

「製造分野における熱プロセスの脱炭素化」 プロジェクトの 研究開発・社会実装の方向性

令和5年2月
製造産業局

目次

1. 背景・目的

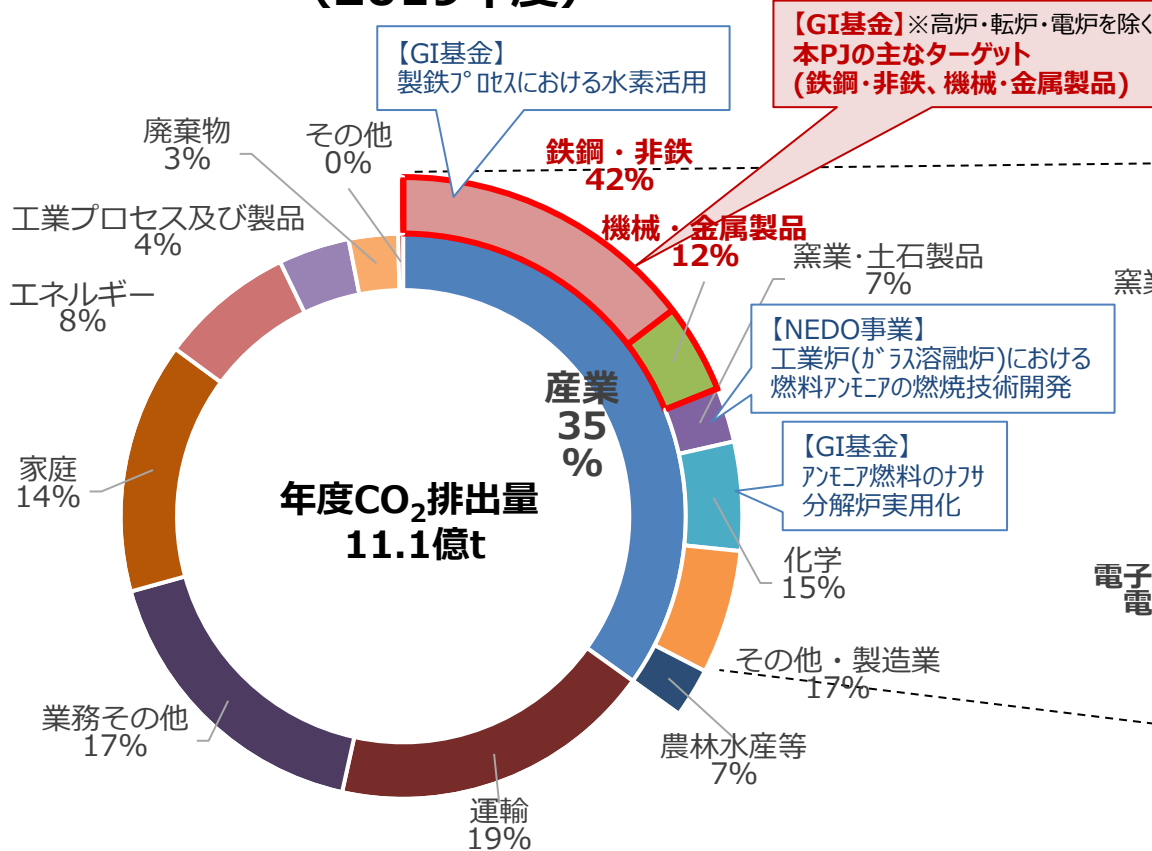
2. 研究開発項目と社会実装に向けた取組

3. 想定スケジュール

製造分野における熱プロセスにおける脱炭素の必要性

- 2019年度の我が国CO₂排出のうち、産業部門のCO₂排出は35%。
- 産業部門のCO₂排出のうち、多くを占める製鉄プロセス等ではGI基金事業等によるプロジェクトが開始されているものの、残りの多くの排出を占める製造分野における熱プロセスの脱炭素化は喫緊の課題。
→ 工業炉によるCO₂排出は1.5億tと、我が国全体の13.5%を占める。

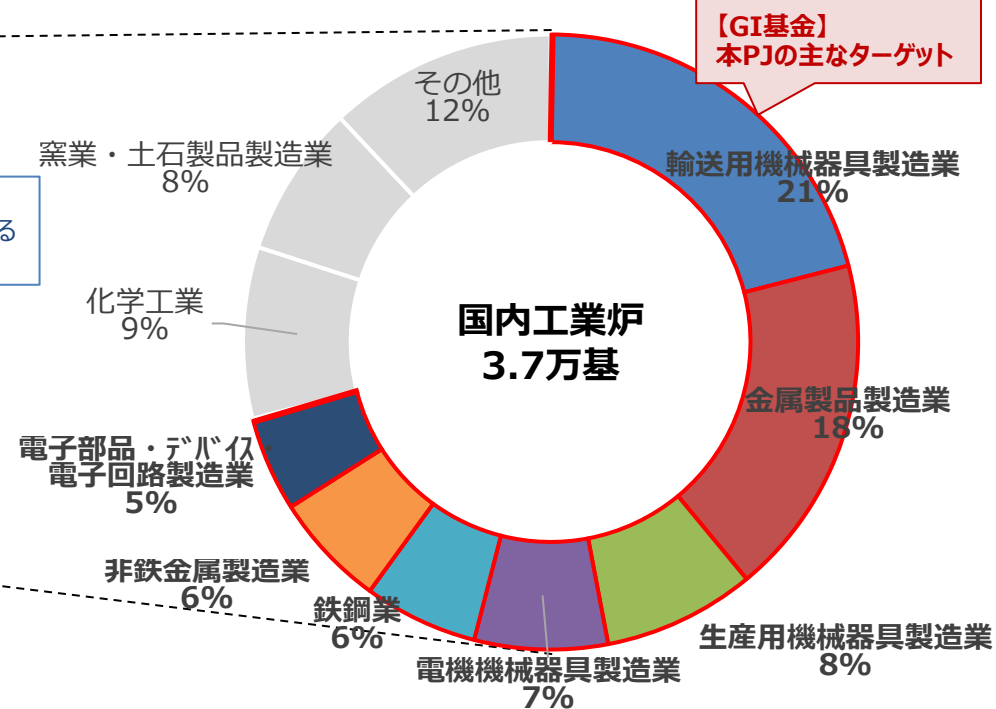
国内部門別CO₂排出量 (2019年度)



工業炉からのCO₂排出量 1.5億t (2019年度)

※鉄鋼大手を除く工業炉保有企業へのアンケート調査からの推計値

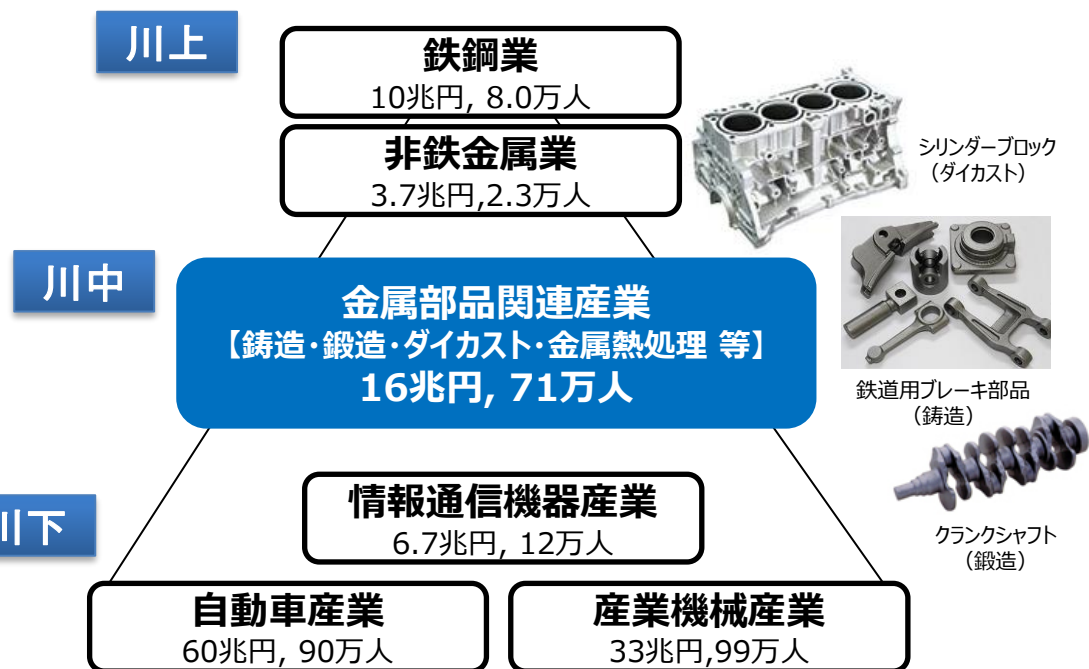
<国内工業炉基数>



主な工業炉ユーザーである金属部品関連産業の状況

- 工業炉は、サプライチェーンの川上から川下まで幅広く熱プロセスに用いられている。特に川中を占める金属部品関連産業においては、自動車産業、産業機械産業等の重要部品の製造にあたって、鋳造、鍛造、ダイカスト、熱処理、粉末冶金など、工業炉を用いた加熱プロセスが不可欠。
- 金属部品関連産業の国内総出荷額は16兆円、従業員は71万人。中小企業が多く、国内5.1万事業所。

1. 金属部品関連産業の構造



2. CN産業に不可欠な金属部品等

■ A社

・国内唯一無二の大型熱処理設備で風力発電のベアリングの熱処理を行い、最高レベルの品質によって、設備の長寿命化に貢献。(対応年数20年)



■ B社

・国内外のダイカスト金型を独自の熱処理工法により、大幅に性能を向上。同社のものは形状によるが、20万ショットでも破損しない実績がある。

■ C社

・発電機タービン軸材用のローターシャフト (重量600t) を製造。世界でも作れる企業は限られ、国内外の発電所等に納入。



(出典) 出荷額は2020年工業統計調査 産業別統計表より算出
 鉄鋼業：高炉による製鉄業、製鋼・製鋼圧延業（転炉・電気炉を含む）、熱間圧延業（鋼管、伸鉄を除く）、冷間圧延業（鋼管、伸鉄を除く）の合計
 非鉄金属業：第1次製錬・精製業、第2次製錬・精製業の合計
 金属部品関連産業：鋳鉄鋳物製造業、鍛工品製造業、金属熱処理業、粉末や金製品製造業、ボルト製造業、鉄骨製造業などの合計
 情報通信機器産業：通信機械器具・関連機械器具製造業、電子計算機・附属装置製造業等の合計
 自動車産業：自動車製造業、車体・付随製造業、部分品・付随品製造業の合計
 産業機械産業：はん用機械器具製造業、生産用機械器具製造業の合計

