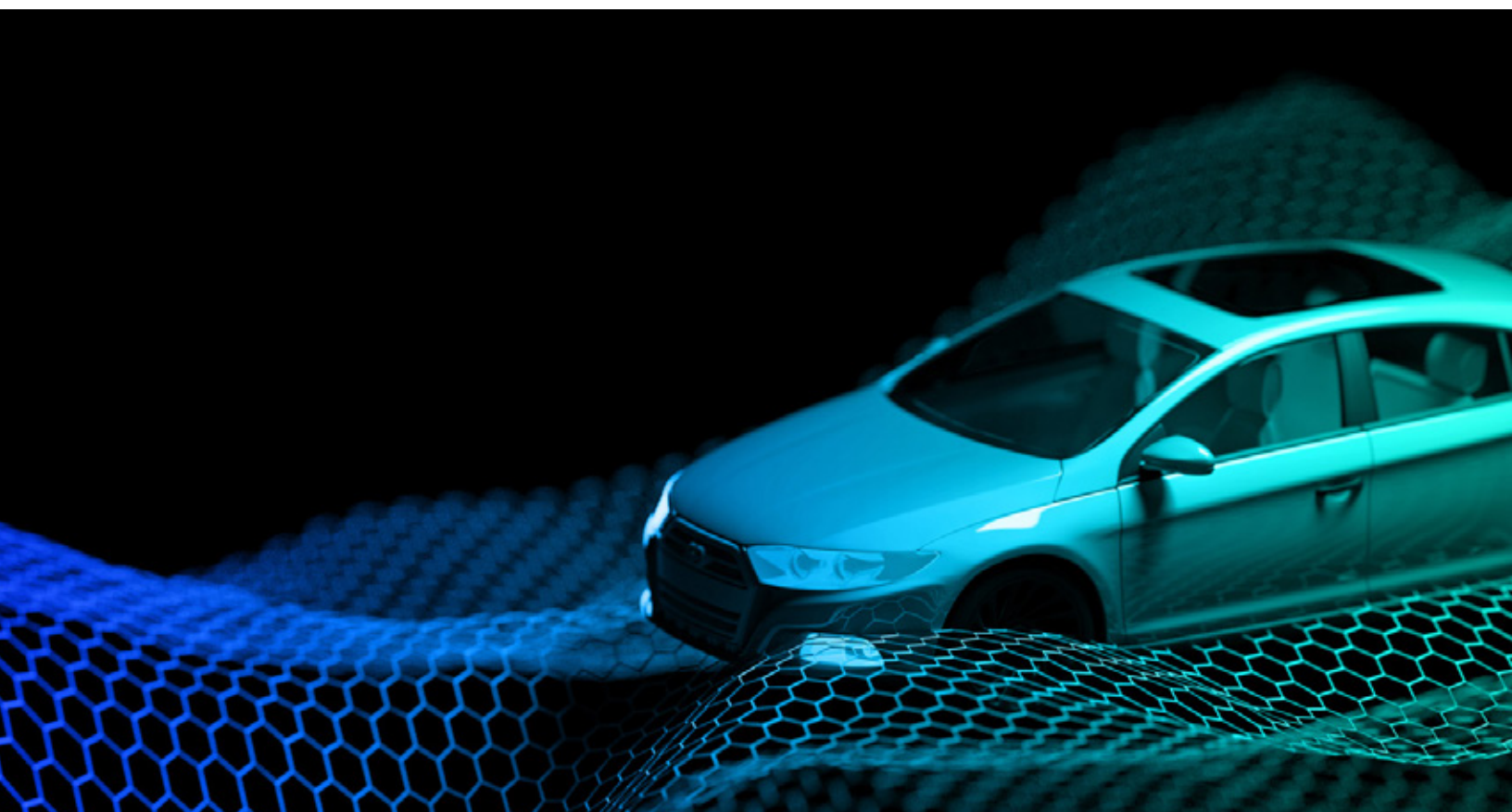


自動車・産業機械研究グループ

AI時代のソフトウェア・ ディファインド・ハードウェア

ソフトウェア・ディファインド・ヴィークル (SDV) は、AIの進歩によって新たな機能を実現し、開発コストを大幅に削減することで、さまざまな業界に大きな変革をもたらしている

