

# 第6回 デジタル化で変化する ものづくり・製造業のあり方 製造業の機能分断とマスカスタマイゼーション・ Additive Manufacturing



小宮昌人



岩崎はるな

## CONTENTS

- I デジタル化によって変化するものづくり
- II 製造業におけるイノベーションカテゴリー
- III 現実解となりつつあるマスカスタマイゼーションとそれを支えるAdditive Manufacturingの動向
- IV 製造業のあり方の変化——デジタル化による機能の分断と何をコアにして生き残るのか

## 要約

- 1 デジタル化は製造業に、シミュレーションベースでの柔軟なオペレーションや組織・企業を超えたシームレスな連携、ノウハウ・オペレーションの効率的なグローバル移転・技能伝承、さらにはノウハウを活用したサービス化・ソリューション外販などの変化をもたらしている。DXを目的化するのではなく、デジタル技術を用いて何を実現したいのかを明確化することが重要となる。
- 2 デジタル技術の進展、顧客ニーズの多様化・細分化の中でマスカスタマイゼーション（カスタマイズ生産を大量生産の効率性で実現）対応が進んできている。その実現のためには、製品設計・工程の徹底したモジュール化・標準化やフレキシブルな生産の仕組みが必要となるが、中でもAdditive Manufacturingの技術進化が著しく、用途の広がりとともに量産適用も進んできている。
- 3 加えて、既存のデジタル技術やノウハウを保有する企業を活用することで、製造業は投下リソースを最小化した事業展開が可能となり、新興企業のキャッチアップにつながる「製造業の民主化」が進んでいる。同時に、現場のノウハウを持つ日本企業は「ものづくりの結果としての製品」で勝負することから、ものづくりを支援するポジションに転換する可能性も有している。日系製造業としては、自社のコア価値として何にこだわり何で生き残っていくのが突き付けられている。

## I デジタル化によって変化するものづくり

インダストリー4.0が2013年に本格的に提唱され、デジタルトランスフォーメーション(DX)というワードが飛び交うようになって久しい。製造業のDX対応が目的化してしまうケースも散見される中、DXを製造業の成長・経営の高度化につなげる機会とすべく、デジタル技術がもたらす変化の構造について振り返りたい。

インダストリー4.0はCPS(サイバーフィジカルシステム)による産業革命といわれているが、製造ラインなどの物理世界がIoTなどで可視化され、自動化・AI技術が進み最適制御が行われる中で、設計・エンジニアリング段階をはじめとしたデジタルでのシミュレーションとの連携が進んできている。その結果として、次の4つの大きな構造変化が起きている。

### 1 | デジタルシミュレーションを通じた変化への迅速な対応

3Dデジタルツールの活用により、製品設計やライン設計が誰にでも見える形で事前検討できるようになっている。その結果として、製品設計では試作をつくらずとも事前に検証でき、さまざまな条件でパフォーマンスを検討できる。

製造ラインにおいては3Dでシミュレーションを行い、干渉の確認や生産性、効率性の検討をデジタル上でできる。現在のビジネス環境は変化が激しく、予測や準備をすることが難しいため、変化に迅速に対応し企業を変えていけるのかといった「ダイナミックケイパビリティ」に重要性がシフトしてきてい

る。その観点でも、デジタルツインをはじめとするデジタル技術を活用したシミュレーションを通じた迅速な経営・オペレーションの検討・変化は、これからの企業経営に必須となっている。

### 2 | 組織間・企業間のシームレスな連携

また、デジタルツールを活用することで、属人的かつ非効率であった機能がデジタルデータを介して連携され、組織知化できるようになっている。マーケットニーズや製造プロセスなどに応じて、デジタルデータを基に早期にすり合わせを行い、対応検討もできる。今まで、図面などの2Dドキュメントの解釈は技術者によって異なっていたが、3Dデータによる共通認識の下、すり合わせができるようになってくる(図1)。

同時に企業間においても、シームレスな連携がグローバルで可能となる。デジタルデータを用いたすり合わせによって、同一企業内やグループ内、ケイレツ内、国境といったことにとらわれない分業体制を可能にする。綿密なすり合わせをするためには、今までは長年の関係性と物理的な距離の近さがポイントであった。それがデジタル化により、物理的に離れていたり、長年の取引の関係性や、顧客のビジネスやニーズに対する暗黙の理解が蓄積されていなかったりしてもスムーズに連携が取れている。その結果として、各機能のグローバルな分業体制が可能となってきている。さらには、デジタル上での新たなケイレツの概念(デジタルケイレツ)として直接的な取引関係のない企業が参画し、データやノウハウを共有する動きも出てきている(図2)。

図1 エンジニアリングチェーンのシームレスな連携

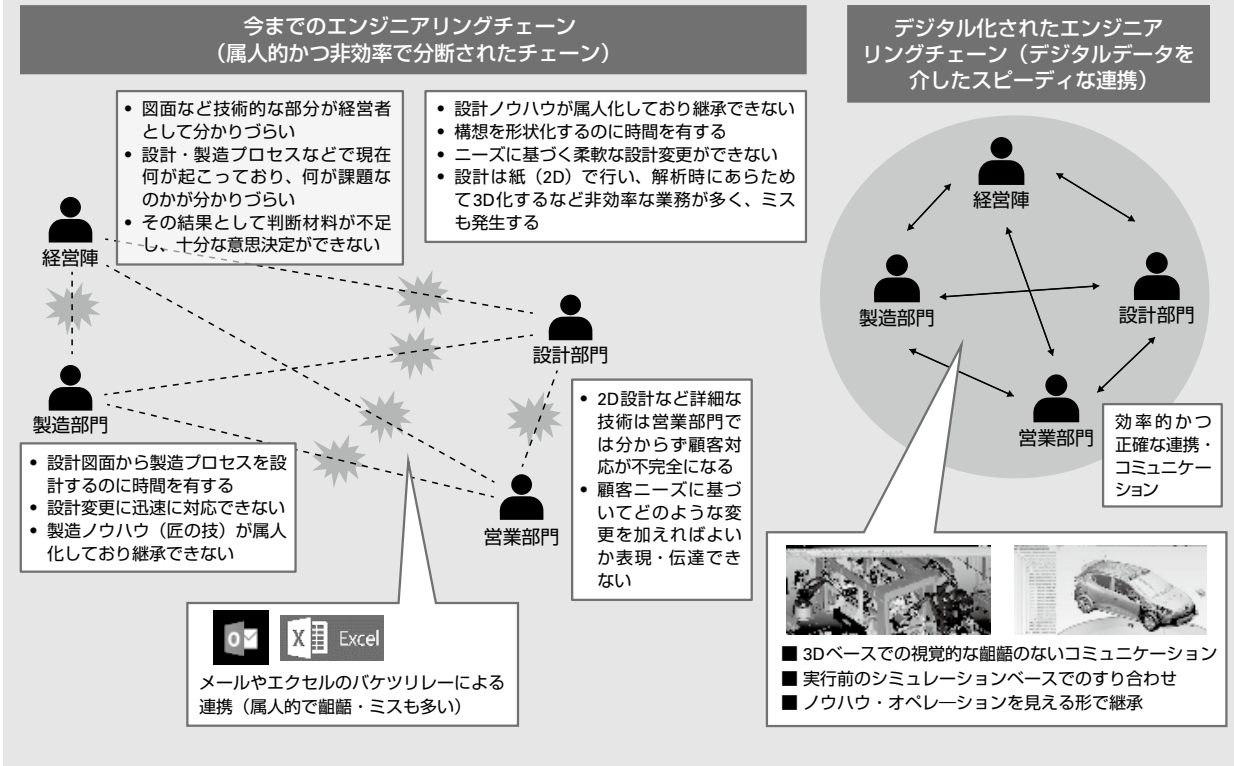
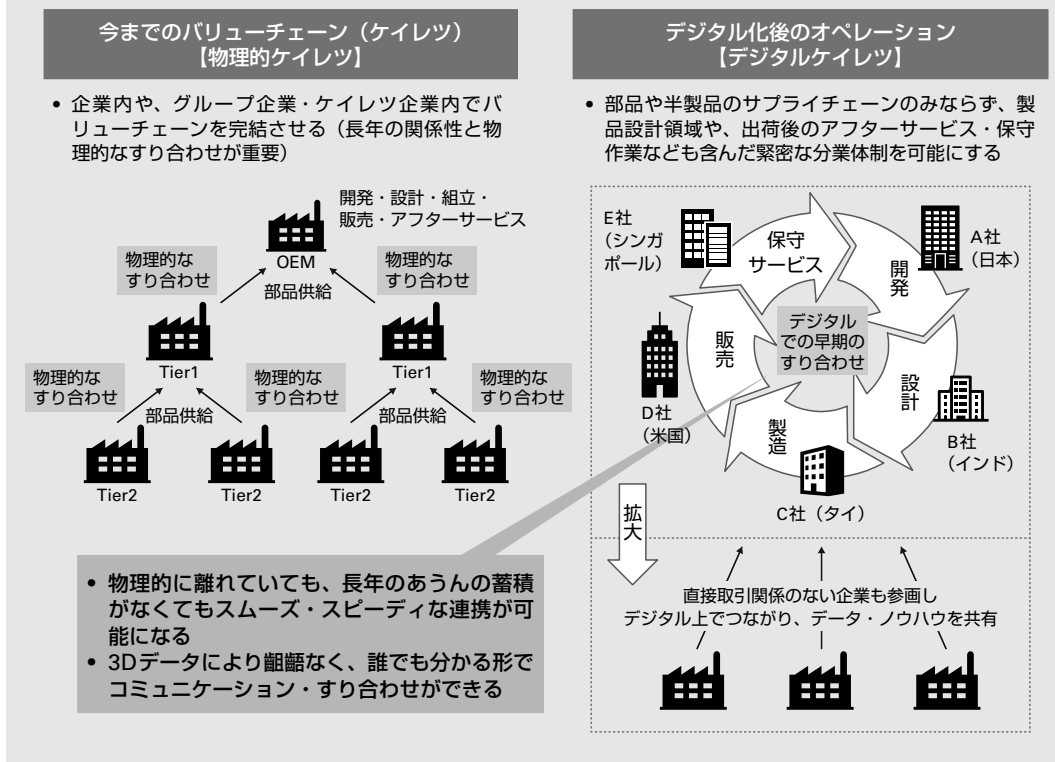


