

ドイツ製造業において進行する Ind.4.0 と日本の製造業の企業戦略

— 3つの薄れゆく産業境界 —

Industry 4.0 in the German Manufacturing Industry and the Corporate Strategy of Japanese Manufacturers — Three Fading Industrial Boundaries —

中央大学専門職大学院戦略経営研究科教授
丹沢安治 TANZAWA, Yasuharu

企業活動は環境の変化に応じて合理的に対応するか、あるいは、自ら持つ資源を梃子にして、有利な環境形成を試みるかという観点から実行される (Besanko, D. et al. 2013, p.172, Drobantu, S. 2017)。日本企業、特に製造業者の場合、バブル崩壊以降、現在に至るまで、環境に対する適合性を変えなければならないという意味で数多くの変化を経験してきた。

製造業者に限らず今日の企業が、第1に考慮すべき環境変化は、Covid-19によるパンデミックであろう。2020年の4月-6月には緊急事態宣言により経済は1994年以来の落ち込みを被り、この環境下において企業は感染防止をしながら活動するというものになっている(籠宮 信雄(202103))し、また今後もそうしなければならないことが予想される。

第2に政府による2050年カーボンニュートラル宣言および地球温暖化対策推進法の成立など、脱炭素化社会への移行が急務となっている(環境白書2021)。この環境変化は、企業、特に製造業者に対しては、生産工程やサプライチェーンにおける温室効果ガスの削減を強いるものとなっている(環境白書2021, p.41)。脱炭素化は、省エネ、再エネ活用など多くの点でデジタル化と重なって追求され(経産省2021)、企業の活動にとってデジタル化の推進とともに必須の前提と言える環境

となっている。

第3に、日本だけでなくドイツ、米国など工業国に共通する社会問題は、人材不足だろう。少子高齢化の進行の結果、引退する熟練工はますます増えている。すでにタイのような新興国においても熟練工は不足しており、品質問題が生じている(岡崎啓一/小宮昌人(2020))。

第4に、製造業者にとってバブル崩壊以降の30年間において、サービス産業化という根本的な自己認識にかかわる環境変化が進行していることにも留意すべきだろう (Frank, A.G. et al., 2019)。それは、ICTのますますの進展を受けてビジネスの世界で巻き起こっている『ゲームチェンジ』であると言われている(経産省2021)。ICTの普及は、すでに1990年代から進行していた (Langlois, R. N.2003)。その結果、企業内で処理されていた多くの多くの事業がアウトソース化され、取引費用の経済学が提供する、「自製か外製か」(Make or Buy)の枠組みは、BPO(Business Process Outsourcing)、EMS (Electronics Manufacturing Service) など多くの企業戦略の提案を導いていた (Coase, R. 1937, Williamson, O. 1975, 1985, Picot, A. et al., 1996b, 丹沢, 2004)。この領域において多くの事業は市場取引にとってかわられ、「企業境界が縮小した」と言われた (Picot, A. et al. 1996a, 丹沢 2005)。

2010年代を越えて、インターネットの普及に代表される、ICTの進展はさらにDX(digital transformation)として深化したように思われる。現在では、GAFAによって代表されるプラットフォームビジネスが大きな存在感を示している(モサド A. ジョンソン, N.L. 2018)。このB2Cの領域における進化は、IoT(Internet of Things)としてB2CからB2B2Cへの動きとしてGAFAの製造業への進出として、B2Bの領域、すなわち製造業者をも巻き込んでいる(丹沢2017, 2018)。この深化は、製造業の領域でも第4の環境変化であるサービス産業化にますますの拍車をかけている。すでに1990年代より例えば、IBMの製造業からのサービス産業化は、大きな問題として登場していた(Cusumano, M. A. et al. 2015, 藤井亨2012)。今回のさらなるICTの進展によって、製造業者自身もB2Cの領域に展開しつつあるという(Koren, Y. 2010, Obermaier, R. 2016)。第4の環境変化であるDXは、製造業にとってのB2B2Cという新たな環境変化対応という課題を提供していると言えよう。

ドイツにおいては、2013年4月にacatech(National Academy of Science and Engineering)のKagermann教授を中心とするグループによって提出された報告書“Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0”(Kagermann, H. et al 2013)は、直接的には、IoTの進展に触発されたとされているが(Kagermann, H. et al 2013)、基本的にこの4つの制約条件のうちでも、ポストCovid-19が付け加えられたとはいえ、サービス産業化と脱炭素化の時代を踏まえたうえで基本的な製造業のサービス産業化の流れの中で提案されたものと言える。インダストリー4.0は、第4次産業革命とも称されるが、ICTの発展に伴う米国を中心とするGAFAの興隆を受けて、従来からの製造業におけるドイツ経済の優位性を維持するために、ドイツ政府とシーメンス、SAPなどのドイツ大企業が始めた運動であると言われている。IoTが引き起こしたBtoCの領域におけるGAFAの興隆を受けてIoTの発想を製造業に持ち込み、

脱炭素化という課題を克服しながら、BtoBの領域における革新から最終的には、B2B2Cの領域に及ぶ、革新を目指していると言える。

ドイツと同じく、日本においても製造業に優位性があるとされてきた。政府主導でDXが叫ばれる中(情報通信白書2017, IVI2016)、特にドイツにおいて進められているインダストリー4.0は、日本ではまずは工学系の学会においてとりあげられ(永野博2016, 榊原清則2016, 徳増伸二2017, 佐無田啓, 2019, 伊藤照明2019)、続いてドイツ企業に関心を持つ研究者によって紹介され(丹沢2017, 風間2020)、さらに近年では、詳細な調査に基づくコンサルティング系の企業による調査結果が新たなビジネスモデルの提案を報告している(小宮昌人他2020/2021, 岡崎啓一/小宮昌人2020)。また、新聞・雑誌レベルでも先行事例として取り上げられることが多くなっている(日本経済新聞20200202, 日経産業新聞20200619)。

このような環境下において、日本の多くの製造業の現場でも、様々な試みがなされている。その中には有力な方向性を示すものも散見される(丹沢2017)。しかし、様々な業種に属し、またさまざまな規模の企業の対応は多様であり、個々の企業はそれぞれの独自の自社資源とポジションに応じて対応している。伝えられるドイツ企業の施策に近いものは少数の総合電機メーカーによるものしかない。この多様性は将来的に減少していくかもしれないし、さらに拡大していくものかもしれない。日本における現状を考えると、われわれは全体の展開を読み解く枠組みを必要としていると言える。本稿では、この今日日本の製造業者において観察される多様な企業戦略の動向を読み解く枠組みを提供することによって、今後の企業戦略策定の方向性の決定に貢献したいと考えている。

次節においてインダストリー4.0と環境変化の関係、そしてこの問題にかかわると思われる先行文献のレビューを行い、本稿において分析すべきRQを設定する。III節において、分析手法を概観したうえで、IV節においてRQにそって製造業の

現場へのインタビューを中心に今後の日本の製造業者が向かっていく方向性を見出し、V節において、多様性を伴いながら進んでいくプロセスを読み解く枠組みを「薄れゆく産業境界」として示す。結果的に全体として生じている現象を読み解く枠組みを考えてみよう。

