

# ポリゴンビームスキャナが可能にする 重要アプリケーション

ジョン・ウォレス

レーザビームの反復的高速直線スキャニングの実現は大抵の場合、回転ポリゴンミラーが最適だ。

レーザスキャニングシステムは、2Dや3Dプリンティングから材料加工、ライダなど、用途は多い。レーザビームのスキャニングは、ほとんど常に1個以上の可動ミラーでビームを反射することで達成される。たとえば、1つのアプローチは、1個以上の振動ガルバノメータ(ガルボ)ミラーを使う。これにより1次元、2次元でビーム位置の任意の制御が可能になる。

しかし、必要とされるものが反復リニア(直線)スキャンだったら(すなわち、ステージのゆっくりした動き、あるいは垂直方向の第二ミラー、2Dラスタスキャン)、簡単にするには回転ポリゴンミラーに勝るものはない。リニアスキャンに必要な、より複雑な制御系をもつ振動要素がないからである。fシータレンズはポリゴンミラーの定角速度をワーク表面で線速度一定(CLV)に変換するが、fシータレンズと組み合わせて、ポリゴンミラー(とその関連モータ)は、簡単に高精度スキャンを生み出すことができる。以下は、同技術の商用例の一端である。

## 静圧気体軸受回転スピンドル技術

米ケンブリッジテクノロジーリンカーンレーザ社、プロダクツ部門のエンジニアリングリーダー、グレン・シュトゥッツ氏(Glenn Stutz)は、同社が製造する、ポリゴンミラーベースのレーザビームデリバリシステムについての

バックグラウンド、設計、製造、一般的なポリゴンミラーの用途を説明している。

「これらのミラーは、光学面を造るために、一般にシングルポイントダイヤモンド加工技術を用いてアルミニウムから造られる」と同氏は言う。「アプリケーションによっては、超高速ゆがみに対処するために、ベリリウムが使われることがある。後加工、薄膜金属、あるいは多くの場合、誘電体がミラー面にコーティングされる、これはミラー性能を特殊アプリケーション向けに

調整するためである」。

スキャナ組立内部では、ポリゴンミラーの回転は、ブラシレスDC電気モータを介して行われ、ボールベアリング、または空気ベアリング回転スピンドルで支持されている、とシュトゥッツ氏は説明する。ミラースピンドルは、厳しい基準値に対して設計、製造されているので、反射レーザビーム内でひずみを最小化する滑らかな回転動作を保証する。「ブラシレスDC駆動モータは、低コギングトルクを生み出すように設計されており、ポリゴンスキャナ



図1 大容量ケンブリッジテクノロジーリンカーン社のレーザ静圧気体軸受ポリゴンスキャナは、部分減圧された光学チャンバを持つ。(提供:ケンブリッジテクノロジー社)

は、数rpm (1分あたりの回転)から最大55,000rpmを超える速度の範囲で滑らかに回転する」と同氏は付け加えている。

ポリゴンスキャナは、多くの多様なアプリケーションで見つけることができる。これには、皮膚処置や網膜スキャンなどの医療アプリケーションが含まれる。他の用途は、印刷、マーキングやコーディング、計量、材料加工、アディティブマニファクチャリング (AM) 技術、農業の選別、ライダなどがある。

アプリケーションの中には現在、スキャン速度をかつてない増加率で速めているものがあり、将来世代の医療や産業用レーザー工具用途に向けたものである。「残念ながら、ボールベアリングの性能は、これら高速アプリケーションの多くでは、許容できないレベルにある」とシュトゥッツ氏は言う。「もっと小さなミラーでは、最大速度55,000rpmまでの動作で、空力軸受回転スピンドル技術を利用できるが、もっと大きなミラーの高速利用では、最近まで選択肢がなかった。これら新興の要求に対処するために静圧気体軸受回転スピンドル技術が開発され、高速化された回転速度でより大きなミラーのペイロード要件に応えられるようになった」。

