

# 産業/工業炉の未利用熱削減に向けた 高強度高断熱性多孔質セラミックスの研究開発

プロジェクト名： 未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発

プロジェクト実施者： 美濃窯業株式会社

国立研究開発法人産業技術研究所

プロジェクト実施期間： 2015年4月～2022年3月



## 美濃窯業株式会社

設立：1918(大正7)年  
 資本金：8億7700万円  
 上場取引所：名証2部  
 本社：岐阜県瑞浪市  
 本社事務所：愛知県名古屋市  
 従業員数：264名(2021年3月)

耐火物の製造・販売・施工を  
 中心に、焼成炉および  
 付帯品の設計・製作・施工・  
 販売などを幅広く手がけて  
 います

### 耐火物・セラミックス事業



Refractories



Construction



Kiln Maintenance



Advanced Ceramics

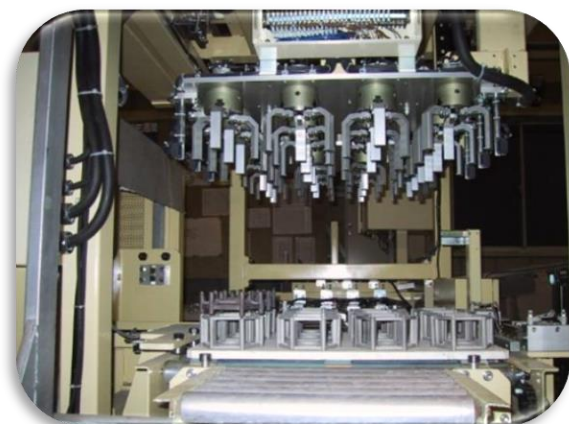
### プラント事業



Batch type Kiln



Tunnel Kiln



Automatic Machine



Microwave Kiln

### 建築材料・舗装用材事業



Cerasand™



Cerasand HW-N™



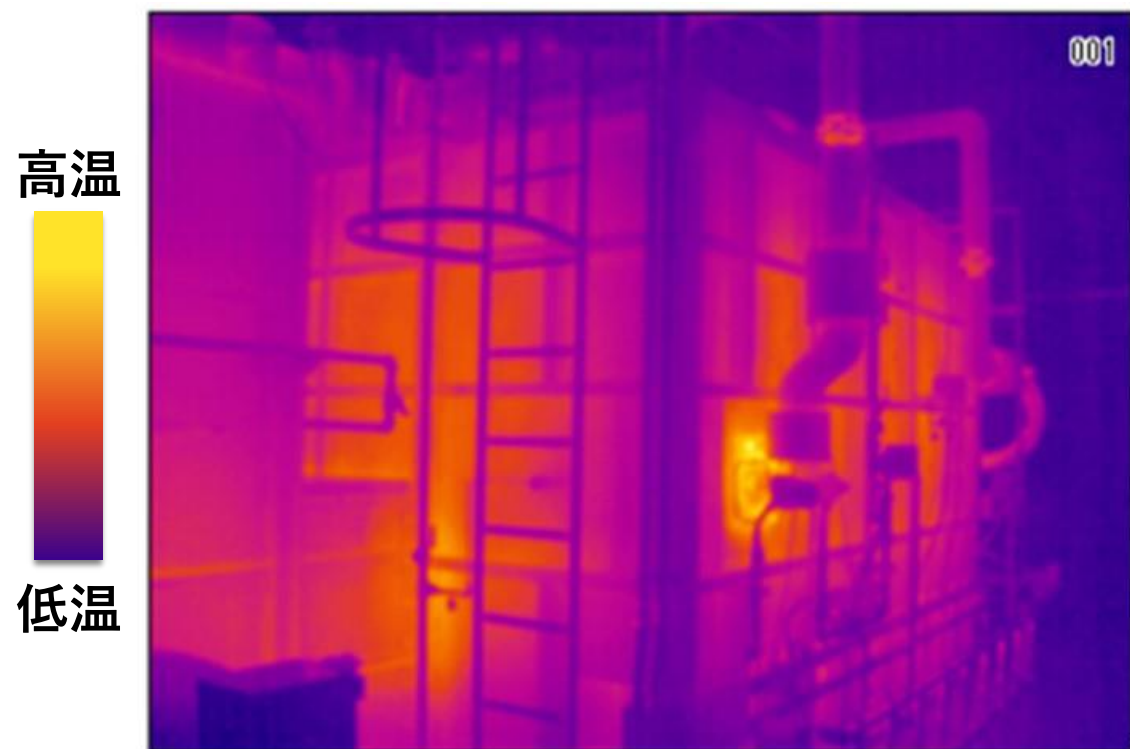
Ceraresin UW™



Toughcon™

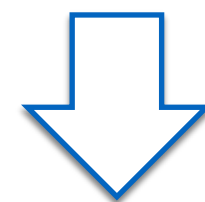


バッチ式高温用ガス焼成炉



操業中焼成炉のサーモグラフィ写真

半導体製造装置用セラミック部品の製造に使用する  
焼成炉の使用温度は**1500°C以上**が一般的です

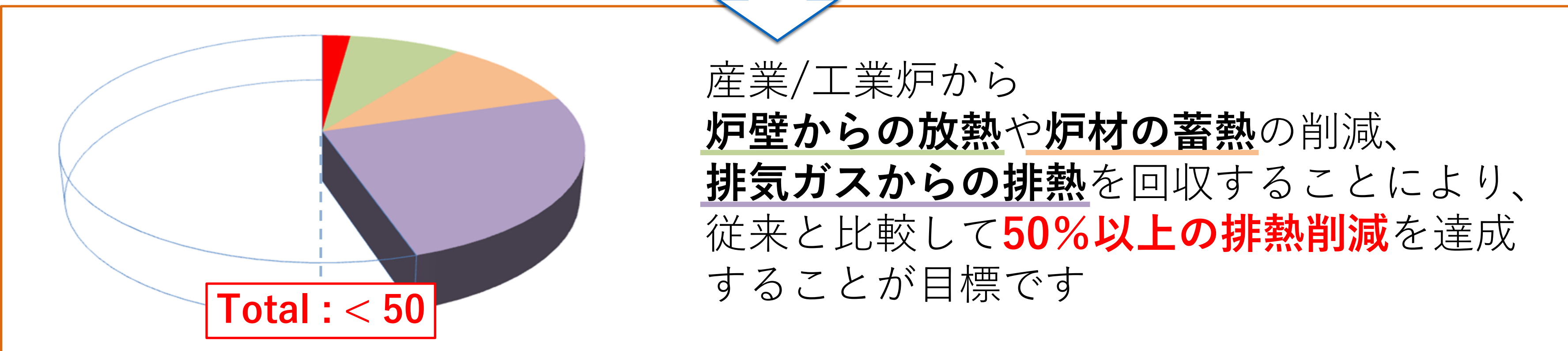
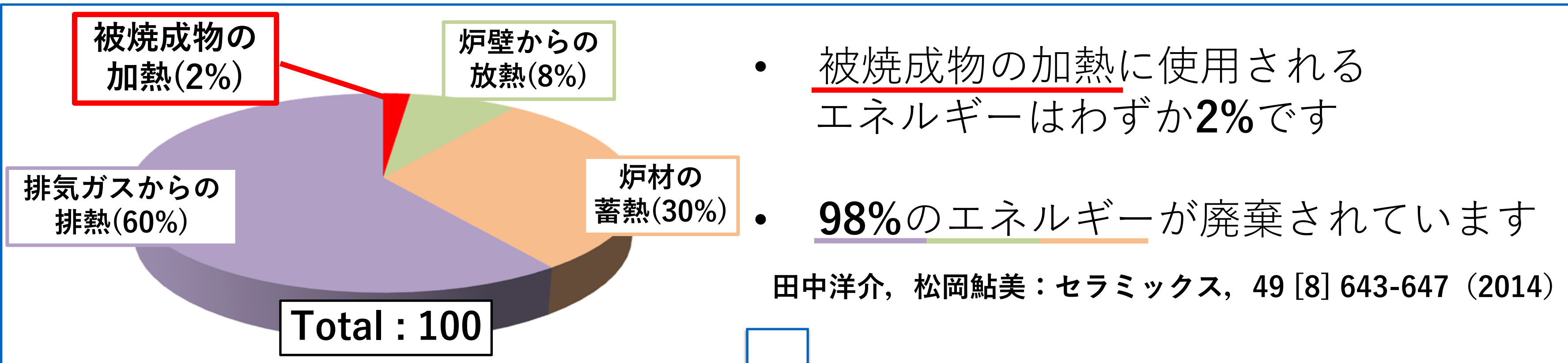


