

## PIEZO ACTUATOR DRIVE

**PAD** (Piezoelectric Actuator Drive)

は、高性能な多層ピエゾアクチュエータの直線的な動きを、強力かつ正確に制御可能な回転運動に変えるドライブ技術です。

### PAD の利点

- 高精度
- 高い動特性
- システムの簡素化
- 計測技術
- 電磁干渉なし

## はじめに

シーメンス社は、2000年～2008年に掛けて、PAD技術の開発に着手しました。しかし、その技術を製品化するためには、ピエゾ技術の分野で広範囲にわたる知識を持ったパートナーが必要でした。ノリアック社は、2010年にPAD技術を得る機会を与えられました。この機会に、20以上の特許、整えられた実験室、PADプロトタイプ、デモンストレーター、およびトレーニングを得る事が出来ました。

それ以降、技術を習得したノリアック技術者によって特定の産業用にPADドライブをカスタマイズし、最適化に努めて参りました。



## 顕著な改善

多くの改善がなされる中で、ノリアック社は、伝達効率を向上させ、部品点数を29個から19個に減らし、組立を容易にした特別なピエゾベンダーを開発しました。また、この設計で、より小型で、円筒形の動的部品に適合させることが可能となります。これによって、市場において現存するモーターを交換することを容易にします。

さらに、マイクロウーシングという新しい形状は、性能の最適化を狙い設計されたものです。

## 電磁モーター限界の克服

産業、医学、そして、ロボットの応用分野では、反力を感じながら制御できる、強力、正確かつ小型の電動機はますます重要になっています。

要求が益々複雑になり、エンコーダ、ギアボックス、センサ、エレクトロニクス、そしてメンテナンスのハイレベルな統合が必須であるメカニカルシステムソリューションが強く求められます。

これらの増加する関心事は、スマート・センサ/アクチュエータの特性を利用することによって、従来の電磁モータードライブの限界のいくつかを克服できる、ピエゾドライブに向けられています。

