UV LEDの進歩で広がる硬化技術の可能性

ビル・コーテルユー

2013年には、生命科学や工業のさまざまな分野にわたって、さらに高出力のエミッタが登場して硬化時間が短縮し、UV（紫外線）硬化の用途におけるLEDの利用が拡大した。また、部品寿命も長くなった。

「発光ダイオード」や「LED」という語を聞いて、ほとんどの人は、照明用の目に見えるLEDを思い浮かべるだろう。確かにLED技術は、世界中で屋内照明、屋外照明、街灯、自動車、看板にますます利用されるようになっている。しかしそれ以外にも、硬化（乾燥）や偽造検出など、LEDが利用される産業分野は多数存在する。硬化用の紫外線（UV）LED技術は、世界的に採用され、成長し続けている市場分野の1つである。本稿では、UV硬化技術の現状を説明し、その分野でLEDを利用することによって得られる効果について考察する。

UV LED硬化とは、LEDからのUVスペクトルにおけるエネルギー出力を利用して、インク、コーティング、接着剤などのUV硬化可能な材料を処理する技術のことである。UV光によって生成されたエネルギーは、材料の重合につながる連鎖反応を引き起こし、これによって材料の硬化（キュアリング）が生じる（**図1**）。UV LED硬化の詳しい背景については、記事「UV LEDs ramp up the quiet side of the LED market」（UV LED、LED市場の知られざる分野の発展を促進）を参照してほしい（http://bit.ly/1bY7FTg）。

従来は、水銀を用いたUVランプが硬化に利用されてきたが、現在では、エネルギー効率に優れ、環境に優しいLEDを用いたUV技術が、多くの用途に対して優れた方法であることが実証されている。LED硬化技術では半導体ベースのLEDを利用し、LEDに電流を流すことによってUV光を照射する。LEDに順方向バイアスをかけると、電子は素子内の正孔と再結合することができ、光子という形でエネルギーを放出する。照射光の色や、対応する光子のエネルギーは、半導体材料のエネルギーギャップによって決まる。汎用照明用のLEDを製造する多数の企業が、UVスペクトルで放射するLEDも製造している。

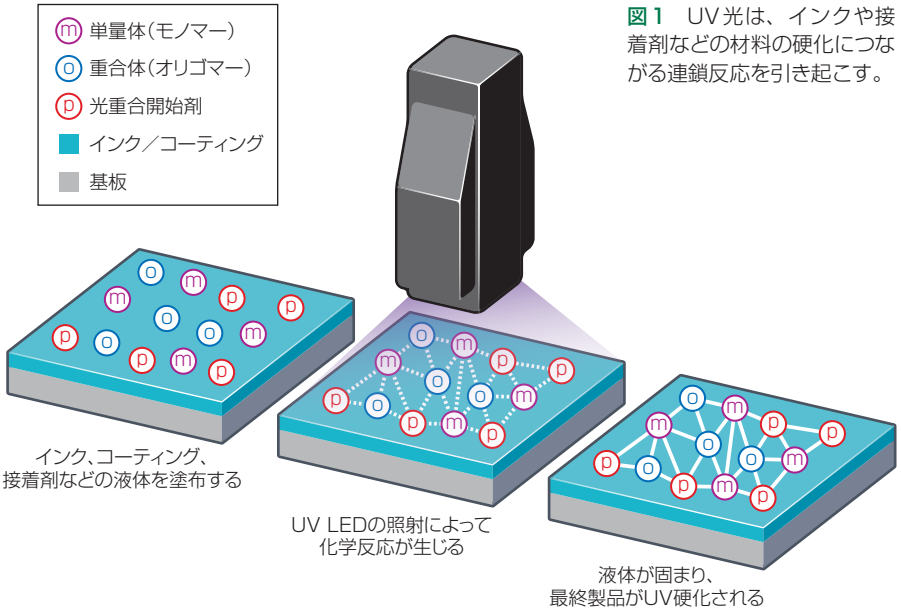

図1 UV光は、インクや接着剤などの材料の硬化につながる連鎖反応を引き起こす。

UV LED硬化技術の進歩

LEDランプは、消費エネルギーが低く、寿命が長く、堅牢性に優れ、小型で、オン／オフの切り替えが速いなど、多数の利点があることは多くの業界で認められている事実である。このような利点は、硬化の用途においても重要な要素である。

