

# 位置検出ディテクタは 試験・測定ニーズを満たす

ジョン・ウォレス

アライメントや他の光学アプリケーションでは、様々な形態の位置検出ディテクタ(PSD)が、一次元(1D)あるいは二次元(2D)のいずれかでスポット位置を計測できる。

ラボの実験者あるいは光学システム開発者が利用できる多くのフォトディテクタ構成の中で、レーザや他の光学セットアップのアライメントについて情報を収集する際に特に役立つものは位置検出ディテクタ(PSD)である。名前からして明らかなように、PSDの通常の利用は、ディテクタに入るある種の光スポットの位置計測が目的である。

この単純な機能は、実際には多くのテストおよび計測装置、さらにアプリケーションの中心にある。ビームアライメントから適応光学波面形状計測(シャック・ハルトマン波面センサ形態、これは構成によってはPSDアレイをベースにすることができる)、他にもたくさんある。

その構成に従い、PSDは一次元あるいは二次元のいずれかでスポットの動きを計測できる。PSDの一形態は、2(バイセル)または4(クワッドセル)ディスクリットディテクタのいずれかで構成され、バイセルとクワッドセルは、それぞれ1Dまたは2Dで光スポット位置を計測できる。

バイセルでは、規格化したスポット位置出力は、2つのセル出力の合計で2つのセル出力間の差を割ることで決まる。クワッドセルでは、4出力を2つの異なる方法で合計して2つの直交バイセルと同じに見えるようにする。すると、各方向の規格化スポット位置

が、手本にしたバイセルのそれと同じような方法で決められる。

PSDの第二形態は、「ラテラル効果」に基づく1Dまたは2Dのいずれかでスポット位置を検知する単一の連続ディテクタで構成されている(この記事でカバーしていないスポット位置計測の第3の形は、CCD、CMOSまたは他のカメラタイプを使ってスポット像を撮る。ソフトウェアを利用してスポットの圆心を定める)。

## ラテラル効果PSD

米OSIオプトエレクトロニクス社(OSI Optoelectronics)のアプリケーションエンジニア、デニス・ポポフ氏(Dennis Popov)が説明するように、ラテラル効果PSDは、ギャップや死角がない連続した単一素子、平面拡散フォトディテクタである。これらのPSD

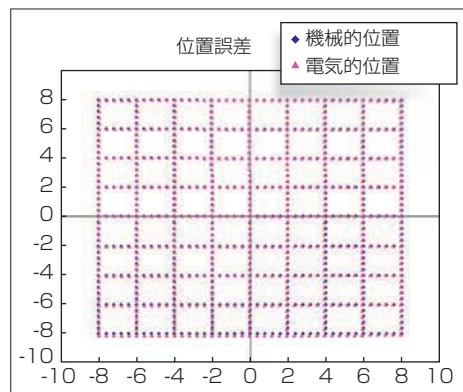
タイプは、全域にわたり光スポット変位を直接読み取る。これは、光スポットの位置と強度の両方に正比例したアナログ出力がディテクタのアクティブエリアに入ることによって達成される。

「このようなラテラル効果ダイオードを利用する主な利点はダイナミックレンジが広いことである」とポポフ氏は言う。「ダイオードは光スポットプロファイルや強度分布に依存せず、 $0.5\mu\text{m}$ を上回る位置分解能を可能にしている。ラテラル効果ダイオードは、センサ端までずっと光スポット位置を計測する。この精度は2つの分離した抵抗層によって達成される。1つはチップ上面に、さらにチップ底にもう1つある。これらのディテクタの特徴は、高信頼、広ダイナミックレンジであり、高い直進性を示す」。

ポポフ氏の指摘によると、OSI社は市場で比較的大きな2Dラテラル効果センシングデバイスの1つ、DL-20(図1)を製造している。これは $20 \times 20\text{mm}$



図1 位置誤差マップは、PSDの電気的位置出力と実際の機械的位置を比較する。そのようなマップは、本質的にPSDのキャリブレーションである。2Dラテラル効果PSDは、アクティブエリアが $20 \times 20\text{mm}$ である。そのため、この例の位置誤差マップは準備された(提供:OSIオプトエレクトロニクス社)。



平方のデバイス(400mm<sup>2</sup>位置センシングエリア)である。「その広いダイナミックレンジにより、高速光デジタルトラッキングシステムなど、多くのアプリケーションでそれは使用される。これらは、健康回復目的で人の動作追跡システムにも利用されてきた。これらのデバイスの耐久性は高く、軍や航空アプリケーションでも同じように利用されている」と同氏は言う。

