

まえがき

この規格は、工業標準化法に基づいて、日本工業標準調査会の審議を経て、通商産業大臣が改正した日本工業規格である。これによって **JIS C 0040-1995** は改正され、この規格に置き換えられる。

JIS C 0040 には、次に示す附属書がある。

- 附属書 A (参考) 試験 Fc の指針
- 附属書 B (参考) 主として部品に適用する厳しさの例
- 附属書 C (参考) 主として機器に適用する厳しさの例

目次

	ページ
序文	1
1. 適用範囲	1
2. 引用規格	2
3. 定義	2
4. 試験要求事項	4
5. 厳しさ	6
6. 前処理	9
7. 初期測定	9
8. 試験	9
9. 中間測定	10
10. 後処理	10
11. 最終測定	10
12. 製品規格に規定する事項	10
附属書 A (参考) 試験 Fc の指針	12
附属書 B (参考) 主として部品に適用する厳しさの例	24
附属書 C (参考) 主として機器に適用する厳しさの例	25

環境試験方法—電気・電子— 正弦波振動試験方法

Environmental testing Part2 : Tests—Test Fc : Vibration (sinusoidal)

序文

この規格は、1995年に第6版として発行された **IEC 60068-2-6**, Environmental testing Part 2 : Tests—Test Fc : Vibration (sinusoidal) を翻訳し、技術的内容及び規格票の様式を変更することなく作成した日本工業規格である。また、この規格で点線の下線を施してある箇所は、原国際規格にはない事項である。

IEC 規格番号は、1997年1月1日から実施の **IEC** 規格新番号体系によるものであり、これより前に発行された規格についても、規格番号に 60000 を加えた番号に切り替えた。これは、番号だけの切替えであり、内容は同一である。

この規格は、輸送中又は使用中に調和形の振動を受ける部品、機器その他の製品（以下、供試品という。）に適用する試験方法を規定するものである。調和形の振動は、船舶、航空機、車両、ヘリコプター及び宇宙機器で生じるような、又は機械及び地震現象に起因するような、主として回転力、脈動力又は周期的な力によって発生する。

この規格では、基本的には、供試品に規定の振動数範囲又は振動数の正弦波振動を、規定の時間加える。供試品の臨界振動数を決定するために、振動応答検査を規定してもよい。

製品規格では、振動中の供試品の動作を調べるのか、又は振動を加えた後で供試品の動作を調べるのかを規定する。

振動試験は、常にある程度の技術的判断を必要とするものであること、及び供給者と購入者の双方はこのことを十分に知っておくことが望ましいことをここで強調しておく。しかし、正弦波試験は決定論的であり、比較的簡単に実施できる。したがって、直ちに、診断及び使用寿命試験に適用できる。

この規格の本体では、アナログ又はデジタル技術を用いて、定められた点の振動を制御する方法、及び試験手順の詳細を規定する。振動運動の要求事項、並びに振動数範囲、振幅及び耐久試験時間を含む厳しさの選択についても規定し、厳しさは、パラメータの合理的な配列で表す。製品規格を定める場合は、供試品並びにその使用条件に適合した試験手順及び値を選択する必要がある。

この規格を正しく理解できるようにするため、用語を定義する。これらの定義は、3.に示す。

附属書 A には試験に対する一般的指針を、**附属書 B** 及び**附属書 C** には、部品及び機器に対する厳しさの選択の指針を示す。

1. 適用範囲

この規格は、供試品が規定の厳しさの正弦波振動に耐える能力を決定するための標準的な試験手順を規定する。

この試験は、供試品の機械的弱点及び／又は特定の性能の劣化を判定する、並びに製品規格と共にその判定情報を用いて供試品の合否を決定することを目的とする。この試験方法は、供試品の機械的頑丈さを実証するため、及び／又は供試品の動的振る舞いを調査するためにも使用することができる。試験に用いた厳しさに応じて選択すれば、部品を分類することもできる。

備考 次に示す規格は、この規格の対応国際規格である。

IEC 60068-2-6 : 1995 Environmental testing Part2 : Tests—Test Fc : Vibration (sinusoidal)

2. 引用規格

次に掲げる規格は、この規格に引用されることによって、この規格の規定の一部を構成する。これらの引用規格は、記載の年の版だけがこの規格の規定を構成する。

なお、すべての規格は改正されるので、この規格の関係者は、次の規格の最新版を調査し、適用するよう推奨する。

JIS C 0010-1993 環境試験方法—電気・電子—通則

備考 **IEC 60068-1 : 1988** Environmental Testing. Part 1 : General and guidance Amendment 1 と一致している。

JIS C 0036-1997 環境試験方法—電気・電子—広帯域ランダム振動試験方法及び指針

備考 **IEC 60068-2-64 : 1993** Environmental Testing. Part 2 : Test methods—Test Fh : Vibration, broadband random (digital control) and guidance と一致している。

JIS C 0047-1995 環境試験方法—電気・電子—動的試験での供試品の取付方法及び指針

備考 **IEC 60068-2-47 : 1982** Environmental Testing. Part 2 : Tests—Mounting of components, equipment and other articles for dynamic tests including shock (Ea), bump (Eb), vibration (Fc and Fd) and steady-state and steady-state acceleration (Ga) and guidance と一致している。

JIS C 0110-1995 環境条件の分類 環境パラメータとその厳しさの分類

備考 **IEC 60721-1 : 1990** Amendment Classification of environmental conditions—Part 1 : Environmental parameters and their severities と一致している。

ISO 2041 : 1990 Vibration and shock—Vocabulary

参考

IEC 60050 (721) : 1991 International Electrotechnical Vocabulary (IEV)—Chapter 721 : Telegraphy facsimile and data communication

3. 定義

ここで定義する用語をアルファベット順に示す。

実際の運動 (actual motion)	3.7
基本運動 (basic motion)	3.6
追従共振振動数 (centered resonance frequency)	3.10
監視点 (check point)	3.2.1
臨界振動数 (critical frequencies)	3.9
減衰 (damping) 系	3.8
架空の基準点 (fictitious reference point)	3.2.2.1
固定点 (fixing point)	3.1

g_n	3.12
計測点 (measuring points)	3.2
多点制御 (multi point control)	3.3.2
基準点 (reference point)	3.2.2
制限振動数掃引 (restricted frequency sweeping)	3.11
シグナルトレランス (signal tolerance)	3.5
1 点制御 (single point control)	3.3.1
掃引サイクル (sweep cycle)	3.4

この規格で使用する用語は、一般的に、ISO 2041 及び JIS C 0010 の定義による。しかし、この規格では、掃引サイクル(3.4)及びシグナルトレランス(3.5)は特定の意味をもつ。

3.1 固定点 (fixing point) 供試品が通常使用中に固定されている点で、取付具又は振動台に接している供試品の部分。実際の取付け構造物の一部を取付具として使用するとき、供試品上の点ではなく、取付け構造物の点を固定点とする。

3.2 計測点 (measuring points) 試験は、幾つかの規定された点の測定データを使って実施する。計測点には2種類あり、次にその定義を示す。

備考 供試品の振る舞いを調べるために、供試品の内部の点の測定を行うことがあるが、それらの点は、この規格でいう計測点ではない。詳細は、**附属書 A の A.2.1** 参照。

3.2.1 監視点 (check point) 固定点の一つにできるだけ近い取付具、振動台又は供試品上の点で、いずれの場合も固定点に固着している点。

備考1. 試験要求事項を満たすことを確実にするための手段として、複数の監視点を使用する。

2. 固定点が4点以下の場合は、各点を監視点とする。固定点が4点を超える場合は、製品規格で代表的な4点を固定点として規定し、監視点とする。
3. 供試品が大きい又は複雑なため、固定点に近接した点を監視点とすることができないような特別な場合は、製品規格で、監視点を規定する。
4. 多数の小形の供試品を1個の取付具に取り付ける場合、又は幾つかの固定点がある小形の供試品の場合は、制御信号を取り出すために監視点（すなわち、基準点）を1点としてもよい。したがって、この信号は供試品の固定点よりも、むしろ取付具に関係していることになる。この方法は、供試品を取付けた取付けの最低共振振動数が、試験上限振動数よりも十分高いときに限り使用できる。

3.2.2 基準点 (reference point) この規格の要求事項を満たすように試験を制御するために使用する点で、複数の監視点から選択する。

3.2.2.1 架空の基準点 (fictitious reference point) この規格の要求事項を満たすように試験を制御するために使用する点で、複数の監視点から手動又は自動で引き出した架空の点。

3.3 制御点 (control point)

3.3.1 1 点制御 (single point control) 基準点のピックアップからの信号を用いて、この点を規定のレベルに保つ制御方法 (**4.1.4.1** 参照)。

3.3.2 多点制御 (multi point control) 監視点の各ピックアップからの信号を用いる制御方法。これらの信号を、製品規格の規定に従って、連続的に算術平均するか、又は比較方法を用いて処理する (**4.1.4.1** 参照)。

3.4 掃引サイクル (sweep cycle) 振動数の規定振動数範囲での1回の往復移動。

例 10Hz→150Hz→10Hz

3.5 シグナルトレランス (signal tolerance) シグナルトレランスは、次の式で表す。

$$T = \left(\frac{NF}{F} - 1 \right) \times 100$$

ここに、
 T : シグナルトレランス (%)
 NF : フィルタを通さない信号の rms 値
 F : フィルタを通した信号の rms 値

備考 このパラメータは、試験の制御に使用している信号、すなわち、加速度、速度又は変位のどれかに適用する。

3.6 基本運動 (basic motion) 基準点の振動の駆動振動数の運動 (4.1.1 参照)。

3.7 実際の運動 (actual motion) 基準点のピックアップからの広帯域信号によって表される運動。

3.8 減衰 (damping) 系 内部の種々のエネルギー損失のメカニズムに起因する一般的用語。減衰は、実際には、構造系、振動モード、ひずみ、外力、速度、材料、接合部の滑りなどのような多くのパラメータに影響される。

3.9 臨界振動数 (critical frequencies)

— 振動によって供試品の機能不良及び／又は性能劣化が現れる振動数、及び／又は

— 機械共振及び／又は例えば、チャタリングなどのその他の応答の影響が起きる振動数。

3.10 追従共振振動数 (centered resonance frequency) 振動応答検査で得た共振振動数に、自動的に追従させる振動数。

3.11 制限振動数掃引 (restricted frequency sweeping) 臨界振動数の 0.8～1.2 倍の範囲に制限した振動数範囲の掃引。

3.12 g_n 地球の重力による標準加速度、地球上の加速度は高度及び緯度によって変化する。

備考1. この規格では、 g_n の値は 10m/s^2 に丸める。

2. 我が国は、国際単位系 (SI) を採用しており、計量法では、この単位を用いていないが、ここでは翻訳してそのまま記載した。

4. 試験要求事項

4.1 要求特性

要求特性は、供試品を取り付けた状態の電力増幅器、振動発生機、試験取付具及び制御装置に適用する。

4.1.1 基本運動

基本運動は、時間の正弦関数で、供試品の固定点が実質的に同位相で平行な直線上を動き、4.1.2 及び 4.1.3 の制限内の運動でなければならない。

4.1.2 スプリアス運動

4.1.2.1 横運動

規定の軸に垂直な各軸方向の監視点の振動の最大振幅は、500Hz までは規定振幅の 50%以下、500Hz を超える振動数では規定振幅の 100%以下とする。この測定では、規定振動数範囲だけをカバーすればよい。例えば、小形の供試品のような特別の場合、製品規格で、横運動の許容振幅を 25%に制限してもよい。

