

熱に関する エンジニアリングデータ



目 次

P1……電気と熱の基礎知識

P2……電力量と熱量

P3……電熱線について

ヒーターの用途と標準ワット密度

P4……各種物質の熱的性質

P5・6……各種物質の融点、沸点、膨張係数、潜熱

P7……各種の熱単位換算表

熱のホットクリエイター
東立電機株式会社

電力

電気のなす単位時間当りの仕事のことをいいます。

$$P = EI = I^2 R$$

ジュール熱

抵抗 R オームの抵抗体に電流 I アンペアを t 秒間連続して流しますと、抵抗体中に発生する熱量は次式で表されます。

$$W = \frac{I^2 R t}{4.186} = 0.24 I^2 R t \text{ カロリー [cal]}$$

熱量の単位

水1グラムを1℃温度上昇させるに要する熱量を単位にとり、これを1カロリーで表します。また一般にはキロカロリー、キロワット時でも表します。

$$1 \text{ [kcal]} = 4186 \text{ ジュール [J] [W、秒]}$$

オームの法則

抵抗 R オームの抵抗体に電圧 E ボルトを印加しますと電流 I アンペアが流れ次の関係が成立します。

$$I = \frac{E}{R} \text{ [A]} \quad E = IR \text{ [V]} \quad R = \frac{E}{I} \text{ [\Omega]}$$

I = 電流 アンペア [A]

E = 電圧 ボルト [V]

R = 電気抵抗 オーム [Ω]

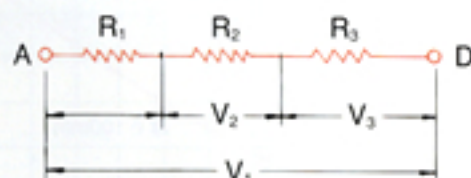
t = 時間 秒 [S]

直列接続の合成抵抗

直列接続されている各抵抗に流れる電流は同じであるから各抵抗の電圧降下を V_1 、 V_2 、 V_3 とし、流れる電流を I [A] とすると、

$$V_1 = IR_1 \quad V_2 = IR_2 \quad V_3 = IR_3$$

$$\text{合成抵抗 [R]} \quad R = R_1 + R_2 + R_3$$

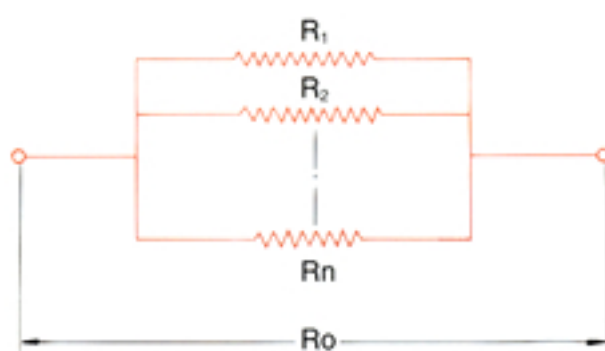


図のAD間の電圧 V [V] は、各抵抗の電圧降下の和であるから、

$$V = V_1 + V_2 + V_3 = IR_1 + IR_2 + IR_3 \\ = I (R_1 + R_2 + R_3)$$

並列接続の合成抵抗

抵抗 R_1 、 R_2 … R_n [Ω] のものを全部並列に接続した場合の合成抵抗 R [Ω] は次式で表せます。

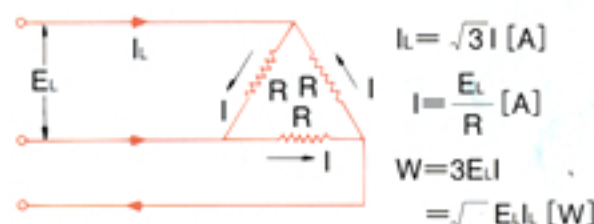


$$R_o = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}} \text{ [\Omega]}$$

