

高密度超微細セラミックス塗料—塗膜の断熱性能の 求め方

High-density ultra-fine ceramics paint

序文

高密度超微細セラミックス塗料は、主に建築物の外装（又は内装）として塗装され、この塗膜が持つ断熱による省エネルギー効果が大いことが確認されている。

ところが、建築物の省エネルギー性能を評価する指標として、法律に基づく「建築物の省エネルギー基準（注2）」では、UA 値（外皮（注3）平均熱貫流率 $[W/(m^2C)]$ ）が建築物の省エネルギー性能の重要な指標として採用されている中で、外皮（外壁等）の外側の外装建材及びその表面の状態（例えば、白色か又は黒色か、とか、良好な断熱特性をもつ塗装がされていることなど）が事例毎に個別に評価されず、表面熱伝達抵抗に包括されているかのように無視されているのが現状である。このため、高密度超微細セラミックス塗膜（厚さ約 400 μm ）のような、優い省エネルギー効果をもつ建築材料の活用が促進されない状況となっている。

（注2）建築物の省エネルギー基準について：この基準は、建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律の一部を改正する法律（改正建築物省エネ法）、建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律（建築物省エネ法）及びエネルギーの使用の合理化等に関する法律（省エネ法）に基づいて、詳細に決められている。HP では、数値を入力すれば自動的に計算できるエネルギー消費性能計算プログラムも公開されているが、今回の JSA 規格の開発の目玉となる外皮の外側（内側）の断熱性能に関しては、入力する箇所がないのが現状。

（注3）建築物の「外皮」について：外皮とは、建物の外部と内部を隔てる境界を指し、窓・壁・屋根・床等をいう。外皮の断熱性能を向上することは、室温が外気温に影響を受けにくくなることにつながり、建築物の省エネルギー化を進める上で重要な要素となる。とされているが、塗膜の状況等の「外皮（外壁等）の外側の表面の状態」までは、言及していないのが現状。

この JSA 規格は、高密度超微細セラミックス塗料の日射の反射による遮熱効果以外の断熱効果（省エネルギー効果）が、明確に認識できるようにするために、「外皮（外壁等）の外側（内側）の表面の状態（その断熱特性の程度）」を考慮に入れた測定方法を開発することを目的とする。これにより、住宅などの購入者がより現実性の高い断熱性能を把握することができ、施工者や購入者のすべてにとって高いメリットをもたらす。

1 適用範囲

この規格は、多孔質なセラミックを高密度に含有した塗料（以下高密度超微細セラミックス塗料）にお

34 いて、塗装対象物（屋根、側壁、内壁、壁体内など）に塗装したときの塗膜の断熱性能の求め方について
35 規定する。この規定は建築塗料の塗膜にも適用できる。

36 求める断熱性能は、高密度超微細セラミックス塗料の塗膜の表面熱伝達抵抗値である。

37 附属書 A では、高密度超微細セラミックス塗料を、外壁及び内壁、又は内外装に塗布した場合に、屋内
38 外の環境温度差を概ね 20°Cを確保した状態での屋外側及び屋内側の表面熱伝達抵抗値を求める算出例を
39 示す。比較用に黒ラッカー塗料を塗布したガルバリウム鋼板の値も求める。

40 附属書 B では、改正建築物省エネ法での UA 値から、高密度超微細セラミックス塗料を塗布するときの
41 UA 値の代入例を示す。

42

43 附属書 C では、表面熱交換測定器（SHED : Surface Heat Exchange Device (Yuan et al, 2022))でも同様の値
44 を得られることを示す。

45 2 引用規格

46 次に掲げる引用規格は、この規格に引用されることによって、その一部又は全部がこの規格の要求事項
47 を構成している。これらの引用規格は、その最新版（追補を含む。）を適用する。

48 **JIS K 5602** 塗膜の日射反射率の求め方

49 **JIS A 2101** 建築構成要素及び建築部位 熱抵抗及び熱貫流率 計算方法

50 **JIS A 1420** 建築用構成材の断熱性測定方法 校正熱箱法及び保護熱箱法

51 3 用語及び定義

52 この規格で用いる主な用語及び定義は、**JIS A 0202**、**JIS A 2101** によるほか次による。

53 **3.1 高密度超微細セラミックス塗料** 多孔質あるいは中空形状になった超微細セラミックを高密度に含
54 有する塗料

55 **3.2 試験体構成要素** 試験体及び試験体を構成する部分

56 **3.3 環境温度** 空気温度と放射温度とを適切な方法で加重平均した温度

57 **3.4 表面熱交換測定器 SHED** 温度調節可能なヒートシンクの表面に熱流計センサを貼り付けて熱の流
58 れる方向とその流量とを計測できるセンサ

59 **注釈** ヒートシンクの温度をヒトの皮膚温に設定したものを“人体輻射熱計”と称することがある。

60 ヒートシンクは金属ブロックが使われることが多いが、環境温度や放射熱負荷が大きい時には、ペルチエ
61 クーラーを用いる。また、ウォーターバスで温度調節した不凍液を函体内部に循環させて代用することも
62 できる。熱流計センサの出力は電圧 mV である。出力値を、出荷時に較正されて付与されている「較正係
63 数」で、除すことによって W/m²に変換する。Ro 及び Ri の測定の実際については、附属書 C を参照す
64 る。

