

産業安全研究所技術資料

TECHNICAL NOTE OF
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

1977

防爆構造電気機器の温度測定方法の一考察について

坂主勝弘

防爆構造電気機器の温度測定方法の 一考察について

坂 主 勝 弘*

Method of Temperature Measurement of Explosion-protected Electrical Apparatus

By K. Sakanushi

The present paper is concerned with the measurement of temperature of stationary part of explosion-protected electrical apparatus by using a thermocouple.

In order to fix the thermocouple on the measuring part, the following three methods have been examined on the standpoint of heat-resistivity, reproducibility of data and applicability :

- (1) Method by organic or inorganic adhesive.
- (2) Method by heat-resistant tape.
- (3) Method by mechanically pressing. (A metal fragment is brazed to the tip of thermocouple, and the fragment and thermocouple is pressed on to the measuring part by means of a cylinder-type compressed spring balance.)

On the heat-resistivity, the organic adhesive can be used at the temperature lower than 100°C ; and the heat-resistant tape, at the temperature lower than 150°C. The inorganic adhesive and the mechanically pressing methods are appropriate for the measurement of temperature lower than 300°C.

For each method given above, a good reproducibility of data would be obtained if sufficient care should be taken according to the requirements inherent to the method.

On the applicability, the method by heat-resistant tape is the most advantageous of the three because only thing to do is to cut out a length of the tape and apply it on the thermocouple. The others are also practicable although they need preliminary treatments before their application.

* 電気研究部 Electrical Engineering Research Division.

1. ま え が き

電気機器の通電部は導体を絶縁物で囲み、他の物体から電気的に隔離して導体に電流を流す。

電線は一般に電流によるジュール熱のために温度上昇をきたすが、許容電流以上の過大な電流が流れると温度上昇は一層はげしく、しだいに電線の被覆の電気絶縁性が熱のため劣化し、被覆をとって他の物体(接地体等)に電流(漏えい電流)が流れて、種々な災害、障害をひき起す原因となる。

そのために電気機器に用いる絶縁物にはその種類に応じ許容最高温度が定められている。

各種絶縁物の許容最高温度は表1のように決められている。

表1のE種絶縁は、A種に比べ温度上昇は15℃高く許容されている。したがってこれらの絶縁物を用いた同一出力、極数の電動機の外形寸法を相対的に比較すると、絶縁物自身の厚さ等は変わらず耐熱性のよい、E種絶縁の方がはるかに小形化することができる(図1参照)。

また、重量比は、A種に対しE種の電動機は、出力の大小により若干の差はあるが、A種の約55～85%程度に納まる。

表1 絶縁の種類と許容最高温度

絶縁の種類	許容最高温度(℃)
Y	90
A	105
E	120
B	130
F	155
H	180
C	180 超過

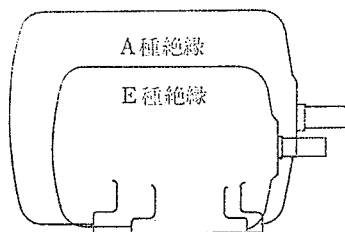


図1 7.5kW, 4極全閉外扇形三相誘導電動機の外形寸法比較

一般電気機器においては、巻線類の温度を測定し、その絶縁物の温度が許容値を超えていないかどうかをチェックすることは重要な事項となっており、型式試験等における試験項目に入っている。

また防爆電気機器では、爆発性ガス(可燃性ガスまたは可燃性液体の蒸気)または可燃性粉じんに触れる部分の温度上昇限度は爆発性ガスまたは粉じんの発火度の分類に応じて定められている、したがって温度測定は特に重要な試験項目の一つとなっている。

温度の測定方法のうち、発熱部表面の温度を計測する場合、発熱部の温度を正確に取り出すために、測温素子を発熱部にどのようにして固定するかが大切である。

今回は2(1)に述べる発熱装置を用いて静止部分の発熱部表面の温度計測が実際に現場等で実用化できる方法で、なおかつ測温素子の固定方法のちがいによる測定誤差の少ないものを研究するため行った。

