

# 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」 (中間評価)

(2008年度～2012年度 5年間)

## プロジェクトの詳細 (公開)

(独)物質・材料研究機構  
(国)東京工業大学  
(社)ニューガラスフォーラム  
旭硝子株式会社  
東洋ガラス株式会社  
2010年 8月 26日

1/58

「革新的ガラス溶融プロセス技術開発プロジェクト」(中間評価)第1回分科会

## 発表内容

公開

### PL I. インフライトメルティング(気中溶融)法により原料を溶融する技術

#### <高付加価値ガラスのための技術>

- A-1. プラズマ・酸素燃焼炎加熱のハイブリッド化技術 (東京工大 渡辺研究室)
- A-2. プラズマ・酸素燃焼炎加熱の高付加価値ガラスへの適用性評価 (旭硝子)

#### <汎用ガラスのための技術>

- A-3. 超高効率気中加熱用試験炉開発及びエネルギー低減技術 (東洋ガラス)
- A-4. 超高効率気中加熱用原料及び溶融ガラス品質の評価 (旭硝子)

#### <共通基盤技術>

- A-5. 気中溶融特有の現象と融液挙動の解明 (東京工大 矢野研究室)
- A-6. シミュレーション予測と高精度迅速化技術 (ニューガラスフォーラム)

### PL II. ガラスカレットを原料として利用するための高効率で加熱する技術

- B-1. ガラスカレット高効率加熱技術 (東洋ガラス)

### PL III. ガラス原料融液とカレット融液とを高速で混合する技術

- C-1. 高速混合技術 (東洋ガラス)
- C-2. 混合融液の均質性評価技術 (物質・材料研究機構)

2/58

# 高付加価値ガラスのための技術

公開

事業原簿II-1, 3

渡辺研

## A-1 プラズマ・酸素燃焼炎加熱のハイブリッド化技術

目的

液晶用ガラス等への適用に向けたプラズマ加熱技術の開発

### 研究開発の目標

- ・平成20年度目標: 10分以上の安定した多相アーク+燃焼炎の組合せを実現。達成度○
  - ・平成21年度目標: 多相アーク電極消耗量を200mg/min以下にする。達成度○
  - ・平成22年度目標: 多相アーク電極消耗量を50mg/min以下にする。達成度○
- 30分以上の安定したハイブリッド加熱(多相アーク+燃焼炎)を実現。

旭硝子

## A-2 プラズマ・酸素燃焼炎加熱の高付加価値ガラスへの適用性評価

目的

液晶用ガラス等への適用に向けた障害克服

### 研究開発の目標

- ・平成20年度目標: 液晶用ガラスの $B_2O_3$ 残存率90%-ガラス化率90%を実現。達成度○
- ・平成21年度目標: 液晶用ガラス溶融体の気孔率0.1vol%を達成。達成度△
- ・平成22年度目標: 液晶用ガラスのプラズマand/orハイブリッド加熱の特徴明確化。  
泡挙動観察・解析可能なメルトサンプル作製。達成度○の見込み

3/58

A-1

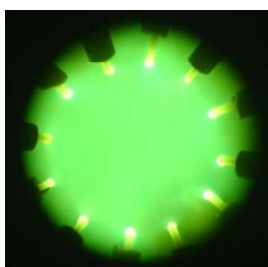
渡辺研

# 試験炉1 ハイブリッド加熱技術 開発用

公開

事業原簿III-2, 3

## 酸素炎/多相プラズマ加熱



多相アーク

高温(10,000 K), 低流速(10 m/s),  
広い高温領域がメリット

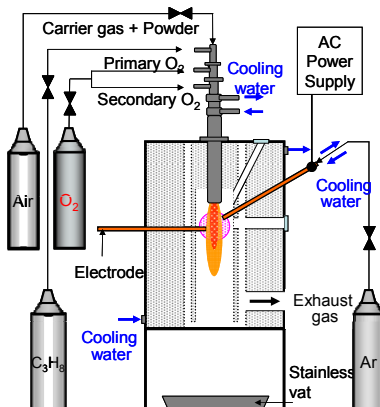


燃焼炎

経済的なメリット

装置仕様	
燃焼炎	
出力	9 kW
ガス流量	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> : 6 NL/min O <sub>2</sub> : 30 NL/min
一次酸素比	10%

多相アーク	
電極数	12 本
出力	40 ~ 50 kW
電流	320 A
電圧	190 V



原料処理能力

~200kg/day

4/58

## 課題1. 多相アーク電極消耗量の低減

(消耗原因)

- ・電極冷却が不足 →
- ・電極の酸化 →
- ・電極の異常昇温 →

(対策)

- 水冷構造を適正化
- 電極突き出し長さを適正化
- 電極配置を工夫

## 課題2. ハイブリッド加熱の安定化

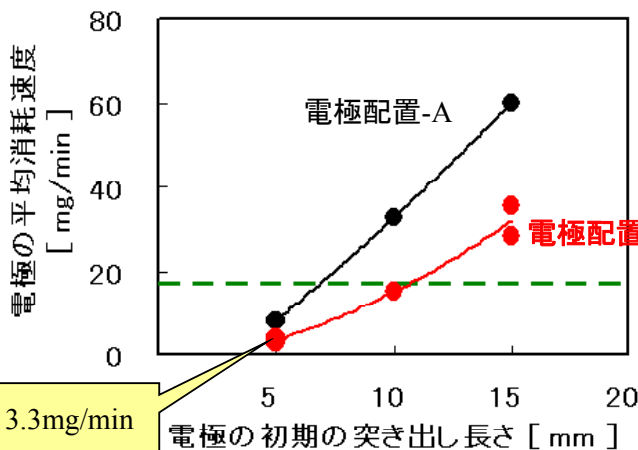
(不安定要因)

- ・多相アークが不安定
- ・電流分布が不均一 →
- ・プラズマ放電面積が小さい →

(対策)

- 電極電圧を均一化
- Arガス流量を適正化

### 電極突き出し長さの適正化

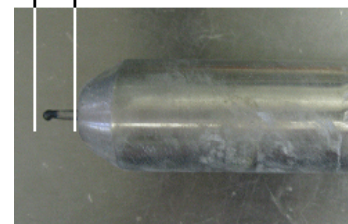


電極の初期の突き出し長さとの電極消費速度の関係 (10分間の消費量を測定して算出)

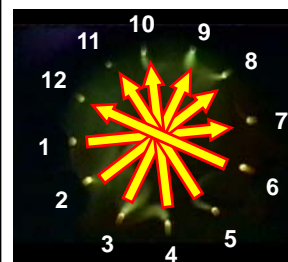
中間目標: 50 mg/min  
(電極1本当たり 4.1 mg/min)

電極消耗量の中間目標値を達成

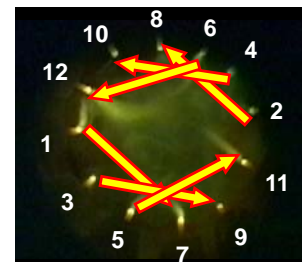
電極突き出し長さ



### 電極配置の工夫



電極配置-A:  
位相順に反時計回り

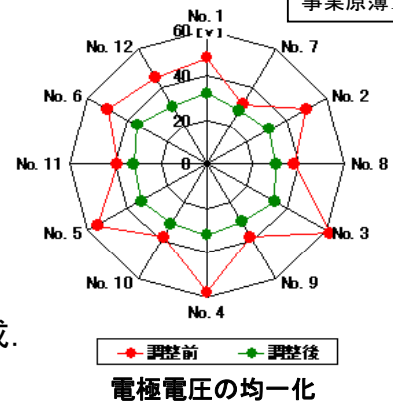


電極配置-D:  
反時計回りに位相の順を  
ふたつ飛ばしに配置

多相アークの安定化

- 12本のアーク電極(上段6本+下段6本)の電極位置を調整して、上下段の電圧を揃えた(右図)

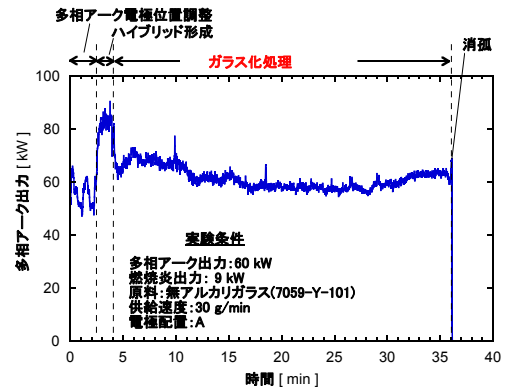
- 電極の消耗が均一化.
- 多相アークの長時間(15分以上)安定運転を達成.



燃焼炎+多相アークのハイブリッド加熱の安定化

- 安定化した多相アークに燃焼炎を組み合わせ

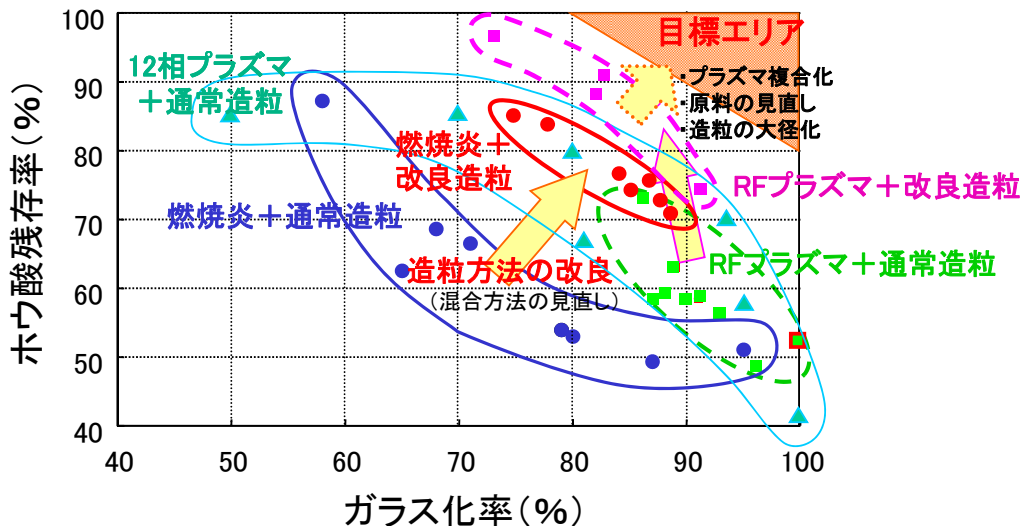
- 長時間(30分以上)安定運転を達成(右図)



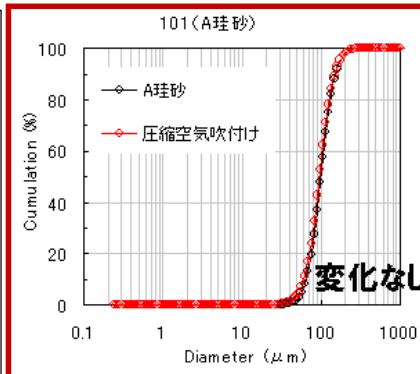
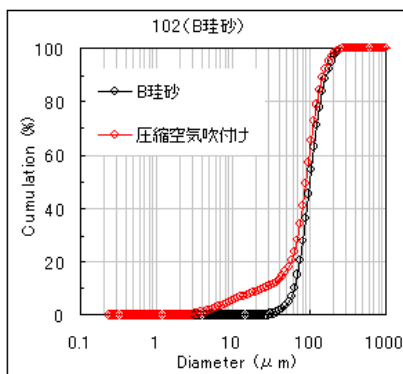
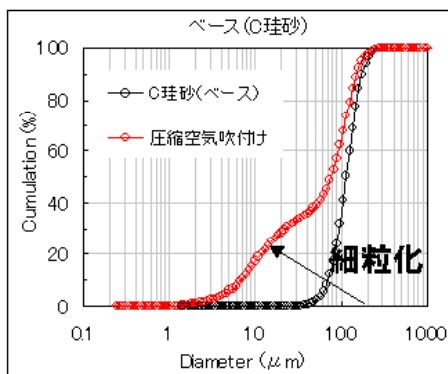
課題1. ガラス化率とB<sub>2</sub>O<sub>3</sub>残存率の両立化

- 先導研究での検討結果(トレードオフの関係)について再確認(下図)
- 造粒体の強度向上による改善

課題2. 泡発生抑制 汎用ガラスによる予備テスト



(強度の評価方法：圧縮空気を吹付け、造粒体が細粒化する程度で評価)



