

Ⅱ-1. 素材 ― 素材産業の競争力維持に向けた方策

【要約】

- ◆ 日本の素材産業に共通する強みは、「顧客ニーズに合わせた製品開発力」と「効率的かつ安定的な生産オペレーション力」であるが、近年、生産オペレーション力を支える熟練工の高齢化と引退が課題となっている。
- ◆ 熟練工が現場で担ってきた役割をテクノロジーの活用により補完しつつ、より生産効率を高めようとする動きが素材業界で相次いでおり、今後生産オペレーション力の維持のためのテクノロジー活用の進展が期待される。
- ◆ 一方、海外のプラントメーカーは製造設備のみならず、設備稼働後の操業の技術コンサルティングサービスまで含めた一括提供を行っており、今後デジタル化されたオペレーションノウハウが新興国企業に伝播していくことで、生産オペレーション力による差別化が難しくなる可能性がある。
- ◆ 日本の素材産業のもう 1 つの強みである製品開発力の重要性が増す中で、革新的な物質・材料の開発にテクノロジーを活用するマテリアルズ・インフォマティクスが注目される。研究機関におけるオープンデータプラットフォームの構築が進むほか、企業同士のオープンイノベーションも始まりつつあるが、素材を超えた取組みが極めて有効なテクノロジーであり、今後は異なる分野の素材メーカー同士による協業が期待される。

1. 素材産業におけるテクノロジー利活用の現状

(1) 日本の素材産業の強みと直面する課題

日系素材メーカーの強みは製品開発力と生産オペレーション力

日本の素材産業に共通する強みは、大きく 2 つあると考える。1 つ目は、「顧客ニーズに合わせた製品の開発力」であり、2 つ目は、「効率的かつ安定的な生産オペレーション力」である。従前より、日系素材メーカーは、この 2 つを掛け合わせることで顧客と共に成長を遂げてきた。

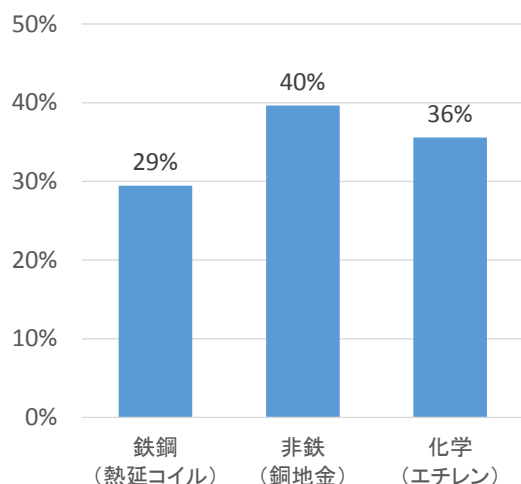
顧客のニーズを汲み取り付加価値を実現する製品開発力

1 つ目の強みである「顧客ニーズに合わせた製品開発力」を活かして、日系素材メーカーは、世の中に新たな価値を提供してきた。例えば、鉄鋼業界におけるハイテン材は、自動車の構造部材や補強部材などに幅広く採用され、「車体の軽量化」、「衝突安全性向上」という自動車メーカーのニーズの実現に寄与している。また、化学業界においては、東レがユニクロと共同開発した「ヒートテック®」が典型例である。東レは、「軽さ」と「暖かさ」を求める消費者のニーズに対応して、レーヨンの吸湿発熱効果、アクリルの高い保湿性、ポリエステル速乾性、そしてポリウレタンの伸縮性という 4 つの異なる特性を持つ繊維を組み合わせた新素材を生み出した。

製品・コスト・納期の安定をつかさどる日々の操業ノウハウ

2 つ目の強みである「効率的かつ安定的な生産オペレーション力」とは、製品の品質・コスト・納期の安定をつかさどる、日々の生産現場での操業ノウハウを指す。生産オペレーション力に支えられた品質・コスト・納期の競争力の高さは、素材製品の輸出の状況からも確認できる。エチレンや熱延コイル、銅地金などのコモディティに分類される製品群を含め、日本企業は国内で製造した製品の多くを輸出に振り向けており（【図表 1】）、その結果、素材製品は輸出品目の上位を占め、我が国の外貨獲得にも貢献している（【図表 2】）。

