

自動車で活用される組み込みシステムの現状と課題について

吉田 聡

- I はじめに
- II 組み込みシステムの概要
- III 自動車における組み込みシステム
- IV IoT時代における自動車技術
- V 今後に向けた課題
- VI むすび

【要旨】

近年、テレビ、ビデオ、デジタルカメラなどの情報家電にはマイクロコンピュータが内蔵されていて、内蔵されたプログラムにより様々な処理を行うことができる。最近では情報家電に限らず、あらゆる製品にコンピュータが組み込まれてプログラムによって制御されている。このようなシステムを組み込みシステムと呼び、今後も高い成長が見込まれている。組み込み技術を活用したシステムの代表的なものとして自動車がある。近年の自動車には50～100ものマイクロコンピュータが組み込まれているとされている。最近では、この技術をさらに発展させ、自動車をインターネットに接続して人工知能も活用することで運転の自動化も可能になりつつある。さらに、自動車に限らず、ありとあらゆるものがインターネットに接続したIoTといった社会も注目されている。本論文では、まず組み込みシステムの特徴を示し、自動車で用いられる組み込み技術を述べる。そして、自動運転などIoT時代で活躍が期待される自動車の技術を述べるとともに、今後に向けた課題を示す。

【キーワード】

組み込みシステム, 自動車, ECU, ITS, IoT, Vehicle IoT, 自動運転カー

Abstract

Recently, the information appliance with an integrated microcomputer, they can various processing by the built-in program. Recently, not only the information appliance, the computer also any product is controlled by a built-in program. These systems are embedded systems and expected to high growth in the future. There is a car as a typical system utilizing the embedded technology. The recent car have been built-in micro computer 50 to 100. Recently, this technology further developed, it is becoming possible automation of operation by utilizing even artificial intelligence to connect the motor

vehicle to the Internet. Furthermore, not only the automobile, IoT that all things can be connected to the Internet have also been noted.

In this paper, I show the characteristics of the embedded system, and describe the embedded technology used in the car. And, I describe the technology of automatic operation of the vehicle, which can be realized by IoT. Finally, I show the challenges for the future.

I はじめに

1960年代にプラント制御などの工業制御にコンピュータを組み込み、その後、大規模な交通制御や通信システムなどにもコンピュータが活用されるようになった。1970年代にはIntel社が8ビット汎用マイクロコンピュータ「i8008」が発表され、その後Zilog社によって「Z80」が発売された。当初、マイクロコンピュータは電卓向けのプロセッサとして用いられていたが、1980年代に入るとプロセッサの低コスト化やリアルタイムOSの登場により家電製品などの民生機器にも組み込みシステムが用いられるようになってきた。1990年代に入ると半導体技術の進歩やパソコンの普及により、マイクロプロセッサの低コスト化が進み、さまざまな機器のコンピュータ化が進んできた。近年においては、家電機器、AV機器、OA機器、FA制御、医療機器、計測機器や業務用機器などにもマイクロコンピュータが内蔵されていて、内蔵されたプログラムにより様々な処理を行うことができるようになってきた。このように、産業におけるあらゆる製品はコンピュータが組み込まれて、プログラムによって制御されている¹⁾。このようなシステムを組み込みシステムと呼び、今後も高い成長が見込まれている。日本政府も組み込みシステムの重要性を認知し、2006年に「中小企業によるものづくり基盤技術の高度化に関する法律」における「特定ものづくり基盤技術」として、経済産業大臣が指定した技術に「組み込みソフトウェア」を指定している。また、経済産業省も組み込みソフトウェア産業への強化策推進を行い、所管の独立行政法人情報処理推進機構（IPA）も組み込みシステムの信頼性や安全性の向上、人材育成や技術力の向上を目的にスキル標準（ETSS）、キャリア基準、教育研修基準のガイドラインを設けて、技術者だけでなく、企業のマネージャ、経営者にも活用されている。

組み込み技術を活用したシステムの代表的なものとして自動車がある。近年の自動車にはECUと呼ばれる電子制御装置が搭載されていて、エンジン制御、電動パワーステアリング、アンチロックブレーキシステム（ABS）、エアバック、エアコン、イモビライザ、シートベルト、サスペンションなど、50～100ものマイクロコンピュータが組み込まれているとされている。

最近では、組み込み機器もネットワーク接続され、さらにクラウドコンピューティングの発展や人工知能やセンサの技術の進化により、ありとあらゆるものがインターネットに接続できるようになりつつある。このような世界をIoT（Internet of Things）と呼び、今後のビジネスや産業構造にも変化をもたらすとされている²⁾。IoTにおいては、それぞれのモノにセンサなどのデバイスを装着することにより周辺の情報を取得し、取得した情報をクラウド上に送信する。送信された情報はクラウド上のサーバに蓄積されて人工知能などによる処理で最適な解を求めてから、処理結果をアクチュエータにより実行する。この技術を用いることによって、自動車の自動運転など様々な分野での活用が期待できる。自動車の自動運転が可能になれば、交通事故や道路渋滞の軽減が期待できるほか、公共交通機関の整備が十分でない地域、高齢社会、運転手不足の物流業界などの問題の改善にも期待できる。

