酸素燃焼炎によるソーダ石灰ガラスの気中溶融技術の開発

[1]ニューガラスフォーラム，東洋ガラス（退職）[2]東洋ガラス（退職）[3]東洋ガラス
○佐藤敬蔵[1]，岩本正憲[2]，金子一憲[3]，浜田明典[3]，海老原保興[3]，藤原　誠[3]

Development of oxy-gas firing In-Flight Melting for soda-lime glass

Keizo Sato[1], Masanori Iwamoto[2], Kazunori Kaneko[3], Akinori Hamada[3]
Yasunori Ebihara[3], Makoto Fujiwara[3]
[1]New Glass Forum, TOYO GLASS CO., LTD.（Retired）[2]TOYO GLASS CO., LTD.（Retired）[3]TOYO GLASS CO., LTD.

1．はじめに

平成 20 年から 24 年の 5 年間にわたり実施した NEDO プロジェクト「エネルギーイノベーションプログラム・革新的ガラス溶融プロセス技術開発」（以下気中溶融プロジェクト）において，東洋ガラス㈱は川崎工場に 1 t/d 規模の酸素・ガス気中溶融試験炉（以下酸素炎気中溶融炉）を設置して，ソーダ石灰ガラスの気中溶融技術の開発を行った。酸素・ガス燃焼炉によるソーダ石灰ガラスの気中溶融は世界初の試みであり，気中溶融プロジェクトの目的を達成できたことは担当者だけでなく，試験炉の設置・運転などでプロジェクト遂行に応援していただいた皆様のご協力の賜物である。既に研究成果は学会や文献などで公表されているので開発にご協力していただいた皆様への感謝の気持ちをこめて気中溶融開発の経緯を中心に開発結果をまとめた。

〒169-0073　東京都新宿区百人町 3-21-16
TEL　03-6279-2605
FAX　03-5389-5003
E-mail : sato-k@ngf.or.jp

2．酸素・ガス気中溶融試験炉の設計

平成 17 年から 19 年まで 3 年間に実施した NEDO エネルギー使用合理化技術戦略開発先導研究プロジェクト「直接ガラス化による革新的省エネルギーガラス溶解技術の研究開発」（以下先導研究）により，いくつかの解決すべき技術課題は残ったものの「酸素燃焼炎によるソーダ石灰ガラスの気中溶融」は十分に実用化の可能性がある技術であるとの結論を得た。

気中溶融プロジェクト採択を受けて，先導研究で残った技術課題の解消と気中溶融の実用化基礎技術の開発を目指して酸素炎気中溶融炉の設計を開始した。設計に当たり採用した基本要件の主なものを以下に示す。

・原料成分の揮発，飛散が少ないバーナ開発
・バーナと溶融技術の開発に集中するため，バーナ以外の設備はできるだけ既存の溶融炉で実績のある設備を採用

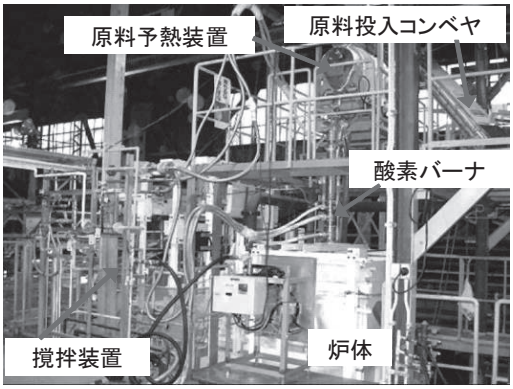


図１　酸素・ガス燃焼気中溶融試験炉

・大型の実用炉への展開時に設備仕様の再検討を避けるため，大型化が可能な設備／技術を採用
・実験評価を早めるため，実験中にその場観察と気中溶融中の原料や溶融ガラスが採取可能な設計を試験炉に導入

さらに，環境にやさしいグリーン溶融技術とするため以下の要件も採用した。

・CO_2 発生量の少ない都市ガスを燃料として使用
・使用原料にカレットを追加し，カレットと造粒原料の混合原料も使用，
・NO x の発生を極力防止するため，原料の試験炉へ投入には酸素を使用

設計開始後，実験炉に使用するれんがや制御装置は納入まで半年から１年程度の納期が必要であったため全ての設備が完全に揃ってから実験を開始すると１年目は溶融実験ができないことが分かった。そこで出来るだけ早く溶融実験を開始するために，酸素炎気中溶融炉設置を一期工事（平成 20 年度），二期工事（平成 21 年度）の二回に分け，一期工事では溶融実験を行うために最低限必要な設備の設置のみを行い，納期のかかる自動制御装置と実験初期には必要ない連続溶融の設備は二期工事とした。酸素炎気中溶融炉を図１に，溶融原料／ガラスの採取位置を図２に示す。

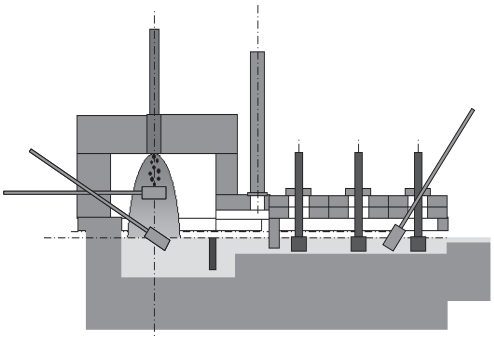


図２　溶融原料など採取位置

３．ソーダ石灰ガラス造粒原料の気中溶融

計画通り試験炉一期工事は完了し，平成 21 年２月に第１回の溶融実験を行った。溶融実験は造粒原料を 50 kg/h（溶融ガラス量で１t/d）の投入速度に固定し，都市ガスを徐々に減少させる方法で目標エネルギー原単位（900 kcal/kg−glass）達成を目指した。使用する造粒原料（旭硝子㈱社提供）は d_{50}（メジアン径）が 120 μm と 250 μm のもの２種類をテストしたが，溶融性が良かった d 50＝120 μm の原料を採用した。

