

Sustainable AI

企業の変革、
イノベーション、
そして成長のための
持続可能なAI



Contents

Sustainable AI 企業の変革、イノベーション、そして成長のための持続可能なAI	3
1. はじめに - 持続可能な未来のためのAIの力の活用	4
2. 持続可能なAI - 企業の変革とイノベーションのためのプラットフォーム	5
3. 生成AI - 持続可能な変革におけるその役割	8
4. 企業の変革 - 「ダブル・マテリアリティ」とESGプラットフォーム	9
5. システムのモダナイゼーション - AIによるクラウドへの移行	10
6. AIの持続可能性 - 効果的で信頼できるプラットフォームの変革	12
7. 持続可能性のためのAI - 持続可能な価値創造	14
8. エネルギー - 持続可能な需要と供給のバランス	16
9. 農業 - 精密農業と温室農業	19
10. 産業 - インダストリー4.0から持続可能な製造へ	22
11. サプライチェーンとロジスティクス - 持続可能なエンドツーエンドの統合	26
12. 都市化 - 持続可能なAIと計画	30
13. まとめ	34



Sustainable AI

企業の変革、イノベーション、 そして成長のための持続可能なAI

企業の変革とイノベーションの推進力としてのAIの開発は、システムのモダナイゼーションをグリーンおよび持続可能性の目標と合致させるという、他に類を見ない機会を創出します。このインサイトペーパーでは、持続可能なサプライチェーンを取り入れ、これまで多様であったインダストリー4.0/5.0テクノロジーを統合するプラットフォームとして、持続可能なAIを実装することで、革新的な影響をもたらすことができることを示します。農業から都市のデジタルツインまで、様々なセクターテクノロジーにおける持続可能なAIの能力を実証します。

1. はじめに

– 持続可能な未来のための AI の力の活用

このインサイトペーパーでは、企業変革を推進し、持続可能な成長を促進する原動力としての「持続可能な AI」の開発を探ります。特に生成 AI が既存の経営システムを統合して、様々なビジネス機能にわたる予測、最適化、計画を改善する方法にどのように貢献するかに焦点を当てています。この統合は効果的な ESG 戦略にとって不可欠であり、データ主導の意思決定を可能にし、部門やバリューチェーン全体で複雑な持続可能性の取り組みを効率化します。

このインサイトペーパーでは、環境排出量の多くを担ってきたあらゆる分野の企業変革において、持続可能な AI がどのように役立つかを詳しく説明します。エネルギー分野では、AI はエネルギーグリッドの最適化、再生可能エネルギー源の統合、需要管理を行い、ネットゼロエミッションの達成に不可欠な役割を果たします。農業分野では、AI を活用した精密農業技術により、資源の使用を最小限に抑えながら収穫量を最大化し、従来の農業と温室農業の両方に影響を与えています。製造業では、持続可能な AI が運用効率を超えた生産性の向上を促進し、サプライチェーンにおける持続可能性の改善と製品の環境影響の軽減を推進します。サプライチェーンとロジスティクスでは、持続可能な AI がエンドツーエンドの統合を可能にし、運用を最適化し、製品ライフサイクル全体にわたって環境への影響を軽減します。

最後に、このインサイトペーパーでは、都市計画と開発における持続可能な AI の役割を検証します。AI を活用したソリューションは、急速に成長する都市の中心部におけるエネルギー消費の最適化、公共交通機関の強化、廃棄物管理の改善、気候変動へのレジリエンス構築に不可欠であることが示されています。全体として、課題は存在するものの、企業の持続可能性の問題に対処し、経済成長を促進する持続可能な AI の可能性は非常に大きく、企業変革への戦略的で責任あるアプローチを可能にします。

2. 持続可能なAI – 企業の変革とイノベーションのためのプラットフォーム

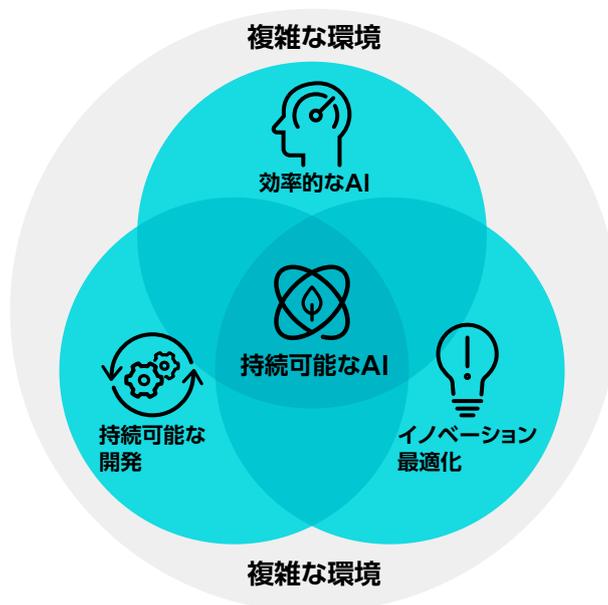
持続可能なAIは、従来型と最新のAI技術を統合して、持続可能なソリューションの発見、計画、監視、管理を実現します。企業にとって、それはますます厳しくなる規制や社会的要求に対応する複雑なビジネス環境を管理するために不可欠な技術になりつつあります。これにより、ビジネス機能全体のイノベーションが可能になり、新たな持続可能なエコシステムとビジネスモデルの将来を見据えた運用も可能になります。

持続可能なAIとは、複雑な環境における持続可能な開発のために、効率的なAI技術を革新的に使用することと定義されています。

どのようなAI技術やアプリケーションが持続可能なAIに該当するのでしょうか？ 以下で説明するように、持続可能なAIは、その環境フットプリントを最小限に抑えるために、本質的に効率的でなければなりません(AIの持続可能性)。持続可能なAIは、エネルギー使用、廃棄物の削減、業務プロセスの効率化など、ビジネス、環境、または社会の課題を改善、最適化、または革新に利用されなければなりません(持続可能性のためのAI)。

持続可能なAIは、持続可能な成長を可能にすることで、持続可能な開発に貢献する必要があります。また、情報の倫理的ガバナンス、社会的リスクの責任ある管理、持続可能な政策の策定も支援すべきです。しかし、本インサイトペーパーではビジネス変革の文脈における環境課題の管理に焦点を当てているため、持続可能な成長に焦点を絞るだけで十分であるように思われます。

図1 持続可能なAI



持続可能なAIの開発と実装は、70%以上のビジネスリーダーがAIが環境と社会課題の解決、製品、セキュリティ、エコシステムの改善に役立つと信じていることを示す調査結果からも明らかです。(富士通2024年SX調査「[AIが加速するサステナビリティ・トランスフォーメーション](#)」) 経営幹部の63%がAIがサステナビリティ・トランスフォーメーション(持続可能性の変革、SX)の成功に貢献できると考えており、65%がAIがデジタルトランスフォーメーションに貢献すると考えています。ガートナーの2024年のCEOおよびシニアビジネスエグゼクティブ調査でも同様の結果が得られました。経営幹部の69%が環境持続可能性をビジネス成長戦略の機会と見なしている一方で、ほとんどの経営者はAIと生成AIが成長戦略の鍵であると考えています。

そのようなプラットフォームはどのように開発できるのでしょうか？ 実際には、持続可能なAIは、企業のデジタルトランスフォーメーション(DX)取り組みと、加速するAI投資の波と、そしてますます緊急性を増しているサステナブルトランスフォーメーション(SX)の成果への需要との統合に基づいています。

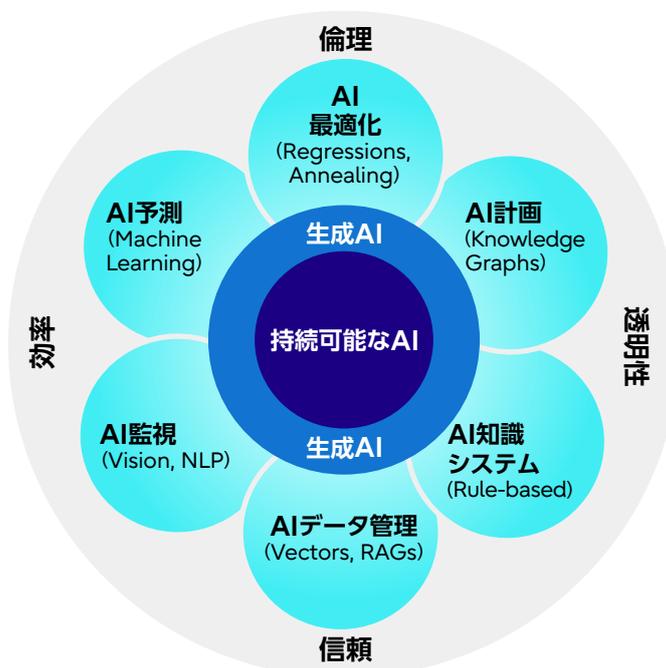
すでに今日では、クラウドコンピューティング、IoT(モノのインターネット)、ブロックチェーン、AIなどのDX技術が、データ管理、生産プロセスの最適化、物流のオーケストレーション、効率の向上のためのツールとしてますます活用されています。しかし、ほとんどの場合、AI主導の取り組みは専門化が進みすぎ、サイロ化されているため、より広範なビジネス変革戦略に統合されていません。

例えば、[2024年の富士通SX調査](#)によると、49%の企業が全社的なAI戦略を策定していません。36%のケースでは、各事業部門が独自のAIの取り組みを実施しています。当然のことながら、組織は持続可能な変革のためにAIの取り組みを活用することにさらに苦労しています。半数以上(53%)が、この課題の「複雑さと規模」に苦労していると回答し、44%が適切な技術インフラストラクチャが整っていないと感じています。

以下で説明するように、この状況は現在急速に変化しています。生成AIの開発により、企業全体で情報、自動化、管理をこれまでにない形で統合することができます。また、これまでバラバラだったDX技術やAIの取り組みを、企業内外で共有できる共通の将来を見据えた目的と統合し、組織化することも可能になります。

しかし、持続可能なAIプラットフォームは抽象的な概念ではありません。図2に示すように、これはデータの管理、プロセスの監視と最適化、結果の予測、およびソリューションの計画など既存のソリューションに基づいています。このようなAIベースの「ツール」と「アルゴリズム」は、明確な目的、つまり組織とその環境の持続可能性をサポートすることを目的として生成AIプラットフォームに組織化され、統合されています。

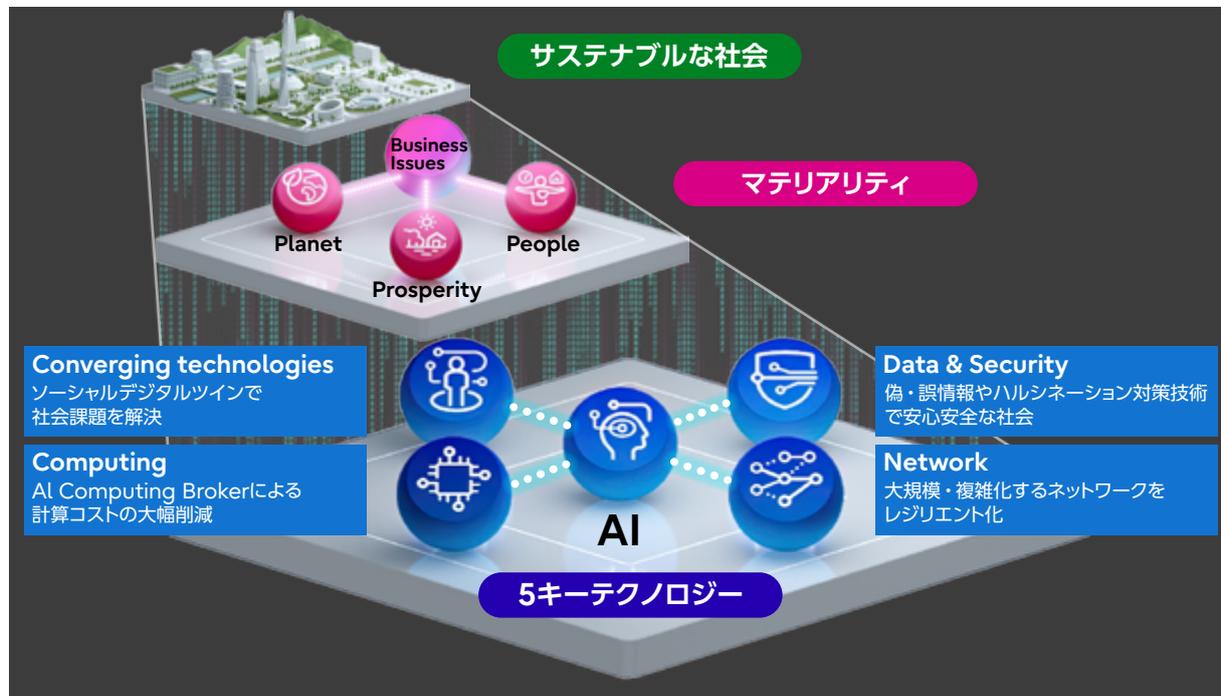
図2 持続可能なAIプラットフォーム



AI技術を持続可能性の目標に合わせることは、様々なレベルで力を与え、有益です。生成AIプラットフォームのコアに基づいた実装により、既存の情報サイロ、構造化されていない企業ドキュメント、人間によるコミュニケーションへのシームレスなアクセスと統合が可能になります。より多くのデータと情報の流れが利用可能になるにつれて、生成AIプラットフォームは、持続可能なソリューションの予測、最適化、および計画のための既存の管理システムの統合に役立ちます。

