

# AI半導体企業のグローバル競争

## Global Competition of Companies in Artificial Intelligence Semiconductors

(2020年3月31日受理)

宋 娘 沃

Nang ok Song

Key words : AI, AI半導体, 機械学習, 深層学習, 自動運転, 企業買収, 企業間競争

### 要 旨

本稿は、AI（人工知能）半導体をめぐる企業間のグローバル競争がどのように展開されているのかを課題とし、現在、AI半導体市場で熾烈に競争しているエヌビディアとインテルに焦点を当て、AI半導体戦略の技術的特性と自動車産業の自動運転における相違を明らかにした。エヌビディアの場合、画像処理半導体のGPUで半導体市場を先導し、自動運転では自動車メーカーとの緊密な提携や協力関係を結び、自社の半導体、ソフトウェアをオープンソースで提供し、今日に至っている。他方、半導体産業の王者であるインテルはエヌビディアより遅れてAI半導体市場に参入している。インテルの自動運転における戦略は、AI半導体分野の企業4社を次々と攻撃的に買収したことである。買収された企業は、FPGA、深層学習、画像認識技術に強みを持っている。さらにインテルは自動車メーカーとも提携を結びつつ、買収したモバイルアイ社の自動車の取引相手を傘下に吸収しながら、AI半導体で世界首位を狙う戦略を構築している。

### はじめに

第4次産業革命の根幹をなしているICT技術の発展により、IoT(Internet of Things)、ビッグデータ、クラウド、車載半導体、人工知能(AI:Artificial Intelligence)（以下AIと称する）などの需要が、急激に高まっている。とくに、今日のクラウド、ビッグデータ、IoTの飛躍的な発展により、AIはグローバルICT産業の新しい分野として注目を集めている。現在インターネットはより多様な非定形データをこれまでより素早く収集し、分析できるビッグデータの処理環境を次第に拡充させている。また、機械学習のアルゴリズムの一つであるディープラーニング（深層学習）の登場でAIの正確度が飛躍的に向上している。さらに、そのAIを動かせるハード部門の半導体を手掛ける企業、エヌビディア、インテル、IBM、GAFAのグローバル競争が熾烈になってきている。こうした中で

機械学習、深層学習、AI半導体が今日注目されているのである。

本研究の課題は、AI半導体のグローバル企業に焦点をあて、その戦略上の相違を明らかにすることである。具体的には、AIとは何か、また、そのAIを動かすAI半導体はどのような特性を有しているのか、さらに、AI半導体をめぐる企業間のグローバル競争がどのように展開されているのかを考察する。

### I. AI（人工知能）とは何か

人工知能とは、「コンピュータを使って人間の知能と同等の機能を実現するシステムや、その実現に必要な基礎技術を指す」<sup>1)</sup>。写真や映像を認識する「画像認識」、音声テキスト化する「音声認識」、文章を理解して自然に受け答えする「自然言語処理」、膨大なデータから

将来の出来事を予測する「予測分析」はどれも学術領域としてAIに含まれる。2013年以降、深層学習が適用できる画像認識や音声認識は大きな伸びをみせている。

ここでAIに関する歴史の変遷についてみておこう。総務省の『情報通信白書 平成28年版』によれば、人工知能の歴史は大きく3つの時期に区分される。

第1次人工知能ブームは、1950年代後半から1960年代で、コンピュータによる「探索」と「推論」が可能となり、アメリカでは自然言語処理による機械翻訳が特に主要なテーマであった。

第2次人工知能ブームは、1980年代で、「知識」をコンピュータが推論するために必要な様々な情報をコンピュータが認識できる形で記述したものを与えることで人工知能が実用可能な水準に達し、多数のエキスパートが生み出された時期である。つまり、専門分野の知識を取り込んだ上で推論することで、その分野の専門家のように振る舞うプログラムが開発された。

第3次人工知能ブームは、2000年代から現在までの時期である。現在「ビッグデータ」と呼ばれる大量のデータを用いることで人工知能自身が知識を獲得する「機械学習」が実用化されている。次いで知識を定義する要素である特徴量（対象を認識する際に注意すべき定量的に表すこと）を人工知能が自ら習得するディープラーニング（Deep Learning：深層学習）が登場したことである。このように、第3次人工知能ブームが、現在のAI半導体が登場する契機となっている<sup>2)</sup>。

代表的な人工知能の研究テーマを歴史的にみると、①推論・探索、②エキスパートシステム、③機械学習、④ディープラーニング（深層学習）であり、現在では③と④が人工知能の領域で研究が盛んになっている。

