

# 真空用途にデザインされた位置決めデバイス

By Albert David, Applications Engineer

## 製品ご紹介

2000年代前半まで使われた大型で重量のあるカラーテレビを覚えていますか？私たちの多くは、それを知らずに真空技術を使用してきました。これらの大型テレビは、すべて電子が他のものと衝突することなく自由に飛ぶことを可能になる高真空陰極線管（CRT）が必要でした。

真空のための最も初期の重要な用途の1つは、1900年代初めに陰極線管の製造が目的でした。CRTの最初の使用は陰極線オシロスコープとして知られたオシロスコープの製造でした。技術が進歩するにつれて、真空システムの使用は様々な電子管製造や光学コーティングのような異なる用途に発展していきました。

多くのアプリケーションでは、標準大気圧よりも真空内で優れた結果が得られ、場合によってはその時点では不可能だった結果が得られることが判明しました。真空アプリケーションの普及に伴い、真空対応位置決め装置の需要も増加しています。

この記事では、アプリケーションの要件を収集する際に留意すべきバキュームシステムの基本を概説します。モーションコントロール（位置決め技術）に焦点を当て、真空の必要条件を損なうことなく信頼性の高い性能を達成するために不可欠なものです。



図1：代表的な Zaber 社真空装置の構造

### 真空とは何で、なぜそれが必要か

工学または応用物理学における真空は、標準大気圧よりも低い領域です。フォトンクスや光学、工業製造、ライフサイエンスなどの市場では、真空条件下で処理を行う必要があります。理想的な真空は、光学コーティング、半導体製造、および電子ビーム溶接などの研究および製造のためのクリーンで汚染のない環境を提供します。

圧力を指定するために、torr、milliBar (mBar)、およびパスカル (Pa) を含むいくつかの標準化された単位があります。標準的な大気圧に関して真空圧力を定義することも一般的です。これらの共通単位の関係を表 1 に示します。

	大気	Torr	mBar	Pa
大気	1	760	1013.25	101325
Torr	$1.32 \times 10^{-3}$	1	1.33	133.32
mBar	$9.87 \times 10^{-4}$	$7.50 \times 10^{-1}$	1	100
Pa	$9.87 \times 10^{-6}$	$7.50 \times 10^{-3}$	0.01	1

表 1：真空ユニットの関係

Zaber Technologies は現在、低真空および高真空製品を製造しています。当社の低真空装置は、 $10^{-3}$ Torr の低真空条件に適合します。高真空装置は  $10^{-6}$ Torr の真空圧力まで適合します。 $10^{-9}$ Torr に達するように設計された超高真空 (UHV) のようなより高いレベルの真空は、低真空および高真空と比較してより厳しい要求が課せられます。UHV については、真空システム内の現在の焦点が低真空および高真空の圧力範囲にあるため、この記事では詳しく説明しません



図 2：Zaber 社真空チャンバー装置例

異なるアプリケーション毎に、特定の真空領域が必要です。低真空用途には、ろう付け、焼結、および質量分析が含まれ、高真空の用途には、光学装置ならびに薄膜コーティングおよび走査型電子顕微鏡が含まれます。いくつかの UHV アプリケーションには、より大きな粒子加速器と光電子研究が含まれています。

標準の Zaber 社製品が使用できる大気圧から 10-1Torr の範囲の真空レベルを使用するたくさんのアプリケーションがあります。これは、アプリケーションの要件に依存します。いくつかの用途には、二酸化炭素レーザーの使用、およびネオンおよび蛍光灯または白熱電球の製造が含まれます。

## 真空仕様位置決め機器を選択する際に考慮すべきことは？

所望の真空レベルならびに清浄で汚染されていない環境を達成するためにはいくつかの考慮事項があります。これらの考慮事項の中には、ガス放出、材料選択、熱管理、バーチャルリーク、ケーブル管理などがあります。この記事では、真空システムの基本的な考え方と Zaber 社の真空製品ラインナップの最適化方法について説明します。

### 脱ガス

脱ガス (Outgas) は、表面に吸着された、物質に吸収された、または物質の性質として固有の分子の放出である。吸着 (Adsorption) は、物質の表面上に薄膜を形成する分子の集合体である。吸収とは、異物が物質に「浸された」ときです。表面は吸着および吸収のための活性領域であるため、真空中の表面はすべてガス放出の潜在的発生源と考えられる。

