

NEDO 委託「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」の現状

(社)ニューガラスフォーラム

伊勢田 徹

Present status of NEDO Project “Development of innovative In Flight Glass Melting Technology for Energy Conservation”

Toru Iseda

New Glass Forum

1. はじめに

平成 17 年 8 月よりスタートした NEDO 委託研究「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」プロジェクトは 1 年余を経過し、すでに平成 18 年度の研究目標値を達成するなど順調に推移している。新技術の可能性も見え始め、ガラス化反応挙動の解明等の学問的な面でも着々と成果を挙げつつある。この新技術は、顆粒状のガラス原料を高温雰囲気中の気中を飛翔する過程で溶解（気中溶解）するもので¹⁾、原料投入から出荷に至る実用ガラスの製造時間を大幅に短縮し、消費エネルギーの削減、生産設備の小型化、ジョブチェンジの効率化、排気ガス・廃棄物の削減、ガラス品質の向上、歩留りの向上など多くの効果が期待できる。

以下に、当プロジェクト関係者らによる最近の学会発表を中心に、研究開発の最新動向を報告する。

2. ガラス原料の気中溶解過程のシミュレーション

ガラス原料が気中で溶けてゆく過程を定量的に理解することは、新技術の開発に重要であるが実験的に明らかにすることは容易ではなく、シミュレーションによる理解が不可欠である。

由川格ら²⁾は、多孔体である顆粒状原料が高温雰囲気中で表面から熱せられたときの原料粒子の温度上昇過程と粒子内の温度分布、膨張収縮の過程を理論的に明らかにした。

顆粒状原料は、表面から加熱されて最初膨張するが、多孔体であるため、その後一気に収縮する（図 1）。このとき、原料中の Na_2CO_3 等の炭酸塩は分解して CO_2 を発生するが、仮に、顆粒内部の温度が十分上昇しきらないうちに表面にガラス融液の層が形成されると、 CO_2 の放出経路が絶たれて原料粒子が風船状に膨んだり、多量の気泡を伴った状態で融液上に落下することになり問題となりかねない。これを回避するには、原料粒子内部と表面との温度差が極端に大きくなるようにする必要はある。原料粒子内の温度分布を時間毎に求めた計算結果は、内外の温度差はさほど大きくはならないことを示した（図 2）。このように小さな温度差に帰結した理由は、原料粒子が多孔体であ

