

日本語

設置手順書



FS62PSS, FS62PSR, FS63LTS

光ファイバ式パッチひずみセンサ、光ファイバ式パッチひずみロゼット、光ファイバ式ラボ用温度センサ

Hottinger Brüel & Kjaer GmbH
Im Tiefen See 45
D-64293 Darmstadt
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
Phone: +351 229 613 010
Fax: +351 229 613 020
www.hbkworld.com
info.fs@hbkworld.com

Mat.:
DVS: A05323 03 J00 00
06.2022

© 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

1	一般情報	4
2	設置手順	5
2.1	材料一覧	5
2.2	光ファイバ式パッチひずみセンサFS62PSS	5
2.2.1	取付箇所の準備	5
2.2.2	計測箇所に印を付ける	8
2.2.3	センサの配置	9
2.2.4	センサを接着する	10
2.3	光ファイバ式パッチひずみロゼットFS62PSR	13
2.3.1	取付箇所の準備	13
2.3.2	計測箇所に印を付ける	14
2.3.3	センサの配置	14
2.3.4	センサを接着する	15
2.4	光ファイバ式ラボ用温度センサ FS63LTS	17
2.4.1	取付箇所の準備	17
2.4.2	センサの配置	17
2.4.3	センサの固定	18
2.5	ケーブルの敷設と保護	19
2.6	センサの保護	20
3	センサ構成	24
3.1	センサ関連の文書	24
3.2	計測結果の計算	24
3.2.1	温度	24
3.2.2	ひずみ	24

1 一般情報

本文は、光ファイバ式パッチひずみセンサ FS62PSSおよび光ファイバ式パッチ温度センサ FS63LTSの設置手順書です。
これらのセンサは、単独で、またはHBK FiberSensingの施設で事前に組み立てられたセンサアレイとして納品できます。

品番		
ひずみセンサ	ひずみゲージロゼット	温度センサ
K-FS62PSS	K-FS62PSR	K-FS63LTS
1-FS62PSS-1510	1-FS62PSR-3505	1-FS63LTS-1515
1-FS62PSS-1520	1-FS62PSR-3520	1-FS63LTS-1525
1-FS62PSS-1530	1-FS62PSR-3535	1-FS63LTS-1535
1-FS62PSS-1540	1-FS62PSR-3550	1-FS63LTS-1545
1-FS62PSS-1550	1-FS62PSR-3565	1-FS63LTS-1555
1-FS62PSS-1560	1-FS62PSR-3580	1-FS63LTS-1565
1-FS62PSS-1570		1-FS63LTS-1575
1-FS62PSS-1580		1-FS63LTS-1585
1-FS62PSS-1590		1-FS63LTS-1595
センサアレイ		
K-FS76BRD		

2 設置手順

2.1 材料一覧

同梱されている製品		
FS62PSS	FS62PSR	FS63LTS
センサ	センサ	センサ
テフロン設置用補助具	テフロン設置用補助具	
テフロンホイル	テフロンホイル	
圧力パッド (セットごとに1つ)	圧力パッド (セットごとに1つ)	

必要とする設備
バリ取り機 (オプション)

必要とする資材
接着剤 推奨のHBK製品：1-Z70,1-X60 または1-X280
紙やすり
表面洗浄剤 推奨のHBK製品：1-RMS1 または 1-RMS1-SPRAY
不織布 推奨のHBK製品：1-8402.0026
ポリイミド製マスキングテープ 推奨のHBK製品：1-KLEBEBAND
保護部材 推奨のHBK製品：1-ABM75 / AK22

2.2 光ファイバ式パッチひずみセンサFS62PSS

2.2.1 取付箇所の準備

光学式ひずみゲージやセンサを取り付けるときは、まず計測対象物の表面を清掃し平らにする必要があります。下地に塗料などの保護層が施工されていたり、錆があったりする場合、バリ取り機 (図2.1) を使用する、または、表面をサンドペーパー (図2.2) 掛けをすることにより、これらを除去し、且つ表面が凸凹にならないように注意してください。



図2.1 バリ取り機を使用して塗装と錆を取り除きます



図2.2 紙やすりを使用して塗装と錆を取り除きます

適切な脱脂剤（RMS1を推奨）および不織布を使用して表面を清掃します図2.3 図2.5。
不織布に付着する汚れがなくなるまで、クリーニング手順を繰り返します。



図2.3 RMS1クリーナと不織布を使用します

表面に保護層がなく、非常に滑らかな場合は、円を描くように研磨紙（例：180グレイン）で表面を粗面化する必要があります（図2.4）。



図2.4 計測対象物の表面を粗面化する

その後、接着面を清掃し、ほこりやグリースが付着していないことを確認する必要があります。



図2.5 表面をクリーニングしています

拭き取りは、不織布を常に同一方向に移動させて行い、不織布に付着する汚れがなくなるまで、続けてください。

2.2.2 計測箇所に印を付ける

測定方向とセンサのガイドを考慮しながら、センサの位置と方向を決定します。

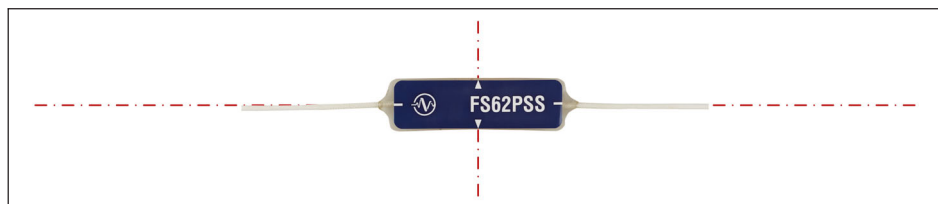


図2.6 FS62PSSセンサ位置決め用のマーカー



ヒント

表面の材質に応じて、鋭利な工具またはペンを使用してセンサの位置をマークします。



ヒント

接着箇所の汚れを防ぐため、手や使用するツールが清潔であることを確認してください。

マーキングの長さは、計測方向に 60 mm です。縦のマーキングライン、長さ40 mm、は取り付け位置の中心に引いてください 参照 図2.7。センサの接着エリアにはマーキングしないでください。



