

UHV環境向けに モーションシステムを改良

ミラン・ゼーマン、ジェイ・ティタス

超高真空(UHV)環境用アプリケーションの増加に対応すべく、モーションシステムは、UHVチャンバー内の光学素子や、粒子線、測定器を操作できるように変更する必要がある。

現在、圧力が 10^{-7} Pa (10^{-9} torr)以下のUHV環境を必要とするアプリケーションは、研究や製造分野の幅広い分野で見られるようになった。高エネルギー粒子加速器や、レーザを使用する重力波検出器、薄膜蒸着用精密システムなどは、まさにUHV領域で信頼性の高い動作が不可欠な例だろう(図1)。

このほか、原子/イオントラップや、ボーズ=アインシュタイン凝縮研究などのアプリケーションは、短時間のポンプダウン(排気)が可能で、極低圧を長時間保つことができる真空システムを必要とする。さらに、高出力または遠紫外線(DUV)レーザを使用するアプリケーションの多くは、試料の汚染や、高感度の光部品や検出器、光源の損傷閾値を大幅に低下させる可能性のある汚染を防ぐために、揮発物質が極低レベルのモーション部品を要求する。

本稿は、こうした環境用のモーションシステムに向けて、米ニューフォーカス社が最近発表した製品を紹介するとともに、重要な設計事項、材料の適切な選択と準備、品質の試験方法について概説する。さらに、標準仕様デバイスとUHV仕様デバイスの試験結果の比較や、真空性能をさらに向上するための新しい取り組みについても述べる。

UHVモーションシステムの設計

UHVチャンバー内の光学素子や粒子

線、測定機器を操作、制御するモーションメカニズムにおいて、超高真空アプリケーションのニーズは高まっている。こうしたアクチュエータは、高精度で遠隔制御が行えなければならない。しかも、真空システムの汚染を防ぐために、アウトガスを低く抑えて設計、製造することが要求される。

さらに、設計と材料の選択の両方が複雑化するなか、アクチュエータは、吸収した水分を真空チャンバーから取り除くために、その場での高温ベークアウト処理が必要な場合も多い。最後に、部品や筐体の設計は、空気の封入(仮想リーク)と粒子の発生を排除するために慎重に検討される必要がある。

米ニューフォーカス社のPicomotorのようなアクチュエータは、当初は標準的な研究環境で使用するために設計された。しかし、UHV環境で使用できる高精度のアクチュエータに対する顧客のニーズに対応するために、大幅な設計変更が要求された。本稿で述べる材料と手法は、標準アクチュエータをUHV環境用(本稿の例ではUHV Picomotor)に改良する際に成功のカギとなった。

元のアクチュエータの設計を変更するためには、機械設計や、材料の選択と製造、洗浄方法、組み立て工程のすべての側面について、慎重に評価、管理する必要があった。摩耗やそれに関

連する粒子の発生を抑えるためにほとんどいつも潤滑油が必要とされることから、アクチュエータには追加の変更が要求される。

機械素子を真空システムで使用するために準備すべき最初のステップは、設計を見直して、止り穴やツマミなど、空気を閉じ込めることのできるすべての部品を明らかにし、再設計することである。例えば、当社のアクチュエータは、アクチュエータのねじの末端にボールチップを圧入している。圧入することによって、エポキシ樹脂(潜在的な揮発物質の発生源)は不要になるが、ボールとねじの間に空気が入ると仮想リークの原因になりうる。

中実ねじを、化学的に洗浄しベントしたアクチュエータねじで置き換えることによって、閉じ込められた空気は直ちに排出される。すべての機械インタフェースと筐体は、完全に密閉してリークの試験を行うか、またはポンプダウン中に空気と揮発物質を直ちに排出するパスを準備するかのいずれかでなければならない。

次に、接着剤、プライマー、潤滑剤、溶剤、断熱材を含むすべての材料について、揮発物質の濃度と化学的な成分を検討する必要がある。カスタム金属が設計に使用されている場合は、メーカーが使用する切削油剤や潤滑剤などの製造材料を考慮する必要がある。そうすれば、残留物を最低限に保ち、残留している材料を洗浄している間に、容易に取り除くことができる。例えば、水溶性切削油剤は通常、高真空アプリケーション

