進化するマス・カスタマイゼーション対応技術

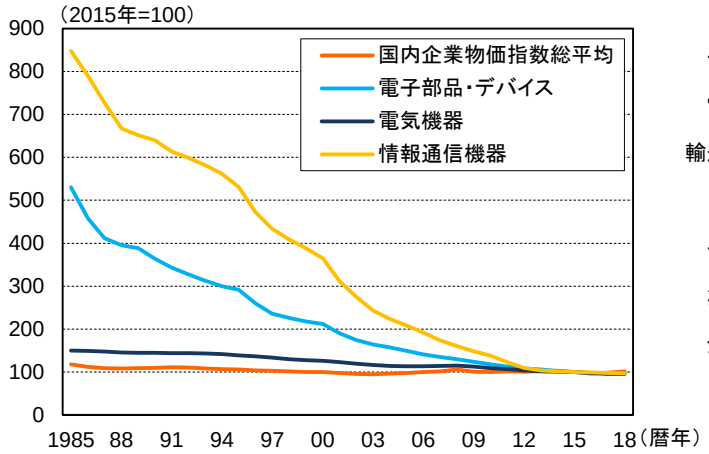
～ インダストリー4.0の具現化と求められる企業間連携 ～

産業調査部　佐無田 啓

1. 製造業の変化（コトづくりへの競争軸の変化）

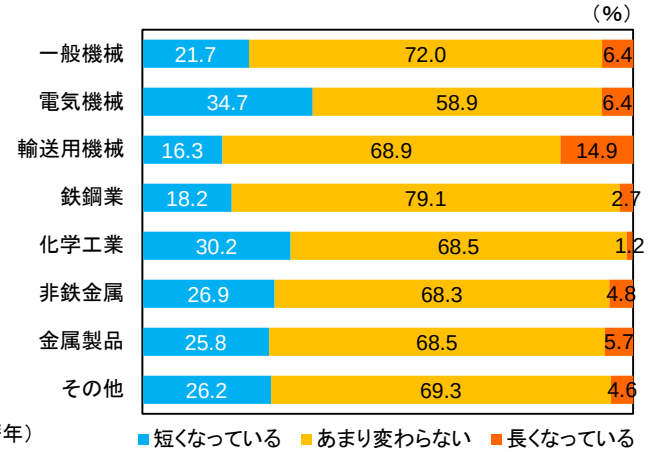
- 新興国企業の低価格製品や製品のモジュール化などにより、ハイテク製品であっても短期間でコモディティ化し、価格競争に陥るようになった。特に、電子部品・デバイスや情報通信機器といったデジタル関連製品の価格低下が著しい（図表1-1）。また、電気・通信機器だけでなく他の製造業においても、製品ライフサイクルが短縮していると考える企業は、長期化していると考える企業より多い（図表1-2）。価格競争から脱却するためには、モノ単体の価値の提供だけではなく、顧客ニーズに即した製品やサービス・ソリューションを提供することによって顧客の経験価値を高めることが、競争力として一層重要視されている。
- デジタル化の進展によって以前と比べて市場や顧客データを容易に集められるようになり、多様化する顧客ニーズに直接対応できる分野では、生産・販売のビジネスモデルは「プロダクトアウト（製造者目線・技術志向）」から「マーケットイン（利用者視点・顧客志向）」にシフトしている（図表1-3）。製造現場においては、多様な受注に対して生産体制を組み替える「柔軟性（フレキシビリティ）」が求められる。
- 4月に開催されたハノーバーメッセ2019において「柔軟性（フレキシビリティ）」というキーワードが多く見られ、展示物は従前のコンセプト展示から製品化されて実際の製造現場にどのように展開してフレキシビリティを実現するかというところまで進展してきた。インダストリー4.0では「必要な製品を必要な人が欲しい時に必要な量を提供できる」ことを製造業の理想像の一つとして提唱している。これを実現する柔軟性や自律性などを具備した生産の仕組みはマス・カスタマイゼーションと呼ばれ、近年必要な技術が実用化され始めている（図表1-4）。

