

# 製造業 R&D における生成的革命：デジタルデザインからインテリジェントマテリアルまで

Gemini Deep Research

## エグゼクティブサマリー

製造業の研究開発（R&D）領域において、生成 AI はもはや仮説上の技術ではなく、生産性とイノベーションを駆動する具体的な要因として確固たる地位を築きつつあり、その市場は指数関数的な成長が見込まれている。本レポートでは、この技術変革の現状、主要な応用領域、具体的なインパクト、導入における課題、そして将来の展望について包括的に分析する。

生成 AI がもたらす変革は、主に三つの柱に集約される。第一に「ジェネレーティブデザイン」であり、これは製品の形状設計を根本から覆し、軽量化、部品統合、性能向上を前例のないレベルで実現する。第二に「マテリアルズインフォマティクス」であり、AI を用いて新素材の探索と開発を加速させ、従来は数年を要した開発サイクルを数ヶ月単位に短縮する。第三に「インテリジェントシミュレーション」であり、製品や生産プロセス、さらには工場全体のデジタルツインを構築・運用し、物理的な試作を介さずに高度な最適化を可能にする。

これらの技術の採用は加速しているものの、知的財産の保護、データ品質の確保、専門人材の育成、そして組織文化の変革といった重大な課題も同時に浮上している。将来の展望としては、自律的にタスクを遂行する「AI エージェント」や、デジタル空間と物理空間を融合する「フィジカル AI」の台頭が予測される。これにより、人間のエンジニアの役割は、実行者から戦略的な指示者へと移行し、AI との共生関係が新たな R&D の標準となるだろう。本レポートは、この不可逆的な変化の潮流を乗りこなし、競争優位を確立するための戦略的指針を提供することを目的とする。

---

## 1. 新しい R&D パラダイム：生成 AI の市場動向と導入状況

製造業における生成 AI の導入は、技術的な転換点に達しており、その経済的背景と実際の導入状況を理解することは、今後の戦略を策定する上で不可欠である。本セクションでは、定量的な市場データと定性的な調査結果を融合させ、この変革の全体像を明らかにする。

## 1.1. 市場規模と成長予測：機会の定量化

製造業における AI 市場は、爆発的な成長軌道に乗っている。2019 年に 81 億 4,400 万ドルと評価された世界市場は、2032 年までに 6,951 億 6,000 万ドルに達すると予測されており、その年平均成長率（CAGR）は 37.7%という驚異的な数値を示している<sup>1</sup>。別の予測でもこの傾向は裏付けられており、2025 年の市場規模を 760 億ドル、2032 年までには 6,233 億 3,000 万ドルに達し、CAGR は 35.1%になるとされている<sup>1</sup>。

この成長はグローバルな現象であり、日本国内市場も例外ではない。日本の生成 AI 市場は急速に拡大しており、2028 年には 1 兆 7,397 億円規模に達するとの予測もある<sup>2</sup>。この力強い成長の背景には、生成 AI がバリューチェーン全体にわたって効率性、生産性、そして意思決定能力を向上させるという確信がある<sup>1</sup>。生成 AI は、次なる生産性のフロンティアを切り拓くための重要な鍵と見なされている<sup>4</sup>。

## 1.2. 導入の現状：実験から本格活用への過渡期

市場の期待は大きい一方で、実際の企業導入はまだ初期段階にあることが調査から明らかになっている。2025 年に製造業従事者 402 名を対象に行われた調査によると、回答企業の 65.6%が何らかの形で生成 AI を利用しているものの、その大半（47.0%）は「試験的な利用」に留まっており、「積極的に利用している」と回答したのは 18.6%に過ぎない<sup>5</sup>。

この結果は、市場が織り込む長期的な価値と、現在の企業における本格的な業務統合との間にギャップが存在することを示唆している。現在の主な利用目的は、「企画書やドキュメントのドラフト作成」「情報の要約」「情報収集」「プログラムコードの生成支援」といった、比較的风险が低く、即時的な効率化が見込める業務に集中している<sup>5</sup>。

この状況は、多くの企業が生成 AI の潜在能力を認識しつつも、その導入を慎重に進めている過渡期にあることを物語っている。市場の予測が示す天文学的な成長ポテンシャルは、これらの

初期的な活用事例から、より深く、中核的な業務プロセスへと AI が統合されていく未来を織り込んでいる。現在、多くの企業が直面しているのは、この「実験段階」から抜け出し、ジェネレーティブデザインやマテリアルズインフォマティクスといった、より価値の高い応用へと移行できるかという戦略的な課題である。このギャップを他社に先駆けて埋めることができた企業は、莫大な先行者利益を享受する可能性がある一方で、「パイロット運用地獄（pilot purgatory）」に陥る企業は、競争から取り残されるリスクを負うことになる。

### 1.3. R&D のツールキット：主要プラットフォームとサービス

現在、製造業で利用されている生成 AI ツールは、大きく二つの階層に分かれている。

第一の階層は、広く導入されている汎用的な大規模言語モデル（LLM）である。調査によれば、業務での使用経験が最も多いサービスは「ChatGPT」であり、次いで「Microsoft Copilot」、「Gemini」と続く<sup>5</sup>。これらのツールは、自然言語による対話形式で操作できるため、専門家でなくとも AI の恩恵を受けられる「AI の民主化」を推進している<sup>7</sup>。

第二の階層は、中核的な R&D 業務に特化した専門プラットフォームである。これには、ジェネレーティブデザインを実現する「Autodesk Fusion 360」、工場のデジタルツインや産業シミュレーションを構築するための「Siemens MindSphere」や「NVIDIA Omniverse」などが含まれる<sup>8</sup>。

この二層構造のエコシステムは、製造業における AI 戦略が「バイモーダル（二峰性）」なアプローチを必要とすることを示唆している。つまり、一方では汎用 LLM を活用して、ドキュメント作成や情報整理といった水平的な業務からエンジニアを解放し、生産性を向上させる。そしてもう一方では、設計、材料探索、シミュレーションといった垂直的で専門的な中核業務を直接加速させるため、特化型プラットフォームへの投資と深いレベルでの業務統合を進める必要がある。最高技術責任者（CTO）にとっての課題は、これら二種類の異なる投資、スキル要件、そして統合プロセスを同時に管理し、両者の相乗効果を最大化することにある。