目標エネルギー原単位を達成するために都市ガス使用量を 1500 kcal/kg−glass 程度まで減少させていくと造粒原料が溶融せず，投入された原料が山状に堆積する現象が発生するようになった。溶融実験と同時に開発を進めていた燃焼のコンピュータシミュレーションを用いて原因を解析したところ，エネルギーを減少させるとバーナフレームが小さくなり，投入した造粒原料の約 1/3 が燃焼フレームの高温部を通過しなくなることが分かった。そこで原料が確実に燃焼フレーム中を通過するようにバーナの設計変更を行った。バーナ設計変更の効果確認は試験炉に設置した観察窓からの目視観察，気中で採取した原料の溶融状況，ガラス温度などの溶融実験データとコンピュータシミュレーションを併用する方法で行った。その後，この設計変更だけでは目標達成が難しいことが分かり，再度バーナ基本設計の変更（合計２回）を行った。

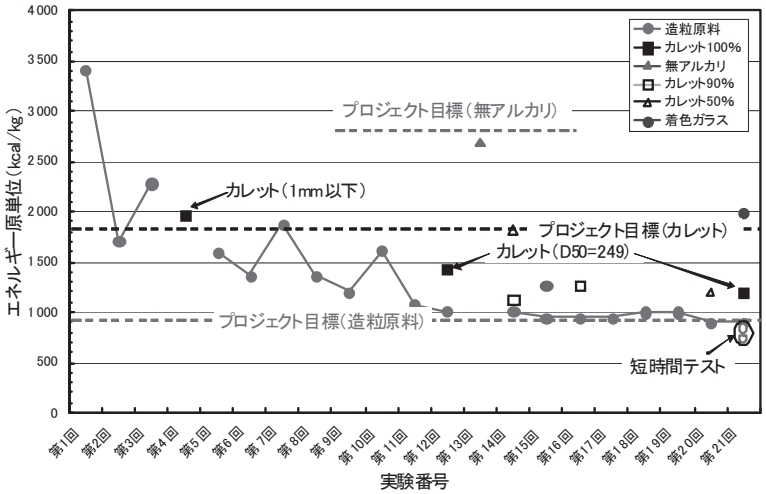
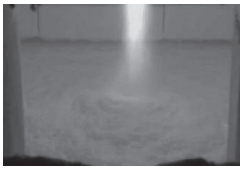


図３　溶融エネルギー原単位の推移

表１　バーナ変更による溶融状況の変化

バーナ	オリジナル	改良１	改良２
エネルギー原単位（kcal/kg-glass）	1600	940	955
炉内状況			

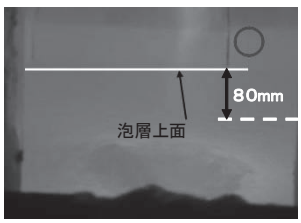
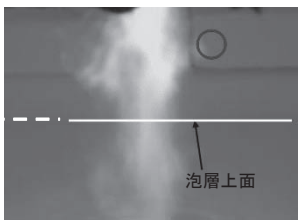
さらに毎回の実験ごとにバーナノズルや燃焼条件の微調整を行った結果，バーナの溶融性能は飛躍的に向上し，エネルギー原単位目標を達成することができた。（図３，表１）。

４．カレットの気中溶融

造粒原料の溶融実験で使用したバーナを用いてカレットの溶融実験を行った結果，造粒原料と同程度の粒度（500 μm 以下）であれば，問題なく溶融できた。また，カレットと造粒原料を混合した原料を使用するとバーナ下の溶融ガラス上部に発生する泡層が少なくなった（表２）。これは気中溶融中での発生ガス量が減少したためと考えられた。

実験に用いた細粒カレットは市販されていないため粉砕方法についても検討を行った。その

表２　カレット混合の効果

原料	造粒原料	カレット50%
溶融エネルギー（kcal/kg-glass）	1200	
泡層位置		

結果，市販カレットをロールタイプの粉砕機で粉砕することにより比較的簡単に細粒カレットになる知見を得た。

5．まとめ

プロジェクトのエネルギー原単位目標 900 kcal/kg-glass を達成したことから，開発した酸素・ガス燃焼炎気中溶融技術は燃焼最高温度が 3000℃ 近くまで達する酸素燃焼炎を最大限に活用することにより，「短時間」で，「効率よく」ガラスを溶融できる優れた溶融技術であることを実証できた。さらに，溶融時に耐火物と接触しないため，耐火物による汚染が少ないという利点も考えられる。

また，燃焼炎から離れると溶融物の温度が急速に低下するという気中溶融の特徴を生かすと，非常に失透しやすいガラスなどこれまでの溶融法では生産することが難しかった組成のガラスを大量に生産することが出来る可能性も考えられる。

酸素・ガス燃焼炎気中溶融技術は「色々な組成のガラス」を「簡単」に「大量」に「少ないエネルギー」で生産できる可能性を秘めたすぐれた技術である。今後も実用化に向けて「原料作成」や「清澄」など気中溶融プロジェクトでは開発対象でなかった項目について検討を進めていきたい。

6．謝辞

本研究は，（独）新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）「革新的カラス溶融プロセス技術開発」プロジェクトの委託事業の一環として実施したものである。

試験炉の製作および溶融実験実施にあたり多大な協力を頂いた皆様に感謝する。