さらに、直動式であるため一般的に必要とされるギアボックスを必要としません。

このように、重さ、サイズ、複雑なシステムを劇的に減少させることができます。

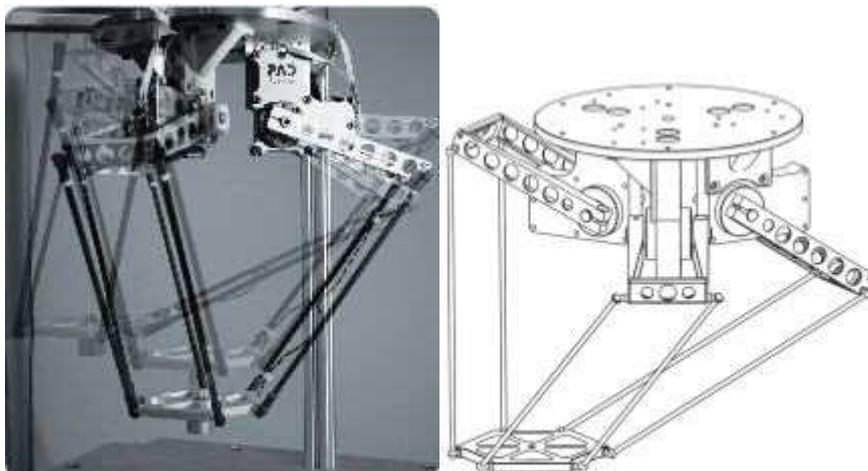
## オープンループでも同期できる

PAD がオープンループ制御であるとき、ロボットのアプリケーションに完全に同期した連動が可能です。

これに関連し、能力が立証されるように、デルタ-3 ロボットを設計しました。

一般的な FPGA は、3 つの全てのモーターの同期をとりながら正確で効率的にパワーステージを制御します。

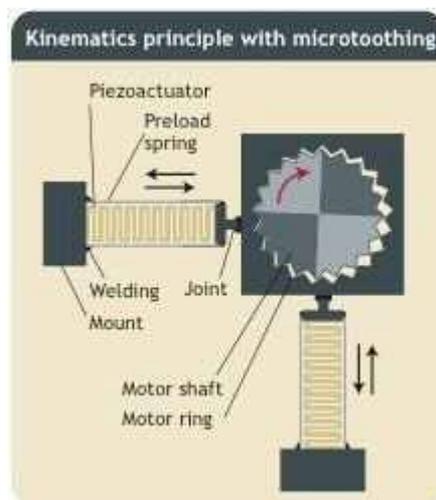
PAD を用いたデルタ-3 ロボットは、非常に高い分解能だけではなく、高精度な位置再現性も実現します。



## PAD 技術

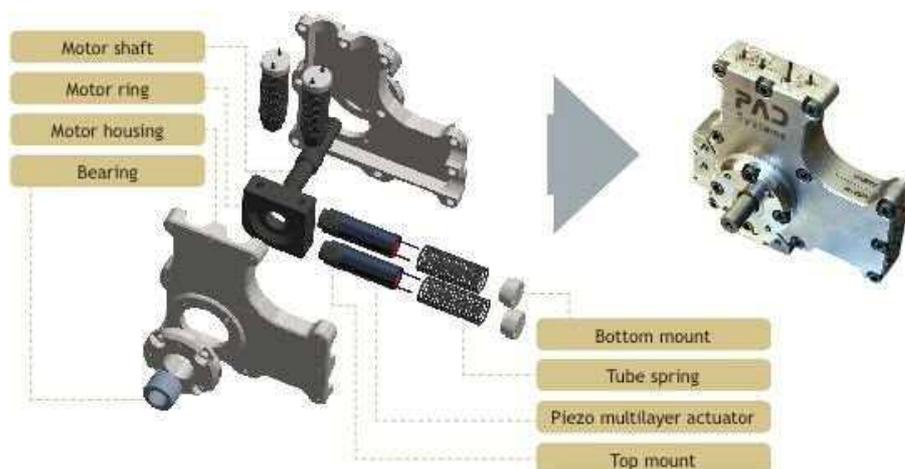
PAD 技術の原理は、強力な多層ピエゾアクチュエータの周期的な伸張をモーターシャフトの正確な回転に変換することを基礎としています。

PAD の性能をさらに向上させるために、モーターリングとモーターシャフトの間の新たに開発された微小機械式インタロックは、バックラッシュとスリップを避けると同時に、トルクと精度を向上させます。



内部構造は、リングの内径よりわずかに小さい直径のモーターシャフトをカバーしているモーターリングに直接取り付けられた 2 つの直交した多層ピエゾアクチュエータを平行に配置したものです。

革新的な設計により、PAD ドライブは、サーボで制御された駆動方式と比べて、数少ないコンポーネントを使用し、より簡単、コンパクトで信頼できる製品となっています。



# 特徴

ピエゾ素材と革新的な設計のピエゾアクチュエータドライブによって、精度、動的能力、トルクと荷重検出、および拡張性について多くの優位性を有しています。

さらに、Noliac の最先端多層ピエゾ素材と同様に、PAD は高い磁場、放射、真空及び高温等の厳しい条件下で動作できます。

## 精度

- ・ 位置決め精度と繰返し位置決め精度( $< 2$  arc seconds) エンコーダ・デコーダ無し
- ・ ギアボックス無し=バックラッシュ無し
- ・ オーバーシュート無し

