

ライダシステムのレーザ源選択を左右するアプリケーションパラメータ

ゲイル・オバートン

ライダ用レーザに、汎用型というものは存在しない。システム設計者は、レーザ源の選択を試みる前に、対象用途の実環境と性能目標を理解する必要がある。

自律走行車業界を対象にライダ (LiDAR: light detection and ranging: 光検出と測距) システムやコンポーネントを製造するメーカーのM&A (合併買収) が活発に行われているが、他の業界もこのライダの活況に加わりつつある。

「農産業では、地形マッピングと、農家に対する肥料と農薬の選択的流通方法の指導にライダが利用されている。生物と保全の分野では、ライダによって森林樹冠の高さや森林破壊の監視が行われている。軍事業界では、自律走行車やドローンの誘導、潜在的な目標の識別、戦術の正確なマッピングにライダが用いられる。そして採鉱業界では、ライダによって採掘領域のマッピングと除去体積の判定が行われる」と、米RPMC レーザーズ社 (RPMC Lasers) の米国西海岸セールスマネージャーを務めるショーン・スミス氏 (Shawn Smith) は述べる。「測量では、ライダによって今後の開発に向けた建物と周辺領域のマッピングが行われており、大気観測用ライダシステムは、エアロゾルや微粒子の3次元分布をマッピングして、汚染から雲や風、さらには火山噴出物にいたるまで、あらゆるものの特性評価を行う (図1)」。

ライダシステムは、対象領域にパルスレーザ光を照射し、反射信号が受信器に戻るまでの時間を測定する。ライダシステムには、レーザ源または送信器、感度の高い光検出器または受信器、



b) エアロゾルによる偏光解消 (%) @ 532 nm

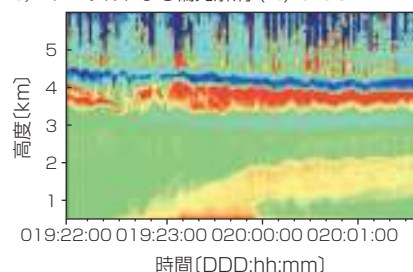


図1 多波長ライダシステムAMPLE (Aerosol Multiwavelength Polarization Lidar Experiment) は、エネルギー 4mJ、繰り返し周波数 1 kHz、パルス持続時間 1ns で、個々に指定可能な3つの出力チャンネルを備え、355、532、1064nmのレーザを使用して、エトナ火山からの噴出物を観測する (a)。AMPLEによって測定されたエアロゾルによる偏光解消の時系列変化 (b) を用いて、地上から6kmまでの範囲の鉱物粉末が観測される。(提供: 伊ALA s.r.l. 社)

同期とデータ処理を行う電子部品、そして、3Dマップや近接データを作成するために高精度レーザ走査を行うモーション制御装置または固体MEMS (micro-electromechanical systems) に基づくコンポーネントが装備されている。

これらの必須コンポーネントのうち、全体的なシステム性能を左右するのはレーザそのものとスミス氏は指摘する。「例えば、レーザビームの品質と

広がり角によって、マッピングライダの縦横方向分解能 (x, y) が決まり、短パルス持続時間とタイミングジッタによって、前後方向精度 (z) が決まる。パルスエネルギーは、遠距離を確保するための主要パラメータで、パルス繰り返し周波数が高ければ、高速走査と高いデータスループットが達成できる」とスミス氏は述べる。

性能に関する検討事項

「高ピーク出力 (数十キロワットから数十メガワット) のパルス (ナノ秒範囲) 固体レーザは、何十年前からライダに用いられてきた」とスミス氏は述べる。「サイズと重量、コスト、消費電力、液体冷却、衝撃と振動に対する感度、そして過酷な環境を理由に、モバイル、航空、宇宙の分野におけるライダ装置の普及は抑えられていた。しかし、伊ブライト・ソリューションズ社 (Bright Solutions) などの企業は最近、ピーク出力が高く、ナノ秒未満で動作し、空気冷却または伝導冷却を採用する、新世代のQスイッチ固体レーザを開発した。このようなレーザは、上述の制約を取り除き、紫外域 (UV) から近赤外域 (near-IR) までの広範囲にわたるレーザ波長を提供する」(スミス氏)。

