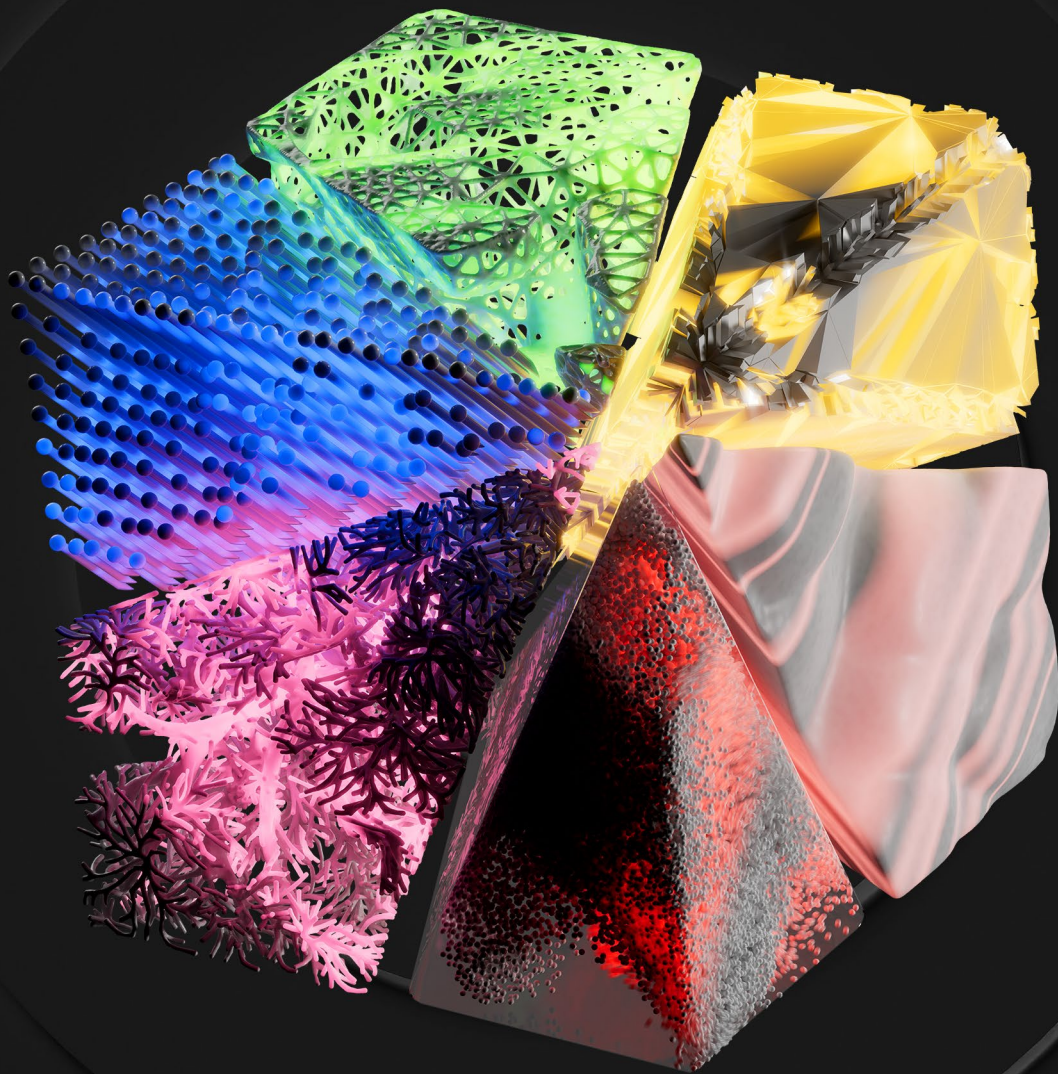


Tech Trends 2024

日本語版

15年目を迎えるDeloitte Tech Trendsは、ビジネスとテクノロジーのリーダーが"ノイズ"から"シグナル"を見極め、テクノロジーの進化をビジネス変革のツールとして取り込むことを支援します



Deloitte.
Insights

Trend Lines

未来はすでに来ているが、それを示す要素は偏在している


デロイトのテクノロジーケーススタディーコレクションは、パイオニアであるさまざまなリーダーや組織に注目し、それらが織りなす先進的なテクノロジーイノベーションの姿を映し出している。

deloitte.com/us/trendlines



(グローバルサイト)

Trending the trends: 過去10年間のリサーチ

INTERACTION		INFORMATION		COMPUTATION			BUSINESS OF TECHNOLOGY		CYBER AND TRUST	CORE MODERNIZATION
Interfaces in new places		Genie out of the bottle		Smarter, not harder			2024	From DevOps to DevEx		Defending reality
Through the glass		Opening up to AI		Above the clouds		2023	Flexibility, the best ability		In us we trust	Connect and extend
		Data-sharing made easy		Cloud goes vertical	Blockchain: Ready for business	2022	DEI tech: Tools for equity	The tech stack goes physical	Cyber AI	IT, disrupt thyself
Rebooting the digital workplace	Bespoke for billions	Machine data revolution	MLOps: Industrialized AI			2021	Strategy, engineered	Supply unchained	Zero trust	Core revival
Human experience platforms			Digital twins			2020	Finance and the future of IT	Architecture awakens	Ethical technology and trust	
Intelligent interfaces	Beyond marketing		AI-fueled organizations	NoOps in a serverless world		2019		Connectivity of tomorrow	DevSecOps and the cyber imperative	
	Digital reality	Enterprise data sovereignty		API imperative	Blockchain to blockchains	2018	No-collar workforce	Reengineering technology		The new core
	Mixed reality	Dark analytics	Machine intelligence	Everything-as-a-service	Trust economy	2017	IT unbounded	Inevitable architecture		
Internet of Things	AR and VR go to work	Industrialized analytics			Democratized trust	2016	Right-speed IT	Autonomic platforms		Reimagining core systems
Ambient computing	Dimensional marketing		Amplified intelligence		API economy	2015	CIO as chief integration officer	IT worker of the future	Software-defined everything	Core renaissance

注記：Tech Trendsのバックナンバーについては、<https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/tech-trends/tech-trends-archive.html>を参照
 出所：デロイトによる分析

02... **Tech Trends 24:エグゼクティブサマリー**

イントロダクション

06... **生成AI:人の向上心を何倍にも高める力**

インタラクション

10... **新しい場所のインターフェース:空間コンピューティングと産業メタバース**

インフォメーション

16... **現れたランプの魔人:成長のカタリストとしての生成AI**

コンピューテーション

26... **より柔軟で、よりスマートに:力任せのコンピューティングを超えて**

ビジネスオプテクノロジー

34... **DevOpsからDevExへ:エンジニアリングエクスペリエンスの強化**

サイバーとトラスト

42... **現実を守る:合成メディアの時代における真実**

コアモダナイゼーション

48... **コアを鍛える:技術負債から技術ウェルネスへ**

55... **Acknowledgments**

Tech Trends 2024

エグゼクティブサマリー

これまでと同様に、3つの発展する力（インタラクション、インフォメーション、コンピューテーション）と3つの基礎となる力（ビジネスオペテクノロジー、コアモダナイゼーション、サイバーとトラスト）が、先進テクノロジーのインパクトを考察するデロイトのTech Trendsレポートの基盤になっている。15年目となるTech Trends 2024では、今後1年半から2年の間に標準となるであろう最新のテクノロジーやアプローチを活用するパイオニア企業の取り組みに注目する。また、次の10年の方向性について予測する。



発展する力

ITの歴史は、持続的なイノベーションの源泉となる、インタラクション、インフォメーション、コンピューテーションにおける革新的な進化によって定義付けられている。

インタラクション

新しい場所のインターフェース：空間コンピューティングと産業メタバース

消費者向けアプリケーションのための拡張現実（AR）や仮想現実（VR）は大きな注目を集めているが、これらの技術は産業の現場にも大きなインパクトを与えている。企業は産業メタバースを利用して、工場やビジネスをより安全で効率的にするためのデジタルツインや空間シミュレーション、AR作業指示、そして協業用のデジタル空間などを実現している。工場労働者、デザイナー、エンジニアは、タブレットなどの実用化済みのデバイスや、スマートグラスなどの実験的デバイスを通じて、従来の知識労働者がまだ経験したことのない方法で、没入型3Dインタラクションの恩恵を受けている。アクセス可能で高精細な3Dアセットは、現実の上にデジタルレイヤーを重ねることで作業を加速させる、操作可能な空間Web実現への道を拓く。最終的には、自律型マシン、先進的なネットワーク、さらにシンプルなデバイスが画期的な空間Webアプリケーションにつながる可能性もある。たとえば、リモート手術や工場のフロア全体を1人の作業者が監督することが実現できるかもしれない。

インフォメーション

現れたランプの魔人：成長のカタリストとしての生成AI

機械は思考能力を持つか、という問いは長年学者達により議論されていたが、生成AIの台頭によって無意味なものとなった。生成AIの基本的な動作はこれまでの機械学習ツールと多くの共通点を持つ。しかし、強化された計算能力、良質な訓練データ、そしてニューラルネットワークと深層学習の巧妙な応用のおかげで、生成AI技術は様々な方法で人間の認知を模倣することができる。哲学的な意味での知性は別として、実践的な意味では機械は知性を有しており、企業の生産性・効率性を大幅に向上させる可能性も持っている。機械が人間のように振る舞い、理解し、物語りうる今日において、問題はこれがビジネス、ひいては世界にどのような影響を与えるかだ。

コンピューテーション

より柔軟で、よりスマートに：力任せのコンピューティングを超えて

テクノロジーが企業にとってより大きな差別化要因となるにつれて、企業はこれまで以上に複雑なワークロードを構築するようになった。典型的なクラウドサービスは、ほとんどの通常業務に十分な機能を提供しているが、競争優位性を高める最先端のユースケースでは、専用のハードウェアが新たに必要になっている。AIモデルのトレーニング、複雑なシミュレーションの実行、現実世界におけるデジタルツインの構築には、さまざまな種類の処理能力が必要である。今日の大手企業は、既存のインフラをさらに活用するための新しい方法を見つけ、最先端のハードウェアを追加してプロセスをさらに高速化している。近いうちに、従来

のバイナリーコンピューティング(0と1を表す電気信号で動作する現在主流の計算処理)を超越したものに目を向ける企業も出てくるだろう。

基礎となる力

ビジネスオブテクノロジー、コアモダナイゼーション、サイバーとトラストで示された既存のシステムや投資は、ビジネスが成長しながらもシームレスに運営できるよう、先駆的なイノベーションと効果的に統合する必要がある。

ビジネスオブテクノロジー

DevOpsからDevExへ：エンジニアリングエクスペリエンスの強化

先進テクノロジーが差別化要因となり、ビジネスに不可欠な要素であるとの見方が強まる中、テクノロジー人材の重要性はこれまで以上に高まっている。しかし、その働き方は効率的とはほど遠く、ほとんどの企業では、開発者は機能開発に30%から40%の時間しか費やすことができていない。近年、高い技術力を保有する人材を確保し、維持することを重要視する企業にとって、新たな関心が集まっているのが、デベロッパーエクスペリエンス (DevEx) である。これは、組織とのあらゆる接点を考慮することで、ソフトウェアエンジニアの日々の生産性と満足度を向上させることを目的としたデベロッパーファーストの考え方だ。今後数年間に、DevExによって統合された直感的なツールが浸透し、企業の市民開発者がテクノロジーによる価値創出を推進できる未来につながる可能性がある。

サイバーとトラスト

現実を守る：合成メディアの時代における真実

AIツールの普及により、なりすましや偽りの情報を作成することがかつてないほど容易になった。ディープフェイクは、音声認識・顔認識のアクセス制御の回避や、フィッシング攻撃にも利用されている。新しいコンテンツ生成ツールがインターネットに登場するたびにセキュリティリスクが増大している。これらの脅威に対して、先進的な企業・組織は、ポリシーとテクノロジーを組み合わせながら、有害なコンテンツを特定する方法や従業員にリスクを認識させるための仕組みを導入することで対応している。

コアモダナイゼーション

コアを鍛える：技術負債から技術ウェルネスへ

長年企業はメインフレーム、ネットワーク、データセンターなど、当時は最先端であった技術を導入しては拡張するといった投資を繰り返し行ってきた。今後、社会をリードする企業となるには、これまでの断片的な技術負債への対応から技術ウェルネス（健全性）という新たな視点で、システム全体の技術スタックで問題をとらえ直す必要がある。この技術ウェルネスの検査手法では、システムが技術負債を蓄積させて悪影響を及ぼす前に、ビジネスの影響に基づき予防的にシステムの健全性を検査して強靱化する。今後は、モダナイゼーションニーズそのものをなくすような自己修復技術も含めた包括的なウェルネスプランが登場してくるであろう。

生成AI:人の向上心を何倍にも高める力

昨年、我々フューチャリストと研究者のチームは、今年のTech Trends 2023の表紙と章のアートを作成するのに生成AIを使用することにし、その試みは成功した。我々のデザインスタンダードに見合ったものにするために、生成プロセスに多大な人間の支援と介入が必要であったが、この成功体験やその後のChatGPTのローンチ、そして生成AIの浸透から、今年はこの「イントロダクション」の作成にAIが生成するテキストを使ってみることにした。結果的に昨年の出版と同様にかなりの人間の介入が必要であったことは、人工的な知能を備えた機械の時代において人間の役割がこれまで以上に重要であるという我々の指摘を裏付けている。

四半世紀にわたってあらゆる新しいものにのめり込んできたものとして、生成AIをめぐる現在の世間の関心の高さに対して、この画期的な技術を、いくつか新しい視点を追加した上、継続的且つマクロ的なテクノロジーの文脈の中でとらえたいと思う。

テクノロジーの進化、ビジネスの革命

第一に、生成AIは前例のない革新的なもののように感じられるが、実際にはこの技術自体は、Tech Trendsの開始時から取り上げてきたマシンインテリジェンス機能の単純な進化である。機械的な筋力（産業ロボット）は70年近く、また機械的な心（機械学習システム）は25年前から採用されている。このテクノロジーが絵を描いたり、製品説明を書いたり、Pythonを書いたりできるようになったことは、偶然でも予想外でもない。未来のコンピューター科学者が書く書籍では「コグニティブオートメーション：黎明期」といった章の次ページに記載されていそうな事柄である。実際、先駆的な企業は少なく

とも過去15年間にわたって、意思決定コストを削減するためにこの領域の研究に取り組んできた（図1）。

技術的観点で言えば、生成AIは情報技術の歴史の次のチャプターにすぎない。しかし、ビジネスの面ではこの誇張は大いに正当化される。間違いなく、生産性の高いプロフェッショナルの能力を機械的な知能で補強することができるようになったのは、まさに世代を超えたビジネスチャンスだ。これは完全なパラダイムシフトであり、新しいビジネスチャンスへの扉を開き、企業の組織体制と運営のありかたを根本的に変えようとしている。

大きな成功を逃してはいけない

私の近年の経験上、あまりにも多くのビジネスリーダーが、生成AIを単なる減量薬だと考えている。つまり、自動化することでコストを削減し、その結果、仕事をなくすという手っ取り早くて醜い手段である、と考えている。コストセンターに軽微な改善を加えることは、株主や納税者、その他関係者を喜ばせるための短期的なアプローチであるが、中長期的に大きな成功を手に入れることはできない。ビジネススクールの教科書には、かつては成功していた偉大な企業が、自動化とアウトソーシングの魅力に誘惑され、スリム化が行き過ぎた結果、激しい競争あるいは企業買収の標的になってしまったという事例があふれている。

そうではなく、生成AIは向上心、野心を高めるためのロケット燃料と考えるべきである。私が会ったほとんどすべての経営幹部が、彼らのリアルな実体験を話してくれるのだが、目の前のビジネスへの対応に追われ、将来の展望に思うように注意を向けることができていない。あるchief technology officer (CTO) は、有名なPeter Druckerの考え方である「文化は朝食に戦略を食べる」をもじって、「オペレーションは昼食にインベーションを食べる」と私に語った。AI（従来のAIも生成AIも）は、貴重な人間の時間を平凡な業務から解放し、最終的には、未来のビジネスの優先事項、すなわち、新しくより良い製品、サービス、経験、市場といった、より価値の高い仕事（言い換えれば、これまで実証されてきた、収益性の高い成長への鍵となるもの）に集中させることができる。

求む、“ジェネレーティブ”な人間

多くの方が、生成AIは人間の創造性の必要性を低下させる（あるいは、より正確に言えば人間の創造性の価値を減少させる）と懸念している。しかし、私はその逆を目にできた。創造的な機械の時代には、創造的な人間がこれまで以上に重要になる。

例えば昨年末、私はテキストプロンプトからユニークな画像を生成する新しいツールのデモのために多くの役員とともに会議室に集まった。参加者の1人がツールに「夕日を見せて」と頼んだ。出来上がった写真は良くできていたが、特筆すべきものではなかった。その人は肩をすくめて「ただの夕焼けじゃないか」とがっかりした。それにめげず、別の参加者が、ツールに「プレッツェルとチーズボールが火星で戦っているところを見せてくだ

図1

情報をめぐる略史

TIME (years)	t-175	t-75	t-50	t-25	t-10	t	t+10	t+n	t=∞
	最初のコンピュータのデザイン	最初のデジタルコンピュータ	20世紀半ば	20世紀後期	21世紀初期	現在	近い将来	未来	最終段階
インフォメーション	記憶装置 (ストア)	算術計算	リレーショナルデータベース	記述的分析	予測的分析	コグニティブオートメーション	エクスポネンシャルインテリジェンス	汎用AI	全知性

出所：Deloitte Technology Futures Report 2021.

さい。プレッツェルはヌンチャクを持ち、チーズボールは水鉄砲を持っています」と促した。するとツールは、ばかばかしく愉快的な画像を生成し、会場の役員たちは拍手、彼らを驚嘆させた。多くの役員は（理解できることではあるが）、このレンダリング画像を生成したツールを、「奇跡のマシン」と称賛した。しかし私は、そのようなことを求める頭脳と度胸を併せ持つ人間の賢さを認めざるを得なかった。将来の生成AIは、創造性のマルチプレイヤーとして、より優れた質問を投げかけ、より面白いアイデアを持っている人間のために機能するものである。

生成ツールが我々のプロフェッショナル活動のあらゆる場面で活用され続けるにつれて、これらのツールが魔法なのか凡庸なのかは人々が判断するだろう。生成AIは、マインドフルで想像力豊かな導きによって、魔法のような新しいビジネスの可能性を展開させることができる。それがなければ、拡大された凡庸さしか実現できないか、それ以下となるリスクを内包している。私の友人であり、デロイトのグローバルCTOであるBill Briggsがよくいうように「良いものは、悪いものを速く作ることから生まれない」のである。

目は空に向け、足は地につけ

最後に、これは重要なことだが、しっかりとした技術基盤なしに、このようなことは実現されない。我々オタク（ではなく、プロの技術者）は、「ゴミのようなインプットは、ゴミのようなアウトプットを生む」という古い言い回しを心得ている。未来のAIの世界の入口での我々の経験は、「ゴミのインプットが、ゴミのアウトプットの2乗を生む」に近いものになることを示唆している。トレーニングデータの小さなバイアスが、AIアウトプットに多大なバイアスを引き起こ

す可能性がある。まずは、企業データの整理から始める必要があるだろう。

そして、情報（インフォメーション）はビジネスを推進する6つのマクロテクノロジーの力のうちの1つにすぎないことを思い出していただきたい(図2)。

現代の基盤技術は、モダナイゼーションなしには将来のAI活用の負荷に耐えられない。画一的な計算処理方法はますます破綻するだろう。煩雑な意思疎通は、あなたが伝えたいことをよくわからないものにし、人材のエンゲージメント低下、最悪の場合はサイバー脅威を引き起こすことはいまでもない。今年の本レポートから何か1つを覚えてもらおうとすれば、それは次のようなことだ。生成AIの話題に目を奪われて、他の5つの基本的なテクノロジーを無視してはならない。

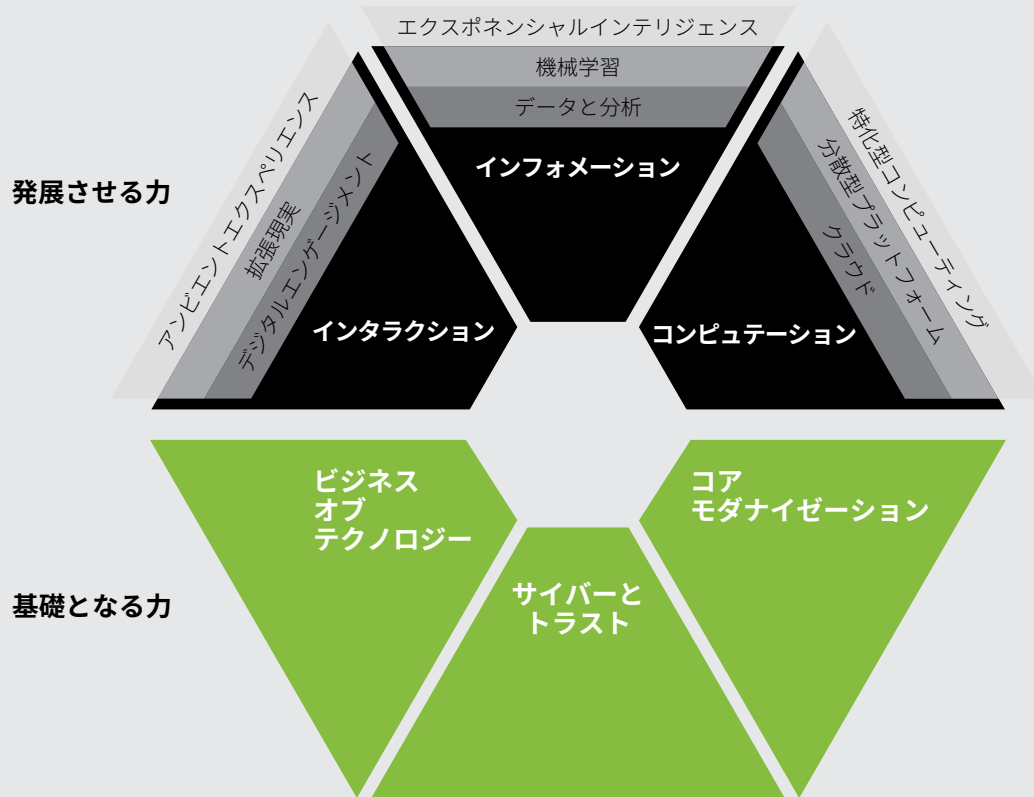
もちろん、AIはこれまで以上に重要になるが、これまで取り組んできた他のすべてのことが突然できなくなるわけではない。

