

# NEDO 先導研究 “気中溶解法による革新的省エネルギーガラス溶解技術” の研究成果

(社) ニューガラスフォーラム

伊勢田 徹

## NEDO's Advanced Research "Development of Innovative In-flight Glass Melting Technology for Energy Conservation"

Toru Iseda

New Glass Forum

### 1. はじめに

NEDO 技術開発機構のエネルギー使用合理化技術戦略的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」(平成 17 年度～平成 19 年度)が、井上悟リーダーのもと、(独)物質・材料研究機構、(国)東京工業大学 3 研究室、旭硝子(株)、東洋ガラス(株)および(社)ニューガラスフォーラムの 5 機関が中心となり、再委託先として東京理科大学、東洋大学、HOYA(株)、光ガラス(株)、共同実施先としてセントラル硝子(株)が加わって 3 年間 4 億円の委託研究費を受けて進められた。そして、その成果が認められ、更なる技術確立のための 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」が今年度より新たにスタートした。本稿では、今春終了した NEDO 先導研究プロジェクトを振り返り、その成果の概要を述べる。

### 2. ガラス溶融技術の現状と課題

多くのガラス製品は水泳プールのような大型の溶融炉で製造される。ガラス原料(珪砂、石灰石、ソーダ灰など)はカレット(ガラス片)とともに炉のガラス融液上に連続的に投入され、燃焼炎により徐々に溶かされ、融液となって対流を繰り返しながら槽内を 1～6 日間程度滞留させることにより気泡のない均質なガラス融液に変え、成形工程に運ばれる。

溶融炉において問題となる品質上の欠陥は、気泡、未溶融珪砂、炉材反応物、脈理(組成ムラ)などであるが、原因の多くは溶解・攪拌・脱泡の工程が 1 つの槽の中で行われることに無関係ではない。1 つの槽でガラスを溶かす理由は、輻射熱を吸収しにくいガラス原料と融液とを燃焼炎で効率的に加熱するためであり、融液の対流を制御して 1 つの槽を上流と下流の 2 つのゾーンに分離させるなどしているものの両者の完全な分離は不可能であり、槽内の滞留時間を長時間化するという省エネに逆行する方法で品質保持に対処しているのが実態である。

このような現状を打破し、より効率的なガラス溶融を実現するために、米国を中心に非シーメンズ型の溶解方法の研究開発が進められてい

る<sup>1)</sup>。燃焼炎をガラス融液中で燃やして熱伝達効率を改善する SCM 炉，燃焼炎中に原料を投入して溶解する AGM 炉，原料を高速溶融する直流プラズマアーク炉などである。以下に述べる NEDO 先導研究プロジェクトの「気中溶解法」も非シーメンス型の一つである。

### 3. NEDO 先導研究プロジェクトの成果

ガラス原料をルツボで溶解する場合は 1 時間程度の加熱で均質なガラス融液を得ることができるのに、なぜ溶融炉で溶かすと 1~6 日間もかかるのかという素朴な疑問から発想した<sup>2)</sup>「気中溶解法」によるガラス製造は、ガラス原料の溶かし方の点で現行方式と大きく異なる。気中溶解法では、原料は細かく粉碎され粒径 1 mm 以下に造粒され、造粒体が高温雰囲気を通る間に 1 粒 1 粒が瞬時に溶かされ、下方のガラス融液上に落下し均質なガラスとなる。原料を気中に投ずる点で米国の AGM 炉に似ているが、造粒体を用いる点と個々の粒子を個別に溶かす点で大きく異なる。

NEDO 先導研究プロジェクトでは、基盤となる技術として原料造粒技術と気中加熱技術を重視し、ソーダ石灰ガラスと液晶用無アルカリガラスの 2 種類の原料系について、噴霧乾燥法、転動法及び圧縮法の 3 つの造粒方法と、直流プラズマ、高周波プラズマ、多相アークプラズマ、酸素燃焼炎、及び、多相アークプラズマ-酸素燃焼炎複合熱源（図 1）の 5 つの気中加熱方法を検討した。気中溶解法特有の溶解現象についても解明を進め、スケールアップ技術として 1 ton/day 規模の溶解試験とシミュレーション技術の開発を実施した。