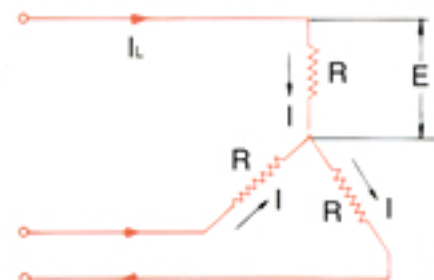
三相交流回路

線電圧 E [V] の平衡三相交流回路にデルタ (Δ) またはスター (Y) 結線した場合の電圧、電流、電力の関係

Δ結線



Y結線



$$E_L = \sqrt{3} E \text{ [V]} \\ I = I_L = \frac{E}{R} = \frac{E_L}{\sqrt{3} R} \text{ [A]}$$

$$W = 3EI = \sqrt{3} E_L I_L \text{ [W]}$$

E_L = 線電圧 (V)

I_L = 線電流 (A)

I = 相電流 (A)

R = 抵抗 (Ω)

W = 電力 (W)

E = 相電圧 (V)

電力量と熱量

電気の方では一般に電力の単位に[kW]を用いる。したがってエネルギーをあらわすのには、これに時間をかけて電力量すなわち[kWh]を用います。たとえば5kWhといえば5kWhの電熱器を1時間つけた分のエネルギーと考えてもよく、1kWhの電熱器を5時間つけた分のエネルギーと考えてもよいわけです。

ところで[kWh]を[kcal]に直すと
1kWh=860kcalとなります。

熱容量(kW)算出方式

$$Q_1 = \frac{\text{重量(kg)} \times \text{比熱(kcal/kg}^\circ\text{C)} \times \text{上昇温度}^\circ\text{C}}{860} \quad [\text{kW}]$$

$$\frac{\text{W/cm}^2 (\text{熱ロス諸表より}) \times \text{表面積}(\text{cm}^2)}{1000} \quad [\text{kW}]$$

$$Q = Q_1 + Q_2$$

- (注) 1. 計算値kW数に対して30%増とすること
2. 熱ロス計算の場合は上面側面及底面の区別及び保温材料の種類、厚さ、方法等を充分考慮すること

自然対流により大気中に置かれた面からの熱損失計算式

大気中に放置された面から自然対流により失われる熱量Qは面の寸法、形状、温度などに関係し、次式で表されます。

$$Q = C \times 46.10^6 (\Delta t)^{5/4} \quad [\text{kcal/cm}^2\text{s}]$$

$$= C \times 1.66 (\Delta t)^{5/4} \quad [\text{kcal/m}^2\text{h}]$$

Q=熱量

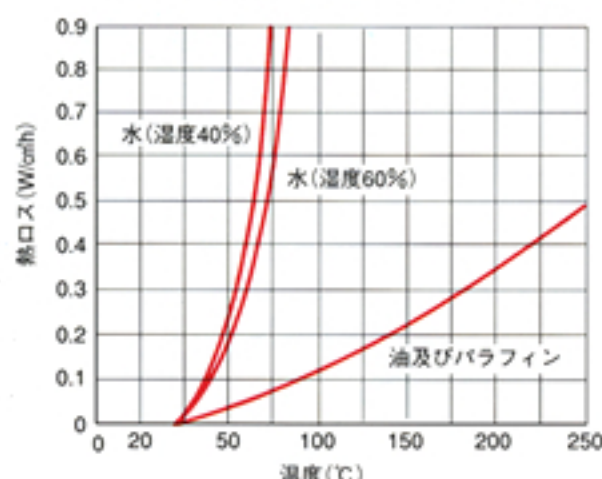
C=面の種類、位置などによって定まる定数

Δt =面と気温との温度差($^\circ\text{C}$)

