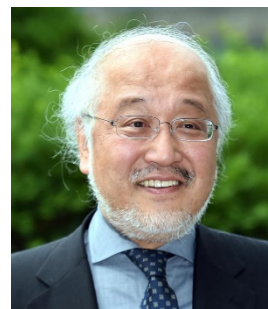


デジタル化時代のものづくり戦略



東京大学大学院 経済学研究科

教授 藤本 隆宏

1. 広義のものづくりとは

本稿では、ものづくりを広い意味で捉え、付加価値を担う設計情報の流れを作ることを「広義のものづくり」とする。要するに設計者の構想をもの（媒体）に作り込み、「良い設計の良い流れ」を実現するのがものづくりである。

ここで「設計」とは、製品や生産工程などの人工物（Artifact）の機能と構造の関係を示す情報や知識を指す。交換価値をもつ人工物を製品と呼ぶなら、製品の機能設計は主にその価格と需要量に影響を与え、製品の構造設計は主にその生産費用に影響を与える。いずれにせよ、ある製品単体の付加価値を、その製品価格と媒体費用（直接材料費）の差と考えるなら、それは当該製品の設計情報によって決まると言える。ゆえに「付加価値は設計情報に宿る」と言え、ものづくりの本質は、付加価値を担う「良い設計」の「良い流れ」を作ることだと言える。

こうした「広義のものづくり論」は、モノにもコトにも、ハードにもソフトにも適用できる。構造設計情報が有形の媒体に乗れば物財（モノ）の製造業、機能設計情報が無形の媒体（エネルギー）に乗ればサービス（コト）あるいはソリューションであるが、付加価値（＝設計情報）の良い流れを作るという「広義のものづくり」の原理は、製造業にもサービス業にも通用する。トヨタ生産方式の達人がサービス業の現場改善も難なくこなすのはその証左である。

サービス（コト）は、ある環境下において、ある構造物（モノ）を手動/自動で操作することによって生じる。逆に構造物（モノ）は、生産サービスすなわち設計情報の転写というコトによって実現する。すなわち、モノあってコトあり、コトあってモノあり。両者は代替的ではなく補完的である。

昨今は「モノからコトへ」といた流行語が聞かれるが、以上のようなモノゴトの本質論から見れば、正確な言説ではない。確かに、製造企業が物財の売りっ放しビジネスを脱却し、ユーザーがモノからコト（問題解決）を生み出すことを補助するソリューションビジネスを展開す

べきだ、との主張は、以上の本質論と矛盾がない。しかしそれは、モノだけから「モノ+コト」へ、という変化であり、モノ事業をやめてコト事業へ移行するという極端な話ではない。

2. 上空・低空・地上の3層構造

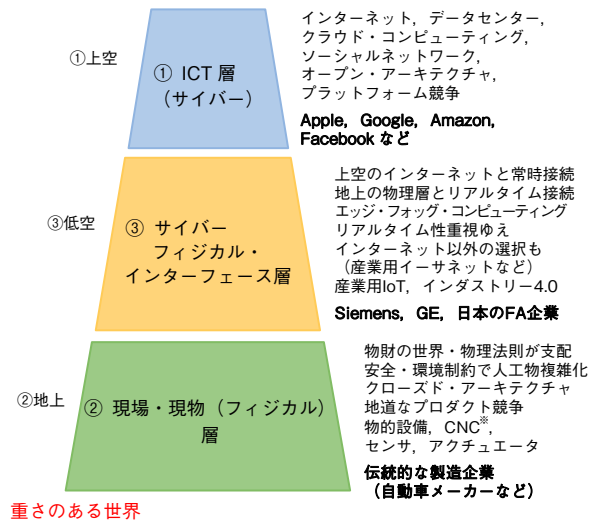
孫子から現代の競争戦略論に至るまで、戦略論の要諦は、自らの強みを活（い）かし、弱みを補い、有利な状況を活かし、不利な状況を避けることにある。これは現代の日本企業についても言える。では現在の日本の有力な製造企業（例えばトヨタ（株）やパナソニック）はいかなる戦略を構築すべきか。