UV LED硬化技術はこの数年間で著しく進歩し、現在では、印刷、コーティング、接着剤といったさまざまな応用分野で簡単に利用できる状態にある。生産性に優れ、また、環境に優しいというますます多くの最終顧客が望む性質を備えるなど、多数の利点によって、企業によるUV LED技術の採用が促進されている。UV LED硬化システムを

開発するメーカーは、主要なサブコンポーネントが相互に作用する仕組みを理解することによって、最適なシステムを構築することができるだろう。それによって、プロセスが環境に与える全般的な影響を抑えるとともに、生産性や製品性能を維持または向上させることができる。

応用分野

硬化の市場は広範で、ニッチな応用分野が多数存在する。しかしここでは、主な応用分野の一部を紹介することにする。

印刷：UV硬化プロセスは、印刷業界において30年以上前から利用されている。UVプリンター向けのLED硬化技術には、経済的であること、システム能力が高いこと、環境に優しいことといった魅力的な利点があり、目覚ましい勢いで旧式の技術にとって代わりつつある。UV LED硬化は、デジタルインクジェット、スクリーン、フレキソ印刷などの印刷プロセスにおけるインクのUV硬化に最適な技術である。

コーティング：世界中で現在、床張り材や高級家具といった従来の素材から最先端エレクトロニクスにいたるまでの多様な分野において、膨大な数のコーティングがUV LED照射源によって硬化されている。材料の進歩と長期性能試験によって、自動車、エレクトロニクス、住居、商用建設資材の分野におけるさらなる市場開拓が見込まれる。

接着剤：UV接着剤は、UV LEDの電子制御や安定性により、最新の組立および製造プロセスにおける重要な道具となっている。医療機器から最先端民生電子機器にいたるまでの幅広い分野において、UV LED接着剤による優れた効果が実証されている。

2013年の動向

2013年には、UV LEDの利用がさらに大きく増加した。これまでの数年間で、広範囲にわたる応用分野に対して、UV硬化の普及率と有用性に関する議論が大いに交わされた。基本的に、「UV LED硬化技術は期待どおりの成果を達成するだろうか」という疑問がその論点だった。そして得られた回答は「イ

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 373 回 6月17日(火) 15:30-17:30	「人に優しい3Dディスプレイ技術と映像コミュニケーションへの応用」 講師：高田　英明 氏 （NTTメディアインテリジェンス研究所　主任研究員）
第 374 回 7月21日(火) 15:30-17:30	「空間多重伝送を実現する光ファイバ技術」 講師：八木　健氏 （古河電気工業(株)ファイテルフォトニクス研究所　部長）

■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　潮田、綿貫
〒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/

