

ロックウールの優れた耐熱性について

研究開発本部 浜松研究所 持田 貴仁

1. はじめに

ロックウールとは、製鉄所の高炉からの副産物である高炉スラグの他、玄武岩や安山岩などの天然鉱石をキュボラや電気炉を用いて高温で熔融し、遠心力などで吹き飛ばして繊維状にした人造鉱物繊維である。優れた耐熱性、断熱性、防音性を有していることから、産業用途、住宅用途、耐火被覆用途などの幅広い分野で使用されている。

用途や使用目的に応じて粒状、ボード状、フェルト状、ブランケット状、帯状、筒状に加工されたロックウール製品がある。

当社では、産業や住宅において断熱・保温用途などに用いられる汎用ロックウールと、より高温下で耐火用途などに用いられる耐熱ロックウールの多種多様な製品をラインアップしている。

本稿では、ロックウールの優れた耐熱性について、同様に断熱・保温用途で使用されるグラスウールと比較しながら紹介する。

2. 耐熱性評価

ロックウールやグラスウールは、直径数 μm ～数十 μm の繊維が複雑に絡み合い、繊維間に空隙を持つことで断熱性や防音性を発現する繊維質断熱材である。これら繊維質断熱材の耐熱性とは、高温においても断熱性や防音性を発現できることである。そのためには、高温にさらされても繊維形態を維持し、断熱材としての形状を保持することが必要である。

本稿では、各種断熱材の耐熱性について報告する。

2.1 試験サンプル

表1に評価サンプルの一覧を示す。サンプルには当社製の汎用ロックウール断熱材（以下、汎用ロックウール）と耐熱ロックウール断熱材（以下、耐熱ロックウール）および、市販されているグラスウール断熱材2種（以下、グラスウールA、B）を使用した。繊維組成の分析には蛍光X線分析装置を用いた。

表1 評価サンプル一覧

		汎用 ロック ウール	耐熱 ロック ウール	グラス ウール A	グラス ウール B
メーカー		ニチアス	ニチアス	A社	B社
かさ密度 $[\text{kg}/\text{m}^3]$		80	100	28	14
繊維 組成 [wt.%]	$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$	56	48	67	69
	$\text{CaO} + \text{MgO}$	38	37	10	14
	$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	2	2	18	16
	その他	3	12	4	1

2.2 試験方法

加熱試験を行い、加熱後の形態観察により耐熱性を評価した。

2.2.1 サンプルサイズと加熱条件

《サンプルサイズ》

・幅100mm×奥行100mm×高さ50mm

《加熱条件》

・昇温速度：200℃/hr.

- ・加熱温度：600, 700, 800, 1000℃
- ・加熱時間：3hr.
- ・降温速度：200℃/hr.

2.2.2 評価方法

加熱前後のサンプルについて、以下を実施した。

- ・マクロ観察：断熱材の外観観察
- ・ミクロ観察：繊維形態のSEM観察

2.3 結果

加熱前後のサンプルの外観写真を図1に示す。外観を比較すると、いずれのグラスウールも600℃の加熱により幅・奥行方向、および高さ方向に大きく収縮していることがわかる。また、700℃加熱

後においては溶融し繊維形態を有していなかった。

一方、汎用ロックウールは700℃までほとんど収縮していないことがわかる。また、耐熱ロックウールは700℃以上の温度において高さ方向に収縮しているが、幅・奥行方向に関しては1000℃までほとんど収縮しておらず、繊維形態を維持していた。

繊維形態を詳細に観察したSEM像を図2に示す。SEM像左上には同条件で加熱された断熱材サンプルの外観写真を示している。

600℃加熱後の繊維形態について、汎用ロックウール、および耐熱ロックウールは未加熱と差がなかったが、グラスウールにおいては繊維が湾曲している様子が確認された。図3に、600℃で加熱したグラスウールA、Bについて、繊維交点を拡大