有効な戦略策定は周到な状況認識から始まる。この観点から1990年代以降の30年間の状況を総括するなら、第1に、地球温暖化など物理的世界の維持困難性つまり「サステナビリティ」（S）。第2に、コンピューティングパワーの指数関数的拡大に支えられたデジタル化（D）。第3に、冷戦終結から米中摩擦に至るグローバル化（G）。冷戦終結後・バブル崩壊後・平成期の約30年は、こうした「広義のS・D・G」が同時進行した時代だったと総括できよう。

その結果として、①重さのない（物理法則に拘束されない）ソフトウェアやコンピュータ技術（ICT）のデジタル・サイバー層（筆者は「上空」と呼ぶ）、②物理法則に支配され、資源枯渇や環境破壊や安全確保のサステナビリティ制約が年々強まっているフィジカル層（筆者は「地上」と呼ぶ）、③異なる方向に進む「上空」と「地上」を整合的に連結させるために近年急発達してきた中間的なインターフェース層、あるいはサイバーフィジカル層（筆者はこれを「低空」と呼ぶ）、この3層が出現したのが近年の産業界である（第1図）。

現代は、情報とモノの世界が複雑に絡む「ややこしい時代」であり、上空・低空・地上はダイナミックに連動しつつ進化する。ところが同時に、世はSNS時代であり、ものごとの一面を誇張し勢いで語るキャッチコピーの流行語も氾濫し、次々と浮沈する。これらに振り回されて一面的な状況判断や戦略選択を行っていけば将来を誤り

重さのない世界



第1図 上空・低空・地上の3層構造

かねない。サステナブル・デジタル・グローバルの諸要因をすべて視野に入れ、いわば連立方程式を解くように、バランス良く将来を見通す必要がある。単独式を別々に格好良く解いているだけでは、長期全体最適の解にはなかなか到達しない。

とはいえ、昨今の資本市場は、ある意味で軽薄であり、キャッチコピー的な「良い話」(Equity story)だけで株価が動いてしまう傾向が強い。このような状況では、株式市場向けに「わが社はソフトウェア企業になる」「モノ企業からコト企業になる」といったパンチの効いた言説を発信することはある程度の戦術的な意味をもつ。しかし、当の企業自体が本当にその言説通りに動こうとすれば混乱を招こう。

例えば、ドイツにおいて株価総額で1, 2を競うのがSiemens AG (以下, Siemens)であり、その評価は主にデジタルファクトリー部門の好業績によるものだ。同部門はIoTプラットフォームやデジタルツインなどソフトウェア面の強みを盛んに喧伝(けんでん)する。資本市場向けメッセージとしてはそれは正しい。しかし実際には、同部門の2018年頃の売り上げの半分は中国向けで、その中国販売の約8割はPLC (Programmable Logic Controller) などハードウェア販売であった。同社自身も、外向けの発言は別として、こうした現実を冷静に見て商売をしているはずである。資本市場向けの言説はそれ自体が戦術だが、自社発の言説に自社内部が逆に振り回されるべきではないだろう。

3. 地上企業の上空戦略 — 強みを活かし弱みを補う

そこでまず、「上空」の戦略分析を考えよう。現状では、グローバル展開するメガプラットフォーマー(MPF)は、Amazon.com, Inc. (以下, Amazon), Google LLC (以下, Google), Apple Inc. (以下, Apple), Microsoft Corp.など米国に集中し、中国も情報鎖国気味ながら10億人超の人口を背景に、国内中心の巨大プラットフォーマー (Alibaba Group Holding Ltd., Baidu, Inc.など) がある。日本は元々家庭用ゲーム機でプラットフォームビジネスの先鞭(せんべん)をつけたが、結局その製品の枠内にとどまり、現在の日本にMPFは皆無、いわば上空の制空権を握られた状態である。

それでは日本の電子系の有力企業はどうするか。まず「上空」との関係について結論から言えば、①自らMPFの道を目指すか、②MPFと能動的につながるか、③MPFに受動的に追随するかの選択となる。

前述のように、戦略構想力のある企業は、自社の現在の強みをまずは活用しつつ、弱みは自力や買収で補い、出現する成長機会を活用し、脅威に対しては回避・防衛する。プラットフォーマー全盛の現代における地上のエレクトロニクス系企業であれば、それは、自社のものづくり能力構築の強みを活かし、ビジネスモデル構築力の弱みを補い、低賃金新興国戦力との消耗的な価格競争を避け、プラットフォーム・ビジネスモデルに能動的につながってその成長機会を取り込む、といったものであろう。

