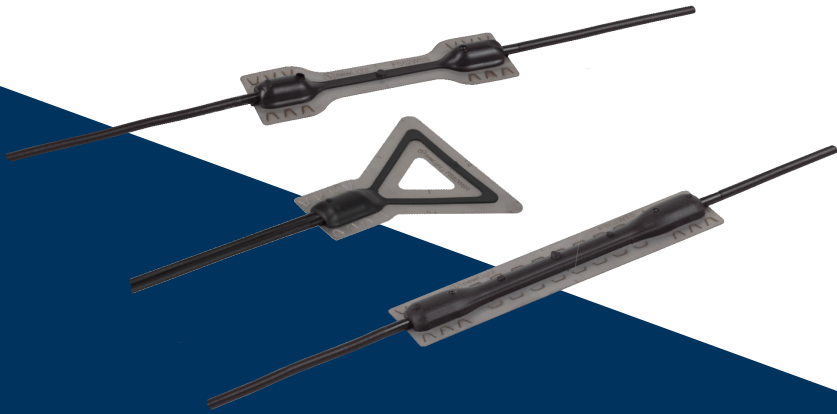


日本語

設置手順書



FS62WSS, FS62WSR, FS63WTS

溶接型ひずみセンサ・ローゼットおよび溶接型温度センサ

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: A05162 02 J00 00
07.2022

© 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	センサの設置	5
2.1	材料一覧	5
2.2	FS62WSSの設置	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	9
2.2.3	センサの配置	10
2.2.4	溶接手順	11
2.3	FS62WSRの設置	17
2.3.1	取付箇所の準備	17
2.3.2	計測箇所に印を付ける	17
2.3.3	センサの配置	18
2.3.4	溶接手順	19
2.4	FS63WTSの設置	22
2.4.1	取付箇所の準備	22
2.4.2	計測箇所に印を付ける	22
2.4.3	センサの配置	22
2.4.4	溶接手順	22
2.5	ケーブルの敷設と保護	24
2.6	センサの保護	25
3	センサ構成	27
3.1	センサ関連の文書	27
3.2	計測結果の計算	27
3.2.1	温度	27
3.2.2	ひずみ	27

1 一般情報

本文は、光ファイバ式溶接型ひずみセンサ FS62WSS、光ファイバ式溶接型ひずみセンサロゼット FS62WSRおよび光ファイバ式溶接型温度センサ FS63WTS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-FS62WSS	K-FS62WSR	K-FS63WTS
1-FS62WSS-ARM/1510	1-FS62WSR-ARM/3505	1-FS63WTS-ARM/1515
1-FS62WSS-ARM/1520	1-FS62WSR-ARM/3520	1-FS63WTS-ARM/1525
1-FS62WSS-ARM/1530	1-FS62WSR-ARM/3535	1-FS63WTS-ARM/1535
1-FS62WSS-ARM/1540	1-FS62WSR-ARM/3550	1-FS63WTS-ARM/1545
1-FS62WSS-ARM/1550	1-FS62WSR-ARM/3565	1-FS63WTS-ARM/1555
1-FS62WSS-ARM/1560	1-FS62WSR-ARM/3580	1-FS63WTS-ARM/1565
1-FS62WSS-ARM/1570		1-FS63WTS-ARM/1575
1-FS62WSS-ARM/1580		1-FS63WTS-ARM/1585
1-FS62WSS-ARM/1590		1-FS63WTS-ARM/1595

センサアレイ¹⁾

K-FS76ARD	K-FS76ARM
-----------	-----------

¹⁾ FS62WSSとFS63WTSだけがセンサアレイに組み込み可能です。FS62WSRひずみゲージロゼットを含むセンサアレイについては、HBK FiberSensingにお問い合わせください。



お知らせ

本文では、アラミドケーブルとアーマーケーブルを使用したFS62WSSおよびFS62WSRの設置について説明します。これらのセンサが編組ケーブル付きで設置される場合でも、アラミドケーブルとアーマーケーブル使用のセンサの設置手順とほぼ同じですが、センサの形状、サイズ、およびケーブルの取り扱いは異なります。編み組ケーブルを使用したFS62WSSまたはFS62WSR溶接型ひずみセンサ（ロゼット）の取り付け方法の詳細については、それぞれの設置手順を参照してください。