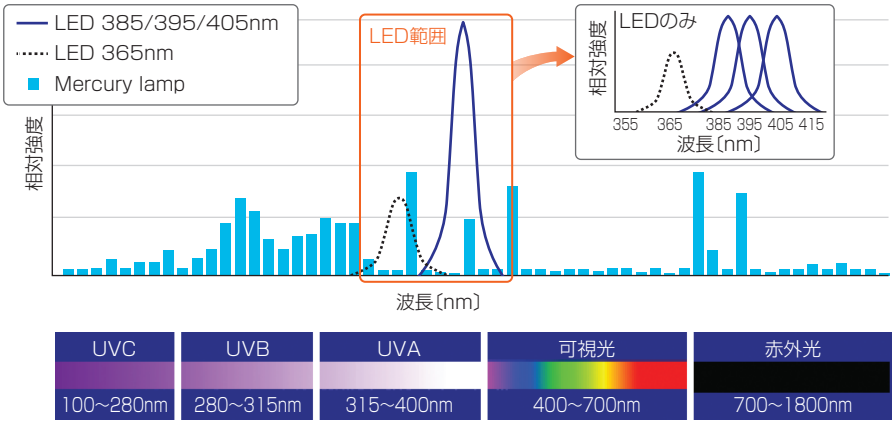

図2 UV LEDのスペクトルエネルギー分布は、かつて広く利用されていた旧来の水銀ランプとは異なる。

エス」である。実際、期待を上回る成果が達成されており、今後も力強く成長し、ますます発展し、UV硬化の新しい市場を開拓することが見込まれる。

当初懸念されていた出力、寿命、コストの問題は、技術と製品の急速な進歩によってすべて解決されている。UV LED硬化技術は現在、広範囲にわたる応用分野の要件を満たし、目覚ましいペースでさらに進歩し続けている。最高レベルの硬化速度要件に対応する16W/cm^{2}のランプが、2年以上前から量産出荷されている。ランプメーカーによる一般的な予測寿命は、点灯時間で2万時間以上と、数年前の2倍に達している。主要メーカーがさらに寿命の長いランプを製造する日も近いだろう。およそ3万時間という、多様な硬化用途の使用期間に見合うか、それを上回る寿命を持つランプが登場する可能性は高い。

UV硬化可能な材料を提供する企業のほぼすべてが、技術と製品に関する積極的な開発計画によって、UV LED硬化可能な化学物質を推進している。UV LEDランプは単色であることから化学者による特別な配慮が必要だが、それはかつて懸念されていたほど長期的な障害とはなっていない。

UV LED硬化プロセスの利用に関する最も興味深い側面の1つは、エネルギー照射に対する高精度な電子制御によって、多数の新しいプロセスの可能性が開かれるという点である。多くのユーザーがそれぞれのプロセスに調整を加えて、他の手段では実現できない成果を達成している。現在では、多数の独自のエネルギー制御手法が、さまざまな応用分野にわたって採用されている。

最近の実績

2013年に達成された主要な実績を振り返ってみよう。Labelexpo Europe 2013展示会は、UV LEDの大規模な普及が反映されたものとなり、UV LED硬化が急速に普及しているという主張を実証していた。同展示会は過去最大の参加者数を記録した。158カ国(2011年の123カ国から増加)からの3万1795人(2011年から11%増加)もの来場者があり、出展企業数は600社近く(2011年の550から増加)にも上った。どこを見渡しても、UV LED硬化システムが機器に実装されていた。従来のデジタルインクジェットの他に、回転スクリーン印刷、エリア硬化、オフセット、フレキソ印刷がUV LEDの有効な応用分野として加わっていた。

Labelexpo 2013をLabelexpo 2011と比較すると、同技術が業界でどれだけ急速に普及したかが明らかである。2013年の展示会では、80を超えるUV LED硬化ランプが装置に実装されていた。2011年の10個から8倍にも増加したことになる。硬化の用途はピニングからフルキュアまで多岐にわたり、プリンタの多くがUV LEDを100%採用するものだった。

Label & Narrow Web、Labels & Labeling、NarroWebTechの各誌が主催するラベル産業世界賞(LIGA:Label Industry Global Awards)のAward for Innovation部門は過去最高の応募件数を記録し、米マーク・アンディ社(Mark Andy)とルクセンブルクのフリントグループ社ナローウェブ部門(Flint Group Narrow Web)が共同受賞した。フリントグループ社の受賞対象は、UV LEDインク技術「Ekocure」である。審査員らは同技術について、硬化反応の改良、コストの削減、生産性の向上、廃棄物の低減、エネルギーの節減、安全性の向上といった、ラベル業界の将来に間違いなく多大な貢献をもたらすであろう成果を達成したとして高く評価した。マーク・アンディ社は、高い生産速度と50%のエネルギー節減を達成する、補完的なインク硬化技術「ProLED」で受賞した。

材料を提供するベンダーの増加

10年ほど前にUV LED硬化が最初に登場した頃には、UV LED技術が適用可能なインク、コーティング、接着剤の種類は極めて少なかった。**図2**に示すように、UV LEDのスペクトルエネルギー分布は水銀ランプとまったく異なり、帯域がかなり狭い。この違いから、新しい材料組成が必要になった。

