

自動車の自動運転技術の動向と東芝の取組み

Trends in Autonomous Car Technologies and Toshiba's Approach

吉川 宜史 岡村 淳

■ YOSHIKAWA Takashi ■ OKAMURA Atsushi

自動車運転中の交通事故低減と効率向上を目的に、世界各国で自動車の自動運転に関わる技術開発が進められている。自動運転を実現するには、法制度及び交通インフラの整備などの取組みとともに、運転状況の的確な把握と高精度な車両制御を実現するための様々な技術の開発が必要である。

東芝グループは、自動運転の実現に向けて、画像認識プロセッサViscontiファミリーなどの車載用半導体をはじめ、カメラモジュールやセキュリティ対策などの重要な車載プラットフォーム関連技術の研究開発を進めている。

The movement toward the development and introduction of autonomous car systems has accelerated both in Japan and other countries, with the aim of reducing traffic accidents and improving driving efficiency. This has given rise to the need for the development of in-vehicle platform technologies capable of precisely understanding driving conditions and performing high-accuracy vehicle control, as well as the development of legal systems and improvement of transportation infrastructure.

The Toshiba Group has been promoting the research and development of various in-vehicle platform technologies with the objective of realizing an optimal autonomous car system applying the image recognition processor.

自動運転への期待

Google X Labの創設者である Sebastian Thrun氏がTED (Technical Entertainment Design) 2011で、“Google’s driverless car”⁽¹⁾と題したプレゼンテーションを行った。Thrun氏はこの中で、自動運転のメリットを二つ挙げている。

一つ目は自動車事故での死亡者を減らせる可能性である。現在の高度運転支援システム(ADAS)は完全な自動運転ではないが、事故の防止に成果を上げ始めている。事故原因の多くが人的要因であることを考えれば、自動運転は交通事故の削減に貢献できる。

二つ目は効率化である。コンピュータ制御で走行することで、車間距離や車線間隔を詰められる。これによって、渋滞を緩和するとともに、運転者が運転に費やしている時間を、他のことに使えるようになる。

わが国でも交通事故の死亡者数は減少傾向だが、2015年に4,117人が交通事故で死亡し、けが人は66万人を超えており⁽²⁾、これらのメリットは重要である。

特に、高齢者の人口増加に伴い、交通事故の死亡者数に占める65歳以上の比率は増加している。高速道路の逆走や、アクセルの踏み間違いなども、よくニュースで取り上げられ、高齢者の免許返納について議論されることが増えてきている。一方、地方では利用者数の減少による公共交通機関の廃止で、高齢者の移動手段の確保も問題になっている。

自動運転技術はその問題を解決できる可能性がある。運転者が運転しなくても目的地まで乗客を運んでくれるようになれば、地方の高齢者も移動手段を確保できる。

更に、狭い国土と都市への集中が進むわが国の都会の運転者には、交通渋滞という問題がある。毎年、道路ネットワークの改善のために多額の資本が投入されているが、渋滞は解決できていない。

自動運転で道路利用効率を改善して混雑を緩和し、更に運転者が運転に使っている時間を、自分のために使えるようになれば、社会的にも個人的にも大きなメリットになる。

各国の取組み

現在、自動運転技術開発でリードしているのは米国である。前述のGoogle社は、完全自動運転を目指した試作と実験を重ねている。チームを率いているChris Urmson氏のTEDプレゼンテーション“*How a driverless car sees the road*”⁽³⁾で、Google社が実験結果から大量のデータベースを構築していることがわかる。

更に米国では、この自動運転技術開発に呼応するように、運輸省高速道路交通安全局(NHTSA)も自動運転技術開発に関わる政策を発表し⁽⁴⁾、自動運転のレベルを次のように定義した。