2. 試 験 装 置

(1) 発熱装置

図2は、発熱装置を示したものである。この装置は、金属製円筒内に電熱器を取付け、その上に黄銅製の熱板を置き、熱板の上面に測温素子を固定して、温度測定を行なう。なお、電熱器はツマミにより上下に調整できるようになっている。電熱器に印加する電圧は、定電圧装置とスライダックの併用で試験中に電圧の変動を防ぐようにする。

(2) 熱電対

熱電対はJISC1602(熱電対)に規定する熱電対の0.75級以上のもので、熱電対の種類はアルメルクロメルで素線の線径は0.3mmのものを使用。

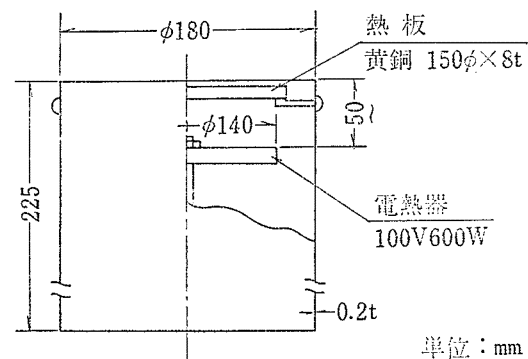


図2 発熱装置

単位: mm

(3) 温度計

温度計はJIS C 1607 (電子管式自動平衡記録温度計) の記録計の階級 1.0 級のものを使用。

(4) 指示電気計器

電圧計、電流計等は JIS C (指示計器) で 0.5 級のものを使用。

3. 試験方法

試験はまずはじめに基準温度測定のため図 3 に示すように熱板中心より 100φ の円周上で 90 度間隔に 4ヶ所 1.4φ 深さ 0.5mm の穴をあけ、そこに上記 2 (2) の熱電対をロウ付けする。これを基準熱電対による基準温度と定める。(以下基準温度という)。

図 4 は、基準熱電対を熱板に取り付け方法を示したものである。

つぎにこの基準温度に対し、同じ種類の熱電対を用い、発熱部への固定方法の違いによる温度測定値の相

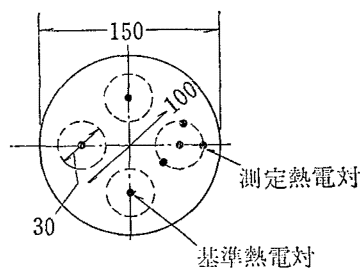


図 3 熱板上の基準熱電対と測定熱電対との関係

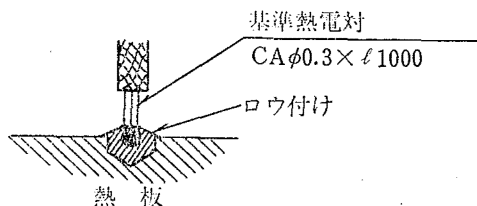


図 4 熱板に基準熱電対の取付

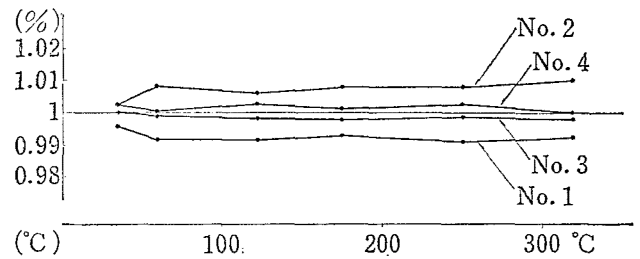


図 5 基準熱電対の測定温度差

違と固定接着剤等の使用限界温度を調らべる。

また、小さな金属片に熱電対をロウ付けし、スプリング等の弾性を利用して、発熱体に接触させ温度を測定する。この場合、接触力と測定値との関係を調らべる。(以下この方法を機械的接触形という)

