建築仕上技術者のための

建築物理学講座

第5講「単位とその換算」

田中　辰明　　柚本　玲
（お茶の水女子大学名誉教授・工博）（お茶の水女子大学田中研究室・博士（生活科学））

はじめに

国際標準化機構ISOは、国際規格の統一を目指す機関であり、様々な規格を作成している。わが国の日本工業規格JISも、グローバル化、国際交流の活発化に伴いISOを積極的にJISに取り入れるようになってきている。単位についても各国で独自のものも使われていたが、現在ではSI単位系に統一されている。ここでは、様々な単位とその換算について紹介する。

1．国際単位系（SI）の基本単位。

国際単位系（以下SI単位）はTable1に示す７つの基本単位を基礎としている。これらの単位を組み合わせて、例えば速度などのSI単位はメートル毎秒（m／s）のように示すことができる。また、センチ（ｃ）やナノ（ｎ）のような10の整数乗倍を示す接頭語をつけることができる（Table2参照）。正負のべき指数、例えば平米（m^2）のように２乗などを付けてあらわすこともできる。なお、質量の基本単位は歴史的な理由からキロという接頭語が含まれている[1)]。

Table 1　SI単位系

物理量	単位記号	
長さ	m	メートル
質量	kg	キログラム
時間	s	秒
電流	A	アンペア
熱力学的温度	K	ケルビン
光度	cd	カンデラ
物質量	mol	モル

Table 2　指数補助記号

記号	10のべき乗		読み方
E	18乗	1,000,000,000,000,000,000	エクサ（exa）
P	15乗	1,000,000,000,000,000	ペタ（peta）
T	12乗	1,000,000,000,000	テラ（tera）
G	9乗	1,000,000,000	ギガ（giga）
M	6乗	1,000,000	メガ（mega）
k	3乗	1,000	キロ（kilo）
h	2乗	100	ヘクト（hecto）
da	1乗	10	デカ（deca,deka）
なし	0乗	1	なし
d	−1乗	0.1	デシ（deci）
c	−2乗	0.01	センチ（centi）
m	−3乗	0.001	ミリ（milli）
μ	−6乗	0.000001	マイクロ（micro）
n	−9乗	0.00000001	ナノ（nano）
p	−12乗	0.0000000001	ピコ（pico）
f	−15乗	0.000000000001	フェムト（femto）
a	−18乗	0.00000000000001	アト（atto）

2．重要な物理量とSI単位系の基本単位との関係

Table3に重要な物理量とSI単位系基本単位との関係を示した。

3．単位の換算

（1）長さ単位の換算

1 ㎝（センチメートル）＝0.3937 in, 1 inch＝2.54 ㎝

1 m（メートル）＝3.2808 ft＝1.0936 yards

1 ft（フィート）＝12 in＝0.3048 m

1 yards（ヤード）＝0.9144 m＝3 ft

1 ㎞（キロメートル）＝0.6214 mile＝0.5396海里

1 mile（マイル）＝1.60934 ㎞，1 海里＝1.85318 ㎞

Table 3　重要な物理量とSI単位系の基本単位との関係

物理量	定義	単位		SI単位との関係
力	重量×加速度	N	ニュートン	$N = \frac{kg \cdot m}{s^2}$
圧力・応力	力／面積	Pa	パスカル	$Pa = \frac{N}{m^2} = \frac{kg \cdot m}{s^2 \cdot m^2}$
		N/㎟		$Pa = \frac{N}{mm^2} = \frac{kg \cdot m}{s^2 \cdot 10^{-6} \cdot m^2}$
仕事	力×長さ	J	ジュール	$J = N \cdot m = \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$
仕事率	仕事／時間	W	ワット	$W = \frac{J}{s} = \frac{N \cdot m}{s} = \frac{kg \cdot m^2}{s^3}$
熱量	エネルギー	J	ジュール	$J = N \cdot m = \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$
熱伝導率	工率／(長さ×温度差)	W/m·K		$\frac{W}{m \cdot K} = \frac{kg \cdot m^2}{s^3 \cdot m \cdot K}$
比熱	エネルギー／(質量×温度差)	J/kg·K		$\frac{J}{kg \cdot K} = \frac{kg \cdot m^2}{s^2 \cdot kg \cdot K}$
電気量・電荷	電流×時間	C	クーロン	$C = A \cdot s$
電圧	工率／電荷	V	ボルト	$V = \frac{W}{A} = \frac{kg \cdot m^2}{A \cdot s^3}$
電気抵抗	電圧／電流	Ω	オーム	$\Omega = \frac{V}{A} = \frac{kg \cdot m^2}{A^2 \cdot s^3}$
立体角	球の中心を頂点とし、その球の半径を1辺とする正方形の面積と等しい面積をその球の表面上で切り取る立体角	sr	ステラジアン	$sr = \frac{m^2}{m^2}$
照度	(光度×立体角)／受光面積	lx	ルクス	$lx = \frac{cd \cdot sr}{m^2}$