自動化なし⁽⁵⁾(レベル0)：運転者が常に全ての主操縦システムをコントロールする。

機能限定自動化(レベル1)：一部の独立した特定の操縦機能(アクティブクルーズコントロールやレーンキープなど)が自動化されており、運転者は全体を制御する。

複合機能自動化(レベル2)：主操縦システムの二つ以上が自動化され協調動作することによって、運転者は物理的な運

転操作から解放される。ただし、交通のモニタリングと安全操作の責任は運転者に残る。

限定的自動運転（レベル3）：運転者は、特定の条件下で自動車に運転操作を任せることができる。自動運転中、運転者は交通をモニタリングする必要がない。

完全自動運転（レベル4）：運転者は、走行中まったく運転する必要がない。安全運転の責任は、自動走行システムにある。

一方欧州では、ドイツの自動車メーカーや、Tier1（自動車メーカーに直接部品を納入する1次サプライヤー）が中心になり、欧州連合のフレームワークプログラム（FP）の助成により、自動運転技術に関する研究開発として市街地や高速道路での自動運転を研究するAdaptIVeなどのプロジェクトが進められている。

その中で、例えばDaimler社は、高速道路走行時に車線や先行車両を検知して半自動的な追従走行を行う車両を発売し、Volkswagen社は、高速道路において追従走行を行い、コマンドレベル（ウインカーでレーンチェンジを承諾）でレーンチェンジを自動的に行うシステムを実現した。

これに伴い、ヨーロッパでは二つの分野で特に目立った動きがある。

一つ目は、高精度マップ（ダイナミックマップ）の整備である。Audi社、BMWグループ、及びDaimler社はコンソーシアムを設立し、地図会社のHere社を共同で買収した。また、Bosch社は、PND（Portable Navigation Device）で有名なTomTom社と提携し、自動運転向け高精度マップを開発すると発表した。更に、Continental社は、自社ADASのECU（Engine Control Unit）に搭載されたセンサで取得した情報を、地図データベースにフィードバックする仕組みRoad Database Solutionの提供を始めている。

二つ目はConnected Carである。これまでも欧州では、ETSI（欧州電気通信標準化機構）やC2C-CC（CAR 2 CAR Communication Consortium）を中心

に、車車間通信規格の策定と実証実験が進められている。例えば、自車の直前をトラックが走行するような前方の状況が見えない状態でも、先行車や周辺車両の動きを車車間通信を利用して的確に把握できるようにすることで、狭い車間で追従走行する実験などが行われている。

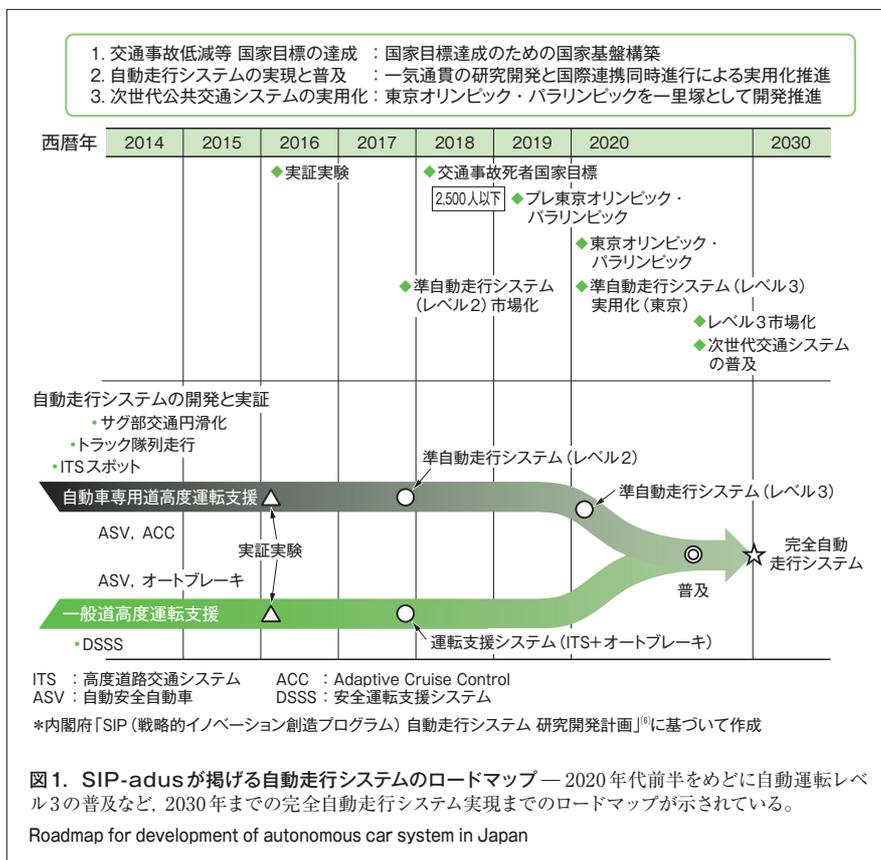
わが国でも、自動走行システムが内閣府の戦略イノベーション創造プログラム（SIP）の一つに挙げられ（SIP-adus）、「①交通事故低減等 国家目標の達成」、「②自動走行システムの実現と普及」、及び「③東京オリンピック・パラリンピックを一里塚として東京都と連携し開発」を目標に掲げて、産官学共同でのシステム開発が推進されている⁶⁾。SIP-adusによる自動走行システムのロードマップを図1に示す。2020年代前半をめどにNHTSAのレベル3に相当する自動運転を実現するという目標に向けて、現在、2017年中に自動車専用道路でレベル2の準自動走行システムを実現することを目指した技術開発が行われている。

