

NEDO 革新的ガラス溶融プロセス技術 開発プロジェクトの進捗状況

(社) ニューガラスフォーラム

伊勢田 徹

Progress report of NEDO's Project “Development of Innovative Process Technology for Glass Melting”

Toru Iseda
New Glass Forum

概要

ガラスの製造方法を根本的に変革する可能性を秘めた「気中溶解技術」の実用化を加速するためにスタートした国家プロジェクトが開発目標に向け着実に成果を挙げつつある。8月のNEDO中間評価分科会では進捗状況の詳細が公表され、11月の国際会議ICC3では特別セッションが設置されて最新の研究開発成果が報告された。ここではNEDO分科会での発表内容をもとに成果の概要を述べる。

1. はじめに

3年にわたるNEDO技術開発機構先導研究¹⁾に続きスタートしたNEDO国家プロジェクト「革新的ガラス溶融プロセス技術開発」(2008～2012年)は、インフライトメルティング技術の実用化に向けた課題克服とガラス溶融炉の大幅な省エネの実証を目的としている。図1は同技術に基づくガラス製造プロセスの工程フロー

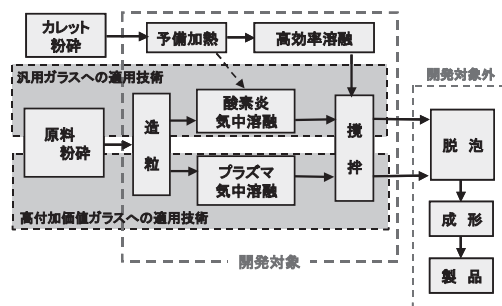


図1 インフライトメルティングによるガラス製造プロセスの工程フロー

例であり、開発対象はガラス原料の造粒～気中溶融、および、カレットの予熱～溶融～攪拌である。

開発課題は、次の通りである。

(1) インフライトメルティング技術

- 1-1) 溶融しにくいガラスのプラズマ支援インフライトメルティング
- 1-2) 汎用ガラスの酸素燃焼炎インフライトメルティング
- 1-3) インフライトメルティング特有の現象・挙動把握
- 1-4) 溶融プロセスシミュレーション

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

- (2) ガラスカレットの高効率加熱技術
- (3) ガラス原料融液とカレット融液との高速混合技術

これらの課題を井上悟プロジェクトリーダー（独物質・材料研究機構）のもと、国東京工業大学（渡辺隆行研究室、矢野哲司研究室）、旭硝子（株）、東洋ガラス（株）、（社）ニューガラスフォーラムの5機関が分担し開発にあたっている。

本プロジェクトの背景・目的等についてはすでに述べたので²⁾、今回は本年8月末に開催されたNEDO中間評価分科会（公開）における発表内容³⁾に基づき、各課題の進捗状況を以下に述べる。

2. インフライトメルティング技術

2.1 溶融しにくいガラスのプラズマ支援インフライトメルティング

液晶用無アルカリガラス等の溶融しにくいガラスにインフライトメルティング技術を適用するため、その熱源として多相プラズマと酸素燃焼炎とを複合化したハイブリッド加熱技術を開発するとともに、プラズマ適用によるガラス品質への影響評価を検討している。

ハイブリッド加熱技術は東京工業大学の渡辺研究室が担当している。

同研究室は、12相の交流プラズマと酸素燃焼炎とを複合させたハイブリッド熱源を世界で初めて稼働させることに成功し、目標時間以上の安定した運転を実現させた。この成果はプラズマ放電現象の緻密な観察・解析と電極冷却構造、放電順序、電極配列位置等の適正化などによる電極消耗量の抑制と放電の安定化によりもたらされた⁴⁾。図2にハイブリッド加熱における多相アーク出力の時間変動の様子³⁾を示す。

