

2019年度 特別調査

歐州における生産・製造新技術に関する調査

2020年3月

日本船舶輸出組合
ジャパン・シップ・センター
一般財団法人 日本船舶技術研究協会

目 次

1	はじめに	1
2	生産・製造新技術の高度化に向けた欧州における取組の現状	2
	インダストリー4.0（工場内の生産技術）	2
2.1	3D印刷	2
2.2	協力ロボット（COBOT）	4
2.3	先進・複合材料	5
2.4	5Gデータ通信の活用	6
	デジタリゼーションの進展（インダストリー4.0を超えて）	7
2.5	ERP（Enterprise Resource Planning）	7
2.6	PLM（Product Lifecycle Management）及びSLM（Service Lifecycle Management）	7
3	生産・製造新技術開発に向けた研究開発プロジェクト	9
3.1	IN 4.0（造船セクターへの「インダストリー4.0」モデルの応用）	9
3.2	INNOVATION LAB パーペンブルク—フローニンゲン 2018-2050	9
3.3	WAAM フック（3D プリンティング）	10
3.4	ROBOAT プロジェクト	10
3.5	FIBRESHIP	11
3.6	RAMSSES（持続的かつ効率的な船舶のための先進素材の実現と実証）	12
3.7	先進舶用製造技術	13
3.8	SUPER（船舶のワンオフ建造向け拡張現実感）	14
3.9	LINCOLN	14
3.10	NAVAIS	15
3.11	HOLISHIP（船舶設計とライフサイクルを通じた全体論的最適化）	16
3.12	SHIPLYS（船舶のライフサイクル・ソフトウェアソリューション）	17
3.13	MAROFF プログラム	19
4	生産性向上に向けた企業の取り組み事例	21
4.1	Siemens（ドイツ）	21
4.2	Automobili Lamborghini（イタリア）	28
4.3	Audi（ドイツ）	34
4.4	KUKA（ドイツ）	39
4.5	BMW（ドイツ）	40
4.6	BAE Systems（イギリス）	47

1 はじめに

2011 年に、今後 10～20 年後に実現すべき製造プロセスのスマート化が「インダストリー4.0」として提唱されて以降、様々な取り組みが実施されてきている。当初提唱されていた内容は、生産工程のデジタル化・自動化・バーチャル化のレベルを大幅に高めることにより、生産コストを大幅に下げる目的にしており、スマート工場、すなわち工場内の生産技術の高度化を目指したものであった。具体的には、設計の 3D デジタル化、3D 印刷に代表される積層により部品の製造付加製造技術、人間と協力するロボット（COBOT）、リアルタイム大容量通信を活用した遠隔モニタリングであった。

その後、デジタライゼーションの進展は目覚ましく、取り組みの対象は、工場を越えて製造業企業全体へと、さらにはサービタイゼーションなど製造業の枠を超えて広がっている。

具体的には、スマート工場の実現に向けた取り組みによって設計の 3D 図面化が進み、通信環境の整備によって製品引き渡し後のリアルタイム遠隔状態監視及び状態基準保全が可能となることと相まって、保守部品供給以外のアフターマーケットの収益化が進み、さらには、ERP（Enterprise Resource Planning）などの製造業企業の経営効率化や、PLM（Product Lifecycle Management）及び SLM（Service Lifecycle Management）を活用したサービタイゼーションなどの製造業のビジネスモデル変革も実現しつつある。

これらの変革は、今後、海事産業においても発生しうるものであり、また、環境規制の強化や社会的ニーズの高まりによっては海事分野においてより必要とされるものである。

既に欧州においては、HOLISHIP（船舶設計とライフサイクルを通じた全体論的最適化）や SHIPLYS（船舶のライフサイクル・ソフトウェアソリューション）といった取り組みが開始されており、第 3 章では、EU や欧州各国の支援のもとで、将来的に海事産業に取り入れることを想定して実施されている生産・製造技術やサービタイゼーションなどの製造業のビジネスモデル変革に向けた研究開発事例をまとめた。

また、第 4 章では、欧州における生産性向上にむけた主要企業取り組みの現状についてまとめた。

2 生産・製造新技術の高度化に向けた欧洲における取組の現状

インダストリー4.0（工場内の生産技術）

2011年にドイツで開催されたハノーバー・メッセにおいて産学官の代表が「インダストリー4.0」という言葉を初めて用い、10～20年後に実現すべき製造プロセスのスマート化に関する研究開発プロジェクトについて共同声明を発表した。その内容は、生産工程のデジタル化・自動化・バーチャル化のレベルを大幅に高めることにより、生産コストを大幅に下げる目的にしており、スマート工場、すなわち工場内の生産技術の高度化を目指して立ち上げられたものである。その後、欧洲委員会のHorizon 2020プロジェクトにおいて、LINCOLN、RAMSSEES、FIBRESHIP（後述）等の海事産業における取り組みも開始されているが、本章においては他産業における先進的な取り組みを紹介する。

2.1 3D印刷

3D印刷、または付加製造（AM：Additive Manufacturing）は、積層により部品の製造を行う技術である。この技術は、様々な金属を用いたさらに大型の部品の印刷へと進化している。航空機産業は、新設計の製造を可能にし、チタンなどの金属を効率的に利用できる3D印刷技術への投資を長年行っている。しかしながら、大量生産を行う自動車メーカーとサプライヤーは、航空機産業に比べて3D印刷技術の導入は遅れていた。

底辺から上部に向けて層を重ねることにより物体を製造する3D印刷は、自動車の製造方法に大きな影響を与える。高周波溶接（RF）などの高度溶接技術は、パーツやユニットをさらに固定的に溶接する場合に利用される。溶接は常に必要であるが、3D印刷は複雑な構造の溶接の必要性を軽減する。また、ユニットの組み立てを迅速化する。

自動車産業は、自動車の様々な部品製造への3D印刷技術のポテンシャルを認識し、導入を進めている。3D印刷に関する2015年のWohlers Reportでは、自動車産業は同年の3D市場の16.1%を占めるとされているが、その後さらに大きく増加している。

Audiなどの企業は、自動車の金属プロトタイプやスペアパーツの製造に3D印刷技術を利用している。Rolls-Royce、Porscheその他のメーカーも追随している。

3D印刷技術がさらに普及し、能力とコスト効果が向上した場合、さらに多くの自動車メーカーが3D印刷を通常の製造工程に統合してゆくと予想される。

自動車とパーツの大量生産への3D印刷技術導入の課題は、サイクルタイム、コスト、及び現行のプレス加工、鋳造、機械加工などの製造工程のサンクコスト（埋没費用）である。自動車産業の大量生産への利用が本格化するには、コストが大幅に低下し、印刷速度が向上する必要がある。

3D印刷技術の改良は、印刷速度と使用可能な材料が焦点となる。カーボンファイバー強化ポリマー（CFRP）、先進プラスティック、そして金属の採用により、3D印刷の利用方法は劇的

に拡大した。これをコンピューティング能力と組み合わせると、パーツの設計はソフトウェアが支援し、エンジニアリングとリードタイムのレベルは低下する。このように印刷速度と使用材料によっては、3D印刷は非常に利用価値の高い技術となるため、3D印刷企業はさらなる開発と耐久性の向上を目指している。

9月には、HP Inc.が、金属パーツの大量製造向けの新3D印刷技術「HP Metal Jet」を発表した。HPによると、Volkswagen AGは、2020年代に「HP Metal Jet」を用いて電気自動車(EV)を製造する計画である。電気自動車は従来の内燃機関に比べて可動部品が少ないため、電気自動車の製造は自動車産業への3D印刷導入の好機となり得る。

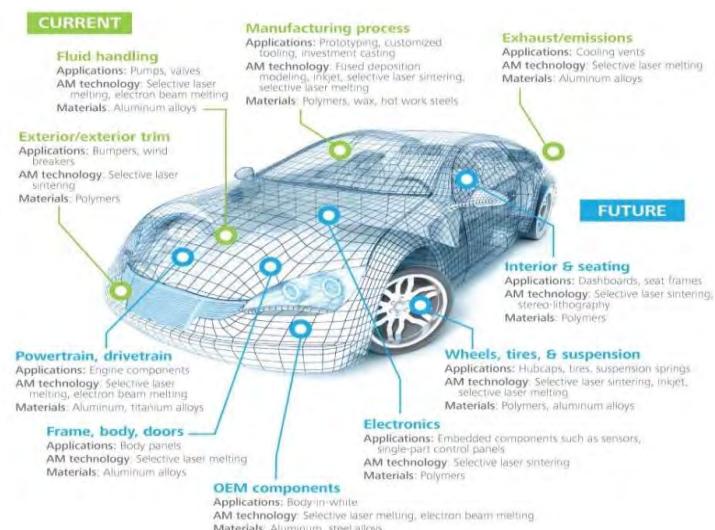
3D印刷のプロトタイピングを越えたパーツの大量生産には、現時点では課題が多い。Synergeering社のアカウントマネージャーLindsay Lewisによると、3D印刷は高級自動車や軍用車両などの少量生産に最も適しており、今後もそれは変わらない。また、自動車業界の最近のトレンドとしては、部品の再生産への利用が増加している。3D印刷により部品の在庫を減少させ、OEMが製造を中止または在庫のないパーツを製造することができる。

3D印刷、または付加製造は、積層により部品の印刷を行う技術である。この技術は、様々な金属を用いたさらに大型の部品の印刷へと進化している。航空機産業は、新設計の製造を可能にし、チタンなどの金属を効率的に利用できる3D印刷技術への投資を長年行っている。しかしながら、大量生産を行う自動車メーカーとサプライヤーは、航空機産業に比べて3D印刷技術の導入は遅れていた。

通常、部品の再生産は、15~20年前に製造された自動車向けである。パーツの必要量を考えると、3D印刷のコストとスピードは機械加工のコストよりも利点が大きい。

3D印刷のコストとスピードは、全てのパーツ製造に適しているわけではないが、パーツ以外の治具や固定具の製造に利用する企業が増加している。Stratasys Direct Manufacturing社のビジネス開発部長Ron Clemonsによると、治具と固定具の3D印刷は製造コストを低下させ、より軽量で人間工学的に優れたツールを実現する。製造リードタイムを40~90%削減し、コストを60%削減する。また、3D印刷は、ワンオフのカスタム部品の製造に適しているため、設計チームの時間節約にもつながる。

SmarTechレポートによると、自動車産業による3D印刷材料の消費額は、2021年には5億3,000万ドルに達すると予想されている。



自動車産業の付加製造技術の利用（出所：Deloitte）

2.2 協力ロボット（COBOT）

ロボットは、自動車工場に最初に導入されたオートメーション設備である。初期のロボットは、危険で繰り返しの多い作業を行っていた。現在では、ロボットとオートメーションは作業員の仕事を支援し、またメーカーとサプライヤーの人材不足を補っている。

自動車の製造と開発の多くの作業は自動化されているが、人間の関与も未だに大きい。従来のロボットは、人間が行うべきではない危険で繰り返しの多い作業を行っていた。技術の進歩により、現在のロボットは人間の作業員と共同作業を行うことができる。このような新型ロボットは、協力ロボットまたは「コボット」と呼ばれる。

協力ロボットは、そのスピードとコスト面での利点から自動車産業で注目を集めている。協力ロボットは現行の製造環境に素早く導入することが可能で、既存の製造設備やオペレーターと共同作業を行う能力を持っているため、追加的な設備コストやインフラコストがかからない。



自動車産業の協力ロボット（出所：Robotics Business Review）



航空機産業の協力ロボット（出所：Aertec Solutions）

2.3 先進・複合材料

カーボンファイバーとグラスファイバーで強化された先進／複合材料は、3D印刷が可能なプラスティックの強度を向上させるため、自動車産業にとって魅力的な選択となっている。しかしながら、自動車産業は何トンもの複合材料を使用した経験がなく、複合材料を利用した3D印刷には課題も多い。需要の増加に伴い、大量生産に適した複合材料の処理方法が開発されることが予想されるが、3D印刷は従来大量生産向けの技術ではない。この点に関しては、大型フォーマットの熱可塑性複合材料押出しのニアネット（完成品に近い状態に仕上げること）の加工能力などの技術が開発中である。自動車産業の需要は、過去5年間に3D印刷産業の複合材料ソリューションの開発を加速させている。