これらの研究開発により得られた成果の要点は以下の通りである<sup>3)</sup>。

- 1) ソーダ石灰ガラス原料造粒体及び液晶用無アルカリガラス原料造粒体について、直流プラズマを除く 4 種類の熱源において、程度の差はあるが飛翔中の瞬時の気中加熱によりガラス化することを確認した。

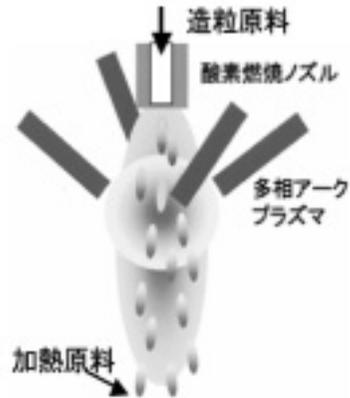


図 1 多相アークプラズマ-酸素燃焼炎 複合熱源による気中溶解の模式図<sup>2)</sup>

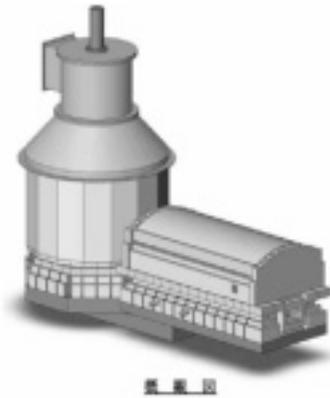


図 2 100 ton 炉の概観図<sup>3)</sup>

- 2) ソーダ石灰ガラス原料造粒体の気中加熱において  $\text{Na}_2\text{O}$  の揮発が認められたが、実用上問題となるレベルではなかった。原料中に含まれる分解ガス成分は、気中加熱過程で粒子内に閉じこめられることなくほぼ外部に放出されることを確認した。
- 3) 無アルカリガラス原料造粒体の気中加熱において認められた  $\text{B}_2\text{O}_3$  の揮発は、造粒方法と加熱方法の工夫により減少したが、実用化には更なる改善が必要と判断された。
- 4) ソーダ石灰ガラス原料造粒体が気中で加熱され着地して形成されたガラス融液

は、1 ton/day 規模の溶解試験において表層に泡層を生ずることなく、1370 kcal/kg-glass の加熱エネルギー下で安定的継続的に溶解することを確認した。

- 5) 気中溶解モデル、気泡清澄モデル等のシミュレーション 11 モデルを構築し、100 ton/day 炉 (図 2) のシミュレーション計算により、原料加熱エネルギーと清澄槽、酸素製造、原料粉碎等の付帯的エネルギーをすべて合算して、1267 kcal/kg-glass の消費エネルギーで多相アークプラズマ-酸素燃焼炎複合熱源によるガラス生産が可能なることを推測した。この値は現行の蓄熱室付き溶融炉の約半分に相当する。

図 3 に複合熱源による気中溶解前後のソーダ石灰ガラス原料造粒体の外観及び元素分布を示す。複合熱源の使用により、飛翔中の僅かな時間内に造粒体中の成分が相互に反応し均質化していることがわかる。図 4 は気中溶解により得られたガラスである。市販ガラス並みの優れた

均質性を呈している。

現行の溶融炉は、(1)珪砂等の粗大化や不均質な融液が原料溶解過程で生じやすい、(2)原料分解が融液内で進み気泡が融液中に蓄積されやすい、(3)溶解ゾーンから直接出口に向かう短絡パスによる欠陥流出が生じやすいが、気中溶解法は原理的にこれらの回避が可能である。また、エネルギー伝達の点からは、現行方式がガラス融液を上方から間接的に加熱するのに対して、気中溶解法では微細原料を熱源に直接投じて加熱するため優れた伝達効率が期待できる。このように、気中溶解法は現行方式の限界を打破する可能性を秘めた技術といえる。

なお、当プロジェクトで開発されたシミュレーションプログラムの一部は現行の溶融炉にも適用可能なことから、現行溶融炉を対象とした溶融シミュレーション研修会 (主査：佐藤勲 東工大教授) が当フォーラム内に発足し、ガラス製造 7 社の参加を得て成果普及の活動の 1 つが開始された。詳しくは当フォーラムのホームページを参照されたい。