Mike Bechtel

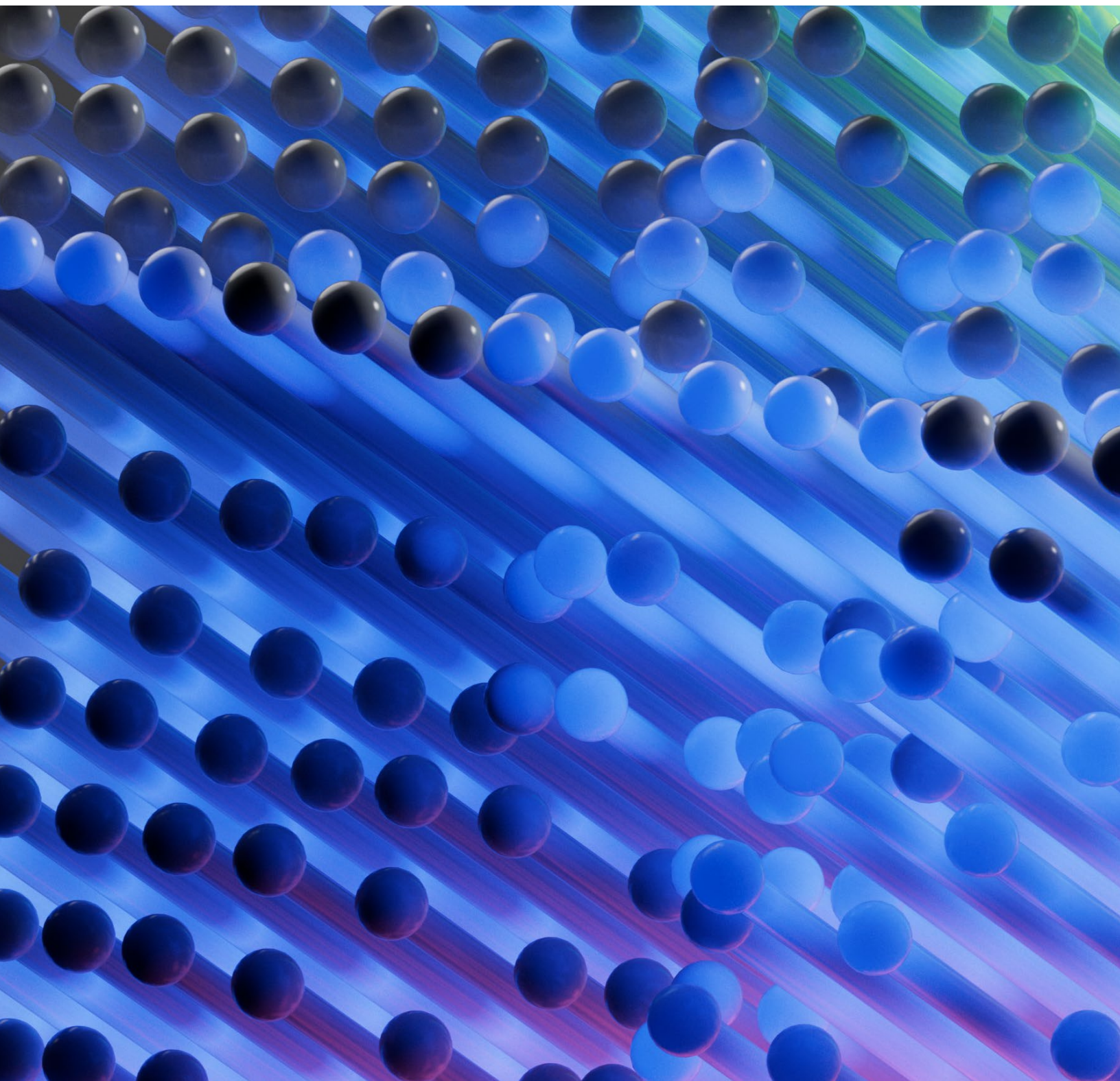
デロイトコンサルティングLLP、チーフフューチャリスト
mibehtel@deloitte.com

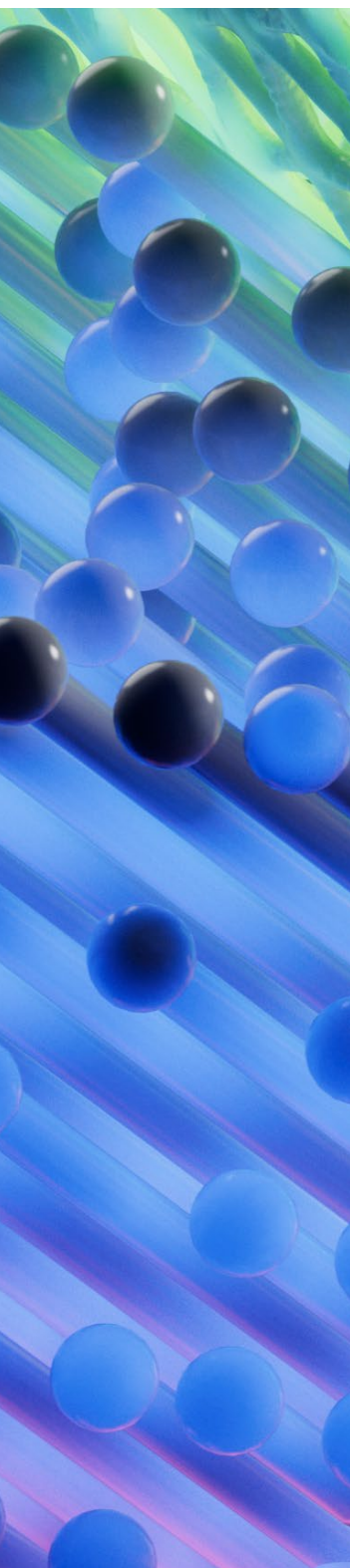
図2

情報テクノロジーの6つのマクロフォース



出所：Deloitte analysis.





インタラクション

新しい場所のインターフェース： 空間コンピューティングと産業メ タバース

産業メタバースがエンタープライズツールに変化するにつれて、空間テクノロジーは、データとAIを使用して現実のプロセスを再現する産業アプリケーションとして定着しつつある。

多 数の場合、新しいテクノロジーはアーリーアダプターや消費者を刺激し、人々の目から静かに遠ざかり、数カ月から数年後に生産性の高いビジネスツールとして再登場する。このパターンを、調査会社ガートナーによるテクノロジーのハイプサイクルに沿った動きと見る人もいれば、Tech Trends 2023で議論したように、テクノロジーからおもちゃ、ツールへの移行と理解する人もいる¹。昨年のトレンド「**画面を超えて：エンタープライズ向け没入型インターネット**」では、企業が拡張現実や仮想現実（ARやVR）シミュレーションなどの新しいインタラクション機能を発見し、構築するにつれて、メタバース、つまり没入型インターネットはまもなく卒業し、本格的なエンタープライズツールになると予測した²。

今年、我々はメタバース機能のいくつかが新たな方向に、より広い空間コンピューティングの領域に向けて進展しているのを見てきた。消費者向けの玩具から企業向けのツールへと転換期を迎えた今、空間テクノロジーは特に産業用途に定着しつつあり、企業は工場やビジネスをより安全で効率的にする**デジタルツイン**、**空間シミュレーション**、AR作業指示、**協業用のデジタルスペース**に注目している^{3,4,5}。産業メタバースによる収益は2030年までに約1000億米ドルに達すると予測されており、消費者向け（500億米ドル）や一般企業向け（300億米ドル）のセグメントをはるかに上回る⁶。

タブレットのような実用化済みのデバイスであれ、スマートグラスのような実験的なデバイスであれ、工場労働者、デザイナー、エンジニアは、従来の知識労働者がまだ経験したことのない方法で、没入型3Dインタラクションの恩恵を受けている。産業メタバースは、現実世界の物理学によって定義され、空間データと人工知能を使用して、現実世界のプロセスを正確に再現した没入型の視覚化表現を提供する。ライン作業員がスマートグラスを使って全国の工場の専門家に電話したり、エンジニアが物理ベースのフォトリアルなデジタルツインで新しい装置を試作したりする姿を想像してみよう。企業や組織が新しい施設を建設する場合、多くは建設前に「シミュレーション・ファースト」戦略を採用するだろう。

XR（AR、VR、MRなどの没入型技術の総称）のための高精細な3Dアセットとハードウェアの改善とアクセスが可能になることで、業界全体の作業を加速させる、現実の上にデジタル層があるような空間Webの実運用の道が開かれる。最終的には、この進歩は、自律システム、インスタント3Dモデル、量子コンピューティングなどと、例えばリモート手術のような、アプリケーションと人間の関与が最適化される形で組み合わせられた、オペレーションのシンプル化された時代につながるかもしれない。あるいは、工場のフロア全体を1人の従業員が管理可能になることを想像してみよう。

Now：企業のシミュレーション

ここ数年、テクノロジーの進歩は産業メタバースのための足場を築いてきた。デジタルツイン、5G対応、クラウド、エッジテクノロジー、AIへの投資は、長年の課題に対処し、大きな価値をもたらしてきた。そのため、**デロイトの最近の調査**によると製造業幹部の92%は、自社で少なくとも1つのメタバース関連のユースケースを実験または実装しており、平均して現在6つ以上のユースケースを実行していると答えた⁷。これらの幹部はすでに、今後数年間で産業メタバースのユースケースに投資することで、売上、スループット、品質などの分野で12%から14%の改善を見込んでいる。

経営幹部が強調した最も一般的なユースケースは、プロセスシミュレーションとデジタルツインだった⁸。オペレーションが複雑で高価で正確な産業環境では、堅牢なシミュレーションが救世主となる。IoTと高度なネットワークを介してリアルタイムのデータがモデルに接続されている場合、シミュレーションは新たなオペレーションの構築や既存のオペレーションの最適化を成功させる可能性を高めることができる。アナリストの中に、デジタルツインの世界市場が2021年の65億米ドルから2030年には1,257億米ドルに成長する可能性があると考えている人がいても不思議ではない⁹。

これらの本格的なデジタルツインと対話する最適な方法は、ARを介して行われる。ARは、物理的な世界にデジタルレイヤーを重ね合わせて、3次元の没入型インターネットを作り出すことができるメディアだ。その結果、ARデバイスの世界市場は2022年に386億米ドルと推定され、関連するソフトウェアとハードウェアの2030年までの年間成長率は36%である¹⁰。現在、産業および製造業向けアプリケーションがARの最大の市場シェアを占めているが、ヘルスケアアプリケーション（トレーニング、手術シミュレーション、静脈の可視化など）は2030年まで年平均成長率44%で成長すると予想されている。パンデミックにより発生した電子商取引ブームによって促進された消費者向けアプリケーションも多く、デジタルツインのユースケースが企業だけにとどまらないことを証明している¹¹。

空間オペレーションは始まったばかりであり、実現技術は改善され続けている。遠隔地の工場にIoTセンサーと**強力な衛星ネットワーク**が組み合わさり、出力とパフォーマンスのリアルタイムデータを処理することを想像してみよう¹²。技術の進歩に伴い、デジタルツインの新しい時代が地平線上にある。そこでは、フォトリアルなシミュレーションがAIによって物理学に基づいて可能

になる¹³。さらに、**BMWが採用したOmniverseプラットフォーム**のように、企業のエコシステムにリンクされる¹⁴。この進化は、宇宙計画から設計、運用まで、企業の複数の分野に影響を与える可能性がある。

New：空間Webは建設中

まもなく登場する**空間Web（Web 3.0とも呼ばれる）**は、デジタルコンテンツと物理的な物体の間の境界をなくし、これら2つの現実を効果的に1つに統合することを約束する¹⁵。スマートグラスなどの次世代インターフェースを通じて、空間Webは位置情報やコンピュータービジョン、または音声やジェスチャーなどの生体コマンドを使って、物理的な環境によって促されるリアルタイム情報とインタラクションすることを可能にする。それらの可能性を考慮すると、空間コンピューティングの市場は、メタバースのこれまでの予測を上回る勢いであり、2032年までに6,000億米ドルに達するという予測もある¹⁶。

空間Webが真の能力を発揮するのはまだ何年も先のことだが、イノベーターたちは今、そのインフラを構築している。今後1年半から2年の間に、企業は、空間オペレーションを採用し、従業員の仕事をより強力にする技術で武装する価値ある機会に注意を払う必要がある。

2032年までに6,000億米ドル

空間Webの可能性を考慮すると、空間コンピューティングの市場は、メタバースに関するこれまでの予測を上回る勢いであり、2032年までに6,000億米ドルに達するという予測もある。

拡張された従業員

産業現場の労働者がAR/VRツールを導入し続ける中、企業はいくつかの主要な分野で効率性と効果のメリットを享受しつつある。

- **監視の強化。** ARデバイスと空間への没入により、従業員は一度に複数の「場所」にいることができるため、より少ない専門家でより多くの施設を監視できる可能性がある。例えば、NokiaのリアルタイムeXtended Realityマルチメディアは、360度ビュー、3Dオーディオ、ライブストリーミングを提供し、人間のオペレーターが何マイルも離れた物理空間に没入できるようにする¹⁷。これにより、予知保全、セキュリティ、および品質管理を強化できる。
- **オンボーディング時間の短縮。** 新任の従業員は、シミュレーションに組み込まれた標準的な操作手順に従って作業することができ、また、作業の流れの中で学習するのに役立つ視覚的なヒントも表示されるため、学習と実践を分離する必要がなくなる。例えば、世界的な自動車メーカーの製造工場の新入社員は、ARデバイスを使用して、全米の専門家とリアルタイムで連携している。同じ視覚と音を共有することで、経験豊富なライン作業員がドアにハンマーを打つ場所と方法を正確に指示することができる¹⁸。
- **安全性リスクの低減。** 昨年紹介したように、企業は従業員にAR/VRを装着させて、危険な状況に備えることができる。Stanford Medicineは、MRIやCTスキャンなどの画像を組み合わせ、手術前の患者の体の3Dモデルを作成するVRシステムを試験的に導入している。外科医は、この解剖学的デジタルツインをトレーニング環境だけでなく、手術室自体でも、2D画像よりも詳細なガイドとして見たり操作したりすることができる。医師たちはすでに、脳外科手術のような医療で最も複雑な手術の精度と安全性の向上という恩恵を受けている¹⁹。

製品の設計・開発・販売

空間オペレーションのユースケースは、利益の改善に限られているわけではない。AR技術は、トップラインの売上成長を改善することもできる。例えば、大手AR企業は、衣料品小売業者がAR技術を自社のアプリケーション、Webサイト、実店舗に統合して、サービスをさらに差別化できるようにしている。生成AIにより、これらの小売業者はAR技術を使用して2D画像から3Dモデルを

作成できるようになり、空間Webにおける顧客エンゲージメントのためのデジタル資産の可用性が向上する。

このようなAR技術は、買い物客に服の画像を重ねる以上のことができる。例えば、布地がどのように顧客にかかるか、ステッチのさまざまなラインがどのように影を作るかをシミュレートできる。そしてその効力は明らかである。一部の小売業者は、AR技術を導入した後、訪問者1人当たりの売上が50%以上増加した²⁰。ブランドが空間コンピューティングで顧客との関連性を維持することを目指しているため、AR企業は小売業の現場を超えて、教育、エンターテインメント、旅行などの分野での影響も想定している。

空間オペレーションのもうひとつの活用方法は、シミュレートされた条件下での製品の設計とテストだ。これにより、俊敏性、市場投入までの時間、さらには持続可能性が大幅に向上する。例えば、自動車メーカーは数百回の衝突テストを現実で行う代わりに、初期データを使って数千回の衝突テストをシミュレートしたり、現実世界では簡単に再現できない自然災害のような事象を考慮したりすることができる。製薬大手のGSKは、この原理を応用してワクチン製造のシミュレーションを行い、実験に要する時間を3週間から数分に短縮することに成功した²¹。また、鉱業のような伝統的な資本集約型産業重資産産業では、シミュレーションは、より再生可能エネルギーへの移行に備えながら、効率性のために機械の動きを微調整し、排出量を削減するのに役立つ。

空間計画とシミュレーション

「石橋を叩いて渡る」などの古い格言は、空間コンピューティングの時代に新しい意味を持つようになった。企業は、コストのかかる投資を行う前に、空間コンピューティングを使用して施設のレイアウトを視覚化、シミュレーション、テストすることができる。3,000回石橋を叩いてから、1回渡るのだ。建築家は、工場や病院の正確なレプリカを設計することができ、そこに何人の人間や機械が存在し、それらがどのように相互作用し、どのように移動するかを予測することができる。例えば、緊急医療対象の患者をトリアージするための混雑した廊下は、病院の通常のコアスペースについてのシミュレートとは別のケースとして、拡張的に実施する必要があるかもしれない。あるいは、自動車メーカーは、計画中の工場が今後の電気自動車の需要急増にどのように対処するかを予測したいかもしれない。

現代自動車がUnityと提携して、先駆的で本格的な工場シミュレーションを構築したのは、まさにそれを念頭に置いていたからだ。同社は、工場をバーチャル上でテストして最適な運転方法と間隔を計算し、将来的には工場管理者が遠隔で問題を評価できるように計画している²²。同様に、産業メタバース分野のパイオニアであるシーメンスは、最初にデジタル世界で完全に計画され、シミュレートされるドイツの新しい工場を発表した²³。デジタルインサイトに基づいて設計図を調整してから、同社は現実世界の構内施設を建設する計画を立てている。

空間コンピューティングは、新しい空間を設計するユースケースとは別に、企業の既存の物理的な場所の使用を最適化することもできる。例えば、GUESSの小売計画チームは、店舗内のアップデートをデジタルで計画し、仮想テストの後にのみ実行した。その結果、30%のコスト削減と、店舗内のアップデートを行うための移動の削減による二酸化炭素排出量の削減を実現した²⁴。

Next : さあデジタル化しよう

まもなくリリースされるApple Vision Proによって、「空間コンピューティング」という言葉がこれまで以上に主流になった²⁵。この最新のトレンドは一過性の流行ではないかと考える人もいるかもしれないが、我々は単純な考えに賭けることはしない。**技術の歴史**は、よりシンプルなインタラクションの形式が、技術のアクセシビリティ、ひいては利用における大きな段階的変化を確実に解き放ってきたことを証明してきた²⁶。空間コンピューティングもそのような変化の一つかもしれない。そこでは、我々のジェスチャーなど自然な物理的な世界とのインタラクションの方法をデジタルの世界に適應させることができ、生物学とテクノロジーの理想的なマッチングを生み出すことができるかもしれない。

インタラクション技術はコンピューターサイエンスを超えて自然科学の領域を拡大し続けており(**xTech dimensions**で議論しているように)、ブレイン・コンピューター・インターフェース(BCI)は単純化に向けた進歩の最も遠い目標となっている²⁷。現在のBCI機能は、人間の能力(歩行能力など)を回復することに集中しているが、将来の取り組みでは人間の能力を拡張し、以前では考えられなかったスピードとスケールでデジタ

ル的、物理的なタスクを達成できるようになるかもしれない。

そのためには、6GネットワークやIoTなどの実現要素となる技術が必要である。高速接続と大規模マシンタイプ通信(mMTC)によって、未来のマシンは相互にシームレスに連携できるようになるかもしれない²⁸。そして、世界経済フォーラムはすでに、IoTセンサーがどこにでも存在して物理的な人間の作業をデジタル化し、高度な自動化を可能にする日が来ると予測している²⁹。このような進歩は、マシンが環境や状態についてよりスマートに通信できるようになれば、我々とマシンとの対話がはるかにシンプルになる道を開くかもしれない。

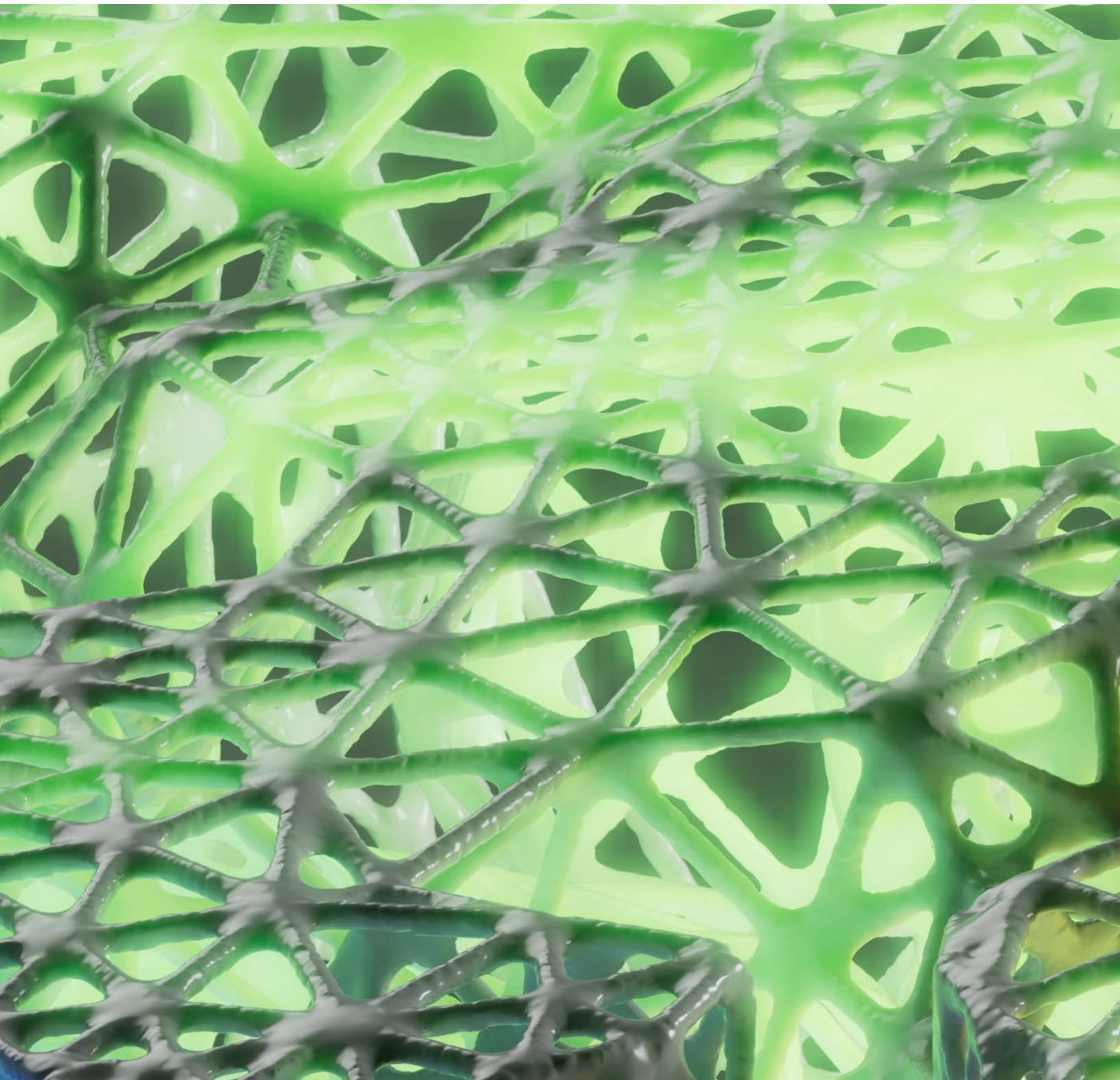
BCIによって、アセンブリライン上の相互接続された一連のマシンの起動、監視、および変更が可能になる、将来のインタラクションを想像してみよう。工業的な仕事も、デスクから行われるリモートワークになり得る。そして、言語は人間の思考の効率性と比較すると、ボトルネックのように感じるかもしれない。

可能性はエキサイティングだが、企業は岐路に立たされている。アーリームーバーになりたければ、バズワードを超えなければならないし、イノベーターに追いつこうとしなければならない。コンピュータービジョン、センサー技術、空間マッピングアルゴリズムについてエンジニアを雇用したり訓練したりするだけでなく、潜在的なリスクを先取りする必要もある。物理的な世界をデジタル操作に開放するには、プライバシーの問題(コンピュータービジョンの拡大)、サイバーセキュリティの問題(物理的な世界がハッキング可能になる)、データ保護の問題が伴う³⁰。幸いなことに、初期のデジタルツイン技術と3Dモデルの進歩は、我々が前進するための貴重な教訓を提供している。

産業環境における空間オペレーションの初期的効果が明らかになり始めたタイミングで、企業もそれに備える必要がある。空間コンピューティングの自然な進化は、今後数年のうちに、消費者向け、企業向けアプリケーションとの対話方法を根本的に変える可能性があるからだ。

Endnotes

1. Gartner, “Gartner Hype Cycle,” accessed October 2023.
2. Deloitte Insights, *Through the glass: Immersive internet for the enterprise*, December 6, 2022.
3. Aaron Parrott, Lane Warshaw, and Brian Umbenhauer, *Digital twins: Bridging the physical and digital*, Deloitte Insights, January 15, 2020.
4. Deloitte, “Unlimited Reality for operations,” accessed October 2023.
5. Deloitte, “Unlimited Reality for the workforce,” accessed October 2023.
6. ABI Research, *Evaluation of the enterprise metaverse opportunity*, September 20, 2022; Transparency Market Research, *Industrial metaverse market outlook 2031*, June 2023.
7. Paul Wellener et al., “Exploring the industrial metaverse,” Deloitte and Manufacturing Leadership Council, accessed October 2023.
8. Ibid.
9. J. Pankaj, M. Neha, and V. Vitika, *Digital twin market size, share and trends analysis by 2030*, Allied Market Research, July 2022.
10. Grand View Research, *Augmented reality market size and share report*, 2023.
11. Ibid; Markets and Markets, *Augmented reality market report*, August 2021.
12. Deloitte, *xTech Futures: SpaceTech*, 2023.
13. MIT Technology Review Insights and Siemens, *The emergent industrial metaverse*, March 29, 2023.
14. Deloitte, “Connect and extend: NVIDIA’s vision for modernizing legacy applications,” Deloitte Insights, November 9, 2022.
15. Allan V. Cook, Siri Anderson, Mike Bechtel, David R Novak, Nicole Nodi, and Jay Parekh, *The spatial web and Web 3.0*, Deloitte Insights, July 21, 2020.
16. Market.us, *Global spatial computing market report*, August 2023.
17. Nokia, “Real-time eXtended Reality Multimedia,” accessed October 2023.
18. Jack Siegel, “HoloLens 2 brings new immersive collaboration tools to industrial metaverse customers,” Microsoft, December 20, 2022.
19. Mandy Erickson, “Virtual reality system helps surgeons, reassures patients,” Stanford Medicine News Center, July 11, 2017.
20. Deloitte interviews.
21. Deloitte, “Unlimited Reality for operations.”
22. Hyundai Motor Company, “Hyundai Motor and Unity partner to build Meta-Factory accelerating intelligent manufacturing innovation,” press release, January 6, 2022.
23. Siemens, “Siemens to invest €1 billion in Germany and create blueprint for industrial metaverse in Nuremberg metropolitan region,” press release, July 13, 2023.
24. Deloitte, “Unlimited Reality for operations.”
25. *Tech Trends* is an independent publication and has not been authorized, sponsored, or otherwise approved by Apple Inc.
26. Deloitte, *Tech Trends 2023 Prologue: A brief history of the future*, Deloitte Insights, December 6, 2022.
27. Deloitte, *Tech Trends 2023 epilogue*, Deloitte Insights, December 6, 2022.
28. Charles McLellan, “What is the state of 6G, and when will it arrive? Here’s what to look out for,” ZDNET, February 17, 2023.
29. Francisco Betti, Thomas Bohné, and Cathy Li, “The industrial metaverse and its future paths,” World Economic Forum, January 19, 2023.
30. Wellener et al., “Exploring the industrial metaverse.”





