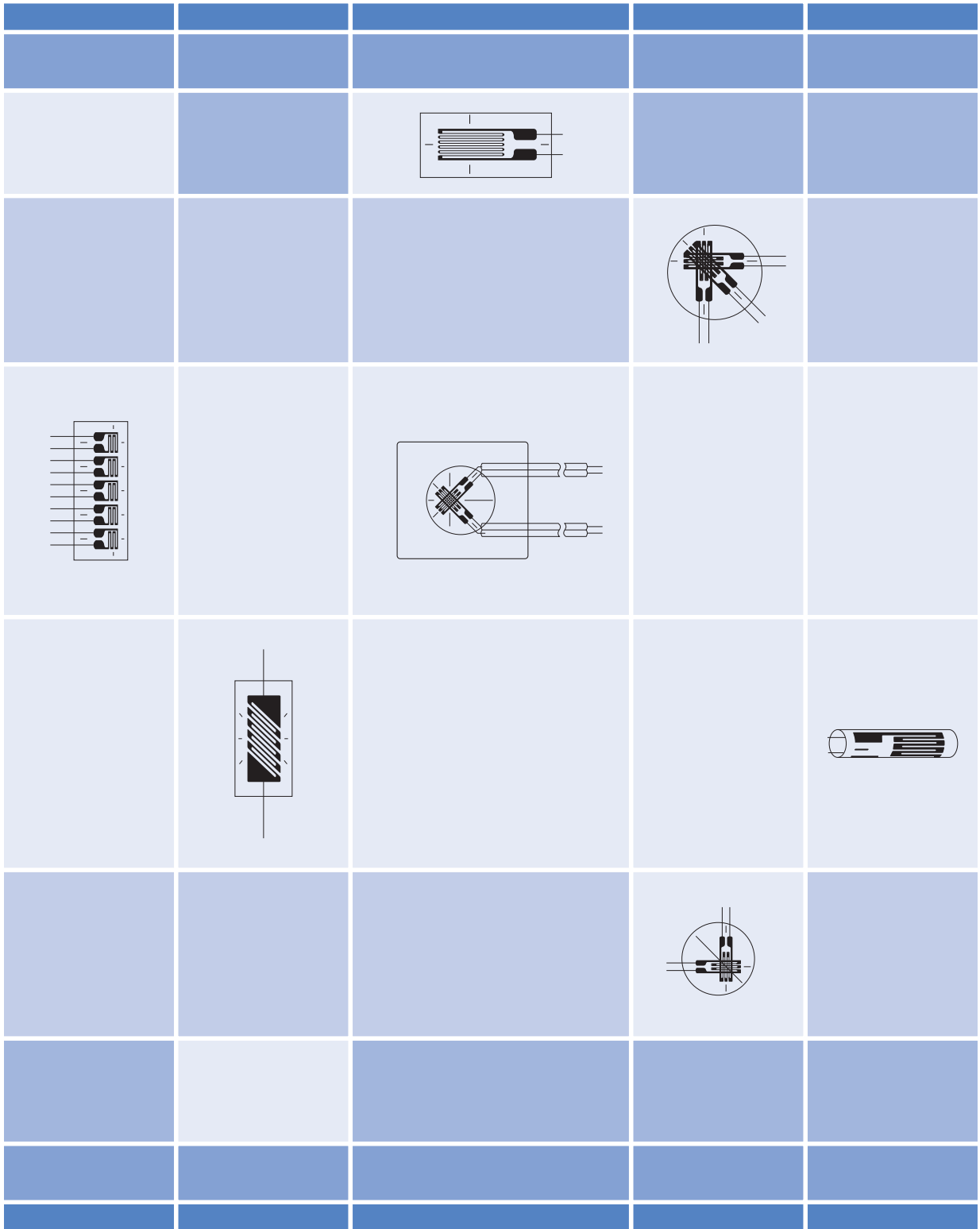


箔ひずみゲージ・特殊ゲージ

ひずみゲージ



ひずみゲージ

広い分野で応力測定の一手段として使用される素子で、構造物などの表面に直接貼り付け、機械的ひずみ量を電氣量に変換するものです。

他のひずみ測定法に比べ、次のような特長をもっているため、飛躍的に使用分野が広がっています。

ひずみゲージの利点は、

- ・測定精度が高い
- ・応答性が高い
- ・多点同時測定が可能である
- ・野外測定が手軽にできる
- ・各種物理量を測定する変換器に応用できる

などがあります。

このようなメリットのある「ひずみゲージ」は、現在、航空機、船舶、輸送機器、鉄道、製鉄、重工業、電力、機械、土木、建築はもちろん、臨床医学、リハビリテーション、人間工学などにいたる広範囲の分野で用いられています。また、これらの分野では物理量（荷重・圧力・変位・加速度・トルク等）の計測に用いられる変換器の受感素子としても広く使用されています。

当社は、このような広い分野のご要求に応えるため、ひずみ測定器メーカーとしての豊富な経験を生かして、一般用箔ひずみゲージおよび特殊用途ひずみゲージを取り揃えて、一般の応力測定、高精度測定、特殊環境下での測定に十分対応できるよう準備しています。

ひずみゲージの構造・仕様・型名表記・ゲージパターン

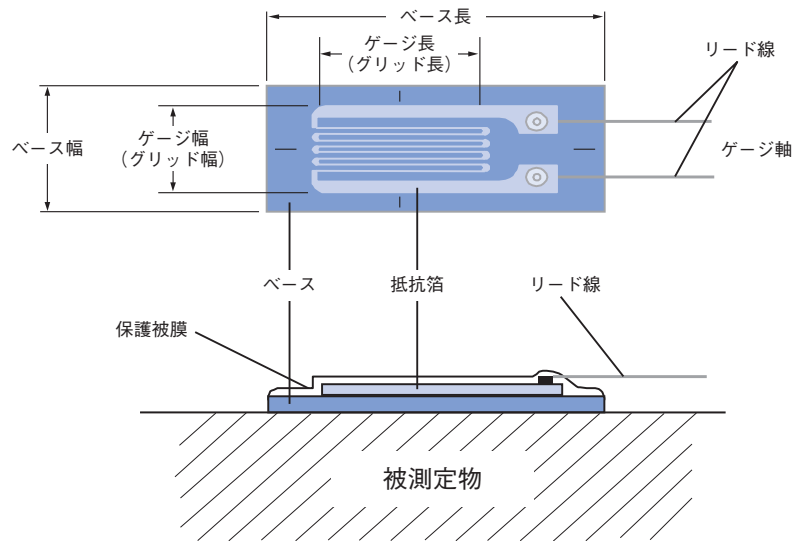
構造

ひずみゲージは ポリエステル等の絶縁ベース（以下、ベース）の上に厚さ数 μm の金属抵抗箔（以下、抵抗箔）が貼られた構造になっています。

抵抗箔は、比抵抗・弾性・安定性などからアドバンス箔やコンスタンタン箔などの銅ニッケル合金が多く使用されています。

抵抗箔のパターンや各部の寸法は使用目的により異なり、また、ゲージの仕様特性に従ってゲージの長さ、グリッド幅、グリッド本数が設定されます。抵抗箔の一端には、細いリード線が半田付けや点溶接で取り付けられていて、抵抗箔の保護用に薄いプラスチックフィルムでカバーされたものもあります。ひずみゲージは、右図のように被測定物に接着剤で取り付けて使用しますが、ベースに金属を用いた高温ゲージなどは、被測定物に点溶接で取り付けて使用します。