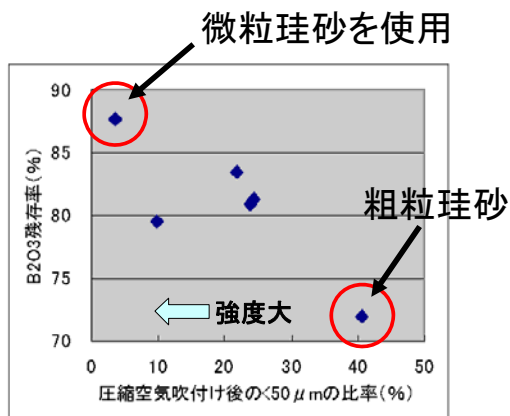
珪砂原料の粒度：大

中

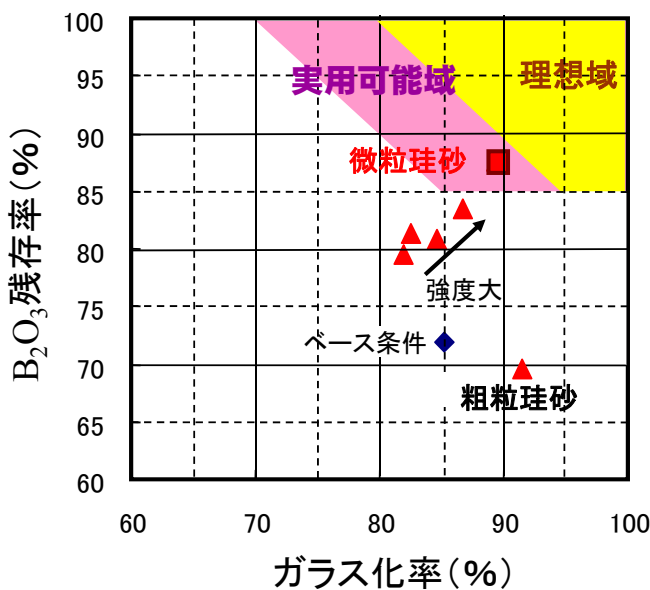
小

小 → 造粒体の強度 → 大

微粒珪砂の使用により強度が向上



崩れにくい造粒体ほど  
B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>残存率が高い  
ことを確認



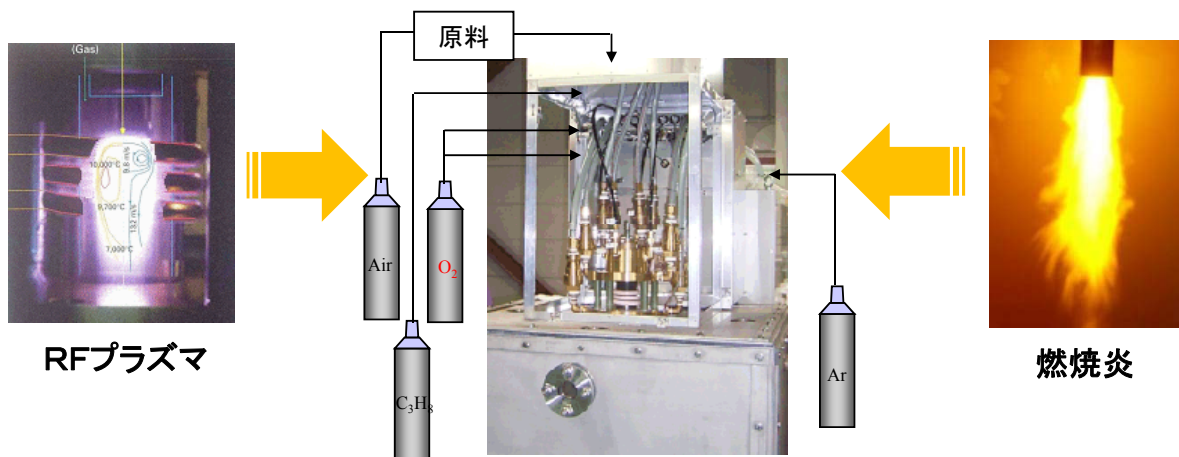
造粒体の高強度化により、ほぼ目標領域に到達☆

☆ 厳密にはB<sub>2</sub>O<sub>3</sub>残存率90%+ガラス化率90%に届いていないが、現行炉でもB<sub>2</sub>O<sub>3</sub>残存率は85~90%であり(Volf, Chemical Approach to Glass, p197 (1984))、液晶用ガラスへの適用性という本来の主旨から、目標は達成できたと考えている。

# 試験炉2—液晶ガラス適用性評価用

事業原簿Ⅲ-6

## 酸素炎／RFプラズマ加熱



多相アークプラズマ完成までの  
繋ぎとして、RFプラズマを使用

原料処理能力  
～300kg/day

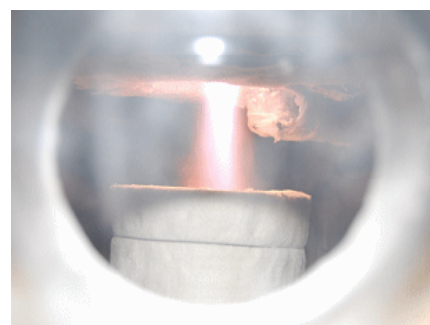
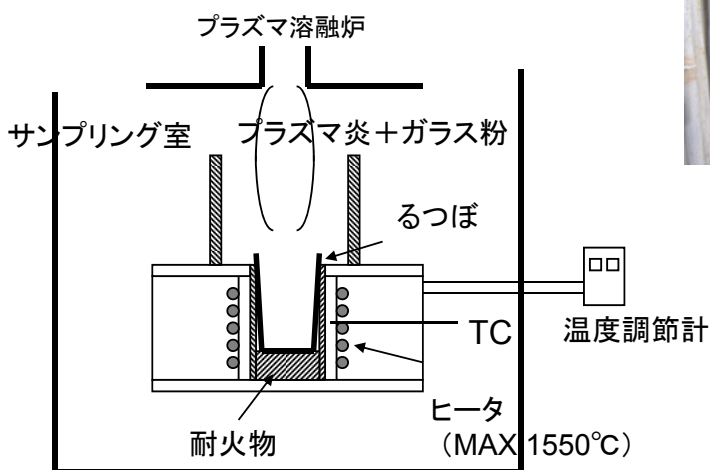
11/58

# 泡発生の抑制

## (溶融体の採取方法)

事業原簿Ⅲ-8

- ・ステンレス容器で粉体回収  
→ 粒子状態での評価
- ・加熱するついで溶融体として回収  
→ ガラスブロックでの評価



溶融体採取装置の概念図  
(試験炉2)

気中加熱中の様子(バーナ燃焼)

12/58

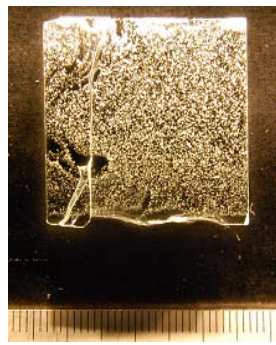
# 泡発生の抑制—2

公開

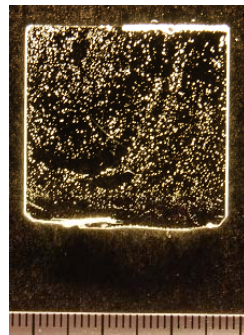
## (汎用ガラスによる予備テスト)

事業原簿Ⅲ-8

条件:ソーダライム1kg、燃焼炎気中溶解 → 加熱するつぼ受け → 冷却

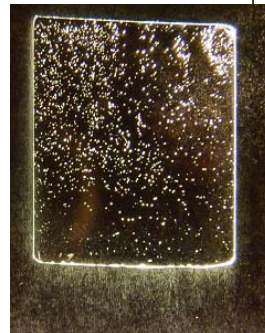


バーナ 38kW  
るつぼ 1470°C  
サンプル厚 1mm

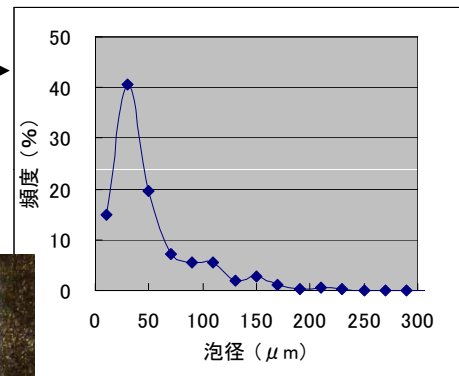


バーナ 38kW  
るつぼ 1530°C

泡数:1300個/g



バーナ 57kW  
るつぼ 1550°C



泡径小さいので  
気孔率(vol%)にすると

**0.06 vol%**

採取るつぼを高温化すれば泡評価が可能な気孔率となることを確認

# 高付加価値ガラス技術 まとめと今後の予定

公開

渡辺研

## A-1 プラズマ・酸素燃焼炎加熱のハイブリッド化技術の開発

まとめ **すでにH22目標達成**

- ・30分程度の安定した多相アーク+燃焼炎の組合せを実現。
- ・電極消耗量50 mg/min以下を達成(電極配置D)。
- ・多相アーク+燃焼炎の相乗効果を確認。

プラズマ加熱実用化への第1関門を克服

今後

- ・冷却システム改造による電極消耗量のさらなる低減化。
- ・電極改良によるシールド用アルゴン使用量の低減化。
- ・多相アーク+燃焼炎の組合せ条件の最適化(使用エネルギーの低減)。

旭硝子

## A-2 プラズマ・酸素燃焼炎加熱の高付加価値ガラス

まとめ **への適用性評価**

- ・造粒体強度の向上により、高ガラス化率と高B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>残存率の両立をほぼ実現。
- ・溶融体採取装置を立ち上げ、汎用ガラスで気孔率 0.1vol%以下を確認。

液晶用ガラスへの基本的適用性の目途ほぼ立つ

今後

- ・溶融体採取装置を改良しH21年度目標(気孔率 0.1vol%以下)を達成。
- ・液晶用ガラスの気中溶融の特徴を明確化する(H22年度目標)。

# 汎用ガラスのための技術

東洋カ

## A-3 超高効率気中加熱用試験炉開発及びエネルギー低減技術

目的

1ton/day炉の開発(試験炉3)と低エネ化の追求

### 研究開発の目標

- ・平成20年度目標: 溶融エネルギー1500kcal/kg-glass以下の運転で炉出口で外径1mm以上の泡数40個以下/gのガラスを得る。達成度△
- ・平成21年度目標: 1200kcal/kg-glass以下の1週間程度の運転で炉出口で外径1mm以上の泡数20個以下/gのガラスを得る。達成度△
- ・平成22年度目標: 1000kcal/kg-glass以下に必要なガラス化率を達成。達成度○の見込み

旭硝子

## A-4 超高効率気中加熱用原料及び溶融ガラス品質の評価

目的

造粒原料の供給とガラス評価の側面から低エネ化支援

### 研究開発の目標

- ・平成20年度目標: 同上 達成度△
- ・平成21年度目標: 同上 達成度△
- ・平成22年度目標: 残存する外径1mm以上の気泡が0.1個/kg以下の均質なガラスを得る。達成度○の見込み