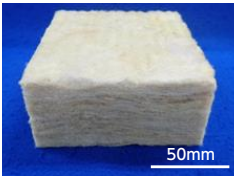
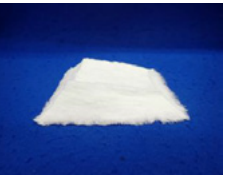
加熱条件	汎用ロックウール	耐熱ロックウール	グラスウールA	グラスウールB
未加熱				
600℃	 変化なし	 変化なし	 全体的に大きく収縮	 全体的に大きく収縮
700℃	 変化なし	 高さ方向に収縮	 溶融	 溶融
800℃	 全体的に大きく収縮	 高さ方向に収縮	—	—
1000℃	—	 高さ方向に収縮	—	—

図1 加熱前後のサンプル外観

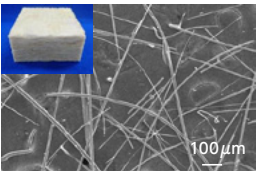
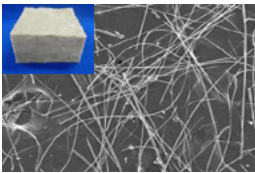
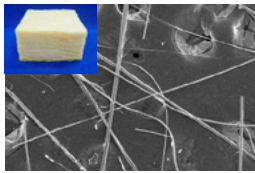
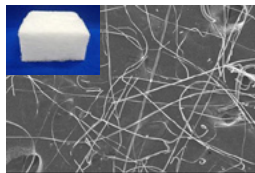
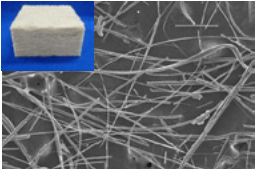
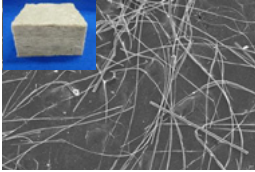
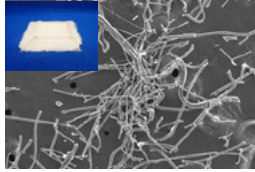
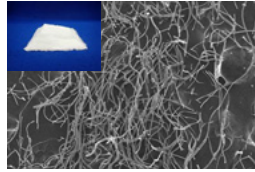
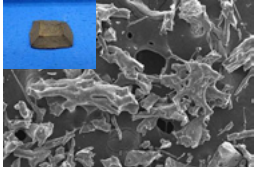
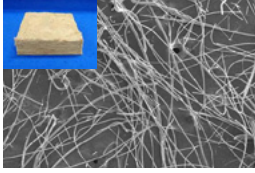
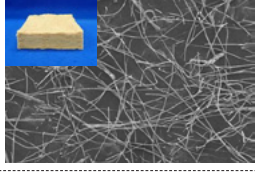
加熱条件	汎用ロックウール	耐熱ロックウール	グラスウールA	グラスウールB
未加熱				
600℃	 変化なし	 変化なし	 湾曲・融着	 湾曲
800℃	 融着	 変化なし	—	—
1000℃	—	 変化なし	—	—

図2 加熱前後の繊維形態 (SEM像)

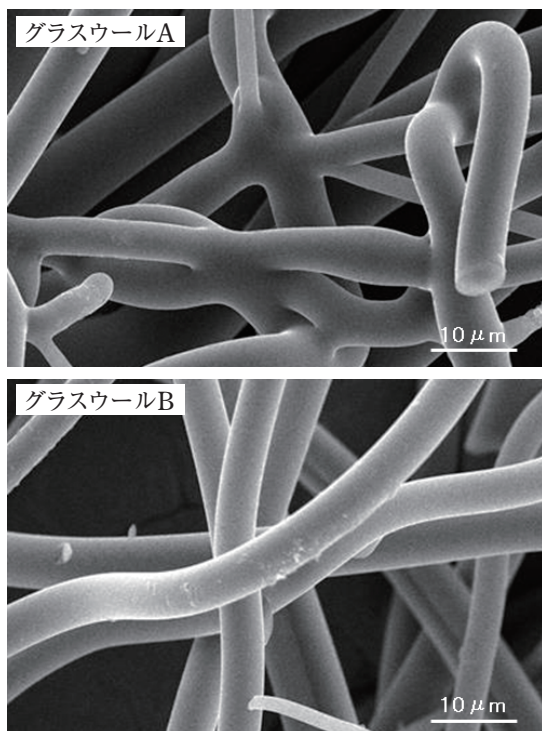


図3 600℃加熱後グラスウールの繊維交点 (SEM像)

