

グローバルな 半導体市場の可能性

AIによる市場シェアの拡大

www.pwc.com/jp



日本語版 発刊にあたり

半導体産業の需要はディスラプティブ（破壊的）な新しいテクノロジーによって喚起されきました。

かつては、PCやインターネット、スマートフォンなどのハードウェアが半導体産業の主な成長ドライバーでした。そして今後10年間においてはAI（人工知能）が成長の触媒になると予想されています。AI関連半導体の市場は今後、年平均50%のペースで成長し、2022年には売上高300億米ドル超になるとみられています。

一方でAI半導体市場にはAIソリューションベンダーやAIスタートアップなどの新たな競合勢力も生まれており、従来型の半導体企業はその脅威に対処しなくてはなりません。

本レポートでは、従来型の半導体企業がAIの可能性を生かすために検討すべき論点とその選択肢を体系的に解説します。

これらの論点は半導体企業に限らず、AIなどのデジタル技術を新製品や新規ビジネス、自社業務改善に活用したい日本企業に対しても、今後の市場動向を見極めて戦略を立てる上で参考になると考えます。

明るい見通し

半導体産業は、現在の急速な技術革新を背景に、将来の成長を見込める状況にある。私たちは、2019年の半導体市場は相対的に振るわないうが、2020年に回復して成長を続けると予測している。半導体の売上高は2018年には4,810億米ドルだったが、今後4年間に年平均4.6%という緩やかだが健全なペースで成長し、2022年末には5,750億米ドルに達すると考えられる。

半導体市場を構成する七種類の製品カテゴリー、すなわちメモリ、ロジック、マイクロコンポーネント、アナログ、オプトエレクトロニクス、センサー、ディスクリートのうち、メモリ製品の売上高は半導体全体の最大部分を維持するとみられる。メモリ製品は、Samsungによる2017年～2018年の半導体部門への大型設備投資の影響で供給過剰となり、2019年の売上高は3D NAND型フラッシュ製品を中心に減少するが、2020年には回復に向かうとみられる。

人工知能（AI）の急速な利用拡大に伴う関連チップの需要は、引き続き半導体産業全体の成長に大きく貢献するとみられる。この需要の多くを占めるのは、二つの急成長分野である自動車市場と産業用機器市場である。

自動車市場は最も高い成長が見込まれている。電気自動車やハイブリッド車の普及率の上昇と自動運転車の大きな市場潜在力により、2022年までの自動車市場の年平均成長率（CAGR）は11.9%と予想される。一方で、従来車のチップ需要も依然として旺盛である。産業用機器市場は、引き続きAI用チップの需要増、およびセキュリティとヘルスケアセクターの好調に支えられている。産業用機器市場全体では2022年まで年平均10.8%の成長が見込まれる。

通信用機器市場は、スマートフォンの交換需要や5G技術の導入、新興市場の成長を背景に、年平均2.2%成長すると予想されている。家電市場は、2022年末までの売上高の約半分がテレビ、ビデオゲーム機、携帯端末、デジタル・セットトップボックスから構成される見通しで、

ヘルスケアの機会

ヘルスケア分野の企業は、ビッグデータやアナリティクス、AIの強みを取り入れるようになっており、医療機器メーカーや製薬会社、関連テクノロジー企業を含むこれらの企業は、これまでにない成長機会を手にしようとしている。特に米国の医療機器市場は、米食品医薬品局（FDA）の「2016年デジタルヘルス・イノベーション・プラン」が大きな成長の追い風となっている。このプランは、従来の医療・健康企業に新しいテクノロジーの採用とデジタルヘルスのスタートアップ企業との連携を奨励するものである。

AppleやGoogleなどのIT巨人はすでに、成長するヘルスケア市場に大きな関心を示している。AppleがResearchKit、CareKitなどの総合的なプラットフォームを提供し、細分化した医療用途市場の統合を目指しているのに対し、Googleは、自社のDeepMind AIソリューションを通じて業界の変革に取り組んでいる。他のIT企業も同様の動きを見せており、例えばNvidiaは、超音波画像によるがんの早期診断にGPU駆動の深層学習（ディープラーニング）を用いている。

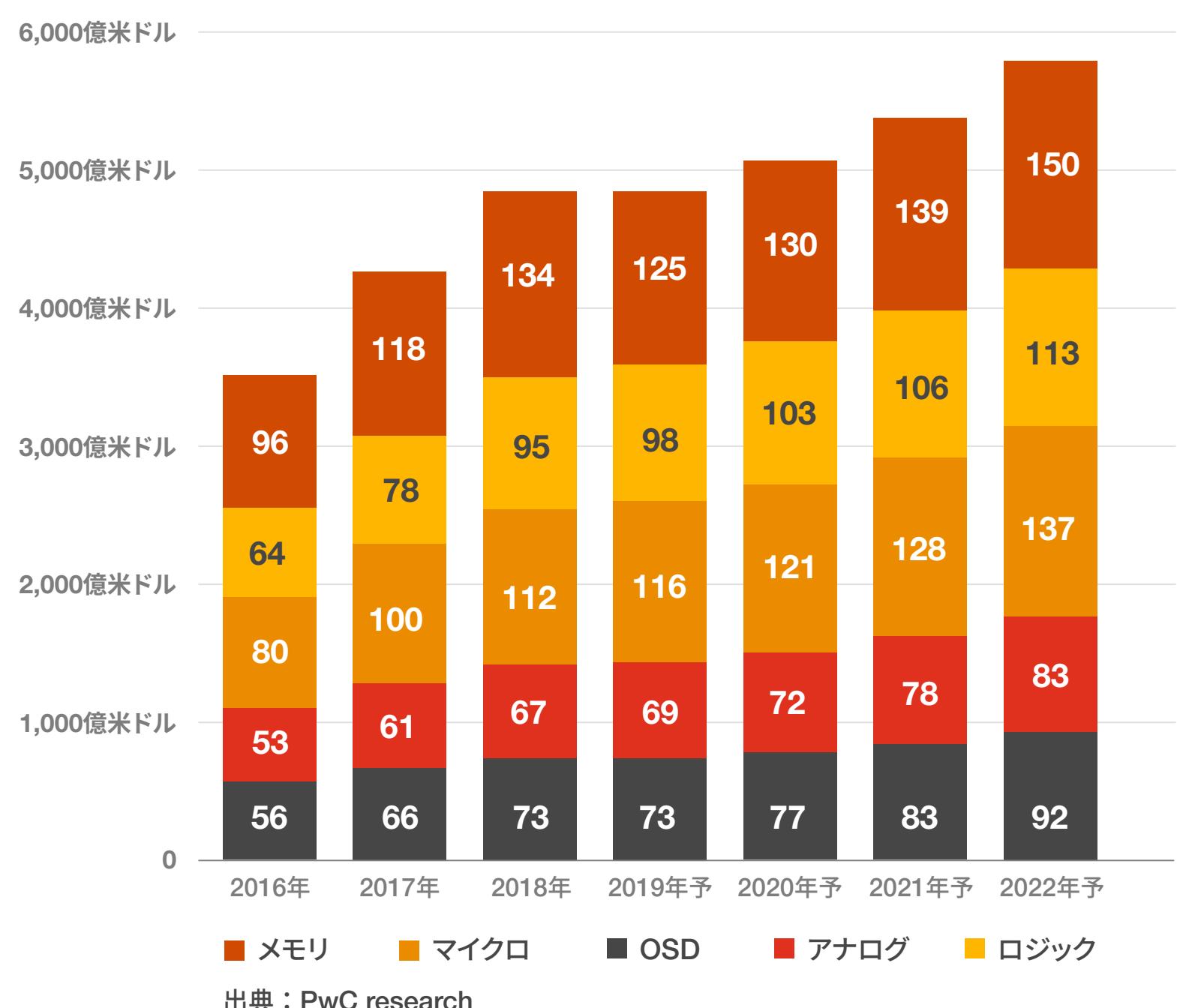
2022年まで年平均6.0%の成長が見込まれている。ウェアラブル端末は年平均21.0%の大幅成長が予想されるが、通信市場でのシェア自体はまだ10%程度にすぎない。

データ処理市場の成長率は年平均2.1%で、主にサーバと記憶装置の売上によって構成される。2019年は前年比2.8%の減収になるが、2020年には売上高が上向き始めるとみている。パーソナルコンピュータ向け市場は2022年まで年平均5.2%のマイナス成長を見込んでいるが、この市場の縮小は、サーバとデータセンターにおける、IoT（モノのインターネット）、機械学習（マシンラーニング）、その他AIの伸びによって相殺されるとみられる。

製品種類別の半導体市場

七種類の製品カテゴリーのうち、メモリチップは2022年末まで一貫して最大の市場シェアを確保する見通しだが、前述のように2019年にマイナス成長となった後、2020年に上向く可能性が高い。ロジックとマイクロコンポーネントの売上高は、予測期間を通じて半導体売上高全体で二番目に大きなシェアを占める見通しである（図表1参照）。

図表1：製品種類別の市場成長率



出典：PwC research

- ・ **メモリ**：このセグメントの成長は、クラウドコンピューティングや仮想現実（VR）など、スマートフォンなどの端末装置において進行中の技術革新によって支えられるとみられる。ダイナミック・ランダムアクセス・メモリ（DRAM）とNAND型フラッシュチップの平均販売価格（ASP）が急上昇していることも売上増に大きく貢献している。概して、価格低下はフラッシュメモリとDRAMの新しい能力によって相殺され、結果としてこれらのデバイスの需給バランスが改善し、企業向けソリッドステートドライブ（SSD）や拡張現実（AR）および仮想現実、グラフィクス、人工知能、複雑な自動ワークフロー管理機能といったより新しいアプリケーションを支えるとみられる。ただし、Samsungが2017年～2018年に半導体部門に巨額の設備投資を行ったため、今後はメモリ市場、特に3D NAND型フラッシュ市場で生産能力が過剰

になるとみられる。過剰な生産能力は市場における過剰供給を生み、それがメモリの市場価格を低下させる。その結果、メモリの売上高は2019年に落ち込み、半導体市場全体に悪影響を及ぼすことになる。

