

グラスウール廃材再原料化装置の開発

Development of Recycling Equipment for Glass Wool Waste

山本 康之* 飯野 公夫* 平 博 司**
YAMAMOTO Yasuyuki IINO Kimio TAIRA Hiroshi

現在、グラスウール廃材は、建設現場および生産工場から年間約20万トン発生しているが、そのほとんどが産業廃棄物として処理されている。グラスウールにはバインダとしてフェノール樹脂が使われているため、溶解炉に再投入すると熔融ガラスの発砲、色調変化等により、ガラスの品質を低下させるとともに操業を不安定にするため、ガラス原料の一部としてしか使用されず、大量に再利用できないのが現状である。

そこで、当社ではグラスウール廃材をガラス原料に再生する再原料化装置の開発を行った。本装置は、酸素燃焼により形成される高温火炎中にグラスウールを吹き込み、フェノール樹脂を急速に燃焼除去する方式である。熔融ガラスは炉内に付着させ、炉下部の水封部に滴下させて水砕ガラスとして回収する。試験設備では、ガラス回収率97%で安定処理できることを確認した。また、回収ガラスの Ignition loss は0.2%以下に抑えることができ、品質的にも問題がないことを確認した。

Approximately two hundred thousand tons per year of glass wool waste are disposed from the construction site and the production factory of glass wool. In recycling of glass wool waste, phenolic resin included in glass wool deteriorates glass quality and makes the operation of a smelting furnace uncertain. Therefore a large quantity of glass wool waste is disposed of as industrial waste.

Then we have developed the glass wool waste recycling equipment using oxygen-fuel combustion. On this equipment, the glass wool is blown into the high temperature flame and the phenolic resin is burnt rapidly. The glass part in the glass wool is quenched in the water tank, and is collected. We confirmed that the glass wool is disposed stably by using this equipment. Further, it was proved that the glass collection rate was 97% and the ignition loss was less than 0.2%.

1. はじめに

現在、グラスウールの生産工場が発生する端材および不良品の一部は、二次製品、または前処理等を施された後ガラス原料として再利用されているが、そのほとんどは産業廃棄物として排出・処理されている。そこで今後はガラス原料としての再利用率を高め、トータルコストの低減を図ることがグラスウールメーカーでの急務の課題となっている。また、さらに視点を工場外に移せば、現在、建設および解体現場からグラスウール廃材(市中屑)が大量に発生し、グラスウール生産工場から発生する工場屑を併せると年間20万ト

ンにもなり、そのほとんどが産業廃棄物として処理されている。環境保全・資源有効利用の気運が高まる中、将来的にグラスウールが建設リサイクル法の対象品目に組み込まれる可能性が高く、グラスウール廃材の分別技術および再資源化技術などの開発が急務となっている。

そこで当社では、グラスウール生産工場が発生する工場屑を対象にした再原料化装置の開発を行うこととした。グラスウールの原料であるガラス繊維の表面にはフェノール樹脂が被覆されており、再原料化に際してはこれを除去することが最も重要な課題である。従来、これら有機物は燃焼・加熱によって分離除去が行われているが、フェノール樹脂の分解温度(400~900℃)とガラス繊維の軟化点(800~900℃)が重

* 開発・エンジニアリング本部山梨研究所燃焼技術センター
** メディカル事業本部 SI 事業部技術部

なっているために、溶融ガラス中に有機物が取り込まれるという問題がある¹⁾。残留カーボンが2~3%以上の場合、溶解炉に再投入すると溶融ガラスの発泡、色調変化等によりガラス品質に悪影響を及ぼすことが大きな問題であった^{2,3)}。

当社ではこれらの課題を解決し、高収率で再原料化を可能とする新しいシステムを開発した。まず、縦型円筒炉を用いて酸素バーナによるグラスウール処理性能および燃焼室負荷の影響について検討した。その結果に基づき、実機を想定した処理炉を設計・製作し、運転安定性および回収ガラスの品質について評価した。その結果を以下に報告する。