2 センサの設置

2.1 材料一覧

同梱されている製品

FS62WSS	FS62WSR	FS63WTS
センサ 溶接型プレートサンプル	ローゼットタイプセンサ 溶接型プレートサンプル	センサ 溶接型プレートサンプル

必要とする設備

バリ取り機（オプション）
インパルス溶接装置 推奨：VBS FuegetechnikのC33と同等か類似した装置

必要とする資材

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
仮止め用粘着テープ 推奨のHBK製品：1-KLEBEBAND
保護部材 推奨のHBK製品：1-ABM75 / AK22

2.2 FS62WSSの設置

2.2.1 取付箇所の準備

取付箇所の溶接面が完全に露出するまで、塗料と錆をすべて取り除きます(図2.1)。溶接不良を起こす可能性があるような、大きな凹凸やバリが残っていないことを確認してください。必要ならば、布やすりを使用して表面を調整してください。



図2.1 溶接面のバリ取り



ヒント

ダミーセンサプレートを使用して、準備する領域を決定します。



図2.2 センサの溶接には不適切なさびた表面



図2.3 溶接面の研磨



図2.4 溶接の準備ができた表面

次に、表面の汚れを落として、溶接箇所にはホコリや油脂分が一切、残らないようにしてください。

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2.5及び図2.6参照）。



図2.5 RMS1クリーナと不織布を使用します



図2.6 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 計測箇所を印を付ける

計測方向とセンサの中心線を考慮しながら、センサの方向と位置を決定します。センサの位置決めが計測方向を決定するので、このステップは必ずみセンサにとって特に重要です。

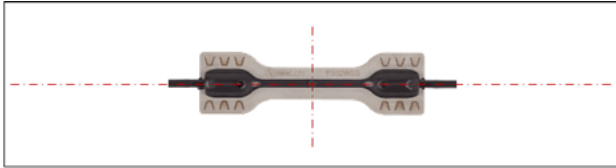


図2.7 センサ位置決め用のマーカ



ヒント

表面の材質に応じて、鋭利な工具または空のボールペン(インクのないもの)を使用してセンサの位置をマークします。

マーキングの長さは、計測方向に 150 mm です。次に、縦方向に長さ 50 mm のマーカーラインを、取付箇所を中心に引いてください(参照：図2.7と図2.8)。



図2.8 センサの位置をマーキングします

2.2.3 センサの配置

仮止め用のテープ（マスキングテープなど）を4枚用意します。ケーブルを固定するのに十分な長さが2つ、センサに沿って固定するのに十分な長さが2つあります。



図2.9 仮止め用テープの準備

センサの輸送ケースからセンサを慎重に取り外し、事前に記入してある設置マークに合わせます。

準備した短いほうのテープを使用して、センサケーブルを所定の位置に固定します（図2.10）。



図2.10 最初の位置合わせ

長い方のテープを使用して、大きい方のケーブルストレーンリリーフ領域の淵1mmを使用して(図 2.11)、長い方の側に沿ってセンサを仮止めします。これにより、溶接工程中にセンサが動かなくなります。

メモ

溶接エリアにテープがないことを確認します。テープまたは接着剤を使用した部分で溶接を行うと、放電によりセンサが作動しなくなるおそれがあります。

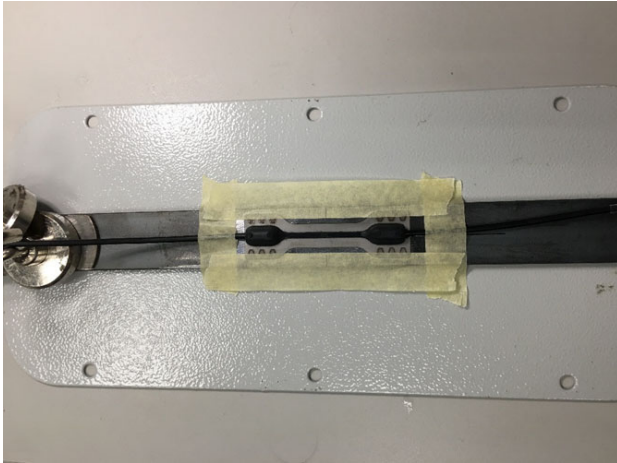


図2.11 センサを完全に固定して、溶接工程を適切に実施します。

2.2.4 溶接手順

HBK FiberSensingでは、VBS FuegetechnikのC33モデルの使用を推奨しています。



図2.12 推奨されるインパルス溶接装置

溶接パラメータの設定

理想的な溶接パラメータは対象により異なります(使用するスポット溶接機だけでなく、材料の厚さ、電極の位置によっても異なります…) そのためパラメータ調整用のダミー溶接プレートが納品されます。清浄なダミー溶接プレートで、試験的に溶接をおこない溶接パラメータを調整します。

