

## 促進耐候(光)性試験の歴史と発展 (23)

前号より続く

須賀茂雄  
木村哲也

## 5. 物質の劣化に寄与する要素

自然界の物質は、時間の経過とともに劣化する。本稿(8)4. 耐候(光)試験機にも記載したように「耐候性」とは「自然環境のうち、主として日光、風雪、温度、湿度及びオゾンによる劣化に対する抵抗性」と JIS D 0205 自動車部品の耐候性試験方法に記載されている。日光に代表される光源については、カーボンや放電灯の分光放射照度を含めて前号までに記載したので、次に劣化に大きく影響する温度について述べる。

## 5.1 温度とは

温度とは、温かさ・冷たさの度合いを示す指標である。2つの物体の温度の高低は、熱が移動することによって定義される。熱が流出する側の温度が高く、流入する側の温度が低いことになる。

統計力学によると「温度とは、物質を構成する分子が持つエネルギーの統計値である。熱力学では、絶対温度0度では分子運動が静止状態に相当する。」

温度は構成する粒子の運動であるので、化学反応に直結し、あらゆる現象に強い影響を与える。

## 5.2 温度目盛

温度・温度計の研究は約1600年頃ガリレオによって始められた。空気の膨張を利用して温度計を作っていたため、気圧の影響を受けた。その後ファーレンハイト氏(G.D. Fahrenheit 1686-1736)は、水と氷と塩化アンモニウムの混合物で得られる当時実験室で得られる最も低い温度を「0度」、氷の融解点を「32度」、人間の体温又は血液の温度を「96度」とする温度を定めた。その後、真水の凝固点を32度、沸騰点を212度とし、その間を180等分して1度とする「華氏温度」と呼ばれる温度体系が定められた。さらにセルシウス氏(Celsius 1701-1744)が水の沸点を「0度」、氷の融解点を「100度」とし、その間を100等分する水銀温度計を作製したが、セルシウスの死後直後1744年、凝固点を0度、沸点を100度とするに現在の方式に変更された。その後の物理的な計測方法の進歩と熱力学温度の採用により、現在の定義は「ケルビン(K)で表した熱力学温度の値から273.15を減じたもの」

とされ、セルシウス度とケルビンの目盛の幅(単位の大きさ)は等しい。その後、熱力学の発展と共に、 $PV = nRT$ (P: 圧力、V: 体積、n: モル数、R: 気体定数)の関係式から、P(圧力)とT(温度)は比例関係にあるので、一つの定義定点で全ての温度の値が決められることより、1848年ケルビンにより温度目盛の定義(熱力学温度目盛)が「水の三重点の熱力学温度の1/273.16倍である」(摂氏の1度の温度間隔の継続性を維持するため)と提案された。1948年、国際度量衡委員会は水の3重点を「0.01°C」、3重点をただ一つの定義温度とし、「273.16K」としている。

## 5.3 温度計の種類と構造

温度測定技術の進歩は目覚ましく、最近では測温対象物に直接接触させることなく測定できる非接触測温方式も多く使用されるようになってきている。測温対象物が微小、極めて高温、移動・回転している場合、遠隔操作で操作可能な放射温度計が用いられる。また従来から使用されている接触測温方式としては、熱電対や電気抵抗温度計が多く使用されている。

温度検出器の種類と検出方法・特徴・欠点・常用温度範囲の一覧表を表21に記す。

## 5.3.1 熱電対

2種類の金属導体の両端を電気的に閉回路にし、両端の接合部に温度差を与えると、金属導体に電流が流れる。この時流れる電流は、両端部の温度差により決まり、この電流を発生させる起電力を熱起電力という。