2. グラスウール再原料化装置の概要

Fig. 1に再原料化装置のプロセスフローを示す。一般的に、グラスウールの生産工場には解砕機が備えられているため、本装置ではグラスウールを解砕した状態で受け入れ、チューブミルで粉砕し、処理炉でフェノール樹脂を燃焼除去した後、ガラス分を水砕および粉体ガラスとして回収するシステム構成である。

Fig. 2に、開発した燃焼処理技術のコンセプトを示す。本技術では、酸素燃焼を使うことによって高温・高酸素濃度雰囲気下の火炎を形成させ、その火炎中にグラスウール粉体を分散させるように噴射する。それにより、フェノール樹脂が急速に揮発・燃焼するため、ガラス分が軟化する前にフェノール樹脂の大部分が除去される。ガラス分については、火炎中で溶解され、処理炉の下部に設けた絞りに付着させて、その下部に設置した水砕装置にて水砕ガラスとして回収する。

3. 酸素バーナによるグラスウール処理性能

3.1 試験設備

3.1.1 酸素バーナの構造

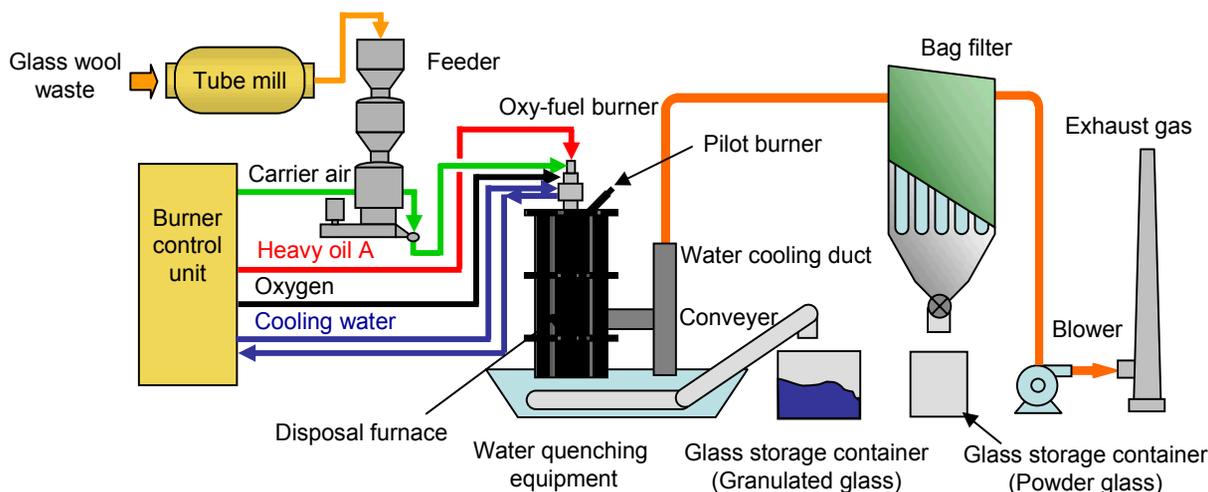


Fig. 1 Schema of recycling equipment for glass wool waste.

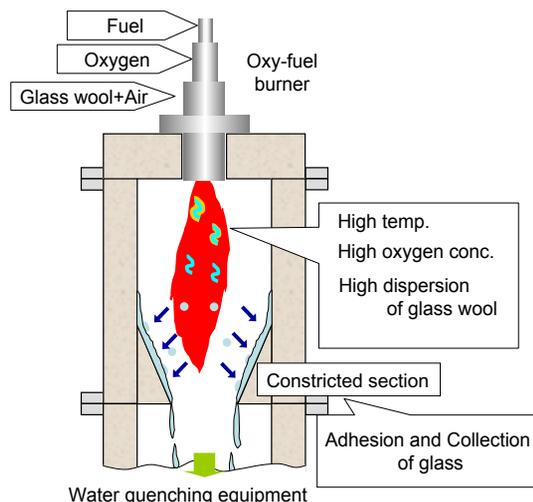


Fig. 2 Concept of treatment method.

