

4. 繊維系耐火物の品質

繊維系耐火物は表2-32の材料をベースとしてブランケット, フェルト, ボード, 成形品及び他の耐火材との複合品等が各種用途目的に応じて準備されている。本材はその性質上各種断熱材の中で最も熱容量が小さく, 従って各種工業炉の蓄熱損失, 放散損失の軽減に最も効果的に使用されている。

表 2.32 市販セラミックファイバーの物性

メーカー	A		B	C	D	E	F	G
	(短繊維)	(長繊維)						
繊維直径 (μ)	2.3~2.5		2.8	2~3.5	3.6	3	2.9	—
繊維長さ (mm)	<38	13~254	平均 100	<38	最長 250	5~30	75	—
真比重 (g/cm ³)	2.73	—	2.56	2.6	2.73	2.65	3.1	—
融点 (°C)	>1,760		1,760	1,760	>1,760	1,800	1,825	—
使用温度 (°C)	1,260		1,260	1,260	1,300	1,260	1,400	1,480
化学組成 (%)								
Al ₂ O ₃	50.9	51.3	50.1	45.5	51.8	52~53	60.2	40.4
SiO ₂	46.8	45.3	49.3	54.0	47.9	45~46	38.7	55.1
Fe ₂ O ₃	—	—	0.1	0.2	0.1	0.1~0.15	0.2	—
TiO ₂	—	—	0.1	0.5	tr.	1~1.5	0.2	—
CaO	—	—	0.1	—	tr.	—	0.1	—
MgO	—	—	tr.	—	tr.	—	0.1	—
Na ₂ O	0.8	—	0.3	0.2	0.2	0.1~0.2	0.4	—
B ₂ O ₃	1.2	—	—	—	—	0.1~0.2	—	—
ZrO ₂	—	3.4	—	—	—	—	—	—
Cr ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	—	3.5

(注) 各メーカー発表のデータによる。

(出所 工業炉ハンドブック P561)

表 2.33 アルミナファイバーの物性

繊維密度	3.4 g/cm ³
融点	>2,000°C
最高使用温度	>1,600°C
比熱	0.25 cal/g°C
引張強さ	1×10 ⁸ MN/m ²
比引張強さ	40×10 ⁴ m ² S ²
ヤング率	1×10 ⁴ MN/m ²
比弾性率	4×10 m ² S ²
繊維の径	3 μ (平均)
表面積	3 m ² /g
硬さ (モース)	6
組成	Al ₂ O ₃ 95%, SiO ₂ 5%

(出所 工業炉ハンドブック P563)

表 2.34 セラミックファイバーボードの品質

品 名		A	B	C	D	E	F	G
かさ比重 (g/cm ³)		0.22	0.26~0.31	0.45	0.26	0.32	0.25~0.65	0.15~0.38
使用温度 (°C)		—	—	—	1260	1260	1260	1260
融 点 (°C)		—	—	—	>1760	>1760	>1760	—
加熱収縮率 (%)	800°C×2 h	0.4	0.2	0.4	0.0	(816°C×24 h) 0.0	0.0	—
	1100°C×2 h	1.7	2.6	5.9	2.5	(982°C×24 h) 3.0	—	—
	1260°C×2 h	2.7	2.9	—	5.4	(1268°C×24 h) 5.4	—	—
加熱減量 (%)	800°C×2 h	—	8.7	—	—	—	—	—
	1100°C×2 h	—	8.8	3.4	—	—	—	—
	1260°C×2 h	—	8.9	—	—	—	—	—
曲げ強さ (kg/cm ²)	常 温	4.4	3.3	4.9	—	21	—	—
	800°C×2 h	0.3	2.0	6.0	—	—	—	—
	1100°C×2 h	0.9	2.0	16.0	—	—	—	—
	1260°C×2 h	1.9	2.4	—	—	(×24 h) 9	—	—
バインダー含有量 (%)		8.9	—	—	—	—	—	—

(出所 鉄と鋼第64号第13号 (1978) P231)

表 2.35 セラミックファイバーフェルトの品質例

品 名		A	B	C
項目				
常用最高使用温度 °C		1,100	1,200	1,400
かさ密度 g/cm ³		0.16	0.16	0.13
灼熱減量率 %		6	6	7
線収縮率 %	at 800°C	0.0	—	—
	at 900°C	0.4	0.0	—
	at 1000°C	1.1	0.5	—
	at 1100°C	1.2	0.9	0.0
	at 1200°C	—	1.4	0.4
	at 1300°C	—	—	0.7
	at 1400°C	—	—	1.5
熱伝導率 kcal/m·h·°C	at 700°C	0.14	—	—
	at 800°C	0.17	0.17	—
	at 900°C	0.20	0.20	—
	at 1000°C	0.23	0.23	0.26
	at 1100°C	0.28	0.28	0.30
	at 1200°C	—	0.32	0.36
	at 1300°C	—	—	0.42

* セラミックファイバーフェルトはベニアリング材として品種別、多層構成により、建設費の経済効果が高く、モジュール、ブロック化して用いることができる。

表 2.37 セラミックファイバースプレアの性質

	A		B	
耐熱度 (°C)	1300		1500	
かさ密度 (g/cm ³) 乾燥後	標準 0.2 (施工可能範囲 0.15~0.35)			
曲げ強さ (kg/cm ²) 乾燥後	1.0			
1100°C 3h 加熱後	1.5			
1300°C "	1.5			
収縮率 (%)	長さ方向	厚さ方向	長さ方向	厚さ方向
900°C 3h 加熱後	0.4	0.4	0.4	0.4
1100°C "	2.5	2.7	1.8	2.1
1300°C "	3.6	5.0	2.4	3.2
1500°C "			2.9	8.0
熱伝導率 (kcal/m·h·°C)	200°C 0.063			
	400°C 0.089			
	600°C 0.125			
	800°C 0.175			
	1000°C 0.234			
化学成分 (%) Al ₂ O ₃	47 以上		58 以上	
耐風速性 20 m/sec. 30 h	乾燥後、加熱後とも異常なし			
耐振動性 3000 cpm, 30 h 振 幅 2 mm	乾燥後、加熱後とも異常なし			

(出所 鉄と鋼第64号第13号 (1978) P232)

