

The background features a dark blue field with numerous light rays emanating from a central point on the right side. The rays on the left are primarily blue and purple, while those on the right are primarily yellow and gold. The rays create a sense of depth and movement, converging towards the center.

*STATE OF THE*  
**EDGE**  

---

*2023*

# 目次

はじめに .....	3
第1章：エッジの定義 - 2023 年.....	5
第2章：エッジ上のデータとAI.....	12
第3章：ネットワーキングとエッジ.....	19
第4章：産業分野のエッジ.....	30
第5章：エッジからのポストカード.....	40
付録 A：エッジ コンピューティングオープン用語集 VERSION 2.0 .....	48
付録 B：LINUX FOUNDATION EDGE プロジェクト紹介.....	64
謝辞.....	72

# はじめに

急速に進化するエッジコンピューティングの状況を詳しく調査した「エッジの現状 2023 (State of the Edge 2023)」へ、ようこそ。世界がより相互に接続され、データ駆動型になり、リアルタイムの意思決定に頼るようになるにつれ、エッジコンピューティングはデジタル時代の要求を満たす極めて重要なテクノロジーとして浮上しました。このレポートは、過去 1 年間にエッジコンピューティングドメインを形成した最新のトレンド、進歩、ユースケースの包括的な概要を読者に提供することを目的としています。

これは、エッジの現状 (State of the Edge) レポートの第 6 版であり、私がこのレポートの議長を務めて 1 年目のレポートです。2018 年にこのプロジェクトをゼロから開始し、5 年連続でレポートを発行し、バトンを渡してくれた前共同議長の Matt Trifiro 氏と Jacob Smith 氏に感謝します。彼らが始めた取り組みを継続し、主導できることを光栄に思います。

ここでは、今年のレポートを通して見られる内容の簡単な概要を紹介します。**第 1 章**では、復習として、Linux Foundation によって認識されているエッジコンピューティングの**分類**を提示し、基礎を築きます。ユーザー エッジ、サービスプロバイダー エッジ、エッジデータセンターなど、さまざまなエッジコンピューティングドメインに関する洞察を提供します。さらに、ディスクアグリゲーション、オープンソースの採用、エッジセキュリティ、ネットワークアズアサービス (NaaS: Network as a Service) ビジネスモデルなど、エッジコンピューティングの急速な成長を推進した**一般的トレンド**を探ります。

**第 2 章**では、**データおよび AI 技術**とエッジコンピューティングの切っても切れない関係について考察します。データがデジタル経済の生命線となる中、エッジコンピューティングがどのようにソースに近いところでデータ処理と分析を可能にし、エッジで AI モデルを実行することによりリアルタイムの意思決定を促進するかを検証します。

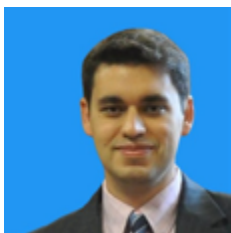
**第 3 章**では、**ネットワーキング技術とエッジコンピューティング技術**の間の相乗効果の高い関係に焦点を当てます。エッジコンピューティングではデータの生成点に近いところで処理するのに対し、ネットワークはエッジコンピューティングノードと中央集中インフラストラクチャー間のシームレスな通信を確保する上で重要な役割を果たします。この章では、5G、ソフトウェア定義ネットワーク (SDN: Software Defined Networking)、サービスメッシュ、セキュアアクセスサービスエッジ (SASE: Secure Access Service Edge) など、エッジコンピューティングをサポートする最新のネットワーキング技術について調査します。

**第 4 章**では、産業分野におけるエッジコンピューティングの変革的な影響である**産業用エッジ**に焦点を当てます。スマートファクトリーからコネクテッドインフラストラクチャーに至るまで、エッジコンピューティングが産業オートメーション、予知保全、リアルタイム監視にどのような変革をもたらすかを検証します。さまざまな業界のケーススタディを検討し、エッジコンピューティング、AI、IoT の融合が産業環境の革新と効率をどのように推進しているかを紹介します。

最終章では、エッジコンピューティング分野の著名な実践者や思想的リーダーによる短いエッセイのコレクションである「エッジからのポストカード」を紹介します。彼ら専門家が、エッジコンピューティングの将来に対する視点、経験、ビジョンを共有します。彼らの洞察は、この変化の激しい領域における課題、機会、新たなトレンドに関する多様な視点を読者に提供します。

「エッジの現状 2023」を詳しく掘り下げることで、読者がエッジコンピューティングの現状とその変革の可能性について包括的に理解できるようにしたいと考えています。このレポートは、分類や一般的な傾向からデータ駆動型 AI、ネットワークング、産業アプリケーションに至るまで、エッジコンピューティングの分野でイノベーションを刺激し、教育し、推進することを目的としています。

さあ、エッジコンピューティングの最前線への旅を始めましょう!



**Hakan Sonmez**  
Chair, State of the Edge

第1章

# エッジの定義 - 2023年



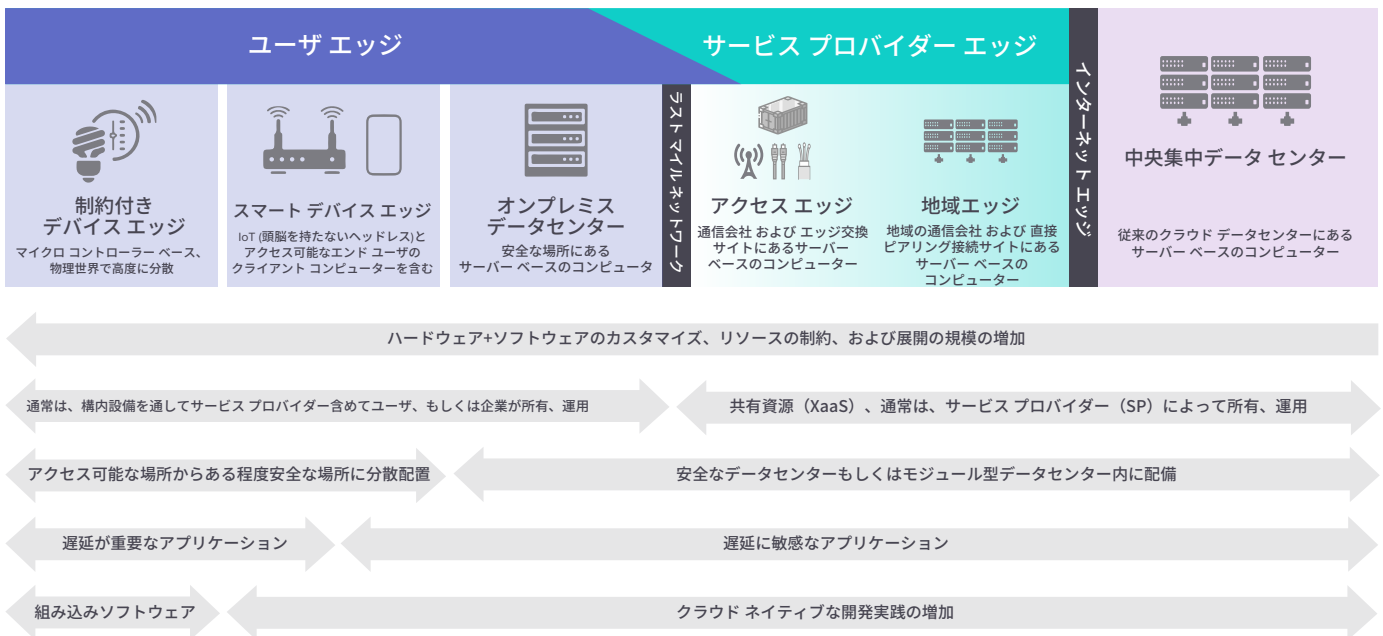
この章では、読者のための復習として、Linux Foundation が認識しているエッジ コンピューティングの分類を提示し、基礎を築きます。ユーザー エッジ、サービス プロバイダー エッジ、エッジ データセンターなど、さまざまなエッジ コンピューティングドメインに関する洞察を提供します。次に、ディスアグリゲーション、オープンソースの採用、エッジ セキュリティ、ネットワーク アズ ア サービス (NaaS) ビジネス モデルなど、エッジ コンピューティングの急速な成長を推進した新たなユースケースとトレンドを探ります。

## エッジ コンピューティングの分類 - おさらい

エッジ コンピューティングにはさまざまな定義がありますが、Linux Foundation の LF Edge は、多くの賞賛を受け、広く採用されている正式な分類法を作成しました。LF Edge による分類は、中央集中データセンターからデバイスに至るまで、インターネットを構成する物理インフラストラクチャーの連続体を通じてエッジ コンピューティングを視覚化します。

この連続体の主要なポイントにサービスを配置することで、開発者はアプリケーションの遅延要件をより適切に満たすことができます。図 1 は、分散された個別のデバイスから中央集中データセンターに至るエッジ コンピューティングの連続体と、各カテゴリーの境界を定義する主要なトレンドをまとめたものです。これには、アーキテクトがコンピューティングリソースを物理世界に近づけるために必要となるますます複雑化する設計のトレード オフが含まれます。

図 1  
LF Edge が提供するエッジの連続体



LF Edge モデルは、ラストマイル ネットワークにまたがる 2 つの主要なエッジ層、「サービス プロバイダー エッジ」と「ユーザー エッジ」に焦点を当てており、それぞれがさらにサブ カテゴリに分類されます。

ユーザー エッジは次のもので構成されます。

- ▶ スマートフォン、ウェアラブル、自動車などの自己完結型エンドポイント デバイス
- ▶ IoT アグリゲーター、スイッチングおよびルーティング デバイスなどのゲートウェイ デバイス
- ▶ オンプレミスのサーバー プラットフォーム

コンピューティング プラットフォームで構成されるサービス プロバイダー エッジは、以下のものと同じ場所に配置されます。

- ▶ 携帯無線基地局、xDSL (デジタル加入者線)、xPON (パッシブ光ネットワーク) などのネットワーク アクセス機器を収容するアクセス サイト
- ▶ DAS (分散型アンテナ システム) を収容し、アクセス サイトからの伝送接続の初期アグリゲーションとして機能するアグリゲーション ハブ
- ▶ アクセス コントローラー、スイッチング装置、その他のサービス ゲートウェイ機能が一般的に導入されている地域データセンターや中央オフィス

さらに、次のエッジ定義があります。

### デバイス エッジ

デバイス エッジとは、ラストマイル ネットワークの下流またはデバイス側にあるエッジ コンピューティングリソースを指します。これらには、ラップトップ、タブレット、スマートフォンなどの従来のデバイスだけでなく、コネクテッド自動車、環境センサー、信号機など、通常はインターネット デバイスとは考えないオブジェクトも含まれます。

組み込みセンサーなどの一部のデバイスは単一機能であり、非常に特殊なタスクを実行し、データストリームをネットワークに配信するように設計されています。他のエッジ デバイスは専用のゲートウェイとして機能し、データの集約、分析、いくつかの制御機能を提供します。さらに他のエッジ デバイスは、完全にプログラム可能なコンピュータ ノードであり、コンテナ、VM、またはベアメタル上で複雑なアプリケーションを実行します。

デバイス エッジのリソースはエンドユーザーに可能な限り近いため、デバイス エッジは、可能な限り低い遅延を必要とする多くの有用なアプリケーションの基盤となります。ただし、ほとんどのアプリケーションは、サービス プロバイダー エッジとデバイス エッジの両方にまたがるサービスから構築され、エッジの一部としてそれぞれの固有の機能を活用します。

### サービス プロバイダー エッジ

サービス プロバイダー エッジとは、回線収容基地局や携帯電話基地局など、ラストマイル ネットワークのネットワーク オペレーターまたはサービス プロバイダー側に配置される IT リソースを指します。「ラストマイル ネットワーク」は高レベルの用語であり、詳細を掘り下げると多くのニュアンスや例外がありますが、サービス プロバイダー エッジは一般に、サービス プロバイダーが所有および運用する大規模な施設と考えることができます。

サービスプロバイダー エッジの主な構成要素はエッジ データセンターであり、通常、都市部や郊外の環境に5～10マイルの間隔で配置されます。サービスプロバイダー エッジのエッジ データセンターのリソースは、デバイス エッジのリソースよりも物理的および論理的にユーザーから遠く離れています。ほとんどのデバイスに対してラウンドトリップ遅延（5～10ミリ秒）を低く抑えるのに十分な距離にあり、また、デバイスのエッジに存在する（または簡単にアクセスできる）ものよりも桁違いに強力な住宅機器の数を収容することができます。

サービスプロバイダー エッジは、デバイス エッジと従来の中央集中クラウドの間の中間点とみなすことができ、両方の利点を組み合わせることが目的です。サービスプロバイダー エッジは、対象となるエンドユーザーから数マイル以内に位置する潜在的に多数のエッジ データセンターにより構築されます。デバイス エッジは局所性（すなわち遅延の多くの利点）を提供しますが、サービスプロバイダー エッジは、「クラウドのような」利便性を提供します。中央集中のクラウド データセンターほど拡張性はありませんが、一般的なサービスプロバイダー エッジには、都市などの地域運用エリア内のワークロードに対する弾性のあるリソース割り当てをサポートするのに十分なコンピューター、データストレージ、およびネットワーク容量が配備されます。

### エッジ データセンター

前述したように、エッジ データセンターは、サービスプロバイダー エッジとそのアクセスおよびアグリゲーション サブレイヤーの重要な構成要素です。エッジ データセンターという用語自体は、単独またはサービスプロバイダー エッジ展開の一部として定義するもので、データセンターの規模を定義するものではありません。

エッジ データセンターは、セルラー ネットワーク タワーの基礎部で、床や冷却システムのためにデータセンター機器をサポートするように設計されていない建物、場合によってはシェルター構造が利用できない屋外など、従来とは異なるさまざまな場所に展開する必要があります。これらの要件により、エッジ データセンターの展開では、魔法の数字と思われる設置面積が直径10フィート未満にIT機器など、可能な限り少ない設置面積で、可能な限り高密度に設置することを目的とした革新的なエッジ データセンター設計が生まれました。

ローカル エリア内の複数のエッジ データセンター間の相互運用は、サービスプロバイダー エッジとエッジクラウド全体が、ユーザーが都市などのローカル カバレッジ エリア内を高パフォーマンスで信頼性が高く、冗長な方法で移動するときに、クラウドのようなサービスをサポートできるようにするための鍵となります。複数のエッジ データセンターをファイバーによるメッシュ ネットワークで相互接続することにより、ネットワークやクラウドのオペレーターは、これらの要件を満たすサービスプロバイダー エッジを作成できます。

## エッジ コンピューティングの成長を形作る主要なトレンド

エッジ コンピューティングは、ここ数年で大きな進歩と変容を遂げています。いくつかのトレンドが出現し、この技術の展望が作られました。このセクションでは、これらの重要なトレンドのうち、ディスアグリゲーション、オープンソースの採用、エッジセキュリティの進歩、およびネットワークアズアサービス（NaaS）ビジネスモデルの出現の4つの重要なトレンドについて検討します。



### モノリシックアーキテクチャのディスアグリゲーション

ディスアグリゲーションはエッジコンピューティングの基本的なトレンドとなっており、組織はリソースの利用を最適化し、柔軟性を高めることができます。従来、エッジデバイスはモノリシックにできており、コンピューティング、ストレージ、ネットワーク機能を1つのパッケージに統合していました。しかし、近年では、これらのコンポーネントを分割して、よりスケーラブルなモジュール式アーキテクチャを作成するディスアグリゲーションへの移行が進んでいます。この傾向により、企業はエッジ展開を効率的にカスタマイズして拡張できるようになりました。ディスアグリゲートされたコンポーネントを使用することで、特定の処理ニーズに対応し、エッジアプリケーションの動的な要件に適應できます。

### オープンソースの採用

近年、エッジコンピューティングにおけるオープンソース技術の採用が加速しています。オープンソースソフトウェアとフレームワークは、費用対効果が高く、使いやすいエッジインフラストラクチャーを構築するためのソリューションを提供してきました。Kubernetes、Apache Kafka、TensorFlowなどの主要なプロジェクトはエッジ環境に適應されており、開発者がアプリケーションをシームレスに構築、展開できるようになっています。オープンソースの共同研究もイノベーションを促進し、世界中の開発者がエッジコンピューティング技術の強化に貢献しています。この傾向によりエッジコンピューティングが民主化され、あらゆる規模の組織がエッジコンピューティングを利用しやすくなりました。

### エッジセキュリティ技術の進歩

セキュリティは、特にエッジデバイスの普及に伴って攻撃対象領域が拡大する中、エッジコンピューティングにおいて依然として最も重要な懸念事項です。過去数年にわたり、業界ではエッジ導入におけるセキュリティの課題への対処がますます重視されるようになりました。セキュアブート、データ暗号化、ハードウェアベースのセキュリティモジュールなどのセキュリティ技術は、エッジデバイスの不可欠なコンポーネントになっています。さらに、エッジAIの進歩により、異常検出および脅威予測メカニズムの実装が可能になり、潜在的なセキュリティ侵害に能動的に対応する能力が強化されました。

### ネットワークアズアサービス (NaaS) モデルの出現

エッジコンピューティングがより複雑になるにつれて、基盤となるネットワークの管理が課題になります。これに対処するために、近年、ネットワークアズアサービス (NaaS) モデルが注目を集めています。NaaSはネットワークの複雑さを抽象化し、エッジ展開においてクラウドのようなサービスを提供します。これにより、組織はネットワークリソースをオンデマンドで動的に配置、管理、最適化できるため、ネットワーク管理の負担が軽減され、運用コストが削減されます。NaaSモデルは、エッジインフラストラクチャーの管理の簡素化に役立ち、企業がコアアプリケーションとサービスに集中できるようになりました。

まとめると、近年のエッジコンピューティング開発は大幅に発展を遂げ、いくつかの際立ったトレンドが見受けられます。ディスアグリゲーションにより組織はエッジ展開を最適化できるようになり、オープンソース技術の採用によりエッジコンピューティング機能へのアクセスが民主化されました。セキュリティは依然として重要な重点分野であり、エッジデバイスのセキュリティを強化し、データを保護するための継続的な取り組みが行われています。最後に、ネットワークアズアサービス (NaaS) モデルは、エッジネットワークの複雑さを管理するための価値のあるソリューションとして登場しました。

これらの傾向は総じてエッジコンピューティングの明るい未来を示しており、エッジコンピューティングはイノベーションを推進し続け、製造業やヘルスケアから自動運転車やスマートシティに至るまで、さまざまな業界に革新をもたらし続けています。テクノロジーが進化し続け、これらのトレンドがエッジコンピューティングの次の成長段階を形作ることになるでしょう。

## 新たなエッジコンピューティングのユースケース

このセクションでは、ここ数年で業界からますます注目を集めているいくつかの新たなエッジのユースケースについて説明します。特に、ここでは、メタバースとVR/ARアプリケーションの出現、ソフトウェア定義インドビークル（SDV：Software Defined Vehicle）イニシアチブの出現、5Gの出現を取り上げ、エッジコンピューティングとの相乗効果についてお話します。

### メタバース、仮想現実、拡張現実アプリケーションの出現

メタバースの概念は、ユーザーがコンピューターで生成された環境や他のユーザーとリアルタイムで対話できる仮想共有スペースを指し、さまざまな形でエッジコンピューティングに影響を与えるでしょう。昨年、Meta、Microsoft、Appleなどの大手テクノロジー企業が、ハードウェア製品とソフトウェア製品の両方で、さまざまな仮想現実（VR：Virtual Reality）および拡張現実（AR：Augmented Reality）製品を立ち上げました。VR/ARアプリケーションを使用したメタバース技術は、エッジで大量のコンピューティングパワーを必要とするため、模範的なユースケースとなります。メタバースがエッジコンピューティングの大きな触媒となり得る理由はたくさんあります。

- ▶ **低遅延の要件：**メタバースでは、シームレスなユーザー体験とリアルタイムの対話を確保するために、低遅延の接続が求められます。ユーザーに近い分散インフラストラクチャーであるエッジコンピューティングは、ネットワーク遅延の低減に役立ちます。エッジコンピューティングはデータをエッジでローカルに処理することで、ユーザーとメタバースの間で情報がやり取りにかかる時間を最小限に抑え、仮想環境全体の応答性を向上させることができます。
- ▶ **データ処理要件の増加：**メタバースでは、リアルタイムの対話、仮想環境、ユーザー間の情報交換により、大量のデータが生成され、ユーザー間で情報交換されることが予想されます。エッジコンピューティングは、このデータをよりソースに近いところで処理し、遅延時間を短くし、応答時間を短縮する上で重要な役割を果たします。エッジコンピューティングインフラストラクチャーは、中央集中サーバーの一部の処理を軽減し、メタバースアプリケーションの全体的な性能と拡張性を向上させることができます。
- ▶ **スケーラビリティとリソースの最適化：**エッジコンピューティングは、メタバースに関連するスケーラビリティの課題に対処することができるようになります。コンピューティングリソースをエッジデバイスに分散配置することで、増加する同時ユーザー数と計算能力の需要に対応できるようになります。エッジコンピューティングは、ユーザーの近接性とワークロードの要件に基づいてリソースを動的に割り当て、リソースの使用率を最適化し、よりスムーズなメタバース体験を保証します。

メタバースがいつ大量に導入されるのか、そしてそれがユーザーや企業に何をもたらすのかについては、まだ非常に流動的です。ただし、エッジコンピューティングは、間違いなく、インフラストラクチャーのニーズをサポートし、進化するメタバースエコシステム内で最適なユーザー体験を提供します。