複合材料と高強度ポリマーは、材料の運転温度を上昇させるが、製造工程は複雑化し、または加工に追加的なエネルギーが必要となる。さらに、混合材料、複合材料は基準適合とリサイクルが難しくなる。3D印刷は自動車産業で成長するが、未だ解決すべき課題も多く、現在のところホバーカー（飛行自動車）の3D印刷製造の計画はない。

当初は、大量生産に複合材料を利用できる自動車メーカーはごく僅かであった。現在でも複合材料に使用される原材料は安価ではないが、大量生産される自動車に複合材部品が組み込まれることが増えている。

グローバルな複合材料市場は昨年72億ドル規模となり、主に燃料効率向上への需要により、2018～2028年期の平均年間成長率は約5.4%と予測されている。このような消費量増加のペースを見ると、複合材料を使用した自動車製造は成長市場であることがわかる。

複合材料を使用した製造工程には、従来と異なる新技術、方法、ツールが必要となり、材料の高価格以外にも大きなチャレンジとなる。

このような展開に関し、メーカーは以下の課題を解決する必要がある。

- ・ 自動化された大量製造工程：自動車産業における複合材料の利用は増加しているが、そのポテンシャルは十分活用されていない。複合材料を使用する大量製造工程は未だ完全自動化されておらず、現在のワークフローには手作業の工程が多い。シンプルな低価格材料の場合はこれも許容範囲であるが、複合材料は材料の無駄や手作業による失敗は許されない。自動化されたスマートな工程の構築は、自動車産業が複合材料を利用する場合に解決すべき最初で最大の課題である。
- ・ 品質管理：監視すべき要素が増える。メーカーは、樹脂、プライなど複雑な材料と工具の取り扱い方法に関する詳細な最新情報を知る必要がある。材料関連の品質基準は、原材料から完成品までリアルタイムで監視しなければならない。
- ・ サプライチェーンの協力：新材料の使用には、製造工程に新たな企業の関与が必要となる。既存のサプライチェーンに属している企業もあるが、エンジニア、プログラマー、マネージャーなど完全に新しい関係者もある。材料データなど新たな情報に関する全関係者間のコミュニケーションが課題となる。

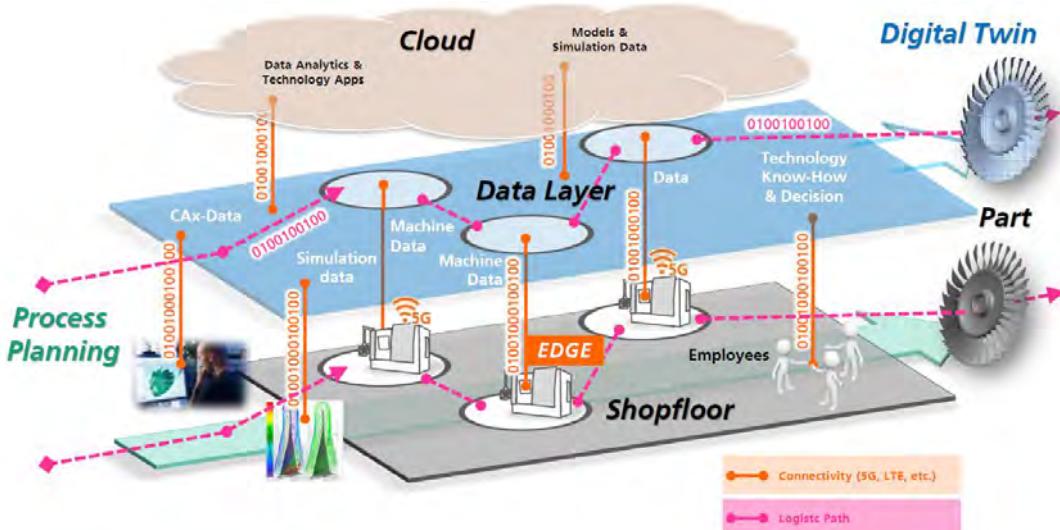
- ・ プロダクトシミュレーション：各材料とファイバーの混合に関する情報と利用経験なしには、詳細なシミュレーションの作成は困難である。これらの材料の価格を考慮すると、メーカーは実際の作業を開始する前に、正確なシミュレーションによる決定の熟考が必要である。

一方、カーボンファイバー複合材料は、その軽量さから、航空機産業では既に広く利用されている。最新の Boeing 787 Dreamliner の構造要素の 50%以上はこの材料で製造されており、機体の軽量化と燃料効率の向上を実現している。自動車産業も車体の軽量化と省エネを目指し、複合材料を乗用車のパーツに利用する方法を検討している。

自動車産業の複合材料の需要は増加しているが、これらの材料の大量生産は難しい。また、オーストラリアのスウィンバーン大学製造未来研究所の研究開発活動では、これらの材料に「スマート」機能などの多機能を持たせることが課題となっている。

2.4 5Gデータ通信の活用

5Gデータ通信の、低遅延性、多数同時接続という性質を活かし、工場内のすべての工作機器・設備からリアルタイムで情報を集めスマート工場を実現する取り組みが進められている。たとえば、Fraunhofer Institute for Production Technology IPT、The Institute for Industrial Management FIR、ERICSSON 等が参画する 5G -Industry Campus Europe プロジェクトにおいてはドイツ・アーヘンにおいて実証試験が実施されているところである。



次世代データ通信を活用したスマート工場（出所：5G-Industry Campus Europe）

デジタリゼーションの進展（インダストリー4.0を超えて）

2.5 ERP (Enterprise Resource Planning)

工場のデジタル化を進めるインダストリー4.0によってスマート工場が実現し、無数の産業機械が相互にしあって高度な製造を実現されると、物理的なクラスターを作る必要性が減少する。たとえば自動車製造においては自動車分品メーカーや組み立て工場の集積するクラスターが生産コストの低い東欧において形成されているが、スマート工場が実現するとこうしたクラスターを物理的に構成する必要がなくなり、デジタルネットワークによって結合されたバーチャルクラスターを形成することが可能となる。多くの中堅製造業が分散するドイツの特色を活かすことができる取り組みとして発案されたインダストリー4.0の効果であるが、その基盤となるのが、ERP (Enterprise Resource Planning) である。ERPは、生産管理の手法であるMRP (Material Resource Planning) を一般の企業経営向けに展開し、資源をムダなく有効活用し生産効率を高めていく考え方を、経営の効率化に応用したものであり、特段新しい概念ではないがスマート工場の実現によるデジタリゼーションの進展によってより一層効果を発揮するものであり、今では、統合的な業務システム環境を提供するITアプリとして注目されている。



ERP のイメージ（出所：Advanced Manufacturing Research Centre）

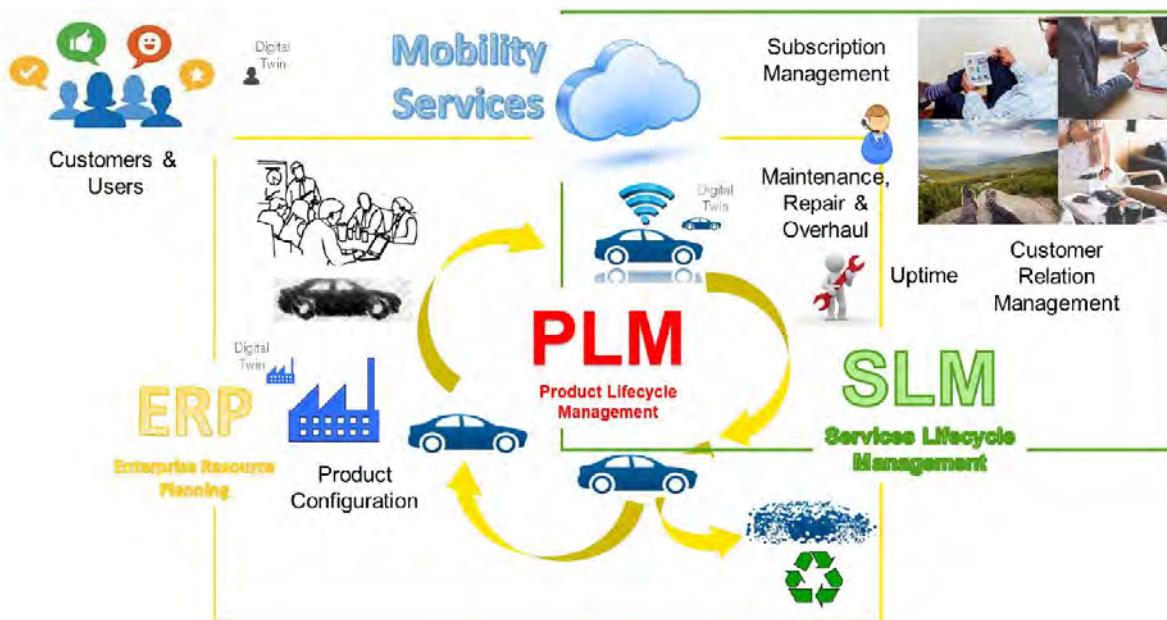
2.6 PLM(Product Lifecycle Management) 及び SLM(Service Lifecycle Management)

ある製品の誕生から消滅までのライフサイクルを一元的に把握し、全体最適を目指して設計や生産における各段階や工程、引き渡し後のアフターサービスやメンテナンス、さらには廃棄・再資源化までを統合的に管理する手法をPLM (Product Lifecycle Management) といい、ERP 同様特段新しい概念ではないがデジタライゼーションの進展によって PLM を情報システムとして構築することとその効果が注目されている。

また、今まで販売していたモノを、それ自体ではなくそのモノが生み出すコトに価値を見出していくビジネスモデルを転換するサービタイゼーションが新たなビジネスエリアだと認識されてきたが、デジタライゼーションの進展と AI、IoT の活用によって、リアルタイムに収集されるデータの中から、製品の状態、稼働状況、トラブルの予兆などを察知し、トラブルが発生する前にメンテナンスを行い正常に動作する状態に維持する、遠隔監視や予防保全が実現される。先進的なサービタイゼーション事例としては、Rolls Royce（英国）が航空機エンジンにおいて、エンジン出力と稼働時間を従量課金で提供するビジネスが有名である。

欧州における設計の 3D-CAD 化や、デジタルツイン、遠隔状態監視などの取り組みは製造業が牽引しており、製造業が製品の提供のみならず、フィールドサービスの提供が今度の収益部門と見通していることを伺い知ることができる。

また、リアルタイムに収集される膨大なデータの中から役に立つ情報を洗い出して提供する DaaS (Data as a Service) や、当該情報を用いてアドバイス等を行うアプリを提供する SaaS (Software as a Service) も注目されている関連産業分野である。



Product Lifecycle management と Service Lifecycle Management の概念図（出所：NEVS）

3 生産・製造新技術開発に向けた研究開発プロジェクト

3.1 IN 4.0（造船セクターへの「インダストリー4.0」モデルの応用）

欧州大西洋沿岸の海事産業組織は、「インダストリー4.0」の概念とシステムの地域造船セクターへの応用を目指したプロジェクトを行っている。

インダストリー4.0（「IN 4.0」）は、産業による国際競争力向上と成長を実現する新技術手法の採用を支援するリサーチイニシアティブである。同プロジェクトのコストの70%以上は、EUが欧州地域開発基金を通じて負担する。