図2 グローバルでの分業体制の加速



### 3 | ノウハウ・オペレーションの効率的なグローバル移転・継承

デジタルツールの活用によって、ソフトウェアを通じて生産ノウハウの早期移転とともに、マザー工場を起点とした早期問題対応が可能になる。また、海外展開の際に立ち上げを早期に実現するだけでなく、コア技術をソフトウェア内にブラックボックス化することで流出を防ぐことができる。従来は人ベースでノウハウの移転が行われており、ナレッジの継承に時間がかかるとともに、継承された

としても他社に現地人材を引き抜かれて流出するなどの非効率な状況となっていた。

製造ノウハウをソフトウェア化すれば、効率的にマザー工場からノウハウ移転先の工場へトランスファーがしやすくなるとともに、ノウハウをソフトウェア内にブラックボックス化すれば、マザー工場に付加価値を残すことが可能となる。これはインダストリー4.0としては重要な論点であり、ドイツにノウハウ・付加価値を残して、雇用を維持することもメッセージとして含まれている（図3）。

図3 デジタル時代における製造ノウハウのグローバル移転

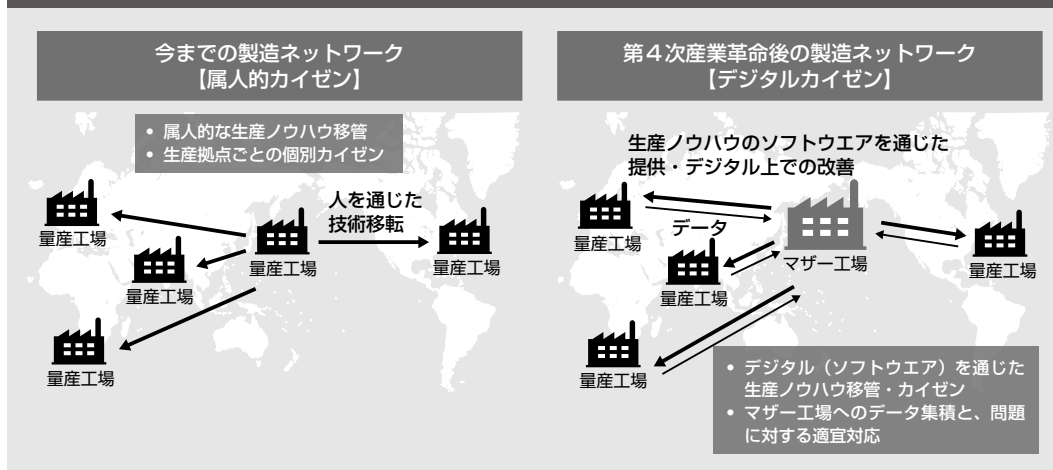
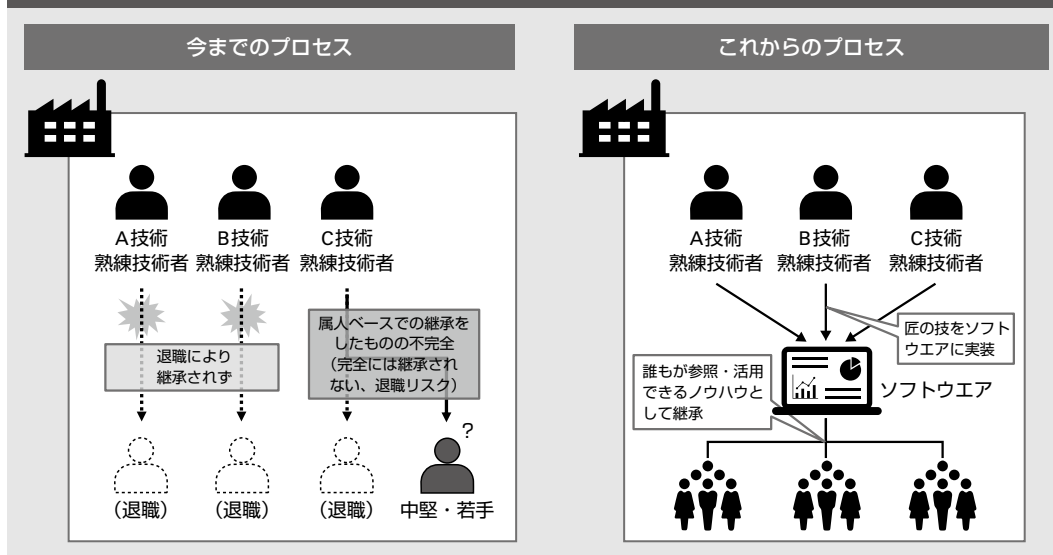


図4 熟練ノウハウの伝承化、可視化



このことは同時に、ノウハウの伝承・技術承継にも寄与する。現在、日本の製造業では、現場の熟練技術者の高齢化による退職や技術の喪失が問題となっているが、ノウハウをソフトウェアに実装することによって技術者の後継問題を解消し、匠の技を継承することができる（図4）。