脱ガス (Outgas) の制御は、真空システムを維持する際の多くの課題の 1 つです。ガス放出蒸気は、敏感な光学機器に付着したり、コーティング中に不純物を生成したり、サンプルを汚染する可能性があります。

脱ガス率は、ポンプダウンレート (排気率) と組み合わせて、所望の真空レベルに到達するのにかかる時間の長さ、達成可能な真空レベルとを決定します。ガス放出速度は以下の式で決まります：

$$\frac{\text{圧力} \times \text{体積}}{\text{表面積} \times \text{時間}}$$

水、グリース、オイル、有機材料は、より一般的なアウトガスの蒸気の例です。炭化水素のような揮発性の凝縮性物質のアウトガスは、多くの場合、水蒸気のような別のタイプの分子よりも懸念されます。炭化水素蒸気は光学部品上で凝縮し、その動作を妨害することがありますが、水蒸気は一般に凝縮せず、チャンバーから効果的に排気されます。

使用する材料にかかわらず、真空チャンバーに入るデバイスを設計する場合、ガス放出速度は、時間当たりの表面積当たりの圧力×体積です。露出した表面積は、ガス放出およびポンプダウン時間に影響を及ぼす分子の薄膜を吸着可能性があるため、可能な限り表面積を最小にすることが強く推奨されます。これは、UHV システムでより大きな考慮事項になります。

### 材料の選択

脱ガスについてのセクションで述べたように、材料は本質的に排気ガスになります。したがって、材料の選択は、要求される真空レベルを達成する上で大きな役割を果たすことになります。

材料は蒸気圧として知られる特性を有します。蒸気圧は、閉システム内の蒸気によって加えられる圧力と温度とを関連付けます。加圧が高い場合、真空システムが低真空レベルに達するのを制限します。ユーザの理想的な材料は蒸気圧が低くなければなりません、そうするとガス放出も低く、結果として真空圧がより低くなります。

蒸気圧が高く、避けるべき材料のいくつかの例：

- 多孔質セラミックス
- 多孔質金属
- プラスチック
- 接着剤
- 標準潤滑剤
- スタンダードオイル
- 標準グリース
- 有機材料

蒸気圧の低い材料は真空度達成への選択肢として好ましいです：

- ステンレス鋼
- オーステナイト鋼
- アルミニウム
- ピック
- PTFE
- カプトン
- ブロンズ\*

標準ステッピングモータは、ベアリングが高い蒸気圧を有する油またはグリースでコーティングされ、そのワイヤーが PVC で絶縁される場合が多いので、一般に真空用途には適していません。PVC 絶縁ワイヤーを PTFE/テフロン被覆ワイヤーに取り替えることで、アウトガスを減らすのに役立ちます。真空モータは高温巻線のために巻線を交換することが多く、図 3 に示すような塗料やオイルを除去し、真空適合グリースと交換します。

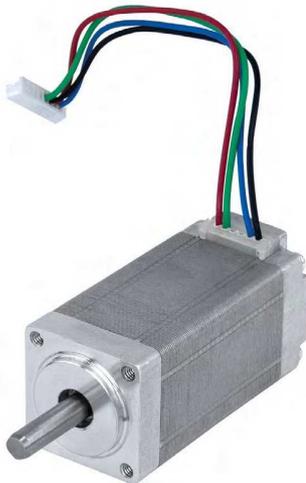


図 3：高真空対応ステッピングモータ。

\*黄銅や青銅などの合金には亜鉛が含まれており、ステンレス鋼に比べて蒸気圧が比較的高いです。亜鉛の蒸気圧は、50°Cで  $10^{-11}$ Torr、 $\sim 180^\circ\text{C}$ で  $10^{-6}$ Torr 未満です。これは、アプリケーション要件を考慮した材料選択が重要であることを強調しています

モーターワイヤーに加えて、標準電線は一般に PVC 絶縁されているので、データケーブルなどは交換する必要があります。

標準的なセンサーには、PVC で絶縁されたワイヤーだけでなく、高い蒸気圧を有するプラスチックハウジングも含まれています。これらは、真空対応のセンサーに置き換えてください。

ステッピングモータを真空中で使用するユニークな利点の 1 つは、ステッピングモータはエンコーダーなしで使用できることです。過熱を含む多くの方法で電子機器が故障する可能性があるため、真空チャンバー内の電子機器の量を最小限に抑えることは良い方法です。