**炉内の加熱に大量の  
燃料(エネルギー)を使用します**

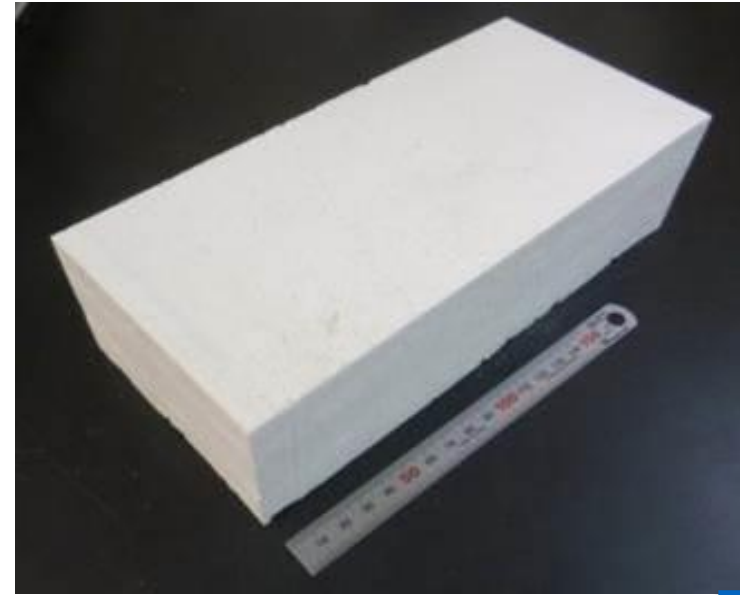
さらに...

炉壁からの放熱、排気ガスからの排熱等  
**使用されない熱エネルギー**が存在します

### 従来のバッチ式高温用ガス焼成炉のエネルギー収支試算（使用温度1500℃）



高断熱および高効率熱回収技術の開発で高エネルギー効率産業/工業炉の開発を目指します



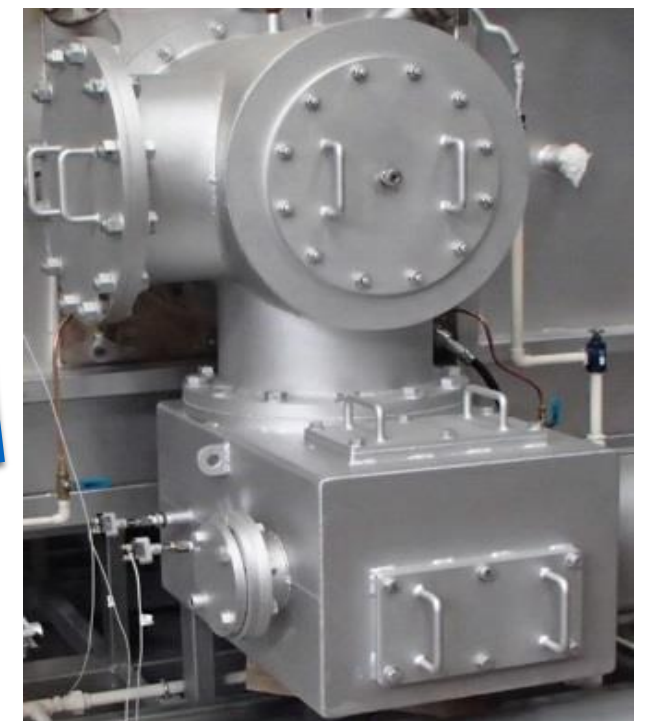
1.高強度高断熱性  
多孔質セラミックス



2.高耐熱性  
高効率熱交換器

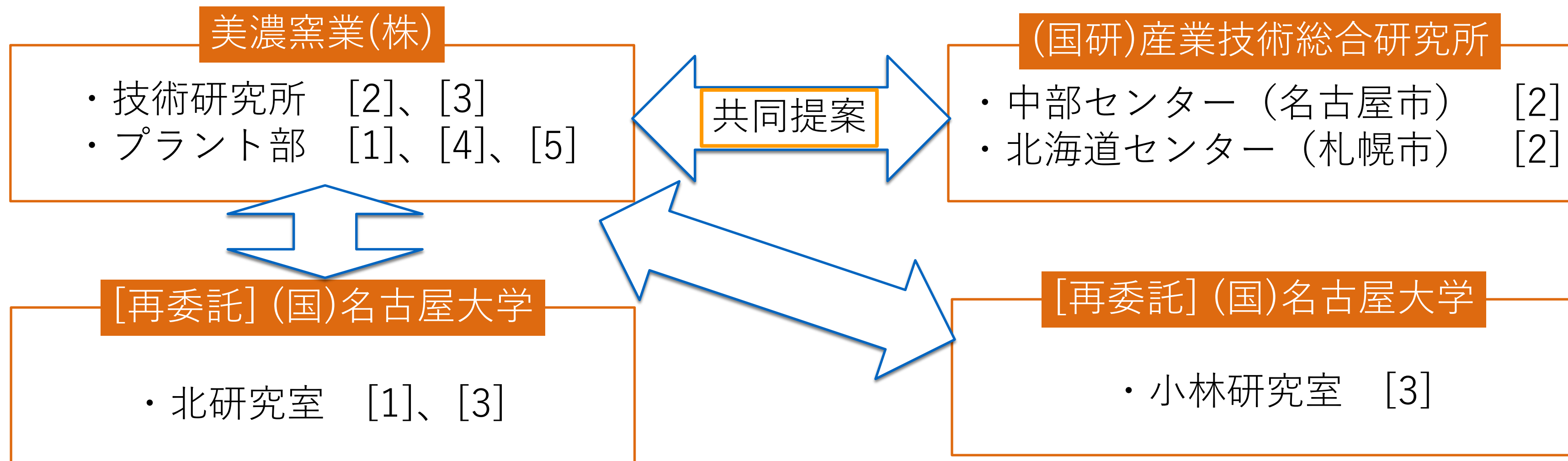


高エネルギー効率産業/工業炉



3.高効率バーナー

- [1] 熱マネージメントシステムの開発 ※本テーマ終了
- [2] 高強度高断熱性多孔質セラミックスの開発 ※継続中
- [3] 新規蓄熱材料の開発 ※本テーマ終了
- [4] 耐高温高効率熱交換器の開発 ※本テーマ終了
- [5] 高効率産業/工業炉における検証 ※継続中



