

NEDO脱炭素技術分野成果報告会2025 プログラムNo.2

製造加熱プロセス熱流計測によるデジタルツイン 高度化の研究開発 先導研究プログラム／エネルギー・環境新技術先導研究プログラム

発表： 2025年07月16日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

発表者名 飯田 努

*団体名 東京理科大学、(国研)産業技術総合研究所、(国)京都大学、(国)東北大学、岡山理科大学、東京電機大学、東洋ガラス(株)、
三菱マテリアル(株)、日本ガイシ(株)

問い合わせ先 東京理科大学 先進工学部 マテリアル創成工学科 飯田研究室 E-mail: iida_lab@mac.com TEL: 03-5876-1417

エネ環 2024年度採択

製造加熱プロセス熱流計測によるデジタルツイン高度化の研究開発

Heat flow measurement and digital twin for advanced manufacturing heating processes

研究開発の目的

製品品質の維持向上と製造加熱プロセス全体の構成要素を連動させた形で、プロセス運転条件の最適化及び総投入熱量の最小化を実現する技術を創出します。

研究開発の背景、将来展望

炭素国境調整措置の導入により、製品の品質、性能、コストに加えて、製造時に排出したCO₂量が国際的製品競争力要素に付加されます。製造時のCO₂排出量を精緻に参照する仕組みの導入が必要となります。

本研究開発では、製造加熱プロセスにおける潜在的に削減可能な過剰投入エネルギーに着目し、革新的熱計測技術開発と製造加熱プロセスデジタルツイン構築により、将来的に「グリーン製造加熱プロセス」の実現を目指します。

研究開発項目

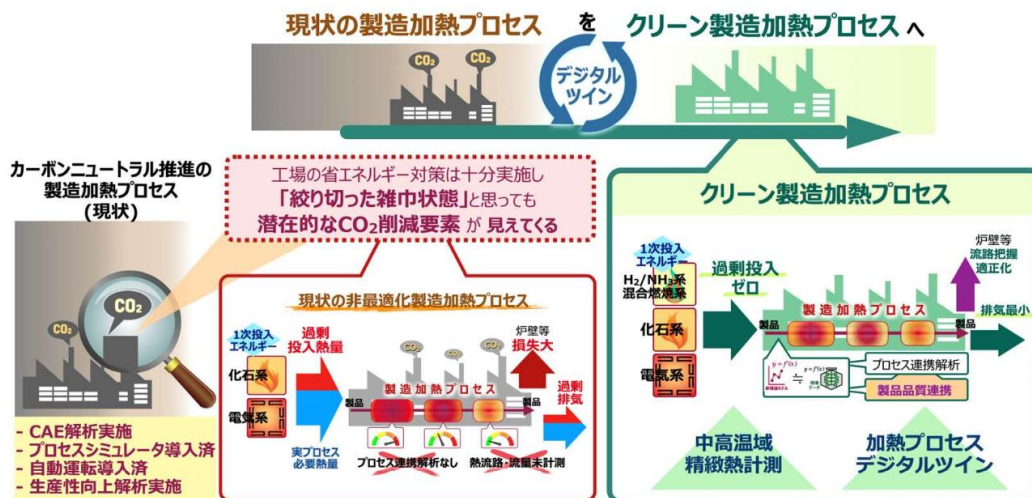
- 多様熱源に対応する熱計測技術開発
熱流量計測、スパースセンシング熱計測
- デジタルツイン基幹モデル開発
銅加工プロセス、ガラス溶解プロセス、セラミックス焼成プロセス
- バリューチェーン構築コンソーシアム活動

研究開発の内容、目標成果、社会実装する価値

製造加熱プロセスにおける潜在的な削減可能熱量の見える化に向けて、従来は実現が難しいとされてきた「中高温度域における熱流量の精緻計測(独自技術)」を実現する技術を開発します。また、これまで成功例のない中高温度領域製造加熱プロセスのデジタルツインを開発します。特にプロセス状態だけでなく、製品品質も予測可能なモデルの開発を通して、製品品質の保証と加熱プロセス運転条件の最適化を行うことで過剰投入熱量を削減する「グリーン製造加熱プロセス」基礎原理実証を行います。さらに、産学連携コンソーシアムを設置し社会実装に向けた成果の横展開およびバリューチェーン構築を図ります。