生成AIは、実行可能なソリューションを迅速に開発するために必要な言語と詳細レベルで、この情報を経営陣に提供するのにも役立ちます。このようなプラットフォームの統合がなければ、経営陣はほとんどの持続可能性の機会の可能性に気づかないままになってしまいます。例えば、富士通の研究では、5つのキーテクノロジーがどのように連携して、より持続可能な未来のための複雑な「マテリアリティ」の課題を解決していることが示されています(図3)。

図3 持続可能な社会に向けた Fujitsu Uvance AI



出所: <https://activate.fujitsu/ja/key-technologies-article/ta-sb-2024jun-20240625>

ただし、持続可能なAIは、「AI for Sustainability」取り組みへの統合されたアプローチ以上のものです。持続可能性がプラットフォームの中心にあり、組織全体に共通の目的を提供することが不可欠です。これは、持続可能な目標を達成するために必要となる、前例のない情報統合、運用監視、生産の最適化、および効率計画を説明し、正当化します。持続可能性を目的とする持続可能なAIは、倫理的な懸念、組織の抵抗、またはバリューチェーンパートナーとの連携の不足などによって行き詰まりかねない企業全体のAIの取り組みを信頼して実装できるフレームワークを提供できます。

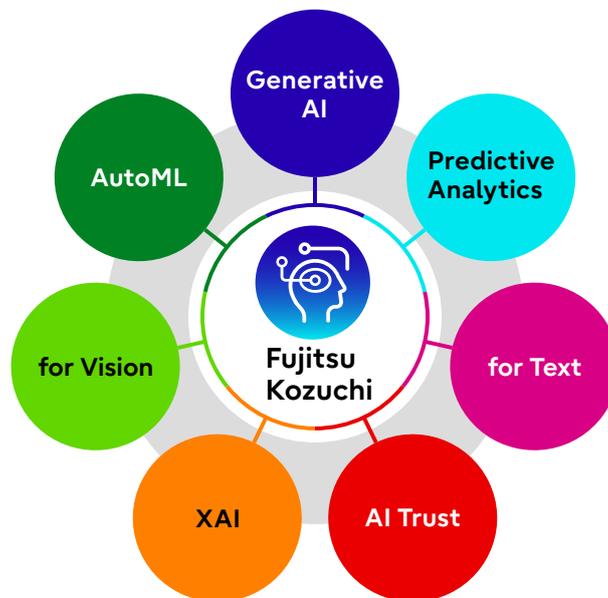
持続可能なAIの目的は、持続可能なバリューチェーンとエコシステムにおける運用を信頼できる最適化、統合、イノベーションを通じてビジネス変革を実現することです。

3. 生成AI – 持続可能な変革におけるその役割

長年にわたり、専門性の高いAI技術が存在していました。例えば、富士通は過去30年間で7,000件以上のAI事例を提供してきました。そのほとんどは生産管理など、非常に専門的なソリューションであり、全社的な運用やビジネスモデルへの影響は限定的でした。生成AIは、はるかに幅広いデータとテクノロジーにアクセスできるようになったことで、この状況を変えつつあります。

インサイトペーパー「[生成AIスタートアップ企業の開発・活用事例とそのビジネス価値](#)」で説明しているように、生成AIは人間の言語やインタラクションだけでなく、他のコード、アルゴリズム、多様なコンピューティングシステムと連携できるため、これまでにない機会を提供します。例えば、[Fujitsu Kozuchi](#)のクラウド型AIサービスでは、ビジョンモニタリングから予測分析、さらには専用アプリケーションが必要な場合には独自のAIモデルを構築まで、運用機能を統合できるようになりました。また、[バイアスや幻覚の信頼できる管理](#)のための、ますます高度なソリューションを提供しています。同時に、既存の運用管理に特化したダッシュボードをはるかに超えて、幅広い管理アプリケーションと通信にも統合されます。

図4 富士通Kozuchi AI統合



生成AIプラットフォームは、既存の管理システムの統合し、予測、最適化、計画を支援できます。これらのシステムのほとんどは、ビジネス機能ごとに異なるAIモデルを使用して構築されました。例えば、物流や倉庫の最適化には回帰分析やアンニリングが、生産プロセスの予測には機械学習が、経営における高度な計画にはナレッジグラフが利用されていました。

ビジネス機能を横断する複雑な情報を必要とするサステナビリティ計画に使用されたものはほとんどありませんでした。生成AIモデルは、これらの情報を提供できるようになり、サステナビリティ計画を統合した高度な管理プラットフォームの開発、またはESGプラットフォーム全体の統合を可能にします。

さらに、生成AIは、経営層が必要とする言語と詳細レベルで情報を提供できるため、経営判断は、専門的なダッシュボードに留まったり、狭い指揮命令系統を通して徐々に伝わっていくのではなく、組織の関連するすべての部分に直接反映されます。このような統合がなければ、部門間およびバリューチェーンパートナーとの緊密な連携を必要とする複雑な持続可能性の取り組みは、はるかに効果が低くなります。

その結果、生成AIプラットフォームの実装は、データの監視、集約、報告のための既存のイニシアチブを、報告だけでなく経営判断を促進する効果的なESG戦略に整合させる機会を提供します。ただし、そのためには生成AIの機能が、組織とバリューチェーン全体にわたる製品およびサービスライフサイクルのすべてのビジネス機能にアクセスできる持続可能なAIプラットフォームの一部となる必要があります。

4. 企業の変革 – 「ダブル・マテリアリティ」と ESGプラットフォーム

ビジネス変革の主な推進力は、持続可能性の向上を求める規制と顧客の要求です。例えば、インサイトペーパー「[グリーンディールのデジタル化 – 企業は持続可能なデジタル化からどのように利益を得られるでしょうか?](#)」では、グリーン規制がビジネス環境をどのように変えているかについて説明しています。

これらの変化は現在、主要経済圏で実施されています。EUでは、企業持続可能報告指令(CSRD)により、製品やサービスのライフサイクル全体にわたる厳格な製品カーボンフットプリント(PCF)報告が導入されています。カーボン国境調整メカニズム(BAM)は世界的な課税を追加し、サプライチェーン法は人権基準の検証を義務付けています。米国では、証券取引委員会(SEC)が気候関連リスクと温室効果ガス(GHG)排出量の開示を義務化しました。日本では、金融庁(FSA)が財務報告における監査済み排出量データと気候関連リスク評価の提出を求めています。

その結果、「ダブル・マテリアリティ」が生じ、企業は財務業績や経済リスクを超えた報告や戦略的思考を根本的に変えていくことを求められます。企業は、組織が直面し、その行動によって引き起こされる社会的および環境的リスクの「第二のマテリアリティ」に対する解決策を特定し、優先順位を付ける必要があります。これは、企業が必要とする運用データの収集方法、分析方法、サステナビリティ目標との整合性を図る運用上の意思決定の方法を根本的に変えます。

課題は、ほとんどの企業が新しい規制を支持し、漸進的な排出目標にコミットしたときに考えていたよりもはるかに大きくなっています。特に、ほとんどの組織にとって排出量の70%以上を占める可能性のあるサプライチェーンからの排出量(スコープ3)の報告と削減は、システム的大幅なモダナイゼーションなしには実施が難しいことがすでに証明されています。

当初は、[製品カーボンフットプリント\(PCF\)](#)の概算で排出量報告要件を満たすことができるかもしれませんが、しかし、排出量目標が設定され、排出量削減のプロセスが始まると、各活動、製品、サプライヤーごとにますます正確なデータが必要になります。このようなデータ統合は、現実からはほど遠いものです。例えば、PwCの報告によると、50%以上の企業が排出量を正確に測定できていませんが、これは標準化されたESGレポートが不足していることが一因です。富士通、Microsoft、AWSなどの大手IT企業の支援を受けながら、グローバル企業はすでに、組織全体を対象とし、サプライチェーンの連携をサポートする排出量データ管理のグローバルな「[Open Footprint](#)」標準に取り組んでいます。

このようなシステムのモダナイゼーションにより、環境負荷の最適化が可能になります。しかし、ビジネス目標に合致すると、ダブル・マテリアリティの実践は、分析、予測、および実装戦略の複雑さを指数関数的に増大させます。例えば、シナリオ計画では、サプライチェーンのコストと潜在的な混乱、およびそれらの持続可能性の課題を考慮する必要があります。その結果、単なる情報およびレポートツールとされることが多いエンタープライズESGプラットフォームは、新しい目標を管理するために生産と供給プロセスのすべての部分を接続する、企業会計とガバナンスの中核要素になる必要があります。

有効的なビジネスを変革するためには、これらの新しいプラットフォームには、多くのビジネスシステムとプロセスへの幅広いアクセスと、その結果を環境報告以外の意思決定に利用するための上級管理職の全面的なコミットメントが必要です。ESGへの取り組みは企業戦略の中心に位置し、ビジネスモデルの重要な一部になる必要があります。まず、それらは包括的なシステムモダナイゼーションの一部となり、増加する複雑さを管理するためのAIサービスの数を増やし、変革を推進するという明確な目的を持つ必要があります。

5. システムのモダナイゼーション - AIによるクラウドへの移行

最新のAIシステム導入における主な課題の1つに、時代遅れのインフラストラクチャがあります。一般的に、組織はシステムをクラウドに移行することでメリットを得ていますが、効果的なAIシステムではほぼすべての業務にクラウドベースのデータアクセスを必要とします。費用対効果の高いAIソリューションとサービスは、AWSやMicrosoft Azureなどの主要なプラットフォームで提供されることが増えており、多様で強力なLLMへのシームレスなアクセスからの恩恵を受けています。持続可能なAIソリューションも例外ではありません。

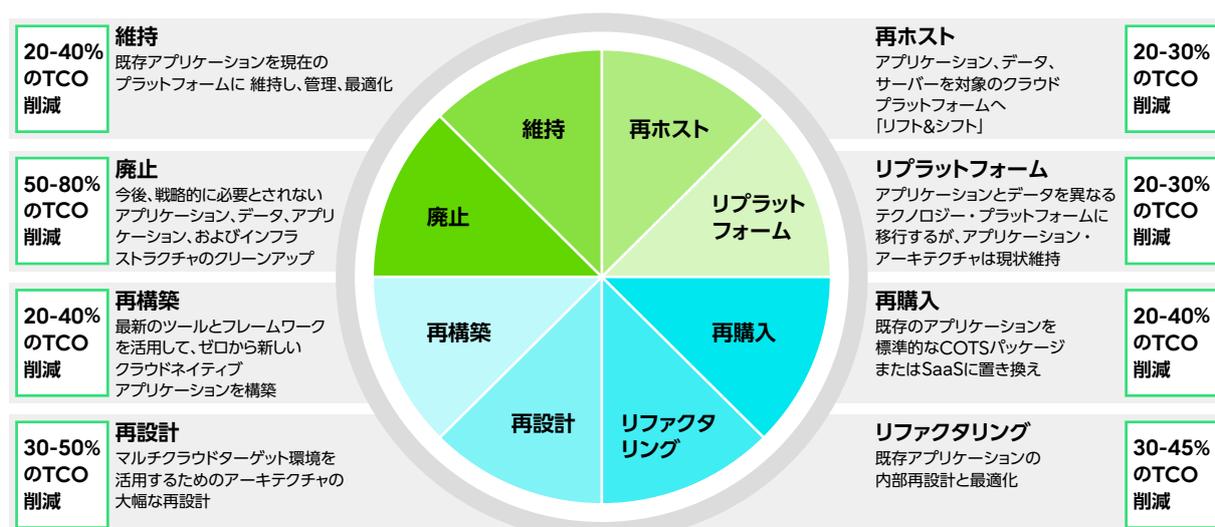
そのため、「2024年の富士通SX調査」では、経営者の半数以上がSXの「複雑さ」を懸念しているだけでなく、自社のテクノロジーインフラの適切性に対する疑念が2024年に9位から2位に急上昇したことは驚くことではありません。適切で信頼でき、比較可能なデータが不足していることが3位に続きます。