- ・**ロジック**：この市場は、主に通信、データ処理、家電セクターの需要がけん引するとみられる。特定用途向け集積回路（ASIC）と特定用途向け標準品（ASSP）のロジックチップが2022年までの期間における市場全体の大部分を占める見通し。
- ・**マイクロコンポーネント**：このチップはあらゆる電子装置の基幹部品であり、市場の成長は電子装置の販売数量に比例する。2019年は、標準的なデスクトップ、ノート型PC、タブレット端末の出荷台数の不振で成長が足踏みするとみられる。2022年までの市場の成長は自動車産業にかかっている。自動車メーカーは、インテリジェントカーに大量のマイクロコンポーネントを組み込んでいる。パワートレイン装置や次世代シャシー、安全システム向けに加え、安全・衝突防止システムにおける高度なリアルタイムセンサーの画像を処理するためである。IoT人気の高まりも高性能電子機器のニーズにつながっており、強力なプロセッサの需要を喚起している。ローカル処理能力は主にマイクロコントローラ、ハイブリッドマイクロコントローラやマイクロプロセッサ、インテグレーテッド・マイクロコントローラ・デバイスなどが担っている。これらは多くのIoTアプリケーションの最重要要件である、リアルタイムの組み込み処理の提供が可能である。
- ・**アナログ**：私たちは、主に通信業界、そして特に自動車業界からの需要による高成長を見込んでいる。需要増を生み出す適用領域（ユースケース）は、消費電力管理（携帯電話の電池寿命の延長）、信号変換（データコンバータ、ミクストシグナルデバイス向けなど）、車載用アナログアプリケーション（自動運転車、電気自動車および電子システム）など。
- ・**OSD（オプト、センサー、ディスクリート製品）**：三種類の製品の頭文字をとったこのカテゴリーは、非IC系として分類されている。現在、量産されている新興テクノロジーがこれらのチップの需要拡大を喚起するとみられる。これらには固体素子照明（SSL）、マシンビジョン、画像認識、スマートグリッドエネルギー、IoT、およびインテリジェント・ポータブル・システムにおける「マルチセンサーフュージョン」が含まれる。

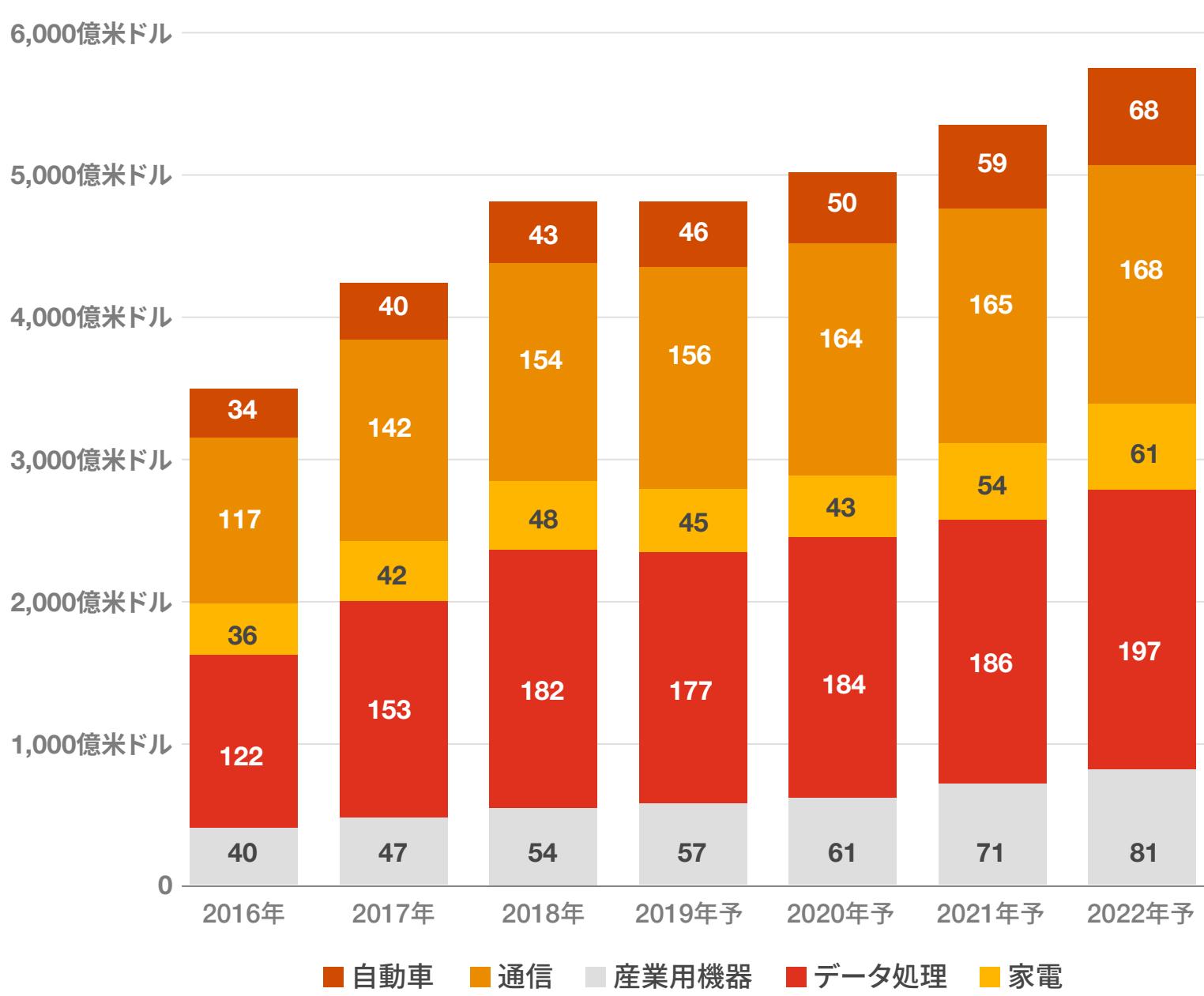
オプトエレクトロニクスは高い成長が見込まれている。これは、内蔵カメラや自動車の安全性、ビジョンベースオートメーション向けの相補型金属酸化膜半導体（CMOS）画像センサーや、固定素子照明向けのより強力なLEDで使用が増えているからである。一般に、LED照明ソリューションは、さまざまな住宅、商業、産業用途の市場を急速に変化させている。主な成長要因は、省エネ照明の採用やLEDの価格低下、インフラ基盤の近代化と新規開発である。LED照明は、エネルギー効率や耐久性、汎用性、色の質、コストの面で従来の照明技術より利点が多い。

また、センサー市場は、ここ数年の価格低下にもかかわらず、新しい自動制御やIoT用途向けの出荷量増加を背景に急速に成長するとみられている。ディスクリート製品の市場も、電力用半導体素子などのデバイスの安定した需要増により成長を見込んでいる。

用途別の半導体市場

経済成長の見通しから、自動車、データ処理市場を中心に全てのアプリケーション市場が拡大し続けると考えられる（図表2参照）。

図表2：用途別の市場成長率



出典：PwC research

- **自動車**：私たちは、自動車市場は年平均11.9%と、全市場の中で最も高い成長を見せると予想している。理由は主に、従来車の約2倍の半導体部品を必要とする電気自動車、ハイブリッド車の高い普及率と、自動運転車の強力な市場潜在力である。車の自動化が進み、先進運転支援システム（ADAS）や光による検知・測距（LiDAR）、「インフォテインメント（車載用情報・娛樂）」、安全・便利機能に注目が集まっているため、車一台当たりに求められる半導体が増えている。「IC Insights」によると、完全自動化された車一台当たりの半導体部品の数は、一部自動化された車の5倍にもなるという。ただし、従来車は依然、半導体売上高の重要な柱であり、2018年の従来車向け売上高は、自動車市場の総売上高のほぼ95%を占めた。

- **通信**：通信市場からの半導体需要のほぼ80%は電話関連である。電話市場は高度な飽和状態にあるが、次世代通信規格5Gの導入やスマートフォンの継続的で高い交換率、新興市場での電話需要の高まりなどを背景に、市場は年平均2.2%の成長を維持するとみられる。また、高級機種の需要は減少が見込まれるが、基本的な機種の高成長で十二分に相殺されるとみられる。

- **家電**：家電向けの半導体売上高は、テレビ関連デバイスが柱になるとみられる。スマートTVや4K Ultra-HD TV、3Dプログラミング、ビデオ・オン・デマンドコンテンツ、大画面志向、曲面OLEDなどの人気の高まりがけん引するとみられる。ゲーム関連技術とセットトップボックス（STB）も強力な增收要因である。その結果、市場は年平均2.2%の成長となる見通しである。ウェアラブル市場はまだ相対的に小さいが、年平均6.0%と家電向け半導体の中では最も高い成長が見込まれている。しかし、デジタルプレーヤー向け半導体の売上高は、これに代わるNetflixやAmazon Primeなどの魅力的なサービスが人気を集めているため、年平均2.3%のマイナス成長となる見通し。ゲーム機向け売上高も、消費者のモバイルゲームへの傾斜が強まるにつれ、2018年に飽和状態となった。

- **データ処理**：PC、ウルトラモバイル、タブレット、サーバ、記憶装置を含むデータ処理市場での半導体売上高は、2022年まで年平均2.1%の緩やかな成長を見込んでいるが、その大部分は記憶装置である。スマート機能を持つ端末はより多くの半導体を必要とするため、記憶装置は年平均12.3%の成長が見込まれている。この高成長の原動力は、長い応答時間や過熱傾向、高消費電力といった従来のデータドライブの弱点を克服する、新しいソリッドステートドライブ（SSD）技術である。スマートフォンなどのインターネット接続装置の販売好調は、メモリカードと記憶装置の需要をさらに押し上げるとみられる。また、市場ではサーバ性能の最適化への圧力があり、各装置の半導体使用を増加させるとみられる。

- **産業用機器**：全てのアプリケーションの中で、自動車市場に次いで高い成長が見込まれるのが産業用機器市場である。当社は2022年まで年平均10.8%の成長を見込んでいる。セキュリティ、自動化、固定素子照明、輸送向けの成長が大きいとみており、中でもセキュリティ用途の半導体需要は年平均17.8%の成長と、最も高くなると予想している。この背景には、アジア太平洋地域を中心に、より安全でスマートな都市を求める動きがある。空港や鉄道駅へのテロ攻撃の増加が先進的な国境警備や出入国管理への投資を拡大させる一方、快適さと便利さを求める動きは、指紋認証ドア開閉システムやPIN（暗証番号）とRFID（電波による個体識別）による入退室システムの普及を促している。

“ AI関連ではセキュリティについて考える必要がありますが、この面では全般に欧州企業に一日の長があります。これは、一方では「セキュアエレメント」ソリューション、もう一方は、自動車の状況にもあるように環境条件と階層型セキュリティへの対応が含まれます。ともに認証プロセスを伴う場合があり、妥当なコストで提供する必要があります。 ”