すなわち、仮に自社が、開発や生産の難しい「ややこしい製品」における「統合型ものづくり」を伝統的な強みとするのであれば、ライバルが真似できない、あるいは真似する気にならない「コテコテのものづくり」の能力を常に進化させることが肝要である。筆者の知る限り、20%前後の営業利益率を出す日本の優良製造企業やその事業は、コテコテのものづくりを決してやめていない。多くの場合、「ものづくりかビジネスモデルか」という二者択一論は不毛であり、両者が連携して両方を強化するのが有益である。

とはいえ、デジタルトランスフォーメーションやプラットフォーム競争の時代、地道なものづくり改善だけでは儲(もう)からないのはそのとおりであり、これに加えて商売改善、今の言葉で言えばビジネスモデル革新が必要だ。しかしその際、単にAmazonやGoogleのような米国系MPFの真似をすれば良いのか。残念ながらそこは、二重の意味で、日本の企業が苦手としてきたオープン・アーキテクチャの世界である。第1に、得意な調整集約型あるいは擦り合わせ型(インテグラル型)アーキテクチャの製品とは異なり、持ち味の統合型ものづくり(多能

工のチームワーク)を活かせず、過去30年間、米国のデジタル革新や中国の低賃金生産に日本勢がさんざんやられてきた、調整節約型の領域である。われわれは常に「アーキテクチャの比較優位」を念頭に置いた戦略選択が求められる。

第2に、「上空」のオープン・アーキテクチャの世界は、良い製品を安く作って自力で少しでも大きなシェアを取るといふ日本得意の「プロダクト間競争」ではなく、「プラットフォーム間競争」すなわち、グローバル業界標準というフェンスを立ててその中を守り、その外には補完財企業群という仲間を増やし、彼らを含めたビジネスエコシステムの規模と勢いを競うという、日本企業が気づくのが決定的に遅れた新しい戦い方の世界である。人口や経済規模がものを言うグローバル・ネットワーク・パワーのゲームでもあり、人口1億余の日本は、はなから分が悪いのである。

4. 「上空」と自社標準でつながるアーキテクチャ戦略

こうしたデジタル産業競争の歴史や現状を考えるなら、「AmazonやGoogleがうらやましいので遅まきながら真似をする」というベタな戦略が功を奏するとは考えにくい。強みを活かし弱みを補う戦略論の基本に立ち返るなら、自社のものづくり能力構築の強みを活かしつつも、成長するメガプラットフォームの中核をいきなり狙うのではなく、まずはそこにつながる補完財とその部品(広義の補完財)を作る。その際、「コテコテのものづくり」による差別化で低賃金新興国との単純な価格競争は回避する。一方、プラットフォームや有力補完財企業に対しては、相手に合わせたカスタマイズではなく、小さいながら自社標準を確立し、それで買ってもらう。製品内部は面倒くさい高機能・擦り合わせ設計、外側のインターフェースは自社主導の業界標準とし、オープン・アーキテクチャ型の買い手、それも高付加価値系の「うるさい買い手」に自社標準で売り切る。具体的な企業事例は割愛するが、こうしたアーキテクチャ戦略を取る日本企業は既に複数存在する。

このように、日本の多くの製造企業の現状を考えるなら、MPFがうらやましいのでその真似をする、というのは現実的な戦略ではない。むしろ、コテコテのものづくり力を活かし、そのうえで自社標準でうるさいお客に売り切るビジネスモデルを確立し、全体として「中インテグラル・外モジュラー」あるいは「中クローズド・外オープン」のアーキテクチャ戦略で勝負する「強い補完財メーカー」をまずは目指すのが、戦略論の理には適っている[2][3]。それは、MPFという恐竜の足元でしぶとく

動く「哺乳類戦略」と呼んでよいだろう。

ちなみに、AppleはMPFの一角を占めるが、実は売り上げのほとんどはプラットフォーム自体ではなく、そこにつながる巨大な補完財であるiPhone^(注1)やiPad^(注1)であり、この点で、プラットフォーム由来の場所代や広告料を主収入とするAmazonやGoogleとは異質である。そして、いわば10万円で2億台を売るこの巨大補完財は、高品質・高機能の日本製部品を多く買う。またその生産委託先(Hon Hai Precision Industry Co., Ltd.など)は日本製の生産設備を多く買う。

