

フォトニクスはますます身近な存在に： 光でウェアラブル技術の進歩を促進

ゲイル・オバートン

拡張現実や仮想現実、光る衣服、そしてヘルスマonitoringは、低コストで小型のオプトエレクトロニクス技術によって実現されたフォトニックウェアラブル業界のほんの始まりにすぎない。

情報を表示したり、フィットネスや健康状態に関する個人的なパラメータを追跡したりする多くのウェアラブル機器に、電気信号、化学反応、または材料変形技術が用いられている。しかし、多くのウェアラブル機器が光に依存している。たとえば、光を皮膚に直接当てることによって、治療やモニタリング、さらには危険な病状の予測を行う。光る衣服は、アートとしての自己主張や安全対策を目的とする。また、スマートフォンや他のウェアラブル機器を充電するために、光を照射するのではなく吸収する、太陽光発電のウェアラブル機器までもが登場している。

米ABIリサーチ社(ABI Research)は、スマートウォッチ、スマートメガネ、ウェアラブルスキャナを含むエンタープライズウェアラブル機器の売上高が、2017年の106億ドルという十分に高い状態から、2022年までに600億ドルを突破すると予測している。英アイディーテックエクス社(IDTechEx)にいたっては、ウェアラブル機器市場の規模が2027年までに1500億ドルを超える時まで予測している。

ウェアラブル機器を、フォトニクスのカテゴリに分類するのは難しいかもしれない。理論的には、レーザーマーキングによるタグや、ペットの首に付ける発光ダイオード(LED: Light Emitting Diode)ライトが、このカテゴリ

に当てはまるだろう。それらに続いて、もう少し洗練されていて技術が駆使されたフォトニックウェアラブル機器がいくつか登場しており、この民生市場が数百億ドル規模に達するとする予測の信憑性を高めている。

個人の安全と 表現力豊かなディスプレイ

まだウェアラブル機器として商用化されていないが、microLED技術に取り組む企業は、これを視覚的ディスプレイだけでなく、個人用のウェアラブルディスプレイや、指紋認証とジェスチャ認識に適用することを検討している。microLEDでは、直径1~10 μ mの微細なLEDを1mm間隔でピクセルに敷き詰めて発光させる。液晶ディスプレイ(LCD: Liquid Crystal Display)や有機

EL(OLED: Organic Light Emitting Diode)よりもエネルギー効率が高い。このピクセルをフレキシブル基板上に実装することができ、フレキシブル基板にはセンシング用の電子回路も集積することができる(図1)。米アップル社(Apple)や米オキュラス社(Oculus)などの企業がこの技術に賭けており、microLEDを手掛ける企業をそれぞれ買収している。

米ルミニット社(Luminit)はさらに、ピクセル化されたmicroLEDを近くで見たとときの視覚的な美しさを向上させるための微細な拡散技術を開発した。このディフューザは、ホログラフィック記録を行う光整形拡散板(LSD: Light Shaping Diffuser)の微細構造を、ポリエステルまたはポリカーボネートの薄膜に埋め込むことによって構成されている。このディフューザをmicroLEDの表面からわずかに10 μ mの距離に配置することにより、選択されたLSD構造に応じた任意のビーム角で、光を拡散することができる。

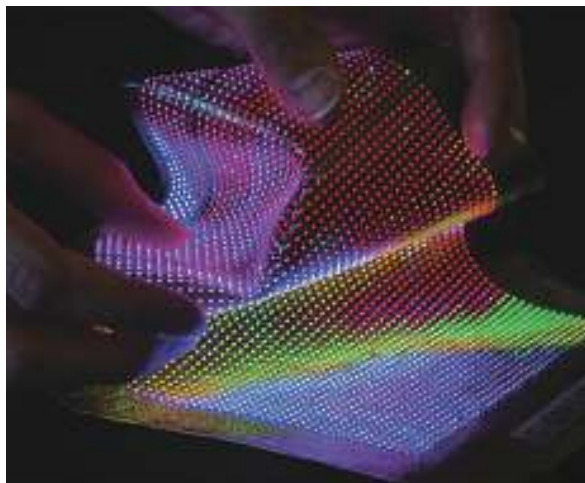


図1 高密度に敷き詰められた微細ピクセルをフレキシブル素材に実装して、個人用ウェアラブルディスプレイが構成できることを示す、microLEDパネル。(提供: オランダのホルストセンター [Holst Centre])