次に、人工知能の全体を見ると、人工知能の技術基盤は最下層から上層まで大きく4つの層から構成されている。

その最下位層はハードウェア部門で半導体チップとサーバーが位置する。機械学習やディープラーニングに必要な演算の高速処理はCPU（中央演算処理装置）だけでは対応しきれないため、以下で述べるGPU、FPGA、ASIC、ASSP、Neuromorphic半導体といった高速処理が可能な半導体が使われている。

第2層は、機械学習を行うライブラリで、どれもオー

プンソースで無償提供されている。その例として、グーグルのTensor Flow、マイクロソフトのCognitive Toolkit、アマゾンのMXNet、日本のスタートアップ企業であるPreferred Network社のChainerなどがある。これらのライブラリを利用してディープラーニングのモデルを作成することが可能である。

第3層は、人工知能のプラットフォームである。人工知能のプラットフォームはライブラリを使って画像認識や音声認識を学習し、目的別にユーザーが利用しやすいサービスを提供している。その例として、グーグルの「Cloud Machine Learning」、IBMの「Watson」、マイクロソフトの「Cognitive Services」、アマゾンの「Machine Learning」、アップルの「Core Machine Learning」などをクラウドサービスで提供している。

第4層は、人工知能アプリケーションである。そのアプリケーションの代表的なものが自動運転、ロボデックス、自動飛行ドローン、スマートスピーカー、音声認識、画像認識、異常検知などで、多くのサービスが行われている。こうした人工知能の技術基盤がそれぞれの役割を果たしているが、人工知能を使って自動車を動かすためには高性能のコンピュータが必要である<sup>3)</sup>。

ここで実際のAIの仕組みを理解するため、いくつかのAIライブラリの基本構造を説明しておこう。

まず、機械学習とは、コンピュータに学習させて人間と同じように認識・判断を行わせる人工知能の手法の1つである。機械学習は学習を十分に精度の達するまで「学習処理」と「判定処理」の2つの手順で行われる<sup>4)</sup>。

これに対して、深層学習とは、機械学習の一部である情報を入力層と出力層の間にある隠れ層を通じて、その重み係数（積和）を何回も重ねて作業を行い、出力する仕組みである。深層学習は人間の脳にニューロンという神経細胞を模倣して接続部分であるシナプス（脳神経細胞の接合の部分）から電気や化学反応の信号を発信し、情報をやり取りすることである。これをディープニューラルネットワーク（Deep Neural Network:DNN）という。

DNNは画像や音声を含む様々なパターン認識で人を超える性能を獲得しつつある。DNNは「学習」という領域と「推論」という領域に区分されている。「学習」はビッグデータを読み込むことで、正解を導く過程の修正を繰り返し、賢く認識できることであり、「推論」は学習で

得られた過程を用い、未知のデータを入力し判断することである<sup>5)</sup>。

現在、この深層学習で注目されているのが、エヌビディアのGPU（画像処理半導体）である。では、こうした深層学習はどのような役割を果たしているのだろうか。

DNNの長所は、人にしか出来ないと言われてきた作業を人よりも高い能力で実行できる点であり、いわばデータに潜む重要なパターンを自ら見つけ出す能力があることである。また、実行させたい動作に関する大量のデータを与えることで、制御方法を自ら学習する点にある。その例として、ファナックが日本のプリファードネットワーク社と共同開発した、自己学習で動作を調整できるパラ積みロボットがある。

DNNが各種の制御に適用されるようになったのは、学習アルゴリズムの進歩によるものである。現在安川電機や三菱電機のように、各種のDNNを使った制御技術は、工場などの管理された環境から、より変化の激しい場所で使う機器にまで広がっている<sup>6)</sup>。こうした深層学習の発展をもたらした重要な要素は、神経網モデル、ビッグデータ、コンピュータ演算能力である。

## 2. AI半導体の製品と機能

### 2-1 AI半導体とは何か

ここでは人工知能を動かせるAI半導体とは何かについて見ることにする。

人工知能技術が実生活に活用されるためには、情報の実時間処理と安定的処理が必須である。これを可能にしたのがAI半導体である。AI半導体とは「データセンターサーバーやエッジデバイスから人工神経網アルゴリズムをより効率的に計算するために最適化された半導体」と定義する<sup>7)</sup>。AI半導体はAIの一種であるディープラーニングに必要な大量のデータを処理するための半導体で、データセンター、スマートフォン、自動車などの処理能力に優れている半導体を意味する。また、ここでは狭義のAI半導体として、人工知能の演算処理を目的とする①GPU、②FPGA、③Neuromorphic半導体、④ASIC、⑤ASSPがある。これらのAI半導体はこれまでのシステム制御や人工知能演算に使用されるCPUを除外した製品群である。この5つの製品群は主に人工知能の演算に特化され