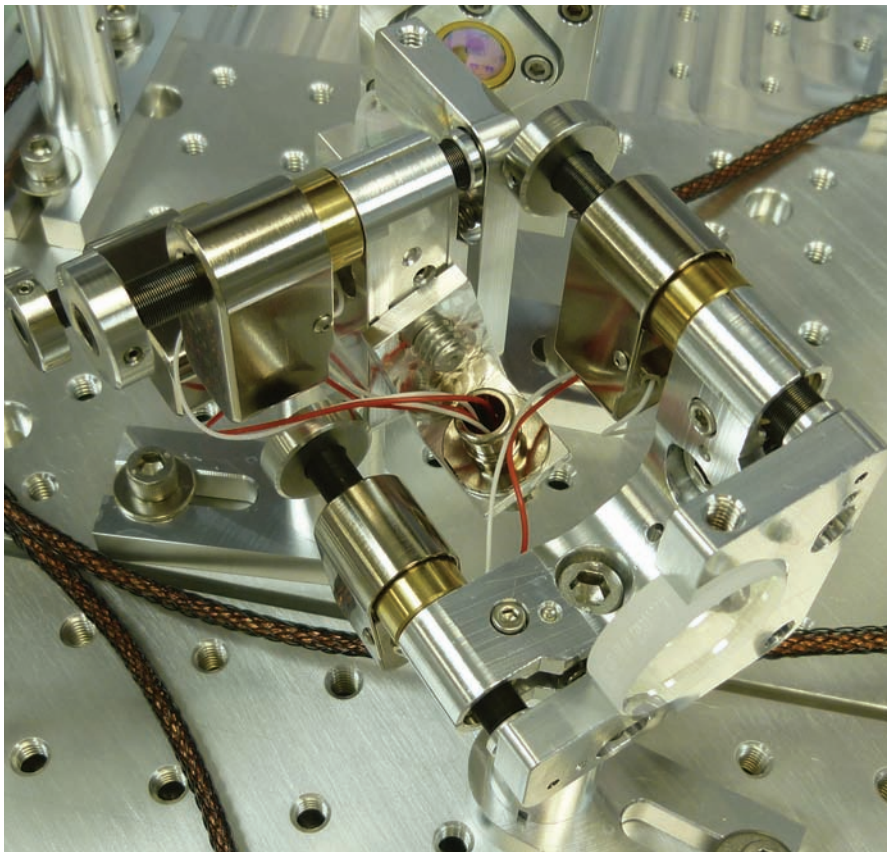


図1 ニューフォーカス社のUHV Picomotorアクチュエータは、LIGO(Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory) プロジェクトにおいて、Transmission Monitor Suspended Optical Benchの部品として使用されている。同プラットフォームは、End Test Massを通して伝送された光を監視するもので、UHV Picomotorアクチュエータは、世界最大の真空システムの1つである同システムの外部からの正確な配置制御を可能にする。(提供: Caltech/MIT LIGO研究所)

オンや汚染に対する感度の高いアプリケーション向けの部品に特定される。

もう1つの一般的な汚染源は、変則的に硬化したエポキシ樹脂などの接着剤である。すべての接着剤の硬化温度と硬化の過程を理解し、真空仕様の材料のみを確実に使用するように、明確な作業手順書を準備する必要がある。硬化時間と揮発物質に関する情報は通常、メーカーから提供されている。重要なアプリケーションにおいては、経年数や保存状態、湿度など、分析の難しい条件が硬化度に影響する可能性があることから、当社は、独自の仕様を用いることが重要であると判断した(顧客からもそうした要求があった)。

一般に、試験中の材料で作られた「ボタン」は、さまざまな条件下で硬化する。そのため、各材料の試料を真空チャンパーの中に置いて、残留ガス分析器(RGA: Residual Gas Analyzer)を使用して揮発物質の分圧を確認および測定する。

UHVアクチュエータ用の材料を選択する際に、最も重要なものの1つが潤滑剤である。当社のアクチュエータの80ピッチねじには、長期の信頼性と性能が変わらないことを保証するために、非常に正確な量の潤滑剤が使用される。潤滑剤は、スレッドに損傷を与えないで均一に塗布できるように低粘度でなければならないが、周囲に流れ出

る量を最小限に抑えられるだけの粘度は必要である。

高真空装置メーカーの多くは、独自の潤滑剤を要求する。しかし、その多くはPicomotorの要求と適合しないことが証明されている。当社は、PEPE/PTFE系の潤滑剤が、要求される粘度、潤滑性、低アウトガスを提供することを見出した。しかし、PEPE/PTFE系の中ですら、化学式によって粘度と化学的安定性がかなり異なることがある。

