

車載LiDARを中心とした 測距装置への各社の取り組み

桑山 哲郎

1. はじめに

この解説は自動運転を実現する上で重要な要素の1つである、車載用LiDAR（表6参照）を対象としているが、本題に入る前に動機・背景に簡単に触れる。

「画像技術史」という大学の講義を毎年受け持っている。その際、気づくことがある。学生に対して、「今年の最新技術」についても紹介するのだが、2、3年から数年後には、その内容が歴史上の事柄になっているのである。画像機器の分野でも技術の進歩はたいへん早く、現在の情報がすぐに「歴史」になってしまうのである。

今回、車載用LiDARについて、ニュースを中心に情報の整理を行ってみた。実用化に向かい、いろいろな技術への取り組みと提言が行われているが、その様子が「映画前史」の時代に登場したいろいろな機器に重なって、私には見えてきた。また、強い個性をもった人物が登場するのも、興味をもって情報収集を行った動機の一部である。この点でも映画前史の時代状況と重なる。車載LiDARに触れている報告は多数存在するが、最も頼りにした資料^{1,2)}と、最近行った報告³⁾のタイトルを挙げる。

ニュース一覧をまとめるに際しては、可能な範囲の用語の統一・修正と加筆を行わせていただいた。個々の文章はそれぞれの執筆者の著作物であり、原著者の了解を得なければ改変してはいけないのだが、並べてみるとある程度修正を加えないと1つの表・情報源として役割を果たさない問題に突き当たった。また各企業がプレス発表した内容を元に、かなりの脚色を加えたタイトルがネット上を流通していることも多く、できるだけ元の資料に当たり中立的な紹介文になるように務めた。

また、話題になっている言葉だけに振り回される危険を、大学で教えている立場から痛感した。定常的な状況が、ニュースからはほとんど見えてこないのである。米国Velodyne社は、車載用LiDARの商品化に最初に成功し、フルラインで商品を揃えていて、市場で圧倒的な地位にある企業である。ところが、ニュースタイトルだけを追うと、その存在がほとんど見えてこない。このような問題と限界に留意いただいた上で、本稿をご活用いただければ幸いである。

2. LiDARの測定原理と光学系

LiDARの研究に関しては、1972年に「第1回 レーザ・レーダシンポジウム」が開催され、日本国内の大学、研究機関に加え企業内でも研究が行われていたことが多くの関係者から報告されている。変調を加えた光源からの光を対象物に照射、拡散反射されて戻ってきた光から対象物までの距離などを算出する原理は現在でも変わっていない。ただ、自動車に搭載して周囲の3D情報を得るという点で、装置構成に工夫が加えられている。ここでは、以後のニュース情報を理解するのに必要と思われる技術を簡単に解説する。

図1は、単純なLiDARの光学配置を説明する図である⁴⁾。強度をパルス変調した半導体レーザーからの光はコリメーターレンズにより適切な太さの光束に広げられ、ミラーで反射されて対象物を照射する。拡散反射されて戻ってきた光は、同軸に配置した光検出光学系を介して強度が検出される。図2は、検出される光の強度信号を模式的に表している。実際に、屋外、道路で使用する場合には信号自身の強度がバラバラで、しかも対象物が太