た半導体を意味する。以下では5つのAI半導体の技術的特性についてみてみよう。

①GPU(Graphics Processing Unit)とは、コンピュータグラフィックスの画像処理に特化された専用演算と内部構造を持つプロセッサである。GPUは、AIの中心的な深層学習のニューラルネットワーク計算で、同じ層の各ニューロンの計算を並行して実行できる積和演算に向くので、計算量をかなり減らせるという利点がある。GPUは1999年エヌビディアが初めてコンピュータグラフィックスに必要な演算処理を行うために開発した半導体である。エヌビディアのGPUは本来ビデオゲームに要求される大量の計算を遂行するために開発された。CPUのコア数は数個程度にあるのに対して、GPUのコア数は数十から数千のものにまである点に大きな特徴がある。CPUが汎用的な処理を単独で行えることに対して、GPUはCPUの命令を受けて大量コアを一気に並列演算処理できる。すなわち、膨大な掛け算と足し算（積和演算）を繰り返し並列演算処理できる点にメリットがある。GPUには積和演算が多数集積されている<sup>8)</sup>。エヌビディアは画像処理から始まり、動画編集やCAD、3Dゲーム、車載半導体へと適用範囲を広げて、世界の半導体企業の中でも、GPUの一番手として成長を成し遂げている<sup>9)</sup>。現在GPUは人工知能研究のためのハードウェアとしてもっとも普遍的に使用され、並列演算に特化された人工神経網演算においても優れた性能を発揮している。

②FPGA(Field Programmable Gate Array)とは、ユーザーが自由に手元でプログラムできる集積回路のことで、開発期間が短く、試作品だけではなく、最終製品にも利用できる半導体である。FPGAは回路プログラミングの再構成を通じて用途に合う最適化や変更が可能でフレキシビリティに動作できるのに対して、ASICは回路プログラミングの変更の再設定ができない。開発コストの面でもASICが開発コストや開発期間が必要であるのに対して、FPGAは汎用品なので初期コストが少なく済むという製品特性がある。つまり、FPGAは常に最新のアルゴリズムをハードウェアとして実装できる上、回路規模の異なる品種を活用することで、電力や性能の要求が違う用途に展開できることが利点である。インテルの中位FPGAの有名な画像処理「Alex Net」は1秒間に1W当たり25枚の画像処理ができる<sup>10)</sup>。インテルはFPGAのプログラム

可能な論理モジュールを短期間に並べ、論理回路を実行できるFPGAに製品性能を求める意向である。FPGAの大きな違いは、GPUに比べて処理能力は劣るものの、消費電力が小さいことである<sup>11)</sup>。

③Neuromorphic半導体は近年注目を集めている。Neuromorphic半導体とは、脳を構成する神経細胞網の構造に倣った集積回路として、「脳型チップ」ともいう。既存のソフトウェアでコーディングされた人工知能アルゴリズムがフォン・ノイマン型コンピュータ構造の高性能のコンピュータシステムからシミュレーションされ作動することとは違い、半導体チップ自らの人工知能アルゴリズムがプロセッシングロジック (Processing Logic) 部分とメモリー (Memory) 部分が一体化されていることを意味する<sup>12)</sup>。

Neuromorphic半導体の特徴は、メモリー半導体とプロセッサを1つに統合し、消費電力を画期的に軽減したもので、人工知能時代に必要とされる核心半導体である。

第4次産業革命が加速化する中、その核心技術であるAI技術はICT産業のグローバル企業の新たな競争になっている。その中でもAI半導体の開発競争がこれまで以上に激化している状況である。とくにIoT分野では、AI半導体が必要であるが、既存の半導体ではこれらを完璧に実行させるには限界がある。現在次世代半導体技術として注目されているのが、Neuromorphic半導体である。AI技術を遂行するため処理しなければならないデータが多くなればなるほど、人間の脳のように貯蔵と演算を同時認識できる半導体が必要となる。Neuromorphic半導体はこうした要求に応えるために、人の脳の神経細胞網を模倣して、開発された次世代半導体である。

