

つまり車両の自動化とスマート化は、人間と車両の間の相互作用の在り方を大きく変えようとしている。自動運転のためのエクステリアセンサーの研究開発が行われる一方で、インテリアセンサーの必要性の高まりにより、車両の設計思想において、各センサーはインタラクティブな要素として組み込まれるようになってきている。LiDARの発展も当然、この相関性の中において、はじめてその役割が付与されることになる。

## 2. LiDAR製品の広がりや低コスト化の動向

### 2.1 LiDAR製品の系譜

車載LiDARの黎明期については前述した通りで、Velodyne Lidar社のメカニカル式LiDARが一世を風靡した。メカニカル方式は構造がかさばる傾向にあり、第1世代として位置付けられる。その一方でメカニカル方式は産業、物流、自動清掃等の車両用途で採用されており、乗用車等で想定される複雑な運転シーンを除外し、むしろ自動運転車であることを周囲が認知・配慮する環境下において、360度センシングできる点で重宝される傾向にある(図1-16)。



SureStar (2021). Mechanical lidar can still be applied to many fields, Retrieved 2022, December 25, from <https://www.isurestar.net/news/mechanical-lidar-can-still-be-applied-to-many-fields.html>

図1-16 メカニカル式LiDARを搭載した無人物流車両

その後、大がかりな回転機構を用いないMEMS方式にLiDARのトレンドは移っていった。MEMSは企業のみならず、アカデミック(大学)でも古くからの研究対象であり、アプリケーション先の一つとして、車載用途は大きなモチベーションでもあった。事実、MEMS駆動のスキャンシステムを応用した車載LiDARを各社が開発した(第2世代と本稿では定義)。

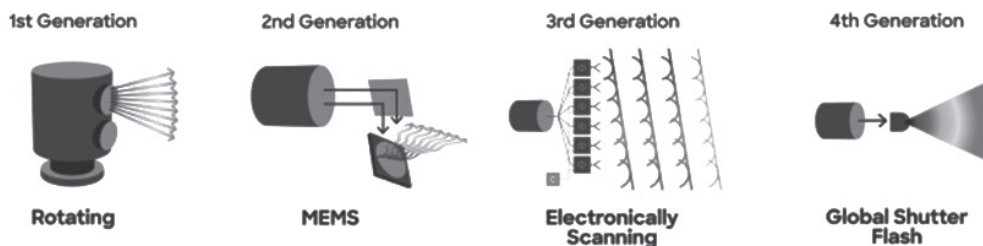
一方、メカニカル方式と同様、MEMS方式でも回転機構における動きが安全性や性能にマイナスの影響を与える可能性があることが指摘された。MEMS方式は後述するように方式

によって特性が異なる。さらに角度分解能を実現するために厳しい公差が要求されるため、MEMSは振動や衝撃、温度条件等において厳しい要件を課される。

そこで第3世代のLiDARにおいては、ソリッドステート型のLiDARが台頭してきた。これらのシステムは、電子デバイスを使用して、機械的な動きを伴わずにレーザービームを制御する。例えば光フェーズドアレイ(OPA)やフラッシュ方式等が模索された。

さらに、第4世代としてはソリッドステート型をさらに進化させたものとして、グローバルシャッター等のカメラ技術を応用した次世代型フラッシュLiDARが出てきている。例えばOuster社に買収されたSense Photonics社ではグローバルシャッターLiDARとして、200 mレンジのLiDARを開発している(分散型VCSEL技術も応用)。

### The 4 Generations of Lidar



超光 (2021, August 29), 光学新聞 20210829, Ouster 就收购竞争对手Sense Photonics 展开会谈, Retrieved 2023, March 25, from <https://faster-than-light.net/OpticsNews20210829/>

図1-17 Sense Photonics社のGlobal Shutter Flash LiDAR(カラーの図は巻頭ページに掲載)

## 2.2 コスト

LiDARのコストは大きく下がってきているものの、カメラやミリ波レーダー等と比べると高い水準にある。特にLiDARは光電子システムに関わるコスト比率が高いといわれている(図1-18)。

※光電子システムは典型的に投光モジュール、受光モジュール、変換モジュール、制御モジュール等で構成されており、これらの中でも投光モジュール、受光モジュールの占める割合が大きい。

