

走路環境認識と経路計画

加藤 晋*

自動車の運転は、認知、判断、操作と言われる。自動運転においては、それらをセンサーやコンピューター、アクチュエーターなどが行うことになる。自動車の基本動作は、走る、曲がる、止まるである。この動作を判断するためには、道路であること、障害物が無いこと、経路上であることなどの走路環境情報を認識することは最も重要といえる。また、移動においては、目的地までの大局的な経路だけでなく、障害物の回避などの局所的な経路を瞬時に計画できることが求められる。本稿では、これら走路環境認識と経路計画について、自動運転を支える技術展開の位置づけで主な技術の紹介を試みる。

Driving Environment Recognition and Path Planning

Shin KATO*

In autonomous driving, sensors, computers, actuators, etc. perform the driving functions of recognition, judgment, and operation. In order to judge the basic motions of a vehicle such as “running,” “turning,” and “stopping,” it is important to recognize roads, that there are no obstacles, etc. as driving environment information. In addition, an autonomous driving vehicle must be able to plan local paths, such as not only the global path to the destination but obstacle avoidance, during driving. This paper introduces the main technology related to driving environment recognition and path planning by presenting technical deployment supporting autonomous driving.

1. まえがき

自動車の自動運転といえば、以前は“知能を持った車”として、未来予想図には必ず出てくるような夢の乗り物として扱われていた。しかし、近年では公道での実験走行などが盛んに行われ、自動車メーカーが販売予定を公表するなど、もはや夢の存在ではなくなっている。また、衝突被害軽減のための自動ブレーキや駐車支援による自動ハンドルなどの機能の搭載車両も市場導入されており、もはや部分的な自動運転は身近なものとなりつつある。自動運転の研究開発の歴史は古く、1950年代末から現在に至

るまでさまざまな方法による自動運転車両が開発されてきている^{1)~3)}。安全性の向上や運転負担の軽減などを目的とし、当初は環境の整った高速道路などの自動車専用道への導入を目指す開発が多く見られていた。しかし、2007年に米国DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency: 国防総省高等研究計画局) が行ったDARPA Urban Challenge⁴⁾での市街路を想定した完全自動走行レースは、より身近な市街路での自動運転の可能性を示すものであった。Urban Challengeの成功は、現在に至る研究開発の盛り上がりのきっかけとなったといっても過言ではない。特に、この時に開発されたセンサー技術は、非常に革新的であり、その後の走路環境認識や経路計画の技術発展に大きな影響を与えたと考えている。

本稿では、このような自動運転を支える技術展開として、走路環境認識と経路計画について、主な技術の紹介を行う。

* 国立研究開発法人産業技術総合研究所
知能システム研究部門研究グループ長
Group Leader, Intelligent Systems Research Institute,
National Institute of Advanced Industrial Science and
Technology (AIST)
原稿受付日: 2015年6月30日
掲載決定日: 2015年7月15日

2. 自動車運転時における機能構成と情報の流れ

本章では、まず、自動車を運転する際に用いられる機能の構成と情報の流れについて、自動運転や運転支援のシステムも含めて考えてみる。Fig.1には、自動車の運転における機能構成と情報の流れを示す。ヒューマンドライバーの場合は、Fig.1(a)で示すようにさまざまな走路環境の情報を認知し、経路情報や交通ルールなどの情報と合わせて判断し、アクセル、ブレーキ、ステアリングなどを操作し、走る、曲がる、止まるといった一連の流れとされている。これらの一連の流れを、センシングや情報処理、制御の機能としてFig.1(b)のように置き換えたものが、自律化や自動運転システムとなる。近年では、走路情報の範囲を拡大することや、確実にするために、他の車両や人、インフラなどと通信を行うことで、情報を得ることについても研究開発が進められている。運転支援システムの場合は、Fig.1(c)で示すようにヒューマンドライバーと運転自動化システムの間、認知を誘導することや、判断を支援するような情報提供や警告のHMI（ヒューマンマシンインターフェース）、操作支援が介在することとなる。支援のドライバーへの適合性を高めるために、ドライバーの状態情報を取得する研究開発も進められている。

