

ダイナミックビーム計測へのアプローチ

=走査中のビームプロファイル計測と光MEMSスキャナへの応用=

エーエルティー(株) 高野 裕

1. はじめに

ダイナミックビーム計測のニーズとして従来はレーザプリンタや事務所などに設置されている複合機の生産ラインからの要求が多かった。

これらにはLSU（レーザスキャニングユニット）が使用されており、レーザとポリゴンスキャナ、 $f\theta$ レンズで構成されている。特にプラスチックの $f\theta$ レンズは形状も大きいこともあり、傷、気泡、異物の他に成形条件によって脈理を生じて印字品質に悪影響を及ぼすことがある。

この検査には現在ポリゴンスキャナを回転させて、走査のジッタ、副走査の変動やトリガ信号を検査する動的な検査と、ポリゴンスキャナを停止させてビームプロファイルによって各走査位置でのビーム径とディストーションを検査する静的な検査が行われている。

この検査工程ではポリゴンミラーをプランジャーなどによって外部から所定角度に回転し、相当する走査位置にビームプロファイルのヘッドをステージで移動して測定する方法で行われている。こちらも測定ポイントが増えれば検査時間がかかるのでコストダウンからタクトタイムの削減が求められているし、数万回転に達している精密な空気動圧軸受やオイル動圧軸受のポリゴンスキャナを停止状態で強制的に回転させることによる信頼性の問題からもダイナミックな測定が求められている。

ただ最近では解像度が600dpi（インチ当たりのドット数）や1,200dpiになってきているので測定範囲が10～200 μm になり、レーザ走査のスキューやボーが

生じると測定ヘッドを単に走査方向に移動させるだけでなく副走査方向にも制御する必要が出てきたり、LSUの小型化から走査角度が大きくなっているので走査端でと中心ではセンサへの入射角度がかなり変化していることからのビーム径やディストーションのエラーが生じて生産ラインで使用できるものは限られたスペックとなっている⁽¹⁾。

これに対して近年要求が多くなってきてているのが光MEMSスキャナの検査である。

光MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) スキャナは半導体プロセスで製造され、通常は共振型によって超小型、省電力で機械スキャナとしては長寿命という特性を持っている（写真1 OPUS社の光MEMSスキャナ）。

現在ピコプロジェクターと呼ばれる超小型のプロジェクタ

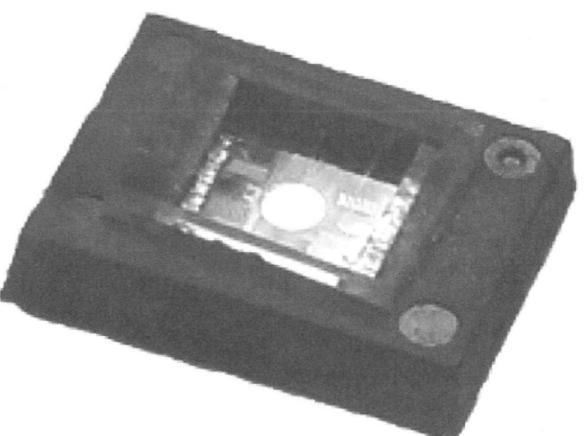


写真1 OPUS社の光MEMSスキャナ

エクターやHUD（ヘッドアップディスプレイ）で商品化されているが小型、省電力からウエアラブルディスプレイへの応用が期待されているし、三次元エリアセンサへの応用も研究されている。このデバイスはシリコンで形成された数mmのミラーを電磁力、静電力、ピエゾの変形力で加振し一次元または二次元でスキャンする構造となっている。

従来のポリゴンスキャナやガルバノスキャナではミラーの剛性は高く、よほど高回転でない限り停止している状態と動作している状態でのミラーの平面度は大きく変わらなかった。

これに対して、光MEMSスキャナでは共振周波数を上げようするとミラーのイナーシャを減らさなくてはいけないので、ミラーサイズが決まっている場合には厚さを減らす方向となってしまう。現在では有限要素法などコンピュータシミュレーションが発達しているので、色々な構造でこちらを解決しようとしているが720Pのディスプレイ用では共振周波数が25 kHz前後となるため平面度の維持が問題となっている。

光MEMSスキャナでは静止状態の平面度と動作状態での平面度が異なる場合があり、これを実際のレーザビームをスキャンすることにより測定する手立てが要求されている。

2. ダイナミックビーム計測の方法

レーザプリンタ用LSUでは近年高速化が進んでいるのでポリゴンスキャナ回転数40,000 rpm、焦点距離100 mmとすると走査速度は870 m／秒となり600 dpiでのレーザ点灯時間は50 ns程度、スポットサイズ50 μm 、レーザ波長は780 nmでパワーは0.2 mW程度が測定対象となる。

