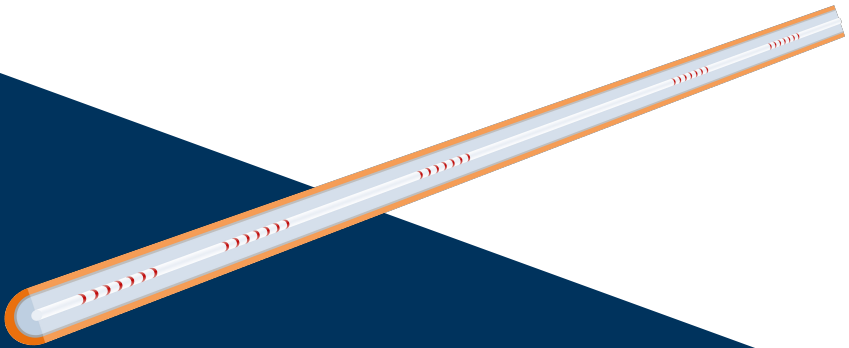


日本語

## 設置手順書



# FS70PKF

## PEEKコーティング付きFBGアレイ

Hottinger Brüel & Kjaer GmbH  
Im Tiefen See 45  
64293 Darmstadt  
Germany  
Tel. +49 6151 803-0  
Fax +49 6151 803-9100  
info@hbkworld.com  
www.hbkworld.com

HBK FiberSensing, S.A.  
Rua Vasconcelos Costa, 277  
4470-640 Maia  
Portugal  
Tel. +351 229 613 010  
Fax +351 229 613 020  
info.fs@hbkworld.com  
www.hbkworld.com

Mat.:  
DVS: A05512 02 J00 00  
11.2022

© Hottinger Brüel & Kjaer GmbH

本書の内容は変更される場合があります。  
本書に記載のすべての内容は製品説明のための一般  
情報です。品質や耐久性を保証するものではありません。

# 目次

---

<b>1</b>	<b>一般情報</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>センサの設置</b> .....	<b>5</b>
2.1	製品一覧 .....	5
2.2	取付箇所の準備 .....	6
2.3	計測箇所に印を付ける .....	7
2.4	エポキシ接着剤でセンサを接着 .....	9
2.4.1	接着エリアの制限（オプション） .....	9
2.4.2	接着剤の塗布 .....	9
2.4.3	接着面の仕上げ（オプション） .....	12
2.4.4	接着剤硬化 .....	13
2.5	センサの保護 .....	13
2.6	光ファイバケーブルの敷設と保護 .....	14
2.7	ケーブルの敷設と保護 .....	17
<b>3</b>	<b>センサ構成</b> .....	<b>20</b>
3.1	ひずみ .....	20

# 1 一般情報

---

本書は、PEEKコーティング付きFBGアレイFS70PKFの設置手順について説明します。

品番
K-FS70PKF

## 2 センサの設置

### 2.1 製品一覧

同梱されている製品
PEEKコーティング付きFBGアレイ

必要とする資材
表面研磨用のシート
表面洗浄剤 推奨のHBK製品：1-RMS1または1-RMS1-SPRAY
ティッシュ 推奨のHBK製品：1-8402.0026
仮止め用粘着テープ 推奨のHBK製品：1-KLEBEBAND
接着剤 推奨されるサードパーティ製品：3M製のDP490
接着剤（ストレインリリーフ用、オプション） 推奨のHBK製品：1-X60
保護部材 推奨のHBK製品：1-ABM75、1-AK22
先端が丸いピンセット
フォームテープ（オプション） 推奨：TESA POWERBOND 5MX19MM
小さなヘラ（オプション）