最後に、アクチュエータは、対象の市場の要求に則した条件とプロトコルの下で洗浄、組立て、パッケージングが行われる。例えば、当社の一般の研究アプリケーション向けアクチュエータである標準仕様Picomotorは、クラス10000のプロトコル(清浄度)の下で製造される。UHVバージョンは、半導体製造市場や医療市場で使用されるため、クラス100の作業環境で製造され、2重にパッケージングされる。内側のパッケージに使用される材料は、クリーンルーム仕様であるため、十分に管理された環境で開けることができ、顧客による追加の処理や予防措置は必要ない。

UHVモーションシステムの試験

真空アプリケーション用材料の試験を行う際は、2つの重要な特性を測定する必要がある。1つは、アウトガス反応速度である。アウトガス反応速度は、要求された真空レベルをどの程度効率的に維持できるかを決定づけるほか、効果的なベークアウト時間と温度を見極めるために有効である。ベークアウト反応速度を理解することは、アクチュエータに対する潜在的な損傷によって最高温度が決まる場合に特に重要である。

もう1つの測定は、放出されるガスの種類のタイプと存在度を決定するも

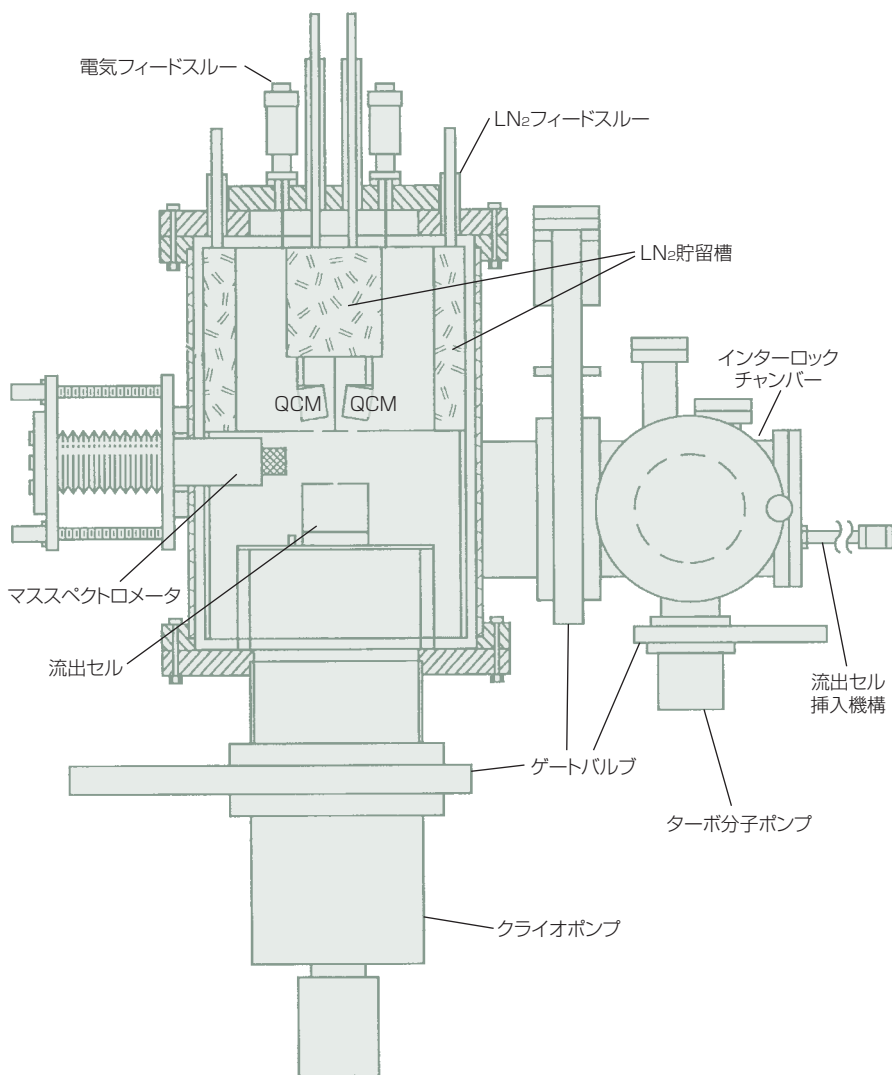


図2 ASTM E1559に従ってアウトガス反応速度を測定するために使用される真空チャンバー

表1 標準およびUHV PicomotorアクチュエータによるASTM1559Eの試験データ(24時間等温試験)