Fig. 3にグラスウール処理用酸素バーナのノズル構造を示す。本バーナは、水冷式で液体燃料を純酸素で燃焼させるタイプである。液体燃料は、圧力噴霧式ノズルから噴射させ、その周りの環状スリットから旋回流として1次酸素を噴出させる。このノズル構造により、燃料の霧化を促進するとともに燃料と酸素を急速に混合させ、高負荷で燃焼できるようにした。なお、本試験では、液体燃料にA重油を用いた。グラスウール粉体は、1次酸素噴出スリットの外側から火炎中に吹き込まれ、さらに、その外側からグラスウール流を囲み込むように2次酸素を供給し、火炎からガラス

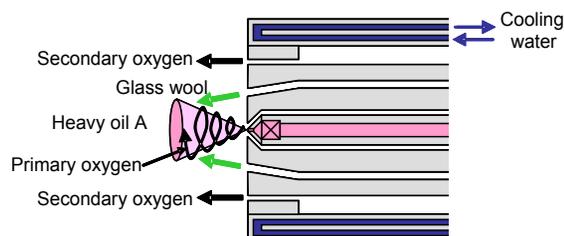


Fig. 3 Nozzle structure of oxy-fuel burner.

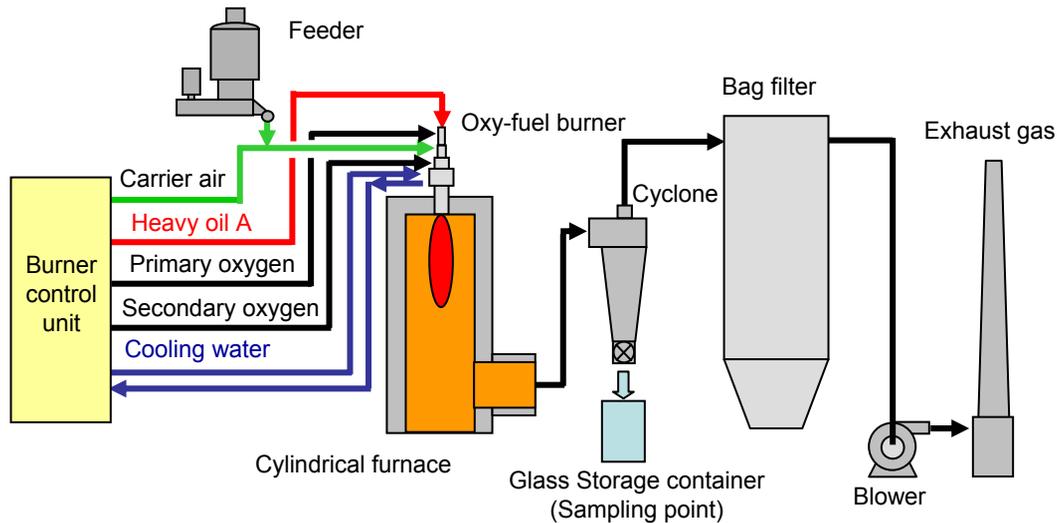


Fig. 4 Schematic flow of experimental equipment.

Table 1 Experimental conditions.

Experiment item	Heavy oil A (L/h)	Phenolic resin content (%)	Glass wool feed rate (kg/h)	Thermal input ratio of Heavy oil A to Phenolic resin (-)	Heat load (MJ/ (h · m ³))
Influence of glass wool feed rate	17.8	3	118,223,328		
	17.8	8.4	125,236,346		
	17.8	10.2	127,240,353		
Influence of heat load	6.7 ~ 14.8	8.4	108 ~ 240	5.5/4.5	3600 ~ 9800
	7.5 ~ 17.8	8.4	187 ~ 353	4.5/5.5	5000 ~ 12000