例えば、大形の若しくは質量の大きな供試品の場合、又はある振動数で、前記の値を実現することが困難な場合がある。このような場合は、次の要求事項のどれを適用するかを製品規格に規定する。

- a) 前記の値を超える横振動に注意し、試験報告書に記録する
- b) 供試品に害を与えないことが分かっている横運動は、監視する必要がない。

4.1.2.2 回転運動

大形の又は質量の大きな供試品の場合は、振動台に発生する回転運動が重要なことがある。そのような場合は、製品規格に許容レベルを規定し、実際のレベルを試験報告書に記録する (A.2.4 参照)。

4.1.3 シグナルトレランス

製品規格に規定がない限り、加速度信号のシグナルトレランスの測定を実施する。この測定は、基準点の信号に対して実施し、5 000Hz 又は駆動振動数の 5 倍のうち低い方の振動数をカバーする測定帯域とする。しかし、製品規格に規定がある場合は、この最高分析振動数を試験の掃引上限振動数又はそれを超える振動数まで伸ばしてもよい。製品規格に規定がない限り、シグナルトレランスは、5%以下とする (3.5 参照)。

製品規格に規定があれば、トラッキングフィルタを使って、制御信号の駆動振動数成分の加速度振幅を規定の値に制御する (附属書 A の A.4.4 参照)。

大形の又は複雑な供試品の場合で、振動数範囲のある部分でシグナルトレランスの規定値を満足せず、トラッキングフィルタの使用が实际的でない場合、駆動振動数成分に対して制御する必要はないが、試験報告書にシグナルトレランスを記録する (附属書 A の A.2.2 参照)。

備考 トラッキングフィルタを使用、シグナルトレランスが 5%を超える場合は、デジタル制御装置を使うか又はアナログ制御装置を使うかによって、再現性に重要な影響がでることがある。

製品規格に、トラッキングフィルタの使用の有無にかかわらず、シグナルトレランスをその影響する振動数範囲と共に、試験報告書に記録することを規定してもよい (附属書 A の A.2.2 参照)。

4.1.4 振動振幅の許容差

監視点及び基準点の規定軸方向の基本運動の振幅は、次の許容差の範囲内で規定値に等しくする。これらの許容差には計器誤差を含める。製品規格に、測定の不確かさの評価に使用した信頼水準を試験報告書に記録することを規定してもよい。

低い振動数で、又は大形の若しくは質量の大きな供試品では、規定の許容差を実現することが困難なことがある。

このような場合、より広い許容差又は別の評価方法を製品規格に規定する。

4.1.4.1 基準点

基準点の制御信号の振幅の許容差：±15% (附属書 A の A.2.3 参照)

製品規格には、一点制御又は多点制御のどちらを使用するかを規定する。多点制御を規定する場合は、製品規格に、監視点の信号の平均値を規定値に制御するのか、又は選択点 (例えば、最大振幅の点) の信号の値を規定値に制御するのかを規定する (附属書 A の A.2.3 参照)。

備考 一点制御では実施できない場合、監視点の信号の平均値又は最大値を制御する多点制御を使用してもよい。この場合は、どちらの場合も基準点は架空の基準点となる。使用した方法を試験報告書に記録する。

4.1.4.2 監視点

各監視点の振幅の許容差は、次による。

500Hz まで ±25%

500Hz を超えて ±50%

(附属書 A の A.2.3 参照)

4.1.5 振動数の許容差

次の振動数許容差を適用する。

4.1.5.1 掃引耐久

0.25Hz まで	± 0.05Hz
0.25Hz を超え 5Hz まで	±20%
5Hz を超え 50Hz まで	± 1Hz
50Hz を超えて	± 2%

4.1.5.2 固定振動数耐久

a) 固定振動数	± 2%
b) 略固定振動数	
0.25Hz まで	± 0.05Hz
0.25Hz を超え 5Hz まで	±20%
5Hz を超え 50Hz まで	± 1Hz
50Hz を超えて	± 2%

4.1.5.3 臨界振動数の測定 耐久試験前後の臨界振動数を比較するとき、すなわち、振動応答検査には、次の許容差を適用する。

0.5Hz まで	± 0.05Hz
0.5Hz を超え 5Hz まで	±10%
5Hz を超え 100Hz まで	+ 0.5Hz
100Hz を超えて	± 0.5%

4.1.6 掃引

掃引は連続的に行い、振動数は時間に対して指数関数的に変化させる（**附属書 A の A.4.3** 参照）。掃引速度は、毎分 1 オクターブとし、許容差は±10%とする。振動応答検査では、この値を変えてもよい（**8.1** 参照）。

備考 デジタル制御装置では、掃引は厳密には“連続的”ではないが、この違いは、実用上重要ではない。

4.2 取付け

製品規格に規定がない限り、供試品は **JIS C 0047** の要求事項に従って、試験装置に取り付ける。通常、防振装置に取り付けられている供試品の場合は、さらに、**8.2.2** の備考、**附属書 A の A.3.1** 及び**附属書 A の A.5** を参照する。

5. 厳しさ

振動の厳しさは、三つのパラメータ、すなわち、振動数範囲、振動の振幅及び耐久試験時間（掃引サイクル又は時間）の組合せによって規定する。

各パラメータは、製品規格で、次に挙げる要求事項から選択するか、又は他の既知の関連データに関する情報（例えば、**IEC 60721** シリーズ）から求める。既知の環境がかなり異なっている場合は、製品規格にその環境に応じた要求事項を規定する。

実際の環境が分っている場合は、その環境に柔軟に対応させるために、特定の振動数対加速度曲線を規定することが適切な場合がある。このような場合は、製品規格に、振動数の関数としての形状を規定する。レベル及びそれに対応する振動数範囲、すなわち、折れ点 (break points) は、可能ならこの規格に規定す

る値から選択する。

部品に対する厳しさの例を**附属書 B**に、機器に対する例を**附属書 C**に示す（**附属書 A**の **A.4.1** 及び**附属書 A**の **A.4.2** 参照）。

5.1 振動数範囲

振動数範囲は、**表 1** から下限振動数を、**表 2** から上限振動数を選び製品規格に規定する。推奨振動数範囲を**表 3**に示す。

表 1 下限振動数	表 2 上限振動数	表 3 推奨振動数範囲
単位 Hz	単位 Hz	単位 Hz
下限振動数 f_1	上限振動数 f_2	推奨振動数範囲 $f_1 \sim f_2$
0.1	10	1～ 35
1	20	1～ 100
5	35	10～ 55
10	55	10～ 150
55	100	10～ 500
100	150	10～ 2 000
	300	10～ 5 000
	500	55～ 500
	2 000	55～ 2 000
	5 000	55～ 5 000
		100～ 2 000

5.2 振動振幅

振動の振幅（変位、加速度又は両方）は、製品規格に規定する。

折れ点振動数未満の振動数では変位振幅一定とし、これを超える振動数では加速度振幅一定とする。低い折れ点振動数及び高い折れ点振動数の推奨値を、**表 4** 及び**表 5**に示す。

参考 この規格では、振幅は片振幅で示す。

変位振幅の各値は、折れ点振動数で振動の強度が同じになるような加速度振幅（**表 4** 及び**表 5**の同じ行に示してある。）の値に対応している（**附属書 A**の **A.4.1** 参照）。

参考 変位振幅、加速度振幅及び振動数の間には、次の関係が成立している。

$$a = (2\pi f)^2 \times 10^{-3} d$$

ここに、
 d ∴ 変位振幅 (mm)
 a ∴ 加速度振幅 (m/s²)
 f ∴ 振動数 (Hz)

ここに規定する折れ点振動数を用いることが技術的に不適切な場合は、製品規格で異なる折れ点振動数の変位振幅と加速度振幅を組み合わせで規定してもよい。場合によっては、2 個以上の折れ点振動数を規定してもよい。

備考 振動数に対する振幅の計算図表を付図 1～3 に示すが、低い振動数範囲でこれを使用するときは、**附属書 A**の **A.4.1** の指針を考慮することが望ましい。

上限振動数が 10Hz 以下の場合には、通常、全振動数範囲で一つの変位振幅を規定するのが適切である。したがって、**表 6** 及び付図 3 では、変位振幅だけを規定する。

**表 4 低い折れ点振動数 (8～10Hz)
の推奨振幅**

折れ点振動数未 満の変位振幅 mm	折れ点振動数を超 える振動数での加 速度振幅 m/s ²
0.35	1
0.75	2
1.5	5
3.5	10
7.5	20
10	30
15	50
備考1. すべての数字は片振幅である。 2. 15mm の変位振幅は、主として油圧式振動発生機用である。	

**表 5 高い折れ点振動数 (58～
62Hz) の推奨振幅**

折れ点振動数未 満の変位振幅 mm	折れ点振動数を超 える振動数での加 速度振幅 m/s ²
0.035	5
0.075	10
0.15	20
0.35	50
0.75	100
1.0	150
1.5	200
2.0	300
3.5	500
備考 すべての数字は片振幅である。	

**表 6 上限振動数が 10Hz の振動数範囲
だけに適用する推奨変位振幅**

変位振幅 (mm)
10
35
75
100
備考1. すべての数字は片振幅である。 2. 10mm 以上の変位振幅は、主として油圧式振動発生機用である。

5.3 耐久試験時間

製品規格には、次に示す推奨値から選択した耐久試験時間を規定する。規定の耐久試験時間が、一軸当たり又は一固定振動数当たり 10 時間以上になる場合は、この時間を、供試品に加わる応力が減らない限り幾つかの時間に分割してもよい（附属書 A の A.1 及び附属書 A の A.6.2 参照）。

5.3.1 掃引耐久試験

各軸の耐久試験時間は、製品規格に規定した掃引サイクル（3.4 参照）数で規定する。製品規格では、掃引サイクル数は次の値から選択する。

1, 2, 5, 10, 20, 50, 100

これを超える掃引サイクル数を必要とするときは、同じ系列の数値を適用することが望ましい（附属書 A の A.4.3 参照）。

5.3.2 固定振動数耐久試験

5.3.2.1 臨界振動数耐久試験

振動応答検査（8.1 参照）によって検出した各振動数での各軸の耐久試験時間は、許容差 $+^{+5}_0\%$ として規定する次の値から選択して製品規格に規定する（附属書 A の A.1 及び附属書 A の A.6.2 参照）。