Zaber 社では、製品に組み込まれているすべての材料を慎重に調査しています。テフロン製のリード線、特殊な巻線、真空対応の潤滑剤とグリースを使用する真空対応のステッパモータでモータを置き換えます。すべてのデジタイゼーションケーブルは、内蔵のコントローラ（図 1 参照）などの電子機器が真空チャンバー内に必要な場合は、テフロン絶縁ワイヤーを使用しています。当社では、電解コンデンサをタンタルに置き換え、アウトガスをさらに減らすために PCB を特別に処理して製造しています。高真空 PCB の例は、図 4 に示す。



図 4：高真空対応の PCB

製造作業中、真空 PCB には低残留フラックスを使用し、その後、イソプロピルアルコールで複数回洗浄してから組み立てます。

標準（大気仕様）Zaber 社デバイスは、陽極酸化（Anodizing）と呼ばれるプロセスにより硬化したアルミニウムコンポーネントを使用しています。陽極酸化層は気体と水分をより容易にトラップする多孔質表面を作り出し、より多くのアウトガスと長いポンプダウン時間が必要なため、当社の真空装置は陽極酸化されていません。図 5 は、陽極酸化されていない押出成形ユニットの例。



図 5：陽極酸化されていない押出成形ユニット

### 熱管理

空気中では流体媒体が無くても、対流によって熱を放散しますが、真空中では過熱を避けるために、真空中の電気部品を注意深く設計し、監視する必要があります。モータまたは PCB が定格温度を超えると、損傷を引き起こし、性能への信頼がなくなり、寿命が制限される可能性があります。

材料選定のセクションで述べたように、Zaber 社の真空モータは、真空内でより高い動作温度に耐えるように作られています。適切な注意が払われないと定格温度を超えることがあります。

Zaber 社の真空装置では、熱伝導を熱消散の主要対策としています。これらのデバイスを直接チャンバーに取り付けることで、熱がより速く消散するのにも役立ちます。

さらに、PCB とファームウェアを最適化して、デバイスが信頼できる性能と最適な全寿命が得られる温度を維持できるようにしました。

このために、ヒートシンクを増やすために PCB ハウジングに変更を加え、発熱を制御するファームウェアを修正しました。ご用途に真空対応の Zaber 社デバイスをご選択頂く場合は、適切なデューティサイクルと動作電流の組み合わせを決めるためにアプリケーションエンジニアに連絡されることをお勧め致します。

動作電流とデューティ・サイクル・プロットの例を図 6 に示します



図 6：X-LSM-SV の稼働電流対デューティサイクルのプロット。

当社の X シリーズ真空装置にはコントローラに温度センサーが内蔵されています。更に、モータにセンサーを追加して温度をモニターすることをお勧めします。たとえば、K タイプの熱電対またはその他の温度センサーをモータに取り付けると、温度をモニターして、下の図 7 に示すように過熱の危険性を減らすことができます。



図 7：モータに取り付けられた K タイプ熱電対

### 仮想リーク

バーチャルリークは、小さいチャネルを介して大きな真空チャンバーに接続されているデバイス内に閉じ込められたガスの小さなポケットです。これにより、ゆっくりとしたガス放出プロセスが起こり、真空チャンバーが急速に所望の圧力に達するのを防ぐことができます。仮想リークの一例は、通気されていないファスナーを備えたねじ穴です。図8は、ブラインドホール、通気スクリュー、およびスルーホールの違いを示しています。

Zaber社では、仮想リークを最小限に抑えるためにデバイスを慎重に設計しています。通気されたネジを使用し、通気路をネジ穴に組み込んで、ガスがトラップされないようにします。可能であれば、盲穴ではなくスルーホールを使用します。また、コントローラーハウジングに通気口を一体化しているため、トラップされたガスをより迅速に逃がすことができます。

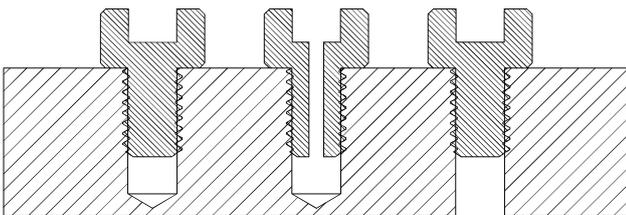


図8：ブラインドホール（左）、ベント付きスクリュー（中央）、スルーホール（右）

### ケーブル管理

内蔵のコントローラを低真空と高真空に耐えられるように最適化したので、真空チャンバーでデイジーチェーン接続が可能になりました。これは、複数のデバイスが1つの電源とコンピュータへの信号ラインを1つの接続で共有できることを意味し、フィードスルーへの配線数を削減しています。

