

熱 計 算

☆熱量のSI単位はJ(ジュール)。従来はcal(カロリー)が用いられており、ここではcalによる計算式も併記する。

☆電力Wと熱量Jの関係：1W=1J/s(毎秒1Jの仕事率)=3600J/h
 ☆電力量=電力×時間：電力が仕事をした時間との積は電力量(電気の仕事量)といい、電力量=熱量として下式(1)、(2)を得る。
 ☆「SI(国際単位系)換算表」p.238を参照のこと。

基本式：熱量=比熱×(密度×体積)×温度差ΔT
 熱量の換算：1J(ジュール)=2.778×10⁻⁷kWh=2.389×10⁻⁴kcal
 1cal(カロリー)=1.163×10⁻⁶kWh=4.186J

1. ヒーターの電力(P)を求める計算式

ヒーター電力P[W]の計算式	従来のヒーター電力P[W]の計算式(熱量をcalで計算)
● t時間で被加熱物の温度をΔT℃上昇させる場合 $P = 0.278 \times c \times \rho \times V \times \Delta T / t$ (1)	● t時間で被加熱物の温度をΔT℃上昇させる場合 $P = 1.16 \times c \times \rho \times V \times \Delta T / t$ (1')
● t分で被加熱物の温度をΔT℃上昇させる場合 $P = 0.278 \times 60 \times c \times \rho \times V \times \Delta T / t$ (2)	● t分で被加熱物の温度をΔT℃上昇させる場合 $P = 1.16 \times 60 \times c \times \rho \times V \times \Delta T / t$ (2')
電力：P W(ワット) 時間：t hまたはmin(1h=60min) 比熱：c kJ/(kg・℃)またはkcal/(kg・℃)	密度：ρ kg/m ³ またはkg/L(キログラム/リットル) 体積：V m ³ (標準状態)またはL 流量：q m ³ /minまたはL/min
温度差ΔT℃=目的温度T℃-初期温度T ₀ ℃ ★物性値は次ページを参照し、単位をそろえるように気をつけること。	

2. 加熱に要する電力(被加熱物の加熱に必要な電力とともに潜熱量・放熱量を個別に計算し、「必要電力の総和」を求めます)

No.	加熱に必要な電力	計算式	従来の計算式(熱量をcalで計算)
① P ₁	流れない液体・固体 体積Vをt[](時間)で 温度差ΔT(to→t)℃に加熱する電力 c=[]、ρ=[]kg/m ³ ・kg/L V=[]m ³ (標準状態)・L ΔT=[]℃ (=T[]℃-T ₀ []℃)	P ₁ =0.278×c×ρ×V×ΔT/t P ₁ =	P ₁ =1.16×c×ρ×V×ΔT/t P ₁ =
	流れない気体 体積Vをt[](時間)で 温度差ΔT(to→t)℃に加熱する電力 c=[]、ρ=[]kg/m ³ ・kg/L V=[]m ³ (標準状態)・L ΔT=[]℃ (=T[]℃-T ₀ []℃)	P ₂ =0.278×c×ρ×V×ΔT/t P ₂ =	P ₂ =1.16×c×ρ×V×ΔT/t P ₂ =
③ P ₃	流れる気体・液体 流量q[]m ³ /min・L/minを温度差ΔT (to→t)℃に加熱する電力 c=[]、ρ=[]kg/m ³ ・kg/L q=[]m ³ /min(標準状態)・L/min(標準状態) ΔT=[]℃ (=T[]℃-T ₀ []℃)	P ₃ =0.278×60×c×ρ×q×ΔT P ₃ =	P ₃ =1.16×60×c×ρ×q×ΔT P ₃ =
	加熱槽(容器)・配管の体積Vをt[](時間)で温度差ΔT(to→t)℃に加熱する電力 c=[]、ρ=[]kg/m ³ ・kg/L V=[]m ³ ・L ΔT=[]℃ (=T[]℃-T ₀ []℃)	P ₄ =0.278×c×ρ×V×ΔT/t P ₄ =	P ₄ =1.16×c×ρ×V×ΔT/t P ₄ =
⑤ P ₅	加熱物に付着している水分 体積Vを t[](時間)で気化させるのに必要な電力 L=[]、ρ=[]、 V=[]潜熱量Lはp.219表2参照	P ₅ =0.278×L×ρ×V/t P ₅ =	P ₅ =1.16×L×ρ×V/t P ₅ =
	加熱槽(容器)または配管表面からの放熱量を補うための電力 容器表面積A m ² 、放熱損失係数Q W/m ² A=[]、Q=[] 放熱損失係数Qはp.219表3参照	P ₆ =A×Q P ₆ =	P ₆ =A×Q P ₆ =
⑦ P ₇	その他の放熱を補う必要電力 表面積A m ² 、放熱損失係数Q W/m ² A=[]、Q=[]	P ₇ =A×Q P ₇ =	P ₇ =A×Q P ₇ =
	⑧ 合計 必要電力の総和：①から⑦で計算した項目の総和を計算します		

