2012年 フォトニクスイノベーション20選

ジョン・ウォレス

本誌シニアエディターのジョン・ウォレスが、フォトニクス関連最大の話題を紹介する。本稿では、Laser Focus World誌が2012年に取り上げた、最も興味深い技術的進歩20項目を選定した。

多くの場合において、テクノロジの世界に客観的に「最高」であるものは存在しない。マイクロソフトのWindows、アップルのOS X、Linux（iOSやアンドロイドについては言うまでもない）などは、すべてが独自のファン層を抱えているが、フォトニクスの世界では、光学設計エンジニアとレーザ科学者では、興味の対象は異なる可能性が高い。2012年の技術総括となる本稿では、Laser Focus World誌においてこの1年間に取り上げた（本誌が扱うすべての分野を対象とする）特に興味深い項目を上位20項目という形式で紹介する。以下の項目は1人のエディターの独断で選定したものであり、読者にはぜひ、今年発行の12冊を振り返り、それぞれのお気に入りの話題を読み返していただきたいと思う。

見えないものの可視化

ToF（Time of flight:飛行時間式）カメラ：通常は、鏡を利用することなく、曲がり角の向こうを見ることはできない。しかし、米マサチューセッツ工科大学（Massachusetts Institute of Technology、マサチューセッツ州ケンブリッジ）の科学者らは、ストリークカメラを利用し、照明に超高速レーザパルスを採用することでこれを可能にした（**図1**）。ToF装置と膨大な数値演算によって、隠された物体の3D画像が再構成される（Laser Focus World2012年6月号“Time-of-flight camera sees around corners”（http://bit.ly/KRPzry）。日本語版8月号「曲がり角の向こうを見ることができる飛行時間式カメラ」参照）。

人工網膜：イメージング技術は、ビデオカメラのインプラント（埋め込み）という形で人間の目の内部に応用されつつある（Laser Focus World2012年7月号“PV retinal prosthesis has high pixel density”（http://bit.ly/MBDOIi）。日本語版9月号「高画素密度の光起電力網膜プロテーゼ」）参照）。外部へのワイヤレス接続を利用してコンピューティングを行い、網膜に取り付けられた光起電力アレイが網膜神経細胞を直接シミュレーションして視力を実現する。

単一光子検出器：高速超伝導ナノワイヤ単一光子検出技術の進歩は目覚ましく、新しい形状や応用分野が今でも発見されている。例えば、曲折した金のナノワイヤは光学的なナノアンテナとして機能し、TM偏光に対して47%の効率で光子を検出する（Laser Focus World 2012年1月号“Optical nano-antennae boost speed and efficiency of single-photon detectors”（http://bit.ly/xXSXHn）参照）。

緑色レーザダイオード：レーザ技術に

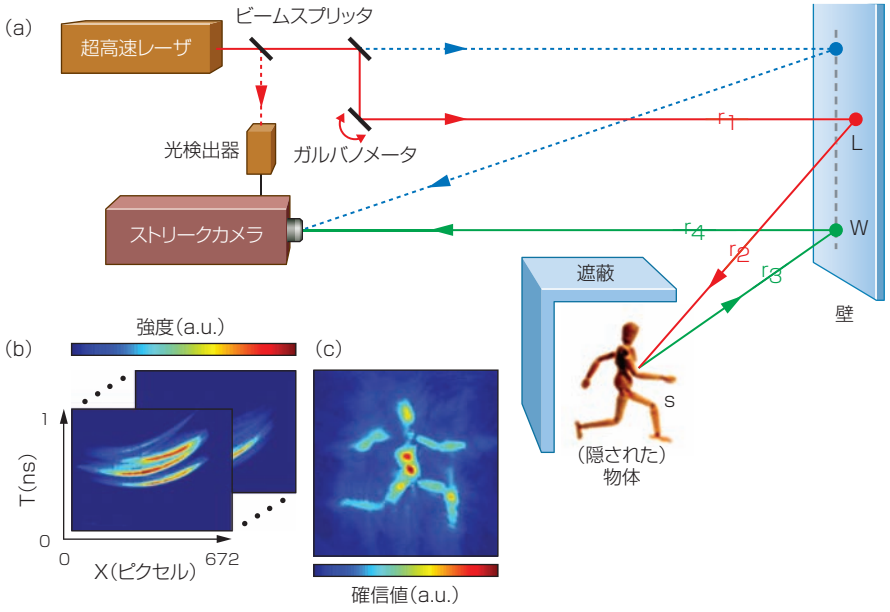

図1　散乱した超高速パルス反射がストリークカメラによって検出され、解析されることによって、隠された物体（マネキン）が明らかにされる（a）。ソフトウェアアルゴリズムによってデータがストリーク画像（b）から抽出され、マネキンの3D画像が再構成される（c）。（提供：MIT メディアラボ）

