

# デジタル技術を活用した ものづくり改革 機能軸のデジタル化



藤田亮恭



平野裕基



深尾七恵

## CONTENTS

- I 日本の素材産業におけるものづくり改革の必要性と課題
- II デジタル技術を活用したものづくり改革とその事例
- III デジタル技術を活用したものづくり改革検討の進め方
- IV デジタル技術活用の検討を進める上での要諦

## 要約

- 1 日本の素材産業が誇ってきた革新的な化学品・素材の研究開発と、安定・効率的操業といった「ものづくり」の力が、喪失のリスクにさらされている。業界各社はこのリスクを認識してはいるものの、対応にかかる工数や投資の捻出に逡巡し、対応できていないのが現状である。
- 2 人工知能（AI）やIoT（Internet of Things：モノのインターネット）をはじめとするデジタル技術は、これらの問題を解決し得る。日本の素材産業は、デジタル技術を用いた定性的なプロセス・設備状態のモデル化、膨大なベテラン従業員のノウハウの効率的な形式知化、研究開発におけるマーケティング・探索のデジタル化といった、これまでの強みだった部分を活かし、また弱みをカバーするデジタル化を志向し、海外勢との差別化を図っていくべきである。
- 3 デジタル技術活用の検討では、一足飛びにデジタル活用を目指すのではなく、①現状分析→②課題化・解決策立案→③デジタル活用選定→④デジタル設計・導入、という流れを踏むことを提案する。
- 4 デジタル技術活用の検討を進めるにあたっては、①課題化から取り組む、②スモールスタートでPDCAを回す、③人材の育成を進める、④トップがコミットする、という4点が重要である。

## I 日本の素材産業における ものづくり改革の必要性和課題

日本の素材産業はこれまで、世界トップシェアを獲得する化学品・素材を次々に生み出し、現場力を強みに安定・効率的操業を実現し、国際的な競争力を保持してきた。しかし、最近の環境変化により、日本の素材産業は研究開発・生産の強みを喪失するリスクにさらされている。

### 1 ベテラン従業員の退職に伴う

#### 運転・設備保全・研究ノウハウ消失

団塊の世代といわれる1947~50年生まれの世代が退職を迎えることで、それまで彼らが担ってきた業務がうまく後任に引き継がれずに問題が多発する、という事象は、素材産業においても同様に見られる。

生産現場においては、ベテラン従業員が、自らの経験に裏づけされたノウハウでプラントの安定操業を支えてきた。近年、彼らの退職をきっかけに、トラブルが急増するケースは枚挙にいとまがない。こうしたノウハウの断絶を防ぐ目的で、どのプラントにおいても、運転手順書が準備されているのが通常であろう。しかし、運転手順書には「この（よく想定される）状況下ではこうすれば安定的に運転できる」という手順を書くことはできるが、想定外の状況に対する手順は書けない。

とはいえ、あらゆる状況に備えて手順を書き切るのも現実的には難しい。そのため実際には、直面する状況に対して運転手順書が対応できるのは限定的で、従業員の暗黙知が安定操業を支えている部分が多い。特に日本

では、海外と比べて、教育水準の高い従業員がプラントの運転に携わっていることから、標準化・形式知化の度合いが低く、現場を担う従業員の暗黙知に依存してきた部分が多い。この暗黙知が、ベテラン従業員の退職とともに消失し、一気にトラブルを引き起こす要因となっている。

ベテラン従業員のノウハウが重要だったのは、設備の保全業務についても同様である。こちらもちろん、設備ごとに日常点検の方法や回数は定義されているし、また各設備をどのタイミングで交換すべきかについても定められてはいる。一方で、各点検時に具体的にどのような現象が生じていると異常である可能性が高いのか、そしてその現象をどうやって感知するのか、という部分については、ベテラン従業員の暗黙知となっているケースが多い。このノウハウがベテラン従業員の退職とともに不足することで、点検業務を十分なレベルで遂行することができなくなり、重大な事故が多発しているのである。

また、研究開発の現場においても、個人ごとに研究のノウハウが蓄積され、退職とともにそれが失われるケースが増えている。報告書は電子化されていても、細かなノウハウは手書きのノートだけに記載されていたり、そもそも記載されていなかったりする研究所が多い。この背景には、研究開発はルーティン活動ではなく、マニュアル化しづらいということがある。そのため、ノウハウの伝達は徒弟制などの個人間の関係に依存する企業が多く、実験の設計や条件といった実験結果以外の部分は形式知として共有されていないことが多い。ノウハウが伝承されないまま、ベテラン研究者が退職してしまうと、当該組織内

の研究ノウハウが喪失し、研究開発力の大きな低下につながるのである。

## 2 設備老朽化に伴う故障の増加

素材産業では、設備の老朽化に伴う管理難易度が、近年非常に高まっている。

生産現場では、設備導入から数十年が経過し、設備の故障を起因とした予期せぬトラブルが増加している。特に素材産業は、国内市場の縮小や海外生産へのシフトといった環境変化に直面してきた。そもそも生産を構成する各プロセス・設備が相互に影響し合う複雑な構成ゆえに、更新が大規模になりがちという背景とも相まって、長期にわたり設備を更新するための投資が極力抑制されてきた。また、こと日本においては、国際的に見て高レベルのエンジニアがプラントを支えている背景から、エンジニアによる寿命延伸のための修理が繰り返し行われてきた。その結果、導入後40～50年もの年月が経過した設備も、補修を重ねながらいまだに稼働している。

設備老朽化が問題となっているのには、別の理由もある。これまで、プラントにおける設備の点検や修理に関する業務や投資の優先順位付けの基準として、重大な災害を引き起こす可能性のある危険を防ぐという、安全性の視点が最重要視されてきた。その結果、安全性の視点からはさほど重要ではないものの、故障が発生するとその修理や交換のために長期間の生産停止が必要になる設備については、高い優先度で管理されてこなかった経緯がある。

このような、これまで注目されてこなかった設備がいよいよ老朽化を迎え、安定稼働を脅かしているのである。その対策として、生

産性の視点を加えて設備管理の優先順位付けを新たにやり直すことが考えられるが、それには非常に工数がかかる上に、真面目に優先順位付けをすると点検すべき箇所が膨大になるため、すべてを点検するのは非現実的となる、という問題がある。では、一気に設備更新をかけるか、という選択肢もあるのだが、これからの需要に鑑みるとなかなか難しいのが現状で、その結果として、手付かずとなってしまうのである。

## 3 生産プロセスの複雑化に伴う管理の困難化

日本の素材産業は大手海外メーカーとの競争が激しいバルクの大量生産からファインケミカルの少量多品種生産にシフトしてきた。材料にしかるべき機能を発現させるためには、きめ細かい配合を実現できるプロセス・設備を設計・運転する必要がある。また、少量多品種生産を効率的に実現するためには、同じラインを活用しながら段取り替えを行うことが必要となり、ラインが複雑化する。その結果、予期しない外乱要因が入り込みやすくなっており、それが管理をより困難にしている。

プラント管理において非常に厄介なのは、ライン・設備を長期間にわたって継ぎはぎしながら少量多品種化に対応してきた結果、設計当初のプラントとは様相が大きく異なり、誰も全容を理解できない状態になっていることにある。その結果、たとえば詰まりや故障が発生しても、その原因が誰にも解明できず、根本的な解決策が見いだせないまま、工数をかけた点検や修理でパッチワーク的な対応をせざるを得ない状況になっている。