このひずみゲージを被測定体に貼り付けることにより、被測定体に生じた伸縮がそのままひずみゲージに伝わり、ひずみゲージの抵抗に変化が生じます。



ひずみゲージ基本仕様

下記一覧表はひずみゲージのベース材質（ポリエステル系／ポリイミド系）により、ひずみゲージを区分しています。

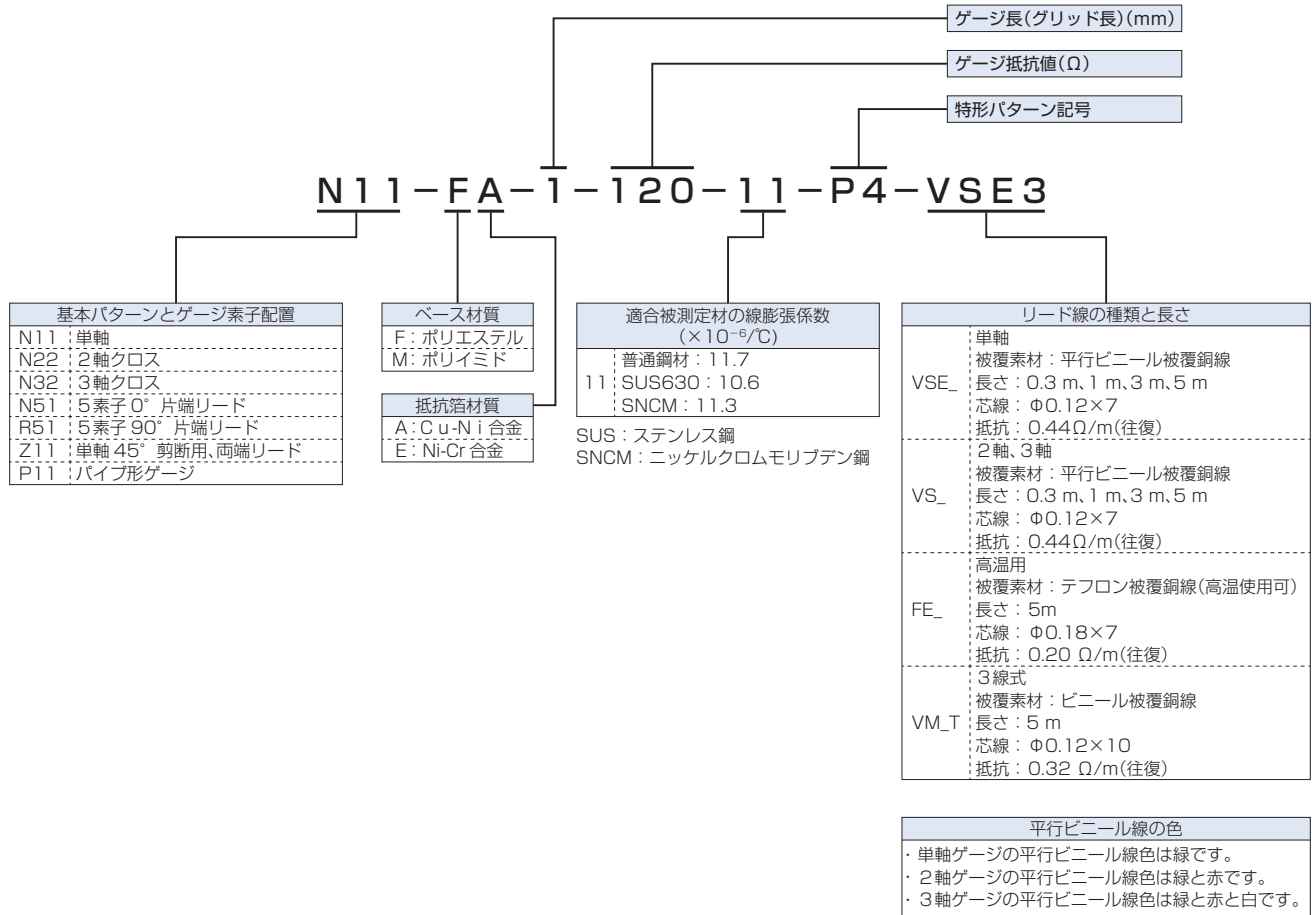
主に、FA シリーズは豊富な種類を用意しており一般的なひずみ計測用として、MA シリーズは中高温でのひずみ計測やひずみゲージを利用した各種センサー用としてご利用いただけます。

項目	FAシリーズ	MAシリーズ	
ゲージ長(グリッド長)	0.3~30 mm	0.3~10 mm	
ゲージ抵抗値	公称抵抗値 $\pm 0.5\%$ 以内		120~350 Ω
ゲージ材質(抵抗箔)	アドバンス箔		
ベース材質	ポリエステル系	ポリイミド系	
ゲージ率※	公称値の $\pm 2\%$ 以内		1.90~2.10
最大ひずみ測定範囲	$\pm 2\sim 4\%$		
使用温度範囲	-30~+80 $^{\circ}\text{C}$	-30~+180 $^{\circ}\text{C}$	
熱出力	$\pm 2 \mu\epsilon/^{\circ}\text{C}$ (常温~+80 $^{\circ}\text{C}$)	$\pm 2 \mu\epsilon/^{\circ}\text{C}$ (常温~+160 $^{\circ}\text{C}$) $\pm 5 \mu\epsilon/^{\circ}\text{C}$ (160 $^{\circ}\text{C}$ ~)	(温度補償範囲)
温度によるゲージ率変化	$\pm 0.015\%$ 以内		
疲労寿命	1×10^6 回以上		at $\pm 1,500 \mu\epsilon$
適合被測定材の線膨張係数	普通鋼: $10.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ステンレス鋼: $16.2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ アルミ合金: $23.4 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$		

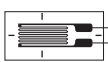
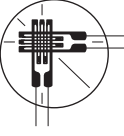
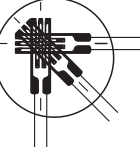
※リード線付きのゲージ抵抗値とゲージ率は、リード線を含んだ値となっています。


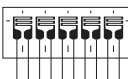


型名表記

ひずみゲージの型式表記は、基本パターンをベースにベース材質・抵抗箔材質・ゲージ長等の各種仕様を明示した形で決定されています。



ゲージパターン


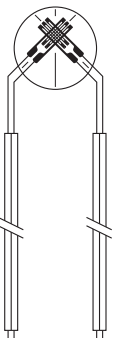
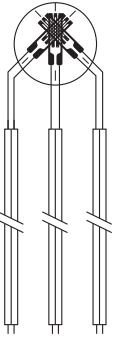
ゲージパターン	型名	用途
	N11-	・広範囲なひずみ測定用途
	N22-	・2軸応力場のひずみ測定 ・下側になっているゲージの温度ドリフトに注意が必要
	N32-	・ロゼット解析用 ・ひずみ勾配が大きいと誤差が発生しやすい ・下側になっているゲージの温度ドリフトに注意が必要

ゲージパターン	型名	用途
	N51-	・局部ひずみ測定用
	R51-	・応力集中測定用
	Z11-	・剪断応力&トルク測定
	P11-	・ボルトに埋め込み、締め付け時の軸力測定

箔ひずみゲージ

リード線付ひずみゲージ (2線式)