10min, 30min, 90min, 10h

略固定振動数の場合は、附属書 A の A.1 参照。

5.3.2.2 指定振動数耐久試験

耐久試験時間は、供試品が使用寿命中にそのような振動を受けると考えられる総時間を考慮して、製品規格に規定する。上限値は、振動数と軸の規定の各組合せに対して 10^7 回の繰り返し数とする（附属書 A の A.1 及び附属書 A の A.6.2 参照）。

6. 前処理

製品規格に前処理を規定してもよい。その場合は条件を規定する（JIS C 0010 参照）。

7. 初期測定

製品規格の規定に従って、供試品の目視検査、寸法検査及び機能検査を実施する（附属書 A の A.9 参照）。

8. 試験

製品規格には、供試品を振動させる軸の数とその相対位置を規定する。製品規格に規定がない場合は、欠陥が最も現れやすいように選んだ互いに直交する 3 軸方向に対して 1 軸ごとに順次供試品に振動を加える。

基準点の制御信号は、監視点の信号から取り出し、一点制御又は多点制御に用いる（附属書 A の A.4.5 参照）。

適用する試験手順は、次に示す各試験段階から製品規格によって選択する。附属書 A にその指針を示す。一般に同一軸で各試験段階を順次実施し、次に他の軸で繰り返す（附属書 A の A.3 参照）。

防振装置を付けて通常使用する供試品を、この装置なしで試験する場合は、特別な処置が必要である（附属書 A の A.5 参照）。

製品規格に、振動系に加える加振力の最大限界値によって、規定の振動振幅を補正するように制御する規定がある場合は、これを実施する。加振力の制限方法は製品規格に規定する（附属書 A の A.7 参照）。

8.1 振動応答検査

製品規格に規定がある場合は、振動条件下の供試品の振る舞いを調べるために、規定振動数範囲の供試品の応答を検査する。通常、振動応答検査は、耐久試験（8.2 参照）と同じ条件で掃引サイクルの全範囲にわたって実施するが、より正確な結果が得られる場合は、規定値より振動振幅を下げ、掃引速度を遅くしてもよい。供試品に対する過度の耐久時間及び過度の応力は避ける（附属書 A の A.3.1 参照）。

製品規格に規定がある場合、振動応答検査中供試品を動作させる。供試品を動作させたために機械振動特性を評価できない場合は、供試品を動作させないで、改めて振動応答検査を実施する。

振動応答検査中は、供試品の臨界振動数を決定するために、供試品及びその振動応答データを調べる。これらの振動数、与えた振幅及び供試品の振る舞いを試験報告書に記録する（附属書 A の A.1 参照）。製品規格にはその結果となるべき処置を規定する。

デジタル制御を使用する場合、臨界振動数の決定に当たっては、掃引サイクル当たりのデータ数による制限及び制御器の表示画面の分解能に対して、注意しなければならない（附属書 A の A.3.1 参照）。

製品規格で、耐久試験前後の臨界振動数を比較するために、耐久試験終了後の振動応答検査の追加を要求することがある。製品規格には、臨界振動数に変化があった場合にとるべき処置を規定する。両方の振動応答検査は、同じ方法及び同じ振動振幅で実施する（4.1.5.3 及び附属書 A の A.3.1 参照）。

8.2 耐久試験手順

製品規格には次のどの耐久試験手順を用いるかを規定する。

8.2.1 掃引耐久試験

この耐久試験手順が望ましい。

製品規格で選択した掃引速度、振幅及び耐久試験時間で、規定の振動数範囲を掃引する（5.3.1 参照）。必要ならば、振動数範囲は、供試品に加わる応力がそのことによって減少しないことを条件として、分割してもよい。

8.2.2 固定振動数耐久試験

次の a) 又は b) の振動数を適用する。

a) 8.1 に規定する振動応答検査で得た臨界振動数、次の 1) 又は 2) の方法を用いる。

1) 固定振動数

- － 共振振動数追従

加える振動数は、実際の臨界振動数に常に維持する。

2) 略固定振動数

- － 制限振動数掃引

実際の臨界振動数が明確でない場合は、例えば、チャタリングがある場合は、又は

多数の供試品を同時に試験する場合、その現象が確実に起こるようするために、臨界振動数の 0.8～1.2 倍に制限した振動数範囲を掃引すると都合がよいことがある。この方法は、共振が非線形の場合にも適用できる（附属書 A の A.1 参照）。

b) 製品規格に規定した指定振動数

試験は、製品規格に規定した振幅及び耐久試験時間で実施する（附属書 A の A.3.2 参照）。

備考 防振装置に取り付けられた供試品の場合、防振装置付きの供試品の共振振動数を、この耐久試験の振動数として選択するかどうかを製品規格に規定する（附属書 A の A.5 参照）。

9. 中間測定

製品規格に規定がある場合は、試験中の供試品を動作させ、試験の全時間に対する規定の割合の時間の間、その性能を確認する（附属書 A の A.3.2 及び附属書 A の A.8 参照）。

10. 後処理

供試品の、例えば、温度のような条件を、初期測定のとおりと同じにするために、試験後と最終測定との間に、一定の時間を用意する必要があることがある。製品規格に、後処理の詳細の条件を規定する。

11. 最終測定

製品規格の規定に従って、供試品の目視検査、寸法検査及び機能検査を実施する。

製品規格に、供試品の合否判定基準を規定する（附属書 A の A.9 参照）。

12. 製品規格に規定する事項

この試験が製品規格に規定されている場合は、適用可能な限り、次の事項を規定する。

なお、特にアステリスク(*)付の事項は常に必要である。

a) 監視点の選択

.....3.2.1

b) 制御点の選択*	3.3.2
c) 横運動	4.1.2.1
d) 回転運動	4.1.2.2
e) シグナルトレランス	4.1.3
f) 振動振幅の許容差	4.1.4
g) 信頼水準	4.1.4
h) 1点又は多点制御*	4.1.4.1
i) 取付け	4.2
j) 厳しさ, 実際の環境 (既知の場合)	5.
k) 振動数範囲*	5.1
l) 振動振幅*	5.2
m) 特定の折れ点振動数	5.2
n) 耐久試験時間*	5.3 及び 8.2
o) 前処理	6.
p) 初期測定*	7.
q) 試験軸*	8.
r) 加振力の制限	8.
s) 実施する試験段階及び順序*	8., 8.1 及び 8.2
t) 供試品動作及び機能検査*	8.1 及び 9.
u) 振動応答検査後にとるべき処置*	8.1
v) 最終振動応答検査で応答振動数の変化を発見したときにとるべき処置*	8.1
w) 指定振動数	8.2.2
x) 防振装置付の供試品の共振振動数における試験	8.2.2
y) 後処理	10.
z) 最終測定*	11.
aa) 合否判定基準*	11.

附属書 A (参考) 試験 Fc の指針

この附属書 (参考) は、本体に関連する事柄を補足するもので、規定の一部ではない。

A.1 序文

この規格は、実際に受けることが予測される影響と同様な影響を試験室で再現する方法を規定したものである。実際の環境を再現することを意図したものではない。

異なる場所で、異なった人々によって、アナログ又はデジタル制御技術のどちらを用いても、同じ結果が得られるように、パラメータを標準化し、適切な許容差を設定した。パラメータを標準化したので、部品をこの規格の振動の厳しさに耐える能力に応じて分類することもできる。

従来の振動試験では、共振点を探索し、次に供試品に規定の時間その共振振動数の振動を加える耐久試験を行っていた。共振点探索を長時間実施したとしても、使用中に故障を生じやすい共振とそうでない共振との差異を一般的に定義することは難しい。

さらに、このような試験手順を、最近の多くの供試品に適用することは非現実的である。直接観察によって、封止された製品又は小形化された製品の振動特性を評価することは、ほとんど不可能である。製品の質量ばね分布を変えないで、振動ピックアップを取り付けることが不可能なことがある。ピックアップを取り付けることができた場合は、製品に対する適切な点の選択は、完全に試験技術者の熟練と経験に依存することになる。

この規格で推奨する掃引耐久試験では、このような困難を最小限にし、損傷を与えやすい共振か否かの判定を避けることができる。この規格で推奨する方法は、現在の環境試験技術で可能であること及び試験技術者の熟練に対する依存度を最小限にすることを考慮して定めた。掃引耐久時間は、応力繰返し数と関連する掃引サイクル数で規定する。

しかし、この試験手順では、要求使用時間と同等の疲労寿命又は使用中と同等な振動条件での無限の疲労寿命を保証するために耐久試験を行う場合は、非常に長い耐久試験時間が必要となることがある。したがってそのために、別の試験方法、すなわち、あらかじめ規定した振動数又は振動応答検査によって得られた振動数で行う固定振動数耐久試験を規定した。振動応答検査によって、そのような振動数が各軸当たり 4 点以下であることが分かった場合は、固定振動数耐久試験を適用することが望ましい。4 点を超える場合は、掃引耐久試験の方が適切なことがある。

略固定振動数の場合の耐久試験時間は、臨界振動数耐久試験の規定によって選択し、その値に、供試品の臨界振動数の範囲に応じた一定の割合を加えることが望ましい (本体 5.3.2.1 参照)。

掃引耐久試験と固定振動数耐久試験の両方を実施することが適切な場合もある。固定振動数耐久試験は、その適用に当たって、なお、ある程度の技術的判断を必要とすることを認識しておく必要がある。

さらに、あらかじめ規定した振動数での耐久試験の場合は、耐久試験時間を製品規格で規定する必要がある。

臨界振動数での固定振動数耐久試験時間は、時間で規定される。この時間は、予想される応力繰返し数を基準とすることが多い。種々の異なった材料が使用されているので、応力繰返し数に単一の数字を当てることは現実的でないことは明らかである。しかしながら、一般の振動試験には 10^7 回が実用上十分な上限値であり、これを超える必要はないと考えられる (本体 5.3.2.1 及び本体 5.3.2.2 参照)。

ランダム又は複雑な成分の背景振動のレベルが高い場合は、正弦波試験は適切でないことがある。その

ような場合、特定の用途に対して正弦波試験だけでよいかどうかは、使用者の判断による。

実際の環境が本質的にランダム振動であることが分かっている場合は、経済的に可能な限り、耐久試験はランダム振動で行うことが望ましい。ランダム振動は特に機器の場合に適している。構造が簡単な部品のような場合は、通常、正弦波試験が適切である。ランダム試験は、**IEC 60068-2-34***、**60068-2-35***、**60068-2-36***、**60068-2-37***、**JIS C 0036**に規定されている。

