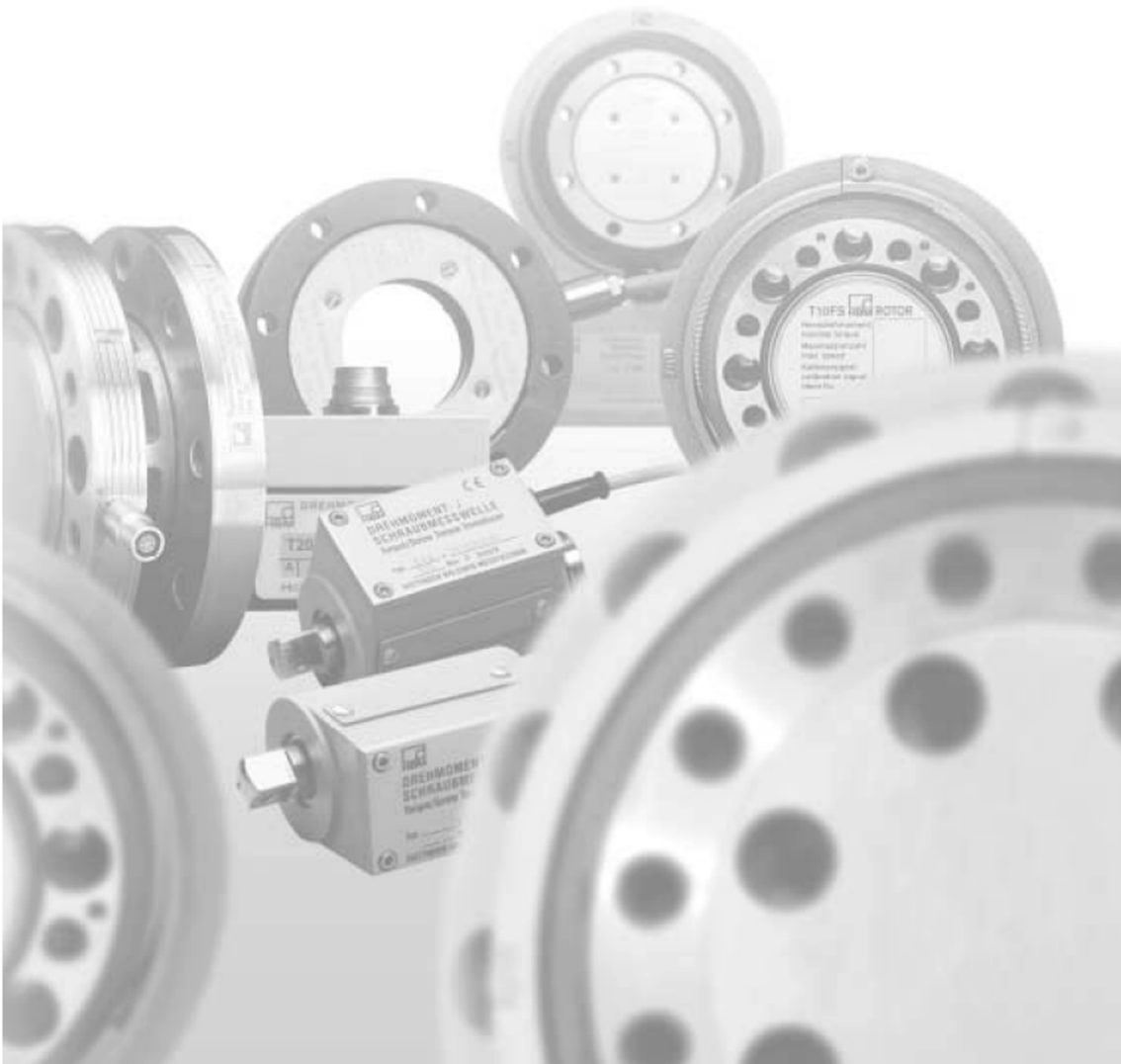


**Terms and expressions for
specifying torque transducers**

技術資料
HBMトルク変換器の仕様用語



S1022-10j 2



目次

	Page
トルク変換器の計測感度	3
精度等級 (Accuracy class)	3
感度 C (Sensitivity)	3
定格感度 C_{nom} (Nominal sensitivity)	4
感度公差 d_c (Sensitivity tolerance)	4
感度に対する温度変化10Kあたりの温度影響 TK_C (Temperature effect on the sensitivity)	4
ゼロ点に対する温度変化10Kあたりの温度影響 TK_0 (Temperature effect on the zero signal)	5
非直線性 d_{lin} (Linearity deviation)	6
ヒステリシス (相対往復誤差) d_{hy} (Relative reversibility error)	7
ヒステリシスを含む非直線性 d_{lh} (Linearity deviation including hysteresis)	7
繰り返し性 σ_{rel} (Relative standard deviation of repeatability)	9
環境条件と限界負荷	10
定格回転速度 (Nominal rotation speed)	10
公称 (定格) トルク M_{nom} (Nominal torque)	10
最大許容トルク (Maximum service torque)	10
限界トルク (Limit torque)	10
破壊トルク (Breaking torque)	10
許容振動振幅 (Permissible oscillation bandwidth)	11
限界軸方向力 (Axial limit force)	12
限界横力 (Lateral limit force)	12
限界曲げモーメント (Bending limit moment)	12
基準温度 (Reference temperature)	13
定格温度範囲 (Nominal temperature range)	13
許容温度範囲 (Service temperature range)	13
保存温度範囲 (Storage temperature range)	13
正しいトルクセンサ選定のポイント – 精度の視点から	14

トルク変換器の計測特性

精度等級 (Accuracy class)

精度等級は、次の四つの特性の中で偏差が最も大きい特性の偏差の値で表します。よって、これらの特性の偏差は精度等級と同等かそれ以下となります。

尚、感度公差 (Sensitivity tolerance) はこの中に含まれておりません。

- ・ヒステリシスを含む非直線性 d_{ln}
- ・繰り返し性 σ_{rel}
- ・ゼロ点に対する温度変化10Kあたりの温度影響 TK_0
- ・感度に対する温度変化10Kあたりの温度影響 TK_C

二つ以上の出力を持つ変換器 (例：周波数出力および電圧出力) の場合、これらの中で最も偏差の小さい出力で精度等級を決定します。

尚、精度等級はDIN51309又はEA-10/14で規定されたクラス区分 (Classification) とは異なります。また、精度等級は、精度の目安として使われることを目的としており、実際の使用方法、使用環境などを考慮して算出する総合精度とも異なります。

例：

T10Fトルク変換器には、オプション“S” (標準バージョン)、オプション“G” (ヒステリシスを含めた非直線性が優れたバージョン) があります。

オプション“S”は、「繰り返し性」が $\pm 0.03\%$ 、「ゼロ点に対する温度変化10Kあたりの温度影響」が $\pm 0.05\%$ で、「感度に対する温度変化10Kあたりの温度影響」は $\pm 0.1\%$ 、「ヒステリシスを含む非直線性」も $\pm 0.1\%$ です。この中の最後の二つが $\pm 0.1\%$ で最初の二つより大きいため、精度等級は0.1となります。

これに対してオプション“G”は、「ヒステリシスを含む非直線性」は $\pm 0.05\%$ と小さくなりますが、「感度に対する温度変化10Kあたりの温度影響」は $\pm 0.1\%$ であるため、精度等級は0.1となります。

精度等級ではオプション“G”の利点は分かりにくいですが、「感度に対する温度変化10Kあたりの温度影響」は、公称トルク値に対するものでなく、測定値に対する偏差であるため、限られたトルク範囲内で測定を行う場合は偏差が小さくなり、オプション“S”より高精度の測定ができます。

