

# インダストリー4.0とイノベーションのジレンマ



千葉商科大学経済研究所 客員研究員

塚田 修

TSUKADA Osamu

## プロフィール

早稲田大学理工学部大学院卒業後、独国 Stuttgart 工科大学へ国費留学。ドイツ工作機械企業、スイス多国籍企業、米国企業勤務。INSEAD の Management Development Program 終了。McGill 大学 MBA 取得。一橋大学大学院 ICS (International Corporate Strategy) にて博士(経営)取得。香川大学大学院地域マネジメント科教授、関東学院大学経済経営研究所客員研究員を経て千葉商科大学経済研究所客員研究員。

## 1. はじめに

日本の GDP は過去30年停滞しているとはいえ世界第3位である。しかし、日本生産性本部発表によれば2019年の日本製造業の一人当たりの労働生産性は、OECD加盟31か国中第26位で1970年以降最も低かった。コロナ禍を起点として再認識された日本のデジタル化の遅れがその生産性低迷要因の1つとして議論されている。近年、GAFAMをはじめとするICT界の成長は他業界にも大きな影響を与えている。DX、IoT、ビッグデータ、AI、ICT、ERP、MES、プラットフォーム等横文字のバズワードがマスコミを賑わせ出版物も多い。デジタル化に関心がある経営者にとってどうすれば自社へ導入し業績を上げることができるかという視点で考えると各著者の主張は明確なのだが全体像がわかり難い。本稿において製造業のデジタル化で知られているインダストリー4.0にフォーカスして論を進めたい。インダストリー4.0は製造業がGDPの約24%を占めるドイツの国家プロジェクトとして2011年に発足した。G7の中で製造業がGDPの20%を超える国は日

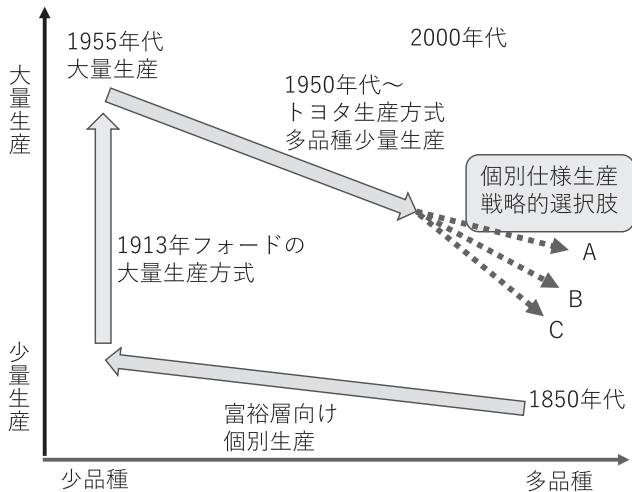
本とドイツだけである。日本の製造業を取り巻く内外環境もドイツと類似点が多いため有効な参考となる。

総務省が2021年7月に公表した「情報通信白書」によると2020年までにDXに取り組む企業は22.8%に達したが製造業に絞ると5%前後とその動きは鈍い。また、本稿の第4章の「調査と考察」のところで述べるように筆者らが実施した中小企業の経営者を対象としたインダストリー4.0に関するアンケートの結果は経営者の持つインダストリー4.0効果についての認識の混乱を示唆しているようである。事実、インダストリー4.0を代表とする製造業のデジタル化は戦略から活用技術面まで多岐にわたり総合的なものである。そのうえ、これまでの価値観と対立する点も多く、中小企業経営者にとってわかり難いと想像される。その導入効果が、中小企業にとって、わかり難いことはインダストリー4.0の普及促進の主要機関であるドイツ工学アカデミーも認めている(Schu,et.al,2020)。

インダストリー4.0発足の背景には需要と供給面がある。需要面として、新興国の急激な追い上げと競り合いによる製造業のパラダイムシフト(ものづくり白書,2021,2020,2019)、製造業労働者の不足・高齢化、顧客要望の多様化等、一方、供給面としては急速なテクノロジー進化(ムーアの法則やインターネットの出現)とIT機器の急激な普及と価格下落という面がある(エリック・シェイファー、2017)。

ドイツ(Yoram Koren,2010)は自動車製造の歴史を図1のようにとらえている。19世紀の富裕層向けの個別受注生産が始まり、20世紀にフォードシステムによる大量生産による大衆への普及、1950～2000年代、トヨタ生産システム出現により多品種少量生産が飛躍的に普及した。しかし、新興国も追いつき今後、ドイツは個別受注生産品へ移行せざるを得ないと考えている。これを実現する生産方式として、幾つか

の代替案が考えられる。ドイツはこの個別受注生産を迅速、フレキシブルかつ廉価に実現する能力構築が製造業を維持・発展させる喫緊の課題としてとらえ、インダストリー 4.0 を産学官で強力に推進している (Bauernhansl.T, 2014, Fraunhofer IAO, 2013)。



