

# 取付説明書

日本語



## FS62RSS, FS63RTS

堅牢型ひずみセンサおよび温度センサ

Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH  
Im Tiefen See 45  
D-64293 Darmstadt  
Tel. +49 6151 803-0  
Fax +49 6151 803-9100  
info@hbm.com  
www.hbm.com

HBM FiberSensing, S.A.  
Optical Business  
Rua Vasconcelos Costa, 277  
4470-640 Maia  
Portugal  
Tel. +351 229 613 010  
Fax +351 229 613 020  
fibersensing@hbm.com  
www.hbm.com/fs

Mat.:  
DVS: A05159\_02\_J00\_00HBM: public  
01.2020

© Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH.

仕様は、お断りなく変更することがございます。製品に関する詳細は、もれなく一般的な内容のご案内のみを目的としており、品質や耐久性を保証するものではありません。

<b>1</b>	<b>一般情報</b> .....	<b>4</b>
1.1	newLight技術 .....	4
<b>2</b>	<b>埋め込み型（オプション）センサの設置</b> .....	<b>5</b>
2.1	材料一覧 .....	5
2.2	取付箇所の準備 .....	6
2.3	センサの固定 .....	9
2.4	センサ識別 .....	10
2.5	生コンクリート投入 .....	12
<b>3</b>	<b>表面実装用オプションセンサの取り付け</b> .....	<b>14</b>
3.1	材料一覧 .....	14
3.2	設置表面の準備 .....	15
3.3	アンカーポイントの準備 .....	16
3.4	センサの設置 .....	19
3.5	ケーブルの敷設と保護 .....	20
3.6	センサの保護 .....	22
<b>4</b>	<b>センサ構成</b> .....	<b>23</b>
4.1	センサ関連の文書 .....	23
4.2	計測結果の計算 .....	23
4.2.1	温度 .....	23
4.2.2	ひずみ .....	24

## 1 一般情報

本文は、光ファイバ式堅牢型ひずみセンサ FS62RSSおよび光ファイバ式堅牢型温度センサ FS63RTSの設置マニュアルです。

これらのセンサは、単独で、またはHBM 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	温度センサ
K-FS62RSS	K-FS63RTS
	1-FS63RTS-ARM/1515
	1-FS63RTS-ARM/1525
	1-FS63RTS-ARM/1535
	1-FS63RTS-ARM/1545
	1-FS63RTS-ARM/1555
	1-FS63RTS-ARM/1565
	1-FS63RTS-ARM/1575
	1-FS63RTS-ARM/1585
	1-FS63RTS-ARM/1595
センサアレイ	
K-FS76ARM	

### 1.1 newLight技術

FS62RSSおよびFS63RTSは、HBM FiberSensingが開発した**newLight®**技術をベースとしており、これまでに存在した様々な技術面の問題点を、FBG特有の優位性により克服しました。newLight®による各種センサは、**高強度の光ファイバ被覆と様々なFBG製造技術**を採用して、ひずみ計測範囲を拡大し、耐久性や計測精度の向上しています。**曲げ損失の少ない通信用光ファイバ**が、革新的なセンサシステム設計を可能にしました。距離が数キロメートルあっても、同一の光ファイバ上に多数個のセンサを配置して多重化できます。このセンサは、完全な**受動デバイス**で、**自己補正が可能**になっており、**ほとんどのインテロゲータで使用できます**。

## 2 埋め込み型（オプション）センサの設置

### 2.1 材料一覧

同梱されている製品
光ファイバ式堅牢型ひずみセンサ FS62RSS
光ファイバ式堅牢型温度センサ FS63RTS
必要とする資材
固定： プラスチックワイヤークランプ
保護： シリコンまたはフォーム 柔軟で耐久性のある保護チューブ 埋め込み型保護ボックスを（オプション）
識別： 色付きテープ、熱収縮チューブなど

## 2.2 取付箇所の準備

堅牢型ひずみセンサおよび温度センサは、コンクリートの中に埋め込んで使用するセンサです。この堅牢型センサには、このような環境で使用できる保護ケーブルが含まれています。さらに、可能な場合は、ケーブルの保護状態を強化する措置を配線経路上で行なってください。