感度 C (Sensitivity)

感度は、ゼロトルクと公称トルクに対する変換器出力のスパンです。HBMトルク変換器の試験成績書には、時計方向と反時計方向の二つの感度が記載されています。

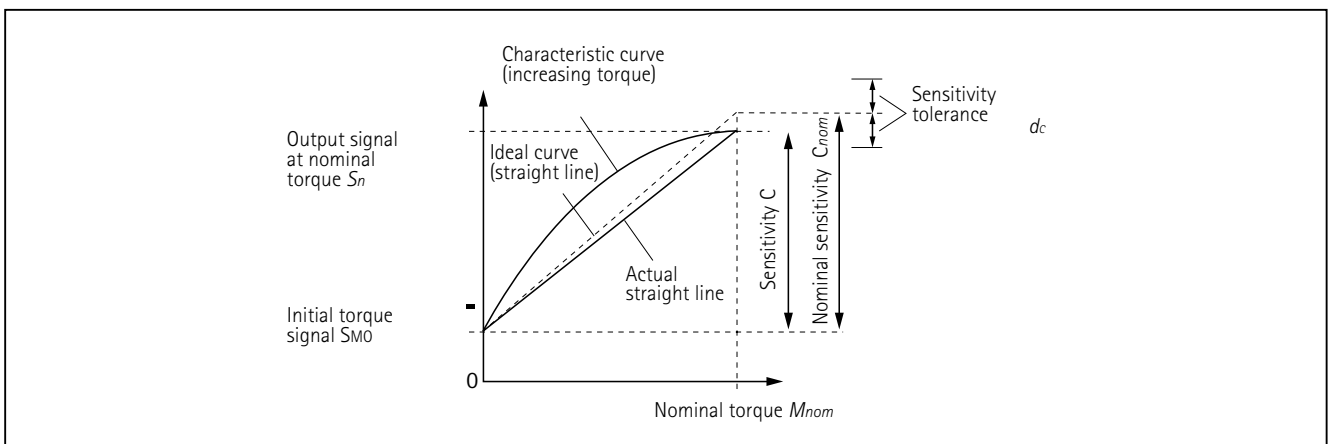


図1 感度と公称トルクの関係

感度 (Sensitivity C) は、特性曲線の傾斜により表されます。特性曲線は、変換器が設置状態でトルクがかけられていない時の出力値 (Initial torque signal S_{M0}) と、負荷トルクを増加し公称トルク (Nominal torque M_{nom}) に達した時の出力値 (Output signal at nominal torque S_n) を直線で結んだものです。よって、感度は次式で求めることができます。

$$C = S_n - S_{M0}$$

公称トルクと感度の組合わせ (ペア) および任意のトルクとその時の出力値のペアの二つのペアが得られれば、アンプの設定を行うことができます。通常、第2のペアはゼロトルクとゼロトルク時の出力値である初期トルク信号 (Initial torque signal S_{M0}) です。

定格感度 C_{nom} (Nominal sensitivity)

定格感度は、感度の定格値です。一般的に、定格感度は時計方向トルクと反時計方向トルクで同じ値となります。

定格感度は、トルク変換器の型式および計測レンジ毎に決定される特性で、変換器個々の実感度 (actual sensitivity) は、仕様書に記載された定格感度の公差範囲内にあります。

感度公差 d_c (Sensitivity tolerance)

感度公差は、定格感度に対する実感度の許容偏差をパーセントで表したものです。

HBMトルク変換器の実感度は、出荷前に個々の変換器毎に校正し、試験成績書または校正証明書に記載しております。従って、感度公差は精度等級の決定にあたり考慮する特性には入っていません。

感度に対する温度変化10Kあたりの温度影響 TK_c (Temperature effect on the sensitivity)

感度に対する温度影響 (TK_c) は、公称トルクにおける、10K (10°C) の温度変化に対する出力値変化 (偏差) を表し、感度にも影響しています。数値は定格温度範囲における最大値を表します。

感度に対する温度影響 (TK_c) (または「感度の温度係数」) は、負荷トルクがかかっている状態でのトルク変換器の出力値に影響を及ぼします。 TK_c を決めるには、それぞれの使用温度において、ゼロトルクの出力値を引く補正をしなければなりません。また、温度は安定した状態でなければなりません。

ここで重要なのはトルク変換器の温度です。HBMで定めている安定した温度状態とは、15分間に0.1K以下の温度変動の状態です。また、偏差はそれぞれの負荷トルクに対応した出力値に TK_c をかけた値になります。負荷トルクが公称トルクと等しい場合、出力値は感度と等しくなります。

感度に対する温度影響 (TK_c) は、特性曲線 (Nominal characteristic curve) の傾きに影響します (図2 参照)。これは基準温度からかけ離れた温度環境で使用する場合に大きく影響します。しかし、負荷トルクの変動が小さい場合、偏差は出力に対するパーセントで計算されるので、その影響は小さくなります。一般的に感度に対する温度影響 (TK_c) とゼロ点に対する温度影響 (TK_0) は相互に重畳される事に注意してください。

例：
公称トルク $1\text{kN}\cdot\text{m}$ のトルク変換器の使用を考えた場合、温度影響 $TK_c \leq 0.1\%$ 、基準温度 23°C 、定格温度範囲 $+10^\circ\text{C} \sim +60^\circ\text{C}$ です。

トルク変換器を 33°C または 13°C で使用する場合は、 $\pm 10^\circ\text{C}$ の温度変化となり、この温度変化による偏差は、 0.1% 以下になります。

このトルク変換器に公称トルクの $1\text{kN}\cdot\text{m}$ がかった場合、偏差は $1\text{N}\cdot\text{m}$ になります。しかし、 $200\text{N}\cdot\text{m}$ のトルクがかかった場合、偏差は $0.2\text{N}\cdot\text{m}$ になります。なぜなら、温度影響 (TK_c) は、負荷トルクに対応した出力に対するパーセントで計算されるからです。つまり、温度影響 (TK_c) は、特性曲線 (Nominal characteristic curve) の傾きに影響を与えます。同じトルク変換器を 43°C で使用する場合、基準温度から $+20^\circ\text{C}$ の差があります。この場合、出力には最大で出力の 0.2% の偏差が含まれる可能性があります。ただし、定格温度範囲を越えた、例えば 3°C の環境下では、適用できません。

ゼロ点に対する温度変化10Kあたりの温度影響 TK_0 (Temperature effect on the zero signal)

ゼロ点に対する温度影響 (TK_0) は、 10K (10°C) の温度変化に対する変化を表し、定格感度 (Nominal sensitivity) にも関係し、ゼロトルク時の出力値に表れます。数値は、定格温度範囲における最大値を表します。

ゼロ点に対する温度影響 (TK_0) (または「ゼロ点の温度係数」) は、安定した温度状態において、 10K (10°C) の温度変化に対するゼロトルクの出力値の変化より求められます。重要となる温度はトルク変換器の温度です。HBMで定めている安定した温度とは、15分間に 0.1K 以下の温度変動の状態です。

