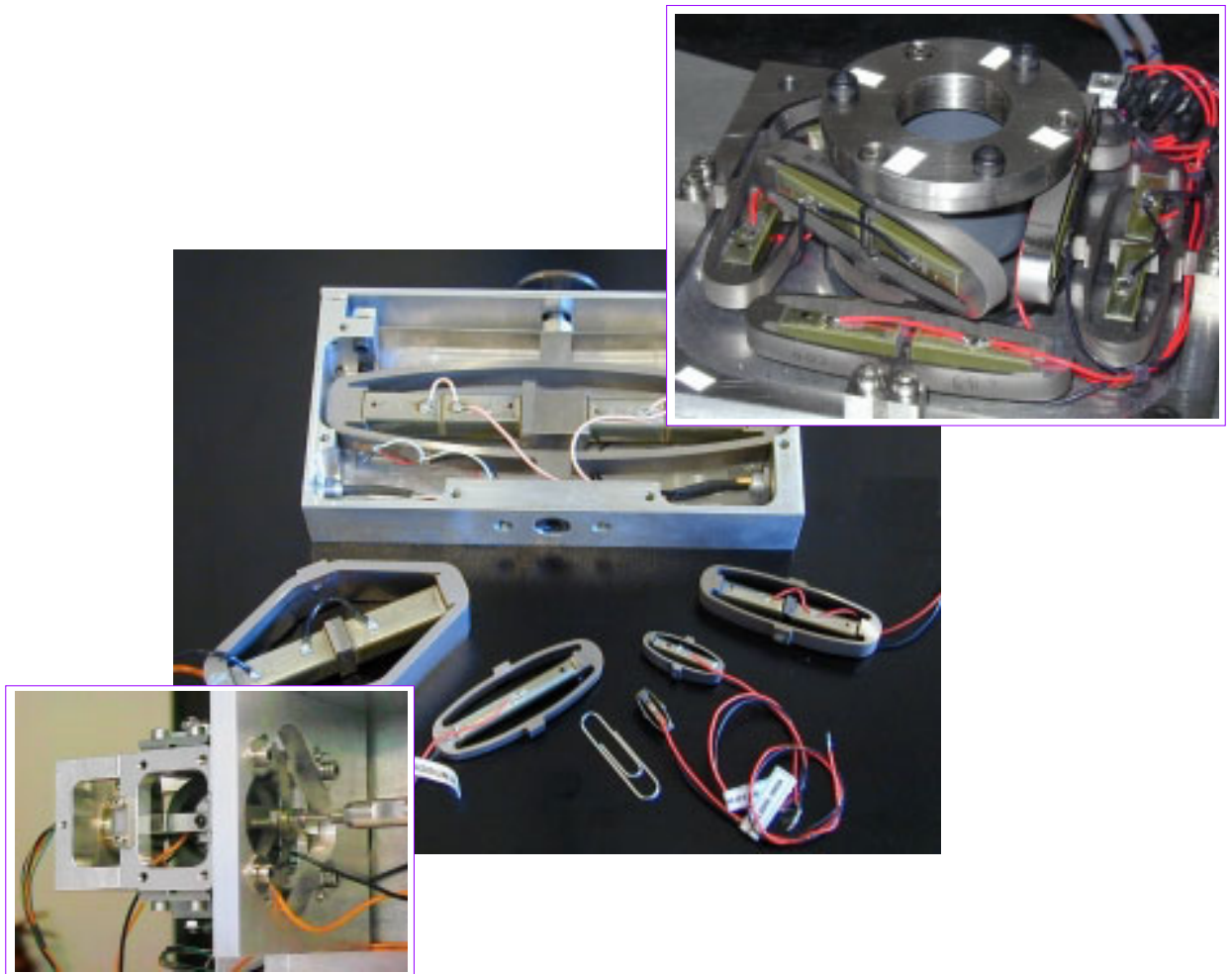




PIEZO PRODUCTS



10, Chemin de Pré Carré, Zirst
38246 MEYLAN Cedex - FRANCE
Tel: +33 (0)4.76.90.50.45
Fax: +33 (0)4.76.90.16.09
Email: actuator@cedrat.com
Web: <http://www.cedrat.com>

Representation:

株式会社キーストンインターナショナル
227-0042 千葉県柏市逆井13-27 黒沢ビル3F
Tel: 04-7175-8810 email: key@keystone-intl.co.jp
訳: 平成14年11月(株)キーストンインターナショナル S.Yoshida Ver 1

Copyright © CEDRAT TECHNOLOGIES – September 2000

目 次

1. ピエゾ素子：電界効果、新素材、新しいアクチュエータ	7
1.1 ピエゾアクティブ材料の紹介	7
1.2 ピエゾアクティブ材料の特性	8
1.3 セドラット社のピエゾアクティブアクチュエータ、トランスデューサ、および モータ	10
1.3.1 ダイレクトピエゾアクチュエータ (DPAs)と パラレル予備負荷付き アクチュエータ (PPAs)	10
1.3.2 増幅機構付きピエゾアクチュエータ(APAs)	10
1.3.3 超音波ピエゾアクチュエータ(UPAs)	11
1.3.4 超音波ピエゾドライブ(UPDs)	11
1.3.5 リニア及び回転ピエゾモータ (LPMs、RPMs)	11
1.4 セドラット社のリニアピエゾアクティブアクチュエータの比較	12
1.5 セドラット社からの提案と統合	12
1.6 ピエゾアクチュエータとアプリケーション	14
2. 誘導ストレイン型ピエゾアクティブアクチュエータ	15
2.1 ダイレクトピエゾアクチュエータ (DPAs) とパラレル予備負荷付きアクチュエータ (PPAs)	15
2.2 増幅機構付きピエゾアクチュエータ(APAs)	16
2.3 超音波ピエゾアクチュエータ (UPAs)と、超音波ピエゾドライブ(UPDs)	18
2.4 ピエゾアクチュエータ のスタチックな振舞い	18
2.5 ピエゾアクチュエータ のダイナミックな振舞い	20
2.6 ピエゾアクティブアクチュエータの制限	22
2.7 ピエゾアクティブアクチュエータのドライブ	24
2.8 ピエゾアクティブアクチュエータのコントロール	26
3. ピエゾモータ	27
3.1 ピエゾアクティブモータの一般的プレゼンテーション	27
3.2 セドラット社ピエゾアクティブモータの原理	28
3.3 超音波ピエゾドライブ(UPDs)	29
3.4 リニアピエゾモータ(LPMs)	30
3.5 ロータリーピエゾモータ(RPMs)とアレンジメント	31
4. ピエゾアクティブ素子のデザインとカスタム製品	32
4.1 デザインツールとテスト機器	32
4.2 スーパーアンプリファイドピエゾアクチュエータ	33
4.3 圧電ピエゾスタック	34
4.4 チップチルトメカニズム	34
4.5 XYZメカニズム	34
4.6 ピエゾモータとトランスデューサ	36
4.7 トレーニングコースと技術支援	36
5. アプリケーションとチュートリアル	37
5.1 専門用語集	37
5.1.1 このカタログに記載されている標準ピエゾ素子製品に関するノート	37

5.1.2	圧電アクチュエータとモータに関する定義	38
5.2	チュートリアル:最適なアクチュエータとそのドライブ回路の選択法	41
5.2.1	屈曲ガイド有効荷重の位置決め	41
5.2.2	インパルスアプリケーション	41
5.2.3	大きな変位を必要とするとき	42
5.3	あまたのアプリケーション	43
5.3.1	ステップ1: アクチュエータ	43
5.3.2	ステップ2: 駆動電子回路	44
6.	piezoアクチュエータの選択ガイド	45
6.1	選択ガイド	45
6.1.1	序論	45
6.1.2	オプション	46
6.1.3	メカニカルインターフェイスオプション	46
6.1.4	追加データ	47
6.1.5	オーダー方法	47
6.2	増幅機構付きpiezoアクチュエータ APA XS Series	48
6.3	増幅機構付きpiezoアクチュエータ APA S Series	49
6.4	増幅機構付きpiezoアクチュエータ APA SM Series	50
6.5	増幅機構付きpiezoアクチュエータ APA M Series	51
6.6	増幅機構付きpiezoアクチュエータ APA ML Series	52
6.7	増幅機構付きpiezoアクチュエータ APA L Series	53
6.8	ダイレクトpiezoアクチュエータ DPA	54
6.9	パラレル予備負荷付きpiezoアクチュエータ PPA M Series	55
6.10	パラレル予備負荷付きpiezoアクチュエータ PPA L Series	56
7.	piezoトランスデューサとモータの選択ガイド	57
7.1	超音波piezoアクチュエータ UPA	57
7.2	超音波piezoドライブ UPD	58
7.3	超音波piezoモータ LPM20-3	59
8.	piezoアクチュエータのエレクトロニクス選択ガイド	60
8.1	選択ガイド	60
8.1.1	序論	60
8.1.2	ラック寸法	61
8.1.3	接続	61
8.1.4	標準の構成	61
8.2	75 シリーズ AC/DC・DC/DC コンバータ	62
8.3	LA75 リニアアンプ	63
8.4	SP75 スイッチング電源	64
8.5	SA75 スイッチングアンプ	65
8.6	SG75 ストレインゲージコンディショナー	66
8.7	SC75 サーボコントローラ	67

9. ピエゾトランスデューサとモータのエレクトロニクス選択ガイド	68
9.1 選択ガイド	68
9.1.1 序論	68
9.1.2 ラック寸法	69
9.1.3 接続	69
9.2 100 シリーズ AC/DC・DC/DC コンバータ	70
9.3 US100 超音波インバータ	71
10. ピエゾアクチュエータを使ったメカニズム	72
10.1 序論	72
10.2 ピエゾ駆動 X-Yステージ	73
10.3 チップチルト Θ X-Z	74

1. ピエゾ素子:電界効果、新素材、新しいアクチュエータ

1.1 ピエゾアクティブ材料の紹介

1880年、キュリー兄弟は最初に、水晶材料での圧電効果を調べました。それは、材料に外部から圧力が加わったとき、これに対応して電荷を発生する能力です。これはダイレクト効果と呼ばれています。この効果は可逆です；すなわち、圧電性の材料に電圧を加えるとその寸法を変えることです。

1922年に、ランゲビンは水晶材料を使った最初のアクチュエータを提案しました。その効率を高めるために、このアクチュエータは共振点でドライブされました。1960年後半、PZT(チタン酸ジルコン酸鉛)における圧電効果の発見により、工業用途での応用に拍車をかけました。バルクPZTリングを使った圧電トランスデューサは、ソナー、超音波溶接、超音波清浄器などの用途に開発されました。圧電セラミックを使ったセンサ技術は、すでに広く使われています。(圧力センサ、水中聴音器、加速度計等)

また、バルク圧電素子PZTリングを使用した、位置決めを目的としたアクチュエータが研究されました。しかしながら、このタイプのアプリケーションで必要とされる変形レベルを得るために、高い励起電圧入力が必要です。例えば、厚さ0.5mmのPZTリングはおよそ1,000ボルトの励起電圧を必要とし、明らかに実用的な目的のためには高過ぎます。

1988以降、高度なコンデンサー技術から生まれた多層アクチュエータ(MLAs)が市販されました。(図1.1) MLAsは使い易いので、ますます様々なアプリケーションで使用されました。励起電圧200Vは、現代のエレクトロニクスによく適合いたします。

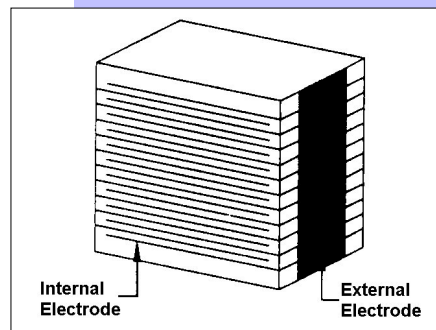


図1.1: MLAの模式図

1.2 ピエゾアクティブ材料の特性

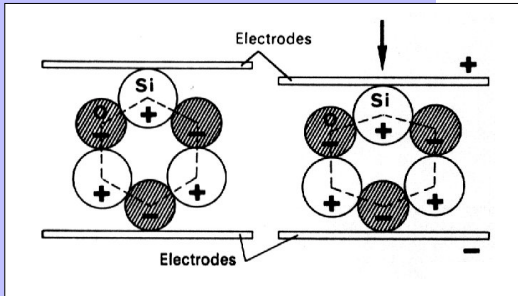


図1.2: 結晶構造とpiezo効果
(例:水晶)

圧電性の材料は結晶性固体で、その非対称の構造が結晶格子内に双極子モーメントを形成し、しかも弾性ひずみと加えられた電界に敏感です。

PZTの材料は、キュリー点以下の温度では強誘電体の材料です：ポーリングプロセスは、材料に残留極性を与えます。ポーリングプロセスの間、材料はキュリー点温度で強電界にさらされます。材料がそのキュリー点より高い温度になった場合、その材料はもはや圧電素子ではなくなります。再びある条件のもとで、圧電性を取り戻すように再ポーリングさせることができます。

圧力と伸張は、セラミックのヤング率で互いに関連しています。さらに、圧力は逆の圧電効果で電界を発生させます。セラミックが誘電性の媒質であるので、電気による伸張は電界に関連します。これらの関係は、いくつかの方程式を結合することで出来ます。

例えば：

$$\begin{aligned} S_{\alpha} &= s_{\alpha\beta}^E T_{\beta} + d_{n\alpha} E_n \\ D_m &= d_{m\beta} T_{\beta} + \epsilon_{mn}^T E_n \\ \alpha, \beta &= 1, \dots, 6 \\ m, n &= 1, 2, 3 \end{aligned}$$

S: 伸張(Strain) **T**: ストレス(Stress)

D: 誘導(Induction) **E**: 電界(Field)

s^E : 定常電界でのコンプライアンス

d : 単位電界当りの伸張

ϵ^T : 一定のストレス下における誘電率

電気機械の結合係数を定義するために、前述の方程式を適用することが出来ます。それは、 piezoelectrics アクチュエータに供給される総エネルギーと、変換されたエネルギーとの比率として考えることができます。材料の結合係数の実用的な値は、50%より高い場合があるが、アクチュエータ、または共振変換器では通常、有効な結合係数 (k_{eff}) は低い値です。電気機械結合係数は、アクチュエータの効率と見なされるべきではありません。前述の方程式では、どんな損失も考慮に入れていません。

市販の圧電セラミックは、"反分極"の容易さによりソフトタイプ材料かハードタイプ材料か分類することができます。表1.1に、piezoelectrics アクティブ材料のいくつかの典型的な特性を記載します。(図1.3)



図1.3: ピエゾアクティブ材料

Materials	Control field E electric H magnetic	Young's modulus at constant field (GPa)	Mechanical quality factor Qm	Electro-mechanical coupling coefficient k33 (%)	Quasistatic maximum strain (ppm)
BULK PIEZOELECTRICS					
PZT-8	E	74	1000	64	+/- 110
PZT-7	E	72	600	67	
PZT-4	E	66	500	70	+/- 150
PZT-5	E	48	75	75	+/- 300
MULTILAYERED PIEZOELECTRICS (MLAs)					
Soft-type	E	45	25 - 50	70	1250
Hard-type	E	62	200 - 500	60	800
MAGNETOSTRICTIVES					
Terfenol-D	H	25	10 - 20	70	1600

Table 1-1: ピエゾアクティブ材料の特性

また、Terfenol-Dのような磁歪材料もセドラットテクノロジー社で研究されます。磁場がかかると、それらは広がります。励磁コイル中に発生する損失にもかかわらず、この材料を使ったアクチュエータは、低電圧またはパワーアプリケーションによく合うかもしれません。この材料に基づくカスタムアクチュエータとトランスデューサは、ご要望に応じてセドラットテクノロジー社で製作いたします。

また、PMN-PTなどの電歪材料は、多層テクニックで生かされています。この材料は、低いヒステリシス < 2%を示しますが、PZT材料よりはるかに温度依存性があります。



図1.4: ダイレクトピエゾアクチュエータ

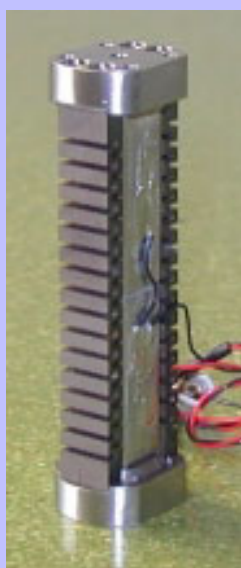


図1.5: パラレル予備負荷付きアクチュエータ



図1.6: 増幅機構付きピエゾアクチュエータ

1.3 セドラット社のピエゾアクティブアクチュエータ、トランスデューサ、および モータ

これらの新しいピエゾ材料を使用して、セドラット社は、幅広いニーズとアプリケーションをカバーするため、多くのクラスの低電圧ピエゾアクチュエータを開発いたしました。これらのアクチュエータは当初、フランス・ヨーロッパ宇宙局(CNES、ESA)の最も厳しい条件を満たすために開発され、究極の特性を提供します。

1.3.1 ダイレクトピエゾアクチュエータ (DPAs) と、パラレル予備負荷付きアクチュエータ (PPAs)

DPAsは、ソリッドステートのリニアアクチュエータです。(図1.4) これらは、33モードにおける活性材料の膨張を利用し、伸張を発生します。この伸張は、200Vまでの範囲の駆動電圧に比例します。アクチュエータの変形は通常、およそ0.1%(1 $\mu\text{m}/\text{mm}$)で、DPAの伸張はおよそ100 μm に制限されます。一方発生力は非常に大きく、1kN以上の力を容易に発生します。これらのアクチュエータは、マイクロ位置決めなどの準スタチックなアプリケーションに向いています。

パラレル予備負荷付きアクチュエータは、外部に圧縮力を発生するフレームをもち予備負荷をかけています。予備負荷のレベルをより高く出来ます。従って PPAsは DPAsに比べよりコンパクトであり、ダイナミック特性も改善されます。

1.3.2 増幅機構付きピエゾアクチュエータ (APAs)

APAsは、ソリッドステート・ロングストローク・リニアアクチュエータです。(図1.6) これらの製品は、アクティブ材料の伸張と、これを機械的に増幅するためのメカニズムから成り立っています。この増幅されたストロークはまた、200Vの駆動電圧に比例します。APAsの利点は、コンパクトなサイズにもかかわらず、アクティブ軸方向に大きな発生力と比較的大きなストロークが得られます。それは、1%(10 $\mu\text{m}/\text{mm}$)の偏移にまで及びます。したがって、これらのストロークは500 μm 以上を実現するかもしれません。

APAsがコンパクトであるため、直列にこれらを積み重ねることでストローク1mmまで可能です。

APAsが丈夫であるため、共振素子を含むダイナミックなアプリケーションで 사용할 ことができます。この場合、最大のストロークを得るための駆動電圧は非常に小さく、およそ1~10Vです。

1.3.3 超音波ピエゾアクチュエータ (UPAs)

UPAsは、超音波振動を発生する低電圧・コンパクトなジェネレータです。(図1.7) これらは、20kHz以上の超音波領域において、役に立つ共振モードを得るために最適化されたAPAの特別なバージョンです。これらのアクティブな軸は、通常40mm未満と短いが、1~10Vの低い駆動電圧でかなり高い振動レベル(10~20 μm)を発生します。これらはセドラット社で習得された、標準縦モード超音波振動子の小型版です。



図1.7:超音波ピエゾアクチュエータ



図1.8:超音波ピエゾドライブ

1.3.4 超音波ピエゾドライブ (UPDs)

UPDsは、低電圧駆動・楕円超音波振動のジェネレータです。(図1.8) それらは、20kHz以上の超音波領域で、2つの補足的な共振モードを得るのに最適化されたUPAの特別なバージョンです。1~10Vの低電圧駆動で、それらは制御可能な楕円軌道振動(1-5 μm)を発生させます。