## 2.2 取付箇所の準備

FS70PKFファイバを取付ける前に、計測対象物の表面を清掃し、平らにする必要があります。



図2.1 1-RMS-SPRAYを使用して計測点に洗浄剤をスプレーする

▶ 計測点の周囲を徹底的に清掃します。RMS1洗浄剤と不織布を使用してください。

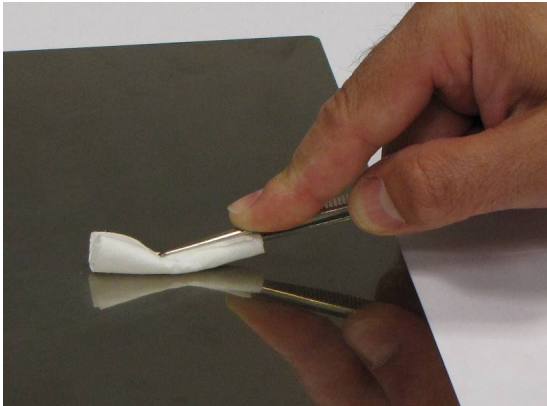


図2.2 不織布パッドを使用した計測ポイントの徹底的なクリーニング

▶ 常に同じ方向に繰り返し直線運動で清掃します。



図2.3 計測対象物の表面を粗面化する

- ▶ 表面研磨用のシートを使用して、計測ポイントとその周辺の表面を粗くします。



図2.4 粗面化した設置面の清掃

- ▶ RMS1と不織布パッドを使用して、粗くなった設置面をもう一度清掃します。

## 2.3 計測箇所に印を付ける

計測方向を考慮して各FBGセンサの位置を決定します。FBGは2つの暗いマーキングの中央に配置されています。

センサの位置決めが計測方向を決定するので、以下のステップは必ずみセンサにとって特に重要です。

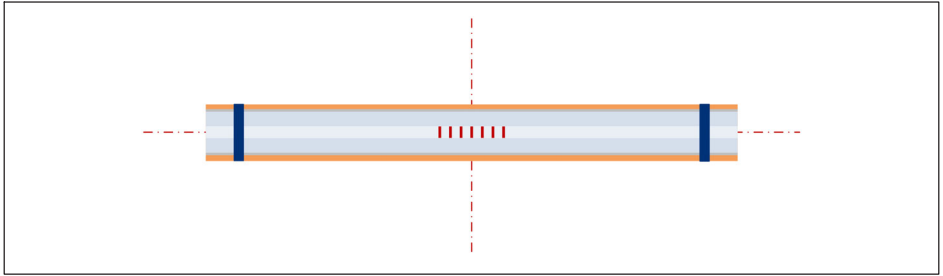


図2.5 FBG位置決め用のマーキング

取付け箇所のマーキング付けには、ボールペンの空芯(インクがないもの)が理想的です。マーキングの長さは、計測方向に 10 cm です。次に、直角方向に長さ 2 cm のマーキングラインを、取付箇所を中心に引いてください(図2.6)。



図2.6 マーキングラインを付ける

マーキングが完了したら、取付箇所のクリーニングを徹底的に行ってください(図2.7)。

**!** 重要

計測ポイントの再汚染を防ぐため、取付箇所を一回拭くたびに新しい不織布パッドを使用してください。不織布パッドに残留物が付着しなくなったら、洗浄プロセスは完了です。



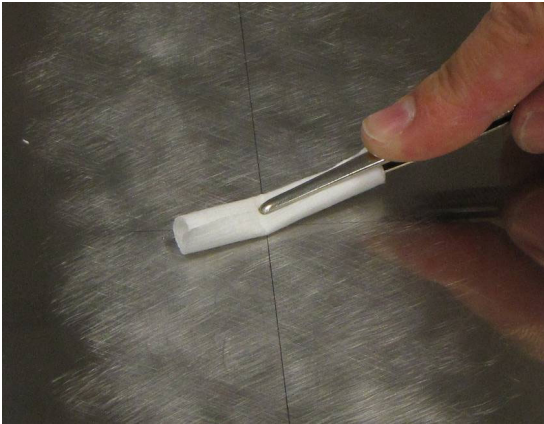


図2.7 取付箇所の仕上げクリーニング

## 2.4 エポキシ接着剤でセンサを接着

### 2.4.1 接着エリアの制限（オプション）

見栄えを良くするために、フォームテープを使用して接着エリアの周りに枠を作成することをお勧めします（推奨TESA/パワーバンド）。



図2.8 フォームテープを使用して作成された接着枠（オプション）。

### 2.4.2 接着剤の塗布

接着剤（3M製のDP490を推奨）を、マーキングクロスのあるマーキングラインに沿って少なくとも90 mmの長さで均等に塗布します。混合ノズルは、塗布中に接着面に対して垂直に配置してください（図2.9）。

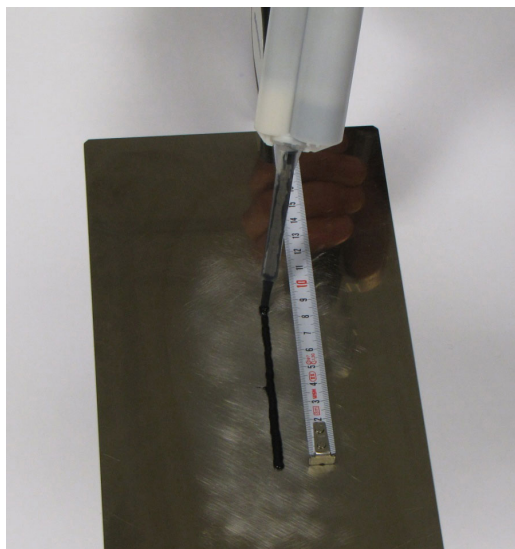


図2.9 接着剤を塗布しているところ

- ▶ 光ファイバができる限り真っ直ぐになるように両手でファイバを軽く引っ張ります。
- ▶ マーキングラインで示される計測方向とマーキングの十字に合わせて、FBGセンサ部分を配置します。
- ▶ 塗布された接着剤上にファイバを移動

