

人造鉱物繊維の概要

研究開発本部 浜松研究所長 岩田 耕治

1. はじめに

ガラス繊維、ロックウール、アルカリアースシリケートウール（AES）などに代表される人造鉱物繊維は鉄鋼、石油、化学、電気、自動車、建材、航空宇宙など各産業界において耐火材、断熱材、シール材など、さまざまな用途で使用されており、必要不可欠な素材である。

当社ではロックウール「MG製品」やAES「ファインフレックス BIO®」などの繊維を製造しており、またその繊維を使用した各種二次製品を数多くラインアップしている。これらは当社の基盤技術である「断つ・保つ」を支える代表的な製品である。本稿では人造鉱物繊維の分類という視点から各種繊維の性質や製造方法、用途などを総論としてご紹介する。

2. 人造鉱物繊維とは

2.1 人造鉱物繊維の分類

人造鉱物繊維とはその名のとおり、人造的に製造された無機繊維の総称であるが、明確な定義は

なく考え方によってさまざまである。

1988年発行のIARC（国際がん研究機関）のモノグラフ43巻「Man-Made Mineral Fibers and Radon（人造鉱物繊維とラドン）」によると、人造鉱物繊維とは、「主として岩石、クレー、スラグおよびガラスから製造される繊維状物質の総称で、ガラス繊維、ロックウール／スラグウール、セラミックファイバーの3つのグループに分けられる」と定義されている。代表的な人造鉱物繊維の分類を図1に示す¹⁾。

人造鉱物繊維はその化学構造の違いから大きく人造非晶質繊維（以下、非晶質繊維）と人造結晶質繊維（以下、結晶質繊維）の2つに分類できる。非晶質と結晶質の違いを図2に示す。非晶質とは結晶のように規則的な配列を持たない物質でガラス転移を示す固体であり、対して結晶質とは純物質を構成する原子が空間的に規則的な繰り返しを持ち、隣原子と3次元で周期的に配列している。

種類や生産量も多く幅広い産業で使用されている繊維は非晶質繊維である。本稿では、この非晶質繊維を中心に述べる。

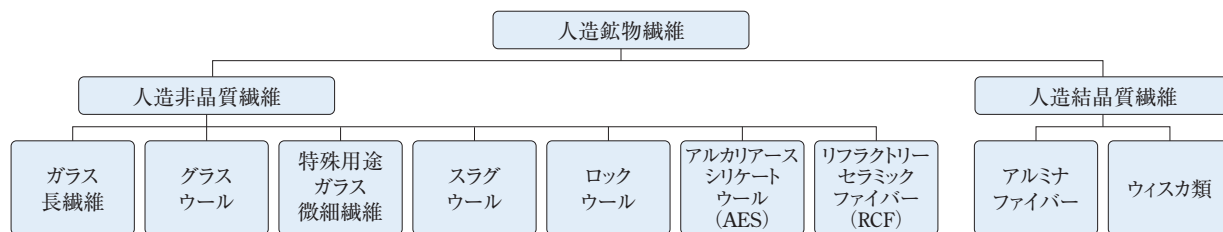


図1 代表的な人造鉱物繊維の分類¹⁾

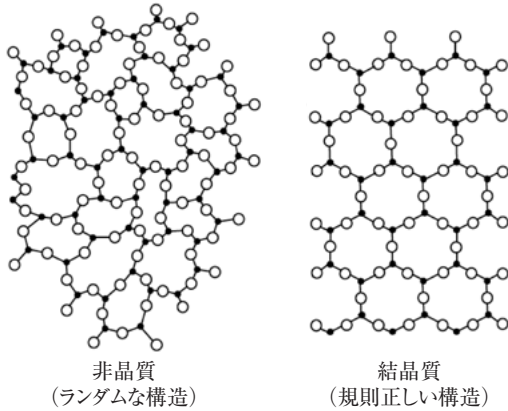


図2 非晶質と結晶質の構造イメージ

2.2 ガラス長繊維, グラスウール

ガラス長繊維, グラスウールはガラスから製造された繊維で, 主に断熱防音などの目的で建材として使われる。ガラスを原料とするものにはこの他, フィルターなど特殊用途のガラス微細繊維がある²⁾。

2.3 スラグウール, ロックウール

高炉スラグから製造した繊維がスラグウール(鉋さい綿), 天然岩石から製造した繊維がロックウール(岩綿)である。現在国内では, 高炉スラグを主原料として製造するケースが主流であるが, [ロックウール]と総称されている。

