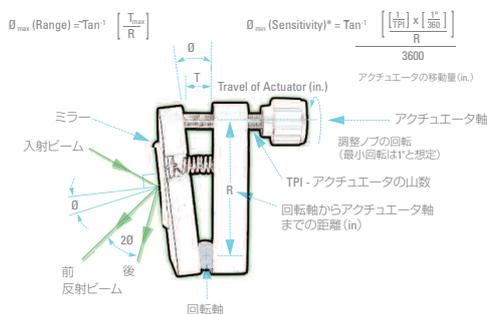


光学ミラーマウントの技術ガイド

Optical Mirror Mount Technology Guide



光学ミラーマウントの基礎

光学ミラーマウントとは光学研究で使用される装置であり、ミラーを所定の場所にしっかりと固定しながらチップとチルトを精密に調整することができます。光学研究はデリケートな性質がありますので、光学ミラーマウントは高度な防振を実現する光学テーブル上に取り付けることが一般的です。ミラーマウントはマイクロメータヘッドや調整ネジを使用して手で調整することができ、リニアアクチュエータを使用すれば、モーターによる自動化も可能です。調整機構には、キネマティック、ジンバル、フレクシャーなどがあります。

光学ミラーマウントのリソース

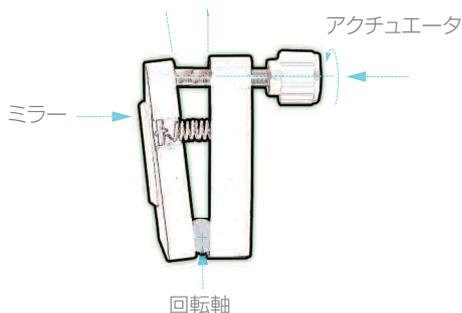
ミラーマウントの用途ノートとテクニカルノートが別ページにあります。

ミラーマウントの設計検討

以下に、高度な光学ミラーマウントの設計に関わる多くの検討事項を説明します。まず調整機構についての説明から始めます。

ミラーマウントの調整機構

キネマティックミラーマウント



キネマティックミラーマウントは、その卓越した安定性と比較的低コストであることから、特に広く使用されているマウントの種類です。キネマティック機構は、現代のラボで実施されている多彩な実験の多くで要求される性能を最大に備えています。ただし、クロスカップリングの調整、ビームの平行移動、角度移動の制限という欠点があります。通常、回転軸の位置と向きは光学の背後に置かれ、非定常的です。これが調整を行うたびに軸が動く原因となり、光軸に対して直角に留まることがないので、調整中にクロスカップリング動作が発生します。第二に、調整を行うときに回転軸が光学の背後にあるので、光学の回転と平行移動の両方が発生します。最後に、ほとんどのキネマティックマウントの角度移動範囲は、使用されるバネと調整ネジの物理的制約により、 ± 10 度を超えることはありません。キネマティックマウントのこうした制約がきっかけとなり、これらの問題を克服するジンバル機構が生まれました。

光学ミラーマウントの位置は、6つの個別座標（平行移動座標3つ、回転座標3つ）を、任意に固定した座標系に対して一意に定義することができます。自由度の数（移動軸）と、マウントに適用さ

テクニカルノート

ミラーマウントの熱性能

光学ポストと光学ペダスタルの安定性

新しい焦点ミラーマウントの利点

関連製品ガイド

ミラーマウントガイド

電動リニアアクチュエータのセレクションガイド

光学マウンティングポストとポストホルダのセレクションガイド

光学ペダスタルのセレクションガイド

れる物理的制約の数の合計が6つあるミラーマウントは、キネマティックマウントと呼ばれます。これは適用される物理的制約が独立しているとも言えます（非冗長性）。従って、キネマティック光学マウントには6つの独立した制約があります。

最も広く使用される種類のキネマティックマウントは、図1に模式的に示すコーン、溝、フラットから成るマウントです。図の中の3つの球体の座標系と、それに対応するコーン、V溝、フラットのマウントに光学部品が取り付けられていると考えてください。光学部品がまずコーンに配置されると、3つの自由度（x方向、y方向およびz方向の平行移動）は冗長性なく排除されます。

