

## デジタイザを使用した機械的測定

### まえがき：

モジュール式のデジタイザ (A/D ボード) を使用して機械装置やシステムを測定するには、力、加速度、圧力、回転速度などの機械的パラメータやその種類を測定可能な電気信号に変換するために、さまざまなトランスデューサまたはセンサーを使用する必要があります。この記事は、モジュール式デジタイザ (A/D ボード) を使用してその測定を行うための参考例をご紹介します。



### デジタイザ (A/D ボード) の選

#### 択：

機械的測定に必要な帯域幅は通常 100 kHz 未満です。そのため、200 kHz 以上のサンプリングレートが有効になります。一般的に使用されている圧電トランスデューサのダイナミックレンジに合わせるために、分解能は 16 ビットでなければなりません。Table 1

Model Family	Analog Channels	Resolution	Bandwidth (MHz)	Sampling Rates (MS/s)
M2i.47xx	8 or 16	16 bit	0.05/0.1/0.25/0.5	0.1/0.2/0.5/1.33
M2i.46xx	2, 4 or 8	16 bit	0.1/0.5/1.5	0.2/1/3
M3i.48xx	1 or 2	16 bit	30/50/90	65/105/180
M2i.49xx	2, 4 or 8	16 bit	5/15/30	10/30/60
DN2.46x	4, 8 or 16	16 bit	0.1/0.5/1.5	0.2/1/3
DN2.49x	4, 8 or 16	16 bit	5/30	10/60

Table 1 機械的測定に最も適合する Spectrum 製デジタイザおよび digitizerNETBOX ファミリ

は、推奨する Spectrum 製デジタイザ (A/D ボード) と機械的測定に最も適合するスペック情報をまとめたものです。

### トランスデューサ：

古くからトランスデューサは、多種多様なフォームファクタとタイプで利用できます。それらは成熟した技術と高い信頼性を提供し、一般的に発育測定に使用されます。新しいマイクロエレクトロメカニカル (MEM) センサは、低価格で小型のパッケージで利用可能であり、コンシューマ用途を意図しています。トランスデューサの選択は使用する用途に依存します。考慮事項としては、ダイナミックレンジ (測定するパラメータの最大値と最小値)、帯域幅、環境 (湿気、乾燥、爆発など)、負荷 (トランスデューサによる測定への影響)、相互接続方法、コストなどがあります。ほとんどのトランスデューサは、それを使用するために電源、信号調整、ケーブル接続を必要とします。トランスデューサのサプライヤは、トランスデューサをデジタイザまたは他の測定機器に接続するために必要なすべてのハードウェアを手に入れることとなります。多くのトランスデューサはエレクトロニクスの世界では一般的ではないコネクタを使用しているため、ケーブル接続は少し面倒です。たとえば、圧電加速度計を考えてみましょう。標準コネクタは、10-32 ネジ山を使用するマイクロドット同軸コネクタです。トランスデューサの製造元は、より身近な BNC コネクタを使用するためのアダプタとケーブルを提供しています。トランスデューサがデジタイザ (A/D ボード) でどのように使用されているかを見るために、簡単な機械的測定を見てみましょう。

### 機械的測定例 1 :

Figure 1 は、小型の 3 枚羽根の冷却ファンの基本的な機械的測定に使用される接続を示す図です。この測定に使用されるデジタイザは、4 つのアナログチャンネル、16 ビットの分解能、60MS/s のサンプルレート、および 30MHz の帯域幅を備えた Spectrum 製 digitizerNETBOX モデル DN.2.496.04 です。16 ビットの分解能は、加速度計とマイクの両方から得られる広いダイナミックレンジに適合しています。digitizerNETBOX の大きな利点は、イーサネットリンクを介して接続されたホストコンピュータから離れた場所に配置

できることです。この測定には 3 つのトランスデューサが使用されています。1 つ目は光学式タコメータです。このセンサーは、センサーからの光をファンハブ上の反射ストリップに照射することによってファンの回転周波数を読み取ります。反射光はフォトトランジスタによって取得され、1 回転につき 1 回のパルスが発生します。