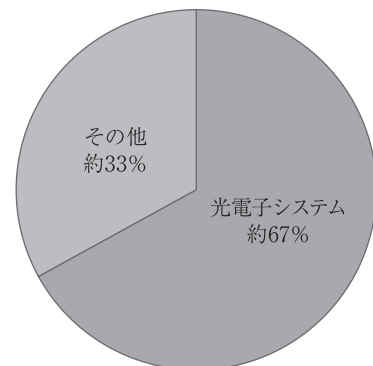


図1-18 LiDARのコスト比率の概要

### 2.3 LiDAR車載採用例および搭載レイアウト






LiDARは中国OEMだけではなく、Volvo Car社や日産自動車社でも標準搭載化する動きとなっており、乗用車への搭載は今後さらに増えていくことが見込まれる。また、LiDARのコストは依然として課題としてあるが、従来はコスト的に1つの車両につき1個しか搭載できなかったものが、現在では複数個搭載することも珍しくなくなっている(図1-21)。

OEM	車種	LiDAR企業	LiDAR (数/台)	カメラ数 (数/台)	超音波 (数/台)	レーダー (数/台)
Aion	LX PLUS	RoboSense	3	12	12	6
北京汽車集団	極狐αS	HUAWEI	3	13	12	6
小鵬汽車	P5	Livox	2	13	12	5
NIO	ET7	Innovusion	1	11	12	5
BMW	iX	Innoviz	1	10	12	5
Lucid Motors	Air	RoboSense	1	14	12	5
Li Auto	L9	HESAI	1	12	12	5
	Nvidia sensor set	Luminar	1	12	12	9

図1-21 LiDAR車載採用例と各種センサーの搭載個数例

車載向けとしてLiDARの開発を始めたスタートアップ企業およびLivox社やHUAWEI社のような従来自動車向けセンサー部品を手掛けてこなかった企業が、車載LiDAR市場でプレゼンスを高めていることは前述した。伝統的なTier 1はこうした企業に出資や技術サポートを行うケースが多く、自動車のセンサーシステムの一つとしてLiDARを統合していくことがTier 1の命題になっているといつてよい。

なお、LiDARの搭載場所は現状ではフロントウィンドウ上部が主流となっている(図1-22)。

OEM Model	NIO ET7	Li Auto L9	小鹏汽车 G9	Aion LX PLUS	飛凡汽车 R7
LiDAR Supplier	Innovusion	HESAI	RoboSense	RoboSense	Luminar
LiDAR	Falcon	AT128	M1	M1	Iris
LiDAR搭載数/車	1	1	2	3	1
Image					
Light Source	1,550 nm	905 nm	905 nm	905 nm	1,550 nm
上市時期	2022年3月	2022年8月	2022年9月	2022年下半年	2022年下半年

作成：沖為工作室(画像は各社から引用)

NIO, <https://www.nio.com/et7>

Li Auto, <https://www.lixiang.com/L9#L9>

小鹏汽车, <https://hexypeng.com/g9>

Aion, [https://www.aion.com.cn/vehicles/aion\\_lx\\_plus](https://www.aion.com.cn/vehicles/aion_lx_plus)