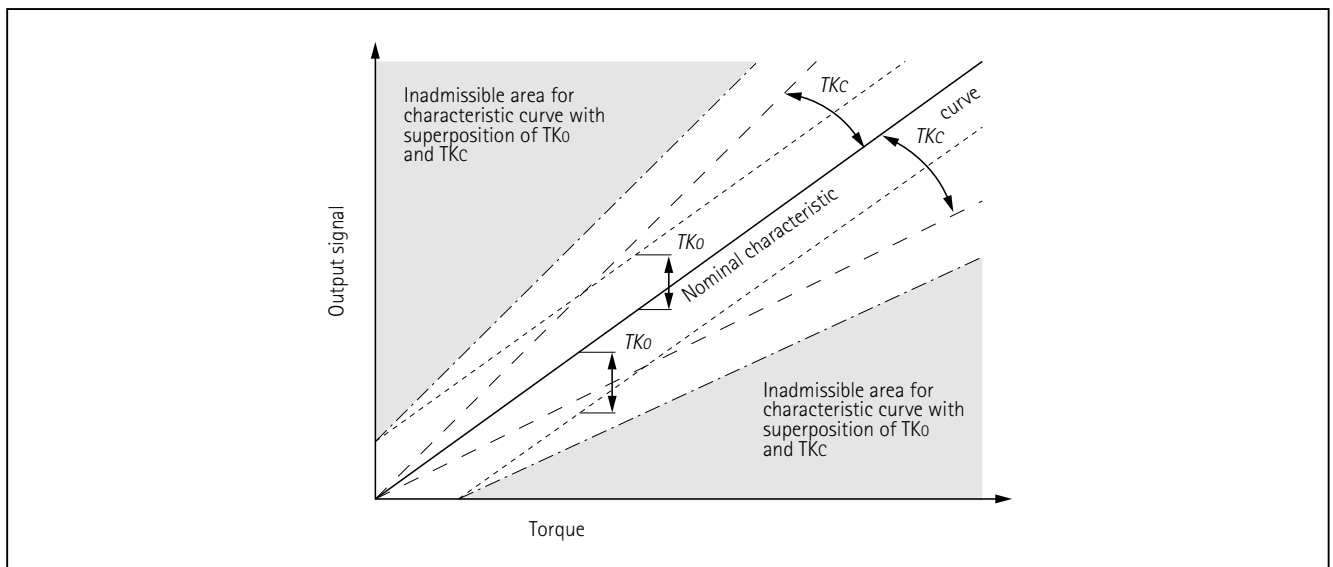


図2 感度に対する温度影響 (TK_c) およびゼロ点に対する温度影響 (TK_0)

ゼロ点に対する温度影響 (TK_0) は、特性曲線 (Nominal characteristic curve) が平行移動する特性です (図2参照)。トルク変換器を基準温度から大幅にかけ離れた温度で使用する場合、この影響は大きくなります。使用温度において、ゼロ調整を行えば、ゼロ点に対する温度影響 (TK_0) を無くすることが可能です。

一般的に感度に対する温度影響 (TK_c) とゼロ点に対する温度影響 (TK_0) は相互に重畳される事に注意してください。

例：

公称トルク $1\text{kN}\cdot\text{m}$ のトルク変換器の使用を考えた場合、温度影響 $TK_0 \leq 0.05\%$ 、基準温度 23°C 、定格温度範囲 $+10^\circ\text{C} \sim +60^\circ\text{C}$ です。

トルク変換器を 33°C または 13°C で使用する場合、 $\pm 10^\circ\text{C}$ の温度変化となり、この温度変化によるゼロ点の偏差は、定格感度 (Nominal sensitivity) に対して 0.05% 以下になります。これは $0.5\text{N}\cdot\text{m}$ の偏差に相当します。この偏差は、負荷トルクに関係なく影響します。

例えば、 43°C の環境下でトルク変換器を使用した場合、基準温度との差は $+20^\circ\text{C}$ なので、最大 0.1% の偏差が含まれる可能性があります。ただし、定格温度範囲を越えた、例えば 3°C の環境下では、適用できません。

非直線性 d_{lin} (Linearity deviation)

最大偏差の絶対値は、負荷トルクを増加していく過程において、トルク変換器の出力が直線近似した特性曲線から乖離した最大偏差で表されます。非直線性は最大偏差の感度に対するパーセントで表します。

非直線性の計算には、ゼロトルク (S_{M0}) から公称トルク (M_{nom}) まで負荷を増加していく過程 (Ascending series) の出力値を使います。基準直線 (Reference straight line) はゼロトルクの出力値 (S_{M0}) を通り、プラス側とマイナス側の最大偏差 (d_{lin}) を均等に配分する最適な近似直線です (図3参照)。非直線性は、この基準直線と実際の出力値の最大偏差で表します。

通常、トルク変換器とアンプ等を接続した測定系 (Measurement chain) を調整する場合、特性曲線を直線と仮定して調整を行うので、出力に偏差が含まれていることを考慮してください。特にトルク変換器をゼロトルクから公称トルクまでの広範囲で使用する場合、最大の影響がでることを考慮してください。

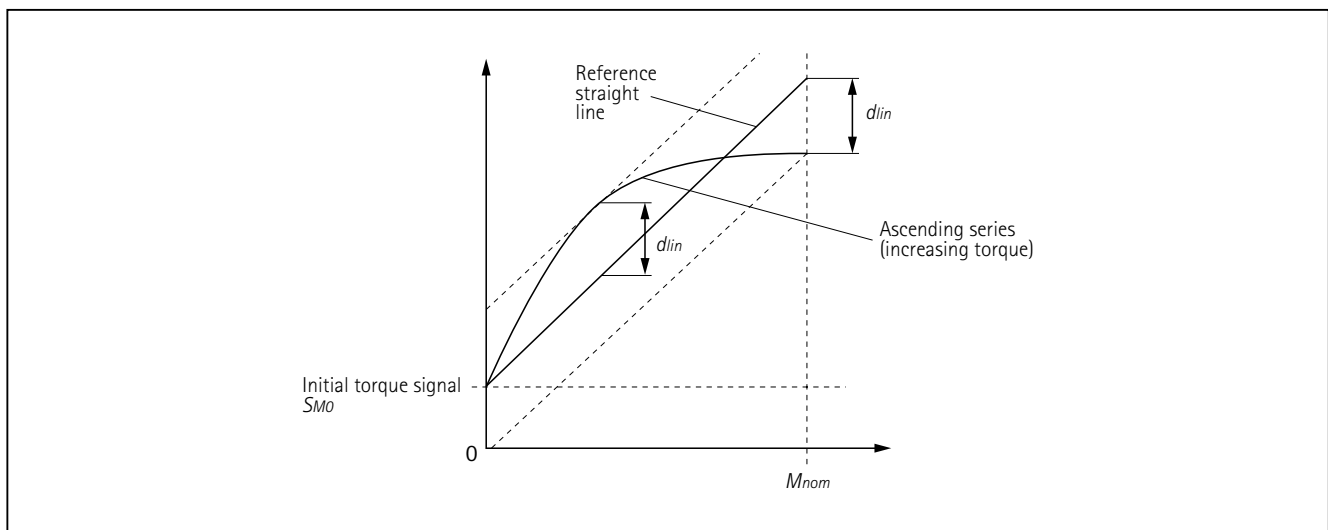


図3 非直線性 d_{lin}

ヒステリシス（相対往復誤差） d_{hy} (Relative reversibility error)

ヒステリシスは、負荷トルクを段階的に増加させた場合（Ascending series）と減少させた場合（Descending series）（図4参照）に見られるトルク変換器出力の差を意味します。

ヒステリシスは、計測範囲内の最大偏差（絶対値）を感度（Sensitivity C）に対するパーセントで表します。

この特性は、負荷トルクを段階的に増加させた場合と減少させた場合で得られる特性曲線に違いが現れる現象です。

ヒステリシスは、公称トルクの範囲内で負荷トルクを段階的に数ステップ昇降させる負荷を行い、トルク変換器出力を求めます。

ヒステリシスは、負荷トルクを何段階かに分け設定し、増加トルクステップでの出力値と減少トルクステップでの出力値を基に計算を行います。（例 負荷トルク設定：公称トルク M_{nom} の0%、50%、100%）