## 動的性能

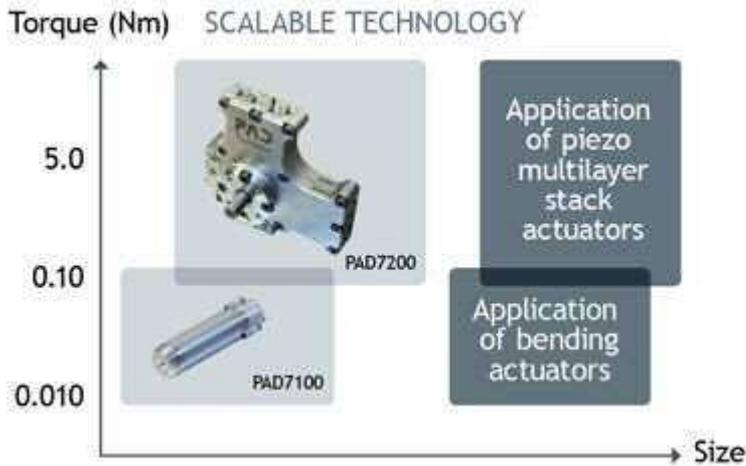
- ・ 低慣性のため、急加速・急減速(ブレーキ無し)が可能
- ・ 低速かつ高精度な動作が可能 (0 to 60 rpm)
- ・ 負荷に依存しない回転速度

## トルク/荷重センシング

- ・ スマートロードセンシング (トルクセンサー無し)
- ・ 高トルク (標準 5[N/m]、ギアボックス無し)
- ・ オーバーロードプロテクション

## 拡張性

- ・ スピード/トルク、パワーの拡張性
- ・ 複数 PAD の同期使用が可能



## その他

- ・ 停止状態では(負荷あり)、電力消費はゼロ
- ・ 高電磁界、放射線、超高真空でも機能に影響なし
- ・ 漂遊磁界なし

圧電効果は、アクチュエータとしての機能だけでなく、同時にセンサーとしての機能も併せ持っています。PAD は、リアルタイムトルク測定を高感度で実現します。これは、高密度なドライブシステムの設計に結びつきます。

運動学的な原則の適応性に優れるため、PAD 技術はサイズ、パワー、アクチュエータ数、材料、およびドライバーの数で拡張性があります。

## 既存のドライブシステムの限界と PAD 特性の比較

最先端ピエゾモーターは、不連続な動作原理に全て基づかれています。(共振か非共振)

アクチュエータの数ミクロンのその後の伸張で、ミクロの動きが達成されます。

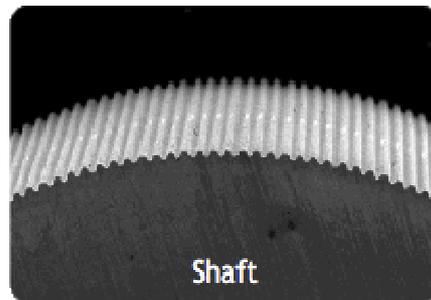
しかし、これら摩擦ベースの手法は、常に制限事項がスリップ、バックラッシュ、摩擦、そして制約のある信頼性によって限界があるためピエゾドライブ自身を制約する結果をもたらします。

