

# ものづくりのデジタル化

にしおか やすゆき  
西岡 靖之

法政大学 デザイン工学部 教授

## はじめに

デジタルの力は、予想をはるかに超えて、人々の生活に、企業の経済活動に、そして産業構造や社会の在り方にも大きなインパクトを与えている。30年前は存在していなかった企業数社の時価総額が、我が国の年間予算を上回る規模まで成長し、リアルからネットへの破壊的な産業構造の変化が現在進行中である。

2020年を起点とする新型コロナウイルス感染症のパンデミックは、世界各地で人々の地域間の往来を完全にストップさせた。一方で、国を超え、地域を超えて、すでに相互依存しているモノの流れ、つまりサプライチェーンはぎりぎりのところで機能した。これを可能にしたのは、デジタルの力である。ここ数年で、世界各国のデジタル事情は一変していた。

一方、我が国の状況は、デジタル敗戦という言葉が象徴するとおり、各国から大きく遅れている。この背景に、2000年代中ごろから10年以上にわたる技術政策のIT（情報技術）に関する、無関心、無理解、無防備がある。そしてそれに呼応する形で、我が国の基幹産業である製造業では、事務所系のITは海外製のソフトウェアへの依存度を増し、現場系は人間力への強いこだわりのなかでITの導入を拒み続けてきた。

こうした状況に陥った要因として、日本人特有のメンタルモデルと組織文化がある。すなわち、リアルが正で理論は副、という価値観が支配する世界である。例えば、工場の生産現場では、現地、現物、現実を基本とし、そこから得られた知識によって、理論やしくみを変更する。いわゆるカイゼン文化で

ある。また、仕事の多くは属人化された暗黙知で構成されており、自前主義と相まって、システム化するインセンティブが生まれにくい。

本稿では、以上の認識のもと、デジタル化の大きな流れにそれぞれの企業がどのように対応すべきかについて、インダストリアル・バリューチェーン・イニシアティブ（以下、IVI）の取組みや、そこで提案されている手法などを参考として議論する。

## ゆるやかな標準

第4次産業革命というコンセプトがドイツで提唱され、製造業の自動化、デジタル化が日本でも大きなブームとなり始めた2015年に、日本機械学会生産システム部門を母体として、IVIは設立された。トヨタ自動車、日立製作所、三菱電機、富士通、NECなど、日本を代表する企業が中核となり、ものづくりのデジタル化の新たな流れに対して、どう主体的に対応するかを議論した。欧米の一方的な価値観によって、新たな製造業のモデルが事実上の標準となるのを避けるため、より現場力、人間力を活かす形のデジタル化のあるべき姿を国際提案すること、そして同時に、腹落ちする形で、当事者である国内の製造業メンバーが、実際の体験を通して、ものづくりのデジタル化のあるべき姿を模索する場を提供することとなった。

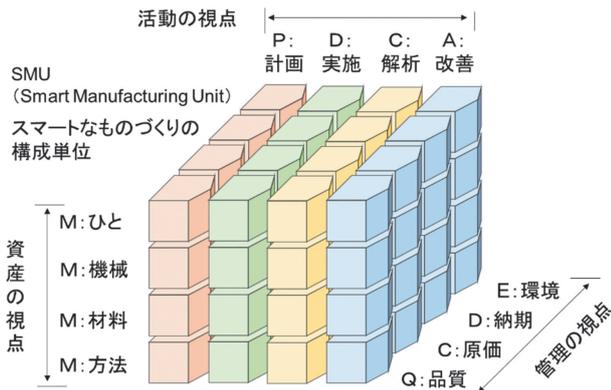
IVIのキーコンセプトは、“ゆるやかな標準”と“つながるものづくり”である。250社を超える会員が、毎年20前後のテーマのワーキンググループ（WG）に分かれて活動し、そこで得られた成果は、すでに100以上のユースケースとなった。本場ドイツのハノーバーメッセにおけるプラットフォーム4.0