#### 4 | ノウハウのサービス化・ソリューション外販

製造オペレーションやソフトウェア・アプリケーションにより、これらを自社で活用するだけでなく他社に外販できるようになる。デジタル技術を活用して新興メーカーが急速に製造オペレーションを立ち上げられるようになると、同時にそういった新興メーカーを支援する企業が求められるようになる。日本には現場ノウハウを有している企業が多い。つまり、ノウハウをデジタル化すれば新たなビジネス機会となることを示している。製品設計やライン設計といったエンジニアリングチェーンの上流はデジタル化が進みつつあるが、製造現場の工程ノウハウはデジタル化が進み切っていない。これらの領域で日本企業が先行して競争力のあるデジタルソリューションを生んでいくことが期待される。

## II | 製造業におけるイノベーションカテゴリー

では、具体的にはどのようなソリューション・技術変化が起こっているのだろうか。図5は横軸に製造業のバリューチェーンを、縦軸にソフトウェアやハードウェア、ノウハウを置き、どのようなイノベーションが生まれてきているのかを示している。日本の製造業で

は現場の可視化IoTをはじめ、部門最適的なアプローチにとどまってしまうことも多いが、バリューチェーン全体を捉えた横断的な観点が重要となる。その中から特に重要な4つのトレンドを取り上げる。

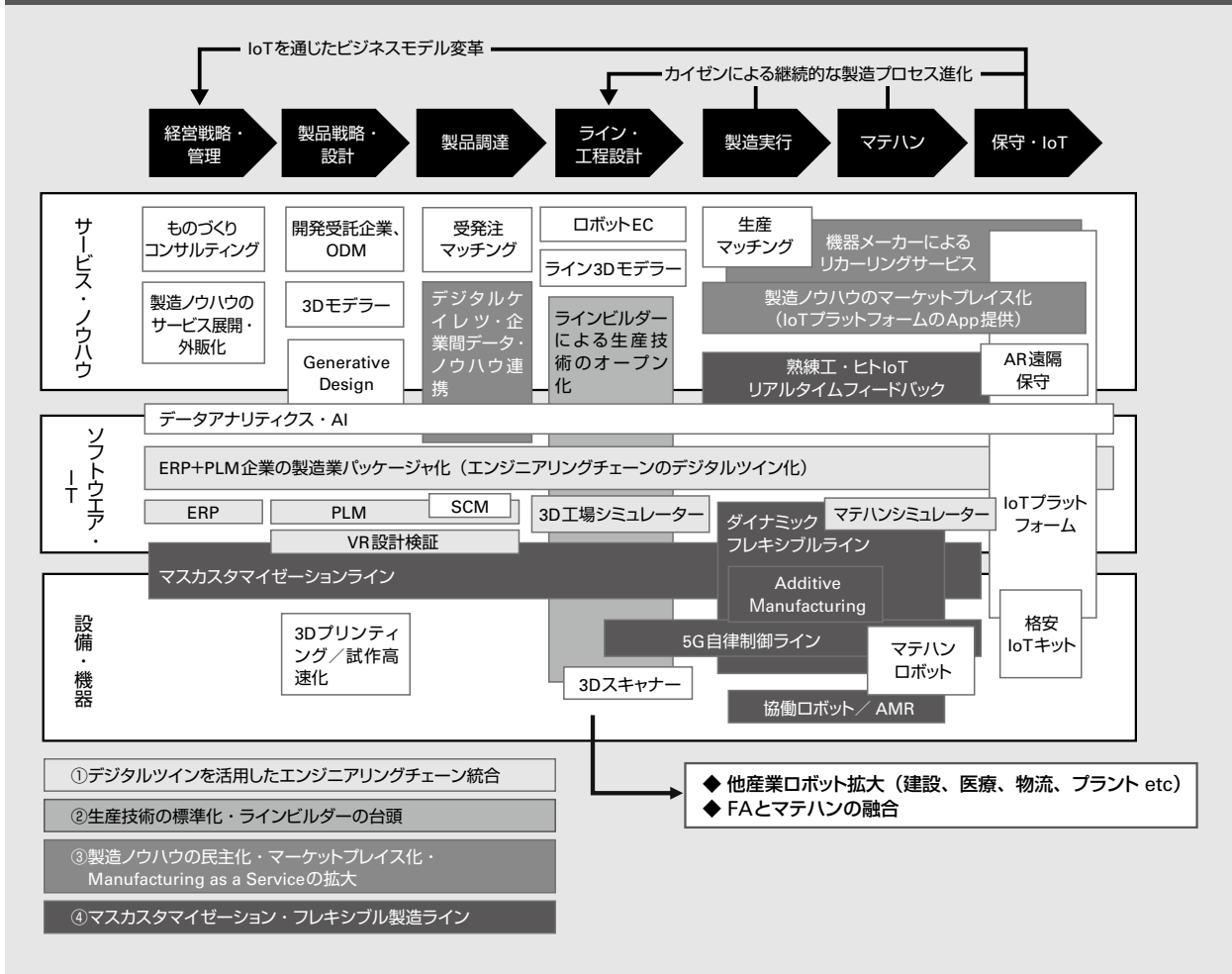
### 1 | デジタルツインを活用したエンジニアリングチェーンの統合

PLM（Product Lifecycle Management：製品ライフサイクル管理）を起点に、製品設計・ライン設計・保守・製品管理がデジタルでつながるようになってきている。これにより、今まで各組織で分断されていた情報を一括して管理できるようになり、連携が加速してきている。たとえば、市場要求に応じた迅速な製品開発へのフィードバックと、それに伴う生産工程設計、製造オペレーション改善のサイクルを回すことができるようになってきているのだ。また、製品設計やライン設計を3Dでエンジニアリングすることによって、事前検証できるようになり、コストや時間をかけて試作を作成するという負担が最小化されるとともに、市場投入までの期間を短縮することにもつながっている。デジタルエンジニアリングやデジタルツインの進展については、本シリーズ第1回「デジタルツイン革命とポストコロナ時代の日本企業のオペレーション」（『知的資産創造』2020年9月号）を参照されたい。

### 2 | 生産技術の標準化・ラインビルダーの台頭

ラインビルダーの存在によって製造ノウハウのオープン化が進んできている。BMWのラインビルダーを活用してBMW同様のライ

図5 製造業におけるイノベーショントレンド



ンを構築し、自動車製造に参入したベトナムのビンファストのように、ノウハウのない企業であってもラインビルダーを活用することである程度のものづくりを立ち上げることができるようになってきている。

日本企業がそうであったように、生産技術ノウハウが製造業の競争力そのものであった時代から、それらがオープン化する時代へ変わってきている。その中で、自社として何をコアとして残し、何を外部活用するのかといった競争領域と非競争領域の振り分けが重要な論点となっている。ラインビルダーの動向

については、本シリーズ第3回「インダストリー4.0を支えるラインビルダー・生産設備SIerと日本のモノづくり生産技術の外販化ポテンシャル」(『知的資産創造』2020年11月号)を参照されたい。

### 3 | 製造ノウハウのマーケットプレイス化・Manufacturing as a Serviceの拡大

IoTプラットフォームなどのプラットフォームが存在感を増していると同時に、プラットフォームが形成するエコシステムを通じ

て、ノウハウを持つ企業がサービス型でビジネスを展開することにつながってきている。たとえば、金型メーカーを傘下に持つ日本のAI企業のLIGHTz社は、金型管理アプリの「xBrains」をシーメンスのプラットフォーム「MindSphere」を通じてグローバル展開している。

また、次号にて詳述するが、ロボット・工作機械メーカーなどのFA（Factory Automation）企業は、自社の製品を提供するのではなく自社の製品を活用した工程や作業、サービスを提供するManufacturing as a Service型で展開するケースも活発化している。製品自体がコモディティ化する中で、各社が自社製品の周辺、もしくは自社製品を活用するノウハウをソリューションサービス化し、顧客をロックインするビジネスモデルにシフトしてきているのだ。製造業やFA企業としては、いかに自社ノウハウを競争力のあるサ

