

高炉スラグを主原料としたロックウール製品

Rockwool Products

Manufactured from Blast Furnace Slag as Main Raw Material

山田 政孝 YAMADA Masataka JFE ロックファイバー 製造部 技術室長
横山 秀樹 YOKOYAMA Hideki JFE ロックファイバー 営業部 営業総括室 主席部員
多田 正 TADA Tadashi JFE ロックファイバー 営業部 営業一グループ長

要旨

JFE ロックファイバーでは、高い断熱性で省エネルギーに寄与するロックウールを、高炉スラグから製造している。熔融状態のスラグの利用、カスケード方式の電気炉により、製造エネルギーを抑制しつつ、品質の安定したロックウールが高効率で製造できる。スピナーの高速化とスラグ組成の最適化により、 25 kg/m^3 と軽量で、 $30\sim 50 \text{ kg/m}^3$ のロックウールと同等の高い断熱特性が得られた。高撥水性ロックウール、入り組んだ空間の断熱層の施工を可能にした吹き込み用ロックウールを実用化した。ロックウールの省エネルギー効果と今後の役割についても紹介する。

Abstract:

In JFE Rock-fiber, rockwool products, which contribute to energy-saving society by their excellent heat insulating properties, are manufactured from blast furnace slag as raw material. Rockwool products with stable quality are produced under minimal energy consumption by charging molten slag directly to electric furnaces with cascade configuration. Lightweight rockwool board/felt of 25 kg/m^3 class has been developed by increasing spinner rotation and optimizing slag composition with same high insulating property of $30\sim 50 \text{ kg/m}^3$ class. High hydrophobic rockwool board/felt and the rockwool for loose fill thermal insulation have also been commercialized. Further, energy-saving effect and the future role of rockwool products are described.

1. はじめに

ロックウールは1880年代にヨーロッパで、日本では1938年に工業化され、高い断熱性・保温性・吸音性・耐火性を生かして、建物、工業施設、各種装置などに使われてきた^{1,2)}。近年では、住宅分野において省エネルギー目的の断熱材として使用されるようになり、CO₂排出量削減にも大きく寄与する材料として、需要が高まってきている。

当社は、1989年8月に高炉の副産物であるスラグを主原料として利用したロックウール製品の製造・販売を目的に、川崎製鉄(現JFEスチール)、松下電工(株)、大倉商事(株)および川鉄鉱業(現JFEミネラル)の4社の合弁により設立され、1990年10月から川崎製鉄 水島製鉄所(現JFEスチール 西日本製鉄所倉敷地区)内において製造を開始した。日本国内のロックウール製造販売メーカーとしては

最後発であったが、需要の伸びの高い住宅分野への集中と西日本を中心とした生産・販売活動の推進とにより着実に生産量を伸ばし、2005年度には国内第1位の生産量となった。現在、住宅用ロックウール断熱材の分野では、国内トップシェアを占めるに至っている。

本論文では、ロックウールという材料について説明するとともに、JFEロックファイバーの製造工程の特徴、新しい開発成果について述べる。また、ロックウールの省エネルギー・CO₂排出量削減への今後の役割に関して紹介する。

2. ロックウールの概要

ロックウールとは、ケイ酸と酸化カルシウムを主成分とする高炉スラグ、玄武岩、その他の天然鉱物を主原料とし、これを $1500\sim 1600^\circ\text{C}$ に熔融した上で、遠心力、圧縮空気などで吹き飛ばして繊維化した人造の鉱物繊維である。日本では主原料に鉄鋼スラグを用いるのが主流となっており、原料によらず総称して「ロックウール」と呼ぶのが一般的

表1 ロックウールの化学組成と特性
Table 1 Chemical composition and property of rockwool

(a) Chemical composition (mass%)					
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO
40-50	10-20	0-3	30-40	3-8	0-1