以下で詳しく説明するように、「AIの持続可能性」はクラウドから始まります。クラウドデータセンターはオンプレミスの施設よりもエネルギー効率が高く、規模の経済効果を活用し、リソースの利用率を向上させています。AWS、Microsoft Azure、Google Cloudなどのプロバイダーも再生可能エネルギーによる電力供給を増加させています。例えば、AWSは2023年にデータセンターで消費される電力の100%を再生可能エネルギーで供給しました。「持続可能なためのAI (AI for Sustainability)」の活用についてもほぼ同じことが言えます。主要なプラットフォームでのAIサービスの範囲が広がり、包括的な持続可能なAIソリューションの効果的な開発をサポートしています。

クラウド運用の最適化

クラウドへのデータ移行は、既存のインフラストラクチャを分析し、包括的なマップ、移行シミュレーション、最適な展開戦略を提供することなど、AIによる自動化されるケースが増えていきます。移行後、AIツールは使用パターンを分析し、効率とコスト削減を最適化します。例えば、MicrosoftとAWSは、このアプローチに対して、総所有コスト(TCO)を50%に削減するソリューションを提供しています。

図5 効率的なクラウド移行



出所：<https://www.fujitsu.com/global/images/gig5/Progression-Paper-AWS.pdf>

移行後は、[富士通クラウドマネージドサービス](#)などの自動化機能により、クラウド運用の最適化に着手できます。このようなエンドツーエンドのソリューションは、すべてのコンポーネントが効果的に統合、オーケストレーションされ、可視化され、管理されることを保証します。インテリジェントな自動化により、問題を事前に特定して解決します。最も重要なことは、AIを活用したサイバーセキュリティがコンプライアンスを確保することです。AI主導の「デフォルトによる自動化」戦略は、自己修復システムと標準化された設計図を利用して、混乱を防ぎ、手動介入を最小限に抑えます。

さらに、クラウドコンピューティングはリモートアクセスと在宅勤務を継続的に改善しています。すでに多くの従業員がどこからでもスマートフォンでシームレスに作業できるため、通勤時間と効率の大幅な改善が可能になります。同時に、Google CloudやSalesforce Net Zero Cloudが提供するようなクラウドベースのツールでは、炭素排出量の測定と分析のための機能が強化されています。これらは、エネルギーとコスト集約型のAIソリューションが使用されている際の透明性の基礎となります。

関連データがクラウドプラットフォームに移行した場合、既存のAIサービスにより、持続可能なソリューションを追加することができます。例えば、Microsoft FabricはESGデータを分析し、分析と規制報告のためのデータの準備を支援します。様々なソースからのESGデータを一元化し、サステナビリティマネージャーに接続することで、炭素、水、廃棄物などの様々な規制レポートのESG指標の計算、分析、開示を可能にします。

そのような可能性は存在する一方で、ほとんどの企業向けクラウドソリューションはまだ持続可能性に焦点を当てていません。持続可能な機能を追加するには、組織のIT部門か、またはカスタムクラウド設定で利用可能な機能について深い知識を持つソリューションパートナーが行う必要があります。このため、戦略的なモダナイゼーション・パートナーとしてのSXソリューションに焦点を当てたサービスプロバイダーの専門知識が不可欠になります。具体的には、オンプレミスのメインフレームとUNIXサーバーで稼働しているミッションクリティカルなレガシーアプリケーションの評価、移行、モダナイゼーションをAWSクラウドに行うことも、持続可能な目標の達成に役立ちます。

モダナイゼーションの利点

技術面では、この作業は多くの場合、[AWS Mainframe Modernization](#) (メインフレームとレガシーワークロードの移行とモダナイゼーションを目的とした弾力性のあるメインフレームサービスと開発ツールスイート)を活用します。例えば、AWS Mainframe ModernizationのコンポーネントであるAWS Blu Ageは、COBOLやPL/Iなどのレガシー言語で記述されたメインフレームアプリケーションの自動リファクタリングを提供し、それらをJavaに変換して、AI機能に向けたオープン化の可能性があります。

この最新のアプローチにより、運用のレジリエンスが向上し、スタッフの生産性が向上させます。クラウドとAIは、正確なコスト測定と予測を含む大きなメリットを提供し、より収益性の高い運用モデルを可能にします。さらに、CI/CDとInfrastructure as Codeを活用したAIと生成AIは、コンテナやサーバーレス技術などの高度なフレームワークを使用してメインフレームアプリケーションを強化します。

メインフレームのモダナイゼーションには、大きなメリットがあります。例えば、バージニア州人事管理局は運用コストを年間1,500万ドル削減し、ワシントン州ライセンス局は総所有コスト(TCO)を年間100万ドル削減し、メインフレームのアップグレードコストを最大50万ドル削減しました。

このような公共部門の移行は、多くの場合、大規模になります。30年にわたる運用、1,000のビジネスロジックプログラム、150万行のコード、4,000万のデータレコード、および1.7GBのデータベース情報が寿命に近づいているのも例外ではありません。Amazon BedrockやSageMakerなどの生成AIツールは、コード分析とレビューを大幅に加速するのに役立ちます。ただし、持続可能なAI戦略の一環として、目的を追加した移行にも使用できます。政府のデジタル化に向けた長期計画は、持続可能な変革に向けた重要な一歩となる可能性があります。

6. AIの持続可能性

－ 効果的で信頼できるプラットフォームの変革

生成AIが開発、実装、および持続可能なビジネスの構築に使用されるにつれて、AI技術の使用の持続可能性が大きな懸念事項になっています。その巨大なモデルは、以前のソリューションよりもはるかに電力を消費し、多くの場合、新しいハードウェアを必要とします。そのサービスは、多くの場合、既存のより効率的なAIソリューションに取って代わるものです。例えば、生成AIプラットフォーム上で実行される単純な情報検索は、現在、従来の検索エンジンの10倍の電力を消費しています。

エネルギー消費への影響だけでも甚大です。現在のICTハードウェアの電力消費量は世界の電力需要の1%未満ですが、今後3年ごとに倍増し、2030年までに世界の電力消費量の6%以上に達すると予測されています。米国では、2030年には電力需要の9%に達すると予想されています。多くのデータセンターが存在する地域では、消費量はすでに電力網の容量を圧迫しています。アイルランドでは、追加のAI設備が構築・展開される前であっても、データセンターは電力網容量の20%以上を消費しています。

残念ながら、再生可能エネルギーを利用した持続可能なAIの開発と展開は、解決策の一部に過ぎません。ほとんどのハイパースケーラーは、通常のコンピューティングニーズにグリーンデータセンターを使用していますが、そのようなデータセンターでさえ生成AIコンピューティングの需要に圧倒されています。AIコンピューティングのための十分かつ安定した再生可能エネルギーの供給は、今後数年間、ほとんどの地域で利用可能にならないでしょう。

効率を向上させるためには、クラウドプロバイダーは複雑な戦略を実行する必要があります。特殊なAIタスクには、様々なデータセンターが必要になります。「クロスクラウド」はデータストレージとアプリケーションを分離し、再生可能エネルギーのポテンシャルが高い遠隔地に特殊なAIハードウェア構築し、「太陽を追う“follow the sun”」運用を行うことができます。例えば、富士通はAIのコンピューティングリソースの大部分を占めるGPUの使用効率を30%から最大100%まで向上させることができる [AI computing broker 技術](#)を開発しました。この技術によって節約される電力は、日本の約2,400万世帯の年間電力消費量に相当すると推定されています。

大規模言語モデル(LLM)の初期トレーニングに必要な膨大な電力消費は、より効率的な(より小さな)モデルを試し、より専門化するハードウェアで実行することで削減できます。さらに、これまでのように、より多くのデータに基づいてモデルを成長させ、供給することでモデルを改善するという力任せのアプローチは、すでに限界収益の減少に直面しています。多くのアプリケーションでは、ローカルデータに合わせて微調整(ファインチューニング)された、より小さく、はるかに効率的なモデルの方が優れたパフォーマンスを発揮し始めています。

ユーザー側では、ほとんどの組織は基本的なLLMをゼロから構築する必要はありません。ファインチューニングなどの他の技術を使用することで、既存のLLMを基により高い精度を実現できます。コンポジットAIは、RAG、ナレッジグラフ、ベクトルデータベースなどの様々なモジュールを活用および最適化してモデルのパフォーマンスを向上させる機会を提供し、エネルギー消費を削減することもできます。

AIの持続可能性は、AIシステムの環境フットプリントの最小化、情報の倫理的ガバナンス、そして社会的なリスクの責任ある管理が必要とします。これは無理難題のように思えますが、環境フットプリントの改善は、たとえAIシステムが今のところAIを運用するためにカーボンフリーなコンピューティングを約束できないとしても、持続可能性への確固たるコミットメントを持つ、最もエネルギー効率の高いプロバイダーに移行することで最初に達成できます。大規模なプロジェクトでは、モデルの使用状況を考慮したエネルギー効率の高い計画によって、より低いリソース利用率で結果を大幅に改善できます。

AIの持続可能性には、インサイトペーパー「[生成AI：ヒューマンエンパワメントによる信頼の構築](#)」で説明されているように、倫理的なガバナンスと責任ある管理に対する信頼を築くことも必要です。信頼を築くためには、透明性が持続可能なAIプラットフォームの基礎となります。これには、AIシステムの仕組み、トレーニングに使用されたデータ、およびその出力の背後にあるロジックに関する明確な情報が必要です。このような透明性は、説明可能なAI (XAI) によって強化できます。XAIは、AIの意思決定プロセスを人間が理解できるようにすることで、ユーザーが情報に基づいた意思決定を行うのを支援し、それによってユーザーをエンパワメントし、信頼を醸成することができます。

人間の能力を増強する技術として持続可能なAIを使用することで、ユーザーとシステムと一緒に学習し、トレーニングすることで、信頼性をさらに活用し、ますます持続可能な結果を生み出すことができます。このプロセスを導くために、組織と利用者は、新しいシステムでの作業とトレーニングに関する倫理的ガイドラインが必要になります。これらのガイドラインは、プライバシー、公平性、AI生成コンテンツの悪用などの問題に対処する必要があります。[EUのAI法](#)などの倫理規制を遵守し、増加する汎用AIモデルの倫理的開発に向けた取り組みを活用することで、組織は持続可能なAIプラットフォームを構築しながら、AIの責任ある使用に対するコミットメントを示すことができます。

このような信頼できる基準へのコミットメントは、見た目ほど難しいものではありません。[OECDのAI原則](#)は、持続可能な発展のためのAIの使用にも焦点を当てており、リスクを制限する規制を積極的に作るのではなく、持続可能な開発が共通の目標であるべきであることをユーザーに安心させながら、優れた出発点を提供します。

「ステークホルダーは、人々と地球にとって有益な結果を追求するために、信頼できるAIの責任ある管理に積極的に関与する必要があります。…これにより、包摂的な成長、持続可能な開発、ウェルビーイングを活性化します。」([OECD AI原則1.1](#))

7. 持続可能性のためのAI – 持続可能な価値創造

持続可能な価値創造のためには、「AIの持続可能性」に伴うコストと課題が、「持続可能性のためのAI」を活用することで得られる潜在的なメリットを下回る必要があります。「AIの持続可能性」の課題は、クラウドプロバイダーによる効率の向上、ユーザーによる課題の透明性の確保、そして規制の積極的な遵守によって部分的に軽減できます。しかし、持続可能性のためのAI、つまり複雑な環境問題や社会問題を解決にAIソリューションを活用することの貢献度を評価するのは非常に困難です。その影響は、最終的に持続可能なAIが成長、価値創造、そして全体的な発展に貢献する度合いを決定づけるでしょう。

テクノロジー、経済、ビジネス上の利益と課題

テクノロジーの観点から見ると、持続可能性の推進におけるAIの全体的な役割について楽観的になりがちです。AIは、かつての電気やインターネットがそうであったように、ほとんどの分野や業界で変化と生産性の向上を促進する可能性を秘めた汎用技術(GPT)と見なされるべきです。データアクセスの向上や情報管理などの技術の進歩だけでなく、人材管理やスキルの向上にも活用できるため、これまでのGPTよりも社会課題への影響はさらに大きくなる可能性があります。例えば、欧州委員会と「グリーンディール」のための多くの研究機関は、環境政策の効果的な実施にはデジタル化の進展が不可欠であると予測しています。環境管理におけるAIのさらなる可能性は、現在あらゆるレベルで評価されています。

経済的な観点からも、AI技術は環境を含む開発にプラスの影響を与えることは確実視されています。今後数年間の生成AIアプリケーションの経済的付加価値の推定値は、米国経済で4,770億ドル(オックスフォード・エコノミクス)、世界全体で4.4兆ドル(マッキンゼー)に上がります。一方、エネルギー、水、材料の追加使用など環境コストの増加は、これらの潜在的なメリットをはるかに下回っています。企業の取り組みや政府の税制を通じて、これらの技術的な便益のごく一部を活用するだけでも、環境を大幅に改善できる可能性があります。最新の「[Fujitsu Technology and Service Vision](#)」で説明しているように、「ネットポジティブ」や再生型企業も実現可能になりつつあります。