コネクタの位置からセンサの位置までの配線経路には、柔軟で高い耐久性のある保護チューブ(コンジット)を使用して下さい。



図. 2.1 ケーブル集合ポイントからセンサ設置エリアまでの保護チューブ



図. 2.2 ケーブル敷設部分の細部

センサ接続箇所までのケーブル敷設に関して、2種類の方法を推奨しています。  
 保護チューブを破損しないように型枠を取り外せる場合は、(型枠に穴をあけ)その穴に直接、保護チューブを通すことができます(図2.3および図2.4)。型枠を取り外し後、接続ボックスはケーブルの出口を覆う位置に設置できるので、接続部分を容易に保護することができます。



図. 2.3 型枠から直接、保護チューブを出す (型枠の内側)



図. 2.4 型枠から直接、保護チューブを出す (型枠の外側)



図. 2.5 光ケーブル接続部の保護ボックスの例

保護チューブが破損しないように、型枠を上手に取り外すことが困難な場合は、埋込型の保護ボックスをお勧めします。後で取り外すことができるネジで、ボックスを型枠に仮止めします。



図. 2.6 埋込型の保護ボックスの例



### お知らせ

型枠を取り外す前に、型枠に仮止めしたボックスを分離する必要があることを工事担当者に必ず指示してください。



## 2.3 センサの固定

センサを慎重に箱から取り出します。

センサを希望する計測方向に合わせて構造体上に設置します。センサを鉄筋の間の空間に吊るす形で固定します（図. 2.8）、または鉄筋に直に接続します（図. 2.7）。センサとケーブルの接続部分に力がかかっていないことを確認してください。



図. 2.7 センサの位置



図. 2.8 センサの位置

## 2.4 センサ識別

複数のセンサが同じ保護チューブを使用している場合は、センサの識別を後で行うことができるようにケーブルの端に印を付けることをお勧めします。例えば、カラーテープや熱収縮チューブを使用してください。



図. 2.9 センサ識別



### お知らせ

バッファ（光ケーブルの外装）は高温に敏感なので、熱収縮チューブに熱を適用する際には、最大限の注意を払ってください。

プラスチック製のワイヤクランプで光ケーブルの配線経路を固定して、露出したケーブル（保護チューブに入る前）がきつい曲線を持たないようにし、またコンクリートの投入時などの振動から保護できるように適切な対策を取ってください（図. 2.10 および 図. 2.11）。



図. 2.10 ケーブル配線



図. 2.11 ケーブル配線

保護チューブの端をポリウレタン発泡体かシリコンなどで密封します (図. 2.12)。



図. 2.12 保護チューブのシーリング

## 2.5 生コンクリート投入

コンクリート投入のプロセスは、センサにとって厳しい環境です。特に生コンクリート投入時には機械的な振動がかかる可能性があります。



図. 2.13 生コンクリート投入時のセンサ

バイブレーター（振動付加装置）や重い材料からセンサを保護する1つの方法は、センサの取付場所をネットを覆うことです。



図.2.14 センサ部分の保護



### お知らせ

センサの保護措置をすべて行った場合でも、実際の作業が厳重に監督されていること、およびセンサが取り付けられていることが作業員に周知されていることを、確認してください。

### 3 表面実装用オプションセンサの取り付け

#### 3.1 材料一覧

同梱されている製品
光ファイバ式堅牢型ひずみセンサFS62RSS
光ファイバ式堅牢型温度センサ FS63RTS
必要な機器
ドリル
必要とする資材
固定： M6アンカー、フラットワッシャー、ボルト、およびスレッドロック用接着剤
推奨： Hilti HSA-R M6 5/-/- cpl; Loxeal 55-03 Thread Locker
保護： 埋込型保護ボックスまたはカバー（オプション）
ハンマー
ドリルビット 直径 6mm
スパナレンチ 10mm

## 3.2 設置表面の準備

センサを取り付ける面は、なだらかで規則的な面を選んでください。

センサが構造物に固定されるのを妨げる大きな凹凸がないことを確認してください。



図. 3.1 設置表面を平坦にする

- ▶ ハンマーとノミなどを使用して、センサの正しい設置を妨げる可能性のある大きな凹凸を取り除きます。
- ▶ 測定方向とセンサ特性を考慮して、ドリルする穴の位置に印をつけます。

