

バイメタル及び サーモスタットについて

富士金属株式会社

〒581-0051 大阪府八尾市竹濑西5丁目4番地

大阪 TEL(06)6709-1825 FAX(06)6704-3402

東京 TEL(03)3567-9791 FAX(03)3564-1097

E-mail : inquire@fuji-bimetal.co.jp

URL : <http://www.fuji-bimetal.co.jp>

バイメタル及びサーモスタットについて

バイメタルについて

- 1 バイメタルとは
- 2 バイメタルの構成金属
- 3 バイメタルの作動原理
- 4 JISでのバイメタルの分類
- 5 富士金属のバイメタルの種類
- 6 バイメタルの計算公式
- 7 バイメタルの使い方
- 8 バイメタルの応力
- 9 バイメタルの熱応力
- 10 バイメタルの熱処理
- 11 バイメタルへの防錆処理
- 12 バイメタルの各種形状
- 13 バイメタルの用途例

サーモスタットについて

- 1 バイメタル式サーモスタットとは
- 2 バイメタル式サーモスタットの特徴
- 3 バイメタル式サーモスタットの分類
- 4 バイメタル式サーモスタットに要求される性能
 - (A) 材料
 - (B) 絶縁性能
 - (C) 耐圧
 - (D) 絶縁距離
 - (E) 動作温度及び耐久試験の規格
- 5 サーモスタットの寿命と因子
- 6 サーモスタットの規格

バイメタル及び サーモスタット

藤本 時男

文化の発達と共に私たちの身近に各種電気製品及び自動車等が多くなり非常に生活様式が便利になりました。これらの製品には自動的に温度が一定になったり必要以上に温度が上昇すると電源を切ったりする機構のものがありますが、これは一定の温度になるとその熱がバイメタルに伝わりバイメタルの動作によりその回路を自動的に切ってしまうサーモスタットがあるためです。そこでこのバイメタル及びサーモスタットの技術的諸問題について概説し参考に供します。

バイメタルについて

1 バイメタルとは

バイメタルとは温度変化に応じて湾曲する金属接合板で、熱膨張係数の異なる二種類あるいはそれ以上の金属または合金を適当な方法により堅固に一体に接着して板状に仕上げたものです。バイメタルは温度が上がりますと、熱膨張係数の大きな方の金属がより多く伸びますから熱膨張係数の小さい金属の側に曲がります。この変位を利用して温度を測定したり、変形による機械的エネルギーを利用して接点を開閉して熱源又は電源を加減し温度のコントロールを行ない、あるいは他の機構を働かして機械や設備を保護することが出来ます。

表1に現在使用されているバイメタルの構成材料を示します。

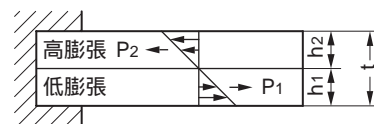
表1 バイメタルの構成材料

低膨張材料	熱膨張係数 $\times 10^{-6}/$	体積抵抗率 $\mu \cdot m$	高膨張材料	熱膨張係数 $\times 10^{-6}/$	体積抵抗率 $\mu \cdot m$
36%Ni-Fe	1.1	0.80	Cu	16.5	0.017
38%Ni-Fe	1.6	0.77	Ni	12.6	0.105
40%Ni-Fe	2.5	0.74	70%Cu-Zn	18	0.07
42%Ni-Fe	3.9	0.70	70%Ni-Cu	14	0.48
44%Ni-Fe	5.6	0.66	20Ni-Mn-Fe	約20	約0.78
46%Ni-Fe	7.0	0.60	Ni-Cr-Fe	約18	約0.85
			20Ni-Mo-Fe	約18	約0.85
			70Mn-Ni-Cu	約30	約1.70

2 バイメタルの構成金属

バイメタルは1858年にWilsonが高膨張合金に黄銅を、低膨張合金に鉄を用いられたものが作られて以来、研究が盛んに行なわれる様になりましたがバイメタルに光明を与えたのは1898年スイス人Guillaumeが発見した低膨張係数を有する合金アンバー(Ni36%-Fe)で有ります。その後1934年Kralが発見した70%Mn-Cu-Ni合金は膨張係数が非常に大きく固有抵抗も極めて大きい特性を持ち、この合金を高膨張合金として用いたバイメタルは、従来のバイメタルの特性を一変しバイメタルの新用途を開拓しました。

3 バイメタルの作動原理



バイメタルに熱を与えると P_1 、 P_2 の応力が生じる $P_1 = P_2 = P$

又高膨張金属には曲げモーメント $M_2 = \frac{h_2}{2} P_2$

低膨張金属には曲げモーメント $M_1 = \frac{h_1}{2} P_1$

$$\text{よって } M_1 + M_2 = \frac{P_1 h_1}{2} + \frac{P_2 h_2}{2} = \frac{P(h_1 + h_2)}{2} = \frac{Pt}{2}$$

($h_1 + h_2 = t$)の関係式が成立し、 T_1 で真直ぐ T_2 で曲率半径 r にワン曲するものとする、

$$\text{弾性曲線の曲がりの公式より } \frac{1}{r} = \frac{M}{EI} \dots (1)$$

$$\text{より } M = \frac{EI}{r} \text{ よって } M_1 = \frac{E_1 I_1}{r} \quad M_2 = \frac{E_2 I_2}{r} \text{ となるのでこの}$$

$$\text{式は } M_1 + M_2 = \frac{Pt}{2} = \frac{(E_1 I_1) + (E_2 I_2)}{r} \text{ 又接着面における単位}$$

伸びが等しいので、

$$\frac{P}{Eh} \dots (2)$$

$$\frac{h}{2r} \dots (3)$$

$$\text{より } \frac{1}{r}(T_2 - T_1) + \frac{P_1}{E_1 h_1} + \frac{h_1}{2r}$$

$$= \frac{1}{2}(T_2 - T_1) - \frac{P_2}{E_2 h_2} - \frac{h_2}{2r} \dots (4)$$

あるいは

$$\frac{1}{r} = \frac{(T_2 - T_1)}{\frac{t}{2} + \frac{2(E_1 I_1 + E_2 I_2)}{t} \left(\frac{1}{E_1 h_1} + \frac{1}{E_2 h_2} \right)} \dots (5)$$

(5) 式の慣性モーメント I を単位巾をとり

$$I_1 = \frac{h_1^3}{12} \quad I_2 = \frac{h_2^3}{12} \text{ とすれば}$$

$$\frac{1}{r} = \frac{6(T_2 - T_1)(h_1 + h_2)h_1 h_2 E_1 E_2}{3(h_1 + h_2)^2 h_1 h_2 E_1 E_2 + (h_1 E_1 + h_2 E_2)(h_1^3 E_1 + h_2^3 E_2)} \dots (6)$$

上式に於て縦弾性係数比 $m = \frac{E_1}{E_2}$ 板厚比 $n = \frac{h_1}{h_2}$ とすれば

$$\frac{1}{r} = \frac{6(T_2 - T_1)mn(n+1)^2}{t(4mn^3 + 4mn^2 + 6mn + m^2 n^4 + 1)} \dots (7)$$

(7) 式を分子分母 mn で除ると

$$\frac{1}{r} = \frac{6(T_2 - T_1)(1+n)^2}{t \left\{ 3(1+n)^2 + (1+mn)(n^2 + \frac{1}{mn}) \right\}} \dots (8)$$

$$\text{それで } \frac{6(T_2 - T_1)(1+n)^2}{3(1+n)^2 + (1+mn)(n^2 + \frac{1}{mn})} = 2K \text{ と定めた}$$

表2 電気用バイメタル板の種類と特性

記号	わん曲係数 K^{-1}	わん曲係数の許容差 %	比例温度範囲	体積抵抗率 (20) $\mu \cdot m$	体積抵抗率の許容差 %	弾性係数注1 MPa	ねじり	繰返し曲げ	曲げ	参考値	
										許容温度範囲	密度 kg/m ³
TM1	14.0~20.5 × 10 ⁻⁶	±5	-20~150	1.00~1.40	±5	110 000~145 000	曲げ回数3回以上であることを生じないこと。	さげきず、割れなどを生じないこと。		-70~200	7 500~7 900
TM2	13.8~16.0 × 10 ⁻⁶			0.75~0.82		145 000~180 000				-70~350	8 000~8 400
TM3	9.0~11.0 × 10 ⁻⁶		-20~180	0.16~0.18	150 000~185 000	-70~400				8 100~8 500	
TM4	10.0~12.0 × 10 ⁻⁶		+20~350	0.66~0.72		-70~500				8 000~8 400	
TM5A	13.0~16.0 × 10 ⁻⁶		-20~150	0.05~0.15	±10	120 000~175 000				-70~200	8 100~8 500
TM5B				0.20~0.60	±5	150 000~190 000				-70~350	
TM6	12.0~14.5 × 10 ⁻⁶										

