

熱電対材料の物理的特性

熱電対の材料

特性	J 鉄	J,C,T コンスタンタン	T 銅	K,E クロメル	K アルメル	N Nicrosil	N Nisil	R Pt13%ロジウム	S Pt10%ロジウム	R,S プラチナ	B Pt30%ロジウム	B Pt6%ロジウム
融点(固相線温度) °C °F	1490 2715	1220 2228	1083 1981	1427 2600	1399 2550	1420 2590	1330 2425	1860 3380	1850 3362	1769 3216	1927 3501	1826 3319
抵抗率 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ 0°Cの時 20°Cの時 $\Omega\cdot\text{cmil/ft}$ 0°Cの時 20°Cの時	8.57 9.67 51.5 58.2	48.9 48.9 294.2 294	1.56 1.724 9.38 10.37	70 70.6 421 425	28.1 29.4 169 177	97.4 97.8	32.5 34.6	19.0 19.6 114.3 117.7	18.4 18.9 110.7 114.0	9.83 10.4 59.1 62.4	19.0 114.5	17.5 106
抵抗値の温度係数 $\Omega/\Omega\cdot^\circ\text{C}$ (0~100°C)	65×10^{-4}	-0.1×10^{-4}	43×10^{-4}	4.1×10^{-4}	23.9×10^{-4}	13.3×10^{-4}	12.1×10^{-4}	15.6×10^{-4}	16.6×10^{-4}	39.2×10^{-4}	13.3×10^{-4}	20.6×10^{-4}
熱膨張係数 in./in. °C (20~100°C)	11.7×10^{-6}	14.9×10^{-6}	16.6×10^{-6}	13.1×10^{-6}	12.0×10^{-6}			9.0×10^{-6}	9.0×10^{-6}	9.0×10^{-6}		
熱伝導率 100°Cの時 $\text{Cal}\cdot\text{cm}/\text{s}\cdot\text{cm}^2\cdot^\circ\text{C}$ $\text{BTU}\cdot\text{ft}/\text{h}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F}$	0.162 39.2	0.0506 12.2	0.901 218	0.046 11.1	0.071 17.2	0.0358 8.67	0.0664 16.07	0.088 21.3	0.090 21.8	0.171 41.4		
比熱(20°Cの時) $\text{cal}/\text{g}\cdot^\circ\text{C}$	0.107	0.094	0.092	0.107	0.125	0.11 8.52	0.12 8.70			0.032		
密度 g/cm^3 lb/in^3	7.86 0.284	8.92 0.322	8.92 0.322	8.73 0.315	8.60 0.311		0.3143	19.61 0.708	19.97 0.721	21.45 0.775	17.60 0.636	20.55 0.743
引張り強度 (アニール済み) MPa psi	345 50,000	552 80,000	241 35,000	655 95,000	586 85,000	690 100,000	621 90,000	317 46,000	310 45,000	138 20,000	483 70,000	276 40,000
磁 力	強い	なし	なし	なし	中程度	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし

熱電対の化学成分公称値

N=Neg P=Pos	鉄	コンスタンタン	銅	CHROME [®]	ALOMEGA [®]	OMEGALLOY [®] Nicrosil	OMEGALLOY [®] Nisil	プラチナ 13%ロジウム	プラチナ 10%ロジウム	純粋 プラチナ	プラチナ 30%ロジウム	プラチナ 6%ロジウム
	JP	JN,TN EN ^b	TP	KP, EP	KN	NP	NN	RP	SP	RN, SN	BP	BN
元素	化学成分公称値、%											
鉄	99.5	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
炭素	b	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
マンガン	b	...	...	...	2	...	...	...	...	...	...	...
硫黄	b	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
リン	b	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
シリコン	b	...	...	...	1	1.4	4.4	...	...	...	...	...
ニッケル	b	45	...	90	95	84.4	95.5	...	...	...	...	...
銅	b	55	100	...	...	...	...	...	...	...	...	...
クロム	b	...	...	10	...	14.2	...	...	...	...	...	...
アルミニウム	...	...	...	...	2	...	...	...	...	...	...	...
プラチナ	...	...	...	...	...	...	...	87	90	100	70.4	93.9
ロジウム	...	...	...	...	...	...	...	13	10	...	29.6	6.1
マグネシウム	...	...	...	...	...	...	0.15	...	...	...	...	...