【図表 1】コモディティ製品の輸出比率(2016 年)



(出所) 日本鉄鋼連盟、石油化学新報、経済産業省
資料よりみずほ銀行産業調査部作成

【図表 2】日本の品目別輸出構成(2016 年)

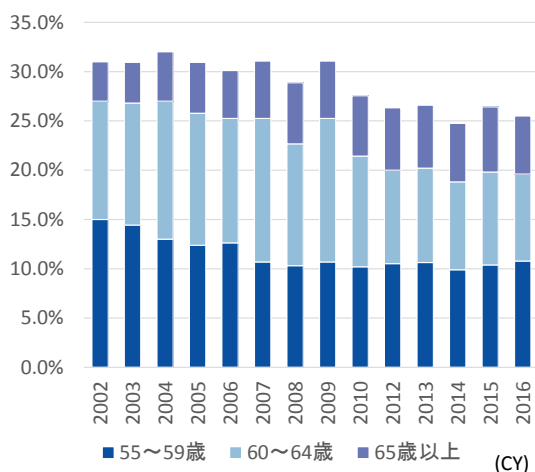
順位	品目	シェア
1位	自動車	16.2%
2位	半導体等電子部品	5.2%
3位	自動車の部分品	4.9%
4位	鉄鋼	4.1%
5位	原動機	3.5%
6位	プラスチック	3.2%
7位	科学光学機器	2.9%
8位	半導体等製造装置	2.8%
9位	電気回路等の機器	2.5%
10位	有機化合物	2.4%
11位	電気計測機器	2.0%
12位	船舶	1.9%
13位	非鉄金属	1.8%
14位	ポンプ・遠心分離機	1.7%
15位	金属製品	1.6%

(出所) 財務省「貿易統計」よりみずほ銀行
産業調査部作成

生産オペレーション力を支えてきた熟練工の高齢化や引退が課題に

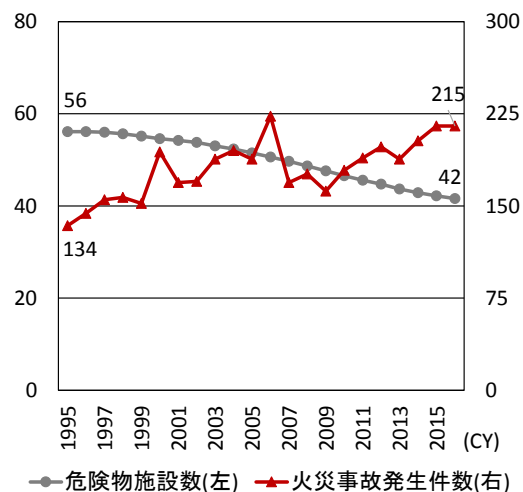
日本の素材産業の強みの両輪である「製品開発力」と「生産オペレーション力」であるが、その1つである「生産オペレーション力」を支えてきた熟練工の高齢化、引退が近年課題となっている(【図表 3】)。素材の生産ラインにおいては、原料の種類、量、加工方法や、製造に適した温度、湿度などの各種条件があり、相当程度自動化は進んでいるが、熟練工が長年の経験で培った技術やノウハウによって、そのコントロールを担う部分も依然大きい。また、熟練工は、生産だけでなく保守、保全の面でも大きな役割を担ってきた。素材産業は、概して高圧ガス等の危険物の取扱いが多く、高度な安全管理が要求される。大小様々なトラブルを通じて経験を積み、有事を嗅ぎ取る勘を養ってきた熟練工が、生産設備の点検時に僅かな異音や異臭などから設備の不具合や故障をいち早く察知することで、事故を未然に防いだ側面がある。然しながら、次世代の若手、中堅社員に対するこれら「暗黙知」継承は充分とはいえない。更に、素材産業においては、高度経済成長期に建設された工場が依然として中心であり、設備の老朽化に伴い安全操業の難易度は上がっている(【図表 4】)。