モーター形式	問題点と制限事項	PAD 特性
DC/EC モーター	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 高い回転慣性力による低い動特性</li> <li>・ 殆どのアプリケーションで要求されるギアボックスは、バックラッシュを誘因</li> <li>・ 精密なギアボックスは、高価</li> <li>・ 位置情報無し</li> <li>・ モーターとギアボックスの軸合わせに技術要</li> <li>・ モーターの動作点は通常高効率となる領域から離れてしまう</li> <li>・ 多くのモーターは、サイズが大</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 低い回転慣性力により高い動特性</li> <li>・ ギアボックス無し = バックラッシュ無し</li> <li>・ オープンループ位置制御でも高分解能</li> <li>・ 軸合わせ不要</li> <li>・ 常に一定効率で運用できる</li> <li>・ 多くのアプリケーションで低い電力消費</li> </ul>
サーボ モーター	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 制限は、位置決めなしの DC/EC モーターと同じ</li> <li>・ 位置決め精度は、エンコーダの分解能に依存する</li> <li>・ 高温時エンコーダの精度は悪化する</li> <li>・ クローズドループの際、オーバーシュートあり</li> <li>・ 低速運転は、大変困難である</li> <li>・ 複雑なシステムは、故障に繋がる</li> <li>・ 比較的、低トルクである</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ オープンループで、高い分解能のコントロールが可能</li> <li>・ 精度は、温度に影響されない</li> <li>・ オーバーシュート無し</li> <li>・ 低速の運転が可能</li> <li>・ 運転中、スマート荷重センシングが可能</li> <li>・ システムは、簡単である</li> <li>・ 高いトルクが可能</li> </ul>
ステップ モーター	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 制限は、位置決めなしの DC/EC モーターと同じ</li> <li>・ 脱調は、位置情報を失う事に繋がる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ オーバーロードの際のみジャンプが発生する。</li> <li>・ ジャンプが生じて、位置情報は失なわれない</li> </ul>
ピエゾ モーター	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ エンコーダ無しに絶対位置は決定できない</li> <li>・ パワー(1 W)、トルク(1 Nm)に制限</li> <li>・ 荷重の計測はできない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 最大 パワー 20 W、トルク 20 Nm まで可能 (スマートロードセンシング可能)</li> </ul>
上記全て	特性は、温度と湿度に非常に影響を受けやすい	要求に対し最適化可能

## 信頼性と寿命

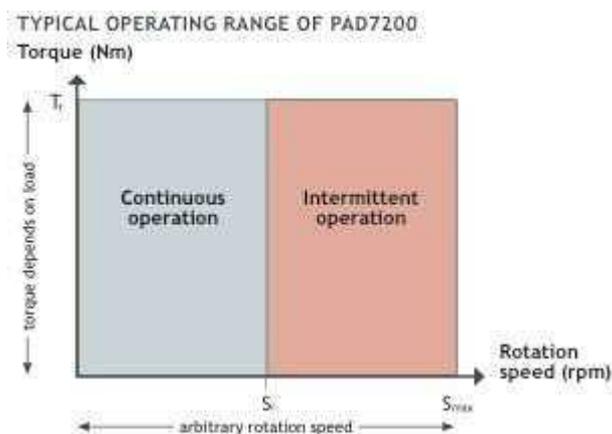
PAD モーターの内部発生力は比較的強く、弾性を減らし大変剛性を高くしなければいけないので、殆どのパーツは、むしろオーバーサイズで、既存の製品よりも長寿命である。

2つの最もクリティカルな部品は、アクチュエータと歯部である。しかし、プロトタイプのアクチュエータは、選択肢になることのないアプリケーションでしか起こらない様な、フルスピードで 3000 時間に対応するモーターは、特別に設計された試験台の上でテストされ、 $10^7$  回以上の負荷変動にかけられました。歯数の多さと、低い表面圧力のために、歯が欠ける様なことはありませんでした。



## 歯型仕様

- ・ モジュール (corresponds to diametral pitch):  $38 \mu\text{m}$
- ・ 深さ  $36 \mu\text{m}$
  
