

建築材料の熱・空気・湿気物性値

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY Energy Conservation in Buildings and Community
Systems IEA ANNEX 24 Heat, Air and Moisture Transfer Through New and Retrofitted Insulated
Envelope Parts (Hamtie) Final Report Volume 3 TASK 3: MATERIAL PROPERTIES

M. Kumar KUMARAN
著

日本建築学会 環境工学委員会 企画刊行小委員会 熱湿気定数出版ワーキンググループ
本文訳・応用編編著

日本建築学会

編・訳者

銚井 修一	京都大学大学院 工学研究科生活空間学専攻 教授
荒井 良延	鹿島建設(株)技術研究所 建築技術研究部 グループ長
岩前 篤	積水ハウス(株) 技術研究所 課長
小椋 大輔	神戸大学 工学部建設学科 助手
黒木 勝一	(財) 建材試験センター 中央試験所物理グループ 統括リーダー
小南 和也	(財) 日本建築総合試験所 建築物理部 主査
佐藤 真奈美	大阪工業大学 工学部建築学科 講師
芝池 英樹	京都工芸繊維大学 工芸学部造形工学科 助教授
瀬戸 裕直	独立行政法人 建築研究所 環境グループ 主任研究員
高田 暁	京都大学大学院 工学研究科生活空間学専攻 助手
谷本 潤	九州大学大学院 総合理工学研究科環境エネルギー工学専攻 助教授
土川 忠浩	姫路工業大学 環境人間学部環境人間学科 助教授
本間 義規	岩手県立大学 盛岡短期大学部生活科学科生活科学専攻 講師

Author

M.K.Kumaran
Building Performance Laboratory
Institute for Research in Construction
National Research Council
Canada

Reviewer

Per Jostein Hovde
Department of Building and Construction Engineering
University of Trondheim
Norway

Publisher

Laboratorium Bouwfysica
Departement Burgerlijke Bouwkunde
K.U.-Leuven Belgium

Editor

Fatin Ali Mohamed
Laboratorium Bouwfysica
Belgium

序文

国際エネルギー機構であるIEAに設置されたワーキングANNEX24（主査：Prof. Hugo Hens）が1990年から1995年に亘って行った活動の成果が、4分冊のレポートとしてまとめられている。本書はその3分冊目(M.K.Kumaran, IRC, NRC執筆)を翻訳したものである。

このレポートは、多孔質建築材料の熱・水分・空気の移動と蓄積に関する物性値をまとめたものである。その特徴としては、

- (1) 幅広い建築材料をカバーしている。
- (2) 材料毎に各種の物性値が整備されている。特に、幅広い含水率範囲における液水の移動係数が収集されている。
- (3) 生の測定データが、測定条件とともに収録されている。
- (4) 同じ材料に対する各測定機関、測定者毎の値が併記されている。

などが挙げられる。これらの特徴は、応用のみならず研究にとっても貴重なものである。

今回の翻訳に至った経緯は、大略以下のようなものである。日本建築学会・環境工学委員会・熱環境小委員会の熱規格、標準化及び教育WG内に、熱湿気定数 SWGが設置された（設置期間：1997年4月より4年間）。このSWGの目的は、環境工学の分野で必要とされる熱および湿気に関する種々の物性値を収集整理し、教育・研究や実務の用に供することであった。当初は、どのような物性値をどのような方針で整理するかを検討しつつ、各委員が手持ちの物性データや文献情報を収集していた。インターネットを利用したデータベースの構築も同時に進め、フォーマット作り、ホームページの開設も行った。ただ、集められたデータは熱物性値が中心で水分物性に関するものが少ないこと、各種の移動物性値が系統的に測定された材料は数種に限られること（代表的な建築材料という観点では、日本でも必要最低限のものは得られていたとは言えるが）が分かってきた。そのような折に、本レポートを入手することとなった。本レポートは上述のような特徴を有しており、これを翻訳出版することは建築学会員にとって有益であると考えられた。そこで、SWGとしてはそれまでの収集活動を継続するとともに、本レポートの翻訳を開始した。同時に掲載されているデータの性質、データのばらつきが結果に及ぼす影響などを理解し、訳者なりの確信を持ってデータを提供したいこと、また物性値はその用いる基礎式と併せて評価する必要があるとの観点より、基礎式の検討、簡易な基礎プログラムの提供も同時に行うこととした。そして、本年の4月に熱湿気定数SWGから企画刊行小委員会に作業の場を移し、今回の翻訳出版に至ったものである。

本レポートには付録がつけられている。これらは、測定機関による測定値の違い、データ処理方法の影響などについて検討した結果であり、むしろ付録の方に興味を持つ読者もおられるかと思われる。建物の設計や性能評価にとっては、各材料毎に一つの熱湿気物性値が与えられるならば話は明快であるが、複数の測定結果を並べると通常かなりの違いが見受けられる。この原因は何なのか。測定誤差か、用いた試料のばらつきか、あるいはデータ整理法の違いに由来するものなのか、などについての検討がこの付録でなされている。

更にこの翻訳本には、SWGの成果として以下の内容を持った付録（応用編）をCD-ROM版で加えた。

- (1) レポートに掲載されている物性値のテキストデータ
- (2) レポートに掲載されている物性値のプロットと近似関数の例
- (3) データベースユーティリティ
- (4) 物性値評価のための標準問題の定式化，解析プログラムと解析例

これらが読者のお役に立てば幸いである。

社会活動，経済活動のグローバル化が情報化の進展と共に急速に進行しつつある．建築における国際交流が増すにつれ，建築材料，製品，部材などの性能表示と保証への要求も厳しくなるであろう．その場合の基礎的な情報の一つが言うまでもなく物性データであり，その値自身は勿論のこと，測定法なども国家間，各機関の間で共通化しておくことが必要となろう．建材や建物の耐久性に絡む問題は水分に関係することが多く，日本でも自力で水分物性値の測定法，測定装置などを整備し，それらを認定し保証するシステムが望まれる．これは，近年の日本建築学会におけるアカデミックスタンダード整備へ向けた活動の一環とも考えられよう．

今回の翻訳出版は，熱環境小委員会および企画刊行小委員会における活動の一部である．関係の委員からいただいた多大なる支援と協力に感謝致します．また，本出版のための活動の一部は，日本学術振興会・科学研究費補助金，基盤研究(C) 12895015（研究代表者：鉾井修一）による．

2001年初夏

編・訳者代表　　鉾井　修一

本書作成関係委員（2001年8月現在）
（五十音順，順不同）

環境工学委員会

主査	吉野 博		
幹事	石川 善美	井上 勝夫	鉾井 修一
委員	（略）		

企画刊行小委員会

主査	渡邊 俊行
幹事	田辺 新一

熱湿気定数出版ワーキンググループ

主査	鉾井 修一			
委員	荒井 良延	岩前 篤	小椋 大輔	黒木 勝一
	小南 和也	佐藤 真奈美	芝池 英樹	瀬戸 裕直
	高田 暁	谷本 潤	土川 忠浩	本間 義規

建築材料の熱・空気・湿気物性値

目次

1. 建築材料および部材を通した熱・空気・水分の移動：記号と用語	1
1.1 はじめに	1
1.2 単位時間当たりの流量密度（流束）	1
1.3 物性値	2
1.3.1 参考文献	6
1.4 記号表	7
2. 建築材料の熱水分物性値：IEA ANNEX 24 参加者からのデータ集	10
2.1 コンクリート	10
2.2 軽量コンクリート	15
2.3 気泡コンクリート	19
2.4 レンガ	23
2.5 セメントモルタル	28
2.6 せっこうボード	33
2.7 パイン	37
2.8 トウヒ	41
2.9 合板	43
2.10 木繊維板	46
2.11 ウエハーボードまたはウッドチップボード	49
2.12 パーティクルボード	50
2.13 ポリスチレンコンクリート	52
2.14 繊維混入ポリマーセメント	53
2.15 砂-石灰石	54
2.16 木毛セメント板	55
2.17 繊維セメント	57
2.18 グラスウール断熱材	59
2.19 ロックウール断熱材	63
2.20 ビーズ法ポリスチレンフォーム断熱材	65
2.21 セルロース系断熱材	67
2.22 押出法ポリスチレンフォーム断熱材	70
2.23 ポリウレタンフォーム断熱材	73
2.24 ポリイソシアヌレートフォーム断熱材	75
2.25 フェノールフォーム断熱材	77
2.26 パーライトボード	78
2.27 （鶏の）羽毛	79
2.28 仕上げ材	80
2.28.1 壁紙	80
2.28.2 壁用塗料	81
2.28.3 カーペット	81
2.28.4 木製スラブ	82
2.28.5 シート/防湿材	83
APPENDIX I ホワイトパインの水分拡散係数を決定するための測定に関する報告	84
APPENDIX II 非定常の含水率分布に基づいて水分拡散係数を解析的に求める方法に関する報告	86
APPENDIX III 建築材料の熱湿気物性値	94
APPENDIX IV ANNEX 24会議で討論された論文の注釈リスト	103

1. 建築材料および部材を通した熱・空気・水分の移動：記号と用語

1.1 はじめに

どのような建物の外被も、室内および外界の温度、気圧、湿度条件の変化に絶えず応答している。この結果、外被を通して、室内と外部環境の間でエネルギーと物質（水分と同様空気も）の交換が生じる。建築物理工学者は、この現象を建築材料および部材を通した「熱・空気・水分移動」と呼ぶ。設計者や建築業者は、これらの移動過程の影響下にある建物外被の長期的性能に対して常に関心をもっている。しかし、建設実務、建築材料、気象条件および室内気候は国によって大きく異なるので、実験的研究だけでこの知識を構築することは实际的でない。一方で、そのような知識は、必要な場合には、計算により求めることができる。建築物理工学者は、過去40～50年にわたって、この目的のために信頼のおける計算方法を開発してきた。特に計算機技術の進歩とともに、種々の計算手法やモデルがつくられてきた。それらの手法は何らかの違いがあっても、全て以下の2つの公理を利用している。

1. ある媒質を通しての物質Bの移動は、以下の関係式で与えられる。

Bの単位時間当りの移動量=媒質の物性値×移動を支配する駆動力

2. Bの移動過程においては、媒質内の任意の容積Vにおいては、以下の収支が成り立つ。

V内でのBの単位時間当りの蓄積量

=Vの界面を通して入るBの単位時間当りの流入量+V内でのBの単位時間当りの発生量

最初の公理に従って、種々の関係式が計算に用いられている。これらの式は輸送方程式と呼ばれ、通常以下の形式で表される。

$$\dot{J}_B = -k \cdot \text{grad}\Phi \quad [1]$$

この式には、3種類の物理量が導入されている。量 $\dot{J}_B$ は「Bの流束」あるいは「Bの単位時間当りの流量密度」と呼ばれ、量 k は媒質の移動物性値と呼ばれる。駆動ポテンシャルは、適切な物理量 Φ の勾配として定義される。

第2の公理には、計算に用いられる場合、「保存式」と呼ばれる他の一群の式が導入される。これらの方程式にも新しい物理量が現れる。収支式の左辺は、媒質内でのBの蓄積を定義する物理量に帰着する。これらは容量系の物性値と呼ばれる[1]。収支式の右辺第1項は、 $\dot{J}_B$ の発散（divergent）であるが、しばしば1つの移動物性値と1つの容量系物性値によって定義される、一組の物理量となる。これらの物性値は、組合わせ物性値（combined property）[1]と呼ばれる。

上で述べたことから、熱・水分・空気の同時移動を取り扱う建築物理の分野では、多くの物理量が現れることとなる。本書の目的は、建築物理技術者の利用に供するために、共通の「文法と綴り」を構成する用語、記号、単位および定義を集めることである。本章の残りの部分は、2つの節に分かれているが、各項目を集めたものとして構成されている。各々の項目は一つの物理量に対応しており、名前、記号、単位と定義を含んでいる。そして必要な場合には、各項目には適切なコメントもつけられている。最初の節（§1.2）では、「単位時間当たりの流量密度」について、2番目の節（§1.3）は、物性値について紹介している。

1.2 単位時間当たりの流量密度（流束）

単位時間当たりの熱流量の密度（記号： $\dot{q}$ ；単位： $W \cdot m^{-2}$ ）

材料内のある点における単位時間当たりの熱流量の密度は、その点を含み、移動方向に直交する面の単位面積当たりを、単位時間当たりに流れる熱量によって表される。

単位時間当たりの水蒸気流量の密度（記号： $\dot{m}_v$ ；単位： $kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ ）

材料内のある点における単位時間当たりの水蒸気流量の密度は、その点を含み、移動方向に直交する面の単位面積当たりを、単位時間当たりに流れる水蒸気の質量によって表される。

単位時間当たりの水分流量の密度（記号： $\dot{m}_m$ ；単位： $kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ ）

材料内のある点における単位時間当たりの水分流量の密度は、その点を含み、移動方向に直交する面の単位面積当たりを、単位時間当たりに流れる水分の質量によって表される。

単位時間当たりの空気流量の密度 (記号: $\dot{m}_a$; 単位: $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)

材料内のある点における単位時間当たりの空気流量の密度は、その点を含み、移動方向に直交する面の単位面積当たりを、単位時間当たりに流れる空気の質量によって表される。

1.3 物性値

密度 (記号: ρ_o ; 単位: $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

建築材料の密度は、乾燥材料 1 m^3 の質量として定義される。

実際上の理由から、「乾燥材料」は必ずしも完全に乾燥した材料を意味してはいない。石材、木質材あるいはプラスチックのような材料種別に、規定された標準条件を採用する必要があるかもしれない。例えば、木材に対して、この標準条件は連続した2日の重量測定で質量の変化が1%以内になるまで105℃で乾燥させるということかもしれない。

含水率 (記号(i): w ; 単位: $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) または
(記号(ii): u ; 単位: $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$) または
(記号(iii): ψ ; 単位: $\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$)

建築材料の含水率は、

- i) 乾燥材料の単位体積当たりの水分の質量、あるいは
 - ii) 乾燥材料の単位質量当たりの水分の質量、あるいは
 - iii) 乾燥材料の単位体積当たりの凝縮水分の体積
- として定義される。

定義(i)は、全ての建築材料に対して一般的に利用されている。一方、(ii)はコンクリート、煉瓦および木質製品のようなより密な建築材料に、(iii)は断熱材のようなより軽量な材料に用いられるのが一般的である。

多くの建築材料は多孔質体である。これらの多孔質体では、含水率は上述の乾燥状態と、連通した細孔が完全に水で満たされた飽和状態の間を変化し得る。飽和状態に対応する含水率は、**最大含水率**(記号: $w_{\max}$ または $u_{\max}$ または $\Psi_{\max}$)と呼ばれる。実験的には、真空中においては、建築材料は最大含水率まで水分を吸収する。真空中でない場合には、より低い含水率で含水は終了する。この含水率は、**毛細管飽和含水率**(記号: w_{cap} または u_{cap} または Ψ_{cap})と呼ばれる。乾燥および飽和状態の間では、含水率は周囲環境の水蒸気圧に関して非線形的に変化する。一例を図1に示す。周囲環境の水蒸気圧（あるいは、多くの場合、相対湿度RH）と材料内の含水率との関係は、**平衡含水率曲線**と呼ばれる。低い湿度範囲では水分は吸着状態にある。この範囲は材料によって変化し、材料によっては98%RHまでがそうである。98%までのRHの範囲は、**ハイグロスコピック域**と呼ばれる。吸着領域の上限に近い相対湿度域においては、周囲の水分が細孔内部で凝縮し始める。しかし最初のうち、巨視的なレベルで、細孔内液水の連続性は無い。これは、**限界含水率** (記号: w_{cr} または u_{cr} または Ψ_{cr}) まで続く。このようにして、限界含水率は、液相の水分移動が生じるのに必要な最低の含水率として定義される。このレベル以下では、液水が巨視的には不連続なため、水分は蒸気相でのみ（そして部分的には、吸着層における表面移動で）輸送される。

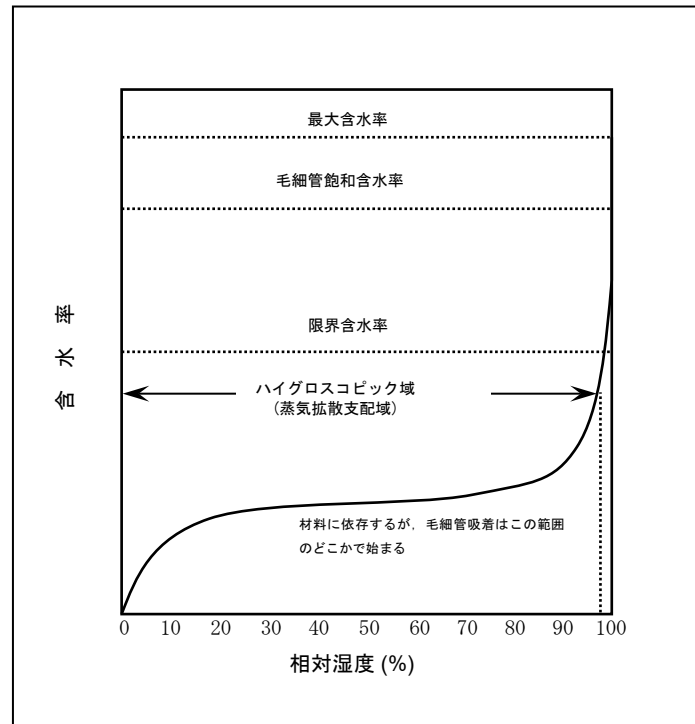


図1 多孔質建築材料の吸着等温線

飽和度（記号: S ; 単位: 無次元）

ある含水率における材料の飽和度は、その材料の最大含水率に対するその含水率の比として定義される。

比熱（記号: c_o ; 単位: $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ）

材料の比熱は、その材料の単位質量を1Kだけ温度上昇させるために必要な熱(エネルギー)として定義される。

上述の定義における質量は、乾燥質量である。もし材料が湿っているならば、比熱 c は次式によって計算される。

$$c = c_o + 4187 \cdot (w / \rho_o) \quad [2]$$

上記の関係式は、水の比熱は一定で、 $4187 J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ に等しいことを前提としている。

容積熱容量（記号: $\rho_o c_o$; 単位: $J \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}$ ）

材料の容積熱容量は、その材料の単位体積を1Kだけ温度上昇させるために必要な熱(エネルギー)として定義される。

もし材料が湿潤しているなら、熱容量 $\rho_o c$ は次式によって計算される。

$$\rho_o c = \rho_o c_o + 4187 \cdot w \quad [3]$$

式[2]と[3]は、水の熱容量は一定で、 $4187 J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ に等しいことを前提としている。

熱伝導率（記号: λ ; 単位: $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ）

ある点における材料の熱伝導率は、流れ方向への温度勾配の大きさに対する単位時間当たりの熱流量密度の比、として定義される。熱伝導率の定義は、熱伝導に対するフーリエの式に由来する。

$$\dot{q} = -\lambda \cdot grad T \quad [4]$$

しかし、乾燥した建築材料内における熱移動は、伝導、細孔表面からの放射、細孔内部の対流を総合した結果である。熱伝導率の実際的な定義では、これら熱輸送の三態全てが含まれている。もし材料が湿っているなら、毛細管内の水分により輸送される熱および相変化に伴うエンタルピー変化も、単位時間当たりの熱流量密度に加算される。

熱抵抗（記号: R ; 単位: $K \cdot m^2 \cdot W^{-1}$ ）

2つの平行平面で区切られた材料の熱抵抗は、定常状態において、試料を通過する単位時間当たりの熱流量密度に

対する 2 つの界面を横切る温度差の比として定義される。

熱拡散率（記号: α ; 単位: $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ）

材料のある点における熱拡散率は、材料の体積熱容量に対するその点の熱伝導率の比として定義される。

水蒸気濃度（記号: ρ_v ; 単位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ）

建築材料の与えられた体積内の水蒸気濃度は、その体積に対する体積内に含まれる水蒸気の質量の比として定義される。また、材料単位体積当たりの水蒸気質量としても定義される。

透湿率（湿気伝導率）（記号: δ_p ; 単位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ）

ある点での透湿率は、流れ方向への蒸気圧勾配の大きさに対する、その点での単位時間当たりの水蒸気流密度の比として定義される。

透湿率の定義は、次の輸送方程式に由来している。

$$\dot{m}_v = -\delta_p \cdot \text{grad } p_v \quad [5]$$

全ての水分輸送に関わる物性値の中で、建築材料の透湿率は、「カップ法」を利用することにより、もっとも容易に測定される。文献に報告された各種のデータによると、大抵の吸放湿材料においては、透湿率は材料の平均相対湿度に強く依存する。

実用的には、建築材料の透湿係数（vapor permeance; 記号 δ_1 ; 単位 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ）と呼ばれる量が便利である。この量は次のように定義される。

2 つの平行平面で区切られた材料の透湿係数は、境界面間の水蒸気圧差に対する定常状態における水蒸気流量密度の比である。

透湿率（湿気伝導率）の逆数は湿気伝導抵抗（vapour resistivity; 記号: N ; 単位: $\text{m} \cdot \text{Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{kg}^{-1}$ ）であり、透湿係数の逆数は透湿抵抗（記号: Z_p ; 単位 $\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{kg}^{-1}$ ）である。

水蒸気の輸送方程式が次のように記述される場合、

$$\dot{m}_v = -\delta_v \cdot \text{grad } \rho_v \quad [6]$$

ある点での水蒸気の拡散係数（記号: δ_v ; 単位: $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ）は、その点における流れの方向への水蒸気濃度勾配に対する水蒸気流量密度の比として定義される。

湿気抵抗率（比）（記号: μ ; 単位: 無次元）

材料の湿気抵抗率は、材料の透湿率（湿気伝導率）に対する同一の熱力学的条件（同じ温度と圧力）下における静止空気（湿気伝導率） δ_a の比で定義される。静止空気（湿気伝導率）はシルマー（Schirmer）の式[2]によって計算することができる。この式は、参考文献3で報告されているフラー（Fuller）らのより最近の研究成果とも一致している。

Schirmerの式は下式で表される。

$$\delta_a = \frac{2.306 \times 10^{-5} P_o}{R_v T P} \left(\frac{T}{273.15} \right)^{1.81} \quad [7]$$

ここで、

T: 温度 (K)

P: 周囲圧力 (Pa)

P_o : 基準大気圧, 101325 Pa

R_v : 水（蒸気）の理想気体定数, $461.5 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$

湿気抵抗比という概念は、建築材料の空隙構造を記述する2つの物理量を導入している。定義により、静止空気のみは1である。もし乾燥した平板材料において、空隙により平行な両境界表面が直接につながっており、かつ各空隙の断面積が一樣ならば、

$$\mu = 1/\psi_o \quad [8]$$

となる。ここで、 ψ_o は（外部と連結した）空隙率（単位： $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ）で、水蒸気が入ることのできる（浸入可能な）材料単位体積あたりの空隙の体積を表している。

もし空隙が一樣ではなく、ランダムな方向を向いているのであれば、

$$\mu = (\psi_r / \psi_o) \quad [9]$$

ここで、 ψ_r は屈曲係数（度）と呼ばれる。

湿気拡散厚（記号： μ_d ；単位： m ）

試料の湿気拡散厚は、材料の湿気抵抗比と材料厚さの積である。

水分伝導率（記号： k_m ；単位： $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ）

材料のある点におけるある方向への水分伝導率は、流れ方向への吸引圧勾配の大きさに対するその点における水分流量密度の比として定義される。

吸引圧には、毛細管力、重力及び外部圧力が含まれる。水分伝導率の定義は、次の輸送方程式に由来する。

$$\dot{m}_m = -k_m \cdot \text{grad } s \quad [10]$$

ここで s は全吸引圧（単位： Pa ）である。このとき、 s には、毛細管吸引圧に関しては空隙内の液水の圧力が、重力に関しては重力の加速度と水の密度、高さとの積が含まれる。限界含水率より高含水な領域における平衡含水率曲線は吸引圧を含んでいる。しかし、この点は特に明らかになっているわけではない。それゆえ、含水率と細孔径分布との関係を表す曲線をつくると実用的である。この場合、全含水率域を2つに分けて表現することができる。すなわち限界含水率までの第1の領域を平衡含水率曲線の形で、限界含水率から最大含水率までの第2の領域を吸引圧曲線（サクシオンカーブ）の形にである。

訳者註）「全含水率域を2つに分けて考える」という表現は、測定方法が低含水域と高含水域とで異なるという実際上の問題が背景となって生じたものである。理論上は、全含水域を統一的に扱うことが可能であり、本文の記述は誤りである。

比湿容量（記号： ξ ；単位： $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$ ）

材料の比湿容量は、単位水蒸気圧もしくは吸引圧（サクシオン）の増加に伴う、材料単位質量あたりの水分質量の増加で定義される。水蒸気圧が相対湿度で表現される場合には、単位は $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ となり、記号は ξ_o が用いられる。

容積当り湿気容量（記号： $\rho_o \xi$ ；単位： $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{Pa}^{-1}$ ）

材料の容積当り湿気容量は、単位水蒸気圧もしくは単位吸引圧（サクシオン）の増加に伴う、材料単位体積あたりの水分質量の増加として定義される。

容積当り湿気容量は、ハイグロスコピック域では平衡含湿率曲線の傾きから、限界含湿率以上の範囲では、吸引圧曲線（サクシオンカーブ）の傾きから計算することができる。

水分拡散係数（記号： D_w ；単位： $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ）

ハイグロスコピック（蒸気拡散支配）域における水分拡散係数は、容積当り湿気容量に対する透湿率（湿気伝導率）の比である。ハイグロスコピック（蒸気拡散支配）域を越える範囲では、容積当り湿気容量に対する水分伝導率の比である。

上記の定義は、熱拡散係数に対するものと相似である。しかしながら、水分拡散係数は現在のところ、次式の水分

流量密度の定義に従って用いられている.

$$\dot{m}_m = -\rho_o D_w \cdot \text{grad } u \quad [11]$$

温度勾配水分伝導率 (記号: k_T ; 単位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

材料のある点における温度勾配水分伝導率は, 含水率勾配が無い場合において, 流れの方向への温度勾配に対するその点の水分流量密度の比として定義される.