【図表 3】化学・鉄鋼・非鉄金属産業における
55 歳以上従業員の割合推移



(出所)総務省統計局「労働力調査」よりみずほ銀行
産業調査部作成

【図表 4】危険物施設における
火災事故発生件数



(出所)総務省「平成 28 年中の危険物に係る事故の
概要」よりみずほ銀行産業調査部作成

(2) 素材産業におけるテクノロジーの利活用の現状

生産現場の課題
解決に向けた取
組みが始まりつ
つある

日本の素材産業におけるテクノロジーの利活用の多くは、日々の製造プロセスにおける効率化を目的としたものに留まるものの、近年は IoT や AI といった高度なテクノロジーを用いた取り組みも始まりつつある。背景には、生産オペレーションを支えてきた熟練工の引退により、現場の力が失われることに対する強い危機感があると考えられる(【図表 5】)。

熟練工の役割を
補完しつつより効
率性を高める狙
い

例えば、鉄鋼大手の新日鐵住金は、2016 年度に「高度 IT 活用推進室」を立ち上げた。IoT によるデータの収集とビッグデータの解析、更に AI による制御を行うことで業務改善を狙うもので、安全、品質、設備保全を重要テーマとして掲げている。安全に関しては、IoT を用いて現場作業員の位置情報や身体情報を収集して単独作業の安全性を担保する取り組み、品質ではビッグデータ解析を用いて製品の品質変化と設備情報の因果関係から原因究明を行う仕組み、そして設備保全では、今後、故障予兆解析の技術を導入し、保全業務の最適化を目指す予定である。熟練工が現場で担ってきた役割をテクノロジーの力で補完しつつ、より効率性を高める狙いがある。

【図表 5】製造現場におけるテクノロジー活用事例

企業	開始年月	組織	具体策
新日鐵住金	2016 年 4 月	高度 IT 活用推進室	- 膨大な種類の製品を設備や納期、コストなどの複雑な制約条件を加味して、どの順番で生産すれば効率が良いのかを見極めていく熟練工の作業を、AI を活用しデジタル化 - 作業員が保持する携帯端末や腕時計型の活動量計からリアルタイムで大量データを収集し異常を早期に検知することで事故防止に繋げる、単独作業員を見守り支援 - 鉄鋼製品の品質特性値と製鉄所内の操業・設備のデータの因果関係をビッグデータ解析で分析し、早期に原因を究明する - 設備の故障予兆解析などの技術を活用し、より適切なタイミングで保全業務が行える環境を目指す
JX 金属	2016 年 8 月	技術本部	製造ラインの IT 化や自動化を推進。重点項目は、経営・業績管理、サプライチェーン管理、工場運営の 3 点。サプライチェーン管理では、世界各地の工場の在庫や稼働状況を一元管理し操業時の効率を高める。工場運営ではセンサーを使って自動化を検討
三井化学	2016 年 9 月	(NTT コミュニケーションズと協働)	ガス製品製造過程において、原料や炉の状態などのプロセスデータと、ガス製品の品質を示す X ガス濃度との関係を、AI 技術の一種であるディープラーニングを用いてモデル化することにより、プロセスデータ収集時から 20 分後のガス製品の品質 (X ガス濃度) を高精度で予測
住友金属鉱山	2016 年 12 月	ICT 推進室	設備にセンサー等を取り付けてデータを解析し、工場の稼働率や生産性の改善や製品の品質の向上を図る。一部の工場で成されていた取組みを、全社で統一した仕組みとした。例えば、電池材料国内 3 工場で一括管理することで、不良品や稼働率低下の発生原因究明に役立てる
神戸製鋼所	2016 年 12 月	—	加古川高炉の改修に合わせて、高炉の操業に AI を入れたシステムを導入。過去に蓄積したデータと熟練技術者の経験に基づく危険の判断ポイントを AI に学習させ、警報を発する
三菱ケミカル	2017 年 4 月	SWAT チーム (2017 年立ち上げ予定)	- 石油化学プラントの設備管理に関して、これまで集積してきた各種データの解析や作業日誌のテキストマイニングを通じて、設備不具合や品質を予測する技術を開発 - 高機能樹脂の製造において原料の配合など経験者のノウハウに頼っている作業をデジタル化し、知識・経験の継承に役立てる

