

### ③製造工程の効率化

自走式ロボット (AGV) が車両及び資材輸送システムとして利用される。このシステムにより、建物のレイアウトの柔軟性が維持できる。



自走式ロボット (AGV) による移動 (出所: Cars BOOM<sup>10</sup>)



ロボットによる製造作業 (出所: Lamborghini)



タイヤの自動搬送 (出所: Cars BOOM<sup>11</sup>)

<sup>9</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=nyjf8e1nmzU>

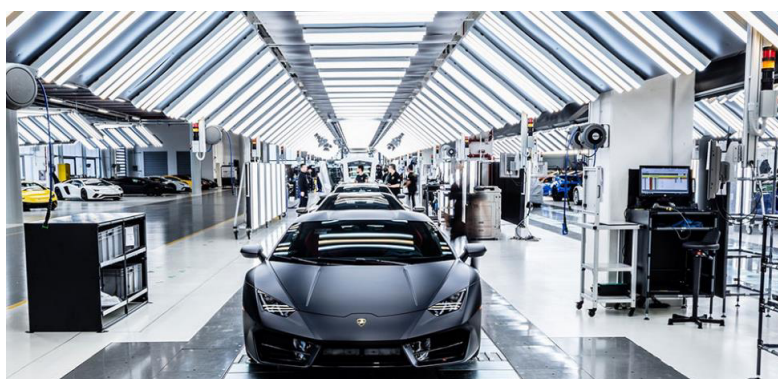
<sup>10</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=nyjf8e1nmzU>

#### ④人間工学と安全性の向上

協働ロボットが作業員を支援し、ウィンドウの接着、車体の下のねじ止め、ハンドルの組立などの高品質が要求される繰り返し作業における作業員の負担を軽減する。



ロボットとの協働（出所：Volkswagen）



最終検査ライン（出所：Volkswagen）



新ロジスティクスセンター（出所：Cars BOOM<sup>12</sup>）

---

<sup>11</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=nyjf8e1nmzU>

<sup>12</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=nyjf8e1nmzU>

## 製造実行システム (Manufacturing Execution System : MES)

新技術に加え、Lamborghini は新工場に製造実行システム (Manufacturing Execution System : MES) を導入した。この統合製造管理システムは、製品の品質確保とメンテナンスを含めた関連プロセス全体を管理する。同システムは、以下の3つのニーズに応える。

### ①製造の品質確保

車のライフサイクルの全歴史を含む書類、組立作業中の全データを収集したダイアリー、起こり得る問題の特定情報を全てデジタル化し、品質管理に活用する。

### ②製造工程の管理と監視

製造工程のトレーサビリティと各車の製造作業の進捗状況に関するリアルタイム情報により、MES に接続されたあらゆるデバイスから作業状況を確認できる。また、製造サイクルの統合管理システムにより、各ワークステーションの作業進捗状況を確認し、必要な場合は製造中の車を別の工程に移動させる。

### ③製造機械の監視とメンテナンス

製造機械の状態とシステムの効率をリアルタイムで監視し、不具合が発生した場合、または計画されたメンテナンス時には、直ちに担当者にアラートを送る。

MES 手法の導入により、Lamborghini はビジネス・トランスフォーメーションに関する 2017 年の「SAP Quality Awards」を受賞した。<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup><https://www.lamborghini.com/de-en/nachrichten/lamborghini-award-winning-factory-future>

## 4.3 Audi（ドイツ）

### 企業概要

ドイツ・インゴルシュタットに本社を置く 1909 年設立の AUDI AG は、Volkswagen 傘下の高級自動車メーカーである。現在、61,497 人（2018 年、グループ全体では 91,674 人）を雇用し、年間生産台数は 1,871,386 台（2018 年、Lamborghini、CKD を含む）、年間販売台数は 1,812,485 台（2018 年、Audi ブランドのみ）である。

AUDI は、ドイツ国内 2 か所の製造拠点に加え、ハンガリー、ベルギー、スペイン、スロバキア、ロシア、ブラジル、インド、中国、メキシコに計 12 か所の製造拠点を持つ。また、AUDI グループ傘下の Lamborghini がイタリア、Ducati がイタリア、タイ、ブラジルで製造を行っている。