自己温度補償適合材料 普通鋼材 $11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

ゲージパターン	型名	商品コード	公称抵抗値(Ω)	ゲージ率(公称)	寸法				リード線長(m)
					グリッド(mm)		ベース(mm)		
					長さ	幅	長さ	幅	
 リード線色 …緑	N11-FA-03-120-11-VSE03	AVGAGE1001	120	1.9	0.3	1.8	3.5	2.5	0.3
	N11-FA-03-120-11-VSE1	AVGAGE1002							1
	N11-FA-03-120-11-VSE3	AVGAGE1003							3
	N11-FA-03-120-11-VSE5	AVGAGE1004							5
	N11-FA-1-120-11-P4-VSE03	AVGAGE1005	120	2.0	1.0	1.0	4.0	2.0	0.3
	N11-FA-1-120-11-P4-VSE1	AVGAGE1006							1
	N11-FA-1-120-11-P4-VSE3	AVGAGE1007							3
	N11-FA-1-120-11-P4-VSE5	AVGAGE1008							5
	N11-FA-2-120-11-VSE03	AVGAGE1009	120	2.0	2.0	1.6	6.0	2.5	0.3
	N11-FA-2-120-11-VSE1	AVGAGE1010							1
	N11-FA-2-120-11-VSE3	AVGAGE1011							3
	N11-FA-2-120-11-VSE5	AVGAGE1012							5
	N11-FA-5-120-11-VSE03	AVGAGE1013	120	2.1	5.0	1.8	9.5	3.5	0.3
	N11-FA-5-120-11-VSE1	AVGAGE1014							1
	N11-FA-5-120-11-VSE3	AVGAGE1015							3
	N11-FA-5-120-11-VSE5	AVGAGE1016							5
N11-MA-03-120-11-FE5	AVGAGE1017	120	1.9	0.3	1.8	3.5	2.5	5	※
N11-MA-1-120-11-P4-FE5	AVGAGE1018		2.0	1.0	1.0	4.0	2.0	5	※
N11-MA-2-120-11-FE5	AVGAGE1542		2.0	2.0	1.6	6.0	2.5	5	※
N11-MA-5-120-11-FE5	AVGAGE1543		2.1	5.0	1.8	9.5	3.5	5	※
 リード線色 …緑、赤	N22-FA-1-120-11-VS03	AVGAGE1021	120	2.0	1.0	1.5	Φ6.0		0.3
	N22-FA-1-120-11-VS1	AVGAGE1022							1
	N22-FA-1-120-11-VS3	AVGAGE1023							3
	N22-FA-1-120-11-VS5	AVGAGE1024							5
	N22-FA-2-120-11-VS03	AVGAGE1025	120	2.0	2.0	1.6	Φ8.0		0.3
	N22-FA-2-120-11-VS1	AVGAGE1026							1
	N22-FA-2-120-11-VS3	AVGAGE1027							3
	N22-FA-2-120-11-VS5	AVGAGE1028							5
	N22-FA-5-120-11-VS03	AVGAGE1029	120	2.1	5.0	1.8	Φ11.0		0.3
	N22-FA-5-120-11-VS1	AVGAGE1030							1
	N22-FA-5-120-11-VS3	AVGAGE1031							3
	N22-FA-5-120-11-VS5	AVGAGE1032							5
 リード線色 …緑、赤、白	N32-FA-1-120-11-VS03	AVGAGE1039	120	2.0	1.0	1.5	Φ6.0		0.3
	N32-FA-1-120-11-VS1	AVGAGE1040							1
	N32-FA-1-120-11-VS3	AVGAGE1041							3
	N32-FA-1-120-11-VS5	AVGAGE1042							5
	N32-FA-2-120-11-VS03	AVGAGE1043	120	2.0	2.0	1.6	Φ8.0		0.3
	N32-FA-2-120-11-VS1	AVGAGE1044							1
	N32-FA-2-120-11-VS3	AVGAGE1045							3
	N32-FA-2-120-11-VS5	AVGAGE1046							5
	N32-FA-5-120-11-VS03	AVGAGE1047	120	2.1	5.0	1.8	Φ11.0		0.3
	N32-FA-5-120-11-VS1	AVGAGE1048							1
	N32-FA-5-120-11-VS3	AVGAGE1049							3
	N32-FA-5-120-11-VS5	AVGAGE1050							5

※印：2箱（1箱5枚入り） 無印：1箱10枚入り ご注文は、10枚単位で承ります。

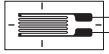
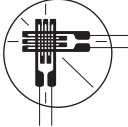
リード線付ひずみゲージ (3線式)

自己温度補償適合材料 普通鋼材 $11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

型名	商品コード	公称抵抗値(Ω)	ゲージ率(公称)	寸法				リード線長(m)	
				グリッド(mm)		ベース(mm)			
				長さ	幅	長さ	幅		
 リード線ベース色: グレー ライン: 青									
N11-FA-2-120-11-VM5T	AVGAGE1053	120	2.0	2	1.6	6.0	2.5	5	※
N11-FA-5-120-11-VM5T	AVGAGE1054		1.9	5	1.8	9.5	3.5		

※印：2箱（1箱5枚入り） ご注文は、10枚単位で承ります。

箔ひずみゲージ (リード線なし)


ゲージパターン	型名	型名	公称抵抗値(Ω)	ゲージ率 (公称)	寸法					
					グリッド(mm)		ベース(mm)			
					長さ	幅	長さ	幅		
	N11-FA-03-120-11	AVGAGE1544	120	1.9	0.3	1.8	3.5	2.5		
	N11-FA-1-120-11-P4	AVGAGE1062		2.0	1.0	1.0	4.0	2.0		
	N11-FA-2-120-11	AVGAGE1065		2.0	2.0	1.6	6.0	2.5		
	N11-FA-5-120-11	AVGAGE1068		2.1	5.0	1.8	9.5	3.5		
	N11-FA-8-120-11	AVGAGE1071		2.1	8.0	2.0	13.0	4.0		
	N11-FA-10-120-11	AVGAGE1074		2.1	10.0	2.2	15.0	5.0		
	N11-FA-30-120-11	AVGAGE1077		2.1	30.0	1.2	40.0	4.5		
	10枚/1箱	N11-FA-2-350-11	AVGAGE1079	350	2.0	2.0	2.2	7.0	3.5	
		N11-FA-5-350-11	AVGAGE1082		2.1	5.0	2.6	11.0	4.0	
		N11-FA-8-350-11	AVGAGE1085		2.1	8.0	4.0	14.0	6.0	
		N11-FA-10-350-11	AVGAGE1088		2.1	10.0	4.5	18.0	6.5	
		N11-MA-03-120-11	AVGAGE1091	120	1.9	0.3	1.8	3.5	2.5	
		N11-MA-1-120-11-P4	AVGAGE1094		2.0	1.0	1.0	4.0	2.0	
		N11-MA-2-120-11	AVGAGE1097		2.0	2.0	1.6	6.0	2.5	
N11-MA-5-120-11	AVGAGE1100	2.1	5.0		1.8	9.5	3.5			
N11-MA-8-120-11	AVGAGE1103	2.1	8.0		2.0	13.0	4.0			
N11-MA-10-120-11	AVGAGE1106	2.1	10.0		2.2	15.0	5.0			
10枚/1箱	N11-MA-2-350-11	AVGAGE1109	350	2.0	2.0	2.2	7.0	3.5		
	N11-MA-5-350-11	AVGAGE1110		2.1	5.0	2.6	11.0	4.0		
	N11-MA-8-350-11	AVGAGE1111		2.1	8.0	4.0	14.0	6.0		
	N11-MA-10-350-11	AVGAGE1112		2.1	10.0	4.5	18.0	6.5		
	N22-FA-1-120-11	AVGAGE1133	120	2.0	1.0	1.5	Φ6.0			
	N22-FA-2-120-11	AVGAGE1134		2.0	2.0	1.6	Φ8.0			
	N22-FA-5-120-11	AVGAGE1137		2.1	5.0	1.8	Φ11.0			
	N22-FA-8-120-11	AVGAGE1140		2.1	8.0	2.0	Φ15.0			
	N22-FA-10-120-11	AVGAGE1143		2.1	10.0	2.2	Φ18.0			
	10枚/1箱	N22-FA-5-350-11	AVGAGE1146	350	2.1	5.0	2.6	Φ15.0		
		N22-MA-2-120-11	AVGAGE1147		120	2.0	2.0	1.6	Φ8.0	
		N22-MA-5-120-11	AVGAGE1150			2.1	5.0	1.8	Φ11.0	
		N22-MA-5-350-11	AVGAGE1153		350	2.1	5.0	2.6	Φ15.0	
		N32-FA-1-120-11	AVGAGE1170			120	2.0	1.0	1.5	Φ6.0
N32-FA-2-120-11	AVGAGE1171	2.0	2.0	1.6			Φ8.0			
N32-FA-5-120-11	AVGAGE1174	2.1	5.0	1.8	Φ11.0					
N32-FA-8-120-11	AVGAGE1177	2.1	8.0	2.0	Φ16.0					
N32-FA-10-120-11	AVGAGE1180	2.1	10.0	2.2	Φ18.0					
10枚/1箱	N32-MA-2-120-11	AVGAGE1183	120	2.0	2.0	1.6	Φ8.0			
	N32-MA-5-120-11	AVGAGE1186		2.1	5.0	1.8	Φ11.0			