(出所) 各社公開資料よりみずほ銀行産業調査部作成

生産オペレーション力の維持へのテクノロジー活用は一層の推進が期待される

鉄鋼業界以外でも化学大手の三菱ケミカルホールディングス、非鉄金属の住友金属鉱山など、製造現場での IoT・AI 利活用を推進する組織を設ける動きが相次いでいるが、テクノロジー利活用の全社的な動きは、日本の素材業界ではいずれもまだ緒についたばかりである。一方、海外では鉄鋼の POSCO (韓) がディープラーニングを活用した溶融亜鉛めっきの制御自動化により、めっき量の偏差を 10 分の 1 以下に縮める成果を挙げするなど、テクノロジー活用の動きが広がりつつある。このように生産オペレーション力を維持・向上させるためにテクノロジーを活用できる余地は大きく、日本の素材産業においても今後一層の推進が期待される。そのためには、工場毎にばらばらに運用されているシステムの統一化など、基本的なインフラの整備も急ぐべきである。

顧客からの信頼を維持するために必要な領域はデジタル化されずに残る

しかし、テクノロジーの活用が浸透しても、顧客からの信頼を維持するために必要な領域については、当面はデジタル化されずに残るだろう。例えば、自動車メーカーを始めとする国内顧客からの厳しい品質要請に対応するために行っている、厳格な品質管理のプロセスがそれに当たる。「最後は人の目で確認する」という検査工程が、不良品や取り違えの許されない重要素材の製造を支えているが、これは生産そのものというよりも、製品に信頼性という価値を付加するサービスともいえる領域である。それにより高い信頼性という価値を求める国内顧客との強固な関係性が維持されてきたのは事実であり、顧客が求める限りにおいては、そのプロセスが容易に変更されるものではないだろう。

但し、それも顧客サイドのスタンスの変化により変わり得ることには留意が必要である。

2. 日本の素材産業にとっての脅威としてのテクノロジー

オペレーションの
技術や経験がデ
ジタル化される

生産現場におけるテクノロジー利活用の推進が期待される一方で、テクノロジーの進化によって、日本の製造業の競争力を支えてきた生産オペレーション力が新興国企業にキャッチアップされる可能性も指摘しておきたい。一般に素材産業では、同じ製造設備を導入したとしても、熟練工の技術と経験に委ねられる工程が多いため、オペレーションの巧拙次第で品質もコストも大きく変わり得る。その技術や経験がデジタル化されるとどうだろうか。

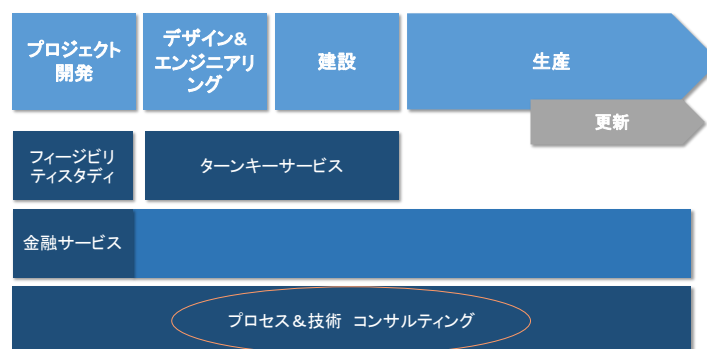
日本の閉じたシ
ステムではリスク
は小さい

鉄鋼産業を例に挙げよう。我が国の場合、鉄鋼メーカーが自社グループ内にプラントエンジニアリング会社を抱えたり、外注した設備を自らカスタマイズしたりと、設備設計のノウハウや操業データ等を外部に漏らさない「閉じたシステム」となっている。この点において、日本の鉄鋼メーカーが製造現場でのテクノロジー利活用を推進しても、すぐに新興国企業に共有される懸念は小さい。

