

## デジタル自動車産業論

### ースマートモノづくりー

今 井 範 行

#### 目次

1. スマートモノづくりとは
2. 伝統的な CAM
3. モノづくりにかかるデジタル化政策
4. 興隆するスマートモノづくりとその事例
5. スマートモノづくりをめぐる課題

#### 1. スマートモノづくりとは

「デジタル自動車産業論」では、日本の製造業の代表的業種である自動車産業について、同産業界全体を俯瞰しつつ、そこでの「技術研究→商品企画→製品開発→購買・調達→生産技術→製造・生産→物流・配送→営業・マーケティング→顧客サービス」といったビジネス・プロセスないしサプライチェーン全体を「デジタル技術」の視点からシリーズとして通観していく。すなわち、自動車産業のビジネス・プロセスの上流から下流に向けて、順次、「デジタル技術が自動車産業を変革する」という意味での主要な局面を捉えていく。その第 4 回として、本稿では主に「スマートモノづくり」について論じる。

伝統的な CAM (Computer Aided Manufacturing) にくわえ、近年では、IoT (Internet of Things)・AI (Artificial Intelligence : 人工知能)・ロボティクス (Robotics) の発展と興隆が、製造・生産領域における生産性の向上とコスト削減に多大な効果を発揮するとともに、それらに関連した新たなサービスの創造が大きく進展する傾向にある。本稿では、デジタル技術によって支えられ、自動車の製造・生産領域において遂行される、生産性の向上・コスト削減・サービスの創造にかかる取り組みを指して、「スマートモノづくり」と呼ぶこととする。

#### 2. 伝統的な CAM

一般に「スマートモノづくり」の最も伝統的な姿は、20 世紀末以降に多様な業種のモノづくりの現場に急速に普及・浸透した CAM にみることができる。CAM とは、製

品を製造するために、CAD（Computer Aided Design）で生成された設計の形状データを入力として、製品形状を成形する NC（Numerical Control：数値制御）データを出力するコンピュータ上のシステムを指す。出力された NC データは、CNC（Computerized Numerical Control：コンピュータ数値制御）工作機に送られ、そのデータにもとづいて実際の製品の加工がおこなわれる。ここで、NC データにもとづく加工（これを NC 加工という）では、ドリル等に代表される切削用工具の刃先の動作を座標値によって定義し、その情報をもとに工作機械に内蔵されたサーボモータが動いて工具や被加工物が動作することによって、製品の加工がおこなわれる。一連の刃先の加工動作情報を CNC 工作機の NC 装置へ入力する必要があるが、この情報を記述したものが NC プログラムである。なお、JIS（Japanese Industrial Standards：日本産業規格）は、NC を「数値制御工作機械において、工作物に対する工具の位置を、それに対応する数値情報で指令する制御方式」と定義している。

NC 加工を導入するメリットは、同一製品を複数製造する場合、一定の作業時間内に同一寸法の製品を大量に製造することが可能となることである。人手による加工作業では、作業員毎のスキルの差異等により加工の精度や作業時間にばらつきが生じやすく、製造品質の確保が難しいとの側面があるが、NC 加工を導入すれば、それらの問題点を解消することが可能となる。

CAM が登場する以前は、NC データの作成は人手を介しておこなわれていた。すなわち、工作機械の加工工具の経路を製品の設計図面やその作図情報から求め、その経路を点列で再構成し、各点の座標値をテキストデータで出力し、そのデータに XYZ の座標アドレスや工作機械に適合した指令情報を付加していくといった形での膨大な手作業であった。CAM は、これら一連の手作業をコンピュータ上で一気通貫におこなうことにより、自動的かつ効率的に NC データを出力するシステムであるといえる。

### 3. モノづくりにかかるデジタル化政策

このような伝統的な CAM は、21 世紀に入ってからデジタル技術をめぐる劇的な環境変化を受けて、今日の「スマートモノづくり」へと急速な進化を遂げている。その環境変化とは、近年のコンピューティングパワーの飛躍的上昇、クラウドサービスの広範な普及、IoT デバイスの画期的な低廉化、AI の革新的な発達と実用化の進展などを背景に、膨大なデータを収集・蓄積・分析し、新たな知識として活用することが可能となったことから、デジタル技術を活用した新たな価値創造への取り組みが、ビジネスの競争力を左右する企業の経営戦略の主軸となったことである。ここで重要なのは、このような変化や進化が、企業などの民間部門の動きにくわえて、世界の主要国の政府が立案し推進した、モノづくりにかかるデジタル化政策によって主導されて