(b) Standard of rockwool fibre in accordance with JIS A 9504 "Man made mineral fibre thermal insulation materials"	
Item	Standard value
(1) Classification by emission rate criteria of formaldehyde	F☆☆☆☆ (None or Lower than 5 μg/m ² h)
(2) Range of product density (kg/m ³)	40-150
(3) Thermal conductivity (W/(m·K)) at material mean temperature 70°C	Lower than 0.044 at 150 kg/m ³
(4) Hot contraction temperature (°C)	Higher than 650 at 150 kg/m ³
(5) Mean fibre diameter(μm)	Lower than 7
(6) Shot content at size of shot ≥500 μm (%)	Lower than 4

(c) Other property	
Item	Typical property
(7) Tensile stress of one fibre (N)	500-1 000
(8) True specific gravity	2.5-3.0
(9) pH by solution test	Alkalescence from neutral
(10) Crystal structure	None

である¹⁾。

ロックウールの一般的な化学組成および物理的特性を表1に示す。特長としては、耐熱性の高い鉱物を主原料としているため、住宅などに使用される経済性の高い断熱材料のなかでも最も耐熱性が優れている点があげられる。

一方、遠心力などの外力を使用する製法上、繊維化に際しショットと呼ばれる未繊維化スラグが製品内に混在する。繊維系断熱材は、繊維により内部空間を細かく仕切り、空気対流による熱移動を抑制することで、高断熱性を得ている。

したがって、ロックウールの軽量化・高断熱化を図る上で、ショットを低減させ、細繊維化させることが重要である。

近年、アスベスト（石綿）による健康影響が深刻な社会問題となり、それとともない石綿と外観が似通っているロックウールなどの繊維状物質の健康被害が議論されるようになった。一般に、繊維状物質が呼吸器系に取り込まれる吸入性繊維サイズは直径が3μm未満で、アスペクト比（長さ／直径比）が3以上であり、この吸入性繊維のうち、石綿のような発がん性繊維に関与するサイズは直径1μm未満でアスペクト比が5以上といわれている³⁾。

ロックウールの平均直径は3~5μmと、石綿と比較して数十~数百倍太く、体内へ吸入されにくいいため、WHOの下部機関であるIARC（国際がん研究機関）では、2001年にロックウールを「発がん性に分類しない評価の“グループ3”」に分類している。この分類には、お茶などが含まれ

ている⁴⁾。

3. JFEロックファイバーの製造工程と特長

図1にJFEロックファイバーにおける製造工程の概略を示す。当社の製造工程は、主原料である高炉スラグを加熱し、成分調整する電気炉とウールを小塊状に製造する粒状綿ラインおよびウールを板状に成形・硬化して加工する成形品ラインの二つの製造ラインから構成されている。

3.1 原料受入れと電気炉

JFEロックファイバーの製造における最大の特徴は、工場が製鉄所敷地内に位置しているため、主原料である高炉スラグを1400℃近くの高エネルギー状態で利用できることである。高炉スラグをホットチャージで使用し、粒状綿と成形品の2品種を製造している工場は、世界では当工場だけである。

高炉スラグは、製鉄工程の高炉のスラグ専用取出し口から、60トン鋼に溶融状態で受け入れられる。鉄道運搬により、ロックウール工場に搬送後、数回に分湯しながら、電気炉に供給される。電気炉では、供給された約1400℃の溶融スラグを1500℃以上に昇温し、成分調整などの処理が行われる。高炉スラグをホットチャージで使用できるため、エネルギー消費が少ない条件で製品製造が可能となる。