II 先行文献

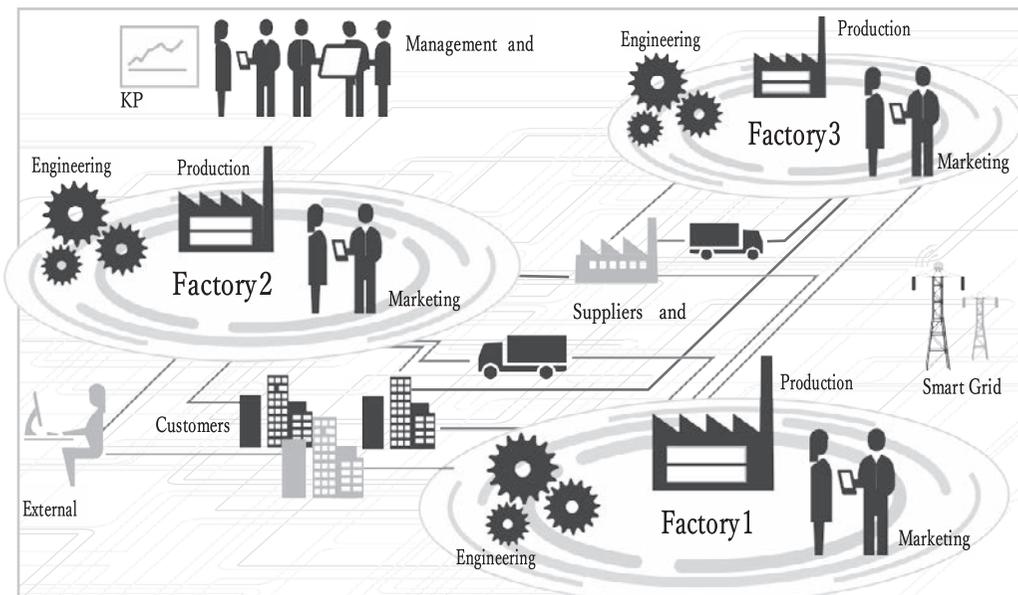
劇的な環境変化をもたらしているのは、Covid-19であるが、数十年にわたって根底的な変化をもたらしているのは、温暖化が引き起こす異常気象であり、そして製造業のサービス産業化、そしてICTの進展であった。これらの変化にあって、特にICTの発展という環境変化への回答として提出され、米国において生み出されたビジネスモデルがIoT企業（GAFA）であり、製造業の側からの最も強力な活動が、ドイツ政府とドイツ大企業によるインダストリー4.0なのであろう。以下においては、インダストリー4.0の概要を紹介し、4つの環境変化との関係をレビューしておく。

II.1 インダストリー 4.0

インダストリー4.0とは、第4次産業革命とも呼ばれる、ICT技術の発展に沿ったドイツ発の潮流である（Kagermann, H. et al. (2013), JETRO 2014, Seiter et al. 2016, 永野 2016, 風間 2020）。Kagermann 教授の報告によると、第1次産業革命が、18世紀の蒸気エンジンの発明から始まる機械による生産の始まる革命であり、それに続く20世紀初頭の機械による機械の生産を伴う大量生産の時代を招いたのが第2次産業革命であるという。それに続いて1970年代以降の情報テクノロジーの発展によるファクトリーオートメーションの時代の到来が第3次産業革命とされる。それ以降、今日に至るまで、一段とICTの活用を進め、特にセンサーを活用したバリューチェーン上の機械同士の同期化、自動発注、ビッグデータの活用、AIの活用が進められ、マスカスタマイゼーションが進められる変化を第4次産業革命としている（Kagermann, H. et al. (2013), JETRO2014, Seiter et al 2016）。

特にドイツでは政府の主導とともにSAPに主導されながら産業を越えたネットワーク化が提唱され、マスカスタマイゼーションを目標としてい

図1 水平的なバリューネットワーク



出所：(Kagermann,H.et al. 2013,p.22)

る（村田聡一郎（2015）榊原 2016，小宮他 020/2021）。最終的に，図 1 のように，ICT を活用した連結は企業境界を越えてさらにサプライヤにも向けられ，ERP（Enterprise Resource Planning）を通じて生産の現場に直結し，マスカスタマイゼーション，そして最終的には製品のパーソナライゼーションが実現される（Koren, Y. (2010) p.38, Obermaier2016）。そして生産プロセスを形成する製造機械，ロジスティックスを含むサプライヤは，デジタル化され，品質管理，メンテナンスを自動化している状態になる。この段階でサプライチェーン，生産プロセス，ロジスティックス，そして消費者にまで至るリアルなバリューチェーンは，デジタル化され，リアルなプロセスの鏡像であるデジタルツイン（小宮他 2020/2021，202101a WEF）が形成される。このデジタルツインは，CPS（Cyber-Physical System）と呼ばれる（Kagermann 2013, p.5, Obermaier, R. 2016, Felstead, M. (2019)）。

II.2 インダストリー 4.0 を引きおこした背景

インダストリー 4.0 は，ドイツ国内のみならず EU においても広く論じられているが（岡崎 / 小宮 2020, Carvalho, O et al 2017, Müller, J.M./ Kiel, D./Voigt, KI2017），インダストリー 4.0 とは直接のかかわりを持たずに今後の製造業一般の課題として，すでにポスト Covid-19 に触れている文献も数多くみられる。たとえば，World Economic Forum における報告書は，ポスト Covid-19 の世界における接触を最大に減少させたデリバリ，E- コマースを提案している（WEF, 202104）また，岡崎啓一 / 小宮昌人（2020）は，WEF（202104）と同じく，デジタル化の傾向を踏まえたうえで，製造の現場では非接触型の製造，例えば，遠隔操作による生産ラインの組み換え，リアルな出張を前提としない映像による設備診断，ライン業務の指導・改善が行われるという（岡崎啓一 / 小宮昌人 2020）。

製造の現場のみならず，Covid-19 のような予測不可能な環境変化は，多品種少量生産への傾向を促進し，製品のパーソナル化を引き起こし，そ

ういった場合には，デジタル化を推し進めたうえでのリアルな工場や生産プロセスのサイバー空間上の双子である「デジタルツイン」が必要であるという（小宮昌人他, 2020/2021, 202101a WEF）。

同じく，インダストリー 4.0 が考慮しなければならぬ背景的環境は，脱炭素化の動きだろう。たとえば，202101a_WEF においては，CO₂ の排出を抑制するために，工場はもっと生産性を上げるべきであるし，また生産場所から消費者に至る輸送ネットワークは，より CO₂ の排出を抑えなければならないという意見が表明されている。また，202101b_WEF においては，CST（Clean Sky for Tomorrow）という標語の名のもとに「欠くことのできない重工業と輸送部門の脱炭素化が重要であることを指摘している（p.51）。

さらに，Carvalho, O et al（2017）によれば，インダストリー 4.0 はよりサステナブルな製造業の価値創造へのステップである。なぜならネットワーク化されたデジタルツインでは，工場間のエネルギー，資源の配分がより効率的に行われる。労働に関してはトレーニングが効率的に行われ，装置の寿命を延ばされ，資源の無駄を減らされ，リサイクルとリユースの機会を与えられる。

この論点については，定量的研究も定性的研究も提出されている。たとえば，Müller, J.M./ Kiel, D./Voigt, KI（2017）は，サステナビリティという視点から，インダストリー 4.0 は社会的にも環境的にもポジティブな影響を与えることを実証している。ここでは，インダストリー 4.0 により，スマートエネルギー，各装置の負荷のバランスが実現し，エネルギー消費が効率化されること，ロジスティックスにおいても資源の浪費が減少し，特に大企業についてその仮説が有効であることが検証されている。また，KIEL, D. et al.（2017）は，インタビューに基づく定性的研究において，インダストリー 4.0 によってロジスティックスの効率性が増すことで温室効果ガスの排出は抑制され，資源とエネルギーの効率的利用が図られるため，浪費が減少するというメカニズムを報告している。日本では，小宮昌人他（2020/2021）が，欧州における再生可能エネルギーへのシフト，電

源の分散化に言及している。

インダストリー 4.0 はまた製造業のサービス産業化、ICT のさらなる発展への対応でもある。製造業のサービス産業化は、すでに 1990 年代の IBM の戦略転換の時代から進行していた。産業が成熟し、企業が製品を容易に差別化できなくなった場合、ソリューションとしてのサービスが製品企業の重要な収入源になり、IT を利用した設計システム、製品サポート、社会インフラ部門などサービス事業化が進むことになる (Cusumano, M.A. et al. 2015, 藤井 2012)。

この段階でテクノロジーブッシュの時代からデマンドブルの時代に移行し、製造業者のサービス化戦略が生まれた (Frank, A.G. et al, 2019)。ICT の発展とともに今や社会はサービス化社会であり、製造業者はサービス業者にそのビジネスモデルを変容させている (Anderson, P/Mattsson, L.G. (2015) Foss, N.J./Saebi, T. (2017) Ehret, M/Wirtz, J (2017))

インダストリー 4.0 の領域では、サービス化の移行が深化している。製品を所有することに固有の利点がない、つまり、所有権には、追加コスト (先行投資)、リスク (予期しない修理、メンテナンス、または陳腐化) が発生するためである (201512_WEF)。デジタル化とネットワーク化が進んだインダストリー 4.0 において製造装置のメーカーは、製造装置の提供するサービスについて料金を受け取り、操作は彼らが行うようになる。ロールスロイスはもはや航空機エンジンを販売しておらず、飛行時間に応じて料金を受け取る。コンプレッサーメーカーは、圧縮空気を販売し、掘削機メーカーはドリルであけた穴 (または使用時間) に応じて料金を受け取る (Obermaier, R.