加速度計は振動センサーで、ファンハウジングに取り付けられており、振動加速度に比例した電圧出力を生成します。この測定に使用された装置は、既知の質量を使用してセラミックまたは水晶素子のような圧電素子を圧縮する圧電加速度計です。これは、ハイエンドで電源電圧（通常±5V）によって、ローサイドでプリアンプのノイズレベルによって制限される比較的高いダイナミックレンジを持つセンサーを生成します。典型的な圧電加速度計のダイナミックレンジは、85 から 110dB 程度です。通常、実際の測定結果は少し低いダイナミックレンジとなります。

加速度センサーの感度は、加速

度 1g あたりの出力電圧を指定します。この実験で使用された装置は 100mV/g の感度を持っています。出力が低周波出力レベルの 5%を下回る周波数を基準にした帯域幅は 10kHz です。この帯域幅の仕様は、半電力点または 0.707 の低周波応答が使用される電子回路で使用されるものとはまったく異なります。これは帯域幅で 30%の振幅許容誤差です。加速度計にはデジタイザ入力を駆動するための電源/プリアンプが必要です。これらのユニットは通常、ピックアップとアースのループを最小限に抑えるために電池式となっています。加速度計電源はまた、増幅、フィルタリング、統合などの信号処理機能を含みます。積分は加速度を速度に変換するために使用されます。2 番目の積分は速度を変位に変換

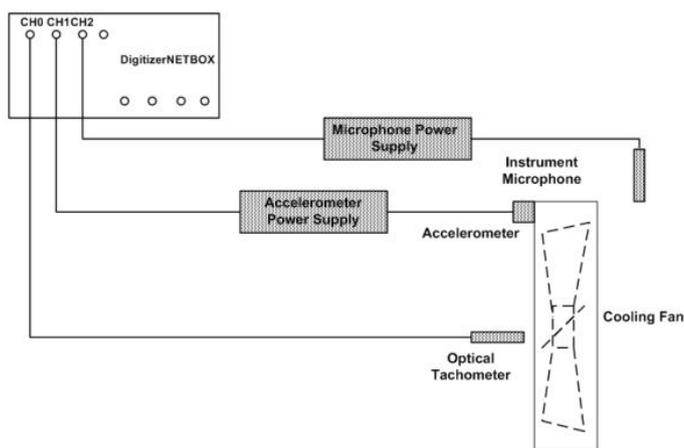


Figure 1 小型の冷却ファンの基本的な機械的測定のために、タコメータ、加速度計、機器のマイクをデジタイザに接続する

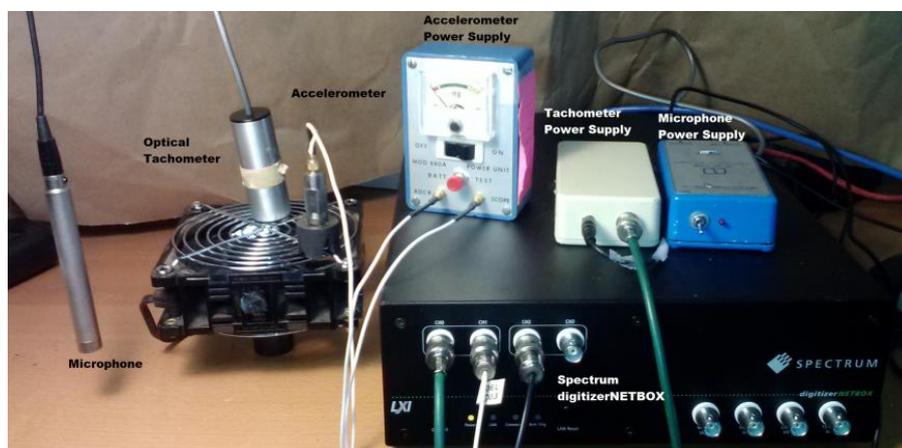


Figure 2 データ収集用のデジタイザ NETBOX による冷却ファン測定テストのセットアップ

します。積分はデジタイザ (A/D ボード) の出力値から数値的に実行することもできます。加速度計は、磁気マウントを使用してファンハウジングに取り付けられています。取り付けはトランスデューサの帯域幅に影響します。加速度センサーをテスト対象のデバイスにネジで固定して直接取り付けると、最高の応答が得られます。接着剤やワックスを使うことも一般的に使用されている装着方法ですが帯域幅が狭くなります。ただし、この測定で発生する信号は 1kHz 未満の帯域幅であるため問題になりません。