グラスウール同様, 主に断熱防音などの目的で建材として使われるほか, 耐火目的でビルや工場, プラントなど幅広い分野で使われる。

2.4 AES, RCF

AESはシリカを主成分とし, アルカリ金属(ナトリウム, カリウム)やアルカリ土類金属(マグ

ネシウム, カルシウム)を含む繊維であり, 非晶質繊維の中では比較的歴史が浅い繊維である。

RCFはアルミナとシリカが主成分の繊維であるが, IARCの発がん性分類において2B(ヒトに対する発がん性が疑われる)に分類されている。このことから, 各国で規制が進んできており, 我が国においても2015年11月に特定化学物質障害予防規則(以下, 特化則)の特別管理物質となった。

そこで, RCFの代替繊維として特化則の適用対象外となるAESが各社から販売されるようになった。当社でもRCFの代替製品として2015年にこれまでのAESの弱点を改良したAES「ファインフレックスBIO」を自社開発した。RCFの特化則に関しては, 過去にニチアス技術時報にて解説しているので本稿では割愛する^{1, 4)}。

3. 非晶質繊維の製造方法

代表的な非晶質繊維の製造方法の比較を表1に示す。非晶質繊維の製造方法は, 一般的に原料の配合-原料の熔融-繊維化の段階から成る熔融法が用いられる。製造される繊維は出発原料の違いで繊維の性質が変化するとともに, 原料の融点の違いから熔融温度も異なる。

3.1 グラスウールの製造方法

原料は珪石(SiO_2)が主原料で副原料にソーダ灰(Na_2O), ドロマイト(MgO , CaO), 長石(K_2O , Al_2O_3 , SiO_2), ホウ酸(B_2O_3)などである。その熔融物を3000~4000rpmの回転円板上に滴下し遠心力で飛散させ, 綿状に繊維化するスピナー法で製造される²⁾。

表1 代表的な非晶質繊維の原料と製造方法

種類	グラスウール	ロックウール	AES	RCF
原料	珪砂, 長石, 石灰岩, 苦灰岩, ソーダ灰, ほう砂など	高炉スラグ, 珪石, 玄武岩, コークスなど	シリカ系原料, カルシウム系原料, マグネシウム系原料など	アルミナ粉末, シリカサンド, カオリンなどの鉱物など
熔融炉	電気炉	キュボラまたは電気炉	電気炉	電気炉
熔融温度	1500~1600℃	1500~1600℃	1700℃以上	1700℃以上
繊維化法	スピナー法 火焰法	スピナー法	ブローイング法	ブローイング法

