



製造業の未来

新たなワークフロー、役割、スキルで実現する
インダストリー 4.0 におけるビジネス成果とは

調査レポート



目次

02	概要	32	業界への導入ガイドライン
08	はじめに	34	教育機関への導入ガイドライン
11	調査プロセスについて	36	産学官のコラボレーション
15	業界トレンドが変化を促す	41	まとめ
16	ビジネスにおける課題	43	謝辞
17	業界システム レベルのソリューション アプローチ	45	付録
19	これからのワークフロー、役割、スキル		

製造業の未来

製造業は現在、変化の連続に直面しています。機械エンジニア、製造エンジニア、機械オペレーターの役割やスキル、ワークフローが、今後10年間で大きく変わっていきます。これらの変化は、生産性、生産量、収益性/コスト、競争力の向上、サステナビリティと循環型設計という成果を達成しなければならないという、企業に対する圧力によってもたらされています。機械エンジニアリングと製造エンジニアリングの役割の融合が進み、CNC（コンピュータ数値制御）機械オペレーターの役割も大きく変化していきます。



概要

製造業は岐路に立たされています。一方はインダストリー 4.0 テクノロジーのうねりへとつながり、製造業の発展、ビジネス成果の向上、将来の競争力回復のための世代を超えたデジタルトランスフォーメーションの実現が可能となります。もう一方では、インダストリー 3.0 以前の技術に囲まれて、変化する市場ニーズに合わせてビジネスを自動化、拡張、最適化する能力を制限された、狭い範囲の従来どおりの道です。

企業が決断を下す際にも、世界中の垂直市場や競争の激化やコストの上昇、市場投入までの時間短縮など、業界の課題は山積しています。そのうえ、市場ではより複雑でカスタマイズされたエレクトロニクスベースの製品が求められる中、企業はグローバルな競争に勝つために、よりスマートで無駄のない、サステナブルな製造方法を取り入れなければならないという状況です。

業界、市場、ビジネスのすべての指標はインダストリー 4.0 への方向性を示しています。これは、望ましいビジネス成果を達成し、急速に変化する業界に対応して進化できる組織を作るための最も現実的な選択肢になります。この変化は、ビジネスプロセス、製造ワークフロー、技術ポートフォリオを変革し、接続可能な、柔軟で応答性の高い製造業を実現する戦略的な機会を提供していきます。



新たなテクノロジーとして：

- 製造容易性設計 (DfM)
- オペレーション テクノロジー (OT) インフラ
- ジェネレーティブ デザインなどの AI/ML 駆動型テクノロジー
- 統合 CAD/CAM (コンピュータ支援設計製造) などのクラウドベースのソフトウェア プラットフォーム
- プロジェクト ライフサイクル管理 (PLM)
- 製造実行システム (MES)
- ビジネス インテリジェンス (BI) ソリューション
- データの一元管理によるコラボレーションとデータ解析

システムレベルのアプローチを取ることで、企業は、ビジネスの目標と成果を達成するために必要な、接続可能な、協調的で継続的な製造ワークフローと、労働力を実現する高度な製造戦略や技術導入計画を策定できるようになります (次のページのインダストリー 4.0 トランスフォーメーション インフォグラフィックを参照してください)。

新しいワークフローに対応した仕事を適切に遂行するために、機械エンジニア、製造エンジニア、CNC 機械オペレーターには、新しい DfM とデジタル スキルが求められます。製造業教育プログラムでは、新卒者のスキルと業界の人材要件に大きな隔りがある現状を踏まえて、需要の高い業界の概念、スキル、適性を教える新しい高度な製造カリキュラムを作成するための対策を講じる必要があります。成功のためには、インダストリー 4.0 に必要な技術やスキルを効果的にトレーニングするための新しい製造業教育の手法を確立する必要があります。これらの新しいスキルのカテゴリーには以下のものがあります。

- 技術/ハード スキル (AI/ML、プログラミング、データ解析、ビジュアライゼーション)
- ソフト スキル (コラボレーション、コミュニケーション、問題解決)
- 分野横断的なスキル (システム エンジニアリング、オートメーション、サステナビリティ、サプライ チェーン管理、PLM、統合 CAD/CAM)

ASME とオートデスクは、高度な製造業のための業界および教育機関向けガイダンスを提供するため、2021 年 8 月から 2022 年 5 月にかけて、今後 10 年間に機械エンジニアリング、製造エンジニアリング、CNC 機械オペレーターの役割に必要な将来のワークフローとスキルを特定するための調査を行いました。(11 ページの調査プロセスを参照)

それぞれの役割は独自の方法で進化しますが、必要とされる新しいスキルは、3 つのポジションすべてに適用される共通のスキル (ハード スキルとソフト スキルの両方) と、分野横断的なスキルの意識的な組み合わせであることがこの調査で示されています。

トランスフォーメーションで 高まるビジネス成果

現在

分散型
独立
サイロ化

- ▽ 機械エンジニア
- ▽ 製造エンジニア
- ▽ CNC 機械オペレーター
- ▽ 生産

インダストリー 3.0

従来の CAD/レガシー CAM
タスク固有のロボットおよびアプリケーション固有の自動化、さまざまなデータ アプリケーション
サイロ化されたワークフローとチーム

デジタル トランスフォーメーション

単一プラットフォームでデータを収集管理
チームを接続してデータにアクセス/データを交換
クラウド アプリケーションの融合

ワークフロー トランスフォーメーション

ワークフローの再設計
役割と責任の再定義、スキルアップ
クラウド ソリューションを活用した分野横断的なコラボレーション

ビジネス トランスフォーメーション

AI/ML、GD、AM、コボティクスなどの新しいテクノロジーの活用
プロセスの自動化と最適化のためのデータの可視化と解析
既存のサイロの除去

未来

統合型
クラウドベース
協力関係



インダストリー 4.0

クラウドとデータ プラットフォームの融合 (統合 CAD/CAM など)
AI/ML アプリケーション、ジェネレーティブ デザイン、データ解析、AM、コボティクス
生産環境の統合 - 分散システム間の調整
ワークフローの接続と分野横断的なコラボレーション



業界のアンケートによると、一般的なハードスキルには、ジェネレーティブデザインなどのAI/MLテクノロジーに対する適性の向上が含まれ、コストやパフォーマンスなどの基準で設計を最適化するのに役立つといます。回答者324名(14ページ参照)によると、機械エンジニアは製品開発の向上のために(56%)、製造エンジニアは製造プロセスの高度化と最適化のために(61%)、CNC機械オペレーターは生産の運用と管理のために(56%)、AI/MLの知識を深める必要があるとのこと。製造のための設計のスキルと知識を組織全体で共有することで、これらの職務が一丸となって製造の最適な手法の向上に貢献できます。実際、回答者全体の90%が、DfMのより深い知識を教えることが、教育機関が将来の製造業の人材を育成する最も効果的な方法だと認めています。調査に参加したエンジニアの大多数は、機械エンジニア(84%)、製造エンジニア(88%)ともに、5~10年の間にDfMスキルを高める必要があると考えています。

モデリング、シミュレーション、データ解析などのデジタルスキルは、企業がよりデータ駆動型になり、自動化が進むにつれて、多くの職務で重要になると考えられます。



すべての職務に共通して必要なソフトスキルには、クリエイティブな問題解決、コミュニケーション、コラボレーションが含まれます。調査対象の業界エンジニアの60%近くが、3つの職務がより緊密に連携すると予想しています。コラボレーションが進むと、新しいワークフローへの融合が起こり、より良いコミュニケーションとグループでの問題解決が求められるでしょう。クラウドを活用することによって、地理的な障壁を取り払い、新しい方法でチームを連携させることで、3つの職務がより効率的にコラボレーションできるようになります。





機械エンジニアは、製造性を考慮した設計で無駄を省き、よりスマートで、よりサステナブルで、より優れた製品の開発において重要な役割を果たすことになります。その結果生じる技術革新により、将来の製品改良に役立つデータのフィードバックループを備えたインテリジェントな製品設計に基づく新しいビジネスモデルが生まれ出されます。機械エンジニアリングに求められるスキルは、従来の範囲にとどまらず、電子制御設計や製品ライフサイクルを延長するためのモジュール設計のスキルも含まれるようになります。

より複雑な製品を適切に設計するために、機械エンジニアには、高度な積層造形技術、さまざまなCAD、CAM、CAE（コンピュータ支援エンジニアリング）、PCB（プリント基板）ソフトウェア機能などのハードスキルがますます必要とされます。222名のエンジニアの調査結果では、CAD/CAM（67%）、PLMソフトウェア（73%）、積層造形設計（71%）で仕事が増加すると予測されています。さらに、102名の研究者が、ジェネレーティブデザイン（80%）とプログラミング技術（75%）にますます重点を置くようになると考えられています。



製造エンジニアは、高度な製造技術とプロセスの改善と導入のための戦略的取り組みをリードしていきます。AI/MLなどの技術を適用して自動化の成果を上げ、生産ラインのプログラミング、分散した生産拠点の管理、リアルタイムの生産監視システムの導入など、スマートな製造方法の導入を決定します。市場投入までの時間を短縮すると同時に、コスト、無駄、不良を削減するための製造システムを設計し、導入する必要があります。この役割では、人の労働力と、ロボティクス、積層造形、デジタルツインを含む生産機械全体で、生産データ分析とビジュアライゼーションにより効率化の機会を見つけ、適切なリソースの活用を図ることが求められます。



CNC 機械オペレーターは、インダストリー 4.0 テクノロジーによってその役割が大幅に強化され、3つのポジションの中で最も大きく前進することになります。業務範囲は拡大し、ロボット（人間の制御なしに作業を行う自律型マシン）やコボット（人間と協調して作業を行う人工知能型ロボット）の管理やプログラミング、リアルタイムの生産量解析、現場での検査、品質保証（QA）や品質管理（QC）にも携わることになるでしょう。機械オペレーターは、製造、5軸工作機械、積層造形、ハイブリッド製造（積層造形と切削加工の併用）において、AI/MLで新しいスキルを身に付ける必要があります。また、エンジニアリングチームとの連携や、設計などの上流工程への関与も増え、CAD/CAMソフトウェアの知識も一層必要とされるでしょう。専門家（n = 51）は、今後の5～10年間に必要とされるCNC機械オペレーターのハードスキルは、CAMソフトウェア（86%）とCADソフトウェア（82%）であると回答しています。



分野横断的なスキルも、機械エンジニア、製造エンジニア、機械オペレーターのコラボレーションの拡大に伴い、不可欠なものとなります。今後5～10年の間に、エンジニアの間でシステムエンジニアリングのスキルの必要性が高まることが予想され、自動化の導入とサステナビリティの目標追求が理念となっていきます。

製造業における3つの重要な役割において、共通かつ分野横断的なスキルが浸透することで、ワークフローの共有、データの一元管理、チームの役割に応じたデータ提携など、製品目標やビジネス目標に向けてコラボレーションを支援するソフトウェアプラットフォームの重要性がより一層高まります。

この移行はすでに始まっていて、今後の一段の加速に備えるために、製造業教育は、職場の急速な変化に対応できるよう、早急に精査し、改革を行う必要があります。人材育成の段階的な変更では十分とは言えません。教育機関においては産業界とさらに連携協力し、分野横断的な知識と技術を教え、発展させるための新しい教育方法を開発する必要があります。インダストリー4.0のスキルを、新たな教育の基準として学び始める必要があります。エンジニアや機械オペレーターのジェネレーティブデザイン、AI/ML、CAD/CAMスキルを高めることが重視されていることから、学位プログラムの代替的手段または補完的手段として、これらのスキルの認定や資格の導入は広く受け入れられています。アンケート回答者の84%が、産学共同でより多くの認定プログラムを開発することは非常に効果的であると回答しています。

業界が、インターンシップ、共同事業プログラム、認定資格、最適な手法を提供することで、製造業教育に大きく貢献することができます。しかし、世界規模のビジネス圧力が製造業をインダストリー4.0へと否応なく駆り立てる反面、新しい教育手法は一夜にしてできるものではないため、教育機関は業界の傾向に沿った対応を今すぐ取る必要があります。

コスト削減、サプライチェーンの混乱、生産性、サステナビリティといった主要なビジネス要因に後押しされ、このようなテクノロジー、ワークフロー、オペレーションの変化は、最適な結果を得るために新たなスキルを持った人材を求めます。教育機関から産業界までのエンドツーエンドの抜本的な改革がなければ、技術格差を拡大させるリスクがあります。インダストリー4.0への移行を成功させるという課題において、業界の慣行とトレーニングプログラムの両方の変革が求められています。変革には時間がかかりますが、無駄にしている時間はありません。本稿では、機械エンジニア、製造エンジニア、CNC機械オペレーターの役割とワークフローにおける今後の大きな変化について述べ、適切な手順を踏めば可能であることが理解でき、より良い結果にたどり着くための戦略を提案します。

「学位の必要性を感じます。学位は基礎だと考えています。マイクロクレデンシャルは非常に重要です。新しい知識、スマート製造、製造方法、人工知能、機械学習の観点から非常に重要であり、これからの新しい学位となります」

Raju Dandu 博士

カンザス州立大学サリナ校教授

Bulk Solids Innovation Center センター長

はじめに

グローバル経済の下で、製造業は競争力、コスト、市場投入期間の面で大きなプレッシャーを受けています。これに対応するために企業は、生産性、収益性、効率性の向上に取り組む必要があります。このようなシフトにより、製造業は完全にデジタル化されたプロセスへと移行しています。サプライチェーンのリスクや循環型製品のライフサイクルの実現には、物理的な生産に先立つ計画やプロセスのモデリングを改善する必要があります。

しかし、現在の設計と製造のワークフローは、分断され、直列的で、サイロ化されているため、手戻りなどの非効率性があり、生産量の増加、品質の向上、無駄の削減が制限されているのが現状です。このようなプロセスは、未だインダストリー 2.0/インダストリー 3.0 の数十年前のテクノロジーやリソースに基づいています。これからのインダストリー 4.0 テクノロジーは、設計や製造に利用できるリソースをアップグレードしていきます。

未来の仕事を進めるには、従来の仕事のやり方を見直す必要があります。一元化されたデータの収集、分析、共有のためのシステムレベルの変革、製造ワークフローと職務機能の再設計、AI/ML を活用したジェネレーティブ デザインやその他の CAD/CAM ソリューション、プログラマブル プロセス（積層造形、切削加工、OT など）の自動化、生産とサプライチェーン業務をリアルタイムで操作するための相互運用性データといったテクノロジーの導入が必要となります。

「お客様の要求は、より早く、より安く、より少ない手戻りで、より精度の高い製品を手に入れることです」

Jeffrey Red 氏

Northrop Perman Corporation 社
エンジニアリング ディレクター

「すべてのデータはクラウド上にあり、エンジニアは同じ貴重なデータを利用して世界中のチームと仕事をするようになります」

Vukica Javanovic 博士

オールド ドミニオン大学
機械工学
教授、臨時学科長

しかし、システム全体の製造の成果を向上させるには、設備エンジニア、製造エンジニア、CNC機械オペレーターが果たす従来の役割を変える必要があります。2020年の世界経済フォーラム（WEF）では、製造業の全従業員の50%が再教育の必要があると試算されました。¹残念ながら、将来の労働力を十分に確保するために、教育制度は製造現場の変化のペースに遅れをとり続けています。今日の米国の工学教育カリキュラムの多くは、1955年のGrinter Report以来変わっておらず、プロジェクトベースの学習や実地での応用よりも数学や物理に重点が置かれています。そのため、現在のカリキュラムの多くは、デジタル化に関する最新の動向を欠いています。工学系のプログラムでは、30年以上前のソフトウェアパッケージを使い、80年近く前の教育を行うところもあります。その結果、製造業に新規就労する人々の間で技術格差が広がっています。²

製造およびエンジニアリング教育では、製造業界で必要なワークフローの変更を開発して最適化するために、システムレベルの再設計の視点が重要です。教育の再設計の主な目的の1つは、「才能を発揮するまでの時間を短縮する」ことです。上級学位の必要性は依然としてありますが、インダストリー 4.0における製造業のキャリアに必要なスキルを短期間で習得できる、より迅速な代替手段を普及させる必要があります。

¹ WEF, 「The Future of Jobs Report 2020」 <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2020/in-full/infographics-e4e69e4de7>.