この測定で使用される 3 番目のトランスデューサは楽器用マイクです。このセンサーは音響音圧を読み取り、その圧力に比例した電圧を発生します。このアプリケーションで使用されるユニットは 100KHz(-3dB)の帯域幅を持っています。また、20dB のゲインアンプを内蔵したバッテリー駆動用の電源も必要です。マイクロフォンは、ファンの出力空気流の圧力変動を直接拾うことを最小限に抑えるために、ファンの空気流から軸の外に配置されています。この目的は、ファンの空気流の圧力変動ではなく音響音圧レベルを測定することです。

### トランスデューサの校正：

トランスデューサの製造元は自社製品のキャリブレーションを提供していますが、多くの機械的トランスデューサは使用前にポータブルキャリブレータを使用してキャリブレーションできます。通常電池式のこれらの装置は軽量でコンパクトです。ほとんどの場合、加速度計では 1kHz で 1g ピーク、マイクでは 1kHz で 110dB など、既知の振幅の固定周波数正弦波形が生成されます。ケーブルや電源の損傷によるシステムエラーのトラブルシューティングに役立つツールです。トランスデューサを使用するときには多くの検討事項があります。特定の測定用トランスデューサを選択するときは、サプライヤのデータシート、アプリケーションノート、および推奨事項を参照することをお勧めします。

### 実験データと分析：

digitizerNETBOX は、Spectrum 社の SBench 6 ソフトウェアを使用して制御されています。これはデジタイザ (A/D ボード) を使用してデータを取得するためのソフトウェアツールです。これは、取得したデータを機械単位で適切なスケールリングで表示できるだけでなく、分析用の信号処理および測定ツールも多数提供しています。Figure 3 に、この実験におけるデータの取得、分析、測定の一例を示します。