飛凡汽车, <https://www.risingauto.com/r7/>

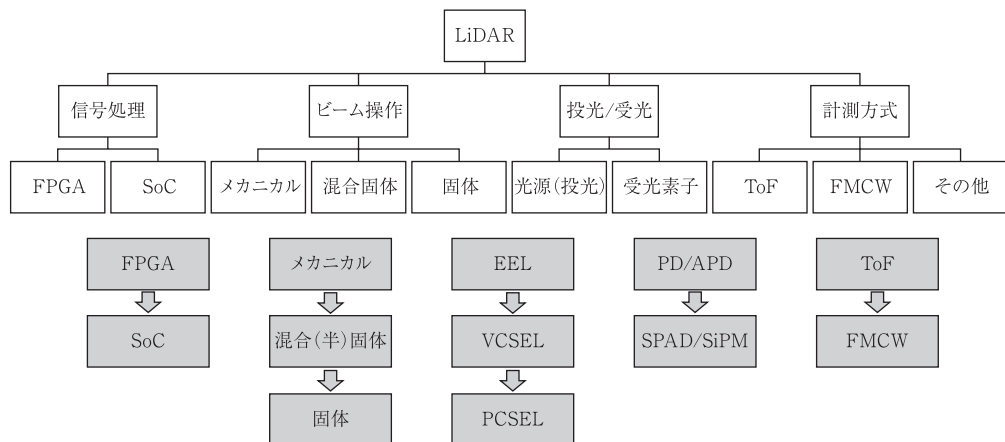
図 1-22 LiDAR 搭載数と搭載場所の傾向

## 1. LiDARの仕組みと要素技術概要

LiDARは、Light Detection and RangingあるいはLaser Imaging Detection and Ranging(光による検知と測距)の略であり、典型的には、近赤外光や可視光、紫外線を用いて対象物に光を照射し、その反射光を光センサーで捉え距離を測定する方式を指す。離れた位置からセンサーを使って感知するリモートセンシングであり、3次元点群データを高密度に取得することで位置の測定が可能になる。

LiDARは、自律走行車における前方の対象物の検知および距離の測定を目的として使われる光学技術であり、多くの自動車関連企業がLiDARシステムの開発に取り組んでおり、先進運転支援システム(ADAS)向けとして採用が進められている。そして、多くの自動車メーカーにとって、LiDARを付けるかどうかの問題ではなく、何個付けることができるかが関心事になってきている。

LiDARのシステムは大きく信号処理、ビーム操作、投光/受光、計測方式に分かれ、各々のエレメントで技術的な進展が見られている。



一次調査、二次調査を基に沖為工作室が分析・作成

図2-1 LiDARを構成する要素技術

### 1.1 信号処理

現在、LiDARの信号処理等で用いられる(半導体)チップは主にFPGA(Field-Programmable Gate Array)とASIC(Application Specific Integrated Circuit)に分けられるが、高速演算性や拡張性でプログラマブルなFPGAの採用がトレンドになっている。一方、半導体業界では昨年、

1つのチップ上に各種素子を実装し、1つの統合されたシステムを構築するSoC(System on a Chip)化が進んでおり、これはLiDARでも試みられている。例えばこのようなLiDAR SoCはフォトニック集積回路とも呼ばれ、今後のLiDARの小型化やコストダウンで重要なテーマとなっている。

## 1.2 ビーム操作

LiDAR市場は現在、Velodyne Lidar社のようなパイオニア企業から、Valeo社のようなTier 1、Luminar社、Innovusion社、Innoviz Technology社等のスタートアップまで、多くの企業が参入しており、ビーム操作の方式もメカニカルから回転ミラー、プリズム、MEMS、フラッシュ、OPA(Optical Phased Array)等、多様化しており、その分類も複雑化している。特に混合(半)固体タイプは、回転ミラーやプリズム等の光学技術をデバイスの小型化のために応用するアプローチで全固体LiDARまでの橋渡しの技術として、近年台頭してきている(図2-2)。

分類	メカニカル	混合(半)固体			固体	
Sub分類	-	回転ミラー	プリズム	MEMS	Flash	OPA
測定距離	中・長	中・長	中・長	中・長	近	中・長
体積	大	小	小	小	小	最小
コスト	高	中	中	中	中	低 (現状、高)
技術成熟度	高	中	中	中	中	低
LiDARユニット 1個あたりの 概算価格	約3,000 USD~	約500~ 1,200 USD	約800 USD	約500~ 1,000 USD 固体式に 分類される ことも	約600 USD	200 USD 以下?

一次調査、二次調査を基に沖為工作室が分析・作成

図2-2 LiDARの(ビーム操作)分類別特性

## 1.3 光源(投光)

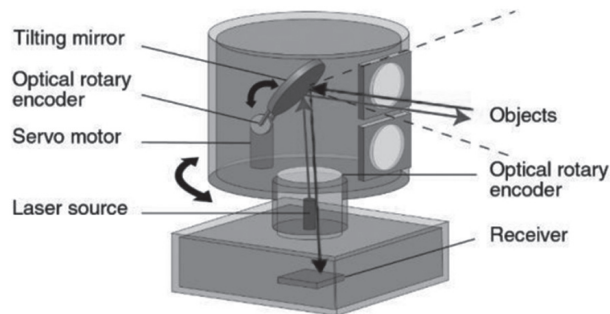
光源(投光)に使用されるレーザーは、主に端面発光レーザー(EEL: Edge Emitting Lasers)と垂直共振器面発光レーザー(VCSEL)の2種類がある。EELはVCSELに比べて低コストで出力効率が高いため、従来はEELが広く使われてきたが、パッケージングやアレイ化が難しく、