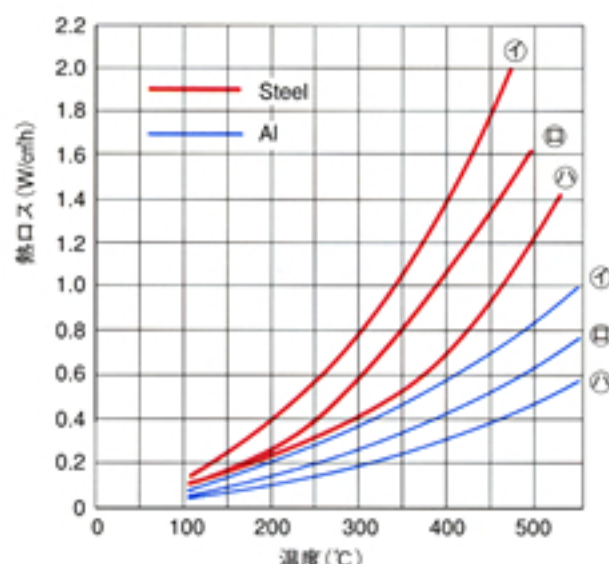
定数Cの値

面の種類	C
直立面	1.0
気温より高温の水平面 (上向き)	1.3
気温より低温の水平面 (上向き)	-0.65
気温より高温の水平面 (下向き)	0.65
気温より低温の水平面 (下向き)	-1.3
温かい天井面 $d = 0.01\text{cm}$	31
$d = 0.1\text{cm}$	6.5
$d = 1.0\text{cm}$	2.0
$d = 10\text{cm}$	1.3
$d = 100\text{cm}$	1.2

液体表面よりの放散熱ロス (W/cm²h)

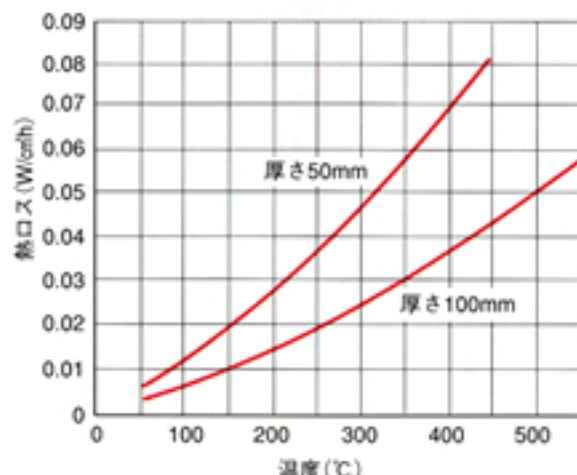


金属表面よりの放散熱ロス (W/cm²h)



- ① 板の上面並にタンクパイプ等の側面
② 板の上面及び裏面の平均値
③ 板の裏面

保護壁よりの放散熱ロス (W/cm²h)



電熱線の成分

品 種	Ni	Cr	Al	Mn	C	その他	Fe
ニクロム第1種	77～81	17～21		2.0以下	0.15以下	2.0以下	1.5以下
ニクロム第2種	63～67	15～18		2.5以下	0.20以下	＊	残部
鉄クロム第1種		23～25	4～6	1.0＊	0.10＊	3.0以下	＊
鉄クロム第2種		18～20	2～4	1.0＊	0.10＊	＊	＊

電熱線の性能及び用途

品 種	固有抵抗 (20℃ $\mu\Omega\text{-cm}$)	抵抗温度係数 (0～1000℃)	最高使用温度 (℃)	特性及び用途
ニクロム第1種	104±5	0.00015以下	1,100	高温においても耐熱性、耐ガス性に強い、加工容易、高温電気炉用
ニクロム第2種	110±6	0.00020以下	900	加工性良好、800℃～900℃付近に使用する電気炉、電熱器に適する
鉄クロム第1種	140±7	0.00010以下	1,200	特に高温使用に適するが、加工性やや困難
鉄クロム第2種	120±5	0.00025以下	1,100	鉄クロム第1種にくらべ加工容易

