

事業戦略ビジョン

実施プロジェクト名：グリーンイノベーション基金事業／製造分野の熱プロセスの脱炭素化

実施者名：（幹事）脱炭素産業熱システム技術研究組合、代表名：理事長 佐藤順一

（共同実施者）

中外炉工業株式会社、三建産業株式会社、ロザイ工業株式会社、
株式会社IHI機械システム、関東冶金工業株式会社、富士電子工業株式会社、
東京ガス株式会社、株式会社キャタラー

目次

0. コンソーシアム内における各主体の役割分担

1. 事業戦略・事業計画

- (1) 産業構造変化に対する認識
- (2) 市場のセグメント・ターゲット
- (3) 提供価値・ビジネスモデル
- (4) 経営資源・ポジショニング
- (5) 事業計画の全体像
- (6) 研究開発・設備投資・マーケティング計画
- (7) 資金計画

2. 研究開発計画

- (1) 研究開発目標
- (2) 研究開発内容
- (3) 実施スケジュール
- (4) 研究開発体制
- (5) 技術的優位性

3. イノベーション推進体制（経営のコミットメントを示すマネジメントシート）

- (1) 組織内の事業推進体制
- (2) マネジメントチェック項目① 経営者等の事業への関与
- (3) マネジメントチェック項目② 経営戦略における事業の位置づけ
- (4) マネジメントチェック項目③ 事業推進体制の確保

4. その他

- (1) 想定されるリスク要因と対処方針

	【項目1-A 共通基盤技術】 (委託事業)	【項目1-B、1-C、1-D、1-E】	【項目 2 アンモニア燃焼炉】、【項目 3 水素燃焼炉】、 【項目 4 電気炉】		社会実装
		フェーズ 1（委託事業） 要素技術開発	フェーズ 2（助成事業） 中規模実証	フェーズ 3（助成事業） 実機実証	
(幹事) 脱炭素産業熱システム技術研究組合	主に大学、国研が実施。 各参加企業は必要に応じて、要素技術開発、 中規模実証、実機実証で取得したデータを提 供し、協同で技術開発を進める。	研究開発課題の立案・企画、とりまとめ			■ 中小工業炉ユーザ向けの脱炭素工業 炉導入のための指針づくり ■ アンモニア供給網のシナリオづくり
		【項目1-E】工業炉ユーザへの調査			
中外炉工業		【項目1-B】	【項目 2】鉄鋼加熱炉、鉄鋼プロセス炉の開発		■ 脱炭素を実現したアンモニアまたは水素 を燃料とした工業炉 ■ 受電容量低減・高効率化を実現した 電気炉
		【項目1-C】	【項目 3】鉄鋼プロセス炉の開発		
		【項目1-D】	【項目 4】トランスバース型誘導加熱による鉄鋼プロセス炉の開発		
三建産業		【項目1-B】	【項目 2】鉄鋼鍛造炉の開発		
		【項目1-C】	【項目 3】溶解・熱処理炉の開発		
		【項目1-D】	【項目 4】オール電化熔融炉の開発		
ロザイ工業		【項目1-B】	【項目 2】アルミ溶解炉の開発		
		【項目1-C】	【項目 3】アルミ溶解炉の開発		
		【項目1-D】	【項目 4】燃焼と電気のハイブリッド アルミ熱処理炉の開発		
東京ガス		【項目1-B】	【項目 2】小型加熱炉向けラジアントチューブバーナの開発		
キャタラー		【項目1-A】	【項目 2】アンモニア後処理システムの技術開発		
		【項目1-A】	【項目 3】アンモニア改質装置の技術開発		
IHI機械システム		【項目1-D】	【項目 4】誘導加熱式高温プロセス炉の開発		■ 受電容量低減、高効率化を実現した 電気炉
関東冶金工業		【項目1-D】	【項目 4】誘導と抵抗加熱のハイブリッド炉の開発		
富士電子工業		【項目1-D】	【項目 4】誘導と抵抗加熱のハイブリッド炉の開発		

1. 事業戦略・事業計画

1. 事業戦略・事業計画／（1）産業構造変化に対する認識

製造分野の熱プロセスを担う工業炉の脱炭素化対応が必須

カーボンニュートラルを踏まえたマクロトレンド認識

（社会面）

- 地球温暖化に起因する自然災害が深刻化。早急な対応が必要
- 熱プロセスに用いる工業炉から排出されるCO2は産業部門の4割超

（経済面）

- 主な工業炉ユーザの金属部品関連産業は国内総出荷額で16兆円、従業員71万人。中小企業が多く、国内5.1万事業所。
- 工業炉の国内市場は2000億円規模、世界市場は2兆円規模