くわやま てつろう

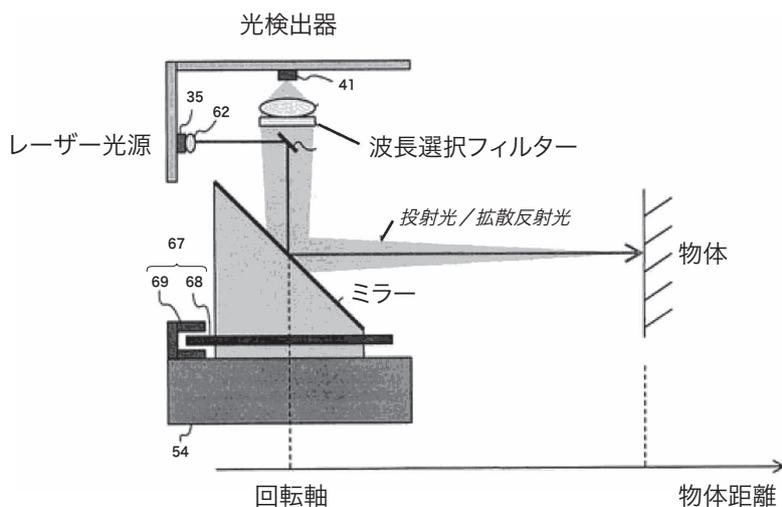


図1 LiDARの光学系の基本形

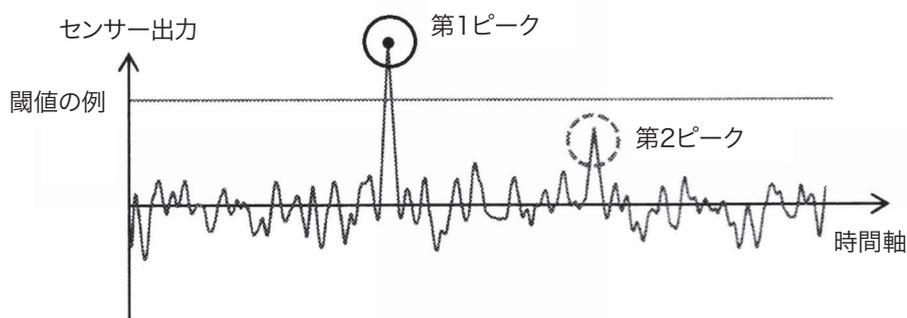


図2 LiDARの信号の模式図

陽光を受けている状態なので、いろいろなノイズが加わっている。光検出器からの出力を適当な閾値を用い、距離を1つだけ検出すれば良い場合もあるが、手前に樹木、奥に建物といった対象で、2つあるいはそれ以上の物体を検出することが必要な場合がある。いろいろな信号処理方法が提唱されているが、最大の妨害要因としては太陽光があげられる。

直射日光の分光エネルギー分布では、波長905 nmに極小値があるので、多くの車載LiDARでは、この波長の半導体レーザーを光源として使用し、光検出器の前には狭い波長域の光だけを透過するフィルターを配置している。車載LiDARでは、1.55 μmの波長の光源使用も検討されている。この波長では安全基準上より強い光出力を用いることができるメリットがあるが、光検出器がシリコン系ではなくGaNを用いる必要があるなどの課題もある。

図1でミラーを回転すれば、ほぼ360度の領域をスキャンすることができる。一方、上下方向に複数の点を検出する場合には、レーザー光源と光検出器を複数組配置する方法が用いられている。図1でこれを実現するには、装置全体を回転することになる。図3は、角錐台形のポリゴン回転ミラーを用いる車載LiDARの模式図である。6面のポリゴンを用いることで、約120度の範囲をスキャンすることができる。さらに、レーザー光源と光検出器を4組設け、ミラーの倒れ角を各面で変えることで、ポリゴンミラー1回転で上下方向24ラインの検出を実現している。

このLiDARの光学系に相似であるしかけは、技術史上において度々出現しているが、細かく数え出すとがないので一例だけ紹介する。図4は、1880年代、エミール・レイノー（Émile Reynaud 1844～1918年）が発明した動画映写装置「プラキシノスコープ」である。角錐

形のポリゴンミラーは、各面に対向した原板と一体に構成されている。各平面協に反射されて作り出される鏡像は、機械的な回転軸上に生じるので、この機構を任意の回転速度で回しても、映写される像は左右に動きボケを生じることがない。