二つめの特徴は、上流に1次炉、下流に2次炉を配置した、電気炉2基によるカスケード方式を採用している点で

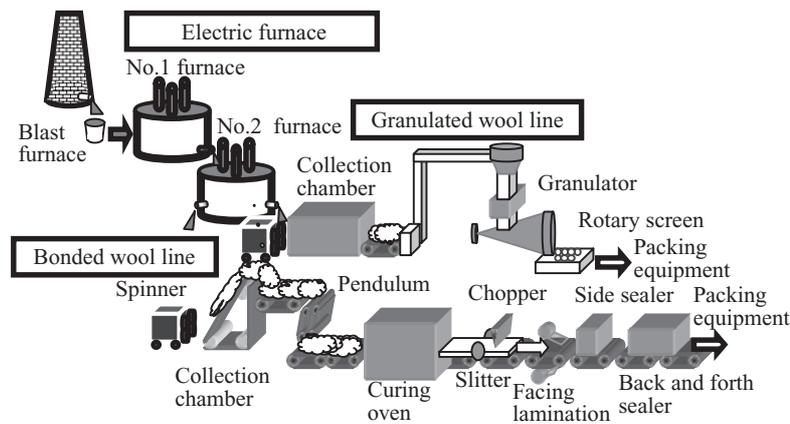


図1 JFEロックファイバーの製造工程

Fig.1 Manufacturing process of rockwool products in JFE Rock-fiber

ある。1次炉は、スラグの昇温と成分調整を行う予備処理炉であり、2次炉は、成分調整された熔融スラグを粒状綿ラインと成形品ラインに1500~1600℃の高温で安定的に供給する保熱炉である。当該方式により、スラグ受け入れから製綿までの滞留時間を確保できるため、熔融スラグの温度確保や成分調整が容易に行え、高生産状況下でも、安定品質のスラグを供給できる。

3.2 製造ライン

図2にスピナーによる製綿（繊維化）の状況を示す。2次炉から出湯された高温熔融スラグは、スピナー（製綿機）の回転ホイール表面に供給され、遠心力により飛ばされてロックウール繊維となる。スピナーは、4個のホイールによる垂直タンデム方式で構成され、繊維化を助長させるために、ホイール胴長方向に圧縮エアノズルが装備されている。JFEロックファイバーでは、製品の品質向上のために一般ホイール周速の1.5倍の世界最速スピナーを粒状綿、成形品の両ラインに導入している。

粒状綿ラインでは、生成されたロックウールをスピナー前方にある集綿室で捕集し、解繊機で用途に応じた大きさにカット後、粒化機により粒状綿を製造している。粒状綿は、吸音板の原料や耐火被覆材などに使用されている。

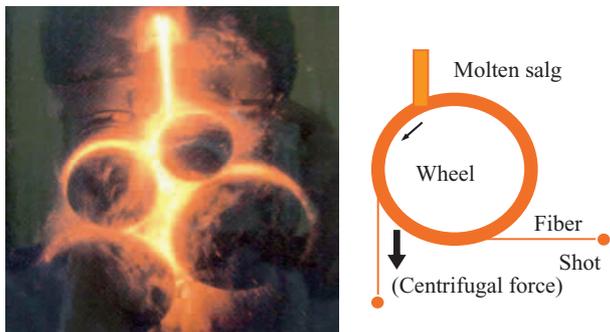


図2 スピナーによる製綿状況

Fig.2 Photograph and basic concept of manufacturing rockwool using a spinner

成形品ラインでは、スピナーによる繊維化と同時に繊維を結合する接着剤をスピナー周辺ノズルから噴霧した上で、集綿室で捕集する。捕集後、ペンジュラムと呼ばれる折重ね装置により積層され、硬化炉内で一定の密度・厚さに熱硬化され、ボード状、フェルト状などの製品になる。

4. ロックウール製品の代表的な利用方法

ロックウールは住宅用、産業・工業施設、ビルなどの一般建築物、農業用など、さまざまな用途に使用されている。

4.1 住宅用ロックウール断熱材

住宅用断熱材は、内外の温度差を維持する断熱性能と健康に影響を及ぼさない安全性が最も重要である。さらに、防湿性、吸音性、防火性、施工性、価格や省エネ効果といった経済性などが求められる。ロックウールは、上記を高レベルで満たし、高断熱・高気密住宅に大きな役割を果たしている。

代表的な製品は、30~50 kg/m³程度の軽量のボード状ロックウールの周囲をシート被覆した「マット」と呼ばれる製品であり、主に戸建住宅の壁・天井・床に使用されている。

JFEロックファイバーでは、施工者の作業環境改善と施工工数削減の観点から、ロックウール表面の全面をシートで被覆して発じんを抑制した全面パック製品、床から天井までの壁を1枚で施工でき、工数を2割程度削減できる長尺製品などの市場化をいち早く進め、大手住宅メーカーなどに採用されている（写真1）。