		質量損失比(TML)	超高揮発	高揮発	中程度の揮発	低揮発
UHV	μg/motor	596.9	565.0	5.7	20.4	5.9
	% of TML	100	95	1	3	1
STD	μg/motor	2042.9	1550.8	211.1	265.0	16
	% of TML	100	76	10	13	1

表2 標準およびUHV PicomotorアクチュエータによるTD-GC-MS試験データ(3時間)

パラメータ(C=炭素鎖の長さ)	標準 Picomotor (ng/L)	UHV Picomotor (ng/L)
低温ボイラ C7-C10	29.1	3.6
中温ボイラ C10-C20	114.0	2.1
高温ボイラ >C20	0.0	0.0
合計 >C7	146.1	5.7

のである。航空宇宙業界やマイクロエレクトロニクス業界ではさまざまなスクリーニング方法が使用されているが、当社は、種類の識別にTD-GC-MS(thermal desorption gas chromatography mass spectrometry)法を、時間および温度に依存する反応速度の測定にASTM E1559の使用を決めた。

ASTM E1559は、等温アウトガス試験で、試料は、真空チャンバー内の温度制御された蒸発セル内に置かれる。蒸発セル内の材料は加熱された後、24時間一定温度の中に置いたままにし、温度制御された複数のQCM(quartz crystal microbalance)によって揮発物質を集める。QCM上の分子束の衝突が、蒸発セル内の試料によるものだけにするために、液体窒素シールドによって試験セルとQCMを包み込む。

一般的な配置を、図2に示す。当社の試験では、真空チャンバーの圧力は 10^{-9} torr、蒸発セルは通常55℃に保たれている。質量損失比(TML)とアウトガスレートを時間の関数として測定するために、QCMの1つは、試験中ずっと80Kのまま維持される。それ以外のQCMは、160K、220K、268Kに保たれている。試験の最後に、QCM上に凝縮されたガスに対して、熱重量分析が行われる。試験用チャンバー内に組み込まれた質量分析計は、ガスを放出した物質について詳しく調査する。同じ手法と試料採取技術が、UHV Picomotorと標準Picomotorの両方に対して適用される。

TD-GC-MS試験では、試料の揮発性化合物を活性化するために、試験中の試料を一定時間、高温の下に置く。当社の試験では、アクチュエータは55℃に加熱された状態で2時間置かれた。材料が一定の高温状態に置かれている間、揮発物質はガスの流れによって活

活性炭のような吸収性トラップの中に押し流される。

予め決められた時間が経過すると、トラップは加熱され、熱によって取り除かれた物質はガスクロマトグラフに押し流され、質量分析法を使用して識別される。同測定では反応速度のデータは提供されないが、短時間(通常2~3時間)で、ppt(parts per trillion)の感度で揮発物質の種類を詳細に識別する。

試験結果

UHV Picomotor アクチュエータと標準(非UHV) Picomotor アクチュエータの ASTM 1559E 試験結果を表1にまとめた。異なる種類は、高い温度に保たれた QCM から決定された同じ系統の揮発物質によって分類される。

揮発性が非常に高い物質は主として水と溶剤である。高揮発物質はほとんどが質量50~200amu、中揮発物質は200~400amu、低揮発物質は400amu以上である。表2は、TD-GC-MSによって得られた初期の試験結果を示す。両試験から、UHV設計によってアクチュエータのアウトガス量は大幅に削減されることが確認された。

図3と図4の ASTM 1559 E 試験のデータは、UHV Picomotor の TML が非UHV製品に比べて大幅に削減されたことを示している。低中温ボイラーのレベルは、UHV アクチュエータに対して大幅に低下しただけでなく、アウトガス率も短時間で漸近線に近づく。

今後の方向

UHV システムの仕様に対する要求はますます厳しくなっている。顧客は、信頼性を犠牲にすることなく、揮発物質のレベルがさらに低く、粒子制御に優れたアクチュエータを要求するだろう。揮発物質を短時間で除去するための最