### 既存高温用断熱材

#### ファイバー断熱材



引用：日本高温断熱ウール工業会HP

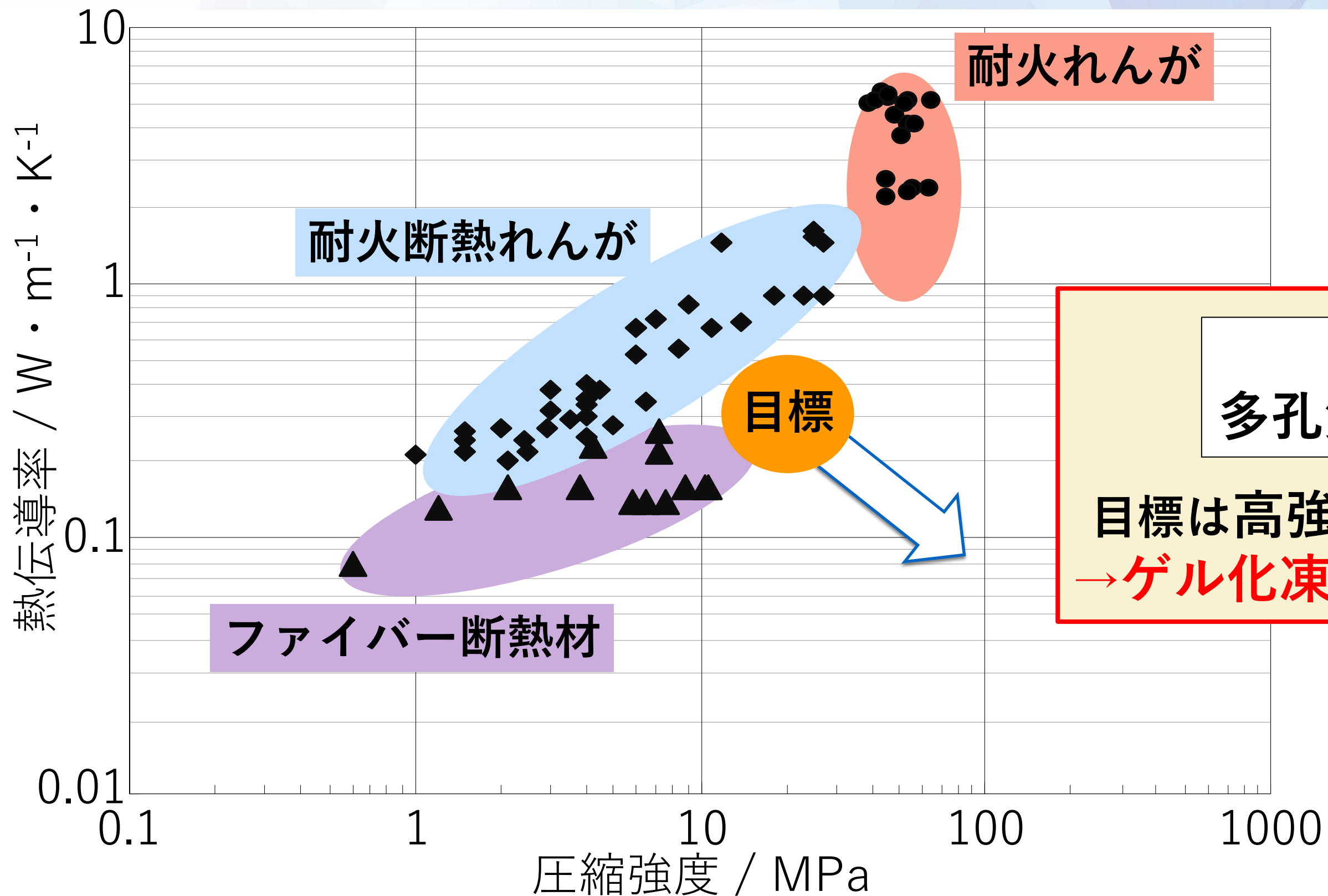
- ・軽量、高断熱、フレキシブル等の特徴を有します
- ・低強度のため荷重負荷が高い環境での使用が困難です
- ・継続使用により断熱材組織が劣化し、焼成物を汚染する可能性があります

#### 耐火断熱レンガ



高アルミナ質断熱レンガ

- ・高強度、高耐熱の特徴を有します
- ・低断熱で省エネ効果が低いです
- ・原料に有機系造孔剤を使用する場合、製造時に温室効果ガスが発生します



高強度高断熱性  
多孔質セラミックスの開発

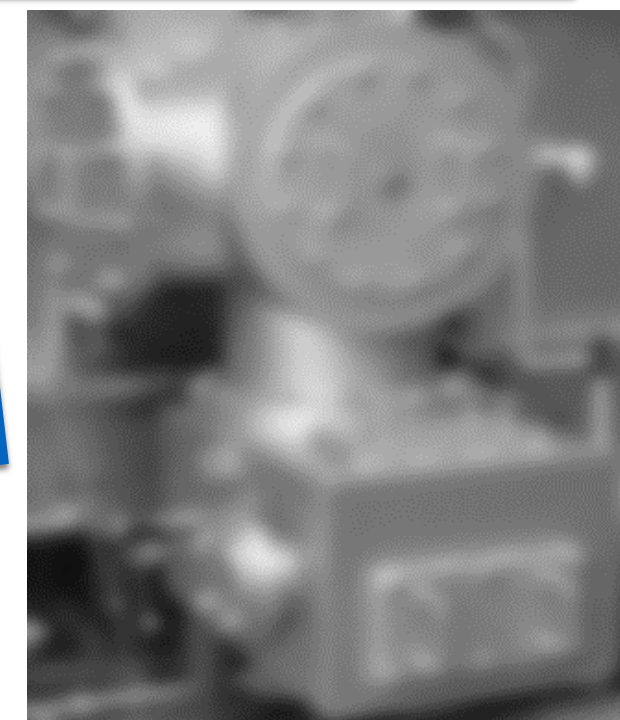
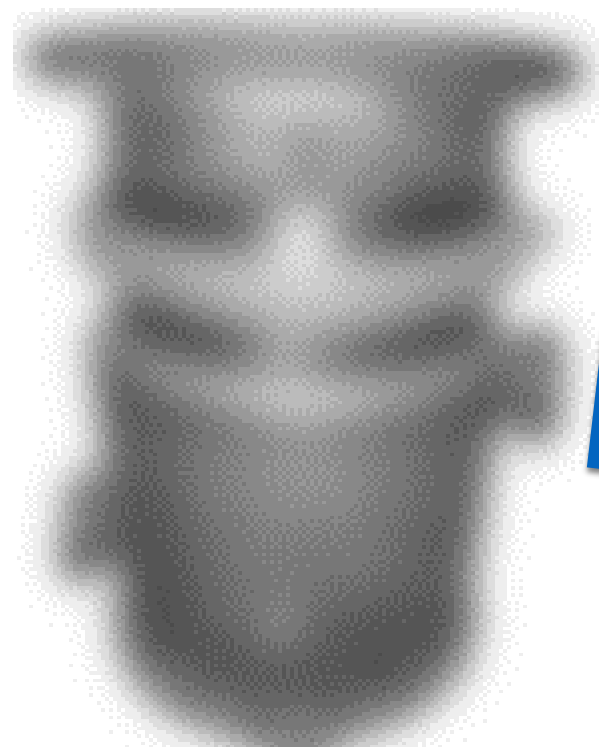
目標は高強度と低熱伝導率の両立です  
→ゲル化凍結法で断熱材を作製しました

