

2019年 Laser Focus Worldの トップ20 フォトニクス技術

ジョン・ウォレス

2019年、フォトニクスにおける幅広い進歩には、精密製造と計測、バイオセンシングとイメージング及びAIの利用が含まれている。

人が物理学、工学あるいは他の技術問題にアプローチする時、分析的ソリューション(数学方程式の形式)を開発できれば慣例上、大満足である。数学による理解と予測能力は、問題と解の両方が十分に理解されたことを示しているからである。アインシュタインの一般相対性理論(general theory of relativity)は、正にこのアプローチの成功例の1つである。もちろん、多くの問題は、この方法では部分的に解けるか、あるいは全く解けないことがあり、従って実験データへのフィッティングカーブや他の実証的アプローチが重要になる。しかし、全般的に、そうした取り組みは人が深いレベルで問題を理解することに発展する。

何年も実験室で醸成されていた全く異なる問題解決アプローチが、今、商用に向かって進んでいる。人工知能(Artificial Intelligence: AI)、これには機械学習(マシンラーニング)や深層学習(ディープラーニング)のサブセットが含まれる。AIでは、人が理解できない、あるいはとらえることさえできないような巧妙な体系的データパターンや相関関係がコンピュータアルゴリズムによって発見され、望ましい、あるいは望ましくない結果につながっていく。このような巧妙なパターンに基づいたシステムを制御するコンピュータを利用することで人間は、自分たちが望む結果を手にすることができる

のである。

素晴らしいことではないか。唯一の欠陥、それを欠陥と考えない者もいるかもしれないが、それは、あるレベルでは、ショーを運営している人間が、何が起きているかについて手掛かりを持たないということである。とはいえ、AIは極めて有望である。ますます複雑な形式で、AIは技術領域やコンシューマー領域に組み込まれつつある。2019年のLaser Focus Worldのヘッドラインは、これを説明している。これに含まれているのは以下のとおりである。「ファイバオプティクス非線形不安定性の大きな波を予測するAI」、「FLIRがCVEDIAに投資し、自律センシングAI専門技術拡大」、「AI推進の顔認証にはまだ技術的、法的課題がある」、「深層学習が機械学習に新たな側面をもたらす」、「NVIDIAがMellanoxを買収してAIとデータセンターコンピューティングソリューションを進める」。

今年のTech Reviewに選ばれたLaser Focus World記事、上位20の中で、直接AIに関係するものはわずかである。しかし、学術研究機関、産業界、政府のオプティクスとフォトニクスの専門家は、今後AIを利用し新たな用途を見出していく。それにより、大きく、難解な一連のデータから実用的な成果を得るために、その能力が大きく拡大していく。

最先端

1と2 シリコンフォトニクスは、それをより実用的にするために、特に通信用途で、懸命に開発されているが、他の用途でも同様である。昨年の成果は多く、それには製造のしやすさという画期的な出来事も含まれる。そこでは、米マサチューセッツ工科大のグループをリーダーとする研究者が、オンチップフォトニクスとエレクトロニクスを分けてアSEMBリする技術を開発した。これにより、エレクトロニクスで新しいCMOS製造プロセスの利用が可能になる(以前は、オプティクスに適合する旧式のプロセスで造る必要があった)。(参照“シリコンフォトニクス製造は最新のCMOSプロセスを使うようになった” June 2018 issue; <http://bit.ly/2019TechRev1>.)。また、アバランシュモードLEDとシングルフォトンアバランシュダイオードを含む完全なシリコンベースオンチップ光リンクは、標準CMOS技術で造れ、電子チップに埋込可能であるが、これは蘭トゥウェンテ大のグループが実現した。(参照“オンチップ光リンクが初めて電子チップ上に実現” February 2019 issue; <http://bit.ly/2019TechRev2>.)

3 イメージングでのAI利用は、独ライカ社(Leica)が進めている。同社は、Thunder顕微鏡イメージャシリーズを発売した。ここでは、カメラベース蛍光顕微鏡を利用する際、焦点ずれのボヤケを除去するため

に、いわゆる「コンピューテーショナル・クリアリング」を使う。同社は、パーソナル自動ラボアシスタント (PAULA) も開発している。これは標本を連続モニタリングすることでとらえた画像を分析し、変化があるときの反応を自動化できる。ライカ社は先頃、AIを使って脊椎動物細胞のタンパク質画像を、細胞小器官に基づいて異なるクラスに分類するコンペを後援している。(参照“AIが科学的イメージングに新たな時代を開く”September 2019 issue; <http://bit.ly/2019TechRev3>.)