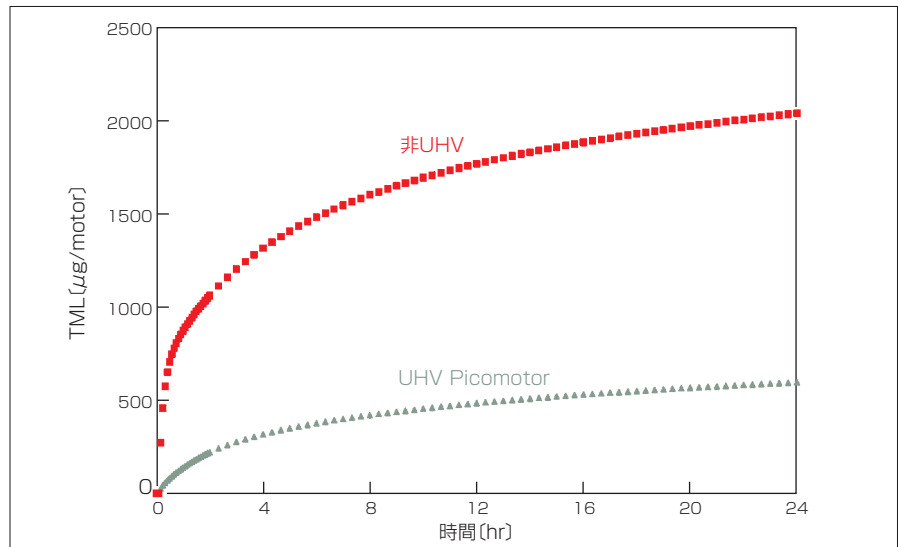


図3 質量損失比(TML)は、慎重な設計と、材料の選択、製造環境の管理によって大幅に削減される(55°CにおけるTML)。

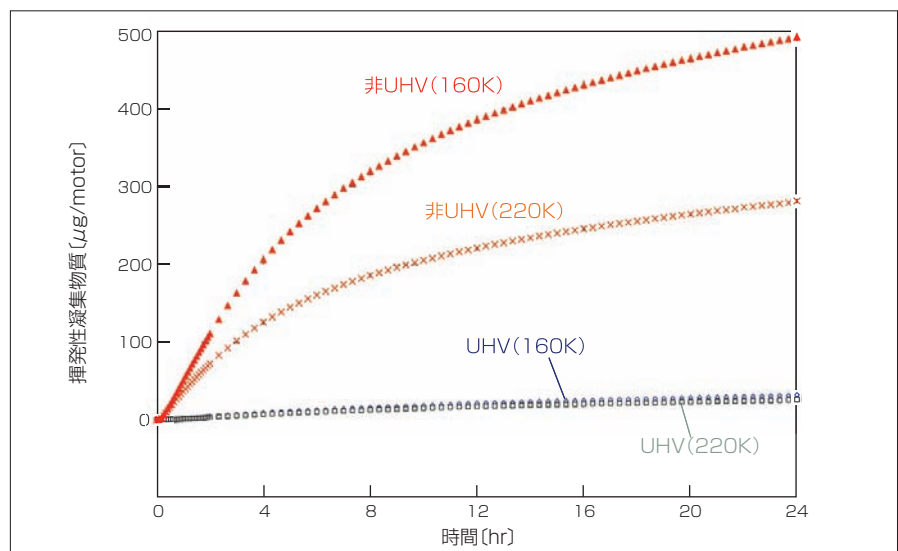


図4 ASTM 1559Eデータは、低中温ボイラーのベークアウトが大幅に効果的であることを示している(Picomotorは55°C)。

も効果的な方法を見極めるために、当社の製品を使用した高温ベークアウトの研究が現在も進められている。

また、TMLをさらに削減するために、新しい潤滑剤や表面仕上げ、洗浄技術の評価が行われている。極紫外線(EUV)

レーザや高放射能アプリケーションなど、要求の最も厳しいアプリケーションでは、給電のための真空フィードスルーを備え、100%リーク試験済みの筐体の中に完全に密閉されたアクチュエータが要求されるかもしれない。

著者紹介

ミラン・ゼマン (Milan Zeman) は米ニューフォーカス社 (New Focus) のシニアプロダクトマーケティングマネージャ (e-mail: milan.zeman@newport.com)、ジェイ・ティタス (Jay Titus) はスペクトラ・フィジックス社 (Spectra Physics) のシニアマネージャ、信頼性エンジニア (e-mail: jay.titus@newport.com)。URL: www.newport.com