(1) 基準温度の測定

基準温度の測定は図 3 および図 4 に示す方法により 4 本の基準熱電対を用いて熱板の温度を測定した。まず、電熱器の印加電圧をかえて、35℃ 位から最高 300℃ 付近まで 5 段階の温度を計測した。その結果は、表 2 のとおりである。

これら 4 本の基準熱電対相互間 (測定位置の違い) の温度差は図 5 となり、比較的、温度の低い範囲から高い温度 (約 300℃) のところでもその差は小さく ± 0.1% 以内となっている。

この程度の誤差範囲に入ることが判明したので、この 4 本のうち、どの基準熱電対を用いた場合でも基準温度と定め、以下の試験を実施することにした。

(2) 熱電対の固定方法

熱電対の固定方法は、熱電対を発熱部表面に取付ける際に必要な条件のうち、作業性、耐熱性および再現性について重視して行なったほか、接着剤等は一般市販品の中から、比較的容易に入手できるものを選定したが、接着剤には耐熱性の低いものが多いためすべての接着剤が使用限界温度範囲の広いものを選択するこ

表 2 基準温度分布

区分	基準温度上昇区分 (℃)					
測定箇所						
No. 1	34.5	59.8	112.2	174.2	250.1	317.7
No. 2	34.6	60.4	113.1	176.0	252.6	321.6
No. 3	34.4	59.1	111.4	173.3	247.6	315.8
No. 4	43.6	59.6	112.7	173.3	251.2	318.4
最小(平均値)	34.4(34.5)	59.1(59.7)	111.4(112.6)	173.3(174.6)	247.6(250.4)	315.8(318.4)
最大	34.6	60.4	113.1	176.0	252.6	321.6

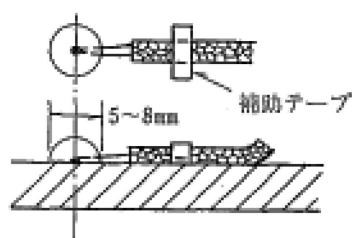


図6 シリコン接着剤による
測定熱電対の固定方法

とが困難になる。

したがって、今回、採用した接着剤は、発熱部の温度の高低に応じて使い分けるといった考え方で選定および実験を行なった。

(a) シリコン接着剤

シリコン接着剤は、珪酸ソーダと珪酸アルミニウムを、重量比 1:2 の割合いでよくねり合わせる。使用量は直径 3mm (約 0.05g)~8mm (約 1.0g) を玉状にして、熱電対の先端を測定箇所固定する。この接着剤は、珪酸ソーダの粘着力を利用しているものであるが、硬化するまで、熱電対の先端の浮きやはずれを防ぐため図6に示すように、補助テープを用いて、仮り止めをするとより一層確実に固定できる。

(b) シアノ系接着剤

シアノ系接着剤は一般市販品の中から選定したものである。アロンアルファまたはビスカ 77M がこれになる。ともに、無色透明な液体で、耐熱温度は約 145~170°C である。

シアノ系接着剤の特長は、瞬間的に硬化するので接着に要する時間は、極めて短いことであるが、欠点としては、粘性がないため、熱電対をそのまま接着することは困難で、熱電対の先端に金属製のチップを取り付けて、接触面積を大きくする必要がある。