※写真は、リョービ(株)HP、アサゴエ工業(株)HP、KAKUTAテックフォーミング(株)HPから

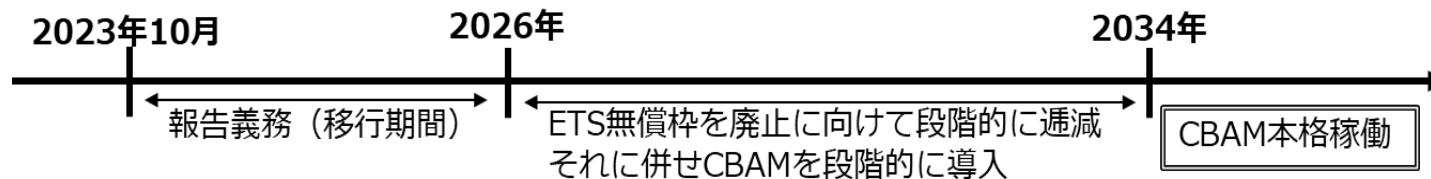
金属部品関連産業におけるカーボンニュートラル対応の必要性①

- EUは、域外諸国からのセメント、アルミ、肥料、電力、水素、鉄鋼、限られた下流製品（ネジやボルトなど）等の輸入について、製品当たり炭素排出量に基づく証書の購入（＝輸入課金）を求める炭素国境調整措置（CBAM）を導入。
 - 2023年10月から報告義務が開始され、2026年から2034年にかけて段階的に導入されていく。
- 金属部品関連産業を中心としてカーボンニュートラル対応を急ぐ必要がある。

EUの炭素国境調整措置（CBAM : Carbon Border Adjustment Mechanism）

2023年10月1日から、製品単位あたり排出量や原産国で支払われた炭素価格等の情報を報告*する義務が開始。実際の課金は、EU-ETSにおける無償割当廃止のスピードに併せて、**2026年から2034年にかけて段階的に導入**されていく。

※報告内容は、運用開始に向けて、対象範囲の見直しや排出量算定方法を発展させるために活用される想定。



1.対象産業

- セメント、アルミ、肥料、電力、水素、鉄鋼、限られた下流製品（ネジやボルトなど）等

2.課金について

（2026年～段階的に導入、2034年以降本格稼働）

- EUへの輸入品につき、製品単位あたりの炭素排出量*に基づき、CBAM証書の購入（＝輸入課金）が必要

※排出範囲には、直接排出とある特定の条件下での間接排出含む。

※2021年7月の欧州委員会の提案に基づき調整が行われてきていたが、2022年12月18日、EU加盟国や欧州議会とも合意に至ったとの公式発表あり。今後、議会等での手続きを得て正式な決定となる。なお、現時点（12/18時点）で合意された条文は未公開。

金属部品関連産業におけるカーボンニュートラル対応の必要性②

- 自動車分野では、LCA評価の導入に向けた検討が進むとともに、自動車メーカーの動きも具体化。
 - 自動車向け金属部品製造を担う、鋳造、鍛造、ダイカスト、粉末冶金、熱処理の5業種だけでも、2兆円規模の影響が生ずる可能性。
- 産業競争力や市場シェアを確保する上で、工業炉の脱炭素化を早期に実現することが必要。

自動車分野におけるLCA評価の導入に関する動き

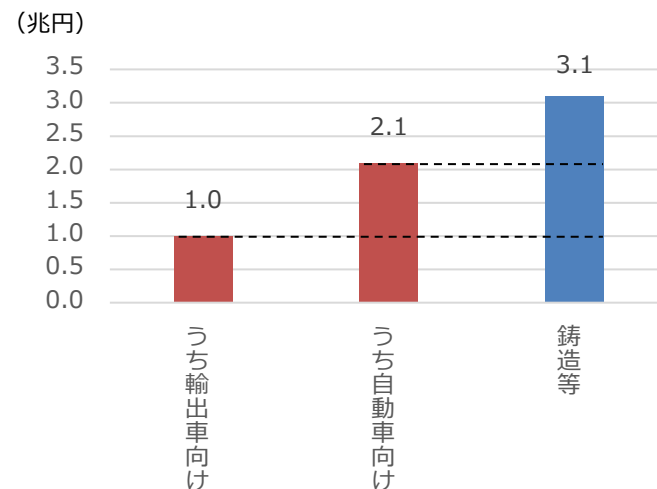
1.各国の動向

- **EU <2050年CN化>**
 - ・ライフサイクルで自動車CO₂を評価する仕組み、ルールの導入を検討
- **中国 <2060年CN化>**
 - ・2025年 自動車LCA規制導入を検討

2.自動車メーカー各社の動向

- **VW**は、EV「ID.3」の生産にあたり、サプライヤーに部品生産時に再生可能エネルギーのみの使用を指示。
- **ポルシェ**は、部品製造時に再生可能エネルギーのみを使用しない場合、将来的な契約締結を不可との方針を打ち出す。
- **メルセデス・ベンツ**は2039年にCN未達となるサプライヤーを取引先から除外する方針。既に約2,000社のサプライヤーのうち75%が「Ambition Letter of Intent」（実現へ向けた覚書）に署名済み。
- **トヨタ**は関係協力会社を中心に、2021年の目標としてCO₂排出量前年比3%削減を要請、**ホンダ**は2019年度比で年平均換算で年4%ずつ減らすよう要請。

鋳造、鍛造、ダイカスト、粉末冶金、熱処理の国内出荷額（2020年）



鋳造、鍛造、ダイカスト、粉末冶金、熱処理の事業所、従業員数（2020年）

- **事業所数：4,068事業所**
- **従業員数：12.1万人**

国内の工業炉の状況

- 工業炉は、主として金属材料等の精製、加工、仕上げなどの工程で用いられ、燃料を燃焼させて加熱する燃焼炉と、電気で加熱する電気炉が存在。いずれも大きなエネルギーを要する。
- 国内には3.7万台の工業炉が存在。平均耐用年数は約30年と長く、更新・入替のタイミングを踏まえた早期の対応が必要。

工業炉の種類

1. 燃焼炉（燃焼加熱）

- ・天然ガス・LPG・重油・石炭等を燃焼させた熱を利用
- ・圧延・鋳造・鍛造・熱処理など幅広い用途

2. 電気炉（電気加熱）

<抵抗加熱>

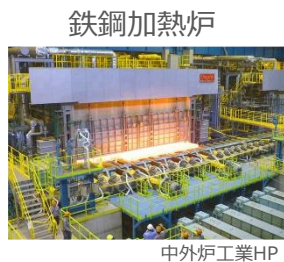
- ・抵抗体に通電した際の電気抵抗による発熱を利用
- ・圧延・鍛造・真空熱処理・ガラス溶解など

<誘導加熱>

- ・電磁誘導を利用して加熱
- ・鋼材表面の急速加熱など

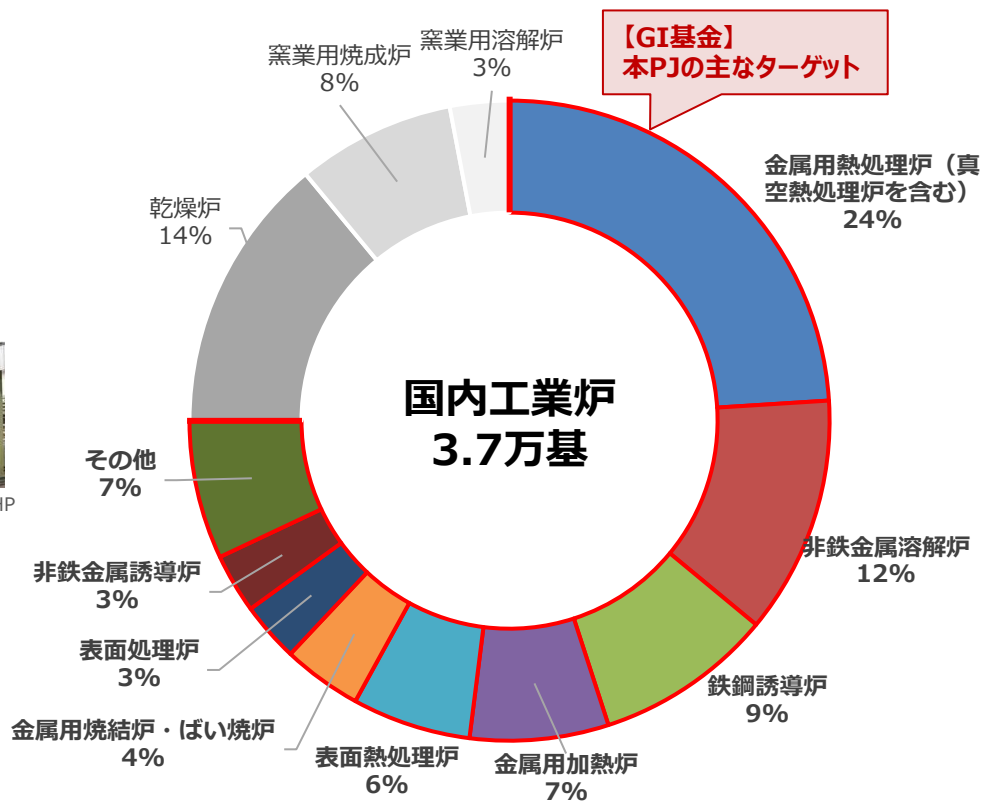
<アーク加熱 等>

- ・アーク放電の熱を利用 等
- ・製鋼、カーバイド製造、合金鉄製造 等



国内工業炉の炉種別保有基数

※鉄鋼大手を除く工業炉保有企業へのアンケート調査からの推計値



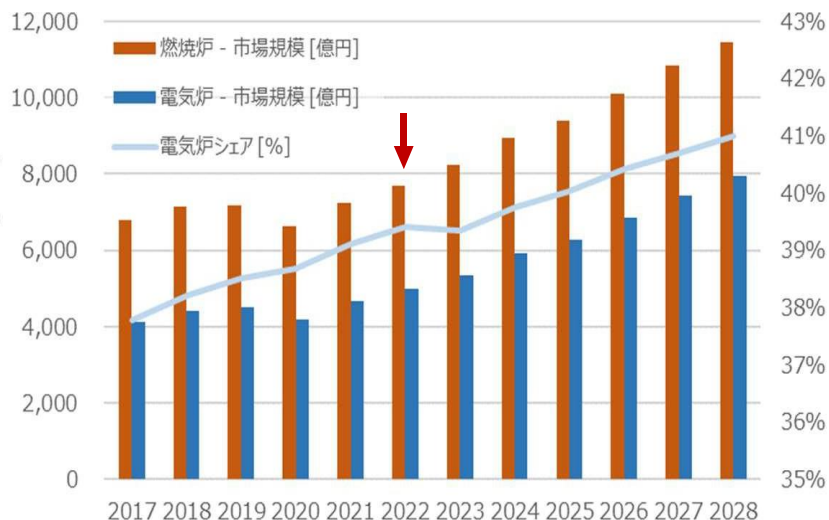
(出典) 平成26年度エネルギー使用合理化促進基盤整備事業 (工業炉等における省エネルギー技術に関する実態調査) 報告書

工業炉の世界市場

- 国内市場は2,000億円規模（2019年）。世界市場は、燃烧炉・電気炉共に市場規模は拡大していく見込み（2028年: 2兆円弱）。
- 世界の工業炉メーカーに比して、日本の工業炉メーカーの事業規模（売上高ベース）は小さいものの、日本勢が開発し、関連特許を押さえているリジネレイティブバーナーシステムなど、高性能機器類を中心に輸出を展開。工業炉に係る世界の輸出総額に対して日本は4~7%程度と言われている（日本工業炉協会）。