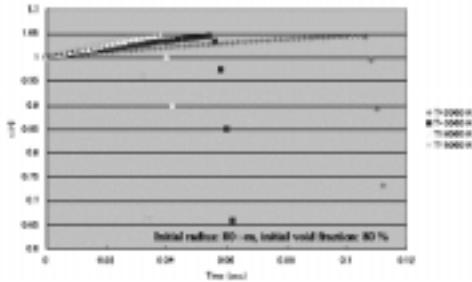


図1 多孔体原料半径の経時変化における加熱温度の影響²⁾

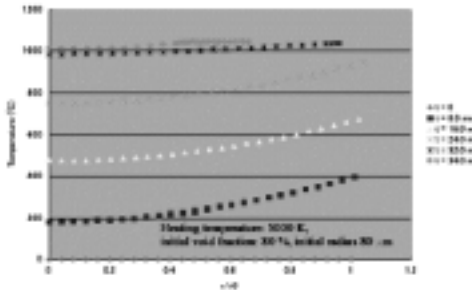


図2 原料粒子内の温度分布²⁾

り、表面での熱伝達率が小さいためと説明している。

3. 顆粒状ガラス原料の溶解反応挙動

柿崎亜美ら³⁾は、新溶解技術の要素技術の1つである原料の顆粒化に関し、顆粒サイズの最適化と造粒条件の探索を目的に検討した結果を報告した。ソーダ石灰ガラス原料の噴霧乾燥法による造粒において、乾燥が不十分な場合、造粒体に少量の水分が残り Na_2CO_3 の微結晶が析出し、これをルツボに入れて赤外線集光炉中で急速加熱・冷却すると珪砂の未溶解物を生じた(図3左)。一方、十分乾燥した造粒体は珪砂と CaCO_3 、 Na_2CO_3 などの細粒からなる集合体が極めて微細な Na_2CO_3 層で覆われ、加熱後も珪砂の未溶解物等を生ずることなく均質に溶解した(図3右)。珪砂の未溶解物を生じた原因は、原料段階で成分が分離し、珪砂が十分な量の Na_2CO_3 で覆われなかった結果、珪砂の溶解反応が不均質に進行したためと説明した。

辻村知之ら⁴⁾は、ソーダ石灰ガラス原料のル

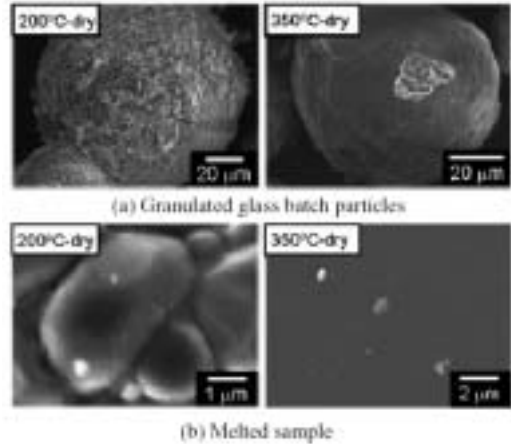


図3 赤外加熱前および加熱後の顆粒状原料のSEM像³⁾

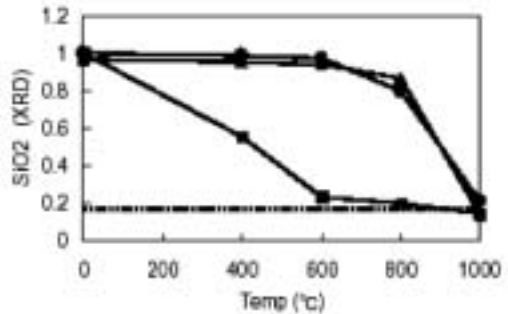


図4 各種原料の加熱による珪砂 SiO_2 のX線回折ピーク強度の変化⁴⁾

：造粒体、○：微細(非造粒)
：粗粒(非造粒)

ツボ中での溶解過程で生ずるガスの分析および400~1000の加熱原料のX線回折を行うことにより、微細な一次粒子からなる原料の造粒化がガラス溶解反応を著しく促進することを報告した(図4)。

4. 高周波熱プラズマによるガラス原料の気中溶解

親松泰子ら⁵⁾は、高周波熱プラズマ装置(図5)を使用して顆粒状ソーダ石灰ガラス原料を気中溶解し、急冷して得たガラス粒子および耐火物上に堆積したガラスについて、軟化点とガラス転移温度を測定するとともに、伝熱過程の数値解析を行い原料粒子の到達温度を推定し

