

「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回分科会資料5-1

# 「革新的ガラス溶融プロセス技術開発プロジェクト」

## 事業原簿 【公開版】

2010. 8. 26

担当部	独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 エネルギー対策推進部
-----	---------------------------------------

## — 目 次 —

概 要	○-1
プロジェクト用語集	○-4
I. 事業の位置付け・必要性について	
1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性	I-1
1.1 NEDOが関与することの意義	I-1
1.2 実施の効果（費用対効果）	I-5
2. 事業の背景・目的・位置づけ	I-7
II. 研究開発マネジメントについて	
1. 事業の目標	II-1
2. 事業の計画内容	II-1
2.1 研究開発の内容	II-1
2.2 研究開発の実施体制	II-18
2.3 研究の運営管理	II-19
2.4 研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性	II-19
3. 情勢変化への対応	II-20
4. 評価に関する事項	II-21
III. 研究開発成果について	
1. 事業全体の成果	III-1
2. 研究開発項目毎の成果	III-2
IV. 実用化、事業化の見通しについて	
1. 実用化、事業化の見通しについて	IV-1
(添付資料)	
・イノベーションプログラム基本計画(抜粋)	V-1
・プロジェクト基本計画(抜粋)	V-7
・技術戦略マップ(分野別技術ロードマップ)(抜粋)	V-14
・省エネルギー技術戦略2009(抜粋)	V-21
・事前評価関連資料(事前評価書、パブリックコメント募集の結果)	V-33
・特許論文リスト(本文中に配置)	III-30

## 概要

		最終更新日	平成22年8月21日	
プログラム (又は施策)名	エネルギーイノベーションプログラム			
プロジェクト名	革新的ガラス溶融プロセス技術開発	プロジェクト番号	P08019	
担当推進部/ 担当者	省エネルギー技術開発部 担当者氏名 吉田正明 (H20年4月～H22年6月) エネルギー対策推進部 担当者氏名 池田浩和 (H22年7月～)			
0. 事業の概要	<p>将来のガラス製造プロセスにおける革新的な省エネルギー技術として</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>①気中溶解（インフライトメルティング）法によるガラス原料溶解技術、</li> <li>②カレットの高効率加熱技術、</li> <li>③インフライトメルティング法によるガラス原料融液とカレット融液を高速で混合する技術、</li> </ul> <p>を開発する。</p>			
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>我が国のガラス産業は全産業の約1%に相当するエネルギーを消費するエネルギー多消費型産業である。その量は原油換算で毎年約200万kLにも及び、その大部分がガラス製造における溶融工程で消費されている。また、最近では液晶やプラズマディスプレイなどに用いられる高品質・高付加価値化ガラスの需要が増大の一途にあり、製造にかかるエネルギー消費はますます拡大する傾向にある。約150年前の技術がベースとなり踏襲し改良が続けられたガラス溶融技術は、省エネルギー化への多くの改善がなされたもののすでに限界に達したことから、ガラス製造に係る省エネルギーのための抜本的技術開発が緊急不可欠の課題となっている。</p> <p>独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、NEDO という。）委託による「エネルギー使用合理化技術戦略的開発／エネルギー有効利用基盤技術先導研究開発／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）において、酸素燃焼炎とプラズマを用いたインフライトメルティング（気中溶解）法による省エネルギー型ガラス溶解技術の有効性が確認された。この成果を踏まえて、ガラス産業における革新的省エネルギー技術を確立するため、エネルギーイノベーションプログラムの一環として本プロジェクトを実施する。</p> <p>本プロジェクトでは、インフライトメルティング法を用いて、短時間でのガラス原料溶解を実現する技術、高速で高効率にカレットを加熱する技術、及び、インフライトメルティングにより生成したガラス融液とカレット融液とを高速で攪拌し均質なガラス融液とする技術の開発を行い、ガラス製造プロセスで最もエネルギーを消費するガラス原料溶解工程全般に亘る革新的技術の開発を行うことを目的とする。これらの技術は、省エネルギー分野の技術戦略における技術マップの「超燃焼システム分野」において「高効率加熱技術」「プラズマ加熱」に、また同ロードマップの「プラズマ加熱」「高温下の短時間プロセス」に位置付けられている。さらに本技術は、ディスプレイパネル用板ガラスなどを製造する小型の溶解炉から、びんガラス製造に用いられている中規模炉及び建築用や自動車用として大量に製造する大規模炉まで、ガラス製造に関わる溶解プロセスの大半に適用可能な基盤技術の形成が見込まれ、我が国製造業の基盤的競争力の維持強化の環境整備に寄与することから、エネルギーイノベーションプログラムに位置付けられている。インフライトメルティング法は短時間でのガラス溶解法であると同時に溶解炉自体を小型化することも可能であることから、ガラス溶解過程のみならず製造品種切り替えに要する時間の短縮と切り替え時に生ずる膨大な不良ガラスの排出削減、即ち固定エネルギーの削減にも貢献し得る省エネルギー技術として期待されている。既に特許等の申請により当該技術が海外においても認知されているところであり、我が国の省エネ対策及び国際競争力を更に高めるためには早急に技術を確立していくことが必要である。</p> <p>本開発プロセスが普及した場合、我が国のガラス業界全体で現行の溶融プロセスでの消費エネルギーを約1/3程度に低減することが期待される。</p>			

II. 研究開発マネジメントについて

事業の目標	<p>&lt;平成24年度最終目標&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>プラズマ・酸素燃焼炎加熱のハイブリッド化技術</b> 平成24年度最終目標：ハイブリッド加熱を30分以上の連続運転でプラズマ変動±10%以内を達成する。</li> <li>・ <b>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</b> 1種類以上の特殊硝子溶融におけるプラズマおよび／またはハイブリッド加熱の実用性を判断する。</li> <li>・ <b>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</b> カレットなしでソーダ石灰ガラスを製造する場合における溶融エネルギーとして900kcal/kg-glass以下でかつ必要なガラス化率を試験炉で達成する。</li> <li>・ <b>超高効率気中加熱用原料及び溶融ガラス品質の評価</b> ガラス原料造粒体1種類以上を東洋ガラスに支給し、連続インフライトメルティング試験溶融したガラスの組成均質性が標準的なガラスびん生産品の組成均質性と同等のガラスを得る。</li> <li>・ <b>気中溶融特有の現象と融液挙動の解明</b> インフライトメルティング条件、ガラス融液の性質および清澄とカレットガラス融液との混合に関する科学的知見を収集する。</li> <li>・ <b>シミュレーション予測と高精度迅速化技術</b> 試験炉の熱収支内訳をシミュレーションで±5%の精度で予測する</li> <li>・ <b>ガラスカレット高効率加熱技術</b> カレットのみを原料としてガラスを製造する場合における溶融エネルギーとして1800kcal/kg-glass以下を試験炉で達成するとともに、カレットの1200℃までの昇温時間1分以内を達成する。</li> <li>・ <b>高速混合技術</b> 確立した評価方法で均一に混合するまでの時間として2時間以内を達成する。</li> <li>・ <b>混合融液の均質性評価技術</b> 泡や成分のムラの代表的大きさの分布を評価する。</li> </ul>
-------	---

事業の計画内容	主な実施事項	H20fy	H21fy	H22fy	H23fy	H24fy	総額
	気中溶解（インフライトメルティング）技術開発	—————→					1493 (予定)
	ガラスカレット高効率加熱技術	—————→					121 (予定)
	ガラス原料融液とカレット融液との高速混合技術	—————→					62 (予定)
	成果とりまとめ	—————→					

開発予算 （会計・勘定別に事業費の実績額を記載） （単位：百万円）  契約種類： ○をつける 委託（○） 助成（ ） 共同研究（ ）	会計・勘定	H20fy	H21fy	H22fy	H23fy	H24fy	総額
	一般会計						
	特別会計（一般・電源・需給の別）	需給	需給	需給	需給	需給	
	加速予算（成果普及費を含む）						
	総予算額	259.8 (実績)	359.9 (実績)	356 (実績)	—	—	1676 (予定)
	（委託）	259.8 (実績)	359.9 (実績)	356 (実績)	—	—	1676 (予定)



開発体制	経産省担当原課	製造産業局住宅産業窯業建材課	
	プロジェクトリーダー	井上 悟 独立行政法人物質・材料研究機構ナノスケール物質萌芽ラボナノテクノロジー基盤萌芽ラボ大学院室 大学院室長	
	委託先（*委託先が管理法人の場合は参加企業数および参加企業名も記載）	東洋ガラス(株) 旭硝子(株) (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	
情勢変化への対応	定期的（約3ヶ月に1回）に開催している進捗会議を通じてプロジェクトの進捗状況を把握しつつ、事業の実績と成果状況に応じて予算の前倒し等を実施した。		
中間評価結果への対応	（中間評価を実施した事業のみ）		
評価に関する事項	事前評価	H19年度実施	担当部 省エネルギー技術開発部
	中間評価	H22年度 中間評価実施予定	
	事後評価	H25年度 事後評価実施予定	
Ⅲ. 研究開発成果について	<p>①インフライトメルティング技術開発 ソーダ石灰ガラスの溶融エネルギー1200kcal/kg-glass 以下の見通しを得た。 今後、バーナー改良、運転条件の最適化、炉体保温強化が課題。</p> <p>②ガラスカレット（再生材）高効率加熱技術開発 カレットを粉砕し気中にて加熱する方法により、1200℃までの昇温時間1分以内を2000kcal/kg-glass 以下の溶融エネルギーで実現する見通しを得た。 今後、カレット粉砕サイズの明確化と気泡発生量の低減が課題。</p> <p>③ガラス原料融液とカレット融液との高速混合技術開発 均一混合のための攪拌設備を完成により試験体制を整えた。</p>		
	投稿論文	「査読付き」9件、「その他」12件	
	特許	「出願済」1件、「登録」0件、「実施」0件（うち国際出願 0件）	
	その他の外部発表（プレス発表等）	16件	
Ⅳ. 実用化、事業化の見通しについて	<p>ガラス溶融炉の寿命は、3～10年と長寿命であることからガラス産業全体への普及は徐々にしか進まず、2015年よりエレクトロニクス用等の特殊ガラスから実用化が開始される。2015年頃から導入が開始し、2020年には、小型炉の約5割、フラットパネルディスプレイ用の炉の約3割、中型炉の約3割に導入と想定している。2030年には、小型炉の約7割、フラットパネルディスプレイ用の炉の約5割、中型炉の約5割に導入と想定している。</p>		
Ⅴ. 基本計画に関する事項	作成時期	H20年4月 作成	
	変更履歴	なし	

## プロジェクト用語集

1	ソーダ石灰（ソーダライム） ガラス	ケイ砂（SiO <sub>2</sub> ）、炭酸ナトリウム（Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ）、炭酸カルシウム（CaCO <sub>3</sub> ）を混合して溶融することで製造するガラスの一種。最も汎用的であり、安価である。用途は窓ガラス、ガラスびん、蛍光灯、電球など。
2	無アルカリ硼珪酸ガラス	硼珪酸ガラスの中でも特にアルカリ成分をほとんど含めないガラス。一般のソーダ石灰ガラスに比べ熱膨張率が小さい。溶融温度が高いため大量生産が難しいガラスの一つ。主な用途は液晶などのディスプレイ用ガラス基板。
3	硼珪酸ガラス	化学的、熱的に安定性が高く理化学器具などに広く用いられる。主成分である硼酸が揮発しやすいため炉材が侵食を受けやすい。耐熱性、化学的安定性に優れている。
4	無アルカリガラス	アルカリ成分をほとんど含まないガラス。低膨張率、高耐熱性を持つ。
5	シーメンス炉	ガラスを大量生産する炉として世界的に広く用いられている炉形式。製鉄用平炉形式を基にしており、ガラス製造用としては1850年代に工業化され、約1600℃の高温で原料を数日間かけて溶かすことを特徴とする。 原料への加熱は燃料（液体またはガス）の燃焼熱を間接的に加える輻射方式。シーメンスの名前は燃料と空気の予熱混合で高温燃焼を得て効率的に原料を加熱溶解する方法を発明工業化したシーメンス兄弟に由来する。
6	溶解	ガラス原料を加熱して溶かすこと。ガラス原料は溶けていく過程で固液反応によりガラス化するため、この言葉が使われる。
7	溶融	カレットガラスを溶かす場合は「溶融」を使う。溶解を含めて広い意味でも使われる。
8	気中溶解 （インフライトメルティング）	ガラス原料の微細な造粒体を空中に設けた高温熱源の中を通過させる過程で高速でガラスを得る溶解方法。
9	プラズマ（プラズマ加熱）	正電気を帯びた粒子と負電気を帯びた電子とがほぼ同じ密度で分布している粒子集団のことで、気体にエネルギーを加えて気体中の分子を原子に解離し、原子をさらにイオンと電子に電離することによって作ることができ、熱プラズマと低温プラズマに大別することができる。熱プラズマは粒子密度が高く、イオンや原子などの重い粒子も高温であるため高融点物質の融解などの熱源として利用できる特徴がある。

10	多相アークプラズマ	複数の電極に位相の異なる多相交流を用いることで放電することにより生成するプラズマ。3相アークは産業的に広く用いられているが、3相より多い多相アークは現在研究段階にある。多相アークは高温領域が広くかつ流速が遅いプラズマ領域を発生させることができ、直流アーク放電よりもプラズマ体積が大きいことや電極の条件に関する制約が少ないなどの特徴がある。
11	RF（高周波）プラズマ	無電極放電により生成するプラズマ。電極を必ず必要とする直流放電に比べ放電管の構造が簡単であり、電極物質のプラズマへの混入汚染が無いのが特徴で不純物の少ないプラズマ生成が可能である。周波数は主に数100MHz以上が用いられる。
12	酸素炎（酸素燃焼炎、燃焼炎）	液体燃料や気体燃料等を用いる燃焼バーナーに酸素を混合することにより燃焼炎の温度をより高温にしたもの。
13	ハイブリッド熱源	2種類またはそれ以上の異なる熱源を組み合わせ、各々の熱源の特徴を生かすとともに、極めて温度の高い高温場を生成すること。
14	ガラス融液	ガラス原料を溶解させてガラス化した液体またはカレット等ガラス質の材料を熔融させて液体状態となったもの。ソーダ石灰ガラスの場合は少なくとも1100℃以上に加熱される。
15	ガラス原料	実用ガラスのほとんどは、主な成分であるSiO <sub>2</sub> の原料として珪砂を用いる。製造上の目的に応じてCaO、Na <sub>2</sub> O、MgO、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> などが添加されるが、その原料としては、炭酸カルシウム、炭酸ソーダ、炭酸マグネシウム、アルミナ、無水ホウ酸、リン酸ソーダなどが使われる。
16	造粒原料（造粒体）	珪砂などの溶けにくい原料と炭酸ソーダなどの溶けやすい原料等を微粉化し混合一体化した状態にして、最適な大きさの粒状に凝集（造粒体）させたもの。
17	ホウ酸（B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ）	無アルカリ硼珪酸ガラスを構成する成分のひとつ。
18	ホウ酸（またはNa <sub>2</sub> O）残存率	原料として投入したホウ酸量（またはNa <sub>2</sub> O量）に対してガラス中に存するホウ酸量（またはNa <sub>2</sub> O量）の割合のこと。ホウ酸（またはNa <sub>2</sub> O）は揮発しやすく高価のため無アルカリ硼珪酸ガラス（またはソーダ石灰ガラス）では揮発せずにガラス中の残存する割合がコスト上重要となる。

19	ガラス	非晶質固体で、ガラス転移温度を持つもの。通常は溶融体を結晶化させずに冷却し固化させた無機質固体のこと。
20	カレット（ガラスカレット）	ガラス製造工場が発生するガラス屑や市中から回収されるガラス製品を破碎し屑にしたもの。
21	ロータリーキルン	材料等を高温に均一かつ連続的に加熱するため筒状の炉を回転させ、材料を攪拌しながら加熱する装置。
22	コンベヤキルン	材料を搬送コンベアの上で移動させながら連続的に加熱する装置。
23	脈理	ガラス製品の欠陥の一種。縞状や帯状になってガラス中に存在する不均質な部分を言う。
24	気泡	溶融状態のガラス中に含まれる気泡。気泡の生成原因は様々であり、原料由来のガスや炉内雰囲気ガスなどの巻き込み、炉材や燃料由来のガス、流動時の炉内雰囲気ガスの拡散などによる。
25	清澄（脱泡）工程	原料を溶解した直後のガラス融液中には気泡が多数存在するため、そのまま冷却しても実用製品にはならない。そのため泡を消滅させる効果を持つ成分（清澄剤）の添加や溶融状態で高温に一定期間保持することにより気泡を減少させる必要がある。この工程を清澄（脱泡）工程と言う。
26	シュリーレン装置	気体や液体などの透明な物体の密度差や流れを目に見えるよう可視化する光学装置。シュリーレンとは独語の空気やガラスの中のムラを意味する（s hliele）が語源。
27	ガラス化率	気中溶解過程におけるガラス化反応の程度を定量化するために設定した尺度で、造粒原料を構成する珪砂（結晶体）がガラス化することにより非晶質化することを利用して、SiO <sub>2</sub> 成分のX線回折法で測定して求めた。
28	ガラス転移温度	ある特定の温度を境にガラスが弾性体から粘弾性体に変化し、それはガラスの機械的又は熱的な性質の急激な変化の開始によって特徴づけられる。通常 Tg と表示される。Tg の測定法としては、熱膨張曲線から求める熱膨張法及び示差熱量計で求める DTA が代表的な測定法である。
29	スプレードライ法	粉体製造法のひとつ。溶液中に分散あるいは溶解させた原料を熱風中に微細な霧状にして噴出し瞬間的に粉状の乾燥物とする方法。加熱乾燥時間は短いため、製品への熱影響は小さく、連続大量生産が可能。

30	お玉サンプル	ガラス融液をお玉状の柄杓で掬ってサンプリングしたガラス
31	コアリングサンプル	炉内に溜まったガラス融液を炉ごと冷却したのちにコアリングドリルで切り出してサンプリングしたもの
32	均質性	ガラスを構成する各成分が存在する均質さのことで、脈理や色ムラなどの少なさのこと。シュリーレン装置などで光学的に評価する。
33	内包ガス	ガラス中の気泡に含まれるガス
34	リボイル	ガラスが溶融状態にあるときに、気泡が新たに生成する現象。温度変化によるガス溶解度の差、局所電池形成による電気分解、異質ガラス融液の接触などが原因。
35	スロート	ガラス溶融炉の溶解槽と清澄槽・冷却槽とを分割する接続路であり、融液表面下に設けられて融液表層の不均質なガラスを次の槽に流れ込まないようにするとともに、ガラスの温度を下げる役目を担っている。この箇所に使われる炉材は、流速の速い融液に触れるため侵食を受けやすい。
36	ガラス炉のエネルギー原単位	ガラスの原料を加熱して所定の品質のガラス融液を成形工程に受け渡すまでに必要となる投入エネルギー量のこと。単位ガラス重量当たりの熱量で表す。原料の種類、カレットの比率、炉の大きさ、要求品質などによって異なる。
37	ミクロ均質性	EPMA（電子線プローブ微細分析）などで現した成分存在の均質さのこと。どの成分が均質性の低下をもたらしているかがわかる。



## I. 事業の位置付け・必要性について

### 1. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

#### 1.1 NEDO が関与することの意義

我が国のガラス産業は全産業の約1%に相当するエネルギーを消費するエネルギー多消費型産業である。その量は原油換算で毎年約200万kLにも及び、その大部分がガラス製造における溶融工程で消費されている。また、最近では液晶やプラズマディスプレイなどに用いられる高品質・高付加価値化ガラスの需要が増大の一途にあり、製造にかかるエネルギー消費はますます拡大する傾向にある。約150年前の技術がベースとなり踏襲し改良が続けられたガラス溶融技術は、省エネルギー化への多くの改善がなされたもののすでに限界に達していることから、ガラス製造に係る省エネルギーのための抜本的技術開発が緊急不可欠の課題となっている。(図I-1-1)

#### ① 社会的背景

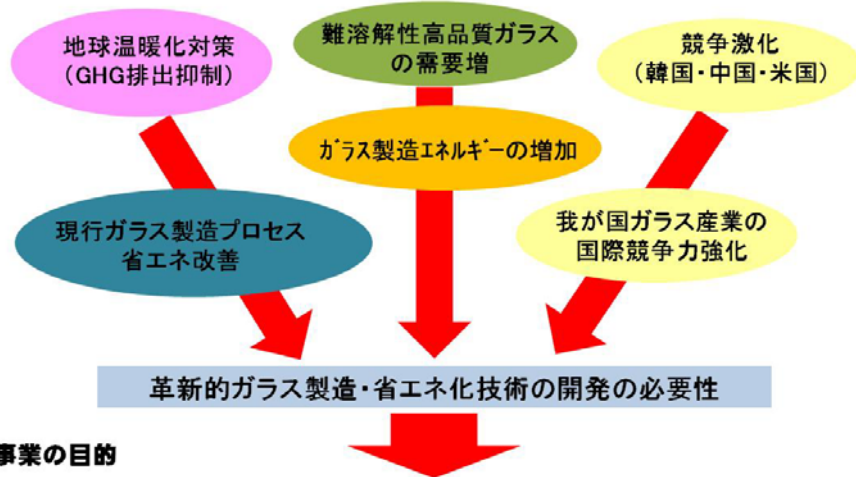


図 I-1-1 ガラス産業の社会的背景、事業の目的

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、NEDOという。）では、平成17年度から平成19年度にかけて「エネルギー使用合理化技術戦略的開発／エネルギー有効利用基盤技術先導研究開発／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、先導研究という。）において酸素燃焼炎とプラズマを用いたインフライトメルティング法による省エネルギー型ガラス溶解技術の先導的技術開発を行い、その有効性を確認している。

NEDOは、この先導研究成果を踏まえてガラス産業における革新的省エネルギー技術を確立するため、エネルギーイノベーションプログラムの一環として革新的ガラス溶融プロセス技術開発プロジェクト」（以下、「本プロジェクト」という。）を実施する。(図I-1-2)

本プロジェクトは、インフライトメルティング法を用いて、短時間でのガラス原料溶解を実現する技術、高速で高効率にカレットを加熱する技術、及び気中溶解により生成したガラス融液とカレット融液とを高速で攪拌し均質なガラス融液とする技術の開発を行い、最もエネルギー

一を消費するガラス原料溶解工程全般に亘る革新的技術の開発を行うことを目的とする。

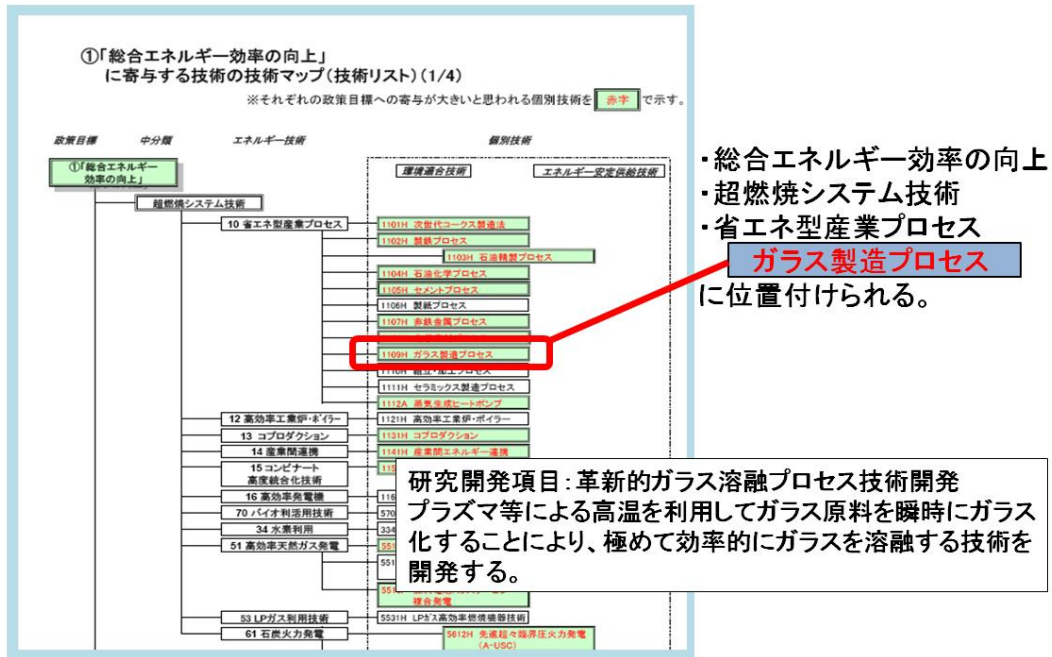


図 I-1-2 エネルギーイノベーションプログラム基本計画技術マップ抜粋

省エネルギー分野の技術戦略における技術マップの「超燃焼システム分野」において「化学反応をうまく利用する」「高効率加熱技術」「電力・電磁気利用技術」「プラズマ加熱」に、また同ロードマップの「プラズマ加熱」「高温下の短時間プロセス」に位置付けられている。(図 I-1-3、図 I-1-4、図 I-1-5、図 I-1-6)

省エネルギー技術戦略の構築(5つの重点分野)

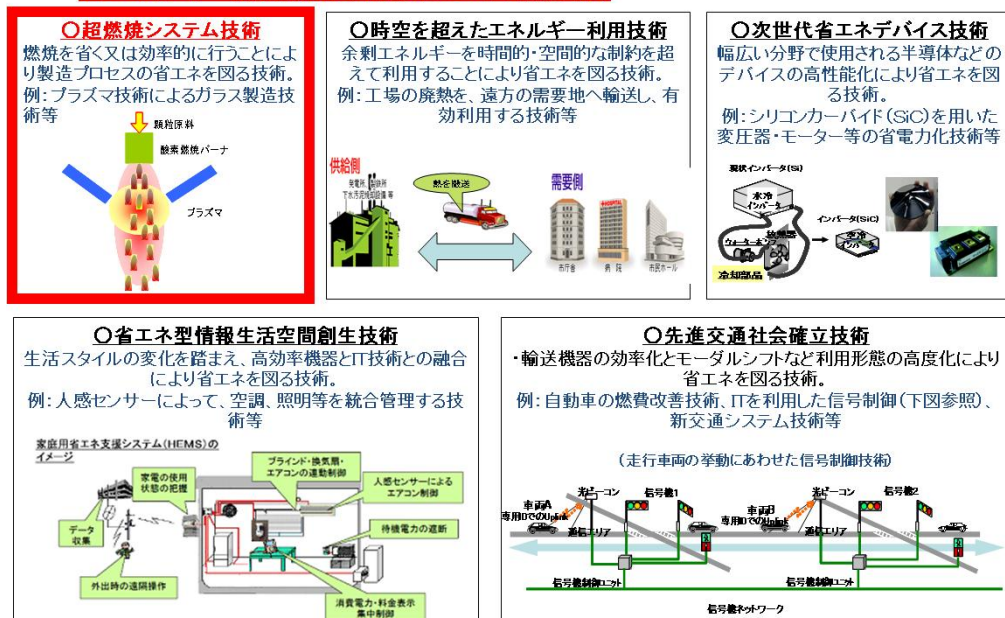


図 I-1-3 省エネルギー技術戦略の重点分野



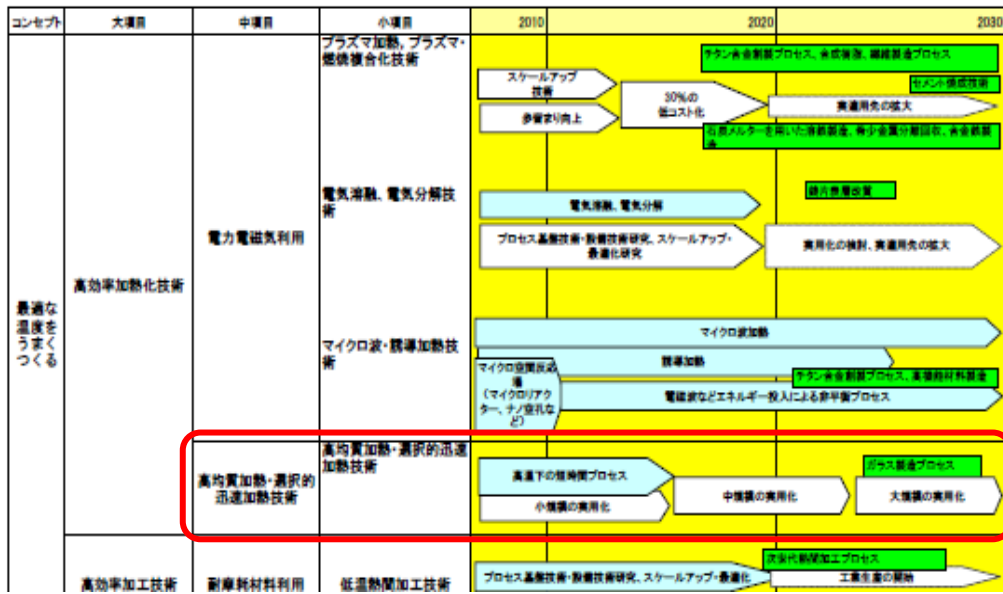


図 I-1-4. 省エネルギー技術戦略 2009（超燃焼システム技術ロードマップ）該当部抜粋

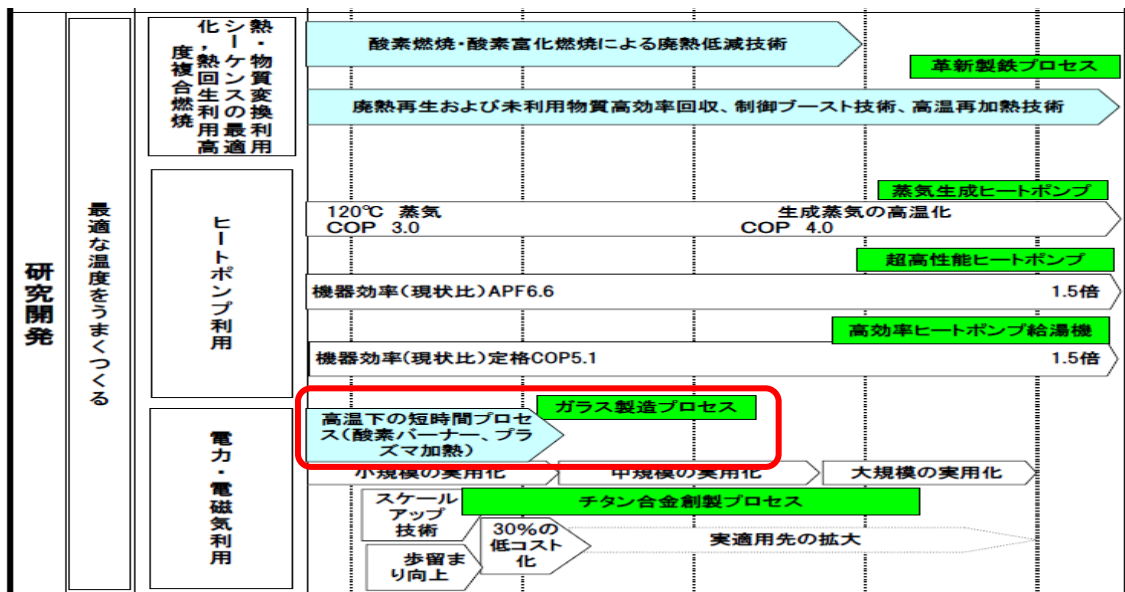


図 I-1-5. 省エネルギー技術戦略 2009（超燃焼システム技術導入シナリオ）該当部抜粋

1109H	10.省エネ型産業プロセス	
	ガラス製造プロセス	<p>小規模での実用化      中規模での実用化      大規模での実用化</p> <p>ガラス成形・除冷工程、ガラス強化に関する省エネ技術                  プラスマ等利用インフライトメルティング（気中溶解）技術                  高効率カレット加熱技術                  高均質加熱・選択的迅速加熱技術</p>

図 I-1-6. 技術戦略マップ（エネルギー分野）ロードマップ該当部抜粋

Cool-Earth 革新技術開発計画では⑪革新的材料・製造・加工技術に位置付けられ、温室効果ガス排出抑制技術としても期待されている。(図 I-1-7、図 I-1-8)

Cool Earth-エネルギー革新技術開発計画



図 I-1-7. Cool Earth エネルギー革新技術開発計画重点分野

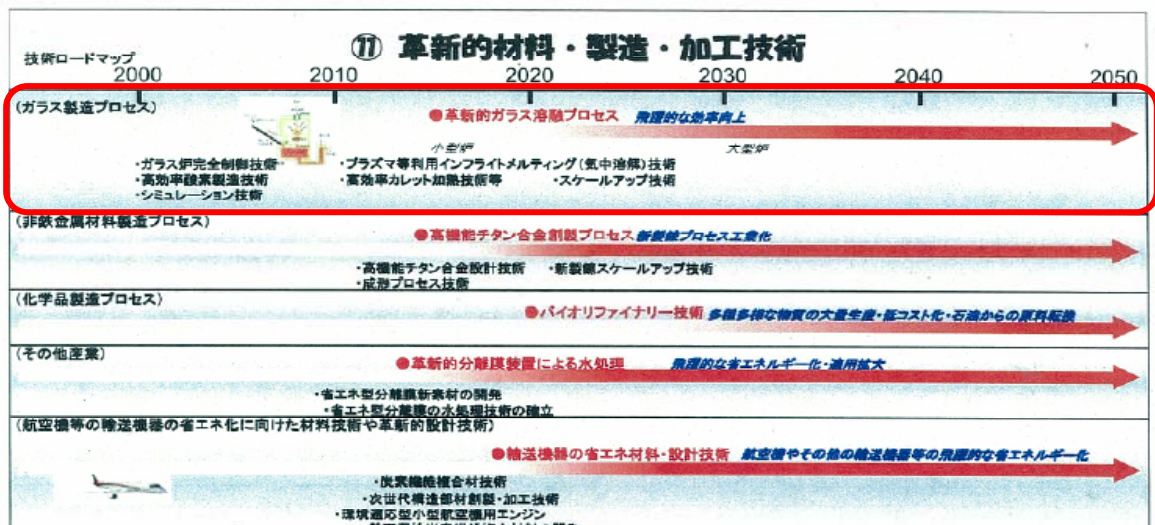


図 I-1-8. Cool-Earth 革新技術開発計画 (技術ロードマップ) 該当部抜粋

既に特許等の申請により当該技術が海外においても認知されているところであり、我が国の省エネ対策及び国際競争力を更に高めるためには早急に技術を確立していくことが必要であるが、革新的手法による基盤技術であるため開発リスクは高く、より効率的かつ効果的な開発を推進するためには、NEDOの委託によりガラス事業者、大学、独立行政法人等による複数の機関がそれぞれの持つノウハウを活かした相互補完的な研究体制を構築することが重要である。

## 1.2 実施の効果（費用対効果）

本プロジェクトによる技術開発が成功し、ガラス業界に普及することを前提に試算される省エネルギー効果量は下記のとおりである。

### 1.2.1 エネルギー削減効果の算出

#### (1) 開発技術の消費エネルギーと内訳

- ① 現行技術のエネルギー消費量 2,142kcal/kg-glass
- ② 本技術の目標エネルギー消費量 893.8 kcal/kg-glass
- ③ 現行の溶融工程の歩留り 74%
- ④ 本技術の溶融工程の目標歩留り 90%
- ⑤ 2020年のガラス溶融工程のエネルギー消費量見通し（基準ケース）：226万kL（日本）

※1 本プロジェクトの技術が導入されない場合のエネルギー消費量を、2005年のガラス溶融プロセスのエネルギー消費量（\*）をもとに推計。フラットパネルディスプレイ用の炉については、需要の著しい伸びが予測されたため、ガラス産業連合会の見通しを考慮し、かつ、より厳しくなる品質への要求への対応のために必要となるエネルギー増加量も考慮して推計。その他の炉についても需要動向を踏まえ推計。

（\*） 2005年の全エネルギー消費数値（230万kL。ガラス産業連合会による）をもとに、生産量の推移、全エネルギー消費量の約8割が溶融プロセスにおいて消費されていることを考慮し、 $230万 \times 0.8 = 184万KL$ と想定。

#### ※2 2020年のガラス溶融工程のエネルギー消費量見通し（基準ケース）

- 小型炉 73.6万kL
- フラットパネル用ディスプレイ炉 54.1万kL
- 中型炉 43.2万kL

（根拠）

・フラットパネルディスプレイ用の炉（溶融プロセスで2005年12万kLの消費量。ニューガラスフォーラム調べ）については、需要の著しい伸びが予測され、ガラス産業連合会の見通し（2020年は2005年の2.45倍）を考慮し、かつ、より厳しくなる品質要求への対応のために必要となるエネルギー増加量（2020年は2005年の1.84倍。ニューガラスフォーラムの推計による）も考慮して推計。その他の炉（小型炉、中型炉、大型炉）は、2020年においても需要に大きな変動は見込まれないことから2005年と消費エネルギー量が変わらないものとして推計。

・2005年時点の小型炉、中型炉、大型炉の割合はそれぞれ40%、30%、30%（各ガラス業界団体への調査による）より各炉のエネルギー消費量を算出。2020年時点においても各炉横ばいで推移（ただし、ディスプレイ用炉は2005年時点では中型炉のエネルギー消費量に合算されているため、その分は除く）すると想定。

- ・ 以上より、2020年時点の各炉の消費エネルギーは、
  - 小型炉 :  $184 \text{ 万} \times 0.4 = 73.6 \text{ 万 kL}$
  - フラットパネル用ディスプレイ炉 :  $12 \text{ 万} \times 2.45 \times 1.84 = 54.1 \text{ 万 kL}$
  - 中型炉 :  $184 \text{ 万} \times 0.3 - 12 \text{ 万} = 43.2 \text{ 万 kL}$
  - (大型炉 :  $184 \text{ 万} \times 0.3 = 55.2 \text{ 万 kL}$ )

※3 2030年の国内のガラス生産量は、2020年以降需要に大きな変動は見込まれないことから横ばいと想定し、エネルギー消費量も横ばいと想定。

### 1.2.2 省エネルギー効果の算出

- ・ 2020年の省エネルギー効果量

#### 1) 指標 A

まず、開発技術のエネルギー削減率を計算する。①と②を用いれば、

$$\textcircled{2} / \textcircled{1} = (2,142 - 893.8) / 2,142 = 58.3\%$$

一方、溶融工程の歩留りが、③、④から改善されるとして、開発技術によるガラス製品単位量あたりのエネルギー削減率は、

$$(2,142 / 0.74 - 893.8 / 0.9) / (2,142 / 0.74) = 65.6\%$$

#### 2) 省エネルギー効果量

2015年頃から導入が開始し、2020年には、小型炉の約5割、フラットパネルディスプレイ用の炉の約3割、中型炉の約3割に導入と想定。

$$\begin{aligned} & (73.6 \times 65.6\% \times 0.5 + 54.1 \times 65.6\% \times 0.3 + 43.2 \times 65.6\% \times 0.3) \\ & = 43.2 \text{ 万 kL/年} \end{aligned}$$