NHTSA（米国運輸省道路交通安全局）の提言による車両の自動化のレベル⁵⁾では、自動化なしのレベル0から、完全自動運転のレベル4まで分類されている。Fig.1では、(a)はヒューマンドライバーのみの運転でレベル0となり、(b)はすべての運転をシステムに委ねるレベル4を示している。レベル1は特定機能の自動化、レベル2は複数機能の自動化とされているが、ドライバーは安全運転の責任を持つことになる。レベル3は、自動化がさらに進んだ状態とされ、機能限界の場合のみ、ドライバーが運転操作を行うとされ、これらは(c)で示される。ただし、レベル3については、まだ、ドライバーの対応や責任が明確となっておらず、システムが成立するか否かの議論も続いている。

レベル1以上の自動化においては、システムが想定する環境や状況によって、センシング機能に対する要求性能が大きく異なってくる。完全自動運転のレベル4では、想定環境と状況における走路環境の情報をすべて認知できることが求められるとともに、機能の不具合や故障を自ら診断できることも求められることになる。自動車の場合、走路環境には、路

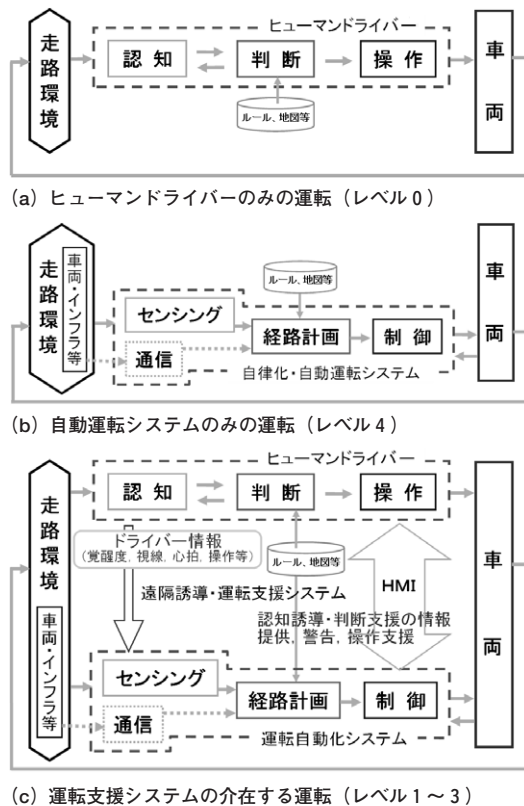


Fig.1 自動車の運転における機能構成と情報の流れ

面の状態や白線などのランドマークもさまざまにあり、天候や夜間走行への対応も必要となる。

また、他車両や歩行者、二輪車などの移動体への対応、信号や標識などの順守も必要となるなど、走行環境を認識するためのセンシング機能への要求は非常に高いといえる。当然、センシング機能からの情報が増すことにより、判断材料は増加することになるため、判断が複雑化していくこととなる。経路や交通ルールなどを考慮するならば、状況判断を人間のように学習していくようなプロセスの開発が必要となる可能性もある。

3. 走路環境認識

前章で述べたように、走路環境認識は自動車の走行において不可欠な機能である。自動運転を実現するための走路環境の認識機能は、走行の支障となる障害物の認識、路面や信号、標識などを含めた走路状態の認識、道路上の自車位置の認識の三つの役割に大別することができる。以下に、具体的な自動運転車両の研究開発や運転支援システムとの関係も含めて、