2017年9月1日から開始された「IN 4.0」プロジェクトは、2020年8月30日までに完了の予定である。プロジェクトの総予算260万ユーロ（300万ドル）のうち190万ユーロ（220万ドル）をEUが拠出する。欧州大西洋沿岸のフランス、スペイン、ポルトガル、英国、アイルランドから10企業・組織が参加し、プロジェクトコーディネーターはスペイン北西部ガリシア地方のDiputacion Provincial de Pontevedra（DEPO）が務める。

造船業と関連産業は、これらの地域の経済と雇用において重要な役割を果たしている。同産業の将来的発展には、イノベーション、研究開発、新技術の採用が不可欠である。地域と住民の長期的利益となる産業への公的機関による公的資金の利用促進が必要となっている。

IN 4.0プロジェクトの目的は、造船業のインダストリー4.0モデル採用への障害の特定、新たなソリューションの提案、製造工程、組織、システムの改善、既存技術の将来的効率、インダストリー4.0への移行に対応する造船労働者の訓練等である。

3.2 INNOVATION LAB パーペンブルク-フローニンゲン 2018-2050

2018年7月、ドイツ造船所Meyer Werftとオランダ・フローニンゲン大学は、共同研究開発に関する長期契約を締結した。その目的は、ドイツ北西部とドイツ・オランダ国境地域における科学と経済の相互関係を強化することである。この「Innovation Lab Papenburg-Groningen 2018-2050」イニシアティブでは、参加企業・組織は持続性のある競争力の高いソリューションの開発に焦点を当てる。

最初の3プロジェクトでは、以下のように製造IT、持続性、船舶のエネルギー効率に関する研究を行う。

① 製造工程における次世代IT

「スマートインダストリー」、「インダストリー4.0」コンセプトの時代に、ICT(information and communication technology)は製造工程の柔軟性を向上させる。プロジェクトでは、クルーズ船建造のバリューチェーンに活用できるICTアプリケーションを開発する。

② 持続性

クルーズ船建造の世界最大手であるMeyer Werftは、国際的な持続性基準を遵守している。プロジェクトの目的は、国際的に標準化された報告基準を開発することである。

③クルーズ船のエネルギー効率

エネルギー効率は、クルーズ産業の最重要課題の一つである。プロジェクトでは、革新的燃料、高効率駆動システム、再生可能エネルギー製造等に関する技術的可能性を研究する。ペーベンブルクとフローニンゲンには、「フューチャースペース」と呼ばれるプロジェクト管理施設を建設する。

3.3 WAAM フック (3D プリンティング)

2018 年、オランダのクレーンメーカー Huisman とロッテルダム RAMLAB は、大型オフショア・クレーンフックの WAAM (wire and arc additive manufacturing : ワイヤー・アーク積層造形) 技術を用いた 3D プリンティングに関するプロジェクトを開始した。3D プリンティング技術を用いて製造されたフックは空洞で、必要材料と製造リードタイムを大幅に削減する。

Huisman の 4 枝設計をベースとしたフックは、大きさ $1 \times 1\text{m}$ で重量は 1,000kg 弱であり、世界最大重量の 3D 製造鋼製製品となる。吊り能力は 325 トンである。2018 年初頭には、Huisman は 3D プリンティングされたオフショア・クレーンフックの 80 トン負荷試験を成功させた。

WAAM フック製造プロジェクトには、Huisman Equipment、RAMLAB、Autodesk、DNV GL、Bureau Veritas、ABS (American Bureau of Shipping)、Voestalpine Boehler Welding が参加している。

2017 年には、RAMLAB が 3 翼プロペラ試作機の 3D プリンティング製造を行った。「WAAMPeller」と呼ばれるこのプロペラの直径は 1,350 mm で、ニッケルアルミ青銅合金製である。2017 年後半に 3D プリンティング製造された「WAAMPeller」の 2 号機は、オランダの小型タグボートに搭載された。

RAMLAB は、2015 年にロッテルダム港湾局、InnovationQuarter、RDM Makerspace とロッテルダム港周辺の舶用及び産業企業が共同で実施したオランダの研究開発プロジェクト「舶用及び航空用スペア部品の 3D プリンティングの結果として誕生した組織である。

3.4 ROBOAT プロジェクト

Roboat プロジェクトは、アムステルダムの首都圏水域における自律航行船の可能性に関する大規模な研究開発プロジェクトである。この 5 年間プロジェクトは、都市研究所 Amsterdam Institute for Advanced Metropolitan Studies が主導し、米国マサチューセッツ工科大学 (MIT)、オランダのデルフト工科大学及びヴァーヘニンゲン大学が参加している。

Roboat プロジェクトの予算は、2,500 万ユーロ (2,840 万ドル) で、アムステルダム市、アムステルダムの水道会社 Waternet、マサチューセッツ州ボストン市が資金を拠出している。第 1 号の試作船は 2016 年にアムステルダムの運河で試験が行われ、2018 年 10 月には更なる試験が実施された。

Roboat プロジェクトは、アムステルダムを対象としているが、プロジェクトの成果は世界中の都市部に適応可能である。プロジェクトでは、人と貨物を輸送するだけではなく、ごみ収集等他の作業を行う自律航行船の開発を行い、都市部の道路輸送による騒音、排ガス、道路混雑を軽減する。

Roboat の試作船シリーズは、MIT のコンピューターサイエンス・AI 研究室 (CSAIL) が設計し、3D プリンティング製造が行われる。船体は $4 \times 2\text{m}$ の長方形で、センサー、マイクロコントローラー、GPS モジュールその他のハードウェアが搭載される。設計は、浮橋やプラットフォーム等他の目的への変更とセルフアセンブリーが容易である。

3.5 FIBRESHIP

FIBRESHIP プロジェクトは、造船業のイノベーション促進を目的とした最も野心的な EU 助成プロジェクトの一つである。プロジェクトの主目的は、全長 50m 以上の商船の建造に使用する革新的な繊維強化ポリマー (FRP) の開発、評価、検査を行うことである。

プロジェクトは、2017 年 6 月 19 日に開始され、実施期間は 3 年間である。主な作業は、設計及び製造工程の新ガイドラインの開発、効率的な製造及び検査方法の開発、経験的に検証された最新のソフトウェア分析ツールの採用である。

FIBRESHIP プロジェクトは、①軽量商船（コンテナ船等）、②旅客輸送、レジャーボート（RORO 旅客フェリー等）、③特殊目的船（漁業調査船等）の 3 船種を研究対象とし、各船種独自のガイドラインを開発する。

プロジェクトで開発された設計・製造に関するガイドラインは、今後制定される基準・規則の基礎となる。プロジェクトでは、24か月以内、すなわち 2019 年 6 月までに実物大のプロトタイプを建造することを目的の一つとしている。

EU は、プロジェクト総額 1,100 万ユーロ (1,250 万ドル) のうち、900 万ユーロ (1,020 万ドル) を「Horizon 2020」プログラムから拠出する。プロジェクトには、EU 11 か国から造船企業、造船ソフトウェア企業、船級協会、船社、研究所等 18 企業・組織が参加している。

プロジェクトでは、英国 Welding Institute 等の造船システム・アーキテクチャー及び CAE (computer-aided engineering) ソフトウェアを専門とする 4 組織が協働している。これに加え、4 つの研究機関、コンテナ船社 Danaos 及びフェリー船社 Anek Lines を含むスペイン及びギリシャの船社 4 社、欧州の中規模造船所 2 社（ルーマニア Novrom 造船所、フランスの複合材ボート建造所 iXblue）、及びデンマークの複合材造船所 Tuco Marine が参加している。船級協会からは、Bureau Veritas、Lloyd's Register、Registro Italiano Navale の 3 社が参加している。

プロジェクトの 4 つの研究分野は以下のとおりである。

- ・素材、部品、モデリング
- ・設計、エンジニアリング

- ・製造、ライフサイクル管理
- ・造船市場及びビジネス分析

3.6 RAMSSES（持続的かつ効率的な船舶のための先進素材の実現と実証）

2017年に開始されたEU助成プロジェクトであるRAMSSES（Realisation and Demonstration of Advanced Material Solutions for Sustainable and Efficient Ships）プロジェクトは、海洋船、河川船に革新的な新素材を利用する目的としている。プロジェクトの優先課題の一つは、新素材採用の承認を高速化する手順の開発である。

RAMSSESプロジェクトは、2017年6月1日に開始され、実施期間は4年である。プロジェクトには、欧州12か国から36企業・組織が参加している。コーディネーターはイタリアの研究機関CETENA、技術管理はドイツCenter of Maritime Technologies(CMT)が担当している。プロジェクト予算総額1,350万ユーロ(1,580万ドル)のうち、EUが1,080万ユーロ(1,260万ドル)を「Horizon 2020」プログラムを通じて拠出している。

複合材又は高性能金属素材等の新素材は、船舶と舶用機器の軽量化、コスト効率化、環境性向上、安全性向上に寄与する。一方、素材の舶用利用に関しては、非常に厳しい使用条件と環境条件を満たす必要がある。また、コスト効率に関しても、多種の素材が使用された船体構造への統合の適正や複雑な造船及び修繕工程に対応する必要がある。

RAMSSESプロジェクトの主な作業は以下のとおりである。

- 13製品の開発、試験、検証を行う。これらの製品は2021年にプロジェクト完了後直ちに市場化される。実証機には、革新的部品とモジュラー型軽量システム、船体及び負荷部分、修繕ソリューションを含む。
- 実証機の技術特性、ライフサイクルコスト、環境性能の総合評価を行い、各ソリューションの承認の基礎とし、また、幅広い知識を蓄積する。
- 情報交換と協力のための「素材イノベーションプラットフォーム」を構築する。これにより、他の産業セクター（自動車、鉄道、航空、素材科学）からの系統的な知識収集と技術移転を可能にする。また、素材イノベーションプラットフォームにより、幅広いメーカーや事業者がプロジェクト成果と蓄積された専門技術を利用することが出来る。その結果として、欧州海事産業による革新的素材の採用が促進される。

RAMSSESプロジェクトで開発された実証機は、実船上又は実船に近い条件で物理的試験を行う。13の実証機は以下のとおりである。

- ①トラスコア構造のパネルシステム：モジュラー型、軽量で耐火性がある。（作業グループはドイツBalticoが主導）
- ②バイオベースのパネルシステム：可燃性(fire class)の高負荷軽量部品（スウェーデンPodcompが主導）
- ③3Dプリンティング製造のプロペラブレード（フランスNaval Groupが主導）
- ④複合材製の軽量ラダーフラップ（ドイツBecker Marineが主導）

- ⑤造船工程におけるクルーズ船の内壁と上部構造へのモジュラーシステムの統合（ドイツ Meyer Werft が主導）
- ⑥RORO 船向けモジュール型軽量甲板システム（クロアチア Uljanik Group が主導）
- ⑦作業船向け軽量アルミニウム複合素材パネル（エストニア MEC が主導）
- ⑧小型高速船の鋼製デッキ上の小型上部構造モジュール（フランス Naval Group が主導）
- ⑨オフショア船向けカスタムメイドの非金属船体（オランダ Damen Schelde が主導）
- ⑩旅客船向けキャビンシステム：軽量素材を使用した完全艤装のモジュール型キャビン（フランス STX France が主導）
- ⑪クルーズ船向け抗張力低合金鋼の高負荷構造（イタリア Fincantieri が主導）
- ⑫クルーズ船向け抗張力鋼製軽量デッキ（フィンランド Meyer Turku が主導）
- ⑬パッチ補修：金属及び非金属構造の修繕及び改良のための複合材オーバーレイ（スペイン Cardama が主導）

RAMSSES プロジェクトは、軽量素材の舶用利用に関する欧州ネットワークである E-LASS ネットワークと連携する。2013 年に発足した E-LASS は、2018 年 6 月時点で 317 の会員を持つ。RAMSSES プロジェクトと E-LASS は、他の欧州及び各国の関連研究開発プロジェクトとも協力をを行う。また、E-LASS は、プロジェクト完了後も RAMSSES プロジェクトの知識を保持する。