² Sorby, S., Fortenberry, N., Bertoline, G. 著、2021年 「Stuck in 1955, Engineering Education Needs a Revolution」 Issues Sci. Technol., <https://issues.org/engineering-education-change-sorby-fortenberry-bertoline/>

「工学部の教授を育てるためにカリキュラムを設計する、というような固いこだわりは捨てなければなりません。業界で活躍する質の高いエンジニアを育てるためのカリキュラムが必要なのです。米国の工学教育の基本は50年代半ばに定められ、カリキュラムの基礎となるパラダイムは50年以上変わっていません」

Pierre Larochelle 博士

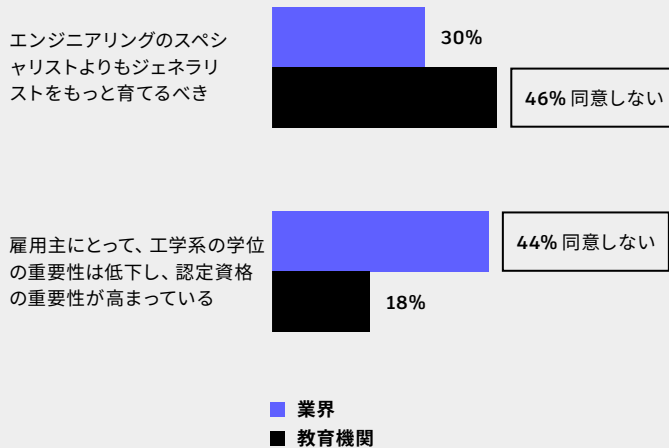
サウスダコタ鉱山技術学校
部門長兼教授



図 1:
教育と製造の未来についての意識（教育機関と業界の意見の相違）

教育機関では、エンジニアリングのジェネラリストを育てるか、スペシャリストを育てるかで意見が大きく分かれています。同様に、業界でも、工学系の学位と認定資格の価値について意見が二分されています。

回答者：業界 222 名、教育機関 102 名のプロフェッショナル



ASME は、現在の製造トレーニングではインダストリー 4.0 の人材要件を満たせていないことを認識し、オートデスクと共同で、今後 5 ～ 10 年間における機械エンジニア、製造エンジニア、CNC 機械オペレーターの将来の仕事内容、典型的なワークフロー、期待される職務/スキルを定義する、多段階の調査プロジェクトを実施しました。これらの職種 of 従来のワークフローを分解し、システム全体で設計と製造の成果を向上させる方法を検討しました。

より良いビジネス成果を達成するために設計された、接続型、協調型、循環型/連続型のワークフロー、テクノロジー、プロセスで製造業を前進させるために、いかに制約を打破し、利用可能なあらゆるイノベーションを取り入れることができるかを追求しました。

この調査では、今後 5 ～ 10 年の間にインダストリー 4.0 の導入が進むことを考慮し、次のような問いに答えることを目指しました。

- 機械エンジニア、製造エンジニア、機械オペレーターのワークフローはどのように進化していくのでしょうか？
- これらの役割で成功するためには、どのようなスキルセットとマインドセットが必要なのでしょうか？
- これらの役割はどのように変化していくのでしょうか？
- これらの役割の変化は、トレーニングや雇用にどのような影響を与えるのでしょうか？
- あらゆる経歴の学生や専門家がこれらの役割で成功するために必要なスキルとマインドセットを身に付けるには、産学官で何をすれば良いのでしょうか？
- 必要なカリキュラムの開発に向けた教育手法の改善のために、教育機関は何をすれば良いのでしょうか？

調査プロセス



第1段階

文献のレビュー

77 の既存資料のレビュー

米国と英国のプログラムにおける既存のカリキュラムのレビュー



第2段階

インタビュー

30 の個別インタビュー

10 の教育機関

20 の業界：米国と英国



第3段階

調査

324 名の回答者

教育機関と業界：
米国、カナダ、英国

第1段階： 文献のレビュー

上記の問いに答えるため、プロジェクトの第1段階では、教育機関、政府機関、業界の関連する既存文献を幅広く分析しました。文献検索の指針となる机上調査要綱を作成し、2018年から2021年の学術文献と灰色文献を対象としました。³ここでは、米国、英国、EUの戦略文書や主要産業レポートから、将来の仕事の役割に影響を与える外部性と新技術を明らかにしました。その結果得られた考察を、他の学術文献や灰色文献で補足しました。このテーマには急速に発展する性質があるため、私たちの主張の論拠をさらに強固なものにする目的で、非学術的な論文も参照しました” - この文章が言いたいのは、「このテーマはすぐに進化してしまうため、学術的な論文だけではなく、それ以外の新しい資料も参照する必要があります」ということだと思います。

³ 学術的な背景以外で作成された文献や研究、産業レポート、政府文書、ワーキングペーパーなど



米国に特化した職業関連情報の無料オンラインデータベースである O*Net (Occupational Information Network) と、求人情報分析プラットフォームである Burning Glass の情報をもとに、各職種のタスクや作業活動の現状を反映した典型的なワークフローを作成しました。また、上記のすべてのソースと解釈に基づいて、ワークフローの各段階で必要なスキルと関連するテクノロジーをマッピングしました。特定されたタスク、スキル、関連するテクノロジーは代表的なものであり、すべてを網羅するものではありません。

現在のトップスキルは、O*Net と Burning Glass から、過去1年間に最も要求が多かったものを選んでいきます。Burning Glass が今後2年間に最も速く成長すると予測したスキル、および最近の文献で確認されたスキルを上位成長スキルとして選択しました。今回のレビューでは、製品を設計する機械エンジニアに焦点を当てたため、配管や空調システムなどの技術的なスキルは除きました。同様に、「身体能力」などのソフトスキルは、機械/製造エンジニアにおいては対象外としてあります。しかし、機械オペレーターについては、仕事が今後どのように変化していくかに関連していくため、身体能力を役割に含めることにしました。

最終的に、これらの職種の変化を促す外部性と、製品の設計や製造に影響を与える新しいテクノロジーに関する文献から得られた考察を統合し、将来のワークフローを作成しました。そして、将来のワークフローを現在のワークフローにマッピングしました。これらのマップは、新しいテクノロジーが支援、変換、または代替する現在のタスク、およびテクノロジーと非テクノロジーの外部性の傾向によって必要とされるより高いレベルのシフトを明らかにします。

第2、第3段階では、第1段階の調査結果を発展させ、3つの役割のワークフローと仕事内容が10年後にどうなっているかを中心に、30件のインタビューと324件のオンライン調査を実施しました。第1段階の結果は、第2段階と第3段階の調査およびインタビューの質問に反映されました。

第2段階：インタビュー

ASME と Beacon Technology Partners LLC を通じて、業界から 20 名、学界から 10 名の計 30 名のソートリーダーを選び、電話による詳細なインタビューを行いました。⁴ インタビューのテーマは次のとおりです。

- ・ 今後 10 年間に機械エンジニア、製造エンジニア、CNC 機械オペレーターに期待されるワークフローとスキルセットの変化
- ・ CAD/CAM ソフトウェア、ジェネレーティブ デザイン、3D 製造、デジタル ツイン、分野横断的な知識とコラボレーション、データ解析とプログラミング、その他のトピックが与える影響
- ・ 業界、政府機関、教育機関が求める、必要な知識とスキルを習得するための道筋
- ・ プロジェクト ベースのカリキュラムによる「生涯学習」の促進、製造業のイメージアップ、コミュニティ カレッジとの連携、実習とインターンシップの比較、中小製造業がトレーニングを提供する方法、その他の問題点

⁴「業界」とは、エンジニアリング関連の製品またはリソースの作成または生産を目的とする営利団体と定義し、「教育機関」とは、教育/研究を専門とし、学位を授与する学術/教育機関で主に従事する人と定義します。

第3段階：調査

2022年2月1日から3月4日にかけて配布されたオンライン調査では、324の有効な回答が得られました（集計の信頼区間は±3.1%）。

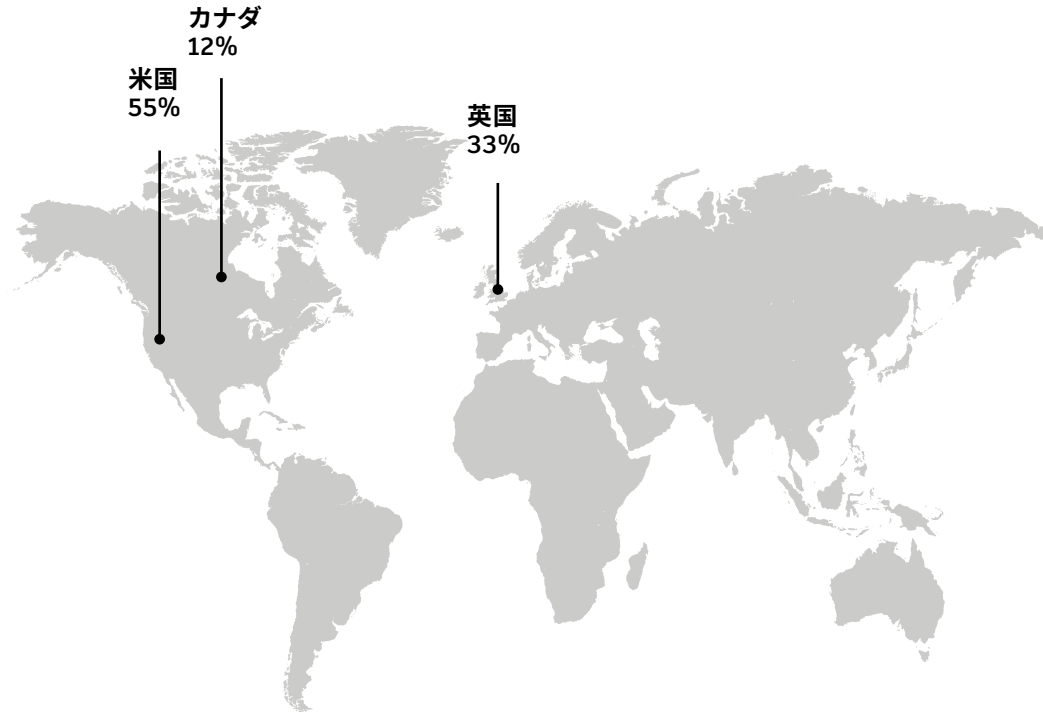


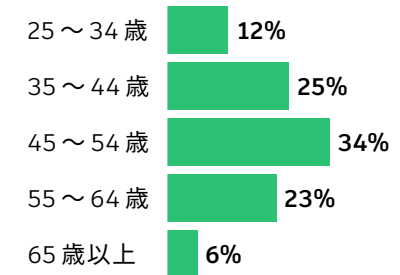
図2:
第3段階のアンケート回答者の地理的データ

北米
67%

英国
33%

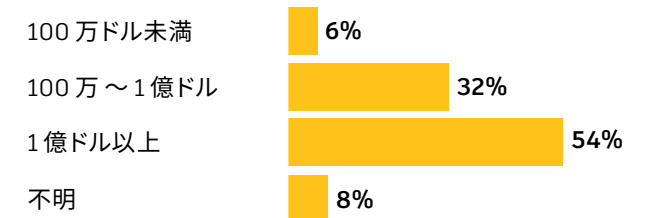
324
の回答

年齢



平均年齢：47.8歳

組織規模（売上高別）



平均年間収益 = 7,250万ドル

ステータス



業界トレンドが変化を促す

加速する業界の変化に伴い、製造業を取り巻く環境は厳しいものとなっています。今回の調査結果では、業界やデジタルトランスフォーメーションの推進要因として、「生産性の向上」「利益の拡大」「製品（開発）ライフサイクルの短縮」が明確に示されています（図3参照）。

製造業は、生産の自動化と合理化を継続的に取り組み、生産の増加と品質の向上を図っています。しかし、生産現場や協力会社は世界中に点在し、機械やシステム技術も異なるため、生産ラインの最適化にはさらなる困難が伴います。

一方では、環境への影響を減らすためのサステナビリティ対策を講じる企業が増えるにつれて、既存の製造プロセスやシステムにさらなる要件が求められることとなります。このようなビジネスと業界の要求により、企業はこれらの中核的なビジネス課題に対する解決策を見出す必要に迫られています。

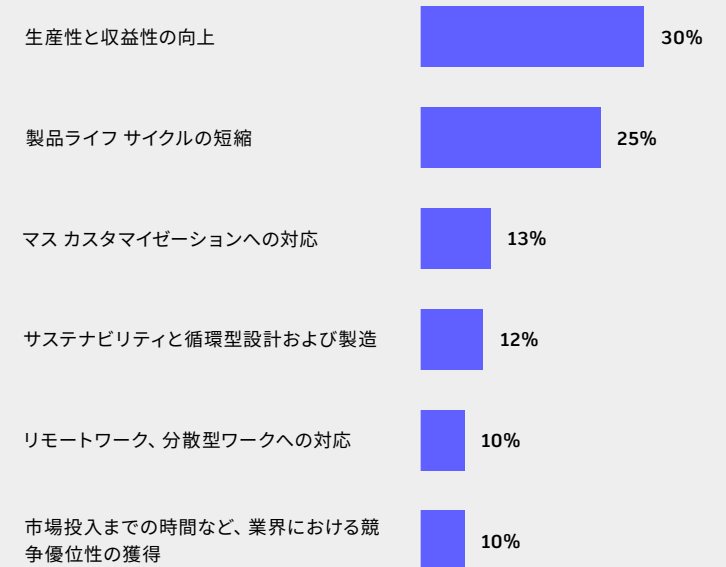
その答えを多くの企業はテクノロジーに求めています。インダストリー 4.0 テクノロジーは企業がデジタルトランスフォーメーションによってビジネスを発展させる機会を提供します。AI/MLベースのテクノロジー、ソフトウェアプラットフォーム、ロボティクス、IoT（モノのインターネット）、クラウド データ ストレージなどが相乗的に作用し、新しい計装機能とプログラミング機能を備えた強力なデジタル インフラを形成します。これにより、製造チームはコラボレーションや連携の方法を見直すことができます。このテクノロジー シフトによって、競争は激化するため、企業は生き残るための経営戦略を考えていく必要があります。