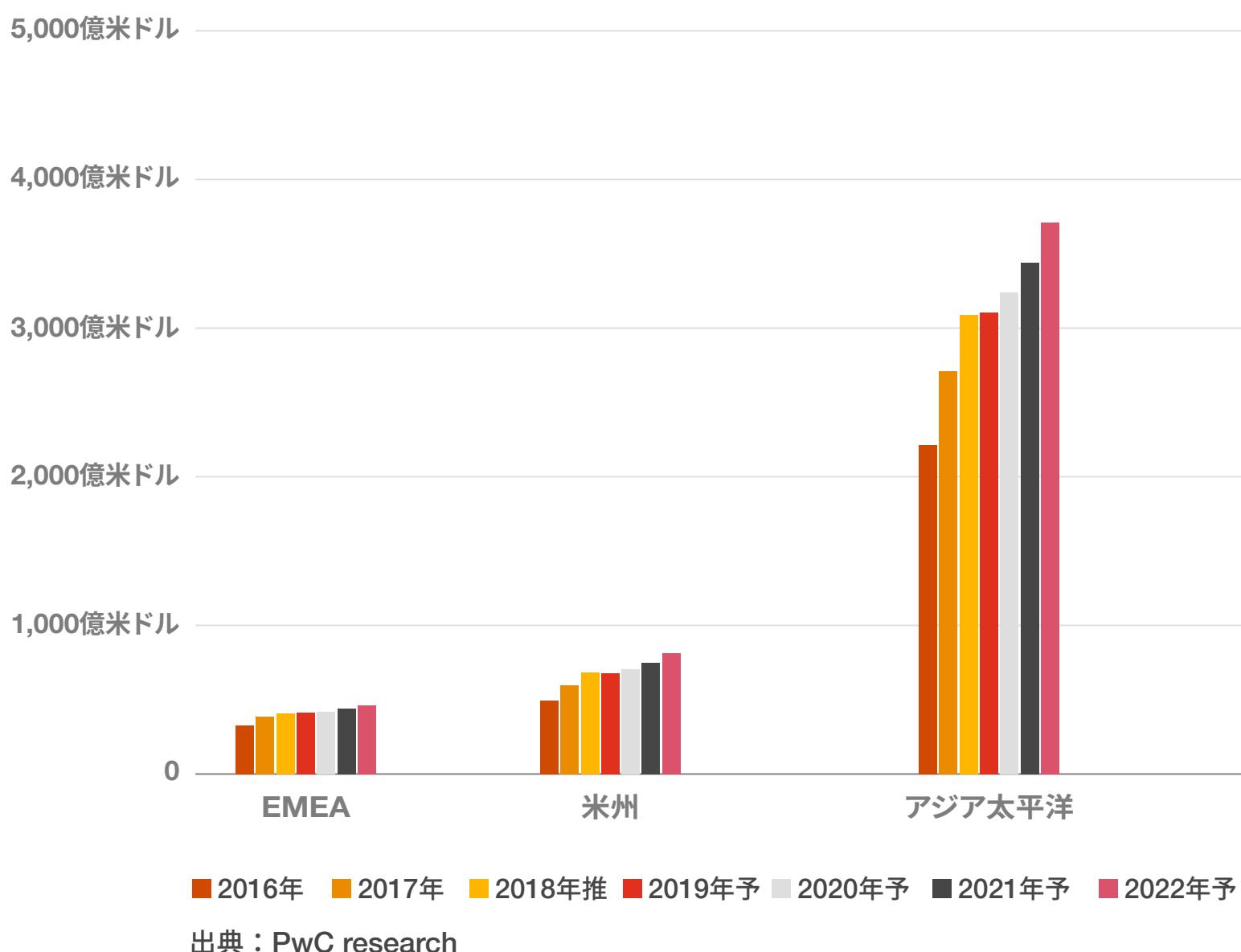
— Maurice Geraets氏, NXP Netherlands 取締役

地域別の半導体市場

私たちは予測期間に、全てのグローバル市場で半導体売上高が急速な成長を続けると予想している（図表3参照）。

- **アジア太平洋**：この市場は2022年まで年平均4.8%で成長し、半導体売上高の主役の座を維持するとみられる。電子機器の生産は引き続き中国が中心である。中国では半導体需要が高まる一方で、家電を中心とする高い製造技術により、ICチップの世界最大の購買国および輸入国となっている。同産業の育成と強化は中国政府の最優先課題であり、起業後まもない多くのスタートアップ企業が存在する。

図表3：地域別の半導体売上高



- **欧州・中東・アフリカ（EMEA）**：この地域の2022年までの年平均成長率は3.5%を見込んでいる。欧州ではデータ処理が最大の用途となってきたが、向こう2年以内に車載用セグメントに追い抜かれると予想している。多くの産業やアプリケーションにとって、半導体は不可欠の製品である。欧州は自動車や輸送（鉄道、航空）、エンジニアリングなど、多くのセクターでトップ企業を抱えている。これらの産業で首位の座を守り、AIなどの新しい用途先を開拓するため、EU（欧州連合）は域内の半導体産業を保護・育成するとみられる。これには研究開発と製造の他、EUのスタートアップエコシステムが含まれる。

- **米州**：この地域は、2022年までの年平均成長率が4.3%と二番目に高くなるとみている。最大の要因はNAND型フラッシュメモリチップの市場拡大だと予測される。この地域では、米国が多くの大手半導体企業の本拠地となっており、強力なスタートアップエコシステムも存在する。ベンチャーキャピタルは半導体産業の強力なサポーターである。しかし、米国政府はこのところ、外国企業からの多くの買収計画に対して拒否権を発動している。

「学ぶマシン」の登場

半導体産業の需要は一般に、ディスラプティブ（破壊的）な新しいテクノロジーによって喚起される。1997年から2007年にかけては、PC人気の急上昇で中央演算処理装置（CPU）とメモリチップの需要が急増した一方、インターネットの広範な普及により、イーサネット対応機器やネットワークプロセッサ、ASICの販売数量が増加した。2007年にはiPhoneの登場によってスマートフォンの時代が始まり、モバイルプロセッサの需要が伸びた他、クラウドコンピューティングの採用はサーバCPUとストレージの成長を促した。

そして今、半導体セクターにとって次の10年間の成長サイクルの触媒になるとみられるのが人工知能である。AIの魅力的な新しい適用領域の多くは、チップではなくソフトウェアを通じて実行されるアルゴリズムに依存するものの、インスタントコンピューティングやコネクティビティ、センシングのニーズは、次の10年間のAI専用半導体の大型需要をけん引するとみられる。

“AIは学びを加速させ、カスタマーインターラクション（顧客対話）の改善に寄与し、プロセスのみならず手続きも簡単にします。”

— Reinhard Ploss氏, Infineon Technologies CEO

AIと半導体の機会

AIは、データセットの高度な分析とあらかじめ設定された一連のルールに基づいて、人間の知的行動を模倣し、判断や推奨を行うコンピュータの能力である。半導体はこのAIの可能性の開拓と加速を促すことから、半導体分野でのイノベーションとAIの成長ポテンシャルを高めるきわめて重要な因子である。

AIの利用は通常、次の三種類のアルゴリズムに依存する。

- **機械学習（ML）**：アルゴリズムを用いてデータを解析し、そこから学び、特定の状況について判断や予測を行う作業。
- **深層学習（DL）**：タスクアルゴリズムとは異なり、特定データセットの分析と学習に基づく一種のML。
- **自然言語処理（NLP）**：機械と人間のやりとりを分析するためのアプローチで、コンピュータをどのようにプログラムして大量の自然言語データを処理・分析させるかに重点を置いたもの。

また、AIの適用領域は、導入タイプに基づいて二つに大別できる。

- **トレーニングシステム**：大量のデータセットを活用して、特定活動の実施方法を学ぶとともに学習アルゴリズムそれ自体を継続的に進化させる。
- **推論システム**：あらかじめ決められたモデルを使ってリアルタイムの決定を行う。

AIは半導体ベンダーにとって史上まれにみる機会を生み出している。その理由は、ほぼ全ての業種に適用できること、クラウドとエッジ側両方で膨大な量のチップが必要になるとの強力な予測、そして新しいアルゴリズムを加速させる専用コンピューティング要件へのニーズの高まりである。

“人工知能については、段階の異なるバリューチェーンと業界全体との間で新形態の協力関係を構築する必要があります。人間と機械が新しい方法でやりとりするデジタル世界では、安全な身元確認と新しい「信頼の力（authority of trust）」が必要です。そのために、倫理委員会として機能する国際機関が重要な役割を果たせると思います。欧州および国連レベルで、AIの倫理的使用法に関する対話を深める既存のプラットフォームは、この機関の基礎として機能する可能性があり、AIの利点を引き出す一方で個人の利益を守るでしょう。”

— Reinhard Ploss氏, Infineon Technologies CEO

産業別のAI主導の成長予測

私たちは、AI関連半導体の市場が、現在の売上高60億米ドルから2022年には300億米ドル超に拡大するとみている。これは年平均ほぼ50.0%の成長である。AI主導の適用領域は全ての産業セグメントに広がっていくとみられるが、その浸透度は技術投資の規模や開発のペース、利益が顕在化するスピードによって決まる。

推論システム向け半導体の市場は、細分化されたままとなる可能性が高い。その理由は、顔認識やロボティクス、ファクトリーオートメーション、自動運転・監視など、適用領域がきわめて広範囲に及ぶうえ、それそれに合わせた特別なソリューションが必要だからである。対照的に、トレーニングシステムは、主に従来型のCPU、画像処理装置（GPU）、フィールド・プログラマブル・ゲートアレイ（FPGA）インフラおよびASICが基本となる見通しだ。

- 自動車**：やはり市場の潜在力が最も高いセグメントである。私たちは、2022年にADASと自律走行支援の適用領域で40億米ドルから47億米ドルの売上高を見込んでいる（図表4参照）。これには自動車とエッジ側の自律走行・安全支援向けの推論システムと、渋滞情報マップ向けのトレーニングシステムが含まれている。両者の相対的な規模によって、エッジコンピューティング向けのGPUとASIC、クラウドコンピューティング向けのCPUとFPGAなど、どの半導体種類の需要が最も高くなるかが決まるだろう。

- 金融サービス**：このセグメントの売上高は40億米ドルから45億米ドルを見込んでいる。売上高の中心は、取引の本人確認とスマートポートフォリオ管理にかかる適用領域である。自動車産業と同様、金融サービスも適用領域によって推論、トレーニング両方のシステムを採用するとみられる。認証関連の適用領域は、スマートフォンでの顔認識とモバイルCPUか専用AI半導体を通じた指紋認証向けの、エッジAI上の推論システムが主になる。トレーニングベースのAIは、主に大量のデータセットを分析してスマートな投資とポートフォリオ管理の傾向を把握するために使われる。これらの作業はCPUやGPUインフラに基づく膨大な計算を必要とするため、一般にはクラウドの中で行われる。

- 産業用機器**：全セクターの中で最も成長の機会が少ないとみられ、売上高は製造の最適化と予防的な故障検知を中心に15億～20億米ドルにとどまる公算が高い。これは主に、これらアプリケーションの用途が既存インフラを活用できるトレーニングシステムに大きく依存しており、クラス最高の計算能力や低遅延性をそれほど必要としないからである。また、このセクターは、AIの配備や顧客向けのリフレッシュサイクルに時間がかかるため、AIの効果を実現するのに他のセクターより長い期間を要する。

図表4：各産業におけるAI適用領域の市場予想



出典：PwC research

クラウド エッジ

自動車産業におけるAI

自動車産業は電子部品に多額の費用を投じており、イノベーション推進のためのAI利用という点で急速に進んでいる。2022年までに予想される世界の車載用電子部品の市場規模は679億米ドルで、そのうちAI効果が最も顕著にみられるのは85億米ドルのインフォティメント、129億米ドルの先進運転支援システム（ADAS）、57億米ドルの安全対策である。

インフォティメントシステムは、パーソナルアシスタンス、ナビゲーション、娯楽用に使われる。市場ではすでに、AppleのCar-PlayとGoogleのAndroid Autoプラットフォームが存在感を示している。