静圧気体軸受 (ベアリング) 回転スピンドル技術は、空力ベアリングで一般に使用される回転スリーブではなく、回転シャフトを組み込んでいる。この静圧気体固定スリーブデザインは、支持を最適化するためにベアリング面に沿って配置された2つの空気ジェット列を持つ、また動作中のベアリング圧力損失の場合の損失を緩和するために空気力学的特徴も備えている。最高の回転速度を実現するために、スキャナ

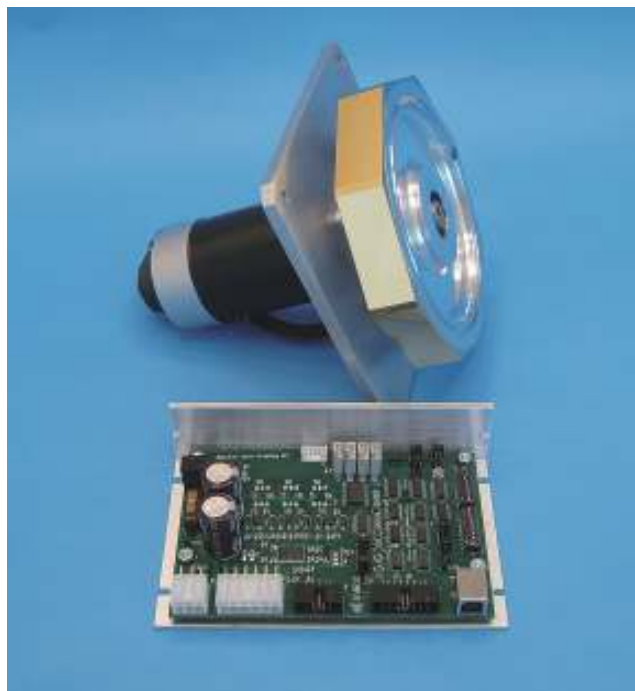


図2 プレシジョンレーザースキャンEagle-Eyeスキャナのコントローラは、従来の台形駆動ではなく、正弦波駆動を使う。(提供:プレシジョンレーザースキャナ社)

の光学チャンバは、静圧気体ベアリング空気圧源を利用したエダクタ真空発生システムで囲まれ、部分的に減圧されている(図1)。

「この静圧気体軸受設計は、ミラー最大質量500gで最大速度4万rpmでの試験に成功し、双方向、いずれの方向でも動作可能である」とシュトゥッツ氏は話している。

### 材料加工用ポリゴンスキャナ

ガルボミラーはビームを方向付けるために材料加工で広く用いられているが、米プレシジョンレーザースキャン社社長、ジョージ・ヘルサー氏(George Helser)の認識によると、材料加工アプリケーションの一部で用いられるレーザーは非常に強力であり、パルスレートが極めて高いので、従来のガルボスキャナにはレーザーの潜在力を十分に利用できるほどの高速性がない。

「ポリゴンミラーの本来の大量販売市場は、1970年代のレーザープリンターだった」。同氏が言うには、「ポリゴン

スキャナはラスタースキャンの高速X軸成分であるが、レーザープリンターの要件は、材料加工向けとはかなり違っている。材料加工用の当社のポリゴンスキャナは、大きなスポットが、ターゲットの小さな点に強く集束するように大開口をもっている」。

強力なモータが大開口ポリゴンミラーを1万rpmで回転させる、これは直線速度で秒速数100mに相当する(注:同社は、最大7万rpmで動作する小さな低雑音ポリゴンスキャナも造っている)。「ポリゴンスキャナは、大面積除去によるパターンニング、表面処理、クリーニング、塗装剥離などの高ピクセル密度アプリケーションでは最も効率的である。大開口と高rpmという特徴は、検査やライダなどの非材料加工アプリケーションでも必要とされている」と同氏は説明している。