図3　空冷式のUV LED硬化システム。

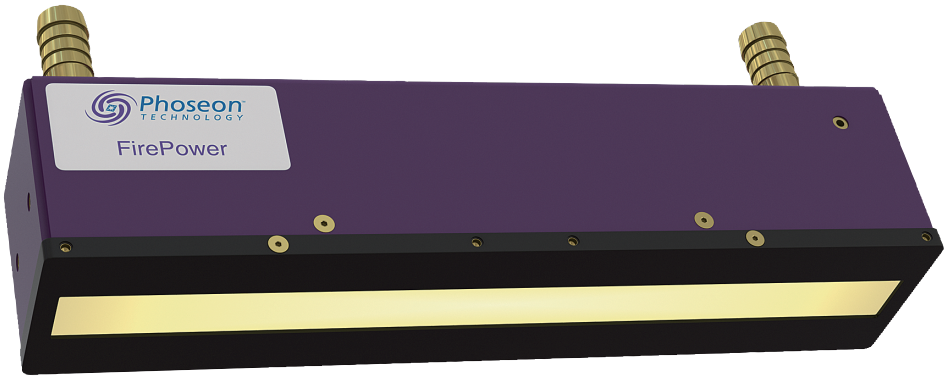

図4　水冷式のUV LED硬化システム。

現在では、多数の材料ベンダーがLED対応の材料を提供することを大々的に謳っている。新しい樹脂、単量体、重合体、光重合開始剤が開発され、UV LED硬化材料の新たな可能性が切り拓かれた。インクだけでなくコーティングや接着剤についても、LED用に特別に組成されたものや、LEDと従来の照射源の両方に対応するものが広く提供されている。

性能のさらなる向上

UV LEDランプ技術は、非常に広範囲にわたる既存および新規の産業分野に対応できるだけの十分な能力と機能を備えるまでに進歩した。これに対応する材料も開発されたことから、UV LEDのエネルギー出力は現在、従来のUV硬化ランプと同等もしくはそれ以上に達している。UV LED硬化装置は、より高いエネルギーをより効率的に媒体に照射するため、スループットとプロセスの柔軟性が高いだけでなく、環境に優しくエネルギー効率に優れた手法でもある。そのさまざまな利点に後押しされて、エンドユーザーによるUV LED硬化技術への移行が急速なペースで進行している。**図3**と**図4**はそれぞれ、空冷式と水冷式のUV硬化製品である。

この進歩によって、新たな応用分野が切り拓かれている。高出力の空冷式製品が最近登場したことにより、木材コーティング業界においても、エッジコーティング、ローラーコーティング、デジタル印刷などの用途にUV LED硬化技術が利用できるようになった。UV LED技術を採用すれば、消費エネルギーが著しく削減されるとともに、加工物の表面温度を大きく低下させることができる。エッジコーティング工程ではUV LEDを利用することで、一貫した高品質な仕上がりが保証される。UV LEDはコンパクトであることから機械のサイズを小さくすることができ、UV出力が一貫していることから機械の速度を上げることができる。また、UV LED光の拡散性を利用して、これまでは複数のランプをさまざまな角度で照射することが必要だった特殊な形状の面を、より効果的に硬化することができる。

UV LEDはローラーコーティングにも最適で、制御されたゲル化とフルキュアの両方の工程に適用できる。利点としては、ローラーコーティングラインの長さが短くなり、効率が高くなるため、工場におけるフロア占有面積が縮小できること、UV出力の低下がなく稼働時間が増加すること、赤外線加熱がないために入力ストックのコストが低くなること、電力効率が高く、高価な排気システムが不要であるために運用コストが抑えられることなどがある。

厳密には木材を対象とする用途ではないが、多様な材料表面に自然な木目をつけることもUV LED硬化インクジェット印刷によって可能である。ピニングランプとフルキュアランプを組み合わせることで、天然の木目を模倣する質感を再現し、自然な見た目と、(それよりも重要な)手触りを実現することができる。これは、装飾やアクセントの分野では特に貴重な能力である。