4 最先端のコンピュータチップを造るための極紫外 (EUV) リソグラフィが、製品を持つ企業で真価を発揮しつつある。今年、蘭ASML社が、多くのEUVスキヤナを出荷したからである。この巨大スキヤナ用の13.5nm光源は、ASML社の子会社サイマー社 (Cymer) が提供。サイマー社の光源は、独トルンプ社 (TRUMPF) の40kW CO₂ レーザを使用して、スズの液滴を13.5nm発光プラズマに変換する。独ツァイス社 (ZEISS) が、これらの装置向けに反射光学系を製造している。大型ミラーの表面粗さは、0.1nm (図1) を上回る。(参照“EUVリソグラフィ再考”Laser Focus World online [Aug. 29, 2019]; <http://bit.ly/2019TechRev4>.)



図1 ASML社のEUVリソグラフィスキヤナ内部に13.5nm波長で機能する反射光学系がある。EUV光源は右下、マスクは上方。(画像提供:ASML社)

5 透過メタサーフェスオプティクスは、(通常)フラット基板上にナノ構造形体のアレイでできている。これが、将来性を見せ始めており、ある時点で、一定のニーズでは、商用化が始まり、従来の光学素子あるいは素子群に取って代わり始める。米ハーバード大のハーバードジョンA.ポールソン工学・応用科学部 (SEAS)、フェデリコ・カパッソ教授 (Federico Capasso) のグループは、以前からこの技術のリーダーである。今年、SEASのグループは、非対称ナノフィンでできた全誘電体メタレンズを発表した。これは、ほぼ可視光全域 (460 ~ 700nm) で収差なく、無彩色に光を集光する。また、光の両偏光でも同様である (図2)。偏光無依存であるので、このメタサーフェスレンズは、そうでない場合の2倍の光を透過する。(参照“ブロードバンド色収差補正メタレンズは、すべての偏光を集光する”March 2019 issue; <http://bit.ly/2019TechRev5>.)

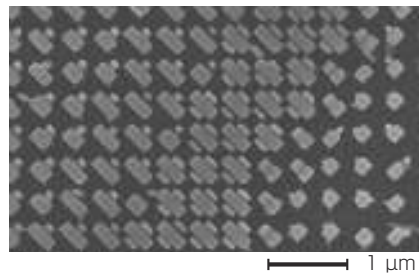


図2 メタレンズ表面に配列されたサブ波長異方性ナノ構造は、偏光に関係なく光を集光し、レンズの効率を2倍にする。(画像提供: Capasso Lab/Harvard SEAS)

6 試行的テーブルトップレーザーベース加速器は、数百メートル長にもなる従来の電界ベースのバージョンよりもはるかにコンパクトである。究極的には、加速器はチップ上に配置される、これは独ダルムシュタット工科大 (TU) の研究者の成果で

ある (図3)。従来の線形加速器と同じアプローチを利用するが、コンセプトは、レーザーに対する電子の位相の急激な変化に基づいており、チップ面の2方向で合焦と焦点外れが交替する。これは、わずか420nm幅のチャンネル内で電子を集光するために超高速レーザーパルスの電磁場そのものを使う二列の微小ポストによるものである。潜在的用途に含まれるのは、研究、X線リソグラフィ、及び腫瘍照射。(参照“レーザーベースマイクロチップ粒子加速器は、産業及び医療に有用”Laser Focus World online [Nov.26,2018]; <http://bit.ly/2019TechRev6>.)

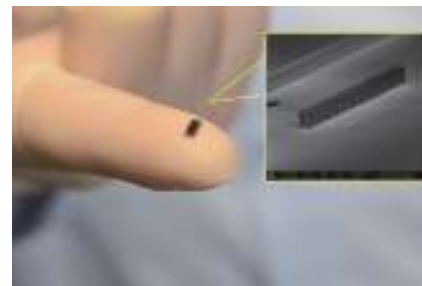


図3 このレーザーベースマイクロチップ粒子加速器における二列のピラー間の距離は、わずか420nm。(画像提供: Hagen Schmidt/Andrew Ceballos)

バイオサイエンスと医療

7 エボラウイルスは、致死性で感染力が強い。効果的に管理するには、検出が早ければ早いほどよい。米ロチェスター技術研究所 (RIT) の研究者は、フィールドでエボラを素早く検出する小型、可搬蛍光ベースの計測器を開発した。血液の小滴を488nmレーザーとパラボラミラーベースの蛍光光度計で分析すると、結果としての感度は共焦点顕微鏡の感度に匹敵する。テストは、生の血液サンプルを採ってから15分かかる。デバイスは、並行して24患者のスクリーニングを30分以内に実施できる。研究者は、多数のウイルス株を検出する同様の測

定器に取り組んでいる。例えば、エボラからインフルエンザやジカ熱。(参照“光学デバイスが、早期エボラ検出にCRISPR-Cas13a 技術を活用” June 2019 issue; <http://bit.ly/2019TechRev7>.)