これらのデバイスの他のアプリケーションには、ポポフ氏によると、人の目の動きのモニタリング、ヒトの運動3Dモデリング、レーザや光源、ミラーのアライメントが含まれる。「顕微鏡、工作機械のアライメント、振動解析など、様々な光学システムの超高速、精密オートフォーカススキームでもデバイスは広く用いられている」と同氏は付け加えている。

## クワッドセル、従来型と熱電対列

米ニューポート社は、クワッドセルとラテラル効果PSDの両方を製造している。ラテラル効果センサベースOBPシリーズ、CONEX-PSD、ニューフォーカス(New Focus)のクワッドセルベース2901と2903 PSDが含まれる。ニューフォーカスは、ニューポート社のサブブランドである、と同社のシニア製品マネージャー、ジェイ・ジェオン氏(Jay Jeong)は話している。

加えて、ニューポート社は熱電対列ベースクワッドセル位置センサ(PEPシリーズ)を製造している。熱電対は、熱吸収ディスクと、その周囲に置いたサーモカップラで構成されており、ディスクの熱吸収による電圧差を計測する、とジェオン氏は説明している。サーモカップラは4つの異なる面に分かれており、各サーモカップラセクションに接続されたリードが電圧信号を収集す

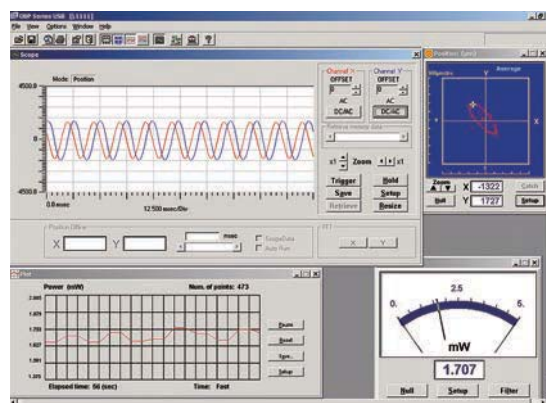


図2 2Dラテラル効果PSDのコンピュータユーザーインタフェースにより位置とパワーデータを同時に表示できる(提供:ニューポート社)。

る。これは、従来のクワッドセルディテクタによって生成される電流信号に匹敵する。

「ニューポート社が提供する製品の各々は多様な一連の仕様を持っており、目標アプリケーションは異なる」とジェオン氏は言う。「位置センサは主にビームドリフト、動きの速いか遅いかのトラッキングに使用される、また制御システムではビームを所望の経路に補正したり、ビームの動きを最小化するために用いられる。多様なビーム特性のために、例えば連続波(CW)、パルス、あるいは変調レーザ光、またビームの動きの速さと量、それに一般的な仕様が加わる。例えば出力パワーレベル、ビームサイズ、ビームの強度プロファイル、環境ノイズレベルなどが含まれ、1つの製品を可能性のあるアプリケーションの全てで利用できるわけではない」。

ジェオン氏は、ニューポート社のラテラル効果PSDの1つ、モデルOBP-U-9Hを、多くの難易度が高いアプリケーションに対応できる仕様と特徴を持つ製品であるとしている。そのデバイスの位置精度は±15μm、分解能は±1μmを上回る。「そのディテクタは、1Wまでのレーザビームの位置を正確に追跡でき、応答時間は、アナログ出力を通して60s足らずである。ハイパ

ワーレーザビームは、スタックできる中程度の密度のフィルタをインストールすれば収容可能である」と同氏は説明している。そのPSDはパルスレーザ光源を取り扱えるようにトリガーインプットを備えている、またユーザーインタフェースは同時に、位置、光パワーを示し、USBを用いて時間経過にしたがって位置とパワーをチャートシプロットする(図2)。

PSDアプリケーション例として、ジェオン氏は、2つの別々の光学テーブルで行わなければならない実験に言及している。理由は空間的な制約、実験で使用されるコンポーネントによって生ずる一定の振動を分離し切り離すこと、このいずれか一方、または両方のためである。同時に、ビームは一定経路に維持されなければならない。

「実験者がぶつかったり、機器や装置からの振動により、光学テーブルの1つが突然動くとき、ミラーを素早く調整してビームパスを確立する必要がある」とジェオン氏は言う。アクティブビーム安定化セットアップを使ってこれを達成することができる(図3)。第1ディテクタ、PSD1が第1コントローラに位置フィードバックを与え、高速ステアリングミラー(FSM1)を制御することでビーム位置を補正する。第2セット、PSD2とFSM2がビームパス