ADASと安全用途は、自動車メーカー独自のソリューション（GMのCruise Automationソリューションなど）か、広く利用できるプラットフォーム（IntelのMobileyeとNvidia Driveなど）のいずれかを使用した運転支援システムや自律走行システムが中心である。これらのAI用部品はセンシング（オプトエレクトロニクスや非光学式センサー）、コンピューティング（ASIC、ASSP、汎用ロジック、マイクロコンポーネント）、ストレージ（メモリ）が中心で、2022年までの合計市場は208億米ドルになる見通しである。アナログとディスクリート製品は全般的なソリューションの一部にはなっても、AI用途の有力な要素にはなりそうにない。

これらの部品のうち、AI搭載ロジックはASSP、ASIC、マイクロコンポーネント用に設計されるが、メモリ、オプトエレクトロニクス、非光学式センサーは全般的なサブシステム設計支援のための補完部品として機能するとみられる。ADAS、安全性、インフォティメント向けのAI関連チップの市場は2022年までに40億～47億米ドルに達し、これらの用途セグメント市場全体の約19.2～22.6%を占める見通しである。

自動運転車のAI使用は、車の自律走行能力のレベルに左右される。このレベルは、通常操作にどの程度人間が関与するかによって五段階に分類されている。

レベル0は、ドライバーが常時全ての操作を行う（自動化なし）。レベル1と2は、ADASが自動ブレーキ、横滑り防止装置、クルーズコントロール（車速設定装置）を提供する。レベル3は特定状況下での自動運転、レベル4と5はそれぞれ高度自動運転、完全自動運転である。

レベル4と5では、ドライバーやハンドルさえ完全に不要となるため、自動運転システムは通常および特定の状況下で運転を支援するための製品を全て活用しなければならない。カメラ、レーダー、LiDARセンサーは回避すべき対象を検知する。インフォティメントモジュールは、ナビゲーション、センサー制御、音声コマンドのための主なデータ配信源として機能する。そして、中核的な自動運転プラットフォームは、リアルタイムの計算、および重要な安全性とナビゲーションの決定を行うためのAI推論システムの役割を果たす。

学習システムに依存するタスクについては、リアルタイムの道路情報やパーソナル化されたインフォティメントの推奨、デジタル音声支援を含め、車載用コネクティビティ機能がその要望をクラウドに転送する。これらの適用領域を最適化するためのAIアルゴリズムは、AI専用クラウドインフラを通じて実行され、通常そのホストはパブリッククラウドのベンダー、または自動車メーカーやサービスプロバイダが運営するデータセンターとなる。

AIのソリューションスタック

“ヒューリスティック（発見的）なプログラミングとアルゴリズミック（定型的）なプログラミングの融合を最もうまく管理する者が、AIの恩恵を最も受けます。この融合は、ヒューリスティックスへの対応、および複雑なシステムへの対応に確実な経験をもつ欧洲企業にとって大きな機会になるでしょう。”

— Reinhard Ploss氏, Infineon Technologies CEO

それでは、世界を一変させる斬新で革新的なAI対応の製品やサービスにはどのようなものがあるのだろうか。私たちはすでに、人間のように電話をかけ、レストランを予約できるバーチャルアシスタントの魅力を知っている。しかし、AIの機会がどこにあるのかをより深く理解するためには、アプリケーションが構築されるその土台、すなわちAIテクノロジースタックの基礎を成す製品について深く知る必要がある。

私たちの見解では、AIのテクノロジースタックは五つの要素（層）から成る。これらはハードウェア、ライブラリ、フレームワークとツール、プラットフォーム、そしてアプリケーションとサービスである（図表5参照）。AIというと、AIが実現する顧客体験への注目度が圧倒的に高いため、アプリケーションとサービスから始めるのが自然である。この層はソリューションスタックの最上位にあり、AmazonのバーチャルアシスタントAlexaや、AppleのFace IDなど、用途レベルでは最もよく目にするAI機能が集まっている。この機能の一部は、ソフトウェアに埋め込まれた推奨エンジンなど、サービスとしても提供されている。

図表5：AIテクノロジースタックの要素

スタック要素	概要
アプリケーションとサービス	「インテリジェンス」のためにAIを活用するソフトウェアアプリケーション。視覚処理、カスタマーサポートのチャットボット、スマートアシスタント、アルゴリズム取引など
AIプラットフォーム	AIアプリケーションの構築に活用できる機械学習やデータアナリティクス、NLP、エージェント、データソリューションなどを提供する、既製のビルディングブロックとサービス
AIフレームワーク、ツール、インターフェース	基礎となるMLアルゴリズムを活用して特定用途向けの深層学習モデルを設計、構築、訓練する技術。多くがオープンソースで広くサポートされている
AIライブラリ	特定の対象ハードウェア上のAIフレームワークの配備を最適化するに役立つ低レベルのソフトウェア機能
AIハードウェア	AIのワークロードと計算を加速するために設計、最適化された処理装置と半導体論理回路

出典：PwC research

しかし、中核機能を提供する基礎的な再利用可能部品を使わないアプリケーションは何だろうか？それがプラットフォーム層のタスクである。一部の企業は、基礎となる動的ニューラルネットワーク（DNN）とアルゴリズムの複雑さに対応する必要のないAI対応アプリケーションを作れるAIプラットフォームを構築している。これらの企業は、「既製の」ビルディングブロックとソフトウェアサービスの提供を目的としたプラット

フォームを構築している。すなわち、NLPやエージェント、ディシジョンエンジンなど、AIアプリケーションとサービスの開発をスピードアップさせる基礎的なAI能力である。以下に例を挙げる。

- **Rainbird Technologies**：同社のSaaS（Software as a service）型AIプラットフォームは業務のスマート化を目指している。これは、予測や推奨、事業判断などの複雑なタスクを実現できる、ルールに基づいた自動化ディシジョンエンジンを提供する。また、このプラットフォームは特定の決断を実行した根拠を把握しているため、監査、特に規制産業での監査にとって貴重である。
- **Semantic Machines**：カリフォルニア州バークレーに本拠地があるスタートアップ企業で、先ごろMicrosoftに買収された。同社は、ユーザーが情報システムと無理なくやりとりできる基本的な機械学習ベースの技術プラットフォームを開発している。「対話型AI」と呼ばれるこのアプローチは、電子商取引サイトでの企業取引の手法やソーシャルメディアでのやりとり、日常的な生産性ソフトウェアやデバイスの使用方法にさえ大きな影響を及ぼすとみられている。

テクノロジースタックの中間にあるAIフレームワーク、ツール、インターフェースは、開発者がモデルとアルゴリズムを設計、構築、配備できるようになるものである。独立系ソフトウェアベンダー（ISV）は、開発者が基礎的AIアルゴリズムを使って特定の適用領域向けの深層学習モデルを作るためのAIフレームワーク、ツール、インターフェースを提供している。これらのフレームワークの一部はオープンソースになっているため広く採用され、AIエコシステムの大半のプレーヤーから大きなサポートも得られる。

スタック下部の2層は、AIソフトウェアを実行するプロセッサ、論理回路その他の部品であるAIハードウェア、そして基本的に低レベルのソフトウェア機能であって、基礎的なシリコンチップセット用のAIモデルとアルゴリズムの最適化を支援するAIライブラリである。私たちは、Intel、Nvidia、Qualcomm、Xilinxなどの従来型半導体ベンダーが、この層におけるAI適用領域を加速させるため、最適化されたシリコンチップを供給するとみている。また、これらの企業は、自社の専用アーキテクチャの開発と拡大採用を進めるのに必要なライブラリを提供し、代わりに自社のシリコン製品へのAIフレームワークの配備を支援する可能性が高い。AIライブラリの例としては、IntelのDL SDK/Vision SDK、NvidiaのcuDNN、TensorRT、ARMのNNがある。

一番下のハードウェア層は、二つの重要な理由から、このAIソリューションスタックの中で最も興味深い部分になりつつある。一つは、AIの基礎的ハードウェアには、独特な処理要件が求められているとの認識が高まっていることである。その結果、最適な処理アーキテクチャの選択をめぐって新たな競争が生まれている。GPU、デジタル信号処理装置（DSP）、FPGA、カスタムASICのうち、どのアーキテクチャが勝利するのかはまだ分からぬ。二番目に、AIハードウェアを開発する企業の数が従来のチップメーカーの数を上回って増えていることである。このことが大手ベンダーを脅かし、市場の勢力図を大きく塗り替える可能性がある。

図表6：製品に反映されるAI機会への高い期待

対象 アプリケーション	半導体企業								知的財産権所有者	
	Intel	Nvidia	Qualcomm	Xilinx	NXP	ST	ARM	Cadence		
データセンター ・自律走行車 ・AR/VR ・ドローン ・監視	データセンター ・自律走行車 ・小売分析 ・スマートシティ ・監視	コンピュータ ビジョン	ADAS ・ドローン ・データセンター ・医療	ADAS用ビジョン プロセッシング	コンピュータ ビジョン ・スマート ドライビング	音声アシスタント ・消費者向けロボット ・スマートフォン	自動車 ・監視 ・ドローン ・モバイル／ ウェアラブル			
AIライブラリ	MKL DL SDK Vision SDK Movidius Myriad Dev Kit	CUDA DNN TensorRT	Snapdragon NPE SDK	reVISION SDAaccel Toolkit	S32 Design Studio IDE Vision SDK	STM32 STM32 Cube	ARM NN	Tensilica NN mapper toolkit DSP SDK		
AIプロセッシング、 ハードウェア／ シリコン	CPU Xeon PHI						Cortex-A75 Cortex-A55			
DSP			Hexagon DSP (Snapdragon NPE)					Tensilica Vision C5 DSP		
GPU		Pascal (Volta) Maxwell Tesla								
FPGA	Arria 10			Zynq MPSoC						
カスタム	Nervana NNP Myriad X Loihi NMP	ASIC - TPU			S32V Vision Processor	DCNN用 AL SoC	ARM ML			

出典：PwC research

■ トレーニング ■ 推論 ■ 両方

AIシリコンをめぐる新たな戦い

AI対応半導体の市場機会への期待が高いことから、あらゆる主要ベンダーがAIシリコンを提供している。最も一般的な対象用途はADAS、ドローン、監視、コンピュータビジョンである。

アーキテクチャの選択には、汎用CPU、DSP、GPU、FPGAからカスタムASICまで、かなりばらつきがある（図表6参照）。当然ながら多くのベンダーは、自社の中核能力や得意領域と密接に関連するAIシリコン用アーキテクチャを選んでいる。例えば、XilinxのZynq MPSoCは、自社のFPGA製品のカスタマイズ可能な派生品であり、Nvidiaの製品の大半は主力のGP-GPUアーキテクチャに基づいている。

一方、NXPやSTMicroelectronicsなどのベンダーは主にAI専用チップより、自社の既存製品群の能力を増幅するAI専用の加速・拡張機能を提供している。