一方、将来の方向性として、半導体製造技術の応用(CMOSプロセスや光集積回路技術等)によるチップ統合、そしてマルチラインLiDARの小型化がある。

## 2. 各ビーム操作方式の開発トレンド

### 2.1 メカニカル

メカニカル方式のLiDARは、レーザー光を発信させるエミッター部分と反射光を検出するモジュールで構成される。レーザー光発信部と受光部のヘッドユニットが水平方向に360度回転するため、機構としては大がかりとなり、構造的にかさばる傾向にある(図2-16)。一方で技術的には成熟しており、例えば1個のLiDARでも安全性の要件を満たすような、ロボット・低速車両向け(ロボットタクシーや物流車両等)で用いられる傾向にある(図2-17)。



SureStar (2021), Structural principle of mechanical lidar, Retrieved 2022, December 28, from <https://www.isurestar.net/news/mechanical-lidar-can-still-be-applied-to-many-fields.html>

図2-16 メカニカルLiDARの構造例



SureStar (2021), Structural principle of mechanical lidar, Retrieved 2022, December 28, from <https://www.isurestar.net/news/mechanical-lidar-can-still-be-applied-to-many-fields.html>

図2-17 SureStar社のメカニカルLiDAR(R-Fans)を搭載した無人シャトル車両

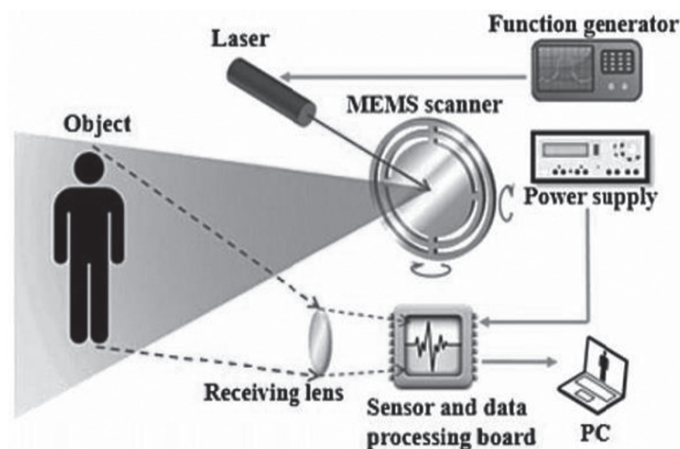
※メカニカル方式のメリットとしては、360度回転させることができ、周辺環境の包括的なスキャンが可能になること等が挙げられる。また、走査速度が速く、光の干渉にも強いといったメリットもある。メカニカル方式のLiDARはVelodyne Lidar社をはじめ、Hesai Technology社、SureStar社等が開発している。

メカニカル方式の構造上、LiDARの分解能は筐体に組み込むレーザーの数や検出器の数によっても決まるため、性能がよくなるほど、価格は当然に高くなる傾向にある。また、大がかりな回転機構を伴うため、振動や衝撃によるブレや故障等のリスクがあることがデメリットとなっている。

一方でメカニカル方式のLiDARはLiDAR方式の中でも成熟した技術であり、導入初期と比較するとコストも下がってきている。一般的な乗用車市場では残念ながら特徴のあるLiDAR外観のため、車のデザインに組み込むことは難しい(当然、人の好みによる)ものの、前述したようにロボット・低速車両向けでは広く採用されている。

## 2.2 MEMS

MEMS(Micro Electro Mechanical Systems) LiDARはメカニカル方式の進化版として、現在、LiDARで広く採用されている。MEMS LiDARは、メカニカル方式と比較すると、レーザー送受信器の大幅な小型化が可能となる。MEMSミラーがコア部品であり、MEMSミラーを回転させ、レーザー光を反射させて走査を行う(図2-18)。MEMS技術は車載圧力センサーや自動車用照明でもすでに用いられている技術であり、相対的に自動車の要件にも組み込みやすい技術として捉えられる。