本記事は、マッキンゼーの自動車・産業機械研究グループの視点をまとめたものである。住川武人、山科拓也、Ali Rizvi、Ani Kelkar、Philipp Kampshoffが共同で執筆し、小泉正剛、桂さゆ里が監訳・監修を行った。



過去20年間で、ハードウェアは固定的な機能を持つハードウェアからソフトウェアによってその機能が定義される、ソフトウェア・ディファインド・ハードウェア(SDH)へと進化したことにより、ネットワークやモバイル通信などの業界は大きく変貌を遂げた。それに伴い、ハードウェアのアップデートに多大なコストや労力をかけることなくソフトウェアを継続的にアップデートすることによって製品やサービスを改良できるようになった。これにより、かつては特定のタスクに特化し柔軟性に欠けていたデバイスもプログラミングが可能となり、新たなタスクや要件に対応できる柔軟性が高まった。

SDHは、このような機能的メリットがあるにもかかわらず、今までその導入領域はスマートフォンなど、量産によって開発費を回収できる分野に限定されてきた(初期のユースケースについては、コラム「SDHを通じた産業変革」を参照)。一方、ハードウェアの生産量が比較的少ない業界の場合、ソフトウェア開発コストがハードウェアの交換コストと同等か、あるいはそれ以上となるため、SDH導入に対する切迫感はそれほど高くなかった。しかし現在では、AIの導入によりソフトウェア開発における業務の自動化が進み、それによって必要な時間や労力が削減される一方、ソフトウェアの機能性が向上することで、費用対効果のバランスが変わりつつある。

つまり、SDHにより、業務効率化にとどまらず、ハードウェアのパフォーマンス向上や、より高度なパーソナライゼーションが可能となり、それによって企業は新規顧客の獲得やブランドロイヤリティの向上を実現できるようになる。

SDHを通じた産業変革

SDHは、2009年頃にソフトウェア・ディファインド・ネットワーク(SDN)が登場したことで、様々な業界に変革をもたらした。SDNは、ネットワークの制御機能を物理的なインフラから分離することで、トラフィックの動的管理を可能にし、ネットワークの拡張や展開をより柔軟に行えるようになった。この技術は、シスコ、VMware、ジュニパーネットワークスなど多くの企業が、自社のデータセンターにいち早く導入した。

2000年代にはスマートフォン革命が起こり、SDHのメリットを消費者が直接体感できるようになった。機能が固定されていた従来の携帯電話とは異なり、スマートフォンのプラットフォームは、アプリ開発者によって継続的に進化し、ハードウェアとソフトウェアの境界線は曖昧になっていった。そして、2012年には、ユーザーがスマートフォンのアプリを使って、GPS、カーナビ、画像編集など、様々な機能を自由にカスタマイズできるようになった。

例えば、車載インフォテインメントシステムにおいては、ドライバーの選択履歴に基づいてカスタマイズされたエンターテインメントやストリーミングサービスを提供することが可能である。また、SDHにAIや機械学習 (ML) アルゴリズムを搭載することで、顧客とのやり取りを通じて学習し、製品の性能をさらに向上させることができる。

AIによって製品開発コストが低下すれば、航空宇宙、医療機器、家庭用電子機器など、さらに多くの業界でSDHの導入が加速する可能性がある。しかし、AIのメリットを最大限に享受するためには、まず組織構造や業務プロセスを刷新する必要がある。本稿では、自動車業界の例を中心に、有利に働くと思われる変化について取り上げる。