図80にその原理図を示す。

表 21 温度検出器の種類と特徴

No	種類	検出方法	特徴	欠点	常用温度範囲 (°C)
1	熱電対 (T/C : Thermo-couple)	熱起電力 (ゼーベック効果※1)	①比較的高温部の測定に適する。 ②遠隔測定ができる。 ③応答が良い。 ④精度が良い。 ⑤種類により測定範囲を選択できる。 ⑥小物体、狭い場所の測定が可能。	①基準接点補償が必要 ②熱電対から計器までの配線は補償導線を用いなければならない。 ③低温部の測定に適しない。 (熱起電力が小さいため) ④寿命、雰囲気による劣化があるので定期的な検定が必要。	-200 ~ 1700
2	測温抵抗体 (RTD: Resistance Temperature Detector)	抵抗値変化	①比較的低温部の測定に適する。 ②遠隔測定ができる。 ③応答が良い。 ④精度が良い。	①高温部の測定ができない。 ②内部構造が微細な構造の為、機械的衝撃や振動に弱い。 ③測定電流による自己加熱がある。	-200 ~ 850
3	サーミスタ	抵抗値変化	①温度変化に対する抵抗変化が大きいため、微小温度変化の測定に適する。	①使用温度範囲が狭い。 ②導線抵抗に比べて、抵抗素子の抵抗値が大きいため。 ③抵抗温度変化の直線性が悪い。	-50 ~ 500°C
4	液膨張式 (液体膨張)	トルエン、シリコン油等の液体膨張	①現場型計器 (検出部と指示、調節部が一体)。 ②比較的安価。 ③使いやすい。 ④直接温度が読み、簡単に操作できる。	①仕様温度範囲が狭い。 ②遠隔操作ができない。 ③応答が遅い。 ④精度があまり良くない。	-15 ~ 200°C
5	バイメタル式	2種金属の熱膨張率の違い	①安価である。 ②使いやすい。 ③簡単に操作できる。	①使用温度範囲が狭い。 ②応答が遅い。 ③精度が悪い。 ④寿命があまり長くない。	-15 ~ 195°C
6	輻射検出器	物体の輻射熱 (赤外線エネルギー)	①測温物質に非接触で測定できる。 ②熱電対よりも高温部の測定ができる。 ③遠隔操作ができる。 ④応答が速い。	①測定物質によって放射率の補正が必要である。 ②高価である。 ③周囲温度や外乱の影響を受けやすい。	0 ~ 数千度

注1. ゼーベック効果：異なる金属または半導体に温度差を設けると電圧が発生する効果

熱電対には、3つの基本的な法則がある。

- ①均質回路の法則・・・金属 A、B が一様な均質な材料であれば、発生する熱電流は金属 A、B 及び接合点温度  $t_1$ 、 $t_2$  で決まり途中の温度には影響されない。
- ②中間金属の法則・・・中間に異種の金属を入れても異種の金属の両端の温度が同じならば、発生する熱電流は金属 A、B 及び接合点温度  $t_1$ 、 $t_2$  で決まり中間の異種の金属やその両端の温度には影響されない。
- ③中間温度の法則・・・温度差の異なる 1、2、3 の点を 2 対の同種の熱電対で接続した時、1 と 3 を直接つないだ時の熱電流は 1 と 2 の熱電流と 2 と 3 の熱電流の和になる。

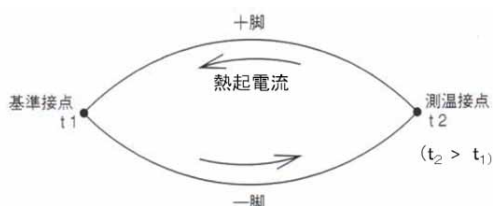


図 80 熱起電力の原理図

JIS C 1602 熱電対で規定されている熱電対を表 22 に示す。また、そのクラス分けに伴う温度範囲、許容差、旧クラスを表 23 に示す。表 24 に JIS C 1602 で規定されている熱電対の素線径と常用限度及び過熱使用限度を、図 81 に各熱電対のクラス 2 (熱電対 B のみクラス 3) の温度と熱起電力のグラフを示す。