ヒステリシスは、負荷トルクの増加・減少過程における出力値への影響を表しています。特にトルク変換器を広い計測範囲で使用した場合に重要になります。最も過酷な計測条件は、ゼロトルクから公称トルクまで負荷トルクが変動する場合です。

一般的にヒステリシスは、負荷トルクが公称トルクの全体に渡って変動する場合よりも、公称トルク内のある範囲内で使用する場合の方が影響が小さくなります。

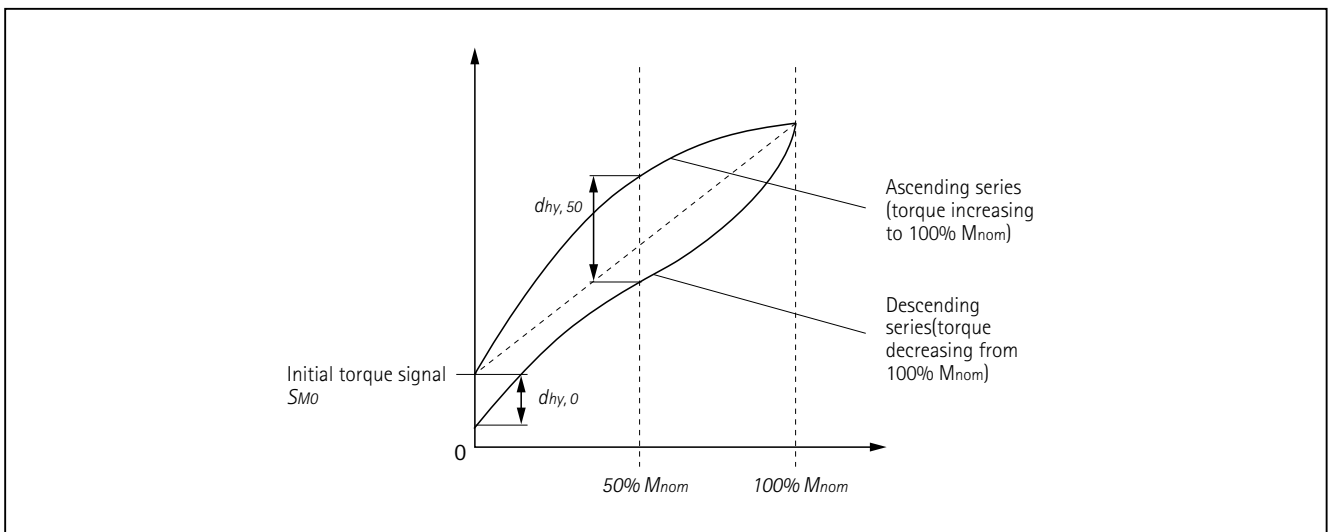


図4 負荷サイクルを基に定義されたヒステリシス d_{hy}

（負荷トルク：公称トルクの0%、50%、100%）

ヒステリシスは、計測点（上図では $d_{hy,0}$ および $d_{hy,50}$ ）における最大偏差として表されます。

ヒステリシスを含む非直線性 d_{ln} (Linearity deviation including hysteresis)

ヒステリシスを含む非直線性 (d_{ln}) は、基準直線からの最大偏差（絶対値） (d_{ln}) を表しています。基準直線は、ゼロトルクの出力値 (S_{M0}) を通る最適な近似直線 (Reference straight line) です（図5参照）。従って、非直線性とヒステリシスの両方が考慮されています。ヒステリシスを含む非直線性は、感度に対するパーセントで表されています。

ヒステリシスを含んだ非直線性は、ゼロトルクから公称トルクまでの間で負荷トルクを段階的に増加させた場合と減少させた場合の出力値により定義されます（図5参照）。基準直線（Reference straight line）は、ゼロトルクの出力値（ S_{M0} ）を通り、プラス側（Ascending series）とマイナス側（Descending series）のそれぞれの最大偏差（ d_{lh} ）を均等に配分する最適な近似直線です。

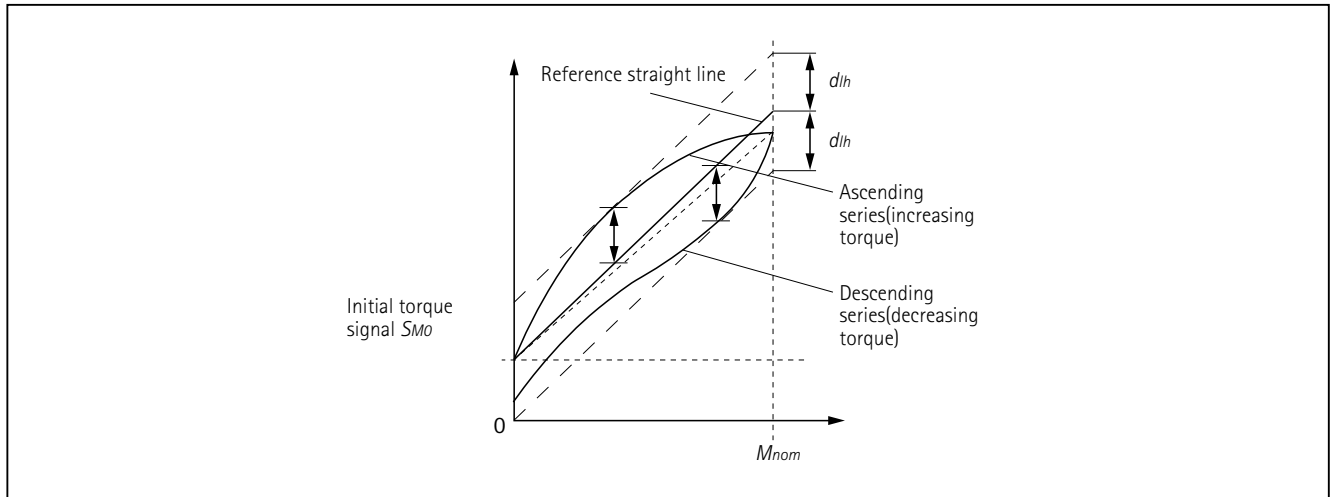


図5 ヒステリシスを含む直線性 d_{lh}

ヒステリシスを含む非直線性は、基準直線に対して上下対称となる偏差幅の半分に相当します（図5参照）。非直線性の定義との違いは、負荷サイクルに負荷トルクを減少させる過程があることです。これがヒステリシスを含む非直線性（ d_{lh} ）と非直線性（ d_{lin} ）の値の違いとなります。

HBMでは、ヒステリシスを含む非直線性（ d_{lh} ）の決定を下記の通り行っています（ページ13：図9参照）：

- 先ず、予備負荷（Preload）をかけます。反時計方向にゼロトルクと公称トルクのトルクサイクルを3回行います。この予備負荷の目的は、接触面の平滑化とボルトの締め付け状態の不安定要素を取り除くことです。
- 次に、段階的に反時計方向にトルクを負荷し出力値を記録します。測定は1サイクル。負荷トルクは事前に決めておきます。（HBMの製造工程における負荷試験：公称トルク M_{nom} に対して0%→50%→100%→50%→0%）
- 時計方向に予備負荷を行います。ゼロトルクと公称トルクの運転サイクルを3回行います。
- 段階的に時計方向にトルクを負荷し出力値を記録します。測定は1サイクル。負荷トルクは事前に決めておきます。
- 上記の手順に従い、時計方向と反時計方向のそれぞれについて最適な直線を算出いたします。
- 時計方向と反時計方向のそれぞれについて最大偏差が求められます。