15/58

A-3

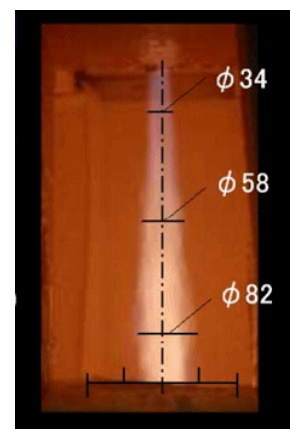
東洋カ

## 試験炉3—汎用ガラス低エネルギー溶融用

### 酸素炎加熱



試験炉3の外観



燃烧炎

原料処理能力

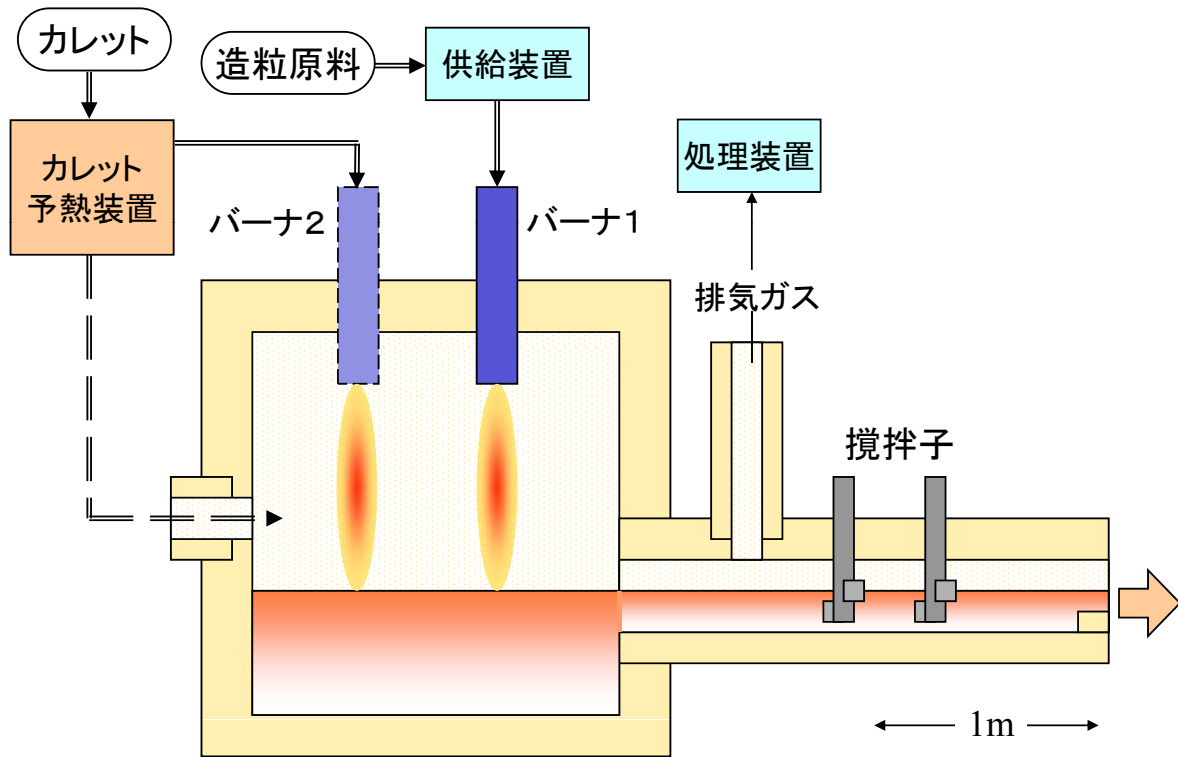
1,000kg/day

16/58



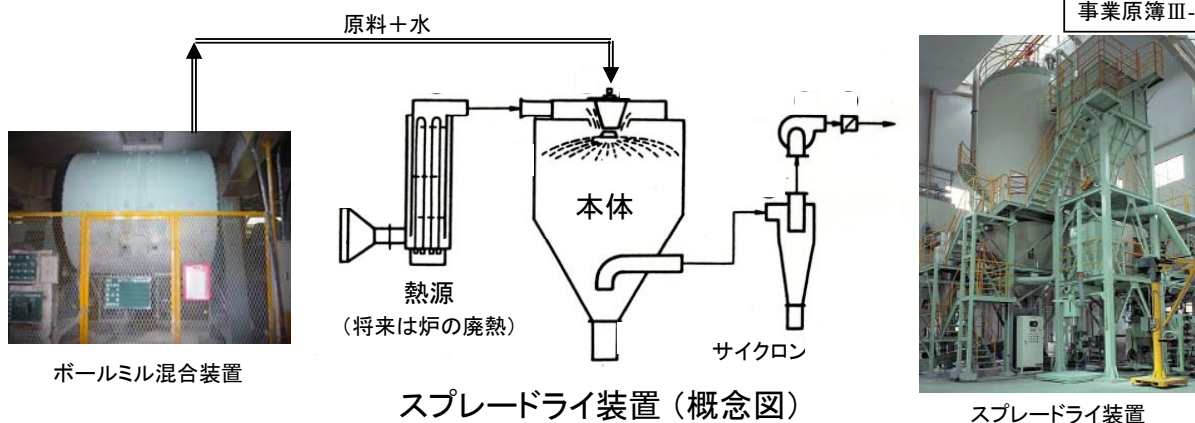
# 試験炉3 の概念図

公開



# 原料の造粒 (装置)

公開



## 汎用ガラス原料用

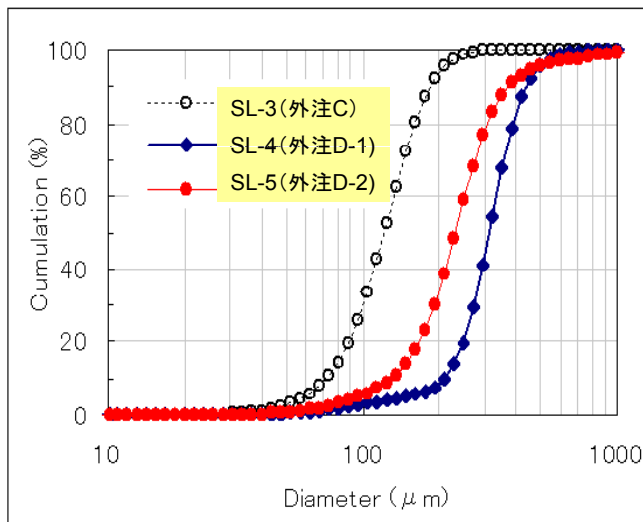
	外注C機	外注D機
処理能力	70kg/h	1000kg/h
噴霧方式	ディスク	ノズル
平均粒径	120 $\mu$ m	310 $\mu$ m

## 液晶用ガラス原料用

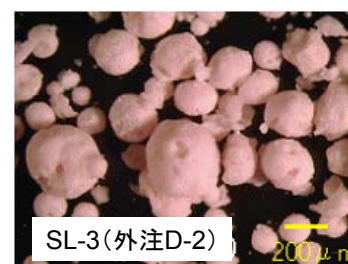
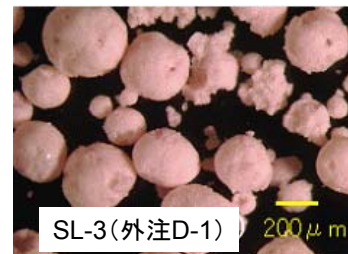
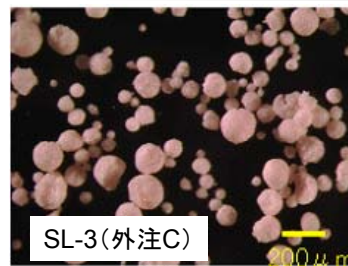
	外注A機	外注B機
処理能力	15kg/h	20kg/h
噴霧方式	ディスク	ディスク
平均粒径	90 $\mu$ m	110 $\mu$ m

# 原料の造粒 (造粒体)

## 汎用ガラス原料の粒度分布と外観



粒度分布



外観

汎用ガラスの主原料 =  $\text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3$   
 液晶用ガラスの主原料 =  $\text{SiO}_2 + \text{BaCO}_3 + \text{H}_3\text{BO}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$

# 試験炉3の運転条件と結果の概要

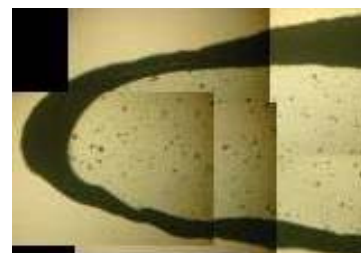
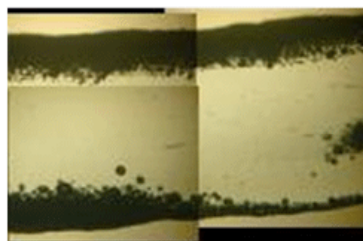
エネルギー原単位(kcal/kg)	3,423	2,282	2,282	1,597	1,597	1,369	1,879	1,369	1,141	
燃料ガス量(Nm <sup>3</sup> /h)	15	15	15	14	14	12	14	12	10	
原料投入量(kg/h)	50	75	75	100	100	100	85	100	100	
造粒径(μm)	D50=125	D50=120	D50=310	D50=120	D50=120	D50=120	D50=120	D50=100	D50=100	
バーナ高さ(mm)	1000	1000	800	800	800	800	800	800	800	
融液温度(°C)	1472	1325	1443	1302	1287	1255	1382	1307	1328	
熔融状態	泡層	薄く軟らかい	軟らかい	軟らかい	厚いが軟らかい	厚いが軟らかい	厚い、やや硬くなる	薄く軟らかい	全面を覆う、軟らかい	全面を覆う、やや硬い
	温度	安定	安定	安定	僅かに低下傾向	僅かに低下傾向	僅かに低下傾向	安定	安定	低下傾向