用途及び標準ワット密度

型 式	被加熱体	用 途	パイプ材質	W/cm ²
投 込 ヒ ー タ	水	温水器、湯沸器 皿洗器、消毒器	銅、銅（メッキ）、ステンレス	5～10
投 込 ヒ ー タ	鉱物油	燃料油、機械油 オイルの予熱、ダウサム	銅、銅（メッキ）	1～5
投 込 ヒ ー タ	植物油	フライ、天ぷら用	銅、銅（クロムメッキ） ステンレス、インコネル	2～5
投 込 ヒ ー タ	薬 液	各種メッキ槽、酸 アルカリ、薬液加熱	銅、鉛被覆、プラスチック被覆、 ステンレス	
シーズワイヤ 鑄 込 ヒ ー タ	固 体	金属面に接着加熱 金型、シリンダヒータ 調理用熱板	銅、銅アルミメタリコン ステンレス、インコネル	温度により異なる
シーズワイヤ ファンヒータ	気体 (空気、其他の 気体及び加熱 蒸気)	電気炉、乾燥炉 ロールヒータ、乾燥、 焼結用空気加熱器 各種反応促進用 暖房用ヒータ 各種の電熱器	銅、銅アルミメタリコン ステンレス、インコネル	1.5～6
遠赤外線ヒータ	固 体	輻射加熱	インコネル ステンレス（ステンレスメタリコ	5以下

空気中における最高使用温度

パイプの材質	最高温度(℃)
銅	200
炭素鋼	350
銅アルミメタリコン	500
ステンレス	650
インコネル	800

エンジニアリングデータ

各種物質の熱的性質

物 質		温度 ℃	比 重 g/cm ³	比 熱 kcal/kg℃	熱伝導率 kcal/kg℃	温度伝導率 m/h
金 属	アルミニウム (純)	20	2.71	0.214	196	0.340
	ジュラルミン 94~94Al, 3~5 Cu, 0.5Mg	*	2.79	0.211	141	0.240
	鉛	*	11.37	0.031	30	0.086
	鋳鉄 (C 4%)	*	7.27	0.10	45	0.062
	銅	*	7.80	0.113	37	0.042
	ステンレス 18Cr, 8 Ni	*	7.82	0.11	14	0.016
	銅 (純)	*	8.96	0.0915	332	0.404
	青銅 75Cu, 25Sn	*	8.67	0.082	22	0.031
	黄銅 (赤) 85Cu, 9 Sn, 6 Zn	*	8.71	0.092	52	0.065
	七三黄銅 70Cu, 30Zn	*	8.52	0.092	95	0.123
	洋銀 62Cu, 15Ni, 22Zn	*	8.62	0.094	21	0.027
	ニッケル (99.9%)	*	8.91	0.1005	77	0.082
	銀 (純)	*	10.53	0.0559	360	0.613
	亜鉛	*	7.14	0.0918	96	0.148
	すゞ	*	7.31	0.0541	55	0.140
	金	*	19.29	0.0309	267	0.448
	白金	0	21.45	0.0318	60	0.088
	水銀	0	13.628	0.0335	7	0.01548
非 金 属 固 体	フェノール樹脂	20	1.27	0.38	0.200	0.00041
	合成ゴム	*	0.92~1.23	0.27~0.48	0.204	-
	紙 (普通)	*	-	-	0.12	-
	紙 (硬質白)	*	1.30	-	0.179	-
	ガラス	*	2.59	0.186	0.83	0.00172