ダミープレートをスポット溶接し、引っ張って表面から外します。良好な溶接を行うと、引きはがすことが困難になります。強引に引きはがすと、溶接ポイントには、図2.13に示すようにダミープレートに穴ができることが良好な溶接の証明となります。



図2.13 溶接設定の確認を修正します



ヒント

溶接の一般的な設定は40～60Vの電圧で行います。

電極チップは、直径約1 mmの平らな面になるようトリミングすることをお勧めします (図2.14参照)。



図2.14 電極チップ



ヒント

最良の結果を得るために、溶接工程中に電極を適宜トリミングしてください。

溶接を正しく行うためには、溶接ピストルを溶接面に対して垂直に押し下げてください(参照：図2.15)。一方の手でピストルをもち、もう一方の手でピストルのヒールを持って上からピストルを押し下げます。



図2.15 正しい溶接位置

センサの溶接

溶接シーケンスは、センサの中央から外側に向かって、約1 mmの間隔で行ってください。

図2.16に示されているような手順で溶接します。

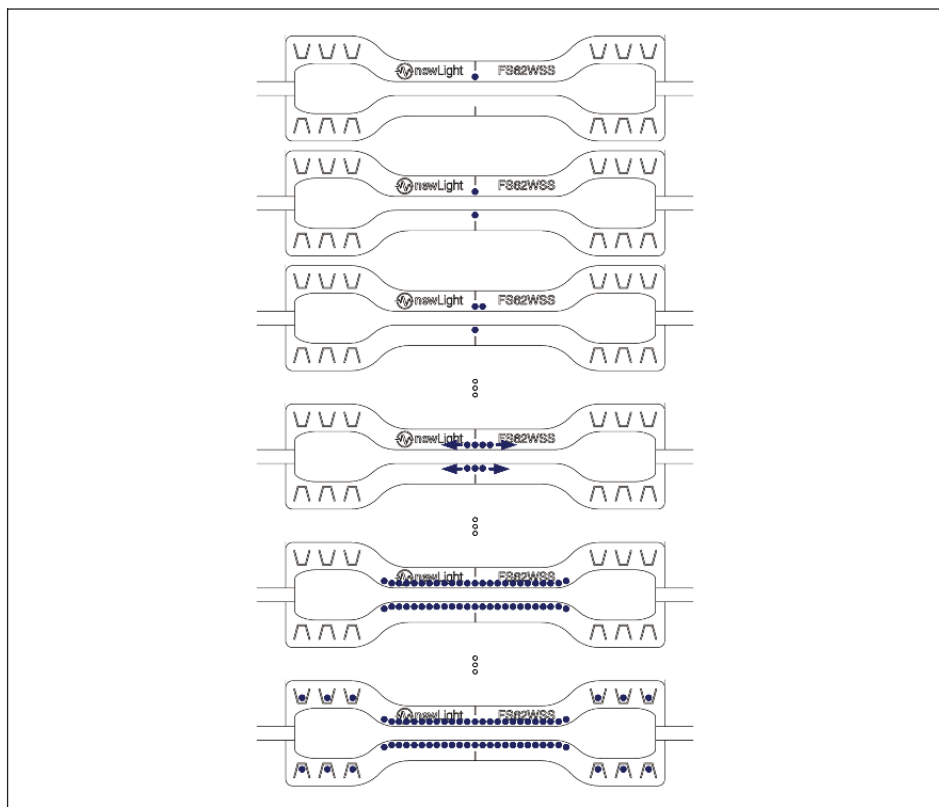


図2.16 FS62WSSの溶接手順

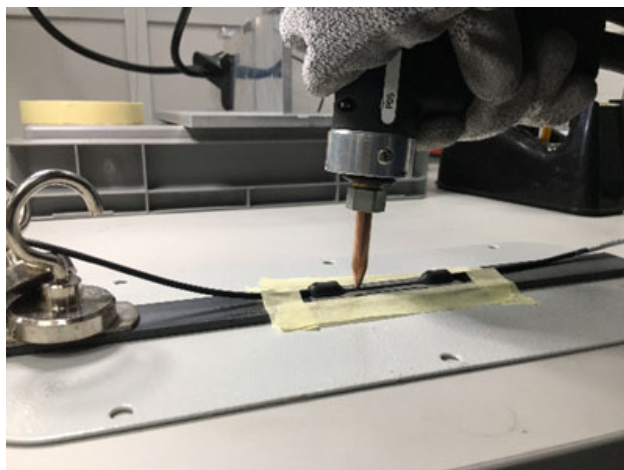


図2.17 センサの溶接



ヒント

編組ケーブルバージョンのFS62WSSを完全に溶接する場合、各線ごとに約31箇所の溶接ポイントが必要です。

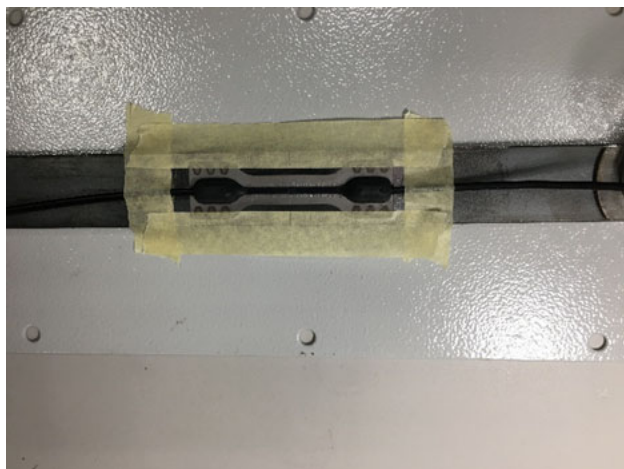


図2.18 溶接を完了した状態

テープを取り外し、付属のスチールクリップでファイバケーブルを固定します 図2.19 参照。



図2.19 溶接されたスチールクリップ付きのセンサ

2.3 FS62WSRの設置

2.3.1 取付箇所の準備

セクション2.2.1“取付箇所の準備”、ページ5で説明されているように、取付面のクリーニングを行います。ダミープレートを基準として、クリーニングが必要な表面積を定義します。

2.3.2 計測箇所に印を付ける