きたとの事実であろう。よって、以下では、これら主要国のデジタル化政策について概観する。

ドイツでは、国家的デジタル化政策として「Industrie 4.0」が推進されてきた。これは、2011 年にドイツ連邦教育科学省が主導する形で打ち出された国家戦略的プロジェクトであり、政府が推進する製造業のデジタル化・コンピューター化をコンセプトとするものである。すなわち、製造・生産現場の機械と作業工程をスマートネットワーク化し、製造業を抜本的に高度化することによって、多品種少量のフレキシブルな生産、生産ラインのモジュール化（Modularization：機能単位分割化）、マスカスタマイゼーション（Mass Customization：個別仕様大量生産）、ロジスティックス（Logistics：物流全体管理）の最適化、データ分析による製造方法の改良、製品ライフサイクルに対応した材料リサイクルなどを実現可能にすることを主な狙いとしている。「Industrie 4.0」では第 4 次産業革命が標榜され、機械化（第 1 次）、大量生産（第 2 次）、自動化（第 3 次）というこれまでの 3 次にあたる産業革命の次に来る第 4 次産業革命では、サイバー空間と現実空間のデータが一体化される Cyber Physical System（CPS）が中核になると想定されている。なお、「Industrie 4.0」では、産官学連携の中核的な役割を、同国のフラウンホーファー研究機構（Fraunhofer-Gesellschaft；75 の研究所、約 29,000 名のスタッフ）が担っている。

米国では、民間主体のデジタル化戦略として「Industrial Internet」が推進されてきた。これは、2012 年に米国のゼネラル・エレクトリック（GE）社が公表した戦略であり、ICT（Information and Communication Technology：情報通信技術）を活用して生産性の向上とコスト削減を支援する新たな産業サービスの創造をコンセプトとするものである。すなわち、GE 社が製造・納品した産業機械などのハードウェアをセンサーによってネットワークに接続し、そこから得られる膨大なデータを分析して顧客サービスに活用することを主な狙いとしている（GE 社の試算によれば、航空機エンジンの燃料消費、長距離貨物列車の運行システム、火力発電の燃焼効率をわずか 1%改善するだけで、年間およそ 200 億ドルもの利益が生み出される）。2014 年には、GE・インテル・シスコシステムズ・IBM・AT&T の 5 社による「Industrial Internet Consortium（IIC）」が創設され、IoT 技術、とりわけ「Industrial Internet」の産業実装とデファクトスタンダード化の推進を主な目的として、あらゆる企業に開かれたオープンな姿勢の国際規模の団体として活動が進められている（参加企業は、製造業・エネルギー・ヘルスケア・公共・運輸など、220 社以上に及ぶ）。今日もなお「Industrial Internet」は、単にモノを作って売るだけでなく、機械（モノ）からのデータの分析と機械（モノ）に組み込まれたソフトウェアにより、顧客価値を飛躍的に高める新たなビジネスモデルとして幅広い領域において注目を集め続けている。

フランスでは、国家的デジタル化政策として「Industry of the Future」が推進されて

きた。これは、2015 年に創設された IoT の活用に関する推進団体「Alliance Industrie du Futur (AIF)」が主導する形で打ち出された新たな国家戦略的プロジェクトであり、未来の産業の重点 9 分野（次世代交通網、IoT、新資源、将来性の高い医薬品、デジタル安全性、スマートシティ、データエコノミー、健康カスタマイズフード、エコカー）に焦点を当てたソリューションの構築と競争力の強化をコンセプトとするものである（AIF の参加企業は、中小企業を中心に 33,000 社以上に及ぶ）。スランスでは、2016 年に「デジタル共和国法」が公布され、ICT の振興ならびに ICT 産業の発展にともない、今後生起すると想定される社会的問題への対応について、国家としての基本的な考え方や方針が明確化されている。