ービスとして提供できるかがカギとなっている。

#### 4 | マスカスタマイゼーション・フレキシブル製造ライン

顧客のニーズが多様化して多品種少量化が進み、さらには多品種少量を大量生産と同様の生産性で実現するマスカスタマイゼーションの流れに、製造業全体がシフトしてきている。

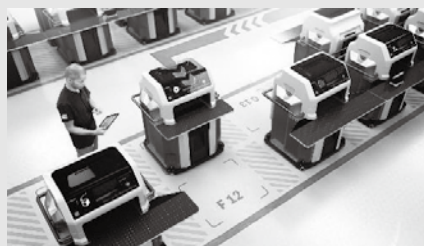
ハイアールがマスカスタマイゼーションの仕組みを標準化し、プラットフォーム展開している「COSMOPlat」については本シリーズ第5回「中国・新興国型インダストリー4.0」（『知的資産創造』2021年1月号）を参照されたいが、そのほかにもFA・ロボット企業のクーカやボッシュらがマスカスタマイゼーションを見据えたフレキシブルなラインのあり方を提唱している。①ラインが製品に

図6 各社によるマスカスタマイゼーション・柔軟な製造を実現するためのコンセプト

アウディ：モジュラアセンブリ



ボッシュ：プラグアンドプロデュース モジュール



AGV+協働ロボットによるフレキシブル工程



YuMi Kivnon  
(ABB)



APAS assistant  
(ボッシュ)



LBR iiWA  
(クーカ)

出所) アウディ <https://www.audi-mediacycenter.com/en/audiemediatv/video/audi-smart-factory-p-tech-day-footage-3336>、ボッシュ（プラグアンドプロデュース モジュール） <https://bosch.co.jp/press/group-1612-03/>、Kivnon <http://blog.kivnon.com/en/page/2/>、ボッシュ（APAS assistant） <https://apps.boschrexroth.com/microsites/apas/>、クーカ <https://www.youtube.com/watch?v=ymAgKyMF82s>より転載

合わせて柔軟に移動する、②製品がラインに合わせて柔軟に移動する、といった大きく2つの方向性で検討が進んでいる。柔軟なものづくりを実現する上では、協働ロボットも大きなトレンドである。

今まで産業ロボットは柵で囲い溶接、加工、搬送といった作業を担ってきた。そこに新たな柵なしで人と協調する領域に導入されてきているのが協働ロボットである。ユニバーサルロボットが大手であるが、ファナックをはじめ多くの産業ロボットメーカーが協働ロボットに着目し、取り組みを強化してきている。搬送機と協働ロボットを組み合わせる自律的に動く工程をはじめ、いかに事業環境や需要動向に応じた柔軟な製造ラインを実現するかが重要となってきた。マスカスタマイゼーションについては第Ⅲ章で詳述したい(図6)。

### Ⅲ 現実解となりつつあるマスカスタマイゼーションとそれを支えるAdditive Manufacturingの動向

本章では、前章で取り上げた製造業の変化のトレンドの中から、顧客ニーズの多様化によって対応が重要な差別化要素となってきたマスカスタマイゼーションと、それを支えるポテンシャルを有するAdditive Manufacturing (AM:付加製造)について述べる。

## 1 | 実現に向けた取り組みが進むマスカスタマイゼーション

### (1) 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、個々の顧客のニーズに合わせたカスタマイズ生産を、デジタル技術を活用して大量生産と同様の生産性で実現するコンセプトである。従来、マス生産とカスタマイズ生産は相反する位置付けでありその両立は難しかったが、デジタル

表1 世界で生まれるマスカスタマイゼーション事例

	企業	国	領域	概要
1	ハイアール	中国	家電	冷蔵庫工場においてマスカスタマイゼーション展開
2	ハイアール	中国	業界横断	上記自社におけるマスカスタマイゼーションの仕組みを外販しCOSMOPlatとして展開
3	アディダス	ドイツ	靴製造	顧客の足の形やデザインニーズ、靴の素材などから個々人に最適なシューズの製造
4	ナイキ	米国	靴製造	
5	ハーレー ダビッドソン	米国	バイク	顧客ニーズに合わせたカスタマイズバイクの製造
6	BMW	ドイツ	自動車	MINIの内外装パーツを顧客がカスタマイズできるMINI Yours Customsdの展開
7	フクル	日本	アパレル	マスカスタマイゼーションでのアパレル製造
8	レクトラ	フランス	アパレル	顧客のオーダーごとの型紙生産や裁断をデジタル化し最適処理するレクトラ・ファッション・オンデマンドの展開
9	Yuniku	日本	メガネ	カスタマイズ眼鏡用製造システム

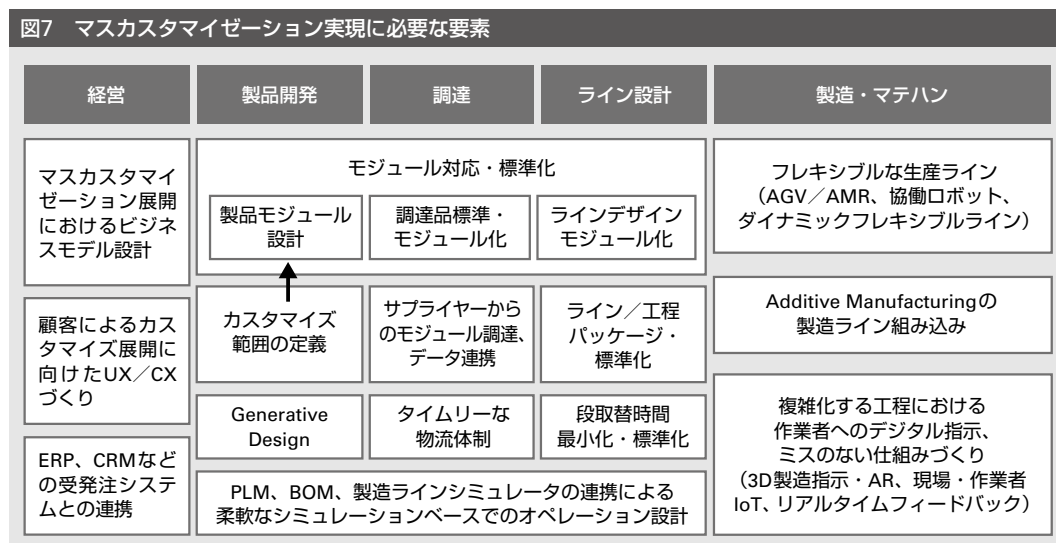


技術の進展で実現例が生まれてきている。中国国家電最大手のハイアールは自社冷蔵庫などの家電工場において、顧客の要望に応じたマスカスタマイゼーションを実現しており、そのノウハウを外販し、本シリーズ第5回「中国・新興国型インダストリー4.0」（『知的資産創造』2021年1月号）にて触れたCOSMO-Platとしてプラットフォーム展開してきている。COSMOPlatは世界20カ国で既に導入されているとともに、マスカスタマイゼーションの国際標準づくりもリードしており、今後、マスカスタマイゼーションがグローバルで加速度的に拡大することが期待される。また、そのほかにもアディダスやナイキの靴製造をはじめ、ハーレーダビッドソンによるバイク生産やBMWによる自動車生産などにおいても、マスカスタマイゼーションが広がってきている（表1）。

