

令和3年度内外一体の経済成長戦略構築にかかる国際経済調査事業  
(工業炉のカーボンニュートラル対応に向けた動向調査)

＜調査報告書＞

2022年 3月 31日

株式会社富士経済  
〒103-0027 東京都中央区日本橋三丁目9番1号  
日本橋三丁目スクエア  
TEL:03-3241-3480  
FAX:03-3241-3481

# 目次

---

調査概要	4
平成26年度調査区分と令和3年度調査の区分との比較	6
（1）工業炉のカーボンニュートラル化の前提となる項目の洗い出し	7
（i）新工業炉カテゴリー	9
1. 前回調査の課題整理	10
2. 今年度実施内容	13
3. 既存工業炉の分類	15
4. 新工業炉カテゴリー	18
（ii）新推計・シミュレーション方法	20
1. 調査票案	21
2. 別紙リスト	26
3. 省エネ比率試算の考え方	29
4. 新推計・シミュレーション方法	36
（2）工業炉についての国内外の技術動向・エネルギー使用状況の調査	42
1. 工業炉区分からみた省エネ技術開発動向	44
2. 国内外の工業炉の省エネ技術開発動向	45
3. 主な技術開発プレイヤーにおける工業炉の省エネ技術開発支援プロジェクト	51
4. 工業炉のエネルギー消費動向	54
5. 省エネ技術導入における技術的な側面での阻害要因および普及阻害要因	58
6. 総括	61

# 目次

---

(3) 工業炉のカーボンニュートラル化に係る諸外国の政策動向の調査	64
1. 工業炉に関するカーボンニュートラル化に向けたロードマップ	66
2. 工業炉に関するカーボンニュートラル化に向けた政策の課題	67
3. 開発・普及支援プロジェクト	72
4. 普及支援体制	73
5. 総括	74
参考資料	77
1. EUの工業炉	78
2. ドイツの工業炉	80
3. 米国の工業炉	82
4. 日本の工業炉	86
参考文献リスト	91
用語解説	95

# 調査概要

## <事業実施の基本方針>

- 平成26年度調査（「平成26年度エネルギー使用合理化促進基盤整備事業（工業炉等における省エネルギー技術に関する実態調査）報告書」）を基にした既存の推計方法では、炉の区分（廃熱回収型（燃焼）、原材料予熱型（燃焼）、断熱強化型（電気・燃焼）、誘導加熱型（電気）、金属溶解型（電気））や台数が最新動向と乖離してきている可能性や、燃料転換（電化等）の進展や複数熱源を有するハイブリッド炉の存在、イニシャル・ランニング・メンテナンスコスト等を考慮したシミュレーションができないといった課題を有する。日本工業炉協会をはじめ、国内工業炉メーカーとのコミュニケーションを取りながら、多岐に亘る工業炉の種類、形式、用途、規模、燃料種等の基礎情報を把握し、国内の工業炉ユーザーが保有する工業炉について、現行の推計方法より正確な保有状況の把握及びCO2排出量の推計方法・シミュレーション方法を確立するとともに（調査項目（1））、国内外の技術開発動向や政策動向を把握しつつ、ゼロカーボン達成の方向性について調査・分析を行った（調査項目（2）（3））。

## <事業の目標>

- 国内メーカーへのヒアリング、工業炉における省エネ技術、国外におけるエネルギー消費量を踏まえた工業炉の類型化（新カテゴリ作成）と妥当性の高いCO2排出量の推計・シミュレーション方法を確立した。また、国内外動向を踏まえた省エネ技術の普及に向けた支援策の提案、並びに諸外国のカーボンニュートラルにおける工業炉の位置づけを分析した。これら結果を基に、工業炉におけるカーボンニュートラル達成に向けた方向性を分析した。

## 調査項目（1）工業炉のカーボンニュートラル化の前提となる項目の洗い出し

業務内容	事業実施方法			
	富士経済分析	公開情報収集	ヒアリング	その他
① 各種工業炉の整理		●		
② 既存統計（工業炉統計）における工業炉分類の確認				◆ 日本工業炉協会による情報公開
③ 仕様（炉種、用途、従来型／省エネ型の要件、設備容量、熱効率、熱源、エネルギーの消費箇所、価格帯、生産量、耐用年数、ランニングコスト等）による工業炉の分類		●	●	
④ 省エネ型工業炉の概要/仕様の整理				◆ H26年度調査結果の活用 ◆ 調査項目（2）③結果の活用
⑤ 新工業炉カテゴリの作成	●		●	
⑥ 新工業炉カテゴリの協議・確立	●			◆ 日本工業炉協会の技術部会での協議・検討
⑦ CO2排出量⇔エネルギー消費量の推計に必要な仕様（炉種、用途、従来型／省エネ型の要件、設備容量、熱効率、熱源、エネルギーの消費箇所など）の整理	●	●	●	
⑧ 新カテゴリにおける新推計・シミュレーション因数の探索・検討	●			◆ 調査項目（2）④結果の活用
⑨ 新カテゴリにおける新推計・シミュレーション方法の協議・確立	●		●	◆ 日本工業炉協会の技術部会での協議・検討

# 調査概要

## 調査項目（２）工業炉についての国内外の技術動向・エネルギー使用状況の調査

業務内容	事業実施方法			
	富士経済分析	公開情報収集	ヒアリング	その他
① 調査対象国の選定（日本、EU、他1カ国）	●	●	●	
② 調査対象国における工業炉関連機関・業界団体の探索	●	●		
③ 工業炉における省エネ技術（電化、水素対応など）の整理		●	●	◆ 国外メーカー/関連機関/業界団体へのヒアリング
④ 調査対象国における工業炉のエネルギー消費動向（CO2消費実態、算出手法など）の収集		●	●	◆ 国外関連機関/業界団体へのヒアリング
⑤ 省エネ技術導入における技術的、社会的課題の整理		●	●	◆ 国外メーカー/関連機関/業界団体へのヒアリング
⑥ 省エネ技術に向けた政策的支援の提案	●			

## 調査項目（３）工業炉のカーボンニュートラル化に係る諸外国の政策動向の調査

業務内容	事業実施方法			
	富士経済分析	公開情報収集	ヒアリング	その他
① 調査対象国の選定（EU、他1～2カ国）	●	●	●	
② 調査対象国における工業炉関連機関・業界団体の探索	●	●		◆ 調査項目（２）②結果の活用
③ カーボンニュートラルへ向けた政策動向の収集		●		
④ 工業炉および工業炉に関連するセクター（産業分野、製造業分野、化石燃料多消費機器など）におけるCO2排出量削減に向けた動向の収集		●	●	◆ 国外関連機関/業界団体へのヒアリング
⑤ カーボンニュートラル達成に向けた工業炉および関連セクター政策の位置づけ、方向性を分析	●			

## 平成26年度調査\*区分と令和3年度調査の区分との比較

\*「平成26年度エネルギー使用合理化促進基盤整備事業（工業炉等における省エネルギー技術に関する実態調査）報告書」

平成26年度調査\*における工業炉区分では、燃料転換（電化等）の進展や複数熱源を有するハイブリッド炉の存在等の最新動向に乖離している。

令和3年度では、工業炉を燃焼炉と電気炉、さらに電気炉を誘導加熱と抵抗炉に整理し、それぞれの炉形態に省エネ型の要素技術から廃熱回収、原材料予熱、断熱強化、誘導加熱、誘導溶解を割り当てて炉形態区分とした。

### 【平成26年度調査\*区分】

炉形態区分	定義
➤ 廃熱回収型	➤バーナ本体と蓄熱器を一体化したユニットと流路切替の制御装置から構成されたシステムにより、廃熱の約70～90%を燃焼空気予熱として回収利用することで、燃料使用量の削減を図るもの
➤ 原材料予熱型	➤加熱帯から予熱帯に高温排ガスを流し、※掛ガスの顕熱により、材料の予熱（乾燥を含む）をすることで、大幅な省エネルギーを達成するもの ※一部、廃熱回収あり
➤ 断熱強化型	➤工業炉の耐火断熱材を高断熱耐火物（セラミックファイバー等）に改修することで、省エネルギーを図るもの
➤ 誘導加熱（高効率電気式工業炉）	➤電磁誘導作用を利用して金属内で電気エネルギーを熱エネルギーに変えて発熱させるもの ➤必要な箇所のみを必要な時に急速に加熱することで、全体を加熱するのに必要なエネルギーを半減させ、かつ常時温度をキープしておかなければならない保持エネルギーも削減し、省エネルギーを図るもの
➤ 金属溶解型（高効率電気式工業炉）	➤鋳物材料等を溶解する場合に、従来型と比較して投入電力を高密度化させることにより、溶解時間を短縮し、放散熱の抑制を可能にすることにより、使用エネルギーを削減し、CO2削減に寄与するもの



### 【令和3年度調査区分】

炉形態区分	省エネ型炉の要素	技術・手法
燃焼	廃熱回収	➤リジネバーナ（低NOx型リジネバーナ） ➤高効率レキュペレータ（廃熱回収装置としてエネルギー源の大幅な節約を実現する高性能金属製換熱器）
	原材料予熱	➤大型装置の連続炉での対応
	断熱強化	➤高効率断熱材（省エネ断熱材の開発）
誘導加熱	燃料転換	➤水素バーナ
	誘導加熱	➤高効率機器の使用、コイルの最適化等 ➤既存の真空管設備の半導体化（IGBTまたはMOSFET）
	誘導溶解	➤高効率機器の使用、電力の高密度化等 ➤既存の真空管設備の半導体化（IGBTまたはMOSFET）
抵抗炉	➤（燃焼からの）電化ポテンシャル	
	断熱強化	高効率断熱材（省エネ断熱材の開発） ➤（燃焼からの）電化ポテンシャル

# **(1) 工業炉のカーボンニュートラル化の 前提となる項目の洗い出し**

---

前回調査は、「炉の区分が不明瞭」「省エネ型炉区分が不適切」であったため、今年度は①炉区分の明確化による「新工業炉カテゴリーの確立」、②次年度のアンケートによりCO<sub>2</sub>排出量把握を可能にするため「新推計・シミュレーション方法の確立」を図る。

---

## I. 前回調査の課題

### ① 炉の区分が不明瞭

- 燃烧炉を想定して、直火式、間接加熱式、熱風式の3区分、電気炉を想定して、抵抗加熱式、アーク加熱式、誘導加熱式の3区分に分類しているが、実際には間接加熱式は燃烧炉、電気炉ともに存在するなど、全体的に炉の区分が不明瞭

### ② 省エネ型炉区分が不適切

- 前回調査は既存の炉を、「1.高効率電気式誘導加熱」「2.高効率電気式金属溶解」「3.断熱強化型」「4.廃熱回収型」「5.原材料予熱型」の5区分に分けているが、実際には「1.高効率電気式誘導加熱」兼「3.断熱強化型」の炉など、省エネ型炉が複数に跨る場合があり、決して一対一対応ではない

## II. 今年度の実施内容

### ① 新工業炉カテゴリーの確立

- 適切な分類項目にて、炉のカテゴリー区分を明確化

### ② 新推計・シミュレーション方法の確立

- カテゴリー分けした区分に対して、省エネ型炉の5区分を省エネの一手法として用いること等により、CO<sub>2</sub>排出量のシンプルな試算式を整備し、CO<sub>2</sub>排出量シミュレーションを可能にする

---

**( i ) 新工業炉カテゴリー**

**( ii ) 新推計・シミュレーション方法**

## 1. 前回調査の課題整理

前回調査は、「日本標準商品部類」を「加熱方式」別に整理しているが、加熱方式の区分が不明瞭であること、存在しない炉があること（例：窯業用溶解炉の誘導加熱式）から、データとして活用が難しい。今年度中に炉種区分を明確にすることで、調査時のデータクリーニングの基準を明確にし、次年度の正確な調査に繋げることとする。

### ■ 前回調査①

日本標準商品分類	加熱方式							総計
	直火式	間接加熱式	熱風式	抵抗加熱式	アーク加熱式	誘導加熱式	その他	
溶鉱炉	110		6		10	32	21	179
鉄鋼溶解炉	58	22	196	42		332	20	670
アーク炉			2		170			172
鉄鋼誘導炉					0	2,996	149	3,145
鉄鋼真空溶解炉	35			1	4	150	4	194
非鉄金属溶解炉	3,496	295		14		525		4,329
非鉄金属誘導炉				102		434		536
非鉄金属真空溶解炉	123	20		37	15	26	20	241
金属用均熱炉	9	12	42	177		21	17	279
金属用加熱炉	595	205	110	1,051		560	21	2,542
金属用熱処理炉(真空熱処理炉を含む)	1,850	2,763	222	3,211	37	104	695	8,881
表面熱処理炉	278	931	32	508		15	595	2,359
表面処理炉	46	114	258	44	12	454	21	949
雰囲気ガス変成炉	699	114		65				879
金属用焼結炉・ばい焼炉	936	113		438			8	1,494
窯業用焼成炉	791	579	6	207		898	626	3,108
窯業用溶解炉	501	595		1		8		1,105
乾燥炉	704	1,564	2,788	158		2	84	5,300
脱臭炉	259	32	8				335	634
総計	10,488	7,358	3,670	6,055	249	6,558	2,616	36,993

※有効数字の影響により、総計は必ずしも一致しないことがある  
(出所)NRI試算

(出所)「平成26年度エネルギー使用合理化促進基盤整備事業(工業炉等における省エネルギー技術に関する実態調査)報告書」[平成27年、野村総合研究所]

## 1. 前回調査の課題整理

前回調査は、加熱方式区分から一定の振分率により5つの省エネ型炉へ分類している。加熱方式の区分が不明瞭となっており、省エネ型炉は決して一対一対応でないことから、今年度のシミュレーションにて当該プロセスを明確にすることを旨とする。

### ■ 前回調査②

省エネ炉区分別 導入率の導出

加熱形式	省エネ型を導入しうる台数		導入希望台数(台)・・・( )内%は振分率				
			高効率電気式工業炉		断熱強化型工業炉	高性能工業炉 廃熱回収式 燃焼装置	原材料予熱工業炉
			誘導加熱炉	金属溶解炉			
直火式	4,151	×	-	-	830 (20%)	3,113 (75%)	208 (5%)
間接加熱式	2,280	×	-	-	684 (30%)	1,596 (70%)	-
熱風式	903	×	-	-	812 (90%)	90 (10%)	-
抵抗加熱式	3,717	×	372 (10%)	372 (10%)	2,230 (60%)	743 (20%)	-
アーク加熱式	21	×	-	-	-	-	21 (100%)
誘導加熱式	2,783	×	1,948 (70%)	835 (30%)	-	-	-
その他	818	×	245 (30%)	-	491 (60%)	82 (10%)	-
<b>省エネ炉区分別 導入希望台数 合算 (A)</b>			<b>2,565</b>	<b>1,207</b>	<b>5,048</b>	<b>5,624</b>	<b>228</b>
<b>省エネ炉区分別 対応炉台数 (P50参照)(B)</b>			<b>5,693</b>	<b>4,715</b>	<b>11,285</b>	<b>11,285</b>	<b>4,014</b>
<b>省エネ炉区分別 更新時導入率 (A)/(B)</b>			<b>45%</b>	<b>26%</b>	<b>45%</b>	<b>50%</b>	<b>6%</b>

(出所)「平成26年度エネルギー使用合理化促進基盤整備事業(工業炉等における省エネルギー技術に関する実態調査)報告書」[平成27年、野村総合研究所]

## 1. 前回調査の課題整理

前回調査は、加熱方式および省エネ型炉区分において、アンケート調査先から収集したエネルギー使用量と炉の台数を用いて、台あたりの原単位を算出している。工業炉技術者の中には実感とは異なるとの意見も出ており、今年度のシミュレーションにおいて実態に即した原単位を算定に繋がるよう、シンプルな計算式を作成することとする。

### ■ 前回調査③

加熱形式別原単位

加熱形式	台当たり原単位 (MJ/t)	台当たり原単位 (KL/t)
1 直火式	5,554	0.143
2 関節加熱式	6,418	0.166
3 熱風式	6,584	0.170
4 抵抗加熱式	15,538	0.401
5 アーク加熱式	6,873	0.178
6 誘導加熱式	4,740	0.122
7 その他	8,642	0.223

×常用率86.6%

(出所)NRI試算

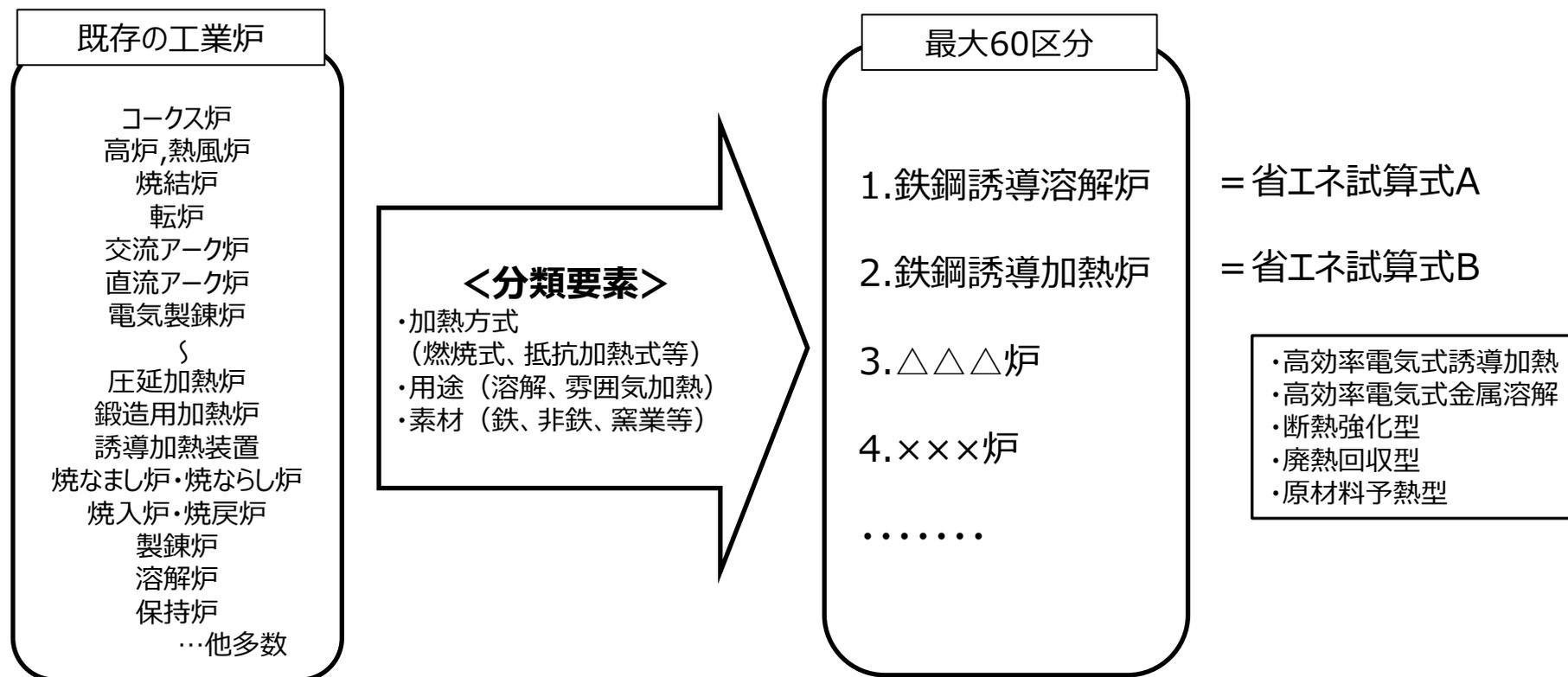
省エネ炉区分別の従来型炉の原単位

加熱形式	台当たり原単位 (KL/t)
高効率電気式 誘導加熱	0.217
高効率電気式 金属溶解	0.222
断熱強化型	0.183
廃熱回収型	0.183
原材料予熱型	0.125

(出所)「平成26年度エネルギー使用合理化促進基盤整備事業（工業炉等における省エネルギー技術に関する実態調査）報告書」[平成27年、野村総合研究所]

## 2. 今年度実施内容

既存の工業炉を、分類要素（加熱方式区分、用途区分、素材区分）に応じて、最大60区分程度にカテゴリ分けし、カテゴリ毎に省エネ型炉の要素（高効率電気式誘導加熱、高効率電気式金属溶解、断熱強化型、廃熱回収型、原材料予熱型）により、シンプルな試算式を設定し、CO2排出量シミュレーションが可能な状態を目指す。



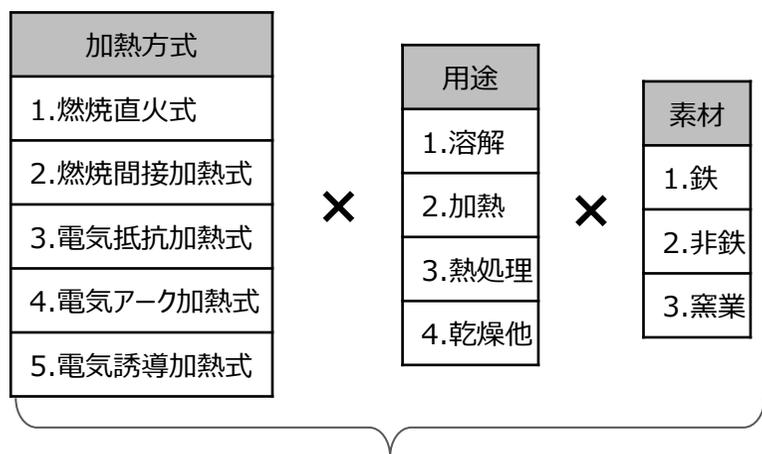
## 2. 今年度実施内容

既存工業炉は、加熱方式5区分、用途4区分、素材3区分に応じて最大60区分に分類する。

加熱方式は、燃焼炉を直火式と間接加熱式、電気炉を抵抗加熱式、アーク加熱式、誘導加熱式に区分する。

用途および素材は、前回調査では未設定であったが、炉種の特定に繋がりがやすいため、用途は溶解、加熱、熱処理、乾燥他の4区分、素材は鉄、非鉄、窯業の3区分を設定する。

最大60区分に炉を分類した後、技術者へのヒアリング、文献、前回調査アンケート結果を組み合わせることで、省エネ型炉におけるCO2排出量削減のシンプルな試算式を、各カテゴリーの炉毎に設定する。



既存工業炉をカテゴリー分け

加熱方式5区分×用途4区分×素材3区分

最大60区分

例：電気誘導加熱式×溶解×鉄＝鉄鋼誘導溶解炉

炉種	省エネ型						CO <sub>2</sub> 排出量削減率計
	誘導加熱	金属溶解	断熱型	廃熱回収型	原材料予熱型	その他	
例：鉄鋼誘導溶解炉	10%	-	5%	-	-	-	15%
							〇〇%
							△△%
							□□%
							……

最大60区分

### 3. 既存工業炉の分類

既存工業炉の分類である「日本標準商品分類」において、工業炉は19分類、82項目に区分されている。

#### ■ 日本標準商品分類における区分①

1 溶鉄炉 高炉 溶鋼回転炉 電気製鉄炉	10 金属用加熱炉 鉄鋼圧延加熱炉 非鉄金属圧延加熱炉 鉄鋼鍛造加熱炉 非鉄金属鍛造加熱炉 焼ばね炉 ろう付炉 その他の金属用加熱炉 その他の金属用均熱炉・加熱炉
2 鉄鋼溶解炉 キューボラ 混鉄炉 製鋼転炉 溶鉄反射炉	11 金属用熱処理炉（真空熱処理炉を含む） 焼ならし炉 焼入炉 焼戻炉 焼なまし炉
3 アーク炉 製鋼アーク炉 製錬アーク炉 精錬アーク炉 製鋼プラズマアーク炉 その他のアーク炉	12 表面熱処理炉 浸炭炉 窒化炉 浸炭窒化炉 軟窒化炉 バス炉 その他の表面熱処理炉（脱炭炉を含む）
4 鉄鋼誘導炉 鉄鋼高周波誘導炉 鉄鋼低周波るつぼ形誘導炉 鉄鋼低周波みぞ形誘導炉	13 表面処理炉 めっき炉 黒化炉 拡散炉 その他の表面処理炉
5 鉄鋼真空溶解炉 鉄鋼真空抵抗溶解炉 鉄鋼真空誘導溶解炉 鉄鋼真空アーク溶解炉 鉄鋼電子ビーム溶解炉 鉄鋼真空プラズマアーク炉 その他の鉄鋼溶解炉	

