

## 〈技術レポート〉

## 繊維系断熱材の高温多湿下における変化

研究開発本部 浜松研究所 渡 邊 敬 典

## 1. はじめに

住宅用断熱材は、ロックウールやグラスウールを素材とした繊維系断熱材（弊社住宅用ロックウール断熱材「ホームマット®」など）と、ポリスチレンフォームやウレタンフォームに代表される発泡プラスチック系断熱材に大別される。このうち繊維系断熱材は、直径が数ミクロン程度のガラス質無機繊維からなり、この繊維で形成される微細な空気層によって高い断熱性能が発揮される。

繊維系断熱材は戸建て住宅において、壁の内側に充填される形（充填工法）で使用されることが多く、この際、屋内外の湿度が壁の中に入り込まないように防湿処理を行うのが一般的である。

繊維系断熱材の素材となるロックウール、グラスウールとも、細い繊維であるため繊維比表面積が非常に大きく、またガラス質であることから比較的反応性が高いと考えられる。そのため、空気中の水分と繊維が反応し、結果として断熱材全体に吸湿という現象が起きることが考えられる。空気中の水分と繊維が反応すれば、長期的に断熱材の性能が変化することが予想される。従来からロックウール断熱材は、グラスウール断熱材に比べて経験的に吸湿性が低いことが知られており、日本のような高温多湿の気候の土地では、吸湿性が低いロックウール断熱材を採用することのメリットは大きいと考えられる。しかしながら、同じようなガラス質の無機繊維であるにもかかわらず、ロックウール断

熱材の方がグラスウール断熱材に比べて吸湿性が低い理由は明確になっていない。

このような観点から、高温・高湿度環境下に繊維系断熱材を置き吸湿に関する促進試験を行うことで、繊維系断熱材にどのような変化が生じるかを観察・評価した結果を報告する。

## 2. 実験

## 2.1 サンプル

試験サンプルには当社製ロックウール断熱材（以下ロックウール）および、表1に示す市販されているグラスウール断熱材（以下グラスウールA～E）を用いた。断熱材はそれぞれ梱包体で室温保存していたものを使用した。

表1 試験サンプル一覧

	メーカー	製品密度	厚さ
		kg/m <sup>3</sup>	mm
ロックウール	ニチアス	34	55
グラスウールA	X社	10	90
グラスウールB	X社	14	105
グラスウールC	Y社	16	105
グラスウールD	Z社	16	105
グラスウールE	Z社	10	100

## 2.2 繊維組成測定

各断熱材の繊維組成を調査するため、養生前のサンプルについて蛍光X線分析装置による組成測定を行った。測定に使用するサンプルは以下の手順で作製した。

- ①各断熱材を構成する繊維を約1.4g採取してこれをアルミナ製乳鉢ですりつぶした。

- ②すりつぶした繊維をホルダーにつめてペレットに圧縮成形し、組成測定サンプルとした。

測定は、リガク製ZSX Primus IIで行った。

### 2.3 高温多湿養生試験

繊維系断熱材の経年劣化について、熱と湿度に着目した促進試験が北海道立総合研究機構北方建築総合研究所にて行われている<sup>1)</sup>。これを参考に、設備上実施できる最も過酷な温度・湿度条件で高温多湿養生を行った。養生条件を以下に示す。

- ・養生温度：85℃
- ・養生湿度：90%RH
- ・養生期間：1440時間（2ヶ月間）

評価は、養生3週間後と2ヶ月後に恒温恒湿槽から取り出したサンプルについて行った。

#### 2.3.1 重量，外観の変化

表1の断熱材から縦横100mm角狙いでサンプルを裁断して常態重量を測定し、養生前重量とした。次に養生3週間後と2ヶ月後に恒温恒湿槽からサンプルを取り出して重量を測定し、それぞれ養生後重量とした。養生前重量と養生後重量から（1）式より重量増加率を求めた。

重量増加率[%] =

$$\frac{\text{養生後重量[g]} - \text{養生前重量[g]}}{\text{養生前重量[g]}} \times 100 \dots (1)$$