RAMSSES プロジェクトには、海事産業及び研究機関が参加している。参加造船所は、STX France (フランス)、Naval Group (旧 DCNS、フランス)、Fincantieri (イタリア)、Uljanik Group (クロアチア)、Meyer Werft (ドイツ)、Meyer Turku (フィンランド)、Baltic Workboats (エストニア)、Damen Schelde 及び Damen Gorinchem (オランダ) である。

3.7 先進舶用製造技術

2018 年 5 月、フランスと豪州の研究機関は、舶用推進機器の設計と製造への先進技術の利用促進に関する共同研究を開始した。

フランスの研究機関 Centrale Nantes と豪州のフィンダース大学の 2 学部（ナノ化学・技術研究所、海事工学・制御・画像センター）が協働し、付加製造 (AM) と船舶の流体力学という主要課題に焦点を当てた研究を行う。

最初の作業は、ナノコンポジット技術をプロペラ製造に利用することにより、ブレードの強度を高め、騒音と腐食を軽減し、現行の鋳造工程と比較して製造コストを削減することである。

また、同プロジェクトは、試験モデルを開発し、運転中のパフォーマンスと構造的強度を監視するセンサーを内蔵した「スマート」な複合材製造に関するフィージビリティ研究を行う。

研究開発チームは、金属ポリマー複合材の 3D プリンティングの可能性と課題に関する研究も行う。

3.8 SUPER（船舶のワンオフ建造向け拡張現実感）

ドイツの「SUPER」プロジェクトは、「ワンオフ」船（単発建造船）建造時の労働生産性向上のための拡張現実感（Augmented Reality : AR）ツール開発を目的とした研究開発プロジェクトである。AR技術は、造船所の建造現場のスタッフと製造プランニング・クオリティ管理事務所間の情報フローを改善する技術である。

AR技術の導入により、製図、計画、ガイドライン等に必要な情報収集に要する時間が短縮されると予想されている。さらに、エラーや問題の記録に要する時間も大幅に短縮される。

SUPERプロジェクトのAR技術ソリューションは、以下の4段階で開発される。

- ①情報フローの分析。その結果をもとに、情報提供及び収集に最適なAR技術とトラッキング技術を選択する。
- ②モジュラー概念を用いて、異なるユーザー要求を満たし、統合する。
- ③連続的情報処理媒体のためのデータ処理方法の構築。下請け企業向けの情報統合技術も検討する。
- ④プロジェクトで開発された概念とツールの試験と評価。

プロジェクトの実施期間は2016年12月1日から2018年11月30日で、ドイツ海事技術センター（CMT）が監督する。AGP Fraunhofer Instituteとハンブルク＝ハーブルク工科大学が研究開発を行う。プロジェクト資金は、ドイツ連邦経済技術省（BMWi）が共同産業研究プログラム（Industrielle Gemeinschaftsforschung : IGF）を通じて拠出している。

3.9 LINCOLN

LINCOLNプロジェクトは、動的シミュレーションモデルを用いた新船舶概念開発に革新的設計手法とツールを応用することを目的としている。研究対象は小型特殊船である。

LINCOLNプロジェクトは、小規模造船所及びボート建造所、船舶設計企業、ソフトウェア企業、標準化組織、オフショアサービス企業、海事規制当局等への利益となることを目指している。2016年10月1日に開始された同プロジェクトには、16企業・組織が参加しており、実施期間36か月を経て2019年9月30日に完了予定である。プロジェクト予算総額780万ユーロ（890万ドル）のうち634万ユーロ（730万ドル）を、EUが「Horizon 2020」プログラムから拠出している。

プロジェクトの主目的は、新たな造船技術、IoT技術、設計手法、市場要求を統合し、新たな船舶概念と革新的設計概念の実現に結び付けることである。

LINCOLNプロジェクトの主な結果及び成果としては、以下が期待されている。

1. 3船種の革新的船舶概念の開発

- ①マルチプラットフォーム・カタマラン（洋上風力発電支援船、オフショアクルー輸送船、沿岸調査船等）
- ②モジュール概念をベースとした高速巡視船

③緊急レスポンス・リカバリ一船

2. 船舶設計へのリーン・プロダクト開発（Lean Product Development）手法の応用（クオリティ向上、コスト削減、市場化促進、サービスとデータを活用したモジュラー設計）
3. 商船市場向けの IoT ベースのソリューション開発（IoT i-Captain システムの改良バージョンの開発支援）

上記の3船種のフィージビリティは、CFD 技術と構造シミュレーションを用いて検証される。

LINCOLN プロジェクトは、ミラノ技術学校 (Politecnico di Milano) が主導し、イタリア、スペイン、ギリシャ、キプロス、ドイツ、ノルウェーから、大学、研究所、ソフトウェア企業、海事技術コンサルタント、小型船造船所等 16 企業・組織が参加している。

LINCOLN プロジェクトは、他の研究開発プロジェクト (HOLISHIP、SHIPLYS 等) と協力し、欧州の海事研究開発と科学組織との連携を強化することを目的の一つとしている。

3. 10 NAVAIS

2018 年には、欧州委員会が助成する新造船研究開発プロジェクト「NAVAIS」が開始された。同プロジェクトは、2018 年 6 月 1 日に欧州委員会のイノベーション&ネットワーク執行機関 INEA との補助金契約に調印し、正式に発足した。

NAVAIS プロジェクトは、船舶設計及び製造ネットワークの効率と柔軟性の向上を目的としている。プロジェクト実施期間は 4 年間で、「Horizon 2020」プログラムを通じて EU が 650 万ユーロ (760 万ドル) を拠出している。

プロジェクトでは、プラットフォームベースのモジュラー製品開発戦略により造船の効率化と柔軟性を実現する。フランス Dassault Systemes が開発した統合ビジネスプラットフォーム「3DEXPERIENCE」*を採用し、ローカル旅客車両フェリーや多目的作業船等の小型船を研究対象とする。

NAVAIS プロジェクトの成果としては、リードタイムの短縮、クオリティの均一化、設計製造コストの削減、サプライチェーンの統合改善等が期待されている。

プロジェクトには 16 企業・組織が参加し、コーディネーターは、オランダのホルクムに本社を置く造船グループ Damen Shipyards とオランダ海事技術研究所 Netherlands Maritime Technology (NMT) が担当する。他の 14 参加企業・組織のうち 4 社は Damen Group の子会社である (Marine Design Engineering Mykolayiv (ウクライナ) 、Damen Galati Shipyard (ルーマニア) 、Marine Engineering Galati (ルーマニア) 、Damen Schelde Naval Shipbuilding (オランダ)) 。

他の 10 企業・組織は、Bureau Veritas Marine & Offshore (フランス) 、MARIN (オランダ海事研究所) 、Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (ベルギー) 、デルフト工科大学 (オランダ) 、Dassault Systemes (フランス) 、Eekels Technology (オランダ) 、

Heliox（オランダ）、Schunk Bahn- und Industrietechnik（ドイツ）、Center of Maritime Technologies（ドイツ）、SEA Europe（ベルギー）である。

Damen Group は、次のように述べている。「NAVAIS プロジェクトの作業は、Damen の造船哲学に沿ったものである。Damen は長年に亘り、標準化された造船プログラムに従って船舶の設計と建造を行い、最短時間で競争力のある価格の船舶を顧客に提供してきた実績がある。Damen は、この経験を NAVAIS プロジェクトのコーディネーターとして活かし、欧州造船産業の支援と海運の持続性向上に貢献することを願っている。」

* Dassault Systemes は、2017 年に Damen に「3DEXPERIENCE」ポートフォリオを供給した。

同システムは、要求、規則、プロジェクトプランニングをコネクトする完全なトレーサビリティを持つデジタルプラットフォームである。データは全ビジネスユニットから収集され、再利用が可能である。これにより、迅速な設計変更が容易となり、設計初期段階において製造計画を決定し、決められたスケジュールとコストにおける引渡しを実現するためのサプライヤーとの連携が容易になる。さらに、同システムはアフターセールスサービスや新製品、新設計の開発を支援する。

「3DEXPERIENCE」システムの採用は、Damen Shipyards のビジネス拡張に対応するものである。同社は、市場要求を満たすために製品（船舶）ポートフォリオを拡大している。世界中のエンジニアリング拠点、造船拠点、サプライヤーと統一した情報や手法を共有し、ポートフォリオを効率的に管理し、顧客のニーズに効率的に対応するために、オペレーションのデジタル化を進めている。

3.11 HOLISHIP（船舶設計とライフサイクルを通じた全体論的最適化）

大規模プロジェクトである HOLISHIP(Holistic Optimisation of Ship Design and Operation for Lifecycle)プロジェクトは、欧州で建造される船舶の構造の複雑化と海運を取り巻く規則と規制の増加への対応を目指している。その焦点は、船舶設計とオペレーションに関し、船舶の生涯を通じた統合された「全体論的」なアプローチを採用した次世代船の開発である。

EU は、1,140 万ユーロ（1,300 万ドル）を「Horizon 2020」プログラムから拠出する。プロジェクトは、ハンブルク実験水槽（HSVA）が主導し、西欧から企業、研究所、大学等 40 企業・組織が参加している。参加企業・組織には、造船所、船社、船級協会、船舶設計企業、専門技術企業を含む。プロジェクトは、2016 年 9 月末に開始され、2020 年 9 月 30 日までに完了の予定である。

HOLISHIP プロジェクトは、先進パラメトリック・モデリングツールと統合ソフトウェアアプラットフォームを基礎とし、造船工学の主要技術の全てを網羅する。これにより、船舶及び全てのオペレーションシステムのパラメトリックな多目的最適化が可能となる。

HOLISHIP プロジェクトが採用する統合モデルは、最新の CAE 技術を用い、技術経済データベース、計算及び最適化モジュール、バーチャル船舶フレームワーク（Virtual Vessel

Framework) 内のソフトウェアツールを統合する。これにより、実際の建造を開始する前に、全ての船内システム及び部品を含めた船舶のバーチャル試験が可能となる。ライフサイクルパフォーマンスの評価は、最適な艤装の詳細に関する知識を増加させる。この点は、特に、新造船の艤装が重要度を高めている欧州造船所に役立つ知識となる。

HOLISHIP プロジェクトでは、ソフトウェアツールの統合、ワークフローの処理、デジタルモックアップとデモンストレーターの開発に関し、実績のある 2 種類の設計ソフトウェアプラットフォームを利用する。多様な船種をカバーする合計 9 隻の実証船の開発が予定されている。最初の実証船は ROPAX フェリーである。同船では、開発関連コストと効率的で頑強な船舶設計の分析方法として、「サービスとしてのソフトウェア」(Software as a Service : SaaS) と呼ばれるビジネスモデルの可能性を検証する。

プロジェクトは、以下の 3 つの作業クラスターから構成される。

- ① ツールの開発：設計段階毎の手法とソフトウェアツールを開発し、HOLISHIP 統合設計プラットフォームの自動化機能に適用する。
- ② ソフトウェアの統合：上記クラスター①で開発されたソフトウェアツールを HOLISHIP 設計プラットフォームとバーチャル船舶フレームワークに統合する。
- ③ アプリケーション、実証船：統合ソフトウェアプラットフォームを実証船の設計とオペレーションに適用する。

実施期間 4 年間の HOLISHIP プロジェクトの目標は以下のとおりである。

- 改善された統合設計ツールの利用による設計コストと所要時間を 15%以上削減。
- 設計と手順を改善し、リードタイムを短縮し、建造と組立てを容易にすることによる製造コストの削減。
- 生涯的アプローチによるライフサイクルコストの 20%削減とオペレーションのパフォーマンス改善。
- 複雑な機械モデリングとシミュレーションの革新的統合ソリューションである、HOLISHIP プラットフォームの採用による複雑なシステムの評価と統合に要する時間の短縮。
- ツールとプラットフォームを利用し、船体、推進機器、機械装置ソリューションの統合システムの可能性を最大化することにより、設計の初期段階においてエネルギー効率を改善。
- 「多目的最適化」による船舶の安全性向上。