それぞれの認識のためのセンサーや技術を紹介する。

3-1 障害物認識

自動運転の実現において、必須となる認識機能の一つに障害物認識があげられる。対象として走行中に考えられる障害物には、他車両、歩行者、自転車、二輪車、トラック、バスなどがあげられる。障害物の場合には、自車両の走行予定経路上に対する存在の検知が重要である。検知物体が移動体である場合には、移動予測と衝突判定が必要となる。この時、検知物体が何であるかを認識することで、検知や移動予測の精度の向上が図られる。車両周辺の検知や認識する範囲は、想定する移動速度や運転行動などによって異なる。停止車両か走行車両であるかによっても、自車の走行速度によっても必要な検知範囲は異なってくる。例えば、高速道路上での前方車両の検知の場合は、自車線の100m以上の検知距離が要求される。高速道路のカーブにも対応するならば、想定される道路線形の範囲を検知する必要があり、さらに自車線以外の車両とは区別できる必要が出てくる。また、高速道路での自動車線変更を実現したいとなれば、自車両の側方と後方の車両の検知を行う必要が出るなど、どのような運転行動を自動化するかによって、センサーへの要求が大きく異なってくる。道路障害というと工事や規制などでの通行止めや道路陥没、落下物などを思い浮かべる方もあるかもしれない。しかし、通行止めは経路計画で対応し、陥没や落下物は道路整備の問題であり遭遇確率が低いことが想定されるため、センサーへの要求からは外されている場合が多い。障害物検知や認識に用いられるセンサーとしては、ビジョンシステム、LIDAR (LIght Detection And Ranging)、ミリ波レーダーなどが用いられている。以下にそれぞれのセンサーを紹介する。

1) ビジョンシステム

ビジョンシステムは、カメラを用いた計測であり、単眼カメラやステレオビジョン、赤外線カメラなどを利用して周辺の物体や距離などを取得するものである。単眼カメラは、主に物体の認識に用いられ、車両や歩行者の有無といった情報を得ることができる。しかし、物体までの距離を正確に得ることは難しいため、他のセンサーと組み合わせて用いられることも多い。ステレオビジョンは、位置の異なる複数カメラの画像から三角測量の原理を用いて距離を計測する手法である。自動運転への利用は古く、日本の旧機械技術研究所（現産業技術総合研究所）が



Fig. 2 ステレオビジョンを持つ知能自動車

1977年に開発した、Fig.2に示す世界初のマシンビジョンによる知能自動車⁶⁾に用いられている。車両の右前に上下にカメラが2台設置されており、このステレオビジョンで障害物を検出、回避しながら推測航法で目的地まで最高30km/hの速度で自動運転が可能であった。

その後も米国やドイツなどで盛んにビジョンシステムを用いた自動運転の研究が行われている²⁾。特徴的なものとしては、ヨーロッパのPROMETHEUS (Programme for a European Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Safety) プロジェクト (1986～1994) で開発されたVITA II⁷⁾である。これは、大型乗用車に18台のTVカメラを搭載し、高速道路上での車線維持、衝突回避、安全確認を含む車線変更などの自動運転を実現したものである。

現在、ステレオビジョンを用いた運転支援システムが実用化されている。富士重工業と日立製作所らが開発したEyeSightであり、2008年に最初の搭載車が市販されている。富士重工では、これよりも前の1999年にすでにステレオビジョンを搭載したADA (Active Driving Assist) の搭載車を世界初で市販している。Fig.3に示すように、フロントガラスのルームミラーの上に、基線長350mmで二つのカメラが設置されており、一部他のセンサーも併用しているが、現在のEyeSight (Ver.3) の機能⁸⁾は、ブリクラッシュブレーキ、全車速追従機能付クルーズコントロール、アクティブブレーキ車線中央維持、車線逸脱抑制、AT誤発進抑制制御などを実現している。ステレオビジョンのメリットは、距離や大きさの計測ができるだけでなく、自動車や歩行者などを識別することができ、さらに、白線やガードレールなどの経路認識ができ、コストは比較的安価な点である。デメリットとしては、距離に応じて計測精度が悪くなる点や、霧や雪などの視界が悪い状



Fig. 3 EyeSight (Ver.3) と認識処理⁸⁾

出典) ▶<http://www.subaru.jp/levorg/levorg/safety/eyesight.html>

況やトンネル出口のような急激な明るさの変化に弱い点などである。近年、ハイダイナミックレンジのカメラの開発も進んでおり、明るさの変化に強い素子を用いることなどの対応がされつつある。