## 4 投資制約からくる 生産性向上の限界

日本の素材産業は、国内市場が飽和し大きな需要拡大を望めない中、中国勢をはじめとする海外勢との競争に打ち勝ていかなければ、生き残ることができない。そのためには、大規模な投資が難しい中でも、生産性向上・コスト低減を継続して進めていかなければならないが、手のつけられる施策は既に実行されつつあり、いよいよ限界がきている。これまでにない新しい技術・手法を用い、かつ少ない投資で生産性向上・コスト低減を進める施策を検討する必要がある。

## 5 研究開発の高難易度化に伴う シーズ起点の研究開発活動の限界

これまで日本の素材産業は、研究所が自分たちの研究開発したいテーマを設定し、そこに経験のあるベテラン研究者を配置し、ノウハウでもって効率的に材料を探索するというシーズ起点の開発を得意としてきた。しかし、1節で述べたベテラン従業員の退職に加え、研究開発の難易度が高まっていることから、シーズ起点の開発には限界がきている。

研究開発の対象は、「研究開発が容易で有用な素材」から選ばれていくことが一般的である。その結果、業界内で研究開発が進むほど「研究開発が困難な素材」に取り組まざるを得なくなる。医薬品業界ではこの傾向が顕著である。物質構造から総当たりで医薬品への適性を調べる大規模な研究開発が行われてきた結果、低分子医薬品はほぼすべての物質の適性が検討済の状態になりつつある。そのため、低分子医薬品の新製品の上市率は顕著に低下しており、高分子医薬品に開発の主体

がシフトしている。素材産業でも同様の傾向があり、新製品上市までの研究開発コストが徐々に上昇する傾向にある。

このように研究開発の難易度が高まる中で、さらに研究開発工数を増やすことは容易ではない。一般に研究開発工数を増やすためには研究人員を増やす必要があるが、現在の環境下では研究開発人員を急速に増やすことは現実的ではない。従って、工数をできるだけ増やさずに、有望な研究開発テーマを見だし、材料を探索し、上市まで持っていくことが求められている。

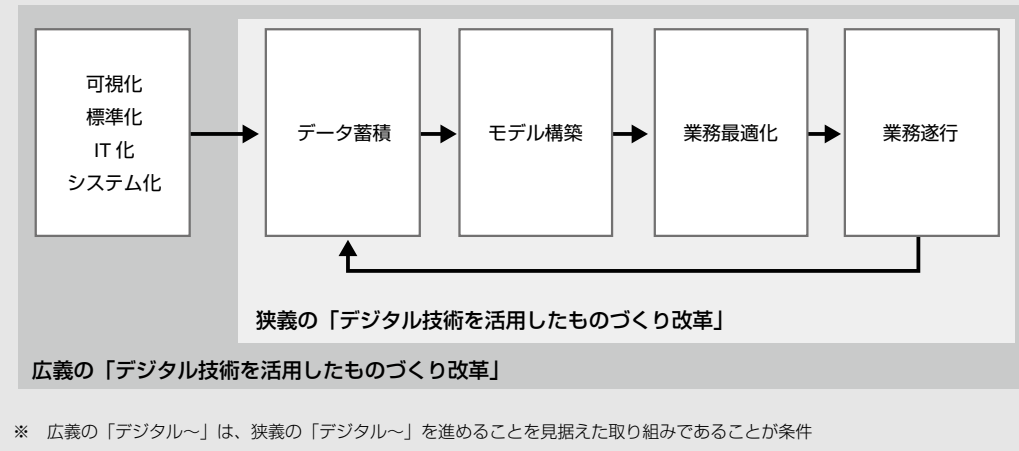
以上のように、素材産業を取り巻く環境変化から、研究開発や生産といった「ものづくり力」を強化する必要性が高まっている。当然、それについて、各メーカーは十分に認識している。しかし、いざ取り掛かろうとすると、必要とされる工数や投資に関する制約条件に縛られて実行できず、結果として放置せざるを得なくなっているのが実情である。この「分かっているけど手が付けられない」という、問題解決のボトルネックを解決しながら、「ものづくり力」強化を実現するためのソリューションとして、デジタル技術の活用が期待されている。

## II デジタル技術を活用した ものづくり改革とその事例

### 1 デジタル技術を活用した ものづくり改革とは

ここで、本稿における「デジタル技術を活用したものづくり改革」について、あらためて定義したい。

図1 デジタル技術を活用したものづくり改革



まず狭義の「デジタル技術を活用したものづくり改革」とは、各機能が抱える課題に対して、関連する業務で発生するさまざまな情報をデータとして蓄積し分析しながら、業務を最適化していくことで課題を解決する取り組み、とする。たとえば、配管における腐食箇所の点検業務の効率化という課題に対して、点検時に配管部の写真を撮影し、そのデータを大量に蓄積し、それらを人工知能(AI)に学習させることで、腐食箇所を効率的に特定できるようにする、といったものが当てはまる。

しかし、この意味でのデジタル技術活用を考えると、デジタル技術活用以前の段階でつまづく会社も多い。たとえば、データを蓄積し分析しようにも、業務がシステム化されていない(「配管の写真がアナログで保管されている」など)、あるいは、業務が属人化されていて標準化されていない(「点検時に配管を撮影するかどうかは個々人の判断に拠っている」など)などである。こういった会社が、将来のデジタル技術活用に向けて、まずは属人化されている業務の標準化に取り

組んだり、標準化した業務のシステム化に取り組んだりすることも、広義には「デジタル技術を活用したものづくり改革」といえよう(図1)。

重要なのは、「デジタル技術活用」は、これまで行われてきた「IT化」や「システム化」といった、主に業務の効率化や業務品質の高度化を目指すことを目的とする一度限りの取り組みとは一線を画していることである。すなわち、蓄積されるデータを分析し、継続的に業務の最適化を図っていくことで課題解決を目指すという点に、デジタル技術活用の本質があると考えられる。

## 2 日本の素材産業が目指すべき デジタル活用の方向性

これまでの日本の素材産業の強みとして、従業員によるプロセス・設備・業務への高い理解とノウハウをベースとする、革新的な研究開発と、安定かつ高効率な生産があった。一方で、環境の変化により、そのノウハウが失われつつある。今後、日本の素材産業がデジタル技術を活用していくにあたっては、こ



れまでの強みであったこれらのノウハウを活用・レバレッジするという方向性をあらためて模索していき、海外勢との差別化を図っていくべきではないだろうか。

それを実現するためのデジタル技術活用の方向性として、大きく4つ考えられる。

## (1) 定性的なプロセス・設備状態のモデル化

日本の素材産業のプロセスや設備は、その特殊性ゆえに、各企業・工場が独自に発展させてきた歴史がある。そのため、プロセスや設備に関するノウハウは、プラントメーカーや設備メーカーよりも、ユーザー側に蓄積されていることが多い。

たとえば、回収ボイラーという特殊なボイラーは、パルプの生産過程で黒液を発生させる製紙工場だからこそ利用価値があり、製紙業界の中で発展してきたものである。このように、プラントにおけるプロセス・設備の操業の最適条件および最適な保全タイミングなどは、各業界、各企業の生産ノウハウの要として、社内に蓄積されていることが多い。それは日本の素材業界の強みであり、一方で弱みでもある。つまり、社内のノウハウ伝承が断絶してしまうと、外部のサプライヤーを含めて誰もプロセスや設備を適切に管理することができなくなってしまう事態が発生するのである。

これを避けるために、プロセスや設備に関するさまざまなデータを収集して、その状態を直接的・間接的に把握するためのモデルを早急に作成すべきである。どのようなデータを収集すればモデルを作れる可能性があるのかを、ノウハウを持つ担当者にあたり付けし