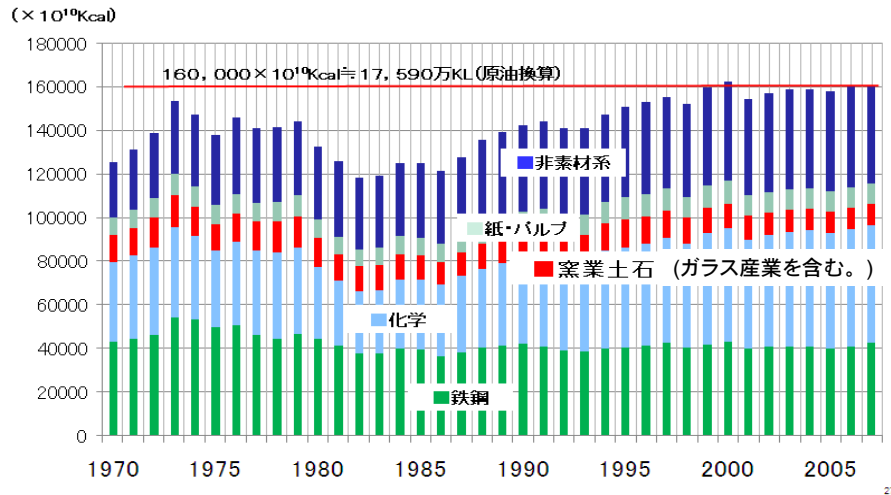
- ・ 2030年の省エネルギー効果量

2030年には、小型炉の約7割、フラットパネルディスプレイ用の炉の約5割、中型炉の約5割に導入と想定。

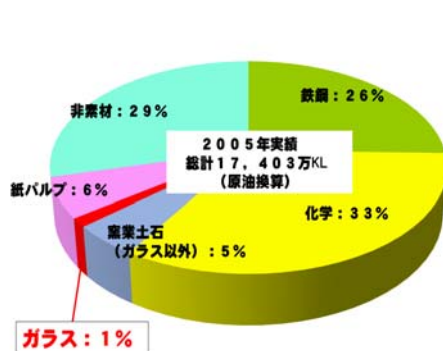
$$\begin{aligned} & (73.6 \times 65.6\% \times 0.7 + 54.1 \times 65.6\% \times 0.5 + 43.2 \times 65.6\% \times 0.5) \\ & = 65.7 \text{ 万 kL/年} \end{aligned}$$

## 2. 事業の背景・目的・位置付け

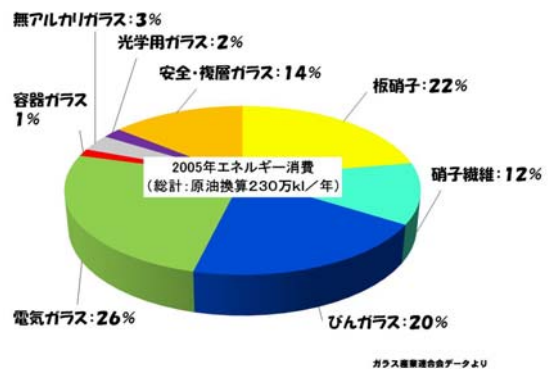
我が国のガラス産業は全産業の約1%に相当するエネルギーを消費するエネルギー多消費型産業である（図I-2-1、図I-2-2）。その量は原油換算で毎年約200万KL以上にも及び、その大部分がガラス製造における溶融工程で消費されている（図I-2-3、図I-2-4）。



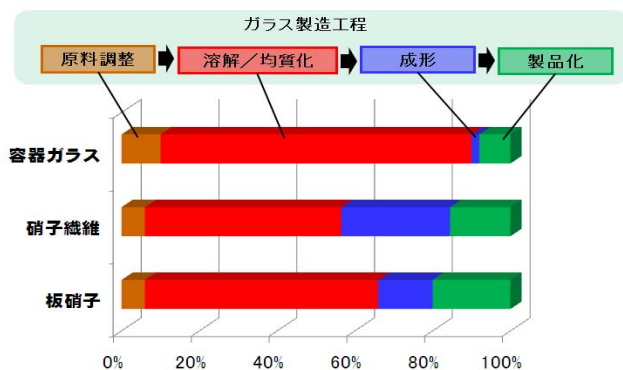
図I-2-1. 国内製造業業種別消費エネルギー推移（経済産業省総合エネルギー統計より）



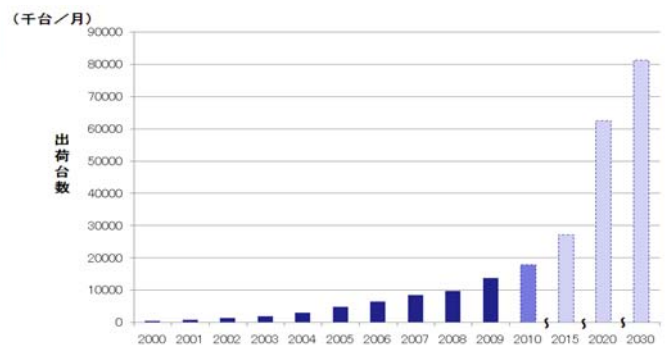
図I-2-2. ガラス製造業のエネルギー消費



図I-2-3. ガラス製品別製造エネルギー



図I-2-4. ガラス製造工程と消費エネルギー



図I-2-5. PDP・液晶テレビ国内出荷台数実績と将来予想（JEITA統計データより推定）



また、最近では液晶やプラズマディスプレイなどに用いられる高品質・高付加価値化ガラスの需要が増大の一途にあり（図 1-2-5）、製造にかかるエネルギー消費はますます拡大する傾向にあるため、ガラス製造に係る省エネルギーのための抜本的技術開発は重要かつ緊急の課題であるが、ガラス製造者による省エネルギー化への改善努力も約 150 年前の技術（図 1-2-6）がベースとなり踏襲され続けているガラス溶解法の下では限界に達してきている。

**現行のガラス製造プロセス**

約 150 年前に開発された蓄熱式加熱法（シーメンス炉）がベース

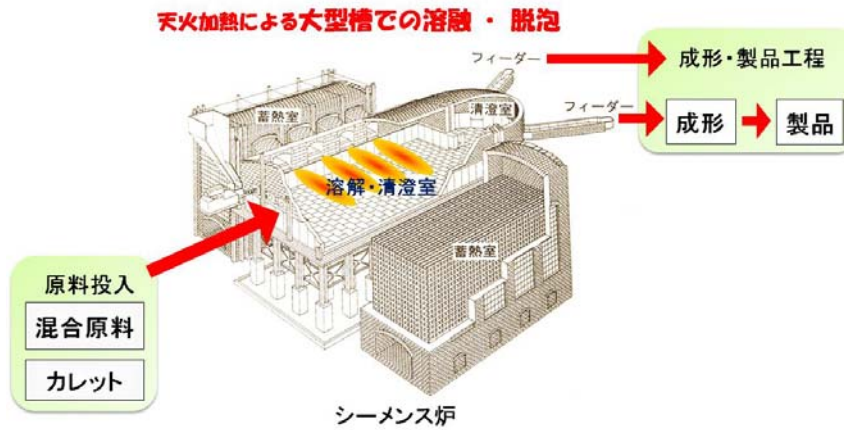


図 1-2-6. 現行のガラス製造プロセス

このため、NEDOでは、平成 17 年度から平成 19 年度にかけての先導研究において酸素燃焼炎とプラズマを用いた気中溶解（インフライトメルティング）法による省エネルギー型ガラス溶解技術の先導的技術開発を手掛け、その有効性を確認した。この先導研究成果を踏まえてガラス産業における革新的省エネルギー技術を確立するため、省エネルギー技術開発プログラムの一環として本プロジェクトを実施する。（図 I-2-7）

**概要**

- 従来のガラス溶融エネルギーを大幅に削減する革新的技術の開発。
- H17～H19年度エネルギー使用合理化技術戦略的開発/先導研究にて、気中加熱技術の基礎技術を確立、大幅な省エネ効果が期待できる。
- 気中溶解（インフライトメルティング）法を用いることで、ガラス溶融工程に要する時間を大幅に短縮し、所要エネルギーを6割削減目指す。
- 実用性を高めるためガラスカレット（ガラス再生原料）の高速加熱と攪拌均質化技術も並行して開発する。

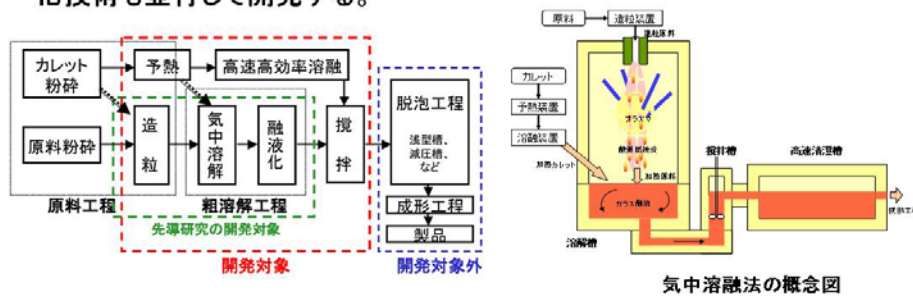


図 I-2-7. 本プロジェクトの概要

本プロジェクトでは、気中溶解（インフライトメルティング）法を用いて、短時間でのガラス原料溶解を実現する技術、高速で高効率にカレットを加熱する技術及び気中溶解により生成したガラス融液とカレット融液を高速で攪拌し均質なガラス融液とする技術の開発を行い、最もエネルギーを消費するガラス原料溶解工程全般に亘る革新的技術の開発を行うことを目的とする。これらの技術は、省エネルギー分野の技術戦略における技術マップの「超燃焼システム分野」において「高効率加熱技術」「プラズマ加熱」に、また同ロードマップの「プラズマ加熱」「高温下の短時間プロセス」に位置付けられている。また、気中溶解（インフライトメルティング）法は短時間でのガラス溶解法であると同時に溶解炉自体を小型化することも可能であることから、ガラス溶解過程のみならず製造品種切り替えに要する時間の短縮と切り替え時に生ずる膨大な不良ガラスの排出削減、即ち固定エネルギーの削減にも貢献し得る省エネルギー技術として期待されている。既に特許等の申請により当該技術が海外においても認知されているところであり、我が国の省エネ対策及び国際競争力を更に高めるためには早急に技術を確立していくことが必要である。本技術の確立により、びんガラスなどの製造に用いられている小型の溶解炉からディスプレイパネル用板硝子などを製造する中規模炉及び建築用や自動車用として大量に製造する大規模炉のガラス製造に関わるいずれの溶解プロセスにも適用可能な基盤技術の形成が見込まれ、我が国製造業の基盤的競争力の維持強化の環境整備を行うことによりエネルギーイノベーションプログラムに位置付けられる。（図 I-2-8、図 I-2-9）

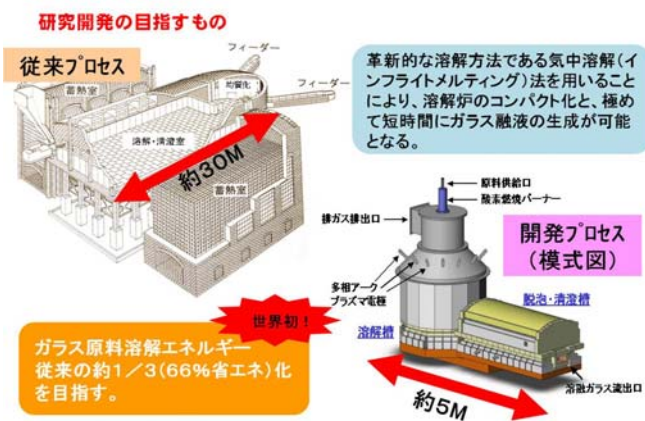


図 I-2-8 従来プロセスと開発プロセスの概略図

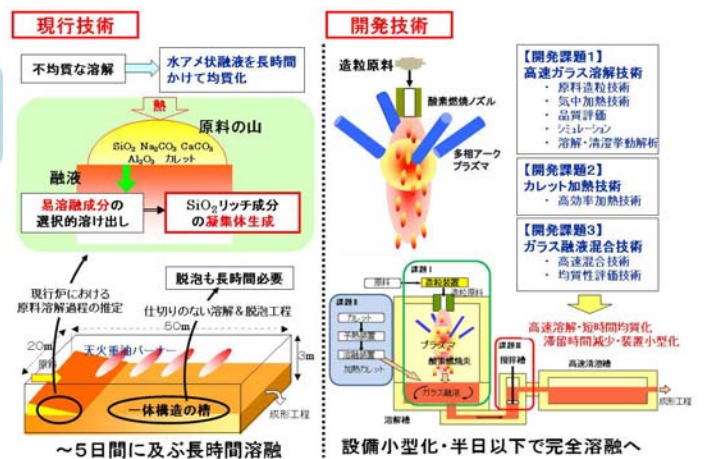


図 I-2-9 現行技術と開発技術



## II. 研究開発マネジメントについて

### 1. 事業の目標

カラーテレビなどに用いられる平面ディスプレイの市場規模は2005～2010年にかけて4.8倍に成長(\*1)し、2015年には2005年の6.8倍に達すると予想されているが、並行して平面ディスプレイ用ガラスに求められる品質レベルも年々厳しさを増すことを考慮すれば、10年間で溶融時間は2倍に延長されると予想され、生産量の増大と品質向上のための溶融時間延長に伴う消費エネルギーの増大を抑制することは非常に重要である。

ガラス製造における全消費エネルギーの内、ガラス溶融プロセスでの消費は約70%を占めており、この過程での省エネルギー化を図ることが最も効果的である。ガラス溶融プロセスにおける省エネルギーを大幅に実現する技術として、①ガラス原料を高速でガラス化する技術、②カレットを原料の一部として利用でき且つ高効率で加熱溶融できる技術、③ガラス原料の融液とカレットの融液を高速で混合する技術を挙げ、本研究開発において①についてはプラズマ加熱等を利用したインフライトメルティング法で（使用エネルギー900kcal/kg-glassで）必要なガラス化率の達成、②については（使用エネルギー1800kcal/kg-glass以下で）1200℃への上昇時間を1分以内、③については2時間以内で均一に混合することを目標として設定し、世界最高レベルの省エネルギー型ガラス溶融プロセス開発を目指す。

\* 1 : JEITA 2011年カラーテレビの世界需要動向

### 2. 事業の計画内容

#### 2.1 研究開発の内容

##### 研究開発項目①気中溶解（インフライトメルティング）技術開発

##### A. 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

##### 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）

先導研究において開発したプラズマ・酸素燃焼炎加熱のハイブリッド化技術は、エネルギー効率が高い燃焼炎と高温領域を容易に発生できる多相アークを組み合わせることによる新しいインフライトメルティングのための高温発生技術である。しかしインフライトメルティング技術を実用化するには、多相アークの安定化、長寿命化、燃焼炎との組み合わせの最適化等が必要である。そのために、多相アーク発生技術の高度化、電極の材料と構造の改良、および、燃焼炎と多相アークのハイブリッド化による高温場の温度と流速の計測を行い、エネルギー効率が最適なインフライトメルティング技術を実現する。

本サブテーマの目標を次の通り設定する。

- ・平成20年度末目標：10分以上の安定した多相アーク＋燃焼炎の組み合わせを完成する。
- ・平成21年度末目標：多相アーク電極消費量を200mg/min以下にする。

- ・平成22年度末目標：多相アーク電極消耗量を50mg/min以下にする。  
30分以上の安定したハイブリッド加熱を実現する。
- ・平成24年度最終目標：ハイブリッド加熱を30分以上の連続運転でプラズマ変動±10%以内を達成する。

以下に3年間の研究開発内容を具体的に示す。

なお、得られたサンプルは東工大矢野研究室と旭硝子に提供し各サブテーマの研究に活用し、サンプルの組成分析、TG分析、ガス分析、SEM観察は旭硝子が分担する。

#### (1) 平成20年度

多相アークの安定化のために、多相アーク改良電極を製作・購入し多相アークの電極構造の改良を行うとともに多相アーク炉を改修、また、アーク発生周波数可変型電源を購入して電源部を改造により、燃焼炎と多相アークを組み合わせる最終的に10分以上の安定な運転が行えるようにする。造粒原料は旭硝子より提供を受ける。

多相アークの物理現象を解明することによって安定なアーク発生を行う。具体的には多相アークの温度、流速、濃度分布を実測し、高速度カメラでアークの変動現象を解明する。

#### (2) 平成21年度

多相アークの電極消耗量を抑制するために、冷却システムの改良（流量の増大、冷却効率の改善等）を行い、熔融ガラスへの不純物混入が0.4%以下となる200mg/min以下の電極消耗量をめざす。

燃焼炎と多相アークの組み合わせにおいて、パワー配分によって、熔融粒子のガラス化率、成分の揮発量に与える影響を調べる。

燃焼炎および多相アークにおけるインフライトメルティング中の熔融粒子の挙動を計測するために、熔融粒子計測装置および計測用光学システムを購入し完成させる。

#### (3) 平成22年度

多相アークの電極消耗量を抑制するために、電極損耗のメカニズムの解明を行う。また、得られた知見をもとに電極を改良し、熔融ガラスへの不純物混入が0.1%以下となる50mg/min以下の電極消耗量をめざす。

燃焼炎、多相アーク、およびそれらの組み合わせにおける気中溶解中の熔融粒子の温度、速度を計測し、熔融粒子の高ガラス化率と成分の低揮発量を満たすための指針を得る。

多相アーク炉冷却水システムを製作・購入・設置し、燃焼炎と多相アークの組み合わせにおいて、パワー配分を変える実験を行い、熔融粒子の高ガラス化率と成分の低揮発量を満たすために必要な多相アークの最低パワーを決定する。なお、この冷却水システムの製作において、電気式冷却システムを新たに導入するとともに電極用冷却水パスを増設し、冷却水量の増大が可能なシステムに作り替えることにより、多相アーク加熱の1時間の連続運転を可能にする。

研究員の増員により多相アーク開発を強化し 30 分間以上の安定したハイブリッド加熱を実現する。

#### 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）

NEDO先導研究において溶融温度が高い液晶用ガラスをインフライトメルティングするにはプラズマが必要であることがわかったが、プラズマおよびハイブリッド加熱溶融したガラスの諸物性は明らかでない。そこで、プラズマを使ってインフライトメルティングしたガラスの特徴を調べ、インフライトメルティング方法の特徴を明らかにする。また、その知見を生かし、本プロセスの特長を生かした特殊ガラス（たとえばガラス転移点 $>700^{\circ}\text{C}$ の難溶融ガラス）の溶融を試み、従来の溶融方法では製造困難なガラスに対しての本プロセスの適用性を判断する。

本サブテーマの目標を次の通り設定する。

- ・平成20年度末目標：プラズマおよび／またはハイブリッド加熱で得られた液晶用ガラス粉体の $\text{B}_2\text{O}_3$ 残存率90%、ガラス化率90%を実現する。
- ・平成21年度末目標：プラズマおよび／またはハイブリッド加熱で得られた液晶用ガラス溶融体の気孔率0.1vol%を達成する。
- ・平成22年度末目標：液晶用ガラスに対するプラズマおよび／またはハイブリッド加熱の特徴を明確にする。泡挙動の観察・解析が可能なブロック状メルトサンプルを作製する。
- ・平成24年度最終目標：1種類以上の特殊硝子溶融におけるプラズマおよび／またはハイブリッド加熱の実用性を判断する。

以下に3年間の研究開発内容を具体的に示す。

なお、RFプラズマと多相プラズマとを比較するために、サブテーマA-1で得られたサンプルの組成分析、TG分析、ガス分析、SEM観察についても実施する。

##### (1) 平成20年度

先導研究において、液晶用ガラスをインフライトメルティングすると、 $\text{B}_2\text{O}_3$ 残存率とガラス化率にはトレードオフの関係があることがわかり、目標とする高 $\text{B}_2\text{O}_3$ 残存率と高ガラス化率を両立する条件が得られなかった。そこで旭硝子（株）京浜工場に設置したインフライトメルティング実験装置でプラズマおよび／またはハイブリッド加熱でのインフライトメルティング実験を本プロジェクトにおいても継続して実施し、インフライトメルティング条件と得られたガラス粉体の $\text{B}_2\text{O}_3$ 残存率、ガラス化率等との関係を明らかにし、目標レベル（ $\text{B}_2\text{O}_3$ 残存率90%、ガラス化率90%）に到達できる条件を得た。なお、現在インフライトメルティング実験装置のプラズマリングは外注先より試用のため、本年度に購入する。また、試験用の原料B造粒加工作業および、得られたガラ

スの試料切断研磨加工、組成分析、気泡成分分析等は外注で行う。

(2) 平成21年度

平成20年度はプラズマおよび／またはハイブリッド加熱によりインフライトメルティングした液晶用ガラス粉体での評価により、高 $B_2O_3$ 残存率と高ガラス化率を両立する条件を探索するが、平成21年度はインフライトメルティングした液晶用ガラス粉体を高温の場に着地、融液化させ、溶融体としてのガラスの特性、品質を調査する。そのためのメルト採取装置を製作し現インフライトメルティング実験装置に組み込む。また、酸素バーナーとプラズマトーチを新たに購入しメルト採取試験に供する。酸素バーナーとプラズマトーチは新たに購入し、得られたガラス溶融体の気孔率、均質性等を評価し、プラズマおよび／またはハイブリッド加熱での品質目標達成条件を明らかにする。なお、試験用の原料B造粒加工作業および、得られたガラスの試料切断研磨加工、組成分析、気泡成分分析等は外注で行う。

(3) 平成22年度

平成20年度、平成21年度で得られた結果を踏まえて、プラズマおよび／またはハイブリッド加熱の特徴を明確にし、目標の $B_2O_3$ 残存率、ガラス化率、気孔率を満足できる液晶用ガラスの最適気中溶融加熱条件を提案する。また、プラズマリングを新たに購入し、前記最適条件を得るための試験に供する。また、試験用の原料B造粒加工作業（原料B：液晶用ガラス原料）および、得られたガラスの試料切断研磨加工、組成分析、気泡成分分析等は外注で行う。

メルト採取装置の整備とバージョンアップにより、泡挙動の観察・解析が可能なブロック状メルトサンプルを作製し、ガラス中の泡挙動の観察・解析を東工大矢野研究室と共同（再溶融による泡数変化測定を分担）して実施する。これにより気中溶解特有の諸現象把握を加速させ、プロジェクト全体の加速につなげる。

### 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）

NEDO先導研究では、造粒原料のみでインフライトメルティングが試行され、ソーダ石灰ガラス溶融は可能であることが判った。しかし溶融実験炉基本構造改良ができず、炉内部の溶融状況観察ができないなど炉設備の制約条件から運転条件等を十分に適正なものできず、実用レベルの泡、脈理（均質度）の高品質ガラスを得られなかった。更に、1回の溶融実験が数時間であり、長時間運転時の溶融エネルギー使用量、炉耐火物耐久性、ガラス品質の安定性などについて十分な評価ができなかった。このため、先導研究での知見等を元に、均質化槽を付加したカレット加熱にも使用可能な1トン／日のインフライトメルティング炉を新設し、炉内溶融状況観察等も行いながら長時間運転を行い、実用レベルの泡、脈理（均質度）の高品質ガラス溶融に必要な溶融炉構造（使用耐火物、貯留槽構造含む）と炉条件（炉形状、バーナー改善含む）の適正化、搬送気体量低減（最適気体流速の探索、振動付与など）等を図り、炉運転等の諸条件を得るとともに、旭硝子（株）と

分担して使用原料及び溶融ガラスの評価等を行い、エネルギー効率、コスト、連続生産性等の実用性判断を行う。なお、溶融ガラスの評価に関しては、東洋ガラス（株）は特にガラスの組成、泡（数・サイズ、泡成分）、レドックスおよびシュリーレンの評価を分担する。

本サブテーマの目標を次の通り設定する。

- ・平成20年度末目標：1トン/日のインフライトメルティング試験炉を新設し、24時間以上の長時間稼働を行い、溶解炉温度条件などが定常となった状態でのガラス品質、エネルギー使用量などのデータを得、高効率化のための溶解炉改造のための指針を得る。溶解エネルギー目標値を1500kcal/kg-glass以下、融液着地直前でのガラス化率を95%以上、炉出口でのガラス中の泡の目標値を40個/g（100個/cm<sup>3</sup>。NEDO先導研究の成果では200個/cm<sup>3</sup>）とする。
- ・平成21年度末目標：試験炉構造を改善するとともに、1週間程度の長時間運転を実施しガラス品質、エネルギー使用量など実用化に向けたデータを得る。溶解エネルギー目標値を1200kcal/kg-glass以下、泡目標値を20個/g（50個/cm<sup>3</sup>）とする。
- ・平成22年度末目標：カレットなしでソーダ石灰ガラスを製造する場合における溶融エネルギーとして1000kcal/kg-glass以下でかつ必要なガラス化率を試験炉で達成する。
- ・平成24年度最終目標：カレットなしでソーダ石灰ガラスを製造する場合における溶融エネルギーとして900kcal/kg-glass以下でかつ必要なガラス化率を試験炉で達成する。

以下に3年間の研究開発内容を具体的に示す。

なお、得られたインフライトメルティングサンプルは東工大矢野研究室と旭硝子に提供し各サブテーマの研究に活用する。

#### （1）平成20年度

サブテーマA-6におけるシミュレーション試算を参考に、1トン/日のインフライトメルティング試験炉を設計/製作/購入し、設置する。設置した試験炉を使用して24時間以上の連続運転を行う。試験炉には各6ヶ所程度の観察窓とサンプリング孔を設け、カメラおよび溶融粒子計測システムの設置も可能にする。

旭硝子（株）が作製を担当するソーダ石灰造粒原料を使用して、連続運転下でエネルギー原単位と泡の目標値を達成するための運転条件を、炉条件の適正化、搬送気体量低減等を図ることにより探究する。

試験炉の性能評価のため、融液槽に着地する寸前のガラスおよび炉出口でのガラス



をサンプリングする。なお、溶融ガラスの試料切断研磨加工、ガラス組成分析、ガス組成分析、光学的均質度測定、泡挙動実測作業等は外注で行う。

溶融ガラス中の異質ガラスや異物、炉材の損傷状況を観察・調査し、適切な炉材を検討する。

モデル実験およびシミュレーションを行ない、適切な燃焼室形状・バーナー性能を検討する。なお、シミュレーションはサブテーマA-6と連携し、バーナー燃焼解析は外注で行う。

## (2) 平成21年度

溶融ガラスの品質評価とモデル実験およびシミュレーションの結果より、燃焼室形状と炉材を適正化し、試験炉を更新する。また、試験炉の起動・条件変更をスムーズに行い運転状態の再現性を向上させるために試験炉自動制御設備を設置するとともに、試験炉を迅速に立ち上げ温度状態を安定させるために燃焼炎による試験炉予熱設備を組み込む。なお、シミュレーションはサブテーマA-6と連携し、バーナー燃焼解析は外注で行う。

インフライトメルティングに適したソーダ石灰ガラス原料調合組成・粒度を求めるために原料調合組成・粒度を変更して溶融実験を行なう。

カレットを溶融可能にするために試験炉を改造するとともに、効率的なカレット加熱方法を探索するため、カレット加熱用専用バーナーを購入する。

適切な運転条件下、ソーダ石灰ガラス原料で一週間程度の連続運転を行い、5mmφ程度の長尺サンプルを連続的にサンプリングするとともに、熱精算データ、操炉データ、品質データを時系列的に収集し、エネルギー原単位とガラス品質の評価を行う。また、熱電対(TC)の増設と酸化還元センサー、排ガス流速センサーなどからなる試験炉センサー機器を購入し、諸データ収集の充実と信頼性を向上させることにより、ガラス品質に及ぼす試験炉操業条件の影響について詳細な解明を図る。なお、溶融ガラスの試料切断研磨加工、ガラス組成分析、ガス組成分析、光学的均質度測定、泡挙動実測作業等は外注で行う。また、試験炉操業における溶融試験作業の一部は外注で行う。

試験炉ガラス槽内部での清澄や均質化プロセスを調べるために、トレーサーなどを使用してガラス流れの解明を行う。また、並み形レンガを上部構造と煙道に差し込み、炉材差し込み試験を実施する。

## (3) 平成22年度

カレットなしでソーダ石灰ガラスを製造する場合における溶融エネルギーとして1000kcal/kg-glass以下でかつ必要なガラス化率を試験炉で達成するための運転条件を、溶融炉構造と炉運転条件(火炎長、貯留槽サイズなど)の適正化、搬送気体量低減等を図ることにより探求する。

着色ガラス用ソーダ石灰ガラス原料の造粒体を用いて溶融実験を行ない、市販レベ

ルの着色品質を得るための着色ガラス溶融に必要な原料調合および運転条件を探求する。溶融ガラスの試料切断研磨加工、ガラス組成分析、ガス組成分析、光学的均質度測定、泡挙動実測作業等は外注で行う。

#### 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）

サブテーマA-3において超高効率インフライトメルティング試験炉の製作及びエネルギー低減技術の開発を実施するが、東洋ガラス（株）が実施する当該試験炉での連続溶融試験に必要なガラス原料造粒体等1種類以上を旭硝子（株）が作製・評価して東洋ガラス（株）に支給する。また、エネルギー効率、コスト、連続生産性等実用性判断に必要な情報を得るために東洋ガラス（株）と分担してインフライトメルティングしたガラスの評価を行う中で、旭硝子（株）は特にガラス中の溶存ガスおよびミクロなガラス均質性の評価を担当し、相互に協力して課題を達成する。

本サブテーマの目標を次の通り設定する。

- ・平成20年度末目標：溶解エネルギー目標値1500kcal/kg-glass以下、炉出口でのガラス中の直径1mm以上の泡の目標値を40個/g（100個/cm<sup>3</sup>）とする。
- ・平成21年度末目標：溶解エネルギー目標値1200kcal/kg-glass以下、直径1mm以上の泡目標値を20個/g（50個/cm<sup>3</sup>）以下とする。
- ・平成22年度末目標：ガラス原料造粒体1種類以上を東洋ガラスに支給し、連続インフライトメルティング試験溶融したガラス中に残存する直径1mm以上の気泡が0.1個/kg以下である均質なガラスを得る。
- ・平成24年度最終目標：ガラス原料造粒体1種類以上を東洋ガラスに支給し、連続インフライトメルティング試験溶融したガラスの組成均質性が標準的なガラスびん生産品の組成均質性と同等であるガラスを得る。

以下に3年間の研究開発内容を具体的に示す。

##### （1）平成20年度

NEDO 先導研究において、数百 kg 規模のソーダライムガラス原料造粒体を外注により作製したが、平成20年度はサブテーマA-3において東洋ガラス（株）で実施する1トン/日のインフライトメルティング試験炉での24時間以上の長期間稼動試験のために、原料A造粒加工作業（原料A：ソーダライムガラス原料）として2トン規模のソーダライム原料造粒体を複数回、外注により作製し供給する。作製した原料造粒体の評価および長期間稼動試験で得られたガラス中の溶存ガスおよびミクロなガラス均質性の評価により、試験炉改造のための指針を得るための補助データを東洋ガラス（株）に提供するとともに、ガラス中の泡の目標値達成をめざす。なお、原料造粒体の組成分



析、ガラスの試料切断研磨加工、成分分析、ガラス中の気泡成分分析等は外注で行う。

(2) 平成21年度

サブテーマA-3において東洋ガラス(株)で実施する1トン/日のインフライトメルティング試験炉での1週間程度の長期間稼動試験のために、原料A造粒加工作業として20トン規模のソーダ石灰原料造粒体を複数回、外注により作製し供給する。作製した原料造粒体の評価および試験で得られたガラス中の溶存ガスおよびマイクロなガラス均質性の評価により、目標の溶解エネルギー、ガラス化率、全泡数を達成するための補助データを東洋ガラス(株)に提供し、ガラス中の泡の目標値達成をめざす。なお、原料造粒体の組成分析、ガラスの試料切断研磨加工、成分分析、ガラス中の気泡成分分析等は外注で行う。

(3) 平成22年度

サブテーマA-3において東洋ガラス(株)で実施する1トン/日の気中溶解試験炉での1週間程度の長期間稼動試験のために、原料A造粒加工作業として20トン規模のソーダ石灰原料造粒体を複数回、外注により作製し供給する。作製した原料造粒体の評価および試験で得られたガラス中の溶存ガスおよびマイクロなガラス均質性の評価により、目標の溶解エネルギー、ガラス化率、直径1mm以上の泡数を達成するための補助データを提供し、ガラス中の泡の目標値達成をめざす。なお、原料造粒体の組成分析、ガラスの試料切断研磨加工、成分分析、ガラス中の気泡成分分析等は外注で行う。

**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)**

インフライトメルティングによる高速ガラス化反応は、ガラス原料より構成される造粒体がプラズマ加熱あるいは酸素燃焼炎+プラズマハイブリッド加熱によって形成される超高温場を短時間で飛翔することによって達成される。そのプロセスは、これまでに研究および実用化されているどのガラスの製造プロセスにおいても経験されたことのない熱履歴をガラス溶融体に与える。気中溶融されて得られたガラス液滴は、気中溶融炉下部に形成される溶融槽に堆積され、その後の高速清澄プロセスやカレット融液との高速混合の過程を経る。

その挙動を理解するには、インフライトメルティングの特異性から、既存のガラス融液に関する知見は役に立たない。そこで、高速清澄、高速混合を安定して行うため、インフライトメルティングにより形成される融液の性質を定量的に把握する。また、インフライトメルティング挙動(気中でのガラス原料造粒体の挙動)および形成されたガラス融液の示す挙動をそれぞれその場で直接観察し、インフライトメルティングの条件との対応関係を明確にする。

本サブテーマの目標を次の通り設定する。

- ・平成20年度末目標：インフライトメルティングによって溶解されたガラスの融状態の直接観察炉の設計・設置と校正、および観察に必要な透明坩堝の試作と検証を実施する。
- ・平成21年度末目標：インフライトメルティングによって作製されたガラスの融液状態の観察を実施し、融液内に発生する動的挙動の記録・解析を実施する。また、インフライトメルティングガラス融液から放出されるガスが溶融雰囲気を与える影響を調査するための観察炉の改造に着手する。ガラスに内包されているガスの分析のためのガス分析装置の設計・導入・キャリブレーションを実施し、試料ガラスの分析体制を確立する。インフライトメルティング挙動計測用装置を整備し、挙動の記録・解析を開始する。
- ・平成22年度末目標：インフライトメルティング挙動およびインフライトメルティングによって形成されたガラス融液の直接観察の実施と清澄挙動、溶融雰囲気の評価、気泡ガス分析、融液中ガス濃度測定を中心としたガラス物性の定量的評価を行う。
- ・平成24年度最終目標：インフライトメルティング条件とガラス融液の性質および清澄とカレットガラス融液との混合との相関に関する科学的知見を収集する。

以下に3年間の研究開発内容を具体的に示す。

なお、インフライトメルティングガラスサンプルは、東工大渡辺研究室、旭硝子及び東洋ガラスから供給を受ける。

#### (1) 平成20年度

インフライトメルティングによって溶融されたガラス液滴が堆積した液溜まり内のガラス融液の挙動を理解することを目的に、液溜まりを模した融液を透明坩堝に保持し、横方向および上部方向から観察することができる直接観察炉を設計・製作・購入・設置し、観察・記録に必要な機器の据え付け・稼働試験を実施する。また、高温の融液状態（1300–1500°Cの温度領域を想定）でガラス融液を保持するための坩堝の試作とテストを行い、高温状態の融液観察の実験環境を整える。

インフライトメルティングされたガラスの内部に取り込まれた気泡中に内包されているガスの分析を行うためのガス分析装置を設計する。

#### (2) 平成21年度

平成20年度に設置した直接観察炉を使って、インフライトメルティングガラスを再溶融して融液を形成し、融液内に発生する泡の動的挙動を高解像動画として撮影記録する。記録を下に、気泡の発生・消失、気泡の上昇と速度など動的変化を定量的に

抽出する。また、インフライトメルティングガラス融液から放出されるガスが溶融雰囲気を与える影響について調査を実施することができるように観察炉の改造を実施する。インフライトメルティングされたガラスの内部に取り込まれた気泡中のガスの分析を行うためのガス分析装置を発注・購入・設置し、分析実施のためのキャリブレーションを行って、実際のガラス試料のガス分析を実施することができる環境を整え、インフライトメルティング試料に関する解析を行う。

ガラス原料造粒体のインフライトメルティング挙動を直接観察するためのインフライトメルティング挙動計測用装置を整備し、挙動を記録・解析を開始する。

### (3) 平成22年度

平成21年度に引き続き、さまざまなインフライトメルティング手法および溶解条件で作製されたインフライトメルティングガラスの再溶融挙動を直接観察し、内部で生じる動的挙動の中で清澄に関する現象を定量的に把握するが、溶解中にガラス融液から放出されるなどガスなどによって生じる溶解雰囲気の変化についてのその場評価の実験を開始し、炉内ガスモニターシステムを新たに購入・設置して、より詳細な融液挙動について調査を行う。また、観察された融液内の気泡について、急冷後試料片を取り出してガス分析装置により分析し、インフライトメルティング条件との関係を軸にその違いを明らかにする。さらに、ガス濃度分析計およびその付帯設備を導入することにより、ガラス融液中におけるインフライトメルティング特有のガス成分等について特性を定量的に把握する。これらにより、清澄工程の正確なシミュレーションと設備設計を可能にさせ実用化を加速させる。

## 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）

インフライトメルティングプロセスの制御方法を確立し実用化への移行を円滑化するため、シミュレーションモデルの構築とシミュレーション予測の高精度迅速化技術を開発する。

NEDO先導研究において開発したガラス溶融炉のシミュレーション技術は、炉内のガラス原料の昇温過程、ガラス融液の挙動等の定性的理解に役立ち、実機概念設計を可能にしたが、高い精度で定量的にそれらを予測するレベルにはない。インフライトメルティング技術を実用化するには、実機開発を効率的に進めるための基盤作り、すなわち、ガラス溶融炉実機のシミュレーション予測を高精度かつ迅速に行えるようにすることが不可欠である。そのために、気中加熱・燃焼・伝熱・熱流動・気泡清澄・均質化など各計算モデルの連成を一段と高密度化する技術、並列計算などにより計算速度を高速化する技術等の開発、輻射伝熱を考慮した熱流動解析の改良等により、シミュレーション予測の高精度化と迅速化（Windowsマシンで10倍程度の高速化）を実現する。また、ガラスカレット加熱において重要となるガラス原料融液とカレット融液との高速混合において重要となる融液攪拌モデル、上記のNEDO先導研究では近似的に対処してきたプラズマ加熱モデル等についても新たに開発を行う。