工業炉の世界市場規模（実績・予測）

【世界】



【国内】 2017:1,696億円→2019: 2,031億円

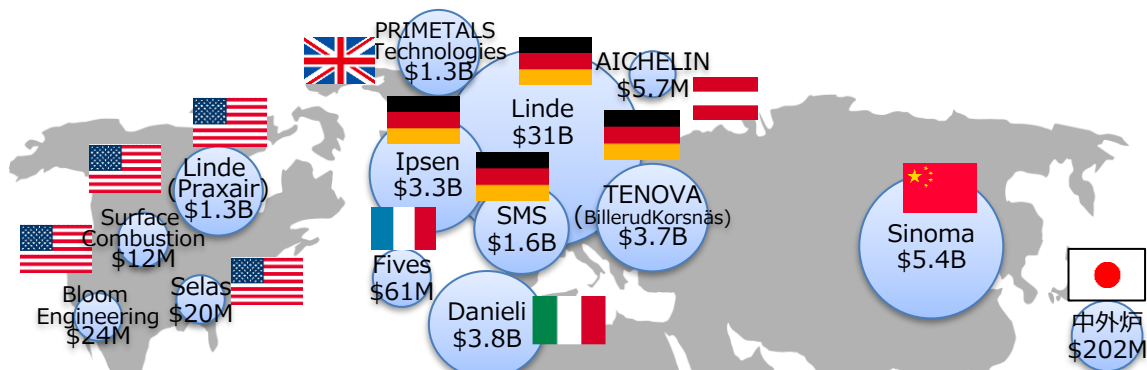
※輸出額 2017:420億円 → 2019:533億円
 輸入額 2017: 94億円 → 2019: 90億円

（出典） QYResearch社 “Global Industrial Furnace Market Insights and Forecast to 2028” に基づきNEDO TSC作成

国内市場規模は工業炉協会（会員企業の売上実績）、輸出入額は貿易統計

世界の工業炉メーカー（燃烧炉）の売上規模

日本は専門メーカーが中心である一方、海外はエネルギーインフラや鉄鋼関連設備、エンジニアリングなども手がける総合メーカー（Linde,SMS等）が目立つ。



※海外企業の売上高には工業炉以外の売上高も含まれる点に留意

日本の主な炉メーカーの海外拠点（提携先含む）

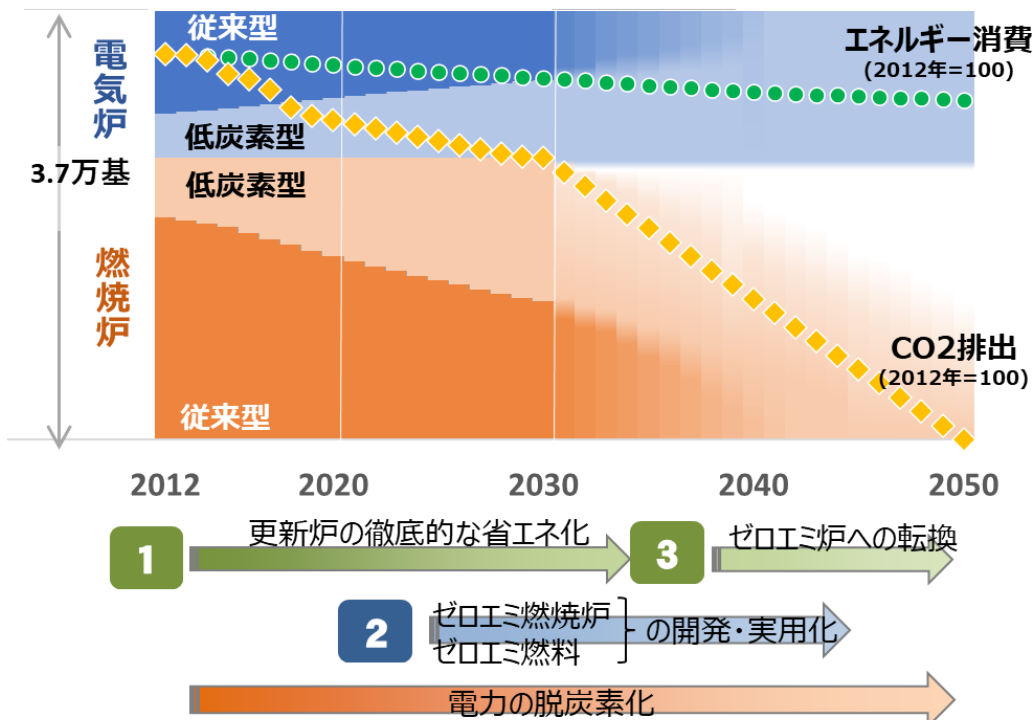
中外炉工業 - 台湾、中国、インドネシア、タイ、メキシコ、米国、韓国
 三建産業 - 中国、インドネシア、タイ、フランス、スペイン、韓国、インド、米国
 ロザイ工業 - 中国、タイ、ベトナム、米国

（出典） 各社HP等の公開データから直近の売上高を記載
 EUR-1.1ドル、CNY-0.15ドル、ドル-130円で換算

工業炉にまつわる加熱プロセスの目指すべき方向性

- 利用時にCO₂を排出せず、金属製品を急速かつコンパクトに加熱し、効率性も高めることが可能な**電気炉は脱炭素化の実現に向けて有力な選択肢**の一つ。一方、大型鍛造品の製造・熱処理プロセス等では、炉内雰囲気制御や炉内温度の均一化といった技術面、コストや効率性等の観点から**電化は困難であり、燃焼炉の活用も不可欠**。サプライチェーンの維持、経済安全保障、レジリエンスの観点からも重要。
- カーボンニュートラルを実現するためには、港湾・臨海部に隣接する**大型炉を中心に、アンモニア・水素などのゼロエミッション燃料の活用が期待される一方、小型炉を中心としてゼロエミッション電源を前提とした電気炉への転換も進んでいく可能性**。
- 将来的なエネルギー供給の制約、コスト面も含めた不確実性がある中、中小企業を含めて、**最適な工業炉に転換していくための技術的な制約を克服し、複数の選択肢を確立しておくことが重要**。

C Nに向けた工業炉の方向性（イメージ）



【参考】アンモニア・水素供給の政府目標
(グリーン成長戦略)

		現在	2030年	2050年
燃料 アンモニア	年間供給量	108万t	300万t	3000万t
	コスト	20円程度 /Nm ³ -H ₂	10円台後半 /Nm ³ -H ₂	
水素	年間供給量	200万t	300万t	2000万t
	コスト	100円 /Nm ³	30円/Nm ³ (CIF価格)	20円/Nm ³ (CIF価格)

※2030年：アンモニア供給コスト 石炭の約3倍
水素供給コスト 天然ガスの2倍強

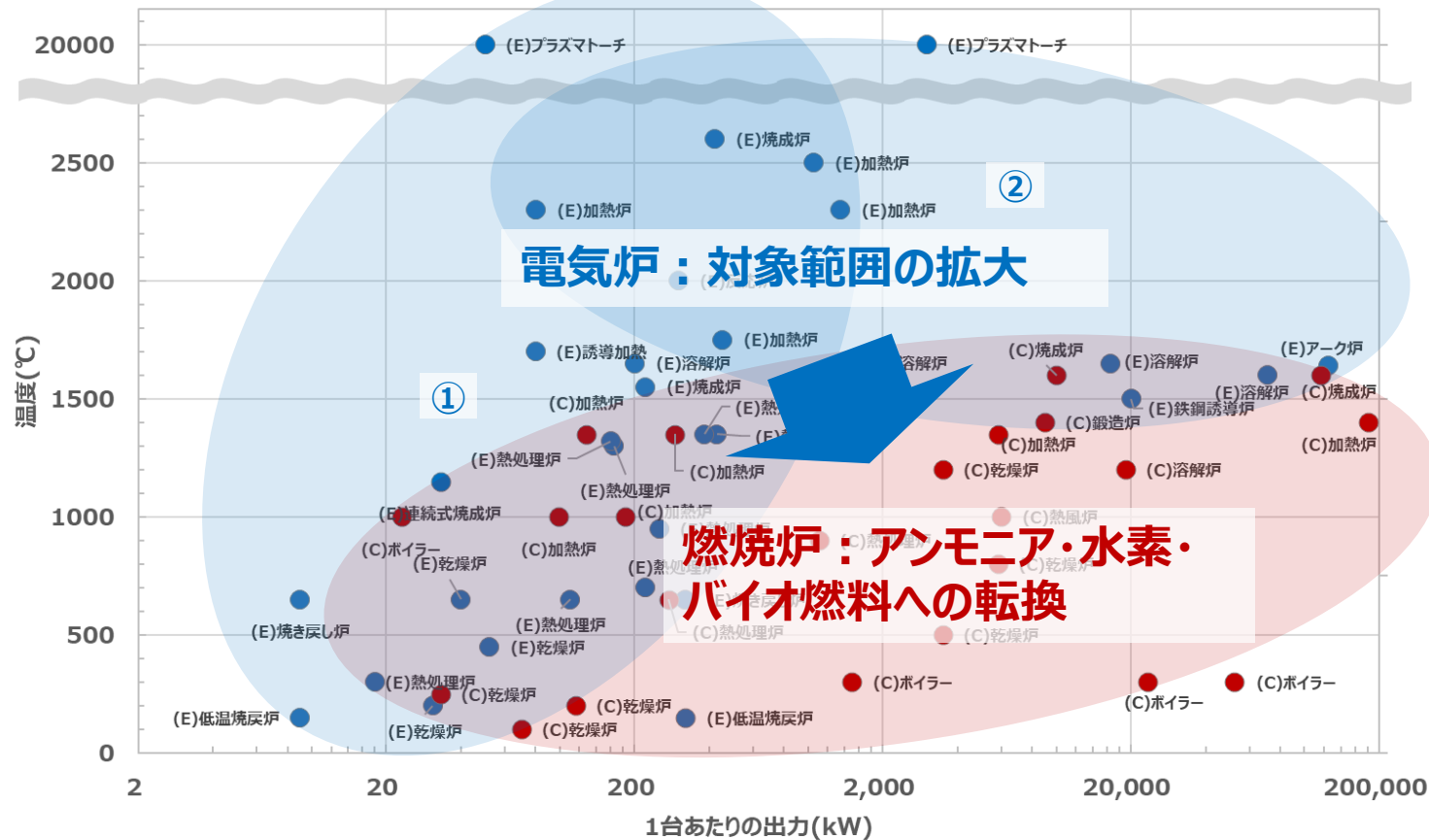
(参考) 工業炉の市場構成、燃焼炉・電気炉の対象範囲

- 工業炉の市場構成を温度（縦軸）、出力（横軸）で整理すると、電気炉は、① **2MW以下の比較的低い出力域で広い温度範囲に分布**、② **1500℃以上の高温域では広い出力範囲に分布**している状況。
- 脱炭素化に向けて、工業炉の電気炉化は有力な選択肢であるものの、コストや効率性、技術的な制約等もあり、**電気炉の対象範囲を拡大させつつ、燃焼炉のゼロエミッション燃料への対応を実現することが重要。**

<現在の使用・市販されている工業炉の分布>

<電気炉の課題>

※炉内温度ではなく材料温度



電気炉については、

- 燃焼炉の半分を電気炉に代えると、**総発電量を4割程度増やす必要有り**
 - **運転費がアンモニア・水素の2倍程度以上必要**(2MWの場合)
 - 生産性の良い連続式加熱電気炉では、**炉内の均一温度維持・急速加熱が難しい**
- 等の課題がある。

(参考) 燃烧炉の電化による脱炭素化の可能性とその課題

- 工業炉の脱炭素化の方策として、**燃烧炉から電気炉への転換は有力な選択肢の一つ**。一方、グリーン電力の確保が必要となるほか、単純な電化では、**運転コストが増加する可能性（1.6～2.4倍）**。
 - **工業炉の規模、使用目的等による燃烧炉との使い分けや運転コストを低減する電気炉の効率向上も必要**。
- ※敷地面の制約がある企業では、受電設備の設置スペース等が確保できず、燃烧炉から電気炉への転換が困難なケースも想定。