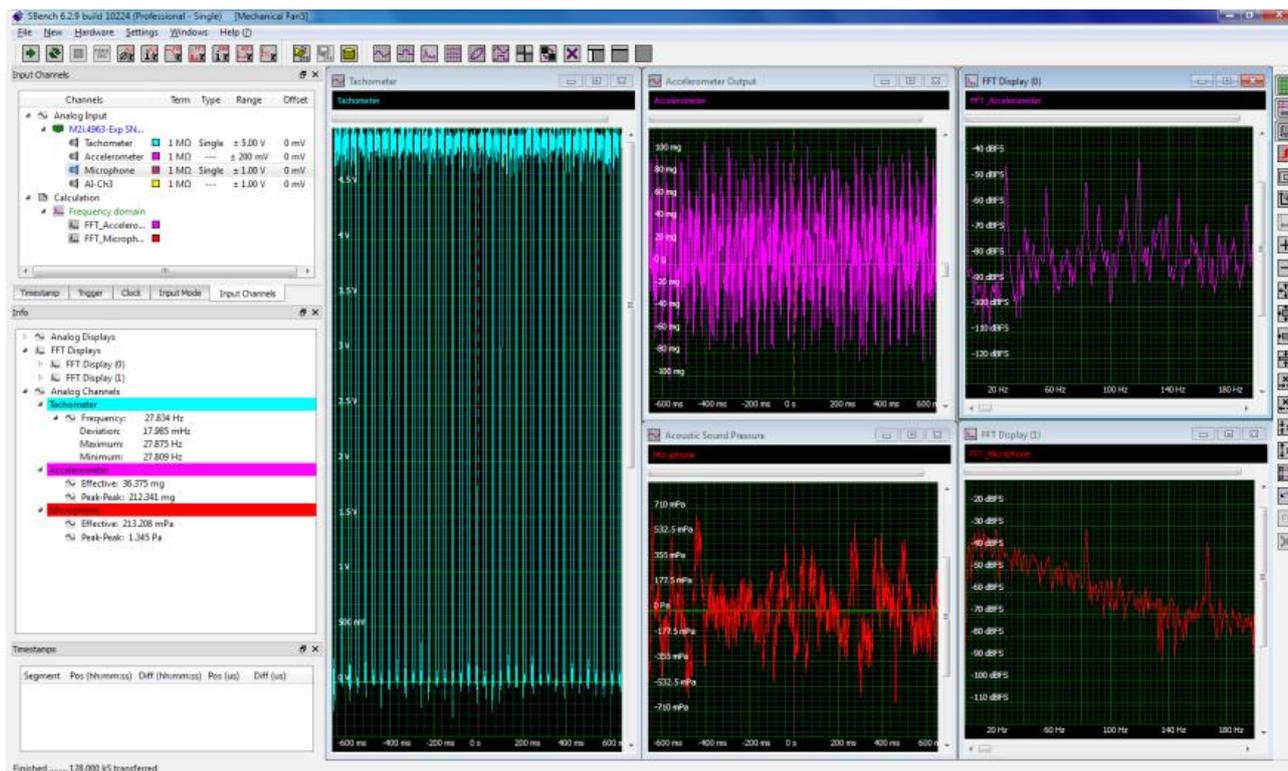


Figure 3 タコメータ、加速度計、マイクを装備した小型冷却ファンの振動と音響特性の測定

このSBench 6の画面イメージは、一番左のグラフがタコメータ出力を示しています。この波形はファン1回転につき1パルスです。ファン速度は、この信号の周波数を測定することによって読み取られます。図の左中央にある[Info]枠内の周波数表示は、この周波数を27.8Hz（1秒あたりの回転数）として読み取っています。この周波数の読み取り値に60を掛けると、ファンの回転速度は毎分1668回転（RPM）となります。周波数の最小値、最大値、および偏差を示す統計値が周波数値の下に表示されます。

加速度センサーの出力は、「Accelerometer Output」と表示された中央上部のグラフに表示されています。カスタムの目盛りは、アナログチャンネル設定を使用してg単位で直接読み取るように設定されています。ピークからピークまでの信号と有効（rms）振幅の測定値が[Info]枠に表示されます。この信号の時間領域表示は解釈がやや難しいため、高速フーリエ変換（FFT）し右上のグラフに表示されています。

FFTは加速度信号を構成する周波数成分を示します。FFTの周波数領域またはスペクトル表示は、さまざまな周波数成分を分離するため、物理的な解釈が簡単になります。一番左のピークは、ファンモーターの回転周波数である27.8Hzで発生します。56、83、111、140Hzにも高調波成分があります。それがブレード通過周波数でもあるので、83における第3次高調波は他のものよりも高くなっています。3つのファンブレードの各々がファンハウジング内のモータを支持する固定ストラットを通過すると、それらはフレーム内に振動を誘発します。120Hzの大きなピークは、誘導電動機の回転磁界による振動です。このように、FFTは振動信号の解析を簡素化します。

マイクの出力は「Acoustic Sound Pressure」というラベルの付いた中央下部のグラフに表示されます。このデータは圧力の単位、すなわちPascalで読むように再調整されています。[Info]枠の測定値には、この信号のピークツーピークと有効振幅が表示されます。振動信号の場合と同様に、音響のFFTは多くの物理的洞察を提供します。2本の主スペクトル線は84と168Hzにあることに注意してください。

これがブレード通過周波数とその2次高調波です。一次狭帯域音響信号はファンブレードの動きに関連しています。低周波の機械的振動と広帯域の「エアノイズ」がこのFFTのベースラインを引き上げています。デジタイザを選択する際の主な仕様は、十分な帯域幅、必要な測定数以上のチャンネル数、およびトランスデューサを処理するのに十分なダイナミックレンジがあることです。16ビットの分解能を持つ digitizerNETBOX は、理論上 96dB ダイナミックレンジまでサポートできます。このモデルは最大 16 のアナログ入力チャンネルで利用可能です。