### 3. 既存工業炉の分類

#### ■ 日本標準商品分類における区分②

6	非鉄金属溶解炉 非鉄金属反射炉 非鉄金属るつぼ炉 製鋼転炉 非鉄金属回転炉 非鉄金属アーク炉	14	雰囲気ガス変成炉 発熱形ガス変成炉 吸熱形ガス変成炉 その他の雰囲気ガス変成炉 その他の金属用熱処理炉（真空熱処理炉を含む）
7	非鉄金属誘導炉 非鉄金属高周波誘導炉 非鉄金属低周波るつぼ形誘導炉 非鉄金属低周波みぞ形誘導炉	15	金属用焼結炉・ばい焼炉 粉末金属焼結炉 鉍石焼結炉 鉍石ばい焼炉
8	非鉄金属真空溶解炉 非鉄金属真空抵抗溶解炉 非鉄金属真空誘導溶解炉 非鉄金属真空アーク溶解炉 非鉄金属電子ビーム溶解炉 非鉄金属真空プラズマアーク炉 その他の非鉄金属溶解炉 その他の金属溶解炉	16	窯業用焼成炉 セメント焼成炉 石灰焼成炉 陶磁器焼成炉 耐火物焼成炉（セラミック焼結炉を含む） その他の焼成炉
9	金属用均熱炉 金属均熱炉 非鉄金属均熱炉	17	窯業用溶解炉 ガラス溶解炉 その他の溶解炉 ガラス熱処理炉 その他の窯業用炉
		18	乾燥炉 鋳型乾燥炉 中子乾燥炉 焼付乾燥炉 窯業用乾燥炉 化学工業用乾燥炉 その他の乾燥炉
		19	脱臭炉

### 3. 既存工業炉の分類

日本工業炉協会が区分する燃焼炉、抵抗炉、誘導加熱、アーク炉は、今回の「加熱方式」に一対一对応している。

#### ■ 日本工業炉協会における区分



「加熱方式」

1. 燃焼直火式
2. 燃焼間接加熱式
3. 電気抵抗加熱式
4. 電気アーク加熱式
5. 電気誘導加熱式

(出所) 日本工業炉協会

#### 4. 新工業炉カテゴリー

以上より、日本標準商品分類における工業炉を、日本工業炉協会監修の元、新工業炉カテゴリーに応じて分類した。どの炉がどのカテゴリーに入るかを整理することで、次年度アンケート回答の炉種を特定できるとともに、特定した炉に応じて適切なCO2シミュレーションを行うことが可能となる。

##### ■ 新工業炉カテゴリー①

No	熱源	加熱方式	用途	素材	日本標準商品分類における工業炉
1	燃料	直火式	溶解	鉄	キューボラ
2	燃料	直火式	溶解	非鉄	非鉄金属反射炉、非鉄金属るつぼ炉
3	燃料	直火式	溶解	窯業	ガラス溶解炉
4	燃料	直火式	加熱	鉄	金属均熱炉、鉄鋼圧延加熱炉、鉄鋼鍛造加熱炉、焼きばね炉
5	燃料	直火式	加熱	非鉄	非鉄金属均熱炉、非鉄金属圧延加熱炉、非鉄金属鍛造加熱炉、焼きばね炉
6	燃料	直火式	加熱	窯業	セメント焼成炉、石灰焼成炉、陶磁器焼成炉、耐火物焼成炉、その他焼成炉、ガラス熱処理炉、その他の窯業用炉
7	燃料	直火式	熱処理	鉄	焼ならし炉、焼入炉、焼戻炉、焼なまし炉
8	燃料	直火式	熱処理	非鉄	焼入炉、焼戻炉、焼なまし炉
9	燃料	直火式	熱処理	窯業	—
10	燃料	直火式	乾燥他	鉄	焼付乾燥炉、その他の乾燥炉
11	燃料	直火式	乾燥他	非鉄	その他の乾燥炉
12	燃料	直火式	乾燥他	窯業	鋳型乾燥炉、中子乾燥炉、窯業用乾燥炉、その他の乾燥炉
13	燃料	間接加熱式	溶解	鉄	—
14	燃料	間接加熱式	溶解	非鉄	非鉄金属るつぼ炉
15	燃料	間接加熱式	溶解	窯業	—
16	燃料	間接加熱式	加熱	鉄	ろう付炉
17	燃料	間接加熱式	加熱	非鉄	ろう付炉
18	燃料	間接加熱式	加熱	窯業	—
19	燃料	間接加熱式	熱処理	鉄	焼ならし炉、焼入炉、焼戻炉、焼なまし炉、焼戻炉、酸化炉、還元酸化炉、軟酸化炉、その他の熱処理炉、黒化炉
20	燃料	間接加熱式	熱処理	非鉄	焼入炉、焼戻炉、焼なまし炉
21	燃料	間接加熱式	熱処理	窯業	ガラス熱処理炉
22	燃料	間接加熱式	乾燥他	鉄	その他の乾燥炉
23	燃料	間接加熱式	乾燥他	非鉄	その他の乾燥炉
24	燃料	間接加熱式	乾燥他	窯業	その他の乾燥炉

## 4. 新工業炉カテゴリー

### ■ 新工業炉カテゴリー②

No	熱源	加熱方式	用途	素材	日本標準商品分類における工業炉
25	電気	抵抗加熱式	溶解	鉄	鉄鋼真空抵抗溶解炉
26	電気	抵抗加熱式	溶解	非鉄	非鉄金属るつば炉、非鉄金属真空抵抗溶解炉
27	電気	抵抗加熱式	溶解	窯業	ガラス溶解炉
28	電気	抵抗加熱式	加熱	鉄	金属均熱炉、ろう付炉、その他の金属用加熱炉
29	電気	抵抗加熱式	加熱	非鉄	非鉄金属均熱炉、ろう付炉、その他の金属用加熱炉
30	電気	抵抗加熱式	加熱	窯業	—
31	電気	抵抗加熱式	熱処理	鉄	焼ならし炉、焼入炉、焼戻炉、焼なまし炉、焼入れ炉、焼戻し炉、焼なまし炉、その他の表面熱処理炉、その他の表面熱処理炉
32	電気	抵抗加熱式	熱処理	非鉄	焼ならし炉、焼入炉、焼戻炉、焼なまし炉、その他の表面熱処理炉、その他の表面熱処理炉
33	電気	抵抗加熱式	熱処理	窯業	ガラス熱処理炉、その他の窯業用炉
34	電気	抵抗加熱式	乾燥他	鉄	その他の乾燥炉
35	電気	抵抗加熱式	乾燥他	非鉄	その他の乾燥炉
36	電気	抵抗加熱式	乾燥他	窯業	その他の乾燥炉
37	電気	アーク加熱式	溶解	鉄	アーク炉、鉄鋼真空アーク溶解炉
38	電気	アーク加熱式	溶解	非鉄	非鉄金属アーク炉、非鉄金属真空アーク溶解炉
39	電気	アーク加熱式	溶解	窯業	—
40	電気	アーク加熱式	加熱	鉄	—
41	電気	アーク加熱式	加熱	非鉄	—
42	電気	アーク加熱式	加熱	窯業	—
43	電気	アーク加熱式	熱処理	鉄	—
44	電気	アーク加熱式	熱処理	非鉄	—
45	電気	アーク加熱式	熱処理	窯業	—
46	電気	アーク加熱式	乾燥他	鉄	—
47	電気	アーク加熱式	乾燥他	非鉄	—
48	電気	アーク加熱式	乾燥他	窯業	—

No	熱源	加熱方式	用途	素材	日本標準商品分類における工業炉
49	電気	誘導加熱式	溶解	鉄	鉄鋼誘導炉、鉄鋼真空誘導溶解炉
50	電気	誘導加熱式	溶解	非鉄	非鉄金属誘導炉、非鉄金属真空誘導溶解炉
51	電気	誘導加熱式	溶解	窯業	—
52	電気	誘導加熱式	加熱	鉄	鉄鋼圧延加熱炉、焼き詰め炉、ろう付炉
53	電気	誘導加熱式	加熱	非鉄	非鉄金属圧延加熱炉、非鉄金属鍛造加熱炉、ろう付炉
54	電気	誘導加熱式	加熱	窯業	—
55	電気	誘導加熱式	熱処理	鉄	焼ならし炉、焼入炉、焼戻炉、焼なまし炉
56	電気	誘導加熱式	熱処理	非鉄	—
57	電気	誘導加熱式	熱処理	窯業	—
58	電気	誘導加熱式	乾燥他	鉄	—
59	電気	誘導加熱式	乾燥他	非鉄	—
60	電気	誘導加熱式	乾燥他	窯業	—

---

( i ) 新工業炉カテゴリー

( ii ) 新推計・シミュレーション方法

## 1. 調査票案

新推計・シミュレーション方法を検討するため、次年度実施予定の調査票案を検討した。  
検討にあたり、日本工業炉協会の技術企画委員と2回協議を行い、主に以下の要素を検討した。

---

### ➤ 2月3日打ち合わせ時の検討

- ① 日本工業炉協会提供の炉区分を反映
- ② 試算表をつくるだけでなく、調査票案も作成して準備する必要あり
- ③ アンケートでは炉の区分を回答できるように
- ④ 年間使用量と分かるよう明記、電気 → 電力へ表記変更
- ⑤ 定格能力、主要最高温度を基本情報へ追記
- ⑥ 最終エネと一次エネ混同しないよう、まずは一次エネの原油換算で算出し、最後にCO<sub>2</sub>へ変換
- ⑦ 対象燃料に（換算係数が大きく違えば）副生ガスを追加
- ⑧ 弊社提示資料のくくりで省エネ率の対象選定
- ⑨ 誘導溶解、金属溶解を前回調査\*区分に紐づける
- ⑩ アンケート回答炉の省エネ炉有無の判断がつくよう、アンケート設問項目を詳細に設定

\*「平成26年度エネルギー使用合理化促進基盤整備事業（工業炉等における省エネルギー技術に関する実態調査）報告書」

### ➤ 2月10日の検討

- ① 工業炉の種類は別紙リストより選択、付表などで工業炉の詳細解説を付記
- ② 生産量は勘違いするので、処理量へ変更
- ③ 最高温度だけだと回答しにくいいため、注釈を入れる
- ④ LPGの単位はt（トン）から変更、LNGは分かりやすいようにする
- ⑤ 単位換算法を付記
- ⑥ 廃熱回収では高効率レキュペレータは曖昧であるため、高効率レキュペレータ等へ変更、委員会で要検討

## 1. 調査票案

その結果、保有炉1台ごとに回答する様式として、次の通り調査票案を整理した。

**(1) 炉の選択**は、回答する工業炉を特定するものであり、この回答で**工業炉の分類を明確化**する。

**(2) 基本情報**は、工業炉の基本仕様を整理するものであり、**原単位作成に使用する「年間処理量」「年間稼働時間」「設備容量」**に加え、**最新の工業炉かどうかを判断するために「使用年数」**の回答を得る。

### ■ 調査票案①

#### (1) 炉の選択

➤ 工業炉の種類について1台ごとにご記入ください

- ① 種類 : ( 燃焼直火式 、 燃焼間接加熱式 、 電気抵抗加熱式 、 電気アーク加熱式 、 電気誘導加熱式 )
- ② 用途 : ( 溶解 、 加熱 、 熱処理 、 乾燥他 )
- ③ 素材 : ( 鉄 、 非鉄 、 窯業他 )

#### (2) 基本情報

➤ 工業炉の仕様について1台ごとにご記入ください

- ① 工業炉の種類 : ※別紙リストより選択※
- ② 使用年数 : 年
- ③ 年間稼働時間 : 時間
- ④ 設備容量 : kW ( MJ/h)
- ⑤ 操業上の最高温度 : °C
- ⑥ 年間処理量 : t

## 1. 調査票案

**(3) エネルギー使用量**は、**電力量**に加え**燃料別 (CO2排出係数が異なるため)**に回答を得ることとする。

**(4) 原単位**は、**回答者が把握している可能性がある**ため、設問を設ける。

### ■ 調査票案②

#### (3) エネルギー使用量

➤ エネルギーの年間使用量について1台ごとにご記入ください

- |                |   |                |
|----------------|---|----------------|
| ① 電力量          | : | kWh            |
| ② A重油          | : | L              |
| ③ 灯油/軽油        | : | L              |
| ④ LPG (液化石油ガス) | : | kg             |
| ⑤ 都市ガス         | : | m <sup>3</sup> |
| ⑥ LNG (液化天然ガス) | : | kg             |
| ⑦ 石炭           | : | kg             |
| ⑧ コークス炉ガス      | : | m <sup>3</sup> |
| ⑨ 高炉ガス         | : | m <sup>3</sup> |
| ⑩ 転炉ガス         | : | m <sup>3</sup> |
| ⑪ その他 ( )      | : | (単位; )         |

#### (4) 原単位

➤ 工業炉の原単位について1台ごとにご記入ください

- |         |   |  |
|---------|---|--|
| ① 電力原単位 | : | kWh/t-処理量                                      |
| ② 燃料原単位 | : | MJ/t-処理量※ ( kcal/t-処理量) ※処理物のみを対象とし、バスケット重量を除く |

## 1. 調査票案

**(5) 現状の省エネ技術導入状況**は、現在導入済みの工業炉が**省エネ炉かどうか判断**するため、設問を設ける。

**(6) 今後の省エネ技術導入意向**は、**今後省エネ炉に切り替わる可能性を把握**するため、設問を設ける。

### ■ 調査票案③

#### (5) 現状の省エネ技術導入状況

➤ 現状の工業炉が次の省エネ技術を取り入れているか、あてはまるものに○を、1台ごとにご記入ください

① 断熱強化 ( あり、なし )

※断熱強化：耐火断熱材が高断熱性耐火物（セラミックファイバー等）で構成されている

② 廃熱回収 ( リジェネバーナ、レキュペレータ、なし )

③ 原材料予熱 ( あり、なし )

※原材料予熱：当該装置からの廃熱を回収して、被加熱物の予熱を行う

④ 高効率誘導加熱 ( 具備している、なし )

※高効率誘導加熱：最新型のインバータ（IGBT または MOSFET）を具備

・高効率誘導加熱かどうかは、最新型のインバータを導入しているかどうか回答者が判断できるとは考え難いため、使用年数（例：10年）から判断することも一案

#### (6) 今後の省エネ技術導入意向

➤ (5) にて「なし」を回答した炉に対して伺います。今後省エネ技術を取り入れていきますか、1台ごとにご記入ください

① 断熱強化 ( 取り入れる、取り入れない )

② 廃熱回収 ( 取り入れる、取り入れない )

③ 原材料予熱 ( 取り入れる、取り入れない )

④ 高効率誘導加熱 ( 取り入れる、取り入れない )

## 1. 調査票案

**(7) 今後の燃料転換意向**は、**今後の燃料転換によるCO2排出量削減可能性を把握**するため、設問を設ける。

**(8) 今後の電気加熱導入意向**は、**今後燃焼炉を電気加熱に切り替わる可能性を把握**するため、設問を設ける。

### ■ 調査票案④

#### (7) 今後の燃料転換意向

➤ 燃焼炉（燃焼直火式、燃焼間接加熱式）を回答した炉に伺います。今後燃料転換を行っていきますか、1台ごとにご記入ください

① 都市ガス/LNG燃料へ切り替え （あり、なし、既に切り替え済み）

② バイオマス燃料へ切り替え （あり、なし、既に切り替え済み）

③ 水素燃料へ切り替え （あり、なし、既に切り替え済み）

④ アンモニア燃料へ切り替え （あり、なし、既に切り替え済み）

#### (8) 今後の電気加熱導入意向

➤ 燃焼炉（燃料直火式、燃料間接加熱式）を回答した炉に伺います。今後電気加熱に切り替えていきますか。1台ごとにご記入ください

・電気加熱へ切り替え （あり、なし、既に切り替え済み）

## 2. 別紙リスト

回答する熱量計算を支援するため、アンケート実施時は、添付資料として熱量計算の最新の排出係数を用意する。

### ■ 別紙リスト①

[本表]		標準発熱量(総)	
			2020年1月改訂
		計量単位	2018年度 標準発熱量
			MJ/計量単位
石炭			
石炭			
	輸入原料炭	kg	28.74
	コークス用原料炭	kg	28.88
	吹込用原料炭	kg	28.26
	輸入一般炭	kg	26.08
	輸入無煙炭	kg	27.80
石炭製品			
	コークス	kg	29.01
	コークス炉ガス	m <sup>3</sup>	18.38
	高炉ガス	m <sup>3</sup>	3.231
	転炉ガス	m <sup>3</sup>	7.528
石油			
原油			
	原油	L	38.26
	NGL・コンデンセート	L	34.79
石油製品			
	LPG	kg	50.08
	ナフサ	L	33.31
	ガソリン	L	33.36
	ジェット燃料油	L	36.30
	灯油	L	36.49
	軽油	L	38.04
	A重油	L	38.90
	C重油	L	41.78
	潤滑油	L	40.20
	その他重質石油製品	kg	40.00
	オイルコークス	kg	33.29
	製油所ガス	m <sup>3</sup>	46.12

[本表]		標準発熱量(総)	
			2020年1月改訂
		計量単位	2018年度 標準発熱量
			MJ/計量単位
ガス			
	可燃性天然ガス		
	輸入天然ガス(LNG)	kg	54.70
	国産天然ガス	m <sup>3</sup>	38.38
	都市ガス		
	都市ガス ※2	m <sup>3</sup>	39.96
電力			
	発電時		
	発電端投入熱量	kWh	8.562
	消費時	kWh	3.600
	電力発生熱量	kWh	3.600
	受電端投入熱量	kWh	9.370
熱			
	消費時		
	100°C飽和蒸気発生熱量	kg	2.573

(出所)「エネルギー源別標準発熱量・炭素排出係数一覧表」[資源エネルギー庁、2020年1月31日改定]

## 2. 別紙リスト

また回答時の工業炉カテゴリー選定を支援するため、アンケート実施時は、添付として新工業炉カテゴリーを用意する。

### ■ 別紙リスト②（再掲）

No	熱源	加熱方式	用途	素材	日本標準商品分類における工業炉
1	燃料	直火式	溶解	鉄	キューボラ
2	燃料	直火式	溶解	非鉄	非鉄金属反射炉、非鉄金属るつぼ炉
3	燃料	直火式	溶解	窯業	ガラス溶解炉
4	燃料	直火式	加熱	鉄	金属均熱炉、鉄鋼圧延加熱炉、鉄鋼鍛造加熱炉、焼きばね炉
5	燃料	直火式	加熱	非鉄	非鉄金属均熱炉、非鉄金属圧延加熱炉、非鉄金属鍛造加熱炉、焼きばね炉
6	燃料	直火式	加熱	窯業	セメント焼成炉、石灰焼成炉、陶磁器焼成炉、耐火物焼成炉、その他焼成炉、ガラス熱処理炉、その他の窯業用炉
7	燃料	直火式	熱処理	鉄	焼ならし炉、焼入炉、焼戻炉、焼なまし炉
8	燃料	直火式	熱処理	非鉄	焼入炉、焼戻炉、焼なまし炉
9	燃料	直火式	熱処理	窯業	—
10	燃料	直火式	乾燥他	鉄	焼付乾燥炉、その他の乾燥炉
11	燃料	直火式	乾燥他	非鉄	その他の乾燥炉
12	燃料	直火式	乾燥他	窯業	鋳型乾燥炉、中子乾燥炉、窯業用乾燥炉、その他の乾燥炉
13	燃料	間接加熱式	溶解	鉄	—
14	燃料	間接加熱式	溶解	非鉄	非鉄金属るつぼ炉
15	燃料	間接加熱式	溶解	窯業	—
16	燃料	間接加熱式	加熱	鉄	ろう付炉
17	燃料	間接加熱式	加熱	非鉄	ろう付炉
18	燃料	間接加熱式	加熱	窯業	—
19	燃料	間接加熱式	熱処理	鉄	焼ならし炉、焼入炉、焼戻炉、焼なまし炉、焼成炉、酸化炉、還元酸化炉、軟酸化炉、その他の熱処理炉、酸化炉
20	燃料	間接加熱式	熱処理	非鉄	焼入炉、焼戻炉、焼なまし炉
21	燃料	間接加熱式	熱処理	窯業	ガラス熱処理炉
22	燃料	間接加熱式	乾燥他	鉄	その他の乾燥炉
23	燃料	間接加熱式	乾燥他	非鉄	その他の乾燥炉
24	燃料	間接加熱式	乾燥他	窯業	その他の乾燥炉