3.12 SHIPLYS (船舶のライフサイクル・ソフトウェアソリューション)

実施期間 3 年の SHIPLYS (Ship Lifecycle Software Solutions) プロジェクトの目的は、船舶設計・建造に要する時間とコストを削減することにより、欧州の中小企業の競争力を向上させることである。主目的は、設計の初期段階で使用する現行のソフトウェアと互換性のあるライフサイクルツールと高速バーチャル・プロトタイプツールの開発と統合である。開発

された新総合ソフトウェアソリューションは、新造船又はレトロフィット契約の入札時に造船所及び設計企業を支援する。

2016年7月に開始され、2019年9月に完了予定のSHIPLYSプロジェクトは、EUが「Horizon 2020」プログラムから予算の100%を拠出している。プロジェクトには、欧州7か国から2つの造船所、スペインAstilleros de Santander及び英国Ferguson Marine Engineeringを含む12企業・組織が参加し、コーディネーターは英国の溶接研究機関Welding Instituteである。

SHIPLYSは、以下の方法により欧州の中小規模の造船所、船社、設計企業を支援し、欧州造船所の競争力を改善することを目的としている。

- 設計と製造に要する時間とコストを削減する能力の改善。
- バーチャル・プロトタイピング（仮想試作）を利用した、より優れた船舶を確実に製造する能力の開発。
- 生涯コスト分析、環境性評価、リスク評価、最終的な処理方法等増加する要求に対応。

要求される機能性を実現するための計算とモデリングは、特に、限られた資金、ソフトウェアツール、専門スタッフしか持たない中小企業や造船所にとって難しく時間を要する作業である。また、異なる設計段階において互換性のないツールとフォーマット間のデータ統合は困難である。さらに、中小企業が利用できる造船用ライフサイクルモデリング技術がないため、SHIPLYSプロジェクトでは以下のような課題に取り組む。

ユーザーの多様なニーズを分析した結果、SHIPLYSプロジェクトは以下の要素を統合することを決定した。

- ISTツール：コンセプトデザインツール（担当：IST）
- RSET：コンパートメントアレンジメント向けツール（担当：BMT）
- CAFÉ：3Dデザインツール（担当：BVB）
- LR SEASAFE：復原性計算（担当：LR）
- RulesCalc：スカントリングの決定（担当：LR）
- Topgallant：造船所向け製造シミュレーション・ソフトウェア（担当：AES）
- LCTツール：ライフサイクル分析（担当：ストラスクライド大学）

初期船舶設計に関する以下3件のシナリオが、SHIPLYSソフトウェアの機能性試験の基礎となつた。

- 短距離フェリーの新型ハイブリッド推進システムの最適化
- リスクベースのライフサイクル評価を活用した船舶設計概念の開発
- ライフサイクルコストとリスク評価を活用したレトロフィットの早期計画とコスト配分の決定支援ソフトウェアの開発

SHIPLYSプロジェクトの総予算614万ユーロ（700万ドル）は、全てEUの「Horizon 2020」プログラムからの助成金で賄われている。この最大限の助成は、中小企業の競争力強化とい

う EU 戰略の重要性を反映している。EU 域内の造船業は、300 以上の造船所と 9,000 社以上の下請企業を持ち、その多くは中小企業である。

3.13 MAROFF プログラム

ノルウェーは、船舶所有、造船、舶用製品、技術の分野において国際海事産業で高い評価を受けている。その海事産業は輸出が中心である。ノルウェーの海事産業は、市場環境の変化と市場要求に柔軟に対応し、再編する能力を持っている。そのため、ノルウェーは、コストの高い国でありながら、依然として造船を行っている数少ない国の一となる。

ノルウェーの造船業と関連産業は、地域、地方の経済、雇用、価値創造に非常に重要な役割を持っている。海事産業は、ノルウェーのオフショア石油ガス資源の開発による新たなビジネス機会を活用し、オフショア機器、オフショア支援船、サブシ一船の全分野における世界のリーダーとなつた。

今後のビジネス機会としては、洋上風力発電、海象条件の厳しい大水深海域における石油ガス開発支援船、オフショア養殖漁業、海底採掘、小型探検クルーズ船、深海漁業向け漁船、調査船、遠隔操作船、自律航行船等の分野を想定している。

ノルウェー・リサーチカウンシルは、次のように述べている。「ノルウェーが海事国家としての高い地位を保持するためには、研究開発イノベーション (RDI) への投資の大幅増加が不可欠である。共同研究、知識移転、技術交換を通じた海事関連イノベーションは、新たな海洋産業やビジネスセクターのポテンシャルを開拓する機会を提供する。これらの産業のシナジー効果をフル活用するには、団結した戦略的努力が必要である。」

ノルウェーは、海事研究への EU 補助金は十分ではないと考えており、ノルウェーの海事研究の重要性を考えると、大規模な国家補助が必要となっている。

MAROFF プログラム (Innovation Programme for Maritime Activities and Offshore Operations) は、ノルウェー・リサーチカウンシルの海事産業及び研究パートナーの技術研究及びイノベーションを支援するための主要プログラムである。究極的な目的は、価値創造を促進することである。プログラムの対象となるのは、漁業、オフショア産業を含む特殊船をカバーする船社、造船所、サービス企業、舶用機器・システム企業である。

MAROFF プログラムで創造される価値としては、①競争力の向上、②産業再編能力の強化、③研究開発機関と企業の提携と知識交換の促進、が考えられている。

プログラム内の研究開発活動は、以下のようなテーマと科学分野における新たな能力とイノベーションの開発を支援する。

- 漁船、オフショア船、厳しい自然環境に対応する船舶等の特殊船分野におけるビジネス機会の開発
- 自律航行船、遠隔操作船の開発

- 設計、製造から技術、販売、サービスを含む造船の全バリューチェーンにおけるデジタルトランスフォーメーション
- 海事技術とオペレーションの「グリーン化」
- 海上の安全とセキュリティの強化
- 北極海、高緯度海域向けの技術とシステムの開発

イノベーションプロジェクトへの最新の補助金申請は2018年半ばに開始され、応募締切りは2019年9月12日である。総額1億5,000万ノルウェークローネ（NOK、1,830万ドル）が、2019年半ばに開始予定のプロジェクトに分配される。プロジェクト実施期間は最大4年間である。約4,000万NOK（490万ドル）は、特殊船の研究プロジェクトに割り当てられている。

MAROFF内のイノベーションプロジェクトは、通常プロジェクト予算総額の25～50%に相当する年間100万～400万NOK（120,000～480,000ドル）の補助金を支給される。大企業の場合、補助金はプロジェクト総額の40%を上限とする。

2018年半ばには、ノルウェー・リサーチカウンシルとシンガポール海事研究所の協力合意による助成プロジェクトへの募集も開始された。承認されたプロジェクトには、総額1,500万NOK（180万ドル）が支給される。応募締切りは2018年9月12日である。

このプロジェクト補助金の支給対象は、ノルウェーとシンガポールの共同研究グループ（大学、研究機関）である。ノルウェーからの参加組織・企業にはノルウェー・リサーチカウンシルが、シンガポールからの参加組織・企業にはシンガポール海事研究所がそれぞれ補助金を支給する。他の国際的研究機関も参加可能ではあるが、資金は各自で調達しなければならない。

補助金獲得のための優先分野は、海事産業のデジタル化、自律航行船及び関連システム、「グリーン」な海事技術である。

4 生産性向上に向けた企業の取り組み事例

特に製造業において生産性向上に向けた取り組みを行う主要企業として、Siemens(ドイツ)、Lamborghini(イタリア)、Audi(ドイツ)、KUKA(ドイツ)、BMW(ドイツ)、BAE Systems(イギリス)の取り組みを紹介する。

4.1 Siemens(ドイツ)

企業概要

バイエルン州ミュンヘンに本社を置く1847年創業のSiemensは、電信機製造企業から発展し、現在では情報通信、電力関連、交通・運輸、医療、防衛、生産設備、家電製品等の製造、及びシステムソリューション事業などを行うグローバルサプライヤーである。

近年は、特に電化、自動化、デジタル化事業に力を入れており、最新のソフトウェア、信頼性の高い自動化技術、製品ライフサイクルを通じたサービスを含めた「インダストリー4.0」関連のソリューションを提供している。

同社の企業向けデジタル化概念である「デジタルエンタープライズ」は、ソフトウェアとオートメーションソリューションを包括したSiemens独自のポートフォリオである。Siemensは、この「デジタルエンタープライズ」概念を活用して、顧客企業だけではなく、多数の自社生産設備のデジタル転換、即ち「スマートファクトリー」化を進めている。

Siemens全社の2019年度の売上は868億ユーロ、従業員数は全世界で385,000人(30%がドイツ国内)である。うち45,000人が研究開発に従事し、取得特許数は68,000件を超える。現在の研究開発活動の焦点は、人工知能(AI)、IoT、デジタルツイン、付加製造、サイバーセキュリティーなどである。

4.1.1 「スマートファクトリー」アンベルク電子製品工場

1989年設立のバイエルン州アンベルク電子製品工場(Electronics Works Amberg: EWA、従業員数1,250人)は、Siemensのインダストリー4.0戦略を代表する「スマートファクトリー」である。



アンベルク電子製品工場(出所:Siemens)

同工場では、1日350回の生産切換（チェンジオーバー）を行い、1日約120種の製品バリエーションと年間1,700万個のSiemensのオートメーションシステム関連の電子部品・製品の製造を行っている。生産工程の最適化には、1日約5,000万件のプロセス及びプロダクトデータを収集、処理する必要がある¹。さらに、人工知能（AI）、インダストリアルエッジコンピューティング、クラウドソリューションなどの先進技術が、柔軟性、効率、信頼性の高い製造工程を実現する。

無駄の排除、継続的な学習、工程の複雑さ軽減というリーン方式の概念と、情報フローの効率化、リアルタイムでの情報透明性という「デジタルエンタープライズ」概念を統合した、さらに柔軟で効率的な生産体制により、複雑な製品の開発から市場化までのリードタイムを短縮し、競争力を維持することが、その目的である。

以下は、アンベルク電子製品工場に導入された最新デジタル技術の例である。



タブレット端末によるロボット工程管理（出所：Siemens）

産業用クラウド「MindSphere」

「MindSphere」はSiemensのクラウドベースのオープンIoTオペレーティングシステムで、製品、プラント、システム、そしてマシンをつなげ、モノのインターネット（IoT）が生成する膨大なデータの活用と高度な分析を可能にする。

OEM企業やアプリケーション開発企業は、オープンインターフェイスでこのプラットフォームにアクセスし、機械、工具、産業ロボット、コンプレッサー、ポンプなどの産業機器のオンライン監視情報を自社の製品分析や研究開発に活用することが可能である。また、実際のデータを利用して工場のデジタルモデルを作成することもできる。さらに、以前は2時間かかった工作機械のリプログラミングが僅か1分で完了する。

「MindSphere」はデータの保存だけではなく、オートメーション、インダストリアルエッジ、クラウドコンピューティングのシームレスなインターフェイクションが行われるエンド-to-エンドのデジタル環境を構築する。

¹ Welcome to Electronics Works Amberg (EWA), Investors & Analysts – Site Visit EWA | September 29, 2015, Siemens

インダストリアルエッジコンピューティングと AI

エッジコンピューティングにより、データは作成された地点で瞬時に処理される。例として、アンベルク工場では、プリント基板(PCB)製造でエッジコンピューティングを活用している。プリント基板の検査には、1台 500,000ユーロのエックス線装置の代わりに AI 制御モデルが基板の不具合を発見し、製造ラインの最終検査が必要か否かを判断する。クローズドループ解析を用い、このデータは瞬時に生産工程に反映される。



ロボットと AI によるプリント基板 (PCB) の製造と検査 (出所 : Siemens)