注 1. 弾性係数の数値は、許容差も含めたものの範囲である。
備考 1. 許容温度範囲とは、その温度範囲に放置した場合、特性が変化しない温度範囲。
2. 比例温度範囲とは、許容温度範囲内において変位量曲線(温度と変位量との関係曲線)がほぼ直線となる温度範囲。

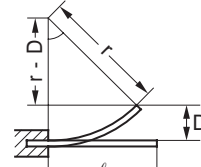
$$\text{故に } K = \frac{3(2-n)}{3 + \frac{(1+mn)(1+n^3m)}{mn(1+n)^2}} \dots (9)$$

ここで $m=1$ $n=1$ とすると $K = \frac{3}{4}(2-n)$ となる

$$\text{よって(8)式は、 } \frac{1}{r} = 2K \frac{(T_2 - T_1)}{t} \dots (10)$$

で示される。又(9)式は曲率半径 r が最大値を持つようにすると(9)式を n について微分すれば $m^2 n^2 = 1$ で最大となり

$K_{max} = \frac{3}{4}(2-n)$ となる。それでJIS法は片持梁なので



$$\cos \theta = \frac{r - D}{r}$$

$$D = r - r \cos \theta = r(1 - \cos \theta)$$

$$= r(1 - \cos \frac{l}{r})$$

$$\cos \frac{l}{r} = 1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{l^2}{r^2} + \frac{1}{24} \cdot \frac{l^4}{r^4} - \frac{1}{720} \cdot \frac{l^6}{r^6} + \dots$$

$$\cos \theta = 1 - \frac{l^2}{2r^2} + \frac{l^4}{24r^4} - \frac{l^6}{720r^6} + \dots (l^2 < r^2)$$

第1近似までとると $\cos \frac{l}{r} = 1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{l^2}{r^2}$

$$D = r \left\{ 1 - \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{l^2}{r^2} \right) \right\} = r \left(1 - 1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{l^2}{r^2} \right)$$

$$= r \left(\frac{l^2}{2r^2} \right) = \frac{l^2}{2r} \quad D = \frac{l^2}{2r} \dots (11)$$

$$(11) \text{ 式を(10)式に代入して } K = \frac{Dt}{(T_2 - T_1)l^2} \left(\begin{array}{l} \text{平板形の} \\ \text{ワン曲公式} \end{array} \right)$$

バイメタル板が一様に加熱され自由運動される場合には上述のようなワン曲が起こりますが、加熱してしかも自由運動を抑えようとするれば、そこに力が発生してバイメタル板は温度変化を「ワン曲」と「力」に変換します。この動作は構成材料の弾性範囲及び許容範囲内で安定した再現性を示します。

4 JISでのバイメタルの分類

現在市販されているバイメタルの種類は現行JISC2530「電気用バイメタル板」に記載されている分類で販売されており表2に示します。

5 富士金属のバイメタルの種類

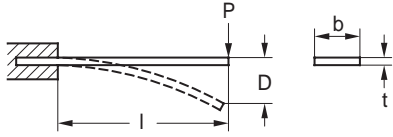
表3 富士金属のバイメタル特性

種類	比例温度 範囲	ワン曲係数 (比例温度範囲) K ⁻¹	許容温度		体積抵抗率 (20) μ・m	弾性係数 MPa (kg/mm ²)	巻形の変位 係数(C) 1/	力 係 数		熱処理 1.5Hr×2回	参 考 値		JIS 相当記号
			最低	最高				平板形(f) kg/mm ²	巻形(m) kg/mm ²		比熱 cal/g	密度 kg/m ³	
L	-20~150	14.0×10 ⁻⁶	-70	160	0.12	127 000 (13 000)	16.1×10 ⁻⁴	3 250	18.9	180	0.12	8 300	-
M ₄	-20~150	13.7×10 ⁻⁶	-70	350	0.80	167 000 (17 000)	15.7×10 ⁻⁴	4 250	24.7	300~350	0.12	8 000	TM2
M ₂	-20~150	14.6×10 ⁻⁶	-70	350	0.80	167 000 (17 000)	16.7×10 ⁻⁴	4 250	24.7	300~350	0.12	8 100	TM2
H	-20~350	11.8×10 ⁻⁶	-70	500	0.71	167 000 (17 000)	13.5×10 ⁻⁴	4 250	24.7	300~450	0.12	8 200	TM4
H ₃	-20~350	11.0×10 ⁻⁶	-70	500	0.72	172 000 (17 500)	12.6×10 ⁻⁴	4 375	25.4	300~450	0.12	8 200	TM4
S	-20~180	9.6×10 ⁻⁶	-70	400	0.15	169 000 (17 200)	11.0×10 ⁻⁴	4 300	25.0	300~350	0.12	8 500	TM3
No.3005	-20~150	13.5×10 ⁻⁶	-70	160	0.05	157 000 (16 000)	15.5×10 ⁻⁴	4 000	23.3	160~200	0.12	8 400	TM5A
No.3007	-20~150	13.7×10 ⁻⁶	-70	160	0.07	157 000 (16 000)	15.7×10 ⁻⁴	4 000	23.3	160~200	0.12	8 300	TM5A
No.3009	-20~150	14.1×10 ⁻⁶	-70	160	0.095	157 000 (16 000)	16.2×10 ⁻⁴	4 000	23.3	160~200	0.12	8 300	TM5A
No.3012	-20~150	14.1×10 ⁻⁶	-70	160	0.12	157 000 (16 000)	16.2×10 ⁻⁴	4 000	23.3	160~200	0.12	8 200	TM5A
No.3020	-20~150	14.6×10 ⁻⁶	-70	160	0.20	157 000 (16 000)	16.7×10 ⁻⁴	4 000	23.3	160~200	0.12	8 200	TM5A
No.3100	-20~150	13.0×10 ⁻⁶	-70	350	0.30	162 000 (16 500)	14.9×10 ⁻⁴	4 125	24.0	300~350	0.12	8 300	TM6
No.3200	-20~150	14.0×10 ⁻⁶	-70	350	0.50	162 000 (16 500)	16.1×10 ⁻⁴	4 125	24.0	300~350	0.12	8 200	TM6
No.5000-2	-20~150	19.6×10 ⁻⁶	-70	200	1.10	132 000 (13 500)	22.5×10 ⁻⁴	3 375	19.6	200	0.12	7 700	TM1
No.6000	-20~150	13.9×10 ⁻⁶	-70	200	1.40	132 000 (13 500)	15.9×10 ⁻⁴	3 375	19.6	200	0.12	7 500	TM1
No.5008	-20~150	19.2×10 ⁻⁶	-70	160	0.08	127 000 (13 000)	22.0×10 ⁻⁴	3 250	18.9	160	0.12	8 200	-
No.5015	-20~150	19.8×10 ⁻⁶	-70	160	0.15	127 000 (13 000)	22.7×10 ⁻⁴	3 250	18.9	160	0.12	8 100	-
No.5020	-20~150	19.8×10 ⁻⁶	-70	160	0.21	127 000 (13 000)	22.7×10 ⁻⁴	3 250	18.9	160	0.12	8 100	-

6 バイメタルの計算公式

D = 変位量 (mm)	l = 有効長 (mm)	K = 平板形のワン曲係数 1/	r = 回転腕長 (mm)
A = 変角 (度)	b = 幅 (mm)	C = 巻形の偏位係数 1/	S = 内応力 (kg/mm ²)
P = 荷重 (kg)	t = 厚さ (mm)	E = 弾性係数 (kg/mm ²)	Z = 渦巻形においては外周半径 (mm)
T ₂ , T ₁ = 温度差 ()		f = 平板形の力係数 (kg/mm ²)	蔓巻形においては半径 (mm)
		m = 巻形の力係数 (kg/mm ²)	

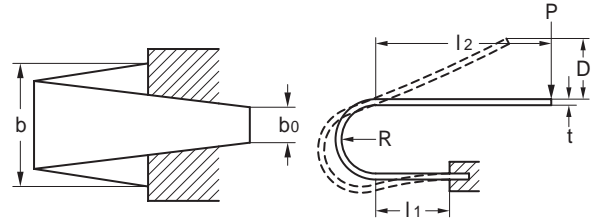
平板形の公式 (一端を固定した場合)



$$D = \frac{K(T_2 - T_1)l^2}{t}$$

$$P = \frac{fDbt^3}{l^3} = \frac{Kf(T_2 - T_1)bt^2}{l}$$

$$S = \frac{6Pl}{bt^2}$$



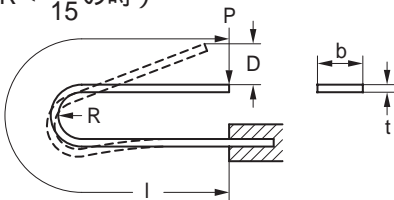
$$D = \frac{K(T_2 - T_1)}{t} (l_2^2 - l_1^2 + 4R^2 + 2l_1l_2 + 2RI)$$

$$P = \frac{fDbt^3}{\left\{ (l_1 - l_2)^3 + 2l_1^3 + 3Rl_2(4R + l_2) + \frac{3}{2} R^3 \right\}}$$