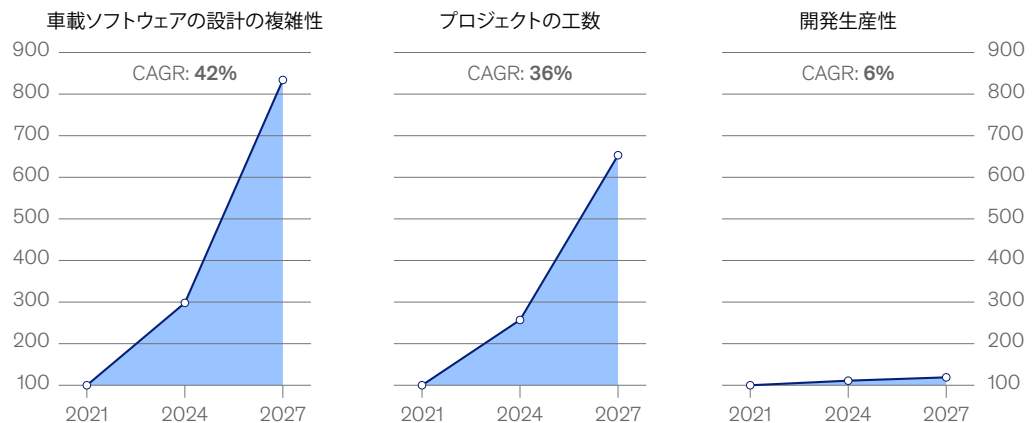
SDH開発におけるAI活用がもたらすメリット

AIの進化は、多くの企業にとって絶妙なタイミングで訪れた。ソフトウェアの複雑性は着実に増大しており、今後この傾向は続く予想される。例えば、自動車業界では、2021年以降、平均的な車載ソフトウェアプラットフォームの複雑性と、その開発に必要な総工数は、いずれも毎年約40%ずつ増加している(図表を参照)。一方で、同期間のソフトウェア開発の生産性の伸び率は、年間約6%にとどまっている。

図表

車載ソフトウェア設計の複雑性と工数は増加する一方で、開発生産性は横ばいのままである

(2021年=100)



資料: マッキンゼー・ニューメトリクスのソフトウェア業界データベースに収録された、280件のソフトウェア集約型車載プラットフォームプロジェクトの分析に基づく

McKinsey & Company

AIを活用したSDH開発の最適化

AIの進歩により、製品開発者は多様なツールを手に入れ、設計、開発、テストの各工程を自動化、最適化、強化することで、SDHの開発プロセスが改善されている。

AIを活用した設計: 生成AIツールは、ハードウェア記述言語を用いた開発やレイアウト設計を支援し、手作業による工数を削減することができる。例えば、あるツールは、指定された制約条件や目的に基づいてハードウェアアーキテクチャ設計を最適化する。これらの新しいジェネレーティブデザインシステムは、旧世代のツールに比べてはるかに広範な解決策を探索し、提案できる。また、数千ものシミュレーション結果を比較することで、最適な属性の組み合わせを実現する設計を特定することが可能である。

ソフトウェアとハードウェアの共同開発: 製品開発段階でAIエージェントを活用することで、イテレーション(短期間での反復開発)を通じて要件の一貫性を確保し、ソフトウェア設計とハードウェア設計の間の不整合を解消することができる。AIエージェントは、ハードウェアのプログラミングを容易にし、ハードウェアのパフォーマンスを向上させるためにソフトウェアを最適化することができる(例えば、GPU、専用アクセラレータ、その他のリソースの使用率を上げるためにソフトウェアルーチンを調整することが可能)。

ハードウェアの最適化: AIアルゴリズムは、SDHのメモリ、ロジックブロック、プロセッサなどのリソースの割り当てを最適化し、目的を達成しつつ、変化する要件に適応することができる。また、AIはシミュレーションを通じて設計プロセスの初期段階で問題や欠陥を特定できるため、製品の信頼性と安全性を高めることができる。エンジニアは、エッジ処理を活用することでリソースを動的に管理し、初期設計後も継続的にハードウェアを最適化できる。