【西岡靖之氏のプロフィール】

1985年早稲田大学理工学部卒業。国内のソフトウェアベンチャー企業でSEを経験し、1996年に東京大学大学院博士課程修了、博士（工学）。同年東京理科大学助手、1999年法政大学専任講師、2003年教授、2004年から1年間マサチューセッツ工科大学にて客員研究員、2007年より現職。日本オペレーションズリサーチ学会賞、スケジューリング学会賞などを受賞。日本機械学会フェロー。2015年にインダストリアル・バリューチェーン・イニシアティブ（IVI）を設立し理事長。製造が主体となった250社以上の企業とともに、ものづくりのデジタル化に取り組む。

図1 スマートなものづくりの構成単位



出所：つながるものづくりの実現戦略 IVRA-Next (<https://iv-i.org>)

のイベントで4年連続で取り上げられ、G20の政府間会合などでも講演する機会を得た。IVIが提案したスマートなものづくりの構成要素（図1）は、日本的なものづくりのリファレンスモデルとして、IEEEやISO/IECの国際標準の中でも採択された。

IVIの“ゆるやかな標準”というコンセプトは、厳密な標準との対比の中で説明すると分かりやすい。すなわち、本来の標準は事前に十分な議論を経て定義され、決定後は簡単に変えることはできない。これに対して、ゆるやかな標準の場合は、まず定義し、それを利用しながら適宜その定義を変更するというプロセスとなる。また、冗長性を許容し、同一の対象に対して異なる複数の表記が共存してもよい。いわば、異種標準、あるいは時限的標準である。

“ゆるやかな標準”の場合は、標準に個別の業務を合わせるのではなく、標準が個別の業務に合わせて進化する。したがって、“ゆるやかな標準”は、標準に従わないものを排除するのではなく、多様性を許容し、標準との差異を受け入れ、標準自身も変

化するという意味で、インクルーシブな世界における不可欠な概念といえる。

第4次産業革命からDXへ

IVIの設立当時に注目されていた第4次産業革命というキーワードは、製造業にそのフォーカスが向けられていたのに対して、昨今話題の中心である、デジタルトランスフォーメーション（DX）は、あらゆる産業をターゲットとしている。当時から5年以上が経過し、“つながるものづくり”というコンセプトは浸透したが、実際に個別の企業の現場では、依然として方向性が見えないデジタル化の議論が繰り返されているようにも見える。

「デジタル化は手段であり、目的ではない」「では、デジタル化の目的は何か？」「デジタル化の結果として何が期待されるのか？」2020年に経済産業省が公開した“DXレポート2”では、DXを「事業環境の変化へ迅速に適応する能力を身につけると同時に、そのなかで企業文化（固定観念）を変革（レガシー企業文化からの脱却）すること（pp.11-12）」と定義し、デジタル化の方向性を示した。

ただし、このような、大上段に構えた企業のデジタル化がある一方で、もっと背丈にあったデジタル化があってもよい。そこで、規模の大小に係わらず、ものづくりのデジタル化における共通の目的として、ここでは、“見える化”と“つながる化”の2つを挙げる。ものづくりの世界では、デジタル技術によって“見える化”と“つながる化”を実現し、それを価値につなげること、が求められているのである。

具体的な例として、表1に、2020年度のIVI業務

シナリオ WG で取り組んだテーマを示す。各 WG では、実際の製造業での困りごとと、その解決手段としてのあるべき姿に対して、デジタル技術を活用し、実証実験を行い、その結果を報告する。このような実践を通して、デジタルがもつ可能性を、まずは現場目線でしっかりと把握し、そこからカイゼン、改革へとつなげていく。