自動運転の課題

完全自動運転を実現するには、次に示す七つの課題を解決する必要がある。

- (1) 法の整備 2013年に国内の自動車メーカーが首都高速道路で「手放し自動運転」を実演したことに対して、国土交通省や警察庁が、道路交通法違反と指摘した。現行法には自動運転に関する規則がないため、技術開発と並行して法の整備が必要である。
- (2) 自動運転に対する社会の理解

自動運転車が事故を起こした場合や、システムに不具合が見つかった場合、更に、自動運転車が自分から事故を起こさなくても、追突されたり対向車がレーンをはみ出してきたりして事故になった場合など、その事故の責任を誰が負うか、現状では明確な取決めがない。自動運転車が身近になり、人が運転するより事故が少なく安全だという



社会的な共通認識が形成されたうえで、法律や保険制度が策定される必要がある。

- (3) 運転者の対応 自動運転になることで、今までなかったタイプの人的要因による事故が起こる可能性がある。

レベル3の自動運転では、自動運転できる範囲や条件が定められており、それを満たせなくなると、運転者に運転を引き継ぐ。例えば路面が凍結し始めたときなど、気象条件が厳しくなった場合に自動運転から運転者に運転操作が委譲されるが、このような難しい場面で、運転者が安全に運転できるのが問題になる。

- (4) 地図インフラの整備 ひと口に自動運転と言っても、いろいろなレベルがあることは、前章で説明したとおりである。例えば、Adaptive Cruise Control (ACC) と Lane Keep Assist (LKA) を用いると、高速道路で前を走行する自動車に追従しながら走行することはできる。これはレベル2に相当する。

更にレベル3の限定的自動運転を実現するには、出発点から到着点まで正確にナビゲーションするための高精度マップが必要になる。

現在SIP-adusでは、詳細地図に関する実証実験が行われており、全国の高速道路と一般国道の詳細地図がモバイルマッピングシステム(MMS)というレーザ測量車両を用いて準備されている。今後、県道や市町村道の詳細地図の作製や、地図情報のアップデートをどのように行っていくか、検討が必要である。

- (5) センシング技術の開発 天候や渋滞の度合いなどの運転状況は刻々と変化する。レベル4の完全自動運転では、運転者の介入なしに目的地まで自動でたどり着くことが必要であるため、各種の状況を把握するための高性能なセンサの開

発が重要である。自動運転のレベルを前述のように段階別に策定し、センシング技術の進歩を加速していく必要がある。

- (6) 車載ネットワークの構築 既存のリアモニタカメラは、NTSC (National Television System Committee) 信号を使って伝送される。自動運転には、更に高解像度のデータ転送が必要になると考えられる。

高解像度画像を各センサやカメラからECUに転送するには、従来のCAN (Controller Area Network) などの低速ネットワークでは性能が不足するため、車載向けEthernet^(*)の仕様が検討されている。車載向けEthernet^(*)は、現在100 Mビット/sだが、今後へ向けて1 Gビット/s対応も提案されている。

- (7) コンピュータ技術の進化 現在多くの自動運転実験車両は、高性能CPUやGPU (Graphics Processing Unit) を搭載して自動運転のための膨大なデータ処理を行っている。更に、携帯電話網を使った通信により、処理をクラウドサービスで行うこともある。

これらには数10 Wの電力を消費する高性能データ処理用半導体が必要であり、発熱も大きく実用に適さない。また、これらの既存の半導体は、車載用で必要になる故障に関するケース分析が十分にできていない。