上記の温度勾配水分伝導率の定義は, 次の輸送方程式に由来する.

$$\dot{m}_m = -k_T \cdot \text{grad } T \quad (\text{一様な含水率において}) \quad [12]$$

温度勾配水分拡散係数 (記号: D_T ; 記号: $\text{m}^2 \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

温度勾配水分伝導率の絶乾密度に対する比は, 温度勾配水分拡散係数と呼ばれる. それゆえ, (12)式は下記のようにも記述できる;

$$\dot{m}_m = -\rho_o D_T \cdot \text{grad } T \quad (\text{一様な含水率において}) \quad [13]$$

透気率 (記号: k_a ; 単位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

材料のある点における透気率は, 流れ方向への圧力勾配に対するその点の空気流密度の比として定義される. 実用的には建築材料の空気貫流率 (記号: K_a ; 単位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) が便利である. この物理量は次のように定義される;

平行面で仕切られた材料の空気貫流率は, 定常状態における, 両境界間の圧力差に対する空気流量密度の比である.

また, 本書で定義している物理量に加えて, 建築物理工学者は他の多くの物理量を使用している. これらは, 添付した記号表に付記してある.

1.3.1 参考文献

1. IEA ANNEX XIV: Condensation and Energy. Volume 1 Source book, Chapter 1: Material Properties.
2. Schirmer, R. ZVDI, Beiheft Verfahrenstechnik, (1938) Nr. 6, S.170.
3. Reid, R., J.M.Prausnitz and B.E. Poling. The properties of Gases and Liquids, Fourth Edition, McGraw-Hill, 1987, p.587.

1.4 記号表

記号	物理量	物理量 (英語)	単位
a	吸湿率	absorptivity	–
a	熱拡散率	thermal diffusivity	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
b	熱漏出係数	thermal effusivity	$\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{s}^{-1/2}$
c _o	乾燥材料の比熱	specific heat capacity of a dry material	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
c	湿潤材料の比熱	specific heat capacity of a wet material	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
d	厚さ	thickness	m
dh	水力直径	hydraulic diameter	m
e	放射率	emissivity	–
f	摩擦係数	friction factor	–
g	重力加速度	acceleration of free fall	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
h	比エンタルピー	specific enthalpy	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$
h _e	蒸発の比エンタルピー	specific enthalpy of evaporation	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$
h _m	融解の比エンタルピー	specific enthalpy of melting	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$
k _a	透気率	air permeability	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} (\text{s} \cdot \text{m}^{-1})$
k _m	水分伝導率	moisture permeability	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} (\text{s})$
k _T	温度勾配水分伝導率	thermal moisture permeability	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
l	長さ	length	m
m	質量	mass	kg
$\dot{m}$	質量流量密度	density of mass flow rate	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
n	換気回数	ventilation rate	h^{-1}
p	水蒸気圧	water vapour pressure	Pa

記号	物理量	物理量 (英語)	単位
p _c	毛細管吸引圧	capillary suction	Pa
p _{sat}	飽和水蒸気圧	saturation water vapour pressure	Pa
$\dot{q}$	熱流密度	density of heat flow rate	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
r	反射率	reflectivity	–
s	全吸引圧	total suction	Pa
t	時間	time	s
u	重量含水率	moisture content (mass by mass)	$\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$
v	速度	velocity	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
w	容積含水率	moisture content (mass by volume)	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
x	絶対湿度	water vapour ratio (mass by mass)	$\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$
x, y, z	空間座標	spatial coordinates	m
A	吸水係数	water sorption coefficient	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1/2}$
A	面積	area	m^2
B	水分浸透係数	water sorption coefficient	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1/2}$
D _T	温度勾配水分拡散係数	thermal moisture diffusion coefficient	$\text{m}^2 \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
D _w	水分拡散係数	moisture diffusivity	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
H	エンタルピー	enthalpy	J
K _a	空気貫流率	air permeance	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} (\text{s})$
N	湿気伝導抵抗	vapour resistivity	$\text{m} \cdot \text{Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{kg}^{-1}$

記号	物理量	物理量（英語）	単位
$\dot{M}$	質量流量	mass flow rate	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$
Q	熱量	quantity of heat	J
$\dot{Q}$	熱流	heat flow rate	W
R	熱抵抗	thermal resistance	$\text{K} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$

記号	物理量	物理量（英語）	単位
R	気体定数	gas constant	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
S	飽和度	degree of saturation	—
T	熱力学的温度	thermodynamic temperature	K
U	熱貫流率	thermal permeance	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
V	体積	volume	m^3
Z_n	水蒸気圧勾配に対する湿気貫流抵抗	vapour resistance related to vapour pressure	$\text{Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{kg}^{-1} (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$
Z_v	水蒸気濃度勾配に対する湿気貫流抵抗	vapour resistance related to vapour concentration gradient	$\text{s} \cdot \text{m}^{-1}$
α	熱伝達率	surface film coefficient for heat transfer	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
β_n	水蒸気圧差に対する湿気伝達率	surface film coefficient for diffusion related to vapour pressure gradient	$\text{s} \cdot \text{m}^{-1}$
β_v	水蒸気濃度差に対する湿気伝達率	surface film coefficient for diffusion related to vapour concentration gradient	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
δ_p	蒸気圧勾配に対する湿気拡散率	vapour permeability related to vapour pressure gradient	s
δ_v	水蒸気の拡散係数	vapour permeability related to vapour concentration gradient	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
$\in$	ひずみ	strain	—
$\in T$	温度ひずみ度	specific heat strain	K^{-1}
$\in u$	湿気ひずみ度	specific hygric strain	$\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$
ε	表面粗度	surface roughness	m

記号	物理量	物理量（英語）	単位
ζ	水力損失係数	hydraulic loss factor	－
η	粘性係数	dynamic viscosity	$\text{N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}$
θ	温度	temperature	$^{\circ}\text{C}$
λ	熱伝導率	thermal conductivity	$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
μ	透湿抵抗ファクター	vapour resistance factor	－
μ_d	湿気拡散厚	vapour diffusion thickness	m
ν	動粘性係数	kinematic viscosity	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
ξ	比湿容量	specific moisture capacity	$\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$
ξ_w	相対湿度に関する比湿容量	specific moisture capacity in terms of relative humidity	$\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$
ρ	密度	density	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
ρ_v	水蒸気濃度	water vapour concentration	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
ρ_c	容積比熱	volumetric heat capacity	$\text{J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$
$\rho \xi$	容積当り湿気容量	volumetric moisture capacity	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{Pa}^{-1}$
$\rho \xi_w$	相対湿度に関する容積当り湿気容量	volumetric moisture capacity in terms of RH	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

記号	物理量	物理量（英語）	単位
σ	表面張力	surface tension	$\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$
τ	透過率	transmissivity	－
τ	温度比	temperature ratio	－
φ	相対湿度	relative humidity	－
Ψ	容積基準含水率	moisture content volume by volume	$\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$
Ψ_a	空気含有率	air content	$\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$
Ψ_o	（外部につながった）空隙率	open porosity	$\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$

下付き添え字

a	空気
a	周囲
abs	吸収
cap	毛管
c	対流
cr	限界
des	放湿
e	外側
e	蒸発
eff	有効
eq	等価
h	ハイグロスコピック（蒸気拡散支配）
i	室内側

i	氷
l	液
m	湿気（水分）
m	融解
max	最大
o	乾燥材料
p	圧力
r	放射
s	表面
sat	飽和
v	蒸気
vac	吸引
w	水分

2. 建築材料の熱水分物性値：IEA ANNEX 24 参加者からのデータ集

はじめに

本章の物性値は、主として、ANNEXに参加した全14ヶ国から集められたデータをもとにしてまとめたものである。今回新たにデータシートを作成し、参加国に配布の上、入力してもらった。それに加えて、ANNEX 14 の活動成果である「物性値カタログ」、いくつかの専門的出版物、およびさまざまな機関の公的な報告書も、このデータ集積のために使用されている。本章の各セクションは、データの出典から始まる。可能な限り試料の密度や厚さなども併記するようにした。

2.1 コンクリート (CONCRETE)

出典

- [1] Catalogue of Material properties(upgraded version), Report Annex XIV, Page 2.2
- [2] Laboratoire de Thermique des Matériaux et des Bâtiments, INSA, Toulouse France data, Beton Siliceux, 試料密度 2270 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- [3] Laboratory of Building Physics, KU-Leuven, Belgium data; 試料密度 2180 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ 90 mm, 材齢7年.
- [4] Laboratoire de Thermique des Matériaux et des Bâtiments, INSA, Toulouse France, Beton Siliceux, 試料密度 2270 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 平均温度 -10 ~ 60 °C.
- [5] Norwegian Building Research Institute and Norwegian Institute of Technology, Trondheim, Norway data, 乾燥材料 (20 °C) .
- [5a] Institute for Research in Construction Data; 試料密度 2164 と 2146 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.
- [6] Kurt Kielsgaard Hansen, Sorption Isotherms, A Catalogue, The Technical University of Denmark, Technical Report 162/86; the data corresponds to a concrete sample with the following specifications: Concrete K 300 P, C = 320 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, std, w/c = 0.48, w/c = 0.20, lo = 3.9 %, max size of stones = 32 mm; the data originally appeared in Tech. Report 36, Lund Inst. of Technology by Ahlgren Lennart, 1972. Hansen's Catalogue lists the sorption/desorption curves for concrete samples with w/c ratio between 0.04 and 0.72. These values are not significantly different from those in the table below.
- [7] Galbraith G. H., McLean, R. C.' Vapour permeability testing', Final report to the Building Research Establishment; Contract F3/2/490, Strathclyde University, June 1993.
- [8] Fraunhofer Institute of Building Physics, Holzkirchen, Germany data.
- [9] Goran Hedenblad, Lund University Doctoral Dissertation, Moisture Permeability of Mature Concrete, Cement Mortar and Cement Paste, 1993.

乾燥密度: $2200 \pm 100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

比熱: $840 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ [1]
 $940 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ [2]

空隙率: $\approx 0.15 \text{ m}^3\cdot\text{m}^{-3}$ [2]

乾燥材料の熱伝導率:

試験方法	高温側表面温度 °C	低温側表面温度 °C	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
B62-003	11.5	9.0	2.0[3]
"	22.4	18.9	2.0[3]
"	32.9	29.4	2.0[3]
***	***	***	1.16[4]
***	***	***	1.7[5]
ASTM C518	33.81	20.62	1.21[5a]
"	33.38	20.53	1.26[5a]

湿った材料の熱伝導率 (0 °C) [2]:

含水率 kg•kg ⁻¹	λ W•m ⁻¹ •K ⁻¹	含水率 kg•kg ⁻¹	λ W•m ⁻¹ •K ⁻¹
0	1.16	0.04	2.61
0.01	1.89	0.05	2.71
0.02	2.24	0.06	2.78
0.03	2.46	***	***

文献[1]には次式が与えられている (20 °C) .

$$\lambda (\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}) = 2.74 + 0.0032 w$$

ここで w は含水率 (kg•m⁻³)である.

吸湿/放湿時 平衡含水率曲線[6]:

相対湿度 %	吸湿時 平衡含水率 kg•kg ⁻¹	放湿時 平衡含水率 kg•kg ⁻¹
25	0.0094	
25.5	0.0083	
44.7	0.0122	
45.1	0.0109	
64.8	0.0182	
65.2	0.0165	
79.8	0.0268	
80.2	0.0256	
89.6	0.0345	
90.1	0.0325	
97.8	0.0425	
98.5	0.0462	
19.9		0.0100
20.2		0.0088
45.1		0.0226
45.7		0.0212
65.3		0.0305
65.8		0.0290
84.6		0.0375
84.9		0.0395
94.7		0.0467
95.0		0.0447

文献[1] に吸湿時の式が次のように与えられている.

$$\begin{aligned} w(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}) &= 147.5[1 - \ln \varphi / 0.0453]^{-1/1.67} \text{ or} \\ &= \varphi / (-0.069 \varphi^2 + 0.081 \varphi - 0.004) \end{aligned}$$

文献[1] に放湿時の式が次のように与えられている.

$$\begin{aligned} w(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}) &= 147.5[1 - \ln \varphi / 0.570]^{-1/0.64} \text{ or} \\ &= \varphi / (0.018 \varphi^2 - 0.027 \varphi + 0.020) \end{aligned}$$

上式で、相対湿度 φ は比率で表現されている.

毛細管飽和含水率: $\approx 110 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ [1]

飽和含水率: $\approx 150 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ [1]

158 kg•m⁻³[2]

透湿率（湿気伝導率）（カップ法による）：

相対湿度(1) %	相対湿度(2) %	平均相対湿度 %	23 °Cにおける透湿率（湿気伝導率） $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1} \times 10^{-12}$
0	60		6.13[7]
60	80		6.76[7]
60	93		7.61[7]
60	100		10.8[7]
3	50		1.2[8]
3	50		1.4[8]
		25	1.26[2]
		50	1.4[2]
		75	2.5[2]
		95	6.3[2]

文献[1] に、湿気抵抗ファクター μ について、次のような式が与えられている。

$$\mu = 1/[6.8 \times 10^{-3} + 8.21 \times 10^{-5} \exp(5.66\phi)]$$

上式で、相対湿度 ϕ は比率で表現されている。

材齢約5年のコンクリート試料の脱着等温線と透湿率（湿気伝導率） [9]

試料 1. 組成: セメント = $418 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; 水 = $167 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; 砂 = $990 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; マカダム = $910 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

相対湿度 %	含水率 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	相対湿度 %	透湿率（湿気伝導率） $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$
30	39	30	1.0E-12
50	49	65	1.0E-12
60	59	70	1.4E-12
70	69	80	2.1E-12
80	80	84	2.6E-12
86	88	88	3.4E-12
90	95	90	3.9E-12
92	100	93	4.4E-12
94	105	96	5.2E-12
96	111		

試料 2. 組成: セメント = $368 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; 水 = $184 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; 砂 = $990 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; マカダム = $910 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

相対湿度 %	含水率 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	相対湿度 %	透湿率（湿気伝導率） $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$
30	37	30	1.0E-12
50	48	65	1.0E-12
65	65	80	2.4E-12
75	78	86	4.4E-12
84	91	90	7.4E-12
90	101	93	1.3E-11
93	108	95	2.1E-11
95	114	96	3.1E-11
96	119	97	6.7E-11
97	129		

試料 3. 組成: セメント = $328 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; 水 = $197 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; 砂 = $990 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; マカダム = $910 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

相対湿度 %	含水率 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	相対湿度 %	透湿率 (湿気伝導率) $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$
30	34	30	$1.3\text{E-}12$
65	63	65	$1.3\text{E-}12$
80	85	80	$2.8\text{E-}12$
86	97	86	$5.4\text{E-}12$
90	107	90	$1.1\text{E-}11$
93	114	93	$2.4\text{E-}11$
95	122	95	$5.6\text{E-}11$
96	128	96	$6.3\text{E-}11$
97	138	97	$1.0\text{E-}10$
97.6	144	97.6	$1.6\text{E}10$

試料 4. 組成: セメント = $296 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; 水 = $207 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; 砂 = $990 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; マカダム = $910 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

相対湿度 %	含水率 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	相対湿度 %	透湿率 (湿気伝導率) $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$
30	32	30	$1.3\text{E-}12$
65	61	65	$1.3\text{E-}12$
80	85	80	$2.8\text{E-}12$
86	99	86	$5.4\text{E-}12$
90	111	90	$1.1\text{E-}11$
93	121	93	$2.4\text{E-}11$
95	131	95	$5.6\text{E-}11$
97	148	97	$1.3\text{E-}10$
97.6	155	97.6	$2.1\text{E-}10$
98	160	98	$2.8\text{E-}10$

水分拡散係数[2]:

含水率 ($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	水分拡散係数 ($\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$)
0.0066	$1.44\text{E-}11$
0.011	$1.56\text{E-}11$
0.0154	$1.75\text{E-}10$
0.022	$2.89\text{E-}10$
0.0286	$2.89\text{E-}10$
0.0352	$2.89\text{E-}10$
0.0418	$2.89\text{E-}10$
0.0484	$2.89\text{E-}10$
0.069	$2.89\text{E-}10$

文献[1]には、水分拡散係数, D_w について次のような式が与えられている.

$$D_w (\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}) = 1.8 \times 10^{-11} \exp(0.0582 w)$$

ここで w は含水率 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) である.

吸引圧曲線（サクシヨンカーブ） [2]（10 °C）：

P Pa	1×10^9	4×10^8	2.3×10^8	1.7×10^8	1.4×10^8	1.1×10^8
u $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$	0	0.007	0.014	0.021	0.028	0.035

P Pa	9.1×10^7	7.2×10^7	6×10^7	2.8×10^7	2.1×10^6	1.0×10^4
u $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.042	0.049	0.056	0.063	0.067	0.069

20 °Cにおける 温度勾配水分拡散係数（含水率の関数） [2]:

u, ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	0.066	0.011	0.015	0.022	0.029	0.035	0.042	0.048
$D_T, (\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}) \times 10^{-13}$	1.28	4.48	8.4	13.1	14.7	14.0	12.0	1.8

吸水係数[1]: $0.018 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1/2}$

透気率[5]: $1 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$

lightweight concrete

2.2 軽量コンクリート (LIGHTWEIGHT CONCRETE)

出典

- [1] Catalogue of Material properties(upgraded version), Report Annex XIV, Page 2.2
 [2] Laboratoire de Thermique des Matériaux et des Bâtiments, INSA, Toulouse France data, Beton, 試料密度 $1600 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
 [3] Laboratory of Building Physics, KU-Leuven, Belgium data; 試料密度 $1296 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ 70.5 mm.
 [4] Norwegian Building Research Institute and Norwegian Institute of Technology, Trondheim, Norway data, 乾燥材料 (20°C), 密度 $600 \sim 1300 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.
 [5] Kurt Kielsgaard Hansen, Sorption Isotherms, A Catalogue, The Technical University of Denmark, Technical Report 162/86; the data corresponds to a concrete sample with the following specifications: 密度 = $640 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 空隙率 = $0.47 \text{ m}^3\cdot\text{m}^{-3}$; the data originally appeared in Tech. Report 36, Lund Inst. of Technology by Ahlgren Lennart, 1972.
 [6] Galbraith G. H., McLean, R. C.' Vapour permeability testing', Final report to the Building Research Establishment; Contract F3/2/490, Strathclyde University, June 1993; 乾燥密度 $1327 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.
 [7] Fraunhofer Institute of Building Physics, Holzkirchen, Germany data; light concrete with expanded concrete; 密度 $1080 \sim 1420 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

乾燥密度: $600 \sim 1600 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

比熱: $840 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ [1,2]
 $900 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ [4]

空隙率: $\approx 0.51 \text{ m}^3\cdot\text{m}^{-3}$ [3], 密度 $1296 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
 $\approx 0.33 \text{ m}^3\cdot\text{m}^{-3}$ [2], 密度 $1600 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

乾燥材料の熱伝導率:

試験方法	高温側表面温度 $^\circ\text{C}$	低温側表面温度 $^\circ\text{C}$	温度 $^\circ\text{C}$	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
B62-003	13.8	6.6		0.588[3]
"	23.6	16.6		0.588[3]
"	33.6	26.7		0.593[3]
***	***	***	0	0.36[2]
***	***	***	20	0.367[2]
			60	0.374[2]
***	***	***	20	0.2 ~ 0.28[4]

文献[1]には乾燥材料の熱伝導率 (20°C) について, 密度 ρ ($644 \sim 1187 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) の関数として, 次式が与えられている.

$$\lambda = 0.0414 \exp(0.00205 \rho)$$

湿った材料の熱伝導率 (20°C) [2]:

含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
0	0.367	0.16	0.716
0.008	0.459	0.24	0.80
0.04	0.514	0.32	0.873
0.08	0.613	***	***

文献[1] には次式が与えられている (20 °C) .

$$\lambda \text{ (W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}) = 0.511 + 0.00255 w, \quad \text{乾燥密度 } 1158 \sim 1187 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

$$\lambda \text{ (W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}) = 0.371 + 0.00104 w, \quad \text{乾燥密度 } 1130 \sim 1138 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

$$\lambda \text{ (W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}) = 0.161 + 0.00150 w, \quad \text{乾燥密度 } 644 \sim 674 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

ここで w は 含水率 (kg·m⁻³)である.

吸湿/放湿時 平衡含水率曲線[5]:

相対湿度 %	吸湿時 平衡含水率 kg·kg ⁻¹	放湿時 平衡含水率 kg·kg ⁻¹
25	0.027	
25.2	0.030	
45.2	0.032	
45.6	0.034	
65.2	0.039	
65.5	0.041	
85.1	0.050	
85.3	0.052	
95.5	0.077	
95.8	0.079	
98.1	0.093	
98.5	0.095	
19.6		0.027
20.1		0.029
40.2		0.047
40.4		0.047
60.1		0.061
60.7		0.057
80.1		0.075
80.5		0.073
95.0		0.105
95.2		0.105

吸湿/放湿時 平衡含水率曲線[5]:

相対湿度 %	吸湿時 平衡含水率 kg·kg ⁻¹	放湿時 平衡含水率 kg·kg ⁻¹
24.3	0.030	
24.5	0.028	
44.9	0.033	
45.4	0.034	
65.1	0.039	
65.3	0.041	
84.8	0.050	
85.1	0.043	
97.8	0.064	
98.1	0.069	
19.4		0.032
19.9		0.030
39.7		0.045
40.4		0.044
59.5		0.050
60.0		0.054
79.5		0.061
79.8		0.058
94.5		0.069
94.9		0.073

lightweight concrete

文献[1] には吸湿時の式が次のように与えられている.

$$w(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}) = 110[1 - \ln \phi / 0.0227]^{-1/2.14} \text{ or} \\ = \phi / (-0.047 \phi^2 + 0.055 \phi + 0.006)$$

文献[1] には放湿時の式が次のように与えられている.

$$w(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}) = 115[1 - \ln \phi / 0.0221]^{-1/2.91} \text{ or} \\ = \phi / (0.034 \phi^2 - 0.038 \phi + 0.022)$$

この材料の乾燥密度は $938 \sim 1442 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ である.

毛細管飽和含水率: $97 \sim 190 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ [1]; 密度 $872 \sim 980 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

飽和含水率: $\approx 580 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ [1]; 密度 $973 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

透湿率 (湿気伝導率) (カップ法による):

相対湿度(1) %	相対湿度(2) %	平均 相対湿度 %	23 °Cにおける透湿率 (湿気伝導率) $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1} \times 10^{-11}$
0	60		1.23[6]
60	80		1.14[6]
60	93		1.66[6]
60	100		1.87[6]
3	50		0.34[7]
3	50		0.26[7]

文献[1] には, 湿気抵抗ファクター μ について, 次式が与えられている.

$$\mu = 1/[6.76 \times 10^{-2} + 1.21 \times 10^{-3} \exp(3.94\phi)]$$

ここで, 相対湿度 ϕ は比率で与えられており, 材料密度は $975 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ である.