航空地形マッピングには一般的に、約 $1\mu\text{m}$ の波長が用いられる。その波長により、アイセーフと考えられるだけの広域にビームが拡散される。深淺

測量(海底や沿岸地域の高分解度マッピング)には、高エネルギーで周波数を2倍にした532nmのレーザー源が用いられることが多い。緑色の波長は、純水の透過率の高さと海底微粒子からの後方散乱の低さの間のバランスが最適だからである。

スミス氏によると一般的に、532nm～1μmの波長は、コストと消費エネルギーの面でメリットがあるが、比較的遠距離に到達する必要があることから、クラス1のレーザー安全基準を超えるレベルにまでレーザー出力が容易に増加する可能性があるという。そのような場合、アイセーフティを確保するための規制に準拠して、許容される直径にまでビームを拡散しなければ(それにはシステムサイズの拡大が必要となる)、レーザー照射は目に危険を及ぼす恐れがある。

本質的にアイセーフなレーザーは、民生および商用用途向けの高性能小型ライダにおいてますます普及している。アイセーフな波長として、約1.5μmで照射するIRレーザーは、地形マッピングや障害物回避のように、固体物体を検出する必要がある場合に選択されることが多い。一方、約355nmまたはそれ以下のUV波長は、大気中微粒子からの後方散乱係数が比較的高いことが求められる、アイセーフな大気観測用ライダシステムにおいて、最適な選択肢である。

波長の他に、パルス持続時間についてはどうだろうか。「理想的には、ミリメートルからセンチメートルの垂直測定分解能を達成したいとライダ設計者は考えるので、短パルス持続時間を検討する必要がある。しかし、数ピコ秒レベルの非常に短いパルスでは、レーザースペクトルと受信器帯域幅が広くなってしまうので、信号雑音比(SNR: signal-to-noise ratio)が低下する」とス

ミス氏は続けた。一方、パルスが1nsよりも長いと、ノイズは低くなるが分解能が低下するため、パルス持続時間を数百ピコ秒程度(またはナノ秒未満)にするのが、高い垂直方向精度と信号雑音比を得るための最適なトレードオフになると、スミス氏は言う。

ライダ用レーザーに関しては、汎用型というものは存在しないことを示すために、以下では、自律走行車と森林樹冠マッピングという、まったく異なる2つの応用分野について解説する。

自律走行車用のライダ

米ABIリサーチ社(ABI Research)の最近の調査によると、自動車向けに販売されるデバイスの数は、2026年には6900万個に達する見込みだという⁽¹⁾。仏キオプシス・グループ社(Keopsys Group)のフレデリック・シケ氏(Frédéric Chiquet)、R&Dマネージャーのギヨーム・カナ氏(Guillaume Canat)、最高経営責任者(CEO)を務めるマーク・ル・フロイック氏(Marc le Flohic)が説明しているように、自律走行車用のライダシステムには主に、3Dフラッシュライダとスキャニングライダの2種類がある。

フラッシュライダでは、広角照射源と広角光学系(魚眼レンズなど)を使用して、1回の照射で取得した後方散乱光をマトリクス検出器に集光することにより、車両の周囲領域のモデル化に必要なすべてのTOF(Time Of Flight)データを取得する。一方、スキャニングライダは、ライン単位で3D環境を構築する。光を各方向にシーケンシャルに照射し、対応するエコーを検出器によって1つずつ検出する。目に安全なレーザー源は、パルスモードで動作すること、暗い色の服を着て100m先を歩く歩行者を検出できるだ