しかし、ビジネスの観点からは、AIの持続可能な導入にはさらなる検討が必要です。技術への投資は、ハイブ・サイクルの中ではかたたくも無駄になる可能性があります。代替投資の方がよりプラスの影響を与える可能性があり、ビジネス戦略における持続可能なAIの価値を損なう可能性があります。複雑なAI戦略を伴わない単純な目標設定や社内カーボンプライシングを行う方が、持続可能性の目標を達成するためには効率的かもしれません。最終的には、費用対効果、金額に見合う価値がビジネスアプリケーションの鍵となります。

利点と課題の比較検討

いくつかの研究では、既存の業務を改善するためにAIを使用した場合の潜在的な環境的メリットと比較し、AIを使用することによる定量的な経済的および環境的コストを推定しようと試みています。

例えば、Kaak他(2021)の「[Aligning Artificial Intelligence with Climate Change Mitigation](#)」では、AIの直接的な計算による影響と、より広範な環境に対するシステムレベルの影響を区別しています。彼らは、エネルギー、製造、物流における情報入手可能性、予測、最適化の向上によって促進される直接的なプラスの影響を与える事例は、排出量の多い石油・ガス活動の支援などマイナスの影響を与える事例をはるかに上回ると結論付けています。

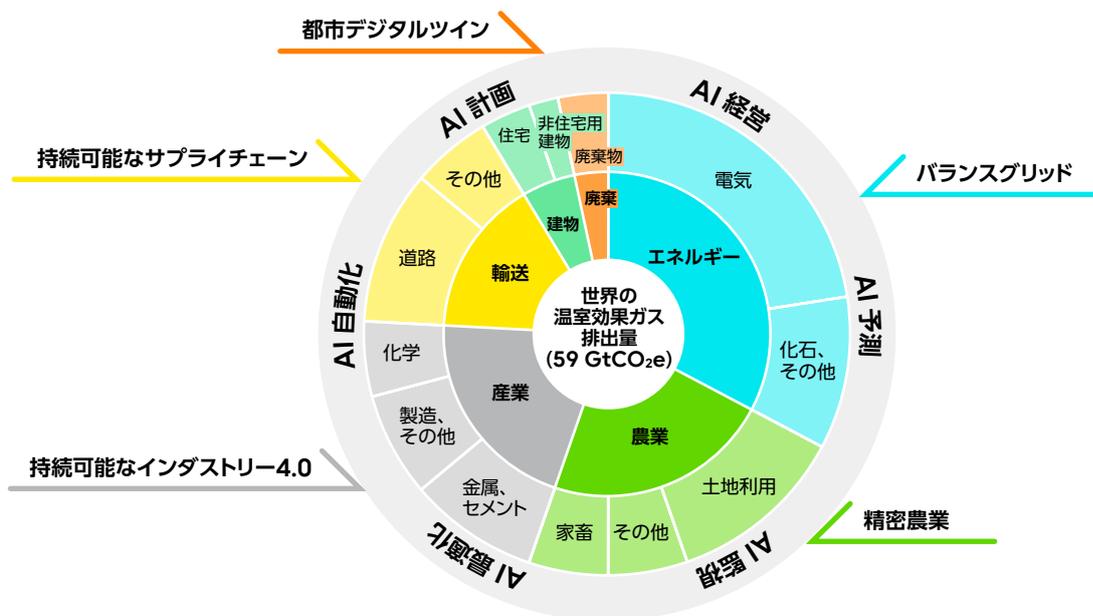
より広範なシステムレベルでのプラスの影響は、低炭素技術の研究開発、低炭素システムの計画と設計、持続可能な政策の設計、監視、実施から生じます。これらのプラスの影響を直接定量化することはできませんでしたが、AIベースの気候変動緩和と持続可能性のイノベーションの同時最適化と進展は、全体としてプラスの結果をもたらすと結論付けています。

MIT (2024)による研究「[The Climate and Sustainability Implications of Generative AI](#)」は、生成AIの有益な可能性についてさらなる洞察を提供しています。彼らは、製品カーボンフットプリント(PCF)評価ですでに一般的な方法であるように、各AIプロジェクトの直接的な影響を推定するために、ライフサイクルアセスメント(LCA)を確実に適用することを推奨しています。一方、大規模なAIプロジェクトや国家戦略のプラスの影響を評価するには、企業の経営陣と政策立案者、実務家、サプライチェーンパートナーとの協力にかかっています。彼らは、可能性評価するために従来の業界分析とプロジェクト評価を指摘しています。しかし、最終的には、AIベースの最適化の結果は、実行による学習に依存すると結論付けています。

「テクノロジーが進化するにつれて、その正確な利点と影響は、引き続き鋭い観察と継続的な評価の対象となります。」

以下では、持続可能なAIの可能性に関する当社の評価は、同様の方法論に従っています。これは、世界経済で最も排出量の多い分野における最も関連性の高いアプリケーションに従っています(図6を参照)。ネガティブ(副作用)は、ポジティブな結果と可能性に対して比較検討されます。可能性については、テクノロジーや業界のリーダーからのポジティブなユースケースが使用されます。ポジティブな結果については、その取り組みが持続可能なAIの目的に大きく貢献している必要があります。つまり、持続可能なバリューチェーンとエコシステムにおける業務の信頼できる最適化、統合、およびイノベーションを通じてビジネス変革を実現することです。

図6 持続可能なAI分野の主なユースケース



出所: WRI (2022) – State of Climate Action 2022



8. エネルギー – 持続可能な需要と供給のバランス

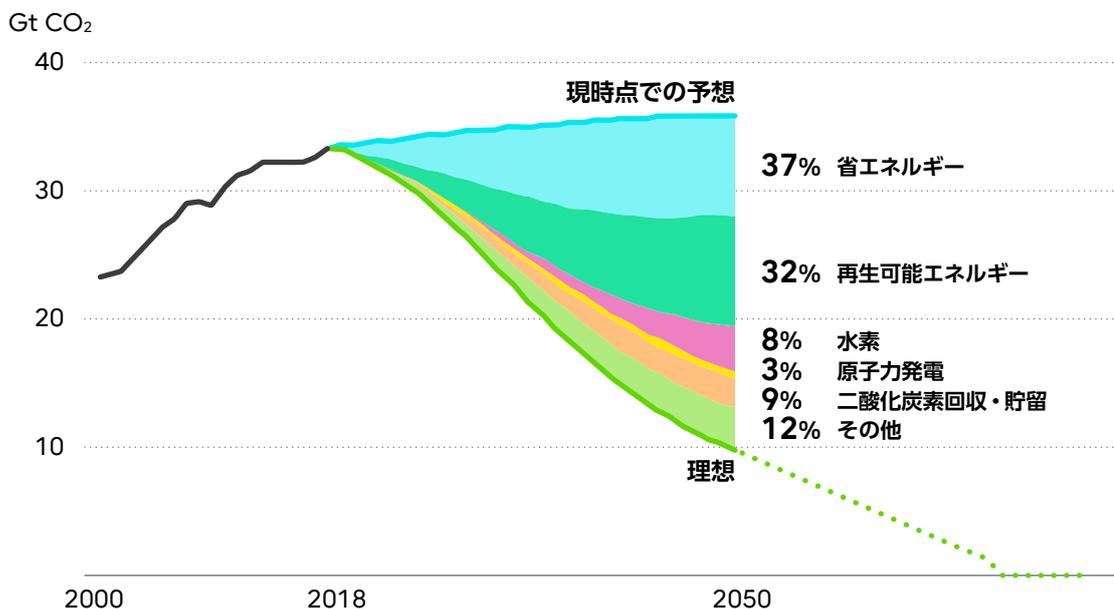
ネットゼロエミッション達成への道筋は、あらゆる産業、ネットワーク、そしてテクノロジーにおけるエネルギーの供給と需要を抜本的な変革を必要とします。図6の温室効果ガス (GHG) 排出量のグラフでは、エネルギー分野が全排出量のほぼ5分の1を占めており、群を抜いて大きな割合となっています。

これまで、再生可能エネルギー源へのエネルギー供給の転換には、巨額の投資が必要となることから、多くの注目が集まってきました。それほど認識されていないのは、太陽光や風力から揚水発電や自動車用バッテリー、そしてタンクやパイプライン内の水素に至るまで、ますます複雑化する多様な供給源、貯蔵、そしてネットワークの組み合わせのバランスを取るという課題です。いまだに見過ごされがちですが、需要側の改善によって全体的な持続可能性目標を達成するために不可欠なのは、省エネルギーと燃料転換です。

持続可能なAIによる効率化とエネルギー供給管理

国際エネルギー機関(IEA)は、CO₂削減量の37%はエネルギー効率の向上から、8%は水素などの複雑な燃料転換や炭素回収(9% CCUS)からもたらされる必要があると推定しており、再生可能エネルギーは全体の削減量の約32%しか提供できないとしています。移行期において、世界エネルギー見通し(2022)では、早ければ2030年にテクノロジー関連の電力制約を予測しています。電力の制約はすべての企業に影響を与えますが、特に解決策の一部であると位置づけるテクノロジー企業は、このような環境下で自社の効率性への貢献をより明確に示す必要があります。しかし、必要な省エネルギーを実現するには、マイクロ電源、生産の最適化、輸送の効率化に至るまで、あらゆる業務のあらゆる側面でわずかな改善を積み重ねていく必要があります。持続可能なAIプラットフォームなしに、このような複雑さの増大を管理することは不可能です。

図7 CO₂排出量とエネルギーミックス



出所: IEA(2019) - 世界エネルギー見通し

世界中の発電事業者は、化石燃料から風力、太陽光、水力、地熱、波力などのよりクリーンな再生可能エネルギー源への迅速な移行を求める圧力にさらされています。しかし、これらの発電事業者は、再生不可能な化石燃料による発電への依存を最小限に抑えながら、天候に左右されることが多い多様な再生可能エネルギー源を統合するという複雑な課題に直面しています。この複雑さは、同じく天候に左右されることが多い小規模な地域発電やマイクロ発電をサポートするスマートグリッドを管理する必要性によって、さらに増しています。同時に、家庭用暖房や調理における化石燃料からの脱却、そして電気自動車(EV)のようなより持続可能な輸送手段の採用は、電力需要と供給維持に必要な送電容量を変革しています。

仮想発電所とグリッド管理

AIベースの電力管理の可能性は、分散型エネルギー資源 (DER) の統合ネットワークである仮想発電所 (VPP) の出現に拍車をかけています。これには、ソーラーパネル、風力タービン、バッテリー貯蔵、スマート家電や電気自動車などの柔軟な需要側リソースが含まれます。これらの多様なリソースは、高度なソフトウェアと通信技術を通じてシームレスに集約および管理され、単一の発電所としてまとまりのある機能を実現します。VPPの主な目標は、電力の生成、貯蔵、消費を最適化し、グリッドの安定性、運用効率、および全体的な信頼性を大幅に向上させることです。

英国の送電網運用会社 (National Grid Electricity System Operator ESO) は、再生可能エネルギー源を組み込み、増加するEVをサポートするために、供給と需要のバランスを取る高度なAI搭載グリッド管理技術の統合の一例です。GoogleのDeepMindは、英国ESOと提携し、AIを使用してエネルギー需要を予測し、供給と需要のバランスを最適化することで、グリッドの安定性を向上させています。同様に、IBMのWatsonは、様々な公益事業会社によって採用され、スマートグリッドから膨大な量のデータを分析し、エネルギー消費パターンを予測し、再生可能エネルギー源の統合を最適化しています。

エネルギー管理の中核をなす持続可能なAI

AIは、この増大する複雑さを管理するうえでますます不可欠なツールとなっています。需要予測、発電のバランス調整、そしてスマートグリッドの最適化を行うことで、AIは天候に関係なく信頼できるエネルギー供給を保証します。この文脈において、AIによって強化されたVPPは、単なる技術革新ではなく、将来のエネルギー管理のための戦略的要件です。

需要側では、企業はさらに高度なESG管理システムを導入しています。これは、法的にますます要求されているように排出量を報告するだけでなく、エネルギー源管理、生産最適化、そしてサプライチェーンのオーケストレーションを通じて排出量を削減します。AI運用がこれらのシステムの中核となるにつれ、持続可能なAIプラットフォームによって供給と需要を結びつけ、より適切にバランスを取る可能性は、両方向で高まっています。