表 22 JIS C 1602 熱電対で規定されている熱電対

種類の記号	構成材料	
	+側導体	-側導体
B	ロジウム 30% を含む白金ロジウム合金	ロジウム 6% を含む白金ロジウム合金
R	ロジウム 13% を含む白金ロジウム合金	白金
S	ロジウム 10% を含む白金ロジウム合金	白金
N	ニッケル、クロム及びシリコンを主とした合金	ニッケル及びシリコンを主とした合金
K (CA クロメル/アルメル)	ニッケル及びシリコンを主とした合金	ニッケル及びアルミニウムを主とした合金
E (CRC クロメル/コンスタンタン)	ニッケル及びクロムを主とした合金	銅及びニッケルを主とした合金
J (IC 鉄/コンスタンタン)	鉄	銅及びニッケルを主とした合金
T (CC 銅/コンスタンタン)	銅	銅及びニッケルを主とした合金
C	レニウム 5% を含むタングステン・レニウム合金	レニウム 26% を含むタングステン・レニウム合金

表 23 JIS C 1602 で規定されている熱電対の温度範囲、許容差、旧クラス

種類	クラス	温度範囲		許容差	旧クラス	特徴
		以上	未満			
B	1	—	—	—	—	熱起電力が極めて低く、JIS 規格熱電対中で最も使用温度が高い熱電対。
	2	600°C	1700°C	$\pm 0.0025^* t ^\circ\text{C}$	0.5 級	
	3	600°C 800°C	800°C 1700°C	$\pm 4^\circ\text{C}$ $\pm 0.005^* t ^\circ\text{C}$		
R, S	1	0°C	1100°C	$\pm 1^\circ\text{C}$	0.25 級	高温域での不活性ガス及び、酸化雰囲気内での精密測定に適している。熱起電力が低く精度が良い。パラッキや劣化が少ない為、標準熱電対として利用される
	2	0°C	600°C	$\pm 1.5^\circ\text{C}$		
	3	600°C	1600°C	$\pm 0.0025^* t ^\circ\text{C}$		
N	1	-40°C	375°C	$\pm 1.5^\circ\text{C}$	—	低温域から高温域まで、広い温度範囲にわたって熱起電力が安定している
	2	375°C	1000°C	$\pm 0.004^* t ^\circ\text{C}$		
	3	-40°C 333°C	333°C 1200°C	$\pm 2.5^\circ\text{C}$ $\pm 0.0075^* t ^\circ\text{C}$		
K	1	-167°C	40°C	$\pm 2.5^\circ\text{C}$	—	温度と熱起電力の関係が直線的で、最も多く利用されている。
	2	-200°C	-167°C	$\pm 0.015^* t ^\circ\text{C}$		
	3	-40°C	375°C	$\pm 1.5^\circ\text{C}$		
E	1	375°C	1000°C	$\pm 0.004^* t ^\circ\text{C}$	0.4 級	JIS 規格熱電対の中で最も高い熱起電力特性がある。流通量は少ない
	2	-40°C	333°C	$\pm 2.5^\circ\text{C}$		
	3	333°C	900°C	$\pm 0.0075^* t ^\circ\text{C}$		
J	1	-167°C	40°C	$\pm 2.5^\circ\text{C}$	0.75 級	E 熱電対に次ぐ熱起電力特性があり、主に中温域で使用されることが多い。錆びるという短所がある
	2	-200°C	-167°C	$\pm 0.015^* t ^\circ\text{C}$		
	3	-40°C	375°C	$\pm 1.5^\circ\text{C}$		
T	1	375°C	750°C	$\pm 0.004^* t ^\circ\text{C}$	0.4 級	電気抵抗値が小さく熱起電力が安定しており、低温域での測定用に広く利用される。熱伝導誤差が大きい
	2	-40°C	333°C	$\pm 2.5^\circ\text{C}$		
	3	333°C	750°C	$\pm 0.0075^* t ^\circ\text{C}$		
C	1	-40°C	125°C	$\pm 0.5^\circ\text{C}$	0.4 級	—
	2	125°C	350°C	$\pm 0.004^* t ^\circ\text{C}$		
	3	-40°C	133°C	$\pm 1^\circ\text{C}$		
C	1	133°C	350°C	$\pm 0.0075^* t ^\circ\text{C}$	0.75 級	—
	2	-67°C	40°C	$\pm 1^\circ\text{C}$		
	3	-200°C	-67°C	$\pm 0.015^* t ^\circ\text{C}$		
C	1	—	—	—	—	—
	2	462°C	2315°C	$\pm 0.01^* t ^\circ\text{C}$		
	3	—	—	—		