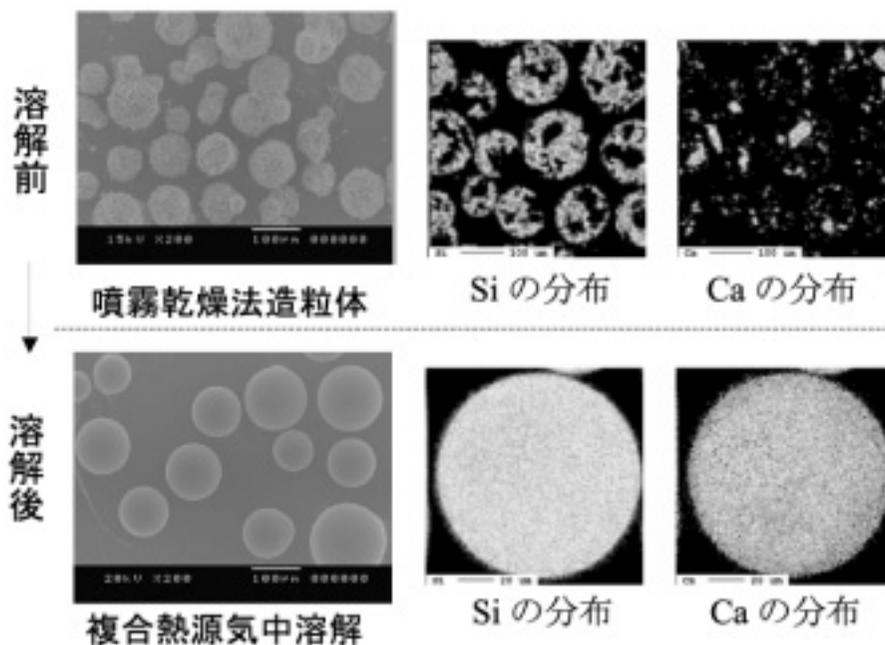


図 3 ソーダ石灰ガラス組成造粒体の複合熱源気中溶解前後における SEM 及び EPMA 観察<sup>3)</sup>

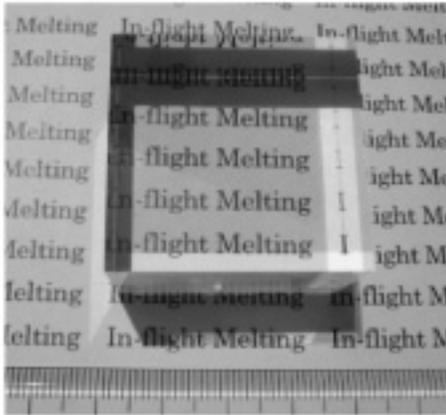


図4 気中溶解法によるガラス

#### 4. おわりに

3年間の先導研究により、気中溶解法の原理的な有効性は実証できたと考えられる。

気中溶解法は、ガラス溶融プロセスの消費エネルギーを1/3程度まで低減する可能性を有しており、短時間でのガラス溶解を可能にする技術であると同時に溶解炉自体の小型化、蓄熱室の省略、品質面の向上等も可能であることか

ら、ガラス溶解時間のみならず不良ガラスの排出削減、炉体更新時の廃棄レンガの削減にも寄与し、また、小型の溶解炉から大規模炉まで、ガラス製造プロセスの大半を置き換え得る省エネルギー技術として期待される。しかし、ガラス製造プロセスはガラス原料のほかに、市中からリサイクルされたカレットや工場内の循環カレットの利用が不可欠であり、気中溶解法を実用化するにはカレットを併用できるプロセスであることが大前提となる。また、カレット融液と原料融液との混合・均質化を短時間で行うことも必要となる。これらの課題に挑戦し気中溶解法実用化への障壁を取り除くために、新たに5ヶ年プロジェクト「革新的ガラス溶融プロセス技術開発」が今年度からスタートした。追ってその概要を紹介したい。

#### 引用文献

- 1) 井上悟ほか、マテリアルインテグレーション、21(4)(2008)1.
- 2) 伊勢田徹、NEW GLASS、20(4)(2005)40.
- 3) 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.