図表1-1　企業物価指数の推移



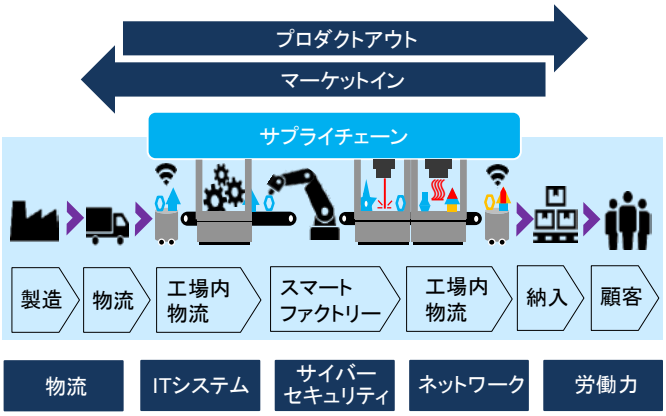
（備考）日本銀行「企業物価指数」（消費税除く）により作成

図表1-2　10年前の製品ライフサイクルとの比較



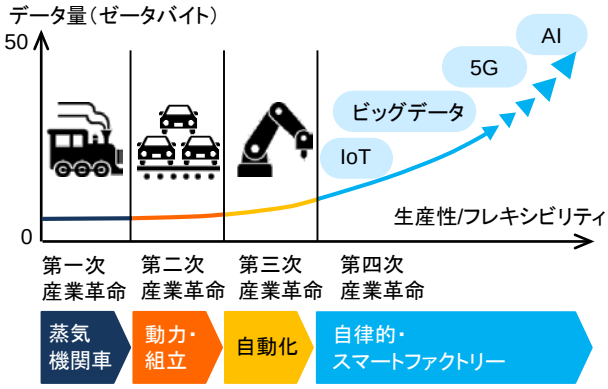
（備考）経済産業省「2016年版 ものづくり白書」により作成

図表1-3　ビジネスモデルの変化



（備考）日本政策投資銀行作成

図表1-4　インダストリー4.0の進展

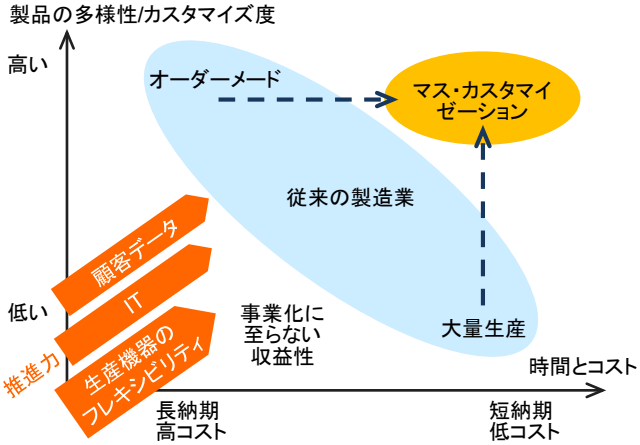


（備考）1.日本政策投資銀行作成
2.「ゼータバイト」：10^{21}バイト

2. マス・カスタマイゼーションとは

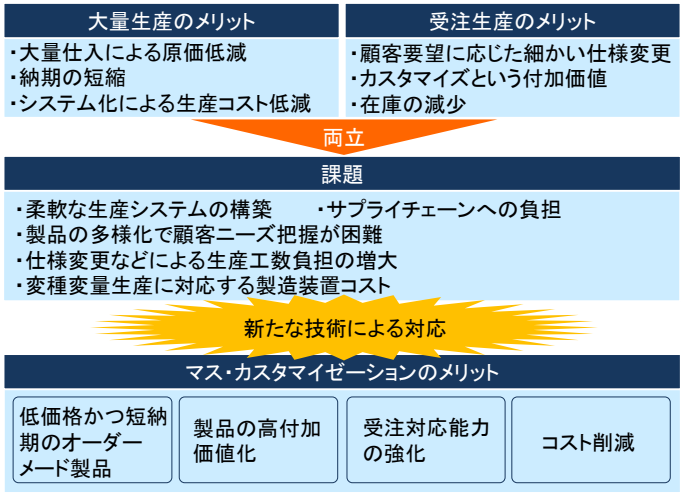
- マス・カスタマイゼーションとは、大量生産並の生産性で、顧客の個別ニーズに合う製品・サービスを生み出す仕組みである（図表2-1）。換言すれば、大量生産と受注生産の良いとこ取りであり、顧客はオーダーメード製品を低価格かつ短納期で入手することができる一方、メーカー側は高付加価値製品の生産による高い収益性の確保、受注対応能力の強化、コスト削減といった利点がある（図表2-2）。あらかじめ部品を用意して顧客の注文に対応するパソコンなどのBTO（Build to Order）に比べて、顧客ニーズに応じた設計を行うことでカスタマイズの自由度が一層向上されている。実現に向けた課題は、多様な受注や細かい仕様変更に対応しつつ、いかに低コスト・高効率を維持していくかであり、それを支える新たな技術が求められている。
- 歴史を振り返ると、多品種少量生産の手工業に始まり、物を充足させるために単一製品の大量生産を目指した後、再び市場のニーズに応じて多品種の方向に進化してきた（図表2-3）。20世紀初頭に米国のフォード社が大量生産を実現する生産システムの革新を起こしたが、それは生産する車種を1車種に絞り、コンベア方式とすることで、作業の細分化・単純化を実現し、一定品質の自動車の大量生産を可能にするものであった。大量生産では部品の在庫リスクが内在していることから、その後は最小の在庫で生産を行い、プロセス管理を徹底して効率化を進めるリーン生産方式に進化した。しかしながら、大量生産を前提とした製造では、現在の顧客ニーズである個別設計・生産による満足度向上と、大量生産並の生産性による低コスト・短納期対応を同時に実現することは、生産ラインへの負担が大きいため困難であった。
- マス・カスタマイゼーションで実現が期待される超柔軟な生産環境を構築するには、新たな製造装置や生産技術が必要となるが、近年それらが徐々に登場しており、さらにデジタル化が進展したことに伴い実用化のための素地が整いつつある（図表2-4）。