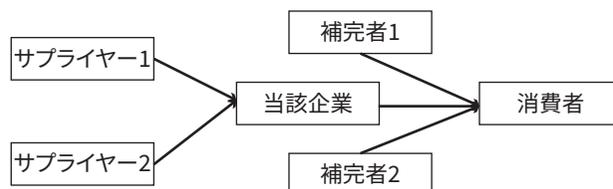
2016 p.28)。

II 3-2 ビジネスエコシステムとプラットフォームビジネス

経済学あるいは戦略の経済学においては、多面的市場、プラットフォームビジネスの競争優位は、間接的ネットワーク外部性によって決定されると言われている (Hagiu, A, 2014, Moazed, A/ Johnson, N. L. 2016)。そのため、議論の焦点は、GAFA など BtoBtoC の領域では新規のプラットフォームビジネスを始めるためには、何をすべきかということに集中している。(Moazed, A/Johnson, N. L. 2016) しかし製造業においては、あるいは製造業者が実現しようとしているプラットフォームビジネス化においては、既存の垂直的なサプライチェーンを新たに補完者としてを含むエコシステムとして (Salazar, A.J. 2014)、新しいエコシステムにデザインしなおし、プラットフォーム化するということになる。

たとえば、Adner/Kapoor (2010) はビジネスにおける価値の創出過程をエコシステムとしてとらえる視点を図 2 のように描いている (Adner/Kapoor (2010))。ここではサプライヤーから当該企業を経て消費者に至る垂直的な価値創出過程に対して、当該企業にとって需要をより高められるように働きかける「補完者」の存在を示している。トップダウンの形で新たな規制をデザインする政府、現地に新しいテクノロジー、ビジネスノウハウを提供する外資企業、内外の金融機関、法・市場調査などのプロフェッショナル・サービス企業がこれに当てはまるだろう。

図 2 Adner/Kapoor (2010) によるエコシステムと補完者



出所：(Adner/Kapoor (2010))

II.4 リサーチクエスチョン

日本の企業は「周回遅れ」でドイツのインダストリー 4.0 を追いかけていると言われている。以上のレビューからインダストリー 4.0 を受けて日本企業の対応と方向性を知るために本研究におけるリサーチクエスチョンを抽出してみよう。

第 1 に日本企業にとっても post Covid-19, 脱炭素化, それに加えて少子高齢化に伴う人材不足の視点は重要である。そこで, 日本の製造業者のインダストリー 4.0 への対応においてまず次のように問えるだろう。

RQ1: 日本の製造業者の対応において, Covid-19, 脱炭素化, 人材不足の視点から評価できる試みは何か?

次にドイツと同じく, 製造業において特に品質において優位性を持つと言われる日本企業も ICT の発展とともに興隆している GAFA の製造業への進出を見て, プラットフォームビジネスを無視していない。インダストリー 4.0 と同じく鼓舞された後の反応を問うべきだろう。したがって, :

RQ2-1: GAFA によって鼓舞されたプラットフォームビジネスは彼らの試みとどうかかわっているか?

次にそれらの施策は, DX の視点, およびそれに伴うインダストリー 4.0 から見てどのように行われているだろうか, そこで:

RQ2-2: 彼らの DX 化はどのように行われているか?

次に 1980 年代にバブルを経験し, すでに確立した製造業を持つ日本企業は, 確立した「日本式生産方式」を持つ国でもある。その遺産を継承しながら, それぞれに新たなビジネスモデルに移行していかなければならない。しかし特に高品質の製造について優位性を持つ日本の製造業者はややもするとかつての優位性にロックインされること

もありうる。日本の製造業者はどのようにして新たなビジネスモデルへの移行を実行しているだろうか?

RQ3: DX 時代へ移行するための手法はどのようなものか?

その結果, 日本の製造業者の対応は, どのような方向性を持ち, どのような視点から見るべきであろうか? そこで次のようなリサーチクエスチョンを設定したい。

RQ4: 今後の製造業の姿はどのようなものか?

III 手法

これらの RQ に応えるために分析の対象としたのは, 公表された公的機関の各種報告書, 日本および, 現地の報道機関の公表された 2 次データ, 2018 年から 2021 年にかけて行われたインタビューで得られた一次データであった。インタビューの対象は, 総合電機メーカー 2 社, 中堅の機械機器メーカー 4 社, 日本の中小製造業者 3 社であった。

インタビューは, 一部は Covid-19 の蔓延の以前に行われたものであったが, 多くは, そのさなかに行われた。どの企業もインダストリー 4.0 についてはもちろん強く意識しているか, あるいは DX の潮流の中で新規事業の展開を試みている企業であった。

各社へのヒアリングは, 構造化されたものではなかった。定性的なデータの分析にさいしては, アブダクションと呼ばれる技法を採用した(Eisenhardt, K. M., 1989 米盛 2007, Christensen/Carlile 2009, 丹沢 / 宮本 2017)。具体的にはインタビューで得られた定性的なデータからコーディングを行い, 特徴的なコンセプトを見出した。次にそれらをリサーチクエスチョンに沿って仕分けし, さらにそれらを読み込んでそこから主要コンセプトに昇華させながら現状を一般的に記述する「命題」を抽

表 1 インタビューの対象となった日本の製造業者 9 社

	インタビュー対象企業	インタビュー年月		インタビュー対象企業	インタビュー年月
1	総合電機メーカー A 社	2016 年 4 月, 11 月, 2018 年 7 月, 2021 年 7 月	6	中堅機械機器メーカー E 社	2017 年 1 月
2	総合電機メーカー B 社	2016 年 4 月, 2021 年 6 月, 7 月	7	中小製造業者 F 社	2018 年 6 月
3	中堅産業機器メーカー C 社	2016 年 11 月	8	中小製造業関係スター トアップ G 社	2018 年 11 月, 2021 年 5 月
4	中堅機械メーカー D 社	2018 年 11 月	9	中小製造業関係ベン チャー H 社 (N)	2016 年 9 月 2018 年 7 月
5	中堅機械機器メーカー E 社	2019 年 5 月			

出所：筆者作成

出した。

IV 分析

インタビューの結果、および公表された 2 次データから、各リサーチクエスチョンについて以下のような命題が抽出された。

RQ1：日本の製造業者の対応において、Covid-19、脱炭素化、人材不足の視点から評価できる試みは何か？

今日の企業活動を考えるうえで、Covid-19 の影響は欠かすことができない。Covid-19 の存在は、企業活動のみならず経済社会全体のレジリエンスという観点からも今後の企業活動に長期にわたって影響を耐え続けるものと思われる。

インタビューは 3 年にわたって行われているので、各社、Covid-19 への言及については、偏りがあることはやむを得ないだろう。しかし、最も印象的に言えることは、Covid-19 によって、社会経済全般が大きく変動し、企業にとってはそこからのレジリエンスの重要性が高まっていることである。Covid-19 からの復興投資が行われているが、その内容は脱炭素化、非接触労働、リモートワーク、脱炭素化を目的とする循環型の経済を

志向する投資が前倒しで行われているというものだった。その結果、Covid-19 が収束したとしても、引き続き、非接触型の業務、たとえば、非接触型の設備診断、故障対応、メンテナンス業務、ライン業務指導などは遠隔地から映像を通じて行われることが予想される（岡崎啓一/小宮昌人(2020)）。