さらに別の例では、知的財産（IP）ライセンシングベンダーのARMとCadenceはソフトCPUとDSP IPコアを提供している。これは、将来のAI処理がAIワークロード専用のスタンドアローンチップによる処理ではなく、ASICに埋め込まれると見込んでの動きである。これらの企業のモデルは、シリコンベンダーがAI用途向けの独自チップを開発できるよう、彼らにAIソフトコアの使用許諾を認めている。一方、Intelなどの財力のあるベンダーは、CPUやFPGA、カスタムASICなどの多彩なアーキテクチャに広く投資し、さまざまな処理要件に対応できるようにしている。

私たちが考える他の相違点は、企業がトレーニングシステム用または推論システム用に特別に設計されたチップを製造しているかどうかである。IntelとNvidiaは、トレーニングシステムと推論システムの両方向けに最も多様なチップセットを提供している。IntelのArria 10 FPGAとMyriad X ASICは推論システムのワークロード向けの設計だが、同社のNervana NNPはトレーニングシステムに最適との評価を受けている。同様にNvidiaは、トレーニングシステムのワークロード向けにPascalとVoltaチップを、推論システム向けにはMaxwellを製造している。また両社は、いずれの用途にも十分機能するチップも製造している（IntelのLoihi NMP、NvidiaのTesla）。私たちは、一つのアプローチが全ての

シナリオに最良とは思っていない。最良のアプローチは、分析されるデータソースの種類やデータグラビティへの配慮、リアルタイム処理の要求などによってそれぞれの適用領域で異なるとみられる。

カスタムソリューション

イノベーションが相次ぐなか、一部の企業はAIの「Holy Grail（聖杯）」、すなわち第一世代で採用された標準アーキテクチャのどれよりも省エネ、省コストの面で優れたパフォーマンスを実現できる、非常に高性能なカスタムチップを開発することに熱心だ。このアーキテクチャをめぐる戦いは当面続く見通しで、勝者を予想するのは時期尚早である。カスタムチップのパフォーマンスは最良かもしれないが、非常に狭いアプリケーションと適用領域のみに採用された場合の経済性は期待できず、結果的に販売量が少ないと初期の開発コストを回収できない恐れがある。

AI半導体の卓越性をめぐる激しい競争には、新規のチップメーカー数社が参入しており、特定のAIニーズ向けに設計したカスタムチップを使って事前試験を行っている（図表7参照）。私たちは大手のパブリッククラウドベンダーに明白な動きを確認しており、特にAmazon、Google、Microsoftの3社は全て、自社のクラウド商品のパフォーマンスとコストで競争優位を得るため、GPUとFPGAの代替品としてカスタムAIチップを開発している。Amazonは先ごろ、エッジコンピューティングの家庭用デバイスであるAlexa向けのAIチップを発表した。Microsoftは、スマートメガネHoloLens向けのAIチップを開発している。Googleも2017年、ニューラルネットワーク用のテンソル・プロセッシング・ユニット（TPU）を発表し、これは類似のワークロード向けのCPU/GPUチップより15～30倍、ワット当たりでは30～80倍高いパフォーマンスを実現できると述べている。

一方、Apple、Samsung、Teslaを含む数社は、自社製品の要件に応じてカスタマイズした独自のAIシリコンを開発している。Appleは、スマートフォンのiPhone XRとXS向けにA12 Bionicを導入した。この製品は、Face IDと動く絵文字であるアニ文字（Animoji）向けのニューラルエンジンの他、コンピュテーションナルフォトグラフィとピクセル処理機能用の画像処理プロセッサを内蔵している。

このように、パブリッククラウドのプロバイダと製品ベンダーが自社のアプリケーションと適用領域を最適化しようと独自のカスタムシリコンを開発し、AIをめぐる競争を大きく変化させている。そのため、IntelやNvidia、Xilinxといった従来のチップメーカーの地位が脅かされ、これらの企業のビジネスモデルを一変させる可能性がある。ただ私たちは、こうしたカスタムの動きはあるものの、GPUとFPGAはクラウドの中で共存し、AIワークロードを加速させるとみている。新しいシリコン設計の開発には膨大な投資と資源が必要であり、しかも収益を上げるためにには相当の販売量が必要であることから、短期的には多くのアプリケーションに市販のシリコン製品が使われるとみられる。

AIスタートアップ企業の全体像

もう一つ、半導体メーカーが対応しなければならない動きがある。それは、AI向けに最適化された革命的で新しいチップアーキテクチャの開発と販売を行う多数のスタートアップ企業の存在である。問題は、これらの新興企業が従来企業の脅威になるのか、あるいはどの企業がAI競争で優位に立ち、勝利するチャンスをつかむのか、ということだ。

企業がAIの将来性を見込んでこの領域に殺到しているため、ソリューションスタック全体で多くのイノベーションが生まれている。AIスタートアップ企業に投資するベンチャーキャピタルはこの数年で急増しており、

2017年にはAIと機械学習企業への投資額が過去最高の110億米ドルを記録した。想定内だが、そうした動きの大半はスタック最上位のソフトウェアとアルゴリズム領域で生じている。そこではスタートアップ企業が特定のAI適用領域に特化した拡張可能なプラットフォームを構築し、それを既存アプリケーションに統合して「インテリジェント化」できるAIソフトウェアを開発しようとしている。

一方、スタックの最下層にも依然として、大きな関心と期待が集まっている。そこでは、AIワークロードの独特的な処理要件に合うよう最適化された新しいシリコンアーキテクチャに狙いを定めるスタートアップ企業が増えている。当社のVC投資分析によると、半導体スタートアップ企業への関心は再び高まっており、2017年のVC投資額は7億5,000万米ドル近い水準となった。これは、その前2年間の合計額の3倍以上で、2015年以前のAIチップのスタートアップ企業に対する全投資額の12倍以上である。

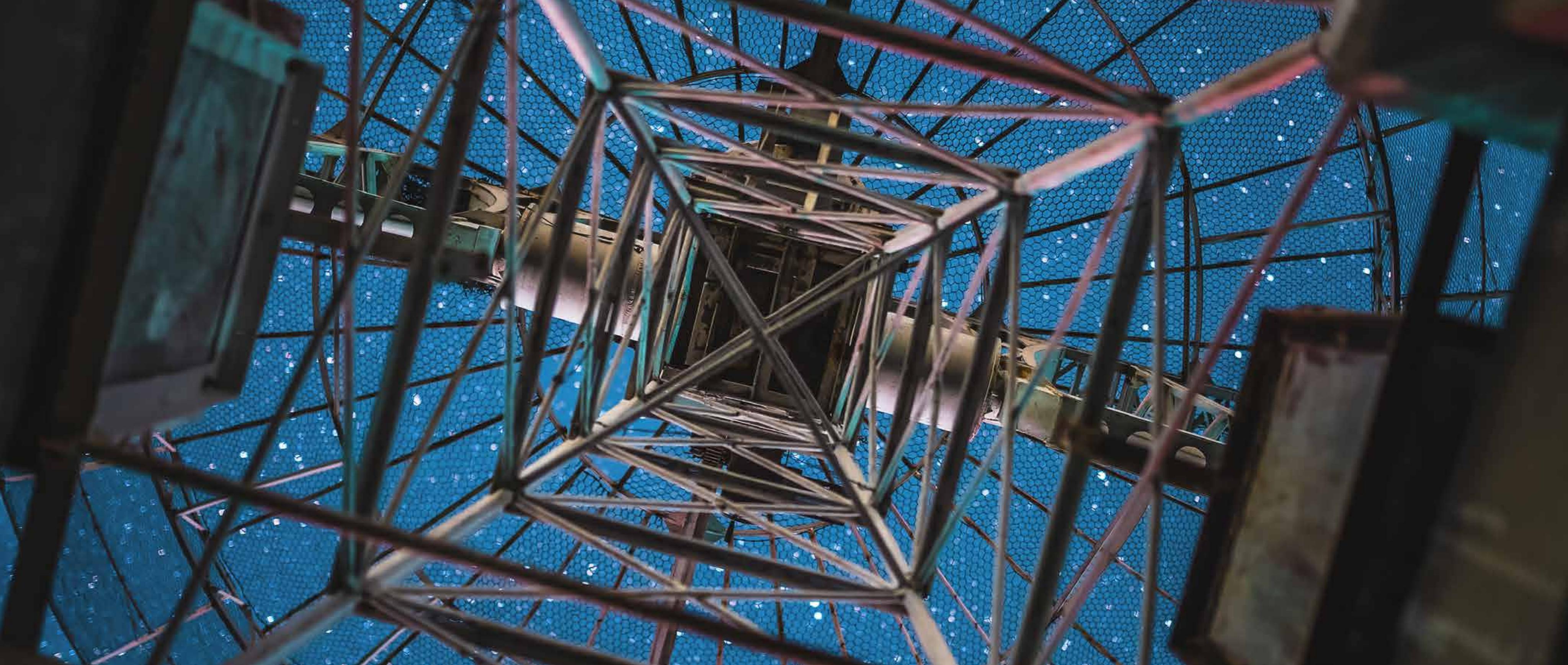
図表8が示すように、AI半導体のスタートアップ企業上位19社のうち11社は米国を本拠地としており、大半がさまざまなAIと深層学習のワークロード向けに特注の専用プロセッサアーキテクチャを開発している。そのうち9社は深層学習用プロセッサを開発しており、3社は、人間の脳の働きを模倣しようという画期的な新規アーキテクチャに基づく、いわゆるニューロモーフィック（神経形態学的）プロセッサを開発している。

図表7：他のプレーヤーがAI競争に参加

	クラウドプロバイダ				その他の製品ベンダー		
	Amazon Web Services	Microsoft	Google Cloud Platform	Baidu	Samsung	Tesla	Apple
対象 アプリケーション	• 顔認識 • 音声読み上げ • スマートアシスタント	• デジタル変革 • インテリジェントアシスタント	• 画像検索 • 音声検索 • 翻訳 • スマートリブライ	• 検索 • 音声アシスタント • コンピュータビジョン	• 顔認識 • アニ文字	• 自律走行車	• 顔認識 • アニ文字
AIライブラリ	AWS DL AMI Xilinx SDAccel	Bing API Face API Analytics API	Video API Vision API Speech API NL API				コアML
GPU	Nvidia GPU Xilinx AWS EC2 F1	Nvidia GPU Intel Project Brainwave					
FPGA				Xilinx クラウドサーバ		Nvidia GPU	
カスタム	エッジ用AIチップ (Alexa)	Hololens用 AIチップ	クラウドTPU TPU		ニュートラルエンジン (Exynos 9) 車載用チップ	AMD 車載用チップ	ニュートラルエンジン (A12 Bionic)