図表2-1　カスタマイズとコストのトレードオフ



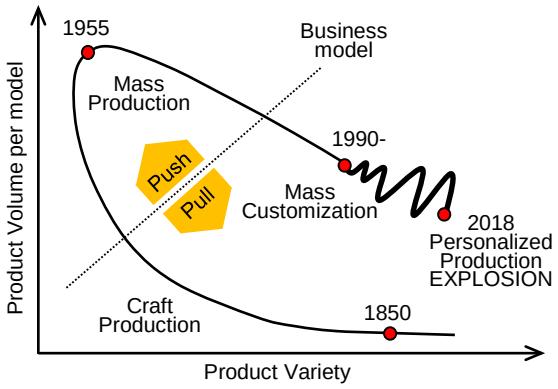
（備考）Bavishi et al.,Information Technology,Thakur College of Engineering and Technology “Mass Customization of Products（2014年）”により作成

図表2-2　マス・カスタマイゼーションのメリット



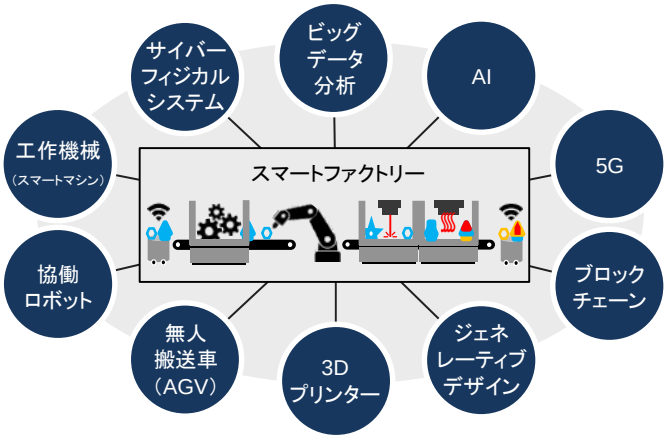
（備考）日本政策投資銀行作成

図表2-3　製造業のパラダイムにおける生産量と製品種類数の関係



（備考）Yoram Koren,The University of Michigan “The Global Manufacturing Revolution”により作成

図表2-4　マス・カスタマイゼーションを実現する技術



（備考）日本政策投資銀行作成

3. マス・カスタマイゼーションを支える製造装置　～無人搬送車と可視化された未来の工場～

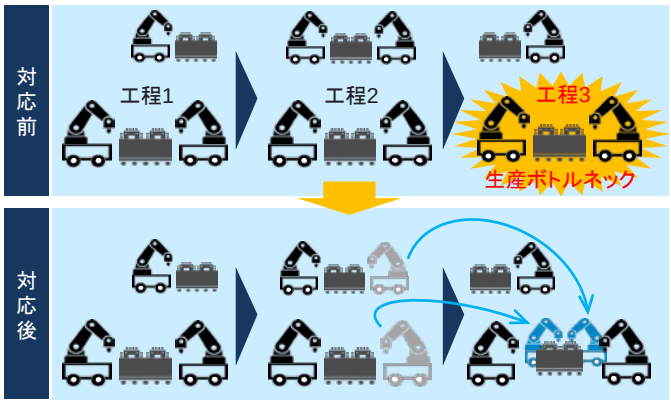
- マス・カスタマイゼーションを実現するには、常時変化する生産ボトルネックを自動で解消する生産ラインを構築する必要があるが、従来型生産ラインでは、単一の作業しかできない設備が固定して配置されており、生産状況に応じて生産ユニットを移動させることができない。生産ラインそのものが動的に変化するためには、移動性（モビリティ）を備える必要があり、そこで登場するのが、無人搬送車（以下、AGV：Automated guided vehicle）によるMobile Roboticsである（図表3-1）。
- 導入イメージとしては、AGVにより部品やモジュール化された部品ユニットがジャストインタイムで運ばれ、AGV上のロボットが自律的に稼動して作業が行われる形態である。ベルトコンベア方式ではなく、碁盤目に配置された生産セルの間をAGVが行き来し、加工対象物がAGVにより運ばれる連続的な生産フローを構成する（図表3-2）。製造現場においてヒト協働型のロボットアームを搭載したAGVと作業者の協働が実現することで、機械による生産自動化の度合いをより柔軟にすることも可能とする。
- AGVの導入で期待される移動性の効果を発揮するためには、1台のAGVでより多くの作業（自律走行（※）、搬送、ワーク交換、工具交換など）を行えるようにすることが重要となる。現状は、工場内搬送を担うケースが多いが、今後は多くの作業機能の開発が期待される。JIMTOF2018（第29回日本国際工作機械見本市）やハノーバーメッセ2019などの展示会において参考出展されるケースが増えており、マス・カスタマイゼーションの実現に必要な技術であることから、今後の市場拡大が見込まれる（図表3-3）。

※AGVはSLAM（Simultaneous Localization and Mapping）技術（周辺地図作成技術、自己位置推定、障害物検出技術、自動経路生成など）を実装している場合が多く、生産現場に人が急に来た場合でも、AGVが自律的に経路を再生成して、回避動作を取ることが可能となる。