8 多くのDNA鑑定法は、DNA増幅というプロセスを必要とするが、そこでは微小DNAサンプルを何度も再生してサンプルサイズを大きくする。先端増強ラマン分光法(TERS)技術は、DNAのシングルストランド(一本鎖)でも、増幅不要で分析できる。この技術は、米テキサスA&M大、米レンスラー工科大、独フリードリッヒ・シラー大イェーナ校、米ベイラー大の研究者が開発した。室温TERS法は、貴金属プローブチップの表面プラズモン効果に依存している。プラズモンが励起波長と共鳴すると、ラマン散乱が増え、回折限界を克服できる。DNAシーケンシングは、塩基あたり4秒かかる。(参照“TERSは増幅なしでシングルストランドDNAを撮像” March 2019 issue; <http://bit.ly/2019TechRev8>.)

9 フォトニクス、コンピューティングパワーと、もちろんAIの進歩により、光コヒーレンストモグラフィ(OCT)の改善が進んでいる。アルゴリズムにより、コンピュータOCTが、従来のOCTの解像度を劣化させる問題に対処する。これには、被写体深度と横軸分解能の間に特有のトレードオフ、サンプルと参照経路の分散ミスマッチ、オブティクスによる収差が含まれる。例えばOCT組織分析でマシンラーニングを使い、やけどによるヒトの皮膚の損傷を90%の特異度、91.6%の感度で分類する。(参照

“OCTにおけるイノベーション” March 2019 issue; <http://bit.ly/2019TechRev9>.)

10 病気、毒、病原体の検出用バイオセンシングは、新しいクラスの蛍光発光生物ナノ材料で増強された。これは、量子バイオセンサとして役立つDNA安定化金属粒子クラスタ(OC-DNA)である。そのバイオセンサは、6から15の金属原子(いわゆる金属クラスタ)を含む短いDNA配列で構成されている。DNA配列の選択が、そのセンサの特性を決める。例えば、それがどの病気を検出できるか。Project BioSensingのパートナー、独フラウンホーファー研究所と蘭ライデン大物理学研究所という2ヶ所の協働で、多くの量子バイオセンサを設計している。研究者は、これらを拡張し、大学病院で実現可能性研究のために準備する計画である。(参照“バイオセンサ改善に有望な量子技術” September 2019 issue; <http://bit.ly/2019TechRev10>.)

11 ロボット外科手術は、蛍光技術の利用で、例えば、良性組織とガン組織を区別して、より効果的にできる。現在、ラベルフリー、時間分解の蛍光分光法とイメージングが多数の臨床応用で能力が実証されている。新たなロボット外科手術が、人で示されている。身体の多くの生体分子は、自家蛍光を生成し、フォトンの吸収とそれに続く発光の間の時間の長さは、あらゆる分子の特性であり、特定できる。米カリフォルニア大デビス校の時間分解蛍光研究者、ローラ・マルク氏(Laura Marcu)と協力して、ロボット手術会社である米インテュイティブ・サージカル社(Intuitive

Surgical)は、先ごろ、ロボット口腔がん手術で、自家蛍光組み込みに関与する、人では初の研究に着手した。(参照“時間分解蛍光の臨床応用” April 2019 issue; <http://bit.ly/2019TechRev11>.)

12 米国立ガン研究所/国立衛生研究所(NIH)の研究者は、抗体に接合されたときにガン細胞の致死率が高い新しい染料(IRDe700DX)を発見した。これにより近赤外(NIR)光免疫治療ができる。その特許技術を、NIHはスタートアップ米楽天メディカル社(Rakuten Medical)にライセンス供与した。同社は、頭や首の扁平上皮癌再発処置の治療を評価するためにFDAからフェーズ3トライアルでファスト・トラック(Fast Track)認定を受けている。(参照“NIHがスタートアップにガンを死に至らしめる近赤外光免疫治療のライセンス供与” April 2019 issue; <http://bit.ly/2019TechRev12>.)