図7は、試験に用いたチップと、チップ付熱電対の

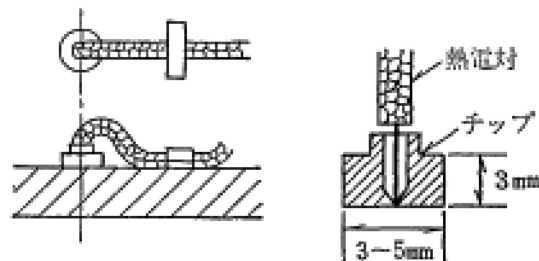


図7 シアノ系接着剤による測定熱電対の
固定方法

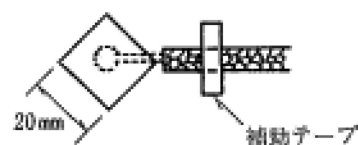


図8 耐熱テープによる測定
熱電対の固定方法

固定方法を示したものである。

使用したチップは、入手の容易な銅台に銀を貼付けた電気接点に直径 1mm の穴をあけ素線径 0.3mm の熱電対を銀ロウ付けしたものである。

(c) 耐熱テープ

耐熱テープは、支持体がポリ弗化エチレンとガラス布でできており、片面に接着剤が塗布されている。接着面は薄茶色をしており、使用限界温度は約 180°C となっている。

図8は、貼り付け方法を示したものである。まず補助テープで仮り止めを行ない、熱電対の先端（この場合は素線のみ）を耐熱テープで覆う。この覆う場合、耐熱テープと測定部表面間の空気をテープの外において出すようにして固定する。この作業を不十分のまま、計測すると温度上昇につれて、テープ内に残った空気が膨張してテープを押し上げ、熱電対の先端が浮き測定誤差の原因となる。

(d) 機械的接触形

機械的接触形は、熱電対の先端を表面が平滑な金属板（直径約 4mm 厚さ 2mm）にロウ付けしたものを、円筒形圧縮バネはかり計（目盛 0~500g または目盛 0~1,000g）に取り付け、金属板を発熱部に対し垂直に接触させ、接触圧力をかえて測定部の温度を計測する。図9は、円筒形圧縮バネはかり計の外観を示したものである。

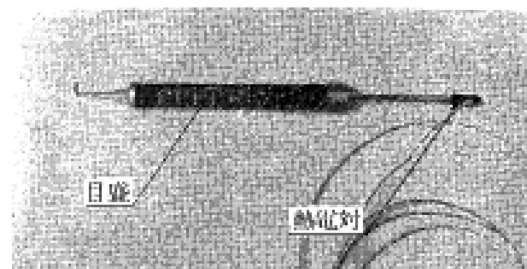


図9 円筒形圧縮バネはかり計

4. 実験結果と考察

以上記述した発熱装置を用いて、基準温度の測定、熱電対の固定方法の相違等による基準温度の測定と測定温度について実験を行なった結果は表3～11の結果が得られた。

この表の実験番号は実験回数、区分は基準温度(T : $^{\circ}\text{C}$) 測定温度(t : $^{\circ}\text{C}$)およびその指示差(%)を示している。

(1) シリコン接着剤

シリコン接着剤は表3の結果から明らかなように、この接着剤は、他の接着剤に比べ、耐熱性がよい。また、再現性については 50°C および 150°C 前後で原

因不明のバラツキで若干大きな指示差がでている以外は、大体よい結果が得られたものと思われる。

また、基準温度と測定温度の指示差(%)が最大で4.4%以内に入っており、現場等で用いる場合を考えると十分実用的に活用できると思われる。

しかし、この接着剤の短所は、被測温部にこの接着剤を用いて熱電対を固定し、加熱、計測したのち、一旦、被測温部を常温まで冷却すると被測温部表面から熱電対が、わずかながら遊離する。そのために、そのまま繰返し使用すると測定誤差が大きくなることがある。