## ソフトウェア デファインド ビークル (SDV : Software Defined Vehicle) の出現と自動運転車の進歩

いくつかの規制上および技術上の課題に直面しているにもかかわらず、自動運転車技術は進歩しており、より多くの投資を集めています。エッジコンピューティングは、ローカルデータ処理、低遅延の意思決定、最適な接続によって、自動運転車の運用効率、安全性、機能を強化します。これは、リアルタイムの応答性を実現し、自動運転車によって生成される大量のデータを活用する上で重要な役割を果たします。

## 5G とエッジコンピューティングの相乗効果の出現

通信事業者が全国的な5G展開を加速するにつれて、エッジコンピューティングとの相乗効果やユースケースがますます実現しています。

5G ネットワークの展開により、エッジコンピューティングの成長がさらに加速しました。5Gの低遅延と高帯域幅は、エッジコンピューティングのアプリケーションとサービスのサポートに最適です。この組み合わせにより、エッジデバイスの性能を向上させ、エッジでの効率的なデータ処理を可能とします。5G技術がエッジコンピューティングに与える影響については、このレポートの後半の「ネットワーキングとエッジ」の章で説明します。



第2章

# エッジ上の データと AI

データ、AI技術とエッジコンピューティングの間には切っても切れない関係があります。データがデジタル経済の生命線となる中で、この章では、エッジコンピューティングがどのようにソースに近い場所でデータ処理と分析を可能にし、エッジでAIモデルを実行することでリアルタイムの意思決定を促進するかについて検討します。

## 2023年：AI変革の年

2023年は、人工知能（AI）分野にとって変革の年となりました。エッジコンピューティングを含むいくつかの画期的な開発によって業界の再構築におけるAIの役割をさらに強固にする状況が形成されました。これらのマイルストーンの中でも、OpenAIのChatGPT、GoogleのBard、およびMicrosoftのOpenAIとChatGPTへの多額の投資の発表は、消費者だけでなく投資家による技術分野への関心を再活性化させました。PyTorchがLinux Foundationの一部となったことも、AIコミュニティやその他の分野に大きな影響を与えました。2023年には、大規模言語モデル（LLM：Large language Models）、基盤モデル、生成AIユースケースが出現するのを見てきました。

OpenAIによるChatGPTの発表は、2023年の決定的な瞬間でした。この注目に値する言語モデルは、自然言語の理解と生成における飛躍的な進歩を表しています。これは前例のないレベルの会話能力を提供し、AIが人間の言語を理解して模倣するという点で目覚ましい進歩を遂げたことを示しています。ChatGPTの一般公開は、開発者や組織が仮想アシスタントからカスタマーサポートを行うチャットボットに至るまで、さまざまなアプリケーションに簡単に統合できるようになり、AI技術の民主化を示しました。

GoogleによるBardの発表は、AI分野におけるもう1つの記念碑的な出来事でした。洗練されたAI言語モデルであるBardは、GoogleがAI研究の最前線を前進させることに全力を尽くしていることを示しました。創造的なコンテンツを生成し、複雑な質問に答え、さらにはプログラミング作業を支援する機能を備えたGoogleのAI言語モデル分野への参入は、AI環境における競争と革新をさらに促進し、企業や個人にとってより強力で多用途なツールを約束します。

さらに、MicrosoftのOpenAIとChatGPTへの多額の投資は、AIの変革の可能性に対する業界の認識を強調しました。Microsoftの資金提供は、OpenAIの研究に対する信頼を示すだけでなく、ChatGPTの継続的な開発と改善を促進しました。この協力は、AIの能力を向上させ、責任あるAIの展開を確保するために、テクノロジー大手とAI研究機関の協力の重要性を浮き彫りにしました。

これらの重要な発表や投資のほかに、2023年の市場では、AIおよび機械学習ツールが市場に急増しました。自動データ分析プラットフォームからAI主導の設計ツールに至るまで、これらのツールは、さまざまなセクターの組織がAIの力を活用して、より良い意思決定、効率性、イノベーションを実現できるようにしました。アクセスしやすいツールとプラットフォームによるAIの民主化により、あらゆる規模の企業がAIの変革の可能性を活用できるようになりました。

最後に、MetaがLLAMAモデルを発表し、PyTorchがLinux Foundationの一部になったことで、オープンソースのAIイニシアチブの重要性が高まったことが強調されました。オープンなAIモデルと技術に対するMetaの宣言は、AIが共同で進歩し続け、研究者、開発者、社会に利益をもたらすことを保証します。PyTorchがLinux Foundationに統合されたことで、オープンソースコミュニティにおけるAIの地位が確固たるものとなり、AI研究開発におけるコラボレーションとイノベーションが促進されました。

クローズドソースとオープンソースの両方によるAI主導の成長は、全体として、世界の再構築におけるAIの著しい進歩と可能性を正しく示していますが、責任ある開発と倫理的配慮に留意し、AIの変革力が人類の向上のために活用されるようにすることが重要です。

### 大規模言語モデル、基盤モデル、生成AIの理解

人工知能の分野で、2023年にイノベーションの最前線に立っているのは、大規模言語モデル、基盤モデル、生成AIの3つの重要な概念です。これらの概念は自然言語の理解と生成に革命をもたらし、これまで想像できなかった方法で機械が伝達し、作成し、問題を解決できるようにしました。

- ▶ **大規模言語モデル (LLM: Large language Models)** は、数多くのAIアプリケーションの背後にある原動力として登場しました。GPT-3(Generative Pre-trained Transformer 3)などのこれらのモデルは、インターネットからの膨大な量のテキストデータで事前学習させた大規模なニューラルネットワークです。非常に大規模のLLMは、驚くべき流暢さと一貫性をもって人間のようにテキストを理解し、生成することができます。LLMは言語翻訳やテキストの要約などの作業を実行したり、複雑な質問にも答えたりすることができるため、さまざまな業界にとって非常に貴重です。たとえば、医療分野では、LLMは医療記録を分析し、関連情報を抽出してレポートを生成し、医療専門家の意思決定を支援します。
- ▶ **基盤モデル**は、大規模言語モデルを構築するための構成要素です。これらのモデルは、その後のより専門的なAIアプリケーションの基盤として機能します。たとえば、BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers: トランスフォーマーの双方向エンコーダー表現) は、言語のコンテキストの理解に優れた基本モデルです。言語のニュアンスを理解するBERTの能力は、検索エンジンのアルゴリズムを改善する上で極めて重要です。Googleなどの検索エンジンに質問を入力すると、BERTは、エンジンがユーザーの意図をより正確に理解し、より関連性の高い検索結果を表示するのに役立ちます。これは、幅広いNLP (Natural Language Processing: 自然言語処理) タスクとアプリケーションの基礎を形成します。
- ▶ **生成AI**は、一方、新しいコンテンツを自律的に作成するより広範なカテゴリーのAIシステムを表します。特にGPT-3のようなLLMは、生成AIの強力な例です。これらのモデルは、テキスト、画像、音楽などを生成できます。たとえば、アーティストは、GPT-3を使って創造的な執筆のためのヒントやストーリー全体の下書きを作成することができます。さらに、生成AIは、マーケティングのためのコンテンツ生成、顧客サポートのためのチャットボット、さらにはテキストによる説明からリアルな画像を生成することにも応用されています。

これらの概念の出現により、2023年のAIの状況は一変しました。人間のようにテキストを理解して生成する能力とその多用途性は、業界全体で無数の実用的な用途につながっています。これらの進歩がエッジコンピューティングにどのような影響を与えたかについては、次のセクションで説明します。

## AIとエッジコンピューティング：相乗効果のある革命

AIは、エッジコンピューティングの導入と進歩における大きな触媒です。実際、自動運転車からスマートシティ、予知保全から拡張現実アプリケーションに至るまで、著名なエッジコンピューティングのほとんどは、AIの進歩によって直接促進されています。

AIとエッジコンピューティングの相乗効果は、業界を再構築し、分散システムの可能性を最大限に引き出しています。この変革的な提携は、単にデータをソースに近いところで処理するだけではありません。エッジオーケストレーションからデータセキュリティ、収益化、さらには生成AIの創造的なアプリケーションに至るまで、さまざまな側面でエッジコンピューティングを強化します。

**生成AI**は、この章の前半で説明したように創造的な能力で知られるAIのサブセットであり、エッジコンピューティングへの応用が見出されています。生成AIを活用することで、エッジデバイスはテキスト、画像、さらには音楽などのコンテンツを自律的に生成できます。コンテンツ作成業界では、この技術により、マーケティング資料、製品説明、アートなどの創造的な資産の生成を合理化し、加速します。生成AIがエッジにおいてその場でコンテンツを作成する能力は、イノベーションと効率性への新たな道を開きます。

**エッジオーケストレーション**はエッジコンピューティングの重要な側面であり、エッジデバイスの多様なネットワークを効率的に管理および調整することが求められます。AIは、オーケストレーションプロセスの最適化において極めて重要な役割を果たします。エッジデバイス上で実行されるAIアルゴリズムは、リソースの割り当て、タスクの優先順位付け、データフローの管理をすべてリアルタイムでインテリジェントに行うことができます。これにより、待ち時間が短縮されるだけでなく、重要なタスクが迅速に実行されるようになります。たとえば、スマートシティ環境では、AIがリアルタイムの交通データに基づいて信号機を調整し、渋滞を緩和し、輸送効率を向上させることができます。

**エッジにおけるデータセキュリティ**も最大の懸念事項であり、AIは強力な守護者となっています。AIを活用した異常検出は、ネットワークトラフィックとデバイスの動作を継続的に監視し、セキュリティの脅威をリアルタイムで特定して対応します。製造業では、AIがサイバー攻撃の兆候となる可能性のある異常なデバイスの動作を検出し、リスクを軽減するための即時対応を指導することができます。AIを活用したセキュリティ対策の統合により、エッジでの機密データの機密性と完全性が保証されます。

**エッジ可観測性**も、AIによって加速される最新のエッジシステムの礎石です。これには、リアルタイムの監視、データ分析、能動的な問題検出が含まれ、エッジデバイスの信頼性の高い動作を保証します。AIはエッジの可観測性に革新的な機能をもたらし、エッジインフラストラクチャーの管理および維持方法を再定義します。リアルタイム監視では、AIアルゴリズムがセンサーやデバイスからの膨大なデータストリームを分析します。たとえば、AIは製造中の機械に温度の急上昇や異常な振動などの異常がないかを監視し、タイムリーなメンテナンスを行います。AIの予測分析では、過去のデータを活用して潜在的な問題を予測します。データセンターでは、AIが冷却システムの故障を予測し、過熱やサーバーの損傷を防ぐことができます。

AIを活用した洞察と最適化により、エッジコンピューティングの収益化がより実現可能になりました。AIはエッジで生成されたデータを分析して、貴重なトレンド、消費者の行動、予測分析を明らかにすることができます。このデータ主導のインテリジェンスは、企業がより効果的な意思決定、ターゲットを絞ったマーケティング、および新しい収益源の創出に活用できます。たとえば、小売業者は、AIを活用して顧客の行動をエッジで分析し、顧客満足度を高め、売上を促進するパーソナライズされたショッピング体験を提供できます。

まとめると、AIは単にエッジコンピューティングを加速するだけでなく、エッジコンピューティングを変革します。エッジオーケストレーション、エッジにおけるデータセキュリティ、エッジの可観測性、および生成AIの創造的な可能性はすべて、AIが大きな影響を与えている分野です。AI技術が進化し続けるにつれて、エッジコンピューティングとの統合がさらに強化され、よりインテリジェントで安全で収益性の高いエッジソリューションが実現されることが期待できます。今後数年間で、AIとエッジコンピューティングのこの相乗関係がさらに加速すると予想されます。

## エッジデータとシステムの保護

今日のデジタル環境では、データセキュリティを後回しにすることはできません。これは、データが生成中、転送中、保管中、または使用中であるかどうかに関係なく、最も重要な懸念事項でなければなりません。自動運転車に代表されるように、データ侵害の影響は広範囲に及びます。たとえば、自動運転車はナビゲーションのためにさまざまなカメラからのデータに大きく依存しています。悪意のある攻撃者がこのデータにアクセスすると、壊滅的な影響が及ぶ可能性があります。同様に、公共安全に重点を置いたプロジェクトでは、カメラが重要なインフラを精査し、潜在的な脅威がないか調べます。生命に不可欠な情報やビジネスに不可欠な情報の重要性を考慮すると、データセキュリティはこれらの状況でも同様に重要です。

エッジにおけるデータセキュリティを区分するのは、ネットワークを出入りするデバイスの信頼性、さまざまな段階を通過するデータ自体の信頼性、および多様なネットワークにわたるノード間の安全な通信という3つの重要な側面です。エッジコンピューティングのパラダイムが進化するにつれて、これらの側面は、システムを改ざんや不正アクセスから保護する上で最も重要になります。データ侵害の影響は、自動運転車や監視システムなどのシナリオにおいて、結果を変える可能性のあるデータ操作を可能にしてしまいます。

データセキュリティに焦点を当てる基本的な理由の1つは、エッジの設置場所が、塀やゲートなどの従来の物理的セキュリティ対策では不十分な遠隔地にある可能性があるという単純な事実により、侵害に対してより脆弱である可能性が高いことです。したがって、許可された当事者のみがアクセスできるようにデータをエンコードする暗号化技術の使用は、有望なソリューションを提供します。暗号化により、復号キーをネットワークから切り離しておくことで、送信中に傍受された場合でもデータの安全性が確保されます。

エッジアプリケーションが拡大し続ける中、ネットワーク、デバイス、データの信頼を確立することは、データのセキュリティと信頼性にとって極めて重要です。認証機構は、データとデバイスの正当性を検証することで信頼を促進します。暗号化と認証に加えて、AIはエッジセキュリティの強化において重要な役割を果たします。AIシステムは、信頼できる過去のデータセットに対して新しいデータを分析し、侵入を示す可能性のある異常を検出できます。これは、AIが動作とインフラストラクチャーの状態の両方の逸脱を特定できる公共安全プロジェクトやインフラストラクチャーの監視において特に価値があります。



エッジにおけるデータセキュリティの重要性は、自動運転車やスマートトラクターのアプリケーションで特に顕著です。ビデオやLiDAR（Light Detection And Ranging）データなど、これらのシステムによって生成されたデータは、エンドポイントからローカルストレージや処理を行うエッジデバイスへの転送中に保護する必要があります。エッジデータに対する脅威は、搭載されているデータの操作から不正デバイス制御、サービス拒否攻撃まで多岐にわたります。これらのシステムの複雑さと相互接続を考慮すると、デバイスの信頼を確立し、ナビゲーションと制御を担当するハードウェアとファームウェアが本物であることを保証することが不可欠になります。

エッジにおけるデータセキュリティは、革新的なソリューションが求められる重大な懸念事項です。暗号化、認証、AIによる異常検出は、データの整合性を保護するために不可欠な要素です。自律技術とエッジコンピューティングが進化し続ける中、相互接続が進む世界において、データの完全性と信頼性を保護するには、データセキュリティに対する能動的なアプローチが不可欠です。

## エッジAIにおける半導体の役割

進化し続けるエッジコンピューティングの世界において、半導体はデータの処理方法や使用方法を再構築する上で基本的な役割を果たしています。半導体ベンダーは、エネルギー効率、リアルタイム処理、AI機能に重点を置き、この変革の旅の最前線に立っています。このセクションでは、GPU、TPU、スマートNICなどの専用ハードウェアの必要性と、主要な半導体ベンダーの貢献について説明します。

### なぜエッジAIに特化したハードウェアが必要なのか？

エッジコンピューティングは、限られたリソース、厳しい電力制限、リアルタイム処理の要求を特徴とする独特の環境で動作します。従来のCPUだけではこれらの要件を満たすことができないことがよくあります。このギャップを埋めるには、GPU、TPU、スマートNICなどの特殊なハードウェアアクセラレータが不可欠です。ここでは、主要なコンポーネントとその機能をいくつか紹介します。

- ▶ **グラフィックス プロセッシング ユニット (GPU : Graphic Processing Unit)** : もともとグラフィックスのレンダリング用に設計されたGPUは、強力なAIアクセラレータに進化しました。並列処理に優れているため、エッジデバイスでのAIトレーニングと推論に最適です。これらは、エッジでのAIワークロードの性能と効率を大幅に向上させます。
- ▶ **テンソル プロセッシング ユニット (TPU : Tensor Processing Unit)** : TPUは、Googleが開発したカスタム設計のAIアクセラレータです。TPUはAI推論用に最適化されており、消費電力を最小限に抑えながら優れた性能を提供します。TPUは、電力制約が厳しいエッジデバイスに最適であり、効率的なAI処理を保証します。
- ▶ **ネットワーク インターフェイス カード (スマートNIC)** : スマートNICはAI処理機能を備えたネットワークカードです。これらは、エッジデバイスからAIタスクをオフロードし、遅延を削減し、ネットワーク効率を向上させる上で重要な役割を果たします。これは、低遅延が重要視される自動運転車や産業用IoTのAIアプリケーションにとって特に価値があります。
- ▶ **ニューラル プロセッシング ユニット (NPU: Neural Processing Unit)** : NPUは、ニューラルネットワークの計算を効率的に実行するように設計された特殊なハードウェアアクセラレータです。NPUは推論やトレーニングなどの処理に最適化され、高い並列処理と低消費電力を実現しており、エッジコンピューティングのAIワークロードに最適です。

半導体ベンダーは、ソフトウェアベンダー、クラウドサービスプロバイダー、通信サービスプロバイダーなどと同様に、エッジコンピューティングエコシステムの形成において基礎的な役割を果たしています。彼らは単にチップを製造しているだけではありません。エッジAIソフトウェアが実行されるハードウェアプラットフォームも定義しています。AIワークロードに最適化された専用のハードウェアとプラットフォームを開発することでイノベーションを推進し、エッジデバイスが複雑なタスクを効率的に実行できるようにします。

半導体業界の主要企業は、エッジコンピューティングの進歩において目覚ましい進歩を遂げています。たとえば、NVIDIAはAI加速の原動力です。そのGPUは、エッジデバイスでのAIトレーニングと推論にとって極めて重要であり、リアルタイムAI処理を可能にします。例として、エッジのAI用NVIDIA Jetsonシリーズは、ロボット工学や自動運転車などのアプリケーションを実現します。ARMのCortex-MおよびCortex-Aプロセッサは、エッジデバイス向けのエネルギー効率の高いコンピューティングソリューションを提供し、IoTおよびモバイルアプリケーションに最適です。これらにより、さまざまなAIワークロードに対してスケラブルなコンピューティング機能が可能になります。IntelのCPU、FPGA、およびNervanaニューラルネットワークプロセッサなどの新しいAIアクセラレータは、エッジにおけるAIの限界を押し広げています。エッジデバイスに多用途のソリューションを提供し、AI機能のシームレスな統合を促進します。RyzenやEPYCを含むAMDのプロセッサは、エッジデバイスのAIワークロードに競争力のあるコンピューティングパワーを提供します。彼らは、エッジコンピューティングソリューションのエコシステムの成長に貢献しています。

半導体ベンダーと独立系ソフトウェアベンダー（ISV：Independent Software Vendors）は、エッジAI市場において共生関係にあります。半導体ベンダーはAIに最適化されたハードウェアを開発し、ISVはこのハードウェアを活用するAIソフトウェアソリューションを開発します。このコラボレーションにより、シームレスな統合が保証され、エッジでのAIの可能性が最大化されます。

まとめると、半導体はAIをエッジコンピューティングの領域に推進する触媒です。半導体ベンダーは単なるメーカーではありません。彼らはエッジAIプラットフォームのアーキテクトであり、エッジデバイスがAIタスクを効率的に実行できるようにする専用のハードウェアを設計します。エッジコンピューティングにおけるAIの役割が拡大し続けるにつれて、これらの半導体リーダーによって推進されるイノベーションも拡大し、よりスマートでより接続されたエッジコンピューティング世界への道が切り開かれるでしょう。

## 第3章

# ネットワークキング とエッジ

この章では、ネットワーキングとエッジコンピューティングの間の高度な相乗効果に焦点を当てます。エッジコンピューティングでは、データの生成地点に近いところで処理が行われるため、ネットワーキングは、エッジコンピューティングノードから中央集中インフラストラクチャーまでのシームレスな通信を確保する上で重要な役割を果たします。ここでは、5G、ソフトウェア定義ネットワーク（SDN：Software Defined Networking）、サービスメッシュ、セキュアアクセスサービスエッジ（SASE：Secure Access Service Edge）など、エッジコンピューティングをサポートする最新のネットワーキング技術を解説します。

## ステークホルダーと力学

エッジコンピューティングの主な利点は、データを遠くまで移動する必要がない、またはまったく移動する必要がないことです。それでも、断続的または継続的に、ネットワークはエッジデバイス、ゲートウェイ、サーバー、およびアプリケーションを、集中管理された場所にあるクラウドまたはサーバーに接続します。

ネットワーク環境は、クラウド環境よりも均質ではありません。Flexeraの「2023年クラウドの現状（2023 State of the Cloud）」レポートの統計を見ると、回答者750名のうち50%以上が複数のクラウドを使用し、37%が複数のパブリッククラウドと複数のプライベートクラウドを使用しています。<sup>1</sup>