図2.7 センサの位置をマーキングします

2.2.3 センサの配置

箱の中の保護カバーから光センサを取り外し、センサの接着面からテフロン保護フィルムをはがします。



ヒント

あとで、接着時に使用するために、テフロン保護フィルムを保管しておきます。

次に、テフロン製取り付け補助具(白) を使用してセンサを、マークされた計測点に配置します。設定された十字マークにセンサを配置した後、10cmの長さのポリイミド接着テープ (1-KLEBEBAND) をセンサに触れないように、取り付け補助具の上に貼り付け、計測対象物に固定します(図2.8)。



図2.8 FS62PSSの位置合わせと配置

次のステップは必須ではありませんが、接着剤があふれないようにすることをお勧めします。

10 cm長のポリイミド接着テープ（1-KLEBEBAND）をセンサの反対側（センサから数mm離れたところ）に、センサと平行にはります（図2.9）。

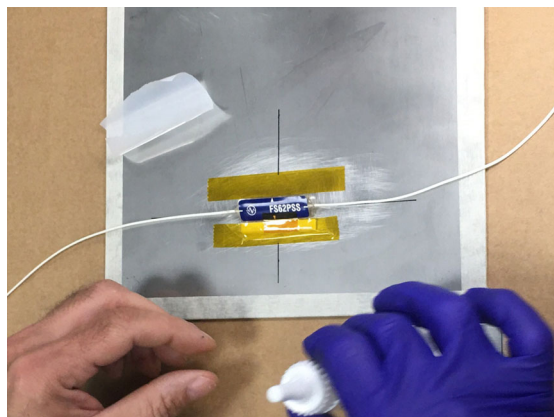


図2.9 接着剤マスクを適用する

2.2.4 センサを接着する

次の手順は、シアノアクリレート接着剤であるZ70接着剤に基づいて作成されています。センサは他の接着剤を使用して設置できます。接着剤の使用方法については、必ず以下の指示を考慮し、それに従って適切に対応してください。

以下の表は、推薦するHBK製接着剤の主な特性と用途を示しています。

接着剤	硬化	動作温度範囲	一般コメント
Z70	20°Cの時： 1分	-55°C~100°C ¹⁾ -55°C~120°C ²⁾	測定は30分後に可能です： 取り付け時に、一定の圧力（親指） と30~80%の空気湿度が必要です。
X60	20°Cの時： 10分	-200°C~60°C ¹⁾ -200°C~80°C ²⁾	測定は30分後に可能です： 固い接着剤； ダイナミックベンディングには適し ていません；センサと測定表面の間 に薄い接着層があることを確認する 必要があります。
X280	10°Cの時： 36h 20°Cの時：8h 65°Cの時：2h 95°Cの時：1h	-200°C~200°C ¹⁾ -200°C~280°C ²⁾	高疲労耐久用途にお勧めします。

1) ゼロ点固定式計測用

2) ダイナミック測定に使用します

接着剤Z70とテフロンフィルムの小片（開梱時にセンサから除去したもの）を用意します。テフロンの取り付け補助具を光センサのヒンジとして使用して、図2.10にしめすようにFS62PSSセンサを裏返しにします。Z70ボトルの先端がセンサ接着面触れないようにして、接着剤Z70を3滴塗布します。

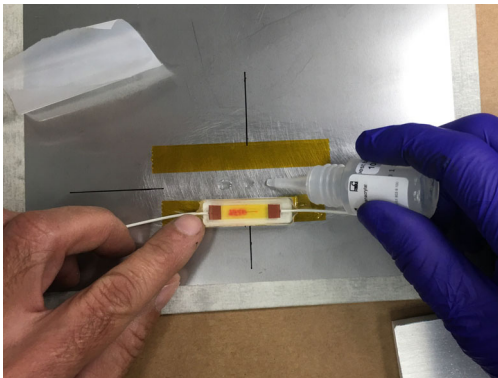


図2.10 FS62PSSを上側に折り畳み/接着剤Z70の塗布

センサを接着剤の上に素早く折りたたみます。センサをテフロンホイルで覆い、センサに対して約1分間しっかりと均等に圧力を加えます。このステップでは、圧力分散用の加圧パッドを使用してください。

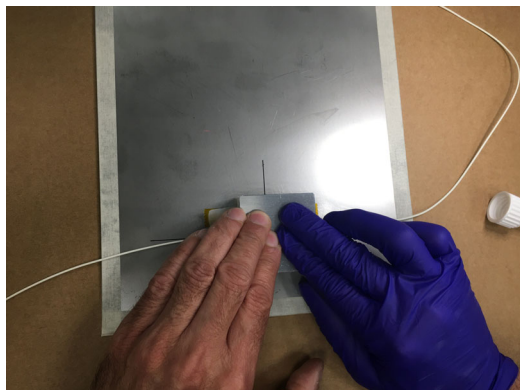


図2.11 FS62PSSを接着し接着剤を硬化させる

接着後、必要に応じて不織布パッドを使用して、材料表面から余分なZ70接着剤を取り除きます。

接着剤Z70は固まるまで、接着後さらに10分間必要です。下記のようにストレインリリーフを実施した場合は、仮止め用の粘着ストリップをはがすことができます。そうでない場合は、さらに約10分待ちます。その後、すべての粘着テープと取り付け補助具を取り外すことができます。可能であれば、粘着テープを表面に対して平らなまま小さな角度ではがします(図2.12)。