本論文では、まず組み込みシステムの特徴を示し、自動車で用いられる組み込み技術を述べる。そして、自動運転など IoT 時代で活躍が期待される自動車の技術を述べるとともに、今後に向けた課題を示す。

II 組み込みシステムの概要

コンピュータを組み込むことで、ある特定の機能を実現したシステムを組み込みシステムと呼ぶ。また、組み込みシステムを用いて製造された機器を組み込み機器と呼び、組み込みシステムに内蔵されたソフトウェアを組み込みソフトウェアと呼ぶ。組み込みシステムが適用される機器の例を表 1 に示す³⁾。

表 1 組み込みシステムの適用例

分野	組み込み機器の例
通信端末	携帯電話, 固定電話, 公衆電話, FAX
個人用情報機器	PDA, 電子手帳, カーナビ
パソコン周辺機器	プリンタ, スキャナ, ハードディスク, DVDドライブ
OA機器	コピー機
AV機器	テレビ, ビデオ, デジタルカメラ, オーディオ機器
娯楽機器	ゲーム機, カラオケ, パチンコ, 電子楽器
業務機器	POS端末, 自動販売機, ATM
家電機器	炊飯器, 電子レンジ, 冷蔵庫, 洗濯機, エアコン
医療機器	心電計, 電子血圧計, CTスキャナ, レントゲン
交通・運輸	自動車, 信号機, 電車, 航空機, 船舶
設備機器	エレベーター
工業制御・FA機器	工作機械, プラント制御, 工業用ロボット
ネットワーク設備	交換機, PBX, ルーター
計測機器	オシロスコープ, デジタルテスター, 電力メーター, ガスメーター
宇宙・軍事	ミサイル, 人工衛星, ロケット

表 1 に示したように、組み込みシステムは家庭で用いられるものから宇宙規模で用いられるものまで多様にわたっている。また、組み込みシステムは一般的なパソコンと異なり、ある特定の用途に専用化されたシステムであるため、ハードウェアやソフトウェアもその目的に応じて開発される。

組み込みシステムは 1960 年代には鉄鋼などのプラント制御などに活用されている。その後、1970 年代に自動車のエンジン制御や家電機器などにも適用されるようになった。近年では情報通信技術の発展により、組み込みシステムの適用分野も急速に拡大し、さらに高機能化・大規模化・低コスト化も進んでいる。組み込みシステムに共通する特徴を次に示す。

① リアルタイム性

リアルタイム性とは、定められた時間までに必要な処理を完了する性質をいう。例えば、

自動車のエンジンやブレーキの制御は、定められた時間内に処理を完了しないと事故につながることになる。

② 高い信頼性

ここでの信頼性とは、システムが正しく動作する性質を意味する。例えば、自動車の走行中においてはシステムの誤動作は事故につながるうえ、医療機器などでは人命にかかわる場合もある。また、組込みシステムはソフトウェアを含めて法律的にも「製品」とみなされるので、製造物責任法（PL法）の適用対象になる。

③ リソース制約

ここでのリソースとは、CPU（MPU）、メモリ、入出力装置などコンピュータを構成する資源を意味する。組込みシステムは、高性能化が求められているにもかかわらず、製品によってはリソースが小型・軽量である必要がある。これに加えて、低消費電力といった厳しい要求もなされる場合がある。しかしながら、大量生産される製品においては、コスト削減の要求も厳しくなっているのが現状である。

III 自動車における組込みシステム

組込み技術を活用した機器の代表的なシステムの一つが自動車である。自動車には ECU（Electronic Control Unit）と呼ばれる電子制御装置が 50 個以上搭載されている。それぞれの ECU は、プロセッサやメモリを含んだコンピュータシステムであり、プログラムが内蔵されて以下に示すような自動車の様々なシステムを制御している⁴⁾。

① エンジンコントロール ECU

このシステムは、自動車のエンジンへのガソリンや軽油などの燃料の供給や点火を制御する。従来の自動車のエンジンは、吸気管やシリンダに燃料を吹き込む方式が一般的であったが、ECU はアクセルペダルの踏み込み量などから燃料の噴射量や噴射時間を制御する。ECU は、アクセルペダルの踏み込み量以外にもセンサから取り込んだ外気温やエンジン回転数、走行速度などからも燃料の噴射量を制御することが可能であるため、燃料の噴射を必要最低限に減らすことで燃費を抑えることができるだけでなく、排出ガスに含まれる汚染物質を抑えることも可能となる。

② 電動パワーステアリング ECU

このシステムは、ドライバーがハンドルを切ったときに電動で前輪の向きを変えるためのモータを制御する。ECU はドライバーのハンドル操作に応じてモータの ON/OFF や回転数の調節を行う。また、低速走行時と高速走行時でモータを制御するための応答を変えるだけでなく、ハンドル操作を補助してふらつきを減らす機能を持たせることも可能となっている。