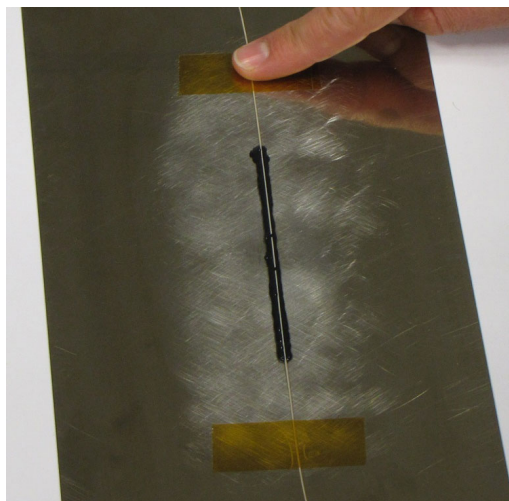


図2.10 光学センサ埋め込まれたファイバFS70PKFを固定

- ▶ 接着テープ（推奨ポリイミドテープ1-KLEBEBAND）を使用して、接着領域の両側でファイバを固定します（図2.10）。

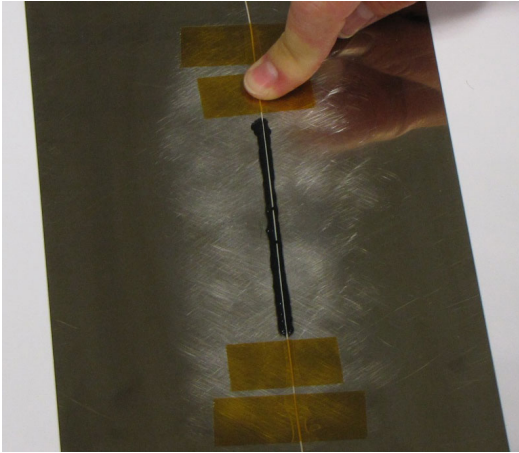


図2.10 さらに、接着剤の両端に近い箇所を接着テープで固定

- ▶ さらに2つの接着テープを粘着エリアの両端に直接貼り付けます（図2.11）。

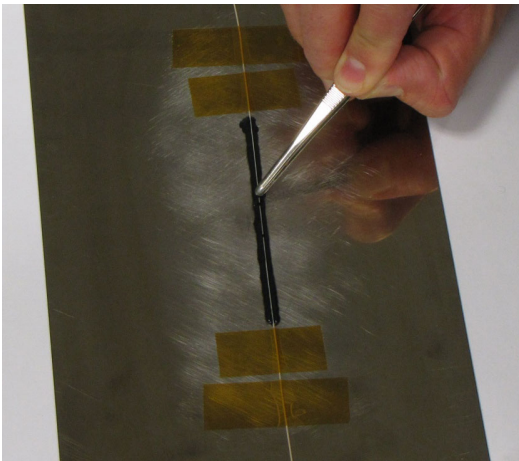


図2.11 先端が丸いピンセットで光センサファイバFS70PKFを押し下げる

- ▶ 光ファイバをエポキシ接着剤に静かに押し付けて、ファイバを接着剤に完全に埋め込み、先端が丸いピンセットを使用してファイバを計測対象の表面にできるだけ近づけます（図2.12）。

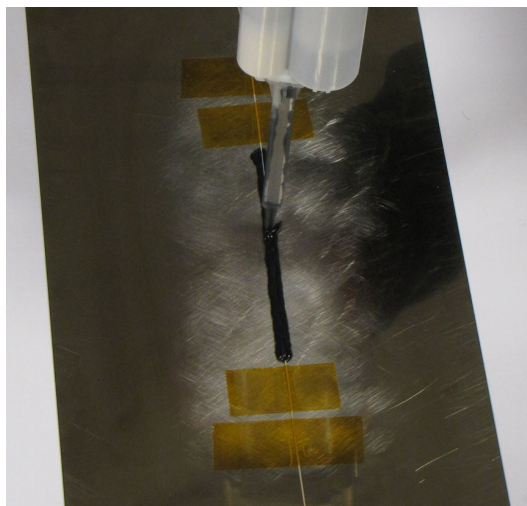


図2.13 エポキシ接着剤でセンサを覆う

- ▶ 埋め込まれた光ファイバの上に、接着剤を塗布して、完全にカバーします。空気の混入を防ぐには、混合ノズルをファイバに近づけ、接着面に対して直角になるようにして使用します (図2.13)。