一方、米中技術摩擦のなかで、写真撮影(インスタ^(注2)映え)性能でiPhoneに対抗する中国のHuawei Technologies Co., Ltd.(以下、Huawei)のスマートフォンは、日本製部品への依存度がiPhone以上だと言われる。モジュラー型製品(この場合Huawei)が、よりインテグラルな高機能高価格製品(この場合Apple)に対抗する場合、前者の構成部品はインテグラルである必要がある、というアーキテクチャ理論の予想通りの展開である。

無論現在の米中関係には安全保障問題が絡むので細心の注意は必要だが、産業の基本原則としては、良質の有効需要があれば支障なき限り応じるのが筋であろう。

5. インテグラル顧客向けの準マスカスタマイズ戦略

ここまでは、擦り合わせで作り込み自社標準で売り切る日本の業績優良企業の「中インテグラル・外モジュラー戦略」あるいは「中クローズド・外オープン」を見てきた。この戦略でシェアが1,2位なら売上高営業利益は20%行っておかしくない世界で、実際、Intel Corp.はじめプラットフォームはこのポジションにいるが、日本の「強い補完財企業」も実はアーキテクチャ戦略的には同じ「中インテグラル・外モジュラー」の位置取りになるのだ。

しかしこのように「中インテグラル」の製品や工程や事業が日本に多く集積しているとするなら、論理的に言えば、そこに部品や設備を納める中間財や資本財の企業のなかには、外インテグラル、つまり最適設計のカスタム部品や専用設備を納める企業も多いことになる。例えば、日本の自動車部品企業の多くは、厳しい仕様要求の最適設計部品を自動車企業と共同開発する(承認図方式)結果、自社部品の内部構造も擦り合わせ型となり、「中インテグラル・外インテグラル」の位置取りとなりやすい。

このポジションは、開発費も販売費も高くなるので、

(注1) iPhoneおよびiPadはApple Inc.の登録商標。

(注2) インスタグラムおよびInstagramはFacebook, Inc.の登録商標。

よほど価格設定権をもてる独自製品でない限り、利益率は5%以下で儲からない。

そこで、アーキテクチャ戦略の巧みな企業は、製品全体は顧客向けにカスタマイズ設計しながら、その構成部品には徹底的に共通部品や標準部品を組み合わせる「中モジュラー・外インテグラル」戦略を多く採用してきた。

具体的な企業事例は割愛するが、こうした戦略を取る産業財系の優良日本企業は幾つもあり、多くは直販（ダイレクト）ビジネスや優秀なセールスエンジニアによる提案営業を得意とする。

ただし「中モジュラー」と言っても、完全に標準部品、共通部品のみをレゴ^(注3)のピースのように組み合わせて全体をカスタマイズするわけではなく、必要に応じて子部品や組み込みソフトのレベルでカスタム設計を適宜行える能力は担保してある。また、組み合わせる子部品自体の設計は、高性能を実現するために高度な擦り合わせ設計であることが多い。つまり、あくまでも高度なカスタマイズ設計能力を維持したうえで、商売的にはできるだけ標準型設計に近くする、いわば「準カスタマイズ」戦略である。実際、日本企業のモジュラー設計は、可変部分（カスタム設計部品）と固定部分（共通設計部品）を切り分けることが多く、その意味でも「準カスタマイズ」に近いのである。

6. 低空戦略—ネットワーク力と現場知識のバランスを

次に「低空」での競争戦略について述べる。ごく簡単に述べると、上空のコンピューティング能力拡大と、地上の諸問題の複雑化に伴い、地上に近い所で情報処理をする低空層が発展したのが2010年代からで、センサ、エッジコンピューティングなどととも、その中核システムは、地上とリアルタイム、上空とオールタイムでつながり、地上の動きを写し取るデジタルツイン、あるいはサイバーフィジカルシステム（CPS）だと言われる。