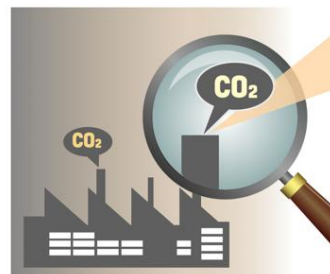
研究開発の実施体制

学校法人東京理科大学
国立研究開発法人産業技術総合研究所
国立大学法人京都大学
国立大学法人東北大学
学校法人加計学園 岡山理科大学
学校法人東京電機大学
東洋ガラス株式会社
三菱マテリアル株式会社
日本ガイシ株式会社



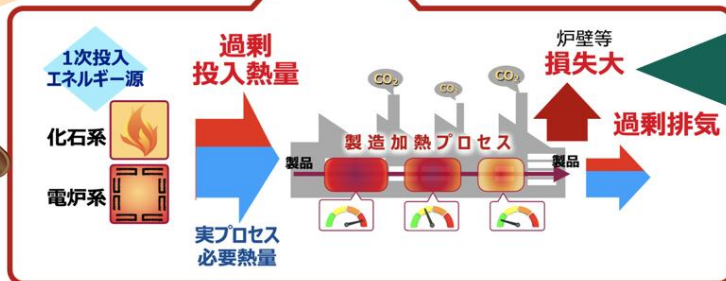
目的： 製造加熱プロセスにおける潜在的な削減可能熱量の見える化

カーボンニュートラル推進の 製造加熱プロセス



- CAE解析実施
- プロセスシミュレータ導入済
- 自動運転導入済
- 生産性向上解析実施

工場の省エネルギー対策は十分実施し
「絞り切った雑巾状態」と思っても
潜在的なCO₂削減要素が見えてくる



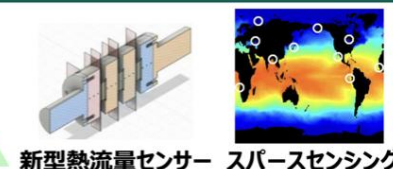
デジタルツイン

製造加熱プロセスを
仮想空間シミュレーション



- ▶ 加熱プロセス全体の「見える化・最適化」
- ▶ 解析次元を2Dから4Dへ（非定常解析）

中高温域 精緻熱流量計測



従来に無い 中高温域における「クリーン製造加熱プロセス」の実現によるCO₂削減

- ▶ 製造加熱プロセスへの投入熱量の最小化(過剰投入ゼロ)及びプロセス排熱を予測・再利用促進
- ▶ 熱流路(製品流路/炉壁等損失流路等)の精緻熱計測：新熱計測技術開発
- ▶ 製品品質と連動した加熱プロセス全体の運転条件最適解を探索：加熱プロセスデジタルツイン構築

高精度デジタルツイン
プロセス予測・最適化による

従来は正確に把握できていない
投入適正量の特定・排出量削減
+
製品品質の確保

更なる省エネ/低炭素化推進

研究開発の概要図

現状の製造加熱プロセス

を クリーン製造加熱プロセスへ

デジタル
ツイン

製品品質の保証・
過剰投入熱量の削減・
プロセス運転条件の最適化
を同時実現

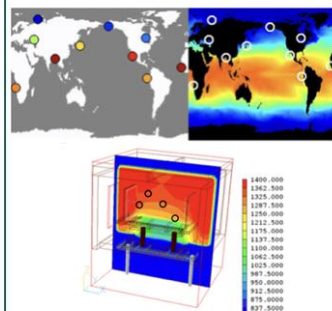
「革新的熱計測技術」

研究項目A：多様熱源に対し広温度域でロバストな熱計測技術開発

1. 変調アクティブ動作型広温度域熱流量計測



2. スパースセンシング熱計測



「革新的デジタルツイン(DT)技術」

研究項目B：製造加熱プロセス・デジタルツイン基幹モデル開発

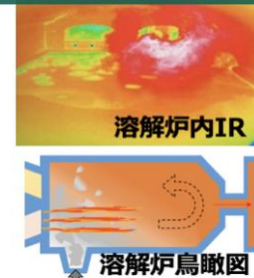
1. 銅加工プロセスモデル開発

プロセス連携DTモデル
(铸造[製品品質]ー溶解)