活用していると捉えられがちであるが、要素を分解すると革新的なイノベーションや目新しいコンセプトを取り入れているわけではない。既存の論点に徹底的に対応し、その延長線上としてマスカスタマイゼーションを実現しているのだ。たとえばハイアールがCOSMOPlatを展開するときの肝となるのがモジュール対応・標準化である。ハイアールは家電をグローバルで展開する際、地域ごとにニーズが異なる中で、いかに製造を最適化させるかという観点で徹底的にモジュール化を進めてきた。標準モジュールと地域ごとに最適化するモジュールを振り分け、ニーズがサイロ化する中でも最適化をやり抜いてきたのである。こうした自社の取り組みを基に、外販プラットフォームにおいてはマスカスタマイゼーションを導入したい企業への標準化・モジュール化と、サプライヤー管理のコンサルティングを綿密に行う。その上で、必要となるソフトウェアやハードウェアを提供し、仕組みをつくっていくのだ。また、顧客がカスタマイズを行う上でのUX/CX設計やビジネスモデル設計、製造時の複雑な工程におけるARや3Dによる製造指示、もしくはリアルタ

## (2) マスカスタマイゼーションの実現に必要な要素

図7はマスカスタマイゼーションを実現するために必要となる要素である。マスカスタマイゼーションと聞くと、相当な先端技術を



イムコーチングなどを活用した現場作業員へのフィードバック・指示も重要となる。また、顧客ニーズに合わせた製造においては、3Dプリンターなどを活用したAMの活用が重要となるが、近年では材料・用途の拡大や量産適用が進むなど、技術進歩が著しい。

## 2 | Additive Manufacturing

### (1) AMとは何か

AMとは加工方法の一つであり、従来の切削加工をはじめとする機械加工 (Subtractive Manufacturing) とは対照的に、材料を堆積して接合することで造形する方法である。プリントヘッド、ノズル、またはその他のプリンター技術を用いて3次元構造を造形することから、一般には「3Dプリンター」と呼称されている。本論文ではAMと3Dプリンターを同義として扱う。

AMの加工方法は、表2に示すようにISO規格では7つに区分される。特に、光硬化性樹脂を露光により硬化することで造形する液槽光重合法や、材料押出法が代表的な加工方法である。また、近年では金属AMが急速に発展しており、量産化を視野に開発が進んでいる。1980年代に初めて商品化された3Dプリンターは、2000年代後半までは試作品やモデルの製作が用途とされていた。しかし近年は、その加工技術や材料の発展、デジタル推進といった外部環境の変化により、アフターパーツやサービス品への活用、さらに量産品やEV車や橋といった完成品の造形にも活用され始めている。つまり、既存エンジニアリングチェーンにおける補完的な加工方法であったAMは、エンジニアリングチェーンのあり方自体を変えようとしてまでしているのである。

本節では、まずこれまでのAMの技術およ

表2 AMの分類

造形方式	加工方法概要	主な材料	サポート材有無
Vat Photopolymerization 液槽光重合法	リソグラフィーの要領で、液槽に光硬化樹脂を入れて液面露光により1層ずつ硬化。レーザー走査による露光をSLA、一括露光をDLP方式と呼ぶ	光硬化性樹脂	不要
Material Jetting 材料噴射法	光硬化樹脂やワックスをノズルから吹き付けて紫外線や加熱により1層ずつ硬化する。ノズル噴射のため、材料やカラーの複数利用が可能	光硬化性樹脂、ワックス	必要
Binder Jetting 結合噴射法	トレーに平らに敷き詰めた材料に結合剤を噴射し、硬化する	金属、セラミックス、樹脂、石膏	不要
Powder Bed Fusion 粉末床溶融結合法	トレーに平らに敷き詰めた材料にレーザーや電子ビームを照射し、モデルの断面蹴り上に溶融して粉末焼結する	金属、セラミックス、樹脂	金属は必要 (焼結)
Material Extrusion 材料押出法	熱溶解積層方式 (FDM/FFF) などがあり、熱で溶かした樹脂をノズルから押し出すことで積層造形する。FDMはストラタシスの商標のためFFFを用いる場合もある	基本的には樹脂	必要
Directed Energy Deposition 指向性エネルギー堆積法	粉末を吹き付けると同時にレーザー、電子ビーム、プラズマアークなどの指向性エネルギーのビームにより材料粉末を溶融・結合させて積層する	金属	不要
Sheet Lamination シート積層法	シート形状の樹脂をレーザーやナイフによってモデル形状に切断し、各層を接着・溶接させて積層する	金属、樹脂、紙	不要

びビジネスに関する進展を振り返り、今後のAMの方向性やエンジニアリングチェーン変革における可能性、実現に向けた課題について述べる。

## (2) AM進展の歴史

これまでのAMの進展は、図8に示すように4つのフェーズに分類される。AMの加工技術が発明された「黎明期」、さまざまな加工法が提案された「研究開発期」、国や3Dプリンターメーカーによりその地位が確立されて市場が活発化した「市場形成期」、少量生産の実用部品への導入や量産に向けた技術発展をしている「試作・小ロット生産期」である。まず、現在の「試作・小ロット生産期」に至るまで技術がどのように発展し、AM市場が形成されていったかについての動向を中

心に振り返る。

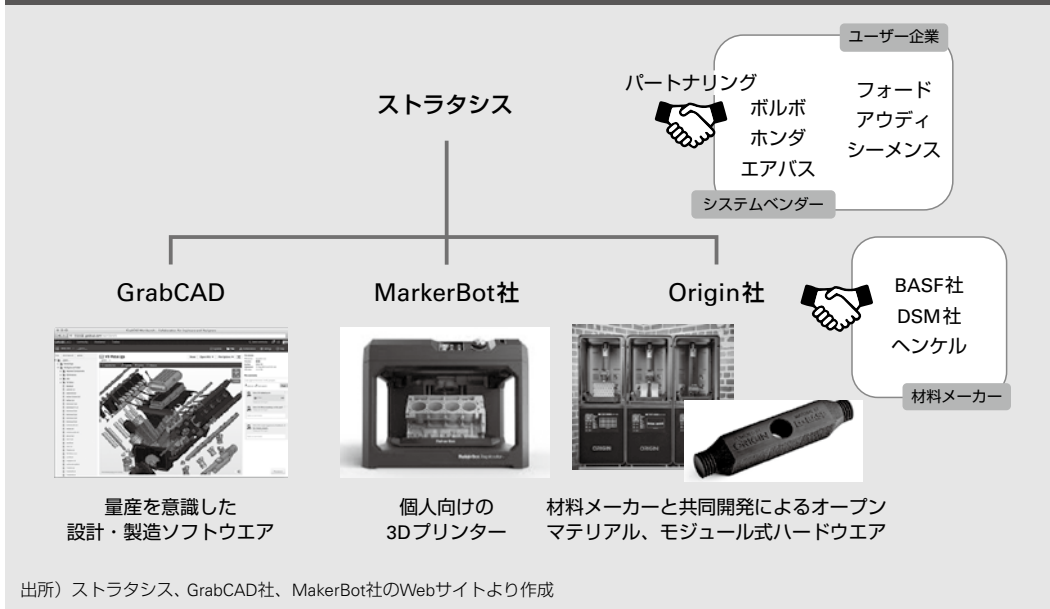
### ①大きな転換点としての市場形成期 (～2010年代前半)

最初の転換点となったのは市場形成期の2010年代前半であろう。12年にクリス・アンダーソン著『MAKERS』にてメイカームーブメント(3Dプリンターによって誰もがデジタル製造を行えるというものづくりの民主化)が提唱された米国では、翌13年には、オバマ大統領が一般教書演説で「3Dプリンターに代表される技術によって製造分野でのイノベーションを起こす」と言及し、米国の製造業変革における実物製造のための3Dプリンター活用を目指す国家プロジェクトとして取り組まれた。MAKERSブーム、米国での国家プロジェクト化、参入の活発化に伴う低