^a 通常、タイプJN、TN、EN熱電対は熱起電力のコントロールのため、さまざまな元素を少量含んでいます。それに対応して、ニッケル、銅、または両方の量が減少しています。

^b 鉄(JP)はこれらの元素を、さまざまなレベルで少量含んでいます。

合金の商号

鉄-コンスタンタン (ANSI 記号 J): 鉄-コンスタンタン「J」カーブ熱電対は、陽極の鉄線と陰極のコンスタンタン線を持ち、減圧雰囲気での応用に適しています。測定範囲は、最大の線径を使用した場合で 871°C (1600°F) までです。線径が細くなると、それに応じて温度領域も狭くなります。

銅-コンスタンタン (ANSI 記号 T): 銅-コンスタンタンの「T」カーブ熱電対は、陽極の銅線と陰極のコンスタンタン線を持ち、穏やかな酸化雰囲気か減圧雰囲気中で 399°C (750°F) まで使用できます。湿気が存在しているアプリケーションに適しています。他の卑金属素線に比べ素線の均質性が維持できるので、この合金は低温領域の測定に適しています。したがって、素線の不均一性と温度勾配によって起こる誤差が、大きく減少します。

CHROMEQA-ALOMEGA (ANSI 記号 K): CHROMEQA-ALOMEGA「K」カーブ熱電対は、清浄な酸化雰囲気における測定に適しています。測定範囲は最も太い素線を使用すると、1260°C (2300°F) までです。CHROMEQA 素線は陽極、ALOMEGA 素線は陰極になります。比較的細い線径では、そのサイズに対応する狭い温度範囲でご使用ください。

CHROMEQA-コンスタンタン (ANSI 記号 E): CHROMEQA-コンスタンタン熱電対は、最大温度 871°C (1600°F) の範囲で使用できます。測定雰囲気は、真空中、不活性ガス中、軽度の酸化雰囲気、減圧雰囲気となります。零下温度では、熱電対は腐食しません。この熱電対は、全ての標準的金属熱電対と比較しても、最も高い起電力を持っています。

白金-ロジウム合金 Alloys (ANSI 記号 S, R, B):

3つのタイプの「貴金属」熱電対が良く使用されています。1) 純白金 (陰極) と 90% 白金 / 10% ロジウム (陽極)

2) 純白金 (陰極) と 87% 白金 / 13% ロジウム (陽極) 3) 94% 白金 / 6% ロジウム (陰極) と 70% 白金 / 30% ロジウム (陽極)

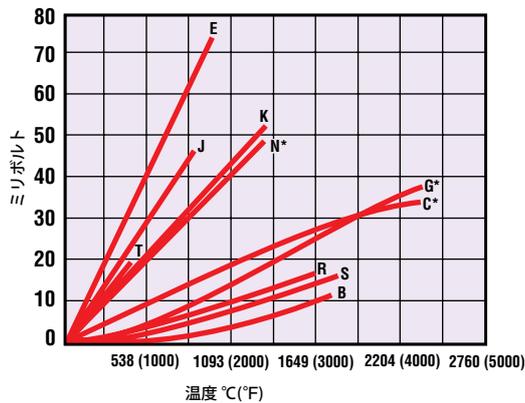
この貴金属熱電対は、酸化と腐食に対して高い耐久性を持っています。しかし、水素、炭素、および多くの金属蒸気が白金ロジウム熱電対を汚染する可能性があります。白金ロジウム合金の推奨測定範囲は 1538°C (2800°F) までですが、Pt-30% ロジウム対 Pt-6% ロジウムの組み合わせでは、最高 1799°C (3270°F) まで測定できます。

タングステン-レニウム合金 : 3種類のタングステン-レニウム熱電対が、最大 2760°C (5000°F) までの温度測定によく使用されています。この合金は、酸化抵抗力が弱いので、真空中、水素ガスまたは不活性ガス雰囲気中で使用します。