海外はプラントメ
ーカーによる開
いたシステム

しかし海外に目を転じると、製鉄から圧延までのプラントを一貫で設計できるエンジニアリング会社は、独 SMS、伊 Danieli、英 Primetals の独立系 3 社に集約されている。それぞれ標準化されたプラントをアジアや中東・アフリカなどの新興国を含め世界各地で納入する、「開いたシステム」が基本である。各社は新興国でのニーズを睨み、製造設備のみならず、設備稼働後の操業の技術コンサルティングサービスまで含めた一括提供事業や、鉄鋼メーカーのワーカーを集めての技術講習など、設備の操業段階でのサービス事業を強化している。更に Primetals は、IoT を用いた品質管理や設備モニタリング等を展開し、高度なテクノロジー活用にも積極的である（【図表 6】）。

【図表 6】 Primetals 社の統合型ソリューション



(出所) Primetals 社公開資料よりみずほ銀行産業調査部作成

プラントメーカー
から技術・ノウハ
ウが拡散する可
能性

プラントメーカーがサービスを通じて納入先の操業に関わる動きを拡げていくことで、多くの鉄鋼メーカーの操業データがプラントメーカーに蓄積されていくことになる。今後仮にプラントメーカーが、AI を用いてあらゆるデータを分析しつつ効率的な解を導き、自社の技術コンサルティングサービスに還元していけば、これまでデジタル化されてこなかった技術・ノウハウまでが新興国企業に拡散することになるかもしれない。他の素材においても、これは同様である。

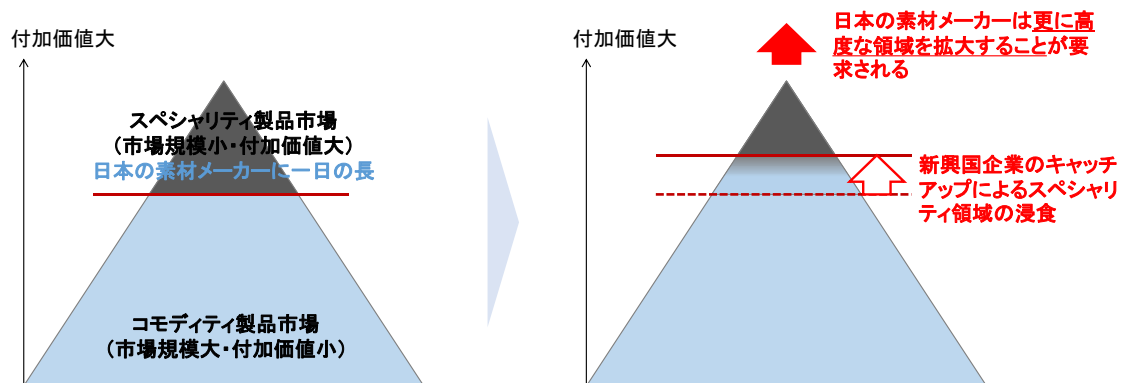
日本の生産オペレーション力が競争力の源泉にならなくなる可能性

プラントメーカーを介したオペレーションノウハウの伝播によって、日本の素材産業の持つ強みの一つである生産オペレーション力が今後競争力の源泉にならなくなる可能性がある。製品そのものの差別化が難しいコモディティ製品に関しては、プラントメーカーから最新鋭の設備とノウハウを調達しさえすれば誰でも相応の品質のものを安定的に生産できるようになる。現地企業とのコスト競争になれば日本は苦戦を強いられるだろう。更に、現時点では想定しないような新興国プレイヤーが新たに参入してくる可能性もある。2000年代のエレクトロニクス業界で起きたような、新興国企業が瞬く間に日本企業を追い上げる事態が、素材産業で起きてもおかしくない。

常に最先端の分野を研究開発で切り開いていく必要

スペシャリティ製品については、日本のメーカーに一日の長がある。例えば中国の素材メーカーは、鉄鋼におけるハイテン材や化学における炭素繊維などのスペシャリティ製品を、サンプルとしては高い性能で出荷するが、量産段階では品質を安定させられないという課題を抱えるといわれる。逆にいえば、スペシャリティ製品についても、生産オペレーションのノウハウを高度なテクノロジーによって獲得する動きが世界的に広がれば、追随されるのは時間の問題となるだろう。従って、日本の素材メーカーが競争力を維持するためには、常に最先端の分野を研究開発で切り拓いていくことが必要となる(【図表 7】)。

