

White Paper : 3D-TOF センサー用ドット照明光学素子

1. Introduction

3D センシング技術は、深度（距離情報）を画像データとして取得する技術です。近年、図1に示すように、3D センシング技術は、工業用計測に加え、高い分解能を必要とする顔認証から自動運転やドローンに搭載されるシステム等様々な応用に広がろうとしています。

3D センシング技術の中でも、対象物に対し光を照射したタイミング、対象物からの反射光を受光するタイミングのずれを計測し距離を測長する手法を Time of Flight (TOF) センシングといいます。

ここで取り上げる TOF センシング向けのドット照明光学素子は、同素子を透過した光が対象物体にドット状のパターン光を照射するための光学素子で、主として比較的長距離の物体の距離検知に用いられます。以下にその特徴的な光学性能と応用について説明します。

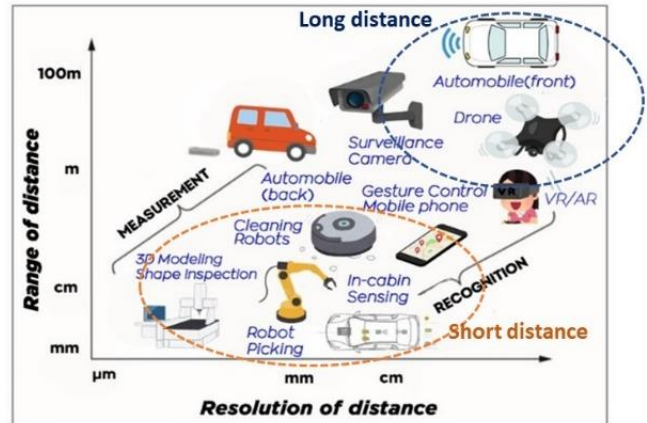


図1 3Dセンシングの測定距離、分解能と応用分野

2. Diffuser and Dot illuminator

図2に TOF システムに(a)拡散照明光学素子を用いたシステムと(b)ドット照明光学素子照明を用いたシステムを示します。

面発光レーザー (VCSEL) から発光したパルス光が拡散照明光学素子を透過した場合、測定したい領域には、連続的な拡散光が照射されます。一方ドット照明光学素子を透過した場合はマトリックス状に配置された複数のドットが測定領域に照射されます。いずれも受光部では被写体から反射した光を受光カメラで検知し、反射光の遅れから被写体の距離を算出しますが両者は以下のような特徴があります。

拡散光、対象物に連続的に分布する拡散光を照射するため、照射面内において高い分解能で深度情報を取得できます。しかし対象物の距離が離れると単位面内に照射される光量は低下するので、精度よく測れる距離は近距離に限られることとなります。一方、ドット照明の場合、隣接するドット間の距離によって面内の分解能は制限されます。一方、光が点に絞られるため遠距離でも光の強度は維持されるため、限られた光源の電力で比較的遠方対象物の距離を計測することが可能になります。

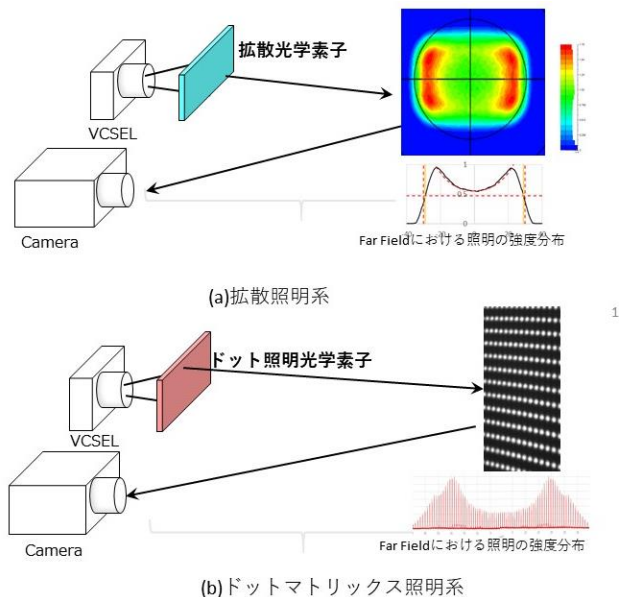


図2 拡散照明とドットマトリックス照明を用いたTOFシステム

3. Challenges of conventional DOE

レーザー光を透過させドットのパターン光を発生させる素子として広く使用されているのが回折光学素子 (DOE) です。DOE はプラスチックやガラスなどの透明体に凹凸パターンを形成し、入射光の波面に位相差分布を発生させ、それによって生じる回折により複数ドット照射を実現するものです。DOE の一つの課題は光源に面発光レーザー (VCSEL) を使用した場合、光源から出た光をコリメータレンズによって平行光に補正する必要があります。光源と DOE の間にコリメータレンズを挿入することは、光源モジュールを厚さの増大やコストの増大につながります。

また後の章での詳述するように、ドットマトリックスの配置の自由度や照射光の配光分布の自由度などに制限があるという課題もあります。

4. Solutions

上記のような課題を解決するため、SCIVAX は光の屈折と回折の双方の性質を利用したドット照明光学素子 Ardisia™を開発しました。以下従来の DOE と比較して Ardisia™の特長について説明します。図3は従来の DOE と Ardisia™を用いてドット照明モジュールを組み立てた際の構成を比較したものです。Ardisia™の最も特長的なことは、従来の DOE のモジュールと異なり、光源からの光をコリメータレンズを介することなく直接素子に照射してドットを形成できるという点です。このように構成をシンプルにできるため、モジュールの厚さを低減でき、またコスト削減にも繋がります。