③ アンチロックブレーキシステム ECU

このシステムは、濡れた道路や雪道など滑りやすい路面で急ブレーキ操作を行った際に陥る自動車の不安定な走行を防止する。濡れた道路や雪道など滑りやすい路面で急ブレー

キ操作を行うと、スキッドロックという状態に陥り、タイヤが路面をグリップできなくなって車体の制動が効かなくなってしまう。ここでの ECU は、各車輪に付けられたセンサからの信号を常時解析しこの状態を回避するための制御を行う。具体的には、ロックの兆候があるとブレーキを短時間だけ解除することでタイヤがグリップできるようになり、ロックが起きないようにする。

④ スキッドコントロール ECU

このシステムは、アンチロックブレーキシステム ECU に対してさらに高機能を持つもので、濡れた道路や雪道など滑りやすい路面で急ハンドルや急加速を行った際に起きるロックを回避することができる。ここでの ECU は、車輪間の駆動力を配分するといった制御も行っている。

⑤ エアバッグ ECU

このシステムは、衝撃センサから信号を受けるとエアバッグ膨張用の爆薬に点火する機能を持つ。近年では、スマートエアバッグと呼ばれるものがあり、座席の重量センサからの情報に基づいて体重を計算したうえで、エアバッグを最適な大きさに膨らませることも可能となっている。

⑥ エアコン ECU

このシステムは、通常のエアコンと異なり、社内室温を調整するだけでなくフロントガラスの曇りを除去して視界を確保することも可能にしている。ここでの ECU は、車内センサによって測定された温度や湿度と外気センサからの値と比較して、エアコンから吹き出される空気の温度、湿度、風量などを最適な値に調整する機能を持つ。

⑦ イモビライザ ECU

イモビライザは自動車の盗難防止を目的としたしくみである。自動車のキーに IC タグを埋め込み、エンジン部分 (IC リーダ) はキー (IC タグ) に書き込まれた情報と車両の情報が一致しているか判断してエンジンの始動を行う。このため、自動車の持ち主の持っている鍵以外では自動車を始動することができない。ここでの ECU は、自動車 1 台ごとに異なる ID を IC タグに記録してキーに埋め込んだ内容をチェックする。キーから ID が読み込めなかったり、異なる ID であつたりした場合は、自動車のエンジンが始動せず、ハンドルのロックを解除することもできない。したがって、盗難の被害に遭うことを防ぐことができる。

⑧ シートベルトコントロール ECU

従来から、シートベルトの装着をセンサでチェックし、その情報をもとに警告ランプを点灯させるシステムが存在していた。これに加えて、シートベルトコントロール ECU は衝突予告信号を受け取ると、シートベルト装置に内蔵された巻き取りモータを作動させて乗員の身体を座席に強く押し付けさせる。これによって、衝突の際の衝撃を最小限に抑えることが可能になるだけでなく、頭部なども固定されることによりエアバックからの衝撃で身体にダメージが加わることも抑えることが可能になる。

⑨ サスペンションコントロール ECU

自動車の運転中に急加速や急減速、急激なコーナリングを行うと車体が前後左右に傾き、乗り心地を損ねる。さらに、浮き上がった側のタイヤが路面をグリップできなくなり、安全性にも影響を与えることになる。サスペンションコントロール ECU は、自動車の傾きの発生を検出してサスペンションの高さを自動調整し、車体を水平に保つ機能を持つ。

⑩ ドア ECU

このシステムは、ドアごとに取り付けられていて、パワーウィンドウ、ドアロック機構、スイッチなどの制御を行う。パワーウィンドウでは、スイッチの押し方でモータの回転速度を変えて窓の開閉速度を調整したり、物が挟まったときに自動停止させたりする。ドアロック機構は、走行速度が一定以上になったときに全てのドアを一斉にロックする機能を持つ。また、ドア ECU はワゴンカーのスライドドアを自動的に開閉することも可能にしている。

これらの ECU は自動車における様々な箇所に分散して配置されている。それぞれの ECU の電源やスイッチを結ぶためには多数の配線が必要となる。配線が多くなると、これらを結ぶための電線の重量も増えるため、走行のための燃費も無視できないほどの影響を及ぼす。このため、最近の自動車では車載 LAN を搭載し、電線の量を減らして軽量化するとともに、ネットワーク化により情報の共有化も可能にしている。なお、自動車における組込みシステムにおいては、事故を防止するために強いリアルタイム性が求められるため、ドイツの BOSCH 社が提唱し、現在は国際標準とされている自動車専用のネットワークのプロトコルである CAN (Controller Area Network) が制定されている。CAN は車載 LAN において信頼性や故障検出機能に優れたプロトコルであるため、エンジン制御、トランスミッション、ブレーキシステムなど、走行の安全に関わる重要な箇所に用いられている。このほか、ライト、ドアロック、ワイパー制御、エアコン制御、ドア制御などには CAN を簡略化した LIN (Local Interconnect Network) が用いられている。