1.3.5 リニア及び回転ピエゾモータ (LPMs, RPMs)

ピエゾモーターは、電力供給なしで静止力を発生するロング・ストロークアクチュエータです。(図1.9)これらは低電圧駆動(10V)にも拘わらず、無限な分解能を提供します。これらには、リニアまたはロータリバージョンがあります。両モデルとも、UPDによって発生した、電気機械楕円振動と、摩擦力の組み合わせに基づいています。LPMsのストロークは通常、1~20mmであるが、はるかに長いロング・ストロークも可能です。発生力は、10~50Nの範囲にあります。標準のUPDsを使用して、ローターを選ぶことによって、容易にカスタム設計されたトルクと速度のRPMsを設計することが出来ます。

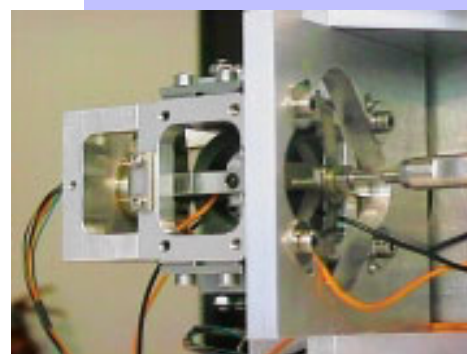


図1.9: リニアピエゾモータ

アクチュエータの比較

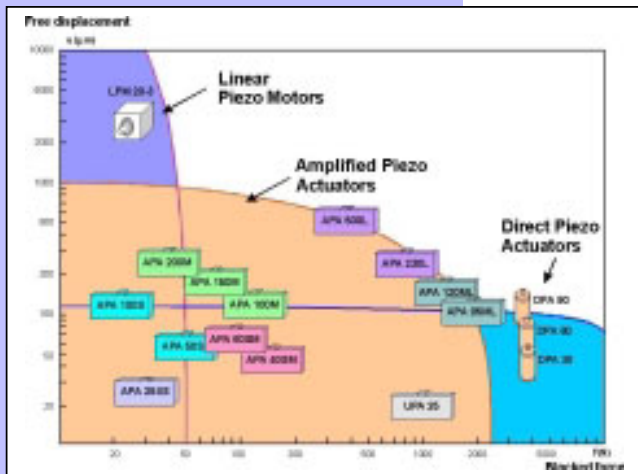


図1.10:セドラット社のリニア
 ピエゾアクチュエータ(DPA、APA、
 LPM)の無負荷時伸張・ブロック
 ング力の比較。ブロックング力とは、
 アクチュエータの伸張を元に戻す
 外部から加えられた力です。無負荷
 時伸張は、無負荷時の最大限度の
 伸張(ストローク)です。

セドラット社の標準リニアピエゾアクティブ
アクチュエータは、10 μ mから10mmまで、さまざまな
大きさの伸張をカバーしています。(図1.10)
サイズを最小におさえ、最も大きなストロークが得ら
れるようを設計されています。伸張と発生力とは相反
する関係にあり、アプリケーションにより適切な選択
による妥協点を探して下さい。(図1.11)

例えば、およそ50mmのアクチュエータ長を考
える場合、DPA30、APA500L、および LPM20を選ぶこ
と出来るが、これらは全く異なったストロークと発生力を提供します。

1.5 セドラット社からの提案と統合

全てのセドラット社の製品は、完全なメカニズム(構成)を組み立てることが出来ます。(図1.12)
このメカニズムは、基本のアクチュエータより大きいストロークを発生することが出来ることに注目して下さい。
これらのすべての電気機械素子は、適切なエレクトロニクスで駆動・制御することが出来ます。



図1.11: リニアピエゾアクチュエータと、他の同等サイズのアクチュエータとの比較
DPA30, APA500L, LPM20

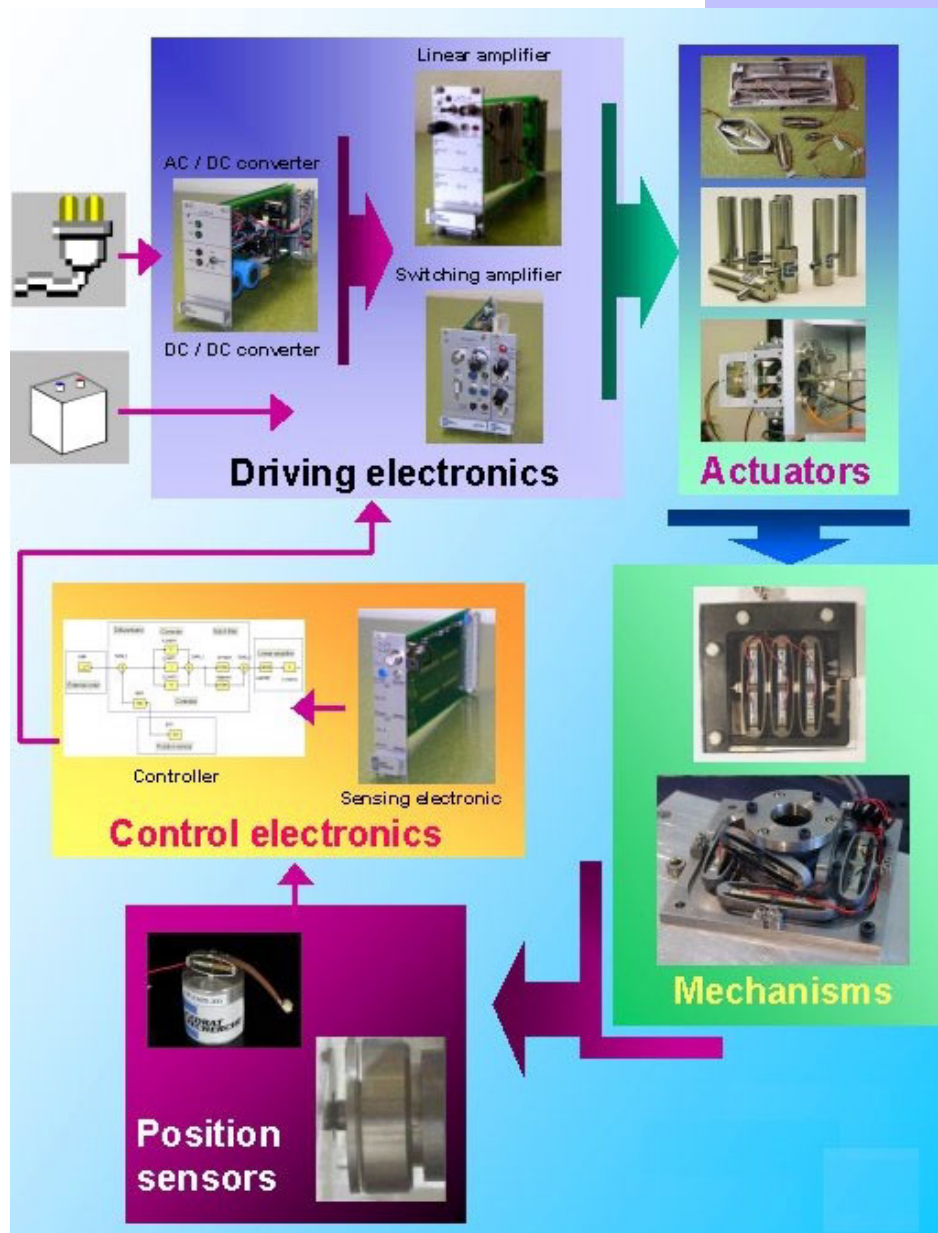


図1.12: セドラットテクノロジー社製品群

ピエゾアクチュエータのいくつかの解決策が存在しています：
選択は、必要なストロークと発生力に依存します。

利点、高い位置合せ精度、非磁気の動作、速い応答性、
低電力消費などです。

1.6 ピエゾアクチュエータとアプリケーション

ピエゾアクチュエータの第一の利点は以下の通りです。

- ◆ ソリッドステートデザインで、回転部品がなく、従って摩耗しない。
- ◆ 無限の分解能はナノテクノロジーには最適なツールです。
- ◆ 低消費電力
- ◆ 大きな力/容積比、速い応答性
- ◆ 非磁気アクチュエーションを実現
- ◆ 超高真空で使用可能

またピエゾには、いくつかの制限事項があります。

- ◆ 限られた伸張(1mm未満)。より大きな伸張が必要な場合は、ピエゾモーターが使えます。
- ◆ 動作温度制限 <100°C、いくつかの進歩が自動車へのアプリケーションで見られます。

ピエゾアクティブアクチュエータは、様々な産業で応用されています。

- ◆ 機械科工学：ツールの位置決め、クランプ（挟み込み）、アクティブウエッジ、ダンピング、アクティブコントロール、超音波、または音の振動発生
- ◆ マイクロエレクトロニクス：マスク・ウエハ・磁気ヘッドの位置決め、非磁気アクチュエーション、マイクロリレー
- ◆ 流体：比例制御バルブ、ポンプ、測定、インジェクション、インク噴射、点滴ジェネレータ
- ◆ 光学：光学部品位置合せ、焦点調整、キャビティチューニング、ファイバアライメント、スキャナー、チョッパー、干渉計、変調器
- ◆ 電気工学：高速回路遮断機、機械エネルギーから電力変換

2. 誘導ストレイン型 piezo アクティブ アクチュエータ

2.1 ダイレクト piezo アクチュエータ (DPAs) と パラレル予備負荷付きアクチュエータ (PPAs)

ダイレクト piezo アクチュエータ (DPAs) は最も一般的なタイプのアクチュエータです。(図2.1) それらは、予備負荷された活性材料のスタックから成り立っています。従来の DPAs は、直列の予備負荷機構を使用します。(図2.2) 予備負荷のレベルは、牽引能力にて決定します。セドラット社製品のパワー超音波振動子で見られる、より頑丈な構造技術は、スチールロッドでのパラレルボルト締め予備負荷を可能にしています。しかしながらそれは、耳慣れない名称 MLA リングを必要とします。三つの補助的な構造は、外部の弾性フレームを通して MLA スタックに予備負荷を加えるパラレル予備負荷アクチュエータ PPA を生みしました。

DPAs と PPAs は、有効な押す力を発生させるのに、33 モードにおける活性材料の膨張を利用しています。伸張エネルギーの大部分が活性材料の中に蓄えられるに従って、この構造の有効な結合係数は高くなり、一般的に 50% より高くなり、またマスの単位あたりの弾性のエネルギーも同様に高くなります。PPAs では、予備負荷レベルは DPAs より大きな値です。PPAs は DPAs よりさらにコンパクトで、軽量です。予備負荷レベルがより良く制御出来るので、それらは DPAs より良いダイナミック特性を示します。(図2.3)

変位はおよそ、専用パワー・エレクトロニクスで発生した 0~200V の電圧に比例します。(セクション2.7参照)
変位と電圧との関係は、活性材料によるヒステリシスのため、真に直線ではありません。この効果は、適切なフィードバック制御をすることでリニアライズし、克服することが出来ます。(セクション2.8参照)



図2.1: ダイレクト piezo アクチュエータ

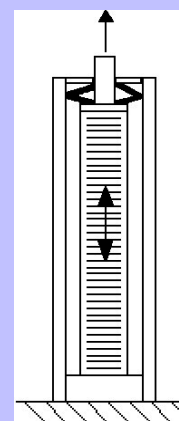


図2.2: ダイレクト piezo アクチュエータの構造図

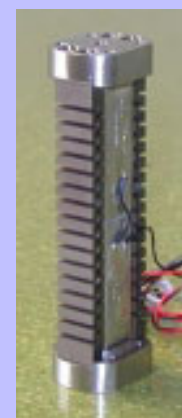


図2.3: パラレル予備負荷付きアクチュエータ

現在の piezo 材料の伸張率が 0.12% 程度に限界があり、長いアクチュエータの場合でさえ誘導変位は小さな値です。更に、エンドプレート・予備負荷メカニズムなど、非アクティブな構造を有するアクチュエータの伸張は、材料自体のものより小さく、DPA90 で 0.08%~0.10% (0.8~1 $\mu\text{m}/\text{mm}$) 程度です。したがって長さ 100mm の DPA は、およそ 80~100 μm ほどです。最も長い DPAs は、曲がることによる破壊のリスクのために 200mm より長いスタックは製造していません。このことは、市販で入手出来るダイレクト piezo アクチュエータに 200 μm のストロークがない理由です。(したがって、APAs はこれらのニーズの代替の解決策を提供します)

DPAs と PPAs は、ねじれ・屈曲のトルクに弱いため慎重に使用されなければなりません。この問題を避けるため、弾性の屈曲蝶番が適しています。しかしながらこれらの蝶番は、硬度を維持することが必要なため設計するのがより困難です。さらに標準の DPAs は、低周波動作用に設計されており、通常 100Hz 未満です。

パラレル予備負荷アクチュエータ (APAs) と、増幅機構付き piezo アクチュエータは、弾性アンプ機構が横向きの力に耐えることが出来るため、これらの制限を回避する目的でも使用されます。



図2.4: モデル APA50S

2.2 増幅機構付き piezo アクチュエータ (APAs)

弾性機械増幅機構を使用することによって、DPAs と PPAs の変位限界を克服することができます。様々なデザイン、それらの大部分は屈曲の蝶番を使ったデザインで過去に多く提案されました。応力は動作中、その蝶番で非常に高くなり、大きな疲労をもたらします。

APAs は、このような蝶番を使用しないシェル構造に基づいています。(図2.4と図2.5参照)

APAs の大きな変位は、大きな発生力とあいまって、比例式アクチュエータの2~5倍の変位増幅度を達成し、しかも良好な機械効率を示します。

この増幅とそれらの形状比のおかげで、これらのアクチュエータはおよそ、1%の変形を達成することができます。これらの変形が収縮であるのに注意してください。つまり、APAs は引っ張りアクチュエータであることを意味します。

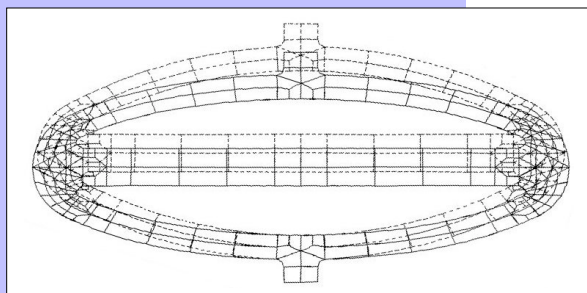


図2.5: 増幅機構付きアクチュエータの変形計算モデル。点線 = 初期状態
実線 = 圧電効果によって変形した構造

例えばAPA100S アクチュエータは、その短い軸、長さわずか10mmにも関わらず、200Vでは、最大110 μm の無負荷変位と19Nものブロッキング力を発生します。これは、短いアクティブ軸に沿って1%以上の変形に対応しています。またこの1%の変形は、大きいサイズのAPAsでも見ることが出来ます。APA500Lは、およそ軸長 50mmで500 μm までの無負荷変位と、570Nまでのブロッキング力を発生させます。(図1.11)

APAsは、以下の利点を提供します：

- ◆ アクチュエータは、それらのストロークに比較して小さくてコンパクトです。
- ◆ 変位倍率と硬度は、風変わりなシェルの機能です。
- ◆ 良好な機械インピーダンスマッチングと、電気-機械のカップリングが可能です。
- ◆ 共振周波数を含む、広範囲の周波数で使用できます。
- ◆ 圧電素子の動作の下で、シェルの湾曲の動きはアンプでの許容できる応力の分配を可能にします。
- ◆ シェルに対するある程度までの曲がり・ねじりモーメントが加わっても、MLAが破壊するのを防ぐことが出来ます。これらの特徴ある観点から、APAsは DPAsに比較するとより強健であると考えられます。
- ◆ APAの価格は、同じストロークを発生するダイレクトピエゾアクチュエータよりはるかに低価格です。
これは、機械的な増幅機構が活性材料ほど高価でないためです。

DPA、PPAと同様、APAのストロークは駆動電圧に比例します。
ヒステリシスは、位置決め精度に制限を与えます。クローズドループは、
精度を0.1%よりよく改善することが出来ます。
位置決めアプリケーションでは、APAsはその共振周波数の半分までド
ライブすることが出来ます。
APAsは振動発生器として、共振周波数でドライブすることが出来ます。
APAsとPPAsは、より丈夫であり、かつDPAsより安価です。

2.3 超音波ピエゾアクチュエータ (UPAs)と、 超音波ピエゾドライブ (UPDs)

超音波ピエゾアクティブアクチュエータUPAsは、超音波振動時代の新しい解決策を提供するために開発されました。



図2.6: 超音波ピエゾアクチュエータ

UPAの構造はAPAの構造と同じであるが、それらは、振動発生からサポートの衝撃を吸収するように長軸の側面で維持されます。(図2.6)

ランゲビン・トランシュデュースと比較して下さい。(超音波発生器の最も一般的な構造で、それはまた、セドラットテクノロジー社によっても研究されています。(別冊論文を参照下さい。))それらのいくつかの重要な利点を示します。:

- ◆ 同じ周波数、変位のアクチュエータと比較すると、はるかに小さいサイズと重量です。
- ◆ 前述の利点により、はるかに大きな変形
- ◆ はるかに低い駆動電圧。(200~1000Vの代わりに1~10V)

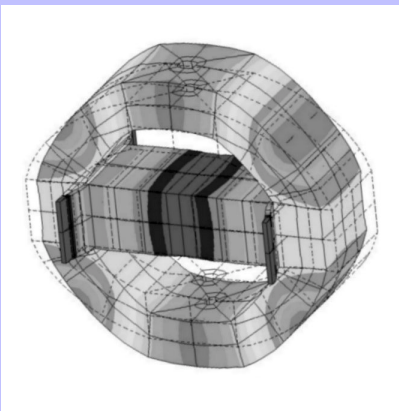


図2.7: UPAの有限要素計算

超音波ピエゾドライブ UPDsはまた、超音波振動ジェネレータです。これらは、2つの直交した振動成分を発生するように設計されていて、それを結合することで楕円振動を得ることが出来ます。それらは、上に記載された利点と同じ利点を提供します。それらはピエゾモータで主に使用され、それらのアプリケーションは第3章で紹介いたします。

2.4 ピエゾアクティブアクチュエータの スタティックな振舞い

このセクションは、準スタティックなアプリケーションに関する最も良いDPA、PPAまたはAPAアクチュエータを選ぶためのいくつかのガイドラインを提示します。

多くの場合、主な関心事として変位 ΔU があります。
それは駆動電圧 V と、発生力 F の両方に関係してきます。

$$\Delta U = (NV - F)/K$$

$$\Delta U_0 = F_0/K$$

ここで N はアクチュエータに関する力係数で、 K は硬度です。また電圧が最大であるとき、発生した力 NV はブロッキングフォース F_0 として参照されます。

$$F_0 = NV_{\max}$$

発生力 F が F_0 に達すると、変位 ΔU が 0 になるのは明確です。アクチュエータの最大のストローク ΔU_0 は自由変位と呼ばれ前述の通りです。

アクチュエータの負荷の特性に、無負荷変位とブロッキングフォースとの関係を描くことができます。(図2.8)