表 2.36 セラミックファイバーキャストブルの種類と性質

項目	特			性	
	A	B	C	D	E
最高使用温度 (°C)	1,300	1,400	1,500	1,500	1,400
かさ密度 (g/cm ³) 110°C 乾燥後	0.25	0.40	0.70	1.00	0.44
曲げ強さ (kg/cm ²) 110°C 乾燥後 1,200°C 焼成後	4.0 2.0	5.0 3.0	5.2 9.3	8.1 11.7	3.5 2.9
圧縮強さ (kg/cm ²) 110°C 乾燥後 1,200°C 焼成後	2.8 1.3	3.3 2.3	3.6 11.4	5.6 21.3	2.8 2.6
線変化率 (%) 1,200°C 焼成後 1,300°C 焼成後 1,400°C 焼成後 1,500°C 焼成後	-2.82 -3.66 — —	-2.44 — -3.52 —	-2.04 — — -2.95	-1.85 — — -2.71	-2.40 — -3.30 —
化学成分 (%) Al ₂ O ₃ SiO ₂	54 46	67 33	77 23	84 16	67 33
熱伝導率 (kcal/mh°C) 600°C 800°C 1,000°C 1,200°C	0.12 0.18 0.23 0.28	0.10 0.15 0.21 0.27	0.13 0.14 0.18 0.23	0.22 0.25 0.28 0.31	0.11 0.16 0.22 0.28
施工所要重 (kg/m ³)	1,180	1,200	1,450	1,700	1,225

注：セラミックファイバーキャストブルは複雑な個所の構築に最も大きな効果が期待できる。

5. その他の断熱材の品質

以下に述べるその他の断熱材は、主として各種工業炉の比較的低温域の Back up 材として、又各種炉回りの配管機器の保温材として工業炉の省エネ化に不可欠の材料である。これらの材料は JIS でほとんど標示され、又施工標準も決められている。

(1) 珪酸カルシウム系

表 2.38 ケイ酸カルシウム系高温断熱ボードの品質

	けい酸カルシウム保温板 2号	特殊けい酸カルシウム保温板	けい酸カルシウム保温板 1号	特殊けい酸カルシウム保温板	特殊けい酸カルシウム保温板
最高使用温度°C	650	850	1000	1000	1000
かさ比量	0.20	0.13	0.20	0.30	0.40
圧縮強さ (kg/cm ²)	8.0以上	6.0以上	7.0以上	2.0以上	3.3以上
曲げ強さ (kg/cm ²)	4.0以上	3.0以上	4.0以上	15.0以上	20以上
() °C × 3 h 焼成後線収縮率	(650) 2.0以下	(850) 1.0以下	(1000) 1.5以下	(1000) 1.5以下	(1000) 1.5以下
熱伝導率 (kcal/mh°C)	0.040 × 0.00009 θ	0.033 + 0.00011 θ	0.040 + 0.00009 θ	0.050 + 0.00009 θ	0.056 + 0.00009 θ

(出所 工業加熱 vol. 16, No. 5 p 38)

表 2.39 珪酸カルシウム保温材の化学成分

	Ig-loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
1号 (ゾノライト系) 6CaO·6SiO ₂ ·H ₂ O	5.9	46.3	0.9	2.5	43.3	0.7
	6.9	45.5	0.3	3.1	43.1	0.7
	6.8	44.3	1.2	3.7	41.1	2.0
2号 (トバモライト系) 5CaO·6SiO ₂ ·5H ₂ O	13.8	44.4	3.7	1.8	34.7	0.6
	14.8	41.5	6.9	3.5	31.9	0.9
	12.8	45.9	3.2	1.3	33.7	2.8

(出所 工業炉ハンドブック P568)

(2) パーライト系

表 2.40 パーライト保温材の品質 (JIS A9512)

種 類	密 度 (g/cm ³)	熱 伝 導 率 (kcal/m·h·°C) (平均温度 70±5°C)	曲げ強さ (kg/cm ²)	線収縮率 (%)	はっ水度 (%)
パーライト保温板 1号	0.20以下	0.053以下	2.5以上	2.0以下	—
パーライト保温板 2号	0.30以下	0.065以下	5.0以上	2.0以下	—
はっ水性パーライト保温板 1号	0.20以下	0.053以下	2.5以上	2.0以下	98以上
はっ水性パーライト保温板 2号	0.30以下	0.065以下	5.0以上	2.0以下	—
パーライト保温筒 1号	0.20以下	0.053以下	2.5以上	2.0以下	—
パーライト保温筒 2号	0.30以下	0.065以下	5.0以上	2.0以下	—
はっ水性パーライト保温筒 1号	0.20以下	0.053以下	2.5以上	2.0以下	98以上
はっ水性パーライト保温筒 2号	0.30以下	0.065以下	5.0以上	2.0以下	—

(出所 工業炉ハンドブック P569)

(3) パーミキュライト系

表 2.41 パーミキュライトボードの品質

1. 安全使用温度	1,000°C以下
2. 密 度	450 kg/m ³ 以下
3. 熱 伝 導 率	0.10+0.00009 (θ) kcal/m·h·°C
4. 曲 げ 強 さ	2.0 kg/cm ² 以上
5. 標 準 寸 法	厚さ 25 mm, 幅 150 mm, 長さ 610 mm
用 途	各種ボイラ, 窯炉炉壁・ふた・扉, 一般高温機器, パイプの保温

(出所 工業炉ハンドブック P570)

(4) ロックウール系

表 2.42 ロックウール保温板の品質

種 類	密 度 g/cm ³	熱伝導率 kcal/m·h·°C (平均温度 70±5°C)	曲げ強さ kg/cm ²
ロックウール保温板 1号	0.10以下	0.039以下	—
ロックウール保温板 2号	0.16以下	0.039以下	—
ロックウール保温板 3号	0.30以下	0.042以下	2.5以上
ロックウール保温板 4号	0.35以下	0.047以下	2.5以上

耐熱度は1号~3号は400°C, 4号は600°C。ただし表面の被覆したものはこの限りでない。

表 2.43 ロックウールフェルトの品質

種 類	密 度 g/cm ³	熱 伝 導 率 kcal/m·h·°C (平均温度70±5°C)
ロックウールフェルト	0.07以下	0.042以下

ロックウールフェルトの使用温度の最高は400°C。

(出所 工業炉ハンドブック P572)