A.2 計測と制御

A.2.1 計測点

主な2種類の計測点を**本体 3**で定義した。しかしながら、供試品内部の振動が損傷の原因とならないことを確認するために、供試品内部の局部的応答を計測する必要がある場合がある。設計段階などの場合、高価な供試品の劣化を防ぐために、そのような計測点からの信号を制御ループへ接続する必要がある場合すらある。しかしながら、この方法は標準化することができないので、この規格では推奨しない(**本体 3.2**参照)。

A.2.2 シグナルトレランスによる誤差

シグナルトレランスが5%未満の場合は、実際の振動と基本運動との間に実用上の差はない。

大きな振動台で、小形又は質量の小さな供試品を試験する場合は、一般に、シグナルトレランスに関して問題はない。振動試験装置を新規に設置したときに、装置のシグナルトレランスを測定している場合は、その測定値が適用されると仮定してもよい。しかし、大形の供試品の場合に発生する可能性がある問題について注意する必要がある。

シグナルトレランスが大きい場合は、計測系が示す振動レベルには、必要な振動数成分と多くの不必要な振動数成分とが含まれているので、その振動レベルは正しくない。この場合、規定された振動数成分の振幅は、規定値より低くなる。シグナルトレランスが**本体 4.1.3**の規定値以下の場合は、この誤差は許容されるが、この値を超える場合は、基本振動数成分のレベルを規定の振幅に修正する必要がある場合もある。これを実施する方法は幾つかあるが、トラッキングフィルタを使用する方法を推奨する。基本振動数成分のレベルが修正されれば、供試品は規定の振動数成分の意図した応力を受けることになる。

そのことによって、不必要な振動数成分も増加し、その結果として応力も追加されることになる。もしそのことによって、非現実的な高い応力が発生する場合は、製品規格に規定したシグナルトレランスの要求事項を放棄するほうが適切な場合がある(**本体 4.1.3**参照)。

デジタル制御装置では、信号をスペクトル分析することによって、フィルタを通さない広帯域制御信号に関する別の情報を得ることができる。すなわち、規定振動数範囲について分析すれば、基本振動数成分、高調波、並びに例えば、チャタリング及び衝突などによる他の雑音成分を調べることができる。

備考 ひずみとシグナルトレランスとの関係は、次の式で与えられる。

$$\frac{D}{100} = \sqrt{\left(\frac{T}{100}\right)^2 + \frac{2 \times T}{100}}$$

ここに、 D : ひずみ (%)

T : シグナルトレランス (%)

(上の式にシグナルトレランス $T=5\%$ を代入すると、ひずみ $D=32\%$ となる。)

注* これらの規格は、IEC 規格として 1998 年に廃止予定のため、JIS として規定されていない。

A.2.3 制御信号の取り出し

制御信号の取り出しには多くの方法がある。

多点平均値制御，すなわち，算術平均した信号を制御信号とすることが規定されている場合は，各監視点のピーク加速度レベルに比例する直流電圧を処理することによって，平均値信号を得ることも一つの方法である。

各監視点を周期的に問い合わせるために，時分割多重化〔IEC 60050(721)の 721-04-11 参照〕を使う場合は，各信号の 1 周期以上が確保されるようにするために，問い合わせ周波数は，駆動振動数を超えないことが望ましい。例えば，4 個のピックアップを使用する場合は，100Hz では，各監視点を問い合わせる周期は，0.01s を超えることが望ましい。しかしこのような装置を 1 台のトラッキングフィルタと共に用いるときは，問題を発生することがあるので注意する必要がある。

参考 このようなサンプリング（時分割多重化）装置を使った場合は，サンプリング装置への入力信号間の位相差のために，出力信号にはひずみが発生する。このひずみをもつ信号をトラッキングフィルタに入力すると，トラッキングフィルタの出力信号の振幅はトラッキングフィルタへの入力信号に比例しないので，制御誤差が発生するという問題が起こる。

データサンプリング装置は，定変位振幅制御で試験を行う場合には，データサンプリング装置への入力信号間の位相差のために，出力信号にはひずみが発生する。このひずみをもつ信号を 2 回積分した信号の振幅は，変位振幅に比例しないので，問題を起こすことがある（本体 3.3.2 参照）。

規定された許容差内で試験が実施できるようにするために，振動試験装置全体の残留雑音レベルを低くすることが必要である（本体 4.1.4.1 参照）。振動試験装置の残留加速度の許容できるしきい値は， 0.6m/s^2 程度である。

A.2.4 回転運動（本体 4.1.2.2 参照）

大形の又は質量の大きい供試品は，振動台の加振軸に対する剛体の慣性力の偏心，又は固有振動数に対応する振動モードの形に関係する慣性力の分布による転倒モーメントを発生させることがある。この転倒モーメントは，基本運動の方向に垂直な平面内の軸の周りの回転運動を発生させ，供試品に応力を追加させる。この応力が，非現実的な高い値になることがある。したがって，回転運動を減少させるか，又は少なくともその大きさを知るとよいことがある。試験を行う前には，通常，供試品の固有振動数及び振動モードの形は分からないので，これらの問題に対して一般的な仮説を立てることは困難である。

供試品の質量を m ，取付具を含む振動発生機の可動部質量を m_0 ，供試品の重心と振動台との距離を d ，水平加振の場合の振動台の加振軸に対する供試品の重心の高さを h すると，有用な近似の基準を得ることができる。

剛体と仮定した供試品の場合，予測される最大の転倒モーメント M_0 は，加振したときの加速度が A のとき，次の式で算出できる。

- 偏心剛体の場合，

$$M_0 = m \times d \times A$$

- 重心の高い剛体の水平加振の場合，

$$M_0 = m \times h \times A$$

規定振動数範囲内に供試品の共振がある場合は，共振部の質量を m とし，予測される応答加速度の最大値を A とすれば，同じ式が使える。前記の式では，整合した単位を使うことが重要である。

動電式及び油圧式振動試験装置には，最大転倒モーメントの限界がある。振動発生機が 1 台の装置では，いずれの場合も，最大許容転倒モーメントがあり，通常は，振動発生機の損傷を防ぐために，装置の製造

業者がその値を示している。

複数の振動発生機を用いる装置では、転倒モーメントを打ち消す振動台の能力の最大値があり、この値を超えると振動台に回転運動（ピッチ又はロール）が発生する。

次の基準が適用できる。

m_i に対する m の比が 0.2 未満の場合は、監視する必要はない。0.2 以上の場合は、次の監視が適切な場合がある。

振動発生機が 1 台の装置（水平振動台が付いている場合又は付いていない場合）の場合、及び機械的ガイド装置の場合、転倒モーメントは弾性体又は軸受によって支えられる。したがって、供試品の転倒モーメントが、試験装置の最大許容転倒モーメントの 50% を超えるときだけ、回転運動を測定する必要がある。

複数の振動発生機を用いる場合、及び多自由度の試験装置の場合、転倒モーメントは制御装置によって制御される振動発生機で打ち消される。したがって、供試品の転倒モーメントが、試験装置の最大許容モーメントを超えるとときだけ、回転運動を測定する必要がある。

A.3 試験手順

A.3.1 振動応答検査（本体 8.1 参照）

特に、供試品が船舶、航空機及び回転機械に見られるような周期性の顕著な振動を受けることが分かっている場合には、振動応答検査は幾つかの目的に対して有効である。供試品の動的な振る舞いを調査し、疲労を評価することが重要であると考えられるときにも振動応答検査は有効である。

振動応答検査に適用する振幅については、供試品の機能不良やチャタリングが試験レベルだけでおきることがあるので供試品の動的振る舞いの直線性に十分注意することが望ましい。

耐久試験の前及び後で実施する振動応答検査は、共振振動数の変化又は他の応答が発生する振動数の変化を確認するために用いることができる。振動数の変化の原因が疲労の発生であることがあり、その場合には、その供試品はその使用環境に適さないことがある。

製品規格に振動応答検査を規定する場合は、できれば、例えば、次の事項について試験中及び試験後にどのように処置するかについて明確にしておくことが望ましい。

- 例**
- もしその値を超えた場合に掃引耐久試験を要求する動的倍率の特定の値
 - 振動数の変化
 - 許容できない応答レベル
 - 電気雑音

振動応答検査中は、供試品が受ける影響を検出するいかなる手段も、供試品全体の実質的な振る舞いを変化させないようにすることが必要である。非線形共振の場合、供試品は振動数掃引の向きによって、異なった応答をすることがあるので、注意する必要がある。掃引の上昇時には、供試品は構造的に安定していることがあるので、臨界振動数は掃引の上昇及び下降時に決定することが望ましい。

ばねの軟化又は硬化の非線形が現れる疑いがある場合は、掃引の開始点を f_1 の代わりに f_2 にしてもよい。臨界振動数の決定は、掃引の上昇と下降とで異なることがある。

デジタル制御を使う場合は、供試品の各共振のピーク及び各臨界振動数を適切にとらえることができるように、 f_1 と f_2 との間の十分なデータポイント数を選択することが重要である。特に低い減衰比の供試品の低い振動数範囲の場合、不十分なデータポイント数では、臨界振動数の決定が不正確になることがある。通常、該当する共振の -3dB 帯域幅内に 3（可能なら 5）以上のデータポイントがあれば十分であると考えられる。十分なデータが得られず、共振の存在を示す証拠がある場合は、振動応答検査をやり直す必

要がある。そのような場合、制限した振動数範囲を掃引する必要があることがある。

制御装置によってはすべてのデータを正確に表示する能力に限界があることがあるので、臨界振動数の決定に関して、グラフ表示方法の選択に起因する誤差が発生することがある。したがって、この問題を解決するためには、各臨界振動数付近のグラフを拡大表示する必要があることがある。

製品規格に振動応答検査の規定がある場合は、実際に使用する防振装置が利用できるかどうかが重要である。防振装置が利用できるときは、最初の検査では、供試品の臨界振動数を決定するために、防振装置を外すか、又は動かないようにして実施することが多い。

次の段階では、防振装置の影響を調べるために、防振装置を取り付けて動くようにして、応答検査を実施してもよい。最初の段階では、防振装置の伝達特性を考慮した異なる振動振幅を適用する必要がある（付図 A.1 参照）。

防振装置が利用できない場合は、A.5.1 参照。

A.3.2 耐久試験（本体 8.2 参照）

掃引耐久試験は、一般に、供試品が使用中に受ける応力の影響をシミュレートする最も適切な方法である（本体 8.2.1 参照）。

固定振動数耐久試験は、使用環境が限られた供試品、すなわち、特定の機械の影響を受ける場所又は限定した機種種の車両若しくは航空機に取り付けられる供試品の場合に適切である。これらの場合は、卓越振動数は通常既知であるか又は予測可能である。この方法は、例えば、自動車による輸送中の励振が引き起こす影響を実証するために、短時間で繰返し応力を累積させる場合にも適切なことがある（本体 8.2.2 参照）。