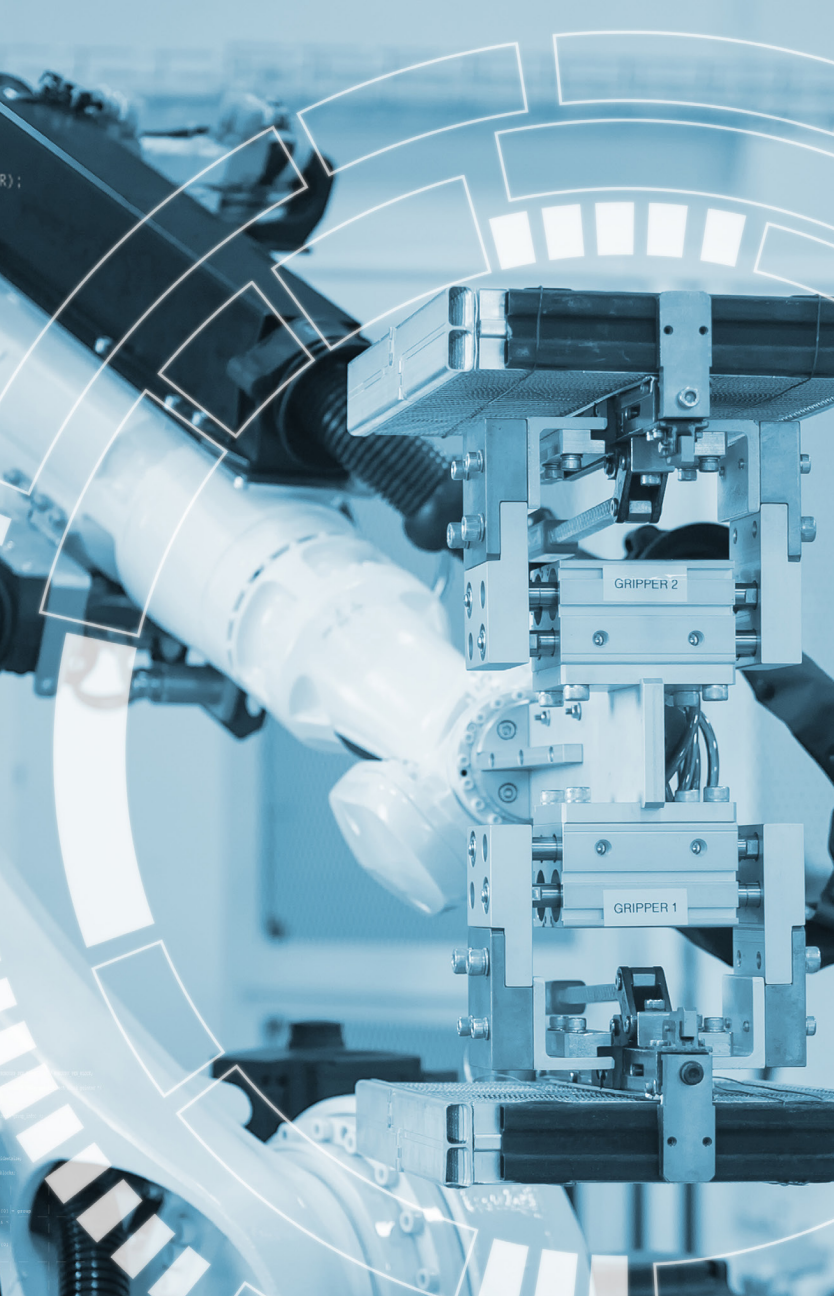
企業は、生産高と収益を向上させ、競争力を維持するために、テクノロジー インフラ、オペレーション、労働力、スキルを適応させ、進化させる必要性を認識しています。では、どのように実現することができるのでしょうか？

図 3:
変化を促す業界/デジタルトランスフォーメーショントレンド

生産性、収益性、製品（開発）サイクルの短縮化により、カスタマイズ性が高く、サステナブルな設計へのさらなる要求が業界に突きつけられています。

回答者：171名の機械エンジニアと製造エンジニア





ビジネス上の課題

生産性、収益性、市場投入までの時間を大幅に改善するには、企業がビジネスを変革し、新しいプロセス、ワークフロー、テクノロジー、およびスキルセットを導入し、製造結果を継続的に向上させる必要があります。

調査では、一般的な機械/製造エンジニアや機械オペレーターが現在持っているスキルや技術と、今後2年間、そして今後5～10年間に必要となるスキルや技術の間に明確な違いがあることが分かりました。

現在のビジネスプロセス、ワークフロー、スキルは、製造を本質的に制限するインダストリー 2.0 または 3.0 の手法とテクノロジーに基づいています。そのため企業は、ワークフローの分断、システムの不連続性、情報とシステムのサイロ化により、オペレーション全体を段階的に改善することが事実上不可能な状況にあります。しかし、コスト削減、生産性向上、サステナビリティの推進というビジネス上の動機から、製造業はインダストリー 4.0 テクノロジーや接続可能で協調的なワークフローへと、加速度的に移行しています。そのため、製造における3つの重要な役割において、従来どおりのビジネスを継続しても、必要なビジネス成果は得られないでしょう。

製造ソリューションスタックにおけるワークフロー、アプリケーション、デジタルおよび運用インフラ、データ管理を再構築するデジタルトランスフォーメーションと、それを設計・実行するための新しいスキルトレーニングを実施することで、初めて企業は大きなビジネス成果を達成することができます。これらの革新的なステップによりビジネスの発展に必要な製造効率、コスト削減、および差別化を実現することができます。

業界システム レベルの ソリューション アプローチ

インダストリー 4.0 テクノロジーを活用するためには、企業はシステムレベルの製造運用モデルを検証し、どのテクノロジーを統合し、どのように適用するかを決定して、製造プロセスを前進させる新しいワークフローを構築する必要があります。新しいテクノロジーの出現によって、仕事を再設計し、合理化する機会が生まれます。これらのテクノロジーがワークフローの中で従業員の役割にどのような影響を与えるかを理解することで、デジタルトランスフォーメーションを通じて従業員をサポートするための適切な教育やスキル トレーニングを開発することができます。

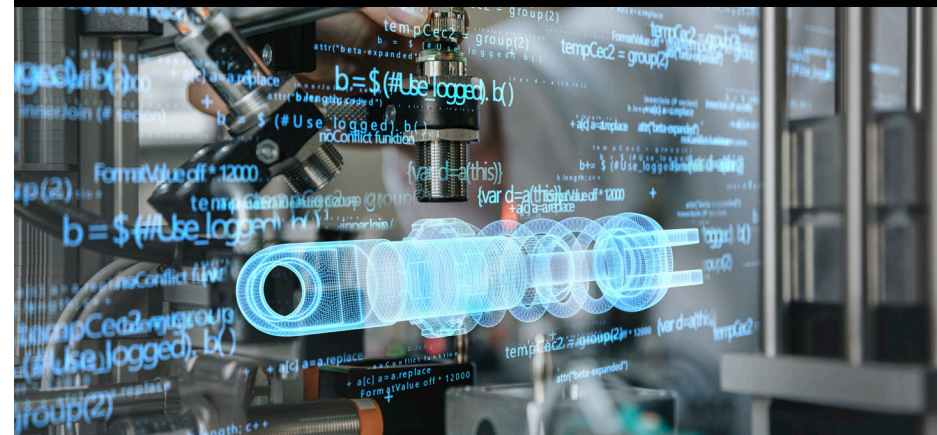
このセクションでは、ボトムアップアプローチにより、インダストリー 4.0 のデジタル化の中で、各テクノロジー ソリューション レイヤーがどのように新しいワークフローとビジネス プロセスの改善をサポートし、実現するかを検証します。これにより、必要な新しいスキルとそのトレーニング方法を特定することができます。

データはオペレーションに反映されます。製品設計モデル、製造コスト、生産スケジュール、CNC マシンプログラムなどは、すべて貴重なデータを形成しています。必要なときに必要な情報を入手することができれば、より効率的なワークフローの決定が可能になり、製造プロセスの各ステップを導き、情報を提供できるようになります。データの作成、共有、使用を行うチームのメンバーは、一元管理されたデータストアに保管されたデータの、管理と分析を行うスキルが必要になります。

「異なる分野を横断して仕事をするためには、対人関係のスキルが重要だと思います。製造業で働いたことのある人なら誰でも知っていることですが、機械オペレーターの性格とエンジニアの性格はまったく違うことがあります。機械加工現場で起きていることを、他の分野に効果的に伝えることができるかどうか重要です」

Timothy Robertson 氏

Institute for Advanced Learning and Research
ATDM テクニカルプログラム マネージャー



チーム、システム、アプリケーションをネットワークでつなぐためにためのインフラは不可欠です。デジタル/運用インフラは、製造システムや運用状況を総合的に把握し、パフォーマンスやアウトプットを管理できます。運用システム ダッシュボードは、設計、エンジニアリング、製造エンジニアリング、生産に至るまで、エンドツーエンドのシステム運用をシームレスに管理し、運用するための可視化と分析を提供します。自動化する場合には、データ解析とビジュアライゼーションテクノロジーを活用して、システムのスケジュールと実行方法を決定し、より効率的で拡張性を高める必要があります。

アプリケーションやソフトウェアプラットフォームは、ツールの統合、ワークフローの接続、コラボレーションの促進に役立ちます。たとえば、統合されたCAD/CAM/CAE/PCBソフトウェアプラットフォームは例えば、統合されたCAD/CAM/CAE/PCBソフトウェアプラットフォームは、設計からエンジニアリング、製造の各工程を統合し、作業効率を向上させます。従来はスタンドアロンのデスクトップツールで実行され、さまざまなファイル形式を使用されていた、個別の作業タスクの連続処理を簡素化、および合理化します。現在では、クラウドベースのソフトウェアプラットフォームを使って、バーチャルチームが協力して必要なタスクをより効率的に実行できるようになりました。

ワークフローは、関係性の構築や、タスクを完了するためにチームがどのように協力するかを定義します。統合CAD/CAMの例と同様に、エンジニアリングワークフローを再設計することで、ジェネレーティブデザインのような新しいAI/MLテクノロジーの機能を活用できます。機械エンジニアの場合、ジェネレーティブデザインによって、コスト、重量、耐久性などの特定の設計パラメータを最適化するための製品設計オプションの作成方法が完全に変わります。設計パラメータの選択は、サプライチェーンの有効性と生産ラインの積層造形能力に基づいてインテリジェントに決定することができ、これらはすべてシステム全体で取得した一元化されたデータによって実現されます。

ビジネスプロセスを新たに設計することで、ビジネス成果が向上します。たとえば、柔軟で迅速、かつ継続的な新しいアジャイル型のプロジェクト管理手法は、短期間での試作開発を可能にし、よりモジュール化された製品の設計と製造が可能になります。これらの新しいプロセスは、生産性を高め、コストを削減し、市場投入までの時間を短縮することができます。

業界関係者は、競争力を維持し、継続的なビジネス価値を生み出すには、ワークフローを見直し、コラボレーションの質を高める必要があると業界関係者は認識しています。また、他のソリューションと容易に統合できるプロセスを構築し、アイデアから最終製品まで非常にシームレスな連携を可能にする柔軟性も必要です。

このようなコラボレーションと接続された仕事環境では、すべての役割において、ハードスキルと同様に新しいソフトスキルが重要になります。製造業の分野やチームを超えてより効果的に働くためには、共感力、コミュニケーション力、対立解決力、問題解決力、チーム構築力が不可欠になります。このようなソフトスキルは、組織全体で新しい接続された協調的なワークフローを推進し、サポートするためにも必要です。これからの時代はコラボレーションが重要であるため、エンジニアはコミュニケーション能力とチームワークを向上させ、単独のコンポーネントに取り組むことから、チーム、システム、分野横断的なプロジェクトへと考え方を進化させるために、ソフトスキルの継続的な開発が必要になります。

これからのワークフロー、役割、スキル

業界の声を聞くと、求められる仕事のスキルと採用する人材のスキルに大きな隔りがあることが明らかとなっています。製造業がインダストリー 4.0 へのデジタル トランスフォーメーションを加速させれば、技術格差はますます広がるでしょう。雇用主がより高度なコンピューティングとデータ解析のスキルを求めるのは、中核となる製造作業者が新しい旋盤作業のために CNC マシンをプログラムしたり、製造エンジニアが生産ラインを自動化して合理化をおこなったりしたり、機械エンジニアがジェネレーティブ デザインなどのテクノロジーを使ってコスト面で設計を最適化したりできるようにするためです。新しい製造業の人材を育成するために、教育者は、一方では直接的な実践的スキルの開発、他方では製造のための設計 (DfM) と運用研究教育とのバランスをとる必要があります、教育機関を卒業した人材がより効率的な製造ワークフローとプロセスの設計と実装に貢献できるようにする必要があります。

この調査では、機械エンジニア、製造エンジニア、CNC 機械オペレーターにおいて、現在必要とされているスキルと、今後 5 年から 10 年の間に成功するために必要な新しいスキルも明らかになりました。つまり、インダストリー 4.0 テクノロジーに関する追加的な知識やスキルは、現在のスキル セットよりもはるかに必要とされています。

それぞれの役割が独自の進化を遂げますが、共通する一貫した変化もあります。新しいスキルセットは、3つのカテゴリーに分類されます。ハード スキルは、明確な職務を遂行するために必要な知識と能力、ソフトスキルは、コミュニケーション、コラボレーション、問題解決などの対人スキル、分野横断的なスキルとは、異なる製造機能間で知識を統合する能力であり、職務は製造プロセスの端から端までつながり、協力的に進化していくものです。たとえば、調査対象の業界エンジニア (n = 171) の 60% 近くが、これらの 3つのカテゴリーの連携が一層進むと考えています。

DfM やジェネレーティブ デザインのような AI/ML テクノロジーなど、3つのカテゴリーに共通するスキルが増えているのは、生産的なコラボレーションを可能にするための重要なコンセプトや能力に関する共通理解が必要であることを示しています。業界の回答者 (n = 222) によると、機械エンジニアは製品開発に関する AI/ML の知識を増やす必要があります (56%)、製造過程に関する製造エンジニアの知識は必要で (61%)、CNC 機械オペレーターは製造過程に関する知識を増やす必要がある (56%) と回答しています。

DfM スキルの十分な理解は、製造業のすべての職務において基礎となり、ますます重要になるでしょう。回答者全体 (324 名) の 90% が DfM のより深い知識を教えることが、教育機関が将来の製造業の人材を育成する最も影響力のある方法だと考えています。

