

「DM-PCSEL」光源で 3Dライダシステムの小型化を実現

サリー・コール・ジョンソン

チップ型光源を使用すると、スキャニングライダと3Dフラッシュライダを組み合わせることができる。これにより、機械式の可動部品や大型の外部光学素子が不要になる。

日本政府が目指す未来のスマート社会である Society 5.0の時代には、スマートモビリティ、すなわちロボットや車両の自律走行が不可欠である。そして、スマートモビリティの実現においては、周囲の物体の位置や距離を検出し、「目」として機能するセンサ、すなわち、ライダ(LiDAR: light detection and ranging)システムが大きな役割を担う。

ライダシステムは、物体にレーザービームを照射し、ビームのToF(飛行時間)を測定することでその対象物の距離を

計算する。ToFとは、光がこれらの物体に到達して反射され、ライダシステムに戻るまでに所要する時間を指す。

「現在開発中のライダシステムは、機械式ビームスキャン型が主流である」と、京都大工学部電気電子工学科および附属光・電子理工学教育研究センターの野田進教授は言う。「ビームをスキャンする際に、モーターなどの可動部品に頼っているため、システムが非常に大型かつ高価で、信頼性が低いなどの問題がある。このような問題を克服するためには、非機械式ライダシス

テムを開発することが非常に重要となるのだ」。

非機械式ライダシステムの1つであるフラッシュライダ(図1a)は、視野内のすべての物体の距離を、広範囲に拡散した光ビームで同時に照射して測定するため、完全な3次元(3D)イメージを瞬時に撮影できる。

しかし、フラッシュライダシステムには重大な技術的制限があり、黒メタリック色の車のように反射率の低い物体は、反射される光量が非常に少ないため、距離を測定できない。また、フ

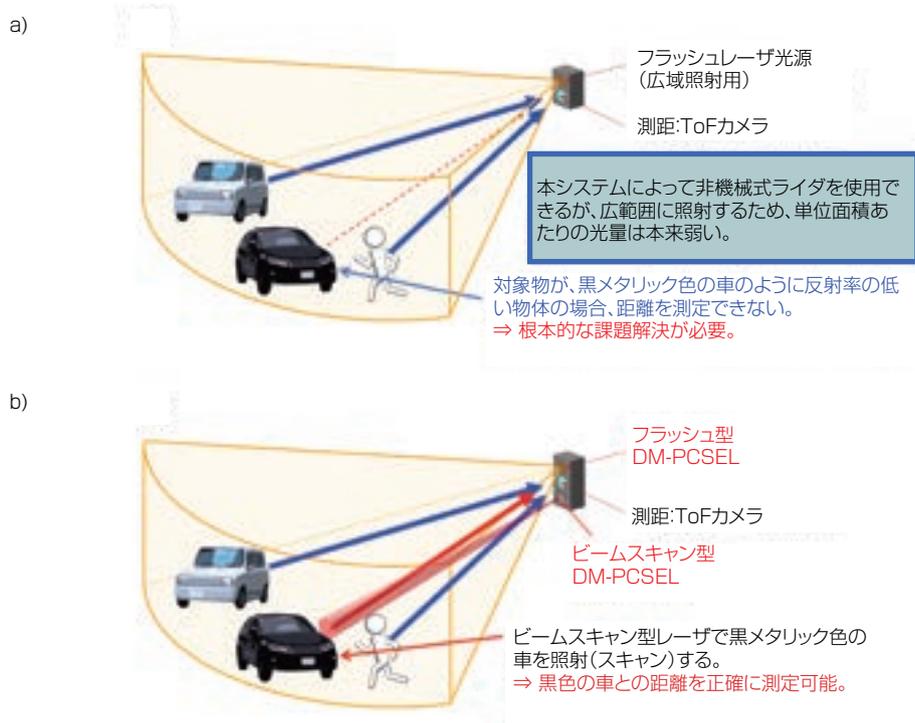


図1 従来のフラッシュライダシステムは、フラッシュレーザー光源とToF(飛行時間)カメラで構成され、距離を測定するものである。しかし、反射光が少ないため、視野内の反射率の低い物体の測定が困難である(a)。野田教授の研究チームは、DM-PCSELベースのフラッシュレーザー光源とビームスキャン光源を組み合わせた、新しいライダシステムを開発し、反射率の低い物体を照射し、距離を測定する。パターン認識を導入すると、反射率の低い物体の距離を自動的に測定できる(b)(画像提供:京都大 野田進教授)