- ・ 材質 312 (shaft), 313 (ring)
- ・ スペーシング  $120 \mu\text{m}$
- ・ 長さ 6 mm



# PAD モデルナンバー

ノリアック社 PAD の種類は、お客様が要望される様々な性能、サイズ、設計仕様に基づいています。

モデル番号は次の様に表されます : PADVXYZ

V = 7. 社内で開発、生産拠点毎に付与される番号

X = PAD を示す

X=1 ベンディングピエゾアクチュエータ

X=2 多層ピエゾアクチュエータ

Y = 主要性能区分

PAD 仕様参照

Z = その他の違い

Z = 0 基本構成

Z = 1 ~ 9 拡張仕様

標準品に加えて、ノリアック社では、お客様のアプリケーションに適合するカスタマイズ製品もご提供致します。

例えば

- ・ 出力軸の仕様変更
- ・ メカニカルインターフェースの仕様変更
- ・ 電氣的仕様の変更
- ・ 許容差の変更

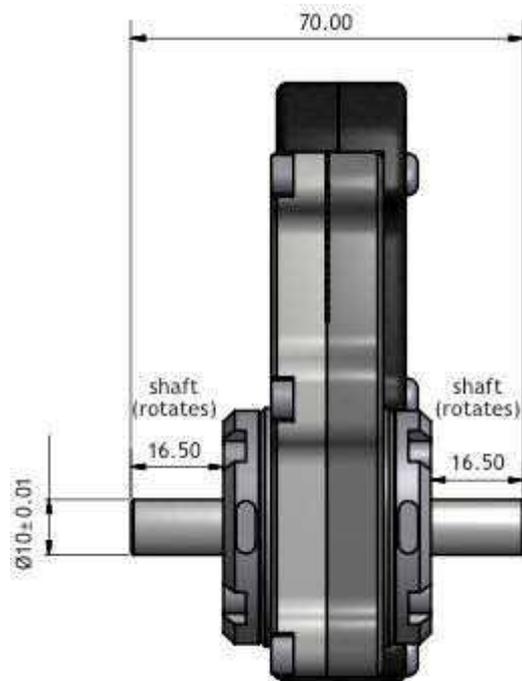
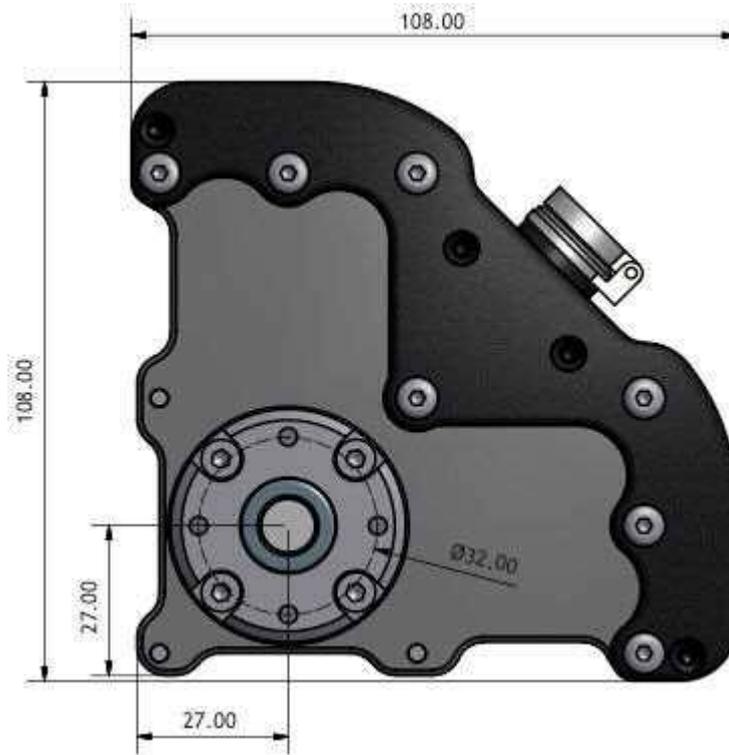
# PAD7220 仕様