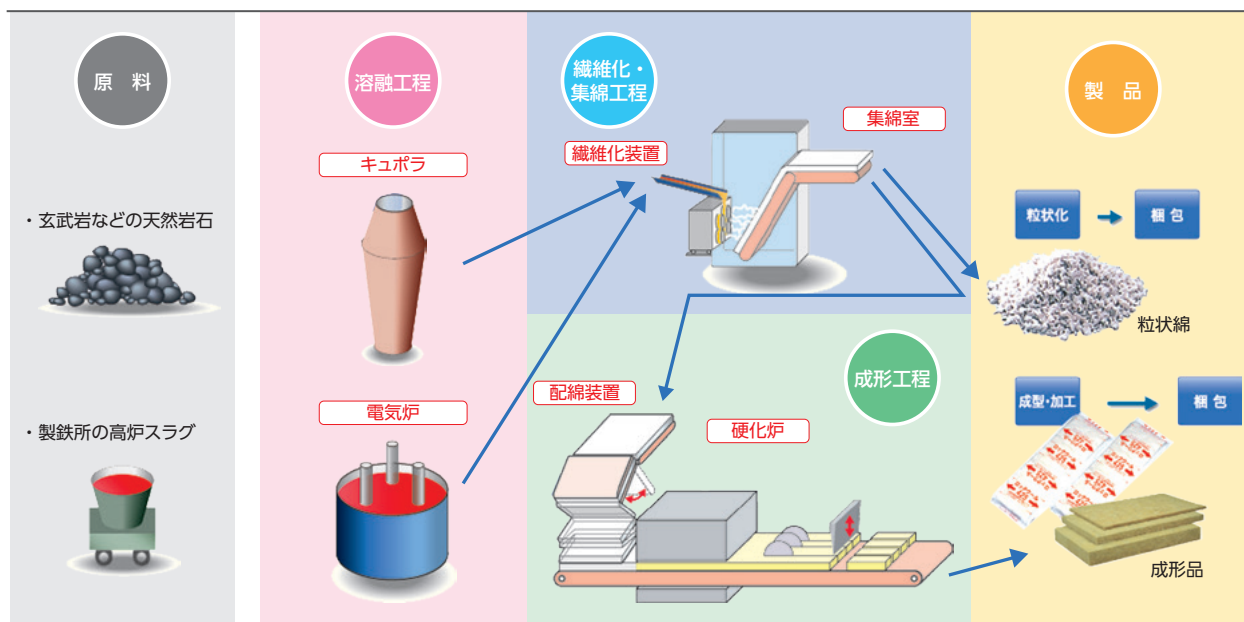


図3 ロックウール製造工程の一例⁵⁾

3.2 ロックウールの製造方法

ロックウール製品の製造工程の一例を図3に示す。工程は大きく溶融、繊維化・集綿、成形工程に分かれる。主原料は製鉄所の高炉の副産物である高炉スラグや玄武岩などの天然岩石で、これをキュボラや電気炉で1500～1600℃で溶融した溶融物を、炉底から流出させ遠心力などで吹き飛ばして繊維状にする。こうして生成されたロックウールは集綿室で集綿される。成形工程では、バインダを添加して硬化炉で固めて、ボード状、住宅用のマット状などの成形品に加工される。そのほか、解繊・粒状化した粒状綿にも加工される⁵⁾。

3.3 AES、RCFの製造方法

RCFはアルミナ (Al₂O₃)、シリカ (SiO₂) をほぼ等量に配合、混合し電気炉で溶融して炉底から流出させ、高圧空気または水蒸気で吹き飛ばして繊維化するブローイング法、または遠心力で吹き飛ばすスピナー法により繊維化される。

原料として上記アルミナ、シリカ組成にジルコニア (ZrO₂) やクロミア (Cr₂O₃) を加えた組成があり、また天然鉱物を原料とすることもある。このようにして繊維化し集綿したものをバルクと呼び、炉の充填材や二次製品用の原料として使用される。また、集綿した繊維を一定厚さのマット

にし、ニードル処理することによりブランケットを製造している⁶⁾。AESは原料が異なるだけで、製造方法はRCFと同じである。

このようにグラスウールやロックウール、AESなどは原料や溶融設備などの違いはあるが、原料を溶かして繊維化するという工程には大きな違いはない。簡単な例えをすれば、綿菓子の作り方である。ザラメが各種繊維の原料であり、ザラメを入れ溶かす部分が電気炉、割り箸が集綿装置である。

4. 人造鉱物繊維の特性

人造鉱物繊維の特性を表2に示す。化学組成は各種繊維の代表的なものを示しているが、この組成によって繊維の特性が大きく異なってくる。言い換えれば、繊維にどのような特性を与えるかによって狙う化学組成が変化し、原料の配合比を調整する。グラスウールは耐熱性や強度などさまざまな特性を狙った種類が多数存在する。

AESはシリカを主成分とし、アルカリ金属やアルカリ土類金属を含む繊維であるが、製造メーカーによってこれらの種類や比率が異なっている。それに対しRCFはアルミナとシリカがほぼ等量に配合されており、製造メーカーによっての大きな違いはない。

表2 人造鈳物繊維の特性

		グラスウール	ロックウール	AES	RCF	アルミナファイバー
化学組成 [wt. %]	SiO ₂	56~72	35~45	50~82	40~60	3~30
	Al ₂ O ₃	1~7	10~20	Al ₂ O ₃ + TiO ₂ + ZrO ₂ が6以下	30~60	70~97
	Fe ₂ O ₃ , FeO	0~4	0~10	-	-	-
	MgO	2~4	4~8	18~43	-	-
	CaO	3~8	20~40		-	-
	Na ₂ O, K ₂ O	10~18	-	-	-	-
	その他	B ₂ O ₃ など	MnO	-	ZrO ₂ Cr ₂ O ₃ など	-
非晶質/結晶質 [-]	非晶質	非晶質	非晶質	非晶質	結晶質	
平均繊維径 [μm]	4~8	3~7	3~5	2~4	2~7	
真密度 [g/cm ³]	2~3	2~3	2~3	2~3	3~4	
外観 [-]	無~白色	白色~茶色	白色	白色	白色	