特殊ひずみゲージ

ゲージパターン	型名	型名	公称抵抗値(Ω)	ゲージ率 (公称)	寸法				
					グリッド(mm)		ベース(mm)		
					長さ	幅	長さ	幅	
	N51-FA-1-120-11	AVGAGE1189	120	2.0	1.0	1.5	12.0	4.0	
	N51-FA-2-120-11	AVGAGE1192		2.0	2.0	1.6	15.0	6.0	
	10枚/1箱	N51-MA-1-120-11	AVGAGE1195	120	2.0	1.0	1.5	12.0	4.0
		N51-MA-2-120-11	AVGAGE1198		2.0	2.0	1.6	15.0	6.0
	R51-FA-1-120-11	AVGAGE1201	120	2.0	1.0	0.5	11.0	4.0	
	R51-FA-2-120-11	AVGAGE1204		2.0	2.0	0.8	15.0	4.5	
	10枚/1箱	R51-MA-1-120-11	AVGAGE1207	120	2.0	1.0	0.5	11.0	4.0
		R51-MA-2-120-11	AVGAGE1210		2.0	2.0	0.8	15.0	4.5
	Z11-FA-2-120-11	AVGAGE1213	120	2.0	2.0	4.0	13.0	5.0	
	Z11-FA-5-120-11	AVGAGE1216		2.0	5.0	2.6	15.0	10.0	
	Z11-FA-10-120-11	AVGAGE1217		2.1	10.0	5.0	26.0	16.0	
	10枚/1箱	Z11-MA-2-120-11	AVGAGE1218	120	2.0	2.0	4.0	13.0	5.0
		Z11-MA-5-120-11	AVGAGE1221		2.0	5.0	2.6	15.0	10.0
		Z11-MA-10-120-11	AVGAGE1222		2.1	10.0	5.0	26.0	16.0

パイプゲージ

このひずみゲージは、ボルトに埋め込み、ボルト締め付け時の軸力測定を行います。

	25枚/1箱	P11-FA-3-120-11	AVGAGE1236	120	2.1	3.0	—	10.0	Φ2±0.1
		P11-MA-3-120-11	AVGAGE1237	120	2.1	3.0	—	10.0	Φ2±0.1

ひずみゲージ用アクセサリ

ひずみゲージ端子

ゲージリードと測定器への配線用リード線の接続ターミナルとして使用します。配線用リード線に加わるストレスがゲージリードへの影響を防止すると同時に接続部分に発生しやすい断線や絶縁不良などの事故を防止することができます。

型名	使用温度範囲
FG, FGR, FGF	0~140℃
SFG, SFGR, SFGF	0~50℃

形状	型名	商品コード	外形寸法(mm)	適用ゲージ長さ(mm)	1箱の数量(枚)	備考
	FG-5T	AVFG-5T	6×20×0.15	0.3~2	10	自己接着型
	SFG-5T	AVGAGE1268	6×20×1.0			
	FG-7T	AVFG-7T	7×26×0.15	2~6	10	自己接着型
	SFG-7T	AVSFG-7T	7×26×1.0			
	FG-10T	AVFG-10T	12×40×0.15	6~8	10	自己接着型
	SFG-10T	AVGAGE1272	12×40×1.0			
	FGR-10T	AVFGR-10T	10×25×0.15	2	10	ロゼット・クロスゲージ用
	SFGR-10T	AVSFGR-10T	10×25×1.0			ロゼット・クロスゲージ用自己接着型
	FGR-15T	AVFGR-15T	15×38×0.15	5~8	10	ロゼット・クロスゲージ用
	SFGR-15T	AVSFGR-15T	15×38×1.0			ロゼット・クロスゲージ用自己接着型
	FGF-5T	AVFGF-5T	15×40×0.15	0.3~2	10	5素子ゲージ用
	SFGF-5T	AVSFGF-5T	15×40×1.0			5素子ゲージ自己接着型

接着剤

ひずみ測定で信頼できるデータを得るためには、使用するひずみゲージおよび測定条件に適した接着剤を選択し、その上で接着剤に応じた使用条件、硬化条件を満足させる必要があります。

型名	商品コード	成分系	被接着材料	容量	接着方法	使用温度(℃)	保存条件	備考
EXTRA4000	AVEXTRA4000	シアノアクリレート (瞬間接着剤)	金属 プラスチック 複合材料	2g×5本	指圧で30秒以上 指圧時間は温湿度条件 によって変わります	-30~+70	冷暗所 3ヶ月	P11を除く
F11	AVF11	エポキシ2液混合 (加熱硬化接着剤)	金属 プラスチック 複合材料	A液65g×1 B液35g×1	加圧(50~150kPa)で 100℃で2時間 混合比 A液:B液=2:1	-30~+130		
F31	AVGAGE1541	エポキシ2液混合 (常温硬化接着剤)	金属 プラスチック 複合材料	A液65g×1 B液35g×1	加圧(50~150kPa)で 常温で24時間 混合比 A液:B液=2:1	-30~+80		
PR50781	AVPR50781	フェノールエポキシ (加熱硬化接着剤)	金属 複合材料	50g	加圧(500~1000kPa) で140℃で30分	-30~+180		

コーティング剤

接着したゲージ、ゲージ端子が吸湿し絶縁不良あるいは劣化などの事故を防ぐための防湿処理用コーティング剤です。測定が屋外や長期にわたる場合にはぜひご使用ください。

品名	型名	商品コード	容量	材質	使用温度(℃)	使用方法
RTVシリコンゴム	TSE397	AVTSE397	100g	シリコンゴム	空気中: -55~+200	プロテクト部に塗布する。 チューブ式で速乾性、空気中の水分と反応し硬化。