本サブテーマの目標を次の通り設定する。

- ・平成20年度末目標：多相プラズマモデル及び液体燃焼モデルの2モデルを構築する。
- ・平成21年度末目標：融液攪拌モデル及び耐火物浸食モデルの2モデルを構築する。
- ・平成22年度末目標：試験炉の熱収支内訳をシミュレーションで±13%の精度で予測する。
- ・平成24年度最終目標：試験炉の熱収支内訳をシミュレーションで±5%の精度で予測する。

以下に3年間の研究開発内容を具体的に示す。

なお、シミュレーションモデルの定式化、検証等はニューガラスフォーラムが実施し、プログラム作成作業は外注にて実施する。

#### (1) 平成20年度

高温プラズマを電気伝導体と仮定して1対のアーク放電電極による空間発熱分布を求め、多数対電極に拡大し、流体の支配方程式と連成して空間の温度分布を求めるという方法で多相プラズマモデルを構築し、渡辺研究室の運転データまたは関連する多相プラズマ設備の運転データを入手して、シミュレーションの精度を検証する。

液体燃料をn-デカンで代表させることにより、液体燃料燃焼モデルを構築する。インフライトメルティング試験炉に適用し、また、シーメンス炉においても検証計算を行う。

入出力の迅速化、計算の高速化のため、プリポスト用プログラムを全面的に改良し、各計算モジュールの繰返し数を最適化することで総合的な計算速度を向上させ、また、並列計算を可能にする。

#### (2) 平成21年度

ガラス原料融液とカレット融液の混合装置の性能を評価するため、混合攪拌モデルを構築し、混合度のシミュレーション評価を可能にする。

ガラス接液部を構成する耐火物の侵食と、浸食による形状変化を予測する耐火物侵食モデルを作成し、カレットの高効率加熱技術において予想される耐火物浸食を予測し、炉形状と温度分布の適正化に役立てるとともに、ガラス溶融炉の耐用年数の予測を行えるようにする。

#### (3) 平成22年度

試験炉(東洋ガラス)の運転データを用いて実時間に近いシミュレーションを行い、シミュレーション結果と炉の測定結果とのマッチングを確かめ、必要に応じプログラムを改善することにより、現場の操炉に役立つレベル(時々刻々行うシミュレーショ

ンが炉の時々刻々の運転条件決定や条件変更に取り入れられるようになるレベル)になるよう精度向上を目指す。

試験炉の運転データを用いて、熱収支内訳をシミュレーションで求め、シミュレーションコードの問題点を抽出し、必要な改良を行うとともに、開発したシミュレーションプログラムの感度解析計算作業の一部を外注化することにより計算例を大幅に増やし、シミュレーション予測精度の向上につなげる。これにより、熱収支内訳を±13%の精度で予測できるようにし、実用化時の設備投資リスクの低減を図る。

## 研究開発項目②ガラスカレット（再生材）高効率加熱技術開発

### B. 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）

NEDO先導研究では造粒原料のみでのインフライトメルティングが試行され、熔融エネルギーの低減に必須となるカレット添加での熔融実験は実施されなかった。そこで、インフライトメルティング技術に適合し得るカレットの高速高効率の加熱技術と、カレットの予備加熱技術を新たに開発する。カレットの高速高効率加熱技術としてはカレット粒サイズ、加熱方法等を検討し、泡発生等の問題を生じない方法を見出す。カレットの予備加熱は様々な方法が提案されているが、予備加熱による軟化、固着などの問題から実用化されているものはほとんど無い。しかし、カレットの予備加熱は更なる省エネルギーには不可欠な技術であり、既存技術も含めてエネルギー効率、連続生産性等の見直しを行うとともに、試験設備（～100kg/日）を製作してカレットの間接加熱試験を実施し、300℃前後まで加熱で融着がなく、低粉塵を可能とするカレット予備加熱術を開発する。

本サブテーマの目標を次の通り設定する。

- ・平成20年度末目標：カレット供給装置（1トン/日）及びカレット予熱装置（約100kg/日）の検討を行い、最も適当と思われる装置あるいは方法を選択し、両装置を設計し、製作に着手する。
- ・平成21年度末目標：カレット供給装置（1トン/日）を設置し、種々の粒度のカレットで24時間以上の長時間運転を行い、ガラス品質を調査し最適な粒度を選定する。熔融エネルギー目標値を2000kcal/kg-glass以下とする。
- ・平成22年度末目標：カレットが適用できるインフライトメルティング技術を成立させるカレット高速加熱技術の見通しを立てると共に、カレットの1200℃までの昇温時間1分以内を達成する。
- ・平成24年度最終目標：カレットのみを原料としてガラスを製造する場合における熔融エネルギーとして1800kcal/kg-glass以下を試験炉で達成するとともに、カレットの1200℃までの昇温時間1分以内を達成する。



以下に3年間の研究開発内容を具体的に示す。

(1) 平成20年度

燃焼バーナーまたは炉壁から炉内にカレットを1トン/日規模で供給するためのカレット供給装置の検討を行う。

カレットを約300℃までダンゴ状にならず低粉塵で加熱可能な、100kg/日規模のロータリーキルンやコンベヤキルンなどの加熱装置を調査し、予熱実験を行う。なお、カレット予熱作業は外注にて行う。

カレット供給および予熱方法を決定し、装置の設計・製作に着手する。

(2) 平成21年度

製作したカレット予熱装置を使用して、最適な運転条件とカレット粒径を検討する。試験炉に設置したカレット供給装置を使用してインフライトメルティング法による溶融方法等を適用して、カレット粒径を変えてカレット粒径(10mm~0.1mm)がエネルギー原単位および気泡発生に与える影響を調べ、溶融エネルギー目標値を2000kcal/kg-glass以下を達成するための最適なカレット粒径を検討する。

(3) 平成22年度

ソーダ石灰ガラスカレットに造粒原料を添加して溶融試験を行なう。添加率・添加方法を変更して気泡発生等のガラス品質とエネルギー原単位を評価し、最適な運転条件を検討する。

投入したカレットが1分以内に1200℃に達することを目標に置く。粒径1~10mmのカレットが使用できる加熱方法についても検討する。

### 研究開発項目③ガラス原料融液とカレット融液との高速混合技術開発

#### C. 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)

インフライトメルティング技術の実用化にはカレット使用が必須となるが、造粒原料溶融ガラスとカレットとの組成差等や耐火物等に起因する脈理を内在した不均質ガラスとなることが予想される。このため、溶融の後工程に均質化槽を設け、例えば、高速混合のための槽形状、攪拌子形状、混合に適したガラス融液温度(粘性)などを複数試行し、均質度等を(独)物質・材料研究機構他と共同して同機構が開発する新たな方法や既存の方法等で評価し、複数試行した方法について、ソーダ石灰ガラスの場合においてエネルギー効率、コスト、連続生産性等実用性判断を行い、インフライトメルティング技術に適合し得る高速混合技術を開発する。

本サブテーマの目標を次の通り設定する。

- ・平成20年度末目標：既存の設備・方法も含めて高粘度物質に適する混合攪拌装置の検討を行い、混合攪拌装置を設計し、製作に着手する。
- ・平成21年度末目標：攪拌装置を試験炉に追加設置し、予備的な攪拌均質化実験を行い、攪拌有無によるガラスの均質化比較を行う。脈理の減少を透過光評価により確認する。
- ・平成22年度末目標：透過光評価で均一に混合するまでの時間として4時間以内を達成する。
- ・平成24年度最終目標：確立した評価方法で均一に混合するまでの時間として2時間以内を達成する。

以下に3年間の研究開発内容を具体的に示す。

(1) 平成20年度

ガラスびん製造プロセスで使われているものと同一形状の複数の攪拌子を用いた予備的試験により、攪拌子の配置・運転条件による均質化性能を実験により評価する。評価結果をもとに攪拌装置を設計し、製作に着手する。

(2) 平成21年度

攪拌装置を試験炉に設置し、攪拌実験を行ない、攪拌装置前後でサンプリングを行い、運転条件によるガラス均質化および気泡の増減に与える影響を透過光で評価する。攪拌実験をもとに、攪拌子と攪拌装置の改善を行い、気泡を増加させずガラス均質化改善に効果的な攪拌装置（槽形状、攪拌子形状など）と運転条件（ガラス融液温度など）を検討する。

(3) 平成22年度

サブテーマA-6のシミュレーション結果を参考に攪拌装置と運転条件を更に適正化し、最終的に連続運転により年度末目標の達成（透過光評価で4時間以内に均質化すること）を確認する。

**C-2. 混合融液の均質性評価技術（物質・材料研究機構）**

カレット混合試験溶融から得られるガラス試料は、均質化初期の段階であり欠点として泡と成分のムラ（脈理）の両方を多量に含んでいる。また、攪拌プロセスの追跡のためには広範囲の均質性を同一基準で定量的に評価しなければならない。従来、均質化初期段階のガラスの均質性の定量評価は余り重要ではないので行われておらず、均質化がかなり進んだ泡なしの段階で高感度干渉計などの光学的手法を用いて行われている。また、試料を破壊して粒子状にしてから定量評価する方法はいくつかあり、均質化初期の段階の評価も実施されている。

本プロジェクトにおける攪拌均質化過程の評価は攪拌開始時からの均質化過程を追



跡する必要があり、特に、泡と成分のムラとを分離して定量評価する必要がある。しかしながら従来法では、泡が有ると適用できない、また、破壊検査では泡の情報が消えてしまうなどの不都合があり本開発研究には適用できない。

以上の背景から泡や成分のムラを含むガラス試料片について、泡と組成ムラを分離して定量できる均質性評価法を新たに開発する。開発する方法は、試料片の光学透過像を画像解析(異物の形、大きさ、存在量の把握と分類およびスペクトル化)することにより分離定量する手法を開発する。また、透過画像としては通常の可視画像の他に成分のムラを敏感に検出できるシュリーレン像も使用する。更に、均質性評価のバックデータとして、同一試料について表面硬度やヤング率のマッピング、分光透過率のマッピングデータを収集し開発評価法と比較し、均質性と実際のガラス品質の変化との相関を調査し最適攪拌法選定の補助データとする。

本サブテーマの目標を次の通り設定する。

- ・平成20年度末目標：シュリーレン像から泡と成分のムラそれぞれに起因する情報の分離法を開発する。
- ・平成21年度末目標：泡と成分のムラの定量評価法を開発する。
- ・平成22年度末目標：泡と成分の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させる。
- ・平成24年度最終目標：泡や成分のムラの代表的大きさの分布を評価する。

以下に3年間の研究開発内容を具体的に示す。

なお、ガラス試料は、東工大渡辺研究室、旭硝子及び東洋ガラスから供給を受ける。

#### (1) 平成20年度

シュリーレン装置を新規購入し、平板状ガラス試料のシュリーレン透過像を得る環境を整備する。

顆粒状原料をルツボにて溶解して作製したガラスより平板状試料を切り出し研磨してシュリーレン計測用の試料を作製する。作製した試料のシュリーレン像から泡と成分のムラ(脈理)の分離認識を市販の画像処理ソフトを用いて行う。認識は形状の違いを活用して行う。分離認識後、それぞれを消去処理して独立の評価用画像(泡像、成分のムラ像)を作成する。

シュリーレン像の試料厚み依存性を把握するため、試料の厚みを250 $\mu$ m間隔程度で5段階に薄くして観察を行う。観察像より分離像を作成しその変化から均質性評価結果の表記法を検討する。

#### (2) 平成21年度

20年度に開発した分離法により得られた泡、脈理それぞれの独立画像より、泡については総個数を、暗化像として捉えられる脈理については、暗部の最大暗化度、総

面積をそれぞれ見積もる。また、20年度と同様に試料を作製し、評価結果と厚みの相関関係を調査して均質性評価結果の表記法を検討する。泡像、脈理像それぞれについてフーリエ変換像を作成し、その周期性の評価を行う。周期性評価結果より、泡の大きさ分布および脈理の長さ分布の評価方法を検討する。

(3) 平成22年度

21年度までの成果をまとめてシュリーレン像からの泡、脈理を独立して検出し、その量や分布幅を定量すると共に分布状態の半定量評価を行える定量評価法として完成させる。また、開発した評価方法を用いて試験炉において製造されたガラス試料の均質性を評価・集積し、混合均質化手法最適化のためのデータとする。

表Ⅱ-1-2. 全体スケジュール

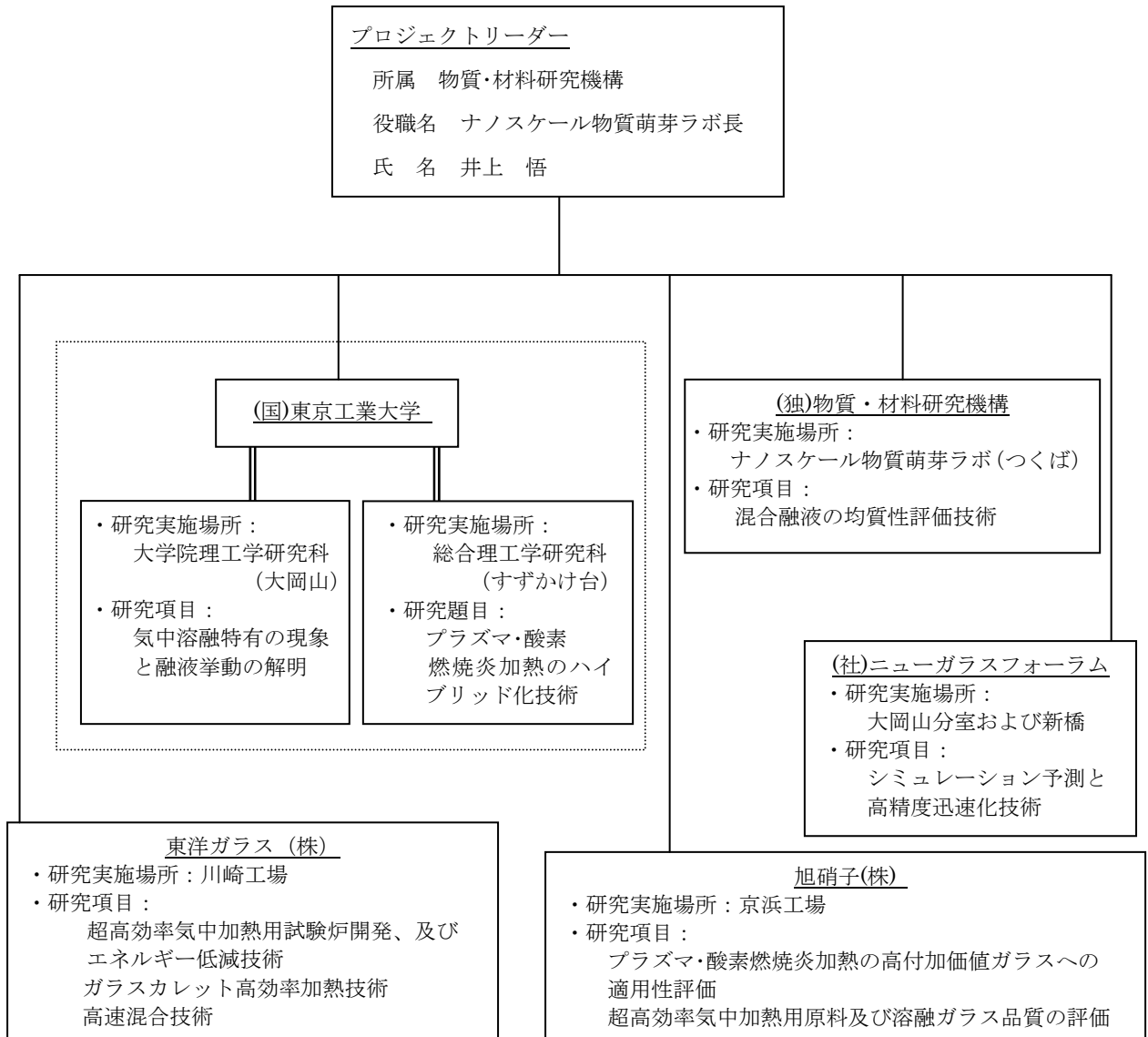
事業項目	20年度				21年度				22年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
<b>①気中溶解（インフライトメルティング）技術開発</b>	▶											
A-1 プラズマ・酸素燃焼炎加熱のハイブリッド化技術（東工大渡辺研）												
A-2 プラズマ・酸素燃焼炎加熱の高付加価値ガラスへの適用性評価（旭硝子）												
A-3 超高効率気中加熱用試験炉開発及びエネルギー低減技術（東洋ガラス）												
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）												
A-5 気中溶融特有の現象と融液挙動の解明（東工大矢野研）												
A-6 シミュレーション予測と高精度迅速化技術（NGF）												
<b>②ガラスカレット（再生材）高効率加熱技術開発</b>	▶											
B-1 ガラスカレット高効率加熱技術（東洋ガラス）												
<b>③ガラス原料融液とカレット融液との高速混合技術開発</b>	▶											
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（NIMS）												

## 2.2 研究開発の実施体制

本プロジェクトでは、国内大手のガラス事業者、プラズマ技術開発能力を持つ国立大学、モデルシミュレーション開発及び均質性の評価技術開発を担当するため開発能力を有する法人との共同による研究体制を構築した。

独立行政法人物質・材料研究機構ナノスケール物質萌芽ラボ長 井上 悟氏をプロジェクトリーダーとして次に示す分担体制により実施した。

### (実施体制)



## 2.3 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省及び研究開発責任者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標、並びに本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて設置される技術検討委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させるほか、年に一回技術委員会を開催し、プロジェクトリーダー等を通じてプロジェクトの進捗について報告を受けること等を行った。

### 技術委員会開催実績

委員会名：「革新的ガラス溶融プロセス技術開発」技術委員会

開催日・開催場所・委員

①平成20年度：平成21年3月23日（月）

NEDO別館（ラウンドクロス川崎4F）第3会議室

出席委員：（委員長）亀山 秀雄

（委員長）亀山 秀雄 国立大学法人東京農工大学大学院 教授

（委員）森田 一樹 国立大学法人東京大学 生産技術研究所 教授

（委員）稲葉 次紀 中央大学 理工学部 教授

（委員）武部 博倫 国立大学法人愛媛大学大学院 教授

（委員）藤野 茂 国立大学法人九州大学大学院 准教授

②平成21年度：平成22年1月22日（金）

NEDO別館（ラウンドクロス川崎4F）第1・第2会議室

東洋ガラス株式会社川崎工場（研究施設視察）

出席委員

（委員長）亀山 秀雄 国立大学法人東京農工大学大学院 教授

（委員）伊藤 公久 早稲田大学基幹理工学部応用数理学科 教授

（委員）森田 一樹 国立大学法人東京大学 生産技術研究所 教授

（委員）稲葉 次紀 中央大学 理工学部 教授

（委員）武部 博倫 国立大学法人愛媛大学大学院 教授

（委員）藤野 茂 国立大学法人九州大学大学院 准教授

## 2.4 研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性

### 2.4.1 実用化、事業化につなげる戦略

我が国のガラス業界は、製造する品種により溶解炉の規模は横幅数m程度の小型のものから、数十mの大型のものまで多岐に亘っており、現行炉の寿命も補修間隔も様々である。本プロジェクトの開発技術の実用化は、まず小型炉（数 ton/日）から導入を開始し、徐々に操業実績を上げるとともに規模を拡大し、中型炉（数十 ton/日）、大型炉（数百 ton/日）へと展開することを想定している。



	生産規模	炉寿命 (または大規模補修間隔)	投資規模(現行炉)*
小型炉	; 10ton/day 以下	10年	350百万円(1,000百万円)
中型炉	; 10~100ton/day	15年	600百万円(2,500百万円)
大型炉	; 100ton/day 以上	15年	1,600百万円(7,000百万円)

\* : 投資規模算定根拠

(参考) シーメンス炉新造費 : 100ton/day 蓄熱室付き炉で 27.5 億円

気中溶解炉新造費 : 100ton/day 炉で 7.5 億円

#### 2.4.2 知財マネジメント

本プロジェクトで開発する技術は、他に類を見ない独自性のある技術であるため特許性は高いものになり得るが、その要点はノウハウの集積物でもあるため、知財化による公開は模倣による権利侵害リスクも高い。従って、我が国発信の技術として価値を損なわないように知財化については慎重に進めていく方針である。

##### 特許申請計画(件数)

研究開発期間(H20~H24)	1件出願済み、3件計画予定
実用化期間(H25~)	1件以上を想定

### 3. 情勢変化への対応

#### (1) 基本計画、実施方針について

エネルギー技術戦略上の位置付けはこれまでのところ変更はなく、開発計画の見直しはない。

#### (2) 進捗状況の把握について

実施者により定期的(約3ヶ月に1回)に開催される進捗確認会議を通じてプロジェクトの進捗状況を把握するとともに、軽微な計画変更の有無、予算の前倒し・後ろ倒し要否等、状況に応じた対応を実施した。また、NEDOが主催する技術委員会(年1回開催)において、プロジェクトリーダー等から事業全体の進捗と課題の報告を受け、技術委員との意見交換を通じて開発の方向性と取り組むべき課題についての妥当性を確認した。

表Ⅱ-3-1. 主な変更履歴

変更項目	変更時期	変更機関	主な変更理由・内容
予算後ろ倒し	平成 21 年 3 月	東洋ガラス(株)	購入装置の納期遅延等による後ろ倒し
予算限度額変更(増額)	平成 21 年 4 月	東洋ガラス(株)	溶解試験装置の改造・拡充
		東京工業大学	研究員の追加登録
予算前倒し	平成 21 年 10 月	東京工業大学	溶解観察装置の改造前倒し
予算後ろ倒し	平成 22 年 1 月	旭硝子(株)	溶解試料製造量の変更
予算限度額変更(増額)	平成 22 年 4 月	東京工業大学	プラズマ装置改善工事 登録研究員追加等
		旭硝子(株)	メルト採取装置改善
		(社)ニューガラスフォーラム	シミュレーション予測精度向上のための感度解析計算追加

#### 4. 評価に関する事項

##### 4.1. 評価の実施時期

事前評価：平成 19 年度（有識者ヒアリング）

中間評価：平成 22 年度（2010.8.26 実施）

事後評価：平成 25 年度（予定）

##### 4.2. 評価手法

事前評価：外部有識者によるヒアリング

中間評価：外部評価

##### 4.3. 評価事務局

NEDO 省エネルギー技術開発部（事前評価）、研究評価部（中間評価）

##### 4.4. 評価項目・基準

書面審査及び採択審査は下表（表 5-4-1）の審査基準に則り実施した。

表 4-4-1. 審査項目・基準

審査項目	審査基準
1. 研究開発の目的と目標	・提案内容が基本計画の目的、目標に合致しているか。
2. 課題と技術水準	・提案された内容は、新規性があり、技術的に優れ、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。 ・技術内容・方式にオリジナリティーがあり、競合技術との比較や特許調査からも優位性が示されているか。 等
3. 省エネルギー効果	・省エネルギー効果算出の考えは妥当であり、省エネルギー効果が期待できるか。 ・費用対効果の数値は妥当であるか。 ・将来的にデファクトスタンダードになることが期待できるか。 等
4. 研究開発成果の事業化について	・事業化の見込みは高いか。 ・事業化に関する記述のうち、事業化時期、能力、コスト試算等は十分行われかつ妥当であるか。 ・関連分野への技術的波及効果及び経済的波及効果が期待できるか。 等
5. 目標値（中間ならびに最終目標値）について	・研究開発全体並びに実施項目別の達成指標（最終目標）は、定量的かつ適性に設定されているか。 ・目標達成度を正しく判定するための指標（マイルストーンと中間目標）を適切に設けているか。 等
6. 研究体制（実績・能力）	・研究計画は、実現可能か（開発期間内で技術課題を解決する見通しはあるか）。 ・複数で提案されている場合、各社（者）の提案（分担）が相互補完的になっているか。 ・適性な人員の計画で、かつ有機的な研究体制が構築されているか。 ・研究開発体制は妥当か。また研究開発責任者は資質ならびに実績から見て適切か。 等
7. 産業の競争力強化について	・我が国が工業の競争力強化及び新規産業創出に貢献するか。

#### 4.5. 評価委員

事前評価：

##### a. 有識者ヒアリング

実施時期 平成20年1月18日（金）14：00～16：00

外部有識者

亀山 秀雄 国立大学法人東京農工大学大学院 技術経営学科 教授

井上 悟 独立行政法人物質・材料研究機構

ナノセラミックスセンター機能性ガラスグループ

グループ長（当時）

## Ⅲ. 研究開発成果について

## 1. 事業全体の成果・達成度（H22年度末見込み）

目 標	研究開発成果（H22年度末見込み）	達成度	コメント
①「インフライトメルティング技術開発」 （H22年度末中間目標） ソーダ石灰ガラスを熔融エネルギー 1000kcal / kg-glass 以下。	プロジェクト開始時に設置したバーナーを使用して運転条件とバーナー据付位置の適正化を行い、H22年6月までに1141kcal/kg-glass まで到達した。今後、バーナーの改良と運転条件の適正化で、1000kcal/kg-glass 以下を達成できる見込み。	○	
②「ガラスカレット（再生材）高効率加熱技術開発」 （H22年度末中間目標） カレットの 1200℃までの昇温時間 1分以内。	気中熔融法を採用することにより、1942 kcal/kg-glass 以下の熔融エネルギーで7hr 連続熔融することができた。カレット粒径の適正化等により泡層生成を抑制し、1200℃までの昇温が1分以内で完了可能となる見込み。	○	カレット粉碎レベルを軽減できる経済性を考慮した手段も開発する。
③「ガラス原料融液とカレット融液との高速混合技術開発」 （H22年度末中間目標） 均一に混合するまでの時間として4時間以内。	均一混合のための試験体制を整え、サンプル採取を開始した。3対ある攪拌子のうちの1対で行った段階での試験で相応の攪拌性状が観察できたことから考え、4時間以内の攪拌操作での均一化は達成可能な見込み。	○	

達成度→中間目標大幅達成：◎，本年度中に中間目標達成：○，  
中間目標達成見込み：△，中間目標未達：×

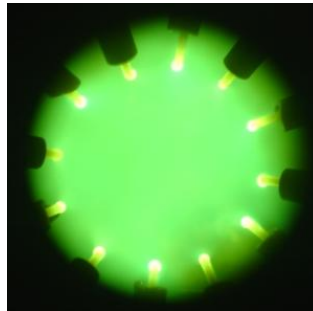
## 2. 研究開発項目毎の成果

### 研究開発項目①気中溶解（インフライトメルティング）技術開発

#### A. 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

##### 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）

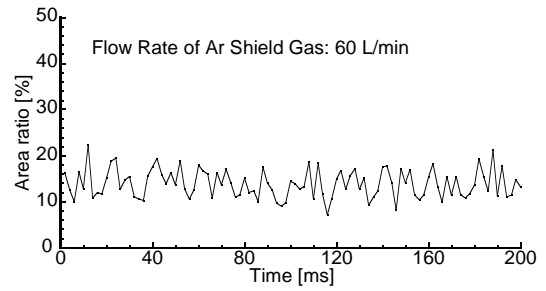
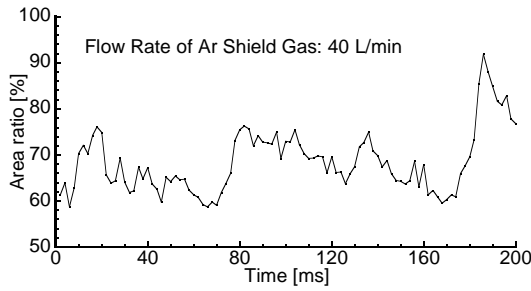
インフライト溶融技術はガラス溶融に必要なエネルギーを削減することを目的としているため、高温源としては他の熱プラズマよりエネルギー効率の優れた多相交流アーク（以下多相アークとする）に着目した。図Ⅲ-2-A1-1に12相アークプラズマの放電状態を示す。



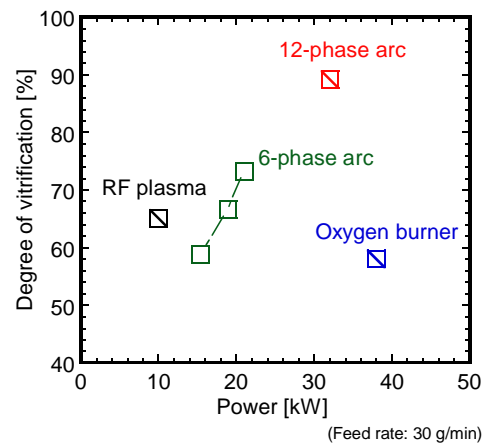
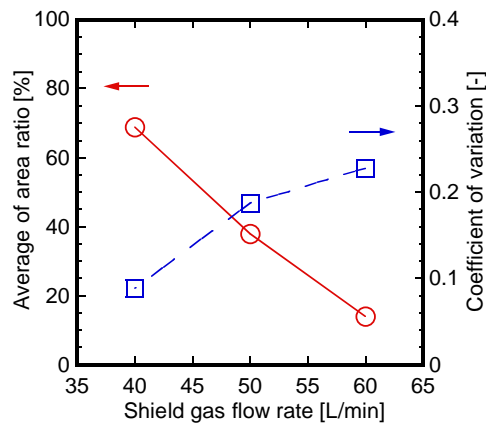
図Ⅲ-2-A1-1 12相アークプラズマの放電状態

燃焼炎との複合加熱においても安定な多相アークを発生するために、先導研究時に使用した電源を12台から24台へと増設した。さらに経済性の改善のために、進相コンデンサーを24台の電源に設置して、力率を50%から80%へと改善した。さらに、電極の長寿命化とアークの安定性のために、電極の冷却構造を改善した。従来は燃焼炎によって多相アークが不安定になっていたが、これらの改善によって、燃焼炎と多相アークの複合加熱を安定に5分間運転することが可能となった。次に、インフライト溶融に適した多相アークの発生技術を開発するために、放電画像の画像解析、放電電圧の解析によって多相アークの放電現象を調べた。多相アーク放電はアーク経路に周期毎の変動がなく、安定な放電が維持されていることがわかった。また、多相アークのアーク経路は、各々の電極にかかる電位を考えた時の電極配置の対称性、及び12本の電極における放電の順番の規則性によって決定されることが示唆された。さらに、電極配置を操作することで、電極間における高温領域を制御できることがわかった。高温の熱プラズマの診断が可能なエンタルピープローブを用いて、多相アークの測定を行うことで、多相アークの温度、速度における特徴を解明した。多相アークは電極間の中心のプラズマ温度が約7600 K と高く、プラズマの速度が約20 m/s と遅いため、ガラス原料のインフライト溶融処理に適していることがわかった。また、アルゴンシールドガス流量を少なくすることで、温度分布が半径方向に均一となることがわかった。図Ⅲ-2-A1-2に放電発光面積比の時間的推移を、図Ⅲ-2-A1-3に放電発光面積比のアルゴンシールドガス流量依存性を示す。多相アークを用いたガラス原料の溶融実験を、プラズマ及び原料供給の条件を様々に変化させて行うことで、インフライト溶融における基礎データを得ることができた。図Ⅲ-2-A1-4に示すように多相アークはその他の熱源と比較して、ガラス原料供給量の多い条件でも高いガラス化率が得られており、今後の検討によって高効率、短時間でガラス製造が可能になると考えられた。





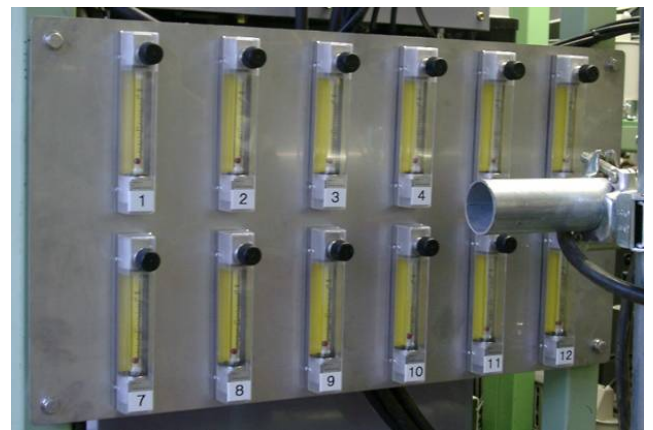
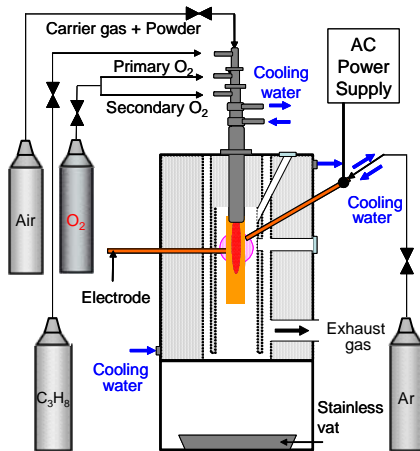
図Ⅲ-2-A1-2 放電発光面積比の時間的推移



図Ⅲ-2-A1-3. 放電発光断面積比のアルゴンシールドガス流量依存性

図Ⅲ-2-A1-4. 各種熱源によるガラス化率

平成21年度には、さらなるエネルギー利用の効率向上を目指して、燃焼炎との組み合わせによるハイブリッド化を検討した。図Ⅲ-2-A1-5にハイブリッド実験設備の概要を示す。実験設備の整備として以下を実施した。電極の冷却システムを独立させることにより各電極当たりの冷却水流量3L/min以上を実現し、長時間運転にも対応可能とした。図Ⅲ-2-A-6に示す

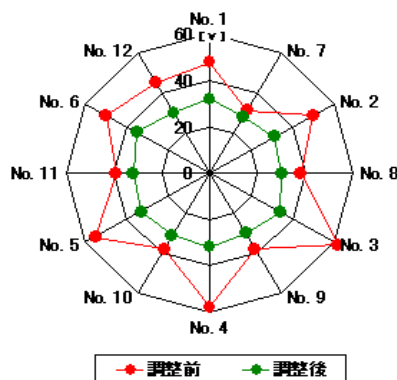


図Ⅲ-2-A1-5. ハイブリッド実験設備の概要

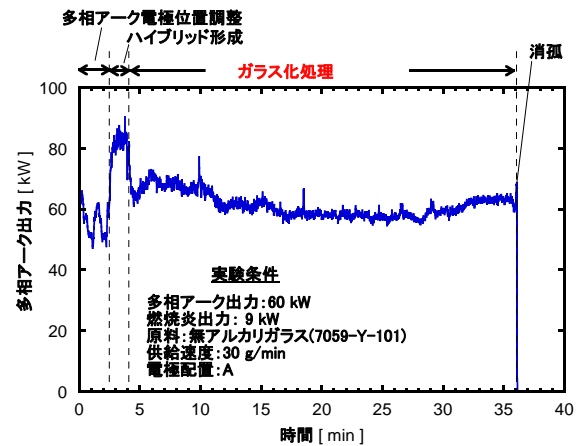
図Ⅲ-2-A1-6. Arガス流量の設定設備

ように電極シールドガスであるアルゴンの流量を電極毎に設定・監視ができるように改造した。また、排ガス処理システムの改善により冷却を効率的なものとした。

多相アークは上下各6本の電極から構成される。配電盤の改造と測定機器の導入で電極毎の電流・電圧の瞬時値、実効値の測定が可能となり、放電の安定性評価により長時間安定な運転方法を見出した。電極位置を調整することでハイブリッドでも安定な放電状態の持続が可能となり、10分以上の安定運転を実現した。また、各電極の実効値の長時間記録によりアークの点弧からガラス化処理を経て消弧までの運転状況を把握できるようになった。さらに平成22年度に入って、図Ⅲ-2-A-7に示すように上下各6本の電極位置を調整して各々の電圧を揃えることにより、電極の消耗を均一化し、多相アークの長時間（15分以上）の安定運転を実現させた。この状態で、多相アークに燃烧炎を組み合わせ、30分以上のハイブリッド加熱運転を達成した。この時の多相アーク出力の時間変動の様子を図Ⅲ-2-A-8に示す。



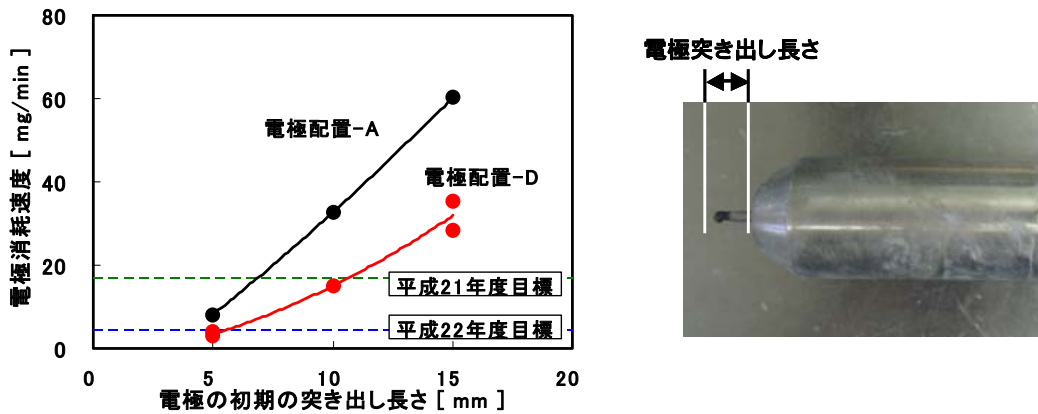
図Ⅲ-2-A-7. 電極電圧の均一化



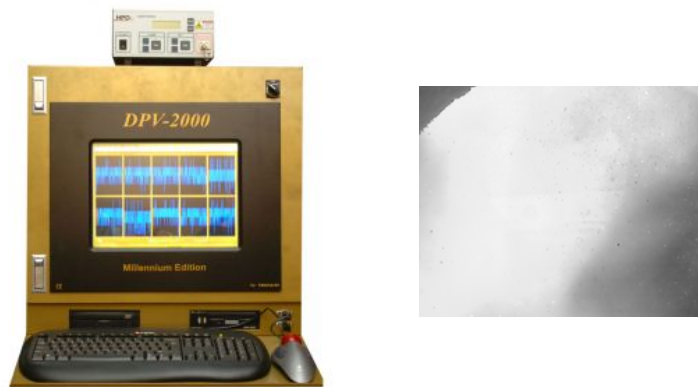
図Ⅲ-2-A-8. ハイブリッド加熱時のアーク出力変動

電極の消耗は電極の位置や各電極への位相の配置などに依存することを見出した。対向電極間の位相差を180度とする場合で、目標とする200 mg/min を充分クリアできたが、下段電極の消耗が大きいこともわかった。また、隣り合う2本の電極を挟む形で位置する電極間に180度の位相差が来るような電極位相配置にすると消耗は比較的に一様となり、最終目標である50 mg/min をクリアできた。図Ⅲ-2-A1-9に電極消耗速度に及ぼす電極突き出し長さや電極配置の影響を示す。