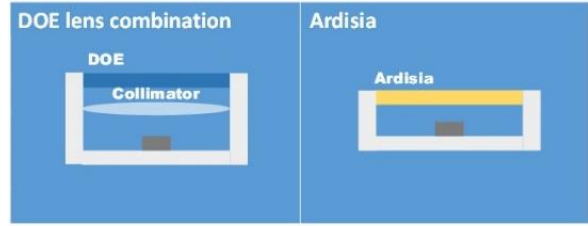


図3 DOEと“Ardisia”のモジュールの構成

図4には照射ドットの数と VCSEL 光源の関係を示したものです。シングルエミッタの光源を使った時に9個の回折点が出る DOE に16個の発光部を持つマルチエミッタ VCSEL を使った場合、それぞれの回折次数に対しエミッタの数だけのドットが照射されます。すなわち、ドット数は VCSEL 上のエミッタ数が増加すれば比例して増加することになります。

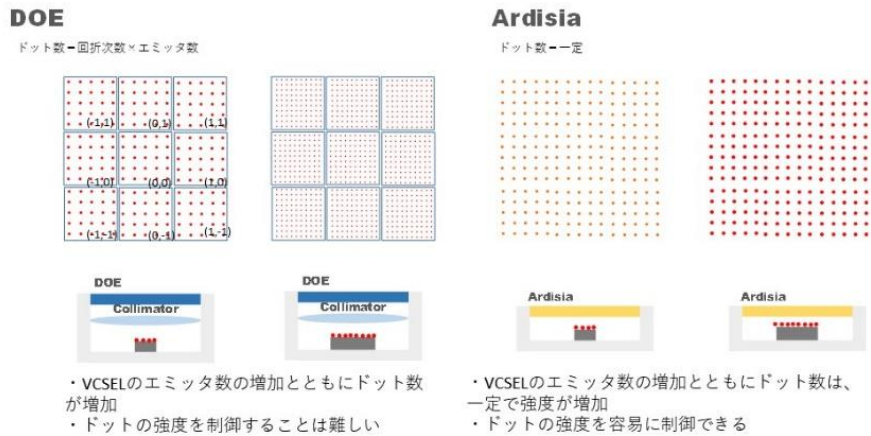


図4 照射ドットの数とマルチエミッタのVCSEL光源のレーザーダイオードの数の関係

一方 Ardisia™を用いた場合、照射ドット数は素子の構造により決まり、VCSEL のエミッタ数に依存しません。エミッタ数を増加させた場合、照射ドット数は変化しない反面、照射されるドットの強度がエミッタ数に比例して増強されることとなります。このことで、ドットの配置と強度の設計を非常に容易にすることができます。

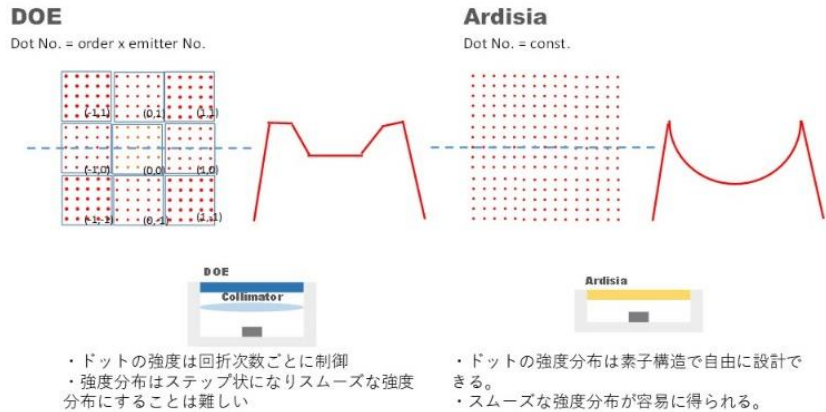


図5 ドットの配光強度分布の制御性

図5には、ドットの配光強度分布の制御性について DOE と Ardisia™の比較を示します。DOE の場合、シングルエミッタで回折点が出た9個の場合、強度の調整は最大で9段階に限られます。このためマルチエミッタの VCSEL を使用した際にも配光強度は同様に限られた数の階段状の分布になります。一方 Ardisia™は配光強度を自由に設計することができるため、スムーズな分布を実現できます。このため対象物から反射して戻った信号の強度が受光センサーのはいる視野角 θ に依存しないための配向強度分布である $\cos^7 \theta$ に比例するような設計も容易となります。

5. Products Info

表1に Ardisia™の特長をまとめて示します。前節までに説明した特長に加えて、100°以上の広角の FOI が得られること、0次光の透過を完全に抑えられる等の優れた性質を有しています。Ardisia™はお客様の要求される FOI、ドット数、配光強度分布等に合わせて最適設計したカスタム製品としてご提供いたします。

6. Conclusion

以上のように Ardisia™は、3D センサー用ドット照明光学素子として、特に離れた距離の物体の計測に適した製品です。シンプルでコンパクトな構造と高い性能、お客様の要求仕様に合わせた柔軟な設計が可能なることから、車、ドローンなどに加え電力消費に厳しい制約があるスマホやARグラスなどのモバイル機器にも適用が期待されます。また拡散照明用の Platanus™との組み合わせでより多彩な機能を実現できると考えられます。

表 1 DOEと Ardisia™の比較

	DOE	Ardisia™
光学部品数	2個 (DOE + コリメターレンズ)	1個
Max FOI	100 deg	>100deg
モジュール厚	>3 mm	<3mm
光利用効率	~65% (コリメターレンズに依存)	~65%
ドット数	回折次数×エミッタ数	エミッタ数に依存しない
ドットの明るさ制御	レンジに制限	広いレンジで制御可能
配光強度分布制御性	ステップ状プロファイル	スムーズなプロファイル
ドットの配置	周期的配列もランダム可能	周期的配列
ゼロ次光	完全には消せない	完全に除去可能
コスト	高	低