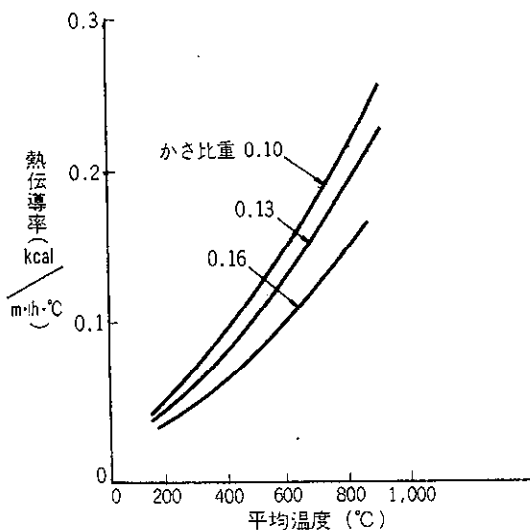


図 2.31 セラミックファイバーの熱伝導率
(出所 工業炉ハンドブック)

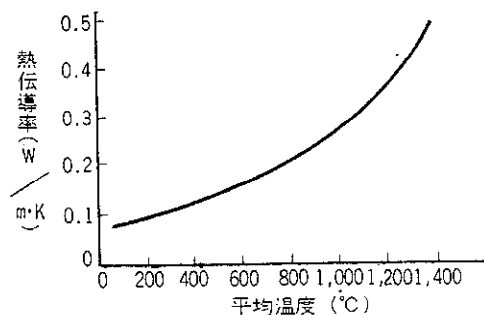


図 2.32 アルミナファイバーの熱伝導率
(出所 工業炉ハンドブック)

6. 各種耐火物断熱材の熱伝導率, 熱容量及び使用温度範囲

(1) 熱伝導率

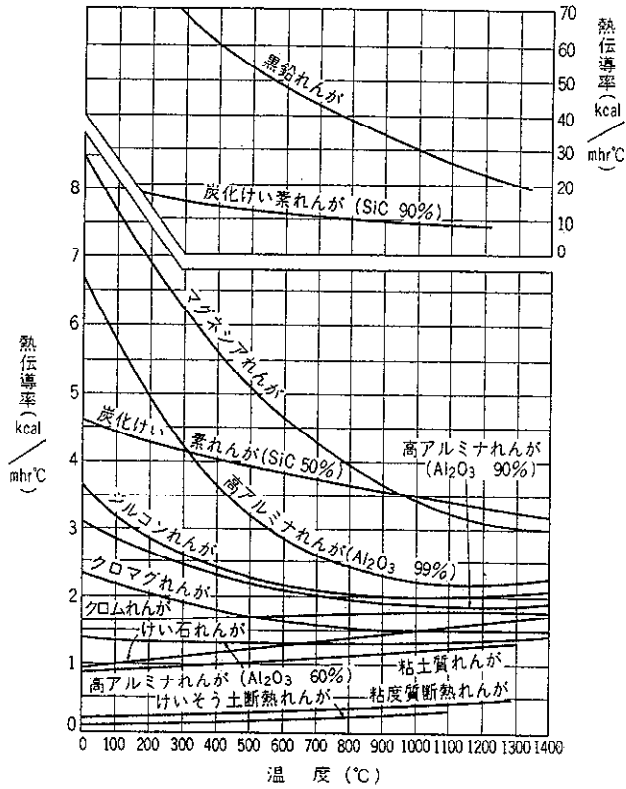


図 2.29 各種焼成耐火れんがの熱伝導率 (例)

(出所 耐火物手帳1976 P30)

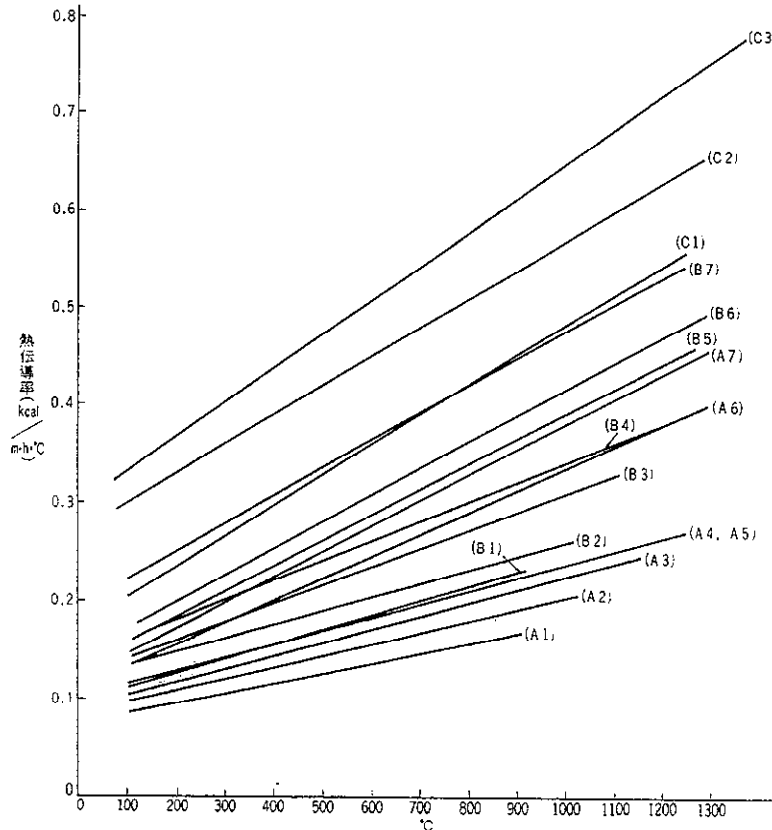


図 2.30 耐火断熱れんが (JIS, A, B, C 類) の熱伝導率 (例)

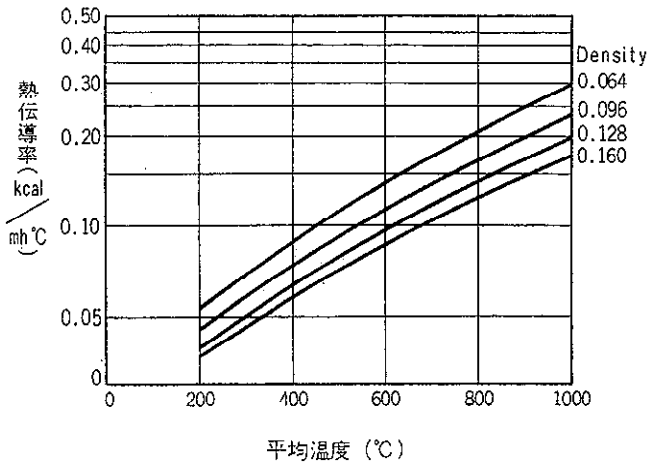


図 2.33 セラミックファイバーブランケットの空気中の熱伝導率

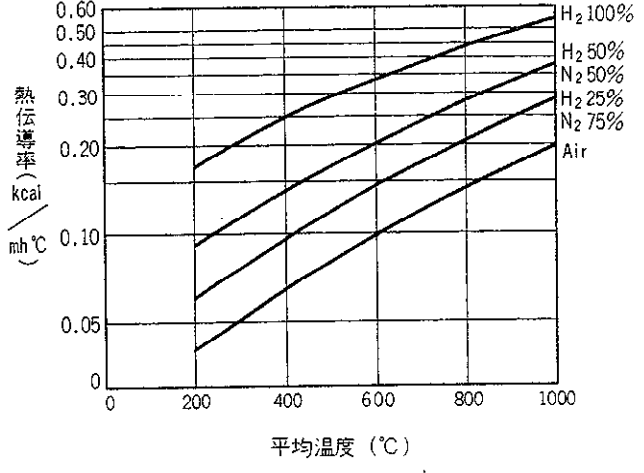


図 2.34 H₂ 中の熱伝導率
セラミックファイバーブランケット (0.128 g/cm³)