表1 2020年度 IVI 業務シナリオ WG テーマ名

| No | テーマ名                         |
|----|------------------------------|
| 1  | 検査の自動化プラットフォーム 活用天国          |
| 2  | エッジと遠隔による現場支援                |
| 3  | ダイカストシリンダーブロック素材品質向上         |
| 4  | 製品管理のための低コストな情報取得の実現         |
| 5  | 生産設備の消耗部品の予知保全               |
| 6  | 搬送機器の遠隔操作による部品庫物流自動化         |
| 7  | AIによる製造ラインの生産性向上             |
| 8  | 人・モノの実績可視化-Ⅲ (次世代 IE 追究)     |
| 9  | 製造工程 (外観検査) のリモート化           |
| 10 | 工程能力の可視化による業務効率化             |
| 11 | 価値を生まない“モノの搬送”革新-分析編         |
| 12 | エッジ AI とデータ流通で IVI 型製造進化     |
| 13 | IoT とエッジ AI 活用による CMP プロセス管理 |
| 14 | AE センサによる高速プレス機の不良検知         |
| 15 | ローカル 5 G + サーボプレス機のインプロセス管理  |

出所：IVI ウェブサイト (<https://iv-i.org>)

## 見える化とデータ化

ものづくりの世界でよく耳にする“見える化”という言葉は、可視化、すなわち視覚的に見えるようにするだけではなく、これまで見えなかった問題や課題を、自分自身を含めた関係者全員が認識できるようにすることを意味する。この見える化という概念は、それが人中心であるという点に注目すべきである。見える化は、問題や課題を人に提示するところまでがその役割であり、それを受けて意思決定し、行動するのは人である。

その意味で、見える化と自動化は対局に位置す

る。見える化と自動化の対比は、人中心か機械中心かという対比で考えると理解しやすい。こうした観点から、日本のものづくりの現場では、あえて自動化ではなく、にんべんのついた“自動化”ということばを好んで使う。自動化を避けているのではなく、自動化によって人が働かなくなるのを避ける狙いがある。実際のところは、これらの組み合わせで生産現場は成り立っている。

デジタル化の目的を、自動化に置くのか、見える化に置くのかで、DX を推進する企業の基本的なスタンスが大きく変わってくる。おそらく、第4次産業革命の発祥地ドイツは、自動化だろう。そして、世の中の流れも、自動化の方向に向かっている。見える化にこだわり、現場の人の判断やカイゼンを重視する日本的なデジタル化は、昨今の破壊的イノベーションの流れのなかで、破壊される側になるのだろうか。おそらく両者をつなげる何らかのアイデアがあるはずだ。

そこで登場するのがデータである。見える化も、自動化も、そして両者の間の柔軟な橋渡しも、データ化がその前提となっている。ここで、データ化とは、現実のモノやコトに関連した事実やその解釈を、そのとき、その場にはいない人でも理解できる形式で表記し、それを蓄積、共有することを通して、第三者による比較や分析、そして計算などができるようにすることである。この場合、データは、必ずしもデジタルであるとは限らない。しかしデジタルであることで、特に自動化において、コンピューターがデータを操作可能となったことで、多くのイノベーションが生まれた。

## ビックデータとディープデータ

データは新たな情報社会における石油である。現代企業にとって、データは価値の源泉であり、「データを制するものは市場を制する」とまでいわれてい

る。米国の巨大 IT 企業の成長の理由もデータの存在によって説明できる。

一方で、製造業の担当者からすれば、現場には常にデータがあふれており、その気になれば、データはいくらでも集めることができる。同じように多種多様で多量なデータに関するこの両者の違いはどこからくるのだろうか。

まず、前者は、ビックデータとして、消費者の膨大な関心や行動履歴を含んでいる。したがって、これを分析することで、マーケティングにおける貴重な情報が得られる。一方で、後者は、現場にある材料や製造装置、そして作業員などから得られるもので、そこからは品質、コスト、納期などに関する課題、そしてその解決のためのヒントが得られる。両者ともに、価値のあるデータではあるが、前者が広く多くの事業者にとって価値があるのに対して、後者の場合、そこから価値を引き出すことができるのは、その工場、その現場に限られる場合が多い。

このように、ものづくりにおけるデータは、米国の巨大 IT 企業が展開するビックデータとは異なる種のものである。ものづくりにおけるデータは、ビックデータと比較するなら、ディープデータと呼ぶべきものだ。表2に示すように、ディープデータは、個別の状況への依存度が高く、複雑な因果関係に基づいて構成されている。