### 3.3 アンカーポイントの準備

センサを固定するには、センサの両側に2箇所ずつ、120 mm離れたアンカーポイントが必要です。

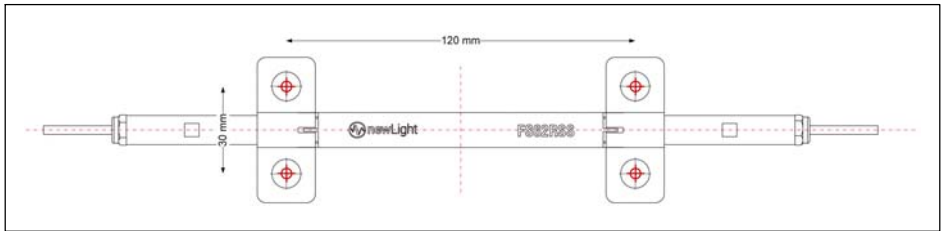


図. 3.2 固定点マーキング

- ▶ 目的の計測方向に合わせて、計測ポイントの中心にある4つのポイントをマークします。



#### ヒント

穴あけ位置を確認するために、ペーパーゲージ(マーク付きの型紙)が用意されています。マークされた計測ポイントを中心に、希望の計測方向に合わせて、型紙を設置面に貼り付けます。紙の上から穴を開けます。



#### お知らせ

以下に、コンクリート表面（ひび割れあり/なし）への設置手順を説明します。他の素材については、この手順を応用してください。特別なアクセサリが必要になる場合があります。



- ▶ 選択したアンカーに合わせて穴を開ける。  
(推奨の穴深さ：55 mm)
- ▶ 穴を清掃し、穴内部のほこりを取り除きます。



図. 3.3 ドリルで開けた穴

- ▶ 外側に10 mmを残した形で、穴にアンカーを取り付けます。



### お知らせ

この取り付け作業にハンマーが必要な場合があります。

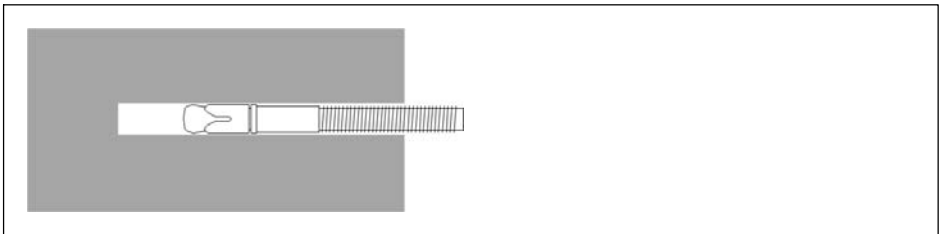


図. 3.4 挿入されたアンカー

- ▶ ネジの位置を計測テープを使用して確認します。
- ▶ ワッシャとナットを取り付けます。

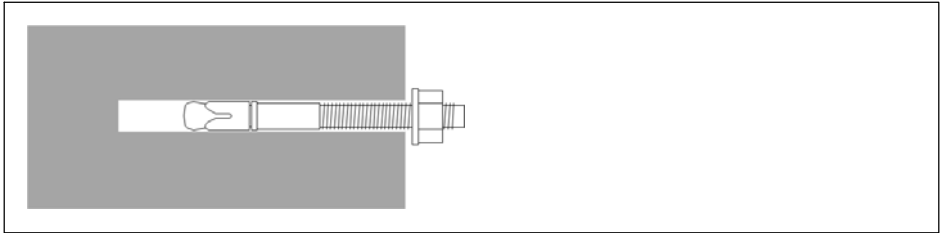


図. 3.5 ナットの固定

- ▶ ワッシャとナットをしっかりと締めます。  
(推奨締付トルク：5 Nm)