既存断熱材の熱伝導率/圧縮強度相関性及び開発断熱材目標

高断熱および高効率熱回収技術の開発で高エネルギー効率産業/工業炉の開発を目指します

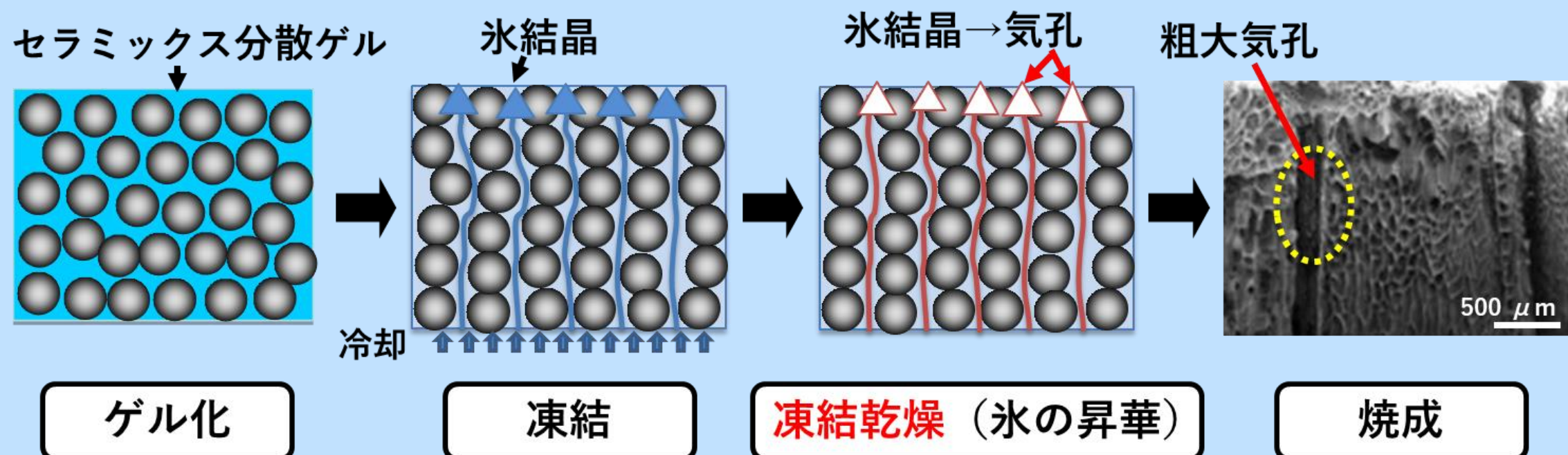


1.高強度高断熱性  
多孔質セラミックス



高エネルギー効率産業/工業炉

## ゲル化凍結法

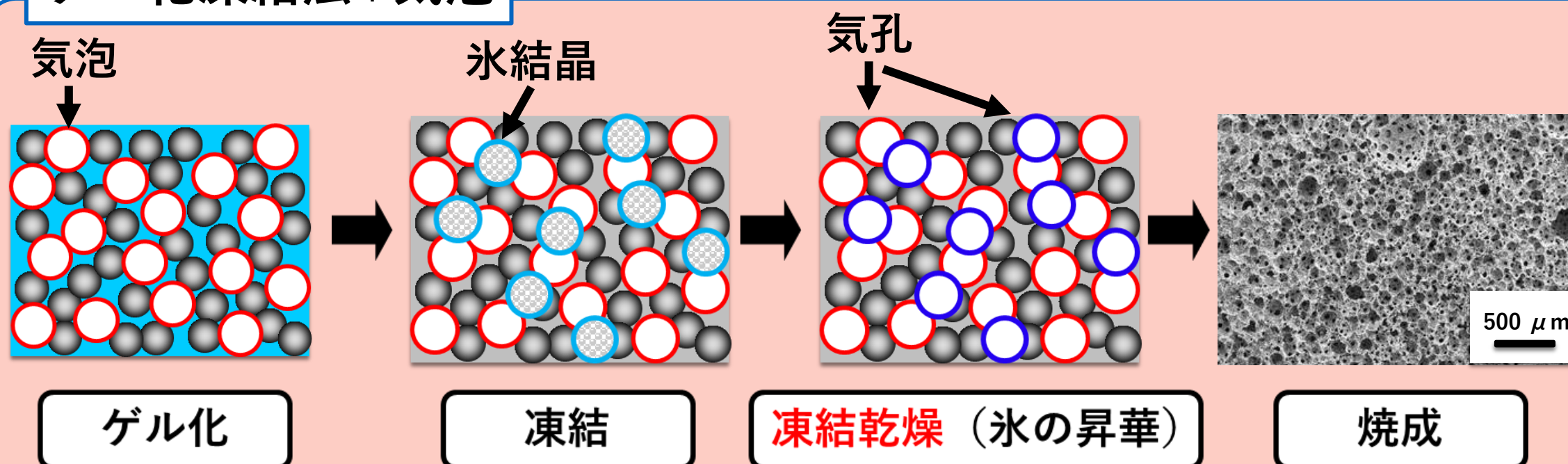


Fukushima et al., J. Ceram. Soc. Jpn., 116, 1322-1325, (2008)