図8 AM進展の歴史

	1980年代	1990年代	2000年代～2010年代前半	2010年代後半～現在
フェーズ	黎明期	研究開発期	市場形成期	試作・小ロット生産期
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ AMの加工技術の発明</li> <li>✓ 2大AMメーカーの誕生</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ さまざまな加工法の誕生</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 一産業としての地位確立</li> <li>✓ AM市場の活発化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 実用部品への適用</li> <li>✓ 欧米・中国を中心に 量産に向けた発展</li> </ul>
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 小玉秀男氏、光造形方式のAM発明(1980年)</li> <li>• Hull氏、同件で特許取得(1987年) <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3D Systems社設立</li> <li>• STLファイル開発</li> <li>• 世界初のAM商品化</li> </ul> </li> <li>• Crump氏、FDM発明(1989年) <ul style="list-style-type: none"> <li>• ストラタシス設立</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AMメーカーは世界で十数社へと拡大</li> <li>• 3種のAMが商品化(1991年) <ul style="list-style-type: none"> <li>• ストラタシス FDM</li> <li>• Cubital社 SGC</li> <li>• ヘリシス LOM</li> </ul> </li> <li>• SLS商品化で、中空形状の成形が可能となる(1992年、DTM社)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• オープンソースハードウェア <ul style="list-style-type: none"> <li>• 英・バース大学 Bowyer教授による「RepRap」の提案</li> </ul> </li> <li>• コミュニティの形成 <ul style="list-style-type: none"> <li>• ASTM、ISOで各AM委員会の発足</li> <li>• 米国の国家プロジェクトとして注力領域に</li> <li>• 経済産業省が研究会を発足</li> </ul> </li> <li>• 技術発展により実用部品に適用する動き <ul style="list-style-type: none"> <li>• 欧州で金属AMの発展</li> <li>• 材料の機能性向上</li> </ul> </li> <li>• 大手メーカーのエコシステム拡充 <ul style="list-style-type: none"> <li>• ストラタシス、3D Systems社など</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• GEグループ、世界初燃料ノズル量産開始(2016年) <ul style="list-style-type: none"> <li>• 金属AMで高機能化、量産化、軽量化の実現</li> </ul> </li> <li>• シーメンスとストラタシスの提携(2016年) <ul style="list-style-type: none"> <li>• 設計用とAM用CADの連携</li> <li>• PLMとモーションコントロールの連携</li> </ul> </li> <li>• 工場や研究施設の設立 <ul style="list-style-type: none"> <li>• シーメンス(2018年、英)</li> <li>• フォード(2018年)、BMW(2020年)</li> <li>• HP×NTU(2018年、シンガポール)</li> <li>• エアバス、GKNエアロスペース(2021年、英)</li> </ul> </li> <li>• 製造ノウハウのプラットフォームの構築 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 自社の製造ノウハウのサービス化 <ul style="list-style-type: none"> <li>• ストラタシス、シーメンス、GEなど</li> <li>• (フォルクスワーゲンも量産のプラットフォーム形成に意欲)</li> </ul> </li> <li>• 他社の製造ノウハウのプラットフォーム化 <ul style="list-style-type: none"> <li>• カプク、Fictiv社など</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>• 量産に向けた技術・材料の発展 <ul style="list-style-type: none"> <li>• CFRP、C/Cコンポジット、金属加工技術など</li> </ul> </li> </ul>

図9 ストラタシスにおけるエコシステム形成



価格化により、急速にAMが発展した。

AMの発展には3Dプリンター（ハードウェア）のほか、設計・製造ソフトウェア、材料、さらにはユーザー業界に応じた専門技術の発展が不可欠である。この時期にAMを提供する企業は、技術の発展や競争激化に伴い、業界大手のストラタシスや3D Systems社を中心に合併・買収や共同開発などの業務提携を行い、サービス領域や業界を拡大している。たとえば3D Systems社は、大手AMの一角だったZコーポレーションや手術シミュレーション技術を有するSymbionix社らを買収によって傘下に収めている。また、ストラタシスは個人向けの低価格なAMを提供するMakerBot社（13年買収）、設計エンジニアのコミュニティサイトであるGrabCAD（14年買収）により、サービスを拡充している。

さらにストラタシスは20年に、BASF社などとも提携する材料エコシステムを提供するOrigin社を買収し、この3社を傘下に収める

ことで設計から製造までのチェーン全体をサービス領域とするとともに、各産業界との共同開発により生産ノウハウを獲得し、業界を拡大している。たとえば自動車業界では、10年にカナダのエンジニアリンググループであるKor Ecologic社と提携し、世界初のAM技術を用いた自動車の試作品「Urbee」を製造した。14年には、開発に1年かけてプロトタイプ電気自動車「Stratasys Objet1000」を製造している（図9）。

## ②試作・小ロット生産から量産へのAM適用（2010年代後半～）

2016年以降は、欧州や北米、中国を中心に、試作品にとどまらず小ロット生産の開始、さらには量産に向けた動きなど、最終製品への応用・発展が活発になっている。最終品としては多品種少量生産品や補修部品が主であり、航空業界や医療業界、一般消費者向けの商品で既に活用されている。さらにAM

メーカーに加えて、3Dプリンターは外部調達し、ソリューションサービスを付加価値として提供するプラットフォームなどの新たなビジネスモデルが誕生している。

### (3) 最終製品への活用

#### ① 高機能化

試作品から小ロット生産活用への発展を象徴する事例として、2016年のジェットエンジン製造最大手、ゼネラルエレクトリック（GE）による航空機エンジン部品、燃料ノズルの量産化適用が挙げられる。同社は、設計した燃料ノズルの形状が複雑で、従来の手法では造形が不可能であったが、積層造形であるAM技術によって実現した。このノズルを搭載した「LEAP」エンジンは、米国連邦航空局（FAA）の認証を得て18年時点で3万個を量産・出荷している。燃料ノズルは非常に厳しい加工精度が求められる部品であり、AM技術によって高精度な最終製品の加工が可能であることが示された。さらに、LEAPエンジンは、AM技術による部品の一体化により、部品的大幅削減、靱性は5倍増加、コスト効率は30%向上、重量は25%削減を実現した。

さらに、自社で製造できるため余剰在庫を抱える必要がなく、在庫数は従来の95%削減に成功した。これを受けて、GEではAMを量産における加工方法の一つに位置付け、買収により先端技術を保有するAMメーカーを傘下に入れる戦略へと舵を切った。産業用3Dプリンター業界をリードするアーカム、コンセプト・レーザの買収によるAM技術のポートフォリオ拡大や、GEオイル&ガス、GEパワー、GEヘルスケアなど複数の事業部門でのAM技術導入など、応用先も拡大して

いる。

一般消費者向けの最終品としては、アディダスの「FutureCraft 4D」（17年発売）が挙げられる。走行データから内部構造を決定し、Carbon社製のAM装置で造形するミッドソールを採用した靴であり、量産体制を整え、全世界で販売された。

#### ② 設計およびトポロジーの

##### 最適化コスト削減

シーメンスでは、自社のPLM技術を活用して設計の最適化を図っている。たとえばガスタービン・エンジンの設計では、冷却通路の設計の見直しや燃焼温度制御のシミュレーションなどにより部品点数を削減して、生産リードタイムの短縮、生産速度の30%向上と50%の軽量化を実現している。同社では、設計の最適化などソフトウェアとの連携を生かしたサービスを展開し、AMの生産システムをHPやGEといった大手企業に提供している。同社は、生産技術のデジタル化対応としてAM技術の強化を掲げており、マスカスタマイゼーションに向けてエンジニアリングチェーンのさらなる進化が期待される。

#### ③ 補修部品の在庫余剰削減による

##### コスト削減

最終製品に応用可能となったAM技術は、補修部品にも活用されている。従来のエンジニアリングチェーンでは、保守やメンテナンスのために各部品を在庫として保有する必要があった。部品は製品ごとに異なるため、補修部品や鋳型といった膨大な在庫を抱えておかなければならず、コスト増の原因となっていた。しかしAM技術では、CADデータと