【図表 7】 新興国企業によるスペシャリティ製品のキャッチアップ



(出所) みずほ銀行産業調査部作成

3. 競争力の維持に向けて

(1) 製品開発力強化のためのテクノロジー利活用

もう1つの強みである製品開発力の強化が重要に

このように、海外におけるテクノロジーの利活用により、今後生産オペレーションでの差別化が難しくなる可能性がある。それでも、日本の素材産業が抱える熟練工の引退や設備の老朽化といった課題をテクノロジーの力で解決する取り組みは、続けざるを得ないだろう。そして、日本の素材産業の競争力を維持するために、もう1つの強みである「顧客ニーズに合わせた製品開発力」の強化が、一層重要度を増すことになる。

材料研究における
マテリアルズ・
インフォマティク
スの活用

現在は生産現場での活用に留まっているビッグデータ解析技術を、製品開発力の強化にも活用できる可能性が高まっている。物質・材料の性質に関する多様かつ膨大なデータと計算機科学を材料研究に応用する、マテリアルズ・インフォマティクスと呼ばれる手法である。

従前の勘と経験
に基づく研究は
限界に

これまでの材料研究は、研究者の勘と経験に基づく合成と、複数の実験データから導かれる理論モデルの構築により行われてきた。多くの新材料や新機能が、経験則に基づいて発見されてきたのである。しかし、昨今の先端材料研究においては、扱う元素の種類や組み合わせ、あるいは物性に影響する製造プロセス等のパラメータが複雑化しており、経験則に頼る材料研究には限界がある。

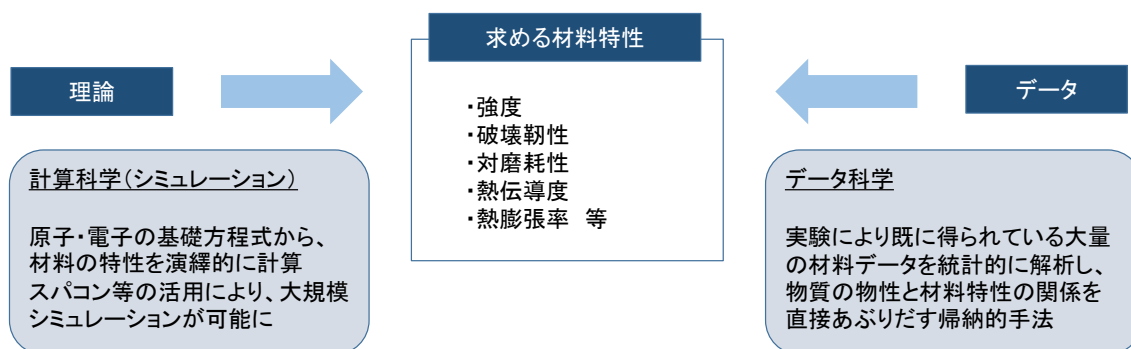
データの活用により開発スピード
の短縮化と材料
種類の増加が期待
できる

その一方で近年、大型実験設備の開発による測定技術の進歩や実験手法の発展により、物質・材料に関する複雑なデータを大量に得られるようになってきた。また、スーパーコンピュータなどの計算機的能力向上や計算科学の進歩により、実験による検証が難しい事象に関するデータをすることも可能になっている。そして、膨大で複雑なデータから、規則性を見出すデータマイニングや、未知の材料の物性を直接予測するディープラーニングといったデータ科学が発達している。データを活用し、コンピュータ上で特定の機能を持つ物質を設計した上で実験によって選定していくプロセスを踏めば、新材料の実用化までのスピードを短縮化でき、開発される材料の種類も大きく増やせるだろう。