ANSI 指定の名称	合金 (一般名か商号)
JP	鉄
JN, EN, or TN	コンスタンタン, Cupron, Advance
KP or EP	CHROMEQA™, Tophel, T1, Thermokanthal KP
KN	ALOMEGA™, Nial, T2, Thermokanthal KN
TP	銅
RN or SN	純白金
RP	白金 13% ロジウム
SP	白金 10% ロジウム

商号 : Advance T- Driver Harris Co., CHROMEQA と ALOMEGA - OMEGA Engineering, Inc., Cupron, Nial と Trophel - Wilbur B. Driver Co., Thermokanthal KP と Thermokanthal KN - The Kanthal Corporation.

ANSI 指定名称 : 熱電対と延長線は、ANSI 指定名称で注文します。よくある、一般名称と商号の例は : CHROMEQA/ALOMEGA-ANSI タイプ K、鉄 / コンスタンタン -ANSI タイプ J、銅 / コンスタンタン -ANSI タイプ T、CHROMEQA/コンスタンタン -ANSI タイプ E、白金 / 白金 10% ロジウム -ANSI タイプ S、白金 / 白金 13% ロジウム -ANSI タイプ R です。熱電対の陽極・陰極の脚は、表に記載されているように、タイプ名の末尾に来る P と N によってそれぞれ表記しています。



ANSI 指定の記号

- T 銅 vs コンスタンタン
- E CHROMEQA vs コンスタンタン
- J 鉄 vs コンスタンタン
- K CHROMEQA vs ALOMEGA
- N* OMEGALLOY (ニクロシル vs ニシル)
- G* タングステン vs タングステン 26% レニウム
- C* タングステン 5% レニウム vs タングステン 26% レニウム
- D* タングステン 3% レニウム vs タングステン 25% レニウム
- S 白金 10% ロジウム vs 白金
- B 白金 30% ロジウム vs 白金 6% ロジウム

*ANSI 指定ではない記号

線抵抗 vs 素線外径

AWG 番号	直径 インチ	タイプ K CHROMEQA™ ALOMEGA™	タイプ J 鉄/コンスタンタン	タイプ T 銅/コンスタンタン	タイプ E CHROMEQA™ コンスタンタン	タイプ S Pt/PT110%Rh	タイプ R Pt/Pt13%Rh	タイプ RX/SX 銅 Alloy11**	タイプ C† W5%Re/W26%Re	タイプ CX Alloy 405 Alloy 426	タイプ G† W/W26%Re	タイプ D† W3%Re/W25%Re	タイプ BX 銅/銅*
6	0.162	0.023	0.014	0.012	0.027	0.007	0.007	0.003	0.009	0.014	0.008	0.009	0.000790
8	0.128	0.037	0.022	0.019	0.044	0.011	0.011	0.004	0.015	0.023	0.012	0.015	0.001256
10	0.102	0.058	0.034	0.029	0.069	0.018	0.018	0.007	0.023	0.037	0.020	0.022	0.001998
12	0.081	0.091	0.054	0.046	0.109	0.028	0.029	0.011	0.037	0.058	0.031	0.035	0.00318
14	0.064	0.146	0.087	0.074	0.175	0.045	0.047	0.018	0.058	0.093	0.049	0.055	0.00505
16	0.051	0.230	0.137	0.117	0.276	0.071	0.073	0.028	0.092	0.146	0.078	0.088	0.00803
18	0.040	0.374	0.222	0.190	0.448	0.116	0.119	0.045	0.148	0.238	0.126	0.138	0.01277
20	0.032	0.586	0.357	0.298	0.707	0.185	0.190	0.071	0.235	0.371	0.200	0.220	0.02030
24	0.0201	1.490	0.878	0.7526	1.78	0.464	0.478	0.180	0.594	0.941	0.560	0.560	0.05134
26	0.0159	2.381	1.405	1.204	2.836	0.740	0.760	0.288	0.945	1.503	0.803	0.890	0.08162
30	0.0100	5.984	3.551	3.043	7.169	1.85	1.91	0.727	2.38	3.800	2.03	2.26	0.2064
32	0.0080	9.524	5.599	4.758	11.31	1.96	3.04	1.136	3.8	5.94	3.22	3.60	0.3282
34	0.0063	15.17	8.946	7.66	18.09	4.66	4.82	1.832	6.04	9.57	5.10	5.70	0.5218
36	0.0050	24.08	14.20	12.17	28.76	7.40	7.64	2.908	9.6	15.20	8.16	9.10	0.8296
38	0.0039	38.20	23.35	19.99	45.41	11.6	11.95	4.780	15.3	24.98	12.9	15.3	1.3192
40	0.00315	60.88	37.01	31.64	73.57	18.6	19.3	7.327	24.4	38.30	20.6	23.0	2.098
44	0.0020	149.6	88.78	76.09	179.20	74.0	76.5	18.18	60.2	95.00	51.1	56.9	5.134
50	0.0010	598.4	355.1	304.3	716.9	185	191	72.7	240	380.0	204	227	20.64
56	0.00049	2408	1420	1217	2816	740	764	302.8	1000	1583	850	945	86.38