したがって、
命題 1.1

Covid-19 をきっかけとする復興投資は、脱炭素化、DX を伴うインダストリー 4.0 への展開の、前倒しを引き起こしている。

もちろん、Covid-19 以前から大きな影響を与えていた問題もインタビューにおいては現れていた。例えば、多くの対象企業においては、人材不足、人手不足が企業活動の大きな制約条件になっていた。また、日本企業、特に製造業の成熟化に伴い、標準化が進行したため、価格以外の差別化が困難になり結果的に東アジア諸国との競争に苦しむことになった。それを反映してのサービス産業化も大きな制約条件となっていた。

またすべての対象企業が何らかの意味で DX にかかわっていた。日本は少子高齢化の時代であるので、熟練労働者の引退は、大きな問題であり、

この点から自動化によって対応しようとする意識は強かった。さらに、1980年代から続く製造業のサービス産業化は、強く意識され、ソリューションビジネスと、インダストリー 4.0 の展開を結びつけながら、人材不足の解消、熟練労働者のスキルの継承という対応が見受けられた。

したがって、

命題 1.2

大手製造業者、中堅製造業者、中小製造業者のすべてが、インダストリー 4.0 の展開を、人手不足、製造業のサービス産業化と結びつけて DX を推進している。

RQ2-1：GAFA によって鼓舞されたプラットフォームビジネスは彼らの試みとどうかかわっているか？

Kagermann 教授によれば、インダストリー 4.0 は GAFA の成功が直接のきっかけとなったものであった。それは、プラットフォームの独占的地位の確立にともなう製造業者の交渉力の低下、同時に、GAFA の製造業への参入に対する、製造業において優位性を持っていたドイツという国の危機感の表れでもあった。この事情は、製造業においては、特に品質、納期の正確さにおいて優位性を持っている日本の製造業者にとっても変わらない。日本は、Kagermann 教授のレポートの表現で言えば、第 3 次産業革命の工場の IT 化、ファクトリーオートメーションの時代には大きな優位性を持っていた。

このような背景のもとで、日本企業の現在の対応はどのようなものだろうか。インタビューの対象となった企業は 9 社であったが、各社とも、企業規模、取引相手の規模の違いによって、デジタルツィン化、インダストリー 4.0 の導入、新サービスの発見という意味でのインダストリー 4.0 の導入にかかわり、何らかの形で、プラットフォームビジネスへの方向性を示していた。しかし、そのスタイルは、さまざまであった。とはいえ、各社は、何らかの形で自らのプラットフォームビジ

ネスを展開していた。

これらの企業にとっては、インダストリー 4.0 の導入は、この動きをさらに促進させるきっかけとなっていると言えよう。総合電機メーカー 2 社は、伝統的な技術的資産をもつ製造業者として、テクノロジープッシュからデマンドプルへの変革を意図していた折に、インダストリー 4.0 のきっかけを得て、プラットフォームビジネス化を試みているところであるとも言える。その結果、バーチャルパワープラントなどソリューションビジネスは深化し、コンソーシアムの形成、そこで取得されるビッグデータの解析による予兆サービス、新サービスの発見、さらには、サブスクリプションビジネスへの変質を試みている。

そこで、

命題 2.1.1

サービス産業化の底流のもとにソリューションビジネスは深化し、一般消費者と生産者の取引を生み出す、予兆ビジネスを含むプラットフォームビジネスとなっている。

それに対して、大手の製造業者を取引相手とし、最終消費者に接する機会がなく、B2B に特化した中堅機械機器メーカーにとっては、サービス産業化の意味は異なる。ここでは製造装置に取り付けられたセンサーから入手されるビッグデータの解析により、予測的メンテナンスなど新サービスの提供に注力することになる。彼らは製造現場に限定されたプラットフォームビジネスを志向し、大手製造業者のスマートファクトリーの内部でプラットフォーム化を行い、そこでの同業者に対する優位なポジショニングを実現しようとしている。インダストリー 4.0 の世界では複数の工場からなる CPS を形成することから、重点は、自社のみならず他社の工作機械を含めた「つなぐ化」「見える化」を徹底するところに在り、クラウドではなく「フォグ」と称するエッジコンピューティングを志向している。ここでは、取引相手となる大手製造業者が形成するプラットフォームの中でどうポジショニングするかが重要なテーマとなっ

ていると言える。

そこで、

命題 2.1.2

少数の大規模な取引相手を持つ中堅製造業者は、最終消費者と接する製造業者が形成するプラットフォーム内でのポジショニングを最適化しようとしている。

では、中小製造業者たちの対応はどうだろうか。中小製造業者とは、10人から200人程度までの従業員を持つ製造業者を含み、大手製造業者の4thティア、5thティアの下請けに位置する製造業者である。インタビューの対象としたのは、これらの中小製造業者を約18000社集めたデータベースを所有し、マッチングビジネス、受託加工仲介、ホームページ作成を行うベンチャーであった。同社のデータベースに集められた中小製造業者は、特化した加工技術を持つとはいえ、いわゆる「下請け」企業が多く、限られた取引相手とのBtoBのビジネスを営んでいた。同社は、データベース上のメンバーを生産者とし大手企業の特に研究開発部門をユーザーとするプラットフォームを形成していた。近年では、加えてインダストリー4.0の提供するデジタルツインの考え方が中小製造業者の生産現場のこれまでとは角度の異なる見える化を実現し、ビッグデータの解析による新たなビジネスを生み出すシステムを普及させている。ICTのさらなる発展によって、最終消費者とつながり、受注型クラウドファンディングのベンチャーとの提携により、会員となっている中小製造業者が直接消費者と結びつけられることが可能になっている。これによりパーソナライズ、リージョナライズしたロングテールの需要に応えるプラットフォームビジネスを成立させている。

命題 2.1.3

中小製造業者は、インダストリー4.0の思想を取り入れ、工場内でのビッグデータの収集とその解析による生産性の向上を実現するとともに、サプライチェーンのデジタル化をマッチングプラッ

トフォーム専門家、クラウドファンディング事業者を通じて実現している。

RQ2-2：彼らのDX化はどのように行われているか？

製造の現場におけるデジタル化は、インダストリー4.0の言い方によると第3次産業革命に相当する1980年代のファクトリーオートメーションの時代から盛んにおこなわれていた。現在は、ICTのさらなる発展を前提として、この時代の「見える化」「つなぐ化」は、個々の工場、サプライヤー、ロジスティクスそして消費者を巻き込むCPSとしてさらに深化している。

デジタル化の深化であるCPSについては、企業の規模と取引相手の態様によってさまざまなスタイルが存在する。たとえば、2社の総合電機メーカーは、サプライヤから製造、ロジスティクスそして最終的な消費者まで直結するデジタル化であるCPSを構築している。かれらは、インダストリー4.0に最も近い存在であると言える。結果的に彼らはB2B2Cのビジネスモデルを構築している。たとえば電力とか社会インフラの上下水道の領域では、従来の産業別の部門を横割りしてソリューションごとにコンソーシアム、ジョイントベンチャー、SPCを構築してプラットフォーム化しようとしている。ここでは、予測メンテナンス、リモートサービスをなど現在の社会経済における環境変化に対応しながら、スマートシティ、スマートコミュニティを提案している。

命題 2.2.1

サプライヤー、製造からロジスティクス、消費者に至る経路をCPSとしてデジタル化し、そこで収集するビッグデータから予測メンテナンス、リモートサービスなどの新規ビジネスを提案する。

それに対して、インダストリー4.0の思考を直接的には体现せず、その一部に関わろうとする企業も存在する。たとえば、上記の総合電機メーカー

あるいは中小製造業者に、工作機械を供給する機械メーカーは、かつて行われたファクトリーオートメーションの試みを現在のインダストリー 4.0 の趣旨を生かして新たな角度からアプローチしようとする。すなわち、工作機械にセンサーを取り付けて、これまでとは異なる稼働状況、温度、音声、さらに画像データなどのビッグデータを収集し、予測メンテナンスなど、これまでと異なる新規サービスを提供する。その際の重点は、競合である他の機械メーカーの装置も含めて製造現場の製造装置をすべてつなぐことに注力される。それは大手製造業者には、エッジコンピューティングのプラットフォームとして提案される、中小製造業者に対しては、ビッグデータ解析による新サービスの提供を課題とすることになる。大手製造業者が自らのクラウドにデータを集積し、自ら分析するのに対して、フォグコンピューティングと称して現場に自社の新サービスの領域を限定している。