表 1.1:製造業における生成 AI の導入状況と市場概観

| 指標                | 数値/内容   | 出典 |
|-------------------|---------|----|
| 世界市場規模 (2025 年予測) | 760 億ドル | 1  |

|                           |                      |   |
|---------------------------|----------------------|---|
| 世界市場 CAGR (2025 - 2032 年) | 35.1%                | 1 |
| 日本市場規模 (2028 年予測)         | 約 1 兆 7,397 億円       | 2 |
| 導入段階：積極利用                 | 18.6%                | 5 |
| 導入段階：試験的利用                | 47.0%                | 5 |
| 主要利用プラットフォーム              | 1. ChatGPT           | 5 |
|                           | 2. Microsoft Copilot | 5 |
|                           | 3. Gemini            | 5 |

## 2. 第一の柱：ジェネレーティブデザインによる形状と機能の再定義

ジェネレーティブデザインは、製造業 R&D における生成 AI の応用の中で、最も視覚的かつ概念的にインパクトのある分野である。本セクションでは、その基本原理から具体的な便益、そして業界をリードする企業による詳細なケーススタディに至るまでを深く掘り下げる。

### 2.1. AI 駆動設計の原理：トポロジー最適化を超えて

ジェネレーティブデザインは、自然界の進化的アプローチを模倣した AI 駆動の設計プロセスである<sup>9</sup>。既存の設計を改良する従来のトポロジー最適化とは異なり、ジェネレーティブデザインは、設計目標、材料、製造方法、コスト制約といった初期パラメータの集合から、膨大な数

の設計案をゼロから探求する<sup>9</sup>。

AI は、何千、時には何百万もの設計代替案を性能要件に照らして自動的にテスト・検証し、人間の設計者に対して、最適化された、しばしば直感に反するような形状の選択肢を提示する<sup>11</sup>。このプロセスは、エンジニアの役割を、形状を「創り出す」ことから、問題を「定義」し、最適な結果を「選択」することへと根本的にシフトさせる<sup>14</sup>。

## 2.2. 中核的便益：軽量化、部品統合、性能向上

ジェネレーティブデザインがもたらす便益は多岐にわたるが、特に以下の三点が重要である。

- **軽量化 (Lightweighting):** 最も顕著な利点であり、構造的に必要な部分にのみ材料を配置することで、強度を維持または向上させつつ、大幅な重量削減を実現する<sup>11</sup>。これは、航空宇宙産業や自動車産業において、燃費効率や性能向上に直結する極めて重要な要素である<sup>16</sup>。
- **部品統合 (Parts Consolidation):** 複数の部品からなる複雑なアセンブリを、単一の精巧な部品に統合することができる<sup>11</sup>。これにより、サプライチェーンが簡素化され、組み立てコストと時間が削減されるだけでなく、故障の潜在的な原因となる接合部が排除される<sup>11</sup>。
- **性能向上 (Performance Enhancement):** 耐久性、放熱性、流体力学など、複数の目標に対して同時に設計を最適化できるため、より高性能な製品を生み出すことが可能になる<sup>11</sup>。例えば、パナソニックは AI を活用し、熟練の人間エンジニアでは到達できなかった、出力を 15%向上させたシェーバー用モーターを設計することに成功した<sup>21</sup>。

## 2.3. ケーススタディ：自動車セクター

- **トヨタ自動車:** Autodesk Fusion 360 を活用して自動車のシートフレームを再設計し、強度を維持しながら大幅な軽量化と薄型化を達成、車内空間の拡大に貢献した。このプロセスは、設計チームを「従来の固定概念から解放」し、コスト削減とユーザーの快適性向上につながったと報告されている。この成功を受け、同社は他の主要車両コンポーネントへの応用ロードマップを策定している<sup>16</sup>。
- **BMW:** 車両プラットフォーム全体で軽量化のためにジェネレーティブデザインを広範に活用している。モジュラー式スポーツカープラットフォームに関する研究では、ジェネレーティブデザインによって設計されたアルミニウム部品が、従来の鋼鉄部品と同等の強度を

達成しつつ、大幅な軽量化を実現できることが示された<sup>24</sup>。また、同社はロボット組立ライン用のグリッパー（掴み手）をジェネレーティブデザインと 3D プリンティングで製造し、重量を 30%削減した。これにより、ロボットのエネルギー消費が削減され、将来的にはより小型で安価なロボットの導入も可能になる<sup>25</sup>。

- **ゼネラルモーターズ (GM):** 燃費や電気自動車の航続距離を改善するための主要な競争優位性としてジェネレーティブデザインとアディティブマニファクチャリングを位置づけ、多数の車両部品の最適化に取り組んでいる<sup>18</sup>。
- **デンソー:** エンジン直載型 ECU（電子制御ユニット）をジェネレーティブデザインで開発。優れた冷却性能を確保しながら、従来の筐体よりも 12%の軽量化を実現した革新的なデザインを生み出した<sup>17</sup>。

## 2.4. ケーススタディ：航空宇宙・防衛セクター

- **エアバス:** Autodesk との画期的な共同プロジェクトで、A320 型機の客室間仕切り（パーティション）を再設計した。細胞の成長に着想を得た「バイオニック」な格子構造を持つこのパーティションは、従来設計より 45%（30kg）軽量化された。この部品が A320 の全受注機に搭載された場合、年間推定 46 万 5,000 トンの CO2 排出量削減につながると試算されている<sup>17</sup>。
- **NASA:** Autodesk と提携し、ジェネレーティブデザインによる惑星間着陸船を開発した。AI が設計した構造は、性能が最適化されただけでなく、10 個以上の部品を一つに統合し、組み立てプロセスを劇的に簡素化した<sup>18</sup>。また、NASA は組込みソフトウェアコード（C、C++）の生成にも AI を活用し、エンジニアリング時間を大幅に節約している<sup>27</sup>。

ジェネレーティブデザインの成功事例を分析すると、それがアディティブマニファクチャリング（3D プリンティング）と密接な共生関係にあることがわかる。ジェネレーティブデザインのアルゴリズムが生み出す複雑で有機的な格子状の構造は、従来の切削加工（CNC 加工など）では製造が不可能か、法外に高コストになることが多い<sup>20</sup>。一方で、アディティブマニファクチャリングは、このような複雑な形状を積層造形によって実現するのに非常に適している<sup>11</sup>。エアバスのパーティション<sup>26</sup>や他の多くの事例<sup>17</sup>で 3D プリンティングが最終部品の製造に用いられているのは偶然ではない。これは因果関係である。ジェネレーティブデザインが新たな形状の可能性の扉を開き、アディティブマニファクチャリングがそれを物理的に具現化する鍵を提供する。したがって、一方の技術戦略は、もう一方の戦略なしには不完全である。両者の組み合わせが、製造能力に飛躍的な変化をもたらすのである。