したSEM像を示す。グラスウールAは繊維が湾曲し繊維交点が融着して一体化している様子が良くわかる。一方で、グラスウールBは繊維交点の融着は確認できなかったが、繊維が湾曲していた。

また、800℃加熱後の汎用ロックウールは繊維同士が融着しほとんど繊維の形態を有していなかったが、耐熱ロックウールは繊維形態を維持しており、未加熱の状態と大きな差はなかった。

図4には1000℃で加熱した耐熱ロックウールの

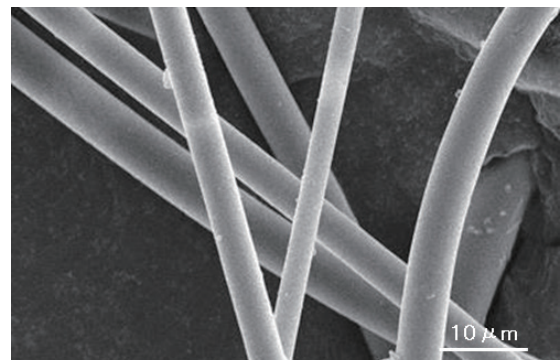


図4 1000℃加熱後耐熱ロックウールの繊維交点 (SEM像)

繊維交点を拡大したSEM像を示す。1000℃で加熱しても、繊維交点が融着している様子は確認されず、繊維形態にも湾曲などの変化はなかった。

3. 考 察

3.1 繊維質断熱材の収縮挙動と耐熱性

ロックウールやグラスウールなどの繊維質断熱材は、繊維交点の摩擦力と繊維形態によりその形状を保持している。加熱により繊維が軟化変形すると、繊維交点の距離が縮まり、断熱材として収縮する。繊維表面には、表面をできるだけ小さくしようとする表面張力が働いている。繊維が軟化し変形可能な状態になると、表面張力の影響で、繊維が太くなったり、変形したりすると考えられる。さらに繊維の軟化が進行すると繊維交点が融着し、最終的には溶融する（図5）。

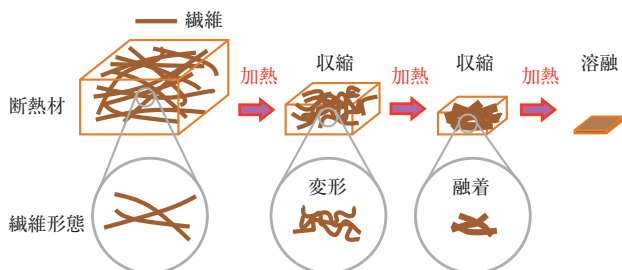


図5 繊維質断熱材の収縮挙動

繊維質断熱材の耐熱性は、繊維形態が変化せず、繊維間に空隙を持つ断熱材としての形状を維持可能な温度が高い程、優れていると言える。

耐熱性評価の結果より、グラスウールは600℃以上の温度にさらされると、繊維が湾曲することにより断熱材としての構造が維持できず、十分な断熱性能が発現できない。一方で、ロックウールは700℃の高温下においても、繊維形態が変化せずに断熱材としての構造を維持できることから、断熱性能を発現可能であることがわかった。

また、耐熱ロックウールに関しては1000℃にさらされても、繊維に湾曲が起きず断熱材としての構造を維持していたことから、汎用ロックウールよりもさらに高い耐熱性を有することが確認できた。

3.2 耐熱ロックウールの耐熱性発現メカニズム

図2で示したように、800℃以上の高温にさらされると汎用ロックウールは繊維交点が融着していたが、耐熱ロックウールにはそのような様子は確認できず、繊維の湾曲も見られなかった。

いずれのロックウールも未加熱の状態は非晶質である。非晶質とは結晶のように原子が規則的な配列を持たない物質であり、対して結晶質とは物質を構成する原子が空間的に規則性を持ち、隣りあう原子と3次元で周期的に配列しており、安定な構造である（図6）。