そこで、消費電力の削減と車載向けの安全性担保のため、詳細地図のハンドリングや、経路推定、車両位置の認識などを行うアルゴリズムを搭載した、専用半導体が必要になる。

これら七つの課題の解決は、自動車メーカーやTier1だけでなく、地図メーカー、政府、保険業、更にはコンピュータや、半導体、センサ、ICT (情報通信技術)、ソフトウェアなどのベンダーその他の幅広い分野の技術を結集して取り

組むべき大事業である。

自動運転技術への東芝の取組み

自動運転におけるこれらの技術的課題の解決に向けて、東芝は車載用半導体などの様々な技術開発を進めている。

当社は、それまで高性能コンピュータが必要だった画像処理を、アルゴリズムのハードウェア化により、2 W程度の低消費電力で処理を実現する車載用半導体Viscontiファミリーを開発し、2004年から量産販売している。

変化する運転状況の認識に向けては、Viscontiファミリーの新しいアルゴリズムの開発や、その入力となるセンサ技術を手掛けるとともに、Viscontiを搭載した車載カメラモジュールも開発している。車載ネットワークに関しては、特に自動運転において脅威となるサイバー攻撃に対処するための車載セキュリティ技術を開発している。また、無線LAN用の半導体を生かした、詳細地図の車両へのダウンロードについても検討を進めている。

以下では、これら車載プラットフォームに関する技術開発の詳細について述べる。

車両周辺状況の認識と把握

安全運転支援や自動運転では、安全確保のために、他の車両や、歩行者、建造物、ガードレールといった衝突する可能性がある物体の認識が必要になる。また、交通ルールに従った運転のために、走行レーンや、信号、標識など交通規則に関する情報も取得しなくてはならない。

当社には、郵便番号を自動で読み取るための画像認識技術をはじめとする、長年にわたる画像認識・解析技術開発の成果が蓄積されている。それを生かして、車両周辺状況を把握するための画像認識技術の開発を進めるとともに、画像認識を実現するのに適したプロセッサViscontiファミリーを開発し提供してい

る。2014年にリリースされたVisconti4には、より高度な安全運転支援や将来の自動運転を考慮に入れて、新たに開発した画像認識処理を高速かつ低い消費電力で実行するための画像処理アクセラレータが追加された。以下に、新たに開発した画像認識技術について述べる。

■パターン認識を用いた対象の検出と分類

歩行者や車両、標識のように、事前に対象のサンプルを大量に収集できるものの識別に適する、パターン認識手法については、CoHOG (Co-occurrence Histograms of Oriented Gradients) という画像特徴量を開発し、高精度な認識を実現している。

更に、欧州の新車安全評価テストで2018年から、夜間の歩行者に対する緊急時自動ブレーキの性能が評価されるようになることを踏まえて、画像の情報量が減少する夜間における歩行者認識精度を向上させるために、カラー複合共起特徴量と総称する新たな画像特徴量を開発した。カラー画像を入力として、色の分布や相対的な変化、テキストチャ情報を特徴量化して、画像認識に用いる情報に加えることにより、同一のデータセットにおいてCoHOGを上回る認識性能を確認している。

■3次元再構成による障害物検出

路上の落下物など、対象の見た目に規則性がなく、十分な量のサンプル収集が困難な対象を検出するために、単眼カメラを用いて障害物の高さを検出する手法を開発した。単眼カメラの時系列画像から、3次元再構成技術を使って自車両周辺の3次元形状を推定し、路上にある一定以上の高さの物体を障害物とすることで、パターン認識が困難な障害物の検出を実現した（この特集のp.7-10参照）。

認識機能を搭載したカメラモジュール

より高度な安全支援や自動運転を実

現するためには、車両前方の状況の認識に加えて、車両の左右と後方を含む周辺の状況認識が必要になる。また、運転者の脇見や居眠りなどを認識して警告を発するために、車室内における運転者の監視も求められる。レベル3の限定的自動運転では特に、車両制御の運転者への引き継ぎを、運転者の状態に応じた的確なタイミングと方法で実施することが必要なため、運転者の状態監視の重要度が増す。