一般的にトルク変換器を含む計測系を調整する場合、特性曲線（Characteristic curve）は直線として仮定されるためヒステリシスを含む非直線性は重要な特性です。この特性の影響は、トルク変換器が広い計測範囲で使用された場合に現れます。最も大きな影響が現れるケースは、ゼロトルクから公称トルクまでの広範囲で使用した場合です。

例：

T10FSトルク変換器は、最大許容の非直線性（ d_{lh} ）が0.05%、定格感度が5kHzです。計測システムが最適に調整された場合、ヒステリシスを含む非直線性による誤差は、最悪値で2.5Hzです。

繰り返し性 σ_{rel} (Relative standard deviation of repeatability)

繰り返し性 (Repeatability) は、同一条件で同一トルクを繰り返し複数回かけた場合に生じる出力値の変動を表します。ただし、測定期間中は、トルク変換器の取付け状態に変化は無く、脱着も行わないことが条件になります。数値は、同一条件で同一トルクを繰り返しかけたときの出力値の平均値からの偏差を表します。

繰り返し性は、DIN1319に準拠する繰り返し性として定義され、感度に対するパーセントで表されます。この値は全ての測定条件が一定に保たれている場合に適用されます。もし測定条件に変化があった場合、出力値に系統的な偏差を生じる原因になります (DIN 1319に定義された繰り返し性)。

繰り返し性は、下記に示す静的な校正方法で検査されています。

- トルク変換器に公称トルクをかけます。出力値 $S_{i,100\%}$ は公称トルク時の出力値です。
- 公称トルクの50%のトルクをかけます。出力値 $S_{i,50\%}$ は公称トルクの50%トルクの時の出力値です。
- 公称トルクの50%と100%のトルクを交互にかけます。この負荷サイクルを10回繰り返し、 $S_{i,50\%}$ と $S_{i,100\%}$ の出力値を測定します。
- 下記の数式に、それぞれの負荷トルクに対する出力値を代入し相対標準偏差を計算します。(数学的には、ランダムサンプリングによる実験的標準偏差の算出法です)

$$\sigma_{rel,50\%} = \frac{1}{\bar{S}_{100\%} - \bar{S}_{50\%}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (S_{i,50\%} - \bar{S}_{50\%})^2}$$

and

$$\sigma_{rel,100\%} = \frac{1}{\bar{S}_{100\%} - \bar{S}_{50\%}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (S_{i,100\%} - \bar{S}_{100\%})^2}$$

繰り返し数を $n=10$ とし、公称トルクの50%と100%の条件における出力値を求め、下式に基づき測定値の平均値を計算します。

$$\bar{S}_{50\%} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{i,50\%} \quad \text{and} \quad \bar{S}_{100\%} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{i,100\%}$$

繰り返し性は、 $\sigma_{rel,50\%}$ と $\sigma_{rel,100\%}$ のどちらか小さい方の値を表します。

例：HBMの場合

T10Fトルク変換器の繰り返し性は、 $\sigma_{rel} \leq 0.03\%$ です。

実際の負荷トルクが公称トルクの範囲内であれば、この値が適用されます。例えば、公称トルクを $1\text{kN}\cdot\text{m}$ とした場合、上記の条件に従うと、負荷トルク $500\text{N}\cdot\text{m}$ は適用範囲内になります。従って、この場合、繰り返しの標準偏差は、 $0.15\text{N}\cdot\text{m}$ 以下と計算されます。

次の例は、繰り返し性がユーザーにとって特に重要である場合の説明です。エンジンベンチ試験の目的の中に、電子制御のパラメータ設定が及ぼす性能比較があります。但し前提条件として、トルク変換器の取付状態と環境条件は一定に保たれている必要があります。また、負荷トルクの運転パターンは、同一条件の実験では同じでなければなりません。これらの実験においては、トルクの絶対値よりも実験毎のトルク値の差がより重要視されています。このような状況下で生じるある程度のトルク値の差は、トルク変換器の不確かさ要因の一つである繰り返し性の影響も含まれています。

環境条件と限界負荷

定格回転速度 (Nominal rotation speed)

定格回転速度は、停止状態から使用可能な回転速度の範囲の上限値です。この値は時計方向および反時計方向の両方に適用できます。

公称 (定格) トルク M_{nom} (Nominal torque)

公称トルクは、変換器の各特性が公差を超過しない範囲の上限のトルク値です。この値は時計方向および反時計方向の両方向に適用できます。

最大許容トルク (Maximum service torque)

最大許容トルクは、測定可能なトルクの上限値です。ただし、公称トルクを超えた部分については、精度等の各特性の公差は仕様値内となる保証はありません。

変換器が公称トルクと最大許容トルクの間で使用された後に、公称トルクまでのトルクで再び使用される場合、ゼロ点信号にわずかなシフトが生じ得ますが、これにより仕様を満たさなくなることはありません。

お勧めはできませんが、HBMトルク変換器は最大許容トルクまでの測定に使用することができます。最大許容トルクは、トルク変換器に内蔵したアンプの動作範囲などの電気的な特性、あるいは過負荷防止のような機械的な特性によって決定されることもあります。アンプも機械的な過負荷保護も持っていない変換器の場合には、最大許容トルクと限界トルクは同じとなります。

限界トルク (Limit torque)

限界トルクは、変換器の測定能力に永久的なダメージを与えない最大トルクです。

最大許容トルクと同様に、変換器が公称トルクと限界トルクの間で使用された後に、公称トルクまでのトルク値で再び使用される場合、ゼロ点信号にわずかなシフトが生じ得ますが、これにより仕様を満たさなくなることはありません。

振動トルクが連続的に入力される場合は、この限界トルクよりも次ページに示す振動振幅 (Oscillation bandwidth) の方が重要となります。

破壊トルク (Breaking torque)

破壊トルクは、これを超過した時に変換器の機械的な破壊に結びつくトルクです。

限界トルクと破壊トルク間のトルク値の場合には、変換器に機械的な破壊は生じませんが、永久に使用不可能になるほどの故障を生じ得ます。

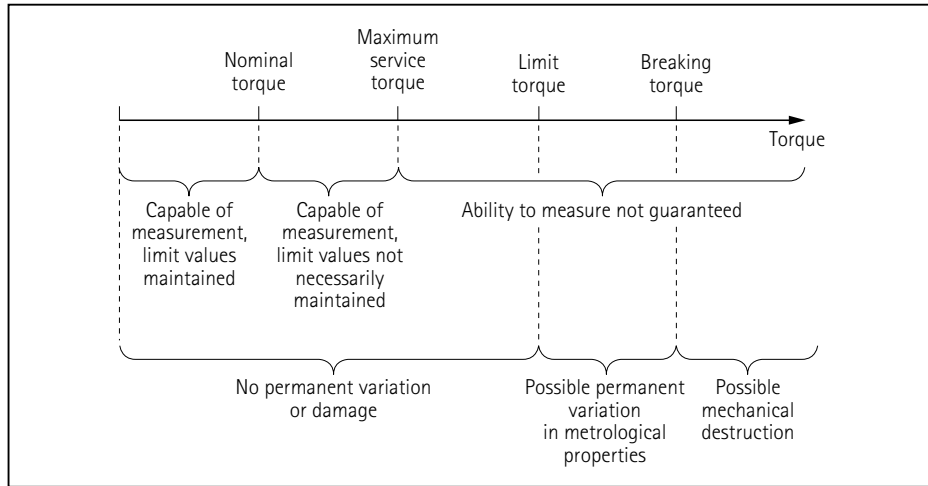


図6 限界負荷 (Load limits)