安定な放電条件においてはガラス化処理時においても安定な放電状態を継続できることがわかった。多相アーク処理では個々の粒子のガラス化にはややばらつきが見られるが、ハイブリッド処理ではエネルギー効率良く均一なガラス化ができることがわかった。燃烧炎で一様に加熱された原料を多相アークの高温で処理することにより効率的なエネルギーの利用で一様なガラス化が可能になったものと思われる。このインフライト中の粒子の様子を観察・解析するために、個々の粒子の温度、速度、粒径を計測し、リアルタイムでその分布もみることができる図Ⅲ-2-A1-10に示す装置（カナダTecnar社DPV-2000）を導入した。また、炉外からこの計測を行うために、この装置のセンサーの焦点距離を補完するレンズを製作した。



図Ⅲ-2-A1-9. 電極消耗速度に及ぼす電極突き出し長さと電極配置の影響  
(電極 1 本当たり 4.17mg/min 以下で 12 本当たり 50mg/min の目標値達成)



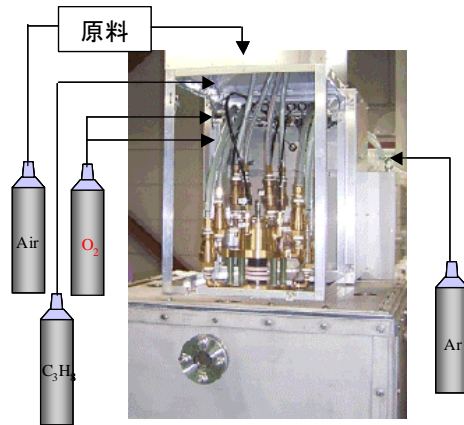
図Ⅲ-2-A1-10. 粒子計測装置と粒子飛翔状態の観察例

### 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)

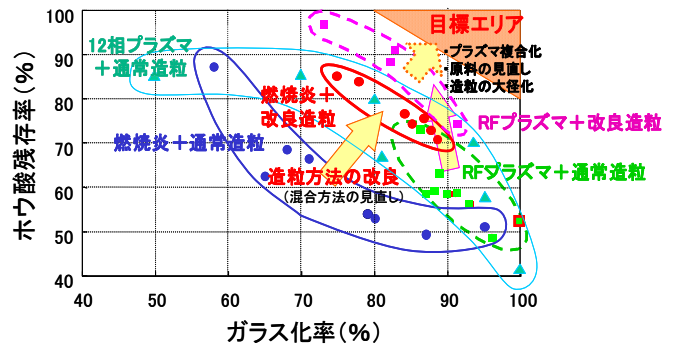
高付加価値ガラスの一つとして液晶用無アルカリ硼珪酸ガラスへの気中溶融プロセスの適用可能性を評価することを目的として、先ず、気中溶融によって溶解したガラスが90%以上のガラス化率と90%以上のホウ酸残存率を達成できる条件を検討した。気中溶解炉は先導研究で製作したRFプラズマと酸素燃焼炎を加熱源とする図Ⅲ-2-A2-1の装置を使用した。先導研究において実施していた方法を踏襲して造粒した原料を気中溶融すると、図Ⅲ-2-A2-2に示すとおりガラス化率とホウ酸残存率がトレードオフの関係となることを再確認したが、造粒粒度分布とガラス化率並びにホウ酸残存率との関係を調べた結果、図Ⅲ-2-A2-3に示すように粒径の大きい造粒体ではガラス化率とホウ酸残存率の両方を高い値で両立できることがわかった。

また、図Ⅲ-2-A2-4に示すように粒径の大きな造粒体を気中溶融して得たガラス粒子にも粒径の小さな粒子があり、それらはホウ酸残存率が極めて小さいことがわかった。これは、気中溶融中に造粒体が細粒化した結果であると考えた。そこで、ガラス化率とホウ酸残存率とをともに高いレベルで達成するには、造粒体の強度を上げて気中溶融中に細粒化しないよう

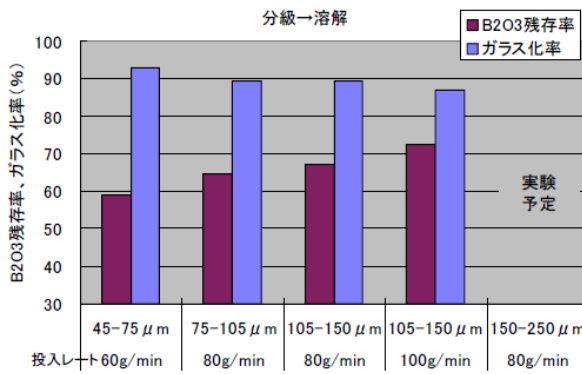
にすることが必要であると考えられた。



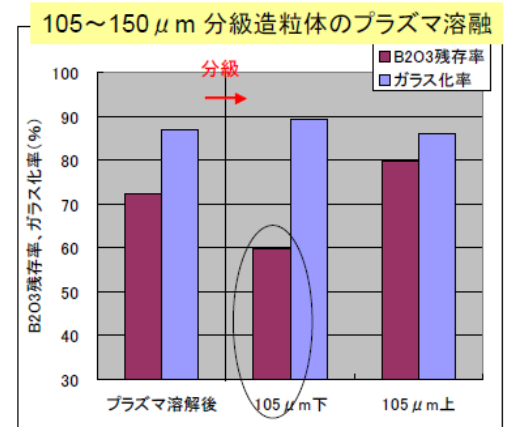
図Ⅲ-2-A2-1. RFプラズマ/燃焼炎装置



Ⅲ-2-A2-2. 気中溶融におけるガラス化率とホウ酸残存率の関係



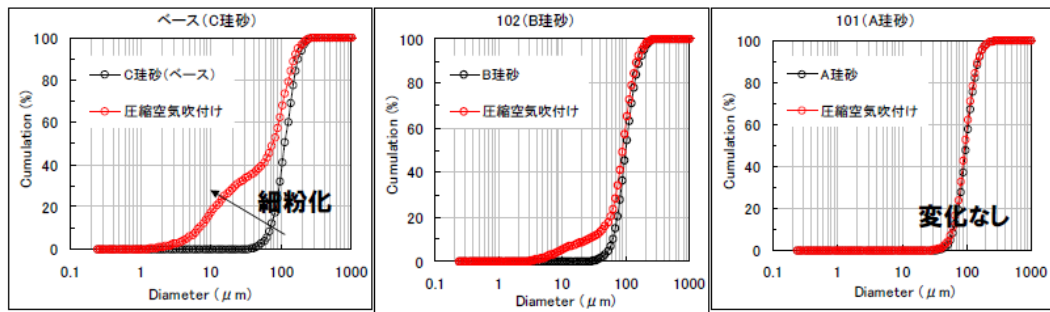
図Ⅲ-2-A2-3. ガラス化率とホウ酸残存率の粒径依存性



図Ⅲ-2-A2-4. 気中溶融粒子のホウ酸残存率における粒径依存性

すなわち、ホウ酸残存率向上のためには、適度に大きい粒径の造粒体を使用すること、ならびに気中溶解中に細粒化しないように造粒体の高強度化が必要であると考えられる。そこで平成21年度はスプレードライ法による造粒体高強度化条件を確立し、造粒体強度とホウ酸残存率の関係を明確にすることを目的とした。強度向上策の一つとして粒度の異なる3種類の珪砂による造粒体に圧縮空気を吹き付けて細粒化する度合いにより造粒体の強度を評価した結果、図Ⅲ-2-A2-5に示すように一次原料の珪砂粒度を細くすることが有効とわかったので、平均粒径1 μmの微粒珪砂を用いて造粒体を試作した。得られた高強度造粒体を所定の粒度に分級した後、プラズマ加熱にて気中溶融した結果、図Ⅲ-2-A2-6に示すとおりガラス化率が90%に維持されたもとの、ホウ酸残存率が87%まで向上し、両者を満足する目標レベルにほぼ到達した。ホウ酸残存率は通常のガラス溶融炉でも85~90%である。従って、87%のホウ酸残存率は実用上十分な値といえ、本テーマA-2の液晶用ガラスへの適用性を評価する主旨から、所期目標を達成したとみなすことができる。

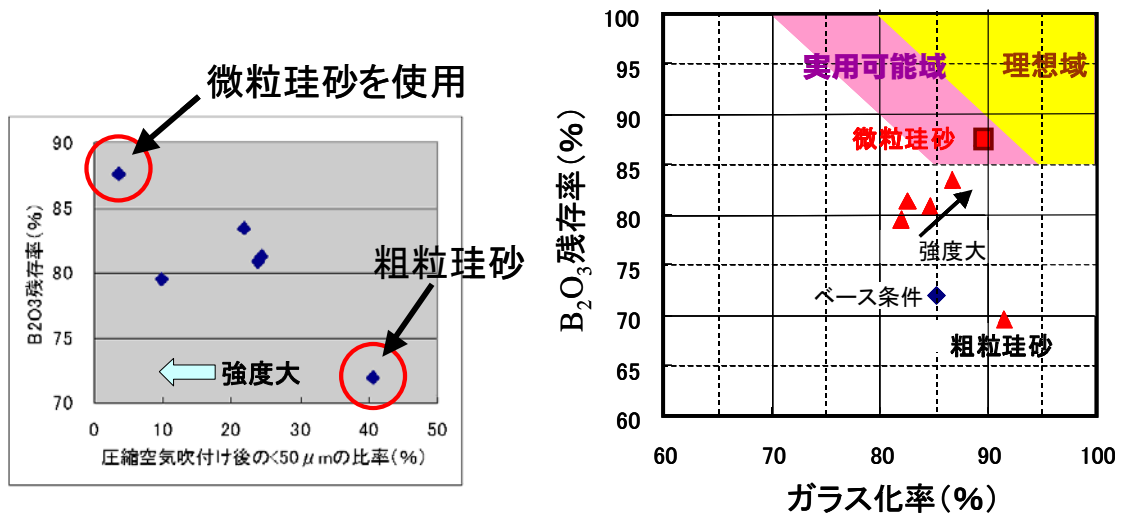
圧縮空気吹付け前後の造粒体粒度分布



珪砂原料の微粒化

→ 強度向上

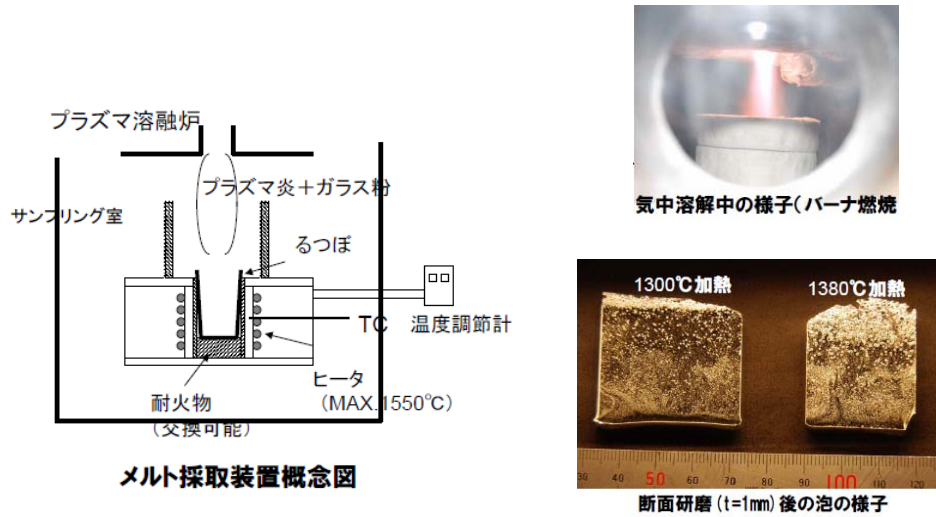
図Ⅲ-2-A2-5. 珪砂原料の微粒化による造粒体強度の向上



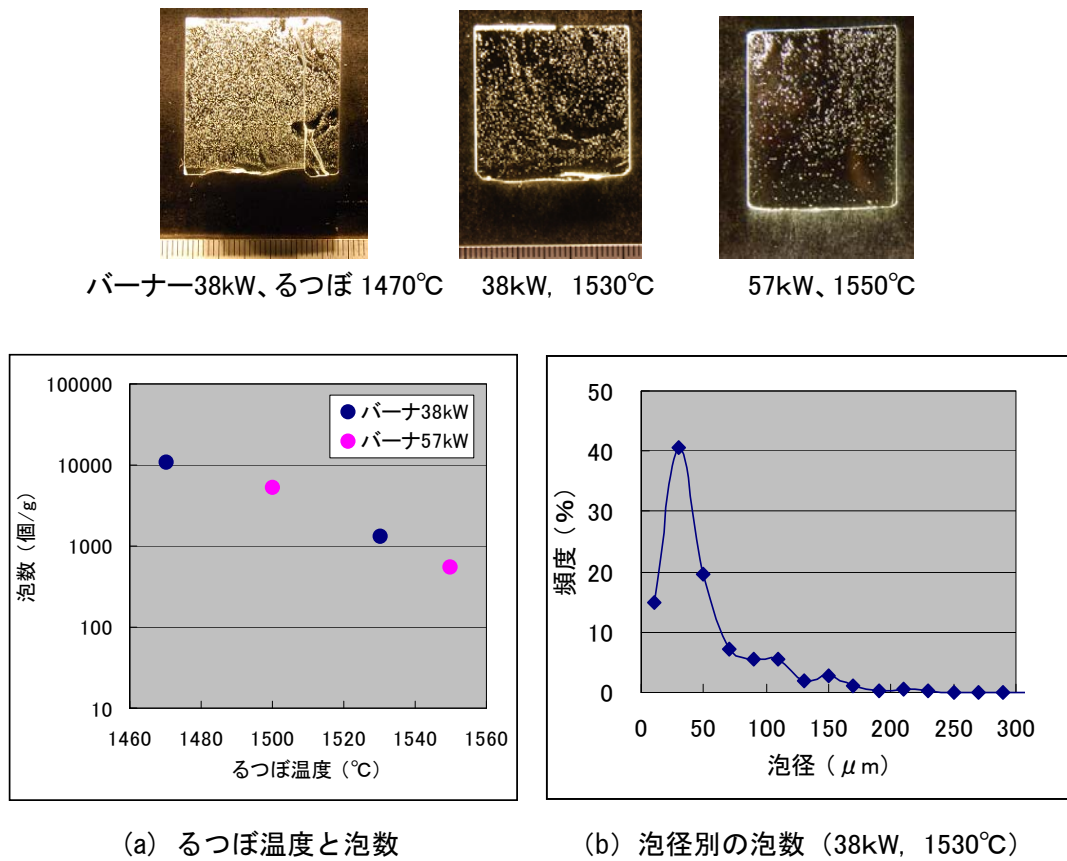
図Ⅲ-2-A2-6. 造粒体の高強度化によるガラス化率とホウ酸残存率の向上

一方、気中溶融したガラスの泡評価を行うことを目的として、あらかじめ加熱したルツボに気中溶融したガラスを受ける装置を立上げ、泡評価方法を確定し、泡削減条件の検討を開始した。図Ⅲ-2-A2-7にガラスを受ける装置と試験状況を示す写真および採取したガラスの例を示す。採取したガラスに認められる多数の泡は、溶融粒子着地点（メルト）の温度不足から生じたものと考えられ、気中溶解本来の泡評価を行うにはヒータ容量の増強が必要と判断された。そこで平成22年度に入ってから、汎用ガラス組成の造粒体を用いてヒータ容量増強の目安を立てるための予備テストを行った。図Ⅲ-2-A2-8にその結果を示す。このテストにおいては酸素燃焼炎を気中加熱源として用いた。ルツボ温度が高いほど泡は少なく、泡径は50 $\mu$ m以下が主であり、図Ⅲ-2-A2-7(b)のバーナー出力38kW、ルツボ温度1530 $^{\circ}$ Cのサンプルで気孔率は0.06vol%となり、目標値の0.1vol%を上回る値を得た。





図Ⅲ-2-A2-7. ガラスメルト採取装置の概要と試験状況および採取ガラス例



図Ⅲ-2-A2-8. 汎用ガラスによる予備テスト結果

### 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）

1トン/日規模のインフライトメルティング試験炉を製作した。設置工事は平成20年1月より開始し平成21年1月末に完了した。図Ⅲ-2-A3-1に試験炉の外観を示す。燃焼バーナーの部分は先導研究で使用したバーナーと同様の仕様とした。燃料は灯油ではなく、CO<sub>2</sub> ガス発生量が少ない都市ガス（13A）とした。耐火物の選定テストを兼ね、各種の市販電鍍レンガを配置し炉壁を構成した。原料搬送設備は、24時間以上の連続運転に対応できるように長時間連続供給可能な設備とした。また、排ガス処理設備としてはサイクロン集塵機を装備した。第1回目の溶融実験は試験炉を含め設置した設備の総合試運転を兼ねて平成21年2月に行った。原料はソーダ石灰ガラス用造粒原料を使用した。全ての設備は順調に稼動し、10時間の溶融実験を終えることができた。溶融したガラスは全てガラス化され、泡も先導研究で溶融したガラスの泡の1/4と少なく、良好な結果であった。以降、この試験炉を使用して炉の改善とエネルギー低減技術の開発を実施した。



図Ⅲ-2-A3-1. インフライトメルティング試験炉

平成21年度には、溶解量1ton/dayの気中加熱実験用試験炉を使用して4回の溶融実験を行なった。平成21年12月には性能向上のための炉体改造工事を実施し、エネルギー原単位は平成20年度の実績値から半減させることができた。図Ⅲ-2-A3-2に改造後のインフライトメルティング試験炉を示す。設計仕様の2倍量（2ton/day）のガラス原料を投入して溶融実験を行なったところ、溶融されたガラスに未溶融原料はなく、十分な溶融性能を有していることを確認した（偏光顕微鏡による目視）。

表Ⅲ-2-A3-1に平成20年12月から平成22年6月までの試験結果を一覧表で示す。運転条件とバーナー据付位置の適正化により、6月時点で1,141kcal/kg-glassの運転が実施できた。

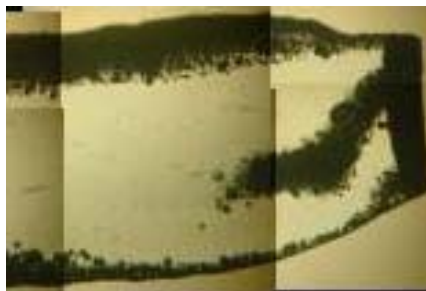


図Ⅲ-2-A3-2. 改造後のインフライトメルティング試験炉

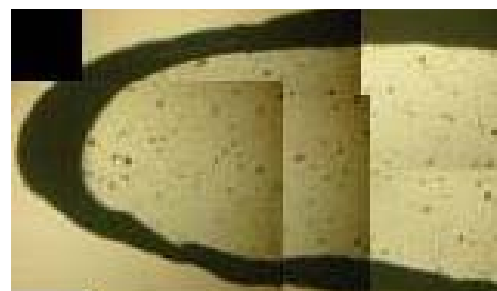
表Ⅲ-2-A3-1 平成22年6月までの気中熔融試験結果（H20年度実績は3,450kcal/kg）

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	
バーナー高さ(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

熔融時にバーナー直下に発生する多量の泡も炉の出口に到達する4時間後には大幅に減少することが確認できた。4回目の熔融実験では32時間の連続熔融を行い、現有設備で長時間の連続熔融運転が可能であることを確認し、1,597kcal/kg-glassの運転で図Ⅲ-2-A3-3に示すように1mm径以上の泡がほぼ無いガラスを得た。



バーナー直下から採取したガラス

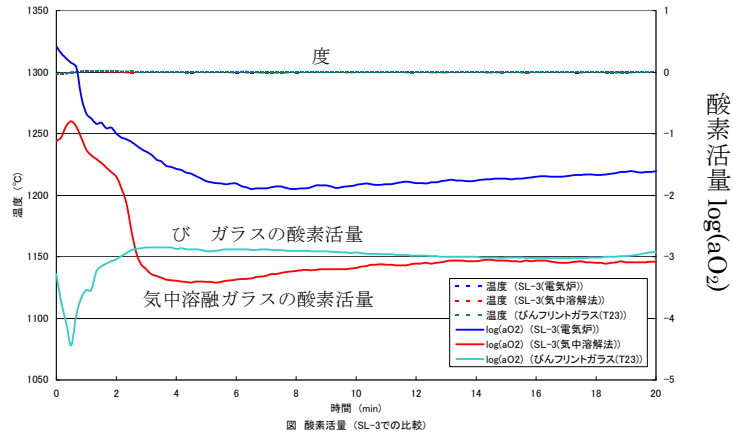


流出口付近で採取したガラス

10mm

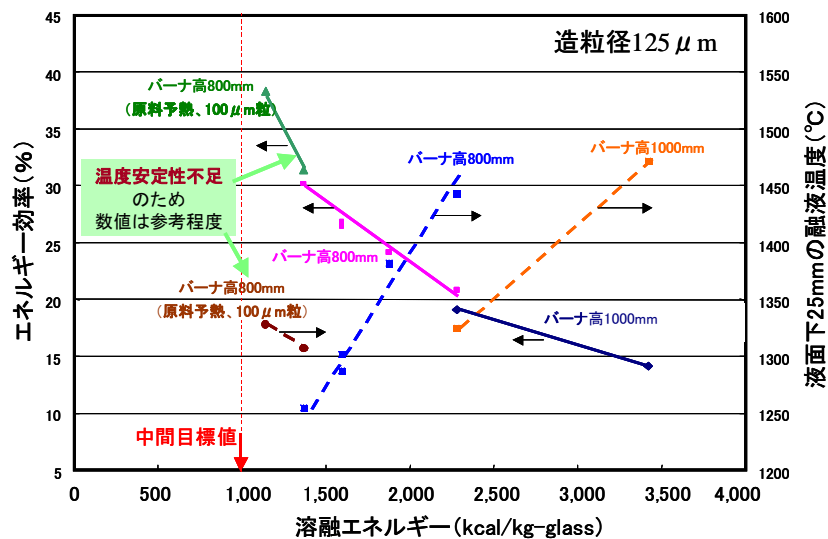
図Ⅲ-2-A3-3. 1,597kcal/kg-glass運転時の採取ガラス（最大泡径は0.1mm前後）

気中加熱したガラス中に溶存する酸素量の測定を行ったところ、図Ⅲ-2-A3-4のように従来の方法で熔融したガラスよりわずかに溶存酸素量は減少していたが大きな差は見られなかった。また、気中加熱に適した耐火物を選定するために炉体改造時に試験炉内張り耐火物を回収し、評価を開始した。

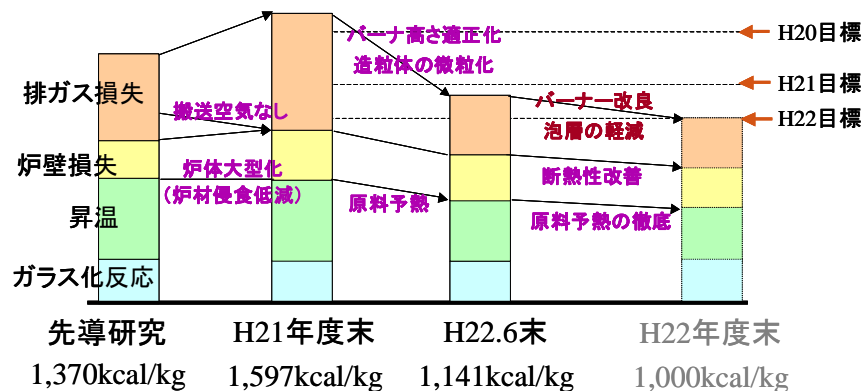


図Ⅲ-2-A3-4. 気中溶融ガラスの溶存酸素量

図Ⅲ-2-A3-5に運転条件適正化などによるエネルギー効率向上の推移を、図Ⅲ-2-A3-6に溶融エネルギー低減化の推移と今後の方向を示す。今後は、バーナーの改良と運転条件の適正化を行ない、目標達成を目指す。



図Ⅲ-2-A3-5. 運転条件適正化などによるエネルギー効率向上の推移

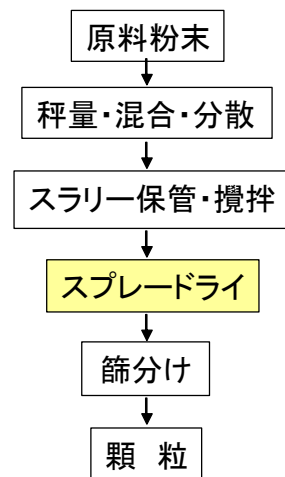


図Ⅲ-2-A3-6. 溶融エネルギー低減化の推移と今後の方向

**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）**

テーマA-3の1トン/日規模の試験炉で溶融するガラス原料造粒体を供給することを目的として、気中溶融プロセスに適した造粒原料を安定に製造する方法を検討した。

図Ⅲ-2-A4-1に示す大型スプレードライ装置（表Ⅲ-2-A4-1の外注C機）を用いて、10トン規模のソーダ石灰ガラス造粒原料を作成した。7バッチに分けて合計9.3トンを製造し、組成、粒度分布がほぼ同等で目標をほぼ達成したことを確認した。また、その原料を1トン/日規模試験炉で気中溶融したガラスについて組成を分析した結果、ほぼ目標通りの組成になることを確認した。



図Ⅲ-2-A4-1. 大型スプレードライ装置

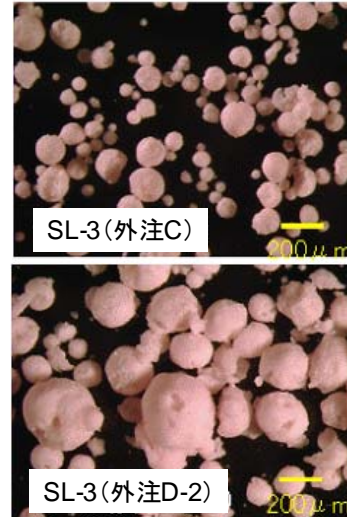
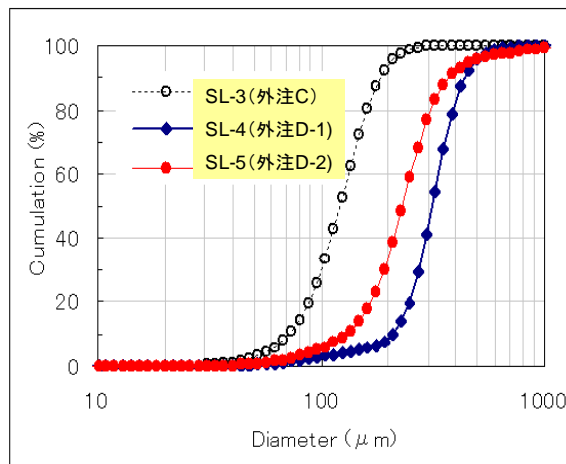
平成21年度には、造粒原料の生産能力と収率を更に向上させるべく、より大型の仕様のスプレードライ装置（表Ⅲ-2-A4-1の外注D機）での製造を検討した。本体高さ約30m、外径約7mのスプレードライ装置にてノズル方式での造粒体試作を行った。その結果、生産性は大幅に向上し、生産能力1ton/hr、収率79%の実績を得た。ただし、平均粒径が310 $\mu$ mと従来品の120 $\mu$ mと比べて大きくなった。図Ⅲ-2-A4-2に造粒体の粒度分布と外観写真を示す。

この造粒体を東洋ガラス社に供給し、バッチ投入量75kg/hr、エネルギー原単位2,300kcal/kg-glassの条件にて連続気中溶融可能であることを確認した（表Ⅲ-2-A3-1の実験1参照）。

表Ⅲ-2-A4-1. スプレードライ装置の仕様

	外注D機		外注C機
	ノズル Φ2.7mm×7本 濃度 50%	ノズル Φ1.2mm×12本 濃度 30%	ディスク
生産量 (ton)	7.9	6.4	9.3
収率 (%)	79	64	61
生産性 (kg/h)	1000	700	70
平均径D <sub>50</sub> ( $\mu$ m)	310	240	120

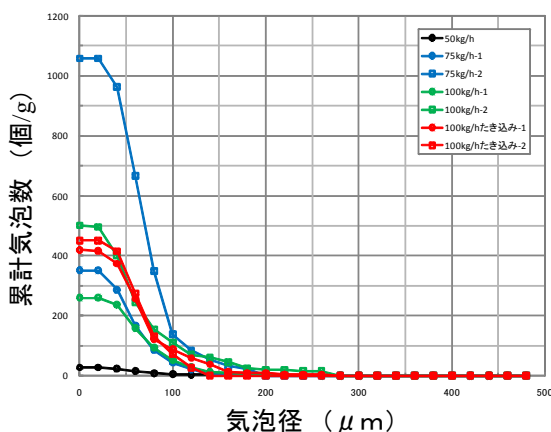




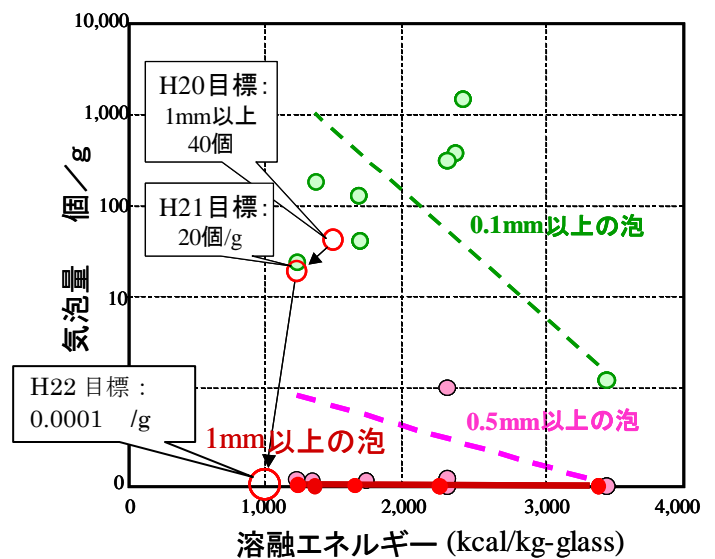
図Ⅲ-2-A4-2. 造粒体の粒度分布と外観

続いて実施されたエネルギー原単位 1,713kcal/kg-glass の試験で得られたガラスブロックについて、残存泡とマイクロ均質性の評価を行った。泡の直径と累計個数との関係を図Ⅲ-2-A4-3 に示す。1,713kcal/kg-glass のガラスは緑色で表示されている。いずれのガラスも 1mm 径以上の泡は存在しなかった。1,365kcal/kg-glass および 1,204kcal/kg-glass の試験で得られたガラスブロックについても同様の結果であった。図Ⅲ-2-A4-4 に残留泡数と熔融エネルギーとの関係を示す。気中熔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。

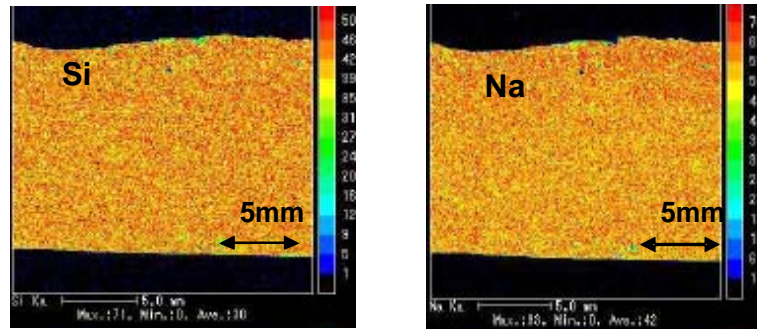
また、ガラス成分の濃度分布を EPMA で測定・評価し、図Ⅲ-2-A4-5 に示すように主要元素 (Si、Na) のばらつきが少ないことを確認した。



図Ⅲ-2-A4-3. 残留泡径と累計個数の関係



図Ⅲ-2-A4-4. 残留泡数の熔融エネルギー依存性



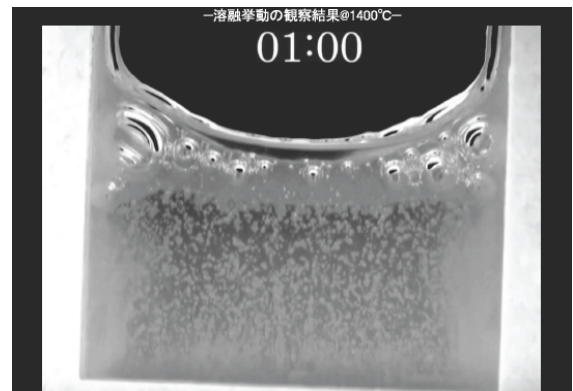
図Ⅲ-2-A4-5. 主要元素 (Si、Na) の濃度分布

#### 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)

プラズマ及び酸素燃焼バーナーフレームによって形成された高温場において溶解が進行するインフライトメルティング法において、特有な溶融過程を経て得られるガラスの特性を解析、理解するための評価準備を行った。ひとつに、フレーム内でのガラス化反応によって得られるガラスは、既存の溶解プロセスで得られるガラスとは内包されているガスの種類や量が大きく異なっていると予想され、特に水分を中心とした溶存ガスの状態の情報は、インフライトメルティング条件に直結している。これらは、その後の清澄プロセスを考える上でも重要な情報となる。そこでガラスに内包されるガスを解析する手法・ノウハウについて他の研究機関から情報収集を進め、気泡内のガス分析装置の仕様と設計の基礎とした。一方、インフライトメルティングガラスが溶解槽に堆積し、融液を形成した後の清澄過程について理解するために、観察窓の付属した観察炉を購入／設置した。図Ⅲ-2-A5-1に炉の外観を、図Ⅲ-2-A5-2に観察例を示す。インフライトメルティングガラスの溶解挙動を観察するためのテスト観察として、インフライトメルティング用ソーダライムガラス造粒原料の溶解挙動と、無アルカリガラス融液内の気泡の発生／上昇挙動の観察を行い、融液状態の観察が望み通り可能であることを確認した。さらに、インフライトメルティングの飛翔中の粒子状態を把握するための観察手法について検討を行い、来年度に購入予定の溶融粒子計測装置についての仕様調査を行った。

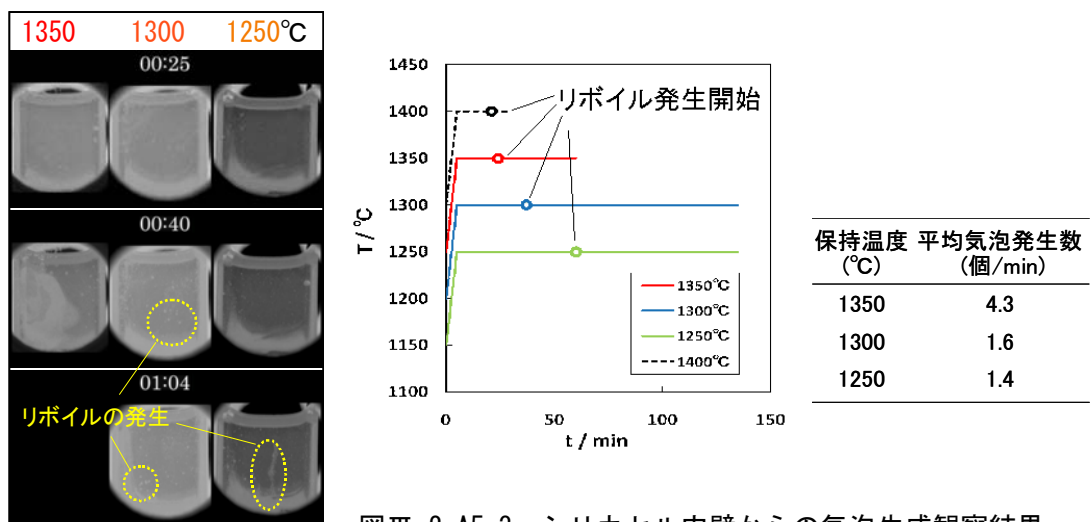


図Ⅲ-2-A5-1. ガラス融液観察炉



図Ⅲ-2-A5-2. ガラス融液の観察例

平成21年度には、東洋ガラスの気中加熱用試験炉の稼働開始によって得られたインフライトメルティングソーダライムガラスの熔融状態観察を種々の温度で実施し、融液挙動の観察を行った。容器として用いたシリカガラスセル内壁からの気泡の連続的な生成が確認され、気泡の発生に要する時間は融液保持温度によって異なっていた（図Ⅲ-2-A5-3）。発生した気泡径の経時変化の解析から、発生した気泡が初期の大きさに比べて浮上とともに小さくなる挙動を示すことを明らかにし、その原因として、気中溶解ガラスのガス溶解特性とガラスに含まれる水分が影響しているものと考えられた。また、長時間の融液挙動の観察を可能とするため、電鍍レンガとサファイア窓による観察セルを作製し、8時間以上の長時間観察と1500℃での高温観察が実施可能であることを確認するとともに、シリカガラスセルと同様にレンガ内壁から気泡生成がみられた。また、インフライトメルティングガラス融液から放出されるガスが雰囲気を与える影響を調査するために、観察炉の改造を行った。



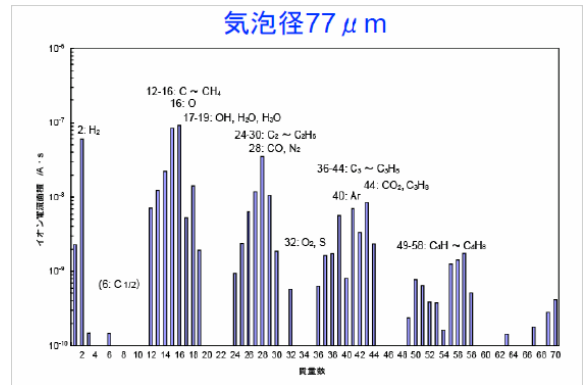
図Ⅲ-2-A5-3. シリカセル内壁からの気泡生成観察結果

インフライトメルティングガラス中に残存する気泡に含まれているガスの分析を行うために、図Ⅲ-2-A5-4に示すガス分析装置を立ち上げ、気泡内ガス分析の実施を開始した。約100 $\mu$ m径以下の微小な気泡について内包ガスの分析が可能であることを確認し、それらの定量化のための検量線作成およびインフライトメルティングガラス中の気泡の分析に着手した。測定結果を図Ⅲ-2-A5-5に例示する。原料および燃焼雰囲気由来するガス成分のほか、燃料ガス成分、CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>Sなどが検出された。

また、インフライトメルティング中の粒子の飛翔状態観察のためのインフライトメルティング挙動計測用装置を設計／導入し、挙動の記録解析ができる環境を整備した。図Ⅲ-2-A5-6に装置の外観を、図Ⅲ-2-A5-7に飛翔粒子の計測例を示す。