■ トレーニング ■ 推論 ■ 両方

出典：PwC research



図表8：AIスタートアップ企業へのベンチャーキャピタル投資が増加

スタートアップ企業	設立年	本社（拠点）	投資ラウンド	現在までの投資額（100万米ドル）	戦略的投資家	テクノロジー
Horizon Robotics	2015	北京（中国）	シリーズB	700	SK Hynix, SK China	ビジョンDSP
Graphcore	2016	ブリストル（英国）	シリーズD	310	Microsoft, BMW	深層学習用プロセッサ
Cambricon Technologies	2016	北京（中国）	シリーズB	210	SDIC	深層学習用プロセッサ
Wave Computing	2010	キャンベル（米カリフォルニア州）	シリーズE	203.3	Samsung	深層学習用プロセッサ
Vicarious	2010	サンフランシスコ（米カリフォルニア州）	シリーズC	120	Samsung	ニューロモーフィックプロセッサ
Rigetti Computing	2013	バークリー（米カリフォルニア州）	シリーズB	119		光／量子AIコンピューティング
Cerebras	2016	ロスアルトス（米カリフォルニア州）	シリーズC	112		深層学習用プロセッサ
Vayyar	2011	イエハド（イスラエル）	シリーズC	80		ビジョンDSP
ThinkForce	2017	上海（中国）	シリーズA	68		AIアクセラレーションエンジン
Movidius	2006	サンマテオ（米カリフォルニア州）	シリーズE	56	Intel（買収）	ニューラル・コンピュートエンジン・アクセラレータ（アプリ：ビジョンDSP）
Mythic	2012	レッドウッド（米カリフォルニア州） オースティン（米テキサス州）	シリーズB	55.2		ニューロモーフィックプロセッサ
KnuEdge	2005	サンディエゴ（米カリフォルニア州）	シード	47		ニューロモーフィックプロセッサ
Nervana	2014	サンディエゴ（米カリフォルニア州）	シリーズA	40	Intel（買収）	深層学習用プロセッサ
Xanadu	2016	トロント（カナダ）	シード	25		光／量子AIコンピューティング
Reduced Energy Microsystems	2014	サンフランシスコ（米カリフォルニア州）	シード	6.9		深層学習用プロセッサ
LightOn	2016	パリ（フランス）	シード	3.3		光／量子AIコンピューティング
CyberSwarm	2017	サンマテオ（米カリフォルニア州）	シード	2		AI支援サイバーセキュリティ CPU
Tenstorrent	2016	トロント（カナダ）	シード	1		深層学習用プロセッサ
Vathys	2015	ポートランド（米オレゴン州）	シード			深層学習用プロセッサ

■ シリーズA ■ シリーズB ■ シリーズC ■ シリーズD ■ シリーズE ■ シード

出典：PwC research

ここで留意したいのは、これらのスタートアップ企業のうち戦略的投資家が関与している企業はごく少数という点である。戦略的投資家の中で最も活動的な企業はIntelとSamsungで、実際にIntelはすでにMovidiusとNervanaを買収し、自社の製品・サービスをAIのロードマップに組み込み始めている。戦略的投資家のリストから外れているNvidiaに関しては、代わりに自社のベンチャーデ部分を通じ、スタックのさらに上位のプラットフォームやアプリケーションを構築している企業に投資している。

これまでのAIスタートアップ企業へのVC投資総額は、アーリーステージのシリーズAとBの投資、レイットステージのシリーズCとDの案件との間で均等に案分されている。レイットステージのスタートアップ企業の大

半は米国と欧州を本拠地としているが、アーリーステージの企業群はアジア太平洋地域に存在する。最大規模の中国系スタートアップ企業はCambricon Technologies、Horizon Robotics、ThinkForce、DeePhi Technologiesの各社で、現時点で合計3億米ドルのVC資本を調達し、最初の2社だけでそのほぼ3分の2を占めている。

私たちはこれまでの分析に基づき、AI用に最適なシリコンの製造競争はまだ始まったばかりとみている。競争は激化し、従来企業への脅威は思いも寄らない方向からやってくる可能性が高い。誰が勝者、敗者になるかは今後に委ねるしかないが、このきわめて競争の激しい分野への参入を望む半導体企業は今から準備を始めなければならない。



AIの機会をつかむ

半導体企業はディスラプティブ（破壊的）な成長サイクルから莫大な利益を上げてきた。しかし、チップ現物を超えた新規テクノロジーを収益化するにせよ、それらのテクノロジーによって実現される新たなビジネスモデルを開拓するにせよ、それぞれのサイクルから本来獲得できるはずの価値を何度も取り逃してきたことは、歴史が証明している。

AIの台頭は、今後10年の半導体産業における最も強力な成長の原動力である。これはほぼ間違いない。私たちの分析が示すとおり、従来企業もスタートアップ企業もAIを動かすハードウェアの開発に全力を挙げている。しかし、彼らはこの機会がもたらす価値の全てを実現できるのだろうか？ AIチップの開発と販売から得られる利益を超え、AI革命全体に参画できるのだろうか？

私たちは「できる」と考えているが、そのためには自社のAI戦略とビジネスモデルを再評価し、技術・製品戦略を策定し、AIエコシステム全体における自社の役割をどのように生かせるかを明確にするため、周到なアプローチをとる必要がある。AIがもたらす変化を乗り切り、この機会を最大限生かすための態勢を整えるうえで企業にとって何が必要か、何を考えるべきかについて重要なポイントは以下のとおりである。

戦略とビジネスモデル：AIに関する会社のビジョンを策定し、初期の段階において、そのビジョンをベースに、絞り込むべき重点分野についての理解を深める。その作業の一環として、会社の資産と専門領域を収益化する新しい方法を開拓する。データを活用できないか？ 提供できる関連サービスはあるか？ このアプローチにより、全般的な戦略と密接に整合させ、現在のポートフォリオをAIと関連づけ、よりAIフレンドリーに進化させるための最良の方法を知ることができる。ここでは、企業が絞り込めそうな三つの重点分野を示す。

- **成長セグメント：**会社の現在の事業領域を活用するとともに、ADASやIoTなど、大きな成長ポテンシャルをもつ市場セグメントで新たなAI対応の適用領域を特定し、それに狙いを定める。
- **シリコンを超えた収益化：**AI対象の知的財産（IP）のライセンスを取得する、または収益化が見込めるAI関連サービスを提供するための機会を開拓する。これらはホステッド型AI as a service、およびトレーニングシステムとアルゴリズムを改善するための匿名化AIの適用領域を含む場合がある。
- **プロダクトポートフォリオ：**会社の現在の製品ポートフォリオのAI対応力を高めるために漸増的な投資を行うのではなく、新たなAI能力を構築するためにどの部分に一気に投資を行うべきかを慎重に評価する。

テクノロジーと製品の提供：特定の適用領域を念頭に、チップのための適切なテクノロジーとアーキテクチャを選ぶことはきわめて重要だが、同時に、選択したテクノロジーパスをAIスタックの他の部分でサポートしなければならない。実証済みのアプローチとして挙げられるのは、製品を、スタック内のライブラリ、ツールキットその他のソフトウェア要素を広く包含するものと定義することだが、その場合、企業は全ての製品を自社で構築するか、それとも技術提携先からの製品と統合するかを決断しなければならない。企業が自社の製品提供を重点活用できる方法をいくつか提案する。

- **ハードウェアアーキテクチャの進化：**ニューロモーフィック処理などのカスタムアーキテクチャをもつ設計、および、例えばロジックとメモリ機能の統合などにより、独自の自己学習能力を通じた深層学習アルゴリズムを加速させるための専用サブシステムの設計を開拓する。
- **AIライブラリとツールキット：**可能であれば、ポートフォリオ内の既存製品向けのAIアルゴリズムを最適化し、加速させるためのソフトウェア開発キット（SDK）とコンパイラを開発する。
- **フルスタックソリューションの提供：**シリコン、プラットフォーム、ツール、ライブラリのフルスタックソリューションを提供できるパートナーと協業し、アプリケーションの開発と差別化を容易にする。

パートナーシップとAIエコシステム：前述のAIソリューションスタックを詳しく分析すると、AIの成功は、技術提携を通じて、また製品やサービスの提供者として、パートナーシップのエコシステムを構築していることに大きく依存していることが分かる。賢いプレーヤーなら、エコシステムを構築して有効活用することで発売までの期間を短縮し、強力な販売活動を通じて特定の業種や用途に食い込み、合弁事業や買収など長期的成長につながる戦略的パートナーシップと投資を評価するはずである。ここでは、企業が検証すべきいくつかの選択肢を挙げる。

- **ライセンスの取得：**ARMやCEVA、CadenceなどのサードパーティベンダーからIPコアのライセンスを取得することにより、リスクの軽減とAI専用製品の開発加速の両方を実現するための選択肢を模索する。
- **パートナーシップ：**自社のAIチップとソリューションの採用促進に向け、スタック全体のプレーヤーと新しい戦略的パートナーシップを形成する。
- **戦略投資：**自社の主力事業と整合性のある適用領域に向けた能力を増強するため、AIスタートアップ企業への投資を検討する。

半導体産業におけるデジタル化

半導体産業はその誕生以来、デジタル化のパイオニアとしてデジタルサービスを提供し、新たなデジタルビジネスモデルを追求してきた。例えば、1970年代の一時期、Intelはチップ自体の販売よりも、チップ用試験装置の販売からより多くの利益を上げた。1980年代には、デジタル設計とシミュレーションツール、通信技術の普及を背景にファブレスおよびファウンドリモデルが台頭し、当時一般的だったIDM（垂直統合型デバイスマーカー）モデルを駆逐した。その後、専業IP企業が登場し、続いてQualcommやARMなどが参入して半導体のバリューチェーンはさらに混迷を深めた。

現在、デジタル化の面では他の産業、特に自動車産業が半導体産業より明らかに先行している。自動車メーカーのデジタル化の成功が主に半導体産業の製品によって支えられてきたことを考えると、これは皮肉な話である。半導体企業にとっては、デジタル化の最も優れた活用方法は何か、会社にとってどの可能性が最も合理的であるかを考えることは、これまで以上に重要になっている。

チップメーカーがデジタル化への最良の進め方を考える際には、製品・サービスのデジタル化、デジタルビジネスモデル、デジタル半導体バリューチェーンの三つの総合戦略に絞り込むのがよい。もちろん、これらの戦略は全て、しっかりとデータとアナリティクスの後ろ盾を必要とする。

製品・サービスのデジタル化：私たちは、半導体企業が自社の製品・サービスをデジタル化するための選択肢は三つあるとみている。それはデータの収益化、拡張、カスタマイズである（図表9参照）。データの収益化は、半導体企業が自社または他社のデバイスによって作り出される大量のデータから利益を得ることである。製品・サービスの拡張は、企業の既存技術をAIと、または他社の製品やサービスと統合して充実させることである。カスタマイズは、精度と効率の水準を高めることで顧客に付加価値をもたらすものである。