また、自動車においては、多数の組込みシステムを連携させて多様なサービスを提供する技術も開発されている。その代表例として ITS (Intelligent Transport Systems) がある。ITS とは高度道路交通システムのことであり、交通事故や道路渋滞などの問題を解決するとともに、環境への配慮や歩行者の支援などを目的に 1995 年に定義されたシステムである⁵⁾。ITS は次のような組込みシステムと連携している。

① カーナビゲーションシステム

このシステムは、運転手に渋滞情報、事故情報、工事情報などの交通情報などを表示する。具体的には、VICS (Vehicle Information and Communication System) にて、道路交通情報通信センターが道路上に設置した電波ビーコン、光ビーコン、FM 多重放送からの情報を収集し、その情報を自動車に搭載したカーナビゲーションシステムに送信する⁶⁾。電波ビーコンは、おもに高速道路に設置されていて、インターチェンジ間の所要時間、渋滞情報や分岐に関する案内、事故や故障車、工事、災害、気象条件等による通行止め、車線規

制、速度規制、チェーン規制などの情報を提供する。光ビーコンは、主要な一般道路に設置されていて、渋滞や所要時間に関する情報、事故、故障車、工事、災害、気象条件等による規制情報を提供する。さらに、駐車場の満車情報や空車情報などの処理も可能である。FM 多重放送は、各地にある NHK の FM 放送局から当該都道府県とその周辺の道路交通情報を提供する。提供する情報の内容は、ビーコンとほぼ同じである。

② ETC (Electronic Toll Collection System)

このシステムは、有料道路や駐車場料金の自動收受を行うもので、料金所などでの渋滞解消を目的に 2000 年に実用化された。具体的には、料金所に設置した路側アンテナと自動車に取り付けられた車載器との間で無線通信を行う。これによって、自動車は料金所にて停止することなくクレジットカードを利用した支払いを済ませることが可能になる。さらに、有料道路の入口や出口付近での発車と停止を繰り返ささないことにより、自動車の燃費を向上させることもできるため、料金所周辺の騒音や排気ガスの軽減も可能となる。

③ AHS (Advanced Cruise-Assist Highway Systems)

このシステムは、道路と自動車が路車協調という形で連携して、センサや路車間通信などを利用して交通事故や渋滞の削減を目指したものである。具体的には、見通しが悪いカーブ等において、道路に設置されたセンサが停止車両や落下物等の障害物を検知し、その情報をビーコンから自動車に伝える。また、カーブの手前において、ビーコンがカーブまでの距離やカーブ形状を自動車に伝える。これらのほか、道路の路面に設置されたレーンマーカが車線内の位置情報検知する機能、交差点において道路に設置されたセンサが接近する自動車を検知する機能、交差点等においてセンサが横断歩道上の歩行者を検知する機能、センサが道路の路面状況等を把握する機能を持たせて、その情報を自動車に伝えて運転手に警告を行ったり、操作の支援などを行ったりすることも可能になる。

このように、現在の自動車は組込みシステムを多く搭載して、走行性能や安全性の向上だけでなく、快適な環境での走行も可能にしている。

IV IoT 時代における自動車技術

組込み機器は、機能や目的の複雑化・高度化に伴い、外部の機器との連携も必要になってきた。このような背景から、機器のネットワーク化に関する研究も積極的に行われるようになってきた。IoT (Internet of Things) は「モノのインターネット」のことであり、機器同士がネットワーク接続することにより、高度な機能を実現することが可能になったものである⁷⁾。

IoT においては、それぞれのモノにセンサなどのデバイスを装着することにより周辺の情報を取得し、取得した情報をクラウド上に送信する。送信された情報は蓄積され、必要に応じて人工知能などによる処理で最適な解を求めて、処理結果をアクチュエータにより実行するという流れである。

この技術を活用した代表的な応用例としては、自動車のインターネット化がある。自動

車における IoT 活用の先駆けは、2004 年頃に出現したコネクテッド・カーである。コネクテッド・カーは自動車とデータセンターとの間でインターネット接続し、多数の自動車から位置情報やワイパーの状態だけでなくバッテリーや CAN のデータを分析してカーナビゲーションにフィードバックするというものである⁸⁾。

この技術を活用することで、単に効率的な走行性能や便利な運転だけでなく、自動運転も可能になってきた。2010 年には Google 社がカリフォルニア州において自動運転車の試験走行を行った。国内においても、2013 年にトヨタ自動車、日産自動車、ホンダの 3 社が国会周辺の公道で自動運転に関する実証実験を行い、安倍首相が実際に試乗している。

また、自動車メーカー各社は自動車向け IoT (Vehicle IoT) を活用した自動運転システムの研究開発に力を入れており、政府においても 2020 年頃を目途に広く普及させることを目標に掲げている。また、ボストンコンサルティンググループは 2035 年に自動運転車が世界新車販売台数の 25%、3,000 万台超の販売台数になると予想している⁹⁾。このように、自動運転車は社会的にも極めて注目度の高い技術であることがわかる。