てもらい、そのデータと測定可能な状態との関係性を、AIを活用してモデル化する。そして、AIが導き出してきたモデルに対して、合理的な説明を加えることを試みて、そのノウハウのブラックボックス化を防ぐ。このモデルの作成に成功すれば、これまで人手でプロセス・設備状態を把握していた工数を、大きく削減することにもつながる。

### 事例1 統計解析で配管腐食トラブルを撲滅した旭化成

プラントには一般に多くの配管が存在し、腐食などによってそれらが破孔・噴破することで重大なトラブルにつながるものが少なくない。このため、配管腐食は、工場にとって最も防ぐべき事象の一つである。それにもかかわらず、配管のトラブルを完全に防止することは非常に難しい。その理由の1つ目は、非常に数が多く、直接的な全数検査は不可能に近いこと、2つ目は、置かれた条件によって腐食などによる劣化の進行速度が大きく異なること、が挙げられる。特に保温材の巻かれた配管における保温材下の配管腐食はCUIと呼ばれ、保温材を剥がさずに検査を行うには超音波検査などの地道な非破壊検査が必要であり、各企業が対応に苦慮している。

設立から50年以上経った旭化成水島製造所も同様の悩みに直面していたが、統計解析による故障予測で克服した<sup>注1</sup>。大まかなトラブル撲滅方法としては、「腐食結果影響度評価」と「腐食発生可能性評価（旭化成独自方式）」の二つの評価から、リスクが高いと判断された配管を優先的に検査・修繕するという方法である。

後者の「腐食発生可能性評価」には、水島

製造所独自の「CUI予測モデル」が活用されたが、この「CUI予測モデル」は、同製造所における種々の設備から収集された約6000点のCUIデータを基に構築されたものであるという。モデルの構築には、CUIに関する検査データを配管の使用条件ごとに分類し、統計的に解析を実施した上で、「基準腐食速度」と「腐食倍率」を導き出し、モデルの係数として活用。その予測モデルを各配管に適用することで腐食速度を推定し、CUI発生可能性を評価するというものである。

こうして、直接的な全数検査を回避しつつ、デジタル技術を活用し評価・対応を行った結果、トラブル撲滅につなげることができた。

## 事例2 プラント内の反応器の状態を予測するモデル構築に成功したNTTコミュニケーションズ・横河電機・横河ソリューションサービス

素材産業におけるプラントの特徴として、反応系内部の状態を定量的に測定することが難しい点がある。そのため、測定可能なセンサーから得られる情報を用いて、間接的に測定が難しい状態について推定する「ソフトセンサー」技術が重要である。しかし、先に述べたようなプラントの複雑性とも相まって、どの測定可能センサーのパラメータ（の変化）が、反応系内部の状態変化に影響を与えているのかをモデル化するのは非常に難しい。

NTTコミュニケーションズ（NTT Com）、横河電機、横河ソリューションサービスの3社は、2018年4月から共同で進めてきた実証実験において、「NTT ComのAIモデル化技術の活用により、蓄積されたプロセスデータから反応器の状態変化を予測する、『反応器状

態予測モデル』を生成しました」と発表した。「このモデルでは、状態変化に影響を与える16項目の変数を対象に、それぞれのモデルを生成・結合し、さらに横河電機が持つ、実際のプラント制御をシミュレートするプラント制御シミュレータと組み合わせ、10日分の生産プロセスに対して、反応器の状態変化とその変化に対する制御を連続的に実行する環境を構築しました」とのことである。「予測誤差の累積による乖離を起こすことなく、連続的にシミュレータを実行することに成功し、その結果、状態変化に影響を与える各要素の影響度を分析できるようになりました」という<sup>注2</sup>。

こうした取り組みの先には、「デジタルツイン」の実現がある。デジタルツインとは、フィジカル空間の情報をIoT（Internet of Things：モノのインターネット）技術などでリアルタイムに取得し、それをサイバー空間に送り、サイバー空間内にフィジカル空間の環境を再現することを指す。デジタルツインにより、フィジカル空間のプラントを常時サイバー空間で再現できるようになると、不具合の早期特定が可能になったり、またプラント従業員に対してより実践的な教育を提供することが可能になったりする。また、実際に測定できるデータによって、プラントのモデルを更新していくことができれば、数十年前に紙の上で設計されてから継ぎはぎで回してきた結果、もはや誰にも分からなくなっているプラントの挙動も、予測できるようになる。

## (2) 膨大なベテラン従業員のノウハウの効率的な形式知化

これまで日本の素材産業の競争力の源泉と

なってきたベテラン従業員のノウハウを、誰もが扱えるように形式知化することは、これまでの強みを弱みへと転換させないために非常に重要である。

ベテラン従業員のノウハウは、さまざまな情報・データから、形式知化を試みる事が可能である。たとえば研究開発においては、研究ノートがその源泉になる可能性がある。ベテラン従業員が、どのような試行錯誤を繰り返して研究開発を進めているのかを研究ノートから抽出し、経験の浅い従業員に対してそれを提示することで、研究開発の効率化を目指すのである。また生産においても、ベテラン従業員の一挙手一投足を見ながら、なぜその動作に至ったのかの判断を深掘りしていき記録することで、誰もが参照可能な形式知が完成する。

しかし、こういったやり方で暗黙知を形式知化する際の問題点は、大きな工数がかかることだろう。また、ベテランに質問しながら進めていくやり方では、そもそもベテランが認識していないノウハウについては抽出が難しい。また、たとえ形式知化できたとしても、その量が膨大になり、現場での閲覧性に欠けて使えない、という事態も生じている。しかし、これらを実現してこそ、海外勢には容易には真似できない、日本の素材産業ならではの差別化ポイントを形成することにつながるのではなかろうか。

### 事例3 動画を用いた技術伝承支援ソリューションを提供する富士通

これまで、手順書の作成やベテラン従業員の帯同によるOn the Job Training (OJT)での技術伝承は行われてきた。しかし、ベテ

ランが無意識に実践している行動が伝承されない、経験などにより作業にばらつきが見られる、作業者の育成にコストと時間を要する、といった課題があった。これらの課題に対し、富士通では、動画を用いたソリューションを提供している。

当該ソリューションでは、「ヘッドマウントディスプレイを活用しベテランが実際に見ている視界に近い動画と、ビデオカメラによる作業全体の動画を同時撮影することで、2つのアングルからベテランの技術を記録します」。そして、記録した動画からマニュアルとして残すべき作業のあるべき姿の議論を関係者間で行い、その議論で合意形成された内容をもとに、手本となる動画マニュアルを作成します」というものである。

そこで作成した動画マニュアルは、「関係者が視聴・確認できるよう、期間中クラウド環境に保管」する。また、ベテランだけでなく、「ビギナーの作業を動画マニュアル作成時と同様に撮影することにより、動画マニュアルと比較分析が行えるメニューをオプションで提供」している。「ビギナーは、作業実施時の具体的な違いから気づきを得られ、技術向上が期待」できる。また逆に、ビギナーがつまづきやすい作業があれば、それを実施しやすい形に変更することもできるだろう<sup>3</sup>。

この取り組みについては、実際の実証実験を通じて、技術伝承に有効であることを確認したとのことである。

この方法では依然として、マニュアルとして残すべき作業の議論や、ベテランとビギナーの作業の比較など、工数が比較的にかかるプロセスが残っているものの、ヘッドマウントディスプレイで動画を撮影することで、議論



や比較を一部効率化できるだろう。そして今後の技術の発展次第では、たとえば作業に関する大量の動画データの中から、マニュアルに残すかどうかを議論すべきポイントを自動的に抽出したり、2つの動画間の差異を自動的に抽出したりすることも、決して非現実的ではないだろう。