バーナ直下から採取したガラス

流出口付近で採取したガラス

## ガラスの採取方法

溶融ガラス中に鉄製のひしゃくを入れて採取

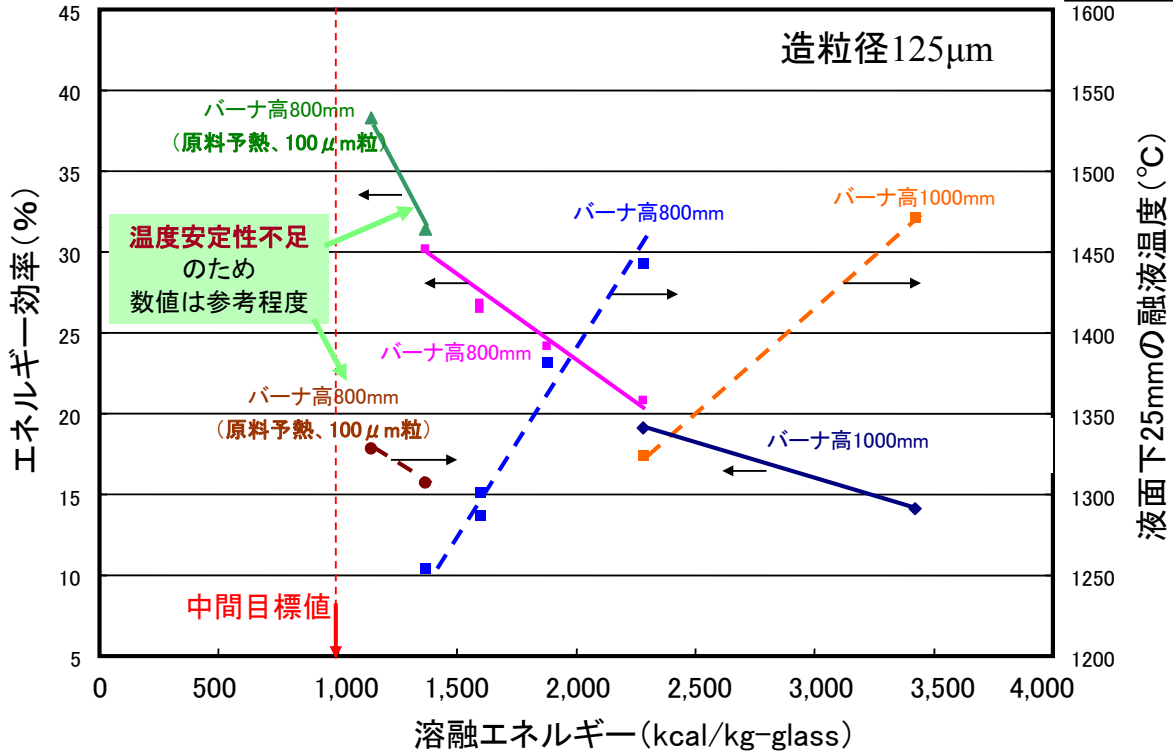


10mm

# 溶融エネルギー低減化の状況

公開

事業原簿Ⅲ-11

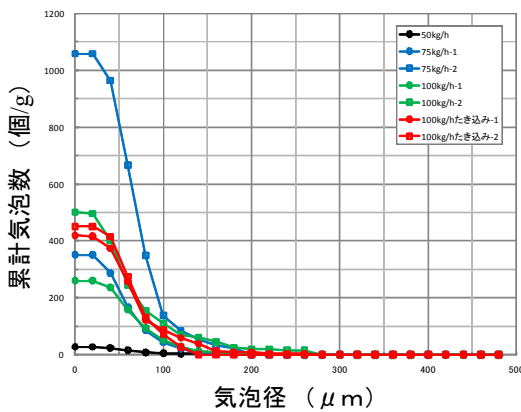


バーナ高の適正化と原料予熱が溶融エネルギー低減に有効に寄与

# ガラス品質の評価(残存泡)

公開

事業原簿Ⅲ-13

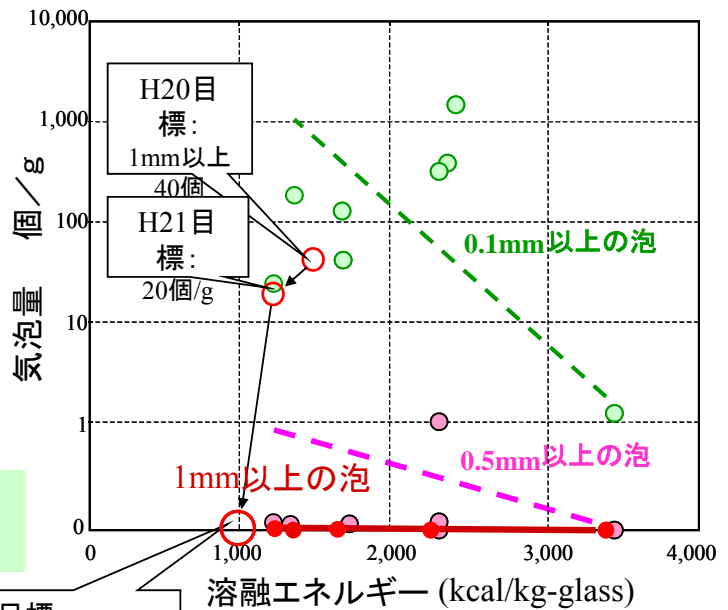


0.1mm径以下の泡が主体であり、  
1mm径以上の泡は認められない。

気中溶融法で生ずる気泡は  
造粒体のサイズで支配され、  
メカニズム的に大きな泡は生  
じにくいものと考えられる。

中間目標:  
**1mm以上の泡**  
0.0001個/g以下

## 気泡数の溶融エネルギー依存性



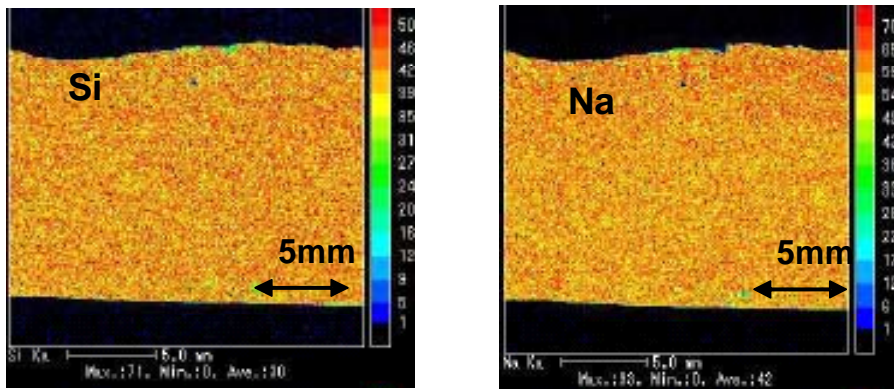
1000kcal/kg-glass で、  
残存泡目標達成の見通し

# ガラス品質の評価(マイクロ均質性)

公開

事業原簿Ⅲ-14

溶解したガラスブロック内の成分濃度分布をEPMAで測定・評価し、溶解量最大の100kg/hでも、主要元素(Si、Na)のばらつきが少ないことを確認した。

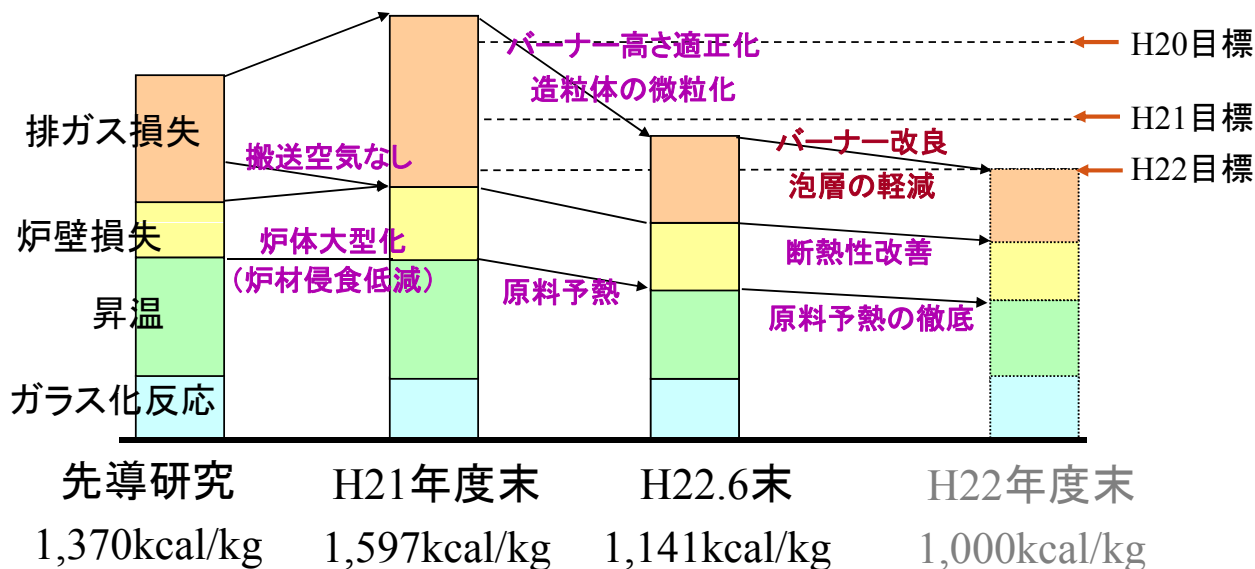


主要元素濃度分布

# 溶融エネルギー低減化と今後の方向

公開

事業原簿Ⅲ-11



## 汎用ガラス技術 まとめと今後の予定

公開

### 東洋ガ

#### A-3 超高効率気中加熱用試験炉及びエネルギー低減技術

##### まとめ

- ・1,141kcal/kg-glassの溶融エネルギーまで実施し、1mm径以上の残存泡のないガラスを得た。しかし、泡層軽減と安定性向上が必要。

##### 今後

- ・バーナー改良等を行い、H22年度目標(1000kcal/kg-glass)の達成と1週間の連続運転(H21年度目標)をめざす。

### 旭硝子

#### A-4 超高効率気中加熱用原料及び溶融ガラス品質の評価

##### まとめ

- ・大型機(外注D機)で造粒体を多量試作し、生産性と収率を大幅に向上。
- ・気中溶解ガラスの元素分布を測定し、ミクロな均質性を確認。

##### 今後

- ・原料造粒と溶解ガラス評価を通じてH22年度目標を達成する。

25/58

### 矢野研

公開

## A-5 気中溶融特有の現象と融液挙動の解明

事業原簿 II-9

### 目的

- ・高速清澄、高速混合を安定して行うために必要な、気中溶融により形成される融液の性質を定量的に把握。
- ・融液挙動をその場で直接観察し、気中溶融条件との関係を明確化。

### 研究開発の目標

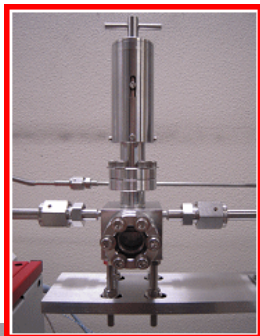
- ・平成20年度目標： 気中溶融によってガラスに内包されるガスを把握。溶融状態の直接観察炉を設置。清澄挙動の評価準備。 達成度○
- ・平成21年度目標： 気中溶融ガラス融液中の清澄挙動を直接観察・解析。内包ガスの分析装置導入し、分析体制を確立。 達成度○
- ・平成22年度目標： 気中溶融ガラス融液中の清澄挙動を直接観察。気中溶融ガラス融液の物性を定量的評価。融液中ガスを濃度測定。 達成度○の見込み

26/58

# 内包ガスの分析 (装置の導入)

公開

事業原簿Ⅲ-16



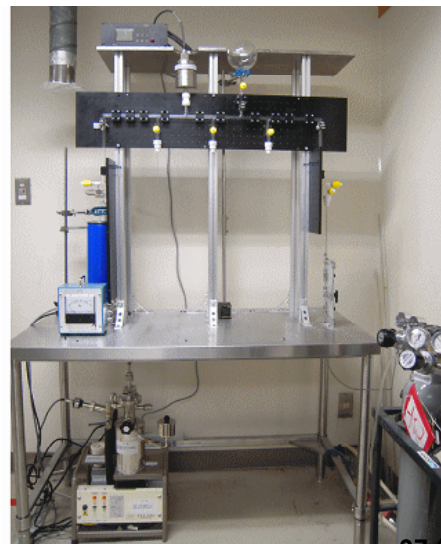
ガラス試料内に内包された気泡を超高真空中で破壊してガスを放出。質量分析器で定量分析を行う。

試料クラッシャー(左)

ガス分析装置(下)



標準試料作製装置



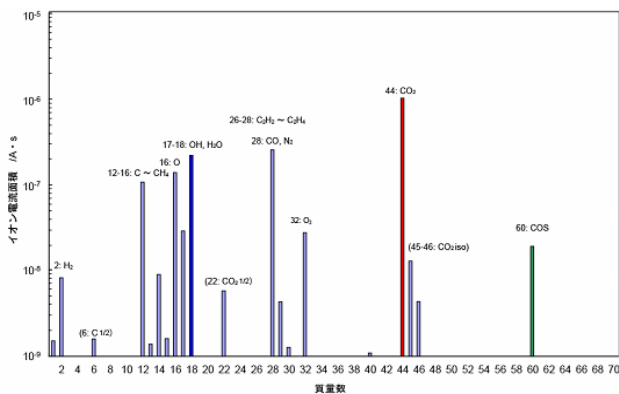
27/58

# 内包ガスの分析 (分析結果の例示)

公開

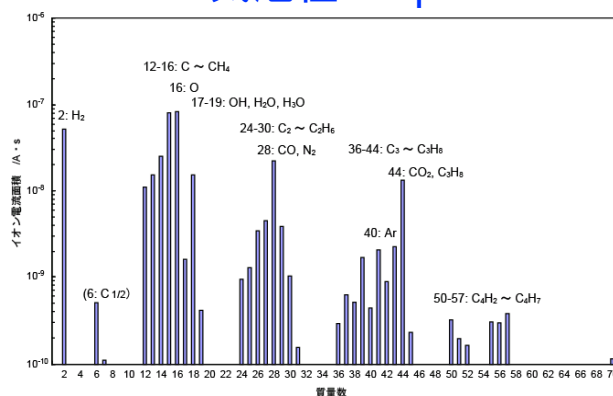
事業原簿Ⅲ-16

気泡径165 $\mu$ m



試験炉3での気泡 例1 ('10.6.24)  
(H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, COSが検出)

気泡径260 $\mu$ m

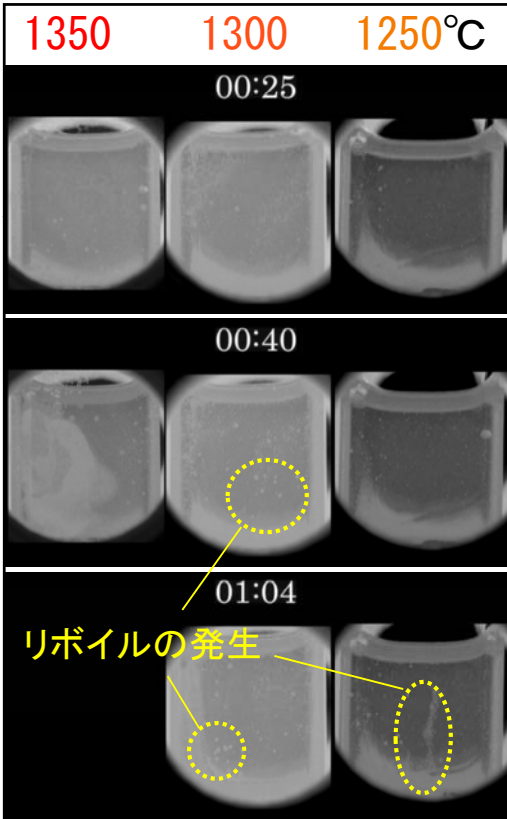


例2 ('09.12.3)  
(燃料ガス成分が検出)

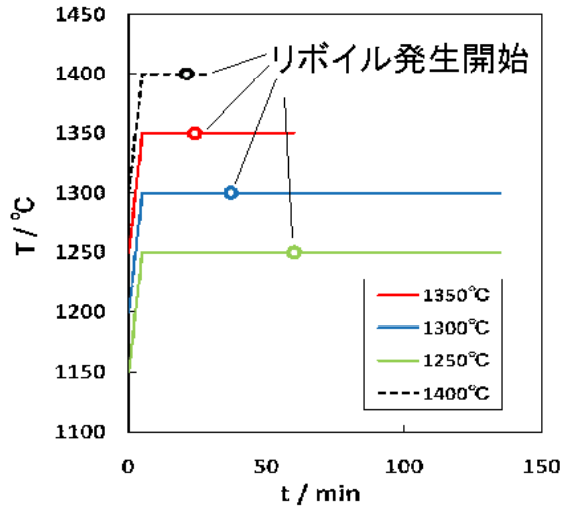
CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>Oのほか、燃料ガス成分、COS等が検出された。

28/58

ソーダ石灰ガラス



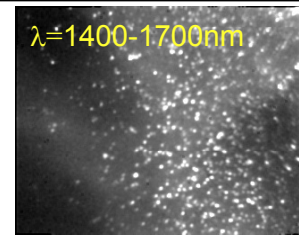
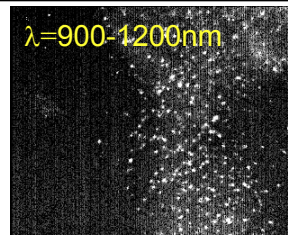
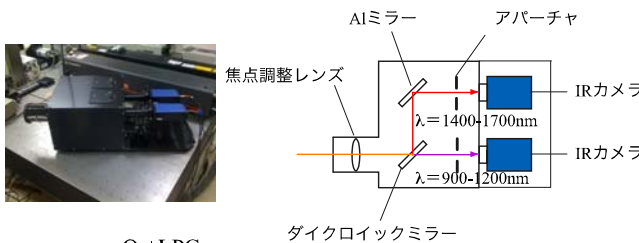
保持温度 (°C)	平均気泡発生数 (個/min)
1350	4.3
1300	1.6
1250	1.4



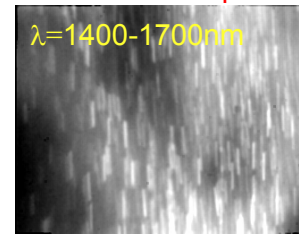
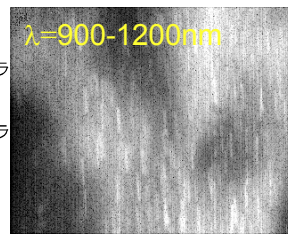
気中溶融ガラスの清澄挙動観察を開始 29/58

飛翔粒子の計測

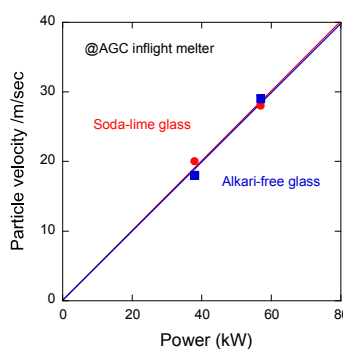
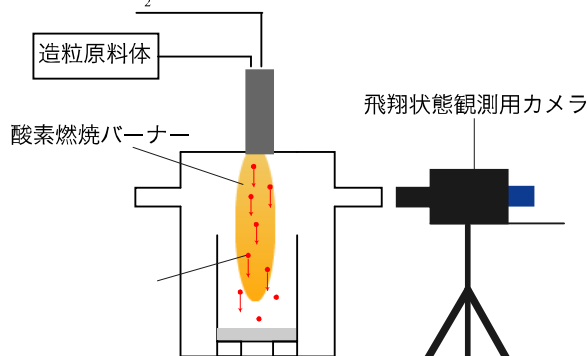
- ・試験炉2 (旭硝子)
- ・ソーダ石灰ガラス造粒体原料
- ・無アルカリガラス造粒体原料
- ・酸素燃焼バーナー出力: 38、57kW
- ・原料供給量: 100~140g/min