ウールが逸脱しないようにした。

3.1.2 試験装置

Fig. 4に試験装置のフローを示す。炉体は縦型の円筒形で、炉上部に酸素バーナを設置し、下向きに燃焼させるようにした。A重油と酸素は、操作盤を介して酸素バーナに供給した。グラスウール粉体は、フィーダーから定量供給し、空気気で気流搬送して酸素バーナに供給した。グラスウールは、火炎中でフェノール樹脂が燃焼除去される。溶融したガラス分は、燃焼排ガスとともに炉外に排出され、サイクロン及びバグフィルターで回収される。

3.2 試験方法および条件

試験は、予め炉内温度を600℃程度まで予熱した後、A重油および酸素を所定流量に調整し、グラスウールを供給して試験を開始した。グラスウールの処理特性をサイクロンで回収したガラス分の Ignition loss (灼熱減量の割合) から評価した。

Table 1 及び Table 2 に試験条件およびグラスウール性状をそれぞれ示す。グラスウールの搬送空気量は 40Nm³/h とした。酸素供給量は、酸素比が1になるように調整した。グラスウールの低発熱量は、被覆されているフェノール樹脂の発熱量である。

本試験では、単位燃料量あたりのグラスウール処理

Table 2 Property of glass wool.

	Phenolic resin (wt%)	3	8.4	10.2
	Glass (wt%)	97	91.6	89.2
Low Calorific value (MJ/kg)		0.79	1.87	2.39

能力を把握するために、A重油流量を固定してグラスウール供給量を変えた。また、フェノール樹脂含有率は、製品によって異なり、処理性能に影響することが考えられるため、フェノール樹脂含有率の異なる三種類のグラスウールを用いて試験した。

また、処理炉を設計するには、適正な燃焼室負荷を把握する必要があることから、燃料とグラスウールの供給量を変えて試験した。燃料とグラスウールに被覆されているフェノール樹脂の投入熱量比(以下、燃料/グラスウール投入熱量比と記す。)は、4.5/5.5と5.5/4.5の二条件とした。グラスウールは、フェノール樹脂含有率8.4%のものを使用した。

3.3 試験結果および考察

3.3.1 酸素バーナのグラスウール処理能力

Fig. 5にグラスウール供給量と Ignition loss の関係を示す。実施した供給量の試験範囲では、Ignition loss は0.17%以下であり、グラスウールの原料カレットとして求められる0.3%より十分低い数値に抑えられた。

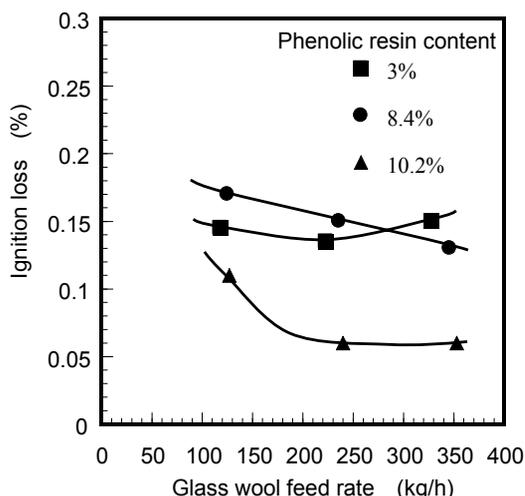


Fig. 5 Relationship between glass wool feed rate and ignition loss.

フェノール樹脂含有率の影響については、フェノール樹脂含有率8.4%と10.2%では、グラスウール供給量が増加すると、Ignition lossは低下する傾向にある。フェノール樹脂含有率3%では、グラスウール供給量を増加すると、Ignition lossは低下するが、極小値を取った後、増加する傾向を示した。これは、フェノール樹脂の含有率が高くなると、フェノール樹脂自身の燃焼熱量が大きくなるため、火炎温度が高くなりフェノール樹脂が急速に燃焼したためと考える。逆に、フェノール樹脂の含有率が低い場合には、グラスウール中のガラス分に熱を奪われ、フェノール樹脂が急速に揮発されなくなるため、Ignition lossが高くなったものと考えられる。

本酸素バーナの処理能力としては、全てのグラスウールに対応させるとした場合、A重油17.8L/hに対してグラスウール供給量は200~250kg/h程度が最適と考える。