このように同じ人造鈳物繊維の分類であっても、そのなかには種類や製造メーカーによる化学組成の違いがあり、これによる特性の違いがあることを知っておいていただきたい。

人造鈳物繊維の繊維径は原料を溶かした際の融液の粘性や繊維化する方法によって若干の違いがあるが、平均繊維径2~7μmである。耐熱性は繊維によって大きく異なり、各種繊維の使用温度領域が、使用箇所・用途を左右する。人造鈳物繊維の代表的な使用温度領域を図4に示す⁷⁾。

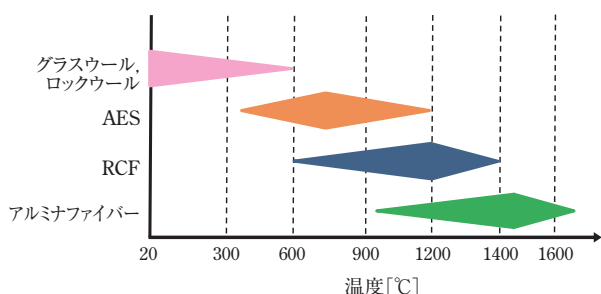


図4 人造鈳物繊維の代表的な使用温度領域⁷⁾

5. 人造鈳物繊維の用途

人造鈳物繊維の用途を表3に示す。人造鈳物繊維はその分類により耐熱性が異なるが、これにより用途も保温から断熱、耐火とより高い温度域へとなる。当社の代表的な製品であるロックウール製品およびAES製品についていくつか紹介する。

5.1 産業用ロックウール

断熱性、耐久性、防音性を活かしてプラント、発電設備や焼却設備の配管、煙道、タンクなどの保温、また騒音対策が不可欠な空港施設や工業施設等での防音にも使用され、省エネルギーおよび環境改善に大きく貢献している。用途に応じた形状が要求されることから、配管用として円筒状に成形した保温筒、タンク、煙道などの施工に適した保温帯（ベルト）、フェルト、ボードなどの製品がある（図5）。

当社では「MGベルト™」「MGマイティーロール®」「MGボード™」などの製品ラインアップがある。

表3 人造鈳物繊維の用途

種類	グラスウール	ロックウール	AES	RCF	アルミナファイバー
用途	・建築物の天井や壁の吸遮音材、断熱材 ・ボイラー、タンク、ダクトの保温保冷材	・建築物の天井や壁の吸遮音材、断熱材 ・ボイラー、タンク、ダクトの保温保冷材 ・鉄骨の耐火被覆材	・窯炉の天井、炉壁の断熱用ライニング材 ・燃焼機器の断熱材 ・高温用パイプカバー	同左	・AESやRCFと同用途で、更に高耐熱が要求される場合



図5 産業用ロックウールの製品例



図7 巻き付け工法による耐火被覆の施工例

5.2 住宅用ロックウール

ロックウールは住宅用断熱材としてもさまざまな工法に対応し広く使用されており、省エネ時代には欠かせない材料として注目されている(図6)。

当社では「ホームマット®」や防湿フィルムを製品本体に一体化させた、高気密・高断熱住宅向けの断熱材「ホームマットNEO®」などの製品ラインアップがある。



図6 住宅用ロックウール断熱材の施工例

5.3 耐火被覆用ロックウール

耐火被覆とは、主に建築物の鉄骨を火災時の熱から保護し、建築物の倒壊抑制や、避難の時間を確保するためのものである。建物の規模や階数、用途に応じて建築基準法に規定された工法、材料で施工することが義務付けられている。

ロックウールは高い耐熱性を有していることから、耐火被覆の材料として最も多く使用されている。

工法には大きく分けて、吹き付け工法と巻き付け工法の2種類がある。巻き付け工法である当社製品「マキベエ®」の施工例を図7に示す。

5.4 AES断熱材

当社のAESは「ファインフレックスBIO®」という製品名で製造販売しており、応用製品としては大きく分けて断熱材と、シール材などに用いられる紡織品がある。

断熱材用途としては一般高温炉用断熱材、窯炉の天井、壁面の断熱材、バックアップ材などで使用される。AESはバルクと呼ばれる綿状のものが、さまざまな方法で二次製品に加工される。代表的な形状はボード(図8)、モールド(図9)、ペーパー(図10)、ブロック(図11)である。