型名	保護対象						硬化条件		
	外力	湿度	天候	水	油	溶剤	不要	自然乾燥	加熱
TSE397		○	○	△				○	

ひずみ測定の実理

(1) ひずみゲージの実理

ひずみ測定を行うには、ひずみゲージを接着剤で被測定体の表面に接着する。

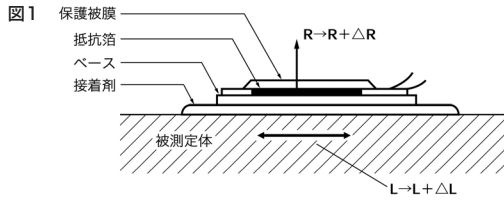


図1のように被測定体に発生した機械的ひずみは、ひずみゲージのベースを経由して抵抗箔に伝わり、それに伸縮を生じさせる。ここで、ひずみゲージ抵抗体の抵抗値Rは次式で示される。

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A} \quad L: \text{抵抗体の長さ} \quad A: \text{抵抗体の断面積}$$

$$\rho: \text{固有抵抗率}$$

上式より長さLがL+ΔLだけ伸びると断面積AはA-ΔAだけ減少し、抵抗値RはR+ΔRと増加する。この結果より、ひずみゲージは、引張ひずみでは抵抗値が増加し、圧縮ひずみでは抵抗値が減少する抵抗変化形の変換器である。

(2) ゲージ率 (GAUGE FACTOR)

ゲージ率とは、機械的ひずみとひずみゲージ抵抗体の抵抗変化の比をゲージ率Kという。ひずみゲージに使用されているアドバンス箔やカルマ箔のゲージ率は約2である。ゲージ率の値は室温での値で、使用温度によっては少し変化する。

$$\frac{\Delta R / R}{\Delta L / L} = \frac{\Delta R / R}{\epsilon} = K$$

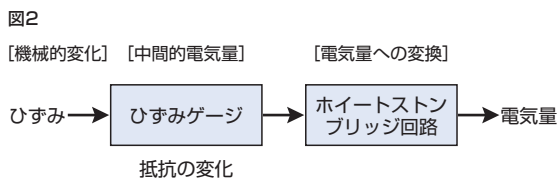
例) ゲージ率2.0、ひずみゲージ抵抗120Ωのひずみゲージにひずみ量 $\epsilon = 1,000 \times 10^{-6}$ ひずみ(0.1%)を負荷するとひずみゲージの抵抗変化ΔRは
 $\Delta R = R \cdot \epsilon \cdot K$ より
 $\Delta R = 120 \times 1,000 \times 10^{-6} \times 2 = 0.24 \Omega$
 となる。

ひずみ量に対する抵抗変化

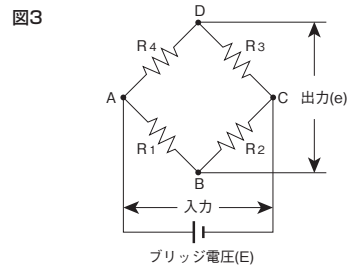
ひずみ量	抵抗変化量	備考
$10,000 \times 10^{-6}$ ひずみ	2.4Ω	ゲージ抵抗120Ω、ゲージ率2.0とする
$1,000 \times 10^{-6}$ ひずみ	0.24Ω	
100×10^{-6} ひずみ	0.024Ω	
10×10^{-6} ひずみ	2.4mΩ	
1×10^{-6} ひずみ	0.24mΩ	

(3) 電氣量への変換回路

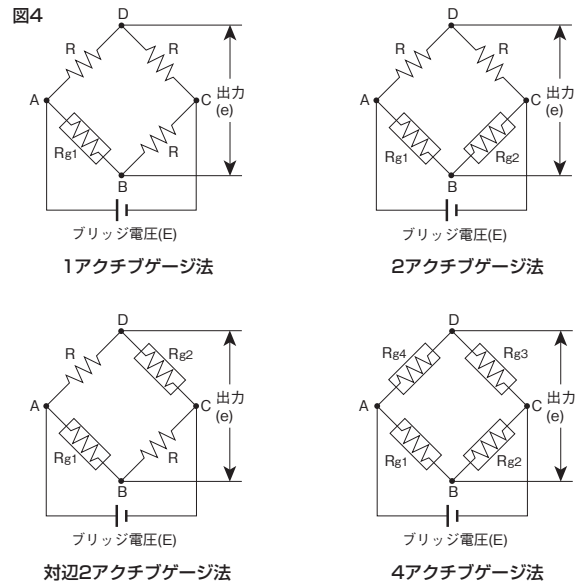
機械的ひずみを電氣量に変換するために、ひずみゲージを用いて抵抗変化に変換する。ひずみゲージの抵抗変化は非常に微小なため、ホイートストンブリッジ回路を用いて、電氣量に変換される。



ホイートストンブリッジ回路は4個の抵抗R1、R2、R3、R4を図3のように結線し、相対する2組の頂点の一方を入力側、他方を出力側とした4端子回路である。



ホイートストンブリッジ回路にひずみゲージを挿入する方法は、図4のように1アクチブゲージ法、2アクチブゲージ法、対辺2アクチブゲージ法、4アクチブゲージ法がある。



例として、1アクチブゲージ法のブリッジ回路からの出力特性は次式のようになり、機械的ひずみεとブリッジ出力電圧eとが比例関係にある。

$$e = \frac{1}{4} \cdot K \cdot \epsilon \cdot E$$

ここでゲージ率K=2.0、ブリッジ電圧E=2Vとするとe=εとなり、次式のようにひずみ量と電圧量の換算が可能となる

ひずみ量	電圧量	備考
$10,000 \times 10^{-6}$ ひずみ	10mV	・ゲージ率2.0 ・1アクチブゲージ ・ブリッジ電圧を2Vとする
$1,000 \times 10^{-6}$ ひずみ	1mV	
100×10^{-6} ひずみ	100μV	
10×10^{-6} ひずみ	10μV	
1×10^{-6} ひずみ	1μV	

計測器に入力するには、1μVを最低でも、数10mVのレベルにしなければならない。増幅するには約数万倍のストレンアンプ(ブリッジ電圧+増幅回路を有する)が必要になる。

(4) ブリッジ回路の特性

ブリッジに使用する抵抗が $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$ であると変換効率ももっとも良く、ブリッジ出力が最大となり、ブリッジの平衡条件も満たす。また、ブリッジ各辺の抵抗変化の関係は次のような特性がある。

	R_1	R_2	R_3	R_4	出力
1	+1	0	0	0	+1
2	-1	0	0	0	-1
3	+1	-1	0	0	+2
4	+1	+1	0	0	0
5	+1	0	+1	0	+2
6	+1	0	-1	0	0
7	+1	-1	+1	-1	+4
8	+1	+1	+1	+1	0

(5) ひずみゲージによるブリッジ構成例

ひずみゲージを使用してブリッジ構成を行うには、抵抗値のバラツキが $\pm 0.1\%$ 以内、抵抗温度係数が数PPM/ $^{\circ}\text{C}$ 以内で、さらにバラツキのない120 Ω 、350 Ω 超精密抵抗3個が入ったブリッジボックスを用いる。

ブリッジの4辺にひずみゲージを組込む場合、ゲージは1、2、4枚の組合せが考えられる。さらにブリッジの特長を有効に利用し、温度補償、誤差消去及び出力の増大策などが取られる。