出典：Yoram Koren (2010)、尾木 (2015) を参考に筆者作成

図1 自動車製造業の歴史的変遷

しかし、多くの中小企業にとってこれまでの自動化やファクトリー・オートメーションとインダストリー 4.0 の違いを理解すること、そして、その中心コンセプトであるサイバー・フィジカル・システム (以後 CPS) の実態を知り、製造のフレキシビリティを実現することは容易ではない。一部にはインダストリー 4.0 の現状そのものに対する疑問 (光山他、2017) や ICT ですべてが可能になるという超楽観的思考を危惧する考えもある (藤本、2017)。そこで第3章の先行研究ではインダストリー 4.0 のどのような点が一部研究者の危惧を招き、中小企業にとってわかりにくいものになっているのかを5つの視点で分析する。この検討内容を第4章の「調査と考察」で使われるアンケート調査項目設計につなげる。インダストリー 4.0 を理解しその効果を実現し、日本の競争力を強化するためには、中小企業経営者が自社の経営課題をインダストリー 4.0 との関係でどのように捉えているかを知ることが重要となる。中小企業が課題解決のためにインダストリー 4.0 をどのように理解し、どこに危惧を感じているかの現状認識に関する調査研究は筆者の知る限り存在しない。本稿では、中小企業の持つインダストリー 4.0 に対する認識実態をアンケート調査で把握し、導入のあるべき方法を提示することで今後の日本製造業のデジタル化実現、生

産性向上、イノベーションの加速に貢献したい。

## 2. インダストリー 4.0 とは

インダストリー 4.0 とは、第4の産業革命を意味する。第1次は、水力・蒸気機関を導入した機械製造設備の導入、第2次は、電力をベースに分業化による大量生産、第3次は、エレクトロニクス、PLC、IT 技術活用、第4次は CPS の活用である。その本質は、「工場のあらゆる装置をインターネットに接続できるようにして、ネットワーク化しよう」ということである。インダストリー 4.0 とは、エレクトロニクス・IT 技術による (例えば PLC) 自動生産を促進した第3次産業革命 (以下、インダストリー 3.0) に対し、第4次産業革命と呼ばれ CPS の活用が特徴であるといわれている (尾木、2015、Bauernhansl.T, 2014)。

光山と中沢 (2017) は一橋ビジネスレビューへの論文で幾つかのポイントに言及し、インダストリー 4.0 が描いている姿は空論で、現場に行くと具体的な事実はないとしている。インダストリー 4.0 の主要推進機関の1つであるドイツ工学アカデミーは、段階的に発展する「成熟度」という考え方を提示し (Schu, et.al, 2020)、インダストリー 4.0 は段階的に実現するものであることを示している。つまり、インダストリー 4.0 は現時点ですべてが実現しているわけではない。表1に示すようにステージ1は、コンピュータ化、2は連結化、3は見える化、4は透視化、5は予知能力化、6は自律化となっており、1～2は従来からの自動化 (インダストリー 3.0) の範囲で、3～6がインダストリー 4.0 として区別されている。この区分は、前述した CPS (表1のデジタル・シャドウは CPS と同義語と考える) が含まれているか否かでなされている。

表1 インダストリー 4.0 の成熟度

ステージ名	ステージ内容
1 PC 化	コンピュータ化や IT 化が個々の設備機器単位の分離状態でなされる
2 連結化	企業内で使われている IT システムのデータは IP 等で相互に連結
3 見える化	作業の現状把握が IoT, ERP をデジタルシャドウで統合することで実現
4 透視化	“なぜ発生か”の真因をデジタル・シャドウが分析し意思決定を支援
5 予知能力化	シナリオをデジタル・シャドウでシミュレート、評価し人手で実行
6 自律化	意思決定をデジタル・シャドウに移譲し自律対応や決定を可能にする

出典：Schu, et.al, 2020 をもとに筆者抄訳

ここで成熟度の各ステージの内容を解説する。

ステージ1. (コンピューター化)。繰り返し作業や高精度作業はコンピュータにより自動化される。しかし、CNC 付きフライス盤のように、デジタル化で加工精度が高いが、設計システムと連結されていないため加工データの挿入が人手でなされる。個別の IT システムは、すべてが ERP (Enterprise Resources Planning) に統合されていない。つまり、個々のオペレーションやシステムはコンピュータ化されているが相互に連結されていない状態にある。

ステージ2. (連結化)。個別のシステムが部分的に連結している状態。設計の CAD データは製造の CAM と接続して自動的に挿入される。OT (Operational Technology System: 制御技術システム) は、IT (Informational Technology System: 情報技術システム) と結合し始めているが部分的である。IP (インターネットプロトコル) は普及し、IPv6 の出現で IPv4 より飛躍的 (340 潤、潤は 100 京 × 100 京) にアドレス数が増加した。