### 生産体制のデジタル化戦略「スマートファクトリー2035」

2015 年、AUDI は、複雑化する自動車の生産体制の効率化に関する将来的なビジョン「スマートファクトリー2035」を発表し、その実現を進めている。この背景には、新市場のニーズ、顧客の期待、新たな規制環境などにより、革新的な技術と数多くのモデルとバージョンが求められていることがある。増加するバリエーションと複雑な技術を、従来の固定したタイミングの組立ラインに導入することは、非効率でコストがかかる。

スマートファクトリーは、無人輸送システム、3D 印刷技術、拡張現実（AR）、従来の組立ラインに代わる柔軟な製造ワークステーションなどの新技術を統合している。高度に自動化された工場では、ロボットが溶接、ボルト取り付けなど製造工程の大部分を行い、人間は主に計画や電子制御を担当する。

### ハンガリー工場

1993 年設立のハンガリー子会社 AUDI HUNGARIA Zrt. は、ジェール(Győr)に敷地面積 5,167,366 m<sup>2</sup>の自動車・エンジン製造拠点を持ち、13,084 人（2018 年末）を雇用している。間接雇用を含めると、地域で 30,000 人以上を雇用している。

2018 年の同工場の生産台数は、Audi ブランドの自動車 100,000 台、及び Audi と VW 向けエンジン 1,954,301 基である。製造モデルは、Audi Q3、Audi A3 Cabriolet、Audi A3 Sedan、Audi TT Coupé、Audi TT Roadster で、同工場で製造されたモデルは世界 90 か国に輸出されている。主要市場は米国、英国、ドイツである。

1993 年の工場開設以来、自動車 100 万台以上、エンジン 3,300 万基の製造実績がある。同工場は 2001 年にエンジン工場を開設、2013 年には自動車の一貫製造工場となった。エンジン製造では、世界最大の工場のひとつである。

2018 年には、ハンガリー国内で初めて SUV モデルを製造した。また、高度に自動化された新工場ですべて電気自動車向け電動ドライブのシリーズ製造を開始し、Audi グループ内の電気自動車の主幹工場となった。



ロボットによる塗装（出所：AUDI）



自動化された生産ライン（出所：AUDI）

### 「スマートファクトリー」ハンガリー新電動モーター製造工場

AUDI の「スマートファクトリー2035」のビジョンは、2018 年に開設されたハンガリー・ジェール拠点内の敷地面積 8,500 m<sup>2</sup>の電動モーターの新製造工場に採用され、従業員 100 人が 1 日 400 基を製造することが可能である。

同工場は、革新的なモジュラー組立工程（モジュラーアセンブリー）を採用し、組立ラインの代わりに複数のモジュール型ワークステーションを導入した。これにより生産性は 20% 向上した。ビッグデータ制御センターが各ロボット、マシン、無人輸送システムの位置と動き、作業状況などの情報をリアルタイムで収集する。

自動マッピング機能を持つ無人輸送システムは、自ら「考えて」ステーションからステーションに移動する。例えば、次のステーションでハンドブレーキの取り付けを行うことになっているが、そのステーションが作業中である場合、自動的にメッセージがその次のステーションに送られ、空き状況を確認する。このステーションでの作業終了後、再びハンドブレーキステーションと交信し、空き状況を確認してから移動する。

ビッグデータと IoT の利用は、効率と製品性能を向上させた。マシンまたはロボットに機能的な問題があった場合、リアルタイムデータ収集・比較機能が、ダメージが発生する前に問題を発見する。また、エンジニアは拡張現実を利用して、製造開始以前に全工程をバーチャルに確認する。

部品は最新の 3D 印刷技術を用いて製造され、各ワークステーションにドローンによって運ばれる。ドローンはハンドルのような大きな部品も運ぶことができる。完成した自動車は、自動運転で生産ラインを離れる。

ハンガリーの工場では、頭上作業用の外骨格型ロボットや塗装工場でのデジタルシーリングロボットなどの新技術も試験的、または実際に採用されている。

また、AUDI は、環境負荷低減を目指し、電気自動車の使用済みリチウムイオン電池を工場内の輸送システムに再利用する試験を行っている。

AUDI のスマートファクトリーは、革新的技術とシステムが生産ラインをどのように効率化し、時間とコストの節約につながるかを示している。ハンガリーの工場は最初の試みで、スマートファクトリー戦略は 2035 年まで続く。<sup>14</sup>