供試品が振動に耐え得る能力を確認することと同様に、幾つかの振動数で起こり得る疲労の状況を考察することが必要な場合がある。この場合には、掃引耐久試験に引き続いて固定振動数耐久試験を実施することが適切である。これによって、可能最短時間で必要な情報が得られる。

小形の供試品の場合、55Hz 又は 100Hz 未満に共振が存在しないことが確実であれば、これらの振動数を下限振動数として耐久試験を行ってもよい。

通常防振装置に取り付ける機器の耐久試験では、一般に防振装置を付けて試験を実施する。適切な防振装置を付けて試験を実施することができない場合は、例えば、その機器が別の機器と共に共通の取付け装置に取り付けられるような場合は、その機器は防振装置なしで、製品規格の規定に従って別の厳しさを試験を行ってもよい。この場合の振幅は、防振装置の各試験軸に対する伝達率を考慮して決定することが望ましい。防振装置の特性が不明の場合は、附属書 A.5.1 参照。

供試品が許容できる最低限の構造的強度を実証するために、製品規格に、外付けの防振装置を取り外して、又は動かないようにして実施する追加試験を規定してもよい。この場合、加える厳しさは製品規格に規定することが望ましい。

参考 卓越振動数とは、パワースペクトルにおいて最大値を示す振動数をいう（JIS B 0153 から）。

A.4 試験の厳しさ

A.4.1 試験の厳しさの選択

この規格に規定した振動数及び振幅は、広い適用範囲の振動数応答を包絡するように選択したものである。機器を単一の用途だけに使用する場合は、実際の環境の振動特性が分かっているときは、その厳しさを基にすることが望ましい。機器に関する実際の環境の振動条件が分かっていない場合は、種々の適用に関する試験の厳しさの例を示す附属書 C から適切な厳しさを選択することが望ましい。

試験の厳しさの選択に当たって、IEC 60721 シリーズの情報を考慮することが望ましい（本体 5.参照）。

変位振幅の値は、折れ点振動数での振動の強度が同じになるような加速度振幅の値に相当しているので、折れ点振動数で変位一定から加速度一定に、又はその逆に切り換えて振動数を連続的に掃引することができる。この規格では、8～10Hz 及び 58～62Hz の折れ点振動数を規定した。

もし、実際の環境が既知であって、その環境をシミュレートすることが望ましい場合は、この標準以外の折れ点振動数が必要となる。その結果、高い折れ点振動数が必要となる場合は、振動発生機的能力に注意を払わねばならない。選択した変位振幅が低い振動数領域で、振動試験装置の残留雑音レベルに等しい加速度振幅に相当することがないようにする必要がある。この問題は、トラッキングフィルタを使用するか、又は試験振動数範囲が低ければ制御ループ内に変位変換器を採用することによって解決できる（**本体 5.2 参照**）。

A.4.2 部品に適用する試験の厳しさの選択

部品に適用する試験の厳しさの選択は、部品に組み込まれる機器又は部品が受ける応答が未知のことが多いので、複雑である。部品が特定の機器に使われることが分かっているときですら、部品が受ける振動環境は、構造体、機器、組立品などの動的応力のため、機器が受ける環境とは異なることがあることを覚えておくといよい。したがって、機器の厳しさに関連づけて部品の厳しさを選択する場合は、注意が必要であり、その動的応答の影響を考慮した余裕が必要なことがある。

防振設計された方法で機器に部品を取り付ける場合は、機器の厳しさ又はそれより低い厳しさが適していることがある。

機器の設計者がその使用目的に適した部品を選択できるように、部品を表示した厳しさで試験し、格付けすることを目的として、試験の厳しさを選択することもできる。

種々の適用に関する厳しさの例を示す**附属書 B**を参照することが望ましい。

A.4.3 掃引

掃引中、振動数は、次の式に従って指数関数的に変化させる必要がある。

$$\frac{f}{f_1} = e^{kt}$$

ここに、 f : 振動数
 f_1 : 掃引下限振動数
 k : 掃引速度に関する係数
 t : 時間

この規格では、掃引速度は毎分 1 オクターブであるから（**本体 4.1.6 参照**）、時間を分で表すと、次の式が得られる。

$$k = \log_e 2 = 0.693$$

掃引 1 サイクル当たりのオクターブ数は、次のように表される。

$$X = 2 \log_e \left(\frac{f_2}{f_1} \right) = \frac{2}{\log_{10} 2} \log_{10} \left(\frac{f_2}{f_1} \right) = 6.644 \log_{10} \left(\frac{f_2}{f_1} \right)$$

ここに、 X : オクターブ数
 f_1 : 掃引下限振動数
 f_2 : 掃引上限振動数

上の式を用いて求めた値を**附属書 A**の表 **A.1** に示す。ただし、この表では、推奨する掃引サイクル数と振動数範囲とに対応する耐久試験時間は、丸めた数値で示す（**本体 5.3.1 参照**）。

デジタル制御装置では、外部のアナログシンセサイザーから、又はデジタルデータから内部的に、正弦波信号を発生させることができる。

前者の場合、純粋な連続正弦波が得られるので、アナログ制御装置との違いはない。

後者の場合、D/A 変換器から出力されるアナログ出力は滑らかではなく、細かな階段状の信号となっている。この信号を滑らかにし、必要な純粋な正弦波信号にするために、平滑フィルタが必要である。引き続き出力データを結合して、滑らかな連続正弦波を確実に発生させることが重要である。

附属書表 A.1 各軸方向当たりの掃引サイクル数及びそれに基づく耐久試験時間

振動数範囲 Hz	掃引サイクル数						
	1	2	5	10	20	50	100
1～ 35	10min	21min	50min	1h 45min	3h 30min	9h	17h
1～ 100	13min	27min	1h 05min	2h 15min	4h 30min	11h	22h
10～ 55	5min	10min	25min	45min	1h 45min	4h	8h
10～ 150	8min	16min	40min	1h 15min	2h 30min	7h	13h
10～ 500	11min	23min	55min	2h	3h 45min	9h	19h
10～ 2 000	15min	31min	1h 15min	2h 30min	5h	13h	25h
10～ 5 000	18min	36min	1h 30min	3h	6h	15h	30h
55～ 500	6min	13min	30min	1h	2h	5h	11h
55～ 2 000	10min	21min	50min	1h 45min	3h 30min	9h	17h
55～ 5 000	13min	26min	1h 05min	2h 15min	4h 15min	11h	22h
100～ 2 000	9min	17min	45min	1h 30min	3h	7h	14h

備考1. 表の耐久試験時間は、毎分1オクターブの掃引速度に対する計算値であり、端数は切り上げ又は切り下げによって丸めた。これによる誤差は10%未満である。

2. 太字で示す数字は**附属書 B** 及び**附属書 C** による。

応力繰返し数 N 、掃引サイクル ($f_1 \rightarrow f_2 \rightarrow f_1$) 当たりのオクターブ数 X 及び掃引サイクル当たりの掃引時間 T は、次の式で算出できる。

$$N = \frac{(f_2 - f_1) \times 60 \times 2}{\log_e 2 \times SR}$$

$$X = \frac{\log_e \left(\frac{f_2}{f_1} \right) \times 2}{\log_e 2}$$

$$T = \frac{X}{SR} = \frac{\log_e \left(\frac{f_2}{f_1} \right) \times 2}{\log_e 2 \times SR}$$

ここに、
 f_2 : 掃引上限振動数
 f_1 : 掃引下限振動数
 SR : 掃引速度、単位オクターブ毎分

この応力繰返し数の計算方法は、**附属書 B** の表 B.1、**附属書 C** の表 C.1 及び**附属書 C** の表 C.2 に対しても有効である。

A.4.4 トラッキングフィルタ

A.4.4.1 アナログフィルタ

定帯域幅の場合と定比帯域幅の場合がある。どちらの場合も、応答時間 T_r は次の式で与えられる。

$$T_r = \frac{1}{BW}$$

ここに、
 T_r : 応答時間 (s)
 BW : 帯域幅 (Hz)

例 定帯域幅の場合に、10Hz 帯域幅とすると応答時間 T_r は、

$$T_r = \frac{1}{10} = 0.1$$

となり、この値は、全同調振動数を通じて一定である。

定比帯域幅の場合に、同調振動数 f のとき 10% 帯域幅とすると、帯域幅 BW は、

$$BW = 0.1f$$

となり、応答時間 T_r は、

$$T_r = \frac{1}{BW} = \frac{10}{f}$$

となり、同調振動数の 10 周期となる。

トラッキングフィルタを制御ループに使用するときは、応答時間が非常に重要である。応答時間が長いと、全体の制御応答が遅くなり、その結果、不安定に又は制御不能になることがある。さらに、応答時間によって、正弦波掃引試験の掃引速度が制限されることがあり、定比帯域幅の場合は低い振動数で応答時間 T_r が数十秒になることがある（**本体 4.1.3** 参照）。

そのため多くのトラッキングフィルタは、同調振動数によって自動的に切り替える複数の定帯域幅設定を備えるか、又は設定した振動数以下の振動数では定帯域幅とし、それを超える振動数では定比帯域幅を使用するようになっている。

一般原則として、振幅制御とトラッキングフィルタとの応答速度の相互作用を防ぎ制御を安定させるために、トラッキングフィルタの応答を、制御の振幅圧縮速度（コンプレッサースピード）より 5 倍速くすることが望ましい。

応答時間に関する**附属書 A** の表 **A.2** 及び**附属書 A** の表 **A.3** 参照。

附属書 A2

定帯域幅

応答時間

帯域幅 Hz	時間 s
0.1	10
0.5	2
1	1
5	0.2
10	0.1

附属書表 A3 定比帯域幅応答時間

振動数 Hz	帯域幅 %		
	1	5	10
	時間 s	時間 s	時間 s
5	20	4	2
10	10	2	1
50	2	0.4	0.2
100	1	0.2	0.1
500	0.2	0.04	0.02
1 000	0.1	0.02	0.01
2 000	0.05	0.01	0.005

A.4.4.2 デジタルフィルタ

デジタル制御装置では、アナログトラッキングフィルタと同じ効果を得るために、数値計算技術を用いている。

基本振動数の信号を出力することに関して最終結果に差はないが、デジタル制御装置では、制御ループの応答時間が増加することがある。そのため、高い振動数における制御精度に影響することがある。

A.4.5 制御信号の計測

デジタル制御装置では、データをデジタル化する前にエイリヤシング防止フィルタを用いている。このフィルタは、振動数掃引の進展に合わせて段階的に変化し、高い振動数成分を取り除く効果をもつ。