レポートによると、マルチクラウドの最も頻繁な使用は、サイロ化されたアプリケーション、災害復旧（DR：Disaster Recover）またはクラウド間のフェイルオーバー、およびワークロードのモビリティに関連しています。マルチクラウドのアーキテクチャパターンから得られる主な点は、ワークロードは本質的にすでにある程度分散されており、複数のネットワーク（もしくは、クラウドネットワークサービス）がそれらを結び付けるということです。ますます異種混合かつ複雑になるネットワーキング環境は、ITプロフェッショナルにとってすでに現実となっています。エッジコンピューティングの採用により、場所やネットワークの種類はさらに多様化するでしょう。

エッジサービス連続体の各層には、サービスを構築するためにツールボックスから取得できるデータ転送の幅広いモードがあります。エッジアプリケーションのネットワークコンポーネントは、多くの場合、複数のネットワークタイプを横断します。例としては次のものが挙げられますが、これらに限定されません。

- ▶ 制約付きデバイス エッジ：RFID、NFC、NB-IoT、LTE-M、LoRaWAN、SigFox、Bluetooth、WiFi
- ▶ スマート デバイス エッジ：5G、4G、WiFi、イーサネット
- ▶ オンプレミス データセンター エッジ：4G、5G、WiFi、イーサネット、低地球軌道（LEO）を含む衛星
- ▶ アクセス エッジ：4G、5G、光ファイバー、同軸ケーブル、衛星（LEOを含む）

この範囲のネットワークには、同様に広範囲のステークホルダーが含まれます。スタートアップと既存企業、半導体企業、ハードウェア企業とソフトウェア企業、ネットワークサービスプロバイダー（有線と無線の両方）、データセンタープロバイダー、クラウドサービスプロバイダーが大規模なエコシステムを形成しています。これらのステークホルダーは多くの場合協力しています。彼らはネットワーキングプロトコルと規制の標準の作成に取り組み、エッジエコシステムのニーズを促進するために協力することもあります。そしてもちろん、5Gやパブリックエッジクラウドサービスなどの分野で協力するための契約を結んでいるときでも、両者はしばしば競合します。

1 <https://info.flexera.com/CM-REPORT-State-of-the-Cloud-2023-Thanks#multicloud>

エッジ コンピューティング デバイスとネットワークの間関係を調べることは、トレンドを理解する上で不可欠です。エッジ コンピューティングで何が可能になるかを知るために、ワイヤレスの発展は特に興味深いものであり、クラウドとネットワークプロバイダーの関係の変化を明らかにします。

## 昨年 の主な動向と展開

エッジ環境に関連するネットワーキングの傾向を理解するために、対象範囲をパブリック エッジとプライベート エッジのセクションに分けます。

- ▶ プライベート エッジ クラウドは、単一の組織または団体によって所有、運用、保守されるコンピューティング インフラストラクチャーです。
- ▶ パブリック エッジ クラウドは、サードパーティのサービス プロバイダーによって提供および管理され、複数の組織やユーザーがアクセスできるコンピューティング インフラストラクチャーです。これは、さまざまな地理的場所に戦略的に配置されたエッジ ノードの分散ネットワーク上に構築されています。

## ネットワーキングとパブリック エッジ クラウド

クラウドとネットワーク間の結びつきは、エッジ コンピューティングの導入の進捗状況を測定するのに役立ちます。最大手のクラウド サービス プロバイダー（CSP：Cloud Service Provider）を例に挙げると、AWS、Microsoft Azure、Google Cloud は、米国の複数の都市でのパブリック MEC を含むさまざまなエッジ サービスを提供しています。ネットワークとの提携を進めるにつれて、CSP のヨーロッパ、APAC 諸国、その他の世界への地理的拡大が進行しています。

ネットワーク サービス プロバイダー（NSP：Network Service Provider）の観点から見ると、多くの企業がリスクを回避しています。たとえば、Verizon の 5G Edge は AWS の Wavelength Zone を提供していますが、Verizon は Microsoft Azure のクラウド サービスとも連携しており、Google Cloud との連携も計画しています。

2023 年のネットワーク サービス プロバイダーとクラウド サービス プロバイダーの間の最近の展開と提携には次のようなものがあります。

- ▶ BT と AWS はさまざまな分野向けに IoT ソリューションと MEC サービスを共同で開発しています。BT は AWS のチャネル パートナーとして記載されており、AWS クラウドおよび分析アプリケーションを自社のコア接続サービスとともに再販および管理します。
- ▶ T-Mobile は、Google Distributed Cloud Edge を搭載した 5G Advanced Network Solution を提供しています。
- ▶ Microsoft Azure Partnership

これらの例は、進化する状況のほんの一部にすぎません。より多くの場所でネットワークおよびクラウド サービスが提供されるというテーマがある一方、提供内容や戦略の細かな部分はエンタープライズ市場向けの GTM 戦略に基づいて異なります。

NSP と CSP のアナウンスは、さまざまなカテゴリーに分類できます。パートナーシップによっては、パブリックエッジクラウドサービスに焦点を当てています。たとえば、NSP の周波数割り当てや、低周波 5G のネットワークから建物への速度とカバレッジの組み合わせを提供する能力など、影響を受ける可能性があります。パートナーシップの開発でよくあるカテゴリーは、プライベートワイヤレス 5G サービスのみに関するものですが、その他のカテゴリーでは、パブリックネットワークとプライベートネットワークを組み合わせ、統合したユースケースに取り組んでいます。

### エッジネットワークとクラウド：クラウドと通信の軸を超えて

ネットワークとエッジクラウドの連携は、ハイパースケールクラウドプロバイダーや既存の NSP にとどまりません。CDN プロバイダーは、サービスとしてのエッジ機能を超えてエッジデータベースなどの領域に移行し、ステートフルアプリケーションをネットワークエッジで実行できるように、戦略とサービスを進化させています。たとえば、Cloudflare は、Workers のエッジ機能製品と組み合わせた SQLite データベースサービスがあり、ステートフルアプリケーションを構築したい開発者向けに Macrometa および Fauna とも提携しています。Akamai と Macrometa の提携には API と SDK の統合が含まれていますが、戦略的関係にも拡張されており、Akamai は 2022 年に同社に投資しています。

一部の企業は、中央集中のハイパースケールクラウドとエッジクラウドの間のギャップを分散型クラウドサービスで埋めています。たとえば、Akamai は、Linode 買収に基づくサービスである Connected Cloud を導入しました。

### ネットワーキングとプライベート エッジクラウド

エッジコンピューティングは、通信業界の MEC 規格により 5G と密接に関連しているのみならず、プライベートエッジはクラウドと同様に重要な機会となる可能性があります。パブリック 5G サービスと同様に、プライベート 5G もその勢いに追いつく過程にあります。

Dell'Oro Group の市場調査によると、プライベートワイヤレスネットワークの普及はアナリストの予想よりも遅れています。アナリストは過去 12 か月間に、従来の広域プライベート無線セグメントの予測を 2 度下方修正しました。この予測にかかわらず、スモールプライベートセル向け RAN の収益予測は依然として 2027 年までに 10 億ドルを超えると予想されています。2022 年から 2027 年にかけてプライベート無線 RAN の総収益（広域およびスモールセルを含む）が年平均成長率（CAGR）24% で着実に増加すると予測しています。

Walmart は、店内医療サービスや在庫管理を含むさまざまな小売サービスに先進技術を活用することに小売業者として関心があることを示している。報道されている Verizon と Walmart の合意には、万引きや在庫切れをスキャンするカメラに電力を供給するために、一部の Walmart 店舗に Verizon の 5G 送信機を設置することが含まれている。さらに、Walmart はこのサービスを利用して、買い物客と医師とのリモート診療、処方箋の追跡、補充などの医療サービスを結びつけることに興味を持っています。

### 5G とエッジコンピューティングが交差するユースケース

小売業や運輸業などの多くの業界は、エッジコンピューティングと 5G テクノロジーの相乗的な組み合わせによって可能になるユースケースから恩恵を受けています。このサブセクションでは、これらの業種とユースケースのいくつかを見ていきます。

### 小売

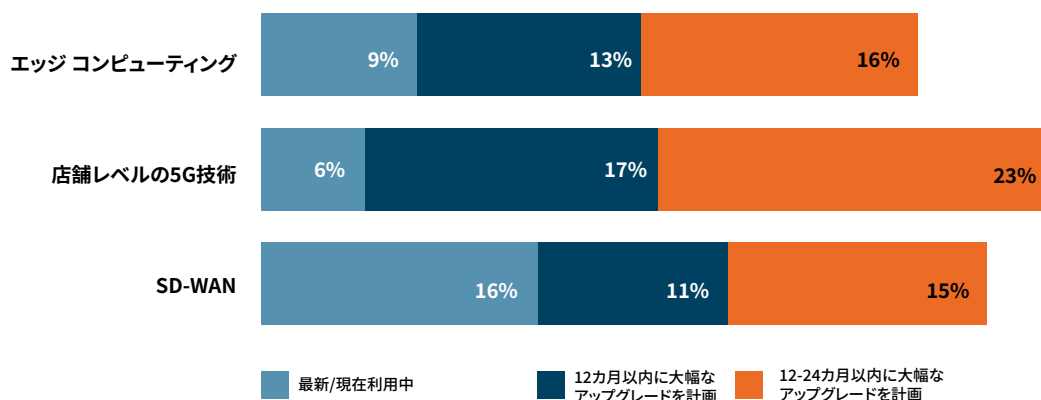
食料品店から専門店 / デパート、ガソリンスタンドに至るまで、小売店はエッジ コンピューティング、特にハイパー コンバージド インフラストラクチャーのベンダーにとって重要な市場として浮上しています。小売業者は、数百または数千の店舗を長距離にわたって展開している場合があります。ビジネスを正確に把握するには、さまざまな場所からデータ（販売、在庫、物流など）を収集する必要があります。夜間や週単位のバッチ処理ではなく、リアルタイムでデータを収集することで、意思決定をより適切に導くことができます。

より強力なエッジ コンピューティング インフラストラクチャーと 5G の組み合わせに影響を与える市場動向には、次のようなニーズが含まれます。

- ▶ デジタル サイネージや従業員教育など、帯域幅を大量に消費するビデオ アプリケーションの管理。
- ▶ コンピューター ビジョン (Amazon Go などのデジタル ファーストの「非接触型」小売店の在庫および支払いシステム用)、顧客トラフィック分析、店舗セキュリティのためのビデオ監視などの AI アプリケーションのためのオンサイト データ処理。
- ▶ 店内接続 (Wi-Fi を含む) のためのネットワーク帯域幅とセキュリティ、クラウド ベースの POS ソフトウェアへの接続、在庫システムやモバイル支払い端末用のセンサーなどのより多くの IoT デバイスのサポート。
- ▶ 拡張現実などのテクノロジーを活用した店内体験の強化。
- ▶ 「ダーク ストア」- 既存の空き小売不動産を利用してオンライン ショッピングや配送サービスをサポートする店舗。

小売業者は、これらの機能を追加することに課題を抱えています。それは、多くの場合、オンサイトの IT サポートの不足です。システムを設置できるスペースは限られていることが多く、熱や汚染物質のある場所でシステムが稼働することがよくあります。その結果、データセンターのサーバーとは異なるシステム設計が必要となり、セルフプロビジョニングやリモート管理も必須となります。

### 新技術の購入計画



出典：2023 STORE EXPERIENCE STUDY (RIS NEWS AND IHL GROUP)

IHL Group と RIS が実施した「2023 年の店舗体験調査 (The 2023 Store Experience)」では、269 の小売業者を対象に、新興技術の購入計画について調査しました。<sup>2</sup> 5G とエッジ コンピューティングの導入率は現在、それぞれ 6% と 9% です。小売業者が今後 12 か月以内に 5G およびエッジ技術の大幅なアップグレードを計画しているため、この数字は 17% と 13% に増加すると予想されます。

エッジ コンピューティングは今後 2 年間で小売業者の 38% に採用されると予想され、5G は同じ期間で小売業者の 46% が採用すると予想されています。

注目すべき重要なことは、小規模小売業者と大規模小売業者の両方が技術をうまく活用して、技術に投資していない小売業者よりも早くビジネスを成長させているということです。報告書の調査結果によると、「リーダー」(2022 年に売上高が 15% 以上伸びた企業) は、導入曲線で後れを取っている他の企業と比べて、新興技術の導入率が 56% 高いことを示しています。

### 陸上輸送

わずか 5 年前を振り返ると、初期の 5G 導入が世界中で進み始めたときで、自動運転車が 5G とエッジ コンピューティングのユースケースとして頻繁に引用されました。車両の近くで高速ネットワークとコンピューティング サービスを使用することによって提供される低遅延とコンピューティング能力は、将来の無人交通システムに不可欠であると考えられています。しかし、技術と規制の協調的な開発が必要なため、そのようなシステムが実現されるのはまだ遠い将来のことです。

その間に、両者を組み合わせた技術の、より現実的な見方が明らかになり、安全性と効率については、まだ多くの改善が必要です。ユースケースの例は次のとおりです。

**ドライバーの安全性：**5G とエッジ コンピューティングを使用した車と車の間 (V2V：Vehicle-to-vehicle) 通信では、たとえば 2 車線の道路でトラックの周囲を通過するのが安全かどうかを判断したり、道路上の危険 (立往生した車など) がどこにあるかに関する具体的な情報を提供したりするために、ビデオやその他の情報を中継することができます。このデータをドライバーは使用することができます。

**スマートシティ交通管理：**標準ベースのエッジ プラットフォームと 5G により、車両と都市インフラが車両の位置、信号のタイミング、道路状況などの情報を共有し、交通管理を最適化できます。ローミング シナリオでは、複数の技術と複数の NSP プロバイダーが関与する実験が数多く行われています。ただし、実際の展開はまだ数年先になる可能性があります。

**ドライバーの安全性とスマートシティの使用例に関する実際のテストの例：**2023 年、米国初のスマートシティの 1 つとして称されているジョージア州ピーチ ツリー コーナーズでは、公道での接続を拡大し、道路の安全性と交通効率を高めるためのセルラー車両間通信 (C-V2X：Cellular-Vehicle-to-everything) 展開で Audi と提携すると発表した。ジョージア州ピーチ ツリー コーナーズは、Curiosity Lab イノベーションセンターを運営しており、米国の都市で導入された初のフル C-V2X システムを利用する取り組みに関連する、多数のテクノロジー ベンダー、自動車メーカー、その他の都市の代表者を含むパートナー エコシステムを宣伝しています。

2 <https://risnews.com/store-experience-study-2023>



米国外では、欧州連合（EU）の第5世代国境越管理（European Union's Fifth Generation Cross-Border Control）イニシアチブの一環として、異なる国の車両間でのシームレスなデータ交換という課題に取り組んでいます。NSPとテクノロジーベンダーは、ドイツとフランス、およびドイツとルクセンブルクの国境で5G通信を実証しました。この技術は、モバイルエッジコンピューティングクラウドインフラストラクチャーと予想協調衝突回避（ACCA: Anticipated Cooperative Collision Avoidance）サービスを活用して、道路上の危険を検出し、接近する車両に事前に警告します。このシステムは、車両が国境を越える場合でも、緊急ブレーキなどの危険な運転操作を回避することを目的としています。

### 海上輸送

海上輸送・物流企業は、テクノロジー企業と提携し、エッジコンピューティング、人工知能（AI）、5Gを活用して海上貨物サービスの効率を高めるスマートポートソリューションを開発しています。

港湾業務には、貨物や船舶の交通管理、非効率的なスペース利用、手作業による報告プロセスなど、非効率性とリスクがあり、安全上の問題やサプライチェーンの混乱につながる可能性があります。スペインのビーゴ港で行われた最近のNSPとテクノロジーベンダーのコラボレーションでは、コンピュータービジョン、IoTセンサー、機械学習を組み合わせ、到着から出発まで貨物を監視することに焦点を当てており、これらはすべてプライベートおよびパブリックの5G無線ネットワークによって促進されました。

企業は、LiDAR技術とカメラを使用して陸上交通を管理し、渋滞を検出しています。別のテストには、高解像度カメラとエッジAIを搭載したドローンの使用が含まれており、許可されていないボートや人、ウォーターハザードなどの安全上の問題の検出を支援します。

### 性能を超えて：セキュリティの強化が5Gユースケースの鍵

5Gの遅延と帯域幅の利点は、これらのユースケースの多くを実現しますが、人命が危険にさらされることを考慮すると、4Gに対する5Gネットワークのセキュリティ強化を見逃さずべきではありません。主な機能強化には次のようなものがあります。

- ▶ **暗号化**：4Gの128ビット標準と比較して256ビット暗号を使用することに加えて、5Gネットワークは、認証プロセス中にユーザーのIDと位置を暗号化します。
- ▶ **認証の改善**：5Gでは認証情報に物理SIMカードが必要なく、デバイスには一意の識別子を取得します。しかし、e-SIMのセキュリティはモバイルプロバイダーのセキュリティ手順に多少依存します。5G標準には、広く使用されている既存のIETFプロトコルに基づいて構築された統一認証フレームワークがあり、事前共有キー、証明書、トークンなどのサポートによって保護されます。
- ▶ **ネットワークスライシング**：5Gのネットワークスライシングにより、分離された仮想ネットワークの作成が可能になります。1つの仮想ネットワークに影響を与える侵害が、他のすべてのスライスに影響を与えとは限りません。ネットワークスライシングは、仮想ネットワークをまたがった不正アクセスの防止にも役立ちます。

スマートポートまたはスマートシティ展開における暗号と認証に対するこれらの機能強化は、デバイスのハッキングを困難にすることでセキュリティの向上に役立ちます。デバイスが侵害された場合でも、ネットワークスライシングを使用すると、攻撃者がネットワークの別の部分に移動して攻撃を激化することが困難になります。

## 5G はどのようにエッジ コンピューティングをサポートできるか？

5G ネットワークの低遅延と高帯域幅は、エッジ コンピューティング アプリケーションをサポートする特性としてよく挙げられますが、開発者はネットワークへのアプリケーションの展開を制御する方法を必要としています。GSMA は 2023 年に、開発者にオペレーター ネットワークへの「ユニバーサル」アクセスを提供することを目的として、アプリケーション プログラマブル インターフェイス（API：Application Programmable Interfaces）のフレームワークを立ち上げました。GSMA Open Gateway は、オープン API を通じて業界でサービスを提供する方法を標準化することを目的としています。この取り組みは 32 社のモバイル ネットワーク事業者の支援を受けています。

API の最初のリストには、エッジ サイトの選択やルーティングなどのエッジ関連 API が含まれており、自動運転車のサポートに使用できます。もう 1 つは QoS（オンデマンドのサービス品質：Quality of Service on Demand）で、ドローン、ロボット工学、仮想現実、没入型オンラインゲームに使用できる可能性があります。

業界はこれまで、開発者がネットワークとエッジ コンピューティング サービスの API を使用して、ネットワーク全体で「一度作成すれば、どこにでも展開できる」ようにしようと試みてきました。新しい収益を生み出すサービスを可能にするネットワークのプログラミングは、GSMA、TM Forum、ETSI、3GPP などの業界団体が取り組んできた長年の目標です。これまでの取り組みには通信会社の資金提供と参加がありましたが、スタートアップはこれまで商業的な牽引力を得るのに苦労してきました。

GSMA と参加サービス プロバイダーが今回は少し異なる道を追っていることに注意することが重要です。この作業は、Linux Foundation 内のオープンソース プロジェクトである CAMARA で定義され、公開されています。「CAMARA - The Telco Global API」プロジェクトは、通信ネットワークの複雑さを簡素化する API の定義、開発、テストを目的としています。Linux Foundation は GSMA と協力して、通信ネットワークや国を超えたシームレスなアクセスを可能にする、オープンでグローバルかつアクセス可能な API ソリューションを作成しています。この動きは、通信業界団体だけにとどまらず、クラウドに重点を置いた開発者の注目を集めるのに役立つ可能性があります。

## サービス メッシュの出現とエッジ コンピューティングへの影響

ここ数年、私たちはマイクロ サービス ベースのアプリケーションとコンテナ化技術の出現を目の当たりにしてきました。マイクロ サービス技術の出現は、ソフトウェア開発とアーキテクチャにおけるパラダイム シフトを表しています。マイクロ サービスは、アプリケーションを小さな独立したサービスの集合として構造化するアーキテクチャのスタイルで、それぞれが独自のプロセスで実行され、軽量メカニズムを通じて、多くの場合 HTTP API により通信します。

サービス メッシュ技術は、分散アプリケーション内のマイクロサービス間の通信を管理するように設計されています。サービス メッシュ技術とエッジ コンピューティングは、さまざまな形で交差し、相互に補完しあっています。この 2 つの技術は、最新の分散アプリケーションで重要な役割を果たしており、それらの技術を組み合わせることで、エッジ ベースのサービスの性能、セキュリティ、信頼性を向上させることができます。