インフォメーション

現れたランプの魔人： 成長のカタリストとしての生成 AI

生成AI技術が爆発的な普及を見せるなか、多くの企業は自社のビジネスにどのようなメリットがあるかを見つけようと奮闘している。その答えは、思っているよりシンプルかもしれない。

2015年頃から、人々は多くの機械学習アプリケーションのことを人工知能（AI：Artificial Intelligence）と呼び始めたが、一部の評論家や業界専門家はこれに反発した。これらのアプリケーションはパターン対応型であり、与えられた入力に対し出力を返すだけである¹。モデルは思考するのではなく単に確率を計算するだけであるのだから、どうしてそれが知能を持つと言えるのだろうか、と。

しかし今日、生成AIの台頭によって、機械は知能を持ちうるか、という問題は無意味になった。生成AIの基本的な動作は、これまでの機械学習ツールと多くの共通点を持つ。しかし、強化された計算能力、良質な訓練データ、そしてニューラルネットワークと深層学習がうまく組み合わせられた結果、生成AI技術は様々な方法で人間の認知を模倣することができるようになった。少なくとも機能的・実践的な意味では機械は知能を有しており、企業の生産性と効率性を大きく向上させる可能性を更に広げるだけでなく、新たな市場に革新的な新製品やサービスをもたらす機会も生み出すことになる。

多くの場合、AIツールは認知能力のテストにおいて、少なくとも人間と同等の、もしくはそれ以上のパフォーマンスを発揮する。ChatGPTは最近、難易度が高いことで有名なAP（Advanced Placement）生物学試験でスコア5「非常に優秀」を獲得したほか、Dall-E 2の画像ジェネレーターは、視覚的なIQを測るテストであるRaven's Matricesを解くことができた^{2,3}。また、AnthropicのClaude2チャットボットは、米国とカナダ

の多くの大学院が入学基準の一部としているGREテストにおいて、VerbalとWritingのセクションで90パーセント以上のスコアを獲得した⁴。実際、今やAIツールは手書き・音声・画像認識や、読解力、言語理解力などの指標で着実に人間を上回っている⁵。

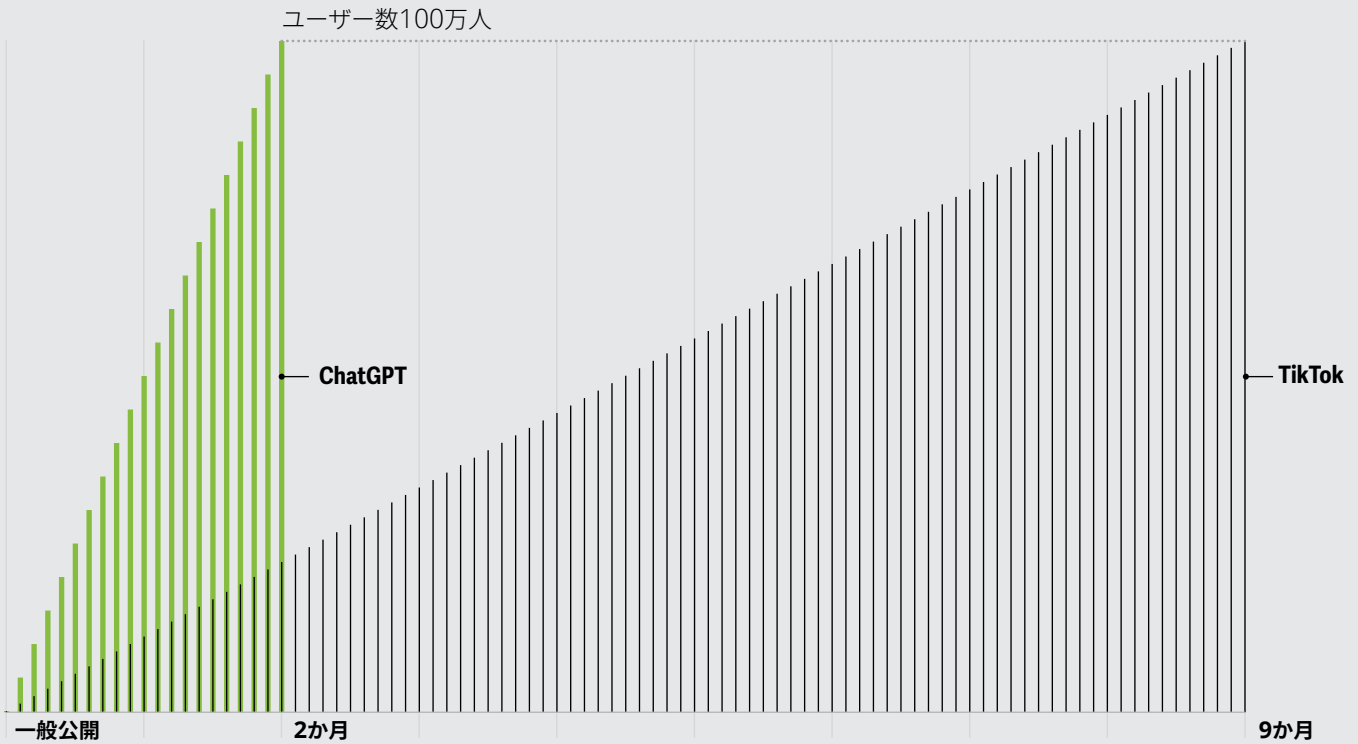
問題はもはや、AIが知能を持っているかどうかではない。ビジネスにインパクトを与えるため、これらのAIツールをどのように活用するかが重要だ。

Now：生成AIの急速な普及と、 大変革への期待

2022年後半から2023年初頭にかけて登場した生成AIは、人々の想像力を掻き立てた。これほどの注目を浴びてデビューした技術はこれまでほとんどない。生成AIを受け入れ日々利用することは、一般の人々の間で急速かつ急激に進んできている。OpenAIは、ChatGPTを一般公開してから60日以内に1億人のユーザーを獲得したと報告している。それ以前に爆発的に普及したと言われるTikTokでも、同じ数に達するまでに9か月かかった（図1）⁶。Midjourneyの画像ジェネレーターのユーザー数は約1,600万人であり、Dall-E2の1日あたりのユーザー数は150万人、GoogleのBardチャットボットの7月の閲覧数は約1,000万だった^{7,8,9}。デロイトの2023年の「CEOプライオリティ調査」（図2）によると、企業での生成AI利用の伸びも同様に目覚ましいものであった¹⁰。

図1

急増する生成AIへの関心と採用



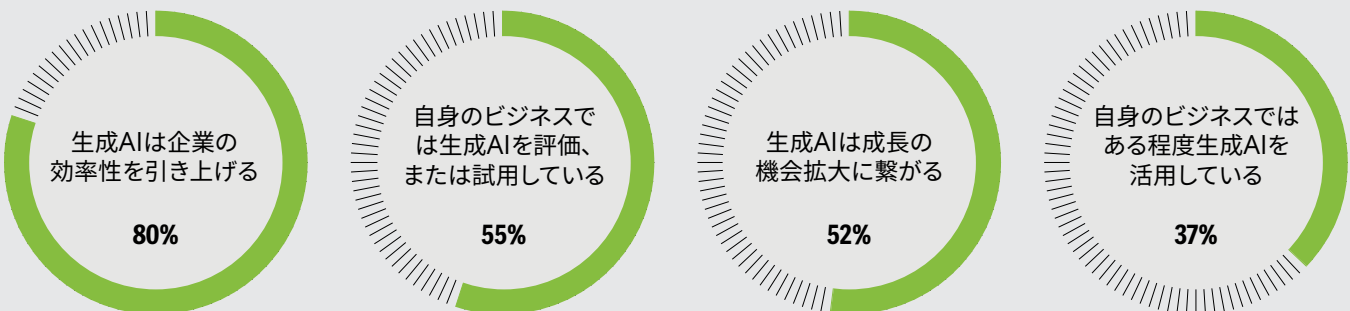
注記：グラフは比喩的なものであり、実際のユーザー成長率を表したものではありません。

出所：Krystal Hu, "ChatGPT sets record for fastest-growing user base—analyst note," Reuters, February 2, 2023.

図2

ビジネスリーダーによる企業での生成AI活用は増加

同意するビジネスリーダーの割合



出所：Fortune/Deloitte CEO Survey Insights, summer 2023.

生成AIがこれほどまでに影響力を持つようになったのは、いくつかの要素が同時に発生したためだ。まず、先進的なハードウェア（主にトレーニングモデルに使用される特殊なAIチップ）が、大規模言語モデル（LLM）などのより高度なAIモデルの実用化を助けた。これらのツールのうち、先行したアプリが途切れることなく作り込まれたユーザー体験によって急速に普及し、技術者でなくても非常に高度なモデルを使用できるようになった。

こうした状況が投資家の間でゴールドラッシュを引き起こしている（図3）。投資家たちは、今こそがビジネステクノロジーの新たなパラダイムの幕開けであると信じて、生成AI技術を核とするスタートアップに資金を注ぎ込んでいる。例えば、顧客についてのインサイトや更なる提案が次々浮かび上がり、契約が自動的に交わされ、絶え間なくコンテンツが生成され、ブランドが消費者の前で存在感を示し続ける、そんな新世界が思い描かれているのだろう。

AIが仕事を脅かす可能性については多くの議論がなされているが、ビジネスリーダーがAIを使って知識労働を大規模に自動化しようとしている兆候はない。リーダーへの調査では、コンテンツの品質向上や競争優位性の

強化、従業員の専門性の拡大が、生成AIを導入する最も一般的な理由であり、人員削減は最も優先度が低い項目の1つだった¹¹。むしろ、AIはルーチンな繰り返しの仕事から社員を解放し、より創造的な仕事に集中させることになりそうだ。

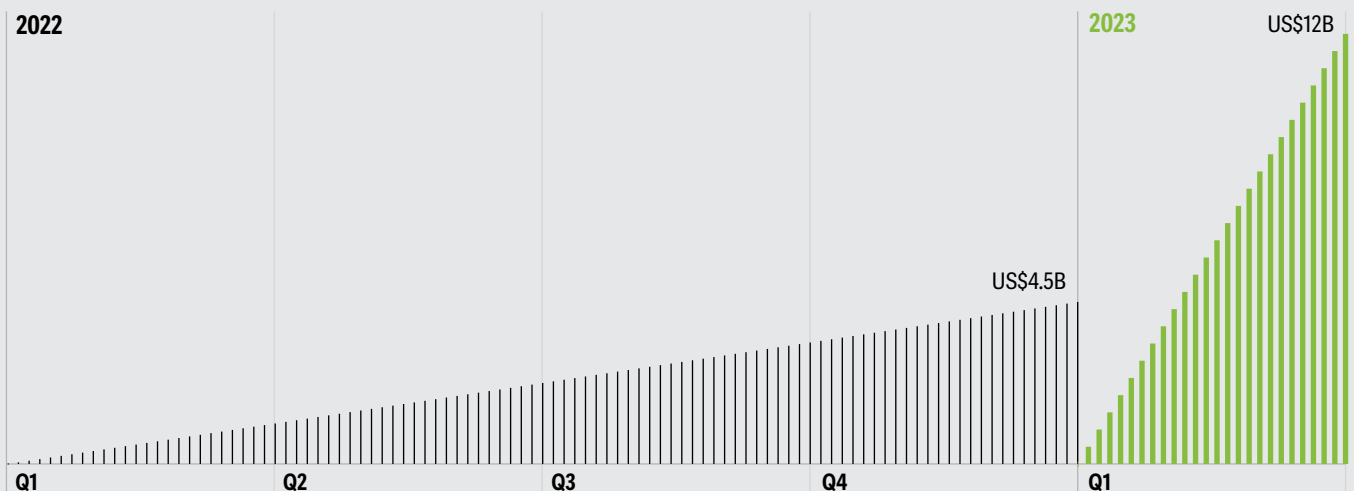
ここで分かるのはAI時代が到来しつつあること、そして一部の人間にとっては既に到来しているということだ。しかしよく言われるように、トップ企業は成長への**過程をショートカットすることは出来ない**と知っている。つまりリスクやコストを最小限に抑えることは、成長への最短ルートにはならないということだ¹²。したがって生成AIの最も生産的な使い方は、人々をAIに置き換えることではなく、生産性や知識、創造性を向上させるツールとしての従業員への提供に焦点を当てることだろう。これは企業のイノベーション促進にも繋がる考え方だ。

経営者たちは、この変化を加速し競合他社の先を行く必要に迫られている。ある調査ではCEOの64%が、投資家や債権者、金融機関からの重圧に直面して生成AIの導入を加速化させていると述べている¹³。しかし、リーダーたちは成長への道筋を縮めることはできないと知っているように、**ニーズに対応する**重要性も知っている¹⁴。新しいものだからといって、生成AIを無理にあら

図3

拡大する生成AIへの投資

生成AI技術領域におけるベンチャーキャピタル投資の年間累積投資額



注記：グラフは比喩的なものであり、実際の増加率を表したものではありません。

出所：Jacob Robbins, "The most active investors in generative AI," News & Analysis, June 15, 2023.

ゆるプロセスに組み込んでも、意義ある利益を生み出す可能性は低い。そうではなく、企業は既存の問題を解決し競合他社との差別化を図るために、生成AI固有の機能の活用に焦点を当てるといふ、より戦略的な実装アプローチから利益を得られるはずだ。これが今日、革新的な企業が採っているアプローチだ。

New：企業は生成AIの組織横断的な展開と専門化を狙う

生成AIの真の価値は、企業がそれを使ってビジネス機能を変革するときに発揮される。例えば、コストを削減する、製品・サービス・イノベーションのサイクルを大きく変化させる、これまで達成できていなかったプロセスの効率性を作り込むなどの場面が考えられる。これを達成するために、ビジネスリーダーは、エンタープライズデータとテクノロジー戦略に対するより革新的なアプローチを検討するだろう。

AI駆動型の組織になるには、注意深くポリシーの運用を徹底し、システムとアルゴリズムの保守・チューニングに注力する必要がある¹⁵。ロケットが目的地に到達するために発射台と飛行制御が必要であるように、生成AIツールが企業環境で効果を発揮するためには、それに見合ったインフラと制御システムが必要となる。幸いなことに、多少の調整は必要であるものの、データ分析や機械学習に関するケイパビリティを築くためにここ数年間に体で覚えたノウハウは、生成AIの活用にも生かせよう。

生成AIは通常、超高性能なGPUを集積した基盤上にテラバイト単位のデータを必要とする。しかし、このインフラを持っている企業は少ないため、ほとんどの企業は他企業が提供するサービスを使用する。APIを介して、エンジニアは新たなインフラを構築することなく、既存のソフトウェアに生成AIの機能を組み込むことができる¹⁶。AIベンダーは製品の使いやすさを重視しているものの、企業は改めてこれらを実装上の重要な要件として考慮しておくといえよう。

さらに、ユースケースを賢く選択することも重要だ。AIは、コスト削減、プロセスの高速化、複雑性の軽減、顧客エンゲージメントの変革、イノベーションの促進、信頼の構築などに活用できる¹⁷。生成AIの具体的な用途は企業によって異なるが、まずは一つの分野に対して、改善を促進できるプロジェクトを探すことから始めるのがよい。

ここでは、既にその技術を採用している企業がさらに考慮すべき事項を紹介する。

データは生成AIのエンジンを動かす燃料である

企業はモデルの訓練や次世代のユースケースのために、データが適切に設計され、AIアプリケーションへアクセスできるようにしておく必要がある。

これは、北米最大の天然ガス事業者であるEnbridgeの学びの一つだった。数年前、同社が野心的にクラウドへの移行を始めた時点では、同社は生成AIの新しい用途を開拓しようとはしていなかった。主な目標は、インフラを近代化し自社のデータセンターの規模を削減することによって、技術的な負債を解消することだった。その過程で、規制、市場、人事、その他のデータを含む企業全体のデータを収集する、一元化されたデータリポジトリを構築した。この一元化されたデータマーケットプレイスは、かつて何百もあったデータセットのサイロ化を解消した。

生成AIが台頭したとき、Enbridgeのビジネスリーダー陣は、この一元化されたデータマーケットプレイスが、AIを活用した新たな効率化を推進する完璧な原動力であることに気づいた。その展開に携わったテクノロジーチームは、開発者がより迅速かつ効率的にコードを構築できるよう支援する、生成AIをもとにしたコパイロットツールを公開した。また、同社のオフィススタッフにも、生産性向上を支援するためのコパイロットツールが提供された。

Enbridgeのクラウド、IT運用、およびデータを担当しているディレクターのJoseph Gollapalliによると、目標は「我々のデリバリーを加速し、イノベーションと効率性を推進することであり、これらのAIソリューションは、業務の改善、安全性の向上、顧客体験の向上、環境パフォーマンスの向上につながる可能性がある」とのことだ¹⁸。

ガバナンスはこれまで以上に重要である

効果的なガバナンスを補助するガードレールがなければ、AIは拡張できない。ガバナンスフレームワークは、ビジネスのビジョンを定義し、潜在的なリスクとケイパビリティのギャップを特定し、パフォーマンスを検証すべきものである¹⁹。この類の検討は、ビジネスを守るだけでなく、概念実証段階を超えてプロジェクトを拡張することにも役立つ。

米国最大の中古車小売業者であるCarMaxにおいて、生成AIの効果的な活用は、組織的で企業全体に向けたアプローチに基づいて推進されている。それはこの技術の力を取り入れつつ、従業員が効果的に利用できるように誘導するものである。CarMaxの最も有名なアプリケーションの1つは、AIが生成したコンテンツを自動車の検索ページに追加するツールだ。これらのページでは、何千もの実際のカスタマーレビューからの情報が要約されており、購入者は他の購入者の意見をすぐに確認できる。

CarMaxのexecutive vice president and chief information and technology officerであるShamim Mohammadによると、この種のユースケースは、統制された方法で実行される場合に最大のビジネス価値をもたらすという²⁰。ガバナンスは、生成AIの最も面白い側面とは感じられないかもしれないが、生成AIを拡大するための鍵となるもので、CarMaxはそのガバナンスを優先してきた。同社は、組織全体のチームがAIを適切に使用できるようにすることを目的とした、AIガバナンスチームを創設した。重要なのは、このチームの役割が、新たなユースケースを単に否認することだけではない点だ。彼らのミッションの一つは、モデルのトレーニング方法と使用方法を標準化することで、影響力のあるアプリケーションを企業全体に拡張することの支援にある。目標は、生成AIが技術チームやプロダクトチーム以外にも利用されることだ。

「我々は機械学習とAIを通じて、多くの素晴らしいことを成し遂げてきた」とMohammadは言う。「私が現在注視しているのは、我々が生成AIを責任ある方法で使用すること、そして企業として導入するものが何であれ、我々のコアバリューに沿った方法で実施されることだ」

権利を確認すべきである

生成AIは著作権の風景を一変させた。今日では、誰でも数回のクリックで画像、ビデオ、テキスト、オーディオを作成できる。しかし作成するためのモデルの一部は、第三者のコンテンツに基づいて訓練されており留意が必要である。最近米国のある裁判所では、生成AIによって生成されたコンテンツは、第三者のコンテンツに基づいて訓練されているため、著作権保護の対象外であるとの判断が下された²¹。また著作権保護された素材をWebから取得してモデルの訓練に使うことは、知的財産権の侵害を含む法的リスクの可能性のあることにも注意が必要である²²。

しかしながら、これらが必ずしも生成AI活用の足かせになるわけではない。例えばコンテンツプロバイダーのShutterstockは、著作権を持つ人の権利を尊重しつつも、生成AIで作成したコンテンツを商業目的で使用可能な仕組みを提示している。

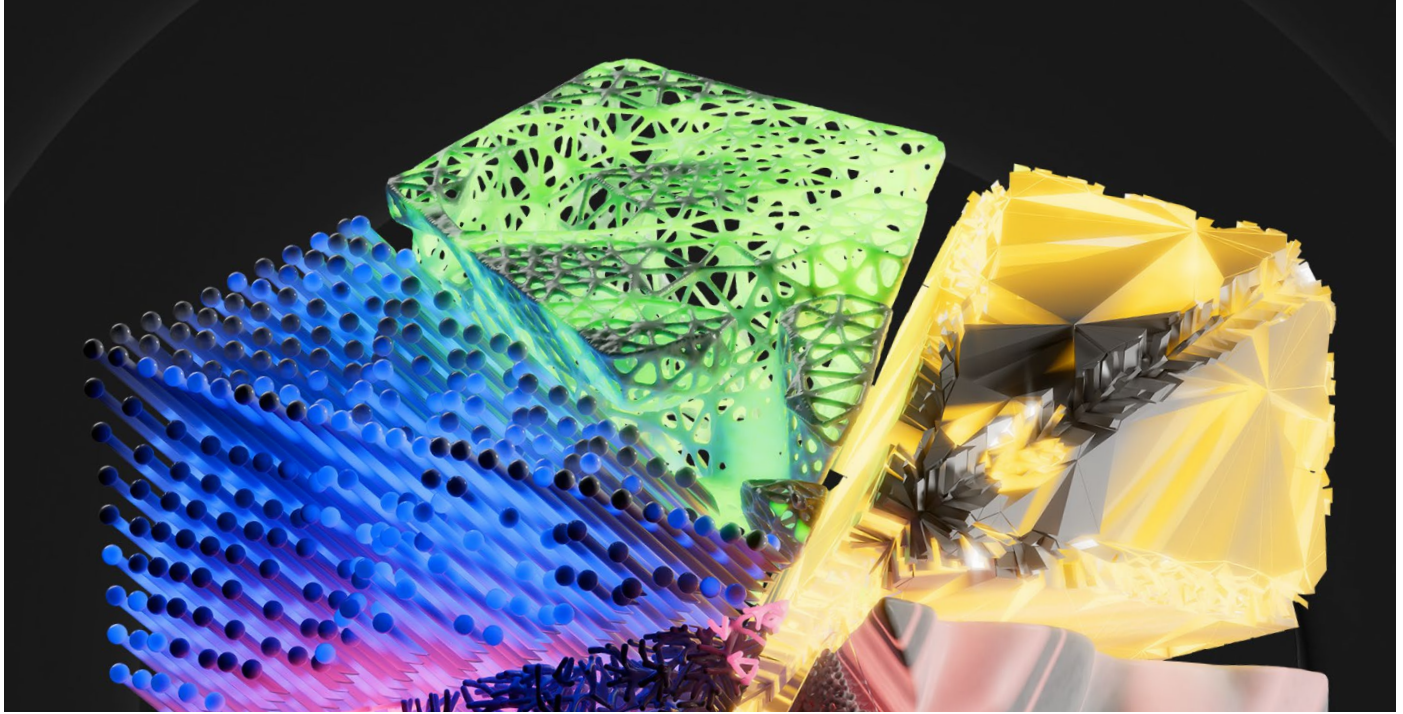
Shutterstockは最近、ユーザーのプロンプトに基づいて画像を生成するツールを発表した。このツールは他の画像生成ツールと同様に、第三者のアーティストにより作成された画像を基に訓練されている。しかし他の画像生成ツールと違う点がある。それは、モデルの訓練に使用された作品を生み出した全アーティストが、事前に本件に同意していたことだ。このプラットフォームに参加しているアーティストは、自分の作品がモデルの訓練に使われたり、利用者がプラットフォームで生成した画像にライセンスを付与したりするたびに、報酬を得る仕組みとなっている。Shutterstockは、自社のプラットフォームにあるコンテンツをデータとして使用する許諾を付与することで、エンドユーザーを法的リスクから保護している。