材料加工用で同社の最も人気のあるポリゴンスキャナ、イーグルアイ (Eagle Eye) は、21mmアパチャ(開口)である。ほぼすべてのアプリケーションに十分

な大きさのファセットである、とヘルサー氏は主張している(図2)。コントローラは、従来の台形駆動ではなく、サイン波駆動を使用する。「サイン波駆動は、EMI(電磁干渉)が少ないが、もっと重要な点は、非常に広い速度範囲で極めて滑らかに回転することである」と同氏は説明している。「10:1速度範囲が標準であるが、20:1も選択できる。ほとんどの内蔵アプリケーションでポリゴンスキャナは、動作速度は1つ、TTL(トランジスタ-トランジスタ・ロジック)インタフェースで動作する。材料加工では、動作速度は工程によって決まる。ある材料は比較的低いスキャン速度を必要とするが、高速スキャンを必要とするものもある。イーグルアイの先進的コントローラは、USBとRS-232インタフェースを持っているので、ハイレベルシステムは、ポリゴンを容易に制御できる」。

ガルバノメータスキャナは、ヘルサー氏の指摘では、絶対エンコーダを使って精度を出す。ポリゴンスキャナは、スキャン開始検出器(SOS)を使って精度を出す。レーザープリンターの

SOS検出システムはポリゴンスキャンヘッドではうまく機能しない、これは明るい作動ビームからの干渉のためである。プレジジョンレーザスキャナは、材料加工システムにおけるSOS検出の問題を解決するSOSキットを開発した。それは、集束不要の小さな、低出力赤色レーザと、コンパクトなSOSディテクタボードを組み合わせている。SOSディテクタボードは、迷光を阻止するライトチューブバッフルと、SOSビームだけを透過するオプションのフィルタを含む。ポリゴンスキャンヘッドは、ハイパワーレーザで運用する際には暖まりやすいので、SOSボードのディテクタは、加熱によるドリフトを除去するバイセルディテクタとなっている。

ヘルサー氏によると、万能ポリゴンスキャンヘッドを供給することは難しい。「ガルボスキャナは、スキャン角度が可変であるという点では、非常に多様性に富んでいる。ポリゴンスキャナは、非常に高速であるが、固定スキャン角は、主にファセット数によって決まる。洗練されたOEMやシステムイ

ンテグレートは、独自のスキャンヘッドを構築することで付加価値をつける。ガルボスキャンヘッドの設計法を知っているエンジニアは多いが、高速のポリゴンスキャン技術は、彼らにはまったくなじみがない。プレジジョンレーザスキャンは、最先端のコントローラとSOSキット付ポリゴンスキャナを提供するだけでなく、他に必要とされているオプティクス、ビームシェイピングも供給し、独自のポリゴンスキャンヘッドを造りたがっている人々を支援するノウハウも提供する」とヘルサー氏は話している。

材料加工を2Dでカバーすることに関しては、ポリゴンスキャンヘッドは遅いy軸用にガルバノメータを加えていることもあるとヘルサー氏は言う。これは、静止ターゲットでx-yラスタースキャンを行う。とはいえ、最高速のポリゴンスキャナ実装は、x速軸にポリゴンを、y軸に移動ウェブまたは移動コンベアを使うことである。「この連続動作によりスループットが一段と向上する。ターゲットの動きでスキャンラインがゆがむが、それはターゲットの動きに対してポリゴンスキャンヘッドをゆがめて搭載することで補償できる」と同氏は言う。

### 行単位加工用高速スキャナ

2009年、オランダとベルギーのスタートアップ、ネクストスキャンテクノロジー社(NST)は、経済的に意味のある超短パルスレーザ(USP)マイクロマシニングが高平均出力レーザと超高速スキャンシステムを必要とすることを明らかにした、と同社CEO兼共同創始者、ラース・ベニング氏(Lars Penning)は主張している。NSTの創始者は、ハイパフォーマンスレーザプリンティングなど、要求の厳しい産業



図3 RAZipol(www.razipol.eu)、ヨーロッパ人の取組みの狙いは、放射状および方位角偏光のビームを使ったレーザ材料加工の効率的な利点の研究である。ここではNext Scan Technology/Scanlabによるポリゴンスキャナが、ラフ・オン・ア・チップ加工向けにサブピコ秒パルスビームでパターンを作成する。(提供:RAZipol/Next Scan Technology社)