(2) 面積単位の換算

1 ㎠（平方センチメートル）＝ 0.155 in²

1 in²（平方インチ）＝6.452 ㎠＝0.000645 ㎡

1 ㎡（平方メートル）＝ 10.76 ft²＝ 1.196 yard²

1 ft²（平方フィート）＝ 0.0929 ㎡

1 yard²（平方ヤード）＝ 0.836 ㎡＝ 9 ft²

1 a （アール）＝100 ㎡＝ 0.025 ac

1 ha（ヘクタール）＝ 10000 ㎡＝ 100 a ＝ 2.471 ac

1 acre（エーカー）＝4046.86 ㎡＝ 40.47 a＝ 0.405 ha
＝ 0.002 mi²＝ 0.004047 ㎢

1 mile²（平方マイル）＝ 2589988.1 ㎡＝640 ac
＝ 2.589988 ㎢＝ 2.59 ㎢

1 ㎢（平方キロメートル）＝1000000 ㎡＝ 247.1 a
＝ 247.1 ac＝ 0.386 mi²

1 坪（つぼ）＝3.305785＝㎡

(3) 体積・容積単位の換算

1 ㎥（立法メートル）＝1000 l＝6.299 barrel
＝35.315 ft³＝1.308 yard³

1 in³（立法インチ）＝0.06102 ㎤

1 ft³（立法フィート）＝16.387 ㎤

1 yard³（立法ヤード）＝0.7646 ㎥

1 l（リットル）＝0.001 ㎥＝10 ㎤＝61.026 in³
＝0.3531 ft³

1 barrel（バレル）＝0.15876 in³

(4) 速度単位の換算

1 m／s（メートル毎秒）＝3.6 km／h＝1.9438kt
＝2.2369 mph＝3.2808 fps

1 km／h（キロメートル毎時）＝0.53996 kt
＝0.62137 mph
＝0.91134 fps

1 kt（ノット）＝1.852km／h＝1.1508mph＝1.6878fps

1 mph（マイル毎時）＝1.609344 km／h＝0.869 kt
＝1.4667 fps

1 fps（フィート毎秒）＝1.09728 km／h＝0.59248 kt
＝0.68181 mph

(5) エネルギー単位の換算

1 J（ジュール）＝1 Nm＝1 Ws＝2.778×10^{-7} kWh
＝2.39×10^{-4} kcal＝3.42×10-8 kgSKE*

1 kWh（キロワット時）＝3.6×10^{6}J＝860 kcal
＝0.123 kgSKE*

1 kcal（キロカロリー）＝4.187×10^{3}J＝1.163×10^{-3}kWh
＝1.43×10^{-1}kgSKE*

1 kgSKE*＝2.927×10^{7}J＝8.14kWh＝7.0×10^{3}kcal

*kgSKE：石炭 1 kg の発熱量

(6) 圧力単位の換算

1 N／m^2＝1 Pa＝10^{-3}kPa＝10^{-2}mbar＝ 9.87×10^{-6}atm
＝7.5×10^{-3}Torr

1 kPa＝10^{3}Pa＝10mbar＝9.87×10^{-3}atm＝7.5 Torr

1 mbar＝1 hPa＝10^{2}Pa＝10^{-1}kPa＝9.87×10^{-4}atm
＝0.75Torr

1 atm＝1.01×10^{5}Pa＝1.01×10^{2}kPa＝1.01×10^{5}mbar
＝760 Torr

1 Torr*＝133 Pa＝0.133 kPa＝1.33 mbar
＝1.32×10^{-3} atm

＊水銀柱ミリメートル(mmHg)とTorrは実用上ほぼ同じと考えて差し支えない

4. 建築物理分野で使われてきた従来単位とSI単位系の基本単位との関係

古い資料などでは、従来単位が使用されている場合がある。ここではその一部のSI単位系への換算を示した。

熱伝導率：1 W／mK＝0.86 kcal／mh℃,
1 kcal／mh℃＝1.16 W／mK

熱伝達率：1 W／m^2 K＝0.86 kcal／m^2h℃,
1 kcal／m^2h℃＝1.16 W／m^2K

熱流束：1 W／m^2＝0.86 kcal／m^2h, 1 kcal／m^2h＝1.16 W／m^2

熱貫流率：1 W／m^2K＝0.86 kcal／m^2h℃,
1 kcal／m^2h℃＝1.16 W／m^2K

比熱：1 J／kgK＝0.00024 kcal／kg℃,
1 kcal／kg℃＝4186.1 J／kgK

透湿比抵抗：1 msPa／kg＝0.027 mhmmHg／g,
1 mhmmHg／g＝37 msPa／kg

透湿係数（湿気伝導率）：1 kg／msPa
＝3.7×10^{-5} g／mhmmHg,
1 g／mhmmHg
＝27067kg／msPa

Table 4　各燃料の二酸化炭素排出量

燃料	顕熱発熱量 (kWh/kg)	潜熱発熱も含む発熱量 (kWh/kg)	最大のCO_2排出量(kg/kWh)	
			顕熱発熱量	潜熱発熱も含む発熱量
石炭	8.14	8.41	0.350	0.339
コークス	7.50	7.53	0.420	0.418
褐炭(生)	2.68	3.20	0.410	0.343
褐炭	5.35	5.75	0.380	0.354
暖房用灯油	10.08	10.57	0.312	0.298
暖房用重油	10.61	11.27	0.290	0.273
天然ガス	8.87	9.76	0.200	0.182
天然ガス	10.42	11.42	0.200	0.182
都市ガス	4.48	5.00	0.200	0.179