さらに、「部品統合」という便益は、単なるエンジニアリング上のコスト削減策にとどまらない。これは、サプライチェーンを簡素化し、リスクを低減するための戦略的ツールとしての側面を持つ。NASA が 10 個以上の部品を 1 つに統合した例<sup>20</sup>は、この点を明確に示している。

統合前の 10 個の部品は、それぞれにサプライヤー、調達プロセス、品質管理、在庫管理、そして組立工程が存在した。これらを統合することで、管理すべきサプライヤーの数が減り、部品表 (BOM) が縮小し、物流が簡素化され、故障や遅延の潜在的な要因が複数排除される。地政学的な不安定さやサプライチェーンの混乱が増大する現代において、この複雑性の低減は、初期の設計段階をはるかに超えた、事業の回復力 (レジリエンス) に影響を与える重要な競争優位性となる。

## 2.5. テクノロジースポットライト : Autodesk Fusion 360

Autodesk Fusion 360 は、この分野における主要な実現プラットフォームとして機能しており、CAD (コンピュータ支援設計)、CAM (コンピュータ支援製造)、CAE (コンピュータ支援エンジニアリング) を、クラウドベースのジェネレーティブデザインツールと統合している<sup>9</sup>。

このプラットフォームの特長は、3D プリンティング、5 軸フライス加工、鋳造といった複数の製造方法やコストパラメータを設計の初期段階で定義できる点にある<sup>12</sup>。これにより、生成される設計案は、理論的に最適だけでなく、実際に製造可能で経済的にも見合うものとなる。さらに、機械学習と AI を活用することで、クラウドで生成された多数の設計案を、視覚的な類似性や性能プロットに基づいてフィルタリング・レビューすることが可能になり、人間と機械の協調的な設計プロセスを強化している<sup>12</sup>。

---

## 3. 第二の柱 : マテリアルズインフォマティクスによるイノベーションの加速

本セクションでは、AI の応用の中でも、目には見えにくいが同様に革命的な影響をもたらす新素材の開発について探求する。ここでは、従来の時間のかかる試行錯誤的な研究アプローチから、データ駆動型の迅速な予測的アプローチへの転換に焦点を当てる。

### 3.1. 試行錯誤の終焉 : AI による材料特性の予測

マテリアルズインフォマティクス (MI) は、AI と機械学習を用いて、材料の組成や実験結果に関する膨大なデータセットを解析し、物理的な合成を行うことなく新しい材料の組み合わせが持つ特性を予測する技術である<sup>30</sup>。

このアプローチにより、研究者は新素材の探索範囲を大幅に絞り込み、AI が最も有望であると特定した候補に実験室での作業を集中させることができる。これにより、コストと時間がかかる実験の回数を最小限に抑えることが可能になる<sup>30</sup>。このプロセスでは、分子フィンガープリントのような、材料を機械学習モデルが処理できる数値や文字列形式に変換する「記述子」の作成が重要な役割を果たす<sup>30</sup>。

### 3.2. 定量的なインパクト：数年の開発サイクルを圧縮

MI がもたらすインパクトは、R&D 期間の劇的な短縮という形で最も明確に現れている。

- **サムスン:** マサチューセッツ工科大学 (MIT) との共同研究において、従来であれば 5 年を要するとされた全固体電池材料の開発を、MI を活用することでわずか 1 年で成功させた<sup>32</sup>。
- **旭化成:** 「MI 人財」の社内育成に注力することで、従来数年かかっていた材料開発を半年で達成するなど、開発期間を半分以上に短縮した<sup>32</sup>。
- **東レ:** 難燃性と力学特性という相反する特性を両立させる必要がある炭素繊維強化プラスチック (CFRP) の開発において、従来 2~3 年かかっていた設計サイクルを、設計・評価段階では数ヶ月に短縮した<sup>32</sup>。
- **産業技術総合研究所 (AIST):** フレキシブル透明フィルムの開発に必要な実験回数を、AI の予測によって従来の 25 分の 1 に削減した<sup>32</sup>。

### 3.3. ケーススタディ：産業応用

- **横浜ゴム:** タイヤ用ゴムの開発において、ポリマーと充填剤の様々な組み合わせが転がり抵抗や耐摩耗性といった性能にどう影響するかを MI で予測。これにより、従来はトレードオフの関係にあった特性を両立させる高性能ゴムの設計を革新した。同社のシステムは、人間と AI が協調して新たな知見を得ることを目指している<sup>32</sup>。
- **ENEOS:** 高性能ポリマーの収率改善や新しい潤滑油の設計に MI を活用。化学シミュレーションの結果を AI に入力することで、最適な製造プロセスを予測している<sup>32</sup>。
- **NEC / 東北大学:** 独自開発の MI プラットフォームを用いて、熱電変換材料の効率をわずか

1 年で **100 倍**に向上させた<sup>32</sup>。

- **日本ゼオン / AIST:** 画像やスペクトルなど、異なる種類のデータ（マルチモーダルデータ）を統合的に処理できる AI を開発し、より複雑な材料系の特性予測に取り組んでいる。これは **MI** の応用範囲をさらに広げる試みである<sup>32</sup>。

これらの事例を分析すると、特に日本の大手化学・素材メーカー（横浜ゴム、旭化成、東レ、ENEOS、日本ゼオン）と、韓国の競合企業（サムスン）が **MI** の活用を積極的に進めていることがわかる<sup>32</sup>。ある資料では、「日本の不可欠な輸出産業の中心にあるのは、工業素材である」と明記されている<sup>32</sup>。この事実は、歴史的に高度な素材製造を経済的強みとしてきた日本のような国にとって、**MI** が単なる企業効率化のツールではなく、基幹産業における国家的な競争力を維持するために不可欠な戦略的技術であることを示唆している。次世代電池材料の開発競争（サムスンとトヨタの事例が言及されている<sup>32</sup>）は、このような技術ナショナリズム的な競争の典型例である。**MI** を制する国が、エレクトロニクスからエネルギーまで、あらゆる産業の基盤となる技術革新をリードする可能性が高い。