プラズマ適用によるガラス品質への影響評価は旭硝子が担当している。

同社は、液晶ディスプレイ用無アルカリガラスのインフライトメルティングにおいて障害となっていた硼酸成分の揮発を実用レベルまで抑

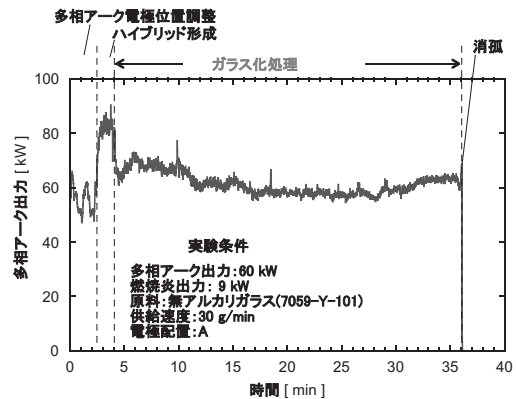


図2 多相プラズマ・酸素燃焼炎ハイブリッド加熱時の多相アーク出力の時間変動

制することに成功した。噴霧乾燥法で作製された原料造粒体が空気搬送等の過程で破壊されることが硼酸成分揮発の主原因であることを突き止め、造粒体の強度を向上させることにより改善を図った（図3）³⁾。図中のガラス化率とは、原料中の珪砂に着目してX線回折を行ったときの結晶成分の消滅割合から求めた数値である。ガラス融液中の気泡低減も課題となっていたが、清澄プロセスを経れば消滅可能なレベルまで低減できる見通しを得た。

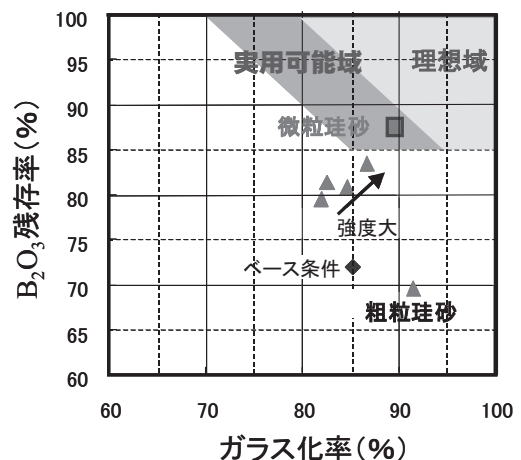


図3 無アルカリガラスのインフライトメルティングにおける硼酸残存率とガラス化率

2.2 汎用ガラスの酸素燃焼炎インフライトメルティング

汎用ガラス（ソーダ石灰ガラス）にインフライトメルティング技術を適用するには安価な設備で、かつ、少ない消費エネルギーでガラスを溶かす必要がある。一般にガラス熔融技術の実用性を評価するには実用炉規模での試験が不可欠とされるが、本プロジェクトではその前段階として1 ton/dayの試験炉を建設して評価を行っている。

試験炉の建設・運転・改良およびガラス評価は東洋ガラスが担当している。

1 ton/dayの試験炉の概念図を図4に示す。原料の造粒体は酸素燃焼バーナに投入されて火炎中で溶け落ちて融液を形成する。カレットの熔融・攪拌もこの炉で行う。当年（2010年）度末に達成すべき熔融エネルギー値として1000 kcal/kg-glassをめざして開発を進めており、7月の時点で図5に示す通り目標に近い条件での運転も実施した³⁾。供給エネルギーが下がる（造粒体の投入量が増す）につれて融液温度は低下するが、エネルギー効率は向上した。造粒体の予熱は効率向上と融液温度低下の抑制に有効であった。今後は酸素燃焼バーナの更なる改良と炉構造の最適化により、最終年度目標値900 kcal/kg-glassの達成をめざす。

試験炉に投入する造粒体の作製、組成分析および品質評価は旭硝子が担当している。

ガラス原料(SiO₂-Na₂CO₃-CaO-Al₂O₃-Na₂SO₄)はボールミルで湿式混合後、処理能力70 kg/h前後の噴霧乾燥装置で造粒する。試験炉で得られる粗溶解段階のガラスを分析した結果、Na₂O成分およびSO₃成分の揮発はそれぞれ10%以下および60%以下であった。残存気泡はほとんどが直径0.1mm以下であり、通常の清澄プロセスを経れば除去可能と判断された。均質性についてはシュリーレン像とEPMA測定によりマクロおよびミクロの両面から評価し、実用ガラスレベルの均質性であればごく短時間の熔融で到達可能なことを確認した。