*ニッケルメッキのタイプRTD素線は抵抗値が19%増加

**素線の最大抵抗値

† ANSI記号でない

熱電気合金の特性データ

合金 または 名称	注	純度割合 または 組成	抵抗率		抵抗の 温度係数		張力		伸張度		融点 °C	密度 (g/cm ³)
			Ωcmil/ft (°C)		(0-100°C)		(psi x1000)		(パーセント)			
			ハード	アニール	ハード	アニール	ハード	アニール	ハード	アニール		
純粋金属												
鉄		99.9+%	66	60	0.0062	0.0065	90	34	2	40	1536	7.9
ニッケル		99.98%	39	37	0.0064	0.0068	100	48	2	36	1452	8.9
モリブデン		99.9+%	42	31	0.0036	0.0047	250	120	2	16	2610	10.2
アルミニウム(H-P)		99.99+%	17.4	15	0.0038	0.0044	16.3	6.8	5	60	660	2.71
銅		99.98%	9.44	9.24	0.0041	0.0043	76	32	1.5	46	1083	8.93
金		99.999%	13.4	13.17	0.0039	0.0040	46	19	1.5	36	1063	19.30
銀		99.99%	9.3	8.83	0.0038	0.0041	52	24	1.5	46	960.8	10.5
タングステン		99.99%	42	33	0.0036	0.0048	285	80	-	3	3410	19.3
レニウム(Re)		99.99%	-	117	-	-	360	170	-	10	3170	20.0
白金レファレンス		99.999+%	61.2	59.13	0.00386	0.00393	60	24	2	38	1769	21.45
ロジウム(Ro)		99.99%	33.0	25.8	0.0029	0.0046	275	120	2	16	1966	12.42
白金												
Pt-6%ロジウム		94%Pt-6%ロジウム	101	95	0.0019	0.0020	85	37	1.5	34	1810	20.51
Pt-10%ロジウム		90%Pt-10%ロジウム	114	111	0.0016	0.0017	95	46	1.5	32	1830	19.95
Pt-13%ロジウム		87%Pt-13%ロジウム	119	114	0.0015	0.0016	105	48	1.5	32	1840	19.55
Pt-20%ロジウム		80%Pt-20%ロジウム	124	116	0.0013	0.0014	140	72	1.5	32	1870	18.65
Pt-30%ロジウム		70%Pt-30%ロジウム	116	112	0.0013	0.0014	160	74	1.5	26	1910	17.52
Pt-40%ロジウム		60%Pt-40%ロジウム	108	101	0.0013	0.0014	190	78	1.5	26	1920	16.54
ニッケル合金												
コンスタンタン		55%Cu-45%Ni	315	294	0.00003	0.00002	150	80	2	32	1270	8.86
CHROMEGA®P		90%Ni-10%Cr	-	425	0.00032	0.00032	165	95	2	27	1430	8.73
ALOMEGA®		95%Ni-2%Mn-2%Al	-	177	0.00188	0.00188	170	85	2	32	1400	8.60
タングステン合金												
タングステン-3%Re		97%W-3%Re	-	55	-	-	320	180	-	10	3410	19.4
タングステン-5%Re		95%W-5%Re	-	70	-	-	320	200	-	10	3350	19.4
タングステン-25%Re		75%W-25%Re	-	165	-	-	300	210	-	10	3130	19.7
タングステン-26%Re		74%W-26%Re	-	170	-	-	300	200	-	10	3120	19.7
補償合金												
合金#11	(1)	Pt合金	-	30	-	0.0014	105	50	2	30	1090	8.91
合金#200		タングステン	-	470	-	-	-	-	-	-	1430	8.73
合金#203		タングステン-3%Re	-	470	-	0.0003	-	-	-	-	1400	8.60
合金#205		タングステン-5%Re	-	510	-	-	-	-	-	-	1410	8.58
合金#225		タングステン-25%Re	-	180	-	0.0012	-	-	-	-	1370	8.88
合金#226		タングステン-26%Re	-	160	-	-	-	-	-	-	1450	8.85
合金#260		タングステン-26%Re	-	750	-	-	-	-	-	-	1520	7.42