その例として、2014年にIBMの「True North」チップはCMOS工程基盤のNeuromorphic半導体があげられる。True Northチップの特性は、数多くのシナプスを信号伝達するため、SRAM (メモリー) 基板のシナプス、クロスバー構造の回路をコア別に並列的動作を行う点にある。それを適用したのが2016年12月の三星電子のスマートTVで、手の動作認識を実現した。

もう1つの例は、2017年にインテルはNeuromorphic半導体である「Loihi」テストチップを発表したことである。インテルはNeuromorphic半導体の研究を2012年から6年間にわたり継続し、IoT、自動車、ロボット産

業の応用に適用しようとしている。また、2014年にクアルコムは自社のNeuromorphic半導体「NPU」のための「Zeroth」プラットフォームを開発した。2016年にはIBMの「True North」Neuromorphic半導体を追うようにHP、日本のNEC、東芝なども開発に乗り出している<sup>13)</sup>。こうしたNeuromorphic半導体の開発の商業化はまだ初期段階ではあるが、その適用範囲の相違によって、今後グローバル市場での競争が一段と活発になると考えられる。

④ASIC (Application Specific Integrated Circuit) とは、特定用途向けの半導体で、ユーザー固有の仕様を持つ専用ICを指し、ゲートアレイやセルベースICなどが代表的な製品である。

⑤ASSP (Application Specific Standard Product) とは、特定用途向け専用標準ICで、ASICの一つである。半導体製造企業が主体となって各応用機器向けに特化して設計や開発が行われた標準ICでもある。複数ユーザーを対象に出荷できるICである<sup>14)</sup>。こうしたAI半導体はそれぞれ技術的特性によって使われている。

### 3. AI半導体企業の事例

ここではAI半導体をめぐって現在熾烈な競争を繰り広げているグローバル半導体企業をとりあげ、半導体企業の競争上の相違点を考察する。次いで、エヌビディアとインテルのAI半導体戦略を自動車産業に焦点を絞ってその相違を見ることにする。

2010年以降、確実に存在感を現している企業はエヌビディア (NVIDIA) で、人工知能の深層学習用半導体のGPUでトップの座にある。エヌビディアはもともとコンピュータグラフィックス市場で頭角を現した企業である。エヌビディアのGPUは本来ビデオゲームで要求される大量の計算を遂行するために開発された画像処理半導体である。エヌビディアのGPUは今後、自動運転、VR (Virtual Reality: 仮想現実)、高度な科学計算であるハイパフォーマンス・コンピューティング分野など様々な応用分野で期待される。そこに少し遅れてAI半導体分野に参入しているのがインテルである。インテルは半導体産業の一番手企業であり、これまで30年以上首位の座を占めていた企業である。インテルの強みはコンピュータのサーバー用CPU (中央演算処理装置) であり、半導

体市場で高性能のCPUを生産し、これを土台にコンピュータのサーバー市場で独占的地位を構築している。エヌビディアのGPUとインテルのCPUの特徴では、次のような違いがみられる。

エヌビディアのGPU(画像処理半導体)は大量のコア(プロセッサの頭脳)を利用して、同時に演算を行う並列コンピューティング処理が可能である。並列コンピューティング処理が可能であるということは、同時に複数の計算をこなす積和演算が素早くできる「深層学習」向けの応用にも適合するということである。これに対して、インテルのCPU(中央演算処理装置)はいくつかのコアで計算する直列コンピュータ処理である。CPUはAという計算の後にBという計算をする「逐時演算」に向くので、コンピュータの計算は自由にこなせる。ところが大量のデータを同時に学習しなければならないAI向けの計算には適していない<sup>15)</sup>。

これまでのコンピュータ用プロセッサは1946年に作られたフォン・ノイマンのアーキテクチャが基盤になり、記憶装置(メモリー)、中央演算処理装置(CPU)、入出力装置(I/O)の3段階の構造で実行・命令を順番に遂行する方式である。つまり、インテルのCPUは直列演算構造である。これに対してGPUは並列演算が可能で、CPUの処理能力を上回る演算能力を持ち、AIの性能を決定する半導体としての性能が注目されている点で違いがある。