### 2.4.3 接着面の仕上げ (オプション)

接着枠がある場合は、フォームテープをガイドとして使用して、へらで接着領域をスワイプすることにより、接着エリアの表面を平らにできます。

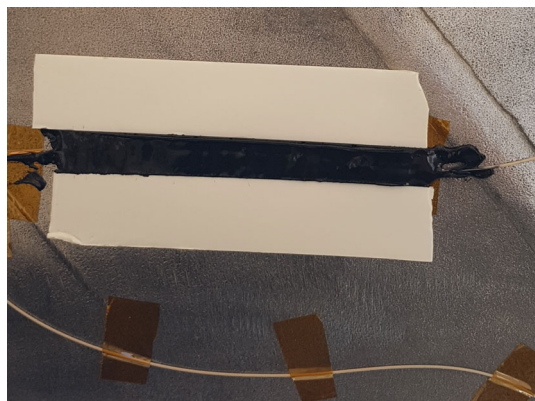


図2.14 接着エリアの平滑化 (オプション)。

- ▶ へらの真っ直ぐな面を、接着領域の一端でフォームテープに軽く押し付け、センサの中心に向かって少し傾けます。
- ▶ 作成した溝にある接着剤の上面を平らにするように、ゆっくりと一方向にスワイプします。

#### 2.4.4 接着剤硬化

接着剤を硬化させてから、計測に進みます。接着剤は環境温度（20°C[68°F]）での硬化時間は40時間）での硬化に時間がかかりますが、高温（65°C[149°F]）での硬化では2時間）では硬化時間を大幅に短縮できます。これは、必要かつ可能な場合はいつでも、時間を短縮するために熱を加えることができます。