## 実用化に向けた課題

- ・高含水により乾燥に時間を要します
- ・粗大気孔(氷結晶)が発生し構造が不均一になります

## ゲル化凍結法+気泡

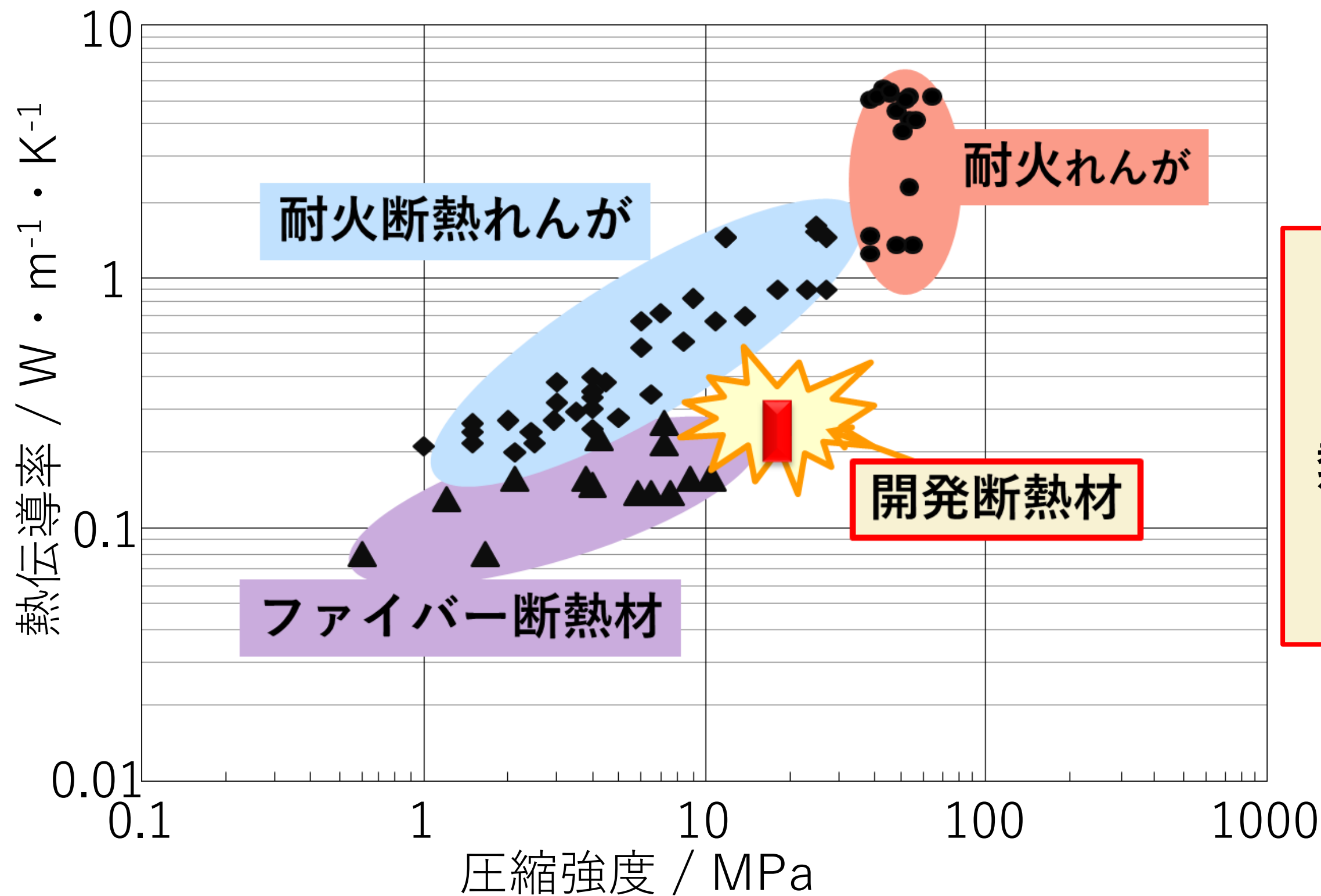


特許第6614505号

## 改善方法の検討

- ・水分の一部を気泡に置換することで乾燥時間の短縮が可能となりました
- ・気泡添加により粗大気孔の発生を抑制し、均一な構造を有します

## 開発断熱材特性評価



断熱材特性  
プロジェクト中間目標値

熱伝導率：  $0.25 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$   
圧縮強度： 10MPa  
を達成しました