5. 参考資料：燃料ごとの二酸化炭素排出量

近年の地球温暖化問題に伴い注目されている二酸化炭素排出量について、燃料ごとに整理した表をTable4に紹介する。

＜文献＞

1) JIS Z8203 国際単位系(SI)及びその使い方(2000改正)

2) H. Recknagel, E. Sprenger und E. R. Schramek; Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik; Oldenbourg Industrieverlag (2006)

3) 田中辰明，柚本玲；これからの外断熱住宅；工文社 (2007)

4) ISO 9346; Thermal insulation -- Mass transfer -- Physical quantities and definitions 標題仮訳 断熱－物質移動－物理量及び定義(1987)

建築仕上技術者のための

建築物理学講座

第6講「建材の物性値」

田中　辰明　（お茶の水女子大学名誉教授・工博）
柚本　玲　（お茶の水女子大学田中研究室・博士（生活科学））

はじめに

建築物の熱や水蒸気の移動の計算をするときに建材の物性値を知る必要がある。しかしわが国ではそれらがうまく整理され表示されている文献が少ない。ドイツの場合、ドイツ工業規格（DIN規格）がしっかりしていて、例えばDIN 4109-4、DIN EN 12524、DIN EN ISO 13370などに多くの建材の物性値が表として整理されている。ここではそれらを参考にし、再整理を行なった。

（1）密度

密度（kg／m³）は体積と乾燥時の質量を測定すれば、式（1）により得られる。また、多くの建材について既知の値であり、文献等で探すことが可能である。

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad (1)$$

ここで　ρ ：密度（kg／m³）
m ：乾燥時の質量（kg）
V ：体積（m³）

（2）熱伝導率

熱伝導率（W／mK）は各物質の熱の伝わりやすさを示し、この値が大きいほど断熱性が低く、例えば鉄は約84（W／mK）、発泡スチレンは約0.03（W／mK）である。式（2）で求められ、多くの建材で既知の値である。ただし、この値は密度や温度、含水率に依存する。空隙がなく密度が一定の金属のような材料では、熱伝導率はほとんど一定の値だが、建材として使用される空隙をもつ断熱材のような材料では熱伝導率に幅があることに注意を必要とする。

$$\lambda = -q \cdot \frac{d}{\Delta T} \qquad (2)$$

ここで　λ ：熱伝導率（W／mK）
$-q$ ：熱流束（W／m²）単位面積あたりに通過する熱の量
d ：材料の厚み・距離（m）
ΔT ：温度変化（K）

（3）比熱

比熱（J／kgK）はある物体1kgを1℃（K）上げるのに必要なエネルギーで、物質ごとに固有の値である。

$$c = \frac{\Delta Q}{m \cdot \Delta T} \qquad (3)$$

ここで　c ：比熱（J／kgK）
ΔQ ：熱量（J）
m ：乾燥時の質量（kg）
ΔT ：温度変化（K）

Table 1　各種物質グループの熱伝導率（λ）

物　質	λ(W/mK)
純粋金属	10・・・458
合金	13・・・113
自然石	1.5・・・3.5
建築材料	0.2・・・3.5
有機の断熱材	0.02・・・0.07
無機の断熱材	0.03・・・0.11
気体	0.01・・・0.2
0℃の空気	0.024
流体	0.13・・・0.68

Table 2　純粋金属の熱伝導率（λ）※

純粋金属	λ(W/mK)
アルミニウム(-100℃)	230
アルミニウム(0℃)	220
アルミニウム(200℃)	205
アルミニウム(400℃)	193
ジュラルミン	165
アンチモン	21
鉛	35
クロム	86
鉄	67
鋳鉄	42・・・63
鋼(炭素0.2%)	50
鋼(炭素0.6%)	46
金(純粋)	295
銅(純粋)	393
一般に流通する銅	372
マグネシウム	159
ニッケル	59
プラチナ	71
水銀	10
銀	458
ビスマン	10
タングステン	197
亜鉛	109
錫	63

Table 3　合金の熱伝導率（λ）※

合　金	λ(W/mK)
ニッケルクロム鋼	15
コンスタンタン*	23
マンガン	22
真鍮(MS 58; MS 60)	113
モネル505(60℃)	20
チタン	16

*銅 60%; ニッケル 40%

Table 4　液体の熱伝導率（λ）※

液　体	λ(W/mK)
ジエチルエーテル	0.132
エタノール	0.173
アンモニア	0.521
アニリン	0.169
アセトン	0.160
ベンゼン	0.144
クロロホルム	0.128
エチレングリコール	0.256
グリセリン	0.286
暖房用灯油	≒0.140
暖房用重油	≒0.125
二酸化炭素	0.076
飽和液の塩化メチル	0.157
オリーブ油(60℃)	0.160
パラフィン(30℃)	0.260
DIN51630によるガソリン	0.140
水銀	10.5
硫黄	0.544
トルエン	0.141
0℃の水	0.561
10℃の水	0.580
50℃の水	0.644
100℃の水(飽和状体)	0.679
150℃の水(飽和状体)	0.682
200℃の水(飽和状体)	0.663
250℃の水(飽和状体)	0.621
R11	0.089
R12	0.071
R22	0.090
R123	0.079
R134 a	0.084