ソーダ石灰ガラス シャッター時間5.5μ秒



ソーダ石灰ガラス シャッター時間150μ秒



気中溶融時の粒子の飛翔状態の評価を開始

**まとめ** H20、H21年度目標は計画通り達成

気中溶融ガラスの融液挙動の観察と解析を開始した。

- ・融液中からの気泡の発生が観測され、温度と発生個数との関係の他に、気泡径の経時変化など気中溶融ガラス特有の現象が幾つか観察された。
- ・高速清澄達成のためには、気中溶融ガラスに溶存しているガスについて注視し、解析をする必要がある。

ガラスに内包された気泡中のガス成分の同定／定量を実施すべく、気泡内ガス分析装置および標準試料作製装置を立ち上げ、分析体制を整えた。

- ・CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>Oのほか、燃料ガス成分、COS等が検出された。

**今後**

- ・気中溶融ガラスの溶融挙動の観察解析を継続して実施し、気泡内ガス分析を併用して溶存ガスに関する情報を収集する。
- ・インフライトメルティング挙動計測装置を用い、気中溶融挙動の直接観察を開始する。

31/58

- 目的**
- ・気中溶融プロセスシミュレーションの高精度化・迅速化
  - ・多相プラズマ加熱モデル、融液攪拌モデル等の開発

**研究開発の目標**

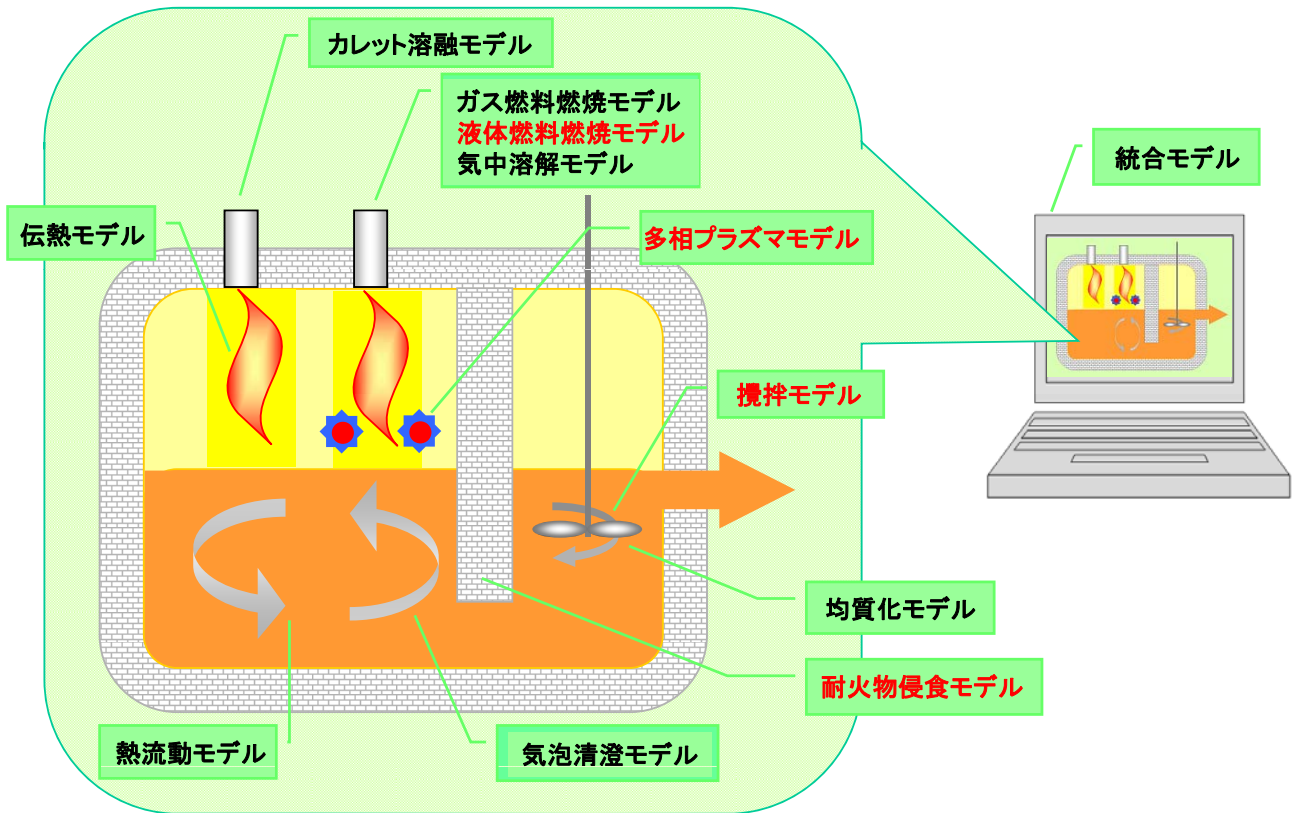
- ・平成20年度目標：多相プラズマ加熱モデルと液体燃料燃焼モデルを構築 **達成度○**
- ・平成21年度目標：融液攪拌モデルと耐火物侵食モデルを構築 **達成度○**
- ・平成22年度目標：試験炉の熱収支内訳をシミュレーションで  
±13%の精度で予測 **達成度○の見込み**

32/58



# 気中溶融プロセスシミュレーションの全体像

公開



☆ 黒字表示のモデルは先導研究においてほぼ開発済み

# 多相プラズマ加熱モデル

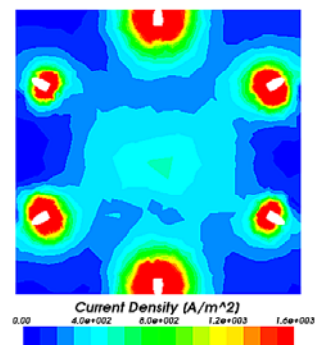
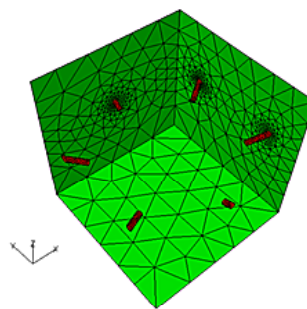
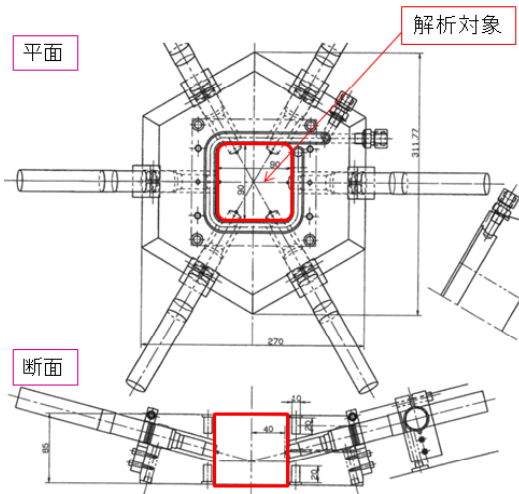
公開

事業原簿Ⅲ-17

検証用アークプラズマ溶融炉  
(福井県工業技術センター)

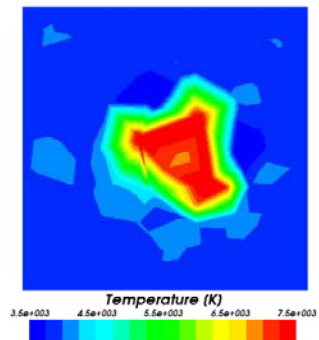
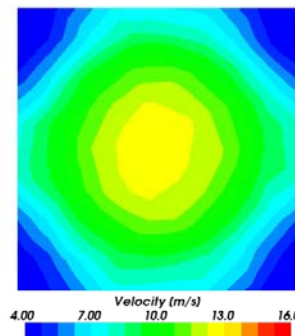
解析格子(計算モデル)

電流密度分布



流速分布

温度分布



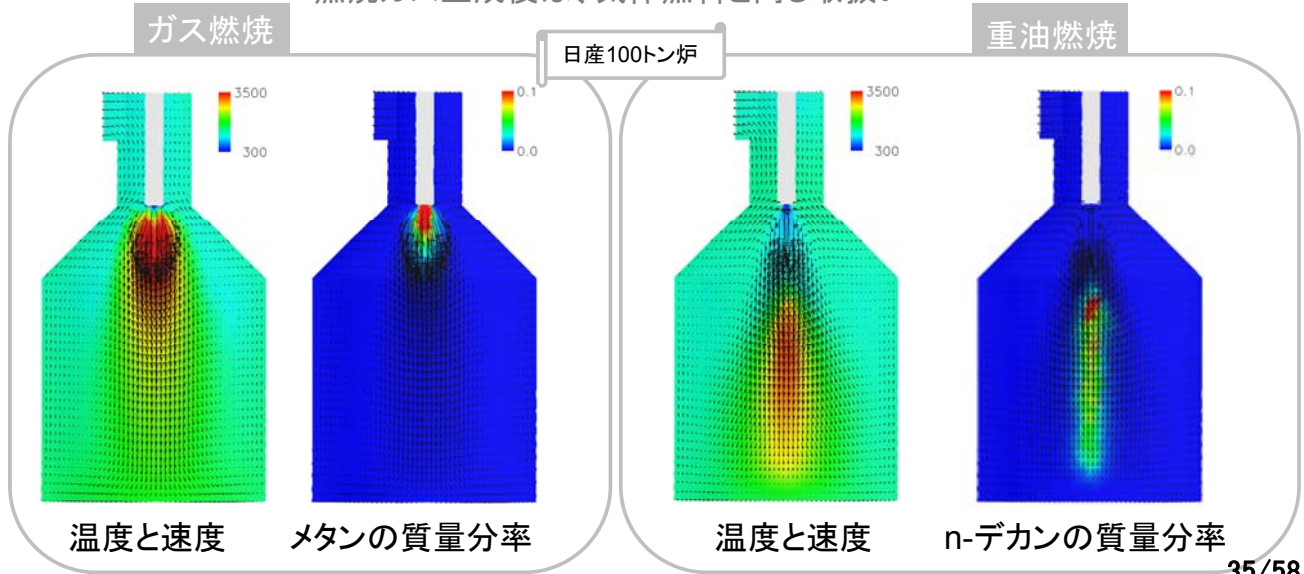
# 液体燃料燃焼モデル 気体燃料との相違点

公開

事業原簿Ⅲ-17

- 液滴の運動軌跡の追跡(ラグランジェ的)
- 液滴粒子の温度上昇をモデル化
- 液滴粒子の蒸発(燃焼ガスの生成)をモデル化
- 蒸発に伴う液滴直径の変化をモデル化

燃焼ガス生成後は、気体燃料と同じ取扱い

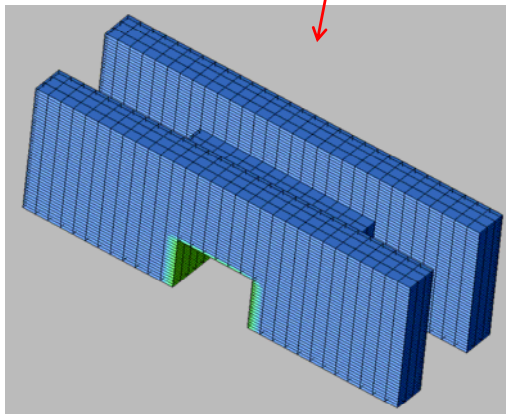
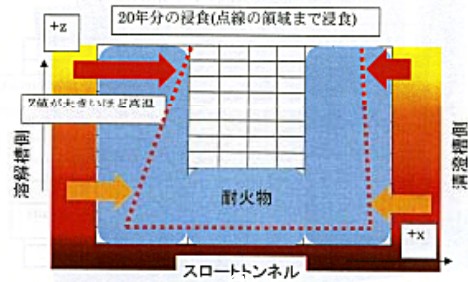
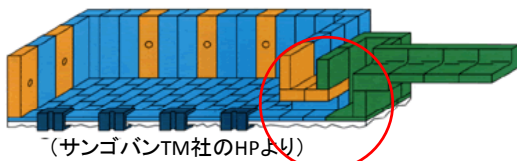