3Dプリンターさえあればいつでも製造が可能であり、たまにしか使わない補修部品のストックが不要となる。これにより、大幅なコスト削減が見込めるのである。たとえば、シーメンス傘下の鉄道車両メーカーSIEMENS Mobility Services社では、ストラタシスの3Dプリンターを導入して、同社が受注した車両パーツの製造やメンテナンスへの活用を予定しており、鉄道車両基地に導入される。

#### (4) 量産適用に向けた動き：

##### 工場や研究施設の設立

近年、各産業の数多くのプレイヤーやソリューションベンダーが、AMに関する工場や産学連携の研究施設の設立を発表しており、量産に向けて各社で開発が進んでいると予想される。

たとえばフォードでは、4500万ドルを投じてアドバンスド・マニュファクチャリングセンターというVRや協働ロボットを含めた未来の自動車製造の先駆けとなるAMセンターの設立構想を2018年に発表しており、ストラタシスをはじめ30社以上の3Dプリンターを設置し、最終製品としてその製造部品を自社のスポーツカーに導入する予定である。

また、シーメンスは3000万ユーロを投じ、英国にさまざまな種類の金属素材を処理できるAMのほか、完全自動化ロボットや3DスキャナーなどEnd to Endの複合施設を18年に開設した。さらに同年、産学連携の研究施設としてはHPが、シンガポール南洋工科大学(NTU)やシンガポール国立研究財団(NRF)と共同で8400万ドルをかけて3Dプリンティング技術とデジタル製造のための研究施設を開設した。英国では、エアバスの次世

代高生産翼開発プロジェクトの一環で、大手エンジニアリング会社のGKNエアロスペースが、シェフィールド大学やターカ、アンシスらとともにグローバルテクノロジーセンターを21年に開設予定である。

#### (5) 新たなビジネスモデルの登場：

##### 製造サービスの外部提供

近年、自社工場での製造への活用のみならず、他社へManufacturing as a ServiceとしてAM技術を提供する動きが多く見られる。AMソリューションの代表的な提供パターンとしては次の2つが挙げられる。

1つ目は、自社の製造ノウハウをサービス化して提供するプラットフォームであり、AMメーカーによる自社製品を用いた製造ソリューション、各産業のメインプレーヤーによる業界特化型のソリューションなどがある。たとえばストラタシスでは、6つのAM技術と3つの既存技術が利用可能なオンデマンド3Dサービスを北米で提供している。これにより、売り切りではなく、生産のアウトソーサーとしてリカーリング型のビジネスを展開している。また、シーメンスでは、自社のソフトウェアを生かしてトポロジー最適化やプロセス最適化から製造加工まで行うプラットフォームサービス「AM Network」を提供し、ソフトウェアやハードウェア、サービスビューローのエコシステムを形成している。

2つ目は、他社の製造ノウハウをプラットフォーム化してユーザーにマッチングし提供するソリューションであり、新規参入企業が担うことが多い。たとえば日系スタートアップのカブタは、3Dプリンターや工作機械を

保有している企業をネットワーク化し、生産シェアリングプラットフォームを展開している。また、米国スタートアップのFictiv社は、製品のプロトタイプをつくりたい顧客と活用されない製造設備をマッチングするサービスを展開しており、世界中の機械工場や3Dプリンターを有する施設を管理するシステムを構築している。

#### (6) 自動車産業におけるAM開発の活性化

近年、自動車産業では、OEMまたはそのグループ会社が自社ラインの活用を目的として金属AMを導入する動きが目立っている。量産化を目指すフォルクスワーゲンは、HPと産業向けの金属AMを共同開発し、先行導入している。同社は部品製造の効率化やコスト削減のために量産化を目指しており、2021年までのプラットフォーム形成にも意欲を示している。またBMWは、20年に研究、プロトタイピング、部品製造のための3Dプリンターを集約させた、新しいAMキャンパスを開設した。このように、金属AMの加工技術向上によって、自動車産業においても本格的な導入検討が進められている。

さらに、AM技術の発展により材料も拡充している。たとえば、大型で複雑なCFRP複合材製品も指向性エネルギー堆積方式などを用いた製造が実現されている。シリコンバレーのベンチャー企業AREVO社は、20年にCFRP複合材料をAMで製造する工場をアジア圏に建設することを発表している。CFRPは航空機の胴体などにも用いられ、軽量かつ比重当たりの強度が高いことが特徴であり、燃費向上のため軽量化が重視される電気自動車の製造においても、今後の活用が期待され

る。

#### (7) 今後のAMの展望と課題

AMの最大の特徴は造形に鋳型が不要であることで、それによって生産コストの削減、造形物の高付加価値化、生産スピードの向上が期待される。

生産コストの削減は、金型をつくらずにパーツを出力することで実現が可能となる。また、形状の工夫による部品点数や工数、材料使用量の削減も生産コストの削減につながることも挙げられる。

造形物の高付加価値化は、従来実現できなかった複雑な形状の造形や中空構造の実現による軽量化かつ材料強度の向上、マスカスタマイゼーションによって一点ずつのデザインが容易に造形できる、というメリットがある。

生産スピードの高度化は、データのみで造形できるため加工までのリードタイムが短縮されること、金属AMは切削加工と比べて加工速度が向上するなどが挙げられる。リードタイムの短縮は余剰在庫の保有が不要となり、コスト削減にもつながる。

このように、多品種少量生産においては従来の加工方法よりも優位性がある一方で、大量生産においてはコスト面から従来の加工方法に優位性がある場合が多いことに留意する必要がある。したがって製造ラインでは、従来の手法で大量生産をする部分とAMによりカスタム生産を行うマスカスタマイゼーションの考え方にに基づき設計する必要がある。

さらにAMは、デジタルツインなどエンジニアリングチェーンのデジタル化と親和性が高い。たとえば設計データには3D CADを使

うため、AIによるトポロジー最適化やシミュレーションソフトウェアなど、他工程とのデータ連携が可能である。量産での活用が期待される金属AMは電子ビームによる加工方法があり、機械加工に比べて制御性が高いため精度向上がしやすいといったメリットもある。

一方で、AMの量産化における課題としては、成形費や材料費などのコスト低減、量産に向けた品質保証、生産スピードの向上がある。成形費についてはトポロジー最適化による必要材料量の抑制などが必要であり、そのためにはオープンソフトウェアやAIの発展が期待される。次に材料費は、サードパーティの台頭によるコスト低下が期待される。従来はAMメーカーが純正の樹脂など造形用の材料を提供していたが、材料メーカーの新規参入や3Dプリンター自体の普及を目指したAMメーカーによる使用材料のオープン化に伴う材料コストの低下が期待されている。

生産スピードの向上については、材料を積層する工程は従来の切削加工よりも時間がかかる場合が多いが、AMはデジタルツインとの融合でトータルの生産スピードは向上するとも考えられる。さらに日本の特有の課題としては、設計開発フェーズにおいて3D CADがまだまだ浸透していないという点が挙げられ、AMの導入効果を最大限に生かすためにはエンジニアリングチェーン全体をデジタルで連携すべきである。

前述したように、マスカスタマイゼーションの拡大に伴い、AM技術の需要は高まると考えられる。既存と同様の設計かつ大量生産であれば、今後も既存の加工方法が残る。一方で、多品種少量生産に加えて、デジタルソ

リューションとのシナジー創出や高機能製品など、AM技術ならではの付加価値を見いだせる領域においては、AMの導入が拡大すると予想される。AMの加工ノウハウとデータさえあれば誰もが造形可能な世界になったとき、AM活用を通じて次の3つの新たな製造スタイルが普及すると考えられる。

1つ目は、エンジニアリングチェーンにおける外部活用のさらなる進展である。AMを利用したマスカスタマイゼーションにより、共通部分のラインの標準化や簡素化が促進される。そこでノンコア業務は外製化し、コア業務を自社で行う。さらに、コア業務で蓄積したノウハウをソリューションとして他社へ提供することが可能となる。