許容振動振幅 (Permissible oscillation bandwidth)

許容振動振幅は、変換器の特性に何らかの変化を引き起こさずに、 10^7 回の繰り返し入力ができるサインカーブ状の負荷トルクの最大振幅です。

振幅は振動トルクの最大トルクと最小トルクの差であるpeak to peak値で表します。最大トルクの値および最小トルクの値は、規定した上限値および下限値内にあることが必要で、通常この上下限値は公称トルクです。これと異なる場合は、上下限値を仕様書に明示します。

許容振動振幅の概念は、材料の連続振動試験 (疲労試験) について規定したDIN 50100規格の応力 (stress) をトルクに置き換えたものです。疲労強度を決定するのは繰り返しサイクル数で、繰り返しの周波数が機械的プロセス (mechanical processes) と関連付けられる範囲内であれば、その周波数の値は重要ではありません*)。DIN 50100によれば、鋼材の機械部品の場合は、 10^7 回の繰り返し負荷をかけた時にこれに耐えることができれば、この時の負荷値以下では疲労しない (fatigue proof) と考えられます。

規定した上下限の範囲内であれば、許容振動振幅は振動トルクがゼロトルク線を横切らない脈動トルク (Pulsating torque) と、これを横切る交番トルク (Alternating torque) の両方に適用できます。(図7参照)

振動トルクの瞬時値は上下限値を超えられませんので、振動トルクの平均値 (Average torque) が限界値に近づくに従い、振動トルクの振幅 (Oscillation bandwidth) は小さくなります。

*) 参考文献 : H.-J. Bargel, G. Schulze: Werkstoffkunde (Materials Science), VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, Germany 1988

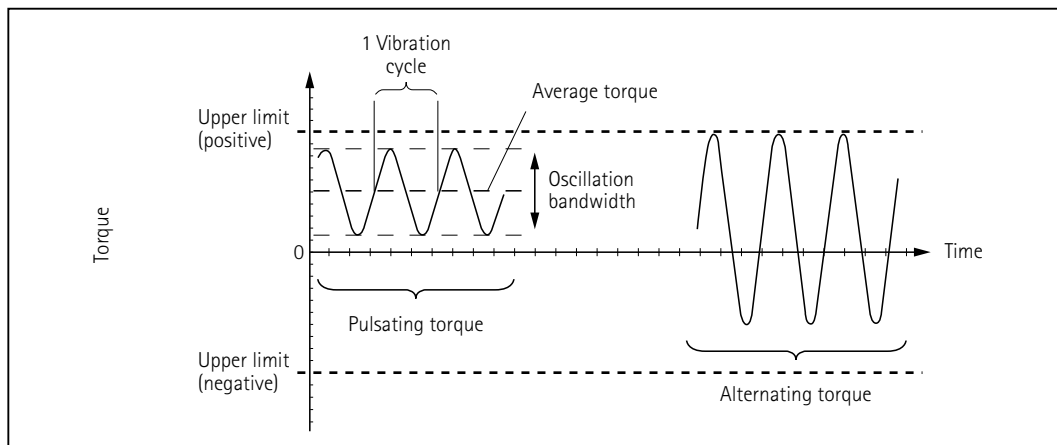


図7 振動振幅 (Oscillation bandwidth) に関する用語

限界軸方向力 (Axial limit force)

限界軸方向力は、許容される軸方向力（縦方向力）の最大値で、図8の中では F_a で表しています。この限界軸方向力を超過すると、変換器は永久的なダメージを被る可能性があります。

HBMトルク変換器では、限界軸方向力は測定可能範囲（service range）の上限に設定しており、軸方向力が限界軸方向力を超過しない場合、測定は可能ですが軸方向力によりトルク測定値に影響を与えます。この影響の上限値は仕様書の中に注釈として記載しております。

曲げモーメント、横力、公称トルクの超過のような軸方向力とは別の異常外力（irregular stress）が同時に加わる場合は、許容可能な軸方向力は規定した限界軸方向力より小さくなり、限界値を下げなければなりません。例えば、公称トルクを超過していない場合において、限界曲げモーメントの30%および限界横力の30%の寄生負荷（parasitic load）が生じている時は、軸方向力は限界軸方向力の40%だけが許容できます。変動する寄生負荷が連続的に加わる場合の許容振動振幅の値は、各々の限界値と異なります。

限界横力 (Lateral limit force)

限界横力は、許容される横力の最大値で、図8の中では F_r で表しています。この限界横力を超過すると、変換器は永久的なダメージを被る可能性があります。

限界横力も測定可能範囲の上限に設定しています。横力が限界横力を超過しない場合、測定は可能ですが横力によりトルク測定値に影響を与えます。この影響の上限値も仕様書の中に注釈として記載しております。

軸方向力、曲げモーメント、公称トルクの超過のような横力とは別の異常外力（irregular stress）が同時に加わる場合は、許容可能な横力は規定した限界横力より小さくなり、限界値を下げなければなりません。例えば、公称トルクを超過していない場合において、限界軸方向力の30%および限界曲げモーメントの30%の寄生負荷（parasitic load）が生じている時は、横力は限界横力の40%だけが許容できます。変動する寄生負荷が連続的に加わる場合の許容振動振幅の値は、各々の限界値と異なります。

限界曲げモーメント (Bending limit moment)

限界曲げモーメントは、許容される曲げモーメントの最大値で、図8の中では M_b で表しています。この限界曲げモーメントを超過すると、変換器は永久的なダメージを被る可能性があります。

限界曲げモーメントも他の二つと同様に測定可能範囲の上限に設定しています。曲げモーメントが限界値を超過しない場合、測定は可能ですが曲げモーメントによりトルク測定値に影響を与えます。この影響の上限値も仕様書の中に注釈として記載しております。

軸方向力、横力、公称トルクの超過のような曲げモーメントとは別の異常外力（irregular stress）が同時に加わる場合は、許容可能な曲げモーメントは規定した限界曲げモーメントより小さくなり、限界値を下げなければなりません。例えば、公称トルクを超過していない場合において、限界軸方向力の30%および限界横力の30%の寄生負荷（parasitic load）が生じている時は、曲げモーメントは限界曲げモーメントの40%だけが許容できます。変動する寄生負荷が連続的に加わる場合の許容振動振幅の値は、各々の限界値と異なります。

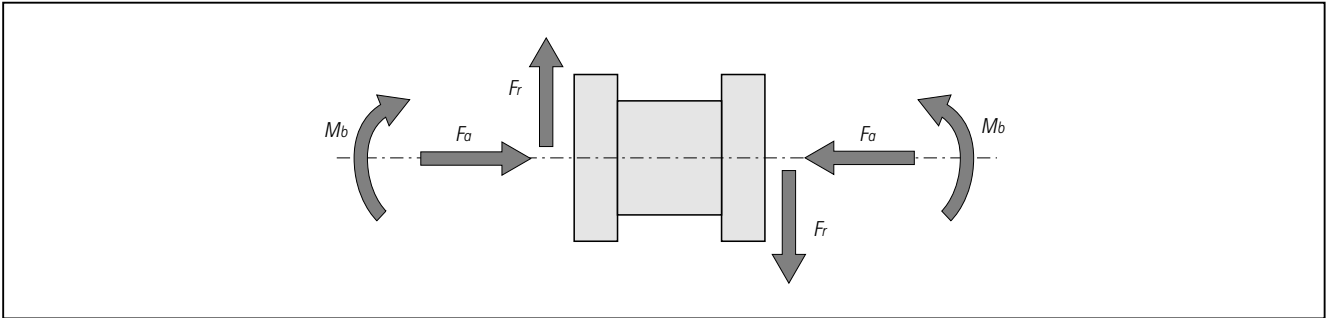


図8 寄生負荷 (parasitic loads) : 軸方力 F_a , 横力 F_r , 曲げモーメント M_b

基準温度 (Reference temperature)