2. ガラス溶解プロセスモデル開発

超高温計測環境での
DTモデル形成



3. セラミックス焼成プロセスモデル開発

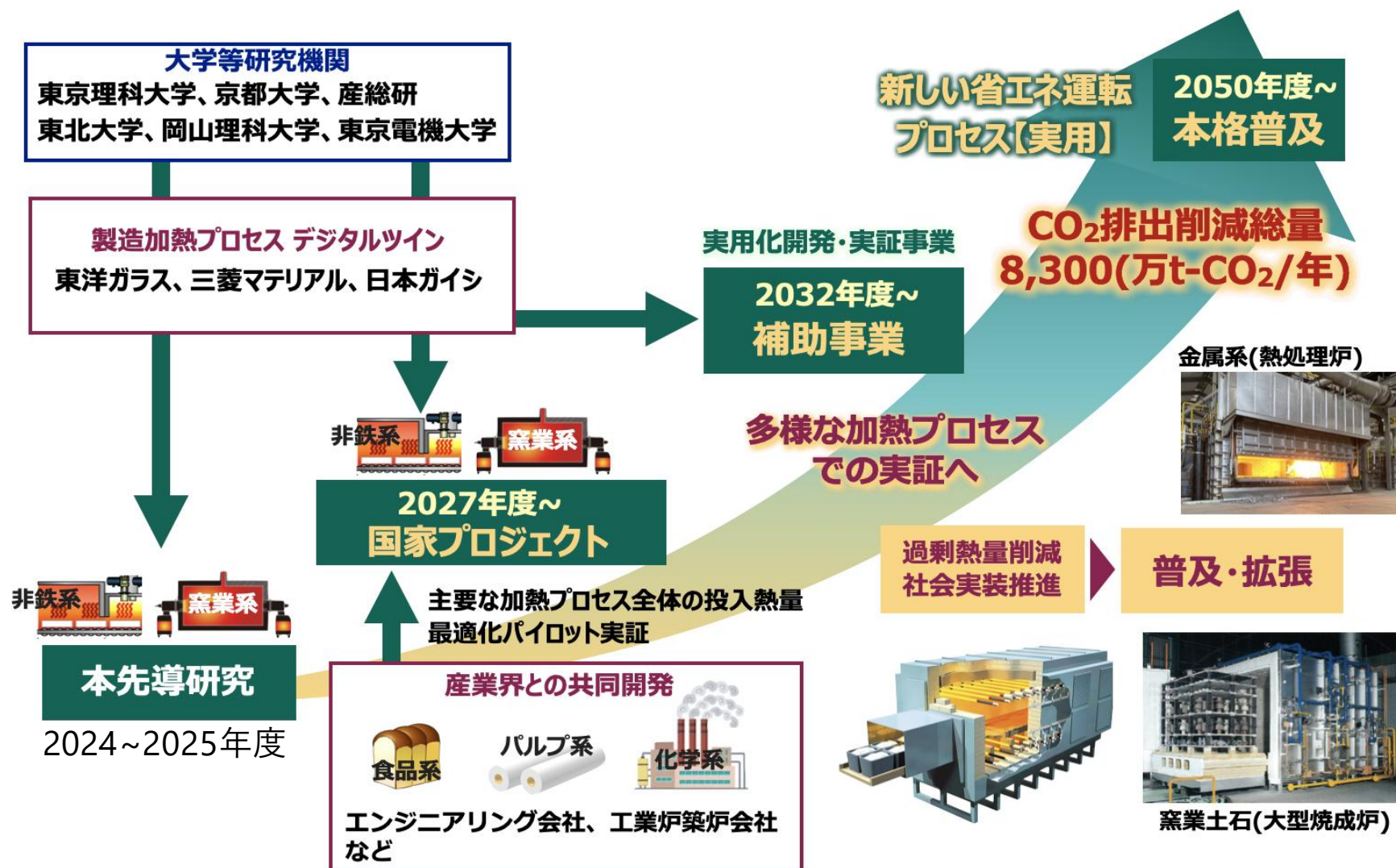
高温広大均質空間での
DTモデル形成



研究項目C：コンソーシアム活動

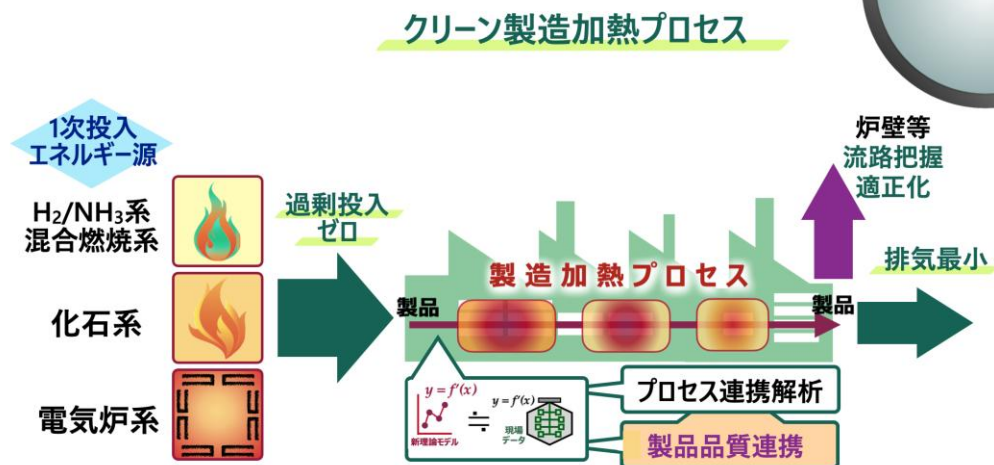
製造加熱プロセスデジタルツイン コンソーシアム(DX-MHP) 設立 (2024年)

社会実装への連携創出・拡大環境の強化と、次段の大型国家プロジェクトへの体制構築





研究進捗



研究項目 1. 多様熱源に対し広温度域でロバストな熱計測技術開発

1-1. 熱流変調アクティブ動作型広温度域熱流量計測技術の開発