FS62WSRロゼットには0°/60°/120°の位置に合計3つのFBGセンサが配置されています。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2.20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。

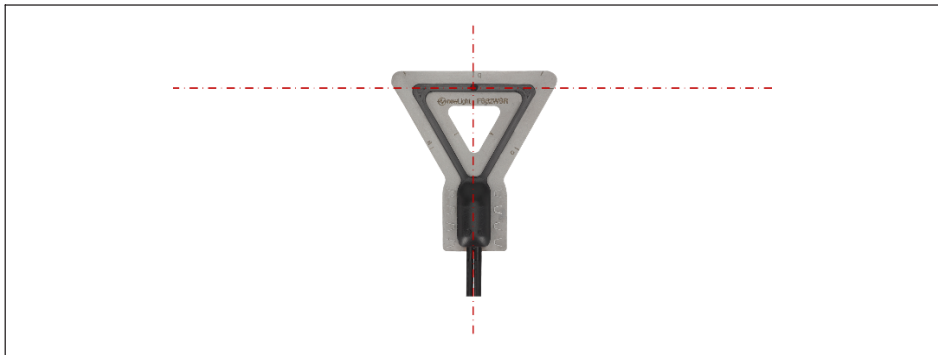


図2.20 ロゼットの位置決め用のマーカ

2.3.3 センサの配置

仮止め用のテープ（マスキングテープなど）を4枚用意します。三角形のロゼットの3つの側面を固定するのに十分な長さのテープ3枚と、ケーブルを固定用に4枚目のテープを準備します。



図2.21 仮止め用テープの準備

十字マーク上に光ファイバー式ロゼットを配置します。希望する方向にセンサの位置決めを行います。例えば、「b」など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、センサラ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、「b」方向の中心を指す線と「a」方向と「c」方向のち中間にあるケーブルの方向を目安に、垂直方向を決定します。



図2.22 位置合わせ後テープで仮止めされたFS62WSR

仮止めテープにより、ゲージの淵部分の約1mmを使用して側面に沿ってテープを貼り付け、ロゼットを所定の位置に仮止めします。

メモ

溶接エリアにテープがないことを確認します。テープまたは接着剤を使用した部分で溶接を行うと、放電によりセンサが作動しなくなるおそれがあります。

2.3.4 溶接手順

溶接パラメータの設定

まず、ページのセクション 2.2.4 “溶接手順”11項の手順に従って溶接設定をテストします。

ロゼットを溶接します

溶接シーケンスは、センサの中央から外側に向かって、約1 mmの間隔で行ってください。

図2.23に示されているような手順で溶接します。残りの測定方向についても同じ手順を繰り返します(図2.24)。その後、ストレインリリーフポイントの溶接を行います(図2.25)。