この時点で、光学部品はまだすべての軸の周囲を自由に回転できます。次に、2番目の球体をV溝に配置し、コーンに対して位置合わせします。これにより、図に示すようにさらに2つの自由度、ピッチ、ヨーが制限または排除されます。V溝をコーンに対して位置合わせすることは、1つ以上の平行移動の自由度を抑制しすぎないようにする上で重要です。x軸の周囲を回転する自由度が1つだけ残りますので、最後にこれを抑制します。これは、3番目の球体をフラットに配置することで実現します。6つの非冗長性制約により、キネマティックマウントが完成します。

キネマティックマウントの利点は、安定性の向上、歪みのない光学マウンティング、取り外し可能で再現可能な再配置機能（キネマティックベースの場合）です。図1のマウントでは、コーン、V溝、フラットを含むプレートが、光学部品に歪み負荷をかけることなく、光学部品とは異なる速度で熱膨張することが容易に想像できます。このマウントはボールとコーンを中心として単純に膨張します。2番目と3番目のボールは、どちらもそれぞれV溝とフラット上にスライドします。一方、キネマティックマウントではない場合（例えばV溝がz軸の周囲で90°回転している場合）、x方向に沿ったプレートの膨張または縮小にあわせて2番目のボールがV溝にスライドしなくなるため、光学部品の反りが生じてしまう傾向があります。

ベースに対する光学部品の角度を調整するため、2番目と3番目の球体（図1）にスクレュードライブを取り付けてキネマティックマウントを調整できるようにすることは広く行われています。これがニューポートのキネマティックミラーマウントの基本設計です。この種のマウントの欠点の1つは、マウントの回転軸の位置と向きです。通常、これらは光学部品の背後にあり、非定常的です。これはつまり、調整するたびに軸がずれることを意味します。これにより以下の2つの問題が生じるため、それらを克服する必要があります。第一に、軸が移動するため、光軸に直角ではなくなり、調整中にクロスカップリング動作が発生します。光軸に対して純粋に直角に、一方向のみで回転させるには、キネマティックマウントの両方の軸を調整する必要があります。第二に、調整を行うときに回転軸が光学部品の背後にあるため、光学部品の回転と平行移動の両方が発生します。ジンバルマウントを使用すると、この問題を両方排除することができます。

ジンバル機構には、空間に直角で固定された回転軸があります。回転軸は、マウントに取り付けられた光学部品の前面の中心と交差するように設定されています。これにより光学部品のカップリングせずに回転調整を行えるばかりか、図2に示すように、ビームの平行移動も排除します。ジンバルマウントは、キネマティック部品よりも大幅に広い移動範囲を特長とします。回転は軸方向に導かれるため、多くのジンバル設計では、両方の軸で全方向（360°）の角度移動が可能です。しかしながら、ジンバル機構を使用するマウントはより大型で高価な傾向があります。その結果、キネマティック機構とジンバル機構の最適な属性を組み合わせ、キネマティック設計の安定性と低コストを実現しながらクロスカップリングとビームの平行移動を回避するハイブリッド設計が生み出されました。

フレクチャーとは、材料の弾性変形を利用して角度付き平行移動を達成する位置決め機構です。フレクチャー機構を使用するマウントは、単体の溶接構造に由来する小型サイズと耐衝撃性というメリットがあります。フレクチャーマウントが計器などのシステムに組み込まれることが多いのはこれが理由です。フレクチャーマウントの移動範囲は限定的であり、一般的にはキネマティックマウントの移動範囲の半分です。また、温度変動による位置合わせのずれが起こりやすいマウントです。