表1に、LiDARの動作方式の分類を簡単にまとめた。会社により細かい技術差異があるが、ここでは一般的な

分類を掲載した。また、この分野では種々の略語が登場するが、最後に掲載する表6（略語・用語解説）を参照いただきたい。

3. 自動運転のレベルとセンサーモジュール

表2は、自動運転のレベルを簡単にまとめた結果である。元の定義・分類は、米国の自動車・航空宇宙関連の

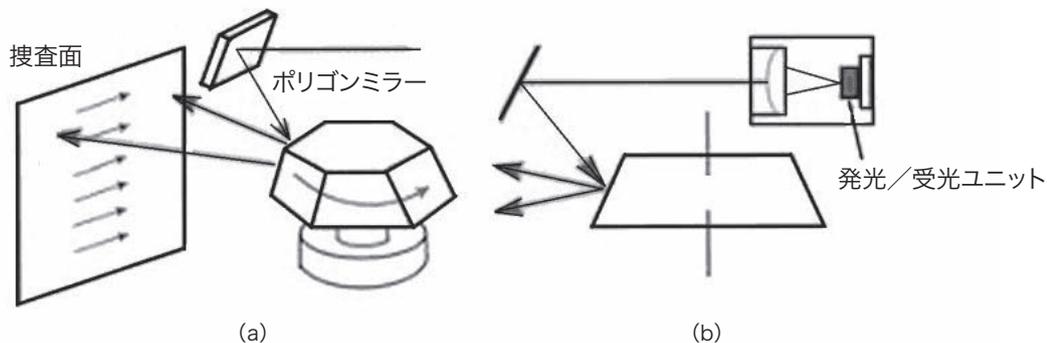


図3 角錐型ポリゴンミラーを用いたLiDAR光学系

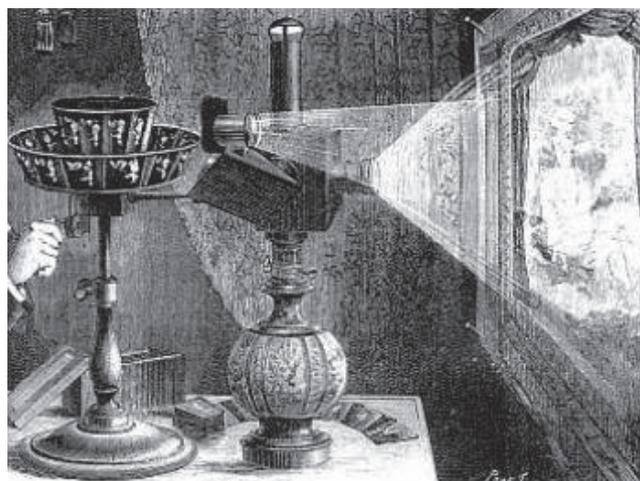


図4 角錐型ポリゴンミラーを用いた動画の映写装置

表1 車載LiDARの動作方式の分類

検知に用いる方式	スキャン方式
TOF (Time of Flight) 方式	機械式スキャン (ポリゴンミラー回転)
	機械式スキャン (ガルバノミラー)
	OPA (Optical Phased Array 光フェイズドアレイ) によるスキャン
	MEMSミラーによるスキャン
FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave 周波数変調連続波) 方式 【位相変調方式も発表されている】	フラッシュ照射 (スキャンレス)
	非機械式スキャン (OPAなど)
	フラッシュ照射 (スキャンレス)

表2 自動運転レベルの分類と概要

自動運転レベル		運転環境の監視	自動運転の定義の概要
0	運転自動化なし	ドライバー	注意喚起のサポートはあるが、ドライバーがすべて運転操作
1	運転支援	ドライバー	加速・操舵・制御のいずれかをシステムが行う状態
2	部分自動運転化 (高度運転支援)	ドライバー	加速・操舵・制御のうち複数システムが行う状態
3	条件付自動運転化	システム	すべての運転操作をシステムが行うが、システムが介入を要請したときはユーザーの適切な対応が必要な状態
4	高度自動運転化	システム	システムがユーザーに介入を要請したときに、ユーザーが適切に対応できなくても、システムが対応してすべての運転操作を行う状態
5	完全自動運転化	システム	システムがすべての運転操作を行う状態（ドライバーなし）

表3 自動運転レベルに対応したセンサーモジュールの必要個数

運転支援/自動運転に必要なセンサーモジュールの種類	レベル3での平均個数	レベル4での平均個数	レベル5での平均個数
ヒュージョンセンサー (センサーヒュージョン)	1	2	2
車外用カメラ (2D/3D)	5	8	8
車内用カメラ	1	1	1
(超音波センサー)	(10)	(10)	(10)
短・中距離レーダー	4	6	6
長距離レーダー	1	2	2
長距離LiDAR	1	1	1~2
短距離LiDAR	2	2~4	4
(自律航法センサー)	(1)	(1)	(1)