早期警報システム

クローズドループ分析とインダストリアルエッジ技術はミリング工程にも活用されている。ミリング主軸はミリングダストにより正常に作動しない場合があるが、原因解明は困難であった。現在では、エッジコンピューティングと AI を組み合わせ、予測的メンテナンスを行っている。

「Performance Insight」アプリケーションにより、この結果は MindSphere のユーザーに提供される。工場オペレーターはシステム障害が発生する 12~36 時間前に現状を知り、事前に対応することが可能となる。

デジタルツインと概念実証 (Proof of concept : PoC)

デジタルツインの導入は、コントローラ一部品を目標サイクルタイムである 8 秒で製造することを可能にした。当初は 11 秒であったサイクルタイム短縮のために、Siemens の技術者は、デジタルツインを用いて最適な動作をしていないマシンモジュールを最適化された部品と交換し、シミュレーションを行った。これにより目標サイクルタイムが達成され、PoC が確認された。

サイバーセキュリティー

アンベルク工場は、カスタム化されたセキュリティーソリューションで、工場全体のネットワークインフラへのサイバー攻撃のリスクを最小化している。



サイバーセキュリティー概念（出所：Siemens）

デジタルエンタープライズ

アンベルク工場では、ハードウェア及びソフトウェアソリューション、コミュニケーション、サイバーセキュリティー、サービスが最適にコーディネートされている。エンド to エンドの水平及び垂直統合により、製造工程のシーケンスはシームレスであり、Siemens の「デジタルエンタープライズ」ソリューションの好例として、未来のデジタル化をリードしている。²

「MindSphere」をはじめとする以下のような数々のイノベーションの導入により、アンベルク工場の生産性は 10 倍増加し、不良率は Siemens が目指すゼロに近い 100 万機会分の 10 (10 dpromo) となった。³

同工場は、2018 年のドイツのインダストリー4.0 アワードのスマートファクトリー部門賞を受賞した。

4.1.2 ロボット化されたバッテリーモジュール工場（ノルウェー）

2019 年 1 月、Siemens は、ノルウェー北西部トロンハイムに、約 1 億ノルウェークローネ（約 12 億円）を投資した高度に自動化されたバッテリーモジュール製造工場を正式に開設した。

安全で信頼性が高いバッテリーソリューションは世界的に需要が増加しており、特に環境意識の高いノルウェーでは、近年低排出の完全バッテリー駆動またはバッテリーハイブリッド駆動の内航フェリーが急速に増加している。Siemens は、船用バッテリー需要は 2024 年までに倍増すると予測している。

同工場では、船用、オフショア市場向けの将来的な需要増加に備え、8 基のロボットステーションから構成されるデジタル化された生産工程が、1 日 1 シフト当たり 55 基のバッテリーモジュールを製造している。現在の年間生産能力は 300MWh であるが、今後の能力拡大により、製造された年間 300～400MWh のバッテリーは、150～200 隻の電気フェリーを駆動することが

²<https://new.siemens.com/global/en/company/stories/industry/electronics-digitalenterprise-futuretechnologies.html>

³<https://internetofbusiness.com/success-stories-five-companies-smart-factories-can-learn/>

可能である。フェリーに加え、漁船、養殖作業船、オフショアリグなどへのバッテリー採用も増加傾向にある。⁴

新工場には、11基のKUKA産業ロボットと多数のオムロン製自動搬送モバイルロボット(AGV)が導入され、人間の関与は最小限(常駐3人)である。同工場では、バッテリー製造工程だけではなく、配送された部品の梱包を解く作業から完成したバッテリーの試験までの工程全体が完全に自動化されている。バッテリー1基はバッテリーモジュール9個で構成され、バッテリーモジュールは28個のバッテリーセルで構成されている。

ノルウェーは、海運の電化ソリューションで世界をリードしており、現在バッテリーの主要市場となっている。Siemensに加え、2019年9月にベルゲンに新工場を開設したバッテリー製造の最大手企業であるカナダCorvus、その他数社がノルウェー国内におけるバッテリー製造を行っている。

Siemensはトロンハイムに電化ソリューション及びハイブリッドソリューションに関する技術研究所を設置しており、ノルウェー国内の需要に対応すると同時に、グローバル市場の成長を見据えている。



ロボットによるバッテリー製造（出所：Siemens）



自動搬送モバイルロボット(AGV)（出所：TU）

⁴<https://www.kuka.com/en-se/industries/solutions-database/2019/02/batterifabrik-i-trondhheim>

4.1.3 Materials Solutions の付加製造工場（英国）

2006年設立のMaterials Solutions社は、英国ウースターを本拠とする付加製造(AM)技術の専門企業で、発電、石油・ガス、航空機、自動車及びモータースポーツなど幅広い産業向けの付加製造製品とサービスを提供している。同社は選択的レーザー融解(Selective Laser Melting: SLM)技術による積層造形法を用いて、超耐熱合金製などの高性能金属部品を製造するAM業界のパイオニア企業のひとつである。

Materials Solutionsは、2016年にSiemensがデジタル化戦略の一環として85%株式を買収し、同社のグローバル付加製造・サービス部門の一部となった。Materials Solutionsは、Siemens向けには、ガスタービンブレードなど高温部品やスペアパーツの製造実績がある。

付加製造と3D印刷は同義語として使用される場合が多いが、Materials Solutions社は付加製造と3D印刷の違いとして、3D印刷は主に顧客プレゼン向け部品のラピッドプロトタイピング、即ち基本概念の3Dモックアップを作成することであり、付加製造とはその3Dオブジェクトを、金属またはプラスティックなどの材料を用いた積層により、実際に使用可能な部品として製造することである、と区別している。

2018年9月、Siemensは270万ポンド(約38.3億円)を投資し、英国内で15か所目のSiemens工場となるMaterials Solutionsの新工場をウースターに開設した。同社は、以前は実験室で数人のエンジニアが数基の3Dプリンターを使用して行っていた小規模な付加製造を、50基以上のプリンターを使用した工場における高品質の工業レベルのシリーズ生産に引き上げることを目的としている。同社ウースター拠点の敷地面積は4,500m²に倍増し、50人以上の新規雇用につながっている。



Materials Solutions の AM 工場（出所：TCT Magazine）

「スマートファクトリー」となる同工場では、デジタル技術を最大に活用し、完全なエンドtoエンドプロセスを構築するために、以下のようなSiemensのPLM（製品ライフサイクル管理）ソリューション「デジタルエンタープライズ」のソフトウェアベースのツールを採用している。

- リアルタイムロケーションシステム：資本設備と在庫状況を追跡し、作業の進捗状況とロケーションをリアルタイムで確認する。

- 「MindSphere」クラウドアプリケーション：工場の環境と機器を常時監視する。
- NX 設計ソフトウェア：製品の製造方法を開発し、製造工程のシミュレーションを行う。

ハードウェアとしては、当初は EOS 及び Renishaw 製の金属 AM 装置 17 基で始動するが、5 年以内には 50 基以上の装置を稼働させる計画である。2019 年には大型金属粉末プラスト・仕上げ装置「Guyson Euroblast 8」などの自動化システムを導入し、手作業で行われていた製品の加工・後処理能力を向上させた。金属材料は、中二階レベルからスマートホッパーにより AM 装置に自動的にフィードされる。無人搬送ユニットも導入される予定である。工場施設は、今後の生産拡大に対応するため、余裕のある設計となっている。

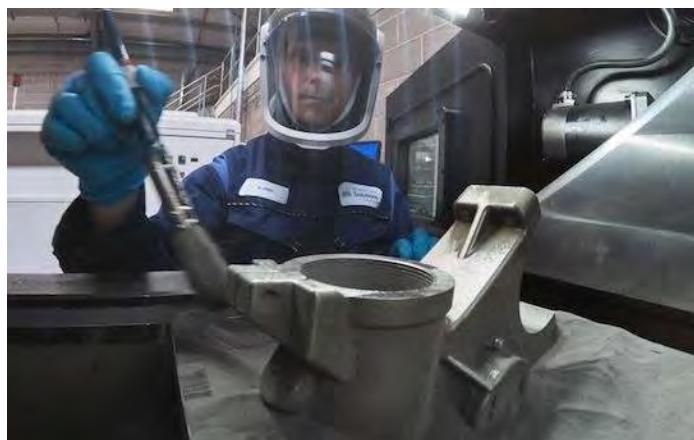
このようにデジタル化された一貫生産により、サプライチェーン全体のリードタイム、品質、コストの管理が容易になる。同工場では引き続き顧客向けのプロトタイプ製造も行うが、航空機、自動車などのセクター向けには高品質部品のシリーズ生産に移行する計画である。AM 製造は、現時点では高コストがネックとなっているが、AM 製造の工業化と生産規模の拡大によりコストは低下すると同社は予想している。

AM 技術のポテンシャルを示す最近のプロジェクトとしては、100 年前に製造されたビンテージカー Ruston Hornsby のステアリングボックスを、リバースエンジニアリング技術を用いてオリジナルの設計図なしに再生産した。最新のスキャン技術により、壊れたステアリングボックスのパーツをデジタル再現し、AM 製造用のモデルを作成した。このように、AM 技術は従来の方法で製造できない部品の設計、製造に用いることが可能である。⁵

Materials Solutions は、80 社以上の顧客企業向けに 5,000 個以上の AM 部品を製造した実績があり、Siemens は 2025 年までに 200 個以上の金属部品の型式承認を取得する計画である。

⁶

2019 年 10 月には、Siemens と Material Solutions は、米国フロリダ州オーランドに、主に Siemens のエネルギー事業向けのソリューション開発を行う先進附加製造センターを設立した。



AM 製造で再現された Ruston Hornsby ステアリングボックス
(出所 : TCT Magazine)

⁵<https://ingenuity.siemens.com/2018/12/from-the-lab-to-the-shop-floor-a-journey-to-industrialisation/>

⁶<https://www.tctmagazine.com/3d-printing-news/inside-siemens-uk-3d-printing-smart-factory-1/>

4.2 Automobili Lamborghini (イタリア)

企業概要

1963年にFerruccio Lamborghiniが設立したAutomobili Lamborghiniは、イタリアのボローニャ県サンタガータボロニエーゼ(Sant'Agata Bolognese)に本拠とする高級スポーツカーメーカーである。1999年以来、同社はドイツVolkswagen Group傘下のAudi Group内のブランドとして、現在本社工場でLamborghini Huracán、Lamborghini Urus、Lamborghini Aventadorを製造している。同社製品の三大市場は、米国、英国、日本である。

2018年は、新本社工場の建設による生産能力の拡大と2018年7月にデリバリーを開始した新モデルUrusの成功により、Lamborghiniは前年比51%増、同社史上最高記録となる5,750台(2017年:3,815台)を販売した。売上も前年比40%増の14億1,500万ユーロであった。Urusの製造開始に伴い、正規従業員数は1,754人(2016年:1,415人)に増加している。同社は、4年間連続でイタリアの「トップ・エンプロイヤー」に選ばれている。

Lamborghiniはイタリア本社に研究開発部門を持つが、本社以外の研究開発組織としては、米国シアトルに先進複合材構造研究所(Advanced Composite Structures Laboratory:ACSL)がある。同研究所では、Boeing社と共同で自動車及び航空機向けの軽量先進複合材料の開発を行っている。Lamborghiniは、30年前から同社製品にカーボンファイバー強化ポリマーを採用している。「Forged Composite®」は、Lamborghiniと米国Callaway Golf Companyが、ACSLで共同開発した複合材料技術である。

新「スマートファクトリー」

2018年、Lamborghiniは、本社所在地であるサンタガータボロニエーゼに、世界初の「スーパー・スポーツ・ユーティリティー・ビークル(SSUV)」となるLamborghini Urusの製造に特化した新工場と関連施設を稼働させた。これにより本社の生産設備は、80,000m²から160,000m²へと倍増し、同社の生産能力も年間7,000台へと拡大した。