NHTSA (米国運輸省道路交通安全局) では、2013 年に自動運転に関する一次政策方針を公表し、自動化のレベルについて定義した。NHTSA による自動運転のレベルを表 2 に示す。

表 2 NHTSA による自動運転のレベル

レベル	概要
レベル 0 (自動化なし) No-automation	常時、ドライバーが運転の制御 (操舵、制動、加速) を行い、自動車の全操縦システムの安全な操作について全責任を負う。
レベル 1 (特定機能の自動化) Function-specific Automation	操舵、制動、加速の制御を 1 つ以上支援する自動車で、運転手が物理的に運転から開放されるわけではなく、ドライバーは全体を制御し、安全な操作について全責任を負う。しかし、主操縦システム (車間距離適応走行制御 (ACC) や電子安定制御等) の限られたコントロール権限を自動操縦に任ずことを選択できる。
レベル 2 (複合機能の自動化) Combined Function Automation	操舵、制動、加速の制御が 2 つ以上同時に自動化された自動車である。レベル 1 と異なり、自動運転モードが起動すると、運転手が物理的に運転から開放される (ハンドルから手を離すことと、ペダルから足を離すことを同時に行うことが可能になる) が、安全操作の責任はドライバーにあり、すぐに自動車を安全に制御する用意が常に必要とされる。
レベル 3 (半自動運転) Limited Self-Driving Automation	操舵、制動、加速の制御すべてが自動化された自動車であり、緊急時のみドライバーが自ら運転操作を行う。レベル 2 と異なり、走行中に常時ドライバーが交通を監視する必要はないが、緊急時や自動運転モードを維持できない状況になった場合においてはドライバーに信号を送り手動モードに切り替える。
レベル 4	操舵、制動、加速の制御だけでなく、周辺の監視すべてが自動化された自

(完全自動運転) Full Self-Driving Automation	自動車である。ドライバーは目的地や運行指示を入力すればよく、いかなる時も走行中は運転に関する操作を行うことはない。レベル3と異なり、無人で運転を行うことも可能で、安全運転の責任は自動走行システムが負う。
---	---

表2に示したレベルのうち、現時点で実用化されている「自動運転」機能は、運転者が責任を持って安全運転を行うことを前提とした「運転支援技術」(レベル2)であり、システムは車線維持支援、車線変更支援、自動ブレーキ等を行う機能を持っている¹⁰⁾。

通常、人間が自動車を運転するためにはアクセル、ブレーキ、ハンドルを操作し、目視を中心とした周囲の監視を行いながら運転を行う。

自動運転を行うためには、通常人間が行う「認識」、「判断」、「操作」についてコンピュータによって処理を行わせる必要がある。

ここでの「認識」とは、歩行者や車両、障害物などを検出し、自動車の周囲の状況を理解することである。認識する際には、IoTの構成技術の一つであるセンサが用いられる。具体的には、カメラなどの環境センサによる物体検出やGPSなどの位置センサによる位置の検出が行われるほか、ミリ波レーダやレーザなどによるセンシングも組み合わせながら認識が行われる。このとき、自動車の現在位置、現在走行中の車線の位置、走行車線上での障害物の有無、交通信号の内容、周りの車両の位置や衝突の危険性などについて、極めて複雑な情報を取得する必要がある¹¹⁾。これらの情報を人間の処理と同様に行うためには、静止している物体の位置、移動中の物体の位置と速度と、物体の移動特性を把握するための物体認識といった可視領域の認識を行う必要がある。さらに、高速走行時に必要となる遠方車両の情報、カーブや見通しの悪い交差点で検出困難な対向車の情報、目的地までの経路などの不可視領域の認識も必要である。

まず、可視領域を認識する際には静止障害物検出を行い、障害物と重複しない経路を走行することで衝突事故を回避させる必要がある。ここで用いられる技術として、空間中の障害物の配置を表現する手法である占有度グリッドマップや、路面の傾斜などを検出する路面検知システムなどが用いられる。占有度グリッドマップは、過去の計測値も蓄積することが可能であるため、死角を削減することも可能となる。路面検知システムは、占有度グリッドマップで障害物と認識される可能性がある傾斜についても識別することが可能になる。傾斜を検出することで、自動車の速度抑制か斜めに走行するかなどの判断にも活用することが可能となる。静止障害物検出のほかに移動物体認識も行い、障害物の将来位置を予測することで前方車両や対向車との衝突を回避させる必要がある。移動物体を認識するために、障害物情報が発生したときに移動物体を抽出する移動物体候補検出、同一の物体を判別するラベリング、時間的な対応付けを行うトラッキング、物体の位置・速度・加速度等を推定するフィルタリングなどの処理が行われる。なお、歩行者や自動車は常に同一の速度で直線に移動するとは限らないため、道路構造の認識や地図情報などから移動速度や移動方向の推定も必要になる¹¹⁾。