## 2. 別紙リスト

### ■ 別紙リスト③（再掲）

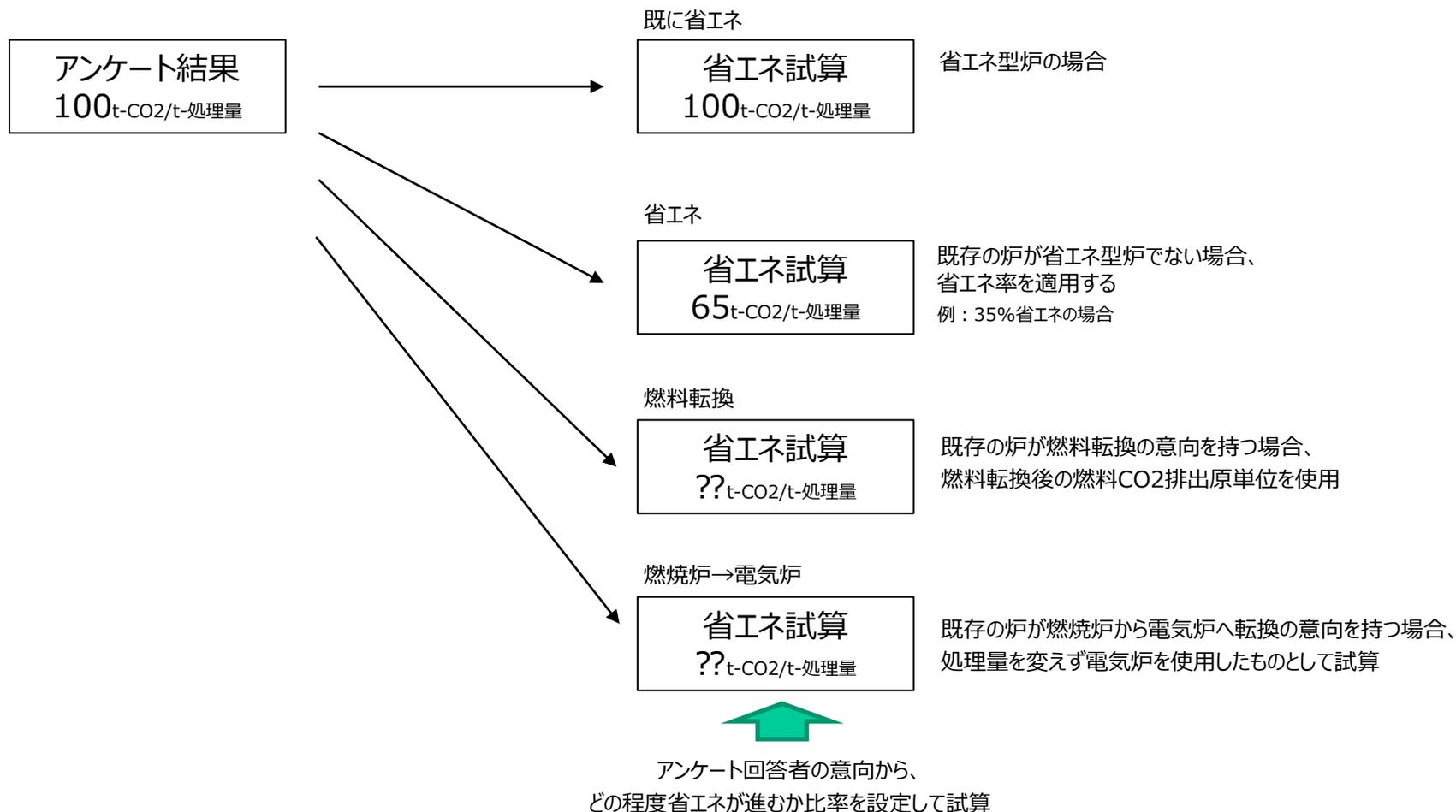
No	熱源	加熱方式	用途	素材	日本標準商品分類における工業炉	No	熱源	加熱方式	用途	素材	日本標準商品分類における工業炉
25	電気	抵抗加熱式	溶解	鉄	鉄鋼真空抵抗溶解炉	49	電気	誘導加熱式	溶解	鉄	鉄鋼誘導炉、鉄鋼真空誘導溶解炉
26	電気	抵抗加熱式	溶解	非鉄	非鉄金属るつぼ炉、非鉄金属真空抵抗溶解炉	50	電気	誘導加熱式	溶解	非鉄	非鉄金属誘導炉、非鉄金属真空誘導溶解炉
27	電気	抵抗加熱式	溶解	窯業	ガラス溶解炉	51	電気	誘導加熱式	溶解	窯業	—
28	電気	抵抗加熱式	加熱	鉄	金属均熱炉、ろう付炉、その他の金属用加熱炉	52	電気	誘導加熱式	加熱	鉄	鉄鋼圧延加熱炉、焼き締め炉、ろう付炉
29	電気	抵抗加熱式	加熱	非鉄	非鉄金属均熱炉、ろう付炉、その他の金属用加熱炉	53	電気	誘導加熱式	加熱	非鉄	非鉄金属圧延加熱炉、非鉄金属鍛造加熱炉、ろう付炉
30	電気	抵抗加熱式	加熱	窯業	—	54	電気	誘導加熱式	加熱	窯業	—
31	電気	抵抗加熱式	熱処理	鉄	<small>焼ならし炉、焼入炉、焼なまし炉、焼戻炉、焼入れ炉、焼戻炉、焼入れ炉、焼戻炉、焼入れ炉、焼戻炉、焼入れ炉、焼戻炉、焼入れ炉、焼戻炉</small>	55	電気	誘導加熱式	熱処理	鉄	焼ならし炉、焼入炉、焼戻炉、焼なまし炉
32	電気	抵抗加熱式	熱処理	非鉄	焼ならし炉、焼入炉、焼戻炉、焼なまし炉、その他の表面熱処理炉、その他の表面処理炉	56	電気	誘導加熱式	熱処理	非鉄	—
33	電気	抵抗加熱式	熱処理	窯業	ガラス熱処理炉、その他の窯業用炉	57	電気	誘導加熱式	熱処理	窯業	—
34	電気	抵抗加熱式	乾燥他	鉄	その他の乾燥炉	58	電気	誘導加熱式	乾燥他	鉄	—
35	電気	抵抗加熱式	乾燥他	非鉄	その他の乾燥炉	59	電気	誘導加熱式	乾燥他	非鉄	—
36	電気	抵抗加熱式	乾燥他	窯業	その他の乾燥炉	60	電気	誘導加熱式	乾燥他	窯業	—
37	電気	アーク加熱式	溶解	鉄	アーク炉、鉄鋼真空アーク溶解炉						
38	電気	アーク加熱式	溶解	非鉄	非鉄金属アーク炉、非鉄金属真空アーク溶解炉						
39	電気	アーク加熱式	溶解	窯業	—						
40	電気	アーク加熱式	加熱	鉄	—						
41	電気	アーク加熱式	加熱	非鉄	—						
42	電気	アーク加熱式	加熱	窯業	—						
43	電気	アーク加熱式	熱処理	鉄	—						
44	電気	アーク加熱式	熱処理	非鉄	—						
45	電気	アーク加熱式	熱処理	窯業	—						
46	電気	アーク加熱式	乾燥他	鉄	—						
47	電気	アーク加熱式	乾燥他	非鉄	—						
48	電気	アーク加熱式	乾燥他	窯業	—						

### 3. 省エネ比率試算の考え方

以上調査票で得られたアンケート結果により、次年度は現状のCO2原単位把握を図る。その上で、現状の工業炉が省エネ型炉かどうか、燃烧炉かの回答を組み合わせることで、今後の省エネポテンシャルを試算する。

また今後どの程度省エネが進むかは、アンケート回答者の意向結果から比率を設定して試算することで、現実の意向に応じた感度分析を試みる。

#### ■ 考え方イメージ：100t-CO2/t-処理量の場合



### 3. 省エネ比率試算の考え方

各工業炉の省エネは、前回調査と同様、「廃熱回収」「原材料予熱」「断熱強化」「高効率誘導加熱」「高効率金属溶解炉」の5要素にて、省エネ状況を評価することとした。

炉形態	省エネ型炉の要素	技術・手法	評価基準	課題等
燃焼	廃熱回収	<ul style="list-style-type: none"> <li>リジネバーナ（低NOx型リジネバーナ）</li> <li>高効率レキュペレータ（廃熱回収装置としてエネルギー源の大幅な節約を実現する高性能金属製換熱器）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>AH 70~80%以上のもの</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>リジネバーナはイニシャルコスト及びメンテナンスコストが割高であり、導入の障壁になっている</li> </ul>
	原材料予熱	<ul style="list-style-type: none"> <li>大型装置の連続炉での対応</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>廃熱回収型の一形態</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>当該工業炉で発生する廃熱を活用することも可能であるが、他のプロセスで発生した廃熱の有効活用するものでなければ意味がない場合もある</li> <li>大型炉に対応し、数量限定的である</li> </ul>
	断熱強化	<ul style="list-style-type: none"> <li>高効率断熱材（省エネ断熱材の開発）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高断熱性耐火物の使用（炉外壁温度で規定）</li> <li>バッチ炉の場合はかさ密度の低い断熱材の使用（例：かさ密度0.6以下）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>従来より高効率断熱材とされてきた、セラミックファイバーは一般化しており、高効率型と言えなくなっている</li> <li>一方、近年開発されている高性能断熱材はコストが高く、普及していない</li> </ul>
誘導加熱	誘導加熱	<ul style="list-style-type: none"> <li>高効率機器の使用、コイルの最適化等</li> <li>既存の真空管設備の半導体化（IGBTまたはMOFSET）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高効率機器の使用</li> <li>電力の高密度化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>装置構成によっては段取り作業が増える</li> </ul>
	誘導溶解	<ul style="list-style-type: none"> <li>高効率機器の使用、電力の高密度化等</li> <li>既存の真空管設備の半導体化（IGBTまたはMOFSET）</li> </ul>		
	(燃焼からの) 電化ポテンシャル			<ul style="list-style-type: none"> <li>電化についての支援策については別途協議が必要である。</li> </ul>
抵抗炉	断熱強化	<ul style="list-style-type: none"> <li>高効率断熱材（省エネ断熱材の開発）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高断熱性耐火物の使用</li> <li>バッチ炉の場合はかさ密度の低い断熱材の使用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>同上</li> </ul>
	(燃焼からの) 電化ポテンシャル			<ul style="list-style-type: none"> <li>電化についての支援策については別途協議が必要である。</li> </ul>

### 3. 省エネ比率試算の考え方

**廃熱回収**は諸条件により省エネ率に幅がある。今回は、日本工業炉協会提供資料に基づき、省エネ率**38%**を適用する。

#### ■ 廃熱回収の省エネ

	区分	定格クラス	装置概算価格* (100万)	台当たり エネルギー** (kL)	台当たり CO2 排出*** (t-CO2)
廃熱回収	従来型（廃熱回収なし）	100kW	14	67	1,327
		1MW	31	669	13,271
		10MW	197	6,687	132,710
		50MW	937	33,437	663,552
	リジェネレータ／ 高効率レキユ	100kW	16	41	823
		1MW	35	415	8,228
		10MW	222	4,146	82,280
		50MW	1,054	20,731	411,402

\*R3 先進的省エネルギー投資促進支援事業 検討結果をもとに類推（掛かり増し 11.1%）

\*\* 排ガス温度 1100℃、AH 42%（従来型）、AH 80%（省エネ型）、年間 300 日×24H で計算（廃熱回収は全て省エネ率 38%）

\*\*\* 0.0512 kg-CO2/MJ

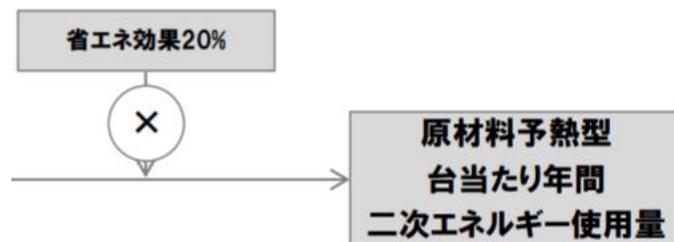
（出所）「工業炉省エネ技術等まとめ資料」[日本工業炉協会、2021年11月]

### 3. 省エネ比率試算の考え方

**原材料予熱**は、諸条件により省エネ率に幅がある。今回は、前回調査時に用いた**20%**を適用する。

---

#### ■ 原材料予熱の省エネ



(出所)「平成26年度エネルギー使用合理化促進基盤整備事業（工業炉等における省エネルギー技術に関する実態調査）報告書」〔野村総合研究所、平成27年2月〕

### 3. 省エネ比率試算の考え方

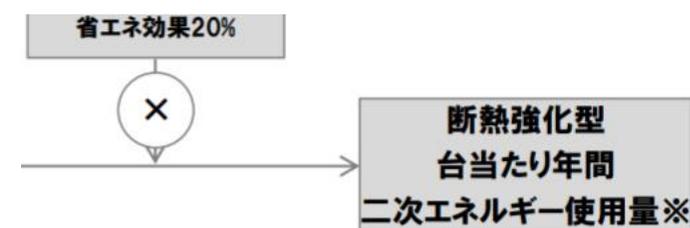
**断熱強化**による省エネは、日本工業炉協会提供資料によると、2%から33%と幅がある。  
そのため、前回調査時に用いた**20%**を適用する。

#### ■ 断熱強化の省エネ

炉内温度 (単位:℃)	省エネ型** 炉壁外面温度(℃)			従来型*** 炉壁外面温度(℃) (省エネ型+50℃)			容量別 上段:炉壁損失(kW) (左:省エネ, 右:従来) 下段:省エネ率/かっこ内 省エネ前(従来型) のkW数					
	天井	側壁	底面	天井	側壁	底面	320kW*		4MW*		95MW*	
							省エネ	従来	省エネ	従来	省エネ	従来
1,300℃以上	120	110	160	170	160	210	219	332	320	725	3,804	7,145
							26% (430kW)		9% (4.4MW)		4% (98MW)	
1,100℃以上 1,300℃未満	110	100	135	160	150	185	181	336	339	636	3,372	6,205
							33% (480kW)		7% (4.3MW)		3% (98MW)	
900℃以上 1,100℃未満	100	90	110	150	140	160	147	291	276	553	2,771	5,402
							31% (460kW)		6% (4.3MW)		3% (98MW)	
900℃未満	80	70	90	130	120	140	99	228	185	433	1,850	4,206
							29% (450kW)		6% (4.2MW)		2% (97MW)	

(出所)「工業炉省エネ技術等まとめ資料」[日本工業炉協会、2021年11月]

#### ■ 断熱強化の省エネ率



(出所)「平成26年度エネルギー使用合理化促進基盤整備事業(工業炉等における省エネルギー技術に関する実態調査)報告書」[野村総合研究所、平成27年2月]

### 3. 省エネ比率試算の考え方

**高効率誘導加熱**の場合、日本工業炉協会提供資料によると、既存の誘導加熱装置を、最適コイル化により**5%~10%程度**、真空管→半導体化により**30%程度**、**計35%程度**の省エネが実現可能である。

なお、同じく日本工業炉協会提供資料によると、既存の燃焼焼き入れ装置を、高周波焼き入れ装置に燃転した場合、**数10%**の省エネ率、既存の燃焼溶解装置を、誘導溶解炉に燃転した場合、**20%程度**の省エネの見込みである。

#### ■ 誘導加熱の省エネ

	低炭素型の概要	能力：ボリュームゾーン	省エネ率	備考
誘導加熱装置	最適コイル化（最適コイル径、コイル長、周波数等） 無水冷レールの採用	500kW~ 2,000kW	5%~10%程度* *	省エネのためにはコイルの切替頻度が高くなる。 無水冷となると短寿命となるためメンテ費用/労力がかさむ。
焼入れ装置	加熱手法の合理化 （例：一発焼入れ）	~1,500kW	数10%の省エネ率が見込める* *	最適コイルのため、コイル切替頻度が高くなる。
	高周波化による電力の高密度化			
溶解炉	高周波化による電力の高密度化	500kW ~ 4,000kW	20%程度**	短時間で溶解するので、過昇温の危険性あり。
誘導加熱全般	真空管→半導体 (IGBT または MOSFET) 化	数十 kW~ 数百 kW	30%程度*	真空管台数 100kW 1,000 台 50kW 数千台 周波数 20~30kHz 以上

(出所)「工業炉省エネ技術等まとめ資料」[日本工業炉協会、2021年11月]

### 3. 省エネ比率試算の考え方

**高効率金属溶解**とは、鋳物材料を溶解する場合に、従来型と比較して投入電力を高密度化させるものとしており、誘導溶解炉を想定したものである。

誘導溶解炉自体の省エネは、別途高効率誘導加熱にて取り上げ省エネ比率を設定しているため、**高効率金属溶解の要素として特段省エネ比率の設定は行わない。**

---

#### ■ 高効率金属溶解の定義

金属溶解型	<ul style="list-style-type: none"><li>● 鋳物材料等を溶解する場合に、従来型と比較して投入電力を高密度化させることにより、溶解時間を短縮し、放散熱の抑制を可能にすることにより、使用エネルギーを削減し、CO2削減に寄与するもの</li></ul>
-------	---

(出所)「平成26年度エネルギー使用合理化促進基盤整備事業（工業炉等における省エネルギー技術に関する実態調査）報告書」〔野村総合研究所、平成27年2月〕



#### 4. 新推計・シミュレーション方法

基本情報は、「年間処理量 (t-処理量)」「年間稼働時間 (h)」「設備容量 (kW、MJ/h)」が重要となる。これらは原単位を作成する際のベースの値となる。

---

基本情報						
炉種	使用年数	年間稼働時間 (h)	設備容量 (kW)	設備容量 (MJ/h)	主要最高温度 (°C)	年間処理量 (t-処理量)
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">アンケートで 黄色セルの回答を得る</div>						

#### 4. 新推計・シミュレーション方法

電気炉原単位は、回答者が把握している場合はその回答結果を使用する（「電力原単位（kWh/t-処理量）」「CO2排出原単位A（t-CO2/t-処理量）」）。回答者が把握していない場合は、「年間電力量（kWh）」「年間処理量（t-処理量）」の回答結果から試算する（「CO2排出原単位B（t-CO2/t-処理量）」）。

CO2の換算係数は、環境省が公表する最新の係数0.000453t-CO2/kWhを用いる。

アンケート回答工場の電気炉原単位			
電力原単位（kWh/t-処理量）	CO2換算原単位A（t-CO2/t-処理量）	年間電力量（kWh）	CO2換算原単位B（t-CO2/t-処理量）

アンケートで黄色セルの回答を得る

	t-CO2/kWh
電力	0.000453

#### 4. 新推計・シミュレーション方法

燃烧炉原単位は、回答者が把握している場合はその回答結果を使用する（「燃料原単位（MJ/t-処理量）」「CO2排出原単位C（t-CO2/t-処理量）」）。回答者が把握していない場合は、「燃料（MJ）」等の燃料使用量と「年間処理量（t-処理量）」の回答結果から試算する（「CO2排出原単位D（t-CO2/t-処理量）」）。

CO2の排出係数は、環境省が公表する最新の係数を、燃料種に応じて用いる。

アンケート回答工場の燃烧炉原単位													
燃料原単位 (MJ/t-処理量)	CO2換算原単位C (t-CO2/t-処理量)	燃料 (MJ)	A重油 (L)	灯油 (L)	軽油 (L)	LPG (kg)	都市ガス (m3)	LNG (kg)	石炭 (kg)	コークス炉ガス (m)	高炉ガス (m)	転炉ガス (m)	CO2換算原単位D (t-CO2/t-処理量)

アンケートで  
黄色セルの回答を得る

	t-CO2/MJ	t-CO2/L
A重油	0.0000697	0.00271
	t-CO2/MJ	t-CO2/L
灯油	0.0000682	0.00249
	t-CO2/MJ	t-CO2/L
軽油	0.0000678	0.00258
	t-CO2/MJ	t-CO2/kg
LPG	0.0000599	0.00300
	t-CO2/MJ	t-CO2/m3
都市ガス	0.0000556	0.00222
	t-CO2/MJ	t-CO2/kg
LNG	0.0000494	0.00270
	t-CO2/MJ	t-CO2/kg
石炭	0.0000893	0.00233
	t-CO2/MJ	t-CO2/m3
コークス炉ガス	0.0000462	0.00085
	t-CO2/MJ	t-CO2/m3
高炉ガス	0.0001021	0.00033
	t-CO2/MJ	t-CO2/m3
転炉ガス	0.0001567	0.00118

#### 4. 新推計・シミュレーション方法

省エネ型炉原単位は、電気炉原単位、燃焼炉原単位で試算した値を元に、「高効率誘導加熱」「高効率金属溶解」「断熱強化」「廃熱回収」「原材料予熱」ごとに、予め設定された省エネ比率を乗じることで試算する。

省エネ型炉原単位					
誘導加熱	金属溶解	断熱強化	廃熱回収	原材料予熱	省エネ型炉原単位 (t-CO2/t-処理量)
		80%	62%	80%	
		80%	62%	80%	
		80%	62%	80%	
		80%	62%	80%	
		80%	62%	80%	
		80%	62%	80%	
		80%	62%	80%	
		80%	62%	80%	
		80%	62%	80%	

#### 4. 新推計・シミュレーション方法

以上を整理すると、以下の計算式となる。燃料の場合、燃料種に応じて固有のCO2排出係数を使用する。バイオマス、水素、アンモニア等カーボンニュートラル燃料の場合は、「0 t-CO2/燃料単位」を乗ずることで、CO2排出量が 0 t-CO2 となる。また電気炉原単位および燃焼炉原単位を把握している工場の場合、処理量で除することはせず、直接CO2排出係数を掛けることとする。最後に炉種に応じた省エネ比率を掛けることで、省エネ型炉の原単位試算が可能となる。

---

##### (1) 電気炉

$$\text{省エネ型炉原単位 (t-CO2/t-処理量)} = \frac{\text{年間電力量 (kWh)} \times \text{電力[受電端]CO2排出原単位 (t-CO2/kWh)}}{\text{処理量 (t-処理量)}}$$

$$\times \text{ [高効率誘導溶解]導入による省エネ比率 (\%)}$$

##### (2) 燃焼炉

$$\text{省エネ型炉原単位 (t-CO2/t-処理量)} = \frac{\text{年間燃料使用量 (燃料単位)} \times \text{燃料CO2排出原単位 (t-CO2/燃料単位)}}{\text{処理量 (t-処理量)}}$$

$$\times \text{ [断熱強化]による省エネ比率 (\%)} \times \text{ [廃熱回収]による省エネ比率 (\%)}$$

$$\times \text{ [原材料予熱]による省エネ比率 (\%)}$$

## **(2) 工業炉についての国内外の技術動向 ・エネルギー使用状況の調査**

---

本調査では、EU・ドイツおよび米国と日本の3エリア間において、工業炉の区分を省エネ型炉の5区分に整理し、技術動向の比較をし易いようにした。

---

## ■ 調査内容

- ① 令和3年度調査区分（P6）に合わせてEU・ドイツおよび米国と日本の技術動向を比較
  - 工業炉区分の燃焼炉と電気炉を燃焼、誘導加熱、抵抗炉の3区分とした。省エネ型炉の要素の観点から燃焼は廃熱回収、原材料予熱、断熱強化とし、誘導加熱は誘導加熱、誘導溶解、抵抗炉は断熱強化に細分化した。そして、誘導加熱と抵抗炉には燃焼からの電化ポテンシャルを追加し、EU・ドイツおよび米国と日本の3エリアを比較した。
  
- ② 統一された工業炉区分によりEU・ドイツおよび米国と日本の技術開発動向を明確化
  - カテゴリー分けをした区分に対して、省エネ型炉の5区分を省エネの一手法として用いることにより、EU・ドイツおよび米国と日本の3エリアの技術開発動向を整備し、比較可能にした。

## 1. 工業炉区分からみた省エネ技術開発動向

下表は、令和3年度の工業炉区分をベースにみた、EU・ドイツ、米国、日本の工業炉におけるカーボンニュートラル化に向けた技術的取り組みを示している。

炉形態区分	省エネ型炉の要素	技術・手法
燃焼	廃熱回収	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶リジェネバーナ（低NOx型リジェネバーナ）</li> <li>▶高効率レキュペレータ（廃熱回収装置としてエネルギー源の大幅な節約を実現する高性能金属製換熱器）</li> </ul>
	原材料予熱	▶大型装置の連続炉での対応
	断熱強化	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶高効率断熱材（省エネ断熱材の開発）</li> <li>▶ハウジングの設計改善（熱損失/ヒートブリッジ対応）</li> </ul>
	燃料転換	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶水素バーナ</li> <li>▶アンモニア燃焼バーナ</li> <li>▶酸素燃焼</li> <li>▶燃料混焼</li> </ul>
	その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶設計開発（シミュレーション含む）</li> <li>▶炭素（CO2）回収システム</li> </ul>
誘導加熱	誘導加熱	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶高効率機器の使用、コイルの最適化等</li> <li>▶既存の真空管設備の半導体化（IGBTまたはMOFSET）</li> </ul>
	誘導溶解	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶高効率機器の使用、電力の高密度化等</li> <li>▶既存の真空管設備の半導体化（IGBTまたはMOFSET）</li> </ul>
抵抗炉		▶（燃焼からの）電化ポテンシャル
	断熱強化	▶高効率断熱材（省エネ断熱材の開発）
		▶（燃焼からの）電化ポテンシャル

## 2. 国内外の工業炉の省エネ技術開発動向

### 1) EU・ドイツ、米国、日本の動向

下表は、2020年前後における、EU・ドイツ、米国、日本の工業炉に関する省エネ技術開発プロジェクトを示している。詳細は、次頁の「文献番号」を参照のこと。

省エネ技術開発時期 / 技術開発動向				
エリア	2010年	2015年	2020年	2030年
EU	★EUの工業炉①（2010年6月～2014年5月）			
			★EUの工業炉②（2019年1月～2019年12月）	
ドイツ			★ドイツの工業炉①（2020年10月）	
			★ドイツの工業炉②（2021年5月）	
米国			★米国の工業炉①（2021年3月）	
			★米国の工業炉②（2021年10月）	
日本		★日本の工業炉①（2017年6月）		
			★日本の工業炉②（2020年3月）	
			★日本の工業炉③（2020年3月）	
			★日本の工業炉④（2021年4月）	
			★日本の工業炉⑤（2021年11月）	