ステージ3. (見える化)。工場全体のデジタル・モデルを構築している。IoT によりオンライン、リアルタイムでオペレーション情報を収集し、工場で今何が起きているかを把握 (稼働状況の見える化) している。デジタル・シャドウ (CPS) が稼働している状態。

ステージ4. (透視化)。ある異常事態が何故起こっているかの理由 (Why) の真因分析をする。そのために大量に収集されたデータをビックデータ手法で、その意味や文脈を分析する。

ステージ5. (予知能力化)。将来に関するさまざまなシミュレーションを行い、最もあり得るシナリオを見つけることが出来る。デジタル・シャドウと組み合わせ、そのシナリオがどの位の確率で起こるかをすることもできる。これにより企業は将来の状況を予測し、適切なタイミングで適切な手を打つことができる。但し、対策を打つのは人手による。

ステージ6. (自律化)。デジタルシャドウの継続的な適用により会社は幾つかのタイプの意思決定を IT システムに任すことが出来る。これにより変化の激しい環境に素早く順応可能となる。自律化のレベルは意思決定の複雑さとコスト・ベネフィット比により決まる (Schu, et.al, 2020)。

インダストリー 4.0 と 3.0 の違いについて理解することは重要である。日本の大手製造業はインダストリー

3.0 の範疇であるファクトリー・オートメーションは先進レベルにある企業が多いが、インターネットを介してコンピュータを使うクラウドの使用は限定的であるようだ。日本は PLC を中心とする OT (Operational Technology) 市場に優位性を持つが CPS を含む IT (Information Technology) 市場を視野に入れた展開が今後必要と指摘されている (ものづくり白書、2021)。完全自動化工場思想では人間疎外が危惧されたのと異なりインダストリー 4.0 では、人間の能力は計画、管理監督、統括などに重要とされ人間作業者との協働が志向されている (Fraunhofer IAO, 2013)。このように CPS の活用等これまでの自動化製造とは次元が異なるものと位置付けられている。

### 3. 先行研究

インダストリー 4.0 を代表とする製造業のデジタル化は多面的であり、これまでの製造戦略と相対する価値観が多い。多くの中小業経営者にとってわかり難く混乱を招く原因と推測される。本章において、1. トヨタ生産方式をベースにした Lean 生産方式、および、それをデジタル化した Lean 4.0 (VDMA, 2018)、2. 設計思想を示すアーキテクチャー戦略、3. 近年著しく普及が始まった製造業のサービス化、そして、4. 多面的な顧客要望を満たすためのプラットフォーム戦略について整理することでインダストリー 4.0 の特徴となるこれまでとは異なる価値観を考察する。最後にインダストリー 4.0 が狙う 5. 顧客価値について考える。これらの要因を考察することで中小企業経営者へのインダストリー 4.0 導入戦略に関するアンケート調査の項目選定の参考とする。

#### 3-1 トヨタ生産方式と Lean 4.0

トヨタ生産方式は第二次世界大戦の敗戦で、日本の生産性がアメリカの 9 分の 1 であることを知らされてからスタートしたといえる (大野、1978)。基本思想は「徹底したムダの排除」でジャストイン・イン・タイムと自動化 (ニンベンのついた) の 2 本柱からなる。その思想は営々と改善に改善を積み重ね組織能力を構築する。現在も進化し続けている。大部屋によるすり合わせ、垂直統合による取引、自前主義、継続的改善などによる品質 (Q)、コスト (C)、納期 (D) を



中心とする「深層の競争力」(藤本、20001)は1980年代に日本の製造業を世界の頂点に押し上げた。今もなおその成功体験が忘れられないイノベーションのジレンマ(クレイトン・クリステンセン、2001)の一因となっているのではという意見もある。「Lean」という名称は、1970年代米国のMIT(マサチューセッツ工科大学)がトヨタ生産方式を調査研究したIMVP(International Motor Vehicle Program)の中で初めて命名された。このリーン(lean)という言葉は英語で「やせた」とか、「脂肪が無く健康的」なことを意味する。このリーンという言葉により「トヨタ」という社名を使わず一般名でそのコンセプトを示すことができるようになり、競合他社を含め世界中で本格的普及が始まったといえる。MITから参加していたJohn Krafcik氏により命名された(ウオマック他、1990)と言われ世界中に普及されている(塚田、2019)。その後、トヨタ生産方式とLean生産方式はそれぞれ独自の進歩を遂げているがその基本となる価値観は同じものと言える。