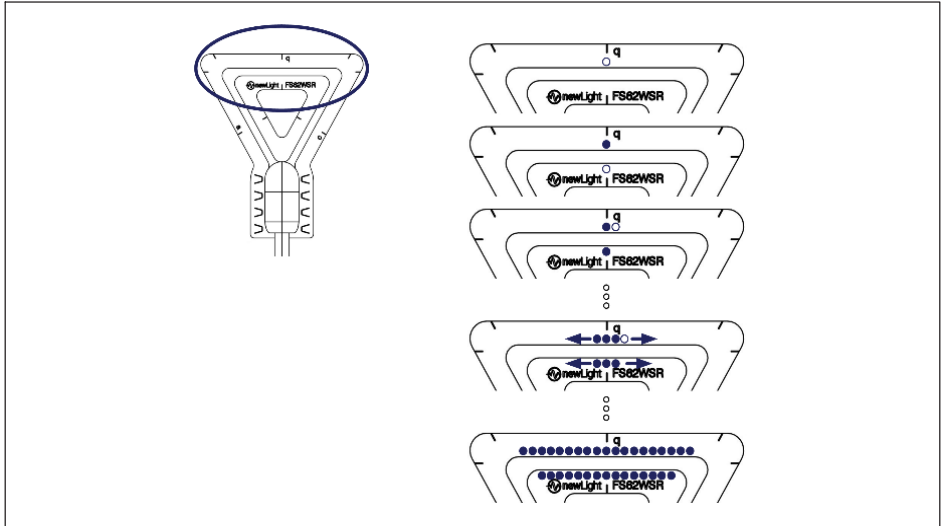


図2.23 FS62 WSR溶接パス1

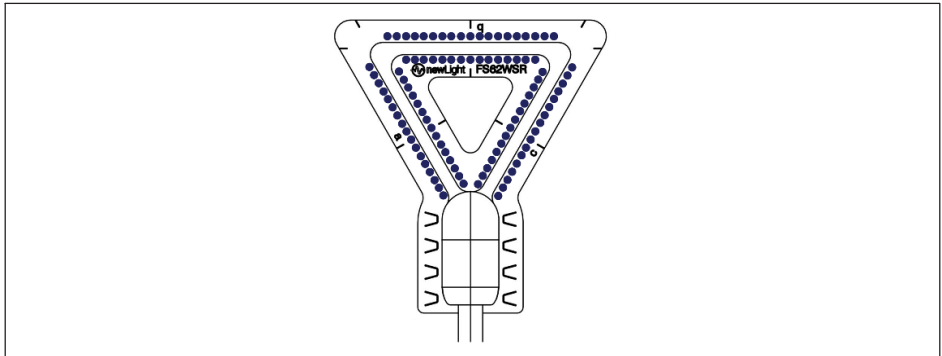


図2.24 FS62 WSR溶接パス2

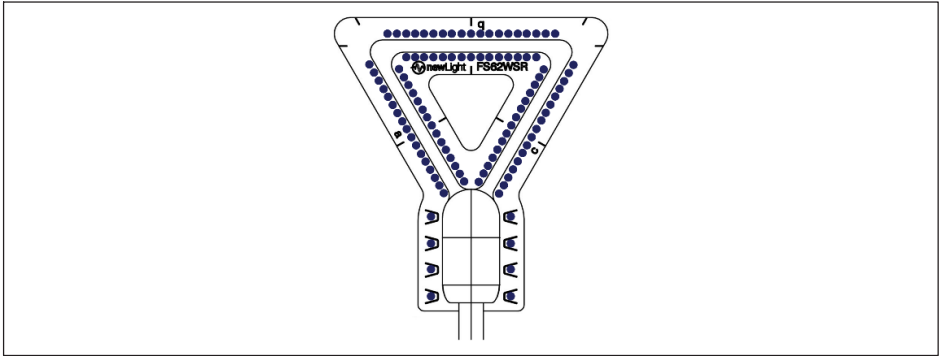


図2.25 FS62 WSR溶接パス3



ヒント

編組ケーブルバージョンのFS62WSRを完全に溶接した場合は、各測定方向の外側のラインに沿って約35箇所の溶接ポイントが作成されます。

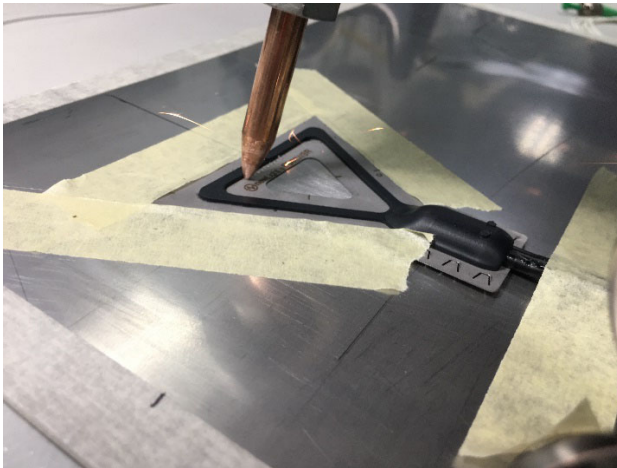


図2.26 FS62WSRの溶接手順

最後に、付属のスチールクリップでファイバケーブルを固定します (図2.27)。



図2.27 スチールクリップを取り付けたFS62WSR

2.4 FS63WTSの設置

2.4.1 取付箇所の準備

FS63WTS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“取付箇所の準備”、ページ5に記載の手順にしたがってください。

2.4.2 計測箇所に印を付ける

セクション2.2.2“計測箇所に印を付ける”、ページ9に記載の手順にしたがってください。

2.4.3 センサの配置

セクション2.2.3“センサの配置”、ページ10に記載の手順にしたがってください。

2.4.4 溶接手順

溶接パラメータの設定

まず、ページのセクション2.2.4“溶接手順”11項の手順に従って溶接設定をテストします。

センサの溶接