それぞれ最大 16 のアナログチャンネルを持つ Spectrum 製 M2i.46xx や M2i.47xx シリーズのようなモジュール式デジタイザ (A/D ボード) もこのアプリケーションで使用できます。さらに多くのチャンネルの場合は、Star-Hub モジュールを使用して最大 16 枚のモジュラーデジタイザ (A/D ボード) を接続することで最大 256ch のアナログチャンネルを提供することができます。

## 機械的測定例 2 :

Figure 4 は小型空気圧縮機に関する別の機械的測定設定の図である。筒内圧、振動加速度、騒音レベルの測定は、圧力変換器、加速度計、マイクを使って行われています。圧力トランスデューサは、内部シリンダーの上部へのアクセスを可能にするポートに接続されています。これにより、機械的な干渉や漏れのない内部アクセスが可能になります。これは、圧力ダイヤフラムがセラミックまたは水晶素子にかかる圧力に比例して力を加える圧電センサーです。トランスデューサの感度は 100mV/psi です。加速度計はシリンダーヘッドに接着されています。繰り返しますが、アプリケーションが取り付け方法を決定します。これらは、トランスデューサが装置にねじ止めされているか、接着されているか、または磁気マウントを使用して接続されているかによって異なります。加速度センサーの場合、取り付けは固定されていて、目的の測定軸と揃っている必要があります。さらに、トランスデューサとマウントは、測定に影響を与えないように小さくて軽いものにします。機械の世界におけるトランスデューサの「負荷」は、電気的測定におけるプローブの負荷とよく似ています。どちらも測定の精度に影響します。

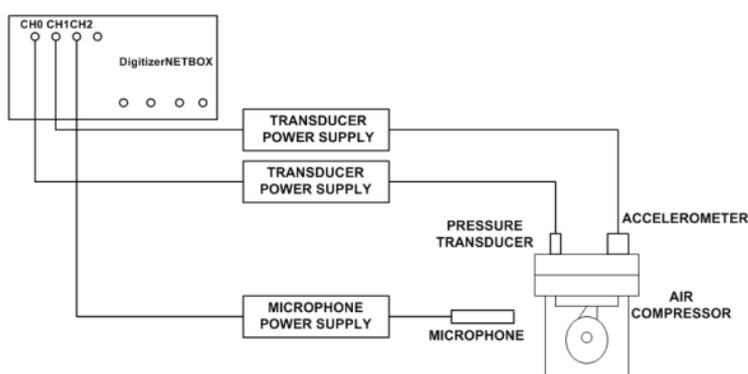


Figure 4 小型空気圧縮機の内部圧力、振動、騒音レベルを測定するための設定。各トランスデューサには独自の電源があります

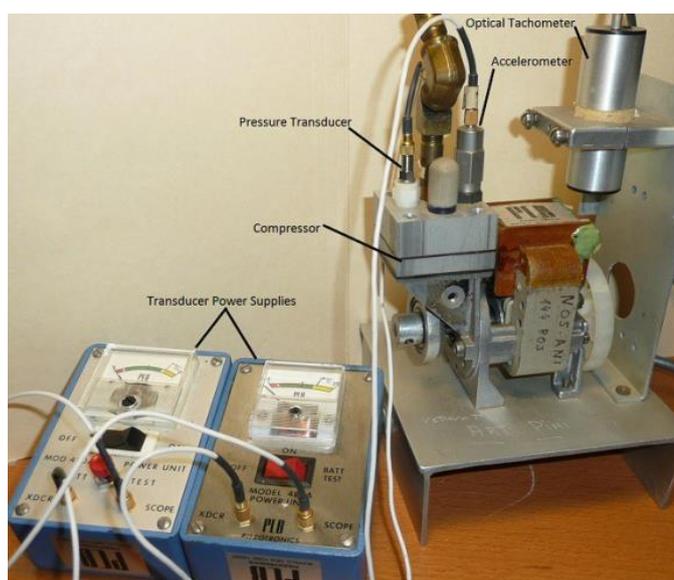


Figure 5 トランスデューサによる空気圧縮機測定のセットアップ



Figure 6 小型空気圧縮機の圧力、振動、および音のレベルを測定し、出力ポートをブロックする効果を示します。上部の3つのグリッドには、圧力、振動、およびサウンドレベルが（左から右に）表示され、関連するFFTがそれぞれ下に表示されます。