Lean 4.0はLean生産方式とインダストリー 4.0を組み合わせた造語で、近年日本以外の国で研究が盛んである(VDMA、2018)。トヨタ生産方式で改善につかわれるデータをセンサーにより取得することで効率化する。例えば、生産性指標である設備総合効率(価値稼働時間/負荷時間)算出のデータの取得は人手で行うと、時間がかかり、正確性に欠けるが、IoT機器の助けを借りると効率的に行うことができる。トヨタ生産方式は、多くの日本の中小企業経営者にとってなじみがあり製造に関するわかり易い価値観だといえる。

### 3-2 アーキテクチャー戦略

アーキテクチャーとはシステムの性質を理解するための概念である。システムのとらえ方にはいろいろあるが、アーキテクチャーは「分け方とつなぎ方」に着目する。つまり、「全体をどのように切り分け、部分をどのように関係付けるか」、別の言い方をすれば、「構成要素間の相互依存関係のパターン」によって表されるシステムの性質をアーキテクチャーという。インテグラル(すり合わせ)対 モジュラー(組み合わせ)、クローズド(囲い込み)対 オープン(業界標準)の2×2のマトリックスで表現することができる(藤本、2004)。日本の国際競争力を持つ製造業の自動車産業や軽薄短小の小型家電は、インテグラルでクローズな

事象に入る。一方、欧米企業の強いパソコン産業などは、モジュラーのオープン事象に入るものが多い。インダストリー 4.0の考え方は、コンポーネントをモジュラーにして、それらを組み合わせることで顧客の多様性に対応するマス・カスタマイゼーション(白井、2006, VDMA, Industrie 4.0 Forum, 2018)が基本戦略で、オープン化を支える様々な標準化、例えば、欧州各国が1984年に日本との技術的ギャップを埋めるために開始したといわれる Framework Program 等(内田、2017)が現在に至るまで精力的に進められている。近年では「モノのパスポート」などデジュール(公的標準)の戦略強化の兆しがある(中山、2022)。このアーキテクチャー戦略を一步進めた「オープン&クローズ戦略」(小川、2015)が注目されている。この戦略は、グローバルに急速に市場を席卷するためのオープン化と他社にまねされないインテグラルのキーコンポーネントの組み合わせである。例えば、アップルはiOSというインテグラルなオペレーティングシステムとAPI(Application Programming Interface)により標準化したインターフェースの組み合わせで構成され急速なグローバル普及と高い利益率を達成している。インダストリー 4.0の狙いは、世界のサプライヤーをオープン・ネットワークでつなぎ(標準化)スピーディーにしかも低コストで顧客の多様性に対応しようとするものであるがコア技術領域はあくまでインテグラルに保ち、特許などで他社の模倣を排除する構造と言われる(小川、2015)。その意味では、オープン&クローズ戦略に近いと推測される。

### 3-3 製造業のサービス化

近年、モノのコモディティ化が進み、顧客の求めるものは、モノの所有から体験・経験へ移行してきた。その変革の一つが製造業のサービス化である。2004年に出された米国のレポート「イノベート・アメリカ」でその流れは鮮明となった。この報告は、IBMのPalmisano会長が共同チェアマンを務めた米国競争力協議会が作成したものである。その頃、サービス・ドミナント・ロジック(S-D ロジック)という概念が現れた(高梨他、2019、C. コワルコウスキー他、2020)。

ドイツの自動車メーカー、ダイムラーのカーシェアリングサービス「car2go」は2010年開始された。製造業のサービス化の典型的な事例である。その最大の

特徴は「乗り捨て自由」にあるといわれる。それからかなり時間の経過した2018年にトヨタ自動車の豊田章男社長が「自動車メーカーから、モビリティサービスカンパニーになる」と宣言した。

表2 モノづくりとサービス化

	モノ志向の考え方 (Goods Dominant Logic)	サービス中心の考え方 (Service Dominant Logic)
目的	製品を売る	顧客に資すること
差別化要因	優れた製品機能、品質、標準化された製造プロセス	優れた顧客経験、サービス品質、標準化されたサービスプロセス
価値尺度	交換価値	使用価値/文脈価値
価値判断の主体	売り手	顧客（ユーザー）
マーケティングコンセプト	製品志向	顧客志向
組織の視点と組織構造	内部視点＝製品中心	外部視点＝顧客中心
メンタルモデル	この製品をどの位買ってもらえるか	この顧客にもっとも貢献できる方法は何か

出典：高梨他、2019、井上他（2010）を参考に筆者作成

モノありきの G-D ロジック (Goods Dominant Logic) では、モノそのものに価値があり、価値はモノによって創出されると考える。S-D ロジックでは、モノは使用されて初めて価値を持つと考え使用価値や文脈価値が大切となる。これらを判断するのはユーザーであり、ユーザーはその使用価値に代価を払う。ユーザーは企業と共に価値を共創するパートナーと位置付けられる。デジタル化を装備したつながる機器 (ICT 機器) では納入後も長く顧客の使用状態がオンラインリアルタイムで入手可能となる。インダストリー 4.0 は CPS により製造業のサービス化を加速する産業政策 (尾木、2015) といえる。