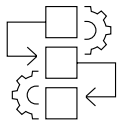
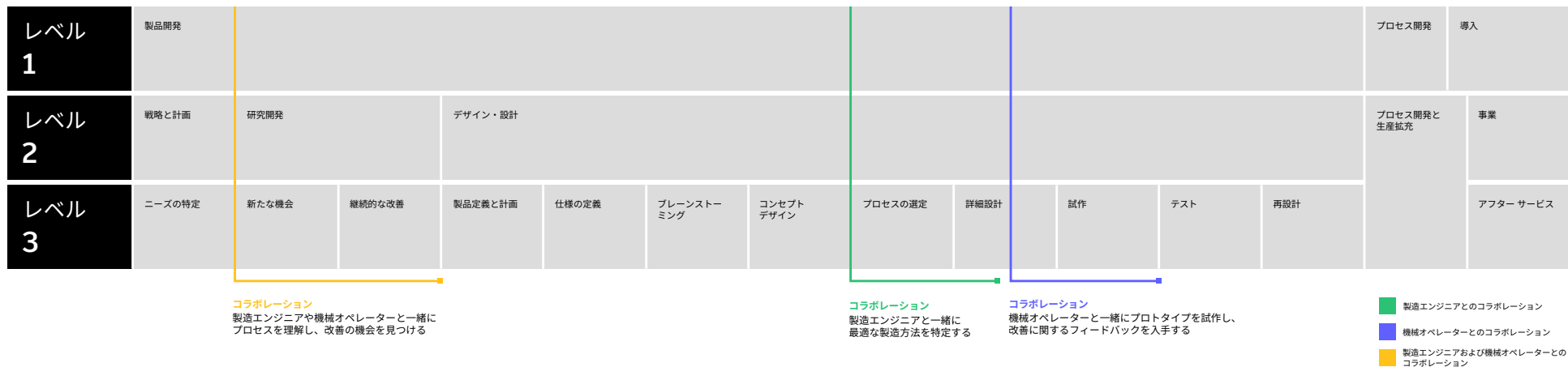


図 4:
現在の機械エンジニアの
ワークフロー

注：新しいテクノロジーやツールで有効になる、将来の連携ワークフロー図と主要なコラボレーションポイントについては、付録 A を参照してください。



現在の機械エンジニアは、主に新製品や既存製品、機械、工具の研究、企画、設計、開発、試験、継続的な改善や再設計を担当し、その大部分は設計段階で行われます（図 4 参照）。械系エンジニア（ME）の中には、戦略立案やアフターサービスの構築に注力する人もいます。機械エンジニアのほとんど（83%）は学士号以上ですが、準学士（7%）、学士号なし（5%）のエンジニアもいます。⁵

現在の機械エンジニアのスキルと使用テクノロジー：

- コンピュータ支援設計（CAD）
- Matlab や Minitab などの解析ソフトウェア
- エンタープライズ リソース プランニング（ERP）ソフトウェア
- プログラミング ツール
- 財務分析ソフトウェア

⁵ O*Net 「Mechanical Engineers 17-2141.00」 <https://www.onetonline.org/link/summary/17-2141.00>

5～10年後の機械エンジニアは、製造性を考慮した設計で、無駄を省き、よりスマートかつ、よりサステナブルで、より優れた製品の開発において重要な役割を果たすことになるでしょう。その結果インテリジェントな製品に基づいた新しいビジネスモデルが生まれ出されるでしょう。機械エンジニアリングに求められるスキルは、従来の範囲にとどまらず、電子制御設計や製品ライフサイクルを延長するためのモジュール設計のスキルも含まれるようになるでしょう。

より複雑な製品を適切に設計するために、機械エンジニアには、高度な積層造形技術や、さまざまなCAD、CAM、CAE（コンピュータ支援エンジニアリング）、PCB（プリント基板）ソフトウェア機能などのハードスキルがますます必要とされるでしょう。エンジニアの調査結果では、CAD/CAM（67%）、PLMソフトウェア（73%）、積層造形設計（71%）で仕事が増加すると予測されています。さらに、研究者は、ジェネレーティブデザイン（75%）とプログラミング技術（80%）にますます重点を置くようになると考えられています。

積層造形への取り組みが加速する中において、機械エンジニアは、製造性を考慮した製品設計を促進するために、AI/MLベースのジェネレーティブデザインを活用する必要があります（図6参照）。

ジェネレーティブデザインは、製品の強度、耐久性、その他の製品品質を維持しながら、市場投入までの時間や材料使用量を削減できる大きな可能性を秘めています。調査対象となった171名の機械エンジニアと製造エンジニアのうち、65%が今後5～10年以内に機械エンジニアがジェネレーティブデザイン手法を導入する必要があると考えています（図6参照）。

「これからのエンジニアは、少なくともローコード、つまり、自分が操作するCADシステムでマクロやスクリプトを書くことができる能力が要求されるでしょう」

Dmitry Ovsyannikov 氏

Matre 社
最高技術責任者

「機械学習やAIも、機械エンジニアを大きく変えると思います。エンジニアは、製造工程をより深く理解する必要があります。なぜなら、利用できるデータの量が非常に多くなり、それを設計プロセスに反映させる必要があるからです」

Timothy Robertson 氏

Institute for Advanced Learning and Research
ATDM テクニカル プログラム マネージャー

「エンジニアリングと製造の垣根が低くなってきています。10年後には、製造エンジニアと機械エンジニアが同等の学位で大学を卒業することになると思います」

Jeffrey Red 氏

Northrop Perman Corporation 社
エンジニアリング ディレクター

「機械工学の学生に足りない大きなスキルの1つは、設計に組み込むべき製造の側面の理解です。ただ設計するだけでなく、どのように製造するのか、それをユーザーがどう扱うのかという視点を持つことが大切です」

Raju Dandu 博士

カンザス州立大学サリナ校教授
Bulk Solids Innovation Center センター長

IoTをはじめとするインダストリー 4.0 テクノロジーの導入により、大量の運用データを利用できるようになります。エンジニアには、データから意味のある情報や洞察を引き出すためのツールやスキルが必要になります。機械エンジニアと製造エンジニア 171 人に調査したところ、69% が機械エンジニアの基本のスキルにデータ分析とビジュアライゼーションのスキルが必要になると考えています。また、最適化や自動化する領域を特定するために、プログラミング（特にローコード/ノーコード手法）の知識も必要になります。

よりスマートで、より循環型の製品をより効率的に作るために、業界の回答者の 84% は、機械エンジニアは業務において DfM の原則を適用する必要がありますと回答しています。DfM は、より効率的なワークフローを実現し、手戻りを少なくします。ほとんどの組織は、「壁に投げつけて、何が起こるか見る」というアプローチを受け入れなくなりました。設計および生産段階を融合させる、プロジェクトベースの学習および統合されたエンド ツー エンドの設計プラットフォームがより重要視されています。

DfM を正常に使用するには、コラボレーションも重要です。設計者は、機械オペレーターや製造エンジニアと連携して、製品のフィードバックを収集する必要があります。チームメンバーとのディスカッションが頻繁に行われるようになると、従来のエンジニアリングサイロは崩壊し始めオープンな共創環境へと進化します。業界の回答者の 90% 以上が、機械エンジニアは今後ますますクリエイティブな問題解決、コラボレーション、コミュニケーションなどのソフトスキルを身につける必要があると強く考えています。

機械エンジニアは、機械、電気、ソフトウェアの知識を必要とする複雑な統合ソリューションの設計とエンジニアリングを行うため、ますます分野横断的になっていくでしょう。機械エンジニア 171 名と大学関係者 102 名を対象にした調査によると、機械エンジニアにはシステムエンジニアリングのスキルが必要になるという意見がそれぞれ 77% と 87% と共に高い比率を占めています。また、業界の回答者の 79% が、機械エンジニアには電気工学やソフトウェアエンジニアリングの原理に関する実用的な知識が必要になると考えています。北米では、217 人の調査回答者のうち 59% が、機械エンジニアは製品のライフサイクル全体を考慮したサステナビリティも重視する必要があると回答しています。

これからの機械エンジニアに必要なスキル



ハードスキル

ジェネレーティブ デザイン

製品開発のための AI/ML

製造のための設計 (DfM)、後続の製造工程に関する知識を含む (設計段階に携わる技術者向け)

コーディングの知識

デザイン性を重視した
3D モデリング/デザイン

データ解析とビジュアライゼーション

プロトタイピング

エンジニアリング シミュレーションとデジタル ツイン シミュレーション



ソフトスキル

クリエイティブな問題解決

個人/チームとしてのコラボレーション

コミュニケーション (文書/口頭)



分野横断的なスキル

システム エンジニアリングの経験

電気およびソフトウェア
エンジニアリングの知識

サステナビリティへの取り組み

図 5:
製造技術への取り組み状況

インダストリー 4.0 テクノロジーは、今後 10 年間に渡って導入が進むと思われます。

回答者: 171 名の機械エンジニアと製造エンジニア

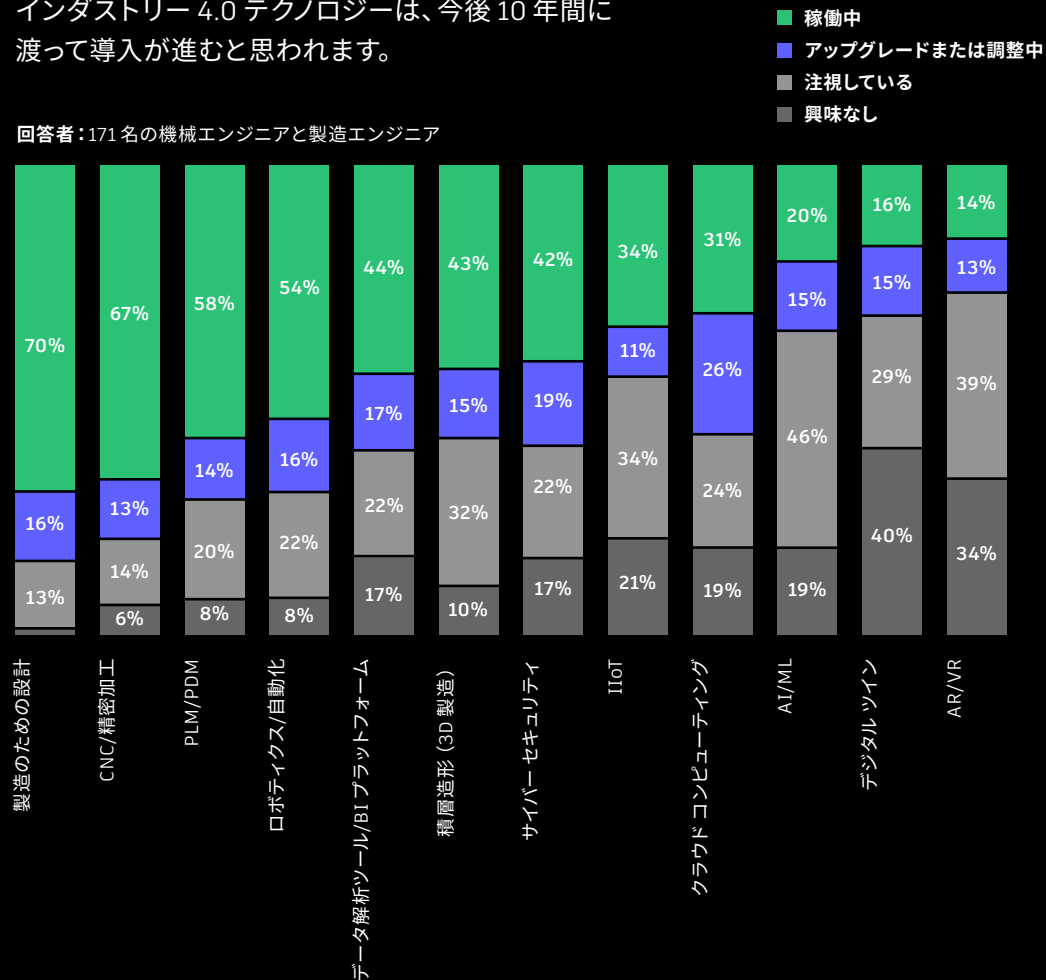
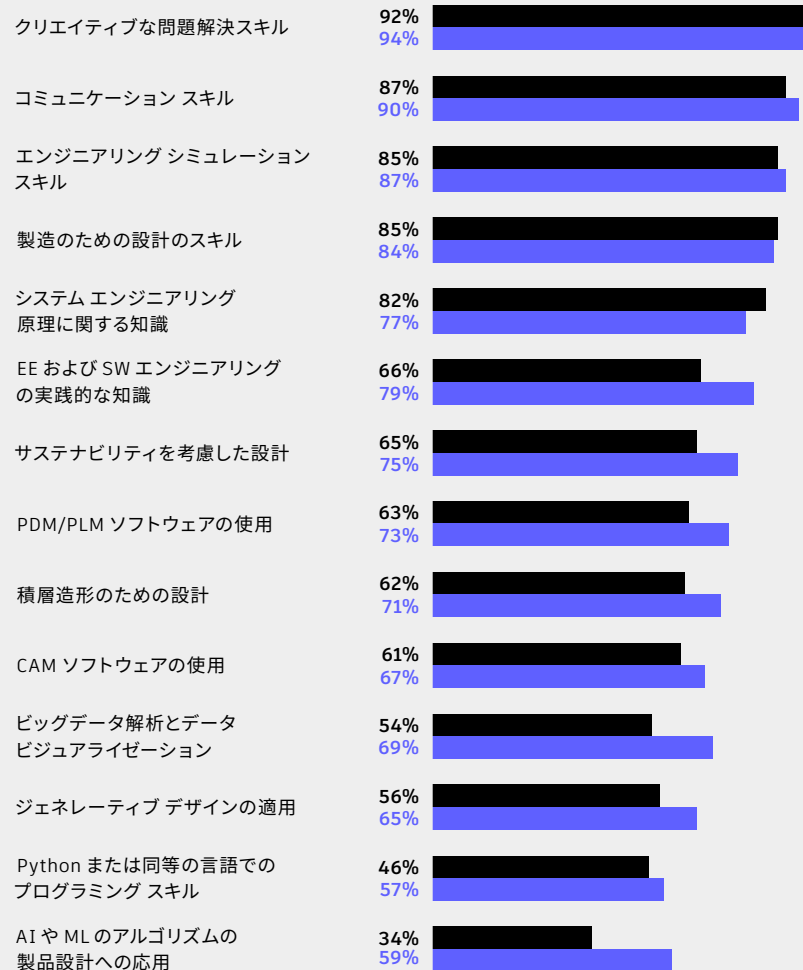


図 6:
現在と 5～10 年後に求められる機械エンジニアリングのスキル

機械エンジニアは、EE や SW エンジニアリングの知識、CAM などのソフトウェア利用、プログラミング、データ解析、積層造形、プログラミング、データ解析、積層造形、ジェネレーティブデザインやサステナブルデザイン、AI/ML アルゴリズム応用などの分野横断的スキルを伸ばしながら、問題解決やコミュニケーションなどの強力なソフトスキルが引き続き必要とされるでしょう。

