

マルチビームによるレーザマーキング：個々の製品のトレーサビリティを実現する

フローレント・ティボー

製品トレーサビリティのためのレーザマーキングは、永続的で、非接触式で、使用する消耗品が少ない、エコフレンドリーな処理である。マルチビーム技術は、個々の製品のトレーサビリティの広範な採用に伴って、新たに出現しているニーズに対応するために、そのスループットを向上させることができる。

顧客エンゲージメント、偽造防止、ブランド保護、トラッキング（追跡）、サプライチェーンに沿ったトレーシングは、業界規模の懸念事項である。個々の製品のトレーサビリティを導入すれば、バリューチェーンを構成するすべての人々にメリットがもたらされる、複数の用途が存在する。食品がどこで生産されたものかが気になる消費者、公衆衛生を保護するために偽造医薬品と闘う医療機関、製造を移転するために運用効率の最適化を図るメーカーのすべてが、2次元バーコード⁽¹⁾の素晴らしい情報伝達能力の恩恵を受けることになる。

グローバル化されてデジタル接続された世界への移行が進み、さらなる制御と透明性が消費者によって求められ

る中で、個々の製品のトレーサビリティに対する需要は、さまざまな業界分野において、かつてないほど高まっている。データ管理インフラとサービスは現在、広く提供されている状態にあるが⁽²⁾、ブランドやメーカー各社にとっての最大の課題は、自社製品をいかに個々に識別するかにある。

標準的な産業用マーキングソリューションは、精度、スループット、品質のすべてを兼ね備えてはいないため、増加の一途をたどるさまざまな用途の要件を満たすことができない。近距離無線通信(Near Field Communication : NFC)などの無線技術は魅力的だが、大きな規模で実装するにはコストがかかる。特にインク、コーティング剤、溶剤を使用する場合は、マーキングソ

リューションのエコロジカルフットプリントについても、考察が必要である。

レーザマーキングは、正しい方向への一歩である。

標準的なレーザマーキング

使用する消耗品が少ない、非接触型のレーザは、ほとんどの梱包材に永続的なマークを直接付けることができる。

標準的なマーキング用途に対し、3つのレーザ技術が広く利用されている。短波赤外領域(SWIR)で動作する炭酸ガス(CO₂)レーザ、近赤外領域(NIR)で動作するファイバーレーザ、そして、可視光またはUV領域で動作する固体レーザである。レーザ波長は、対象材料と、マーキング速度に応じた出力によって決まる。レーザに、ガルバノスキャンシステム(スキャナ)を組み合わせることによって、レーザメーカーが構成される。

レーザ業界において、スループットは古くから、レーザビームの移動速度と等価である。それは、早く書くために速く鉛筆を動かすことに似ている。スループットは高いほうが必ず好都合で、レーザ業界はそれを実現するために、レーザ出力を上げ、パルス繰り返

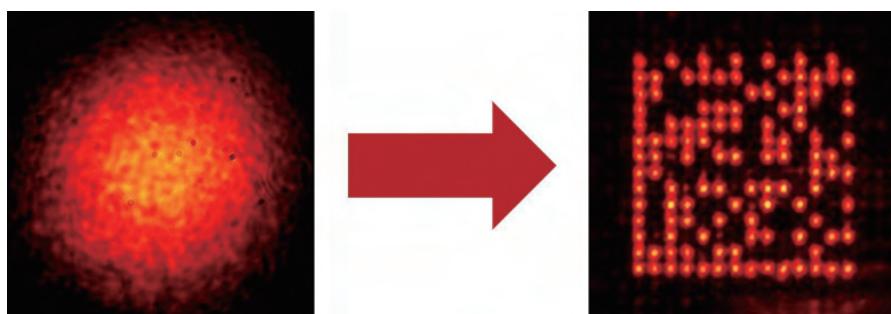


図1 レーザビーム(左)は、個々のビームレットで構成されるビームパターン(右)に変換される。

し周波数を上げて、スキャンミラーを高速にした。しかし現在、コストと複雑さの両方の観点から、さらに速度を上げるためにこれ以上投資することが、多くのユーザーにとって難しいという、投資の限界に到達している。

現在、標準のレーザマーキングシステムは、次々に登場する幅広い種類の新しいユースケースによって深刻な課題を突き付けられており、以下に挙げるさまざまな理由に基づき、十分なスループットを提供できない状態にある。

マーキングが小さすぎる。3mm未満になると、レーザマーカーは非効率な領域で動作することになる。ミラーは絶えず慣性に逆らって、非常に小さな距離を行ったり来たりして動くことになるためである。