自動搬送システム（出所：Volkswagen）



ロボットによる製造（出所：Volkswagen）



ドローンによる部品輸送（出所：AUDI）



頭上作業用外骨格型ロボット（出所：AUDI）



デジタルシーリングロボット（出所：AUDI）

---

<sup>14</sup> <https://www.ies.co.uk/news/the-5-most-innovative-factories-in-the-world>

## マシンラーニング

AUDI は、デジタル化戦略の一貫として、プレス工場に人工知能とマシンラーニングを導入する試験を実施している。現行の目視と小型カメラによるチェックに代わり、自動車のシリーズ製造には未だ導入件数の少ないマシンラーニング機能を用いて、複雑な人口神経回路をベースとしたソフトウェアが板金製部品の表面のチェックを自動的に数秒間で行う。このソリューションは、画像など高次元の非構造データを処理するディープラーニング機能と呼ばれており、ベースとなる最高画質の試験画像データは数テラバイトに及ぶ。

## 第5世代移動通信システム (5G)

AUDI と通信機器メーカーEricsson は、自動車製造への 5G 技術の導入計画において協力している。完全にネットワーク化されたスマートファクトリーでは、無人輸送システムやロボット同士の交信などに、信頼性が高く容量の大きい高速通信インフラの構築が必要となる。AUDI は、ドイツ国内の技術センターの製造環境のシミュレーションを用いて 5G 技術の試験を行った後、本社工場とその他製造拠点に導入する計画である。

## 仮想現実ホロデッキ

AUDI は、2003 年以來、仮想現実 (VR) 技術を製品開発や技術トレーニングに利用しているが、製品開発過程のさらなる迅速化を目指し、新車種の評価に「VR ホロデッキ」技術を導入する試験を行っている。

同技術は、自動車の 3D イメージのバーチャル環境を構築し、開発者が開発中の新モデルの周囲を歩き、あらゆる角度から見るようにできるようにする。これにより複雑で高価な物理的試験モデルの必要性が減少し、開発時間とコストの節約につながる。

「ホロデッキ」という名称は「スタートレック」に由来し、仮想世界のシミュレーションを行う特別空間を指す。AUDI はドイツ Lightshape 社と共同でこの概念を現実化し、15×15m の VR ルームで自動車のプロトタイプの内外部を実際のプロポーションで現実的に再現している。

ユーザーは、VR 眼鏡を装着し、ハンドコントローラー2基を用いてインターアクションを行う。各ユーザーはパワフルなモバイル PC を内装した重さ 3kg のバックパックを背負う。PC は、データ交換を制御する中央ワークステーションに WiFi 接続されている。最大 6 人のユーザーが同時に自動車の周囲を歩く VR 体験をシェアすることができる。将来的には、他の拠点のメンバーの同時参加も可能にする。



VR ホロデッキ (出所: AUDI)

### 協力ロボット「KLARA」

AUDI は、2017 年に初めて本社工場に協力ロボットを導入した。「KLARA」と呼ばれる同ロボットは、Audi RS 5 Coupe にカーボンファイバー強化ポリマー製ルーフを取り付け、接着する作業を人間の作業員と共同で行っている。ロボットの動きとタイミングは人間がコントロールする。ロボットのアームが人間に接触したときには、センサーが感知して自動的に停止するため、安全性も確保されている。

人間から隔離された従来の製造ロボットと違い、保護フェンスなしに作業員と並んで作業を行うことができる軽量協力ロボットは、スマートファクトリーには不可欠な存在で、既に同様のロボットがハンガリー工場、ベルギー工場でも利用されている。



協力ロボット「KLARA」 (出所：AUDI)

### 3D 印刷技術の利用拡大

AUDI は、以前からプロトタイプや見本市用部品の製造などに 3D 印刷技術を利用しているが、2019 年にはドイツのネッカーズウルム工場におけるカスタム設計の補助ツールの現地製造に初めて 3D プリンターを導入した。

これにより、3D 印刷技術センターの技術者だけではなく、生産ラインの作業員が日常的に必要なツールを自ら設計し、その場で 3D 印刷製造することが可能となる。AUDI は、結果的には生産体制のデジタル化とスマートファクトリーの実現につながるこのような現場のカルチャーの変化を支援している。