しかし、GPUは並列が高い汎用演算機としては円滑な遂行が可能だが、人工神経網に特化した演算には最適化されていない側面もある。また、GPUを人工神経網に適用した場合、メモリー接近問題、電力消費量と発熱が極めて高く電力効率が良くないという短所がある<sup>16)</sup>。こうした短所のため、人工神経網アルゴリズムが使用される頻度が多ければ多いほどGPUのような汎用プロセッサより、人工神経網の応用に特化された加速器の開発が注目されている。これがグーグルのTPUである。グーグルのTPUはAI半導体で必要なディープラーニング専用加速器である。その例として、2016年の3月、囲碁のトップ棋士イセドルと対局した「Alpha-Go」がある。それは人工知能TPUが48個使用され、DNN(Deep Neural Network)の強化学習により、人知の及ばぬ強さを体現することで大きな関心を寄せた。DNNは画像や音声を含むさまざまなパターン認識で人を超える性能を獲得している<sup>17)</sup>。深

層学習技術で学習させた人工知能半導体のTPUはGPUに比べてビット単位面当たりのコンピューティング能力を高めたものである。こうしたAI半導体は性能、演算能力、低消費電力などで各社の差異がみられる。以下の節では、現在、AI半導体で競争している2社に焦点を当て、それぞれのAI半導体の戦略を抽出してみることにする。

### 3-1 エヌビディアのAI半導体戦略

エヌビディアのAI半導体戦略が自動車産業の自動運転にどのように関わっているのかをインテルとの比較でその特質を明らかにする。エヌビディアは1983年に設立され、ゲームやパソコン用の画像処理用の半導体GPUを主力製品とする半導体のファブレス(Fabless)企業である。ここでいうファブレス企業とは、半導体の製造工場を持たず、自社内で半導体設計だけに集中し、その設計を外部の半導製造企業であるTSMCや韓国の三星電子などに委託して、半導体を生産する企業のことである。エヌビディアの本業はコンピュータグラフィックス(CG)であり、車載分野は将来の成長分野として重視しているものの、経営環境に変化が生じればCGの本業を優先する可能性は高くなる<sup>18)</sup>。

エヌビディアはまた、CUDA(Compute Unified Device Architecture)というコーディング言語を開発し、顧客が直接各自の作業のために該当プロセッサでプログラミングできるようにした。最近のクラウドコンピューティング、ビッグデータ、人工知能に対する関心が高まる中、多くの企業にとってエヌビディアのGPUは人工知能のシステム実現に必要な不可欠なものになり、医療部門のイメージ認識、音声支援まで多様な人工知能サービスを提供している。

とくに、エヌビディアはグローバルな自動車産業において、最も重視されている自動運転にシフトしている。それは、これまでの自動車産業はエンジンを制御するマイコンが中心であったが、今日では車の周辺を把握して操縦する車の頭脳に移りつつあるからである。エヌビディアのGPUが選ばれたのは、映像データなどの高い処理能力が自動運転で武器になっているからである。

表1 車載半導体の自動車企業との提携・買収の状況

買収企業	AI半導体関連	提携や買収先	自動車部品メーカー
エヌビディア	画像処理GPUを自動運転に応用し、AI半導体で先行	トヨタ自動車、アウディ、ダイムラー、テスラ、フォードモーターと提携関係	ボッシュ ZF
インテル	高速処理CPUを武器に自動車運転分野に参入、巨額の買収でAI半導体市場に本格化	アルテラ、ナバーナ・システムズ、モビディアス、モービルアイを買収、BMW、フォルクスワーゲンとの提携	Continental
クアルコム	スマートフォン事業から自動車事業に参入	NXPセミコンダクターズを買収	

出所)「AI世界制覇の攻防」『日経ビジネス』日経BP社、2017年5月22日、29ページ、『日本経済新聞』2017年6月6日より作成。

表1は、車載半導体の代表的な3社の自動車企業との提携・買収の状況を表したものである。エヌビディアは自動車企業と提携を結んで事業を進めている。それに対してインテルは買収に力を入れて競争力を高めようとしている。

トヨタ自動車は2017年5月にエヌビディアと提携し、エヌビディアの車載コンピュータ「DRIVE PX」をトヨタ自動車の自動運転システムに採用している。これは、世界の自動車市場の競争で競争優位を狙うものである。トヨタ自動車の役員のインタビューによれば、「GPUを搭載した、エヌビディア社の車載半導体『DRIVE PX2』は20TOPSと、現在入手可能なハードウェアの中で、最も性能が高い」と指摘している<sup>19)</sup>。ここでTOPS(Tera Operations Per Second)とは、コンピュータの処理性能を表す単位の1つである。