接着剤の特性の詳細については、接着剤の説明書を参照してください。

### 2.5 センサの保護

接着剤 DP490によって、検知エリアをある程度、保護できますが、さらに、湿気や機械的損傷から保護するために、その上からコーティングすることを薦めます。

- ▶ センサ領域からフォームテープを取り外します。



図2.15 テープを取り外した後の接着領域





図2.16 AK22でセンサを保護

- ▶ パテAK22で、センサの上部全体をカバーし、計測対象の表面に押し付けて密着させます。
- ▶ ABM75で、全体を覆います。



図2.17 ABM75による保護

## 2.6 光ファイバケーブルの敷設と保護

FBG位置間のFS70PKFのファイバケーブルは、曲げ半径が指定値よりも小さくならないように注意して配置してください。

FBG間のケーブル長が固定されているため長すぎる場合は、ケーブルの一部を蛇行させたり、コイル状(図2.18参照)にします。



図2.18 ケーブルが長すぎる場合は、その一部をコイル状にする。

計測ポイント間のファイバケーブルを保護するための簡単で効果的な方法は、接着剤でファイバケーブルを覆うことです。

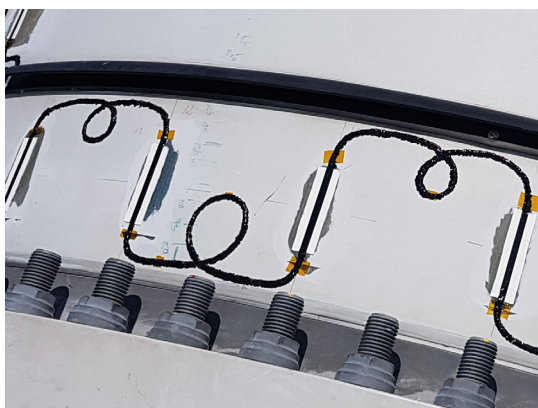


図2.19 ファイバケーブル部分をエポキシ接着剤で保護（オプション）

▶ ケーブル上にエポキシ被覆コートを作成（オプション）。

ファイバケーブルを、特に保護する必要がない場合は、センサ領域の近くでストレインリリーフを行うことをお勧めします。

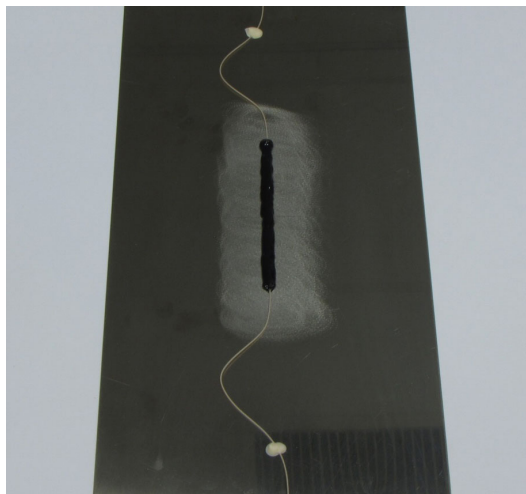


図2.20 FS70PKFのファイバケーブルに対するストレインリリーフ

- ▶ センサ接着領域の近傍で、ケーブルに緩やかなループを持たせ、高速硬化接着剤（X60接着剤など）を使用して、計測対象の表面に固定します。



## 2.7 ケーブルの敷設と保護

FS70PKFセンサは、ケーブル付きまたはケーブルなしで供給できます。また異なった種類のケーブルを指定できます。

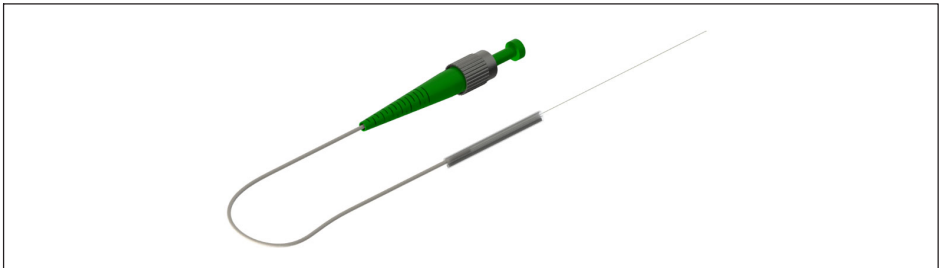


図2.21 編組ケーブルターミナル

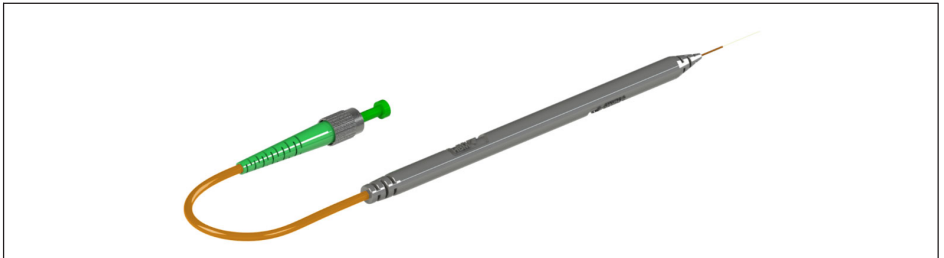


図2.22 アラミドケーブルターミナル

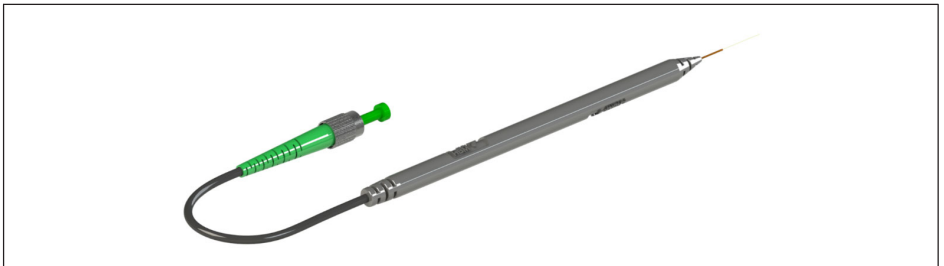


図2.23 装甲ケーブルターミナル

センサケーブルは、垂れ下がったりしないよう敷設してください。ケーブルの固定には、プラスチック製のクランプを推奨します。例を以下に示します (図2.24)。

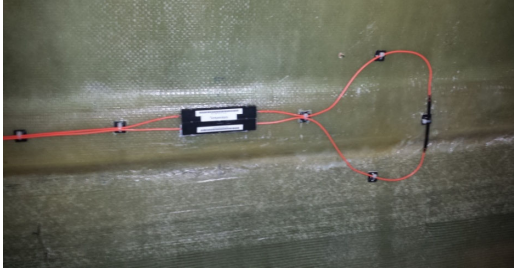


図2.24 プラスチック製のクランプで固定したケーブル

インテロゲータに接続する長距離配線には、配管用のプラスチック製コルゲートチューブなどを利用してください (図2.25)。

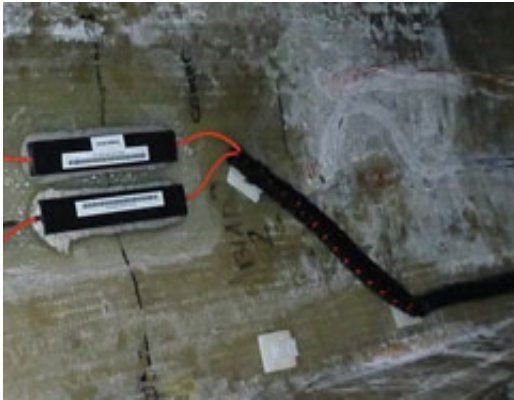


図2.25 コルゲートチューブにより保護したケーブル

ケーブルで余った長さの部分は、コイル状に巻いて、粉塵や水気の侵入しない、適切な端子箱の内部に収納し、ネットワークの改修時に利用できるようにすることを推奨します(図2.26)。



図2.26 ケーブルで余った長さの部分と接続端子を保護する端子箱

スプライス保護部分もしっかり固定する必要があります。peekファイバとスプライス外装間のスプライスインターフェースは、使用材料に剛性の違いがあるため脆弱です。これは、3mmケーブル（アラミドまたは装甲被膜タイプ）を使用する場合に特に当てはまります。