中高温温度域の製造加熱プロセスにおいて、能動的に熱流路を探索・精緻計測する
ハードウェア・ソフトウェア融合型熱流量センサーの技術開発に取り組んだ。

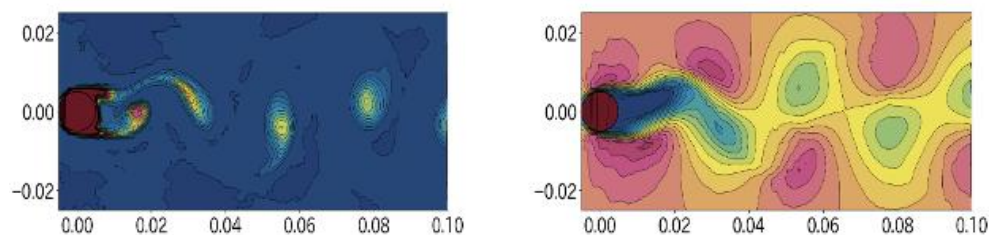


研究項目 1. 多様熱源に対し広温度域でロバストな熱計測技術開発

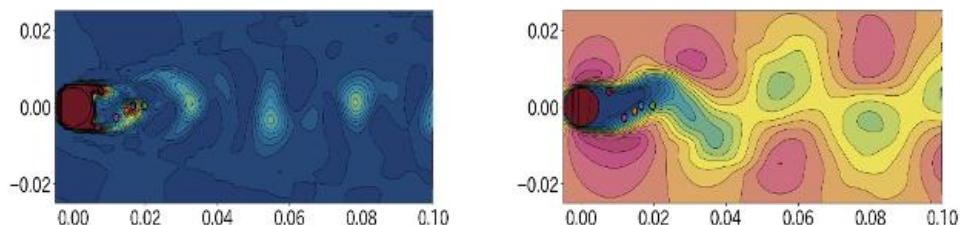
1-2. スパースセンシング熱計測技術の開発

加熱炉の内部状態を高精度かつ高速に可視化・予測するため、従来のデータに基づく帰納的なアプローチに、物理法則に基づく演繹的なアプローチを融合した革新的なスパースセンシング技術開発に取り組んだ。

数値計算データへのデータ駆動型スパースセンシング適用結果



オリジナルデータ(左：温度場、右：U速度場)