(1)「純度の割合または組成」の列は、それぞれの熱電対用合金に対応しています。

温度上昇に伴う熱電対抵抗値の変化

N=陰極 P=陽極 熱電対素子	0°C(32°F)での抵抗値を1.00とした場合の、各温度における抵抗値の比率									
	0°C (32°F)	20°C (68°F)	200°C (392°F)	400°C (752°F)	600°C (1112°F)	800°C (1472°F)	1000°C (1832°F)	1200°C (2192°F)	1400°C (2552°F)	1500°C (2732°F)
JP	1.00	1.13	2.46	4.72	7.84	12.0	13.07	...	...	...
JN, TN, EN	1.00	0.999	0.996	0.994	1.02	1.056	1.092	...	...	...
TP	1.00	1.11	1.86	2.75	3.70	4.75	5.96	...	...	...
KP, EP	1.00	1.01	1.09	1.19	1.25	1.30	1.37	1.43	...	...
KN	1.00	1.05	1.43	1.64	1.82	1.98	2.15	2.32	...	...
NP	1.00	1.01	1.02	1.07	1.08	1.08	1.10	...	...	...
NN	1.00	1.07	1.13	1.27	1.39	1.55	1.68	...	...	...
RP	1.00	1.03	1.31	1.60	1.89	2.16	2.41	2.66	2.90	3.01
SP	1.00	1.03	1.33	1.65	1.95	2.23	2.50	2.76	3.01	3.13
RN, SN	1.00	1.06	1.77	2.50	3.18	3.81	4.40	4.94	5.42	5.66
BP	1.00	1.03	1.26	1.51	1.76	1.98	2.20	2.41	2.62	2.73
BN	1.00	1.03	1.40	1.78	2.14	2.47	2.78	3.08	3.37	3.51

N=陰極、P=陽極 20°C(68°F)のときの熱電対の抵抗値(Ω/フィート)													
Awg 番号	直径 インチ	KN	KP,EP	TN,JN,EN	TP	JP	NP	NN	RN,SN	RP	SP	BP	BN
16	0.0508	0.0683	0.164	0.1113	0.00402	0.0276	0.2230	0.08458	0.0247	0.0456	0.0445	0.0447	0.0414
20	0.0320	0.173	0.415	0.287	0.0102	0.0699	0.5664	0.2148	0.0624	0.1149	0.1125	0.1130	0.1046
24	0.0201	0.438	1.05	0.728	0.0257	0.1767	1.436	0.5445	0.1578	0.4656	0.2847	0.2859	0.2647
30	0.0100	1.77	4.25	2.94	0.1032	0.710	5.800	2.20	0.6344	2.965	1.144	1.149	1.064
36	0.0050	7.08	17.0	11.8	0.4148	2.86	23.20	8.800	2.550	12.25	4.600	4.620	4.277