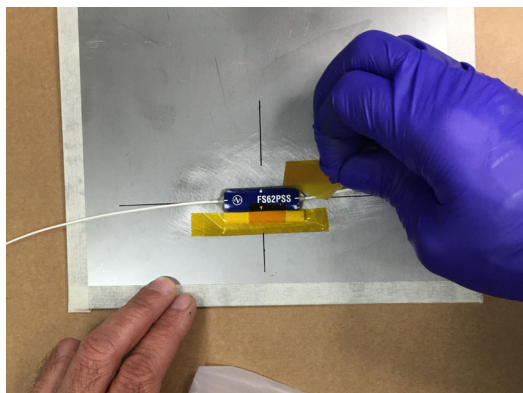


図2.12 仮止め用粘着テープの取り外し

次に、テフロン取り付け補助具を慎重に取り外します(図2.13)。

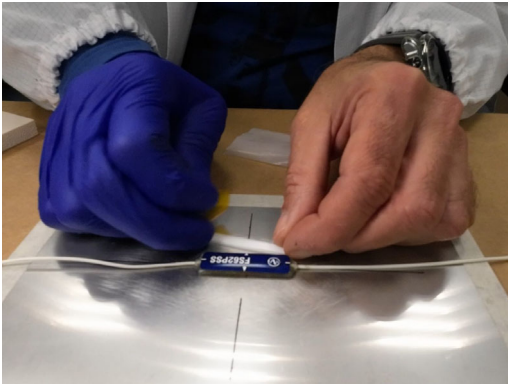


図2.13 テフロン取り付け補助具の取り外し

この最後のステップでは、不織布パッドを使用して、テフロン取り付け補助器具の下に残っている接着剤の残りをすべて取り除きます。



図2.14 光学式ひずみセンサの設置完了

Z70設置マニュアルの硬化時間に関するデータも参照してください。

2.3 光ファイバ式パッチひずみロゼット FS62PSR

2.3.1 取付箇所の準備

FS62PSRパッチひずみロゼットを設置する場合、設置面は清浄で、大きな不規則性がない必要があります。セクション 2.2.1、ページ5に記載の、FS62PSS用の手順にしたがってください。

2.3.2 計測箇所を印を付ける

FS62PSRロゼットには、0°/60°/120°の位置に3つのFBGセンサがあります。各FBGの位置合わせは、に示すように、ローゼットの各コーナーにあるセンサガイドによって確認できます。このガイドは、図2.15に示されているように、方向「a」、「b」、および「c」として定義されます。

最初に、セクション2.2.2に説明されているような方法で、「a」などのFBGの位置合わせの1つとその垂直方向を考慮して、でマーキングの十字線を描画します。

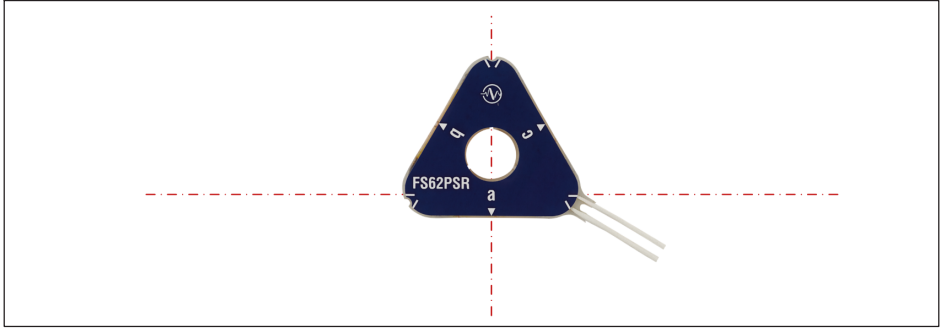


図2.15 FS62PSRセンサの位置決め用のマーカー

2.3.3 センサの配置

テフロン製の取り付け補助具を使用して、光学ロゼットをマーキングの十字線に配置します。

「a」などの目的の方向を水平マークに合わせます。この位置を判断するには、センサレベルにある白い位置合わせマークを参照してください。次に、「a」方向の矢印と「b」方向のマークと「c」方向のマークの交点を結ぶラインを、垂直方向を示す縦方向のマークに合わせます。

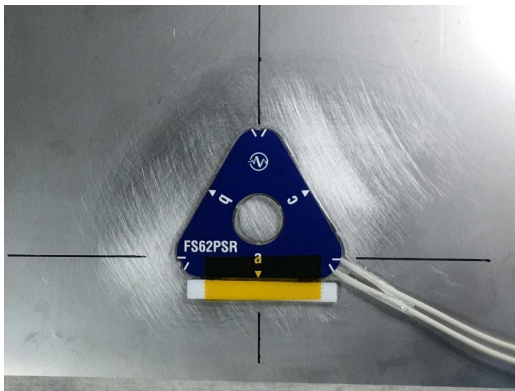


図2.16 光学式ローゼットを位置合わせ

FS62PSRの接着時に過剰な接着剤を取り除くために、センサ位置の周囲に接着剤用のマスキングテープを配置することをお勧めします。これを行うには、ポリイミド粘着テープを2本使用して、光学式ロゼットの各側面に平行に貼り付けます（図2.17を参照）。