で十分に確立された技術なら、この新しいレーザ材料加工市場のニーズに適合可能であると理解していた。

ペニング氏によると、ドイツ、ミュンヘンで開催されたLASER World of PHOTONIC 2011で、NSTが初めて、ハイパワー USP レーザに適合するポリゴンベースのスキナシステムを紹介した。2015年末以来、NSTは、ガルボスキナシステムメーカー、独スキナラボ社と関係を持っている。同社は、ポリゴンスキナノウハウを、エバゲムのNSTサイトに集中している。

産業規模の生産性を達成するには、USPレーザは、超高速スキナ、たとえば、ポリゴンスキナと組み合わせるのがベストである、とペニング氏は説明する(図3)。「ポリゴンスキナは、特にワークピースのライン方向完全表面加工を高分解能で、自由に定義できるパターンと構造で行うにはメリットがある。高速であるので、これらのシステムは材料加工時間を著しく短縮できる。USPレーザ加工アプリケーションは、タッチスクリーン表面、太陽電池の構造化から、電気コンポーネント、ガラスやプラスチックのマイクロドリリングや加工、センサやウエハ製造の範囲に広がる」と同氏は言う。

### 屈折fシータオプティクス vs. ミラー fシータオプティクス

超高精度微細加工(マイクロマシニング)は、小さな集束スポットサイズと完全テレセントリック視野を必要とする、すなわちスキナエリア全体で不変の円形スポットサイズが求められる。小スポットに集光するには、ペニング氏によると、fシータオプティクスが必要である。しかし、レンズを使った従来の屈折光学はサイズには制約がある。レーザエリアがより大きくなる



図4 日本電産コバル電子のスキナシステムは、ポリゴンレーザミラー(黒い側板)とfシータレンズを収容し、直線速度スキナする。fシータレンズ素子は、円形レンズ素子の薄片として作製することができることに留意、スキナそのものは1次元のみ。(提供:日本電産コバル電子)

にともない、漸進的にコスト増となるからである。つまり、コスト効率がよく、極めて正確な、屈折fシータオプティクスのレーザスキナヘッドは、スキナ範囲が限られるということである。

「従来のfシータオプティクスで大面積の超高精密ワークを加工するには、ステップ&リピート、つまり多重アプローチが必要になる」とペニング氏は指摘する。「このアプローチは、ステッピング(異なるスキナ作業のオーバーラップ)に問題がある。ステッピングを解決するには、位置決め誤差の正確なフィードバックとアクティブ補正が必要である。そのような技術は、一段とハイレベルの投資を必要とし、それが正確かつ十分な信頼性をもって機能しない場合、製造歩留まりが問題になる」。

ステッピングを回避する代替ソリューションは、広視野ミラーオプティクスを使用することである。「NSTのコア技術は、特許となっている、fシータミラーオプティクス組込みのポリ

ゴンスキナシステムである。ポリゴンスキナシステムは、170mmスキナ幅で完全テレセントリックスキナ領域に対処する。昨年、300mmの完全テレセントリックスキナ領域を持つスキナヘッドを発表した。従来のfシータオプティクスと比較して、これはスキナ領域を4~5倍増やす。そのように大きな視野がステッピングを除去する。加えて、NSTはより小さなスポットサイズを可能にする高NAバージョン(LSE170HNA)を開発した」とペニング氏は説明している。

### 量産スキナ

コンパクトなモータポリゴンアセンブリを量産することは日本電産(ニデック)コバル電子の強みであると同社アメリカ支社の社長、トシアキ・ドイツ氏は語る。同社は、数百万のコンパクトなローコストのポリゴンスキナをさまざまな産業向けに製造してきた。これには製造、工業およびバイオメデikal市場が含まれる。製品は、製造



図5 2つの異なるタイプのポリゴンミラーを示している、いずれもII-VI Infrared社製。ピラミッド型(左)とイレギュラー型(右)。イレギュラーミラーは、面が交互に異なる方向に傾いており、2つの異なる場所にラインスキャンする。(提供:II-VI Infrared社)