※試算は一定の仮定のもと行ったものであり、局所的な加熱を行う場合など、用途や運用方法によってはヒートポンプ以外の電気加熱技術であっても現時点で効率や経済性の改善、排出量の削減に寄与する可能性がある。また、排熱回収型の炉の導入や、蒸気のカスケード利用などを考慮した場合には、評価が異なる場合がある。なお、本試算においては、導入時の空間的制約等については考慮していない。

燃烧炉との比較 (都市ガス)	温度※1 500℃～1500℃程度	燃烧加熱 都市ガスを仮定		電気加熱		燃烧加熱 (都市ガス) との比較		
		効率※1		効率		エネルギーコスト※3 (燃烧加熱 = 1)	CO2排出量※4 (燃烧加熱 = 1)	
				機器効率※1	1次エネルギー※2		2020年	2030年
		0.3		0.6	0.2	1.8	1.3	0.7
		0.4		0.6	0.2	2.4	1.7	1.0
燃烧炉との比較 (水素)	温度※1 500℃～1500℃程度	燃烧加熱 水素を仮定※A		電気加熱		燃烧加熱 (水素) ※B との比較		
		効率※1		効率		エネルギーコスト※3 (燃烧加熱 = 1)	CO2排出量※4 (燃烧加熱 = 1)	
				機器効率※1	1次エネルギー※2		2020年	2030年
		0.3		0.6	0.2	1.6	-	-
		0.4		0.6	0.2	2.2	-	-

※1 効率・適用温度域はおおよその目安であり、過去の補助事業の要件や、事業者とヒアリングをもとに設定。ヒートポンプの入り口温度は12℃～90℃を想定。 ※2 省エネ法に基づき、受電端発電効率を36.9%として1次エネルギーベースの効率を算出。 ※3 「エネルギー経済統計要覧」より、エネルギー価格を電気(大口):22円/kcal(再エネ賦課金含む)、ガス(工業用):6円/kcalと仮定し、機械効率の逆数に乗じることでコストを計算。 ※4 「地球温暖化対策計画の進捗状況」より、電気の排出係数を2020年:0.439kg-CO₂/kWh、2030年:0.25kg-CO₂/kWh、都市ガスの排出係数を2.2kg-CO₂/m³とし、機械効率の逆数に乗じることで単位加熱量当たりの排出量を算出。

*A: ここでは、水素燃烧炉で、現在の都市ガスと同程度の熱効率が得られるものと仮定、*B: 水素のコストは20円/Nm³-H₂と仮定

【参考】工業炉に対して2MW相当の燃料・電力を供給*した場合、その概算コストは下記の通りとなる：

電力コスト：2.65億円（18.9円/kWh） / 水素コスト：7,900万円（20円/Nm³, 2040年以降の国の目標値）
/ 都市ガスコスト：7,240万円（64.5円/Nm³）

*本参考では、熱損失などを考慮した有効熱量ではなく、単純な燃料供給量で規定している。稼働率は一律80%と仮定した。

(参考) 燃烧炉に関するユーザー企業のニーズ

- 燃烧炉のユーザー企業は、カーボンニュートラルに向けて、省エネの徹底、CO₂回収・資源化、電化など、様々な対応策を検討しているが、その中でも、技術的な制約やコスト、効率性等の観点からアンモニア燃料等に対応した燃烧炉への期待が大きい。

鍛造炉ユーザー企業

- 保有する鍛造加熱炉や熱処理炉を電化した場合、**ランニングコストで2.7倍、ピーク電力需要で2.7倍**となり、炉の改造や受電設備等の**追加投資に最低でも70億円程度を要する**試算。
- **電気炉は**、①自然に熱対流が生じず、ファンの設置が必要で、**高温保持時には均熱性・熱効率が悪くなること**、②鍛造加熱時には、**大量のスケールが生じ、発熱体と反応するため設備破損対策が必要**となる等の技術的な課題もある。
- アンモニアや水素燃料が活用可能となれば、現在の炉の基本構造を大幅に変えることなく、適用できる可能性が高い。

熱処理炉ユーザー企業

- 電気炉化・再エネ利用では**都市ガスに対し2.1倍のコスト増となる試算**。加えて、**再エネ電力の確保にも懸念**。
- 既存工場の工業炉を電気炉に転換するには、**ライン構成の大幅な変更を要する可能性**がある他、**スペースの制約**もある。
- 都市ガス燃烧炉と設計・構成が大きく変わらないと思われる、**アンモニア燃烧の工業炉への置換・改造で対応したい**。

焼成炉ユーザー企業

- 熱処理等の工程は製品機能の確保に重要なプロセスであるが、これらの工業炉から年間5万tのCO₂が排出されている。
- 保有する工業炉を電化するには、**受電設備等の投資も含めて10年間で100億円を超える投資が必要と試算**され、主たる選択肢にはならない。
- そのため、CO₂を排出しない**燃料としてアンモニアに注目**している。**日常的に生産活動で使用しているもの**であり、既存の工業炉をベースとして更新が可能となれば、**電化の半減以上のコスト削減が期待**（水素は十分に安全が確保された堅固な保管・供給施設の新設が必要）。
- 事業経営への影響が抑制される選択肢として期待が大きい。

アルミニウム溶解炉ユーザー企業

- アルミニウム溶解炉等を使用した工程は、製品製造に今後も欠かせないプロセス。
- 熱源として使用する都市ガス等の燃烧により、年間約50万tのCO₂が排出されている。**リジェネレイティブバーナー化等の省エネ改善を継続的に努めてきているが、これ以上の大きな改善は見込めない状況**であり、2050年カーボンニュートラルに向けて、**ゼロエミッション燃料による燃烧炉の確立が不可欠**。
- 現状、大型炉の電化はイメージができていない。

グリーン成長戦略における製造分野の熱プロセスに関する位置付け

- グリーン成長戦略において、工業炉における熱プロセスの脱炭素化の技術開発も位置付けられている。

○2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略（令和3年6月18日）（抄）

4.（11）ii）マテリアル

④ 熱源の脱炭素化

<現状と課題>

製紙業やガラス・セラミックス等の一部の窯業等では、化学や鉄鋼のように製造プロセスにおいてCO₂を排出するわけではないものの、いずれも高温での乾燥・焼成等が必要であり、現状ではコストが安い化石燃料を用いている。こうした熱源を非化石燃料に転換することで脱炭素化が図られるという意味では方向性は示されているものの、非化石燃料を用いた製造プロセスは過去においても存在せず、実証を経た上での設備転換が課題となる。

<今後の取組>

燃焼させてもCO₂を生じない水素やアンモニア等の非化石燃料由来の熱源に転換することにより、脱炭素化を目指す。 転換に当たっては、非化石燃料が安定的かつ安価で手に入ることを前提に、燃料変更に伴う製造設備の転換に取り組んでいく。具体的には、水素等の燃焼特性に合わせた大型ボイラー、コージェネレーション、ナフサ分解炉などの工業炉、セメントキルン、ガラス熔融炉、セラミックス焼成炉及び紙パルプ乾燥工程等の技術開発を行っていく。

こうした取組を通じて、日常生活に不可欠な日用品を製造する製紙業等の競争力を維持し、豊かな国民生活を支える。

⑪カーボンリサイクル・マテリアル産業 （マテリアル）の成長戦略「工程表」

●導入フェーズ：

1. 開発フェーズ

2. 実証フェーズ

3. 導入拡大・
コスト低減フェーズ

4. 自立商用フェーズ

●具体化するべき政策手法：①目標、②法制度（規制改革等）、③標準、④税、⑤予算、⑥金融、⑦公共調達等

	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	～2030年	～2040年	～2050年
熱源の脱炭素化	燃焼特性にあわせた製造設備の開発					実証	導入・拡大	

既存・類似事業との関係

- アンモニア工業炉における基礎的な燃焼技術は、内閣府の「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）」等で開発。その他、ガラス溶融炉、ナフサ分解炉等に関する技術開発も進められている。
- 金属加熱プロセスで用いる工業炉では、温度帯、NOx規制値等が異なるほか、高温空気を高速で噴射し、酸素濃度を極端に低下させた環境で燃焼させる『高温空気燃焼』への適用、金属製品等への窒化・品質対策、多種多様な工業炉に適用させるための設計・シミュレーション技術等を新たに確立させる必要あり。
- NEDOの先導研究プログラムを用いて、金属加熱プロセスにアンモニア燃焼を用いた場合の技術課題の整理等が先行的に進められており、こうした知見も活用して技術開発を実施していく予定。

工業炉に関する研究開発事業

【基盤技術】

2014～2018年度
SIP エネルギーキャリア
-アンモニア直接燃焼

東北大学、大阪大学、産業技術総合研究所、IHI、豊田中央研究所、大陽日酸、日新製鋼、宇部興産、電力中央研究所、中国電力、東北電力、中部電力、関西電力、三菱日立パワーシステムズ、三菱重工業、JFE エンジニアリング、海上・港湾・航空技術研究所、トヨタタービンアンドシステムズ