3.3.2 燃焼室負荷の影響

Fig. 6に燃焼室負荷とIgnition lossの関係を示す。燃料/グラスウール投入熱量比が4.5/5.5と5.5/4.5の両条件とも燃焼室負荷を上げることによってIgnition lossは低下する。これは、燃焼室負荷を高めることによって炉内温度が上昇すること、および火炎が長くなるために火炎中におけるグラスウールの滞留時間が長くなることによると考える。

燃料/グラスウールの投入熱量比が4.5/5.5の条件の方が、燃焼室負荷に対してIgnition lossが高くなる傾向にある。グラスウールを被覆しているフェノール樹脂は、火炎中で熱分解されて気化し、気相で燃焼するため、分解温度が燃焼性に大きく影響する。フェノール樹脂の分解温度(400~900℃)は、燃料の沸

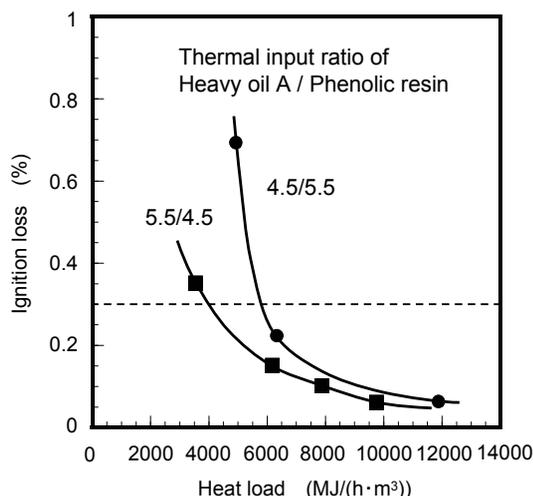


Fig. 6 Relationship between heat load and ignition loss.

点(350℃)に比べて高いために燃焼性が劣る。また、同じ燃焼室負荷の場合、燃料/グラスウール投入熱量比が小さい方が、供給されるガラス分も多くなり、ガラス分を昇温するのに必要な熱量が増加する。これらの要因により、燃料/グラスウール投入熱量比が小さくなると、火炎温度の低下およびそれに伴うフェノール樹脂の気化速度の低下によってIgnition lossが高くなったものと考えられる。

ガラス原料の品質としてIgnition lossは0.3%以下にする必要があることから、燃焼室負荷は、燃料/グラスウール投入熱量比5.5/4.5では4000MJ/(h·m³)以上、4.5/5.5では6000MJ/(h·m³)以上にする必要がある。

4. 炉内回収型処理炉におけるグラスウール処理特性

4.1 試験設備

試験は、基本的にFig. 4に示した試験装置を用い、炉体部のみを変更して実施した。Fig. 7に炉体構造を示す。本設備のグラスウール処理量は250kg/hであり、工場屑を対象とした場合の実機に相当する規模である。炉体は円筒形で、中間部に絞り部を備えた形状である。炉の下部に水封部を設置し、絞り部から滴下する溶融ガラスを水砕して貯められるようにした。

炉内状況をモニタリングするために炉内壁面に熱電対を取り付け、軸方向に6点測定できるようにした。また、絞り部および水封装置に覗き窓を取り付け、観察できるようにした。

4.2 試験条件および方法

Table 3に試験条件を示す。使用したグラスウールのフェノール樹脂含有率は6.8%である。グラスウールは、実機と同様のチューブミルで15.5μmに粉砕

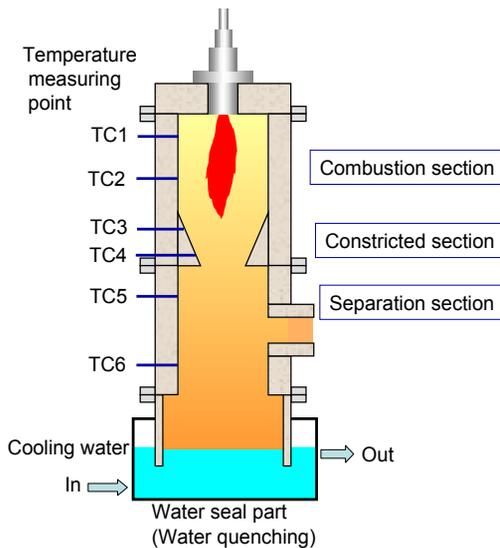


Fig. 7 Furnace structure.