は台形平板バネの係数

U字形の公式 (一端を固定した場合)

(R = 0 又は R < l/15 の時)

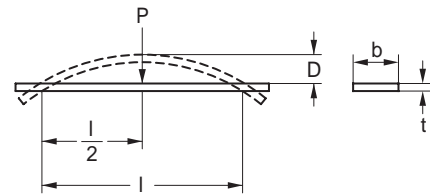


$$D = \frac{K(T_2 - T_1)l^2}{2t}$$

$$P = \frac{4fDbt^3}{l^3} = \frac{2Kf(T_2 - T_1)bt^2}{l}$$

$$S = \frac{3Pl}{bt^2}$$

平板両端支持形の公式

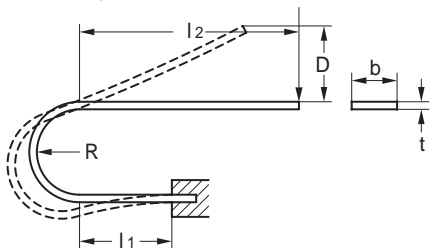


$$D = \frac{K(T_2 - T_1)l^2}{4t}$$

$$P = \frac{16fDbt^3}{l^3} = \frac{4Kf(T_2 - T_1)bt^2}{l}$$

$$S = \frac{3Pl}{2bt^2}$$

(R が大きい時)



$$D = \frac{K(T_2 - T_1)}{t} (l_2^2 - l_1^2 + 4R^2 + 2l_1l_2 + 2RI)$$

$$P = \frac{fDbt^3}{(l_1 - l_2)^3 + 2l_1^3 + 3Rl_2(4R + l_2) + \frac{3}{2} R^3}$$

l₁ = l₂ の時

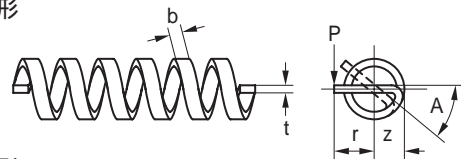
$$D = \frac{2K(T_2 - T_1)}{t} (l_1^2 + RI_1 + 2R^2)$$

$$P = \frac{fDbt^3}{2l_1^3 + 3RI_1(4R + l_1) + \frac{3}{2} R^3}$$

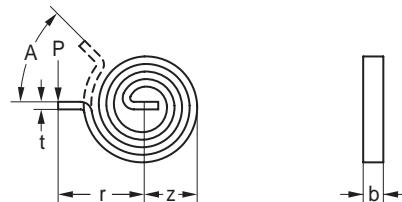
$$S = \frac{6P(l_2 + R)}{bt^2}$$

渦巻形及蔓巻形の公式

蔓巻形



渦巻形

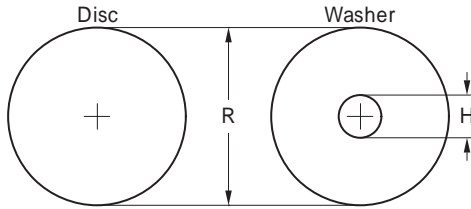


$$A = \frac{c(T_2 - T_1)l}{t}$$

$$P = \frac{mAbt^3}{lr} = \frac{cm(T_2 - T_1)bt^2}{r}$$

$$S = \frac{6P(r + z)}{bt^2}$$

円板形及ワッシャー形の公式



Disc

$$D = \frac{KR^2(T_2 - T_1)}{4t}$$

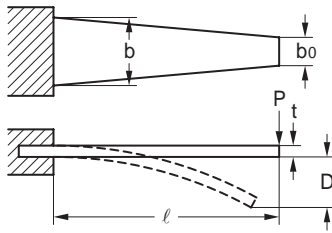
$$P = \frac{4EDt^3}{R^2} = KE(T_2 - T_1)t^2$$

Washer

$$D = \frac{K(R^2 - H^2)(T_2 - T_1)}{4t}$$

$$P = \frac{4EDt^3}{R^2 - H^2} = KE(T_2 - T_1)t^2$$

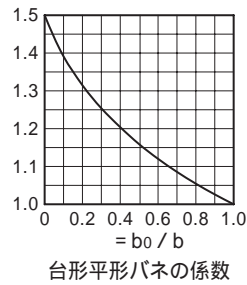
平板台形の公式
 (一端を固定した場合)



$$D = \frac{K(T_2 - T_1)\ell^2}{t}$$

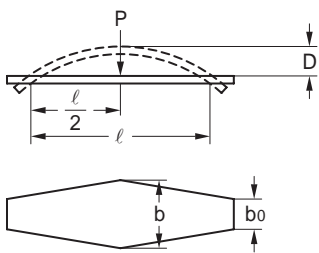
$$P = \frac{fDbt^3}{\ell^3}$$

$$S = \frac{6P\ell}{bt^2}$$



$$= \frac{3}{1 - \left\{ \frac{1}{2} - \frac{1}{(1 - \dots)^2} (\log e + 1 - \dots) \right\}}$$

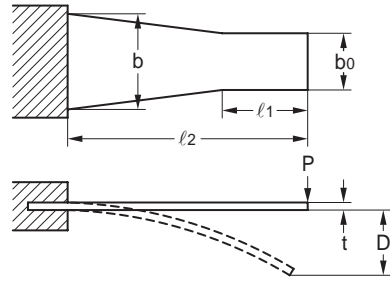
(両端支持の場合)



$$D = \frac{K(T_2 - T_1)\ell^2}{4t}$$

$$P = \frac{16fDbt^3}{\ell^3}$$

巾の異なる平板形の公式

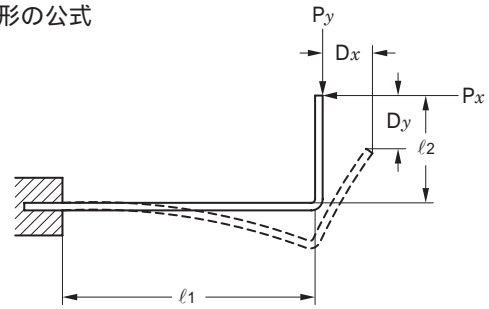


$$D = \frac{K(T_2 - T_1)\ell_2^2}{t}$$

$$\frac{1}{P} = \frac{12}{DEbt^3} \left\{ \frac{\ell_1^3 b}{3b_0} + \frac{1}{3}(\ell_2^3 - \ell_1^3) \right\}$$

は台形平板バネの係数

L字形の公式



$$L = \ell_1 + \ell_2$$

$$D_x = \frac{K(T_2 - T_1)}{t} (L^2 - \ell_1^2)$$

$$D_y = \frac{K(T_2 - T_1)}{t} \ell_1^2$$

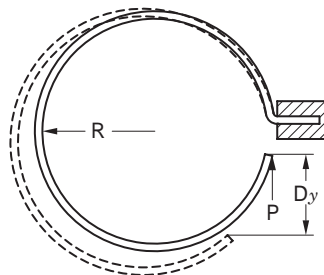
$$P_x = \frac{fD_x b t^3}{\ell_2^2 (3\ell_1 + \ell_2)} = fK(T_2 - T_1) b t^2 \cdot \frac{2\ell_1 + \ell_2}{3\ell_1 \ell_2 + \ell_2^2}$$

$$P_y = \frac{fD_y b t^3}{\ell_1^3} = \frac{fK(T_2 - T_1) b t^2}{\ell_1}$$

$$S_x = \frac{6P_x \ell_2}{b t^2}$$

$$S_y = \frac{6P_y \ell_1}{b t^2}$$

円形の公式

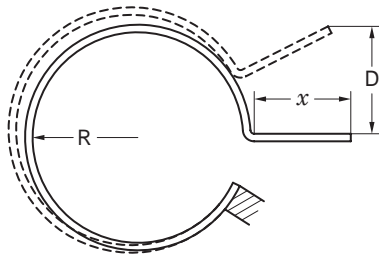


$$D_y = 4 \frac{K(T_2 - T_1)}{t} R^2$$

$$P = \frac{fDbt^3}{9 R^3}$$

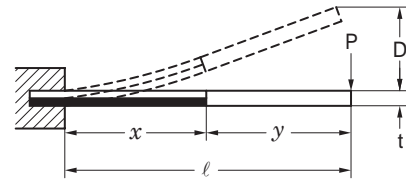
$$S = \frac{12PR}{b t^2}$$

円形 + x の公式



$$D = \frac{K(T_2 - T_1)}{t} (x^2 + 4R^2)$$

平板形Reversedの公式

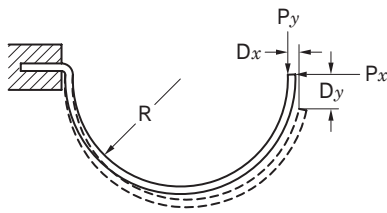


$$D = \frac{K(T_2 - T_1)(x^2 + 2xy)}{t}$$

高膨張側
低膨張側

$$P = \frac{fDbt^3}{\ell^3} \left\{ \left(\frac{y}{\ell} \right)^3 (f - 4E_y) + 4E_y \right\}$$