対象物の動きが速すぎる。移動物体に対するレーザマーキングは、「マーキングオンザフライ」(MOFT)と呼ばれる。これには、スキャナを駆動するための高額な電子部品が必要で、それによって、マーキング中に物体の線形動作を補償する必要がある。MOTFでは、最大ライン速度が毎分約100mにも達し、マーキング品質は低下する場合が多い。

物質が加工困難な表面特性を備えている。ポリマーやガラスなどの物質は、高いスループットでのレーザマーキングが難しいことでよく知られている。ポリマーは、焼けなどの悪影響を避けるために低い出力を使用しなければならない可能性がある。ガラスは、マーキングしきい値が非常に高く、品質問題につながる微小亀裂が生じる傾向にある。

現行のパラダイムでは限界が見えている。パラダイムシフトを検討するか、少なくとも突破口を探さなければならぬ。



図2 ダイナミックビームシェーピングシステム「VULQ1」(写真に示されているのはレーザヘッド)。

画期的なイノベーション： マルチビームレーザマーキング

ゲーテンベルク(Gutenberg)は15世紀に、印刷機を発明した。1冊の聖書を印刷するのに3年を要し、180冊が印刷された。それによって、欧州全域で情報が広く伝達されるようになり、教育は急速に広範囲に拡大していく。それはやがて、啓蒙時代(Siècle des Lumières : Age of Enlightenment)へとつながった。

マルチビームレーザマーキングの概念はそれに似ている。「鉛筆」に相当するレーザビームが、「印刷」を行うビームレットのアレイに置き換えられる(図1)。数十本のビームレットによって物体へのマーキングを同時に行うことにより、スループットは劇的に向上

する。ただしここでは、ビームレットは動的に生成されて、ソフトウェアによって個別に制御されるため、この印刷機はデジタルである。

このシステムの中心にあるのは、液晶オンシリコン型空間光変調器(LCOS-SLM)と呼ばれる電気光学部品である。これは、レーザビームを反射するミラーとして使われる、特殊な液晶ディスプレイ(LCD)である。これに光を当てるとき、各ピクセルが電子的に制御されて、「位相」と呼ばれる、目には見えない光の属性が局所的に変調される。この位相変調は、仮想的なホログラムのようなもので、集光レンズの焦点において光強度のパターンを生成する。

LCOS-SLMを産業用途、特にレーザ

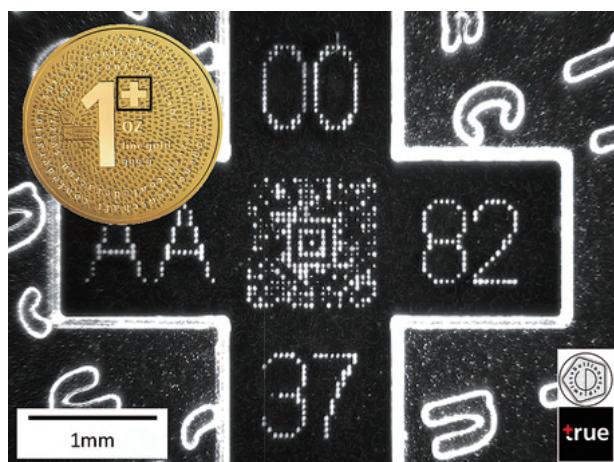


図3 偽造防止のために金塊の上に刻印された複雑なマイクロマーキング。マーキングには、英数字と特殊なAztecコードが組み合わされており、プロプライエタリな暗号化鍵が組み込まれた、さまざまなサイズのドットが分布しているのがわかる。