注：()は2015年時点の表に記載されていたモジュール

標準化団体であるSAE International (Society of Automotive Engineers) による分類と定義であるが、世界各国でこの分類に整合する動きがあり、現在に至っている。日本ではSAEの文面を翻訳して、JASPO TP 18004:2018⁵⁾が発行されている。

表3は、自動運転の各レベルに対して必要センサーモジュールの数を示しているが、既存の表²⁾に一部加筆している。自動運転のレベルが同じでも、車種あるいはメーカーごとに必要なセンサーモジュールの数は異なるので、発表されている表では「平均数」となっている。この表にはいくつかの情報源はあるが、まとめた時点と考え方に違いがあるので、1つの参考として考えていただきたい。ここで注意すべきと思われるのは、自動運転

が論議される以前からのセンサーモジュールである。表中では超音波を用いる近接検知センサーの数をカッコつきで示している。ある新しい表ではこの項目がなくなっているのだが、自動車の必要な個所に超音波センサーをつけるのは当たり前すぎになり、わざわざ取り上げることもないというのが関係者の認識ではないかと推測する。

また、長距離LiDARと短距離LiDARが別項目に取り上げられ、それぞれ必要個数があげられている点にも注意が必要である。「LiDAR不要論」については後述するが、車載用LiDARがVelodyne社から発売された当初は、1台800万円あるいはそれ以上と発表され、高額で大掛かりな装置であった。近年、パイオニアほかから発表されているLiDARは、小さなモジュールで自動車の4隅、バン

パーに取りつける形式となっている。短距離LiDARがカバーする検知範囲のイメージを、特許の図から転載して示す(図6⁶⁾)。

4. 車載用LiDARに関するニュース

各社の取り組みについて情報を提供したい。車載LiDARの開発を手がけているというニュースはたいへん

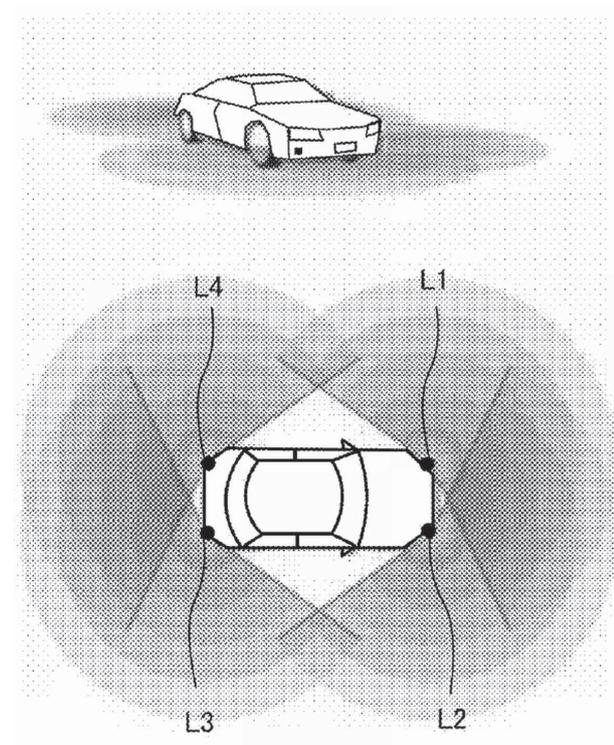


図5 車体の4隅に配置したLiDARの動作範囲(特許明細書より)

多く、全貌を把握するのは困難である。表4に、目についた企業名を挙げる。新しい企業が多いのがこの業界の特徴であるが、企業買収の多いことにも注意が必要で、企業名を追うだけでは動向は把握しきれない。