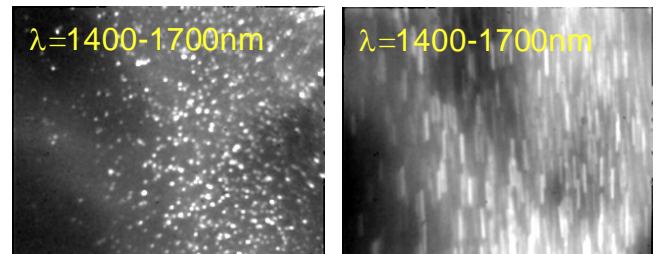
図Ⅲ-2-A5-4. ガス分析装置



図Ⅲ-2-A5-5. 内包ガスの分析例



図Ⅲ-2-A5-6. インフライトメルティング挙動計測用装置



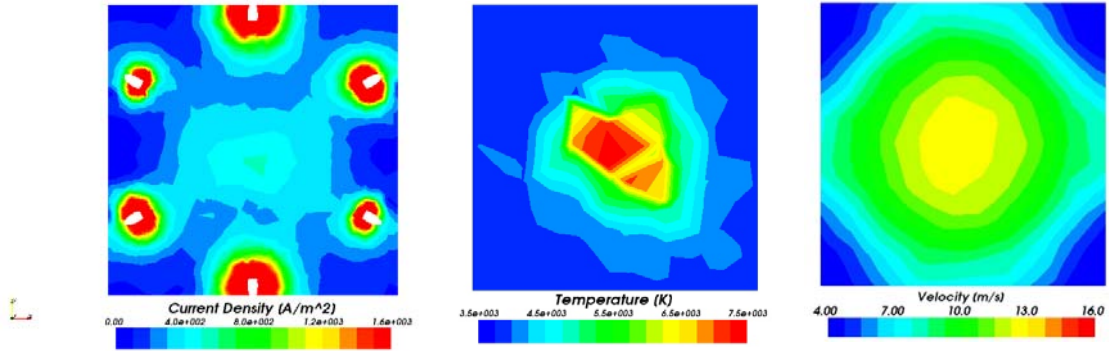
(a)シャッター時間 5.5 μs (b) 同 150 μs

図Ⅲ-2-A5-7. 飛翔粒子の計測例

### 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)

インフライトメルティングプロセスの実用化への移行を円滑化するために、多相プラズマ加熱モデル、液体燃料燃焼モデル、および、データ入力・計算実行・結果出力の迅速化技術を開発するとともに、モデルの検証・改良のため、テーマA-3の1トン/日規模の試験炉についてシミュレーションを行った。多相プラズマ加熱モデルは、電流の保存式から対象空間における電流分布を求め、その結果からジュール熱による発熱量分布を計算することにより電磁場解析を行い、これを熱流動解析に反映させることにより構築した。熱流動解析は、圧縮性流体の質量保存式、運動量方程式およびエネルギー保存式を連成して解いた。電磁場解析で求めた発熱量分布をエネルギー保存式の発熱項に反映させてプラズマ炉の温度分布と流速分布を求め、福井県工業技術センターのアークプラズマ炉を対象にモデルの検証を行った。図Ⅲ-2-A6-1に多相プラズマ加熱モデルにより算出したプラズマ場の電流分布、温度分布およびガス流速分布の例を示す。

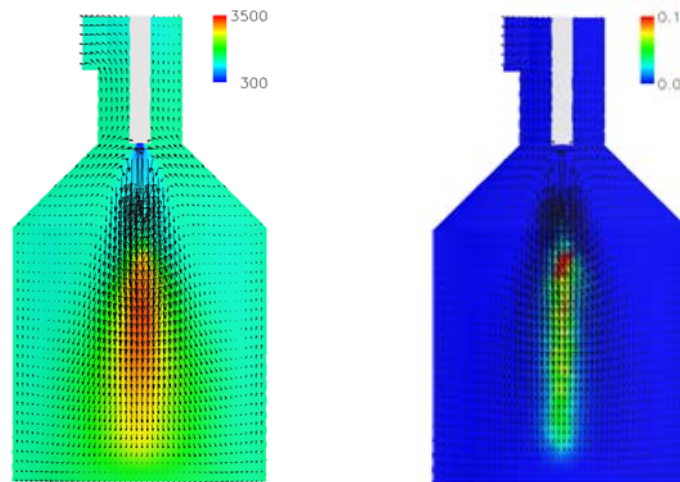




図Ⅲ-2-A6-1. 多相プラズマモデルによる電流・温度・ガス流速分布の算出例

液体燃料燃焼モデルは、NEDO 先導研究において開発したガス燃料燃焼モデルを拡張し、数式化した液滴の蒸発挙動を新たに加えることにより構築した。このモデルを日産100 トン想定の中融炉に適用して、図Ⅲ-2-A6-2に示すように重油燃焼による予測計算を行い、所期の結果を得た。

迅速化技術に関しては、入出力を対話型で行うためのグラフィック・ユーザー・インターフェースの開発と計算の高速化を実施した。高速化は圧力・運動方程式の反復回数最適化法および代数的マルチグリッド法を併用することにより、熱流動解析の速度を約10 倍速め



図Ⅲ-2-A6-2. 日産100トン想定の中融炉における重油燃焼の予測結果

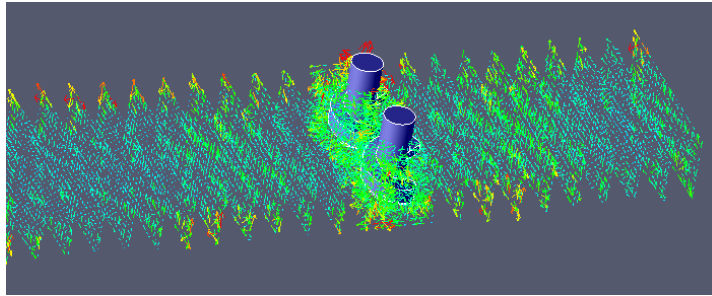
左図：温度分布と速度分布、右図：n-デカンの質量分率分布

ることに成功した。1 トン規模試験炉のシミュレーションは、中融から融液熱流動・清澄までの全プロセスについて行ったが、原料飛散率の値に不一致が生じ中融モデルの改良が必要と判断された。

平成21年度には、スターラーによる攪拌モデルの開発と耐火物の侵食モデルの開発を行うとともに、エネルギー利用の効率化を図るため、熱精算予測モデルの向上を目指した。スターラーによる攪拌モデルは、溶解槽に接続したフィーダーに設置した複数のスクリー状回転子によるガラス融液の均質化作用を予測するモデルである。溶解槽とフィーダーはそれ

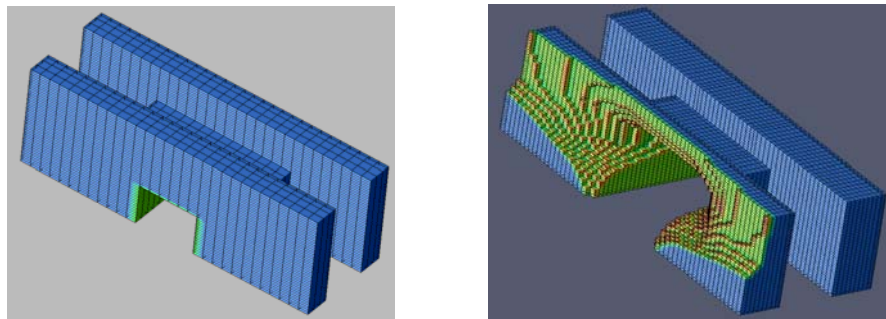


それぞれの空間精度が異なるので、両者の解析は互いに独立したメッシュを用い解析時間も独立して計算し、その後に連成機能を用いて接合する方式とした。図Ⅲ-2-A6-3に攪拌モデルの計算例を示す。



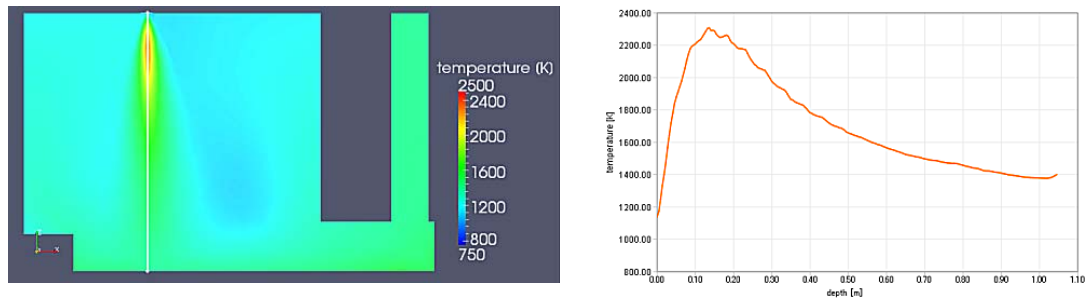
図Ⅲ-2-A6-3. スターラーによる流れの計算例（回転数60rpm）

耐火物の侵食モデルは、ガラス溶融槽を構成するガラス接触耐火物における侵食過程をシミュレーションによって模擬し、気中溶融炉の耐用年数を予測しようとするものである。耐火物の被侵食特性は、実験的に動的侵食試験によって求め、それによって侵食関数のパラメータを決定する。溶解槽中のガラス融液の解析時間は、実時間で数時間、耐火物の侵食は、実時間で数か月を単位とするので、時間スケールの違いを考慮したモデルを構築した。図Ⅲ-2-A6-4に、炉の寿命を支配するスロート部の計算例を示す。

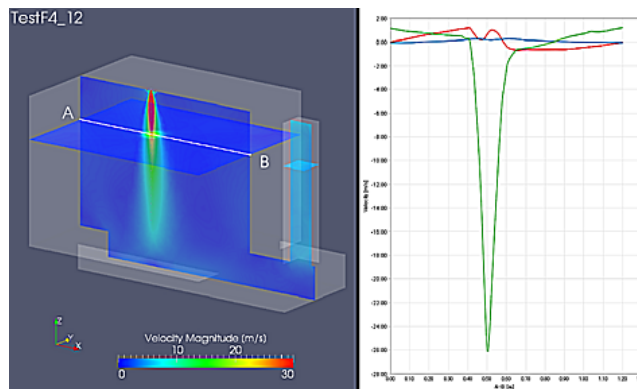


図Ⅲ-2-A6-4. スロート部耐火物の侵食前後の計算例

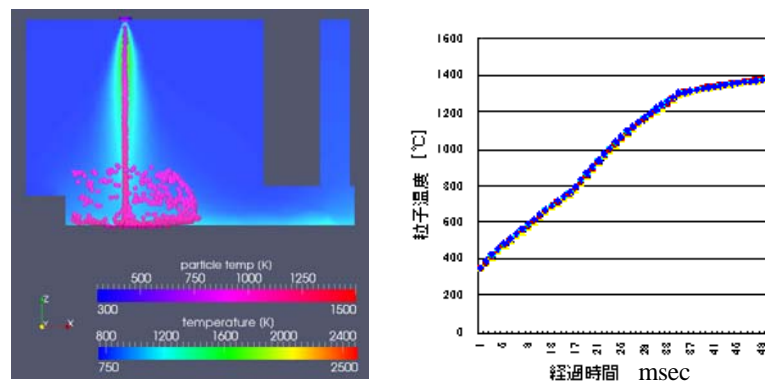
熱精算予測モデルの向上については、原料粒子のガラス化反応に関連するエネルギーの詳細を積算し、予測精度を向上させた。具体的には、①固体原料の加熱エネルギー、②ガラス原料固体からガラス状態液体への変換エネルギー、③生成されたガラス融液の最高到達温度までの加熱エネルギー、④原料の分解反応によって発生したガスの加熱エネルギー、をそれぞれ見積もった。その結果をもとに、1 ton/day試験炉のシミュレーションを行った。図Ⅲ-2-A6-5は原料粒子投入時の燃烧計算と火炎中心の温度分布、図Ⅲ-2-A6-6は火炎断面の流速分布、図Ⅲ-2-A6-7は原料粒子の加熱状況の予測結果である。



図Ⅲ-2-A6-5. 原料粒子を投入した場合の燃焼計算(左図)と火炎中心の温度分布(右図)



図Ⅲ-2-A6-6. 火炎断面の流速分布



図Ⅲ-2-A6-7. 原料粒子の加熱状況

研究開発項目②ガラスカレット（再生材）高効率加熱技術開発

B. 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）

カレット予熱装置の設計・製作に必要な基礎データを収集するためにカレットの予熱実験を平成21年2月に行なった。直径0.3m×長さ3.4mのガス加熱式ロータリーキルンを使用し、透明ガラスびんを粉砕して得た粒径1~4mmの乾燥カレットを被加熱物とした。加熱温度、キルン内滞留時間などの加熱条件を変えて実験を行ない、滞留時間10分で550℃まで加熱することができ、ダンゴ状にならず低粉塵でカレットの予熱が可能との結論を得た。カレット予熱装置と予熱されたカレットを試験炉に供給する装置の設計のため、着色カレット

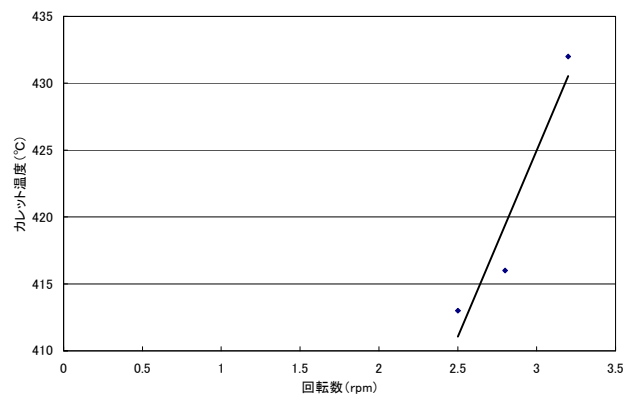
の加熱効率についても調査し、550℃まで予熱されたカレットも外気に触れると比較的短時間のうちに冷却されることが今回の実験で判明したため、装置内の保温に留意することとした。カレット予熱装置の製作は平成22年1月に完了した。図Ⅲ-2-B1-1に製作した装置を示す。粒径1～4mmのカレットを使用してカレット予熱装置単独での試運転調整を行い、500℃までカレットの予熱が可能であることを確認した。また、カレット粒度を変更したテストを行い、粒径1mm未満のカレットも430℃まで予熱できた。表Ⅲ-2-B1-1および図Ⅲ-2-B1-2に試験条件と試験結果をそれぞれ示す。今後、さらに単独での運転を続け、最適な運転条件（滞留時間、設定温度）を得る予定である。



図Ⅲ-2-B1-1. カレット予熱装置の外観と内部

表Ⅲ-2-B1-1. 粒径1mm以下カレット  
予熱試験条件

カレットサイズ	1mm以下
設定温度	600℃
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

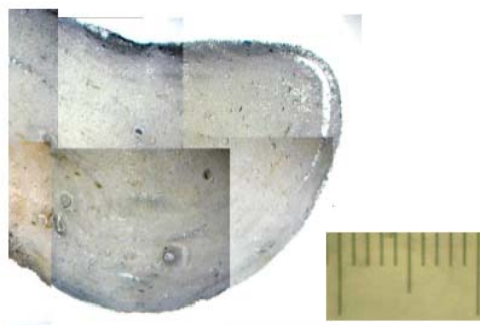


図Ⅲ-2-B1-2. 粒径1mm以下カレット予熱試験結果

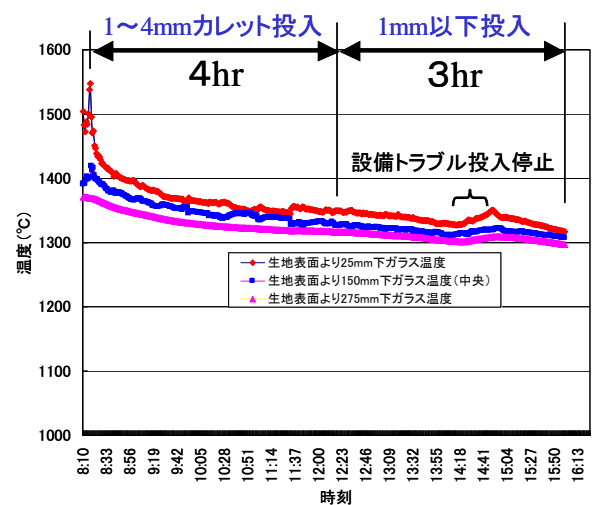
カレットを原料とした溶融実験を気中加熱実験用試験炉で、1,942kcal/kg-glass の条件で7時間行い、カレットの溶融が可能であることを確認した。表Ⅲ-2-B1-2、図Ⅲ2-B1-3および図Ⅲ2-B1-4にそれぞれ試験条件と結果、サンプリングしたガラス、および、ガラス融液の時間推移を示す。最適な運転条件を求めるために、原料投入量や原料粒度を変更した実験も行ない、Na<sub>2</sub>O 成分の揮散や発生する泡への影響について評価を開始した。

表Ⅲ-2-B1-2. 溶融実験結果

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)



図Ⅲ-2-B1-3. サンプルングガラスの例  
(カレット径：1mm以下)



図Ⅲ-2-B1-4. カレット時の融液温度推移

研究開発項目③ガラス原料融液とカレット融液との高速混合技術開発

C. 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

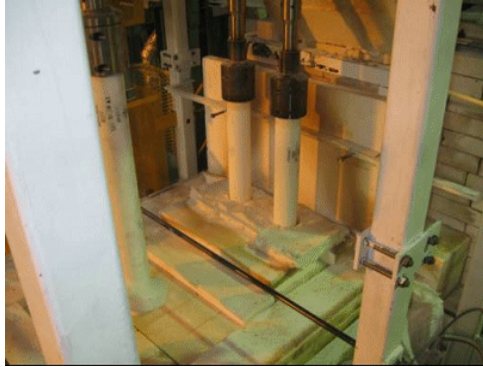
C-1. 高速混合技術 (東洋ガラス)

攪拌装置の設計を目的に以下のことを行った。既に実用化されているガラスびんでのフォアハース (FH) 着色事例について、高速均質化のモデルとして2000年以降の比較的最近の文献を対象に調査を行った。その結果、フェロー社 (仏)、TNO とフィリップス社のグループ (蘭)、ゾルグ社 (独) 及びシスカム社 (トルコ) などで研究が行われており、なかでも、三次元シミュレーションによる均質化工程の解析が進んでいること、BH-F社 (伊)、KTG社 (独) 等から、着色用FHや攪拌装置などが市販されていることも判った。関連特許についても調査を実施し、攪拌子形状を検討するための実験装置の仕様を検討し購入・設置した。既存のFHでは攪拌子が1350℃程度で使用されるのに対して、気中溶融での高速均質化では1500℃程度となることが予想されるため、耐火物の耐久性が問題となる可能性があり、攪拌子耐火物の浸食実験を行うための炉の仕様を検討した。

攪拌装置は平成22年1月に設置工事を完了した。図Ⅲ-2-C1-1に試験炉に取り付けた状



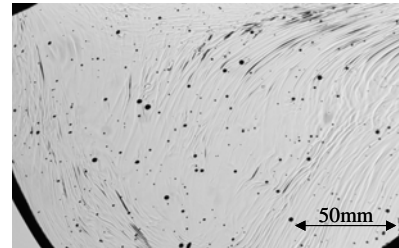
態の攪拌子を示す。同年3月の熔融実験で耐火物製スクリータイプ攪拌子を使用した攪拌実験を回転数7.3回転/分の条件で行い、攪拌子1対のみの攪拌で顕著な均質度の改善効果を確認した。表Ⅲ-2-C1-1、図Ⅲ-2-C1-2に攪拌前後のガラスを示す。今後、攪拌子の回転数あるいは形状を変えて評価を行う。



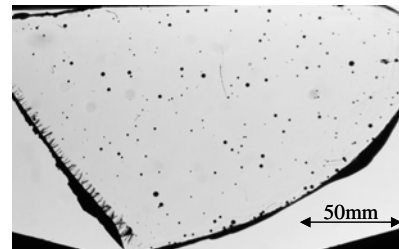
図Ⅲ-2-C1-1. 試験炉に取り付けた攪拌子

表Ⅲ-2-C1-1. 攪拌時の運転条件

攪拌子	形状	スクリー	スクリー
	本数	2本x1対	2本x1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)

図Ⅲ-2-C1-2. 攪拌前後のガラスのシュリーレン像

### C-2. 混合融液の均質性評価技術（物質・材料研究機構）

シュリーレン装置を購入し、平板状ガラス試料のシュリーレン透過像を得る環境を整備した。顆粒状原料をルツボにて溶解して熔融初期（均質化初期）のガラスを作製し、研磨してシュリーレン計測用の試料を作製した。試料のシュリーレン像から泡と成分のムラ（脈理）の分離認識を市販の画像処理ソフトを用いて行った。認識は泡と脈理の形状の違いを活用して行った。分離後、それぞれを消去処理して独立の評価用画像（泡像、成分のムラ像）を作成した。均質化初期段階のガラスのシュリーレン像は脈理像が支配的で泡の画像はほとんど隠れてしまう事が明らかとなった。したがって、均質化初期段階のガラスについては脈理をシュリーレン画像で評価し、泡の分布等は可視画像を用いて調べるのが最適であることが分かった。即ち、可視光画像、シュリーレン画像の特徴を利用した像分離であり、泡画像は可視画像から、そして、脈理画像はシュリーレン像から得られることになる。また、泡が混在している画像より泡画像を選択的に消去するのは、市販の画像処理ソフトの標準ルーチンを

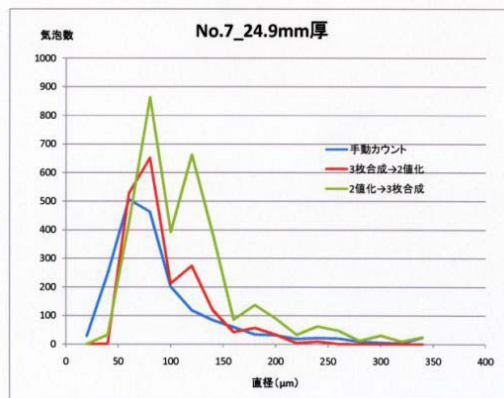


利用して実施することが可能であることを明らかとした。泡エッジの強調による泡の明確な認識と明暗反転や画像の加算・減算処理を組み合わせることで泡画像を取り除き、更にその跡をできるだけ乱さないような処理が可能であることが分かった。

平成21年度には平板状ガラス試料の可視画像による泡径分布解析法を開発した。均質化初期のガラスは多くの泡と組成ムラを含んでいる。両者の形状の違いから画像処理により分離する方法は平成20年度に開発したが、多量に泡を含む試料から組成ムラ画像を分離しても泡の存在した部分の修復が完全ではないため正確な画像が得られない。このため多量に泡を含むガラスについては組成の均質性を評価しても実用上意味がない。そこで残留泡の解析については組成ムラ情報を含むシュリーレン画像ではなく可視画像を用いて解析することとし、その方法を開発した。解析手順を以下に示す。

- ・ 平板状に鏡面研磨したガラス試料の透過拡大写真を、底面、中程、正面の3カ所にピントを合わせて撮影する。
- ・ 撮影した画像を合成して1枚の写真としその後2値化処理を施して泡の輪郭を強調したモノクロ画像とする。
- ・ 2値化処理後の画像を画像処理手法を用いて解析し、泡の個数、大きさを計測し集計する。

直径(μm)	手動カウント	自動カウント	
		3枚合成→2値化	2値化→3枚合成
～ 20	29	0	0
～ 40	247	1	33
～ 60	506	527	422
～ 80	463	651	863
～ 100	201	212	392
～ 120	119	274	662
～ 140	84	119	385
～ 160	59	42	86
～ 180	34	57	137
～ 200	31	33	90
～ 220	18	4	33
～ 240	22	9	62
～ 260	20	1	48
～ 280	9	0	12
～ 300	6	0	30
～ 320	3	0	9
～ 340	24	0	25
合計	1875	1930	3289



図Ⅲ-2-C2-1. 種々の方法での泡解析結果の比較

開発段階で2値化後に画像を合成する手順も試みたが、輪郭が不明瞭な大きな泡が2値化処理により複数の小さな泡に分解されてしまうことがあり大きな誤差を生じた。

図Ⅲ-2-C2-1に解析例を示す。手作業で解析した結果と本開発法で解析した結果が同様の結果を与えている。

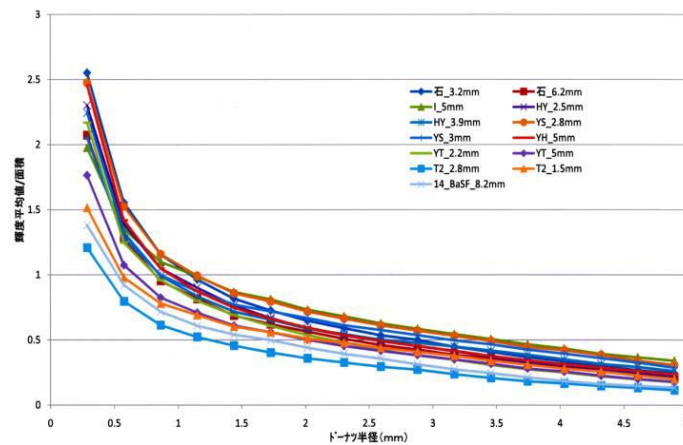
組成ムラについてはシュリーレン像を画像処理してその大きさの確率分布を求めると共にシュリーレン画像の輝度のバラツキを調べてムラの程度を定量評価する方法を開発した。手順は以下の通り。

- ・ 画像のピクセル単位の輝度値を集計して標準偏差を求める。これを組成ムラの平均的なバラツキ情報、即ち、ムラの程度を定量する指標とする。
- ・ 画像をフーリエ変換し、変換画像の中心からドーナツ状に画像を切り出して逆フーリエ変換しドーナツの大きさに含まれる規則性画像分の実画像を得る。この画像の

輝度を求めこの相関距離のムラの存在確率とする。

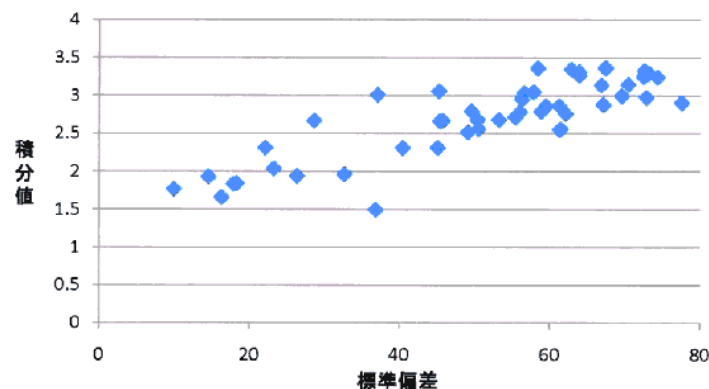
- ・ドーナツ径を変えて画像処理し最終的にムラの大きさ分布を反映した動径分布を求め、大きさ分布の情報とする。

図Ⅲ-2-C2-2 に市販ガラスについて求めた動径分布曲線の例を示す。分布は5mm 程度までなだらかに減少し、組成ムラの周期は5mm 程度以内であることを示している。



図Ⅲ-2-C2-2. 動径分布曲線例

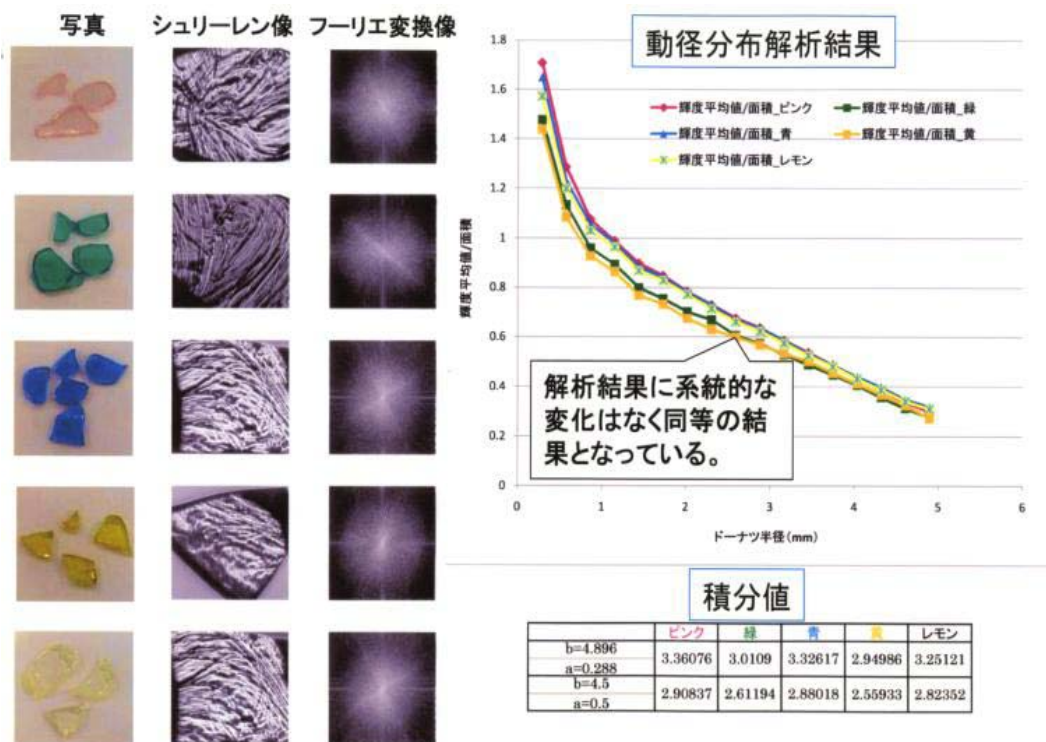
図Ⅲ-2-C2-3 に種々のガラスについて求めた標準偏差値および動径分布曲線の一定動径範囲(0.5mm~4.5mm)の積分値の相関を示す。この積分値は組成ムラの存在量中の周期的成分の存在量を示す指標となる。両指標間には良い相関が認められ、これらの指標は、ガラスの組成ムラの程度、即ち、分布の広がりの程度と周期的に捉えたムラの存在量の定量評価に使用できる。



図Ⅲ-2-C2-3. 標準偏差値と積分値の相関

ガラスの着色の測定結果への影響を調べるため種々の着色ガラスを実験室で作製し、そのシュリーレン像から求めた動径分布曲線を比較した。その結果を図Ⅲ-2-C2-4に示す。動

径分布曲線に違いがほとんど見られず着色の影響はかなり小さいことが分かった。均質化処理の目標値を設定するときの基準とするため、種々の市販ビンガラスの均質性を開発した方法で評価した。図Ⅲ-2-C2-5にその結果の一部をまとめた。無色ガラス、着色ガラス合わせて標準偏差値がおよそ10～78の広範囲に分布している。ビンガラスが様々な用途で用いられるため様々な品質で製造されているためと考えられるが、ビールのような高い内圧に耐えられるような安全性に見合う品質が要求される飲料の瓶については標準偏差値が10～20程度の値となっている。通常の用途のガラス瓶については40～70程度であった。標準偏差値で70以下となれば実用に供し得る品質であると考えられる。



図Ⅲ-2-C2-4. 種々の着色ガラスの動径分布曲線

無色							
石塚硝子株式会社		石塚硝子株式会社 岩倉工場	柏洋硝子株式会社 二本松工場		日本山村硝子株式会社 埼玉工場		
うに		うるか	唐辛子		コーラ	かつを酒盞	
底面	側面	底面	底面	側面	底面	底面	
石_3.2mm	石_6.2mm	1_5mm	HY_2.5mm	HY_3.9mm	YS_2.8mm	YS_3mm	
輝度 平均値	155.95	125.29	155.81	178.83	149.32	139.60	119.08
標準 偏差	70.49	61.48	63.92	59.53	77.57	67.44	57.87

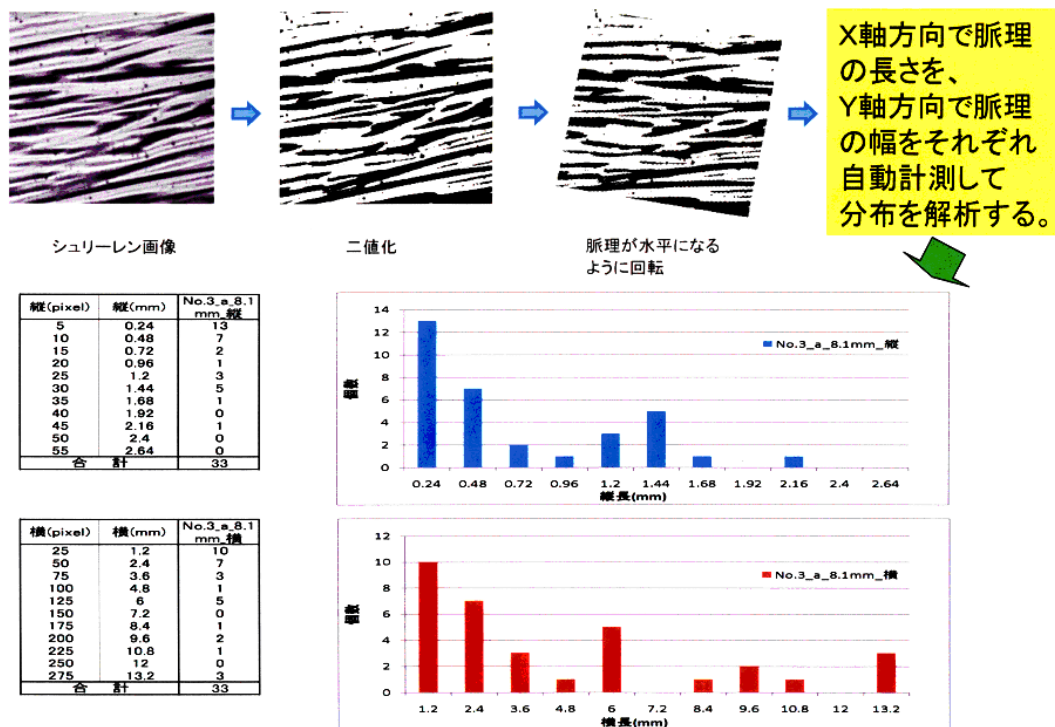
無色						
日本山村硝子株式会社 播磨工場		日本山村硝子株式会社 東京工場		東洋ガラス株式会社 藤川崎工場		
UCC THE BLEND117		サントリー LIQUOR BOTTLE		サントリー角瓶		光学ガラス
底面	側面	底面	底面			
YH_5mm	YT_2.2mm	YT_5mm	T2_2.8mm	T2_1.5mm	14_BaSF_8.2mm	
輝度平均値	136.28	144.02	117.97	83.29	137.11	112.55
標準偏差	67.16	61.35	45.12	16.33	40.42	26.37

着色						
日本山村硝子株式会社 東京工場		東洋ガラス株式会社 千葉工場				
オロナミンC		旭スーパードライ				
底面	側面		底面			
YT_2mm	T1_2.9mm	T1_1.4mm	T1_3.1mm	T1_2.2mm	T1_1.5mm	
輝度平均値	107.78	111.18	101.30	82.26	102.30	96.15
標準偏差	22.14	23.27	18.36	9.97	14.58	17.90

図Ⅲ-2-C2-5. 市販瓶ガラスのシュリーレン像の輝度標準偏差値



平成22年度では組成ムラの大きさ分布の情報を解析する手法の開発を進めている。観察視野内での組成ムラの延伸方向が一方向でかつ直線的であることに着目し、二値化シュリーレン像をムラの延伸方向を解析座標X軸に平行となるように回転したのちに汎用大きさ分布計測解析ルーチンを用いて解析した。図Ⅲ-2-C2-6に解析手順および解析例を示した。泡のサイズを解析する場合と同様の方法である。泡の場合は両軸で同じ大きさであるが、ムラの場合は異なる。即ち、X軸方向がムラの長さを、また、Y軸方向がムラの幅の情報を与えてくれる。最終的に図に示したグラフのようにムラの長さの分布情報が得られる。情報は両軸で独立であるのであくまでも統計的な分布情報であるが均質性を定量評価する上で十分有効な情報である。視野内で渦を巻くようなムラの場合について本方法は適用できないが、一般的な組成ムラは直線上に延伸することが多いので実用上問題ないと考えている。



図Ⅲ-2-C2-6. 解析手順および解析例



表Ⅲ－２－１．研究開発項目ごとの成果・達成度

目 標 (H22 年度末)	これまでの研究開発成果	達成度	コメント
<p>①「インフライトメルティング技術開発」</p> <p>A-1 プラズマ・酸素燃焼炎加熱のハイブリッド化技術 (東工大渡辺研)</p> <p>(H22) 多相アーク電極消費量を 50mg/min 以下にする。30 分以上の安定したハイブリッド加熱を実現。</p>	<p>(H20) 5 分間の安定したハイブリッド加熱を実現 (H21 に 9 分間まで実施)</p> <p>(H21) 電極消費量 200mg/min 以下を達成 (H22 見込み)</p> <p>電極構造と冷却システムの改良により電極消費量 50mg/min 以下を達成し、加熱設備の改良により 30 分以上の安定したハイブリッド加熱を実現した。</p>	○	
<p>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)</p> <p>(H22) 液晶用ガラスに対するプラズマおよび／またはハイブリッド加熱の特徴を明確にする。泡挙動の観察・解析が可能なブロック状メルトサンプルを作製。</p>	<p>(H20) B203 残存率 73%、ガラス化率 87% まで達成。(H21 に 87%－90%まで達成)</p> <p>(H21) 気孔率の測定サンプルを作製。(H22 見込み)</p> <p>ブロック状メルトサンプルの作製装置を改良することにより、気中溶解した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。</p>	○	
<p>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)</p> <p>(H22) 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 以下でかつ必要なガラス化率を試験炉で達成。</p>	<p>(H20) 計画どおり試験炉製作完了。</p> <p>(H21) 1 月～3 月にかけて 2 日連続連続運転 3 回実施。1 週間連続 (ガラス溶解) の運転機能確認まで達成。(H22 見込み)</p> <p>バーナーの改良等で、必要なガラス化率を 1000kcal/kg-glass 以下で達成できる見込み。</p>	○	
<p>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)</p> <p>(H22) ガラス原料造粒体 1 種類以上を支給。ガラス中に残存する直径 1 mm 以上の気泡が 0.1 個/kg 以下の均質ガラスを得る。</p>	<p>(H20) 3450kcal/kg-glass の運転で、1mm 以上の泡数 30 個/g 以下を達成。</p> <p>(H21) 1600kcal/kg-glass の運転で、1mm 以上の泡数 10 個/g 以下を達成。(H22 見込み)</p> <p>適正なガラス原料造粒体と均質性評価により、1mm 以上の気泡 0.1 個/kg 以下の均質ガラスを得る見込み。</p>	○	