市場で最も著名なサービスメッシュ技術を以下にまとめます。

- ▶ **Istio**：最も人気があり広く使用されているオープンソースによるサービスメッシュの1つである Istio は、トラフィック管理、セキュリティ、可観測性などの高度な機能を提供し、Kubernetes やその他のコンテナ オーケストレーション プラットフォームと連携するように設計されています。
- ▶ **Linkerd**：シンプルさと軽量さで知られる Linkerd は、最小限のオーバーヘッドで重要なサービスメッシュ機能を提供することに重点を置いています。これは、使いやすいサービスメッシュソリューションを求めている組織にとっては良いオプションです。
- ▶ **Consul**：Consul は主にサービス検出ツールですが、サービスメッシュ機能も組み込まれています。HashiCorp によって開発された Consul は、サービス間通信、トラフィック管理、セキュリティ機能を提供するサービスメッシュとして使用できます。
- ▶ **Envoy**：Envoy は主に高性能プロキシですが、サービスメッシュアーキテクチャのデータプレーンとしてよく使用されます。Istio や Linkerd などの管理プレーンと組み合わせて、完全なサービスメッシュソリューションを構築できます。

## ゼロトラスト ネットワーキングとエッジ コンピューティング

SDN が多くのエッジコンピューティング展開の重要なコンポーネントであるならば、ネットワークセキュリティはエッジコンピューティング環境におけるあらゆる形式の SDN と密接に連携する必要があります。ネットワークにセキュリティを組み込む必要があると説得する必要がある人は、米国政府機関がサイバーセキュリティに重点を置いている点を考慮してください。

たとえば、2022 年の重要インフラに関するサイバーインシデント報告法（The Cyber Incident Reporting for Critical Infrastructure Act）では、「重要なプロバイダー」は、大規模なサイバー攻撃から 72 時間以内、または身代金の支払いから 24 時間以内に米国サイバーセキュリティ社会基盤安全保障庁（CISA：Cybersecurity and Infrastructure Security Agency）に警報を伝えることを求めています。影響を受ける業界には、運輸、エネルギープロバイダー、公益事業、病院、銀行などが含まれます。

その他の自主的な推奨事項は、「サイバーセキュリティフレームワーク（CSF：Cyber Security Framework）」を発行した米国国立標準技術研究所（NIST：National Institute of Standards and Technology）などの機関から出されています。

NIST CSF は、組織がサイバーセキュリティのリスクと潜在的な影響についてコミュニケーションするための共通言語を提供し、その言語の多くはゼロトラストフレームワークに基づいて構築されています。たとえば、「NIST サイバーセキュリティ実践ガイド（Cybersecurity Practice Guide）」には、ゼロトラストアーキテクチャを実装するために必要な実践的な手順が記載されています。

ゼロトラストは、John Kindervag 氏が、Forrester Research に在籍していた 2010 年に、発案した概念です。

ゼロトラストモデルでは、IT環境は「決して信頼せず、常に検証する」セキュリティ体制を前提としています。ITシステムは次のような原則に従う必要があります。

- ▶ 強力な ID 認証を使用して、安全な方法でデータやアプリケーションへのアクセスを許可します。
- ▶ ユーザーが使用する必要のないリソースにアクセスできないようにすることで、アクセス許可を厳密に制御します。
- ▶ 環境を監視および管理して、デバイスが侵害されておらず、ソフトウェアが更新されていることを確認します。
- ▶ ネットワークトラフィックを継続的にログに記録して検査し、ユーザーとデバイスがポリシーに準拠していることを確認します。
- ▶ データフローを地図化し、ネットワークをセグメント化して、ハッカーがより高いアクセス権限を持つシステムに移動することを困難にします。

### セキュア アクセス サービス エッジ (SASE) テクノロジー フレームワーク

ゼロトラストがセキュリティへのアプローチを定義するのに対し、Gartner のセキュア アクセス サービス エッジ (SASE : Secure Access Service Edge) とセキュリティ サービス エッジ (SSE : Security Service Edge) はどちらも、最新のネットワークを構築するためのアナリスト企業のビジョンを説明するセキュリティモデルであり、同時にベンダーが SASE または SSE プロバイダーとして位置づける市場環境を定義しています。

SASE は、ネットワークセキュリティとワイドエリアネットワーク (WAN : wide area networking) 機能を単一のクラウドベース サービスに組み合わせた包括的なモデルです。安全で最適化されたネットワークアクセスを提供するように設計されています。

Gartner は SASE を次のように定義しています。「セキュア アクセス サービス エッジ (SASE) は、SD-WAN、SWG、CASB、NGFW、ゼロトラストネットワークアクセス (ZTNA) などの統合されたネットワークとセキュリティをサービス機能として提供します。SASE は、ブランチ オフィス、リモートワーカー、オンプレミスの安全なアクセスのユースケースをサポートします。SASE は主にサービスとして提供され、リアルタイムのコンテキスト、セキュリティ、コンプライアンス ポリシーと組み合わせて、デバイスまたはエンティティの ID に基づいたゼロトラストアクセスを可能にします。」

一方、2021 年に Gartner によって導入された SSE は、専用のクラウド プラットフォームから提供されるネットワークセキュリティサービスの統合として定義されています。SSE は本質的に、SASE のセキュリティコンポーネントから SD-WAN コンポーネントを除いたものです。SSE には、クラウドアクセスセキュリティブローカー、セキュア Web ゲートウェイ、および ZTNA がバンドルされています。

### エッジの保護：ゼロトラストは要件に適合するか？

エッジコンピューティングには、その性質上、デバイスの分散ネットワークが含まれます。場合によっては、これらのデバイスは従来のセキュリティ境界の外側に配置されます。また、デバイスが別のネットワーク上にある場合もあります。たとえば、工場の現場の運用技術システム（OT：Operation Technology System）専用のネットワークです。

ゼロトラストの導入に関する考慮事項には、次のようなものがあります。

- ▶ **識別子とアクセス管理**:エッジコンピューティング環境では、デバイスの数とネットワーク接続の動的な（または散発的な）性質により、継続的な認証と認可が複雑になります。
- ▶ **ネットワークセキュリティ**:エッジコンピューティングの展開には、パブリックネットワークとプライベートネットワークが混在するさまざまなネットワーク接続が含まれる場合があります。安全な暗号化された接続を管理することは、ネットワーク環境にゼロトラストを実装する場合の課題となります。
- ▶ **データとデバイスのセキュリティ**:保存データや転送中のデータの暗号化、その他のセキュリティ対策をエッジノードに実装することは、デバイスに堅牢なセキュリティ対策を実装するための処理能力が不足している場合に問題になる可能性があります。
- ▶ **スケーラビリティ**:ITシステムが集中制御システムを中心に構築されたネットワーク設計の原則に従ってのみ設計されている場合、エッジノードの数が増加するにつれて、この増加に対応するためにゼロトラストセキュリティ対策を拡張することは大きな課題となる可能性があります。
- ▶ **可視性と制御**:地理的な多様性とデバイス数が増加するにつれて、すべてのデバイス、ユーザー、およびネットワークトラフィックに対する可視性と制御も大規模になります。

ゼロトラストモデルとSASEやSSEなどの派生モデルの適用はエッジコンピューティングに有望ですが、目標を達成するのは困難です。それにもかかわらず、継続的検証と最小特権アクセスの原則は、エッジコンピューティングネットワークのセキュリティを大幅に強化できるため、ネットワーク設計で考慮する必要があります。

第4章

# 産業分野の エッジ

この章では、産業分野におけるエッジコンピューティングの変革的な影響を探ります。スマートファクトリーからコネクテッドインフラストラクチャーに至るまで、エッジコンピューティングが産業オートメーション、予知保全、リアルタイム監視にどのような革命をもたらすかを検証します。さまざまな業界のケーススタディを探り、エッジコンピューティング、AI、IoTの融合が産業環境の革新と効率をどのように推進しているかを紹介합니다。

## 導入

産業環境では、システムの大部分がオンプレミスに存在します。従来、産業エッジは、監視制御とデータ収集システム（SCADA：Supervisory Control and Data Acquisition）、製造実行システム（MES：Supervisory Control and Data Acquisition）、データヒストリアンなどのさまざまなシステムで構成されていました。産業用エッジ技術は、従来のオンプレミスの産業用ソフトウェアエコシステムに、独自仕様ではないプロトコルを使用して大量のデータを収集・処理できる新しい最新のシステム、センサー、クラウド対応アプリケーションを受け入れて統合する必要があります。機械学習をデータに適用することで、従来の産業用エッジ技術よりも迅速に洞察することができます。

産業用エッジコンピューティングの従来型と最新型はいずれも、中央集中クラウドやリモートデータセンターだけに依存するのではなく、データ生成のソースに近い産業ネットワークのエッジで、ローカルにデータを処理して分析します。これには、センサーやアクチュエーターなどのエッジデバイスと、エッジサーバーやゲートウェイなどのコンピューティングリソースを、工場、製造プラント、製油所などの産業環境内に直接展開することが含まれます。エッジコンピューティングの概念自体は、分析のために大量のデータを処理して中央集中クラウドサーバーに送信することに関連する制限と課題に対処することを目的としています。最新の産業用エッジは、オープンAPIへのアプローチ、他のシステム（および外部パートナー）とより簡単にデータを共有する機能、ローカルおよびクラウドのコンピューティング機能の進歩を活用してAI技術やML技術をデータ分析に適用する点で異なります。最終目標は、労働者と市民の安全に必要なセキュリティと精度を犠牲にすることなく、生産プロセスを改善することです。

データを中央のクラウドに送信して処理するのではなく、ネットワークのエッジでより高速に処理できるため、産業用エッジコンピューティングには**遅延の低減する利点**があり、予知保全や機械制御など、リアルタイムの応答を必要とするアプリケーションにとって重要です。サイバー攻撃の標的となる可能性のあるパブリックインターネットを経由する必要がないため、**セキュリティが向上**し、接続性が良好でない可能性のある遠隔地にエッジデバイスを展開できるため、**柔軟性が向上**します。

エッジコンピューティング市場は、今後数年間で大幅に成長すると予想されています。IDCによると、エッジコンピューティングの世界市場は2026年までに3,170億ドルに達すると予想されており、2022年から2026年にかけて年間平均成長率（CAGR）17.6%で成長すると期待されています。IDCによると、2023年のこの成長の主な要因は、生産資産管理、自律型運用、貨物監視などのユースケースです。

IDCの予測に加えて、Schneider Electric プロジェクトのレポートでは、インダストリー 4.0 には、大規模構成でエッジコンピューティングが必要とする新しいテクノロジーの提供が含まれると予測しています。この調査では、2025年までに世界中で754億のデバイスが接続され、2025年までに企業がAI/MLおよびロボティクスプロセスオートメーション技術に2,320億ドルを費やすことが予測されています。また、この調査では、企業は産業変革プロセスの実装に挑んでおり、プロジェクトの13%が実際の成果が得られずパイロット段階にとどまっていると報告しています。

754億

接続されるデバイス  
世界規模で2025年まで



の企業データ

2025年までにエッジで作成および  
処理されると予想

\$2,320億

企業が支出

2025年までに人工知能、機械学習、  
ロボティクス プロセス オートメー  
ション技術に



実際の成果もなく

13%がパイロット段階で  
「行き詰まっている」

産業変革プロジェクトを実施している企業の72%は、  
まだ定義段階またはパイロット段階にあり、このうち

出典：SCHNEIDER ELECTRIC — “INDUSTRIAL EDGE COMPUTING FOR SYSTEM INTEGRATORS” レポート

## 産業用エッジ導入の推進力

産業用エッジコンピューティングの採用を促進する業界のトレンドがいくつかあります。

### インダストリー 4.0 技術の採用拡大

第4次産業革命としても知られるインダストリー 4.0 は、AI や ML などの高度なデジタル技術を産業プロセスに統合して「スマートファクトリー」を構築し、製造および生産システムに革命を起こすことを指します。これは、サイバーフィジカルシステム、自動化、データ交換、人工知能を組み合わせ、より相互接続されたインテリジェントな産業エコシステムを構築する、産業の運営方法のパラダイムシフトを表しています。

### 遅延に敏感なアプリケーションの出現

産業プロセスでは大量のデータが生成され、実際に使うためには、リアルタイムで処理する必要があります。エッジコンピューティングは、コンピューティングリソースをデータソースに近づけ、遅延を短縮し、応答時間を短くします。機械の監視、予知保全、自律制御システムなどのアプリケーションは、産業用エッジによって提供される遅延の短縮から大きな恩恵を受けます。



### 企業におけるデータ プライバシーとセキュリティの新たなニーズ

産業データは機密性の高いものが多く、不正アクセスから保護することが重要です。産業用エッジ コンピューティングは、データをローカルで処理することでセキュリティを向上させ、データ侵害のリスクを軽減できます。製造業やエネルギーなどの特定の業界は、機密データや独自データを扱います。エッジ コンピューティングは、データ処理や分析のローカライズを可能にし、機密データを外部のクラウド サービスに送信する必要性が軽減されます。このアプローチにより、データのプライバシーとセキュリティが強化され、不正アクセスやデータ侵害のリスクが軽減されます。

### 規制対応

一部の業界には、データストレージ、プライバシー、遅延に関して特定の規制要件があります。エッジ コンピューティングは、データをローカルで処理および分析し、地域または業界固有のガイドラインの遵守をするため、これらの規制への準拠が可能になります。

多くの組織は、保守のためのデータ収集や機器の稼働に関係のない他のニーズとデータを収集する IIoT ネットワークを分離した構築を検討しています。産業用制御システム、ヒューマン マシンインターフェース (HMI: Human Machine Interfaces)、およびその他の操作システムは、機器を安全かつ効果的に操作するために存在します。多くの場合、規制基準の対象となるため、拡張や変更には費用と時間がかかります。

個別に IIoT ネットワークを構築することで、組織はより厳格な規制の対象とならないデータ収集機器を追加できるようになります。産業用制御システム (ICS: Industrial Control Systems) に影響を与えたり、高価なコンプライアンス基準に従うことを恐れることなく、より安価な機器をより迅速に設置したりできるようになります。

### 拡張性とコスト効率

産業用エッジは、産業用ネットワーク全体にコンピューティングリソースを分散することで拡張性を提供します。これにより、必要に応じてエッジ サーバーやゲートウェイを導入できるようになり、集中化されたデータセンターにおける大規模なインフラストラクチャーのアップグレードの必要性が回避されます。さらに、エッジ コンピューティングでは、関連するデータのみがさらなる分析や長期保存のためにクラウドに送信されるため、データ送信に関連するコストを削減できます。

これらの主要な推進要因は、業界がリアルタイム データ分析の活用、遅延の削減、帯域幅の最適化、データセキュリティ強化、そして、信頼性と回復力のある産業プロセスの確保を可能とし、産業用エッジ コンピューティングの採用と成長に総合的に貢献します。

## 産業用エッジ エコシステムの主要なステークホルダー

産業用エッジには、ステークホルダーとベンダーからなる大規模なエコシステムがあります。

- ▶ **エッジ デバイス製造者とインフラストラクチャー提供者:** サーバー ベンダー、ネットワーク機器提供者、エッジ ゲートウェイ製造者などのハードウェア製造者は、産業用エッジ コンピューティングの重要な関係者です。彼らは、産業環境にエッジ コンピューティング ソリューションを導入するために必要なセンサーやアクチュエーター、エッジ サーバー、ゲートウェイ、ネットワーク コンポーネントなどの物理インフラストラクチャーを設計および製造します。

- ▶ **産業オートメーション企業**：産業オートメーションやエッジ コンピューティング技術を専門とする大手ベンダーは、産業用エッジ コンピューティングのソリューションの開発と提供において重要な役割を果たしています。これらのソリューション プロバイダーは、エッジ データの収集、処理、分析、および既存の産業用インフラストラクチャーとの統合を可能にするハードウェアおよびソフトウェア システムを開発します。
- ▶ **クラウド サービス プロバイダー**：クラウド サービス プロバイダーは、産業用エッジ コンピューティングの重要な関係者です。彼らは、エッジ コンピューティングの展開、シームレスなデータ転送、ストレージ分析、エッジとクラウド間を統合するクラウド ベースのサービスとプラットフォームを提供しています。
- ▶ **システム インテグレーター**：システム インテグレーター (SI : System integrator) は、産業用エッジ コンピューティング ソリューションの実装と展開において重要な役割を果たします。彼らは、エッジ デバイス、ネットワーク インフラストラクチャー、データ分析プラットフォーム、既存の産業システムなど、さまざまなハードウェアおよびソフトウェア コンポーネントを統合する責任を負います。システム インテグレーターは、産業環境におけるさまざまな技術のシームレスな運用と相互運用性を保証します。従来の運用技術 (OT) の SI は、大手メーカーと提携し、独自のソリューションを提供しています。これにより、メーカーが促進する顧客パイプラインの恩恵を SI は受けます。オープンソースの採用はこのパイプラインへのアクセスに影響し、SI が直面する大きな課題の1つとなります。
- ▶ **オープンソース組織**：オープンソース プロジェクトを通じて、産業用エッジ コンピューティングの分野でコラボレーション、イノベーション、知識共有を促進するオープンソース組織やコミュニティが数多くあります。主なオープンソース組織には、Linux Foundation Edge (このレポートの親組織)、Eclipse Foundation、Open Platform Communications Foundation (OPC) などがあります。
- ▶ **標準化団体**：標準化団体と組織は、エッジ コンピューティング ソリューションの相互運用性と安全性を確保するのに役立つ標準を開発することにより、産業用エッジにおいて重要な役割を果たしています。たとえば、国際電気標準会議 (IEC : International Electrotechnical Commission) や米国電気電子学会 (IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers) は、産業用エッジ コンピューティングの規格とプロトコルの開発に貢献しています。これらの標準は、異なるエッジ コンピューティング システムやコンポーネント間の相互運用性、セキュリティ、互換性を確保します。

これらの関係者は、産業用エッジ コンピューティングの適用、革新、成功を推進するために協力し、連携して、業界がリアルタイム データ分析を活用し、遅延を低減し、プロセスを最適化し、効率を高め、デジタル時代の業務変革を可能にしています。

## IT/OT の融合と利点

情報技術と運用技術の融合 (IT/OT の融合) とは、従来サイロ化されていた組織内の情報技術 (IT) と運用技術 (OT) システムの統合と調整を指します。IT には、コンピューティング、ネットワーキング、ソフトウェア アプリケーション、データ管理に関連する技術とシステムが含まれます。一方、OT は、監視、制御に利用されるリアルタイム データの管理に使用される技術、システムを指し、物理プロセス、デバイス、機材の最適化を行います。IT/OT の融合は、中央エンジニアまたはエンジニアのグループが一連の資産全体で職務を実行できるようにするため、エンジニアの生産性を向上させる多くの扉を開きます。融合については依然として議論の余地があり、ほとんどの産業施設は融合を受け入れるには程遠い状況です。

従来、ITとOTは別々のネットワーク、技術、目標を持って独立して運用されてきました。しかし、デジタルトランスフォーメーションとインダストリー4.0イニシアチブの台頭により、これら2つの領域間のギャップを埋め、相乗効果を活用する必要性に対する認識が高まっています。IT/OTの融合は、ITシステムとOTシステム間のシームレスなコミュニケーション、コラボレーション、データ共有を可能にし、運用効率、意思決定、ビジネス成果の向上につながることを目的としています。

業界組織にとってIT/OTの融合には複数の利点があります。

- ▶ **データの統合と可視性**：産業運営のデジタル化が進むにつれて、ITシステムとOTシステムを統合する必要性が高まっています。IT/OTの融合により、さまざまなOTデバイス、センサー、システムからのデータをITシステムと統合できるようになり、組織の業務を全体的に把握できます。この統合されたデータは、運用性能、資産の健全性、生産効率、その他の重要な指標に関する洞察を提供し、データ主導の意思決定と最適化を促進します。
- ▶ **リアルタイムの監視と制御**：産業用アプリケーションでは、リアルタイムデータが重要です。これは、リアルタイムデータを使用して、産業運営の効率と安全性を向上させる意思決定を行うことができるためです。ITとOTの融合は、リアルタイムデータを適切な人が適切なタイミングで利用できるようにするのに役立ちます。OTシステムとITシステムを接続することにより、組織は運用プロセスのリアルタイムの監視と制御を実現できます。これにより、予防保全、予測分析、リモート監視、自動化が可能になり、生産性の向上、ダウンタイムの短縮、安全性の向上につながります。
- ▶ **スケーラビリティと柔軟性**：IT/OTの融合により、変化するビジネスニーズに適応できるスケーラブルで柔軟なインフラストラクチャーを提供します。これにより、新しい技術、デバイス、アプリケーションの統合が可能になり、組織はクラウドコンピューティング、エッジコンピューティング、IoT、ビッグデータ分析などの新たなトレンドを活用できるようになります。
- ▶ **ビジネスプロセスの最適化**：ITとOTシステムを連携させることで、組織はエンドツーエンドのビジネスプロセスを最適化できます。ワークフローの自動化、サプライチェーン管理の改善、生産スケジュールの最適化、業務の合理化が可能です。これにより、業務効率が向上し、コストが削減され、顧客満足度が向上します。

IT/OTの融合を達成するには、組織はテクノロジーの統合、データの相互運用性、組織文化、スキルセット、セキュリティの考慮事項に関連する課題に対処する必要があります。効果的な変更管理をともなったITチームとOTチーム間のコラボレーションは、IT/OTの融合に関連する実装と利点の実現を成功させるために不可欠です。

## IT/OT の融合におけるスキルギャップ

IT/OT の融合を採用する際に、組織は複数の課題に直面します。オープンソース技術は、IT ほどにはまだ OT 環境に組み込まれていませんでした。運用側にはより高いセキュリティ要件が求められます。これらの問題に加えて、労働者にはスキルのギャップがあり、それについてこのセクションで要約します。