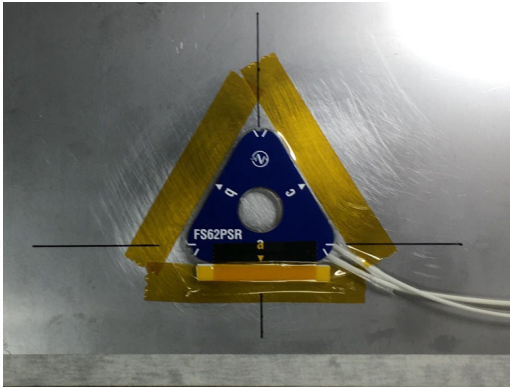


図2.17 接着剤マスクを適用する

2.3.4 センサを接着する

FS62PSSパッチひずみセンサについては、次に示す、Z70スーパーグルーを使用したFS62PSRパッチひずみローゼットの設置手順を参照してください。各種接着剤の詳細については、セクション2.2.4“センサを接着する”(ページ10)を参照してください。

Z70接着剤とテフロンフィルムの小片をあらかじめ用意してください。ヒンジとしてTeflon取り付け補助具を使用し、ローゼットを裏返します。Z70ボトル先端が接着表面に触れないようにして、3角形のセンサ接着面に接着剤Z70を6滴塗布します。図2.18を参照。

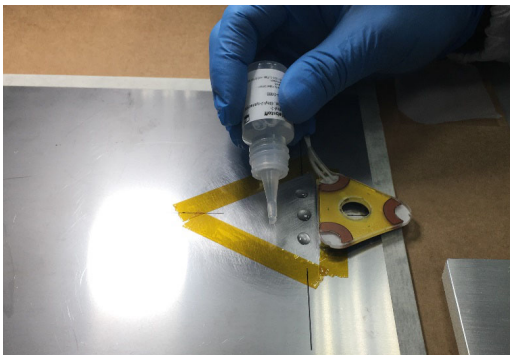


図2.18 接着剤の塗布

センサを接着剤塗布面に素早く戻します。センサをあらかじめ準備しておいたテフロンフィルムで覆い(図2.19)、フィルムを介してセンサに対して約1分間しっかりと均等に圧力を加えます。

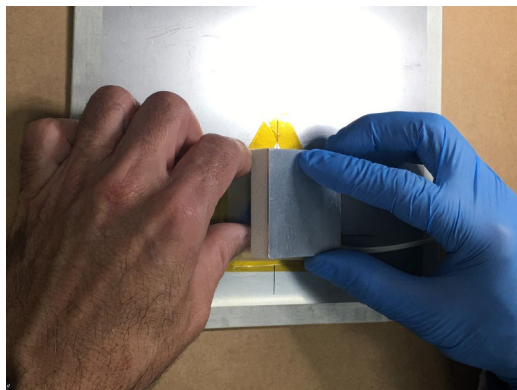


図2.19 テフロンフィルムと圧力パッドを使用する



図2.20 ロゼットセンサを1分間押します

接着剤Z70は固まるまで、接着開始後さらに10分間必要です。その後、すべての粘着テープと取り付け補助具を取り外すことができます。可能であれば、粘着テープを表面に対して平らなまま小さな角度ではがします。

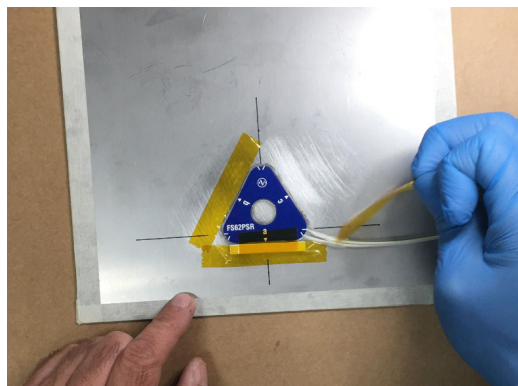


図2.21 テープを取り外します

次に、ページの「FS62PSS」の説明に従って、Teflon取り付け補助具を慎重に取り外します。図2.13（ページ13）を参照。

この最後のステップでは、不織布パッドを使用して、テフロン取り付け補助器具の下に残っている接着剤の残りをすべて取り除きます。Z70設置マニュアルの硬化時間に関するデータも参照してください。

2.4 光ファイバ式ラボ用温度センサ FS63LTS

2.4.1 取付箇所の準備

FS63LTSラボ用温度センサを取り付ける場合は、接着表面が汚れておらず、大きな凸凹などの不規則性がないことが必要です。セクション2.2.1、(ページ5)に記載の、FS62PSS用の設置手順に従ってください。

2.4.2 センサの配置

FS63LTSの方向は、正しい温度測定のために重要ではありません。ただし、温度補正に使用する場合は、温度センサを補正対象のひずみセンサの横に配置することが重要です。温度補正は、2つのセンサ(ひずみと温度)が同じ温度の場合にのみ有効です。



図2.22 温度センサの配置

2.4.3 センサの固定

計測する計測対象の試料とセンサ間の熱接触を可能にする方法で温度センサを固定する必要があります。センサを固定する最も簡単な方法は、その上にテープを使用することで、例えば、ポリイミド接着テープ（1-KLEBEBAND）、または被覆剤(1-ABM75または1-AK22)を使用します。また、測定表面とセンサの間に良好な熱伝導をもたらす接着剤を使用することもできます。ただし、センサの中央部分にのみ接着剤を塗布し、センサにひずみが生じないように注意する必要があります。