水分拡散係数[2]:

含水率 ($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	水分拡散係数 ($\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$)
0.01	1.5E-08
0.03	2.4E-08
0.08	4.9E-08
0.12	7.5E-08
0.16	1.8E-07
0.18	2.7E-07
0.20	4.51E-07
0.22	5.1E-07

文献[1] には, 水分拡散係数 D_w について, 次式が与えられている.

$$D_w (\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}) = 1.3 \times 10^{-9} \exp(0.0351 w)$$

ここで w は 含水率 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) で, 材料密度は $975 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ である.

lightweight concrete

吸引圧曲線（サクシヨンカーブ） [2] （20 °C）：

P Pa	1×10^9	2.2×10^6	3.0×10^5	1.3×10^5	1.0×10^5	7.0×10^4
u $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$	0	0.0022	0.0044	0.0077	0.0154	0.055

P Pa	4.5×10^4	3.5×10^4	2.4×10^4	5.0×10^3
u $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.11	0.165	0.198	0.218

含水率の関数としての温度勾配水分拡散係数（20 °C） [2]:

u, ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	0.01	0.03	0.08	0.12	0.16	0.18	0.20	0.22
$D_T, (\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}) \times 10^{-7}$	0.15	0.24	0.49	0.75	1.8	2.72	4.51	5.1

吸水係数[1]: $0.08 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1/2}$; 密度 $975 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.
 $0.029 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1/2}$; 密度 $1410 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

透気率[4]: $0.8 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$

2.3 気泡コンクリート (AERATED CONCRETE)

出典

- [1] Catalogue of Material properties(upgraded version), Report Annex XIV, Page 2.4.
 [2] Laboratoire de Thermique des Matériaux et des Bâtiments, INSA, Toulouse France data, Beton Cellulaire, 試料密度 700 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.
 [3] Institute of Construction and Architecture of SAS, Department of Building Physics, Slovakia data.
 [4] Norwegian Building Research Institute and Norwegian Institute of Technology, Trondheim, Norway data, 乾燥材料, (20 °C) , 密度 500 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.
 [5] Kurt Kielsgaard Hansen, Sorption Isotherms, A Catalogue, The Technical University of Denmark, Technical Report 162/86; the data corresponds to a cellular concrete sample 密度= 500 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$; the data originally appeared in Tech. Report 36, Lund Inst. of Technology by Ahlgren Lennart, 1972.
 [5a] VTT, Finland Data; 密度 = 430 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.
 [6] Galbraith G. H., McLean, R. C.' Vapour permeability testing', Final report to the Building Research Establishment; Contract F3/2/490, Strathclyde University, June 1993; 乾燥密度 497 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 試料厚さ 25 mm.
 [7] Galbraith G. H., McLean, R. C.' Vapour permeability testing', Final report to the Building Research Establishment; Contract F3/2/490, Strathclyde University, June 1993; 乾燥密度 490 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 試料厚さ 25 mm.
 [8] Fraunhofer Institute of Building Physics, Holzkirchen, Germany data; light concrete with expanded concrete; ; 密度 535 ～ 670 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

乾燥密度: 430 ～ 800 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$

比熱: 840 $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ [1]
 1050 $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ [2]
 960 $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ [3]

空隙率: $\approx 0.7 \text{ m}^3\cdot\text{m}^{-3}$ [2]

乾燥材料の熱伝導率:

試験方法	高温側表面温度 °C	低温側表面温度 °C	温度 °C	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
***	***	***	-10	0.198[2]
***	***	***	0	0.200[2]
***	***	***	20	0.202[2]
***	***	***	30	0.204[2]
***	***	***	40	0.208[2]
***	***	***	50	0.210[2]
***	***	***	60	0.212[2]
***	***	***	70	0.240[2]
***	***	***	20	0.15[4]

湿った材料の熱伝導率 (20 °C) [2]:

含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
0	0.204	0.2	0.643
0.05	0.384	***	***
0.1	0.479	***	***
0.15	0.571	***	***

文献[1] には次式が与えられている.

10 °C:

$$\lambda (\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}) = 0.176 + 0.000801 w, \text{ 乾燥密度 } 598 \sim 626 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

20 °C:

$$\lambda (\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}) = 0.177 + 0.000980 w, \text{ 乾燥密度 } 598 \sim 626 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

$$\lambda (\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}) = 0.138 + 0.000904 w, \text{ 乾燥密度 } 455 \sim 492 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

ここで w は含水率 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)である.

文献 [3] には次式が与えられている.

10 °C:

$$\lambda (\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}) = 0.138 + 0.47 u, \text{ 乾燥密度 } = 560 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

ここで u は含水率 ($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$)である. .

吸湿/放湿時 平衡含水率曲線[4]:

相対湿度 %	吸湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$	放湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
17.8	0.018	
17.8	0.018	
33.1	0.023	
54.8	0.024	
55.7	0.028	
75.3	0.029	
76.3	0.035	
90.3	0.046	
92.4	0.064	
95.3	0.091	
96.5	0.100	
98.0	0.165	
98.8	0.185	
17.8		0.023
17.8		0.023
32.8		0.027
33.1		0.028
54.9		0.036
55.6		0.045
75.1		0.065
76.1		0.067
91.1		0.164
92.0		0.144
97.7		0.390
98.3		0.341

吸湿時 平衡含水率曲線 [5a]:

相対湿度 %	含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$	相対湿度 %	含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
25	0.019	70	0.042
50	0.035	90	0.065

文献[1] には, 吸湿時について, 次式が与えられている.

$$\begin{aligned} w(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}) &= 300[1 - \ln \phi / 0.0011]^{-1/1.99} \text{ or} \\ &= \phi / (-0.1877 \phi^2 + 0.213 \phi + 0.011) \end{aligned}$$

文献[1] には, 放湿時について, 次式が与えられている.

$$\begin{aligned} w(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}) &= 800[1 - \ln \phi / 0.0038]^{-1/1.132} \text{ or} \\ &= \phi / (-0.156 \phi^2 + 0.159 \phi - 0.002) \end{aligned}$$

材料の乾燥密度は $465 \sim 621 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ である.

毛細管飽和含水率[1]: $109 + 0.383 \rho$

飽和含水率[1]: $972 - 0.350 \rho$

ここで ρ は乾燥密度 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) で、含水率の単位は $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ である。

Note: 文献[2] には、密度 = $700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ の材料について、飽和含水率が $1 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ と与えられており、これは、上の式と一致する。

透湿率（湿気伝導率）（カップ法による）:

相対湿度(1) %	相対湿度(2) %	平均 相対湿度 %	23 °Cにおける透湿率（湿気伝導率） $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1} \times 10^{-11}$
0	60		2.29[6]
60	80		3.47[6]
60	93		4.25[6]
60	100		5.04[6]
0	60		2.16[7]
60	80		2.50[7]
60	93		2.87[7]
60	100		3.35[7]
3	50		2.07[8]
3	50		2.41[8]
3	50		3.10[8]
3	50		3.38[8]
3	50		3.72[8]
		20	1.8[5a]
		50	2.2[5a]
		75	4.2[5a]
		95	6.3[5a]

文献[1] には、透湿抵抗ファクター μ について次式が与えられている。

$$\mu = 1/[1.16 \times 10^{-1} + 6.28 \times 10^{-3} \exp(4.19\varphi)]$$

ここで、相対湿度 φ は比率で表されており、材料密度は $458 \sim 770 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ である。

水分拡散係数:

含水率 ($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	水分拡散係数 ($\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$)
0.02	4.31E-09[2]
0.12	1.47E-09[2]
0.22	6.67E-09[2]
0.32	4.17E-08[2]
0.42	1.43E-07[2]
0.52	6.00E-08[2]
0.62	2.00E-08[2]
0.72	2.00E-08[2]
0.82	4.79E-08[2]
0.92	1.97E-07[2]
0.1	2E-09[5a]
0.2	2E-09[5a]
0.3	1.7E-09[5a]
0.4	1.5E-09[5a]
0.5	1.2E-09[5a]

文献[1]には、水分拡散係数, D_w について、次式が与えられている.

$$D_w (\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}) = 9.2 \times 10^{-11} \exp(0.0215 w)$$

ここで w は含水率 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) , 材料密度は $511 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ である.

吸引圧曲線 (サクションカーブ) [2] (20 °C) :

P Pa	1×10^8	1.4×10^7	5.0×10^6	1.6×10^5	4.5×10^4	2.0×10^4
u $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.05	0.25	0.40	0.0077	0.50	0.60

P Pa	1.0×10^4	4.8×10^3	1.5×10^3	6.5×10^2
u $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.70	0.80	0.90	0.95

含水率の関数としての温度勾配水分拡散係数 (20 °C) [2]:

$u, (\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1})$	0.02	0.12	0.22	0.32	0.42
$D_T, (\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}) \times 10^{-12}$	9.7	34.4	80.0	480	14.3

$u, (\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1})$	0.52	0.62	0.72	0.82	0.92
$D_T, (\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}) \times 10^{-12}$	1.2	0.1	0.02	0.01	0.01

吸水係数[8]: $0.066 \sim 0.128 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1/2}$

2.4 レンガ (BRICK)

出典

- [1] Catalogue of Material properties(upgraded version), Report Annex XIV, Page 2.7
 [2] Laboratoire de Thermique des Matériaux et des Bâtiments, INSA, Toulouse France, data, Brique, 試料密度 $1800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.
 [2a] VTT Finland data, 試料密度 $1980 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; red brick.
 [3] Institute for Research in Construction, NRC Canada data; 試料密度 $1676 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; 試料厚さ 11 mm; clay brick.
 [4] Institute for Research in Construction, NRC Canada data; 試料密度 $1728 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; 試料厚さ 11 mm; sand-lime brick.
 [5] Kurt Kielsgaard Hansen, Sorption Isotherms, A Catalogue, The Technical University of Denmark, Technical Report 162/86; the data corresponds to a brick sample, 密度 = $1890 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; the data originally appeared in Tech. Report 36, Lund Inst. of Technology by Ahlgren Lennart, 1972. The document lists data on three other brick samples as well.
 [6] Fraunhofer Institute of Building Physics, Holzkirchen, Germany data.
 [7] Galbraith G. H., McLean, R. C.' Vapour permeability testing', Final report to the Building Research Establishment; Contract F3/2/490, Strathclyde University, June 1993; 密度 $1676 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 試料厚さ 25 mm.

乾燥密度: $1100 \sim 2150 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

比熱: $840 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ [1]
 $920 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ [2]

空隙率: $\approx 0.11 \text{ m}^3\cdot\text{m}^{-3}$ [2]
 $\approx 0.25 \text{ m}^3\cdot\text{m}^{-3}$ [2a]

乾燥材料の熱伝導率:

試験方法	高温側表面温度 °C	低温側表面温度 °C	温度 °C	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
***	9.22	5.48		0.397[3]
***	31.90	27.87		0.435[3]
***	9.34	5.32		0.400[4]
***	31.57	27.39		0.419[4]
***	***	***	5	1.01[2]
***	***	***	10	1.01[2]
***	***	***	20	1.00[2]
***	***	***	30	0.99[2]
***	***	***	40	0.98[2]
***	***	***	50	0.96[2]

湿った材料の熱伝導率 (20 °C) [2]:

含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
0	1.0	0.07	1.55
0.02	1.21	0.12	2.0
0.04	1.42	***	***

湿った材料の熱伝導率 (30 °C) :

含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
0.16	0.782[3]	0.11	0.617[4]

吸湿/放湿時 平衡含水率曲線[5]:

相对湿度 %	吸湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$	放湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
25.0	0.0023	
44.9	0.0028	
45.3	0.0026	
65.1	0.0027	
65.4	0.0032	
85.2	0.0030	
85.6	0.0036	
95.2	0.0041	
96.1	0.0046	
98.3	0.0055	
98.4	0.0059	
19.9		0.0022
20.4		0.0020
40.2		0.0031
40.7		0.0028
60.4		0.0034
60.7		0.0038
80.3		0.0044
80.7		0.0049
95.2		0.0071
95.4		0.0060

吸湿時 平衡含水率曲線[2]:

相对湿度 %	吸湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
5	0.00015
10	0.0003
20	0.0006
30	0.0009
40	0.0012
50	0.0015
60	0.00244
70	0.00338
80	0.00432
90	0.0062
95	0.0076
100	0.009

吸湿時 平衡含水率曲線[6]:

相对湿度 %	密度 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	吸湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
75	1400	0.0014
85	1400	0.0019
75	1600	0.0009 ~ 0.001
85	1600	0.001 ~ 0.0015
75	1900	0.00057
85	1900	0.00063 ~ 0.0019
75	2100	0.00067
85	2100	0.00067
75	2200	0.00068
85	2200	0.00086 ~ 0.00091
75	2300	0.00087
85	2300	0.00087

吸湿時 平衡含水率曲線 [2a]:

相対湿度 %	含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$	相対湿度 %	含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
25	0.0003	70	0.0006
50	0.0005	90	0.0014

文献[1] には、吸湿時について次式が与えられている。

$$w(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}) = 200[1 - \ln \varphi / 0.000146]^{-1/1.59} \text{ or}$$

$$= \varphi / (-8.234 \varphi^2 + 9.649 \varphi - 1.484)$$

$$\text{毛細管飽和含水率[1]: } 730.3 - 0.287 \rho \text{ (kg}\cdot\text{m}^{-3}\text{)}$$

$$\text{毛細管飽和含水率[3]: } 270 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

$$\text{毛細管飽和含水率[4]: } 190 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

$$\text{飽和含水率[1]: } 1033 - 0.4036 \rho \text{ (kg}\cdot\text{m}^{-3}\text{)}$$

$$\text{密度 } \rho \text{ } 1505 \sim 2047 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}.$$

透湿率（湿気伝導率）（カップ法による）:

相対湿度(1) %	相対湿度(2) %	平均 相対湿度 %	23 °Cにおける透湿率（湿気伝導率） $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1} \times 10^{-11}$
0	60		1.13[7]
60	80		1.21[7]
60	93		1.45[7]
60	100		1.48[7]
		25	2.6[2]
		50	2.6[2]
		75	2.6[2]
		95	2.6[2]
		25	1.1[2a]
		50	1.6[2a]
		75	2.3[2a]
		95	3.2[2a]
3	50		1.24[6], $\rho=1600 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
3	50		0.1[6], $\rho=1830 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
3	50		0.53[6], $\rho=1900 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
3	50		0.33[6], $\rho=2200 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

文献[1] には、透湿抵抗ファクター μ について、次式が与えられている。

$$\mu = 1/[5.36 \times 10^{-2} + 4.67 \times 10^{-3} \exp(2.79\varphi)]$$

ここで 相対湿度 φ は比率で表わされている。

水分拡散係数 (20 °C) [2]:

含水率 (kg•kg ⁻¹)	水分拡散係数 (m ² •s ⁻¹)	含水率 (kg•kg ⁻¹)	水分拡散係数 (m ² •s ⁻¹)
0.0027	2.0E-9	0.080	2.19E-8
0.0054	2.0E-9	0.100	4.57E-8
0.020	2.51E-9	0.110	6.76E-8
0.040	5.89E-9	0.120	1.17E-7
0.060	1.21E-8		

水分拡散係数 (20 °C) [2a]:

含水率 (kg•kg ⁻¹)	水分拡散係数 (m ² •s ⁻¹)
0.05	3.5E-10
0.1	2.3E-10

水分拡散係数 (20 °C) [3]:

含水率 (kg•kg ⁻¹)	水分拡散係数 (m ² •s ⁻¹)
0.0011	1.49E-08
0.0057	5.3E-08
0.0103	7.23E-08
0.0157	8.52E-08
0.0204	9.24E-08
0.0314	1.08E-07
0.0413	1.28E-07
0.0509	1.55E-07
0.0607	2.07E-07
0.0703	3.05E-07
0.0803	4.49E-07
0.0868	5.48E-07
0.0900	7.18E-07
0.0928	2.07E-06

水分拡散係数 (20 °C) [4]:

含水率 (kg•kg ⁻¹)	水分拡散係数 (m ² •s ⁻¹)
0.0011	8.07E-08
0.0057	2.88E-07
0.0103	3.92E-07
0.0157	4.62E-07
0.0204	5.02E-07
0.0314	5.85E-07
0.0413	6.94E-07
0.0509	8.41E-07
0.0607	1.12E-06
0.0703	1.66E-06
0.0803	2.44E-06
0.0868	2.97E-06
0.0900	3.90E-06
0.0928	1.12E-05

文献[1]には、水分拡散係数, D_w について、次式が与えられている.

$$D_w (\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}) = 2.1 \times 10^{-9} \exp(0.0316 w)$$

ここで w は含水率 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) で、材料密度は $1529 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ である.

$$D_w (\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}) = 1.9 \times 10^{-8} \exp(0.022 w)$$

ここで w は含水率 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) で、材料密度は $1619 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ である.

$$D_w (\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}) = 7.4 \times 10^{-9} \exp(0.0316 w)$$

ここで w は含水率 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) で、材料密度は $1918 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ である.

吸引圧曲線（サクシヨンカーブ） [2]（20℃）：

P, Pa	5.5×10^8	0.9×10^8	0.5×10^8	$1. \times 10^7$	1.0×10^6	4.07×10^5
u, $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$	0	0.0018	0.0036	0.006	0.012	0.036

P, Pa	8.4×10^4	3.61×10^4	6.7×10^3	1.0×10^3
u, $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.072	0.096	0.114	0.12

含水率の関数としての温度勾配水分拡散係数（20℃） [2]:

u, ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	0.0027	0.0054	0.020	0.040	0.060	0.080	0.10	0.11	0.12
$D_T, (\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}) \times 10^{-12}$	4.66	7.22	11.5	23.4	32.6	34.6	31.6	26.9	19.9

吸水係数: $0.3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1/2}$; $\rho = 1100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ [6]
 $0.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1/2}$; $\rho = 1560 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ [6]
 $0.4 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1/2}$; $\rho = 1730 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ [6]
 $0.4 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1/2}$; $\rho = 1750 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ [6]
 $0.05 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1/2}$; $\rho = 2150 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ [6]
 $0.112 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1/2}$ [3]
 $0.121 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1/2}$ [4]

文献[1]には、粘土質レンガ（clay brick）について、次式が与えられている.

吸水係数 = $0.653 - 0.0003 \rho$, 密度 $\rho = 1505 \sim 2000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

2.5 セメントモルタル (CEMENT MORTAR)

出典

- [1] Catalogue of Material properties(upgraded version), Report Annex XIV, Page 2.6.
 [2] Laboratoire de Thermique des Matériaux et des Bâtiments, INSA, Toulouse France, data, Beton Cellulaire, 試料密度 2050 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.
 [3] Institute for Research in Construction, NRC Canada data; 材料密度 2210 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.
 [4] Laboratory of Building Physics, KULeuven, Belgium Data, 材料密度 1786 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.
 [5] Kurt Kielsgaard Hansen, Sorption Isotherms, A Catalogue, The Technical University of Denmark, Technical Report 162/86; the data corresponds to a cement mortar sample, 密度 = 2000 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ and the following specification: 1:4, w/c = 0.7, w/c = 0.2; the data originally appeared in Tech. Report 36, Lund Inst. of Technology by Ahlgren Lennart, 1972.
 [6] Kurt Kielsgaard Hansen, Sorption Isotherms, A Catalogue, The Technical University of Denmark, Technical Report 162/86; the data corresponds to a cement mortar sample with a density = 2000 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ and the following specification: 1:4, w/c = 0.8, open porosity = 22 %; the data originally appeared in Tech. Report 36, Lund Inst. of Technology by Ahlgren Lennart, 1972.

乾燥密度: 1050 ~ 2200 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$

比熱: 840 $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ [1]
 932 $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ [2]
 980 $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ [3]

空隙率: $\approx 0.327 \text{ m}^3\cdot\text{m}^{-3}$ [4]

乾燥材料の熱伝導率:

試験方法	高温側表面温度 °C	低温側表面温度 °C	温度 °C	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
ASTM C518	***	***	3	1.71[3]
ASTM C518	***	***	23	1.71[3]
***	***	***	5	2.04[2]
***	***	***	10	2.035[2]
***	***	***	20	1.99[2]
***	***	***	30	1.965[2]
***	***	***	40	1.92[2]

文献[1]には、密度 ρ が 1055 ~ 1822 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 20 °C の乾燥材料について、次式が与えられている。
 $\lambda = 0.088 \exp(0.00125 \rho)$

湿った材料の熱伝導率 (20 °C) [2]:

含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
0	1.722	0.04	2.232
0.01	1.942	0.05	2.282
0.02	2.092	0.06	2.322
0.03	2.172	0.07	2.372

文献[1]には次式が与えられている (20 °C) .

$$\lambda (\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}) = 0.346 + 0.0012 w, \text{ 乾燥密度 } 1072 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

$$\lambda (\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}) = 0.526 + 0.0031 w, \text{ 乾燥密度 } 1512 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

$$\lambda (\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}) = 0.854 + 0.0045 w, \text{ 乾燥密度 } 1800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

ここで w は 含水率 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) である.

吸湿/放湿時 平衡含水率曲線[5]:

相对湿度 %	吸湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$	放湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
25.1	0.0117	
25.4	0.0126	
44.5	0.0156	
45.1	0.0166	
64.8	0.0268	
65.2	0.0226	
84.7	0.0328	
85.4	0.0330	
95.2	0.0461	
95.6	0.0467	
97.6	0.0538	
97.7	0.0548	
19.1		0.0121
19.8		0.0136
39.3		0.0248
39.7		0.0211
59.2		0.0308
59.7		0.0336
79.2		0.0457
79.6		0.0400
94.2		0.0549
94.6		0.0527

吸湿/放湿時 平衡含水率曲線[6]:

相对湿度 %	吸湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$	放湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
24.7	0.0079	
25.0	0.0097	
44.8	0.0132	
45.3	0.0112	
65.1	0.0202	
65.6	0.0191	
84.6	0.0318	
85.0	0.0292	
94.9	0.0501	
95.1	0.0483	
97.3	0.0595	
98.1	0.0585	
19.5		0.0092
20.1		0.0078
39.9		0.0204
40.4		0.0179
60.0		0.0301
60.4		0.0275
80.1		0.0464
80.4		0.0406
94.9		0.0584
95.4		0.0541

吸湿/放湿時 平衡含水率曲線[4]:

相対湿度 %	吸湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$	放湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
34.6	0.020	
54.4	0.021	
75.4	0.036	
85.7	0.043	
98.3	0.075	
34.6		0.025
54.4		0.027
75.4		0.044
85.1		0.056
98.3		0.108

文献[1] には, 吸湿時について, 次式が与えられている.

$$w(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}) = 283[1 - \ln \phi / 0.029]^{-1/1.39} \text{ or} \\ = \phi / (-0.052 \phi^2 + 0.052 \phi + 0.005)$$

文献[1] には, 放湿時について, 次式が与えられている.

$$w(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}) = 300[1 - \ln \phi / 0.061]^{-1/1.77} \text{ or} \\ = \phi / (-0.022 \phi^2 + 0.025 \phi + 0.0001)$$

材料の乾燥密度 は $1940 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ である.

毛細管飽和含水率[1]: $283 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

透湿率 (湿気伝導率) (カップ法による):

相対湿度(1) %	相対湿度(2) %	平均 相対湿度 %	23 °Cにおける透湿率 (湿気伝導率) $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1} \times 10^{-12}$
52	86		6.35[4]
86	97		10.31[4]
0	10		8.97[2]
10	20		4.95[2]
20	30		2.77[2]
30	40		2.73[2]
40	50		3.42[2]
50	60		9.52[2]
60	70		13.57[2]
70	80		16.67[2]
80	90		54.67[2]
90	100		79.5[2]

文献[1] には透湿抵抗ファクター μ について次式が与えられている.

$$\mu = 1/[7.69 \times 10^{-2} + 2.43 \times 10^{-3} \exp(3.61\phi)]$$

ここで 相対湿度 ϕ は比率で与えられている.

水分拡散係数:

含水率 (kg・kg ⁻¹)	水分拡散係数 (m ² ・s ⁻¹)
0.056	1.0E-08[4]
0.076	1.7E-08[4]
0.084	3.2E-08[4]
0.090	6.8E-08[4]
0.01	2.0E-09[2]
0.02	4.0E-09[2]
0.03	5.6E-09[2]
0.04	8.9E-09[2]
0.05	1.4E-08[2]
0.06	2.0E-08[2]

文献[1] には、水分拡散係数, D_w について、次式が与えられている.

$$D_w (m^2 \cdot s^{-1}) = 2.0 \times 10^{-9} \exp(0.0220 w)$$

ここで w は 含水率 (kg・m⁻³) で、材料密度は1072 kg・m⁻³である.

$$D_w (m^2 \cdot s^{-1}) = 2.7 \times 10^{-9} \exp(0.0204 w)$$

ここで w は 含水率 (kg・m⁻³) で、材料密度は1500 kg・m⁻³である.

$$D_w (m^2 \cdot s^{-1}) = 1.4 \times 10^{-9} \exp(0.0270 w)$$

ここで w は 含水率 (kg・m⁻³) で、材料密度は1807 kg・m⁻³である.