重量等の一定の負荷 F がブロッキングフォース、または最大張力より小さな場合、重量はピエゾアクチュエータのストロークに何ら影響しませんが、ゼロ電圧の位置が距離 ΔL だけシフトする結果となります。(図2.9)

$$\Delta L = F/K$$

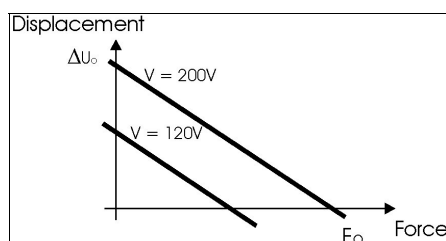


図2.8: ピエゾアクチュエータ負荷特性

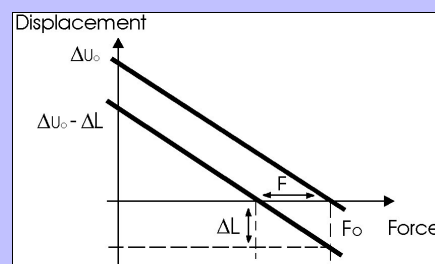


図2.9: 一定の力の下で、アクチュエータのポジションシフトと負荷特性

ピエゾエレクトリックアクチュエータが、硬度 Kt のスプリングに対して作用するとき、非常に異なった状況が起きます。ストロークは次の通りです。(図2.10)

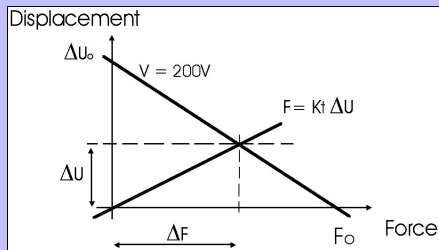


図 2.10: 硬度 Kt のスプリングの下での負荷特性

$$\Delta U = (NV - K_t \Delta U)/K \\ = \Delta U_0 (K/(K+K_t))$$

ピエゾエレクトリックアクチュエータがスプリングでプレロード(予備負荷)されているので、前述の関係はDPAsの伸張がなぜピエゾ材料自体より小さいかを説明します。

ピエゾアクチュエータの予備負荷は、機械的に直列にアレンジされている場合と、パラレルの場合があります。前者の場合は、変位は加算され、発生力は一定な状態に保ちます。(図2.11.a) 一方後者の場合は、発生力は加算され、変位は同じままで残ります。(図2.11.b)

2.5 ピエゾアクチュエータのダイナミックな振舞い

このセクションは、顧客のダイナミック・共振アプリケーションに合ったPPA、APA、UPAまたはUPD アクチュエータを選ぶために、いくつかの規則について記述します。

時間の経過に従って供給電圧、または外部の力が変化する場合、ダイナミックなふるまいが現れるまで、変位は励起にしがたいます。前述の関係は準定常帯域幅中では有効で、準定常帯域幅は、おおよそ共振周波数 f_{r0} の半分の値になります。

$$f_{r0} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}}$$

m は、ピエゾアクチュエータの有効質量です。ピエゾアクチュエータの全マス(重量)とは等しくありません。(セクション5のアプリケーションノートを参照ください。) アクチュエータに負荷がかかり、質量 M 積が加わった場合、共振周波数 f_r は以下の通りになります。

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m+M}}$$

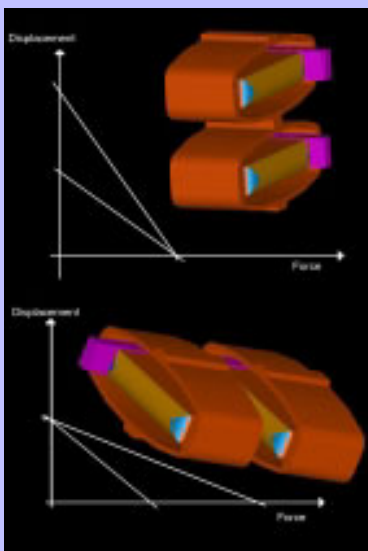


図2.11: 組合せ a) 直列シリーズ
b) 並列パラレル

また共振周波数は、外部負荷のマス(重量)、バネ定数、またはダンピング効果に影響されます。

ダイナミック動作は、ピエゾエレクトリックアクチュエータに及ぼす加速のためにより複雑です。変位、その結果として圧力は、非常に大きくなる事が出来ます。

共振では、定電圧振幅を考える場合、それらは機械的品質係数 Q_m によって増幅されます。(図2.12):

$$\Delta U_0 = Q_m \cdot NV/K$$

振動速度 Δv は、ダイナミックな動作でしばしば使用され、これは変位に比例します。:

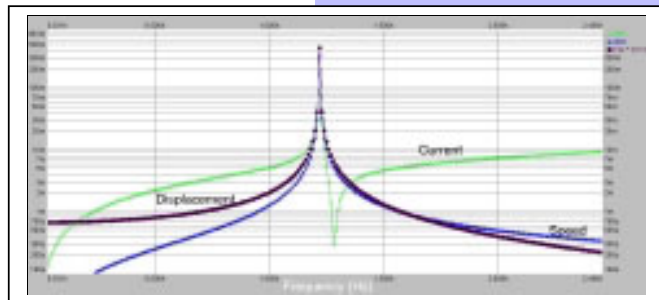
$$\Delta v = 2\pi f \cdot \Delta U$$

また周波数に対する速度変化は、共振現象を示します。(図2.12) Q_m ファクターの値は、アクチュエータと負荷に起因する多くのパラメタに依存します。その典型的な値は、自由な状態において200(低レベル)から20(高いレベル)の範囲にあります。

その値は、抵抗の負荷の場合減少します。(減衰・エネルギー放出を示す負荷の場合)

この増幅作用と、機械的な限界(セクション2.6を参照)により、共振モードで駆動することができる最大電圧は、スタチック動作よりはるかに低い値です。したがって PPAs、APAs、UPAsまたは UPDsの場合のフルストロークは、無負荷の場合ほんの数ボルト(1V~10V)で達成されます。概算では、共振周波数における最大電圧は、スタティック状態の最大電圧を Q_m ファクターで割った値です。

$$(V_{\max@f=f_r}) = (V_{\max@f=0}) / Q_m$$



周波数に対するアクチュエータの電流、移動、速度: 共振効果は、アクチュエータの速度または電流で知ることが出来ます。

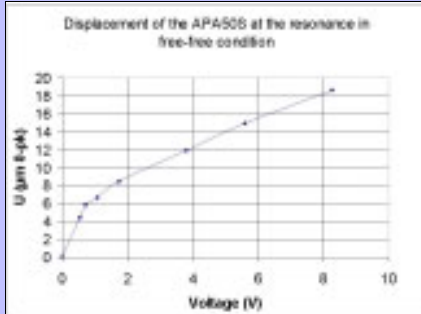


図2.13: 共振点における変位と電圧との関係

空気中で広がっているAPAsでは、共振モードにおける振動のピークツーピークの振幅は、およそ10Vrmsでスタチックストロークに達することができます。(図2.13)

共振はまた、アクチュエータのステップ応答で観測することが出来る、オーバーシュートと振動の原因となります。(図2.14) この望ましくない効果は、適切な電気ドライブ回路かダンピングの追加で制御することが出来ます。

アクチュエータの時間応答 t_r は、共振周波数 f_r によって制限されます。

$$t_r = 1/(3 \cdot f_r)$$

実用的な状況では(現在のドライビングエレクトロニクスの制限による)、専用スイッチングエレクトロニクスにて $t_r = 0.7/f_r$ を得ることが出来ます。

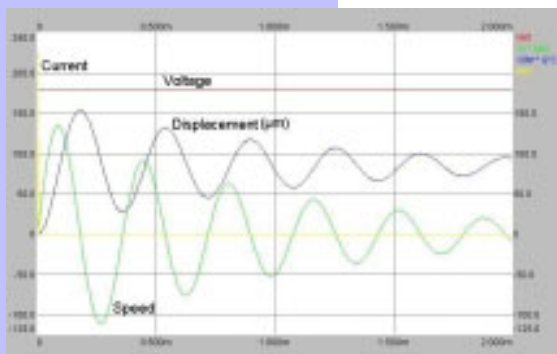


図2.14: APA50Sのステップ応答

ピエゾアクチュエータを共振、またはトランジェント等ダイナミックモードで使う場合は、機械的な破損を招く恐れがあるため、慎重な設計と十分な経験を必要とします。

設計とテストには、セドラットテクノロジー社にご相談ください。予備的な分析には、セドラットテクノロジー社が持つ、CEDRAT CADを使用することが出来ます。(セクション4を参照)

2.6 ピエゾアクティブアクチュエータの制限

圧電アクチュエータには、適切にアプリケーションを設計するために考慮に入れられなければならないいくつかの制限があります。これらは、電氣的、機械的、及び熱の問題です。

供給電圧は、絶縁層によって 150-200Vに制限されます。しかし、MLAの層の厚さが100 μ と薄いため、この電圧は単位長さあたりの電界強度1.5-2kV/mm 電界に相当します。供給電圧は、-30V以下にすることは出来ません。さもないと、ポラライゼーションは反転する可能性があります。(図2.15)

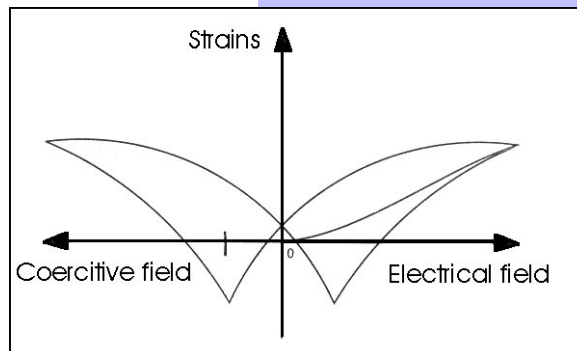


図2.15: 圧電材料の電界とストレインとの関係

MLAは積層材であり、如何なる張力にも耐えることができないので、すべてのピエゾアクチュエータが機械的にプリロード(予備負荷)されます。しかもMLAはもろい材料で出来ていて、組み込み時であっても、特にDPAは、曲げ・ねじりモーメントは出来るだけ避けなければなりません。また、ダイナミックな運転時の張力、またはスイッチング動作は避けなければなりません。

スタチック動作では、寿命は主に湿度によって制限されます。それは、外部の絶縁層を貫いて進入し、漏洩電流の増加を引き起こします。漏洩電流の増加は、電気破壊に通じる結果となります。

誘電体損失と機械損失のため、圧電アクチュエータは連続した励起で発熱します。損失は、主に非線形であり、励起周波数、電圧振幅、および湿度に依存します。セラミックの消極を避ける目的で、アクチュエータの温度は、セラミックのキュリー温度より高くないよう適切にモニターする必要があります。典型的な温度範囲は-40°C~+80°Cです。

ダイナミック駆動において、圧電アクチュエータのデューティサイクルが発熱によって制限される結果が生じます。例えば、APA120MLアクチュエータの温度を一定に維持するために、ドライブ周波数をあげる場合は、デューティサイクルは減少させるべきです。(図2.16)

現在、材料に関する多くの研究があり、より高温(+140°C)で運転可能なMLAを生産することが出来るよう開発が進んでいます。要求に応じて、セドラットテクノロジー社はこれらの新しいコンポーネントでアクチュエータを生産することができます。

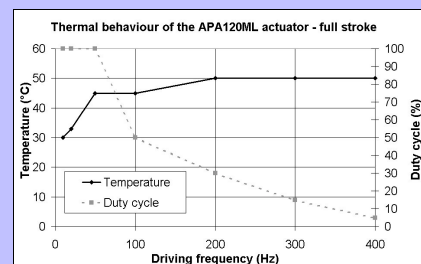


図2.16: 標準APA120MLの自己発熱による限界

同様に、標準のMLAは低温で動作し、既に液体窒素温度でテストいたしました。(-77K、-196°C)この低温域では、変位は室温で得られる値の1/3にまで小さくなります。

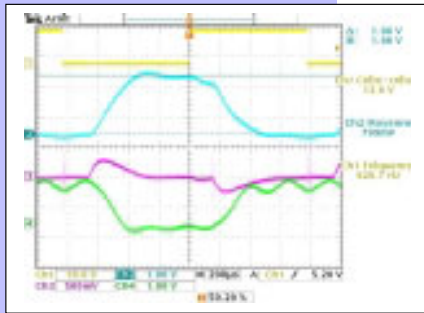


図2.17: APAのライフテストにおける短時間励起と変位分解能
(上から下へ: 信号、電圧、電流、変位)

自己加熱と張力が防げるならば、増幅機構付き piezoアクチュエータはどんな疲労効果も示しません。耐久テストにおいて、APA200Mアクチュエータは 10^{10} サイクル後まだ正常に動作しました。テストには、ドライブ周波数 600Hzにて、6か月間切れ目のない連続動作で行いました。(図2.17)

機械の温度影響は、広範囲の温度変化に対しマイクロポジショニングにおいては大きな問題になります。増幅機構付き piezoアクチュエータでは、シェルの材料に、より高いCTEが使われ、それはシェルの増幅率に依存しますが、負の係数のCTEをもたらします。しかしながらまた、周囲の部品の温度影響を考慮に入れるべきです。

いくつかの制限が piezoアクチュエータに適用されます。:最大電圧、引張応力、温度制限値 それらは、アプリケーションデザイン段階で考慮に入れられるべきです。

熱膨張は、広範囲な温度での位置決めアプリケーションでは問題になるかも知れません。

セドラットテクノロジー社は、動作環境(熱、ランダムな振動、寿命など)を考慮に入れ、 piezoアクチュエータ及びメカニズムを設計する際、多くの経験を持っています。その他の詳細に関してはセクション4を見て下さい。

2.7 piezoアクティブアクチュエータのドライブ

圧電性アクチュエータは容量性のデバイスで、その静電容量はしばしば非常に大きい値です。(最大 $10\mu\text{F}$) そのようなデバイスは、駆動(ドライブ)エレクトロニクスにとって厄介な負荷で、高速応答を達成するには速い電荷移動率が必要になります。さらに、負荷に機械的負荷をかけると、アクチュエータは電気エネルギーを発生します。

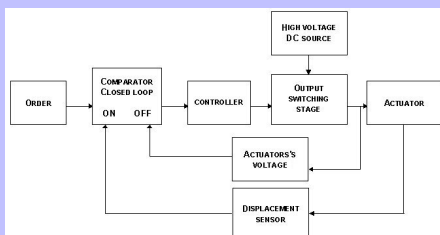


図2.18: 駆動システムの概略ブロック図

リニア増幅器は、最も一般的なアンプであり、高いSN比を持っています。スイッチング電力増幅器は、ダイナミックなアプリケーションのリアクティブローディングにおいて、より効率的であるが、制御するのはより困難です。 piezoシステムを駆動する一般的な駆動系のブロックを図2.18に示します。

リニアドライバのオプションの 1つは、プッシュプル回路で、傾斜デバイスのドライブに、また電氣的に中点を有するメカニズムに使用されます。(図2.19)

ダイナミックな駆動では、アクチュエータに流れる電流 i は周波数に応じて直線的に増加します。

$$i = 2\pi \cdot f \cdot C \cdot V$$

ここで C は、 piezoアクチュエータの準定常状態での静電容量を表します。

したがって、必要とする電力(無効電力)は以下と等しくなります。 Q は：

$$Q_{rms} = \frac{1}{\sqrt{2}} \pi \cdot f \cdot C \cdot V^2$$

静電容量 C は、印加電圧と温度に依存することに気付いて下さい。これは、アクチュエータの自己加熱に起因する電力の増加にそなえて適切なマージンを残すべきことを意味します。

インバータは現在、共振アクチュエータをドライブするのに使用されます。一般にインダクタンスは、無効電力をキャンセルするのに使用されます。(図2.20)

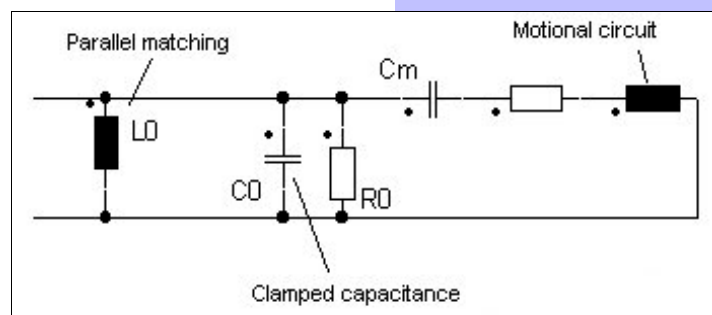


図2.20: 共振点における piezoアクチュエータの等価負荷荷重と並列インダクタンスマッチング

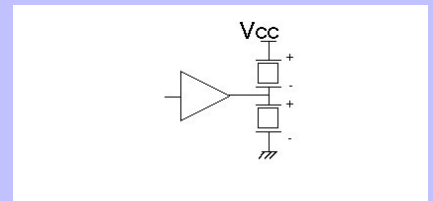


図2.19: ドライバ1台によるプッシュプル動作

2.8 ピエゾアクティブアクチュエータのコントロール

ピエゾアクチュエータの分解能は、ドライブシステムの電気ノイズによって制限されます。典型的なドライブ回路のSN比の値は、アクチュエータの共振周波数より下の周波数において80dBです。

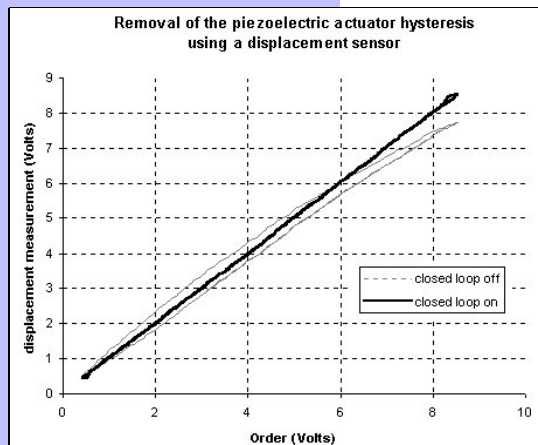


図2.21: 変位センサを使用しヒステリシスを改善した例

通常、1/1000の精度が得ることが出来ます。(SGオプション)
また、容量性の変位センサを使用することもでき、1/5000の精度を得ることができます。

MLAにはヒステリシスがあり、これが位置決め精度を制限します。また、ドリフトなどの他の要素もアクチュエータの直線性を制限します。したがって、変位センサはシステムの閉ループを通してピエゾアクチュエータの直線性の応答を保証するためしばしば使用されています。センサの中で、歪ゲージはアクチュエータに組み込むことが出来るため一般的に用いられます。(図2.21、図2.22)

2つのタイプのドライブエレクトロニクスが供給出来ます。リニアタイプはS/N比の良い信号を提供します。一方スイッチングタイプは、効率を提供します。

高精度なアクチュエータが必要であるならば、ポジションセンサ、コントローラを含むクローズドループがあり、ヒステリシスを取り除くのに必要です。



図2.22: ストレインゲージを備えた例 (APA50S)

3. ピエゾモータ

3.1 ピエゾアクティブモーターの 一般的プレゼンテーション

ピエゾアクティブモータは、図3.1で示すように回転トルクを得るために、可動の部分(ガイド、ローター)と振動部分(固定子)の間の摩擦を利用しています。固定子の振動は、ピエゾアクティブ材料で発生します。固定子の接点振動は、楕円軌道を描きます。摩擦力を利用して、この振動は静的な予荷重 F_0 と共に固定子を押しかねることで可動部分をドライブします。無負荷状態では、可動の部分のタンジェント速度 V_{Mt} は、固定子の振動 V_{St} のタンジェント速度とほとんど等しくなります。(これは固定子の変位 u_s の、タンジェント成分の時間微分である。)