# 耐火物侵食モデル

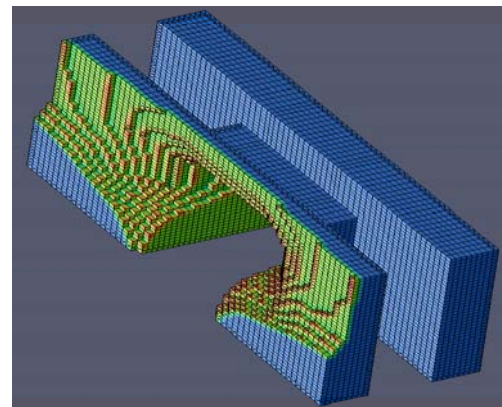
公開

事業原簿Ⅲ-18

- ・ 気中溶解炉の寿命を予測する目的で、炉の寿命を支配するスロート部についてモデルを開発

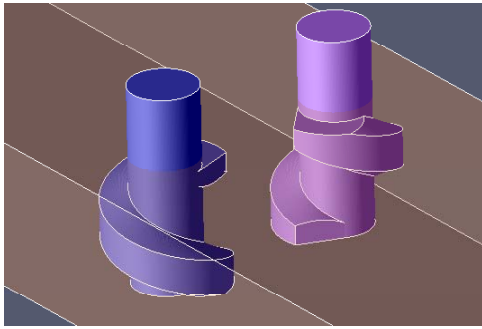


スロート部の立体像

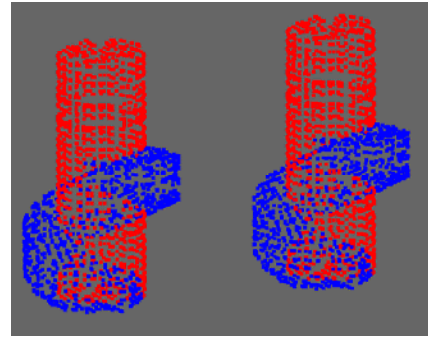


被侵食像

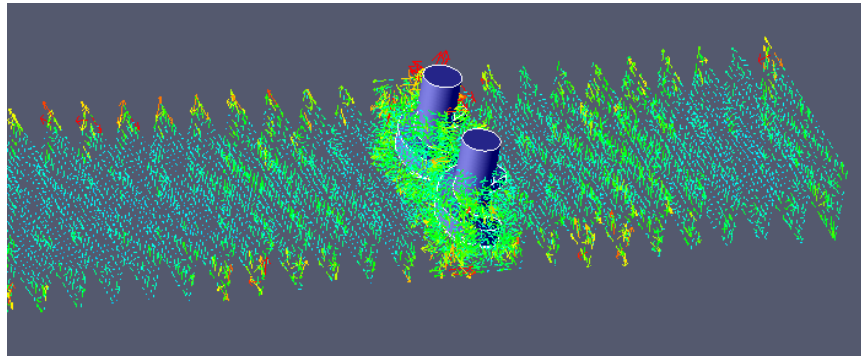
スターラーの設置状況



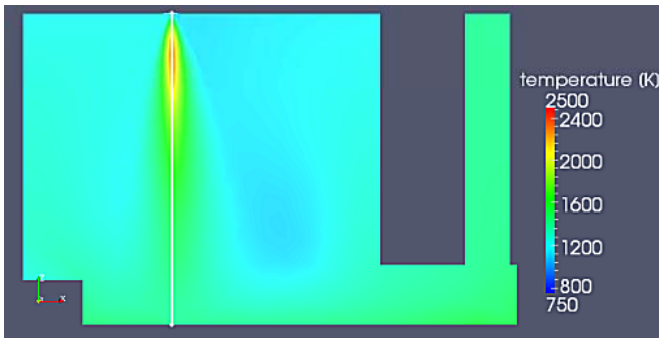
微小点への変換



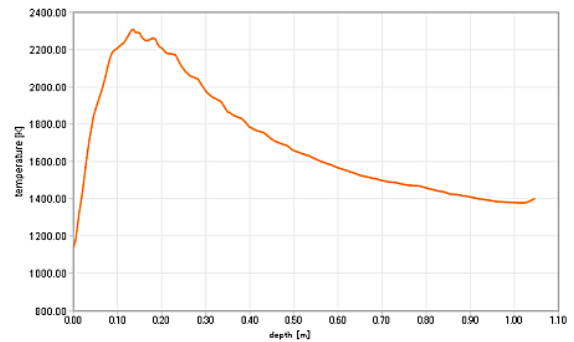
スターラー周りの流れ(60rpm)



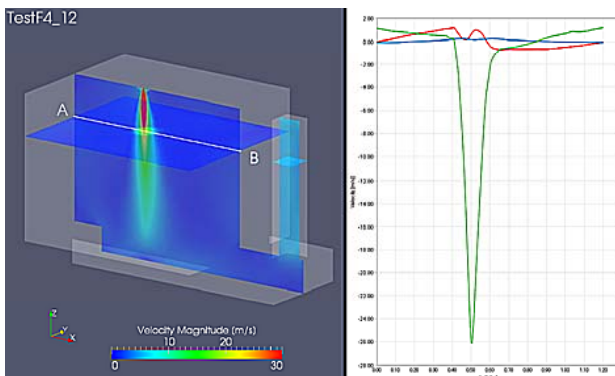
原料粒子を投入した場合の燃焼計算



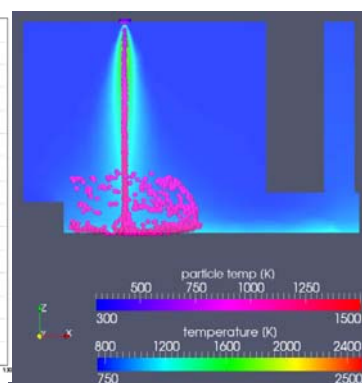
火炎中心の温度分布



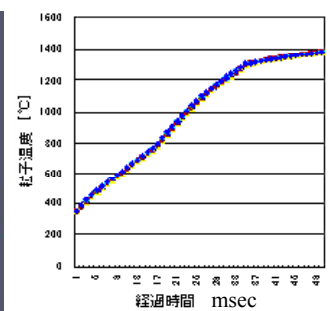
火炎断面の流速分布



原料粒子の加熱状況



原料の温度変化



## まとめ H20、H21年度目標は計画通り達成

- ・4つのシミュレーションモデルを構築。  
(多相プラズマ、液体燃料燃焼、耐火物侵食、攪拌)
- ・試験炉の熱収支計算の準備をほぼ終了。

## 今後

- ・実測データとの対比を経て、必要に応じモデルを改良。
- ・シミュレーション予測精度の向上と迅速化。

39/58

## プロジェクト終了後の実用化への課題(テーマA)

公開

### <高付加価値ガラスのための技術>

A-1. プラズマ・酸素燃焼炎加熱のハイブリッド化技術 (東京工大 渡辺研究室)

A-2. プラズマ・酸素燃焼炎加熱の高付加価値ガラスへの適用性評価 (旭硝子)

プロジェクト完了時 : 気中溶融技術の事業化についての経営判断が可能になる

### プロジェクト後の課題

- ・電極冷却システムの高度化と連続耐久性向上
- ・電極の迅速交換機構の考案
- ・炉構造の最適化

### <汎用ガラスのための技術>

A-3. 超高効率気中加熱用試験炉開発及びエネルギー低減技術 (東洋ガラス)

A-4. 超高効率気中加熱用原料及び溶融ガラス品質の評価 (旭硝子)

プロジェクト完了時 : 気中溶融技術の事業化についての経営判断が可能になる

### プロジェクト後の課題

- ・炉構造の最適化
- ・低コスト造粒技術(転動法等)
- ・気中溶融に適した簡便な脱泡技術(電解法等)

40/58

# テーマAのまとめと中間目標の達成度

公開

◎(大幅達成)、○(達成)、△(遅れて達成見込み)、×(未達)

事業原簿Ⅲ-28

研究課題	H22年度目標(値)	達成度	H22年度達成見込み
A-1 プラズマ・酸素燃焼炎加熱のハイブリッド化技術	・電極消費50mg/min以下 ・30分以上安定したハイブリッド加熱実現	○	電極消費50mg/min以下を達成 30分以上安定したハイブリッド加熱を実現
A-2 プラズマ・酸素燃焼炎加熱の高付加価値ガラスへの適用性評価	・液晶用ガラスに対するプラズマまたはハイブリッド加熱の特徴を明確化。 ・泡挙動の観察・解析が可能なブロック状メルトサンプル作製。	○	液晶用ガラスの泡挙動等を評価し、プラズマ加熱の特徴を明確化できる見込み
A-3 超高効率気中加熱用試験炉開発及びエネルギー低減技術	カレットなしソーダ石灰ガラスを熔融エネルギー1000kcal/kg-glass以下かつ必要なガラス化率を達成。	○	バーナ改良等により1000kcal/kg以下を達成の見込み
A-4 超高効率気中加熱用原料及び熔融ガラス品質の評価	1mm径以上の気泡0.1個/g以下の均質ガラスを得る。	○	適正原料、熔融ガラス評価等により気泡0.1個/kg以下の均質ガラスを得る見込み
A-5 気中熔融特有の現象と融液挙動の解明	・インフライトマルチング挙動およびガラス融液中の清澄挙動の直接観察と評価。 ・融液中のガス成分分析、ガラス物性定量評価	○	両挙動の直接観察と熔融雰囲気への影響を評価。融液中のガス成分の濃度測定とガラス物性の定量評価も実施の見込み
A-6 シミュレーション予測と高精度迅速化技術	試験炉の熱収支内訳をシミュレーションで±13%精度で予測。	○	モデル改良により、試験炉の熱収支内訳を±13%の精度で予測できる見込み
B-1 ガラスカレット高効率加熱技術	カレットの1200℃までの昇温時間1分以内。	○	気中熔融法によりカレットの1200℃までの昇温時間1分以内を達成できる見込み
C-1 高速混合技術	透過光評価で飲一に混合するまでの時間として4時間以内。	○	3対の攪拌子により4時間以内の攪拌操作での均一化達成の見込み
C-2 混合融液の均質性評価技術	泡と組成ムラを分離して検出し、その存在量変化を定量化することにより、均質性評価技術を確立。	○	泡と組成ムラを分離して検出し存在量変化を定量化する方法により、均質性評価技術を確立できる見込み

41/58

## 東洋ガ

Ⅱ. ガラスカレットを原料として利用するための高効率で加熱する技術

### B-1 ガラスカレット高効率加熱技術

公開

事業原簿Ⅱ-12

**目的** 気中熔融法に適合するカレットの高効率熔融技術を開発。

- (1) **細粒カレット熔融**について気中熔融法の適用を検討  
カレット粒径: 1mm以下 (泡の発生抑制、原料混合など)
- (2) **粗粒カレット熔融**について加熱方法を検討  
カレット粒径: 10mm以下 (泡抑制、昇温速度向上、炉材耐久性)
- (3) **カレット予熱装置**の開発 (カレット粒径: 10mm以下)  
300℃までダンゴ状にならず低粉塵で予熱できる技術

#### 研究開発の目標

- ・平成20年度目標: 達成度○  
カレット供給装置及び予熱装置を設計し、製作に着手。
- ・平成21年度目標: 達成度△(7hrまで実施)  
24hr以上長時間運転し、熔融エネルギー2000kcal/kg-glass以下を達成。
- ・平成22年度目標: 達成度○の見込み  
高速加熱技術の見通しを立て、1200℃までの昇温時間1分以内を達成。

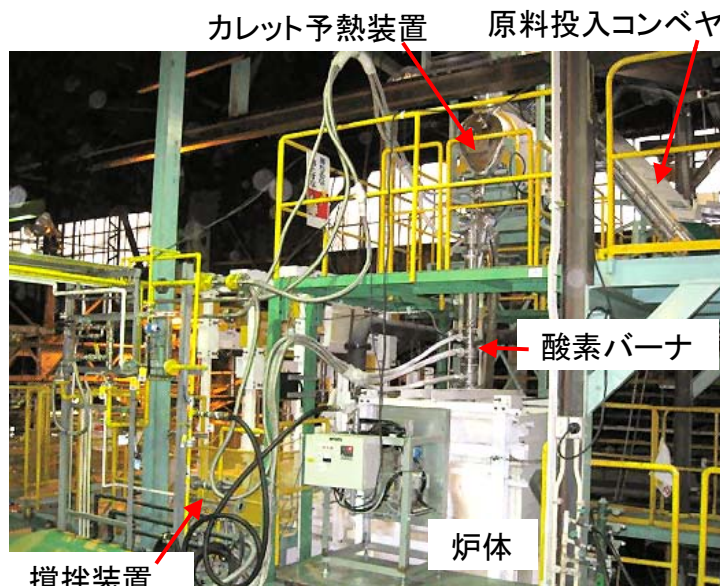
42/58

(試験炉3とカレット予熱装置)

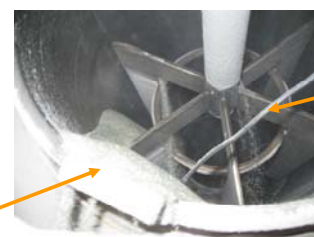
事業原簿Ⅲ-20

カレット予熱装置

(間接加熱式ロータリーキルン)