#### 事例4 AIを廃棄物処理施設における燃焼状態判定に活用するJFEエンジニアリング

素材産業の例ではないが、素材産業におけるプロセスプラントの運転形態に近い事例として、廃棄物処理施設の事例を挙げる。

廃棄物処理施設では、安全、安定的に操業するために運転員が制御室に常駐し、燃焼状態を監視している。この燃焼状態の判定は、ベテラン従業員の暗黙知に頼っている部分が大きいのだが、判定は非常に難しく、ベテラン従業員の間でもバラツキがある。運転をより安定化するためには、この判断を可視化する必要がある。

これを実現するために、JFEエンジニアリングは、AIにより燃焼状態を判定する仕組

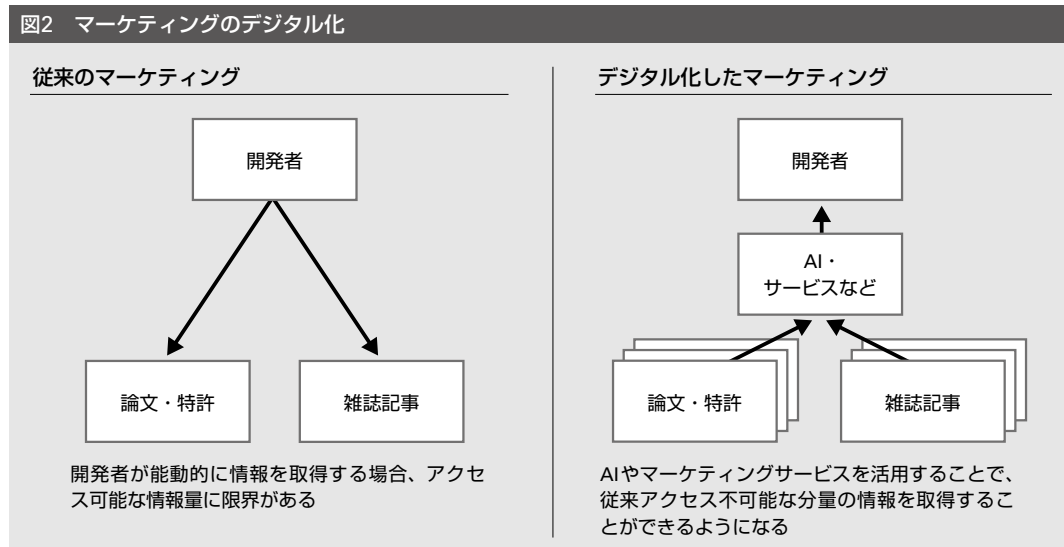
みを構築した。ベテランの運転員が判断している燃焼状態をAIで判断し、燃焼の良し悪しを数値表示し、ベテランの判断と突き合わせることでその精度を高めている。「現在のAIによる判別の精度は80%ぐらい」ということで、依然として「制御室には燃焼状態を監視する運転員が配置されており、AIの判定の見える化により運転員の判定業務を支援」している段階だが、「ゆくゆくはAIの活用による自動運転を強化していく」という<sup>注4</sup>。

### (3) 研究開発における

#### マーケティングのデジタル化

研究開発を効率化するためには、これまでのシーズ起点の方法論から脱却し、マーケティング・ニーズ起点へとシフトしていくことが重要である。適切なニーズを基に研究開発を行えば、無駄な開発を減らすことにつながるからである。しかし近年、マーケティングで扱うべき情報は増える一方であり、情報の取りこぼし、あるいは集めた情報を処理し切れない事態が発生している。特に日系企業では、一般的にマーケティングが独立した部隊として存在している海外企業と異なり、研

図2 マーケティングのデジタル化



究開発と営業がマーケティング機能を担っているケースが多いが、研究開発の一環で情報収集を行うようなスタンスでは、取りこぼしや処理量の限界といった事態が生じやすい。

マーケティング専任部隊を設立する必要は必ずしもないが、雑多な情報をスクリーニングし、純度の高い情報にして研究者に渡す、という仕組みの導入については、必要性が高まっている（図2）。

#### 事例5 マーケティング効率化サービスを提供するアスタミューゼ

マーケティングを検討する際にインプットすべき情報をレコメンドしてくれる機能やAIの活用により、情報収集を効率化し、付加価値の高い業務への工数集中を実現できるようになる。

たとえば、アスタミューゼは、さまざまな研究室の予算獲得額や研究テーマ、ベンチャー企業の資金獲得額といった公開情報をデータベース化し、それを分析することで、研究開発のトレンドや検討の方向性をレコメンドするビジネスを行っている。特定のジャンルに特化したニュースアプリも増えつつあり、こういった情報を集約してインプットしてくれる、あるいは、そこからの示唆を導いてくれるサービスは、今後研究開発の分野で活用されていくと想定される。

#### 事例6 特許分析効率化サービス

特許情報の収集分析では、FRONTEOのпатентエクスプローラや、野村総合研究所（NRI）のサイバーпатентを用いた分析も効果を上げている。AIやテキストマイニング技術を用いて特許を分析することで、研究

開発者の知財情報確認を効率化できるほか、知的財産のポートフォリオ分析を行うことで、自社や競合の研究開発の方向性を検討することができる。

#### (4) 研究開発における探索のデジタル化

近年、材料系の研究開発では、マテリアルズ・インフォマティクス（MI）が取り沙汰されている。この言葉を耳にされた方も多いだろう。

MIは米国の科学政策であるMaterials Genome Initiative（MGI）を発端に世界に広がった材料開発の新たな流れであり、材料技術と情報技術をかけ合わせた新しい研究開発の手法である。MIそのものが何であるかは多様な媒体で言及されているため、本論考では扱わないが、研究開発に将来大きく影響を与える手法となっていくことに疑いの余地はない。

これまでの日本の素材産業では、研究者の経験と勘に基づき狙いを定め、絨毯爆撃のように物質開発を行う研究開発手法が一般的だった。しかし第I章で述べたようなベテラン従業員の退職や研究開発難易度の高まりを受けて、近年は第一原理計算などを用いた計算科学が研究開発で用いられるようになってきている。それをさらに一歩進めたデータ科学への移行が今後トレンドになるだろう。

逆説的にいえば、データ科学への移行が遅れた場合、その企業は大きく痛手を受けることになる可能性がある。それは、他社に開発速度で負けるという単純な話だけではない。近い将来、業務提携や資本提携の次の形態として、研究データを限定的に開示し合い、成果を分配するデータ提携といった協業の仕方

も登場すると弊社は予測している。データの整備とデータ活用技術がそろって初めて、他社とデータで提携できるようになるため、これらの準備が立ち遅れた場合、そもそも協業先として見なされなくなる可能性があるだろう。

#### 事例7 MI活用事例

MIについては、提唱されているだけでなく、徐々に成果も上がりつつある。たとえば、マサチューセッツ工科大学（MIT）とサムスン電子が共同研究を行い、2012年10月に発表したリチウムイオン電池用電解質が著名なケースである。過熱や発火の恐れのある従来の液体の電解質に代わり、安全かつ長寿命の固体電解質を開発したと発表したのだが、結果的に日本の企業が以前より取り組み、11年5月に特許出願（12年11月公開）したものと同一物質であったことが判明している。