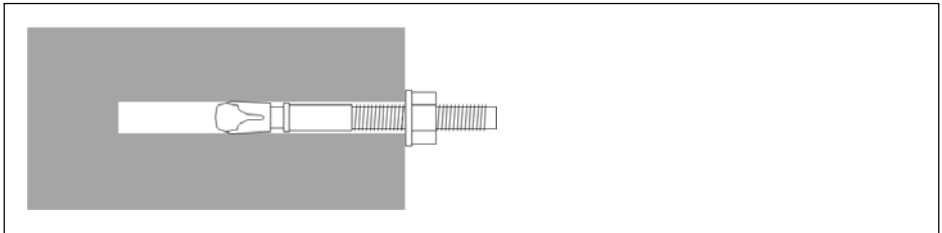


図. 3.6 ナットを締めてアンカーを開き、固定します

- ▶ ナットとワッシャを取り除く。

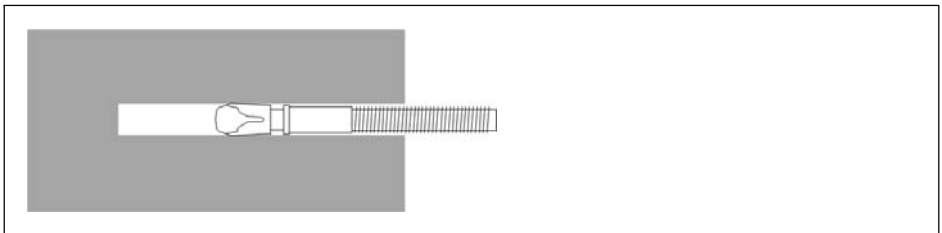


図. 3.7 固定されたアンカー

### 3.4 センサの設置

- ▶ センサを箱から慎重に取り出し、サポートに取り付けます。

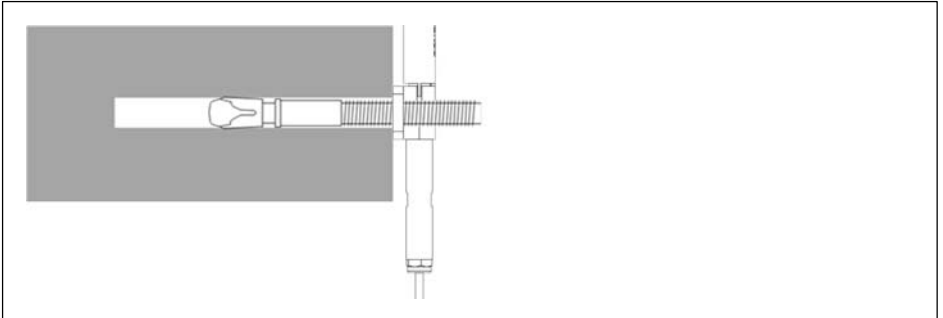


図. 3.8 センサをアンカー上に取り付ける

- ▶ 対角線方向にナットを少し締めます（ナット1、4、3、2の順で）。



図. 3.9 ナット位置

- ▶ センサを正しい方向に調整します。
- ▶ 同じ手順に従って、ナットをしっかりと締めます。推奨最小トルク5 Nm。

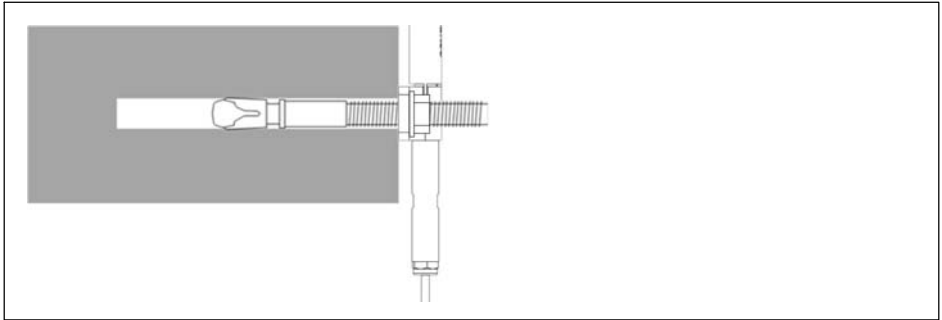


図. 3.10 固定されたセンサ

### 3.5 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。ケーブルは、クランプや強力なテープで固定してください (図. 3.11)。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. 3.11 ケーブル配線

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. 3.12)。



図. 3.12 コルゲートチューブにより保護されたケーブル

ケーブル配線で余った長さ部分は、コイル状に巻いて、粉塵や水気が侵入しない、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しておくことを推奨します (図. 3.13)。



図. 3.13 ケーブル配線で余った長さ部分と接続端子を保護する端子箱

### 3.6 センサの保護

ひずみセンサの表面実装バージョンは、屋外での設置に耐えるように設計されています。ただし、機械的な保護措置がさらに必要な場合があります。たとえば、プラスチックまたは金属製のカバーを使用します。保護アクセサリは付属していません。

## 4 センサ構成

### 4.1 センサ関連の文書

HBM 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HBM社のWebサイト([www.hbm.com](http://www.hbm.com))からダウンロードできます。