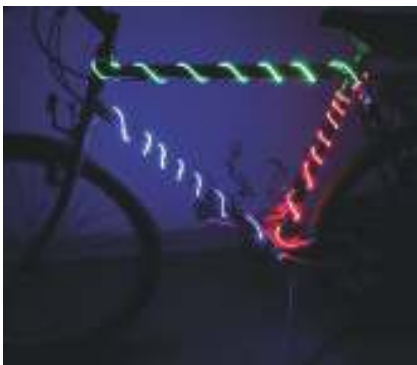


図2 バーサルルーム社は、コーニング社の光ファイバ「Fibrance」を、個性的なファッションや安全を目的に商用化しているが、それ以外にもまだ思い描かれてもいない応用分野が無数に存在する。(提供:バーサルルーム社)

現在商用化が進められているウェアラブル製品があるが、それには、米コーニング社 (Corning Incorporated) が開発した「Fibrance」という光ファイバ技術が採用されている。これについては2014年に本誌で紹介した。Fibranceは、光を最小限の損失で離れた場所まで伝搬するというものではなく、逆に損失の大きいファイバで、その長さ全体にわたって均等に発光し、microLEDや有機ELを採用する大きな光源や分散光源では到達できない場所に光を伝搬する。

「コーニング社のビジネスモデルは、数百万kmの光ファイバを大企業に販売するものだが、当社の目的は、長さ数mのファイバを数百万の民生、ウェアラブル、ゲーム、自動車分野の用途に販売することである」と、シリコンバレ

ーに新しく設立された米バーサルルーム社 (Versalume、「versatile lumens (多用途ルーメン)」という意味) の最高経営責任者 (CEO) で創設者であるマリオ・パニツシア氏 (Mario Paniccia) は述べる。

バーサルルーム社のソリューションは、レーザ、電子部品、ファイバ、バッテリー、ソフトウェアを巧みな工業デザインに統合するもので、これによって顧客は、それぞれの応用分野に専念し、照明を搭載する製品を直ちに市場に提供することができる。単色製品には、赤、緑、または青色 (639/515/450nm) のレーザが搭載されている。これに加えて、Bluetooth制御で「iOS」アプリが提供されたRGBスマートモジュールがある。加速度計、気圧計、温度モニタ、ジャイロ스코ープなどのセンサが搭載されており、連続波モード、点滅モー

ド、フェードモード、音楽ビートモードで動作することができる。

同社のソリューションは、接続オプションとしてFCまたはLCコネクタが選択できる。ファイバそのものは、コア径170 μ mでポリマーで被覆されており、10mm未満の曲げ半径と、0.5mから50m以上までの拡散長に対応する。開口数 (NA : Numerical Aperture) が大きいので (0.53)、可視光、近赤外線、紫外線 (UV) の半導体レーザとの低損失のカップリングが可能である。

バーサルルーム社のモジュールは、ウェアラブル照明の最大の課題の1つである、ファイバに光を照射するための電源/制御モジュールのサイズと重量の問題の解決を試みるものである。結局のところ、LEDや電子発光パネルを搭載するほとんどのTシャツに、単3

電池が2個必要で、快適なフォームファクタとは言えない状態にある(また、洗濯時には必ず取り外してほしい)。

「レーザ」照射の光ファイバが目や人体に安全であることを消費者に納得させるのはこれまで難しかったにもかかわらず、同社の薄くフレキシブルな製品が広く受け入れられていることに、パニッシア氏はやや圧倒されている。個性を表現するための衣服や、帽子に取り付けられたディスプレイ、光るアクセサリ、斬新なファッション表現のためのウェアラブル製品としてだけでなく、同氏はネオンのようなファイバを、自動車やヘッドアップディスプレイ、ゲーム用PC、建築照明に組み込む取り組みを進めているほか、工事現場や高速道路の作業員や、夜間にサイクリングや犬の散歩をする人々の安全を高めるための、軽量で低消費電力のモジュールの開発にも先陣を切って取り組んでいる(図2)。