本件の特異性は、米韓チームが11年に提唱されたMGIから開始された研究の成果によるものであるというところにあり、ごく短い期間で成果が出ている点にあった。その後もさまざまな分野でMIを用いた材料開発の成果が発表されており、たとえば国立研究開発法人物質・材料研究機構（NIMS）は、18年8月にMIを用いて新しい超電導物質を発見している。今後、当該技術についていけない企業は、先行企業の研究開発力に大きく水をあけられる可能性があるだろう。

### Ⅲ デジタル技術を活用したものづくり改革検討の進め方

デジタル技術を活用したものづくり改革の

検討においては、既存の情報システム部門では扱い切れないような「業務特殊性」を踏まえた業務改革になるケースが多いことを、念頭に置く必要がある。

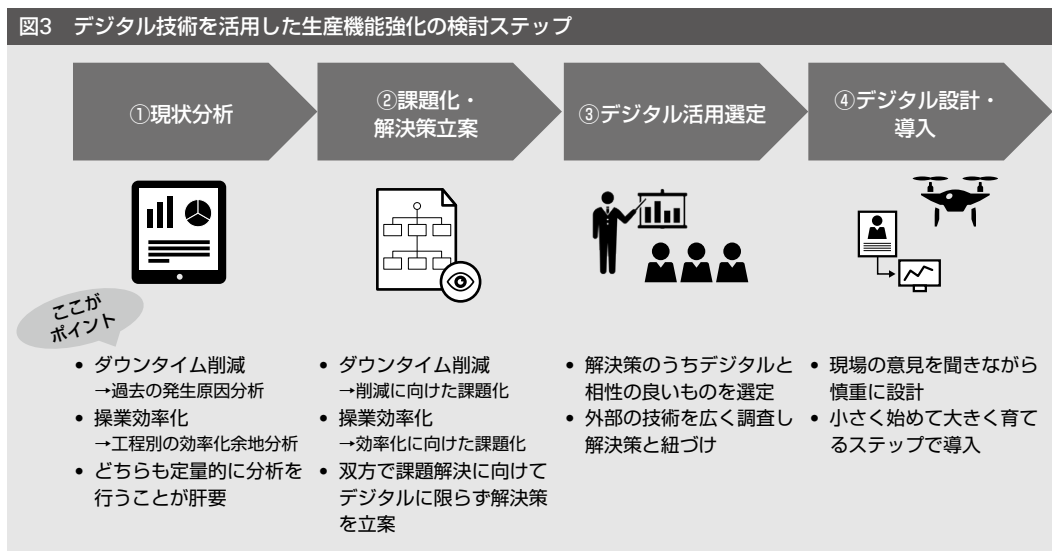
日本の素材企業の場合は特に、多種多様な材料を扱う中小事業の集まりという色合いが濃く、各々の業務の個別性が高いことが特徴である。デジタルを用いた業務改革では、研究や生産の各々の業務の違いの現場理解がいっそう不可欠であり、必ずそこから着手することになると言っても過言ではない。

一方で、ものづくりにおける現場課題の発見と解決を重視するという仕事のやり方は、日本がこれまで強みとしていたことでもある。「これまでの仕事のやり方を維持しつつ、解決策の手段として『デジタル』を加える」というスタンスで臨むことで、研究・生産のデジタル化は進展すると、われわれは考える。デジタルだからといって、必ずしも新しい仕事の仕方を用意するわけではない。手段としてのデジタルを、既存の業務になじませていくというアプローチを、われわれは提言する。

#### 1 生産におけるデジタル技術活用

生産という機能におけるデジタル化の最大の目的は、生産性の向上である。さらに、安全強化、リスク低減、操業の安定化といった長期課題が付随する。本節では、生産性の向上を目的とした場合のデジタル化を中心に論じる。検討の大まかな進め方は、①現状分析→②課題化・解決策立案→③デジタル活用選定→④デジタル設計・導入、といったステップになる（図3）。

図3 デジタル技術を活用した生産機能強化の検討ステップ



### (1) 現状分析

まずは生産性に影響するファクターを洗い出すため、「ダウンタイム削減」「操業効率化」という2つの視点からアプローチすることが有効である。なぜなら、これら2つのアプローチは情報の居場所が異なるため、最終的にデジタル化を行うにあたって、異なる施策が必要となる場合が多いからである。

プラント・ラインを連続運転することが多い素材産業において、ダウンタイムの発生は最も避けなければならないことであり、収益に直結する至上命題である。「ダウンタイムの削減」にあたっては、事故報告書や損害金額、不具合情報、点検履歴など、非定常業務に由来する情報から分析をスタートさせる。まずダウンタイム発生の事例をリスト化し、最も影響の大きい要因を明らかにする。具体的にどの組織・設備・要因によるトラブルの件数が多いのか、どのトラブルのダウンタイムが長くなりやすいのか、また損失が大きくなりやすいのかといった影響度を調べる。要因を洗い出すにあたっては、即物的な原因が

「設備由来」「プロセス由来」「オペレーション由来」のどれにあたるのか分類しておく。

一方、操業効率化は、全体のフローを見た上で、「効率化の余地があるタスクを洗い出す」という視点で分析をする必要がある。日々の生産目標の予実結果とともに、各生産・業務フローにおける工程・時間と、それぞれの関連性を明らかにしなくてはならない。たとえば、連続ラインとバッチが交互に存在する生産フローの場合、ある一つのラインが速度改善をしたとしても、バッチの容量や操業時間が変更にならなければ、全体としては結局操業効率化の効果が表れないということになり得る。一体、何がボトルネックになり、効率化に有効なのかを見極める作業が必要になる。これは、最終的にデータ化をする際にも非常に重要な視点であり、「目の前に起きている事象がそれ以外に影響をしているという因果関係(=パス)」を明確にするということである。この作業が抜け落ちると、デジタル化を行ったのに対して生産性改善が生じない、という結果が容易に起こり得る。

いずれにせよ、どちらの場合にも、まずは数値データにより即物的な原因を探る、客観的な分析を行うことが重要である。現場の印象で定性的に分析を行うと、「手を付けやすい解決策が見えている要因」が上位に上がりやすい。分析段階ではその要素を排除して、関係者全員が同じ土俵で見ることができるデータで、集計・分析を行うことが必要である。

それらの分析が十分に済んだら、次に即物的原因を生んだ行動パターン・業務・評価などの構造、文化・風土まで深掘りした原因分析を定性的に行う。当然定性的な議論になるので、立場の異なる関係者が複数存在することが望ましい。関係者が密に議論をすることで徐々に原因の所在が明らかになり、かつ関係者間での合意形成が生まれてくる。そのような状態になってから初めて、次の課題化・解決策立案のステップに進む。