#### 2.3.2 SEM-EDSによる分析

養生前後における繊維性状や組成の微視的な変化を確認するため、エネルギー分散型X線分析装置付き走査電子顕微鏡（以下SEM-EDSという）による観察、分析を行った。

測定サンプルは以下の手順で作製した。

- ①試料台（φ12.5mm, 高さ10mm）の上面にカーボンテープを貼り付けた。
- ②貼り付けたカーボンテープに、養生していない断熱材および2ヶ月養生した断熱材の表面の繊維を少量付着させた。
- ③120秒間金スパッタ処理し、SEM-EDS測定サンプルとした。測定条件を以下に示す。

- ・走査電子顕微鏡（SEM）：

JEOL製 JSM7600F

- ・エネルギー分散型X線分析装置（EDS）：  
Thermo Scientific製 NORAN System 7
- ・加速電圧：15.0kV

## 3. 試験結果

### 3.1 繊維組成測定結果

繊維組成の測定結果を表2に示す。

ロックウールと各グラスウールの組成を比較すると、ロックウールはCaO + MgOが36mass%であり、グラスウールの12~15mass%に対して多く、一方でNa<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>Oはグラスウールのほうが16~19%とロックウールの2mass%に対して多かった。

表2 繊維組成 (mass%)

	ロックウール	グラスウールA	グラスウールB	グラスウールC	グラスウールD	グラスウールE
SiO <sub>2</sub> +AlO <sub>3</sub>	56	69	69	67	65	66
CaO+MgO	36	14	14	12	15	14
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	2	16	16	18	19	19
その他	6	1	1	3	1	1
計	100	100	100	100	100	100

### 3.2 高温多湿養生試験結果

養生によるサンプル重量増加率の測定結果を図1に示す。ロックウールは養生による重量増加率が1%以下であったのに対し、グラスウールは養生3週間で5~19%、養生2ヶ月で9~40%の重量増加を示した。これは吸湿による重量増加と考えられる。

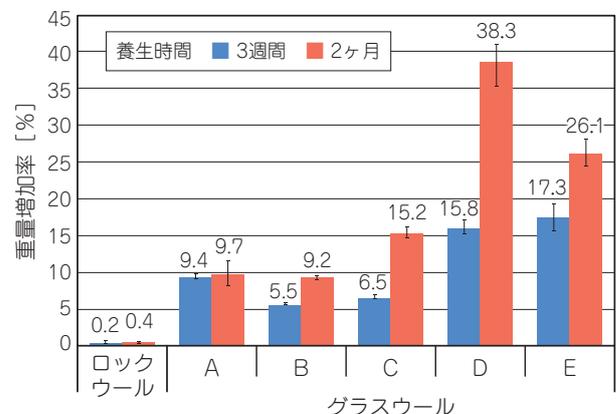


図1 高温多湿養生による重量増加率の測定結果

重量増加率の異なる代表的な3サンプル（ロックウール、グラスウールB、グラスウールD）について、養生前と2ヶ月養生後のサンプル外観写真を図2に示す。まず全てのサンプルが養生により茶系統に変色した。また、グラスウールBは、収縮が見られたがロックウール、グラスウールDは顕著な収縮は見られなかった。

### 3.3 SEM-EDS 分析結果

養生前と2ヶ月養生後の繊維表面状態の変化をSEM-EDSで観察・分析した結果を図3、4に示す。

SEMによる表面観察の結果、各サンプルとも養生前に滑らかであった表面の性状が養生により表面に荒れや瘤状などの付着物が観察されるようになった。ただし、その程度はサンプルによって異なっていた（図3）。

次に、EDSで養生前後における繊維表面の元素分布（EDS元素マッピング）を調べた。EDS元素マッピングはSEM像と同じ視野内における各元素の濃度分布が画像の濃淡の差となって表される。画像で明るく写るほど該当する元素の濃度が高い部分であることを示す。

各サンプル表面のEDS元素マッピングの結果、それぞれ養生前の表面の元素分布と比較して、養生後は、各サンプルの瘤状付着物部分において、ロックウールはCa、グラスウールBからはNa、Ca、グラスウールDはAl、Na、Caが確認された（図4）。