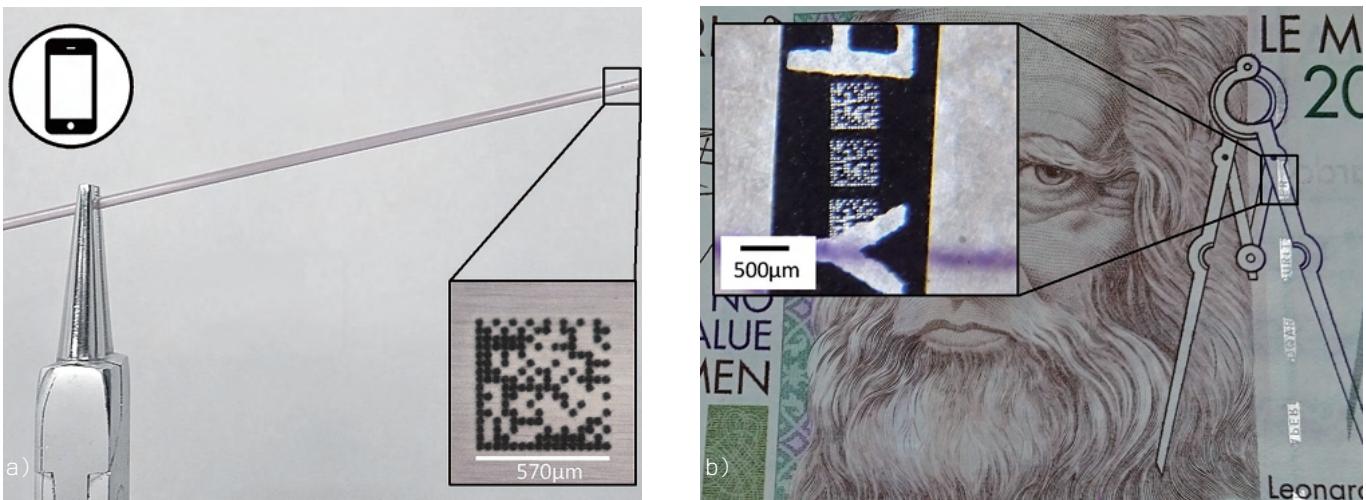


図4 (a)は、2mm幅のPVC製の糸に対するロットマーキングで、速度は1時間あたり77,000パート。(b)は、ロールツーロールの生産環境における金属化PET基材に対するマーキングで、速度は1秒あたり2000マイクロコード。

マーキングなどの高出力用途に適用するには、以下に関する深い理解と経験が必要である。

- ・レーザと物質の相互作用：良好なマーキングソリューションを定義するために必要な出発点である。
- ・アルゴリズム：光を適切に操作するために必要な、特殊なプログラミング。マルチビームレーザマーキングの性能を左右する主要因子である。
- ・光学機械設計：ガウシアンとレイトレーシングの両方の設計理論を、特殊な形で融合することが求められる。
- ・LCOS-SLM技術：適切な性能を選択して、信頼できる動作ウインドウを定義するための技術である。

仮キオバ社(QiOVA)は、世界初となるダイナミックビームシェーピングシステム「VULQ1」(図2)を2015年に提供開始した。VULQ1は現在、スタンダードなOEMマルチビームレーザマーキングシステムに統合されている。

マルチビームレーザマーキングの応用

用途に応じて、FULL-STAMP⁽³⁾とPIXEL-STAMP⁽⁴⁾という2つのマーキ

ング手法がある。以下では、FULL-STAMPマーキングを紹介する。

FULL-STAMPマーキングは、産業用途向けに高スループットのマイクロコードを作成する。マイクロコードとは、一般的に500μm～3mmのサイズのデータマトリックスコードである。

マイクロコードは、固有のシンプルな読み取りシステムを必要とするため、プロ向け用途に特化したものである。マイクロコードは、プリント回路基板(PCB)コンポーネントなどの貴重な小型部品の識別や、個別のトレーサビリティ情報の追加に用いられる。後者はブランド各社にとって、エレガントで効果的な偽造防止策である。

マイクロコードの最大の特徴は、サイズが小さいことである。標準のレーザマーキングは通常、慣性が原因でこのサイズには対応できない。このようにサイズが小さな場合は、ガルバノスキャナによってミラーの位置を制御する方法では決して効率的に動作できない。ミラーは絶えず、行ったり来たりを繰り返すためである。

マルチビームレーザマーキングは、マイクロコードのマーキングに特に適

している。特許取得済みのFULL-STAMPマーキング手法を使用すれば、マイクロコードをシングルパルスでマーキングすることができる。例えばVULQ1は、入力レーザビームを、「ビームパターン」と呼ばれるビームレットのマトリックスに変換する。ビームパターンは、マーキングするデータマトリックスコード、英数字、または画像を表す(図3)。

ビームパターンを構成するビームレットを、対象物に同時に照射することにより、永続的なコードが数ナノ秒以内に表面に直接スタンプされる。続けて、ソフトウェアによってビームパターンが数十ミリ秒以内に変更されて、次のレーザパルスによる次の製品のシリアル化が行われる。

FULL-STAMPマーキングのメリットは以下のとおり。

- ・マーキング速度：シリアル化用の固有コードは1秒あたり20個、ロットマーキング用のコードは1秒あたり1000個。
- ・卓越したコード品質：コード全体を一度にマーキングするため、小さなサイズにもかかわらず完璧なジオメト

りが保証される。

- ・高速動作のラインに簡単に統合：必要条件は目標位置に照射することだけで、高額な電子機器は不要である。
- ・最大限の効率：シングルパルスによるマーキングは、物質に吸収される熱損失が最小限で、繊細な部品に対しては好都合である。