表5では、車載LiDARに関するニュースを時系列に並べている。情報源として、「自動運転lab」(<https://jidounten-lab.com/>)のサイトは定常的にLiDAR関連ニュースを掲載しているが、ほかのサイトからも情報を得ることができる。ある会社がプレス発表を行った際、いくつかのサイトにそのニュースが掲載される。この一覧表では、できる限り元のプレス発表を参照し、ニュース記事と重複を避けている。またタイトルは各サイトの作成者の著作物であるが、この表として配列するのに必要な修正を加えている。幸い検索エンジンが有能なので、ある掲載項目について3件記載があったとき、皆見つけることができる。特別な著作以外は各サイトのURLアドレスを記入していないが、検索をお試しいただきたい。

5. 車載用測距装置を巡る話題

LiDARを巡る話題としては、「LiDAR無用論」がある。自動運転を実用化する上で、高価なLiDARは不要であるという議論である。

2018年2月7日、電気自動車業界をリードしているTesla社代表(当時)、Elon Musk氏の発言が大きな話題となった。可視(および赤外)カメラの画像情報処理の能力は十分高くすることができるので、高価なLiDARの搭載を検討することは不要であるという主張である。技術解説者としては、両論について判定することが必要な

表4 LiDARの研究・開発にかかわっている会社一覧

国名	会社名(順不同)
日本	デンソー、パイオニア、リコー、日本信号、オムロン
アメリカ	Velodyne LiDAR, Luminar, Quanergy Systems, Aerostar, Strobe, TriLumina, Delphi Automotive, Texas Instruments, AEye, Tetravue, Blackmore, Valeo, Neptec
イスラエル	Innoviz Technologies, Oryx Vision
オーストラリア	Baraja
カナダ	LeddarTech, Phantom Intelligence
ドイツ	Continental AG, Ibeo Automotive Systems, First Sensor AG, Infineon Technologies AG, ZF Friedrichshafen AG
中国	RoboSense