さらに、先進的な **MI** システムは、単に成功する材料の化学式を予測する「ブラックボックス」ではない。それは、研究者が根本的な原理を理解するのを助け、人間の直感と機械知能の間の協調的なサイクルを促進する「説明可能なツール」である。横浜ゴムのシステムは「人と AI が協力して新たな知見を得る」ことを目指し<sup>32</sup>、NEC のシステムはモデルを可視化して「研究者のデータ理解を深める」ことを意図している<sup>32</sup>。これにより、研究者の役割は、骨の折れる混合とテストの作業から、より高次元の仮説生成と検証へとシフトする。AI が膨大な組み合わせの探索を担うことで、人間の科学者は「なぜ特定の組み合わせが機能するのか」という、より本質的な問いに集中できるようになり、結果として、より深い科学的理解と大きなブレークスルーにつながるのである。

### 3.4. データの課題：MI のアキレス腱

**MI** の有効性は、入力されるデータの質と量に完全に依存する<sup>35</sup>。しかし、過去の実験データは、紙の実験ノートのような非デジタル形式で保存されていたり、構造化されていなかったりすることが多く、これが大きな課題となっている<sup>36</sup>。

物質名の表記ゆれや、実験結果が自然言語の文章で記述されているといった問題は、データの前処理（データラングリング）を **MI** プロジェクトにおける主要なボトルネックにしている<sup>36</sup>。この、しばしば過小評価されがちなデータ整備のフェーズが、**MI** の成否を分ける重要な要素となっている。

---

## 4. 第三の柱：デジタルツインとインテリジェントシミュレーションの台頭

本セクションでは、生成 AI が製品、プロセス、さらには工場全体の高度で動的なシミュレーションを生成・管理するためにどのように利用されているかを分析する。これにより、R&D の主戦場が物理的な世界から仮想的な世界へと移行しつつある現状を明らかにする。

### 4.1. CAD モデルから生きたシミュレーションへ：AI 駆動のデジタルツイン

デジタルツインとは、物理的な資産やシステムの仮想的なレプリカである<sup>37</sup>。生成 AI は、このデジタルツインを強化し、膨大な範囲の稼働条件やシナリオをシミュレーションさせ、物理的なプロトタイプなしに結果を予測することを可能にする<sup>37</sup>。

これにより、製品性能の最適化、材料やプロセスのコスト効率化、そして高効率な生産フローの設計などを、物理的なインフラに資本を投下する前に仮想環境で実行できる。これは、R&D のあり方を根本的に変えるものである<sup>37</sup>。

### 4.2. 見えざるものの最適化：AI によるプロセス分析

生成 AI は、生産ラインの IoT センサーなどから得られるデータを分析し、ボトルネックを特定し、ワークフローを最適化し、理想的な生産計画を自動生成することができる<sup>8</sup>。

また、稼働データを解析して機器の故障を発生前に予測する「予知保全」にも活用され、ダウンタイムを最小限に抑える<sup>14</sup>。これはシーメンス社の AI イニシアチブの主要な特徴の一つである<sup>10</sup>。品質管理の領域では、AI が潜在的な欠陥の画像を自動生成し、それを自動検査システムの訓練データとして使用することで、検出精度を向上させるといった応用も進んでいる<sup>8</sup>。

### 4.3. テクノロジースポットライト：インダストリアルメタバースプラットフォーム

## フォーム

- **NVIDIA Omniverse:** OpenUSD 標準をベースに、3D ツールとアプリケーションを開発・接続するためのプラットフォーム。物理的に正確でリアルタイムな工場全体のデジタルツインの構築を可能にする<sup>40</sup>。Foxconn や BMW グループなどの企業は、Omniverse を利用して生産施設の設計、シミュレーション、管理を行っている<sup>27</sup>。このプラットフォームは、遠隔地からの共同作業、ロボットシミュレーション、他の AI を訓練するための合成データ生成などを促進する<sup>41</sup>。
- **Siemens MindSphere & Xcelerator:** 産業用 IoT プラットフォームであり、AI と機械学習を用いて機械データを分析し、オペレーションを最適化する<sup>10</sup>。予知保全、エネルギー管理、生産収率の最適化といったツールを提供し、「AI for Everyone（すべての人のための AI）」というコンセプトの下、データサイエンティストでなくとも高度な分析を行えるように設計されている<sup>45</sup>。

### 4.4. ケーススタディ：バーチャルファクトリー

- **BMW:** NVIDIA Omniverse を用いて「バーチャルファクトリー」を構築し、生産プロセスの計画と最適化を行っている。これにより、実際の生産ラインを停止させることなく、新しいレイアウトやロボットの導入をシミュレーションでき、よりスムーズな操業と資源配分の最適化を実現している<sup>27</sup>。
- **Foxconn:** NVIDIA のスーパーチップのような最先端システムを含む、グローバルな生産施設の設計と管理に Omniverse ベースのデジタルツインを活用している<sup>40</sup>。
- **メルセデス・ベンツ:** 「デジタルファースト」アプローチを採用し、デジタルツインを用いて生産計画の柔軟性を高め、新モデルの生産立ち上げ時間を短縮している<sup>47</sup>。

デジタルツイン技術の進化は、R&D 部門と製造現場の間の伝統的な境界線を曖昧にしている。従来、R&D が製品を設計し、その後で製造部門がその生産方法を考案するという直線的なプロセスが一般的だった。しかし、BMW や Foxconn の事例が示すように<sup>27</sup>、企業は今や、製品そのものを設計すると同時に、工場と生産プロセスをも仮想環境で設計している。これにより、設計上の選択が生産効率に与える影響をリアルタイムで把握できる、継続的なフィードバックループが生まれる。R&D はもはや単なる「製品の研究開発」ではなく、「製品

とプロセスの研究開発」へとその役割を拡大している。これは、設計と製造システムの両方を理解する、新しいタイプの統合型エンジニアを必要とすることを示唆している。

さらに、Omniverse のようなプラットフォームが持つ「合成データ生成」能力<sup>41</sup>は、AI 開発

のための強力な自己強化サイクルを生み出す。外観検査やロボットナビゲーションのための AI モデルを訓練するには、膨大な量のラベル付きデータが必要だが、これを実世界で収集するのはコストも時間もかかる。高忠実度のデジタルツインは、様々な条件下（異なる照明、製品の向き、欠陥の種類など）で、事実上無限の量の完璧にラベル付けされた合成データを生成できる。この合成データが、現実の工場で稼働する AI モデルの訓練と改良に使用される。つまり、工場を運営する AI が、その工場の仮想版で訓練されるのである。これは AI の導入を劇的に加速させるだけでなく、強力なフライホイール効果を生み出す。より良いデジタルツインがより良いデータを生成し、それがより良い AI を訓練し、それがより効率的な現実の工場につながり、そしてその工場がデジタルツインをさらに洗練させるための新たなデータを提供する、という好循環である。