Shutterstockのdirector of innovationであるMichael Francelloは「CEOから小売業で働く人々まで、誰もがコンテンツを作成している。コンテンツ作成のニーズは爆発的に高まってきた。我々はコンテンツをデータとして扱い、それを生成AIのモデルの訓練に利用する初期段階を目にしている。これは我々コンテンツ作成者のビジネスのコアを守ることだけでなく、アーティストや生成AIモデルへの貢献者というもう一つのコアになる人々を尊重することでもある」と述べている²³。

Crawl, Walk, Run, Fly

この「Crawl-Walk-Run-Fly (ハイハイ、歩く、走る、飛ぶ)」アプローチ（簡単なことから着手し、段階的に範囲を拡大する手法）は長年にわたり、**企業がサービス提供を拡大する**ための効果的な方法であった²⁴。生成AIも例外ではない。Crawlの段階では、アプリケーションはアドホックに開発され、多くの手作業を必要とする。Walkの段階に移行すると、基本レベルでプロセスは明確に定義され、自動化に向かう。Runの段階ではユースケースが標準化され、企業レベルで普及する状態になる。Flyの段階が来たら、組織は既に行ってきたことを活用して、次世代の能力を手に入れる。

このアプローチは、化学企業のEastmanが生成AIベースの社内サービスを開発するのに役立った。同社は一般的にあまり知られていないが、データ分析に携わってきた長い実績がある。例えば、顧客の産業プロセ



スで使用される伝熱流体が、いつ劣化する可能性があるかを予測する（独自の熱安定性測定機能を備えた）高度なインテリジェンスサービスを保有しており、エンジニアが最適な流体品質を維持することや、保守の必要性を予測すること、製造ラインでコストのかかるダウンタイムを回避することなどを可能にしている。

この経験を基に同社は現在、生成AIが営業プロセスをどのように強化できるか試行している。同社は、自然言語のテキストファイルを読み取れるAI対応ツールを開発した。このツールはまだ開発段階であり、営業の報告メモから示唆を抽出する実験が行われている。報告メモは顧客接点を持つたびに営業チームによって作成されるが、重要な情報が記載されていても、これまではほとんど読まれることはなかった。しかし今、同社は生成AIの手助けを借りて、これらの洞察を解き放とうとしている。

Eastmanのchief information officerであるAldo Nosedoは「生成AIは、我々化学企業のデジタルサービスを市場での差別化と競争優位性を生み出す源泉にしてくれる」と述べている²⁵。

生成AIの進歩のペースを考えると、企業の新しいユースケースに、この種のフレームワークを適用することは賢明であると考え。PoCが、標準的な実践につながり、それが企業全体で標準の運用になるようにしていく。ビジネスがこのように成熟すれば、可能性は無限大である。

近い将来、特定領域のデータで訓練されたモデルが登場することで、各業界において生成AIの利益を享受することがさらに容易になる可能性がある。現在、生成AIを使用している企業の多くは、一般的なデータで訓練されたベーシックなモデルに基づいて構築されたツールを使用している。このような一般的な知識を持つツールが、専門性の高い領域で使用できることはLLMの力を示している。しかし次世代のLLMは、より一層、企業の特定のニーズに合わせてカスタマイズされたものになるだろう²⁶。

このトレンドは既に現れ始めている。NVIDIAはバイオテクノロジー領域を対象としたLLMのBioNeMoというツールを発表した²⁷。GoogleのContact Center AIはコンタクトセンターのやり取りを処理できるように訓練されたツールである²⁸。BloombergGPTは金融業界に関連する質問に答えるように設計されている²⁹。ClimateBERTは気候変動の研究に基づいて訓練されたモデルであり、気候関連のリスクについて企業に助言できる³⁰。

企業が自分たちの分野に特化して訓練されたモデルの利点を認識するにつれ、この種のサービスの需要はさらに高まるだろう。既に3分の1以上の企業が将来のビジネスニーズに合わせて、LLMを訓練およびカスタマイズすることを計画している³¹。ビジネスにおける生成AIの活用ポテンシャルはおそらくプライベートLLMにある。これらは基礎となるソースコードを自社で保有し、

一般公開しない組織が開発・保守を担っている。これらのLLMは目的に特化され、安全にホストされ、企業固有のデータで訓練されており、組織に大きな競争優位性を提供できる。これはおそらく、生成AIの広がりにおける、次の波となるだろう。

Next：創造的なエグゼクティブが求められる

今日、モチベーションを刺激するためのポスターは、企業の決まり文句のような標語を表現するものから、オンラインで日常的に拡散される「ミーム」に進化しているが、そこでは使い古された名言の1つである「我々を制限するのは想像力だけだ」が、今も企業において大切なことを示すものとして見直されるかもしれない。

この言葉を聞いたことがあるかもしれないが、チームや組織は常に制約に縛られてきた。十分なデータや正確なデータを持たず、リーダーシップは懐疑的となっていた。何よりも恐ろしいのは「その状態では時計の針は動かない」ということだ。

しかし生成AIの世界では、まさに想像力だけが制約となる。今日では絶え間なくコンテンツを作成することや、新しい運用効率化の機会を特定すること、また規制当局への提出書類や顧客状況のレビューを数分で確認することができるようになった。今や唯一の質問は、あなたは何を知りたいか、ということだ。

生成AIを導入した企業では、より良い質問をすることが重要なスキルセットになる。このトレンドは、これまで以上に創造性を原動力とする新たなタイプのリーダーに対する需要を生み出すかもしれない。過去20年ほどリーダーは、直感ではなくデータと洞察に基づいて組織を運営することで評価を得てきた。しかし今後数年で、より創造的な指導者が伸びてくるのを目にするだろう。画像生成ツールに退屈なプロンプトを与えると、退屈な画像が生成される。これは企業レベルでの生成AI活用にも同じことが言える。想像的でないユースケースは、

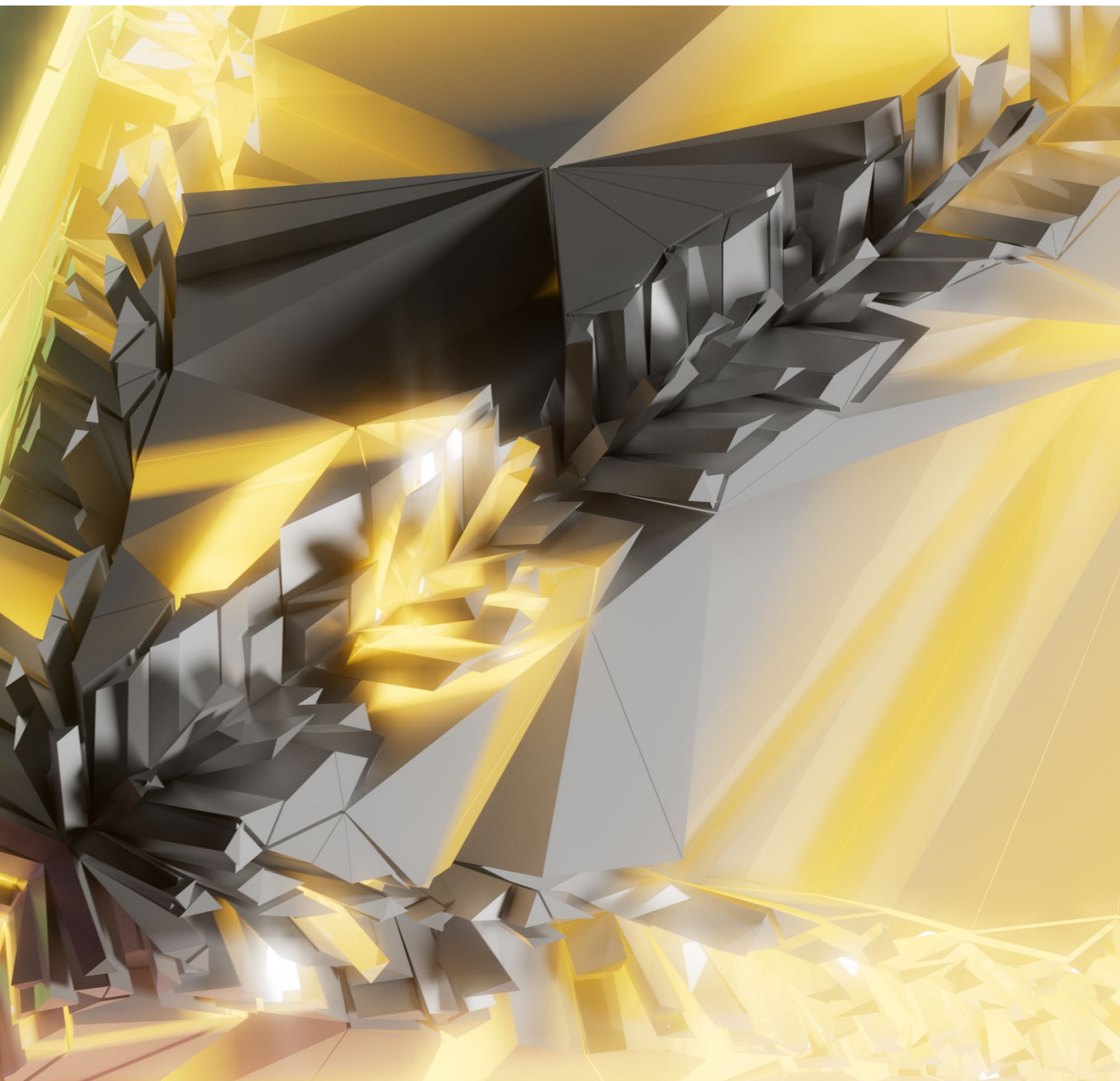
限定的な影響しかもたらさない。より多くの企業が競合他社との差別化を図ろうとする中で、創造的なAIの新しい活用先を見つけられるリーダーは、ただデータを追うことに忙殺されている同業他社とは一線を画す可能性がある。

これはデータに基づく意思決定が通用しなくなるわけではない。むしろこれまで以上に重要になるだろう。しかし生成AIのおかげで、リーダーがアクセスできるデータの範囲が拡大するため、データドリブンの定義は変わる可能性がある。企業データの多くは、自然言語のテキストファイルや機械・設備のログ、そして増えつつあるインテリジェントな製品に埋もれている³²。生成AIはこの湧き出るデジタルデータを処理して、組織に情報提供することができる。創造的なリーダーはこのことをよく理解し、社内のデータに対し有効な問いかけをして答えを引き出すことに生成AIを活用しようとしている。更に、アイデアの湧くままに生成AIに質問することで、部下からの週次報告を待つよりもスピーディーに、ビジネスの状況を把握することもできるだろう。

以上のことは、生成AIがもたらす可能性がある影響のほんの一部を述べたに過ぎない。生成AIは、地殻変動的な影響を及ぼすことを我々は確信している。まだ正確に分かっていないのは、地面がどこで最も揺れるのかに過ぎないのだ。

Endnotes

1. Michael I. Jordan, “Artificial intelligence—the revolution hasn’t happened yet,” *Harvard Data Science Review*, July 1, 2019.
2. Tom Huddleston Jr., “Bill Gates watched ChatGPT ace an AP Bio exam and went into ‘a state of shock,’” CNBC, August 11, 2023.
3. Saliha Malik, “How will the Open AI products DALL.E and DALL.E 2 change the face of augmented reality?,” *Medium*, March 1, 2023.
4. Anthropic, “Claude 2,” July 11, 2023.
5. Douwe Kiela et al., “Dynabench: Rethinking benchmarking in NLP,” *Proceedings of the 2021 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies*, June 6–11, 2021, pp. 4110–24.
6. Krystal Hu, “ChatGPT sets record for fastest-growing user base – analyst note,” Reuters, February 2, 2023.
7. Rob Krivec, “Midjourney statistics (How many people are using Midjourney?),” *Colorlib*, September 14, 2023.
8. Leigh McGowran, “OpenAI unveils Dall-E 3 art generator with ChatGPT support,” *Silicon Republic*, September 21, 2023.
9. Similarweb, Google Bard overview, accessed October 2023.
10. Deloitte, “Summer 2023 Fortune/Deloitte CEO Survey insights,” accessed October 2023.
11. IBM Institute for Business Value, “Enterprise generative AI,” July 2023.
12. Mike Bechtel, Khalid Kark, and Nishita Henry, “Innovation Study 2021: Beyond the buzzword,” Deloitte Insights, September 30, 2021.
13. IBM Institute for Business Value, “Enterprise generative AI.”
14. Bechtel, Kark, and Henry, “Innovation Study 2021: Beyond the buzzword.”
15. Nitin Mittal, Irfan Saif, and Beena Ammanath, *State of AI in the Enterprise, 5th edition report*, Deloitte, October 2022.
16. Deloitte AI Institute, “Generative AI is all the rage,” 2023.
17. Deloitte AI Institute, *The AI Dossier—expanded*, 2022.
18. Interview with Joseph Gollapalli, director of cloud and IT operations at Enbridge, June 13, 2023.
19. Beena Ammanath et al., “Trustworthy AI in practice,” Deloitte AI Institute, 2022.
20. Interview with Shamim Mohammad, executive vice president and chief information and technology officer at CarMax, August 3, 2023.
21. Trishla Ostwal, “Judge rules GenAI content does not have copyright protection,” *Adweek*, August 22, 2023.
22. Gil Appel, Juliana Neelbauer, and David A. Schweidel, “Generative AI has an intellectual property problem,” *Harvard Business Review*, April 7, 2023.
23. Interview with Michael Francello, director of innovation at Shutterstock, May 12, 2023.
24. Jagjeet Gill, Deepak Sharma, and Anne Kwan, “Scaling up XaaS,” Deloitte, September 29, 2019.
25. Interview with Aldo Nosedo, chief information officer, Eastman Chemical Company, October 11, 2023.
26. Deloitte AI Institute, *A new frontier in artificial intelligence*, 2023.
27. Ibid.
28. Google Cloud, “Contact Center AI,” accessed October 2023.
29. Bloomberg, “Introducing BloombergGPT, Bloomberg’s 50-billion parameter large language model, purpose-built from scratch for finance,” press release, March 30, 2023.
30. ChatClimate, “ClimateBert,” accessed October 2023.
31. expert.ai, “Nearly 40% of enterprises surveyed by expert.ai are planning to build customized enterprise language models,” press release, May 11, 2023.
32. Jagjeet Gill et al., “Analytics operating models,” Deloitte, 2020.



コンピューテーション

より柔軟で、よりスマートに： 力任せのコンピューティングを超えて

企業は、既存のインフラのさらなる活用や、プロセスの高速化に向けた最先端のハードウェアの追加を進めている。近いうちに、バイナリーコンピューティングを超越したものに目を向ける企業も出てくるだろう。

テクノロジーが企業にとってより大きな差別化要因となるにつれて、企業はこれまで以上に複雑な計算ワークロードを構築するようになった。人工知能モデルのトレーニング、複雑なシミュレーションの実行、現実世界におけるデジタルツインの構築には、大規模なコンピューティングリソースが必要になる。このような高度なワークロードは、組織の既存のインフラに負荷をかけ始めている。一般的なクラウドサービスは、ほとんどの通常業務に十分な機能を提供しているが、競争優位性を高める最先端のユースケースでは、高度に最適化された特殊なコンピューティング環境が必要になっている¹。

実行するハードウェアに合わせてコードベースを最適化することは、業務アプリケーションの高速化に向けた第一歩となりうる。長い間見過ごされてきた分野であるこの最適化により、大幅な性能の向上がもたらされる可能性がある。その上、AIやその他の高度なプロセスのトレーニングに特化した先進的なハードウェアは、企業の主流になりつつある。グラフィックスプロセッサ（GPU）やAIチップ、また将来的には、量子コンピューターやニューロモーフィックコンピューターが、コンピューティングの次の時代を形成し始めている。

計算性能の進歩の大部分は、回路を通じてより多くの0と1のビットをより速く処理する方法に焦点を当ててきた。それ自体にはまだ成長余地があるものの、少しずつ認知されているように、それほど長く進歩は続かないかもしれない。このため、先行する研究者やテック企業は、計算性能の制約を乗り越えるのではなく、回避する

ための革新的な方法を模索している。この過程において、中央処理装置（CPU）がシリコンベースのものとは違うものを含む特殊なハードウェアと連携して動作する大規模計算の新たなパラダイムの基礎が築かれる可能性がある。

Now：将来のコンピューティング性能の向上ペースはこれまで通りにはいかない

ここ50年ほどのコンピューティングと経済の進歩は、ムーアの法則によって形作られてきた。ムーアの法則とは、コンピューターチップ上のトランジスタの数、つまり性能が2年ごとにほぼ倍増するという考え方だ²。

しかし、チップメーカーはますます物理的な制約に直面している。ある程度のところで、シリコンチップ1片に搭載できるトランジスタの数は限られている。ムーアの法則はすでに通用しなくなっているという見方もある³。これには異論があるが、少なくとも限界が見えてきた可能性はある。チップは消費電力が増え、冷却が難しくなっているため、性能が妨げられている⁴。そのため、チップメーカーがトランジスタを増やしても、性能が向上するとは限らない。

タイミングの悪いことに、このような実情に対して、企業はますます計算集約型ワークロードを志向している。多くの企業が現実世界のプロセスのデジタルツインを開発しており、産業の自動化が加速している。また、コネクテッドデバイスやモノのインターネット（IoT）の導

入も進んでおり、どちらも大量のデータを生成し、処理要件を引き上げている。機械学習、特に生成AIは、トレーニング中にテラバイト単位のデータを処理する複雑なアルゴリズムを必要とする。これらの取り組みはいずれも、企業にとって大きな競争上の差別化要因となるが、標準的なオンプレミス基盤で実行するのは現実的ではない。一方、クラウドサービスは**切望されるスケール**を実現できるが、その分コストが法外な金額となる可能性がある⁵。

CPUの性能向上ペースの鈍化は、企業の収益にインパクトを与えるだけではない。NVIDIAのCEOを務めるJensen Huangは、GTCカンファレンスの基調講演で、今日ではあらゆる企業や政府が二酸化炭素排出量を実質ゼロにしようとしているが、従来の計算の需要が高まる中では、それを達成するのは難しいことに触れ、「ムーアの法則が通用しなくなれば、計算量の急増に伴い、データセンターの電力使用量は急増する⁶」と述べた。

ある時点を過ぎると、パフォーマンスを向上させるためにデータセンターを拡大したり、クラウドへの投資を増やしたりすることは、経済的に意味をなさなくなる。従来のクラウドサービスは、顧客関係管理 (CRM)、企業資源計画 (ERP)、企業資産管理 (EAM)、人的資本管理 (HCM) などのバックオフィスプロセスを有効化および標準化するためには最良の選択肢である。しかし、AIやスマートファシリティなどの成長を促すユースケースを従来のクラウドリソースで運用することは、最終的には企業のIT予算全体を圧迫する可能性がある。そこで、新しいアプローチとして特殊なハイパフォーマンスコンピューティングシステムなどが必要だ⁷。

New : ハードウェアとソフトウェアをより柔軟で、よりスマートに動かす

従来のコンピューティング性能の進歩が鈍化しているからといって、リーダーが計画にブレーキをかける必要はない。処理を高速化する新たなアプローチは、ビジネスを前進させる上で重要な役割を果たす可能性がある。

Simple : コードの簡素化

CPUのパフォーマンスが1~2年ごとに確実に予測可能に向上していた時代は、コードが非効率的に書かれて少し肥大化しても、致命的ではなかった。しかし、性能の向上が鈍化している現在、エンジニアがコードを効率的に処理することがより重要になっている。企業に

としては、コードを実行するハードウェアが同じままであっても、コードを簡素化することでパフォーマンスが大幅に向上する可能性がある⁸。

この簡素化は、クラウド移行中に行うことが、通常適している。しかし、メインフレーム上のCOBOLなどの古いコードを直接移行すると、コードが肥大化して非効率になる可能性がある⁹。アプリケーションをJavaなどのより現代的なコードにリファクタリングすることで、企業はクラウドの最新の機能を活用し、この問題を解決することができる。

米ユタ州のOffice of Recovery Servicesでは最近、主要な案件管理および会計システムを完全にクラウドに移行した。自動化されたリファクタリングツールを使用してコードをCOBOLからJavaに変換したことで、その後性能が向上した。

「アプリケーションの処理速度が大幅に向上した」と、Office of Recovery Servicesの技術責任者であるBart Masonは言う。「メインフレームで動作させていた機能について、そのコードをJavaに変換することができた。今日では、メインフレームよりもはるかに高速だ¹⁰」

Situated : 遍在リソースの統合

ベルギーの小売業者であるColruyt Groupは、コンピューティングタスクに適切なリソースを使用することで、商品を保管する倉庫の自動化、コンピュータービジョンを使用した在庫レベルの追跡と管理、顧客に商品を配送する自動運転車の開発など、イノベーションに挑戦することができた。

コンピューティングワークロードを管理する1つの方法は、使用可能なすべてのリソースを活用することだ。Colruyt Groupのdivision managerであるBrechtel Deroによると、スマートデバイスの普及のおかげで、同社には十分な計算リソースが利用可能であったという¹¹。しかし、これらのリソースの多くはオペレーショナルテクノロジーに関するものであり、同社のより旧来のデジタルインフラとは結びついていなかった。当初、それらを連携させるための機能を開発することは、困難であった。しかしDeroによると、Colruytはイノベーションを推進した協力的なCEOのおかげで、恩恵を受けたという。技術面で、この会社はさまざまなソースからのデータの統合を可能にする柔軟なERP環境を運用している。これがインフォメーションテクノロジーとオペレーショナルテクノロジーの統合の屋台骨となった。

「ITとOTの間のギャップを埋めることだ。なぜなら、機械ははるかに賢くなっているからである」とDeroは言う。「IT環境、ERP環境、およびマシン間のシームレスな統合を実現し、負荷と計算が適切な場所で適切な相互作用によって行われるようにできれば、生産性を向上させるための追加のステップを踏むことができる¹²⁾」

Specialized : 特化型リソース活用

よりスマートにコーディングすることと既存のコンピューティングリソースをより良く活用することは、企業における処理の多くを高速化するのに役立つ可能性があるが、特定の種類の問題に対しては、企業はますます専用のハードウェアに頼るようになってきている。GPUはAIモデルのトレーニングに欠かせないリソースとなっており、運用効率と企業のイノベーションを大きく前進させるテクノロジーとなっている。

名前が示すように、GPUはもともとグラフィックスをよりスムーズに実行できるように設計された。しかし開発者たちは、GPUの並列データ処理特性を用いてAIモデルのトレーニングを効率化できることに気づいた。AIモデルのトレーニングでは、アルゴリズムを通じてテラバイト単位のデータを提供する必要があるが、これは組織

が現在直面している最も計算量の多いワークロードの1つだ。GPUは問題を細かく分割し、一度に処理するが、CPUはデータを順番に処理する。数百万のデータポイントでAIアルゴリズムをトレーニングする場合、並列処理が不可欠だ¹³⁾。生成AIが主流になって以来、モデルをすばやくトレーニングして実行する能力は、ビジネス上の必須事項になっている。

大手テック企業やソーシャルメディア企業、大手リサーチ企業、通信企業、マーケティング企業は、自社のオンプレミス環境内に独自のGPUを搭載している¹⁴⁾。ただし、より典型的な企業では、クラウド上のGPUを使用することが、最も一般的なアプローチになるだろう。調査によると、クラウドGPUは、クラウド上の従来のCPU上のトレーニングモデルと比較して、AIモデルのトレーニングコストを6分の1に、トレーニング時間を5分の1に削減する(図1)¹⁵⁾。現在、AMD、Intel、NVIDIAなど、ほとんどの主要なチップメーカーがGPU製品とサービスを提供している。

しかし、AIモデルのトレーニングに特化したハードウェアはGPUだけではない。AmazonはInferentiaと呼ばれるチップを提供しており、大規模な言語モデルを含む生成AIのトレーニングを目的としているという。これ

図1

GPUはAIモデルのトレーニング時間とトレーニングコストを削減することができる

● クラウドCPU ● クラウドGPU



出所：Deloitte analysis.