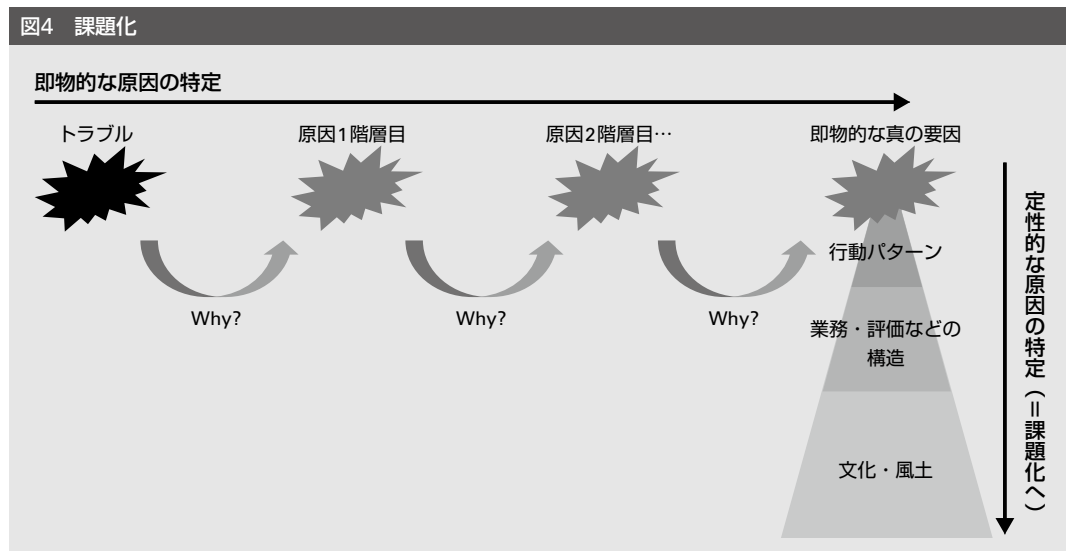
## (2) 課題化・解決策立案

課題化とは、「解決・回避すべき問題を、あるべき姿に向けてどのようにすべきか、という『課題』にまとめる」というタスクである。この作業は、当たり前のようできて非常

に困難を伴う。トラブルを起こしやすい「問題」であっても、恒久対策のないものであれば、課題ではなく所与の制約条件として取り扱うべきである。しかし、その「問題」と「課題」の切り分けを行うためには、操業・設備における専門知識や業務の専門知識も必要になるというのが、課題化の難しさである。

またその際に、その取り組み主体にとっての「あるべき姿」を策定することも不可欠である。たとえば、保全方針の策定であれば、すべての機器の「予防保全」を目指すのか、それともある程度のトラブルも許容する「計画保全」を目指すのかでも、課題の大きさが変わってくる。

「ダウンタイム削減」のアプローチでは、(1)の現状分析を基に、「なぜダウンタイムは発生するのか」という要因を探るところから始める。その際には、現状分析で分類した即物的な理由から始め、オペレータの行動パターン、業務フロー、組織構造、文化・風土など、さらに深掘りをして分析を行っていく。「ダウンタイムをどこまで削減したいか」というあるべき姿を定めた上で、根本原因を取り除き、恒久対策をしていくための課





題を明らかにすることが、「課題化」の作業になる（図4）。

一方、「操業効率化」においては、生産性の向上につながる効率改善、およびボトルネックの排除を行うべき工程を細分化・具体化し、その実現に導くことが「課題化」の作業になる。

課題が明らかになれば、それぞれの課題に対して解決策を立案する。解決策を立案する初期の段階では、デジタルにとらわれずあらゆる解決策を考えることが望ましい。どのようなボタンを押すことで全体が変わっていくのか、そのボタンを見極める。この際、必ずしも各課題に対して一対一で解決策を用意する必要はない。課題を解決できるような大きな方向性を定めた上で、実際の施策とすり合わせながら、カバーできる課題の範囲を把握し、必要に応じて施策の追加・取り下げを行う。

なお、課題化・解決策立案においては、ある程度大きな金額の投資判断をできる組織が初期段階から関係していることが望ましい。現場メンバーで行う日々の生産改善活動との違いはここにある。最終的に「ヒト・モノ・カネ」を大きく動かせる状態で課題化・解決策立案を行いつつ実行につなげないと、労力をかけて分析を行って終わり、となってしまう可能性が非常に高くなる。また、必ずしもある工程で起こっている問題に対する課題・解決策が同じ工程に閉じていないことから、組織横断で検討チームを組むことは必須である。また、単純に工程を横断するだけでなく、製造部・工務部・業務部・企画部といった機能組織としても、横断的にチームを組むのが肝要である。

### (3) デジタル活用選定

ここまで来て初めて、生産改革を行う上でデジタル活用選定を行う。生産現場で活躍するデジタル技術は、次のような効果を期待されたものが多い。

- 人手作業を安全に代替する
- 人の業務パフォーマンスを増強する
- 設備のパフォーマンスを改善する

また次のような、デジタルならではの特徴を最大限活かすことが、費用対効果を高めるコツである。

- 記録に残せる・トレーサビリティがある
- 閲覧性を高めることができる
- データ連携・分析ができる
- 再現性が担保できる

これらのどれかに当てはまり、かつ費用対効果をクリアしたものが現場導入の対象になる。ただし費用対効果を考える上では、デジタル導入と同時に、これまでの業務のやり方そのものを見直すことを検討しなくてはいけない。

たとえば、高所の設備点検の際に、足場を組んで実施していたものをドローンの撮影で代替するケースでは、「人手作業を安全に代替する」ことが効果として表れる。一方、それだけで終わらせるのではなく、「目視でその場で点検していた」行為を、「撮影によって記録に残し、分析可能なデータ状況にする」という行為に変えることで、撮影の作業と分析・判断の作業を別の時間軸で行うことができるようになる。このように時間軸をずらすことは、定期修繕時期に業務が集中する工務部門の業務のやり方を大きく変えることにつながる。

設備のパフォーマンス改善に関しても、単

純に設備の稼働ログを取れるようにするだけ、というのはあくまで自動化の一部であって、デジタル化ではない。得られた稼働ログを分析し、さまざまなパラメータと紐づけながら、品質向上やダウンタイム削減につなげて、初めてデジタル化のメリットを享受できる。

ただし、業務のやり方を変えると同時にその担い手も変わるのが、生産におけるデジタル化の難しい点である。操業のデジタル化によって分析業務を増やした場合、その担い手はいわゆる現場オペレータではなく、現場の近くで事務を行っているスタッフや本社の技術部隊の方が適任である場合が多い。デジタル化により、誰が何をするようになるのか、組織ごとに再設計することになる。

#### (4) デジタル設計・導入

デジタル設計・導入においては、設計の段階から、業務変更の対象になる現場を巻き込んでおくことが成功の必須要件となる。よくある失敗として、課題化・解決策立案までは現場に実施させるものの、デジタル技術の選定から先は情報システム部など現場から遠い部署が実施することにより、最終的に現場の本当のニーズからかけ離れたツールができ上がってしまうという事例が挙げられる。

現場と共同して設計をしていくことは、本当に効果のあるデジタル施策になるとともに、導入段階になって初めて知ることによって現場の反発を未然に防ぐ、という意義もあることを導入側が十分に理解し、この手間を惜しまないことが重要である。特に生産現場は常に、タイトな生産計画や顧客からの要求、安全義務などさまざまな制約条件下での改善活動を強いられており、これらの努力を

ないがしろにした一方的なデジタル導入は、最悪の場合、混乱・生産性低下や予期せぬ事故などの原因になることもある。

たとえば、現場に最も近い施策として、日報の電子化というものがある。工場における日報もしくは直引き継ぎノートというのは、いまだに手書きという現場も少なくない。理由はそれぞれだが、①現場メンバーにとって手書きが最も入力しやすい、②数日間の引き継ぎにおいては紙のノートが最も管理しやすい、③内容に例外項目も多く、電子化しにくい、④電子ツールの管理がかえって面倒、といった理由が大きい。

一方で、直引き継ぎノートの情報は、現場の生の情報の詰まった改善の宝庫である。デジタル化をして可視化・分析対象にできれば、品質改善や効率改善に用いるなど、非常に有用な使い道が多数存在する。そのようなジレンマを越えるためには、現場の声を早い段階から吸い上げると同時に、議論を通じて現場に「使いたい」と思わせることが非常に有効であり、重要である。