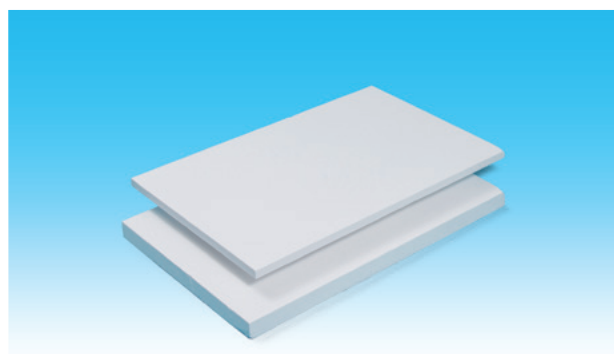


図8 ボード製品外観

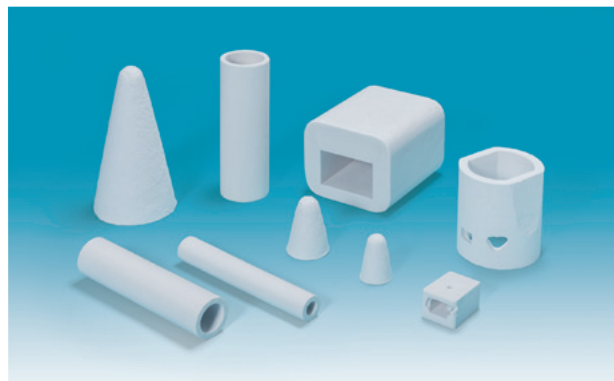


図9 モールド製品外観



図10 ペーパー製品外観

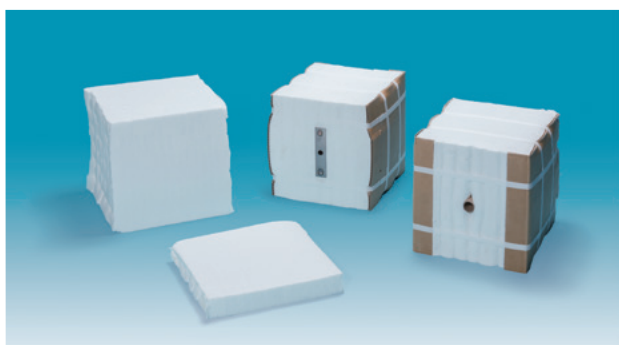


図11 ブロック製品外観

5.5 AES紡織品

紡織品の用途としては各種工業炉用断熱材、保温被覆材、遮熱カーテン、炉のドアおよびバーナーまわりのシールなどである。

当社の「ファインフレックスBIO® 紡織品」(クロス、テープ、コード、ツイストロープ、ブレードロープ)は、ガラス繊維および金属線で補強したAESを各形態に合わせ製織、編組した製品である。図12に製品外観、表4にラインアップを示した。



図12 紡織品外観

表4 「ファインフレックスBIO 紡織品」ラインアップ

TOMBO No.	製品名	構造
5685-A	ファインフレックスBIOクロス	AESウールを厚手のクロスに織った製品
5685-B	ファインフレックスBIOテープ	AESウールを厚手のテープ状に織った製品
5685-C	ファインフレックスBIOコード	AESウールのヤーンを複数本硬く撚った製品
5685-D	ファインフレックスBIOツイストロープ	AESウールのヤーンを撚り合わせた粗糸をさらに撚ったロープ状の製品
5685-E	ファインフレックスBIOブレードロープ	AESウールのバルクファイバーを中芯とし表面を被覆材で粗編みしたロープ状の製品

6. おわりに

本稿では人造鉱物繊維の分類という視点から各種繊維の性質や製造方法、使用用途などをご紹介したが、その繊維を構成する化学組成は無限大の組み合わせがあり、これからも新しい機能の開発が期待できる素材である。ニチアスでは、さらなる製品開発、技術開発に尽力し、「断つ・保つ」で社会に貢献する所存である。

*「TOMBO」はニチアス(株)の登録商標または商標です。

*「ファインフレックスBIO」、「MGマイティロール」、「ホームマット」、「ホームマットNEO」、「マキベエ」はニチアス(株)の登録商標です。

*「MGベルト」、「MGボード」はニチアス(株)の商標です。

参考文献

- 1) ニチアス技術時報 No.374, pp.8-12 (2016).
- 2) 藤木良規, 資源と素材 Vol.112, pp.199-206 (1996).
- 3) 産業衛生学雑誌 45巻, pp.178-182 (2003).
- 4) ニチアス技術時報 No.367, pp.4-7 (2014).
- 5) ロックウール工業会, ロックウール製品の特性と取扱い, 平成30年3月改訂版.
- 6) 日本高温断熱ウール工業会, 高温断熱ウール製品の取扱い, 平成30年1月改訂版.
- 7) BS EN 1094-1: 2008 Insulating refractory products.

筆者紹介



岩田 耕治

研究開発本部 浜松研究所長