図表9：半導体企業のデジタル戦略

	データの収益化		拡張		カスタマイズ	
製品・サービス	・生のデータを提供 ・データを「クレンジング（洗浄）」し、体系化する ・データから知見を生成する	・AI支援集積回路（IC）設計サービス	AI支援 IC統合サービス	・IoTプラットフォームの統合	・コンプリートデバイス	・チップ・オン・デマンド
概要	・顧客に提供される IC設計データ ・データ・クレンジング、 知見生成のために 顧客に提供されるアルゴリズム	・顧客に提供される AIベースの設計および バグ修正サービス	・主にベンダーの IC製品関連で協力 するAIベースの 回路設計サービス	・チップベンダーはハイベース ケーブル・クラウドプラットフォーム・プロバイダと協力し、IC 製品用プログラムのツールが クラウドプラットフォームの統 合開発環境内で確実に利用 され、アプリケーション・プ ログラミング・インターフェー スを通じて実現されるよう にする	・データを所有することに よりIoT機会をより確実 に捉える ・顧客に近づくことで、より 成功率の高いアプリケ ーション専用設計を実現する	・将来はチップ設計用AIア プリケーションが浸透し、顧客は ICの性能と機能性パラメータ を設定できるようになり、AI エンジンが作り出す設計の選 択肢が広がる
例／潜在的な 適用領域	・Samsungの Artik Cloud IoT プラットフォーム	・IntelのEDA 設計フロー（チップ）*	・IntelのEDA 設計フロー（基板レベルの 設計）*	・Qualcomm/Linaro* ・クラウドサービス	・IntelのMobileye	・Intel（実験段階）

*潜在的な適用領域

出典：PwC research

デジタルビジネスモデル：私たちは、半導体企業が選ぶべき革新的なデジタルビジネスモデルは次の五種類とみている（図表10参照）。

1. 「カミソリと刃 (Razor and blades)」：このモデルでは、企業がコンピューティングアーキテクチャなどの主力製品を低マージンで提供し、このアーキテクチャに依存する高マージンのクラウドプラットフォーム・サービスなどの追加製品を開発して利益を得る。将来的に、半導体ベンダーはクラウドサービスプロバイダにレンタル用デバイスを提供し、それがハードウェア活用の収益化をもたらす。
2. **プラットフォーム**：企業は、チップメーカーと顧客との間のデータベースまたはハードウェアベースでのやりとりを促進することで、この機会から価値を創出できる。それによりプラットフォームの参加者に利益をもたらし、ホストは各種基準に影響を及ぼし、競合他社へのスイッチングコスト（切り替えコスト）を増やすことができる。

3. **オープンソース**：このモデルでは、半導体企業は、顧客がカスタマイズされたオープンソース対応のチップを製造できるプラットフォームを整備する。それによりサードパーティとのソフトウェアソースコードとIC設計の公開共有が進むため、研究開発費の分担と発売期間の短縮が可能となる。

4. **XaaS (Everything as a service)**：半導体メーカーは、Computing as a serviceなど、インフラ、ハードウェア、ソフトウェアをめぐる革新的なサービスの開発にこのアプローチをとることができる。その後、ハードウェアと機能の更新をサービス料として徴収する。

5. **マーケットプレイス**：使用者が増えれば増えるほど生まれる正のネットワーク効果を通じて価値を高める両面市場の開発モデルである。マーケットプレイスには、例えば共有AIトレーニングデータ用のクラウドベース型Algorithms as a serviceを含めることができる。顧客は汎用インターフェースでアルゴリズムにアクセスでき、開発者は新しいアルゴリズムとモデルをアップロードしてマーケットプレイスを充実させることができる。

図表10：半導体企業のための革新的なビジネスモデル

種類	製品・サービス	概要	例
「カミソリと刃」	<ul style="list-style-type: none"> クラウドプラットフォームと新規コンピューティング 	<ul style="list-style-type: none"> 主要コンピューティングアーキテクチャにサポートされたクラウドプラットフォーム・サービスを提供する アプリケーション専用コンピューティングアーキテクチャをサポートする（例：深層学習） 将来、チップベンダーはクラウドサービスプロバイダにデバイスを貸し出し、ハードウェアの利用を収益化できる 	Googleのクラウドプラットフォーム NvidiaのGPUクラウド
プラットフォーム	<ul style="list-style-type: none"> データプラットフォーム 	<ul style="list-style-type: none"> プラットフォーム参加者に利益をもたらし、ホストが基準に影響を与え、競合企業のスイッチングコストを増やすことのできる共同パートナー用のデータ交換および収益化プラットフォームを構築する 	TSMCのオープン・イノベーション・プラットフォーム
	<ul style="list-style-type: none"> プラットフォームSWインフラ 	<ul style="list-style-type: none"> サードパーティの開発者がチップ上にAIモデルを構築・配備できる標準API（アプリケーション・プログラミング・インターフェース）をAIシリコンIPの一部として開発する 特定用途内にチップの「開発者の粘着性（developer stickiness）」を作り出す標準的なツールキット、コンパイラないしライブラリを構築する 	CEVAとNvidiaの深層学習用SDK ARMのNN SDK TensorFlowライブラリ
	<ul style="list-style-type: none"> IoTプラットフォーム 	<ul style="list-style-type: none"> 外部ベンダーの付加価値サービスによってIC製品の相互操作性を実現し、Hardware as a serviceなどのビジネスモデルを可能にする 	ARMとLinaroのオープンソースARMプラットフォーム IntelのIoTプラットフォーム
オープンソース	<ul style="list-style-type: none"> オープンソースIC設計 	<ul style="list-style-type: none"> カスタマイズされたオープンソース対応のシリコンチップを顧客が製造できるプラットフォームを構築する カスタマイズの組み込みが従来設計より迅速に行われ、従来設計より迅速かつ低コストで顧客に提供される 	SiFiveのオープンソース設計
XaaS	<ul style="list-style-type: none"> Computing as a service 	<ul style="list-style-type: none"> ハードウェアと機能性の更新をサービス料として徴収する 新しい改良推論モデルがダウンロードされると、同時にサービスによってFPGAにプログラムの書き換えが行われる Chip features as a service（有償でロック解除） 	IBMのQ（量子コンピューティング）
マーケットプレイス	<ul style="list-style-type: none"> AIアルゴリズム／モデル 	<ul style="list-style-type: none"> クラウドベース型Algorithms as a serviceのためのマーケットプレイスを作る 顧客は汎用インターフェースを通じてアルゴリズムにアクセスできる 開発者は新しいアルゴリズム／モデルをアップロードしてマーケットプレイスを充実させる 	AlgorithmiaのAIアルゴリズムマーケットプレイス
	<ul style="list-style-type: none"> エンドユーザー・アプリケーション用データ 	<ul style="list-style-type: none"> 顧客と適用領域のAI関連データを統合し、それを匿名化し、AIデータ市場での販売用に利用できるサービスを提供する このデータの潜在顧客はフィードバックを受け取れるため、トレーニング／アルゴリズムを改善し、最終顧客のAI活用法を知ることができる 	Bottosの分散AIデータマーケットプレイス OpenMindとOcean社のAIデータ共有マーケットプレイス

出典：PwC research

デジタル半導体バリューチェーン：半導体企業は、AI主導の新機能を活用するためだけではなく、そのことがもたらす他のデジタル機会をフルに生かす目的で、垂直・水平双方のバリューチェーンを端から端までデジタル化することにより、大きな利益を得ることができる。図表11は、各社が追求すべき取り組みを示している。

簡単に言うと、半導体企業は三つのデジタル戦略の全てを通じて獲得できるあらゆる機会を検討すべきである（図表12参照）。

業務：業務面では、増収のために採用できる多様なデジタル戦略に加え、AIと機械学習を業務改善に取り入れることで増益につなげる機会を検討すべきである。選択肢には以下のようなものがある。

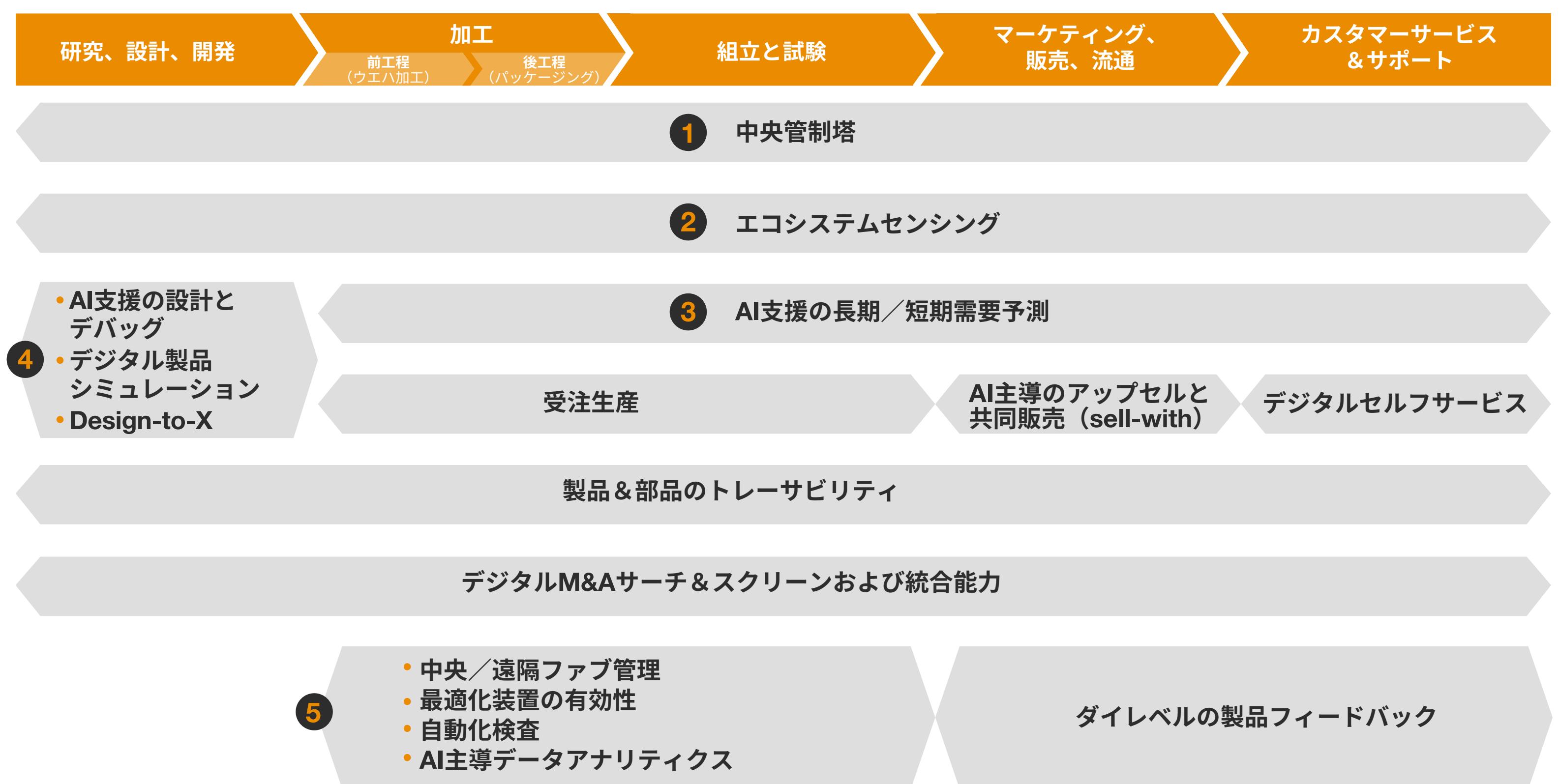
- ・**中央管制塔：**これは、企業が全てのサプライチェーンセグメントと全ての業務（サプライヤーと顧客の業務を含む）の詳細なリアルタイム情報を維持できるようにするものである。ダッシュボードはバーチャルな制御室での業務のように設計でき、主要ステークホルダーへの可視化を実現する。
- ・**エコシステムセンシング：**AIを利用して、自社のサプライヤーと顧客のエコシステムからデータと知見を収集し、さらなる機会を示す最も関連性の高いシグナルを特定し、対応策の提案をする。
- ・**AI支援の長期／短期需要予測：**大手企業の動きやサプライチェーンからのシグナル、関連ニュースなど、エコシステムから需要シグナルを収集し、その影響を分析してリアルタイムで製品構成を改善し、供給スケジュールを調整する。