※ 20℃で測定

Table 5　各種固体材料の密度及び20℃における熱伝導率（λ）

建築材料	密度(kg/m³)	λ(W/mK)
ベークライト	1270	0.23
木質繊維(30℃)	81	0.06
氷(0℃)	920	2.2
土壌(粘土質)	1500...2000	1.0...2.6
土壌(砂質)	1300...2000	0.8...1.8
砂利の少ないコンクリート	910	0.17
鉛入りガラス	2890	0.70...0.93
鏡用ガラス	2700	0.76
窓ガラス	2500	0.8...1.1
雲母	2600...3200	0.5...0.6
黒鉛(固体、自然)	2000...2500	155
ゴム樹液40%含有のゴム		0.237
80%ゴム樹液含有		0.157
100%ゴム樹液含有	910...960	0.13
スポンジゴム	400..500	0.07...0.092
硬質ゴム	1150	0.16
硬質紙	790	0.15
ボイラのスケール(100℃)	300...2700	0.08...2.0
石炭灰(30℃)	730	0.12
皮革	860	0.12...0.15
紙	700	0.12
合成樹脂ガラス	1180	0.184
ポリエチレン、ウレタン	920...1200	0.28...0.35
磁器(90℃)	2400	1.03
プラスチック	1350	0.24...0.28
PVC	1380	0.15
雪(硬い0℃)	200...500	0.12...0.62
硫黄	2070	0.27
石炭	1200...1500	0.26
岩塩(0℃)	2100...2500	7
テフロン	2200	0.23
バルカンファイバー(硬質繊維)	1100...1450	0.33...0.35
綿	100	0.036
セルロイド	1380	0.23
砂糖	1600	0.6

Table 6　床材の熱伝導率（λ）

建築材料	λ(W/mK)
たたき(セメント)	1.4
タイル	1.0
寄せ木張床	0.20
合成樹脂板	0.23
PVC板	0.19
磁器板	1.20
大理石板	2.50...3.50
じゅうたん床(335 g/m²)*	0.08
じゅうたん床(780 g/m²)*	0.06
コルクリノリウム	0.08
リノリウム	0.17

*括弧内は表側重さ

Table 7　建築材料の密度及び20℃における熱伝導率（λ）
DIN V 4108-4; 2002-02並びにDIN EN 12524; 2000-07

建築材料(20℃)	密度(kg/m³)	λ(W/mK)
アスベストセメント板	2000	0.58
アスファルト	2000...2300	0.70...0.90
壁枠内砂利コンクリート	2400	2.1
発泡用添加物を含まない	1600	0.81
軽量コンクリート	1800	1.1
	2000	1.4
発泡用添加物を含む	600	0.22
有孔人工骨材入軽量コンクリート	1400	0.57
	2000	1.2
コンクリートブロック	1000	0.19
れき青	1100	0.17
屋根用防水紙	1000...1200	0.14...0.23
乾燥土壌	1000...2000	0.15...0.60
10%含湿土壌	1000...2000	0.50...2.00
20%含湿土壌	1000...2000	0.75...2.70
建築用タイル	2000	1
不純物を含まない石膏ボード	1200	0.35
壁用石膏ボード	600	0.29
多孔質、穴あき、充填物、添加物	750	0.35
を含む石膏ボード	900	0.41
	1000	0.47
	1200	0.58
石膏ボード	900	0.21
ガラス(窓ガラス)	2500	0.8...1.1
御影石	2800	3.5
ゴム(軟質)	1100	0.16...0.23
硬質ゴム	1150	0.16
硬質防水紙	790	0.15

Table 7　建築材料の密度及び20℃における熱伝導率（λ）（つづき）

建築材料(20℃)	密度(kg/m³)	λ(W/mK)
バルサ	200	0.06...0,075
杉	300...400	0.075...0.12
ポプラ、菩提樹	400...500	0.08...0.14
松、モミ	500...600	0.11...0.165
ニレ	600...700	0.125...0.185
シラカバ、ブナ	700...800	0.145...0.21
トネリコ、柏	800...900	0.17...0.23
ツゲ	900...1000	0.185...0.25
DIN68750による硬質木毛繊維	1000	0.17
断熱板		
多孔性木毛繊維板	≦200	0.045
(DIN68750)及びれき青木毛	≦300	0.056
繊維断熱版(DIN68752)		
MDF	700	0.13...0.17
高炉鉱滓	2500...3000	0.57
	300...400	0.22
石灰石	2000...3000	2.2
砂利(フルイ、乾燥)	1800	0.7
コルクリノリウム	700	0.081
合成樹脂敷物(PVC)	1500	0.23
リノリウム(DIN 18171)	1000	0.17
大理石	2500...2800	2.8...3.5
クリンカー	1800...2200	0.8...1.2
微孔レンガ	1200...2000	0.5...1.0
多孔レンガ	700...1000	0.3...0.4
カルクザントシュタイン*	1000...2200	0.5...1.3
気泡コンクリート	500...800	0.2...0.3
石膏モルタル	1800	0.87
セメントモルタル	2000	1.4
漆喰、石膏、無水・石灰無水モルタル	1400	0.7
添加物のない石膏ボード	1200	0.35
無水石膏のたたき	2100	1.2
合成樹脂プラスター	1100	0.7
断熱プラスター	600	0.2
貝殻石灰	2600	2.3
砂	1600...1800	0.9
砂(1％含湿)		0.32
砂(10％含湿)		0.9
砂(20％含湿)		1.25
おがくず	215	0.06...0.07
砂岩	2150...2600	1.60...2.3
耐火レンガ(400℃...1000℃)	1000	0.30...0.48
耐火レンガ(400℃...1000℃)	1850	1.04...1.10
スレート	2700	1.8/2.9
合板	800	0.15
レンガ石(乾燥)	1600...1800	0.38...0.52