したがって、上記のような状態で繰返し使用すると再現性が悪くなるおそれがある。

つぎに、この接着剤は、珪酸ソーダの粘着力を利用しているものであるが、その粘着力が強いため、手に

表3 シリコン接着剤

区分 実験番号	T/t	θ	T/t	θ	T/t	θ	T/t	θ	T/t	θ	T/t	θ	T/t	θ	T/t	θ
No. 1	49.8 /47.8	4.0	68.4 /67.0	2.0	91.4 /89.0	2.6	107.5 /105.0	2.3	120.2 /117.1	2.6	156.6 /150.0	4.2	203.6 /198.3	2.6	287.0 /280.1	2.5
No. 2	50.2 /49.5	1.4	69.0 /68.0	1.4	93.0 /91.2	3.0	109.2 /107.5	1.6	122.5 /118.6	3.2	158.0 /151.0	4.4	207.5 /200.0	2.8	291.0 /284.1	2.4
No. 3	48.1 /47.6	1.0	67.5 /67.3	0.3	92.0 /91.5	0.5	108.0 /107.0	0.3	121.0 /117.0	3.3	155.1 /153.0	1.4	202.5 /197.5	2.5	287.0 /281.2	2.0
No. 4	52.0 /52.0	0	71.0 /70.6	0.6	94.5 /94.1	0.4	110.2 /109.0	1.9	124.2 /122.2	1.6	157.0 /152.4	2.9	206.5 /202.0	2.2	290.0 /282.1	2.7

表4 シアノ系接着剤 (アロンアルファ)

区分 実験番号	T/t	θ	T/t	θ	T/t	θ	T/t	θ
No. 1	49.8/48.5	2.6	68.4/67.7	1.0	91.4/90.5	1.0	107.5/107.0	0.5
No. 2	50.2/48.2	3.9	69.0/67.0	2.9	93.0/90.5	2.7	109.2/106.0	2.9
No. 3	48.1/47.5	1.2	67.5/67.0	0.7	92.0/91.2	0.8	108.0/106.8	1.1
No. 4	52.0/51.0	1.9	71.0/69.0	2.8	94.5/92.2	2.4	110.2/108.0	2.0

表5 シアノ系接着剤 (ビスカ 77M)

区分 実験番号	T/t	θ	T/t	θ	T/t	θ	T/t	θ
No. 1	49.8/48.6	2.4	68.4/68.0	0.6	91.4/90.0	1.5	107.5/106.8	0.7
No. 2	50.2/48.2	4.0	69.0/67.0	2.9	93.0/89.5	3.8	109.2/105.0	3.8
No. 3	48.1/47.6	1.0	67.5/67.0	0.7	92.0/91.0	1.0	108.0/106.8	1.0
No. 4	52.0/51.0	1.9	71.0/69.1	1.3	94.5/92.2	1.9	110.2/108.1	1.9

くっついたりして、作業しにくいことや、接着剤が硬化するまでに熱電対に直接触れられないことなどのほか、珪酸ソーダと珪酸アルミニウムを練合したものは保存ができない。そのため、計測するたび毎に、練合せて接着剤を作る必要がある。

(2) シアノ系接着剤

シアノ系接着剤（両接着剤とも）は、被測温部の温度が、約 100℃ 以下ならば表 4 および表 5 の結果から明らかなように、再現性についても、シリコン接着剤同様十分実用的に活用できるものと思われる。

作業性については、粘性がないため、熱電対の先端に金属製のチップを付けるための余分な作業一つが加わることである。その分だけ、シリコン接着剤に比べ、やや難点と考えられる。

また、チップが持っている熱容量の分だけ、応答時間が大きくなることが考えられる。

また、この接着剤で一度、被測温部に固定し、加熱計測したのち常温まで冷却しても、シリコン接着剤のように、被測温部から熱電対が遊離することはなく、許容温度範囲ならば、何回でも繰返し使用できることに特長を有している。

(3) 耐熱テープ

耐熱テープは、取付け方法でも述べたように、このテープで熱電対の先端を覆う場合、テープと測定部表面間に空気が残らないよう十分注意して実験を行っている。しかし表 6 の結果から明らかなように測定温度が高くなるにつれて、誤差が大きくなる傾向を示している。これは、上述したように取付け上の問題点のほかに、温度によるテープ表面の接着力の低下による