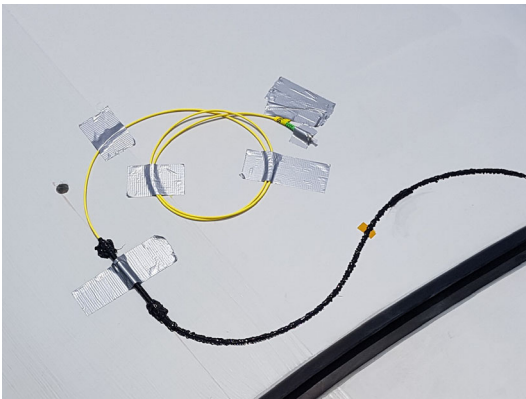


図2.27 接着スプライス保護

## 3 センサ構成

### 3.1 ひずみ

ひずみセンサは、校正をしないセンサです。センサとともにお届けする特性データシートには、センサのデータが記載され、これらは、ひずみの計算を正確に行う目的で利用します。

ファイバブラッググレーティングひずみセンサの場合、温度の影響を含む波長変動は、次の式で表されます：図3.1

$$\frac{(\lambda - \lambda_0)}{\lambda_0} = k \cdot (\varepsilon_{Load} + (TCS + CTE) \cdot (T - T_0)) \cdot 10^{-6}$$

図3.1 ひずみと温度の影響による、FBGひずみセンサの波長変動量

ここで、

- $\lambda$  は、ひずみセンサで計測されるブラッグ波長で単位はnm
- $\lambda_0$  は、基準点において、ひずみセンサが計測するブラッグ波長で単位はnm
- $k$  は、ひずみセンサのひずみ感度(kファクタ)で無次元量
- $\varepsilon_{Load}$  は、計測対象に加わる機械的ひずみで単位は $\mu\text{m}/\text{m}$
- $TCS$  は、ひずみセンサの熱ひずみで単位は $(\mu\text{m}/\text{m})/^\circ\text{C}$
- $CTE$  は、ひずみセンサを取付ける計測対象の材質の熱膨張係数で単位は $(\mu\text{m}/\text{m})/^\circ\text{C}$
- $T-T_0$  は、基準点の温度から計測点の温度までの温度変動量で単位は $^\circ\text{C}$

#### 温度補償をしない計測

温度補正が不要な場合は、次のようにひずみ計算を実行できます： 図3.2.

$$\varepsilon = \frac{(\lambda - \lambda_0)}{k \cdot \lambda_0} \cdot 10^6$$

図3.2 温度補償しない、ひずみ量の計算式

ここで、

- $\varepsilon$  は、ひずみ計測値で単位は $\mu\text{m}/\text{m}$
- $\lambda$  は、ひずみセンサで計測されるブラッグ波長で単位はnm
- $\lambda_0$  は、基準点において、ひずみセンサが計測するブラッグ波長で単位はnm
- $k$  は、ひずみセンサのひずみ感度(kファクタ)で無次元量

### 温度センサを使用して温度補償する計測

温度センサを使用して補償する、ひずみ量は、 $\mu\text{m}/\text{m}$  単位で、その計算は、温度センサの出力が $^{\circ}\text{C}$ 単位の温度値であるため、単純です。計算は次のとおりです：図3.3.

$$\varepsilon_{\text{Load}} = \frac{(\lambda - \lambda_0)}{k \cdot \lambda_0} \cdot 10^6 - (TCS + CTE)(T - T_0)$$

図3.3 温度センサを使用して温度補償する、ひずみ量の計算式

ここで、

- $\varepsilon_{\text{Load}}$  は、計測対象に加わる機械的ひずみで単位は $\mu\text{m}/\text{m}$
- $\lambda$  は、ひずみセンサで計測されるブラッグ波長で単位は $\text{nm}$
- $\lambda_0$  は、基準点において、ひずみセンサが計測するブラッグ波長で単位は $\text{nm}$
- $k$  は、ひずみセンサのひずみ感度( $k$ ファクタ)で無次元量
- $TCS$  は、ひずみセンサの温度クロス感度で単位は $(\mu\text{m}/\text{m})/^{\circ}\text{C}$
- $CTE$  は、ひずみセンサを取付ける試験体の材料の熱膨張係数で単位は $(\mu\text{m}/\text{m})/^{\circ}\text{C}$
- $T$  は、ひずみセンサを取付けた構造物の温度計測値で単位は $(\mu\text{m}/\text{m})/^{\circ}\text{C}$
- $T_0$  は、基準点に対する温度センサの温度計測値で単位は $^{\circ}\text{C}$