*石灰石と砂で作るブロック(断熱性を持ち独では良く使われる)

Table 8　断熱材料の密度及び20℃における熱伝導率（λ）

建築材料	密度（kg/m³）	λ（W/mK）
アスベスト綿（25℃）	140	0.05
木毛繊維：バラ状（30℃）	81	0.059
木毛繊維：詰め綿（25℃）	10	0.04
軽砂利	1000	0.19
発泡パーライト	< 100	0.052
ガラス繊維（25℃）	120	0.046
毛髪	270	0.03...0.08
充填剤としてのカンナくず	150	0.058
木毛繊維	400	0.093
コルク板	80...120	0.045...0.055
押出コルク板	200	0.05
珪藻土（100℃...800℃）	300	0.086...0.19
珪藻土（100℃...800℃）	500	0.11..0.22
砂利	1800	0.7
微細孔断熱材（100℃）	180...400	0.022
微細孔断熱材（600℃）		0.040
鉱物繊維、ガラス繊維	100...150	0.035...0.050
硬質ポリウレタン 0℃	40	0.029
硬質ポリウレタン 50℃		0.038
硬質ポリウレタン 100℃		0.047
硬質ポリウレタン 150℃		0.056
硬質発泡ポリスチロール	20...30	0.025...0.040
R-11発泡ポリウレタン	40...70	0.026
泡ガラス	100...160	0.045...0.060
ビニールゴム		0.043

Table 9　各温度における気体、蒸気の熱伝導率（λ）

材　料	-150℃	-100℃	-50℃	0℃	25℃	100℃	200℃	300℃
エタノール				13.0	15.0	23.0	39.0	
アンモニア			17.0	22.0	24.0	33.0	47.0	55.0
ベンゼン				9.0	11.0	17.0	27.0	38.0
塩素	2.3	4.6	5.8	8.1	9.3	12.0	15.0	17.0
クロロホルム				6.2	7.0	10.0	14.0	
ジエチルエーテル				13.0	15.0	25.0	33.0	
ヘリウム	83.0	104.0	124.0	143.0	150.0	174.0	205.0	237.0
二酸化炭素		8.1	11.0	15.0	16.0	22.0	31.0	39.0
一酸化炭素	11.0	15.0	19.0	23.0	25.0	30.0	37.0	43.0
空気	11.0	16.0	20.0	24.0	26.0	31.0	39.0	44.0
メタン	13.0	19.0	24.0	30.0	34.0	44.0	61.0	79.0
暖房灯油の排ガス				23.0	25.0	30.0	36.0	40.0
酸素	11.0	16.0	20.0	24.0	26.0	32.0	39.0	45.0
二酸化硫黄				8.6	9.9	14.0	19.0	24.0
窒素	12.0	17.0	21.0	24.0	26.0	31.0	37.0	42.0
水蒸気				17.1	18.6	25.1	40.1	69.6
水素	73.0	113.0	141.0	171.0	181.0	211.0	249.0	285.0

＜引用文献＞

1）田中辰明；防寒構造と暖房；理工図書（1997）
2）田中辰明，柚本玲；これからの外断熱住宅；工文社（2007）
3）H. Recknagel, E. Sprenger und E. R. Schramek; Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik; Oldenbourg Industrieverlag (2006)
4）Erich Cziesielsk; Bauphysikkalender i;Ernst & Sohn Verlag

建築仕上技術者のための

建築物理学講座

第7講「水蒸気拡散抵抗係数」

田中　辰明　　柚本　玲
（お茶の水女子大学名誉教授・工博）（お茶の水女子大学田中研究室・博士（生活科学））

はじめに

水蒸気拡散抵抗係数μは日本ではあまりなじみのない物性値であるが、国際規格ISO 9346「断熱－物質移動－物理量および定義」[1]の中で規定されており、現在日本工業規格でも用語や定義の整理がおこなわれている。水蒸気拡散抵抗係数μは材料の湿気の通しにくさが、同じ厚みの空気層の湿気の通しにくさに比べて何倍かを示す無次元の物性値である（式1参照）。

1. 水蒸気拡散抵抗係数μの算出方法[2]