PAD7220 は、最初にリリースされた PAD です。

諸 元	単位	PAD7220	許容差
メカニカルインターフェース - 詳細はこちら <a href="#">here (click)</a>			
Shaft diameter	mm	10	+/- 0.01 mm
Fixed interface	-	4 x M4	
Max. axial load	N	10	Max
Max. radial load	N	450	Max
Mass	g	865	Max
Shaft inertia	kg*mm <sup>2</sup>	0.423	Typ
運 用 条 件			
Maximum recommended voltage, $V_{max}$	V	200	Max
Minimum recommended voltage, $V_{min}$	V	-20	Min
Rotation per PAD cycle $\theta_c$	turns	1/320	
Acceleration time from 0 to rated speed	ms	0.1	Max
トルクスピード特性 (常温)			
Rated frequency $f_{nom}$	Hz	300	
Maximum recommended frequency, $f_{max}$ , short operation	Hz	1,800	
Rated torque $T_r$ (@ $V_{max}$ , $f_{nom}$ )	Nm	4	+/-2
Rated speed $S_r$ (@ $f_{nom}$ )	Rpm	56.25	
Max speed $S_{max}$ (@ $f_{max}$ )	Rpm	337.50	
電氣的インターフェース			
Capacitance C (1 $V_{rms}$ , 1kHz)	$\mu F$	3.5	+/-15%
Loss factor $\tan \delta$ (1 $V_{rms}$ , 1kHz)		2.4%	Max
Connector reference (LEMO)		EGG.2B.314.CLL	
内 部 構 造			
Number of actuators		4	
Housing material		X8CrNiS 18-9	
環 境 条 件			
Operating temperature range	° C	0 - 60	
Storage temperature range	° C	0 - 60	

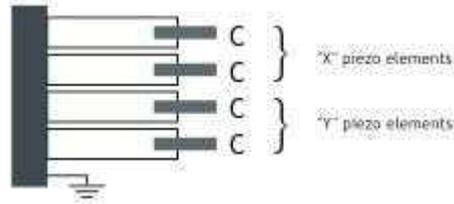
※データは、常温・静運動条件での値です。RoHS 適合品。

# PAD7220 外観



機械的インターフェース 単位[mm]

(オプションカバーを付けた状態)



## 電氣的インターフェース



## コネクタピン配列 (ケーブル側から見る)

Signal name	Description	Connector pin
"X1"	Voltage X1	10
"RefX1"	Voltage X1	9
"Y1"	Voltage Y1	4
"RefY1"	Voltage Y1	3
"X2"	Voltage X2	8
"RefX2"	Voltage X2	7
"Y2"	Voltage Y2	2
"RefY2"	Voltage Y2	1
Ground	Ground	5, 6
	Not connected	11 - 14

## PAD7220 ピンアサイン



## 一般的な運用状態の位相波形

(X1 = X2 と Y1 = Y2 は、 $\pm 90^\circ$  の位相差であること)

# ドライバー モデルナンバー

ドライバーは、次の様に表されます : NDRVXYZ.

各ドライバーは、特定の PAD に適合します。

**V** = 8. 社内で開発、生産拠点毎に付与される番号

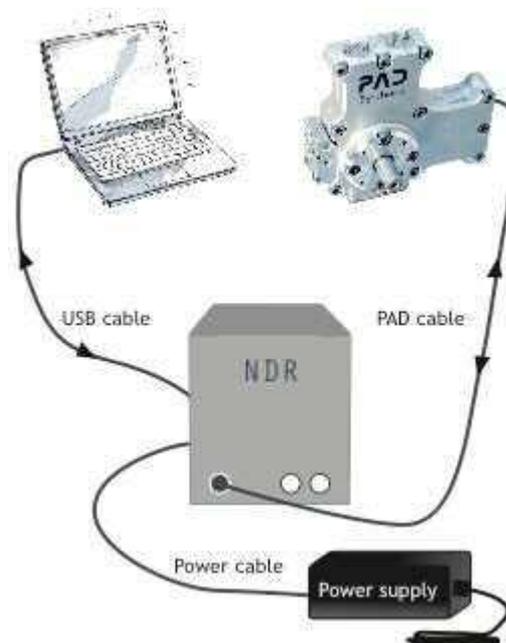
**X** = PAD を示す

X = 1 X=1 を持った PAD に適合する

**Y** = 主要性能区分

**Z** = その他の違い(ソフトウェア・インターフェース等)

NDR は、標準 USB ケーブルでユーザーの PC に容易に接続可能です。ユーザー PC から回転速度、回転方向そして、高速位置決めの様により複雑な制御を行う事が出来ます。