車両周辺や運転者の状況認識にも、車載カメラが取得した画像に対する画像認識技術が利用される。車両前方の監視を主とする安全運転支援システムは、前方カメラと画像認識を行うECUで構成されるが、多数のカメラを用いて車両周辺や運転者を監視するシステムを従来と同様に構成すると、ECUで様々な監視のための画像認識を同時に実行することになり、またカメラからECUまで画像を送るためのケーブルも増大するなど、システム設計が困難になる。

当社は、車室内外の監視において部品の多くを共通で利用できる、物体の認識機能を搭載した車載向け小型カメラモジュールのプラットフォームを開発した。HD (1,280×720画素) のイメージセンサと、人物、車両、及び二輪車の検出が可能なVisconti2を一体化したカメラモジュールで、一般的な車載カメラの要件を満足している。カメラモジュールごとと並行かつ独立して認識処理を行えるので、多数のカメラを用いた安全運転支援や自動運転システムの構築が容易になるとともに、現行カメラからの置換えなど、カメラモジュール単体での機能向上も可能になる（この特集のp.11-14参照）。

車載セキュリティ

最先端のICTを活用して、人、道路、及び車の中で情報の送受信を行い、道路交通が抱える事故や、渋滞、環境対策などの様々な課題を解決するために高度

道路交通システム (ITS) の構築が進められており、VICS (道路交通情報通信システム) やETC (自動料金収受システム) など、車両外の交通インフラや機器との通信手段を持つ車両が増えている。

現状では、車両での通信の目的は主に運転者への情報提供であるため、通信におけるセキュリティの要求はそれほど高くはないが、今後、高度な安全運転支援や自動運転を実現する際に、車両の制御に通信を積極的に活用するようになると、通信を介したサイバー攻撃に対するセキュリティが重要になる。以下に当社の車載セキュリティへの取組みを述べる。

■車車間・路車間通信 (V2X) のセキュリティ

高度な安全運転支援や自動運転では、通信による外部情報との連携が重要であり、中でもV2X (Vehicle to X) システムが注目されている。V2Xシステムでは、緊急車両へのなりすましや、誤った信号情報の提供、車両停止情報などの受信、車両システム内に入り込んで車両の制御を乗っ取る、などの脅威が予想されており、その対策としてのセキュリティ技術の開発が世界各国で進められている⁽⁷⁾。

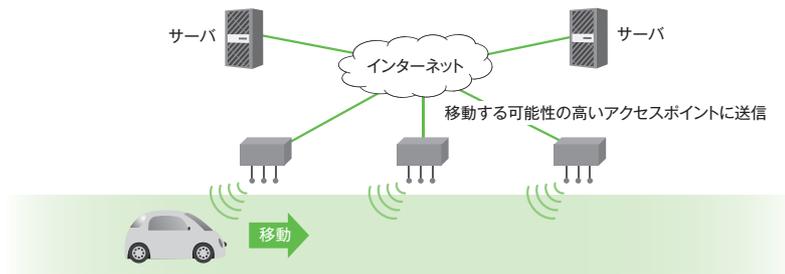
情報が正当な送信元から送られていることと、情報が改ざんされていないことを確認するために、デジタル署名検証技術の利用が検討されているが、V2Xシステムのように短時間に多数の通信相手と署名検証を行うためには、ECUに極めて高い処理能力が必要になる。当社は、デジタルコンテンツ保護規格の策定などで培ったセキュリティ脅威分析技術と、ICカード向けに開発してきた耐タンパ暗号技術を生かして、システムの安全性と利用者の利便性を両立する、高性能なデジタル署名向け暗号技術を開発している。

■車両内のセキュリティ

2011年頃から、車載組込みシステムの

無線 LAN を用いた車両へのデータダウンロード効率化

次世代の自動車では、走行路周辺の地図情報や、自動車のファームウェアアップデート用データ、車内でのエンターテインメント情報など、車両外部からデータをリアルタイムに取得する機会が増える。特に、自動運転に必要な、走行する道路の詳細で最新の地図情報に関しては、データが大容量になり車載ストレージに保持することが難しくなるため、オンデマンドに車外から取得することが望ましい。これらのデータを無線 LAN 経由で車両にダウンロードする場合、ダウンロード時の応答性能の向上と、無線 LAN アクセスポイントの先の WAN (Wide Area Network) 回線の帯域の狭さによる