65 4. 記号及び略号

66 4.1 記号

67 この規格に適用する記号は次による。

68

表 1—記号

記号	項目	単位
o	外部, 一般に加熱側を示す添字	
i	内部 一般に冷却側を表す添字	
s	表面を表す添字	
c	対流を表す添え字	
r	放射を表す添え字	
λ	熱伝導率	[W/(m°C)]
ε	放射率	
h	総合熱伝達率	[W/(m ² °C)]
hc	対流熱伝達率	[W/(m ² °C)]
hr	放射熱伝達率	[W/(m ² °C)]
A	熱流に対して垂直な面積 (伝熱面積)	[(m ²)]
d	試験体厚さ	[(m)]
Ta	試験体近傍の空気温度	[(°C)]
Tr	バツフル板表面温度	[(°C)]
Ts	試験体表面温度	[(°C)]
Rs	熱伝達抵抗	[(m ² °C)/W]
U	試験体の熱貫流率	[W/(m ² °C)]
Q	試験体を通過した熱量	[W/m ²]

69 5 測定原理

70 試験体の表裏面間に温度差を設け, 同時に放射量を制御するためのバツフル板を設置する。定常状態に
 71 至ったことを確認したのち, 試験体両側の表面温度と試験体の熱貫流率から試験体を通過する熱量を求め
 72 る。この量をもとに, 両側の空気温度, バツフル板の温度, 試験体の表面温度から対流熱伝達による熱移
 73 動量と放射熱伝達による熱移動量を求め, 温度差を考慮することによりそれぞれの熱伝達率を求める。さ
 74 らに表面熱伝達抵抗値を求める。また, 試験体の表裏面ならびにバツフル板の放射率についてはあらかじめ
 75 測定しておく。試験体側面を通しての熱量など, 測定の誤差となる熱の移動は極力抑制し, これを無視
 76 する。試験体表面での風の影響を調べる際は送風機を用いることもある。

77 6 基準試験体 基準試験体は両側に艶消しの黒色ラッカーを均一に塗布したガルバリウム鋼板 (d:0.0008
 78 m) とする。基準試験体に高密度超微細セラミックス塗料を加熱側, 冷却側, 及び両面に塗布した試験体
 79 を用意し, 同一条件を確保して測定する。試験体の大きさは 1 m 角が望ましいが, 試験体が試験装置と凹
 80 凸がないように平滑に設置できている場合, 試験体の中心から四方に 0.4 m 以上の平面を確保できれば任
 81 意の寸法で構わない。試験体の材質及び厚みは任意で構わないが, 表面の繊細な熱移動を測定することを
 82 考えれば, 熱伝導率が大きく, 熱容量が小さい金属が適している。

83 7 測定装置

84 7.1 一般 試験体を密にはめ込めるように加工された、庫内空気温度を低温に安定できる恒温庫及び試験
 85 体の両側に設置する冷却側バッフル板と加熱側バッフル板とを組み合わせて構成する。

86 試験体と二つのバッフル板とは同軸になるように設置する。試験体の測定面は恒温庫の測定面表面と段
 87 差ができないように設置する。バッフル板と試験体との間隔は、送風機の整流板として機能すること、及
 88 び形態係数を考慮しなくてもい位置関係を考慮して設置する。恒温庫は十分に恒温を保てる試験室内に設
 89 置し、除湿器などを用いて結露の発生を抑え、潜熱を防止する。

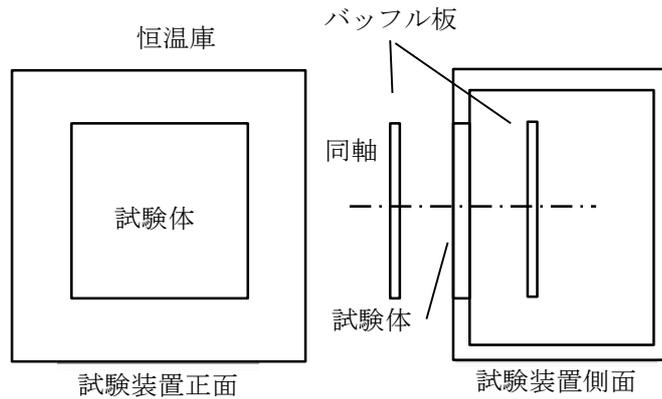


図 7-1 測定装置

90

91

92 7.2 測定装置の構成

93 7.2.1 恒温庫 庫内温度を低温に安定できる冷蔵庫で本体からの熱損失を限りなく少なくするために外
 94 壁面及び内壁面に断熱材を張り付け、冷却側の恒温状態を維持できる性能のもの。

95 7.2.2 バッフル板 加熱側は $d: 0.005\text{m}$, 1m 角のガラス板の放射率を測定して使用する。冷却側は庫内と
 96 の関係を考慮し、できる限り 1m に近いものを選ぶ。

97 **7.2.3 計測位置** 温度計は、加熱側、冷却側バッフル板の試験体側中央部、試験体内外中央部、試験体と
 98 各バッフル板の間3か所の空気温度、に設置する。湿度計は試験体に近い任意の位置の設置する。
 99 バッフル板及び試験体は、放射温度計及び熱電対によって遠赤外線放射率を測定する。

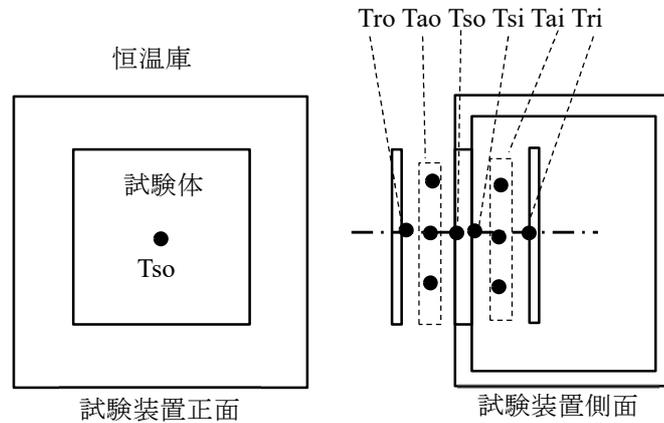


図2 測定位置

100 8 測定方法

101

102 **8.1 配置** 背面にのスタイロフォーム(0.03m)を張り付けた加熱側バッフル板 (d : 0.0005m, 1m 角のガラス
 103 板 : 遠赤外線放射率 0.9) と試験体 (0.4m 角) を形態係数を無視できるような間隔になるように設置する。
 104 冷却側バッフル板を 0.7m 角のガラス板 : 遠赤外線放射率(0.9)を形態係数を無視できるような間隔になる
 105 ように設置する。試験体とバッフル板とは同軸になるように配置する。