4.2 産業・工業施設用ロックウール

ロックウールの高い耐熱性能を生かし、安全性・信頼性が重視されるプラント・施設などの保温・保冷・耐火・吸音材に使用されている。主な用途としては、パイプラインの保温・保冷、火力発電所などのボイラー、各装置、煙道



写真1 長尺マットの室内壁への施工状況

Photo 1 Installation situation of folded long mats on inside-wall for residential insulation

の保温、石油化学プラント塔槽の保温・保冷、船舶の耐火隔壁、機械室の吸音などがあげられる。

最近では、JFE スチールの酸素工場にて、保温用充填材として、ロックウール粒状綿 740t が施工・使用されている。

4.3 耐火被覆材用ロックウール

耐火被覆材は、鉄骨を火災時の熱から守り、建築基準法に規定された30分～3時間の耐火性能を満たすことで、高層建築物などの火災時における人命の保護、建築物の倒壊防止に寄与する。

現在の主流の工法は、吹付けロックウール耐火被覆工法であり、ロックウール粒状綿をセメントとともに専用の吹付け機で建築現場の鉄骨などの下地に吹付ける工法である。製品および工法は、国土交通大臣から不燃認定されており（不燃認定番号：NM-8601）、施工性・経済性の面から広く使用されている。

JFE ロックファイバーの材料は、ホテルなどの高層建築物、空港のターミナルビルおよび複合商業用施設などで使用していただいている。このほかに、巻付けロックウール耐火被覆工法も急速に普及してきている。

5. ロックウールの開発製品

5.1 スーパーファインロックウール

一般の住宅用ロックウールの断熱性能は、 $30\sim 50\text{ kg/m}^3$ 程度の密度で、 25°C における熱伝導率は $0.038\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 以下⁵⁾である。JFE ロックファイバーでは、密度 25 kg/m^3 で熱伝導率 $0.038\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 以下の軽量高性能断熱材（スーパーファインロックウール）を開発した。

軽量高性能断熱化には、低ショット化および細繊維化が必要であるが、その実現策として、スピナーの高速化とスラグ組成の最適化の適用により、 25 kg/m^3 と軽量で、 $30\sim 50\text{ kg/m}^3$ のロックウールと同等の高い断熱特性が得られた。

5.2 高撥水性ロックウール

日本の住宅における断熱手法は、充填断熱と外断熱工法



写真2 ロックウール吹込み用断熱材の施工状況

Photo 2 Installation situation of loose fill thermal insulation of rockwool

に大別され、最近では、断熱材を構造体の外側に設けて安定した断熱性能を実現する外断熱工法が広まりつつある。この場合、断熱材を屋外で使用するため、防火性能と雨水などによる断熱性能が低下しないことが新たに要求されている。

JFE ロックファイバーでは、特殊なシリコン系撥水材を添加し、より撥水性を高めたロックウールを開発した。市販の撥水処理を施した繊維系断熱材と比較し、製品の撥水性は、吸水率評価で十分の一程度と極めて優れた性能を有しており、外断熱用断熱材などの用途として使用されている。

5.3 住宅用ブローイング材

ブローイング工法とは、数%の接着材を含有した粒状綿を専用装置で吹き込み、柱や梁などで入組んだ空間でも隙間なく断熱層の施工を可能とした工法である（写真2）。断熱基準の厳しい北海道などの寒冷地では、熱損失を最小限にするために積極的に採用されている。材料としてはロックウールのほか、グラスウールやセルロースファイバーがある。

JFE ロックファイバーでは、天井、界床用ブローイング工法に関して2001年1月に、壁用ブローイング工法に関して2006年4月に、(財)建築環境・省エネルギー機構 (IBEC) の断熱性能に関する評定を取得し、北海道地区およびJFE ロックファイバーの事業所がある中国・四国地区を中心に販売・供給している。