図 81 のように熱電対により規準熱起電力が異なるので、測定する対象により熱電対の種類、素線径を選択しなくてはならない。また、表 25 に熱電対の特徴を示したので、測定対象物に見合う熱電対を選択し測定する必要がある。一般的には、熱電対を直接接続することは少なく、配線の容易さや高価な貴金属熱電対の代用として「補償導線」と呼ばれる専用の導線で熱電対と計測器を接続する。JIS C 1610 熱電対用補償導線では、「常温を含む相当な温度範囲で、組み合わせて使用する熱電対とほぼ同一の熱起電力特性をもち、熱電対と基準接点との間を接続し、熱電対との接続部分(補償接点)と基準接点との温度差を補償するために使用する一對の心線に絶縁を施したもの」と定義している。従って、熱電対に見合った補償導線が規格化されている。表 26 にその種類と記号の一覧表を示す。なお、JIS C 1602 は IEC 60584-1 に基づき、また JIS C 1610 は IEC 60584-3 に基づき作成されている。

表 24 JIS C 1602 で規定されている熱電対の素線径と常用限度及び過熱使用限度

種類の記号	素線径 (mm)	常用限度 (°C)	過熱使用限度 (°C)	種類の記号	素線径 (mm)	常用限度 (°C)	過熱使用限度 (°C)
B	0.50	1500	1700	E	0.65	450	500
R	0.50	1400	1600		1.00	500	550
S	0.65	850	900		1.60	550	600
		950	1000		2.30	600	750
		1050	1100	3.20	700	800	
N	1.00	950	1000	J	0.65	400	500
	1.60	1050	1100		1.00	450	550
	2.30	1100	1150		1.60	500	650
	3.20	1200	1250		2.30	550	750
K	0.65	650	850	T	3.20	600	750
	1.00	750	950		0.32	200	250
	1.60	850	1050		0.65	200	250
	2.30	900	1100		1.00	250	300
K	3.20	1000	1200	1.60	300	350	

\* C 熱電対は空気中で使用することができないため、規定しない。

表 25 JIS C 1602 で規定されている熱電対の特徴

種類	使用温度範囲(°C)	長所	短所	種類	使用温度範囲(°C)	長所	短所
B	600 ~ 1700	① 1000°C以上の測定に適する。 ② 常温での熱起電力が微小のため補償導線が不要。 ③ 耐酸化、耐薬品性が良い。 ④ 還元性雰囲気中でもRに比べて10 ~ 20倍の寿命。	① 600°C以下の測定は熱起電力が低く不向き。 ② 感度が低い ③ 熱起電力の直線性が良くない。 ④ 高価。	K	-200 ~ 1200	① 熱起電力の直線性が良い。 ② 耐酸化性が良い。	① 還元雰囲気には不適。 ② ショートレンジオーダーリングのため、350 ~ 550°Cの使用は短時間で起電力が大きく変化する。
R	0 ~ 1600	① 精度が良く、ばらつきや劣化が少ない。 ② 耐酸化、耐薬品性が良い。 ③ 標準用として仕様が可能。	① 感度が低い。 ② 還元性雰囲気に弱い。 ③ 金属蒸気に弱い。 ④ 高価。	E	-200 ~ 900	① JIS規格中、熱起電力が最大。 ② Jに比べて耐蝕性、耐酸化性が良い。 ③ 両脚が非磁性。	① 還元雰囲気に不適。 ② 電気抵抗が大きい。
S	0 ~ 1600	① 精度が良く、ばらつきや劣化が少ない。 ② 耐酸化、耐薬品性が良い。 ③ 標準用として仕様が可能。	① 感度が低い。 ② 還元性雰囲気に弱い。 ③ 金属蒸気に弱い。 ④ 高価。	J	-40 ~ 750	① 安価。 ② 還元性雰囲気での使用可。	① +側導体の鉄が錆びやすい。 ② 特性にばらつきが大きい。
N	-200 ~ 1200	① 低温域から高温域まで、広い温度範囲で熱起電力が安定。 ② Kに比べて1000 ~ 1200°Cでの耐酸化性が良い。 ③ ショートレンジオーダーリングが改善されている。	① 電気抵抗が大きい。 ② 600°C以下の直線性が悪い。	T	-200 ~ 350	① 熱起電力の直線性が良い。 ② 品質ばらつきが小さい。 ③ 還元性雰囲気での使用可。 ④ 低温域での測定用に広く利用される。	① +側導体の銅が錆びやすい。 ② 熱伝導が大きい。