（出所）EU・ドイツ、米国、日本各エリアの工業炉に関する公開情報を基に富士経済作成

## 2. 国内外の工業炉の省エネ技術開発動向

### 1) EU・ドイツ、米国、日本の動向

EUは2010年から環境配慮型工業炉の設計・開発を推進、ドイツでは材料開発や工程制御に着手、米国では製品設計段階からの見直しの他、燃料転換・炭素回収、日本でも水素/アンモニア等の燃料転換等に向けた技術・製品開発を推進している。

エリア	文献番号	省エネ技術開発プロジェクト一覧	
		英文タイトル	概要
EU	EUの工業炉①	New Designs of Ecological Furnaces	環境配慮型設計・開発による省エネ化
	EUの工業炉②	Novel integrated refurbishment solution as a key path towards creating eco-efficient and competitive furnaces	予熱・溶解工業炉のエネルギーおよび環境性能を向上させる電源混合最適化加熱の実証
ドイツ	ドイツの工業炉①	Innovative Thermal Insulation for High-Temperature	高温炉向け新複合材料開発による断熱強化
	ドイツの工業炉②	Controlling energy-efficient thermoprocessing systems with pinpoint	加熱工程のピンポイント制御による省エネ化
米国	米国の工業炉①	The Virtual Blast Furnace - An Integrated High Performance Computing Modeling, Simulation, and Visualization Capability for Steel Manufacturing	工業炉のモデル開発ツールの新開発による消費燃料の低減化の研究
	米国の工業炉②	Application of Transformational UKy 3 Ton/day CO2 Capture System at a Steel Process Plant	電気（アーク）炉におけるCO2回収技術の実証
日本	日本の工業炉①	工業炉におけるCO2排出量削減に向けた、アンモニア燃焼利用技術を開発	連続亜鉛めっき鋼板製造工程における実証評価に目途
	日本の工業炉②	工業利用を目的とした汎用水素バーナの開発	燃焼時のCO2をゼロにするとともに、新開発機構によりNOx排出を都市ガスバーナ以下に低減
	日本の工業炉③	高温強度と耐高温腐食性に優れた次世代型レキュペレータ用耐熱鋼の開発	工業炉のエネルギー効率向上による燃料節減およびCO2排出削減に貢献する次世代型レキュペレータ用耐熱鋼
	日本の工業炉④	工業炉バーナの水素燃焼技術の開発	都市ガス用シングルエンドラジアントチューブバーナによる水素燃焼技術の実現
	日本の工業炉⑤	水素燃焼式リチウムイオン電池電極材用連続焼成炉の開発	リチウムイオン電池極材製造時のゼロカーボンを実現

(出所) EU・ドイツ・米国・日本各エリアの工業炉に関する公開情報を基に富士経済作成。詳細は「参考資料」を参照

## 2. 国内外の工業炉の省エネ技術開発動向

### 2) EU

燃焼炉では廃熱回収にてレキュペバーナやリジエネバーナを活用。一方、断熱強化にて断熱ウールを活用しているが、炉のタイプやエネルギー効率、エネルギー消費量、スペースなどの炉の制約を考慮し設計対応している。

炉形態	省エネ型炉の要素	概要
燃焼	共通	<ul style="list-style-type: none"> <li>プロセス蒸気は廃熱をそのまま利用し原材料予熱に利用している。特に、食品業界では冷食を温めることに利用している</li> <li>低温領域で温水を工場内で利用しているケースの方が多く（例えば、大規模な鋳造工場の廃熱量が大きいと、蒸気に変換して隣接の食品工場で利用するというケースがある）</li> <li>プロセス蒸気や温水利用に関しては、異なる工業領域を繋げる「セクターカップリング」への取り組みが行われている</li> <li>一部、CO2回収・貯留が試みられている</li> </ul>
	廃熱回収	<ul style="list-style-type: none"> <li>レキュペバーナやリジエネバーナは、省エネの観点から廃熱を予熱に利用。CO2削減、NOx削減の観点からも普及</li> <li>とりわけ、新設にはレキュペバーナやリジエネバーナは必須。しかし、法的強制力ではなく、CO2削減、NOx削減といった（環境目標値達成を目的として）社会通念上の強制力である</li> <li>自動車産業など大型設備には導入が進展している（導入必須）</li> </ul>
	原材料予熱	<ul style="list-style-type: none"> <li>特記事項なし</li> </ul>
	断熱強化	<ul style="list-style-type: none"> <li>断熱強化では個々の炉の状況を見てニーズを把握して設計していくことが必要となる</li> <li>効率の高い断熱材、例えば断熱ウールなどは価格が高価になるが、炉の壁の熱を下げるのが可能となり、他の材料技術を活用することも可能である ⇒ 最終的には個々の炉の効果を確かめる必要があり、その材料の良し悪しを判断することは難しい</li> <li>重要なことは工業炉の熱を下げることである。工業炉の熱を下げることで排熱量を15%程度削減することに繋がる（高効率の断熱材を使用するケースや、低温では高効率の断熱材を必要としないケースもある。個々の事例として判断する必要がある）</li> <li>断熱材を使用するメリット、エネルギー効率、エネルギー消費量、工業炉の制約（スペースなど）を判断して導入を検討する必要がある</li> <li>断熱材の導入では工業炉のタイプ（連続炉、バッチ炉）にも材質が依存する</li> </ul>

（出所）EUへの取材を基に富士経済作成

## 2. 国内外の工業炉の省エネ技術開発動向

### 2) EU

電気炉では誘導加熱を燃焼炉から転換において重要な技術と位置づけにある。主に中小炉が対象となる。一方、高温領域の電化は困難であるため、再生可能エネルギーなどを活用したCO2排出対策が必要になっている。

炉形態	省エネ型炉の要素	概要
電気	共通	<ul style="list-style-type: none"> <li>工業炉の仕様（場所や使用条件など）を見て迅速に省エネ化を図ることを検討することが必要である（鉄鋼ではアーク炉、鑄造の中小炉では誘導加熱を検討する必要がある）。その場合、最適化のための計算方法や手法を活用することができる</li> <li>将来、工業の生産ラインにおいてどのプロセスを燃焼から電化（誘導加熱、抵抗加熱）に切り替えるかを検討することが重要となる</li> <li>高温領域の電化は不可能である。よって鉄鋼などでは加熱炉や抵抗炉といった電気に切り替えることは不可能な状況にある</li> <li>そのため、熱源に再生可能エネルギーなどを活用してCO2を排出しない対策を打ち出す必要がある（水素の水分解や、水素を燃料や還元剤として利用することが考えられ、取り組みが始められている。しかし、水素は大量に製造する手法がない。そこで、水素インフラが必要となる）</li> </ul>
	誘導加熱（誘導加熱、誘導溶解）	<ul style="list-style-type: none"> <li>化石燃料をゼロにするために誘導加熱は重要な技術との位置づけにある（EUのうち、特にドイツでは化石燃料をゼロにするため、電源を100%再生エネルギーにすることを目指している）</li> <li>溶解炉は鑄造で使用されているが、工業炉としては単純な構造であるため、誘導加熱を活用して省エネ化を図ることが可能であるが、場所や使用条件に依存する</li> </ul>
	抵抗炉（断熱強化）	<ul style="list-style-type: none"> <li>断熱材を使用するメリット、エネルギー効率、エネルギー消費量、工業炉の制約（スペースなど）を判断して導入を検討する必要がある</li> </ul>

（出所）EUへの取材を基に富士経済作成

## 2. 国内外の工業炉の省エネ技術開発動向

### 3) ドイツ

燃焼炉の廃熱回収においてリジネバーナよりもレキュペバーナが主流。原材料予熱ではエネルギー効率の向上が研究対象。断熱強化では炉のハウジングの熱損失やヒートブリッジの設計改善に注力。電気炉の省エネ化では数%改善が限界とみている。

炉形態	省エネ型炉の要素	ドイツを中心とした欧州における省エネ化の状況
燃焼	廃熱回収	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 第一段階としては、原材料の予熱であり、第二段階でリジネバーナかレキュペバーナで燃焼のガス自体を温める。そして第三段階にて燃焼のガスを蒸気に変える、そして他の設備に使う、といった流れになる</li> <li>➢ 欧州・ドイツでは、リジネバーナよりもレキュペバーナが中心である</li> <li>➢ 工業炉設備で新設を導入する場合、このような段階的なエネルギーの最大活用といった対策が取り易くなる。しかし旧式の設備であればそのような対策を施すことが難しくなるという状況にある</li> </ul>
	原材料予熱	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 大型装置の連続炉にて原材料予熱の対応が行われている</li> <li>➢ 予熱ゾーンを廃熱で温めるが、それを対流式で温めるのか、またはゾーンの長さの最適化になるのかが状況によって異なってくる。そこで、いかにエネルギー効率を上げるかに取り組んでいる</li> <li>➢ 工業炉ユーザーは非常に高いレベルでのエネルギー効率の向上を図っている。そこで、熱伝導を最適化するために設計のためのソフトウェアプログラムを導入し、原材料予熱におけるエネルギーの効率化を研究している</li> </ul>
	断熱強化	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 現状、既に高いレベルでの断熱強化が図られている。そうした中で欧州の研究者等は新材料を研究している</li> <li>➢ そこで、工業炉のハウジングを見て、どこで熱損失が発生しているのか、ヒートブリッジ（熱橋）が発生しているのかを調査し、それを改善することにフォーカスしている。よって、断熱材の研究・開発というよりも工業炉の設計段階における改善が試みられている</li> </ul>
電気	共通	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 目標とするのはエネルギー効率の向上であるため、電気炉においても同様に研究が進められている</li> <li>➢ 誘導加熱や断熱強化の研究・開発を進めても数%程度の省エネ効果しか見られないと想定している</li> </ul>
	誘導加熱（誘導加熱、誘導溶解）	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ ドイツでは電気代が高いため、誘導加熱を実装できる分野が限定されている。すなわち、生産物に高い品質が要求される製品、または特殊な製品、小ロットとなる製品に限定し誘導炉が導入される傾向がみられる</li> <li>➢ 高効率機器の使用やコイルの最適化、または既存の真空管設備の半導体化なども日本と同様にされている</li> </ul>
	抵抗炉（断熱強化）	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 誘導加熱と同じ</li> </ul>

（出所）ドイツへの取材を基に富士経済作成

## 2. 国内外の工業炉の省エネ技術開発動向

### 4) 米国

燃焼炉では廃熱回収や原材料予熱の研究段階にあり、リジェネバーナやレキュペバーナの導入は部分的である。断熱強化の変化は見られ難い。一方、電気炉では抵抗炉が装置の構成によって熱損失を発生するなどの課題がみられる。

炉形態	省エネ型炉の要素	概要
燃焼	共通	<ul style="list-style-type: none"> <li>一部でCCS（炭素回収・貯留）が実施されている</li> </ul>
	廃熱回収	<ul style="list-style-type: none"> <li>リジェネバーナは炉の形状の観点から既存炉に組み込むことが難しく、炉を再構築するような作業が必要となる。再構築するか、またはリジェネバーナ付きの新製品を導入するか工業炉ユーザーの状況に依存する</li> <li>高効率レキュペバーナはセメント業界には導入し難いが、ガラス業界では比較的導入がし易い</li> </ul>
	原材料予熱	<ul style="list-style-type: none"> <li>工業炉業界では主流ではない。一部で大型装置の連続炉にて原材料予熱による省エネ化がみられている</li> <li>理論的な議論の対象となっているが、実装レベルにはない</li> </ul>
	断熱強化	<ul style="list-style-type: none"> <li>通常、レンガが利用されており、マグネシアなどが成分となる。一方、古いレンガでは赤レンガが使用されている</li> <li>特に新材料はみられず、材料の進化や変化が見られにくい</li> <li>工業炉のハウジングにおける熱損失の発生や、ヒートブリッジ（熱橋）の発生に対する改善にも取り組んでいる</li> </ul>
電気	共通	<ul style="list-style-type: none"> <li>電気炉は、燃焼炉と比較して材料処理能力が出せない</li> <li>しかしながら、一部では燃焼炉からの電化も行われている</li> </ul>
	誘導加熱（誘導加熱、誘導溶解）	<ul style="list-style-type: none"> <li>高効率機器の使用やコイルの最適化も行われている</li> </ul>
	抵抗炉（断熱強化）	<ul style="list-style-type: none"> <li>抵抗炉では炉の構成によって熱が有効利用しにくくなる場合がある。例えば、主に放射熱を利用するためにはキルンの場合、抵抗炉の導入が困難。また、入れ替え時に抵抗炉を導入した場合、材料の質が変化してしまうことが課題となる</li> </ul>

（出所）米国への取材を基に富士経済作成

### 3. 主な技術開発プレイヤーにおける工業炉の省エネ技術開発支援プロジェクト

#### 1) EU・ドイツ

工業炉の環境設計・開発、新素材断熱材の開発、混焼システム/監視・制御システムの導入、工程の制御に取り組んでいる。

エリア名	文献番号	開発技術内容	プロジェクト金額	プロジェクト期間	プレイヤー
EU (スペイン)	EUの工業炉①	<ul style="list-style-type: none"> <li>アルミニウム、セラミックス、ガラス、セメント向け工業炉に関する環境対応型工業炉の設計開発した</li> <li>マイクロ波技術を活用した加熱システム、耐火材（アルミナ）、熱回収システム等を開発し、新工業炉の設計で統合した</li> </ul>	€13,118,250.71- (提供：欧州委員会)	2010年6月1日～2014年5月31日	➤EDEFU (Spain : 欧州委員会の研究プロジェクト)
	EUの工業炉②	<ul style="list-style-type: none"> <li>総合改修ソリューションは、エネルギー回収システム用の高温相変化材料 (PCM)、新耐火物 (断熱材)、最適化された混焼システムおよびバーナ、高度な監視・制御システムの導入、さらにバリューチェーンに則った上流・下流工程との統合により、ライフサイクルおよびライフサイクルコストに基づいて最適化し、その効果を検証した</li> </ul>	€6,940,813.75- (提供：欧州委員会)	2019年1月1日～2019年12月31日	➤VULKANO (Spain : 欧州委員会の2020年の資金提供プログラム)
ドイツ	ドイツの工業炉①	<ul style="list-style-type: none"> <li>ナノポーラスカーボンをベースにした新しい複合材料を開発。既存の材料の2倍以上の断熱効果に期待している</li> </ul>	€ 625,000- (提供：連邦経済エネルギー省 (BMWi) )	2020年10月27日 (公表日)	➤バイエルン州応用エネルギーセンター (Bavarian Center for Applied Energy of コンソーシアム)
	ドイツの工業炉②	<ul style="list-style-type: none"> <li>熱処理システムをピンポイントで制御するコンセプトを確立した</li> <li>工業炉の加熱工程をピンポイントで制御することで省エネに貢献する</li> <li>プロセスガスのモニタリングが製造技術のエネルギー転換を可能にすることに期待している</li> </ul>	—	2021年5月6日 (公表日)	➤The BMWi-funded project "KonAIR" (IFAM)

### 3. 主な技術開発プレイヤーにおける工業炉の省エネ技術開発支援プロジェクト

#### 2) 米国

燃料消費低減を可能にするシステムの開発、発生ガス低減をもたらすCO2回収システムの電気炉への導入に取り組んでいる。

エリア名	文献番号	開発技術内容	プロジェクト金額	プロジェクト期間	プレイヤー
米国	米国の工業炉①	<ul style="list-style-type: none"> <li>高炉のさまざまなコンポーネントのモデル開発のシミュレーションや高炉の操業を最適化するためのシミュレーションが長期化する</li> <li>本プロジェクトでは、スーパーコンピュータを活用し、これらのシミュレーション時間を合理的なレベルにまで短縮すること取り組み、並列処理を行い、高炉の3次元シミュレーションの実行時間を50分の1に短縮した</li> <li>マルチフィジクス・モデリングとHPC (High-Performance Computing) 技術を活用し、鉄鋼高炉の操業改善を試みている。その結果、実証参加企業Stelco Steel社の高炉でコークスの使用量を5%以上削減できる運転パラメータを明らかにした。これにより年間900万ドル以上のコスト削減が可能であると試算した</li> </ul>	承認予算/原価予算: \$995,000- / ~\$295,000-提供: 米国エネルギー省 (DOE)	2021年3月9日 (公表日)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Lawrence Livermore National Laboratory</li> <li>➢ U.S. Department of Energy</li> </ul>
	米国の工業炉②	<ul style="list-style-type: none"> <li>ケンタッキー大学研究財団は、電気 (アーク) 炉から発生ガスを処理するNucor Steel Gallatin工場の既存システム (1.5 vol% CO2 ガス流に対してCO2が3トン/日排出) を用いて、業務レベルで実証された4つの新しい変革的変換技術によって、CO2回収システムの運用に関する実証試験を計画している</li> </ul>	\$4,999,965- (提供: 米国エネルギー省 (DOE))	2021年10月6日 (公表日)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Office of Fossil Energy and Carbon Management (U.S. Department of Energy)</li> <li>➢ the University of Kentucky Research Foundation</li> </ul>

(出所) 米国の工業炉に関する公開情報を基に富士経済作成

### 3. 主な技術開発プレイヤーにおける工業炉の省エネ技術開発支援プロジェクト

#### 3) 日本

CO2排出低減に資するレキュペレータ用耐熱鋼の開発およびアンモニア・水素向けバーナ/焼成炉の開発に取り組んでいる。

エリア名	文献番号	開発技術内容	プロジェクト金額	プロジェクト期間	プレイヤー
日本	日本の工業炉①	<ul style="list-style-type: none"> <li>アンモニアの燃焼エネルギーを有効利用できる「アンモニア混焼衝突噴流式脱脂炉」のバーナ開発に成功し、最適加熱条件を確立した</li> <li>連続亜鉛めっき鋼板製造工程における実証評価に目途をつけた</li> </ul>	—	2017年6月26日 (公表日)	<ul style="list-style-type: none"> <li>太陽日酸株式会社</li> <li>日新製鋼株式会社 (現 日本製鉄株式会社)</li> <li>大阪大学</li> <li>科学技術振興機構</li> </ul>
	日本の工業炉②	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃焼時のCO2をゼロにするとともに、新開発機構によりNOx排出を都市ガスバーナ以下に低減させた</li> <li>新開発した水素バーナでは水素を穏やかに燃焼させる2つの新機構を導入し、CO2排出ゼロに加えてNOx排出を大幅に低減させ高い環境性能を両立させた</li> </ul>	—	2018年11月8日 (公表日)	<ul style="list-style-type: none"> <li>トヨタ自動車株式会社</li> <li>中外炉工業株式会社</li> </ul>
	日本の工業炉③	<ul style="list-style-type: none"> <li>工業炉のエネルギー効率向上による燃料節減およびCO2排出削減に貢献する次世代型レキュペレータ用耐熱鋼を開発した</li> <li>開発した耐熱鋼をレキュペレータの伝熱管に適用することで、各種工業炉のエネルギー効率向上による燃料低減とCO2排出削減への貢献が期待できる</li> </ul>	—	2020年3月17日 (公表日)	<ul style="list-style-type: none"> <li>山陽特殊製鋼株式会社</li> </ul>
	日本の工業炉④	<ul style="list-style-type: none"> <li>都市ガス用シングルエンドラジアントチューブバーナによる水素燃焼技術を開発した</li> <li>水素燃焼時の排ガス循環量を最適化する技術であり、都市ガス燃焼時と同じNOx排出量や耐久性を可能にした</li> </ul>	—	2021年4月22日 (公表日)	<ul style="list-style-type: none"> <li>東邦ガス株式会社</li> <li>株式会社ナリタテクノ</li> </ul>
	日本の工業炉⑤	<ul style="list-style-type: none"> <li>リチウムイオン電池極材製造時のゼロカーボンを実現可能にした</li> <li>高温焼成は、CO2が発生しない一方、NOxの発生抑制、安定した加熱などの課題を解決している</li> </ul>	—	2021年11月14日 (公表日)	<ul style="list-style-type: none"> <li>株式会社ナリタケカンパニーリミテド</li> <li>東京ガス株式会社</li> <li>東京ガスエンジニアリングソリューションズ株式会社</li> </ul>

#### 4. 工業炉のエネルギー消費動向

##### 1) EU・ドイツのGHG排出量推移

EUではGHG総排出量が2013年-2019年のCAGRで -1.6%。また、製造・建設でも -2.5%。ドイツではGHG総排出量が2013年-2019年のCAGRで -2.5%。一方、製造・建設は +0.9%。全体としてEU・ドイツはGHG削減が進展している。

###### (1) EU

	単位		2013 (実績)	2014 (実績)	2015 (実績)	2016 (実績)	2017 (実績)	2018 (実績)	2019 (実績)
土地利用、土地利用 変化及び林業 (LULUCF) を除く総 排出量推移	千t- CO2 eq	実績	4,471,235.92	4,293,697.12	4,325,015.41	4,302,752.66	4,317,624.81	4,223,100.18	4,057,594.57
		前年比	97.9%	96.0%	100.7%	99.5%	100.3%	97.8%	96.1%
		CAGR	—	—	—	—	—	—	-1.6%
「製造業および建設 業」の排出量推移	千t- CO2 eq	実績	493,568.76	479,000.43	486,948.16	488,027.18	498,755.20	499,890.66	485,836.42
		前年比	96.7%	97.0%	101.7%	100.2%	102.2%	100.2%	97.2%
		CAGR	—	—	—	—	—	—	-0.3

(注) 上表のCAGRは、2013年を基準年としている。(出所)「OECD.Stat」を基に富士経済作成

###### (2) ドイツ

	単位		2013 (実績)	2014 (実績)	2015 (実績)	2016 (実績)	2017 (実績)	2018 (実績)	2019 (実績)
土地利用、土地利用 変化及び林業 (LULUCF) を除く総 排出量推移	千t- CO2 eq	実績	940,419.54	901,255.14	904,261.81	907,967.91	892,075.67	855,890.41	809,798.54
		前年比	101.8%	95.8%	100.3%	100.4%	98.2%	95.9%	94.6%
		CAGR	—	—	—	—	—	—	-2.5%
「製造業および建設 業」の排出量推移	千t- CO2 eq	実績	118,734.60	118,558.63	127,257.71	129,638.03	131,583.37	126,409.60	125,437.20
		前年比	100.6%	99.9%	107.3%	101.9%	101.5%	96.1%	99.2%
		CAGR	—	—	—	—	—	—	0.9%

(注) 上表のCAGRは、2013年を基準年としている。(出所)「OECD.Stat」を基に富士経済作成

#### 4. 工業炉のエネルギー消費動向

##### 2) 米国のGHG排出量推移

GHG総排出量が2013年-2019年のCAGRで-0.5%。一方、製造・建設では0.0%。製造・建設の削減が進展していないが、全体として米国はGHG削減が進展している。

	単位		2013 (実績)	2014 (実績)	2015 (実績)	2016 (実績)	2017 (実績)	2018 (実績)	2019 (実績)
土地利用、土地利用 変化及び林業 (LULUCF) を除く総 排出量推移	千t- CO2 eq	実績	6,764,669.11	6,824,956.71	6,671,112.07	6,520,337.84	6,483,291.33	6,671,449.40	6,558,345.18
		前年比	102.7%	100.9%	97.7%	97.7%	99.4%	102.9%	98.3%
		CAGR	—	—	—	—	—	—	-0.5%
「製造業および建設 業」の排出量推移	千t- CO2 eq	実績	676,615.25	652,764.34	632,005.90	650,286.55	647,123.83	667,155.89	678,400.71
		前年比	103.5%	96.5%	96.8%	102.9%	99.5%	103.1%	101.7%
		CAGR	—	—	—	—	—	—	0.0%