半円の公式



$$D_x = \frac{4K(T_2 - T_1)}{t} R^2$$

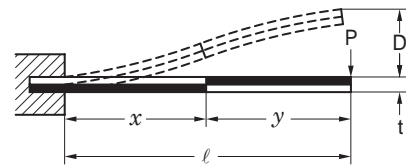
$$D_y = 2 \frac{K(T_2 - T_1)}{t} R^2$$

$$P_x = \frac{2fD_x bt^3}{3 R^3}$$

$$P_y = \frac{2fD_y bt^3}{9 R^3}$$

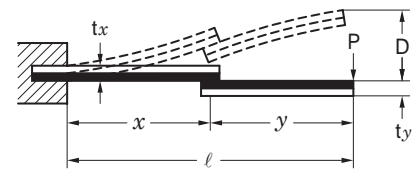
$$S_x = \frac{6PR}{bt^2}$$

$$S_y = \frac{12PR}{bt^2}$$



$$D = \frac{K(T_2 - T_1)(y^2 - x^2 - 2xy)}{t}$$

$$P = \frac{fDbt^3}{\ell^3}$$



$$D = (T_2 - T_1) \left\{ \frac{K_y t_x y^2 - K_x t_y (x^2 + 2xy)}{t_x t_y} \right\}$$

$$P = Db \left\{ \frac{f_x f_y t_x^3 t_y^3}{y^3 f_x t_x^3 + (\ell^3 - y^3)(f_y t_y^3)} \right\}$$

1/4円の公式

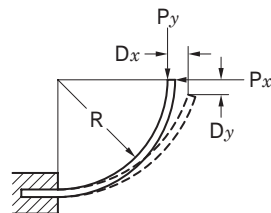
$$D_x = \frac{2K(T_2 - T_1)}{t} R^2$$

$$D_y = (-2) \frac{K(T_2 - T_1)}{t} R^2$$

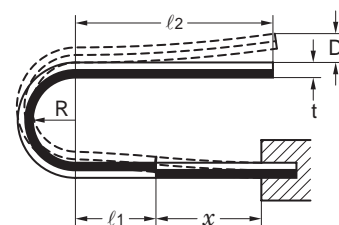
$$P_x = \frac{2fD_x bt^3}{3R^3}$$

$$P_y = \frac{4fD_y bt^3}{3(3 - 8)R^3}$$

$$S = \frac{6PR}{bt^2}$$

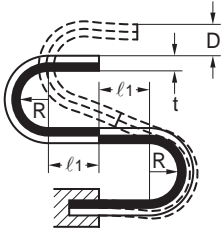


U字形Reversedの公式

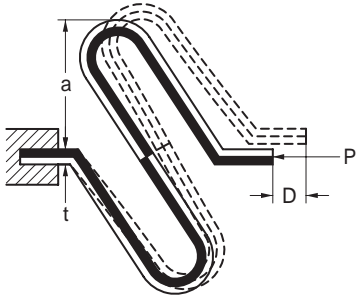


$$D = \frac{K(T_2 - T_1)}{t} (x^2 + \ell_2^2 - \ell_1^2 + 2\ell_1 \ell_2 + 2x\ell_1 - 2x\ell_2 + 4R^2 + 2R\ell_2)$$

7 バイメタルの使い方



$$D = \frac{4K(T_2 - T_1)}{t} (\ell_1^2 + R\ell_1 + 2R^2)$$



$$D = \frac{K(T_2 - T_1)\ell^2}{4.5t}$$

$$P = \frac{fDbt^3}{6.2a^3}$$

2重つる巻形の公式



$$d = \frac{D_1 + D_2}{2}$$

$$D = \frac{0.87K(T_2 - T_1)d\ell}{t}$$

$$P = \frac{1.12fDbt^3}{0.87d^2\ell}$$

バイメタルが作動するには熱が必要であり、熱を感じてはじめてワン曲をしたり、力の発生が起こります。バイメタルにおける熱を感じる方法としては熱源より間接的に熱を伝達させて熱を与える傍熱形と、バイメタルに電流を通してバイメタル自身の発熱により直接熱を感じる直熱形があります。傍熱形とはアイロンのように単に周囲の温度変化によってバイメタルを作動させる方法で、直熱形とは配線用遮断器(ノーヒューズブレーカー)のように直接バイメタルに電流を通じバイメタル自身の固有抵抗で自己発熱してバイメタルが作動するものです。この直熱形の場合バイメタルの温度上昇は次式で予め算出出来ますが若干の熱損失を含める必要があります。

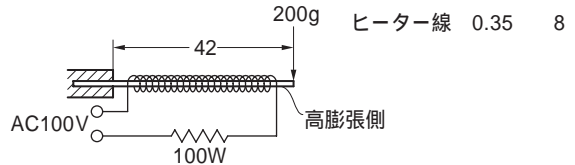
$$T = \frac{I^2 R t}{4.18 M S}$$

T : 温度上昇
I : 電 流 A
R : 抵 抗
t : 時 間 sec
M : 質 量 g
S : 比 熱 cal/g

バイメタルを加熱した場合のワン曲量の計算は前記「6 バイメタルの計算公式」より算出出来ますがヒーター線をバイメタルに巻いた傍熱形や直接電流を通す直熱形は計算では困難な所があるので参考の実施例を記載します

A .ヒーター巻線傍熱型

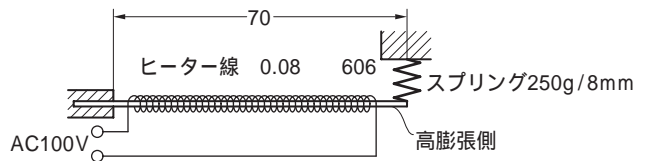
(1) No5000-2-0.6 × 10 × 42 (実報C-101)



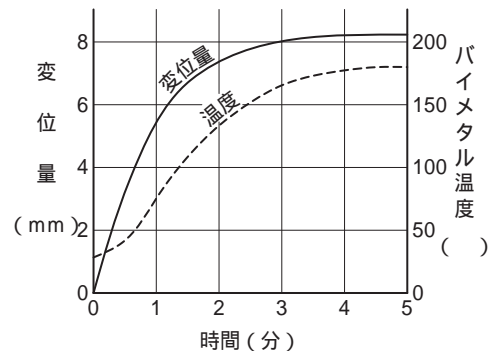
特性 20秒で3mm変位

(2) M4-0.6 × 16.6 × 70 (実報C-140)

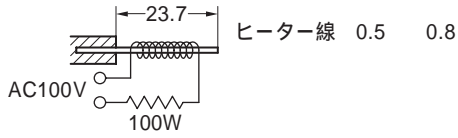
コーヒメーカー用



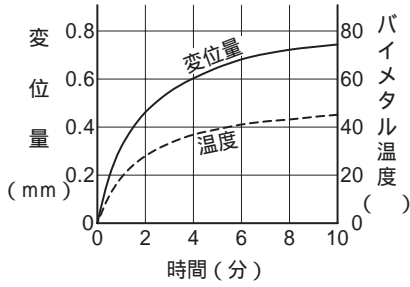
特性



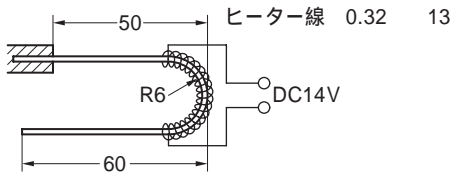
(3) M4-0.6×4.5×23.7 サーキットブレーカー用



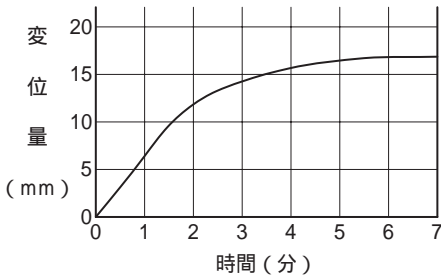
特性



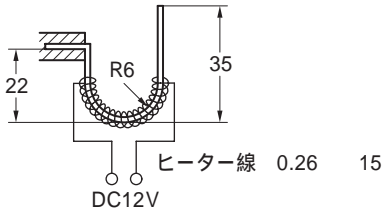
(4) M4-10×15×105 オートチョーク用



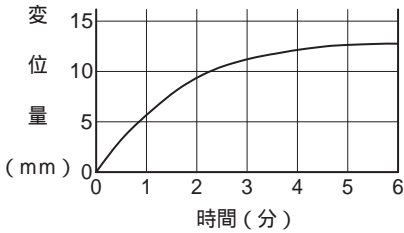
特性



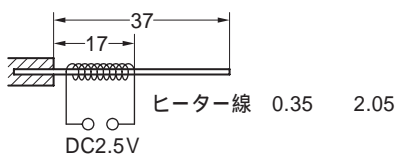
(5) No5000-2-0.75×17.5×52 オートチョーク用



特性



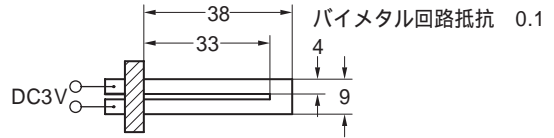
(6) No5000-2-0.25×6×37 (実報C-107) 石油ストーブ用