温度補正を行う場合は、補正センサをひずみセンサの近くに配置して、ひずみ信号を補正する必要があります。

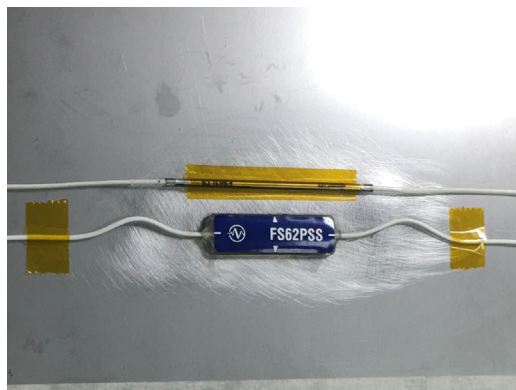


図2.23 ポリイミドテープで固定されたFS63LTS

2.5 ケーブルの敷設と保護

センサケーブルは、ケーブルが垂れ下がっていないこと、またケーブルを曲げて使用する場合は、その曲率が許容範囲以内であることを確認しながら配線する必要があります。

光ファイバにストレインリリーフを施すことをお勧めします(図2.24を参照)。余分な光ファイバケーブルに緩やかな曲線をかけてひとまとめにして、ポリイミド粘着テープで固定します。また、接着剤(例えばX60)も使用できます。

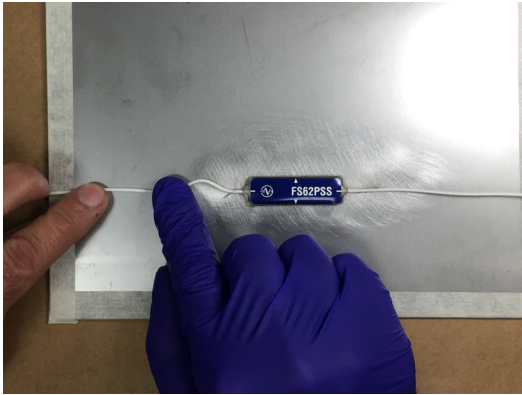


図2.24 光ファイバケーブルに対するストレインリリーフ

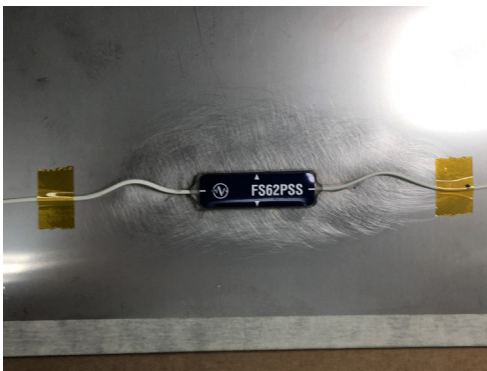


図2.25 テープでファイバーストレインリリーフを固定しています

スプライス保護がある場合は、スプライスもしっかり固定されていることを確認してください。

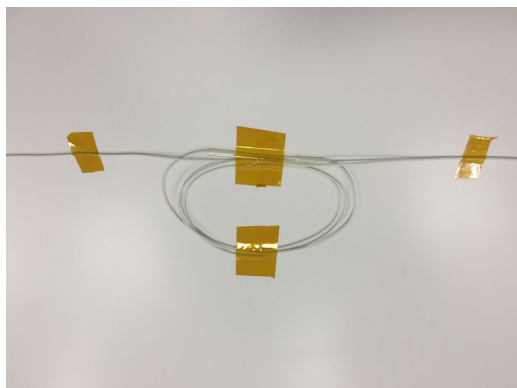


図2.26 編組ケーブルの配線

屋外で使用する場合は、ケーブル経路を湿気や機械的損傷からさらに保護することをお勧めします。これは、ケーブルコンジットを使用するか、シリコンなどのシーリングペーストで全長を覆うことで実現できます（例：3M製DP490使用）。



お知らせ

編組ケーブルは、管理された環境を持つ実験室での設置に適しています。広い温度範囲に耐えることができますが、機械的損傷に対しては、完全に保護されていません。センサが過酷な環境で使用される場合は、ケーブルの保護を強化する（プラスチックチューブ、コンジットを使用するか、ケーブルを保護材で覆う）ことをお勧めします。

2.6 センサの保護

FS62PSS、FS62PSR、FS63LTSはラボ用に設計されたセンサです。しかし、正しく保護すれば他の環境でも使用できます。

カバー剤AK22やABM75を使用して、センサを湿度の影響から保護する必要があります。最初にすべての接着剤の残留物（この場合はZ70）をパテで大きめにカバーしてください。すべてのセンサ側面に対してパテを押し付けてください(図2.27)。

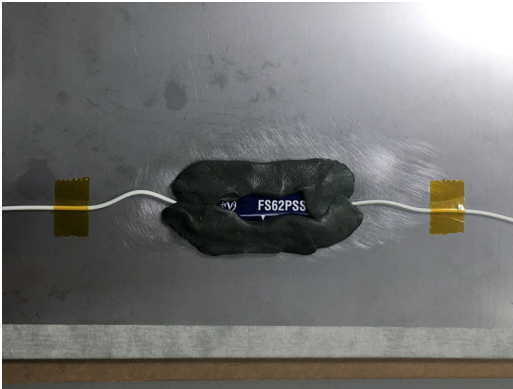


図2.27 AK22でセンサ側面をカバー

カバー状態をより完全にするため、必ずケーブルの下にAK22を適量配置してください。これは、センサの横の接続部分、および残りの保護レイヤの接続部分でも行う必要があります(図2.28)。