2つ目は、製造プラットフォームの拡大である。従来は1つの工場から各ユーザーの地域へ運送し、販売していたが、AM技術では3Dプリンターと3D CADデータさえあれば造形できることから、ラストワンマイルでの製造により、運送にかかるコストや時間を削減することが可能となる。また、自動車から家電、消費財などさまざまな造形物を製作可能なハブが各地域に設立されるなど、現段階でも米国のユナイテッド・パーセル・サービス（UPS）や日本のヤマトホールディングスでは受託製造の拠点を設置し、納品時間の短縮を実現している。

3つ目は、データの覇権争いである。設計・製造データがますます重要になることから、AMメーカー、各種プラットフォーム、ユーザーらで誰がデータを握るのかというところが焦点になる。またその際には、サイバー攻撃なども含めたセキュリティ対策が必要である。



以上より、AM技術は実用部品への活用が本格的に開始し、製造ラインにおける量産化への活用に向けて、技術およびビジネスモデルの発展が期待される。AM技術を導入したからといってすべてを置換するのではなく、従来の加工方法とAM技術のコラボレーションによる最適なエンジニアリングチェーンの構築が不可欠となる。

**IV 製造業のあり方の変化**  
 ——デジタル化による機能の分断と何をコアにして生き残るのか

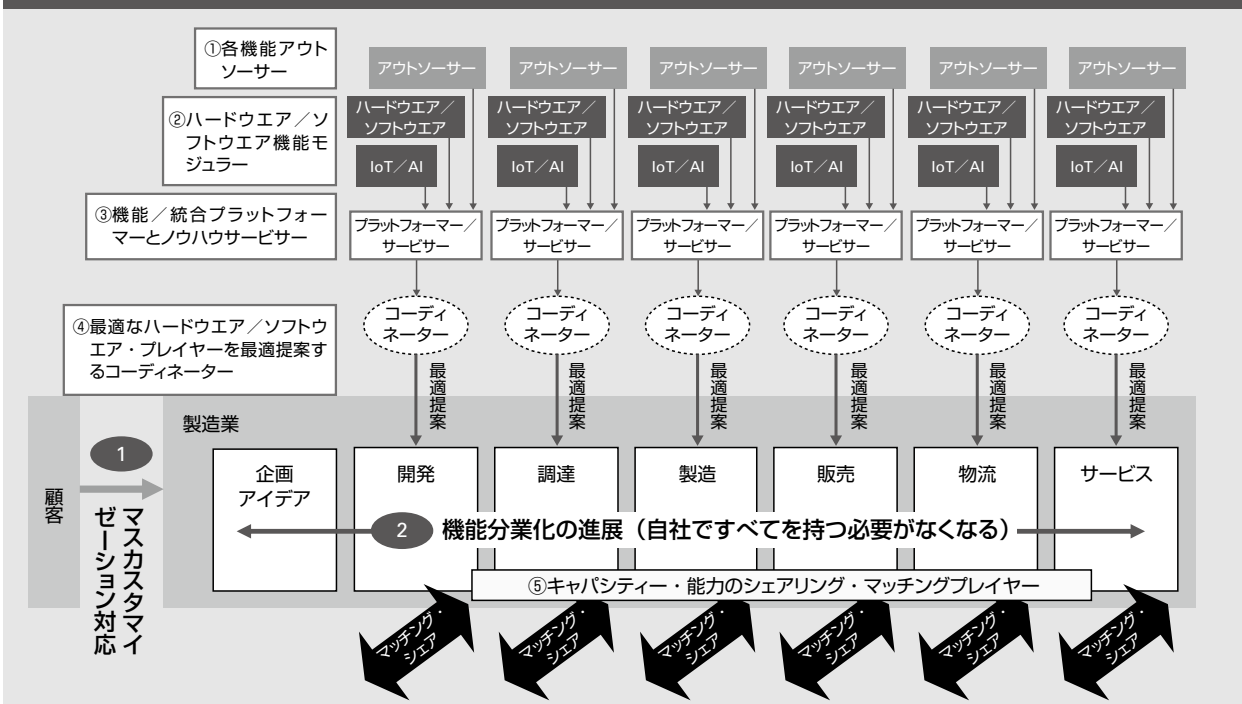
ここまで、デジタル化による製造業の変化や起きているイノベーショントレンドとともに、重要なトレンドとなるマスカスタマイゼーション・AMについて触れてきた。本章においては、今後の長期的な製造業のあり方がどのように変化するかを考察したい。

図10は現在起こりつつある製造業の変化を

示している。まず、顧客ニーズの多様化に伴って、多品種少量生産・マスカスタマイゼーション対応が業界共通で求められてきている。その上で製造業のあり方として、機能分業化が加速度的に起こっている。今までは開発、調達、製造、販売、物流、サービスなどの機能を自社で保有してきた。それが、ものづくりを支援するアウトソーサーやハードウェア・ソフトウェア提供企業、プラットフォーム、マッチング・シェアリング企業らが生まれる中で、自社ですべての機能を持つ必要がなくなってきた。

アウトソーサーに関しては、製造領域を担うEMSに加え、開発受託企業、サービス受託企業や直接材の調達受託企業も業界によっては生まれてきている。特に重要となるのが④コーディネーター企業である。これは製造ラインにおけるラインビルダーのように、事業環境や顧客課題・ニーズに合わせてハードウェア、ソフトウェア、プラットフォーム

図10 製造業のあり方の変化、分業化の進展



一、さらにはアウトソーサーなどを組み合わせて最適提案やコーディネートをする存在である。ものづくりの高度化・複雑化に伴い、ユーザー製造業にとってこのコーディネーターとしての提案が重要である。既存の技術・企業を活用することで、投下リソースを最小化した事業展開が可能となってきているのだ。

前述の通り、3Dプリンターの登場やアイデアを持ち込めば設計・量産までを実施してくれる開発・製造受託企業の存在によって、誰でもものづくりが可能となるメイカームーブメントが起こった。いわゆるものづくりの民主化である。ただし、このムーブメントは限定された範囲での出来事であった。しかし、この動きは加速度的に、大手製造業が長年のノウハウを蓄積してきた領域にも拡大してきている。たとえば、デジタル技術やラインビルダーの活用で、ノウハウの塊と見られていた自動車製造業に参入したベトナム財閥が立ち上げたビンファストが最たる例である。

この変化は、今後、既に起こっているように他新興企業が急速にキャッチアップし、競争が激化することを意味すると同時に、製造業としてこれらを活用することで効率的に事業を展開するチャンスも示している。加えて、現場ノウハウを有している日本企業としては「ものづくりの結果としての製品」で勝負することに加えて、コーディネーターポ

ジションでものづくりを支援するポテンシャルも有している。こういった事業のあり方や競争力構築の方向性における選択肢が広がるということは、日系製造業としては、自社のコア価値として何をこだわり何を捨て、どのような形態で生き残っていくのかが突き付けられている。

DXは製造業のあり方の変化を加速する。これを機会として、日系製造業は強みであるノウハウ・技術を生かし、グローバルでの競争力を再び強化していくことが期待される。

#### 著者

小宮昌人（こみやまさひと）

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

専門はプラットフォーム戦略・リカーリング戦略などのデジタル技術を活用したビジネスモデル変革、デジタルツイン活用、製造業DX/IoT・工場FA・インダストリー4.0対応、イノベーション創出支援など

近著に『日本型プラットフォームビジネス』（日本経済新聞出版）、「シリーズ 第4次産業革命で変わる企業戦略と日本企業逆転のシナリオ」（野村総合研究所『知的資産創造』）など

岩崎はるな（いわさきはるな）

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コンサルタント

専門は製造業におけるDX戦略、新規事業開発の検討支援、スタートアップ連携支援、特に、インダストリー4.0対応、ロボティクスやオートメーション、Additive Manufacturingなど