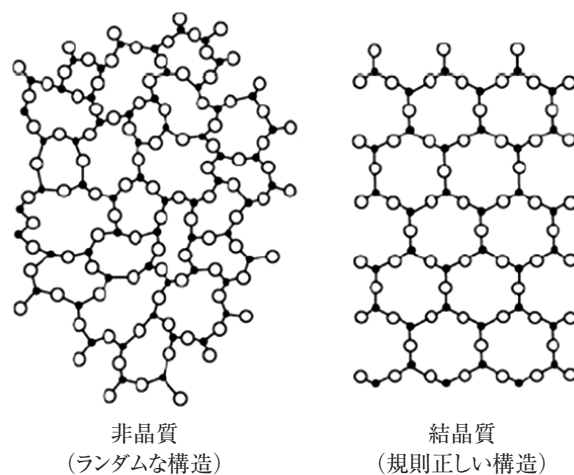


図6 非晶質と結晶質の構造イメージ

非晶質の例としては、一般的なガラスは室温から加熱すると軟化変形するが、結晶化ガラスと呼ばれる特殊な組成のガラスは、その軟化変形する温度に到達する前に結晶に変化し始め、そのために軟化変形することなく遂には微結晶の凝集体に変化することが知られている¹⁾。したがって、繊維の湾曲・融着は軟化変形する前に結晶が存在するかどうか、重要なポイントであると考えられる。

汎用ロックウールは700℃で外観変化がなく、800℃で繊維が融着していることから、700～800℃の間で繊維が軟化変形するものである。

そこで軟化変形前である700℃で加熱した繊維に結晶が存在するか、汎用ロックウールと耐熱ロックウールの繊維表面について詳細に観察した。SEM像を図7に示す。

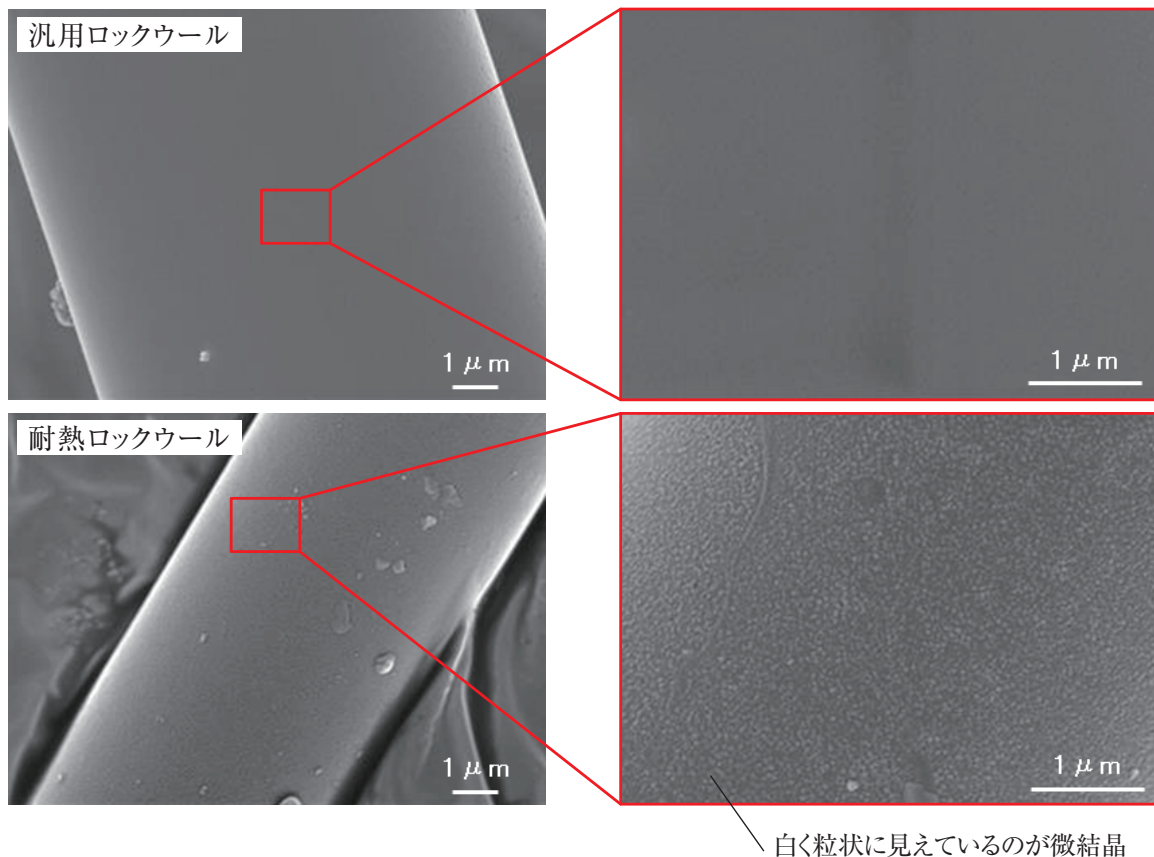


図7 700℃加熱後ロックウールの繊維表面 (SEM像)