赤外線カメラを用いた夜間の視界を支援するナイトビジョンも開発されている。2000年モデルのGM キャデラックにオプション設定されたものが、自動車用安全装備としては世界初であった。これは、フロントグリルに埋め込まれた遠赤外線カメラからの映像をディスプレイに表示し、夜間の歩行者や動物の検知を支援する装備であった。ホンダのインテリジェント・ナイトビジョンシステム⁹⁾は、左右2台の遠赤外線カメラを用いたステレオナイトビジョンで、暗闇での歩行者や対向車の位置や動きを検知し、ドライバーに注意を促すというものである。夜間の自動運転などを考えた場合に、歩行者を識別する機能を重視すれば、ナイトビジョンの必要性も高くなると考える。

2) LIDAR (LIght Detection And Ranging)

LIDARは、対象範囲にレーザー光を照射し、対象物体からの反射光をとらえ、この時のレーザー光の飛行時間 (TOF: Time Of Flight) の原理を用いて距離を計測するものである。主にACC (Adaptive Cruise Control: 定速走行・車間距離制御装置) に用いられているセンサーである。例えば、デンソー製LIDAR¹⁰⁾では、左右の計測角は±18度、分解能は0.08度、検知範囲は約120mとなっている。路面の傾斜や車両のピッチ運動の影響を考慮して、レーザー光を回転する3面のポリゴンミラーで二次元走査することで、上下±2度程度の計測角を実現している。現在、4～6程度の走査面を持つLIDARがACC用途などで用いられている。また、LIDARは、

反射光の強度を計測することで、白線を検出することも可能であり¹⁰⁾、走路との相対的な自車位置の検出にも用いられる。LIDARのメリットは、レーザー光を照射するアクティブ方式のセンサーであるため、トンネル出口のような明るさの変化の激しい場面や夜間でも計測が可能な点である。

まえがきに書いたように、2007年のDARPA Urban Challenge⁴⁾では、自動運転にとって革新的なLIDARが開発され、その能力の高さを見せつけた。それがFig.4の上図左に示すVelodyne社の360度の周囲環境の三次元モデルを形成可能なLIDARで、DARPAのレース用に製品化されたものである。これは、上下約26度をカバーする64個のレーザーが、10Hz (5～15) で回転走査し、約120m先までを約5cm程度の距離精度で64の走査面を同時計測可能なセンサーである。現在、32面 (Fig.4上図中央) や16面 (Fig.4上図右) のLIDARも開発されている¹¹⁾。

Fig.4の下図には、64面のLIDARによる距離検出例を示す¹¹⁾。中央の黒い部分がこのLIDARを取り付けた車両位置で、真下は原理上、計測ができないが、交差点の周囲の走行車両、路肩や路面などがセンサーからの64本のレーザー光の距離として、明瞭に検出されていることがわかる。このLIDARは、Fig.5に示すように、Urban Challengeで優勝した

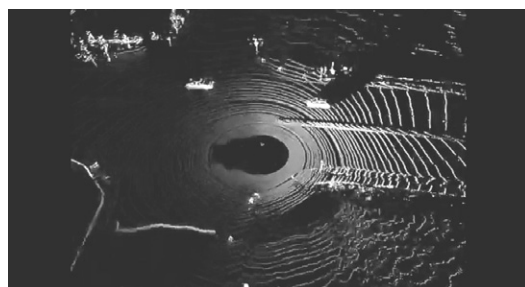


Fig. 4 Velodyne社の複数のレーザー光を照射し、受光解析可能なLIDAR (上図、左から64面、32面、16面) と64面のLIDARによる距離検出 (ポイントクラウド) 例 (下図)

出典) ▶<http://velodynelidar.com/>



Fig. 5 DARPA Urban Challenge 2007で優勝した“Boss”
出典) ▶<http://www.tartanracing.org/>

カーネギーメロン大学Tartan Racingの“Boss”の車両上や、2位となったスタンフォード大学のStanford Racing Teamの“Junior”にも搭載されていた。

Urban Challenge⁴⁾は、市街路を想定した全長60mile (96.6km/h)のコースを6時間以内で完走することが要求された。車両は交通規則を遵守し他の車両にも配慮して、交通量の多い交差点や円形交差点の走行や障害物の回避、追い越し、合流などを含めて完全自動制御での走破が求められていた。環境内には人間が運転する約40台の車両が混在することも特徴であった。89チームがエントリーし、本戦は11チームで行われた。本戦結果は、6台が完走(ただし3チームは制限時間外)し大成功であった。理解すべき状況が格段に多い市街路のコースにおいて、それらを認識するセンサーを含めた高度な知能化が達成されたことは、自動運転の技術に対して大きな進展であった。