そこで、

命題 2.2.2

中堅の工作機械メーカーは、大手製造業者のスマートファクトリー内のプラットフォームを構築し、MES 企業の CPS におけるポジショニングの優位性を実現しようとする。

さらに興味深いデジタル化は、中小製造業者たちによって試みられているものだろう。ICT の発展は、中小製造業者間のコミュニケーションコストすなわち取引費用を減少させた。さらに、GAFA に見られるように、ロングテールの需要を見出し、クラウドファンディングによってまとめることを可能にした。中小製造業者は、かつての下請け、元受けの間の限られた取引から解放され、マッチングのためのプラットフォームを介して、インダストリー 4.0 のいう、パーソナライズ、リージョナライズの可能性を実現しつつある。

そこで、

命題 2.2.3

中小製造業者は、ICT 発展の恩恵をうけ最終消費者の需要に対応し、パーソナライズ、リージョナライズに対応しようとしている。

RQ3 DX 時代へ移行するための手法はどのようなものか？

日本の製造業者は、1980 年代のファクトリーオートメーションには製造業者として優位性を持っていただけに、新たなビジネスモデルの導入には、スイッチングコストがもたらす様々な抵抗があるかもしれない。これについてどのような対応がみられるだろうか。

この問題についても、数兆円の売り上げを持つ総合電機メーカー二社の対応と、中堅の機械装置メーカー、および中小製造業での対応は取引相手のタイプに分かれたように思われる。総合電機メーカーは、コモディティーとなった製品の売り上げも多く、量産方式の製品提供を継続しながら、ソリューションビジネス、そしてひいては、プラットフォームビジネスへの移行を図っている。ソリューションビジネスにおいては、グループ外の新たなパートナーを加えながら、SPC, JV, コンソーシアムを形成し、成功すれば拡大し、横展開を試み、確立したビジネスに取り換えていく。

そこで、

命題 3.1

総合電機メーカーでは、伝統的なビジネスを継続しながら、ソリューションビジネスは POC (Proof of concept) として成立させ、横展開することになる。

それに対して、大手製造業者との取引を行い、かつ中小製造業者とも取引を行う中堅機械メーカーは、最終消費者にまで至るプラットフォームの形成に関心を持たない。むしろ大手製造業者のプラットフォーム内でのポジショニングに関心をもち、ビッグデータの生成に関心を持っている。

以上のことから、

命題 3.2

中堅製造業者は、自社の製品、および他社の工作機械からのビッグデータの収集を行い、大手製造業者に対してはフォグを提供する。

中小製造業者も ICT の発展により大きな恩恵を受ける立場にある。クラウドファンディング企業との提携、マッチングビジネスを業とするプラットフォーム企業との提携をによって、最終消費者の需要に直接対応することができるようになっていくことが特徴である。また、建機メーカーから分社化したスタートアップは、建機の使われる土木現場というドメインをプラットフォームとし、様々な土木にかかわるビッグデータの流通を図るとともに、他社の建機からビッグデータを収集するレトロフィットを開発販売している。

以上のことから、

命題 3.3

中小製造業者は、ICT の恩恵を最も生かし、プラットフォームを展開している。提携を中心としてインダストリー 4.0 が引き起こすビジネスモデルの変革に対応している。

IV-4 RQ4：今後の製造業の姿はどのようなものか？

以上の日本の製造業者の対応の中に、多様な展開を見ることができた。これらに共通することは何だろうか？

総合電機メーカーは、ソリューションビジネスの SPC を形成する際には、優先するのはグループ企業であるが、グループ外企業も含まれる。さらには、保険会社などさまざまな会社とアライアンスを組む。これまでの産業別の直線的なビジネスモデルに比べ、ソリューションを中心として他の産業の企業も含む、エコシステムの形成を行っているといえる。

同じように中堅製造業者の場合も、大手製造業者の工場内でのエッジコンピューティングを目指す場合、同業他社の機械装置との「つなぐ化」は、前提であり、かれらのプラットフォームには他社

の装置も含まれることが特徴である。このプラットフォームの特徴は、ビッグデータの解析による新サービスの提供であり、通信事業者など他産業からの参加者も含まれることになる。

中小製造業者の場合、中小製造業者間の取引を仲介するスタートアップの存在が注目される。また、大手の建機メーカーから分社化したスタートアップの場合、プラットフォームを形成する際に設定したドメインに参加する企業は多様であり、総合商社、遠隔支援のデバイス開発業者、ビッグデータのアプリ開発業者から建設機械の購入時に与信を与える金融業者も加わるようになっていく。関係がありそうな企業を集めて有料のパートナー企業としている点も興味深い。

ICT の発展を利用し、コミュニケーションコストの低下を利用して大手製造業者との取引を仲介するプラットフォームも発生している。さらに最終消費者の需要を仲介する受注型クラウドファンディングと中小製造業者との仲介も試みられている。

カスタマイズの結果として生ずる取引当事者の複数化は、新しいビジネスが、多面的市場を包含するプラットフォーム上で行われ、従来のサプライチェーンのピラミッド的構造が変わり、産業境界を越えたネットワークを利用することを意味していると言えよう。

以上の点から、Industrie4.0/IoT 時代のスマート生産・スマートビジネスは従来の FA 化、見える化、つなぐ化による生産性上昇を越えて、単独では実現しえず、共同で行うために、他産業の企業の参加を求め、すなわち産業境界を越えたネットワークビジネスが必要であることは明らかである。

これらにおいて、プラットフォームは異なる産業のメンバーによって新たに再編成されたエコシステムであり、ここでは伝統的な産業分類はもはや意味を持たず、産業境界は薄らいでいると言えよう。

われわれはこのことことから

表 2 命題

RQ1：日本の製造業者の対応において、Covid-19、脱炭素化、人材不足の視点から評価できる試みは何か？

命題 1.1 Covid-19 をきっかけとする復興投資は、脱炭素化、DX を伴うインダストリー 4.0 への展開の前倒しを引き起こしている。

命題 1.2 大手製造業者、中堅製造業者、中小製造業者のすべてが、インダストリー 4.0 の展開を、人手不足、製造業のサービス産業化と結びつけて DX を推進している。

RQ2-1：GAFA によって鼓舞されたプラットフォームビジネスは彼らの試みとどうかわっているか？

命題 2.1.1 サービス産業化の底流のもとにソリューションビジネスは深化し、一般消費者と生産者の取引を生み出す、予兆ビジネスを含むプラットフォームビジネスとなっている。

命題 2.1.2 少数の大規模な取引相手を持つ中堅製造業者は、最終消費者と接する製造業者が形成するプラットフォーム内でのポジショニングを最適化しようとしている。

命題 2.1.3

中小製造業者は、インダストリー 4.0 の思想を取り入れ、工場内でのビッグデータの収集とその解析による生産性の向上を実現するとともに、サプライチェーンのデジタル化をマッチングプラットフォーム専門家、クラウドファンディング事業者を通じて実現している。

RQ2-2：彼らの DX 化はどのように行われているか？

命題 2-2-1 サプライヤー、製造からロジスティクス、消費者に至る経路を CPS としてデジタル化し、そこで収集するビッグデータから予測メンテナンス、リモートサービスなどの新規ビジネスを提案する。

命題 2.2.2 中堅の工作機械メーカーは、大手製造業者のスマートファクトリー内のプラットフォームを構築し、MES 企業の CPS におけるポジショニングの優位性を実現しようとする。

命題 2.2.3 中小製造業者は、ICT 発展の恩恵をうけ最終消費者の需要に対応し、パーソナライズ、リージョナライズに対応しようとしている。

RQ3：DX 時代へ移行するための手法はどのようなものか？

命題 3.1 総合電機メーカーでは、伝統的なビジネスを継続しながら、ソリューションビジネスは POC (Proof of concept) として成立させ、横展開することになる。