---

## 5. 戦略的実装：課題の克服と能力構築

本セクションでは、AI の潜在能力から実装の現実へと視点を移し、AI イニシアチブを頓挫させかねない重大な障壁と、それを克服するための戦略的要請に焦点を当てる。

### 5.1. 信頼とセキュリティのジレンマ：知的財産とデータ保全

生成 AI 導入における最大の障壁の一つは、知的財産（IP）および機密情報の漏洩リスクである。特に、クラウドベースのパブリックな AI モデルを利用する場合、独自の設計データや機密性の高いプロセス情報を外部サーバーに入力することへの懸念は大きい<sup>48</sup>。

入力されたデータが保存されたり、サービス提供者のモデル訓練に利用されたり、あるいはセキュリティ侵害によって流出したりする現実的なリスクが存在する<sup>48</sup>。このため、厳格な社内ルール策定、AI サービス利用規約の慎重な精査、そして法務・情報システム部門を巻き込んだ長期間の承認プロセスが必要となり、これが導入の足かせとなることがある<sup>48</sup>。

### 5.2. 「ブラックボックス」とデータ品質の問題

- **説明可能性:** 複雑な AI モデルの意思決定プロセスは不透明な「ブラックボックス」であることが多く、出力結果の妥当性を検証することが困難な場合がある。これにより、エンジ

ニアが AI の生成物を厳密にチェックする必要性が生じ、かえって検証・承認の作業負荷が増大する可能性がある<sup>48</sup>。

- **データ品質**：「Garbage in, garbage out（ゴミを入れればゴミしか出てこない）」の原則は、AI において絶対的である。AI モデルの精度は訓練データの品質に大きく依存するため、不正確、古い、あるいは構造が不十分なデータを使用すると、誤った出力を生成し、システムへの信頼を損なうことになる<sup>35</sup>。

AI は生産性を飛躍的に向上させる可能性を秘めているが、その初期導入段階では、特に検証とガバナンスの領域で新たなボトルネックや作業負荷を生み出すというパラドックスが存在する。AI のブラックボックス性<sup>48</sup>は、人間による検証作業を増加させ、厳格な情報セキュリティ要件<sup>48</sup>は、法務や IT 部門との調整に時間を要する。このため、R&D を加速させるはずのツールが、短期的には信頼の欠如と確立されたガバナンスの不在により、プロセスを遅延させる可能性がある。これは、生成 AI 導入の初期的な投資対効果（ROI）が、純粋な「スピード」ではなく、設計案の多様性拡大のような「質の向上」にあることを示唆している。スピードという恩恵は、組織が自動検証チェック、明確なガバナンスポリシー、そして AI の出力を効率的に信頼・検証できる訓練された労働力といった「社会的インフラ」を構築して初めて具現化されるのである。

### 5.3. 人的要素：AI 人材の断絶

長期的かつ最も重大な課題は、専門スキルを持つ人材の不足である。デジタル人材に対する競争は激しく、製造業がトップクラスのソフトウェアエンジニアや AI 専門家を惹きつけるのは容易ではない<sup>49</sup>。

成功する AI 戦略には、二種類の人材育成が不可欠である。一つは AI アルゴリズムを開発する「AI 創造者」（研究者、データサイエンティスト）であり、そしてより重要なのが、AI ツールを自身の専門領域で効果的に活用できる「AI 利用者」（エンジニア、設計者、マネージャー）である<sup>50</sup>。

これを実現するには、既存従業員のスキルアップ、AI 専門家のための明確なキャリアパスの構築、データ駆動型文化の醸成、そして経営層による強力なトップダウンのコミットメントといった多角的なアプローチが求められる<sup>38</sup>。旭化成のように、社内研修プログラムが非常に効果的であることも示されている<sup>32</sup>。

### 5.4. 導入ロードマップ：パイロットから全社展開へ

生成 AI の導入を成功させるには、価値を証明するための初期パイロットプロジェクトから始め、その後、より広範な業務統合へと進む、戦略的かつ段階的なアプローチが必要である。

AI イニシアチブを、単なる技術的脅威としてではなく、従業員の日常業務を支援し、明確なビジネス課題を解決するものとして位置づけることが極めて重要である<sup>38</sup>。最終的な目標は、単なるツールの導入に留まらず、AI による洞察に基づいて意思決定が継続的に行われ、改善されていくデータ駆動型の組織文化への変革である<sup>38</sup>。

生成 AI 技術は急速に成熟しつつある。その価値を最大限に引き出す上での主要な障害は、もはやアルゴリズムの能力ではなく、組織がその文化、プロセス、そしてスキルを変革する能力にある。これは「ラストマイル問題」が技術的ではなく、人間的・組織的なものであることを意味する。多くの資料が人材不足、データ駆動型文化の必要性、そしてリーダーシップの重要性を指摘している<sup>38</sup>。ガートナー社のハイプ・サイクルにおける「幻滅期」を乗り越える鍵が「業務への定着化」にあるという指摘<sup>52</sup>は、この点を裏付けている。生成 AI の導入を純粋な IT プロジェクトとして扱う企業は失敗する可能性が高い。一方で、人材とプロセスに重点を置いた根本的な事業変革として取り組む企業こそが、本レポートの冒頭で示されたような価値を獲得することができるだろう。

---

## 6. 次なるフロンティア：製造業における生成 AI の未来

本最終セクションでは、現在の応用事例を超えて、生成 AI の将来的な進化を展望する。AI エージェントやフィジカル AI といった次世代の概念が、製造業 R&D の風景をいかにしてさらに変貌させるかを探る。

### 6.1. ツールからチームメイトへ：自律型 AI エージェントの出現

生成 AI の次なる進化のステップは、人間の指示に応答する受動的なツールから、ユーザーが定義した目標を達成するために複雑なタスクを自律的に設計、実行、管理できる能動的な「AI エージェント」への移行である<sup>53</sup>。

R&D の文脈では、AI エージェントに「新型エンジン用の軽量ブラケットを設計せよ」といった高レベルの指示を与えるだけで、エージェントが自律的にジェネレーティブデザインのスタ

ディを実行し、シミュレーションを行い、コスト制約と照合し、完全に検証済みの選択肢一式を人間のエンジニアに提示する、といった未来が考えられる<sup>53</sup>。これにより、人間の役割は、技術的なワークフローを管理するオペレーターから、目標を設定し最終的な意思決定を行うストラテジストへと、さらに高度化するだろう<sup>52</sup>。