(注) 上表のCAGRは、2013年を基準年としている。 (出所) 「OECD.Stat」を基に富士経済作成

#### 4. 工業炉のエネルギー消費動向

##### 3-1) 日本のGHG排出量推移

GHG総排出量が2013年-2019年のCAGRで-2.5%。また、製造・建設でも-2.6%。製造・建設がGHG総排出量の削減をけん引している様子が伺われる。

	単位		2013 (実績)	2014 (実績)	2015 (実績)	2016 (実績)	2017 (実績)	2018 (実績)	2019 (実績)
土地利用、土地利用 変化及び林業 (LULUCF) を除く総 排出量推移	千t- CO2 eq	実績	1,405,888.61	1,356,588.54	1,318,516.70	1,301,855.89	1,288,528.72	1,245,020.89	1,209,493.35
		前年比	100.8%	96.5%	97.2%	98.7%	99.0%	96.6%	97.1%
		CAGR	—	—	—	—	—	—	-2.5%
「製造業および建設 業」の排出量推移	千t- CO2 eq	実績	306,567.90	298,989.68	289,945.99	276,059.33	271,879.55	269,266.27	262,507.51
		前年比	101.7%	97.5%	97.0%	95.2%	98.5%	99.0%	97.5%
		CAGR	—	—	—	—	—	—	-2.6%

(注) 上表のCAGRは、2013年を基準年としている。 (出所) 「OECD.Stat」を基に富士経済作成

#### 4. 工業炉のエネルギー消費動向

##### 3-2) 日本の工業炉における出荷台数、省エネ・CO2排出動向

工業炉分野では原油換算の省エネ量にて2013年-2019年のCAGRを見た場合、41.6%であり、著しく省エネ化が進展している。CO2排出量削減量にて2013年-2019年のCAGRを見た場合、37.2%であり、著しく省CO2化も進展している。

	単位		2013 (実績)	2014 (実績)	2015 (実績)	2016 (実績)	2017 (実績)	2018 (実績)	2019 (実績)	2020 (見込)	2030 (予測)
対策評価指標 累計導入基数	千基	実績	9.4	9.8	10.2	10.9	11.5	12.2	12.8	13.6	16.9
		前年比	—	104.3%	104.1%	106.9%	105.5%	106.1%	104.9%	106.3%	124.3%
		CAGR	—	—	—	—	—	—	5.3%	5.4%	3.5%
省エネ量	万 kL	実績	17.0	32.1	47.2	70.6	93.5	115.8	137.3	170.0	290.6
		前年比	—	188.8%	147.0%	149.6%	132.4%	123.9%	118.6%	123.8%	170.9%
		CAGR	—	—	—	—	—	—	41.6%	38.9%	18.2%
排出削減量	万 t-CO2	実績	265.0	459.4	632.9	971.0	1,274.4	1,517.4	1,763.8	2,281.0	3,093.0
		前年比	—	173.4%	137.8%	153.4%	131.2%	119.1%	116.2%	129.3%	135.6%
		CAGR	—	—	—	—	—	—	37.2%	36.0%	15.6%

(注1) 上表のCAGRは、2013年を基準年としている。(注2) 上表の2030年「前年比」は、2020年比で示している。

項目	見解	
対策評価指標等の進捗状況	対策評価指標	2030年度目標水準と同等程度になると考えられる。
	省エネ量	2030年度目標水準と同等程度になると考えられる。
	排出削減量	2030年度目標水準と同等程度になると考えられる。
評価の補足および理由	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 対策評価指標、省エネ量、排出削減量の実績は全ての設備・機器等において増加傾向にある。これは、省エネ法規制により各設備のエネルギー消費効率の向上が促進されたことや、高効率設備・機器の導入支援を行った結果、高効率設備・機器等への入替が促進されたことが要因である。</li> <li>✓ 引き続き省エネ法による規制措置と補助金や税による支援措置の両面で、事業者を高効率低炭素工業炉の設備投資を促し、導入を図っていく。</li> </ul>	

(出所) 「2019年度における地球温暖化対策計画の進捗状況」(令和3年3月29日)【地球温暖化対策本部】を基に富士経済作成

## 5. 省エネ技術導入における技術的な側面での阻害要因および普及阻害要因

### 1) EU・ドイツ

燃焼炉では高機能断熱材が高価であり効果はみられるが、工業炉の状態に応じて材料を判断する必要がある。一方、電気炉では高温領域で電化に対応できないことや誘導溶解の条件制約、そして抵抗炉の断熱材への判断の複雑さが挙げられる。

炉形態	省エネ型炉の要素	阻害要因
燃焼	廃熱回収	<ul style="list-style-type: none"> <li>省エネ・省CO2対策として熱回収は普及していない</li> </ul>
	原材料予熱	<ul style="list-style-type: none"> <li>プロセス蒸気は、廃熱をそのまま利用し原材料予熱に利用している。現状、ニーズは少ない</li> </ul>
	断熱強化	<ul style="list-style-type: none"> <li>断熱強化では個々の炉の状況を見てニーズを把握し設計していくことが必要である</li> <li>効率の高い断熱材、例えばウールなどは価格が高価になるが、炉の壁の熱を下げるのが可能である。しかし、最終的には個々の炉の効果を確かめる必要があり、その材料の良し悪しを判断することは難しい</li> <li>断熱材を使用するメリット、エネルギー効率、エネルギー消費量、工業炉の制約（スペースなど）を判断して導入を検討する必要がある。断熱材の導入では、連続炉、バッチ炉という工業炉のタイプにも依存する</li> </ul>
電気	共通	<ul style="list-style-type: none"> <li>大量の再生可能エネルギー（再エネ）の供給ができない、また再エネのコストが高いことにある（電気供給はガス供給と比較してコストが高い）</li> <li>中小炉ではガス供給から電気供給に変更することはインシヤルやランニングのコスト負担が大きく対応できない状況にある</li> <li>電源に再生可能エネルギーなどを活用してCO2を排出しない対策を打ち出す必要がある（水素の水分解、燃料や還元剤として利用。しかし、大量に製造する手法がない。そこで、水素インフラが必要となる）</li> <li>鉄鋼などの産業では加熱炉や抵抗炉といった電気に切り替えることは不可能な状況にある</li> </ul>
	誘導加熱（誘導加熱、誘導溶解）	<ul style="list-style-type: none"> <li>溶解炉は鋳造で使用されているが、工業炉としては単純な構造であるため、誘導加熱を活用して省エネ化を図ることが可能であるが、場所や使用条件に依存する</li> </ul>
	抵抗炉（断熱強化）	<ul style="list-style-type: none"> <li>断熱材を使用するメリット、エネルギー効率、エネルギー消費量、工業炉の制約（スペースなど）を判断して導入を検討する必要がある</li> </ul>

（出所）EU・ドイツへの取材を基に富士経済作成

## 5. 省エネ技術導入における技術的な側面での阻害要因および普及阻害要因

### 2) 米国

燃焼炉はCO2排出量が多いが経済性と生産性に優れ、成熟した技術下にありCO2回収など改善の余地が少ない。  
電気炉は電力使用時の間接排出を削減できないことや使用材の品質による製品への影響、処理能力の低下が挙げられる。

炉形態	省エネ型炉の要素	阻害要因
燃焼	廃熱回収	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 高炉製錬は、極めて成熟した技術である。エネルギー効率の改善が容易なものは、ほとんど開発・実施されている</li> <li>➢ 燃焼炉は電気炉と比較してCO2排出量が多いが、燃焼炉の経済性と生産能力が優れているため、より排出量の多い燃焼炉を使用して生産が続けられているのが現状である</li> </ul>
	原材料予熱	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 高炉操業におけるコークスの消費は、操業コストやエネルギー・CO2原単位に大きな影響を与える。しかし、高炉に投入する天然ガスを予熱すれば、炉の重要な動作温度に影響を与えることなく、炉で使用されるコークスを相殺できる</li> </ul>
	断熱強化	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 排ガスからCO2を回収する技術は、いくつかの産業施設（例えば、水素製造施設やエタノール工場）で既に導入されているが、CO2の回収には、セメント、石灰、ガラス、製鉄からの排ガス成分の違いに対応する技術的な対応が必要である</li> <li>➢ 化石燃料による酸素燃焼がCO2排出の回避につながるためには、CCS（CO2の回収・貯留）との組み合わせが必要である</li> </ul>
誘導加熱	誘導加熱	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 電気キルンや電気炉の使用は、製造プロセスにおけるGHG排出の削減に貢献する。</li> <li>➢ 電気炉設備の使用は鉄鋼生産で見られ、鉄鋼生産プロセスにおけるGHG排出は、プロセス加熱のための燃料の燃焼、電力使用による間接排出、および黒鉛電極の劣化によるものである</li> </ul>
	誘導溶解	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 鉄鋼等の産業プロセスに必要なエネルギーを電気で完全に脱炭素化するためには、電力網や電力源を脱炭素化する必要がある</li> <li>➢ 電気炉設備で生産される鋼材の品質は、生産に使用される鉄スクラップの品質に大きく影響を受ける</li> </ul>
抵抗炉	断熱強化	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 抵抗加熱は、セメント、石灰、ガラス産業で使用できる。ロータリーキルンの抵抗加熱における材料処理能力の低下は、電気ヒーターからスチールドラム、耐火物などへの伝導熱伝達の非効率性によるものである。また、電気ヒーターを使用することで、燃焼炉を使った場合のような放射熱の伝達が失われる</li> </ul>

（出所）米国の工業炉に関する公開情報を基に富士経済作成

## 5. 省エネ技術導入における技術的な側面での阻害要因および普及阻害要因

### 3) 日本

燃焼炉では省エネ技術の導入にかかるコスト負担のほか、廃熱利用法が確立されていないことや古い工業炉の改修が進展していないこと、一方、電気炉ではプロセスに伴う製品品質の変更や作業改善への気づきが見られないことなどが挙げられる。

炉形態	省エネ型炉の要素	技術・手法	阻害要因
燃焼	廃熱回収	<ul style="list-style-type: none"> <li>リジネバーナ（低NOx型リジネバーナ）</li> <li>高効率レキュペレータ（廃熱回収装置としてエネルギー源の大幅な節約を実現する高性能金属製換熱器）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>リジネバーナはイニシャルコスト及びメンテナンスコストが割高であり、導入の障壁になっている</li> <li>廃熱を回収し電気にする場合、電気であればどこでも使えるが、廃熱による蒸気から生み出した電気を上手く活用する方法が確立されていないことや、コスト負担となることが課題となる</li> <li>低温の廃熱活用には、酸露点の問題がある</li> </ul>
	原材料予熱	大型装置の連続炉による対応	<ul style="list-style-type: none"> <li>一般的に大型炉に限定される</li> <li>煙道が長くなり材料がその中を通過していくため、省エネ対策には制約が大きい</li> </ul>
	断熱強化	高効率断熱材（省エネ断熱材の開発）	<ul style="list-style-type: none"> <li>高性能製品では省エネ効果は高いがコストが高い</li> <li>従来より高効率断熱材とされてきたセラミックファイバーは一般化しており、高効率型と言えなくなってきた。一方、近年開発されている高性能断熱材はコストが高く、普及していない</li> </ul>
誘導加熱	誘導加熱	各周波数に対応したコイルを用意、細目に段取りを行い省エネ対応	<ul style="list-style-type: none"> <li>装置構成によっては段取り作業が増える</li> <li>燃焼炉の前か後ろに誘導加熱を付けると、同じ能力や処理能力を得るのに炉の長さを短くすることが可能となるが、プロセスが変わるため、ユーザーは顧客が必要とする製品の品質などを提供することができないため、このような省エネ手法は進んでいない</li> </ul>
	誘導溶解	同上（高効率モータと同じ）	
	(燃焼からの) 電化ポテンシャル		<ul style="list-style-type: none"> <li>現状の環境においては電化にすれば省エネ化につながるとは必ずしも言えない</li> </ul>
抵抗炉	断熱強化	高効率断熱材（省エネ断熱材の開発）	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃焼と同じ</li> </ul>
	(燃焼からの) 電化ポテンシャル		<ul style="list-style-type: none"> <li>誘導加熱の電化ポテンシャルと同じ</li> </ul>

## 6. 総括

### 1) 工業炉の技術動向から見たEU・ドイツ、米国、および日本の相違点

省エネ型炉の要素区分から日本をEU・ドイツと比較した場合、リジェネバーナでは先行しているが、原材料予熱や電化への取り組みに改善の余地がある。一方、米国と比較した場合、リジェネバーナや水素燃焼バーナでは先行しているが、CO2回収や電化への取り組みに改善の余地がある。

炉形態区分	省エネ型炉の要素	技術・手法	調査結果からみる各国の実施状況 (実施：●、一部実施：▲、未実施：×)		
			EU・ドイツ	米国	日本
共通	原材料予熱	大型装置の連続炉での対応	●	▲	▲
	断熱強化	高効率断熱材	●	●	●
		ハウジングの設計改善（熱損失/ヒートブリッジ対応）	●	●	●
	CO2回収	CO2回収システム	▲	●	▲
燃焼	廃熱回収	リジェネバーナ	▲	▲	●
		高効率レキュペレータ	●	●	●
	燃料転換	水素燃焼バーナ	●	▲	●
		アンモニア燃焼バーナ	●	情報無し	●
電気	誘導加熱	高効率機器の使用、コイルの最適化等	●	●	●
		既存の真空管設備の半導体化（IGBT/MOSFET）	●	情報無し	●
	（燃焼からの）電化	—	●	●	▲

\* 情報無し：公開情報の範囲で情報収集を図るが、情報がなかったものを示す。

（出所）EU・ドイツ・米国・日本各エリアの工業炉に関する公開情報や取材を基に富士経済作成

## 6. 総括

### 2) 日本の工業炉業界の技術開発支援において、今後求められる「支援策」

海外の工業炉技術支援策では、原材料予熱やCO2回収を共通として燃焼炉にて水素・アンモニア燃焼バーナ、電気炉にて電源のエネルギー転換、電化時の再エネ活用に注力。そこで、日本の工業技術支援でもCO2回収をはじめ、燃焼炉にて水素/アンモニア関連機器開発、電気炉にて再エネの負荷変動対応への受変電設備の研究・開発を追求する余地がある。

炉形態 / 省エネ型炉の要素		EU・ドイツ、米国における技術開発動向	日本の技術動向	今後、日本の工業炉に求められる技術
共通	原材料予熱	熱伝導を最適化するための設計ソフトウェアプログラムを導入したエネルギーの効率化の研究・開発（EU・ドイツ）	一部対応	原材料予熱におけるエネルギーの効率化のための熱伝導最適化の研究・開発
	CO2回収	革新的変換技術を実装したCO2回収システムの実証試験を行い、その際に電気（アーク）炉から放出されるガスを処理する計画（米国）	一部対応	CO2回収システム技術の研究・開発・実装
燃焼	燃料転換	水素/アンモニア燃焼バーナの開発・実装（EU・ドイツ）	対応済み → 製品化	水素/アンモニア燃焼バーナおよび周辺機材/計器類の開発・実装
電気	電化	電源のエネルギー転換、または新規再エネ導入時に電力インフラの脱炭素化、電化時の再エネ活用（EU・ドイツ、米国）	一部対応	負荷変動対応を含めた受変電設備の開発・導入

\* 上表は前頁の相違点から、「一部実施」や「未実施」を対象として作成した。ただし、製品化されているものに関しては、その周辺機器の開発も視野に入れる必要があると判断し記載している。

（出所）EU・ドイツ・米国・日本各エリアの工業炉に関する公開情報や取材を基に富士経済作成

## 6. 総括

### 2) 日本の工業炉業界の技術開発支援において、今後求められる「支援策」

共通技術として原材料予熱における熱伝導の最適化の他、CO2回収技術の研究・開発支援、燃焼炉では水素・アンモニアバーナ開発および導入支援、電気炉では電化において再エネ電源の導入支援を対象とした補助政策を検討する余地がある。

炉形態	省エネ型炉の要素	日本の工業炉に求められる技術開発支援	要因
共通	原材料予熱	原材料予熱におけるエネルギーの効率化のための熱伝導最適化の研究・開発（P49など参照）	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 原材料予熱ではエネルギー効率の向上が重要であり、工業炉ユーザーは非常に高いレベルでのエネルギー効率の向上を図っている。そこで、ドイツでは熱伝導を最適化するための設計ソフトウェアプログラムを導入し、原材料予熱におけるエネルギーの効率化を研究している</li> <li>▶ 日本では大型炉に対応し、数量限定的である。しかし、工業炉業界の省エネ化を考慮した場合、中小炉も含め、原材料予熱におけるエネルギー効率の向上を図るための研究・開発に取り組む余地がある</li> </ul>
	CO2回収	CO2回収システム技術の研究・開発・実装（P46など参照）	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 米国では、CO2回収に補助金を提供し、電気（アーク）炉におけるCO2回収技術の実証を行う</li> <li>▶ 日本ではCO2回収の研究・開発に補助制度を活用し実施しているが、実装段階では未対応である。そのため、研究・開発済みのCO2回収技術を実装した工業炉生産ラインの実証事業に向けて取り組む余地がある</li> </ul>
燃焼	燃料転換	水素/アンモニア燃焼バーナおよび周辺機材/計器類の開発・実装（P46など参照）	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ EU・ドイツでは水素/アンモニア燃焼バーナの実装に取り組んでおり、日本でも製品化され実装されている</li> <li>▶ 今後、水素/アンモニア燃焼バーナの導入を促進するためには、周辺機材や計器類などの製品開発・実装も必要になると考えられ、水素/アンモニア燃焼バーナの普及のための補助政策に取り組む余地がある</li> </ul>
電気	電化	負荷変動対応を含めた受変電設備の開発・導入（P48など参照）	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ ドイツでは化石燃料をゼロにするため、電源を再生エネルギー（再エネ）100%にすることを志向し対策を検討している。そこで誘導加熱は重要な技術と位置づけている</li> <li>▶ 一方、米国でも、産業プロセスに必要なエネルギーを電気で完全に脱炭素化するためには、電力網や電力源を脱炭素化する必要性を指摘している。そこで日本においても工業炉に再エネを電源として活用する場合、負荷変動対応を含めた受変電設備の開発や導入支援に取り組む余地がある</li> </ul>

## **(3) 工業炉のカーボンニュートラル化に係る 諸外国の政策動向の調査**

---

本調査では、カテゴリー分けした省エネ型炉の5区分にて政策的枠組みや技術支援策を整理し比較し易いようにした。

---

## ■ 調査内容

- ① 日本の工業炉区分に合わせてEU・ドイツおよび米国と日本の政策動向を比較
  - 工業炉のカテゴリー分けをした区分に対して、省エネ型炉の5区分からEU・ドイツおよび米国と日本の3エリアを比較し、政策的な枠組みを比較し易くした。
  
- ② 統一された工業炉区分によりEU・ドイツおよび米国と日本の技術開発動向を明確化
  - カテゴリー分けをした区分に対して、省エネ型炉の5区分を省エネの一手法として用いることにより、EU・ドイツおよび米国と日本の3エリアの技術開発支援策を整理し、比較可能にした。

## 1. 工業炉に関するカーボンニュートラル化に向けたロードマップ

EU・ドイツでは環境政策を推進する中で再エネ導入率を向上させ工業炉の省エネ・省CO2化を図る。米国では炭素排出量ゼロを目指し電力分野のグリーン電源化を図りながら工業炉のCO2回収を推進する。

エリア	環境政策 / 工業炉政策動向
EU	<p>【方針】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>CO2排出量取引、設備機器のエネルギー効率向上（個々の設備機器では定義されていない）</li> </ul> <p>【対策】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>CO2の排出価格を政策的に高め、CO2排出量を減少させる（ex. 鉄鋼業界ではCO2排出量を抑制するために製品価格が競争力を維持できないため補助政策を検討中）</li> <li>CO2取引では熱エネルギーを用いた差金決済取引（Contract For Difference）の導入を検討する</li> <li>（鉄鋼業界を中心に）設備機器に導入される新技術に（補助金など）対策を講じる</li> <li>再生可能エネルギーの導入を促進させる（再エネ導入量を拡大させる）</li> </ul> <p>【工業炉】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>上記の環境【対策】と同様の傾向</li> </ul>
ドイツ	<p>【方針】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>再生可能エネルギーの導入量の拡大目標：化石燃料から再生可能エネルギーに移行する「エネルギー転換」（2030年までにGHG排出量を1990年比で少なくとも55%、2040年までに88%削減する気候目標を法制化）</li> <li>Efficiency First：低燃費・快適性を第一とする</li> <li>2065年までに気候変動のための保護に全産業を対象に€80億を出資予定</li> </ul> <p>※ドイツでは1990年比で37%を達成済み、そのため2030年は2020年比で28%削減を設定</p> <p>【対策】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>個別具体的な対策はない。ただし、CO2の排出価格を政策的に高め、CO2排出量を減少させる方針（EUと足並みを揃えた対策を実施）</li> </ul> <p>※ドイツは日本と同様にエネルギー効率の向上に注力している。産業や研究を促進するプログラムでは、電化も水素も同様に資金提供されている</p> <p>※ドイツでは鉄鋼業はCO削減に大きなポテンシャルがあり、鉄鋼業に補助政策を実施（伝統的に1産業1技術に補助金プログラムを提供していない）</p> <p>【工業炉】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>EUにおける環境の【対策】と同様の傾向</li> </ul>
米国	<p>【方針】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>2050年までに米国国内の炭素排出量ゼロ、2035年までに電力分野を100%のグリーン電源化するという目標の達成を支援する革新的ソリューションに対して補助金を提供する</li> </ul> <p>【対策】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>炭素回収・貯留に対する天然ガス発電および産業分野の脱炭素化への投資において、(1) 炭素回収の研究開発、(2) 炭素回収技術の工場規模での試験、(3) 炭素回収システムの工学設計の研究、の3分野が該当する</li> </ul> <p>【工業炉】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>CO2回収（・貯留）</li> </ul>

## 2.工業炉に関するカーボンニュートラル化に向けた政策の課題

### 1) EU・ドイツ

イノベーション（新技術の実装）の推進や電化時の再エネ活用への補助政策の他、再エネ普及政策の強化が必要である。

課題	対策	要点
<ul style="list-style-type: none"> <li>水素が供給されるのか、電気が供給されるのかが明確化されていない中で、工業炉ユーザーにとってはどの技術に対して投資を行けばよいのか判然としていないことで、イノベーション（新技術の実装）が図れない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>イノベーションの推進を促す支援策や助成金政策</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>投資家にCO2の認証制度を活用し投資を呼び込み新技術の導入を促す必要があるが、投資家によるコストの圧力だけでは新技術の導入に伴うイノベーションを推進することは難しく、何らかの支援策や助成金があれば望ましい</li> <li>電気または水素をテーマとした場合、これらに資金提供における相違はみられない</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>熱源に再生可能エネルギーなどを活用してCO2を排出しない対策を打ち出す必要がある</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>電化時の再生可能エネルギー活用への補助政策</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ドイツでは化石燃料をゼロにするため、電源を100%再生可能エネルギーにすることを目指している</li> <li>ガスを消費する熱プロセスからエネルギーを変換し電気を使用する誘導加熱、抵抗加熱を利用する方向に転換していくことを志向しなければならない</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>経済性の観点からドイツでは電化が進展していない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>再生可能エネルギー普及政策の強化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ドイツでは電気代が高いため、誘導加熱が実装できる分野が限定されている。</li> <li>熱源に再生可能エネルギーなどを活用してCO2を排出しない対策を打ち出す必要がある</li> </ul>

（出所）EU・ドイツへの取材や工業炉に関する公開情報を基に富士経済作成

### 2) 米国

工業炉のCO2回収では産業毎に異なる排出ガス成分の相違に対応した技術的な取り組みに対する政策対応が必要である。

課題	対策	要点
<ul style="list-style-type: none"> <li>工業炉ではCO2の回収には、セメント、石灰、ガラス、製鉄からの排ガス成分の違いに対応する技術的な取り組みが必要である</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CO2回収技術導入時への補助政策</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>電気炉と比較してCO2排出量の多い燃焼炉を使用して生産が続けられているのが現状であるが、CO2回収では各種産業界から排出されるガス成分の相違に留意した技術的な対応が必要である</li> </ul>