	セルロイド	*	1.40	-	0.185	-
	石炭	*	1.20~1.50	0.30	0.22	0.0005~0.0006
	雲母	*	1.90~2.30	0.21	0.7~1.2	0.0018~0.0025
	石英ガラス	0	2.21	0.174	1.16	0.00301
	対価れんが	200	1.83	0.210	0.77	0.0020
	アスベスト	20	0.47	0.19	1.134	0.0015
	コルク	*	0.10	0.4~0.5	0.036	0.00090~0.00072
	石綿	-	0.24	-	0.046	-
液 体	けいそう土 (淡黄色)	80	0.439	-	0.084	-
	ベンゾール	20	0.879	0.415	0.132	3.62
	スピンドル油	*	0.871	0.442	0.124	3.22
	トランス油	*	0.866	0.452	0.107	2.73
	アンモニア	*	0.612	1.146	0.448	6.39
	グリセリン	*	1.264	0.570	0.246	3.41
	潤滑油	40	0.876	0.469	0.124	3.00
	タウサム	100	0.933	0.45	-	-
	タウサム A	200	0.905	0.57	-	-
	水	20	0.9988	0.999	0.513	0.001430
気 体	空気	20	1.164	0.242	0.022	0.213
		100	0.916	0.244	0.026	0.328
		200	0.723	0.247	0.032	0.494
		400	0.508	0.253	0.042	0.901
		500	0.442	0.257	0.046	1.135
	過熱蒸気	600	0.391	0.260	0.050	1.363
		100	0.578	0.486	0.020	0.1992** 0.0717***
		200	0.451	0.469	0.026	0.339 0.122
		300	0.302	0.477	0.032	0.493 0.1776
		400	0.316	0.490	0.037	0.6667 0.2400
	水素 (H ₂)	500	0.275	0.506	0.043	0.8560 0.3080
		0	0.087	3.39	0.144	0.486
		200	0.050	3.47	0.221	1.28
	窒素 (N ₂)	0	1.211	0.249	0.021	0.0687
		200	0.699	0.252	0.033	0.186
	炭酸ガス (CO ₂)	0	1.912	0.198	0.013	0.033
		200	1.103	0.238	0.026	0.101
	酸素 (O ₂)	0	1.382	0.219	0.020	0.065
		100	0.886	0.250	0.026	0.118
	一酸化炭素 (CO)	0	1.210	0.249	0.020	0.066
		100	0.746	0.512	0.019	0.049
	アンモニア (NH ₃)	0	0.540	0.535	0.029	0.099
		100	0.283	0.149	0.007	0.017
	亜硫酸ガス (SO ₂)	0	2.83	0.149	0.007	0.017
		100	2.06	0.161	0.010	0.031