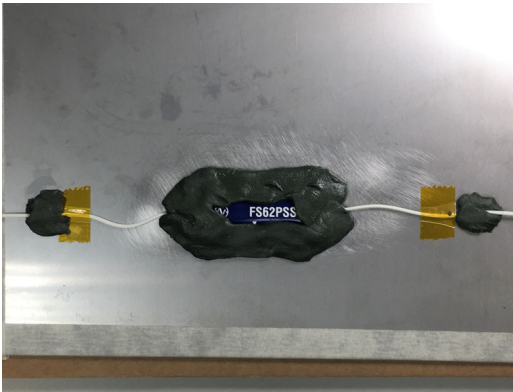


図2.28

センサ領域全体をカバーできるように、十分な大きさのフィルムABM75(図2.29)を切り取り(単一のセンサまたは互いに近接した複数のセンサ; FS63LTS x 1と温度補正用に FS62PSS x1)、全体をカバーするように配置します。

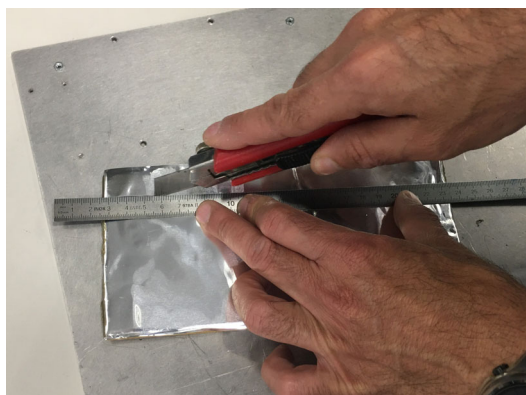


図2.29 センサエリア全体をカバーできる大きさのフィルムABM75を切っているところ。

硬い道具でフィルムカバーの端を、測定対象物の表面にしっかりと押し付けて固定します。

メモ

ケーブル部分に圧力をかけないように十分注意してください。センサのファイバが損傷して読み値を損なう可能性があります。ケーブル部分では、指でこのシール状態を確認してください。

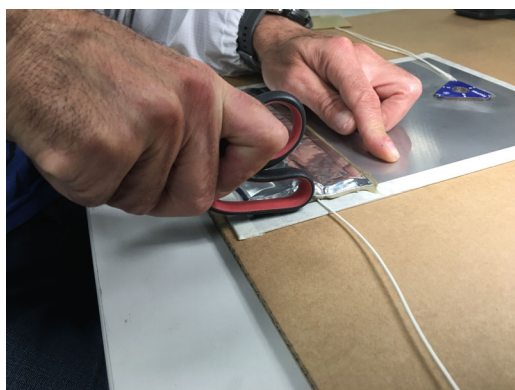


図2.30 カバーホイルABM75の貼り付け



図2.31 完全に覆われた計測点

3 センサ構成

3.1 センサ関連の文書

HBK FiberSensing製の校正済みセンサは、校正証明書を添付してお届けいたします。それ以外のセンサは、センサの構成にかかわる、重要な情報を記載したセンサ特性データシートを添付してお届けいたします。

事前にセンサを組み立てたセンサアレイの形で、センサをお届けする場合は、上記に代えて、校正に関連する情報を記載した要約表をご提供いたします。

この設置マニュアルは、印刷版としてセンサ包装品の中に同梱して、お届けいたします。またHBK社のWebサイト(www.hbm.com)からダウンロードできます。

3.2 計測結果の計算

3.2.1 温度

波長の計測結果を温度に変換する計算は、以下の式で行えます：

図3.1温度センサの温度値は、二次多項式により与えられますが、その係数は、センサの校正により決定します。

$$T = S_2(\lambda - \lambda_0)^2 + S_1(\lambda - \lambda_0) + S_0$$

図3.1 温度の計算式

ここで、

- T は、計測される温度で単位は°C
- λ は、温度センサで計測されたブラッグ波長で単位はnm
- λ_0 は、基準温度に対して温度センサが計測するブラッグ波長で単位はnm
- S_0 は、ゼロ次校正係数(基準温度)で単位は°C
- S_1 は、1次校正係数で単位は°C
- S_2 は、2次校正係数で単位は°C/nm²

Catman®を使用している場合、 λ_0 , S_0 , S_1 および S_2 を温度センサ設定用のメニューに入力します。

3.2.2 ひずみ

ひずみセンサは、校正をしていないセンサです。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 (FBG)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3.2

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

図3.2 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、

- λ は、ひずみセンサで計測されるブラッグ波長で単位はnm
- λ_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、ひずみセンサのゲージ率(kファクタ)で無次元係数
- ε_{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物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、基準温度と実際の温度計測値との差で単位は $^\circ\text{C}$ 。

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3.3.

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

図3.3 単純ひずみ計算式 (温度補正なし)

ここで、

- ε は、ひずみ計測値で単位は $\mu\text{m}/\text{m}$
- λ は、ひずみセンサで計測されるブラッグ波長で単位はnm
- λ_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、ひずみセンサのゲージ率(kファクタ)で無次元係数

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：図3.4に示します。

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

図3.4 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、

- ε_{Load} は、計測対象に加わる機械的ひずみで単位は $\mu\text{m}/\text{m}$
- λ は、ひずみセンサで計測されるブラッグ波長で単位は nm
- λ_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、ひずみセンサのゲージ率(kファクタ)で無次元係数
- 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、温度センサによって測定された実際の温度で、単位は $^\circ\text{C}$ です
- T_0 は、三種温度に対して補正に使用される温度センサによる実際の計測値、単位は $^\circ\text{C}$