表 26 JIS C 1610 で規定されている熱電対用補償導線の種類と記号

組み合わせて使用する熱電対の種類	心線の構成材料	
	(+) 側心線	(-) 側心線
B	銅	銅 BC
R	銅	銅及びニッケルを主とした合金 RCA
	銅	銅及びニッケルを主とした合金 RCB
S	銅	銅及びニッケルを主とした合金 SCA
	銅	銅及びニッケルを主とした合金 SCB
N	ニッケル及びクロムを主とした合金	ニッケル及びシリコンを主とした合金 NX
	銅及びニッケルを主とした合金	銅及びニッケルを主とした合金 NC
K	ニッケル及びクロムを主とした合金	ニッケルを主とした合金 KX
	鉄	銅及びニッケルを主とした合金 KCA
E	銅	銅及びニッケルを主とした合金 KCB
	ニッケル及びクロムを主とした合金	銅及びニッケルを主とした合金 EX
J	鉄	銅及びニッケルを主とした合金 JX
T	銅	銅及びニッケルを主とした合金 TX

[参考文献]

- (1) JIS C 1602 熱電対
- (2) JIS C 1610 熱電対用補償導線
- (3) 株式会社ノー 熱電対、測定抵抗体とは
- (4) IEC 60584-1 Thermocouples - Part 1: EMF specifications and tolerances
- (5) IEC 60584-3 Thermocouples - Part 3: Extension and compensating cables - Tolerances and identification system

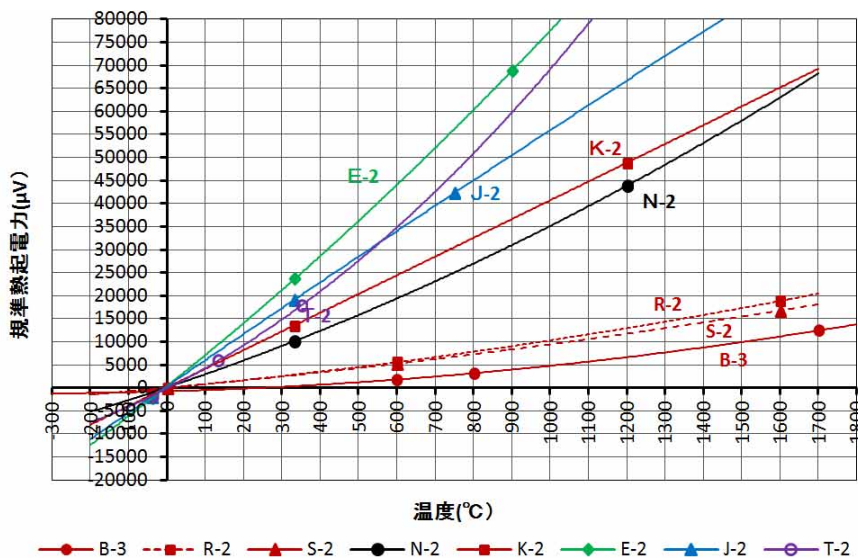


図 81 JIS C 1602 で規定されている熱電対のクラス 2(熱電対 Bのみクラス 3)の温度と熱起電力