図表3-1　無人搬送車（AGV）

（備考）World Robot Summit2018およびハノーバーメッセ 2019にて日本政策投資銀行撮影

図表3-2　AGVの稼働イメージ
（生産ボトルネックへの対応）



（備考）日本政策投資銀行作成

図表3-3　未来の工場におけるAGVの導入イメージ

（備考）ハノーバーメッセ2019にて日本政策投資銀行撮影

4. マス・カスタマイゼーションを支える製造装置　～協働ロボットと積層造形～

- 協働ロボットは、AGVへの搭載だけではなく、あらゆる利用場面において追加の安全装置なしで省スペースにロボットを導入できるため、部分的な生産自動化を可能にする（図表4-1）。
- 製造現場において最大の柔軟性を有する人間と大量生産に適した効率性を有するロボットの長所を組み合わせて、生産ボトルネックの変化に対して最大限に柔軟化された生産体制を構築することは、マス・カスタマイゼーション実現に向けた一つのポイントとなる。従来のFA（Factory Automation）における完全自動化とは異なる発想となるため、設計者やシステムインテグレータのノウハウが一層重要となるが、ロボットスペシャリストの不足は世界的な課題であり、ロボットメーカーには、専門家でなくてもロボットの操作や生産システムへの実装を可能にするユーザビリティの向上が求められる。
- 積層造形（Additive Manufacturing（付加製造技術）、3Dプリンティング）は、材料を付加することで、三次元形状の製品を形成する製造方法である（図表4-2）。機械加工などを経ることなく、設計データから粉体材料を積層しながらレーザーなどで固めることによって直接製品を造形するところに特徴があり、これにより試作・設計開発のリードタイムが短縮される（図表4-3）。また、材料を付け加えながら造形するため、従来では困難であった複雑な形状や切削加工などでは作れない中空構造を持つ造形物を1工程で作成可能であり、これらの特徴から、個別設計に対応しやすく、変種変量生産に適した製造技術とされている（図表4-3）。

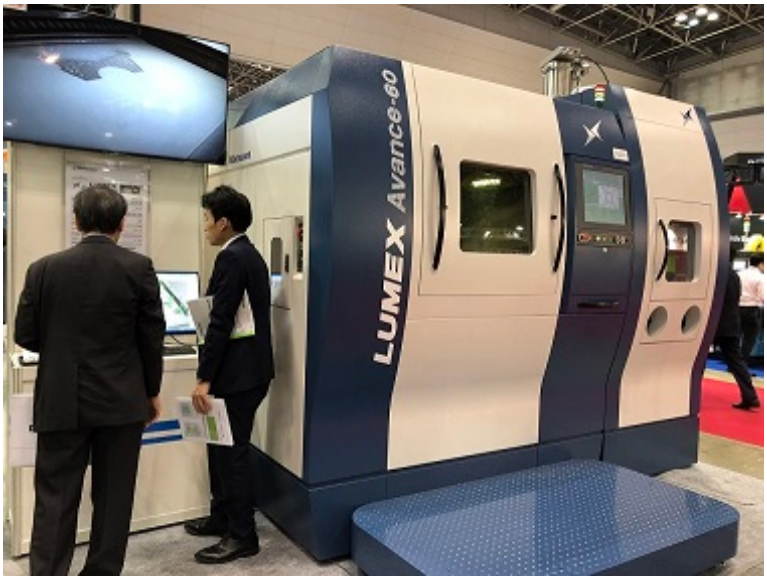
図表4-1　協働ロボット

協働ロボット

規定された協働作業空間で人間と直接的な相互作用をするように設計されたロボット
（JISB8433-2:2015 3.2）

（備考）World Robot Summit2018にて
日本政策投資銀行撮影

図表4-2　金属3Dプリンタ



（備考）JIMTOF2018（第29回日本国際工作機械見本市）にて日本政策投資銀行撮影

図表4-3　積層造形技術の特徴

	メリット		デメリット	
Time	開発期間の短縮	試作・設計の迅速化により開発リードタイムの大幅な短縮が可能になる	長い生産のリードタイム	現状では生産に少なくとも数時間のリードタイムを要するため大量生産には不向き
Cost	材料のムダ削減	切削加工法における削り出し部分のムダが削減できる	高い原材料費	材料価格が既存材料より数倍高く、低価格製品の生産には不向き
	金型コストの削減	コスト面からの金型生産に適さない少量生産が可能		
	高機能な金型の製造	より少ない工数とコストで高機能を生み出すことにより生産性の向上が可能		
Quality	複雑形状の造形	他工法では作れない中空構造等を造形することで製品の高機能化を実現できる	耐久性の保証が不十分	金属材料の優位性である強靭性を積層造形でも活かすためには高い耐久性の保証が必要
	オーダーメード対応	個々人の体型やニーズに合わせた製品生産が可能	低い精度	材料を積み重ねて製造するため、強度にばらつきが生じやすい