求める機能から
材料を探索する
アプローチ

注目されるのは、マテリアルズ・インフォマティクスを用いれば、求める特定機能から、候補となる材料を最短距離で探索することが可能となる点である。これまでの物質・材料科学の主流であった、既にある物質の性質・機能を探求するアプローチや、既にある理論から物性を推測するアプローチではなく、求める性質・機能から物質を推定するアプローチであり、これは日本の素材産業の「顧客ニーズに合わせた製品開発力」という強みを大きく補強する可能性がある（【図表 8】）。化学大手の BASF（独）が 2017 年 7 月にスーパーコンピュータを導入し、シミュレーションを用いた機能ポリマーの配合法発見等への活用を発表するなど、海外でも研究開発へのインフォマティクス活用の動きが出始めており、我が国においても積極的な活用が求められる。

【図表 8】マテリアルズ・インフォマティクス



(出所) 文部科学省資料等よりみずほ銀行産業調査部作成

(2) マテリアルズ・インフォマティクス活用に向けた課題

データプラットフォームの整備は進みつつある

マテリアルズ・インフォマティクスの精度はデータの蓄積が多いほど高まる。このため、2017 年 4 月、国立研究開発法人物質・材料研究機構 (NIMS) において、材料データプラットフォームセンターが設置された。NIMS が蓄積してきた 60 年分の実験データのほか、実験装置・計測機器からのデータ、文献からのデータ、そして大学機関の研究成果など、複数のソースからのデータを収集・蓄積するとともに、今後は外部研究機関や民間企業がデータ科学の手法を用いてそれを活用できるようなサービスの提供も行っていく方針である。また、内閣府が主導する「戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)」の中では、構造材料の開発を重視したシステムの開発が行われている。データプラットフォームの整備は進みつつある。

民間企業のデータ提供は当面困難か

一方、民間企業の抱えるデータは各社のノウハウの塊であり、オープンなデータベースへ提供することは難しいだろう。既に撤退した事業のデータなどを対象に、民間企業からの提供を促すべきとの意見もあるが、当面はアカデミアのデータによるプラットフォーム構築が現実的であろう。

競合企業同士がデータをシェアする動き

そのような中、オープンイノベーションの新しい動きがある。2017 年 6 月、NIMS と三菱ケミカル、住友化学、旭化成、三井化学の化学 4 社が、NIMS を中核とする“Materials Open Platform”の運用に関する覚書に調印した。また、同年 7 月には、NIMS と新日鐵住金、JFE スチール、神戸製鋼所の鉄鋼 3 社が同じく調印を行った。これらはそれぞれ、基礎研究の段階で共通する課題に協働して取り組むもので、競合する企業同士が手を組む画期的な動きである。そこでは非連続な革新的材料の創出が謳われており、各社がこれまでクローズにしてきたデータを持ち寄り、データ科学の手法を用いた材料研究によりイノベーションの創出を狙うものと推察される。オープンとクローズの間に位置する、データのシェアといえるものであり、基礎研究では協調し、事業化では競争するという切り分けがなされている。このような参加者を限定したデータの共有・活用は、今後広がることが期待される(【図表 9】)。