吸引圧曲線 (サクシヨンカーブ) [2] (20 °C) :

P Pa	3.2 x 10 ⁸	2.2x10 ⁸	1.7x10 ⁸	1.3x10 ⁸	9.6x10 ⁷	7.1x10 ⁷
u kg・kg ⁻¹	0.0026	0.0053	0.0079	0.0105	0.0137	0.0195

P Pa	4.9x10 ⁷	3.1x10 ⁷	1.5x10 ⁷	4.0x10 ⁶
u kg・kg ⁻¹	0.0252	0.0310	0.0452	0.0600

吸引圧曲線 (サクシヨンカーブ) [4] (20 °C) , 大気圧基準:

P Pa	5.934 x 10 ⁵	6.966x10 ⁵	7.532x10 ⁵	11.135x10 ⁵	12.701x10 ⁵	14.01x10 ⁵
u kg・kg ⁻¹	0.087	0.082	0.098	0.093	0.089	0.094

P Pa	0.108 x 10 ⁵	0.196x10 ⁵	0.249x10 ⁵	0.425x10 ⁵	0.853x10 ⁵
u kg・kg ⁻¹	0.158	0.155	0.158	0.146	0.130

P Pa	1.127 x 10 ⁵	1.832x10 ⁵	3.247x10 ⁵	4.000x10 ⁵	5.852x10 ⁵
u kg・kg ⁻¹	0.119	0.112	0.115	0.108	0.096

含水率の関数としての温度勾配水分拡散係数（20 °C） [2] :

$u, (kg \cdot kg^{-1})$	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07
$D_T, (m^2 \cdot s^{-1} \cdot K^{-1}) \times 10^{-12}$	0.63	5.0	6.3	6.3	6.3	3.5	0.40

吸水係数[1]: $0.042 \sim 0.8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1/2}$

2.6 せっこうボード (GYPSUM BOARD)

出典

- [1] Catalogue of Material properties, Report Annex XIV, Volume 3, Page 2.34.
 [2] NRC Canada data, pressure-volume measurements; 試料密度 $650 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.
 [2a] NRC Canada data, free water intake measurements; 試料密度 $620 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.
 [3] NRC Canada data; 試料密度 $669 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ 12.6 mm.
 [4] Laboratory of Building Physics, KU-Leuven, Belgium data; 試料密度 $747 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ 9.6 mm.
 [5] Laboratory of Building Physics, KU-Leuven, Belgium data; 試料密度 $746 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ 9.6 mm.
 [6] Catalogue of Material properties, Report Annex XIV, Volume 3, Page 2.34 (corrected version, from KU-Leuven, Belgium).
 [7] NIST, USA data, Richards et al., ASHRAE Transactions 1992, V.98, Pt. 2.
 [8] NRC Canada data.
 [9] Dipartimento di Energetica, Universita di Ancora, Italy, data, 試料密度 $764 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ 12.3 mm.
 [10] Burch et al., ASHRAE Transactions 1992, V. 98, Pt. 2.
 [11] McLean et al., Building Research and Practice, No. 2, 1990, p 82-91.
 [12] Laboratory of Building Physics, KU-Leuven, Belgium data; 試料密度 $746 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ 9.6 mm.
 [13] Data from CMHC Canada report on "Air permeance of building materials"; 試料 1 m x 1 m, 12.7 mm (厚さ) .

乾燥密度: $700 \pm 80 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

比熱[1]: $870 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

空隙率[2]: $\approx 0.7 \text{ m}^3\cdot\text{m}^{-3}$

乾燥材料の熱伝導率:

試験方法	高温側表面温度 °C	低温側表面温度 °C	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
ASTM C518	35.0	13.0	0.164[3]
***	12.3	7.7	0.22[4]
***	22.7	16.9	0.22[4]
***	32.2	27.0	0.22[4]
***	12.2	7.0	0.195[5]
***	22.0	16.9	0.195[5]
***	32.15	27.75	0.199[5]

湿った材料の熱伝導率:

試料温度 °C	含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
9.8	0.023	0.24[4]
9.8	0.026	0.24[4]
19.6	0.023	0.24[4]
19.6	0.026	0.24[4]
29.6	0.023	0.24[4]
29.6	0.026	0.245[4]
10.6	0.0185	0.234[5]
10.6	0.024	0.245[5]
19.6	0.0185	0.239[5]
19.6	0.024	0.245[5]
29.6	0.0185	0.239[5]
29.6	0.024	0.245[5]

吸湿/放湿時 平衡含水率曲線[6]:

相对湿度 %	吸湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	放湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
10	23.3	84.7
20	25.1	88.6
30	26.7	91.8
40	28.2	95.0
50	30.0	98.3
60	31.9	102.0
70	34.4	106.5
80	37.9	112.5
90	44.3	122.1
95	51.4	130.6
98	62.3	139.4

吸湿/放湿時 平衡含水率曲線[7]:

相对湿度 %	吸湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1} (\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	放湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1} (\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$
11.3	0.001(0.67)	0.001(0.67)
32.8	0.003(2.01)	0.003(2.01)
43.2	0.004(2.68)	0.005(3.35)
57.6	0.005(3.35)	0.007(4.69)
78.6	0.009(6.03)	0.010(6.70)
84.3	0.010(6.70)	0.012(8.04)
93.6	0.019(12.73)	0.019(12.73)
97.3	0.027(18.09)	0.028(18.76)

毛細管飽和含水率: $\approx 400 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ [2a]

透湿率（湿気伝導率）（カップ法による）:

相対湿度 (1) %	相対湿度 (2) %	各温度における透湿率（湿気伝導率） $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}\times 10^{-11}$				
		10 °C	15 °C	20 °C	23 °C	25 °C
0	60	2.00[11]				
60	100	2.39[11]				
65	94	2.65[11]				
80	100	3.04[11]				
0	60	2.18[11]				
60	100	2.37[11]				
65	94	2.42[11]				
80	100	2.69[11]				
0	60	2.13[11]				
60	90	2.28[11]				
60	100	2.66[11]				
80	100	3.04[11]				
0	28.7	3.3[8]				
0	50.9	3.0[8]				
22.7	50.8	2.5[8]				
43.2	61.5	2.5[8]				
50.9	69.1	3.8[8]				
61.5	81.2	4.2[8]				
61.4	100	4.0[8]				
80.4	100	5.2[8]				
92.4	100	6.5[8]				
3	40	2.2[9]				
3	65	2.2[9]				
50	97	3.7[9]				
0	60	2.10[11]				
60	90	2.26[11]				
60	100	2.44[11]				
80	100	2.82[11]				

A NIST, USA publication[10] には、厚さ13mmの平板せっこうボードの透湿係数について、次式が与えられている。
ただし、相対湿度 ϕ は比率で表され、温度は7°C か 25 °Cかである。

透湿係数 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$) = $\text{Exp}(-19.479-0.0789\phi)$.

McLean ら [11] は、相対湿度(%)の関数としての透湿率（湿気伝導率）($\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$) について、次式を報告している（20 °C）。

薄いせっこうボード (9 mm): $(1.68+0.0124\text{RH})\times 10^{-11}$

厚いせっこうボード (12 mm): $(1.78+0.018\text{RH})\times 10^{-11}$

水分拡散係数[2a]:

含水率 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	水分拡散係数 ($\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$)
2	8.6E-08
4	1.7E-07
7	2.6E-07
10	3.5E-07
12	4.2E-07
16	5.1E-07
18	5.7E-07
22	3.7E-07
24	1.1E-07
28	5.7E-08
39	4.0E-08
60	3.4E-08
94	3.1E-08
145	3.6E-08
186	5.8E-08
209	9.9E-08
226	1.4E-07
239	1.9E-07
249	2.6E-07
256	3.5E-07
261	4.3E-07
278	4.7E-07
310	4.8E-07
351	4.2E-07
394	3.7E-07

透気率:

圧力差 Pa	透気率[12] $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}\times 10^{-10}$
50	9.23
100	8.54
150	8.16
200	7.9

圧力差 Pa	透気率[13] $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}\times 10^{-9}$
25	4.0
50	4.0
75	4.0
100	4.0

2.7 パイン (PINE)

出典

- [1] Catalogue of Material properties(upgraded version), Report Annex XIV, Page 2.16.
- [2] Institute for Research in Construction, NRC Canada data on eastern white pine.
- [2a] Institute for Research in Construction, NRC Canada data on eastern white pine; 試料密度 $355.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.
- [2b] Institute for Research in Construction, NRC Canada data; 試料密度 $424 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.
- [3] Lars Wadso. Studies of Water Vapor Transport and Sorption in Wood. Lund University, Report TVBM-1013, 1993, page 5.
- [4] Kurt Kielsgaard Hansen, Sorption Isotherms, A Catalogue, The Technical University of Denmark, Technical Report 162/86; the data corresponds to a pine sample, 密度 $510 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$; the data originally appeared in Tech. Report 36, Lund Inst. of Technology by Ahlgren Lennart, 1972.
- [5] Richards, R. F., Burch, D. M. and Thomas, W. C. Water Vapor Sorption Measurements of Common Building Materials. ASHRAE Transactions, 1992, V.98, Pt. 2; the data are on southern pine, 密度 $565 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.
- [6] Richards, R. F., Burch, D. M. and Thomas, W. C. Water Vapor Sorption Measurements of Common Building Materials. ASHRAE Transactions, 1992, V.98, Pt. 2; the data are on sugar pine, 密度 $365 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.
- [6a] VTT Finland data; 試料密度 $340 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.
- [7] Calculated using the equation reported by Burch, D. M., Thomas, W. C. and Fanney, A. H.; ASHRAE Transactions 1992, V.98, Pt.2.

乾燥密度: $400 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ [1]
 $370 \pm 10 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ [2]
 $450 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ [3]
 $365 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ [6]
 $565 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ [5]

比熱: $1880 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ [1]

空隙率: $\approx 0.8 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$

乾燥材料の熱伝導率:

試験方法	高温側表面温度 °C	低温側表面温度 °C	平均 温度 °C	方向	λ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
***				繊維方向	0.25[3]
***				繊維直交方向	0.1[3]
***			20	***	0.11[1]
ASTM C518	34.78	13.85		繊維直交方向	0.0944[2a]
"	18.85	-12.83		"	0.0918[2a]
"	32.07	21.73		繊維方向	0.229[2a]
"	34.02	14.60		繊維直交方向	0.0946[2b]
"	1.91	-16.9		"	0.0906[2b]

吸湿/放湿時 平衡含水率曲線[4]:

相对湿度 %	吸湿時 平衡含水率 kg•kg ⁻¹	放湿時 平衡含水率 kg•kg ⁻¹
20.5	0.057	
21.0	0.062	
43.3	0.089	
43.5	0.094	
65.6	0.120	
66.0	0.125	
85.8	0.177	
86.2	0.182	
95.4	0.241	
95.9	0.244	
98.2	0.292	
98.5	0.296	
20.5		0.075
45.6		0.116
65.8		0.149
80.3		0.196
90.4		0.236
94.8		0.271

吸湿/放湿時 平衡含水率曲線[5]:

相对湿度 %	吸湿時 平衡含水率 kg•kg ⁻¹	放湿時 平衡含水率 kg•kg ⁻¹
11.3	0.019	0.023
32.8	0.051	0.062
43.2	0.067	0.081
57.6	0.090	0.111
78.6	0.131	0.160
84.3	0.153	0.185
93.6	0.204	0.236
97.3	0.257	0.271

吸湿/放湿時 平衡含水率曲線[6]:

相对湿度 %	吸湿時 平衡含水率 kg•kg ⁻¹	放湿時 平衡含水率 kg•kg ⁻¹
11.3	0.016	0.020
32.8	0.046	0.056
43.2	0.060	0.073
57.6	0.084	0.101
78.6	0.132	0.156
84.3	0.158	0.181
93.6	0.205	0.234
97.3	0.244	0.247

文献[1] には、吸湿時について、次式が与えられている。

$$w(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}) = 100[1 - \ln \varphi / 0.642]^{-1/0.64} \text{ or} \\ = \varphi / (-0.027 \varphi^2 + 0.027 \varphi + 0.0089)$$

また 放湿時について次式が与えられている。

$$w(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}) = 120[1 - \ln \varphi / 0.248]^{-1/1.22} \text{ or} \\ = \varphi / (-0.021 \varphi^2 + 0.026 \varphi + 0.0041)$$

透湿率（湿気伝導率）（カップ法による）:

相対湿度(1) %	相対湿度(2) %	平均 相対湿度 %	方向	透湿率（湿気伝導率） $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1} \times 10^{-13}$
0	50.2		繊維直交方向	2.6[2]
		25	繊維方向	290[6a]
		50	"	400[6a]
		75	"	740[6a]
		95	"	1190[6a]
		53	***	32.9[1]
		86	***	143[1]
		20	***	3.5[7]
		40	***	5.1[7]
		60	***	11[7]
		80	***	31[7]
		90	***	63[7]
		95	***	91[7]

水分拡散係数（20℃）, 繊維方向[2]:

試料 1

含水率 ($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	水分拡散係数 ($\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$)
0.218	9.4E-10
0.300	8.5E-10
0.409	7.5E-10
0.490	6.9E-10
0.600	6.3E-10
0.708	6.0E-10
0.817	5.8E-10
0.899	5.9E-10
1.001	6.4E-10
1.117	7.5E-10
1.253	1.1E-09
1.335	1.5E-09

試料 2

含水率 ($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	水分拡散係数 ($\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$)
0.219	6.4E-10
0.239	5.0E-10
0.283	3.8E-10
0.303	3.6E-10
0.407	2.9E-10
0.498	2.6E-10
0.611	2.4E-10
0.690	2.3E-10
0.811	2.2E-10
0.914	2.1E-10
1.029	2.0E-10
1.111	2.0E-10
1.199	1.9E-10
1.292	1.8E-10
1.341	1.8E-10
1.496	1.7E-10

Note: NRCで行われた吸水実験より，繊維直交方向については， $D_w \approx 2.3 \times 10^{-11} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ と見積もられた．吸水過程は大変ゆっくりである．

吸水係数: $0.0040 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1/2}$; 繊維直交方向[1]
 $0.0163 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1/2}$; 繊維方向[1]

2.8 トウヒ (SPRUCE)

出典

- [1] Institute for Research in Construction, NRC Canada data .
 [2] Catalogue of Material properties(upgraded version), Report Annex XIV, Page 2.16.
 [3] Lars Wadso. Studies of Water Vapor Transport and Sorption in Wood.Lund University Report TVBM-1013, 1993, page 5.
 [4] Kurt Kielsgaard Hansen, Sorption Isotherms, A Catalogue, The Technical University of Denmark, Technical Report 162/86; the data corresponds to a spruce sample with a density = $420 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$; the data originally appeared in Tech. Report 36, Lund Inst. of Technology by Ahlgren Lennart, 1972.
 [5] Tveit, A. Measurements of Moisture Sorption and Moisture Permeability of Porous Materials. Norwegian Building Research Institute Rapport 45, Oslo 1966, page 20 (estimated from the graphs) .

乾燥密度: $395 \pm 10 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ [1]

比熱: $1880 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ [2]

空隙率: $\approx 0.8 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$

乾燥材料の熱伝導率:

試験方法	高温側表面温度 °C	低温側表面温度 °C	平均温度 °C	方向	λ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
***				繊維方向	0.25[3]
***				繊維直交方向	0.1[3]

吸湿/放湿時 平衡含水率曲線[4]:

相対湿度 %	吸湿時 平衡含水率 $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$	放湿時 平衡含水率 $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$
20.5	0.053	
43.8	0.090	
44.2	0.085	
65.2	0.125	
65.5	0.121	
87.7	0.178	
86.0	0.183	
95.4	0.247	
95.6	0.252	
98.5	0.304	
98.7	0.308	
20.2		0.063
20.5		0.061
45.1		0.110
45.3		0.112
65.1		0.0148
65.4		0.0151
80.0		0.200
80.3		0.199
89.8		0.245
90.0		0.243
95.1		0.279
95.6		0.276

透湿率（湿気伝導率）（カップ法による）（25 °C）[5]:

平均 相対湿度 %	方向	透湿率（湿気伝導率） $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$
20	繊維方向	5.3 E-11
40	"	7.4E-11
60	"	8.4E-11
80	"	8.6E-11
95	"	8.7E-11
20	繊維直交方向	5.3E-13
40	"	1.1E-12
60	"	2.6E-12
80	"	7.6E-12
95	"	1.7E-11

水分拡散係数（20 °C）, 繊維方向[1]:

含水率 ($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	水分拡散係数 ($\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$)
0.101	5.7E-10
0.152	3.3E-10
0.202	2.2E-10
0.253	1.6E-10
0.303	1.2E-10
0.354	1.0E-10
0.404	9.2E-11
0.455	8.7E-11
0.505	8.5E-11
0.556	8.7E-11
0.606	9.0E-11
0.657	1.0E-10
0.758	1.1E-10
0.808	1.3E-10
0.960	1.3E-10
1.010	1.4E-10
1.162	1.4E-10
1.212	1.4E-10
1.263	1.3E-10
1.313	1.3E-10
1.364	1.2E-10
1.414	1.2E-10
1.465	1.1E-10
1.515	1.1E-10
1.566	1.1E-10
1.616	1.2E-10
1.667	1.2E-10
1.717	1.4E-10
1.768	1.6E-10
1.818	2.7E-10
1.919	3.9E-10

吸水係数: $0.0096 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1/2}$; 繊維方向[1]

2.9 合板 (PLYWOOD)

出典

- [1] Catalogue of Material properties(upgraded version), Report Annex XIV, Page 2.18.
 [2] Richards, R. F., Burch, D. M. and Thomas, W. C. Water Vapor Sorption Measurements of Common Building Materials. ASHRAE Transactions, 1992, V.98, Pt. 2.
 [3] Institute for Research in Construction, NRC Canada data.
 [4] Institute for Research in Construction data from an IEA common exercise; 試料密度 = $511.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.
 [5] Kurt Kielsgaard Hansen, Sorption Isotherms, A Catalogue, The Technical University of Denmark, Technical Report 162/86; the data corresponds to a plywood sample with a density = $600 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; the data originally appeared in Tech. Report 36, Lund Inst. of Technology by Ahlgren Lennart, 1972.
 [6] Galbraith G. H., McLean, R. C.' Vapour permeability testing', Final report to the Building Research Establishment; Contract F3/2/490, Strathclyde University, June 1993.
 [7] Calculated using the equation reported by Burch, D. M., Thomas, W. C. and Fanney, A. H.; ASHRAE Transactions 1992, V.98, Pt.2.
 [8] Data from CMHC Canada report on "air permeance of building materials"; 試料 1 m x 1 m and 8 mm (厚さ) .

乾燥密度: $445 \sim 799 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ [1]
 $509 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ [2]
 $500 \sim 600 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ [3]
 比熱: $1880 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ [1]

乾燥材料の熱伝導率:

試験方法	高温側表面温度 °C	低温側表面温度 °C	平均 温度 °C	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
ASTM C518	35	13	24	$0.09 \sim 0.111$ [3]
ASTM C518	34.94	13.46		0.109 [4]

文献[1] には次式が与えられている.

$$\lambda = 0.0201 + 1.66 \times 10^{-4} \rho \quad (\rho = 445 \sim 692 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3})$$

湿った材料の熱伝導率:

文献[1] には次式が与えられている.

$$\lambda = 0.113 + 3.14 \times 10^{-4} w$$

吸湿/放湿時 平衡含水率曲線[5]:

相对湿度 %	吸湿時 平衡含水率 kg•kg ⁻¹	放湿時 平衡含水率 kg•kg ⁻¹
20.2	0.061	
20.2	0.064	
42.7	0.095	
43.2	0.096	
64.9	0.127	
65.1	0.130	
84.8	0.179	
85.2	0.180	
94.6	0.234	
94.9	0.237	
96.9	0.272	
97.3	0.276	
20.1		0.074
20.4		0.072
44.3		0.116
44.6		0.116
65.0		0.156
65.2		0.154
79.5		0.199
79.8		0.196
89.7		0.245
90.1		0.238
94.6		0.263
94.8		0.282

吸湿/放湿時 平衡含水率曲線[2]:

相对湿度 %	吸湿時 平衡含水率 kg•kg ⁻¹	放湿時 平衡含水率 kg•kg ⁻¹
11.3	0.017	0.024
32.8	0.046	0.062
43.2	0.054	0.078
57.6	0.071	0.104
78.6	0.109	0.148
84.3	0.139	0.178
93.6	0.188	0.222
97.3	0.242	0.283

文献[1] には，吸湿時について，次式が与えられている．

$$w(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}) = 75[1 - \ln \varphi / 0.00614]^{-1/1.91} \text{ or } \\ = \varphi / (-0.119 \varphi^2 + 0.136 \varphi + 0.029)$$

放湿時については次式が与えられている．

$$w(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}) = 75[1 - \ln \varphi / 0.00963]^{-1/1.93} \text{ or } \\ = \varphi / (-0.074 \varphi^2 + 0.088 \varphi + 0.026)$$

透湿率（湿気伝導率）（カップ法による）:

相对湿度(1) %	相对湿度(2) %	平均 相对湿度 %	透湿率（湿気伝導率） $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1} \times 10^{-13}$
		54	19[1]
		86	79[1]
0	50		1.47 ~ 4.74[3]
0	50		2.7[4]
0	76.6		5.8[4]
50	100		50[4]
76.3	100		98[4]
0	60		5.5[6]
60	80		19.0[6]
60	93		44.8[6]
60	100		65.3[6]
		20	11[7]
		40	8.6[7]
		60	14[7]
		80	48[7]
		90	110[7]
		95	190[7]

水分拡散係数：

文献[1] には次式が与えられている．

$$D_w = 3.2 \times 10^{-13} \exp(0.015 w)$$

吸水係数: $0.003 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1/2}$ [1]

透気率[8]:

圧力差 Pa	透気率 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}\times 10^{-10}$
25	8.9
50	8.6
75	8.4
100	8.3

2.10 木繊維板 (WOOD FIBREBOARD)

出典

- [1] Institute for Research in Construction, NRC Canada data.
- [2] Kurt Kielsgaard Hansen, Sorption Isotherms, A Catalogue, The Technical University of Denmark, Technical Report 162/86; the data corresponds to a porous board sample with a density = $300 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$; the data originally appeared in Tech. Report 36, Lund Inst. of Technology by Ahlgren Lennart, 1972.
- [3] Richards, R. F., Burch, D. M. and Thomas, W. C. Water Vapor Sorption Measurements of Common Building Materials. ASHRAE Transactions, 1992, V.98, Pt. 2; 試料密度 $266 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.
- [4] VTT Finland data; 試料密度 $340 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.
- [5] Calculated using the equation reported by Burch, D. M., Thomas, W. C. and Fanney, A. H.; ASHRAE Transactions 1992, V.98, Pt.2.
- [6] Institute for Research in Construction, NRC Canada data on a specimen with density $243 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.
- [7] Data from CMHC Canada report on "air permeance of building materials"; 試料 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ and 11 mm (厚さ) .

乾燥密度: $240 \sim 380 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ [1]

乾燥材料の熱伝導率:

試験方法	高温側表面温度 °C	低温側表面温度 °C	平均温度 °C	λ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
ASTM C518	35	13	24	$0.0485 \sim 0.0588$ [1]

吸湿/放湿時 平衡含水率曲線[2]:

相对湿度 %	吸湿時 平衡含水率 $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$	放湿時 平衡含水率 $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$
20.1	0.050	
20.4	0.056	
42.8	0.080	
43.0	0.082	
64.5	0.112	
64.9	0.118	
84.2	0.166	
84.6	0.168	
94.2	0.239	
94.5	0.241	
97.6	0.334	
97.8	0.338	
20.3		0.062
20.4		0.061
44.9		0.100
44.9		0.102
64.6		0.143
65.0		0.144
79.0		0.185
79.4		0.183
89.2		0.243
89.4		0.239
94.0		0.330
94.4		0.360

吸湿/放湿時 平衡含水率曲線[3]:

相对湿度 %	吸湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$	放湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
11.3	0.019	0.017
32.8	0.047	0.054
43.2	0.062	0.068
57.6	0.080	0.094
78.6	0.117	0.141
84.3	0.138	0.167
93.6	0.189	0.227
97.3	0.245	0.278

吸湿時 平衡含水率曲線[4]:

相对湿度 %	吸湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
25	0.033
50	0.056
70	0.07
90	0.104

透湿率（湿気伝導率）（カップ法による）:

相对湿度(1) %	相对湿度(2) %	平均 相对湿度 %	透湿率（湿気伝導率） $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1} \times 10^{-11}$
0	50		0.85 ~ 2.7[1]
		25	1.6[4]
		50	2.0[4]
		75	3.6[4]
		95	5.8[4]
		20	6.8[5]
		40	3.9[5]
		60	2.8[5]
		80	2.6[5]
		90	2.7[5]
		95	2.8[5]

水分拡散係数[6] :

含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$	水分拡散係数 $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$
0.02	5.1E-10
0.05	1.0E-09
0.07	1.7E-09
0.10	2.3E-09
0.11	2.5E-09
0.16	2.0E-09
0.19	1.4E-09
0.23	8.7E-10
0.24	7.8E-10
0.32	4.8E-10
0.52	2.9E-10
0.77	3.6E-10
1.01	4.5E-10
1.23	5.8E-10
1.41	8.1E-10
1.51	1.2E-09
1.57	2.4E-09
1.58	3.1E-09
1.59	4.7E-09
1.59	9.4E-09

透気率[7]:

圧力差 Pa	透気率 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}\times 10^{-7}$
25	1.45
50	1.45
75	1.45
100	1.44

wafer board or wood-chip board

2.11 ウエハーボードまたはウッドチップボード (WAFFER BOARD OR WOOD-CHIP BOARD)

出典

- [1] Institute for Research in Construction, NRC Canada data.
 [2] Richards, R. F., Burch, D. M. and Thomas, W. C. Water Vapor Sorption Measurements of Common Building Materials. ASHRAE Transactions, 1992, V.98, Pt. 2; 試料密度 $266 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.
 [3] Data from CMHC Canada report on "Air permeance of building materials"; 試料 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ and 11 mm (厚さ).
 [4] Data from CMHC Canada report on "Air permeance of building materials"; 試料 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ and 16 mm (厚さ).