106 **8.2 測定** 試験室で 12 時間以上放置した試験室を除湿機と空調機で除湿する。ただし、結露が発生しない
 107 試験環境であれば除湿機は作動させる必要はない。除湿器などを利用して、湿度を 30%程度まで除湿し、
 108 試験室の室温及び試験体構成要素の温度が安定するまで放置する。温度データロガーを取り付け、室温を
 109 任意の温度に調整する。恒温庫内温度は室温 -20°C 程度にして十分安定させる。温度の十分な安定を得ら
 110 れた後、結露の発生の有無を見極める。測定間隔は 2 秒として記録し、データ取得後定常状態であること
 111 が確認できる時間帯のデータをピックアップして計算する。試験体近傍の空気温度 T_{ao} は複数点で測定し
 112 て平均値を採用するが、すべての温計の値が $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内に収まる期間の値を採用する。同様の方法で自然対
 113 流の想定で風速 3 mの風を試験体とバッフル板との間に通して測定する。

114 8.3 測定条件

115 **8.3.1 一般条件** 湿度 30%程度 (結露発生を抑制できる湿度)、測定用途によって温度帯は設定するが、試
 116 験体近傍の温度 T_{ao} と T_{ai} の温度差は 20°C 程度確保する。

117 **8.3.2 試験体による誤差** 品質に差異が小さい素地ガルバリウム鋼板を基材とし、塗布量を管理して試験
 118 体の誤差を最小にする。試験体から試験体周辺方向への熱損失が最小限になるように工夫する。

119 **8.3.3 放射率の測定** 熱電対での測定温度と、放射率 1 とした放射温度計での計測温度とを比較し、同一
120 温度になるように放射率を調整して測定する。

121 **8.3.4 恒温庫の熱損失** 恒温庫からの熱損失を無視できるように恒温庫外面及び恒温庫内面に十分な断
122 熱材を貼り付ける。

123 8.4 計算式

124 8.4.1 表面熱伝達抵抗の算出

125 表面熱伝達抵抗値の算出は、次による（JIS A1420 の附属書 A 参照）。

126 A.1 公開資料から熱伝導率及び材料の厚みを調べて試験体全体の熱伝導抵抗値を求め、測定によって得た
127 試験体の表面温度 T_{so} と裏面温度 T_{si} との差から試験体通過熱量 Q を求める。

128

129 A.2 試験体表面での熱収支式は次式で表される。

$$130 \quad Q = hr(T_{ro} - T_{so}) + hc(T_{ao} - T_{so}) = U(T_{so} - T_{si})$$

131 ただし、各記号の意味は次の通り。

132 Q : 試験体の 1 m^2 当たりの通過熱量 [W/m^2]

133 hc : 対流熱伝達率 [$\text{W}/(\text{m}^2\text{C})$]

134 hr : 放射熱伝達率 [$\text{W}/(\text{m}^2\text{C})$]

135 T_a : 試験体近傍の空気温度 [$^{\circ}\text{C}$]

136 T_r : 試験体に相対するバッファ板の表面温度 [$^{\circ}\text{C}$]

137 T_s : 試験体の表面温度 [$^{\circ}\text{C}$]

138 U : 熱貫流率

139 o : 加熱側、すなわち恒温庫の外側を表す添え字

140 i : 冷却側、すなわち恒温庫の内側を表す添え字

141 本附属書の目的は、対流熱伝達率 hc 及び放射熱伝達率 hr を求め、両者から表面熱伝達抵抗値を導出す
142 ることである。

143

144 A.3 放射熱伝達率は次式で表される。（詳細は JIS A 1420 を参照）

$$145 \quad hr = 4\sigma E T_m^3 \quad \textcircled{1}$$

146 ただし、 σ はステファンボルツマン定数 (5.67×10^{-8}) [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$] であり、 E は次式で与えられる。

$$147 \quad 1/E = (1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2) - 1 \quad \textcircled{2}$$

148 ここで ε_1 及び ε_2 はそれぞれバッフル板及び試験体の放射率である。

149 また、 T_m は次式で表される。

$$150 \quad T_m^3 = (T_r^2 + T_s^2)(T_r + T_s) \text{ 又は } T_m = (T_r + T_s)/2 \quad \textcircled{3}$$

151 従って、バッフル板及び試験体の放射率と試験時の表面温度を測定すれば、放射熱伝達率と放射熱伝達量
152 を求めることができる。

153

154 A.4 対流熱伝達による移動熱量は、全体の通過熱量から放射熱伝達による熱量を差し引くことによって

155 求められる。すなわち放射熱伝達量を Q_r 、対流熱伝達量を Q_c とすれば、

156
$$Q=Q_r+Q_c$$

157 Q_r は上記 A.2 によって求められ、 Q は本文の測定装置によって測定可能であるから、 Q_c を求めること
158 ができる。

159 また、 $h_c=Q_c/(T_a-T_s)$ であるから、空気温度と試験体表面温度の測定値から対流熱伝達率、 h_c を得ること
160 ができる。

161
162 A.5 表面熱伝達抵抗値 R_o は、対流熱伝達率 h_c 及び放射熱伝達率 h_r から次式で求められる。

163
$$R_{so}=1/(h_c+h_r)$$

164
165 A.6 冷却側も同様に計算する。

166

167

168

169

170

171

172 序文

173 本に述べた試験装置において定常状態を実現した場合、恒温庫外部から内部へ単位時間に一定量の熱が
174 移動し、通常は熱貫流率に内外空気温度を乗じた値で表される。試験体表面では、この熱移動現象を表面
175 熱伝達と呼び、移動する熱量はバッフル板との放射伝熱、及び試験体表面での対流伝熱の二つに分けるこ
176 とができる。従って、放射伝熱による表面熱伝達率（放射熱伝達率）及び対流伝熱による表面熱伝達率（対
177 流熱伝達率）から決まる表面熱伝達抵抗値は熱移動の量、すなわち断熱性能に影響を与える。