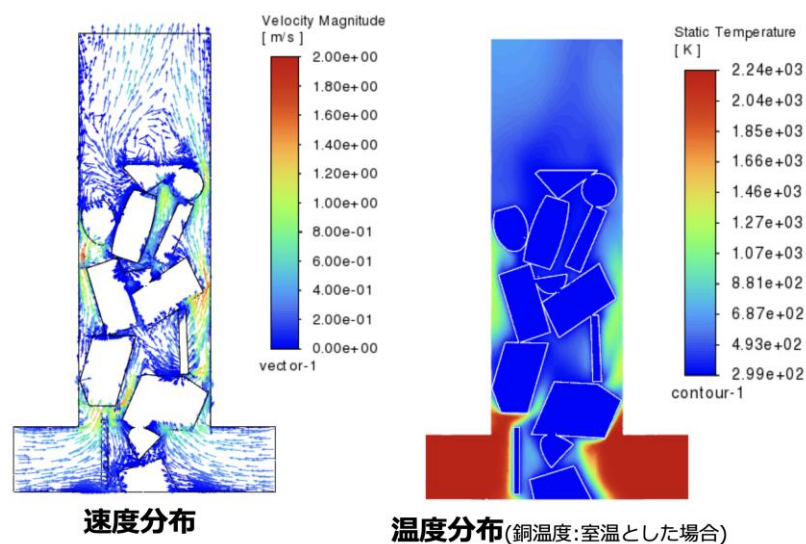


再構成場、モード数：5、センサ数：5

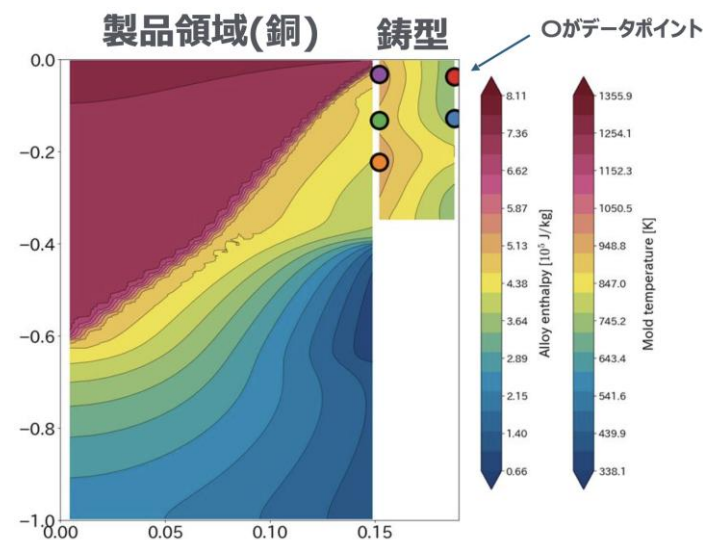
研究項目 2. 製造加熱プロセス・デジタルツイン基幹モデル開発

2-1. 銅鑄造プロセスにおけるモデル開発

銅溶解炉加熱プロセス全構成要素連動によるプロセス運転条件最適化及び
総投入熱量最小化を実現するためのデジタルツインモデル基盤技術開発に取り組んだ。



銅溶解炉詳細モデル計算結果

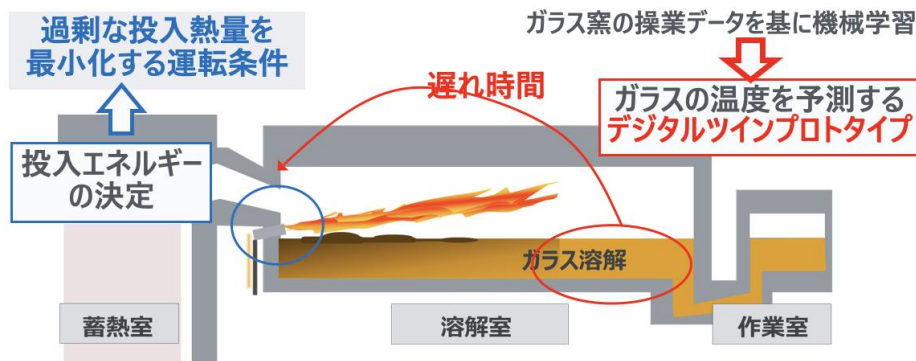


銅鑄造機スパスセンシング結果

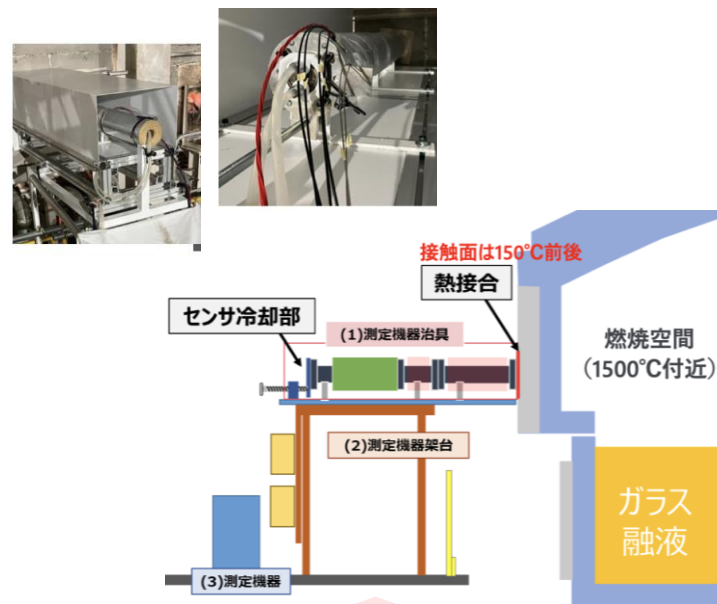
研究項目 2. 製造加熱プロセス・デジタルツイン基幹モデル開発