## 4.4 KUKA(ドイツ)

### 企業概要

ドイツ・アウグスブルクに本社を置く KUKA AG は、中国の美的集団 (Midea Group) の子会社の産業ロボットおよびファクトリーオートメーション関連機器のグローバルな大手メーカーである。

1898 年にアウグスブルクにアセチレンガス工場として創業した同社は、20 世紀初頭から KUKA (Keller und Knappich Augsburg) ブランドで営業している。数々の工業製品を製造した同社は、1950 年代にオートメーション事業を開始した。1976 年に世界初の 6 軸産業用ロボット「Famulus」を開発し、現在産業用ロボットでは世界第二位のシェアを持つ。

同社は「インダストリー4.0」を実現するインテリジェントなオートメーションシステムの主要サプライヤーのひとつとなっており、自社工場にもデジタル技術、オートメーション技術を広く取り入れている。

### 米国工場 KUKA Toledo Production Operations (KTPO)

世界 60 か国以上に拠点を持つ KUKA のロボット製造以外の自社工場としては、2006 年に設立した米国 KUKA Toledo Production Operations (KTPO) がある。オハイオ州トリード (Toledo) に位置する KTPO は、KUKA Systems North America LLC の子会社として、米国 Chrysler Group 向けの Jeep Wrangler の車体を製造している。

KTPO 工場が稼働した 2006 年当時、複数のモデルとバリエーションをひとつの生産ラインで大量生産することは不可能であると考えられていた。KTPO 工場は米国自動車産業界で最も効率の高い車体製造工場のひとつで、柔軟性の高い KUKA の溶接技術とオートメーション、ロボット技術などのシステムを統合し、時代に先駆けた「インダストリー4.0」のショーケースとなっている。

KTPO 工場では、Jeep Wrangler のあらゆるモデル、バージョンの塗装前の車体を、ひとつの生産ラインを用いたノンストップの 2 シフト体制で、1 日 828 台 (77 秒毎) 製造することが可能である。KUKA は、同工場のロボット 259 基とその他 60,000 基のデバイスを複数のバックエンド監視システムと 1 基のマスターデータ管理システムに接続している。このシステムは「IoT in a Box」と呼ばれ、現在も進化を続けている。

KTPO のビジネスモデルも画期的である。工場に近い「トリードサプライヤーパーク」では、数社のサプライヤーが部品の現地自社製造を行っている。Chrysler は、車体の塗装と最終組立のみを担当する。

KTPO のバックエンド監視システム経由で製造工程のネットワーキングは、現在では「インダストリー4.0」のインテリジェントなライフサイクル管理システムへと進化している。完全にデジタル化されたソリューションは、資材の受け取りから製造工程、製品の発送までを含むバリューチェーン全体の製造、制御、監視システムをリアルタイムでリンクしている。また、同ソリューションは、工程のウィークポイントを特定し、生産能力を最適化する。

## 4.5 BMW(ドイツ)

### 企業概要

ドイツ・ミュンヘンに本社を置く 1916 年設立の BMW Group は、15 か国に 31 か所の製造拠点をもち、134,682 人（2018 年）を雇用している。また、世界 140 か国以上に販売網を持つ。2019 年の自動車販売台数は 2,520,307 台（BMW 傘下の MINI、Rolls-Royce を含む）、自動二輪車販売台数は 175,162 台、売上は 974 億 8,000 万ユーロである。

### 製造工程のデジタル化

BMW にとって、製造工程のデジタル化、即ちインダストリー4.0 とは、顧客のニーズに応えるための製造プロセスの柔軟性と品質の向上である。同社は以下の 4 つの技術クラスターに焦点を当て、製造工程のデジタル化を進めている。

- ①スマートデータ分析
- ②スマートロジスティクス
- ③革新的な自動化及び支援システム
- ④付加製造技術

以下にその内容を概説する。

#### ①スマートデータ分析

スマートデータ分析技術は、データを収集、分析し、製造工程を改善するために用いられるアプリケーションを示す。例えば、工場のデジタル化により、製造工場と工程を 1mm 単位の正確性で 3D 映像化する。その後、3D データは、工程の変更と計算にも用いられる。

### 革新的なナット装着

アルゴリズムは、自動車組立工程の何千個ものボルト接続を分析し、エラーが発生する以前にエラーを特定し、信頼性の高い重要な情報を提供する。緑色のライトは異常がないことを示す。



アルゴリズムによる状況確認（出所：BMW）