命題 3.2 中堅製造業者は、自社の製品、および他社の工作機械からのビッグデータの収集を行い、大手製造業者に対してはフォグを提供する。

命題 3.3 中小製造業者は、ICT の恩恵を最も生かし、プラットフォームを展開している。提携を中心としてインダストリー 4.0 が引き起こすビジネスモデルの変革に対応している。

RQ4：今後の製造業の姿はどのようなものか？

命題 4.1 従来の直線的ビジネスによって形成された伝統的な産業別のビジネスにおいては、ソリューション提供を中心としたエコシステムにより産業境界を越えた再編成が行われる。

出所：筆者作成

命題 4.1

従来の直線的ビジネスによって形成された伝統的な産業別のビジネスにおいては、ソリューション提供を中心としたエコシステムにより産業境界を越えた再編成が行われる。

によるプラットフォームビジネスの興隆、ドイツにおいて進行するインダストリー 4.0 の進行を受けて、日本の製造業者がどのように対応しようとしているかを見てきた。本節では、これらの対応からこの時代背景のもとでこれらの対応をどのように俯瞰すればよいのか、考えてみよう。

まず指摘できることは、インタビューの対象となったすべての日本の製造業者が何らかの形で「プラットフォームビジネス」の業態への移行を企図していたことだろう。しかしどれも「薄れゆく産業境界」を示唆するプラットフォームビジネ

**V ディスカッション：
薄れゆく産業境界**

本稿においては、日本において進行している 4 つの環境変化、米国において進行している GAFA

スであるとはいえ、それぞれの企業規模、取引相手、業界内のポジションによって、その様態は異なっていた。以下において命題からそれぞれの製造業者が考えているエコシステムを3つのタイプの「薄れゆく産業境界」として描いてみよう。

図3を見てみよう。総合電機メーカーは、従来の大量生産に基づく取引を続けながら、ソリューションビジネスへの移行を図っている。ソリューションビジネスにおいては、協力企業とのネットワークによってマスカスタマイズを行う。取引ごとにSPC (special purpose company) を形成する。SPC 内の協力企業とは繰り返し調整を行わなければならない。しかし取引ごとの協力の相手は変わるので、自社内に取り込むことができない。

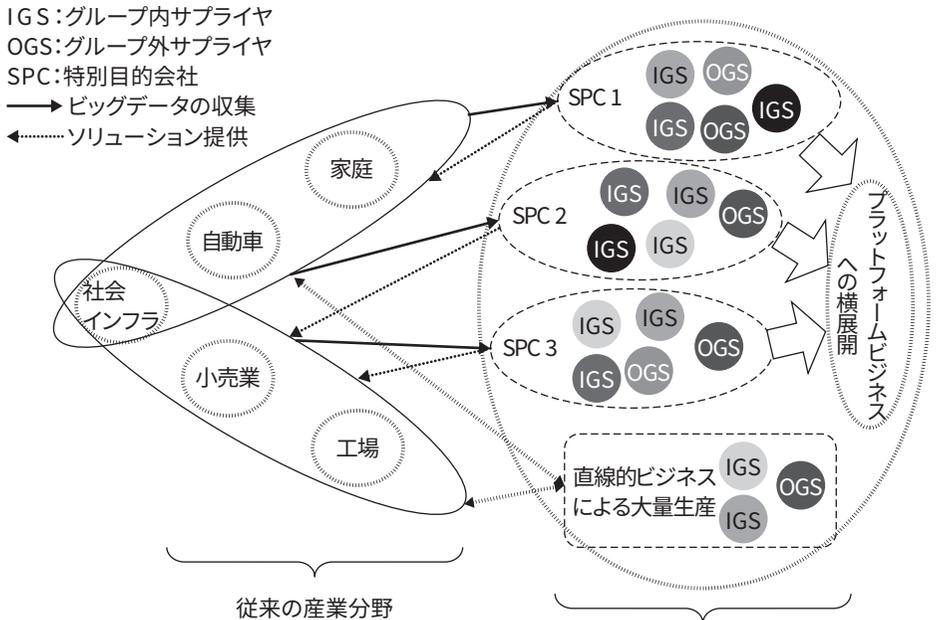
図4におけるエッジコンピューティングのように、中堅製造業者である工作機械メーカーもプラットフォームビジネスを目指している。しかしそれは、多面的市場という意味でのプラットフォームというよりも標準化を前提としたプラットフォームであるように見える (Salazar, A.J.

2014)。たとえば大手の取引相手には、エッジコンピューティングと称する工場など限られた施設内での標準化を前提にした他社製を含む工作機械の徹底した「つなぐ化」を提案する。そこで新たなサービスを提案するなど取引相手の工場でのポジションを狙う。

工作機械メーカーは、同時に中小の製造業者との取引も行っている。中小製造業者は独自にビッグデータを解析するノウハウ、コスト負担ができないので、提供する工作機械メーカーから得られるビッグデータを解析し、新たな追加的サービスを提供する。

図5を見てみよう。中小製造業者にかんしては二種類のプラットフォームビジネスとのインタビューが行われた。土木の建設現場にかかわるスタートアップは、公共工事向けのドメインを設定し、スマートコンストラクションと自称しながら、土木業界の中小建設業界向けのプラットフォームを構築している。同社は、ビッグデータ収集用のセンサーキットを販売し、中小規模の土木工事現

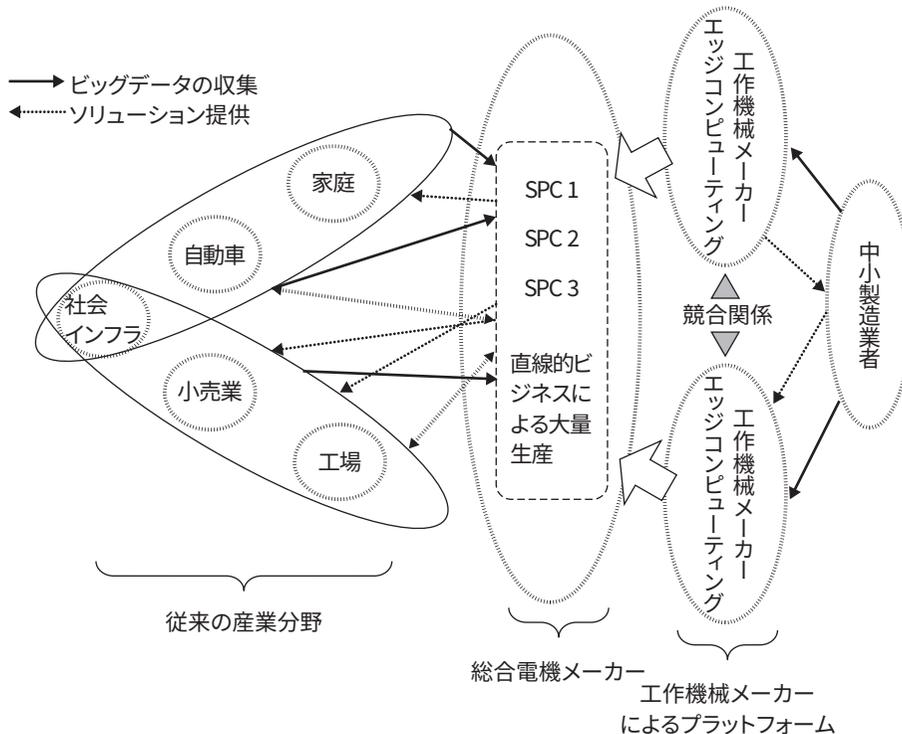
図3 大手製造業者による産業境界を越えた共創：「薄れゆく産業境界 1」



プラットフォームビジネスへの移行過程にある総合電機メーカー

出所：筆者作成

図4 中堅製造業者におけるエッジコンピューティング：「薄れゆく産業境界2」



出所：筆者作成

場を新しい角度から見える化し、新しいサービスを提供している。このプラットフォームには、建設業者のみならず、運送業者、総合商社、通信事業者が加わり、産業境界の再編成が行われている。

もう1社は、中小製造業者向けのドメインを設定し、大手製造業者との、特に製品開発部門にかかわる仲介を行い、バーチャルファクトリーと自称している。また、分散したエンドユーザーの需要を満たすために、受注型クラウドファンディング企業と提携し、パーソナライズ、リージョナライズに貢献している。