エヌビディアのGPUの車載半導体の代表的なものは、データセンター用の「Volta」であり、それは深層学習に特化した回路を組み込んでいるものである。もう1つは、自律走行車用「Xavier」で学習済みのDNNを用いた推論処理を高速で実行できる回路を組み込んでいるものである。これら「Volta」や「Xavier」を搭載する加速機やシステムソリューションをも製造することまで手掛けている。

さらに、エヌビディアはトヨタ自動車以外のアウディ、ダイムラー、テスラ、フォードモーター、ボッシュなど大手自動車メーカーと提携や協力関係を結び、自動運転のAI半導体の1番手を狙っている。このように、エヌビディアの強みは、自動運転のために必要とするGPU(画

像処理装置)にある。しかしながら、GPUは、消費電力とコストが高く、開発用途や高級車向けには使えても、普通価格帯の量産車には使いにくいという指摘もある<sup>20)</sup>。このようにGPUは技術的問題を持っているが、現在AI半導体市場をリードしている。

### 3-2 インテルのAI半導体戦略

インテルはAI半導体分野ではエヌビディアより遅れて参入している。それではインテルはこれまで強みとしていたCPUからどのようにしてAI半導体部門に参入してきたのかを見てみよう。

表2は、インテルのAI半導体部門の買収を表したものである。インテルは、2015年からAI関連の企業の合併・買収を通じて全方位戦略で巻き返しを図った。その買収の1つ目が、2015年のアメリカのアルテラ社である。インテルは167億ドルで買収している。アルテラ社の強みは、回路設計の自由度が高く、目的に合わせて集積回路のロジックを作り替えることが自由にできる点にある。アルテラ社はFPGAの大手メーカーである。インテルはCPUとFPGAとを結合した半導体の開発を推進している。たとえば、自動運転では、さまざまなセンサーからデータを取り込み統合処理する「DAPD(Data Aggregation Pre-processing and Distribution Devices)」領域とアクセラレーター(Computer Accelerator)の領域がある。アクセラレーター領域では、特定の処理をFPGAによって高速で実行できるのである。インテルは車載分野では実績の高い異種の半導体を組み合わせることで競争優位に立ち上がっている。インテルが買収に踏み切ったのは、

表2 インテルのAI半導体関連企業の買収

被買収企業	買収時期	買収目的	買収金額
アルテラ (米)	2015年 6 月	回路設計の自由度が高いFPGA, PLD技術確保	167億ドル
ナバーナ・システムズ (米)	2016年 8 月	深層学習に特化したデータセンタ用の人工知能チップ技術確保	3.5億ドル
モビディアス (米)	2016年 9 月	消費電力が少ない映像解析チップに強み, ドローンやAR, VR用, ロボット用人工知能チップ確保	—
モービルアイ (イスラエル)	2017年 3 月	自律走行車, 車載カメラの画像解析に強み, 自動車メーカーとの取引関係を多数持つ	153億ドル

出所)『日本経済新聞』2018年5月25日, キムヨンキュン「半導体産業の次世代エンジン, AI半導体動向と示唆点」『ICT SPOT ISSUE』情報通信技術センター, 2018年1月, 14ページより作成。

アルテラ社のFPGAは回路構成を自由に書き換えられ, 低電力化や低コスト化をもたらすと見込んだからである<sup>21)</sup>。

インテルの2つ目の買収は, 2016年の8月にスタートアップした企業のナバーナ・システムズ (Nervana Systems)である。ナバーナ・システムズはデータセンター用人工知能半導体技術を保有している。その中でも深層学習に特化した人工知能半導体の開発に拍車をかけていることから, インテルは買収に踏み切ったのである。

3つ目の買収は, 2016年9月にモビディアス (Movidius)社の買収である。モビディアスは消費電力が少ない映像解析半導体に特化し, ドローンやAR・VR端末向けの半導体技術を保有していることによる。

インテルの4つ目の買収は, 2017年3月のイスラエルのモービルアイ (Mobileye)社で, 約153億ドルの巨額で買収している。Mobileye社の強みは, 自動運転の基礎技術である自動ブレーキに使える信頼性の高い画像認識技術である。それにMobileye社が勝ち取っていた20社以上の自動車メーカーの採用実績をインテルは傘下に吸収することで可能になったからである。言い換えれば, Mobileye社の買収により世界中の自動車メーカーが競う開発競争に加わって, 有力な連合が可能になったことである<sup>22)</sup>。