迅速な検証: ディープラーニング(深層学習)のサロゲート(代替モデル)により、エンジニアは従来の物理的な試験をより低コストで迅速な仮想評価に置き換えることができる。

AIがこれらのタスクを処理することで、企業はSDHを設計したり、イノベーションを加速させたりすることが可能となる。例えば、ロンドンに本社を置くテクノロジー企業ウェイヴ(Wayve)は、運転者のインプットや動画から抽出した画像を含む車両センサーからのデータを分析するために、独自のLINGO-1生成AIモデルを自動運転ソフトウェアに組み込んでいる¹。このソフトウェアでは、LINGO-1の能力を活用することで、「なぜここで停車したのか?」といったよくある質問に対する回答を生成することができる。同様に、ウェイモ(Waymo)は、自動運転技術を進化させるために、実際の都市を仮想化し、さまざまな交通シナリオに沿って自動車の走行シミュレーションを行うソフトウェア「Carcraft」を使用している²。仮想車両は、ロータリーなどの複雑な交通状況を中心に、1日あたり約800万マイルを走行している。

¹ "Unveiling LINGO-1's show and tell capability with referential segmentation," Wayve (2023年11月15日)

² Alexis C. Madrigal, "Inside Waymo's secret world for training self-driving cars," Atlantic (2017年8月23日)

より良い製品やサービスを生み出すための AI 活用

AIを活用したSDHは、顧客により良い製品とサービスを提供する手段となる。例として、電気自動車 (EV) のスタートアップと、従来のOEMの顧客体験を比較してみる。テスラのような新興EV OEMは、レガシーハードウェアの制約を受けずにSDHを採用し、2018年以降、車両の性能、効率、機能を向上させるためのOTA (Over-the-Air) アップデートを実施している。このような革新性は、従来のハードウェア中心の自動車設計では実現が難しい。他のOEMメーカーもSDHに投資したり、合併会社を設立したりして、技術開発を進めている。

SDHとAIによって、製品やサービスを向上させる手段はこれ以外にも存在する。ここで述べるのは、主に消費者や法人顧客向けの製品の向上に関するものであるが、自社の業務プロセスを改善するためにSDHを活用する場合もある (コラム「倉庫業務の効率化」参照)。

ハードウェアの性能と寿命の最適化: AIは、自動車や医療機器などのハードウェアから取得したデータを分析し、ソフトウェア構成を最適化して効率性とパフォーマンスを向上させることができる。例えば、ある新興EV OEMは、AIを活用して、旧モデルでは最大80個搭載されていたECUを10個未満まで削減した。

パーソナライズされたユーザー体験: 生成AIはソフトウェア定義システムを更に高度化することができる。例えば、スマートホームでは、生成AIシステムが家族の生活習慣を学習し、照明からセキュリティまで自動的に調整することができる。もしシステムが、SDHではなく、従来のハードウェアに依存していた場合、このような調整は難しく、コスト負担も大きい。

倉庫業務の効率化

企業は、消費者や法人顧客向けのSDHの開発に注力することもあるが、これを社内の業務プロセス改善に活用することも可能である。AI機能が加わったことで、SDHは数年前よりもはるかに多くのことができるようになった。一例として、人間とさまざまなタイプのロボットが頻繁に連携して作業を行う倉庫を挙げてみたい。自動ピッキングの理想的な流れとしては、ロボットがピッキングする品物とその場所を特定し、倉庫作業員がその品物を取り出し、スキャンして袋詰めする。しかし、品物の破損や不足といった問題が発生した場合、作業員はエラーとして管理センターチームに対応を依頼する必要があり、生産性が低下する。このような場合に、生成AIを搭載したヒューマン・マシン・インターフェース (HMI) は、問題解決に必要な情報をすでに持ち合わせ、作業員が迅速に対応できるよう即座に支援することができる。