不可視領域を認識する際には地図データなどを事前情報として取得しておく。ここで用いられる技術として MMS (Mobile Mapping System) がある。MMS は測位衛星、光ファイバジャイロ、ホイールエンコーダ等により自車の位置を測位し、カメラやレーザなどで計測した情報を地図上にマッピングして 3 次元地図を構築する。なお、測位衛星からの情報のみでは電波の反射の多い都市部では正確な認識が困難となる。そこで、車輪の回転量、車線の情報、複数のセンサからの情報を複合して位置推定する手法も用いられている。また、夜間の繁華街で背景に多数の照明があるときの信号の誤認識、信号が多数ある場所での誤認識などを防ぐために地図による認識の補助も行われる。さらに、可視領域を認識するための占有度グリッドマップは、計測できなかった場所（見えなかった箇所）を特定できることに加え、道路での物体の移動頻度や速度分布の事前情報を利用することで、見えない場所からの「出会い頭事故」を予測することも可能となる¹¹⁾。

自動運転における「判断」には、パスプランニングが用いられる¹²⁾。パスプランニングとは、もともとロボットなどの動作軌道を自動生成するための機能であり、自動車においては経路や軌道を計画することを意味する。特に、多数の対向車両の存在する環境にて右折を行う際には、対向車両間のスペースを探索してタイミングを見計らってから進入するような運転計画をしなければならないため、経路だけでなく軌道の計画が重要となる。

道路上では自動車などの移動物体が多数存在するため、自動運転を行わせるためには対向車などの移動物体の予測軌道を算出する必要がある。また、道路上に障害物がある場合は、その物体によって回避操作の方法が異なるため、移動物体の予測軌道の算出だけでなく個々の物体の識別も必要となる。このほかにも、交差点の右左折、信号機に応じた交差点の進入判断、歩行者の配慮など、様々な状況に応じた運転行動をとる必要があるため、パスプランナによるプランニングが重要となる。

自動運転における「操作」では、自律運転知能システムによって経路を計画し、加減速や操舵などの制御を行う¹³⁾。自律運転知能システムは、モデル化された熟練運転手の運転行動に基づいて、基本走行、潜在リスク予測、緊急回避といった制御を行う。基本走行での制御は、目標コースに沿った走行、目標速度の維持や前方の車両の追従、センサが検知した障害物に対して最適経路の決定といったことを行う。潜在リスク予測での制御は、他の自動車の陰など歩行者が突然飛び出してくるような場所において、死角からの歩行者の飛び出しを予測し、あらかじめ速度を落とすなどして衝突のリスクを軽減する。緊急回避での制御は、事故直前に緊急ブレーキを作動させたり操舵回避などを行ったりする。障害物回避には、ポテンシャルフィールド法というアルゴリズムがよく用いられていて¹⁴⁾、数秒先における車両軌跡上での車両回転角速度についての計算を行う。これによって、死角からの歩行者の飛び出しを考慮した目標減速度を計算し車両前後方向の運動を制御することができる。

以上の処理をクラウドや人工知能と連携させることによって、自動車の運転を支援することが可能となる。

自動運転カーが普及することにより、交通事故や道路渋滞の軽減ができること期待できるが、公共交通機関の整備が十分でない地域、高齢社会、運転手不足の物流業界などの問題の改善にも期待できる。また、人手不足や不採算で廃止された地方の路線バスに代わる移動手段として、無人タクシーのサービスも期待を集めている。さらに、自動車の位置や運転履歴等もクラウド上のサーバに記録して管理することも可能になるので、カーシェアリングの普及も期待される。

V 今後に向けた課題

現在、自動運転技術の開発には、欧米ではBMW、GM、Daimler、Audi など、国内ではトヨタ、日産、ホンダ、富士重などが参入している¹⁵⁾。BMW社は、2020年以降に市街地で自動走行可能な自動車の発売を目指している。GM社は、2017年にアメリカおよび中国にて高速道路での自動運転機能を搭載した自動車の発売を予定している。Daimler社は、2020年までの発売を目指して開発を進めている。VM傘下のAudi社は、2017年に高速道路の単一車線で60Km/h以下で動作可能な自動運転技術を市販車に搭載する予定である。国内においても、トヨタおよびホンダが2020年を目途に高速道路で車線変更が可能な自動車の発売を目指している。富士重は、2017年に高速道路で同一車線上を自動追従する機能を搭載した自動車の発売を予定し、2020年には車線変更なども可能な車両を発売する予定である。日産においては、2016年中に高速道路同一車線上の自動運転技術を搭載したミニバン「セレナ」を発売し、2018年に車線変更可能な自動車を投入し、さらに2020年には市街走行可能な自動車の発売を目指している。