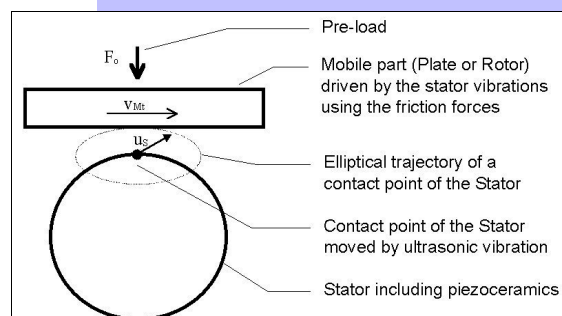


図3.1: ピエゾモーターの原理

このようなメカニズムの利点は以下の通りです。

- ◆ 電源供給なしに大きなホールディング力と静止トルクが得られる。
- ◆ 低速における大きい作動トルク
- ◆ 動作ノイズがない
- ◆ 非磁性駆動
- ◆ 短い応答時間
- ◆ 良好なマイクロポジショニング能力
- ◆ ダイレクトドライブ概念を含むアプリケーションにおける高い集積能力

このモータのダイレクトドライブとは、完全な機能を備えており、追加的歯車機構(減速、または回転の変換伝達等)を必要としないことを意味します。

ピエゾモータの利点は、ピエゾアクティブ材料の特性に起因します。それらは、電磁圧力 $(B_2/2\mu_0)$ が 1.6MPaが限界とされるのと比較し50MPaの圧力を発生させることが出来ます。逆に、ピエゾアクティブ材料の変形が低いので(セクション 1.2参照)、変位は数ミクロンと小さく、低速ではあるが位置決めにおける高分解能が期待できます。

光学は、おそらくピエゾアクティブモーターの使用が最も進んだ分野です。最も有名な使用例はキャノンのカメラであり、1992年圧電超音波モーター(USM)による自動焦点ズーム機構に採用されました。

3.2 セドラット社ピエゾアクティブモーターの原理

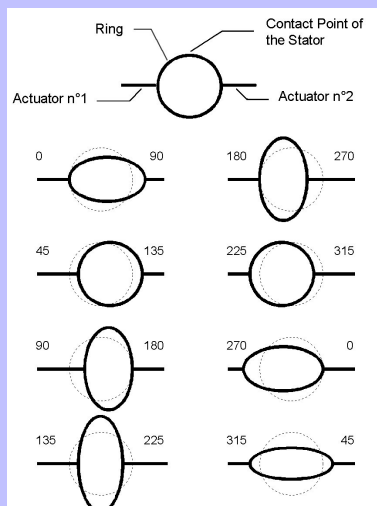


図3.2 セドラットテクノロジー社の、モーターの固定子構造と原則:(実線は異なった時間での変形形状です。比較のために静止した状態を点線で示します。)

図3.3は、Multi Mode Ultrasonic Motors(MMUM)の開発に成功したセドラットテクノロジー社によって発明された固定子の原則を示します。各々反対側に取り付けられた2つのアクチュエータはリングを機械的に励起します。これらのアクチュエータは、位相が 90° ずれた2つの正弦電圧でドライブされます。リングの先は、楕円の軌道を描き、摩擦による可動部分のドライブに使用することが出来ます。他の方式と比べて、この固定子にはいくつかの利点があります。アクチュエータは、縦方向カップリングで励起することにより動作します。

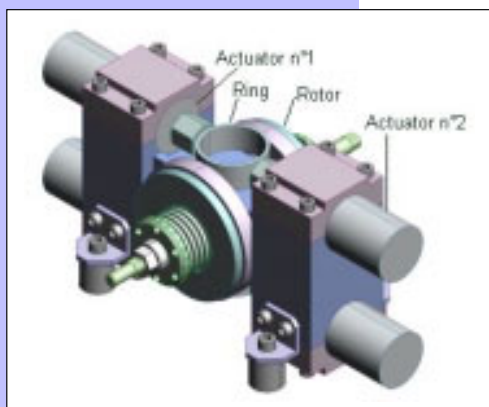


図3.3: 磁歪アクチュエータをベースにしたロータリーピエゾアクティブモーター

この原則を使用した最初のモーターは、1993年磁歪アクチュエータで作られました。(図3.3、図3.4) このとき得られた驚異的に高い発生トルクは、人々の関心を引きました。これはまた、ピエゾエレクトリックアクチュエータを使ってテストされ、成功しました。



図 3.4: トルク 2N.mを発生することの出来るロータリーピエゾアクティブモーターのプロトタイプ

3.3 超音波ピエゾドライブ(UPDs)

固定子の前の原理は Ultrasonic Piezoactive Drives (UPDs)と呼ばれ、新しい世代の非常にコンパクトなモジュールの固定子に集積されました。

この2つの反対に位置するコンタクトゾーンが、異なる振動変位を発生させます: 楕円、ノーマル、正接または斜円錐。

UPDは 2つの電気ポートに单相・二相に係らず低電圧正弦波電圧を与えることによって励起されます。振動軌跡は周波数と、2つの電気ポートの間の位相の違いによって制御されます。(図3.5)

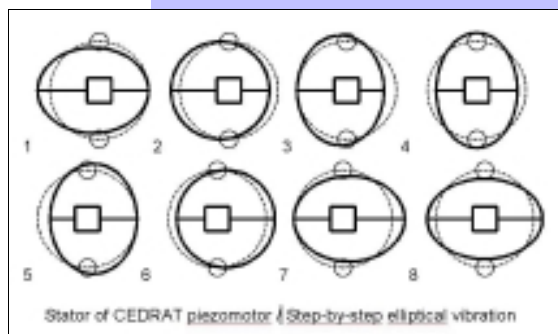


図3.5: UPDの動作原理

予備負荷と、2つのコンタクトゾーンの使用等を適合させた良い条件では、UPD20によって制御される垂直力の典型的な値は150Nに等しくなります。(2倍された力係数と最大電圧) 最大の正接駆動は、固定子と可動の部分との接触インタフェースの摩擦係数によりますが、垂直力の発生と等しい場合があります。

例えば摩擦係数が 0.3の場合、LPM20-3が達成できるブロックフォース F_{St} は45Nになります。(セクション3.4)

一般的に、電源なしで静止したブロッキングフォース F_B はアクティブブロッキングフォース F_{St} より少し大きくなります。

$$F_B \geq F_{St}$$

例えば LPM20-3は、静止時のブロッキングフォースは50Nになります。リニアアプリケーションとして、ファックスの紙送り機構等のリニア送り機構、リニアアクチュエータ等があります。

また、各種のローターを運転するのにUPDを使用することができます。(セクション3.5を参照して下さい)

回転するモーターでは、トルク T_R と回転速度 Ω_R は主にローターの接触半径 R に依存します。これらのパラメタはアクチュエーション力 F_{St} 、正接速度 v_{St} 、および使用したUPDの数 n によって決定されます:

$$\begin{aligned} T_R &= n \cdot F_{St} \cdot R \\ \Omega_R &= v_{St} / R \end{aligned}$$

電源供給なしで静止しているブロッキングトルク T_B は、アクチュエーションブロッキングトルク T_R より少し大きくなります。

$$T_B > T_R$$

UPDには、超音波震動デカップリング機能があります。これは、振動の伝達を避けるのに必要です。

また、図3.5で示される原則図では、システムに必要な予備荷重は表されていません。

良い結果をもたらすには、2つの更なる機能が必要です。:

- ◆ プレー回復メカニズムは予備荷重を発生し、磨耗した場合はその位置を維持します。
- ◆ 回転ブロッキングメカニズムは、モータが発生するドライビング力を負荷に伝達します。

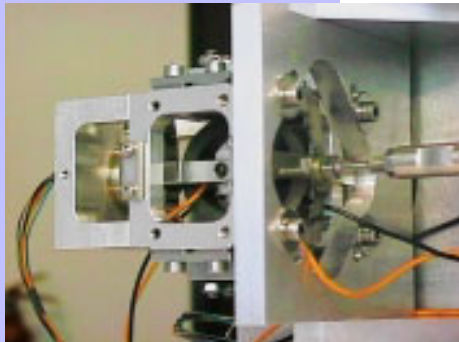


図 3.6: リニアピエゾモータ
LPM20-3

ピエゾモータは、共振周波数で運転され、プレー回復メカニズムを備えています。その機構は、それらの位置を維持するための電源も必要としません。

3.4 リニアピエゾモータ(LPMs)

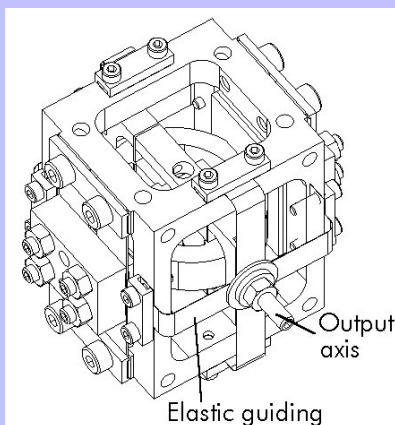


図3.7: リニアピエゾモータの構造
LPM20-3

UPD20を使用すると、LPM20-3などのコンパクトなピエゾアクティブモーターを組み立てることが可能です。(リニアピエゾモーター図3.6、図3.7参照) このモーターの設計では、UPD20ユニットをリングチップに接触して2個のガイドプレートに置きます。これらのプレートは、プレー回復メカニズムを使用することで固定子に対してプレロードされます。この構造では、固定子は、プレートの間に誘導されながら動いて出力軸に伝達します。このモーターには弾性ガイドがあり、このガイドがモーターのストロークを 3mm に制限します。しかしこのモーターは潤滑剤なしで作動し、それは従来の技術では不可能でした。(図3.7)

LPM20-3モーターは、観測衛星での光学機器類のマイクロポジショニングニーズを満たす目的で開発されました。この理由で、その最初の顧客はフランスの宇宙局(CNES Toulouse)です。このアプリケーションでLPM20-3の真価は、10nm以上の高い位置決め分解能です。(同等な精度は、正確なセンサとクローズド・ループ・コントロールで得られます。) 地上では、数キログラム負荷を持ち上げ保持することの出来る十分大きな力、低消費電力、および電圧要件がテストされます。さらにこのモーターは、同等な従来の電磁モーターより小型・軽量です。

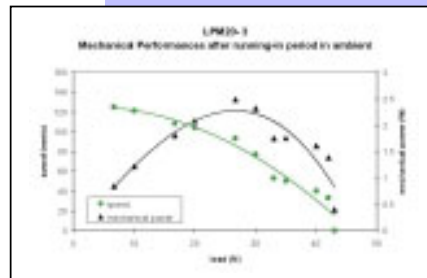


図3.8: リニアピエゾモーター LPM20-3の負荷特性

典型的な負荷特性を図3.8に示します。摩擦問題のため、負荷特性のカーブの初期の部分で動作させるのが望まし使用方です。

3.5 ロータリーピエゾモーター(RPMs)とアレンジメント

標準のUPD20ユニットは、この基本素子のアレンジすることで、リニア・ロータリ等様々なモーターを作ることが出来ます。いくつかの可能なアレンジメントの例を、図3.9～図3.12に示します。

これらはUPD20sを使って、ローラー、大きいカップ形ローター、ディスク形ローター、またはリニアステージをドライブする例です。

図3.3の磁歪モーターと、図3.12の2個のUPD20ユニットをベースにしたモーターを比較すると、明確にUPD20ユニットの利点を見ることが出来るのに注意してください。これらのモーターの両方共、2個のディスクタイプの大きい径(半径40mm)のローターを使用しているが、圧電性タイプの方がはるかにコンパクトです。

これらすべてのモーターの性能は、セクション3.3の公式と、UPDユニットの特性から見積もることが出来ます。



図 3.9: ローラーをかいして軸を駆動するUPD60ユニット



図 3.10: UPD20ユニットを使って100 mmのストロークのリニアステージを駆動する例

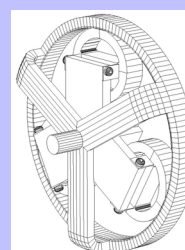


図 3.11: 多重UPDによる大口径カップローターを駆動する例

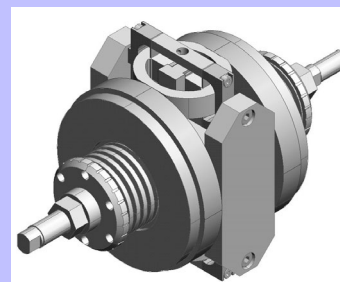


図 3.12: 2つのUPDユニットを使いダブルローターを駆動する例

4. ピエゾアクティブ素子のデザインとカスタム製品

セドラットテクノロジー社から販売されている標準アクチュエータ製品の品揃えでは、多岐に及ぶ顧客からのアプリケーション総ての仕様をカバーするに十分ではない場合があります。たとえば：

- ◆ 標準アクチュエータのストロークでは十分でない場合。
- ◆ 標準のメカニカルインタフェースでは、アプリケーションによく合わない場合。
- ◆ アプリケーションが、単軸のアクチュエータではなく、より複雑なメカニズムを要求する場合。
- ◆ 非磁性ボディーなど、特別な仕様の場合。

これらすべての場合、セドラットテクノロジー社はその既存の製品をもとに、またその経験、およびCAD ソフトウェア・テスト機器等の開発施設を駆使して、コストパフォーマンスに優れた解決策を速やかに顧客に提案することが出来ます。

4.1 デザインツールとテスト機器

piezoアクティブ素子は、現在セドラットテクノロジー社で行っている数値ツールを使用することで設計することが出来ます。：

- ◆ ATILA® Finite Element ソフトウェアは、カップリング、3D構造、ダイナミックアスペクト、および損失を含むアクチュエータのふるまいをモデル化するのに使用されています。
- ◆ IDEAS® .ソフトウェアは、複数のpiezoアクチュエータを使ってメカニズムを開発するのに使用されます。

このCADのアプリケーションに関するいくつかの例を次のセクションで述べます。ATILA® CAD セドラット社とMAGSOFT社によって商業化されたCADプログラムです。

ピエゾ素子の製造には欠かすことの出来ない専門的なテスト設備が、セドラットテクノロジー社には設備されています。

- ◆ HP社インピーダンスアナライザーは、アドミタンスカーブ、共振周波数、等価回路の測定に使用します。
- ◆ Polytech社干渉計は、アクチュエータのメイン変位量、および寄生変位を高精度で測定することが出来ます。(図4.1.a)
- ◆ サーマル真空チャンバーは、熱的なふるまいの分析、そして真空中でのコロナ効果等の分析を可能にします。(図4.1.b)

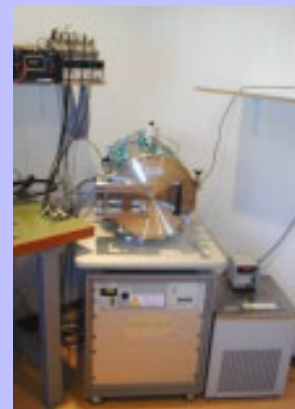


図4.1: (a) セドラット社研究室のレーザ干渉計テストベンチ (b)サーマル真空チャンバー

次のセクションで説明されるピエゾ素子の開発では、これらの全てのツールの恩恵を得ました。

4.2 スーパーアンプリファイドピエゾアクチュエータ

APAsは、コンパクトで中心に配置されているため、より大きいストロークを得るために、直列に積み重ねることが出来ます。これは、INSERM U438(フランスの医学研究機関)の要求で設計し、核磁気共鳴装置(MRI)バイオ医学メカニズムの中で使用されています。3個のAPA200M-NMsがスタックされていて、 $600\mu\text{m}$ 以上の変位を得ています。2番目のレバーアームは分解能はサブミクロンのまま、180Vでストロークを3mmまで増幅します。(図4.5.a) 図4.5.bは、ATILAモデルと測定変形との比較をしています。APAsを含む全ての部品は、MRIの必要性から非磁気仕様です。平面デザインのために、APAシェルとレバーアームは一体構造とし、マスと費用を削減することが出来ました。

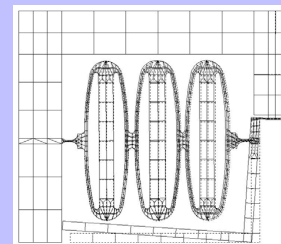
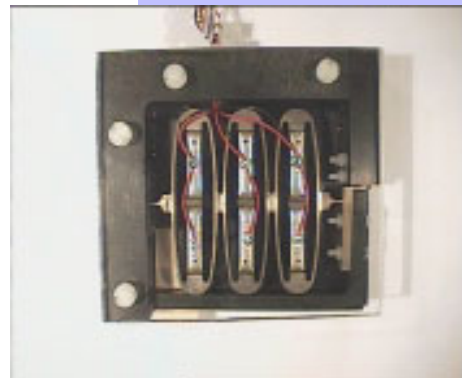


図4.2: 3mmのストロークを持ち、共振周波数100Hzのスーパーアンプリファイドアクチュエータ (a):アクチュエータ (b)対応FEMモデル



図4.3: リング状MLAスタック



図4.4: SGオプション付きリング状MLAスタック

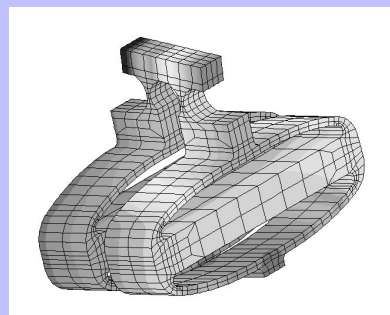


図4.5: 2個のAPA50Sをベースにしたチップチルト機構 TT50S
 ±0.5° のチルト角と1800Hzの共振周波数を実現
 a)アクチュエータ b)対応するFEMモデリング

4.3 圧電セラミックスタック

多層圧電材料(MLA)は、様々な形状寸法で供給することが出来ます。セドラットテクノロジー社は、あなたのニーズに合った最も良いMLAを見つけるお手伝いをすることが出来ます。

例えば、ストレインゲージセンサを備え、外部の直径6mm、長さ最大60mmのリング状MLAスタックを製造することが出来ます。

4.4 チップチルトメカニズム

APAsはかなり平坦であるため、それらを平行に配置することができます。それは、直線運動、または傾斜のアプリケーションに使えるおもしろい方法です。

この場合、APAsの平面的な構造は2つの作動軸を近づけることが出来、比較的大きな傾斜角度が得られます。

この動作を用いて、光の偏向を目的としたTT50Sというチップ傾斜を設計しました。それは、2個の標準のAPA50Sとフレキシブル蝶番とで構成されています。このメカニズムでは、このチップチルトに使われているフレックス蝶番のデザインにはFinite Element methodが有効です。

モデルTT50Sは、現在標準品として供給しています。(セクション10)カスタムチップチルトを、標準品を参考に同じ方式で製作いたします。

4.5 XYZメカニズム

革新的なXYZメカニズムを設計し、ESA/ESTEC契約に基づき、ロゼッタ宇宙ミッションのMIDAS機器へ使われ16カ月間宇宙空間で動き続けました。

このメカニズムの機能は、Wirtanen彗星のダスト分析を目的とした自動焦点顕微鏡(AFM)の走査を確実にすることです。

ESA/ESTECの仕様は、大きなストロークが得られ、ナノメートルの分解能を持った、硬度で軽量なステージを得ることでした。

[0;+100 μm] x [0;+100 μm] x [0;+8 μm]

初めに、XYステージのエンジニアリングモデル(EM)が設計され、テストされました。設計は、ATILAとI-DEASを使って行われました。(図4.6)一般的な概念を図4.6に示します。それは、必要なストロークを得るために、XとY方向に8個のアクチュエータを使用し、また平行四辺形を形成することによって、誘導機能を得ています。屈曲蝶番は、XとY軸の分離するのに使用されます。独特の構造、プレーナー構造は利点をもたらします。シェルと、中央の動くフレームは1つのステンレス部品で作られています。この構造は、軽量化のみならずコストもまた減少させるのに有利です。