らのチップは、従来の処理装置よりも少ない電力で大量のデータを処理できるように作られている¹⁶。

GoogleもAIチップの分野に参入している。同社はTensor Processing Units (TPU) と呼ばれる製品を提供しており、Google Cloudサービスを通じて利用できる。これらのプロセッサは、ほとんどの機械学習モデルの基礎となる行列演算を処理するために最適化された、特定アプリケーション向けの集積回路のカテゴリーに分類される¹⁷。

企業が生成AIの価値を認識するにつれ、特化型AIチップは今後数ヶ月の間に、企業間で引き続き注目を集める可能性が高い。AIの採用が増えることは、ほとんどの組織の既存のデータセンターインフラに負荷をかける可能性があり、汎用リソースと比較してカスタムチップのパフォーマンスが高いことが、競争上の大きな差別化要因になる可能性がある。

これは、企業が一夜にしてこれらのメリットを享受できるという意味ではない。歴史的に、専用ハードウェアが広範に使えるようになるまでの期間と、ハードウェアを最大限に活用するために必要な標準やエコシステムを開発する期間の間には、常にタイムラグがあった。企業がこれらのイノベーションを本格的に採用するまでには、何年もかかる可能性がある。企業は、エコシステムパートナーシップを構築して新興テクノロジーに備え、ビジネスケースが熟し次第、これらのイノベーションを活用できるように、必要なスキルを準備することができる。

Next：バイナリーコンピューティングを超えて

CPUの優れた点は、その柔軟性にある。スプレッドシートからグラフィックデザインソフトウェアまで、あらゆるものに対応している。何十年の間、企業はコモディティ化したハードウェア上で、何も考えずにほとんどすべてのアプリケーションを実行することができた。

しかし、研究者やテック企業は、新たなデータ処理アプローチを開発しており、その過程で新たな可能性を拓いている。最も有望な新しいパラダイムの1つは、量子コンピューティングかもしれない。この技術は何年も前から議論されており、その影響は明らかになりつつある。

量子アニーリングは、量子コンピューティングの最初のエンタープライズアプリケーションの1つとなる可能性

が高く、巡回セールスマン問題などの最適化問題の新たな解決手法である¹⁸。この種の問題は従来は、機械学習を用いて解決されてきた。しかし、複雑な最適化問題の場合、基礎となる数学、つまり計算処理は信じられないほど複雑になるが、依然として完璧とはいえない解が得られるものとなる。

しかし、量子アニーリングでは、量子ビットの物理的な特性を利用して最適解を導くことができるため、量子コンピューターでは、宇宙ロケット打ち上げのスケジュール設定、財務モデリング、ルート最適化など、複雑なことで有名な多変数の問題を解くことができる¹⁹。量子アニーリングは、従来のアプローチよりも少ないデータ量と少ないエネルギー消費で、より速く解に辿りつくことができる。

量子アニーリングは、量子コンピューターで最初の広く利用可能なアプリケーションかもしれないが、それが最後になる可能性は低い。この技術は急速に成熟しており、従来のコンピューターが今日あまり適していないさまざまな問題にもすぐに適用できるようになるだろう。量子コンピューターは、従来のコンピューターとは根本的に異なる方法で情報を処理するため、異なる視点から問題を探求することができる。長期間にわたって大量のデータを扱う問題が、潜在的に適している。例えば、IBMは最近ボーイングと協力して、量子コンピューティングを適用してより強力で軽量な材料を設計し、腐食を防ぐ新しい方法の見つけ方を探求した。

IBM Quantumのdirector of theory and quantum computational scienceであるKatie Pizzolatoは、「科学的発見のためのツールとして量子コンピューターに目を向ける 때가来た」と語る²⁰。「従来のコンピューターの発展の歴史の中で、コンピューターが大きくなるにつれて、我々はコンピューターを使って驚くべきことを発見してきた。今日それに代わるのが量子コンピューターである。システムは従来のコンピューターに対抗できるサイズになりつつあり、今後は、システムが実用性をもたらす問題を見つける必要がある」

量子コンピューターは、現在のバイナリーコンピューティング (0と1を表す電気信号で動作する計算処理) と比較して、データの状態に基づく計算を実行する全く新しい方法だが、新しいアプローチは他にも存在する。もう一つの有望な分野はニューロモーフィックコンピューティングである。このアプローチは、人間の脳のニューロン間のシナプス結合から着想を得ている。一連のトランジスタが順番にデータを処理するのではなく、トランジスタが脳のニューロンのようにネットワーク化

され、トランジスタだけでなく接続の数に応じて計算能力が向上する。主なメリットは、電力を増やさずにパフォーマンスを向上できることである²¹。

より優れたAIアプリケーションは、ニューロモーフィックコンピューティングの最も可能性の高いユースケースである。このコンピューティングアプローチはまだ始まったばかりだが、人間の脳をモデルにしたコンピューターが認知アプリケーションにどのような影響を与えるかは容易に想像できる。自然言語理解、センシング、ロボティクス、ブレイン・コンピューター・インターフェースは、いずれもニューロモーフィックコンピューティングの有望なユースケースである。この分野はまだ比較的新しいが、IBMが開発しているTrueNorthと呼ばれるニューロモーフィックチップや、Intelが発表した研究用チップの第二世代であるLoihiなど、大手コンピューティング企業の支援を受けている^{22,23}。

光コンピューティングも有望なアプローチである。ここでは、プロセッサは、電子が回路基板を這うのではなく、光波を使用してデータを移動および格納する。利点は、データが文字通り光速で移動することである。この分野は量子コンピューティングやニューロモーフィックコンピューティングに比べて発展途上だが、IBMやMicrosoftなどの大手テック企業で研究が進められている²⁴。

これらすべてのパラダイムに共通する利点は、CPUやGPUよりも低い電力を使用しながら、同等もしくはより優れたパフォーマンスを実現できることである。これは、企業や国全体が炭素排出量の実質ゼロ（ネットゼロカーボンエミッション）を目指す中で、今後さらに重要になる可能性が高い。より高速でより広範なコンピューティングに対する需要は高まる一方だが、企業が目標

を達成しようと真剣に考えているのであれば、従来型のクラウドインスタンスを単に立ち上げることは選択肢にならない。

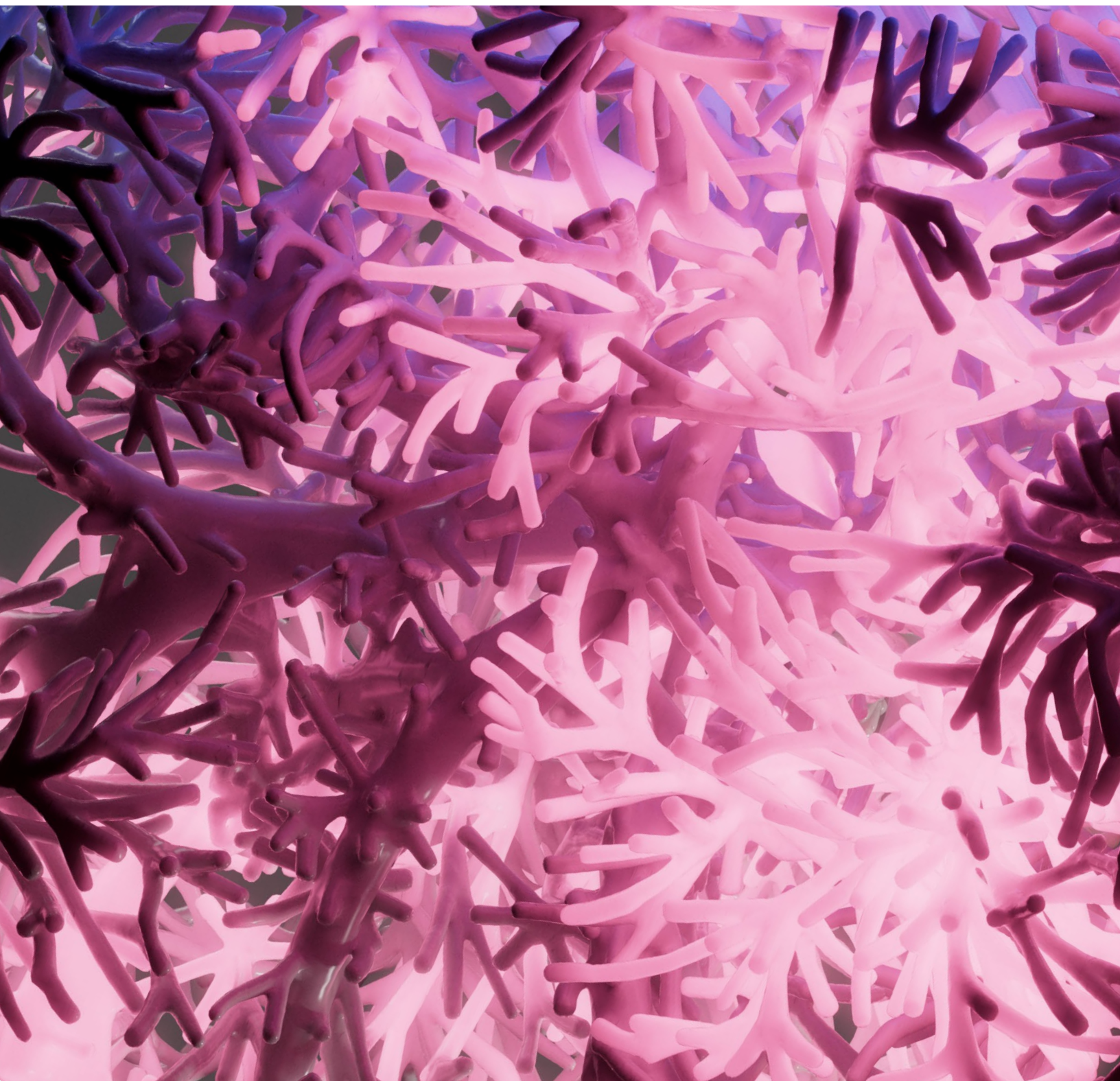
だからといって、これらのテクノロジーがテクノロジー関連の気候問題の万能薬になるわけではない。量子コンピューティングには冷却や水の使用に関する懸念がまだ残っており、他のコンピューティングと同様に、膨大なコードはニューロモーフィックコンピューティングなどの技術に必要なエネルギーを増加させる可能性がある。新しいコンピューティングのオプションが展開されても、コードを簡素化する必要性は存在し続ける。

これらの技術革新がCPUに取って代わることはないだろう。従来のコンピューティングリソースは、大多数のエンタープライズワークロードにとって最も便利で信頼できるツールであり、それは今後も変わることはないだろう。しかし、企業は将来、これらの技術の一部をインフラに組み込むことで、最も革新的なプログラムを進めることができるかもしれない。そして、現在、CPUとGPUを1つの製品に統合するクラウドサービスが登場するように、ハイパースケーラーが将来提供する製品には、量子、ニューロモーフィック、または光機能が追加される可能性があるため、エンジニアは自分のワークロードを実行しているハードウェアの種類を考える必要すらなくなるかもしれない。

今日の我々の情報世界は0と1で定義されており、間違いなくこのモデルは我々を遠くまで連れてきてくれた。しかし、未来はデジタルコンピューティングだけではない無限に近い可能性を受け入れる準備ができているように見え、これがイノベーションの新時代を牽引する可能性があり、その輪郭はまだ見え始めたばかりだ。

Endnotes

1. Shankar Chandrasekaran and Tanuj Agarwal, *The secret to rapid and insightful AI-GPU-accelerated computing*, Deloitte, 2022.
2. Britannica, “Moore’s law: Computer science,” accessed October 31, 2023.
3. David Rotman, “We’re not prepared for the end of Moore’s Law,” *MIT Technology Review*, February 24, 2020.
4. A16Z podcast, “AI hardware, explained,” podcast, July 27, 2023.
5. Ranjit Bawa, Brian Campbell, Mike Kavis, Nicholas Merizzi, *Cloud goes vertical*, Deloitte Insights, December 7, 2021.
6. Jensen Huang, “NVIDIA GTC 2024 keynote,” speech, NVIDIA, accessed October 31, 2023.
7. Christine Ahn, Brandon Cox, Goutham Balliappa, and Tanuj Agarwal, *The economics of high-performance computing*, Deloitte, 2023.
8. A16Z podcast, “AI hardware, explained.”
9. Stephanie Glen, “COBOL programming skills gap thwarts modernization to Java,” TechTarget, August 10, 2022.
10. Interview, Bart Mason, technology lead, Utah Office of Recover Services, July 28, 2023.
11. Interview with Brechtel Dero, division manager, Colruyt Group, August 18, 2023.
12. Ibid.
13. Ahn, Cox, Balliappa, and Agarwal, *The economics of high-performance computing*.
14. NVIDIA, “NVIDIA hopper GPUs expand reach as demand for AI grows,” press release, March 21, 2023.
15. Ahn, Cox, Balliappa, and Agarwal, *The economics of high-performance computing*.
16. Amazon Web Services, “AWS inferentia,” accessed October 31, 2023.
17. Google Cloud, “Introduction to cloud TPU,” accessed October 31, 2023.
18. Cem Dilmegani, “Quantum annealing in 2023: Practical quantum computing,” AIMultiple, December 22, 2022.
19. Deloitte, “Quantum annealing unleashed: Optimize your business operations,” video webinar, August 3, 2023.
20. Interview, Katie Pizzolato, director of theory and quantum computational science, IBM Quantum, October 16, 2023.
21. Victoria Corless and Jan Rieck, “What are neuromorphic computers?” *Advanced Science News*, March 13, 2023.
22. Filipp Akopyan et al., *TrueNorth: Design and tool flow of a 65 mW 1 million neuron programmable neurosynaptic chip*, IBM, October 1, 2023.
23. Intel Labs, “Neuromorphic computing and engineering, next wave of AI capabilities,” accessed October 31, 2023.
24. Bert Jan Offrein, “Silicon photonics,” IBM, accessed October 31, 2023; Microsoft, “AIM (Analog Iterative Machine),” accessed October 31, 2023.





ビジネスオブテクノロジー

DevOps から DevEx へ： エンジニアリングエクスペリエンス の強化

高い技術力を保有する人材を確保し、維持することを重要視する企業において、デベロッパーエクスペリエンスに新たな関心が集まっている。

先 進テクノロジーに関するニュースが溢れる中、企業にとってテクノロジー人材はこれまで以上に重要となっている。世界の開発者人口は、**Tech Trends 2023**で説明したように、2024年には2,900万人近くに達すると予測されており、オーストラリアの全人口を上回っているが、需要のペースにはほとんど追いついていない^{1,2}。この成長にも関わらず、開発者の生産性はほとんどの組織で最適化されておらず、開発者は通常、**機能開発に時間の30%から40%**しか費やすことができていない³。

アジャイル、DevSecOps、クラウドエンジニアリングへの移行は、スピード、品質、機能横断的なコラボレーションを強化するため、近年主流になっている。現在、高い技術力を保有する人材を確保し維持することを重要視している企業において、新たな関心が集まっているテーマがある。それは、デベロッパーエクスペリエンス、または**DevEx**である。これは、ソフトウェアエンジニアが日々の生産性と満足度を向上させるために、組織との接点を考慮したデベロッパーファーストの考え方である⁴。

優れたデベロッパーエクスペリエンスは、開発スピードと開発ボリュームの測定から、適切なツール、プラットフォーム、フィードバックメカニズムを提供することに重点を移し、最終的には開発者に合ったカルチャーを醸成することで、エンドユーザーと顧客のエクスペリエンスを向上させると考えられている。開発スピードに関する指標（開発者ごとのソースコードの行数やストーリーポイントなど）は、Time-to-First Pull Request（開発者が最初の主要なコードバッチを公開するのにかか

る時間）、バックログの変更、欠陥率など、より包括的な指標に取って代わられつつある⁵。分散化されたチームと断片的なツールセットは、カスタマイズされたパフォーマンス管理や、合理化されたアーキテクチャーとツールに加えて、エンジニアリング、ユーザーエクスペリエンス、サイバーセキュリティ、リスク、品質管理、およびプロダクトチーム全体のコラボレーションを形式化するポッド構造に取って代わられている。こういった変化による利点は何か。81%の企業が、デベロッパーエクスペリエンスに対する投資により、収益性への中程度または大きな効果を実感している⁶。

エンジニアリングエクスペリエンスを向上させることで、将来的に、新たに採用されたソフトウェアエンジニアが初日から生産性を発揮し、企業のテクノロジー環境がビジネス戦略に完全に統合された状態へとつなげることができる。今後、企業は統合された直感的なツールの利点に目を向け、デベロッパーエクスペリエンス向上に対する投資が、ビジネスの他の側面でテクノロジーによる創出価値を高める可能性があることに気づくだろう。

**Now：エンジニアの需要は高いが、
能力の発揮が妨げられている**

デジタル変革は、近年のCOVID-19のパンデミックによって加速した。グローバルCEOの85%は、2020年以降、組織の変革が大幅に加速したと考えている⁷。デジタル変革への世界的な支出は、2024年に2兆5,100億米ドルに達すると予想されており、これは2020年の支出

額のほぼ倍にあたる⁸。この投資の増加は、**2023年のGlobal Technology Leadership Study**で考察したように、テクノロジーリーダーとチームの役割の重要性が高まることにつながっている⁹。今では、あらゆる業界の企業が、自社のコアとなる製品やサービスにソフトウェアを組み込んでいる。例えば、自動車メーカーの自動運転アルゴリズムや、新しいモビリティサービスを可能にする車両コネクティビティプラットフォームの他にも、工業メーカーがタービンや発電機などの接続機器を使用してパフォーマンスデータを収集し、障害予測とメンテナンススケジュール最適化を行う事例や、買い物客が服をデジタル試着できるAR (Augmented Reality、拡張現実) を利用した消費者向けブランドのバーチャル試着アプリが挙げられる。企業がこういった変革機会から価値を創出するためには、卓越したソフトウェアエンジニアリングと、その能力を提供する開発者が不可欠である。

結果として、開発者の需要が急増した。ソフトウェア開発の仕事は、他の専門職の平均成長率が8%であるのに対し、今後10年間で25%増加すると予想されているが、これはテクノロジー業界に限った話ではない¹⁰。実際、新たなソフトウェア開発者の募集に占めるIT企業の割合

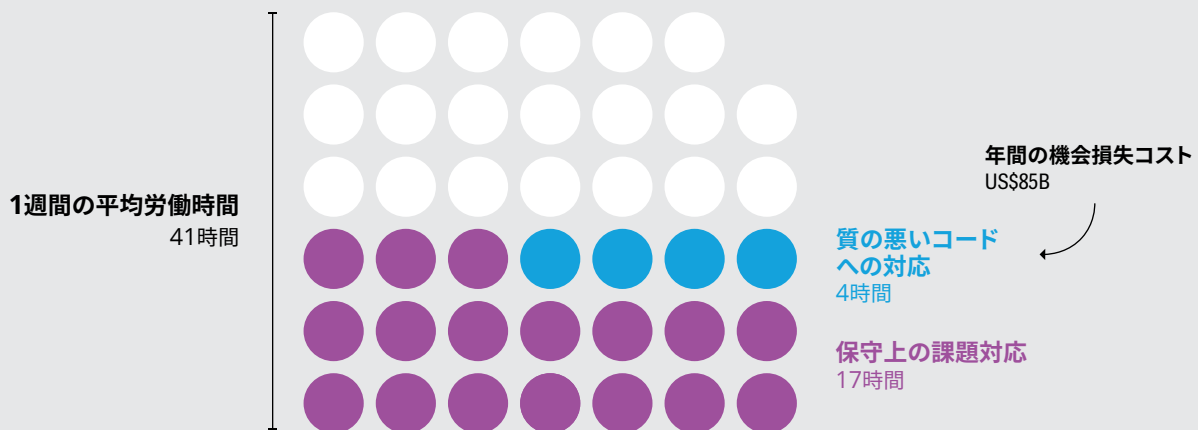
はわずか10%に過ぎず、これは、業界横断的にデジタル商品やサービスのニーズが今後数年で高まると予想されるためである¹¹。

開発者を確保し、維持するために、テクノロジー志向の企業が確立したデベロッパーエクスペリエンスのプラクティスに従う政府機関や民間企業は多い。例えば、CI/CD (継続的インテグレーションと継続的デプロイメント) パイプラインの実装により、コードのリリースの頻度を高めること、「シフトレフト」の概念に基づき、ソフトウェア開発プロセスの早い段階で自動化とテストを採用すること、フルスタックエンジニアリングにより、シミュレーション、実習モデル、ローテーションを通じて、テクノロジー人材がプロダクト (フロントエンド、バックエンド、Web など) の開発の全領域に関わることを可能にする取り組みが挙げられる^{12,13}。

しかし、ソフトウェア開発者の需要に関わらず、多くの企業は開発者の生産性と満足度を高めるための障害を解消できていない¹⁴ (図1)。構成管理、ツールの統合、デバッグに費やす時間は、収益拡大に貢献できる新機能やアプリケーションの構築に費やす時間を奪うことになる¹⁵。

図1

ソフトウェア開発者は生産性向上に苦しんでいる



出所：Stripe, *The developer coefficient*, September 2018.

さらに、画一的でインクルーシブ（包摂的）ではないカルチャーが開発者の仕事への満足度を著しく低下させるケースも多い¹⁶。また、Appian、Outsystems、Zoho Creatorなどのローコードプラットフォームやノーコードプラットフォームの普及により、ソフトウェア開発の障壁が低くなり、「市民開発」の拡大が可能になった。これは、ビジネス全体にソフトウェア開発を分散化することによって迅速なイノベーションを可能にするなど、新たな機会をもたらす一方で、ガバナンス、セキュリティ、技術的負債の蓄積に関する潜在的なリスクをもたらす可能性もある。

最先端のデベロッパーエクスペリエンスを設計する際に、エンジニアリングリーダーが直面する問題は多面的である。これらに対して単発的に対処するのではなく、エンジニアリングエクスペリエンスを総合的に改善することで、成功するためのツール、パフォーマンス測定、プロセスを備え、高い技術力を保有する人材を確保し、維持することができるようになる。

New : DevExが変化を生む

DevOpsへの移行は生産性ツールとフレームワークに焦点を当てているが、デベロッパーエクスペリエンスは、開発者の生産性と満足度を最大化するために組織が提供する、相互に作用する複数の機能で構成され、好循環で動作する。適切なツール、プロセス、およびカルチャーに恵まれた開発者は、通常、パフォーマンスが向上する。実際、『ハーバード・ビジネス・レビュー』によると、仕事で自分をサポートしてくれるテクノロジーがあると感じている場合、従業員のエンゲージメントは230%高く、3年以上仕事を続ける可能性は85%高くなると報告されている¹⁷。また、満足度が高い開発者は、迅速に動き、頻繁にコードをデプロイし、効率を高める方法で共同作業を行うことができる。

この好循環を可能にするには、ツールや人材だけでなく、開発者への影響をあらゆる側面から考慮した、新しい強固なフレームワークが必要だ（図2）。それによって、デベロッパーエクスペリエンスの変化は、プロダクトパフォーマンスと顧客エクスペリエンスの向上に寄与する可能性がある。

図2

ケイパビリティの標準化によるエンジニアの効率性とエクスペリエンスの向上

プラットフォームとツール

- アーキテクチャー**
拡張性、再利用性、信頼性を促進するための多言語に対応するモジュール性と保守性の最大化
- 測定ツール**
プラットフォームの状態、製品の使用状況、デベロッパーの効率に関するデータの収集
- イネーブルメントツール**
エンジニア間のコラボレーションと知識共有を可能にするツールの作成

仕事の進め方と流れ

- 開発のアクセラレーター**
日々の開発活動における効率性の向上と制約の軽減
- サービスのオーナーシップ**
ライフサイクル全体にわたる責任の保持と統合によるリスクの低減
- ワークフロー管理とDevSecOps**
組織間の連携と調整の強化による一貫性のある成果の創出

タレントエクスペリエンス

- コミュニティとカルチャー**
楽しく生産的で多様性のある職場環境の促進
- 学習**
エンジニアのキャリア全体にわたる育成パスの開発
- キャリア開発**
エンジニアのキャリアのあらゆる段階におけるスキルアップ機会の創出

出所：Deloitte analysis.