乾燥密度: $\approx 700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

比熱: $= 1880 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

乾燥材料の熱伝導率:

試験方法	高温側表面温度 °C	低温側表面温度 °C	平均温度 °C	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
ASTM C518	35	13	24	0.105[1]

吸湿/放湿時 平衡含水率曲線[2]:

相対湿度 %	吸湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$	放湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
11.3	0.025	0.024
32.8	0.030	0.053
43.2	0.037	0.064
57.6	0.052	0.086
78.6	0.087	0.121
84.3	0.110	0.146
93.6	0.156	0.208
97.3	0.199	0.237

透湿率 (湿気伝導率) (カップ法による):

相対湿度(1) %	相対湿度(2) %	平均 相対湿度 %	透湿率 (湿気伝導率) $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1} \times 10^{-13}$
0	50		3.0 ~ 5.0[1]

透気率[3]:

圧力差 Pa	透気率 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}\times 10^{-9}$
25	1.9
50	1.9
75	1.9
100	1.9

透気率[4]:

圧力差 Pa	透気率 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}\times 10^{-9}$
25	1.8
50	1.8
75	1.8
100	1.8

2.12 パーティクルボード (PARTICLE BOARD)

出典

[1] Catalogue of Material properties(upgraded version), Report Annex XIV, Page 2.17.

[2] VTT, Finland data.

[3] Richards, R. F., Burch, D. M. and Thomas, W. C. Water Vapor Sorption Measurements of Common Building Materials. ASHRAE Transactions, 1992, V.98, Pt. 2; the material is identified as: particle board, 厚さ 19 mm, 密度 $762 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

[4] Data from CMHC Canada report on "Air permeance of building materials"; 試料 1 m x 1 m and 16 mm (厚さ) .

乾燥密度: $\approx 570 \sim 800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

比熱[1]: $= 1880 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

空隙率[2]: $\approx 0.48 \text{ m}^3\cdot\text{m}^{-3}$

熱伝導率:

文献[1] には次式が与えられている. (平均温度 20°C), 乾燥材料について,

$$\lambda (\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}) = 0.098 + 0.0001(\rho - 590)$$

ここで ρ は 密度である.

文献[1] には次式が与えられている. (平均温度 20°C), 湿った材料について,

$$\lambda (\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}) = 0.106 + 1.31 \times 10^{-4} w + 3.28 \times 10^{-7} w^2$$

ここで w は 含水率 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) である.

吸湿/放湿時 平衡含水率曲線[2]:

相対湿度 %	吸湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
25	0.037
50	0.046
75	0.060
90	0.092

吸湿/放湿時 平衡含水率曲線[3]:

相対湿度 %	吸湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$	放湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
11.3	0.012	0.017
32.8	0.039	0.053
43.2	0.047	0.074
57.6	0.063	0.088
78.6	0.097	0.140
84.3	0.113	0.166
93.6	0.159	0.190
97.3	0.215	0.233

文献[1] には, 吸湿時について, 次式が与えられている.

$$\begin{aligned} u (\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}) &= 0.35[1 - \ln \phi / 0.0328]^{-1/1.89} \text{ or} \\ &= \phi \times 10^{-2} / (-0.157 \phi^2 + 0.183 \phi + 0.016) \end{aligned}$$

文献[1] には, 放湿時について, 次式が与えられている.

$$\begin{aligned} u (\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}) &= 0.35[1 - \ln \phi / 0.0808]^{-1/1.63} \text{ or} \\ &= \phi \times 10^{-2} / (-0.054 \phi^2 + 0.074 \phi + 0.026) \end{aligned}$$

上式における相対湿度, φ は比率で表されている.

限界含水率[1] $0.85 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$

毛細管飽和含水率[1] $0.90 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$

最大含水率[1] $0.99 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$

透湿率（湿気伝導率）（カップ法による）[2]:

相対湿度(1) %	相対湿度(2) %	平均 相対湿度 %	透湿率（湿気伝導率） $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1} \times 10^{-12}$
		25	4.4
		50	6.0
		75	10.2
		95	15.2

文献 [1] には, 透湿率（湿気伝導率）について, 次式が与えられている.

$$\delta = A \times 10^{-10} \exp(B\varphi)$$

ただし, 定数 A と B は, 2つの異なる 平均相対湿度について次の通りである.

相対湿度, %	A	B
25	3.50	- 0.00757
86	3.74	- 0.00676

文献 [3] には, 7 °C と 24 °Cにおける透湿率（湿気伝導率）について, 相対湿度 φ (%)として次式が与えられている.

$$\delta = \text{Exp}(-25.520 - 3.2984 \varphi + 3.8167 \varphi^2)$$

水分拡散係数（20 °C） [2]:

u, ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	0.1	0.25	0.5	1.0
D_w , ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	1.4E-9	4.0E-9	5.0E-9	3.0E-9

透気率[4]:

圧力差 Pa	透気率 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1} \times 10^{-9}$
25	7.1
50	6.8
75	6.7
100	6.6

2.13 ポリスチレンコンクリート (POLYSTYRENE CONCRETE)

出典

[1] Catalogue of Material properties (upgraded version), Report Annex XIV, Page 2.5.

乾燥密度: $\approx 260 \sim 800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

比熱[1]: $= 1020 \sim 1370 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

熱伝導率:

文献[1] には、乾燥材料について、次式が与えられている（平均温度 20°C ）。

$$\lambda (\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}) = 0.041 \exp(0.002317\rho)$$

ここで ρ は密度である。

文献[1] には、湿った材料について、次式が与えられている（平均温度 20°C , 乾燥密度の領域全体について）。

$$\lambda (\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}) = A + B w,$$

ここで w は含水率 $\leq 200 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; 定数 A と B は下記の通り。

密度, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	A	B
260 - 335	0.074	4.83×10^{-4}
357 - 382	0.111	4.61×10^{-4}
407 - 456	0.126	6.06×10^{-4}
641	0.151	7.89×10^{-4}
792	0.213	1.04×10^{-3}

吸湿時 平衡含水率曲線:

文献[1] には、吸湿時について、次式が与えられている（試料密度 $422 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ）。

$$\begin{aligned} w (\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}) &= 235[1 - \ln \varphi / 0.0097]^{-1/1.55} \text{ or} \\ &= \varphi / (-0.007 \varphi^2 - 0.039 \varphi + 0.056) \end{aligned}$$

上式で相対湿度, φ は比率で表されている。

最大含水率[1] : $489 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

透湿率（湿気伝導率）(カップ法による):

文献 [1] には、透湿率（湿気伝導率）が次式で与えられている。

$$\delta = 1.55 \times 10^{-11} + 6.00 \times 10^{-13} \exp(2.88\varphi)$$

水分拡散係数[1]:

$$D_w (\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}) = 4.6 \times 10^{-10} \exp(0.064 w)$$

2.14 繊維混入ポリマーセメント (POLYMER-MODIFIED GLASSFIBRE CEMENT)

SOURCE

[1] Laboratory of Building Physics, KU-Leuven, Belgium data.

乾燥密度[1] $2000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

吸湿時 平衡含水率曲線[1]:

相対湿度 %	吸湿時 平衡含水率 $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$
33	0.014
52	0.021
75	0.034
86	0.043
97	0.098
99.8	0.11

毛細管飽和含水率[1] $0.098 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$

最大含水率[1] $0.113 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$

透湿率 (湿気伝導率) (カップ法による)[1]:

相対湿度(1) %	相対湿度(2) %	透湿率 (湿気伝導率) $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1} \times 10^{-12}$
0.0	52	0.88
52	86	1.1
86	97	2.7

2.15 砂-石灰石 (SAND-LIME STONE)

SOURCE

[1] Catalogue of Material properties(upgraded version), Report Annex XIV, Page 2.8

乾燥密度[1]: $= 1685 \sim 1807 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

比熱[1]: $= 840 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

吸湿/放湿時 平衡含水率曲線[1]:

文献[1] には, 吸湿時について, 次式が与えられている. 試料密度 $1685 \sim 1726 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

$$w(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}) = 210[1 - \ln \varphi / 0.00356]^{-1/2.39} \text{ or} \\ = \varphi / (-0.033 \varphi^2 - 0.039 \varphi + 0.009)$$

文献[1] には, 放湿時について, 次式が与えられている. 試料密度 $1685 \sim 1726 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

$$w(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}) = 330[1 - \ln \varphi / 0.00658]^{-1/1.81} \text{ or} \\ = \varphi / (-0.045 \varphi^2 - 0.044 \varphi + 0.011)$$

限界含水率[1]: $120 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

毛細管飽和含水率[1]: $233 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

透湿率 (湿気伝導率) (カップ法による):

文献 [1] には, 透湿率 (湿気伝導率) として, 次式が与えられている.

$$\delta = 8.19 \times 10^{-12} + 8.66 \times 10^{-15} \exp(9.86\varphi)$$

上式すべてにおいて, 相対湿度 φ は比率で表されている.

水分拡散係数[1]:

$$D_w(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}) = 2.2 \times 10^{-10} \exp(0.027 w)$$

2.16 木毛セメント板 (WOOD WOOL CEMENT BOARD)

出典

[1] Catalogue of Material properties(upgraded version), Report Annex XIV, Page 2.19.

[2] IRC Canada data on a sample, 密度 $412 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ 23.4 mm.[3] Laboratory of Building Physics, KU-Leuven, Belgium data; 試料密度 $320.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ 47.6 mm.乾燥密度[1]: $300 \sim 800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 比熱[1]: $1880 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

乾燥材料の熱伝導率:

試験方法	高温側表面温度 °C	低温側表面温度 °C	温度 °C	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
ASTM C518	34.84	13.0		0.0708[2]
***	***	***	1.6	0.0555[3]
***	***	***	11.54	0.058[3]
***	***	***	21.43	0.0595[3]
***	***	***	31.3	0.063[3]

湿った材料の熱伝導率[1]:

密度 $314 \sim 394 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ の試料について, 文献[1]には次式が与えられている.

$$\lambda (\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}) = 0.0632 + 3.95 \times 10^{-4} w$$

吸湿/放湿時 平衡含水率曲線:

相対湿度 %	吸湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$	放湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
33	0.036	0.052[3]
52	0.068	0.097[3]
75	0.094	0.140[3]
86	0.145	0.215[3]
97	0.224	0.607[3]
99.8	0.251	0.706[3]
50	0.043[2]	

文献[1]には, 吸湿時, 放湿時について, 次式が与えられている (試料密度 $767 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$).

$$w (\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}) = 0.15[1 - \ln \varphi / 0.172]^{-1/0.84} \text{ or}$$

$$= \varphi \times 10^{-2} / (-0.278 \varphi^2 - 0.588 \varphi + 0.421)$$

毛細管飽和含水率[3]: $0.569 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 最大含水率[3]: $0.875 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$

透湿率（湿気伝導率）（カップ法による）:

相对湿度(1) %	相对湿度(2) %	平均 相对湿度 %	透湿率（湿気伝導率） $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1} \times 10^{-11}$
0	50		3.3[2]
0	76.6		3.3[2]
50	100		3.6[2]
76.3	100		4.1[2]
0.0	52		3.1[3]
52	86		4.3[3]
86	97		12.0[3]

水分拡散係数[1]:

$$D_w, (\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}) = 6.2 \times 10^{-12} \exp(0.027 w)$$

透気率[3]:

圧力 Pa	透気率 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}\times 10^{-4}$
10	5.0
20	5.1
30	5.2
40	5.3
50	5.4
60	5.5
70	5.5
80	5.6
90	5.7

2.17 繊維セメント (FIBRE CEMENT)

出典

[1] Catalogue of Material properties (upgraded version), Report Annex XIV, Page 2.8

[2] Laboratory of Building Physics, KU-Leuven, Belgium data; 試料密度 $973.2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ 18.2 mm.乾燥密度[1]: $= 820 \sim 2050 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 比熱[1]: $= 840 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

乾燥材料の熱伝導率 [2]:

試験方法	高温側表面温度 °C	低温側表面温度 °C	温度 °C	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
B62-003	***	***	1.65	0.184
“	***	***	11.09	0.186
“	***	***	21.38	0.188
“	***	***	31.31	0.191

湿った材料の熱伝導率 (20 °C) :

文献[1] には次式が与えられている.

密度 $823 \sim 862 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ の試料については,

$$\lambda (\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}) = 0.14 + 5.8 \times 10^{-4} w$$

密度 $1495 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ の試料については,

$$\lambda (\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}) = 0.42 + 1.2 \times 10^{-3} w$$

吸湿/放湿時 平衡含水率曲線:

相対湿度 %	吸湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$	放湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
33	0.026	0.049[2]
52	0.054	0.075[2]
75	0.067	0.152[2]
86	0.101	0.257[2]
97	0.268	0.549[2]
99.8	0.317	0.563[2]

文献[1] には, 吸湿時について, 次式が与えられている (試料 密度 $990 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) .

$$\begin{aligned} w (\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}) &= 300[1 - \ln \phi / 0.0077]^{-1/1.93} \text{ or} \\ &= \phi / (-0.473 \phi^2 - 0.541 \phi + 0.015) \end{aligned}$$

文献[1] には, 放湿時について, 次式が与えられている (試料密度 $990 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) .

$$\begin{aligned} w (\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}) &= 358[1 - \ln \phi / 0.00415]^{-1/1.36} \text{ or} \\ &= \phi / (-0.508 \phi^2 + 0.514 \phi + 0.041) \end{aligned}$$

限界含水率[1]: $350 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 密度 $840 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 毛細管飽和含水率[1]: $358 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 密度 $1495 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

毛細管飽和含水率[1]: $430 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 密度 $1495 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

透湿率（湿気伝導率）（カップ法による):

相对湿度(1) %	相对湿度(2) %	平均 相对湿度 %	透湿率（湿気伝導率） $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1} \times 10^{-11}$
0.0	52		0.46[2]
52	86		0.98[2]
86	97		6.8[2]

文献 [1] には、透湿率（湿気伝導率）について、次式が与えられている.

$$\delta = 1.07 \times 10^{-11} + 1.06 \times 10^{-14} \exp(7.85\varphi) \quad \text{密度 } 840 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

$$\delta = 1.22 \times 10^{-11} + 2.66 \times 10^{-14} \exp(4.92\varphi) \quad \text{密度 } 1495 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

上式すべてにおいて、相对湿度 φ は比率で表されている.

水分拡散係数[1]:

$$D_w (\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}) = 3.4 \times 10^{-11} \exp(0.018 w)$$

透気率[2]:

圧力 Pa	透気率 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}\times 10^{-9}$
10	9.9
20	9.1
30	8.7
40	8.4
50	8.2
60	8.0
70	7.9
80	7.8
90	7.7

2.18 グラスウール断熱材 (GLASS FIBRE INSULATION)

出典

- [1] Institute for Research in Construction, NRC Canada data.
- [2] Catalogue of Material properties(upgraded version), Report Annex XIV, Page 2.23.
- [3] Institute for Research in Construction, NRC Canada data, according to ASTM Standard C177.
- [4] Laboratory of Building Physics, KU-Leuven, Belgium data, according to Belgian standard B62-003.
- [5] Hokoi, S and M. K. Kumaran, Journal of Thermal Insulation and Building Envelopes, p. 263-292, Vol 16, 1993.
- [6] Kurt Kielsgaard Hansen, Sorption Isotherms, A Catalogue, The Technical University of Denmark, Technical Report 162/86; the data corresponds to a concrete sample with the following specifications: 密度 = $18 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; the data originally appeared in Tech. Report 36, Lund Inst. of Technology by Ahlgren Lennart, 1972.
- [7] Kumaran, M. K. Temperature dependence of water vapour permeability of glassfibre insulation from heat flow measurements; CIB W40 Meeting, 1993.
- [8] Data from CMHC Canada report on "Air permeance of building materials"; 試料1 m x 1 m.

乾燥密度[1]: $8 \sim 180 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

比熱[2]: $840 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$

密度の関数としての乾燥材料の熱伝導率 (24 °C) [1] (ASTM Standard C518による) :

密度 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	厚さ mm	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	密度 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	厚さ mm	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
7.7	146	0.0483	38.1	50.7	0.0333
9.9	128	0.0473	44.4	38	0.0326
10.3	144	0.0455	53.4	24	0.0322
11.4	153	0.0450	60.7	50	0.0332
12.8	152	0.0427	68.6	50	0.0319
13.1	89	0.0424	71.0	50	0.0324
14.7	90	0.0412	135.0	26.4	0.0328

文献[2] には次式が与えられている (20 °C) .

$$\lambda (\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}) = 0.02675 + 4.85 \times 10^{-5} \rho + 0.178/\rho$$

熱伝導率の温度依存:

試料 1[3]: 密度 = $8.3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ = 152 mm

高温側表面温度 °C	低温側表面温度 °C	温度 °C	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
12.68	-10.73	0.98	0.0472
22.61	1.20	11.90	0.0515
35.20	12.96	24.08	0.0552
45.89	25.21	35.55	0.0592
58.76	39.55	49.16	0.0662

試料 2[4]: 密度 = $18.1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ = 100 mm

高温側表面温度 °C	低温側表面温度 °C	温度 °C	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
16.1	5.9	11.0	0.0326
25.8	15.6	20.7	0.0347
35.7	25.6	30.7	0.0364

試料 3[4]: 密度 = $43.4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ = 50 mm

高温側表面温度 °C	低温側表面温度 °C	温度 °C	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
4.7	-5.2	-0.25	0.0306
14.5	5.2	9.9	0.0319
24.4	15.3	19.9	0.0333
34.3	25.2	29.8	0.0344

試料 4[3]: 密度 = $53.7 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ = 26.3 mm

高温側表面温度 °C	低温側表面温度 °C	温度 °C	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
12.39	-11.13	0.63	0.0295
24.51	2.26	13.39	0.0311
35.20	13.36	24.28	0.0322
45.80	24.97	35.38	0.0338
57.60	37.01	47.31	0.0360

試料 5[3]: 密度 = $151 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ = 25.6 mm

高温側表面温度 °C	低温側表面温度 °C	温度 °C	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
24.11	-4.06	10.02	0.0320
37.06	9.02	23.04	0.0332
54.35	26.23	40.29	0.0351

試料 6[4]: 密度 = $152.9 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ = 49.2 mm

高温側表面温度 °C	低温側表面温度 °C	温度 °C	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
5.2	-4.4	0.4	0.0357
15.0	6.0	10.5	0.0372
25.0	16.0	20.5	0.0380
34.8	26.0	30.4	0.0393

湿った材料の熱伝導率:

文献[5] は次式を提唱している.

$$\lambda(\psi) = \lambda_0 + (\lambda_w - \lambda_0)[(\psi - 0.1)/0.88]^2$$

ここで,

ψ は 含水率 ($\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$)

λ_0 は 乾燥材料の熱伝導率

λ_w は水の熱伝導率.

吸湿/放湿時 平衡含水率曲線[6]:

相対湿度 %	吸湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$	放湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
20.4	0.0087	
43.4	0.012	
64.5	0.014	
84.9	0.017	
95.1	0.019	
98.0	0.026	
20.0		0.01
43.1		0.014
64.8		0.017
84.4		0.022
94.5		0.029
97.6		0.042

透湿率（湿気伝導率）（カップ法による）[1]（23℃）:

試料 密度 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	相対湿度(1) %	相対湿度(2) %	透湿率（湿気伝導率） $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1} \times 10^{-10}$
16.8	53	0	1.32
16.8	53	0	1.41
35.2	50.2	0	1.65
37.3	50.2	0	1.35
35.0	50.2	0	1.22
72.0	52.4	0	1.15
74.3	52.4	0	1.15
67.3	52.4	0	1.16
119.8	51.4	0	1.27
108.9	51.4	0	1.23
119.1	51.4	0	1.35

文献[2]は、密度19～102 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ のグラスウール断熱材の透湿率（湿気伝導率）は $1.58 \times 10^{-10} \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$ であると報告している。

文献[7]は、透湿率（湿気伝導率）の温度(θ ℃)依存を考慮した次の表現を提唱している。蒸気圧が飽和レベルに近い場合に、

$$\delta_p (\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}) = 1.59 \times 10^{-10} + 8.87 \times 10^{-13} \theta$$

透気率:

試料 1[4]: 密度 = $17.9 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ = 120 mm; 流れは繊維方向に⊥

圧力差 Pa	透気率 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}\times 10^{-4}$
0.05	1.55
0.1	1.41
0.15	1.35
0.2	1.3
0.25	1.27
0.3	1.24

試料 2[4]: 密度 = $42.0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ = 50 mm; 流れは繊維方向に ⊥

圧力差 Pa	透気率 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}\times 10^{-5}$
0.05	6.59
0.1	6.42
0.15	6.31
0.2	6.25
0.25	6.19
0.3	6.15

試料 3[3]: 密度 = $147.2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ = 50 mm; 流れは繊維方向に ⊥

圧力差 Pa	透気率 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}\times 10^{-5}$
0.1	2.49
0.2	2.45
0.3	2.43
0.4	2.47
0.5	2.40
0.6	2.39
0.7	2.38

試料 4[8]: 密度 $\approx 20 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ = 152 mm

圧力差 Pa	透気率 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}\times 10^{-5}$
25	9.5
50	9.1
75	8.9
100	8.8

rock-wool or mineral fibre insulation

2.19 ロックウール断熱材 (MINERAL FIBRE INSULATION)

出典

- [1] Catalogue of Material properties(upgraded version), Report Annex XIV, Page 2.24.
 [2] Institute for Research in Construction, NRC Canada data.
 [3] Laboratory of Building Physics, KU-Leuven, Belgium data, according to Belgian standard B62-003.
 [4] Kurt Kielsgaard Hansen, Sorption Isotherms, A Catalogue, The Technical University of Denmark, Technical Report 162/86; the data corresponds to a sample with the following specifications: 密度 = $42 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; the data originally appeared in Tech. Report 36, Lund Inst. of Technology by Ahlgren Lennart, 1972.

乾燥密度[1]: $30 \sim 190 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

比熱[1]: $840 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$

密度の関数としての乾燥材料の熱伝導率:

文献[1]には次式が与えられている (10°C と 20°C) .

$$\lambda (\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}) = 0.02606 + 5.48 \times 10^{-5} \rho + 0.331/\rho$$

$$\lambda (\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}) = 0.03167 + 2.64 \times 10^{-5} \rho + 0.206/\rho$$

熱伝導率の温度依存:

試料 1[2]: 密度 = $35.9 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ = 140 mm

高温側表面温度 $^\circ\text{C}$	低温側表面温度 $^\circ\text{C}$	温度 $^\circ\text{C}$	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
1.16	-21.56	-10.20	0.0303
21.23	-0.80	10.21	0.0340
34.84	12.94	23.89	0.0365

試料 2[3]: 密度 = $155 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ = 48 mm

温度 $^\circ\text{C}$	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
1.7	0.036
11.5	0.037
21.4	0.038
31.3	0.039

rock-wool or mineral fibre insulation

吸湿/放湿時 平衡含水率曲線[4]:

相対湿度 %	吸湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$	放湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
20.1	0.005	
43.4	0.0055	
65.0	0.0059	
85.2	0.007	
94.5	0.0076	
97.5	0.008	
20.1		0.005
44.9		0.0058
64.9		0.0063
84.5		0.0081
94.7		0.011
97.8		0.016

透湿率（湿気伝導率）(カップ法による)[3]（23℃）:

相対湿度(1) %	相対湿度(2) %	透湿率（湿気伝導率） $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1} \times 10^{-11}$
52	0	7.0
86	52	8.8
97	86	25.0

文献[2] は、密度 $148 \sim 172 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ のロックウール断熱材について、透湿率（湿気伝導率）は $1.27 \times 10^{-10} \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$ であると報告している。

透気率[3]:

圧力 Pa	透気率 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}\times 10^{-5}$
10	2.2
20	2.0
30	2.0
40	1.9
50	1.9
60	1.8
70	1.8
80	1.8
90	1.8

expanded polystyrene insulation

2.20 ビーズ法ポリスチレンフォーム断熱材 (EXPANDED POLYSTYRENE INSULATION)

出典

- [1] Catalogue of Material properties(upgraded version), Report Annex XIV, Page 2.25.
 [2] Institute for Research in Construction, NRC Canada data, according to ASTM Standard C177.
 [3] Laboratory of Building Physics, KU-Leuven, Belgium data. according to Belgian standard B62-003.
 [4] Kurt Kielsgaard Hansen, Sorption Isotherms, A Catalogue, The Technical University of Denmark, Technical Report 162/86; the data corresponds to a sample with the following specifications: 密度 = $31 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; the data originally appeared in Tech. Report 36, Lund Inst. of Technology by Ahlgren Lennart, 1972.
 [5] Institute for Research in Construction, NRC Canada data; 密度 $\approx 11.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.
 [6] Data from CMHC Canada report on "Air permeance of building materials"; 試料 1 m x 1 m.