【ガラス溶融炉】

2021～2025年度 NEDO
工業炉における燃料アンモニアの燃焼技術開発

A G C、大陽日酸、産業技術総合研究所、東北大学

【ナフサ分解炉】

2021～2030年度 NEDO GI基金
アンモニア燃料のナフサ分解炉実用化

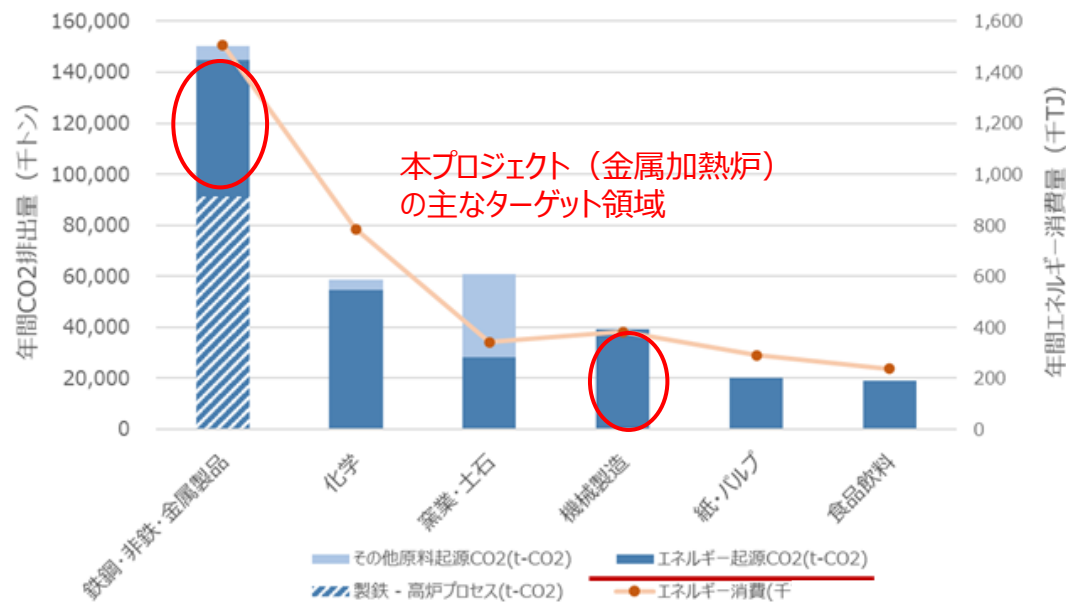
三井化学、丸善石油化学、東洋エンジニアリング、双日マシナリー

【金属加熱炉】

2021～2022年度 NEDO先導研究PG
①革新的アンモニア燃焼による脱炭素工業炉の開発
②アンモニアを燃料とした脱炭素次世代高性能工業炉の基礎研究

①大阪大学、中外炉工業、東京大学
②北海道大学、ロザイ工業、三建産業、東北大学、広島大学

製造業のうちCO₂排出量が多い産業の排出源内訳と投入エネルギー



(出典) 経産省「総合エネルギー統計（2022確報値）」、環境省「温室効果ガス排出量概要（2019速報値）」を基にNEDOTSC作成

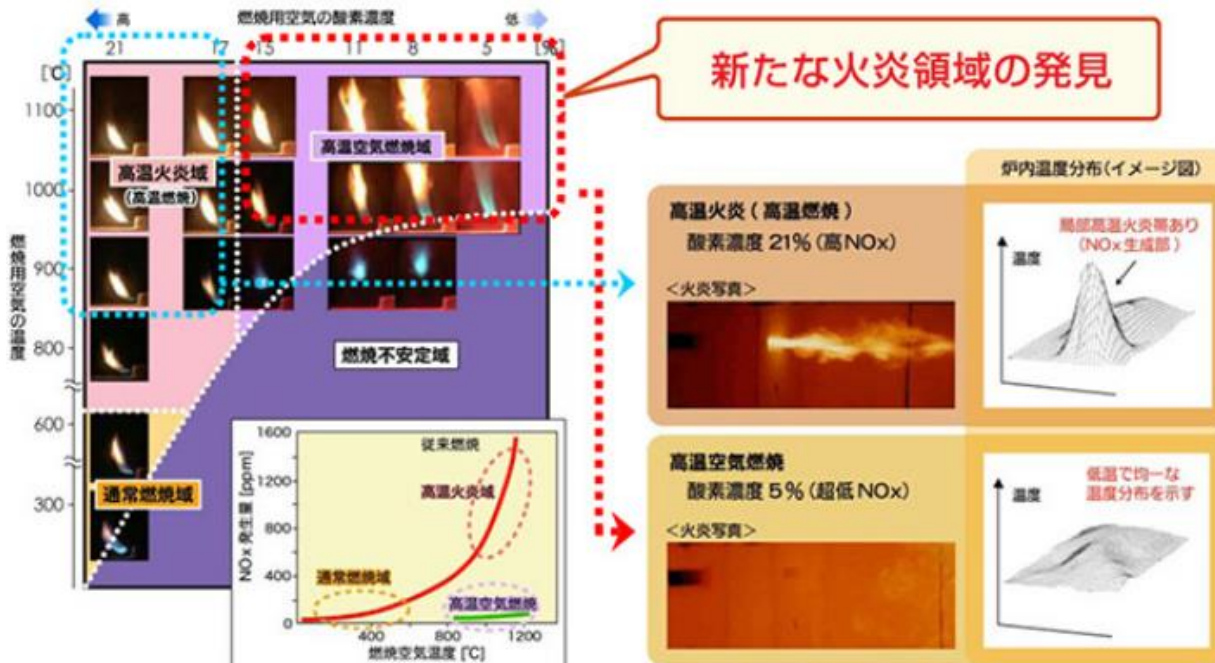
※上記の他、GI基金「大規模水素サプライチェーンの構築」「燃料アンモニアサプライチェーンの構築」、エネルギー対策特別会計予算「産業活動等の抜本的な脱炭素化に向けた水素社会モデル構築実証事業」において、水素、アンモニアの製造・供給・利活用等に関する事業がある。

(参考) 金属加熱プロセスに用いる工業炉に関連した技術開発の事例

- 1993～2000年度にかけて、NEDOのプロジェクトを通じて「高性能工業炉」の研究開発を実施。「高温空気燃焼」現象を解明するとともに、「新燃焼域」を発見し、**従来方式炉に比べて30%以上の省エネ効果とCO₂削減効果**、50%以上のNOx低減効果の両立を可能とする**高性能工業炉の開発に成功**。
- 同プロジェクトでは、300以上の特許全てがコンソーシアム内（13社）で共有化されたことで、高性能工業炉の社会実装が急速に進み、事業終了後の**約10年間で、国内約1,300基の工業炉で採用**。**ISO規格化も実現**。

■ 新たに発見された火炎領域

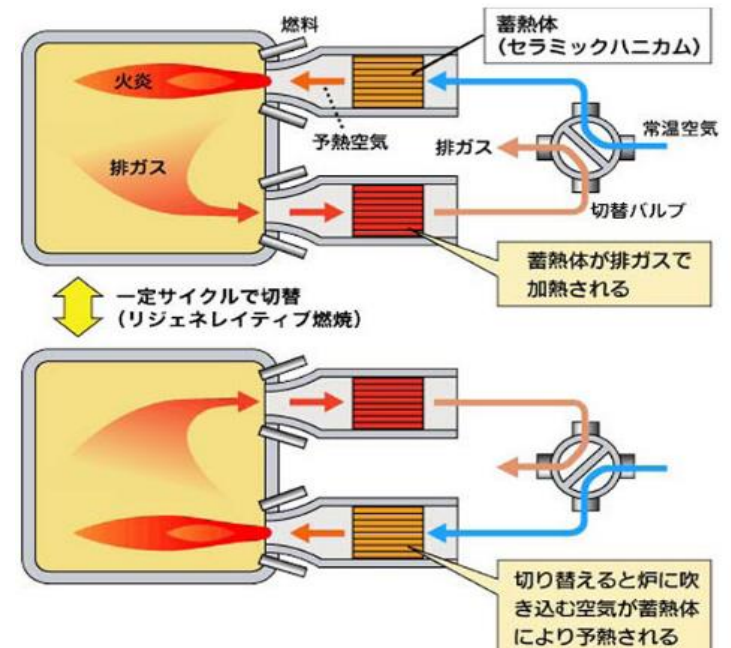
一般的に、NOxは火炎が高温になればなるほど増加するが、高温空気を高速で吹き込んで炉内の酸素濃度を3～10%と極端に低い状態にすることで、超低NOxな「高温空気燃焼」を実現できることを解明。



■ リジェネレイティブバーナー

2個のバーナーを1セットとし、燃焼と排気を短時間に交互に切り換えて使用することで、燃焼用空気を炉内温度近くまで上昇させることが可能。

燃焼ガス中の約85%の熱エネルギーを有効利用



(参考) 世界の工業炉に関する技術開発の動向

- 海外では、工業炉における廃熱回収、原材料余熱、断熱強化など、省エネ関連の取組が進められているが、**現状、アンモニアを工業炉に適用するプロジェクトは確認されない**（水素については一部、鉄鋼加熱炉への適用に向けたPoC等が実施）。一方で、近年、**中国を中心に、アンモニア燃焼に関する論文数、特許数が急増**している。

	EU	ドイツ	米国
燃焼炉の動向	<p>【廃熱回収】レキュペバーナーやリジェネレイティブバーナーが普及。特に自動車産業など大型設備への導入が進展。</p> <p>【断熱強化】断熱ウール等が高価であるため、炉のタイプやエネルギー消費量、スペースなどを考慮して導入判断。設計も重要。</p>	<p>【廃熱回収】レキュペバーナーが主流。</p> <p>【原材料予熱】エネルギー効率向上のための設計、ソフトウェア等の研究が進められる。</p> <p>【断熱強化】工業炉の設計改善のほか、断熱材料の研究が進められる。</p>	<p>【廃熱回収】レキュペバーナーやリジェネレイティブバーナーの導入は部分的。</p> <p>【原材料予熱】一部の大型炉のみで実施され限定的。</p> <p>【断熱強化】炉のハウジングの熱損失やヒートブリッジ等の改善が進む。</p>
電気炉の動向	<p>燃焼炉から電気炉への転換において、誘導加熱が重要な技術と位置づけ。主に中小型炉が対象。</p> <p>高温領域の大型炉、炉内雰囲気均一加熱が求められる鉄鋼加熱炉等の電化は技術的に不可能な状況。</p>	<p>電気炉のエネルギー効率向上の研究開発が進められる。</p> <p>ドイツは電気代が高いため、誘導加熱は、高品質製品、小ロットの製品等に限定して導入される傾向。</p>	<p>一部では燃焼炉の電化が進むが、材料処理能力が限定的との評価。</p> <p>誘導加熱はコイルの最適化等の取組が進む。抵抗炉は炉の構成によって熱が有効利用しにくいケースや、材料が変質してしまうことが課題。</p>
研究開発の事例	<p>総合改修ソリューションとして、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及びバーナー、高度な監視・制御システムの導入、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、ライフサイクル及びライフサイクルコストに基づいて最適化し、効果検証を実施。（欧州委員会、2019年）</p>	<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。（BMW i, 2020）</p> <p>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。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。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を期待。（BMW i, 2021）</p>	<p>電気（アーク）炉から発生するガスを処理する既存システムを用いて、業務レベルで実証された4つの新しい変革的変換技術を活用した、CO₂回収システムの運用に関する実証試験を計画。（DoE, 2021）</p>

目次

1. 背景・目的

2. 研究開発項目と社会実装に向けた取組

3. 想定スケジュール

工業炉の脱炭素化に向けた課題と方向性

- カーボンニュートラルに対応した工業炉の実現には、多種多様な形状の炉、使用方法に対応し、**長期間・安定的な運転を可能とする脱炭素技術の確立とコスト低減・高効率化**が必要。
 - アンモニア等の新たな燃料の活用にあたっては、**金属製品等の品質への影響**に加え、長期間の運転による耐火材や蓄熱体等への影響を解明した上で、**最適な工業炉の設計・改造技術の確立**することが必要。
 - また、敷地等の制約がある企業への導入にあたっては**電気炉の受電設備容量を下げる技術開発**も重要。
- 過去の高性能工業炉PJ等も参考にしつつ、**工業炉メーカーやユーザー企業をはじめとする関係事業者が連携した取組**するとともに、デジタルツイン等の開発では、**スタートアップ等も参画した研究開発体制とすることが必要。**

	必要な要素	開発すべき技術	その他事項等
(アンモニア・水素) 燃焼炉	<ul style="list-style-type: none"> ・燃焼特性の違い（燃焼速度、火炎温度・輻射、フューエルNOx）を考慮した燃焼技術 ・被加熱物に及ぼす影響（窒化・脆化）とメカニズム解明、影響防止策 ・専焼技術・高温化技術 	<ul style="list-style-type: none"> ・被加熱物への影響を抑制するバーナー・炉の開発 → 新設炉・既設炉の設計・改造技術 ・中長期耐久性を実現する炉体材・耐火材等の開発 ・シミュレーション、デジタルツイン技術による設計・運用高度化 ・アンモニア・水素供給を含めた長期安定操業を可能にする最適な工業炉システムの確立 	<ul style="list-style-type: none"> ・経済的・安定的な水素・アンモニア供給、インフラ整備 ・アンモニア・水素利用ガイドラインの整備 <p>本PJの対象とする部分</p>
電気炉	<ul style="list-style-type: none"> ・受電設備容量の低減 ・電化の適用範囲拡大・高効率化 	<ul style="list-style-type: none"> ・ピーク電力需要を低減する技術（アンモニア・水素燃焼とのハイブリッド炉の開発等） ・大型炉の均一加熱・均一温度の実現（温度変動幅の低減） ・排ガス利用、抵抗体の劣化防止・長寿命化等による高効率化 ・デマンドレスポンスに対応した操業方法の確立 	<ul style="list-style-type: none"> ・電力の低廉化・脱炭素化
バイオ燃料等 合成燃料	<ul style="list-style-type: none"> ・燃焼特性の違い（燃焼速度、火炎温度・輻射等）を考慮した燃焼技術 ・燃料に含まれる不純物の影響解明・防止 	<ul style="list-style-type: none"> ・高温安定運転のための技術開発 ・運用・保守の簡略化に資する技術開発 ・シミュレーション、デジタルツイン技術による設計・運用高度化 	<ul style="list-style-type: none"> ・既存の燃焼技術、インフラが活用可能 ・経済的・安定的な燃料供給