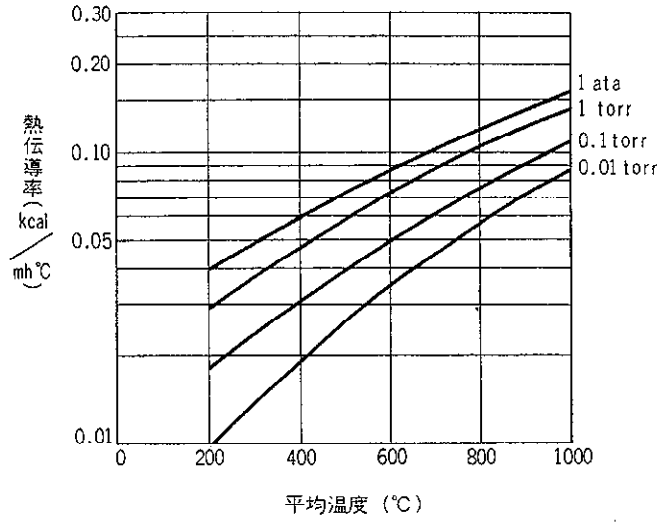


図 2.35 真空中における熱伝導率
セラミックファイバーブランケット (0.128 g/cm³)

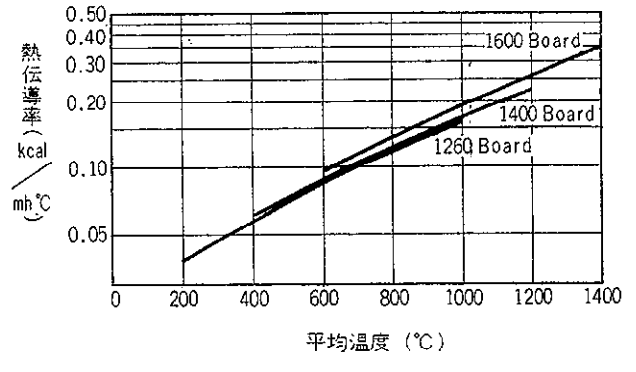


図 2.36 セラミックファイバーボードの熱伝導率

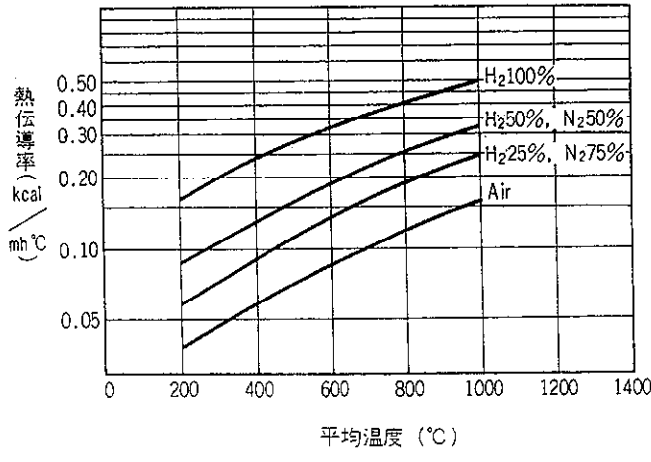


図 2.37 H₂ ガス中の熱伝導率
セラミックファイバーボード
(出所 工業加熱 vol. 16, No. 5 p 37)

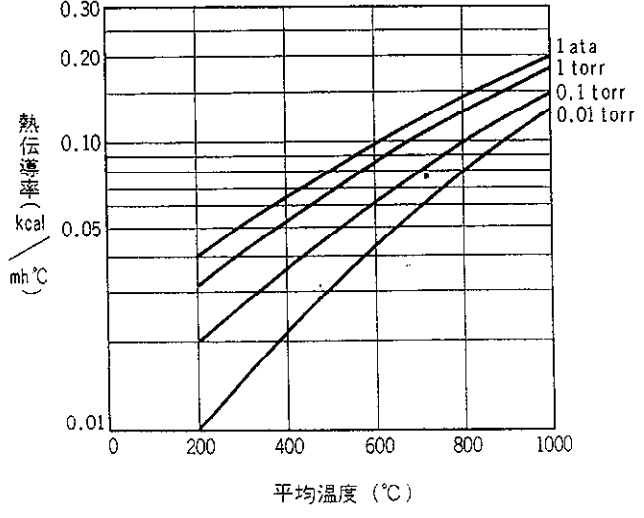


図 2.38 真空中における熱伝導率
セラミックファイバーボード

(2) 比熱容量

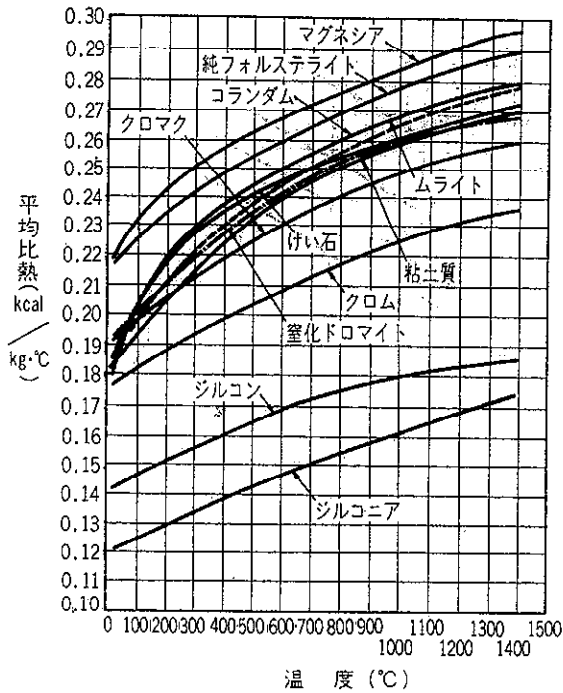


図 2.39 各種れんがの平均比熱 (20°C~t°C)
(出所 耐火物手帳1979 P31)

