasons not to delay your digital transformation”29 Jun. 2019 Lawrence Whittle (CEO)
- WEF : White Paper January 2019 In collaboration with McKinsey & Company Fourth Industrial Revolution Beacons of Technology and Innovation in Manufacturing
- WEF, Global Agenda Annual Meeting of the New Champions 2019 Leadership 4.0: Succeeding in a New Era of Globalization Dalian, People’s Republic of China 1-3 July [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_AMNC19\\_Report.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_AMNC19_Report.pdf)
- HBR How the World’s Oldest Company Reinvented Itself January 30, 2018  
<https://hbr.org/2018/01/how-the-worlds-oldest-company-reinvented-itself>
- ChemEngOnline “Workforce 4.0: The Human Side of Digital Transformation” By Scott Jenkins, Chemical Engineering magazine | December 1, 2019  
<https://www.chemengonline.com/workforce-4-0-the-human-side-of-digital-transformation/?printmode=1>
- News & Views from the ALT Community ~ (ALT:Association for Learning Technology) <https://altc.alt.ac.uk/blog/2020/01/m25-ltg-autumn-2019-education-4-0/>
- The Hindu com”Entrepreneurship should begin in school” Aravind Chinchure Feb.08.2020  
<https://www.thehindu.com/education/entrepreneurship-should-begin-in-school/article30769384.ece>
- COMMUNITY “The future of Work for Millennials(and Gen Z) is Bleak Unless-----//2019.10.5 Patrick Ow(Risk Expert)
- IMD  
<https://www.imd.org/wcc/world-competitiveness-center-rankings/world-digital-competitiveness-rankings-2018/>

- The Drum Network “Automation and employment: How universities must respond to Industry 4.0”  
<https://www.thedrum.com/opinion/2020/01/30/automation-and-employment-how-universities-must-respond-industry-40>
- “Innovative Manufacturing SME’s in the Context of Industry 4.0:
- IntechOpen “A Formal Approach” Teresa Taurino and Agostino Villa”, 2019
- OTTOMOTORS COM、Five Key Industry 4.0 Technologies Jan 02, 2020  
<https://ottomotors.com/blog/5-industry-4-0-technologies>
- IFS 社の 2016 年白書「デジタル・トランスフォーメーションと製造業 今なすべきことと」
- CTI Digital の Director Paul Johnson 氏は、The Drum Network の“Automation and employment: How universities must respond to Industry 4.0”
- “4th Industrial Revolution will inevitably cause major shifts” By Isaac Cheifetz PACE OF CHANGE July 26, 2019  
—<http://www.startribune.com/4th-industrial-revolution-will-inevitably-cause-major-shifts/513206192/>
- Aug 6, 2019, 08:10pm “The Future of Manufacturing Technology” Columbia Business School - the Eugene Lang Entrepreneurship Center Columbia Business School - the Eugene Lang Entrepreneurship Center  
<https://www.forbes.com/sites/columbiabusinessschool/2019/08/06/the-future-of-manufacturing-technology/>
- 「Composites 4.0: digital assistants, edge computing and the future of smart factories」10/17/2019 Ginger Gardiner Senior Editor, CompositesWorld  
<https://www.compositesworld.com/blog/post/composites-40-edge-computing-digital-assistants-and-the-future-of-smart-factories>
- Manufacturer’s Monthly “Combining Lean manufacturing and Industry 4.0” 2019.4.29 このほか Manufacturer’s Monthly 各号版
- OECD Education 2030 Project
- Minneapolis Star Tribune Online “4th Industrial Revolution will inevitably cause major shifts” By Isaac Cheifetz PACE OF CHANGE July 26, 2019 — 2:10pm
- 産業構造審議会 2050 経済社会構造部会 中間報告「第四次産業革命に向けた産業構造の課題と方向性」令和元年 5 月
- 経済産業省 DX レポート ～IT システム「2025 年の崖」の克服と DX の本格的な展開～
- 経済産業省「DX 推進ガイドライン」2018 年 12 月
- エリック・リース(著)、井口 耕二 訳「スタートアップ・ウェイ」予測不可能な世界で成長し続けるマネジメント、2018 年 5 月 28 日日経 BP 社
- PTU 技能科学研究会編 「技能科学入門 ものづくりの技能を科学する」 2018.2.26 (株) 日科技連出版社
- 「産業界ニーズの実態に係る調査結果及び AI 時代に必要な人材について」平成 30 年 3 月 29 日、経済産業省
- IMS(Intelligent Manufacturing Systems 製造科学技術センター  
(<http://www.mstc.or.jp/business/ims/docs/ims20nenshi.pdf#search=%27IMS%28Intelligent+Manufacturing+Systems%27>)
- 研究開発：日立 ([https://www.hitachi.co.jp/rd/portal/glossary/en\\_i/ims.html](https://www.hitachi.co.jp/rd/portal/glossary/en_i/ims.html)) や [http://dndi.jp/12-furukawa/furukawa\\_5.php](http://dndi.jp/12-furukawa/furukawa_5.php), <https://www.ims.org/>など
- 一般社団法人日本機械学会生産システム部門 生産システム設計スキル評価小委員会「生産シミュレーションによる生産システムデジタル設計スキル標準 v 1.0 (2017.12.7)