## 6.2. デジタルと物理の架け橋：生成 AI とロボティクスの融合（フィジカル AI）

「フィジカル AI」は、高度な生成 AI モデルとロボティクスが融合し、機械が物理世界をより一般的かつ適応的に理解し、相互作用することを可能にする概念である<sup>53</sup>。

ロボットは厳密にプログラムされるのではなく、「この部品を組み立てろ」といった自然言語の指示を解釈し、視覚、言語、モーター制御を統合したマルチモーダル AI によって、環境の変化に適応しながら行動できるようになる<sup>22</sup>。メルセデス・ベンツはすでに、人間型ロボット（Apptронik 社の Apollo）を物流や組立作業に試験導入しており、これらを熟練作業者のためのインテリジェントな支援システムと位置づけている<sup>47</sup>。また、オムロンは口頭での指示に基づいて動作するロボットの開発を進めている<sup>22</sup>。

## 6.3. 長期的展望：共生型企業（Symbiotic Enterprise ）

2035 年に向けて、AI エージェントとフィジカル AI の統合は、人間と AI が深く統合されたパートナーシップを築く「共生型企業」へとつながるだろう<sup>53</sup>。

R&D プロセスは動的かつ流動的になり、AI エージェントがリアルタイムで設計とプロセスを継続的に最適化する。フィジカル AI ロボットが仮想世界で計画・最適化されたタスクを物理世界で実行するようになると、デジタルツインと物理的な工場の境界はますます曖昧になる<sup>53</sup>。

イノベーションのペースはさらに加速するが、成功の鍵は、人間の監督と AI の自律性の間の複雑な相互作用を管理し、倫理的で信頼性の高い成果を確保することにある<sup>53</sup>。技術の進化は非常に速く、最近開発されたソリューションがすぐに陳腐化する可能性もあり、長期的な戦略計画の策定が困難な環境が生まれている<sup>53</sup>。

AI エージェントとフィジカル AI の台頭は、R&D 専門家にとっての「スキル」の定義を根本か

から見直すことを迫る。現在、熟練エンジニアの価値は、CAD ソフトウェアの操作<sup>28</sup> やシミュレーションの実行といったツールの習熟度によって測られることが多い。しかし、AI エージェントがこれらのタスクを自律的に実行できるようになれば<sup>53</sup>、純粋な技術的実行能力の価値は相対的に低下する。新たな「スキル」とは、正しい問題を提起する能力、複雑で多目的な目標を定義する能力、複数の AI システムからの出力を解釈する能力、そして機械にはない戦略的・倫理的な判断を下す能力になるだろう。R&D の人材育成は、単なる「ツールオペレーター」の訓練から、「AI オーケストレーター」やシステム思考家を育成する方向へとシフトする必要がある。

最終的に、デジタルツイン、フィジカル AI、そして AI エージェントの組み合わせは、工場を静的な生産施設から、動的で継続的に学習し自己最適化する「学習する有機体」へと変貌させるだろう。デジタルツイン（第 4 セクション）が仮想環境を提供し、フィジカル AI ロボット<sup>54</sup> が現実世界での手足としてデータを収集し、AI エージェント<sup>53</sup> が脳として現実と仮想の両世界からのデータを分析し、非効率性を特定して改善策を提案する。これにより、物理ロボットがタスクを実行し、デジタルツインがそのバリエーションをシミュレーションし、AI エージェントが結果を分析して物理ロボットに最適化されたプロセスを指示するという、完璧なクローズドループが完成する。これこそが「スマートファクトリー」の究極の姿であり、単に自動化されているだけでなく、真に知的で進化的な改善能力を持つシステムである。R&D の機能は、この有機体に新製品と初期プロセスという「種」を蒔き、その後の継続的な自己改善を監督する役割を担うことになるだろう。

## 結論

製造業の R&D における生成 AI の活用は、単なる漸進的な改善ではなく、パラダイムシフトを引き起こす構造的な変革である。本レポートの分析を通じて、以下の結論が導き出される。

1. **導入は不可逆的な潮流である:** 市場規模の予測が示すように、生成 AI への投資と期待は巨大であり、現在はまだ試験的導入の段階にある企業が多いものの、本格的な活用への移行は時間の問題である。競争環境に適応するためには、生成 AI の導入はもはや選択肢ではなく、必須の戦略的要請となっている。
2. **価値創出は三つの柱に集中する:** 生成 AI のインパクトは、(1) 設計プロセスを革新し、物理法則に最適化された形状を生み出す「ジェネレーティブデザイン」、(2) 試行錯誤を排し、データ駆動で新素材開発を加速する「マテリアルズインフォマティクス」、(3) 物理的な制約から解放された仮想空間で製品とプロセスを最適化する「インテリジェントシミュレーション」という三つの領域で特に顕著である。これらの柱は相互に関連し、相乗効果を生み出す。
3. **成功の鍵は技術ではなく「組織能力」にある:** 最先端の AI ツールを導入するだけでは不十

分であり、その価値を最大限に引き出すためには、(a) 知的財産を保護する堅牢なセキュリティとガバナンス体制、(b) 高品質なデータを整備・活用する能力、そして何よりも (c) AI を使いこなし、AI と協働できる人材の育成と、データに基づいた意思決定を行う組織文化への変革が不可欠である。最大の障壁は、技術そのものではなく、組織の変革能力にある。

4. 人間の役割は「実行」から「指揮」へ移行する: AI が設計、分析、シミュレーションといった実行タスクを担うようになるにつれ、人間のエンジニアや研究者に求められるスキルは、高度な問題設定能力、複雑な目標の定義、倫理的判断、そして複数の AI システムをオーケストレーションする戦略的思考へとシフトする。人材育成戦略の根本的な見直しが急務である。
5. 未来は「共生」にある: AI エージェントやフィジカル AI の登場は、人間と AI がより深く統合された「共生型企业」の到来を予感させる。R&D と製造がシームレスに連携し、工場全体が自己学習・自己最適化する有機体となる未来において、企業はかつてないスピードでイノベーションを生み出す能力を獲得するだろう。

結論として、製造業が生成 AI という革命的な技術を前にして取るべき道は、傍観ではなく、積極的な関与である。課題を直視し、人材と組織への投資を怠らず、戦略的に導入を進める企業のみが、次世代の製造業における勝者となることができる。