溶接の順番は、ストレンリリーフタブのセンサの中央側から外側に向かって行います。

図2.20に示されているような手順で溶接します。センサの両側がすべて溶接されたら、最後にストレンリリースポイントを溶接してください。

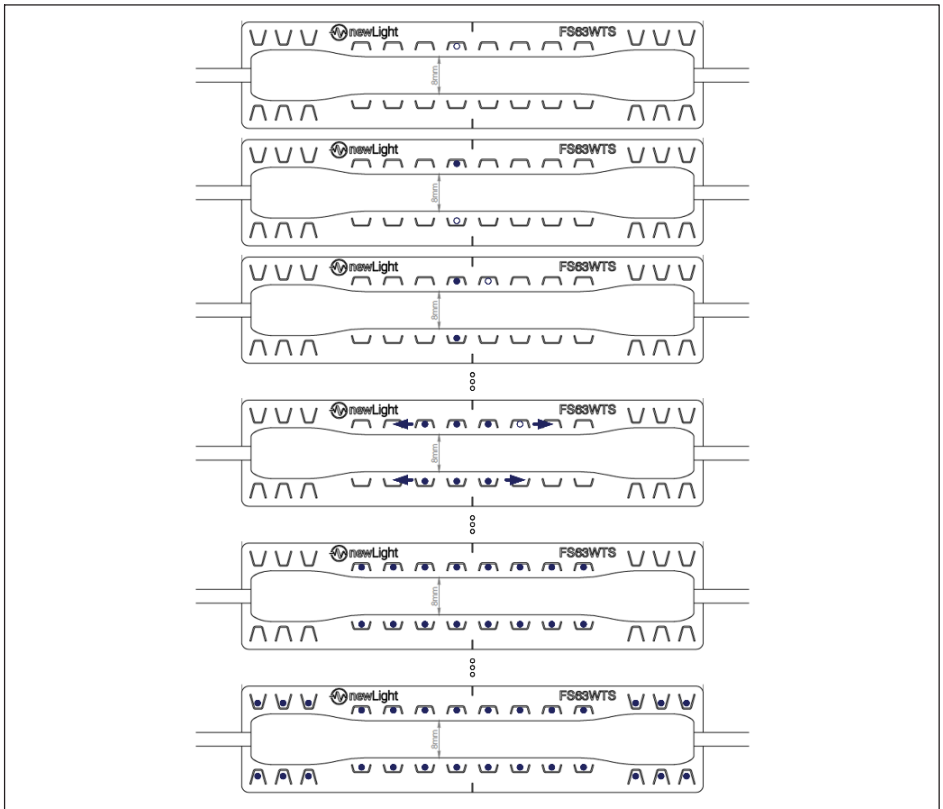


図2.28 FS63WTSの溶接順序

溶接後、付属のスチールクリップでファイバケーブルを固定し（17ページの図2.19参照）ケーブルの配線と保護に進みます。

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。ケーブルの固定には、プラスチック製のクランプまたは強力な粘着テープをお勧めします。たとえば(図2.29)。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2.29 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2.30)。



図2.30 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2.31)。



図2.31 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

2.6 センサの保護

FS62WSS、FS62WSR、FS63WTSセンサは、ステンレススチール製の高耐久性センサです。ただし、構造表面と溶接ポイントは腐食が発生しやすい敏感な部分です。センサその周辺領域をしっかりと湿気から保護することをお勧めします。