オブティクスとフォトニクス実用

13 自動車用ガソリンエンジンにおけるレーザ着火(LI)は、長年探求されてきた考えであるが、自動車メーカーが気乗りするほどの性能レベルに達しておらず、小型でもない。現在、ルーマニアのレーザ・プラズマ放射線物理国立研究所、ルノーテクノロジー・ルーマニアとブカレスト工科大の研究者が、その点に近づいた。研究者は、ファイバ結合されたコンパクトなネオジウム、クロム・イットリウム・アルミニウム・ガーネット(Nd:YAG/Cr⁴⁺:YAG)レーザスパークプラグを使い、LIシステムを実証した(図4)。1.06μm波長レーザパルスは、4mJエネルギー、約0.8nsパルス幅でサファイアウインドウを通して、シリンダに

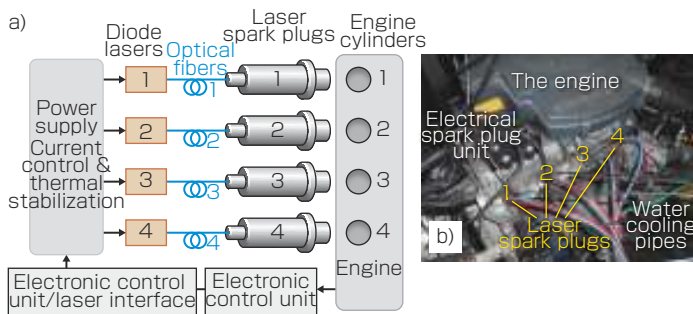


図4 Liシステムの実験セットアップを図示(a)。物理的構成は、Liシステムを装備したガソリンエンジンを示している(b)。(画像提供: 国立レーザー・プラズマ・放射線物理国立学研究所)

供給され、従来のスパークプラグと比較してエンジンプレーキパワーを上げ、一酸化炭素排出を下げた。(参照“レーザ着火が定量的にガソリンエンジンの性能を改善” May 2019 issue; <http://bit.ly/2019TechRev13>.)

14 スマートフォン用の分光計も盛んな研究対象だった。そのような小型、可搬分光計は、現場での科学に使い、簡便で安価、十分に効果的であるなら、食料品店で成熟度、損傷を詳しく調べる消費者にも利用される。米ウィスコンシン大マジソン校が開発したシングルショット分光計は、特別に小さく簡便、潜在的にローコストにできており、構成はフォトディテクタアレイにフォトニック結晶スラブを重ねたものをディテクタピクセル上に置き、各ピクセル域が異なるスペクトル応答を示すようになっている。分光計のスペクトル範囲は、550～750nm、分解能は1nm。(参照“シングルショット・オンチップ分光計は、スマートフォン、ヘルスケアデバイス、製造モニタの候補” Laser Focus World online [Apr. 8, 2019]; <http://bit.ly/2019TechRev14>.)

15 中程度から大量の小さなガラス非球面レンズの製造は、鋳造でできる。多形態を持つ1つの型が、そのようなオプティクスを高

い光学品質で量産できる。中国天津大のマイクロ/ナノ製造技術センターのグループは、オフスピンドル軸(OSA)スパイラル研磨法を造った。これは、ガラスの非球面マイクロレンズやマイクロレンズアレイを製造するタングステンカーバイド型製造に利用できる。多数の非球面小型レンズアレイを研磨して型にするために、オフスピンドル軸スパイラル研磨する。これにはx、y、及びz並進ステージと回転軸を持つ4軸の超高精度装置を利用する。オンマシーンプロファイル誤差補償分析、それに続く補償研磨ステップが、形状精度を極限まで高める。(参照“オフスピンドル軸スパイラル研削型がサブミクロン精度の非球面マイクロレンズアレイを造る” May 2019 issue; <http://bit.ly/2019TechRev15>.)

16 今年、自動車ライダの多くの進歩の中には、米ルモータティブ社(Lumotive)の全固体ライダシステムの一部として、反射光学メタサーフェスベースのビームステアラの発表がある。デバイスでは、メタサーフェスの液晶コーティングにより、その共鳴サブ波長素子は、120°の角度でビームを操作できる。ランダムアクセス切替え時間は25μs、アパチャは最大25×2mmである。その液晶メタサーフェス(LCM)は、従来材料とパターン形成プロセスを使い、CMOSファ

ウンドリでシリコンから製造される。ルモータティブ社のライダシステムは、2つのLCMを含んであり、1つは送信用、1つは受信用で、外部光除去に役立つ。(参照“メタサーフェスビームステアリングにより、固体、ハイパフォーマンスライダが可能になる” July 2019 issue; <http://bit.ly/2019TechRev16>.)