この領域に精通する安井公治氏によると、CPSには接続デバイスとしてCPSモジュールが要求され、そこにはCPU、GPU、メモリー、5Gチップ、AIチップ、アンテナなどが集結する必要がある。特に5G・AIチップには最先端の半導体が必要で、いわゆるムーアの法則の続行が必須である[4]。ところが2010年代の大半、ムーア法則は事実上減速し、トランジスタ当たりコストは下がってなかった。このため、CPSモジュールのコストも下がらなかった。価格が下がらねばCPS導入も進まない。

(注3) レゴおよびLEGOはLEGO Juris A/Sの登録商標。

しかし、2018年ごろから、技術的隘路（あいろ）であった露光装置のEUVレーザー技術にブレークスルーがあり、2020年代中に線幅1nm台を目指してムーア法則が復活、量子コンピュータ実用化も含め、CPSの供給側の隘路は緩和しつつある。

他方、需要側でも、トランジスタ当たりコストが下がらなかったこともあって、スマートフォンの次の大需要がなかなか見つからず、実際2010年代には、スマートグリッド、3Dプリンタ、インダストリー 4.0、自動運転車などが「次はこれだ」と喧伝され、言葉が流行し、やがて期待はずれだと幻滅するサイクルを繰り返した。しかし、ムーア法則の再起動により、CPSモジュールの価格が、例えば数十万円から数万円、数千円と下がってくれば、買い手の購買力や意欲に応じて、デジタル製造、自動運転車、家庭向けスマートグリッドといった順番で、これまで流行止まりだった潜在需要が顕在化する可能性がある[4]。つまり供給と需要の両面において、低空戦の本格化は2020年代以降と考えるべきである。

ちなみに、ドイツ発のインダストリー 4.0に関する2010年代半ばの日本での報道は「ドイツでは既に自動化工場がインターネット常時接続のコネクテッドファクトリー状態で、日本は周回遅れだ」といったもので、日本の産業界でも大騒ぎになったが、筆者がドイツ・ミュンヘンの関連学会（2017年）で確認したところ、あれはバックキャストの目標を提示したもので、むしろドイツ国内の中小企業政策としてのインダストリー 4.0は行き詰っていた。

要するに、2015～2016年ごろの日本の新聞報道は、ドイツの当該政策の将来目標を現実と見誤った誤報であった。前述の理由により、CPSを絡めた低空戦の本番は2020年代、つまりこれからと見るべきである。

一方、このドイツの「未来図」に乗ってきたのは、賃金高騰に対応して「手軽な自動化」を切望していた数多の中国企業であり、この需要を取り込んでドイツ企業のSiemensやSAP SEの中モジュラー式（レゴブロック式）のデジタルマニュファクチャリング、つまり「オープンなOSと標準化されたソフト・モジュールを組み合わせればメーカーの異なる自動化機器群でも工場全体を遠隔的に自動制御できる」というシステム提案は、中国の製造業業者の琴線に触れた。

かくしてインダストリー 4.0は、ドイツ国内向け中小企業政策としては不成功、しかしB2Bの対中輸出戦略としては大成功、日本勢は誤報で当初混乱、という構図であった。

では、2020年代、地上の製造企業は低空戦をどう戦うか。MPFが得意なグローバルネットワーク力と、優良製

造企業が得意な現場知のバランスが鍵である。デジタル製造をめぐるSiemensとGE (General Electric Company) の第1戦が参考になる。詳細は他に譲るが、当初、高適な方針で評判の良かったGEが、勝手知ったる航空エンジンや発電設備以外では言ったほどのことができず失速。逆にデジタル製造に絞り、設計情報の流れに沿って上流のPLM (Product Lifecycle Management) から下流のMES (Manufacturing Execution System) まで、上空と地上をバランス良くつなぐソフト企業群を抜け漏れなく買収したSiemensは、地道だが周到な低空戦略で、特に中国市場で成功。第1ラウンドはSiemensの勝利と言えよう。