ヘルス/フィットネスモニタリング

スマートフォンへの分光法の搭載については読者も聞いたことがあるだろう。その次なる画期的な技術が、分光法を(非侵襲的に)皮膚に適用することである。たとえば、針を刺して採血することなく、血糖値を確認する。米テキサス大(University of Texas)と米エンライセンス社(EnLiSense)の研究者らは、腕などの皮膚に触れる部分に着用して、血糖値やコルチゾールなど、ストレスや健康状態を表す多数の指標をモニタリングするセンサを開発したとして、Scientific Reportsに論文を掲載している⁽¹⁾。

このデバイスは、ナノ多孔質のポリアミド基板上に配置された酸化亜鉛(ZnO)の薄膜を用いて、特定の健康状態の指標となる、人間の汗の中のタ

ンパク質やコルチゾールのレベルを判定する。このセンサは民生用途に適していることが、フーリエ変換赤外分光法(FTIR: Fourier transform infrared spectroscopy)や動的光散乱法(DLS: Dynamic Light Scattering)などの光学手法によって確認されている。

また、血糖値検査に特化した手法として、独フランクフルト大(University of Frankfurt)の研究者らは、光音響分光法(PAS: photoacoustic spectroscopy)を採用している。50~60kHzのウィンドウレスの超音波と、1000~1245cm⁻¹の範囲にわたる外部発振器型チューナブル量子カスケードレーザを組み合わせることによって、グルコース分子の吸収時に皮膚細胞の血糖値を記録する音声シグネチャを生成する中赤外スペクトルを得ている。

紫外線(UV)露光、脳活動、疾患の進行状況を確認するために皮下に配置された蛍光バイオマーカーのモニタリングについては、Laser Focus WorldとBioOptics World両誌の記者が、親指の爪ほどのサイズの太陽光発電のUV線量計、ヘッドバンドサイズの機能的な近赤外分光計、POC(Point Of Care)設定において各種基本条件に応じて変化する蛍光信号を分析することのでき

るウェアラブル顕微鏡に関するニュース記事を公開している。

しかしおそらく、個人の健康と安全を目的とした究極のフォトリックウェアラブル機器は、方向を特定可能なリアルタイムの放射線量計である⁽¹⁾。ラトローブ大(La Trobe)とRMIT大(ともにオーストラリア)の研究者らが、放射性物質を取り扱う個人向けに提案するこのウェアラブル機器には、8個のテルル化亜鉛カドミウム(CdZnTe)検出器で構成された円形アレイと、10マイクロキュリー(μCi)のセシウムベースの放射線源の方向を約7秒で2°の精度で推定可能なシンプルな演算アルゴリズム(小さなマイクロコントローラによって実行)が使用されている。

身体の健康とフィットネスをモニタリングするためのフォトリックウェアラブル機器に加えて、光には治癒効果もある。スイスのバイオミメティック・メンブレインズ・アンド・テキスタイルズ社(Biomimetic Membranes and Textiles)は、LEDの青色光を、シルク素材に包まれた直径160μmのポリマー光ファイバに照射することによって、新生児黄疸を抑制する丈夫で洗濯可能なフォトリック衣服を開発した。オランダのロイヤルフィリップス社(Royal



図3 「Re-Timer」メガネは500 nmの光を照射することによって、時差ボケを解消し、睡眠の質を向上させ、交代勤務労働者の注意力を高める。(提供: リタイマー社)