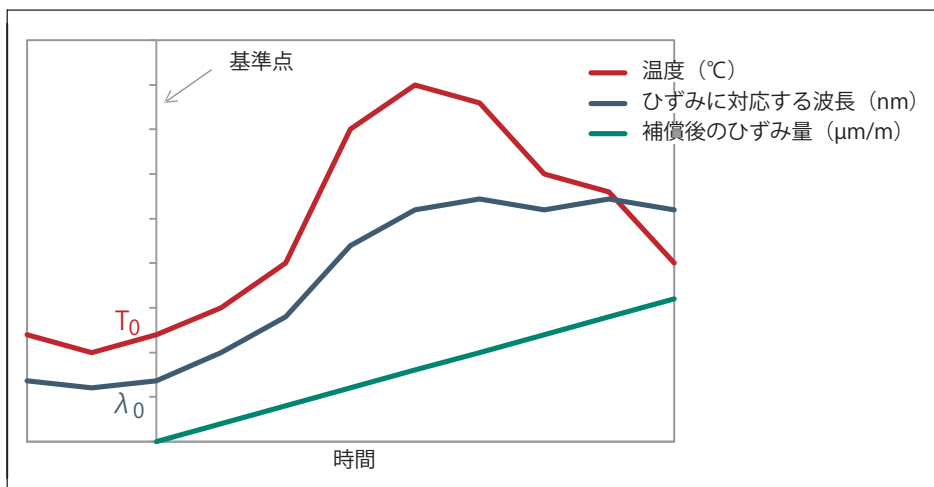


図3.5 補償に温度センサを使用して、温度補償ひずみ量を計測するときの基準点

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3.6に示す式により、ひずみの計算を実行できます。

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

図3.6 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、

- ε_{Load} は、計測対象に加わる機械的ひずみで単位は $\mu\text{m}/\text{m}$
- λ は、ひずみセンサで計測されるブラッグ波長で単位は nm
- λ_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 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
- λ_{TC} は、補償用センサで計測されたブラッグ波長で単位は nm
- λ_{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 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3.7に示す式により、 TCF を算出できます。

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

図3.7 温度補償係数を求める計算式

ここで、

- k は、ひずみセンサのゲージ率(k ファクタ)で無次元係数
- CTE_{TC} は、温度補償エレメントの材料の熱膨張係数 ($\mu\text{m}/\text{m})/^\circ\text{C}$ です

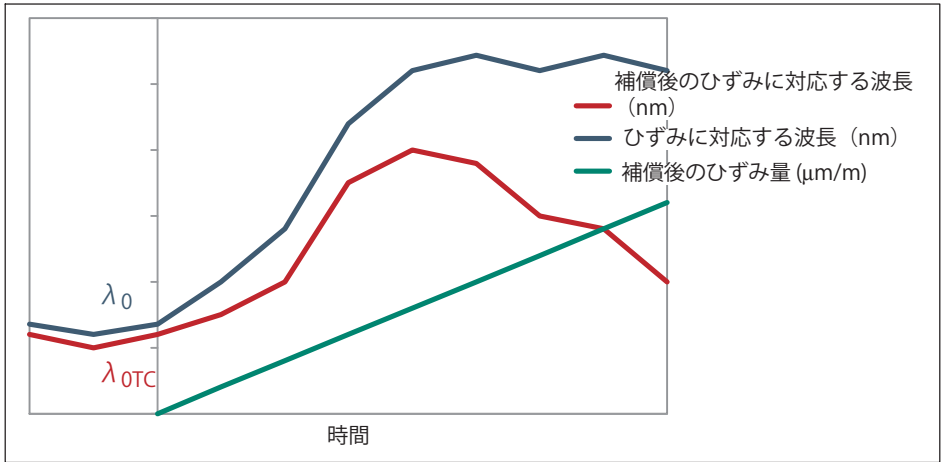


図3.8 補償にFBGベースの補償用センサを使用して、温度補償ひずみ量を計測するときの基準点

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、測定点/位置合わせと中立軸との距離が、設置面と中立軸との距離とは異なるためです。

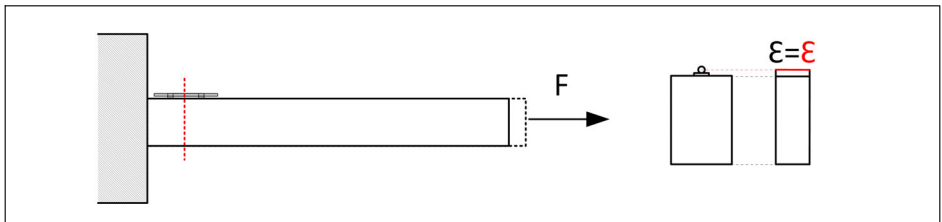


図3.9 純粋な軸方向の変形によるひずみ

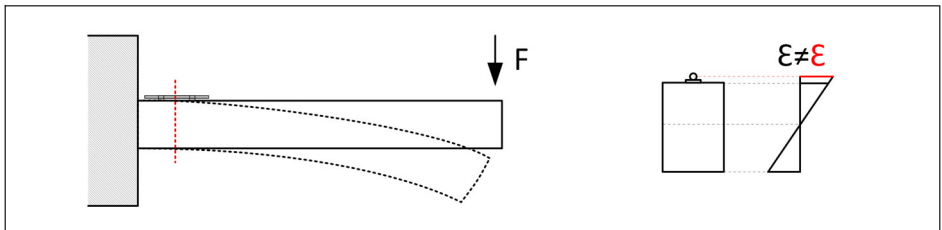


図3.10 純粋な曲げモーメントによるひずみ

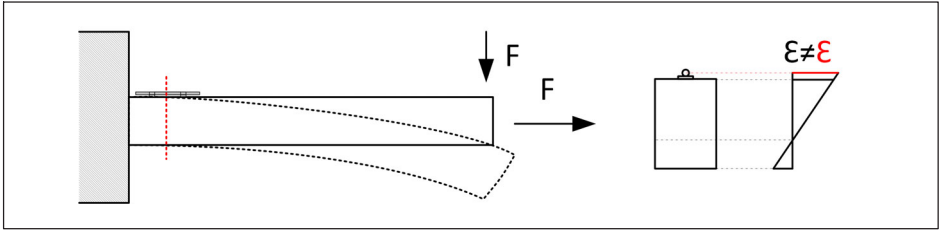


図3.11 軸方向の荷重と曲げモーメントによるひずみ

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。FS62PSSパッチひずみセンサおよびFS62PSRパッチひずみ口ゼットのこの距離は0.25mm (h_2 、図3.11) です。