アンモニア燃料の工業炉への適用に関する海外動向

- 現状、アンモニア燃焼技術は日本が先行。2014～2018年度にかけて内閣府の「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）」で、NO_x発生を抑制した30%混焼バーナーの開発を実施。2018年の国際燃焼シンポジウムで研究開発成果が公表されて以降、各国のアンモニア燃焼に係る論文数、特許数ともに急増。
- 日本が技術面での優位性を新たな市場獲得に繋げるためには、アンモニア燃料に対応した工業炉を早期に社会実装することが重要。

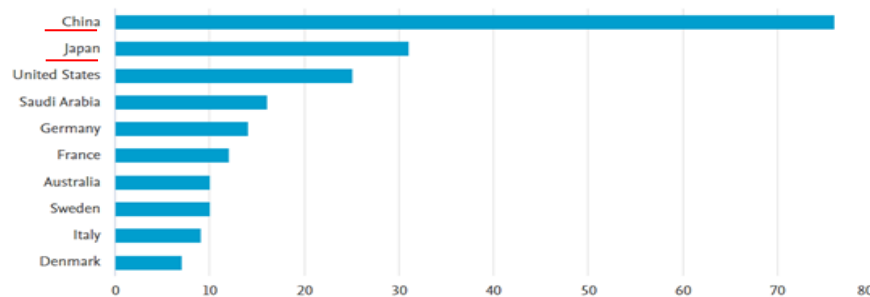
アンモニア燃料に係る論文、特許の動向

文献数の推移

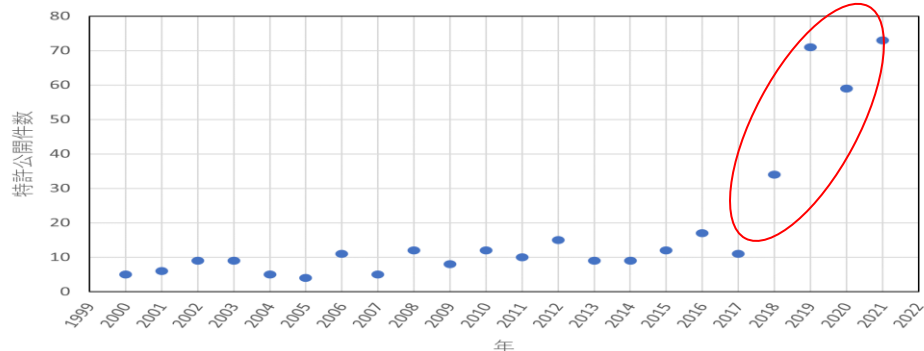


国別の文献数 (2019-2022)

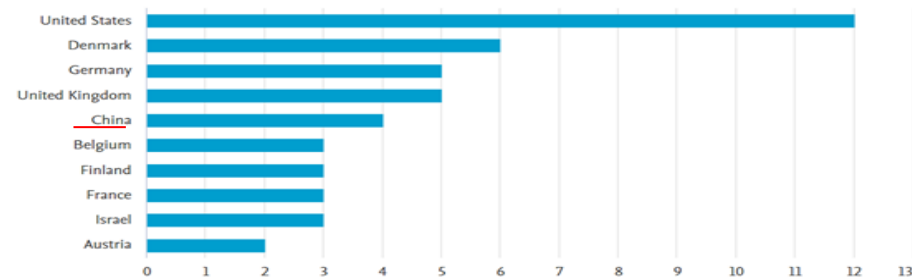
国/地域別の文献数
最大15か国/地域の文献数を比較する。



公開特許件数



国別の文献数 (2000-2005)



(出典) Scopus (雑誌名にcombustionを含む&キーワードにammoniaを含むの検索結果)
WIPO PATENTSCOPE (ammonia,combustion,furnaceを含む検索結果)

【研究開発項目 1】金属製品を取り扱うアンモニア燃焼工業炉の技術確立

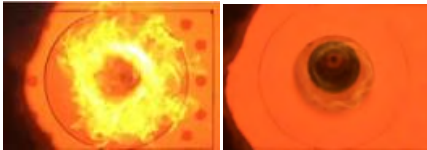
- アンモニア燃料の活用には、**金属製品の品質維持、燃焼安定性やNOx抑制等の技術課題**が存在。独自設計の多い工業炉の改造、更新を進めていくためには、**シミュレーション、デジタルツイン技術の確立も必要**。
- **炉の構造、対象金属、運転方法等の異なる代表的な工業炉毎に**、金属製品等への影響や課題も異なることから、それぞれ天然ガスやLPGとの**混焼・専焼技術等の開発、ユーザー企業との実機実証を行う**。
- **2032年までに50%の混焼技術の確立、専焼炉の実証**を目指す。

■ アンモニア燃焼技術

- 難燃性（着火性・燃焼速度・輻射伝熱）対応
- トレードオフの関係にある低NOx化と未燃アンモニア低減の両立
- **最適な燃焼方法・制御技術**（バーナー開発、廃熱回収、断熱技術、設計技術）の**開発**

都市ガスとアンモニアの火炎の違い

アンモニアを燃焼させるため、高速・高温空気を用いるが、昇温時等の燃焼安定性は課題の一つ

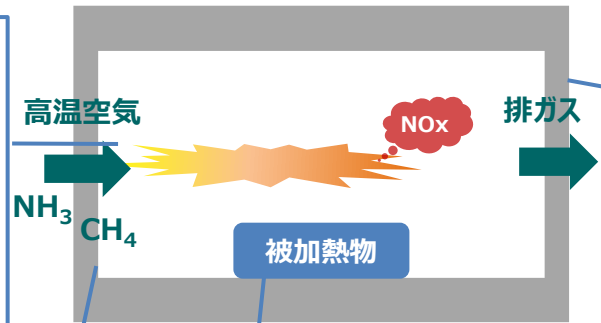


都市ガス火炎

アンモニア火炎

■ シミュレーション・デジタルツイン技術

- オーダーメイドで多様な工業炉毎にバーナー等の配置や、燃料・空気の温度・噴射速度等の導入検証を行うには、物理的制約等の課題が存在し非効率
- **多様な炉の最適設計**（加熱効率・加熱均一性の向上）を**可能にする一元的なシミュレーション技術等の開発**



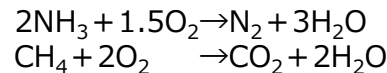
■ 工業炉全体システム、全体高効率化

- アンモニアの人体・環境リスク抑制のため、燃料供給や排ガス処理までの安全性確保を含む、炉の全体設計・運用技術開発/基準策定
- すすの発生や酸化を抑制できる**アンモニア燃焼の特徴を活かした、運用高度化・高効率化**

■ 製品・炉体への窒化等の影響解明と抑制技術の開発

- アンモニア燃焼による窒化や、炉内で生成されるラジカルを含む中間生成物の分布、影響など、未解明な要素は多い
- **最適な燃焼方法・制御技術、炉内ガス循環システムの開発**

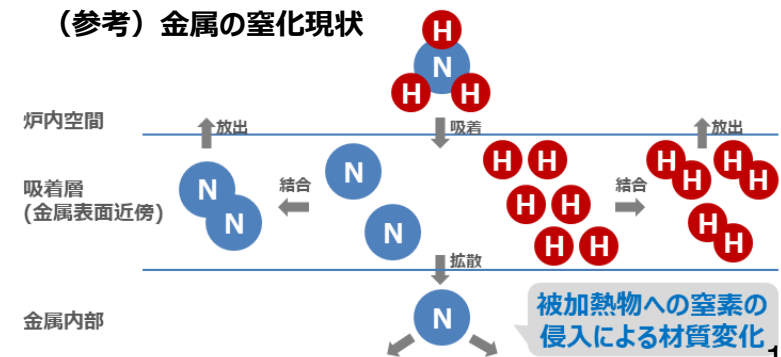
(参考) アンモニア混焼の燃焼反応



様々な中間生成物が発生

- Nラジカル、Hラジカル等による被加熱物への影響解明が必要

(参考) 金属の窒化現状



【研究開発項目2】金属製品を取り扱う水素燃烧工業炉の技術確立

- 水素燃料の活用にあたっては、アンモニアと異なる特性（金属への影響（水素脆化）、高い燃烧性等）があり、**金属製品の品質維持、燃烧安定性やNOx抑制等の技術課題**が存在。独自設計が多い工業炉の改造・更新を進めていくためには、**シミュレーション・デジタルツイン技術の確立も必要**。
- **炉の構造、対象金属、運転方法等の異なる代表的な工業炉毎に**、金属製品等への影響や課題も異なることから、それぞれ天然ガスやLPGとの**混焼・専焼技術等の開発、ユーザー企業との実機実証を行う**。
- **2032年までに50%の混焼技術の確立、専焼炉の実証**を目指す。

■ 水素燃烧技術

- 水素は燃烧性が高く、燃烧速度が速いため、サマルNOxが生じやすいほか、バーナー内部への逆火対策も必要
- アンモニアを改質した水素で燃烧補完する技術など、未確立な技術も多い
- **最適な燃烧方法・制御技術**（バーナー開発、廃熱回収、断熱技術、設計技術）の**開発**

（参考）都市ガスと水素の火炎の違い



都市ガス火炎



水素火炎

■ シミュレーション・デジタルツイン技術

- オーダーメイドで多様な工業炉毎にバーナー等の配置や、燃料・空気の温度・噴射速度等の導入検証を行うには物理的制約等の課題が存在
- **多様な炉の最適設計**（加熱効率・加熱均一性の向上）を**可能にする一元的なシミュレーション技術等の開発**



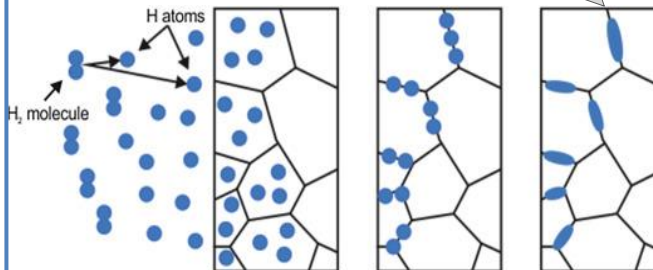
■ 工業炉全体システム、全体高効率化

- 発火性が高い等の水素燃料活用のリスクを最小化するため、燃料供給システムを含む、炉の全体設計・運用技術開発/基準策定
- すすがでない等の**水素燃烧の特徴を活かした、運用高度化・高効率化**

■ 製品・炉体への脆化等の影響解明と抑制技術の開発

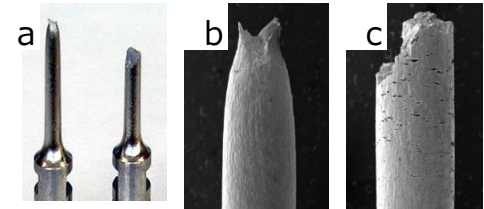
- 水素燃烧による脆化や腐食原因となる高温水蒸気の発生、炉内で生成されるラジカルを含む中間生成物の分布・影響など、未解明な要素は多い
- **最適な燃烧方法・制御技術、炉内ガス循環システムの開発**