3. 総合電力P(電圧変動、製作誤差その他を加味し安全率αを乗じます)

P=(⑨必要総和)	× α (ここでは安全率α=1.25とする)	
P=	× 1.25	
		∴ kW

熱計算：物性値

表1 比熱 c ・密度 ρ (参考値)

物質名	温度 °C	比熱		密度	
		kJ/(kg·°C)	Kcal/(kg·°C)	kg/m ³	kg/L
空気	0	1.007	0.24	1.251	—
	20	1.007	0.24	1.161	—
窒素	0	1.042	0.25	1.211	—
酸素	0	14.191	3.39	0.0869	—
水	20	4.18	1.0	998.2	1.00
	NH ₃ (液体)	20	4.797	1.15	612
潤滑油	40	1.963	0.47	876	0.88
鑄鉄 4C 以下	20	0.419	0.10	7270	7.3
SUS 18Cr 8Ni	20	0.5	0.12	7820	7.8
純アルミ	20	0.9	0.215	2710	2.7
純銅	20	0.39	0.09	8960	8.96

表2 潜熱量 L

物質名	kJ/kg	kcal/kg
水	2257	539
アンモニア	1371	199
アセトン	552	125
トルエン	363	86
ブタン	385	96
メチルアルコール	1105	264
エチルアルコール	858	205
オクタン	297	71
氷 (融解熱)	333.7	79.7

表3 放熱損失係数 Q 単位 [W/m²]

保温 \ 温度差 ΔT	30°C	50°C	100°C	150°C	200°C	250°C	300°C	350°C	400°C
保温なし	300	600	1300	2200	3400	5000	7000	9300	14000
t50	40	70	130	200	280	370	460	560	700
t100	25	35	70	100	140	190	250	300	350
水表面	1000	3000	10 ⁵	—	—	—	—	—	—
油表面	300	500	1400	2800	4500	6000	—	—	—

参考データ

1. 電力早見表

加熱に必要なヒーター電力の目安にご利用下さい。 p. 230-233 参照。

表1 流れない水の加熱	表2 流れる水の加熱	・・・ p. 230
表3 流れない空気の加熱	表4 流れる空気の加熱	・・・ p. 231
表5 ステンレスの加熱	表6 アルミニウムの加熱	・・・ p. 232
表7-8 ヒーター電力と任意の流量による上昇温度		・・・ p. 233