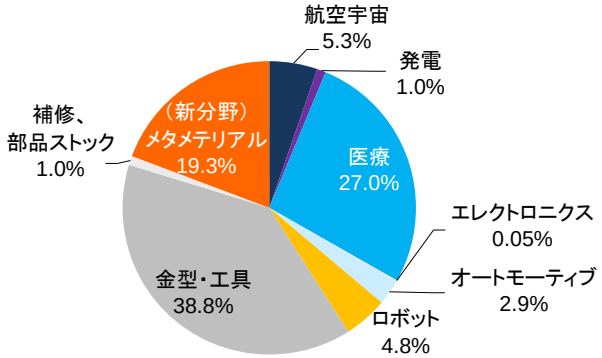
（備考）日本経済研究所資料、経済産業省「新ものづくり研究会 報告書」により作成

5. マス・カスタマイゼーションを支える製造装置　～積層造形～

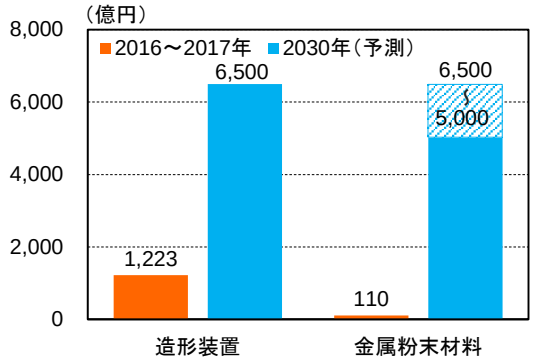
- 金属積層造形の利用は、装置の技術開発が一定程度進んだことでコストやリードタイムにかかる課題を解決し始めたことから、試作だけでなく金型、航空機、医療分野向けで利用が広がりつつある。今後、造形装置の市場は2030年に6,500億円までに成長すると見込まれており、特に積層造形の強みを活かせる金型分野、インプラントなどの医療分野での市場拡大が予測されている（図表5-1、図表5-2）。
- 一方、積層造形のさらなる普及にはいくつかの課題が指摘されている。製造装置に関しては、高速化、大型化が求められているほか、後処理工程を含めた自動化システムや既存加工技術との組み合わせによる工程集約化などで、製造システム全体でコストを低減することが必要とされている。また、製造速度などを要因としたコストに加えて、材料粉末に関しても、その品質管理（粒度分布など）も含めコスト低減が課題として指摘されている。造形技術としては、造形条件・サポート材（造形物の支持台）条件の最適化に加え、インラインでのプロセスモニタリング技術などの向上で、品質保証をどこまで行えるようになるかが重要となる。
- 積層造形技術の効果的な利活用を考える上では、造形する形状の自由度などのメリットを活かすために、造形支援ソフトウェアを駆使した積層造形でしかできない新たな製品デザイン（ジェネレーティブデザイン（※）など（図表5-3））や機能の開発が期待される。また、装置メーカーによる利用者への提案や利用者からのフィードバックといったコミュニケーションを通じて技術普及が一層進むことが望まれる。さらに、材料粉末コストの低減のためには、装置メーカー以外からの材料供給を受けることが、一つの対策となる可能性があり、ユーザーと素材メーカーの協業が進む可能性もあると考えられる。
- これらの製造技術の登場により、「完全に自律的に動く工場」といったインダストリー4.0の理想像が部分的に実現してきている（図表5-4）。今後は、これらの新技術による部分部分の価値を生産ラインに組み合わせて、工場の全体最適を目指す製品・サービスが増えていくことが予想される。

※ジェネレーティブデザイン：条件に基づいてコンピュータが自己生成的にデザインを生み出す技術

図表5-1　2030年における造形品市場規模の割合

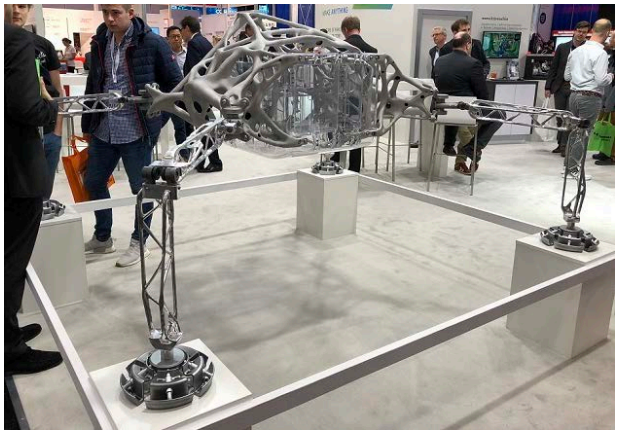


図表5-2　金属積層造形の市場規模と予測



（備考）図表5-1、5-2　新エネルギー・産業技術総合開発機構技術戦略研究センター（TSC）「TSC Foresight Vol.32 金属積層造形プロセス分野の技術戦略策定に向けて（2019年2月）」により作成