また, インテルは自動運転のためにドイツのBMWと提携し, 2017年1月に自動運転用の新ブランド「インテルGO」を立ち上げた。それにフォルクスワーゲン, GM, 日産自動車とも提携を結び, 本格的な自動運転のAI半導体開発に踏み切っている。ここでインテルが自動運転で使用する半導体として, アルテラの買収で獲得できるFPGA

がAI半導体として適合している点である。インテルの優位性は, 傘下に入れたアルテラのFPGAの回路構成を自由に変更できる点にある。また, 自動運転の画像解析に特化しているイスラエルのMobileyeを買収したことから確実にエヌビディアに対抗し, AI半導体でも世界首位を狙う戦略をとっているということである。

もう1つ自動運転で注目されている企業は, アメリカの通信大手メーカーのクアルコムである。クアルコムはスマートフォン向け半導体のアプリケーションプロセッサで首位の企業であるが, 車載半導体分野への進出を試みる。そのため, 2016年10月オランダのNXPセミコンダクターズを約5兆円で買収し, 本格的に車載半導体の競争に加わっている。それ以外の企業の動きとして注目されているのは, 現在GAFaと代表される企業らが人工知能半導体の開発に参入し, 半導体を内製化する点である。

グーグルは自社の人工知能サービスの電力対比性能を強化するために, 2016年人工知能演算に最適化された回路構成を整えた推論用ASIC「TPU」(Tensor Processing Unit)を開発した。グーグルのTPUはASICという特定用途向けの一種で低消費電力というメリットがある。引き続き2017年には学習用ASIC「TPU2」の開発を発表している。TPUとTPU2の違いは, 行列計算が8ビット固定小数点演算から16ビット浮動小数点演算に変わったことである。グーグルの自社の論文で, TPUはGPUより最大30倍高速であることを強調しており, エヌビディアとインテルとは異なる高速のASICをメインにしたAI半導体を開発している点に相違点がある。グーグルはASICの音声認識のために開発している。それは自社開発したクラウドで提

供するプロセッサの消費電力と性能を強化するために人工知能演算に最適化された回路構成を整えた推論用ASICである<sup>23)</sup>。このようにAI半導体の開発では、競合の2社だけではなく、クアルコムやグーグルを含むGAFAも一斉に参入しているのである。

## おわりに

本稿では、AI半導体をめぐるエヌビディアとインテルに焦点をあて、その戦略の特質と相違点を考察したものである。そこから次のような結論を得た。

まず1つ目に、AI半導体製品の技術的特性の面から2社の戦略の比較を見ると、次のようになっている。AI半導体で現在もっとも関心を寄せている企業はGPU（画像処理半導体）の一番手のエヌビディアである。エヌビディアのGPUは大量のコアを利用して同時に演算を行う並列コンピューティング処理で強みがある。とくに、GPUは人工知能の技術であるディープラーニング（深層学習）向けの応用に適合する半導体である。それに対してインテルのCPU（中央演算処理装置）はいくつかのコアで計算する直列コンピューティング処理で、大量のデータを同時に学習しなければならないAI向けの計算には向かない半導体である。現在、AI半導体でエヌビディアが注目されるのは、人工知能の不可欠なGPUでトップの座を占めているからである。

2つ目には、2社の自動車産業の自動運転におけるAI半導体の戦略上の相違である。エヌビディアはGPUを主軸にしなが、トヨタ自動車を中心にアウディ、テスラ、ダイムラー、フォードモーター、ボッシュなど大手自動車メーカーと緊密な提携や協力関係を結び、自動運転の半導体で競争優位を獲得している。それに自社の「CUDA」ソフトウェアなどをオープンソースで提供し、今日に至っている。

他方、半導体企業の王者であるインテルはエヌビディアより遅れてAI半導体部門に参入している。インテルの自動運転をめぐる戦略は、AI半導体分野の企業を2015年から4社（アルテラ社、ナバーナ・システムズ社、モビディアス社、モービルアイ社）の企業を攻撃的に買収したことである。とくに、アルテラ社の買収は回路構成を自由に変換でき、低消費電力が可能なFPGAに特化してい

る点である。また、ナバーナ・システムズ社の買収はAIの深層学習に特化した半導体の開発に強いことである。もう1つの買収のモービルアイ社の強みは、自動運転の基礎技術である自動ブレーキの画像認識技術に優れている点にある。モービルアイ社はBMW、フォルクスワーゲン、GM、日産自動車などと提携を結んでおり、その自動車メーカーとの実績を持っている。インテルは自動車メーカーの提携先を傘下に吸収しながら、エヌビディアに対抗している。このように、インテルは、機械学習、深層学習が主流になりつつある人工知能時代において、AI半導体と関連した企業を次々買収することによって、AI半導体で世界首位を狙う戦略をとっているのである。こうしたエヌビディアとインテルのAI半導体における戦略上の相違が明らかになった。