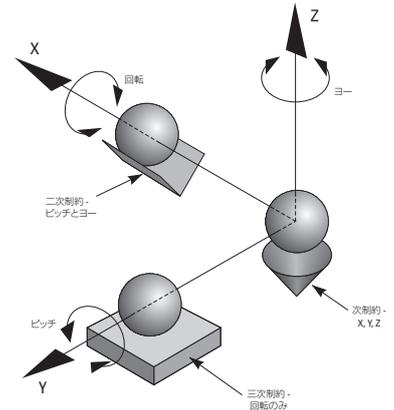


図1—キネマティック制約

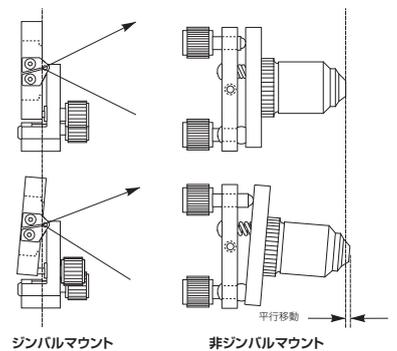
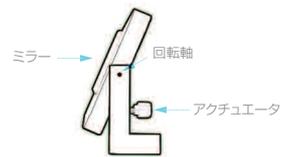
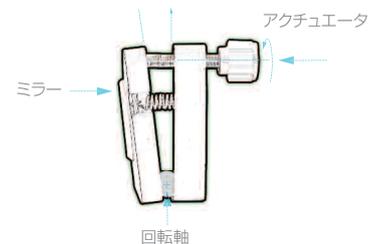


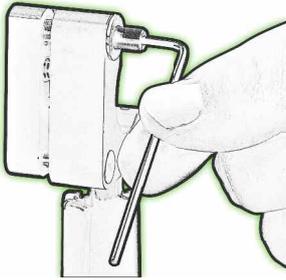
図2—ジンバル機構



フレクチャーマウント

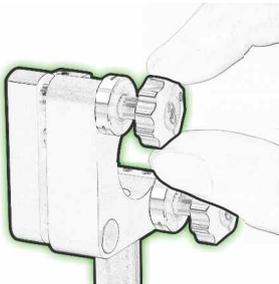
ミラーマウントのドライブの種類

アレンキードライブ



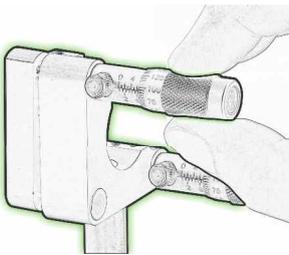
アレンキードライブを搭載したミラーマウントは、フォローアップ調整がほとんど不要で「設定後は放置」するような用途に用いられます。ノブがないため、望ましくない改変が行われにくいことが特長です。アレンキーアジャスターは、手が入らないような狭い場所でも調整することができ、さらに、一般的なロック可能バージョンもご用意しています。

ノブドライブ



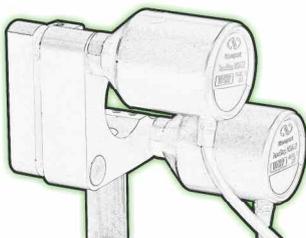
ノブドライブを搭載したミラーマウントは、調整を頻繁に行う用途に選択してください。なお、ノブの直径が調整感度に影響することに注意してください。ノブの直径が大きいほど感度も良くなりますが、占有する空間も大きくなります。また、ノブを調整するためにアレンキードライブに取り付け可能なアクチュエータノブもご用意しています。

マイクロメータヘッドドライブ



マイクロメータヘッドドライブを搭載したミラーマウントは、正確な位置を記録・参照する必要がある用途に選択してください。マイクロメータにはスピンドルに位置スケールが搭載されていますが、そのネジピッチはわずか51 TPIであり、標準の調整ネジの半分ですので、感度が制限されます。

リニアアクチュエータドライブ



電動リニアアクチュエータを搭載したミラーマウントは、自動ポジショニングや、アレンキーやノブに手が届きにくい場所での調整に使用できます。また、リニアアクチュエータをモーションコントローラと一緒に使用すると、より精密な調整を行えます。

ドライブ別売型ミラーマウント

ドライブが付属しない光学ミラーマウントをご用意しておりますので、お手元のドライブを追加、必要に応じてドライブを変更、あるいは当社のリアアクチュエータを追加して電動光学マウントに変更することができます。