特性 1秒で0.5~1mm変位

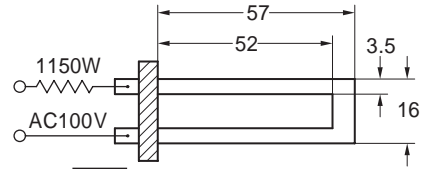
B 直熱形

(1) No5000-2-0.3×4×75 (実報C-107) 石油ストーブ用

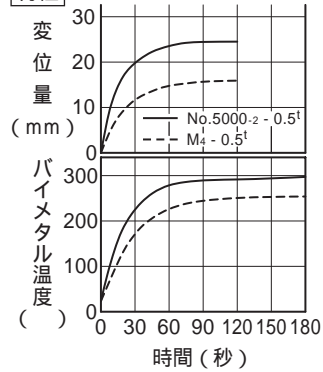


特性 1秒で0.5~1mm変位

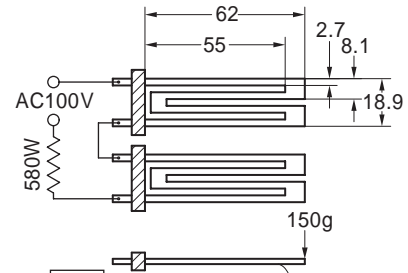
(2) No5000-2-0.5×3.5×120 (実報C-110) M4-0.5×3.5×120 食器洗い機用



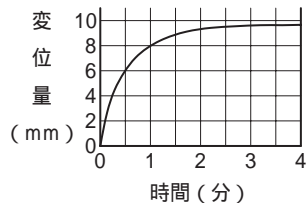
特性



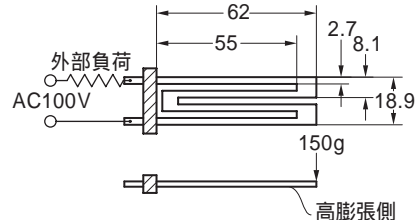
(3) No5000-2-0.6×2.7×239+No5000-2-0.6×2.7×239 (実報C-131) コーヒメーカー用



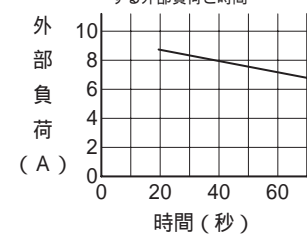
特性



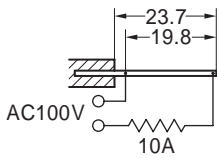
(4) No5000-2-0.6×2.7×239 (実報C-133)



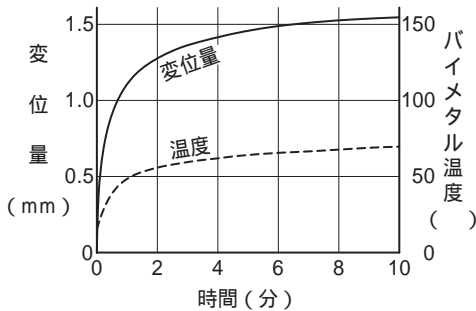
特性



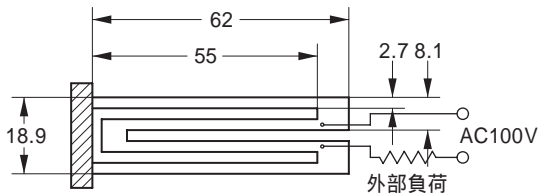
(5) No5000-2-0.6×4.5×23.7 サーキットブレーカー用



特性



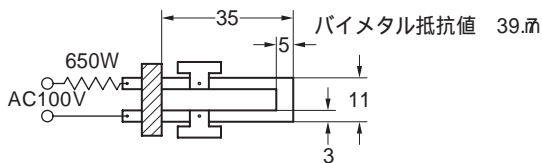
(6) No5000-2-0.4 ~ 0.6×2.7×112



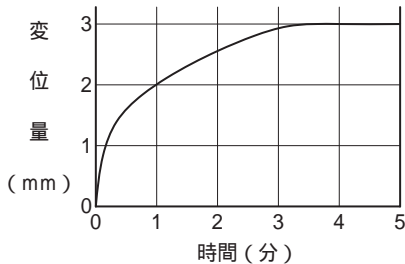
特性

バイメタル板厚	バイメタル抵抗	通電開始30秒後の変位量	
		外部負荷400W	外部負荷600W
0.4mm	0.108	8.2mm	17.1mm
0.5	0.089	3.6	8.4
0.6	0.070	3.0	5.3

(7) No5000-2-0.6×3×75 トースター用



特性



8 バイメタルの応力

バイメタルは使用中に荷重が掛かると曲げが拘束され、内部応力が発生します。バイメタルの降伏は表面から始まるので誘起される内部応力が常にその許容応力以下になるようにしなければなりません。バイメタルの許容応力を表4に示します。

表4 バイメタルの温度による許容応力

種類(JIS)	温度	2	100	200	300	400	500
TM2、TM3 TM4、TM6	2	19.5	16.5	12	7.5		2.5
TM1	17	14	10				

9 バイメタルの熱応力

もとの長さ l 、最初の温度 T_1 、最後の温度 T_2 の時の長さ l' は

$$l' = l + (T_2 - T_1)l$$

$$l' = l\{1 + (T_2 - T_1)\}$$

$$= l (T_2 - T_1)$$

: 線膨張係数
: 材料の伸び

温度を上昇させて自由な伸びを与えると上記のような事になるがこの伸びを止めると圧縮応力が生じる。これの応力とひずみの関係は

$$\text{変形} = l' - l$$

$$= l (T_2 - T_1)$$

単位ひずみ

$$e = \frac{l' - l}{l} = \frac{l (T_2 - T_1)}{l + l (T_2 - T_1)}$$

$$= \frac{l (T_2 - T_1)}{l\{1 + (T_2 - T_1)\}}$$

分母の $(T_2 - T_1)$ は 1 に比べて極めて小となるので

$$e = \frac{l (T_2 - T_1)}{l} = (T_2 - T_1)$$

E : 縦弾性係数
: 応力

$$E = \frac{\text{力}}{e} = \frac{\text{力}}{(T_2 - T_1)}$$

$$= E (T_2 - T_1)$$

上記は単板の場合でこれを2枚張り合わすと

1 2 : 線膨張係数
 E_1 E : 縦弾性係数
 A_1 A : 断面積
1 2 : 応力

$$1 = \frac{E_1 E_2}{E_1 A_1 + E_2 A_2} (2 - 1)(T_2 - T_1) A_2 \quad (\text{引張})$$

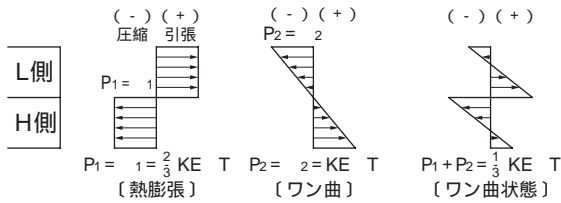
$$2 = \frac{E_1 E_2}{E_1 A_1 + E_2 A_2} (2 - 1)(T_2 - T_1) A_1 \quad (\text{圧縮})$$

今 $E_1 = E_2 = E$ $A_1 = A_2 = A$ $1 = 2 =$ とすると

$$= \frac{E^2}{EA + EA} (2 - 1)(T_2 - T_1) A$$

$$= \frac{E_2 (2 - 1)(T_2 - T_1) A}{2EA} = \frac{(2 - 1)(T_2 - T_1) E}{2}$$

<曲げ自由の時>



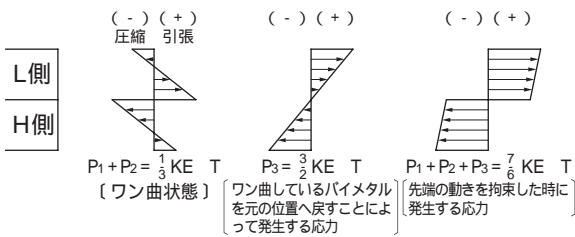
上記値 $P_1 = \frac{(2 - 1)(T_2 - T_1)E}{2} = \frac{2}{3} KE T = P_1$ が温度を与えた時に生じる応力である。更に温度を上昇させたときに最高の曲率半径を示すのは $\frac{3}{4}(2 - 1)$ であるので

$$P_2 = \frac{3(2 - 1)(T_2 - T_1)E}{4} = KE T = P_2$$

となる。そこで実際にバイメタルが曲がって生じる応力は $P_1 + P_2$ の合成が生じるので

$$P_1 + P_2 = - \frac{(2 - 1)(T_2 - T_1)E}{2} + \frac{3(2 - 1)(T_2 - T_1)E}{4} = \frac{(2 - 1)(T_2 - T_1)E}{4} = \frac{1}{3} KE T$$