<p>A-5 気中溶融特有の現象と融液挙動の解明（東工大矢野研）</p> <p>(H22) インフライトメルティング挙動および形成されたガラス融液中の清澄挙動の直接観察と溶融雰囲気を与える影響の評価。融液中のガス成分濃度測定。ガラス物性を定量評価。</p>	<p>(H20) 観察炉を設置し評価を開始した。</p> <p>(H21) 清澄挙動を評価した。ガラス内包ガスの分析を開始した。</p> <p>(H22 見込み)</p> <p>インフライトメルティング挙動および清澄挙動の直接観察と溶融雰囲気を与える影響について評価できる見通し。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できる見込み。</p>	○	
<p>A-6 シミュレーション予測と高精度迅速化技術（NGF）</p> <p>(H22) 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。</p>	<p>(H20) 多相アークプラズマモデル及び液体燃料燃焼モデルの2モデルを構築した。</p> <p>(H21) 融液攪拌モデル及び耐火物侵食モデルの2モデルを構築した。</p> <p>(H22 見込み)</p> <p>シミュレーションモデルの改良により、試験炉の熱収支内訳をシミュレーションで±13%の精度で予測できる見込み。</p>	○	
<p>②「ガラスカレット（再生材）高効率加熱技術開発」</p> <p>B-1 ガラスカレット高効率加熱技術（東洋ガラス）</p> <p>(H22) カレット高速加熱技術の見通しを立て、カレットの1200℃までの昇温時間1分以内を達成。</p>	<p>(H20) カレット供給及びカレット予熱の装置を設計し製作に着手した。</p> <p>(H21) 1942kcal/kg-glassの運転で、6時間連続でカレットを高速溶融した。</p> <p>(H22 見込み)</p> <p>気中溶融法により高速加熱の見通しが立ち、カレット粒径の適正化等により泡層生成を抑制し、カレットの1200℃までの昇温時間1分以内が達成できる見込み。</p>	○	
<p>③「ガラス原料融液とカレット融液との高速混合技術開発」</p> <p>C-1 高速混合技術（東洋ガラス）</p> <p>(H22) 透過光評価で均一に混合するまでの時間として4時間以内を達成。</p>	<p>(H20) 攪拌装置の設計に着手した。</p> <p>(H21) 攪拌装置を作製して炉に接続し、評価サンプルを採取した。</p> <p>(H22 見込み)</p> <p>3対の攪拌子による運転条件の適正化により、4時間以内の攪拌操作での均一化は達成可能な見込み。</p>	○	

<p><b>C-2 混合融液の均質性評価技術 (NIMS)</b></p> <p>(H22) 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。</p>	<p>(H20) 画像処理により泡画像を分離する方法を開発した。</p> <p>(H21) 泡と脈理を分離後定量評価する方法を開発した。</p> <p>(H22 見込み)</p> <p>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。</p>	<p>○</p>	
--	---	----------	--

達成度→中間目標大幅達成：◎，本年度中に中間目標達成：○，  
 中間目標達成見込み：△，中間目標未達：×

表Ⅲ－２－２．特許、論文、外部発表等の件数（内訳）

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表
	国内	外国	PCT 出願	査読付き	その他	
H20FY	0 件	0 件	0 件	5 件	5 件	13 件
H21FY	1 件	0 件	0 件	4 件	7 件	3 件

表Ⅲ－２－３．特許出願等

出願番号	発明の名称	出願人
特願 2009-198477	造粒体の製造方法およびガラス製品の製造方法	旭硝子(株)

表Ⅲ－２－４．平成20年度 論文発表実績

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
平成20年 5月	<i>Chemical Engineering Journal</i> , <b>139</b> (2), p. 390-397 (2008. 5)	A Multi-Phase AC Arc Discharge and Its Application for In-Flight Glass Melting	Yaochun Yao, Md. Mofazzal Hossain, Takayuki Watanabe, Fuji Funabiki, and Tetsuji Yano
平成20年 6月	<i>Science and Technology of Advanced Materials</i> , <b>9</b> (2), p. 025013 (2008. 4-6)	An Innovative Energy-saving In-flight Melting Technology and its Application to Glass Production	T. Watanabe, S. Inoue ほか

平成 20 年 8 月	<i>Thin Solid Films</i> , <b>516</b> (19), p. 6622-6627 (2008. 8)	Effects of Feed rate and Particle Size on the In-Flight Melting Behavior of Granulated Powders in Induction Thermal Plasmas	Yaochun Yao, Md. Mofazzal Hossain, Takayuki Watanabe, Tomoyuki Tsujimura, Fuji Funabiki, and Tetsuya Yano
平成 20 年 10 月	<i>Chemical Engineering Journal</i> , <b>144</b> (2), p. 317-323 (2008. 10)	Investigation on In-Flight Melting Behavior of Granulated Alkali-Free Glass Raw Material in 12-Phase AC Arc	Yaochun Yao, Kazuyuki Yatsuda, Takayuki Watanabe, Fuji Funabiki, and Tetsuji Yano
平成 20 年 12 月	<i>Journal of American Ceramic Society</i> , <b>91</b> (12), p. 3908-3914 (2008. 12)	In-Flight-Melted Soda-Lime-Silica Glass by RF Induction Thermal Plasma	Fuji Funabiki, Tetsuji Yano, Yaochun Yao, and Takayuki Watanabe
平成 20 年 10 月 8 日	第 9 回アジア太平洋 プラズマ科学技術会 議 (中国・黄山)	Characteristics of Multi-Phase AC Arc Discharge for Innovative Glass Production	八田和之, 渡辺隆行
平成 20 年 10 月 8 日	第 9 回アジア太平洋 プラズマ科学技術会 議 (中国・黄山)	In-flight Melting Behavior of Different Glass Raw Materials in 12-Phase AC Arc	Yao Yaochun、八 田和之、渡辺隆行 、矢野哲司
平成 21 年 2 月 2 日	プラズマ科学シンポ ジウム (名古屋)	In-Flight Melting Behavior of Different Glass Materials in Multiphase AC Arc	渡辺隆行、八田和 之、Yao Yaochun, 矢野哲司
平成 21 年 2 月 2 日	プラズマ科学シンポ ジウム (名古屋)	Generation of Multi-Phase AC Arc for In-Flight Melting of Granulated Glass Raw Materials	八田和之, Yao Yaochun, 渡辺隆行
平成 21 年 3 月 18 日	化学工学会第 74 年 会 (横浜)	ガラス造粒粉体のインフライト溶融に用い る多相アーク発生技術	八田和之, Yao Yaochun, 渡辺隆行

表Ⅲ-2-5. 平成 21 年度 論文発表実績

平成 21 年 8 月	<i>Chemical Engineering Journal</i> , <b>150</b> (2-3),	In-Flight Melting Mechanism of Soda-Lime-Silica Glass Powders for Glass Production by Argon-Oxygen	M. M. Hossain, Y. Yao, T. Watanabe,
----------------	---	--	---

	p. 561-568 (2009. 8)	Induction Thermal Plasmas	F. Funabiki, T. Yano
平成21年 10月	<i>Plasma Chemistry and Plasma Processing</i> , 29 (5), p. 333-346 (2009. 10)	Characteristics of Multi-Phase Alternating Current Arc for Glass In-Flight Melting	Y. Yaochun, K. Yatsuda, T. Watanabe, T. Matsuura, T. Yano
平成21年 6月15-16日	第22回プラズマ材 料科学シンポジウム (東京大学)	Generation of multi-phase AC arc for in-flight melting of granulated glass raw materials	渡辺隆行, 八田和 之, Y. Yaochun, 松浦次雄
平成21年 7月26-31日	第19回プラズマ化 学国際シンポジウム (ドイツ・ポッフム)	Innovative In-Flight Glass Melting Technology Using Thermal Plasmas	渡辺隆行
平成21年 7月26-31日	第19回プラズマ化 学国際シンポジウム (ドイツ・ポッフム)	Generation and Characterization of Multi-Phase AC Arc for In-Flight Melting of Granulated Glass Raw Materials	渡辺隆行, Y. Yaochun, 八田和之, 松浦次雄
平成21年 9月13-16日	日本機械学会2009 年度年次大会 (盛岡大学)	Generation of Multi-Phase AC Arc for In-Flight Melting of Granulated Glass Raw Materials	渡辺隆行
平成21年 10月30日	第50回ガラスおよ びフォトニクス材料 討論会 (京都大学)	革新的気中溶解技術が拓くガラス 溶融の未来	井上 悟、渡辺隆行、 矢野哲司、酒本修、 佐藤敬蔵、伊勢田徹
平成21年 3月15日	プラズマ支援燃焼研 究会 (大阪大学)	多相交流アークと酸素燃焼炎のハ イブリッド・インフライト加熱によ るガラス製造プロセス	渡辺隆行
平成21年 3月18-20日	化学工学会 第75年 会 (鹿児島大学)	多相アークを用いたインフライト 溶融ガラス粒子の特性	市橋利夫, 鶴岡洋 佑, 渡辺隆行, 矢野 哲司
平成21年 3月18-20日	化学工学会 第75年 会 (鹿児島大学)	インフライト溶融ガラス製造技術 に用いる多相アークの安定性	鶴岡洋佑, 市橋利 夫, 渡辺隆行, 松浦 次雄
平成22年 3月22-24日	日本セラミックス協 会年会 (東京農工大学)	作製方法の異なるソーダライムガ ラス原料の溶融挙動の直接観察	森島大樹、田口潤、 矢野哲司、 柴田修一



表Ⅲ－２－６．その他外部発表（プレス発表等）

年月日	発表媒体・内容等
平成 20 年 6 月 21 日	日本経済新聞 1 面 取材先：旭硝子（株）
平成 20 年 8 月 26 日	NHK 総合 TV「クローズアップ現代」 表題：グローバル・インフレの衝撃－転換する世界経済、日本は－ 取材先：旭硝子（株）
平成 20 年 8 月 26 日	環境管理 平成 20 年 12 月号 解説記事投稿 伊勢田徹「革新的ガラス溶融プロセス」
平成 20 年 9 月 1 日	NGF 機関誌 New Glass No. 90 解説記事投稿 伊勢田徹「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」
平成 20 年 10 月 24 日	電気硝子工業会第 30 回技術セミナー 井上 悟「革新的ガラス溶融プロセス技術開発 －ガラス溶融の未来－」
平成 20 年 11 月 17 日	日経ビジネス誌 2008 年 11 月 17 日号 取材先：東洋ガラス（株）、旭硝子（株）
平成 20 年 11 月 30 日	NHK 総合 TV「経済羅針盤」 表題：逆境を好機に－世界企業の戦略－ 取材先：旭硝子（株）
平成 20 年 12 月 8 日	NEDO 省エネルギー技術フォーラム（東京） 井上 悟「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 21 年 1 月 26 日	NGF 第 88 回ニューガラスセミナー（東京） 井上 悟「革新的ガラス溶解技術研究開発」
平成 21 年 2 月 1 日	プラズマ・核融合学会誌 2009 年 2 月号 解説記事投稿 渡辺隆行「熱プラズマの非平衡性を利用するプロセスと高温を利用するプロセス」
平成 21 年 2 月 6 日	日本セラミックス協会ガラス部会ガラス製造技術講演会（東京） 井上 悟「気中溶解プロセスを用いた革新的省エネルギーガラス溶解技術開発状況」
平成 21 年 2 月 18 日	NGF 第 94 回若手懇談会（東京） 井上 悟「革新的ガラス溶解技術研究開発状況」
平成 21 年 3 月 1 日	NGF 機関誌 New Glass No. 92 解説記事投稿 伊勢田徹「NEDO “革新的ガラス溶融プロセス技術開発” プロジェクトの概要」
平成 21 年 9 月 28 日	NGF ガラス科学技術研究会講演（東京） 渡辺隆行「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」
平成 21 年 12 月 1 日	旭硝子研究所報告 第 59 号（平成 21 年 12 月）解説記事投稿 酒本 修「革新的省エネルギーガラス溶解技術」
平成 22 年 3 月 1 日	NGF 機関誌 New Glass No. 96 解説記事投稿 渡辺隆行「インフライト溶融によるガラス製造のための熱プラズマ発生技術」

#### IV. 実用化、事業化の見通しについて

##### 1. 実用化、事業化の見通し

ガラス溶融炉の寿命は、3～10年と長寿命であることからガラス産業全体への普及は徐々にしか進まず、2015年よりエレクトロニクス用等の特殊ガラス（小型炉）から実用化が開始される。それらは、品質要求と付加価値が比較的高く、生産規模が小規模または他品種中規模の製品であり、例えば、下図の磁気ディスク用ガラス（ノートPC用）、非球面モールドレンズ（デジカメ、ブルーレイディスク等）、化粧品などである。（図IV-1-1）



磁気ディスク用ガラス



非球面モールドレンズ

図IV-1-1. 小型ガラス炉の用途先

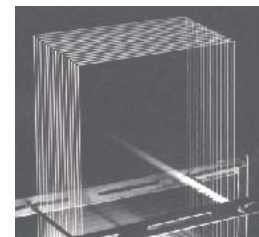
それからは、気中溶融技術の実績と高歩留り、低コスト性等が評価されて、普及が急速に進み、国際競争力のある平面ディスプレイ用ガラス、照明機器用ガラス（図IV-1-2）を含む小～中型炉に展開される。また、大型化への基盤技術が整備されて、ガラスびん、長繊維ガラス、グラスウール（短繊維ガラス）、太陽電池用高透過性板ガラス（図IV-1-3）を含む中型炉にも展開される。2020年には、小型炉の約5割、フラットパネルディスプレイ用の炉の約3割、中型炉の約3割に導入と想定している。



LED 信号機レンズ



照明機器用ガラス



平面ディスプレイ用ガラス

図IV-1-2. 中型ガラス炉（1部）の用途先



ガラスびん



長繊維ガラス



グラスウール



太陽電池用板ガラス

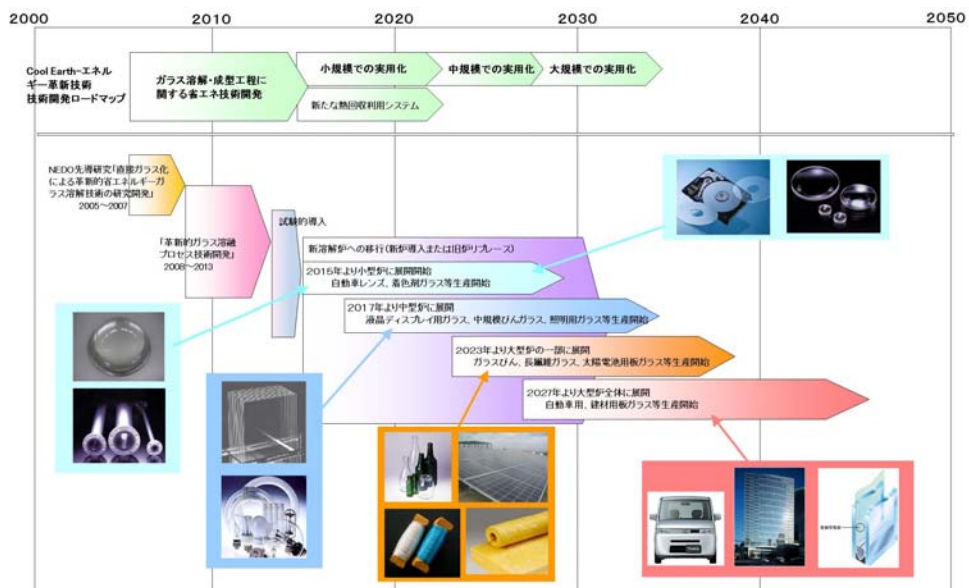
図IV-1-3. 中型ガラス炉の用途先

さらに2030年においては、板ガラス等（図IV-1-4）の大型炉にも展開され、小型炉の約7割、フラットパネルディスプレイ用の炉の約5割、中型炉の約5割に導入と想定している。



図IV-1-4. 大型ガラス炉の用途先

以下にロードマップと導入予定時期についての関係を示す。



図IV-1-5. ガラス炉の用途先・実用化・事業化シナリオ

また、想定される導入計画を下記に示す。

導入計画	対象品目	溶解炉規模	根拠
開発完了～2年後	自動車用非球面レンズ 工業用耐熱ガラス	～20ton/日・基	汎用硼珪酸ガラスで先ず実績 (液晶用ガラス適用への前段階)
	着色剤用ガラス	2 ton/日・基	既存炉に追加設置 小さい泡が許容
～4年後	液晶用ガラス	10～50ton/日・基	短い炉寿命、建設コスト大幅削減 高品質化にも期待
～6年後	びんガラス(中規模)	50 ton/日・基	既存炉への追加設置も可能な規模
～10年後	びんガラス(大規模)	150 ton/日・基	既存炉のリプレイス 1窯1成形、低建設コスト、易素地替え
～12年後	特殊板ガラス	200ton/日・基	炉更新、低建設コスト、省エネ
～14年後	建築用・自動車用板ガラス	>500ton/日・基	炉更新、低建設コスト、省エネ

図IV-1-6. ガラス炉の用途先図. 設備導入計画

以上

## エネルギーイノベーションプログラム基本計画

平成22年4月1日  
産業技術環境局  
資源エネルギー庁

### 1. 目的

「新成長戦略（基本方針）」（2009年12月閣議決定）に記載されている我が国の強みを活かした「課題解決型国家」の実現に向け、世界をリードする「グリーンイノベーション」などを迅速に推進し、課題解決とともに新たな成長の実現を目指す。

資源に乏しい我が国が、将来にわたり持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。他方、エネルギー技術開発は、長期間を要するとともに大規模投資を伴う一方で将来の不確実性が大きいことから、民間企業が持続的な取組を行うことは必ずしも容易ではない。このため、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となる。

エネルギー安全保障の確立や、世界全体の温室効果ガスを2050年までに半減するという長期目標を達成するため、以下に政策の柱毎に目的を示す。

#### 1-I. 総合エネルギー効率の向上

1970年代以来、官民をあげて省エネルギーに取り組み、産業構造の転換や新たな製造技術の導入、民生機器の効率改善等により世界最高水準の省エネルギーを達成している。今後、「新・国家エネルギー戦略」に掲げる、2030年までにGDPあたりのエネルギー利用効率を約30%向上を実現していくためには、産業部門はもとより、全部門において、総合エネルギー効率の向上に資する技術開発とその成果の導入を促進する。

#### 1-II. 運輸部門の燃料多様化

ほぼ100%を石油に依存する運輸部門は、我が国エネルギー需給構造上、最も脆弱性が高く、その需給構造の次世代化は、将来に向けた早急な対策が不可欠な課題となっている。

「新・国家エネルギー戦略」に掲げる目標（2030年に向け、運輸部門の石油依存度が80%程度となることを目指す）の実現のためにも、官民が中長期的な展望・方向性を共有しつつ、技術開発と関連施策を推進する。

#### 1-III. 新エネルギー等の開発・導入促進

太陽光、風力、バイオマスなどの新エネルギーは、エネルギー源の多様化や地球温暖化対策の観点から重要である。しかし、現時点では経済性や出力安定性といった普及へ向けての課題が存在する。

そのため、これらの課題解決に向けた技術開発の推進及び新エネルギーの導入促進のための関連施策の実施により、更なる新エネルギーの普及を推進する。

#### 1-IV. 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

原子力発電は供給安定性に優れ、運用時にCO<sub>2</sub>を排出しないクリーンなエネルギー源である。安全確保を大前提に核燃料サイクルを含む原子力発電を着実に推進する。



## 1-V. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

化石燃料資源の大宗を輸入に依存する我が国にとって、その安定供給の確保は国家安全保障に直結する課題である。このため、石油・天然ガス等の安定供給確保を目指し、我が国企業による資源国における資源開発等に対する支援等の施策を進めるとともに、その有効かつクリーンな利用を図る。

### 2. 政策的位置付け

- 「新成長戦略（基本方針）」（2009年12月閣議決定）  
「(1) グリーンイノベーションによる環境・エネルギー大国戦略」及び「(5) 科学・技術戦略立国戦略」に対応。
- 低炭素社会づくり行動計画（2008年7月閣議決定）  
2008年6月の福田総理（当時）のスピーチ「福田ビジョン」等を受け、我が国が低炭素社会へ移行していくための具体的な道筋を示すため、国全体を低炭素化へ動かす仕組みや革新的な技術開発、国民一人ひとりの行動を促すための取組について策定。  
「環境エネルギー技術革新計画」や「Cool Earth—エネルギー革新技術計画」等に示された革新的技術の開発に5年間で300億ドル程度を投入するという具体的な目標が示された。
- 環境エネルギー技術革新計画（2008年5月）  
温室効果ガスの大幅な削減を目指すだけでなく、エネルギー安全保障、環境と経済の両立、開発途上国への貢献等を考慮し、以下の戦略等を策定。
  1. 低炭素社会実現に向けた我が国の技術戦略
  2. 国際的な温室効果ガス削減策への貢献策
  3. 革新的環境エネルギー技術開発の推進方策
- Cool Earth—エネルギー革新技術計画（2008年3月）  
2007年5月の総理イニシアティブ「クールアース50」を受け、世界全体の温室効果ガスの排出量を現状に比して2050年までに半減するという長期目標を達成するため、エネルギー分野における革新的な技術開発について検討をおこない、21の技術を選定。
- エネルギー基本計画（2007年3月閣議決定）  
重点的に研究開発のための施策を講ずべきエネルギーに関する技術及びその施策として、
  1. 総合エネルギー効率の向上に資する技術
  2. 原子力利用の推進とその大前提となる安全の確保に資する技術
  3. 運輸部門のエネルギー多様化に資する技術
  4. 新エネルギーに関する技術
  5. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用に資する技術以上が位置づけられている。
- 新・国家エネルギー戦略（2006年5月）  
世界最先端のエネルギー需給構造の実現を図るため



1. 省エネルギーフロントランナー計画
2. 運輸エネルギーの次世代化計画
3. 新エネルギーイノベーション計画
4. 原子力立国計画

以上の計画が位置づけられている。また、資源外交、エネルギー環境協力の総合的な強化を図るため、「総合資源確保戦略」が位置づけられている。

○ 第3期科学技術基本計画（2006年3月閣議決定）

国の存立にとって基盤的であり国として取り組むことが不可欠な研究開発課題を重視して研究開発を推進する「推進4分野」であるエネルギー分野、分野別推進戦略（2006年3月総合科学技術会議）における「推進4分野」であるエネルギー分野に位置づけられている。

○ 京都議定書目標達成計画（2005年4月閣議決定）

「京都議定書の約束を達成するとともに、更に「脱温暖化社会」に向けて長期的・継続的な排出削減を進めるには、究極的には化石燃料への依存を減らすことが必要である。環境と経済の両立を図りつつ、これらの目標を達成するため、省エネルギー、未利用エネルギーの利用等の技術革新を加速し、効率的な機器や先進的なシステムの普及を図り、世界をリードする環境立国を目指す。」とされている。

### 3. 達成目標

#### 3-I. 総合エネルギー効率の向上

転換部門における「エネルギー転換効率向上」、産業部門における「製造プロセス効率向上」、民生・運輸部門における「省エネルギー」などにより、GDP当たりのエネルギー消費指数を2030年度までに少なくとも30%改善することを目指す。

#### 3-II. 運輸部門の燃料多様化

バイオマス由来燃料、GTL、BTL、CTLなどの新燃料、電気自動車や燃料電池自動車などの導入により、現在ほぼ100%の運輸部門の石油依存度を2030年までに80%程度とすることを目指す。

#### 3-III. 新エネルギー等の開発・導入促進

太陽光、風力、バイオマスなどの新エネルギーの技術開発や燃料電池など革新的なエネルギー高度利用を促進することにより、新エネルギー等の自立的な普及を目指すことで、エネルギー源の多様化及び地球温暖化対策に貢献する。

#### 3-IV. 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

2030年以降においても、発電電力量に占める比率を30～40%程度以上とすることを目指すため、高速増殖炉サイクルの早期実用化、既設軽水炉代替へ対応する次世代軽水炉の開発、軽水炉技術を前提とした核燃料サイクルの確立、放射性廃棄物対策などの技術開発を推進する。

#### 3-V. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

石油・天然ガスの化石燃料の安定供給確保を目指し、資源獲得能力の強化に資する先端的な技術開発を推進するとともに、環境負荷低減のために化石燃料の効率的かつクリーンな利用を促進するための技術開発・導入を目指す。

#### 4. 研究開発内容

##### 4-I. 総合エネルギー効率の向上

##### 4-I-i. 共通

###### (1) 省エネルギー革新技術開発事業（運営費交付金）

###### ①概要

テーマ公募型事業として、「挑戦研究」、「先導研究」、「実用化開発」及び「実証研究」の4つのフェーズにおいて、革新的な省エネルギー技術の研究開発を行う。

###### ②技術目標及び達成時期

2020年の温室効果ガス排出削減目標の達成に資するため、「Cool Earth-エネルギー革新技術計画」を踏まえつつ、大幅な省エネルギー効果を発揮する革新的な省エネルギー技術について研究開発・実用化を推進する。

###### ③研究開発時期

2003年度～2013年度

###### (2) エネルギー使用合理化産業技術研究助成事業（運営費交付金）

###### ①概要

産業界や社会のニーズに応える省エネルギー技術のシーズの発掘とその育成、並びに、省エネルギー技術に関する次世代の研究リーダーの育成を図る。この目的のため、産業界からの期待が高い技術領域・課題を提示した上で、大学や独立行政法人の研究者等から研究開発テーマを募集する。厳正な外部評価によって省エネルギー効果があり且つ独創的・革新的なテーマを選定し、研究者代表者個人を特定して助成金を交付する。

###### ②技術的目標及び達成時期

独創性のある研究者等を助成すると共に、中間評価ゲート方式が醸成する競争的環境の下で企業との連携を強化させることにより、10～15年後の実用化が有望な革新的省エネルギー技術の研究開発を促進する。本事業では革新的省エネルギー技術の実用化への第1歩となる特許について、助成期間終了後の出願比率を100%とすることを目標とするとともに、省エネルギー技術に関する次世代の研究リーダーの育成を図る。

###### ③研究開発期間

2000年度～

###### (3) 非化石エネルギー産業技術研究助成事業（運営費交付金）（4-III-i 参照）

#### 4-I-ii. 超燃焼システム技術

##### (1) 環境調和型製鉄プロセス技術開発 (運営費交付金) (再掲)

###### ①概要

高炉ガスからの効率的な二酸化炭素分離と中低温排熱の有効活用及び水素を炭素(コークス)の一部代替として鉄鉱石を還元する革新的製鉄プロセスの開発を行う。

###### ②技術的目標及び達成時期

最終的な技術開発目標として製鉄プロセスにおけるCO<sub>2</sub>排出量を30%削減することを目指し、2050年までに実用化する。

###### ③研究開発期間

2008年度～2017年度

##### (2) 資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発 (運営費交付金)

###### ①概要

高品位な製鉄材料(鉄鉱石・石炭等)の入手が困難になってきていることから、原料使用量の低減及び、比較的入手が容易な低品位原料の使用拡大を図ることが喫緊の課題となっている。本技術開発では、還元剤として低品位な石炭と鉄鉱石の塊成物を開発し、炉内反応の高速化・低温化を実現することにより、省エネルギーで高効率な革新的製鉄プロセスを開発する。

###### ②技術的目標及び達成時期

2011年度までに、①革新的塊成物の組成・構造条件の探索、②革新的塊成物の製造プロセス、③革新的塊成物による高炉操業プロセスを開発する。これらによる効果は、年産400万トン規模の中型高炉に適用した場合の炭材使用量のうち高品位炭使用量が約80%から60%程度に削減可能となるとともに、革新的塊成物を高炉に使用する操業技術の改良による還元材比の低減により、新開発のプロセスを含めた製鉄プロセスでの投入エネルギーは約10%削減される。

###### ③研究開発期間

2009年度～2011年度

##### (3) 革新的ガラス溶融プロセス技術開発 (運営費交付金)

###### ①概要

プラズマ等による高温を利用し瞬時にガラス原料をガラス化することにより、極めて効率的にガラスを気中で溶融(インフライトメルティング法)し省エネに資する革新的ガラス溶融プロセス技術を開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

###### ②技術的目標及び達成時期

2012年度までに、インフライトメルティング法により原料を溶解する技術、カレットをガラス原料として利用するため高効率で加熱する技術、カレット融液とインフライトメルティング法による原料融液とを高速で混合する技術を開発する。

## ③研究開発期間

2008年度～2012年度

## (4) 革新的マイクロ反応場利用部材技術開発 (運営費交付金)

## ①概要

マイクロリアクター、ナノ空孔などの精密反応場を利用し、反応分子の自由な運動を活性種レベルで制御した革新的な化学反応プロセスと新機能材料創成技術の確立を目指す。さらに、マイクロリアクターとナノ空孔反応場の組み合わせ、各反応場とマイクロ波等のエネルギー供給手段との組み合わせにより協奏的反応場を構成し、さらなる高効率生産等を可能にする基盤技術を開発する。これらの技術の確立により、反応システムの小型化、多段プロセスの簡略化等を通じた化学産業の製造工程等の省エネルギー化を図る。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

## ②技術的目標及び達成時期

2010年度までに、マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術を軸とし、これらに更にマイクロ波、超臨界流体等のエネルギー供給手段を組み合わせた協奏的反応場を構成することにより、これまでにない革新的な化学反応プロセスを確立し、新機能材料創成技術を実現する。さらに、これらの技術を用いて高性能・高機能電子材料、医薬中間体などの部材を開発する。

## ③研究開発期間

2006年度～2010年度

## (5) 鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発 (運営費交付金)

## ①概要

プラント、構造物や自動車等の革新的な高効率化、省エネルギー化、長寿命化、安全・安心化を図るため、最新の科学的知見を導入し、鉄鋼材料及び鋼構造物を超高機能化する基盤的研究開発を行う。具体的には、高強度鋼、高機能鋼の実用化拡大の基盤となる(1)高級鋼厚板(高強度鋼、極低温用鋼、耐熱鋼)溶接部の信頼性・寿命を大幅に向上する溶接施工技術(高密度・清浄熱源溶接技術)、及びクリープ破壊、金属組織制御技術を基本とする溶接材料技術(クリープ破壊及び水素破壊の機構解明等を踏まえた)の開発、(2)部材の軽量化を図るために強度、加工性等の最適機能傾斜を付与する機械部品鍛造技術(駆動部材の信頼性確保のための耐疲労破壊特性の向上を踏まえた)の開発を行う。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

## ②技術目標及び達成時期

2011年度までに、高級鋼厚板(高強度鋼・極低温用鋼・耐熱鋼)の溶接を予熱・後熱なしに可能とする溶接技術と材料技術を開発するとともに、傾斜機能部材の鍛造技術を開発する。

## ③研究開発期間

2007年度～2011年度

(省エネルギー技術開発プログラム・新製造技術プログラム)  
「革新的ガラス溶融プロセス技術開発」基本計画

省エネルギー技術開発部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

我が国のガラス産業は全産業の約1%に相当するエネルギーを消費するエネルギー多消費型産業である。その量は原油換算で毎年約200万KLにも及び、その大部分がガラス製造における溶融工程で消費されている。また、最近では液晶やプラズマディスプレイなどに用いられる高品質・高付加価値化ガラスの需要が増大の一途にあり、製造にかかるエネルギー消費はますます拡大する傾向にあるため、ガラス製造に係る省エネルギーのための抜本的技術開発は重要かつ緊急の課題であるが、

ガラス製造者による省エネルギー化への改善努力も約150年前の技術がベースとなり踏襲され続けているガラス溶解法の下では限界に達してきている。

このため、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO技術開発機構」という。）では、平成17年度から平成19年度にかけて「エネルギー使用合理化技術戦略的開発プロジェクト」において酸素燃焼炎とプラズマを用いた気中溶解（インフライトメルティング）法による省エネルギー型ガラス溶解技術の先導的技術開発を手掛け、その有効性を確認したところである。

NEDO技術開発機構は、この先導研究成果を踏まえてガラス産業における革新的省エネルギー技術を確立するため、省エネルギー技術開発プログラムの一環として以下のプロジェクトを実施する。

本プロジェクトでは、気中溶解（インフライトメルティング）法を用いて、短時間でのガラス原料溶解を実現する技術、高速で高効率にカレットを加熱する技術及び気中溶解により生成したガラス融液とカレット融液とを高速で攪拌し均質なガラス融液とする技術の開発を行い、最もエネルギーを消費するガラス原料溶解工程全般に亘る革新的技術の開発を行うことを目的とする。これらの技術は、省エネルギー分野の技術戦略における技術マップの「超燃焼システム分野」において「高効率加熱技術」「プラズマ加熱」に、また同ロードマップの「プラズマ加熱」「高温下の短時間プロセス」に位置付けられている。また、気中溶解（インフライトメルティング）法は短時間でのガラス溶解法であると同時に溶解炉自体を小型化することも可能であることから、ガラス溶解過程のみならず製造品種切り替えに要する時間の短縮と切り替え時に生ずる膨大な不良ガラスの排出削減、即ち固定エネルギーの削減にも貢献し得る省エネルギー技術として期待されている。既に特許等の申請により当該技術が海外においても認知されているところであり、我が国の省エネ対策及び国際競争力を更に高めるためには早急に技術を確立していくことが必要である。

本技術の確立により、びんガラスなどの製造に用いられている小型の溶解炉からディスプレイパネル用板硝子などを製造する中規模炉及び建築用や自動車用として大量に製造する大規模炉のガラス製造に関わるいずれの溶解プロセスにも適用可能な基盤技術の形成が見込まれ、我が国製造業の基盤的競争力の維持強化の環境整備を行うことにより新製造技術プログラムにも位置付けられる。



本開発プロセスが普及した場合、我が国のガラス業界全体で現行の溶融プロセスでの消費エネルギーを約1/3程度に低減することが期待される。

## (2) 研究開発の目標

[中間目標：平成22年度]

- ①気中溶解（インフライトメルティング）技術開発
  - ・カレットなしでガラスを製造する場合における溶解エネルギー：  
1000kcal/kg-glass 以下でかつ必要なガラス化率の達成。
- ②ガラスカレット（再生材）高効率加熱技術開発
  - ・カレットを適用できる気中溶解技術の成立。
  - ・カレットの1200℃までの昇温時間：1分以内。
- ③ガラス原料融液とカレット融液との高速混合技術開発
  - ・均一に混合するまでの時間：4時間以内。
  - ・均質性評価技術の確立。

[最終目標：平成24年度]

- ①気中溶解（インフライトメルティング）技術開発
  - ・カレットなしでガラスを製造する場合における溶解エネルギー：  
900kcal/kg-glass 以下でかつ必要なガラス化率の達成。
- ②ガラスカレット（再生材）高効率加熱技術開発
  - ・カレットのみを原料としてガラスを製造する場合における溶融エネルギー：  
1800kcal/kg-glass 以下
  - ・カレットの1200℃までの昇温時間：1分以内。
- ③ガラス原料融液とカレット融液との高速混合技術開発
  - ・均一に混合するまでの時間：2時間以内。

## (3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。

[委託事業]

- ①気中溶解（インフライトメルティング）技術開発
- ②ガラスカレット（再生材）高効率加熱技術開発
- ③ガラス原料融液とカレット融液との高速混合技術開発

## 2. 研究開発の実施方式

### (1) 研究開発の実施体制

本研究開発は、NEDO技術開発機構が公募により選定する企業、民間研究機関、独立行政法人、大学等（原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業の特別の研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点から国外企業との連携が必要な部分はこの限りではない。）がNEDO技術開発機構が指名する研究開発責任者（プロジェクトリーダー）の下で、それぞれの研究テーマの達成目標を実現すべく研究開発を委託して実施する。

この場合において、各委託先は、企業、民間研究機関、独立行政法人、大学等の単位であることを原則とする（以下、「企業単位等」という）。ただし、NEDO技術開発機構が、複数の企業単位等を結集して研究体を構成し、集中的な管理体制を構築する場合、当該研究体を委託先として認めるものとする。

#### (2) 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDO技術開発機構は、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標、並びに本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて設置される技術検討委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させるほか、四半期に一回程度研究開発実施者等を通じてプロジェクトの進捗について報告を受けること等を行う。

### 3. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は、平成20年度から平成24年度までの5年間とする。

### 4. 評価に関する事項

NEDO技術開発機構は、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を平成22年度、事後評価を平成25年度に実施する。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

### 5. その他重要事項

#### (1) 研究開発成果の取扱い

##### ① 共通基盤技術の形成に資する成果の普及

得られた研究成果のうち、下記共通基盤技術に係る研究開発成果については、NEDO技術開発機構、実施者とも普及に努めるものとする。

- a) 気中溶解（インフライトメルティング）技術
- b) ガラスカレット高効率加熱技術
- c) ガラス原料融液（カレット融液との混合を含む）の均質性評価技術

##### ② 知的基盤整備事業又は標準化との連携

得られた研究開発の成果については、知的基盤整備又は標準化等との連携を図るため、データベースへのデータの提供、標準情報（TR）制度への提案等にも努めるものとする。

##### ③ 知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第27条の規定に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

(2) 基本計画の変更

NEDO技術開発機構は、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、プログラム基本計画の変更、評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

(3) 根拠法

本プロジェクトは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第一号ハに基づき実施する。

6. 基本計画の改定履歴

(1) 平成20年 3月、制定。

(別紙) 研究開発計画

研究開発項目①「気中溶解（インフライトメルティング）技術開発」

1. 研究開発の必要性

気中溶解反応プロセスは、現在のシーメンス炉で行われている燃焼バーナー火炎からの熱拡散及び輻射による原料加熱とは大きく異なる熱履歴をガラス融液に与えるため、形成されるガラス融液の性状（構造、溶存ガスの種類や濃度）は従来法で得られるガラス融液のそれとは異なっていると推定される。溶解プロセスの制御方法を確立するためには、気中溶解したガラス融液に溶存するガス分析及び気中溶解融液とカレット融液との混合時の挙動などを調査する必要がある。また、気中溶解を行う高温場として酸素燃焼炎とプラズマのハイブリッド化を利用する予定であるが、安定かつ長時間の高温場を実現するための最適条件を探求し、高温場発生技術を確立する必要がある。

上記の各課題を総合して気中溶解プロセス制御方法を確立するため、シミュレーションモデルを構築する必要がある。

2. 研究開発の具体的内容

(1) 超高効率気中加熱技術の開発

- a) 溶解試験炉設計・製作と改良（1～2 t／日、カレット加熱にも使用）
- b) 炉条件適正化（炉形状、バーナ改善）
- c) 搬送気体量低減（最適気体流速の探索、振動付与など）
- d) 炉材評価
- e) 原料・ガラス品質評価

(2) プラズマ・酸素燃焼炎加熱技術の開発

- a) 複合加熱の高安定化（安定流の形成）
- b) プラズマ比率低減策（炎との位置関係）
- c) 電極の長寿命化
- d) 高付加価値ガラスへの適用性評価

(3) 共通基盤技術

- a) 気中溶解特有の現象と融液挙動の解明
- b) シミュレーション技術（モデル構築）

3. 達成目標

中間目標：平成22年度

カレットなしでガラスを製造する場合における溶解エネルギーを  
1000 kcal/kg-glass 以下でかつ必要なガラス化率を達成する。

最終目標：平成24年度

カレットなしでガラスを製造する場合における溶解エネルギーを  
900kcal/kg-glass 以下でかつ必要なガラス化率を達成する。

## 研究開発項目②「ガラスカレット（再生材）高効率加熱技術開発」

### 1. 研究開発の必要性

気中溶解したガラス融液にカレットを従来法と同様な手法で投入した場合、融液だけの熱量では溶融させることは困難である。また融液槽全体の温度が下がり流動性が悪化するなどのトラブルも想起されるため、カレットは投入直前に十分に溶融可能となるよう加熱し昇温する必要があり、カレット融液を効率的に生成させる最適な高速加熱方法を開発する必要がある。