中国では、国家的産業政策として「中国製造 2025」が推進されてきた。これは、2015 年に打ち出された、10 の重点分野（次世代情報技術、高度なデジタル制御の工作機械・ロボット、航空・宇宙設備、海洋エンジニアリング、先端的鉄道設備、省エネルギー車・新エネルギー車、電力設備、農業用機材、新素材、バイオ医療）と 23 の品目での製造業の高度化を目指す国家戦略的な産業政策であり、目標として、第 1 段階（2025 年までに世界の製造強国入り）→第 2 段階（2035 年までに世界の製造強国の中位へ）→第 3 段階（2045 年もしくは建国 100 周年の 2049 年頃に世界の製造強国のトップへ）が掲げられている。くわえて、産業政策「インターネットプラス」により、製造業のみならず、あらゆる産業にデジタル技術を融合させる形での産業の高度化が推進されている。さらに、2017 年に発表された「新世代 AI 発展規画」では、2030 年までに AI の理論・技術・応用において世界のトップレベルに到達し、中国が世界の主要な AI イノベーションセンターになるとの目標が掲げられている。2025 年の第 14 期全国人民代表大会第 3 回会議における政府活動報告では、中国がデジタル経済のイノベーションの活力を刺激して「AI プラス」行動を推進し、デジタル技術と製造の優位性・市場の優位性を巧みに組み合わせ、大規模言語モデルの幅広い応用を支援し、インテリジェントコネクテッドビークル（ICV）・新エネルギー車、AI 搭載のスマートフォン・パソコン、スマートロボットなどの次世代スマート端末とスマート製造設備を積極的に発展させるとの方針が打ち出されている。

最後に、日本では、国家的デジタル化政策として「Society 5.0」「コネクテッド・インダストリーズ」が推進されてきた。「Society 5.0」とは、2015 年に公表された第 5 期科学技術基本計画のなかで打ち出された、サイバー空間と実世界が相互に連携する日本の未来社会のビジョンである。そこでは、現実空間のセンサーからの膨大なビッグデータがサイバー空間に集積され、AI がそのビッグデータを解析し、その結果がロボット等を通じて人間にフィードバックされることにより、これまで実現することができなかった新たな価値が産業や社会にもたらされるとの世界が想定されている。また、「コネクテッド・インダストリーズ」とは、2017 年にドイツで開催された国際情報通

信技術見本市（CeBIT）に合わせて日本政府から発表された、「Society5.0」の実現に向けて産業（重点4分野として、スマートモノづくり、自動走行、ロボット・ドローン、バイオ・ヘルスケア）に焦点を当てたデジタル化政策である。そのコンセプトは、①人・機械・システムが協調する新しいデジタル社会の実現（データ連携環境の整備）、②協力と協働を通じた課題解決、③デジタル技術の進展に即した人材育成の積極推進、が3本柱として掲げられている。

#### 4. 興隆するスマートモノづくりとその事例

上記のデジタル技術をめぐる環境変化とデジタル化政策を背景として、日本の自動車産業において「スマートモノづくり」が急速に進展している。とりわけ、工場の稼働状況の見える化、機械・設備の故障予測、不良削減・歩留まり向上等による生産性の向上とコスト削減を目的に、IoTとAIを積極的に活用する事例が拡大している。ここでは、トヨタ・デンソー・豊田自動織機・新東工業の4社を取りあげる。