その結果、デジタル制御装置で観測する信号は、アナログ制御装置の場合より低い rms 値となり、結果として同等のアナログ制御装置で制御するよりも高いレベルで試験を制御することになることがある。デジタルの場合もアナログの場合も、トラッキングフィルタを使用すればこの問題を解決することができる。

A.5 通常防振装置付で使用される機器

A.5.1 防振装置の伝達率

供試品が通常防振装置に取り付けられる場合は、その利用が不可能なとき、その特性が未知のとき、及び製品規格でその利用を許可していないときは、供試品に実際的な振動入力を与えるような方法で、規定のレベルを修正する必要がある。この修正レベルは、次に示す付図 A.1 の曲線の伝達率を用いて求めることを推奨する。

- a) 曲線 A は、一自由度系とみなしたときの固有振動数が 10Hz 未満の高い弾性の防振装置に取り付ける場合に適用する。
- b) 曲線 B は、上記と同様に固有振動数が 10~20Hz の中程度の弾性の防振装置に取り付ける場合に適用する。
- c) 曲線 C は、上記と同様に固有振動数が 20~35Hz の低い弾性の防振装置に取り付ける場合に適用する。

曲線 B は、一自由度系とみなした固有振動数が約 15Hz の金属製の高減衰ダンパに取り付けた代表的な航空機用機器の振動測定から求めたものである。

曲線 A 及び曲線 C に相当する防振装置の利用できるデータは非常に少ない。これらの曲線はその固有振動数をそれぞれ 8Hz 及び 25Hz と仮定して、曲線 B から外挿法によって求めたものである。

伝達率曲線は、取付方法によって生じる幾つかのモードが結合した伝達特性を包絡するように概算したものである。したがって、これらの曲線を使用するときには、並進運動と回転運動とが結合したときに供試品の外側で増加する振動レベルが見込まれていることになる。

付図 A.1 から最適な伝達率曲線を選択し、規定振動数範囲で、規定の振動レベルにこの曲線の値を掛けることが望ましい。これらの値の積が、結果として試験室では再現できない試験レベルになることがある。この場合、試験レベルを全振動数範囲でいつでも実現可能な最大のレベルに調整することが望ましい。この場合、実際に使用した値を試験報告書に記録することが最も必要である。

A.5.2 温度の影響

多くの防振装置は温度依存性材料を用いていることに注意する必要がある。防振装置上の供試品の基本共振振動数が試験振動数範囲にある場合は、適用する耐久試験の時間を決定する際に注意が必要である。状況によっては、中断なしの連続加振をすると問題が生じることがある。基本共振振動数に遭遇する実際の時間配分が分かっている場合は、それをシミュレートするようにすることが望ましい。実際の時間配分が分からない場合は、**本体 5.3** を考慮して加振時間を分割することによって過度の過熱を避けることが望ましい。

A.6 試験時間

A.6.1 基本概念（**本体 5.3.1** 参照）

現存する多数の規格では、掃引耐久試験を試験時間によって規定している。この方法では、試験振動数範囲が異なる場合には、共振が励起される回数が異なるので、供試品の共振の影響を比較することは事実上不可能である。

例えば、加速度と耐久試験時間が同じ場合は、狭い振動数範囲の場合よりも広い振動数範囲の方が厳しいと、しばしば考えられるが、事実はその逆である。耐久試験のパラメータとしての掃引サイクルの概念は、振動数範囲に関係なく等しく共振が励起されるようにして、この問題を克服するものである。

A.6.2 試験

試験が単に適切な振幅条件下での供試品の残存能力及び／又は動作能力を実証するためのものである場合は、規定振動数範囲で、その要求事項を実証するために十分な時間、試験を単に連続するだけでよい。製品が、疲労及び機械的変形のような振動の累積効果に耐える能力を実証する場合は、必要な繰返し応力を累積するために十分な時間、試験を実施することが望ましい。無限の疲労寿命を実証するためには、合計 10^7 回の繰返し応力が一般に適切であると考えられている。

参考 金属材料に繰返し応力を加えたとき、繰返し回数 N と破断に至る応力値 S との間には参考図 1 に示すような関係がある。参考図 1 の曲線を一般に $S-N$ 曲線という。参考図 1 で、 S_0 以下の応力を無限回繰返ししても疲労による破断は起こらない。 S_0 を示す折れ点は、一般に、 $10^6 \sim 10^7$ 回付近にあることが知られている。

A.7 動的応答

損傷の主な原因は、供試品内部に発生する動的応力である。古典的な例では、単純なばね質量系をその質量より大きな質量の振動体に取り付けたときに、系の内部で発生する応力が原因となる。共振振動数では、ばね質量系の運動の振幅が増加し、同時にばねに加わる応力も増加する。このような共振振動数での耐久試験の実施には、多くの技術的判断が必要となる。どの共振が重要であるかを決定することは特に難しい。励振振動数を共振振動数に維持することもまた難しいことがある。

この規格の試験手順は、供試品の動的反作用には左右されずに、振動振幅（変位又は加速度）を一定に保たねばならないことを意味している。このことは、標準化に適した一般的な振動試験の技術水準に合致している。

供試品がその共振振動数で加振されているとき、供試品の見掛けの質量は、実際の取付構造物の質量より大きくなるがよく知られている。このような場合、供試品の反作用は非常に大きくなる。駆動力及び構造物の機械インピーダンスは、通常未知であり、これらのパラメータを一般的に仮定することは、通常極めて難しい。

上記の問題点を軽減する手段として力制御が考えられるが、現時点では、試験手順、計測方法及び許容差を規定することは不可能であるため、この規格には含めていない。このような試験が製品規格で規定された場合は、力変換器を使用するか、又は駆動電流の測定によるか、いずれの方法でも可能である。後者の方法は、試験の規定振動数の全範囲では電流が力に比例しないことがあるので、若干の欠点がある。それにもかかわらず、正しい技術的判断を伴う電流計測を利用する方法は、特に振動数範囲が制限されている場合に、使うことができる。

このように力制御による試験は魅力的にみえるが、その使用に当たっては注意が必要である。例えば、部品の場合には、振幅制御による試験の方が、ほとんどの場合より適切なことは確実である（本体 8. 参照）。

A.8 性能評価

試験の全期間中又は試験の適切な段階で、それが適切であれば、供試品は、その機能を代表するような条件で動作させることが望ましい。耐久試験中の適切な間隔で、又は試験の終了近くで、供試品の機能検査を行うことを推奨する。

振動がスイッチオン及びスイッチオフの機能（例えば、リレーの動作に対する干渉）に影響を与える可

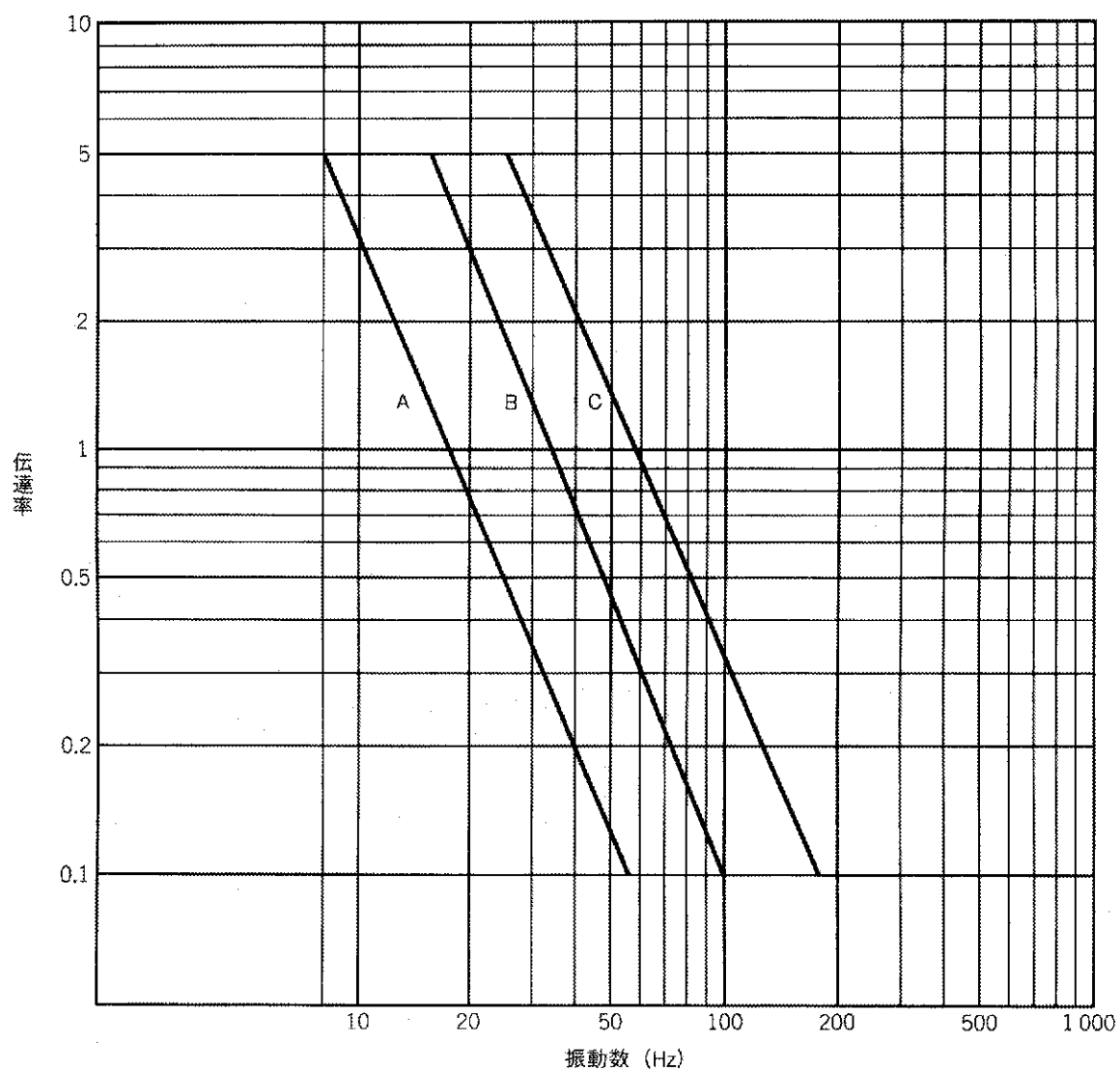
能性がある供試品の場合は、この問題に対する性能確認を実施するために、試験振動数範囲の全域又は干渉の起こりやすい振動数のいずれかで、そのような機能を繰り返し検査することが望ましい。

試験が供試品の残存を実証するためだけの場合は、振動耐久試験完了後に供試品の動作性能を評価することが望ましい（**本体 8.2** 及び **本体 11**.参照）。