またデジタル技術においては、①既存パッケージを使うか、②スクラッチで自社に合わせて作り込むか、という選択が必要になる。通常、①は安価だが業務をパッケージに合わせて合わせる必要があり、②は業務を変えずに済むが高額になりやすいというトレードオフが存在する。いずれにせよ一度導入をしてしまうと後戻りしにくいことから、①②の選択は慎重に行う必要がある。

まず、自社の課題解決に合致したツールが世の中に存在するかどうかというアンテナは常に張っている必要がある。比較対象を持つておくことで、よりよい選択を行える確率が

高まる。また②を選択し、ベンダーに開発を依頼する際には、「マスト」と「ベター」を分けておく必要がある。この機能は「絶対に必要」だが、その機能は「できれば」で構わない、といった優先順位を付けてからRFI（情報提供依頼書）のやり取りを行うことで、よりリーズナブルな価格で、目的に合致したデジタル技術を生み出すことができる。

導入時には、いきなり本導入するのではなく、ある一定の教育期間およびトライアル期間を設けることが望ましい。リリースにあたっては、その数カ月前から、関係者に対する教育・インストールを行うことが原則である。このとき、設計時に見落としていた重大な業務変更などが生じることも少なくない。また、システムのリリース自体は一度に行ったとしても、それに付随する業務変更は一度にうまくいくことが少ないので、試行錯誤しながら最適化するトライアル期間を最初から見込んでおくことが重要である。トライアル期間の終了後に、利用した現場から使い勝手に関する感想や改善点を吸い上げ、可能な限り対応をすることが、「新システムを廃墟化させない」ための重要な取り組みになる。

## 2 研究開発における

### デジタル技術活用

研究開発の効率化におけるデジタル化の検討手順は基本的には生産と同様で、現状分析→課題化・解決策立案→デジタル活用選定→デジタル設計・導入となる。一方、新しい研究開発の導入手順は上記とは異なる。まずは効率化検討から順を追って説明しよう。

### (1) 現状分析

デジタル化検討において最初にやるべきことは、研究開発における工数配分の把握である。研究者の時間は有限であり、貴重なリソースであるのだから、可能な限り付加価値が高い業務に振り分けられる必要がある。そのためには、現状の工数配分をまず把握する必要がある。

なお、業務の付加価値に関しては、各企業の考え方や哲学が影響を与え得る。たとえば、ある企業では「研究者が実験設備の発注を行う」ことは、「研究開発において付加価値が高く、一定の時間が投入されるべき業務」であると認識される一方で、ほかの企業では「付加価値が低く、なるべく投入時間が削減される必要がある業務である」と認識されることもあるだろう。企業によってどの業務を重要と認識するか、という点は個別に議論されることが望ましい。

ちなみに実態上の工数配分を把握・管理していない場合、それを把握する仕組みを導入する必要がある。デジタルで管理する手法も存在するが、アナログの業務日誌などで管理することも導入ハードルの低さから検討の余地があるだろう。

### (2) 課題化・解決策立案

工数配分を分析することで、どこを効率化する必要があるかが見えてくる。低付加価値業務への時間投入を削減する、あるいは高付加価値業務の時間あたりの効率を上げる、という方向性での検討が一般的なアプローチとなる。

生産と同様に、この段階ではデジタルにとらわれず、さまざまな解決案を検討すること

が望ましい。特に低付加価値業務への投入時間削減に関しては、無駄な会議の削減などのアナログな解決策が有効打となるケースが多い。

### (3) デジタル活用選定

解決策としてデジタル活用が有望視された場合、その先のデジタル技術の選定に移ることになる。ここで重要な点は、コストを抑えるためにパッケージ販売されているツールを中心とした検討を行うことにある。企業ごとの独自性を反映させるため、あるいは全体を一気にシステム化するためにシステム開発を実施したくなるかもしれないが、研究開発におけるデジタル導入では、成果が出るかどうかは導入してみないと分からない場合が多い。まずは小規模なPoC（Proof of Concept：コンセプト実証）から始め、ツールの効果をも具体的に確認することが肝要である。

### (4) デジタル設計・導入

当然ながら、デジタル設計・導入にあたっては、研究所や現場の協力が不可欠である。しかし、情報収集のアシストや低付加価値業務の効率化などは現場で受け入れられやすいが、研究ノートの電子化や実験の自動化といった従来の研究開発とはオペレーションが変わるツールの導入は、現場側の反発を受けやすいだろう。ツール選定時に現場での試用を行い、使い勝手や導入手順に関しても確認を行うことが望ましい。

### (5) 新しい研究開発の導入

MIの導入に関しては、効率化とは別の検討を行う必要がある。MIの導入のためには、

データの収集とデータの活用が必要である。

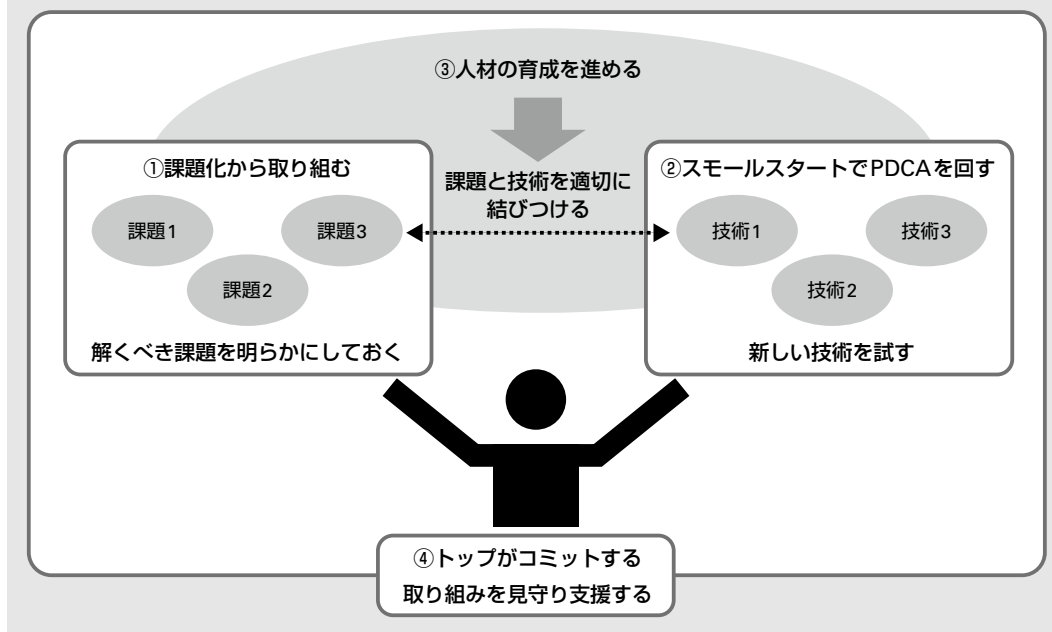
データの収集に関しては、既存の無料データベースからでは十分なデータ量が確保できない可能性がある。また、そもそも必要とするデータが使いやすい形式で外部から入手できるとは限らない。さらに、自社の過去のデータをデジタル化する場合、時間的・金銭的コストが膨大になりがちである。いずれにせよ、データの活用を見越して必要なデータを見極めて確保するとともに、将来に備えてこれから作成されるデータを資産として蓄積していくことが重要である。

データの活用に関しては、さまざまな手法が考案されており、またそれを学習するためのツールも整いつつある。それらを活かし、データ活用の知見と素材開発の知見を兼ね備えた人材を育成することが必要である。ここで問題になるのは、データサイエンティストに素材の知見を学習させるか、素材系の研究開発者にデータ活用の知見を学習させるかである。データサイエンティストは需要に対して供給不足であり、適切な人材を確保することは難しい。さらに、素材系の体系的な学習を行うためのコストは高く、素材系の研究開発者にデータ活用の知見を学習させる方が早いと語る有識者が多い。自社内で第一原理計算などのデータ科学に通じる知見を保有する研究者を選抜し、教育していくことが近道であるといえる。