（出所）米国の工業炉に関する公開情報を基に富士経済作成

## 2.工業炉に関するカーボンニュートラル化に向けた政策の課題

### 3) 日本

補助金制度は複数年度の活用ができない、製造プロセスの見直し/製造現場の実情に合わない、大規模電源を必要とするインフラ投資への活用ができないことが挙げられる。

課題	対策	要点
<ul style="list-style-type: none"> <li>工業炉はメーカーではなく、ユーザーが活用するものである。工業炉の場合、単年度の補助では難しく、工期が年度をまたぐケースがある</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>工業炉の工期に対応した支援事業の枠組みの策定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>工期が複数年度でも「支援事業」を活用できれば、ユーザーも支援事業を活用して省エネ化への取り組みが進む可能性がある</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>ユーザーにおける製造プロセスに対する考え方を見直すことも省エネ化にとって重要である</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(省エネ観点における) プロセスの合理化を検証する支援事業の枠組みの構築</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ユーザーにおける製造プロセスを省エネのために合理化することに対する考え方を検証するための基礎的な支援事業を実施することも検討する必要がある</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>ユーザーは生産を停止することができないため、既存の設備を稼働しながら新しい設備を建設し、新しい設備で品質確認ができたなら既存設備から新しい設備に移行するといった作業を実施しなければならず、中小企業では場所すらないため、支援事業があったとしても活用しにくかったりする場合も考慮し支援事業を実施する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>中小企業に特化した支援対策の実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>プロセス変更などが必要な場合、中小企業の事情を考慮し、例えばプロセス変更に伴う省エネ設備導入の場合、製品品質のテスト等に係る場所や費用をサポートし、省エネ設備の導入がし易いように支援する必要がある</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>①電化といったところで、何十MWという電源を直ぐに供給してもらえるわけではない(電源確保に5年程度が必要となる場合がある)、②メタネーションを考えて重油焚きから都市ガスなどに変えようとしても導管がないため供給できない、ということがある</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>エネルギー供給源の確保への支援、インフラ整備及び制度の見直し</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>エネルギーの供給ができるのか否かといった観点でインフラが整理・開発される必要がある</li> </ul>

(出所) 日本工業炉協会への取材を基に富士経済作成

## 2.工業炉に関するカーボンニュートラル化に向けた政策の課題

### 4) 電気炉メーカーの見解

顧客の炉製品のテスト・評価段階、炉メーカーによるテスト機の製作、エネルギー診断コンサル業務の活用、炉の監視システムの導入の観点から、補助金制度の枠組みの構築が望まれる。

調査項目	ポイント	状況	特記事項
省エネ・脱炭素化技術採用への取り組み状況	✓ 断熱強化	✓ 高性能な断熱材への転換 ✓ 単純な層厚の増加	✓ 特記事項なし
	✓ 冷却ファンの活用推奨	✓ 冷却ファンの活用	✓ 特記事項なし
	✓ モータ関連の効率化	✓ 未使用時にはモータ稼働の停止を推奨 ✓ 冷却時の真空ポンプの停止を推奨	① 従来、顧客は真空ポンプを回していた ② ソフトウェアの導入を推奨している
製品のエネルギー消費動向	✓ 断熱強化	✓ 10%～20%程度の省エネ化（一事例）	✓ 炉の大型化を伴う改修になってしまう
	✓ モータ関連の効率化	✓ 効果は僅少	✓ ヒーターの出力と比較するとモータの出力は微力である
	✓ バッチからの連続化	✓ 均熱時間に対応	✓ 均熱時間が短ければ効果が得られ易い
省エネ技術導入における技術的な側面での課題	✓ 対策が限定されている	✓ 廃熱回収ができればよい状況	① 抵抗炉は水を温めて棄てる程度しかできない ② 温度変化 $\Delta T$ （デルタT）が少ないため、回収が難しい
カーボンニュートラルに向けた政策のあり方	✓ 顧客製品のテスト・評価段階での補助金の必要性	✓ テスト・評価段階では補助金がない	① 温度が高い炉では、テスト費用が数10万～200万円/回となる ② 環境性能が良い製品の導入に足踏みをする顧客がみられる
	✓ メーカーのテスト機作製時の補助金の必要性	① テスト・評価段階では補助金がない ② （例えば、省エネ）炉を作るとき、コンセプトつまり、炉の性能・機能、業界仕様などの構想がある ③ 需要がなくなると想定し作製できないケースがある	① （特に新製品の）テスト機には需要が少ないため、高額投資をしても使用頻度が低い ② ただし、使用頻度の低い製品開発への補助金の提供は認め難い状況にある
	✓ エネルギー診断コンサル業務への補助金の必要性	✓ 熱処理会社は、中小企業が多い	① 省エネ化に対する取り組みができていない ② 省エネ化へのコスト負担が課題である
	✓ 炉の監視システムへの補助金の必要性	✓ コンサルティングや設備維持管理とも異なり、エネマネ補助金では対応できない	✓ 製品の稼働状況やエネルギー消費状況、工場全体の運転をズラしたりする運転管理を可能にする
	✓ 助成金の複数年度の活用	✓ 納期が長期化傾向にあり、単年度で対応できない	✓ 工業炉ユーザーのみならず工業炉メーカーにもメリットが発生する
政策が必要と思われる製品開発または製品製造工程	✓ 最終ユーザーのプロセス認証が厳しい	✓ テストの実施。品質に問題がないことを確認した上で導入の意思決定 ✓ 工業炉メーカーからは工程変更の提案が難しい	✓ 最終メーカーの図面指示が変わらないと炉に対する考え方が変わらない

## 2.工業炉に関するカーボンニュートラル化に向けた政策の課題

### 5) 総合工業炉メーカーの見解

製品ラインアップは、燃焼炉と抵抗炉が該当し、誘導加熱は対象外である。補助金等の政策ではコストと環境性能を同等の評価基準とし、補助金対象者への評価後の査定を行うとともに、特化した分野の強化の他、装置メーカーのR&Dやテスト機作製を促す仕組みが必要である。

炉形態	省エネ型炉の要素	(省エネ等) 技術・手法	省エネ動向	課題 (阻害要因)	政策への見解・要望
燃焼	廃熱回収	<ul style="list-style-type: none"> <li>リジネバーナの提案</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>運転制御的に電気の方が容易になるため、ヒーターや抵抗炉を使ったケースが高い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>日本は電気代が高い</li> <li>廃熱設備が非常に高くなる</li> <li>廃熱を利用するには限界がある</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>補助金の基準には、コストと環境性能は同じ評価・位置づけにする必要がある</li> <li>自動車産業など特化した分野に高額補助金を出し競争力を高める必要がある</li> <li>補助金申請後の審査・評価をする必要がある (補助金審査時の基準値への保証や査定などの要求が必要である)</li> <li>工業炉ユーザーに補助金を出すのならば、R&amp;Dなどの開発に向けて (工業炉を含む) 装置メーカーにもある程度、振り分けるような制度である必要がある</li> <li>工業炉メーカーがテスト機を製作するときは、補助金が必要である</li> </ul>
	原材料予熱	—	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>相当な取扱量がない場合、コスト的に見合わない</li> </ul>	
	断熱強化	<ul style="list-style-type: none"> <li>アスベストが入っていない断熱材やセラミックス系の断熱材の採用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ある程度の生産量をもつユーザーではメリットが出る場合もある</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コスト高となる</li> <li>工業炉を断熱材で固めるにも限界がある</li> </ul>	
抵抗炉 (電気)	断熱強化	<ul style="list-style-type: none"> <li>断熱性能を高める</li> <li>燃焼の断熱強化に同じ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>欧米基準ではコスト高となるが、断熱をし熱効率を高める傾向にある</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コスト高となる</li> </ul>	

(出所) 総合工業炉メーカーへの取材を基に富士経済作成。総合工業炉メーカーとは、燃焼炉と電気炉の双方をラインアップしている工業炉メーカーを示す。

## 2.工業炉に関するカーボンニュートラル化に向けた政策の課題

### 5) 総合工業炉メーカーの見解

燃焼炉では高温域にて廃熱回収を提案しジャケットなどを温めることで排ガスの有効利用を提供するが、原材料予熱・断熱強化は取扱量のある企業体にものみ導入を推奨している。抵抗炉の断熱強化は燃焼炉と同じ状況である。

炉形態	省エネ型炉の要素	省エネ対応の状況
燃焼	廃熱回収	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ インitialコスト高となるが、バーナを導入するメリットや廃熱回収するメリットを提案している。取り扱う対象は、焼成などの温度域が520～800℃となる</li> <li>➢ 廃熱回収を提案し、出てきた排ガスの熱を燃焼高機能を使い炉の構造自体（ジャケットなど）を温めることで有効活用するといった技術を提供している</li> </ul>
	原材料予熱	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 鉄鋼会社などの大規模ユーザーでなければ（相当な取扱量がなければ）、コスト的に見合わない技術との位置づけである</li> </ul>
	断熱強化	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ ユーザー各社に安全基準があるため、触れても火傷しない温度で断熱するように対応している</li> <li>➢ 断熱材（材料）については、コスト高になることである程度の生産量をもつユーザーではメリットが出る場合もあるが、通常、そこまでコスト負担をして断熱強化をするユーザーは少ない状況にある</li> </ul>
抵抗炉	断熱強化	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 燃焼に同じ</li> </ul>

（出所）総合工業炉メーカーへの取材を基に富士経済作成。総合工業炉メーカーとは、燃焼炉と電気炉の双方をラインアップしている工業炉メーカーを示す。

### 3. 開発・普及支援プロジェクト

EU・ドイツは燃焼炉が多い中で再エネ導入を進めるため、燃焼と電気のバランス良くプロジェクト支援を推進している。一方、米国はエネルギー効率の向上を進める中でCO2回収に注力している。一方、日本ではバランス良くプロジェクト支援を進める中で原材料予熱や電化への支援強化を追求する余地がある。

炉形態	省エネ型炉の要素	エリア	EU・ドイツ 	米国 	日本 
		政策	<ul style="list-style-type: none"> <li>CO2排出量取引、設備機器のエネルギー効率向上</li> <li>政策的にCO2の排出価格を高め、CO2排出量を低減</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2050年までに米国国内の炭素排出量ゼロ</li> <li>炭素回収・貯留に対する天然ガス発電および産業分野の脱炭素化への投資</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2030年度に温室効果ガスを2013年度から46%削減</li> <li>再エネなど脱炭素電源の最大限の活用や投資を促すための刺激策</li> </ul>
共通	原材料予熱	▶	● (大型装置の連続炉での対応)	▲	▲ (大型装置の連続炉での対応)
	断熱強化		<ul style="list-style-type: none"> <li>(高効率断熱材)</li> <li>(熱損失/ヒートブリッジ対応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(高効率断熱材)</li> <li>(熱損失/ヒートブリッジ対応)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(高効率断熱材)</li> <li>(熱損失/ヒートブリッジ対応)</li> </ul>
	設計開発 他		● (製品・材料開発、制御・改修設計)	● (技術開発)	● (技術開発)
	炭素 (CO2) 回収		●	●	●
燃焼	廃熱回収	▶	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ (リジェネバーナ)</li> <li>● (高効率レキュペレータ)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ (リジェネバーナ)</li> <li>● または ▲ (高効率レキュペレータ)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● (リジェネバーナ)</li> <li>● (高効率レキュペレータ)</li> </ul>
	燃料転換		<ul style="list-style-type: none"> <li>● (水素燃焼バーナ)</li> <li>● (アンモニア燃焼バーナ)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ (水素燃焼バーナ)</li> <li>情報無し (アンモニア燃焼バーナ)</li> <li>● (酸素燃料技術：耐火物・炉形状)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● (水素燃焼バーナ)</li> <li>● (アンモニア燃焼バーナ)</li> </ul>
電気	誘導加熱	▶	<ul style="list-style-type: none"> <li>● (高効率機器の使用、コイルの最適化等)</li> <li>● (既存の真空管設備の半導体化 (IGBT/MOFSET) )</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● (高効率機器の使用、コイルの最適化等)</li> <li>情報無し (既存の真空管設備の半導体化 (IGBT/MOFSET) )</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● (高効率機器の使用、コイルの最適化等)</li> <li>● (既存の真空管設備の半導体化 (IGBT/MOFSET) )</li> </ul>
	電化		●	●	▲

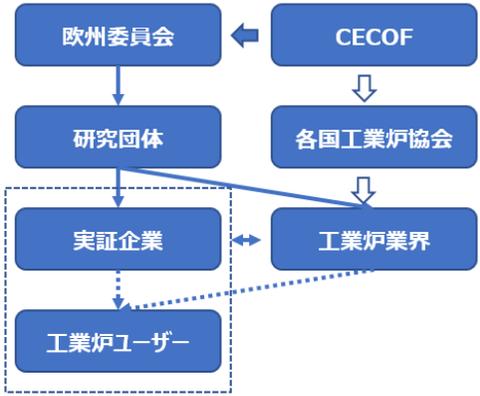
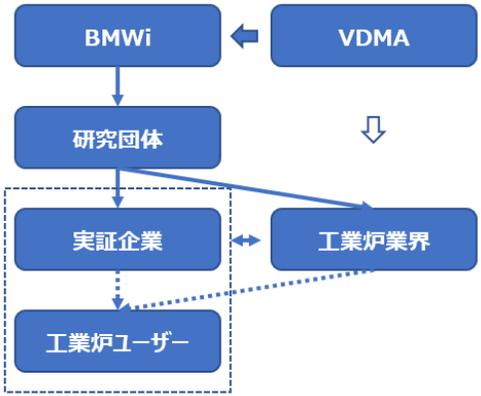
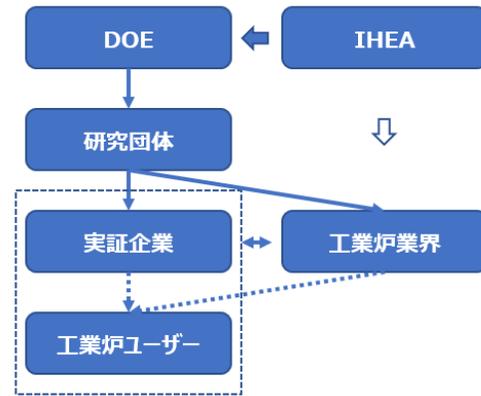
\* 上表ボックス内の記号：対応済み●一部対応済み▲、情報無し：公開情報の範囲で情報収集図るが、情報がなかったものを示す。

(出所) EU・ドイツ・米国・日本各エリアの工業炉に関する公開情報や取材を基に富士経済作成

## 4. 普及支援体制

### EU・ドイツ・米国の支援体制

EU・ドイツ、米国では工業炉協会が政府へ政策提言、工業炉業界は政府・研究団体のプロジェクトに参画し、工業炉ユーザーに工業炉の省エネ技術を提供し普及に努めることを基本としている。

エリア	EU 	ドイツ 	米国 
政府	<ul style="list-style-type: none"> <li>欧州委員会</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>連邦経済エネルギー省 (BMWi)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>米国エネルギー省 (DOE)</li> </ul>
研究団体	<ul style="list-style-type: none"> <li>EDEFU (Spain : 欧州委員会研究プロジェクト)</li> <li>VULKANO (Spain : 欧州委員会資金提供プログラム) など</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>バイエルン州応用エネルギーセンター</li> <li>The BMWi-funded project "KonAIR" (IFAM) など</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lawrence Livermore National Laboratory</li> <li>The University of Kentucky Research Foundation など</li> </ul>
実証企業	<ul style="list-style-type: none"> <li>TECNALIA社、CERAPRO社、KROWN社 など</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>SGL Carbon社 など</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stelco Steel社、Nucor Steel社 など</li> </ul>
工業炉協会	<ul style="list-style-type: none"> <li>The European Committee of Industrial Furnace, Heating and Metallurgical Equipment Associations (CECOF)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>VDMA Metallurgy (Germany) /the Mechanical Engineering Industry Association</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Industrial Heating Equipment Association (IHEA)</li> </ul>
工業炉協会会員数	<ul style="list-style-type: none"> <li>10カ国の工業炉協会・個人会員で組織される</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>会員企業は約180社であり、業界全体の80%程度を占める</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>工業用熱処理機器業界の40社 (設計、メーカー) が加盟している</li> </ul>
支援体制			
	<p>【矢印の役割】  : 政策助言     : 情報提供     : 資金提供/研究開発     : 技術供与     : 技術提供</p>		

## 5. 総括

### 1) 工業炉の政策動向から見たEU・ドイツ、米国、および日本の相違点

政策に関する調査結果から日本をEU・ドイツと比較した場合、再エネ活用、電源の転換・再エネインフラ導入、環境評価制度、連続炉の省エネ化に差がみられる。一方、米国と比較した場合、電源の転換・再エネインフラ導入、CO2回収技術への導入支援に差がみられる。

炉形態	必要とされる政策支援内容	調査結果からみる各国の実施状況 (実施：●、一部実施：▲、未実施：×)		
		EU・ドイツ	米国	日本
共通	電源のエネルギー転換、または新規再エネ導入時に電力インフラを脱炭素化する場合に対する補助政策	●	●	×
	顧客製品のテスト・評価段階の補助政策	情報無し	情報無し	×
	メーカーのテスト機作製時の補助政策	情報無し	情報無し	×
	エネルギー診断コンサル業務に対する補助政策	情報無し	▲	●
	炉の監視システム導入時の補助政策	●	情報無し	●
	補助金対象の評価基準に環境性能をコストと同等とする枠組みの策定	●	情報無し	▲
	特定分野に強化された補助政策	●	情報無し	●
	補助金活用対象者への成果評価制度の策定	●	情報無し	▲
	工業炉メーカーのR&Dを促す補助制度の策定	▲	▲	●
	CO2回収技術導入時の補助政策	情報無し	●	×
燃焼	廃熱利用に対する補助政策	▲	情報無し	●
	大型装置の連続炉への省エネ対応における補助政策	●	情報無し	▲
電気	電化時の再エネ活用に対する補助政策	●	情報無し	×
	溶解炉への誘導加熱の活用に対する補助政策	●	情報無し	●

\* 情報無し：公開情報の範囲で情報収集を図るが、情報が無かったものを示す。

## 5. 総括

### 2) 日本の工業炉業界のカーボンニュートラル化に向けて、今後求められる「支援策」

政策に関する調査結果にてEU・ドイツ、米国と日本を比較し、日本にとって今後求められる「支援策」として、環境性能を評価した制度的な枠組みの構築、工業炉ユーザーの省エネ型製品の導入促進策（テスト機への支援）、再生可能エネルギーの導入量の拡大促進策が挙げられる。

炉形態 / 分類		必要とされる支援策	日本の政策動向
共通	制度	補助金対象の評価基準に環境性能をコストと同等とする枠組みの策定 補助金活用対象者への成果評価制度の策定	一部対応
	省エネ化	顧客製品のテスト・評価段階の補助政策 メーカーのテスト機作製時の補助政策	未対応
	脱炭素化	電源のエネルギー転換、または新規再エネ導入時に電力インフラを脱炭素化する場合 に対する補助政策	未対応
電気	電化	電化時の再エネ活用に対する補助政策	未対応

\* 上表は前頁の相違点から、「一部実施」や「未実施」を対象として作成した。ただし、CO2回収は技術支援でも取り扱いがあること、大型装置の連続炉における省エネ化に関しては日本では台数が少ないことから除外している。

(出所) EU・ドイツ・米国・日本各エリアの工業炉に関する公開情報や取材を基に富士経済作成

## 5. 総括

### 2) 日本の工業炉業界のカーボンニュートラル化に向けて、今後求められる「支援策」

従来の補助政策を打開し環境および産業力重視の補助政策が求められる。すなわち、結果重視の評価制度、産業競争力の実情に則した対策、大規模な再エネ電源開発の促進など国際競争力強化を見据えた支援策が求められる。

炉形態	分類	今後求められる支援策	要因
共通	制度	補助金対象の評価基準に環境性能をコストと同等とする枠組みの策定（P70など参照）	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 日本企業では「省エネに優れた廃熱回収」という申請内容では予算確保までには行きつき難い一方、欧州では工業炉メーカーの選定理由は「省エネ型製品」である。そして省エネ化は「コスト」と同等の選定基準である</li> <li>▶ 欧州では工業炉メーカーは製品の性能に責任を持たなければならない立場である</li> <li>▶ 入札時の選定基準に環境性能が費用と同等の基準にあることで、工業炉メーカーがカーボンニュートラル化に向けた取り組みが推進し易くなる</li> </ul>
		補助金活用対象者への成果評価制度の策定（P70など参照）	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ ドイツでは、補助金を活用して建設された工場では、所々で省エネ検証が行われている。しかし、日本では申請時に省エネ効果があることを明記しておけば、その後の審査・評価が行われない</li> <li>▶ 補助金申請後の審査・評価を実施することで、工業炉メーカーの製品開発への意欲向上を促すことになる</li> </ul>
	省エネ化	顧客製品のテスト・評価段階の補助政策（P67など参照）	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ テスト・評価への補助金は、工業炉ユーザーが省エネ対応の導入意欲を促す働きがある。工業炉メーカーは使用頻度が低いテスト装置を自己負担で維持していくことには対応しきれない状況となりつつある</li> <li>▶ 工業炉ユーザーの炉のテスト・評価を補助金で支援することにより、工業炉メーカーの省エネ型製品の導入が進み省エネ化に寄与することになる</li> </ul>
		メーカーのテスト機作製時の補助政策（P67など参照）	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 工業炉メーカーの開発者が市場ニーズを反映したテスト機の作製を試みる際に社内の稟議を通しやすくなる。使用頻度が低いためにテスト機を作製できない場合もある</li> <li>▶ 工業炉メーカーが積極的にR&amp;Dを行うためにはテスト機の作製から補助金にて支援することで工業炉ユーザーの省エネ型製品の導入も促進されることになる</li> </ul>
	脱炭素化	電源のエネルギー転換、または新規再エネ導入時に電力インフラを脱炭素化する場合に対する補助政策（P68など参照）	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 日本では①電化にする際、何十MWという電源を直ちに供給されるわけではなく（電源確保に5年程度が必要となる場合がある）、②メタネーションに取り組む際、重油焚きから都市ガスなどに変えようとしても導管がないため供給できない</li> <li>▶ 電化が脱炭素化に寄与することを考えた場合、電力インフラへの補助政策が必要になる</li> </ul>
電気	電化	電化時の再エネ活用に対する補助政策（P66など参照）	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ ドイツでは再生可能エネルギー量の導入増加を目指しており、電化への助成金プログラムが利用されている。化石燃料からの脱却として誘導加熱の技術にも注目している</li> <li>▶ 日本でも工業炉への再エネ導入を促進させる補助政策を打ち出すことで、脱炭素化が促進される</li> </ul>

## 參考資料

---

## 1. EUの工業炉①

炉形態	燃焼			電気		その他
省エネ型炉の要素	廃熱回収	原材料予熱	断熱強化	誘導加熱（誘導加熱、誘導溶解）	抵抗炉（断熱強化）	熱源混合加熱
該当項目	●		●		●	●