UV LEDが新たな応用分野を開拓

UV LED技術によって可能になる新しい応用分野が多数存在する。携帯電話、有機EL(OLED)テレビ、タッチ画面用の高度なフラットパネルディスプレイの製造を取り上げよう(**図5**)。UV LED技術はこの分野に最適であり、優れた一貫性を実現しつつ、パネルに加えられる熱は低い。電子部品の熱損傷がないことから、LED技術はより多くの材料に適用可能で、製造歩留まりの向上につながる。

UV LED硬化技術は、蒸留酒、健康/美容製品、ワイン、炭酸飲料、ビール、ボトル入り飲料水、ソフトドリンク、食品のガラス容器や、販促用ガラス製品業界向けの装飾的なボトル印刷にも

図5　フラットパネルディスプレイ製造は、UV LED照射源によって実現される複数の応用分野のうちの1つである。

利用されている。このような装飾加工では、UV LED照射源を利用してガラス容器表面のインクを硬化させることにより、印刷品質を高めることができる。

UV LEDによる点字印刷を利用すれば、ラベルやパッケージを瞬時にパーソナライズしたり、簡単に変更できる柔軟性を持たせたりすることもできる。メッセージを頻繁に変更したい場合は（日付、名前、言語の変更など）、工程を制御するコンピュータを更新するだけでそれが可能だ。印刷の代わりに従来のスタンプ方式を利用する場合は、変更ごとに新しい輪転機が必要になる。パーソナライズや柔軟性以外にも、パッケージ上の点字印刷の品質が向上するという利点がある。多様な言語に対応して読みやすいラベルを作成することができる。

応用分野は装飾的用途にまで及ぶ。装飾印刷は、グロス、マット、ホログラフィックの加工に対して非常に優れた効果を発揮する。鋳造（キャスト）と硬化（キュアリング）は、給紙やウェブの分野において、さまざまな基板上に装飾的なホログラフィック加工を施すための成長著しい技術である。コールド箔は、金属箔をインラインでプレス速度で適用するもので、無限の色スペクトルに対応する。UV LED技術によって、さまざまな環境においてこのような加工を施すことができる。

低温であるというUV LEDの利点も、多様な基板に適用できるという点において、応用分野の拡大につながる。UV LEDは、木材、金属、セラミックタイル、プラスチック、ガラス、3Dテクスチャ印刷用プラスチックなどの表面の硬化に対応する。連続するレイヤのピニングにより、深みと現実味のある質感が実現できる。また、連続レイヤに対して接着剤やコーティングを硬化すると、粘着性とフロー制御が向上する。

UV LED硬化技術の展望

2014年には、従来の硬化手法では実用化できなかったUV LEDの新たな応用分野が多数登場し、引き続きUV LEDが急速に普及するだろう。フレキシブルな高解像度有機EL（OLED）などの最先端ディスプレイ技術と、高速で次元的に高精度なAM（Additive Manufacturing）はともに、エネルギー照射が正確で熱負荷が低いというUV LEDシステムの恩恵を受けることが見込まれる。UV LEDエコシステムの発展に伴い、その他にも応用分野が出現することは間違いない。材料メーカーは、LEDの特徴的なUV出力向けに特に開発された単量体、重合体、樹脂、光重合開始剤など、さらに幅広い選択肢の中から自社製品の主要構成物質を選択できるようになるだろう。

規制の問題によっても、同技術の進歩が促進されるだろう。世界中の法規制当局や非政府組織が、水銀を含む製品をめぐる問題に取り組み続けている。欧州連合のRoHS II（Reduction of Hazardous Substances：特定有害物質の使用制限）が、水銀を含む機器に対する適切な代替品の探索を重視する一方で、国際連合のUNEPプログラムでは水銀の除去を目的としている。UV LEDランプは現在、大多数の硬化要件に対し、この問題に対する費用対効果が高く有効な解決策となっている。

著者紹介
ビル・コーテルユー（BILL CORTELYOU）は、米フォセオン・テクノロジー社（Phoseon Technology）の社長兼CEO。

LEDJ