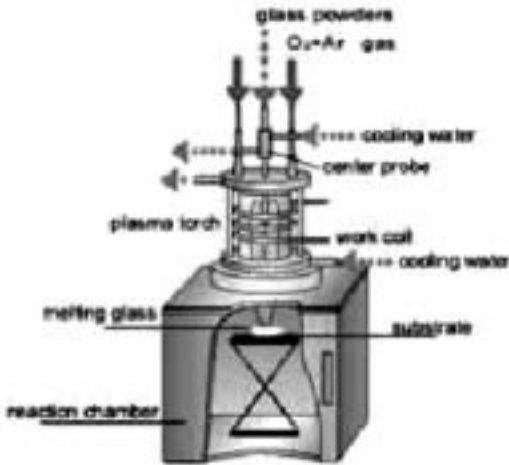


図5 高周波熱プラズマ装置⁵⁾

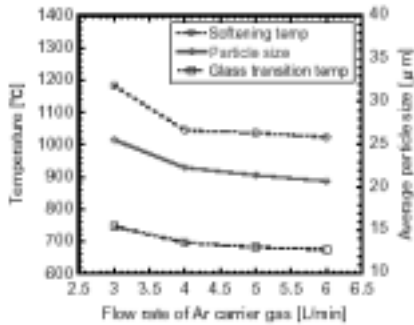


図6 キャリアガス流量と軟化点、ガラス転移温度および平均粒径⁵⁾

た。キャリアガス流量が少ない場合に、高い軟化点とガラス転移温度を示した(図6)。

渡辺隆行ら⁶⁾は、高周波熱プラズマの温度分布を理論的に算出し、ソーダ石灰ガラス原料の気中溶解における伝熱過程について精度の高い数値解析を行うとともに、キャリアガス流量と成分揮発量の関係を調べた。キャリアガス流量が増すにつれ、プラズマの中心温度と粒子の中心温度は低くなり(図7)、Na₂Oの揮発は抑制されると報告している(図8)。

船曳富士ら⁷⁾は、噴霧乾燥法で作製した顆粒状ソーダ石灰ガラス原料を高周波熱プラズマ中で気中溶解し、急冷して得られたソーダ石灰ガラス粒子(図9)を組成分析および状態分析することにより、溶解反応およびガラス化反応

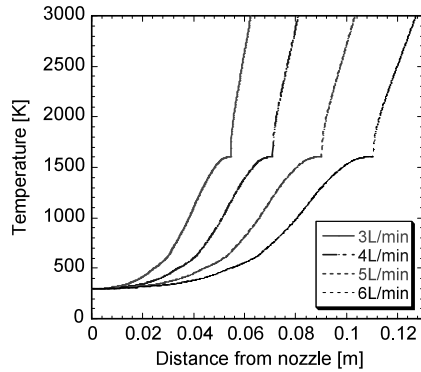


図7 粒子の中心部の温度変化に対するキャリアガスの影響⁵⁾

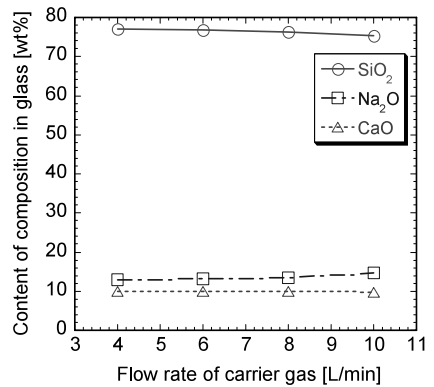


図8 キャリアガス流量を変化させたときのガラスの組成変化⁶⁾

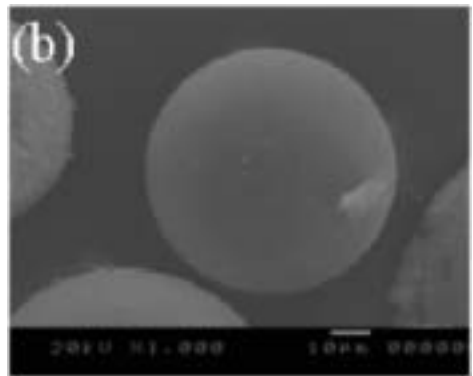


図9 ソーダ石灰ガラス気中溶解粒子のSEM像⁷⁾

が粒子内部まで進行していることを確認し(図10)、Feイオンのレドックス測定から到達温度を推定した(図11)。また、同氏ら⁸⁾は、顆粒状ソーダ石灰ガラス原料を種々のプラズマの高