2. 物性値

ここに示す比熱や密度などはあくまでも参考値です。

実際にお客様がヒーターをご使用になる条件に合わせて、下記の文献などから適切なデータを参照してください。

☆伝熱工学資料 著作兼発行：社団法人日本機械学会

☆機械工学便覧 著作兼発行：社団法人日本機械学会

熱計算：例題1 水加熱

<表の右側は、熱量を cal で計算した結果を示します。>

タンク(500×500×800)の中の水 200 L (リットル) を 20 °C から 60 °C に、1 時間で加熱するヒーター電力。

条件：水の入っている容器は質量 20 kg (ステンレス製) 表面積 2.1 m² で断熱材なし、外気温度 10 °C とする。

<p>①水加熱 $c=4.18 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{°C)}$ $\rho=1 \text{ kg/L}$ $V=200\text{L}$ $\Delta T=40 \text{ °C}$ $P_1=0.278 \times 4.18 \times 1 \times 200 \times 40$ $=9296\text{W}$</p> <p>④容器加熱 $c=0.5 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{°C)}$ $\rho \times V=20 \text{ kg}$ $\Delta T=40 \text{ °C}$ $W_5=0.278 \times 0.5 \times 20 \times 40$ $=111.2\text{W}$</p> <p>⑥容器からの放熱 表面積 $A=(0.5 \times 0.5) \times 2 + (0.5 \times 0.8) \times 4 = 2.1 \text{ m}^2$ 保温なし $\Delta T=50 \text{ °C}$ における放熱損失係数 $Q=600 \text{ W/m}^2$ $W_7=2.1 \times 600$ $=1260\text{W}$</p> <p>◎総合電力 ①+④+⑥ $W=(9296 + 111.2 + 1260) \times 1.25$ $=13334\text{W}$ $\approx 13\text{kW}$</p>	<p>①水加熱 $c=1 \text{ kcal/(kg}\cdot\text{°C)}$ $\rho=1\text{kg/L}$ $V=200\text{L}$ $\Delta T=40 \text{ °C}$ $W_1=1.16 \times 1 \times 1 \times 200 \times 40$ $=9280\text{W}$</p> <p>④容器加熱 $c=0.12 \text{ kcal/(kg}\cdot\text{°C)}$ $\rho \times V=20\text{kg}$ $\Delta T=40 \text{ °C}$ $W_5=1.16 \times 0.12 \times 20 \times 40$ $=111\text{W}$</p> <p>⑥容器からの放熱 表面積 $A=(0.5 \times 0.5) \times 2 + (0.5 \times 0.8) \times 4 = 2.1 \text{ m}^2$ 保温なし $\Delta T=50 \text{ °C}$ における放熱損失係数 $Q=600\text{W/m}^2$ $W_7=2.1 \times 600$ $=1260\text{W}$</p> <p>◎総合電力 ①+④+⑥ $W=(9280 + 111 + 1260) \times 1.25$ $=13314\text{W}$ $\approx 13\text{kW}$</p>
---	---

熱計算：例題2 空気加熱

<表の右側は、熱量を cal で計算した結果を示します。>

流量 10m³/min で温度 0°C の空気を 200°C に加熱するヒーター電力。

条件：ケーシング・ダクトの質量は約 100kg (ステンレス製) 保温の厚さ 100 mm で表面積 5m²、外気温度 0°C とする。

<p>③空気加熱 $c=1.007 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{°C)}$ $\rho=1.251\text{kg/m}^3$ $q=10 \text{ m}^3/\text{min}$ $\Delta T=200 \text{ °C}$ $W_4=0.278 \times 60 \times 1.007 \times 1.251 \times 10 \times 200$ $=42025\text{W}$</p> <p>④ステンレスの加熱 $c=0.5 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{°C)}$ $\rho \times V=100 \text{ kg}$ $\Delta T=200 \text{ °C}$ $W_5=0.278 \times 0.5 \times 100 \times 200$ $=2780\text{W}$</p> <p>⑥ケーシングやダクトからの放熱 表面積 $A=5 \text{ m}^2$ 保温 $t=100\text{mm}$ $\Delta T=200 \text{ °C}$ における放熱損失係数 $Q=140 \text{ W/m}^2$ $W_7=5 \times 140$ $=700\text{W}$</p> <p>◎総合電力 ③+④+⑥ $W=(42025 + 2780 + 700) \times 1.25$ $=56881\text{W}$ $\approx 57\text{kW}$</p>	<p>③空気加熱 $c=0.24 \text{ kcal/(kg}\cdot\text{°C)}$ $\rho=1.251 \text{ kg/m}^3$ $q=10 \text{ m}^3/\text{min}$ $\Delta T=200 \text{ °C}$ $W_4=1.16 \times 60 \times 0.24 \times 1.251 \times 10 \times 200$ $=41793\text{W}$</p> <p>④ステンレスの加熱 $c=0.118 \text{ kcal/(kg}\cdot\text{°C)}$ $\rho \times V=100\text{kg}$ $\Delta T=200 \text{ °C}$ $W_5=1.16 \times 0.12 \times 100 \times 200$ $=2784\text{W}$</p> <p>⑥ケーシング・ダクトからの放熱 表面積 $A=5 \text{ m}^2$ 保温 $t=100\text{mm}$ $\Delta T=200 \text{ °C}$ における放熱損失係数 $Q=140 \text{ W/m}^2$ $W_7=5 \times 140$ $=700\text{W}$</p> <p>◎総合電力 ③+④+⑥ $W=(41793 + 2784 + 700) \times 1.25$ $=56596\text{W}$ $\approx 57\text{kW}$</p>
---	--