Qualification Model(QM)では、重い標準のダイレクトピエゾアクチュエータ(DPA)に代わり、ストレインゲージを組み込んだカスタム設計された軽量の平行予備負荷付きアクチュエータ(PPA))をZ軸制御に導入しました。(図4.7と図4.8) また、2つの形状記憶合金(SMA)アクチュエータをラッチメカニズムに導入しました。このステージは、通常レベルより大きな値の振動テストに合格し、またさらに広い変動幅の温度でのラッチテストを含む他のテストも同様に合格しました。Flight Model(FM)は、MIDASでの実現のために組み立てられ、2003年にROSETTAに乗せてを飛ぶでしょう。(図4.9)

また、同じ概念で作られた産業用途バージョンXY200Mも供給できます。(セクション10)
このロゼッタメカニズムに使用される概念は、コストを削減するために、宇宙仕様の特定の機能を排除することによって簡素化されました。

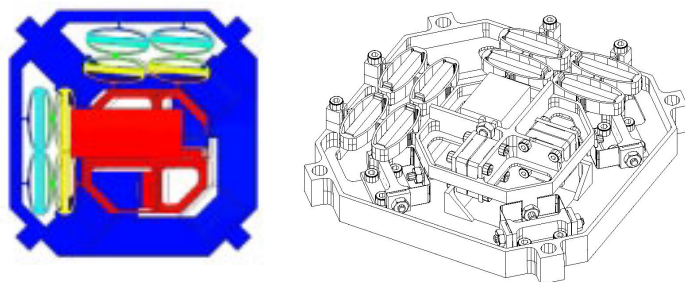


図4.6: (a) ATILA FEMのモデリングXYステージ
(b) XYステージのI-DEAS CAD出力(EM)

35



図4.7: ロゼッタ/ミダスインスツルメント仕様をパスした圧電素子のXYZステージ (IDEAS CAD出力)



図4.8: ロゼッタ/ミダスインスツルメント仕様をパスした圧電のXYZステージ



図4.9: 2003年に打ち上げられるロゼッタ宇宙船(ESA提供)

光学アプリケーション用途に開発された XYZメカニズムに関する他の例を図4.10に示します。このメカニズムのストロークは、各々 $[-100, +100 \mu\text{m}] \times [-100, +100 \mu\text{m}] \times [0, 200 \mu\text{m}]$ です。これらは、完全に標準のコンポーネントを基にしています。それは、センターXY変位に4個のAPA200Mを使った標準のXY200Mステージをベースに、Z軸の変位に3個のAPA200Mを使い結合しています。

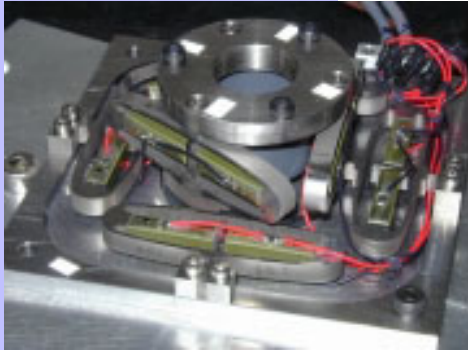


図4.10: XY200Mと3APA200MをベースにしたXYZメカニズム

4.6 ピエゾモータとトランスデューサ

ピエゾモータとピエゾトランスデューサは、標準のUPDsとUPAsを使って顧客にて開発することが出来ます。

しかしながら、それらの実現には特別な注意が必要で、このタスクはそれほど簡単ではありません。例えばピエゾモータの場合、超音波振動子とのコンタクトメカニズムは非常に重要な役割を果たしています。

セドラットテクノロジー社は、標準のUPDsとUPAsを使用し、ご要望により特定のピエゾモータとトランスデューサを開発することが出来ます。(セクション3.4と3.5参照)
これらのコンポーネントの可用性は、デバイス開発の時間と費用をかなり削減します。

またセドラットテクノロジー社は、従来のボルトで締め付けるランゲビントランスデューサを販売しています。(別紙参照ください。)

4.7 トレーニングコースと技術支援

セドラットテクノロジー社は、ピエゾアクチュエータとピエゾモータに関するトレーニングコースを提供しています。
異なった種類の技術支援、例えば欧州委員会により資金サポートされた技術移転・プロジェクト等用意しています。

セドラットテクノロジー社は、CADとテスト設備の徹底的な活用で、新しいアクチュエータとメカニズムを短時間で開発することが出来ます。
設計段階で、温度、ランダム振動、寿命等の環境条件を考慮に入れることができます。

5. アプリケーションノートとチュートリアル

5.1 専門用語集

5.1.1 このカタログに記載されている標準の圧電素子製品に関するノート

アクチュエータとモーターは、種々のサイズの圧電セラミックから構成されています。(セクション1の「多層アクチュエータ (MLA)」を参照)セラミックの中のレイヤー層と内部の電極の厚さは、それぞれ100 μm と2 μm です。

我々は圧電アクチュエータとモーターを以下のファミリーで区別します。(セクション1参照):

APA: 機械増幅機構付き圧電アクチュエータ(セドラットテクノロジー社の特許取得済み)で直線方向に作動。APAでは、圧電セラミックはステンレスで作られた楕円形のシェルの主軸に沿ってプリストレス(予備荷重)が加えられています。

DPA: ダイレクト圧電アクチュエータで直線運動。

LPM: リニア圧電素子モーター：直線運動。LPMの作動軸はUPDに付けられ、弾性ブレードによってガイド移動します。(セクション3.4)静止時(パワーoff)ブロッキング力を発生。

PPA: パラレル予備負荷機構付き圧電アクチュエータ直線運動

RPM: 回転圧電素子モーター：回転運動。RPMのローター(ローラータイプ)は、高分子シリンダで作られていてUPDからのスティック・スリッパ接触によって駆動されます。(セクション3.5)静止時(パワーoff)ブロッキング力を発生することに注目。

UPA: 超音波振動を発生させるための超音波圧電アクチュエータ

UPD: 楕円軌道を描く超音波振動を発生させるための超音波圧電素子ドライブUPD(セドラットテクノロジー社特許取得)は、振動固定子駆動メカニズムを構成しています。

5.1.2 圧電アクチュエータとモータに関する定義

相対・絶対精度： 相対精度と絶対精度の間には明確な区別があり、ともに不確定性の計算からの結果です。相対精度とは、2つの定まった位置の間の変位量の上の不確定性と等しくなります。絶対精度とは、位置の上の不確定性です。これらの不確定性は、開ループ構成において圧電セラミックに固有のヒステリシス、温度の変動幅、ドライブレレクトロニクスのSN比など、いくつかのパラメタの結果です。閉ループ構成でセンサを使用することによって、精度を改良することが出来、その場合、位置の上の不確定性はセンサと接続したエレクトロニクスの精度に依存します。

帯域幅： アクチュエータの、0Hzから最大動作周波数までの周波数間隔。最大動作周波数は、アクチュエータの共振周波数に依存します。共振周波数は一般的に、ユーザによって指定され、ドライブレレクトロニクスの選択を決定します。この値に関する知識は、そのアクチュエータと関連して帰還ループを較正するのに不可欠です。

ブロッキングフォース： 最大駆動電圧をかけた場合、アクチュエータの変位に逆らいこれを元に戻す最低限の力。

静電容量： 他の誘電性システムのように、アクチュエータの電気的特性はコンデンサーに類似しています。セドラットテクノロジー社製品仕様で示す静電容量値(μF 、またはマイクロファラッド)は、疑似静的な自由な状態での値に対応しています。ダイナミック状態での静電容量値は、温度に従って増加し、アクチュエータが要求する電流のパワーと反応パワーを決定します。(セクション2.7の方程式を参照)

電流： スタティックなアプリケーションでは、アクチュエータに流れる電流はごくわずかで、数マイクロアンペアです。ダイナミックな運転では、周波数に比例して電流消費は増加します。従って、アプリケーションに最適な増幅器を選択するにはアクチュエータに流れる最大電流によって決まります。

ドリフト・クリープ： DC電圧を印加し時間の経過とともにセラミックの伸張には微小な変化が起こります。これは活性材料の分極解消によるものです。高精度の静的な位置決めには、ドリフト効果は閉ループ構成で取り消すことが出来ます。

有効質量 m_{eff} ： 無負荷・共振点でのアクチュエータ質量。アクチュエータの全重量と等しくなく、以下の方程式で決定することができます。(セクション2.5)：

$$m_{\text{eff}} = \frac{K}{4 \times \pi^2 \times f_{r0}^2}$$

K はアクチュエータの硬度で、 f_{r0} は無負荷での共振周波数。したがって有効質量は、メカニカルインタフェース条件に依存します。すなわち free-free または blocked-free.

寿命： 寿命テストは、高温から極低温までの正確な温度状態で、また周囲環境は大気圧から超高真空までセドラットテクノロジー社で行っています。寿命は、公称性能のを保てる間アクチュエータを動作テストした繰返し回数です。サイクルは、free-freeの状態ではアクチュエータの共振周波数の1/6で適用され、0V～180Vのフルスケールの駆動電圧パルスで行います、例えばAPA200Mの場合、600Hzで10カ月間テストされます。(セクション2.6参照)これらの条件下で、APAの寿命は 10^{10} サイクル以上です。圧電モーターの場合、寿命はこれらのパラメタの他、UPDとモーター間の接触摩耗に大いに依存します。

動作モード： 圧電アクチュエータを駆動する周波数範囲でモードが分かれます。(有効荷重とアクチュエータを含む) 下述のリストからいくつかの動作モードを特定することは、アクチュエーションメカニズムの定義の成功に不可欠です。

- > **スタティック** - 駆動周波数は、ゼロです。素子にDC電圧をかけ、目的の位置で保持します。結果として、電流消費は低く数マイクロアンペア程度です。スタティックアプリケーションは、一般的に位置決めに使われています。
- > **インパルス** - 高速応答性、 piezoアクチュエータの早い応答性を利用するために使用されています。必要な変位に相当する電圧パルスを素子に印加します。(セクション 5.2)
- > **疑似スタティック** - 周波数が、共振周波数より十分低い場合です。(動作周波数が共振周波数の3分の1未満の場合) 慣性効果や動的応力、いわゆるダイナミック効果が素子の働きに影響しない周波数で、アクチュエータの変位が、さまざまな信号、正弦波、三角形波、および矩形波等で励起された場合、同期して動作する周波数モード。
- > **共振** - 特記すべき事項は、素子をその共振周波数でドライブする共振モードです。UPAsとUPDsは、このモードで動作するように設計されています。また高い機械的品質係数 (Q_m)を示すAPAsは、特殊なアプリケーションにおいて、共振モードで使用することが出来ます。しかしながら、APAs、DPAsとPPAsの長寿命の利点を活かすには、疑似スタチックモードでを使用することを推薦いたします。

有効荷重： アクチュエータにかけられる荷重を示します。単位はニュートン(N)で表され以下の通りです。：

- > **重力** - アクチュエータによって動かされる質量に相当する重力。
- > **弾性** - アクチュエータに加わる弾性力(または、堅さ)。
- > **慣性** - アクチュエータの変位動作(加速)によって引き起こされる一時的なダイナミック力。

有効荷重の正確で質的・量的な仕様は、アクチュエータの適切な選択を決定的することです。

予備荷重： 動力化メカニズムで必要とする力で、UPD(振動固定子)と可動の部分(ローター)との接触を確実にするための押付ける力です。セドラットテクノロジー社によって開発されたPre-load Play-Recovery System (PPRS)は、リニア・回転モータでは、予備荷重のレベルを一定の値に保ち、それにより接触効率を高めピエゾモータの寿命を大きく伸ばします。この技術はセドラットテクノロジー社の特許です。

プリストレス： アクチュエータ内部の、圧電セラミックスタックに加える静止圧力。セラミックのメーカーによって指定される圧電性の材料への適正なプリストレスの正確な補正は、振動に対する抵抗と同様にアクチュエータのダイナミックな挙動を改良します。

再現性： アクチュエータを元に戻した場合、前の位置に正確に戻る能力。ヒステリシス、ドリフト、および他の現象のため、閉ループで作動するアクチュエータだけに再現性を保証することが出来ます。(位置決めフィードバック付き)

分解能： 供給電圧の最小変化により達成される変位。分解能は、ヒステリシス効果とは関係なく、アクチュエータに関する限り無制限です。むしろ分解能は、ドライブエレクトロニクスのSN比に依存します。

共振周波数： 素子(アクチュエータと有効荷重)を、基本モードで励起したときの周波数。無負荷のアクチュエータでは、共振周波数は自己の機械的な境界条件だけに依存します。：

- > **Free-free** - アクチュエータをその中央(振動のノード)のみで固定し、他は自由に動くことが出来るようにした場合。
- > **Blocked-free** - アクチュエータの2つのインタフェースの一方を固定し、他方を自由に動くことが出来るようにした場合。

応答時間： アクチュエータが、与えられた電気信号レベルにする最大の動きの98%に達するのに必要な。このパラメータは、デバイスの共振周波数に依存します。

硬度： 弾性力とアクチュエータで発生する変位との間の比例係数。アクチュエータの疑似スタティック、またはダイナミックな機械的な振る舞いは、硬度 $K(N/\mu m)$ をスプリングに類似したものと考えます。

ストローク(伸張)： 無負荷の場合のアクチュエータの最大変位(伸び)。単位はミクロン(μm)

電圧範囲： 圧電セラミックにかけることの出来る入力電圧の範囲を定義します。(セクション2.5) ストロークは、最大電圧のときの変位の値です。

5.2 チュートリアル：最適なアクチュエータとその ドライブ回路の選択法

5.2.1 屈曲ガイド有効荷重の位置決め

Q: 私は再集光用鏡を手に入れました。それは、いくつかガイド付きスプリングで調整します。鏡の質量は 30グラムあり、ガイドの硬度は $0.2\text{N}/\mu\text{m}$ 、必要なストロークが $25\mu\text{m}$ 、必要な帯域幅は 30Hz です。この条件に合う最も良いアクチュエータはどれですか？

A: ガイドしている硬度は、アクチュエータのストロークを減少させます。APA25XSは、硬度 $0.7\text{N}/\mu\text{m}$ ですが、ストローク $19.8\mu\text{m}$ で十分ではありません。APA50Sは、硬度 $0.87\text{N}/\mu\text{m}$ 、ストローク $40\mu\text{m}$ を持っています。ミラーを取り付けたときのアクチュエータの共振周波数は 950Hz 、この値は要求帯域幅と比較すると十分大きな数値です。従って、

APA50Sはこのアプリケーションによく合います。

Q: そして、これに対応したドライビングエレクトロニクスは？

A: APA50S アクチュエータの静電容量は $0.7\mu\text{F}$ で、 30Hz 200V未満でドライブすると：これはドライブ電流を必要とし、LA75Aアンプが適合します。

5.2.2 インパルスアプリケーション

Q: 私は、非常に迅速な応答の piezo アクチュエータを必要としています。ストロークは $60\mu\text{m}$ 、実行時間 1ms です。有効負荷は 15g です。最も良いアクチュエータは？

A: 1ms インパルスに必要な時間は、 0.7kHz より大きな共振周波数である必要があります。有効負荷が 15g であるので、アクチュエータの硬度は $0.29\text{N}/\mu\text{m}$ より高い値が必要です。この硬度は、APA200M アクチュエータでは達成されません。この値は、APA150M アクチュエータかAPA60SM アクチュエータで達成することが出来ます。

Q: そして、これに対応したドライビングエレクトロニクスは？

A: APA150M アクチュエータは、静電容量 $2.2\mu\text{F}$ があり、 1ms でチャージしなければなりません。ストローク $60\mu\text{m}$ を得るのに必要な電圧は 100V 。これは 220mA のパルス電流になり、LA75A アンプではこの電流を達成することが出来ません。LA75B アンプか SP75A アンプがこの要求を達成することが出来ます。

5.2.3 大きい変位を必要とするとき

Q: 私は、ストローク 1mm を必要とします。有効荷重は 30g です。

A: この要求を満たすには、いくつかの選択があります。まず最初の選択は、アプリケーションの他の制約、例えば、『どれくらいの期間、有効負荷を一定の位置に保たなければならないか』になるでしょう。

- a. APA500L アクチュエータを 2 段積み重ねることが出来ます。
- b. APA500L または APA200M を、2 番目のレバーアームに結合させて使用することが出来ます。(Super Amplified Actuator)
- c. ピエゾラインモーター LPM20-3 も考慮にの対象になります。

Q: ドライバーエレクトロニクスとして、どのモデルが適していますか？

- a. 1 番目と 2 番目の選択として、負荷の静電容量が $50\mu\text{F}$ 未満であり、低い周波数での応用には LA75A アンプでドライブすることが出来ます。
- b. 3 番目の選択では、US100 ドライバーを使用することが出来ます。

Q: あるアプリケーションで、有効荷重の位置を数日間維持しなければなりません。これに適した選択は何ですか？

A: そのような場合は、モーターを使う解決策が望ましいです。

5.3 あなたのアプリケーション

ここで、あなたが正しいアクチュエータと、その最も良くマッチした駆動電源ユニットを見つけるために、次に述べる質問事項をチェックして下さい。

5.3.1 ステップ1 :アクチュエータ

- ◆ アプリケーションで必要としている最大変位
- ◆ 必要な帯域幅(アクチュエータをドライブする最大周波数はどのくらいですか?)
- ◆ アクチュエータに作用する力
 - ◆ アクチュエータで駆動する負荷(慣性はいくつになりますか?)
 - ◆ スプリング荷重(アクチュエータは、予備負荷機能が付いていますか? スプリングの堅さは?)
 - ◆ 外部の減衰力(減衰係数はどのくらいですか?)
- ◆ 最大の許容セットリング時間(インパルスアプリケーションならば、動作時間は?)
- ◆ 必要な精度(ポジションセンサを必要としますか?)
- ◆ 温度の変動幅(周囲の温度は? 高温度の環境ですか? それとも極低温の環境ですか?)
- ◆ 環境(それは真空中ですか? 湿度の状態は? どのようなガス雰囲気中ですか?(空気、He、N₂、...))
- ◆ サイズ(アプリケーションで許された寸法を考慮しましたか?)

5.3.2 ステップ 2 : 駆動電子回路

- ◆ 選択されたアクチュエータの静電容量はいくつですか?
- ◆ 駆動に必要な最大電流はいくつですか? (セクション2.7を参照)
- ◆ 特定の電圧を必要としますか?
- ◆ クローズドループ(ストレインゲージ)を必要としますか?