* 1 atm (735.5mmHg) における熱的性質比重はkg/m³とする。

**...cm/s

***...m/h

各種物質の融点、沸点、膨張係数、潜熱

液体の体膨張係数 (20℃において)

×10⁻³

アセトン	1.487	塩化カルシウム		四塩化炭素	1.236	ペンタン	1.608
エチルアルコール	1.12	(6%水溶液)	0.25	食塩		水	0.207
メチルアルコール	1.199	(41%水溶液)	0.46	(21%水溶液)	0.41	硫酸	
エーテル	1.656	グリセリン	0.505	水銀	0.182	(11%水溶液)	0.39
オリーブ油	0.721	クロロホルム	1.273	二硫化炭素	1.218	(100%)	0.56
		酢酸	1.071	ベンゾール	1.237		

元素の線膨張係数 (20℃において)

×10⁻⁶

亜鉛	33	金	14.2	タングステン	4	白金	8.9
アルミニウム	23.03	銀	18.9	鉄	11.7	ビスマス	13.3
アンチモン	11.4	クロム	8.2	銅	16.6	マグネシウム	25.6
イリジウム	6.5	コバルト	12.3	鉛	29.1	マンガン	23
カドミウム	29.8	すず	20	ニッケル	12.8	モリブデン	4

各種固体の線膨張係数

×10⁻⁶

合金		30%Ni	12	洋銀	18	石英ガラス	0.5
アルミ青銅	16	30%Ni (アンバー)	0.9	りん青銅	17	セメント	10~14
黄銅	19	40%Ni	6	雑		セルロイド	10
活字金	20	50%Ni	10	エボナイト	84	大理石 (白)	1~4
タングステン	15	80%Ni	13	花こう岩	8	◇ (黒)	4
青銅	18	銅	13	ガラス	9	弾性ゴム	77
超アンバー	-0.01	白金イリジウム	9	コンクリート	14	木材 (縦)	3~4
ニッケル銅		はんだ (白ろう)	25	水 (0° ~ -10℃)	51	◇ (横)	30~60
10%Ni	13	砲金	18	磁器	3	れんが	9
20%Ni	20	マグネシウム	24	砂岩	10		

種々の物質の融解熱 (kcal/kg)

亜鉛	26	クロム	32	鉛	5.4	炬もえかす	50
アルミニウム	77	コバルト	68	ニッケル	74		
アンチモン	38	氷	79.7	白金	27	アニリン	21
アンモニア	108	臭素	16	パラジウム	36	グリセリン	47
硫黄	8.8	食塩	124	ビスマス	12	クロロホルム	18
ウット合金	8.4	水銀	2.8	マグネシウム	70	酢酸	45
塩化カルシウム	54	すず	14	マンガン	47	ステアリン酸	48
カリウム	15	鉄 (電解熱)	64	リチウム	33	ナフタリン	36
カドミウム	13	銅	42	りん	5.0	パラフィン	35
銀	24	ナトリウム	27	硫酸	24	ベンゾール	30

標準沸点における気化熱 (kcal/kg)

アンモニア	325	炭酸ガス (昇)	138	エチルアルコール	205	トルエン	86
硫黄	81	窒素	48	メチルアルコール	264	ナフタリン	75
クロム	829	二硫化炭素	84	エーテル	84	ブタン	96
酸素	51	水	539	オクタン	71	ヘキサン	87
水銀	70	アセトン	125	クロロホルム	59	ヘプタン	78
水素	112	アニリン	104	酢酸	96	ベンゾール	94

エンジニアリングデータ

元素および化合物の融点、沸点 (760mmHg)

物 質	融点℃	沸点℃	物 質	融点℃	沸点℃	物 質	融点℃	沸点℃
亜鉛	420	910	ネオン	-249	-246	有 機 化 合 物		
アルゴン	-189	-186	白金	1,773	3,800	アセトン	-96	56
アルミニウム	659	2,270	パラジウム	1,555		アニリン	-6.1	
アンチモン	631	1,640	ビスマス	271	1,560	エチルアルコール	-115	78
硫黄 (斜方)	115	445	弗素	-223	-188	メチルアルコール	-97	65
イリジウム	2,454	>5,300	ヘリウム		-269	エーテル	-116	35
塩素	-103	-34	マグネシウム	651	1,097	エチルクロライド	-139	13
カドミウム	321	766	マンガン	1,247	2,032	メチルクロライド	-92	-24
カリウム	64	760	よう素	114	184	グリセリン	18	290
カルシウム	845	1,439	リチウム	179	1,336	クロロホルム	-63	61
金	1,063	2,710	りん (黄)	44	281	酢酸 (氷酢)	17	118
銀	961	2,152	無 機 化 合 物			ステアリン酸	69	
クロム	1,777	2,660	無機化合物	-91	-90	炭 化 水 素		
けい素	1,410	2,355	亜酸化窒素	-73	-10	アセチレン	-84	-82
コバルト	1,490	3,185	亜硫酸ガス	-78	-34	エタン	-184	-89
酸素	-219	-183	アンモニア	-205	-192	エチレン	-169	-104
臭素	-7.3	59	一酸化炭素	777		オクタン	-57	126
水銀	-39	357	塩化カルシウム	-114	-85	デカン	-95	111
水素	-259	-253	塩化窒素	-164	-152	トルエン	-30	174
すゞ	232	2,362	四塩化炭素	-23	77	ナフタリン	80	218
タングステン	3,380	4,830	硝酸	-41	86	ブタン	-135	0.5
窒素	-210	-196	食塩	803	1,445	プロパン	-190	-45
鉄	1,535	3,235	炭酸ガス		-78.5 (昇)	ヘキサン	-95	69
銅	1,083	2,336	二硫化炭素	-112	46	ヘプタン	-91	98
ナトリウム	98	878	水	0	100	ペンタン	-130	36
鉛	327	1,755	硫化水素	-86	-61	ベンゾール	5.5	80
ニッケル	1,455	3,075	硫酸 (純)	11	338	メタン	-183	-164