おいて最も期待される目標の1つが、堅牢な緑色レーザダイオードの開発である。「緑色」とは、3原色（赤緑青）のレーザプロジェクタでの使用に最適な530～535nmの範囲の波長を生成することを意味する。住友電工とソニーの先端マテリアル研究所（厚木市）の研究者らは、532nmにおいて100mWを超える出力で発振可能なレーザダイオードを発表した。最大で536.6nmの波長での発振（出力値は非公表）が確認されている（Laser Focus World2012年8月号“Green laser diode emits at 536 nm”（http://bit.ly/NcSbOR）。日本語版10/11月号「536nmで発振する緑色レーザダイオード」）参照）。

青色レーザダイオード：レーザダイオードは2012年、別の分野においても大きな進歩があった。窒化ガリウムをベースとする青色発光レーザダイオードは現在、米カプテイン・マーナン・ラボ 社（Kapteyn-Murnane Laboratories :KMLabs）の研究者らによって、チタンをドープしたサファイア（Ti:サファイア）を使用する超高速レーザの直接ポンピングに使用されている。Ti:サファイアレーザの励起にはこれまで、周波数2倍化ネジウムドープレーザといった、より高価で複雑な光源が使用されていた（Laser Focus World2012年9月号“Pumping of Ti:sapphire moves to the blue”（http://bit.ly/P48thv）。日本語版10/11月号「青色へと向かうTi:サファイアポンピング」）参照）。

光パラメトリック発振器：米スタンフォード大学で開発された光パラメトリック発振器はスペクトル出力範囲が非常に広く、2.6～6.1μmと1オクターブを超えるため、広帯域アプリケーション向けにチューニングを必要としない。同発振器は、周波数コム分光法に理想的なデバイスとなる可能性を秘めている（**図2**、Laser Focus World2012年7月号“Broadband OPO spans the mid-IR, no tuning needed”（http://bit.ly/NoIPhK）。日本語版9月号「チ

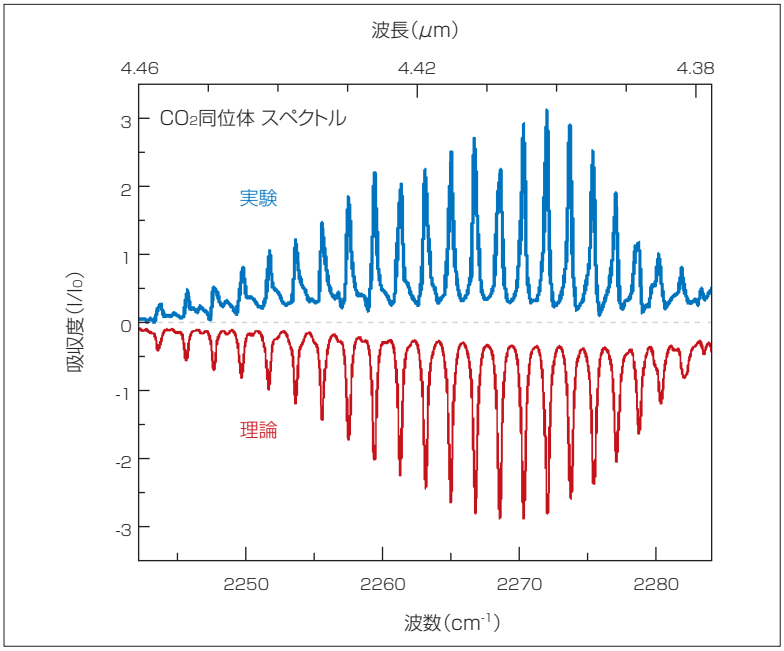

図2　周波数コム分光法で使用される広帯域OPO周波数コム源は、1度に複数の種類の分子を検出することができる。ここでは、大気中の二酸化炭素の同位体が共振器内分光器によって検出されている。（提供：スタンフォード大学K・ボドピャノフ氏）

ューニングなしで中赤外をカバーする広帯域OPO」）参照）。

光の制御

空気コアファイバ：微細構造の空気コア光ファイバは、柔軟性の高い導波路として機能し、テラヘルツ放射を効率的に伝搬する（Laser Focus World 2012年3月 号“Air-core microstructured fibers provide low-loss, broadband terahertz guidance”（http://bit.ly/wyQGww）。日本語版6月号「低損失の広帯域テラヘルツ導波を可能にする空気コア微細構造化」）参照）。PMMAポリマーから作製された同ファイバのコア直径は、2mm程度である。