日本ではあまり湿気に関する建材物性値が整理されていないため、湿気の通しやすさを示すのに湿気伝導率あるいは透湿率（g／mhmmHgあるいはkg／mhPa）が使われることがある。これらからの換算式を式（1）に示す（なお、静止空気の湿気伝導率が示される文献は少ないが文献3によると、0.077～0.1（g／mhmmHg）と記載されているので参考に示す）。

$$\mu = \frac{1/p}{1/\delta} = \frac{\delta}{p} \qquad \text{式（1）}$$

μ：水蒸気拡散抵抗係数（－）
p：材料の湿気伝導率あるいは透湿率（g／mhmmHgあるいはkg／mhPa）
δ：空気層の湿気伝導率あるいは透湿率（g／mhmmHgあるいはkg／msPa）

2. 様々な建材の水蒸気拡散抵抗係数μ

各種建材の物性一覧より抜粋したものを示す。ρは密度、λは熱伝導率、μは水蒸気拡散抵抗を意味し、Table 1からTable 7に示す。

Table 1　漆喰・モルタル・たたき

材　料	ρ(kg/m³)	λ(W/mK)	μ(－)
漆喰			
石灰、石灰セメント、加水石灰からなる漆喰モルタル	(1800)	1.00	15/ 35
石灰石膏、石膏からなる漆喰モルタル	(1400)	0.70	10
軽量漆喰	<1300	0.56	15/20
軽量漆喰	≦1000	0.38	〃
軽量漆喰	≦700	0.25	〃
無添加物石膏漆喰	(1200)	0.51	10
断熱漆喰（DIN18550-3）			
060	(≧200)	0.060	5/20
070	〃	0.070	〃
080	〃	0.080	〃
090	〃	0.090	〃
100	〃	0.100	〃
合成樹脂漆喰	(1100)	0.70	50/200
外壁用モルタル			
セメントモルタル	(2000)	1.60	15/35
普通モルタル	(1800)	1.20	〃
薄塗り壁用モルタル	(1600)	1.00	〃
軽量壁用モルタルDIN1053-1	≦1000	0.36	〃
	≦700	0.21	〃
軽量壁用モルタル	250	0.10	5/20
	400	0.14	〃
	700	0.25	〃
	1000	0.38	〃
	1500	0.69	〃
たたき			
セメントたたき	(2000)	1.40	15/35
無水たたき	(2100)	1.20	〃
マグネシアたたき	1400	0.47	〃
	2300	0.70	〃

Table 2　コンクリート部材・骨材種類と軽量コンクリート

材　料	ρ(kg/m³)	λ(W/mK)	μ(−)
軽量コンクリート軽量鉄筋	800	0.39	70/150
(DIN EN206, DIN1045-1)	900	0.44	〃
	1000	0.49	〃
	1100	0.55	〃
	1200	0.62	〃
	1300	0.70	〃
	1400	0.79	〃
	1500	0.89	〃
	1600	1.00	〃
	1800	1.30	〃
	2000	1.60	〃
含湿気泡コンクリート	300	0.10	5/10
(DIN4223-1)	350	0.11	〃
	400	0.13	〃
	450	0.15	〃
	500	0.16	〃
	550	0.18	〃
	600	0.19	〃
	650	0.21	〃
	700	0.22	〃
	750	0.24	〃
	800	0.25	〃
	900	0.29	〃
	1000	0.31	〃
固形骨材(例:砂)入り軽量	1600	0.81	3/10
コンクリート(DIN4226-1)	1800	1.10	〃
	2000	1.40	5/10
石英砂を含まない有孔骨材入り	600	0.22	5/15
軽量コンクリート(DIN4226-2)	700	0.26	〃
	800	0.28	〃
	1000	0.36	〃
	1200	0.46	〃
	1400	0.57	〃
	1600	0.75	〃
	1800	0.92	〃
	2000	1.20	〃
天然軽石利用の	500	0.16	5/15
軽量コンクリート	600	0.18	〃
	700	0.21	〃
	800	0.24	〃
	900	0.28	〃
	1000	0.32	〃
	1100	0.37	〃
	1200	0.41	〃
	1300	0.47	〃

Table 2　コンクリート部材・骨材種類と軽量コンクリート(つづき)

材　料	ρ(kg/m³)	λ(W/mK)	μ(−)
膨張粘土を使用した	400	0.13	5/15
軽量コンクリート	500	0.16	〃
	600	0.19	〃
	700	0.23	〃
	800	0.27	〃
	900	0.30	〃
	1000	0.35	〃
	1100	0.39	〃
	1200	0.44	〃
	1300	0.50	〃
	1400	0.55	〃
	1500	0.60	〃
	1600	0.68	〃
	1700	0.76	〃