プラットフォームとツール

効果的なデベロッパーエクスペリエンスを確立するための1つ目の側面は、標準化されたプラットフォームとツールを提供することである。この概念は単純に見えるかもしれないが、実際にはそうではない。今日のデベロッパーは、平均250を超えるSaaSアプリケーションやその他の技術環境と格闘しているが、それらは統合が不十分であり、チーム間の知識の分断を引き起こしている¹⁸。これに対し企業は、次の3つの主要な機能によって、この非効率性に対処できる。

- **アーキテクチャー**：拡張性、再利用性、信頼性を促進するための多言語に対応するモジュール性と保守性を最大化する。
- **測定ツール**：プラットフォームの状態、製品の使用状況、デベロッパーの効率に関するデータを収集する。
- **イネーブルメントツール**：エンジニア間のコラボレーションと知識共有を可能にするツールを作成する。

先進的な組織は、ソースコードリポジトリ、オンボード情報、ドキュメント、ツール、ソフトウェア開発キットなどにアクセスできるデベロッパー向けのワンストッププラットフォームを作成することで、このトレンドに対応している。現在、このようなポータルにアクセスできる開発者はわずか37%だが、2025年までに、プラットフォームチームを持つ組織の75%がセルフサービスのデベロッパーポータルを提供し、デベロッパーのエクスペリエンスを向上させ、イノベーションを促進するとガートナーは予測している^{19,20}。

仕事の進め方と流れ

理想的なテクノロジー（プラットフォームとツール）を導入することで、DevExの2つ目の側面に目を向けたい。それは開発者が、連携されていないシステムや不適切なガバナンスにより制限されることなく、フローでタスクを実行できるように、明確で継続的なプロセスを構築することである。組織は、次の3つの機能に重点を置くことができる。

- **開発のアクセラレーター**：日々の開発活動における効率性の向上と制約の軽減を行う。
- **サービスのオーナーシップ**：ライフサイクル全体にわたる責任を持ち、統合することで、リスクを低減させる。
- **ワークフロー管理とDevSecOps**：組織の階層や組織間の連携に関わる活動を調整することにより、一貫性のある成果をもたらす。

理想的なデベロッパーエクスペリエンスには、組織全体で1つのプロセスとパイプラインが必要であり、その中ではコードの検証とテスト、パフォーマンス測定、およびコードの安全なロールバックがサービスの停止を起こさずに実行される。最先端のテクノロジー組織がこの状態を目指す一方で、さまざまな業界の企業は、上記の3つの機能の実現を通じてデベロッパーエクスペリエンスの成熟度を高めている。

例えば、米国最大の中古車小売業者であるCarMaxは、**開発プロセスの近代化において成功を収めている**²¹。IT部門は、プロジェクトベースだった運用モデルを、部門横断的なチームで構成されるプロダクトベースのモデルに置き換えた。CarMaxは、プロジェクト完了に基づいてデベロッパーを評価するのではなく、高頻度でのデリバリーを目指すための透明性のある四半期ごとの目標を設定した。また、新機能の展開前にフィードバックを収集し、改善、修正を行うため、関係者や顧客とのプロダクトの迅速なテストにも大きな重点を置いた。同様に、Etsy（米国の電子商取引サイト）はエンジニアリング予算の20%をデベロッパーエクスペリエンスに投資した結果、組織を250人から1,000人近くに拡大することができた²²。

タレントエクスペリエンス

最後に、プロセスと技術の変更が受け入れられるためには、カルチャーが近代的なエンジニアリングエクスペリエンスの促進剤となることが重要となる。多くの企業は、まだ従来のメインフレーム言語と作業方法を専門としているが、その他の開発者は、自身の関心がある領域でのイノベーションに時間を費やすことに熱心である。そのような人材を確保し、維持したいと考えている企業は、次のようなケイパビリティを構築すべきだ。

- **コミュニティとカルチャー**：楽しく、生産的で、多様性に富んだ職場環境を促進する（ほとんどのIT部門で必要とされている）²³。
- **学習**：エンジニアのキャリア全体にわたる育成のパスを開発する。さまざまなリソースや方法論（ブログ、オンライン講座、書籍、公式教育を含む）からスキルを学ぶテクノロジー人材が増えているため、組織がオンボーディングとトレーニングを標準化することがこれまで以上に重要になっている²⁴。
- **キャリア開発**：**昨年**のTech Trendsでも議論された通り、エンジニアのキャリアのあらゆる段階においてスキルアップの機会を創出することである²⁵。例えば、Citibankでは、技術的なスキルを磨き続けたいエンジニアのためのキャリアパスを定義し、コーディングのトレンドを常に追従できるようにしている²⁶。

最も重要なのは、カルチャーの変化によって、開発者は他の従業員と同じ方法で評価されるべきではないということに気づくことである。開発者は新しい機能の開発や、実験的な作業を求められることが多いため、速度や品質の基準が学習や成長の正確な尺度になるとは限らない。むしろ、テクノロジー人材には、集団でブレインストーミングし、他者から学び、最終目標につながっていると感じるための手段が重要となる。

CarMaxは、自社の変革を行う際に、プロセスだけでなくタレントエクスペリエンスにも細心の注意を払った。IT部門が孤立しないように、従業員を機能横断的なチームに再配置することに加え、プロダクト紹介の場を開催した。エンジニアは2週間ごとに、開発中のテクノロジー機能について、成果や得られた教訓とともにプレゼンテーションを行い、透明性向上と上級管理職からのフィードバック強化を図った。IT部門の役割がさらに強化されたことを示すために、IT部門はCarMax Technologyに正式に改名され、従来のIT要件と納期よりもビジネス成果に焦点が当てられた。

Next：すべての従業員はテクノロジー人材になる

企業は、「10X」（平均の10倍の生産性を持つ）エンジニアの採用を希望することが多い。しかし、人材市場でユニコーン企業のような潜在力を持った人材を探すことが勝ち筋であることはほとんどない。そうではなく、適切なプラットフォーム、プロセス、カルチャーがあれば、「10X」エンジニアはそれほど珍しくなくなるかもしれない。特に、生成AIが開発者の生産性を向上させ続け、職場の自動化が進む未来を切り開く中、今日の障壁の多くは、今後5年から10年の間には重要ではなくなる可能性もある。**昨年**のTech Trendsで触れた「マルチスペシャリスト」（キャリアを通じて複数の領域で力を発揮する「10-job」エンジニア）のように、挑戦することへの関心が高いエンジニアは、生産性の向上を利用して自由な時間を確保し、キャリアの中で新しく興味深いプロジェクトやテクノロジーに取り組むことができるようになる²⁷。

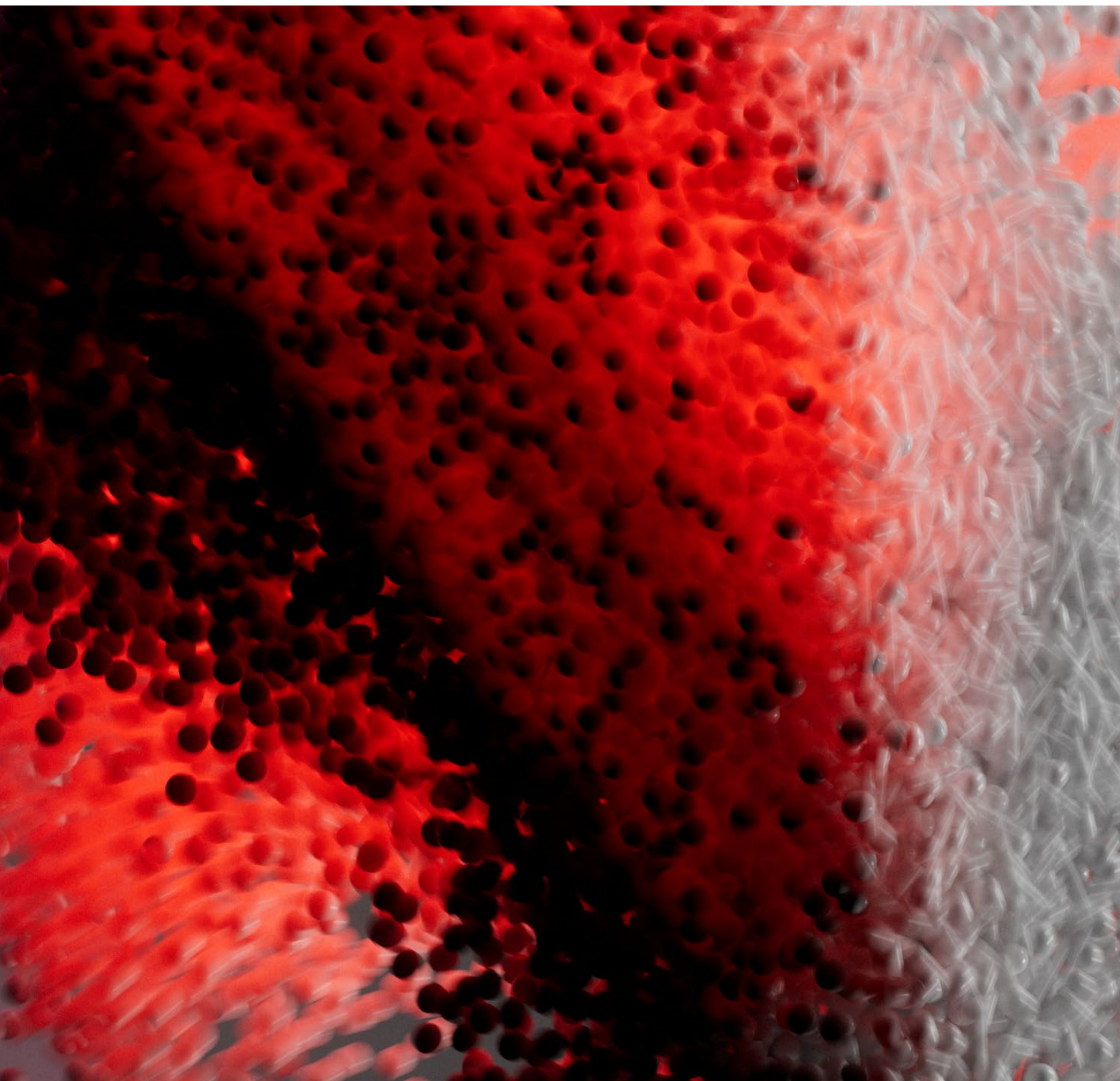
重要なのは、新しいデベロッパーエクスペリエンスを確立するための今後数年間の取り組みが、IT部門に限定されないことだ。テクノロジー自体がビジネスの中心になり続けるにつれて、テクノロジーのタスクと必要人材も中心になっていく可能性が高い。上述したような標準化されたツールやプラットフォーム、そして高度なローコードテクノロジーやノーコードテクノロジーによって、企業の全従業員がローレベルエンジニアになれる日が来るかもしれない。

IT部門以外の従業員は、「1X」から「10X」のエンジニアではなく、0から1への変化になる可能性がある。これらの市民開発者は今後、最も一般的なプログラミング言語がPythonやJavaではなく英語、または彼らが使用する自然言語になることで力を得ることになるだろう。

自動化がどの程度のスピードで進むのかによるが、今後はより多くの従業員が基本的なテクノロジータスクを実行するか、自動化されたデジタルプロセスを監督することになるだろう。エンジニアの人材プールを拡大することで、経験豊富なエンジニアはより複雑なタスクや新しいビルドに集中することができる。最先端のイノベーションと挑戦的な問題に集中する機会は、次世代の開発者の生産性と満足度の両方を向上させることができるだろう。

Endnotes

1. Statista, “Number of software developers worldwide in 2018 to 2024 (in millions),” 2023.
2. Deloitte Insights, *Flexibility, the best ability: Reimagining the tech workforce*, *Tech Trends 2023*, December 6, 2022.
3. Jacob Bo Tiedemann and Tanja Bach, “Why should you invest in good developer experience today,” Thoughtworks, May 10, 2021.
4. Deloitte, “Accelerating developer experience (DevEx),” accessed October 2023.
5. Nolan Wright, “Three engineering performance metrics the business can understand,” *Forbes*, August 5, 2019.
6. Carrie Tang, “Forrester snapshot: Platform engineering is key to reducing time to market,” Humanitec Blog, March 17, 2023.
7. Deloitte Insights, *How digital transformation—and a challenging environment—are building agility and resilience*, April 29, 2021.
8. Statista, “Spending on digital transformation technologies and services worldwide from 2017 to 2026 (in trillion US dollars),” October 2022.
9. Deloitte Insights, “Global CIO and technology leadership survey collection,” accessed October 2023.
10. Bureau of Labor Statistics, US Department of Labor, *Occupational Outlook Handbook*, accessed October 2023.
11. Will Markow, Jonathan Coutinho, and Andrew Bundy, *Beyond tech: The rising demand for IT skills in non-tech industries*, Burning Glass Technologies and Oracle Academy, September 2019; Steve Rogers, Kasey Lobaugh, and Anthony Waelter, *The rise of digital goods: Opportunity over threat*, Deloitte Insights, January 23, 2023.
12. Mike Kavis, “DevOps—shift everything left,” Deloitte, February 28, 2018.
13. Deloitte, *Technology Skills Insights report*, accessed October 2023.
14. Stripe, “The developer coefficient,” September 2018.
15. VMware Tanzu, “Developer experience: Optimizing DevOps UX,” accessed October 2023.
16. Wiley Edge, *Diversity in tech: 2021 US report*, accessed October 2023.
17. Brad Anderson and Seth Patton, “In a hybrid world, your tech defines employee experience,” *Harvard Business Review*, February 18, 2022.
18. Deloitte, “Accelerating developer experience (DevEx).”
19. Stack Overflow, “Developer experience: Processes, tools, and programs within an organization,” accessed October 2023.
20. Gartner, “[Gartner identifies the top 10 strategic technology trends for 2023](#),” press release, October 17, 2022.
21. Deloitte Insights, *Technology transformation revs up CarMax’s business*, accessed October 2023.
22. DX, “Inside Etsy’s multiyear DevEx initiative | Mike Fisher (Etsy, PayPal),” podcast, April 19, 2023.
23. Deloitte, “Accelerating developer experience (DevEx).”
24. Statista, “How did you learn to code?,” June 2023.
25. Deloitte Insights, *Flexibility, the best ability*.
26. Interview with Colin Heilman, global functions CTO at Citibank, October 11, 2023.
27. Ibid.



現実を守る：合成メディアの時代における真実

AIツールの普及により、なりすましや偽りの情報を作成することがかつてないほどに容易になった。これらの脅威に対して、先進的な企業・組織はさまざまなポリシーとテクノロジーを駆使して対応している。

最近Tom Hanksが歯科治療プランを宣伝する広告動画を見たことがある人は少なくないだろう。この動画に映っているのは彼自身ではなく、誰かがディープフェイク技術を使用して、あたかも彼が宣伝しているかのように見せかけたなりすましであった¹。

誰もが、あたかも自分が発言した、あるいは行動したと見せかけることができる時代が到来したと言える。生成AIの急速な進歩によって、何が本物で何が人工的に生成されたコンテンツなのかを区別することがほぼ不可能なレベルにまで達している。

被害に遭うのは有名人だけではない。AIツールの普及により、悪意のある人物が他人になりすまし、標的を欺くことがかつてないほど容易になっている。音声認識・顔認識のアクセス制御を回避するためや、フィッシング攻撃にディープフェイクを使用するケースも多い。膨大なデータを必要とするAIアプリケーションそのものが、攻撃者にとって格好の標的となっている。新しいコンテンツ生成ツールがインターネットに登場するたびに、セキュリティリスクが増大している。

これらのセキュリティリスクに対して、先進的な企業・組織は、ポリシーとテクノロジーを組み合わせながら、有害なコンテンツを特定する方法や従業員にリスクを認識させるための仕組みを導入することで対応している。また、攻撃者が悪用する生成AIと同じツールを用いて攻撃の特定や予測をすることで、攻撃に先んじて対処を施すことができる。

Now：次世代のソーシャルエンジニアリングハック

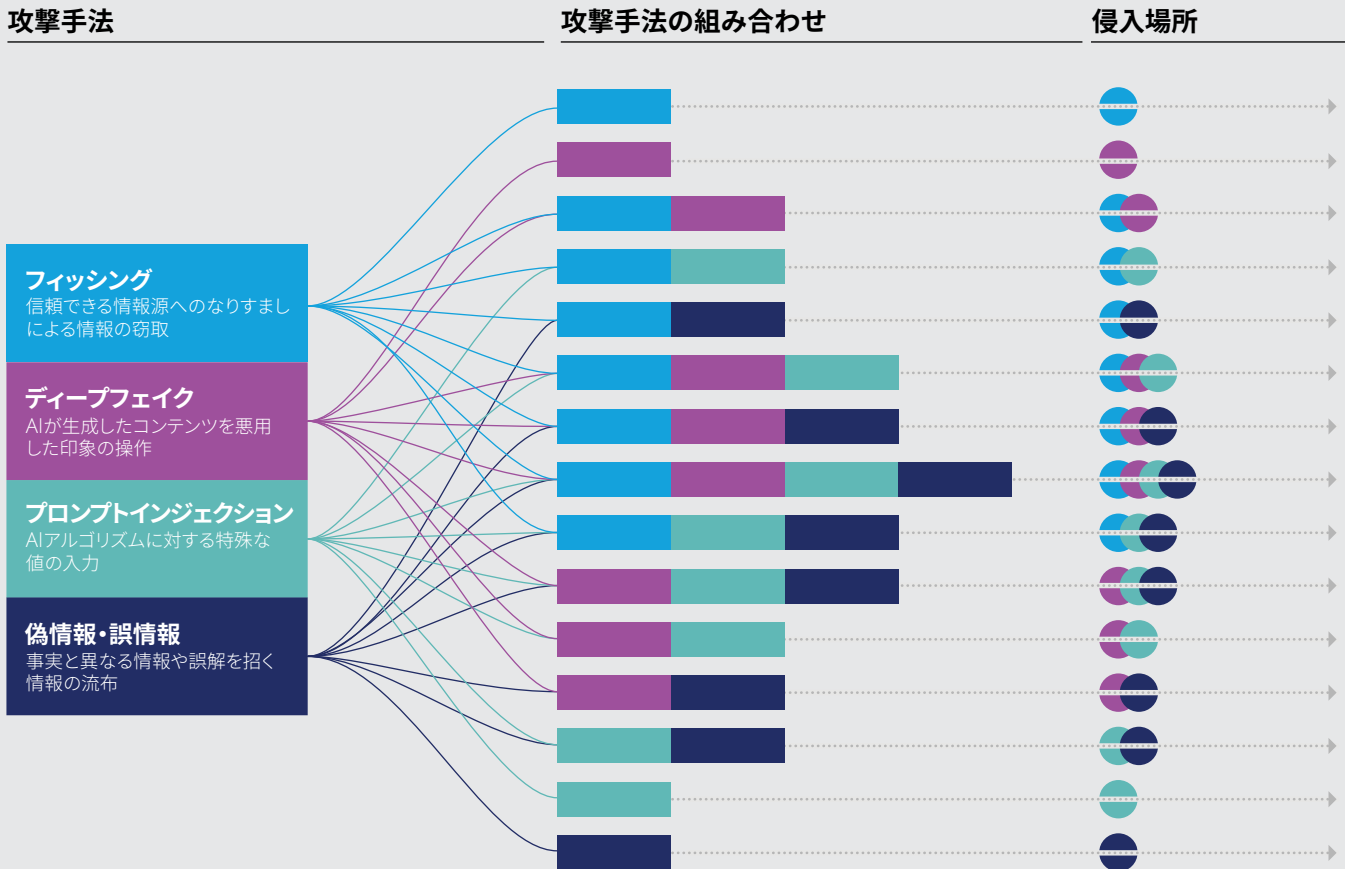
ソーシャルエンジニアリングによるハッキングは、不正な目的のためにデータを要求することや、システムにアクセスするよう仕向けることで成立してきた。攻撃者にとってこの方法は目的を達成する手段として非常に効果的であるものの、攻撃者と被害者との間で多くのやり取りが必要になる。一方で、AIで生成されたコンテンツを利用することで、攻撃者は標的とのコミュニケーションに掛ける時間を短縮できる。AIで生成され、信頼できる情報源になりすました大量のコンテンツが企業に襲い掛かっている²。

現時点において、リアルなコンテンツを生成するAIの能力と、それをAIが生成したコンテンツであると人間が識別する能力とは大きな隔りがある。ある調査では、対象者の約80%がAIと人間が生成したコンテンツを識別できると回答し、20%は自信を持って識別できないと回答しているが、前者は自信過剰に陥っている可能性が高い³。なぜならば、近年の生成AIは、人間が作成するコンテンツに限りなく近づけるよう高度なチューニングを繰り返しながら開発されており、人間によるコンテンツと区別できない水準にまで忠実な再現が可能となりつつあるためである⁴。AIが生成したコンテンツは機械的な不自然さがあるから識別できると思うかもしれないが、AI技術の発達に伴い、人間が作成したものと区別できないレベルにまで既に到達している。

攻撃者は、AIが生成したコンテンツを使用して、さまざまな方法でサイバー攻撃を試みる(図1)。AIを利用したサイバー攻撃について具体的に見ていく。

図1

攻撃者はAIが生成したコンテンツを使用して様々な方法でサイバー攻撃を試みる



出所：Deloitte analysis.