多くの医療機器はソフトウェア定義型となりつつあり、メドトロニックのような企業は、バイタルサインのような患者データに基づいて適応するAI搭載システムを開発している。消費者向け分野では、アマゾンEchoなどのデバイスが、新機能の追加、インテリジェンスの向上やユーザー体験の向上のためにソフトウェアを活用している。このように、より多くの企業が製品にAIを組み込むようになれば、SDHを通じて、よりパーソナライズされたサービスを提供できるようになる。実際、複数の新規参入企業がAIを活用したデジタルパーソナルアシスタントを発売している。

高度なHMI: HMI (ヒューマン・マシン・インターフェース)は、人間と、産業機械、パーソナルデバイス、サービスロボットなど、様々な機器との情報のやり取りを可能にしてきた。しかし、こうしたやり取りは時にフラストレーションを感じさせるものであったり、不完全なものであったりする。これを改善するために、一部の企業はAIを利用している。例えば、自動車業界では、位置情報テクノロジーの専門会社であるTomTomが多様で複雑な会話ができる車載AIアシスタントを開発した。この音声システムは、ドライバーから質問される前に、役立つ情報を能動的に提供する。

BMWのパノラミック・ビジョンは、フロントガラスに車速などの運転情報を投影する新しいヘッドアップディスプレイである。AIを使ってドライバーの視線を追跡し、視線を道路から外さずに必要な情報を確認できるよう、常に見やすい位置に配置している。最も重要な情報は、フロントガラス下部の暗い部分に表示され、比較的重要度の低い情報は、上部寄りの透明な部分に表示される。この技術は、重要な情報を表示するタイミングを自動的に判断する。例えば、ドライバーが駐車場を探している時や駐車スペースに入るときに、ナビゲーション情報を目立つように表示する。

基盤モデルの応用: 基盤モデルは膨大なデータセットに基づいて訓練され、高度な機械学習技術を活用してハードウェアの設計と機能性を向上させる。これらのモデルは、法人顧客向けおよび消費者向け製品の両方において、パフォーマンスと機能性を最適化するために搭載されている。今後、ロボットやスマートデバイスが周囲と相互に作用し、経験から学習するエンボディッドAIが主要なアプリケーションとなる可能性がある。基盤モデルをベースとするロボティクス関連のスタートアップ企業の中には、汎用性の高いハードウェアを開発し、経時的に機能の強化を進めようとしているところもある(コラム「モジュール型基盤モデルとは」で触れているように、新たなモデル構築アプローチを取り入れることで開発を加速できる可能性がある)。

新しい働き方

AIを効果的に活用するには、コラボレーション、市場参入、ハードウェアとソフトウェアの開発の分離、データセキュリティやプライバシーなどに関連して、全社的な業務改革や業界規模での取り組みが必要になる可能性がある。

革新的なコラボレーション

企業がAIを活用してSDHを開発する際には、ハードウェアエンジニアとソフトウェア開発者が最初から協力し合える体制を整える必要がある。また、ハードウェア設計がソフトウェアのアップデートに対応できる柔軟性をもっているかを早期に確認することも重要である。

モジュール型基盤モデルとは

モジュール型基盤モデルは、AIの機能を小さな独立したユニットに分割する手法である。人間の脳が様々な部位の連携によって機能しているように、開発者は、これらのモジュールを様々なかたちで組み合わせ、必要に応じて調整することができる。このモジュール設計は、テキストの理解と分析に特化したLLM（大規模言語モデル）に特に有用である。モジュール型基盤モデルのメリットとしては以下が挙げられる。

- 効率性: 特定のタスクに必要なモジュールのみを有効化することで、計算処理能力とエネルギー消費量を大幅に削減できる
- 適応性: 新たなタスクや変化する要件に合わせてモジュールを追加、削除または変更できるため、高い柔軟性を確保できる
- 拡張性: モジュール設計により、段階的なパフォーマンスの向上が可能となり、再トレーニングの手間を省くことができる
- プライバシー: モデルを特定のタスクを実行する小さなモジュールに分割することで、機密情報を切り分け、プライバシーとセキュリティを強化することができる。