新生産設備には、Urus専用の新組立ライン、全Lamborghiniモデル用の最終検査部門、最高のエネルギー効率と環境性を持つ新設計のオフィスビルが含まれる。また、新試験トラック、新ロジスティックスセンター(倉庫)、新トリジエネレーション発電施設、新エネルギーハブも併設されている。

新工場と付属施設の建設には、社外から600社、3,600人が参加し、18か月という短期間で行われた。この工場拡張作業中にも既存の生産体制は維持され、2016年には前年比7%増のセールスを記録した。新工場を含めた本社の製造設備は環境的にサステナブルで、カーボンニュートラル認証を取得している。



本社新製造施設全景（出所：Lamborghini）

この未来的な新工場は、「インダストリー4.0」概念に基づいている。まず、新モデル Urus の開発には、対象となる顧客市場を特定した。対象市場セグメントのニーズと志向性を完全に理解し、Lamborghini は、コンサルティング企業 KPMG の協力を得て、新工場、技術、プロセスがどのように機能し、顧客と企業にどのような価値をもたらすかを優先的に考慮した総合的な「インダストリー4.0」戦略を打ち出した。デジタル技術はそれを実現するための手段として用いられた。

続いて KPMG は、Lamborghini の「インダストリー4.0」戦略目的に沿った、全工程を管理する IT プラットフォームを開発した。新工場は、デジタルセンサーと協力ロボットを導入した高度なモジュラー設計である。⁷

最高水準の「インダストリー4.0」を実現した同工場では、ロボット同士、またロボットと高いスキルを持つ Lamborghini の作業員が共同で作業を行うという、仮想世界と実際の製造工程が融合した環境を構築している。製造される各車体は、自走式ロボット (automatic guided vehicles : AGV) により、工場内の必要な作業が行われるワークアイランド間を自動的に移動する。

工場内各所の電子監視、データ収集と報告は瞬時に行われ、作業員は製造現場で、またはあらゆるロケーションから、タブレットを用いて製造工程を遠隔制御することができる。これにより紙の書類の必要性が完全になくなる。

新工場は、生産体制の柔軟化、情報へのアクセス性向上、システム同士の相互接続などの利点を提供している。また、人間がコントロールする新製造技術が作業を支援することにより、現場の熟練工のプロフェッショナリズムを強化する。

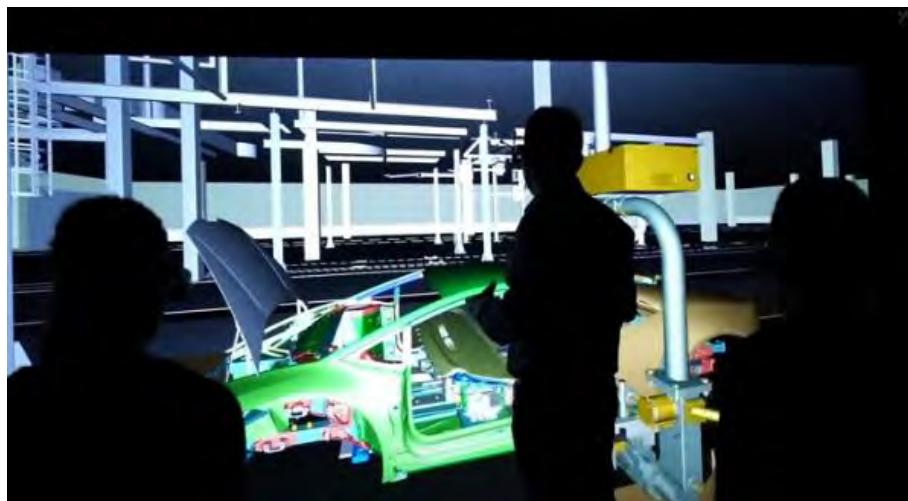
⁷ <https://home.kpmg/xx/en/home/insights/2018/11/industry-4-0-case-studies.html>

新生産方式「Manifattura Lamborghini」

Lamborghini は、「Manifattura Lamborghini」（ランボルギーニ生産方式）と名付けたこの新生産体制・方式は、高級自動車製造の新たなモデルとなるものであると述べている。同方式の基本的な特徴は、以下の 4 点である。

①職人の技（クラフトマンシップ）の保護

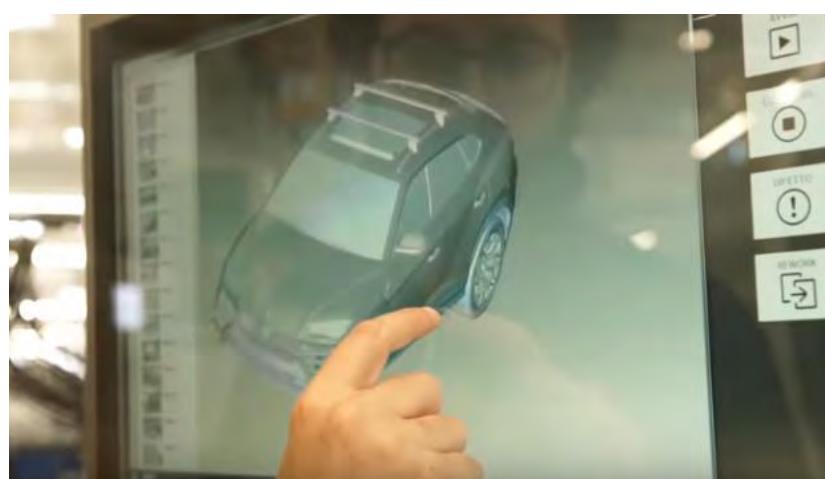
作業工程に革新的技術を統合することにより、熟練工のクラフトマンシップを保護し、最適化する。最高の品質水準の維持と同時に、製品のカスタム化を促進する。



VR ルーム（出所：Cars BOOM⁸）

②能力と専門性の最適化

デジタル化は、作業員がタッチスクリーンにより、相互接続されたシステムからの製造情報に容易にアクセスすることを可能にする。



（出所：Car BOOM⁹）

⁸ <https://www.youtube.com/watch?v=nyjf8e1nmzU>

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 BOOM¹⁰)



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 BOOM¹¹)

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

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

④人間工学と安全性の向上

協力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）



新ロジスティックスセンター（出所：Cars BOOM¹²）

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

¹² <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ー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سفォーメーションに関する 2017 年の「SAP Quality Awards」を受賞した。¹³

¹³<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 m² 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 m²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、革新的な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。¹⁴



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）

¹⁴ <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年以来、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ことができるようとする。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部と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りを歩く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 (KTP0)

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 (KTP0) がある。オハイオ州トリード (Toledo) に位置する KTP0 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。

KTP0 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。KTP0 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。

KTP0 工場では、Jeep Wrangler のあらゆるモデル、バーシ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。

KTP0 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。

KTP0 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か所の製造拠点を持ち、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。グリーン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）

仮想現実技術による工程最適化

仮想現実（VR）技術は、リアルタイムでのインターラクティブ3D環境のシミュレーション作成に利用されている。VR技術は、ゲーマーと同様に企業にも貴重な付加価値を与える。BMW GroupのVR実験室の国際チームは、例えばロジスティックスセクターのプロセスと安全性の最適化に利用可能なバーチャルスペースとシナリオを作成している。



VR実験室（出所：BMW）

②スマートロジスティックス

BMWは、スマートデータ技術を利用してサプライチェーン全体のリアルタイム情報を管理している。これにより資材の供給が柔軟化し、急な変更にも迅速に対応できる。

自走式タッガートレイン（Autonomous tugger train）

電気牽引車をベースとした自走式タッガートレインは、レーザー信号により最も効率的なルートで工場内を自動走行する。トレインの現在地は、レーザースキャナーからの2D測定データとリファレンスマップから計算される。渋滞がある場合は、自動的にルートを最適化する。トレインの到着は作業員のスマートウォッチに報告される。制御システムは、画面上のマップに表示される。¹⁵



自走式タッガートレイン（出所：BMW）

スマート搬送ロボット

スマート搬送ロボットは、最大0.5トンまでの部品をA地点からB地点に無人搬送する。ワイヤレス送信機がその位置を決定し、自動的に最適ルートを計算する。ロボットはリサイクルされたBMW i3バッテリーで駆動され、航続時間は8時間である。



スマート搬送ロボット（出所：BMW）

¹⁵ <https://www.schiller.de/en/automatic-tugger-train>

コネクテッド・ディストリビューション

コネクテッド・ディストリビューションとは、工場から出荷された車両がディーラーに到達するまで重要な情報を送受信するシステムである。配送が停止または完了したときには、車両はその現在地をモバイルフォンコネクション経由でロジスティックスセンターに報告する。

③革新的な自動化及び支援システム

革新的なオートメーションとは、従業員を支援するインテリジェントなソリューションと、ロボットの力で人間の負担を軽減する技術である。軽量ロボットには保護バリアは必要なく、従業員とシームレスな同時作業を行う。

軽量協力ロボット

協力ロボットは直接従業員とともに、負担の大きい精密作業を行う。ロボットの速度は遅く、作業員との接触などの危険が発生した場合には自動的に停止する。



軽量協力ロボット（出所：BMW）

外骨格型ロボット（Exoskeleton）

外骨格型ロボット（パワードスーツ）は、外部サポート構造として、作業員の脚、腕、背中の機能を強化する。



外骨格ロボット（出所：BMW）

産業ロボットとの協働

今日では、従来型の大型産業ロボットと作業員が直接協働することも可能となった。もちろん安全第一で、作業員がロボットに近づき過ぎて危険な場合には、安全装置が自動的にロボットアームの動きを止める。



産業ロボットとの協働（出所：BMW）

④付加製造技術

BMW Group は、1990 年からプロトタイピングに付加製造（3D 印刷）技術を利用してお り、技術は常に進化している。新たな付加製造技術を用い、パーツを 3D プリンターで製造することにより、製造時間をさらに短縮することができる。ツールを使用しない製造方法は、より経済的で柔軟な製造を実現し、部品のパーソナル化などを可能にする。

付加製造センター

ミュンヘンの BMW リサーチ&イノベーションセンター内の付加製造センターでは、小型プラスティックホルダー、デザインサンプルから試験用の金属シャシ一部品まで、年間 25,000 個のプロトタイプと 100,000 個以上の部品の 3D 印刷を行っている。また、一般車両のシリーズ製造用のパーツもこの方法で製造される。

付加製造センターは、BMW Group のベンチャーキャピタル BMW i Ventures とともに、画期的な技術を開発するスタートアップ企業及び新企業への投資を行っている。

サイドインジケーターのカスタム化

カーシェアリングサービス

「DriveNow」用の MINI のパーソナル化したサイドインジケーターは、3D プリンターで製造されている。ドイツの顧客は、ソーシャルメディアのキャンペーンの一環として 100 台の MINI の名前を選んだ。



MINI の 3D 印刷製造された名前付きサイドインジケーター（出所：BMW）

シリーズ部品の 3D 印刷製造

BMW は、2010 年に小規模なシリーズ部品の 3D 印刷製造を開始した。このとき製造されたウォーターポンプホイールは、今でもドイツツーリングカー選手権(DTM)用自動車に搭載されている。続いて 2012 年には、3D プリンターによる Rolls-Royce 向けのプラスティック部品のシリーズ製造を開始した。BMW i8 Roadster も 2017 年以来、3D プリンターでシリーズ製造された金属部品を使用している。



3D 印刷製造されたウォーターポンプホイール
(出所 : BMW)

カスタム化された組立補助器具

3D 印刷は、自動車組立作業を行う従業員のカスタム化された親指保護器具の製造にも利用されている。この柔軟性のある組立補助器具は、各作業員の手の形にフィットするようにカスタム化され、親指の関節への負担を軽減する。



3D 印刷製造された親指保護器具 (出所 : BMW)