フィッシング：フィッシングは最も一般的なサイバー攻撃であり、毎日34億通ものスパムメールが送信されている。2021年には、犯罪者はフィッシング攻撃によって推定4,420万米ドルを盗み出している⁵。フィッシング攻撃が成功する要因は、文面の品質の高さではなく、大量のメールが送信されるためである。数十億通のメールのうち、最終的に攻撃の成功に至るのは数通のみである。受信者の大半は、文法やスペルに不自然な点がある、あるいは送信者と文面に思い当たる節がないなどの理由で、受信したメールがフィッシングであると識別する。しかし、生成AIを使用することで、攻撃者は違和感がない自然なメッセージを迅速かつ容易に作成す

ることが可能になる。さらに、メッセージの内容を受信者に合わせて調整することで、受信したメールがフィッシングであることを見分けることがより一層困難になっている。公開されているAIモデルの品質が向上するにつれて、問題の深刻さは増すであろう⁶。

ディープフェイク (Deepfakes)：ディープフェイクは何年も前から存在していたが、ごく最近になりサイバー犯罪に用いられるほど高度なコンテンツが生成できるようになってきている。企業を攻撃する用途でディープフェイクが使用された事例も目にするようになった。英国に拠点を置くエネルギー企業のCEOは、ディープフェイクの

AI音声技術で親会社の社長になりすました攻撃者に243,000米ドルを騙し取られたという被害も報じられた⁷。この事件以降、ディープフェイクのツールは大幅に進歩しており、今後も急速に発展する可能性が高く、やり取りしている相手が本人であるのかの確証を持つことが難しくなっている。

プロンプトインジェクション：プロンプトインジェクションは、対話型AIに対して特殊な入力を行うことによって、開発者が想定していない挙動を誘発する攻撃手法である。対話型AIに対するプロンプトインジェクションによって、システムが保有する機密情報や公開すべきではない内部データが流出する可能性がある。例えば、攻撃者が連絡先リスト、銀行情報、健康データなどのデータを転送するようにプロンプトに入力することで、これらの情報をシステムが出力してしまう可能性がある⁸。従来ソーシャルエンジニアリングによるハッキングは、相手を騙してデータの送付を要求することなどで成立してきた。一方でプロンプトインジェクションにおいては、攻撃者はわざわざ標的を騙す必要すらなく、被害者が気づかぬうちに欲しい情報を持ち出してしまふ。

偽情報・誤情報：企業を標的としたソーシャルメディア上での宣伝活動は従来から行われているが、生成AIの発達により更に加速している。AIツールの利用によって短時間でコンテンツが量産できるため、攻撃者が標的とする企業に対し、AIツールを悪用して名誉毀損、さらには株価下落を引き起こすことも考えられる⁹。従来、攻撃者は標的に合わせて個別にメッセージを作成する必要があったが、生成AIの登場により攻撃者は偽情報・誤情報を大規模に量産し、攻撃が成功しやすいメッセージを見つけるまで実験やテストを行うことが可能となった。

生成AIが業務に幅広く利用できることや生成AIの性能向上スピードに鑑みると、前述の問題は今後さらに深刻化すると考えられる。企業から金銭やデータを奪取しうる信憑性の高い情報を、コストや技術的スキルを持ち合わせずとも作成することが可能になるだろう。

New：企業の新たな脅威に対する防衛

これらは、生成AIがもたらすリスクに対して企業に為す術がないことを意味するものではない。大手の企業・組織は、被害を未然に防ぐための積極的な対策を講じている。

ソーシャルエンジニアリングは広く認知されている攻撃手法であるが、ソーシャルエンジニアリングへの対策は、AIを使った新たな攻撃に対しても有効である。オンライン上でのやり取りに警戒すること、連絡相手の身元を確認すること、機密資産へのアクセスに多要素認証を要求することなどは、企業がこれらの新たな攻撃手法から身を守る有効な手段である。

ソーシャルエンジニアリングの脅威と同様に、合成コンテンツの問題への取り組みは認識から始まる。「AIは興味深く、とても素晴らしいが、攻撃者にとっても多くの強みをもたらしている」と、CarMaxのchief information and technology officerであるShamim Mohammedは言う。「私が重視しているのは、会社を保護・防衛するために常に最新の状態を維持し、さらに先を行くことだ¹⁰」

その方法の1つは、エコシステムパートナーと協力することだ。Mohammedによると、CarMaxは大手IT企業やAIに特化したサイバーセキュリティのスタートアップ企業と提携し、脅威の状況を把握し、攻撃を防ぐため最新のツールにアクセスできるようにしているという。

「我々には非常に強力なテクノロジーエコシステムがある」と、Mohammedは言う。「我々は、AI革命のトップにいる大手企業や、AIに特化したスタートアップ企業と協力している。この新しい脅威から情報を保護するための最適なツールを有している」

潜在的な有害コンテンツの特定に有用な企業向けツールも登場している。AIがコンテンツを生成できるように、画像や動画、テキストの信憑性を評価することも可能である。これらのツールにより、企業が直面する可能性の高い攻撃パターンを予測できるようになるかもしれない。

AIによるコンテンツの生成とそれらの検出に関しては、利用するデータの規模、多様性、新鮮さが極めて重要になる。初めて一般公開された当時の生成AIモデルは、巨大IT企業のみがアクセスできた強力な計算処理能力と大規模データに基づく学習によって開発された。そのため、巨大IT企業に匹敵する規模のリソースやデータを準備することが困難であった他のIT企業が開発した検出ツールの精度には限界があり、AIで生成したコンテンツを悪用しても検知されにくい状況であった¹¹。

しかしそれも変わりつつある。例えばReality Defenderは、合成メディア検出プラットフォームを、ベタバイト規模のテキスト、画像、音声のデータベース（一部は人工的に

生成されたもの) 上で学習させている。このような大規模なコーパスで学習を行うと、僅かながらAIツールによって生成されたことを示す情報が浮かび上がってくる。具体的には、AIによって生成された画像データには、特徴的な変形やピクセレーションが含まれることがある。テキストデータにおいても同様に、AIにより生成されたことを予測できる可能性がある。これらの特徴は肉眼では分からないかもしれないが、十分なデータで訓練されたAIモデルでは安定して検知が可能である。

Reality DefenderのCEOであるBen Colmanは、企業における有害なコンテンツの特定と対応は非常に重要だと述べている。特に、企業や経営陣の名誉棄損を意図した偽情報・誤情報に関しては、その傾向が顕著だという。「大きな注目を集めてからでは遅すぎる」と指摘し、「世論という法廷でブランドが傷つけられた場合、1~2週間後に内容が事実でないことが明らかになったとしても、それは重要ではない(手遅れである)」と述べた¹²。

AIが生成したコンテンツを検出するツールは他にも存在する¹³。合成メディア検出器は近々、より精巧な調整が行われるだろう。先日、Intelはディープフェイク検出ツールを発表した。当該ツールではデータだけでなく、動画に写っている人物の顔の静脈の変化も分析する。心臓が静脈に血液を送ると、静脈の色がわずかに変化するが、この変化をAIモデルが模倣するのは非常に困難である¹⁴。

今後もこのような取り組みを期待したい。ある推計によると、2025年までにオンラインコンテンツの90%が合成されたものになるという¹⁵。その多くは、マーケティングやカスタマーエンゲージメントといった目的のコンテンツであるが、サイバー犯罪者は自らの目的のために生成AIツールを利用するだろう。企業にとって、従業員が触れるコンテンツの正当性を確認することは、かつてないほど重要性を増している。

Next : 繰り返されるいたちごっこ

数年前から多くの企業がAIをセキュリティ強化策として活用してきたが、生成AIの登場により攻撃者は新たな攻撃の手段を手にした¹⁶。そして企業もまた対抗策を講じ始めている。量子コンピューティングに代表される新たなパラダイムが確立し、AIの性能が現状より進歩したとしても、このいたちごっこは継続しているに違いない。

量子コンピューティングが広範囲に普及するのはまだ数年先のことだが、今日急速に発展しており、攻撃者と企業の双方が次世代のツールとして使用するだろう。この技術の最も前途有望なユースケースは、量子機械学習である。従来のツールと同様、重要なのは使い道である。量子コンピューティングは人工生成コンテンツの問題に拍車をかけるリスクを孕む一方で、企業・組織のセキュリティ対策に恩恵をもたらす可能性もある。

量子機械学習は、従来よりも少ない学習データで高精度な予測モデルを生成できる可能性を秘めている¹⁷。古典コンピューティングでは、データは0と1のバイナリーとして表現される。しかし、量子データは一度に複数の状態を取ることができるため、古典データよりも豊富な情報を有する。この豊富な情報表現と従来の機械学習を組み合わせることで、現在の最先端GPUで学習するモデルよりも複雑なモデル構築が可能となる¹⁸。

このように構築されたモデルを用いることで、攻撃者は標的に関する大量のデータを収集することなく、より対象に照準を絞ったコンテンツを作成することができる。量子機械学習では、信憑性のあるフェイク画像を生成するのに、数百時間分の学習用動画データではなく、ごく少量の断片的な動画で十分になるだろう。

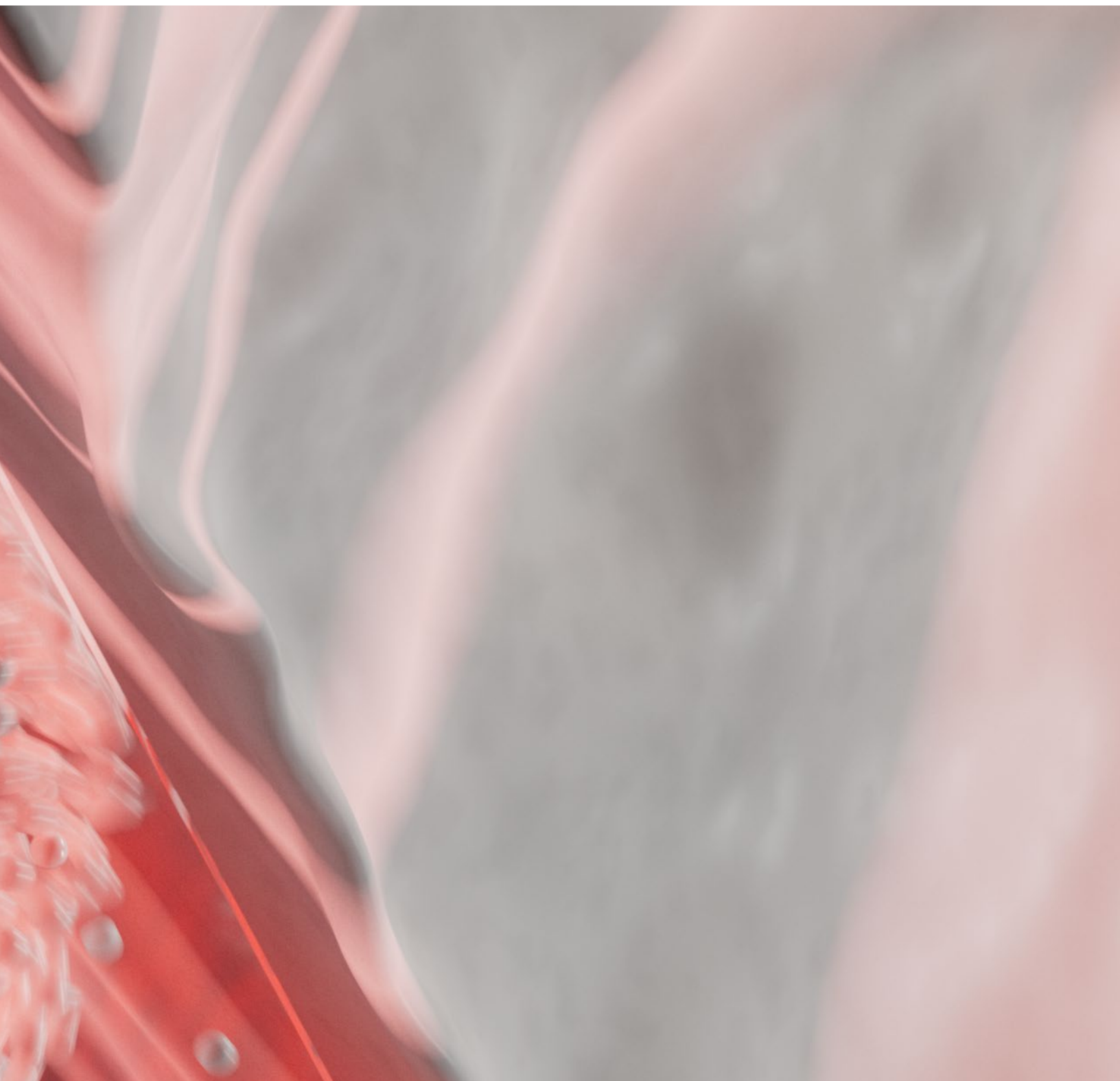
一方で、セキュリティ態勢の改善を試みる企業にとっては、量子機械学習によって合成メディアを検出するモデルの性能向上が期待される。古典的な機械学習のように、人工生成メディアに関する数十億のデータを必要とすることなく、僅かなデータだけでそれらを検出するモデルの学習が可能になる。

量子コンピューターは、企業が直面し得る攻撃パターンを正確に予測することさえ可能にするかもしれない。量子機械学習は予測に優れており、古典的な機械学習の性能を超える可能性を秘めている。量子アルゴリズムでは、正誤を問わずに網羅的な予測を実施し、不正解となり得る予測を行わないためである¹⁹。今日のサイバー攻撃では、あらゆる経路が狙われるため攻撃元の予測は不可能に思えるかもしれない。しかし、将来的に量子機械学習が発達することで、攻撃への対処が可能となり、企業・組織はサイバー攻撃に対して後手に回るのではなく、先回りして対処できるようになる可能性がある。

攻撃者は常に攻撃の機会を窺っているため、今こそ、企業はこの現実に対応することが求められる。問題に先んじた対策を講じることで、AIが生成した幾多のコンテンツから身を守り、攻撃者の一歩先に行くことができるだろう。

Endnotes

1. Issy Ronald and Jack Guy, “Tom Hanks says dental plan video uses ‘AI version of me’ without permission,” *CNN Entertainment*, October 2, 2023.
2. IBM, “When it comes to cybersecurity, fight fire with fire,” accessed November 6, 2023.
3. Kathy Haan, “Over 75% of consumers are concerned about misinformation from artificial intelligence,” *Forbes*, July 20, 2023.
4. Pavel Korshunov and Sebastien Marcel, *Deepfake detection: Humans vs. machines*, arXiv:2009, September 7, 2020; David Ramel, “Researchers: Tools to detect AI-generated content just don’t work,” *Virtualization & Cloud Review*, July 10, 2023.
5. Charles Griffiths, “The latest 2023 phishing statistics,” AAG IT, October 2, 2023.
6. Ralph Stobwasser and Nicki Koller, “On high alert: The darker side of generative AI,” Deloitte, accessed November 6, 2023.
7. Catherine Stupp, “Fraudsters used AI to mimic CEO’s voice in unusual cybercrime case,” *Wall Street Journal*, August 30, 2019.
8. Melissa Heikkilä, “We are hurtling toward a glitchy, spammy, scammy, AI-powered internet,” *MIT Technology Review*, April 4, 2023.
9. Stobwasser and Koller, “On high alert.”
10. Interview with Shamim Mohammad, executive vice president and chief information and technology officer at CarMax, August 3, 2023.
11. College of Computer, Mathematical, and Natural Sciences, “Is AI-generated content actually detectable?,” University of Maryland, May 30, 2023.
12. Interview with Ben Colman, cofounder and CEO, Reality Defender, August 2023.
13. GPTZero, “Homepage,” accessed November 6, 2023; Jan Hendrik Kirchner, Lama Ahmad, Scott Aaronson, and Jan Leike, “New AI classifier for indicating AI-written text,” OpenAI blog, January 31, 2023.
14. Intel, “Intel introduces real-time deepfake detector,” November 14, 2022.
15. Publications Office of the European Union, *Facing reality? Law enforcement and the challenge of deepfakes*, Europol Innovation Lab, 2022.
16. Ed Bowen, Wendy Frank, Deborah Golden, Michael Morris, and Kieran Norton, *Cyber AI: Real defense*, Deloitte Insights, December 7, 2021.
17. Los Alamos National Laboratory, “Simple data gets the most out of quantum machine learning,” July 5, 2023.
18. Tariq M. Khan and Antonio Robless-Kelly, “Machine learning: Quantum vs. classical,” *Institute of Electrical and Electronic Engineers Access* 8, 2020: pp. 219275–219294.
19. Surya Remanan, “Beginner’s guide to quantum machine learning,” Paperspace, 2020.



コアを鍛える：技術負債から技術ウェルネスへ

今後社会をリードする企業に求められるのは、技術負債への局所的な対応を見直し、技術ウェルネス（健全性）という新たな視点でシステム全体をとらえることである。

Tech Trendsは長年にわたり、かつて最先端とされていたテクノロジーが陳腐化し、モダナイゼーションを余儀なくされるトレンドについて取り上げてきた。昨年発行のレポートでは、メインフレームは「時代遅れだが信頼性がある」という見解のもと、現状ニーズに対応するために全面的に刷新する代わりに、コネクターを介して新たなテクノロジーと連携させ、メインフレーム本来の特長を活かしつつ機能拡張させるトレンドを取り上げた¹。それ以前の数年間は、アプリケーションのモダナイゼーションや老朽化したデータベースのクラウド移行に焦点を当てており、これまで組織のコアとなる技術スタックについては取り上げてこなかった²。

本レポートでは、これまでより一歩引いた視点より、モダナイゼーションが必要となるシステムのコア全体を俯瞰して考察する。昨今、多くの企業は、自社のデータセンターのクラウド移行と並行して、5GやWi-Fi 6に対応していない老朽化したネットワークの刷新や、生成AIの利活用に向けたデータ管理基盤の整備に追われている。一方、ERPベンダーは、大規模改修を前提としたバージョンを次々とリリースしており、ユーザーはその対応に追われている。そのため、レガシー問題の解決策として期待されていた最近のSaaS導入も成熟は思うように進んでいない。これに加え、多くの企業はモダンエンジニアリングに疎い社内外の技術者の教育にも苦慮している。

これまで、多くの企業は断片的な評価をもとに技術負債（システムを最新化しないことによる暗黙の損失）を監視してきた。しかし、将来的に社会をリードする企業となるには、自分たちのコアシステムを、より連続的に全

体を俯瞰した視点で見えていく必要がある。このような視点を持つことで、技術負債の蓄積をただ眺めるのではなく、どの技術のアップグレードが必要で、いつ、なぜ実施するのかを整理できるようになる。今後は、レガシーテクノロジーは負債ではなく、健全性という新たな軸で評価することが主流になるかもしれない。

健康と健全性の観点で、これからは人間に対する健康診断のように、サイバーセキュリティ、データ、インフラといったテクノロジーシステムの構成要素に対し、体の部位のように年一度の頻度で精密に検査をすることである。このように予防を目的とした健全性検査を行うことで、ITイノベーションのボトルネックとなっているレガシーシステムに対し、従来通り盲目的に1つずつ治療するのではなく、問題のある技術スタック領域の識別と優先度付けを行った上で、ときには治療をしないという選択もありえるのだ。これらの取り組みは、コストとリスクの増大、イノベーションと成長の抑制といった実際のビジネス上の問題に対する根本的な解決策にもなりうる。例えば、昨年取り上げたメインフレームのようなコアシステムは、コストやリスクなどを背景に改修やリプレイスが必要になる場合がある一方で、動作自体に問題はなく良好な状態を維持しており、コネクターによる機能拡張のみで絶大な効果を発揮する場合もある。

今後数年間で、多くの企業はサイロ化されたモダナイゼーションの取り組みから脱却し、自社の技術スタック全体にわたる高度なウェルネスプランを策定することになるだろう。なぜならば、昨今白熱しているイノベーションも現在のペースで技術革新が進むと、すぐにレガシー化して定期的な健全性の検査が必要になるためである。

Now：昨日のイノベーションはもはや古い

ERPシステムやデータセンターなど、かつてビジネスに革命をもたらしたはずのテクノロジーは、もはやビジネスからスピードを奪う存在になりかねない。テクノロジーリーダーの70%近くは、技術負債が組織のイノベーションを阻害し、生産性を損なう要因であるとらえている³。最大の被害者は、勤務時間の33%を技術負債のメンテナンスに捧げているソフトウェア開発者かもしれない⁴。本レポートの「DevOpsからDevExへ」において開発者のエクスペリエンスの傾向として述べたように、これは開発者の生産性と満足度にも大きな影響を及ぼすのだ。78%もの開発者はレガシーシステムに囚われる事によって士気が下がると考えているほか、企業からの従業員や顧客離れ、取引の損失などがその主な悪影響として挙げられる⁵。

今日における生成AIの隆盛が示すように、テクノロジーが急速に進歩するにつれて、企業や政府は矛盾した事実への対応を余儀なくされている。新たなテクノロジーは将来のビジネスモデル、既存の製品やサービス、ビジネスプロセスに破壊的な変革とそれによる恩恵をもたらす。一方で、インフラをはじめデータやアプリケーション、サイバーセキュリティ、従業員のリスクリングに至るまで、その将来像に対応できるようにするために多大な投資を強いる。また、これは技術負債の拡大へ容易くつながることに留意すべきであろう。米国ではレガシーシステムの改善にかけられる予算が2022年に10%から20%へ増加したにも関わらず、技術負債の推定コストは1兆5,000億米ドルにまで達していたのだ⁶。

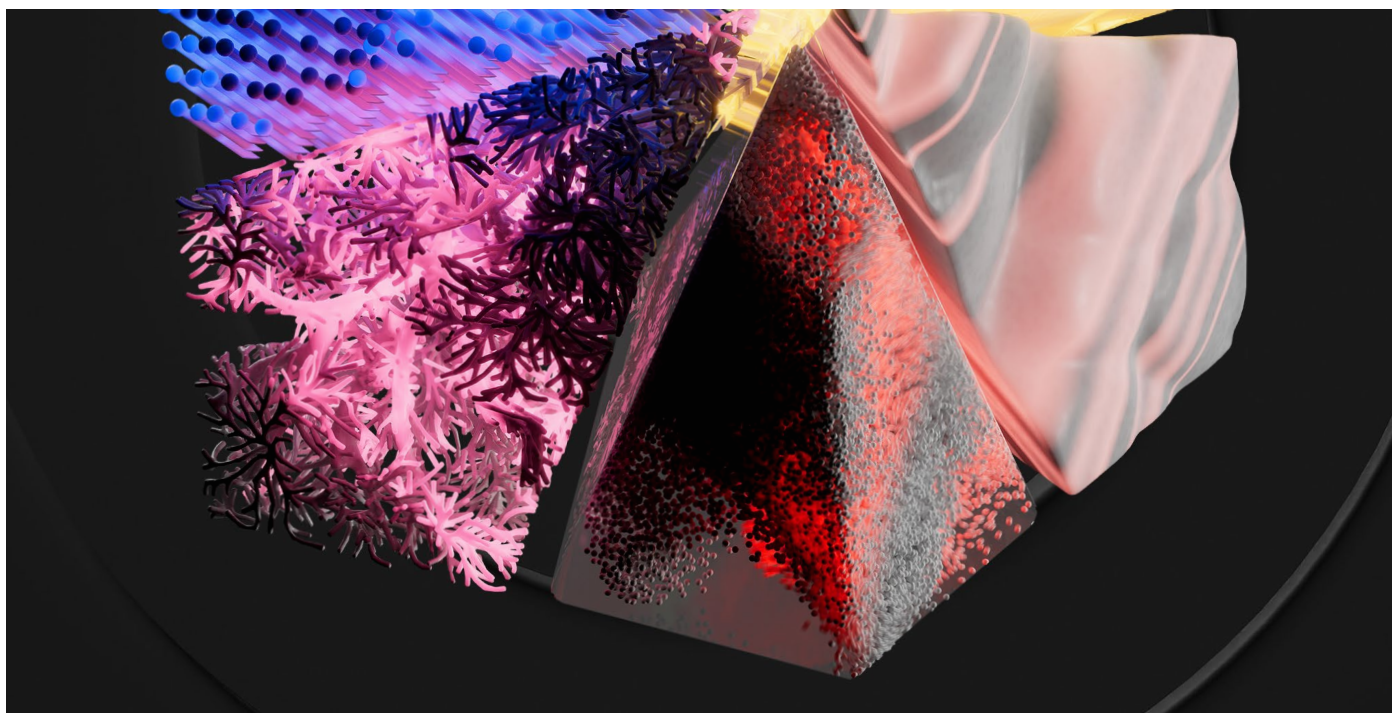
コアシステムの断片的な変革に社運を賭けた結果、手痛い失敗を犯した経験を持つ企業も多いであろう。テク

ノロジーリーダーは、明確な戦略がないまま手当たり次第にイノベーションを狙うことや、容易に達成できる目標に対する投資をするのではなく、自らの城たるコアシステムがもはや蝕まれていることを直視すべきである。その上で、どこに時間と労力を割いて治療していくのかを考えようではないか。

モダナイゼーションに一步踏み出すために、企業のリーダーはモダナイゼーションの重要な領域における自社のニーズ、強み、そして予算を体系的に評価する、よりスマートな方法を採用すべきだ。そのようにして実際のビジネスのコンテキストに当てはめながら組織のシステムを俯瞰することにより、増大し続ける技術負債に歯止めをかけるとともに、長期的な視点に基づいた技術ウェルネスを獲得・維持し、ビジネスとテクノロジーチームの信頼度を高めることが可能になるのである。

New：コアを検査する

企業は往々にして、どの技術負債が最も足を引っ張っているのかを把握できていないため、問題事項の優先順位が低くなる、あるいは管理が不十分になることがよくある⁷。実際には、企業のコアにある数百のアプリケーションやシステムのうち、老朽化したシステムによる影響の大部分を引き起こしているのは、一握りの問題を抱えたわずか10個程度のアプリケーションかもしれないのである。企業は毎年効果が見えないものに投資する代わりに、一步立ち戻って重要な問題に取り組むことで、利益を得ることができるのである。



技術負債のコストとリスク

より包括的なコアモダナイゼーション戦略に対して投資すべき理由は、レガシーシステムの維持に伴う障壁、コスト、潜在的なリスクなど多岐にわたる。

- **直接コスト**：サポートライセンスや更改費用など、ハードウェアやソフトウェアの保守に直接関連する資本コスト (CAPEX) と運用コスト (OPEX)、およびレガシーシステムの維持に必要な労働力 (従業員と委託先)
- **間接コスト**：レガシーテクノロジー環境の非効率性によって発生した運用維持費、例えば (通常追跡されない) レ

ガシーシステムと最新のアプリケーション間の連携に関わるデータの加工や分析に費やされた時間と労力

- **Time-to-market (市場投入までの時間) への影響**：レガシー技術スタックの複雑さや非効率性に起因するビジネスイニシアティブの遅延や希薄化
- **イノベーションへの障壁**：B2C (business-to-consumer、企業と消費者の間の取引) の注文が処理できない、または言語や通貨の制限など、レガシーテクノロジーの欠陥による成長イニシアティブへの制約