## 断熱材の大型化、量産化の検討



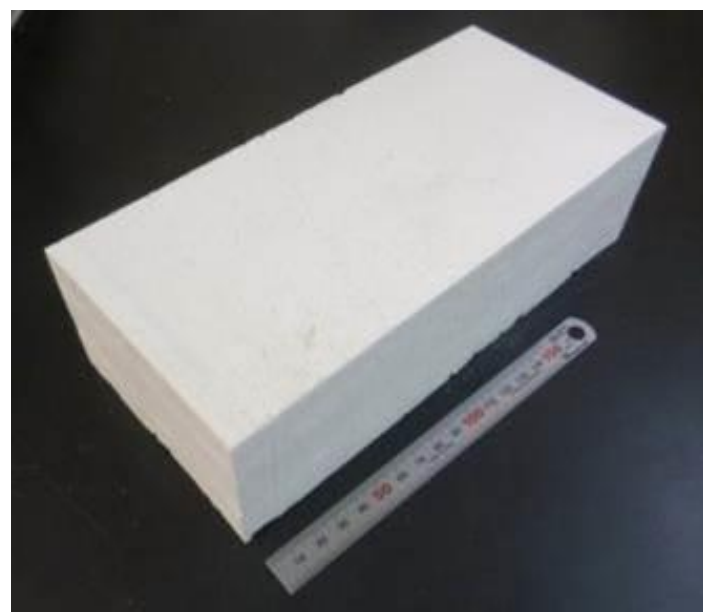
乾燥時溶融による空隙



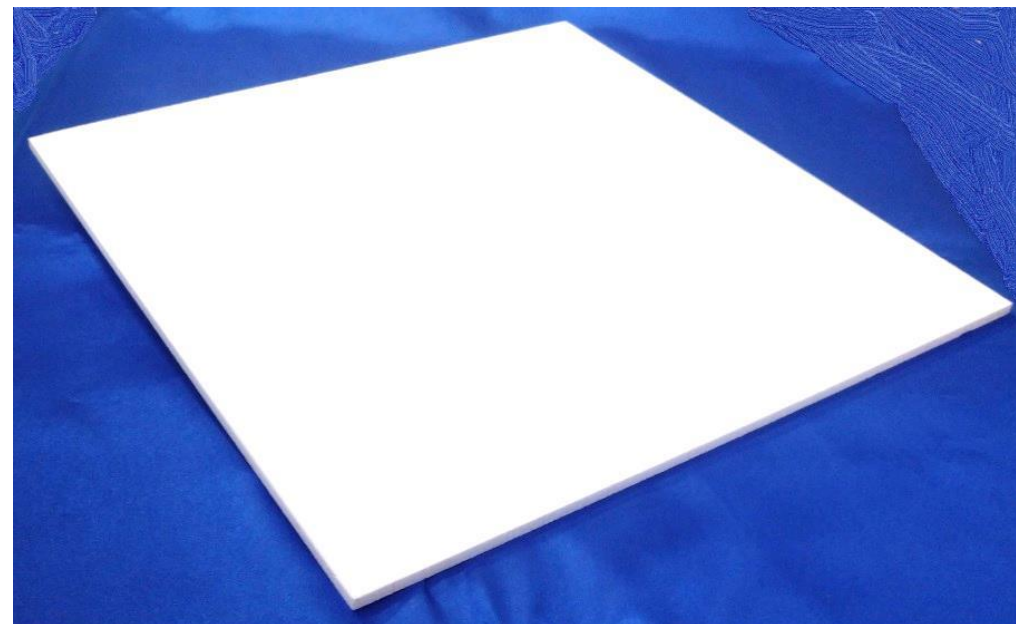
焼成時に亀裂発生した開発断熱材

### 大型化の課題

乾燥時に溶融、  
焼成時に亀裂が発生します



並形れんが形状  
 $230 \times 114 \times t65\text{mm}$



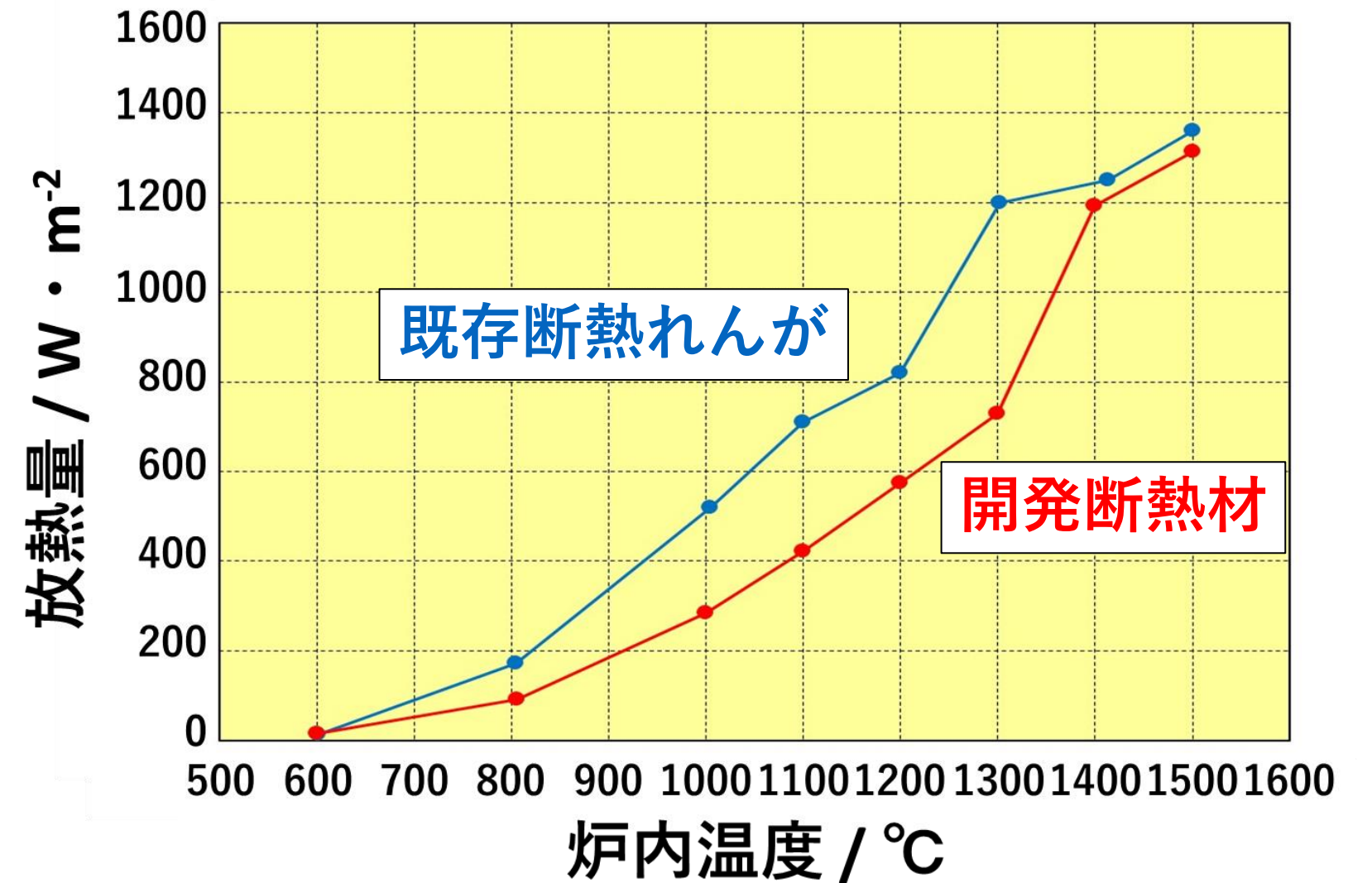
ボード形状  
 $300 \times 300 \times t5\text{mm}$

乾燥、焼成条件の最適化で  
**大型のボード形状**も作製可能です  
輻射加熱による乾燥時間短縮で  
並形れんが形状断熱材量産技術を  
確立しました

## 開発断熱材特性評価

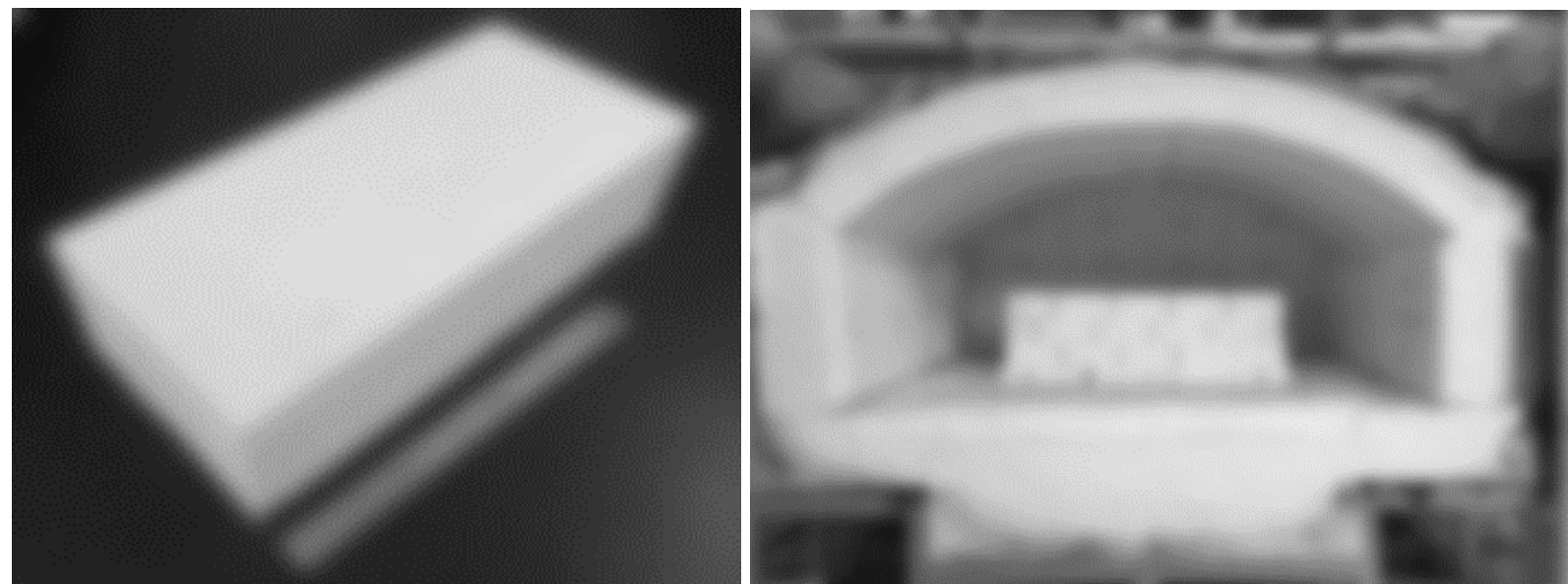


検証用ガス炉扉  
(開発断熱材を一部施工)



既存断熱れんが、開発断熱材を用いた  
検証用ガス炉加熱実験での炉体表面放熱量の比較

高断熱および高効率熱回収技術の開発で高エネルギー効率産業/工業炉の開発を目指します



2.高耐熱性  
高効率熱交換器



高エネルギー効率産業/工業炉



## 耐高温高効率熱交換器の開発

### 既存熱交換器の一般的な仕様

金属ケーシング + 金属ライニング

- ・使用可能温度：～1000℃
- ・高熱回収効率 (15-20%)