Philips)は、数年前から欧州で提供している青色光のウェアラブル機器について、中度の乾癬治療に適用する認可を、米食品医薬品局(FDA: Food and Drug Administration)から最近取得した。オーストラリアで製造され、299ドルで販売されている「Re-Timer」(www.re-timer.com)は、500nmの緑青色光を照射する極薄のメガネ型ウェアラブル機器である。発明者らによると、約60分間の着用で、睡眠の質が向上し、時差ボケが解消され、交代勤務労働者は夜間勤務中の注意力を管理しやすくなるという(図3)。

Kinectのあと

米マイクロソフト社(Microsoft)の「Kinect」システムが登場したとき、誰もがガリビンギに集まり、ゴルフやテニスをしたりスポーツカーを乗り回したりするために、子供のように体を使ってジェスチャーしていたのを覚えているだろうか。人間の動きを、ディスプレイ上のアバターの視覚的なモーションに変換する赤外半導体レーザーによって制御された、変更現実(altered reality)の世界に身体を没入させる、というのがその概念だった。

それから10年もたたないうちに(第1世代のKinectシステムが発売されたのは2010年だった)、拡張現実(AR: Augmented Reality)／仮想現実(VR: Virtual Reality)／複合現実(MR: Mixed Reality)という業界用語がKinectのあとに登場し、かつてないほど小さなウェアラブルヘッドセットやメガネによって、さらに体の動きに近く、それよりも重要な点として、脳と思考プロセスに近いアクションが実現されている。

ネバダ州ラスベガスで開催された2018年のCES(Consumer Electronics Show)で、米コピン社(Kopin)は、米



図4 2018年のCESで発表されたホームシアターシステム「Eagle」は、薄型ヘッドセットから80インチのフルHDTVの視聴体験を作り出す。(提供:コピン社)

ピコ・インタラクティブ社(Pico Interactive)と共同開発したAR/VRウェアラブルホームシアター「Eagle」を発表した。720ピクセル、対角0.49インチ(約1.2cm)の有機ELマイクロディスプレイを薄型ヘッドセットに搭載することによって、10フィート(約3m)の距離から視聴した80インチの高精細(1280×720解像度)ビデオスクリーンに相当する映像を(視聴者の周辺視野と注意力を妨げることなく)生成する(図4)。

米イノベガ社(Innovega)は最近、一般的には大型になりがちなAR/VR視聴用メガネを一步前進させて、究極のウェアラブル変更現実体験を提供した。2018年1月のプレスリリースには、「イノベガ社の一連の特許は、デジタルと現実の世界を融合させて、提供されているほかのすべてを超える、妥協のない拡張現実および複合現実体験を着用者のために作り出すことができる。このシステムには、コンタクトレンズ(または外科手術によって埋め込まれたレンズ)とスタイリッシュなメガネが組み合わされている。その組合せによって、思慮深く高性能なエンターテインメントおよび情報体験がユーザーに提供される。視力矯正が必要な患者は、コンタクトレンズまたは外科埋め込みレンズに処方適用することができる」と記されている。

イノベガ社の一連の特許は、米グーグル社(Google)が申請したスマートコンタクトレンズの特許を連想させる。それは基本的に、コンピュータを目の中に埋め込むものだった。

当然ながら、多くのウェアラブル技術がすでに商用化されているか開発中である一方で、まだ民生市場に届いていない技術が、ほかにも多数存在する。たとえば、糖尿病の光学的モニタリングは、ラマン分光法(Raman Spectroscopy)から、光干渉断層撮影(OCT: Optical Coherence Tomography)に基づく技術を活用するものまで多岐にわたる。しかし現在のところ、一般大衆に提供されている血糖値の光学的モニタリング技術は1つも見つけることができなかった。急速に進化する自動運転車のライダー(lidar)、スマートフォンの3Dセンサ、米マシモ社(Masimo)などの企業から提供されているパルスオキシメータに代表されるフォトリック(LED)に基づく医療機器が成功を収めていることから考えて、まだプロトタイプ段階にあるフォトリックウェアラブル技術も、私たちが考えるよりも早く消費者の手に届けられることになるだろうと筆者は確信している。

参考文献

- (1) H. Huu Le et al. Int. J. Phys. Math. Sci., 11, 5, 202-205 (2017).