光MEMSディスプレイでは走査周波数25 kHzで測定距離500 mmとすると720P解像度で走査速度22,000 m／秒レーザ点灯時間10 ns、スポットサイズ500 μm 、波長450,520,640 nmでパワー数10 mWが測定対象となる。

これらに対して現状では以下の測定方法が商品化されている。

2-1 二次元撮像素子を用いる方法

CCDやCMOSなどの撮像素子を用いる方法でビームをパルス点灯しシャッターを同期して露光する方法である。

2-2 スリット方式

ビームをスリットやナイフエッジ、ピンホールなどで遮蔽することで生じるビーム光量の時間変化を測定

し複数データからプロファイルを合成する方法である。

2-3 上記に分類されない方法

複数センサを用いて測定する方法や、平面度計測でストロボ干渉計やシャックハルトマン型波面センサを用いる方法などが提案されている。

ダイナミック測定に影響を与える要素としてはスキャンの変動とレーザの点灯方法である。

スキャンの変動についてはポリゴンスキャナではジッタによる主走査方向の変動、ミラーの面倒れなどに起因する副走査方向の変動とポリゴンスキャナの面毎の反射率によるパワー変動がある。

光MEMSスキャナについてのスキャン変動はポリゴンスキャナと同様にジッタ、ウォブルの他にミラー平面度変化がパラメータとなり、モノミラーなのでポリゴンスキャナの面毎の変動は生じない。

レーザの点灯方法の影響についてはレーザドライバーによる光出力の立上り、立下り特性とスイッチング周波数が高くなることでビデオクロックの伝送ジッタも変動の要因となる。

またレーザの放熱が不十分の場合には点灯パターンによってレーザ素子の温度変化に伴うパワー変動が生じる場合もありレーザ自身のドリーブ特性が影響する場合もある。

3. 二次元撮像素子を用いる方法

CCDやCMOSの撮像素子を用いたビームプロファイルは数多く商品化されているが精度を上げるために市販のカメラは使用できない。

市販のカメラには撮像素子の前にカバーガラスや可視光カットフィルターが入っておりこれらが測定に悪影響を及ぼす。ゆえに、各社工夫をしている⁽²⁾。

さらにビーム入射角度の依存性の精度向上を図ると撮像素子に直接FOP（ファイバオプティクプレート）を配置するタイプも商品化され、旧フォトン社からPlaten Profiler model 2424Sとして販売されたこともあった⁽³⁾。

撮像素子を用いたデメリットとしては上記パルス点灯での影響を受けることとパルス幅が狭くなってくるとエネルギーが低下して1パルスでの測定ができなくなることである。

現状では、複数回で光量を累積すると上記走査変動がデータに入ってくるので精度が低下していく。

ただ撮像素子の高解像度化や高速化、高感度化は進んでおり、二次元をワンショットで計測できるメリットは大きく今後も発展が期待できる。

4. スリットを用いる方法

スリット方式はビームを複数の方向で断面計測をした後で三次元に合成する方法で医療でのCTやMRIで使用されているトモグラフィックスキャニング（断面撮影法）を用いている。

当社でもダイナビーム^(注)としてビームの走査速度センサを内蔵したタイプの商品化をした（写真2）。



写真2 ダイナビーム

このシステムの問題点としてはアナログ信号からデジタルに変換するA/Dコンバータにシステムの性能が依存することである。

5 GS/秒のA/Dコンバータを用いたが走査速度として実用上は500 m／秒程度であり、1ポイント測定に5方向のスリットを用いることで時間がかかるためスキャン変動、ドリフトも測定値に影響する。

このA/D高速化の問題点を解決する手段としてアナログ信号を2値化してパルスの時間間隔を測定することで高速化を図る試みも報告されている⁽⁴⁾。

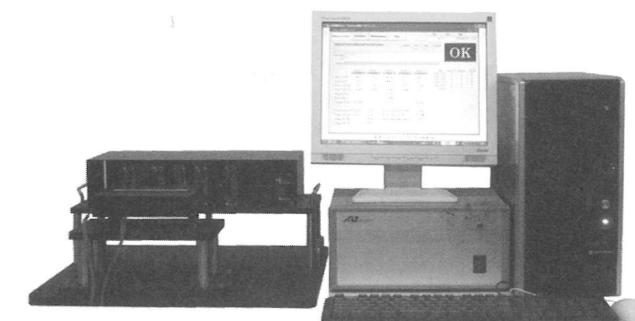
スリット法のメリットはレーザ光源がCWで測定できることでレーザのパルス点灯に関わるエラーを除去できることである。