その後、“Junior”を開発したSebastian Thrun氏がGoogle社において自動運転車両の研究開発を始め、ネバダ州などで自動運転車両の公道実験を進め、専用ナンバープレートを受けている。現在は、さらにFig.6に示すステアリングやペダルのない、レベル4の完全自動運転車両の開発も進められている¹²⁾。この車両にも上部にはVelodyne社のLIDARが搭載されている。このLIDARは、車両周辺の360度の構造物や移動体を認識でき、自動運転に必要な走路環境認識のセンサーとしては、非常に強力なものといえる。ただし、高価である点、車両上部に大きな回転体を搭載する必要がある点などのデメリットもあり、自動車メーカーとしてはデザイン的にも搭載し難いと考えられる。現在、多くの自動車メーカーの自動運転車両は、車体や車内にLIDARなどのセンサーを埋め込み、デザインへも配慮している。また、LIDARの小型化や安価への研究開発も進められて



Fig. 6 Google Self-Driving Car (右は2014年12月時点の最新の試作車両)

出典) ▶<http://www.google.com/selfdrivingcar/>

いる¹³⁾。GoogleもFig.6の右に示すように最新の試作車では、LIDARを目立たないように小型化し、カバーを施している。

3) ミリ波レーダー

ミリ波レーダーは、周囲にミリ波(波長: 1~10mm程度、周波数: 30G~300GHzの電波)を放射し、その反射波を測定解析することで、対象物までの距離や方向、相対速度などを計測するセンサーである¹⁴⁾。メリットとしては、検出距離が150m程度と遠距離であり、電波を使うため、雨や霧、雪などの視界が悪い状況や夜間でも使用が可能な点である。デメリットとしては、電波の反射が少ない小さい障害物や歩行者の検出がやや困難な点である。また角度検出には、ビーム切換やメカスキャン方式などがとられるが、分解能はLIDARよりも劣り、コストは比較的高価な点があげられる。世界初の実用化は、1997年に富士通テンが60GHz帯のミリ波レーダーをダンプトラックに搭載している¹⁵⁾。Fig.7にミリ波レーダーの一例を示す。耐候性に優れることから、現在、ACCや衝突被害軽減ブレーキ用のセンサーとして活用されている。

日産自動車は、ミリ波レーダーを用いて2台前の車両を把握し、衝突事故を防止する新たなシステムを実用化している¹⁶⁾。このプレディクティブフォ



Fig. 7 ミリ波レーダーの一例: 車載用小型77GHz 3次元電子スキャンミリ波レーダー(富士通テン)

出典) ▶<https://www.fujitsu-ten.co.jp/release/2012/10/20121018.html>

ワードコリジョンワーニング（前方衝突予測警報システム）は、フロントに搭載されたミリ波レーダーを用いて、前走車の車体の下を通して、その前を走る車両の車間と相対速度差を計測し、減速が必要な場合にはドライバーに警報を促すシステムである。ミリ波レーダーの特性を活かして、目視範囲外の先のリスクを捉えるという新たな機能を実現していることに特徴がある。

4) センサーフュージョン

これまで示したように各センサーには、メリット、デメリットがあり、性能も異なる。そのため、異種のセンサーを組み合わせ、センサーフュージョンすることにより、性能などを高める試みが行われている。例えば、ホンダでは、Table 1に示すような外界認識センサーの検知性能比較を行い、能力を補い性能を高めるために、フロントグリル内のミリ波レーダーとフロントウインドウ内上部の単眼カメラを組み合わせた安全運転支援システムとしてHonda SENSING¹⁷⁾を開発している。このシステムでは、世界初の歩行者事故低減ステアリング機能が実現されている。

これまで紹介したものは、基本的に車載のセンサーである。このほかに、センサーを路側に設置して車両に通信することで認識させるものがある。情報通信技術によって周辺とつながることで、必ずしも車両にセンサーを置く必要がなくなる。機能やサービスの実現には、誰がコスト負担をするのかを検討する必要があり、普及・発展のシナリオを考えた技術開発の視点は非常に重要であると考ええる。