金属ケーシング + 耐火材料ライニング

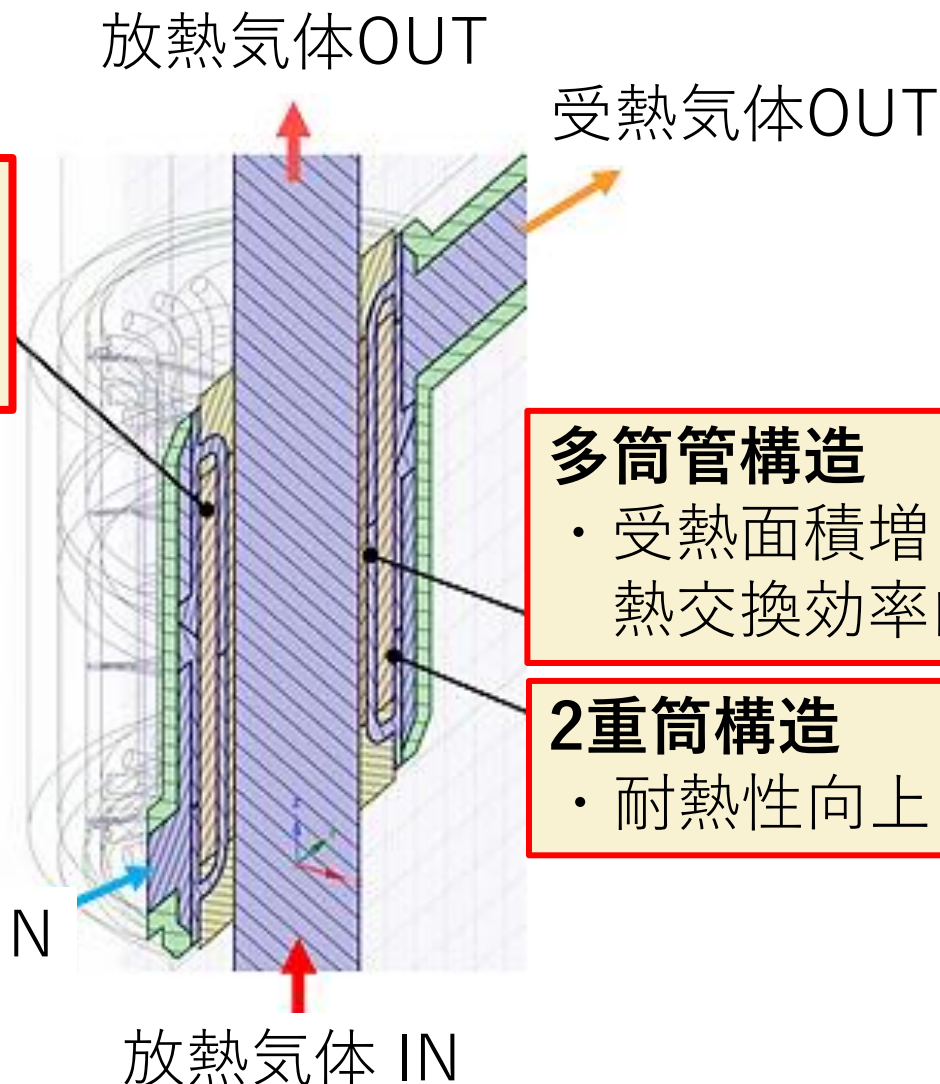
- ・使用可能温度：1000℃～
- ・低熱回収効率 (5-7%)

## 開発耐高温高効率熱交換器



**特殊耐火物**

- ・耐熱性向上
- ・高熱伝導率



### 多筒管構造

- ・受熱面積増による熱交換効率向上

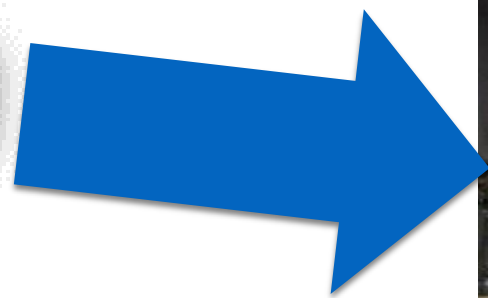
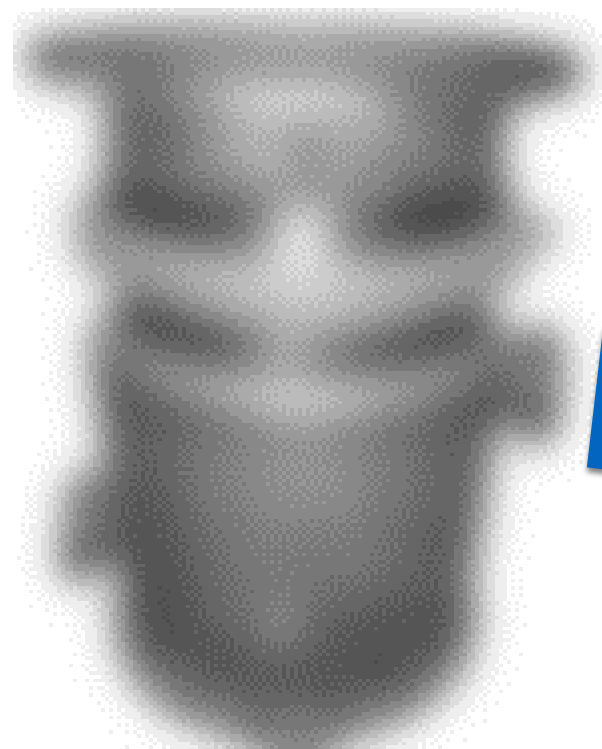
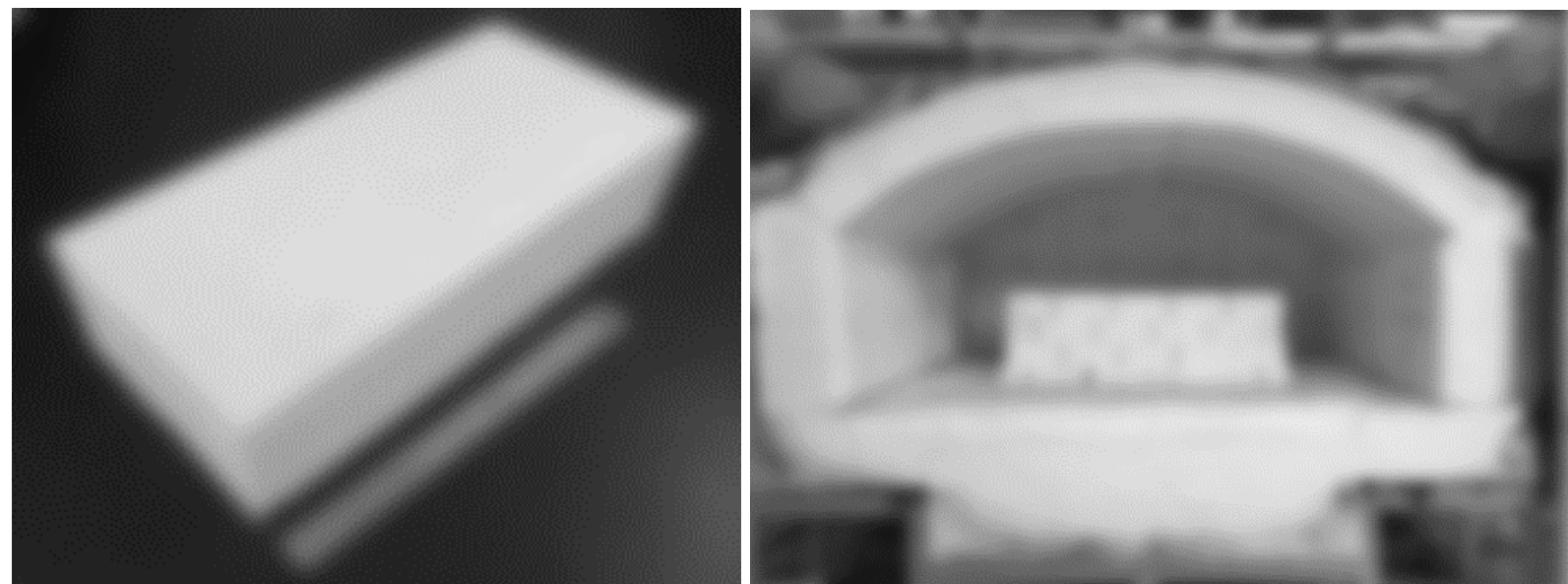
### 2重筒構造