タイトル	<p>◆ <b>New Designs of Ecological Furnaces（環境対応型工業炉の新設計）</b></p> <p>◆ 実証期間：2010年6月1日～2014年5月31日</p> <p>◆ URL：https://cordis.europa.eu/project/id/246335/reporting</p> <p>◆ 主催：EDEFU（スペイン：欧州委員会研究プロジェクト）</p>
概要	<p>① アルミニウム、セラミックス、ガラス、セメント向け工業炉に関する環境対応型工業炉の設計開発</p> <p>② マイクロ波技術を活用した加熱システム、耐火材（アルミナ）、熱回収システム等を開発し、新工業炉の設計に統合</p>
内容	<p>1) アルミニウム製造向け工業炉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・試作機によってアルミニウム1トンあたり50kgのCO<sub>2</sub>が削減されることが確認されている。</li> <li>・鋳造工場で1万トン/年の製品を製造する場合、約500トン/年の温室効果ガス排出を削減する。</li> <li>・当該プロジェクトで試作と実証試験の結果から、試作炉のエネルギー効率の改善が保持工程で約20-30%、アルミニウム溶解で30-40%以上と推定されている。</li> </ul> <p>2) ガラス製造向け工業炉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ガラス溶解炉の小型の試作炉を開発したが、予期せぬ問題が発生する可能性があり、技術レベルだけでなく、運用レベルでも検証する必要がある。</li> <li>・当該プロジェクト終了後、少なくとも2～3年の開発期間が必要（実導入には10年が必要）である。</li> </ul> <p>3) セラミックス製造向け工業炉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・既存技術に対して競争力のある寸法や出力を規格とする工業炉の設計を検討することが必要であった。そこで、セラミックスの製造工程でエネルギー効率の良い処理を行うためには、MWクラスのエネルギー供給を可能とする工業炉の設計とその実証が必要であるとの結論を得た。</li> </ul> <p>4) セメント製造向け工業炉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・HPTPプラズマトーチを加熱装置として使用し試作炉を設計し、バイオマスガス化技術を評価した。その結果、試作炉はバイオマスをエネルギー源とすることでCO<sub>2</sub>排出量の10%削減に貢献することはできるが、電力需要の増加を想定した場合、経済的なメリットが得られないことが判明した。</li> </ul>
費用、他	<p>a. 総予算：€ 13,118,250.71-</p> <p>b. アルミナの耐火材の製品化、鋳造産業向けプラズマ技術開発の特許申請、熱回収システムの導入には3,000時間/年の稼働が必要である。</p>

## 1. EUの工業炉②

炉形態	燃焼			電気		その他
省エネ型炉の要素	廃熱回収	原材料予熱	断熱強化	誘導加熱（誘導加熱、誘導溶解）	抵抗炉（断熱強化）	燃料混合加熱
該当項目	●	●	●			●

タイトル	<p>◆ <b>Novel integrated refurbishment solution as a key path towards creating eco-efficient and competitive furnaces（環境性能と競争力を備えた工業炉の実現に向けた総合改修ソリューションの提案）</b></p> <p>◆ 実証期間：2019年1月1日～2019年12月31日</p> <p>◆ URL:<a href="https://cordis.europa.eu/project/id/723803/reporting">https://cordis.europa.eu/project/id/723803/reporting</a></p> <p>◆ 主催：VULKANO（スペイン：欧州委員会資金提供プログラム（2020年））</p>
概要	<p>①天然ガスを使用している既存の予熱・溶解工業炉のエネルギーおよび環境性能を向上させるために、高度な改修用統合ソリューションを設計・実装し、検証する。</p> <p>②本総合改修ソリューションは、エネルギー回収システム用の高温相変化材料（PCM）、新耐火物（断熱材）、最適化された混焼システムおよびバーナ、高度な監視・制御システムの導入、またバリューチェーンに則った上流・下流工程との統合により、ライフサイクルおよびライフサイクルコストに基づいて最適化できるこれら個別ソリューションを組み合わせ実装し、その効果を検証するものである。本ソリューションは、セラミックと鉄鋼の2つの工場設計、開発、導入されるとともに、ソリューションの実現可能性と再現性を検証するために、アルミニウム部門の別の工場にて仮想デモ機を導入している。</p>
内容	<p>①新耐火物（断熱材）、PCMによるエネルギー回収、混焼システム、監視・制御システム（年間約100t-CO<sub>2</sub>eq削減）などの技術等を活用している。</p> <p>②予熱している炉に天然ガスと合成ガスを混焼することで、天然ガスを段階的に合成ガスで代替し15%から40%まで引き上げる。さらに、開発された革新的な耐火物やPCMに基づくエネルギー回収により、加熱システム全体の運用コストと熱損失が削減される。</p> <p>③PCMシステム単独では、システムの排出段階において12%のエネルギー回収性能を示し、実証された鉄鋼炉において351MWh/年の削減を実現している。一方、セラミック部門に導入されたいくつかの（耐火物など）個別ソリューションを実装することにより、工業炉の性能を向上させ、ガス消費量を平均10%削減させる。</p> <p>④また新素材の耐火物は、従来の耐火物と比較して熱伝導率が40%低下し、断熱性能を向上させていることを実証している。</p> <p>⑤ただし、産業規模で得られる削減量に関する正確な情報を提供するために必要となる数値を収集する必要がある。そのためには更なる実証期間が必要である。今後、工業炉の運用コストで従来比15%削減も目指していく意向である。</p>
費用、他	<ul style="list-style-type: none"> <li>総予算：€ 6,940,813.75-</li> </ul>

## 2. ドイツの工業炉①

炉形態	燃焼			電気		その他
省エネ型炉の要素	廃熱回収	原材料予熱	断熱強化	誘導加熱（誘導加熱、誘導溶解）	抵抗炉（断熱強化）	—
該当項目			●		●	

タイトル	<p>◆ <b>Innovative Thermal Insulation for High-Temperature（高温オープン向け革新的断熱材）</b></p> <p>◆ 最終更新日：2020年10月27日</p> <p>◆ URL:<a href="https://www.gtai.de/gtai-en/invest/industries/energy/innovative-thermal-insulation-for-high-temperature-ovens-571894">https://www.gtai.de/gtai-en/invest/industries/energy/innovative-thermal-insulation-for-high-temperature-ovens-571894</a></p> <p>◆ 実施機関：バイエルン州応用エネルギーセンター（Bavarian Center for Applied Energy）のコンソーシアム（ドイツ連邦経済エネルギー省（BMWi）の共同プロジェクト「AeroFurnace」）</p>
概要	<p>・ ナノポーラスカーボン※をベースにした新しい複合材料を開発。既存の材料の2倍以上の断熱効果が期待される。</p> <p>※表面はメソポーラス構造で個々の粒径は20～50ナノで球状。粒子表面の無数の細孔は内部の中空へと通じている。活性炭と比較して、表面のメソポーラス面積は約6倍、細孔体積は約2倍で、非常に優れた吸着力を有し、活性炭で吸着できないアンモニアやVOCもよく吸着する性質がある。</p>
内容	<p>① 鉄鋼やセラミックなど、エネルギー多消費型産業の生産工程では、1,500℃以上の高温を必要とするものも少なくない。</p> <p>② 断熱性が高ければ高いほど、加熱と温度維持に必要なエネルギーが少なくなる。開発した断熱材「カーボンエアロゲル」は、この熱を炉から逃がさないように機能する。またカーボンエアロゲルは、現在のフェルトベースの炭素材料よりも厚くないため、炉の使用可能な容積を減らすことがない。</p> <p>③ エアロゲルは、ゲル中に含まれる溶媒を超臨界乾燥により気体に置換した多孔性の物質である。ケイ酸塩、金属とその酸化物、ポリマー、バイオポリマー、炭酸塩など、さまざまな材料から作製可能である。多孔質で、90%以上が空気である。そのため、特に軽量であり、密度が低く、さらに内表面が大きいことにより、熱伝導率が低いといった性質がある。</p> <p>④ また、カーボンエアロゲルの炭素構造には、高温の熱輸送の際に発生する熱放射の大部分を吸収するといった特徴もある。そのため、自動車産業や建築物の断熱材、その他の高温用途など、特に絶縁体として要求の厳しい分野で用いることが可能である。</p> <p>⑤ ドイツの最終エネルギー消費量のうち、工業プロセスで熱の生成に使われる消費エネルギー量の割合は22.6%と大きい。鉄鋼やセラミック産業など多くの産業では、1000℃を超える高温プロセスがあり、工業プロセスで発生する熱の50%程度を消費している。しかし、これらの産業において断熱材「カーボンエアロゲル」の実用化までには大規模な生産ラインでの実運用環境での実証が必要である。</p>
費用、他	<p>・ 連邦経済エネルギー省（BMWi）が3年6か月で総額€ 625,000-の資金を提供している。</p>

## 2. ドイツの工業炉②

炉形態	燃焼			電気		その他
省エネ型炉の要素	廃熱回収	原材料予熱	断熱強化	誘導加熱（誘導加熱、誘導溶解）	抵抗炉（断熱強化）	プロセスガス制御
該当項目						●

タイトル	<p>◆ <b>Controlling energy-efficient thermoprocessing systems with pinpoint（エネルギー効率の高い熱処理システムのピンポイント制御）</b></p> <p>◆ 最終更新日：2021年5月6日</p> <p>◆ URL： <a href="https://www.re-form-material.ifam.fraunhofer.de/en/projects/konair.html">https://www.re-form-material.ifam.fraunhofer.de/en/projects/konair.html</a></p> <p>◆ 実施機関：The BMWi-funded project “KonAIR” (concentration-dependent industrial furnace control) (Fraunhofer Institute for Manufacturing Technology and Advanced Materials IFAM)</p>
概要	<p>① 熱処理システムをピンポイントで制御するコンセプトを確立した。</p> <p>② 工業炉の加熱工程をピンポイントで制御することで省エネに貢献する。</p> <p>③ プロセスガスのモニタリングが製造技術のエネルギー転換を可能にする。</p>
内容	<p>① 金属粉末射出成型などの粉末冶金では、後で除去しなければならない有機バインダを使用している。これらの副資材の熱除去は、製造上非常にエネルギー消費が多く、作業員の経験値に基づくところが多い。</p> <p>② 炉内の焼結材料の状態とガス組成との間に明確な相関性があることを背景に、工業炉内のプロセス雰囲気を測定し、プロセス温度と時間を実際に必要なレベルまでリアルタイムに制御する。</p> <p>③ その結果、従来のプロセスに比べ、エネルギー消費量を25～30%削減することが可能であることが判明した。このピンポイント制御では、さらにスクラップを大幅に削減し、部品の品質を向上させることが可能になることが判明した。</p> <p>④ この結果は、当初実験室で達成され、現在では工業用生産設備でも導入されている。</p>
費用、他	<ul style="list-style-type: none"> <li>プロセスガスを制御する工程を持つ工業炉であれば、粉末冶金だけでなく、さまざまな産業に転用することが可能となる。例えば、セラミック製造工程、炭素系材料の製造、あるいはバイオマスのガス化などのプロセスガスを用いる工程で最適制御が可能となる。</li> </ul>

### 3. 米国の工業炉①

炉形態	燃焼			電気		その他
省エネ型炉の要素	廃熱回収	原材料予熱	断熱強化	誘導加熱（誘導加熱、誘導溶解）	抵抗炉（断熱強化）	燃焼シミュレーション
該当項目						●

タイトル	<p>◆ <b>The Virtual Blast Furnace - An Integrated High Performance Computing Modeling, Simulation, and Visualization Capability for Steel Manufacturing - Final Report</b>（仮想高炉 - 鉄鋼製造のための統合的なハイパフォーマンスコンピューティングによるモデリング、シミュレーション、可視化能力 - 最終報告書）</p> <p>◆ 公表日：2021年3月9日</p> <p>◆ URL: <a href="https://www.osti.gov/servlets/purl/1770033">https://www.osti.gov/servlets/purl/1770033</a></p> <p>◆ 研究者所属機関：Lawrence Livermore National Laboratory</p>
概要	<p>① 高炉の様々なコンポーネントによるモデル開発のシミュレーションや高炉の操業を最適化するためのシミュレーションである。</p> <p>② 本プロジェクトでは、スーパーコンピューターを活用し、これらのシミュレーション時間を合理的なレベルにまで短縮すること取り組み、並列処理を行い、高炉の3次元シミュレーションの実行時間を50分の1に短縮した。</p> <p>③ また、パラメータ研究を開始するためのソフトウェアを開発することで、高炉の研究が数日で完了し、個々のシミュレーションもより高い精度を持つに至った。</p>
内容	<p>① 高炉製錬は、極めて成熟した技術である。エネルギー効率の改善が容易な技術は、ほとんど開発・実施されている。経済的に可能な限り理論的な効率性を実現するため更なる技術開発は可能であるが、そのためには高度な物理学に基づく複合モデル、シミュレーション、可視化、それに加えてプロセス物理学と計算ツール・手法に対する深い専門知識が必要となる。</p> <p>② 本プロジェクトでは、マルチフィジックス・モデリングとHPC（High-Performance Computing）技術を使って、鉄鋼高炉の操業改善を試みている。このプロジェクトは、パデュー大学の可視化・シミュレーション・センター（CIVS）が開発した既存のモデリング・ソフトウェアを活用している。その結果、実証参加企業Stelco Steel社の高炉でコークスの使用量を5%以上削減できる運転パラメータを明らかにした。これにより年間900万ドル以上のコスト削減が可能であると試算した。</p> <p>③ 次に高炉操業におけるコークスの消費率は、操業コストやエネルギー・CO2原単位に大きな影響を与えるため、高炉の操業を改善することに着目した。そこで、高炉に投入する天然ガスを予熱することで、炉の重要な動作温度に影響を与えることなく、炉で使用されるコークスを相殺できるのではないかという仮説のもと、天然ガス予熱パラメータ研究で発見した最良の潜在的事例のいくつかを利用してコスト見積もりを行い、年間最大980万ドルを低減可能であることを立証した。</p>
費用、他	<p>a. 本研究は、米国エネルギー省（DOE）の支援のもと、ローレンス・リバモア国立研究所によって行われている。</p> <p>b. 承認予算/原価予算：\$995,000- / ~\$295,000-</p>

### 3. 米国の工業炉②

炉形態	燃焼			電気		その他
省エネ型炉の要素	廃熱回収	原材料予熱	断熱強化	誘導加熱（誘導加熱、誘導溶解）	抵抗炉（断熱強化）	CO2回収
該当項目						●

タイトル	<p>◆ <b>Funding Opportunity Announcement 2515, Carbon Capture R&amp;D for Natural Gas and Industrial Point Sources, and Front-End Engineering Design Studies for Carbon Capture Systems at Industrial Facilities and Natural Gas Plants</b>（資金調達に関するお知らせ 2515, 天然ガスおよび産業用ポイントソースにおける炭素回収の研究開発、および産業施設と天然ガスプラントにおける炭素回収システムのフロントエンド・エンジニアリング設計研究） – <b>Application of Transformational UKy 3 Ton/day CO2 Capture System at a Steel Process Plant</b>（ケンタッキー大学における製鉄プロセス設備に3トン/日CO2回収システムを導入・適用した実証試験）</p> <p>◆ 公表日：2021年10月6日</p> <p>◆ URL：<a href="https://www.energy.gov/fecm/articles/funding-opportunity-announcement-2515-carbon-capture-rd-natural-gas-and-industrial">https://www.energy.gov/fecm/articles/funding-opportunity-announcement-2515-carbon-capture-rd-natural-gas-and-industrial</a></p> <p>◆ 主催：Office of Fossil Energy and Carbon Management（U.S. Department of Energy）</p> <p>◆ 実施機関：the University of Kentucky Research Foundation（Lexington, KY）</p>
概要	✓ 電気（アーク）炉から発生するガスを処理し、4つの新しい変換技術を用いた革新的なCO2回収システムの実証試験
内容	<p>①ケンタッキー大学研究財団は、Nucor Steel Gallatin工場にある（1.5 vol% CO2 ガス流の場合、CO2を3トン/日排出する）既存システムにおいて実験レベルで実証された4つの新しい革新的変換技術を実装したCO2回収システムの実証試験を行い、その際に電気（アーク）炉から放出されるガスを処理する計画にある。</p> <p>②CO2の気液比を低い比率で構造化し且つ離散化状態にした高度な充填を行うことで、特に溶媒の物理的特性と制御された吸収体の温度データが一致した場合、充填の堅牢な漏れ性を証明することが可能となる。</p>
費用、他	<p>a. 総費用：\$6,250,488-</p> <p>b. DOE補助金：\$4,999,965-</p>

### 3. 米国の工業炉③

炉形態	燃焼			電気		その他
省エネ型炉の要素	廃熱回収	原材料予熱	断熱強化	誘導加熱（誘導加熱、誘導溶解）	抵抗炉（断熱強化）	CO2回収
該当項目	●		●		●	●

タイトル	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ CO2MENT Colorado Project (LH CO2MENT コロラドプロジェクト)</li> <li>◆ 実施期間：2020年10月1日～2022年6月30日</li> <li>◆ URL： <a href="https://netl.doe.gov/project-information?p=FE0031942">https://netl.doe.gov/project-information?p=FE0031942</a></li> <li>◆ 主催：Electricore, Inc./DOE (U.S. Department of Energy) (NETL Carbon Management Research Project Review Meeting)</li> </ul>
概要	✓ 既存セメント工場における炭素回収プラントの導入促進
内容	<p>① エレクトロコア社 (Electricore Inc.) は、スヴァンテ社 (Svante Inc.) およびキウィット・エンジニアリング・グループ社 (Kiewit Engineering Group Inc.) と提携し、既存セメント工場において商業規模 (100万トン/CO2/年) の炭素回収プラント (ブランド名: VeloxoTherm) を導入する。</p> <p>② 本プロジェクトの目的は、コロラド州フローレンスにあるラファージュ・ホルシム社 (LafargeHolcim) 所有のセメント工場に回収システムを設置するための先行エンジニアリング設計 (pre-FEED) の完了と、当該サイト付近でのCO2貯蔵箇所を特定することである。</p> <p>③ 本プロジェクトは、セメントキルン (窯) の排ガス (濃度14%) および天然ガス焚き蒸気発生器からのCO2 (濃度8.5%) を除去することを計画している。また、米国エネルギー省 (DOE) が掲げるCO2回収コスト30ドル/トンの目標達成に向けて、CO2回収量を200万トン/年まで拡大するためのエンジニアリングによる最適化を図ることも予定している。</p> <p>④ CO2排出は化石燃料の燃焼によるものだけでなく、化学プロセスにおける固有の副産物も含まれることから、全体のCO2低減を達成するためには、工場設備の電力と熱を必要とするプロセスや化学処理プロセスの両面からCO2を回収・圧縮する必要がある。</p> <p>⑤ 産業プラントにCO2回収システムを設置するための初期エンジニアリング設計とコスト見積もりが容易になることで、炭素回収プラント費用と拡張性を評価することができるようになり、商業展開のリスクを軽減することが可能になるとみている。</p>
費用、他	<p>a. 総費用：\$1,930,524-</p> <p>b. DOE補助金：\$1,500,000-</p>

### 3. 米国の工業炉④

炉形態	燃焼			電気		その他
省エネ型炉の要素	廃熱回収	原材料予熱	断熱強化	誘導加熱（誘導加熱、誘導溶解）	抵抗炉（断熱強化）	酸素燃焼
該当項目			●		●	●

タイトル	<p>◆ <b>Progress in Energy and Combustion Science Current state of industrial heating and opportunities for decarbonization</b>（産業用加熱分野におけるエネルギー・燃焼における科学的進歩の現状と脱炭素化の可能性）</p> <p>◆ 公表日：2021年12月19日</p> <p>◆ URL：  <a href="https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0360128521000800?token=CCE27B6881168D3B67A3ACE09B0E234A0D19F7C0C5AF3C3008ED42EA2AF7F40E17A78A49EFDD1A69D2006C859BC6BE04&amp;originRegion=us-east-1&amp;originCreation=20220216110256">https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0360128521000800?token=CCE27B6881168D3B67A3ACE09B0E234A0D19F7C0C5AF3C3008ED42EA2AF7F40E17A78A49EFDD1A69D2006C859BC6BE04&amp;originRegion=us-east-1&amp;originCreation=20220216110256</a></p> <p>◆ 発表者：Department of Chemical and Biomolecular Engineering, University of Pennsylvania, World Resources Institute, Yale School of the Environment, Yale University, Department of Chemical Engineering, Worcester Polytechnic Institute</p>
概要	<p>✓ DOE（U.S. Department of Energy）は燃焼炉における耐火物とハース炉の形状の各技術を支援し酸素燃焼の工業化を推進している。</p> <p>✓ 電気炉は電源に再生可能エネルギーを活用することで、カーボンニュートラル化に貢献し得る。</p>
内容	<p>① 酸素燃焼炉はガラス産業全体で産業規模の導入が進んでいる。酸素燃焼条件下では、ガラスの生産に必要なエネルギーが少なく、NOx排出量も削減される。ガラスメーカーが酸素燃焼技術に切り替えた際に主に考慮した点は、耐火物とハース炉の形状であった。この技術の採用を促進するために米国DOEは、耐火物とハース炉の形状の各技術の採用を成功させるために必要な変更に焦点を当てた2つのワークショップを開催している。</p> <p>② 電気キルン（窯）と電気炉の使用では、焼成によって生じるプロセスのCO2排出量を全て減らすことはできないが、これらのプロセスをCCS（CO2回収・貯留技術）と組み合わせることでカーボンニュートラルにすることは可能である。また、産業プロセスに必要なエネルギーを電気で完全に脱炭素化するためには、電力網や電力源を脱炭素化する必要があることにも留意する必要がある。さらに、電気キルンを低炭素電力や無炭素電力と併設することで、電気キルンから排出されるCO2を削減またはゼロにすることができる。</p> <p>③ 工業炉に電気を使用することで、最終的に化石燃料の燃焼によるCO2排出量は削減されるが、加熱された原料に関連するプロセスにおけるCO2排出量は軽減されない。電気炉とCCSを組み合わせることで、プロセスから排出されるCO2を他の排ガスから分離し、加圧して輸送・貯蔵することが可能となる。再生可能なエネルギー源であれば、電気炉の排ガスを回収することで、カーボンニュートラルな操業が可能となる。</p> <p>④ カリフォルニア州西部には太陽光発電、セントラルバレーには水力発電といった電源があり、これらを活用して近隣の産業施設に電力を供給することができるため、電気キルンの導入を検討する必要がある。特に、セントラルバレーには5つのガラス工場があり、その操業のために水力発電を利用することができる。また、カリフォルニア州の最南端には地熱発電の拠点があり、石灰工場に地熱発電から電力を供給することができる。</p>
費用、他	<p>・ 上記は論文であり、米国内でセメント、石灰、ガラス、鉄鋼の製造施設が集中しているカリフォルニア州とペンシルバニア州を取り上げ、工業炉のカーボンニュートラル化について記載されている部分を抜粋している。</p>

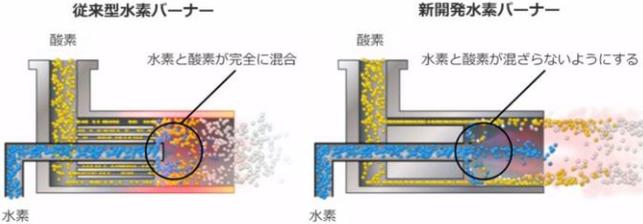
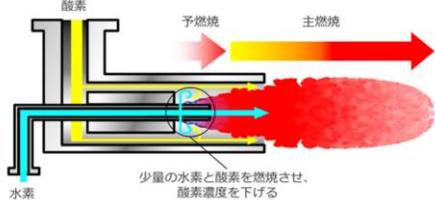
#### 4. 日本の工業炉①

炉形態	燃焼			電気		その他
省エネ型炉の要素	廃熱回収	原材料予熱	断熱強化	誘導加熱（誘導加熱、誘導溶解）	抵抗炉（断熱強化）	アンモニア燃焼
該当項目						●