178 放射熱伝達率は、試験体及び試験体に相対するバッフル板の表面の放射率によって決まり、対流熱伝達
179 率は主に表面形状や風速によって決まる。ただし、本文に記載の測定装置のように、恒温庫を構成する壁
180 体のうち試験体以外は十分な断熱性を有し、試験体とバッフル板は十分近くに位置し、形態係数は十分に
181 大きく間の空気による赤外光の吸収も無視できるとした。

182 ここでは、本規格に基づき測定した各パラメータの計測をもとに表面熱伝達抵抗値を具体的に求める。

183

184 A.1 放射熱伝達率は次式で表される。（詳細は JIS A 1420 を参照）

$$185 \quad hr=4\sigma ET_m^3 \quad \textcircled{1}$$

186 ただし、 σ はステファンボルツマン定数 ($5.67\times 10^{-8}[\text{W}/(\text{m}^2\text{K}^4)]$)であり、 E は次式で与えられる。

$$187 \quad 1/E=(1/\varepsilon_1+1/\varepsilon_2)-1 \quad \textcircled{2}$$

188 ここで ε_1 及び ε_2 はそれぞれバッフル板及び試験体の放射率である。

189 また、 T_m は次式で表される。

$$190 \quad T_m^3=(Tr^2+Ts^2)(Tr+Ts) \text{ 又は } T_m=(Tr+Ts)/2 \quad \textcircled{3}$$

191 従って、バッフル板及び試験体の放射率と試験時の表面温度を測定すれば、放射熱伝達率と放射熱伝達量
192 を求めることができる。

193

194 A.2 対流熱伝達による移動熱量は、全体の通過熱量から放射熱伝達による熱量を差し引くことによって
195 求められる。すなわち放射熱伝達量を Q_r 、対流熱伝達量を Q_c とすれば、

$$196 \quad Q=Q_r+Q_c$$

197 Q_r は上記 A.2 によって求められ、 Q は本文の測定装置によって測定可能であるから、 Q_c を求めること
198 ができる。

199 また、 $hc=Q_c/(Ta-Ts)$ であるから、空気温度と試験体表面温度の測定値から対流熱伝達率、 hc を得ること
200 ができる。

201

202 A.3 表面熱伝達抵抗値 R_o は、対流熱伝達率 hc 及び放射熱伝達率 hr から次式で求められる。

$$203 \quad R_{so}=1/(hc+hr)$$

204

205

206 A.4 自然対流時の測定値をもとにした計算

207 実際に数値を入れて計算するための測定値としては、バツフル板及び試験体の放射率 (ε_1 及び ε_2)、表面
 208 温度 (T_r 及び T_s)、空気温度 (T_a) 単位面積当たりの通過熱量 (Q) が必要である。実際の測定値の例は下
 209 の通り、

210
$$\varepsilon_1=0.90, \varepsilon_2=0.88$$

211
$$T_r=34.3[^\circ\text{C}], T_s=25.0[^\circ\text{C}]$$

212
$$T_a=38.2[^\circ\text{C}]$$

213
$$Q=973.94[\text{W}/\text{m}^2]$$

214 これらの値から h_r 及び h_c を計算すると、

215
$$E=0.802, T_m=29.65[^\circ\text{C}]=302.8[\text{K}] \text{ から } h_r=5.05[\text{W}/(\text{m}^2\text{C})]$$

216
$$Q_r=46.95\text{W} \text{ から } Q_c=926.99\text{W}, \text{ 及び } T_a-T_s=13.2[^\circ\text{C}] \text{ から } h_c=70.23[\text{W}/(\text{m}^2\text{C})]$$

217 表面熱伝達抵抗値は

218
$$R_{so}=1/(h_c+h_r)=0.013[\text{m}^2\text{C}/\text{W}]$$

219

220 A.5 同様に風速 3m の場合を計算すると次のようになる。

221
$$\varepsilon_1=0.90, \varepsilon_2=0.88$$

222
$$T_r=25.9[^\circ\text{C}], T_s=26.1[^\circ\text{C}]$$

223
$$T_a=23.1[^\circ\text{C}]$$

224
$$Q=973.94[\text{W}/\text{m}^2]$$

225 これらの値から h_r 及び h_c を計算すると、

226
$$E=0.802, T_m=24.5[^\circ\text{C}]=297.65[\text{K}] \text{ から } h_r=4.79[\text{W}/(\text{m}^2\text{C})]$$

227
$$Q_r=13.42\text{W} \text{ から } Q_c=960.52\text{W}, \text{ 及び } T_a-T_s=13.2[^\circ\text{C}] \text{ から } h_c=323.77[\text{W}/(\text{m}^2\text{C})]$$

228 表面熱伝達抵抗値は

229
$$R_{so}=1/(h_c+h_r)=0.003[\text{m}^2\text{C}/\text{W}]$$

230 冷却側も同様に求める。

231

232 以下に試験体別に各 5 回測定した平均値を記載する。

233 ここで「ガイナ」とは、本規格発案者が開発した高密度微細セラミックス塗料である。試験体 e 及び f は
 234 他社断熱塗料 A, B である。

235

236 a) 基本試験体 基材 0.0008m ガルバリウム鋼板 $\lambda 45[\text{W}/\text{m}^\circ\text{C}]$ 両側黒ラッカー仕上げ