- **オペレーショナルリスク**：技術的な制限によるビジネスの拡張性、信頼性、パフォーマンスに対する将来の潜在的な障害

- **セキュリティリスク**：レガシーシステムが最新のテクノロジーと同等のセキュリティキープリティを備えていないことにより生じたサイバー脅威に対する脆弱性

- **人材リスク**：技術負債や旧式のツールの蔓延による、優秀なテクノロジー人材やビジネス人材の獲得と維持の難しさ

技術ウェルネスを中心に構築されたコアモダナイゼーションのフレームワークは、従来の技術負債への対応方法よりも包括的に機能する。このようなフレームワークでは、予防的ケアに重点が置かれている。すなわち、強化された追跡、測定、予測により、ビジネスにとってより大きな問題になる前に最適でないレガシーテクノロジーに対処するのである。ウェルネスフレームワークでは、負債をため込み、巨額な投資で定期的に返済するのではなく、反復的に技術的な問題を正確に特定し、コスト、オペレーショナルリスク、そしてイノベーションに向けた準備状況の観点から、投資が最も効果的なタイミングを予測する。

このような健全性診断、あるいはコアシステムの検査は、統計的に最も大きな支出と最大の機会を提供する5つの分野に焦点をあてている。それぞれに現段階でのモダナイゼーションターゲットが存在するが、先進技術の高度化が進んだり、新たな技術が普及したりすることにより、それらのターゲットは時間とともに変化する可能性が高い。

インフラ

インフラは最も広範囲にわたるカテゴリーであり、最も困難でお金のかかる分野であることが多い。しかし、**米国ユタ州の事例が示すように**、組織が変革の目標に従って行動することで、メインフレームシステム全体を18ヶ月以内にクラウドに移行することは可能である⁸。このカテゴリーにおいて、技術的な健全性とは、メインフレ

ム、サーバー、エンドユーザーデバイス (例えば仮想デスクトップ) が、テクニカル環境 (サンドボックス、QA環境、本番環境) 全体でクラウドに移行することを指す。さらに、老朽化した光ファイバー、LAN、WAN ネットワークは、データセンターや企業オフィスなどの施設全体で、5G、Wi-Fi 6+、BLE (Bluetooth Low Energy)、衛星通信へのモダナイゼーションがターゲットとなる。これらのアップグレードにより、企業はプライベートネットワーク、SDN (Software-defined Networking) 技術における進化、およびその他の先進的な接続機能を活用することができる。

データ

このカテゴリーは、データの一連のライフサイクル (データのクレンジングおよび加工、管理を含む) と、データレイクなどのデータストレージで構成される。企業は自動化により、データのクレンジングや加工などに必要な作業を効率化することで、データ管理に費やす時間を減らし、データから洞察を得るための時間を増やす必要がある。そして、AI モデルは学習に利用したデータの質に精度が依存するため、質や信頼性を確認するために、データの利用状況やクリーンさを示すレポートは特に重要である。

データセンター、オフィス、リモート機器などに備わるストレージをクラウドのストレージシステムに最新化し、データをリアルタイムにストリーミング処理することも可能である。**Amazon Web Services** は近年、複数

のデータソースとして接続されたデバイスから生成されるデータを、中央のリポジトリに移動するストリーミングデータパイプラインを確立した。これによりユーザーは可能な限り、鮮度の高いデータが利用できるようになる⁹。こうしたデータは、機器の状態を監視し故障の発生を予測する予測メンテナンス、対象の環境における気温や湿度などを監視する環境モニタリング、そして都市における電力消費の最適化に代表されるスマートシティ管理といったアプリケーションで使用可能となる。こうしたアプリケーションを実現するためには、データレイクやハードディスクドライブといった多種多様なデータストアが必要になるが、それぞれのシステムには複雑性と大規模な投資も伴う。

「リアルタイムではないデータの利活用は、最終的なデータの利用者にとっては非常に扱いが困難であり、今となっては不自然なものに感じるのだ」と、Amazon Web Servicesでメッセージングとストリーミングを担当するvice presidentのMindy Fergusonは言う。「リアルタイムデータを常に利用可能とすることが、顧客の期待になりつつある。我々の住んでいる世界というのはまさにこうした世界なのである¹⁰」

アプリケーション

この広範なカテゴリーには、企業が「5つのR」の手法（リプラットフォーム、リバイタライジング、リミディエイティング、リプレイス、およびリトレーニング）の1つ以上を活用し、時間をかけてモダナイズしたレガシーカスタムアプリケーションが含まれる。また、ベンダーによる継続的なエンハンスを踏まえた明確なアップグレード戦略を要するERPやSaaSアプリケーションなどのパッケージアプリケーションも含まれる。これらのアプリケーションでは、アップグレードパスと統合の複雑化を招く、絶え間ない一連のカスタマイズにも対処する必要がある。

組み込み製品や顧客向けのデジタル製品など、OT（運用/制御技術）に関するアプリケーションやプロダクトの技術スタックも、このモダナイゼーションのカテゴリーの検査対象として検討される。

労働力

多くの企業は、上記のようなモダナイゼーションへの対応力を持った、社内人材と外部ベンダーを含むテクノロジー人材の獲得に苦慮している。リーダーは、テクノロジーチームの人材獲得と維持のためにモダンなエンジニアリングエクスペリエンスを優先する必要がある。こ

れは、本レポートの「DevOpsからDevExへ」で説明したように、ツール（ソフトウェア開発ライフサイクル全体にわたる）、プロセス、および組織文化への投資によって強化される。

サイバーリスクとトラスト

最後に、企業はセキュリティ、プライバシー、規制に基づくコンプライアンス、そして倫理と道徳など、複数の分野にわたるサイバーセキュリティの健全性を担保する必要がある。最初の2つの領域は、システムなどを活用したサイバーセキュリティの自動担保の仕組みを実現することで追跡し、改善することができる。特に、本レポートの「**現実を守る**」で詳細に説明したように、人工的に生成されたコンテンツの量の増加に対応することが大きな目的となる。倫理には複雑なアプローチが必要であり、企業はテクノロジーが社会にもたらす潜在的な害に関する最新の考え方を**常に把握しておく必要がある**¹¹。

これら5つの分野におけるシステムの定期検査の利点は、無形資産としての側面だけでなく、金銭的な側面もあるであろう。例えば、技術負債を積極的に管理・削減しようと試みるリーダーは、ビジネスへのサービス提供を少なくとも50%高速化できると予想される¹²。また、その結果、開発者は還元された時間を利用することで、顧客から得られる収益や従業員の生産性の向上をもたらす機能をより多く開発できる可能性がある。そしておそらく何よりも、システムの技術負債を正確に追跡できるシステムにより、いつ、どのように投資を行うかなどの優先度を定めることができるようになり、他社についていこうと躍起になるまでもなく、安心して過ごせるに違いない。

Next：コアシステムは自己修復する

次の10年間でシステムモダナイゼーションが進むのに合わせて、テクノロジーが適応性と耐久力を持つようになり、人間がシステムに直接手を加えることなく古びたコードやシステムを「自己修復」できるようになるとしたらどうであろうか。

自己修復システムの考え方自体は新しいものではない。自然は我々に対し、マイクロレベルでも（例えば、骨折が自己治癒するように）、マクロレベルでも（例えば、森林火災後にエコシステム全体が自己再生するように）、弾力性に富む強靱な回復力を示してきた。近年、

自然界の自己修復システムから着想を得た科学技術であるバイオミメティクス（生物機能の模倣）分野への注目が高まっているのは驚くことではなく、**テクノロジーへの活用**もすでに始まっているのだ¹³。

例えば、イオンゲルのような自己修復素材は、ロボットが腕や手などの部品に裂傷を感知したときに、損傷した部品を修復するために凝固特性を活用している¹⁴。これと同じプロセスは電気回路でも再現されている。電気回路が損傷したとき、液体金属のカプセルが自動的に回路内に放出されて、電気接続を修復するのだ¹⁵。

重要なのは、自己修復システムが「アトムからビットへ」（ハードウェアの世界からソフトウェアの世界へ）と徐々に進化してきているということだ。人間主導の教師あり機械学習から教師なし機械学習へと進化した適応型AIを例にとって考えてみよう¹⁶。このAIは、課題を解決するだけでなく、その過程で課題について学習し、より高度な問題を開発することで自らを鍛え、再プログラミングすることを学習していくのだ。

これらの流れに沿って、コアシステムのモダナイゼーションにおけるソリューションも適応型になりつつある。現在、コアシステムに組み込まれたAIは、技術スタック内の技術負債の蓄積を診断し、エンジニアがシステムのモダナイゼーションに必要なコードを書くことをサポートしている（また、技術負債が増加すると山積みになる

ことが多い修復タスクとコンプライアンス対応を簡素化する）¹⁷。実際、デロイトによる最近のグローバル調査では、すでに約60%の組織がコードの最適化とバグの特定にAIを使用しており、50%がコード環境の管理にAIを使用していることが示されている¹⁸。

これらのAIソリューションは技術ウェルネスを改善するためのものであるが、研修中の医師と同様に、依然としてエラーを起こしたり、誤った診断をしたりする傾向がある。例えば、リファクタリングにおいてはデバッグよりも効果が低いかもしれない¹⁹。しかしこの問題はAIがコアシステムに組み込まれ、なじんでいくほどに改善されていくに違いない。いつかAIが非効率性を診断した上でソリューションを開発し、人間のエンジニアによるサポートを必要とせずにそれを実装できるようになる日が来るであろう。

このような技術革新が続くと、5つのコアシステムのモダナイゼーションの分野に、最初から持続性を組み込むことができる。技術スタックの多くがソフトウェアで定義されるようになるにつれて、障害予測、監視、および自己修復を組み込む取り組みにより、テクノロジー資産の「老化プロセス」が改善される可能性がある²⁰。人間の健康と同様に、技術ウェルネスが目指すゴールは、コアシステムが健全に老化することである。それは、システムに組み込まれたサポートとチェック機能が働くことにより実現されるのである。

Endnotes

1. Deloitte Insights, *Connect and extend: Mainframe modernization hits its stride*, December 6, 2022.
2. Deloitte Insights, “Tech trends archive,” accessed October 31, 2023.
3. Jim DeLoach, “Technical debt demands your attention,” *Forbes*, June 12, 2023; Stripe, “The developer coefficient: Software engineering efficiency and its US\$3 trillion impact on global GDP,” September 2018.
4. Stripe, “The developer coefficient.”
5. Ibid.
6. Stefan Van Der Zijden, Howard Dodd, Anne Thomas, Tigran Egiazarov, “How to Prioritize and Sell Technical Debt Remediation,” Gartner Research, September 27, 2023; Adam Tornhill, Business costs of technical debt, CodeScene, 2023.
7. Van Der Zijden et al., “How to Prioritize and Sell Technical Debt Remediation.”
8. Deloitte Insights, *The state of Utah moves from COBOL to cloud in 18 months*, accessed October 2023.
9. Deloitte Insights, *In an on-demand world, business thrive on real-time data*, accessed October 2023.
10. Mindy Ferguson (vice president, messaging and streaming, Amazon Web Services) interview, July 11, 2023.
11. Deloitte, “Technology trust ethics: Technology reexamined,” accessed October 31, 2023.
12. Roger Williams, *How to assess infrastructure technical debt to prioritize legacy modernization investments*, Gartner, August 17, 2020.
13. Deloitte Insights, *Tech trends 2023 epilogue*, accessed October 2022.
14. Daniel Boffey, “Robot, health thyself: Scientists develop self-repairing machines,” *Guardian*, August 7, 2019; Timothy Revell, “This self-healing robot can regenerate after being stabbed,” *New Scientist*, August 16, 2017.
15. Paul Rincon, “Time to heal: The materials that repair themselves,” *BBC News*, October 30, 2012.
16. Will Douglas Heaven, “AI is learning how to create itself,” *MIT Technology Review*, May 27, 2021.
17. Jorge Hernandez, “Tackling technical debt with generative AI,” Encora, July 27, 2023.
18. Deloitte, *2023 State of DevOps Report*, forthcoming.
19. Ibid.
20. Brenton House, “Leaning into the future: An interview with Sanjay Brahmawar,” Software AG blog, July 6, 2023.

Acknowledgments

Special thanks

Caroline Brown for your poise under pressure and infallible leadership. Thank you for adapting to every twist and turn with grace and truly going above and beyond. We appreciate you more than words can say.

Ed Burns and **Abhijith Ravinutala** for stepping up in new ways, not only transforming perspectives, research, and client interviews into brilliant prose, but also taking on a greater leadership role to guide our research team and lean in when and where needed. We are beyond lucky to have you on the team and are grateful for all you do to make *Tech Trends* a reality year after year.

Adrian Espinoza and **Heidi Morrow** for deftly moving the needle on what success looks like for design. Thank you for continuing to ideate, curate, and create (with humans and machines) all the remarkable report imagery, infographics, videos, and more.

Natalie Haas for masterfully chartering and keeping us on course to deliver another year of *Tech Trends*. We appreciate all you did to keep the ship full steam ahead and to corral the crew more productively and efficiently than ever before. You will be missed more than you know.

Stefanie Heng for your steadfast commitment to excellence. We couldn't deliver *Tech Trends* without you advising us on this journey. Your lived experience and commitment to this team is invaluable. Thank you for leaning in and getting us over the finish line. We are so incredibly grateful for you.

Kelly Raskovich for being the team's loudest cheerleader and supporter. Thank you for your guidance, partnership, and willingness to lean in on all the things, from the big picture ideas down to the nitty gritty details.

Nathan Bergin, **Raquel Buscaino**, **Lucas Erb**, **Angela Huang**, **Sarah Mortier**, and **Nkechi Nwokorie** for another fantastic year! The collaboration and partnership between our teams is unmatched, and you continue to help us strengthen our research muscle and hone our craft. We can't wait for our next collab!

Deanna Gorecki, **Ben Hebbe**, **Lauren Moore**, **Madelyn Scott**, and **Mikaeli Robinson** for always pushing the envelope across all things marketing, communications, and PR. We are constantly learning from you and appreciate the endless ideas and recommendations that (to no one's surprise) continue to deliver greater impact and results year after year.

Hannah Bachman, **Aditi Rao**, and the entire Deloitte Insights team. Thank you for your continued support, patience, and partnership as we continue to transform and evolve *Tech Trends*.

Sylvia Chang, **Caroline Hennessy**, **Melissa O'Brien**, **Joanie Pearson**, **Molly Piersol**, **Harry Wedel**, and the entire Marketing Excellence creative team. Thank you for another incredible year of collaboration and trust in experimentation and exploration. We can always trust that you'll be along for the ride to push the creative bounds and capabilities. Truly a *trendsetter*, paving the way.

Contributors

Rajul Bajpai, Sonali Ballal, Criss Bradbury, Richard Brower, Scott Buchholz, Lars Cromley, Tim Gaus, Tanneasha Gordan, Sara Grove, Scott Holcomb, Randeep Khaund, Eddy Krumholz, Kasey Lobaugh, Jay McDonald, Nitin Mittal, Emily Mossburg, Faruk Muratovic, Vansh Muttreja, Sean Peasley, Rick Perez, Marcus Plattner, Abdul Rahman, Dany Rifkin, Kate Schmidt, Laura Shact, Julie Shen, Whitney Stevens, Juan Tello, Chris Thomas, Joseph Tobolski, and the Knowledge Services team.

Continue the conversation

Our insights can help you take advantage of emerging trends. If you're looking for fresh ideas to address your challenges, let's talk.

The Office of the CTO

The Deloitte US Office of the CTO is a team centered on engineering technology futures. We identify, research, and incubate emerging technology solutions to shape demand for future markets, cultivate talent, and enable businesses for future growth.

If you'd like to connect and discuss more, please feel free to contact us at OCTO@deloitte.com.

Executive editors



Mike Bechtel

Chief futurist
Deloitte Consulting LLP
mibechtel@deloitte.com

As chief futurist with Deloitte Consulting LLP, Mike Bechtel helps clients develop strategies to thrive in the face of discontinuity and disruption. His team researches the novel and exponential technologies most likely to impact the future of business, and builds relationships with the startups, incumbents, and academic institutions creating them.

Prior to joining Deloitte, Bechtel led Ringleader Ventures, an early-stage venture capital firm he cofounded in 2013. Before Ringleader, he served as CTO of Start Early, a national not-for-profit focused on early childhood education for at-risk youth. Bechtel began his career in technology research and development at a global professional services firm where his dozen US patents helped result in him being named that firm's global innovation director. He currently serves as professor of corporate innovation at the University of Notre Dame.



Bill Briggs

Global chief technology officer
Deloitte Consulting LLP
wbriggs@deloitte.com

As chief technology officer, Bill Briggs helps clients anticipate the impact that emerging technologies may have on their business in the future and how to get there from the realities of today. He is responsible for research, eminence, and incubation of emerging technologies affecting clients' businesses and shaping the future of Deloitte Consulting LLP's technology-related services and offerings. Briggs also serves as executive sponsor of Deloitte's CIO Program, offering CIOs and other technology executives insights and experiences to navigate the complex challenges they face in business and technology.

Bill earned his undergraduate degree in Computer Engineering from the University of Notre Dame, and his MBA from the Kellogg School of Management at Northwestern University. He proudly serves on the board of directors for the Kids In Need Foundation, partnering with teachers and students in under-resourced schools and providing the support needed for teachers to teach and learners to learn.

日本版発行責任者



山本 有志 執行役員 パートナー

Japan Leader

Tech Strategy and Transformation

多様な業界に対して、IT戦略立案、IT組織改革、グローバルITガバナンス強化、IT投資コストマネジメント高度化などのテクノロジー戦略に関するコンサルティングに従事。企業の戦略実現を左右する大規模ITプロジェクトのマネジメント経験も多く、戦略から開発・運用までITライフサイクル全般の知見を活かし、CxOに対してアドバイザリーサービスを提供。



川嶋 三香子 執行役員 マネージングディレクター

Tech Strategy and Transformation

ITコンサルティング会社、コミュニケーションコンサルティング会社を経て現職。消費財、金融、製造業を中心に、IT/DX戦略策定・組織変革、ITガバナンス高度化、IT投資最適化などのテクノロジー戦略に関するコンサルティングに従事。グローバルプロジェクトの経験も豊富。

日本版発行担当者

イントロダクション

**生成 AI：
人の向上心を何倍にも高める力**

川嶋 三香子 木下 貴史
近藤 美穂

インタラククション

**新しい場所のインターフェース：
空間コンピューティングと産業メタバース**

稲葉 貴久 米本 恭平

インフォメーション

**現れたランプの魔人：
成長のカタリストとしての生成 AI**

三木 聡一郎 老川 正志 小倉 康司
清水 史弥 福田 茉佑 宮内 悠

コンピューテーション

**より柔軟で、よりスマートに：
力任せのコンピューティングを超えて**

佐藤 岳彦 秋田 修吾 中澤 雄馬 関根 淳
山田 珠莉 菊池 公佳 坂本 陵司

ビジネスオペテクノロジー

**DevOps から DevEx へ：
エンジニアリングエクスペリエンスの強化**

宮坂 亮 植木 成美 細谷 彩恵
田村 大希 古川 裕輝

サイバーとトラスト

**現実を守る：
合成メディアの時代における真実**

神菌 雅紀 熊谷 裕志 高田 雄太 鈴木 将吾
櫻井 悠次 野本 一輝 福永 拓海

コアモダナイゼーション

コアを鍛える：技術負債から技術ウェルネスへ

守屋 孝文 森村 知弘 関 大蔵 東 諭 河上 和広
小磯 拓也 森田 諒介 三上 泰地 Yunxiao Yin

国内のお問い合わせ先

山本 有志 / Yushi Yamamoto

Japan Technology Strategy & Transformation Leader
Partner

デロイト トーマツ コンサルティング合同会社
yusyamamoto@tohmatu.co.jp

川嶋 三香子 / Mikako Kawashima

Technology Strategy & Transformation
Managing Director

デロイト トーマツ コンサルティング合同会社
mikawashima@tohmatu.co.jp

Deloitte. Insights

Sign up for Deloitte Insights updates at www.deloitte.com/insights

Deloitte Insights contributors

Editorial: Aditi Rao, Hannah Bachman, Emma Downey, and Debashree Mandal

Creative: Sylvia Chang, Jaime Austin, Molly Piersol, Harry Wedel, and Govindh Raj

Development: Kelly Cherry

Cover artwork: David McLeod

デロイト トーマツ グループは、日本におけるデロイト アジア パシフィック リミテッドおよびデロイトネットワークのメンバーであるデロイト トーマツ 合同会社ならびにそのグループ法人（有限責任監査法人トーマツ、デロイト トーマツ リスクアドバイザー合同会社、デロイト トーマツ コンサルティング合同会社、デロイト トーマツ ファイナンシャルアドバイザー合同会社、デロイト トーマツ 税理士法人、DT 弁護士法人およびデロイト トーマツ グループ 合同会社を含む）の総称です。デロイト トーマツ グループは、日本で最大級のプロフェッショナルグループのひとつであり、各法人がそれぞれの適用法令に従い、監査・保証業務、リスクアドバイザー、コンサルティング、ファイナンシャルアドバイザー、税務、法務等を提供しています。また、国内約30都市に約2万人の専門家を擁し、多国籍企業や主要な日本企業をクライアントとしています。詳細はデロイト トーマツ グループWebサイト、www.deloitte.com/jpをご覧ください。

Deloitte (デロイト) とは、デロイト トウシュ トーマツ リミテッド (“DTTL”)、そのグローバルネットワーク組織を構成するメンバーファームおよびそれらの関係法人（総称して “デロイト ネットワーク”) のひとつまたは複数を指します。DTTL (または “Deloitte Global”) ならびに各メンバーファームおよび関係法人はそれぞれ法的に独立した別個の組織体であり、第三者に関して相互に義務を課しまたは拘束させることはありません。DTTL および DTTL の各メンバーファームならびに関係法人は、自らの作為および不作為についてのみ責任を負い、互いに他のファームまたは関係法人の作為および不作為について責任を負うものではありません。DTTL はクライアントへのサービス提供を行いません。詳細は www.deloitte.com/jp/about をご覧ください。デロイト アジア パシフィック リミテッドはDTTLのメンバーファームであり、保証有限責任会社です。デロイト アジア パシフィック リミテッドのメンバーおよびそれらの関係法人は、それぞれ法的に独立した別個の組織体であり、アジア パシフィックにおける100を超える都市（オークランド、バンコク、北京、ベンガルール、ハノイ、香港、ジャカルタ、クアラルンプール、マニラ、メルボルン、ムンバイ、ニューデリー、大阪、ソウル、上海、シンガポール、シドニー、台北、東京を含む）にてサービスを提供しています。

Deloitte (デロイト) は、監査・保証業務、コンサルティング、ファイナンシャルアドバイザー、リスクアドバイザー、税務・法務などに関連する最先端のサービスを提供し、Fortune Global 500® の約9割の企業や多数のプライベート（非公開）企業を含むクライアントに提供しています。デロイトは、資本市場に対する社会的な信頼を高め、クライアントの変革と繁栄を促し、より豊かな経済、公正な社会、持続可能な世界の実現に向けて自ら率先して取り組むことを通じて、計測可能で継続性のある成果をもたらすプロフェッショナルの集団です。デロイトは、創設以来175年余りの歴史を有し、150を超える国・地域にわたって活動を展開しています。“Making an impact that matters” をパーパス（存在理由）として標榜するデロイトの45万人超の人材の活動の詳細については、www.deloitte.com をご覧ください。

本資料は皆様への情報提供として一般的な情報を掲載するのみであり、デロイト トウシュ トーマツ リミテッド (“DTTL”)、そのグローバルネットワーク組織を構成するメンバーファームおよびそれらの関係法人が本資料をもって専門的な助言やサービスを提供するものではありません。皆様の財務または事業に影響を与えるような意思決定または行動をされる前に、適切な専門家にご相談ください。本資料における情報の正確性や完全性に関して、いかなる表明、保証または確約（明示・黙示を問いません）をするものではありません。またDTTL、そのメンバーファーム、関係法人、社員・職員または代理人のいずれも、本資料に依拠した人に関係して直接または間接に発生したいかなる損失および損害に対して責任を負いません。DTTLならびに各メンバーファームおよび関係法人はそれぞれ法的に独立した別個の組織体です。

Member of
Deloitte Touche Tohmatsu Limited

© 2024. For information, contact Deloitte Tohmatsu Group.