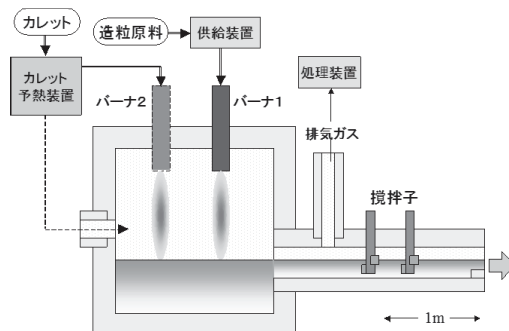


図4 1 ton/dayの試験炉の概念図

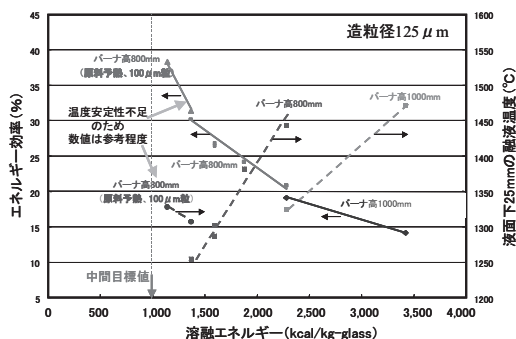


図5 試験炉のエネルギー効率・融液温度と供給エネルギーの関係

2.3 インフライトメルティング特有の現象・挙動把握

インフライトメルティング特有の現象と挙動の解明は東京工業大学の矢野研究室が担当している。

1 ton/day 試験炉のガラス融液中に存在する微細な気泡に含まれるガス成分について質量分析器による定量分析を行った。それぞれの気泡によって多い成分と少ない成分の違いはあるが、ほとんどの気泡から、CO₂、O₂、N₂、H₂Oのほか燃料ガス成分、CO₂分子のOの一つが硫黄Sに置き換わったCOSなどが検出された。インフライトメルティング中の粒子の飛翔速度は20~30 m/sec前後であった。

試験炉で得られたガラスを再熔融したときに発生する気泡を観測し、保持温度と発生個数との関係のほかに、気泡径の経時変化などインフ

ライトメルティングガラス特有の現象が幾つか観察された。効率的な清澄を行うにはインフライトメルティングガラスに溶存しているガス成分を注視し解析する必要があると判断された。

2.4 溶融プロセスシミュレーション

インフライトメルティングによるガラス溶融プロセスのシミュレーションモデルの開発およびシミュレーションの高精度化・迅速化についてはニューガラスフォーラムが担当している。

先導研究において開発した気体燃料燃焼と熱伝達、原料造粒体の加熱・溶解、ガラス融液の熱流動、気泡清澄、均質化などの諸モデルに加え、液体燃料燃焼、多相プラズマ加熱、攪拌、耐火物侵食等の諸モデルを新たに開発し、それらを組み合わせて図6に示す1 ton/day 試験炉のシミュレーションを開始した。今後、試験データを対比させてモデルの精度を高め、炉内のガラス融液の挙動、熱の出入等が定量的に推測できるように仕上げてゆく。

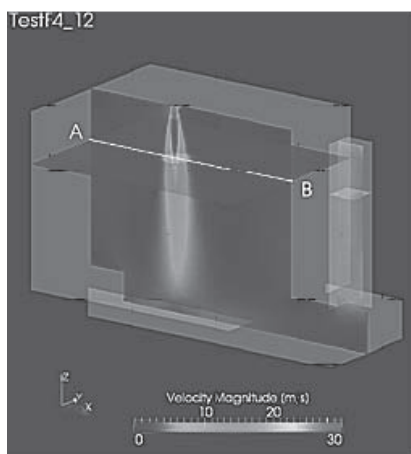


図6 1 ton/day 試験炉における燃焼炎のシミュレーション

3. ガラスカレットの高効率加熱技術

ガラス製造プロセスにはガラス原料（珪砂、石灰石など）のほかに、市中からリサイクルされたカレット（ガラス片）や工場内の循環カレットの利用が不可欠である。インフライトメルティングを実用化するにはカレットが併用できるプロセスにすることが大前提となり、インフライトメルティングにマッチングした高速高効率なカレット溶融の技術が必要である。この開発は東洋ガラスが担当している。

高速溶融の手法として先ず瞬時に昇温できるインフライトメルティングを検討した。その結果、カレットを粒径1mm以下まで粉碎すれば予熱なしでも、2000 kcal/kg-glass 以下のエネルギー供給で融液温度を1300℃程度に保持したまま溶融が可能であった（図7）³⁾。

カレットを効率的に加熱するには溶融炉の廃熱を有効利用する予備加熱が不可欠である。廃熱利用を想定した間接加熱式ロータリーキルンから成る加熱装置を開発し、粒径1mm以下のカレットを430℃の高温まで互いに融着させることなく加熱することに成功した。これは世界初の成果といえ、微粉カレットによる粉塵の問題も解消できた。