どのような質問、技術的仕様もためらわず、次のEメールアドレスまで我々に連絡して下さい。 actuator@cedrat.com
我々はよろこんで短期間にご回答申し上げます。

6. ピエゾアクチュエータの選択ガイド

6.1 選択ガイド

6.1.1 序論

セドラットテクノロジー社は、従来のダイレクトピエゾアクチュエータ (DPAs)、パラレル予備荷重アクチュエータ (PPAs)、および増幅機構付きピエゾアクチュエータ (APAs) 等、多くのモデルの標準アクチュエータを提供しています。いくつかのオプションが用意されていて、大半のアクチュエータは、機械的または電気インタフェースに会うように、機能的な特性を変更することができます。アクチュエータに関する追加的特徴を得るため、必要な場合は、セドラットテクノロジー社にご相談下さい。

”最先端技術レベルの”ピエゾアクチュエータを提供する場合は、何らかの新しいアクチュエータには”予備データ”を添付する場合があります、現在テスト段階であることを意味します。

Model series	Unity	APA XS	APA S	APA SM	APA M	APA ML	APA L
Note							
Blocking force	(N)	18	20 - 50	100 - 200	50 - 120	1400 - 1900	600 - 1300
No-load stroke	(μ m)	25	50 - 100	40 - 60	100 - 200	90 - 120	250 - 500
S.G. option		*	*	*	*	*	*
N.M. option		*	*	*	*	*	*
Mechanical Interface option		FI	FI - TH	FI - TH	FI - TH - FF	FI - TH	FI - TH - FF
Electrical Interface option		Two wires AWG30	Two wires AWG30	Two wires AWG30	Two wires AWG30	Two wires AWG26	Two wires AWG26
Note		Smallest actuator		Stiff serie		Stiff serie	
Page		48	49	50	51	52	53

表6.1: 増幅機構付きピエゾアクチュエータの選択ガイド

Model series	Unity	DPA	PPA M	PPA L
Note				
Blocking force	(N)	3500	3500	3500
No-load stroke	(μ m)	30 - 90	10 - 40	30 - 90
S.G. option		*	*	*
N.M. option				
Mechanical Interface option		TH	TH	TH
Electrical Interface option		LEMO connector	Two wires AWG26	Two wires AWG26
Note				
Page		54	55	56

表6.2: ダイレクト/予備負荷付きピエゾアクチュエータの選択ガイド

6.1.2 オプション

S.G. オプション:

S.G.オプションは、ストレインゲージ(S.G.)を備えたアクチュエータです。モデルSG75電子回路で、ストレインゲージの信号はモニターすることが出来ます。

N.M. オプション:

アクチュエータは非磁性材料から作られています。：従って、他の機器が発生する磁場に影響を与えません。同様に、磁場からの影響も受けません。いくつかの特性、例えば熱による機械的なふるまい、マス、幅等は、標準のアクチュエータと異なるかもしれません。

N.M.とS.G.のオプションは、コンパクトブルです。

6.1.3 メカニカルインタフェースオプション

F.I. オプション:

増幅機構付きピエゾアクチュエータには、接着することが出来る 2つの同じ平坦なインタフェースがあります。

T.H. オプション:

増幅機構付きピエゾアクチュエータには、2つの同じメカニカルインタフェースがあります。：平坦なインタフェースの中心にネジが切っています。

F. F. オプション

“ free-free ” インタフェースとは、アクチュエータがそのセンターで支えられていて、左右対称自由に動くことを意味します。； “ free-free ” 構成は、顕著に広い帯域幅で、しかもストロークは半分です。しかしながら、この場合より大きな横向きの力にピエゾスタックをかけることができます。セドラットテクノロジーに連絡し、あなたのアプリケーションについて議論してください。

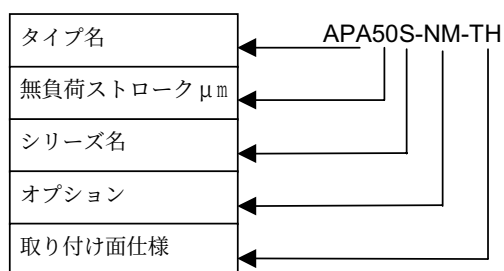
6.1.4 追加データ

これらのアクチュエータのいくつかはスペース仕様です：これはさらに追加テストをすることを意味します。

- ◆ ランダム振動テスト
- ◆ サーマルバキューム
- ◆ 放熱
- ◆ 寿命テスト

アクチュエータの追加の特徴に関しては、セドラットテクノロジー社にご連絡下さい。

6.1.5 オーダー方法



6.2 増幅機構付きピエゾアクチュエータ APA XS シリーズ

セドラットテクノロジー社で開発された Amplified Piezo Actuators (APAs) は、ダイレクトアクチュエータ (DPA)、バイモルフピエゾアクチュエータでは達成出来ない発生力・変位性能の領域をカバーいしました。XSモデルは、セドラットテクノロジー社で開発された最も小型なアクチュエータで 25 μm までの変位量があります。



図6.1: APA25XS アクチュエータ

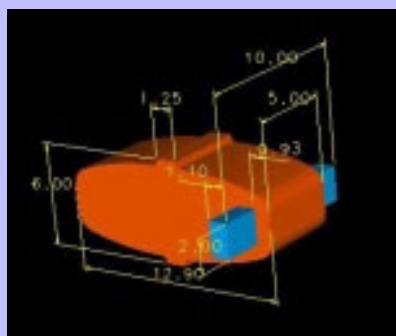


図6.2: APA25XSアクチュエータの寸法

References	Unit	APA25XS
Notes		-
Displacement	(μm)	27.8
Blocked force	(N)	19.34
Stiffness	(N/ μm)	0.70
Resonance frequency (free-free)	(Hz)	20800
Response time (free-free)	(ms)	0.03
Resonance frequency (blocked-free)	(Hz)	4600
Response time (blocked-free)	(ms)	0.15
Voltage range	(V)	-20 ... 180
Capacitance	(μF)	0.25
Resolution	(nm)	2.78
Thermo-mechanical behaviour	($\mu\text{m}/^{\circ}\text{K}$)	0.24
Height H (in actuation direction)	(mm)	6.0
Length	(mm)	12.9
Width (incl. edges)	(mm)	5.0
Mass	(g)	2.0
Standard mechanical interface		2 flat surfaces 1.25*5 mm ²
Standard electrical interface		2 PTFE insulated AWG30 wires 50 mm long with $\varnothing$ 1 banana plug

表6.3: APA XSアクチュエータの特性

オプション: NM
インターフェイスオプション: .FI, .TH

このリーフレットに記載の技術資料は予告なしに変更することがあります。

6.3 増幅機構付き piezo アクチュエータ APA S シリーズ

セドラットテクノロジー社で開発された Amplified Piezo Actuators (APAs) は、ダイレクトアクチュエータ (DPA)、バイモルフ piezo アクチュエータでは達成出来ない発生力・変位性能の領域をカバーしました。S シリーズは、セドラットテクノロジー社で開発された小型なアクチュエータで 50 μm ~ 100 μm までの変位量があります。

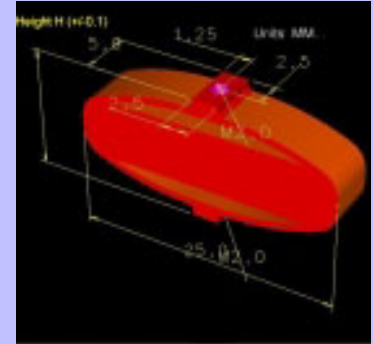


図6.3: APA50Sアクチュエータの寸法

References	Unit	APA50S	APA100S
Notes		-	-
Displacement	(μm)	52	102
Blocked force	(N)	45	19.5
Stiffness	(N/ μm)	0.87	0.19
Resonance frequency (free-free)	(Hz)	11500	6900
Response time (free-free)	(ms)	0.06	0.10
Resonance frequency (blocked-free)	(Hz)	2800	1400
Response time (blocked-free)	(ms)	0.25	0.50
Voltage range	(V)	-20 ... 180	-20 ... 180
Capacitance	(μF)	1.00	1.00
Resolution	(nm)	5.2	10.2
Thermo-mechanical behaviour	($\mu\text{m}/^\circ\text{K}$)	0.46	0.77
Height H (in actuation direction)	(mm)	12.0	10.0
Length	(mm)	25.0	25.0
Width (incl. edges)	(mm)	9.0	9.0
Mass	(g)	4.5	4.2
Standard mechanical interface		2 flat surfaces 3*5 mm ² with M2 threaded hole	2 flat surfaces 3*5 mm ² with M2 threaded hole
Standard electrical interface		2 PTFE insulated AWG30 wires 50 mm long with $\varnothing$ 1 banana plug	2 PTFE insulated AWG30 wires 50 mm long with $\varnothing$ 1 banana plug

表 6.4: APA S アクチュエータの特性

オプション: SG, NM
インターフェイスオプション: FI, TH

このリーフレットに記載の技術資料は予告なしに変更することがあります。



図6.4: APA50Sアクチュエータ

6.4 増幅機構付きピエゾアクチュエータ APA SM シリーズ

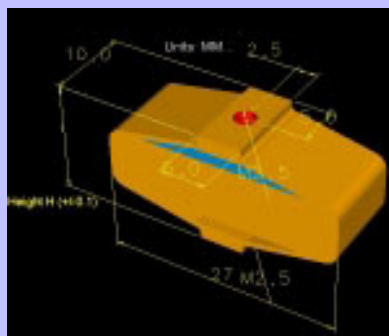


図6.5: APA40SMアクチュエータの寸法

セドラットテクノロジー社で開発された Amplified Piezo Actuators (APAs) は、ダイレクトアクチュエータ (DPA)、バイモルフピエゾアクチュエータでは達成出来ない発生力・変位性能の領域をカバーいしました。SMシリーズは、セドラットテクノロジー社で開発された小型なアクチュエータです。このシリーズは、硬度の高いアクチュエータで、ダイレクトアクチュエータ (DPA) より大きな変位を発生させるように特に設計されます。その結果、それらの帯域幅は広がりダイナミックなアプリケーションでの使用に向いています。

References	Unit	APA40SM	APA60SM
Notes		-	-
Displacement	(μm)	40.0	60.0
Blocked force	(N)	194.0	110.0
Stiffness	(N/ μm)	4.85	1.83
Resonance frequency (free-free)	(Hz)	14550	10400
Response time (free-free)	(ms)	0.05	0.07
Resonance frequency (blocked-free)	(Hz)	4100	2800
Response time (blocked-free)	(ms)	0.17	0.25
Voltage range	(V)	-20 ... 180	-20 ... 180
Capacitance	(μF)	1.55	1.55
Resolution	(nm)	4.0	6.0
Thermo-mechanical behaviour	($\mu\text{m}/^{\circ}\text{K}$)	0.42	0.53
Height H (in actuation direction)	(mm)	15.0	13.0
Length	(mm)	27.5	27.5
Width (incl. edges)	(mm)	10.0	10.0
Mass	(g)	18.0	20.0
Standard mechanical interface		2 flat surfaces 5*10 mm ² with M2.5 threaded hole	2 flat surfaces 5*10 mm ² with M2.5 threaded hole
Standard electrical interface		2 PTFE insulated AWG30 wires 100 mm long with $\varnothing$ 1 banana plug	2 PTFE insulated AWG30 wires 100 mm long with $\varnothing$ 1 banana plug

表6.5: APA SM アクチュエータの特性



図6.6: APA40SMアクチュエータ

オプション: SG
インターフェイスオプション: FI, TH

このリーフレットに記載の技術資料は予告なしに変更することがあります。

6.5 増幅機構付きピエゾアクチュエータ APA M シリーズ

セドラットテクノロジー社で開発されたAmplified Piezo Actuators (APAs)は、ダイレクトアクチュエータ (DPA)、バイモルフピエゾアクチュエータでは達成出来ない発生力・変位性能の領域をカバーいしました。

Mシリーズは、高さ 20mm重量 20gほどの中型アクチュエータで、100 μm ~200 μm までの変位量があります。

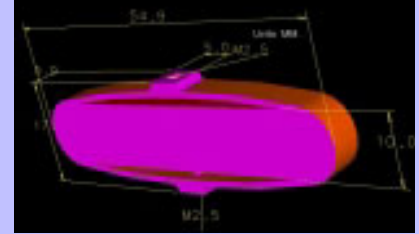


図6.7: APA150Mアクチュエータの寸法

References	Unit	APA100M	APA150M	APA200M
Notes		-	-	-
Displacement	(μm)	110	150	206
Blocked force	(N)	110	75	49
Stiffness	(N/ μm)	1.00	0.50	0.24
Resonance frequency (free-free)	(Hz)	5400	4500	3400
Response time (free-free)	(ms)	0.13	0.16	0.21
Resonance frequency (blocked-free)	(Hz)	1500	1100	800
Response time (blocked-free)	(ms)	0.47	0.64	0.88
Voltage range	(V)	-20 ... 180	-20 ... 180	-20 ... 180
Capacitance	(μF)	3.2	3.2	3.2
Resolution	(nm)	11.0	15.0	20.6
Thermo-mechanical behaviour	($\mu\text{m}/^\circ\text{K}$)	0.98	1.21	1.53
Height H (in actuation direction)	(mm)	25.0	22.0	17.0
Length	(mm)	55.1	55.1	55.1
Width (incl. edges)	(mm)	9.0	9.0	9.0
Mass	(g)	19.5	17.4	15.7
Standard mechanical interface		2 flat surfaces 5*5 mm ² with M2.5 threaded hole	2 flat surfaces 5*5 mm ² with M2.5 threaded hole	2 flat surfaces 5*5 mm ² with M2.5 threaded hole
Standard electrical interface		2 PTFE insulated AWG30 wires 100 mm long with $\varnothing$ 1 banana plug	2 PTFE insulated AWG30 wires 100 mm long with $\varnothing$ 1 banana plug	2 PTFE insulated AWG30 wires 100 mm long with $\varnothing$ 1 banana plug

表6.6: APA Mアクチュエータの特性

オプション: SG, NM
インターフェイスオプション: FI, TH, FF

このリーフレットに記載の技術資料は予告なしに変更することがあります。



図6.8: APA150Mアクチュエータ

6.7 増幅機構付きピエゾアクチュエータ APA L シリーズ

セドラットテクノロジー社で開発されたAmplified Piezo Actuators(APAs)は、ダイレクトアクチュエータ(DPA)、バイモルフピエゾアクチュエータでは達成出来ない発生力・変位性能の領域をカバーいしました。

Lシリーズは、セドラットテクノロジー社の大型アクチュエータで、500 μm までの変位量がある製品があります。

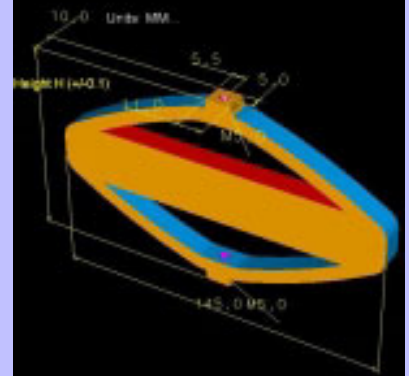


図6.11: APA230Lアクチュエータの寸法

References	Unit	APA230L	APA500L
Notes		-	-
Displacement	(μm)	236	500
Blocked force	(N)	1350	570
Stiffness	(N/ μm)	5.7	1.1
Resonance frequency (free-free)	(Hz)	2700	1700
Response time (free-free)	(ms)	0.26	0.41
Resonance frequency (blocked-free)	(Hz)	850	460
Response time (blocked-free)	(ms)	0.82	1.52
Voltage range	(V)	-20 ... 180	-20 ... 180
Capacitance	(μF)	40.0	40.0
Resolution	(nm)	23.6	50.0
Thermo-mechanical behaviour	($\mu\text{m}/^\circ\text{K}$)	2.4	3.9
Height H (in actuation direction)	(mm)	85.0	55.0
Length	(mm)	145.0	145.0
Width (incl. edges)	(mm)	12.0	12.0
Mass	(g)	275.0	200.0
Standard mechanical interface		2 flat surfaces 10*10 mm ² with M5 threaded hole	2 flat surfaces 10*10 mm ² with M5 threaded hole
Standard electrical interface		2 PTFE insulated AWG26 wires 300 mm long with $\varnothing$ 1 banana plug	2 PTFE insulated AWG26 wires 300 mm long with $\varnothing$ 1 banana plug

表6.8: APALアクチュエータの特性

オプション: SG
インターフェイスオプション: FI, TH, FF

このリーフレットに記載の技術資料は予告なしに変更することがあります。



図6.12: APA230Lアクチュエータ



図6.13: DPA30アクチュエータ

6.8 ダイレクトピエゾアクチュエータ DPA

セドラットテクノロジー社によって提案されたDirect Piezo Actuators (DPAs)は、単位長さあたりの変位量を最適化した製品です。非常に低い電圧電歪アクチュエータなどの特記すべきモデルをすぐに実現いたします。

References	Unit	DPA30	DPA60	DPA90
Notes		-	-	-
Displacement	(μm)	33	66	95
Blocked force	(N)	3500	3500	3500
Stiffness	(N/ μm)	106.1	53.0	36.8
Resonance frequency (blocked-free)	(Hz)	9000.00	7000.00	5000.00
Response time (blocked-free)	(ms)	0.08	0.10	0.14
Voltage range	(V)	-20 ... 180	-20 ... 180	-20 ... 180
Capacitance	(μF)	7.2	14.4	21.6
Resolution	(nm)	3.3	6.6	9.5
Thermo-mechanical behaviour	($\mu\text{m}/^{\circ}\text{K}$)	0.11	0.21	0.32
Height (in actuation direction)	(mm)	52.5	82.5	112.5
Diameter	(mm)	25.0	25.0	25.0
Mass	(g)	155.0	230.0	310.0
Standard mechanical interface - Top		M3*0.5 threaded hole 10 mm deep	M3*0.5 threaded hole 10 mm deep	M3*0.5 threaded hole 10 mm deep
Standard mechanical interface - Base		4 M2.5 threaded holes on $\varnothing$ 15 mm	4 M2.5 threaded holes on $\varnothing$ 15 mm	4 M2.5 threaded holes on $\varnothing$ 15 mm
Standard electrical interface		LEMO FGG 00 connector	LEMO FGG 00 connector	LEMO FGG 00 connector

表6.9: DPAアクチュエータの特性

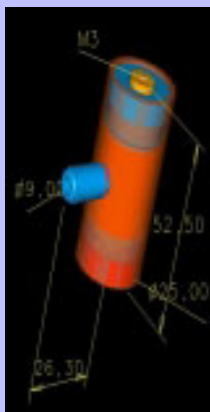


図 6.14: ダイレクトピエゾアクチュエータのインターフェイス

オプション: SG

このリーフレットに記載の技術資料は予告なしに変更することがあります。

6.9 パラレル予備負荷付きアクチュエータ PPA M シリーズ

この新しいタイプのダイレクトピエゾアクチュエータの開発は、CNES(フランス宇宙局)との契約に基づき、セドラットテクノロジー社によって設計されました。

PPAモデルは、同じ電気機械性能がある従来のアナログ方式のDPAと比較すると半分の軽さです。また、そのコンパクトサイズは、機械的なアセンブリをより簡単にします。

PPA Mシリーズ製品は、最大40 μm の変位と800Nのブロックングフォースに耐えられます。

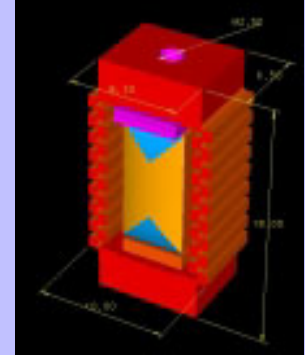


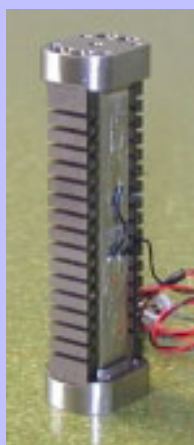
図6.15: PPA10Mのインターフェイス

References	Unit	PPA10M	PPA20M	PPA40M
Notes		preliminary data	preliminary data	preliminary data
Displacement	(μm)	10.00	20.00	40.00
Blocked force	(N)	800	800	800
Stiffness	(N/ μm)	80.0	40.0	20.0
Resonance frequency (blocked-free)	(Hz)	65000	30000	20000
Response time (blocked-free)	(ms)	0.01	0.02	0.04
Voltage range	(V)	-20 ... 180	-20 ... 180	-20 ... 180
Capacitance	(μF)	0.7	1.4	2.7
Resolution	(nm)	1.0	2.0	4.0
Thermo-mechanical behaviour	($\mu\text{m}/^\circ\text{K}$)	0.04	0.07	0.14
Height (in actuation direction)	(mm)	18.0	28.0	48.0
Base length	(mm)	10.0	10.0	10.0
Base width	(mm)	8.0	8.0	8.0
Mass	(g)	6.0	12.0	25.0
Standard mechanical interface - Top		1 centered M2.5 threaded hole 3 mm deep	1 centered M2.5 threaded hole 3 mm deep	1 centered M2.5 threaded hole 3 mm deep
Standard mechanical interface - Base		1 centered M2.5 threaded hole 3 mm deep	1 centered M2.5 threaded hole 3 mm deep	1 centered M2.5 threaded hole 3 mm deep
Standard electrical interface		2 PTFE insulated AWG30 wires 50 mm long with $\varnothing$ 1 banana plug	2 PTFE insulated AWG30 wires 50 mm long with $\varnothing$ 1 banana plug	2 PTFE insulated AWG30 wires 50 mm long with $\varnothing$ 1 banana plug