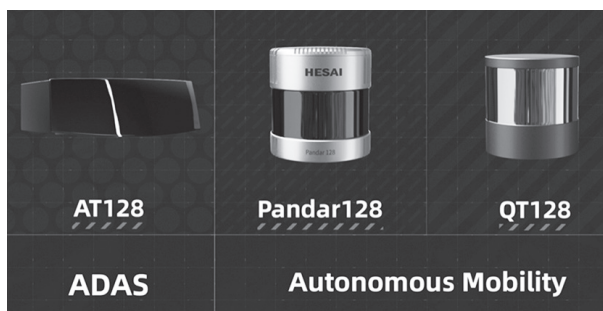
Xight (2021), Technology. Retrieved 2022, December 29, from <http://www.xight.ai/>

図2-18 MEMS スキャナーのシステム概要



## 7. HESAI Technology社

2014年に中国・上海で設立されたHESAI Technology社は、自律走行および先進運転支援(ADAS)用LiDARのグローバルプレイヤーである。同社はウェアハレベルからLiDARの開発を行っており、輸入品だけに依存せず、プロセスを統合しながら製品開発を行い継続的なコストダウンを試みている。図3-19に同社の製品の写真を示す。



HESAI Technology (2022), Empower Robotics | Elevate Lives, Retrieved 2022, December 31, from <https://www.hesaitech.com/en>

図3-19 HESAI Technology社の主なLiDAR製品

2020年にBOSCH社らが主導したシリーズCで1億7,300万ドルを調達した。2021年はXiaomi社も同社に投資(シリーズD資金調達ラウンドで、3億ドル以上調達)している。さらに同年11月には再びXiaomi社から資金を調達しており、Xiaomi社とは結びつきが強い。中国の自動車業界はNEV市場の台頭とともに家電メーカーの参入が相次いでおり、LiDAR企業にとってはチャンスになっている(例えばXiaomi社のようなAIやデジタル技術も持っている企業は統合型のスマート技術ソリューションをEVで展開しようとしており、こうした企業の参入が増えていくことで、中国自動車市場のサプライチェーンの構造はよりソフトウェア志向が強いのになっている)。図3-20はXiaomi社の自動運転テスト車両の写真である。ルーフトップにHESAI Technology社のものと見られるLiDARが搭載されている。



Digitimes (2022, September 8), Xiaomi to reportedly adopt Hesai LiDAR for first autonomous EV, Retrieved 2022, December 31, from <https://www.digitimes.com/news/a20220907PD202/autonomous-driving-xiaomi.html&amp;chid=10>

図3-20 Xiaomi社の自動運転テストの様子

2022年にはHESAI Technology社の主力LiDAR製品であるAT128の量産車への投入が始まっており、例えばLi Auto社のL9にAT128が搭載されている(図3-21)。

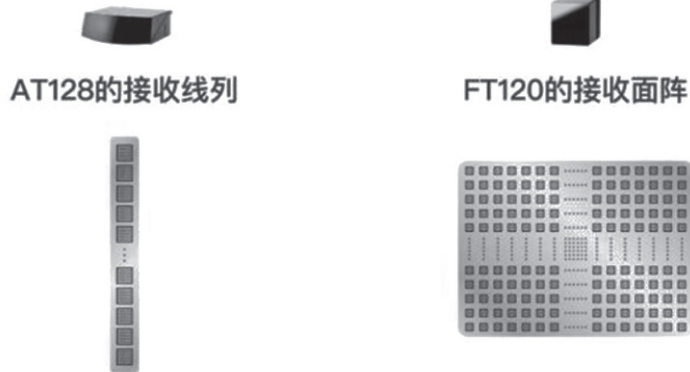


HESAI Technology (2022, June 27), The Secret Behind Li Auto L9's Intelligent Driving – Hesai AT128 Lidar, Retrieved 2022, December 31, from <https://www.hesaitech.com/the-secret-behind-li-auto-l9s-intelligent-driving-hesai-at128-lidar/>