### 4.2 計測結果の計算

#### 4.2.1 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. 4.1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. 4.1 温度の計算式

ここで、

- $T$  は、計測される温度で単位は℃
- $\lambda$  は、温度センサで計測されたブラッグ波長で単位はnm
- $\lambda_0$  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 $^{\circ}\text{C}$
- $S_1$  は、1次校正係数で単位は $^{\circ}\text{C}$
- $S_2$  は、2次校正係数で単位は $^{\circ}\text{C}/\text{nm}^2$

Catman®を使用している場合、 $\lambda_0$ ,  $S_0$ ,  $S_1$  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。

#### 4.2.2 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. 4.2

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

図. 4.2 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、

- $\lambda$  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
- $\varepsilon_{Load}$  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. 4.3.

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

図. 4.3 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 $\text{nm}$
- $\lambda_0$  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。計算は次のとおりです： 図. 4.4.

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

図. 4.4 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、

- $\varepsilon_{\text{Load}}$  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、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 $^\circ\text{C}$

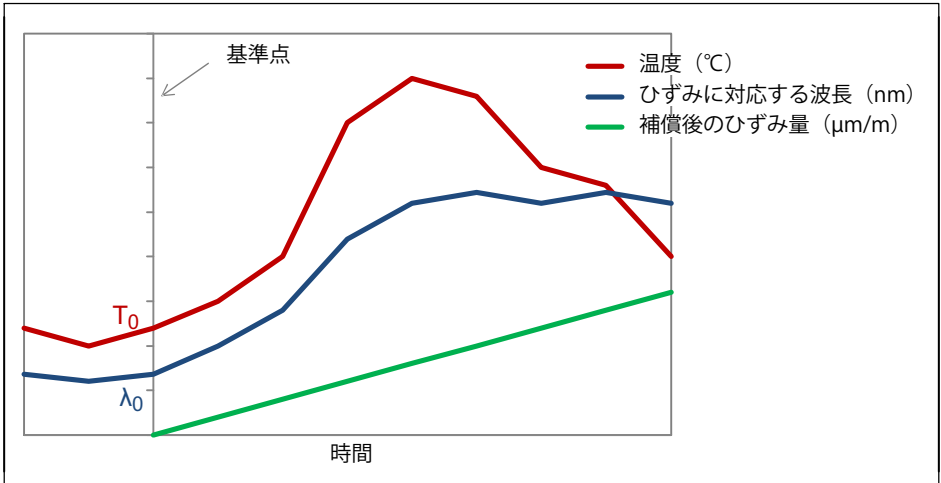


図. 4.5 補償に温度センサを使用して、温度補償ひずみ量を計測するときの基準点

## 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. 4.6に示す式により、ひずみの計算を実行できます。

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

図. 4.6 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、

- $\varepsilon_{Load}$  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、ひずみセンサのゲージ率( $k$ ファクタ)で無次元係数
- $\lambda_{TC}$  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. 4.7に示す式により、 $TCF$ を算出できます。