237 b) 基準試験体+冷却側断熱セラミックガイナ塗布 0.0004m $\lambda 0.14[\text{W}/\text{m}^\circ\text{C}]$

238 c) 基準試験体+加熱側断熱セラミックガイナ塗布 0.0004m $\lambda 0.14[\text{W}/\text{m}^\circ\text{C}]$

239 d) 基準試験体+両側断熱セラミックガイナ塗布 0.0004m $\lambda 0.14[\text{W}/\text{m}^\circ\text{C}]$

240 e) 基準試験体+加熱側断熱塗料 A 0.0002m $\lambda 0.09 [\text{W}/\text{m}^\circ\text{C}]$

241 f) 基準試験体+加熱側断熱塗料 B 0.0002m $\lambda 0.039[\text{W}/\text{m}^\circ\text{C}]$

242

243

244

245

246 表 A.1—ガイナ塗布部位別測定結果及び計算結果 風速 3m

	記号	単位	加熱側風速 3m : 冷却側自然対流			
			a	b	c	d
条件	ϵ_1	Tro 放射率	0.9	0.9	0.9	0.9
	ϵ_2	Tso 放射率	0.87	0.87	0.88	0.88
	ϵ_3	Tri 放射率	0.9	0.9	0.9	0.9
	ϵ_4	Tsi 放射率	0.87	0.88	0.87	0.88
	Tro	[°C]	26.5	28.0	25.9	26.2
	Tao	[°C]	26.7	28.2	26.1	26.7
	Tso	[°C]	22.8	25.3	23.1	25.5
	Tri	[°C]	12.6	13.3	12.3	12.9
	Tai	[°C]	8.4	9.9	9.7	10.1
	Tsi	[°C]	19.6	23.1	20.3	21.8
	Q	[W/m ²]	180000	765.24	973.94	645.49
加熱側	hco	[W/(m ² K)]	46149.34	256.41	323.77	535.07
	hro	[W/(m ² K)]	4.752	4.848	4.794	4.860
冷却側	hci	[W/(m ² K)]	16116.67	54.50	89.15	51.93
	hri	[W/(m ² K)]	4.355	4.498	4.364	4.458
Rso=1/(hco+hro)		[W/(m ² K)]	0.00002	0.0038	0.0030	0.0019
Rsi=1/(hci+hri)		[W/(m ² K)]	0.00006	0.0170	0.0107	0.0177

247

248

表 A.2—ガイナ塗布部位別測定結果及び計算結果 自然対流

	記号	単位	加熱側自然対流:冷却側自然対流					
			a	b	c	d	e	f
条件	ϵ_1	Tro 放射率	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
	ϵ_2	Tso 放射率	0.87	0.87	0.88	0.88	0.85	0.85
	ϵ_3	Tri 放射率	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
	ϵ_4	Tsi 放射率	0.87	0.88	0.87	0.88	0.87	0.87
	Tro	[°C]	32.3	34.4	34.3	33.8	31.5	30.8
	Tao	[°C]	36.9	38.3	38.2	38.1	35.5	34.7
	Tso	[°C]	22.2	24.8	25.0	24.1	22.3	20.1
	Tri	[°C]	11.0	13.5	13.9	11.8	9.1	8.6
	Tai	[°C]	7.23	9.3	9.6	7.9	4.6	4.3
	Tsi	[°C]	18.6	23.3	22.2	22.2	19.3	19.2
	Q	[W/m ²]	202500	521.75	973.94	331.47	1339.28	1696.20
加熱側	hco	[W/(m ² K)]	13741.03	35.01	70.23	20.25	97.90	112.74
	hro	[W/(m ² K)]	4.876	4.994	5.049	5.014	4.759	4.691
冷却側	hci	[W/(m ² K)]	17812.38	34.19	74.37	20.00	88.14	111.06
	hri	[W/(m ² K)]	4.296	4.506	4.444	4.442	4.270	4.257
Rso=1/(hco+hro)		[W/(m ² K)]	0.00007	0.0250	0.0133	0.0396	0.0097	0.0085
Rsi=1/(hci+hri)		[W/(m ² K)]	0.00006	0.0258	0.0127	0.0409	0.0108	0.0087

249

附属書 B

(参考)

外皮平均熱貫流率 U_A 値への代入について

249
250
251
252

253 改正建築物省エネ法では建物の断熱性能は外皮平均熱貫流率 U_A 値によって評価される。外皮平均熱貫
254 流率 U_A 値 [$W/(m^2\text{C})$] は、外皮熱損失量 q [W/C] を外皮面積の合計 ΣA [m^2] で除して求める。外皮熱損失量
255 q [W/C] を求めるときに建物各部位の熱貫流率が必要となる。熱貫流率を求めるとき、屋外側熱伝達抵抗値
256 及び屋内側熱伝達抵抗値が必要となるがその値は定数で定められている。特に対流熱伝達率は環境によっ
257 て大きく変化する。屋外側表面では、外気温と屋外との放射温度が事実上等しくなる曇天時を仮定して、
258 外気温を測るのが通例であり、日射を考慮しないなど諸問題を考慮して、境界条件について想定しない。

259 一方、JIS A 2101:2003 では、表面熱伝達抵抗値を求めるとき、室内は、 T_m を ($20\text{C}+273.15\text{C}$) としたと
260 きの黒体表面の放射熱伝達率 ($4\sigma\epsilon T_m^3$) を放射率 $\epsilon=0.9$ として計算して求める。 h_{ci} は次のとおりに求め
261 るとある。