### 2. 研究開発の具体的内容

#### (1) 高速高効率加熱技術の開発

##### a) カレット気中加熱法

巻き込み泡を生じない加熱方法を探索する。

##### b) カレット・原料混合気中溶解法

泡層（原料成分のガス化による発生泡）を生じない加熱方法を探索する。

##### c) カレット加熱法

十分な昇温を得る加熱方法を探索する。

#### (2) カレット超加熱技術の開発

試験設備（～100kg/日）を製作しカレットの間接加熱試験を実施し、300℃前後までの加熱で融着がなく、低粉塵を可能とする最適なカレット粒径を探索する。

### 3. 達成目標

中間目標：平成22年度

カレットを適用できる気中溶解技術の成立を目指す。

ガラスカレットを1200℃以上に加熱する時間を1分以内とする。

最終目標：平成24年度

カレットを適用した気中溶解技術の省エネルギー化を図る。

カレットの加熱エネルギーを1800kcal/kg-glass 以下とする。

ガラスカレットを1200℃以上に加熱する時間を1分以内とする。



### 研究開発項目③「ガラス原料融液とカレット融液との高速混合技術開発」

#### 1. 研究開発の必要性

実用上のガラス製造プロセスでは、ガラス原料だけでなくガラスカレットも原料として活用しているため、成分・性状の異なる原料同士の混合・均質化が重要な要素となる。従来のガラス製造プロセス技術ではガラス原料の熔解・脱泡に5日間に及ぶ長い溶融時間を要したためガラス原料とカレットとの混合・均質化も同時に行うことが可能であった。

今回開発する技術プロセスでは気中溶解法による短時間でのガラス原料溶解及びカレット溶融が行われるため、ガラス原料融液とカレット融液との混合・均質化も短時間下で可能とする新たな攪拌技術の開発が必要である。

#### 2. 研究開発の具体的内容

##### (1) 攪拌技術の開発

各種手法を比較検討し、最適な攪拌条件を探索する。

##### (2) 均質性評価技術の開発

原料の異なる融液同士の混合状態を評価する手法を探索する。

#### 3. 達成目標

中間目標：平成22年度

混合融液の均質性評価技術を確立する。

ガラス原料融液とカレット融液との均一混合時間を4時間以内とする。

最終目標：平成24年度

ガラス原料融液とカレット融液との均一混合時間を2時間以内とする。

## エネルギー分野

資源に乏しいわが国が、将来にわたり持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。他方、エネルギー技術開発は、長期間を要するとともに大規模投資を伴う一方で将来の不確実性が大きいことから、民間企業が持続的な取組を行うことは必ずしも容易ではない。このため、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、将来の不確実性に対する懸念が緩和され、官民において長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となる。

また、「新・国家エネルギー戦略」や「エネルギー基本計画」においても、エネルギー技術戦略策定の必要性が明記されており「新・国家エネルギー戦略」が想定する2030年という長期の時間設定の中、超長期エネルギー技術ビジョン（2005年10月策定）を参考にしつつ、2006年11月策定のエネルギー技術戦略マップ2006をベースにし、技術戦略マップ2007（エネルギー分野）を作成した。技術戦略マップ2008は2007年5月の総理イニシアティブ「クールアース50」を受けて策定された「Cool Earth-エネルギー革新技術計画」（2008年3月策定）をもとに、足下の2030年頃までの見直しに変更があったものについて修正を行ったものである。

技術戦略マップ2009の策定に当たっては主に下記の3項目の内容について見直しを実施し、改訂を行った。

- ・省エネルギー技術戦略との整合【参考資料：省エネルギー技術戦略2009】
- ・既存ロードマップに最新技術を反映
- ・個別技術の統廃合（235技術→178技術（新2技術））

## エネルギー分野の技術戦略マップ

## I. 検討の手順

技術戦略マップは、政策目標を実現するために必要な技術を要素技術を含めて抽出した技術マップ、技術開発の進展を時間軸に沿って示した技術ロードマップ、及び技術開発とそれ以外の関連施策を併せて示した導入シナリオから構成されている。

本技術戦略マップの作成にあたっては、2006年に策定した「新・国家エネルギー戦略」における政策の柱を踏まえ、①総合エネルギー効率の向上、②運輸部門の燃料多様化、③新エネルギーの開発・導入促進、④原子力の利用、そして、⑤化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーン利用、の5つの政策目標を設定した上で、これらに寄与する主なエネルギー分野の技術を抽出した。

①総合エネルギー効率の向上

②運輸部門の燃料多様化

③新エネルギーの開発・導入促進

④原子力利用の推進と  
その大前提となる安全の確保⑤化石燃料の安定供給確保と  
有効かつクリーンな利用

次に、抽出した技術を時間軸展開することによりロードマップの作成を行い、技術開発及びその成果が導入されるにあたって必要となる関連施策を整理した導入シナリオの作成を行った。

## II. 技術の特徴付けについて

エネルギー技術分野全体を俯瞰するため、有識者にアンケート調査を行い、5つの政策目標に対する寄与について定性的な評価を行った。

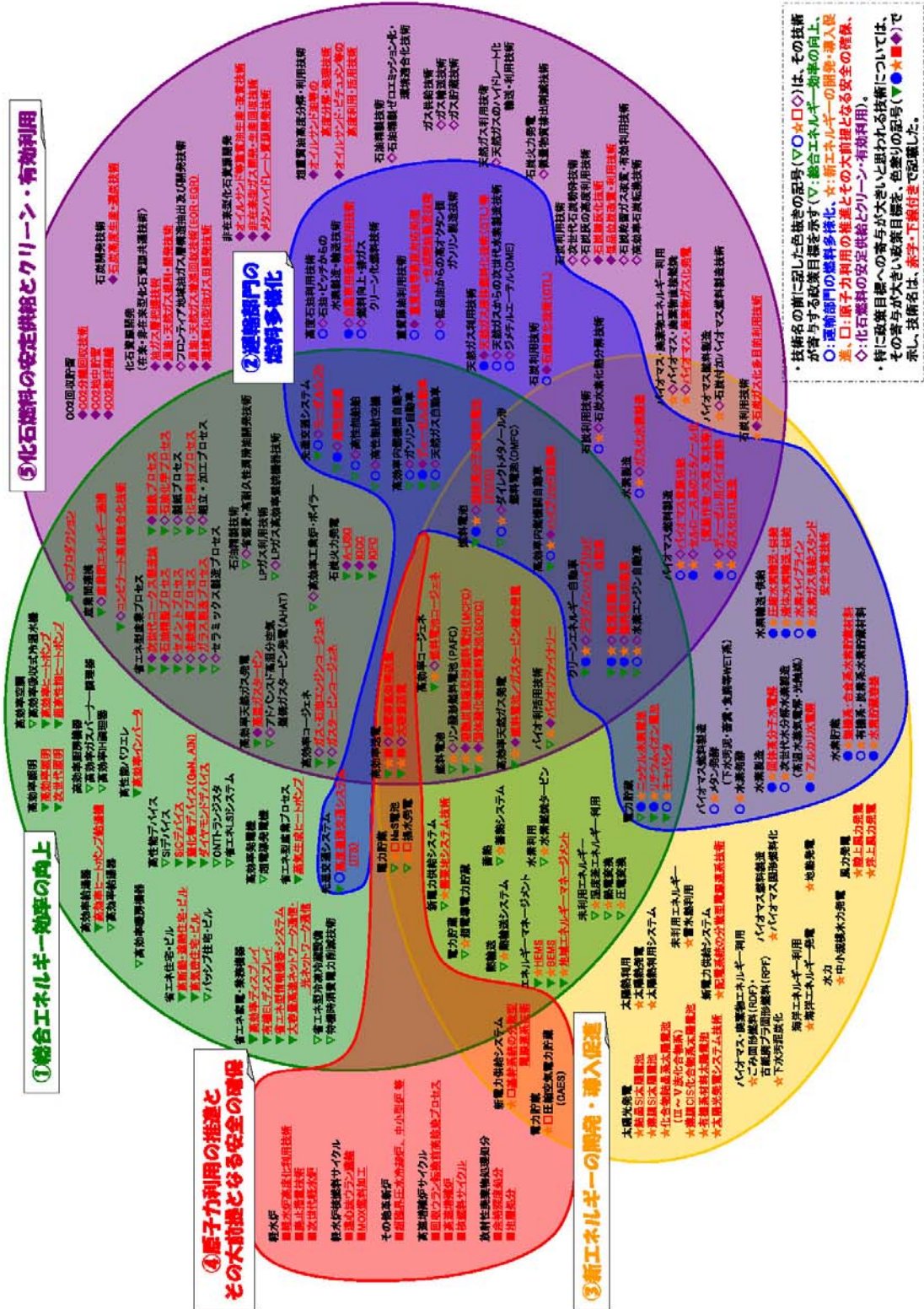
評価項目	内容
政策目標に関する指標	
①総合エネルギー効率の向上	転換部門における「エネルギー転換効率向上」、産業部門における「製造プロセス効率向上」、民生・運輸部門における「省エネルギー」など、GDPあたりの最終エネルギー消費指数を向上することに寄与する技術
②運輸部門の燃料多様化	バイオマス由来燃料、GTL (Gas to Liquid)、BTL (Biomass to Liquid)、CTL (Coal to Liquid) などの新燃料、EV (電気自動車) やFCV (燃料電池自動車) など、運輸部門の石油依存度を低減することに寄与する技術
③新エネルギーの開発・導入促進	太陽、風力、バイオマス等を起源とするエネルギーに関連する技術の開発・導入促進に寄与する技術。また、再生可能エネルギーの普及に資する新規技術、エネルギー効率の飛躍的向上に資する技術、エネルギー源の多様化に資する新規技術など「革新的なエネルギー高度利用技術」も含む。
④原子力利用の推進とその大前提となる安全の確保	2030年以降においても、発電電力量に占める原子力発電の比率を30～40%程度以上とすることに寄与する技術。負荷平準化等、原子力利用の推進に資する技術や安全確保に資する技術も含む。
⑤化石燃料の安定供給と有効かつクリーン・有効利用	化石資源の開発・有効利用技術、CCT (クリーン・コール・テクノロジー) などのクリーン利用や、資源確保に資する技術

## III. エネルギー技術全体の俯瞰図について

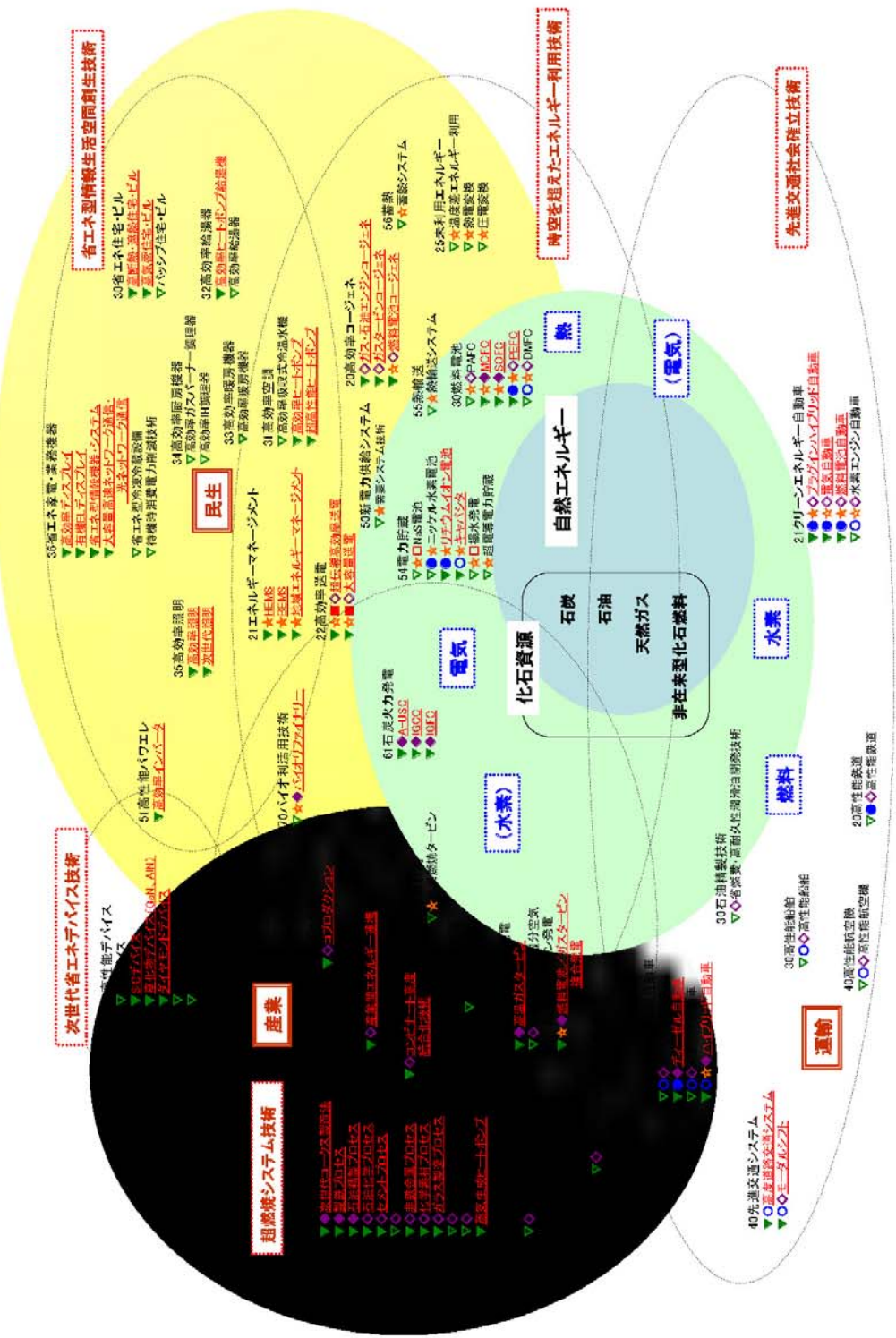
評価結果を基に、5つの政策目標に対する寄与を示したエネルギー技術全体を俯瞰するマップを作成した。



エネルギー技術 - 俯瞰図 -



・技術名の前に記した色抜きの記号(▽○△□◇)は、その技術が寄与する政策目標を示す(▽: 総合エネルギー効率の向上、△: 運輸部門の燃料多様化、◇: 新エネルギーの開発・導入促進、□: 原子力利用の推進とその大前提となる安全の確保、○: 化石燃料の安定供給とクリーン・有効利用)。  
 ・特に政策目標への寄与が大きいと思われる技術については、その寄与が大きい政策目標を、色抜きの記号(▽○△□◇)で示し、技術名は、赤字・下線付きで記載した。



技術名の前に記した色は基色の記号(▽○◇△)は、その技術が寄与する政策目標を示す(▽:総合エネルギー効率の向上、○:運輸部門の低炭素化、△:新エネルギーの創発・導入促進、◇:原子力利用の推進とその大規模化による安全の確保、△:化石燃料の安定供給とクリーン・有効利用)。

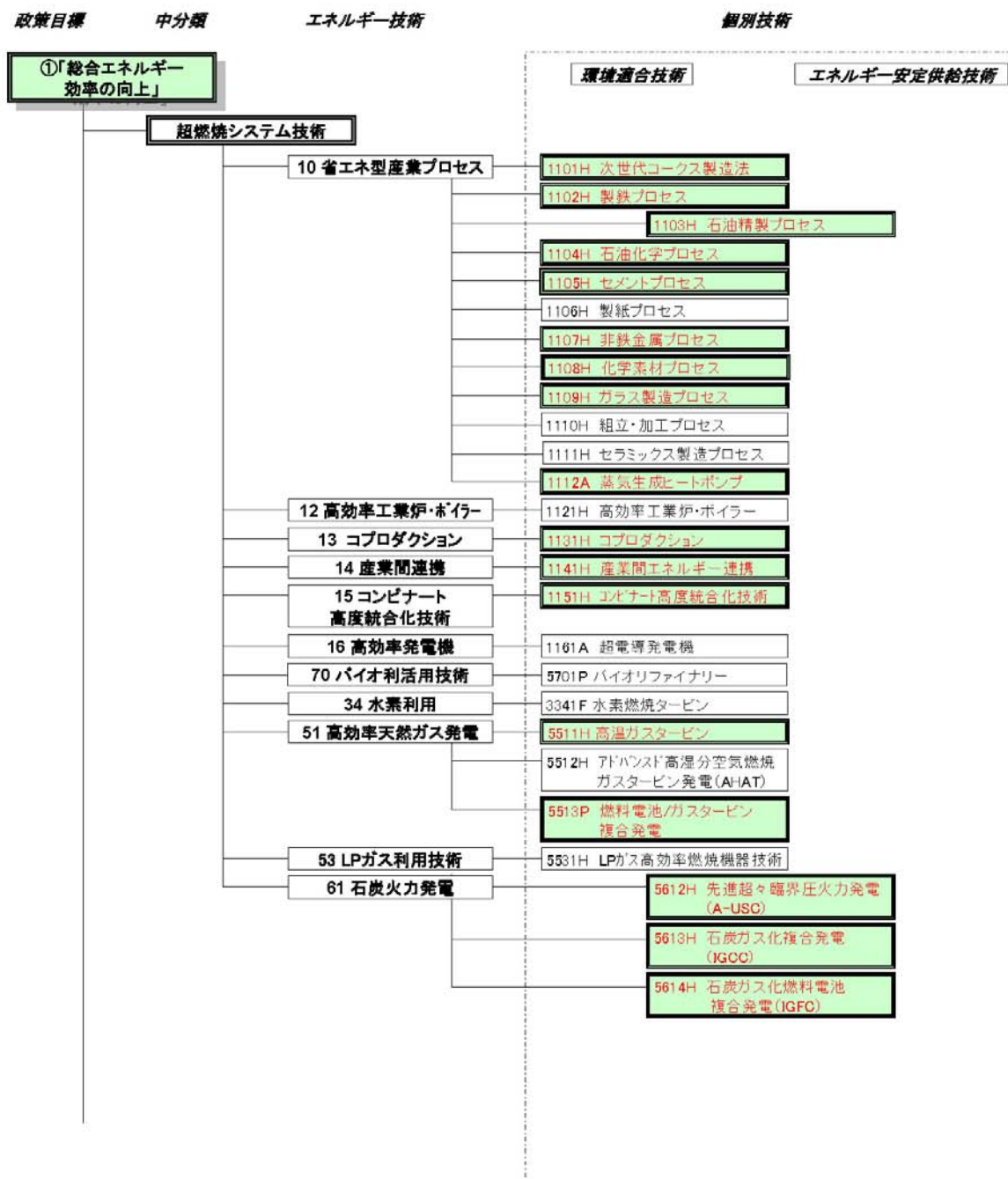
●「総合エネルギー効率の向上」への寄与が大きいと思われる技術名を、色塗りの記号(▽、△、◇、△)で記載した。

# ①「総合エネルギー効率の向上」に寄与する技術の技術マップ(整理図)



### ①「総合エネルギー効率の向上」 に寄与する技術の技術マップ(技術リスト)(1/4)

※それぞれの政策目標への寄与が大きいと思われる個別技術を **赤字** で示す。

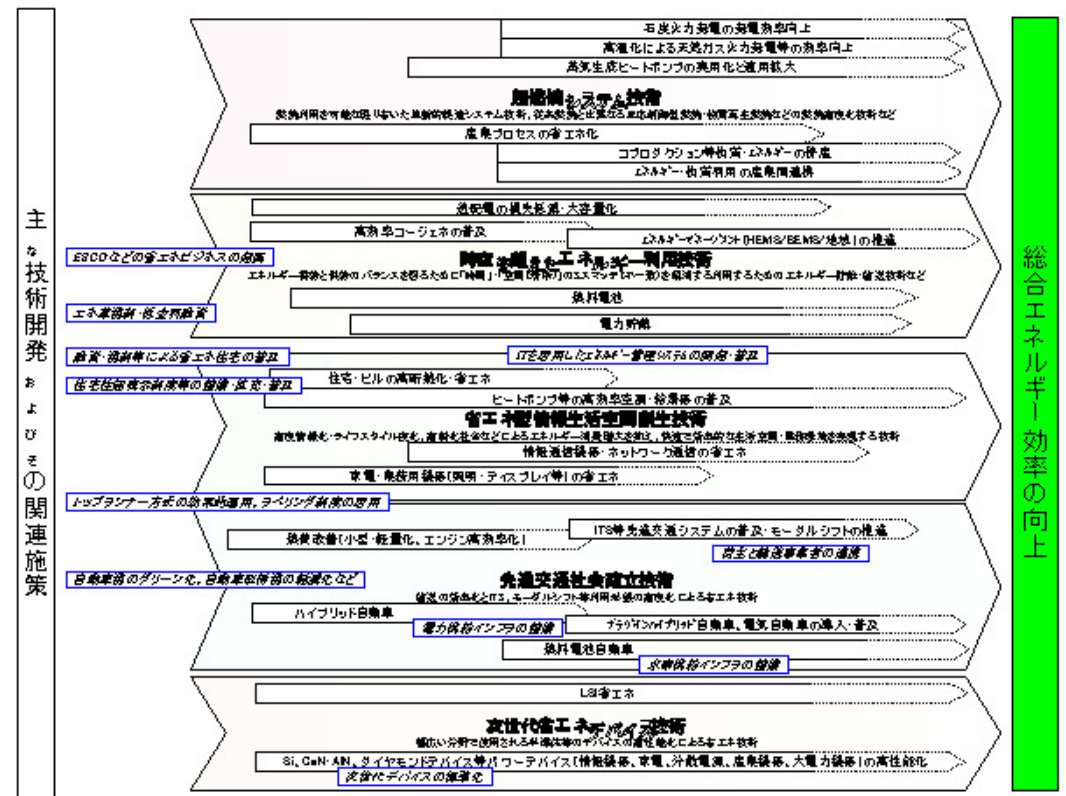
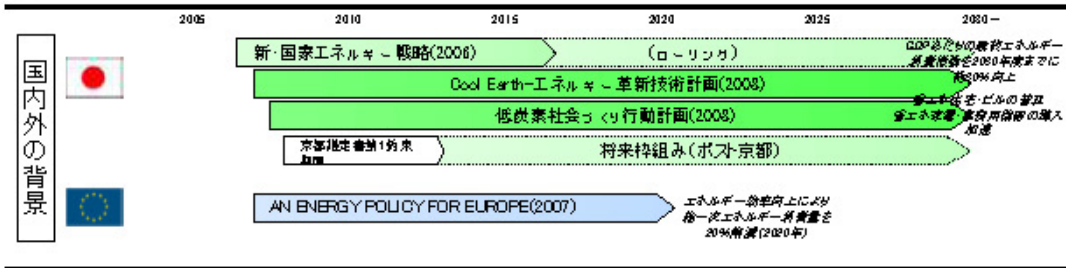


①「総合エネルギー効率の向上」  
に寄与する技術の技術ロードマップ(2/13)

No.	エネルギー技術 個別技術	2010	2015	2020	2025	2030~
1106H	10. 省エネ型産業プロセス 化学素材プロセス	<p>プロセス最適化技術(低温・低圧・高濃縮化、プロセス削減減、マイクロ液利用)</p> <p>化学産業のエネルギー使用量を2010年レベルの2/3に削減を目指す</p>				
		触媒技術 ガス分離技術 エネルギー回収 マテリアル再利用	分離膜装置による水処理	バイオ技術 バイオリファイナリー	分子伏脱素の利用 製鉄とのコプロダクション	SC30の高度利用
1109H	10. 省エネ型産業プロセス ガラス製造プロセス	<p>小規模での実用化 中規模での実用化 大規模での実用化</p> <p>ガラス成形・除冷工程、ガラス強化に関する省エネ技術 プラズマ等利用インフライトメルトメーキング(気中溶融)技術 高効率カレット加熱技術 高均質加熱・選択的迅速加熱技術</p>				
1110H	10. 省エネ型産業プロセス 組立・加工プロセス	<p>組立・加工用レーザの他分野への応用 動力回生システムの小型化・他分野への応用 動力回生システム 非鉄金属加工技術</p> <p>切削性向上(クーラント装置等) 高度機械加工システム レーザ空間モード制御利用(光吸収効率向上) レーザ位相制御利用(コヒーレント化学) Yb系固体レーザ利用(LCD基板製造等)、CO<sub>2</sub>レーザ利用(EUV光源ドライバ等) 超遠長ファイバレーザ利用(レーザマーキング、溶接等) 短パルスレーザ(高強度軽量材加工等)、超短パルスレーザ利用(低摩耗加工等) ファイバ光コヒーレント結合 RGBファイバレーザ利用(太陽電池パネル製造等)</p>				
1111H	10. 省エネ型産業プロセス セラミックス製造 プロセス	<p>エネルギー(現状比) 1/2</p> <p>モジュール型セラミックス製造技術 リターナブルセラミックス製造プロセス</p> <p>低温プロセス技術、複合加熱プロセス技術</p> <p>プリカーサ利用技術 水利用合成プロセス、 水素スラリー利用プロセス 溶媒最適化 完全リターナブル化</p>				
1112A	10. 省エネ型産業プロセス 蒸気生成ヒートポンプ	<p>120℃蒸気 COP 3.0 生成蒸気の高濃化(120℃超) COP 4.0</p> <p>低温蒸気ヒートポンプのCOP向上 排熱利用 高効率圧縮技術 高効率熱交換技術 低環境負荷冷媒技術</p> <p>食品分野熱利用技術への展開</p> <p>空気熱源利用による蒸気発生</p>				
1121H	12 高効率工業炉・ボイラー 高効率工業炉・ボイラー	<p>ボイラー効率 1%程度向上 工業炉エネルギー効率 約10%~30%向上</p> <p>高効率燃焼技術 次世代高性能ボイラー 再生燃焼技術 高性能工業炉 酸蒸燃焼技術 酸蒸燃焼 伝熱技術</p> <p>【廃熱低減技術】 酸蒸燃焼利用時の排ガス熱回収技術 酸蒸燃焼 酸蒸富化燃焼</p>				
1131H	10 コプロダクション コプロダクション	<p>電力・物質のコプロダクション</p> <p>製鉄・化学プロセスのコプロダクション</p> <p>自己熱再生方式 ガス化技術(部分酸化法) 次世代ガス化技術エクスルギー再生技術 原料多量化 高効率化 低コスト化</p>				

### ①「総合エネルギー効率の向上」に向けた導入シナリオ

転換部門における「エネルギー転換効率向上」、産業部門における「製造プロセス効率向上」、民生・運輸部門における「省エネルギー」などにより、エネルギー消費効率を2030年度までに少なくとも30%改善することを目指す。



- 事業者支援補助金による初期需要創出(高効率機器の補助導入など)
- セクター別ベンチマークアプローチの導入によるエネルギー消費原単位改善
- 省エネ評価制度の国際的整備
- 国際標準化・規格化による国際競争力の向上
- 国民の省エネルギー意識の高まりに向けた取組み

# 省エネルギー技術戦略 2009

平成21年4月

経済産業省 資源エネルギー庁

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構



## 省エネルギー分野の技術戦略

### 1. 背景

世界的な原油価格の高騰、化石燃料の資源的制約、京都議定書の達成およびポスト京都の一層の推進などエネルギーをめぐる課題がクローズアップされてきている。エネルギーの使用合理化(省エネルギー)の推進、エネルギー利用効率の向上は、これらの課題に対する確実、かつ重要な対策である。

国民に信頼されるエネルギー安全保障の確立、エネルギー問題と環境問題の一体的解決による持続可能な成長基盤の確立およびアジア・世界のエネルギー問題克服への積極的貢献を目標として、2006年5月、「新・国家エネルギー戦略」が策定された。ここでは、2030年に向けて官民で共有すべき数値目標が設定され、エネルギー使用合理化の一層の推進を行い、30%以上の最終エネルギー消費効率の改善を行うことなどが盛り込まれた。

さらに、平成19年5月24日、「美しい星50(クールアース50)」が発表され、世界全体の温室効果ガス排出量を現状に比して2050年までに半減するという長期目標が提案された。こうした長期目標の実現は、従来の技術の延長では困難であり、革新的技術の開発が不可欠であるとされている。従って、温室効果ガス排出量に密接な関係があるエネルギー分野において、世界トップ水準の技術を有する我が国は、エネルギー使用合理化分野も含め、2050年までの二酸化炭素排出の大幅削減に向け、世界をリードできる技術分野に研究開発資源を重点化し、技術開発を加速・推進することにより、我が国の競争力を強化・維持しつつ、国際的な連携を強力に推進し、世界全体での大幅削減に積極的に貢献していくことが必要である。

我が国が1970年代以来取り組んできたエネルギー使用合理化は、新たな製造技術の導入等により相当程度の成功を収めてきた。2050年も見据え、今後30年にわたり同様の成果をあげ続けるためには、産業、民生および運輸の全部門において、最終エネルギー消費効率の向上に資する技術開発とその成果の受入を促していくことが不可欠である。

### 2. 省エネルギー技術戦略

新・国家エネルギー戦略では、30%以上の最終エネルギー消費効率を改善していくための方策の大きな柱として、長期的視点に立った省エネルギー技術戦略を策定し、省エネルギー技術開発および支援の重点化を行うことが示された。

省エネルギー技術戦略は、2030年に向けてエネルギー使用合理化技術を日本の国際社会における「産業競争力の源泉」とし、資源制約・環境制約を乗り越え、尊敬される「世界一の省エネ国家」の実現を目指すことを掲げ、産官学や異なる事業分野、メーカーとユーザーなど様々な主体間での連携を促すことで革新的な技術開発を推進するとともに、今後想定される社会的経済的ニーズに対応し、目指すべき技術開発のステージを広く関係者間で共有していくことを狙って策定されている。

### 3. 技術課題の抽出および重点技術分野

エネルギー消費は人間活動の基本であり、生活における節エネルギー、利用機器の効率改善、エネルギー供給方式の最適化など、エネルギーの使用合理化技術は、あらゆる人間活動に関連する広範な技術であるが、特に消費分野のエネルギー便益を損なわないニーズ技術を考慮したエネルギー使用合理化技術や、エネルギー流通分野におけるエネルギーを高温から低温まで上手に使い回すための技術を重要な技術としている。また、需要サイド、ニーズ志向の開発要請が強く、個々の分野における漸進・改良型の技術開発も重要である。他方、大きなブレークスルーを実現するためには、異なる事業分野等様々な主体間の連携、シナジー効果が必要である。

したがって、ここではまずエネルギー使用合理化技術を省エネポテンシャル、技術成熟度、他分野への波及効果等



を総合的に評価し、幹となる重要な技術が抽出されている。さらに、技術開発の相互連携によりシナジー効果が発揮され、社会システムの変革にあわせたエネルギー使用合理化技術開発が促進されるよう、抽出された技術を分野・部門を横断する形で組合せて、5つの重点技術分野に整理されている。

#### 重点技術分野

- ・超燃焼システム技術
- ・時空を超えたエネルギー利用技術
- ・省エネ型情報生活空間創生技術
- ・先進交通社会確立技術
- ・次世代省エネデバイス技術

本戦略においては、効率的な技術開発を可能とするため、技術を個別具体的なプロセスやシステムに落とし込んで考えるのではなく、複数あるいは多くのプロセス/システムに共通する、言い換えれば開発や実用化の波及効果の大きな要素技術を技術群から抽出し、技術体系を俯瞰するように可能な限り行つた。しかしながら、この方法には多くの専門に細分化された技術体系になじんだ技術者や研究者にとって技術を把握しにくいという問題点もある。そこで、エネルギーの使用合理化に対する寄与が高い、あるいはエネルギー消費削減の効果が質・量的に大きいと期待されるプロセスやシステムを必要に応じて適用分野例に記入することにした。

#### 4. 重点化した省エネルギー技術分野の概要

##### 1) 超燃焼システム技術

産業部門においては、これまでも積極的に省エネ対策が進められてきており、現状の業態における既知の対応策は既に着手され、更なる効率改善を図るには、従来の発想を超えた抜本的なプロセス改善等が必要である。産業分野の中でエネルギー消費比率の上位にある鉄鋼・非鉄、石油精製、化学、窯業・セラミックスなどのプロセス産業では化石燃料を燃焼させて得た熱エネルギーの利用がエネルギー消費の多くを占めている。特に、無為の燃焼利用は最小化したうえで、燃焼工程そのものを最大限高効率化し、生成される熱エネルギーを極限まで有効利用することが、産業分野における抜本的なエネルギーの使用合理化/CO2排出量削減につながるとの認識から、燃焼利用を可能な限り省いた革新的な製造システム実現に向けた技術開発を積極的に進めること、と同時に従来型燃焼とは異なる反応制御型燃焼、熱物質再生燃焼やプロセス複合型燃焼など燃焼高度化技術を併せて「超燃焼システム技術」と定義する。

具体的には、最適な温度をうまくつくり、化石燃料の持つエネルギーを高効率に利用するという観点から、上述の燃焼高度化・複合化技術の開発を進め、製造工程に使用される燃焼工程を代替・補完する革新的な技術開発を推進していくことが必要である。

更には、プロセスに関連し、省エネに必要な部材開発を進めていくとともに、産業間連携によるエネルギーの有効利用や物質とエネルギーの併産(コプロダクション)等の技術開発を実施していく。

##### 2) 時空を超えたエネルギー利用技術

熱や電気等のエネルギーを蓄積したり、移動したりする場合にはロスが発生する。工場において発生する余剰エネルギー(廃熱)は、近隣に需要がなければ、時間的・空間的輸送が困難であることから、十分に利用されないまま排出されることが多い。他方、民生部門等のエネルギー需要は各地に存在する。このようなエネルギー需給のミスマッチに対して、例えば蓄熱技術により、「時間」、「空間(場所)」のミスマッチ(不一致)を解消した「時空を超えたエ

エネルギー利用」が実現すれば、大幅なエネルギー使用合理化が実現する。究極は、夏の熱を冬に暖房用として使う、冬の冷熱を夏の冷房に活用する、というエネルギー最適利用社会が実現する。

しかしながら、現状では産業分野と民生分野での使用時間帯や場所、エネルギーの質や量が異なるため利用できずに廃棄されることが多い。また、民生分野においては、時間的ミスマッチにより熱や再生可能エネルギーが有効に利用できない場合がある。

このように、エネルギーの需要と供給とのバランスを図るうえで制約条件となっている「時間」、「空間(場所)」のミスマッチ(不一致)を技術によって解消し、産業分野では使えなくても民生部門ではまだ使えるようなエネルギーを捨てることなく使いまわすという、エネルギーの高効率利用を達成する技術を実現していくことが重要である。

具体的には、「熱エネルギー」、「電気エネルギー」、「化学エネルギー」の3形態により、エネルギーの貯蔵、輸送を行うことを想定する。「熱エネルギー」では、長距離の輸送が困難となっている現状を踏まえ、潜熱蓄熱、吸収・吸着、真空断熱パイプラインなどの技術による解消を図る。「電気エネルギー」では、貯蔵が困難となっている現状を踏まえ、蓄電の高度化を図っていく。また、水素、合成ガス、天然ガスなどの「化学エネルギー」は、貯蔵・輸送が比較的容易であることから、コプロダクションなどによるエネルギー回収、燃料電池やコジェネレーションなどの分散型エネルギー利用技術の連携によりその利用を進めることが必要である。

最後に、需要側と供給側の計測と動向予測、制御技術の確立などにより、これらの3形態を最適に活用するための最適評価方法を確立していくことが、実際の導入にあたっては、重要な要素となるため、この分野における研究開発も進めていく。

### 3) 省エネ型情報生活空間創生技術

民生家庭・業務部門では、これまで主要な家電品や事務機器などにトップランナー基準を適用するなどの、エネルギーの使用合理化推進策をとってきた結果、個別の機器の効率は大幅に向上してきた。しかし、高度情報化、豊かさを求めるライフスタイルの変化、および高齢化社会への推移などに伴って、エネルギー消費は継続的に増加しており、これを賢く抑制し、快適で効率的な生活・業務環境の実現を図る技術の開発、普及が求められる。

このためには、まずは機器自体のエネルギー使用合理化を一層進めることが重要である。特に、エネルギー消費の大きい冷暖房・給湯用のヒートポンプ技術の小型・高性能化、高い発光効率を可能とするLEDや有機EL等の光源技術、次世代省エネ型ディスプレイ、今後、エネルギー消費の飛躍的伸びが予想される大容量・高速通信を低消費電力で実現するための通信装置、ネットワーク関連機器の技術等の省エネ技術の開発が必要である。

また、建物・生活環境の省エネ技術として、自然エネルギー活用も含めた住宅・ビル躯体(構造体、窓、断熱・遮熱材等)の省エネ化や、住宅・ビルの範囲を超えた、クラスター型のエネルギー・マネージメント・システムを含む面的エネルギーマネージメント技術の確立が重要である。さらには、IT技術との融合を進め、人の好みや行動パターンに応じた制御技術、センサー技術の開発等によるエネルギー利用の最適化を推進する。

### 4) 先進交通社会確立技術

現在、自動車燃費の改善や物流部門の効率化などの省エネ対策は取組が進んできているものの、運輸部門の大幅なエネルギー消費量の削減は思うように進んでいない。自家用乗用車および貨物自動車のエネルギー消費量は運輸部門の消費量の8割強を占めることから、先進交通社会の確立に向けた最重要課題は、自動車によるエネルギー使用を削減するための技術開発であると考えられる。

省エネによる先進的な交通社会を確立するためには、自動車の電動化が重要である。先進的な自動車技術として電気自動車や燃料電池自動車、ハイブリッド車等の自動車電動化の技術開発を進めるが、これらの価格や技術レベル面での課題を考慮すると内燃機関(あるいはエンジン)の一層の低燃費化、また双方につながる技術として



車両軽量化等の高度化を進めることも必要である。

また、自動車の利用形態の高度化(走行の円滑化)を進めることも、重要なエネルギー使用量削減の取組であり、円滑な交通流体策の実現のため、車両間通信技術や交通制御システムの開発等のITS高度化のための技術開発を進めていく。

更には、乗用車から公共交通への移行や、トラックから他の物流システムへの転換を促進するために、ハイモーターシステムを確立していくための技術開発を進める。具体的には、路面電車のように併用軌道走行と一般道路の両方を走行可能なシステムや超小型車両による共同利用システム、市街地内での荷捌きを行う小型貨物電気自動車などの開発が必要である。