## 引用文献

1. 製造市場規模の人工知能、シェア[2032] - Fortune Business Insights, 9 月 7, 2025 にアクセス、  
<https://www.fortunebusinessinsights.com/jp/%E8%A3%BD%E9%80%A0%E5%B8%82%E5%A0%B4%E3%81%AE%E4%BA%BA%E5%B7%A5%E7%9F%A5%E8%83%BD%EF%BC%88ai%EF%BC%8902824>
2. 生成 AI の活用に関するレポート - 日本とグローバル市場の対比および活用状況の概況, 9 月 7, 2025 にアクセス、<https://kksol.co.jp/news/generative-ai/>
3. 2025 年 AI と IT 市場の未来像と最新動向 - SY Partners, 9 月 7, 2025 にアクセス、<https://syp.vn/jp/article/2025-top-6-IT-and-AI-trends>
4. 生成 AI がもたらす潜在的な経済効果 - McKinsey, 9 月 7, 2025 にアクセス、  
<https://www.mckinsey.com/jp/~media/mckinsey/locations/asia/japan/our%20insights/the-economic-potential-of-generative-ai-the-next-productivity-frontier-colormama-4k.pdf>
5. 製造業における生成 AI の業務活用動向調査【2025 年版】: 電子 ..., 9 月 7, 2025 にアクセス、<https://monoist.itmedia.co.jp/mn/articles/2504/18/news069.html>
6. マテリアルズインフォマティクス(MI)と生成 AI の連携による材料開発の効率化, 9 月 7, 2025 にアクセス、<https://www.mi-seek.com/knowledge/generative-ai.html>
7. 生成 AI の動向と産業影響【総合編】 - みずほ銀行, 9 月 7, 2025 にアクセス、  
[https://www.mizuhobank.co.jp/corporate/industry/sangyou/pdf/1074\\_all.pdf](https://www.mizuhobank.co.jp/corporate/industry/sangyou/pdf/1074_all.pdf)

8. 製造業向け生成 AI 活用方法 | ChatGPT の活用方法から業務効率化まで解説, 9 月 7, 2025 にアクセス、<https://products.sint.co.jp/aisia-ad/blog/how-to-use-generative-ai-for-manufacturing-industry>
9. Fusion 360 Introduction to Generative Design | Autodesk University, 9 月 7, 2025 にアクセス、<https://www.autodesk.com/autodesk-university/article/Fusion-360-Introduction-Generative-Design>
10. Artificial Intelligence (AI) - Siemens, 9 月 7, 2025 にアクセス、<https://www.siemens.com/us/en/company/topic-areas/artificial-intelligence.html>
11. Generative Design for Manufacturing | Autodesk Fusion, 9 月 7, 2025 にアクセス、<https://www.autodesk.com/solutions/generative-design/manufacturing>
12. Generative Design AI Software - Autodesk, 9 月 7, 2025 にアクセス、<https://www.autodesk.com/solutions/generative-design-ai-software>
13. If Your Design Needs to Lose Weight, Here's Every Reason to Try Generative Design, 9 月 7, 2025 にアクセス、<https://www.engineering.com/if-your-design-needs-to-lose-weight-heres-every-reason-to-try-generative-design/>
14. 製造業での生成 AI 活用術：効率化と生産性向上のためのガイド | コラム | クラウドソリューション, 9 月 7, 2025 にアクセス、<https://business.ntt-east.co.jp/content/cloudsolution/column-623.html>
15. [2007.14138] Generative Design for Performance Enhancement, Weight Reduction, and its Industrial Implications - arXiv, 9 月 7, 2025 にアクセス、<https://arxiv.org/abs/2007.14138>
16. 製造業を変革: ジェネレーティブ デザインのメリットと活用事例 - Autodesk, 9 月 7, 2025 にアクセス、<https://www.autodesk.com/jp/design-make/articles/generative-design-in-manufacturing>
17. ジェネレーティブデザインとは？人と AI が共創する技術の解説と事例紹介 | 346 design, 9 月 7, 2025 にアクセス、<https://346design.com/blog/ThLOWwln>
18. ジェネレーティブデザイン: 製造業の未来における 可能性の再定義, 9 月 7, 2025 にアクセス、<https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/industries/education/docs/ebook-generative-design-final-JP.pdf>
19. Fusion Help | Generative Design overview | Autodesk, 9 月 7, 2025 にアクセス、<https://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU/?guid=GD-OVERVIEW>
20. ジェネレーティブデザインとは？3D プリントの利点を生かした新たなものづくり - DMM.make, 9 月 7, 2025 にアクセス、<https://make.dmm.com/blog/3ddata/generative-design/>
21. 製造業の AI 活用事例 19 選！製品設計や需要予測など大手企業の成果 ..., 9 月 7, 2025 にアクセス、<https://rpa-technologies.com/insights/ai-manufacturer/>
22. 大手日本企業の生成 AI の活用事例 30 選 | 9 つの活用方法も紹介 - AI..., 9 月 7, 2025 にアクセス、<https://metaversesouken.com/ai/generative-ai/japanese-companies/>
23. もう手作業は古い？Fusion 360 ジェネレーティブデザインで激変 ..., 9 月 7, 2025 にアクセス、