262 上向き熱流 : $h_{ci}=5.0[W/(m^2\text{C})]$

263 水平熱流 : $h_{ci}=2.5[W/(m^2\text{C})]$

264 下向き熱流 : $h_{ci}=0.7[W/(m^2\text{C})]$ この時、 T_m は表面及びその周辺の平均絶対温度である。

265 屋外側表面对流熱伝達率では、 $h_{co}=4+4v$ ここに、 v 表面付近の風速 m/s とし、 $4m/s$ として計算するとあ
266 る。また T_m を ($0\text{C}+273.15\text{C}$) としたときの放射熱伝達率 ($4\sigma\epsilon T_m^3$) を $\epsilon=0.9$ として計算したものとあ
267 る。

268
269 このように屋外環境条件が冬の曇天時で外気温 0C 、室内は 20C の時の表面熱貫流率を求めていること
270 になる。

271 表面熱伝達抵抗は次の式によって求める。

$$272 \quad R_s=1/(h_c+h_r)$$

273 高密度超微細セラミックス塗料を塗布したときの U_A 値を計算するとき代入できる表面熱伝達抵抗値 R_s
274 は、外気温 0C 、室温を 20C に近似する条件で実験して計測し、計測された放射熱伝達率 h_r と JIS 規
275 定の対流熱伝達率 h_c を利用して求めることができる。対流熱伝達率 h_c は状況によって変化が大きく、形
276 状や表面の状態が多様である実際の建築物での実測値に合致するとはいえない。以上のことからここでは
277 JIS の計算方法を利用する。

278 例 断熱セラミック ガイナ

279 屋外側放射熱伝達率 $4.35[W/(m^2\text{C})]$

280 屋外側対流熱伝達率 $h_{ce}=4+4v=20$ 風速 $4[m/s]$ $20 [W/(m^2\text{C})]+4.35 [W/(m^2\text{C})]=24.35 [W/(m^2\text{C})]$

281 屋外側表面熱伝達抵抗 $R_{so}=0.041 [(m^2\text{C})/W]$

282 室内側放射熱伝達率 $4.13[W/(m^2\text{C})]$

283 屋外側対流熱伝達率 水平方向 $2.5[W/(m^2\text{C})]+4.13[W/(m^2\text{C})]=6.63[W/(m^2\text{C})]$

284 屋内側表面熱伝達抵抗 $R_{si}=0.151 [(m^2\text{C})/W]$

285 **表 B.1 外気温 20C 、室内温度 0C (近似) の試験結果**

ϵ_1	ϵ_2	Q[W/m ²]	Tr[°C]	Tao[°C]	Tso[°C]	Tri[°C]	Tai[°C]	Tsi[°C]
0.90	0.88	122.12	17.20	18.90	12.90	7.90	5.33	12.20
hco[W/(m ² °C)]	hro[W/(m ² °C)]	hci[W/(m ² °C)]	hri[W/(m ² °C)]	Rso[(m ² °C)/W]			Rsi[(m ² °C)/W]	
17.23	4.35	15.20	4.13	0.046			0.052	

286

287 このように、JIS の対流熱伝達率 hc を測定値に代入して求めた代入値では、屋外側表面熱伝達抵抗値 Rso
 288 も室内側表面熱伝達抵抗値 Rsi もガイナの方が高い値になる。これはすなわち、JIS の規定値と同条件で
 289 は熱移動を抑制する能力が高く、断熱（暑い外部から室内への熱の流入、暖かい室内から寒い外部への熱
 290 の流出など）の能力が高いことを示している。このように、従来の建築基準では定数として無視されてい
 291 た薄膜による断熱性能が正確に測定され、薄膜の組成によって、断熱への効果が向上させられることも明
 292 確になっている。

293 現在外皮平均熱貫流率 UA 値の計算に用いられる値は屋外側表面熱伝達抵抗を $R_{so}=0.04[(m^2\text{°C})/W]$ 、内壁
 294 の室内側表面熱伝達抵抗（水平）を $R_{si}=0.11[(m^2\text{°C})/W]$ として用いられている。