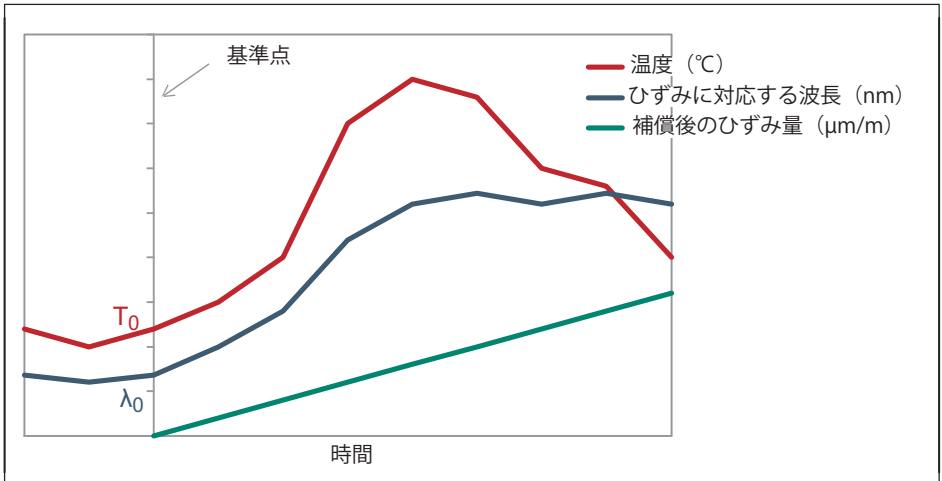


図3.4 補償に温度センサを使用して、温度補償ひずみ量を計測するときの基準点

## 補償用センサを使用して温度補償する計測

ひずみ計測は、FBG（ファイバ・ブラッグ・グレーティング）テクノロジーをベースとする、補償用センサを使用する場合においても、同様に正確な補償が可能です。補償の進め方として利用できるものは、以下のとおり、いくらかあります。

- 校正証明書なしの温度センサ
- 同一の材質上の、ひずみのない部分に取付けたひずみセンサ
- ひずみがなく、熱膨張率(CTE)が既知の材質上に取付けたひずみセンサ

図3.5に示す式により、ひずみの計算を実行できます。

$$\varepsilon_{Load} = \frac{\lambda - \lambda_0}{k \cdot \lambda_0} \cdot 10^6 - \frac{\lambda_{TC} - \lambda_{0TC} (TCS + CTE)}{\lambda_{0TC} TCF}$$

図3.5 FBGをベースとする、補償用センサを使用して温度補償する、ひずみ量の計算式

ここで、

- $\varepsilon_{Load}$  は、計測対象に加わる機械的ひずみで単位は $\mu\text{m}/\text{m}$
  - $\lambda$  は、ひずみセンサで計測されるブラッグ波長で単位は $\text{nm}$
  - $\lambda_0$  は、基準点に対して、ひずみセンサが計測するブラッグ波長で単位は $\text{nm}$
  - $k$  は、ひずみセンサのひずみ感度( $k$ ファクタ)で無次元量
  - $\lambda_{TC}$  は、補償用センサで計測されたブラッグ波長で単位は $\text{nm}$
  - $\lambda_{0TC}$  は、基準点において、補償用センサの示すブラッグ波長で単位は $\text{nm}$
  - $TCS$  は、ひずみセンサの温度クロス感度で単位は $(\mu\text{m}/\text{m})/^\circ\text{C}$
  - $CTE$  は、ひずみセンサを取付ける試験体の材料の熱膨張係数で単位は $(\mu\text{m}/\text{m})/^\circ\text{C}$
  - $TCF$  は、補償用センサの温度補償係数で単位は $(\mu\text{m}/\text{m})/^\circ\text{C}$
- 未校正の温度センサでは、センサの特性データシートに、この数値が記載されています。ひずみセンサが特定の材質に取付けられている場合、図3.6に示す式により、TCFを算出できます。

$$TCF = (5.7 + k \cdot CTE_{TC})$$

図3.6 温度補償係数を求める計算式

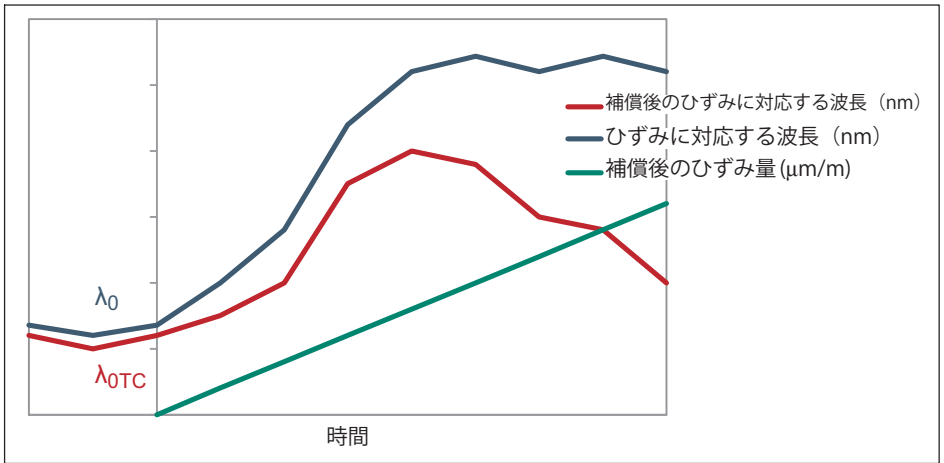


図3.7 補償にFBGベースの補償用センサを使用して、温度補償ひずみ量を計測するときの基準点

### 曲げモーメント補正を使用した計測

測定面から遠く離れた位置にあるセンサを使用して測定する場合、測定に「誤差」が発生する可能性があります。これは、センサが設置されている測定面と測定対象となるひずみ発生の中立軸の間に距離があるためです。