9. 農業 – 精密農業と温室農業

世界人口の増加に伴い、食糧供給は喫緊の課題となっています。農業は、肥料や農薬の使用による間接的な影響も含め、CO₂排出の主要因の1つです。生活水準の向上に伴う食生活の変化も、一人当たりのCO₂排出量を増加させ、この問題をさらに深刻化させています。多くの国では国内の食料消費量が食糧生産能力を超えており、食糧輸入への依存度が高いため、世界の食糧サプライチェーンはCO₂排出に大きく寄与しています。環境への影響を抑えながら、より多くの食糧を生産するという課題への対応が、これまで以上に重要になっています。

農業研究における持続可能なAIの役割の拡大

農業研究において、AIは環境負荷を低減しつつ、収量の増加、耐病性、耐乾性の向上を実現する作物の開発を加速させるうえで、ますます重要な役割を果たしています。バイエルのClimate FieldViewプラットフォームは、すでにAIを使用して様々なソースからのデータを分析し、研究者が気候変動に強い作物を開発するのを支援しています。Corteva AgriscienceのGranularソフトウェアは、AIを使用して作物のパフォーマンスと土壌の健康状態に関する洞察を提供し、より持続可能な農業実践の展開を支援します。

ゲノミクス研究は、将来の農業において重要な役割を果たすことになり、その結果はAIベースのデータ分析と予測モデリングにますます依存するようになります。農業・食品研究において、透明性と倫理性を確保したうえで、持続可能なAIを導入することです。

精密農業：資源利用の最適化

AIを活用した精密農業は、農家が農薬、肥料、水の使用量を最小限に抑えながら収量を最大化することを可能にし、農業に革命をもたらしています。精密農業では、圃場のマッピングと作物のモニタリングを行い、必要な場所のみ肥料、農薬、灌漑を精密に適用します。これにより、資源利用が大幅に削減され、作物の収量を最大化し、より持続可能な食糧生産に貢献します。John DeereのSee & Spray Technologyは、コンピュータービジョンと機械学習を使用して雑草を識別し、必要な場合にのみ除草剤を散布することで、化学薬品の使用量を最大90%削減します。IBMのWatson Decision Platform for Agricultureは、気象パターン、土壌条件、作物の健康状態に関するAI主導の洞察を農家に提供し、より多くの情報に基づいた意思決定とリソースの最適化を可能にします。

AI駆動型のロボット農業

ロボット除草システムは、人件費の削減と化学除草剤の必要性を最小限に抑えることができるため、農業でますます普及しています。ボッシュの農業用ロボット「Bonirob」は、機械学習とコンピュータービジョンを使用して雑草を識別し、機械的に除去します。様々な作物に対応し、様々な圃場条件に適応できるように設計されており、10年前の技術でこれを実現しています。持続可能なAIの支援によるシステム開発は、農業におけるロボットの使用を飛躍的に進歩させるでしょう。

農業サプライチェーン：畑から食卓までの効率最大化

AIは、農業サプライチェーンの最適化、廃棄物の最小化、農産物の二酸化炭素排出量の削減にも重要です。AIを搭載した画像認識技術は、農産物の識別、選別、等級付けに広く利用されており、その用途は加工工場から収穫機まで広がっています。TOMRA Sorting Solutionsは、AIと機械学習を使用して果物と野菜を選別および等級付けし、高品質の農産物だけが消費者に届くようにするとともに、食品廃棄物を削減しています。新興農業スタートアップ企業のAgShiftは、AIを使用して農産物の品質評価を自動化し、人為的ミスを最小化とサプライチェーン効率の向上に貢献しています。これらのシステムは、規格外の農産物が畑から運ばれるのではなく、土壌に戻されるようにすることで、二酸化炭素排出量の削減に役立ちます。

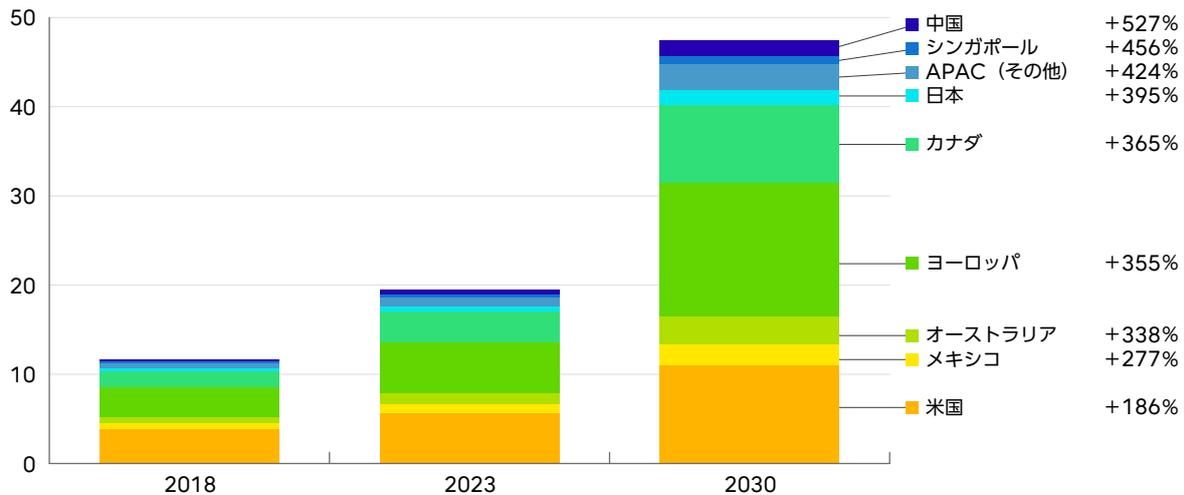
これまでのスマートマニュファクチャリングと同様に、このようなAIベースの分析は、[農業サプライチェーン品質管理\(SCQM\)](#)の統合において重要な役割を果たしています。当社のブログ「[From farm to fork: AI shows the way towards safe and sustainable food production](#)」によると、SCQMはすでに廃棄物防止と食品安全のレジリエンスにプラスの影響を与えており、リスクの軽減と品質確保の機会の拡大につながっています。

スマート農業：未来の農業技術と温室栽培

持続可能なAIは、精密農業の発展を支援することで従来の農業を変革することに大きく貢献できますが、「スマート」農業の最も急速に成長している分野、すなわち温室栽培と未来的なトレンドである垂直農法において、根本的な役割を果たしています。

どちらも都市部の需要の高まりと、(変化する)季節や気候からより自立性の必要性によって推進されています。オランダやカナダなど、いくつかの国では厳しい環境での野菜栽培で最前線に立っていますが、現在、この技術は急速に普及しています。例えば、スペインのアルメリア州では、温室がすでに400平方キロメートルの面積をカバーしています。

図8 スマート農業の市場規模(10億米ドル、2018-30年の成長)



出所: Grand View Research (2024) - スマート農業市場

スマート農業におけるこのトレンドの負の側面は温室栽培の電力消費によって、精密農業が環境に与えるプラスの影響が、すぐに打ち消されてしまう可能性があることです。涼しい季節の追加暖房と、ますます暑くなる夏の冷房は、すでに影響を及ぼしています。例えば、[カナダ](#)では温室産物は過去10年間で倍増しましたが、エネルギー消費量は55%増加しています。

持続可能なAIは、温室および屋内農業のプラスの可能性を活用することで、これらの負の傾向を緩和あるいは逆転させるのに役立ちます。温室は水を必要とするだけでなく、湿度も発生するため、乾燥した気候での栽培が可能です。植物は夜間にCO₂を排出しますが、これは日中に吸収されます。適切に管理すれば、そのような排出物を利用することができます。例えば富士通のパートナーである [Botanical Water Technologies社](#) がすでに実証しているように、湿度水源として利用することができます。EUが後援する [TheGreefaの化石エネルギーフリー農業](#) の研究では、塩溶液を使用して水分を熱に変換することで、熱エネルギー需要を50%削減できることを示されています。同時に、太陽光発電のスタートアップや主要な太陽光パネル開発企業は、部分的に透明で紫外線を吸収するソーラーガラスの開発に取り組んでおり、これはエネルギーを併給しながら、最適な光と熱の条件を維持するのに役立ちます。

都市型農業と垂直農業

しかし、影響を与えるためには、複雑な研究に基づいて排出量とエネルギーを同期して管理する必要があります。そのため、テクノロジー企業はすでに10年以上前から、高度に制御された環境で農業を実験してきました。例えば、富士通は、かつての [半導体クリーンルームを利用して、レタス生産実験](#) を行ってきました。その結果、バクテリアが存在しないため腐敗することがなく、栽培中や輸送中に農薬や冷却を必要としないことがわかりました。温室栽培では、[食・農クラウド \[Akisai\]](#) は、高度なAIアルゴリズムが成長に最適な条件を提供できることを示しました。パートナーで自動化された垂直農法の建設企業である [Vertical Future](#) は、従来の農業と比較して水の使用量を最大98%削減しています。

その結果、[制御環境農業 \(CEA\)](#) は、温室から都市のスプロール現象における屋内垂直農法を持つ技術として急速に進化しています。複雑なシステムを管理し、効果的な都市サプライチェーンに統合するのに役立つ持続可能なAIがなければ、スマート農業の成功ははるかに困難になるでしょう。

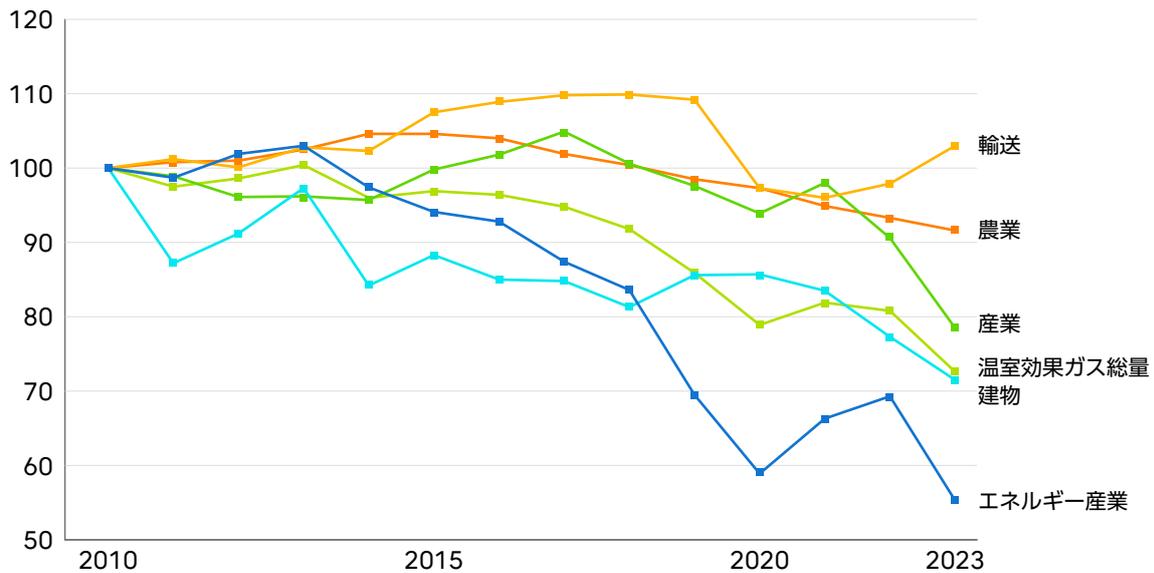


10. 産業 – インダストリー4.0から持続可能な製造へ

産業や製造業におけるAIの使用と高度なプラットフォーム統合は新しいことではありません。10年以上前、インダストリー4.0構想は、増加するセンサーやデバイス (IoT) をクラウドコンピューティング、ビッグデータ分析、AI制御、そして先進的なロボット工学と結びつけました。それに続く Society 5.0は、より広範でサービス指向、かつ社会的に包摂的なモデルを提示しました。近年では、[インダストリー5.0](#)が、この業界のデジタルトランスフォーメーション (DX) モデルに、持続可能性、レジリエンス、およびより人間中心の視点が追加されました。

しかし、これまでのところ、生産性の向上は排出量の大幅な削減につながっていません。図9が示すように、環境意識の高いドイツにおいても、その大規模かつ生産性の高い製造部門からの排出量は、2011年にインダストリー4.0構想開始以来、減少していません。2023年の大幅な減少は、ウクライナ紛争以降のエネルギーコスト上昇による負のショックによって引き起こされました。

図9 ドイツにおけるGHG排出量(2010年=100)



出所: [Bundesumweltamt\(2024\)](#)

グローバル・ライトハウス：ロールモデルとしての役割

これまでの進捗は期待外れですが、生成AIが業務効率の改善を超えた生産性向上を実現するようになると、持続可能性への注力強化は大きな影響を与える可能性があります。世界経済フォーラム(WEF)とマッキンゼーは、インダストリー4.0の導入は、組織全体の変革が必要であり、時間がかかり、強力なロールモデルが必要であるため、業界全体で期待される利益につながっていないと主張しています。そこで彼らは、変革に関する詳細な調査を支援し、ロールモデルとなる先進的な製造企業の[グローバル・ライトハウス・ネットワーク](#)を立ち上げました。