表6.10: PPA Mアクチュエータの特性

オプション: SG, NM
インターフェイスオプション: TH

このリーフレットに記載の技術資料は予告なしに変更することがあります。



6.10 パラレル予備負荷付きアクチュエータPPA Lシリーズ

セドラット社で製作しているPPAシリーズの大型に分類されるシリーズで、最大90 μ mの変位と3500Nのブロッキングフォースに耐えられます。

図6.16: PPA60Lアクチュエータ

References	Unit	PPA30L	PPA60L	PPA90L
Notes		-	-	-
Displacement	(μm)	30.00	60.00	90.00
Blocked force	(N)	3500	3500	3500
Stiffness	(N/ μm)	116.7	58.3	38.9
Resonance frequency (blocked-free)	(Hz)	9000	7000	5000
Response time (blocked-free)	(ms)	0.08	0.10	0.14
Voltage range	(V)	-20 ... 180	-20 ... 180	-20 ... 180
Capacitance	(μF)	7.2	14.4	21.6
Resolution	(nm)	3.0	6.0	9.0
Thermo-mechanical behaviour	($\mu\text{m}/^{\circ}\text{K}$)	0.11	0.21	0.32
Height (in actuation direction)	(mm)	47.0	77.0	107.0
Base length	(mm)	22.5	22.5	22.5
Base width	(mm)	18.0	18.0	18.0
Mass	(g)	77.0	112.0	147.0
Standard mechanical interface - Top		1 centered M3 threaded hole 6 mm deep & 4 M2.5 threaded holes on Ø 15 mm 5 mm deep	1 centered M3 threaded hole 6 mm deep & 4 M2.5 threaded holes on Ø 15 mm 5 mm deep	1 centered M3 threaded hole 6 mm deep & 4 M2.5 threaded holes on Ø 15 mm 5 mm deep
Standard mechanical interface - Base		1 centered M3 threaded hole 6 mm deep & 4 M2.5 threaded holes on Ø 15 mm 5 mm deep	1 centered M3 threaded hole 6 mm deep & 4 M2.5 threaded holes on Ø 15 mm 5 mm deep	1 centered M3 threaded hole 6 mm deep & 4 M2.5 threaded holes on Ø 15 mm 5 mm deep
Standard electrical interface		2 PTFE insulated AWG26 wires 50 mm long with Ø 1 banana plug	2 PTFE insulated AWG26 wires 50 mm long with Ø 1 banana plug	2 PTFE insulated AWG26 wires 50 mm long with Ø 1 banana plug

表6.11: PPA Lアクチュエータの特性

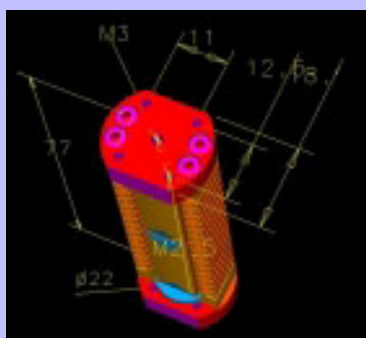


図6.17: PPA60Lのインターフェイス

オプション: SG, NM
インターフェイスオプション: TH

このリーフレットに記載の技術資料は予告なしに変更することがあります。

7. ピエゾトランスデュースとモータの 選択ガイド

7.1 超音波ピエゾアクチュエータ UPA

超音波ピエゾアクチュエータ UPA25は、超音波振動を発生するコンパクトで低電圧変換器です。それは、純粋で正常な変位を発生させることが出来る M4穴をインタフェースゾーンに備えるリングで構成されています。このUPAは、1つの電気ポートに低電圧の正弦波電圧を供給することで励起することが出来ます。変位の振幅は、電気ポートから供給する励起信号の電圧レベルによって制御されます。顧客要求に合わせ、U字形のホールディング片を変更することができます。また、共振周波数が100kHzまでの、より小さいUPAsも製作可能です。

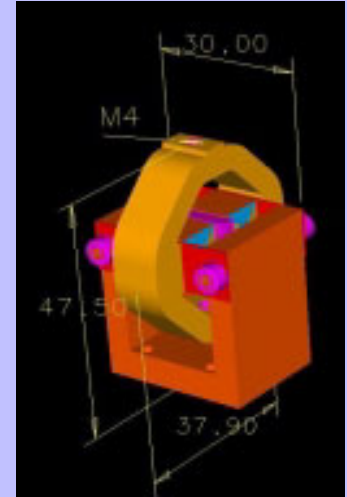


図7.1: UPA25アクチュエータの寸法

References	Unit	UPA25
Notes		-
Height (normal direction of the contact face)	mm	47.5
Normal vibration displacement	μm (pk-pk)	10.0
Operating frequencies	kHz	27.00
Voltage max.	Vrms	10.0
Electrical power (per electrical port)	W	10.0
Width	mm	30.0
Length (tangential direction of the contact face)	mm	38.0
Mass (incl. frame)	g	110.0
Capacitance (per electrical port)	μF	1.20
Contact interfaces	Flat surface 10*10 mm ² with centred M4 threaded hole	
Electrical interfaces	2 PTFE insulated AWG26 wires 300 mm long with sub D9 connector	

表7.1: UPAアクチュエータの特性

このリーフレットに記載の技術資料は予告なしに変更することがあります。



図7.2: UPA25アクチュエータ

7.2 超音波ピエゾドライブ UPD

超音波ピエゾドライブ UPD20は、リング上に、異なった振動変位、楕円、ノーマル、正接または斜行発生させることが出来る相反する接触ゾーンで構成されています。このUPDは、単相もしくは2相の低電圧正弦波信号を、2つの電気ポートに供給し励起します。

振動の軌跡は、周波数か、2つの電気ポートの間のフェーズの違いによって制御されます。

UPDの初期の応用は、超音波駆動原則を使用し、接触ゾーンに押付けられたいかなるボディーの相対運動を発生させるものです。

他のアプリケーションは超音波溶接など、超音波の工業用途に関連します。

2つのコンタクトゾーンか 1つのコンタクトゾーンかの機械的な構成を選ぶことによって、いくつかのUPDをアレンジすることができます。更に詳細な内容をお知りになりたい方は、セドラットテクノロジー社にお問い合わせ下さい。

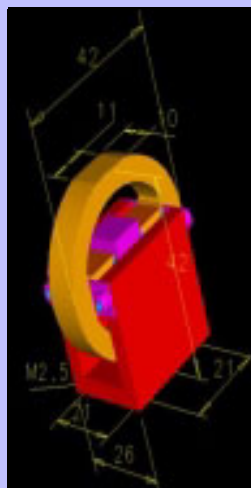


図7.3: UPD20アクチュエータの寸法

References	Unit	UPD20	UPD60
Notes		-	preliminary data
Height (normal direction of the contact face)	mm	42.0	13.5
Normal vibration displacement	μm (pk-pk)	3.0	1.5
Tangential vibration displacement	μm (pk-pk)	3.0	1.5
Tangential vibrating speed	mm/s	200	200
Operating frequencies	kHz	22.50	57.00
Voltage max.	Vrms	10.0	8.0
Electrical power (per electrical port)	W	12.0	1.5
Width	mm	26.0	10.0
Length (tangential direction of the contact face)	mm	42.0	16.0
Mass	g	80.0	6.0
Capacitance (per electrical port)	μF	2.20	0.30
Contact interfaces		Flat surface 10*10 mm ²	Flat surface 5*5 mm ²
Electrical interfaces		4 PTFE insulated AWG26 wires 300 mm long with sub D9 connector	4 PTFE insulated AWG26 wires 300 mm long with sub D9 connector

表7.2: UPDアクチュエータの特性



図7.4: UPD20アクチュエータ

このリーフレットに記載の技術資料は予告なしに変更することがあります。

7.3 リニアピエゾモータ LPM20-3

リニアピエゾモーター LPM20-3は、UPD20ユニットをベースに弾性誘導を使用し、潤滑油を使わず超高真空環境に適するようにしています。要求に応じて、より大きなストロークの製品も製作可能です。

References	Unit	LPM20-3
Notes		-
Height (normal direction of the contact face)	mm	80.0
Normal vibration displacement	μm (pk-pk)	3.00
Operating frequencies	kHz	22.50
Voltage max.	Vrms	10.0
Electrical power (per electrical port)	W	12.0
Width	mm	80.0
Length (tangential direction of the contact face)	mm	66.0
Mass	g	350.0
Capacitance (per electrical port)	μF	2.10
Stroke	mm	3.0
Standstill force	N	50.0
Maximal driving force	N	20.0
No - load speed	mm/s	100.0
Lifetime	number of strokes	500 000
Electrical interfaces		4 PTFE insulated AWG26 wires 300 mm long with sub D9 connector

表7.3: LPMアクチュエータの特性

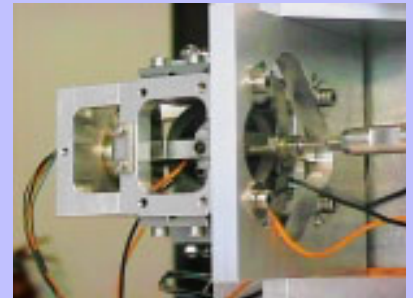


図7.6: LPM20-3リニアピエゾモータ

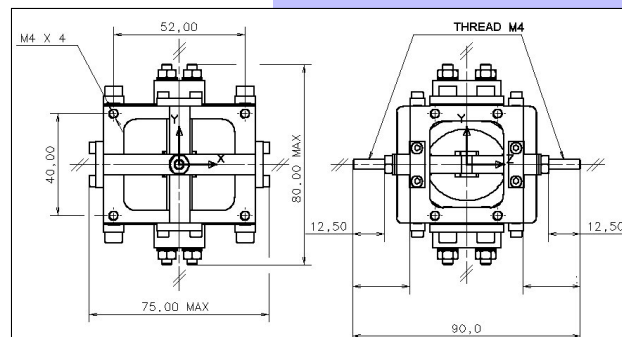


図7.5: LPM20-3 モータの寸法

このリーフレットに記載の技術資料は予告なしに変更することがあります。

8. ピエゾアクチュエータのエレクトロニクス 選択ガイド

8.1 選択ガイド

8.1.1 序論

APA、DPAまたはPPAアクチュエータのドライビング電子回路として、19インチPCボードで構成する75ファミリーを取り揃えています。従って、19インチラックで多用途のシステムをアレンジすることが出来ます。少なくとも以下のユニットが必要です。

- ◆ 安定化高電圧DCを得るためのAC/DCもしくはDC/DCコンバータ
- ◆ 一般に -20V～+180Vの圧電性のピエゾエレクトリックアクチュエータをドライブするアンプ。

高精度位置決めが必要であるならば、クローズドループを使用する必要があるかもしれません。

- ◆ ポジションセンサとその電子回路。
- ◆ クローズドループのコントローラ。

Model serie	Unit	LC75	FB75	LA75	SP75	SA75	SG75	Customer sensor	SC75
Notes									
Function		Bipolar AC/DC linear converter	Bipolar DC / DC flyback converter	Linear amplifier	Switching power	Switching amplifier	Strain gauges conditioner	Position sensor conditioner	Servo controller
Input voltage	V	220 / 240 VAC [e]	220 / 240 VAC - 24 VDC [e,g]	-20 / 180 VDC [a,b,f]	0 / 180 VDC [a,d,f]	0 / 180 VDC [a,d,f]	-15 / 15 VDC [f]	-15 / 15 VDC [f]	-15/15 VDC [f]
Output voltage	V	-20 / 180	-20 / 180	-20 ... 180	0 / 180	0 ... 180	-10 ... 10	-10 ... 10	-10 ... 10
Channel				1 to 3	1	1	1 to 3		1 to 3 per amplifier card
Page		62	62	63	64	65	66	-	67

表8.1: 75シリーズ ドライビングエレクトロニクスサブシステムの互換性

[a]	May be limited by a high frequency excitation.
[b]	May be limited if several channels are used.
[c]	Adjustable at the factory.
[d]	May be limited by the power supply.
[e]	110 VAC on request.
[f]	Need a DC/DC or a AC/DC converter.
[g]	Flyback converter can equally start from AC or DC voltage.
[h]	Per channel.
[i]	On 0.7 μ F.
[j]	Other possible voltage range

このリーフレットに記載の技術資料は予告なしに変更することがあります。

8.1.2 ラック寸法

標準の2種類の19インチラックがあり、19インチカードを組み合わせてカスタム仕様が構成できます。

References	Unit	RK42F	RK84F
Notes			
Weight [*]	kg	2	3
Width	mm	213	426
Height	mm	160	160
Thickness	mm	190	190
[*] transformers included, cards not included			

表8.2: ラック仕様

8.1.3 接続

ピエゾアクチュエータの接続に使用される標準の高圧線は、LEMO FFA.00.250.CTAC28コネクタによって終端されています。ピエゾアクチュエータ側には、φ1バナナプラグが付いています。特注のアプリケーション・環境での用途には、要求に応じてそれらを変更いたします。

APA アクチュエータで使われる歪みゲージケーブルは、フレック接続と 1mmのCMS幅のコネクタを使用します。

8.1.4 標準の構成

最も一般的な構成は：

- ◆ LC75A AC/DCコンバータ
- ◆ LA75A-1リニア増幅器

またクローズドループアプリケーションが必要な場合の一般的な構成は：

- ◆ SG75ストレインゲージコンディショナー
- ◆ LA75A-1リニア増幅器にプラグインすることの出来るSC75サーボコントローラ



図8.1: ストレインゲージ
センサケーブル



図8.2: LA75アンプ用ラックRK42Fの概観



図8.3: APAアクチュエータ駆動用
標準同軸ケーブルRG178B/U



図8.4: AC/DCコンバータLC75A
の概観

8.2 75シリーズAC/DC・DC/DCコンバータ

75シリーズのAC/DCまたはDC/DCコンバータは、リニア増幅器に安定なDC電圧を供給する目的で設計されています。AC/DCコンバータは、一次入力電源としてライン電源を使用します。DC/DCコンバータは、例えば、バッテリー等の低電圧DCソースを使用する場合使います。LC75A AC/DCコンバータは、一般的な標準構成で使用されます。LC75Bコンバータは、インパルスアプリケーション等、より高いピーク電流能力を必要とする場合に使用出来ます。

FB75Aカードは、軽量にもかかわらず大出力パワーを供給することが出来るスイッチング方式のDC/DCコンバータです。セレクトにより、入力ソース、220/240VAC交流電圧、24VDC電圧を選択することが出来ます。

References	Unit	LC75A	LC75B	FB75A	FB75B
Notes		-	-	Preliminary data	Preliminary data
Function		Bipolar AC/DC linear converter	Bipolar AC/DC linear converter	Bipolar DC/DC flyback converter	Bipolar DC/DC flyback converter
Main voltage [e]	VAC	220 / 240	220 / 240	24VDC or 110/240	24VDC or 110/240
Main frequency	Hz	50 / 60	50 / 60	0 or 50 / 60	0 or 50 / 60
Output voltage [j]	VDC	-20 / 180	-20 / 180	-20 / 150	-20 / 150
Maximal current (peak)	A	0.1	0.6	0.4	0.6
Maximal current (continuous)	A	0.1	0.3	0.2	0.4
Maximal output power (peak)	VA	50	70	70	130
Maximal output power (continuous)	VA	15	45	50	100
Rear interface		DIN41612 + HE15 Male	DIN41612 + HE15 Male	DIN41612 + HE15 Male	DIN41612 + HE15 male
Weight	kg	0.25	0.25	-	-
Dimensions	mm	12F wide, 3H high	12F wide, 3H high	12F wide, 3H high	12F wide, 3H high

表8.3: 75シリーズ AD/DC・DC/DCコンバータ特性

- [a] May be limited by a high frequency excitation.
- [b] May be limited if several channels are used.
- [c] Adjustable at the factory.
- [d] May be limited by the power supply.
- [e] 110 VAC on request.
- [f] Need a DC/DC or a AC/DC converter.
- [g] Flyback converter can equally start from AC or DC voltage.
- [h] Per channel.
- [i] On 0.7 μ F.
- [j] Other possible voltage range

このリーフレットに記載の技術資料は予告なしに変更することがあります。

8.3 LA75 リニアアンプ

LA75シリーズリニア増幅器は、 piezoアクチュエータをドライブするための最も簡単な解決策を提供いたします。LA75リニア増幅器は、低雑音で piezoアクチュエータのような容量性負荷をドライブするように設計されます。LA75A-xは、19インチのカードに収納される小型アンプで、最大3個の独立したチャンネルを持つことができます。それは、出力電圧-20~180Vの範囲にまで増幅し駆動することが出来ます。LA75B-xは大きな電流能力があり、特にインパルスアプリケーション等に向いています。



図8.5: AC/DCコンバータLC75Aの概観

References	Unit	LA75A-x	LA75B-x
Notes		<i>x : number of channel</i>	<i>preliminary data</i>
Function		Linear amplifier	Linear amplifier
Main voltage [j]	VDC	-20 / 180	-20 / 180
Output voltage [j]	V	-20 ... 180	-20 ... 180
Maximal current (peak) [a,b]	A	0.04	0.4
Maximal current (continuous) [a,b,d]	A	0.035	0.3
Maximal output power (peak) [a,b]	VA	50	250
Maximal output power (continuous) [a,b,d]	VA	16	80
Max. output load capacitance	μF	40	40
Control input voltage	V	-1 ... 9	-1 ... 9
Noise / signal ratio [c]	%	0.01	0.1
Output bandwidth	Hz	100	300
DC offset setting		10 turn potentiometer	10 turn potentiometer
PZT connector		LEMO ERN.00.250.CTL	LEMO ERN.00.250.CTL
External Control Input		BNC / 50 Ohms	BNC / 50 Ohms
Input impedance		100 kOhms	100 kOhms
Rear interface		DIN 41612 FormeC 64/96	DIN 41612 FormeC 64/96
Weight	kg	0.2	0.25
Dimensions	mm	10F wide, 3H high	10F wide, 3H high

表8.4: AC/DC・DC/DCコンバータの特性

[a]	May be limited by a high frequency excitation.
[b]	May be limited if several channels are used.
[c]	Adjustable at the factory.
[d]	May be limited by the power supply.
[e]	110 VAC on request.
[f]	Need a DC/DC or a AC/DC converter.
[g]	Flyback converter can equally start from AC or DC voltage.
[h]	Per channel.
[i]	On 0.7 μF .
[u]	Other possible voltage range

このリーフレットに記載の技術資料は予告なしに変更することがあります。

8.4 SP75スイッチング電源

SP75スイッチング電源は、75ラックファミリーとコンパチブルで、ピエゾアクチュエータのON/OFF駆動を行い、高速動作が出来るようするように設計されます。

スイッチング技術は、インパルスアプリケーション等で必要とする、大きいピーク電流が可能になります。スイッチングのドライバは、2つの状態のみ可能で：

- ◆ OFFは、リセット状態 (0Volt)
- ◆ ON状態 (180Volt DC)