基準温度は、各仕様項目の中に特に記載がない場合、仕様値を決定する周囲温度 (ambient temperature) です。

定格温度範囲 (Nominal temperature range)

定格温度範囲は、変換器を使用して測定を行う際、仕様書に記載された精度などの計測特性 (metrological properties) の全てを満足する周囲の温度範囲です。

許容温度範囲 (Service temperature range)

許容温度範囲は、変換器の計測特性に永久的な変化を生じないで使用できる周囲の温度範囲です。

許容温度範囲内であるが定格温度範囲を超えている場合、仕様書に記載された精度などの計測特性は保証されません。

保存温度範囲 (Storage temperature range)

保存温度範囲は、変換器に機械的にも電気的にも負荷を加えずに保存した場合、計測特性に永久的な変化を生じない周囲の温度範囲です。

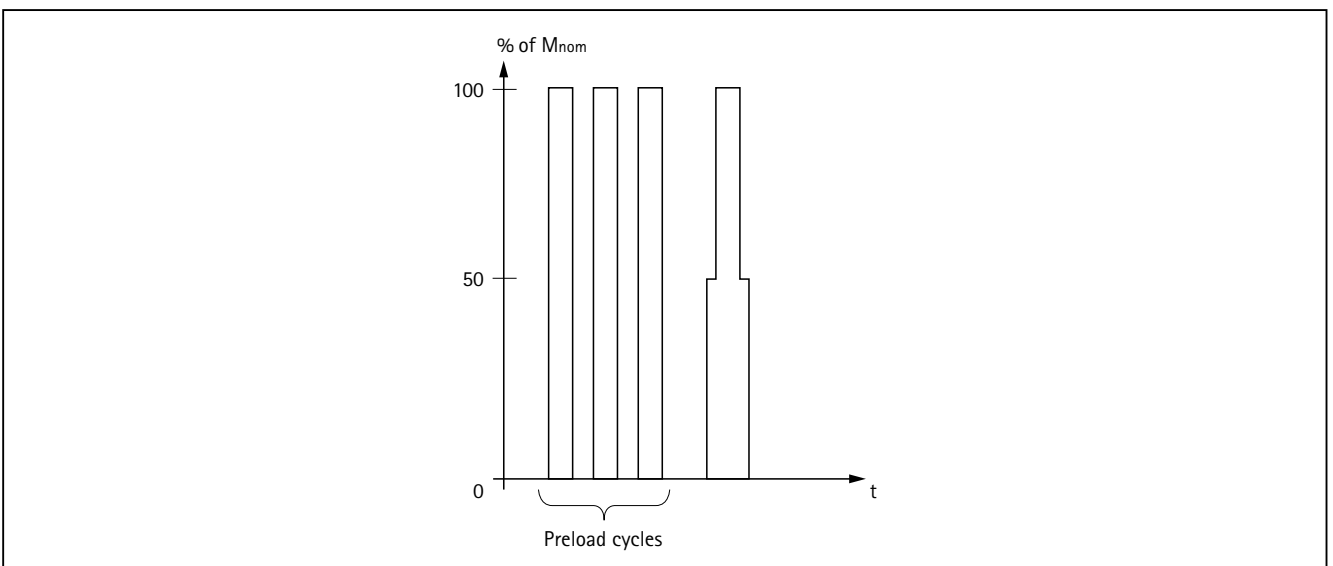


図9 DIN 1319に定義されている校正負荷サイクルの例 (ページ8の参照図)

世界の参照トルクを提供するドイツの計測器メーカー HBM 「正しいトルクセンサ選定のポイント – 精度の視点から」

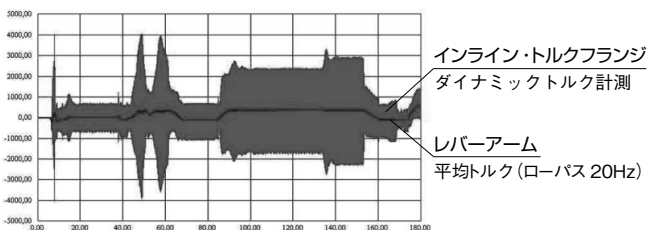
近年のトルク計測はスタティックからダイナミック計測へと移行しつつあります。

図のようなエンジンの燃焼サイクルにおいて、ダイナミックトルクの高いピーク値を考慮した十分な定格トルクを選定しなければ、トルクセンサは過負荷により故障に至ります。

一方、データ解析や評価において、ダイナミックトルクではなく、平均トルクの評価を高精度に行う場合があります。低レンジを高精度に計測するために、ソリューションとしてデュアルレンジトルクセンサが提案される場合もあるようですが、理想的なデュアルレンジセンサはまだ実用化されているとは言い難い状況です。

HBM では「精度」の意味を総合的に理解することなしに正しい機種を選定はできないと考えます。利用環境の諸条件（例えば計測範囲、温度環境、設置など）によって総合的な精度は変わります。

ダイナミックトルク計測と旧手法の違い



本稿ではこの精度の構成要因にフォーカスし、その中でも特に注意が必要な温度影響と寄生応力について解説します。また最後にデュアルレンジトルクセンサについての見解を述べます。

トルクセンサの精度（不確かさ）を構成する要因

最初に、トルクセンサの精度（不確かさ）を構成する要因について確認しておきます。一般的には次の5つの要素があります。各値はデータシート内に公開されており、演算式により総合的な精度が予測できます。単に非直線性だけに注目しても、他の要因が影響を受ければ総合的に精度は向上しないことがわかります。

- ヒステリシスを含む非直線性
- ゼロ点での温度影響
- フルスケールでの温度影響
- 繰り返し性
- 寄生応力（通常は縦・横軸力および曲げモーメント）

なおデータシートにある精度にはそのトルクセンサが校正された校正器自体の精度が加味されているため、使われた校正器の精度を知ることは必須です。ドイツにはPTBやDKD、米国にはNIST、日本にはNMIJ（計量標準総合センター）があり、これらの機関は

計測の不確かさの演算式

- **U_{dc}** Sensor Output \ Sensitivity
- **U_{dih}** Linearity + Hysteresis
- **U_{TK0}** Temperature Effect at Zero
- **U_{TKC}** Temperature Effect at Full Scale
- **U_{rel}** Repeatability
- **U_{para}** Off Axis Loads
 - Axial
 - Lateral (consult factory on how to calculate errors)
 - Bending

$$U_{total} = \sqrt{U_{dc}^2 + U_{dih}^2 + U_{TK0}^2 + U_{TKC}^2 + U_{rel}^2 + U_{para}^2}$$

世界統一認証制度を掲げ、Key Comparison を行っています。具体的には1式の参照トルク変換器を用いて各国の国家研究所が保有する校正器を試験し結果を比較しています。その際、HBMの製品が参照トルク・計測器として採用されています。校正されたセンサには校正結果に基づき校正証明書が発行されます。この証明書を持たないセンサは、そもそも信用に値しないといえます。