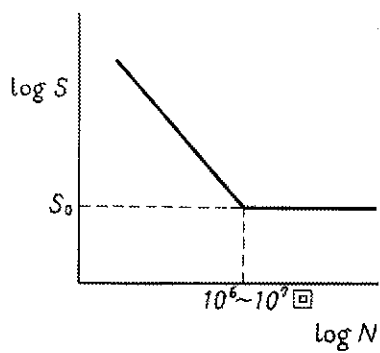
A.9 初期及び最終測定

初期測定及び最終測定の目的は、供試品の振動による影響を評価するために、特定のパラメータを比較することである。

測定には、目視検査と同様に、電氣的及び機械的動作並びに構造特性を含めることがある（**本体 7**.及び **本体 11**.参照）。



付図 A.1 防振装置の一般化した伝達率



この図は原国際規格にはない。

参考図 1 S-N 曲線

附属書 B（参考） 主として部品に適用する厳しさの例

この附属書（参考）は、本体に関連する事柄を補足するもので、規定の一部ではない。

本体 5. で規定した使用可能な厳しさの数は非常に多い。この規格の適用を容易にするため、主として部品に適用する厳しさの例を、本体 5. に規定した推奨パラメータから選択し、表 B.1 に示す。

表 B.1 主として部品に適用する厳しさの例

振動数範囲 Hz	各軸方向の掃引サイクル数			適用例
	振幅(°) 0.35mm 又は 50m/s ²	振幅(°) 0.75mm 又は 100m/s ²	振幅(°) 1.5mm 又は 200m/s ²	
10～ 55	10	10	—	工業用大形発電装置，大形回転機械，鋼圧延機，大形商船及び艦艇用の部品
10～ 500	10	10	—	はん（汎）用地上設置搬送機械，はん用陸上輸送車両，小形高速船及び一般航空機用の部品
10～ 2 000	—	10	10	宇宙用発射台 (200m/s ²) の部品，航空機エンジン取付け部品
55～ 500	10	10	—	55Hz 未満に共振がない小形の高剛性の部品に対して 10～500Hz を適用する場合
55～ 2 000	—	10	10	55Hz 未満に共振がない小形の高剛性の部品に対して 10～2 000Hz を適用する場合
100～ 2 000	—	10	10	高剛性超小形部品，例えば，樹脂封止トランジスタ，ダイオード，抵抗，コンデンサ及び集積回路に対して 55～2 000Hz を適用する場合
注(°) 折れ点振動数未満では変位振幅，折れ点振動数を超える振動数では加速度振幅，折れ点振動数は58～62Hz（本体5.2及び表5参照）。				
備考 一つの振動数範囲に複数の振幅がある場合は，一つを適用する。				

応力繰返し数の計算は附属書 A の A.4.3 参照。

固定振動数耐久試験 各軸の各臨界振動数での代表的な耐久試験時間は，

10min, 30min, 90min, 10h である。

略固定振動数の場合は附属書 A の A.1 参照。

指定振動数耐久試験時間は，応力繰返し数の上限値 10^7 回を，規定振動数と軸の各組合せに対して適用することが望ましい。環境条件がよく分かっている場合は，固定振動数に適用する耐久試験時間は，通常の寿命中に発生する応力繰返し数を基にすることが望ましい。

附属書 C（参考） 主として機器に適用する厳しさの例

この**附属書（参考）**は、本体に関連する事柄を補足するもので、規定の一部ではない。

実際の振動の厳しさが分かっている場合は、それを使うことが望ましい（**附属書 A** の **A.4.1** 参照）。厳しさが分かっていない場合は、任意に選択するが、この附属書に、適用例ごとに一般化した厳しさを示すので、類似した適用例を選択する必要がある。

振動数範囲、振動振幅及び耐久試験時間の幾つかの組合せを、主として機器、その他の製品の試験に適用することを意図した例として示す（**附属書表 C.1** 及び**附属書表 C.2** 参照）。これらの厳しさは、**本体 5.**に規定した耐久試験の推奨パラメータから選択したものであり、一般的な振動試験の適用範囲をカバーするものと考えられる。ここではすべてを網羅する表を作ったわけではないので、この附属書にない要求事項は、この規格の他の厳しさの推奨値から選択することが望ましく、その場合は製品規格に規定することが望ましい。

掃引耐久試験を行うことが実際的でない場合があり、臨界振動数で試験を行う必要があることがある。その場合は、この規格の該当する箇条に従って、この附属書を指針として用いて、製品規格に規定することが望ましい。

表 C.1 掃引耐久試験—低い折れ点振動数の例

振動数範囲 Hz	各軸方向の掃引サイクル数			適用例
	加速度 5m/s ²	加速度 10m/s ²	加速度 20m/s ²	
10～150	50	—	—	大形計算機、圧延機のような据付け機器で、長時間の振動を受ける場合
10～150	20	—	—	大形送信機及び空調装置のような据付け機器で、断続的振動を受ける場合
10～150	—	20	20	船舶、鉄道及び陸上車両に取り付けるか又は輸送される機器
備考 一つの振動数範囲に複数の振幅がある場合は、一つを適用する。				

応力繰返し数の計算は、**附属書 A** の **A.4.3** 参照。

固定振動数耐久試験 各軸の各臨界振動数での代表的な耐久試験時間は、

10min, 30min, 90min, 10h である。

略固定振動数の場合は、**附属書 A** の **A.1** 参照。

指定振動数耐久試験時間は、応力繰返し数の上限値 10^7 回を、規定振動数と軸の各組合せに対して適用することが望ましい。環境条件がよく分かっている場合は、固定振動数に適用する耐久試験時間は、通常の寿命中に発生する応力繰返し数を基にすることが望ましい。

表 C.2 掃引耐久試験—高い折れ点振動数の例

振動数範囲 Hz	各軸方向の掃引サイクル数				適用例
	振幅 ⁽¹⁾ 0.15mm 又は 20m/s ²	振幅 ⁽¹⁾ 0.35mm 又は 50m/s ²	振幅 ⁽¹⁾ 0.75mm 又は 100m/s ²	振幅 ⁽¹⁾ 1.5mm 又は 200m/s ²	
1～ 35 ⁽²⁾	—	100	100	—	大形回転機械の近くに設置する機器
10～ 55 ⁽²⁾	10	—	—	—	大形発電装置及び一般工業用に用いる機器
	20	20	—	—	
	100	—	—	—	
10～ 150	10	—	—	—	大形発電装置及び一般工業用に用いる機器で、55Hzを超える振動数成分が認められることが分かっている場合
	20	20	—	—	
	100	—	—	—	
10～ 500	10	10	—	—	一般航空機用機器、高い方の値はエンジンコンパートメント近くの機器に適用するが、エンジンコンパートメント内の機器は除く
10～2 000	—	10	10	—	高速航空機用機器、高い方の値はエンジンコンパートメント近くの機器に適用するが、エンジンコンパートメント内の機器は除く
				10	航空機のエンジンコンパートメント内の機器
注⁽¹⁾ 折れ点振動数未満では変位振幅、折れ点振動数を超える振動数では加速度振幅、折れ点振動数は58～62Hz（ 本体5.2 及び 表5 参照）。					
注⁽²⁾ 定変位振幅試験					
備考 一つの振動数範囲に複数の振幅がある場合は、一つを適用する。					