（参考）金属の水素脆化



Ref) <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128183328000065>

破断の原因



SUS316オーステナイト系ステンレス鋼の水素脆化
a: 破断した試験片の写真
a左及びb: 70MPaアルゴン中破断
a右及びc: 70MPa水素中破断

（出典）高圧ガス保安協会 HP

(参考) 実証する工業炉の比較

- 今回のプロジェクトでは、国内に多く普及し、アンモニア・水素燃料の適用難易度が高い工業炉での実証を想定。
→特に均熱性の確保や炉内環境の制御等の難易度が高い、**1 MWを超えるエネルギー投入量の多い工業炉での実証を想定。**

金属材料 (鉄・非鉄金属)

<金属加熱に用いる工業炉>

(鉄鋼加熱炉、鍛造炉、熱処理炉、アルミ溶解炉等)

【主な特徴】

- 数百℃から高温 (1400℃) まで **様々な温度帯**
- バッチ式、連続加熱など **多様な運転方式**
- **高温空気燃焼**
- **多様な金属材料** (鉄鋼、アルミ、ニッケル合金等)

【研究概要】

- 燃焼特性の違いを考慮した **燃焼技術**
- **金属材料に及ぼす影響解明** (窒化・脆化)
- **バーナー、炉の構造・設計、シミュレーション技術等の開発**

【主な相違点】

- **アンモニアを安定的に燃焼させ、未燃アンモニアを無くすためには高温、酸素付加燃焼の方が有利** (サーマルNO_x対策は必要)
→ **1000℃を下回るアルミ溶解炉や、鉄鋼加熱炉等の昇温時の燃焼技術の開発が不可欠**
- **金属材料への窒化・脆化対策が必要**
- **炉の仕様が多岐に渡るため、効率的に適用させるためのシミュレーション技術が必要**

(出典) (一社) 日本工業炉協会発行『工業加熱』第59巻第6号2022.11掲載
「工業炉における脱炭素燃焼技術の開発動向」(右表)

非金属材料 (窯業)

<ガラス溶解炉の例> (他にセメント焼成炉、乾燥炉等)

※2021~2025年度 NEDO 工業炉における燃料アンモニアの燃焼技術開発PJ

【主な特徴】

- **高温 (1500℃超)**
- **安定・連続運転**
- **酸素付加燃焼**

【研究概要】

- アンモニア-酸素燃焼バーナーによる **燃焼実証**
- **ガラス**や溶解炉を構成する **材料への影響評価**
- 環境基準に対応した **バーナー開発** 等

(参考) 化石燃料とアンモニア・水素の物性値比較

燃料種	アンモニア NH ₃	プロパン C ₃ H ₈	メタン CH ₄	水素 H ₂
大気圧における沸点 (°C)	-33.3	-42.1	-161.6	-252.9
20℃における液化圧力 (atm)	8.5	8.5	常に気体	常に気体
<u>低発熱量 (MJ/kg)</u>	<u>18.6</u>	46.6	50.2	<u>120.4</u>
可熱当量比範囲 (-)	0.63~1.40	0.51~2.51	0.50~1.69	0.10~7.17
<u>最大燃焼速度 (m/s)</u>	<u>0.07</u>	0.43	0.37	<u>2.91</u>
最低自着火温度 (°C)	651	432	537	500
最高断熱火炎温度 (°C)	1750	2020	1970	2120

【研究開発項目3】電気炉の受電容量の低減・高効率化等に関する技術の確立

- 電気加熱は、利用時にCO₂を排出しないため、工業炉の脱炭素化に当たって有力な選択肢の一つ。グリーン電力の確保やコスト低減、受電容量（設備）の確保等の課題が存在。そのため、以下の取組を実施。
 - ✓ ピーク電力容量の低減につながるよう、大きな雰囲気熱量を要する炉において、炉の立ち上げ時や昇温時等にアンモニア燃焼、水素燃焼を行う、ゼロエミッション燃料と電気炉のハイブリッド炉の開発、実機実証
 - ✓ 電気炉における廃熱利用、ヒーターの高出力化等、高効率化に関する技術開発・実証
 - ✓ 炉の立ち上げ時を含めた全ての熱プロセスを網羅し、大型蓄電池・高性能インバータ等の活用を通じて受電容量を最小化するための加熱プロセスシミュレーション技術の確立、実証
- 2028年度までに高効率化技術とシミュレーション技術等の社会実装、2032年度までにハイブリッド炉の社会実装を目指す。

■ゼロエミッション燃料ハイブリッド電炉

- ・電気炉は、輻射伝熱と自然対流が主体で温度均一化が難しい（対流伝熱の有効活用による温度均一化が課題）
- ・被加熱物への影響（窒化、水素脆化）、必要熱量投入のタイミングなど、様々な加熱パターンに対応した均一加熱・均一温度制御等に技術課題有り

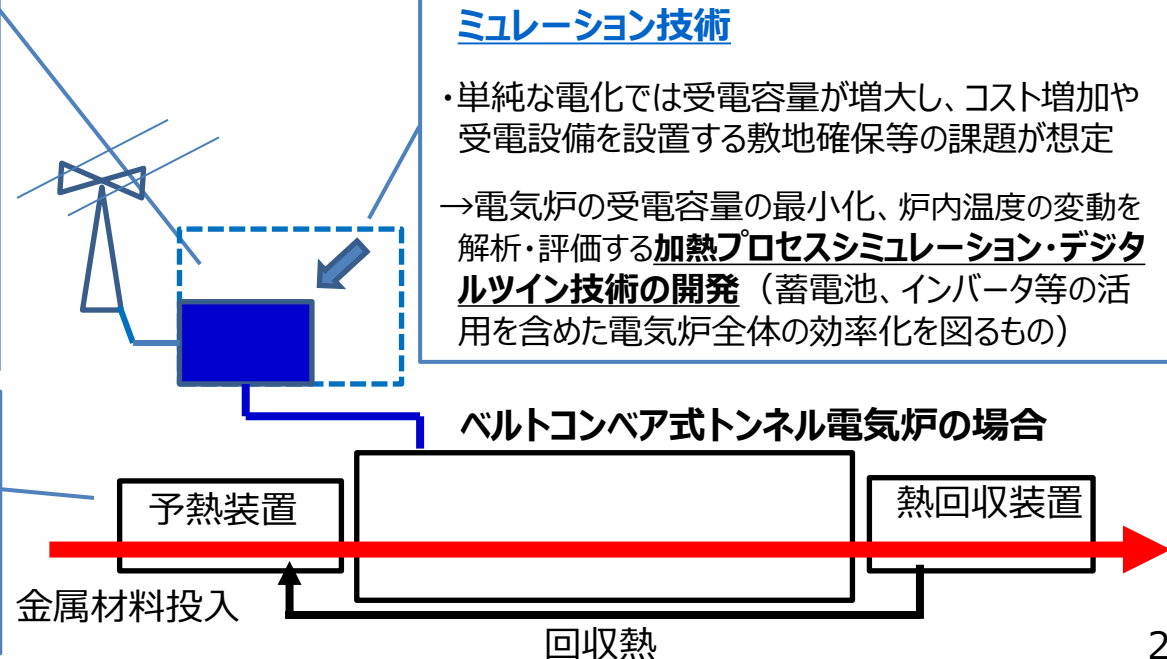
→電気炉の炉内温度変動幅低減とそれによる製品性能等の影響解明、均一加熱・均一温度制御を実現する炉内循環システムの開発

■電気加熱の高効率化

→電気炉の更なる脱炭素化に向けて、電気炉の廃熱・加熱した製品の熱等の利用、ヒーターの高出力化、磁性体か非磁性体かを問わず加熱可能な誘導加熱システムなど、電気炉の高効率化技術の開発

■受電容量を最小化するための加熱プロセスシミュレーション技術

- ・単純な電化では受電容量が増大し、コスト増加や受電設備を設置する敷地確保等の課題が想定
- 電気炉の受電容量の最小化、炉内温度の変動を解析・評価する加熱プロセスシミュレーション・デジタルツイン技術の開発（蓄電池、インバータ等の活用を含めた電気炉全体の効率化を図るもの）



社会実装に向けたその他の取組（国際標準化等）

- 省エネ型の工業炉への転換等を促すべく、**省エネ補助金において、省エネ型工業炉の設計から設置までの複数年の投資計画に切れ目なく対応できる新たな仕組みを創設**。中小企業等に対するエネルギー使用量の見える化・運用改善提案等を行う省エネ診断事業の拡充も実施（令和4年度第2次補正予算）。
- **（一社）日本工業炉協会**は、2008年に設立されたISO/TC 244「工業炉及び関連設備」の国際幹事及び議長を務めており、**国際標準の提案・発行を実現**している。
- **こうした取組とも連携しながら、本プロジェクトで開発・実証した技術を用いた、新たな金属加熱プロセスに用いる工業炉の導入支援・標準化を図っていく。**

令和4年度第2次補正予算 省エネ支援策パッケージ（抜粋）

1. 省エネ補助金の抜本強化【500億円】【国庫債務負担行為の後年度分含め1,625億円】

- **省エネ設備投資補助金において、複数年の投資計画に切れ目なく対応できる新たな仕組みを創設**することで、エネルギー価格高騰に苦しむ中小企業等の潜在的な省エネ投資需要を掘り起こす。

2. 省エネ診断の拡充【20億円】

- 工場・ビル等の**省エネ診断の実施**やそれを踏まえた**運用改善等の提案にかかる費用を補助**することで、**中小企業等の省エネを強力に推進**する。
- また、**省エネ診断を行う実施団体・企業を増加させ、専門人材育成も兼ねた研修を行う**ことで、省エネ診断の拡充を図る。

※ 中小企業向け補助金（ものづくり補助金）についても、省エネ対策を推進するためグリーン枠を強化。

日本工業炉協会による標準化実績

1980年	工業炉安全の研究を開始
1982年	JIS B 8415「工業用燃焼炉の安全通則」制定
1989年	JIS B 0113「工業用燃焼装置用語」改訂
2008年	JIS B 8415「工業用燃焼炉の安全通則」改正 ▷欧米規格及び機械のリスクアセスメント規格（ISO 12100/JIS B 9700）への対応
2010年	JIS B 8407-1,2「強制通風型ガスバーナ」等の制定 ▷国際規格（ISO 22967及びISO 22968）整合
2013年	JIS B 8420「抵抗加熱炉の安全通則」制定 ▷国際規格（IEC 60519-2）整合
2020年	「工業用燃焼炉の安全通則」 JIS B 8415-1~3 制定（JIS B 8415:2008は廃止） ▷国際規格（ISO 13577-1, 2及び4）整合

中小企業への普及に向けた主な課題

カーボンニュートラル対応工業炉の中小企業への普及に向けては、投資リスクや敷地制約、取引先との調整など、様々な課題がある。→ CAPEX、OPEXの観点からの投資リスクの軽減、炉の更新期間中の生産活動をバックアップする事業者間での連携促進など、必要な対策を講じることに加え、カーボンニュートラル時代のビジネスの在り方等について、検討していく。