■ 現在
■ 5～10 年後

回答者：171 名の機械エンジニアと製造エンジニア



現在の製造エンジニアは、通常、製造プロセスやシステムの設計、実装、改善を行います (図7参照)。学士号を取得している人が多く (76%) 準学士号を取得した人が 16%、高校卒業の人が 4%となっています。⁶

現在の製造エンジニアの スキルと使用テクノロジー:

- マシン ツールとハードウェア
- リーン生産方式
- プロセスの改善
- 品質管理 (QC)
- コンピュータ支援設計 (CAD)
- Matlab や Minitab などの解析ソフトウェア

⁶ O*Net 「Manufacturing Engineers 17-2112.03」
<https://www.onetonline.org/link/summary/17-2112.03>

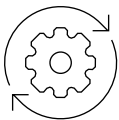
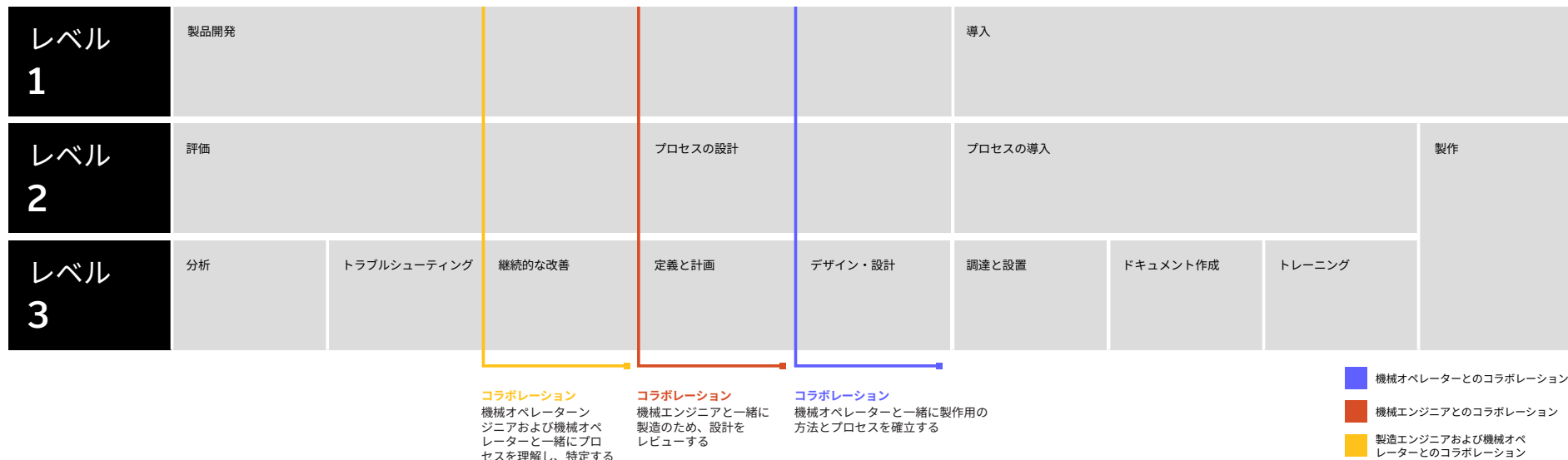


図7:
現在の製造エンジニアの
ワークフロー

注：新しいテクノロジーやツールで有効になる、将来の連携ワークフロー図と主要なコラボレーションポイントについては、付録Aを参照してください。



5～10年後の製造エンジニアは、高度な製造技術とプロセスの改善と導入のための戦略的取り組みをリードします。AI/MLなどの技術を適用して自動化の成果を上げ、生産ラインのプログラミング、分散した生産拠点の管理、リアルタイムの生産監視システムの導入など、スマートな製造方法の導入を決定します。市場投入までの時間を短縮し、同時にコスト、無駄、不良を削減するための製造システムを設計し、導入する必要があります。この役割では、人の労働力と、ロボティクス、積層造形、デジタル ツインを含む生産機械全体で、データ解析とビジュアライゼーションにより効率化の機会を見つけ、適切なリソース活用を図ることが求められます。

調査対象者の70%以上が、人間とロボットの相互作用のようなハードスキルが、製造エンジニアの役割の劇的な転換に貢献すると考えています。さらに、工場の生産性を高めるAI/ML、積層造形/ハイブリッド製造、クラウドストレージ、エッジコンピューティング、MES/ERPプラットフォーム、サイバーセキュリティ、IoT(モノのインターネット)など、より強固なオペレーションテクノロジー(OT)に関するスキルも主要な課題として指摘されています。AIとIoTは、トラブルシューティングや機器の性能に関するシミュレーションを実行することで、プロセスの最適化に影響を与え、継続的な運用改善を実現します。

調査回答者のエンジニアの大多数 (88%) は、製造エンジニアは今後 5～10 年の間に、より優れた製造のための設計スキルと、リアルタイムの製造現場検査 (58%) を必要とすると回答しています。英国の回答者 (n = 107) は、製造エンジニアが AR/VR (拡張現実/仮想現実) ツールやテクノロジーを導入する機会が増えると予想しています (65%)。

3つの製造業の役割と同様に、製造エンジニアは、問題解決、コミュニケーション、コラボレーションなどのソフトスキルの向上によりメリットを得ることができます。アンケート回答者の大多数は、今後 5～10 年の間に、機械エンジニア、製造エンジニア、機械オペレーターの連携がますます進むと考えています。また、北米のエンジニアを対象とした調査では、設計者と機械オペレーター (68%)、QA/QC スペシャリスト (62%) のコラボレーションが増えると予測されています (図 8 参照)。

製造エンジニアのポジションは、機械エンジニアと CNC 機械オペレーターの両方のスキルを融合させることで、さらに分野横断的になっていくでしょう。その結果、ロボットと CNC マシンを統合するための高度な設備、CAD/CAM ソフトウェア、そしてより優れたデータ分析が必要となります。業界の回答者の 74% は、機械、ロボット、センサー、アクチュエーターによる工場ラインの自動化に焦点を当てた製造エンジニアが重要な役割を果たすと考えています。

「将来的には、設計ソフトウェアが製造上の制約を考慮し、さらに製造プロセスのシミュレーションをより正確に行うことで、設計エンジニアと製造エンジニアの仕事の差が少なくなり、製造できない設計が行われるというリスクも小さくなるでしょう」

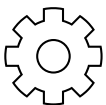
Andrew Partin 氏

Stallantis 社

イノベーション エンジニア



これからの製造エンジニアに必要なスキル



ハード スキル

DfM

AI/ML による工場現場の生産性向上

ロボティクス/コボティクス

CAD/CAM ソフトウェアとプログラミング

積層造形とハイブリッド製造

データ解析

OT (クラウド ストレージ、
エッジ コンピューティング、
サイバーセキュリティ、
MES/ERP プラットフォーム、IoT など)

CNC 機械加工

AR/VR



ソフト スキル

クリエイティブな問題解決

個人/チームとしてのコラボレーション

コミュニケーション (文書/口頭)



分野横断的なスキル

機械エンジニアリングの基礎

機械、ロボット、センサー、アクチュエーター
による工場ラインの自動化

サステナビリティへの取り組み

図 8:

現在と 5～10 年後に求められる製造エンジニアリングのスキル

機械エンジニアと同様、製造エンジニアにもコミュニケーション スキルの向上、製造システムや QA/QC の知識が引き続き求められます。また、データ解析、積層造形 (3D プリント)、デジタル ツイン、プログラミング、AI/ML アプリケーションなどのスキルを身につけ、製造スループットや効率性を向上させることが期待されます。

回答者: 171 名の機械エンジニアと製造エンジニア

■ 現在 ■ 5～10 年後

他のエンジニアや製造現場作業者とコミュニケーションをとるためのコミュニケーション スキル



ビッグデータ解析とアプリケーションのデータビジュアライゼーションの深い理解



製造のための設計



製造工程での積層造形の活用



製造システムの設計に関する知識



製造プロセスにおける IoT の統合と関連するサイバーセキュリティ原則への準拠



シックス シグマ/リーン生産方式/カイゼン



製造現場をシミュレートするデジタル ツインの使用



生産現場でのリアルタイム QA/QC 検査



製造プロセスにおける AI/ML アルゴリズムの適用



人と一緒に働くロボットの導入とプログラミング



Python または同等の言語でのプログラミング スキル



PDM/PLM ソフトウェアの使用



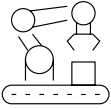
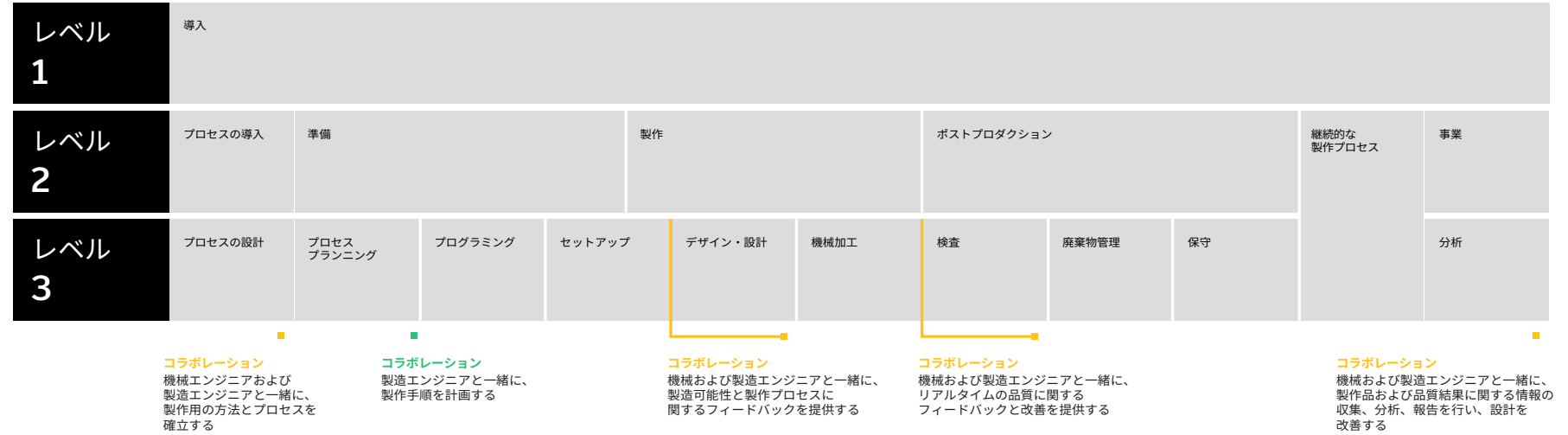


図 9:
現在の機械オペレーターのワークフロー

注：新しいテクノロジーやツールで有効になる、将来の連携ワークフロー図と主要なコラボレーションポイントについては、付録Cを参照してください。

- 製造エンジニアおよび機械オペレーターとのコラボレーション
- 機械エンジニアおよび製造エンジニアとのコラボレーション



現在の CNC 機械オペレーターは、加工装置や工具を使用して精密な部品を製造し、装置の設定、操作、修理、保守を担当します (図9参照)。これらのプロフェッショナルは、高卒または同等の資格 (36%)、高等教育修了証 (33%)、学位を取得せずに大学の単位をいくつか取得 (17%) しています。⁷

現在の CNC 機械オペレーターのスキルと使用テクノロジー:

- CNC 機械加工
- 工作物保持、マシン キネマティクス、幾何公差種類と記号 (GD&T)
- 治具と工具を設計するための CAD/CAM ソフトウェア
- 工作機械および工作機械が使用するその他のハードウェアの完全な理解
- ERP の実践的知識
- 解析ソフトウェアおよび産業用制御ソフトウェア

⁷ O*Net 「Machinists 51-4041.00」 <https://www.onetonline.org/link/summary/51-4041.00>

5～10年後のCNC機械オペレーターは、インダストリー 4.0 テクノロジーによってその役割が大幅に強化されるため、3つのポジションの中で最も大きな前進を遂げることになります。ロボットやコボットの管理やプログラミング、リアルタイムでの生産量の解析、現場での検査、品質保証 (QA) や品質管理 (QC) への参加など、そのポジションは拡大し、変化していくでしょう。機械オペレーターは、製造、5軸工作機械、積層造形、ハイブリッド製造のための AI/ML に関する新しいスキルを習得する必要があります。また、エンジニアリング チームとの連携や、設計などの上流工程への関与も増え、CAD/CAM ソフトウェアの知識も一層必要とされるでしょう。業界のプロフェッショナルは、今後の5～10年間に必要とされる CNC 機械オペレーターのハードスキルは、CAM ソフトウェア (86%) と CAD ソフトウェア (82%) であると回答しています。

CAD/CAM ソフトウェアとプログラミングに習熟することで、機械オペレーターは5軸工作機械 (65%)、積層造形/ハイブリッド製造 (66%)、ロボティクス/コボティクスとの連携 (65%) といった技術の利用を拡大できると、業界のプロフェッショナルは確信しています。現在の CNC 機械オペレーターの仕事では、ロボティクスはあまり普及していませんが、中核となる機械加工原理の適切な基礎知識を維持しながら、ワークフローやトラブルシューティングにロボティクスを統合することが必要になります。近い将来、CNC 機械オペレーターは、GD&T 機能を搭載した 3D CAD/CAM ソフトウェア ツールを活用し、プログラミング技術を応用して CNC 機械群を操作・保守できるようにならなければなりません。実際、調査対象の業界エンジニアの 62% は、今後 5～10年の間に、CNC 機械オペレーターがスマート製品のプログラミングを行うためにさらなるプログラミングスキルを必要とすると考えています (図10参照)。

「CNC マシンは、あらゆる種類の素材を加工するようになるでしょう。誰もが使っているさまざまな種類の材料へと広がるでしょう。鉄、アルミニウム、チタン、リチウムなど、あらゆる種類の材料を扱う方法を知っておく必要があります」

Pierre Larochelle 博士

サウスダコタ鉱山技術学校

部門長兼教授

一般的に、CNC 機械オペレーターは、機械的なノウハウを維持し、成長させる必要がありますが、生産量と品質管理により貢献するためには、最新のデジタル技術とソフトウェア プログラミング スキルも身につける必要があります。

また、製品開発をシステム レベルで行うためには、エンジニアと CNC 機械オペレーターの分野横断的な協力が必要であるという意見も、調査対象者全体の 79% に広がっています。IoT デバイス、積層造形、AI/ML、高度なデータ解析を導入するスマート工場 (規模の大小を問わず) が増加する中で、データを適切に管理するための協力が必要になります。

これからの CNC 機械オペレーターに必要なスキル



ハード スキル

製造のための AI/ML

予知/予防保全

積層造形とハイブリッド製造

ロボティクス/コボティクスとの連携、
プログラミング、保守

CAD/CAM ソフトウェアとプログラミング

5 軸以上の工作機械



ソフト スキル

クリエイティブな問題解決

個人/チームとしてのコラボレーション

コミュニケーション (文書/口頭)



分野横断的なスキル

エンジニアと連携した製品開発

QA および QC チームとの連携

図 10:

現在と 5 ~ 10 年後に求められる CNC 機械オペレーターのスキル

CNC 機械オペレーターの多くの現行スキルは今後も重要です。同時に、AI/ML アルゴリズム、データ分析、一般的なプログラミング技術を応用し、積層造形と切削加工を併用 (ハイブリッド製造) することで、人間/ロボットの相互作用に重点を置くことが期待されます。

回答者: 業界のプロフェッショナル 222名

■ 現在 ■ 5 ~ 10 年後

機械の固定、保持、運動学に関する知識



スプレッドシート ソフトウェアを使用した基本的なデータ解析スキル



工具や切削パラメータについて、十分な情報を得た上で決定する能力



機械加工におけるロボットの使用または人とのロボットの連携



高度な CNC プログラミング スキル



手動および自動の QA/QC プロセスと手法の知識



設計、エンジニアリング、製造チームと連携するためのコミュニケーション スキル



積層造形と切削加工の併用



GD&T



CNC 機械加工への AI/ML アルゴリズムの適用



CAM ソフトウェアの使用



Python または同等の言語での一般的なプログラミングスキル



CAD ソフトウェアの使用

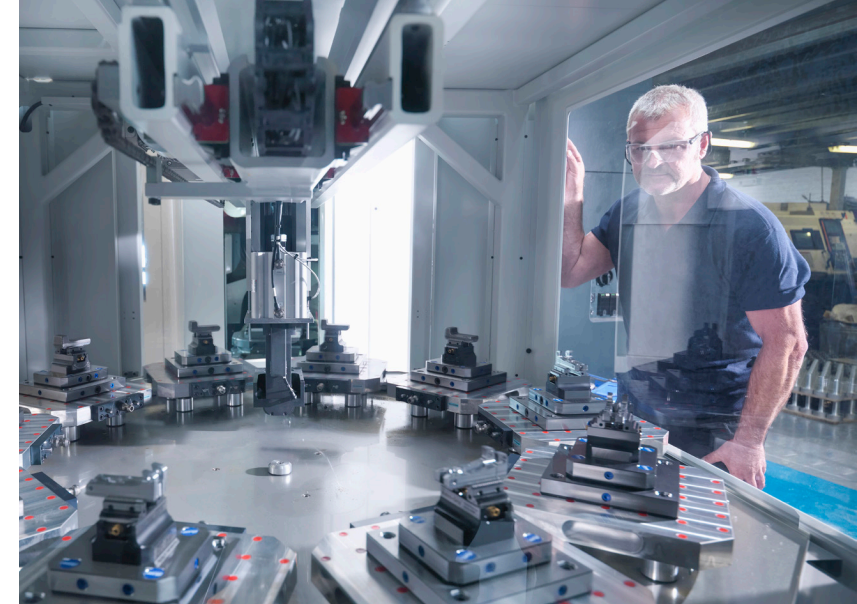


製造業がインダストリー 4.0 に移行するにつれ、機械エンジニア、製造エンジニア、機械オペレーターはより高度な技術的知識を必要としますが、OJT による再スキルアップで、そのすべてが達成することはできません。産業界は教育のエンドユーザーであるため、インダストリー 4.0 のトレンドに合わせた製造業教育を、学生たちに適切に準備をさせる必要があります。教育の移行が進んでいないところでは、今すぐ始めることが急がれます。

同時に、製造業では、この 3 つの職種に新たなスキル要件を積み重ねるだけでは、ビジネス上の成果を期待することはできません。機械エンジニア、製造エンジニア、CNC 機械オペレーターがインダストリー 4.0 テクノロジーをより深く理解するようになると、ワークフローと運用インフラを再設計し、ソリューション スタックの各レイヤーが集中、接続、統合されてすべてが連動するよう、根本的な転換が必要です。

機械エンジニア、製造エンジニア、CNC 機械オペレーターの役割とスキル セットの再構築は、単に身につけていると便利なスキルというわけではなく、製造業をインダストリー 4.0 に導く望ましいビジネス成果を達成するために必要なものばかりです。現在の工学教育インフラでは、近未来のエンジニアの育成は難しいため、これらの新しいスキル セットを労働力に加えるには、企業が生涯学習の概念を取り入れて、最新のイノベーションに対応できる強固な人材を維持することが必要です。

幸いなことに、今回の調査では、86% の教育関係者が、学位への依存度を下げ、業界との連携により開発されたより専門的な資格に重点を置くことを歓迎しています。業界と教育機関の継続的なパートナーシップは、生産性の向上、市場投入までの時間の短縮、全体的な収益性といった競争上の優位性を達成するために必要なインダストリー 4.0 における人材の育成と維持に貢献します。



「10 年後の機械オペレーターは、現在の製造エンジニアのような存在であり、10 年後の製造エンジニアは、今はまだ存在しない役割を担っているでしょう」

Timothy Robertson 氏

Institute for Advanced
Learning and Research

ATDM テクニカル プログラム マネージャー



業界への導入ガイドライン

このホワイトペーパーで紹介されている現実には、非常に厳しく見えるかもしれません。設計と製造は、数十年前のインダストリー 2.0/3.0 のオペレーションに大きく依存する分野であり、教育システムは学生にとって切実に必要なインダストリー 4.0 のスキルを身につけるスピードには達していないのです。

しかし、この状況には明るい兆しがたくさんあります。企業が望むビジネス成果を達成するために必要なインダストリー 4.0 テクノロジーとワークフローは存在し、すでに確立されているケースもあります。それらを活用するために、企業は一夜にして飛躍を遂げようとする必要はありません。インダストリー 4.0 の中で、より効率的で持続可能、かつ収益性の高い未来への道は、最初の一步から始まり、そこから段階的に進んでいくことができます。近い将来、一步一步前進することに抵抗する企業だけが、永久に取り残されるリスクがあります。今、変化を受け入れることで、企業は優位に立ち、生産性、生産量、市場投入までの時間、コスト効率、そしてサステナビリティに肯定的な結果をもたらす軌道に乗ることができます。

3段階の業界導入の道筋は、組織が上記のシステムレベルのアプローチでインダストリー 4.0 を完全に導入するよう導きます。第1段階は、新しいワークフローとビジネスプロセスをサポートし、促進するための基盤技術と有効化技術を導入するデジタルトランスフォーメーションです。第2段階はワークフローの変革であり、デジタルトランスフォーメーションで提供される技術的機能を活用するために仕事を再定義することです。最後の第3段階は、新しいテクノロジーとワークフローが一体となって、より良いビジネス成果を達成するためのビジネスプロセス変革です。



トランスフォーメーション

デジタル

ワークフロー

ビジネス



ソリューションレイヤー

アプリケーション

インフラストラクチャ

データ

ワークフロー

プロセス



目標

アプリケーションとツールを統合し、ワークフローを融合

チームとシステムを接続してデータにアクセス/交換

すべてのデータを一元管理されたプラットフォームで収集・整理

新しいデータインサイト、テクノロジー、および機能を活用するために、役割、機能、および作業の相互作用を再定義

新しいテクノロジーと方法論を採用して、設計および製造プロセス全体の生産性を向上



メリット

共通のソフトウェアプラットフォームによるアプリケーションの削減と作業の簡素化

チームメンバーをリンクして、機能や場所を問わずより適切に対話できるようにする

チームメンバーによるアクセスを可能にし、より多くの情報に基づいた仕事の意思決定を可能にする

ロールおよびチーム間でより多くのコラボレーションを行い、ワークフローを調整および合理化する

プロセスの改善により、より優れたビジネス成果を達成

インダストリー 4.0 の完全な変革により、すべての従業員の役割が融合されます。一元化された共有データと、すべてのデバイスでリアルタイムに更新される情報を使って、誰もが分野を超えて協力し合うことができます。人と機械の両方のワークフローがつながります。ジェネレーティブ デザインなどの AI/ML プロセス、積層造形やハイブリッド製造、ロボティクス、データビジュアライゼーションなどの技術が、生産にフル活用されます。

このようなシステムレベルの変革は、本質的に効率的であるだけでなく、クリエイティブな設計や製造の改善により、さらなる効率性、サプライチェーンの能力、新しい利益センター、循環型の製品ライフサイクル、その他多くの機会を引き出す扉を開くことになります。

教育機関への導入ガイドライン

機械エンジニアリングや製造エンジニアリングの学位プログラムであれ、職業用 CNC 機械加工プログラムであれ、教育機関や教授は、業界をリードするツールや技術を使用して学生に教えたいと考えています。しかしそれらを学んできた者に対して、業界の現実はいくら早く進化し、既存の教育やトレーニングプログラムの範囲を超えて、仕事の要件は拡大しています。教育の多くが、業界が現在必要とし、近い将来さらに必要とするであろう最新のインダストリー 4.0 のスキルに沿ったものではありません。

その結果、多くの製造業では、新卒者の OJT 再研修に数か月間の投資と時間を費やす必要があり、会社全体の貴重なリソースが奪われています。場合によっては、新卒者と既存のエンジニアや機械オペレーターがペアを組み、十分な訓練を受けた人材が 1人でできる仕事に対して、実質的に 2 人分の賃金を支払うことになるでしょう。

しかし、インダストリー 4.0 に移行する製造業と同様に、教育機関にとっても問題が大きければ大きいほど、変革のチャンスは大きくなります。製造業教育では、業界のニーズを包括的に捉え、必要な教育プログラムを定義する必要があります。教育機関は、単に既存のカリキュラムを更新するわけではありません。業界で成功するために必要な高度な製造知識、技術、スキルを教えるために、新しい教育法を導入する必要があります。そのためには、最も緊急性の高いギャップを特定し、それを新しい教育訓練プログラムを作る機会として捉えることから始めます。

業界の需要によると、機械エンジニアリングと製造エンジニアリングのプログラムは、時代遅れのカリキュラムを見直す最大のチャンスとなります。ABET 認定の最低限の基準は、これらのエンジニアリングプログラムの方向性に大きな影響を与え、コミュニティカレッジや専門学校は新しいプログラムを作るためのカリキュラムの柔軟性に最も優れています。とはいえ、製造業教育の再構築には、教育セクター間の柔軟性を可能にする認定基準の見直しが必要になります。

確かに、2 年制や 4 年制のプログラムに代わるものは必要でしょう。幸いなことに、業界と教育機関の双方が、そのような選択肢を模索することに賛成しています。たとえば、今回の調査では、産学双方の回答者の 84% が、製造業の雇用者と大学が協力して、雇用者のニーズに基づいた新しいタイプの認定プログラムを開発すべきだと考えており、91% が長期インターンシップや協力プログラムなどの新しい機会を求めています。



以下は、ワークフロー、テクノロジー、スキルの変化に備える教育機関の取り組みを支援するための提案です。



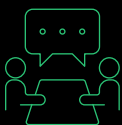
教育関係者

カンファレンスやウェビナーに参加し、カリキュラムの進化を模索し、先進的で最も革新的な教育機関のベストプラクティスを見出す



業界の教員

業界のエキスパートや実務者を授業に招き、実際の経験、考察、学びを共有する



業界パートナーシップ

業界のソートリーダーやアドバイザリーボードから、新しい技術やスキルのトレンドを学び、新しい教育/トレーニングプログラムの形成に役立てる



テクノロジー企業

製造ハードウェアおよびソフトウェア企業が提供する既存のオンラインおよび対面式の教育リソースを活用し、業界で展開されている最新のイノベーションとソリューションを学習する



継続教育プログラム

社会人が必要な新しいスキルを学び、コアカリキュラムでカバーされないギャップに対応するための柔軟な大学/コミュニティカレッジプログラムを作成する

学問の進化は、4つのステージで行われます。

ステージ

1

インダストリー 4.0 テクノロジーに基づく、現在および将来のワークフローのデジタルトランスフォーメーションに合わせて、トレーニングを根本から見直します。理論に基づく知識を応用学習に置き換える機会を模索します。

ステージ

2

業界やテクノロジーパートナーを巻き込み、業界のトレンド、開発状況、学生に必要なスキルを常に把握するための産学関係を確立します。

ステージ

3

新しいワークフローとビジネスプロセスをサポートする、業界が求める高度な製造業の科目とスキルを教えるために、現在のカリキュラムの再編成や新しいカリキュラムやプログラムの作成を行います。

ステージ

4

業界とのオープンな対話を維持し、カリキュラムやプログラムを定期的に見直して、業界との整合性を確保します。

産学官コラボレーション

政府、産業界、教育機関のすべてが、明日の製造業の労働力の創出に参加しなければなりません。全324名の回答者のうち、業界と教育機関の回答者双方が、業界はインターンシップと協力関係プログラム(90%)、堅牢な社内トレーニングと開発(86%)、地方大学やコミュニティカレッジとの提携と支援(74%)を通じて、未来の製造業に貢献できると考えています。

調査対象となった102名の教育関係者のうち、ほとんどが業界の経営幹部を教員として配置することを希望しており(80%)、また、直接的な財政支援も望んでいます(87%)。エンジニアの3分の2は、高等教育の学生に先進的な製造業のキャリアを奨励することに期待しています。工学部の教員は、学生が製造のための設計の知識とスキルを完全に把握するために、より実践的な「実務」学習の機会を取り入れる必要があることを理解しています(90%)。大学とコミュニティカレッジが連携し、エンジニアリング教育を根本から見直すなど、教育機関同士の連携が進んでいます。教育現場でも、より専門的な資格の追加(86%)や、評論的思考やコミュニケーションを促進する科目の追加(81%)に関心が集まっています。

一方、業界関係者(51%)は、工学部で将来の高度な製造技術を教えるために、もう1年追加することを提案しています。しかし、エンジニアリング教育が「スペシャリスト」ではなく「ジェネラリスト」を育てるべきだという前提や、工学学位の重要性が失われつつあるという前提には、顕著な意見の相違が見られます(図11参照)。

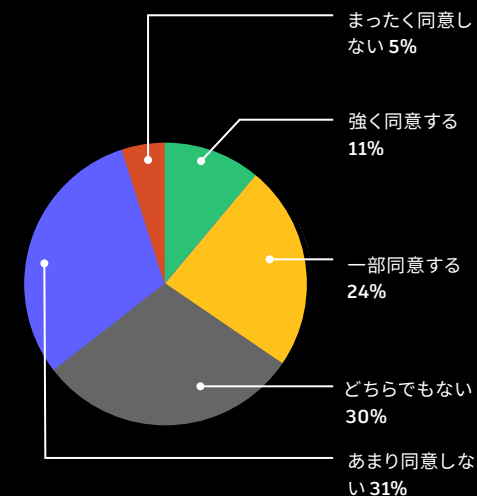
図11:
教育や製造業の将来についての意識

エンジニアリング教育が「スペシャリスト」ではなく「ジェネラリスト」を育てるべきだという前提や、工学学位の重要性が失われつつあるという前提には、顕著な意見の相違が見られます。

回答者: 324名全回答者)