295 以下、表 B.2 でその他の国際規格と JIS の主要な規格を示す。

296

表 B.2 国際規格と JIS の表面熱伝達抵抗

規格	表面熱伝達率	室内外温度
ISO15099 : 2003 夏期条件	$h_{co}=8.0 [W/(m^2\text{°C})]$ $h_{ro}=E_o\sigma(T_{so}^4-T_{ao}^4)/(T_{so}-T_{ao}) [W/(m^2\text{°C})]$ $h_{ci}=2.5 [W/(m^2\text{°C})]$ $h_{ro}=E_i\sigma(T_{si}^4-T_{ai}^4)/(T_{si}-T_{ai}) [W/(m^2\text{°C})]$	室外温度 $T_{ao}=273.15+30[^\circ\text{C}]$ 室内温度 $T_{ai}=273.15+25[^\circ\text{C}]$
ISO15099 : 2003 冬期条件	$h_{co}=20[W/(m^2\text{°C})]$ $h_{ro}=E_o\sigma(T_{so}^4-T_{ao}^4)/(T_{so}-T_{ao}) [W/(m^2\text{°C})]$ $h_{ci}=3.6[W/(m^2\text{°C})]$ $h_{ro}=E_i\sigma(T_{si}^4-T_{ai}^4)/(T_{si}-T_{ai}) [W/(m^2\text{°C})]$	室外温度 $T_{ao}=273.15+0[^\circ\text{C}]$ 室内温度 $T_{ai}=273.15+20[^\circ\text{C}]$
ISO6946 : 1996	$h_{co}=4+4V[W/(m^2\text{°C})]$ $h_{ro}=4E_o\sigma T_{mo}^3[W/(m^2\text{°C})]$ $h_{ci}=\begin{cases} 5.0 & \text{上向き熱流} \\ 2.5 & \text{水平熱流} \\ 0.7 & \text{下向き熱流} \end{cases} [W/(m^2\text{°C})]$ $h_{ri}=4E_i\sigma T_{mi}[W/(m^2\text{°C})]$	
NFRC100-2010	室外風速 $V=5.5[m/s]$	室外温度 $T_{ao}=-18[^\circ\text{C}]$ 室内温度 $T_{ai}=21[^\circ\text{C}]$ 室内外とも平均放射温度は気温と同じ。
ISO10292:1994 JSR3107 : 1998	$h_{co}=16.3[W/(m^2\text{°C})]$ $h_{ro}=4.9\epsilon_o[W/(m^2\text{°C})]$ $h_{ci}=4.1 [W/(m^2\text{°C})]$ $h_{ri}=5.4\epsilon_i[W/(m^2\text{°C})]$	室外温度 $T_{ao}=-0[^\circ\text{C}]$ 室内温度 $T_{ai}=-20[^\circ\text{C}]$
ISO10077-1:2006 JISA2102:2011	$R_{so}=0.04[(m^2\text{°C})/W]$ $(h_{co}=25[W/(m^2\text{°C})])$ $R_{si}=0.13 [(m^2\text{°C})/W]$ $(h_{ci}=7.69[W/(m^2\text{°C})])$	
ISO1509	$h_{co}=4+4V[W/(m^2\text{°C})]$ $h_{co}=-4.7+7.6V_s [W/(m^2\text{°C})]$	窓製品の評価 実際の建物の年間エネルギー計算

	$V_s=2.5V(V>2[m/s])$ $V_s=0.5V(\leq[m/s])$ $V_s=0.3+0.05V$	風上 風下 風速 V は高さ 10[m]の値
--	--	------------------------------------

297 以上のように温度帯にばらつきはあるものの, h_{co} は $20\sim 25[W/(m^2C)]$ 及び h_{ci} は $3\sim 5[W/(m^2C)]$ 程度で
298 あり, h_{ro} は $5[W/(m^2C)]$ 前後である。
299

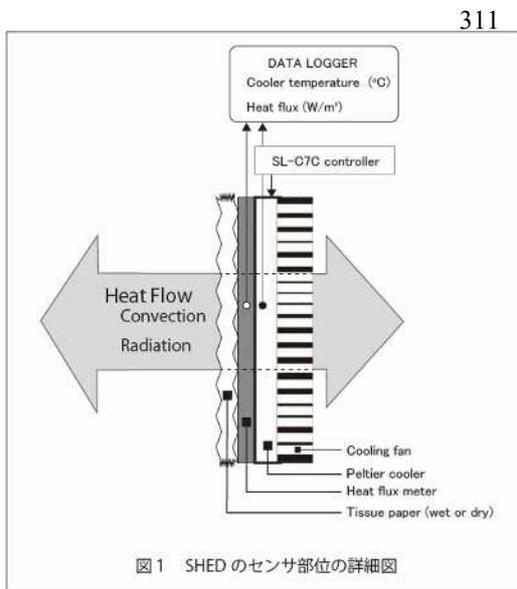
附属書 C

(参考)

表面熱交換測定器 (SHED) による Rsi, Rso 及 SRso 計測の実際

1. 計測器の概要と計測方法

室内の空気、室内の人、品々と壁面との間では、対流及び放射熱交換が行われている。表面熱交換抵抗 (Rsi, Rso, SRso) は、それぞれ外気温、室温及び日射下の外気温に曝されている時の値を表し、ヒトが生活する空間の安全性及び省エネルギーのような社会的価値観評価に適し、生活の場の質を左右する指標である。この値は熱伝導率のように温度計で測ることが難しい数値であったために制度の上では定数で与えられ、永らく技術的検討が加えられていない。SHED (図 1) を用いることで、これらの値は自在に計測できるようになり、実験室ばかりでなく実際の建築現場でも容易に計測できるようになった。



壁面材試料の表面熱交換抵抗値は、表面の極薄い層の熱特性である。SHED の検出センサに接着できる薄いシート状の基材を選び、これに塗装及び材自体を接着する方法を用いることで、数ミクロン厚の表面材の熱伝達抵抗を計測することができる。シート状の基材としては、プリンターラベル (A-one 社製 (東京), 0.13 mm 厚, Code: 28719) などを用いる。

注記 この情報は、この規格の利用者の便宜を図って記載するもので、この製品を推奨するものではない。同様の結果をもたらすことが示される場合、同等の製品を使用することも可能である。裏紙をはがす際に塗膜面にダメージを与えない材であれば類似品やプラスチックシールで差し支えない。

試料塗料を塗って乾燥させたプリンターラベルを隙間なく SHED の熱流センサ表面に貼り付けて、適当な温度差 (5-10°C 程度) が生じる安定的環境に設置して、熱流センサーを通過する熱交換量 (Q , W/m^2) と熱流計の温度 ($T1$, °C) を 10 分間連続で計測する。人工気象装置が使える時は運転の設定温度 ($T2$, °C), 使えない時はエアコンされた部屋の平均室温 ($T3$, °C) を同時に測定記録し、 $T2$ を $T3$ に代替する。熱交換率 (q , $W/m^2/°C$) = $Q/(T1 - T2)$, 熱交換抵抗 (R , $m^2/°C/W$) = $1/q$ を算出する (表 C-1)。