普及に向けた主な課題

① 投資リスク

- ✓ **工業炉は30年程度使用される**ものであり、炉によっては一基あたり数億円と**中小企業には大きな投資**。
- ✓ **エネルギー価格、金属製品需要（生産量、稼働率等）等**によって、投資回収年数は変動するため、**投資判断が困難**。

② 敷地等の制約

- ✓ 燃烧炉から電気炉への転換に際して、特別高圧契約と受電設備の設置が必要となるものの、**敷地面の制約から設置が困難**なケースがある。
(例) アルミ溶解炉のユーザー企業
国内取引先（自動車メーカー）からのCN対応の要請が強まっており、燃烧炉から電気炉への転換を検討。製造能力として2~4tが必要となるが、契約電力容量の制約により、1t程度の製造能力が限界。
- ✓ 工業炉は、設計打合せ・図面作成等から実際の工事完了までに数ヶ月~1年程度（+製品認証の期間）を要する。敷地の制約がある場合、その間の**製造に係る代替ラインを設けることが困難**となり、**休業や代替工場の確保、取引先との生産調整等が必要**。

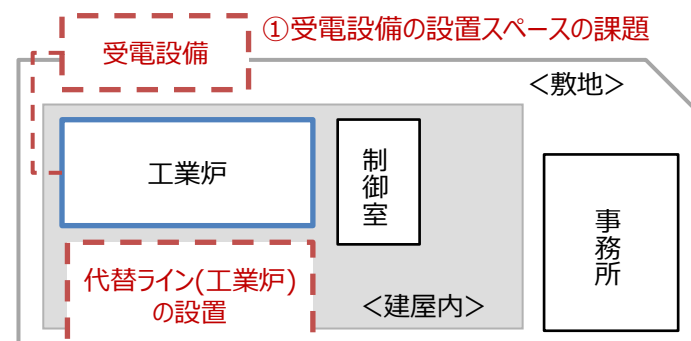
③ 取引先との調整

- ✓ 取引先との関係において、**使用する炉を含めた熱処理方法が指定されているケース**が多く、自社判断で新たな炉による製造はできない。
- ✓ 商慣行上、新設・更新する炉において、取引先が求める品質が担保できるか、安定的な生産ができるか確認し、**取引先の認証取得等が必要となる場合**がある（半年~1年要するケースもある）。

対応の方向性

- ① **省エネ補助金**や**低炭素設備リース信用保険**等の活用による**投資リスクの低減**
- ②③ 電気炉の**高効率化・受電設備容量の低減**を図るための研究開発
炉の設計や製品品質への影響確認を容易にする
シミュレーション技術の開発
- ②③ **取引の適正化**（親事業者・下請中小企業におけるパートナーシップ構築宣言等の取組の推進）
- ①②③ **事業環境整備**（グリーン市場の創出、エネルギーの安定的かつ安価な供給等）
- ①②③ **導入事例や施策情報の発信、その他炉の更新に必要な支援策の検討・実施**

(参考) 敷地等の制約イメージ



② 工事中の代替ライン設置スペースの課題

(参考) GX経済移行債（仮称）を活用した先行投資支援の基本条件

GX経済移行債（仮称）を活用した先行投資支援の基本条件 （令和4年12月22日GX実現に向けた基本方針）	本プロジェクトにおける考え方
<p>I. 資金調達手法を含め、企業が経営革新にコミットすることを大前提として、技術の革新性や事業の性質等により、民間企業のみでは投資判断が真に困難な事業を対象とすること</p>	<p>アンモニア燃焼等によるカーボンニュートラル対応工業炉の開発については、①金属製品の品質に影響を生じさせない燃焼技術など、技術的難易度が高く、②その普及には、アンモニア等の供給側の制約（コスト・量・インフラ等）による外的影響も大きい、③研究開発等に要する投資額も大きいことから、民間企業のみでは早期の投資判断が困難なもの。</p>
<p>II. 産業競争力強化・経済成長及び排出削減のいずれの実現にも貢献するものであり、その市場規模・削減規模の大きさや、GX達成に不可欠な国内供給の必要性等を総合的に勘案して優先順位をつけ、当該優先順位の高いものから支援すること</p>	<p>中小企業が多くを保有する国内3.7万台の工業炉を置き換えていくものであり、工業炉メーカーのみならず、金属材料等を扱う幅広い産業の競争力強化に貢献するもの。2050年までの国内外での経済波及効果は約9.6兆円（カーボンニュートラル対応工業炉から生産される金属部品等の市場規模は約186兆円） 国内における2050年時点のCO₂排出削減量も0.7億t/年と、政策支援によるインパクトは大きく、優先順位は高い。</p>
<p>III. 企業投資・需要側の行動を変えていく仕組みにつながる規制・制度面の措置と一体的に講ずること</p>	<p>カーボンニュートラル対応の工業炉の普及に当たっては、ユーザー企業に対する省エネ法による規制と設備導入支援等を一体的に講じていく予定。</p>
<p>IV. 国内の人的・物的投資拡大につながるもの（資源循環や、内需のみの市場など、国内経済での価値の循環を促す投資を含む）を対象とし、海外に閉じる設備投資など国内排出削減に効かない事業や、クレジットなど目標達成にしか効果が無い事業は、支援対象外とすること</p>	<p>国内3.7万台の工業炉を置き換えていくものであり、金属部品製造業を中心とした国内の投資拡大につながるものである。加えて、カーボンニュートラル対応の工業炉をいち早く社会実装することで、アジアや欧米を中心に海外マーケットへの展開も図っていく予定。</p>

目次

1. 背景・目的

2. 研究開発項目と社会実装に向けた取組

3. 想定スケジュール

想定スケジュール

- 具体的なスケジュールは提案者の創意工夫に委ねることを原則とするが、想定される一例は以下のとおり。

	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
1. 金属製品を取り扱うアンモニア燃焼工業炉の技術確立	<p>要素技術開発 TRL 3～4 → ★ TRL 4～5 → (設計) ★ → 実証機建設・実証試験・評価 TRL 6～7 → ★ 実用化</p> <p>※1.2.のステージゲートに当たっては、アンモニア・水素の供給可能性等を踏まえて、テーマの統合や絞り込みも検討</p>										
2. 金属製品を取り扱う水素燃焼工業炉の技術確立	<p>要素技術開発 TRL 3～4 → ★ TRL 4～5 → (設計) ★ → 実証機建設・実証試験・評価 TRL 6～7 → ★ 実用化</p>										
3. 電気炉の受電設備容量等の低減・高効率化に関する技術の確立	<p><ハイブリッド化関係></p> <p>要素技術開発 TRL 3～4 → ★ TRL 4～5 → (設計) ★ → 実証機建設・実証試験・評価 TRL 6～7 → ★ 実用化</p> <p><高効率化関係></p> <p>要素技術開発 TRL 3～4 → 小規模実証・評価 TRL 4～5 → ★ 実機レベルでの実証・評価 TRL 6～7 → ★ 実用化</p>										

★ : ステージゲート

研究開発内容のステージ変化に合わせ、移行可否を判断する「ステージゲート」を設定し、適切なマネジメントを実施。

IEAのTRL : Technology Readiness Levelに基づき、次のとおり研究開発ステージを設定し、TRL3～7を支援。

TRL1 : 科学的な基本原理・現象の発見

TRL2 : 原理・現象の定式化・応用的な研究

TRL3 : 技術コンセプトの確認

TRL4 : 応用的な開発

TRL5 : ラボ・ベンチテスト

TRL6 : パイロット実証

TRL7 : プレ商業実証・トップユーザーテスト

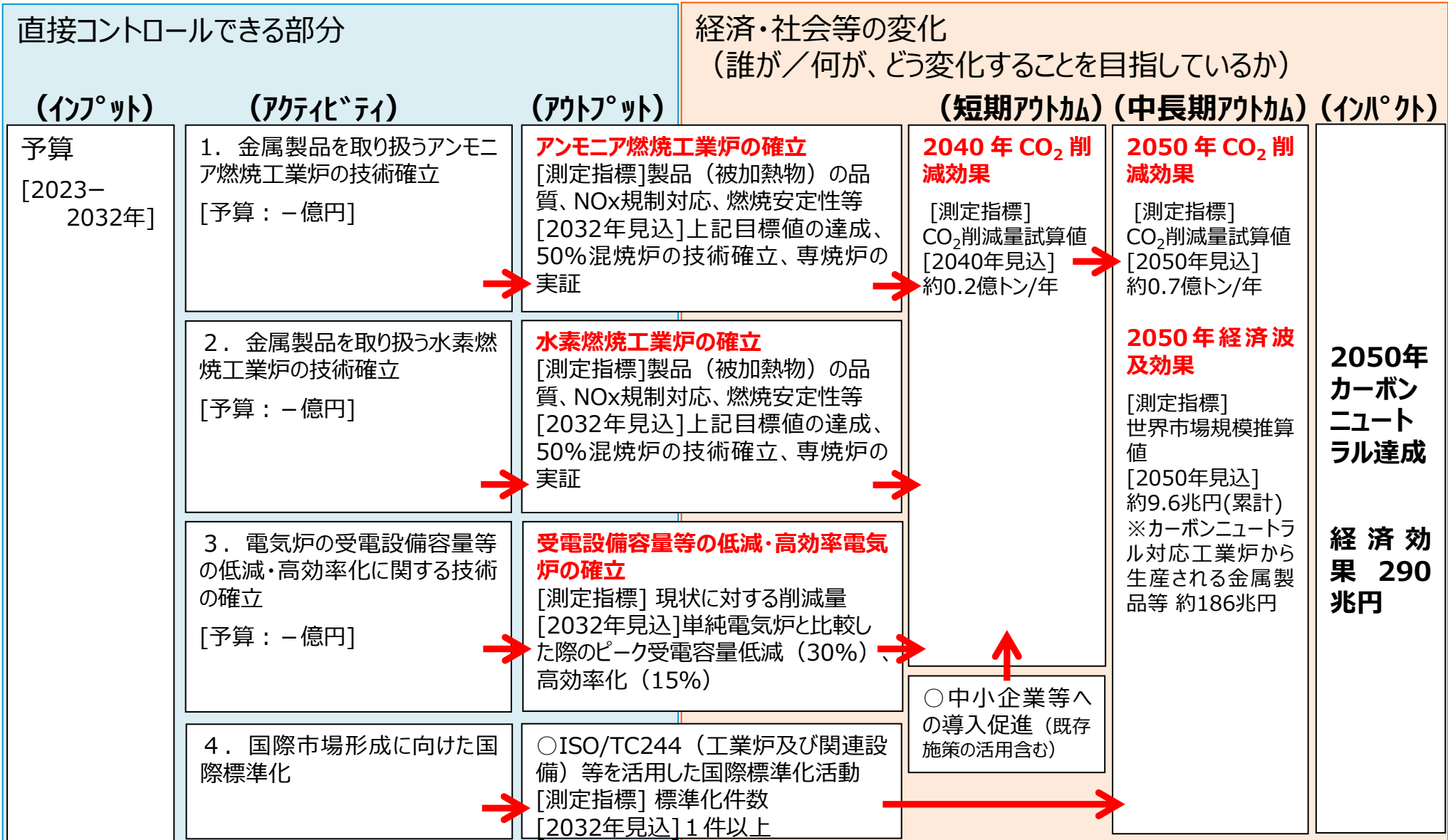
TRL8 : 初期商業生産

TRL9 : 大量生産

TRL10 : 事業の統合

TRL11 : 安定性の証明

製造分野における熱プロセスの脱炭素化



アウトカム（世界市場規模推計）試算の考え方

- 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）報告書等に基づき推計