700℃で加熱した汎用ロックウールの繊維表面が非常に滑らかであるのに対し、耐熱ロックウールの繊維表面には数nmの微結晶が観察された。

このことから、耐熱ロックウールは繊維が軟

化変形する前に微結晶が存在することで軟化が進行せず、800℃以上の高温にさらされても繊維の湾曲・融着が起きなかったと考えられる。一方で、汎用ロックウールは結晶が確認できなかったことから、一般的なガラス同様に軟化が進行し、800℃において繊維同士が融着したと考えられる(図8)。

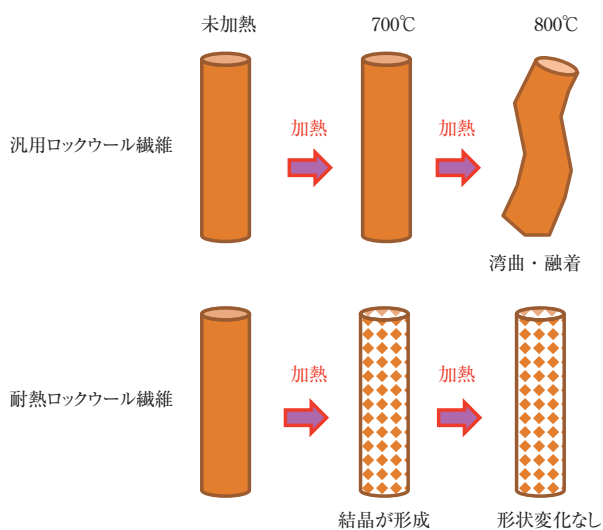


図8 耐熱ロックウールの耐熱性発現モデル

4. 耐熱ロックウールの優れた耐熱性を生かした製品「マキベエ®」

マキベエは、当社が開発した巻付けタイプの耐火被覆材である。表面には不織布を施しており、耐火材には当社の耐熱ロックウールを採用した製品である。

耐火被覆材に求められる機能は、火災時に人が避難するための一定時間の間、建物の骨格である鉄骨を守ることである。



図9 マキベエ外観



図10 マキベエ施工状況

図9にマキベエの外観を、鉄骨のはりに被覆した施工状況を図10示す。

マキベエは、はり柱などの耐火認定を取得している。耐火認定を取得するには、900℃を超える高温下においてははり柱の温度上昇を遅延させなければならない。そのためには、高温にさらされても繊維形態を維持し、断熱性能を発現し続ける必要がある。したがって、900℃以上で繊維形態を維持できる耐熱ロックウールは、耐火被覆材に非常に適した材料であると考えられる。

マキベエは、前述したような優れた耐火性能に加え、その薄さ・軽さとシンプルな施工性、および施工時・施工後の発じん量が少ないエコ・フレンドリーな当社の主力製品である。

5. お わ り に

本稿では、ロックウールの優れた耐熱性について、グラスウールと比較しながら紹介した。また、当社が開発した耐熱ロックウールは、1000℃の高温下においても繊維形態を維持することが可能であり、汎用ロックウールと比較してさらに優れた耐熱性を有すること、そのポイントは繊維の軟化変形前における結晶の存在であることを述べた。

当社グループでは多様化する市場ニーズに応えるべく、汎用ロックウールと耐熱ロックウールを使い分け、数多くのロックウール製品をラインアップしている。

これからも当社グループは、より良いロックウール製造技術・製品を追求することで、環境負荷の少ない持続可能な社会の現実に貢献したいと考えている。

参 考 文 献

- 1) 日本結晶学会誌8巻, pp.147-156 (1966).

*「マキベエ」はニチアス(株)の登録商標です。

筆 者 紹 介



持田 貴仁

研究開発本部 浜松研究所
ロックウール製品の研究開発業務に従事