2. 室内空気と SHED との熱交換抵抗の測り方

Rsi 値では、室内で生活するヒトと内壁面との熱交換を意識した計測方法が望まれる。室内でゆったりと安静で、快適に過ごしている人の平均皮膚温が 33°C 程度であることはよく知られた温熱生理学的事実である。SHED の人体放射熱計としての機能を活用して、適切な大きさの内壁面試料を 25°C の試験室内に垂直に設置し、その中央に SHED を 50-100 mm の距離で正対させて Rso と同様に計測した値を内壁面熱

334 交換抵抗 (Rsi) と定義する。表 C. 1 の Rsi 値は、900x900 の合板に白の一般塗料または遮熱塗料 (ガイ
335 ナ) を塗った試料から 50 mm の距離に熱流センサを設置して計測した値である。

336

337

表 C. 1 – Rsi, Rso 及び SRso 計測の実際

338

指標	室温 (°C)	熱流計温度 (°C)	出力 (Q, W/m ²)	熱交換率 (q, W/m ² /°C)	熱交換抵抗値 (R, m ² /°C/W)
Rsi					
対照区 ^{a)}	24.96 ± 0.50	15.14 ± 0.05	207.50 ± 4.23	21.16 ± 1.31	0.047 ± 0.003
ガイナ® ^{b)}	25.05 ± 0.45	15.17 ± 0.10	195.00 ± 7.21	19.74 ± 0.18	0.051 ± 0.000
Rso					
対照区	25.13 ± 0.03	33.88 ± 0.01	-108.16 ± 1.52	12.37 ± 0.21	0.081 ± 0.001
ガイナ®	25.13 ± 0.01	33.89 ± 0.01	-108.53 ± 1.55	12.39 ± 0.17	0.081 ± 0.001
SRso					
対照区	24.83 ± 0.30	33.96 ± 0.02	252.66 ± 7.04	27.20 ± 1.62	0.036 ± 0.002
ガイナ®	25.01 ± 0.10	33.97 ± 0.09	165.34 ± 2.23	18.44 ± 0.23	0.054 ± 0.001
注 ^{a)} 未塗装のプリンターラベルを熱流計表面に張り付けて測定した値					
注 ^{b)} 外壁用遮熱塗料をプリンターラベル用紙に塗布して熱流計表面に張り付けて測定した値					

339

340

341 3. 外気と SHED との熱交換抵抗の測り方

342 住宅内部から外気に向かって流出する熱に対する塗膜面の熱伝達抵抗値 (Rso) の測定は、ヒートシンク
343 の温度を 33-35°C 程度で行う。気流は大きな外乱要因となるので、極力避けて 0.2 m/s 以下で計測するの
344 が望ましい。被検塗料はプリンターラベルに塗布して十分に乾燥させ、塗料名及び塗装条件を付してお
345 く。測定時に熱流センサの大きさに切り出し、裏紙を剥がしてセンサ全体を隙間なく覆うように貼り付け
346 る。自動計測記録器が使える場合のスキャン間隔は、10 秒未満が望ましい。目視で読み取る場合の読み
347 取り間隔は 30 秒程度とする。計測時間は室温が安定していれば 5 分、室温調節に不安があれば 10 分とす
348 る。データロガーからデータを回収すると、タイムスタンプ、熱伝達量 (Q)、センサ温度 (T1)、室温
349 (T3)、,、のようにデータセットが表示される。Q には、- 符号が付いてヒートシンクから室内空気に向
350 かって熱が流出していることが分かる (Q がマイナス表示されない場合は、センサのリード線をロガーに
351 つなぐターミナルのプラスとマイナスとを逆にする)。データセットを表計算ソフトに落として、上の計
352 算をし、時系列データを表示させて安定している部分の連続 5-10 個のデータを平均して測定値とする。
353 ここで Q を温度差で除して算出した q が熱交換率であり、q を逆数に変換した R が、試料塗料の Rso 値
354 である。上記の温度設定による Rso は、冬季を想定した指標だが、夏季及び厳冬期にも適用可能であ
355 る。

356

357

358 4. 日射下の外気との熱交換抵抗の測り方

359 日射の照射面の熱交換抵抗値 (SR_{so}) の測定は、本邦を含む中緯度地域の日射による短波長放射熱の照
360 射量をおよそ 800 W/m^2 (2003 年版「理科年表」, 気象部) を照射して行われる。測定室及びヒートシンク
361 の設定を R_{so} 計測時のまま変えずに、人工太陽灯 (XC-100EF, セリック株式会社, 埼玉県) ビームを熱
362 流計に対して直角に照射し、人工太陽灯を前後に動かして SHED の出力値が $600 - 800 \text{ W/m}^2$ となる位置に
363 固定して計測する。出力値は正值となり、人工太陽灯の照射熱がヒートシンクに流入していることが分
364 る。 R_{so} と同様に 5-10 分間の計測を行って、安定した連続 5-10 データの平均値が計測値 Q である。これ
365 以降の計算は R_{so} と同様に計算して求めた R が SR_{so} である。

366

367 5. 熱交換抵抗値計測結果の概要

368 室内壁に塗られた塗料の熱交換抵抗値 (R_{si} 値) の計測は、当該室内のヒトを含む物体と壁面との間の熱
369 交換に影響を与えていることを示し、SHED にはそれを検出できる感度があることを示している。住宅の
370 外表面の塗膜は外気との間の熱交換抵抗値 (R_{so}) に影響を与えないことが示された。塗膜の表裏の温度
371 差だけが Q の大きさを決めている対流と伝導では、薄い塗膜だけで熱流を制御することが難しいことを
372 表しており、これは熱交換の原理に照らして妥当な結果である。塗膜が日差しを受けている時の熱交換抵
373 抗値を表す SR_{so} 値は、対照区との差が最も大きく取れる指標となっている。言い換えるならば、SHED
374 は短波長遠赤外線熱交換に対して高い感度を有しているということであり、計測対照となる試料の熱交換
375 性能の違いを決定づける強力な指標となるであろう。