場合によっては、SDHを開発するために、テクノロジースタートアップなど、従来とは異なるパートナーシップの締結を検討することも必要だ。このようなコラボレーションを促進するためには、OpenFlowやNETCONF (Network Configuration、ネットワーク構成) プロトコルなど、SDHで使用されるネットワークデバイスの動的な管理を可能にする標準プロトコルの使用を義務付けることが有効である。標準プロトコルはどのようなコラボレーションにおいても有用であるが、特に、パートナー同士が初めて協働する場合や、双方の業務プロセスを把握していない場合に重要となる。

プロトコルの中には、業界に特化したものもあり、一例としては車載SDH開発のための堅牢なフレームワークである自動車オープンシステムアーキテクチャ (AUTOSAR) が挙げられる。AUTOSARは、従来の組み込みシステム向けのClassic AUTOSARと、より複雑で動的かつソフトウェア集約型機能向けのAdaptive AUTOSARという2つの補完的な規格を提供している。Adaptive AUTOSARは、AI機能を含むスケーラブルでモジュール化されたセキュアなアプリケーションの開発を支援する。例えば、Adaptive AUTOSARは、AIベースの知覚機能や意思決定を含む先進運転支援システム (ADAS) の管理に適している。Adaptive AUTOSARは、ADASに不可欠なレーダー、超音波、その他のセンサーと連動するアプリケーションもサポートしているが、データ処理などのタスクには、専門のAIフレームワークが必要になる場合もある。

SDHの開発を加速させる可能性のある他のプロトコルには、エッジコンピューティングにおける機能安全のための安全志向アーキテクチャ (Safety-Oriented Architecture for Functional Safety in Edge Computing) プロトコルが

ある。これは、SOAFEE (calable Open Architecture for Embedded Edge) によって支援されており、エッジデバイスの安全性基準を確立することに焦点を当てている。

開発者は、これらの共通フレームワークに従うことで、日々変化する技術的要件に適応できる柔軟性、拡張性、効率性に優れたシステムを構築することができる。

パートナーのネットワークが拡大し多様化するにつれ、企業は市場参入の障壁を低くすることでAIのイノベーションを促進することができる。例えば、自社の技術を基にハードウェアを開発するスタートアップ企業に対しては、ライセンス料を免除することなどが考えられる。ここでは、企業は自社の活動を管理するよりも、潜在的なパートナーとの関係強化に注力することが望ましい。

ハードウェアとソフトウェアの開発サイクルの分離

企業がSDHを開発するためには、ソフトウェア開発とハードウェア開発を切り離し、より柔軟性と革新性を高める必要がある。これは、両者が独立して作業することを意味するものではない。SDHの開発においてコラボレーションは何よりも重要である。とはいえ、ハードウェアとソフトウェアにはそれぞれ独自のスケジュールとアップデートサイクルがあるため、両者の進行が常に一致するとは限らない。

切り離すことで、ハードウェアエンジニアは物理的なコンポーネントを独自に設計し最適化することができ、ソフトウェア開発者はハードウェアの制約に縛られることなくアプリケーションを開発し、アップデートすることができる。チームは、抽象化レイヤーと標準インターフェースを使用することで、ソフトウェアの機能ごとに開発サイクルを繰り返すことができ、アジャイル開発を推進することができる。また、このアプローチでは、新しい技術やアップグレードの統合を簡素化し、ソフトウェアの全面的な見直しを必要とせずに、ハードウェアを変化する要件に合わせて最適化することができる。最終的に、分野横断的なコラボレーションを強化し、新たな製品やソリューションの市場投入を迅速化できる。