試験炉3の外観



装置の内部

43/58

Ⅱ. ガラスカレットを原料として利用するための高効率で加熱する技術

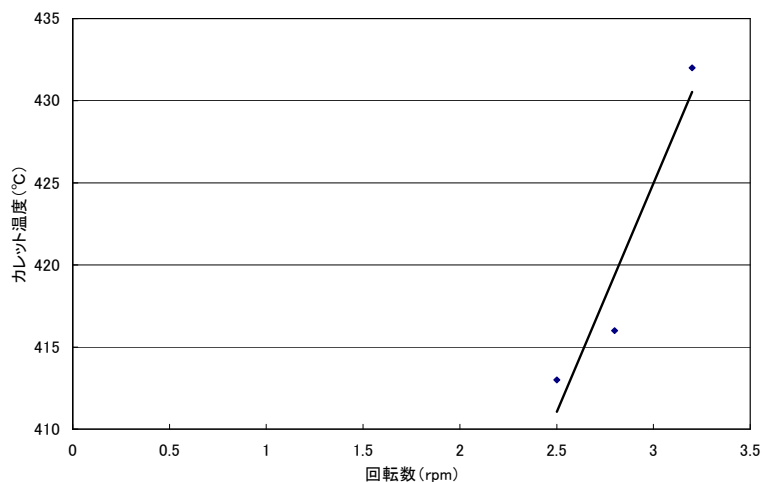
カレットの予熱

事業原簿Ⅲ-20

間接加熱式ロータリーキルンによるカレットの予熱装置を開発

カレットサイズ	1mm以下
設定温度	600°C
ガス量☆	1.8Nm <sup>3</sup> /h
投入量	50kg/h
滞留時間	30分
攪拌子	使用

☆: 実用化時は排ガス熱の利用を想定



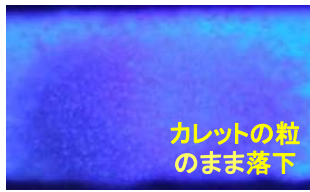
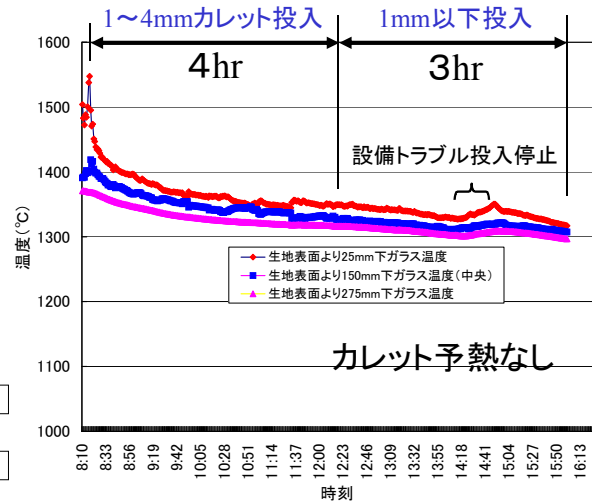
粒径1mm以下のカレットについて、430°C(目標300°C)まで加熱。

ダンゴ状にならず。間接加熱式のため粉塵問題もなし。  
回転数等の調整でカレット温度はさらに高められる見込み。

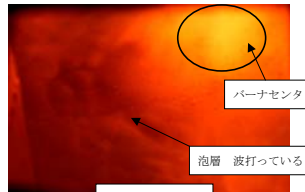
44/58

気中溶融法により、粒径1mm以下のカレットについて、溶融エネルギー1942kcal/kg-glassで7hrまで融液温度1300℃以上を維持。

カレット粒径	1~4mm	1mm以下
カレット投入量	75kg/h	75kg/h
エネルギー原単位	1,942kcal/kg	1,942kcal/kg
燃料ガス量	15Nm <sup>3</sup> /h	15Nm <sup>3</sup> /h
バーナ高さ	800mm	800mm
融液温度	1345℃	1315℃
溶融状態	フレーム下	カレット粒が見える (1295℃)
	泡層	硬い
	フレーム	透明
		カレット粒見えない (1311℃)
		軟らかい
		黄色 (Naの発光)



1~4mmカレット溶融時の  
ガラス表面



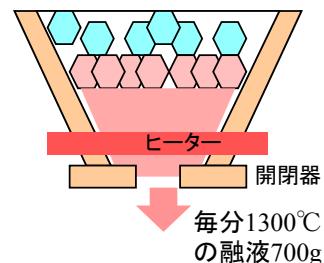
1mm以下カレット溶融時の  
ガラス表面

まとめ

- ・間接加熱式ロータリーキルンを使用することで、粒径1mm以下のカレットを、ダンゴ状にならず430℃まで予熱できた。
- ・気中溶融法により、1mm以下のカレットを予熱なしで溶融できた。  
(粒径1~4mmのカレットは予熱なしでは溶融できなかった)

今後の予定

- ・予熱を併用して24hr以上の気中溶融を行う。
- ・10mm以上の大粒径カレットを溶融するための装置  
(例えば電気溶融炉)の導入を検討する。



# テーマBのまとめと中間目標の達成度

公開

◎(大幅達成)、○(達成)、△(遅れて達成見込み)、×(未達)

事業原簿Ⅲ-28

研究課題	H22年度目標(値)	達成度	H22年度達成見込み
A-1 プラズマ・酸素燃焼炎加熱のハイブリッド化技術	・電極消耗50mg/min以下 ・30分以上安定したハイブリッド加熱実現	○	電極消耗50mg/min以下を達成 30分以上安定したハイブリッド加熱を実現
A-2 プラズマ・酸素燃焼炎加熱の高付加価値ガラスへの適用性評価	・液晶用ガラスに対するプラズマまたはハイブリッド加熱の特徴を明確化。 ・泡挙動の観察・解析が可能なブロック状メルトサンプル作製。	○	液晶用ガラスの泡挙動等を評価し、プラズマ加熱の特徴を明確化できる見込み
A-3 超高効率気中加熱用試験炉開発及びエネルギー低減技術	カレットなしソーダ石灰ガラスを熔融エネルギー1000kcal/kg-glass以下かつ必要なガラス化率を達成。	○	バーナ改良等により1000kcal/kg以下を達成の見込み
A-4 超高効率気中加熱用原料及び熔融ガラス品質の評価	1mm径以上の気泡0.1個/g以下の均質ガラスを得る。	○	適正原料、熔融ガラス評価等により気泡0.1個/kg以下の均質ガラスを得る見込み
A-5 気中熔融特有の現象と融液挙動の解明	・インフライトメルティング挙動およびガラス融液中の清澄挙動の直接観察と評価。 ・融液中のガス成分分析、ガラス物性定量評価	○	両挙動の直接観察と熔融雰囲気への影響を評価。融液中のガス成分の濃度測定とガラス物性の定量評価も実施の見込み
A-6 シミュレーション予測と高精度迅速化技術	試験炉の熱収支内訳をシミュレーションで±13%精度で予測。	○	モデル改良により、試験炉の熱収支内訳を±13%の精度で予測できる見込み
B-1 ガラスカレット高効率加熱技術	カレットの1200℃までの昇温時間1分以内。	○	気中熔融法によりカレットの1200℃までの昇温時間1分以内を達成できる見込み
C-1 高速混合技術	透過光評価で飲一に混合するまでの時間として4時間以内。	○	3対の攪拌子により4時間以内の攪拌操作での均一化達成の見込み
C-2 混合融液の均質性評価技術	泡と組成ムラを分離して検出し、その存在量変化を定量化することにより、均質性評価技術を確立。	○	泡と組成ムラを分離して検出し存在量変化を定量化する方法により、均質性評価技術を確立できる見込み

47/58

Ⅲ. ガラス原料融液とカレット融液とを高速で混合する技術

## 高速で混合する技術

公開

### 東洋ガ C-1 高速混合技術

事業原簿Ⅱ-14、15

**目的** 気中熔融法に適合するカレット融液・原料融液の高速混合技術を開発。

#### 研究開発の目標

- ・平成20年度目標： 混合攪拌装置を検討し製作に着手。 達成度○
- ・平成21年度目標： 試験炉に接続し脈理の減少を透過光評価。 達成度○
- ・平成22年度目標： 透過光評価での均一混合の時間 4時間以内を達成。 達成度○の見込み

### NIMS C-2 混合融液の均質性評価技術

**目的** 本プロジェクトの対象の粗溶解レベル(泡のあるガラス)について均質化過程を追跡するために、泡と成分ムラとを分離して定量評価する技術を開発。

#### 研究開発目標

- ・平成20年度目標： シュリーレン像から泡と成分ムラに起因する情報の分離法を開発。 達成度○
- ・平成21年度目標： 泡と成分ムラの定量評価法を開発。 達成度
- ・平成22年度目標： 泡と成分のムラそれぞれに起因する情報を分離して泡と成分ムラの存在量変化を定量化する評価法を確立。 達成度○の見込み

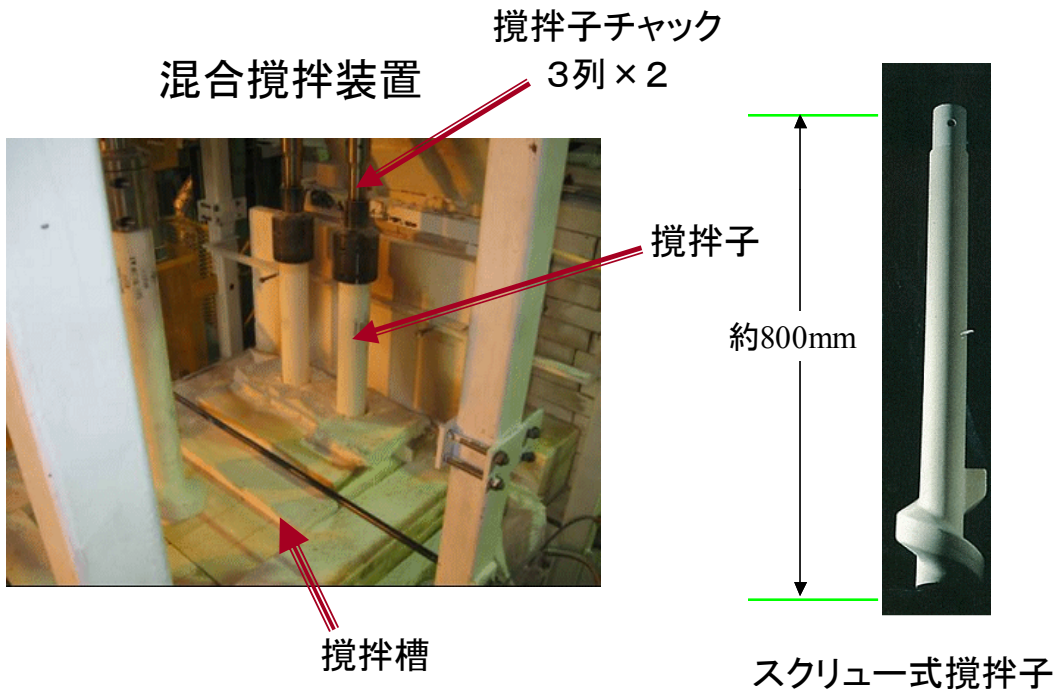
48/58



試験装置

公開

事業原簿Ⅲ-22

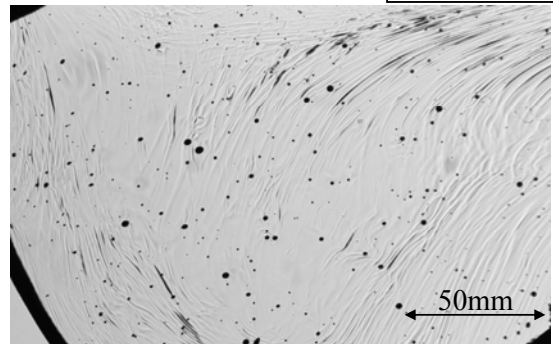


攪拌による脈理の減少の確認

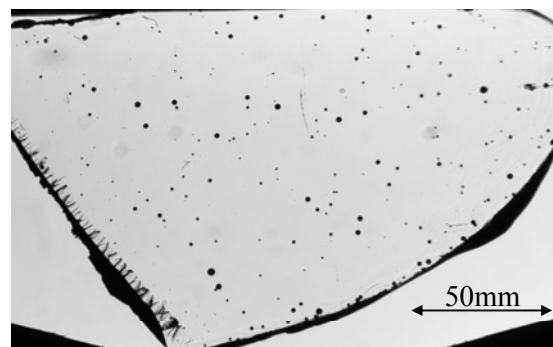
公開

事業原簿Ⅲ-22

攪拌子	形状	スクリュー	スクリュー
	本数	2本×1対	2本×1対
	回転数	10rpm	7.3rpm
	回転方向	上向き	上向き
エネルギー原単位	1,879kcal/kg	1,597kcal/kg	
燃料ガス量	14Nm <sup>3</sup> /h	14Nm <sup>3</sup> /h	
原料投入量等	85kg/h	100kg/h	
バーナ高さ	800mm	800mm	
融液温度	1,380℃	1,300℃	
均質度	良好	良好	



攪拌前のシュリーレン像



攪拌後(1対, 7.3rpm, 1.3hr)