ミラーマウントの材料特性

剛性

剛性とは、所与の歪み量（正規化変形）を引き起こすために必要な応力（力/面積）の量の尺度です。応力と歪みは正比例し、式 $\sigma = E \epsilon$ の関係があります。ここで、 σ および ϵ はそれぞれ応力と歪みであり、 E は材料に依存するヤング係数です。 E の値が大きい材料ほど剛性が高く、値が小さいほど柔軟です。たとえば、ステンレス鋼はアルミニウムと比べて約3倍剛性が高い材料です（表を参照）。一方、アルミニウムは真鍮と比べて1.3倍柔軟です。比剛性（ヤング係数を材料密度で除算）は、整定時間または振動耐性が問題となるときに重要なパラメータです。形状と比剛性が同一のコンポーネントは、基本共振周波数も同一です。比剛性が高くなるほど、共振周波数が高く、整定時間が早くなり、振動擾乱が減少します。

熱膨張

温度変化は、取り付けコンポーネントの寸法と形状の変化を引き起こします。寸法と形状の変化量は、コンポーネントの寸法、温度変化の量、および使用される材料によって異なります。温度変化に対する寸法変化の関係を示す式は $\Delta L = L \alpha \Delta T$ であり、ここで α は熱膨張の材料依存係数です。ステンレス鋼の熱膨張はアルミニウムのおよそ半分です。これは、干渉に対する安定性が要求される用途に取り付けコンポーネントを使用する場合に重要です。なお、コンポーネント全体の温度変化が均一でない場合は、アルミニウムが最適な選択肢です。アルミニウムの熱伝導性はステンレス鋼の熱伝導性より10倍優れていますので、熱をより容易に拡散でき、温度勾配や歪みの程度が低減します。温度変化が均一でないために発生する歪みは、熱膨張係数を熱伝導性の係数で除算した値に正比例します。したがって、温度が均一でない環境では、アルミニウムの歪みはステンレス鋼の3分の1のオーダーとなります。

材料特性	アルミニウム	ステンレス鋼
剛性、k (MPSI)	10.5	28
密度、(lb/in. ³)	0.097	0.277
比剛性、k/ (Min.)	108	101
熱膨張係数、(in./in./°F)	12.4	5.6
熱伝導係数、c (BTU/hr-ft-°F)	104	15.6
相対温度歪み (/c)	0.12	0.36

材料不安定性

材料不安定性とは、時間に伴う物理的な寸法変化であり、低温流れまたはクリープと呼ばれます。アルミニウムとステンレス鋼の場合、このクリープが見られるまでには、何ヶ月または何年という時間がかかります。

通常は、どの材料を選択するかということよりも、コンポーネントの機械設計の方が不安定性に大きく寄与します。たとえば、マイクロメータのネジの潤滑は、時間とともに移動を開始し、マイクロメータがわずかにシフトする原因となります。

材料評価の概要

位置決め装置のコンポーネントで使用される各材料は、それぞれに固有の長所と短所があります。残念ながら、すべての要件を満たす汎用性のある材料は存在しません。ここで、表に概要を示した材料の特性をまとめます。

アルミニウム：アルミニウムは軽量材料であり、低温流れまたはクリープへの耐性があり、剛性対重量比に優れています。熱膨張係数は比較的高いですが、熱伝導性も高いため、温度勾配が存在する、または温度変化に対する迅速な順応が要求される用途に適した選択肢です。アルミニウムは高速な機械加工ができ、コスト効率に優れ、コンポーネント構造体に広く使用されています。アルミニウムは錆が発生せず、表面保護が施されていない場合でも、ラボ環境では一般に耐食性です。陽極酸化処理を施した場合の仕上がりも優れています。しかしながら、陽極酸化処理を施した表面は高度に多孔質となるため、高真空下での使用には不適切です。真空用途では、表面に仕上げ処理を施していないアルミニウムを使用する必要があります。

ステンレス鋼：ステンレス鋼には高い弾性係数があるため、非常に優れた剛性（アルミニウムの約3倍）と材料安定性があります。また、アルミニウムと比べて熱膨張は約半分であり、温度変化が均一である一般的なラボ環境では最適な選択肢となります。ステンレス鋼の機械加工にはアルミニウムよりも相当に時間がかかるため、スチール製コンポーネントはかなり高額になります。スチールの腐食は深刻な問題です。ステンレス鋼合金は、他のステンレス鋼の腐食の問題を回避します。ステンレス鋼は高真空下での用途に適していますが、コンポーネントの設計には他の要素も考慮する必要があります。