米国スパートンバーグ工場

1992 年、ドイツ BMW Group は、米国サウスカロライナ州にドイツ国外初の完全製造工場を建設する計画を発表した。BMW は 6 億ドルを投資し、当時自動車産業の最短記録となる僅か 23 か月で工場建設から最初の自動車製造を開始した。BMW Manufacturing 社スパートンバーグ工場の 1994 年の製造開始以来の生産台数は 470 万台を超える。

その後 BMW Group は、106 億ドルを投資し、5 回にわたって同工場の拡張を行った。現在、同工場は 11,000 人を雇用し、サウスカロライナ州から 40 社の一次サプライヤー、全米からは 300 社のサプライヤーが関与している。2017 年には、さらに 6 億ドル規模の設備の近代化を行った。

同工場は 2 シフト体制で BMW X シリーズを製造しており、1 日の生産台数は 1,500 台以上である。うち 70% を鉄道でチャールストン港その他の南部の港に輸送し、125 か国に輸出している。

近代的なスパータンバーグ工場は、99%の溶接作業が自動化された車体工場、240基のロボットが車体を5回塗装する145,000m²の塗装工場、高度に自動化され、カスタム化にも柔軟に対応する組立工場、1台につき20,000個の部品を取り扱い、世界最大級の水素燃料電池駆動の資材輸送システムを持つロジスティックスセンター、2015年以来45,000基以上のハイブリッド車向けをはじめとする自動車用高圧バッテリーを製造しているバッテリー工場から構成される。

革新的な製造技術

スパータンバーグ工場では、BMW Groupの製造工程デジタル化、イノベーション戦略に沿った新製造技術の導入を進めている。以下はその例である。

Titan ロボット

車体工場では、2,000基以上のハイテク精密ロボットが利用されている。Titan ロボットは、1,000kgを取り扱う能力を持つドイツKuka社の6軸ロボットである。同ロボットの利用により、製造エリアのコンベアシステムの必要がなくなる。Titan ロボットは、アンダーボディー全体を持ち上げ、スタッド溶接台の上に搭載し、全スタッドが溶接されるまで、アンダーボディーをステーションからステーションに移動させる。Titanを利用した工程は迅速で柔軟性が高い。スパータンバーグ工場は、Titan ロボットを利用している数少ない自動車工場のひとつである。



Titan ロボット（出所：BMW）

スキヤナーグローブ

組立とロジスティックス部門では、数百人の作業員が作業の効率化と高速化のためにウェアラブル技術を利用している。ドイツのスタートアップ企業と共に、BMWは従来のガン型スキヤナーの代替となるスキヤナーグローブを開発した。このスマートグローブは、手の甲部分にバーコードスキヤナーが装着されている。作業員は両手を自由に使うことができるため、効率、品質、プロセス、快適性が向上する。



スキヤナーグローブ（出所：BMW）

外骨格型ベスト

BMW スパータンバーグ工場は、外骨格型ロボットを頭上作業に用いた世界初の自動車工場である。現行の外骨格型ロボットは、革新的なウェアラブルベストで、頭上作業を行う作業員のストレスと疲労を大幅に軽減する。各作業員の身体に合わせたこの特殊ベストは、腕への荷重を体幹に移動させ、負荷を均等に分散させることによりストレスを軽減する。また、作業員の腕の機能をサポートし、強化する。作業員はベスト着用中も身体を自由に動かすことができる。BMW は現在数種類の外骨格型ロボットの試験を行っており、この分野で業界をリードしている。



外骨格型ベスト（出所：BMW）

プラグロボット

車体が塗装工場内を移動する場合、りん酸塗装中の液体塗料を逃すために、アンダーボディーには数十か所の穴が開けられている。車体が組立工程に移動する前にプラグで穴をふさぐ作業の大部分は、ABB ロボットが行っている。

車体がセルに入ると、ロボットはプログラムされた塞ぐべき穴の画像を撮影する。ロボットは穴の丸みをチェックし、正しいプラグを選ぶ。プラグを差し込んだ後は、再び画像を撮影し、プラグが正確に装着されたことを確認する。同ロボットは、車体 1 台の 75 個の穴の 80~95% にプラグを装着する。



ABB プラグロボット（出所：BMW）

4.6 BAE Systems(イギリス)

企業概要

BAE Systems plc は、国防、セキュリティ、航空産業関連の事業を持つ英国の多国籍企業である。ロンドンとファーンバラ (Farnborough) に本社を置く同社は、欧州最大の軍事関連企業で、子会社の米国 BAE Systems Inc. を含め、世界でも最大手企業のひとつである。主な市場は、英国、サウジアラビア、オーストラリアである。

同社は、1999 年に General Electric Company plc (GEC) の子会社である国防電子機器メーカー及び艦艇造船所である英国 Marconi Electronic Systems (MES) と民間・軍事航空機製造企業 British Aerospace (BAe) の合併により誕生した、世界 40 か国に総従業員 85,800 人を持つ年間売上 184 億ポンド (2018 年) の企業である。

BAE Systems Military Air & Information (MAI、旧 Military Air Solutions (MAS)) は、2011 年に誕生した BAE Systems の軍用固定翼機設計、開発、製造部門で、度重なる企業合併により、English Electric Company、De Havilland、British Aircraft Corporation、Avro、Blackburn Aircraft、Hawker Siddeley、Bristol Aeroplane Company などの事業を受け継いでいる。主な顧客は、英國空軍、サウジ空軍、米国海軍、インド空軍である。

MAI は英國ランカシャー州ウォートン (Warton) を本拠とし、同州の 2 拠点で戦闘機 Eurofighter Typhoon、Hawk、Harrier、Panavia Tornado などの製造、試験、アップグレードを行っている。

ファクトリー・オブ・ザ・フューチャー

BAE Systems は、ランカシャー州ウォートンの戦闘機製造拠点を、付加製造、協力ロボット、拡張現実などの最新技術を駆使した先進的製造技術のショーケースである「ファクトリー・オブ・ザ・フューチャー」とする計画を進めている。

既に主力となる戦闘機 Typhoon の製造工程では、未来の製造工場への一歩として、作業のデジタルインストラクションなどの技術の導入を開始している。¹⁶



ロボットアームによる組立作業
(出所 : BAE Systems)

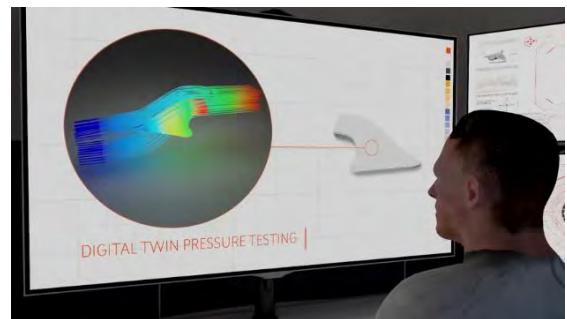


ロボットアームによる製造作業
(出所 : BAE Systems)

¹⁶ <https://www.baesystems.com/en/feature/factory-of-the-future>



ロボットによる部品搬送（出所：BAE Systems）



デジタルツイン（出所：BAE Systems）

協力ワークステーション

協力ワークステーション（collaborative workstation）は、この未来の工場の中心的な機能のひとつである。ワークステーションには、幅広いデジタル技術が搭載されており、エンジニアは高度な作業を効率的に進めることができ、製造工程の付加価値を高める。統合センサーが各作業員を認識し、ワイヤレス技術を通じて自動的に最適化された個人プロファイルをダウンロードし、各ユーザーの経験に応じて作業の合図と指導を与え、作業の安全な実行を支援する。

ワークステーションの組立支援機能は、光を利用したピックアップ（pick by light）技術により、製造工程でユーザーが正しい部品または消耗品をピックアップするように光線で指示を与える。また、センサー駆動の協力ロボット（コボット）アームが、最新戦闘機のハイテクシステムの製造を安全かつシームレスに行うことを支援する。

ワークステーションには、再構成可能な多機能技術、3D印刷技術、拡張現実、自動製造技術などが組み込まれる予定である。

この新デジタルファクトリー概念は、BAE Systems、英国シェフィールド大学先進製造技術研究センター及びSiemens の密接な協力の成果である。Siemens はクラウドベースのオープン IoT オペレーティングシステム「MindSphere」を提供している。BAE Systems は、これまで行ってきたロボット技術への投資に加え、最新技術の導入により、同社の将来的な戦闘機製造の生産性、品質、安全性を向上させることを目的としている。



デジタル画像による作業指示
(出所：BAE Systems)



光線による作業指示（出所：BAE Systems）

これに関連して、BAE Systems は、2017 年、英ランカシャー州サムルズベリー (Samlesbury) に開設した新製品プロセス開発センターにおいて、戦闘機の製造工程を加速し、コストを削減するために、3D 印刷技術と仮想現実 (VR) 技術の研究を行っている。また、同拠点に併設されたスキル&ナレッジアカデミーでは、キャリアトレーニングプログラムの一部としてロボット工学を取り入れている。¹⁷

3D 印刷技術

BAE Systems は、20 年以上前に付加製造技術の研究を開始し、現在では戦闘機 Typhoon の標準部品の製造に導入している。

また、将来的には Typhoon を代替する次世代戦闘機 Tempest の新技術概念のラピッドプロトタイピングにも利用している。

2019 年 8 月には、BAE Systems は、3D 印刷業界最大手の米国 Stratasys との関係強化にも合意している。BAE Systems は 2006 年以来 Stratasys の顧客で、同社の PolyJet 技術と FEM (熱溶解積層法) ベースの付加製造技術を導入している。この合意では、両社は開発中または開発計画中の新技術への相互アクセスを認めている。¹⁸

さらに、BAE Systems は、2020 年 1 月に英国の大手付加製造技術企業 Renishaw とのパートナーシップの強化に合意し、知識とアイデアの交換に関してさらにオープンな協力体制の構築を目指している。BAE Systems は、限られた予算内でイノベーションと技術開発を加速するためには、戦略的な共同技術開発が不可欠であると述べている。

IoT プラットフォーム

一方、米国 BAE Systems では、全社的な製造工程の自動化、標準化計画の一環として、2018 年、米国内の製造拠点に IoT プラットフォームを導入した。同プラットフォームは、米国 Boeing の子会社 Tapestry Solutions の ESI (enterprise sensor integration) ソフトウェアプラットフォームである。

このプラットフォームは、製造現場の人、プロセス、データ、サプライチェーン及び製造管理活動をコネクトする。技術非依存型 (technology agnostic) であるため、あらゆる数のセンサー、デバイス、「モノ」をプラグインすることができ、資産とワークフロープロセスを監視、制御する。これらは低出力広域 (LPWA) コネクティビティ技術によって接続される。

同プラットフォームは、RFID センサーとリーダー、複数の企業資産計画 (ERP) システム及び資産管理システムを統合する。

Boeing 社自身も、このプラットフォームを 50 か所以上の製造拠点に導入し、組み立て時間の短縮、資産のレシートと支払いの自動化、在庫管理の改良、全体的な安全性と品質の向上を行っている。Tapestry Solutions は、プラットフォーム導入後 1 年間で、Boeing は 1 億ドルのコスト削減を実現したと述べている。

¹⁷ <https://www.aero-mag.com/cobots-set-aid-bae-systems-factory-future/>

¹⁸ <https://www.aero-mag.com/bae-systems-and-stratasys-increase-collaboration/>

この報告書はボートレースの交付金による日本財団の助成金を受けて作成しました。

欧州における生産・製造新技術に関する調査

(2019年度 特別調査)

2020年(令和2年)3月発行

発行 日本船舶輸出組合

〒105-0001 東京都港区虎ノ門1-15-12

日本ガス協会ビル3階

TEL 03-6206-1663 FAX 03-3597-7800

JAPAN SHIP CENTRE (JETRO London)

MidCity Place, 71 High Holborn,

London WC1V 6AL, United Kingdom

一般財団法人 日本船舶技術研究協会

〒107-0052 東京都港区赤坂2-10-9 ラウンドクロス赤坂

TEL 03-5575-6426 FAX 03-5114-8941

本書の無断転載、複写、複製を禁じます。