Figure 6 は、コンプレッサ測定中に表示されるデジタイザデータを示しています。左上のトレース[Pressure]は、圧力トランスデューサからの生の出力です。チャンネル設定は、圧力トランスデューサ出力の表示値をその感度の逆数でスケールリングすることによって、ミリボルトからパスカル (Pa) まで波形を再スケールリングするために使用されます。再スケールリングされた圧力トレースのシリンダー圧力が上がるのは、コンプレッサの出力ポートが閉じられて、コンプレッサがより激しく動くようになるためです。これは、シリンダー圧力の上昇によって明らかになります。ディスプレイの左側にある情報ペインのピークツーピーク測定値は、この最大出力圧力変動を読み取ります。タコメータは圧縮機の回転速度を測定するために利用可能ですが、圧力波形は非常にきれいであり同じ情報を提供します。Info ペインの周波数表示は、53.5 Hz のコンプレッサ回転速度の表示を提供します。

圧力データのFFTが左下の枠内に表示されます。スペクトルは、主に53.5Hzの回転速度とその高調波で構成されています。高調波のピークは2点のピークを示すように見えることに注意してください。これは、圧縮されたときにコンプレッサが減速するためです。周波数変動は基本波では小さくなりますが、高調波の場合は高調波の数倍になります。

Figure 6 の中央上部のグラフは、感度 10mV/g の加速度センサーチャンネルからの加速度センサー信号を示しており、チャンネル設定を使用して加速度を g 単位で読み取るように再スケールリングされています。Info ペインの測定値は、振動信号の最大振幅と有効振幅を読み取ります。時間領域の信号から、コンプレッサの出力ポートがブロックされると振動レベルが上がることがわかります。加速度信号のFFTは中央下のグラフに表示されます。圧力スペクトルと同様に、振動スペクトルは回転周波数とその高調波で構成されています。右上のグラフには、音量を示すマイク信号が含まれています。マイクの感度は42mV/Paで、縦軸の目盛りに示されています。音圧レベルは、吐出口がマイナスになって負のスパイクが発生し、吐出口が閉じられるまでは比較的变化しません。出力ポートを開くと、スパイクが再び現れます。マイクはポートを閉じるバルブの音を拾っています。有効 (rms) サウンドレベルは315mPaと記録されていますが、これはコンプレッサがエンクロージャの外側で動作しているときの不快なノイズレベルを示しています。マイク信号の

スペクトルが右下のグラフに表示されています。他の2つの信号スペクトルと同様に、回転周波数とその高調波から成ります。

### まとめ：

機械的測定はデジタイザ (A/D ボード) で簡単に行うことができます、ユーザが必要とするのは適切なトランスデューサとアクセサリだけです。いくつかの簡単な機械的測定の基本的な設定および操作は、データの分析のための有用なデジタイザソフトウェアツールの使用と共に示されています。これには、適切な測定単位でのパラメータ測定と、生データからの回転速度の変動などの有用な情報の抽出が含まれます。



## Spectrum Instrumentation 社について

Spectrum 社は、Spectrum Systementwicklung Microelectronic GmbH として 1989 年に設立され、2017 年に Spectrum Instrumentation GmbH に改名されました。同社は最も一般的な業界標準 (PCIe、LXI、PXIe) で 500 を超えるデジタイザおよびジェネレータ製品を作成するモジュール設計のパイオニアです。これら高性能の PC ベースのテスト&メジャーメントデザインは、電子信号の取得・生成および解析に使用されます。同社はドイツの Grosshansdorf に本社を置き、幅広い販売ネットワークを通じて世界中に製品を販売し、設計エンジニアによる優れたサポートを提供しています。Spectrum 社の詳細については、[www.spectrum-instrumentation.com](http://www.spectrum-instrumentation.com) を参照してください。