その点 G-D ロジックの企業にとっては製品を売るという目的から顧客価値への発想の転換が求められる。前述のトヨタのモビリティカンパニー (MaaS: Mobility as a Service) への宣言のように頭でわかったとしても行動につながるまで時間がかかる可能性がある。

### 3-4 プラットフォーム戦略

VDMA (ドイツ機械工業連盟) や BITKOM (ドイツ IT・通信・ニューメディア産業連合会) ならびに ZVEI (ドイツ電気・電子工業連盟) が、協業関係を構築しインダストリー 4.0 の普及に努めている。2013 年 4 月には、3 団体を事務局とする推進組織 Platform Industry 4.0 が発足した。ドイツでの第 4 次産業革命を目指して、現実的な標準勧告を産官学の関係団体や代表的な企業に示すことで、市場競争の前段階での協業とネットワーク化を推し進めることを目的に発足した (高梨他、2019)。

これまで各企業が独自に製品やサービス、サプライチェーンにおける「QCD」の優位性で競争してきた。しかし、プラットフォーム時代のビジネスにおいては、プラットフォーム企業が顧客との接点を持ち、そこから製品選択が行われる。顧客にとっての価値 (V) を、プラットフォームを活用 (P) し、エコシステムを構成するステークホルダーとの連携・シナジー (S) の下にいかに価値提供するかの「VPS」が、競争優位性を左右するように変わってきた。競争軸が「QCD」から「VPS」へ移っていると言える (内平、2019)。プラットフォーム型では、自社と他企業が共同して顧客の要望を満たすように活動する。異なる機器の接続や、通信、集められたデータの処理を行うクラウド、そして、セキュリティが一体となって提供される。プラットフォームを活用するにあたり 2 つの戦略が考えられる。一つは、自社でプラットフォーマーになる「プラットフォーム展開戦略」、もう一つは、既存のプラットフォーマーを徹底的に活用・連携してビジネス拡大を図る「既存プラットフォーム連携戦略」が考えられる (小宮他、2020、立本、2017)。こうしたプラットフォームの進展で、いわゆる産業ピラミッドは徐々に解体し、それぞれの分野で強みを発揮する企業が対等な立場でつながるプラットフォーム構造が生まれ自前主義とは異なる価値観が生まれる (野路、2022)。

### 3-5 顧客価値

筆者が最初に Customer Value Proposition (顧客価値) という言葉に接したのは 2012 年、M. ポーター教授の講演である。良い戦略を作るための 5 つのチェックの一番目が、「ユニークな顧客価値提案があるか」であり、どうしたら顧客価値提案が作れるのかが気になった。一橋大学の楠木建教授は、バリュープロポジションのことを「顧客に提供する価値の本質を凝縮して表現したもの」と定義し、「本当のところ誰に何を売めるのか」に対する答えと述べている (アルフレッド・オスターワルダー他、2015)。

クリステンセンはその著書「ジョブ理論」(クレイトン・M・クリステンセン、2017) の中で、顧客はある特定の商品を購入するのではなく、進歩するために、それらを生活に引き入れるという。この「進歩」のことを、顧客が片付けるべき「ジョブ」と呼び、ジョブを解決するために顧客は商品を「雇用」という。ジョブを“ある特定の状況で人が遂げようとする進歩”

と定義している。ジョブには機能面だけではなく、社会的及び感情的な側面もある点が特徴である。多くの場合機能面に焦点が絞られることが多いが、現実には、消費者の社会的および感情的なニーズが、機能的な欲求よりはるかに大きいことがあるという。彼は、「ジョブ」を説明するためにハーバード大学大学院のセオドア・レビットのいう“人は刃の直径が4分の1インチのドリルが欲しいのではない。4分の1インチの穴が欲しいのだ”という話を引用している。このように見ていくと、製造業のサービス化のところで触れた視点に類似していることに気が付くこととなる。実際に、顧客価値を設計することは難しいが、近年さまざまな方法論が開発されている。ビジネスモデルキャンパス(アレックス・オスターワルダー他、2012)には9個のファクターがある。「顧客セグメント(CS)」と「提案価値(VP)」で「誰にどんな価値を提供するかを明確にする。次に、「チャンネル(CH)」と「顧客との関係(CR)」でコミュニケーションをどうするかを記述する。そして、「主なリソース(KR)」、「主な活動(KA)」、「主なパートナー(KP)」でそのために経営資源をどう組み合わせ、どう調達するかを示し、「収入の流れ(RS)」、「コスト構造(CS)」で全体を示す。これまでの品質、価格、納期(QCD)とは異なる新たな価値観の発見といえよう。