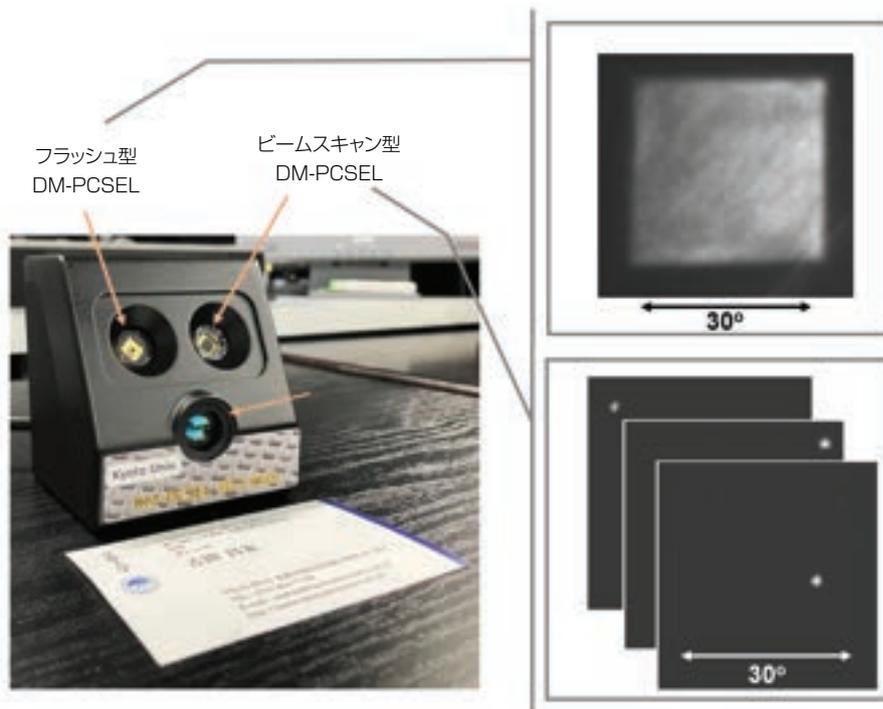


図2 DM-PCSELベースのフラッシュレーザー光源とビームスキャン光源を組み合わせた研究チームの新しい非機械式3Dライダシステムは、わずか名刺ほどのサイズだ(画像提供:京都大野田進教授)

ラッシュビームを取得するためには、レンズや回折光学素子などの外部光学素子が必要である。そのため、同システムは非常に大型にならざるを得ないという別の重大な制限もある。

「機械式ビームスキャンライダシステムにも、フラッシュライダシステムにも、それぞれこのような技術的制限が問題になっており、このことが解決策を見出す研究のきっかけとなった」と、野田教授は語る。

DM-PCSEL

このようなライダの重大な制限に対処するため、野田教授が率いる光量子電子工学分野の研究チームは、小型3Dライダシステムに使用する新しいタイプの光源を開発した。この光源は、「DM-PCSEL(二重変調フォトニック結晶面発光レーザー)」と呼ばれる。

「DM-PCSELを使用すれば、フラッシュ照射だけでなく、電子制御による2次元(2D)ビームスキャン照射(より高

密度なレーザービームのスキャン照射)も、大型な可動部品や外部光学素子に頼らずに実現できる」と同教授は言う。

研究チームは、このDM-PCSELを3Dライダシステムに搭載し、広範囲にフラッシュ照射して多数の物体の距離を一度に測定できるようにするとともに、反射率の低い物体を検出した際は、より高密度な光ビームを選択的に照射して測定できるようにした(図1b)。

「ソフトウェアと電子制御を組み合わせることで、ビームスキャン照射により、反射率の低い物体の動きを自動的に追跡できる」と野田教授は言う。「DM-PCSELベースの当3Dライダシステムでは、反射率の高い物体だけでなく、反射率の低い物体も同時に測距できる」。

つまり、研究者たちは、非機械式3Dライダという新しい概念を確立し、Society 5.0時代のスマートモビリティの実現に貢献できると考えている。

「当研究は、日本の国家プロジェク

トである『戦略的創造研究推進事業』と、『戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)』の『光・量子を活用したSociety 5.0実現化技術』のもとで進めており、Society 5.0の実現に貢献している」と、野田教授は述べる。

ライダシステムの統合

同チームは2種類のDM-PCSELを開発した。1つはフラッシュ照射用の広範囲に拡散した光ビームを出力するもので、もう1つはビームスキャン照射用の高密度な光ビームを重点的に出力するものである。

このため、「両方の光源を単一の3Dライダシステムに搭載し、広範囲にフラッシュ照射して多数の物体の距離を一度に測定できるようにするとともに、カメライメージングで検出した反射率の低い物体の距離を、選択的に測定できるようにした(図1b)」と、野田教授は説明する。