表2 ビックデータとディープデータの違い

| データの区分  | ビックデータ   | ディープデータ  |
|---------|----------|----------|
| データの構造  | 多種多様な関係  | 複雑な因果関係  |
| 得られる事実  | 確率的事象の推測 | 確実な事象の導出 |
| 適用できる範囲 | 広く共有が可能  | 個別の状況に依存 |
| 管理のポイント | データ蓄積が重要 | モデル管理が重要 |
| 表現する内容  | 主に消費者の行動 | 主に生産者の行動 |
| 扱い上の課題  | 個人情報を含む  | ノウハウを含む  |

出所：令和元年度ものづくり白書 (p.80)

データには価値がある、とよくいわれるが、デー

タは無体物であり、所有することができない。所有できないので、貨幣と交換できない。したがって、正しくは、「データを利用することで価値を生み出すことができる」、のである。細かいようであるが、これは、データの本質を理解するうえで、きわめて重要なポイントである。

つまり、データをそれぞれ単独で価値と結び付けて議論することに意味はなく、“データ”+“データを利用するしくみ”、あるいは、“データ”+“データを利用する権利”の組み合わせのなかで議論する必要がある。さらにいえば、データは、その生成、加工、および提供の方法によって、そのデータが生み出す価値を増やすことができる、という点も重要となる。

## プラットフォームビジネスの要諦

ビジネスモデルの視点でいえば、データを生成、加工、提供するリアルなプロセスをもつ者は、そのデータを利用するリアルなプロセスから得られる価値を、そのデータを提供する対価として得ることができるべきである。そして、このデータを生成、加工、提供するプロセスと、データを利用するプロセスの両者を保有またはコントロールする者がプラットフォーム企業なのだ。

データを介した知識集約型のビジネスモデルは、これまでもあった。しかし、そこにデジタル化とネットワーク化が付加されたことで、ゲームのルールを根底から変える大きな変化につながった。デジタル化されたデータは、複製が容易であり、ネットワークでつながった相手に限界費用ゼロで配信可能である。

プラットフォーム企業として、このようなデータを介したビジネスモデルを展開する場合、データの提供者と利用者が顧客としてプラットフォームに参加する場合も多い。プラットフォームのビジネスモ

デルでは、そうした参加者が増えるほど、そのプラットフォームの価値が高まるというネットワーク効果により、さらにビジネス規模が拡大する。

データを生成し、提供するしくみがあり、そのデータを利用するしくみがあり、そして両者をつなげることが、価値を生み、利益につながる必要条件だとすると、日本の製造業は、データを生成するしくみ、あるいはデータを利用するしくみを、ハードウェア技術とセットで提供することが可能である。リアルな世界における品質の追求は、日本企業の得意とするところだ。

つまり、提供するサービスに占めるソフトウェアとハードウェアの比率、およびサービスの共通性と個別性の比率によって、利益率は異なるが、米国の巨大プラットフォーム企業とは異なる形で、日本の製造業の強みを生かしたプラットフォーム企業が存在してもよいのである。

プラットフォーム企業にとって悩ましいことは、ユーザーサイドの限られたスペースを、自社が提供するデバイスで継続的に占有することが難しくなっているという点である。したがって、スマートフォンがそうであるように、複数の企業が相乗りできるようにあらかじめプラットフォームを設計し、相互に依存する形で、エコシステムを形成する必要がある。

すなわち、相互接続性の保証によって企業や業種を超えたつながるしくみを提供し、参加する企業間の利害調整や利益の配分メカニズムを内包させ、そこに参加する各企業のビジネスモデルの一部として、なくてはならない存在となることがプラットフォーム企業の基本となる。

## つながる工場のフレームワーク

DXを推進するうえで、過去の固定観念からの脱却が必要であるといわれているが、ここで変えるべき固定観念の筆頭は、データに対する価値観だろ

う。すでに、ビックデータの側では、イノベーションが起こり、勝敗はほぼ明らかになった。しかし、ディープデータの側、つまり依存度が高く、個性が高いデータの周りでは、イノベーションはまだ起きていない。