のプロセス制御、半導体製造用材料加工、3Dプリンター、ライダ、さらに多くのアプリケーション向けに使える(図4)。

ニデックの空力軸受技術を使い、モデルPTC30ERGは、低背と低コストを維持しながら、最大回転速度33,000rpmを可能にしている。さらに、ポリゴンミラーの高反射率は、30°を超える入射角でさえも、高速3Dプリンティングに十分適応している、とドイは説明している。また、モデルPD60EAは、高分解能、大開口ポリゴンミラーを持ちながら、最大回転速度5000rpmが可能。PD60EAは、長距離ライダパフォーマンス向けに使用可能である。

「日本電産コパル電子は、ポリゴンスキャナ駆動用に特殊ICを使い微小化制御ボードを設計した。個別部品数を減らすことで、1台あたりのコスト、サイズ、消費電力を減らすことができた」。例として、ドイ氏は、最大速度55,000rpmでPTC30ERGを回転させる特注コンパクトモータを挙げている。従来のボールベアリングモータの回

転速度は1万rpmが限界である。モータもコントロールボードに造りつけられており、スペースとコストの抑制となっている。「しかし、可動アプリケーション向け大開口ポリゴン用にはボールベアリングモータも利用可能である」と同氏は付け加えている。

「コンパクトなポリゴンスキャナにとって現在、活発な市場は、自律走行車両向けライダや3Dプリンター向け高速スキャンングである。自律走行車両では、複数の異なるタイプのセンサが使用される可能性がある。とはいえ、ライダは物体検出では主要コンポーネントである。解像度に限界があるカメラやRF(無線周波数)レーダと違い、一般的なライダは、真っ暗闇あるいは霧中でも3Dで撮像できる」。

最初の3Dプリンター市場は、主に低速のガルバノメータスキャナをベ

スにしていたが、新しい3Dプリンターは、より高速のラスタースキャナを必要としている。3Dプリンター技術が、熱溶解積層法(FDM)のような従来の押出しベースの方法から、ステレオリソグラフィや選択レーザー焼結(SLS)のようなレジン、またはパウダーベースのプリンティングへの移行が進み、レーザー技術の利用が極めて重要になってきた。「ポリゴンレーザースキャナは、より高速で正確な将来の3Dプリンターの要求に応え、さらにそれを上回ることが可能である」と同氏は話している。

## 多くの材料

米II-VIインフラレッド社の製造したポリゴンミラータイプには、プリズム型(すべてのミラー表面が回転軸に対して平行)、ピラミッド型(すべてのミラー表面が回転軸に関して同じ角度)、イレギュラータイプが含まれる。イレギュラーポリゴンミラーにより、ポリゴンミラーが回転するにつれて、2つ以上の位置でスキャンラインが生成可能となる(図5)。

アルミニウムに加えて、同社はシリコン、ゲルマニウム、赤外材料セレン化亜鉛、硫化亜鉛、銅、プラスチックさえも含め、多くの他の材料でできたポリゴンミラーを製造している。ミラー表面は、要望があればニッケルメッキが可能である。ユーザーには、バーコード読み取り、塗料剥離、3Dプリンティング、トランスポンダ、最新運転者支援システム(ADAS)やライダが含まれる。

### この記事で取り上げた企業

Cambridge Technology Lincoln Laser	Phoenix, AZ	<a href="http://www.cambridgetechnology.com">www.cambridgetechnology.com</a>
II-VI Infrared	Saxonburg, PA	<a href="http://www.iivinfrared.com">www.iivinfrared.com</a>
Next Scan Technology/Scanlab	Evergem, Belgium	<a href="http://nextscantechnology.com">http://nextscantechnology.com</a>
Nidec Copal Electronics	Tokyo, Japan	<a href="http://www.nidec-copal-electronics.com">www.nidec-copal-electronics.com</a>
Precision Laser Scanning	Scottsdale, AZ	<a href="http://precisionlaserscanning.com">http://precisionlaserscanning.com</a>