以上、5つの先行研究のポイントをまとめると以下の表3のようなになる。従来の製品の持つ品質・コスト・納期(QCD)中心の戦略はデジタル技術進歩による新興国の追い上げが厳しく差別化が困難となりつつある。QCD向上から、迅速性、フレキシビリティ、サービス化そして顧客価値創造へと価値軸がシフトする。このことは従来からのQCDの重要性が無くなるということではない。QCDは基本であり続ける。この表は二項対立のような印象を与えるが、インダストリー4.0では「QCD中心」から「顧客や社会のため」へと価値観が拡大すると考えるのが妥当である。

表3 従来からの生産とインダストリー4.0の価値観

	従来からの生産	インダストリー4.0
価値観	Q:品質、C:コスト、D:納期 トヨタ生産方式に代表される	F:フレキシビリティ、 顧客や社会のための価値創造
狙い	自製品の効率化 継続的イノベーション	他社製品を含む業務全体の最適化 破壊的イノベーション
事例	コマツのKOMTRAX Lean4.0	LANDLOGのスマートコンストラクション

出典：筆者作成

コマツのKOMTRAXが自社の建機の盗難防止や稼

働状況の見える化により効率化する一方、LANDLOGはコマツの主要販売先である建設業界が抱える課題、深刻な人手不足の解決を目指し、オープンなIoTデジタル・プラットフォームを提供しコマツ以外の機器、例えば、計測用ドローン、他の建機やダンプカー稼働状況把握、その他顧客のニーズを満たすアプリケーションの運用を実現している(プレジデント経営企画研究会編、2018)。中立性を保つためにコマツはあえてLANDLOGという別会社を設立した。今後、サービス化やアーキテクチャーの新たな見方、プラットフォームを介しての他社との協業による顧客満足にフォーカスした戦略の検討が必要になるということである。従来からのQCDは基本として身につけながら新たな視点を持つという複雑性が、一部の経営者の混乱と誤解を生む可能性となっている。トヨタ生産方式での成功体験がイノベーションのジレンマ的にインダストリー4.0実現の阻害要因にならないよう行動する必要がある。

## 4. 調査結果と考察

### 4-1 調査項目

中小企業の経営者のインダストリー4.0についての認識実態調査を2021年秋、北九州工業専門学校の久池井茂教授と共同で行った。先行研究で得た知見をもとに作成した調査票は7つの大項目、45の質問項目に分けた。リッカート尺度の1(ほとんど無い)、2(少しある)、3(どちらともいえない)、4(ある)、5(大いにある)の5段階で評価された。7つの大項目の1.は「インダストリー4.0導入に関心とその「緊急性」」(以下、調査票の大項目及び質問項目は「」付で示す)である。2.はインダストリー4.0の「効果として期待すること」を知る。質問項目は「売上増加」「品質向上」「コスト削減」「納期迅速化」「フレキシビリティ向上」「人手不足解消」「作業環境(安全・単純等)改善」「グローバル化推進」「他社との業務連携」「環境問題解決(脱炭素等)」である。3.は「関心を持つインダストリー4.0の適用分野」。質問項目は、企業内バリューチェーンの補助活動(「経営全般」「人事労務」「技術開発」「調達」)4つと主活動(「購買物流」「製造」「出荷物流」「販売」「サービス」)5つ(Porter,1998)。また、企



業外を含む「サプライチェーン」と「他社との提携（エコシステム）」を、「受注売上管理」「購買管理」「生産計画」「在庫管理」「人事管理」「財務会計」「売上管理」「顧客管理」「ERP（企業資源計画）」「CAD/CAM」「グループウェア（Teams、サイボウズ等）」の項目は、Yes か No の二者択一で答えてもらった。5. は「インダストリー 4.0 の導入阻害要因」を「投資額が高い」「運用コストが高い」「運用人材不足」「問題解決能力に期待できない」の4つで評価。6. は人間作業として、「何らかの改善活動」と「小集団活動（全員で定期的発表）」の2つ評価した。改善活動について聞いた理由は先行研究で述べたように人間作業者の重要性和リーンの関係を知ることにある。7. は「現在実施中のインダストリー 4.0 に関わる活動」について、どの程度「AI 活用やビックデータ導入」、「機器へのセンサー装着」、「開発から製造へのデータ共有化」、「生産機器データをクラウドへ共有化」、そして「書類のペーパーレス化」が実践されているかについて問うた。