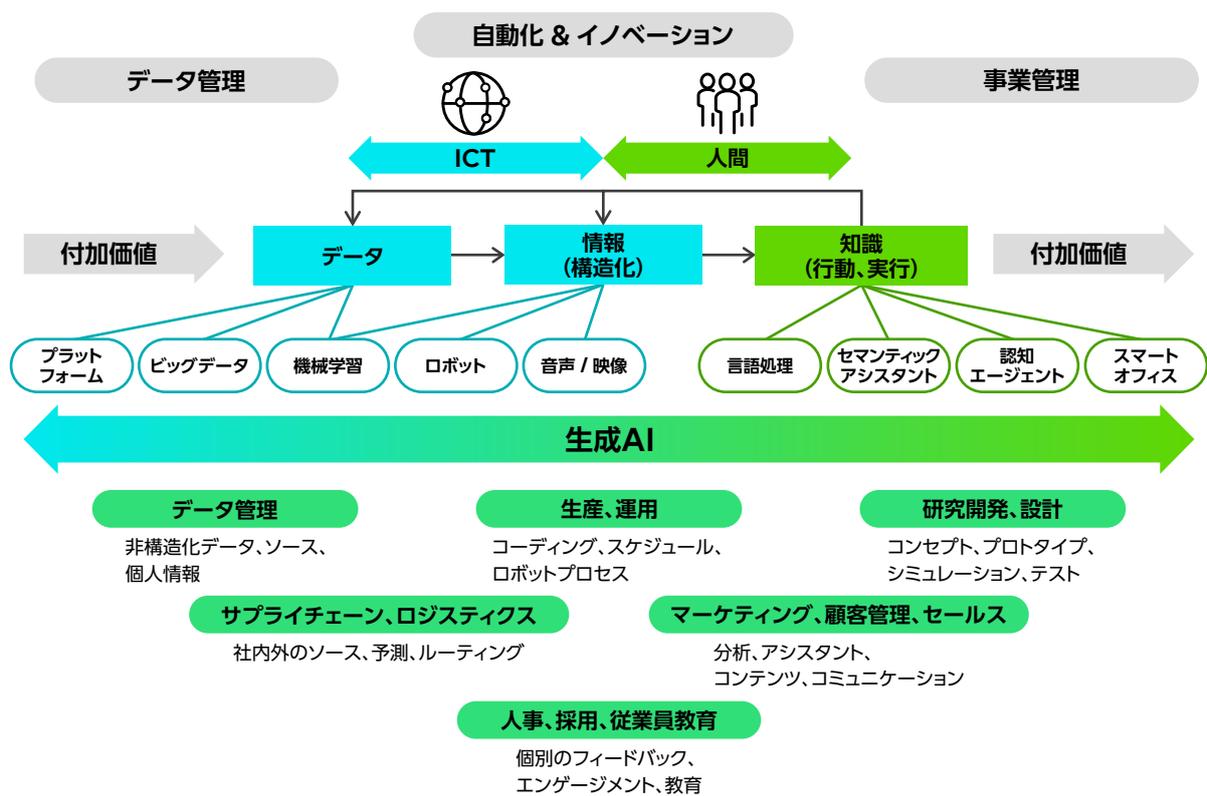
この先進企業グループは、2019年の発足以来、生産性を15~30%向上させています。ネットワークに追加された各企業コホートは、テクノロジー開発の指揮者としてAIへの注目を高めています。最新のライトハウス企業グループ(2023年12月)は、サプライチェーン業務で10~20%、プロセス最適化で40%以上、組み立て、品質、テストで30%以上のAI関連の生産性向上を達成しました。

生成AI：企業変革の促進要因

インサイトペーパー「[生成AIスタートアップ企業の開発・活用事例とそのビジネス価値](#)」では、生成AIは、大企業だけでなく、あらゆる企業のすべての事業機能において、大幅な改善をもたらす可能性があることを示しました。企業は、柔軟な情報統合、人間と機械のコミュニケーション、そして作業統合のための生成AIプラットフォームの威力を認識するにつれ、スタートアップ企業と提携して、事業のあらゆる側面を改善し、結びつけることができます。

図10は、AI技術とAIスタートアップによって変革されているビジネス機能との関連性を示しています。データ管理から研究開発、学習に至るまで、すべての主要機能は、AIによる生産性向上に大きな可能性を秘めています。持続可能なAIの可能性を考えると、持続可能性と環境要件の「マテリアリティ」は、これらのすべての機能に同時に組み込むことができ、インダストリー4.0システムのモダナイゼーションを持続可能なものづくりへと大きく前進させることができます。

図10 テクノロジーとビジネス機能の生成AI統合

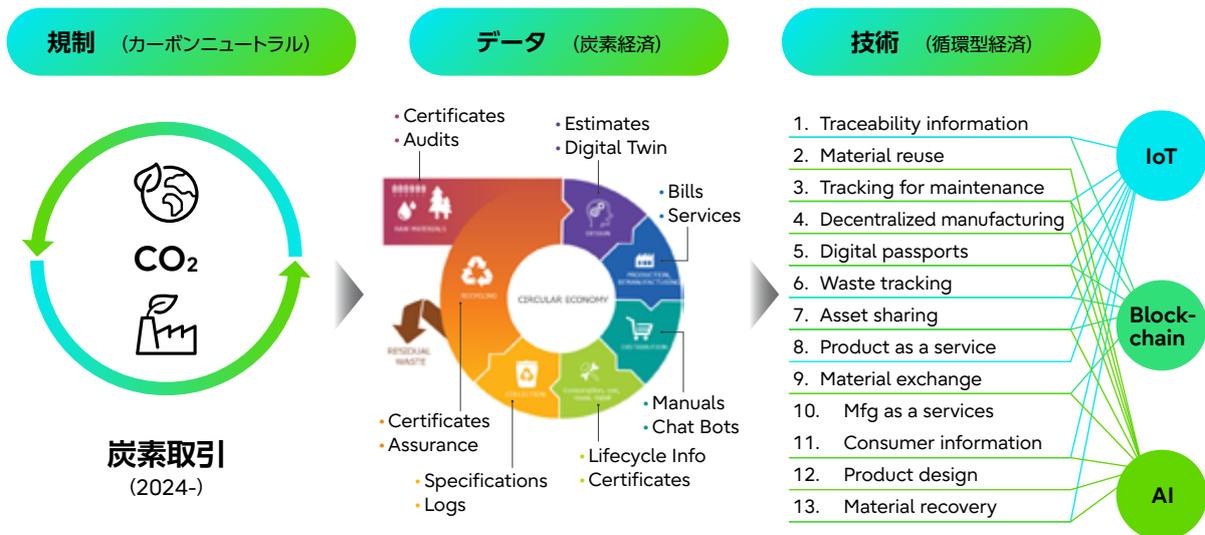


しかし、これまでのところ、持続可能性の改善に向けた産業界の進展は芳しくありません。これは、WEFライトハウスプロジェクトが2021年に「サステナビリティ・ライトハウス」リーダーの新たなカテゴリーを追加した際にも明らかでした。103社のライトハウス企業のうち、約60%が持続可能性関連のプロジェクトに取り組んでいましたが、2022年にサステナビリティリーダーとして認められたのはわずか6社でした。

循環型経済へのステップ

持続可能なものづくりに向けたインダストリー4.0構想の進展が遅いことを考えると、技術的な機会よりも、規制要件が産業界の大きな変化を促す可能性があります。これは、輸送・自動車部門ですでに起きています。今年から、炭素削減要件とカーボンプライシングにより、二酸化炭素排出量の大幅な削減が求められます。多くの場合、高いカーボンフットプリントを持つ製品を製造するための長いサプライチェーンの中心に位置する組織は、事業と製品の持続可能性を向上させるために、カーボンエコノミー全体を評価する必要があります。その結果、材料認証からライフサイクル改善のためのデジタルツインを基にした設計、廃棄物処理のオーケストレーションまで、バリューチェーン全体にわたるデータを管理するための革新的なアプローチが必要となります。これには、ますます循環的になるプロセスを監視するためのIoTやブロックチェーンなどのインダストリー4.0技術、そしてそれらを管理するための持続可能なAIが必要となります(図11参照)。

図11 インダストリー4.0と循環型経済のデータとテクノロジー



技術と競争がビジネスモデルを変革し始めると、AIベースのイノベーションと統合のプロセスは加速します。自動車業界では、テスラと中国のEV企業は、EVとその生産プロセスを最初から「ソフトウェア定義」として再考することで、大きな優位性を獲得することができました。このような場合、持続可能なAI戦略は、イノベーターだけでなく、既存企業にも大きなチャンスを提供します。

既存の内燃機関の競合企業は、事業を変革するにつれて、事業がより複雑になり、よりスマートな管理が必要になるため、デジタルに特化した競合企業と同様に、効果的な持続可能なAIの取り組みから恩恵を得ることができます。彼らは、競争力を取り戻すために、サプライチェーン全体を可能な限り最良の方法で脱炭素化する必要があります。持続可能なAIは、炭素集約型の部品、プロセス、サプライヤーを特定し、管理するために、製造業務を再考するのに役立ちます。

製造業者は、持続可能なAIを製品の設計・開発に組み込むことで、材料の使用量を削減し、耐久性を高め、メンテナンスの必要性を低減した製品による効果的な循環型経済に向けて大きく前進することができます。これは、環境への影響を軽減するだけでなく、潜在的に生産コストを削減し、市場での競争力を高めることにもつながります。



11. サプライチェーンとロジスティクス – 持続可能なエンドツーエンドの統合

サプライチェーンとロジスティクスは、環境排出量に大きな影響を与えます。ほとんどの企業にとって、サプライチェーンの排出量(スコープ3排出量)は、総カーボンフットプリントの70%以上を占めています。サプライヤーにとっては、[CDPの報告](#)によると、サプライチェーン排出量は自社の事業活動による排出量(スコープ1+2)の26倍に達します。小売業者では、その比率は92倍にもなります。これは、サプライチェーンがいかに長大かつ複雑になっているかを示しています。

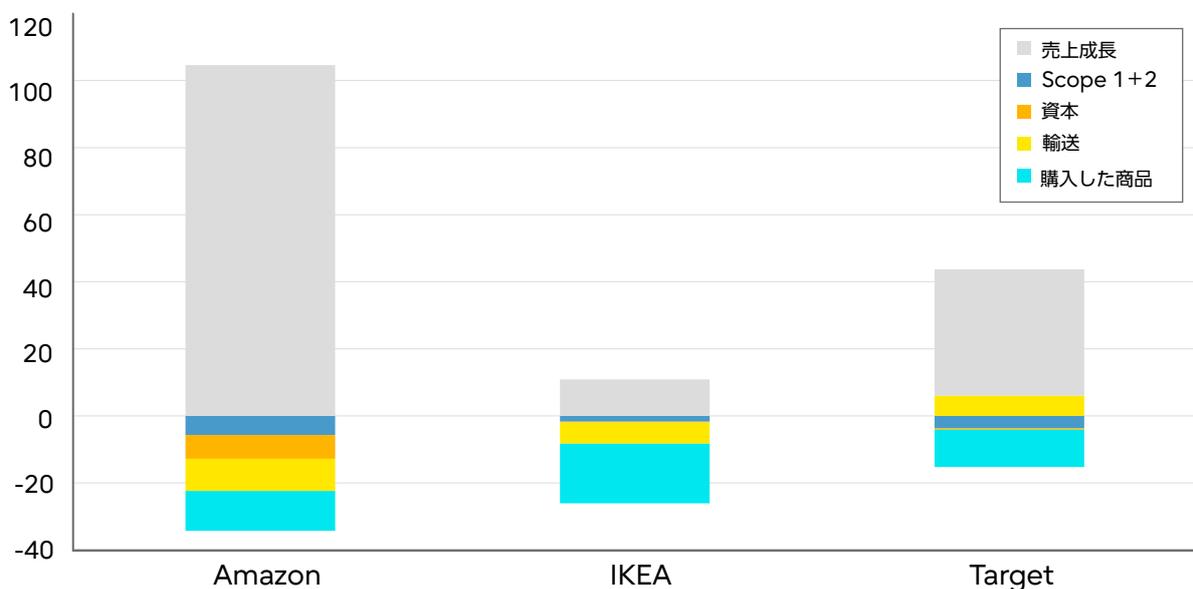
持続可能なAIプラットフォームによるこの複雑さの管理改善は、効率性向上、コスト削減、顧客満足度向上を実現できるため、大きな変革をもたらす可能性があります。しかし、このようなメリットを得るための前提条件は、サプライチェーンのあらゆるレベルでデータが利用可能になり、組織が「ゆりかごから墓場まで」製品ライフサイクルを調整し、最適化し始めることです。