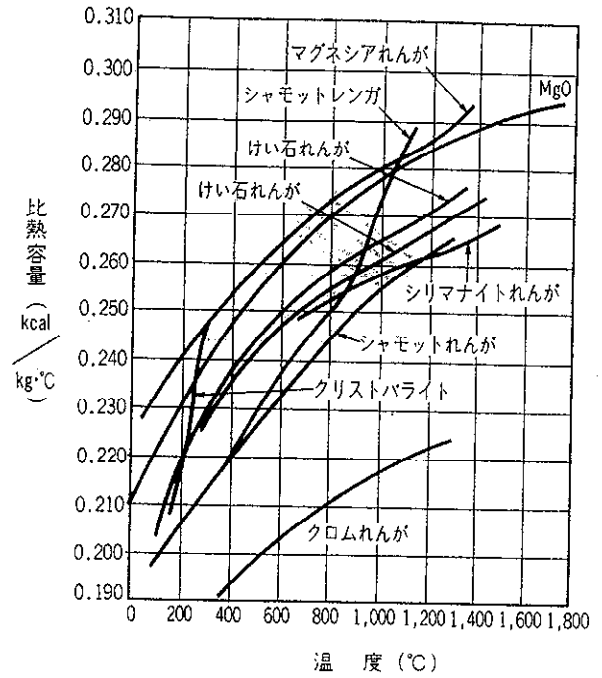


図 2.40 耐火物の比熱容量
(出所 耐火物とその応用 耐技協 P135)

(3) 各種断熱材の使用温度範囲

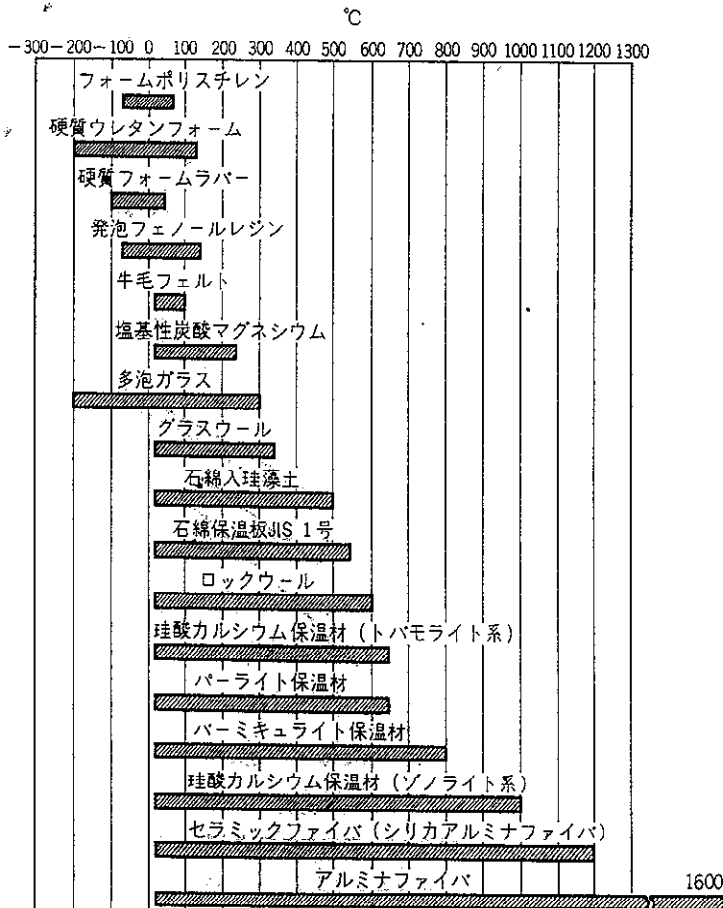


図 2.41 各種断熱材の使用温度範囲
(出所 工業炉ハンドブック P567)

3. SI 単位及び単位換算表

(1) SI 単位

量	SI の単位	従 来 の 単 位			備 考	
長 さ	m	mm	ft	in	圧 力	lbf/in ²
	1	1 000	3.280 840	39.370 08		1.450 377 × 10 ⁻⁴
	10 ⁻³	1	3.280 840 × 10 ⁻²	3.937 008 × 10 ⁻²		14.503 77
	0.304 8	304.8	1	12		14.223 34
	0.025 4	25.4	1/12	1		14.695 95 1.422 334 × 10 ⁻³ 1.933 678 × 10 ⁻² 1
圧 力	Pa	bar	kgf/cm ²	atm	mmAq	mmHg
	1	10 ⁻⁵	1.019 716 × 10 ⁻⁵	9.869 233 × 10 ⁻⁶	0.101 971 6	7.500 617 × 10 ⁻³
	10 ⁵	1	1.019 716	0.986 923 3	1.019 716 × 10 ⁴	750.061 7
	9.806 65 × 10 ⁴	0.980 665	1	0.967 841 1	10 ⁴	735.559 3
	1.013 25 × 10 ⁵	1.013 25	1.033 227	1	1.033 227 × 10 ⁴	, 760
	9.806 65	9.806 65 × 10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	9.678 411 × 10 ⁻⁵	1	7.355 592 × 10 ⁻²
	133.322 4	1.333 224 × 10 ⁻³	1.359 510 × 10 ⁻³	1/760	13.595 10	1
	6 894.757	6.894 757 × 10 ⁻²	7.030 695 × 10 ⁻²	6.804 596 × 10 ⁻²	703.069 5	51.714 93
					1 Pa = 1 N/m ² , 1 Torr (トル) = 1 mmHg	
	表面張力	N/m	kgf/m	lbf/ft		
1		0.101 971 6	6.852 177 × 10 ⁻²			
9.806 65 14.593 90		1 1.488 164	0.671 969 0 1			
粘 度 (粘性係数)	Pa·s	kgf·s/m ²	lbf·s/ft ²	lbm/(ft·s)	1 P (ポアズ) = 10 ² cP (センチポアズ)	
	1	0.101 971 6	0.208 854 3	0.671 968 9	1 cP = 10 ⁻³ Pa·s = 1 mPa·s	
	9.806 65	1	2.048 161	6.589 764	(ミリパスカル秒)	
	4.788 026 1.488 163	0.488 242 8 0.151 750 5	1 0.310 809 5	3.217 405 1	1 slug/(ft·s) = 1 lbf·s/ft ²	
動 粘 度 (動粘性係数)	m ² /s	m ² /h	ft ² /s	ft ² /h	1 St (ストークス) = 10 ² cSt (センチストークス)	
	1	3 600	10.763 91	3.875 008 × 10 ⁴	1 cSt = 10 ⁻⁵ m ² /s	
	1/3 600	1	2.989 975 × 10 ⁻³	10.763 91	= 1 mm ² /s	
	9.290 304 × 10 ⁻² 2.580 64 × 10 ⁻⁵	334.450 9 9.290 304 × 10 ⁻²	1 1/3 600	3 600 1		
熱 拡 散 率 (温度伝導率) 拡 散 係 数	m ² /s	m ² /h	ft ² /s	ft ² /h		
	1	3 600	35.314 67	1.271 328 × 10 ⁵		
	1/3 600	1	9.809 630 × 10 ⁻³	35 314 67		
	2.831 685 × 10 ⁻² 7.865 791 × 10 ⁻⁵	101.940 6 2.831 685 × 10 ⁻²	1 1/3 600	3 600 1		
体 積 流 量	m ³ /s	m ³ /h	ft ³ /s	ft ³ /h		
	1	3 600	35.314 67	1.271 328 × 10 ⁵		
	1/3 600	1	9.809 630 × 10 ⁻³	35 314 67		
	2.831 685 × 10 ⁻² 7.865 791 × 10 ⁻⁵	101.940 6 2.831 685 × 10 ⁻²	1 1/3 600	3 600 1		