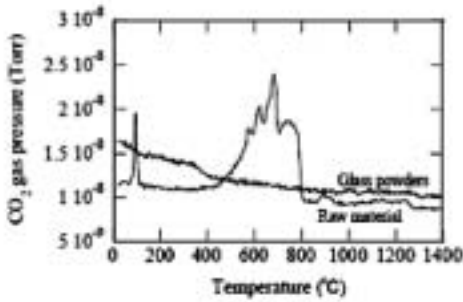


図10 気中溶解前後の粒子のCO₂分析⁷⁾

温場中を飛翔させることにより溶解し、ガラス形成反応の進行について調査した結果を報告した。

5. おわりに

当プロジェクトの最新動向を学会発表を中心に紹介した。とかく社外で語られることの少なかったガラス溶融技術であるが、井上悟リーダー（物質材料研究機構）のもと大学5研究室、1公的研究機関、ガラス企業5社およびNGFからなる産学官共同の取り組みの中で深い議論と理解がなされ、関係者らのポテンシャルは着実に向上しつつある。こうした成果を具体的に伝えることはできないが、今後も当該誌を借りて研究開発の現状をお知らせしたい。

これらの研究は、経済産業省からの交付金を原資として実施する「エネルギー使用合理化技術戦略的開発」事業の一つとして、NEDO技術開発機構の委託契約に基づき実施されている。

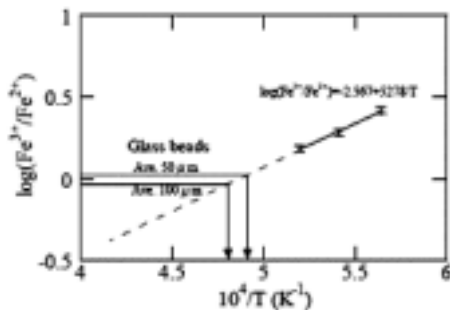


図11 レドックス測定による到達温度の推定⁷⁾

引用文献

- 1) 伊勢田徹, 「NEDO 先導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融技術の紹介」, NEW GLASS, vol. 20, No. 4 (2005) 40.
- 2) 由川格, 佐藤勲, 齊藤卓志, 川口達也, 「エネルギー削減を目指した原料の気中予備溶解によるガラス溶融過程の検討」, 第43回日本伝熱シンポジウム予稿集(日本伝熱学会)2006年5月31~2日(名古屋国際会議場)
- 3) 柿崎亜美, 大垣武, 安盛敦雄, 轟真市, 井上悟, 田中千禾夫, 「気中ガラス溶解プロセスに用いる顆粒状原料の反応挙動」, 日本セラミックス協会第22回関東支部研究発表会予稿集, 2006年7月20~21日(長野県戸倉)
- 4) 辻村知之, 酒本修, 田中千禾夫, 「微粒造粒原料を用いたソーダ石灰ガラスの溶解性」, 第47回ガラスおよびフォトンクス材料討論会予稿集(日本セラミックス協会ガラス部会)2006年11月21~22日(東京理科大)
- 5) 親松泰子, 姚耀春, 渡辺隆行, 船曳富士, 矢野哲司, 「エネルギー削減のための高周波熱プラズマによるガラス原料粒子のインフライト溶融」, 化学工学会第38回秋季大会予稿集, 2006年9月16~18日(福岡大学)
- 6) 渡辺隆行, 親松泰子, 姚耀春, Md. M. Hossain, 船曳富士, 矢野哲司, 「高周波熱プラズマを用いたインフライト溶融によるガラス製造」, 無機マテリアル学会第113回学術講演会予稿集, 2006年11月9~10日(名古屋大学)
- 7) 船曳富士, 矢野哲司, 田中千禾夫, 姚耀春, 渡辺隆行, 「プラズマを用いたインフライト溶融により生成したガラス粒子のキャラクタリゼーション」, 第47回ガラスおよびフォトンクス材料討論会予稿集(日本セラミックス協会ガラス部会)2006年11月21~22日(東京理科大)
- 8) 船曳富士, 矢野哲司, 田中千禾夫, 姚耀春, 渡辺隆行, 「プラズマを利用したガラス原料のインフライト溶融とガラス化反応」, 第47回ガラスおよびフォトンクス材料討論会予稿集(日本セラミックス協会ガラス部会)2006年11月21~22日(東京理科大)