各物質の融点 (または凝固点℃)

石綿	1,300	合成ゴム	125	石英ガラス	1,400	テレピン油	-10
ウッド合金	69	シェラック	150	耐火れんが	1,700	陶器	1,550
オリーブ油	20	脂肪 (牛)	42	鉄 (錬)	1,400	銅	1,400
海水	-2.5	食塩水 (飽和)	-18	々 (鑄、灰色)	1,200	はんだ (白ろう)	210
ガラス (ソーダ)	550	黄銅	900	々 (鑄、白色)	1,130	パラフィン	54
揮発油	-150	水晶	1,710	デルタメタル	950	砲金	900

各種の熱単位換算表

各種の熱の単位をMKS、工業、物理単位系で表わしますと下表のようになります。

(1kWh=860kcal)

単 位 系	kcal 系	cal 系	MKS 系
熱 量	(kcal) 1 10 ⁻³ 0.2389×10 ⁻³	(cal) 10 ³ 1 0.2389	(J) 4.186×10 ³ 4.186 1
熱 流	(kcal/h) 1 3.6 0.86	(cal/s) 0.2778 1 0.2389	(W) 1.163 4.186 1
熱 伝 導 率	(kcal/m-h-°C) 1 360 0.86	(cal/cm-s-°C) 0.2778×10 ⁻² 1 0.2389×10 ⁻²	(W/m-°C) 1.163 4.186×10 ² 1
熱 比 抵 抗	(m-h-°C/kcal) 1 0.2778×10 ⁻² 1.163	(cm-s-°C/cal) 360 1 4.186×10 ²	(m-°C/W) 0.86 0.2389×10 ⁻² 1
表 面 電 熱 率	(kcal/m ² -h-°C) 1 3.6×10 ⁴ 0.86	(cal/cm ² -s-°C) 0.2778×10 ⁻⁴ 1 0.2389×10 ⁻⁴	(W/m ² -°C) 1.163 4.186×10 ⁴ 1
表 面 比 熱 抵 抗	(m ² -h-°C/kcal) 1 0.2778×10 ⁻⁴ 1.163	(cm ² -s-°C/cal) 3.6×10 ⁴ 1 4.186×10 ⁴	(m ² -°C/W) 0.86 0.2389×10 ⁻⁴ 1
比 熱	(kcal/kg-°C) 1 0.2389×10 ⁻³	(cal/g-°C) 1 0.2389×10 ⁻³	(J/kg-°C) 4.186×10 ³ 1
密 度	(kg/m ³) 1 10 ³	(g/cm ³) 10 ⁻³ 1	(kg/m ³) 1 10 ³
体 積 比 率	(kcal/m ³ -°C) 1 10 ³ 0.2389×10 ⁻³	(cal/cm ³ -°C) 10 ⁻³ 1 0.2389×10 ⁻⁶	(J/m ³ -°C) 4.186×10 ³ 4.186×10 ⁶ 1
温 度 伝 播 率	(m ² /h) 1 0.36 0.36×10 ⁴	(cm ² /h) 0.2778×10 1 10 ⁴	(m ² /s) 0.2778×10 ⁻³ 10 ⁻⁴ 1

使用例

熱伝導率が (cal/cm-s-°C) で表わされている場合

(kcal/m-h-°C) に換算するには360を乗じること。

(W/m-°C) に換算するには4.186×10²を乗じること。

銀の熱伝導率は1(cal/cm-s-°C)、360(kcal/m-h-°C)、418.6(W/m-°C) である。