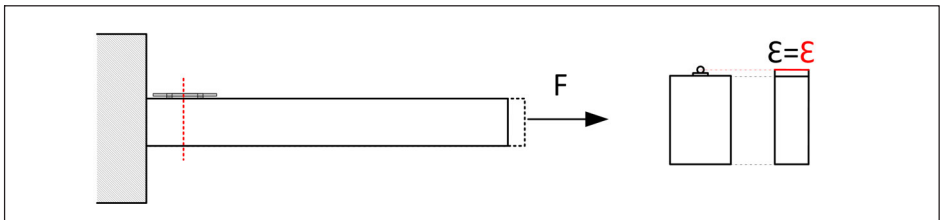


図3.8 純粋な軸方向の変形によるひずみ

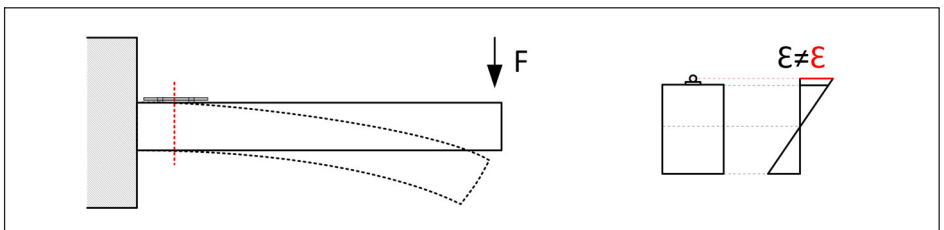


図3.9 純粋な曲げモーメントによるひずみ

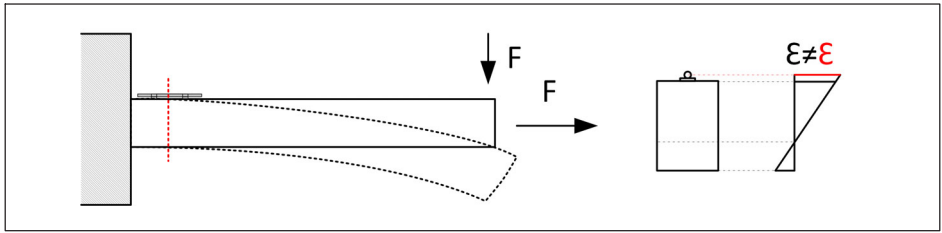


図3.10 軸方向の荷重と曲げモーメントによるひずみ

これは、センサ検出素子と設置表面間の距離が計測値に影響する場合、または測定対象が非常に薄い場合、非常に重要になります。FS70PKFベア・ファイバブラッググレーティング素材自体のこの距離は0.35mm (図3.11の $h_2$ )。

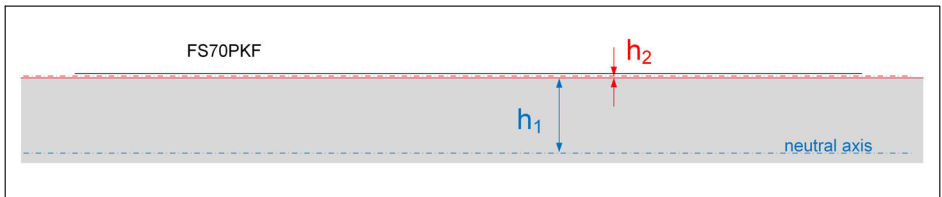


図3.11 FS70PKFにおける、FBGから実装表面までの距離

ただし、被測定物の中心軸(neutral axis)までの距離 ( $h_1$ ) が既知である場合は、センサから計測された歪みは、幾何学的要因により計測表面の歪みに修正できます：

$$\varepsilon_{surface} = \frac{\lambda - \lambda_0}{k \cdot \lambda} \cdot \frac{h_1}{h_2 + h_1} \cdot 10^6$$

図3.12 ひずみ計算における曲げ効果補正

ここで、

- $\varepsilon_{surface}$  は、計測表面に加わる機械的ひずみで単位は $\mu\text{m}/\text{m}$
- $\lambda$  は、ひずみセンサで計測されるブラッグ波長で単位は $\text{nm}$
- $\lambda_0$  は、基準点に対して、ひずみセンサが計測するブラッグ波長で単位は $\text{nm}$
- $k$  は、ひずみセンサのゲージ率( $k$ ファクタ)で無次元係数
- $h_1$  計測面から中心軸までの距離出単位は $\text{mm}$
- $h_2$  は計測面からFBGまでの距離で単位は $\text{mm}$  (FS70PKFの場合は0.35 mm)