2-2. ガラス溶解プロセスにおけるモデル開発

ガラス溶解プロセスにおいて、ガラスびん品質を維持しつつ溶解炉温度管理の最適運転を実現するデジタルツインモデル開発に取り組んだ。



ガラス溶解プロセスデジタルツイン開発構想

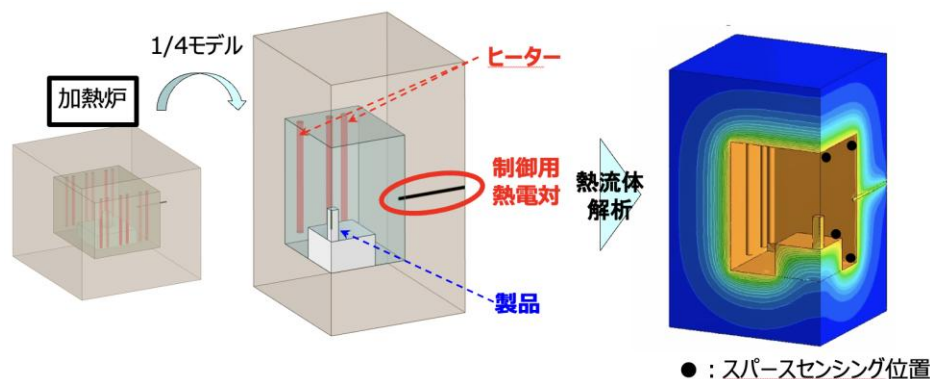


ガラス溶解窯炉壁での熱流束測定

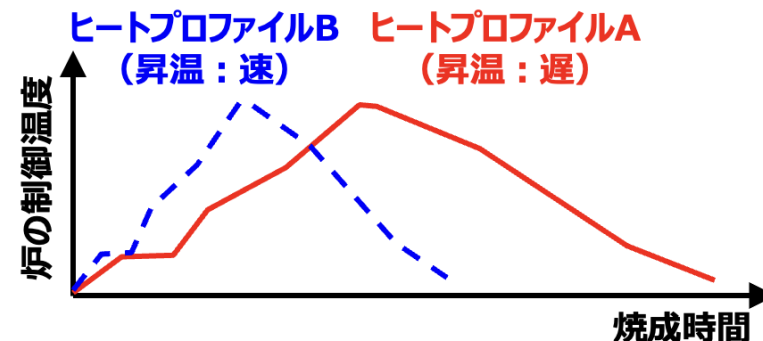
研究項目 2. 製造加熱プロセス・デジタルツイン基幹モデル開発

2-3. セラミックス焼成プロセスにおけるモデル開発

セラミックス製造プロセスにおいて過剰にエネルギーを投入している焼成炉を対象として、投入エネルギー量を最小化するための操炉温度プロファイルの最適化技術開発に取り組んだ。