ここでは一般に用いられるひずみゲージによるブリッジ構成例を次の「測定用ブリッジ回路の組み方」、「ブリッジボックス」で示す。

尚、使用する記号は次の通りである。

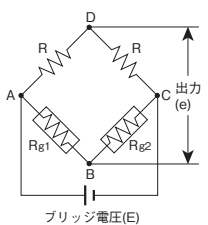
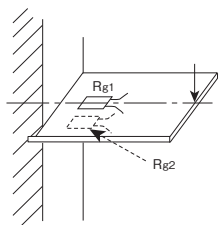
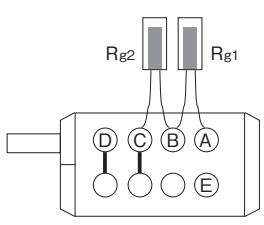
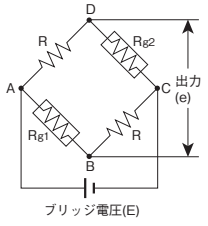
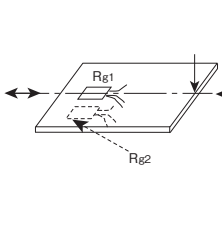
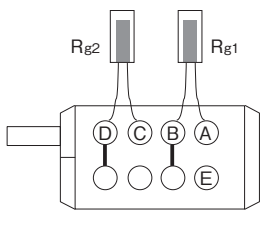
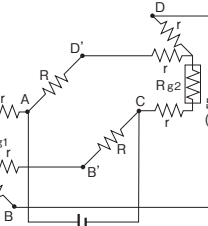
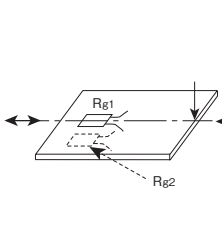
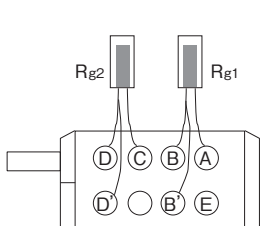
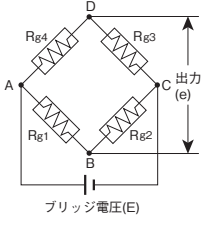
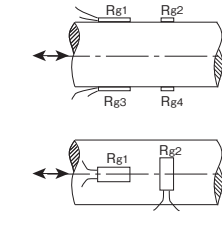
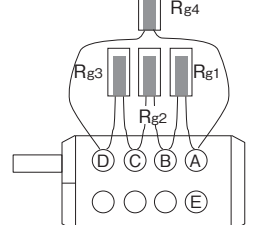
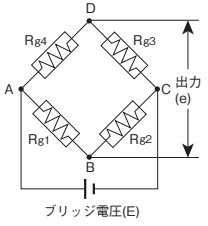
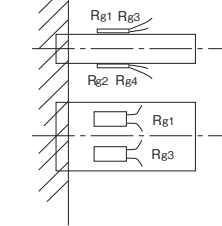
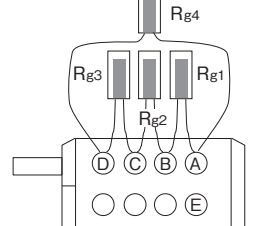
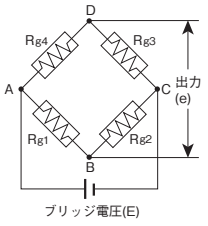
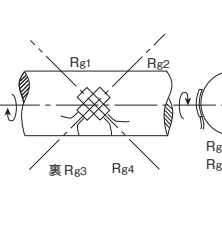
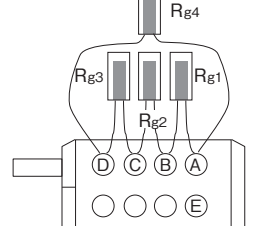
- R : 固定抵抗の値(Ω)
- R_g : ひずみゲージの抵抗値(Ω)
- R_d : ダミーゲージの抵抗値(Ω)
- r : リード線の抵抗値(Ω)
- e : ブリッジからの出力電圧(V)
- K : 使用ひずみゲージのゲージ率(2.00)
- ε : 現象ひずみの値(10^{-6} ひずみ)
- E : ブリッジ印加電圧(V)
- ν : 被測定体のポアソン比
- G_f : 1ゲージ法に対する他のゲージ法の出力電圧の比

ひずみゲージの貼り方、ひずみゲージ自体の特長は日本非破壊検査協会編集「電気抵抗ひずみ計によるひずみ測定I」等を参照。また、ブリッジボックスの配線法は、弊社5370A形のブリッジボックスを使用した場合である。

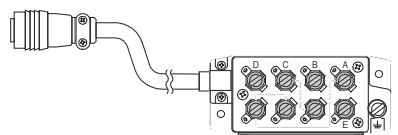
● 測定用ブリッジ回路の組み方

R: 固定抵抗、r: リード線の抵抗、 R_g : アクティブゲージ

回路	ゲージ法	具体例	ブリッジボックス配線法 ショートバーの位置	備考
<p>ブリッジ電圧(E)</p>	1ゲージ法			<ul style="list-style-type: none"> ・単純引張り、圧縮または単純曲げの場合に適する ・周囲の温度変化が少ない場合に適する ・校正値はそのまま計算 ・$G_f = 1$
<p>ブリッジ電圧(E)</p>	1ゲージ3線式結線法			<ul style="list-style-type: none"> ・単純引張り、圧縮または単純曲げの場合に適する ・ひずみゲージリード線の温度補償 ・校正値はそのまま計算 ・$G_f = 1$
<p>ブリッジ電圧(E)</p>	1アクティブ 1ダミーゲージ法			<ul style="list-style-type: none"> ・単純引張り、圧縮または単純曲げの場合に適する ・温度補償 ・校正値はそのまま計算 ・$G_f = 1$
<p>ブリッジ電圧(E)</p>	2アクティブゲージ法			<ul style="list-style-type: none"> ・単純引張り、圧縮または単純曲げの場合に適する ・温度補償 ・校正値$\times 1 / (1 + \nu)$ または現象値$\times 1 / (1 + \nu)$ で計算 ・$G_f = (1 + \nu)$

回路	ゲージ法	具体例	ブリッジボックス配線法 ショートバーの位置	備考
 <p>ブリッジ電圧(E)</p>	2アクティブゲージ法			<ul style="list-style-type: none"> ・ 曲げひずみの検出 ・ 引張り、圧縮ひずみ消去 ・ 温度補償 ・ 校正値×1/2または現象値×1/2で計算 ・ $G_r=2$
 <p>ブリッジ電圧(E)</p>	対辺2アクティブゲージ法			<ul style="list-style-type: none"> ・ 引張り、圧縮ひずみの検出 ・ 曲げひずみを消去 ・ 温度変化の影響は倍増される ・ 校正値×1/2または現象値×1/2で計算 ・ $G_r=2$
 <p>ブリッジ電圧(E)</p>	対辺2アクティブゲージ3線式結線法			<ul style="list-style-type: none"> ・ 引張り、圧縮ひずみのみ検出 ・ 曲げひずみを消去 ・ 温度変化の影響は倍増される ・ ひずみゲージリード線の温度補償 ・ 校正値×1/2または現象値×1/2で計算 ・ $G_r=2$
 <p>ブリッジ電圧(E)</p>	4アクティブゲージ法			<ul style="list-style-type: none"> ・ 引張り、圧縮ひずみのみ検出 ・ 曲げひずみを消去 ・ 温度補償 ・ 校正値×1/2 (1+ν) または現象値×1/2 (1+ν) で計算 ・ $G_r=2 (1+ν)$
 <p>ブリッジ電圧(E)</p>	4アクティブゲージ法			<ul style="list-style-type: none"> ・ 曲げひずみのみ検出 ・ 引張り、圧縮ひずみを消去 ・ 温度補償 ・ 校正値×1/4または現象値×1/4で計算 ・ $G_r=4$
 <p>ブリッジ電圧(E)</p>	4アクティブゲージ法			<ul style="list-style-type: none"> ・ ねじりひずみのみ検出 ・ 引張り、圧縮、曲げひずみを消去 ・ 温度補償 ・ 校正値×1/4または現象値×1/4で計算 ・ $G_r=4$