従来の自動車OEMは、自動車のコネクティビティの進化を受け、ハードウェアとソフトウェアの開発の分離を進めている。ソフトウェアに関しては、一部のOEMは開発を技術企業やサプライヤーに委託しているが、一方で内製しているOEMも存在する。なお、自社でソフトウェアを開発する場合、新たなツール、技術系人材やインフラが必要となるため、コストと時間がかかることが多い。また、サプライヤーへの依存度が高い日系OEMと、米国の新興OEMを比較すると、ソフトウェア開発の効率性には3～10倍もの差が見られることが多い。日系OEMの場合、委託先がさらにその先の委託先へと確認を重ね、複数のレイヤーを経由してコミュニケーションを行う必要があるため、ソフトウェアの開発やアップデートが非効率になりやすいのである。一方、内製化を試みたOEMも、ソフトウェア開発のための環境や人材を整備したものの、従来のハードウェア中心の組織体を踏襲する傾向がある。その結果、アップデートのたびにパワートレインやシャシーなどの様々な機能を横断的に整合させる必要が生じ、複雑性が増してコストが膨大に膨れ上がるケースが多い。新興OEMや中華系OEMの成功事例、さらにはレガシーOEMの失敗事例も含めて徹底的にベンチマークを行い、そこから得られる学びを生かして思い切った組織構築に取り組むことが求められる。

強固なデータセキュリティとプライバシー

アップデートをリアルタイムで受信するデバイスはサイバー攻撃に対して脆弱である。企業は、AIやSDHの導入を進める中で、セーフティクリティカルコードとそうでないコードを物理的または仮想的に分離し、ユーザーとプライバシーを保護する必要がある。

市場の長期的な見通し

企業として、製品を進化させるためにハードウェアの継続的なアップグレードを計画しているのであれば³、「消費者が求めるものは10年後にどう変わるのか?」「今後勢いを増し、5年以内に標準となる可能性があるトレンドは何か?」といった視点で先を見据えて考え、行動する必要がある。また、将来のアップグレードを計画する際には、潜在的な需要だけでなく、競争環境や改良にかかる費用も考慮すべきである。

先進的な企業は、さまざまな業界でSDHへの移行を先導している。AIは、この移行を加速させ、SDHの能力を強化する上で重要な役割を果たす。AIは、ハードウェアやソフトウェアの開発を効率化するだけでなく、製品やサービスの品質を高めることで、顧客満足度とロイヤルティを向上させることができる。AIとSDHを組み合わせることで、最終的には、ハードウェアがユーザーのニーズに継続的かつ瞬時に適応する未来が訪れるかもしれない。

マッキンゼー・センター・フォー・フューチャー・モビリティ (MCFM) について

本稿は、MCFMが導出した洞察をまとめたものです。MCFMは、独自の知見の構築・共有、カンファレンスなどの開催を通じて、モビリティ産業に従事されている経営層の皆様、業界の未来や時々の経営トピックスについて議論をする場を、グローバルに提供させていただきたいという目的をもって設立されました。ここでは、マッキンゼー独自のボトムアップアプローチによるモデリングにより導出した洞察を通じて、消費者のニーズから、都市部・農村部のモーダルミックス、売上げ、バリューチェーン、ライフサイクル全体の持続可能性など、未来のモビリティに関わる包括的な検証を行っています。モビリティ市場に関するマッキンゼーの知見についてご関心のある方は、[こちらのフォーム](#)よりお問い合わせください。

著者

Ali Rizvi (パートナー、バイエリアオフィス)
Ani Kelkar (パートナー、ボストンオフィス)
Philipp Kampshoff (パートナー、ヒューストンオフィス)
住川 武人 (シニアパートナー、東京オフィス)
山科 拓也 (パートナー、関西オフィス)

監訳・監修

小泉 正剛 (アソシエイトパートナー、東京オフィス)
桂 さゆ里 (C&I スペシャリスト、東京オフィス)

Copyright © 2025 McKinsey & Company. All rights reserved.

³ Vijay Govindarajan, Tojin T. Eapen, and Daniel J. Finkenzstadt, "Design products that won't become obsolete," Harvard Business Review (2024年11月-12月)