## IV デジタル技術活用の検討を進める上での要諦

デジタル技術活用の検討をこれから始めようとしている企業に、①課題化から取り組

図5 デジタル技術活用の検討を進める上での要諦



む、②スモールスタートでPDCAを回す、③人材の育成を進める、④トップがコミットする、という4つの要諦を提案する(図5)。

## 1 課題化から取り組む

デジタル化の検討を進めるといっても、最初から「デジタルありき」で検討を始めてはならない。まず課題を特定した上で、その解決策として現在使えるデジタルソリューションを選ぶ必要がある。

課題化から取り組むべき理由は3つある。1つ目は、今あるデジタル技術だけが課題を解決し得るソリューションのすべてではなく、デジタル技術以外にも費用対効果に優れたソリューションの可能性があるからである。また、今後も新しいデジタル技術が次々登場することが想定されるなど、ソリューションの形は変わっていく可能性がある。たとえば最初の検討時点では解決が難しい課題があ

ったとしても、前もって把握しておけば、新しいデジタル技術が将来登場した際に、自社への適用可能性を効率的・継続的に評価できるようになる。

2つ目に、ソリューションの検討・開発・導入の過程でさまざまな障壁を回避する活動をしていると、最初に企画した目的と異なるソリューションの形になっていってしまうことがある。その際に、常に立ち戻れる原点という意味からも、課題から取り組むことが重要であり、その課題認識を関係者間で共有し続ける必要がある。

3つ目の理由は、課題を特定しておくと同様の機能軸での横展開がしやすくなるからである。同じ機能軸の中でも、工場や地域、取り扱う製品が異なる場合は、各機能に特異性があるのは当然だが、たとえば生産は安定生産、研究開発は製品競争力強化など、機能として組織に求められている根本的なミッシ



ョンは共通している。そして課題はミッションをブレークダウンして落とし込んでいくので、結果として似通った課題も当然出てくる。もし課題が共通していれば、課題に対して共通するソリューション群の適用可能性を検討できるので、横展開のハードルが下がる。その上で、もし同じソリューションを適用できる場合は、いっそう効率的に横展開することができる。これを、いきなりソリューションのレベルから議論を始めてしまうと、視点が具体的な業務やツールの使い方にまで落ちてしまい、たとえば仕様や適用のシーンが少し異なるだけで「これは横展開できない」という判断が下されやすくなってしまふ。

## 2 スモールスタートで PDCAを回す

デジタル化を進めるためには、データの生成・取得、分析・演算、活用、フィードバック、といった一連の流れを通して実現する必要がある。それぞれのプロセスごとに、技術や業務プロセス、組織など、さまざまな視点から検討すべき課題が存在するが、デジタル化検討開始当初は、すべての課題を把握し切れていないことが多い。その状態から、いきなり大規模な取り組みを目指す、技術的に実現不可能な事態に直面したり、あるいは思わぬ社内の抵抗に遭ったりして、取り組みがいきなり頓挫するリスクが高まる。

そのリスクを低減するために、まずは小さく始めて、一連の流れの完成を目指すことが大事である。一連の流れを完成させて初めて、それぞれのプロセスで越えるべき課題が見えてくる。それらの課題を適宜クリアしな

がら、デジタル化の範囲を徐々に大きくしていくことが重要である。

## 3 人材の育成を進める

これまでも述べてきた通り、デジタル技術を用いた課題解決には、AIなど最新のデジタル技術に関する専門知識と、社内の事業・業務に関する知識の両方を持つ必要がある。どちらも十分に有している人材を最初から持っている企業は少ないため、外部講師を招いたり、外部開発ベンダーを活用したりすることも、最初の一步としては有効である。

一方でその場合、解決策の出口が限られたツールになってしまう可能性がある。また全社として継続的にデジタル化を進めていくことを考えると、既に業務知識を持った社内の人材にデジタル技術に関する専門知識を教育することも、非常に重要な施策となる。将来的に社内の業務改革を担うような人材に集中的な教育を行うと同時に、ユーザーとなり得る部署の人材にも、広く基本的な知識を身につけさせておくことも素地作りの一つとなる。

## 4 トップがコミットする

デジタル化は、取り組み始めてから効果が出るまでの時間が長期間にわたる上、デジタル化による効果とそれ以外の要因（環境変化や自助努力など）による効果の線引きが難しく、なかなか投資対効果が見えにくい。だからこそ、デジタル化を進める上ではトップが意思決定し、投資対効果が表れない時期にも辛抱強く投資を行うというコミットの姿勢が必要になる。

投資すべき対象は、金額だけでなく、その

取り組みに携わる人材の投入に関しても同様である。また、デジタル化を加速したいのであれば、社員の動機付けやボトルネックの解消が必要になるため、「なりゆき」に任せていてはいけない。たとえば、生産技術や研究企画など、既に設けられている事業部門横断組織に、デジタル化のミッションおよび人材育成などの投資を与えることが不可欠である。

われわれは、これから先、あらゆるデジタル資産の有無および活用状況が、企業の競争力を大きく左右すると考えている。その昔、気象予報を理論的に実現できると主張した逸話は「リチャードソンの夢」<sup>注5</sup>と呼ばれ、当時は技術的・投資対効果的に実現が叶わないとされたが、その後の演算技術の向上により、今では当たり前のように詳細な気象予報が実現した。各々の企業は「自社業界は特殊なので検討の必要はない」とはねのけるのではなく、技術の発展を視野に入れながら、デジタルトランスフォーメーション（DX）に向けた検討を今から始めることが何より重要である。

特にこうした取り組みは、日本は欧米に比べて遅れている。このまま日本国内で検討を先送りにすることはできず、「待ったなし」の状況である。そのためにも本論者が、日本の素材産業に関連する企業が「DXにまず着手する」一助になることを、願ってやまない。

#### 注

1 「スマート保安先行事例集——安全性と収益性の

- 両立に向けて」経済産業省保安課、2017年4月  
<http://www.meti.go.jp/press/2017/04/20170410002/20170410002-2.pdf>
- 2 NTTコミュニケーションズニュースリリース、2018年10月4日  
<https://www.ntt.com/about-us/press-releases/news/article/2018/1004.html>
- 3 富士通プレスリリース、2016年4月27日  
<http://pr.fujitsu.com/jp/news/2016/04/27-1.html>
- 4 お客様インタビュー「アナリティクスAI「SATLYS™（サトリス）」で目指す」東芝デジタルソリューションズ  
<https://www.toshiba-sol.co.jp/case/case2018/jfe-eng.htm>
- 5 気象庁Webサイト「数値予報の歴史」  
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-3-2.html>

#### 著者

藤田亮恭（ふじたりょうすけ）  
野村総合研究所（NRI）グローバル製造業コンサルティング部上級コンサルタント  
専門は素材・医療機器・電子部品・自動車部品業界における事業戦略立案、新規事業開発、海外展開支援など

平野裕基（ひらのゆうき）  
野村総合研究所（NRI）グローバル製造業コンサルティング部主任コンサルタント  
専門は素材・部品業界における事業戦略立案、新規事業開発、経営計画立案など

深尾七恵（ふかおななえ）  
野村総合研究所（NRI）グローバル製造業コンサルティング部主任コンサルタント  
専門は素材・電子部品・自動車部品・プラント業界における事業戦略立案、生産・業務改革、働き方改革など