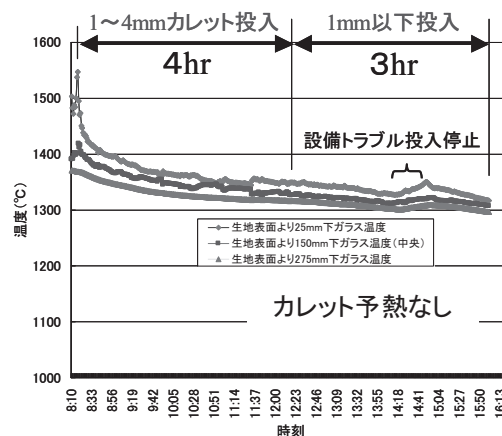


図7 カレットのインフライトメルティングにおける融液温度の推移

今後は、予備加熱を併用したインフライトメルティング等の手段により、粒径1mm以上のカレットを対象とした高速高効率溶融技術の開発を進める。

4. ガラス原料融液とカレット融液との高速混合技術

カレット併用のインフライトメルティングを実用化するには、インフライトメルティングに合致した速さでガラス原料融液とカレット融液とを高速に混合する技術が必要である。また、清澄プロセスを経ていない段階で混合の度合いを定量的に評価する技術も必要となる。

高速混合技術は東洋ガラスが担当している。

びんガラスの生産工程で使われているスクリーンタイプの攪拌子を3対設置した攪拌装置を1 ton/day 試験炉に接続して試験を実施した。ガラス原料融液単体を攪拌子1対で攪拌することにより図8に示すように脈理が改善されることを確認した³⁾。今後は、原料融液とカレット融液との混合を対象に、今年度末には4時間以内、2012年度には2時間以内の均質化をめざして諸条件を検討する。

混合融液の均質性を評価する技術は物質・材料研究機構が担当している。

気泡が存在する粗溶解段階のガラスの均質性

を定量的に評価するために、泡の大きさと個数分布の評価、シュリーレン像の輝度分布による脈理の定量化、フーリエ変換シュリーレン像の動径分布による脈理の定量化などを提案し、それらの有効性を確認した。

5. 今後の計画等

当面はプロジェクト中間目標の年度末達成に向け全力を挙げる。これにより、インフライトメルティング技術が大幅な省エネとガラス品質の要求を満たし、かつ、カレット併用プロセスにおいても利点を十分に発揮するかどうかについて基本的な見通しを立てる。その上で、来年度からスタートするプロジェクト後半の2年間で、実用化に向けた事業判断ができるところまで技術を仕上げてゆく予定である。

引用文献

- 1) NEDO, 平成17~19年成果報告書「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」, 2008年3月.
- 2) 伊勢田徹, NEW GLASS, 24 (1) (2009) 55.
- 3) NEDO ホーム ページ <http://www.nedo.go.jp/iinkai/kenkyuu/bunkakai/22h/chuukan/15/1/index.html>
- 4) たとえば T. Watanabe, *et al.*, Pure and Applied Chemistry, 82 (6), p.1337 (2010).

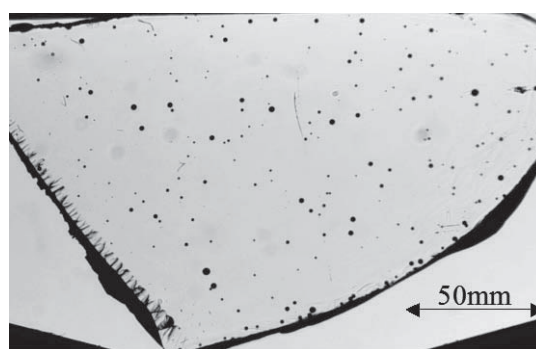
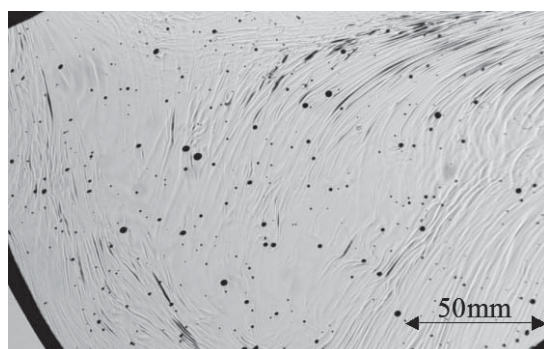


図8 攪拌前(左)および攪拌子1対で1.3hr攪拌後(右)のガラスのシュリーレン像