#### 4-2 調査結果

今回調査に回答した22企業は資本金6,985万円、売上は38億円、従業員数は118人が平均で中小企業庁の定義の中でも小規模企業である。質問項目別の回答状況は、1. 「関心」については最高点5中、平均3.95、標準偏差1.09。しかし、「緊急性」は、平均3.09、標準偏差1.06と企業により温度差が大きく相対的に危機意識は低いとみられる。2. の「インダストリー 4.0 の効果として期待すること」は、従来からの品質、コスト、納期（QCD）がそれぞれ平均3.86、4.14、4.05と高い。一方、「フレキシビリティ」は3.45、「グローバル化の推進」は2.91、「他社との業務提携推進」は3.09と相対的に低い評価であった。

3. の「インダストリー 4.0 の適用分野」は、「製造」が4.50と最も高く「サービス」が3.73、社外を含む「サプライチェーン」が3.59、「他社との連携（エコシステム）」は3.27であった。「稼働中の IT システム」については、「ERP」稼働中の企業は全体の27%と低い。一方「CAD/CAM」使用中は比較的高く68%（但し、2、3次元の識別なし）であった。「受注売上」は82%、「財務会計」が77%と高く、「グループウェア」が59%と比較的普及している。システムは個別に導入され、それらの連結性は殆ど実現していないと推測される。

5. インダストリー 4.0 の導入阻害要因は、「運用人材不足」が平均4.10でデジタル人材不足への危惧が最も高い。6. 改善活動の実施状態については、「何らかの改善活動」が平均3.73、「小集団活動（全員で定期的発表）」は2.68であった。リーン生産方式のベースとなる改善活動が低調である。7. 現在実施中のインダストリー 4.0 に関わる活動の「AI やビックデータの導入」は、平均1.86、「機器へのセンサー装備」は2.67、「開発から製造へのデータ共有化」は2.45、「生産機器データをクラウドへ共有化」は2.05で、IoT によるデータの水平統合や垂直統合、AI やビックデータの導入も低調であるが、一部実施されている模様である。

#### 4-3 考察

これまで説明したインダストリー 4.0 の成熟度（表1）について評価すると、4. 「稼働中の IT システム」と7. 「現在実施中のインダストリー 4.0 に関わる活動」の結果から前述した成熟度のステージ1と推測される。CPS の効果については、CPS 活用は当面関心の対象外であるしシュミレーションは行われていない模様。QCD からの価値軸の転換については QCD の平均が3.88で高いのに対し、「フレキシビリティ」が3.34と従来型の傾向が強い。適用対象の変化だが「グローバル推進」「サプライチェーン」「他社との連携（エコシステム）」がそれぞれ平均2.91, 3.59, 3.09であることからインダストリー 4.0 のオープンモジュール型の目的と適用分野が部分的に理解されていると推測される。人間作業者の役割について、「何らかの改善」が平均3.73で「小集団活動」が2.68。本来強みであるべき日本の改善活動の現状は極めて低調と言わざるを得ない。7. 「現在実施中のインダストリー 4.0 に関する活動」の平均が1.86～2.68あるので一部活動が試みられている模様。以上の考察からは、参加した中小企業の認識はインダストリー 3.0 の特徴に近く、これまでとは異なるインダストリー 4.0 の効果を理解することは必ずしも容易でないことが推測される。

先行研究の5項目で解析した如く、インダストリー 4.0 の新規の内容は多岐にわたり、従来からの経営戦略（例えば、自前主義でブラックボックス化）と相容れない部分もある。「関心あり」と「導入の緊急性」の間に、平均で約1.0の差がある。この差は、関心があっても行動の第一歩に繋がらない現状を示している。氾濫するマスコミ情報の中で、QCD の価値観と、顧客

価値中心の価値観が加わり、どこから何を始めれば良いかわからない状態にあると思われる。

## 5. 提言

この課題を打破するための提言として、①経営者自ら実施企業を訪れ現場を見て相手経営者と議論すること、これは筆者らの経験で、まさに「百聞は一見にしかず」でインパクト大である。②デジタル化を開始する時、自社のニーズを明確化し戦略を持つこと。良く言われるようにデジタル化は手段に過ぎないことを再

認識し、戦略を明確化する必要がある。この戦略とは、例えば、3段階に分けて実施することがわかり易く、効果が大いのではないか。第1段階でこれまで親しんだ価値観である自社の工程のQCDのデジタル化を達成し生産性を向上する。第2段階で、デジタル化による生産性の向上により余剰人員を生み出し、喫緊の課題であるデジタル人材を強化する。そして第3段階で従来の競争軸ではない、社会貢献や顧客欲求の創造を目的とするビジネスモデル(内平、2019)へと進みインダストリー4.0を実現するという段階を刻むことが現実的である。この3つの段階を明確に認識することが混乱を解消する方法と考える。