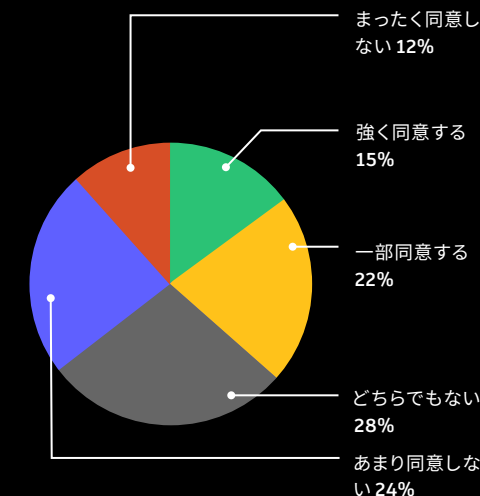
完全に同意する
35%

エンジニアリングのスペシャリストよりもジェネラリストをもっと育てるべき



完全に同意する
37%

雇用主にとって、工学系の学位の重要性は低下し、認定資格の重要性が高まっている



業界の役割

学生や現在の従業員が将来の仕事に備えるために、業界は継続的な教育と訓練を理解し、受け入れなければなりません。また、社内研修や定期的なジョブローテーション、プロジェクトローテーションを実施し、従業員にさまざまな分野を横断的に学ばせる必要があります（図12参照）。

教育機関と連携することで、業界は自らのニーズを明確にし、長期的な学生インターンシップの機会を提供することができます。また、業界の現役幹部やその他のプロフェッショナルは、大学の諮問委員会に参加したり、非常勤講師として教えたりすることで、必要な専門知識を提供できます。

若い世代に働きかけることで、製造業が高度な技術であり、サステナビリティを重視し、総合的に価値のあるキャリアパスであることを示すことができます。先進的な製造業は、暗い工場、煙突、労働者の高齢化といった時代遅れのイメージとは無縁であることを示すことで、労働力の未来を正しく方向付けることができます。

「新入社員がさまざまな工程に触れることは重要です。理想的には、雇用主が電子機器や機械作業、油圧、空気圧、製造サポートなどをローテーションで経験させる機会を与えることです」

John Saunders 氏

Saunders Machine Works 社長

図 12:

将来の製造業における人材開発のための、最も効率的な戦略的取り組み

インターンシップや協力プログラムの拡充、地域の大学や専門学校と連携した資格取得プログラムの開発、大学やコミュニティカレッジ、小中高等学校への支援強化など、業界が貢献することはたくさんあります。

回答者：業界 222 名、教育機関 102 名のプロフェッショナル

長期的な学生インターンシップや協力プログラムへの参加機会の提供



オンライン学習教材と組み合わせた社内教育プログラムの展開



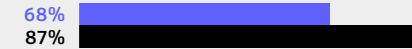
地元の大学や専門学校と協力し、雇用者の要求に合わせた認定プログラムを開発する



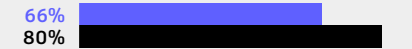
大学やカレッジの諮問委員会に積極的に参加し、カリキュラムに影響を与える



教育施設への直接的な資金援助



経営幹部を地域の大学の教員として配置



先進的な製造業が実現可能なキャリアパスであることを示すための中等教育向けアウトリーチプログラム



従業員のスキルを把握するために、採用/トレーニングプロセスにデジタル資格証明書を導入する



■ 業界 ■ 教育機関

教育機関の役割

製造業とエンジニアリングの教育には、「才能を発揮するまでの時間を短縮する」ための点検が必要です。専門性や研究の必要性は依然としてありますが、実務中心の専門家を育成するためには、より迅速な代替案が必要です。製造業教育では、実社会に即した、実践的なプロジェクトに基づいた教育法に焦点を当てる動きが出てきています。しかし、教育関係者は数学や科学のような工学の基本を放棄することに抵抗があります。工学教育はより分野横断的なものになると同時に、学生がある分野の実用的な専門知識を持たずに、広く浅くというような、過度に一般化されたアプローチを避けなければなりません。

雇用主も学生も、製造業に関連する工学の学位を求めることに変わりはありません。しかし、ソフトウェアや役割、特定の機械に関する資格などは、この10年間でより普及し、受け入れられるようになるでしょう。

一部の大学の工学課程では、DfM スキルを次世代に教えるために、現役の業界関係者から教員を募っています。コミュニティ カレッジは、地元企業と密接につながり、カリキュラムの柔軟性も高いため、特に機械オペレーターのスキルアップのための重要な役割を担っています。多くのコミュニティカレッジは地元の大学と提携し、2年制の準学士号を持つ学生に高度な製造エンジニアリング プログラムへの入門コースを提供しています。

全調査回答者の82%が支持した実習制度は、新しい製造業の人材育成のコンセプトとして人気があります(図13参照)。欧州の徒弟制度モデルよりも、資金、規制、基準に関する政府の監督下にある教育機関と業界の実習パートナーシップが検討されています。また、91%の回答者が、より長期的な労働力の確保を望んでいます。同様に、91%が産学連携の長期インターンシップや協力プログラムも有効な選択肢であると考えています。

多くの業界関係者(業界関係者51%に対して教育関係者33%)が、ヨーロッパで行われているような、インダストリー4.0のスキルを教えるために工学部の学生を1年延長して在籍させることを提案しています。しかし、業界、大学、政府が延長分の費用を補助しない限り、学生やその家族はさらなる経済的負担を強いられることとなります。また、製造業は現在、技能格差と有能な人材の不足に直面していますが、このような方法では訓練生を学校にさらに長く在籍させることとなります。



回答者：業界 222 名、教育機関 102 名のプロフェッショナル

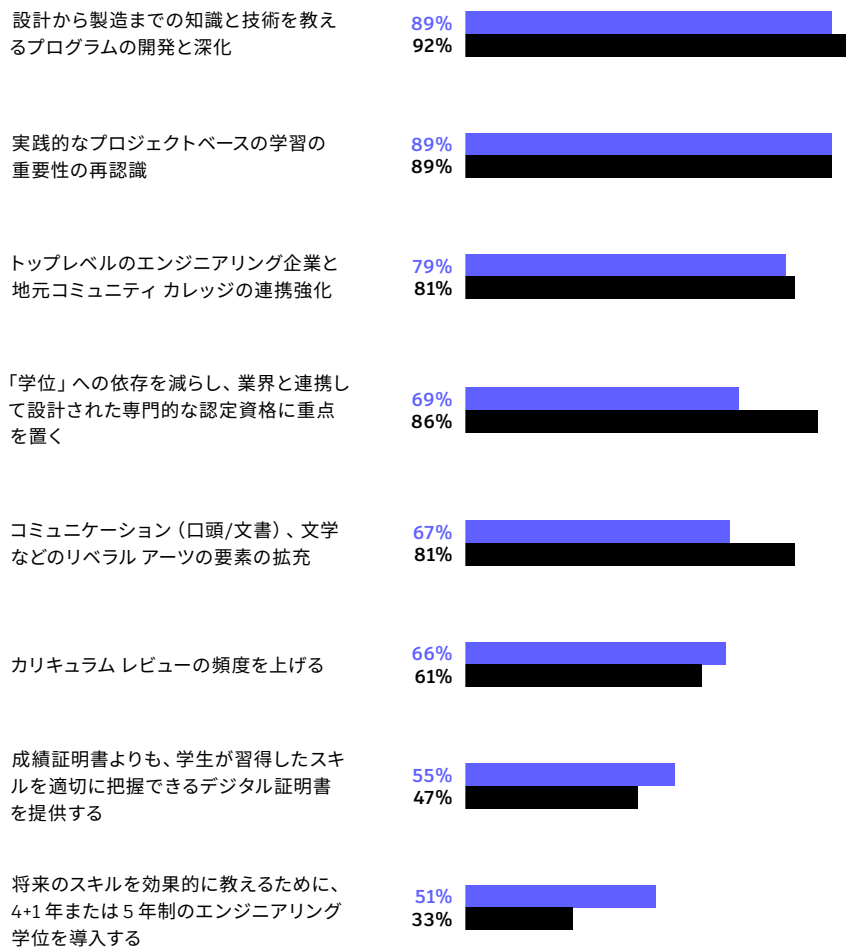


図 13：
将来の製造業における人材開発のための、最も効率的な戦略的取り組み

教育機関は、より専門性の高い認定を受けやすいようにしているほか、評論的思考やコミュニケーションを推進する課目も多くなっています。業界関係者は、工学部で将来の高度な製造技術を教えるために、もう 1 年追加することを提案しています。

■ 業界
■ 教育機関

「現実の例を見て、もう一步進む必要
があります。学生が複雑な実社会の
状況下で、プロジェクトベースのアプ
ローチから問題を見る環境を作れば、
彼らは点と点をつなげて問題を解決
できるようになります」

Raju Dandu 博士

カンザス州立大学サリナ校教授

Bulk Solids Innovation Center センター長

政府の役割

政府機関も、高度な製造の労働力を開発する上で積極的な役割を果たすことができます。324名の調査回答者のうち、エンジニアリングと機械オペレーターのトレーニングのための政府出資の奨学金は、政府支援の選択肢として最も多く選ばれました(86%) (図14を参照)。工学部の教授陣は、学校における次世代製造設備のための政府補助金を希望しており、その割合は89%であるのに対し、業界の回答者では80%でした。また、標準的な実習制度の定義や資金調達について、政府との協力関係を望む声は、業界の79%に対して教育関係者では88%と高くなりました。

官民連携において、連邦、州、地方政府機関は次のような方法で従業員の能力向上を支援することができます。

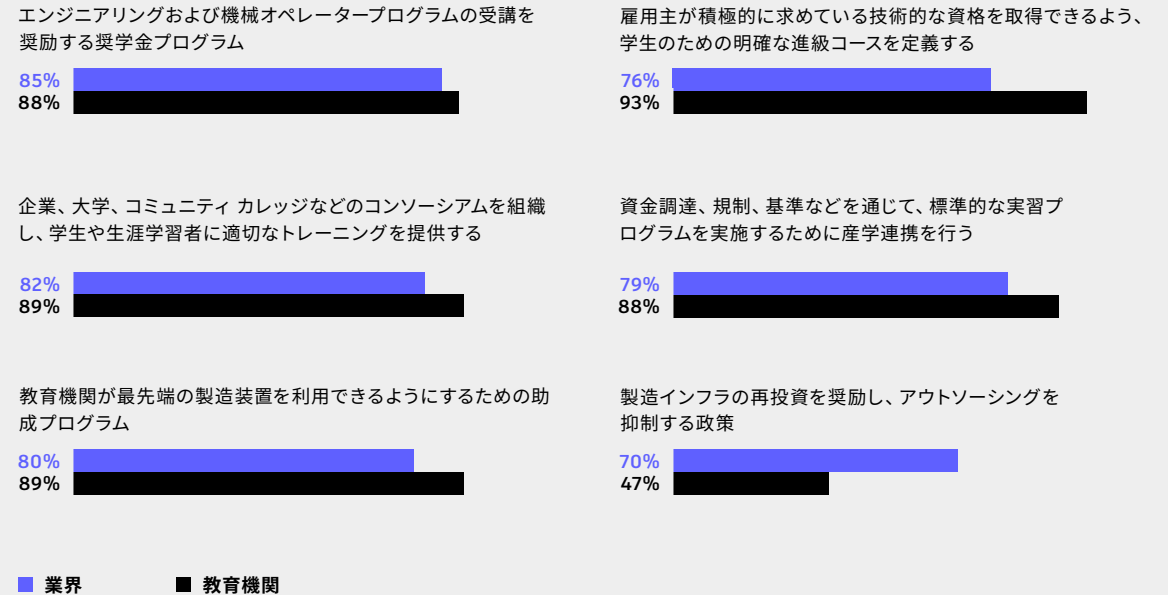
- 大学と研究コンソーシアムへの資金援助
- 教育機関と民間企業との協力関係の促進
- 複数の新しい施設によるトレーニング方法の提唱と開発促進

図14:

将来の製造業における人材開発のための、最も効率的な政府機関による戦略的取り組み

工学部の教授陣は、助成金制度による製造業の人材育成、明確に定義された技術的資格の成文化、政府・業界・教育機関における活発な連携の促進など、政府の支援を強く望んでいます。

回答者: 業界222名、教育機関102名のプロフェッショナル



まとめ

当然ながら、すべての製造業は、生産性、利益、サステナビリティ、競争優位性の向上をもたらす、より良いシステムを構築したいと考えています。その結果、製造業は必然的にインダストリー 4.0 テクノロジーへと導かれ、その移行は順調に進んでいます。

デジタルトランスフォーメーションの旅は、再構築された製造業のビジネス プロセスとワークフローをサポートし、実現するためのインダストリー 4.0 テクノロジーを特定します。AI/ML、クラウドベースのソフトウェア プラットフォーム、デジタル/オペレーション テクノロジー インフラ、ロボティクス/コボティクス、積層造形/ハイブリッド製造、パフォーマンス監視、データ解析などの新しいテクノロジーを、新しいワークフローとともに導入することで、より接続性の高い、協調的かつ継続的な製造システムを実現できるようになります。

その結果、就業者の新しいシステムレベルの変化をサポートするために必要な教育やトレーニングの要件が決定されます。製造教育のエコシステムが再構築されれば、エンジニアと機械オペレーターは、新しいテクノロジーとツールを活用するための知識、トレーニング、スキル開発を得て、人材として成功できるようになるのです。世界のトレンドと業界のニーズを理解するために政府、教育機関、業界の関係者が協力することで、次世代の機械エンジニア、製造エンジニア、CNC機械オペレーターに、製造業の歴史における最大の転換を成し遂げるために必要なスキルを身につけてもらうことができます。





この移行により、機械エンジニア、製造エンジニア、CNC 機械オペレーターに必要な役割とスキルの重要度および範囲は変化します。デジタル トランスフォーメーションの価値を実現するためには、新卒者および現役の社員に新しいハード スキルとソフト スキルのトレーニングを提供することが重要です。

しかし、現在主流となっている製造業の教育方法やカリキュラムは、必要なスキルを持った学生を育成するのに十分とは言えません。製造業と同様に、教育機関も必要な知識とスキルを教えるための教育法を開発するために、独自の変革に乗り出す必要があります。

この変革を可能にするには、産学官の連携により、以下のような方法で製造業教育を進化させる必要があります。

- ・ 現在のワークフローとインダストリー 4.0 の未来のワークフローを一致させるためにトレーニングを再構築する
- ・ ワークフローで必要となるスキルに基づき、カリキュラムを再編成する
- ・ 業界やテクノロジー企業と教育機関が連携してカリキュラムを作成し、業界のトレンドや技術教育のニーズに対応する
- ・ 業界との対話を維持し、業界のニーズに沿ったカリキュラムやプログラムを定期的に見直す

製造業の未来は進化し、変化しています。インダストリー 4.0 は、この旅の最終的なテクノロジーの目的地ではありません。しかし、必要なビジネス成果を達成するためには、正しい方向に向けた重要かつ必要なステップです。革新的な企業は、インダストリー 4.0 への移行が完了した後も、効率性、収益性、およびサステナビリティを推進するための新しい方法を模索し続けるでしょう。彼らは、製造業の未来を支えるために、新しいテクノロジーを構成するブロックを追加し、ワークフローの改良を続けるでしょう。そして業界は、未来を設計し製造する未来の人材を準備するための教育を必要としているのです。