[https://www.isme.or.jp/msd/html/95/productionSimulationStandard\\_V1.0.pdf](https://www.isme.or.jp/msd/html/95/productionSimulationStandard_V1.0.pdf)

- 舘 暲 (東京大学名誉教授)「テレイグジスタンスの新展開」日本ロボット学会誌 Vol.36 No.10,pp.658~662,2018 から抜粋
- 東京大学太田順教授、R1.10.10 RRI 第 31 回 IoT による製造ビジネス変革 WG 会合配布資料「次世代生産システムの設計・運用基盤構築と人材育成」
- 一橋ビジネスレビュー各季号
- 一橋大学大学院国際企業戦略研究科鈴木智子准教授、一橋ビジネスレビュー 2019 WIN 号「ブランドマネージャー」は「支援型リーダー」
- 一橋ビジネスレビュー 2004、一橋大学イノベーション研究センター中馬宏之教授「日本のサイエンス型産業が直面する複雑性と組織限界」、WIN.52 巻 3 号、
- 日経ものづくり各月号
- NIKKEI Robotics 各月号
- 
- 新國 翔大(CONTRIBUTOR,フォース ジャパン編集部 エディター)、2019/11/13 10:00 Forbes On-Line ついに黒船上陸——学費無料の仏発エンジニア養成機関「42」東京校が来春オープン 学費無料、24 時間 365 日オープン、教師なし——  
[https://forbesjapan.com/articles/detail/30568?utm\\_source=owned&utm\\_medium=referral&utm\\_campaign=mailmagazine\\_1113\\_1882&utm\\_content=art2](https://forbesjapan.com/articles/detail/30568?utm_source=owned&utm_medium=referral&utm_campaign=mailmagazine_1113_1882&utm_content=art2)
- 株式会社リクルート リクルートワークス研究所 グローバルセンター「ドイツのフレキシブル・ワーク」 <https://www.works-i.com/column/flexibleworkuk/detail003.html>
- 「モデルベースエンジニアリング 導入の手引き」2013 年 8 月 IPA 独立行政法人情報処理推進機構
- アジャイル領域へのスキル変革の指針「アジャイル開発の進め方」2018 年 4 月 IPA 独立行政法人情報処理推進機構
- 「デジタル・トランスフォーメーション推進人材の機能と役割のあり方に関する調査平成 31 年 4 月 12 日 IPA 独立行政法人情報処理推進機構
- 「IT 人材白書 2019」概要 2019 年 5 月 10 日 IPA 独立行政法人情報処理推進機構 社会基盤センター
- サーキュラー・エコノミーが導くビジネスモデルの変革、2019.7.30、  
accentureconsulting  
梅田靖東京大学大学院工学系研究科教授(精密工学専攻)「日本型デジタルものづくり デジタル・トリプレット」  
<http://cerpo-www.t.u-tokyo.ac.jp/news/upload/2.umedayasushi-sensei.pdf>
- 独) 高齢・障害・求職者雇用支援機構 (JEED) 求職者支援訓練部新訓練推進室「ドイツにおける職業訓練状況等調査の概要」令和 2 年 2 月 6 日
- 独) 高齢・障害・求職者雇用支援機構 (JEED) 求職者支援訓練部新訓練推進室入手資料,Duale Berufsausbildung Berufsbildung in Deutschland 21.11.2019
- 独) 高齢・障害・求職者雇用支援機構 (JEED) 求職者支援訓練部新訓練推進室 職業能力開発総合大学校「ドイツにおける職業訓練状況等調査報告書」令和 2 年 2 月
- 日本機械工業連合会 調査研究報告書、平成 30 年度 IoT・AI 時代のものづくりと人の役割変化への対応調査研究報告書 <http://www.jmf.or.jp/houkokusho/2046/3.html>
- 日本機械工業連合会 調査研究報告書、平成 29 年度 IoT・AI 時代のものづくりと人の役割変化への対応調査研究報告書 <http://www.jmf.or.jp/houkokusho/1741/3.html>