### 参考文献

- アレックス・オスターワルダー、イブ・ビニュール、グレッグ・バーナーダ、アラン・スミス、関和美訳(2015)。「バリュー・プロポジション・デザイン 顧客が欲しがる製品やサービスを創る」。株式会社翔泳社
- アレックス・オスターワルダー、イブ・ビニュール、小山龍介訳(2012)。「ビジネスモデル・ジェネレーション ビジネスモデル設計書」。株式会社翔泳社
- 井上崇通、村松潤一(2010)。「サービスドミナント・ロジック・マーケティング研究への新たな視座」。同文館
- 内田孝尚(2017)。「バーチャル・エンジニアリング 周回遅れする日本のものづくり」。日刊工業新聞社
- 内平直志(2019)。「戦略的IoT マネジメミネルヴァ書房
- エリック・シェイファール 河野真一郎、丹波直毅、花岡直毅監訳 井上大剛訳(2017)。「インダストリー X.0 製造業の『デジタル価値』実現戦略 日経BP社
- 大野耐一(1978)。「トヨタ生産方式」。ダイヤモンド社
- 小川紘一(2015)。「オープン&クローズ戦略、日本企業再興の条件」。株式会社翔泳社
- 尾木蔵人(2015)。「インダストリー 4.0 第四次産業革命の全貌」。東洋経済新報社
- クレイトン・クリステンセン、玉田俊平太監修/伊豆原弓訳(2001)。「イノベーションのジレンマ」。株式会社翔泳社
- クレイトン・M・クリステンセン、ダディ・ホール、カレン・ディロン、ディビット・S・ダンカン、依田光江訳(2017)。「ジョブ理論 イノベーションを予測可能にする消費のメカニズム」。株式会社ハーバーコリンズ・ジャパン
- 経済産業省、厚生労働省、文部省編(2018,2019,2020,2021)。「ものづくり白書」一般社団法人 経済産業調査会
- 小宮昌人(2021)。「製造業プラットフォーム戦略」。日経BP
- 小宮昌人、楊皓、小池純司(2020)。「日本型プラットフォームビジネス」。日本経済新聞出版
- コワルコスキー、W.ウラガ、戸谷圭子、持丸正明(2020)。「B2Bのサービス戦略、製造業のチャレンジ」東洋経済新
- 白井哲也、(2006)。「戦略的マス・カスタマイゼーション研究—国際市場戦略の新視角—」。文眞社
- 高梨千賀子、福本勲、中島震編著(2019)。「デジタル・プラットフォーム解体新書—製造業のイノベーションに向けて」。近代科学社
- 立本博文(2017)。「プラットフォーム企業のグローバル戦略 オープン標準の政策的活用とビジネス・エコシステム」。有斐閣
- 塚田修(2019)。「トヨタ生産方式の海外移転手法の解析、ケーススタディ ブラジル自動車産業」。白桃書房
- 鳥谷浩志(2021)。「製造業のDXを3Dで実現する 3D デジタル ツインが拓く未来」。幻冬舎
- プレジデント社企画編集部「経営企画研究会、村田聡一郎監修(2018)。「Why Digital Matters? “なぜデジタルなのか”」。株式会社プレジデント社
- 藤本隆宏(2017)。「現場から見上げる企業戦略論 デジタル時代にも日本に勝機はある」。角川新書
- 藤本隆宏、武石彰、青島矢一編(2001)。「ビジネス・アーキテクチャー」。有斐閣
- 藤本隆宏(2004)。「日本のものづくり哲学」。日本経済新聞社
- 中山淳史、(2022)。「Deep Insight 『モノのパスポート』の衝撃」。2022年6月14日 日本経済新聞朝刊 7面
- 野路國御夫(2022)。「私の履歴書」2022年4月30日に本経済新聞朝刊
- 光山博敏、中沢孝夫(2017)。「インダストリー 4.0の崩壊とその先にあるもの」一橋レビュー 017
- Bauernhansl.T.(2014). Die Vierte Industrielle Revolution- Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma, pp5-pp35, Springer Vieweg y
- Frauenhofer IAO(2013). Produktionsarbeit der Zukunft- Industrie 4.0 (Production work of the future). Frauenhofer Verlag: Stuttgart.
- Porter, M. (1998). "On Competition", A Harvard Business Review Book
- Schuh,G, Reiner Anderl, Roman Dumitrescu, Antonio Krueger, Michael ten Hompel, (2020). "Indusri の e 4.0 Maturity Index Managing the Digital Transformation of Companies", acatec STUDY
- VDMA,Industrie 4.0 Forum, (2018). "Industrie 4.0 meets Lean, industrie4.0", vdma.org
- Womack J., Jones D., and Roos D,(2007). "The Machine that Changed the World", Free Press
- Yoram Koren (2010). "The Global Manufacturing Revolution: Product-Process-Business Integration and Reconfigurable Systems", Wiley