多モードファイバ：光ファイバ通信として、多モードファイバにおける複数のモードを利用して空間分割多重（SDM: spatial division multiplexing）を実現する手法が、現在注目を浴びている。米セントラルフロリダ大学のオプティクス・レーザ研究教育センター（CREOL）のグループは、多モードファイバ上を伝送する多数のSDMモードのゲインを制御可能な、素晴らしいファイバアンプを開発した（Laser Focus World 2012年5月号“Few-mode fiber amplifiers assist spatial-division multiplexing”（http://bit.ly/L93VVc）。日本語版7月号「空間分割多重伝送方式を支える多モードファイバアンプ」）参照）。

ホログラフィックデータストレージ：体積記録型光データストレージは、古くから研究開発対象として取り組まれている。米アクセス・オプティカル・ネットワークス社（Access Optical Networks）は現在、同社のホログラフィックデータストレージ技術の商用化に向けて、パートナー企業を探している。同技術では、結晶メディアを利用して保存されるデータに対し、空間光変調器（SLM:spatial light modulator）を介して読み込み／読み出しが行われる（Laser Focus World2012年2月号“Holographic data storage uses volumetric crystal media”（http://bit.ly/A8jHy8）参照）。

ナノ構造レンズの製造：GRIN（gradient index）レンズは数多くの方法で製造することができるが、英ヘリオットワット大学とポーランドのIEMT（Institute of Electronic Materials Technology）で考案された「スタック・アンド・ドロー」（積層延伸）手法では、屈折率の異なる光ファイバのアレイを、直径が波長未満になるまで繰り返し延伸することによって、連続的なGRIN側面を生成する（Laser Focus World2012年8月号“Stack-and-draw produces nanostructured lenses”（http://bit.ly/MRWR1O）参照）。

光音響スキャナ：光と超音波を組み合わせることが、生体内組織に対する強力な撮像手段として実証されつつある。近赤外（NIR）光パルスは、組織内に熱を迅速（かつ安全）に生成可能で、1ミリメートルをはるかに下回る解像度で細部を捉える3次元撮像を可能とする超音波パルスを生成する（Laser Focus World 2012年5月号“In vivo photoacoustic scanner images tumor vasculature and therapy response”（http://bit.ly/IChmNG）。日本語版7月号「腫瘍血管系とその治療反応を撮像するin vivo光音響スキャナ」）参照）。

ナノ共振器光源：量子光学、暗号化、コンピューティングなどにおいて特に必要となるのは、予測可能な方法で単一光子を生成する光源である（レーザ光を大幅に減衰させる従来の方法では、出力は予測できない）。ドイツの研究者グループは、「アンチバンチング」した出力を持つ光励起の共振器を開発し、まさにそれを実現した（Laser Focus World 2012年6月 号“Nanoresonator heralds promise as new single-photon source”（http://bit.ly/LlXSNx）参照）。

センシング技術の再定義

スペックル干渉計：オランダの科学者らが開発した非結像のスペックル干渉計では、単一のフォトダイオードを使用して、散乱体の位置をナノメートル未満の精度で検出する。SLMを利用することによって、散乱体の位置に関連する波面の「指紋」を生成している（Laser Focus World2012年4月号“Speckle interferometer detects position at high speed”（http://bit.ly/H05vC4）参照）。

風力タービンライダ：世界中の多数の場所で開発されている風力タービンライダシステムによって、エンジニアによる風力エネルギー効率の改善が促進されている。このようなシステムは、連続波またはパルス波の両方で実現可能で、風力タービンのノーズまたはナセルに搭載される（**図3**、Laser Focus World2012年5月号“Wind energy gets a boost from wind-turbine lidar”（http://bit.ly/JfTKfz）。日本語版7月号「風力エネルギーを後押しする風力タービンライダ」）参照）。

テラヘルツシステム：テラヘルツ分光法によって、例えば1本鎖DNAと2本鎖DNAの違いを区別することのできる、振動、回転、並進の運動を行う分子スペクトル線へのアクセスが可能になる。テラヘルツスキャン反射率計に広帯域電気光学デントリマー発光体を組み合わせることによって、これが実現される（Laser Focus World2012年1月号“Terahertz technology enables systems for molecular characterization”（http://bit.ly/zaCK7n）参照）。