図2 高温多湿養生前後のサンプルの外観（養生期間2ヶ月）

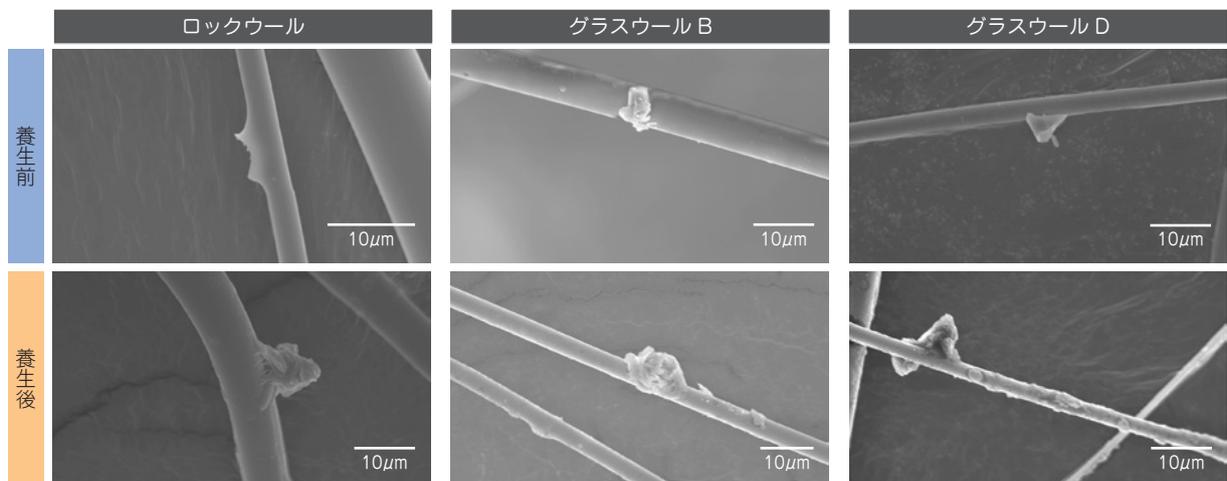


図3 高温多湿養生による各繊維表面の性状の変化（SEM像）

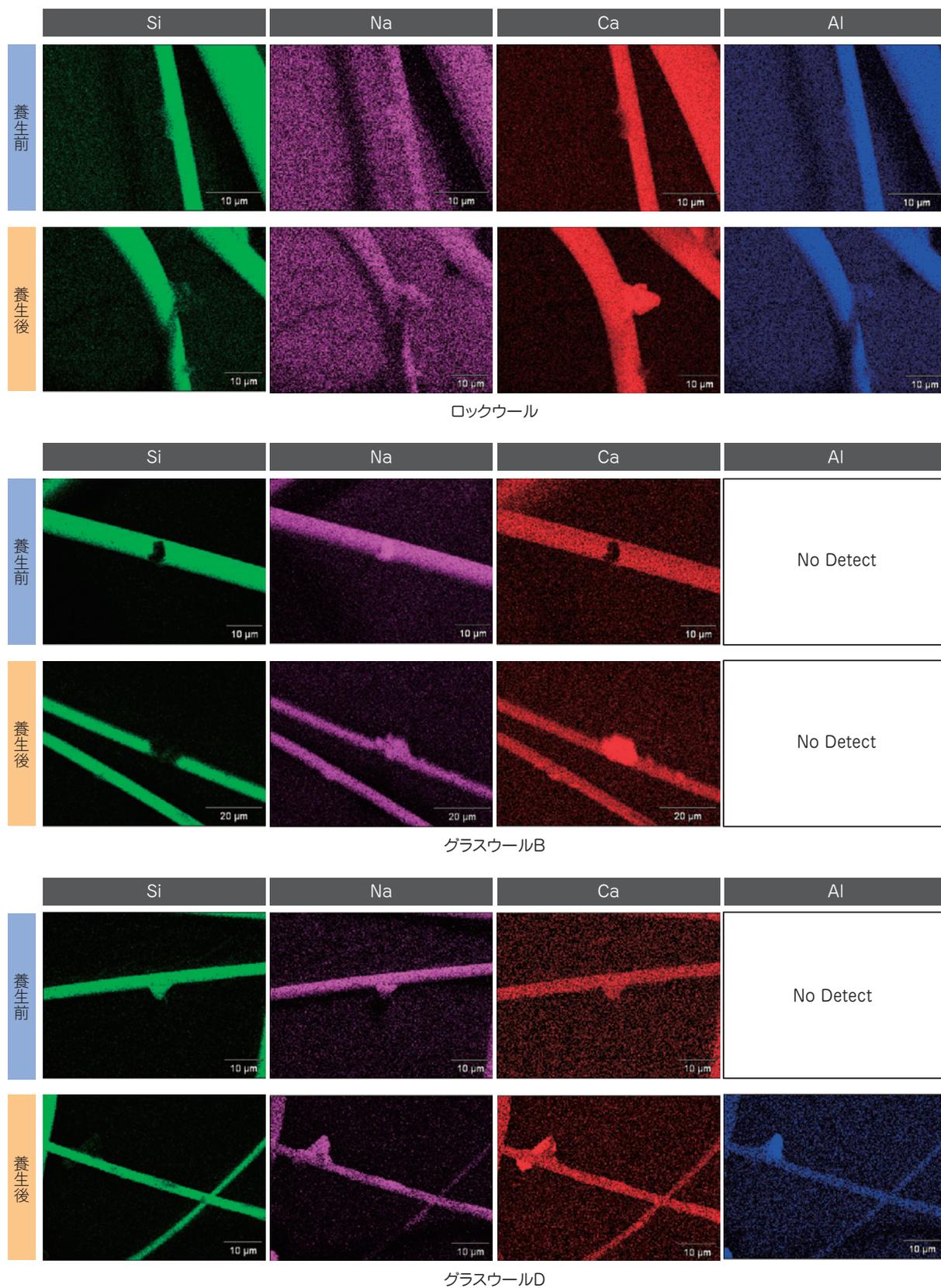


図4 高温多湿養生による各繊維表面のEDS元素マッピング

#### 4. 考察

繊維系断熱材を高温多湿下に置くと、重量増加や収縮、繊維表面の性状の変化が見られた。SEM-EDS分析の結果から養生後の繊維表面にはNaやCaが多く、繊維の主要構成成分であるSiが少ない付着物が存在していることがわかった。またグラスウールDのように養生前には繊維表面から検出されなかったAlが養生後に検出されるものも見られた。これらの付着物は水との相互作用により、繊維中の成分が溶出して繊維表面に析出したものであると思われる。

図5に繊維組成中のアルカリ金属成分 (Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O) 含有率と高温多湿養生 (2ヶ月後) による重量増加率の関係を示す。