乾燥密度[1]: $11 \sim 40 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

比熱[1]: $1470 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$

乾燥材料の熱伝導率 (密度の関数として) :

文献[1] には次式が与えられている (10°C と 20°C) .

$$\lambda (\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}) = 0.0174 + 1.9 \times 10^{-4} \rho + 0.258/\rho$$

$$\lambda (\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}) = 0.0213 + 1.2 \times 10^{-4} \rho + 0.235/\rho$$

熱伝導率の温度依存:

試料 1[2]: 密度 = $23.2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ = 79 mm

高温側表面温度 $^\circ\text{C}$	低温側表面温度 $^\circ\text{C}$	温度 $^\circ\text{C}$	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
13.09	-10.92	1.09	0.0324
22.23	-0.92	10.66	0.0336
30.14	7.28	18.71	0.0344
35.83	13.34	24.59	0.0352
47.28	25.58	36.43	0.0366
52.70	31.08	41.89	0.0371

試料 2[3]: 密度 = $25.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ = 150.3 mm

高温側表面温度 $^\circ\text{C}$	低温側表面温度 $^\circ\text{C}$	温度 $^\circ\text{C}$	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
15.1	4.9	10.0	0.0333
24.9	14.8	19.9	0.0345
34.9	24.9	29.9	0.0357

湿った材料の熱伝導率:

文献[1] は次式を報告している (20°C) .

$$\lambda(\psi) = 0.0390 + 0.00197\psi \quad \text{乾燥密度 } 15 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

$$\lambda(\psi) = 0.0348 + 0.00190\psi \quad \text{乾燥密度 } 20 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

$$\lambda(\psi) = 0.0326 + 0.00274\psi \quad \text{乾燥密度 } 25 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

$$\lambda(\psi) = 0.0331 + 0.00123\psi \quad \text{乾燥密度 } 30 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

ここで

ψ は 含水率 ($\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$) である.

expanded polystyrene insulation

吸湿/放湿時 平衡含水率曲線[4]:

相対湿度 %	吸湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$	放湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
20.3	0.030	
42.9	0.041	
65.0	0.040	
85.3	0.040	
94.4	0.050	
97.9	0.050	
20.0		0.020
44.5		0.040
65.1		0.048
84.5		0.056
95.1		0.070
97.9		0.080

透湿率（湿気伝導率）（カップ法による）[5]（23 °C）:

相対湿度(1) %	相対湿度(2) %	透湿率（湿気伝導率） $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1} \times 10^{-11}$
0	28.7	1.1
0	50.9	0.85
22.7	50.8	0.86
43.2	61.5	0.72
50.9	69.1	0.95
61.5	81.2	1.1
61.4	100	1.1
80.4	100	1.1
92.4	100	1.2

文献[1]には、透湿率（湿気伝導率）の乾燥密度への依存性が、次式で与えられている（平均相対湿度 86 %）.

$$\delta = 1/(2.6 \times 10^{10} + 1.04 \times 10^{10}\rho)$$

透気率[6]:

試料 1: 密度 = $16 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ = 25.4 mm

圧力差 Pa	透気率 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}\times 10^{-6}$
25	5.6
50	5.2
75	5.0
100	4.9

試料 2: 密度 = $25 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ = 25.4 mm

圧力差 Pa	透気率 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}\times 10^{-8}$
25	4.9
50	4.9
75	4.9
100	4.9

2.21 セルローズ系断熱材 (CELLULOSE INSULATION)

出典

[1] Institute for Research in Construction, NRC Canada data.

[2] Catalogue of Material properties(upgraded version), Report Annex XIV, “newspaper”, Page 2.35.

[3] Institute of Construction and Architecture of SAS, Department of Building Physics, Slovakia data.

[4] Marchand, R. and M. K. Kumaran, Journal of Thermal Insulation and Building Envelopes, p 362-377, 1994.

[5] Data from CMHC Canada report on "Air permeance of building materials"; 試料 1 m x 1 m and 38 mm (厚さ) ; 密度不明.

乾燥密度[1]: $15 \sim 55 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

比熱[2]: $1880 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$

乾燥材料の熱伝導率 (24 °C) (密度の関数) [1] (ASTM Standard C518による) :

密度 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	厚さ mm	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
16	152	0.0423
33	88	0.0381
45	152	0.0381
48	152	0.0391
52	152	0.0392

湿った材料の熱伝導率 [3];

含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$	高温側表面温度 °C	低温側表面温度 °C	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
0	25	20	0.038
0.12	25	20	0.043
0.24	25	20	0.057

吸湿時 平衡含水率曲線[2]:

相対湿度 %	吸湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
33	0.053
52	0.090
75	0.129
86	0.169
97	0.321
98	0.409

吸湿/放湿時 平衡含水率曲線[3]:

相対湿度 %	吸湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$	放湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
25	0.032	0.054
44	0.070	0.098
66	0.105	0.137
86	0.182	0.233

透湿率（湿気伝導率）（カップ法による）[1]（23℃）:

密度 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	相対湿度(1) %	相対湿度(2) %	透湿率（湿気伝導率） $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1} \times 10^{-10}$
25.6	52.1	0.0	1.1
25.6	100	50.5	1.5
48.0	50.9	0.0	1.1
48.0	100	50.8	1.3

水分拡散係数[4]:

含水率 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	水分拡散係数 ($\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$)
2	2.4E-09
5	4.1E-09
10	5.9E-09
20	8.2E-09
32	9.8E-09
40	1.1E-08
49	1.2E-08
58	1.2E-08
68	1.3E-08
79	1.3E-08
88	1.2E-08
95	1.2E-08
102	1.1E-08
110	1.0E-08
119	8.6E-09
130	6.9E-09
137	5.9E-09
145	4.9E-09
155	3.8E-09
168	2.7E-09
189	1.0E-09

透氣率[5]:

压力差 Pa	透氣率 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}\times 10^{-5}$
25	5.5
50	5.3
75	5.3
100	5.2

2.22 押出法ポリスチレンフォーム断熱材 (EXTRUDED POLYSTYRENE INSULATION)

出典

[1] Catalogue of Material properties(upgraded version), Report Annex XIV, Page 2.25.

[2] Institute for Research in Construction, NRC Canada data.

[3] Laboratory of Building Physics, KU-Leuven, Belgium data, according to Belgian standard B62-003.

[4] VTT, Finland data, 密度 $30 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

[5] Dipartimento di Energetica, Università di Ancona, Italy, data; 試料密度 $36.2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ 24.6 mm.

乾燥密度[1]: $25 \sim 55 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

比熱[1]: $1470 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$

乾燥材料の熱伝導率（密度の関数として）：

文献[1] には次式が与えられている（ 10°C と 20°C ）。

$$\lambda (\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}) = 0.0174 - 1.58 \times 10^{-5} \rho + 0.263/\rho$$

$$\lambda (\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}) = 0.0404 - 3.87 \times 10^{-4} \rho + 0.029/\rho$$

熱伝導率の加齢曲線 又は 時間への依存性（ 24°C ）（ASTM Standard C518による）：

試料 1[2]: 密度 $=25.0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ $=52.5 \text{ mm}$

材齢 day	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
0	0.0263
57	0.0283
74	0.0286
102	0.0289
179	0.0293
561	0.0298
681	0.0301
800	0.0303
920	0.0307
1040	0.0305

試料 2[2]: 密度 $=24.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ $=50.5 \text{ mm}$

材齢 day	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
0	0.0219
45	0.0256
60	0.0261
91	0.0266
182	0.0273
270	0.0275
365	0.0274
451	0.0277
550	0.0279
673	0.0280
791	0.0280
911	0.0287
1031	0.0285

extruded polystyrene

試料 3[2]: 密度 = $25.0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ = 52.3 mm

材齢 day	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
0	0.0261
567	0.0298
687	0.0301
806	0.0301
926	0.0308
1050	0.0306

試料 4[2]: 密度 = $28.6 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ = 50.1 mm

材齢 day	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
0	0.0220
55	0.0264
71	0.0268
99	0.0273
179	0.0280
270	0.0285
361	0.0283
452	0.0285
554	0.0286
677	0.0288
797	0.0288
994	0.0294

熱伝導率の温度依存:

試料 1[3]: 密度 = $30.7 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ = 19.4 mm

高温側表面温度 °C	低温側表面温度 °C	温度 °C	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
4.7	-4.8	-0.05	0.0266
14.6	5.6	10.1	0.0278
24.5	15.7	20.1	0.0292
34.4	25.6	30.0	0.0303

試料 2[3]: 密度 = $30.6 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ = 19.6 mm

高温側表面温度 °C	低温側表面温度 °C	温度 °C	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
5.1	-4.4	0.35	0.0264
14.9	6.0	10.45	0.0279
24.8	16.1	20.45	0.0297
34.6	26.0	30.3	0.0305

試料 3[3]: 密度 = $38.45 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ = 27.64 mm

高温側表面温度 °C	低温側表面温度 °C	温度 °C	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
5.0	-5.0	0	0.0215
15.0	5.0	10.0	0.0215
20.0	0.0	10.0	0.0220
25.0	15.0	20.0	0.0225
35.0	25.0	30.0	0.0235

湿った材料の熱伝導率:

文献[1] は、次式を報告している (10°C と 20 °C, 試料 密度 $35 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) .

$$\lambda(\psi) = 0.0240 + 1.6 \times 10^{-4} \psi + 5.8 \times 10^{-5} \psi^2$$

$$\lambda(\psi) = 0.0251 + 5.2 \times 10^{-5} \psi + 7.0 \times 10^{-5} \psi^2$$

ここで

ψ は 含水率 ($\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$) である.

吸湿/放湿時 平衡含水率曲線[2]:

相対湿度 %	吸湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
25	0.0007
50	0.0006
75	0.0013
90	0.0017

透湿率 (湿気伝導率) (カップ法による):

相対湿度(1) %	相対湿度(2) %	相対湿度 %	透湿率 (湿気伝導率) $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1} \times 10^{-12}$
0	52		1.7[2]
3	50		2.1 [5]
		86	1.2 [1]
		25	0.95[4]
		50	1.0[4]
		75	1.2[4]
		95	1.35[4]

文献[1] には、透湿率 (湿気伝導率) の乾燥密度への依存性が、次式で与えられている (平均相対湿度 86 %) .

$$\delta = 1/(2.55 \times 10^{11} + 1.76 \times 10^{10} \rho)$$

透気率[3]:

密度 = $30.7 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ = 20 mm

圧力差 Pa	透気率 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}\times 10^{-9}$
75	9.6
150	9.3
225	9.2

2.23 ポリウレタンフォーム断熱材 (POLYURETHANE FOAM INSULATION)

出典

- [1] Catalogue of Material properties(upgraded version), Report Annex XIV, Page 2.27
 [2] Institute for Research in Construction, NRC Canada data.
 [3] Kumaran, M.K. et al. J.Thermal Insulation, 1989, p.123-137.
 [4] Bomberg, M.T. et al. J.Thermal Insulation, 1991, p. 241-267.
 [5] Laboratory of Building Physics, KU-Leuven, Belgium data at 26.1 °C; 密度 28.7 kg·m⁻³.
 [6] Laboratory of Building Physics, KU-Leuven, Belgium data at 35.8 °C; 密度 28.7 kg·m⁻³.
 [7] VTT, Finland data; 密度 40 kg·m⁻³.

乾燥密度[1,2]: 20 ~ 55 kg·m⁻³

比熱[1]: 1470 J·K⁻¹·kg⁻¹

乾燥材料の熱伝導率（密度の関数）：

文献[1]には次式が与えられている。（10°C と 20 °C）

$$\lambda (\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}) = -0.1119 + 1.86 \times 10^{-3} \rho + 2.362/\rho$$

$$\lambda (\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}) = -0.0083 + 5.11 \times 10^{-4} \rho + 0.436/\rho$$

熱伝導率の加齢曲線 又は 時間への依存性（24 °C）（ASTM Standard C518による）：

試料 1[2]: 密度 = 32.7 kg·m⁻³, 厚さ = 38 mm

材齢 day	λ W·m ⁻¹ ·K ⁻¹
0	0.0175
32	0.0188
61	0.0198
90	0.0208
185	0.0219
270	0.0227
360	0.0231
451	0.0236
567	0.0241
690	0.0243
810	0.0249
932	0.0247

試料 2[2]: 密度 = 55.3 kg·m⁻³, 厚さ = 51 mm

材齢 day	λ W·m ⁻¹ ·K ⁻¹
0	0.0198
31	0.0205
64	0.0208
92	0.0212
179	0.0220
270	0.0230
374	0.0237
497	0.0244
617	0.0249
737	0.0259
858	0.0261

熱伝導率の温度依存:

注: ポリウレタンフォーム断熱材に使われている発泡剤 (CFCs and HCFCs) は閉じた空隙中で凝縮を経ている可能性がある。この過程が熱伝導率の温度依存に大きく影響する。 -20°C ~ +30 °Cの温度範囲で、温度に対して λ (熱伝導率) をプロットすると“V”字型の曲線が得られる。ここで、最小点はフォームの材齢および発泡剤の性質に依存する。この詳細については、文献 [4,5]を参照されたい。

透湿率 (湿気伝導率) (カップ法による):

相対湿度(1) %	相対湿度(2) %	相対湿度 %	透湿率 (湿気伝導率) $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1} \times 10^{-12}$
0	50		2.9[2]
		86	8.3 [1]
0.8	52.5		3.8[5]
75	91.8		4.0[5]
92.1	97.0		9.1[5]
1	49.4		4.9[6]
75	88.9		5.2[6]
89.2	96.9		11.8[6]
		25	2.1[7]
		50	2.15[7]
		75	2.2[7]
		95	2.3[7]

文献[1] には、透湿率 (湿気伝導率) の乾燥密度への依存性について、次式が与えられている (平均相対湿度 86 %) 。

$$\delta = 1.14 \times 10^{-10} / \exp(0.088\rho)$$

2.24 ポリイソシアヌレートフォーム断熱材 (POLYISOCYANURATE FOAM INSULATION)

出典

[1] Catalogue of Material properties(upgraded version), Report Annex XIV, Page 2.27.

[2] Institute for Research in Construction, NRC Canada data.

乾燥密度[1,2]: $20 \sim 55 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

比熱[1]: $1470 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$

乾燥材料の熱伝導率（密度の関数）：

文献[1] には次式が与えられている（10℃ と 20℃）．

$$\lambda (\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}) = -0.1119 + 1.86 \times 10^{-3} \rho + 2.362/\rho$$

$$\lambda (\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}) = -0.0083 + 5.11 \times 10^{-4} \rho + 0.436/\rho$$

熱伝導率の加齢曲線 又は 時間への依存性（24℃）（ASTM Standard C518による）：

試料 1[2]: 密度 = $39.6 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ = 52 mm

材齢 day	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
30	0.0183
60	0.0189
90	0.0193
118	0.0197
209	0.0211
300	0.0214
391	0.0219
482	0.0223
600	0.0229
720	0.0233
842	0.0235
963	0.0236

試料 2[2]: 密度 = $39.8 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 厚さ = 52 mm

材齢 day	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
0	0.0183
821	0.0220
940	0.0226
1058	0.0228
1180	0.0236
1300	0.0234

吸湿/放湿時 平衡含水率曲線[2]:

相対湿度 %	吸湿時 平衡含水率 $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$
25	0.002
50	0.003
75	0.006
90	0.007

透湿率（湿気伝導率）（カップ法による):

相対湿度(1) %	相対湿度(2) %	相対湿度 %	透湿率（湿気伝導率） $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1} \times 10^{-12}$
0	52		2.2[2]
		86	8.3 [1]

文献[1] には，透湿率（湿気伝導率）の乾燥密度への依存性が，次式で与えられている（平均相対湿度 86 %）．

$$\delta = 1.14 \times 10^{-10} / \exp(0.088\rho)$$

2.25 フェノールフォーム断熱材 (PHENOLIC FOAM INSULATION)

出典

[1] Institute for Research in Construction, NRC Canada data.

乾燥密度[1]: $30 \sim 60 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

熱伝導率の加齢曲線 又は 時間への依存性 (24 °C) (ASTM Standard C518による) :

試料 1[1]: 厚さ52mm, 化粧仕上げ; バルク 密度 $65 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

材齢 day	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
0	0.0174
20	0.0173
36	0.0173
64	0.0173
96	0.0175
180	0.0176
268	0.0179
365	0.0175
450	0.0177
544	0.0177

試料 2[1]: 厚さ63mm, 化粧仕上げ; バルク 密度 $65 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

材齢 day	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
18	0.0184
51	0.0185
91	0.0185
179	0.0186
269	0.0186
360	0.0188
464	0.0187
585	0.0188
704	0.0190
827	0.0192
948	0.0191

吸湿時 平衡含水率曲線[1]:

相対湿度 %	吸湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
25	0.012
50	0.018
75	0.026
90	0.030

透湿率 (湿気伝導率) (カップ法による):

相対湿度(1) %	相対湿度(2) %	透湿率 (湿気伝導率) $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1} \times 10^{-13}$
0	52	7.8[1]

2.26 パーライトボード (PERLITE BOARD)

出典

[1] Laboratory of Building Physics, KU-Leuven, Belgium data.

乾燥密度[1]: $160 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

熱伝導率の温度依存 [1]:

温度 °C	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
1.6	0.0515
11.5	0.0525
21.4	0.054
31.4	0.055

吸湿時 平衡含水率曲線[1]:

相対湿度 %	吸湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
33	1.3
52	1.6
75	2.6
86	3.8
97	8.0
99.8	11.7

透湿率 (湿気伝導率) (カップ法による)[1]:

相対湿度(1) %	相対湿度(2) %	透湿率 (湿気伝導率) $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1} \times 10^{-11}$
0.0	52	2.8
52	86	3.3
86	97	8.2

透気率[1]:

圧力 Pa	透気率 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}\times 10^{-7}$
10	2.6
20	2.5
30	2.4
40	2.4
50	2.3
60	2.3
70	2.3
80	2.3
90	2.3

2.27 (鶏の) 羽毛 (FEATHERS OF CHICKEN)

出典

[1] Laboratory of Building Physics, KU-Leuven, Belgium data.

乾燥密度[1]: $70 \sim 85 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

熱伝導率の温度依存 [1]:

温度 °C	λ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
10.1	0.0380
30.0	0.0410
10.1*	0.0511
20.0*	0.0557
30.1*	0.0638

* 含水率 $0.13 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ の湿った材料

吸湿時 平衡含水率曲線[1]:

相対湿度 %	吸湿時 平衡含水率 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$
52	0.046
75	0.077
86	0.083
97	0.125

2.28 仕上げ材 (FINISHING MATERIALS¹⁾)

2.28.1 壁紙 (WALL PAPER)

壁紙	種類	質量(kg/m ²)	d(mm)
1	繊維	0.291	0.425
2	ビニル	0.216	0.325
3	繊維	0.333	0.700
4	ビニル	0.212	0.450
5	紙	0.168	0.280
6	紙	0.151	0.280

2.28.1.1 含水率 (u(%kg•kg⁻¹), φ (%))

- 吸引圧曲線 (サクシヨンカーブ)

吸湿時:

φ (%)	u (%kg•kg ⁻¹)					
紙:	1	2	3	4	5	6
33	3.2	1.4	2.9	1.2	1.6	1.8
52	5.5	2.8	5.5	2.3	2.9	4.0
75	7.9	5.0	6.4	3.3	4.6	5.5
86	11.2	8.2	9.8	4.8	7.2	6.8
97	21.4	40.0	24.9	13.3	15.8	16.9

放湿時:

φ (%)	u (%kg•kg ⁻¹)					
紙:	1	2	3	4	5	6
33	5.3	4.6	4.0	7.0	2.7	3.9
52	8.5	5.6	6.6	8.3	4.2	6.0
75	11.8	8.7	9.9	9.8	6.9	9.4
86	16.1	10.7	14.0	10.0	9.7	12.3
97	42.8	52.2	38.3	17.9	23.8	36.2

2.28.1.2 湿気拡散厚:

φ (%)	μd (m)					
紙:	1	2	3	4	5	6
33-52	0.280	2.140	0.155	0.090	0.035	0.025
52-98	0.006	0.180	0.019	0.025	0.012	0.008

¹ From Catalogue of Material Properties (upgraded version), Report Annex XIV.

2.28.2 壁用塗料 (WALL PAINT)

2.28.2.1 湿気拡散厚:

塗料	μd (m)		
	ϕ (%) ≈ 42.5	ϕ (%) ≈ 75.4	ϕ (%) ≈ 86.0
せっこうボード上の塗料			
プライマー+2*ラテックス 1			0.17
プライマー+2*ラテックス 2	4.50		1.10
プライマー+2*アクリル			0.46
プライマー+2*合成	3.20		1.00
プライマー+2*オイル			0.76
気泡コンクリート上の塗料			
プライマー+2*アクリル (外気にさらしたもの)		0.43	
ストラクチャーペイント (d = 1.5mm)		1.10	

2.28.3 カーペット (CARPET)

面積あたりの質量: $2.18 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$

2.28.3.1 含水率($u(\% \text{kg} \cdot \text{kg}^{-1})$, $0 < \phi \leq 1$)

吸引圧曲線 (サクシヨンカーブ) ($\% \text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

吸湿時: $50 \cdot [1 - \ln \phi / 8.27 \cdot 10^{-3}]^{-1/2.70}$

$$r^2 = 0.99$$

$$\phi / (-0.202 \cdot \phi^2 + 0.255 \cdot \phi - 0.022)$$

$$r^2 = 0.96; 0.40 < \phi \leq 0.98$$

ϕ (%)	$u(\% \text{kg} \cdot \text{kg}^{-1})$
33	8.0
52	9.9
75	13.4
86	17.2
97	29.7
98	29.8

2.28.4 木製スラブ (TIMBER SLABS)

面積あたりの質量: $4.00 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ($d = 0.01 \text{ m}$)

2.28.4.1 含水率: ($\% \text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (u), $0 < \varphi \leq 1$)

吸引圧曲線 (サクシヨンカーブ) ($\% \text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

吸湿時: $50 \cdot [1 - \ln \varphi / 0.0213]^{-1/1.96}$
 $r^2 = 0.98$
 $\varphi / (-0.145 \cdot \varphi^2 + 0.154 \cdot \varphi + 0.019)$
 $r^2 = 0.91$

放湿時: $50 \cdot [1 - \ln \varphi / 0.0379]^{-1/1.86}$
 $r^2 = 0.96$
 $\varphi / (-0.152 \cdot \varphi^2 + 0.168 \cdot \varphi + 0.0045)$
 $r^2 = 0.70$

	吸湿時	放湿時
φ (%)	$u(\% \text{kg} \cdot \text{kg}^{-1})$	
33	5.8	7.1
52	9.4	12.3
75	13.7	15.4
86	17.6	20.8
97	31.4	37.3
98	34.5	

2.28.4.2 湿気拡散厚

: 0.86 m (平均値)
 $\sigma = 0.12 \text{ m}$; サンプル数 5
 $\varphi = 55 \%$

2.28.5 シート/防湿材 (FOILS/ VAPOUR BARRIERS)

2.28.5.1 透湿抵抗ファクター:

	d(mm)	$\mu(- \cdot 10^3)$				
防湿材		$\varphi (\%) \approx 28$	$\varphi (\%) \approx 52$	$\varphi (\%) \approx 70$	$\varphi (\%) \approx 75.4$	$\varphi (\%) \approx 86$
ポリエチレンフォイル	0.1~0.2		321		289	271

2.28.5.2 湿気拡散厚:

上の数字 = 最小の測定値

下の数字 = 最大の測定値

	d(mm)	$\mu d(m)$			
防湿材		$\varphi (\%) \approx 52$	$\varphi (\%) \approx 70$	$\varphi (\%) \approx 75.4$	$\varphi (\%) \approx 86$
ビチューメン紙	0.1				1.80
					2.80
ビチューメン紙	0.2	0.70			
ビチューメン紙	1.4			1.70	
				6.90	
ビチューメン紙	0.4		3.90		
			8.10		
アルミニウム紙	0.1				2.00
					2.80
アルミニウム紙	0.2				0.17
					0.33
アルミニウム紙	0.24			17.80	
				77.30	
アルミニウム紙	-				6.80
					17.80
ガラス繊維補強材	0.4			3.80	
アルミニウム紙				4.70	
ガラス繊維補強材	0.4				12.00
塩化ビニルフォイル					29.00
ポリエチレンフォイル, ステップル留め	0.15			7.70	

APPENDIX I ホワイトパインの水分拡散係数を決定するための測定に関する報告

[背景]

水分拡散係数 D_w は、建築材料の水分輸送物性値の一つであり、しばしば熱水分解析で用いられる。それは次の水分輸送方程式に現れる。

$$\dot{m}_m = -\rho_o D_w \text{grad } u \quad [1]$$

ANNEX第1回会議では、各参加国がこの輸送物性値を決定するための独自の実験および解析方法を持っていることが確認された。また、文献に報告されているある材料のこの物性値が、時々1～2桁のオーダーで異なることも注目された。そこで次の共通実験を企画することとした。

「カナダがホワイトパイン(Eastern White Pine：註)の実験用試料を参加者に提供する。試料は慎重に選ばれた1つのサンプルから切り出されたものを用いる。各参加者は自身によって開発された方法を用いて水分拡散係数を求める。」

サンプルの繊維方向(longitudinal)への水分移動を検討することとした。サンプルの乾燥時のかさ密度は約 $367[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$ であった。本企画に、ベルギー、ドイツ、フィンランド、カナダが参加した。

本報告は、共通実験の結果を要約したものである。結果を図1に示す。

訳者註) 学名: Pinus strobus L., 樹木名: ストロブ松, 材木名: ホワイトパイン

[ベルギーの方法と結果]

水平方向の水分浸透過程が検討された。試験体の大きさは $202.77\text{mm}\times 135.05\text{mm}\times 40.94\text{mm}$ で、初期含水率は $0.076\text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ であった。過渡的な試料含水率分布が、 0.5mm 刻みで151カ所、決められた間隔で34日間にわたって測定された。含水率測定にはガンマ線減衰法が用いられた。