共振分光法：英ジニール社（ZiNIR）で

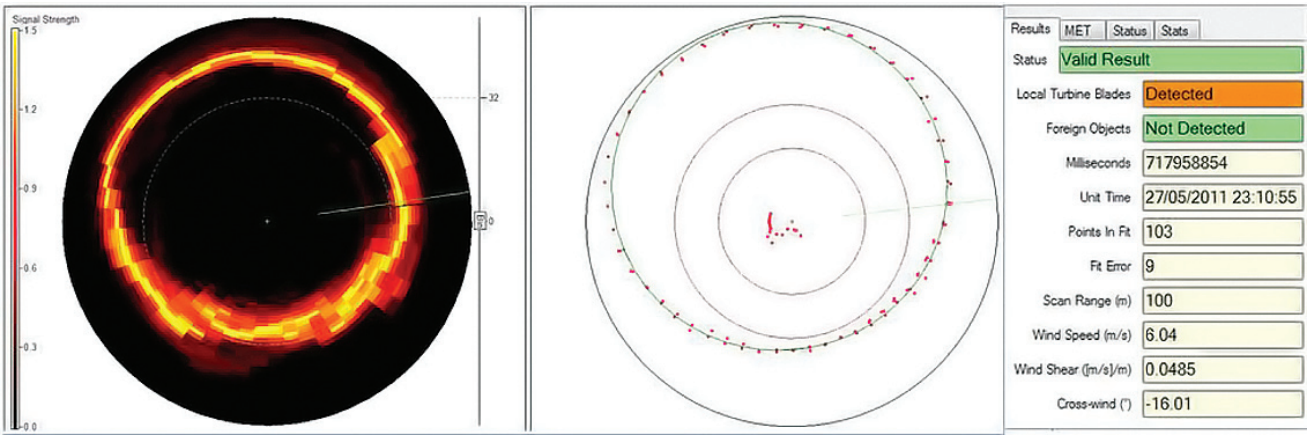

図3　風力タービンナセルに設置されたZephIRライダによって測定されたドップラーデータと風力モデル出力。データとして、生データの極座標プロット(左)、リアルタイム解析結果(中央)、参照データと、データに対するフィッティングによって計算された風特性(右)が示されている。(提供:スコットランドのナチュラル・パワー社)

開発された、サイズが0.5mm2未満の量産可能なチップベースの共振分光器によって、地上、宇宙、さらには生体組織内における低コストの分散分光器ネットワークが実現可能となる(Laser Focus World2012年10月号"Chip-based resonant spectroscopy overcomes traditional challenges"(http://bit.ly/SXfALH)。日本語版12月号「従来の課題を克服するチップベースの共振分光法」)参照)。

フォトニクス関連ツール

レーザシステムモデリングソフトウェア:レーザやアンプといった能動的なフォトニックシステムの設計が、米シムフォテック社(Simphotek)が発表したソフトウェアによってかなり容易になった。同ソフトウェアスイートには、アイコンに似たブロックを含むグラフィックインターフェースが用意されている。このブロックは操作が容易であるとともに、レーザシステムの詳細なモデル化に必要となる、非常に難解な物理現象を表すことができる(Laser Focus World2012年9月号"Simulating active photonic materials becomes easy"(http://bit.ly/RnwQtg)参照)。

レイトレーシング・ツール:光学システム設計を悩ます問題の1つであるハローという形で生じる迷光に対処するために、米デジタルオプティクス社(Digital-Optics Corp.)のエンジニアらは、特定の材料パラメータが入力されないために標準モデルでは予測することのできない、ゴースト像やハローなどの反射現象をモデル化するソフトウェアを開発した。ウエハレベルのカメラシステム設計に同ソフトウェアを適用したところ、迷光効果を大幅に低減することができた(Laser Focus World2012年1月号"Ray-tracing model pinpoints cause of stray-light halos"(http://bit.ly/weOaEk)参照)。

超高真空向けモーションコントロール:レーザベースの重力波検出器や量子光学装置といった高感度機器で必要となる超高真空環境では、モーションコントロール機器からのアウトガスが課題となることが多い。設計に改良を加えることによって、高温ベークアウト処理に耐えることができ、空気が封入し得る空洞が少なく、揮発性物質を含まないアクチュエータを実現することができる(Laser Focus World2012年5月号"UHV environments require more from motion systems"(http://bit.ly/J0YbxD)。日本語版7月号「UHV環境向けにモーションシステムを改良」)参照)。

ピエゾアクチュエータ:米ジョージア工科大学(ジョージア州アトランタ)の科学者らは従来の殻を打ち破り、生物学的な動作を模倣するピエゾアクチュエータを設計し、ロボットカメラが人間の目のように方向を自在に捉えられるようにした。研究者らは、増幅されたピエゾスタックを組み合わせて、必要な動きを実現している(Laser Focus World2012年8月オンライン記事"Biologically inspired piezo actuator lets robotic camera mimic human eye movement"(http://bit.ly/N1uTi9)参照)。

2012年のLaser Focus World誌に登場した、上記以外のすべてのフォトニクスイノベーターの方々にも感謝の意を表したいと思う。そのアイデア、デバイス、システム、ソフトウェアは既に、フォトニクスにおける次世代の進歩に向けた基礎を築き上げている。この1年間のフォトニクス関連の業績が簡単に検索可能な形式で掲載されている本誌のウェブサイトwww.laserfocusworld.comをぜひ参照してほしい。 LFWJ