### 領域の知識と文化

IT プロフェッショナルは、運用テクノロジーや産業プロセスに関する分野固有の知識が不足していることがよくあります。SCADA（Supervisory Control and Data Acquisition：監視制御とデータ収集システム）、PLC（Programmable Logic Controller：プログラマブル ロジック コントローラー）、DCS（Distributed Control System：分散制御システム）、産業用プロトコルなど、OT システムの複雑さを理解することは、IT/OT を効果的に統合するために不可欠です。OT は通常、非常に保守的で変化が遅いのに対し、IT は新しい技術に対してよりオープンであることが多いため、この2つのグループの間には異なる文化があるという認識があります。

### 運用技術の専門知識

OT 専門家は、ネットワークング、サイバー セキュリティ、クラウド コンピューティング、データ分析などの IT 概念に触れる機会が限られています。IT/OT の融合を最大限に活用するには、OT 専門家は、IT インフラストラクチャー、データ管理、新しい技術などの分野でスキルを開発する必要があります。

### サイバー セキュリティ

IT/OT の融合は、従来分離されていた OT システムと IT ネットワークの統合により、新たなサイバー セキュリティの課題をもたらします。産業用制御システム（ICS：Industrial Control Systems）と重要なインフラストラクチャーをサイバー脅威から保護することに特に重点を置いたサイバー セキュリティスキルにはギャップがあることがよくあります。OT 環境では、リスク評価、ネットワーク セキュリティ、脆弱性管理、およびインシデント対応のスキルの需要が高くなります。

### 統合と相互運用性

IT システムと OT システムの間のギャップを埋めるには、システム統合と相互運用性に関する専門知識が必要です。異なる IT システムと OT システムの間でシームレスな通信とデータ交換を確保するには、産業プロトコル、ミドルウェア、データ統合フレームワーク、API（Application Programming Interface：アプリケーションプログラミングインターフェイス）管理の知識を持つ専門家が必要です。

これらのスキルギャップに対処するには、トレーニング、スキルアップ、クロストレーニングの取り組みを組み合わせる必要があります。

組織は、スキルギャップを埋め、IT と OT の両方の領域で必要な専門知識を持つ人材を育成するために、専門能力開発プログラム、認定資格、ワークショップ、知識共有プラットフォームに投資する必要があります。継続的な学習に重点を置いた IT チームと OT チーム間のコラボレーションは、IT/OT の融合における課題をうまく乗り越える鍵となります。

## エッジ コンピューティング関わる産業用製品入門

ほとんどの産業データのソースと宛先はエッジに存在します。産業データパイプラインとエッジアプリケーションは、産業用資産プロトコル、データマッピング、システム統合要件をサポートする必要があります。プラント、鉱山、工場はクラウド内に存在できませんが、クラウドは新しい革新的な方法で産業用データシステムに価値を加えることができます。産業用エッジ技術は、エッジで大規模な産業用ソフトウェアエコシステムを統合し、新しい最新のシステム、センサー、クラウドでそれを強化する必要があります。

このセクションでは、OTの中核となるいくつかの産業用ブラウフィールド（既存の領域）のシステムを見ていきます。

- ▶ **監視制御とデータ収集システム (SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition)** : SCADAは、産業プロセスの監視と制御に使用されます。センサーやアクチュエーターからデータを収集し、このデータを使用してプロセスを制御します。
- ▶ **分散制御システム (DCS: Distributed Control System)** : 工場、機械、または制御エリア全体を通して地理的に分散された制御ループを使用するプロセスまたはプラント用のコンピューターベースの制御システムです。これは、中央集中アーキテクチャではなく分散型アーキテクチャを使用する産業用制御システム (ICS: Industrial Control System) の一種です。
- ▶ **製造実行システム (MES: Manufacturing Execution Systems)** : MESシステムは、製造プロセスの制御と監視に使用されます。機械やセンサーからデータを収集し、このデータを使用して生産を最適化します。
- ▶ **エネルギー管理システム (EMS: Energy Management System)** : 建物、機械、設備などのさまざまなソースからエネルギー消費データを収集して分析するソフトウェアアプリケーションです。このデータは、エネルギー効率の非効率性と改善の機会を特定するために使用されます。
- ▶ **ヒューマンマシンインターフェイス (HMI: Human Machine Interface)** : ユーザーが機械や産業プロセスと対話できるようにするソフトウェアアプリケーションです。HMIは通常、グラフィカルユーザーインターフェイス (GUI: Graphical User Interface) を使用して情報を表示し、ユーザーがマシンやプロセスを制御できるようにします。
- ▶ **プログラマブルロジックコントローラー (PLC: Programmable Logic Controller)** : 産業プロセスの制御に使用されるデジタルコンピューターです。PLCは、製造、エネルギー、輸送などのさまざまな業界で使用されています。
- ▶ **データヒストリアン** : データヒストリアンは、産業プロセスから時系列データを収集、保存、分析、管理するソフトウェアアプリケーションです。データヒストリアンは、製造、エネルギー、運輸などのさまざまな業界で使用されています。これらを使用して、機械とプロセスの性能を追跡し、問題のトラブルシューティングを行い、レポートを生成し、より適切な意思決定を行うために使用します。

ほとんどの産業用エッジコンピューティングのユースケースでは、これらすべてのシステムにわたる相互運用性と同期が必要です。そこで、オープン標準とアーキテクチャがこれらのシステムの実装において重要な役割を果たします。

## インテリジェント産業用エッジ

インテリジェント産業用エッジは、エッジコンピューティングと産業オートメーションの融合を表すために使用される用語です。この融合は、産業プロセスの効率、生産性、セキュリティを向上させることができる新しい技術の開発につながります。

インテリジェント産業用エッジは2つの技術を統合して、産業プロセスを管理する新しい方法を生み出します。エッジコンピューティングのリアルタイムデータ収集と分析機能と産業オートメーションの制御および監視機能を組み合わせることで、インテリジェント産業用エッジは、産業プロセスの効率、生産性、セキュリティの向上に役立ちます。LF Edgeの [Fledge](#) プロジェクトは、インテリジェント産業用エッジに焦点を当てています。

インテリジェント産業用エッジは急速に進化している分野であり、この融合を活用するために多数の新技术が開発されています。これらの技術には次のものが含まれます。

- ▶ **人工知能 (AI) と機械学習 (ML)**: AI と ML は、予知保全や異常検出など、インテリジェント産業用エッジ向けの新しいアプリケーションを開発するために使用されています。
- ▶ **ビッグデータ分析**: ビッグデータ分析は、エッジデバイスから収集された大量のデータを分析し、傾向とパターンを特定するために使用されます。

インテリジェント産業用エッジは、産業プロセスの管理方法に革命をもたらす可能性を秘めた有望な新技术です。これらの技術が発展し続けるにつれて、将来的にはさらに革新的なアプリケーションが登場することが期待されます。

## デジタル ツイン技術の出現

デジタル ツイン技術は、産業革新に革命をもたらし、製品、プロセス、システムの設計、監視、最適化の方法を変革した最先端の概念です。デジタル ツインは、物理的なオブジェクト、プロセス、またはシステムの仮想表現であり、リアルタイムの監視、分析、シミュレーションを可能にします。このテクノロジーは航空宇宙産業に起源を持ち、大きく進化しました。特に産業用 IoT (IIoT: Industrial IoT) とエッジコンピューティングを背景として、さまざまな領域でアプリケーションが見つかっています。

デジタル ツインの概念は、2000 年代初頭にミシガン大学の Michael Grieve 博士によって初めて導入されました。彼は、現実世界の資産の物理的特性と動作を反映できる仮想表現のアイデアを提案しました。このインスピレーションは、複雑な航空宇宙システムの設計とテストにおける 3D モデリングとシミュレーションの使用から生まれました。時間が経つにつれて、センサー技術、データ分析、接続性の進歩により、デジタル ツインの概念を現実にするための基盤が築かれました。



エッジコンピューティングは、特に複雑な産業環境において、デジタルツイン技術の実用的な実装を可能にする上で重要な役割を果たします。エッジコンピューティングは、リアルタイム応答性、帯域幅の最適化、分散制御のニーズに対応するため、デジタルツイン技術の触媒となります。

デジタルツインは、アプリケーション、複雑さ、現実世界の資産との統合レベルに基づいて、さまざまなタイプに分類できます。デジタルツインの主なタイプには、製品デジタルツイン、プロセスデジタルツイン、システムデジタルツイン、資産デジタルツイン、ヒューマンデジタルツイン、都市デジタルツインなどがあります。

デジタルツインの種類ごとに目的が異なり、さまざまな業界に独自のメリットをもたらします。これらはすべて、効率の向上、より良い意思決定、さまざまな分野にわたるイノベーションの強化に貢献します。

デジタルツインテクノロジーは、その概念化から長い道を経て、製造、エネルギー、ヘルスケア、運輸などの業界で広く採用されています。産業用IoTとエッジコンピューティングとの統合は革新的であり、産業革新の新たな可能性を解き放ちます。物理資産の仮想レプリカを作成する機能と、リアルタイムの監視、分析、シミュレーションを組み合わせることで、組織は運用を最適化し、コストを削減し、生産性を向上させることができます。技術が進化し続けるにつれて、デジタルツインは、産業プロセスとシステムの未来を形作る上でますます重要な役割を果たすことが期待されており、より効率的で相互接続された世界に向けて私たちを駆り立てます。

## 第5章

# エッジからの ポストカード





2023 年に、私たちは、世界中の第一線で活躍する実務家に、2023 年のエッジ コンピューティングについて他の実務家や企業が知っておくべき重要なことについての見識を求めました。以下の「エッジからのポストカード」は、彼らが反応したものです。

### 「エッジ - ネイティブ」は、クラウドのように感じるエッジ構築

ワークロードをエッジに移動する（戻す）場合、使いやすさ、アプリケーションの導入速度、そして最も重要な使い慣れた一連のクラウドのツールの利用など、クラウドの魅力を失いたくありません。残念ながら、エッジの品質はクラウドとは大きく異なります。ほんの数例を挙げると、不安定な接続、エッジ ロケーションとクラウド間にある多重化された NAT、限定されコストがかかる帯域幅、制約されたコンピューティングリソース、特定のセキュリティとポリシー要件、オンサイト IT スタッフの不在一 などは、「エッジ ネイティブ」のアプリケーション設計と開発者とオペレーターのエッジ制約を抽象化した運用原則により、私たちは、クラウドのような感覚と拡張性の両方を備えたエッジソリューションを作成できます。



Frank

By Frank Brockners, Distinguished Engineer, Cisco Systems

### エッジとクラウドはうり二つ

コンテナ化と Kubernetes を採用している企業が増加していることは否定できません。これらの企業の開発者は、理想的なアプリの配置場所を検討しています。その結果、異なる環境で、異なるアプリが実行できるようになります。私たちは、お客様が工場、クルーズ船、その他エキゾチックな場所にアプリを（Kubernetes 上に）展開しているのを見てきました。これらのお客様に共通しているのは、プライベート / パブリック クラウド環境にアプリを導入していることです。

環境の不均質性は、これからの企業にとって現実であり、この問題を「エッジ対クラウド」の問題ではなく、「エッジ + クラウド」の問題として考える必要があります。企業は、「エッジ + クラウド」を総合的に解決するツールを探しています。



Haseeb

By Haseeb Budhani, Co-Founder, and CEO of Rafay Systems

## OT と IT の格差の架け橋：エッジコンピューティングにおけるスキルギャップのナビゲート

エッジコンピューティングと産業用モノのインターネット (IIoT：Industrial Internet of Things) の時代において、従来の ICS エンジニアは、すでに幅広いスキルセットを広げる必要性に直面しています。旧来の手法を含む運用技術 (OT) の専門知識に加えて、データ分析や機械学習のように、MQTT、Linux や Docker における RESTful Web API などの新しい手法を取り込む必要があります。エッジコンピューティングや IIoT は急速に進歩していますが、歴史的に見ると、OT は慎重に進化してきました。この必要なシフトは、ICS エンジニアにとってカルチャーショックであり、厳しいキャリア環境を激化させます。



*Rob*

By Rob Raesemann, Founder and President, Raesemann Enterprises

## エッジからクラウドを通したソフトウェア デファインド インフラストラクチャー

現在、私たちが非常に関心を寄せているトピックは、エッジをターゲットとするプラットフォームのコンピューティング能力の進歩です。もはやマイクロコントローラーだけにとどまりません。統合モジュールでは、マルチコア CPU や 60 ワットもしくはそれ以下で強力な GPU も利用可能です。これらは、センサー データやアクチュエーターが搭載されるデバイスに直接搭載することができます。これらのアーキテクチャのソフトウェアは、より汎用的な方法で作成および展開できるため、エコシステムが大幅に拡張されます。

私の思い描く壮大なビジョンは、セキュリティを基本として設計された、エッジからクラウドまでのソフトウェア デファインド インフラストラクチャーを実現することだと思います。これにより、確実に相互運用が向上します。



*Trevor*

By Trevor Conn, Distinguished Engineer, Dell Technologies

## ハイブリッド エッジ クラウドは断続的なネットワークに不可欠

近い将来、多くのネットワークの性質は、断続的になるでしょう。したがって、一元化されたクラウドリソースへのアプリケーションの依存を最小限に抑える必要があります。Mimik では、ハイブリッド エッジ クラウド (HEC : Hybrid Edge Cloud) 技術は、安定したネットワーク インフラストラクチャーがない場合でも、デバイスとクラウド間の信頼性が高く、安全で効率的な通信を可能にするため、断続的なネットワークに不可欠であると考えています。HEC は、通信の信頼性と速度を向上させ、遅延とネットワークの輻輳を軽減し、機密データの傍受やハッキングを防ぎ、データ侵害やサイバー攻撃のリスクを軽減するのに役立ちます。



*Sam*

By Sam Armani, SVP of Business Development, Mimik Technology

## Edge の遊び時間は終了 — 驚いたことに — 簡単ではない

企業はエッジのパイロットや POC から始めました。現在は、運用ソリューションを大規模に展開することに重点を置いています。リソースに制約のあるエッジ環境で、膨大な量のデータを収集し、フィルタリングし、変換し、それに基づいて行動できる必要があります。たとえば、IOTech におけるエネルギーのお客様は、1 つの実装において、数百台のデバイスが毎秒データを送る 2,300 万のデータポイントを処理しています。エッジソリューションは、従来の OT や最新のプロトコルと連携し、AI/ML を統合し、大規模 / 異種のエッジ ノードをまたいだソリューションを展開し、監視する必要があります。すべてのエッジデータをリフト / シフトし、クラウドで選別 / 行動するというアイデアは、必ずしもスケーリングできるとは限らず、コストがかかる可能性があり、多くの場合、遅延のニーズを満たしていません。



*Jim*

By Jim White, CTO, IOTech Systems

## 重要な産業エッジ

化学、エネルギー、公共事業、材料、製造、輸送などの産業は、社会の機能に不可欠です。崩壊は、公衆衛生、安心、安全、経済の安定性に重大な影響を与えます。AVEVA では、重要な産業エッジの機能をハイブリッドクラウドと AI ソリューションとを組み合わせ、最大限の回復力を実現することに重点を置いています。

産業用エッジとは、予知保全などのクラウドベースの AI 技術を使用してインテリジェンスと監視を提供しながら、自動化がデータソースの近くで運用および制御できるようにするコンピューティングインフラストラクチャーを指します。この組み合わせアプローチにより、重要な産業用アプリケーションに対して、遅延を最小限に抑え、信頼性を高め、セキュリティを強化することができます。多くの組織が、新しいエッジコンピューティングインフラストラクチャーと統合が困難な従来からのシステムを使用しています。エッジデバイス、ネットワーク、レガシーシステム、クラウド間のシームレスな統合を確保することは、重要な産業用エッジのメリットを最大化するために不可欠です。



*Daniel*

By Daniel Lazaro, Partner Technologist,  
AVEVA

## インダストリアル エッジ実装の課題

運用技術 (OT) 担当者は、機器、プロセス、性能、および安全性に重点を置いています。ネットワークで言えば、産業データの「ソース」は、センサー、カメラ、プログラムマブルロジックコントローラー (PLC)、分散制御システム (DCS)、新しいクラウドサービス、その他の資産です。データ型、は時系列、画像、放射線、アレイなどです。プロトコルは多くの場合、古いものです。データボリュームは、マシン 1 台につき 1 日あたりギガバイトです。ユニバーサルネームスペースは存在しません。多くの場合、信号処理、フィルタリング、および ML 推論は、ネットワークの前に必要になります。クラウドは新しい要素です。これらは、産業用エッジコンピューティングを大規模に適用する上での課題です。

したがって、第 4 次産業革命のエッジは、センサーからクラウドに分散し、上記のすべての課題に対処する必要があります。私は、このエッジをインテリジェントな OT データパイプライン、またはセンサーからクラウドまでのメッシュ型の「プラットフォーム」と考えています。



*Tom*

By Tom Arthur,  
CEO, Dianomic

## いよいよ構築開始!

2023 年現在、サービスプロバイダー エッジは、もはや小説のアイデアや理論上の概念ではありません。データベースからオーケストレーションフレームワーク、ネットワークへの承認に至るまで、ソフトウェアプリミティブの分散化とエッジネイティブ化が進んでいます。同様に、アプリケーション開発者は、従来の領域固有の HA アーキテクチャから、エンドユーザーの豊富な地理的多様性と低遅延を基本原則として活用するエッジ展開モデルへと急速に移行しています。ほとんど隠れた労働力の成果が、次のサイクルでエンドユーザーに破壊的な新しい体験をもたらすために、エッジインフラストラクチャーを革新して構築することが期待できます。基礎は急速にまとまりつつあります；さあ、構築を始めましょう!



*Drew*

By Drew Raines, VP, Edge Infrastructure Engineering, Equinix

## AI イノベーションによるエッジコンピューティングの進化

デジタル世界がエッジに引き寄せられる中、ARM では、このパラダイムシフトを強化するために、AI と機械学習機能の舵取りに取り組んでいます。エッジに最適化された AI チップセットは、効率性、速度、倫理的配慮を優先しています。エッジに合わせたチップを設計することで、デバイスの設計を強化するだけでなく、分散コンピューティングの新時代に生じる倫理的ジレンマにも対処しています。透明性と公平性への取り組みを通じて、エッジでも責任ある AI の使用を擁護しています。高度なエッジエコシステムを促進することで、私たちの目標は、セクターを超えたイノベーターがそれぞれの分野に革命を起こし、より技術的に進歩し、倫理的に意識した未来を確保することです。



*Tina*

By Tina Tsou, Director of Infrastructure Ecosystem, ARM

## 現代的エッジ コンピューティングの ためのアプリケーション中心ネット ワーキング

現代の企業には、オンプレミス、マルチクラウド、エッジ環境に、分散されたアプリケーションとサービスがあります。これらのアプリケーションのユーザーは、ハイブリッドワークのパラダイムが定着するにつれてモバイル化しています。アプリケーションとユーザーのニーズの急激な変化は、既存の SDN ソリューションを含む従来のネットワーク モデルでは対応できません。

NetOps チームは、アプリケーションのネットワークをきめ細かなレベルでプロビジョニングすることができず、ポリシーを推進する手段も限られているため、ネットワークを制御し、エッジ アプリケーションの動的なニーズに対応する能力を失っています。そのため、IBM では、アプリケーションのコンテキストでネットワークを再考し、DevOps や SecOps と NetOps を統合することが、企業に大きなメリットをもたらすと考えています。



*Murali*

By Murali Gandluru, VP of Strategy and GTM, IBM Software Defined Networking

## デバイス上で動作する AI ベースのエッジ サイバー セキュリティ

分散型エッジ環境の保護は、遠隔性、分散セットアップ、リソースの制約、攻撃対象領域の拡大など、大きな課題となっています。従来のサイバーセキュリティツールは、エッジサーバー固有の要求に苦戦しており、動的な分散環境やリソースに制約のある環境に必要な適応性に欠けています。ほとんどのツールは、防御ではなく攻撃後の検出に重点を置いているため、エッジサーバーは新たな脅威に対して脆弱なままです。さらに、一元管理への依存は、エッジで必要とされるリアルタイムの応答性を妨げます。

対照的に、AI 主導のローカルセキュリティは優れています。これは、リアルタイムの分析を提供し、適応性とコンテキスト認識による強化により、脅威の即時検出と対応を可能にします。エッジサーバーに直接常駐することで、AI セキュリティは、分散化された制約のあるエッジ環境でも、自動化されたリアルタイムの保護やビジネスの復元力の確保を実現するなど、従来のツールの欠点を軽減しながらリアルタイムのニーズに対応します。



*Inna*

By Inna Ushakova, Co-Founder and CEO, AI EdgeLabs

## デバイス上で動作する AI ベースのエッジサイバーセキュリティ

分散型エッジ環境の保護は、遠隔性、分散セットアップ、リソースの制約、攻撃対象領域の拡大など、大きな課題となっています。従来のサイバーセキュリティツールは、エッジサーバー固有の要求に苦戦しており、動的な分散環境やリソースに制約のある環境に必要な適応性に欠けています。ほとんどのツールは、防御ではなく攻撃後の検出に重点を置いているため、エッジサーバーは新たな脅威に対して脆弱なままです。さらに、一元管理への依存は、エッジで必要とされるリアルタイムの応答性を妨げます。