センサの保護には、HBK製のパテ状接着剤AK22(図2.32)とABM75(図2.33)を併用するか、または、いずれか一方を使用されるよう、お勧めします。



図2.32 AK22で保護されたセンサ



図2.33 ABM75で保護されたセンサ

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 $^{\circ}\text{C}$
- 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 $^{\circ}\text{C}$
- S_1 は、1次校正係数で単位は $^{\circ}\text{C}/\text{nm}$
- 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、 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 $^\circ\text{C}$

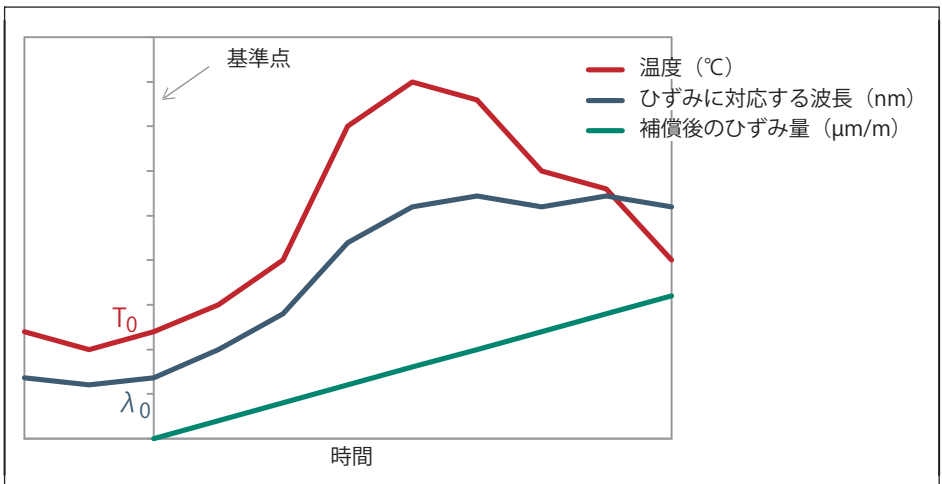


図3.5 補償に温度センサを使用して、温度補償ひずみ量を計測するときの基準点

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、複数の方法があります。

- 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

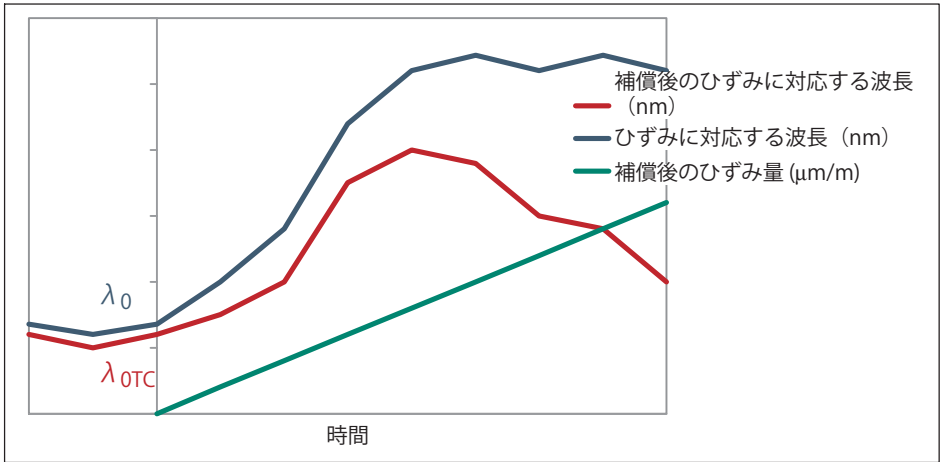


図3.8 補償にFBGベースの補償用センサを使用して、温度補償ひずみ量を計測するときの基準点

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の間の距離が、設置面と中立軸の間の距離とは異なるためです。