けの強度を備えること、-40～85°Cの温度で動作すること、10cmの測定距離精度に対応するパルスを照射することが求められる。

多くのライダで、半導体レーザーに基づく光源が採用されているが、非冷却のファイバレーザーを使用するものもある。非冷却のファイバレーザーは、高出力ビームを分割し、光ファイバを利用して複数のセンサ位置にルーティングできるなど、パルス半導体レーザーに勝る多数のメリットを備える(図2)。主発振器出力増幅器(MOPA: Master Oscillator Power Amplifier)構成をとることにより、標準的な1550nmのライダファイバレーザーで、10～15kWおよび200～300Wの出力レベルで、それぞれ5～250kHzのパルス繰り返し周波数を持つ。

自律走行車専用のパルス半導体レーザーは、ハイブリッドデバイスである。レーザーチップは、MOSFETトランジスタによってトリガされるコンデンサとともに集積される。トランジスタゲートが開く度に、コンデンサに蓄積された電荷がチップへと放電され、チップから光パルスが放射される。905nmのその出力は、高価な1550nmの

機能	パルス半導体レーザー源	ファイバレーザー源
ピークパワー	+	+++
パルス繰り返し周波数	+	+++
パルス持続時間	++	+++
ビーム品質	+	+++
ビーム広がり角	+	+++
コンパクト性	+++	+
信頼性	+++	+++
多放射ブーリング	+	+++
光学的配置の容易さ	+	+++
アイセーフティ	+	++

図2 自律走行車用ライダを対象とした、パルス半導体レーザー源とファイバレーザー源の比較。(提供:キオプシス・グループ社)

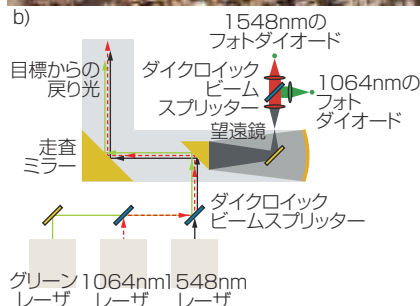


図3 米マサチューセッツ州ピーターシャムにあるハーバード森林で稼働するDWELライダ装置(a)。橙色のボックスに、すべての光学系と読み出し用電子部品に加えて、現場からのデータを管理するためのノートPCが収容されている(b)。(提供: マサチューセッツ大ローウエル校/ボストン校)

InGaAs フォトダイオードでなくてもシリコン検出器で簡単に検出できるため、この種類のレーザ源はコスト効率が高い。しかし、半導体レーザは、パルス繰り返し周波数が限られており、ピーク出力が低く、また、過熱の影響に起因する制約がある。

3Dフラッシュライダ用の半導体レーザ源は、ダイオードスタック技術に基づく。複数の端面発光バーを組み合わせることで垂直スタックが構成され、内部の過熱を抑えるために、各層の間に薄いヒートシンクが挿入される。残念ながら、非コヒーレントなスタックの追加によって出力は高くなり、アイセーフなクラス1のレーザ基準は満たされることが多い。また、垂直共振器面発光レーザ(VCSEL: Vertical Cavity Surface-Emitting Laser)は、スタックよりもコスト効率の高い代替策だが、



図4 同じ場所を捉えた、DWEL装置の1548 nmチャンネルの画像(a)と1064 nmチャンネルの画像(b)。(提供: マサチューセッツ大ボストン校)

出力が低く、短距離のTOF用途でしか使用できない。

森林樹冠マッピング用のライダ

マサチューセッツ大ローウエル校(University of Massachusetts, Lowell)のLoCSST(Lowell Center for Space Science and Technology)に所属する研究者であるスプリヤ・チャクラバーティ氏(Supriya Chakrabarti)、ティモシー・クック氏(Timothy Cook)、クラヴィ・ヘワサム氏(Kuravi Hewawasam)、およびグレン・ハウ氏(Glenn Howe)と、マサチューセッツ大ボストン校とボストン大(Boston University)の同僚らは、森林植生の3D構造の記録と取得を目的に構築された新しい地上レーザスキヤニングライダ装置を開発し、実地試験を行った(図3)。

このDWEL(Dual-Wavelength Echi-

dna Lidar)は、短波長赤外(SWIR: shortwave infrared)領域と近赤外領域の同時レーザパルスによって観測される対象植生の反射率の差を利用して、1mradという高い角度分解能で葉と幹を区別することによって、森林構造の特性評価を行う⁽²⁾⁽³⁾。