無線 LAN による車両への効率的なデータダウンロード

データ転送遅延の回避が課題となる。このため、車両との通信を行う無線 LAN アクセスポイントにデータのキャッシュを保持する領域を搭載し、地域ごとの詳細地図データなど重要なデータを保持する方式を検討し

ている。キャッシュできる容量にも制限があるため、全ての重要データを常に保持することは難しいが、車両の走行情報に応じて車両の到着時刻を予想し、事前にデータをキャッシュする方式などを検討中である。

情報セキュリティ上の脆弱（ぜいじゃく）性が学会などで報告される事例が増えており、インシデントもいくつか報告されている。車載システムで考慮すべき主要な脅威としては、自己故障診断用の OBD-II ポートや車外ネットワークを介して車内の CAN に不正なメッセージを流し込む攻撃や、ECU のソフトウェアを不正に書き換える攻撃などがあり、その対策となるセキュリティ技術が求められている⁽⁸⁾。当社は、車両内のセキュリティを維持管理する車載ゲートウェイの実現を目指している（この特集の p.15 - 18 参照）。

無線 LAN を用いた地図のダウンロード

自動運転では、従来のカーナビ用の地図データより詳細で、かつ適時アップデートされた地図データの利用が欠かせない。これらの詳細地図データを、無線 LAN 経由で効率的に車両にダウンロードする方式を検討中である（**囲み記事参照**）。

今後の展望

東芝グループは、高度な安全運転支援や自動運転の実現に向けて、画像認

識プロセッサ Visconti ファミリーをはじめとする車載用半導体やその他の周辺技術を開発してきた。今後も、交通事故や環境負荷の低減に向けて、車両メーカーのニーズに合った車載プラットフォームを開発するとともに、道路インフラクラウドサーバと車両が連携する協調型自動運転のための技術開発を進めていく。

文 献

- (1) TED. "Google's driverless car". YouTube. <<https://www.youtube.com/watch?v=bp9KBrH8H04>>, (accessed 2016-01-18).
- (2) 総務局統計局. "平成 27 年中の交通事故死者数について". e-STAT. <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/GL08020103.do?_toGL08020103_&listID=000001142617&requestSender=estat>, (参照 2016-01-18).
- (3) TED. "How a driverless car sees the road". YouTube. <<https://www.youtube.com/watch?v=tiwVMrTLUWg>>, (accessed 2016-01-18).
- (4) NHTSA. "U.S. Department of Transportation Releases Policy on Automated Vehicle Development". NHTSA. <<http://www.nhtsa.gov/About+NHTSA/Press+Releases/U.S.+Department+of+Transportation+Releases+Policy+on+Automated+Vehicle+Development>>, (accessed 2016-01-18).
- (5) 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部. "官民 ITS 構想・ロードマップ 2015 ~ 世界一安全で円滑な道路交通社会構築に向けた自動走行システムと交通データ利活用に係る戦略 ~". <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/senmon_bunka/douro/dai11/sankoul.pdf>, (参照 2016-01-18).

- (6) 内閣府. "SIP (戦略的イノベーション創造プログラム) 自動走行システム研究開発計画". <http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/6_jidousoukou.pdf>, (参照 2016-01-18).
- (7) 日本自動車研究所. "V2X (Vehicle to X) システムに係るセキュリティ技術の海外動向等の調査, 2015 年 3 月". <http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2015fy/000326.pdf>, (参照 2016-01-08).
- (8) 高田広章 他. "車載組み込みシステムの情報セキュリティ強化に関する提言, IPA 報告書, 2013 年 9 月". <<https://www.ipa.go.jp/files/000034668.pdf>>, (参照 2016-01-08).

• Ethernet は、富士ゼロックス (株) の商標。



吉川 宜史
YOSHIKAWA Takashi

研究開発統括部 研究開発センター コンピュータアーキテクチャ・セキュリティラボラトリー室長。システム LSI 技術の研究・開発に従事。Computer Architecture & Security Systems Lab.



岡村 淳
OKAMURA Atsushi

セミコンダクター&ストレージ社 電子デバイス&ストレージ営業センター 技術マーケティング統括部参事。車載製品の技術マーケティング業務に従事。Electronic Devices & Storage Sales Center