- 日本機械工業連合会 調査研究報告書、平成 28 年度 「世界の製造業のパラダイムシフトへの対応調査研究報告書」 ―新しい現場力と絶えざる進化を目指して～ TAKUMI4.0― <http://www.jmf.or.jp/houkokusho/1505/3.html>
- 日本機械工業連合会 調査研究報告書、平成 27 年度 「世界の製造業のパラダイムシフトへの対応調査研究報告書」  
―ICT の徹底活用と新しい現場力”TAKUMI4.0 を目指して”―  
<http://www.jmf.or.jp/houkokusho/1278/3.html>
- 日本機械工業連合会 調査研究報告書、平成 26 年度 「世界の製造業のパラダイムシフトへの対応調査研究報告書」 <http://www.jmf.or.jp/houkokusho/1107/3.html>
- 日本機械工業連合会調査研究報告書、平成 25 年度 国際交流の推進活動 **理数系基礎学力の強化とものづくり人材育成の課題**に関する調査研究報告書（Ⅲ） ―理数系グローバル人材育成・教育に関する調査専門部会報告書―  
<http://www.jmf.or.jp/houkokusho/1/3.html>
- 日本機械工業連合会 調査研究報告書、平成 24 年度 国際交流の推進活動 **理数系基礎学力の強化とものづくり人材育成の課題**に関する調査研究報告書（Ⅱ） ―理数系グローバル人材育成・教育に関する調査専門部会報告書―  
<http://www.jmf.or.jp/houkokusho/2/160.html>
- 日本機械工業連合会 調査研究報告書、平成 23 年度 **理数系基礎学力の強化とものづくり人材育成の課題**に関する調査研究報告書 ―理数系グローバル人材育成・教育に関する調査専門部会報告書― <http://www.jmf.or.jp/houkokusho/3/3.html>
- 日本機械工業連合会 調査研究報告書、平成 19 年度 **ものづくり人材育成のためのデュアルシステム**に関する調査研究報告書 <http://www.jmf.or.jp/houkokusho/7/393.html>

非 売 品  
禁無断転載

令和元年度

IoT・AI 時代のものづくりと人の役割変化への対応調査研究

発 行 令和 2 年 3 月  
発行者 一般社団法人日本機械工業連合会  
〒105-0011  
東京都港区芝公園三丁目 5 番 8 号  
電話 : 03-3434-5383