表5 LiDAR関連ニュース一覧

2017年	
3月16日	Continental AG (コンチネンタル ドイツ) は、自動運転に欠かせない 3DフラッシュLiDAR 技術について、2020年の量産化を目指すとして発表。
4月13日	米ベイエリアのスタートアップ企業、Luminar (ルミナー) は波長 1.55 μmのレーザーをLiDAR光源に使用。
6月5日	ソニー、業界最小画素のTOFセンサーを開発。裏面照射型CMOSセンサーの技術を採用。
8月9日	Oryx Vision (イスラエル) 光源波長 10 μm でのフラッシュ (照射) 方式で、受光部にアンテナアレイを用いる画期的なLiDARに対する資金調達。
11月23日	自動運転車のLiDARの能力限界を機械学習で補う方法をAppleが開発。
12月11日	Tetravue 4D- LiDAR開発で新たに資金を集める。
2018年	
1月3日	Velodyne (ベロダイン)、最も人気の高いLiDARを50%値下げ。
1月11日	ON Semiconductor (オン・セミコンダクター)、デプスマッピング機能付きCMOSセンサーを発売。
3月5日	東芝、自動運転向け長距離LiDAR回路技術を開発。
3月21日	【解説記事】BMWとトヨタは、LiDARにFMCW技術を使用。 https://www.adandp.media/blog/post/bmw-and-toyota-and-fmcw-LiDAR
4月4日	パイオニアのLiDAR、NVIDIAのSDKに対応。
4月24日	東芝、LiDARの信頼性を向上するロジックを開発。
5月9日	タワージャズとNewsight Imaging社がADASと自動運転車で使用されるLiDAR用先進CMOSイメージセンサーチップを発表。
5月10日	ON Semiconductor、LiDARセンサー企業SensL Technologies (アイルランド) を買収。
5月10日	【自動運転lab 解説記事】自動運転の「目」は800万円！次世代センサー LiDARの最前線を追う。進む低価格化、価格面でも競争激化。 https://jidouten-lab.com/u_1874
5月21日	AEyeのiDARセンサーは、カメラとLiDARのデータを3D点群に結合する。光源波長 1.55 μm で、カメラとハードウェアレベルでデータを結合。
5月24日	【人とくるまのテクノロジー展2018】Valeo、新型LiDARを世界初公開。
5月25日	【人とくるまのテクノロジー展2018】海外ティアワン、フラッシュLiDARのロードマップ発表。
5月25日	自動運転技術ベンチャーのZMP、水平360°計測の新LiDAR発売。中国RoboSense製の2種類。
6月3日	【自動運転lab 解説記事】最新版自動運転の最重要コアセンサーまとめ。LiDAR、ミリ波レーダー、カメラ それぞれの強みや弱みは？ https://jidouten-lab.com/y_2520
6月7日	デンソーはトヨタとの合意で自動運転を席巻。LiDAR開発から22年 関連電子部品事業を集約。
6月7日	Quanergy、ソリッドステート (可動部なし) LiDARを発表。
6月9日	トヨタも愛した23歳の神童米 Luminar CEOの正体。自動運転の目「LiDAR」と オースティン・ラッセル氏が近づける未来。
6月18日	立体認識技術者、創業2年で6億円調達。自動運転向けステレオカメラ開発 ITD Lab創業者の実吉敬二氏。
6月18日	常識覆す。自動運転の目「LiDAR」に不要論。安カメラの仕掛け人 浅田麻衣子/レバトロロン株代表取締役。
6月19日	パナソニック、高感度TOF方式長距離画像センサーを開発。TOFを全画素で直接計測。
6月20日	続・神童と謳われた23歳 Austin Russel 氏Luminar CEOの快挙。LiDAR、トヨタに続きボルボと取引。
6月29日	自動運転向けLiDAR市場、2030年に5,000億円規模へ。矢野経済研究所 世界市場調査。
6月29日	イスラエルの天才技術者 Amnon Shashua 氏。モービルアイ (Movileye) 成功劇と自動運転 インテルなぜ買収？
7月3日	人間vsロボット、AI自動運転車が英レース出走へ。LiDARなどセンサー搭載 ロボレースの参加車両が参戦。
7月4日	芝浦工大、LiDARの識別性能を向上させる技術を発表。ザリガニに学ぶ信号処理の超進化、伊東敏夫教授。
7月4日	パナソニック、TOF方式長距離画像センサーの技術解説。夜間の自動運転に活躍予想。
7月12日	水中光無線/水中LiDARを目指すALANコンソーシアムが始動。
7月13日	Cepton Technologies、独自方式のLiDARをデモ。
7月15日	京セラ、AI自動運転向けLiDARや画像センサーの提案強化。最大手Velodyneに匹敵？ 自動車メーカーに本格営業。
7月20日	米シリコンバレーのスタートアップ企業Cepton Technologies、AI自動運転の“目” LiDARを200ドル代で量産へ。創業2年で4種類の製品を発表。
7月24日	リコーインダストリアルソリューションズ、路面状態まで捉えるADAS向け3Dカメラを発売。
7月26日	リコーとデンソー、カメラでの路面解析で新技術 AI自動運転に活用期待 車載用ステレオ式、量産進む。
7月27日	Cepton Technologies、MMT™ (Micro-Motion Technologies) LiDARで自動運転技術に革新をもたらす。
7月30日	Cepton Technologies、小糸製作所にLiDARのサンプルを供給。
7月31日	ソフトバンク出資のLight社製16眼カメラ、日本国内販売へ。自動運転への応用可能。ビジョン・ファンドが134億円の投資決定。
8月8日	パイオニアが自動運転向け3D- LiDARを9月発売 高精度地図のHEREとも提携強化 成長市場での躍進で利益増へ。
8月10日	パイオニア、自動運転の目「LiDAR」で巻き返しへ。再建に向け各社と提携協議 成長市場の高精度地図開発も。
8月15日	【自動運転lab解説記事】「自動運転車の市場規模、2030年までの予測まとめ。LiDARなどのセンサー、組込ソフトウェア、広告が急拡大 未来の市場を制するのはどの企業？」
8月15日	Luminar LLCは、LiDAR、TOF、顔認証、眼/頭追跡アプリケーション向けの新しい Light Shaping Micro Optics機能を発表。
8月21日	オーストラリアのスタートアップ企業、Baraja (バラハ)、波長 1.55μmのレーザーにプリズムと光ファイバーケーブルを組合せるLiDAR。
8月30日	自動運転レベル4のバス、産業技術総合研究所が日立市で実証実験。LiDARなど先端8技術・センサー搭載。住民乗せた状態での遠隔運行。
9月5日	東陽テクニカ、世界初のマルチビーム方式のLiDARの販売開始。可動部分と回転機構の無い欧州のXenomatiX製「Xeno LiDAR」。
9月13日	オムロン オートモーティブエレクトロニクス、前方長距離用の3D- LiDAR製品を発表。
9月13日	オムロンの3D- LiDARが「NVIDIA DRIVE」に対応。
9月27日	パイオニア、MEMS ミラー方式「3D- LiDAR センサー」の提供を開始。計測距離が異なる3 種4 モデルを揃え、用途に応じた組み合わせが可能。
10月10日	パイオニア、自動運転車向けに開発を行っている走行空間センサー「3D- LiDAR」の説明会開催。
10月12日	【自動運転lab解説記事】LiDARのMEMSミラー方式とSolid State方式、特徴や違いを解説。 https://jidouten-lab.com/y_6506
10月18日	【CEATEC2018】パナソニック、メカレス式LiDARの試作機を公開。
10月18日	【CEATEC2018】京セラ、LiDAR/カメラセンサーをデモ。
10月18日	ネクステッジテクノロジー社、ADAS活用も想定した「USB 3Dカメラ」発表。ステレオビジョンで立体視。
10月19日	日本電産エリクスが車内に置けるミリ波レーダーを低損失導波路で実現。ビーム化で「LiDAR」にも、単眼カメラも一体。
10月19日	【専門家による予測】Appleの自動運転ユニットは一体型？ LiDAR含め単一ケースにすべて収まる「ポン付け」タイプと予測。
10月22日	Blackmore ドップラー効果を用いた対象物の速度も測定できるLiDARをデモ。
10月23日	サイバネットシステム、LiDAR設計に最適なシミュレーションソフト (正式版) の無償トライアルを提供。
10月23日	【自動運転lab解説記事】自動運転で画像センサーが重要なワケ。仕組みや役割を解説。 https://jidouten-lab.com/y-autonomous-cars-image-sensor
10月30日	パイオニアの3D- LiDARセンサー、ルネサスの車載情報システム用SoC「R-Car」に対応。
10月30日	古河AS、24GHz周辺監視レーダーの「次世代版」開発。自動運転実現を視野。