素材を超えた協業が極めて有効であり、日本が優位に立てる可能性も

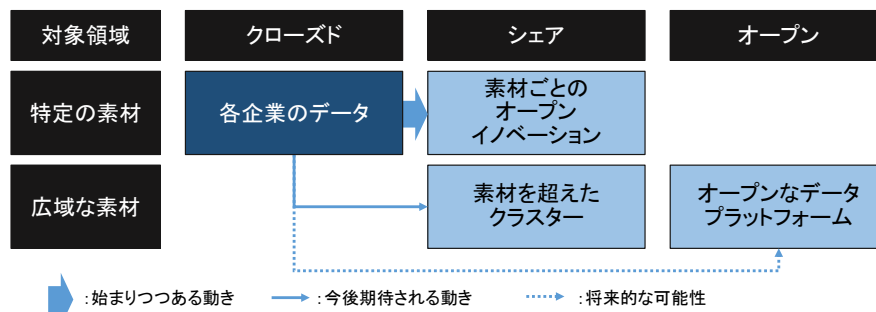
顧客ニーズに合った製品開発に資するための材料研究で目指すべきは、求められる「機能」や「特性」の探索である。金属、無機、有機といった素材の枠組みを超えて、材料全体を捉えたアプローチを行うことで、その可能性は大きく広がるだろう。これには一企業での取り組みでは不可能であることはもちろん、同一業種でのデータシェアでも不十分であり、異なる素材のメーカーによるデータの持ち寄りが不可欠である。これまでは企業間もしくは素材間で互いに競い合いながら技術開発を行ってきた日本の素材産業であるが、マテリアルズ・インフォマティクスを用いた革新材料の開発に関しては、素材を超えた協業が極めて有効である。従って、化学、鉄鋼、非鉄金属とすべての素材で開発力に強みを持つ企業が揃う日本の素材産業が、優位に立てる可能性がある。素材をまたいだクラスターを形成し、データシェアにより共通の研究課題に取り組むことが期待される。

民間企業も参加したオープンデータベース構築には政策サポートも必要に

今後オープンなデータプラットフォームの構築とデータ科学活用の浸透が進むと同時に、データシェアによるオープンイノベーションの成果が上がることで、マテリアルズ・インフォマティクスの有効性が認められていけば、将来的に民間企業も参加した厚みのあるオープンなデータベースの構築ニーズが高まる可能性もある。その際には、データ提供企業へのインセンティブ付与や、成果

物に対する特許の扱いの整理など、インフラの整備に向けた政策的なサポートも必要となるだろう。

【図表 9】企業データの共有化の方向性



(出所) みずほ銀行産業調査部作成

マテリアルズ・インフォマティクスの取組みは米国で先行

マテリアルズ・インフォマティクスを先駆けたのは、2011 年に政府主導で“Materials Genome Initiative (MGI)”を開始した米国であり、日本が遅れをとったことは否定できない。革新的な新材料の探索が製造業の競争力にとって重要であることにいち早く着目した米国は、この分野で世界に先んじているといえる。MGI には十分なデータ量が蓄積されていないとの指摘もあるが、いまだ構造化されていないオープンな情報を収集することでこれをある程度克服することは不可能ではないだろう。ディープラーニングなどのデータ科学を用いて革新的材料の開発を主導する主体は、既存の素材企業でしかないかもしれない。日本は各企業や研究機関においてデータの構造化を急ぐと同時に、物質・材料科学とデータ科学をともに理解する研究者の育成や計測機器や計算機の開発など、マテリアルズ・インフォマティクスによる成果を後押しするための長期的な政策サポートも望まれる。

絶え間ない製品開発と生産オペレーション力の更なる向上

マテリアルズ・インフォマティクスにより新たに開発された材料は、顧客の評価を経た後に量産プロセスへ入り、生産現場のオペレーションによって事業へと成長していく。新材料の量産技術は、製造現場における新たな独自ノウハウとして蓄積され、テクノロジーを活用したオペレーション高度化の源泉となるだろう。競争力の維持に向けて我が国の素材産業が取り組むべきは、絶え間ない製品開発と、それを事業として実現する生産オペレーション力の更なる向上である。そのためには、従来の発想にとらわれずに、先進的なテクノロジーを最大限活用していくことが、今まさに求められている。

みずほ銀行産業調査部

素材チーム 大野 真紀子

尾崎 望

佐野 雄一

makiko.ohno@mizuho-bk.co.jp

©2017 株式会社みずほ銀行

本資料は情報提供のみを目的として作成されたものであり、取引の勧誘を目的としたものではありません。本資料は、弊行が信頼に足り且つ正確であると判断した情報に基づき作成されておりますが、弊行はその正確性・確実性を保証するものではありません。本資料のご利用に際しては、貴社ご自身の判断にてなされますよう、また必要な場合は、弁護士、会計士、税理士等にご相談のうえお取扱い下さいますようお願い申し上げます。

本資料の一部または全部を、①複写、写真複写、あるいはその他如何なる手段において複製すること、②弊行の書面による許可なくして再配布することを禁じます。