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

図. 4.7 温度補償係数を求める計算式

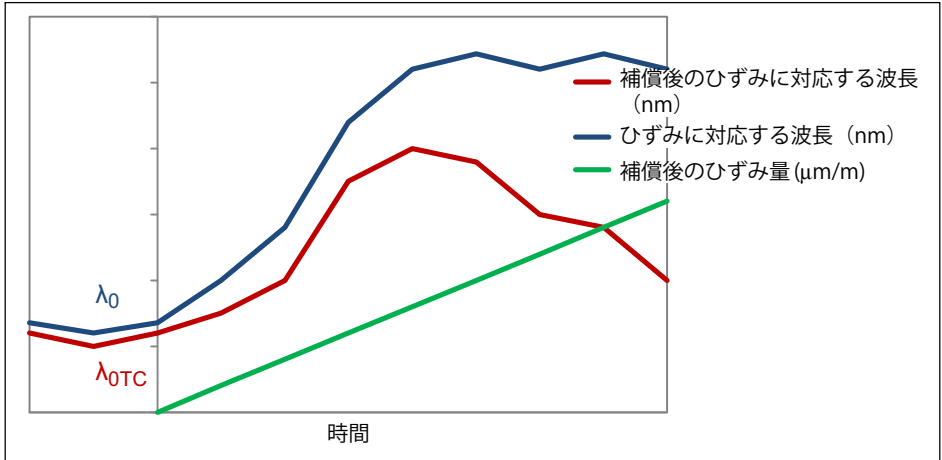


図. 4.8 補償にFBGベースの補償用センサを使用して、温度補償ひずみ量を計測するときの基準点

### 曲げモーメント補正を使用した計測

センサ検出素子の中心と設置面との距離が、計測値に大きく影響します。

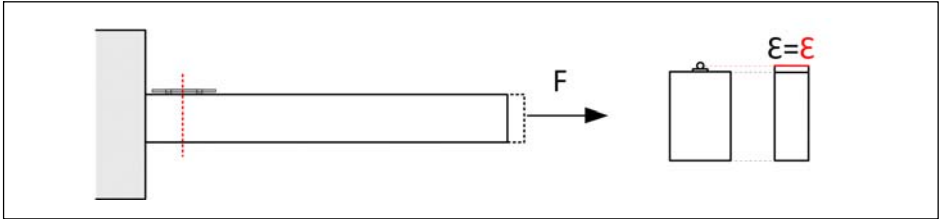


図. 4.9 純粋な軸方向の変形によるひずみ

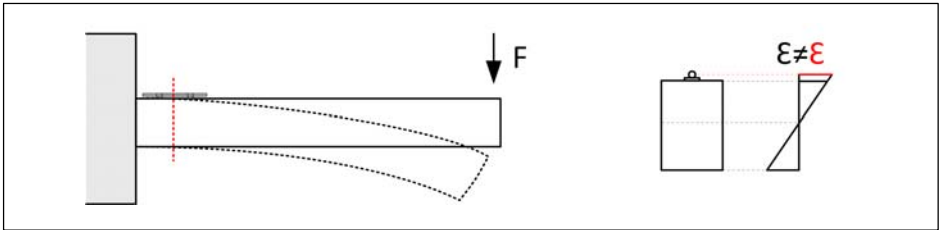


図. 4.10 純粋な曲げモーメントによるひずみ

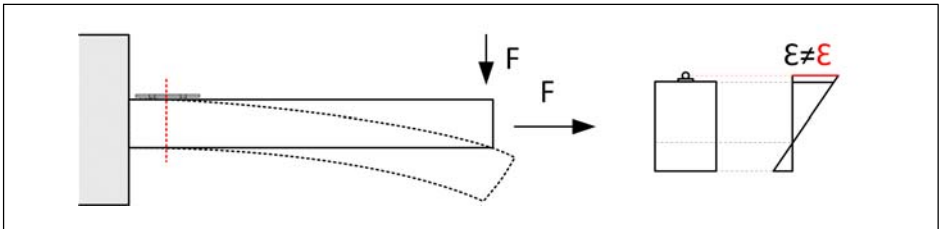


図. 4.11 軸方向の荷重と曲げモーメントによるひずみ

これは、センサ検出素子と設置面の距離が計測値に影響する場合に、非常に重要になります。表面実装される堅牢型ひずみセンサFS62RSSのこの距離は10 mm ( $h_2$ 、図. 4.11) です。

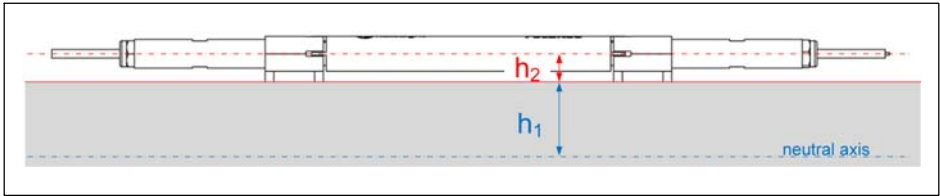


図. 4.12 FS62RSS表面実装オプションのFBGから実装表面までの距離

ただし、中立軸までの距離 ( $h_1$ ) 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：

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

図. 4.13 ひずみ計算曲げ効果補正

ここで、

- $\epsilon_{surface}$  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
- $h_1$  計測面から中立軸までの距離出単位は $\text{mm}$
- $h_2$  計測面からFBGまでの距離で単位は $\text{mm}$  (FS62RSS表面実装オプションの場合10 mm)



**HBM Test and Measurement**

Tel. +49 6151 803-0

Fax +49 6151 803-9100

info@hbm.com

**measure and predict with confidence**



A05159\_02\_J00\_00 HBM: public

[www.hbm.com](http://www.hbm.com)