デメリットはリアルタイム性が低下して走査変動やドリフトに関わる測定ができにくいくことである。こちらもA/Dコンバータの高速化やパルス時間計測の高精度化が進んでいるので今後の改善が期待できる。

注：ダイナビームはエーエルティー株の登録商標である。

5. 新しいアプローチ

当社ではその中の新しい選択肢としてラインPINフォトダイオードとラインCCDを組み合わせたハイブリッド構成のスーパーダイナビームを開発した（写真3）。



主走査方向は幅10 μm 、長さ30 mmのPINフォトダイオードを用い副走査方向は4.7 μm ピクセルで30 mmのラインCCDを用い、これらを10 mm間隔で配置した。

センサユニットとして20 mmピッチで最大16個の300 mm幅を2 kHzで連続データの取り込みが可能である。

ただこちらもA/DコンバータやCCDの読み出しクロックの制限で走査周波数がポリゴンスキャナでは4 kHz、光MEMSスキャナでは2 kHzとなっている。

光MEMSスキャナの平面度計測についてはダイナミックに計測するためいくつかの方法が提案されている。

1つは従来の干渉計をストロボ駆動することで光MEMSスキャナのあるタイミングでの平面度を測定しようとするものである。

干渉方式の問題点としては測定波長の1/2を超える場合には測定できなくなるため、位相をシフトすることなどにより補っている。

また短いパルスの光源で測定するので投光パワーと受光感度の関係に工夫が必要となってくる⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

またシャックハルトマン型波面センサを用いて測定する試みも報告されている。これはCCDカメラとマイクロレンズアレイで入射波面のスポットフィールドがCCDセンサ上に形成されることによりこのスポットフィールドの変化から平面度を計測する方法である。

ストロボ干渉計との比較で同様の結果が出ることも報告されている⁽⁷⁾。

6. おわりに

ダイナミックビーム計測はポリゴンスキャナによるLSUと光MEMSスキャナでは仕様が多少異なるものの、高速の走査速度、微小なスポットサイズ、低パワーレーザ出力と要求される測定範囲、測定分解能、リアルタイム性など相反する項目が多い。

当面は限られたスペックで必要な場所で計測されていくと思われるが、新しいアイデアで顧客の要求に答えられるものが開発されるのを期待したい。

参考文献

- (1) 吉川浩史・他：動的ビームプロファイル測定技術Ricoh technical report, No.27 (2001)

- (2) 中野哲寿：高性能デジタルカメラ対応型ビームプロファイル LEPAS-12、光アライアンス、Vol.19, No.1 (2008. 01)
(3) http://www.ophiropt.com/user_files/laser/beam_profilers/IST2005_NIP21_Paper.pdf
(4) 大石篤・他：レーザ画像機器のためのレーザビーム形状計測技術、Konica technical report, Vol.12 (1999)
(5) 特開 2003-222508
(6) 特開 2007-240344
(7) Margaret Brown, et al : Measurement of the dynamic deformation of a high frequency scanning mirror using a Shack-Hartmann waveform sensor : Proc. SPIE 4451, Optical Manufacturing and Testing IV, 480 (December 27, 2001)

【筆者紹介】

高野 裕

エーエルティー株 代表取締役

知っておきたいバーコードの知識

バーコードと二次元コードの歴史、種類と特長、関連機器の紹介、システム構築手法、応用事例などについて平易に解説し、中級レベルの研究者、技術者が知つておきたい知識を纏めたもの。

■主な内容

- バーコードシンボル(方式、特徴、種類、規格、歴史等)
- 二次元シンボル(方式、特徴、種類、規格、歴史等)
- バーコードの読み取り(原理、デコード方法、スキャン方式等)
- バーコードの印刷(ラベルの作成方法、プリンタ方式と種類等)
- バーコードシステム(利用方法)



■著者：平本純也
■体裁：A5判378頁
■定価：3,800円+税

日本工業出版株 0120-974-250

<http://www.nikko-pb.co.jp/> netsale@nikko-pb.co.jp

安全・安心な企業活動のために！

情報セキュリティ概論 3,800円+税

情報セキュリティの実装保証とマネジメント 2,400円+税



日本工業出版株
フリーコール 0120-974-250 [netsale@nikko-pb.co.jp/](mailto:netsale@nikko-pb.co.jp)