3-2 走路状態認識

1) 路面状態検知

路面状態の検知は、道路側に設置するセンサーの開発が多く見られ、道路管理などに利用されている。

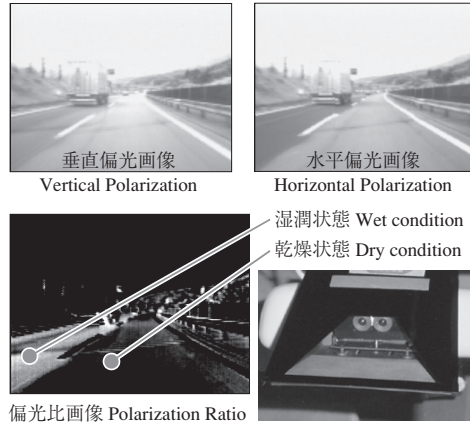


Fig. 8 偏光フィルタを装着した複眼カメラと画像処理¹⁸⁾

しかし、車両側においても、制御への影響を考慮すれば必要な情報といえる。Fig.8には車載センサーとして開発されたシステムと処理画像を示す¹⁸⁾。このセンサーでは、偏光方向の異なる2画像から偏光特性抽出および画像解析によって、前方の路面状態をリアルタイムに検出し、走行上の危険度合に応じた乾燥、湿潤、凍結、積雪の4種類の路面状態が判別可能である。路面状態は制御に影響するばかりでなく、障害物や自車位置の認識などのセンサーに影響することもある。自動運転車においては、走行の限界を判断するうえでも必要なセンサーとなると考えられる。

この路面状態の認識のほか、直接的な走路状態認識ではないが、信号や標識を認識することも考えられる。これらの認識は、ビジョンシステムを用いた画像処理が基本である。これらについての詳細は省略する。

3-3 走路上の自車位置認識

自動車の自動運転システムにおいて、移動経路上

Table 1 ホンダセンシング外界認識センサーの検知性能比較
出典) ▶<http://www.honda.co.jp/tech/auto/hondasensing/>

| センサー分類 | 方式 | センサー要件 | | | | | | | | | |
|--------|------|--------|---|---|-------|---|---|---|------------------|-------------|------------------------|
| | | 検知距離性能 | | | 耐環境性能 | | | | | 分離性能 分解能 | 属性判別性能 ・歩行者 ・車両 |
| | | 短 | 中 | 長 | 昼 | 夜 | 雨 | 霧 | 朝夕日 レンズ 直射 | | |
| カメラ | 単眼 | ○ | ○ | × | ○ | △ | ○ | × | × | ◎ | ◎ |
| | 複眼 | ◎ | ○ | △ | ○ | △ | ○ | × | × | ◎ | ◎ |
| レーダー | ミリ波 | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | △ | ◎走行車両 △停止車両 △歩行者 |
| | レーダー | ◎ | ◎ | ○ | ◎ | ◎ | ○ | △ | △ | ◎ | △ |

◎：非常に優位 ○：優位 △：やや劣る ×：劣る

の自車位置を認識することは、不可欠な機能である。自車位置には、車線逸脱防止や車線追従のために認識が必須となる局所的な車線などに対する相対位置と、経路選択や周囲車両との位置把握のために認識が必要となる目的経路を網羅する広域的な絶対位置の二つがあげられる。自車両位置の認識のためのセンサーと研究開発の一例をTable 2に示す。路上の位置を示すさまざまな参照物を車載センサーで検出するインフラ協調型の手法や、マシンビジョン、ジャイロとGPS (Global Positioning System)などで検出する自律型の手法がある、走行車線との相対的な位置認識は、車両周辺の走路環境認識のためのセンシングの機能の一部であるといえ、通常は自律型の手法がよく使用されている。