オーストラリア連邦科学産業研究機構(CSIRO)が特許取得済みのEchidnaレーザ走査技術に基づくDWELは、高速で回転する天頂走査ミラーと低速で回転する方位プラットフォームを使用して、1.25、2.5、または5mradで分岐する6mmの平行ビームによって、角度走査範囲全体を完全に網羅する。それによって、方位角360°、仰角±117°の範囲にわたる視野が得られる。この全波形ライダは(ファーストリターンとは対照的に)、方位角を180°回転させることにより、標準分解能モード

(2mrad)で半球全体の走査を約36分間で完了する。

DWELは、オペレーターがビーム方向を視覚化可能な緑色レーザを搭載し、森林の中にある葉などの水分を含む物質は、近赤外域(1064nm)よりもSWIR域(1548nm)の光を強く吸収するという原理に基づいて、環境用途向けに植生構造を定量化する。これにより、葉からの反射戻り信号を、森林内の幹や枝などの水分を含まない物質からの信号と区別することができる(図4)。

2GHzでデジタル化される戻りパルス形状を完全に表現するために、公称レーザパルス長として半値全幅(FWHM: Full Width at Half Maximum)は5nsと規定されている。全波

形記録によって、スキヤナから100mの距離にある複数の目標の検出が可能である。0.6μJのパルスエネルギーは、目の安全基準を満たしつつ、良好な信号雑音比を確保する。装置筐体内の暗いランベルトターゲットが、走査ミラーの各回転の校正に用いられる。

戻り信号は、直径10cmのニュートン式望遠鏡によって収束される。そこで、ビームは色で分離され、通過域の狭い干渉フィルタによって帯域外波長が除去される。各レーザからの戻り信号は、

InGaAsフォトダイオードを用いた検出器/増幅器のペアによって検出される。

他の多くのライダシステムと比較した場合のDWELの利点は、2波長による植生識別能力にある。木材よりも水分を多く含む葉は、1548チャンネルにおいて1064チャンネルよりも暗く表示される。業界を問わず他のすべての処理と同様に、この特定のライダ処理においても、対象用途に特有の性能要件を満たす上で、レーザそのものが非常に重要である。

参考文献

- (1) See <https://goo.gl/Fs4VDH>.
- (2) E.S. Douglas et al., IEEE Geosci. Remote Sens. Mag. (2015); doi: 10.1109/LGRS.2014.2361812.
- (3) G.A. Howe et al., J. Appl. Remote Sens., 9, 095979 (2015).

LFWJ

光産業技術マンスリーセミナー

OITDA

Optoelectronics Industry and Technology Development Association

プログラム (6~7月)

No. / 開催日	講演テーマ / 講師
第 409回 6月20日(火) 15:30-17:30	「集積回路技術がもたらすテラヘルツ技術の変革」 講師: 永妻 忠夫氏 (大阪大学大学院)
第 410回 7月18日(火) 15:30-17:30	「データセンタ向け次世代イーサネット光トランシーバとそれを支える超高速半導体光デバイス技術の最新動向」 講師: 平本 清久氏 (日本オクラロ株式会社)

- 場所 一般財団法人光産業技術振興協会
- 定員 各60名
- 参加費 光協会賛助会員: 1,500円(税込み) / 一般参加: 3,000円(税込み)
※支払いは、当日受付にて現金でお願いします。

- 申込方法 オンライン申込フォーム >>> http://www.oitda.or.jp/main/monthly/monthly_postmail.html
- 申込締切 定員になり次第締め切ります。なお、締め切った場合にはWeb上にその旨を掲載します。

問い合わせ先

一般財団法人光産業技術振興協会マンスリーセミナー担当 間瀬、潮田
〒112-0014 東京都文京区関口1-20-10住友江戸川橋駅前ビル7F TEL:03-5225-6431 FAX: 03-5225-6435
E-mail: mly@oitda.or.jp URL: <http://www.oitda.or.jp/>