低空戦はまさに、上空のネットワーク力と地上の現場知のバランスが重要であり、ネットワーク力の過信は禁物、逆に地上に引き籠もっていても商機は少ない。

7. 現場のIoT：部分最適と全体最適

いわゆるIoT(Internet of Things)という概念も2010年代後半に流行したが、実際の日本企業の取り組みは、発信機付きセンサを工程の要所に多数設置し、モノからデータを取り、CPSモジュールを介してディスプレイ上で地上の「ものの動きや流れ」をリアルタイムで見える化し、適宜シミュレーションも行い、新たな気づきを得て異常予知や早期対応につなげて成果を出そう、との目的意識を多くがもつ。いずれにせよ、現場情報がすべて上空のインターネットで処理されるわけではないという実態から言えば、IoTという言葉は実は正確ではない。本質はIoTではなく、IFT (Information from Things) つまり「モノからデータを取る」ところである。

この「IFT」の観点から日本の製造現場の当時の実態に目を移すと、デジタルマニュファクチャリングにおけるIoT/AIブームは、「何かやらなきゃ出遅れる」という流行現象的な側面がどうしてもあり、それに振り回され右往左往する企業や、「とにかくデータを取れ、見える化しろ、成果を出せ」との経営側からのプレッシャーに対して、現場は、ボトルネックではない設備の予知保全による稼働率アップなど、成果を出しやすい部分最適の結果、いわば「怒られないIoT」でしのいでいるケースが見られた。

例えば2019年に工場経営の専門誌である『日経モノづくり』に載った多数のIoT事例に関する論文を見たところ、その40%以上はいわゆる予知保全、つまり個別生産設備の故障予知による設備稼働率アップの事例であった。予知保全が重要であることに異論はないが、まずは工場全体の仕掛品のトータルな流れを把握するのが先決であるという「広義のものづくり論」の基本原則からすれば、やや違和感がある。個別設備の改善であれば他の職場に

迷惑をかけないのでやりやすいという組織心理、あるいは、他社で成果が出ているのでとにかくやってみる、つまり「模倣的同型化」といったロジックが疑われる。

しかし最近では、ものづくりの本質論に立脚したデジタルマニュファクチャリングを進める先進的な日本企業やその現場を目にするようになった。例えば、ある自動車部品企業の機械加工職場では、数年の試行錯誤の末、以下のような見解に達した；(i) まず付加価値の流れづくりというものづくりの本質論に戻り、主として人間系の強化にデジタルツールを利用する。例えば個人別の現場管理モバイル端末で、現場のラインの班長の仕事のうち低付加価値作業である帳票転記や異常発生現場への駆け付け時間のムダを削減し、その分、改善や教育などの高付加価値時間を増やす；(ii) 現場の目視検査の最適動作を「名人」の動作のモーションキャプチャ分析などを通じた作業分析で形式知化し、AIによる画像分析も含め、作業品質向上、新人教育の加速化、最終的な自動化などへつなげる；(iii) 過去の膨大な手書きデータをまずデジタル化し、闇雲なビッグデータ分析の前に、自社独自の高品質ビッグデータの分析で気づきを得る。ここは外部委託のパブリッククラウドではなく、主に企業クラウドを利用する。

要するに、日本企業の伝統的な「流れ重視」のものづくり思想は堅持しつつ、IFT/CPSによるリアルタイムシミュレーションやビッグデータのAI分析は活用するが、収集・蓄積したビッグデータから帰納法的に予知を行うAIは「低次の活用」と考え、むしろそれらを踏まえて深い要因分析を行い、演繹的に科学的なロジックやアルゴリズムを発見し、それを活用し、「なぜなぜ5回」で根本原因に到達し、源流管理を行う。これをデジタルマニュファクチャリングの高次レベルと位置付ける。つまり、帰納法的なビッグデータ解析はあくまでも低次利用で、科学的・演繹的な源流管理がその上に来る高次活用とみなされる。

このように、日本の統合型の優良現場では、AIやCPSは人間系を代替し消滅させるものではなく、むしろ、人間系の能力を高めるためのアシスタント的存在と意識されよう。この点、現場の人員を遠隔自動化で代替する指向の強い中国の多くの製造企業とは、CPSの使い方も、そこで作られる製品や工程も自ずと異なってくる。

日本の統合型の優良現場の多くは、現場に知的熟練度の高い集団がいて、彼らがラインサイドの大型モニター上のCPSを見ながら、複雑な流れの変化を逐次把握し、30分後のボトルネックの移動に対処し、複雑な擦り合わせ型製品の変種変量生産を、適宜AIの支援も受けながら、現場主体で動いていくことが多いだろう。新型コロナ感

