

バイオとそのかなた：OCTの進展がイメージングのスケールコストの障害を打ち破る

企業やアカデミアに所属する研究チームは、光コヒーレンストモグラフィ(OCT)におけるブレークスルー、すなわちメートルスケールのOCTを歓迎している⁽¹⁾。性能が以前より劇的に向上しただけでなく、高パフォーマンス、低コストのシステム実現の前触れでもある。さらに、生体医学に加えて、工業アプリケーションの広い分野においてインパクトをもたらしている。

OCTが眼科学において最も大きな成功を成し遂げ、消化器病学、心臓学、皮膚学などの他分野においても内視鏡検査や表層イメージングなど、最も有望な技術であることは驚きではない。マイクロスケールの解像度で高スピードに、そしてミリメートルからセンチメートルスケールの幅の深さでボリュームイメージを作成する。

しかし、立方メートルボリュームで高スピードの3D OCTイメージングを研究者が報告すれば、パラダイムシフトが起きるだろう。米マサチューセッツ工科大のジェームズ・G・フジモト氏(James G. Fujimoto)の研究室では1990年代に共同研究者とOCTを開発したが、彼らの新しい「長距離」または「マクロスケール」のOCTは、「以前の3次元OCTで示されたものよりも、少なくとも1ケタ大きい深い幅とボリュームである」ことを証明した。

この数年後、フジモト氏と共同研究者は、1.5mを超えるさまざまなものを15 μ mの解像度で測定しており、多くの新たなOCTアプリケーションを想像しやすくなっている。例えば、モニタリングを処理する高度な医学イメージング、



マクロレンジのOCTで、チェスをプレイする等身大マネキンのフルな3Dレンダリングイメージを作成した。スキャン修正前は1000×1000×1000のA-スキャンから構成される。0.98m³のボリュームサイズと54dBのダイナミックレンジのために200ギガサンプル(ローデータ)がベースとなっており、平均ノイズフロアを超える約10dBの強度しきい値が適応されている。

非破壊検査、技術的計測などだ。

ブレークスルーを可能にする

新たな領域のオペレーションでは、「光源、統合された光受信機、信号処理において極めて高パフォーマンスなものが要求される」とフジモト氏は述べる。ブレークスルーをもたらすのは、チューナブルの垂直共振器面発光型レーザー(VCSEL)源と、遠隔通信アプリケーション用にデザインされたチップベースの光受信機だ。研究者は自分たちの仕事が、導波器の統合、光検出器、掃引レーザー、チップベースのOCT干涉計を含むフォトニック集積回路(PIC)開発の目覚ましい進歩の上に成り立っていることを自覚している。

米ソーラボ社(Thorlabs)と米プリビウム・リサーチ社(Praevium Research)が開発したVCSELは、小型の微小電気機械システム(MEMS)機器を使用する。これは、レーザーの波長を経時的に素早く変化させる掃引源OCTを実行するためだ。論文の共著者であるMITとソーラボ社のベン・ポツェイド氏(Ben Potsaid)は、VCSEL源のコヒーレンス長は他の適切な掃引レーザー技術よりも1ケタ長いことが研究により明らかになったため、長距離アプリケーションの可能性が見えたと説明した。

しかしながら、光検出とデータ取得の困難に研究者は直面していた。やがて、米アカシア・コミュニケーションズ社(Acacia Communications)製造の

シリコン製フォトニクスコヒーレント光受信機がこれらの課題を解決できることがわかった。この発見はまた、いくつかのバルクのOCTコンポーネントを、小型で低コスト、シングルチップのPICから成る集積光学に置き換えられることを意味した。重要なことは、非常に高い電気周波数と広域な光学波長をPIC受信機がサポートしていることである。なぜなら、与えられたデータ取得スピードに対するOCTイメージング幅を2倍にする直角位相の掃引源OCTが必要となるからである。

研究者が行った試験では、VCSEL源とPIC受信機のどちらもパフォーマンスが基本的限界に達していなかった。そこで、カスタマイズした集積回路のチップを用いて、リアルタイムOCTを目標に、データ取得と処理のスピードを上げることに取り組んでいる。論文の共著者であるアカシア・コミュニケーションズ社のクリス・ドーア氏(Chris Doerr)は、「今後5年以内に、シングルチップのフルOCTシステムが期待される」のは現実的だと述べる。

実験と期待

研究者は、中心波長1310nmのVCSELのチューナブルレーザを用い、100kHzの繰り返し率で80nmのフル掃引レンジに調節した。メートルレンジのOCTが、さまざま形状や素材の表面から強い信号を得られることが示された。

複雑な形状や表面プロファイルをもち、弱く散乱する物体を調整、計測できる新技術を証明するために、研究者は自転車をイメージングした。非接触的な計測学への適性を示すために、65dBのダイナミックレンジで1mから1 μ mの範囲でアルミニウムのポストやスチールのゲージブロックを定量的に計測した。

さらにヒトの頭蓋骨や大脳モデルをイメージングすることで、肉眼検査の解剖学的イメージングに向けたメートルレンジのOCTアプリケーションであることを証明した。おそらく、手術の計画やガイダンスに有効だろう。この技術によって、腹腔鏡検査や食道などの構造のマッピングで3D測定も可能になるだろう(しかしながら、散乱試料では透過限界は1~2mmなので、マクロスケールのOCTはMRIやCTなどのトモグラフィ医療機器の置き換えにはならないだろうと研究者は警告する)。マクロレンジのOCTは、素材の組成、表面化の構造、コーティング、表面粗度、他の特性の情報を得られる性能があり、工業、製造業、医学で多くの新しい利用法があるのは間違いない。ヒトサイズの物体を高い解像度でイメージングできるため、3Dオブジェクトの認識や観察などのコンピュータビジョンの課題の解決に一役買うかもしれない。

この技術は周波数変調された連続波コヒーレントレーダに似ているが、1ケタ大きいスピードをもつ。ライダー、レーザトラック、周波数コムレーザのような他の3Dレンジ技術と比べて、OCTは表面下の評価や弱く散乱する物体のイメージングにより適する。変調イメージングなどの他の3D表面下イメージング法に比べて、OCTは高い解像度をもち、クラッタや寄生反射の感受性が低い。さらに、組成、積層構成、コーティング、表面粗度などの特性に関する情報を得られる可能性を秘めている。

そして、偏光、運動、分光、エラストグラフィと対比した研究から、さらなるアプリケーションが生まれるかもしれない。(Barbara Gefvert)

参考文献

(1) Z. Wang et al., Optica, 4, 10, 1496 (2016); doi:10.1364/optica.

インテグレーション
を容易にする

コンパクトな デザイン

TECHSPEC®
ローコスト
YAG レーザー用
ビームエキスパンダー



- YAG レーザー波長向けにデザイン
- 2X-10X まで固定拡大別々に複数ラインナップ
- コンパクトかつ軽量

 **Edmund**
75 YEARS OF OPTICS
www.edmundoptics.jp/037-8154

エドモンド・オプティクス・ジャパン
株式会社

〒113-0021

東京都文京区本駒込2-29-24
バシフィックスクエア千石 4F

TEL: 03-3944-6210

Email: sales@edmundoptics.jp