のだが、自動運転の車を開発している当事者でしかわからない部分が多いので、安易に評価・判断をすることができない。けれども無責任な傍観者としては、この社会状況は（不謹慎であるが）たいへん興味深い。技術論に関連して、個人の名前と行動、生い立ちまでがニュースに取り上げられている。以下、こんな人物が話題になっているという報告を行う。なお、個人的には、登場するどの人物もたいへん魅力的だと思っている。

ITDLab(株) 創業者の実吉敬二氏については「立体認識技術者、創業2年で6億円調達。自動運転向けステレオカメラ開発。」と2018年6月18日に報じられている。幸い当人による解説があり、技術内容を知ることができる。

浅田麻衣子レバトロン(株)社長については、「常識覆す…自動運転の目“LiDAR”に不要論 格安カメラの仕掛け人 レバトロン(株)が発表」と2018年6月18日に自動運転ラボ編集部により報道されている。車載カメラの画像情報処理について安価なAI技術を用いることで、LiDARを不要とする発表である。同氏については、社会人になった後に入学した大学在学中にペンネーム“深田萌絵”を用いた「株アイドル」として活動、現在はソフトウエア開発企業の社長となっているという情報が発信されている。

2018年6月3日の日曜日、朝日新聞の“The Asahi Shimbun GLOBE”に、若いイスラエル軍兵士の顔写真が登場した。イスラエルの企業、Mobileye社CEO、

Amnon Shashua氏の入隊当時、18歳の写真である。「天才」という報道、同社はイスラエル企業としては最高額で米インテル社に買収される。安いカメラを用いてもステレオカメラに勝つ情報処理技術。さらには2017年2月15日に「NVIDIA社の技術と比較して周回遅れ」と報道されるなど、ニュースになっている。