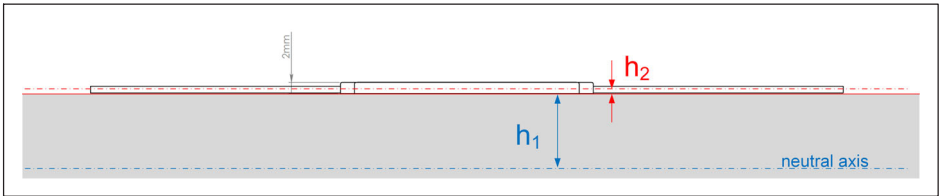


図3.12 FS62PSSにおける、FBGから実装表面までの距離

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3.13 ひずみ計算曲げ効果補正

ここで、

- $\varepsilon_{surface}$ は、計測表面に加わる機械的ひずみで単位は $\mu\text{m}/\text{m}$
- λ は、ひずみセンサで計測されるブラッグ波長で単位はnm
- λ_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mm
- h_2 は計測面からFBGまでの距離で単位はmm (FS62PSSとFS62PSRの場合は0.25 mm)

主応力を測定

FS62PSR/パッチひずみローゼットを使用した主応力計算は、次の式に従って計算できます。

$$\sigma_{1/2} = \frac{E}{1-\nu^2} \cdot \frac{\varepsilon_a + \varepsilon_b + \varepsilon_c}{3} \pm \frac{E}{1+\nu} \sqrt{\left(\frac{2\varepsilon_a - \varepsilon_b - \varepsilon_c}{3}\right)^2 + \frac{1}{3} \cdot (\varepsilon_b - \varepsilon_c)^2}$$

ここで：

- $\sigma_{1/2}$ は主応力 (単位MPa)
- E はヤング率 (単位MPa)
- ν はポアソン比 (無次元)
- $\varepsilon_{a/b/c}$ は、3方向のひずみをローゼットで測定した値(単位 $\mu\text{m/m}$)

主方向は、上記の方程式を使用して計算された主垂直応力 σ_1 and σ_2 が発生する方向です。主応力の法線方向は、ローゼットの測定方向を参照する角度 φ によって定義されます。これは、ローゼットで測定されたひずみ ε_a , ε_b and ε_c からの形状関係を使用して決定できます。

以下の処理の目的は、技術者に便利で信頼できる実用的な方法を提供することです。この処理の基礎となるモールの応力円の理論的側面は、一般的な文献に記載されています。

まず、補助角 ψ のタンジェントを計算します：

$$\tan \psi = \frac{\sqrt{3} \cdot (\varepsilon_b - \varepsilon_c)}{2\varepsilon_a - \varepsilon_b - \varepsilon_c}$$

分子と分母の信号を考慮して、角度 φ は次のスキームを使用して決定する必要があります。

		分子 $\sqrt{3} \cdot (\varepsilon_b - \varepsilon_c)$	
		ネガティブ	ポジティブ
分母 (Denominator) $2\varepsilon_a - \varepsilon_b - \varepsilon_c$	ポジティブ	$\varphi = \frac{1}{2} \cdot (180^\circ - \psi)$	$\varphi = \frac{1}{2} \cdot (0^\circ + \psi)$
	ネガティブ	$\varphi = \frac{1}{2} \cdot (180^\circ + \psi)$	$\varphi = \frac{1}{2} \cdot (360^\circ - \psi)$

このようにして求められる角度 φ は、基準測定位置aの軸から数学的に正の方向（反時計回り）に適用する必要があります。測定方向「a」の軸は、角度 φ の1つのアームを形成します。もう一方のアームは、第1の主方向を表す。これは主垂直応力 σ_1 の方向（主ひずみ方向 ε_1 ）です。角度のポイントは、測定方向に垂直な軸の交点にあります。第2の主方向（主垂直応力 σ_2 の方向）の角度は $\varphi+90^\circ$ となります。

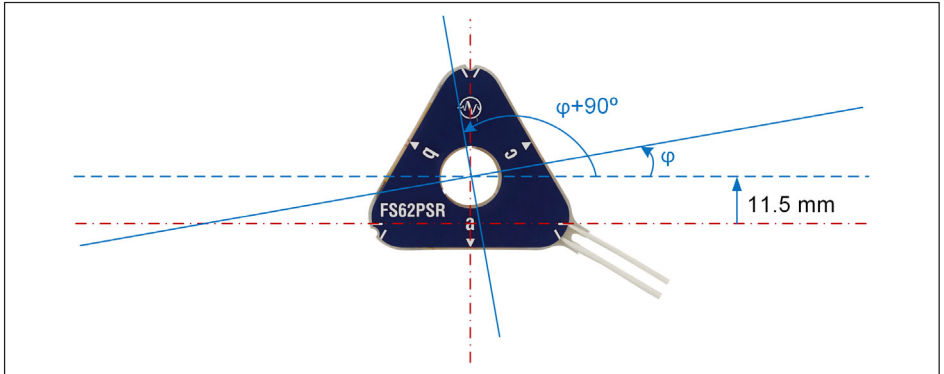


図3.14 主要ひずみの方向