炉内温度が予想可能な熱流体解析モデルを構築、
スパースセンシング位置を検討



異なるヒートプロファイルで
スパースセンシング位置を検討

製造加熱プロセスデジタルツインコンソーシアム



2024年度 エネルギー・環境新技術先導研究プログラム
製造加熱プロセス熱流計測によるデジタルツイン高度化の研究開発

製品品質の向上 と 過剰投入熱量の削減



コンソーシアムのミッション

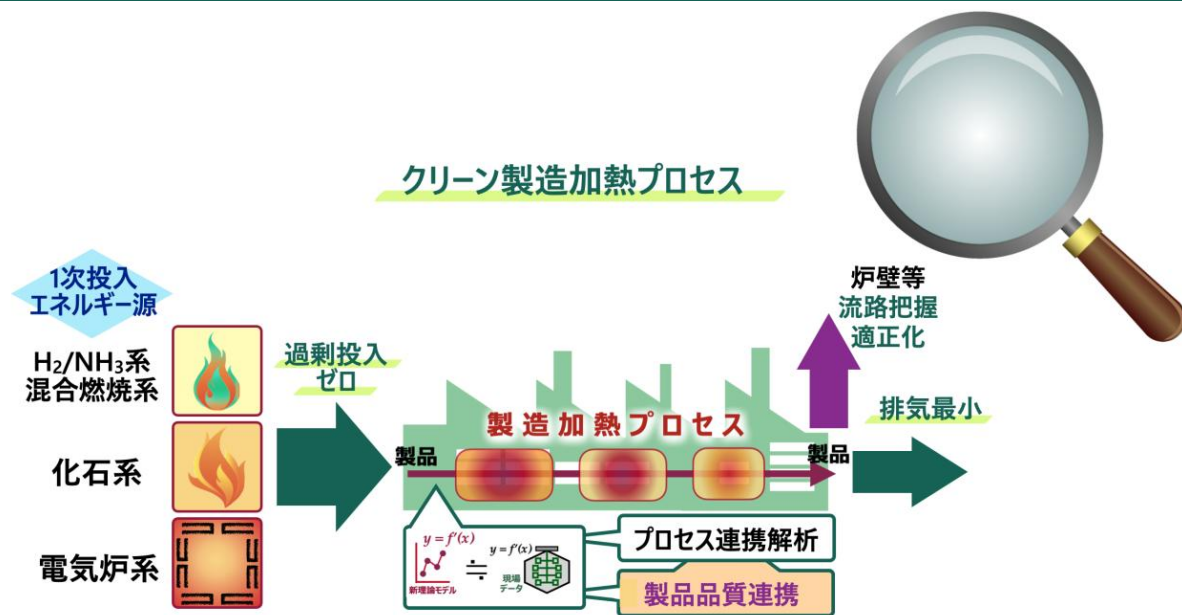
- ▶ 中高温域熱計測と加熱プロセスDXによる潜在的なCO₂削減要素を見える化
- ▶ 製造する製品品質を維持・向上しCO₂を削減する加熱プロセスDX化
- ▶ NEDOプロジェクト研究開発成果の横展開とバリューチェーン構築
- ▶ 社会実装への連携創出・拡大環境の強化と、次段の大型国家プロジェクトへの体制構築



コンソーシアム参画のメリット

- 1: 中高温域熱計測と加熱プロセスDXによる潜在的なCO₂削減要素を見える化する、NEDOプロジェクトとの連携を強化することで、自社のカーボンニュートラル/ネットゼロ取り組みを推進することができます。
- 2: NEDOプロジェクトの最新研究開発成果の横展開共有により、自社課題解決に向けて、製造する製品品質を維持・向上しながらCO₂を削減する製造加熱プロセスDX化技術の導入に必要な技術要素の把握ができます。
- 3: 多様な熱源/熱プロセスへ導入可能な最新熱流計測技術とスパースセンシング技術を、自社の製造加熱プロセスへの導入可能性検討、及び低炭素化課題解決に向けた導入効果の検討ができます。
- 4: NEDOプロジェクトを推進している、製造加熱プロセスにおける広温度熱流束等計測技術やデジタルツインモデル開発に精通した大学/研究機関・企業とのバリューチェーン構築と共創により、自社加熱プロセスの低炭素化を推進できます。
- 5: 開発したハードウェア類に関して早期に仕様リクエスト、検証、導入検討できます。
- 6: 社会実装に向けた技術開発連携の創出及び競争開発環境の強化を推進でき、次段の大型国家プロジェクトへの体制構築に参画できます。

ご 質 疑



製品品質の向上 と 過剰投入熱量の削減



製造加熱プロセス
デジタルツインコンソーシアム