図表5-3　ジェネレーティブデザインで作成された惑星着陸機のデザイン



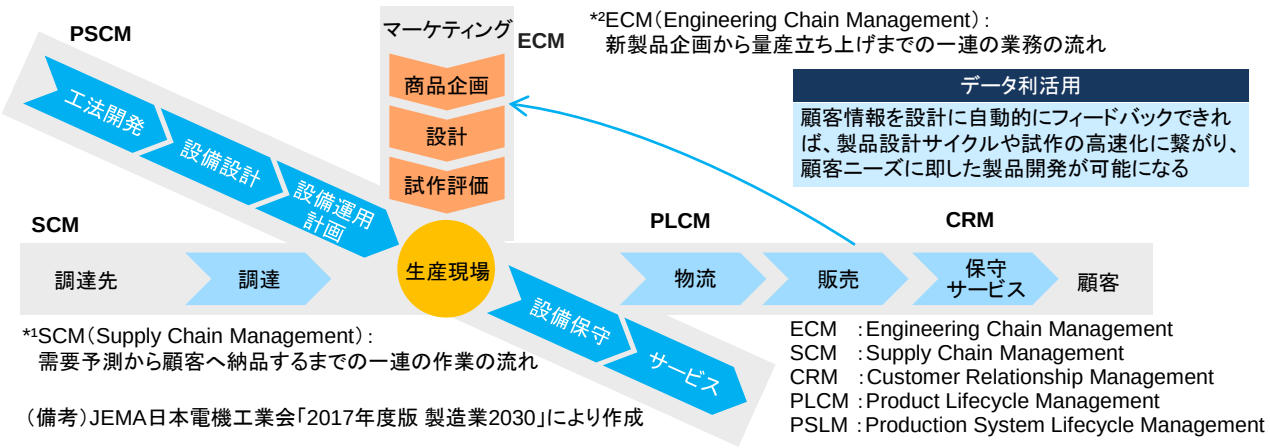
図表5-4　自律稼働する生産ラインのイメージ

（備考）図表5-3、5-4　ハノーバーメッセ2019にて日本政策投資銀行撮影

6. マス・カスタマイゼーション実現のための要件

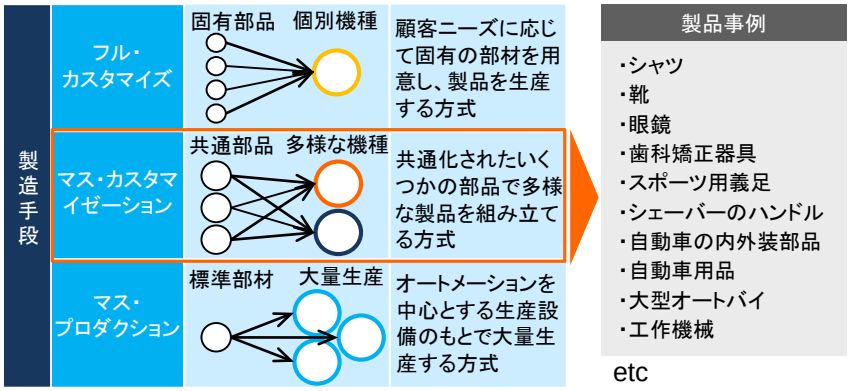
- 新たな製造技術を活用してマス・カスタマイゼーションを実現するためには、それを組み合わせる基盤としての情報システムを構築することが不可欠となる。需要の変化や仕様変更に対して、大量生産であれば仕掛かり在庫を保有することでトラブルに対応しつつ稼働率を維持することができるものの、仕組みとして保有在庫が少ないマス・カスタマイゼーションでは、工場の状態をリアルタイムに把握して、現場に対する指示や加工準備を確実に行わなければならない。モノを作るには、いつ（SCM：サプライチェーンマネジメント*1）どのように（ECM：エンジニアリングチェーンマネジメント*2）作るかの情報管理と制御を行う必要である（図表6-1）。SCMとECMの交点には生産現場があり、日々新しいデータが生まれ、カイゼン作業が行われている。これらを統合して工場における事象をデジタル化し、デジタル世界の結果を現実に反映させる仕組みをサイバーフィジカルシステム（デジタルツインとも）と呼び、IoTやAIなどの技術進化に伴い、マス・カスタマイゼーションの取り組みを加速させている。
- センサーやITを組み合わせて工場内の生産機器のネットワーク化を行い、稼働状況の把握や自律的な最適稼働を実現する工場の概念を「スマートファクトリー」と呼び、その構築には、ロボットを使った自動化、IoTとVRを使った見える化、AIを使った改善の自動化などの組み合わせが不可欠である。工場でデジタル化が進むと、不具合などが見える化されるようになるが、人間には処理不可能な膨大なデータを取り扱う必要が出てくるため、AIを活用した自律的に改善サイクルを回すシステムが必要となる。
- マス・カスタマイゼーションの製品事例は、個人や家庭などの一般消費者に近い市場で多く出てきている（図表6-2）。製品化されている事例では、製品全体がカスタマイズされたものは少なく、共通化された部分とカスタマイズされた部分が組み合わされている製品が多い。自動車などの大型事業かつ高価格な製品では、生産性を維持・向上しつつ顧客価値を最大化するカスタマイズ部分を決定する必要があり、カスタマイズする部分の検討が製品の顧客訴求力を向上させるために重要となる（図表6-3）。昨今、複数企業において1製品に必要な部品を製造している場合がほとんどであるが、標準化された部分とカスタマイズ部分のどちらに参入するか、協調分野では他社製品とどのように組み合わせて連携を進めるかがその後の競争力に影響を及ぼすと考えられる。