量	SI の単位	従 来 の 単 位			備 考
質量流量	kg/s	kg/h	lbm/s	lbm/h	
	1	3 600	2. 204 623	7 936. 641	
	1/3 600	1	$6. 123 952 \times 10^{-4}$	2. 204 623	
	0. 453 592 37	1 632. 933	1	3 600	
	$1. 259 979 \times 10^{-4}$	0. 453 592 37	1/3 600	1	
質量速度	kg/(m ² ·s)	(kg/(m ² ·h))	lbm/(ft ² ·s)	lbm/(ft ² ·h)	
	1	3 600	0. 204 816 2	737. 338 3	
	1/3 600	1	$5. 689 339 \times 10^{-5}$	0. 204 816 2	
	4. 882 426	$1. 757 673 \times 10^4$	1	3 600	
	$1. 356 230 \times 10^{-3}$	4. 882 426	1/3 600	1	
エネルギー 仕事 熱量 エンタルピー	kJ	kW·h	kcal	Btu	1 J = 1 N·m = 1 W·s
	1	1/3 600	0. 238 845 9	0. 947 817 0	1 国際カロリ cal または cal (IT) または kcal _{IT} = 4.186 8 J
	3 600	1	859. 845 2	3 412. 141	1 計量法カロリ cal = 4.1806 5 J
	4. 186 8	$1. 163 \times 10^{-3}$	1	3. 968 320	1 十五度カロリ cal ₁₅ = 4.185 5 J
	1. 055 056	$2. 930 711 \times 10^{-4}$	0. 251 995 8	1	1 熱化学カロリ cal _{th} = 4.184 0 J
動力 仕事率 出力 熱流量	W	kgf·m/s	PS	ft·lbf/s	1 W = 1 J/s = 1 N·m/s
	1	0. 101 971 6	$1. 359 622 \times 10^{-3}$	0. 737 562 1	1 kcal/h = 1.163 W
	9. 806 65	1	1/75	7. 233 014	1 Btu/h = 0.293 071 1 W
	735. 498 8	75	1	542. 476 0	1 hp = 550 ft·lbf/s
	1. 355 818	0. 138 255 0	$1. 843 399 \times 10^{-3}$	1	
熱発生率	W/m ³	kcal/(m ³ ·h)	Btu/(ft ³ ·h)		
	1	1/1. 163	$9. 662 108 \times 10^{-2}$		
	1. 163	1	0. 112 370 3		
	10. 349 71	8. 899 148	1		
熱流束 (熱流密度)	W/m ²	kcal/(m ² ·h)	Btu/(ft ² ·h)		JIS Z 8202 では熱流密度とよぶ
	1	1/1. 163	0. 316 998 3		
	1. 163	1	0. 368 669 0		
	3. 154 591	2. 712 460	0		
燃料消費率	g/(MW·s)	g/(kW·h)	g/(PS·h)	lbm/(hp·h)	kg/(MW·s) = kg/MJ, g/(kW·h) をもちいてもよい
	1	3. 6	2. 647 796	$5. 918 353 \times 10^{-3}$	
	1/3. 6	1	0. 735 498 8	$1. 643 987 \times 10^{-3}$	
	0. 377 672 7	1. 359 621 6	1	$2. 235 200 \times 10^{-3}$	
	168. 965 9	608. 277 4	447. 387 2	1	
熱伝導率	W/(m·K)	kcal/(m·h·°C)	cal/(cm·s·°C)	Btu/(ft·h·°F)	
	1	1/1. 163	$2. 388 459 \times 10^{-3}$	0. 577 789 3	
	1. 168	1	1/360	0. 671 968 9	
	418. 68	360	1	241. 908 8	
	1. 730 735	1. 488 164	$4. 133 789 \times 10^{-3}$	1	

量	SI の単位	従 来 の 単 位		備 考
熱伝導率 熱通過率	W/(m ² ·K)	kcal/(m ² ·h·°C)	Btu/(ft ² ·h·°F)	
	1	1/1.163	0.176 110 2	
	1.163	1	0.204 816 1	
	5.678 264	4.882 428	1	
熱抵抗	m ² ·K/W	m ² ·h·°C/kcal	ft ² ·h·°F/Btu	
	1	1.163	5.678 264	
	1/1.163	1	4.882 428	
	0.176 110 2	0.204 816 1	1	
熱容量 エントロピー	kJ/K	kcal/°K	Btu/°R	
	1	0.238 845 9	0.526 565 1	
	4.186 8	1	2.204 623	
	1.899 101	0.453 592 37	1	
比内部エネルギー 比エンタルピー 質量潜熱 (潜熱)	kJ/kg	kcal/kgf	Btu/lbm	JIS Z 8202 では比内部エネルギー、比エンタルピーはそれぞれ質量内部エネルギー、質量エンタルピーとよぶ
	1	0.238 845 9	0.429 922 6	
	4.186 8	1	1.8	
	2.326	1/1.8	1	
ガス定数	J/(kg·K)	kgf·m/(kgf·°K)	ft·lbf/(lbm·°R)	1 N·m/(kg·K) = 1 J/(kg·K)
	1	0.101 971 6	0.185 862 5	
	9.806 65	1	1.822 689	
	5.380 320	0.548 640 0	1	