● ブリッジボックス

品名	外観	型名	商品コード	規格
ブリッジボックス 120		5370A	AV5370A	120Ω用、ケーブル約3m付
ブリッジボックス 350		5373A	AV5373A	350Ω用、ケーブル約3m付

● N11-MA-5-120-11の一般的な特性

ひずみゲージで測定を行う場合、測定結果に大きな影響を与えるものとして、①温度による零点変化(熱出力特性)、②温度によるゲージ率変化があり、この一般的な特性の例を示したものが右記の図5、図6です。

このゲージを使用してひずみ出力1,000 $\mu\epsilon$ (0.1%のひずみ変化)をとらえる場合、熱出力による零点影響は2.5%以下、出力(感度)として1%以下の誤差を生じる可能性があります(20~60 $^{\circ}\text{C}$ 変化の場合)。しかし、一般の応力測定においては、測定中に40 $^{\circ}\text{C}$ の温度差が生じる場合は稀で、誤差は非常に少ないものと考えられます。なお、誤差は測定方法によって更に少ない値にすることができます。

図5は、当社の自己温度補償形ひずみゲージの温度による見かけ出力曲線で、2曲線の幅に相当するものがバラツキを示し、ダミーゲージ無しで $\pm 2\mu\epsilon$ 以内/ $^{\circ}\text{C}$ (常温付近)に補償されてます。

図6に示した特性は"鋼"にひずみゲージを貼付け、+1,000 $\mu\epsilon/20^{\circ}\text{C}$ で一定ひずみを加え温度を変化させた場合のゲージ率変化を表した曲線です。

注)この曲線は"鋼"のヤング率変化を含めています。

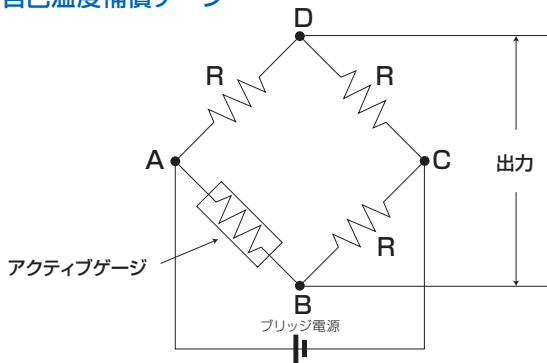
● ゲージ率の補正式

使用する測定器のゲージ率(2.0)と使用するひずみゲージのゲージ率が違う場合、補正し真のひずみ値を求める。

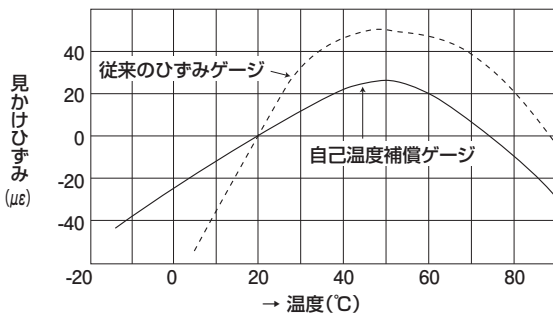
$$\text{真のひずみ値} = \frac{2.0}{K} \times \text{測定ひずみ}$$

K:使用するひずみゲージのゲージ率

● 自己温度補償ゲージ



自己温度補償ゲージの温度特性



ひずみゲージの抵抗変化と温度変化の関係は一般に被測定体が平面の場合次の式が成立する。

$$\frac{\Delta R/R}{\Delta T} = \alpha + K(\beta_s - \beta_g)$$

左辺: 1 $^{\circ}\text{C}$ 当たりの抵抗箱の抵抗変化率
(銅ニッケル合金: $\pm 20 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)

- α : 抵抗箱の抵抗温度係数
- K : ひずみゲージのゲージ率
- β_s : 被測定体の線膨張係数
- β_g : 抵抗箱の線膨張係数

上式において右辺の値が零となる関係が成立すれば温度変化による影響が無いことになる。このことよりひずみゲージ抵抗箱の抵抗温度係数 α の調整を行なったひずみゲージを自己温度補償ゲージという。

図5 熱出力特性

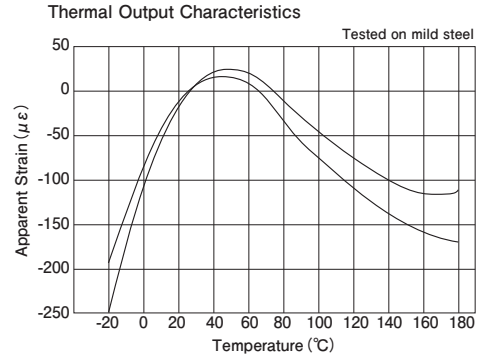
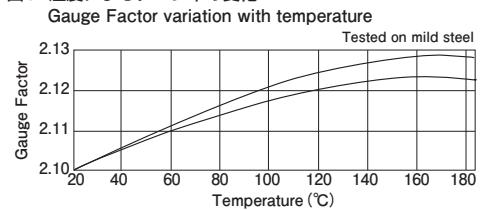


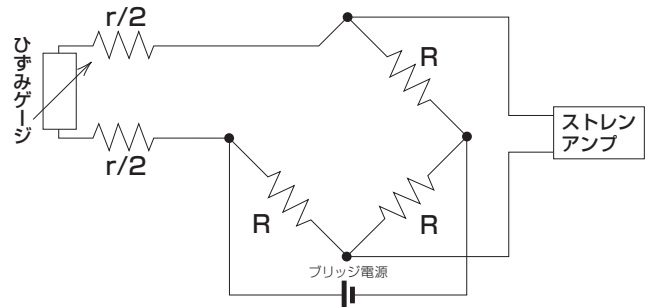
図6 温度によるゲージ率の変化



● ひずみ測定実施上の注意点

1) 接続リード線の影響

通常用いられる1ゲージ2線式で、ブリッジの1辺にはゲージ抵抗だけでなくリード線の抵抗 r も含まれてしまうため、ブリッジのアンバランス、ゲージ率の低下、接続リード線による温度ドリフトの増加が原理的に避けられないようになる。



接続リード線の長さや抵抗値

2) リード線の抵抗がゲージ率に与える影響

リード線の抵抗 r が0である場合のゲージ率は

$$K = \frac{\Delta R/R}{\epsilon} \quad \begin{array}{l} \epsilon : \text{ひずみ} \\ R : \text{ゲージ抵抗値} \end{array}$$

であるが、リード線の抵抗 r が含まれるとゲージ率は低下する。

$$K' = \frac{\Delta R/(R+r)}{\epsilon} \quad \begin{array}{l} K' : \text{真のゲージ率} \\ r : \text{リード線の往復抵抗値} \end{array}$$