染拡大以降、工場の遠隔自動化志向は全般に強まると予想されるが、これにより、工場フロアに経験値の高いチームを残す日本型と、集中制御室から遠隔操作する中国型では、作れる製品も生産体制も自ずと異なってくる。むしろ両国の間の製品・工程別の国際分業が顕著になると予想される。

8. 付加価値の「流れ」作りのためのIFT・CPSを

最後に、「ものづくり経営学」の基本に立ち返るなら、IoTにせよAI・5G・量子コンピュータなどの活用にせよ、それを自己目的化せず、まず「顧客に向かう付加価値（それを担う設計情報）の良い流れを作る」という広義のものづくりの原点に立ち返り、「良い設計の良い流れ作りのためのIFTとCPS」という本質論的な視点をもちつつ、デジタルマニュファクチャリングを推進するのが基本である。

「良い流れ」づくりとは、要するに製品開発から生産、工程から製品への設計情報の転写（流れ）の精度・密度・速度を不断に高めることで、QCT（品質、コスト・生産性、リードタイム）つまり「裏の競争力」、さらに「表の競争力」である顧客満足、価格、納期の改善を行うことに他ならない。実際のところ、発信機付きセンサなどを付けて「流れ」をデータ化し、意味づけして情報化し、見える化し、気づき、予知し、早めに手を打つ、という一連のIFT活動において、①不良の予知（各工程のQ改善のためのIFT）、②故障の予知（個々の設備の稼働率アップによるC改善のためのIFT）、③そして仕掛品の「渋滞」の予知（全体最適のT改善のためのIFT）が、目下のところ、IFT流れ改善の3大目的と言えるが、ボトルネックでない設備の稼働率アップは全体に貢献しないのであるから、まず優先すべきは、③の「全工程の渋滞予測」であろう。

例えば、設備の稼働・不稼働、あるいは仕掛品の通過・不通過を検知する安くて簡単なセンサを全工程につけ、リアルタイムのデータによって刻々とアップデートされアニメのように動くデジタル（サイバーフィジカル）の空間流れ図（プロセスフローダイアグラム；Value Stream Map）や時間流れ図（いわゆる「列車ダイヤ図」）で仕掛品の「渋滞」予測を常時行う。そして、この「見える化」で予知した問題に対し、早めに手を打つことで、多品種変量生産における「稼働率とリードタイムのトレードオフ」を劇的に改善できるかもしれない。これは安いセンサと発信機でも可能で、よって中小企業も導入可能であろう。

なお、詳細に見れば、加工組立系とプロセス産業系では、CPS導入の力点が、前者は仕掛品の流れ全体の見え

る化、後者は反応器内のマイクロ自己組織化プロセスの見える化に寄っているなど、興味深い違いがあるが、これについては別の機会に論じたい。

参考文献

- [1] 寺野隆雄, “人工知能技術を使いこなすには,” 経営システム, vol. 27, no. 4, pp. 207-212, 2018.
- [2] 藤本隆宏, 日本のものづくり哲学, 日本経済新聞社, 東京, 2004.
- [3] 藤本隆宏, 現場から見上げる企業戦略論, 角川新書, 東京, 2017.
- [4] 安井公治, スマート化の夜明け, スマートエッグ, 大阪, 2020.

《プロフィール》

藤本 隆宏（ふじもと たかひろ）

1979 東京大学経済学部卒業
 1989 ハーバード大学大学院 経営学博士
 1979-1990 (株)三菱総研究所
 1990-1998 東京大学経済学部助教授
 1998-現在 東京大学大学院経済学研究科 教授

専門技術分野：

技術・生産管理, 経営管理

主な著書：

Product Development Performance (Harvard Business School Press, 1991. K. B. Clarkと共著)

The Evolution of a Manufacturing System at Toyota (Oxford University Press, 1999)

生産マネジメント入門 I, II (日本経済新聞社, 2001)

主な編書：

Transforming Automobile Assembly (共編) (Springer Verlag, 1997)

Industries and Disasters (共編) (Nova Science Publishers, 2018)

Industrial Competitiveness and Design Evolution (共編) (Springer Verlag, 2018)