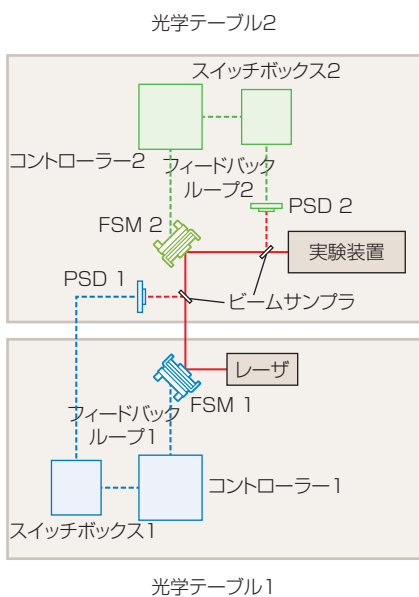


図3 光学テーブル間のアクティブビーム安定化ダイアグラムは、2つのPSDと2つの高速ステアリングミラー(FSM)を利用してビーム経路を狙い通り正確に保つ。スイッチボックスは、コントロールループの利得設定に利用されている(提供:ニューポート社)。

を微調整し、所望の経路に沿った実験にビームが入るようにする。

### 焦電クワッドセル位置検出

ジェンテック・エレクトロオプティクス社(Gentec Electro-Optics)が製造した熱クワッドセルPSDは、焦電検出をベースにしていると、同社米国オフィスのゼネラルマネージャー、ドン・ドゥーレイ氏(Don Dooley)は説明している。同氏によると、そのディテクタは焦電ウエハに吸収フロント電極を堆積して作製されている。電極は、フォトソグラフィ技術を用いてクワッド構成となるようにパターンが描かれている。「これらは大面積、広帯域、熱ディテクタであり、スペクトル範囲0.19~10.6 $\mu\text{m}$ までのパルスまたはCW光源で使用でき、テラヘルツ(30~3000 $\mu\text{m}$ )でも使用できる」と同氏は言う。「それらは、サイズが直径

9mmから、20mm平方の範囲である。クワドラントあるいはラテラル効果シリコンフォトダイオードと異なり、焦電ディテクタは光電流飽和の影響を受けない。したがって、高ピークパワーパルスレーザには最適の選択である」。

例として、ドゥーレイ氏は、ジェンテック社のQUAD-9-MT-EとQUAD-4TRACK、それぞれディテクタとモニタを挙げている。「QUAD-9-MT-Eは、9mm径のクワッドディテクタ(図4)で4chプリアンプを接続しており、パルス長がフェムト秒からマイクロ秒のパルスレーザで使用するよう設計されている。4つのディテクタの電圧出力を統合して、ジュール当たりの電圧で較正する。QUAD-4TRACKデジタルモニタに取り付けると、同時に位置とエネルギーを計測できる。レーザパルスエネルギーは、少なくとも50 $\mu\text{J}$ 、20mJ以下でなければならない。QUADシステムは、最大1000パルス



図4 9mm径焦電クワッドディテクタは、パルス幅がフェムト秒からマイクロ秒のパルスレーザで使用可能(提供:ジェンテック・エレクトロオプティクス社)。

/secまでで位置をトラッキングでき、分解能は数マイクロ秒である」。レーザアプリケーションに含まれるのは、アライメント、トラッキング、ビームセンタリング、ビームステアリング計測、空間安定性である。

「ひとつの興味深いアプリケーションは、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)レーザベースのロボット溶接システムでこのディテクタとモニタを統合して利用することである。当社のクワッドディテクタは、多関節光デリバリアームで、アームが複数の溶接個所に移動した後、レーザビームのセンタリングに用いられる。アームは、常に迅速に動作するので、自動車フレームに対する正確な溶接の保証に一役買うことになる」。

### 1D計測

1D検出が求められる(例えば、干渉縞計測<sup>(1)</sup>)アプリケーションは、比較的簡素なラテラル効果またはバイセルのいずれかで、1D PSDを利用できる。ラテラル効果1D PSDタイプの例、これは1D PSDに特有の技術を活用する、一連のいわゆる「NT」1Dデバイスである。これはスウェーデンのシテック・エレクトロオプティクス社(SiTek Electro-Optics)が作製した。NT技術を持つSiTekの1D PSDは、前面の追加電気端子の形で、固有の迷光除去形態を含んでいる。この電気端子は、PSDの追加アクティブエリアに接続されており、グラウンドに接続されたとき迷光を検出し、追加端子は自動的に迷光から信号を除去する。このPSDの利用に含まれるのは、高さと厚さの計測、ホイールアライメント、プロファイル計測、製造された部品の検査である。

#### 参考文献

(1) Q. Wang et al., Sensors, 15, 6, 12857-12871 (2015)。