攪拌子1対のみの攪拌で、  
顕著な均質度の改善効果が確認できた。

# C-1 まとめと今後の予定

公開

## まとめ

- ・びんガラス生産で一般的に使用されているスクリー式攪拌子1対で均質度の顕著な改善が確認できた。

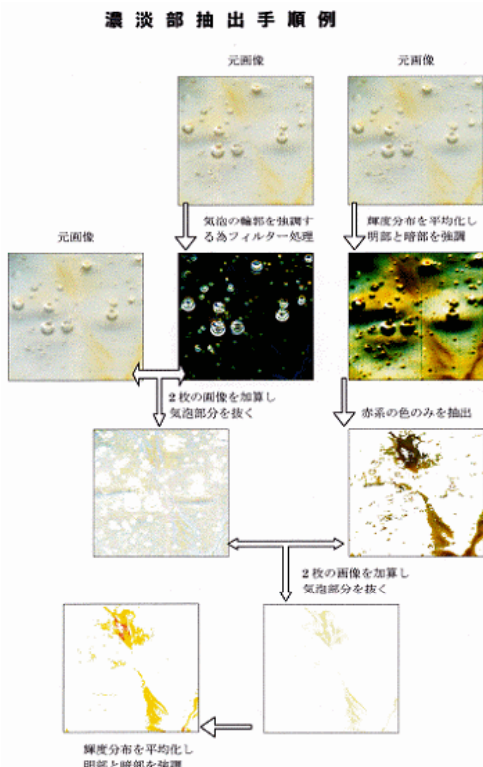
## 今後

- ・攪拌子の回転数・攪拌子数と均質度との関係を把握する。
- ・攪拌均質化されたガラスの均質度を市販ガラスと比較し、攪拌装置の性能を評価する。

# 均質性評価技術 測定法-1(泡とムラの分離法)

公開

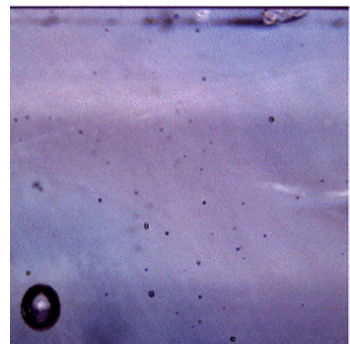
事業原簿Ⅲ-22



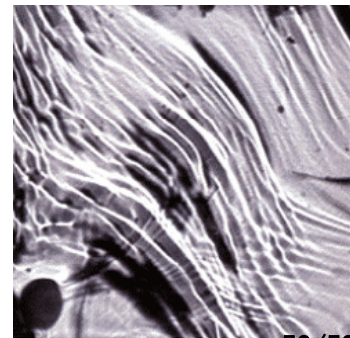
画像処理で泡とムラによる濃淡画像の分離は可能であることが分かったが、大きな泡を取り除いた後の補間が難しく好ましくない。

泡多数の場合はムラ解析が実質上意味がないことを考慮し、泡については可視画像をもとに大きさや個数を解析し、ムラについてはシュリーレン像を用いて解析することにした。

可視画像:泡解析用



シュリーレン像:ムラ解析用

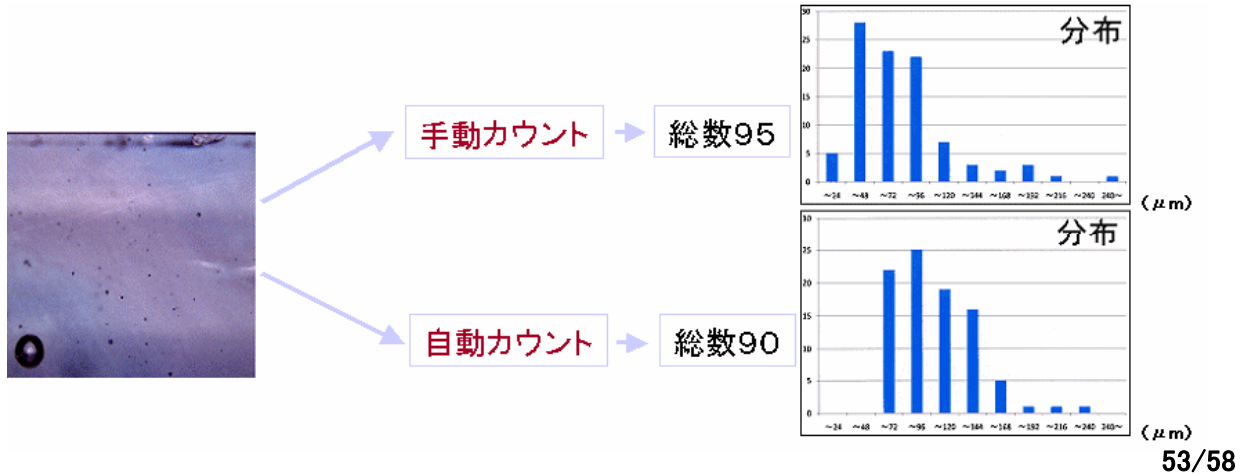


・マニュアル法:

試料の可視画像を、上中下3カ所にピントを合わせて撮影した3枚の写真を元に目視で数える。大きさはスケールで目視により測り集計する。

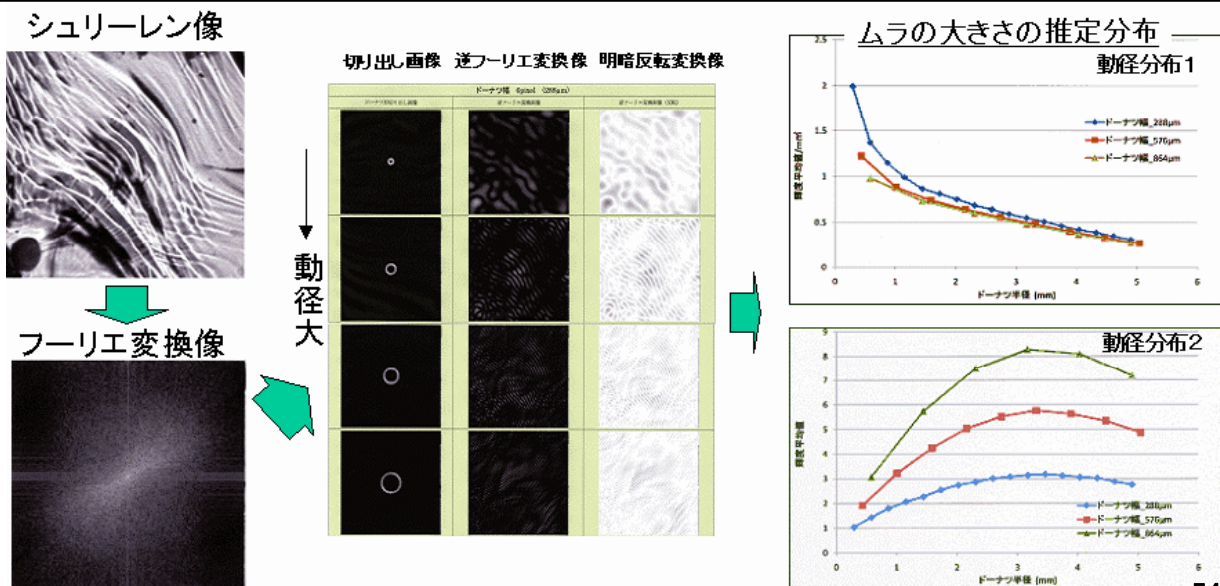
・自動法:

試料の可視画像を、上中下3カ所にピントを合わせて撮影した3枚の写真を合成し、エッジ強調処理を施した後画像処理ソフトのカウントルーチンで数える。大きさはルーチンの自動計測で集計する。



手順:

- 1) シュリーレン画像をフーリエ変換する。
- 2) フーリエ変換像の中心から同心円状に円環を切り出し、逆フーリエ変換して実画像とし、その輝度を測定する。
- 3) 2)を繰り返して最終的にムラの規則性を特徴付ける動径分布曲線を得る。



# 均質性評価技術

公開

## 測定法-4(ムラの程度の平均的定量法及び解析例)

事業原簿Ⅲ-24

平均的な均質度を示す新しい指標として  
シュリーレン像の輝度分布の標準偏差 (ピクセル単位)を求めた。

試料厚み → 増

	No.3_a_2.2mm	No.3_a_8.1mm	No.3_a_14.0mm	No.3_a_19.1mm	No.3_a_25.7mm
輝度平均値	137.22	125.64	76.76	73.81	67.05
標準偏差	50.39	62.16	50.53	49.15	45.43

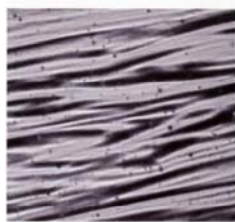
多少の変動はあるが試料厚みに関わらずほぼ同一の標準偏差値となっている。

# 均質性評価技術

公開

## 測定法-5(ムラサイズ分布解析法及び解析例)

事業原簿Ⅲ-27



シュリーレン画像



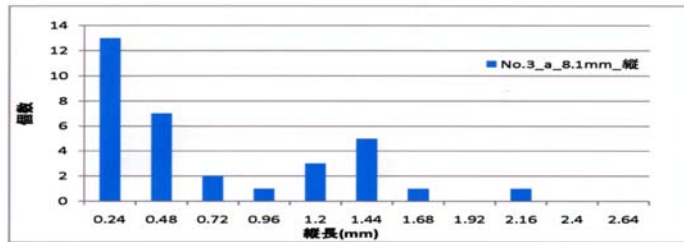
二値化



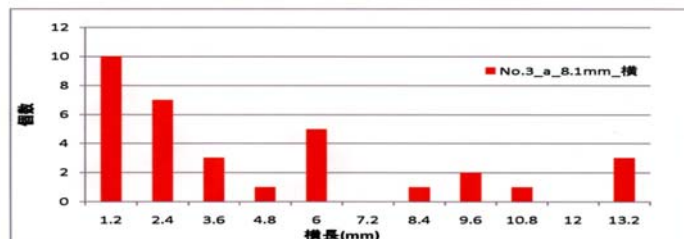
脈理が水平になるように回転

X軸方向で脈理の長さを、  
Y軸方向で脈理の幅をそれぞれ自動計測して分布を解析する。

縦(pixel)	縦(mm)	No.3_a_8.1mm_縦
5	0.24	13
10	0.48	7
15	0.72	2
20	0.96	1
25	1.2	3
30	1.44	5
35	1.68	1
40	1.92	0
45	2.16	1
50	2.4	0
55	2.64	0
合計		33



横(pixel)	横(mm)	No.3_a_8.1mm_横
25	1.2	10
50	2.4	7
75	3.6	3
100	4.8	1
125	6	5
150	7.2	0
175	8.4	1
200	9.6	2
225	10.8	1
250	12	0
275	13.2	3
合計		33



## C-2 まとめと今後の予定

公開

## まとめ

- ・泡とムラの形状による画像分離手順を開発したが、泡が多数の場合の泡分離後の画像補間が難しい。
- ・泡は可視画像から、そして、ムラはシュリーレン画像からの解析がより実質的であることが分かった。
- ・泡の個数およびサイズ分布解析法を開発した。
- ・シュリーレン画像からムラの規則性を特徴付ける動径分布解析法を開発した。
- ・シュリーレン画像からムラの程度を特徴付ける指標として画像輝度分布の標準偏差の有効性を明らかとした。
- ・シュリーレン画像からムラの大きさ分布を解析する手法を開発した。

## 今後

- ・市販ガラスの均質度を各種方法で評価し到達目標均質度の基準を作成する。
- ・新規溶融法により作製されたガラスの均質度を評価する。
- ・測定均質度と市販ガラスから作成した基準と比較し、溶融条件最適化のためのデータを収集する。

57/58

## テーマCのまとめと中間目標の達成度

公開

◎(大幅達成)、○(達成)、△(遅れて達成見込み)、×(未達)

事業原簿Ⅲ-28

研究課題	H22年度目標(値)	達成度	H22年度達成見込み
A-1 プラズマ・酸素燃焼炎加熱のハイブリッド化技術	・電極消耗50mg/min以下 ・30分以上安定したハイブリッド加熱実現	○	電極消耗50mg/min以下を達成 30分以上安定したハイブリッド加熱を実現
A-2 プラズマ・酸素燃焼炎加熱の高付加価値ガラスへの適用性評価	・液晶用ガラスに対するプラズマまたはハイブリッド加熱の特徴を明確化。 ・泡挙動の観察・解析が可能なブロック状メルトサンプル作製。	○	液晶用ガラスの泡挙動等を評価し、プラズマ加熱の特徴を明確化できる見込み
A-3 超高効率気中加熱用試験炉開発及びエネルギー低減技術	・カレットなしソーダ石灰ガラスを溶融エネルギー1000kcal/kg-glass以下かつ必要なガラス化率を達成。	○	パーナ改良等により1000kcal/kg以下を達成の見込み
A-4 超高効率気中加熱用原料及び溶融ガラス品質の評価	・1mm径以上の気泡0.1個/g以下の均質ガラスを得る。	○	適正原料、溶融ガラス評価等により気泡0.1個/kg以下の均質ガラスを得る見込み
A-5 気中溶融特有の現象と融液挙動の解明	・インフライトメルティング挙動およびガラス融液中の清澄挙動の直接観察と評価。 ・融液中のガス成分分析、ガラス物性定量評価	○	両挙動の直接観察と溶融雰囲気への影響を評価。融液中のガス成分の濃度測定とガラス物性の定量評価も実施の見込み
A-6 シミュレーション予測と高精度迅速化技術	・試験炉の熱収支内訳をシミュレーションで±13%精度で予測。	○	モデル改良により、試験炉の熱収支内訳を±13%の精度で予測できる見込み
B-1 ガラスカレット高効率加熱技術	・カレットの1200℃までの昇温時間1分以内。	○	気中溶融法によりカレットの1200℃までの昇温時間1分以内を達成できる見込み
C-1 高速混合技術	・透過光評価で飲一に混合するまでの時間として4時間以内。	○	3対の攪拌子により4時間以内の攪拌操作での均一化達成の見込み
C-2 混合融液の均質性評価技術	・泡と組成ムラを分離して検出し、その存在量変化を定量化することにより、均質性評価技術を確立。	○	泡と組成ムラを分離して検出し存在量変化を定量化する方法により、均質性評価技術を確立できる見込み

58/58