対照的に、AI 主導のローカルセキュリティは優れています。これは、リアルタイムの分析を提供し、適応性とコンテキスト認識による強化により、脅威の即時検出と対応を可能にします。エッジサーバーに直接常駐することで、AI セキュリティは、分散化された制約のあるエッジ環境でも、自動化されたリアルタイムの保護やビジネスの復元力の確保を実現するなど、従来のツールの欠点を軽減しながらリアルタイムのニーズに対応します。



Doug

By Doug Harp, Managing Partner,  
Momenta Partners

## エッジの性能は単なる商品化を超えている

エッジコンピューティングの卓越性は否定できません。ユーザー体験を向上させるための将来のマイルストーンは、エッジ中心のアプローチを採用する企業か、エッジテクノロジーに強みを持つベンダーと協力する企業によって設定されるでしょう。遅延は、ユーザー体験を定義するでしょう。テクノロジーの世界には、巨大コンピューティング企業、ハイパースケーラー、ハイブリッドプラットフォームが混在することになりますが、共通点は常に、コンテンツ配信と一流のユーザー体験の確保におけるエッジの役割です。

「エッジ」という言葉を単なる流行語にしないことが重要です。誰かが「エッジ」に言及するとき、エッジコンピューティングの領域においても、信頼するだけでなく、検証することも不可欠です。



Mehdi

By Mehdi Daoudi, CEO  
of Catchpoint

付録 A

エッジ  
コンピューティング  
オープン用語集  
VERSION 2.0



エッジ コンピューティング オープン用語集は、Linux Foundation 公式プロジェクトであり、LF Edge の創設プロジェクトです。LF Edge は、ハードウェア、シリコン、クラウド、オペレーティング システムに依存しないエッジ コンピューティングのためのオープンで相互運用可能なフレームワークを確立することを目的とした Linux Foundation 内の統括組織です。

LF Edge の一部として、オープン用語集は多様なコミュニティを活用してこの共有語彙を開発および改善し、エッジ コンピューティングと次世代インターネット エコシステムの共通理解を深めるための組織およびベンダー中立のプラットフォームを提供します。このプロジェクトは、エッジ コンピューティングの分野に関連する用語を収集、厳選し、定義し、調和させることを目指しています。プロジェクト参加者は、一般的に受け入れられた定義を、オープンにライセンスされたりポジトリに提出します。

用語集は、使用と採用を促進するために、クリエイティブ コモンズ属性 -ShareAlike4.0 国際ライセンス (CC-BY-SA-4.0 : Creative Commons Attribution-ShareAlike4.0 International license) の条件に基づいて自由にライセンスされており、使用と採用を奨励しています。マークダウン ファイルにクロス リンクを構築するスクリプトや、本格的な PDF を作成するスクリプトなど、プロジェクトへのコードの貢献は、Apache License バージョン 2.0 (Apache-2.0) に基づいてライセンスされています。これらのライセンスは、プロジェクトのライセンス ファイルに正式に記録されます。

- ▶ 用語集に貢献する方法については：[Contributing Guide](#) を参照してください。
- ▶ 用語集のマークダウン バージョンを表示するには：[edge-glossary.md](#) を参照してください。

---

### 3G、4G、5G

それぞれ第 3 世代、第 4 世代、第 5 世代の移動無線技術を指します。簡単に言えば、3G はスマートフォンとそのモバイル Web ブラウザーの導入により象徴されます。現行世代のセルラー技術である 4G は、モバイル デバイスに真のブロードバンド インターネット アクセスを提供します。今後の 5G セルラー技術は、セルラーシステムに大規模な帯域幅と低遅延を提供し、スマートフォンから自動運転車、大規模な IoT まで、さまざまなデバイスをサポートします。サービス プロバイダー エッジにおけるエッジ コンピューティングは、5G の重要な構成要素と考えられています。

こちらをご参照ください：サービス プロバイダー エッジ

### アクセス エッジ層

ラスト マイル ネットワークから 0 ホップまたは 1 ホップに位置するエンドユーザーまたはデバイスに最も近いサービス プロバイダー エッジのサブレイヤーを指します。たとえば、セルラー ネットワークのサイトに導入されたエッジ データセンターなどです。アクセス エッジ層はサービス プロバイダー エッジの最前線として機能し、階層内の上位で集約するアグリゲーション エッジ レイヤーに接続する場合があります。

こちらをご参照ください：アグリゲーション エッジ層

### アクセス ネットワーク

加入者とデバイスをローカル サービス プロバイダーに接続するネットワークです。これは、サービス プロバイダーを相互に接続するコアネットワークと対照的です。アクセス ネットワークはサービス プロバイダー エッジに直接接続します。

こちらをご参照ください：サービス プロバイダー エッジ

### アグリゲーション エッジ層

アクセス エッジ層から 1 ホップ離れたサービス プロバイダー エッジの層を指します。一つの場所に中規模のデータセンターとして存在します。アクセス エッジと階層構造を形成し、相互接続された複数のマイクロデータセンターから構成することで、アクセス エッジ単独よりも優れたコラボレーション、ワークロードフェイルオーバー、スケーラビリティを実現することもできます。

こちらをご参照ください：アクセス エッジ層

### 基地局

1 つ以上のセル内でユーザー機器との間で無線信号の送受信を担当する RAN 内のネットワーク要素を指します。基地局はアンテナを内蔵することも、フィーダー ケーブルによってアンテナ アレイに接続されている場合があります。専用のデジタル信号処理とネットワーク機能のハードウェアを使用します。最新の RAN アーキテクチャでは、柔軟性、コスト、性能を高めるために、基地局がソフトウェアで動作する複数の機能ブロックに分割されることがあります。

こちらをご参照ください：クラウド RAN (C-RAN : Cloud RAN)

### ベースバンド ユニット (BBU : Baseband Unit)

ベースバンド無線信号処理を担当する基地局のコンポーネントを指します。デジタル信号処理に特化したハードウェアを使用します。C-RAN アーキテクチャでは、BBU の機能は VNF としてソフトウェアで動作する場合があります。

こちらをご参照ください：クラウド RAN (C-RAN : Cloud RAN)

### 中央オフィス (CO : Central Office)

電話会社が歴史的に交換機を配置していた、定義された地理的エリア内の電気通信インフラストラクチャーの集約ポイントを指します。物理的には通信インフラストラクチャー機器を収容するように設計されていますが、床材や暖房、冷房、換気、消火、電力供給システムが不十分であるため、通常はエッジ データセンターの規模でコンピューティング、データストレージ、およびネットワークリソースを収容するには適していません。ハードウェアがエッジの実情向けに特別に設計されている場合、中央オフィスの物理的制約に対処できます。

こちらをご参照ください：データセンターとして再構築された中央オフィス (CORD)

### データセンターとして再構築された中央オフィス (CORD : Central Office Re-architected as Data Center)

CO 内にデータセンター レベルのコンピューティングおよびデータ ストレージ機能を導入する取り組みを指します。CO 施設は通常、エッジ データセンターの規模でコンピューティング、データストレージ、およびネットワークリソースを収容するには、床材が不適切であり、暖房、冷房、換気、消火、電力供給システムなど、物理的に適していませんので、トポロジ的には論理的であることが多いです。

こちらをご参照ください：中央オフィス (CO : Central Office)

### 中央集中データセンター

多くの場合、大規模なコンピューティング、データストレージ、およびネットワーク リソースを収容する大規模なハイパースケールの物理構造および論理要素で、その規模により通常は多くのテナントによって同時に使用されます。大多数のユーザーから地理的にかなり離れた場所にあり、クラウド コンピューティングによく使用されます。

こちらをご参照ください：クラウド コンピューティング

### クラウド コンピューティング

ネットワーク、ストレージ、コンピューティング サービスなどのコンピューティング リソースの共有プールへのオンデマンド アクセスを提供するシステムを指します。今日、典型的には、少数の大規模な中央集中データセンターと地域データセンターが利用されています。

こちらをご参照ください：中央集中データセンター

### クラウド ネイティブ ネットワーク機能 (CNF : Cloud Native Network Function)

クラウド ネイティブ技術を使用して構築および展開される仮想化ネットワーク機能 (VNF : Virtualized Network Function) を指します。これらの技術には、コンテナ、サービス メッシュ、マイクロサービス、イミュータブル インフラストラクチャー、および宣言型 API があり、疎結合で自動化されたシステムを通じてパブリック、プライベート、およびハイブリッド クラウド環境での展開を可能にします。

こちらをご参照ください：仮想化ネットワーク機能 (VNF : Virtualized Network Function)

### クラウド ノード

個々のサーバーやその他のコンピューティング リソースのセットなど、クラウド コンピューティング インフラストラクチャーの一部として動作するコンピューティング ノード。通常は、中央集中データセンター内に存在します。

こちらをご参照ください：エッジ ノード

### クラウド RAN (C-RAN : Cloud RAN)

無線基地局の機能を、リモート ラジオ ヘッド (RRH : Remote Radio Head) と集中型 BBU の 2 つのコンポーネントに分離した RAN の進化形を指します。C-RAN では、BBU を各セルラー無線アンテナと一緒に配置するのではなく、タワーからある程度離れた、分散アンテナ システム (DAS : Distributed Antenna System) ハブと呼ばれる集約ポイントで BBU を動作させることができます (#distributed-antenna-system-das-hub)。アグリゲーション施設内に複数の BBU を併設することで、インフラストラクチャーの効率が向上し、クラウド RAN へのよりスムーズな進化が可能になります。C-RAN アーキテクチャでは、レガシー基地局によって実行されるタスクは、多くの場合、汎用コンピューティング ハードウェア上のサービス プロバイダー エッジ マイクロ データセンターで動作する VNF として実行されます。これらのタスクは、高性能で、可能な限り遅延を最小限に抑えて実行する必要があり、それらをサポートするにはセルラー ネットワーク サイトでサービス プロバイダー エッジ コンピューティングを使用する必要があります。

こちらをご参照ください：サービス プロバイダー エッジ、分散型アンテナ システム (DAS) ハブ

### クラウド サービス プロバイダー (CSP : Cloud Service Provider)

通常、中央集中データセンターと地域データセンターで構成される大規模なクラウド リソースを運用する組織を指します。パブリック クラウドの文脈で最も頻繁に使用されます。クラウド サービス オペレーター (CSO : Cloud Service Operator) と呼ばれることもあります。

こちらをご参照ください：クラウド コンピューティング

### クラウド レット (Cloudlet)

学術界で、カーネギー メロン大学の Mahadev Satyanarayanan 氏によって普及された、サービス プロバイダー エッジのモビリティが強化されたパブリック クラウドまたはプライベート クラウドを指します。これは、この用語集で定義されているエッジ クラウドという用語と同義です。また、文献では、エッジ データセンター およびエッジ ノードと同じ意味で使用されています。3 層コンピューティング アーキテクチャでは、「クラウドレット」という用語は中間層 (2 層) を指します。1 層はクラウド、層 3 はスマートフォン、ウェアラブル デバイス、スマート センサー、またはその他の重量 / サイズ / エネルギーに制約された要素です。Akamai などの CDN の文脈では、クラウドレットは CDN ノードにセルフサービス可能なアプリケーションをデプロイする実践を指します。

こちらをご参照ください：エッジ クラウド、エッジ データセンター、エッジ ノード

### コロケーション

異なる当事者が所有または運用するコンピューティング、データストレージ、およびネットワーク インフラストラクチャーを、同じ物理構造内など、同じ物理的な場所に展開するプロセスを指します。コロケーションでは、エッジ データセンターなどのインフラストラクチャーに複数のテナントやユーザーの収容をしないため、厳密には共有インフラストラクチャーとは区別されます。

こちらをご参照ください：共有インフラストラクチャー

### 計算オフロード

エッジ コンピューティングのユースケースでは、リモート処理のためにエッジ デバイスからサービス プロバイダー エッジにタスクがオフロードされます。計算オフロードでは、たとえば、タスク実行の遅延とモバイル デバイスのエネルギー消費を最小限に抑えることを目的として、計算をサービス プロバイダー エッジにオフロードすることで、モバイル デバイスの性能向上とエネルギー節約などを目指します。計算オフロードにより、デバイスのみで使用できるものを超越する計算能力とストレージ容量を必要とする新しいクラスのモバイル アプリケーション (たとえば、アンテザード VR) も可能にします。他に、性能向上のためにワークロードを集中管理されたデータセンターからエッジ データセンターにオフロードする場合があります。この用語は、文献ではクラウド オフロードおよびサイバー フォレンジングとも呼ばれます。

こちらをご参照ください：トラフィックのオフロード

### コンテンツ配信ネットワーク (CDN : Content Delivery Network)

ネットワーク全体に分散配置されたシステムで、ストリーミング ビデオなどの人気コンテンツ配信を、従来の中央集中データセンターよりもユーザーに近い場所で行います。データセンターとは異なり、CDN ノードには通常、高密度のコンピューティング リソースを持たないデータ ストレージが含まれます。サービス プロバイダー エッジ コンピューティングを使用する場合、CDN ノードはエッジ データセンターのソフトウェアで動作します。

こちらをご参照ください：エッジ データセンター

### コアネットワーク

サービスプロバイダー ネットワークの層を指します。この層では、アクセスネットワークとそれに接続されているデバイスを他のネットワーク オペレーターやサービスプロバイダーに接続し、インターネットまたは他のネットワークとの間でデータを送受信できるようにします。インフラストラクチャーのエッジ コンピューティングリソースから数ホップ離れている場合があります。

こちらをご参照ください：アクセス ネットワーク

### 顧客構内設備 (CPE : Customer-Premises Equipment)

ネットワークサービスの加入者がサービスプロバイダーのアクセスネットワークに接続できるようにするケーブルネットワーク モデムなどのローカル機器を指します。通常、サービスプロバイダー エッジ コンピューティングリソースからエンドユーザーに向かって1ホップ離れています。

こちらをご参照ください：アクセス ネットワーク

### データセンター

複数の高性能コンピューティング ノードとデータストレージ ノードの収容を目的とした構造物を指します。これにより、大量のコンピューティング、データストレージ、およびネットワークリソースが1つの場所に存在します。これには、多くの場合、専用のラックおよびエンクロージャー システム、専用の床材、および適切な暖房、冷却、換気、セキュリティ、消火、電力供給システムが必要になります。場合によっては、コンピューティング ノードおよびデータストレージ ノードを指すこともあります。中央集中データセンター、地域データセンター、エッジデータセンターでは、規模が異なります。

こちらをご参照ください：中央集中データセンター

### データ グラビティ

データはネットワーク上で自由に移動できるわけではなく、データ量とネットワーク エンドポイント間の距離の両方が増加するにつれて、そのコストと困難さが増加し、アプリケーションはデータが配置されている場所に引き寄せられるという概念を指します。大規模なデータの取り込みを必要とするアプリケーションで見られます。

こちらをご参照ください：エッジ ネイティブ アプリケーション

### データ インジェスト

大量のデータを取り込み、保存し、その後処理するプロセスを指します。たとえば、ビデオ監視ネットワーク用の多くの映像を保存しているエッジデータセンターは、その後、関心のある人物を識別するために、その映像を処理する必要があります。

こちらをご参照ください：エッジネイティブ アプリケーション

### データ削減

データの作成者と最終受信者との間の中間点を利用して、データの意味を失うことなく、送信されるデータの量をインテリジェントに削減するプロセスを指します。例としては、スマートなデータ重複排除システムがあります。

こちらをご参照ください：エッジ ネイティブ アプリケーション

### データ主権

データは、データが存在する国、州、業界の法律や規制、またはデータの使用と移動の管理に適用される法的枠組みに従うという概念を指します。

こちらをご参照ください：エッジ ネイティブ アプリケーション

### 意思決定支援

生データのインテリジェントな分析を使用して、人間のオペレーターにとって意味のある推奨事項を生成します。たとえば、サービスプロバイダー エッジ内の IoT デバイスからの大量のセンサー データを処理して、人間のオペレーターまたは、より高度な自動化システムによって解釈される意味のある報告を生成します。

こちらをご参照ください：エッジ ネイティブ アプリケーション

### デバイス エッジ

ラストマイル ネットワークのデバイスまたはユーザー側のエッジ コンピューティング機能を指します。デバイス エッジは、多くの場合、デバイスからのデータを収集、処理するために、現場のゲートウェイまたは同様のデバイスに依存します。エッジ コンピューティングのワークロードを処理するために、スマートフォン、ラップトップ、センサーなどのユーザー デバイスからの限られた予備のコンピューティング機能とデータストレージ機能を使用することもあります。デバイス リソースを使用するため、サービスプロバイダー エッジとは異なります。

こちらをご参照ください：サービスプロバイダー エッジ

### デバイス エッジ クラウド

エッジクラウドの概念を拡張したもので、デバイス エッジで利用可能なリソース上で特定のワークロードを操作できます。通常、クラウドのように柔軟に割り当てられるリソースは提供されませんが、遅延ゼロのワークロードには最適である可能性があります。

こちらをご参照ください：エッジ クラウド

### 分散型アンテナ システム (DAS : Distributed Antenna System) ハブ

通常はセルラー ネットワークをサポートする、多くの無線通信機器の集約ポイントとして機能する場所を指します。サービスプロバイダー エッジに展開されたエッジ データセンターが含まれるか、エッジ データセンターに直接接続される場合があります。

こちらをご参照ください：エッジ データセンター

### エッジクラウド

サービスプロバイダー エッジに配置されたクラウドのような機能を指し、ユーザーの観点からは、柔軟に割り当てられたコンピューティング、データストレージ、ネットワークリソースへのアクセスが含まれます。多くの場合、中央集中のパブリック クラウドまたはプライベート クラウドのシームレスな拡張として運用され、サービスプロバイダー エッジに展開されたマイクロ データセンターから構築されます。分散エッジクラウドと呼ばれることもあります。

こちらをご参照ください：クラウド コンピューティング

### エッジ コンピューティング

アプリケーションとサービスの性能、運用コスト、信頼性を向上させるために、ネットワークの論理的極限にコンピューティング機能を提供することを指します。エッジコンピューティングは、デバイスとそれらを提供するクラウドリソース間の距離を短縮し、ネットワークホップを削減することで、今日のインターネットの遅延と帯域幅の制約を軽減し、新しいクラスのアプリケーションの到来を告げます。具体的には、今日の中央集中データセンターと特にラストマイルネットワークのすぐ近くで、インフラ側とデバイス側の両方に集中して、ますます増え続けるデバイスとの間のパスに沿って、新しいリソースとソフトウェアスタックを分散配備することを意味します。

こちらをご参照ください：サービス プロバイダー エッジ

### エッジ データセンター

従来の中央集中データセンターと比較して、ネットワークのエッジにできるだけ近くに展開できるデータセンターを指します。それぞれは小規模ながら、中央集中データセンターと同様の機能を個別に実行できます。物理的な場所に幅広く分散されたことによる独特の制約によって、エッジデータセンターでは自律運用、マルチテナンシー、分散およびローカルの復元力、オープンスタンダードが採用されることがよくあります。エッジは、これらのデータセンターが通常展開される場所を指します。その規模は、小さいもので容量が50～150kW+の範囲として定義できます。複数のエッジデータセンターが相互接続して、ローカルエリア内での容量の強化、障害の軽減、ワークロードの移行を実現し、仮想データセンターとして動作する場合があります。

こちらをご参照ください：仮想データセンター

### エッジ交換

サービスプロバイダー エッジデータセンターで行われるインターネット前のトラフィック交換を指します。この機能は、通常、サービスプロバイダー エッジデータセンターのエッジミートミー ルームで実行され、宛先の場所がエッジ交換に存在しない場合、従来の中央集中インターネット エクスチェンジ ポイントを使用して補足的または階層的な方法で動作する場合があります。インターネットに向かうトラフィックの場合も同様です。エッジ交換は、中央集中インターネット交換と比較してエンド ツー エンドのアプリケーションの遅延を改善するために使用される場合があります。

こちらをご参照ください：インターネット エクスチェンジ ポイント (IXP：Internet Exchange Point)

### エッジ ミート ミー ルーム

テナントと通信プロバイダーは、エッジを除き、従来のミートミー ルーム環境と同じ方法で相互接続でき、他のエッジデータセンターと相互接続できるエッジデータセンター内のエリアを指します。

こちらをご参照ください：相互接続

### エッジ ネットワーク ファブリック

ネットワーク相互接続のシステムで、通常はダークファイバーまたはライトファイバーで、サービスプロバイダー エッジデータセンターの間、場合によってはエリア内の他のローカル インフラストラクチャーとの間の接続を提供します。これらのネットワークは、その規模と最も頻繁に運用される場所から、通常は都心部にあがる個々の地理的エリアをまたがる大都市圏ネットワークとみなすことができます。

こちらをご参照ください：エッジ交換

### エッジ ノード

個々のサーバーやその他のコンピューティングリソースのセットなど、エッジコンピューティングインフラストラクチャーの一部として動作するコンピューティングノードを指します。通常、インフラストラクチャーのエッジで動作するエッジデータセンター内に存在し、そのため、中央集中データセンターのクラウドノードよりも対象ユーザーに物理的に近い場所にあります。

こちらをご参照ください：クラウドノード

### エッジ エンハンスド アプリケーション

中央集中データセンターで運用可能ですが、エッジコンピューティングで使用した場合、通常、遅延や機能面での優位性などの性能上の利点を向上させることが可能なアプリケーションを指します。これらのアプリケーションは、中央集中データセンターで動作する既存のアプリケーションを変更なしに適合される場合があります。