- ・耐熱性向上

|        | 使用温度  | 熱回収効率 |
|--------|-------|-------|
| 既存熱交換器 | 1500℃ | 5～7%  |
| 開発品    | 1300℃ | 約24%  |
|        | 1500℃ | 約23%  |

**約3倍以上の熱回収効率を実現しました**

高断熱および高効率熱回収技術の開発で高エネルギー効率産業/工業炉の開発を目指します

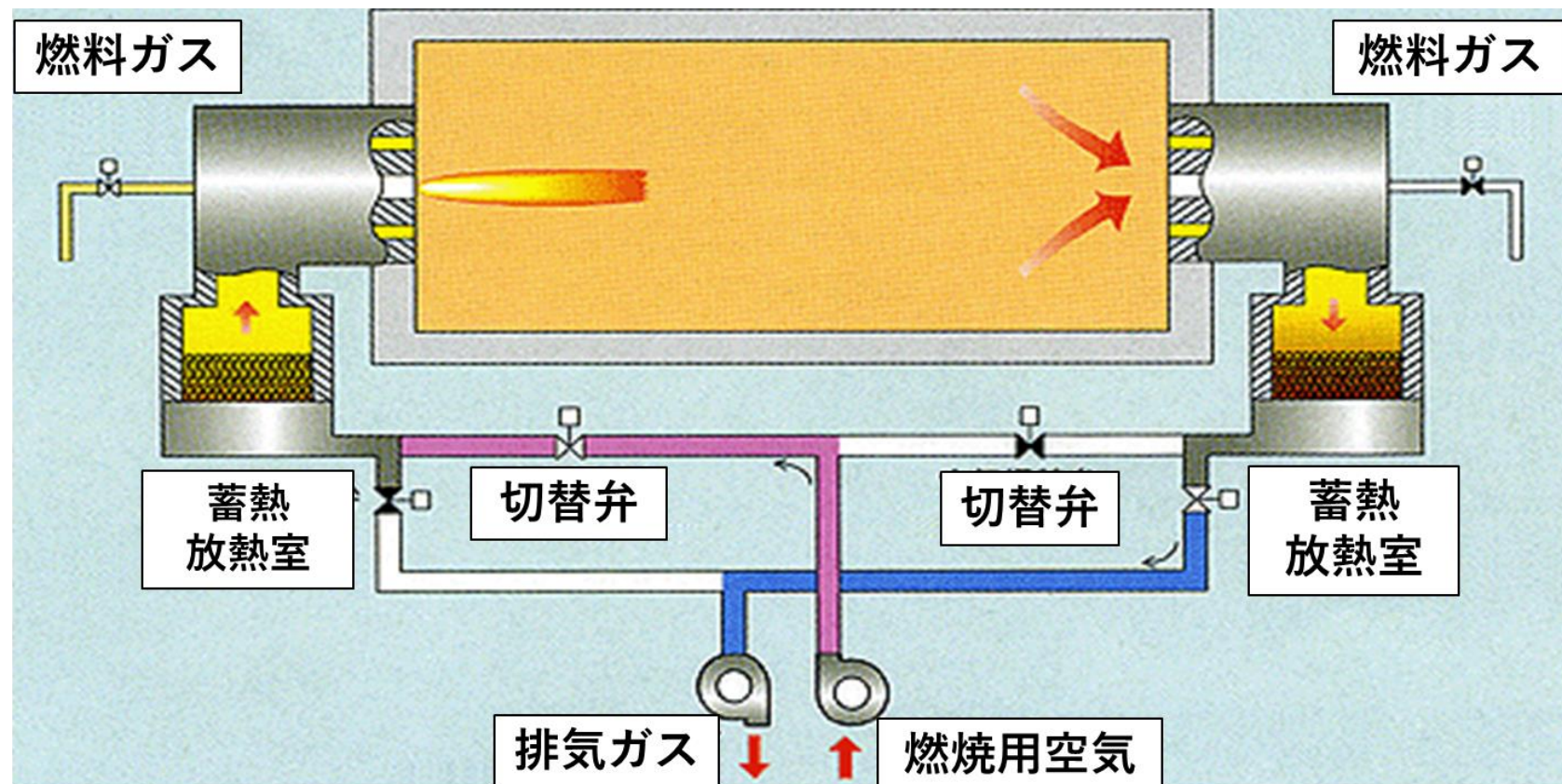


高エネルギー効率産業/工業炉



3.高効率バーナー

## 高効率バーナーの開発

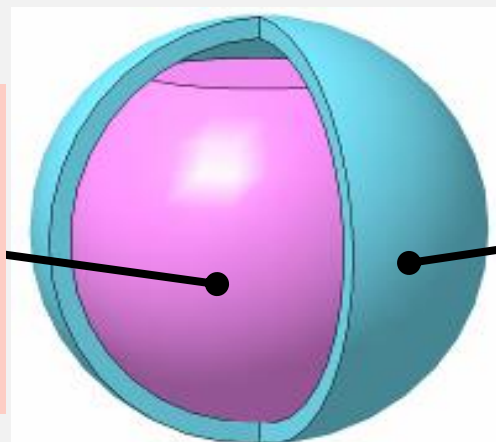


リジェネレイティブバーナー概略図

コアに金属、シェルにセラミックスの  
コアシェル型蓄熱体を開発しました

### コア：金属

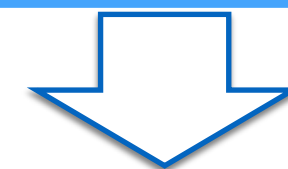
- ・高熱容量(潜熱)
- ・熱交換速度大(高熱伝導率)



### シェル：セラミックス

- ・高強度、高耐熱
- ・溶融塩や金属に対する高耐食性

セラミックスで作製された既存の**顕熱蓄熱体**は  
高温で使用可能ですが  
→**低熱伝導率**のため入熱放熱速度が低いです  
→**低熱容量**のため**大型蓄熱室の設置が必要**で、  
設置スペースの制約上、使用できないユーザー  
がいます



入熱放熱速度が高く高熱容量な  
新規蓄熱体を試作しました



コアシェル型蓄熱体

- ・約1000℃の排気ガスから熱を回収、放熱が可能です
- ・セラミック蓄熱体に比べ**入熱放熱速度約2倍**を実現しました

特開2019-137819

### 排熱削減50%の実証試験

→各要素技術を組み合わせた工業炉の排熱削減50%の実証試験を進めています

### 他分野への展開

→セラミック製造分野より市場規模の大きなガラス、セメント工業や鉄鋼分野参入へ不可欠な断熱材の高強度化、低コスト化技術を開発中です  
また、開発した蓄熱材料技術の適用可能性を検討します

### RCF(リフラクトリーセラミックファイバー)代替材料としての展開

→リフラクトリーセラミックファイバーとこれを含む製剤その他の物を製造し、または取り扱う業務について、「特定化学物質障害予防規則」の「管理第2類物質」と同様に、作業環境測定の実施、局所排気装置の設置などの事業者に対する規制が施行されました（H27年11月厚生労働省）

➡ **ファイバー系断熱材の代替品需要が高まっています**  
**開発断熱材はRCF代替としての可能性を秘めており、実用化されれば大きな波及効果が見込まれます**

この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務の結果得られたものです