IVIは設立以来、キーコンセプトである“つながるものづくり”の追求のなかで、まさにこの領域をターゲットにしてきた。そして、我が国の製造業の現状を理解したうえで、新たな製造業のイノベーションを後押しするために、現在、経済産業省からの補助を受けて開発を進めているのが、企業間オープン連携フレームワーク（CIOF：Connected Industries Open Framework）である。

簡単にいうと、CIOFは、企業内部の業務アプリが、インターネットを経由して、他の企業の業務アプリにデータを送信するためのしくみである。ただし、このしくみは、担当者を介した従来のファイル転送や、個別の業務を対象として開発したシステム実装とは異なり、DX時代における企業間連携のために必要な以下の3つの要件を考慮している。

第一の要件は、契約である。企業間でデータの提供および利用を行う場合、対象となるデータの送受信に先立って、その取引データの意味や構造、そして、利用目的や利用条件を両者で合意するしくみが必要である。CIOFでは、データ取引契約を締結後、そこで指定したデバイスやアプリが、条件に従いデータを提供する。送信した取引データは、契約に設定された範囲でのみ利用され、データの提供者は、その利用履歴を共有する。

第二の要件は、辞書である。異なるサイト、異なる事業者間でデータの提供と利用を行う場合、それぞれの現場の用語や、その意味が異なっているため、意思が伝わらない、あるいは間違っ伝わることが多い。そこでCIOFは、“ゆるやかな標準”のコンセプトの実践例として、2者間で合意した共通

辞書と各企業が個別に定義した個別辞書により、多様な現場の用語に追随する形でこの課題を解決する。

そして、第三の要件は、認証である。認証とは、データを提供した先、あるいは提供元が、想定している相手であることの確証を得るためのしくみである。データ駆動型のビジネスモデルにおいて、機密性の高いデータを取引相手と共有する場合に、取引データの受取や利用を CIOF が第三者として証明する。こうした認証のメカニズムでは、ブロックチェーンなどの技術が用いられる。

CIOF では、こうした3つの要件を満たすとともに、これらの機能を用いて、データ提供者のデータオーナーシップを保証することを目指している。データオーナーシップとは、データに対するアクセス権、利用権、削除権など、データをコントロールする権利をいう。たとえば、データオーナーシップをもつデータ提供者は、その取引データを利用する側が実際に利用した回数やその結果を知ることができ、必要に応じて削除させることもできる。

## ものづくりの知財化とその展開

ものづくりにおけるこうしたプラットフォームの重要な役割として、部品のサプライヤーである中小企業が、発注元である大企業に対してデータを提供する場合の知財保護が挙げられるのではないか。知的財産の管理部門を持たない中小企業が、大企業に

対して、加工技術やノウハウを提供する場合、データに関する公正な取引関係を構築するための基盤となることを期待したい。

これは同時に、大企業における海外拠点の知財管理にも活用できる。たとえば、現地での生産において、工作機械に対する NC プログラムを提供する場合の知財流出を防ぎ、グローバルなサプライチェーンにおける知財のコントロールを容易にする。データによる企業変革は、こうした国や地域を超えた知財としてのデータ流通のしくみと切り離せない。

このように現在は、デジタル技術を用いたつながりによる新たな産業構造の転換点にある。データがもつ可能性をうまく引き出せば、大きなイノベーションにつながると予想されるが、一方で悪用の恐れもある。活用もできれば悪用もできる。こうした現状のなかで、データオーナーシップに関する議論は、欧州ではデータ主権として、議論され合意形成が進みつつあるが、日本国内では、議論が進んでいない。

我が国全体としての発展を考えれば、企業がそれぞれの立ち位置で DX を進めると合わせて、特に、法律的な側面や制度において、中小製造業など立場の弱い側に不利にならないような対策が欠かせないだろう。さらに、日本企業が海外で稼ぐためには、データに関する国をまたいだ制度設計を、国際協定のなかで日本が主導して進めることも重要である。