6. 省エネルギー・CO₂ 排出量削減における住宅用ロックウールの役割

現代社会の住宅においては「快適」、「環境」、「省エネルギー」の視点が不可欠な時代である。冷暖房機が普及し快適な暮らしが当然となった結果、家庭からのCO₂排出量は年々増加する傾向にある（図3）^{6,7)}。地球温暖化防止、およびエネルギー消費の抑制のためには、住宅の省エネルギー化が不可欠と認識されつつある。住宅の省エネルギーの実

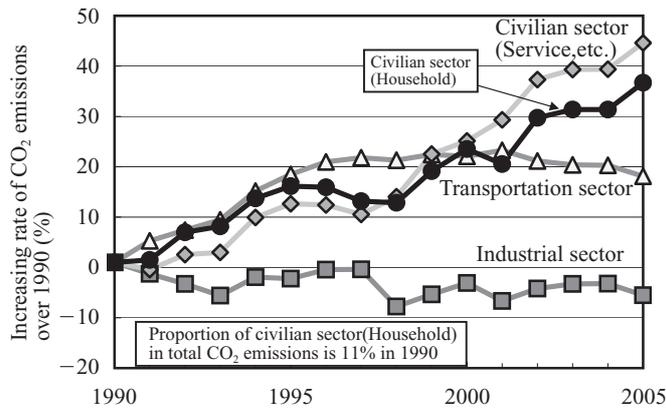


図3 部門別 CO₂ 排出量の増加率 (対 1990 年度比)

Fig.3 Increasing rate of CO₂ emissions by sector (as compared with 1990)

現には、躯体の高気密・高断熱が必須条件であり、これに加えて高効率給湯器などの省エネルギー設備機器を使用することが求められる。最近、次世代省エネルギー基準より省エネルギーな住宅として「パッシブハウス東京1号住宅」が、高気密健康住宅研究所の企画により、建設されている。この住宅には、ロックウールが、天井 (100 mm)、充填断熱 (140 mm) + 外張断熱 (60 mm) に使用され、その他に高性能サッシ・熱交換換気システムが採用された。最終的な Q 値 (損失係数) は、 $0.904 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ となり⁸⁾、この住宅のエネルギー消費量は、次世代省エネルギー基準 (Q 値 $2.7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$) と比較して約 1/3 で済むことになる。参考までに、この住宅の年間冷暖房費を試算した結果、6.4 万円であった。このように、ロックウールは、その特性を生かし優れた設備と組み合わせて使用することで省エネルギー、CO₂ 削減に貢献している断熱材である。

7. おわりに

JFE スチールグループとして、高炉スラグを有効利用し

て製造するロックウールの概要とその製品に関して、製鉄所内に位置する独自の優位技術も含めて紹介した。高炉の副産物であるスラグを主原料に使っているロックウールは、省エネルギーに寄与するほか、リサイクル社会にも貢献した製品といえる。今後も、さらなるお客様のニーズに対応した製品の開発・販売の推進により、いっそうの省エネルギーおよび CO₂ 排出量削減に寄与し、環境負荷軽減社会の構築に貢献して行きたいと考えている。

本論文作成にあたり、ロックウール工業会、「パッシブハウスの考え方に基づいた省エネルギー住宅の企画と施工」に関しては、高気密健康住宅研究所ならびにマイスターハウス殿の関係各位から多大な尽力をいただきました。ここに記して、関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) ロックウール工業会. ロックウール製品の取扱い. 2003-10.
- 2) ロックウール工業会. ロックウール 50 周年記念誌. 1999-06.
- 3) ロックウール工業会. 環境委員会. ロックウール製造作業者のための粉じん衛生教育テキスト. 1997-09.
- 4) IARC. Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. 2002, vol. 81, "Man-made vitreous fibres"
- 5) (財)住宅金融普及協会. 木造住宅工事共通仕様書 (解説付) <住宅金融公庫基準適合仕様確認書付>. 2003 年度版.
- 6) 全国地球温暖化防止活動推進センター HP. <http://www.jccca.org/>.
- 7) 温室効果ガスインベントリオフィス
- 8) 新建ハウジングプラス 1. 2007-09.



山田 政孝



横山 秀樹



多田 正