4. 経路計画

自動車の運転行動における「判断」部分では、Fig.1に示すように、ヒューマンドライバーの場合、認知情報ばかりでなく、交通ルールや地図情報、移動経路、経験情報などのさまざまな情報を総合的に判断しているといえる。この判断部分を、自動運転システムでは「経路計画」としているが、そのための情報は、走路環境認識の情報だけでなく、交通ルールや地図情報なども必要となる。目的地までの移動においては、経路を求める大局的な経路計画と、障害物回避などの局所的な経路計画を行うことが必須となる。

大局的な経路計画は、カーナビゲーションシステム（以後、カーナビ）の経路誘導と同様で、現在の自車位置、目的地、そしてそれらを結びつけることが可能な地図情報が必要となる。市販のカーナビに

おいて、移動経路の探索は、地図上の道路網のリンク距離や渋滞などのコスト評価を行い、グラフ理論などの応用により求めている。大局的な経路計画では、地図と照合できる絶対位置やランドマークなどの認識が必要で、その精度は移動経路の判別ができる程度のメートル級で良いといえる。また、大局的な経路計画は、カーナビと同じように走行の前や経路から外れた場合に行えば良いことになる。

局所的な経路計画は、大局的な経路計画で求められた移動経路の走行中の操作判断である。例えば、障害物が移動経路上にあれば、回避操舵を行うことや、対向車が存在すれば一時停止を行うことなどの判断が、局所的な経路計画といえる。自動車の操作は、基本的に「走る、曲がる、止まる」の三つの選択肢である。自動運転の場合、制御周期毎に、この選択肢をどれくらいの量で行うかを計画することになる。操作はある程度連続的に変化するため、このどれくらいの量で行うかは、安全性や乗り心地、経路からのズレなどの評価値により決定される。具体的な経路生成法の例としては、経路上の曲率を三次スプライン関数で表現し、滑らかな追従可能な複数の軌道候補を、周辺環境の状況に適応して選択させる方法がある¹⁹⁾。この時の選択評価値は、障害物からの回避安全距離とラテラルジャークが最小となるようにしている。他の例としては、障害物に対して危険感ポテンシャルを設定し、さらに車両運動性能を考慮した経路生成法²⁰⁾などがある。局所的な経路計画では、障害物や車線との相対的な位置精度としては、センチメートル級の精度が要求される。局所的な経路計画に利用する地図情報に対して、白線やランドマーク、停止線、交差点などの位置や形状

Table 2 自車位置の認識のためのセンサーとシステムの一例（※印は広域の位置認識も可能）

| | 路上参照線 | 車載センサー | 研究開発例 |
|---------|--|-------------------|---|
| インフラ協調型 | 誘導ケーブル | 誘導コイル | 1960年代の自動運転 |
| | 誘導テープ | 誘導コイル | 無人搬送車、無人カート |
| | 磁気式レーンマーカー ・磁気ネイル ・磁気プレート ・磁気テープ ※符号化磁気マーカー列 | 磁界センサー | AHSR、PATH AHSRA 3M PATH 埼玉大、他 |
| | ※電波式レーンマーカー ・中長波変調反射 ・中長波共振反射 ・μ波物理反射 | レーダー | AHSRA（含む情報提供） AHSRA オハイオ州立大 |
| 自律型 | レーンマーカー、ガードレール（白線や道路検知など） | マシンビジョン | 知能自動車（機械研）、NavLab（CMU）、VaMoRs（ミュンヘン国防大）、スバル、日産、トヨタ、エネルギーITS、金沢大、他 |
| | ※デジタル地図 | LIDAR | Ibeo、デンソー、Google（Velodyne）、エネルギーITS、金沢大他 |
| | | GPS、ジャイロ、車速センサーなど | 東大、SFV（産総研）、慶大、エネルギーITS、各自動車メーカー、金沢大、他 |

の情報は、操舵や速度制御量の決定に利用することも考えられる。地図情報を含めたナビゲーション技術は、ロボット分野などで古くからさまざまな研究が行われている²¹⁾。SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) の手法もその一つで、これは、LRF (レーザーレンジファインダー) やカメラ等と、オドメトリを利用して、特徴として利用できそうな地図を作成しながら、位置推定を行うものである。自動運転への応用も近年盛んに行われつつある。