実験結果は2つの方法で解析された。すなわちボルツマン変換法、流量／勾配法である。

実験方法とデータ解析に関する詳細は、文献1, 2に与えられている。

[ドイツの方法と結果]

水平方向の水分浸透過程が検討された。試験体の大きさは $150\text{mm}\times 20\text{mm}\times 20\text{mm}$ であり、初期含水率は 20°C , 65%RHに対応した値であった。非定常の含水率分布が、決められた時間間隔で280時間にわたって測定された。核磁気共鳴法(Nuclear Magnetic Resonance Method)が含水率測定に用いられた。断湿された試験体と断湿されていない試験体について測定を行った。実験結果は、流量／勾配法で解析された。断湿された試験体の測定結果を用いて決定された、時間によって異なる水分拡散係数が報告された。実験方法とデータ解析に関する詳細は文献3に与えられている。

[フィンランドの方法と結果]

鉛直方向の吸水過程が検討された。試験体の大きさは約 $300\text{mm}\times 50\text{mm}\times 50\text{mm}$ であった。非定常の含水率分布が、決められた時間間隔で45日間測定された。含水率測定にはガンマ線減衰法が用いられた。

3つの試験体が測定された。実験結果はボルツマン変換法を用いて解析された。実験方法とデータ解析に関する詳細は文献4, 5に与えられている。

[カナダの方法と結果]

鉛直方向の吸水過程が検討された。試験体の大きさは約 $327\text{mm}\times 52\text{mm}\times 52\text{mm}$ であり、初期含水率は $0.076\text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ であった。非定常の含水率分布が、 2mm 間隔66カ所において、決められた時間間隔で45日間測定された。ガンマ線減衰法が含水率測定に用いられた。3つの試験体が測定された。

実験結果は最適化手法を用いて解析された。実験方法とデータ解析に関する詳細は、文献6～8に与えられている。

[考察]

今回の共通実験の結果から以下のことが明確となった。つまり建築材料の水分拡散係数と呼ばれる特性は、現在利用できる技術で決定されるように、一意な物性値ではない。カナダでは、1つの材料から3つの試験体を接して切り出し、実験に用いたが、それぞれ異なる結果となった。フィンランドの3つの試験体に関する結果は良く一致したが、カナダの値とは違っていた。カナダの最大値と最小値、フィンランドのある一つの値、ボルツマン変換法で計算したベルギーの値、ドイツの最終結果を図1に比較して示す。これを見た人はすぐに以下の質問をするかもしれない。「ホワイトパインの水分拡散係数とは何なのか？」共通実験の結果、唯一つの含水率の関数である水分

拡散係数が得られなかったのは確かである。しかし、物性値のオーダーは確認されたように思われる。広い含水率範囲において、それはほぼ $10^{-10} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ である。

流量／勾配法によるドイツとベルギーの結果は、水分拡散係数にある範囲の値を与えている。それは測定した時間に依存している。もし本当にそうならば、熱水分の解析に水分拡散係数と式[1]を用いるという考え方全体が疑わしくなる。一方で、非定常の含水率分布を解析するのに、流量／勾配法を用いることは適切であろうか？このアプローチは厳密に評価する必要がある。流量／勾配法においては、含水率分布に加え各位置の流量を測定あるいは推定する必要がある。どの程度精度良くこれを行うことができるであろうか？

他の2つの解析方法、すなわちボルツマン変換法と最適化手法にも限界がある。ボルツマン変換した場合に、一連の測定データが1本の特性曲線にのるならば、式[1]で定義される水分拡散係数と呼ばれる物性値が存在することになる。本実験で用いたホワイトパインについては、そう言えるように思われる。しかしカナダとフィンランドのデータを見ると、特性曲線の始端・終端を正確に定義するのは難しい。それ故、低含水率領域の水分拡散係数には、大きな不確かさがあるかもしれない。

最適化手法は、時間・位置・含水率の全測定値を直接使い、式[1]に相当する収支式を解いている。その目的は、収支式で唯一の未知数である水分拡散係数を、測定された含水率の全領域に渡って含水率の関数として求め、できるだけ精度よく測定結果を再現することである。式[1]を認めるのならば、原理的にはこの方法は正しい。しかし、唯一の含水率の関数を求めることは可能なのだろうか？この問いに対しては納得のいく答えが必要である。

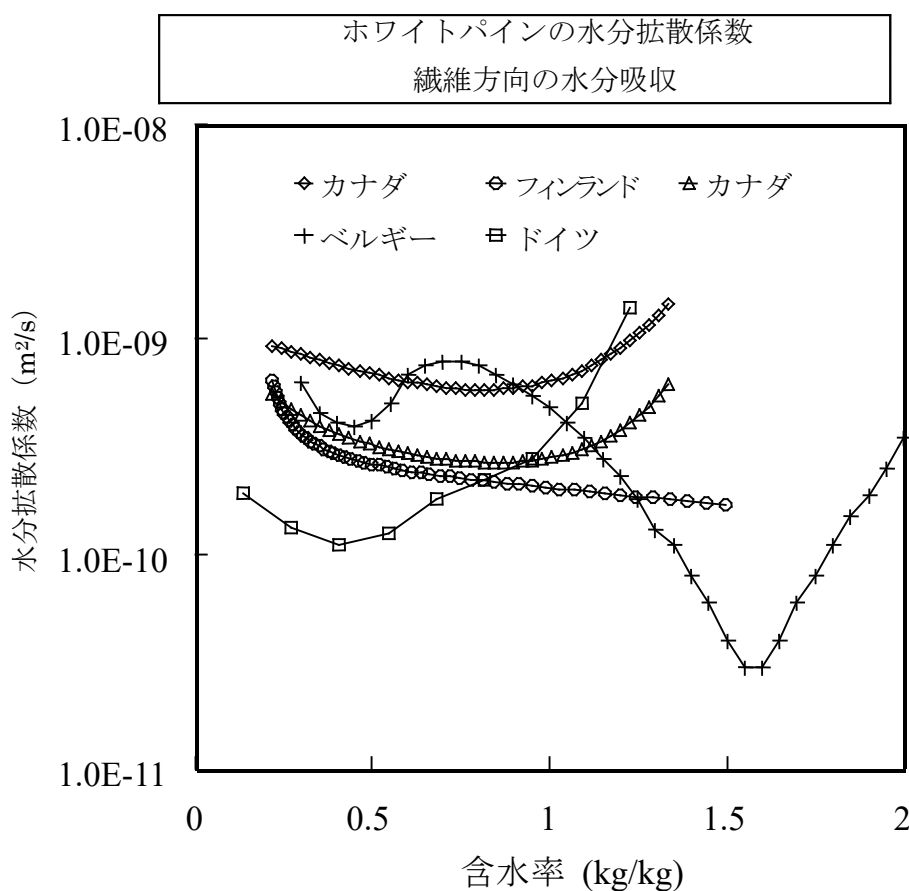


図 1. 同じロットから切り出したホワイトパイン試料について、4つの参加国により決定された水分拡散係数の比較。

参考文献

1. Descamps F. Moisture content measurement using gamma ray attenuation, Research Report, Laboratory for Building Physics, K U Leuven, 1990.
2. Descamps F. Measurement and calculation of the wetting water diffusivity of eastern white pine, Annex XXIV paper T3-B-91/03, 1991.
3. Krus M. and Kieβl K. NMR-measurement of capillary penetration behavior of water and hydrophobic agent in porous stone and derivation of new capillary transport values, Research report, Fraunhofer-Institute of Building Physics, FtB-12e, 1991.
4. Kohonen R. A method to analyze the transient hygrothermal behaviour of building materials and components, Technical Research Centre of Finland Publications 21, 1984.
5. Saarimaa J., Nieminen J., Rautiainen L., Ojanen T. and Kohonen R. Moisture transfer in building structures: hygrothermal properties of building materials, VTT Research Reports 644, 1989.
6. Kumaran, M.K. and Bomberg M.T. A Gamma-Ray Spectrometer for Determination of Density Distribution and Moisture Distribution in Building Materials, Proceedings of the International Symposium on Moisture and Humidity, 1985, pp.485-490.
7. Kumaran, M.K., Mitalas G.P., Ojanen T. and Kohonen R. Moisture Transport Coefficient of Pine from Gamma Ray Absorption Measurements, ASME Paper, HTD-Vol.123, 1989, pp.179-183.
8. Salonvaara M. A Transient Method to Determine Moisture and Heat Transport Coefficients of Porous Materials, Proceedings of the 2nd Symposium on Building Physics in the Nordic Countries, Trondheim, Norway, 1990, pp.355-360.

APPENDIX II 非定常の含水率分布に基づいて水分拡散係数を解析的に求める方法に関する報告

[背景]

アネックス活動の一環として、幾つかの共通課題が計画された。ベルギー、ドイツ、フィンランド、カナダが初期の共通課題に参加し、建築材料の水分拡散係数を決定するいくつかの実験方法を比較した（APPENDIX I）。結果として、水分浸透過程における非定常の含水率分布の測定結果を用いて水分拡散係数を同定する際に、3種の異なった解析手法が用いられていることが判明した。従って、以下の追加の課題を計画した。すなわち、

「スプルースの試験試料における非定常含水率分布の実験データを、カナダが全ての参加国に提供する。参加国は、それぞれが開発した手法によってデータを分析し、水分拡散係数を同定する」

というものである。カナダは、付録Aに示す情報をベルギー、ドイツ、フィンランドに提供した。各参加国はデータを分析し、水分拡散係数の値を導出した。本報告は、この共通課題の結果を要約したものである。

[ベルギーの結果]

与えられた情報は、流量／勾配法を用いるには不十分であった。さらに、データのばらつきはボルツマン変換を適用するには大き過ぎた。従って、ベルギーは以下の結果を報告した。

「我々の最後の手段は、実験データに拡散係数のパラメトリックな関数をフィットさせることであった。計測された含水率の範囲内（最大 $u_{\text{MAX}}=198 \text{ \% kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ まで）では、定数および直線形の拡散係数が良い一致を与えることが分かった。」ベルギーによる結果は図1に示されている。

[ドイツの結果]

計算方法は報告されなかった。しかし、解析に先立ち各インターバルの実験データはまず平滑化され、それから流量／勾配法が適用されたようである[1]。各実験ごとに1つの時間に依存した値のセットが得られ、計6つのセットが報告された。最後のセットが図1に示されている。

[フィンランドの結果]

フィンランドはボルツマン変換法[2, 3]を用いた。含水率0に対応するボルツマン変数の値を決定することに関する問題点が報告されている。ガンマ減衰法による計測では、低含水領域の精度は特に良くなかった。含水率0におけるボルツマン変数の値として4種類の値を用いて、結果が分析された。フィンランドにより計算された4ケースの主要な違いは、低含水領域に現れている。0.5から2 $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ の間では、その差は大きくはない。1セットの結果を図1に示す。

[カナダの結果]

水分拡散係数は最適化手法により分析された[4]。表1に示す含水率データを分析に用いた。水分拡散係数の最適値が図1に示されている。

[考察]

同じ非定常状態における含水率分布の実験データに基づいて、4つの参加国が求めた水分拡散係数を図1に示す。含水率に対する水分拡散係数曲線の形状が、用いた分析手法に依存していることは明らかである。しかしながら、含水率が0.5から2 $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ の範囲においては、全ての結果は±30%以内に収まっている。どの結果も水分の浸透過程を十分良く表現しているようであり、おそらくこの30%の違いは熱水分移動解析においては重要ではないであろう。最適化手法によって得られた最も大きい値は、非定常の含水率分布を非常に良く再現した。ベルギーが求めた一定および直線形の水分拡散係数は、カナダの結果を常に下回っているが、ボルツマン変数と含水率の関係を許容し得る精度で近似した。フィンランドの4セット全て、ドイツの時間依存の値も同様である。図1に見られるいろいろな形状は、用いられた分析手法による単なる「芸術的效果」と言えるかもしれない。

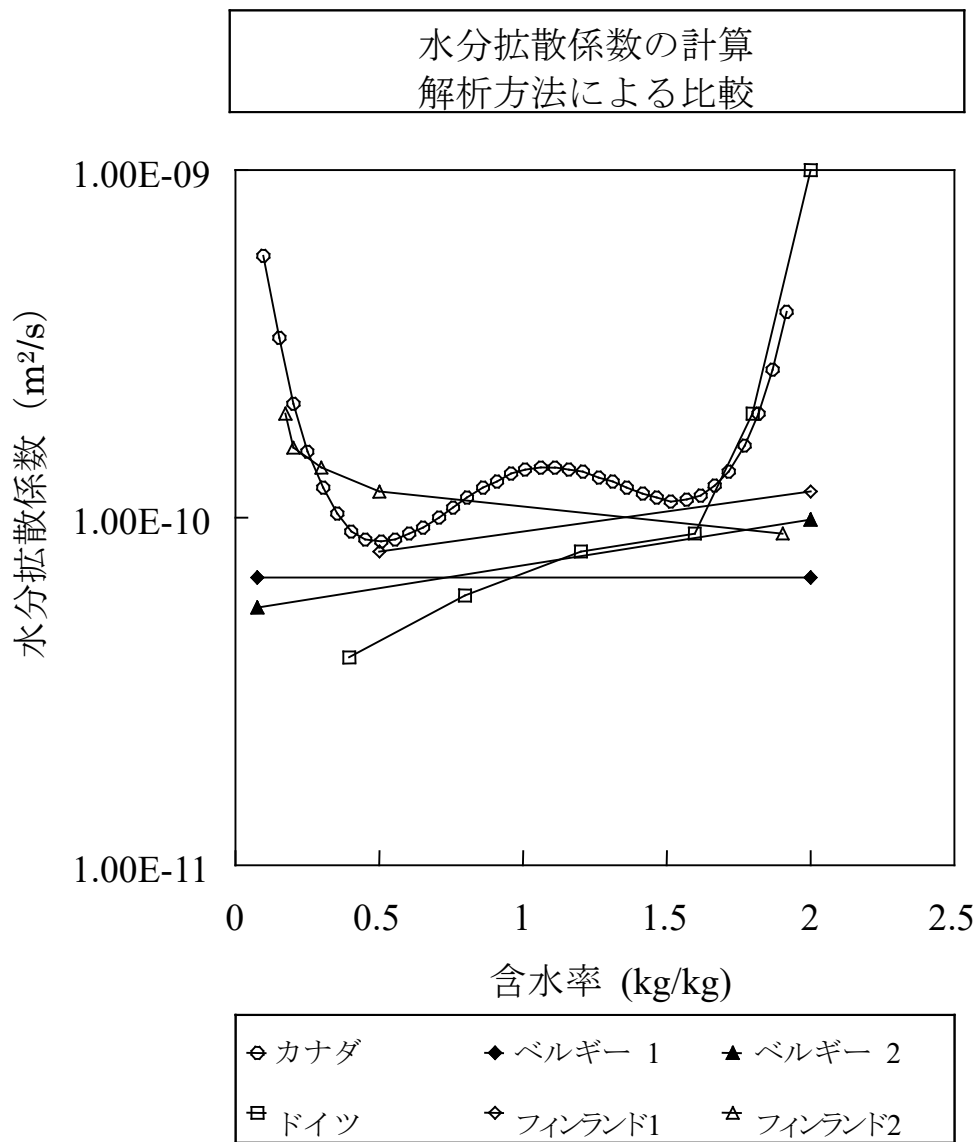


図1 4つの異なる参加国により得られた水分拡散係数の比較：同一の含水率分布のデータに対してそれぞれ異なった分析手法を用いている。

表 1 最適化手法のために付録Aから選ばれた非定常含水率分布 ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) のデータ ; 6つの列は付録 1 に示す 6 回の計測時間に対応する. 一つの列の連続した値は間隔2mmに対応している.

経過時間					
170 h	314 h	650 h	890 h	1034 h	1346 h
0.021	0.019	0.048	0.041	0.04	0.06
0.012	0.019	0.035	0.031	0.047	0.059
0.028	0.035	0.048	0.045	0.064	0.073
0.039	0.035	0.054	0.053	0.063	0.091
0.029	0.026	0.053	0.041	0.067	0.101
0.03	0.04	0.059	0.059	0.088	0.13
0.021	0.044	0.048	0.07	0.1	0.148
0.045	0.04	0.074	0.089	0.134	0.189
0.042	0.049	0.084	0.124	0.158	0.231
0.031	0.046	0.093	0.139	0.19	0.273
0.045	0.06	0.118	0.187	0.234	0.329
0.057	0.064	0.163	0.234	0.291	0.374
0.064	0.09	0.184	0.274	0.331	0.429
0.063	0.086	0.219	0.307	0.361	0.451
0.072	0.113	0.261	0.348	0.4	0.505
0.087	0.134	0.298	0.394	0.436	0.56
0.106	0.167	0.338	0.42	0.485	0.604
0.126	0.194	0.383	0.462	0.526	0.645
0.166	0.252	0.439	0.519	0.592	0.72
0.177	0.282	0.473	0.567	0.645	0.741
0.245	0.334	0.547	0.632	0.7	0.765
0.287	0.391	0.61	0.706	0.755	0.785

付録A 共通課題のためにIEA参加国に渡された情報

スプールの試験体に関する実験データ. ANNEX 24の活動の一環として, 水分拡散係数を決定するためのデータ解析法の比較用. スプールの密度は $396 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

以下の表には, 水/木界面からの高さh, 時間t, 含水率wが示されている.

h (cm)	t (h)	w ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
8.15	168.51	0.016
7.95	168.57	0.003
7.75	168.60	0.011
7.55	168.64	0.011
7.35	168.68	0.020
7.15	168.72	0.018
6.95	168.76	0.018
6.75	168.80	0.019
6.55	168.85	0.021
6.35	168.89	0.021
6.15	168.93	0.016
5.95	168.97	0.013
5.75	169.01	0.016

5.55	169.05	0.007
5.35	169.09	0.021
5.15	169.13	0.012
4.95	169.18	0.028
4.75	169.22	0.039
4.55	169.26	0.029
4.35	169.30	0.030
4.15	169.34	0.021
3.95	169.38	0.045
3.75	169.42	0.042
3.55	169.47	0.031
3.35	169.51	0.045
3.15	169.55	0.057
2.95	169.59	0.064
2.75	169.63	0.063
2.55	169.67	0.072
2.35	169.71	0.087
2.15	169.75	0.106
1.95	169.80	0.127
1.75	169.84	0.168
1.55	169.88	0.177
1.35	169.92	0.245
1.15	169.96	0.287
8.15	312.51	0.016
7.95	312.56	0.008
7.75	312.60	0.019
7.55	312.64	0.029
7.35	312.68	0.030
7.15	312.72	0.021
6.95	312.76	0.015
6.75	312.80	0.018
6.55	312.84	0.020
6.35	312.89	0.027
6.15	312.98	0.033
5.95	312.97	0.026
5.75	313.01	0.025
5.55	313.05	0.025
5.35	313.09	0.019
5.15	313.13	0.019
4.95	313.18	0.035
4.75	313.22	0.035
4.55	313.26	0.026
4.35	313.30	0.040
4.15	313.34	0.044
3.95	313.38	0.040
3.75	313.42	0.049
3.55	313.47	0.046
3.35	313.51	0.060
3.15	313.55	0.064
2.95	313.59	0.090
2.75	313.63	0.086
2.55	313.67	0.113
2.35	313.71	0.134
2.15	313.75	0.167

1.95	313.80	0.194
1.75	313.84	0.252
1.55	313.88	0.282
1.35	313.92	0.334
1.15	313.96	0.391
8.15	648.51	0.036
7.95	648.56	0.020
7.75	648.60	0.032
7.55	648.64	0.040
7.35	648.68	0.045
7.15	648.72	0.036
6.95	648.76	0.036
6.75	648.80	0.034
6.55	648.84	0.031
6.35	648.89	0.041
6.15	648.93	0.035
5.95	648.97	0.047
5.75	649.01	0.041
5.55	649.05	0.044
5.35	649.09	0.048
5.15	649.13	0.035
4.95	649.16	0.048
4.75	649.22	0.053
4.55	649.26	0.053
4.35	649.30	0.059
4.15	649.34	0.048
3.95	649.38	0.074
3.75	649.42	0.084
3.55	649.46	0.093
3.35	649.51	0.118
3.15	649.55	0.163
2.95	649.59	0.184
2.75	649.63	0.219
2.55	649.67	0.261
2.35	649.71	0.298
2.15	649.75	0.338
1.95	649.79	0.383
1.75	649.83	0.439
1.55	649.86	0.473
1.35	649.92	0.547
1.15	649.96	0.610
8.15	888.51	0.034
7.95	888.56	0.016
7.75	888.60	0.033
7.55	888.64	0.035
7.35	888.68	0.037
7.15	888.72	0.029
6.95	888.76	0.024
6.75	888.80	0.031
6.55	888.84	0.024
6.35	888.89	0.040
6.15	888.93	0.037
5.95	888.97	0.039
5.75	889.01	0.038

5.55	889.05	0.029
5.35	889.09	0.041
5.15	889.13	0.031
4.95	889.18	0.045
4.75	889.22	0.053
4.55	889.26	0.041
4.35	889.30	0.059
4.15	889.34	0.070
3.95	889.38	0.089
3.75	889.42	0.124
3.55	889.46	0.139
3.35	889.51	0.187
3.15	889.55	0.234
2.95	889.59	0.274
2.75	889.63	0.307
2.55	889.67	0.348
2.35	889.71	0.394
2.15	889.75	0.420
1.95	889.79	0.462
1.75	889.83	0.519
1.55	889.88	0.567
1.35	889.92	0.632
1.15	889.96	0.706
8.15	1032.50	0.029
7.95	1032.56	0.024
7.75	1032.60	0.030
7.55	1032.64	0.040
7.35	1032.68	0.045
7.15	1032.72	0.044
6.95	1032.76	0.043
6.75	1032.80	0.037
6.55	1032.84	0.047
6.35	1032.89	0.040
6.15	1032.93	0.036
5.95	1032.97	0.049
5.75	1033.01	0.046
5.55	1033.05	0.041
5.35	1033.09	0.040
5.15	1033.13	0.047
4.95	1033.18	0.064
4.75	1033.22	0.063
4.55	1033.26	0.067
4.35	1033.30	0.088
4.15	1033.34	0.100
3.95	1033.38	0.134
3.75	1033.42	0.158
3.55	1033.46	0.190
3.35	1033.51	0.234
3.15	1033.55	0.291
2.95	1033.59	0.331
2.75	1033.63	0.361
2.55	1033.67	0.400
2.35	1033.71	0.436
2.15	1033.75	0.485

1.95	1033.79	0.526
1.75	1033.83	0.592
1.55	1033.88	0.645
1.35	1033.92	0.700
1.15	1033.96	0.755
8.15	1345.01	0.041
7.95	1345.06	0.030
7.75	1345.10	0.035
7.55	1345.14	0.045
7.35	1345.18	0.045
7.15	1345.22	0.042
6.95	1345.26	0.041
6.75	1345.30	0.038
6.55	1345.35	0.040
6.35	1345.39	0.046
6.15	1345.43	0.039
5.95	1345.47	0.058
5.75	1345.51	0.048
5.55	1345.55	0.046
5.35	1345.59	0.060
5.15	1345.63	0.059
4.95	1345.68	0.073
4.75	1345.72	0.091
4.55	1345.76	0.101
4.35	1345.80	0.130
4.15	1345.84	0.148
3.95	1345.88	0.189
3.75	1345.92	0.231
3.55	1345.97	0.273
3.35	1346.01	0.329
3.15	1346.05	0.374
2.95	1346.09	0.429
2.75	1346.13	0.451
2.55	1346.17	0.505
2.35	1346.21	0.560
2.15	1346.25	0.604
1.95	1346.29	0.645
1.75	1346.33	0.720
1.55	1346.38	0.741
1.35	1346.42	0.765
1.15	1346.46	0.785

IRCにおいては，データの分析は最適化手法を用いて行われた．結果を以下に示す．

含水率 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	拡散係数 ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)
0.04	5.5E-10
0.06	3.3E-10
0.08	2.1E-10
0.1	1.6E-10
0.12	1.2E-10
0.14	1.0E-10
0.16	9.2E-11
0.18	8.7E-11
0.2	8.5E-11
0.22	8.6E-11
0.24	8.9E-11
0.26	9.4E-11
0.28	1.0E-10
0.3	1.1E-10
0.32	1.1E-10
0.34	1.2E-10
0.36	1.3E-10
0.38	1.3E-10
0.4	1.4E-10
0.42	1.4E-10
0.44	1.4E-10
0.46	1.4E-10
0.48	1.4E-10
0.5	1.3E-10
0.52	1.3E-10
0.54	1.2E-10
0.56	1.2E-10
0.58	1.1E-10
0.6	1.1E-10
0.62	1.1E-10
0.64	1.2E-10
0.66	1.2E-10
0.68	1.4E-10
0.7	1.6E-10
0.72	2.0E-10
0.74	2.7E-10
0.76	4.0E-10

参考文献

1. Krus M. and Kieβl K. NMR-measurement of capillary penetration behavior of water and hydrophobic agent in porous stone and derivation of new capillary transport values, Research report, Fraunhofer-Institute of Building Physics, FtB-12e, 1991.
2. Kohonen R. A method to analyze the transient hygrothermal behaviour of building materials and components, Technical Research Centre of Finland Publications 21, 1984.
3. Kumaran, M.K., Mitalas G.P., Ojanen T. and Kohonen R. Moisture Transport Coefficient of Pine form Gamma Ray Absorption Measurements, ASME Paper, HTD-Vol.123, 1989, pp.179-183
4. Salonvaara M. A Transient Method to Determine Moisture and Heat Transport Coefficients of Porous Materials, Proceedings of the 2nd Symposium on Building Physics in the Nordic Countries, Trondheim, Norway, 1990, pp.355-360.