<曲げ拘束の時>



$$P_1 = \frac{2}{3} KE T$$

$$P_2 = KE T$$

$$P_1 + P_2 = - \frac{2}{3} KE T + KE T$$

$$= \frac{1}{3} KE T = E \times \frac{1}{3} \times \frac{3}{4} (2 - 1) T = \frac{1}{4} (2 - 1) TE$$

外力がかかるまでは曲げ自由の時の応力すなわち

$$P_1 + P_2 = \frac{E(2 - 1)T}{4}$$

外力に於ての応力は単板の時は

$E(2 - 1)T$ なので2枚の時は

$$P_3 = \frac{6Pl}{bt^2} = \frac{6 \frac{K}{4} Tbt^2}{bt^2} = \frac{3Ebt^2(2 - 1)T}{16l} = \frac{9}{8} E(2 - 1)T = \frac{3}{2} KE T$$

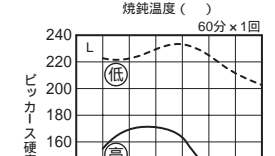
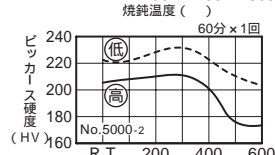
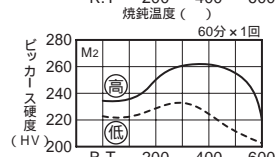
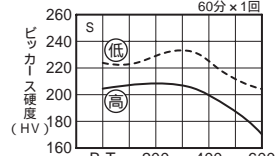
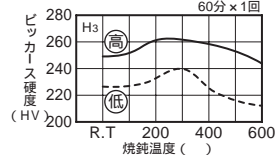
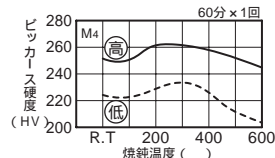
$$P_1 + P_2 + P_3 = - \frac{1}{4} E(2 - 1)T + \frac{9}{8} E(2 - 1)T = \frac{7}{8} E(2 - 1)T = \frac{7}{6} KE T$$

10 バイメタルの熱処理

一般にバイメタルを長期間使用した場合に起こる永久変形を経年変化と呼んでいる。従ってバイメタルは成形加工を行った後では必ず熱処理を施してこの内部応力の除去又は均一化しておくなくてはなりません。

一般にバイメタルの熱処理は材質によって若干異なりますが、その温度と時間と回数はJIS記号TM1種200~260、それ以外は300以上使用温度より約50高い温度で1時間~1.5時間を3回~2回行ないます。TM1種は260以上、それ以外は450以上で熱処理するとバイメタルは軟化して反発力を失ない弾性限界も低下致します。

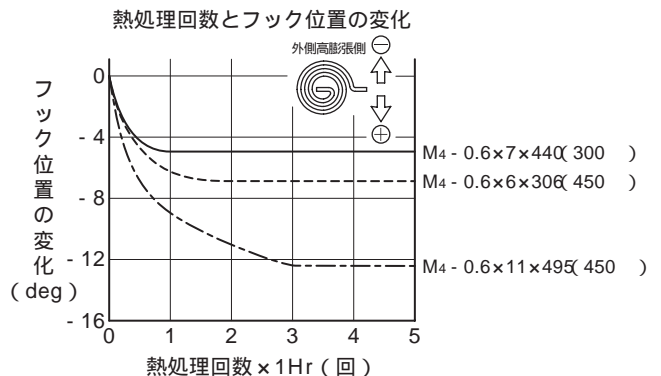
又熱処理の雰囲気は大気焼鈍炉や真空焼鈍炉あるいはその他還元性又は不活性焼鈍炉で行ないますが一番安価で手軽に行なえるのが電気抵抗式の大気焼鈍です。



バイメタルに熱処理を行なう事により硬度等も若干変化をし全般に300位で比較的硬度が上昇するが500以上では軟化が始まる。

熱処理回数については過去の経験より基本的には単純形状の薄い物は少なくても良いが複雑形状で厚い物は回数を増した方が好結果が得られ一般的には1時間2~3回熱処理を行なう。

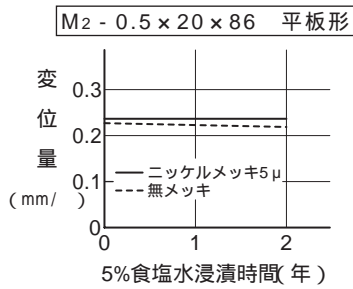
参考に、バイメタルに熱処理を行なう事により加工ひずみ等の除去程度を見るために渦巻形バイメタルの熱処理によるフック位置の変化を調べた一例を示す。



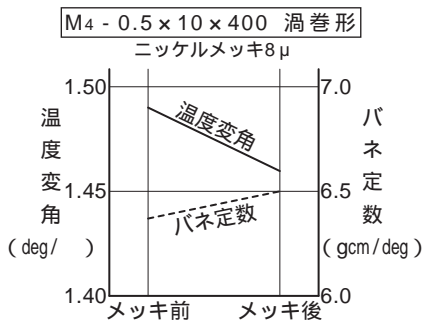
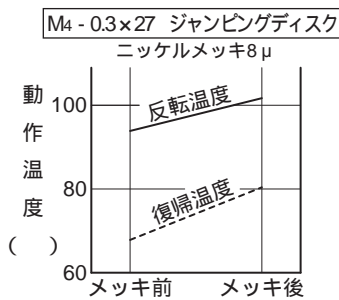
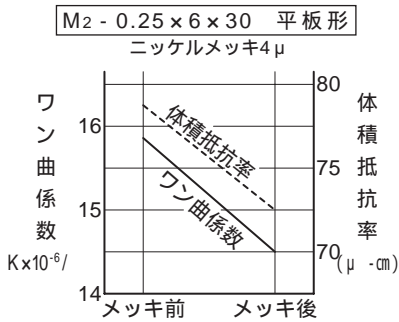
11 バイメタルへの防錆処理

バイメタルは比較的錆びにくい材料で構成されていますが全く発錆しないわけではありません。その為に梅雨期等の保存には塗油又は防湿紙で包み十分な注意をする必要があります。防錆油としては色々ありますが市販されているもので「ラストペト266」「CRC226」等がよく使用されています。参考にバイメタルに防錆処理を行わずに錆が発生した場合の影響と防錆目的のためにメッキ等を行った場合にどの程度性能に影響があるか調査した実例を示します。この実例ではバイメタルに錆がかなり発生してもワン曲量の低下は余り見られなかった。むしろ板厚が0.6未満の薄板バイメタルにメッキ処理をした場合のワン曲量の変化に注意する必要があります。板厚が0.6mm以上ではメッキによるワン曲特性の影響は少ないものと思われる。