トヨタ社では、全社的な取り組みとして「工場IoT」が推進されている。同社の「工場IoT」とは、次の五つの方針のもと、工場横断の情報共有プラットフォームを構築し、製造・生産現場の社員がそれらを活用しながら、ボトムアップで生産性の向上とコスト削減に向けたカイゼン活動を自律的に推進するプロジェクトである。その五つの方針とは、①現有資産の最大有効活用（すぐに着手できるよう、既存の設備を活用）、②IE化されていない設備の標準化（インターフェースを標準化）、③外部と接続するIoT工作機械などのセキュリティ対策（情報システム部門が情報共有プラットフォームをセキュアに準備）、④FA機器類からのデータ授受（ログデータとして現有資産に保管されたデータを有効活用）、⑤拾い切れていない現場の困りごとのAIによる解決（「必要なものを、必要な時に、必要な分だけ」とのトヨタ生産方式の考え方に則り、ムダなデジタル化（データ収集や蓄積）をせず、費用対効果を追求）、である。くわえて、トヨタ社では、全社的な取り組みの「工場IoT」と並行して、製造・生産現場の個別工程毎の取り組みも従来から進められている。代表例としては、①鍛造工程での型摩耗量計測（トレーサビリティ（計測データと製品の紐付け）による良品条件の見える化・不良削減・歩留まり向上）、②機械加工工程でのバーチャル・ラインシミュレーション（工程時間・工具寿命・工具交換時間・刃物チェック時間等の設備データにもとづく、工程のムダ・ムラ・ムリの検出と出来高の算出）、③プレス工程での非接触点群測定・解析（金型の品質保証、パネルの成形性解析と建付け品質保証）、④組立工程での力センサー計測・インピーダンス制御（重量物搭載時の作業員のスキルアシスト）、などがあげられる。

デンソー社では、2019年より、「あたかも一つ屋根の下にあるかのごとく」という

コンセプトのもと、世界 130 の工場を IoT の技術でつなぐ「Factory-IoT プラットフォーム」が導入されている。同社の「Factory-IoT プラットフォーム」は、工場内のさまざまな機器から収集したデータを一つのパブリッククラウドに蓄積し、それを製造・生産現場で自由に活用できるようにすることを目的としている。具体的には、工場からのデータを、デバイス接続インターフェースを介してプラットフォーム内のデータレイク／データマートに格納し、そのデータを、アプリ接続インターフェースを介してトレーサビリティ・データ分析・品質管理・設備稼働管理・帳票記入電子化といった各種機能に活用していく形となっている。世界の工場がクラウドでつながることにより、各地の需要変動に合わせて即座かつ柔軟に生産対応するグローバルな生産体制の強化や、各工場内の作業者の動きや生産設備の稼働状況のリアルタイムな分析などが可能となる。また、これまで長年にわたり積み重ねてきた物理的なカイゼン活動に、製造・生産現場のエンジニアが自らソフトウェアを用いてデジタルの力を取り入れることにより、さらなるカイゼン活動の加速化につなげることが可能となる（たとえば、各種デバイスを連携させることによる、作業員への設備異常の迅速な情報通知など）。なお、この「Factory-IoT プラットフォーム」は、約 2 年間の開発期間を経て 2019 年に運用が開始されたが、その開発に際しては、次の 3 点が重視された。①社内のソフトウェア技術者が、運用開始後も継続してプラットフォームを改善・進化させることができること、②小さな試行を素早く繰り返すアジャイル開発により、スピード感をもって開発ができること、③開かれたプラットフォームとして、社内外のパートナーとデータを共有でき、ともに改善やアプリケーションの開発が進められること。その結果、同社では、既存のサービスの活用ではなく、オープンソースソフトウェア（無償で公開されており、誰でも自由に使用できるソフトウェア）を活用した、クラウドネイティブな（クラウドでの運用を前提に、オープンソースソフトウェアで複数のアプリケーションを協調制御する）独自のプラットフォームとして、「Factory-IoT プラットフォーム」を自社開発するに至った、との経緯がある。

豊田自動織機社では、人手不足や技術・技能の伝承が経営課題となるなか、ソフトウェアや生成 AI（Generative Artificial Intelligence）など、デジタル技術を活用した生産性向上策の導入が拡大されている。とりわけ、人間の勘やコツに頼りがちであった生産計画立案の過程を数式化し、ソフトウェアを使って自動作成できるようにする「生産計画の数値最適化」が製造・生産現場に導入されている。具体的には、残業時間・標準在庫不足回数・金型変更回数など、生産計画立案における制約条件を調査して数式化し、その数式を数兆次元の立体図に変換し、それをもとに専用ソフトで最適な生産計画を自動計算して提示するとの工程となっている。合わせて、同工程を製造・生産現場の作業員が容易に使えるようにするため、生成 AI を活用して社内情報を要約し回答する対話型 AI も本格的に導入されている。