APPENDIX III 建築材料の熱湿気物性値¹

石造建築材料の熱湿気物性

1. レンガ(BRICKS)

密度 : $830 \leq \rho \leq 1760 \text{ kg/m}^3$

熱物性

比熱 : $840 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ (乾燥材料)

熱抵抗 :

$d = 14 \text{ cm}$: $1 / [0.98 \cdot \exp(0.000994 \cdot \rho)]$ ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$)

$860 \leq \rho \leq 1430 \text{ kg/m}^3$

$\theta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $w = 0 \text{ kg/m}^3$ $r^2 = 0.600$; 13 meas.

$d = 19 \text{ cm}$: $1 / [0.585 \cdot \exp(0.001182 \cdot \rho)]$ ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$)

$830 \leq \rho \leq 1630 \text{ kg/m}^3$

$\theta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $w = 0 \text{ kg/m}^3$ $r^2 = 0.962$; 12 meas.

$\theta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$: $1 / [A_1 + A_2 \cdot u]$ ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$)

$u \leq u_c$ (毛細管飽和), u in %kg/kg

d(m)	$\rho \text{ (kg/m}^3\text{)}$	A_1	A_2	meas.	r^2
0.09	1470	7.94	0.397	3	1
0.14	863	2.09	0.09	8	0.98
	1100	3.35	0.18	4	0.93
	1120	2.72	0.28	3	1
	1180	3.37	0.31	3	1
	1200	3.13	0.32	3	1
	1240	4.17	0.38	3	0.99
	1360	2.96	0.34	3	1
	1430	4.17	0.42	3	0.99
0.19	800	1.53	0.096	3	1
	830	1.51	0.076	4	1
	880	1.83	0.13	3	1
	1100	2.41	0.094	10	0.64
	1140	2.26	0.13	3	1
	1650	4.00	0.34	3	1

¹From Catalogue of Material Properties, IEA Annex 14 (upgraded version).

湿気物性

湿気拡散厚 :モルタルのジョイントを含む等価な値

d(m)	詳細	試料	$\varphi_m(\%)$	$[\mu d]_{eq}(m)$
0.09	レンガ	2	54	1.20
	6.5x9x19	1	86	0.51
0.09	レンガ	2	54	2.20
	アクリル塗料			
0.09	レンガ	1	86	0.65
	防水加工			
0.09	レンガ	2	86	4.00
	うわぐすり付き			
0.19	レンガ	3	59	1.60
	6.5x9x19		81	0.61
0.20	レンガ	3	88	0.53
	6.5x9x19			
0.14	穴あきレンガ	8	58	1.30
	14x19x29		84	0.84

空気物性

空気貫流率 : $a \cdot (\Delta p)^b$ (m/(s·Pa))

(気流密度 $m^3/(s \cdot m^2)$)

d(m)	詳細	試料	$a(\cdot 10^{-4})$	b
0.09	手作りレンガ			
	4.5x9x19			
	接合無し	6	4.6	-0.33
			$\sigma = 3.7$	0.06
	接合	3	0.29	-0.19
0.09	機械作りレンガ			
	6.5x9x19			
	接合無し	9	27.6	-0.43
			$\sigma = 21.6$	0.09
	接合	3	0.32	-0.19
0.14	穴あきレンガ			
	14x14x29			
	接合無し	1	22.9	-0.41
	接合	3	0.18	-0.21
	漆喰塗り	1	0.095	-0.22

2.コンクリートブロック (CONCRETE BLOCKS)

密度 : $860 \leq \rho \leq 1650 \text{ kg/m}^3$

熱物性

比熱 : $840 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ (乾燥材料)

熱抵抗 :

$d = 14 \text{ cm}$: $1 / [0.73 \cdot \exp(0.00138 \cdot \rho)] (\text{m}^2 \cdot \text{K/W})$

$860 \leq \rho \leq 1650 \text{ kg/m}^3$

$\theta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $w = 0 \text{ kg/m}^3$ $r^2 = 0.880$; 9 meas.

$\theta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$: $1 / [A_1 + A_2 \cdot u]$ ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$)

$u \leq u_c (= \text{cap.})$, u in %kg/kg

d(m)	$\rho(\text{kg/m}^3)$	A_1	A_2	meas.	r^2
0.12	980	2.92	0.12	3	1
0.14	1080	3.12	0.24	3	1
	1115	3.37	0.16	3	1
0.19	860	2.35	0.08	3	1

湿気物性

湿気拡散厚 : モルタルのジョイントを含む等価な値

d(m)	詳細	試料	$\phi_m(\%)$	$[\mu d]_{eq}(\text{m})$
0.14	ブロック, 14x14x29	2	60	1.30
	960 kg/m^3	2	86	0.54
0.14	ブロック, 14x14x29	1	61	0.61
	1450 kg/m^3	1	64	0.58
		1	83	0.61
		1	90	0.28

空気物性

空気貫流率 : $a \cdot (Dp)^b$ ($\text{m}/(\text{s} \cdot \text{Pa})$)

(気流密度 $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$)

d(m)	詳細	試料	$a(\cdot 10^{-4})$	b
0.09	ブロック, 9x9x19			
	1955 kg/m^3 , 接合	1	1.23	-0.12
	1927 kg/m^3 , 接合	1	1.61	-0.14
	1881 kg/m^3 , 接合	1	2.35	-0.18
0.14	中空ブロック, 14x19x39			
	987 kg/m^3 , 接合	1	1.69	-0.09
	954 kg/m^3 , 接合	1	3.46	-0.25
	910 kg/m^3 , 接合	1	5.13	-0.30
0.14	重量中空ブロック, 14x14x29			
	接合無し	1	33.6	-0.42
	接合	2	33.3	-0.27
	漆喰塗り	2	0.103	-0.23

3.砂-石灰石 (SAND-LIME STONE)

密度 : $1170 \leq \rho \leq 1230 \text{ kg/m}^3$

熱物性

比熱 : $840 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ (乾燥材料)

熱抵抗 :

$$\theta = 20 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad : 1 / [A_1 + A_2 \cdot u] \quad (\text{m}^2 \cdot \text{K/W})$$

$$u \leq u_c (= \text{cap.}), u \text{ in } \% \text{kg/kg}$$

d(m)	$\rho(\text{kg/m}^3)$	A_1	A_2	meas.	r^2
0.14	1140	4.07	0.24	3	1

湿気物性

湿気拡散厚 : モルタルのジョイントを含む等価な値

d(m)	詳細	試料	$\phi_m(\%)$	$[\mu d]_{eq}(\text{m})$
0.13	ブロック	1	25	3.70

4.気泡コンクリート (CELLULAR CONCRETE)

密度 : $500 \leq \rho \leq 650 \text{ kg/m}^3$

熱物性

比熱 : $840 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ (乾燥材料)

熱抵抗 :

$$\theta = 20 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad : 1 / [A_1 + A_2 \cdot w] \quad (\text{m}^2 \cdot \text{K/W})$$

$$w \leq w_c (= \text{cap.}), w \text{ in } \text{kg/m}^3$$

d(m)	$\rho(\text{kg/m}^3)$	A_1	A_2	meas.	r^2
モルタル:					
0.15	524	1.23	0.0067	6	0.99
	660	1.44	0.0073	6	1
接着:					
0.15	518	1.13	0.0059	6	0.99
	634	1.20	0.0074	6	0.99
モルタル:					
0.18	550	1.25	0.0094	4	1

空気物性

空気貫流率 : $a \cdot (\Delta p)^b$ (m/(s·Pa))

(気流密度 $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$)

d(m)	詳細	試料	a($\cdot 10^{-4}$)	b
0.14	ブロック, 14x24x60, 510 kg/m ³			
	接着, 鉛直方向の接合 (オープン)	2	1.99	-0.39
	接着, 鉛直方向の接合 (クローズ)	1	0.83	-0.36
	漆喰塗り	1	0.11	-0.24

5.中空層 (CAVITIES) ¹

厚さ: 27 mm

見かけの熱伝導率 (上面から底面への熱流):

T(高温側), °C	13.9	23.7	33.5
T(低温側), °C	5.5	15.4	25.5
λ (見かけの熱伝導率), W/(m·K)	0.115	0.126	0.147

6.内部に反射面を持つ中空層 (CAVITIES WITH INTERIOR REFLECTIVE SURFACES) ¹

厚さ: 27 mm

見かけの熱伝導率 (上面から底面への熱流):

T(高温側), °C	14.4	24.2	34.2
T(低温側), °C	4.9	14.8	24.9
λ (見かけの熱伝導率), W/(m·K)	0.0263	0.0275	0.0289

¹Data from the Laboratory of Building Physics, KU-Leuven.

さまざまな建築材料

1.窓枠の断熱用ポリウレタンフォーム材 (STRUCTURAL POLYURETHANE FOAM FOR THERMAL BREAKS IN WINDOW FRAMES) ¹

厚さ: 31.9 mm 密度: 464 kg·m⁻³

熱伝導率

T(高温側), °C	6.3	16.1	26.7	35.9
T(低温側), °C	-2.9	7.0	17.0	26.8
λ, W/(m·K)	0.0671	0.0618	0.0629	0.0635

厚さ: 31.9 mm 密度: 499 kg·m⁻³

熱伝導率:

T(高温側), °C	5.9	16.0	26.0	35.7
T(低温側), °C	-3.4	6.7	16.7	26.5
λ, W/(m·K)	0.0637	0.0649	0.0654	0.0662

厚さ: 32 mm 密度: 614 kg·m⁻³

熱伝導率:

T(高温側), °C	6.2	16.2	26.0	35.8
T(低温側), °C	-2.6	7.3	17.1	26.9
λ, W/(m·K)	0.0923	0.0929	0.0940	0.0946

厚さ: 32 mm 密度: 792 kg·m⁻³

熱伝導率:

T(高温側), °C	5.9	15.9	25.7	35.5
T(低温側), °C	-3.0	7.0	16.9	26.7
λ, W/(m·K)	0.110	0.111	0.112	0.113

2.ポリマーコンクリート ¹ (POLYMER CONCRETE)

厚さ: 31.9 mm 密度: 2204 kg·m⁻³

熱伝導率

T(高温側), °C	3.9	13.5	23.6	33.3
T(低温側), °C	-0.7	8.9	19.0	28.7
λ, W/(m·K)	1.59	1.63	1.64	1.68

厚さ: 52.2 mm 密度: 1947 kg·m⁻³

熱伝導率

T(高温側), °C	4.5	14.4	24.2	34.1
T(低温側), °C	-1.5	8.4	18.2	28.2
λ, W/(m·K)	0.965	0.992	1.03	1.07

3.ポリマーセメント¹ (POLYMER CEMENT)

厚さ: 49.6 mm 密度: 1869 kg·m⁻³

熱伝導率

T(高温側), °C	5.2	15.0	24.7	34.5
T(低温側), °C	-1.1	8.7	18.4	28.2
λ, W/(m·K)	0.752	0.761	0.778	0.788

4.軽量レンガ造¹ (LIGHT-WEIGHT BRICK WORK) :

厚さ: 300 mm 密度: 767 kg·m⁻³

熱伝導率

T(高温側), °C	15.7	25.5	35.5
T(低温側), °C	6.6	16.5	26.5
λ, W/(m·K)	0.217	0.223	0.226

湿った材料の熱伝導率

T(平均), °C	10.8	10.8	20.5	20.5	30.4	30.4
u, (kg/kg)	0.024	0.062	0.024	0.062	0.024	0.062
λ, W/(m·K)	0.233	0.272	0.241	0.294	0.251	0.309

厚さ: 240 mm 密度: 796 kg·m⁻³

熱伝導率

T(高温側), °C	14.7	24.6	34.4
T(低温側), °C	5.9	15.9	25.8
λ, W/(m·K)	0.194	0.200	0.202

湿った材料の熱伝導率

T(平均), °C	10.3	10.3	20.3	20.3	30.0	30.0
u, (kg/kg)	0.032	0.066	0.032	0.066	0.032	0.066
λ, W/(m·K)	0.210	0.265	0.220	0.296	0.224	0.324

5.ポリウレタンフォーム (炭酸ガス発泡)¹ (POLYURETHANE FOAM (CARBON DIOXIDE BLOWN)) :

厚さ: 117.7 mm 密度: 32.6 kg·m⁻³

材齢: 6 ヶ月

熱伝導率

T(高温側), °C	15.0	24.6	35.0
T(低温側), °C	5.2	15.0	25.4
λ, W/(m·K)	0.0302	0.0321	0.0328

厚さ: 118.2 mm 密度: 32.8 kg·m⁻³

材齢: 6 ヶ月

熱伝導率

T(高温側), °C	14.7	24.3	34.5
T(低温側), °C	4.8	14.7	24.9
λ, W/(m·K)	0.0280	0.0303	0.0310

6. 注入用ポリウレタン¹ (POURED POLYURETHANE)

厚さ: 31.4 mm 密度: 1144 kg·m⁻³

温度範囲 2°C ~ 31 °Cにおける熱伝導率は 0.185 W/(m·K).

7. ポリアミド¹ (POLYAMIDE)

厚さ: 30.8 mm 密度: 1338 kg·m⁻³

温度範囲 1.5°C ~ 31 .5°Cにおける熱伝導率は 0.40 W/(m·K).

8. アクリル塗料の塗られたせっこうボード (プライマー+2回塗り) (GYPSUM BOARD PAINTED WITH ACRYLIC PAINT (PRIMER + 2 COATS))

透湿係数 (25 °C)

相対湿度1(%)	53.5	53.4	53.5	53.3	86.3	86.4	91.6	86.4
相対湿度2(%)	69.6	69.6	69.6	85.8	96.9	96.8	96.9	96.8
δ_i kg·m ⁻² ·s ⁻¹ ·Pa ⁻¹	1.2x10 ⁻⁸	8.44x10 ⁻⁹	1.2x10 ⁻⁸	7.6x10 ⁻⁹	5.7x10 ⁻⁸	5.0x10 ⁻⁸	5.4x10 ⁻⁸	6.3x10 ⁻⁸

9. ビチューメン含浸ポリプロピレンフォイル (BITUMEN IMPREGNATED POLYPROPYLENE FOIL)

厚さ 0.6 mm

透湿率 (湿気伝導率) (25 °C)

相対湿度1(%)	0	0	33	33	86	86
相対湿度2(%)	52	52	86	86	97	97
δ kg·m ⁻¹ ·s ⁻¹ ·Pa ⁻¹ x10 ⁻¹⁵	3.6	3.3	4.9	3.1	7.1	6.0

透気率

圧力差 Pa	50	100	150	200
k_a kg·m ⁻¹ ·Pa ⁻¹ ·s ⁻¹	5.1x10 ⁻¹¹	3.4x10 ⁻¹¹	2.7x10 ⁻¹¹	2.3x10 ⁻¹¹

10. タイベック® (不織布ポリエチレン) (SPUNBONDED POLYETHYLENE (TYVEK))

訳者註) タイベック®はデュポン社の登録商標です。

厚さ 0.2 mm

透湿率 (湿気伝導率) (25 °C)

相対湿度1(%)	0	0	37.5	37.5	89.5	89.5
相対湿度2(%)	52	52	78.5	78.5	97.0	97.0
δ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}\times 10^{-13}$	7.0	8.3	12.5	12.5	41.8	25.7

透気率

圧力差 Pa	25	50	75	100	150	200
k_a $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$	2.8×10^{-11}	2.8×10^{-11}	2.7×10^{-11}	2.7×10^{-11}	2.6×10^{-11}	2.6×10^{-11}

11. ポリエチレンフォイル (住宅用プラスチック系防湿フィルム) (POLYETHYLENE FOIL)

厚さ 0.2 mm

透気率

圧力差 Pa	150	200
k_a $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$	4.2×10^{-11}	4.56×10^{-11}

12. ビチューメンガラス繊維 (BITUMINOUS GLASS-FIBRE (ON PUR))

厚さ 0.5 ~ 0.7 mm

面積あたりの質量

$0.724 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$

透湿係数 (26.7 °C)

相対湿度1(%)	0.1	75.0	92.0
相対湿度2(%)	52.7	92.0	97.0
δ_l $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}\times 10^{-12}$	9.0	10.0	18.5

透湿係数 (35.8 °C)

相対湿度1(%)	0.1	0.1	75.0	75.0	89.0	89.0
相対湿度2(%)	50.0	50.0	89.0	89.0	97.0	97.0
δ_l $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}\times 10^{-12}$	10.8	11.5	12.3	14.3	18.8	40.0

¹Data from the Laboratory of Building Physics, KU-Leuven.

APPENDIX IV ANNEX 24会議で討論された論文の注釈リスト

1. 透湿率（湿気伝導率） H. Hens (T3-B-92/03)

ASTM E 96, DIN 52 615, BSI DD146, ISO/R1663に記述されている標準カップ法(the standard cup method)を用いて、石膏ボード、石綿セメント、ポリエチレンフォイルの蒸気移動特性が、三つの相対湿度域（すなわち、0から52%, 52から86%, 91.7から97%）に対して測定されている。試料の透湿係数を計算するためには、境界条件として正確な相対湿度を用いること（特に相対湿度が高い領域において）が重要であると強調されている。

2. 透湿率（湿気伝導率）：含水率に依存するか否か？ H. Hens (T3-B-92/04)

建築材料における蒸気移動を記述するには、一定の透湿率とともに、第二の駆動力として相対湿度の勾配が必要であるという仮説が、気泡コンクリートを対象として検討されている。このような仮説を支持する事実はない。

3. 軽量コンクリートと発泡ポリスチレンの透湿率（湿気伝導率）：等温および非等温の測定 H. Hens, K. Vanherck and M. Goddeau (T3-B-93/01)

透湿率（湿気伝導率）の測定が、伝統的な等温カップ法および非等温結露法を用いて行われている。ここでの目的は、ハイグロスコピック（蒸気拡散支配）域において、蒸気圧と相対湿度、両者の勾配が蒸気移動の駆動力であるという仮説を検討することである。実験データはこの仮説を支持していない。

4. ホワイトパイン内で温度勾配により生じる水分移動の実験的研究に関する報告 A. N. Karagiozis and M. K. Kumaran (T3-CA-91/01)

ガンマ線減衰法を用いて、温度勾配がある場合の、ホワイトパイン試料中における過渡的な含水率分布を測定している。温度勾配水分拡散係数(thermal moisture diffusion coefficient)に関する情報を得るという観点から、結果を解析している。

5. ガンマ線減衰法によるプラスターボードの水分拡散係数の測定 M. K. Kumaran (T3-CA-93/03)

等温系におけるプラスターボード試料による吸水が検討されている。過渡的な含水率分布が、ガンマ線減衰法を用いて測定されている。試料の不均一性を扱うためのデータの処理法が導入されている。処理されたデータはボルツマン変換により解析され、含水率の関数としての液相水分拡散係数を求めている。

6. セルローズ系断熱材の水分拡散係数 R. G. Marchand and M. K. Kumaran (T3-CA-94/01)

等温系におけるセルローズ系断熱材試料による吸水が検討されている。過渡的な含水率分布が、ガンマ線減衰法を用いて測定されている。二次的な水分移動過程が見出されている。試料の不均一性を扱うためのデータの処理法が導入されている。処理されたデータはボルツマン変換により解析され、含水率の関数としての液相水分拡散係数を求めている。

7. LATENITE：熱水分物性のデータベース A. N. Karagiozis, M. Salonvaara and M. K. Kumaran (T3-CA-94/03)

多くの一般的な建築材料の熱水分物性が集められ、コンピューターモデルで使用可能な解析的表現形式に整理されている。

8. 吸水実験による建築材料の水分拡散係数測定 M. K. Kumaran (T3-CA-94/04)

水分拡散係数の大きさを評価するための単純な吸水係数(water absorption coefficient)の有用性が調べられている。

9. 水分吸収に対する水分拡散係数の関数形の影響 M. Salonvaara and A. N. Karagiozis (T3-CA-94/06)

2次元の計算モデル(LATENITE)を用いて、等温系におけるレンガ試料の吸水過程のシミュレーションが行われ、実験データと比較された。過渡的な含水率分布を正しく表現するためには、水分拡散係数の十分正確な関数依存性が用いられるべきである。定数や指数近似では、水分移動現象の詳細な挙動は説明できない。

10. 静止空気の透湿率(湿気伝導率) M. K. Kumaran (T3-CA-95/02)

水蒸気+空気という2成分系の拡散係数に関する情報について、簡単な文献レビューを行っている。静止空気の透湿率(湿気伝導率)の計算には、Schirmerの式を使用するのが適当であることが見いだされている。

11. 吸水と乾燥過程で異なる液相水分拡散係数が水分挙動に及ぼす影響 M. Krus (T3-D-92/01)

砂岩に関する測定により、吸水(water absorption)過程より計算された拡散係数は、乾燥過程における水分の再配分より計算されたものよりも1桁大きいことが示された。石灰砂岩の単層壁に対する一年間分の水分分布の計算により次のことが示された。すなわち、この輸送特性の違い(吸水と乾燥)によって、水分吸収(moisture absorption)についてのデータのみを用いて計算された水分拡散係数による予測よりも、媒質の含水率がかなり高くなることが示された。したがって、ヒステリシス効果の重要性は無視できない。

12. 蒸気拡散は本当に含水率に依存するか? M. Krus (T3-D-92/02)

相対湿度勾配によるハイグロスコピック多孔質材料(hygroscopic porous material)内の液水移動と共存しつつ、蒸気拡散が流量係数一定で蒸気圧勾配により生じるものと仮定している。この仮説を非等温の透湿率(湿気伝導率)測定によって立証している。

13. 毛細管飽和状態(Capillary Saturation)を越える場合の液水移動 M. Krus and H. Kunzel (T3-D-92/03)

多孔性コンクリート並びに石灰砂岩について、毛細管飽和した試料と真空飽和した試料との間の水分の再分布に関する実験データが示されている。その結果として、液水の拡散係数は、毛細管飽和を越える状態では定義できないということが示されている。毛細管飽和状態を越える含水率は、単に毛細管飽和含水率以下での水分移動に対して貯水槽の役目をするに過ぎない。

14. A値によるDwの同定 M. Krus (T3-D-93/01)

水分吸収係数および毛細管飽和含水率に関するデータを使って、含水率の関数としての水分拡散係数を計算する方法が示されている。

15. 木材における非等温水分移動: Siauらの測定結果に対する一つの解釈 M. Krus (T3-D-94/01)

文献からのデータを使って、吸放湿領域の平衡含水率(hygroscopic moisture content)が木材の透湿率(湿気伝導率)の測定値に及ぼす影響が検討されている。二つの駆動ポテンシャル、すなわち水蒸気圧勾配と相対湿度(または吸引圧または含水率)の勾配に関する仮説が、さらに調べられている。非等温の条件下では、これらの駆動力は逆向きになるかも知れない。測定された水蒸気移動は、試料を横切る水蒸気移動と液水移動の合計である。

16. ヒステリシスの影響を考慮したセメントペーストの吸放湿(ハイグロスコピック)特性の実験的同定

B. Perrin and B. Dwi Agro (T3-F-94/01)

二つのセメントペーストに関して吸湿・放湿のサイクルが検討されている。材料の透湿率(湿気伝導率)が測定され、拡散係数が計算されている。結果はヒステリシスの影響を示している。

17. 発泡粘土コンクリート (expanded clay concretes) の熱水分挙動 P. Bondi and P. Stefanizzi (T3-I-91/01)

密度が600から1000 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ の範囲の7種の混合が検討された。吸放湿領域の平衡含水率(hygroscopic moisture content)はセメントの含有率と相対湿度に依存する。熱伝導率は密度と含水率に依存する。熱拡散係数は、水分あるいは密度へのはっきりとした依存を示さなかった。

18. NMRによる含水率測定 L. Pel, K. Kopinga and H. P. Otten (T3-NL-92/01)

NMRに基づく装置が示されている。建築材料の過渡的含水率分布がこの方法により測定できる。

19. 水分拡散係数の推定 M. De Wit and J. Van Schijndel (T3-NL-93/02)

水分吸収係数および毛細管飽和含水率についてのデータを用いて、含水率の関数としての水分拡散係数を計算する解析的な方法が示されている。指数関数型の式が提案されている。

20. 比重量560 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ の多孔性コンクリートの熱物性 P. Matiasovsky and O. Koronthalyova (T3-SK-92/01)

湿った多孔性コンクリートの熱伝導率が測定されている。保護熱板法による結果と第三種境界条件下での第一種の標準的加熱法を用いて得られた実験結果は、良く一致した。この量を計算する普遍式には、空隙径分布の情報が含まれていなければならない。