Table 3　主な材料の建築板

材　料	ρ(kg/m³)	λ(W/mK)	μ(−)
無鉄筋の有孔コンクリート板(DIN 4166)			
通常壁厚の有孔コンクリート板	400	0.20	5/10
と壁体モルタル(DIN 1053-1)	500	0.22	〃
	600	0.24	〃
	700	0.27	〃
	800	0.29	〃
薄い壁厚の有孔コンクリート板	300	0.10	5/10
	350	0.11	〃
	400	0.13	〃
	450	0.15	〃
	500	0.16	〃
	550	0.18	〃
	600	0.19	〃
	650	0.21	〃
	700	0.22	〃
	750	0.24	〃
	800	0.25	〃
軽量コンクリート製壁板	800	0.29	5/10
(DIN18162)	900	0.32	〃
	1000	0.37	〃
	1200	0.47	〃
	1400	0.58	〃
石膏壁板、気泡、有孔、充填を	600	0.29	5/10
含む(DIN 18163)	750	0.35	〃
	900	0.41	〃
	1000	0.47	〃
	1200	0.58	〃
石膏ボード(DIN 18180)	900	0.25	〃

Table 4　モルタル充填による壁体

材　料	ρ(kg/m³)	λ(W/mK)	μ(−)
壁体レンガ(DIN 105-1からE DIN 105-6)			
クリンカータイル(高温で焼いたレンガ)、有功クリンカータイル、磁器クリンカータイル	1800	0.81	50/100
	2000	0.96	〃
	2200	1.20	〃
	2400	1.40	〃
レンガ、有孔レンガ、充填レンガ	1200	0.50	5/10
	1400	0.58	〃
	1600	0.68	〃
	1800	0.81	〃
	2000	0.96	〃
	2200	1.20	〃
	2400	1.40	〃
平板断熱レンガ(DIN105-6, h≧248 mm)	550	0.20	5/10
	600	0.21	〃
	650	0.21	〃
	700	0.22	〃
	750	0.23	〃
	800	0.24	〃
	850	0.24	〃
	900	0.25	〃
	950	0.26	〃
	1000	0.27	〃
冶金石からなる壁体(DIN 398)	1000	0.47	70/100
	1200	0.52	〃
	1400	0.58	〃
	1600	0.64	〃
	1800	0.70	〃
	2000	0.76	〃
石灰レンガによる壁石		NM/DM	
DIN106-1	1000	0.50	5/10
	1200	0.56	〃
	1400	0.70	〃
DIN106-2	1600	0.79	15/25
	1800	0.99	〃
	2000	1.10	〃
	2200	1.30	〃
多孔コンクリート板からなる壁体(DIN 4165)		DM	
	300	0.10	5/10
	350	0.11	〃
	400	0.13	〃
	450	0.15	〃
	500	0.16	〃
	550	0.18	〃
	600	0.19	〃
	650	0.21	〃
	700	0.22	〃
	750	0.24	〃
	800	0.25	〃

Table 5　屋根防水・屋根水密

材　料	ρ(kg/m³)	λ(W/mK)	μ(−)
屋根防水材・屋根水密材料			
れき青防水材(DIN 52128)	(1200)	0.17	10000/80000
純粋れき青防水材(DIN 52129)	(1200)	0.17	2000/20000
上蓋付きれき青防水材(DIN 52143)	−	0.17	20000/60000
合成樹脂屋根防水材(DIN 16729)	−	−	50000/75000
	−	−	(2,OK)
			70000/90000
			(2.0)
合成樹脂屋根防水材PVC-P(DIN 16730)	−	−	10000/30000
PTFEシート(厚さ≧0.05 mm)	−	−	10000
PAシート(厚さ≧0.05 mm)	−	−	50000
PPシート(厚さ≧0.05 mm)	−	−	1000

Table 6　多層軽量建築板

材　料	λ(W/mK) λ測定値			μ(−)
	呼称値	分類Ⅰ	分類Ⅱ	
硬質発泡板(DIN EN13136)	0.030	0.030	0.036	20〜50
	0.031	0.031	0.037	〃
	0.032	0.032	0.038	〃
	0.032	0.032	0.040	〃
	0.033	0.033	0.041	〃
	0.034	0.034	0.042	〃
	−	−	−	〃
	−	−	−	〃
	−	−	−	〃
	0.050	0.050	0.060	〃
鉱物繊維板(DIN EN13162)	0.035	0.035	0.042	1
	0.036	0.036	0.043	〃
	0.037	0.037	0.044	〃
	0.038	0.038	0.046	〃
	0.039	0.039	0.047	〃
	−	−	−	〃
	−	−	−	〃
	−	−	−	〃
	0.050	0.050	0.060	〃
発泡パーライト(DIN EN13169)	0.038	0.038	0.046	5
	0.039	0.039	0.047	〃
	0.040	0.040	0.048	〃
	−	−	−	〃
	−	−	−	〃
	−	−	−	〃
	0.055	0.055	0.066	〃

Table 6　多層軽量建築板（つづき）

材　料	λ(W/mK)λ測定値			μ(−)
	呼称値	分類Ⅰ	分類Ⅱ	
発泡コルク(DIN EN13170)	0.040	0.041	0.049	5〜10
	0.041	0.042	0.050	〃
	0.042	0.043	0.052	〃
	0.043	0.044	0.053	〃
	0.044	0.045	0.054	〃
	0.045	0.046	0.055	〃
	—	—	—	〃
	—	—	—	〃
	—	—	—	〃
	0.055	0.056	0.067	〃
木毛繊維断熱材	0.032	0.035	0.043	5
(DIN EN13171)	0.033	0.036	0.044	〃
	0.034	0.037	0.045	〃
	0.035	0.038	0.046	〃
	0.036	0.039	0.047	〃
	0.037	0.040	0.048	〃
	0.038	0.041	0.049	〃
	0.039	0.043	0.052	〃
	0.040	0.044	0.053	〃
	—	—	—	〃
	—	—	—	〃
	—	—	—	〃
	0.065	0.071	0.085	〃