科学と研究

17 真の乱数は、量子鍵配送(QKD)などの暗号用途に必要とされており、生成は思っているほど簡単ではない。事実、非常に複雑なアルゴリズムを使ってコンピュータで生成した「乱」数は擬似乱数に過ぎない。真の乱数を生成するフォトニックシステム(例えば、レーザの振動からは、以前は持て余すほど大きかった。最近、英東芝リサーチヨーロッパ社と英リーズ大の研究者が、小型フォトニック集積回路ベースの量子乱数発生器を作製した。これは、利得スイッチング領域に2つの分布帰還レーザを持ち、干渉方式で統合したオンチップビームが真の乱数を生成する。(参照“オンチップレーザベース量子デバイスが真の乱数を生成” July 2019 issue; <http://bit.ly/2019TechRev17>.)

18 多数の失敗の後、電気励起有機半導体レーザが実現された。九州大の研究者が、利得媒体と分布帰還共振器の両方に有機化合物BSBCz膜を持つレーザ構造を作製した。両方ともガラスに堆積されており、デバイスは狭線幅青色連続波レーザを発振する。研究者は、スタートアップKoala Techを設立し、電気励起有機レーザダイオードを製造する。計画では、OLEDと有機電子システムに組み込む。(参照“電気励起有機ダイオード

レーザが実現” July 2019 issue; <http://bit.ly/2019TechRev18>.)



図5 このルビジウムチタニルリン酸塩 (RTP) Qスイッチは、熱補償されたダブル結晶構成でアセンブリされている。そこでは、2つの整合性のある結晶が伝搬軸に一致して設置されている。一方の結晶が他方に対して90°回転している。(画像提供: Raicol Crystals)

19 レーザ干渉計重力波観測所 (LIGO) が Advanced LIGO にアップグレードされ、その感度が4倍に改善された。アップグレードの中

で、リチウムナイオベート (LiNbO₃) からルビジウムチタニルリン酸塩 (RbTiOPO₄またはRTP) 電気光学変調器への変更がなされた。(LIGOの長さのアライメントセンシングスキームは、電気光学変調器が生成する光サイドバンドに依存する)。その新しい非線形光学材料は、イスラエルのライコルクリスタル社 (Raicol Crystals) が製造したもので、これにより Advanced LIGO は、熱レンズや熱損傷に悩まされることなく、高いレーザパワーレベルで動作できるようになった(元の10Wから200Wに増強された)。(図5) (参照 “RTP 光学結晶がLIGOの性能強化に役立つ” September 2019 issue; <http://bit.ly/2019TechRev19>.)

20 レーザ粒子トラッピングは、細胞、粒子、分子及び原子の研究で利用されているが、原子核の研究でも役立つ。米ロスアラモス国立研究所の研究者は、レーザベースの光トラップで放射性原子核を空中浮遊させて、それが減衰するのを待ち、粒子の反発(及び関連の運動エネルギー)の大きさと周波数を計測する。反発変位は、位置感度のあるフォトダイオードでリアルタイム計測される。また、その結果を使って、放出されたアルファ粒子、ベータ粒子、ガンマフォトンの運動エネルギーを計算する。(参照 “レーザ空中浮揚と光トラップにより核反発分光計測が可能になる” issue; <http://bit.ly/2019TechRev20>.)

LFWJ

無料購読お申込み方法

Laser Focus World Japanは、レーザ/フォトリソ/オプトエレクトロニクス応用技術/製品の開発、研究、マーケティングなどに携わっている方に無料でお届けする雑誌です。ご希望の方は、お申込書、またはウェブサイトからご登録ください。ご登録内容を確認させていただいた上で読者として正式に登録させていただきます。正式登録完了後は、無料でお送りいたします。

*** オンラインからご登録が可能です。**

● <http://www.lfw-japan.jp>

登録内容のご変更もこちらから可能です。

お問い合わせ: 株式会社イーエクス プレス

Tel: 03-6721-9890 email: lfwj@lfw-japan.jp

個人情報に関する当社の方針はこちらをご確認ください。

➤ <http://ex-press.jp/lfwj/privacy/>