（政策面）

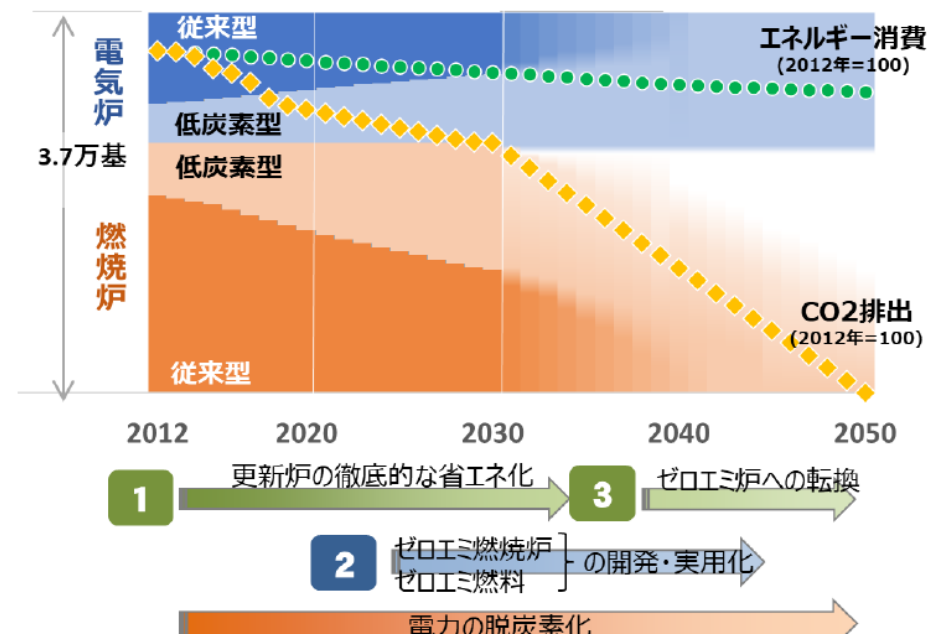
- EUでは輸入品であっても金属素材、部品などについてライフサイクルでの脱炭素化が必須であり、未対策の場合、排除される可能性がある

（技術面）

- 国際的には日本の工業炉メーカーの規模は小さいものの、特許優位性のある高性能機器類を中心に4～7%程度と存在感がある
- 将来のCN燃料であるアンモニア・水素の燃焼技術についてはSIP、NEDO等により我が国が先行している

- 市場機会：
CN対応工業炉（燃焼炉、電気炉）の技術が確立できれば、新設・既存設備リニューアルで大きな市場が見込める。
- 社会・顧客・国民等に与えるインパクト：
工業炉からのCO2排出量年間**1.5億トン**（日本全体の13.5%を占める）の削減が可能に

カーボンニュートラル社会における産業アーキテクチャ



出典：第13回 産業構造審議会 グリーンイノベーションプロジェクト部会 産業構造転換分野ワーキンググループ

- 当該変化に対する経営ビジョン：
メーカー、ユーザー、大学、国研と密に連携しながら一体となって工業炉の脱炭素技術を確立し、早期の脱炭素工業炉の社会実装に貢献する。
また、脱炭素の基盤技術を継続的かつ工業炉以外の熱プロセスにも活用するため、サービス事業を展開することも視野に入れる。

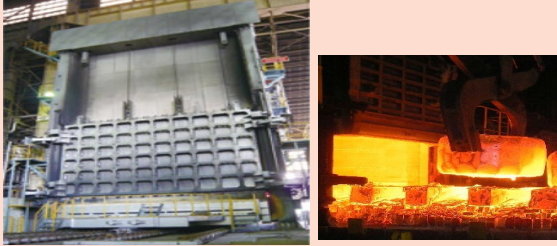
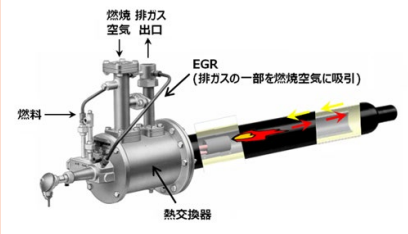
エネルギー消費量の多い大型燃焼炉を主なターゲットとしつつ、電気炉への対応も視野

＜大型炉＞

- エネルギー消費量の多い大型炉（鉄鋼加熱炉、鍛造炉、アルミ溶解炉など）の、燃料をアンモニアまたは水素に転換した燃焼炉を主なターゲットとする。

＜中小型炉＞

- エネルギー消費量が少ないが設置数の多い中小型燃焼炉へは、中小型炉導入への制約条件の少ない技術（ラジアントチューブバーナーやアンモニア改質装置など）の活用を図る。
- 脱炭素化の有力な選択肢である電炉への転換も視野。課題となる電気炉の受電容量低減・高効率化技術等の確立を目指す。