最大マーキング速度を定義するパラメータは、用途によって異なる。シリアルライゼーションの場合、FULL-STAMPマーキング速度は、位相変調機構を駆動する、SLM液晶の動作によって定義される。一方、ロットマーキングの場合は、同じコードを繰り返しマーキングするのであればSLM液晶は同じ位置にとどまるため、マーキング速度はレーザパルスの繰り返し周波数によって定義される(図4)。

コード品質は、主に可読性(コード内容を高速かつ正確に読み取る確率など)に影響を与える。可読性は、規格で定められたグレード(等級)に基づいて評価され、グレードAは最も読み取りやすく、グレードFは最も読み取りにくい。マルチビームマーキングの場合、マトリックスコードは、ビームパターンで既に定義されており、一度にマーキングされる。この完璧なジオメトリが、標準のビジョンツールで読み取る際の卓越した堅牢性につながる(図5)。

MOTFの場合は、マルチビームマーキングによって、完璧な品質が毎分数百メートルの速度でシームレスに実現される。速度が毎分500mの場合、コード全体のマーキングに必要な数ナノ秒の間に、対象物は $0.05 \mu\text{m}$ 移動する。シンプルな同期機構だけで、正しい位置への照射が可能である。現在の産業用DPSSレーザは、標準ジッタが $1 \mu\text{s}$ 以下であるため、 $10 \mu\text{m}$ 未満のコード位置精度が得られる。

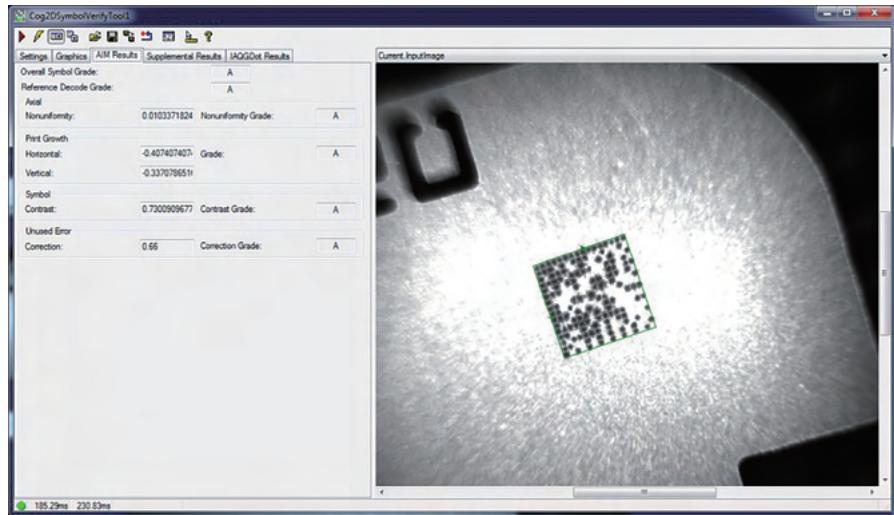


図5 グレードAのマーキング品質を必要とする医療分野の用途を対象に、銅基材上にオンザフライでマーキングされた $800 \mu\text{m}$ のマイクロコード。

FULL-STAMPマーキングの最大の欠点は、すべての状況に適用可能ではないことである。適用範囲は、VULQ1マルチビームシェーピングシステムに対して規定される、最大エネルギーによって制限される。これは、信頼できる動作を確保するための重要なパラメータである。

結論

さらなる透明性に対する世界的な規制と消費者の需要が高まる中で、メーカーは、サプライチェーンに沿った可視性を確保するためのソリューションを求めている。ますます競争が激化する消費者市場において、ブランドは、顧客一人一人に直接向き合うとともに

に、自らを偽造防止から守るためにソリューションを求めている。個々の製品のトレーサビリティは、そうしたニーズを満たすソリューションである。

マルチビームマーキングは、標準の産業用マーキング手法では現時点では実現できない、多くの状況における個々の製品の識別を可能にする。それは、産業用マーキングのプロセス並列化という潜在的能力を活用して、デジタル技術を組み合わせることにより、幅広い種類の新たな可能性をブランドやメーカーに提供するものである。

消費方法のデジタル化は、大きな機会を伴ってやって来るグローバルトレンドである。あなたはその機会をつかむ準備ができているだろうか。

参考文献

- (1) Most common 2D codes are data matrix for B2B applications and QR codes for B2C applications.
- (2) See <https://bit.ly/3x0IWkG>.
- (3) See <https://bit.ly/3Kf1WPZ>.
- (4) Patent pending
- (5) See <https://bit.ly/3x6yTdZ>

著者紹介

フローレント・ティボー博士(Dr. Florent Thibault)は、仏キオバ社(QiOVA)の社長兼最高経営責任者(CEO)。e-mail: f.thibault@qiova.fr URL: www.qiova.fr/en