3) リード線の温度による影響

ひずみ測定中に周囲温度が変化するとリード線(銅線)の抵抗 r は $3,930 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ の割合で Δr だけ変化する。この Δr の変化はゲージ抵抗 R の変化分 ΔR として、見かけひずみが生じたように測定される。これを温度による見かけひずみ ϵ_t といい測定値の誤差として現れその大きさは、次式で示される。

$$\epsilon_t = \frac{\Delta r}{R+r} \cdot \frac{1}{K}$$

リード線の温度による抵抗変化量 Δr は

$$\Delta r = r \cdot \alpha \cdot t \quad \alpha : \text{抵抗温度係数}$$

$$\epsilon_t = \frac{r \cdot \alpha \cdot t}{(R+r) \cdot K} \quad K : \text{真のゲージ率}$$

$$t : \text{リード線の温度変化量}$$

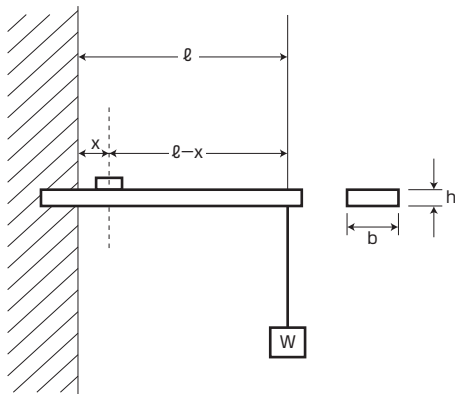
接続リード線の影響

ひずみゲージ抵抗値が120Ωの場合

長さ m	ゲージリード線の抵抗値 Ω			ゲージ率の低下 %			温度によるひずみ出力 με/℃		
	A(細い) 0.44Ω/m	B(中経) 0.3Ω/m	C(太い) 0.2Ω/m	リード線 A	リード線 B	リード線 C	リード線 A	リード線 B	リード線 C
1	0.44	0.3	0.2	0.4	0.2	0.2	7	5	3
2	0.88	0.6	0.4	0.7	0.5	0.3	14	10	7
3	1.32	0.9	0.6	1.1	0.7	0.5	21	15	10
4	1.76	1.2	0.8	1.4	1.0	0.7	28	19	13
5	2.20	1.5	1.0	1.8	1.2	0.8	35	24	16
6	2.64	1.8	1.2	2.2	1.5	1.0	42	29	19
7	3.08	2.1	1.4	2.5	1.7	1.2	49	34	23
8	3.52	2.4	1.6	2.8	2.0	1.3	56	39	26
9	3.96	2.7	1.8	3.2	2.2	1.5	63	43	29
10	4.40	3.0	2.0	3.5	2.4	1.6	70	48	32
15	6.60	4.5	3.0	5.2	3.6	2.4	102	71	48
20	8.80	6.0	4.0	6.8	4.8	3.2	134	94	63
25	11.00	7.5	5.0	8.4	5.9	4.0	165	116	79
30	13.20	9.0	6.0	9.9	7.0	4.8	195	137	94

応力解析

● 片持りのひずみ測定



理論計算法

図の様に、一端を固定した片持りの他の一端に荷重Wを加えた場合の応力σは次式で表される。

$$\sigma = \frac{Mx}{Z}$$

また、片持りの曲げモーメント $Mx = W \cdot (l - x)$ 、

断面係数Zは $Z = \frac{1}{6} bh^2$ より

$$\sigma = \frac{6W(l-x)}{bh^2}$$

片持りの表面応力 $\sigma = \epsilon E$ より

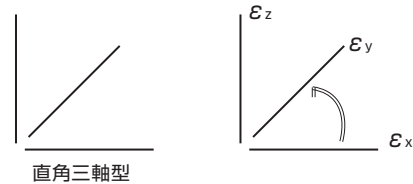
片持りの表面ひずみεは次式で表される。

$$\epsilon = \frac{6W(l-x)}{Ebh^2} \quad E: \text{縦弾性係数}$$

● ロゼット解析法

一般に主応力方向がわかっていない場合の応力を測定する場合、その応力・方向を知るには3方向のひずみを測定する必要がある。いま測定しようとする点を中心にして少なくとも3本の直線を引き、その線上のひずみを測定する。なおこのような直線群をロゼットと言う。等法、等質な弾性体において主応力の方向は主ひずみの方向と一致しますから、主ひずみを求めれば理論式により主応力の値と、その方向を求めることができる。このようにしていくつかの方向のひずみ量からその点の主ひずみ、主応力の大きさ、方向を求めることをロゼット解析と言う。

直角三軸型ロゼットゲージ



最大主ひずみ ϵ_{max}

$$\epsilon_{max} = \frac{1}{2} [\epsilon_x + \epsilon_z + \sqrt{2\{(\epsilon_x - \epsilon_y)^2 + (\epsilon_y - \epsilon_z)^2\}}]$$

最小主ひずみは ϵ_{min}

$$\epsilon_{min} = \frac{1}{2} [\epsilon_x + \epsilon_z - \sqrt{2\{(\epsilon_x - \epsilon_y)^2 + (\epsilon_y - \epsilon_z)^2\}}]$$

ひずみゲージ ϵ_x からの主ひずみ(主応力)の方向φは

$$\phi = \frac{1}{2} \cdot \tan^{-1} \frac{2\epsilon_y - (\epsilon_x + \epsilon_z)}{\epsilon_x - \epsilon_z}$$

最大主ひずみ ϵ_{max} の方向θ

$$\epsilon_z - \epsilon_x < 0 \cdots \theta = \phi$$

$$\epsilon_z - \epsilon_x > 0 \cdots \theta = \phi + \frac{\pi}{2}$$

最大主応力 σ_{max}

$$\sigma_{max} = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_{max} + \nu \epsilon_{min})$$

ν: ポアソン比

最小主応力 σ_{min}

$$\sigma_{min} = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_{min} + \nu \epsilon_{max})$$

最大せん断ひずみ γ_{max}

$$\gamma_{max} = \sqrt{2\{(\epsilon_x - \epsilon_y)^2 + (\epsilon_y - \epsilon_z)^2\}}$$

最大せん断応力 τ_{max}

$$\tau_{max} = \frac{E}{2(1+\nu)} \cdot \gamma_{max}$$



本社 〒170-0013 東京都豊島区東池袋3丁目23番14号
TEL. 03-5391-6128(直) FAX. 03-5391-6129

札幌出張所 TEL. 011-251-2753(代) FAX. 011-251-2759
仙台営業所 TEL. 022-211-8051(代) FAX. 022-211-8052
宇都宮営業所 TEL. 028-610-0377(代) FAX. 028-633-2166
東京北営業所 TEL. 048-592-3111(代) FAX. 048-592-3117
東京南営業所 TEL. 045-476-5231(代) FAX. 045-476-5232
静岡営業所 TEL. 054-286-2880(代) FAX. 054-286-2955
名古屋営業所 TEL. 052-726-8760(代) FAX. 052-726-8769
大阪営業所 TEL. 06-7668-3900(代) FAX. 06-7668-3901
広島営業所 TEL. 082-233-0611(代) FAX. 082-233-7058
福岡営業所 TEL. 092-441-6715(代) FAX. 092-411-2815

お客様相談センター 購入前相談窓口 通話料無料

ご購入前の仕様確認や機種選定のご相談は  **0120-342-043**
受付時間：月曜日～金曜日（※祝日、弊社休業日を除く 9:00～12:00/13:00～17:00）

 **安全上のご注意：ご使用の際は、取扱説明書をよくお読みの上、正しくお使いください。**

<https://www.aandd.co.jp/>

Windows、Windows Vista、Excel、Wordは米国およびその他の国における米国Microsoft Corporationの登録商標または商標です。
外観及び仕様は改良の為、お断りなく変更する場合があります。 ●本カタログの内容は2023年10月現在のものです。
※本カタログは事業者向けです。 *STRAINGAUGE-ADJC-05-ZW5-23a002GP