#### 5) 次世代省エネデバイス技術

現代社会は、半導体シリコン(Si)を中核とするエレクトロニクスに支えられており、その省エネ化は重要な課題である。Siを中心とする従来のデバイスの省エネ化に加え、さらなる低損失デバイスの実現も要請されている。また、100V程度以上の素子耐圧が要求されるパワーデバイス分野では、Siを中心とする従来のデバイスの省エネ化に加え、さらなる低損失デバイスの実現も要請されている。例えば、SiCやGaN等のワイドバンドギャップ半導体を用いたデバイスの通電状態でのオン抵抗値は、原理的には従来のSi半導体と比較して約2桁低くなる。この結果、半導体デバイスで消費される結果として電力損失が大幅に削減されることから、大きな省エネ効果が期待される。

半導体デバイスとしては、LSIに代表される電子デバイス、インバーターなどのパワーデバイス、情報通信分野における高周波デバイス、光化デバイス等があげられるが、中でも、パワーデバイスについては、民生部門から産業、運輸部門まで広範囲に用いられるものであり、高効率化のニーズが高い。このため、SiC、GaN、ダイヤモンド等のパワーデバイスに係る技術開発を推進していくことが重要である。この他、ディスプレイ技術、照明技術についてもベースとなるデバイス技術としての観点からの開発が必要である。

#### 5. 今後の推進に向けて

“省エネルギー技術戦略2008”の策定にあたっては、一昨年前の4月に公開した“省エネルギー技術戦略2007”をもとに、経済産業省及びNEDOが各種学術団体の全面的な協力のもと、“省エネルギー技術戦略2007”に記載された技術の整理ならびに追加すべき技術の提案をつづいた評価を実施し、さらに数ヶ月に渡る有識者による研究会での検討等を踏まえ見直したものである。その結果として、“省エネルギー技術戦略2008”では、複数の重点技術課題に跨る技術や、省エネルギーに特に大きな寄与が期待される個別重要技術を示した。

今回、技術戦略マップ(エネルギー分野)の見直し検討に伴って、“省エネルギー技術戦略2008”の記載内容に、先の検討結果を反映させ、“省エネルギー技術戦略2009”として公開した。

今後、ホームページ等で内容を公表するとともに、シンポジウム等を活用しながら、広く意見を求めることとし、内容を適宜見直していく予定である。

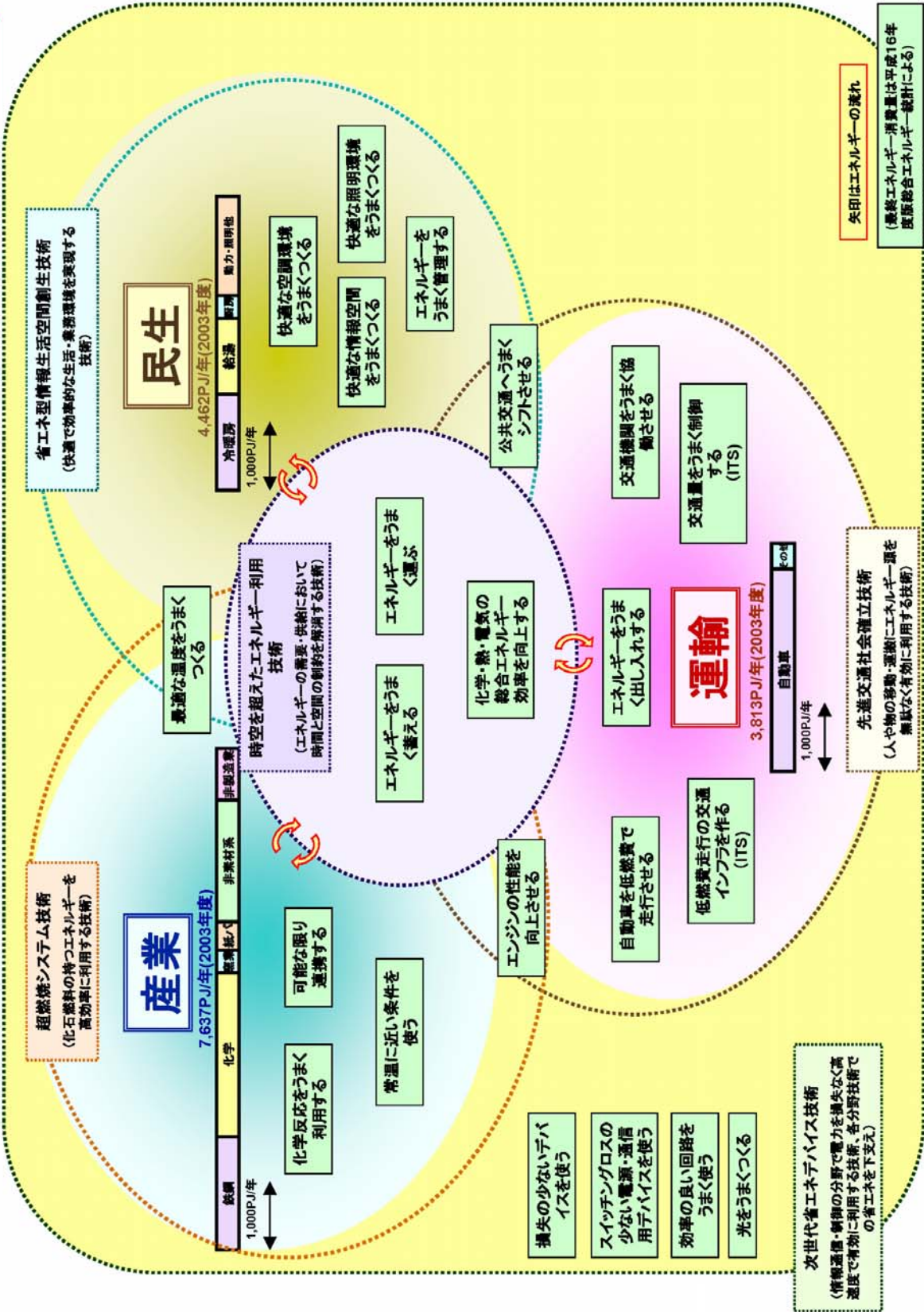
また、2009年度以降のエネルギーイノベーションプログラムの策定や、NEDO省エネ技術開発提案公募事業での優先的な採択を図っていくなど、省エネルギー技術戦略の実現に向けて、予算の重点配分を進めることとする。

なお、今回策定した省エネルギー技術戦略は、エネルギー技術全体の技術戦略マップの一部として位置づけられるとともに、今後の技術進展等に応じて、定期的にローリングされるものである。

また、2030年に向けては、省エネルギー技術戦略の推進と併せて、助成措置や税制、若しくは規制等と通じた初期需要の創出促進策などを積極的に組み合わせつつ、技術革新とそれを受け入れる社会システム側の変革との好循環を確立していくことが重要である。

# 省エネルギー技術戦略「全体技術マップ」

余すところなくエネルギーを利用し尽くし、資源制約・環境制約を乗り越え、算入される「世界一の省エネ国家」を実現





## 超燃焼システム技術の技術戦略マップ ～化石燃料の持つエネルギーを高効率に利用する技術～

### I. 基本的な考え方

これまでも産業部門においては積極的にエネルギーの使用合理化対策が進められてきており、現状の業態における既知の対応策は既に着手されている。更なる効率改善を図るには、従来の発想を超えた抜本的なプロセスの改善等が必要である。産業分野の中でエネルギー消費比率の上位にある鉄鋼・非鉄、石油・石化、化学、窯業・セラミックスなどのプロセス産業では化石燃料を燃焼して得た熱エネルギーの利用がエネルギー消費の多くを占め、特に、燃焼ガスを加熱に使う場合や蒸気を発生させユーティリティとして使用する場合に、材料や装置の耐熱性等の制限によって燃焼ガスの温度を高くできないことや、効率的なカスケード利用がなされていないことなどから、無用に廃熱を多く発生させる結果となっている。

従って、無為の燃焼利用は最小化したうえで、燃焼工程そのものを最大限高効率化し、生成される熱エネルギーを極限まで有効利用することが、産業分野における抜本的なエネルギー使用合理化/CO<sub>2</sub>排出量削減につながる。そこで、燃焼利用を可能な限り省いた革新的なエネルギーシステム実現に向けた技術開発を積極的に進めること、と同時に従来型燃焼とは異なる反応制御型燃焼、熱物質再生燃焼やプロセス複合型燃焼など燃焼高度化技術を併せて「超燃焼システム技術」と定義する。「超燃焼システム技術」によって実現される廃熱最小化を目指した省エネルギー型の産業構造、エネルギー利用体系のシナリオを検討し、その実現のための長期的視点に立った革新的な技術戦略を策定した。

具体的には、最適な温度をうまくつくり、化石燃料の持つエネルギーを高効率に利用するという観点から、上述の燃焼高度化・複合化技術の開発を進め、従来の燃焼工程を代替あるいは補完する革新的な技術開発を推進することが必要である。

さらには、産業間連携によるエネルギーの有効利用や物質とエネルギーの併産(コプロダクション)等の技術開発を効率よく実施していくことが重要である。

### II. 導入シナリオ

本技術戦略は、さまざまな産業分野をカバーし、それぞれの分野について燃焼高度化、エネルギーの使用合理化プロセス及び材料開発、統合化システム構築という階層の異なる技術課題を含む。物理的なスケールで言えば、材料からプロセスへ、プロセスからシステムへと発展的に技術の実用化が展開されると考えられるが、ベースとなる現状技術のレベルがそれぞれ異なるので、早期実用化が可能な技術や早期の開発着手が必要な技術から順に開発を推進し、エネルギーの使用合理化をできるだけ早期かつ着実に実現できるようにシナリオを構成する。

### III. 技術マップ及びロードマップ

#### 1. 技術マップ

技術マップとして、温度レベルを意識した技術課題の仕分けに、化学反応によるエネルギー使用合理化プロセス技術と、横串としてのシステム統合化技術を加えて全体構成とした。

#### 2. 重要技術の考え方

##### ①最適な温度をうまくつくる

「化石燃料を燃やすならばできるだけ高効率に」との観点から、熱を作る側の燃焼技術について、効率＝生成物/(投入材料＋エネルギー)を向上させることを評価軸に据えた。燃焼による加熱が避けられないプロセスにおける、エネルギー使用合理化を達成するために必要な技術として、より高温で燃焼することによるエネルギー損失最小化を可能とする技術、低・中高温度廃熱の回収・再生および化学再生技術など、燃焼の高度化・複合化技術を取り込んだ。さらには、これら技術を実現するための極限環境材料技術や燃焼診断技術などもまとめた。



また、燃焼利用を可能な限り省き、高効率に最適な温度をつくる技術として、電磁気力を利用する技術を取り込んだ。これに関連し、省エネ型情報生活空間創生技術とまたがる技術であるヒートポンプ利用技術を「最適な温度をうまくつくる」ための技術として「高効率加熱化技術」の項目に集約した。

#### ②化学反応をうまく利用する

鉄鋼、化学分野などの生産プロセスにおいて、新たな化学反応プロセスを導入することによってエネルギーの使用合理化に、多大な寄与が期待される技術に主眼をおいた。

電池材料、触媒、分離材料などに共通するナノレベル固体構造制御技術、反応器をはじめとするマイクロ空間利用技術、製造プロセスの低温化などの、製造や発電などのプロセスの効率を飛躍的に向上させるのに不可欠なプロセス高度化技術を重点的に抽出した。

#### ③可能な限り連携する

プロセスインテグレーション技術を適用したコプロダクション・システムは、化学・製鉄等の製造プロセスと発電等のエネルギー転換プロセスを複合化した新しいシステムの構築により、物質生産とエネルギー生産を同時に高効率に行うことにより化石燃料の使用量を極限まで小さくし、トータルのCO<sub>2</sub>排出量を大幅に低減することを目指したシステムである。個々のプロセスの効率化によっては成し得ない燃料消費の削減を可能とするプロセスインテグレーション技術を重点的に抽出した。

産業間連携では、各産業で過不足が生じる物質やエネルギーを業種の壁を越えて利用することにより、エネルギーの使用合理化を図ろうとしている。大規模な産業間連携のうち、熱・化学エクセルギーの再生技術、エクセルギーカスケード、ヒートポンプ等の概念に立脚した技術を重点とした。

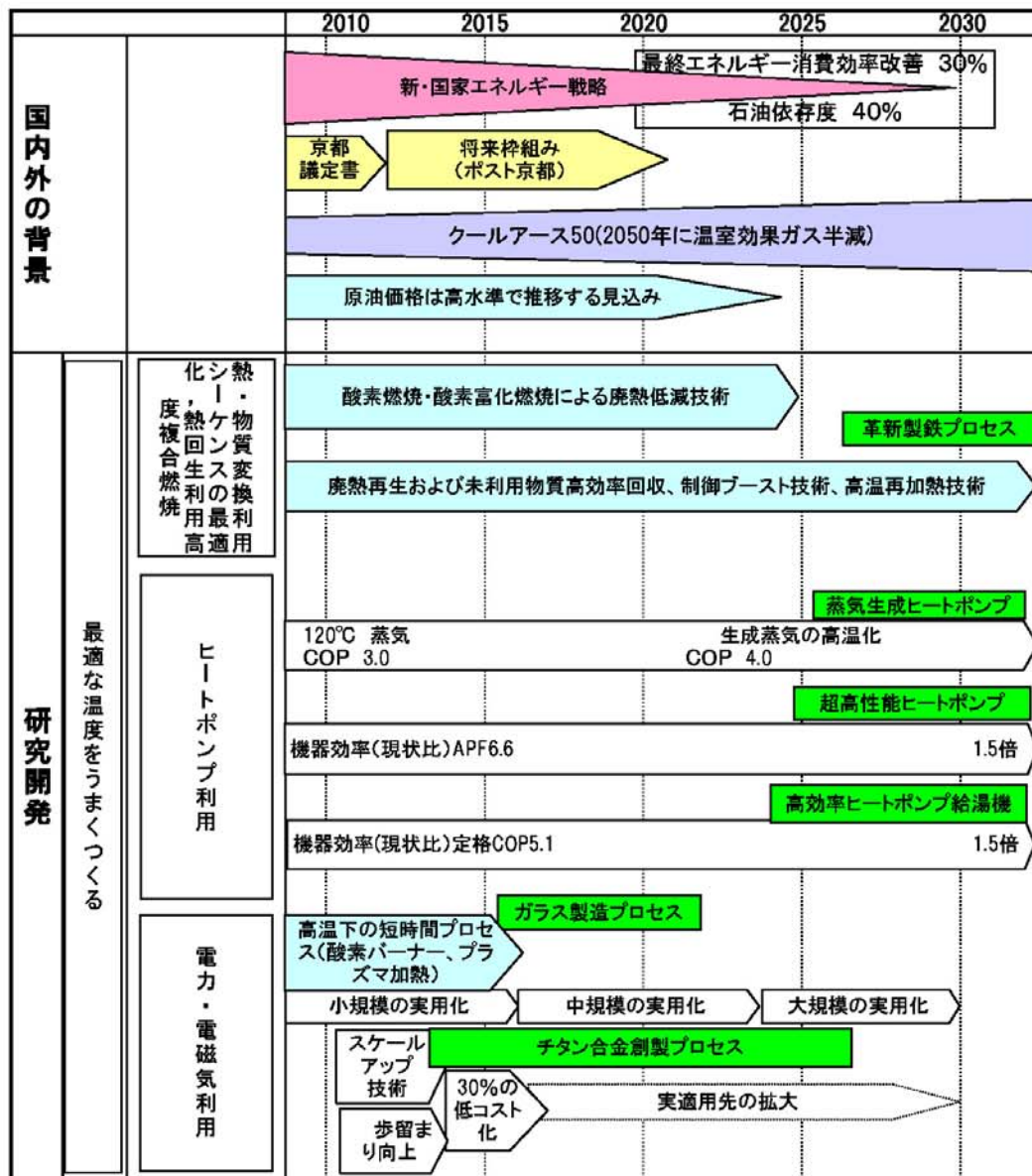
#### ④常温に近い条件を使う

生物機能を利用した省エネ型循環産業の構築に資することを目的として、原料・燃料転換(植物や微生物などを利用したバイオリファイナリーなど)で必要となる投入エネルギーの削減、物質生産から廃棄物処理における省エネルギー(汚泥処理などの高度化など)等の技術を重点化した

### 3. ロードマップ

ロードマップは技術マップで提示された課題について技術開発の時期、普及時期を示した。

超燃焼システム技術の導入シナリオ

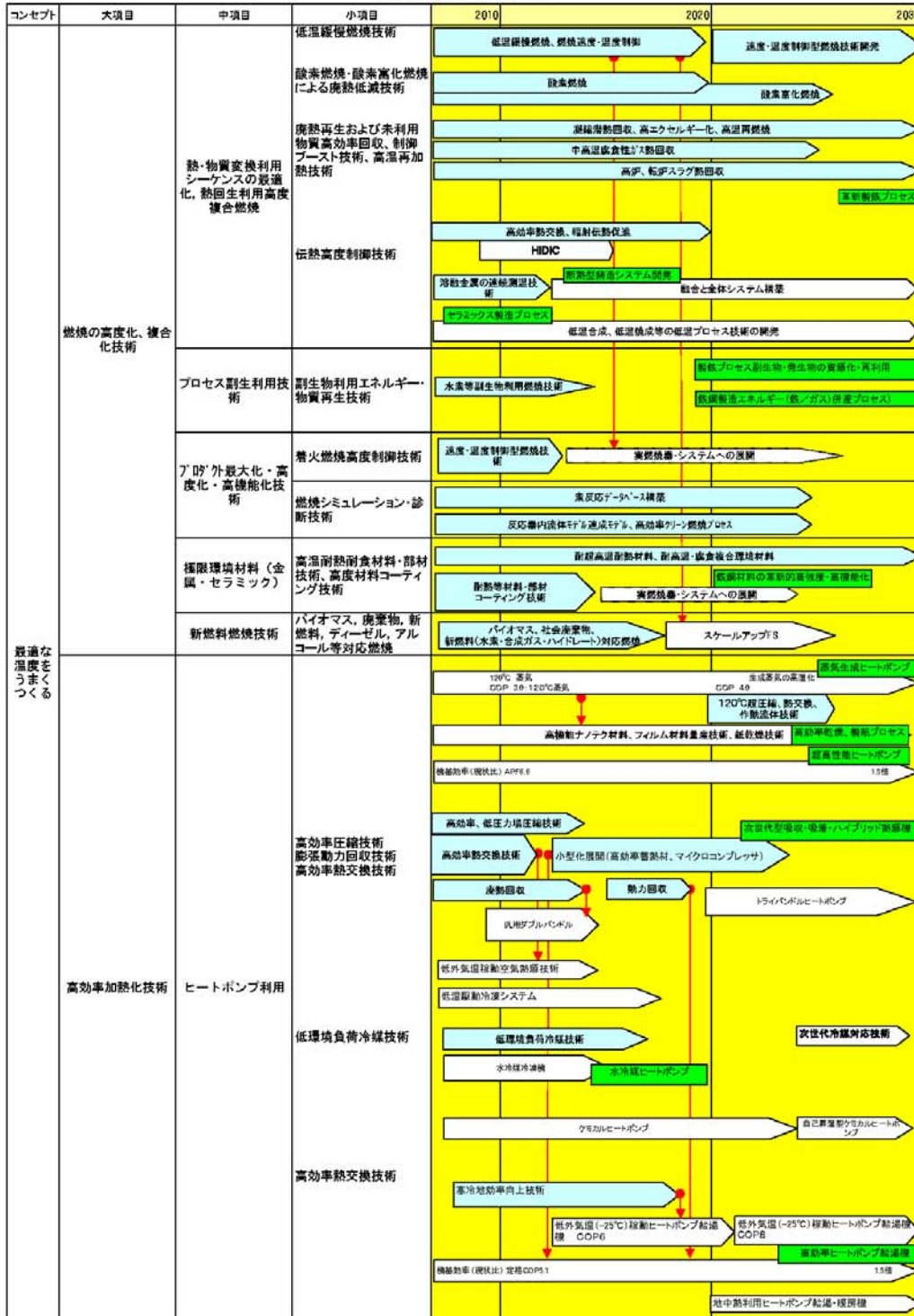


超燃焼システム技術 技術マップ

※赤字:重要技術  
※青字:カーボン・フリー・水素新技術計画に関連する技術

技術分野		分野構造			備考	
分野	コンセプト	大項目	中項目	小項目	適用分野別	
超燃焼システム技術	化石燃料をうまく使う	燃焼の高度化、複合化技術	熱・物質変換利用シートの最適化、熱回生利用高度複合燃焼	低温燃焼燃焼	高効率工業炉、ボイラー、熱化学再生ガス化、高圧ガスタービン等	
				酸素燃焼・酸素高化燃焼による燃焼低減技術	高効率工業炉、ボイラー、石油精製プロセス、石油化学プロセス、化学農材プロセス等	
				燃焼再生および未利用物質高効率回収、制御ブースト技術、高温再加熱技術	製紙プロセス、製鉄プロセス、石油精製プロセス、産業性ガスからの熱回収、石油化学プロセス、炭素回収再生ハイブリッド発電等	
			プロセス副生物利用	副生物利用エネルギー・物質再生技術	製鉄プロセス、次世代コークス製造等	
			プロダクト最大化・高度化・高機能化	着火燃焼高度制御技術	炉排型小型エンジン、燃料油ボイラー等	
			燃焼シミュレーション・診断技術	高温還元反応燃焼反応シミュレーション、燃焼・放熱反応高機能設計技術、熱化学反応データベース、各種燃焼モニタリング・診断技術等		
			極限環境材料(金属、セラミック)	高温耐熱耐食材料・部材技術、高度材料コーティング技術	高効率工業炉、ボイラー等、高温ガスタービン、石炭ガス化複合発電技術等	
			新燃料燃焼技術	バイオマス、廃棄物、新燃料、水素・合成ガス、ディーゼル、アルコール、DME等対応燃焼	各種燃焼機器、バイオマスガス化、合成ガス製造等	
			高効率加熱技術	ヒートポンプ利用	高効率伝熱技術 膨張動力回収技術、高効率熱交換技術 次世代冷媒対応技術 低環境負荷冷媒技術	高効率ヒートポンプ輸送機、高効率ヒートポンプ、地中熱利用ヒートポンプ、産業用、水処理冷凍機等
				電力・電磁気利用(含耐熱耐食材料開発)	プラズマ加熱、プラズマ・燃焼複合化技術 電気溶融、電気分解技術	ガラス製造プロセス、化学プロセス、セラミック製造プロセス等 製鉄プロセス、非鉄金属プロセス、製紙プロセス等
	高均質加熱・選択的迅速加熱技術	マイクロ波・誘導加熱技術		ヒートポンプ(炭素系燃焼再生)、非平衡変換プロセス、高効率燃焼、製紙プロセス等		
	耐摩耗材料利用	燃焼合成技術、気中加熱/溶着技術		ガラス製造プロセス、セラミック製造プロセス等		
	高効率加工技術	耐摩耗材料利用		低温熱間加工技術	製鉄プロセス等	
	化学反応をうまく利用する	低温・定圧・高選択・高速化技術	触媒反応利用	高性能触媒・光触媒 ナノ多孔体構造制御技術(ナノ空孔技術) 高選択技術 革新的分離(膜/電極利用技術)	化学農材プロセス、製鉄プロセス等 化学農材プロセス、等価選択的ガス透過膜メンブレンリアクター、燃料電池用電極質膜等	
			非平衡利用	第三体導入技術、反応・分離複合化技術	メンブレンリアクター、排ガス処理、ケミカル合成等	
			還元反応利用	還元温度制御技術 水素利用低炭素還元技術	炭素原料・低炭素還元製鉄プロセス、化学農材プロセス等	
		プロセス高度化技術	マイクロ空間反応場利用	マイクロリアクタ技術	化学農材プロセス、セラミック製造プロセス、時空間分布制御反応器、石油化学プロセス等	
		光化学反応利用	近接場光技術	光学ガラス、セラミックス、結晶等の超厚追加エプロセス等		
	可能な限り連携する	エクセルギー再生技術	プロセスインテグレーション技術	コプロダクション技術 ケミカルルーピング技術	製鉄プロセス、石油化学プロセス、セメントプロセス、製紙プロセス、化学農材プロセス、発電・加熱インテグレーション、加熱プロセスインテグレーション、鉄・炭素資源複合発電、次世代高効率石炭ガス化発電技術等 ケミカルルーピング燃焼、ケミカルルーピング水素製造、CO2回収法等	
		産業間連携技術	ユーティリティ・ネットワーク利用	ピンチテクノロジー	コンビナート連携、エココンビナート構築、水素・水ビント、物質カスケード/リサイクルマネジメント、サステナブルカーボン/サイクル化学体系、産業のインテグレーション等	
産業用地域エネルギー管理システム(IE MS)、産業用地域エネルギー・ネットワーク(ILEN)		ネットワークモデル化・設計技術	コンビナート高効率複合化技術、産業・民生連携、IMES、LEN等			
化石燃料に極力頼らない	常温に近い条件を使う	低環境負荷型プロセス技術	バイオ高度活用技術	有用宿主生物創製技術 鮮菌開発技術、糖化、発酵技術 成分分離技術(セルロース、リグニン等)、選択的分離前処理技術	バイオマスリファイナリー(コンビナート)、非石油系由来材料製造、排水・廃棄物処理プロセス、高機能炭素除去(精化、脱炭)、高機能化活性汚泥処理等 バイオリファイナリー、非石油系由来材料製造等	
		高速燃焼技術	マイクロ空間燃焼場利用	マイクロリアクタ技術	マイクロ燃焼交換器等	
低燃料で走行する(先進交通社会確立技術)	エンジンの性能を向上させる	エンジン改良技術	ガソリンエンジン	HCCI(希薄準混合圧縮着火燃焼)		

超燃焼システム技術ロードマップ





コンセプト	大項目	中項目	小項目	2010	2020	2030			
最適な温度をうまくつくる	高効率加熱化技術	電力電磁気利用	プラズマ加熱、プラズマ・燃焼複合化技術	スケールアップ技術 歩留まり向上	30%の低コスト化	ナタン合金製膜プロセス、合成樹脂、銅電極製造プロセス セメント焼成技術 実用優先の拡大 石油アルターを用いた高圧製造、希少金属分離回収、合金鉄鋼			
			電気溶融、電気分解技術	電気溶融、電気分解	プロセス基盤技術・設備技術研究、スケールアップ・最適化研究	実用化の検討、実用優先の拡大	銅片生産装置		
			マイクロ波・誘導加熱技術	マイクロ波加熱	マイクロ空間反応場 (マイクロリアクター、ナノ多孔質など)	誘導加熱 電磁波などエネルギー投入による非平衡プロセス	ナタン合金製膜プロセス、高圧電解装置		
			高均質加熱・選択的迅速加熱技術	高温下の短時間プロセス 小規模の実用化	中規模の実用化	大規模の実用化	ガラス製造プロセス		
			高効率加工技術	耐摩耗材料利用	低温時間加工技術	プロセス基盤技術・設備技術研究、スケールアップ・最適化 希少金属分離回収、合金鉄鋼	実用化装置加工プロセス 工業生産の促進		
		化学反応をうまく利用する	低温・定圧・高選択・高速化技術	触媒反応利用	高性能触媒・光触媒	プロセス排ガス浄化技術(光触媒)	太陽光利用水素製造プロセス技術	サステナブル・カーボンサイクル化学体系(SC3)の高効率利用	
					ナノ多孔体構造制御技術	高機能ナノポーラス材料の産業化技術	有機バインダの低減化技術開発	高性能膜材料製造 バインダレス成形技術の開発	
					高選択技術	リカーナブルセラミックス製造プロセス	リカーナブルセラミックス製造プロセス	リカーナブルセラミックス製造プロセス	リカーナブルセラミックス製造プロセス
					反応・物質移動高度分離利用	触媒担持技術/担体の構造・形態・物性の制御技術	固定化分子触媒、固定化酵素触媒	分子触媒・酵素の設計技術	新規造膜プロセス(PP, APS)
					革新的分離(膜/電極利用技術)	高選択的反応場(メンブレンリアクターなど)	高選択的膜技術(ナノ、サブナノスケールでの多孔体構造制御技術と量子レベル化学組成制御)	高選択的膜技術	電磁波などエネルギー投入による非平衡プロセス
ナノ・サブナノメートルスケールでの多孔体構造制御技術/量子レベル化学組成制御技術	H <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> の分離			H <sub>2</sub> O, CH <sub>3</sub> OHの分離	モジュール化技術(触媒、分離膜との複合化)	セラミックス分離膜モジュールの量産技術確立 成膜技術(膜保持用基質の大面積化、触媒技術、支持技術)開発			
省エネ型膜分離水処理装置									



## 事前評価書

		作成日	平成19年8月31日
1. 事業名称 (コード番号)	革新的ガラス溶融プロセス技術開発プロジェクト		
2. 推進部署名	省エネルギー技術開発部		
3. 事業概要	<p>(1) 概要：エネルギー多消費産業であるガラス産業は、約150年前に発明されたガラス溶解技術を踏襲し続けており、企業単独での省エネルギー・効率化は限界に達してきている。特にガラス原料の溶融プロセスは数日間を要する長時間プロセスであり、この過程での所要エネルギーがガラス製造に係る消費エネルギーの大部分を占めるため、ガラス溶融の短時間化が省エネルギーには有効であるが、それを実現するには抜本的なプロセス技術の開発が求められている。</p> <p>本プロジェクトは、この要求に応えることのできる短時間ガラス溶解を可能とする気中溶解技術を用いた革新的ガラス溶融技術の開発を行うものである。</p> <p>(2) 事業規模：総事業費(国費分) 20億円(委託)(予定)</p> <p>(3) 事業期間：平成20年度～24年度(5年間)</p>		
4. 評価の検討状況	<p>(1) 事業の位置付け・必要性</p> <p>我が国のガラス産業は全産業の約1%に相当するエネルギーを消費するエネルギー多消費型産業である。その量は原油換算で毎年約200万KLにも及び、その大部分がガラス製造における溶融工程で消費されている。ガラス製品の品質は、気泡、未溶解物および組成ムラなどに左右され、これらはガラス原料の溶融過程ではば除去される。しかし、高粘度の溶融ガラス中での物質移動が緩慢であることから、品質確保のためには加熱による長時間(数日)のエネルギー投入を必要とするのが現状である。更に最近では、液晶やプラズマディスプレイなどに用いられる高品質・高付加価値化ガラスの需要が増大の一途にあり、製造にかかるエネルギー消費はますます拡大する傾向にあるため、ガラス製造に係る省エネルギーのための抜本的技術開発は重要且つ緊急の課題である。</p> <p>ガラス原料を気中で瞬時に溶解するインフライトメルティング(気中溶解)法は、短時間でのガラス溶解法であると同時に溶融炉自体を小型化することも可能であることから、ガラス溶解過程のみならず製造品種切り替えに要する時間の短縮と切り替え時に生ずる膨大な不良ガラスの排出削減、即ち固定エネルギーの削減にも貢献し得る省エネルギー技術として期待されており、省エネルギー分野の技術戦略における技術マップの「超燃焼システム分野」において「化学反応をうまく利用する」「高効率加熱技術」「電力・電磁気利用技術」「プラズマ加熱」に、また同ロードマップの「プラズマ加熱」「高温下の短時間プロセス」に位置付けられている。</p> <p>既に特許等の申請により当該技術が海外においても認知されているところであり、我が国の省エネ対策及び国際競争力を更に高めるためには早急に技術を確立していくことが必要である。</p>		

<p>(2) 研究開発目標の妥当性</p> <p>カラーテレビなどに用いられる平面ディスプレイの市場規模は2005～2010年にかけて4.8倍に成長(*1)し、2015年には2005年の6.8倍に達すると予想されているが、並行して平面ディスプレイ用ガラスに求められる品質レベルも年々厳しさを増すことを考慮すれば、10年間で溶融時間は2倍に延長されると予想され、生産量の増大と品質向上のための溶融時間延長に伴う消費エネルギーの増大を抑制することは非常に重要である。ガラス製造における全消費エネルギーの内、ガラス溶融プロセスでの消費は約70%を占めており、この過程での省エネルギー化を図ることが最も効果的である。ガラス溶融プロセスにおける省エネルギーを大幅に実現する技術として、①ガラス原料を高速でガラス化する技術、②カレットを原料の一部として利用でき且つ高効率で加熱溶融できる技術、③ガラス原料の融液とカレットの融液とを高速で混合する技術を挙げ、本研究開発において①についてはプラズマ加熱等を利用したインフライトメルティング法で(使用エネルギー900kcal/kg-glassで)必要なガラス化率の達成、②については(使用エネルギー1800kcal/kg-glass以下で)1200℃への上昇時間を1分以内、③については2時間以内で均一に混合することを目標として設定し、世界最高レベルの省エネルギー型ガラス溶融プロセス開発を目指す。</p> <p>また、研究開発を実施するにあたり、これら目標設定については委員会ならびに有識者ヒアリングなどの意見を適切に反映させる。</p> <p style="text-align: center;">*1: JEITA 2011年カラーテレビの世界需要動向</p>
<p>(3) 研究開発マネジメント</p> <p>公募を行い、早期に実用化に向けた最適な実施体制を構築する。またプロジェクトリーダーを選定し、密接な関係を維持する。さらに必要に応じて、外部有識者の意見を運営管理に反映させ、適切な管理に努める。</p>
<p>(4) 研究開発成果</p> <p>革新的ガラス溶融プロセス技術を開発することにより、これまで5日間程度必要であったガラス溶解工程が半日以下となる。この事業によってガラス産業における大幅な省エネルギー化が実現されるとともに、我が国のガラス産業の国際競争力のアップにつながるものと期待できる。</p>
<p>(5) 実用化・事業化の見通し</p> <p>本プロジェクトの開発後、実用化試験を行い、2015年頃から小規模炉での実用化が開始されることを目指している。</p>
<p>(6) その他特記事項</p> <p>特になし。</p>
<p>5. 総合評価</p> <p>エネルギー多消費型産業であると共に年々増大する高品質化への対応のため製造に係る消費エネルギーの増加が予想されるガラス産業において、大幅な省エネルギー化を目指した抜本的技術開発の実現は非常に重要である。さらに二酸化炭素排出削減及び廃棄物削減に寄与できるものであり、ガラス産業の国際競争力アップの観点からも大きな意義がある。</p>

(注) 事業の全体像がわかる図表を添付すること

NEDO POST 平成20年度新規研究開発プロジェクト(案) 概要

研究目的

背景、目的、必要性(政策的位置付け、市場ニーズ、技術ニーズ)

- ① 背景：現在、世界各国のガラス製造企業は約150年前に発明されたガラス溶解技術を踏襲し、運転技術と省エネを極めてきたが、今以上の効率化・省エネは望めないところまできており、抜本的なプロセス改善が望まれている。
- ② 市場ニーズ (目的)：ガラス産業は年間約200万t(内、ガラス熔融プロセスが7割を占める)のエネルギーを消費しているエネルギー消費型産業であり、省エネを図ることは極めて大きい効果が期待できることから、革新的なガラス溶解熔融工程における大幅な省エネを目的に、革新的なガラス溶解技術の開発を行い、国内ガラス産業の国際競争力アップを図る。
- ③ 技術ニーズ：長時間を要するガラス原料の溶解均質化及び脱泡までの工程時間を短縮する技術が必要。

プロジェクトの規模

○事業費と研究開発期間(目安として)

- ① 事業費総額 2.0 億円(未定) ② 研究期間 5 年

研究内容概略

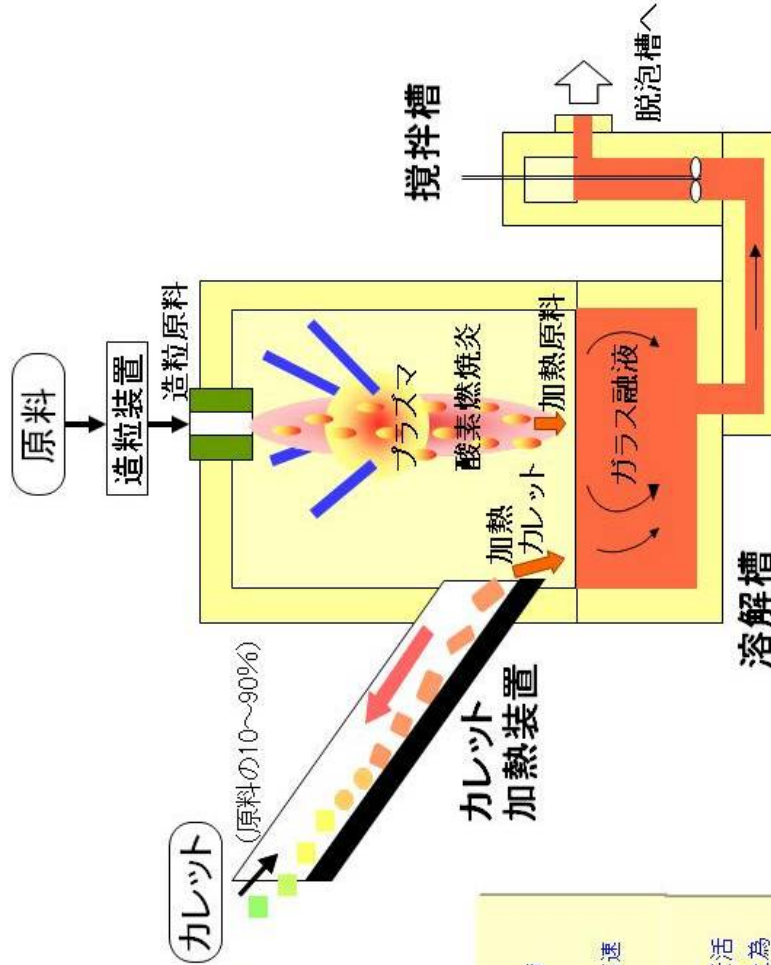
○研究開発課題(目的達成のための技術課題)

- ① インフラライトメルティング(気中溶解)法により原料を溶解する技術
- ② カレットをガラス原料として利用するため高効率で加熱する技術
- ③ カレット融液とインフラライトメルティング法による原料の融液とを高速で混合する技術
- キーテクノロジー、ブレークスルーポイント、オリジナリティ
- ① NEDO先導研究により、最新の多相プラズマと酸素燃焼炎を活用することで瞬時にガラスの溶解が可能であることを確認した為革新的な省エネをもたらす可能性が判明した。

技術戦略マップ上の位置付け

省エネルギー技術戦略の技術マップにおいて「超燃焼システム技術」「化学反応をうまく利用する」「高効率加熱」「電力・電磁気利用」「プラズマ加熱」に、同ロードマップにおいては「プラズマ加熱」「高温下の短時間プロセス」に位置付けされる。

関連図表



2007年10月現在

「革新的ガラス溶融プロセス技術開発（案）に対するパブリックコメント募集結果

1. パブリックコメント募集期間  
平成20年1月11日～平成20年2月27日
2. パブリックコメント投稿数、＜有効のもの＞  
0件