温度影響への考慮

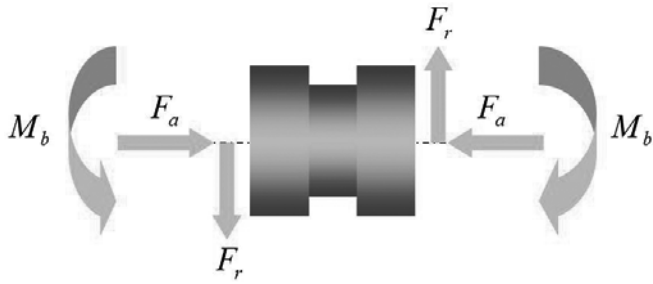
様々な環境要因がありますが、ひずみゲージ式計測技術にとって温度による影響は特に大きいといえます。このためひずみゲージ式センサは、その温度影響の限界点までフルパフォーマンスを発揮して精密で正確な信号を抽出するという使命をもっており、これはトルクセンサも例外ではありません。機種選定においては、まず計測環境の温度変化が段階的なのか定常的なのか重要です。前者の場合は金属の軸に沿って熱が移動するため、トルクセンサの片側が最初に影響を受けて温度が上がり、センサに熱応力が発生するため疑似出力が大きくなります。他方、温度が均一なら、メーカーが温度補償範囲としてデータシートに記載しているように、温度影響は内部のオフセット機構により補正されるため仕様値となります。

外部からの寄生応力を最小限に

外部応力や軸方向から外れた位置からの力によってねじれ振動が発生し、センサの故障や破壊につながる場合があります。軸が回転しているときに発生する軸方向の力、横方向に寄生する力、および曲げモーメント力を寄生応力と呼びますが、これらの偏芯力は回転するトルクセンサに温度影響と同様の大きな誤差を生じさせます。

具体的には次のような場合が考えられます。

- 限界軸方向力（スラストや引張）が最大許容力と同じ場合
- 限界横力（せん断）XまたはYがラジアル力の最大許容値と同じ場合
- 曲げモーメント（重量にトルクセンサの先端からの距離を乗算した値）が曲げ応力の最大許容値と同じ場合



トルクセンサのデータシートには寄生応力として、トルクセンサの限界軸方向力（スラストや引張）、限界横力、曲げモーメントの値が掲載されています。寄生応力のトータルが100%となる場合に、トルクセンサの出力にはフルスケールの0.3%のエラーが発生します。

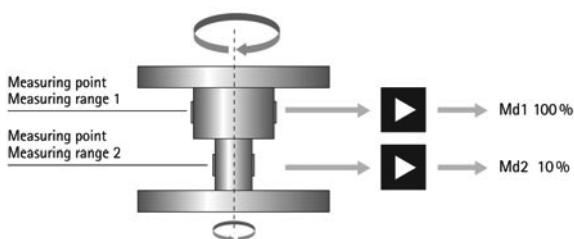
例えば3つの限界値がデータシートの最大値の33.3%であった場合、合計が100%となるため、エラーはフルスケールの0.3%になります。

寄生応力を除去すれば試験スタンドの計測精度は上がり、不確かさは小さくなります。実際の使用では寄生応力を極力減らすことが重要です。

デュアルレンジトルクセンサについて

HBMの観点では、「真のデュアルレンジトルクセンサ」の製造は極めて困難です。これを実現するためには10kN・mのブリッジと1kN・mのブリッジが両方同軸上に設置されている必要があり、仮に10kN・mの負荷がかかると小さいほうのブリッジはねじれて壊れます。よって一般的には10kN・mのトルクセンサに、1kN・mの校正を別に行う方法が使われます。定格範囲の低レンジ側と高レンジ側を両方使う場合の注意点として、「電気的なゲイン調整による悪影響」や「ゼロ点での温度影響」が挙げられます。

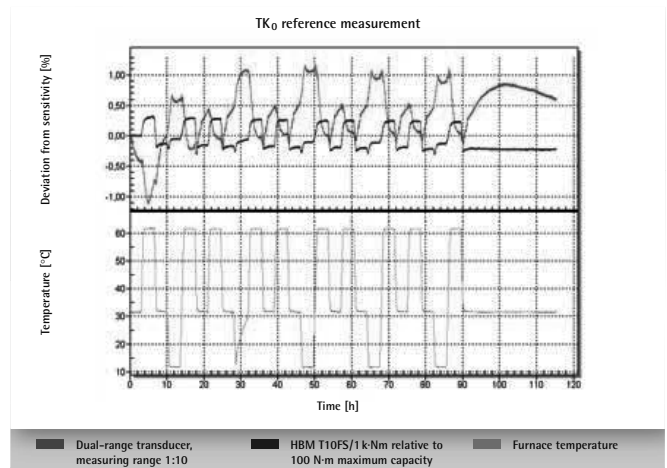
Genuine dual-range transducer



The genuine dual-range transducer would have two SG bridges with two strain zones and two amplifiers

前者は、電圧ゲインにより小さい方のひずみ出力を上げますが、その際にノイズフィルタを使うためデータが損失し、低レンジ側で精度が下がります（ソフトウェアを使って、デュアルレンジであるように動作させる方法は可能）。

後者の「ゼロ点での温度影響」については特に注意が必要です。温度影響に伴うデュアルレンジトルクセンサと標準トルクセンサの出力の差を図に示します。HBM製品（青）は安定的な信号を生成しているのに対し、デュアルレンジトルクセンサ（赤）はその値が大きく乱れています。



デュアルレンジトルクセンサとHBM標準トルクセンサによるゼロ点での温度影響の比較（参考値）

最後に、HBMのトルクセンサは低レンジ側で分解能が低く、計測精度が不十分だという説明があるようですがこれは正確ではありません。まずHBMの製品は低レンジ側から高レンジ側まで分解能は変わりません。「搬送波方式」によるアンプシステムが採用されており、外乱ノイズを除去し、計測信号だけを抽出して出力できます。また5ppmを実現する高速高分解能なA/Dコンバータ技術が応用されているため必要な分解能を必要なだけ提供できます。つまりデュアルレンジのように2つの固定された計測レンジをもつ製品よりも、はるかに柔軟性に富み、高品質なデータを提供できます。「低レンジ側でより細かい数値を見たいという希望」にはそのまま応えることができます。HBMでは低レンジ側の詳細な校正データを「パーシャルレンジ校正サービス」としてオプションで提供しています。

HBMは製品データシートの中に、精度に影響を与えるすべての項目を公開しています。正しいトルクセンサの選定は精度を総合的に判断することで可能になります。機器選定にあたってはぜひ独自の判断だけに頼らず、適切な知見をもつサードパーティにアドバイスを受けることを推奨します。

さらなる高精度とテスト効率の向上をめざして、高分解能と大容量の両立に向けた技術開発が進んでいます。HBMでもねじり剛性が高く、かつ高応答なセンサの開発に力を注いでいます。



最大容量 7MN・m、最高 30,000回転など、豊富なラインナップをもつHBMのトルクセンサ

©Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH. All rights reserved
記載内容は変更される場合があります。
本仕様書の記述はすべて当社製品の一般的な説明です。製品の
補償を示すものとして理解されるべきものではなく、また、い
かなる法的責任を成すものでもありません。
記述に差異が有る場合にはドイツ語原本が正となります。

07.15-05-00T

スペクトリス株式会社HBM事業部

本 部 〒101-0048 東京都千代田区神田司町2-6
司町ビル 4階

TEL 03-3255-8156 FAX 03-3255-8159

関西営業所 〒532-0003 大阪府大阪市淀川区宮原3-5-24
新大阪第一生命ビル 11F

TEL 06-6396-8507 FAX 06-6396-8509

名古屋営業所 〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦1-20-19
名神ビル 6F

TEL 052-220-6086 FAX 03-3255-8159

URL www.hbm.com/jp E-mail hbm-sales@spectris.co.jp

measure and predict with confidence