図表6-1　生産システムの概念図



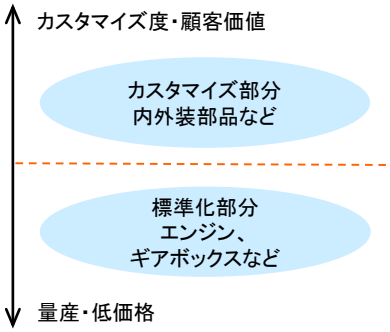
（備考）JEMA日本電機工業会「2017年度版 製造業2030」により作成

図表6-2　製造手段とマス・カスタマイゼーションの製品事例



（備考）日本政策投資銀行作成

図表6-3　標準化とカスタマイズ化（自動車の例）

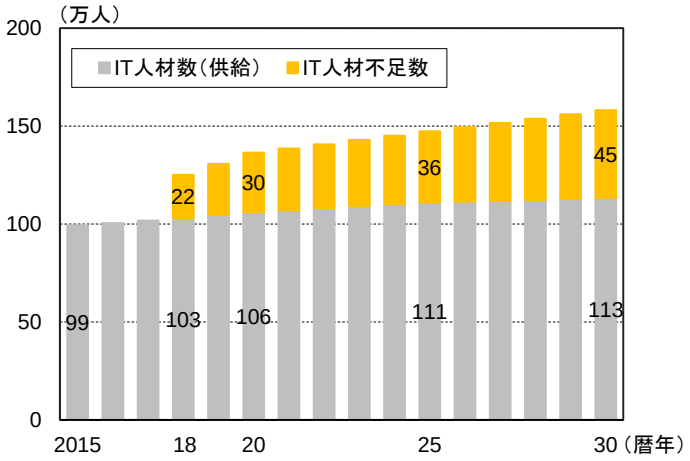


（備考）日本政策投資銀行作成

7. 製造業のデジタル化における課題

- マス・カスタマイゼーションへの対応を含め、製造現場のデジタル化の課題として、高度IT人材の不足がある。経済産業省の試算によると、2030年にはIT人材が全体で45万人不足すると予想されており、先端IT人材は従来型からの転換が進まない場合に55万人不足する可能性が示されている（図表7-1、図表7-2）。中でも、収集したデータを有効活用するためのデータサイエンティストが求められており、従来のITスキル（機器間のデータ接続などのハードスキル）だけでなく、広い視野でビジネス全般を理解し、部門間の調整など、高いコミュニケーション能力（ソフトスキル）が必要とされている（図表7-3）。
- 国内では企業独自にIT人材を育成する取り組みが進んでいる（図表7-4）。工作機械メーカーでは、IoT人材の育成が既に本格的になっており、DMG森精機は実際の生産現場を理解する情報処理の専門家を育成するために、企業内大学院として「先端技術研究センター」を設置し、選考を経た社員を配置している。電機メーカーでは、日立製作所がAI人材の育成のために「日立アカデミー」を設置し新入社員だけでなくIT部門以外の社員にも受講機会を設けている。NECはAI人材の育成機関として「NECアカデミー for AI」を社会人・大学生に向けて開講している。
- 今後は、IT人材の不足を受けて人材育成を目的とするだけでなく、研修などの人材育成機会の提供をサービスや顧客獲得の取り組みの一環として行う企業も出てくると考えられる。

図表7-1 IT人材需給予測・従来型IT人材



（備考）1.経済産業省「IT人材に関する調査（2019年4月）」により作成
2.2015年は国勢調査結果

図表7-2 先端IT人材の需給ギャップ（2030年時点）

Reスキル率	従来型IT人材	先端IT人材	合計
2～6%	18万人	27万人	45万人
2%	0万人	45万人	
1%	△10万人	55万人	

（備考）1.経済産業省「IT人材に関する調査（2019年4月）」により作成
2.「Reスキル率」：従来型IT人材から先端IT人材への転換をReスキルと定義、（x-1）年に従来型IT人材であった人材で、x年に先端IT人材に転換した人材数/（x-1）年の従来型IT人材数
3.「従来型IT」：従来型ITシステムの受託開発、保守・運用サービスなど
4.「先端IT」：IoTおよびAIを活用したITサービス
5.△は余剰

図表7-3 データサイエンティストに求められる能力

カテゴリ		内容
ハードスキル	IT系スキル	データベースやR、Pythonなどのプログラム言語の知識と経験
	分析系スキル	各種統計解析、機械学習関連の知識分析ツールに関する知識と経験
ソフトスキル	ビジネス系スキル	業界・業務に関する知識・好奇心、質問力、理解力、伝達力、説得力、プロジェクト推進能力などのコミュニケーション能力、ビジネス構築能力

（備考）「データサイエンティスト養成読本」により作成

図表7-4 国内企業による高度IT人材育成の取り組み

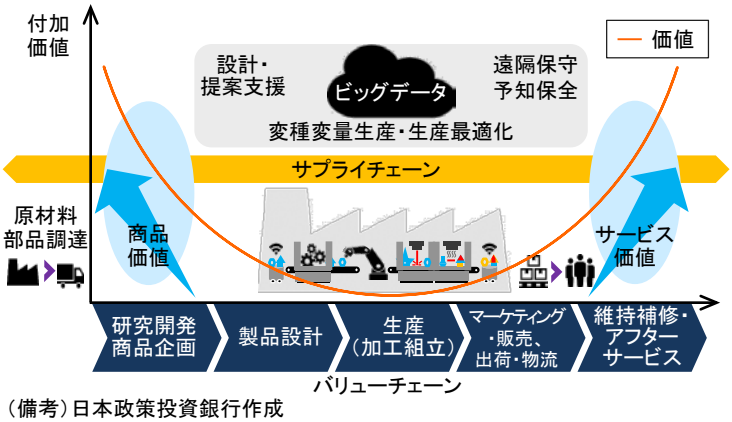
企業	内容	時期（年）
DMG森精機	先端技術研究センター	2017
京セラ	データサイエンティストの社内育成制度	2018
日立製作所	日立アカデミー	2019
NEC	NECアカデミー for AI	2019
コマツ	社内研修プログラム	2019