これまで、この統合の進展は限定的でした。ガートナーの2022年サプライチェーンデジタル化調査によると、先進的なeコマース小売業者を含む統合テクノロジー企業の28%がAIおよびデータサイエンスプラットフォームを使用していました。製造業では、その割合は15%に低下し、調査対象の全企業の中では、高度な分析を使用していたのはわずか10%でした。

このような環境下で、輸送データをエンドツーエンドで統合しようとしてきたデジタル貨物仲介業者は、影響を与えるのに苦労しています。テクノロジーリーダーの1つである [Convoy](#) でさえ、自動化による利益がテクノロジーコストに追いつかなくなったため、昨年 [廃業](#) しました。また、[Uber Freight](#) のように、既存のデータベース、SQLクエリ、相関分析、回帰モデルを新しい生成AIソリューションの傘下に統合することで、自社の業務で模範を示そうとしている企業もあります。

したがって、生産性と持続可能性を推進しているのは、小規模なプレーヤーではなく、AI技術をサプライチェーン管理(SCM)システムに統合している、長大なサプライチェーンを持つ大企業です。ガートナーの報告によると、サプライヤーの中でAIエンジニアリングをリードする企業は、他の企業に比べてAI投資から少なくとも3倍以上の価値を生み出すことができます。図12は、リーダー企業3社(Amazon、IKEA、Target)の2019年から2023年までの収益成長率と相対排出量(削減量)を示しています。

図12 サプライチェーンAIリーダーの排出原単位と売上高成長率(2019-23年、%)



注：比較のために、排出量はCO₂e排出量を売上高(1000米ドルあたり)で割った排出原単位として計算されています。
出所：各社のサステナビリティレポート

これら3社はいずれも、需要予測、在庫管理、倉庫最適化、ルート最適化、サービスのカスタマイズのために高度なAIプラットフォームを使用して生産性向上を図っています。また、持続可能な事業運営、特にエネルギーと廃棄物管理を改善するために、AI対応機能を追加しています。Amazonは持続可能なパッケージに加え、倉庫とデータセンターのエネルギー管理機能を追加しました。IKEAは、柔軟で効率的なマイクロフィルメントセンターをサプライチェーンに統合しました。Targetは、店舗に高度なエネルギー管理ソリューションを導入しました。

Amazonはeコマース企業として、成長する事業に新しい機能を組み込み、幅広いAIサービスを提供する独自のAWSプラットフォームを活用できたため、排出量削減で最も成功しています。CO₂排出原単位(CO₂排出量を米ドル建ての収益で割った値)は34%減少した一方、収益は100%以上増加しました。Amazonの相対的な成功は、データセンターでの再生可能エネルギーの使用と、需要管理とますます高度化するロジスティクスの統合によってもたらされたものですが、サプライチェーンパートナーから購入した商品のサプライチェーン排出量を削減するという、ますます重要になっている取り組みにおいては依然として不足しています。

Amazonは、スコープ3または「購入した製品」の報告における排出量として、自社ブランド製品のみを報告しています。これらの製品は、同社のプラットフォームで取引される製品の売上の約1%に過ぎず、最適化がはるかに容易です。一方IKEAは、購入したすべての製品の排出量を大幅に削減しています。これは、すべての国でサプライチェーン全体を緊密に統合することで実現しました。同時に、Targetは、従来のサプライヤー輸送サービスからより包括的な排出量データを報告しなければならなかったため、輸送排出量の増加という課題に直面しました。これは、いくつかの取り組みで改善が見られたとしても、報告される排出量が増加したことを意味します。

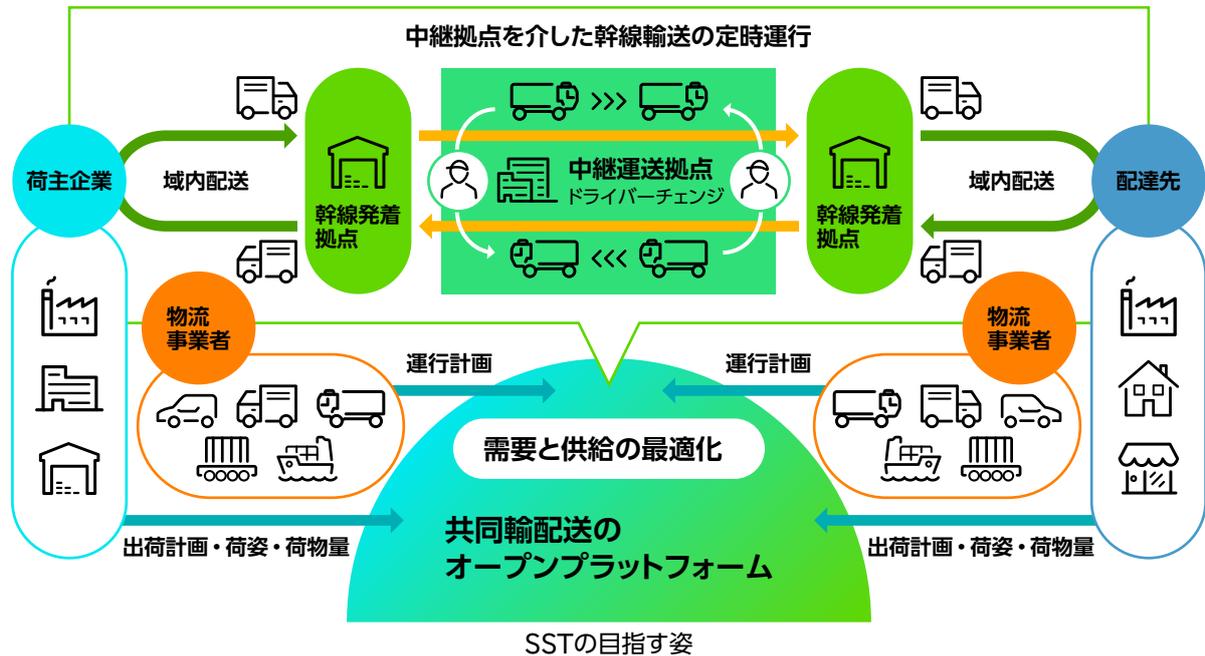
サプライチェーンのリーダー企業でさえも持続可能性の向上に課題を抱えている一方で、より伝統的で小規模なサプライヤーは苦戦しています。ほとんどのサプライヤーはバリューチェーンのごく一部しかカバーしていないため、データガバナンス機能の向上に投資することはほとんどありませんでした。トラックの荷降ろし、確認のための電話、注文のためのメール送信など、多忙な従業員に頼っているため、自動化は依然として課題となっています。製造業やeコマースの大規模顧客によるデジタルシステム改善のサポートは、多くの場合、ティア1パートナーで止まり、サプライチェーンの下流にまで浸透していません。その結果、ほとんどの小規模企業にとって、サプライチェーンの持続可能性報告要件はコストと官僚主義を増大させるだけであり、より大きなアプローチに統合されない限り、大きな機会を提供することはありません。

適切な戦略を見つけるためには、企業は進化する新しいエコシステムと、データ統合および情報共有のための業界イニシアチブに精通する必要があります。例えば、富士通は日本で、政府の「物流情報標準化ガイドライン」とAWSクラウドサービスを統合した[物流データ変換・持続可能なサプライチェーン統合サービス](#)を提供しています。サプライチェーン内の複数の異種システムからの物流データ形式を自動的に変換・標準化することができます。これは、AI分析サービスや、顧客のコアシステムとWMSやTMS(倉庫/輸送管理システム)などの複数の物流システムとのデータ統合の基盤となります。

もう1つの例は、高度なAI統合に基づく海運業界のサプライチェーンとロジスティクスのデジタルオーケストレーターである[Virtual Watch Tower\(VWT\)](#)の取り組みです。スウェーデン、フィンランド、シンガポールの研究機関と、富士通などのテクノロジー企業のコラボレーションによって開発されています。ロジスティクスコントロールタワー(物流管制塔)は、公開データで強化された個人データを共有することにより、エンドツーエンドのロジスティクスとサプライチェーンの監視をサポートします。

日本では、この取り組みはすでに成果を上げています。富士通の支援を受けて、日本最大かつ最も効率的な物流・宅配企業であるヤマトホールディングスは、新会社Sustainable Shared Transport Inc.を設立しました。同社は、160万社の法人顧客と4,000社以上の物流パートナー企業向けに、持続可能なサプライチェーンと輸送を共有するためのオープンなプラットフォームを提供しています。当初80のルートに、すべてのパートナーがデータにアクセスできる中継拠点を設置することで、エンドツーエンド輸送の各部分について最適化された量と梱包を計画し、各パートナーに合わせて最適化することができます(図13参照)。同社は2025年度末までに、GHG排出量を42%、人件費を65%削減することを目指しています。

図13 AIがオーケストレーションしたリレーポイントによる転送メカニズム



出所：ヤマトホールディングス株式会社：ニュースリリース2024年5月21日

現在、より多くの生成AIベースのイニシアチブが、このような変化への扉を開いています。共通の目的が連携を促進することで、サプライチェーン業務を持続可能性目標と整合させることができます。持続可能なAI開発のための提携は、配送ルート最適化、倉庫の環境負荷低減、自動化の調整を行うアルゴリズムの開発に役立ちます。持続可能なオンタイムデリバリーを確保することは、効率性の新たな基準を設定するのに役立ち、ひいてはそれらに接続されている組織にとっても役立ちます。



12. 都市化 – 持続可能なAIと計画

世界の総人口の56%が都市部に居住し、これらの都市部は世界の二酸化炭素排出量の70%以上を占めています。国連は、2050年までに全人類の70%が都市に住むようになると予測しており、都市の持続可能性は重要な課題となっています。

都市化が進むにつれて、都市はインフラ、運用、物流、持続可能性に関する課題に直面しています。電力、水供給、廃棄物管理、交通、住宅、教育などの課題を解決する必要があります。これらの課題に対処するには、革新的で持続可能なソリューションがますます必要になります。

そのため、都市はよりスマートで持続可能なインフラを構築するためにAIの力を活用しています。AIは、都市生活を変革し、都市をより住みやすく、より持続可能なものにするうえで、ますます重要な役割を果たしています。

エネルギー効率：消費の最適化と再生可能エネルギーの統合

都市が直面する最大の持続可能性の課題の1つは、エネルギー消費です。都市部では、住宅、商業、産業活動を支えるために高いエネルギー需要があり、このエネルギーの多くは依然として化石燃料に由来しています。AIは、需要予測の強化、リアルタイムのエネルギー分配の促進、送電網への再生可能エネルギー源の統合の支援により、エネルギーシステムの最適化に役立ちます。

例えば、ロサンゼルスでは、AI主導のデマンドレスポンスシステムがリアルタイムのエネルギー使用量を監視し、電力分配を動的に調整します。需要の高い時期には、AIアルゴリズムが消費量の急増を予測し、送電網の過負荷を避けるためにエネルギーを再分配します。このリアルタイムの応答は、ピーク時のエネルギー需要を満たすために再生不可能なエネルギー資源を使用する必要性を減らします。さらに、機械学習を活用することで、ロサンゼルスのAIシステムは太陽光や風力などの再生可能エネルギー源をより効果的に組み込むこみ、供給の変動を調整し、再生不可能な電源への依存を減らすことができます。

もう1つの注目すべき例は、GoogleのデータセンターにおけるAIを活用したエネルギー管理です。DeepMindのAIを使用してエネルギー要件を分析および予測することにより、Googleはデータセンターの冷却コストを最大40%削減し、全体で約15%のエネルギーを節約しています。このようなソリューションを都市全体に拡大すると、大幅なエネルギー節約と温室効果ガス排出量の削減に貢献できます。

持続可能なモビリティ：駆動型輸送

交通も、AIが都市の持続可能性を大幅に向上させることができる分野です。大都市では、道路の混雑、長時間の通勤、自動車の排出ガスの増加などが一般的な問題です。AIは、交通管理を改善し、公共交通機関の効率を高め、電気自動車や自動運転車(EV/AV)の展開を促進することで、交通システムを最適化することができます。

例えば、ロンドンでは、市の交通局がAIアルゴリズムを使用して、交通カメラ、バス、その他のセンサーからのデータを分析し、交通の流れをリアルタイムで管理しています。信号機のタイミングを最適化し、渋滞を避けるための代替ルートを提供するシステムです。ストップ&ゴーを減らすことで、ロンドンでは燃料消費量と車両の排出ガスを削減することに成功しました。シンガポールでも同様の取り組みが進行中で、AI駆動の予測分析により公共交通機関のスケジュールが合理化され、待ち時間が短縮され、全体的な効率が向上しています。