- <https://axconstdx.com/2025/07/22/%E3%82%82%E3%81%86%E6%89%8B%E4%B D%9C%E6%A5%AD%E3%81%AF%E5%8F%A4%E3%81%84%EF%BC%9Ffusion-360%E3%82%B8%E3%82%A7%E3%83%8D%E3%83%AC%E3%83%BC%E3%83%8 6%E3%82%A3%E3%83%96%E3%83%87%E3%82%B6%E3%82%A4%E3%83%B3/>
24. DESIGNING AN INNOVATIVE MODULAR PLATFORM FOR SPORTS CARS USING THE GENERATIVE DESIGN METHOD | CASTMAN, 9 月 7, 2025 にアクセス、  
<https://castman.co.kr/designing-an-innovative-modular-platform-for-sports-cars-using-the-generative-design-method/>
  25. Exclusive: BMW Group improves efficiency with additive manufacturing gripper, 9 月 7, 2025 にアクセス、  
<https://www.automotivemanufacturingsolutions.com/press-and-body/exclusive-bmw-group-improves-efficiency-with-additive-manufacturing-gripper/529023>
  26. Airbus saves weight with 'bionic partition' - IMechE, 9 月 7, 2025 にアクセス、  
<https://www.imeche.org/news/news-article/airbus-saves-weight-with-'bionic-partition'>
  27. 製造業における生成 AI 活用の事例 6 選-業界をリードする最新技術の裏側, 9 月 7, 2025 にアクセス、  
<https://no1s.biz/blog/5829/>
  28. Generative Design 101 - Formlabs, 9 月 7, 2025 にアクセス、  
<https://formlabs.com/blog/generative-design/>
  29. Autodesk Fusion Features, 9 月 7, 2025 にアクセス、  
<https://www.autodesk.com/products/fusion-360/features>
  30. マテリアルズインフォマティクスによる材料探索と 6 つの活用事例, 9 月 7, 2025 にアクセス、  
<https://www.atx-research.co.jp/contents/2024/07/01/materials-informatics>
  31. 生成 AI×マテリアルズインフォ | 開発期間 1/4 ! コスト削減と開発加速 | Hakky Handbook, 9 月 7, 2025 にアクセス、  
<https://book.st-hakky.com/industry/materials-informatics-and-ai-applications-for-new-materials-exploration-and-patent-work-efficiency>
  32. マテリアルズ・インフォマティクスとは? AI 活用方法、国内成功事例 ..., 9 月 7, 2025 にアクセス、  
<https://ai-market.jp/industry/materials-informatics/>
  33. マテリアルズ・インフォマティクス (MI) とは? 材料開発の成功事例や課題を解説, 9 月 7, 2025 にアクセス、  
[https://www.wsew.jp/hub/ja-jp/blog/article\\_35.html](https://www.wsew.jp/hub/ja-jp/blog/article_35.html)
  34. 製造業で広がる AI- 現場で成果を出した 4 社の活用事例 | dotData, 9 月 7, 2025 にアクセス、  
<https://jp.dotdata.com/blog/ai-use-cases-manufacturing-dotdata/>
  35. 現場の知識・経験を AI が引き継ぐ: 製造業における生成 AI 活用の最前線コラム, 9 月 7, 2025 にアクセス、  
<https://www.canon-its.co.jp/column/ai-column/06>
  36. 気鋭のデータサイエンティストが築く「材料開発」新時代 生成 AI はモノづくりをどう変えるか, 9 月 7, 2025 にアクセス、  
<https://digital-highlights.hitachi.co.jp/ct/17752991>
  37. 製造業で生成 AI は役立つ? 製造業での生成 AI の活用事例や導入によるメリットについて解説, 9 月 7, 2025 にアクセス、  
<https://business-ai.jp/manufacturing/manufacturing-generation-ai/>

38. 【化学工業必見】R&D の常識が変わる！AI が加速する新素材開発と製造プロセスの最適化 - note, 9 月 7, 2025 にアクセス、  
[https://note.com/starup\\_ogata/n/nce9f5fdbb674](https://note.com/starup_ogata/n/nce9f5fdbb674)
39. 生成 AI で効率化を加速！製造業での活用事例 6 選 | ものづくりの現場トピックス - KEYENCE, 9 月 7, 2025 にアクセス、  
<https://www.keyence.co.jp/ss/general/manufacture-tips/generative-ai.jsp>
40. AI in Manufacturing | From Design to Delivery - NVIDIA, 9 月 7, 2025 にアクセス、  
<https://www.nvidia.com/en-us/industries/manufacturing/>
41. Omniverse Platform for OpenUSD - NVIDIA, 9 月 7, 2025 にアクセス、  
<https://www.nvidia.com/en-us/omniverse/>
42. NVIDIA Expands Omniverse Blueprint for AI Factory Digital Twins With New Ecosystem Integrations, Development Tools, 9 月 7, 2025 にアクセス、  
<https://resources.nvidia.com/en-us-industrial-sector-resources/omniverse-blueprint>
43. Revolutionizing Manufacturing Industry in Omniverse - NVIDIA, 9 月 7, 2025 にアクセス、  
<https://www.nvidia.com/en-in/omniverse/manufacturing/>
44. The role of AI and machine learning in manufacturing - Siemens Digital Industries Software, 9 月 7, 2025 にアクセス、  
<https://resources.sw.siemens.com/en-US/article-mindsphere-artificial-intelligence-and-machine-learning-in-manufacturing-improve-productivity/>
45. AI Powered Analytics for Citizen Data Scientists | MindSphere | Siemens Software, 9 月 7, 2025 にアクセス、  
<https://webinars.sw.siemens.com/en-US/mindsphere-analytic-tools-how-does-ai-work-with-iot/>
46. Siemens Enables Digitalization: Data Analytics & Artificial Intelligence - CERN Indico, 9 月 7, 2025 にアクセス、  
<https://indico.cern.ch/event/633007/contributions/2726431/attachments/1525288/2384774/Siemens-openLab-Roshchin.pdf>
47. AI Impact Awards 2025: Mercedes-Benz Redefines Luxury in Its New Vehicles - Newsweek, 9 月 7, 2025 にアクセス、  
<https://www.newsweek.com/nw-ai-ai-impact-awards-2025-mobility-mercedes-benz-2080073>
48. 【2025】製造業現場必読！生成 AI の問題点と嘘の原因を解説！活用メリットとリスク | キャド研, 9 月 7, 2025 にアクセス、  
<https://cad-kenkyujo.com/seiseiai-mondaiten/>
49. 日本企業が R&D の生産性向上に向けて取り組むべき 5 つのテーマ | McKinsey, 9 月 7, 2025 にアクセス、  
<https://www.mckinsey.com/jp/our-insights/a-new-era-for-industrial-rnd-in-japan-jpn>
50. AI 人材とは？企業に求められる役割・スキル・育成のポイントを徹底解説, 9 月 7, 2025 にアクセス、  
<https://www.hammock.jp/hpr/media/ai-jinzai-ikusei-senryaku.html?media>
51. R&D 投資で人材を呼び込み、失われた 30 年のくびきを解く - PwC, 9 月 7, 2025 にアクセス、  
<https://www.pwc.com/jp/ja/knowledge/column/intelligence-ai-economic-path-01.html>

52. 【2024 年度版】製造業における生成 AI の最新トレンドと未来予測 - ナンバーワ  
ンソリューションズ, 9 月 7, 2025 にアクセス、<https://nols.biz/blog/6097/>
53. 生成 AI の将来技術動向 2035 年への生成 AI 技術変化を見据え、今 ..., 9 月 7,  
2025 にアクセス、  
<https://www.pwc.com/jp/ja/knowledge/thoughtleadership/generative-ai-survey2025-consideration.html>
54. Mercedes-Benz accelerates the transformation of its production network by  
Integrating AI and humanoid robots at its Digital Factory Campus in Berlin, 9 月 7,  
2025 にアクセス、<https://media.mbusa.com/releases/release-cf381cd2fcff624ae37d3911631103dc-mercedes-benz-accelerates-the-transformation-of-its-production-network-by-integrating-ai-and-humanoid-robots-at-its-digital-factory-campus-in-berlin>