ものも含まれているものと思われる。

しかし、他の接着剤のように、練り合す作業や熱電対の先端にチップなどを取り付ける作業もいらず、簡単な作業で測定に入ることができる点は大きな特長といえる。

また、測定温度が比較的低い対象物では、実用的にも活用できるものと考えられる。

(4) 機械的接触形

機械的接触形は、金属発熱部に対し、熱電対の接触圧力を円筒形圧縮パネはかり計を用いて 0~1,000g の間、種々変化させて計測できるようにしているので、接触圧力をパラメータ (100g, 300g, 500g, 750g, 1,000g) にして基準温度 (約 50~300℃) と測定温度との関係について実験を行なった。その実験の一例を図 10 に示す。その結果は、表 7~11 が得られた。



図 10 機械的接触形による温度測定

表 6 耐熱テープ

区分 実験番号	T/t	θ	T/t	θ	T/t	θ	T/t	θ
No. 1	28.0/28.0	0	79.0/76.3	3.4	101.2/98.3	2.8	146.5/141.0	3.7
No. 2	28.0/28.0	0	79.0/76.2	3.5	101.2/97.6	3.6	146.5/140.0	4.4

表 7 機械的接触形 (接触力 100g)

区分 実験番号	T/t	θ	T/t	θ	T/t	θ	T/t	θ	T/t	θ	T/t	θ
No. 1	50.5/47.0	6.9	100.0/95.0	5.0	149.0/139.0	6.7	199.0/186.0	6.5	248.0/234.0	5.9	297.0/285.0	4.0
No. 2	54.5/51.5	5.5	99.0/93.0	6.1	149.0/139.0	6.7	198.0/187.0	5.6	234.0/235.0	5.8	301.0/284.0	5.6

表 8 機械的接触形 (接触力 300g)

区分 実験番号	T/t	θ	T/t	θ	T/t	θ	T/t	θ	T/t	θ	T/t	θ
No. 1	49.5/46.0	7.1	100.0/96.0	4.5	148.0/142.0	4.1	200.0/190.0	5.0	244.0/233.0	4.7	297.0/286.0	3.7
No. 2	51.5/46.5	5.8	98.0/93.0	5.1	149.0/141.0	5.4	198.0/188.0	5.1	250.0/238.0	4.8	300.0/286.0	4.8

表 9 機械的接触形 (接触力 500g)

区分 実験番号	T/t	θ	T/t	θ	T/t	θ	T/t	θ	T/t	θ	T/t	θ
No. 1	49.5/47.0	5.0	102.5/97.5	4.9	149.0/142.0	4.7	198.0/189.0	4.6	246.0/236.0	4.1	298.0/287.0	3.7
No. 2	50.5/48.5	4.0	97.0/93.0	4.0	148.0/142.0	4.0	201.0/194.0	3.5	246.0/236.0	4.1	308.0/301.0	2.4

表 10 機械的接触形 (接触力 750g)

区分 実験番号	T/t	θ	T/t	θ	T/t	θ	T/t	θ	T/t	θ	T/t	θ
No. 1	49.5/47.5	4.0	100.0/96.0	4.0	149.0/142.0	4.7	200.0/193.0	3.5	248.0/238.0	4.0	299.0/289.0	3.3
No. 2	48.5/47.0	3.1	97.0/94.0	3.1	145.0/140.0	3.0	201.0/195.0	3.0	248.0/240.0	3.2	304.5/297.0	2.5

表 11 機械的接触形 (接触力 1,000g)

区分 実験番号	T/t	θ	T/t	θ	T/t	θ	T/t	θ	T/t	θ	T/t	θ
No. 1	50.5/48.5	4.0	97.0/93.0	4.1	148.0/141.0	4.7	203.0/195.0	3.9	248.0/237.0	4.4	302.0/291.0	3.6
No. 2	49.5/48.0	3.0	98.0/95.0	3.1	147.0/142.0	3.4	202.0/197.0	2.5	246.0/242.0	1.6	303.0/297.0	2.0