Table 3 Experimental conditions.

Heavy oil A flow rate	(L/h)	18
Oxygen flow rate	(Nm ³ /h)	55
Glass wool feed rate	(kg/h)	250
Carrier air flow rate	(Nm ³ /h)	40
Heat input	(MJ/h)	1026
Heat input ratio of heavy oil A / phenolic resin	(-)	6/4

したものを用いた。

試験は、予め炉内温度を 1400℃程度まで加熱して炉体が定常状態に達してから行った。

4.3 試験結果および考察

4.3.1 処理炉の運転状況

Fig. 8 に炉内壁温度およびグラスウール供給量の経時変化を示す。グラスウールを供給し始めると炉内壁

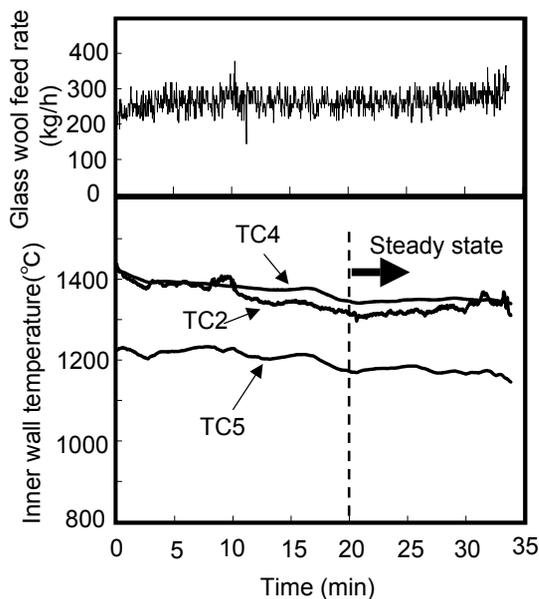


Fig. 8 Glass wool feed rate with time and inner wall temperature with time.

温度は低下し始めるものの、約 20 分でほぼ定常状態になっており、安定して運転できていることが分かる。

本設備は、火炎中で熔融したガラスを炉壁に付着させ、絞り部から水封部に滴下させる形式であり、安定的に付着ガラスを滴下させるためには、炉壁温度をガラスの軟化点 (800~900℃) より十分高く保つ必要がある。Fig. 9 に炉内壁温度分布を示す。バーナから 400mm より下流では、炉内壁温度は 1350~1370℃となっており、炉内壁全体がガラスの軟化点より十分高く保たれており、Fig. 10 に示すように安定してガラスが滴下されることを確認した。

Table 4 に投入したグラスウール中のガラス分についての物質収支を示す。投入したガラス分の内、90% が水封部にて水砕ガラスとして回収され、高い炉内回収率を得ることができた。また、設備全体として 97% と高い回収率を得た。

4.3.2 回収ガラスの品質

Fig. 11 に水砕ガラスのサンプルを、Fig. 12 に試験開始から 20 分後にサイクロンにて回収したガラスを

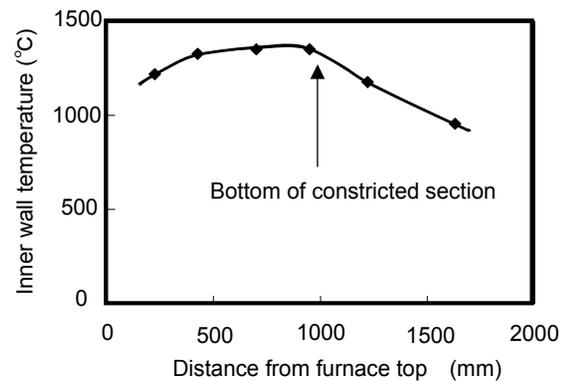


Fig. 9 Axial distribution of inner wall temperature.