フラッシュ型とビームスキャン型の

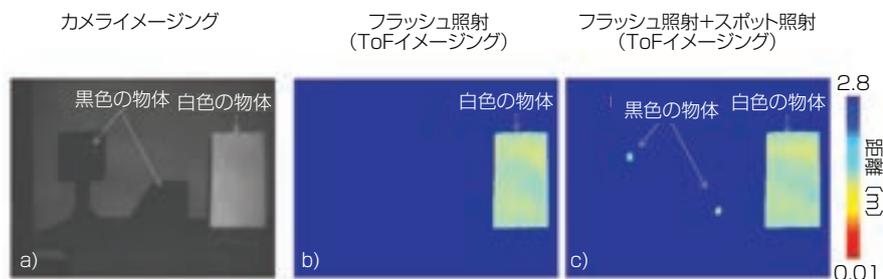


図3 本カメライメージングには、距離測定用として、反射率の高い白色の物体1点と、反射率の低い黒色の物体2点が映っている(a)。野田教授チームのフラッシュレーザー光源のみを使用するライダシステムで測定した場合、黒色の物体の距離が測定できないことを示している(b)。チームの新しいライダシステムでは、フラッシュレーザー光源とビームスキャンレーザー光源を併用して測定するため、黒色の物体と白色の物体の距離を同時に推定できる(c) (画像提供：京都大学 野田進教授)

両DM-PCSELを搭載した3Dライダシステムの写真(図2)に映るのは、フラッシュ型DM-PCSELが30°×30°の広範な視野を照射し、一方で、ビームスキャン型DM-PCSELが100本の細いレーザービーム(単一ビームの広がり角は1°未満)を選択して小さなスポットを照射している様子である。

ToF距離は、システムの底部付近に搭載されたToFカメラで撮影して測定する。「これらのレーザー、ToFカメラ、システム操作に必要なすべての関連部品一式がコンパクトに組み込まれており、システム全体の占有サイズは、名刺よりも小さいものだ」と、野田教授は言う。

同チームの3Dライダの仕組みを理解するために、次のようなシナリオを想像されたい。「まず、図3aの白黒イメージングのように、カメラの視野内に、反射率の高い白色の物体1点と、反射率の低い黒色の物体2点が同時に存在すると仮定する」と、野田教授は解説する。「フラッシュレーザー光源のみでこれらの物体の距離を測定しようとすると、図3bの距離イメージングのように、白色の物体の距離しか測定でき

ず、黒色の物体は、同物体からの反射光量が少ないため、距離が測定できない。しかし、図3aの白黒イメージングをそのまま見れば、この黒色の物体の存在は簡単に認識できる」。

そこで、ビームスキャンレーザー光源をオンにして、フラッシュレーザー光源よりも高密度な光ビームでこれらの物体を照射する。そうすると、同物体から十分な光量が反射され、白色・黒色すべての物体の距離が測定可能になる(図3cおよび <https://youtu.be/IJQeI451qEk> 参照)。

「動的な現実世界のシナリオでは、このような黒色の物体も存在し、しかも動いている可能性が高い」と、野田教授は言う。「物体の動きをリアルタイムに把握するためには、われわれが開発したソフトウェアプログラムと電子制御によって、反射率の低い物体を自動認識して、重点的に照射すれば、同物体の距離が測定可能になる」(https://youtu.be/QUAQ_Gam_FM 参照)。

同チームは、外部光学素子や機械式の可動部品を使用せずに、フラッシュ照射と2次元ビームスキャン照射とい

う高レベルの機能性を兼ね備える光源を、独自に開発できたことが、同研究の最も素晴らしい点だと述べている。この機能により、フラッシュライダとビームスキャンライダが有するそれぞれのメリットを組み合わされたのである。

「これは今回の研究テーマではないが、DM-PCSELを使用すると、顔認識用の複数のドット、ロゴやアートワークの詳細イメージングなどに至るまで、さまざまなビームパターンを照射できる」と野田教授は補足する。

用途という点では、研究チームのライダシステムは、「Society 5.0の実現化に向けて、ロボット、車両、農業機械、建設機械の自律走行などといった、スマートモビリティ」に応用できると同教授は述べる。「当システムを使用すれば、ロボット、車両、機械が、反射率の低い物体を見失うことなく、動的に変化する環境を確実かつ安全にナビゲートできるようになる。これは安全な自律走行には不可欠だ」。

次のステップとして、同チームは、DM-PCSELベースのライダシステムを、ロボットや車両の自律走行などの実用的な用途に使用することを計画している。必要なコンポーネントや制御ユニットはすべて、すでにコンパクトにシステムに組み込まれており、必要なソフトウェアも用意できている。

「将来的には、現状の当ライダシステムのToFカメラに代わり、さらに光学感度の高い単一光子アバランシェ・フォトダイオード(APD)アレイを導入し、さらに長距離の物体を測定することを視野に入れている」と、野田教授は言う。「このDM-PCSELの技術を活用し、オンチップで、完全なソリッドステート型の3Dライダを実現できることを期待している」。