この2つの状態は TTL信号によって制御されます。ピエゾアクチュエータのオーバシュートは、何回かの修正動作の後減少し、調整されます。

References	Unit	SP75A
Notes		preliminary data
Function		Switching power
Main voltage	VDC	0 / 180
Output voltage	V	0 / 180
Maximal current (peak) [a]	A	1
Maximal output power (peak) [a]	VA	-
Max. output load capacitance	μF	40
Control input voltage	V	TTL signal
Noise / signal ratio [c]	%	-
Output bandwidth	Hz	-
PZT connector		LEMO ERN.00.250.CTL
External Control Input		BNC / 50 Ohms
Input impedance		100 kOhms
Rear Interface		Din 41612 FormeC 64/96
Weight	kg	-
Dimensions	mm	10F wide, 3H high

表 8.5: SP75スイッチング電源特性

[a]	May be limited by a high frequency excitation.
[b]	May be limited if several channels are used.
[c]	Adjustable at the factory.
[d]	May be limited by the power supply.
[e]	110 VAC on request.
[f]	Need a DC/DC or a AC/DC converter.
[g]	Flyback converter can equally start from AC or DC voltage.
[h]	Per channel.
[i]	On 0.7 μF .
[ii]	Other possible voltage range

このリーフレットに記載の技術資料は予告なしに変更することがあります。

8.5 SA75スイッチングアンプ

A75スイッチングアンプは、75ラックファミリーとコンパクトに設計されています。スイッチング技術は、インパルスアプリケーションで要求される大きなピーク電流を可能にしています。スイッチング電源とは異なり、スイッチングアンプは 0~180Vの電圧範囲を発生することが出来位置決め等の使用することが出来ます。

References	Unit	SA75A
Notes		<i>preliminary data</i>
Function		Switching amplifier
Main voltage	VDC	0 / 180
Output voltage	V	0 ... 180
Maximal current (peak)	A	-
Maximal current (continuous)	A	-
Maximal output power (peak)	VA	-
Maximal output power (continuous)	VA	-
Max. output load capacitance	μF	40
Control input voltage	V	0 ... 9
Noise / signal ratio	%	1
Output bandwidth	Hz	-
DC offset setting		10 turn potentiometer
PZT connector		LEMO ERN.00.250.CTL
External Control Input		BNC / 50 Ohms
Input impedance		100 kOhms
Rear Interface		DIN 41612 FormeC 64/96
Weight	kg	-
Dimensions	mm	10F wide, 3H high

表8.6: SA75スイッチングアンプの特性

このリーフレットに記載の技術資料は予告なしに変更することがあります。



図8.6: SG75-1カードの概観

8.6 SG75 ストレインゲージコンディショナー

SG75 ストレインゲージコンディショナーは、19インチカードに収納され、最大3個の独立したチャンネルを構成することが出来ます。通常コンディショナーは、フルストレインゲージブリッジを接続します。

一般的に、それぞれのチャンネルのゲインはピエゾアクチュエータに接着された個々のストレインゲージブリッジにより設定されます。

References	Unit	SG75-x
Notes		x : number of channel
Function		Strain Gauges conditioner
Input voltage	VDC	-15 / 15
Output voltage	V	-10 ... 10
Noise / signal ratio	%	0.1
Output bandwidth [c]	Hz	2000
DC offset setting		10 turn potentiometer
External Sensor connector		LEMO EGG.00.304CLL
External Control Input		BNC / 50 Ohms
Rear Interface		DIN 41612 FormeC 64/96
Weight	kg	0.15
Dimensions	mm	6F wide, 3H high

図8.7: SG75 ストレインゲージコンディショナーの特性

[a]	May be limited by a high frequency excitation.
[b]	May be limited if several channels are used.
[c]	Adjustable at the factory.
[d]	May be limited by the power supply.
[e]	110 VAC on request.
[f]	Need a DC/DC or a AC/DC converter.
[g]	Flyback converter can equally start from AC or DC voltage.
[h]	Per channel.
[i]	On 0.7 μ F.
[u]	Other possible voltage range

このリーフレットに記載の技術資料は予告なしに変更することがあります。

8.7 SC75サーボコントローラ

SC75サーボコントローラは小型のPCカードで、それをアンプカードに挿入することが出来ます。LA75カード一枚当たり最大3つのSC75コントローラカードを使用することが出来ます。

コントローラは近接して配置されているが、各々の回路は独立しています。しかしながら、アクチュエータとポジションセンサを使って、外部のコントローラを使用することで、より複雑なクローズドループを構成することが出来ます。

SC75コントローラには、PIDコントローラと 2つのフィルタ回路があり、ノッチフィルタ・ローパスフィルタを構成することが出来ます。

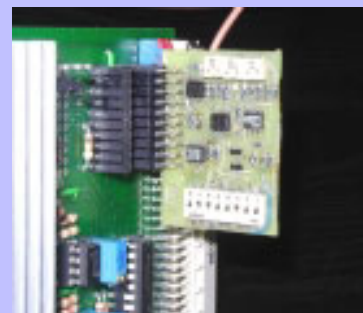


図8.7: SC75カードの概観

References	Unit	SC75
Notes		-
Function		Servo controller
Input voltage	VDC	-15 / 15
Output voltage	V	-10 ... 10
Signal / noise ratio	%	0.05
Output bandwidth [c]	Hz	2000
Rear Interface		Plugged onto a LA75 or a SA75 card
Weight	kg	0.075
Dimensions	mm	-

表8.8: SC75 サーボコントローラの特徴

[a]	May be limited by a high frequency excitation.
[b]	May be limited if several channels are used.
[c]	Adjustable at the factory.
[d]	May be limited by the power supply.
[e]	110 VAC on request.
[f]	Need a DC/DC or a AC/DC converter.
[g]	Flyback converter can equally start from AC or DC voltage.
[h]	Per channel.
[i]	On 0.7 μ F.
[j]	Other possible voltage range

このリーフレットに記載の技術資料は予告なしに変更することがあります。

9. ピエゾトランスデューサとモータの エレクトロニクス選択ガイド

9.1 選択ガイド

9.1.1 序論

超音波ピエゾアクチュエータ (UPA) の駆動エレクトロニクス (UPA)、リニアピエゾモータ (LPM) および回転ピエゾモータ (RPM) で使用される超音波ピエゾドライブ (UPD) は、19 インチ P C カードの 100 シリーズを取り揃えています。したがって、19 インチラックを元に自由度の高いシステムを構築出来、少なくとも以下の構成：

- ◆ 安定化電源の供給に必要な AC/DC ・ DC/DC コンバータ。
- ◆ 共振周波数近くでピエゾエレクトリック共振器を駆動するインバータ。

この電源は特に、セドラット社の低電圧共振型アクチュエータの技術に適合いたします。したがって 2 チャンネル出力レベルで作動し、位相を制御することが可能です。これらのチャンネルは 2 つのインバータで構成され、その周波数は外部設定することが出来、または自動的に共振周波数にチューニングします。

この電源は、容量性変位センサ (FOGALE.Nanotech) ・ LVDT (Sensorex) のセンサ電子回路を含むことが出来ます。

Model serie	Unit	LC100	FB100	US100	Customer sensor
Function		Bipolar AC/DC linear converter	Bipolar DC / DC flyback converter	Double ultrasonic inverter	Position sensor conditioner
Input voltage	V	220 / 240 VAC [e]	220 / 240 VAC or 24 VDC [e,g]	0 / 30 VDC [f]	-15 / 15 VDC [f]
Output voltage	V	0 / 30 VDC	0 / 30 VDC	0 ... 30 VAC	-10 ... 10
Channel				2 phase shift controlled	
Page		70	70	71	-

図9.1: 100シリーズドライビングエレクトロニクスのサブシステム互換性

[a]	May be limited by a high frequency excitation.
[b]	May be limited if several channels are used.
[c]	Adjustable at the factory.
[d]	May be limited by the power supply.
[e]	110 VAC on request.
[f]	Need a DC/DC or a AC/DC converter.
[g]	Flyback converter can equally start from AC or DC voltage.
[h]	Per channel.
[i]	On 0.7 μ F.
[j]	Other possible voltage range

このリーフレットに記載の技術資料は予告なしに変更することがあります。

9.1.2 ラック寸法

19インチPCカードを収納し、個別仕様の駆動ユニットを構成する2種類のラックを用意しています。

References	Unit	RK42F	RK84F
Notes			
Weight [*]	kg	2	3
Width	mm	213	426
Height	mm	160	160
Thickness	mm	190	190
[*] transformers included, cards not included			

表9.1: ラック仕様

9.1.3 接続

ピエゾ共振器をドライブするケーブルには、Sub-D9コネクタを使用しています。特定のアプリケーション、環境に適合するための変更に応じます。



図9.2: LC100Bカードの概観

9.2 100 シリーズAC/DC・DC/DCコンバータ

100シリーズのAC/DCおよびDC/DCコンバータは、超音波インバータ回路で必要としている、安定したDC電圧を供給するように設計されます。AC/DCコンバータは、一次入力電源としてライン電源を使用します。DC/DCコンバータは、例えば、バッテリー等の低電圧DCソースを使用する場合使います。LC100B AC/DCコンバータは標準の構成で使用されます。

References	Unit	LC100B	FB100B
Notes		-	Preliminary data
Function		Unipolar AC/DC linear converter	Unipolar DC/DC flyback converter
Main voltage [e.g]	VAC	220 / 240	24 VDC or 220 / 240
Main frequency	Hz	50 / 60	0 or 50 / 60
Output voltage	V	0 ... 30	0 / 30
Maximal current (peak)	A	2	-
Maximal current (continuous)	A	1	-
Maximal output power (peak)	VA	30	-
Maximal output power (continuous)	VA	25	-
Control output voltage		1 turn potentiometer	-
Rear interface		DIN 41612 FormeC 64/96	DIN 41612 Forme C 64/96
Weight	kg	0.2	-
Dimensions	mm	10F wide, 3H high	12F wide, 3H high

表9.2: 100 AC/DC・DC/DCコンバータの特性

[a]	May be limited by a high frequency excitation.
[b]	May be limited if several channels are used.
[c]	Adjustable at the factory.
[d]	May be limited by the power supply.
[e]	110 VAC on request.
[f]	Need a DC/DC or a AC/DC converter.
[g]	Flyback converter can equally start from AC or DC voltage.
[h]	Per channel.
[i]	On 0.7 μ F.
[ii]	Other possible voltage range

このリーフレットに記載の技術資料は予告なしに変更することがあります。

9.3 US100 超音波インバータ

超音波インバータは、100ファミリーとコンパチブルになるように設計されて、特にセドラット社の低電圧共振アクチュエータの技術に適合いたします。したがって出力チャンネルは2チャンネルあり、2チャンネルとも同じ周波数、同じ出力レベルで作動し、位相を制御することが可能です。これらのチャンネルは2つのインバータで、その周波数は外部から、または10回転ポテンショメータにて内部で設定することが出来ます。



図9.3: US100Bカードの概観

References	Unit	US100B
Notes		-
Function [f]		Double ultrasonic inverter
Main voltage	V	0 / 30
Output voltage	Vrms	10
Maximal current (peak) [h]	Arms	2
Maximal current (continuous) [h]	Arms	1
Maximal output power (peak) [d] [h]	VA	45
Maximal output power (continuous) [d] [h]	VA	30
Output load capacitance	μF	3
Output bandwidth [c]	Hz	15k - 60k
Phase shift range	°	0 - 180
Frequency offset setting		10 turn potentiometer
PZT connector		Sub D9
External Control Input		BNC / 50 Ohms
Rear interface		DIN 41612 FormeC 64/96
Weight	kg	0.25
Dimensions	mm	0

表9.3: US100の超音波インバータの特性

[a]	May be limited by a high frequency excitation.
[b]	May be limited if several channels are used.
[c]	Adjustable at the factory.
[d]	May be limited by the power supply.
[e]	110 VAC on request.
[f]	Need a DC/DC or a AC/DC converter.
[g]	Flyback converter can equally start from AC or DC voltage.
[h]	Per channel.
[i]	On 0.7 μF .
[j]	Other possible voltage range

このリーフレットに記載の技術資料は予告なしに変更することがあります。

10. ピエゾアクチュエータを使ったメカニズム

10.1 序論

標準のピエゾアクチュエータから始め、自由度の高い制御を目的として、いくつかのメカニズムが設計されました。

自由度の高いメカニズムを設計するためには、基本的にすべてのAPAシリーズを使用することが出来ます。これらのメカニズムは、位置検出センサ(ストレーンゲージ、静電容量センサ)を組み込むことによって、クローズドループを構成しています。

- ◆ XY: XYステージ
- ◆ TT: チップチルトZ - Θ X

Actuator serie	Mechanism	Sensor option
APA S	XY, TT	SG
APA M	XY	SG, CS

表10.1: ピエゾメカニズムの選択肢

Please send your requirements to CEDRAT TECHNOLOGIES.

10.2 ピエゾ駆動X-Yステージ

ピエゾ駆動ステージXY200Mは、XとY軸方向に 200 μm のストロークを持ち、しかも大きな負荷、最大 3kgに堪えることが出来ます。アプリケーションは、自動焦点、電子顕微鏡のスキャンニング、マスク位置決め等です。このステージは、APA200M アクチュエータをベースにしている、高い硬度があります。このステージは、ストレインゲージまたは静電容量変位センサ (CS はオプション)を組み込んでいて、10nmまでの精度が得られます。X、Y、およびZ軸に沿った寄生回転を非常に小さく押さえることが出来ます。可動フレームのアタッチメント、取り付け穴等は特注に応じます。

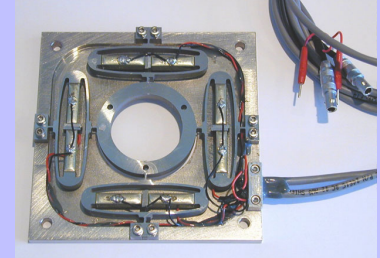


図10.1: XY200Mステージの概観

References	Unit	XY25XS	XY200M
Notes		-	-
Sensors option		SG	SG, CS
Max. No-load displacement	μm	15	200
Out of plane Z displacement	μm	0.50	1.00
Max. parasitic Z rotation	μrad	330	10
Max. parasitic X Y rotations	μrad	5	50
Voltage range	V	-20 ... 180	-20 ... 180
Stiffness	N/ μm	1.50	0.40
Height	mm	5.0	13.0
Dimensions	mm	$\varnothing 29$	100 *100
Resolution	nm	1.5	20.0
Mass	g	20	180
Unloaded resonance frequency (in the actuation's direction)	Hz	14000	500
Response time	ms	0.05	1.40
Capacitance (per electrical port)	μF	0.25	6.30
Mechanical interfaces (payload)		1 $\varnothing 5$ mm hole	3 $\varnothing 2,7$ mm holes on [] 38
Mechanical interfaces (frame)		4 $\varnothing 2$ mm on [] 18	4 $\varnothing 4,5$ mm holes on [] 84
Electrical interfaces		4 PTFE insulated AWG30 wires 100 mm long	2 coaxial RG178B/U cables

表10.2: XYステージの特性

他のステージ XS、S、SM、M、ML、および L の APAシリーズをベースにした製品も製作いたします。



図10.2: XY25XSステージの概観

このリーフレットに記載の技術資料は予告なしに変更することがあります。



図10.3: チップチルト TT50S

10.3 チップチルト Θ X-Z

チップ-傾斜アクチュエータZ- Θ Xは、2APA50Sアクチュエータをベースにし、2つの動きを発生することができます：

- ◆ 2つのアクチュエータを同時に作動した場合、Z軸運動(チップ)になり、50 μm まで上昇します。
- ◆ 2つのアクチュエータを正反対に作動させた場合、 Θ X運動(傾斜)は $\pm 0.5^\circ$ まで傾斜運動します。

チップ-傾斜メカニズムは、ピエゾアクチュエータのヒステリシスを取り除くために、ストレインゲージをを備えたアクチュエータをベースにしています。

傾斜運動だけが必要であるならば、75ファミリードライバーのプッシュ/プルモードを使用し、1個のチャンネルだけで実現できます。

References	Unit	TT50S
Notes		-
Sensors option		SG
Max. No-load displacement	μm	52.0
Angular displacement	mrad	+ / - 8.7
Out of plane Y displacement	μm	25.0
Voltage range	V	-20 ... 180
Stiffness	N/ μm	2.0
Height	mm	18.0
Width	mm	13.0
Length	mm	25.0
Resolution	nm	5.2
Mass	g	13
Unloaded resonance frequency (in the actuation's direction)	Hz	1800
Response time	ms	0.39
Capacitance (per electrical port)	μF	1.00
Mechanical interfaces (payload)		Flat surface 5*8 mm ²
Mechanical interfaces (frame)		2 M2 threaded holes
Electrical interfaces		4 PTFE insulated AWG30 wires 100 mm long

表10.3: チップチルトシステムの特徴

XS、S、SM、M、ML、およびLのAPAシリーズをベースにした他のチップチルトシステム 製品も製作いたします。

このリーフレットに記載の技術資料は予告なしに変更することがあります。

LEGAL NOTICE

セドラットテクノロジー社は、このカタログに記載するすべての情報の精度を確実にするあらゆる努力をするが、情報は不完全であるかもしれませんし、技術的に不正確であるか、誤字を含むかもしれません。従って提供される情報は、セドラットテクノロジー社によっていつでも予告なしに修正されるか、または変更されるかも知れません。

セドラットテクノロジー社は、いつでも予告なしに製品あるいはサービスへの変更、改良を行うかも知れません。セドラットテクノロジー社は、このカタログに記載されたどんな情報、不正確性または省略がもたらすすべての責任を放棄します。セドラットテクノロジー社は、前述の情報に基づいて取られるどんな決定に対しても責任を負いません。

All rights reserved © Copyright September 2001 - CEDRAT TECHNOLOGIES SA - Meylan, France.

このカタログでセドラットテクノロジー社によって発表された情報、例えばテキスト、絵、ダイアグラム等の借用と使用は、唯一個人的、そして私用目的のためのみ認可いたします。

WORLD WIDE REPRESENTATION

ADAPTRONICS, Inc.

1223 Peoples Avenue
TROY NY 12180
USA
Contact: Mr. Philippe BOUCHILLOUX
Phone : +1 518 276-2484
Fax : +1 518 271 8366
Email : pb@adaptronics.com
URL : www.adaptronics.com

SI SCIENTIFIC INSTRUMENTS GmbH

Romerstr. 67
82205 GILCHING
GERMANY
Contact: Mr. Michael DREHER
Phone: +49 8105 77940
Fax : +49 8105 5577
Email : info@SI-GmbH.de
URL : www.si-gmbh.de

MAXSOFT

25/58-3, "Savitha"
Thottungal, Palakkad
KERALA 678014
INDIA
Contact: Mr. G. RAJEEV
Phone: +91 491 525 525
Fax: +91 491 525 785
Email: info@maxsoft-india.com
URL: www.maxsoft-india.com

SPIN APPLICAZIONI MAGNETICHE S.r.l.

Via Prato Grande 2/1
29010 NIBBIANO (PC)
ITALY
Contact: Mr. Alessandro TASSI
Phone: +39 0 523 99 30 32
Fax: +39 0 523 99 34 77
Email: info@spinmag.it
URL: www.spinmag.it

MICROMEGA DYNAMICS SA.

Parc Scientifique du Sart Tilman
Rue des Chasseurs Ardennais
4031 ANGLEUR
BELGIQUE
Contact: Mr. Nicolas LOIX
Phone: +32 4 365 23 63
Fax: +32 4 365 23 46
Email: Nloix@micromega-dynamics.com
URL: www.Micromega-dynamics.com

PROJECT USLUGI INFORMATYCZNZ

ul. Namysłowska 19 m.35,
03-455 W-WARSZANA
POLAND
Contact: Mr. Waldemar TRUSZKOWSKI
Phone: +48 22 818 4221
Fax: +48 22 826 98 15
Email: biuro@pcproject.com.pl