〔バイメタルの錆と性能〕

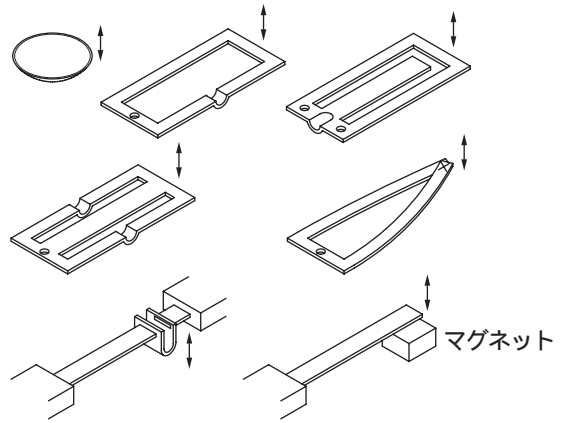


〔バイメタルへメッキした場合の性能〕

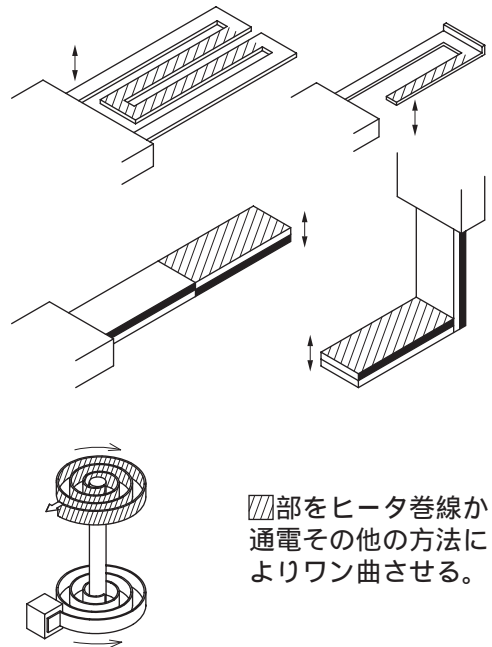


12 バイメタルの各種形状

A バイメタルがスナップ動作する形状



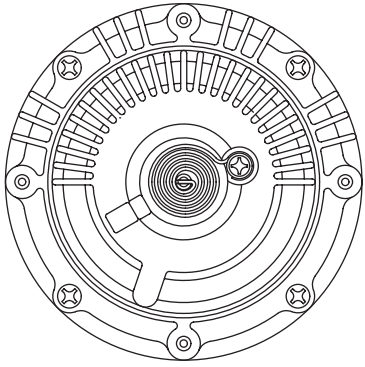
B 室温補正の形状



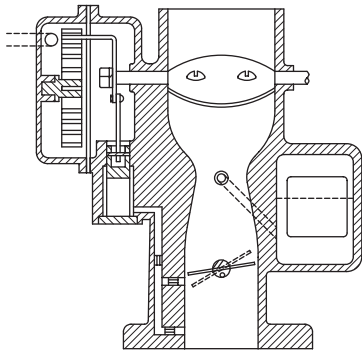
▨部をヒータ巻線か通電その他の方法によりワン曲させる。

13 バイメタルの用途例

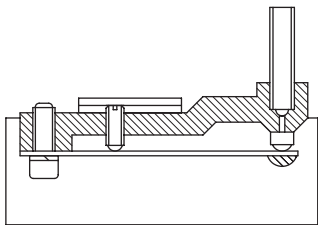
自動車用



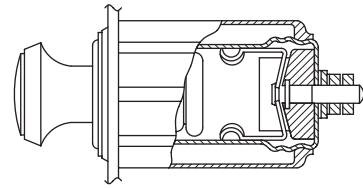
ファンカップリング



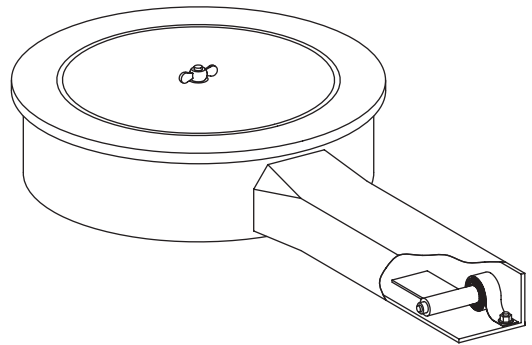
オートチョーク



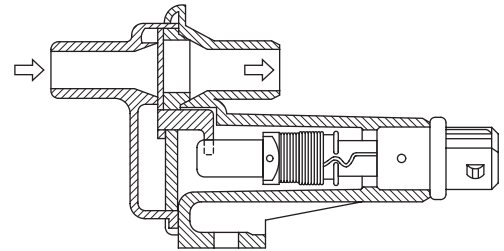
アイドルコンペンセーター



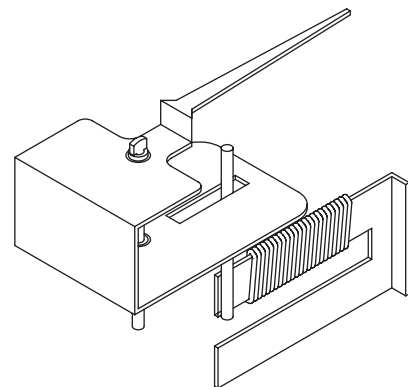
シガーライター



エアークリーナー

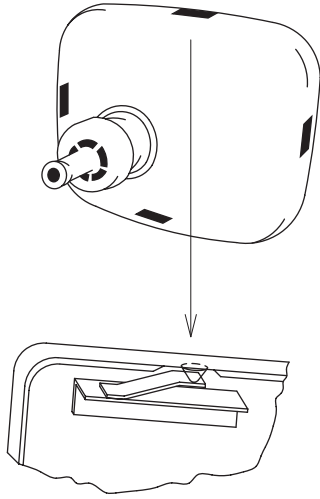


エアレギュレーター

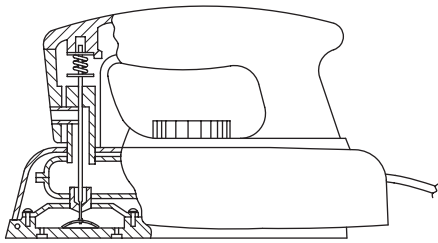


フュエルゲート

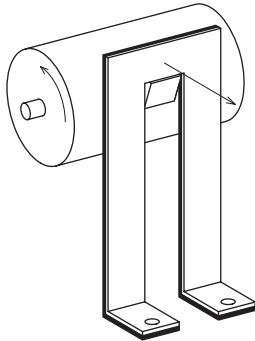
家庭用



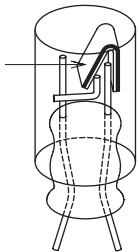
カラーテレビ



スチームアイロン

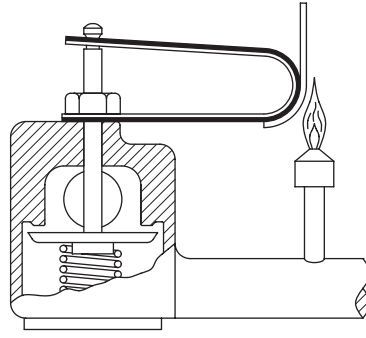


ディッシュウォッシャー

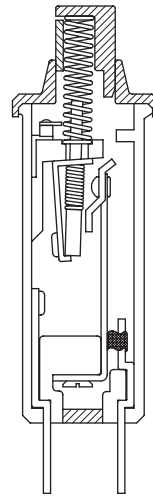


グロースター

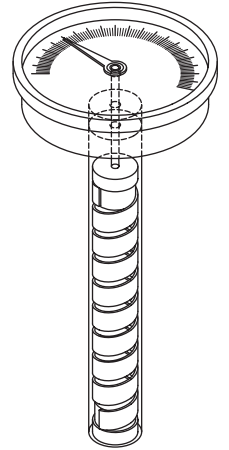
一般工業用



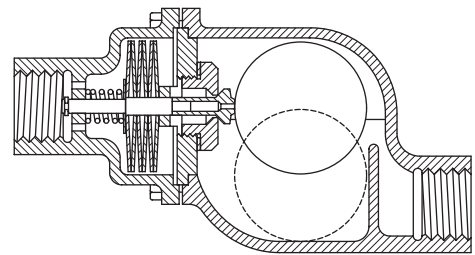
ガスオートストッパー



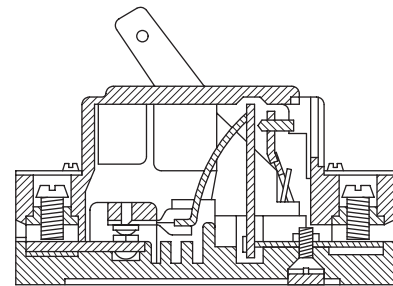
サーキットブレーカー



温度センサー



スチームトラップ



ホームブレーカー

バイメタル式サーモスタットについて

1 バイメタル式サーモスタットとは

感熱体としてバイメタルを用い、電熱装置より発生する熱によりバイメタルが変位することを利用し、予め設定した温度になったとき、自動的に接点が開路、または閉路するものの総称である。

2 バイメタル式サーモスタットの特徴

バイメタル式サーモスタットは最近の目覚ましい技術開発のもとで温度ディファレンシャルがスナップタイプでも1 deg以下相当も開発され、数mAから20A位までの電気容量をリレーを介さずに直接制御する事が可能で、動作温度も約-40 ~ 約+300 と広範囲で使用出来る。

3 バイメタル式サーモスタットの分類

(A)用途別

1)自動温度調節器

接点を機械的に開閉することにより、機器を予め設定した温度に制御するもので、通常の使用状態で自動的に開閉を繰り返すもので例えばこたつとかアイロンのサーモスタットがこれに属する。

2)自動スイッチ

温度が予め設定した値に達したとき、自動的に接点を開路又は閉路し、自動的に復帰せず、手動により復帰させるもので、例えば玉ゆで器のスイッチ兼用のサーモスタットがこれに属する。

3)温度過昇防止器

異常な温度上昇により危険を生ずるおそれのある機器に用い、通常の使用状態では動作せず、異常時にのみ動作し、設定温度が固定式のものが多く、例えばヘアードライヤーが異常に高温になった時電流をしゃ断するサーマルプロテクター等である。