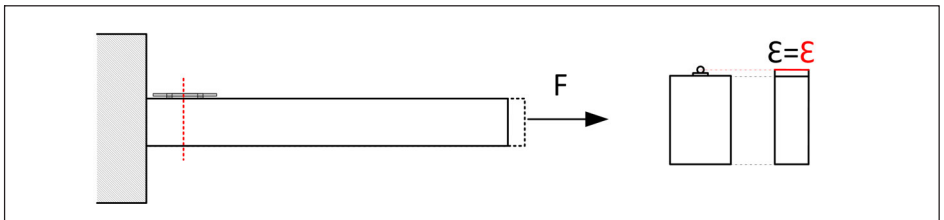


図3.9 純粋な軸方向の変形によるひずみ

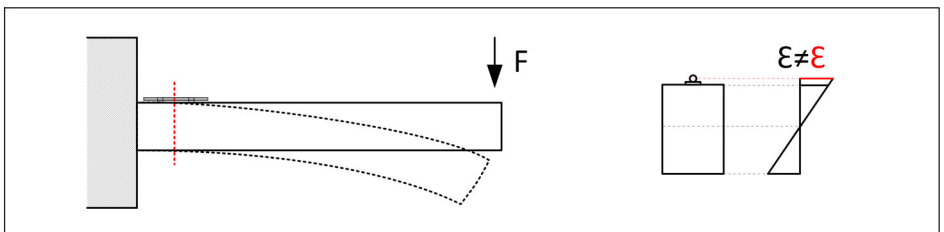


図3.10 純粋な曲げモーメントによるひずみ

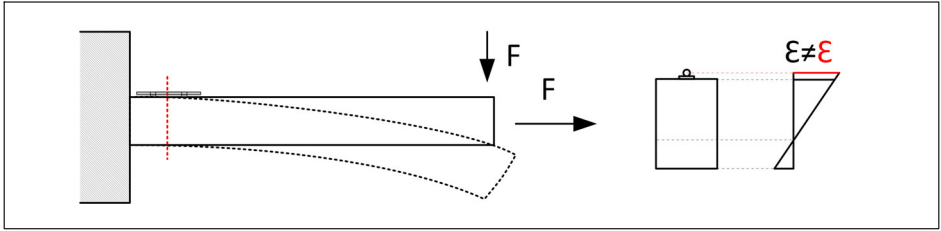


図3.11 軸方向の荷重と曲げモーメントによるひずみ

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。FS62WSS溶接型ひずみセンサおよびFS62WSR溶接型ひずみセンサロゼットのこの距離は0.25mm (h_2 、図3.11) です。

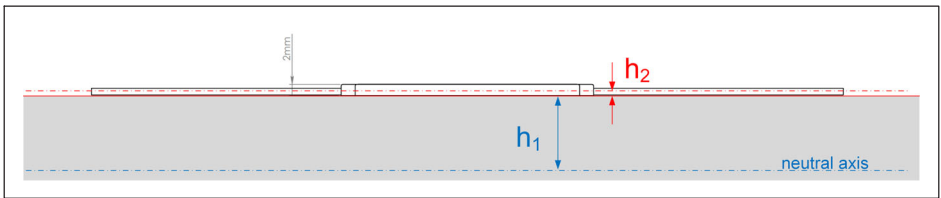


図3.12 FS62WSSにおける、FBGから実装表面までの距離

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 (FS62WSSとFS62WSRの場合は0.225 mm)

主応力を測定

溶接型ひずみローゼットひずみゲージFS62WSR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GPa）
- 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 $\mu\text{m}/\text{m}$)

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。

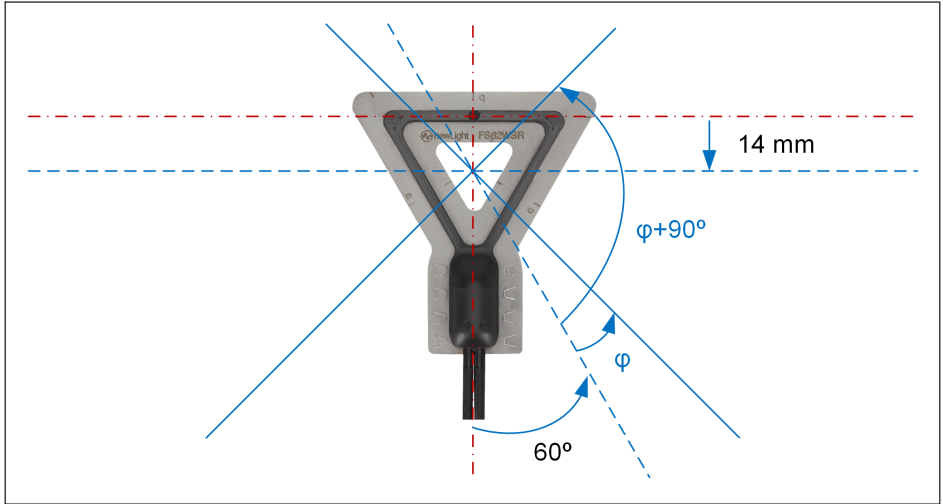


図3.14 主要ひずみの方向