接触圧力 100g および 300g では、発熱部に対する接触圧力不足のためか 500g 以上のものに比べ、基準温度との指示差が大きくでている。

これに対し、500g、750g および 1,000g は、基準温度との指示差は小さくなっている。また 500g、750g および 1,000g 相互間の指示差は 100g と 300g 両者間に比べ小さくなる傾向を示しており、この接触圧力をこれ以上大きくしても、基準温度と測定温度との差は、これ以上小さくするとは考えられず、接触圧力をさらに増大しても、測定温度はほぼ限界に達しているものと思われる。

したがって、機械的接触形としては、熱電対の接触圧力を、すくなくとも 1,000g を確保していれば基準温度に対し約 3% 以内の指示差（マイナス側）におさめることができ、実用的にも十分活用できるものと考え

えられる。

基準温度に対する接触圧力と測定温度の指示差を一括曲線にしたものが図 11 となる。

この機械的接触形は、熱電対の先端に金属板を取り付けているため、直接熱電対を被測温体に固定するも

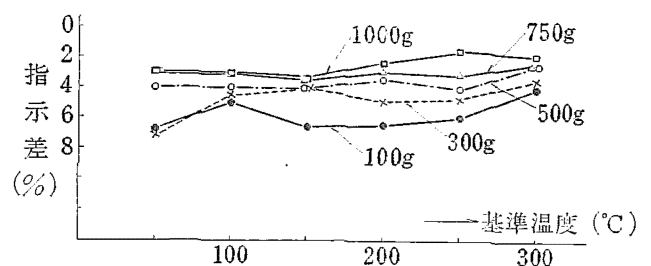


図 11 基準温度に対する接触圧力と測定温度の指示差

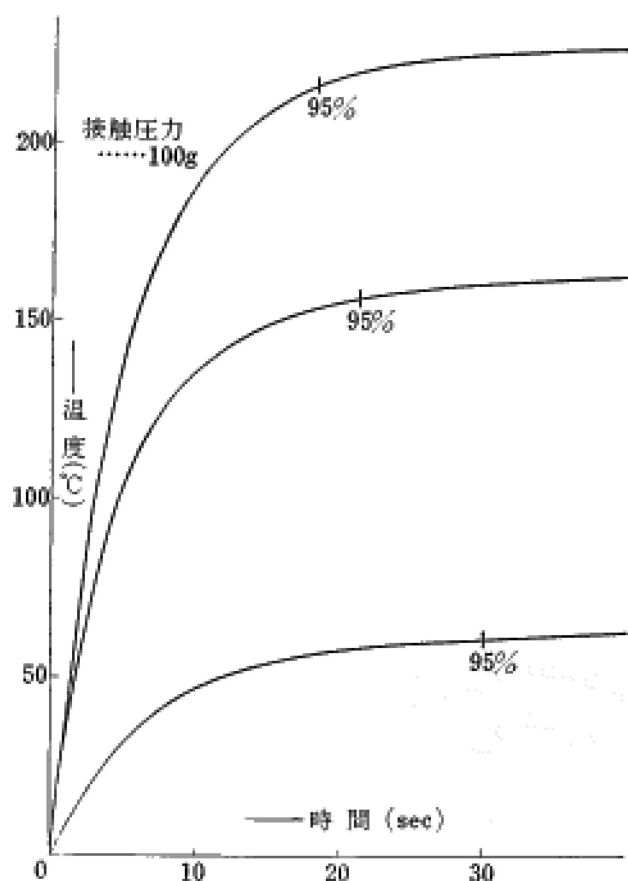


図 12 機械的接触形の立上特性

のより、熱容量が大きくなり、立上特性が悪くなる。

接触圧力 100g で、基準温度 65℃、165℃ および 230℃ について、立上特性を調べてみると、図 12 のような傾向を示すことが明らかとなった。したがって、この機械的接触形は、被測温体の熱容量の小さなものに対しては適性をかくおそれがあると考えられる。