注：SI 単位の詳細は JIS Z 8203 参照のこと。



(2) 温度换算表

°C			°C			°C			°C			°C		
°C	F		°C	F		°C	F		°C	F		°C	F	
-101	-150	-238	1.67	35	95.0	29.4	85	185.0	227	440	824	504	940	1,724
-96	-140	-220	2.22	36	96.8	30.0	86	176.8	232	450	842	510	950	1,742
-90	-130	-202	2.78	37	98.6	30.6	87	188.6	238	460	860	516	960	1,760
-84	-120	-184	3.33	38	100.4	31.1	88	190.4	243	470	878	521	970	1,778
-79	-110	-166	3.89	39	102.2	31.7	89	192.2	249	480	896	527	980	1,796
-73	-100	-148	4.44	40	104.0	32.2	90	194.0	254	490	914	532	990	1,814
-63	-90	-130	5.00	41	105.8	32.8	91	195.8	260	500	932	538	1,000	1,832
-62	-80	-112	5.56	42	107.6	33.3	92	197.6	266	510	950	543	1,010	1,850
-57	-70	-94	6.11	43	109.4	33.9	93	199.4	271	520	968	549	1,020	1,868
-51	-60	-76	6.67	44	111.2	34.4	94	201.2	277	530	986	554	1,030	1,886
-46	-50	-58	7.22	45	113.0	35.0	95	203.0	282	540	1,004	560	1,040	1,904
-40	-40	-40	7.78	46	114.8	35.6	96	204.8	288	550	1,022	566	1,050	1,922
-34	-30	-22	8.33	47	116.6	36.1	97	206.6	293	560	1,040	571	1,060	1,940
-29	-20	-4	8.89	48	118.4	36.7	98	208.4	299	570	1,058	577	1,070	1,958
-23	-10	14	9.44	49	120.2	37.2	99	210.2	301	580	1,076	582	1,080	1,976
-17.8	0	32	10.0	50	122.0	37.8	100	212.0	310	590	1,094	588	1,090	1,994
-17.2	1	33.8	10.6	51	123.8	43	110	230	316	600	1,112	593	1,100	2,012
-16.7	2	35.6	11.1	52	125.6	49	120	248	321	610	1,130	599	1,110	2,030
-16.1	3	37.4	11.7	53	127.4	54	130	266	327	620	1,148	604	1,120	2,048
-15.6	4	39.2	12.2	54	129.2	60	140	284	332	630	1,166	610	1,130	2,066
-15.0	5	41.0	12.8	55	131.0	66	150	302	338	640	1,184	616	1,140	2,084
-14.4	6	42.8	13.3	56	132.8	71	160	320	343	650	1,202	621	1,150	2,102
-13.9	7	44.6	13.9	57	134.6	77	170	338	349	660	1,220	627	1,160	2,120
-13.3	8	46.4	14.4	58	136.4	82	180	356	354	670	1,238	632	1,170	2,138
-12.8	9	48.2	15.0	59	138.2	88	190	374	360	680	1,256	638	1,180	2,156
-12.2	10	50.0	15.6	60	140.0	93	200	392	366	690	1,274	643	1,190	2,174
-11.7	11	51.8	16.1	61	141.8	99	210	410	371	700	1,292	649	1,200	2,192
-11.1	12	53.6	16.7	62	143.6	100	212	413	377	710	1,310	654	1,210	2,210
-10.6	13	55.4	17.2	63	145.4	104	220	428	382	720	1,328	660	1,220	2,228
-10.0	14	57.2	17.8	64	147.2	110	230	446	388	730	1,346	666	1,230	2,246
-9.44	15	59.0	18.3	65	149.0	116	240	464	393	740	1,364	671	1,240	2,264
-8.89	16	60.8	18.9	66	150.8	121	250	482	399	750	1,382	677	1,250	2,282
-8.33	17	62.6	19.4	67	152.6	127	260	500	404	760	1,400	682	1,260	2,300
-7.78	18	64.4	20.0	68	154.4	132	270	518	410	770	1,418	688	1,270	2,318
-7.22	19	66.2	20.6	69	156.2	138	280	536	415	780	1,436	692	1,280	2,336
-6.67	20	68.0	21.1	70	158.0	143	290	554	421	790	1,454	699	1,290	2,354
-6.11	21	69.8	21.7	71	159.8	149	300	572	427	800	1,472	704	1,300	2,372
-5.56	22	71.6	22.2	72	161.6	154	310	590	432	810	1,490			
-5.00	23	73.4	22.8	73	163.4	160	320	608	438	820	1,508			
-4.44	24	75.2	23.3	74	165.2	166	330	626	443	830	1,526			
-3.89	25	77.0	23.9	75	167.0	171	340	644	449	840	1,544			
-3.33	26	78.8	24.4	76	168.8	177	350	662	454	850	1,562			
-2.78	27	80.6	25.0	77	170.6	182	360	680	460	860	1,580			
-2.22	28	82.4	25.6	78	172.4	188	370	698	466	870	1,598			
-1.67	29	84.2	26.1	79	174.2	193	380	716	471	880	1,616			
-1.11	30	86.0	26.7	80	176.0	199	390	734	477	890	1,634			
-0.56	31	87.8	27.2	81	177.8	204	400	752	482	900	1,652			
0	32	89.6	27.8	82	179.6	210	410	770	488	910	1,670			
0.56	33	91.4	28.3	83	181.4	216	420	788	493	920	1,688			
1.11	34	93.2	28.9	84	183.2	221	430	806	499	930	1,706			

比例部分
 °C °F
 0.556 1 1.8
 1.111 2 3.6
 1.667 3 5.4
 2.222 4 7.2
 2.778 5 9.0
 3.333 6 10.8
 3.889 7 12.6
 4.444 8 14.4
 5.000 9 16.2

$t[°C] = (t[°F] - 32) / 1.8$, $t[°F] = 1.8 \times t[°C] + 32$, $T[°K] = t[°C] + 273.15$, $T[°R] = t[°F] + 459.67 = 1.8 \times T[°K]$