Table 7　断熱材

材　料	ρ(kg/m³)	λ(W/mK)	μ(−)
木毛軽量板(DIN 1101)			
板の厚さ≧25 mm			
065	(360〜460)	0.065	2〜5
070	〃	0.070	〃
075	〃	0.075	〃
080	〃	0.080	〃
085	〃	0.085	〃
090	〃	0.090	〃
15 mm≦板厚≦25 mm		0.15	〃
木毛板			
10 mm≦板厚≦25 mm	(460〜650)	0.15	2/5
065	〃	0.065	〃
070	〃	0.070	〃
075	〃	0.075	〃
080	〃	0.080	〃
085	〃	0.085	〃
090	〃	0.090	〃
板厚≧25 mm	(360〜460)		

Table 7　断熱材（つづき）

材　料	ρ(kg/m³)	λ(W/mK)	μ(−)
現場発泡ポリウレタン(CO2) (DIN 18159-1)			
035	(>45)	0.035	30/100
040	〃	0.045	〃
現場発泡尿素ホルムアルデヒド(DIN 18159-2)			
035	(>10)	0.035	1/3
040	〃	0.045	〃
コルク断熱板(DIN18161-1)			
045	(80〜500)	0.045	5/10
050	〃	0.050	〃
055	〃	0.055	〃
ビーズ発泡ポリスチレン(DIN 18164-1)			
035		0.035	
040		0.040	
	≧15		20/50
	≧20		30/70
	≧30		40/100
皮付発泡ポリスチレン(DIN 18164-1)			
030	(≧25)	0.030	
035	〃	0.035	80/250
040	〃	0.040	〃
皮付押出発泡ポリスチレン(水密材料を除く) (DIN 18164-1)			
030	(≧30)	0.030	80/250
035	〃	0.035	〃
040	〃	0.040	〃
硬質発泡ポリウレタン			
020	(≧30)	0.020	30/100
025	〃	0.025	〃
030	〃	0.030	〃
035	〃	0.035	〃
040	〃	0.040	〃
硬質発泡フェノール樹脂			
030	(≧30)	0.030	10/50
035	〃	0.035	〃
040	〃	0.040	〃
045	〃	0.045	〃
鉱物性・植物性繊維断熱板			
035	(8〜500)	0.035	1
040	〃	0.040	〃
045	〃	0.045	〃
050	〃	0.050	〃
あわガラス(DIN18174)			
045	(100〜150)	0.045	
050	〃	0.050	
055	〃	0.055	
060	〃	0.060	

Table 7　断熱材（つづき）

材　料	ρ(kg/m³)	λ(W/mK)	μ(−)
あわガラス（水密材はのぞくDIN18174）			
045	(110〜150)	0.045	
050	〃	0.050	
055	〃	0.055	
木毛繊維断熱板（DIN68755）			
035	(110〜450)	0.035	5
040	〃	0.040	〃
045	〃	0.045	〃
050	〃	0.050	〃
055	〃	0.055	〃
060	〃	0.060	〃
065	〃	0.065	〃
070	〃	0.070	〃

3. 水蒸気拡散相当空気厚さSd値の算出方法[2)]

Sd値は材料の湿気の通しにくさを同じ通しにくさに相当する空気層の厚さ(m)で表現したもので、値が大きいほど湿気を通しにくい。表面仕上げの塗料などは熱的な影響はなくても、湿気の移動には影響するような場合にこの値を使うと良い。これは式(2)のように水蒸気拡散抵抗係数μに厚み(m)を乗じて得る。主なものをTable 8で示した。

$$S_d=\mu d \qquad 式（2）$$

Sd：S_d値（m）
μ　：水蒸気拡散抵抗係数（−）
d　：材料の厚さ（m）

Table 8　主な材料のSd値

材　料	Sd(m)
ポリエチレンフィルム0.15mm	50.0
ポリエチレンフィルム0.25mm	100.0
ポリエステルフィルム0.2mm	50.0
PVCフィルム	30.0
アルミニウムフィルム0.05mm	1500.0
ポリエチレンフィルム（積層）0.15mm	8.0
れき青浸透紙	2.0
アルミニウム多層フィルム	10.0
コーティング材料	0.1
光沢ラッカー	3.0
ビニール壁紙	2.0

＜引用文献＞
1）国際規格ISO 9346「断熱_物質移動_物理量および定義」
2）田中辰明，柚本玲；これからの外断熱住宅；工文社(2007)
3）木村幸一郎；建築計画原論（新版）；共立出版株式会社(1959)
4）H. Recknagel, E. Sprenger und E. R. Schramek; Taschenbuch fur Heizung und Klimatechnik; Oldenbourg Industrieverlag (2006)