また、この接触形は、熱電対先端の金属板および被測温体の表面が平滑をかくと誤差の原因となることが考えられるので、この点についても十分留意して活用しなければならない。

図 13 は、この機械的接触形を用いた安全増防爆構造の電動機の拘束試験における回転子の温度測定の実施している例を示したものである。

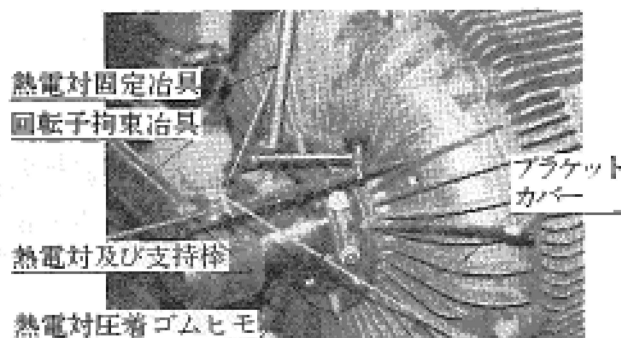


図 13 機械的接触形による電動機の拘束試験における回転子の温度測定の実測例

表 12 耐熱性、再現性および作業性の要点

方法による区分	耐 熱 性	再 現 性	業 作 性
シリコン接着剤	素材としての耐熱性は特に上限値はないが、電気機器を対象と考え実用的には 300℃ 以下	熱電対の先端を固定し、測温部を加熱・冷却を繰返して使用する場合は除けば再現性については実用上良好	硫酸ソーダと硫酸アルミニウムの練り合せ作業および接着剤の硬化までに若干の時間を要する以外は作業性に特に問題点はない。
シアノ系接着剤	接着剤の耐熱性を考慮して 100℃ 以下	良 好	この接着剤は熱電対の先端に金属製の円板を取り付ける必要がある。しかし接着剤の硬化に要する時間は非常に短かく、直ちに計測できる点は他の方法に比らべ有利である。
耐熱テープ	テープの生地、耐熱度および接着面の粘着度を考慮して 150℃ 以下	熱電対の先端とテープとの間に空気が残らないようにすれば実用上は良好	この方法は作業性という点においては最も有利である。
機械的接触形	素材としての耐熱性は特に上限値はないが、電気機器を対象を考え、実用的には 300℃ 以下	被測温部の表面が平滑で熱電対の先端が被測温部の表面に対し鉛直でなおかつ接触力が 1,000g を確保すれば再現性はほぼ良好	被測温部に熱電対を接触させるための、金属製円板、スプリング、および支持棒などの特殊加工する以外は、この方法による計測作業は特に問題点はない。

5. ま と め

今回の実験は、熱電対を発熱部に固定する方法に、接着剤によるものと、テープによるものおよび機械的に接触させるものを用い、実用的な見地からの耐熱性、再現性および作業性について検討を試みた。

これらについて、要約してみるとおおよそ、表 12 のようになった。

今後熱電対を用いて、電気機器などの温度を計測する場合、対象となる温度範囲および測定位等に応じ部以上報告した方法のいずれかの一つでも役立つことがあれば幸甚と思っている。

最後に、この実験を実施するにあたり、防爆照明器具協同研究会ならびに（社）産業安全技術協会の沢田望氏に種々御協力を頂いたことを深謝する次第である。

（昭和 52 年 6 月 13 日受理）

産業安全研究所技術資料

RIIS-TN-77-1

昭和52年8月20日 発行

発行所 労働省産業安全研究所
東京都港区芝5丁目35番1号
電話 (03) 453-8441 (代)

印刷所 新日本印刷株式会社

郵便番号 108