図3-21 HESAI Technology社のAT128を搭載するLi Auto社のL9

HESAI Technology社は従来、上海汽車集団社、BOSCH社、WeRide社をはじめ、幅広い顧客層に対し、採用を進めており、特にContinental社やAptiv社等のグローバルTier 1とも広範囲な提携を積極的に模索している。結果としてAT128の採用は増えており、海外市場におけるシェア拡大も目指している。

同社は2022年11月には純固体LiDARとなる「FT120」を発表した(図3-22)。これは短距離用途(Near-Range Blind Spot LiDAR)でFlash型のLiDARとなる。



由128个激光接收通道构成的线列

由数万个激光接收器构成的面阵

eMedia Asia (2022, November 28), 长安汽车采用禾赛科技AT128车规级超高清激光雷达, Retrieved 2022, December 31, from <https://www.eet-china.com/mp/a178891.html>

図3-22 AT128と新LiDAR「FT120」(推測含む)

※ AT128は長距離用(200 m@10%)であり, 128個のレーザーを集積する構造を持つ。典型的にはLi Auto社のL9への搭載のようにフロントウィンドウ上部に取り付けられる。一方, 「FT120」はFlash LiDARで行ごと(列)にスキャンしていくローリングシャッター方式と推測される。

HESAI Technology社の年産100万台を誇る工場「Maxwell」は, 2022年に稼働開始(2023年に本格稼働)しており, 需要増に備えている。Velodyne Lidar社から訴訟を起こされたものの, 先進技術に対する理解度と, それを分解・再構築してコストを下げる技術は中国LiDAR企業の中でも際立っている。また, AI技術の取り込みも提携戦略も利用しながら積極的に行われており, 市場における優位性は高い。急成長してきているが, 先行投資による累積損失も大きくなっていった過去があり, 付加価値を付けて稼げる体質になれるかが鍵を握っている。

## 8. Livox社

Livox社が2年以上かけて開発した「Livox HAP LiDAR」は, インテリジェント運転支援システム用に設計された同社初の車載グレードLiDARとなる。元々はDJI社の社内企業支援メカニズムを基に創設された独立企業であり, DJI社の深い技術知識に支えられている企業として理解されている。しかし米中摩擦の影響もあり, Livox社側からは両社の関係性については積極的には発信していないといわれている。

一方でDJI社出身ブランドとしても理解されているがゆえに, 一定のLiDAR技術を有して

いると考えられていること、コスト競争力や大量生産ノウハウも有しているので、OEMメーカーとしても品質やコスト面で条件が合えば採用しやすい企業になっている。

Livox社は2020年10月に近距離検知向けLiDAR「Mid-70」と、長距離向けLiDAR「Avia」のリリースを発表している。また、同年12月には小鹏汽車(Xpeng Motors)社との提携を発表している。「Xpeng P5」には、回転ミラー式半固体LiDARの一種であるHAP LiDARが2つ装備される(図3-23)。

HAP LiDARは、自動運転のための意思決定データの主要な情報ソースではなく、車両の安全性を維持させるための補足データの取得を主な目的としている。すでに小鹏汽車社はミリ波やカメラ等のセンサーソリューションをシステムに組み込んでおり、Livox社のLiDARは冗長性を高めるために使用される。



The Xpeng P5 equipped with Livox HAP

Livox (2022, July 11). The preferred choice by Xpeng P5 is extending its reach to spatial intelligence developers worldwide. Retrieved 2022, December 31, from <https://www.livoxtech.com/jp/showcase/4>

### 図3-23 Livox社のHAP LiDARのXpeng P5への搭載

※Livox社のHAP LiDARはXpeng P5に採用される自動運転システムXPILOT 3.5のセンサー群に含まれている。自動運転システムXPILOT 3.5には2個のLiDARユニットの他、12個の超音波センサー、5台のミリ波レーダー、13個の高解像度カメラ等が搭載されている(フォトダイオードは浜松ホトニクス社製)。

Livox社のLiDARが既存の安全システムを補完する冗長的な使われ方で採用が進められているのは、必ずしも検出距離の長さが(絶対的な)採用基準にならなくなっている市場の変化に同社が応えた結果である。