謝辞

本論文の作成、デザイン、レビューにご協力いただいた以下の
方々に感謝いたします。

オートデスクの協力者

Christina Baetelli 氏

キャンペーン マーケティング担当シニア
マネージャー

Lorenzo Canlas 氏

教育部門 戦略ビジネス オペレーション
担当ディレクター

Fabiola Clayton 氏

フィールド エンゲージメント プロジェク
ト/プログラムマネージャー

Gary Conrad 氏

フィールド エンゲージメント シニア ディ
レクター

Alan Eng 氏

プロダクト マーケティング シニアマネー
ジャー

Campbell Foster 氏

マーケティング シニア ディレクター

Jaime Perkins 氏

学習戦略 シニア ディレクター

Debra Pothier 氏

AEC シニア マネージャー、
製品化戦略マネージャー

Timothy Robertson 氏

設計・製造戦略・事業開発マネージャー

Alexander Stern 氏

PDMS プラットフォーム戦略 シニア マ
ネージャー

ASME とその他の協力者

Iana Aranda 氏

ASMEエンジニアリング グローバル
開発 プレジデント、E4C

Elizabeth Collins 氏

変革のためのエンジニアリング
フェロー

Bruce Falstein 氏

ASME コンサルタント

Ashley Huderson 氏

ASME エンジニアリング教育・アウト
リーチ ディレクター

Lauralyn McDaniel 氏

Metrix 戦略・エンゲージメント

Loreena Persaud 氏

ASME設計・ブランド エクスペリエン
ス ディレクター

Erin Peiffer 氏

変革のためのエンジニアリング
フェロー

Francisco Plaza 氏

変革のためのエンジニアリング
フェロー

Anne Nadler Shaffer 氏

ASME 政府関係 シニア マネージャー

Christine Reilley 氏

ASME 戦略・イノベーション 業務執行
取締役

Anand Sethupathy 氏

ASME 戦略・プログラム 業務執行取
締役

Svetlana Shaknes 氏

ASMEマーケット インテリジェンス
ディレクター

Sahar Shamsi 氏

変革のためのエンジニアリング
フェロー

Stephanie Viola 氏

ASME 企業・財団関係

James Warrick 氏

Beacon Technology Partners LLC、
マネージング パートナー

Aaron Weinerman 氏

ASME 国際開発 マネージャー

本調査の制限事項

本調査は、公表された報告書、半構造的インタビュー、および厳選されたエキスパートへのアンケート調査に基づいています。本調査は、情報提供および教育目的でのみ行われたものです。オートデスク、ASME、および著者は、本書に含まれる資料に基づいて行動した、または行動を控えた個人または団体に生じたいかなる損失または損害に対しても、一切の責任または義務を負わないものとします。

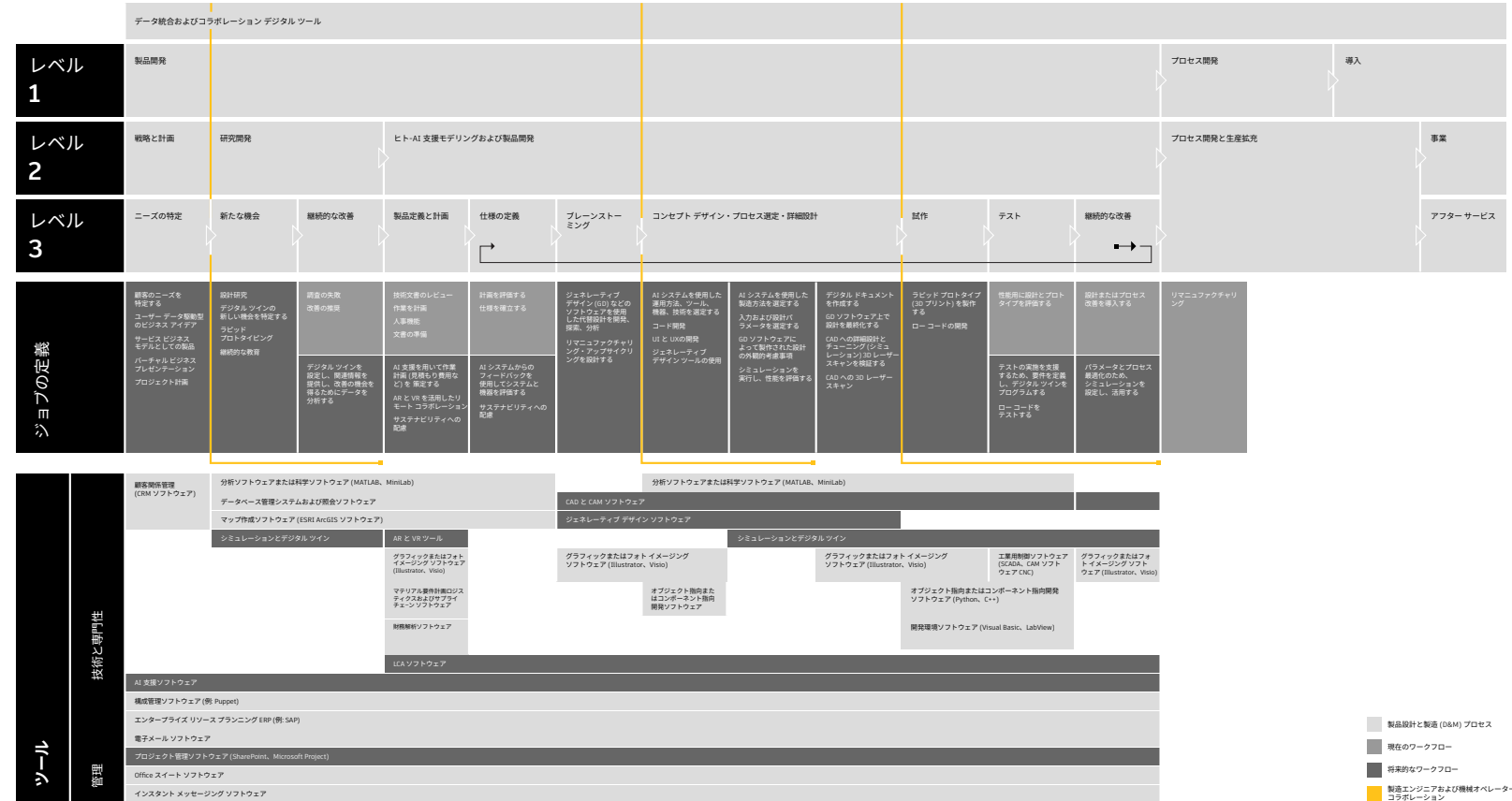
Autodesk およびオートデスクのロゴは、米国およびその他の国々における Autodesk, Inc. およびその子会社または関連会社の登録商標または商標です。その他のすべてのブランド名、製品名、または商標は、それぞれの所有者に帰属します。該当製品およびサービスの提供、機能および価格は、予告なく変更される可能性がありますので予めご了承ください。また、本書には誤植または図表の誤りを含む可能性があります。これに対して当社では責任を負いませんので予めご了承ください。

© 2022 Autodesk, Inc. All rights reserved.

付録 A

機械エンジニア：現在と将来のワークフローの比較

注：将来のワークフローは、現在のワークフローと同様の手順を必要としますが、融合プラットフォーム、接続されたワークフロー、部門横断的なコラボレーションによって、その実現速度が大幅に加速されます。

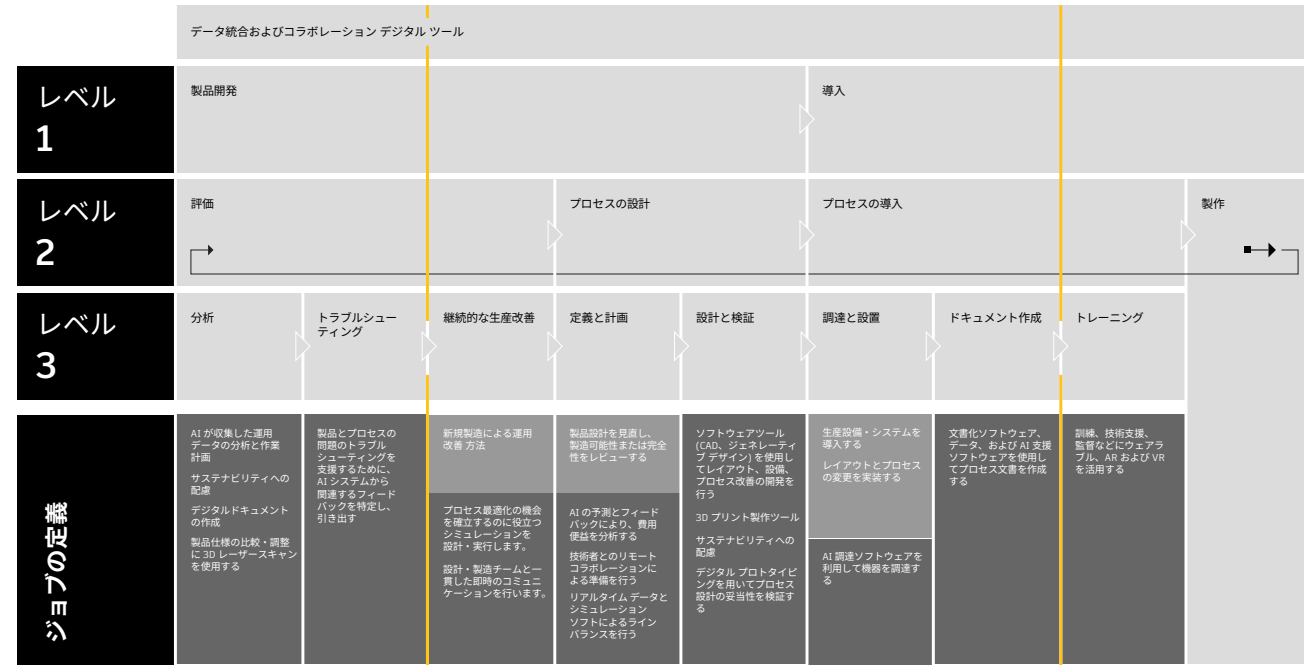


■ 製品設計と製造 (D&M) プロセス
 ■ 現在のワークフロー
 ■ 将来的なワークフロー
 ■ 製造エンジニアおよび機械オペレーターとのコラボレーション

付録 B

製造エンジニア：現在と将来のワークフローの比較

注：将来のワークフローは、現在のワークフローと同様の手順を必要としますが、融合プラットフォーム、接続されたワークフロー、部門横断的なコラボレーションによって、その実現速度が大幅に加速されます。

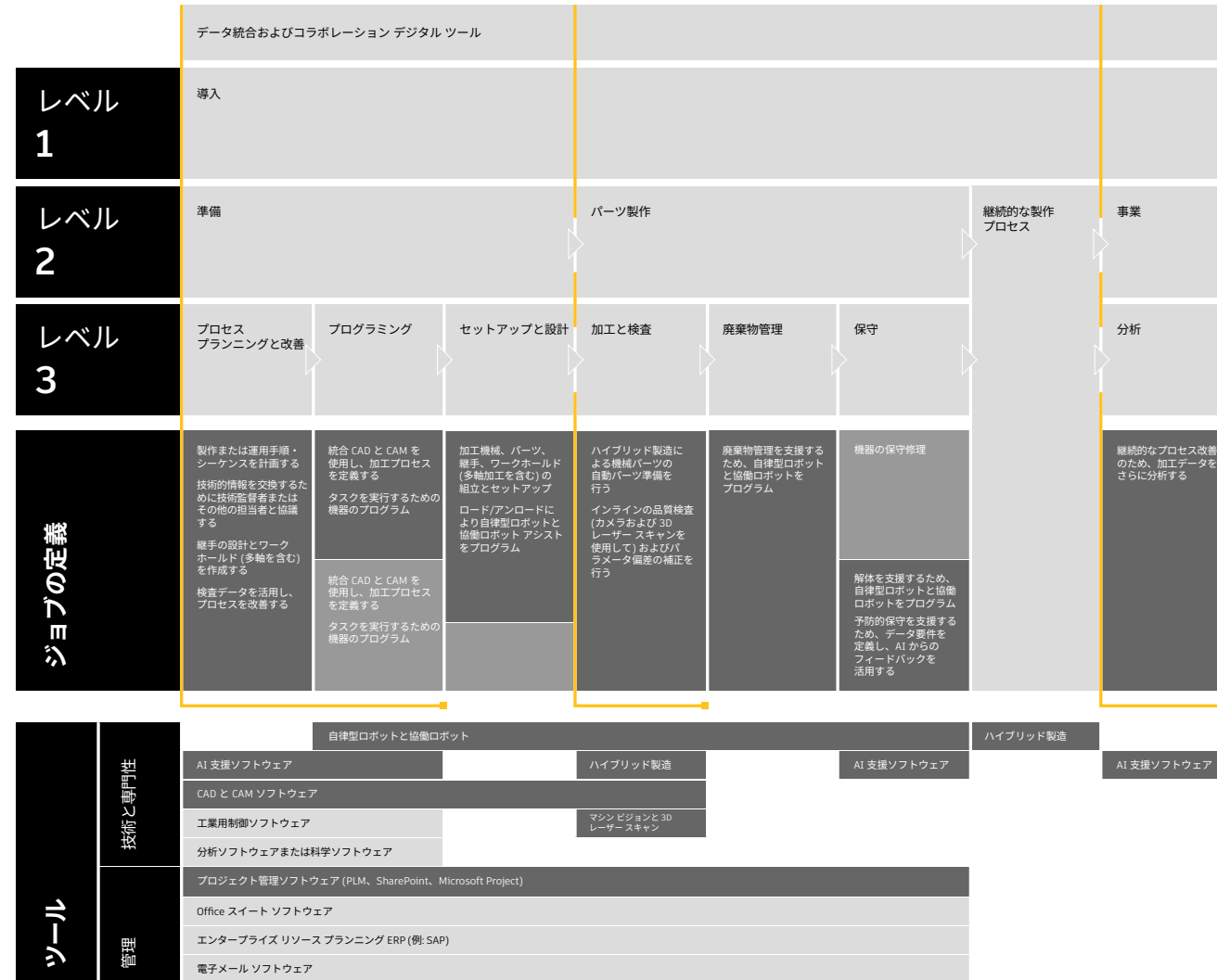


- 製品設計と製造 (D&M) プロセス
- 現在のワークフロー
- 将来的なワークフロー
- 機械エンジニアおよび機械オペレーターとのコラボレーション

付録 C

機械オペレーター：現在と将来のワークフローの比較

注：将来のワークフローは、現在のワークフローと同様の手順を必要としますが、融合プラットフォーム、接続されたワークフロー、部門横断的なコラボレーションによって、その実現速度が大幅に加速されます。



- 製品設計と製造 (D&M) プロセス
- 現在のワークフロー
- 将来的なワークフロー
- 機械エンジニアおよび製造エンジニアとのコラボレーション



AUTODESK™



ASME
SETTING THE STANDARD