・**AI支援の設計とデバッグ：**機械学習システムを用いてIC設計ソリューションを提案し、バグの出る可能性のある設計要素を特定し、より効率的な製品設計プランチングを行う。

・**製造プロセスの最適化：**学習と応答性を改善するため遠隔地の施設やオフィスの隣に製造管理センターを設置し、製造装置のセンサー記録と関連事象の分析を通じて装置の効率性を改善する。コンピュータビジョンのツールを配備して組立不良を特定する。AIは、前工程と後工程でのウエハロット投入をサポートする。

デジタル化の推進とAI時代の到来を商機とした半導体企業は、次のステップを慎重に検討した上で、体系的に物事を進める必要がある。最初のステップは検証と学習である。企業は試験的なプログラムを通じて新しい適用領域と製品への理解を深め、開発に向けた適切な機会を選ばなければならない。二番目のステップは能力構築の必要性である。手元の能力と必要となる能力を特定し、足りない部分を構築する。その後、新規能力を実施するためのデジタル変革プログラムを設計し、始動する。三番目のステップでは規模を拡大し、さらなるデジタル機会と関連適用領域を特定する必要がある。次いで、これらの機会を新しいデジタル組織に組み込むためのロードマップを作成する。さらに、獲得した新しい能力と組織を活用して新製品の開発と発売を促進する。

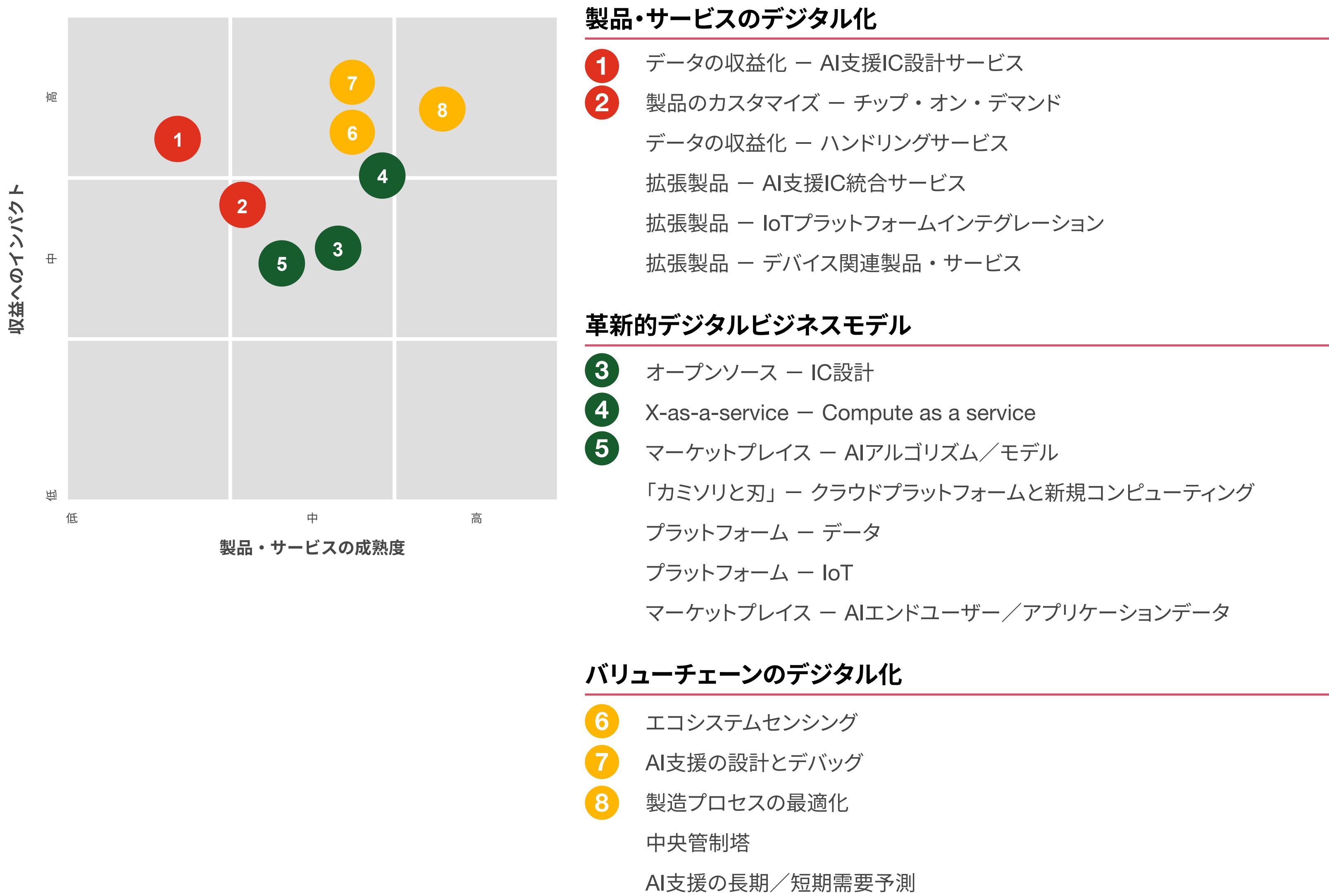
図表11：バリューチェーンにおける一連の機会



出典：PwC research



図表12：成熟度とインパクト別の機会



出典：PwC research

先へと 続く道

今後数年、あるいは10年にわたって半導体企業には利益を得る多くのチャンスがある。私たちは、2022年までの予測期間において半導体市場は全てのグローバル市場で急速な成長が続き、最終的に5,750億米ドルの市場になると予想している。

七種類の製品カテゴリーのうち、メモリチップは2022年まで最も大きな市場シェアを維持するとみられ、その成長の原動力は、スマートフォンなどの端末装置におけるクラウドコンピューティングと仮想現実になると予想する。

さらに、世界経済の明るい見通しを踏まえ、自動車市場とデータ処理市場を筆頭に、2022年まで全てのアプリケーション市場が成長する可能性が高い。これらのセグメントを押し上げるのはAI関連チップの需要になるとみられる。

この成長を最大限生かし、自社の市場ポテンシャルをフルに実現できる半導体企業は、AIがもたらす可能性を活用できる企業である。テクノロジー業界の別の一角からスタートアップ企業や新規参入企業が加わり、市場の獲得競争は激化する一方である。半導体企業は、チップの提供に加え、実際のチップ自体を超える新しいテクノロジーを収益化するか、これらのテクノロジーが実現する新しいビジネスモデルへと進化するための方法を見つけなければならない。それを実行する企業が成功する。そうでない企業は、より敏捷なライバル企業に取って代わられることになる。

Contacts

Düsseldorf



Werner Ballhaus

Partner, PwC Germany
+49-211-981-5848
werner.ballhaus@pwc.com

Seung-Min Shin

Manager, PwC Germany
+49-211-981-1228
seung.min.shin@pwc.com

Munich



Marcus Gloger

Partner, PwC Strategy& Germany
+49-89-5452-5572
marcus.gloger@pwc.com

Tanjeff Schadt

Director, PwC Strategy& Germany
+49-89-5452-5521
t.schadt@pwc.com

Sören Tolzmann

Director, PwC Germany
+49-89-5790-5202
soeren.tolzmann@pwc.com

Andris Ogrins

Senior Manager, PwC Strategy& Germany
+49-89-5452-5632
andris.ogrins@pwc.com

San Jose

Conall Dempsey

Partner, PwC US
+1-215-518-0149
conall.dempsey@pwc.com

Mark McCaffrey

Partner, PwC US
+1-408-817-4199
mark.mccaffrey@pwc.com

Anand Sundaram

Director, PwC US
+1-480-319-1931
anand.sundaram@pwc.com

Amit Adalti

Director, PwC Strategy& US
+1-408-624-6714
amit.adalti@pwc.com

Shanghai

Jianbin Gao

Partner, PwC China
+86-21-2323-3362
gao.jianbin@cn.pwc.com

日本のお問い合わせ先

PwC Japanグループ

<https://www.pwc.com/jp/ja/contact.html>



谷口 大輔

PwCコンサルティング合同会社
テクノロジー・メディア・テレコムインダストリー
マネージャー

緒方 秀昂

PwCコンサルティング合同会社
テクノロジー・メディア・テレコムインダストリー
シニアアソシエイト

www.pwc.com/jp

PwC Japanグループは、日本におけるPwCグローバルネットワークのメンバーファームおよびそれらの関連会社（PwCあらた有限責任監査法人、PwC京都監査法人、PwCコンサルティング合同会社、PwCアドバイザリー合同会社、PwC税理士法人、PwC弁護士法人を含む）の総称です。各法人は独立した別法人として事業を行っています。

複雑化・多様化する企業の経営課題に対し、PwC Japanグループでは、監査およびアシュアランス、コンサルティング、デールアドバイザリー、税務、そして法務における卓越した専門性を結集し、それらを有機的に協働させる体制を整えています。また、公認会計士、税理士、弁護士、その他専門スタッフ約8,100人を擁するプロフェッショナル・サービス・ネットワークとして、クライアントニーズにより的確に対応したサービスの提供に努めています。

PwCは、社会における信頼を築き、重要な課題を解決することをPurpose（存在意義）としています。私たちは、世界157カ国に及ぶグローバルネットワークに276,000人以上のスタッフを有し、高品質な監査、税務、アドバイザリーサービスを提供しています。詳細は www.pwc.com をご覧ください。

本報告書は、PwCメンバーファームが2019年4月に発行した『Opportunities for the global semiconductor market』を翻訳したものです。翻訳には正確を期しておりますが、英語版と解釈の相違がある場合は、英語版に依拠してください。

電子版はこちらからダウンロードできます。 www.pwc.com/jp/ja/knowledge/thoughtleadership.html

オリジナル（英語版）はこちらからダウンロードできます。 www.pwc.com/gx/en/industries/tmt/publications/global-tmt-semiconductor-report-2019.html

日本語版発刊年月：2020年3月 管理番号：I201911-10

©2020 PwC. All rights reserved.

PwC refers to the PwC network and/or one or more of its member firms, each of which is a separate legal entity. Please see www.pwc.com/structure for further details.

This content is for general information purposes only, and should not be used as a substitute for consultation with professional advisors.