AIは交通管理だけでなく、自動運転車の開発においても中心的な役割を果たしています。都市が輸送システムをアップグレードするためにAIを使用する場合、持続可能なAIが活用されます。ラスベガスやヘルシンキなどの都市では、すでに自動運転シャトルサービスの試験運用を開始しています。これらのAIを搭載したシャトルは、従来の公共交通機関に効率的で排出量の少ない交通手段を追加し、将来的には自家用車の所有の必要性を減らす可能性があります。さらに、事実上すべてのAVは電気自動車技術に基づいて構築されているため、AVはよりクリーンで静かで効率的な都市環境に貢献できます。

廃棄物管理と循環型経済

急速な都市化は、廃棄物生産の急増も引き起こし、都市にとって大きな持続可能性の課題となっています。従来の廃棄物管理アプローチは、増加する都市人口に対応するのが難しく、その結果、収集プロセスが非効率になり、埋め立て地があふれ、リサイクルの機会を逃しています。AIは、廃棄物収集を改善し、リサイクルプロセスを合理化し、資源が廃棄されるのではなく継続的に再利用または転用される循環型経済モデルを促進することで、これらの問題に対処できます。

コペンハーゲンのような都市で、AI駆動の廃棄物収集システムはますます普及しています。センサーを搭載したスマートゴミ箱は、満杯になると廃棄物収集チームにこのデータを伝えます。このリアルタイム情報は、廃棄物収集車のより効率的なルート設定を可能にし、燃料消費量と不要な移動に伴う排出量を削減します。さらに、AIを搭載したルート最適化ソフトウェアを使用することで、廃棄物管理会社は運用コストを削減し、環境への影響を最小限に抑えることができます。

リサイクル分野では、AIも大きな違いを生み出しています。AMP Roboticsのような企業は、AIで強化されたロボットを導入して、リサイクル可能な材料の分別、識別、分別を人間の労働力よりも高い精度で自動化しています。これらのロボットは、マシンビジョンとディープラーニングを使用して、いくつかの種類のプラスチック、金属、紙製品を区別します。AI対応システムは、リサイクル率を高め、リサイクルの流れの汚染を減らすことで、より多くの材料が埋め立て地に送られるのではなく、再利用や転用されるようにします。

水の管理と保全

水不足は、特に気候変動と人口増加が既存の水資源に負担をかけているため、都市部にとってますます関連性の高い問題です。AIは、配水効率の向上、漏水の検出、使用パターンの予測により、水管理システムを強化できます。ケープタウンやラスベガスなどの都市では、AI駆動の水管理システムが水位をリアルタイムで監視し、自治体が水をより効率的に分配し、無駄を減らすのに役立っています。

例えば、ケープタウンのAI搭載システムは、機械学習アルゴリズムを使用して、配水網に設置されたセンサーからのデータを分析し、潜在的な問題を示す漏れや異常を特定します。漏水に迅速に対処することで、市は水を節約し、地元の貯水池への負担を軽減しています。このタイプの予知保全は、一滴一滴が重要な水ストレス地域の都市部に不可欠です。

別の例として、ラスベガス市はAIを使用して、季節的な気象パターンと過去の消費データに基づいて水需要を予測しています。この洞察により、市は配水をより効果的に計画し、無駄なく供給が需要を満たすことを確認できます。AIを活用した水管理システムは、都市が水を節約し、気候変動の影響に適応するのに役立つうえで、ますます重要な役割を果たすことが期待されています。

都市計画と気候変動に対するレジリエンス

都市計画は従来、長期的な予測と過去のデータに依存してきましたが、都市化のスピードと規模は、より迅速で適応性のある戦略を必要としています。AIにより、都市は新しい政策、インフラストラクチャプロジェクト、環境変化の影響をこれまでにない細かさでモデル化できます。交通パターンから気候モデルまで、様々なデータソースを統合することで、計画担当者は、より効率的であるだけでなく、気候変動にも強い都市を設計するのに役立つ動的シミュレーションを作成できます。

スマート都市計画のモデルと見なされることが多いシンガポールは、AIを使用して土地利用を最適化し、交通と住宅インフラを管理しています。同市は都市環境全体を反映した仮想の「デジタルツイン」を開発し、計画担当者が様々なシナリオを評価し、それらが渋滞、エネルギー使用、環境への影響に与える影響を評価できるようにしました。このAIを活用したモデルにより、シンガポールは人口増加に対応しながら、緑地を優先し、公共交通機関のルートを改善し、都市のスプロール現象を最小限に抑えることができました。

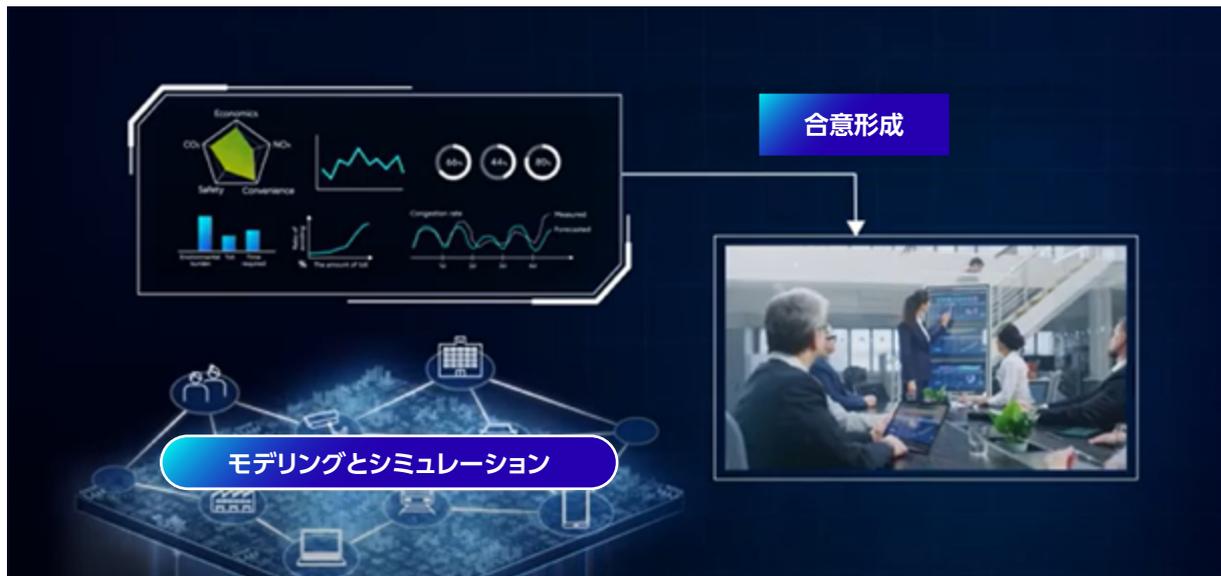
AIは、特に自然災害や異常気象によるリスクの増大に直面している都市において、気候変動へのレジリエンスにおいても重要な役割を果たしています。例えば、ニューヨーク市では都市計画者がAIベースのシミュレーションを使用して、脆弱な地域での洪水や高潮を予測しています。これらのシナリオをモデル化することで、市の職員は、洪水対策やグリーンインフラストラクチャなどの予防措置を実施して、近隣や重要なインフラを気候関連の危険から保護しています。

都市化における持続可能なAIとデジタルツインの可能性

持続可能な都市化を促進するうえでのAIの役割は明らかです。エネルギー消費の最適化、公共交通機関の強化、廃棄物管理の改善、気候変動に強い計画の実現により、AIは都市をより環境に優しく、より効率的で、より住みやすくするのに役立ちます。しかし、この可能性を実現するには、技術の進歩と倫理的配慮のバランスを取りながら、思慮深く戦略的な実装を行う必要があります。持続可能なAIは、明確な目的を持つAI技術とプラットフォームを開発することにより、よりスマートなだけでなく、より持続可能なソリューションを推進するための重要な触媒になる可能性があります。

重要な進展は、都市、大学、テクノロジー企業がますます協力して社会課題を解決するようになったことです。その一例は、[富士通とカーネギーメロン大学が共同でソーシャルデジタルツインを開発](#)していることです。人、モノ、経済、社会の関係性をデジタルで再現し、シミュレーション、予測、意思決定の環境を提供します。また、3Dモデリングの機能を拡張して、道路上の活動を監視し、問題や事故が発生している可能性のある場所を特定します。[富士通のソーシャルデジタルツイン](#)は、交通計画からCO₂削減、災害レジリエンス対策まで、幅広い用途で活用できます。

図14 富士通のソーシャルデジタルツイン技術



出所: <https://www.youtube.com/watch?v=UZnWku3kECY>

都市化が世界の景観を変え続ける中、都市は持続可能な未来を確保するために適応しなければなりません。AIの力を責任を持って活用する都市は、急速な都市成長に伴う環境的および物流的な課題に対処しやすくなり、高い生活の質を支えるだけでなく、環境への影響を最小限に抑える都市環境を創造することができます。持続可能な都市化への道のりにおいて、持続可能なAIは単なるツールではなく、未来の都市を再構築するための触媒です。

13. まとめ

ビジネス変革の一環としてAIを導入することは、技術的および運用上の機会を提供するだけでなく、持続可能性を念頭に置いてエンタープライズプラットフォームに統合することにより、持続可能なAIはより持続可能な未来を構築するための強力なツールになります。しかし、持続可能なAIの開発と実装は一度限りの取り組みではありません。「ダブル・マテリアリティ」、つまりビジネスと環境の課題に同時に対処する必要がある、はるかに複雑な世界を管理するための道のりです。

この道のりは、持続可能なAIソリューションの基盤としてクラウドベースのインフラストラクチャを実装することから始まり、データアクセシビリティの重要性を強調しています。この基盤から、持続可能なAIプラットフォームは、部門間およびエコシステムパートナーとのコラボレーションを促進できます。エネルギー、農業、サプライチェーン、都市計画などの分野でAIの力を活用することにより、企業は自らの変革を、より繁栄し環境に責任ある世界への強力な貢献に変えることができます。

著者紹介



シュルツ マルティン (Martin Schulz) 博士

富士通株式会社 チーフポリシーエコノミスト

デジタル化、政府政策、企業戦略の影響に焦点を当てた研究に従事。日本政府の委員、デュイスブルクエッセン大学マーカトール経営学部で講師も務める。彼の分析は国際メディアで広く引用されており、CNBC、ブルームバーグ、NHKワールドなど定期的に出演。

最新の著書は以下の通りです。

- [生成AI：スタートアップ企業の開発・活用事例とそのビジネス価値 \(2024\)](#)
- [生成AI：ヒューマンエンパワメントによる信頼の構築 \(2024\)](#)
- [生成AI：導入や活用を成功させるために必要なもの \(2023\)](#)
- [産業用メタバース：AIを活用した未来に備えていくのに役立ちますか？ \(2023\)](#)
- [「グリーンディール」のデジタル化：企業は持続可能なデジタル化からどのように利益を得られるのでしょうか？ \(2023\)](#)
- [ハイブリッドワークの未来：アフターコロナの働き方の転機 \(2022\)](#)



コーウェル ニック (Nick Cowell)

富士通株式会社 技術戦略本部 主席コンサルタント

Fujitsu Technology & Service Visionを担当。これまで米国、欧州、オセアニアでの大手テクノロジー企業で勤務した経験を持ち、受賞歴のあるハードウェア、ソフトウェア、およびサービス開発に関する豊富な経験を有します。



ベルッチ クリステアーノ (Cristiano Bellucci)

富士通株式会社 技術戦略本部 テクノロジービジョン ストラテジスト

クリステアーノは、テクノロジーとイノベーションを通じてビジネスの成長を目指しています。コンピュータ工学修士号とMBAを取得し、富士通のテクノロジービジョン ストラテジストとして、企業の長期ビジョン策定を推進することをミッションとしています。

cristiano.bellucci@fujitsu.com

<https://www.linkedin.com/in/cristianobellucci/>



王 貞翊 (Chenyi James Wang)

富士通技術戦略本部に所属し、Fujitsu Technology & Service Vision (FT&SV) を支援しています。富士通製プラットフォームの海外事業拡大や、スーパーコンピューターのグローバル展開といった戦略プロジェクト支援など豊富な経験を有します。現在はFT&SVの制作・推進、SX調査、ソートリーダーシップなどのプロジェクトに携わっています。

この白書の完成には、新田 隆司、水野 義博、岡井 純吾、Naomi Hadatsuki、Virginia Ghiara、Valerie Oosterhoff、佐藤 由起子も貢献しました。

記載されている企業名・製品名などの固有名詞は、各社の商標または登録商標です。
本資料は発行日現在のものであり、富士通によって予告なく変更されることがあります。
本資料は情報提供のみを目的として提供されたものであり、富士通はその使用に関する責任を負いません。
本資料の一部または全部を許可なく複写、複製、転載することを禁じます。
富士通および富士通ロゴは、富士通株式会社の商標です。