（備考）日本政策投資銀行作成

8. 製造業における事業領域の拡大と求められる企業間連携

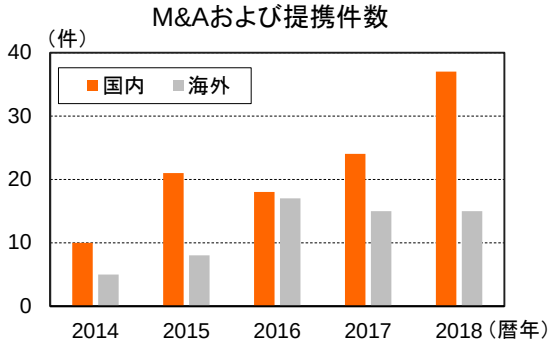
- マス・カスタマイゼーションへの対応では情報システムによる工場全体の管理が必要とされているが、工場に必要な経営資源を1企業で賄うことは、生産機器・システムの供給側と需要側の双方にとって困難であることから、外部の経営資源を導入することが不可欠となる。また、マス・カスタマイゼーションなどのデジタル技術を活用した仕組みはオープンプラットフォーム上で運用されることで本来の効果を発揮する。例えば、顧客の工場とシステムを接続することができれば、設備の稼働診断や加工診断、ニーズに合ったソフトウェアを提供できるようになり、機械の運用効率を最大化したい顧客の価値に即したサービスの実現に貢献できる。このような取り組みが進展すると、バリューチェーン上の価値全体に製造業の事業領域が拡大することから、企業間の連携が一層重要になる（図表8-1）。
- さらに、インダストリー4.0はシステムとネットワークによる管理を最終的にサプライチェーン全体に展開することを目指している。一般的に工場では作る製品と最大生産量が定められているが、サプライチェーン全体の管理が実現すると複数の工場で最大生産量をシェアできるようになり、結果として需要の変化などへの対応力が向上して生産現場はより柔軟になる。
- 実際の企業動向として、過去5年間の生産機器・システム関連事業者（工作機械・FA（Factory Automation）・産業用ロボット関連企業）のM&Aおよび提携件数は右肩上がりで増加している（図表8-2）。その目的は、2015年以降「技術・人材・ノウハウ」の獲得が最大の割合を占めており、技術革新やビジネスモデルの変化に対応するために他社の経営資源の利用を進める企業動向が一部現れている（図表8-3）。
- 既に販売展開に至っている事例としては、オムロンによる米国の産業用ロボットメーカーAdept Technologyの買収（2015年）がある（図表8-4）。オムロンは買収により制御機器事業に無人搬送ロボット（AGV）を加え、変種変量生産を効率的に実現する搬送ラインを顧客に提供しており、現在国内でも導入が進みつつある。2018年には、台湾のロボットメーカーTechman Robotと提携し、AGVと接続しやすいアーム型協調ロボットを商品ラインナップに加え、顧客企業における柔軟性の高い生産の実現に向けた取り組みを進めている。
- このように、デジタル技術の革新が急速に進展する中、多様化する市場ニーズに対応して求められる価値を提供するために、今後も事業者は外部から経営資源を獲得する投資の検討に迫られるだろう。金融機関としても、このような事業者の製品・サービスの開発投資を後押しする提案が求められる。

図表8-1　バリューチェーン上の事業領域の拡大（製造業）



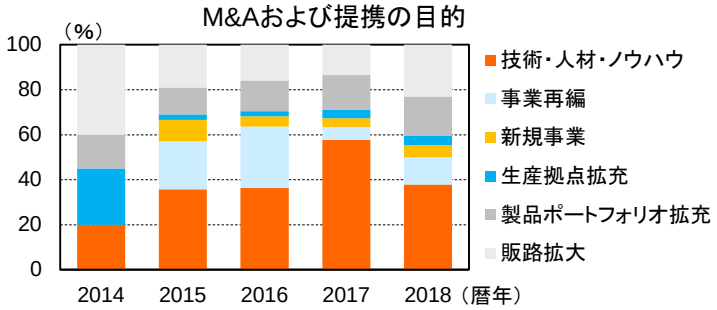
（備考）日本政策投資銀行作成

図表8-2　生産機器・システム関連事業者のM&Aおよび提携件数



（備考）1.日本政策投資銀行作成
2.「生産機器・システム関連事業者」：工作機械、FA、産業用ロボット関連企業

図表8-3　生産機器・システム関連事業者のM&Aおよび提携の目的



（備考）1.日本政策投資銀行作成
2.「生産機器・システム関連事業者」：工作機械、FA、産業用ロボット関連企業

図表8-4　オムロンの無人搬送ロボット

（備考）ハノーバーメッセ2019にて日本政策投資銀行撮影

©Development Bank of Japan Inc.2019
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、取引等を勧誘するものではありません。本資料は当行が信頼に足ると判断した情報に基づいて作成されていますが、当行はその正確性・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ましては、ご自身のご判断でなされますようお願い致します。本資料は著作物であり、著作権法に基づき保護されています。本資料の全文または一部を転載・複製する際は、著作権者の許諾が必要ですので、当行までご連絡下さい。著作権法の定めに従い引用・転載・複製する際には、必ず、『出所：日本政策投資銀行』と明記して下さい。

お問い合わせ先　株式会社日本政策投資銀行　産業調査部
Tel: 03-3244-1840
e-mail（産業調査部）：report@dbj.jp