5. あとがき

本稿では、昨今の安全への寄与など自動運転への期待が高まるなか、自動運転を支える技術展開として、走路環境認識と経路計画について、具体的な自動運転車両の研究開発や運転支援システムとの関係も含めて、センサーや技術の紹介を試みた。車両周囲の物体まで距離をほぼリアルタイムで計測可能な360度回転式のLIDARの実用化といった革新的な走路環境認識センサーの開発が、自動運転の研究開発を飛躍させてきている。経路計画においては、ヒューマンドライバーのように、周辺状況や地図だけでなく、交通ルールや経験値なども考慮した判断を加えた知能化が期待される。これには、推論や学習といった人工知能の応用が考えられており、今後が期待されるところである。

自動運転や運転支援システムの普及には、センシングやシステムに対する信頼性、不信や過信への対応などの技術的な課題ばかりでなく、事故責任や認可などの法整備や、社会的受容性の向上などの課題解決が必要である。

参考文献

- 1) Shladover S.: Research Needs in Roadway Automation Technology, SAE Paper, 891725, 1989
- 2) 津川定之「自動車の自動運転システム」『人工知能学会誌』Vol.14, No.4, pp.606-614, 1999年
- 3) 津川定之「自動運転システムの展望」『IATSS Review』Vol.37, No.3, pp.199-207, 2013年
- 4) DARPA Urban Challenge Website, 2007
▶<http://archive.darpa.mil/grandchallenge/>
- 5) NHTSA : U.S. Department of Transportation Releases Policy on Automated Vehicle Development, 2013
▶http://www.nhtsa.gov/staticfiles/rulemaking/pdf/Automated_Vehicles_Policy.pdf
- 6) 谷田部照夫、ほか「ビジョンシステムをもつ車両の自律走行制御」『計測と制御』Vol.30, No.11, pp.1014-1028, 1991年
- 7) Ulmer B.: VITA II-Active Collision Avoidance in Real Traffic, Proc. the Intelligent Vehicles '94 Symposium, pp.1-6, 1994
- 8) SUBARU Official Website「アイサイトとは」2015
▶<http://www.subaru.jp/eyesight/digest/>
- 9) HONDA Website「インテリジェント・ナイトビジョンシステムとは」2015
▶<http://www.honda.co.jp/tech/auto/night-vision/index.html>
- 10) 高木聖和、ほか「レーザーレーダーによる走行環境認識技術」『デンソーテクニカルレビュー』Vol.12, No.1, pp.29-34, 2007年
- 11) Velodyne Lidar Website : HOME, 2015
▶<http://velodynelidar.com/lidar/lidar.aspx>
- 12) Google Website : Google Self-Driving Car Project, 2015
▶<http://www.google.com/selfdrivingcar/>
- 13) 松原弘幸、ほか「次世代レーザーレーダの開発」『R&D Review of Toyota CRDL』Vol.43, No.1, pp.7-12, 2012年
- 14) 稲葉敬之、ほか「車載用ミリ波レーダ」『自動車技術』Vol.64, No.2, pp.74-79, 2010年
- 15) 山脇俊樹、ほか「60GHz帯自動車用ミリ波レーダ」『富士通テン技報』Vol.15, No.2, pp.9-18, 1997年
- 16) NISSAN Website : PFCW (前方衝突予測警報), 2015
▶<http://www.nissan-global.com/JP/TECHNOLOGY/OVERVIEW/predictive.html>
- 17) HONDA Website : Honda SENSING, 2015
▶<http://www.honda.co.jp/hondasensing/>
- 18) Yamada M., et al.: Study of a road surface condition detection technique in the Human Centered ITS View Aid System, Proc. of 9th World Congress of ITS, Paper#3603, CD-ROM, 2002
- 19) 菅沼直樹、ほか「自動運転自動車の走行経路高速生成法」『自動車技術会論文集』Vol.42, No.6, pp.1281-1286, 2011年
- 20) 金子哲也、ほか「車両周辺環境の変化に対応した危険感ポテンシャルと車両運動性能を考慮した自律走行のための制御目標生成」『自動車技術会論文集』Vol.44, No.2, pp.759-764, 2013年
- 21) 「特集 自立移動ロボット (ALV)」『日本ロボット学会誌』Vol.5, No.5, 1987年