自動車メーカーだけでなく、最近ではGoogle、Apple、DeNAなどのIT企業も開発に算入している¹⁵⁾。Google社はハンドルやブレーキのない試作車で公道走行実験を実施し、2017年の出荷を予定している。DeNA社はロボット開発のZMP社と共同で「ロボットタクシー(株)」を設立して神奈川県内において自動運転タクシーの実験を行い、2020年までの事業化を目指している。また、Apple社においても自動運転技術の開発に着手している。

このように、自動運転技術は自動車メーカーだけでなく、IT業界および部品メーカーなど多様な業種が参入しており、開発競争も激化が予想される。

その反面で、法制度や技術面でも課題が多く残されている。道路交通法第70条には「車両等の運転者は、当該車両等のハンドル、ブレーキその他の装置を確実に操作し、かつ、道路、交通及び当該車両等の状況に応じ、他人に危害を及ぼさないような速度と方法で運転しなければならない」と定めている(安全操作履行義務)。このため、運転者がハンドルから手を離して自動車を走行することは道路交通法の違反となり、3ヶ月以下の懲役または50,000円以下の罰金となる。道路交通法第70条の規定は、1949年に採択された国際的な交通規則である「ジュネーブ条約」に対応したものである。ジュネーブ条約では、「一単位で運行されている車両または連結車両には、それぞれ運転者がいなければならない」、「車両の運転者は、常に車両の速度を制御していなければならない」、また、適切かつ慎重な方法

で運転しなければならない」と定めている¹⁶⁾。したがって、現行の法律において、自動運転がレベル4で無人運転を行った場合は道路交通法の違反となるため、法改正も行う必要がある。また、運転免許を取得するための試験制度や講習内容などについても見直しをする必要があると考えられる。さらに、事故が起きた際の責任の所在についても検討する必要がある。現行法では、自動車事故の責任は運転者にあるが、自動運転を行った際の事故においては製造メーカーにも責任が生じる。このため、事故に備えた保険制度についても検討しなければならない課題であると考えられる。

これらを踏まえて、政府の新戦略推進専門調査会の道路交通分科会において、今後の法整備やガイドライン作りに向けた検討も行われている。また、警察庁も「自動走行システムに関する公道実証実験のためのガイドライン」を策定している¹⁷⁾。今後は、これらをもとに、レベル4での完全自動運転や無人運転も考慮した法整備の見直しが期待される。

技術面での課題として安全率の向上が考えられる。物体認識の際に障害物を検知した場合、障害物が歩行者や駐車車両であった場合と電柱やポールであった場合とでは回避の方法も異なってくる。また、障害物を認識して緊急停止を行ったり急な軌道変更を行ったりした場合は追突事故等の危険が生じる。また、障害物の検知が遅れた場合は、障害物への衝突の危険もある。これを解決するためには、高精度のセンサを活用するだけでなく、複数のセンサを併用して認識を多重化することで、物体認識における認識率を向上させることが必要不可欠となる¹¹⁾。

走行する際に加減速や操舵、走行経路や軌道などの判断は、タイミングや調整方法を誤ると事故にもつながる。これを解決する方法としては、人工知能におけるディープラーニングで最適な走行アルゴリズムを開発する必要がある⁸⁾。ディープラーニングには計算の対象となる大量のデータが必要となるが、サンプルデータを取得する際には熟練した運転手の特性をモデル化し学習することで、高品質のアルゴリズムを生成しなければならない。走行アルゴリズムの品質は自動車の競争の要因にもなるため、熟練した運転手の特性を多く取得し、アルゴリズムを開発する技術の向上についても今後検討しなければならない課題と考えられる。

また、セキュリティの問題も無視することはできない。自動車業界では、自動車の電気・電子システムの機能安全に関する国際規格 ISO 26262 への対応が進められている。現在の規格では故障に対する安全性への影響は考慮されているが、セキュリティの脅威については考慮されていない¹⁸⁾。IoTを活用して自動運転を行うためには、自動車にインターネットを含む様々なネットワークと接続する必要があるが、そこでサイバー攻撃を受けると多大な影響を及ぼすことになる。例えば、外部から自動車の CAN ネットワークに不正侵入することで、自動車内部の ECU のソフトウェアを改ざんすることも可能になる。ECU のソフトウェアが改ざんされると、制御機器の誤作動により大惨事につながる可能性もある。同様に、自動車のネットワークに侵入して、運転車が意図しないブレーキやアクセル、ハンドルなどの遠隔操作の乗っ取り行為も可能となる。また、車両の位置、目的地、目的地までの途

中経路、途中での速度などの走行情報の漏洩や、車内での音の盗聴、カメラによる盗撮などの可能性も考えられる。このため、製造メーカーは安全性や信頼性を向上させるだけでなく、サイバー攻撃からの防御についても対策を立てる必要があるが、自動車特有のセキュリティ対策が存在するため¹⁸⁾、そのための技術が求められている。まず、自動車の制御システムは、安全系、ボディ制御系など複数の領域で構成されているが、これらを横断的に分析する標準的な手法がないため、セキュリティリスク分析が難しい。また、現時点で自動車のセキュリティに関する国際規格が公表されていないため、セキュリティ対策の範囲や強度などについての判断が難しい。さらに、セキュリティの強度を上げるとシステムが複雑になるだけでなく、リソース制約の厳しい自動車の ECU のメモリ領域を増やさなければならない。