全てのケーブル、ソフトウェアは、プラグアンドプレイユニットとして、それぞれの PAD に付属します。NDR は高電圧電源で、PAD への実際の出力信号をモニターしながら精密制御することによってしっかりと制御されます。ユニットに付属したソフトウェアを通して、ドライバー出力の電圧と位相から、トルクを常時モニタリングすることができます。

NDR は、ソフトウェアインターフェースを通してアクセスできない、つまりコンピュータがハングアップした際に安全上オーバーライドできるリセットと高圧電気の ON/OFF を容易に切替できる 2 つのインターフェースを備えています。

NDR の付属品はつきの通りです。

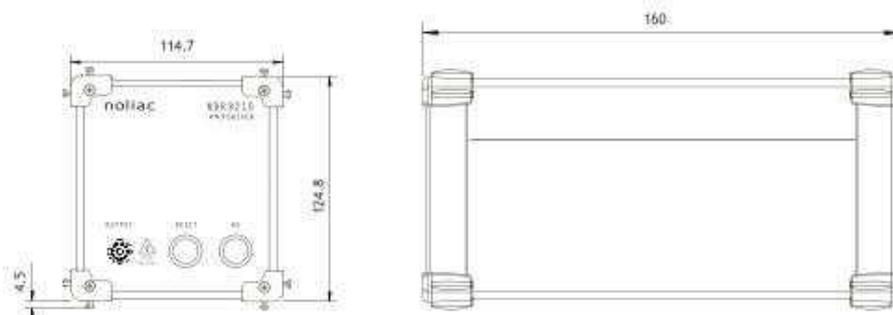
- 黒色ペリカンケース
- USB メモリー(ソフトウェア)
- USB ケーブル
- 12VDC 出力 AC 電源
- 出力ケーブル(PAD へ接続)
- 電源用変換アダプター

# NDR8210 仕様

NDR8210 は、PAD7220 に適合します

仕様	単位	NDR8210	許容値
入力/出力特性			
Supply voltage	Vdc	12	
Supply current	A	3A	Max
Power input connector		P2J Ø2.1*Ø5.5*11	Max
Logic input connector		USB	
Output connector (LEMO)		EGG.2B.314.CLL	
電氣的仕様(AC アダプタ)			
Input voltage range	Vac	100-240	
Input frequency range	Hz	47-63	
Power	W	80	Max
運用時電氣特性			
Output voltage range	V	-20 to 200	
Frequency range	Hz	0 to 40	
Output noise (7µF load)	mV	5	Max
Points per PAD cycle		1,024	
環境条件			
Temperature range	°C	+5 to +45	
Ingress protection		IP31	Max
機械的仕様			
Mass	kg	1.8	Max

## 寸法



# PAD /NDR 複合特性を示す各計算式

分解能  $\theta_{min} [turns] = \frac{\theta_c [turns]}{N_p [-]}$

ジッター  $\delta_{\theta} [turns] = \frac{\sqrt{2} \cdot \delta_c [V] \cdot \theta_c [turns]}{\pi (U_{max} - U_{min}) [V]}$

スピード  $N \left[ \frac{turns}{s} \right] = \theta_c [turns] \cdot f [Hz]$

発熱  $P_{loss} [W] = 2\pi \cdot f [Hz] \cdot \lambda \cdot C [F] \cdot \tan\delta [-] \cdot (U_{max} - U_{min}) [V]^2$

## PAD7220 性能 (NDR8210 と接合時)

仕様	単位	PAD7220 (NDR8210)
Load detection sensitivity	Nm	<0.01
Resolution $\theta_{min}$	arc sec	<4

## Piezo Actuator Drive -ビデオ(Youtube より)

[http://www.youtube.com/watch?v=OJj18mqO1YM&feature=player\\_embedded](http://www.youtube.com/watch?v=OJj18mqO1YM&feature=player_embedded)