「神童と謳われた23歳Austin Russel氏」という報道も登場している。同氏がCEOであるLuminar Technology社は、光源波長1.55 μmの半導体レーザーを用いて高性能のLiDARを開発、また、Russel氏はこの発明研究のため、入学したばかりのスタンフォード大学を17歳で中退し、起業したと報じられている。

以上、個性的な人物が目立つ業界のニュースであるが、私にはこの状況が「映画前史」の状況と重なって見えてしまう。怪しい興行師から学会を主導する大学者まで登場する、映画技術の完成前の状況に似ているように見え、日々情報を集めている。

6. おわりに

車載用のLiDARを中心に、各社の取り組み状況に関する情報の収集・分析を試みた。作業開始前の目算とは大きく異なり、数多くの情報が流通している報告に留まってしまった。技術の変化が急速で、どの技術が生き残るのか簡単には判断ができない状況であり、部外者としてはその動向を見守っていききたい。なお、今の時点でしか

表6 略語と解説

3D-LiDAR : 距離を計測するLiDARの光束を2次元走査することで、奥行情報を加えた3Dデータを収集する。
4D-LiDAR : 3D-LiDARに時間軸を加えた計測技術であるが、対象物認識・判断に動き要素を加えたものとして技術発表が行われている。
ADAS : Advanced driver-assistance systems 先進運転支援システム
FMCW : Frequency Modulated Continuous Wave 周波数変調連続波技術。電波（光）としてパルスではなく周波数変調した連続波を用い、送信波と受信波をミキシングすることで距離検知を行う。
LiDAR : Light Detection and Ranging, Laser Imaging Detection and Ranging 直訳すると「光検出と測距」あるいは「レーザー画像検出と測距」であるが、光を用いたリモートセンシング技術の1つである。元々は、パルス光のレーザー光を望遠鏡などを介して大気中に照射して散乱光を測定し、遠距離にある対象までの距離やその対象の性質を分析するものである。表記としては“LiDAR”, “LiDAR”, “ライダー”, “ライダ”などバラバラである。軍用途にも用いられていたが、近年自動運転に必須なセンサーモジュールとして車載用のLiDARに注目が集まっている。
OPA : Optical Phased Array 光学フェーズドアレイ
SAE International : Society of Automotive Engineers International 米国の自動車・航空機関係の標準化団体。
TOF : Time of Flight レーザー、LEDなどの光源からの光が対象物に当たり、戻って来るまでの時間を測定することで、距離を計測する技術である。光源、光検出器、信号処理回路の技術が進展することで、実用域が広がった。

できない、ひとまとまりの情報を提供できたものと思う。光学系の構成だけとつても、技術史のウォッチャーとして興味深いものがあるので、別の機会にまとめてみたい。

最後に、本稿をまとめるにあたりご助言とご指導をいただいた鷺尾邦彦様に感謝いたします。

参考文献

- 1) 鷺尾邦彦, 車載LiDARの最新の動向, 月刊オプトロニクス, オプトロニクス社 (2017年2月) Web上でも全文が公開されている. <http://sensait.jp/281/>
- 2) 鷺尾邦彦, 車載用LiDARの世界動向, 「自動車へのレーザー応用最前線」講演資料, レーザー学会学術講演会 第38回年次大会シンポジウム1 (2018年1月24日発表)
- 3) 桑山哲郎, 人の奥行き知覚と車載測距装置の特性比較, 第149回微小光学研究会講演資料 (2018年9月5日発表)
- 4) 林幸雄, 阿部義徳, (パイオニア), 「レーザー射出装置, 制御方法およびプログラム」, 特許公開2018-44853号, 2016年9月14日出願, 2018年3月22日公開
- 5) JASO TP 18004:2018 「自動車用運転自動化システムのレベル分類及び定義」(2018年2月1日制定) 自動車技術会のサイトより全文入手可能 <http://www.jsae.or.jp>
- 6) Kazutoshi Kitano, U.S. Patent 2018/0252812 A1, "Information Processing Device, Information Processing Method and Program", Pub. Date : September,6,2018 (パイオニア)