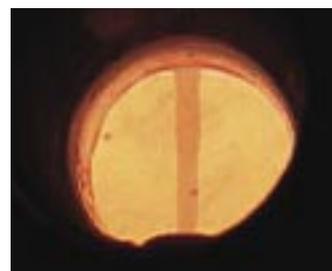


Fig. 10 Melting glass on constricted section.

Table 4 Material balance of glass.

	Collection parts	Weight (kg)	Ratio (%)
Input		149	100
Output	Water seal part (Granulated glass)	134	90
	Cyclone part (Powder glass)	11	7
	Others (Bag filter)	4	3
	Total	149	100

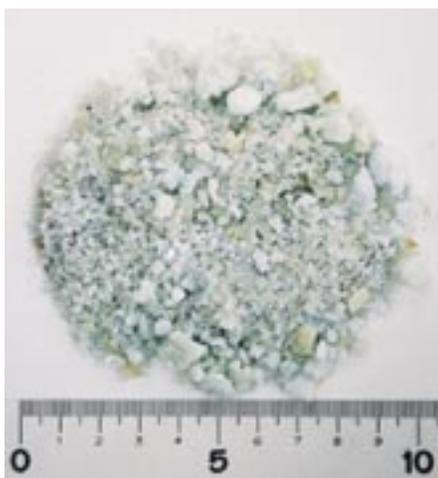


Fig. 11 Granulated glass in water seal part.



Fig. 12 Powder glass in cyclone part.

示す。水砕ガラスは、水色の粒状(数~20mm程度)で、サイクロンで回収されたサンプルは、全て白色の粉状であり、フェノール樹脂に起因したカーボンの残留は見られなかった。

Table 5に水砕ガラスおよびサイクロン回収ガラスについて Ignition loss の測定結果を示す。サイクロン部については、試験開始後5分ごとにサンプリングを行い、Ignition loss は0.085~0.135%の範囲

Collection parts	Ignition loss (%)
Water seal part	0.060
Cyclone part	0.115

であった。水砕ガラス及びサイクロン回収ガラスの Ignition loss は、原料カレットの Ignition loss 0.3%より低いレベルにあり、グラスウール原料として十分使用できる品質であった。

5. まとめ

酸素燃焼を利用したグラスウール廃材の再原料化装置の開発を行い、以下の結果を得た。

- (1) 酸素燃焼によって形成される高温・高酸素濃度火炎に、粉碎したグラスウールを分散して吹き込む方法により、グラスウールをガラス原料に再生できることが分かった。また、フェノール樹脂含有率にかかわらず、同等の品質で処理でき、市販されている全てのグラスウールに対応できることを確認した。
- (2) 処理炉の燃焼室負荷は、回収ガラスの品質に影響し、Ignition loss を0.3%以下にするには、燃料/グラスウール投入熱量比5.5/4.5の場合、燃焼室負荷を4000MJ/(h・m³)以上にする必要がある。
- (3) 工場屑を処理対象とした場合の実機規模に相当する試験設備(グラスウール処理量250kg/h)を設計・設置し、運転安定性および処理性能を評価した。運転中、炉内温度は、ガラスの融点より十分高く維持することができ、炉壁に付着した熔融ガラスが安定的に水封部に排出されることを確認した。また、投入したガラス分の97%を安定的に回収でき、90%をハンドリングしやすい水砕ガラスとして回収できた。処理回収したガラス分は、ガラス原料として十分使用できる品質であった。

参考文献

- 1) 三宅新一, 村上伸吾, 真鍋千秋. 日本酸素, 旭ファイバーグラス. 特開平11-228164. 1999-08-24.
- 2) 小川晋永, 上松敏明編. ガラス製造の現場技術. 東京, 日本硝子製品工業会, 1993, 3-23.
- 3) 田井紀志雄, 笠原光弘, 阿原秀生. 日本無機. 特開平8-217464. 1996-08-27.