タイトル	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 工業炉におけるCO2排出量削減に向けた、アンモニア燃焼利用技術を開発</li> <li>◆ 公表日：2017年6月26日</li> <li>◆ URL： <a href="https://www.jst.go.jp/pr/announce/20170626/index.html">https://www.jst.go.jp/pr/announce/20170626/index.html</a></li> <li>◆ 主催：太陽日酸株式会社 / 日新製鋼株式会社（現 日本製鉄株式会社） / 大阪大学 / 科学技術振興機構</li> </ul>
概要	✓ 連続亜鉛めっき鋼板製造工程における実証評価に目途
内容	<p>① 水素エネルギー社会実現に向けた工業炉のアンモニア直接利用技術について共同研究を実施し、太陽日酸 山梨研究所に設置した燃焼加熱実験炉において検討した結果、連続溶融亜鉛めっき鋼板製造工程における連続焼鈍炉の前処理として、アンモニアの燃焼エネルギーを有効利用できる「アンモニア混焼衝突噴流式脱脂炉」のバーナ開発に成功し、最適加熱条件を確立した。これにより、産業分野でのエネルギー消費量のおよそ25%を占める各種工業炉分野に対してアンモニア燃焼を適用させ、CO2の排出量を大幅に削減することが可能な技術の実証評価に目途をつけることを可能にした。</p> <p>② 太陽日酸では、385kW（35kW×11本）衝突噴流式鋼板脱脂設備に適合させる「メタン-アンモニア」混焼を可能にするバーナを設計・製作し、メタン-アンモニア混焼における火炎から鋼板への伝熱特性について明らかにしてきた。バーナの燃料に燃焼性の悪いアンモニアを混合して燃焼した場合、火炎温度の低下、鋼板への伝熱性能が低下する課題があるものの、今回の取り組みを通じて、メタン-アンモニア混焼においてもメタン専焼と同等の鋼板加熱性能が得られるバーナを開発できた。脱脂炉の燃料として、メタン専焼（メタン100%-アンモニア0%）と燃焼により発生した熱量がトータルで同じになるようにメタンの代わりにアンモニアを混ぜる量を10%、20%、30%と増やしていった結果、いずれの燃料の場合でも鋼板表面の温度分布は均一であり、400℃付近で同等であることが確認された。</p> <p>③ 日新製鋼では、メタン-アンモニア混焼において、鋼板加熱条件と鋼板の表面状態の評価およびめっき性の関係評価を行い、条件の最適化を行うことにより従来法と同等以上の脱脂性能が得られることを確認した。脱脂性能の評価は、太陽日酸の試験設備で処理された鋼板を用い、脱脂処理前の鋼板表面の圧延油付着量を100として、メタン専焼、メタン-アンモニア30%混焼の燃料での脱脂炉処理後の鋼板表面の圧延油付着量を比較した。同時に従来技術のアルカリ脱脂と同等の脱脂効果を示すアルコール洗浄との比較も実施した。その結果、メタン-アンモニア混焼率30%においても、メタン専焼と同等であり、かつアルカリ脱脂以上の効果を示すことを確認した。</p> <p>④ 今後、日新製鋼 堺製造所の溶融亜鉛めっき鋼板製造ラインに実証設備を設置し、一気通貫でのプロセス評価・品質評価を行い、商業生産ラインでの実機設備の導入効果の見極めを完了し、アンモニア燃焼技術の工業炉分野への社会実装を目指すとしている。</p>

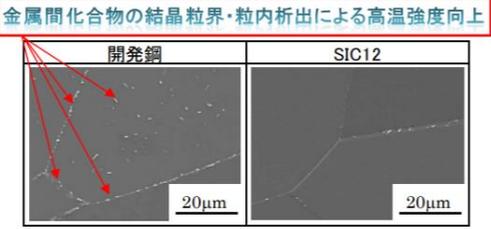
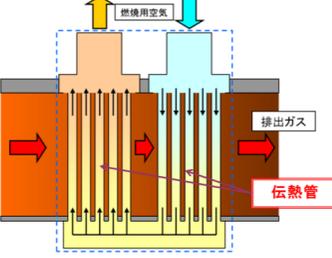
## 4. 日本の工業炉②

炉形態	燃焼			電気		その他
省エネ型炉の要素	廃熱回収	原材料予熱	断熱強化	誘導加熱（誘導加熱、誘導溶解）	抵抗炉（断熱強化）	水素燃焼
該当項目						●

タイトル	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 工業利用を目的とした汎用水素バーナの開発</li> <li>◆ 公表日：2018年11月8日</li> <li>◆ URL： <a href="https://global.toyota.jp/newsroom/corporate/25255692.html">https://global.toyota.jp/newsroom/corporate/25255692.html</a></li> <li>◆ 主催：トヨタ自動車株式会社 / 中外炉工業株式会社</li> </ul>	
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 燃焼時のCO2をゼロにするとともに、新開発機構によりNOx排出を都市ガスバーナ以下に低減</li> </ul>	
内容	<p>① 従来、水素バーナ内で水素が激しく燃焼することで（＝酸素と急速に反応することで）火炎温度が高温になり、環境負荷物質NOxが多く生成されるため、水素バーナの実用化が困難な状況にあった。そこで、新開発した水素バーナでは水素を穏やかに燃焼させる2つの新機構を導入し、CO2排出ゼロに加えてNOx排出を大幅に低減させ高い環境性能を両立させた。</p> <p>② 本技術によって現在、トヨタ自動車の国内工場で1,000台以上を導入し、工場設備の中でもCO2排出量が多い大型都市ガスバーナを水素バーナに置き換えることを可能としている。</p> <p>③ トヨタ自動車は「工場CO2ゼロチャレンジ」実現に向けて、水素バーナを他工場へ順次展開していく予定であり、トヨタグループ会社内でも導入を検討している。</p>	
費用、他	<p>1) 水素と酸素が混ざらないようにする機構</p>  <p>従来型水素バーナ 酸素 水素 水素と酸素が完全に混合</p> <p>新開発水素バーナ 酸素 水素 水素と酸素が混ざらないようにする</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 水素と酸素をバーナ内で平行に流し完全に混合していない状態で緩慢に燃焼させ、火炎温度を下げている。</li> </ul>	<p>2) 酸素濃度を低減させる機構</p>  <p>酸素 予燃焼 主燃焼 水素 少量の水素と酸素を燃焼させ、酸素濃度を下げる</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 水素をバーナ内に供給するパイプの中腹に小さな穴を空け、少量の水素と酸素をあらかじめ燃焼（予燃焼）させ、酸素濃度を適正值（19%）に下げた状態で主燃焼が始まるようにして火炎温度を下げている。</li> </ul>

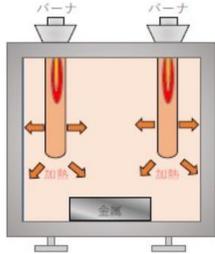
#### 4. 日本の工業炉③

炉形態	燃焼			電気		その他
省エネ型炉の要素	廃熱回収	原材料予熱	断熱強化	誘導加熱（誘導加熱、誘導溶解）	抵抗炉（断熱強化）	—
該当項目	●					

タイトル	<p>◆ 高温強度と耐高温腐食性に優れた次世代型レキュペレータ用耐熱鋼の開発</p> <p>◆ 公表日：2020年3月17日</p> <p>◆ URL：http://www.sanyo-steel.co.jp/system/upload/news/20200317_1.pdf</p> <p>◆ 主催：山陽特殊製鋼株式会社</p>	
概要	<p>✓ 工業炉のエネルギー効率向上による燃料節減およびCO2排出削減に貢献する次世代型レキュペレータ用耐熱鋼</p>	
内容	<p>①レキュペレータとは、都市ガス、重油、コークス等を燃料とする各種工業炉のエネルギー効率を高めるための廃熱回収装置である。</p> <p>②廃熱回収装置にはレキュペレータ（換熱式）が広く普及しており、燃料節減やCO2排出削減に向けた更なるエネルギー効率の向上が求められている。レキュペレータのエネルギー効率向上には、廃熱回収温度を高めることが有効であるため、伝熱管の耐熱性を向上させる必要がある。従来のレキュペレータ用耐熱鋼「SIC シリーズ」は添加合金元素の固溶強化により現行の使用環境に耐える高温強度を確保しているが、エネルギー効率の更なる向上のために、より高い廃熱回収温度に耐え得る高温強度を有する耐熱鋼の開発が必要である。</p> <p>③同社はレキュペレータの伝熱管として用いられる高クロムフェライト系耐熱鋼「SIC シリーズ」（SIC9、SIC10、SIC12）を開発・製造・販売し、廃熱回収装置メーカーをはじめとするユーザーに供給しているが、今回開発した耐熱鋼は、SIC シリーズの中で耐酸化性と耐高温腐食性が最も優れた「SIC12」をベースに高温強度を大幅に向上させたものである。</p> <p>④今回開発した耐熱鋼をレキュペレータの伝熱管に適用することで、各種工業炉のエネルギー効率向上による燃料低減とCO2排出削減への貢献が期待できる。</p>	
費用、他	<p>1) レキュペレータの伝熱管用素材として適する継目無鋼管製造技術の確立</p>  <p>金属間化合物の結晶粒界・粒内析出による高温強度向上</p>	<p>2) レキュペレータの仕組み</p> 

#### 4. 日本の工業炉④

炉形態	燃焼			電気		その他
省エネ型炉の要素	廃熱回収	原材料予熱	断熱強化	誘導加熱（誘導加熱、誘導溶解）	抵抗炉（断熱強化）	水素燃焼
該当項目	●		●		●	●

タイトル	<p>◆ <b>工業炉バーナの水素燃焼技術の開発</b></p> <p>◆ 公表日：2021年4月22日</p> <p>◆ URL：https://www.tohogas.co.jp/corporate-n/press/1221524_1342.html</p> <p>◆ 主催：東邦ガス株式会社</p>	
概要	<p>✓ 都市ガス用シングルエンドラジアントチューブバーナによる水素燃焼技術の実現</p>	
内容	<p>①自動車や機械等の金属部品製造の熱処理工程で利用される工業炉バーナである都市ガス用シングルエンドラジアントチューブバーナ（同バーナは、先端が閉塞されたチューブ内でガスを燃焼させ、チューブ表面からの輻射熱により被加熱物を加熱する間接加熱型であり、耐久性（7年間メンテナンスフリー）や熱効率(業界最高水準の75%)に優れた製品である。）であり、今回、東邦ガスはナリタテクノと水素燃焼技術を開発した。</p> <p>②水素燃焼においては、都市ガスに比べ火炎温度が高いことから、NOx排出量の増加やバーナ部品の劣化が課題となっている。しかし、今回、水素燃焼時の排ガス循環量を最適化する技術を開発し、都市ガス燃焼時と同じNOx排出量や耐久性を可能にした。さらに、当該部の下図 1) の排ガス再循環構造部（点線内）をバーナ本体部と脱着交換できる仕様としており、都市ガスから水素への燃料転換にあたりバーナの一式を交換する場合よりも手間やコストを抑制することを可能にした（取付施工費は除き、当該部品コストは東邦ガスの標準的なバーナ本体部に比べて1/10程度を想定する）。</p>	
費用、他	<p>1) 都市ガス用シングルエンドラジアントチューブバーナの外観</p>  <p>本体部（型式：SRTN-100）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・都市ガス仕様は、株式会社ナリタテクノとの共同開発品</li> <li>・燃焼排ガスの一部を燃焼用空気に混ぜる排ガス再循環方式を採用</li> </ul>	<p>2) 都市ガス用シングルエンドラジアントチューブバーナの利用イメージ</p> 

#### 4. 日本の工業炉⑤

炉形態	燃焼			電気		その他
省エネ型炉の要素	廃熱回収	原材料予熱	断熱強化	誘導加熱（誘導加熱、誘導溶解）	抵抗炉（断熱強化）	水素燃焼
該当項目	●		●		●	●

タイトル	<p>◆ 水素燃焼式リチウムイオン電池電極材用連続焼成炉の開発</p> <p>◆ 公表日：2021年11月14日</p> <p>◆ URL： <a href="https://www.tokyo-gas.co.jp/news/press/20211104-01.html">https://www.tokyo-gas.co.jp/news/press/20211104-01.html</a></p> <p>◆ 主催：株式会社リタケカンパニーリミテド / 東京ガス株式会社 / 東京ガスエンジニアリングソリューションズ株式会社</p>	
概要	✓ リチウムイオン電池極材製造時のゼロカーボンを実現	
内容	<p>① 特殊セラミックラジアントチューブバーナを採用した（世界初の）水素燃焼式リチウムイオン電池（以下「LiB」）電極材用連続焼成炉「C-SERT-RHK-Nero（C-SERT-RHKの水素燃焼型）」（以下「Nero」：ネロー）を開発した。本連続焼成炉は、ローラー搬送により連続で、設定された温度環境の中を製品が通過することで高品質な熱処理を可能とする。</p> <p>② 「Nero」は、近年需要が急速に高まっているLiB電極材の製造工程で求められる高温域（1,000℃以上）において、水素を燃料としながらも安定した熱処理が可能である。水素専焼による高温焼成は、CO<sub>2</sub>が発生しない一方、特に狭空間においてNO<sub>x</sub>（窒素酸化物）の発生抑制、安定した加熱などの課題に対して、上記3社の独自の水素燃焼技術を組み合わせることにより、商品化の実現が可能となった。</p> <p>③ 「Nero」の高効率な加熱技術は、LiB電極材（正極材、負極材、次世代電池材）に限らず、高温域での安定した熱処理が求められる自動車分野（超高張力鋼板（ホットスタンプ）、焼結部品、プラグ、センサ、触媒、磁性材）や通信機器分野（5G向け電子部品、フェライト、セラミック基板、ターゲット材等）の用途にも応用が可能であり、さまざまな製品の加熱工程の脱炭素化に貢献可能であるとしている。</p> <p>④ 耐熱・耐蝕性能（耐アクティブ酸化・耐リチウムアタック性）の高い特殊セラミックを発熱体（ラジアントチューブ）としてバーナに採用し、従来の電気加熱式の課題であった耐久性を解決した。</p> <p>⑤ 現状では高価な水素を天然ガスと混焼することで、エネルギーコストを低減しながら、天然ガス専焼と比べCO<sub>2</sub>排出量の削減を可能としている。</p>	
費用、他	<p>1) セラミックラジアントチューブ</p> 	<p>2) 水素燃焼式リチウムイオン電池電極材用連続焼成炉</p> 

# 参考文献リスト

---

## 1. EU

NO.	タイトル	URL
1	New Designs of Ecological Furnaces	<a href="https://cordis.europa.eu/project/id/246335/reporting">https://cordis.europa.eu/project/id/246335/reporting</a>
2	Novel integrated refurbishment solution as a key path towards creating eco-efficient and competitive furnaces	<a href="https://cordis.europa.eu/project/id/723803/reporting">https://cordis.europa.eu/project/id/723803/reporting</a>
3	Industrial furnace design addressing energy efficiency in new and existing furnaces	<a href="https://cordis.europa.eu/programme/id/H2020_SPIRE-04-2016">https://cordis.europa.eu/programme/id/H2020_SPIRE-04-2016</a>
4	INTEGRATED MODEL GUIDED PROCESS OPTIMIZATION OF STEAM CRACKING FURNACES	<a href="https://cordis.europa.eu/project/id/723706">https://cordis.europa.eu/project/id/723706</a> <a href="https://cordis.europa.eu/article/id/430156-cracking-steam-cracking-technology-with-eco-friendly-furnaces">https://cordis.europa.eu/article/id/430156-cracking-steam-cracking-technology-with-eco-friendly-furnaces</a>

## 2. ドイツ

NO.	タイトル	URL
1	Innovative Thermal Insulation for High-Temperature	<a href="https://www.gtai.de/gtai-en/invest/industries/energy/innovative-thermal-insulation-for-high-temperature-ovens-571894">https://www.gtai.de/gtai-en/invest/industries/energy/innovative-thermal-insulation-for-high-temperature-ovens-571894</a>
2	Controlling energy-efficient thermoprocessing systems with pinpoint	<a href="https://www.re-form-material.ifam.fraunhofer.de/en/projects/konair.html">https://www.re-form-material.ifam.fraunhofer.de/en/projects/konair.html</a>
3	Consortium develops a new generation of thermal insulation for hightemperature furnaces	<a href="https://www.sglcarbon.com/en/newsroom/news/press-report/consortium-develops-a-new-generation-of-thermal-insulation-for-high-temperature-furnaces/">https://www.sglcarbon.com/en/newsroom/news/press-report/consortium-develops-a-new-generation-of-thermal-insulation-for-high-temperature-furnaces/</a>
4	Expansion of the limitations of use of the FLOX technology for low and high burner powers (Micro-FLOX Mega-FLOX)	<a href="https://www.iob.rwth-aachen.de/en/research/industrial-furnace-technology/bmwi-project-fkz-03et1078b/">https://www.iob.rwth-aachen.de/en/research/industrial-furnace-technology/bmwi-project-fkz-03et1078b/</a>
5	Preventive maintenance of industrial furnaces	<a href="https://www.owi-aachen.de/preventive-maintenance/?lang=en">https://www.owi-aachen.de/preventive-maintenance/?lang=en</a>

### 3. 米国

NO.	タイトル	URL
1	The Virtual Blast Furnace - An Integrated High Performance Computing Modeling, Simulation, and Visualization Capability for Steel Manufacturing - Final Report	<a href="https://www.osti.gov/servlets/purl/1770033">https://www.osti.gov/servlets/purl/1770033</a>
2	Application of Transformational UKy 3 Ton/day CO2 Capture System at a Steel Process Plant	<a href="https://www.energy.gov/fecm/articles/funding-opportunity-announcement-2515-carbon-capture-rd-natural-gas-and-industrial">https://www.energy.gov/fecm/articles/funding-opportunity-announcement-2515-carbon-capture-rd-natural-gas-and-industrial</a>
3	CO2MENT Colorado Project	<a href="https://cordis.europa.eu/programme/id/H2020_SPIRE-04-2016">https://cordis.europa.eu/programme/id/H2020_SPIRE-04-2016</a>
4	Progress in Energy and Combustion Science Current state of industrial heating and opportunities for decarbonization	<a href="https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0360128521000800?token=CCE27B6881168D3B67A3ACE09B0E234A0D19F7C0C5AF3C3008ED42EA2AF7F40E17A78A49EFDD1A69D2006C859BC6BE04&amp;originRegion=us-east-1&amp;originCreation=20220216110256">https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0360128521000800?token=CCE27B6881168D3B67A3ACE09B0E234A0D19F7C0C5AF3C3008ED42EA2AF7F40E17A78A49EFDD1A69D2006C859BC6BE04&amp;originRegion=us-east-1&amp;originCreation=20220216110256</a>
5	SVANTE, LAFARGEHOLCIM, OXY LOW CARBON VENTURES AND TOTAL LAUNCH STUDY FOR COMMERCIAL-SCALE CARBON CAPTURE AND END-USE AT U.S. PLANT	<a href="https://www.holcim.com/joint-carbon-capture-project-usa-plant">https://www.holcim.com/joint-carbon-capture-project-usa-plant</a>

#### 4. 日本

NO.	タイトル	URL
1	工業炉におけるCO2排出量削減に向けた、アンモニア燃焼利用技術を開発	<a href="https://www.jst.go.jp/pr/announce/20170626/index.html">https://www.jst.go.jp/pr/announce/20170626/index.html</a>
2	工業利用を目的とした汎用水素バーナの開発	<a href="https://global.toyota/jp/newsroom/corporate/25255692.html">https://global.toyota/jp/newsroom/corporate/25255692.html</a>
3	高温強度と耐高温腐食性に優れた次世代型レキュペレータ用耐熱鋼の開発	<a href="http://www.sanyo-steel.co.jp/system/upload/news/20200317_1.pdf">http://www.sanyo-steel.co.jp/system/upload/news/20200317_1.pdf</a>
4	工業炉バーナの水素燃焼技術の開発	<a href="https://www.tohogas.co.jp/corporate-press/1221524_1342.html">https://www.tohogas.co.jp/corporate-press/1221524_1342.html</a>
5	水素燃焼式リチウムイオン電池電極材用連続焼成炉の開発	<a href="https://www.tokyo-gas.co.jp/news/press/20211104-01.html">https://www.tokyo-gas.co.jp/news/press/20211104-01.html</a>

# 用語解説

---

## (1) 工業炉のカーボンニュートラル化の前提となる項目の洗い出し

用語	説明
AH	Available Heat（有効熱量）。燃料発熱量から排出熱量を差し引いたものである。
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor（絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ）。MOSFETに比して高電流領域で使用される。
MOSFET	Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor（金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ）。電界効果トランジスタの一種で、最も一般的に使用されている半導体構造である。
特高設備	特別高圧受変電設備の略で、電力会社より特別高圧を受電する際に必要となる。設備一式を揃えるため高いインシャルコストが課題とされる。
かさ密度	断熱材の内部には空隙があるため、密度ではなくかさ密度と呼ばれることがある。かさ比重とも言う。
セラミックファイバー	アルミナとシリカを主成分とした鉱物繊維の総称である。安定した無機繊維として、断熱材に使用される。
リジェネバーナー	廃熱回収システムの1つで、蓄熱体と一体化した一対2台のバーナを数十秒間隔で交互に燃焼させることで、蓄熱体に廃熱を回収し有効活用する。
レキュペレーター	廃熱回収システムの1つで、高温排ガスから空気側に熱回収して、空気を予熱する熱交換装置のことを指す。

## (2) 工業炉についての国内外の技術動向・エネルギー使用状況の調査

用語	説明
酸素燃焼	バーナやボイラなどの支燃性ガスに酸素、または酸素濃度を高めたガスを用いる燃焼のことである。
燃料混焼	アンモニアと石炭を混ぜて燃焼させるアンモニア混焼や水素を天然ガスと燃焼させる水素混焼などの技術を指す。
高効率機器	大電流技術や電磁界解析技術等を実装した装置であり、誘導加熱に実装される。
真空管の半導体化	電子回路の素子と使用していた真空管の機能を半導体（IGBTまたはMOSFET）を用いて代替させることを示す。
電力の高密度化	スイッチング損失の低減やシステム放熱性の向上などパワーエレクトロニクス技術を実装することを示す。
炭素（CO2）回収システム	工業炉を含む工場のCO2分離回収法には化学吸収法、物理吸収法、固体吸収法、物理吸着法、膜分離があるが、これらの二酸化炭素貯留（CCS：Carbon dioxide Capture and Storage）を活用する仕組みを示す。

## (2) 工業炉についての国内外の技術動向・エネルギー使用状況の調査

用語	説明
セクターカップリング	社会全体の脱炭素化を進める社会インフラ改革の構想。ドイツなど欧州での取り組みが進められている。
ナノポーラスカーボン	表面がメソポーラス構造で個々の粒径は20～50ナノで球状のナノカーボン材料である。粒子表面の無数の細孔は内部の中空へと通じ、非常に優れた吸着力があり、活性炭で吸着できないアンモニアやVOCを吸着することが可能である。
メタネーション	水素と二酸化炭素から天然ガスの主成分であるメタンを合成する技術を示す。
ロータリーキルン	円筒形の炉が回転し、中の廃棄物等を加熱・焼成する形式の窯を示す。
酸露点	燃焼ガス中の硫酸ガスが低温の金属表面などに触れ凝縮することで硫酸に変わる温度であり、硫酸腐食を起こすことが指摘されている。
マルチフィジックス・モデリング	複数の物理モデルや複数の同時発生する物理現象を含むシミュレーションやモデリングの機能を備えた開発ソフトウェアのことを示す。

## (3) 工業炉のカーボンニュートラル化に係る諸外国の政策動向の調査

用語	説明
Contract For Difference	差金決済取引を示し、金融商品の価格や指数を参照して差金決済による通貨の売買を行う取引のことを示す。EUでは、CO2取引において熱エネルギーを用いて差金決済取引の考えを導入することに関心が高まっている。
Efficiency First	エフィシエンシー・ファーストと呼ばれ、低燃費・快適性を第一とする考え方を示す。
ΔT (デルタT)	変化後の温度-変化前の温度を示す。
ガス浸炭	炭化水素系ガスを主成分とする高温のガス中で鋼材表面に炭素を侵入・拡散させてから急冷し、表面硬化層を形成する処理のことである。
真空浸炭	バッチ炉内減圧下にてアセチレンガスを挿入し、そのガスの熱分解によって発生する活性炭素を製品表面に浸透拡散させるプロセスのことである。