## 注

- 1) 「人工知能の真実」『日経コンピュータ』日経BP社、2016年4月28日、23ページ。
- 2) 総務省編『情報通信白書 平成28年版』235ページ。
- 3) 梅田弘之『AIのキホン』インプレス、2019年、2～3ページ、24ページ。
- 4) 同上、46ページ。
- 5) 「Q&AでわかるAIチップ」『週刊エコノミスト』2020年2月4日、18～19ページ。
- 6) 「行動制御もニューラルネット日本は実用化、研究は欧米」『日経エレクトロニクス』日経BP社、2018年2月、22～23ページ。
- 7) キムヨンキュン「半導体産業の次世代エンジン、AI半導体動向と示唆点」『ICT SPOT ISSUE』情報通信技術センター、2018年1月、5ページ。
- 8) 前掲書、『週刊エコノミスト』15ページ。
- 9) 梅田弘之、前掲書、11ページ。
- 10) 「エッジは超知覚クラウドは英知のエンジンへ」『日経エレクトロニクス』日経BP、2017年1月、36ページ。
- 11) 梅田弘之、前掲書、12ページ。
- 12) チェギウォン「人工知能半導NM500」『電子工学学会誌』2018年1月、64ページ。
- 13) 「脳に学ぶAIチップ神経細胞から大局構造まで」『日経エレクトロニクス』日経BP社、2017年2月、69ページ。



ジ。

- 14) 「半導体市場，クラウド・エッジ市場相互補完的關係に進化」『電子技術』2019年2月，5ページ。
- 15) リジェヨン「アメリカ人工知能（AI）時代半導体市場の変化」『科学と技術政策』科学技術政策研究院，2017年，3月号，11ページ。
- 16) パクセフン他共著「マシンラーニング加速器研究動向」『電子工学会誌』2018年1月，20ページ。
- 17) 『日経エレクトロニクス』2017年1月，33ページ。
- 18) 「AI半導体の最適解」『Nikkei Automotive』日経BP社，2019年4月，65ページ。
- 19) 「NVIDIAの牙城に挑むAI半導体」『Nikkei Automotive』日経BP社，2018年1月，51ページ。
- 20) 同上，51ページ。
- 21) 「AI半導体の最適解」『Nikkei Automotive』2019年，4月号，69ページ。
- 22) 「IntelがMobileye買収自動運転開発は3勢力に」『日経エレクトロニクス』日経BP社，2017年5月，10ページ。
- 23) キムヨンキュン「半導体産業の次世代エンジン，AI半導体動向と示唆点」『ICT SPOT ISSUE』情報通信技術センター，2018年1月，16ページ。

[韓国語文献]

- ・「AI半導体市場，クラウド・エッジ市場相互補完的關係に進化」『電子技術』2019年2月。
- ・黄テホ「Neuromorphicコンピューティング技術」『電子工学会誌』2018年1月。
- ・チェギウォン「人工知能半導体NM500」『電子工学会誌』2018年1月。
- ・キムヨンキュン「半導体産業の次世代エンジン，AI半導体動向と示唆点」『ICT SPOT ISSUE』情報通信技術センター，2018年1月。
- ・リジェヨン「アメリカ人工知能（AI）時代半導体市場の変化」『科学と技術政策』科学技術政策研究院，2017年3月号。
- ・パクセフン他共著「マシンラーニング加速器研究動向」『電子工学会誌』2018年1月。

## 参 考 文 献

[日本語文献]

- ・梅田弘之『AIのキホン』インプレス，2019年。
- ・『Nikkei Automotive』日経BP社，2018年1月，2019年4月。
- ・「謎のAI半導体メーカーの実像」『日経ビジネス』2017年7月17日。
- ・「脳に学ぶAIチップ神経細胞から大局構造まで」『日経エレクトロニクス』日経BP社，2017年2月。
- ・「IntelがMobileye買収自動運転開発は3勢力に」『日経エレクトロニクス』日経BP社，2017年5月。
- ・「人工知能の真実」『日経コンピュータ』日経BP社，2016年4月28日。
- ・電子情報技術産業協会編『ICガイドブック』2012年。
- ・『日本経済新聞』2017年6月6日，2018年5月25日。