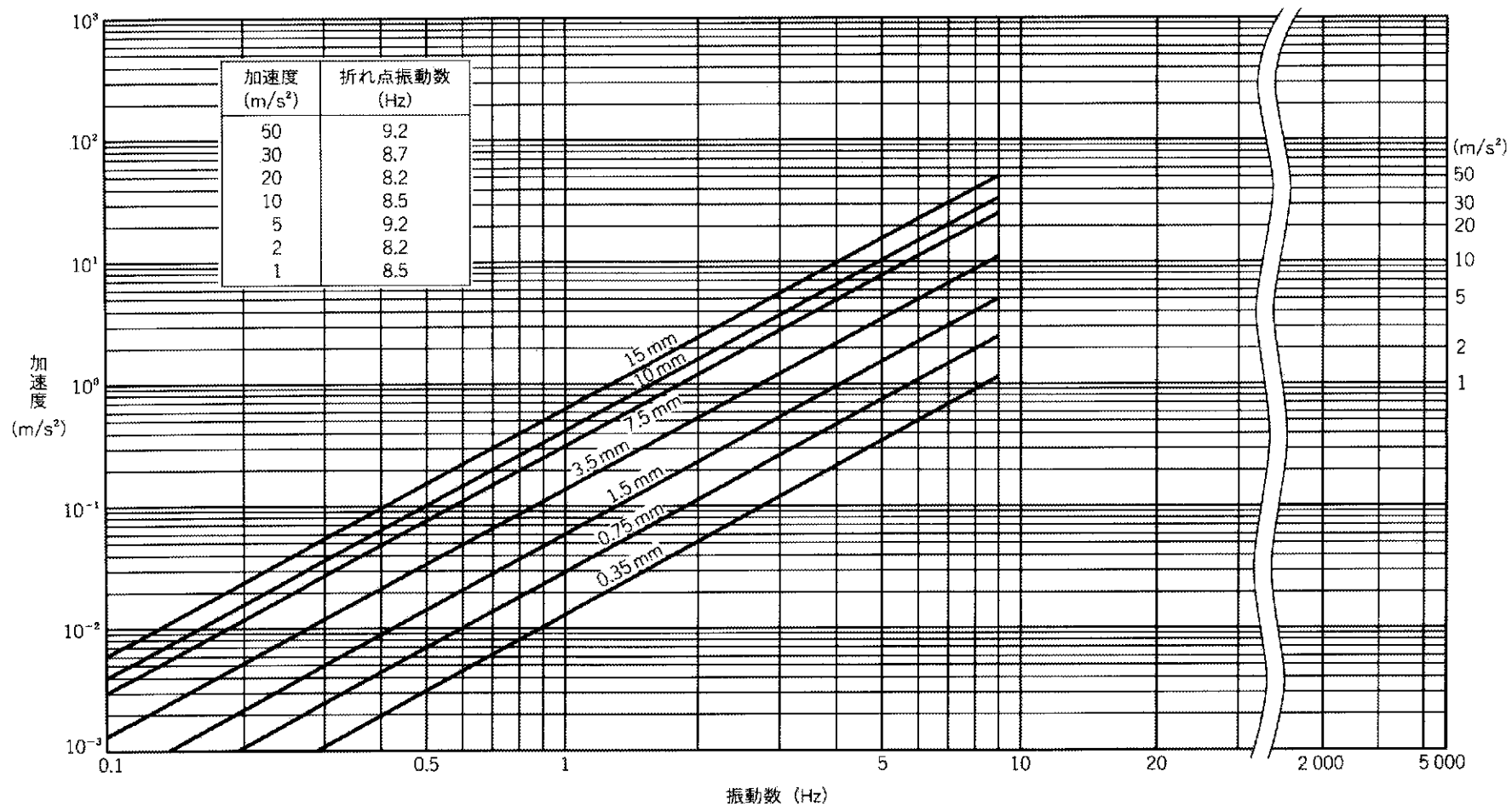
応力繰返し数の計算は、**附属書 A** の **A.4.3** 参照。

固定振動数耐久試験 各軸の各臨界振動数での代表的な耐久試験時間は、

10min, 30min, 90min, 10h である。

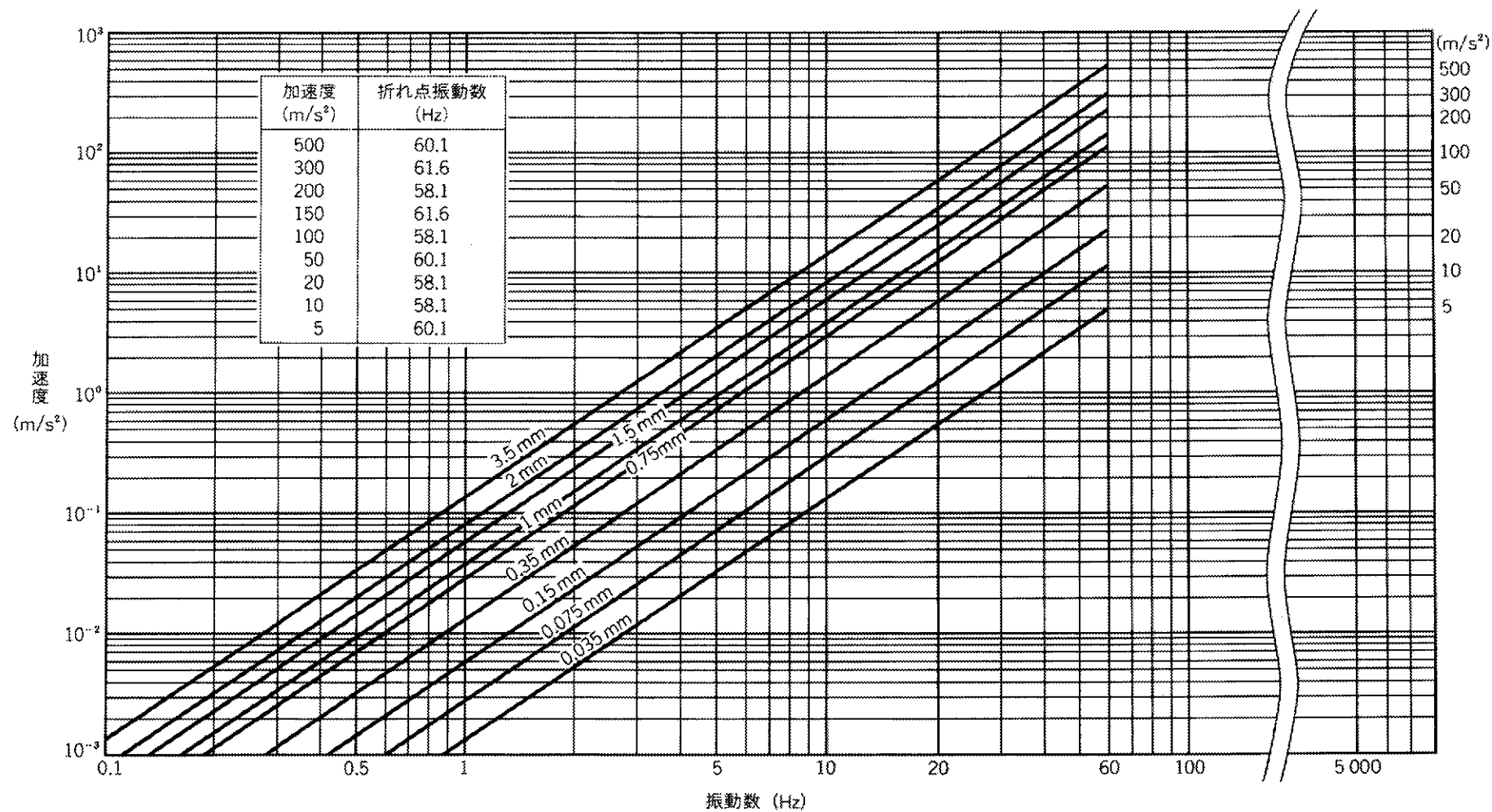
略固定振動数の場合は、**附属書 A** の **A.1** 参照。

指定振動数耐久試験時間は、応力繰返し数の上限値 10^7 回を、規定振動数と軸の各組合せに対して適用することが望ましい。環境条件がよく分かっている場合は、固定振動数に適用する耐久試験時間は、通常の寿命中に発生する応力繰返し数を基にすることが望ましい。



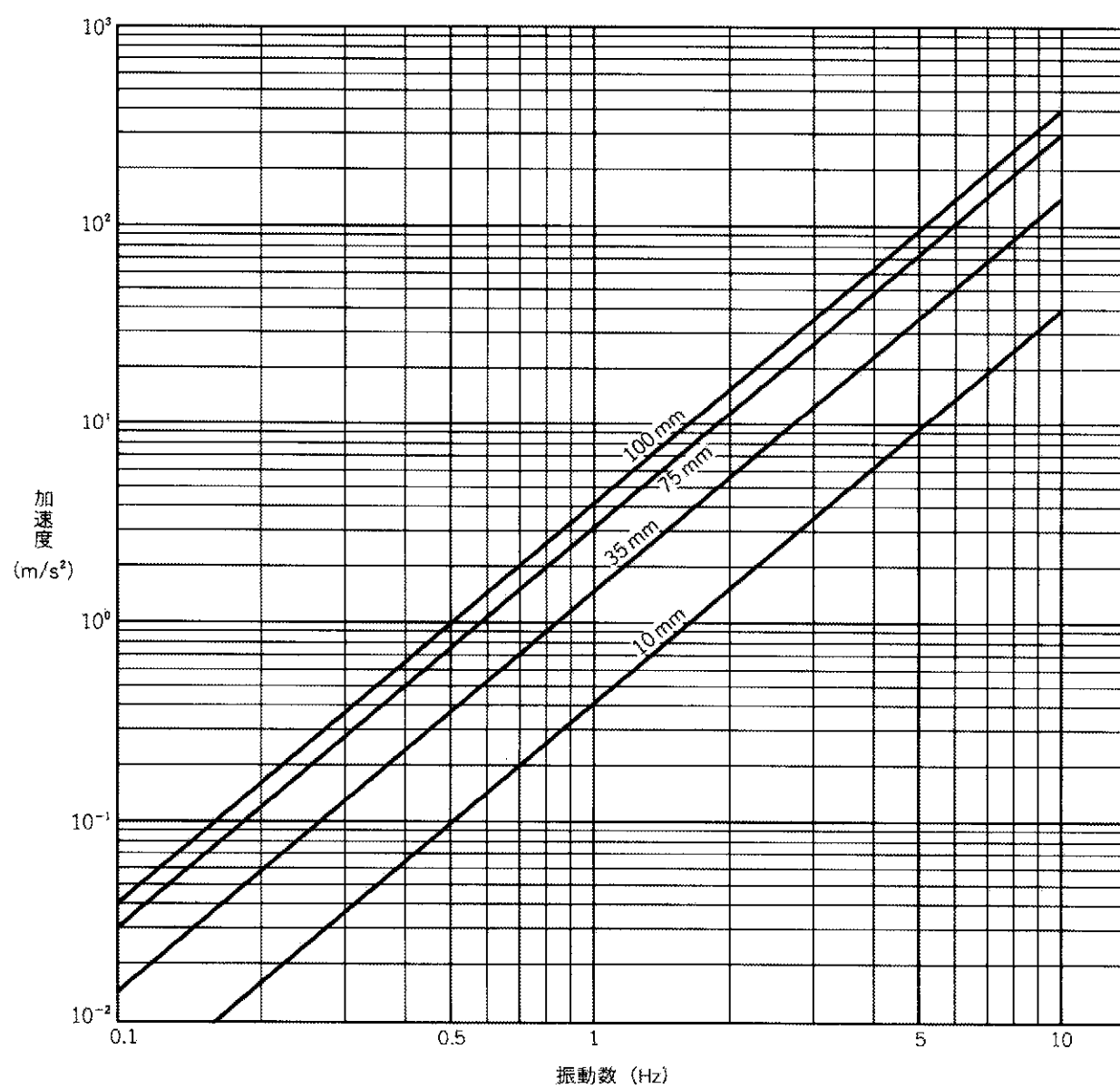
備考 このグラフは厳しさを正確には表していない。

付図 1 低い折れ点振動数の場合 (8~10Hz) の振動数対振動振幅



備考 このグラフは厳しさを正確には表していない。

付図 2 高い折れ点振動数の場合 (68~62Hz) の振動数対振動振幅



備考 このグラフは厳しさを正確には表していない。

付図 3 振動数対変位振幅（上限振動数 10Hz の場合だけに適用）

原案作成本委員会 構成表

	氏名	所属
(委員長)	池田弘明	静岡大学
(幹事)	高久清	工業技術院電子技術総合研究所
(委員)	永松莊一	通商産業省機械情報産業局
	中村国臣	工業技術院電子技術総合研究所
	橋爪邦隆	工業技術院標準部
	寺岡憲吾	防衛庁装備局
	吉田裕道	東京都立産業技術研究所
	山村修蔵	財団法人日本規格協会
	赤嶺淳一	社団法人日本電機工業会
	菅野久勝	日本試験機工業会
	工藤真一郎	社団法人関西電子工業振興センター
	栗原正英	社団法人日本プリント回路工業会
	酒井善治	IMV 株式会社
	佐々木喜七	財団法人日本電子部品信頼性センター
	芹川寛治	日本電気計器検定所
	千葉宣臣	財団法人電気安全環境研究所
	塚田潤二	社団法人日本電子機械工業会
	坪田芳実	株式会社日立製作所
	東條喜義	社団法人日本電子工業振興協会
	福西寛隆	日本電気株式会社
	堀越保博	財団法人日本品質保証機構
(事務局)	喜多川忍	財団法人日本電子部品信頼性センター

環境試験及び分類 JIS 原案作成 A 小委員会 構成表

	氏名	所属
(主査)	酒井善治	IMV 株式会社
(幹事)	中間晴夫	財団法人日本電子部品信頼性センター
(委員)	沖田真一	工業技術院標準部
	高久清	工業技術院電子技術総合研究所
	井下芳雄	エミック株式会社
	伊藤昭	伊藤精機株式会社
	斉藤武雄	株式会社アフティ
	高橋伸一	財団法人日本品質保証機構
	宮崎宏重	エア・ブラウン株式会社
	梁池忠夫	沖エンジニアリング株式会社
(事務局)	喜多川忍	財団法人日本電子部品信頼性センター