(B)運動方法別

1)スロータイプ

バイメタルのスロー動作により接点を開閉するもの。

2)スナップタイプ

バイメタル自身をスナップ運動させるためにバイメタルを成形加工したり(バイメタル反転式)バイメタルのスロー動作を機構的にスナップ運動に変換して接点を開閉するもの(バネ板反転式)。

(C)設定温度別

1)可変式

サーモスタットに温度調節軸がついており、ある温度範囲を一つのサーモスタットで行なうもの。

2)固定式

ある一点の温度のみ動作するもの。

(D)動作別

1)自動復帰式

サーモスタットの接点がOFFからON又はONからOFFへ自動的に動作を繰り返すもの。

2)手動復帰式

サーモスタットが一度動作すると再び外部より操作しないとON又はOFFしないもの。

(E)加熱方式別

1)通電式

バイメタルに電流を通してバイメタル自体が発熱しその熱と雰囲気熱で動作して接点を開閉するもの。

2)非通電式

雰囲気熱でバイメタルが動作して接点を開閉するもの。

(F)回路動作別

1)常時閉路型(ON型)

温度上昇により接点が開くもの。

2)常時開路型(OFF型)

温度上昇により接点が閉じるもの。

(G)構造別

1)露出型

外部より接点部が見えるもの。

2)密封型

外部より接点部が見えないもの。

(H)接点機構

1)単極単投型

2)単極双投型

3)双極単投型

4 バイメタル式サーモスタットに要求される性能

バイメタル式サーモスタットはサーモスタット単体としての国内規格はないが、電気製品にサーモスタットを組み込んだ場合製品として電気用品安全法に規定されている規格に準じて試験を行なわれるのでその必要な特性のみを抜粋して記載する。

(A) 材 料

材料は次の各項に適合しなければならない。

- 1) 器体の材料は、通常の使用状態における温度に耐えること。
- 2) 電気絶縁物及び熱絶縁物は、これに接触又は近接する部分の温度に十分耐え、かつ、吸湿性の少ないものであること。ただし、吸湿性の熱絶縁物であって、通常の使用状態において危険が生ずるおそれのないものにあつては、この限りでない。
- 3) アークが達するおそれのある部分に使用する電気絶縁物は、アークにより有害な変形、有害な絶縁低下等の変質が生じないものであること。
- 4) 鉄および鋼(ステンレス鋼を除く。)は、メッキ、塗装、油焼きその他の適当なさび止めを施してあること。ただし、酸化することにより危険が生ずるおそれのない部分に使用するものにあつては、この限りでない。
- 5) 導電材料は刃及び刃受けの部分にあつては、銅又は銅合金であること。これ以外の部分にあつては、銅、銅合金、ステンレス鋼又は耐食性試験を行ったとき、これに適合するメッキを施した鉄若しくは鋼(ステンレス鋼を除く。)若しくはこれらと同等以上の電氣的、熱的及び機械的な安定性を有するものであること。但し危険が生ずるおそれのないものにあつては、鉄及び鋼にメッキを施さなくてもよい。
- 6) 電源電線用端子ねじの材料は、銅、銅合金、ステンレス鋼又は耐食性試験を行ったとき、これに適合するメッキを施した鉄若しくは鋼(ステンレス鋼を除く。)であること。

(B) 絶縁性能

500ボルト絶縁抵抗計により測定した各部の絶縁抵抗は表5に掲げる値以上であること。この場合において、人に触れるおそれのある非金属材料にあつては金属はくをすき間なくあて、固定して取り付けるものにあつては通常の使用状態で試験用金属板に取り付けて測定しなければならない。

表5 絶縁性能

測定箇所	絶縁抵抗
極性が異なる充電部間。 開路の状態における極性が同じである充電部間。 充電部とアースするおそれのある非充電金属部または人が触れるおそれのある非金属材料との間。 充電部と試験用金属板との間。 主回路と操作回路との間。	5 M

(C) 耐圧

電気容量が0.5kVAの試験用電圧器にて表6に掲げる50Hz又は60Hzの正弦波に近い電圧を、充電部と非充電金属部との間に連続して1分間加えたとき絶縁破壊のないこと。

表6 耐圧

定格電圧 (V)	試験電圧 (V)
150以下	1000
150をこえ250以下	1500

(D) 絶縁距離

表7 絶縁距離

項 目	極性が異なる充電部間 (開閉機構を有するものの電線取付け端子部を含む。)		充電部とアースするおそれのある非充電金属部又は人が触れるおそれのある非金属材料の表面との間	
	固定している部分であつて、じんあいが侵入し難く、かつ、金属粉が付着し難い箇所	その他の箇所	固定している部分であつて、じんあいが侵入し難く、かつ、金属粉が付着し難い箇所	その他の箇所
50以下のもの	1.2	1.2	1.2	1.2
50を超え150以下のもの	1.5	2.5	1.5	2
150を超え300以下のもの	2	3	2	2.5

(E) 動作温度及び耐久試験の規格

表8 動作温度及び耐久試験の規格

種 別	許 容 範 囲	耐久回数	
開 閉 試 験 前	自動温度調節器	開路した時の温度の平均値と閉路した時の温度の平均値との平均値が、その設定温度に対し設定温度が100未満のものにあつては±5%以内、100以上200以下のものにあつては±5%以内、200を超えるものにあつては±10%以内	
	自動復帰形温度過昇装置	開路した時の温度の平均値が設定温度に対して±15%以内	
	自動スイッチ	温度過昇防止用 開路した時の温度の平均値が設定温度に対して±15%以内 その他のもの 開路した時の温度の平均値が設定温度に対して±10%以内	
開 閉 試 験 後	自動温度調節器	開路した時の温度の平均値と閉路した時の温度の平均値との平均値が、開閉試験前に測定したその値に対して設定温度が100未満のものにあつては±5%以内、100以上のものにあつては±5%以内	5000回
	自動復帰形温度過昇装置	開路した時の温度の平均値が開閉試験前に測定したその値に対して設定温度が100未満のものにあつては±5%以内、100以上のものにあつては±5%以内	5000回
	自動スイッチ	温度過昇防止用 開路した時の温度の平均値が、開閉試験前に測定したその値に対して設定温度が100未満のものにあつては±5%以内、100以上のものにあつては±5%以内 その他のもの 開路した時の温度の平均値が設定温度に対して±10%以内	1000回 4000回

5 .サーモスタットの寿命と因子

一般に寿命とは使用し得る期間をいい、使用不能になった時点直前までが寿命に相当する。この場合サーモスタットが使用不能になった時点とは何を言うかが問題である。使用を続けていくうちに次第に特性が低下し、実際の使用に耐えなくなるのが普通でどの程度の特性を保持していれば使用に耐えたと判断するかを決めなければならない。電気製品においては製品の耐用年数を設定しておりその使用期間にどの位の開閉回数が必要であるかは各製品によってまちまちである。普通は過剰品質にならないようその必要な回数と特性を満足するようになされているが、その回数は現行電気用品安全法の技術基準をはるかに上回る特性のサーモスタットが市場に出ており、一般にコントロール用に用いられるサーモスタットの動作寿命は最低でも10万回位は保証されている。保証される特性の中で特に重要なものは動作温度の変化である。

サーモスタットの動作温度の変化に影響を与える要素としてバイメタルを含めた金属材料及び絶縁材料の機械的性質及び接点の消耗によるバイメタルの変位量の変化が主なものである。良質の接点を用いバイメタルは安全に歪取りの熱処理を行わなければならないのは言うまでもない。その他絶縁性、耐湿性、耐熱性、耐圧性、耐寒性等の諸性質も見のがせないもので、その要因としては使用する電圧、電流、電圧率などのほかに構造的歪、温度サイクルおよび温度ショック、湿度、電圧ストレス、過渡現象汚損、塑性疲労、摩耗、熱的・時間的劣化、振動、衝撃、取付方向、ガス雰囲気等であると考えられる。

6 .サーモスタットの規格

わが国ではサーモスタットとしての単独規格はないが、電気用品安全法に基づく電気用品部品・材料任意登録制度及び日本ガス機器検査協会の部品検査制度がある。諸外国ではUL(アメリカ)、CSA(カナダ)、BSI(イギリス)、VDE(ドイツ)、UTE(フランス)、KEMA(オランダ)、SEV(スイス)、SEMCO(スウェーデン)等の規格がある。又国際規格としてIEC規格があり、わが国においてもより一層の国際整合化の観点から日本国内における規格もIEC規格への整合化が進みつつある。参考としてバイメタル材料(JIS C253Q)圧力式サーモスタット(JIS C8367等)があります。

参考文献

- (1) 温度過昇防止装置の耐久性及び特性変化
- (2) 家庭用電気機器の寿命評価等に関する調査研究報告書 昭和50年、昭和51年
- (3) 電気用バイメタル板 JISC2530
- (4) 電気用品取締法関係法令集
- (5) 富士金属バイメタルカタログ
- (6) 電子技術 Vol. 21 1979