(3) 主要単位換算表

(1) 熱量換算表

kcal	B. T. U.	Therm	kWh	Joule	kg·m	ft. lb.
1	3.968	3.968×10^{-5}	1.163×10^{-3}	4.186×10^3	4.268×10^2	3.087×10^3
0.252	1	1×10^{-5}	2.930×10^{-4}	1.055×10^3	1.076×10^2	7.779×10^2
25,200	100,000	1	29.3	1.055×10^8	1.076×10^7	7.779×10^7
860	3.413×10^3	3.413×10^{-2}	1	3.600×10^6	3.671×10^5	2.655×10^8
2.389×10^{-4}	9.481×10^{-4}	9.481×10^{-9}	2.778×10^{-7}	1	0.10197	0.73756
2.343×10^{-3}	9.298×10^{-3}	9.298×10^{-8}	2.724×10^{-6}	9.8066	1	7.2330
3.239×10^{-4}	1.285×10^{-3}	1.285×10^{-8}	3.766×10^{-7}	1.3558	1.383×10^{-1}	1

1 Joule = 10^7 erg.
(MKS) (cgs)

(2) 容量換算表

l	m ³ (k)	ft ³ (cf)	Gallon (英)	Gallon (米)	barrel
1	0.001	0.035316	0.21997	0.26418	0.006289
1000	1	35.3157	219.97	264.17	6.2899
28.316	0.028316	1	6.228	7.4806	0.178106
4.547	0.004547	0.16057	1	1.2011	0.02860
3.7854	0.003785	0.13368	0.8327	1	0.02381
158.984	0.158984	5.61468	35	42	1

(3) 特殊な単位及び単位の換算

- (a) 発熱量
 - 1 kcal/kg = 1.800 BTU/lb 1 BUT/lb = 0.5556 kcal/kg
 - 1 kcal/m³ = 0.1123 BTU/ft³ 1 BUT/ft³ = 8.899 kcal/m³
 - 1 kcal/Nm³ = 0.1064 BTU/SCF 1 BTU/SCF = 9.40 kcal/Nm³
 - 1 kcal/l = 6 MM BTU/bbl (原油)
- (b) 比熱
 - 1 kcal/kg·°C = 1 BTU/lb·°F
 - 1 kcal/m³·°C = 0.06241 BTU/lb·°F 1 BTU/ft³·°F = 16.02 kcal/m³·°C
- (c) 熱負荷
 - 1 kcal/m²·h = 0.3687 BTU/ft²·h 1 BTU/ft²·h = 2.710 kcal/m²·h
 - 1 kcal/m³·h = 0.1123 BTU/ft³·h 1 BTU/ft³·h = 8.899 kcal/m³·h
- (d) 燃焼率
 - 1 kg/m²·h = 0.20491 lb/ft²·h 1 lb/ft²·h = 4.883 kg/m²·h
- (e) 熱量(力)
 - 1 Q 又は quas BTU = 10^{15} BTU = 千兆 BTU = 252×10^{12} kcal = 石油換算 2.520 万トン
(石油の発熱量 10,000 kcal/kg)
 - 1 MM BTU = 10^6 (million) BTU = 252×10^3 kcal = 石油換算 25.2 kg
 - 1 G cal (Giga calorie) = 10^9 cal (10 億 cal) = 10^6 kcal
 - 1 thermie (テルミ) = 1,000 kcal = 3.963 BTU
 - 1 therm (サーム) 25,200 kcal = 100,000 BTU = 25.2 thermie
 - 1 c.h.u. (centigrade heat unit) 又は P.C.U. (Pound Calorie Unit) = 0.4536 kcal
 - 1 P.S. (Pferde Starke) 又は C.V. (Cheval Vapeur) = 0.986 HP = 0.736 kW
- (f) ガス燃料(天然ガス等)の容量
 - 1 TCF = 10^{12} ft³ = 1 兆立方フィート = 28.3×10^9 m³ = 石油換算 2,690 万トン
 - 1 MMS CF = 10^6 SCF = 26,800 Nm³ = 石油換算 25.45 トン
(天然ガスの発熱量 9,500 kcal/Nm³)
 - 1 MCF = 10^3 ft³ = 28.3 m³ = 石油換算 26.9 kg

注: 1 SCF……圧力 14,696 lb/ft², 温度 60°F における 1 ft³
(SCF : Standard Cubic Feet)

1 SCF = 0.02680 Nm³
 1 CF = 0.028315 m³
 1 Nm³……圧力1気圧, 温度0°Cにおける1 m³。

(4) 総合エネルギー統計(資源エネルギー庁)に使われている換算値

エネルギー	単位	平均発熱量 (kcal)	エネルギー	単位	平均発熱量 (kcal)
電力	kWh	2,450 (熱効率35.1%)	都市ガス	m ³	10,000
石油			亜炭	kg	4,100
原油	l	9,400	薪	層積 m ³	1,540 × 10 ³
揮発油, ナフサ	"	8,600	木炭	kg	7,000
灯油, ジェット油	"	8,900	核燃料 (天然ウラン) (U ²³⁵ = 0.72 金属)	"	6,811 × 10 ⁴
軽油	"	9,200	煉炭	"	5,400
重油	"	9,900	豆炭	"	6,800
LPG	kg	12,000	石炭		
精製ガス	m ³	20,000	精炭・国産	"	毎年の平均品位で換算
その他石油製品	l	9,400	輸入原料炭	"	7,700
天然ガス			輸入一般炭	"	6,200
油田ガス	m ³	9,800	雑炭 (低品位を含む)	"	37年度まで 3,800 38年度から 3,950
炭田ガス	"	8,000	コークス	"	6,800
LNG	kg	13,300			
高炉ガス	m ³	40.12月まで 900 41.1月より 800			
コークス炉ガス	"	40.12月まで 4,200 41.1月より 4,800			

(5) エネルギー換算率 (OECD)

	kcal/kg	BUT/lb	石油換算 t/t
石炭	7,000	12,000	0.7
亜炭	2,000	3,600	0.2
	バーレル/t	石油換算 t/t	10 ⁶ BTU/バーレル
原油	7.30	1.034	5.62
LPG	11.80	1.195	4.01
ガソリン	8.53	1.128	5.25
ジェット	7.93	1.133	5.67
ディーゼル油	7.46	1.095	5.83
軽質燃料油			
残渣燃料油	6.66	1.055	6.29
	kcal/m ³	BTU/ft ³	石油換算 t/10 ³ m ³
天然ガス(アメリカ)	9,000	1,015	0.9
"(その他)	8,400	947	0.84
一次電力投入	石油換算 t/10 ³ kWh	BTU/kWh	効率 %
電力	0.2606	10,500	33
原子力			
水力	0.1075	4,200	80

[備考] OECD Long Term Energy Assessment 採用 (1974)