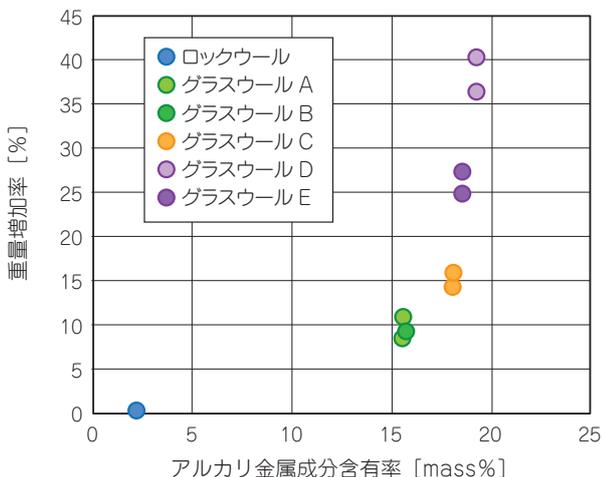


図5 アルカリ金属成分含有率と重量増加率

サンプルDのように、繊維中のアルカリ金属成分の含有率が高いものほど重量増加率が大きくなっている。すなわち吸湿しやすい傾向があると思われる。

#### 5. おわりに

本稿では、高温多湿環境下における繊維系断熱材の変化を観察、評価した。その結果、ロックウール断熱材の吸湿性がグラスウール断熱材に比べ低いことが実験的に確認された。また、繊維中のアルカリ金属成分量が繊維系断熱材の吸湿性に関与していることが示唆された。

今後は、各種断熱材と水との相互作用のメカニズム等について解明していく予定である。

#### 参考文献

- 立松宏一, 廣田誠一, 鈴木大隆, 井上幹生, 松村茂, 松岡修, 布井洋二, 斎藤貴己, 鶴澤孝夫: グラスウールの長期断熱性能に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 97-98, 北海道 (2013年)

#### 筆者紹介



#### 渡邊 敬典

研究開発本部 浜松研究所  
ロックウール製品の研究開発に従事