表面仕上げ

陽極酸化アルミニウムは優れた耐食性があり、良好な仕上がりが得られます。光学マウントに最もよく使用される色は黒色です。陽極酸化処理を施した表面は、高度に多孔質となります。このため、高真空下の用途では陽極酸化処理を施していないアルミニウムのみが使用されます。ただし、この多孔性により、光を鏡面反射しないマットな表面が得られるため、光学マウントの価値を高めます。陽極酸化処理は表面を硬化し、引っかき傷や摩耗に対する耐性を改善します。

一般的に、スチール部品はメッキ処理か塗装が施されます。多くのメッキ処理にはクロム、ニッケル、ロジウム、カドミウムを使用します。ネジとマウンティング金具類には、錆を防ぐ黒染めが用いられることが多くあります。塗装は徐々に剥がれ落ち、オプティクスや位置決め装置の可動部分を汚染しますので、塗装したコンポーネントの使用は避けた方がよいでしょう。

ステンレス鋼合金には、他のスチールのような錆の問題がありません。非常にクリーンな材料ですので、特殊な表面保護は必要ありません。ガラスビードを吹き付けた表面は艶なし仕上げとなり、鏡面反射しません。

真空互換性

多くの光学ミラーマウントは、真空に対応しています。各製品ページの「真空互換性」に関する記述を確認してください。「真空互換性」製品は、10-6 Torrでの使用に対応しています。10-3 Torrで使用する、または10-6 Torr以上の環境に対応する製品をご希望の場合は、弊社の技術スタッフまでお見積りをご依頼ください。

真空対応

真空環境への対応は、維持しようとする真空度に依存します。「真空」という言葉は、特定の用途を適切に規定するものではありません。アウトガス、質量損失、および揮発性凝縮材料の許容レベルは、用途、ポンプ容量、温度などによって左右されます。従って、コンポーネントを真空環境に配置する前に、特定の要件を確認して理解することが不可欠です。

10-3 Torr環境：一般的に、10-3 Torrの真空環境で使用する場合、潤滑剤を除き、当社製品にはほとんど変更を加える必要はありません。この環境では、陽極酸化処理を施した部品はあまり使用されず、プラスチックを部分的に使用しても問題になることはありません。

10-6 Torr環境：10-6 Torrの真空環境で使用するコンポーネントは、この環境向けの特別仕様品です。標準コンポーネントで使用される材料の多くは、高真空下でガスを放出するため、「実質的な」漏れが発生し、これにより高真空状態を維持できなくなります。多孔性陽極酸化アルミニウム表面は大量の空気分子をトラップするため、大量のアウトガスを生成します。このカタログでは、これらのコンポーネントを「真空互換性」と規定し、以下の様な前処理が施されています。

陽極酸化アルミニウム製の製品は、陽極酸化処理を行わずに作成されます。このため、非陽極酸化アルミニウム、ステンレス鋼または同等の材料のみが使用されます。プラスチック製のノブやハンドルは取り外すか、スチールまたはデルリンといった高真空材料と交換します（追加費用あり）。場合によっては、代替設計の製造に伴う費用の増大を避けるため、プラスチック製ノブを残すという選択肢もあります。プラスチックには通気性がありますが、その絶縁特性や価格を理由として、真空システムでもプラスチックを使用することが一般的です。タッピング加工されていない穴には通気孔を開けるか、特殊な通気金具を使用します。金具と潤滑剤は特殊な真空互換材料に交換します。完成したユニットは完全に洗浄してから適切なパッケージ材の中に入れて封止します。

真空対応のための前処理の追加ステップ、または10-6以上の真空に対応するための前処理には、製品の真空ベーキングを含む特殊な取り扱いが必要です。このような真空レベルに関してご要望がある場合、利用可能なオプションや費用（該当する場合）について、弊社の技術スタッフまでお問合わせください。