当社の真空機器は、初期のテストとセットアップのために意図的に真空互換でないコネクタ付で同梱されています。これらのコネクタを切断して、フライングリードを剥き出して、結束、またははんだ付けしてデイジーチェーンを形成することができます。真空チャンバー内の多軸接続の場合は、4本のフィードスルーピン(2本の電力、2本のデータ)が必要です。

**\*\* Xシリーズデバイスの場合、電力はX-PIBを介して通電されます。Tシリーズデバイスの場合、電源はT-DSUB9-Pを介して通電されます。Tシリーズデバイスを持つチェーンでXシリーズデバイスを使用している場合、Tシリーズデバイスには電源用に2本の追加配線が必要です。**

あるいは、真空対応コネクタを提供することもできます(図9参照)。詳細はアプリケーションエンジニアにお問い合わせください。

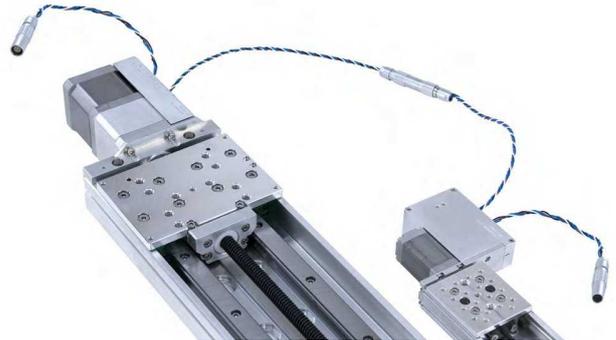


図9：真空コネクタを備えたデイジーチェーンの2台の高真空仕様ユニット

### 以下の1, 2, 3手順で簡単設定

真空チャンバー内で複数のZaberデバイスをセットアップして制御する場合も、僅か数ステップで完了です(図10参照)。

1. コンピュータと真空チャンバー間にデータケーブルと電源ケーブルを接続します。
2. 内蔵コントローラを搭載したデバイスは、4本のフィードスルーワイヤ\*\*を介して真空チャンバー内の電力とデータピンに接続します
3. Zaber Console を使用して指示を送信するか、設定を自動化します。