現状では、IPA が「自動車の情報セキュリティへの取組みガイド」を公表し、自動車システムに関わる脅威や、そのためのマネジメントにおける取り組み、企画フェーズにおける取り組み、開発フェーズにおける取り組み、運用フェーズにおける取り組み、廃棄フェーズにおける取り組みなどを示している¹⁹⁾。また、ISO 26262 においても、セキュリティについての内容も盛り込まれた改訂を行うとされている。

今後は、IoT を構成するネットワークやサーバのほか、CAN や ECU に関する技術の向上が望まれるとともに、自動運転に関わるセキュリティ対策の標準化についても望まれる。

VI むすび

本論文では、まず組込みシステムの特徴を示し、その代表例の一つである自動車で用いられる組込み技術を示した。

現在の自動車には、エンジンコントロール ECU、電動パワーステアリング ECU、アンチロックブレーキシステム ECU、スキッドコントロール ECU、エアバッグ ECU、エアコン ECU、イモビライザ ECU、シートベルト ECU、サスペンションコントロール ECU、ドア ECU などの概要を示し、自動車には 50 個以上の電子制御装置（組込みシステム）が搭載されていることを示した。また、複数の組込みシステムと連携した ITS として、カーナビゲーションシステム、ETC、AHS などの動作について示した。

そして、現在注目を浴びている IoT の概要を示すとともに、組込みシステムの搭載された自動車をさらに進化させた Vehicle IoT の活用としての自動運転カーの処理や基盤技術についても示した。自動車において自動運転を行うために必要となる、「認識」、「判断」、「操作」の処理方法についても示した。そして、自動運転カーが普及することによる生活形態の変化についても示した。

最後に、自動運転カーを実現するために検討しなければならない法整備などの課題や、自動車を安全に走行させ、かつ運転者のプライバシーを守るために必要となる CAN や ECU などのセキュリティ対策についての課題を示した。

今後は、自動運転カーの新たな活用法を提案するとともに、そのための技術について検

討する予定である。さらに、IoT がもたらす産業構造の変化などについても検討していく予定である。

参考文献

- 1) 星野, 並木, 菊池, 日比野『組込みソフトウェア開発入門』技術評論社 (2008)
- 2) 小林耕二『IoT ビジネス入門』あさ出版 (2016)
- 3) 阪田史郎, 高田広章『組込みシステム』オーム社 (2006)
- 4) SE 編集部『組込みソフトウェアレポート 2005』翔泳社 (2004)
- 5) 独立行政法人情報処理推進機構ソフトウェア・エンジニアリング・センター『組込みシステム開発のすべて』日本実業出版社 (2007)
- 6) 財団法人道路交通情報システムセンター「VICS の仕組み」
<http://www.vics.or.jp/known/structure/index.html>
- 7) 瀧本往人「基礎からわかる『IoT』と『M2M』」工学社 (2016)
- 8) 野村継男“自動運転の開発動向”, 情報処理, Vol. 57, No. 5, pp436-440 (2016)
- 9) ボストンコンサルティンググループ <http://www.bcg.co.jp/documents/file180099.pdf>
- 10) 国土交通省報道発表資料 <http://www.mlit.go.jp/common/001137302.pdf>
- 11) 竹内栄二郎“環境認識(認知)技術”, 情報処理, Vol. 57, No. 5, pp441-445 (2016)
- 12) 菅沼直樹, 米陀佳佑“自動運転自動車のパスプランニング”, 情報処理, Vol. 57, No. 5, pp446-450 (2016)
- 13) ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク“安全安心な走行を実現する自律運転知能システムの運動計画と制御”, 情報処理, Vol. 57, No. 5, pp451-455 (2016)
- 14) 能登, 奥田, 田崎, 鈴木“個人適合型ポテンシャル法に基づく障害物回避アシスト制御”, 自動車技術会秋季大会学術講演会前刷集, No. 138-11, pp. 11-14 (2011)
- 15) 日本経済新聞『イノベーション 暮らし未来図』2016年5月5日付朝刊, pp. 14.
- 16) 三原寛司, 景山浩二“自動運転に関する法規制と実証実験”, 情報処理, Vol. 57, No. 5, pp460-464 (2016)
- 17) 警察庁『自動走行システムに関する公道実証実験のためのガイドライン』
<http://www.npa.go.jp/koutsuu/kikaku/gaideline.pdf>
- 18) 倉地亮, 松原豊, 高田広章“車載機器のセキュリティと安全性”, 情報処理, Vol. 57, No. 7, pp632-637 (2016)
- 19) 独立行政法人情報処理推進機構『自動車の情報セキュリティへの取り組みガイド』
https://www.ipa.go.jp/security/fy24/reports/emb_car/documents/car_guide_24.pdf