すべての製造業者に共通している点は、プラットフォームビジネスとしての形態は変わるが、どれにおいてもエコシステムのパートナーは伝統的な産業分類を越えて再編成されているということだろう。その形態はM&Aであるかもしれないし、SPCであるかもしれないし、伝統的なJVであるかもしれない。しかし共通して言えることは、これまでの産業分類は再編成され、しかも新しい産

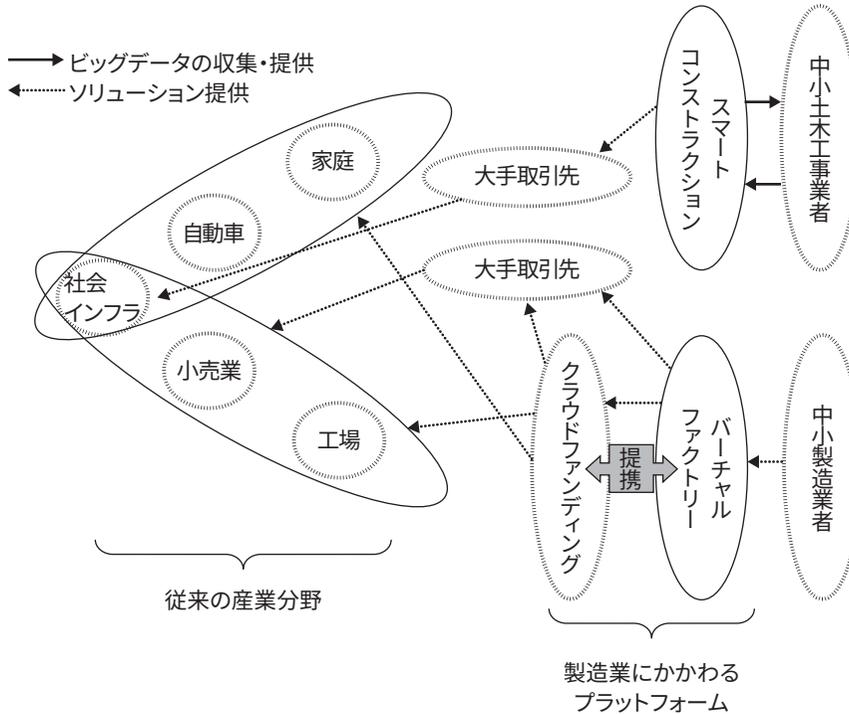
業の登場というよりも、その都度、組み立てられるということだろう。われわれはこれを「薄れゆく産業境界」と言い表すことができるだろう。

VII 結論

われわれは現在、Covid-19のパンデミックという前例のない災害に苦しんでいる。しかし、日本の製造業者が対処すべき環境はそれだけではない。同時に、かれらは、圧倒的な人手不足、脱炭素化、ICTのさらなる深化という環境に直面している。この対処においてドイツ政府とドイツの大企業が主導してきたインダストリー4.0が有益な戦略であることは間違いない。

本稿では、同様の環境に直面し、製造業において同様の優位性を持っている日本の製造業がインダストリー4.0に鼓舞されて、どのように対処しようとしているのかを9社のインタビューに基づいて検討した。その結果、企業規模、保有資源、

図5 中小製造業者におけるプラットフォーム・アライアンス：「薄れゆく産業境界3」



出所：筆者作成

取引先の違いなどにおいて異なるすべての日本の製造業者も、プラットフォームビジネスを目指しており、そのプラットフォームが形成するエコシステムにおいては、既存産業分類が再編成されていることが見いだされた。本稿では、「薄れゆく産業境界」という現象が、今日、日本の製造業者の間で広まっていると結論付けている。

これらの観察された製造業者によるプラットフォームビジネスの追求は、規模は異なるとはいえ、多かれ少なかれ日本のリーディングカンパニーによって試みられていることも確かである。その意味で、「産業の境界が薄れる」という視点は、将来同じことを試みる企業にとっても指針として役立つと言えるだろう。

しかし、この現象は、現在のところ、インタビューという定性的なデータから発見されたものでしかない。今後さらに、この現象の背後にあると思われる取引費用理論や多面的市場の理論などを用いて仮説を導き出し、検証を重ねる必要があるだろう。

文献

- Adner, R and Kapoor, R (2010) "Value Creation in Innovation Ecosystems: How the Structure of Technological Interdependence Affects Firm Performance in New Technology, Generations," *Strategic Management Journal*, pp.306-333.
- Anderson, P/Mattsson, LG. (2015) "Service innovations enabled by the "internet of things", *IMP Journal* Vol.9 No.1, 2015, pp.85-106
- 青木崇, 佐無田啓 (2019) 「着実な進歩がみられるインダストリー 4.0 今月のトピックス No.299-1 (2019年6月13日) ~ハノーバーメッセ 2019 調査報告~」日本政策投資銀行
- Besanko, D. et al. (2013) *Economics of Strategy*, 6th edition, Wiley
- Carvalho, O et al (2017) "Manufacturing in the fourth industrial revolution: A positive prospect in Sustainable Manufacturing," *Procedia Manufacturing* (2017)
- Christensen, C.M./Carlile, P.R. (2009) Course Research: Using the Case Method to Build and Teach Management Theory, *Academy of Management Learning & Education*, 2009, Vol.8, No.2, pp.240-251.
- Coase, R. (1937) "Nature of the Firm" in: *THE FIRM, THE MARKET, AND THE LAW*, 企業の本質『企業・市場・法』宮沢健一, 後藤晃, 藤垣芳文訳, 東洋経済新報社, 1992年