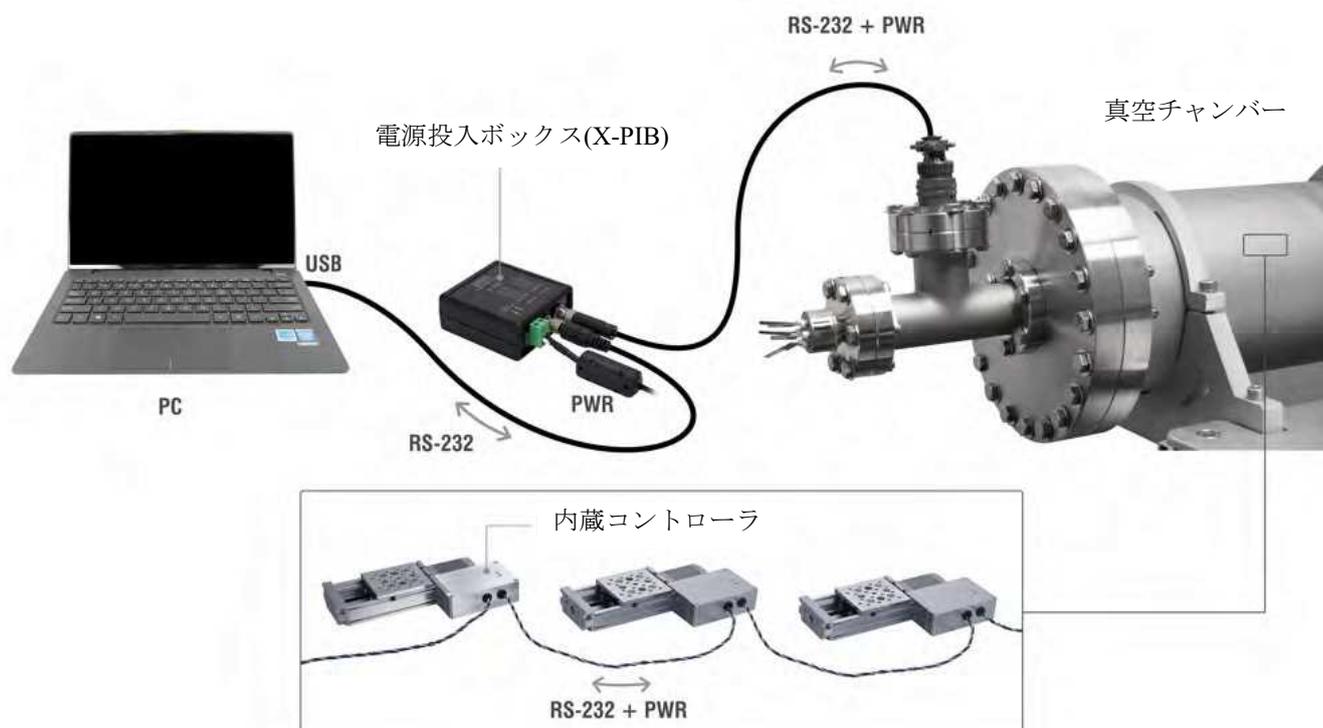


図 10 : 真空チャンバー内でデジチェーン接続された内蔵コントローラ装備の 3 デバイス

## 洗浄、取り扱い及び梱包

真空度が上がれば上がるほど、対策と洗浄のレベルがますます重要になります。大気にさらされた装置は、表面に吸着することにより汚染される危険があります。

素手は油や汚れなどの有機物を持ち込む可能性があるため、真空装置を取り扱う際には必ずクリーンルームの手袋を着用してください。装備中に、真空チャンバを汚染し、望ましくない過剰なガス放出を引き起こす可能性があります。

Zaber の低真空装置用の各コンポーネントは、脱脂され、イソプロピルアルコールを使用して洗浄され、次にクリーンルームの手袋を使用して組み立てられます。

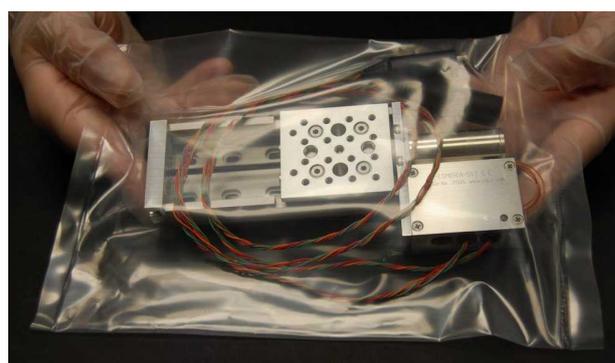


図 11 : 特許の ULO® バッグで、2 重にパックされた高真空装置。

当社の高真空装置のすべてのコンポーネントは、組み立て前に超音波洗浄されています。コンポーネントを超音波洗浄することに加えて、デバイスはクラス 100 (ISO クラス 5) のクリーンルームにて組み立てられます。完成した製品がパッケージ化され、出荷準備が整う迄、部品はクリーンルームから出ません。当社の高真空装置は出荷準備が整うと、クリーンルーム内の超低アウトガス (ULO®) ポリエチレンバッグにパッケージされ、二重袋に入れられ、クリーンルーム内に装置を挿入する前に外袋を取り外すことができます。図 11 は、ULO®でダブルバッグされた高真空装置の例を示しています。

## 結論

Zaber Technologies 社では、真空システムとアプリケーションに必要な厳しい要件を意識しています。真空アプリケーションの要件を犠牲にすることなく、精密なモーションコントロールを提供するために、これらの考慮事項が当社の真空製品ラインナップに統合されました。モーションコントロールの簡素化に対する当社のアプローチを維持しながら、低真空と高真空で信頼性の高い性能を提供する当社の能力には自信があります。

Albert David 氏は、Zaber Technologies Inc.のアプリケーションエンジニアです。Zaber は、光学、フォトニクス、産業オートメーション、生物医学、その他多くのアプリケーションに使用される精密リニアアクチュエータ、リニアスライド、その他のモーションコントロール製品を設計、製造しています。詳細については、[www.zaber.com](http://www.zaber.com) をご覧ください。

*If you found the above information interesting, consider subscribing to our newsletter to receive product announcements, user tips, and special promotions (typically worth \$100 off a selected product).  
Subscribe online at [www.zaber.com](http://www.zaber.com).*