こちらをご参照ください：エッジネイティブアプリケーション

### エッジ ネイティブ アプリケーション

中央集中データセンターでの運用が非現実的または望ましくないアプリケーションを指します。これは、低遅延の要件や大量のデータの移動、データのローカルでの作成と消費、規制上の制約などのさまざまな要因が原因であると考えられます。これらのアプリケーションは通常、サービスプロバイダーエッジのエッジデータセンター向けに開発され、そこで動作します。サービスプロバイダーエッジを使用して、大規模なデータの取り込み、データの削減、リアルタイムの意思決定サポートを提供したり、データ主権の問題を解決したりすることができます。

こちらをご参照ください：エッジ エンハンスド アプリケーション

### フォグ コンピューティング

コンピューティングリソースとデータストレージリソース、およびアプリケーションとそのデータを、性能と冗長性の向上を目的として、ユーザーとクラウドの間の最適な場所に配置する分散コンピューティングの概念を指す。フォグコンピューティングワークロードは、クラウドからサービスプロバイダーエッジまでのコンピューティングおよびデータストレージリソースをまたがって実行されることがあります。フォグコンピューティングという用語は、もともとCiscoによって造られました。中央集中データセンター、地域データセンター、エッジデータセンターを利用します。

こちらをご参照ください：ワークロードオーケストレーション

### ゲートウェイ デバイス

デバイスエッジのサブカテゴリで、他のローカルデバイスのゲートウェイとして動作するラストマイルネットワークのデバイスエッジ側にあるデバイスを指します。その目的は、その多くがバッテリー駆動で、低電力状態で長時間動作する可能性があるローカルデバイスとサービスプロバイダーエッジのエッジデータセンター内で動作するデータ分析アプリケーションなどの外部要素との間のデータ転送を集約して促進することです。

こちらをご参照ください：リソースに制約のあるデバイス



### サービスプロバイダー エッジ

エッジコンピューティング機能で、通常は、1つ以上のエッジデータセンターで構成され、ラストマイルネットワークのオペレーター側に展開されます。サービスプロバイダー エッジに配置されたコンピューティング、データストレージ、およびネットワークリソースは、リソースの柔軟な割り当てなどの中央集中データセンターで見られるものと同様のクラウドのような機能が可能になりますが、中央集中データセンターまたは地域データセンターを使用するよりも局所性が高いため、遅延が小さく、データ転送コストも低くなります。

こちらをご参照ください：デバイス エッジ

### ローカル ブレークアウト

インターネットとのトラフィックを、エッジデータセンターなどのエッジネットワークノードを介してインターネットに流す機能を指します。これにより、トラフィックがより集中化された施設に戻る長いパスを必要とせずに済みます。

### 相互接続

多くの場合、光ファイバー ケーブルを介して、ミートミー ルーム、キャリア ホテルなどにおけるインターネットピアリングポイントで、一方のネットワークを他方のネットワークに接続するリンクを指します。この用語は、2つのデータセンター間、またはエッジミートミー ルームなどのデータセンター内のテナント間の接続を指す場合もあります。

こちらをご参照ください：エッジミートミー ルーム

### インターネット エッジ

サービスプロバイダー エッジとインターネット間の相互接続を行うサービスプロバイダー エッジ内のサブレイヤーを指します。ここには、エッジミートミー ルームや高性能の相互接続を提供するために使用されるその他の機器が含まれています。

こちらをご参照ください：相互接続

### インターネット エクスチェンジ ポイント (Internet Exchange Point : IXP)

トラフィックを直接交換するために大規模なネットワークプロバイダーなどが集まる場所を指します。一般的なサービスプロバイダーは、IXP 経由でティア 1 のグローバルプロバイダーとそのネットワークにアクセスし、IXP はネットワークのミートポイントとして機能します。IXP は、トラフィック交換やピアリングにさまざまな組織が利用できるため、キャリア ホテルと呼ばれることもあります。インターネット エッジは、IXP に接続されることがよくあります。

こちらをご参照ください：インターネットエッジ

### IP アグリゲーション

サービスプロバイダー エッジでコンピューティング、データストレージ、およびネットワークリソースを使用して、セルラー ネットワーク RAN から受信したネットワークデータをできるだけ早い段階で分離してルーティングします。IP アグリゲーションが使用されていない場合、このデータは、インターネットまたは別のネットワークにルーティングされる前に、ローカル CO または他のアグリゲーションポイントまでより長いパスをたどる必要がある場合があります。ユーザーのセルラー ネットワークの QoS を向上させます。

こちらをご参照ください：サービス品質 (QoS : Quality of Service)

### ジッター

一定期間にわたって観察されたネットワークデータ転送遅延の変動を指します。測定期間中に記録された、最小値から最大値までの遅延値をミリ秒単位で観測します。遅延の変動がほとんどないことを前提としている VoIP、自動運転、オンラインゲームなど、この指標に敏感なリアルタイムアプリケーションにとって、重要な指標です。

こちらをご参照ください：サービス品質（QoS：Quality of Service）

### ラストマイル

サービスプロバイダーと顧客を接続する通信ネットワークのセグメントを指します。接続の種類と、顧客とインフラストラクチャー間の距離によって、顧客が利用できる性能とサービスが決まります。ラストマイルはアクセスネットワークの一部であり、サービスプロバイダーの制御範囲内でユーザーに最も近いネットワークセグメントでもあります。この例としては、DOCSIS ヘッドエンドサイトからケーブルモデムへのケーブル配線や、顧客のモバイルデバイスとセルラーネットワークサイト間のワイヤレス接続が含まれます。

こちらをご参照ください：アクセスネットワーク

### 遅延

ネットワークデータ送信において、データの単位（通常は、フレームまたはパケット）が送信元デバイスから目的の宛先まで移動するのにかかる時間を指します。2つ以上のエンドポイント間で、一度または繰り返し、ミリ秒単位で測定されます。最新のアプリケーションのユーザー体験を最適化するための重要な指標です。時間の経過に伴う遅延の変化を指すジッターとは異なります。ラウンドトリップタイム（Round Trip Time：RTT）として表されることもあります。

こちらをご参照ください：サービス品質（QoS：Quality of Service）

### 遅延が重要なアプリケーション

遅延が特定のしきい値を超えると、機能しなくなる、または破壊的に機能するアプリケーションを指します。遅延が重要なアプリケーションは、通常、自動運転車のサポートやマシン間のプロセスの制御などのリアルタイムタスクに対し責任を負っています。遅延に敏感なアプリケーションとは異なり、遅延が要件を超えるとアプリケーション障害が発生します。

こちらをご参照ください：エッジネイティブアプリケーション

### 遅延に敏感なアプリケーション

遅延が短縮されると性能は向上しますが、遅延が期待よりも大きい場合でも機能できるアプリケーションを指します。遅延が重要なアプリケーションとは異なり、遅延が目標を超えても、通常は、アプリケーションで障害が発生することはありませんが、ユーザー体験が低下する可能性があります。例としては、画像処理や大量データ転送などが挙げられます。

こちらをご参照ください：エッジエンハンスドアプリケーション

### 位置認識

最適なアプリケーションパフォーマンスを確保するためのワークロード移行を目的として、RAN データおよびその他の利用可能なデータソースを使用して、ユーザーがどこにいるか、および近い将来どこにいる可能性があるかを高精度で判断します。

こちらをご参照ください：位置ベースノード選択

### 位置ベース ノード選択

アプリケーションのワークロードのパフォーマンスを向上させることを目的として、デバイスの物理的な位置に対するノードの物理的な位置に基づいて、ワークロードを実行する最適なエッジ ノードを選択する方法を指します。ワークロード オーケストレーションの一部です。

こちらをご参照ください：ワークロード オーケストレーション

### マイクロ モジュラー データセンター (MMDC : Micro Modular Data Center)

モジュラー データセンターの概念を、通常、50 ~ 150kW 容量の小規模に適用したデータセンターを指します。必要に応じて屋内または屋外に設置できるラック マウント キャビネットなど、さまざまな形式があります。大規模なモジュラー データセンターと同様に、マイクロ モジュラー データセンターは他のデータセンターと組み合わせ、エリア内で利用可能なリソースを増やすことができます。

こちらをご参照ください：エッジ データセンター

### モバイル エッジ

サービスプロバイダー エッジ、デバイス エッジ、およびネットワーク スライシング機能を組み合わせたもので、リアルタイムの自動運転車制御、自動運転車の経路探索、車内エンターテインメントなどの特定のユースケースをサポートするように調整されています。このようなアプリケーションでは、多くの場合、高帯域幅、低遅延、シームレスな信頼性の必要性が組み合わされます。

こちらをご参照ください：インフラストラクチャー エッジ

### 移動体通信事業者 (MNO : Mobile Network Operator)

セルラー ネットワークの運用者で、通常、ネットワークを効果的に展開して運用するために必要な RAN 機器やネットワーク サイトなどの物理資産を担当します。MNO は物理ネットワーク資産を担当するため、MVNO とは異なります。これらの資産の下には、セル サイトに配置された、またはセル サイトに接続されたサービスプロバイダー エッジに展開されたエッジ データセンターが含まれる場合があります。通常、サービスプロバイダーは、他のネットワークやインターネットへのアクセスを提供します。

こちらをご参照ください：仮想移動体通信事業者 (MVNO : Mobile Virtual Network Operator)

### 仮想移動体通信事業者 (MVNO : Mobile Virtual Network Operator)

MNO に似たサービスプロバイダーですが、MVNO は独自のセルラー ネットワーク インフラストラクチャーを所有している場合もあるが、通常は、所有せず、運営しているという点が異なります。MVNO は、使用しているセル サイトに接続されたサービスプロバイダー エッジに展開されたエッジ データセンターを所有することはありませんが、そのエッジ データセンター内のテナントである可能性があります。

こちらをご参照ください：移動体ネットワーク事業者 (MNO)

### モジュラー データセンター (MDC : Modular Data Center)

移植性を考慮して設計されたデータセンター展開方法を指します。高性能のコンピューティング、データストレージ、およびネットワーク機能は、輸送コンテナなどのポータブル構造内に実装され、必要な場所に輸送できます。これらのデータセンターを既存のデータセンターまたは他のモジュラー データセンターと組み合わせ、必要に応じて利用可能なローカル リソースを増やすことができます。

こちらをご参照ください：マイクロ モジュラー データセンター (MMDC)

### マルチ アクセス エッジ コンピューティング (MEC : Multi-access Edge Computing)

無線アクセスネットワーク (RAN) と緊密に結合されたサービスの開発をサポートするために ETSI が後援するオープンアプリケーションフレームワークを指します。2014 年に正式に制定された MEC は、ワイヤレス ネットワークのエッジでアプリケーションを構築および展開するための標準化されたソフトウェア プラットフォーム、API、およびプログラミングモデルで、4G および 5G ワイヤレス基地局を強化することを目指しています。MEC により、キャッシュ、バッファリング、リアルタイムトランス コーディングを利用した無線対応ビデオ最適化などのサービスの展開が可能になり、セルラー ネットワークの混雑が軽減され、ユーザー体験が向上します。当初、モバイル エッジ コンピューティングとして知られていましたが、ETSI のワーキンググループは、MEC を、セルラーを超えて他のアクセス テクノロジーを含めるように拡大するという野心を認識するために、2016 年にマルチアクセス エッジ コンピューティングに名前を変更しました。MEC は、サービス プロバイダー エッジに展開されたエッジ データセンターを利用します。

こちらをご参照ください：サービス プロバイダー エッジ

### ネットワーク機能仮想化 (NFV : Network Function Virtualization)

業界標準の仮想化およびクラウド コンピューティング テクノロジーを使用して、独自のハードウェア アプライアンス内の組み込みサービスから、標準の x86 および ARM サーバー上で実行されるソフトウェア ベースの VNF へネットワーク機能を移行することを指します。多くの場合、NFV 処理とデータストレージは、サービス プロバイダー エッジ内のローカル セルラー サイトに直接接続されているエッジ データセンターで行われます。

こちらをご参照ください：仮想化ネットワーク機能 (VNF)

### ネットワーク ホップ

ネットワーク上で転送中のデータのルーティングまたはスイッチングが行われるポイントを指します。通常、ルーターなどの集約デバイスにあり、そのデータの次の直接の宛先に関する決定点になります。ユーザーとアプリケーション間のネットワーク ホップ数を減らすことは、エッジ コンピューティングの主要な性能目標の 1 つです。

こちらをご参照ください：エッジ コンピューティング

### ノース バウンドとサウス バウンド (そして、イースト / ウェスト)

クラウドが最上位、サービス プロバイダー エッジが中間、デバイス エッジが最下位という階層の中で表示した場合のデータが送信される方向を指します。ノース バウンドおよびサウス バウンドのデータ送信は、それに応じてクラウドまたはエッジ データセンターとの間で送受信されるものとして定義されます。イースト バウンドおよびウェスト バウンドのデータ送信は、ワークロードの移行やデータレプリケーションなどの目的で、同じ階層にあるデータセンター間で発生するものとして定義されます。これは、中央集中データセンター間またはエッジ データセンター間で発生する可能性があります。

こちらをご参照ください：仮想データセンター

### オーバーザトップ サービス プロバイダー (OTT : Over-the-Top Service Provide)

基盤となるネットワーク、場合によってはデータセンター、アプリケーションやサービスをユーザーに提供するのために必要なインフラストラクチャーを所有または運用していないアプリケーションまたはサービスのプロバイダーを指します。ストリーミングビデオ サービスと MVNO は、今日非常に一般的な OTT サービス プロバイダーの例です。多くの場合、データセンターのテナントです。

こちらをご参照ください：仮想移動体通信事業者 (MVNO : Mobile Virtual Network Operator)

### ポイント オブ プレゼンス (PoP : Point of Presence)

サービスプロバイダーがユーザーまたはパートナーによるネットワークへの接続を許可するネットワークインフラストラクチャー内のポイントを示します。エッジコンピューティングでは、多くの場合、IXP がローカルエリア内がない場合、PoP はエッジ ミート ミー ルーム内にあります。エッジ データセンターは PoP に接続し、PoP が IXP に接続します。

こちらをご参照ください：相互接続

### 体験品質 (QoE : Quality of Experience)

アプリケーションとネットワークのユーザー体験のさらなる向上を目指し、アプリケーションとネットワークの性能をより詳細かつ精緻に測定し、QoS の原則を高度に使用することを指します。また、能動的に性能を測定し、必要に応じて構成や負荷分散を調整するシステムも指します。したがって、ワークロード オーケストレーションのコンポーネントと考えることができ、インテリジェント オーケストレーターの高忠実度の高いデータソースとして機能します。

こちらをご参照ください：ワークロード オーケストレーション

### サービス品質 (QoS : Quality of Service)

ネットワークとデータセンターのインフラストラクチャーが、多くの場合、特定のアプリケーションが、特定のユーザーに、どの程度適切にサービスを提供しているかを示す尺度を指します。スループット、遅延、ジッターは、リアルタイムから大量データ転送のユースケースに至るまで、すべてエッジコンピューティングがさまざまな種類のアプリケーションで改善しようとしている重要な QoS 測定基準です。

こちらをご参照ください：エッジコンピューティング

### 無線アクセス ネットワーク (RAN : Radio Access Network)

アクセスネットワークにおける無線の部類で、通常は 3G、4G、5G などのセルラー ネットワークを指します。5G RAN は、NFV と C-RAN を利用するため、サービスプロバイダー エッジのコンピューティング、データストレージ、およびネットワークリソースによってサポートされます。

こちらをご参照ください：クラウド RAN (C-RAN : Cloud RAN)

### 地域データセンター

規模的には中央集中データセンターとエッジデータセンターの間に位置するデータセンターです。エッジデータセンターよりもエンドユーザーから物理的にかなり離れていますが、中央集中データセンターよりはエンドユーザーに近いです。状況によっては大都市データセンターとも呼ばれます。従来のクラウドコンピューティングの一部。

こちらをご参照ください：クラウドコンピューティング

### リソースに制約のあるデバイス

デバイス エッジのサブカテゴリーで、ラスト マイル ネットワークのデバイス エッジ側にあるデバイスを指します。多くの場合、バッテリーで駆動され、省電力モードで長時間動作する可能性があります。これらのデバイスは通常、ゲートウェイ デバイスにローカルで接続され、ゲートウェイ デバイスは、サービスプロバイダー エッジのエッジデータセンターで動作するデータ分析アプリケーションなど、ローカル ネットワーク外部のソースによって生成されたデータとソースに向けられたデータを送受信します。

こちらをご参照ください：ゲートウェイ デバイス

### サービス プロバイダー

顧客に自社のネットワークへのアクセスを提供する組織を指します。通常は、顧客にインターネットへのアクセスを提供することを目的としています。顧客は通常、ラストマイルの側からサービス プロバイダーのアクセス ネットワークに接続します。

こちらをご参照ください：アクセス ネットワーク

### 共有インフラストラクチャー

複数の関係者により単一のコンピューティング、データストレージ、およびネットワーク リソースを使用します。たとえば、2 つの組織がそれぞれ 1 つのエッジデータセンターの半分を使用します。この点で、各当事者が独自のインフラストラクチャーを所有するコロケーションとは異なります。

こちらをご参照ください：コロケーション

### ソフトウェア エッジ

ソフトウェア開発およびアプリケーション展開の観点から、アプリケーション ワークロードを展開できるエンドユーザーに物理的に最も近いポイントを指します。アプリケーションのワークロードとコンピューティング リソースの現在の可用性に応じて、このポイントはデバイス エッジにある場合がありますが、しかし、通常は、弾力性のあるリソースを提供するクラウドのような機能により、サービス プロバイダー エッジ内にあります。

こちらをご参照ください：ネットワーク機能仮想化（NFV：Network Function Virtualization）

### スループット

ネットワーク データ送信において、2 つ以上のエンドポイント間で伝送できる 1 秒あたりのデータ量を指します。通常、ビット / 秒の単位で測定され、必要に応じてメガビットまたはギガビットのスケールで測定されます。アプリケーションが機能するには、多くの場合、最低レベルのスループットが要求されますが、この要求を超えた遅延は、アプリケーションを制限し、ユーザー体験を損なう要因になります。

こちらをご参照ください：サービス品質（QoS：Quality of Service）

### トラフィック オフロード

長距離ネットワーク、輻輳ネットワーク、高コストネットワークなど、通常は非効率的に配信されるデータを、よりローカルな代替宛先（CDN キャッシュなど）に再ルーティングするか、低コストまたはより効率的なネットワークに再ルーティングするプロセスを指します。ローカル ブレークアウトは、エッジ コンピューティングをトラフィック オフロードに適用した例です。

こちらをご参照ください：ローカル ブレークアウト

### トラック ロール

エッジ コンピューティングにおいては、エッジ データセンターなどのエッジ コンピューティングの場所に人員を派遣する行為で、通常、検出された問題を解決またはトラブルシューティングします。このような場所は遠隔地にあることが多く、現場担当者がいない状態で、ほとんどの時間は遠隔操作で運営されます。このため、エッジ コンピューティング事業者にとって、トラック ロールのコストやその他の実際的な考慮事項が潜在的な懸念事項になっています。

### ビークル 2 インフラストラクチャー (V2I : Vehicle 2 Infrastructure)

コネクテッドカーや自動運転車が、サービスプロバイダー エッジのエッジデータセンターで動作するマシンビジョンやルート検索アプリケーションなどのサポート インフラストラクチャーに接続できるようにするために使用される技術の集合を指します。通常、5G や Wi-Fi6 などの新しいセルラー通信テクノロジーをアクセスネットワークとして使用します。

こちらをご参照ください：アクセス ネットワーク

### 仮想データセンター

複数の物理エッジデータセンターを外部からは 1 つとみなせるように構築された仮想センターを指します。仮想データセンター内では、負荷分散、フェイルオーバー、またはオペレーターの優先傾向に基づいて、必要に応じて特定のエッジデータセンターまたは可用ゾーン内にワークロードをインテリジェントに配置できます。このような構成では、エッジデータセンターは低遅延ネットワークングによって相互接続され、冗長性と回復力のあるエッジコンピューティングインフラストラクチャーを作成するように設計されています。

こちらをご参照ください：エッジデータセンター

### 仮想化ネットワーク機能 (VNF : Virtualized Network Function)

専用の物理機器の代わりに NFV によって使用される汎用コンピューティングリソース上で動作するソフトウェアベースのネットワーク機能を指します。多くの場合、さまざまな VNF がサービスプロバイダー エッジのエッジデータセンターで動作します。

こちらをご参照ください：ネットワーク機能仮想化 (NFV : Network Function Virtualization)

### ワークロード オーケストレーション

中央集中データセンターや地域のデータセンターからサービスプロバイダー エッジとデバイスエッジの両方で利用可能なリソースまで、コンピューティング、データストレージ、およびネットワークリソースの範囲で処理されるアプリケーションワークロードの最適な場所、時間、優先順位を動的に決定するインテリジェント システムを指します。ワークロードには、特定のパフォーマンス要件とコスト要件がタグ付けされ、これにより、ワークロードを満たすリソースが使用可能になるときにワークロードを運用する場所を決定できます。

こちらをご参照ください：ソフトウェア エッジ

### xHaul (「クロスホール」)

2 つ以上のネットワークまたはデータセンター インフラストラクチャーの高速相互接続を指します。バックホールとフロントホールは xHaul の例です。

こちらをご参照ください：相互接続

付録 B

# LINUX FOUNDATION EDGE プロジェクト 紹介



この章では、LF Edge 傘下のアクティブな各プロジェクトを簡単に紹介します。読者は、各プロジェクトに提供されている Web サイトにアクセスして詳細を確認し、貢献者としてプロジェクトへの参加を検討されることをお勧めします。まず、LF Edge プロジェクトが成熟度レベルによってどのようにグループ化されているか、分類することから始め、次に各プロジェクトの詳細を説明します。