- Cusumano, M.A./Kahl, S.J./Suarez, F.F. (2015) "SERVICES, INDUSTRY EVOLUTION, AND THE COMPETITIVE STRATEGIES OF PRODUCT FIRMS", *Strat. Mgmt. J.*, 36: pp.559-575 (2015)
- Dorobantu, S. et al. (2017) "Nonmarket Strategy Research Through the Lens of New Institutional Economics: An Integrative Review and Future Directions", *Strategic Management Journal*, 38.
- Ehret, M/Wirtz, J (2017) "UNLOCKING VALUE FROM MACHINES: BUSINESS MODELS AND THE INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS", *Journal of Marketing Management*; Helensburg, Vol33, Feb 2017, pp.111-130
- Eisenhardt, K. (1989) "Building Theories From Case Study Research", *The Academy of Management Review*, Oct 1989; 14, 4; pp.532-550
- Felstead, M. (2019) Cyber-Physical Production Systems in Industry 4.0: Smart Factory Performance, Manufacturing Process Innovation, and Sustainable Supply Chain Networks Economics, *Management and Financial Markets* 14(4), 2019
- Foss, N.J./Saebi, T. (2017) "Fifteen Years of Research on Business Model Innovation: How Far Have We Come, and Where Should We Go?", *Journal of Management* Vol.43 No.1, January 2017, pp.200-227
- Frank, A.G. et al (2019) Servitization and Industry 4.0 convergence in the digital transformation of product firms: a business model innovation perspective, *Technological Forecasting and Social Change* · April 2019
- 藤井亨 (2012) 『スマートインフラ戦略—サービスイノベーションによる利益創出モデル』, ブイツーソリコーション 2012 年
- Hagiu, A (2014) "Strategic Decisions for Multisided Platforms", *MIT Sloan Management Review*, Winter ol. 55, No.2
- Herceg, I.V. et al (2020) "Challenges and Driving Forces for Industry4.0 Implementation", *Sustainability* 2020, 12, p.4208
- 伊藤照明 (2019) 「インダストリー 4.0 とソサイアティ 5.0 パラダイムの先にあるもの」日本機械学会 2019 年度年次大会 講演論文集
- 情報通信白書 (2017) 「第 4 章 情報通信白書 _ 第 4 次産業革命がもたらす世界的な潮流」
- Jesse, N. (2018) "Internet of Things and Big Data: the disruption of the value chain and the rise of new software ecosystems", *AI & SOCIETY* (2018) 33: pp.229-239
- Kagermann, H. et al (2013) "Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0", *acatech*, 2013
- 籠宮信雄 (2021) 『日本経済 2020-2021 —感染症の危機から立ち上がる日本経済—』内閣府
- 風間信隆 (2020) 「インダストリー 4.0 とドイツの製造業のチャンスと挑戦」『明治大学社会科学研究所紀要』, 58(2): 47-68
- 経産省 (2021) 「2050 年カーボンニュートラルの実現に向けた需要側の取り組み」資源エネルギー庁, 2021 年 2 月 19 日
- KIEL, D. et al. (2017) "SUSTAINABLE INDUSTRIAL VALUE CREATION: BENEFITS AND CHALLENGES OF INDUSTRY 4.0", *International Journal of Innovation Management* (2017) 1740015 (34 pages)
- 小宮昌人他 (2020/2021) 「第 4 次産業革命で変わる企業戦略と日本企業逆転のシナリオ第 1 回～第 7 回」, 知的資産創造, 野村総合研究所
- Koren, Y. (2010) *The Global Manufacturing Revolution*, Wiley, 2010
- Langlois, R.N. (2003), *The Vanishing Hand: The Changing Dynamics of Industrial Capitalism, Industrial and Corporate Change*, Vol.12, No.2, pp.351-385.
- Loureiro, R.J.P. et al (2018) "Costs of Transaction in Logistics 4.0 and Influence of Innovation Networks", European Conference on Innovation and Entrepreneurship; Reading, (Sep 2018)
- Mastos, T.D. et al (2021) "Reducing an application of an industry 4.0 solution for circular supply chain management", *Journal of Cleaner Production* (2021)
- Moazed, A/Johnson, N.L. (2016) *Modern Monopolies*, Applico LLC, 『プラットフォーム革命』藤原朝子訳, 英治出版
- Müller, J.M./Kiel, D./Voigt, KI (2017) What Drives the Implementation of Industry 4.0? The Role of Opportunities and Challenges in the Context of Sustainability, *Sustainability* 2018, 10, p.247
- Müller, J.M. et al (2019) "The role of absorptive capacity and innovation strategy in the design of industry 4.0 business Models-A comparison between SMEs and large enterprises", *European Management Journal*, xxxxx
- 村田聡一郎 (2015) 「Industrie 4.0 ～ドイツに学ぶ, インテグレートド・インダストリーの実践例」経営情報学会, 2015 年 5 月 31 日
- 永野博 (2016) 「インダストリー 4.0 は何の革命か」, 『情報管理』 vol.59. no.3, 2016 年
- Obermaier, R. (2021) *Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe*, Springer Gabler
- 岡崎啓一 / 小宮昌人 (2020) 「デジタル時代における製造業の戦略第 1 回～第 5 回」, 知的資産創造, 野村総合研究所
- Peukert, B, S Benecke, J Clavell, S Neugebauer, NF Nissen, E Uhlmann et al. (2015). Addressing sustainability and flexibility in manufacturing via smart modular machine tool frames to support sustainable value creation, *Procedia CIRP*, 29, pp.514-519.
- Picot, A./Ripperger, T./Wolff, B. (1996a) "The Fading

- Boundaries of the Firm: The Role of Information and Communication Technology”, *JITE*, vol.152 (1966)
- Picot, A. I Reichwald, R. I Wigand, R.T. (1996b) *Die grenzenlose Unternehmung - Information, Organisation und Management*, 2nd ed., Wiesbaden [1996]
- WEF (202104) ” Pandemic, Parcels and Public Vaccination Envisioning the Next Normal for the Last-Mile Ecosystem”, World Economic Forum, 2021 April
- Salazar, A.J. (2014) ‘*Platform Competition: A Game-Theoretic Review*’, NEMODE
- 榎原清則 (2016) 「ドイツの「インダストリー 4.0」の取組みと日本製造業の課題」映像情報メディア学会誌 Vol. 70, No. 4, pp. 540 ~ 546 (2016)
- 佐無田啓 (2019) 「進化するマス・カスタマイゼーション対応技術～インダストリー 4.0 の具現化と求められる企業間連携～」, 『今月のトピックス』 No.298-2 (2019 年 5 月 17 日), 日本政策投資銀行
- Seiter, M (2016) ‘Betriebswirtschaftliche Aspekte von Industrie4.0, Symposium: Business Economics Aspects of Industry 4.0, 78. Jahrestagung des VHB, 18. Mai, 2016
- Szabo, R.Z. et al (2019) ” Industry 4.0 Implementation in B2B Companies: Cross-Country Empirical Evidence on Digital Transformation in the CEE Region”
- Szozda, N (2017) ” INDUSTRY 4.0 AND ITS IMPACT ON THE FUNCTIONING OF SUPPLY CHAINS”, *LogForum*, 2017, 13(4), pp.401-414
- 丹沢安治 (2000) 『新制度派経済学による組織研究の基礎』 2000 年, 白桃書房
- 丹沢安治 (2004) 「新しい産業構造における企業間関係—知識ベースの企業理論による説明」『九州大学経済学研究大』 71 巻第 1 号
- 丹沢安治 (2005) 「企業間連携と日本の製造業の新たな戦略—企業境界の再構築—」, 『オペレーションズ・リサーチ』, 日本オペレーションズ・リサーチ学会, 第 50 巻 / 第 9 号, pp.637-643
- 丹沢安治 (2015) 「情報テクノロジーの発達と共進化現象」中央大学政策文化総合研究所 年報第 18 号, pp.3-19
- 丹沢安治 (2017) 「薄れゆく産業境界とビジネスモデルの革新: Industrie 4.0/IoT がもたらすビジネスモデルの理論的背景は何か?」, 『商学論究』, 関西学院大学商学研究会, 第 64 巻 / 第 3 号, 2017 年 1 月
- 丹沢安治 / 宮本浩明 (2017) 「質的データからの理論構築, そして論文化まで: 研究実践からの報告」『戦略経営ジャーナル』 Vol. 5, No.3 (September, 2017)
- 丹沢安治 (2018) 「プラットフォームビジネスにおける競争優位の決定構造—IoT 時代に従来の日本企業が進むべき道とは?」『アドスタディーズ』 吉田秀雄記念財団, Vol.65
- 徳増伸二 (2017) 「インダストリー 4.0 の時代のわが国製造業の変革の方向性」精密工学会誌 / Journal of the Japan Society for Precision Engineering Vol.83, No.1, 2017
- Williamson, O. [1975] 『市場と企業組織』 日本評論社 1980/11
- Williamson, O. [1985] *The Economic Institutions of Capitalism*, Free Pr.
- Witkowski, K. (2017) ” Internet of Things, Big Data, Industry 4.0- Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management”, 7th International Conference on Engineering, Project, and Production Management, *Procedia Engineering* 182 (2017), pp.763-769
- 米盛裕二 (2013) 『アブダクション』 勁草書房, 2013 年
- 新聞・雑誌記事**
- 日本経済新聞 (20200202) 「インダストリー 4.0 政策「5 割実現」, 独製造 IoT, 提唱者のカガーマン氏に聞く」
- 日経産業新聞 (20200619) 「IoT ものづくり特集—スマート工場, 競争激しく, 生産性向上, コロナ対策にも, 企業の 5 ~ 10 年後左右」
- ホームページ**
- 経産省 (2021) 「産業界におけるデジタルトランスフォーメーションの推進」
https://www.meti.go.jp/policy/it_policy/dx/dx.html (20210622 アクセス)
- IVI (2016) Industrial Value-chain Initiative <https://www.iv-i.org/events/150618.html> (20160824 アクセス)
- 報告書**
- 201512_WEF_Intelligent_Assets_Unlocking_the_Circular_Economy
- 202001b_WEF_Lighthouse_Project_Report
- 202101a_WEF_Net_Zero_Carbon_Cities_An_Integrated_Approach_2021
- 環境白書 (2021) 令和 3 年版環境白書・循環型社会白書・生物多様性白書
- JETRO (2014) 『ドイツ「Industrie4.0」と EU における船体製造技術の取組に関する動向』, 2014 年 6 月日本貿易振興機構, ブリュッセル事務所