新東工業では、鋳物や金型を製造する中小企業向けに、製造設備の稼働状況を遠隔からリアルタイムで IoT により監視するサービスを提供している。顧客（中小企業）が支払う利用料金は月額 1 万円からと極めて安価で、スマートフォンなどから製造設備の稼働状況を常時確認でき、生産停止や設備の故障を未然に防ぐことが可能となる。監視サービスの対象となる製造設備には、クルマのエンジンの生産に必要な砂型をつくる砂処理機、砂型でエンジンをつくる造形機、金属粒子を高速で当てて型の表面を滑らかにするショットプラスト装置などがある。具体的な仕組みとしては、製造の機械設備内に内蔵されている電子制御機器である PLC（Programmable Logic Controller）と振動・温度などを検知する無線センサーのデータを IoT 機器に集め、そのデータを携帯電話網の暗号化通信でクラウドの AWS（Amazon Web Services）に集約し、その集約されたデータ（製造設備の稼働状況）を同様の暗号化通信でスマートフォン・パソコン・タブレットなどから確認する形となっている。配線工事を要するインターネットの LAN ケーブルを不要にすることで初期投資を抑えることに成功したこと、センサーの価格が大幅に下落していること、AWS と携帯電話網をフルに活用したことにより、同社は画期的な低コストの IoT サービスの開発に成功したといえる。

以上、自動車産業における「スマートモノづくり」についてみたが、一般に「スマートモノづくり」にかかる事例は、近年、数多くの産業において急速な広がりを見せつつある。なかでも、日本における注目すべき事例としては、味の素エンジニアリング社の「プランタクシス」（クラウド上に再現した 3D 工場を活用した工場保守管理サービス）、オムロン社の「i-BELT」（IoT による製造現場改善のサブスクリプション型サービス）、ファナック社の「ZDT」（IoT による産業用ロボットのゼロダウンタイムサービス）、日立社の「IoT コンパス」（生産現場デジタルツイン化の総合ソリューションサービス）、ダイセル社の「自ら考える工場」（AI による工場データ解析・最適運転条件算出とソフトウェアによる工場運転制御）、などがあげられる。

## 5. スマートモノづくりをめぐる課題

自動車産業の「スマートモノづくり」をめぐる最大の課題は、いかにすれば、中小企業・零細企業も含めた同産業界全体の取り組みとして進め得るか、という点にある。

前述のとおり、「スマートモノづくり」は、製造・生産領域における生産性の向上とコスト削減に多大な効果を発揮するが、その前提は、IoT・AI・ロボティクス・クラウド・システム構築などに一定の経営資源を投入し、膨大なデータを収集・蓄積・分析して新たな知識として活用することにある。一方、自動車産業は典型的な産業集積の構造をとらない、大手自動車メーカーを頂点に、当該メーカーのグループ企業、一次サプライヤー、二次以下のサプライヤーが階層構造を成す形で成立しているが、企業

数と就業者数で圧倒的多数を占める二次以下のサプライヤーは大半が中小企業・零細企業であり、「スマートモノづくり」のために振り向け得る経営資源（人材、設備、資金、技術、知識、ノウハウ）に乏しいというのが現状である。大手自動車メーカーを中心に「産官学金」が連携し、裾野の広い自動車産業の中小企業・零細企業を「スマートモノづくり」の側面からいかに支援し得るか、その業際的なフレームワークづくりの成否が、今後は問われることになるものと思われる。

#### 参考文献

株式会社デンソー. 企業サイト. <https://www.denso.com/jp/ja/>

株式会社豊田自動織機 企業サイト. <https://www.toyota-shokki.co.jp/>

日本産業規格. 1998. B0181 産業オートメーションシステム—機械の数値制御—.

日本総合研究所. 2019. デジタルトランスフォーメーションの新段階と求められる環境整備—コネクテッド・インダストリーズ政策を中心に—.

新東工業株式会社. 企業サイト. <https://www.sinto.co.jp/>

トヨタ自動車株式会社 公式企業サイト. <https://global.toyota/>