## 成熟度レベルによる LF Edge プロジェクトの分類

LF Edge プロジェクトには、承認されたプロジェクト ライフサイクルドキュメント (PLD : Project Lifecycle Document) プロセスに従った投票によって関連付けられた成熟度レベルがあります。成熟度レベルは、コミット数、POC での使用、コミュニティへの参加、他の LF Edge プロジェクトとの相互運用性 / 互換性、公的に文書化されたリリース サイクルなどに応じて、プロジェクトがライフサイクルのどの位置にあるかを示すシグナルです。LF Edge プロジェクトの段階の詳細については、[こちらをご覧ください](#)。

### ステージ 1 : 一般 (At Large)

一般ステージのプロジェクトは、エッジ エコシステム全体にとって重要である、または重要である可能性がある、と TAC が考えるオープンソースの取り組みです。これらは通常、コミュニティのサポートと引き換えに、LF Edge オープン エッジ プラットフォーム全体に機能を追加することを検討している初期段階の取り組みです。

### ステージ 2 : 成長ステージ (Growth Stage)

成長ステージは、インパクト ステージに到達することに関心があり、そのための成長計画を特定したプロジェクトのためのものです。成長ステージは、まだ製品やサービスの開発に取り組んでいるプロジェクトを収容し、その製品やサービスを使用する大規模な導入者をサポートするために取り組むことを目的としています (例: バグ修正のリリース、アップグレードに関するガイダンスの提供、セキュリティ問題への対処、など)。

### ステージ 3 : インパクト ステージ (Impact Stage)

インパクト ステージは、開発、メンテナンス、長期サポートの自立的なサイクルにあるプロジェクトのためのものです。インパクト ステージのプロジェクトは、多数の公開ユースケースが存在する実稼働環境で広く使用されています。さらに、このステージのプロジェクトは、多数の多様な貢献者による広範囲で確立されたコミュニティを持っています。

### ステージ 4 : 名誉ステージ (Emeritus Stage)

名誉ステージのプロジェクトとは、保守者が寿命に達したか、寿命に近づいていると感じているプロジェクトです。名誉ステージのプロジェクトはエコシステムに貢献してきましたが、より積極的に維持する選択肢がある可能性があるため、必ずしも最新の開発は推奨されません。財団は、これらのプロジェクトとそのコミュニティの貢献、そしてエコシステムを前進させる上で彼らが果たした役割に感謝しています。

## ステージ 3 — インパクト プロジェクト

### STAGE 3



Akraïno Website: <https://wiki.akraïno.org>

Akraïno は、5G、AI、エッジ IaaS/PaaS、IoT など、プロバイダーとエンタープライズの両方のエッジドメイン向けの幅広いユースケースにまたがる、エッジ向けのオープン インフラストラクチャーとアプリケーションブループリント (BP:Blueprint) のセットです。これらのブループリントは、Akraïno コミュニティーによって作成され、さまざまな形式のエッジにのみ焦点を当てています。これらは、そのまま導入することも、新しいエッジブループリントをカスタマイズするための出発点として使用することもできます。現在、20 の Akraïno ブループリントがあり、ユーザーとコミュニティメンバーがサポートする実際のハードウェアラボでテストおよび検証されています。Akraïno コミュニティー

は協力して、開発者とオープンソース参加者に共有リソースを提供し、さまざまなハードウェアプラットフォームやアーキテクチャ間の開発を容易にしています。このプロジェクトは、Airship、OpenStack、ONAP、ETSI MEC、GSMA、TIP、CNCF、ORAN など、複数のアップストリームのオープンソースコミュニティ /SDO と協力しています。Akraïno は、ゼロタッチ プロビジョニングとゼロタッチ ライフサイクル管理をサポートする完全に統合されたソリューションを提供します。

### STAGE 3



EdgeX Foundry Website: <https://www.edgexfoundry.org>

EdgeX Foundry は、業界をリードする最先端の IoT プラグアンドプレイ、エコシステム対応のオープンソフトウェアプラットフォームです。EdgeX は、IoT Edge でのデバイスとアプリケーション間の相互運用性を促進する柔軟性と拡張性に優れたオープンソースソフトウェアフレームワークです。デバイスデータの取り込み、正規化、分析のための交換可能なリファレンス サービスを提供することで、多くの垂直市場における IoT ユースケースとビジネスのデジタルトランスフォーメーションを加速します。

また、EdgeX Foundry は、エッジでの自律運用や AI の実現など、新しいエッジデータ サービスや高度なエッジコンピューティングアプリケーションもサポートしています。EdgeX IoT ミドルウェアプラットフォームは、エッジのセンサー (モノ) からデータを収集し、エンタープライズ、クラウド、オンプレミスのアプリケーションとの間でデータを送受信するデュアルトランスフォーメーションエンジンとして機能します。コンテナの 7 百万以上のダウンロードと LF Edge のステージ 3 のプロジェクトの実績を持って、EdgeX Foundry は、幅広く産業を支援しています。これは、Linux Foundation のベンダーニュー

ラルな Apache2.0 オープンソースライセンスモデルの下で利用できます。

LF Edge のメンバーと EdgeX Foundry の貢献者は、商用サポート、トレーニング、カスタマーパイロットプログラム、デバイス接続のためのプラグイン拡張、アプリケーション、データおよびシステムの管理とセキュリティなど、さまざまな補完的な製品とサービスを生み出しています。

さらに、EdgeX は、Akraïno、Home Edge、Open Horizon など、他の LF Edge プロジェクトと緊密に連携しています。EdgeX は、Akraïno Edge Lightweight IoT (ELIOT) ブループリントの一部であり、Akraïno Community Lab の下でテストされています。Open Horizon は、段階的なコンテナ化されたソリューションとして EdgeX Foundry の提供と管理を実証する統合プロジェクトを構築しています。Home Edge と連携して、集中管理されたデバイスをプライマリデバイスとして指定して、さまざまなデバイスからのデータを保存できます。

## STAGE 3



# FLEDGE

Fledge Website: <https://www.lfedge.org/projects/fledge>

Fledge は、2018 年からプロセスおよびディスプレイ製造に展開されている成熟した IIoT オープンソース プラットフォームです。LF Edge、LF Energy、OSDU の 3 つのオープンソース コミュニティがプロジェクトに貢献しています。コントリビューターには、産業ユーザー (RTE、Alliander、JEA、Honda Racing、Neuman Aluminum、BRP)、産業サプライヤー (AVEVA/OSIsoft、FLIR WAGO、Nexcom、Advantech)、機械学習イノベーター (Google、Dianomic、BIBA Research) が含まれます。

Fledge は、100 を超える産業用プロトコル、データマッピング、センサープラグイン、および OEE、ERP、ロジスティクス、MES、ヒストリアン、データベース、クラウドプロバイダーシステムに接続する 20 を超える統合ソリューションを提供しています。Fledge のプラグ可能なマイクロサービスベースのアーキ

テクチャと UI は、ノーコード、ローコード、ソースコードの開発とデータパイプラインとワークロードのプロビジョニングに関する OT ユーザー コミュニティの要件に対応します。時系列、画像、ラジオメトリック、アレイ、振動、トランザクションデータをサポートする Fledge は、OT エッジを統一し、拡張性、管理性、セキュリティを実現します。

開発者は、Fledge クイックスタートガイドと、その拡大するコミュニティサポートを活用して、新しいプロトコルとあらゆる産業資産や統合のためのデータマッピングを迅速に分離して開発できます。プラグイン可能なフィルター、ルール、ML ランタイム、またはスクリプトを使用してエッジアプリケーションを構築することで、貢献とコラボレーションが容易になります。

Fledge は、EVE や Akraino などの他の LF Edge プロジェクトと緊密に連携しています。

EVE は、システムおよびオーケストレーションサービス、コンテナ ランタイムを Fledge アプリケーションおよびサービスに提供します。産業事業者は協力して、監視制御とデータ収集システム (SCADA : Supervisory Control and Data Acquisition) だけでなく、IIoT、センサーの拡張に応じて SCADA 以外の接続マシンの両方に、構築、管理、保護、サポートすることができます。また、Fledge は Akraino と統合されており、両プロジェクトは 5G とプライベート LTE ネットワークの展開をサポートしています。

## ステージ 2 — 成長プロジェクト

### STAGE 2



Project EVE Website: <https://www.lfedge.org/projects/eve>

EVE は、従来、データセンターの外部にある分散型エッジでソリューションを展開するためのオープンで厳選されたユニバーサル オペレーティング システムを構築することで、Android がモバイルで行ったことをエッジで実現することを目指しています。EVE 内で開発された EVE-OS は、あらゆるアプリケーションやハードウェアのライフサイクル管理とリモート オーケストレーションを可能にし、制約のあるコンピュート ノードにスケール ダウンし、ゼロトラストセキュリティ モデルを組み込んで、現場でのエッジ コンピューティングに固有の物理的展開およびサイバー セキュリティの要件を満たします。

プロジェクトの範囲には、次のものが含まれます。

- セキュリティが組み込まれた柔軟なモジュール式 EVE-OS を提供します。
- コントローラー実装のリファレンスを提供します。
- オープン オーケストレーション API の仕様と定義を提供します。

EVE-OS は、Docker コンテナ、Kubernetes クラスター、仮想マシンをサポートし、旧来ソフトウェアへの投資をサポートしながら、IoT、AI、ネットワーキング、セキュリティのユースケースにおける分散型エッジ展開にクラウド ライクな体験を拡張できるようにします。エッジ ハードウェアの多様な状況からソフトウェアを切り離す抽象化レイヤーを提供し、アプリケーションの開発と展開をより簡単に、安全に、相互運用できるようにします。EVE を LF Edge でホストすることで、ベンダー ニュートラルなガバナンスとコミュニティ主導の開発が保証されます。

### STAGE 2



Open Horizon Website: <https://www.lfedge.org/projects/openhorizon>

Open Horizon は、コンテナ化されたワークロードと関連する機械学習資産のサービス ソフトウェア ライフサイクルを管理するためのプラットフォームであり、デバイスや分散された Web スケールのエッジ コンピューティング クラスター軍団に展開されたアプリケーションの自律管理をすべて中央管理ハブから可能にします。

Open Horizon は、2020 年半ばにステージ 1 の「一般」プロジェクトとして LF Edge に参加しました。これにより、30,000 台以上のエッジデバイスを同時に自律的に管理することができます。また、1 つのハブで最大 1,000 の組織（クライアント）のマルチテナントを処理する機能も含まれています。

Open Horizon は、EdgeX Foundry や、自動化された「ゼロタッチ」オンボーディングサービスである Secure Device Onboard (SDO) など、他の LF Edge プロジェクトと連携して、エッジハードウェア上のデバイスをより安全かつ自動的にオンボーディングおよびプロビジョニングします。Open Horizon と併用することで、設置者の役割を簡素化し、コストを削減し、セキュリティ対策の不備を軽減するゼロタッチ モデルを提供します。

## STAGE 2

# STATE OF THE EDGE

State of the Edge Website: <https://stateoftheedge.com>

State of the Edge は、エッジコンピューティングに関するオープン リサーチのためのベンダー中立プラットフォームであり、エッジの共通語彙をクラウドソーシングすることでイノベーションを加速させることに専念しています。このプロジェクトは、広く採用され、エッジ コンピューティングと次世代インターネットによって提供される魅力的なソリューションを議論するために使用される、無料で共有可能な研究を開発します。

State of the Edge プロジェクトは、LF Edge の傘下で以下のアセットを管理および生成します。

- このような「エッジの現状 (State of the Edge)」に関するレポートを提供します。
- 「エッジコンピューティング オープン用語集 (Open Glossary of Edge Computing)」は、エッジコンピューティングに関連する用語のフリー ライセンスのオープンソース辞書です。
- 「エッジコンピューティングの景観 (Edge Computing Landscape)」は、LF Edge プロジェクトをエッジ関連の組織や技術を並べて分類し、エッジエコシステムの包括的な概要を提供するダイナミックなデータ駆動型ツールです。

## ステージ 1 — 一般プロジェクト

## STAGE 1



Baetyl Website: <https://www.lfedge.org/projects/baetyl>

Baetyl (「ビートル」と発音) は、クラウドコンピューティング、データ、サービスをエッジデバイスにシームレスに拡張し、開発者が軽量で安全かつスケーラブルなエッジアプリケーションを構築できるようにします。

Baetyl は、エッジコンピューティングのための汎用プラットフォームを提供しており、さまざまな種類のハードウェア施設とデバイスの機能を標準化されたクラウドネイティブのランタイム環境と API に統合します。これにより、アプリケーション、サービス、およびデータフローの効率的な管理が、クラウドとオンプレミスの両方でリモートコンソールを介して実現されます。また、Baetyl はエッジオペレーティングシステムに適切なツールチェーンのサポートを組み込んでおり、一連の組み込みサービスと API を使用することで、エッジアプリケーションの開発の難しさを軽減しています。

## STAGE 1

 eKuiper

eKuiper Website: <https://www.lfedge.org/projects/ekuiper>

eKuiper は、GO 言語 (Golang) によって実装されたエッジの軽量 IoT データ分析 / ストリーミングソフトウェアであり、リソースに制約のあるあらゆる種類のエッジデバイスで実行できます。eKuiper の 1 つの目標は、クラウドストリーミングソフトウェアフレームワーク (Apache Spark、Apache Storm、Apache Flink など) をエッジ側に移行することです。eKuiper は、これらのクラウドストリーミングフレームワークを参照し、エッジ分析の特別な要件を考慮し、Source、SQL (ビジネスロジック)、Sink に基づくルールエンジンを導入しました。ルールエンジンは、エッジ側でストリーミングアプリケーションを開発するために使用されます。

eKuiper は 2021 年半ばにステージ 1 の「一般」プロジェクトとして LF Edge に参加し、それ以来 3 つのメジャー リリースをリリースしています。Go 言語に加え、Python により、外部システムへの接続や処理機能を拡張する機能を提供しています。他の 10 以上の主要機能は、ストリーム処理能力を豊かにし、使用を簡素化します。

eKuiper は、傘下に入る前から、他の LF Edge プロジェクトと一貫して協力してきました。eKuiper は EdgeX Foundry と緊密に連携しています。これは、2020 年初頭から EdgeX Foundry の参照ルールエンジンマイクロサービスとなっています。さらに、eKuiper は BeatyL にデプロイして実行できます。

## STAGE 1

 FIDO DEVICE  
ONBOARD

FIDO Device Onboard Website: <https://www.lfedge.org/projects/fidodeviceonboard>

FIDO Device Onboard は、エッジデバイスを安全かつ自動的にオンボーディングおよびプロビジョニングする自動化された「ゼロタッチ」オンボーディングサービスです。デバイスを設置場所に直送し、ネットワークに接続して電源を入れるだけで、あとは FIDO が行います。このゼロタッチモデルにより、インストーラーの役割が簡素化され、コストが削減され、デフォルトのパスワードで出荷するなどの不適切なセキュリティ慣行が排除されます。

FIDO Device Onboard (旧称 :SDO : Secure Device Onboard) は、2020 年半ばにステージ 1 の「一般」プロジェクトとして LF Edge に参加しました。これにより、デバイスのオンボーディングがより簡単、迅速、低コスト、安全になります。また、これにより、IoT デバイスの獲得可能な最大市場規模 (TAM : Total Available Market) が拡大し、その結果、データ処理インフラストラクチャーのエコシステムが加速されます。ほとんどの「ゼロタッチ」自動オンボーディングソリューションでは、製造時にターゲットプラットフォームを決定する必要がありますが、SDO は柔軟性を高めます。

FIDO Device Onboard は、EdgeX Foundry やコンテナ化されたワークロードと関連する ML 資産のサービスソフトウェアライフサイクルを管理するためのプラットフォームである Open Horizon など、他の LF Edge プロジェクトと連携しています。これにより、オンプレミスの管理者を必要とせず、分散された Web スケール エッジ コンピューティング ノードとデバイスの軍団にデプロイされたアプリケーションを自律的に管理できます。

## STAGE 1

PROJECT  ALVARIUM

Project Alvarium Website: <https://www.lfedge.org/projects/alvarium>

Project Alvarium は、Dell Technologies が生み出した初期コードを持って、2021 年に LF Edge に加わりました。Project Alvarium は、測定可能な信頼性でデバイスからアプリケーションにデータを配信するトラストファブリックのフレームワークと SDK を構築することを目的としています。トラストファブリックは、シリコンからクラウドまで、信頼挿入技術を階層化することでシステムレベルのアプローチを採用し、相互接続されたエコシステムによって推進されるビジネスモデルと顧客体験のまったく新しい時代の到来を告げます。初期貢献企業には、Dell、IOTA Foundation、Intel、Arm、VMware、ZEDEDA が含まれます。

Project Alvarium は、包括的なビューと、測定可能な信頼性でアプリケーションにデータを提供するという点で差別化されており、信頼挿入技術を再発明するのではなく、統合することを目的としており、すべての市場とソリューションスタックに関連しています。

Project Alvarium の使命は、信頼挿入技術に既存のオープンソースと商業的付加価値を結びつけてフレームワークとオープン API を作成し、信頼度スコアアルゴリズムを開発することです。また、他の LF プロジェクトや業界の取り組み (OSS、SDO) と協力して、既存および新しい信頼挿入技術を統一し、スコアリングアルゴリズムを改良します。

## 名誉ステージ プロジェクト

## EMERITUS STAGE



Home Edge Website: <https://www.lfedge.org/projects/homeedge>

Home Edge は、堅牢で信頼性が高く、インテリジェントなホームエッジコンピューティングのオープンソースフレームワークであり、宅内のさまざまなデバイス上で動作するエコシステムです。エッジコンピューティングサービスエコシステムの展開を成功裏に加速するために、Home Edge は、ライブラリやランタイムを伴って実行できる一連の API を備えた、相互運用性、柔軟性、拡張性に優れたエッジコンピューティングサービスプラットフォームをユーザーに提供します。

ホームエッジネットワークに接続されているすべてのデバイス (テレビ、冷蔵庫、洗濯機など) は、ホームエッジデバイスと見なされ、ホームエッジオーケストレーターによってホームエッジノードに割り当てられます。オーケストレーターは、ホームネットワークを継続的にスキャンして新しいデバイスを探し、見つかった場合、デバイスをノードに割り当てるか、新しいノードを作成します。

ホームエッジネットワークは、相互作用する Docker コンテナ インスタンスで構成される分散アプリケーションをサポートします。Docker コンテナは、迅速な展開、簡単な管理、安全性、ハードウェアの独立性を保証します。

このプロジェクトには、OSI が承認したオープンソースライセンスに基づいて開発されたソフトウェアが含まれており、ドキュメント、テスト、統合、および開発、展開、運用、適用を支援するその他の成果物の作成によって構成されます。

## 謝辞

「エッジの現状 (State of the Edge)」はコミュニティ主導の取り組みであり、その専門知識の多くはメンバーの有能なスタッフと外部の専門家から得られています。

IBM の Hakan Sonmez 氏が 2023 年レポートの計画と実行を主導し、主編集者を務めました。エッジリサーチグループの主任アナリストであり、Edge Industry Review の編集者でもある Jim Davis 氏は、コンテンツの作成とレビューを通じてこのレポートに大きく貢献しました。このレポートは、Linux Foundation のデザインおよびブランド責任者である Melissa Schmidt 氏によってデザインされました。

プロセス全体を通じて継続的なサポートと指導をいただいた Linux Foundation の Arpit Joshipura 氏、Kendall Waters Perez 氏、Sunny Cai 氏、Jill Lovato 氏に感謝いたします。

産業用エッジの章のレビューを主導し、コンテンツを提供してくださった Raesemann Enterprises の Robert Raesemann 氏と AVEVA の Daniel Lazaro 氏に心より感謝いたします。上記の方々に加えて、このレポートへのご支援とご貢献をいただいた次の業界専門家に感謝いたします：IBM の Joe Pearson 氏、ARM の Tina Tsou 氏、Cisco Systems の Frank Brockners 氏、Haseeb Rafay の Budhani 氏、Dell の Trevor Conn 氏、Mimik Technology の Sam Armani 氏、IBM の Murali Gandluru 氏、IOtech Systems の Jim White 氏、Dianomic の Tom Arthur 氏、Equinix の Drew Raines 氏、Momenta Partners の Doug Harp 氏、Catchpoint の Mehdi Daoudi 氏。これらの専門家は全員、このレポートの作成に時間と専門知識を提供してくれました。

最後に、「エッジの現状」プロジェクトの過去の共同議長であり、基礎を築き、過去 5 年間この取り組みを率い、バトンを渡してくれた、Vapor IO の Matt Trifiro 氏と Equinix の Jacob Smith 氏に感謝したいと思います。

この日本語文書は、State of the Edge Report 2023 の参考訳です。  
原文は以下のページからダウンロードできます。

<https://stateoftheedge.com/reports/state-of-the-edge-report-2023/>

翻訳協力：天満尚二





STATE OF THE  
**EDGE**  
2023

[www.stateoftheedge.com](http://www.stateoftheedge.com)

 THE **LINUX** FOUNDATION