	鉄鋼加熱炉	鍛造炉	アルミ溶解炉
外観			
	電気炉	ラジアントチューブバーナー	アンモニア改質器
外観			

脱炭素化を可能にするCN対応工業炉の提供と派生する技術による事業を創出

社会・顧客に対する提供価値

（脱炭素を実現した工業炉の実装を通じて）

- ・カーボンニュートラルに向けて、製造プロセスにおけるCO₂排出量の削減
- ・グリーンスチール・アルミなどのCN製品製造への寄与



（PJ終了後、工業炉だけでなく他の熱プロセスの脱炭素化も視野に入れて）

- ・カーボンニュートラルに向けて製造プロセスにおけるCO₂排出量の削減



ビジネスモデルの概要（製品、サービス、価値提供・収益化の方法）と研究開発計画の関係性

技術研究組合（PJの企画、運営、マネジメント）

共通基盤技術の開発

- 大学、炉メーカー・ユーザー企業等による基盤技術の開発

中規模実証

- 炉メーカー・ユーザー企業等によるチーム毎の応用研究・中規模実証

データ提供・実証結果の分析、基盤技術の応用

実機実証

- 炉メーカー・ユーザー企業等によるチーム毎の実機実証

データ提供・実証結果の分析、基盤技術の応用

基盤技術のブラッシュアップ



脱炭素を実現した工業炉の実装

技術研究組合

シミュレーション、デジタルツインなどの基盤技術

モデル導入

プラットフォーム管理組織

産業利用プラットフォーム

ライセンス契約

計算委託契約

中小工業炉メーカー、ユーザー、他産業企業など



工業炉だけでなく他の熱プロセスの脱炭素への貢献

技術研究組合は工業炉の脱炭素化技術を開発実証し、普及促進のため、技術の標準化を行う

- 国内の工業炉ユーザー、特に中小企業を中心とした工業炉ユーザーの実態調査を行う。調査は、現在の工業炉の運用方法および状況、今後の脱炭素工業炉の導入予定時期、経済的・経営的観点からの問題点、環境・安全の観点からの問題点等の課題について行う。それら問題点を解決できる技術項目および技術目標を明らかにし、その解決を図るための技術の標準化を行う。
- ユーザー企業の問題点を解決する技術を開発し、その普及促進のための標準化を行う。
- 海外に関しては、技術の優位性を背景とし、参加企業が市場の開拓を行う。それと並行して日本工業炉協会と共同で、ISOに脱炭素工業炉の標準化を提案し、技術主導権を確保できるようにISO委員会で活動する。

標準化戦略の前提となる市場導入に向けての取組方針・考え方

- 既存の燃料である天然ガスとアンモニア・水素との50%混焼炉を2032年までに開発し、市場投入を行う。
- アンモニアおよび水素の国内調達量および価格の動向を見据えながら、アンモニアおよび水素の混焼率を80%に増加する開発を行い、2035年頃から市場に投入する。
- 専焼炉の開発も進め、2040年頃から市場に投入する。
- 電気炉からの排熱回収装置を2032年から市場に投入する。
- 燃焼・電気ハイブリッド炉、誘導・抵抗ハイブリッド炉を2032年までに開発し、市場投入する。

国内外の動向・自社のルール形成(標準化等)の取組状況

(国内外の標準化や規制の動向)

- 2030年脱炭素目標46%削減
- アンモニア・水素の利用促進のため、規制の見直しが見込まれる

(市場導入に向けた自社による標準化、知財、規制対応等に関する取組)

- アンモニア・水素燃焼データの整備、アンモニア・水素と金属・耐火物との反応データの整備を行う。
- アンモニア・水素工業炉の標準設計データの整備
- 燃焼・電気、誘導・抵抗ハイブリッド炉の設計データ整備

本事業期間におけるオープン戦略（標準化等）またはクローズ戦略（知財等）の具体的な取組内容（※推進体制については、3.(2)組織内の事業推進体制に記載）

標準化戦略

- 工業炉ユーザー向けアンモニア・水素の貯蔵・取り扱いなどの安全確保のための設備、基準は標準化し、オープン
- 被加熱物の評価方法、試験方法もオープンしていくことを視野に入れる

知財戦略

- アンモニア・水素の燃焼炉の燃焼に関わる設計技術は特許またはノウハウとしてクローズ
- 被加熱物の品質確保のための炉構造等に関する技術もクローズ

燃烧技術の強みを活かして、社会・顧客に対して工業炉の脱炭素化という価値を提供

自社の強み、弱み（経営資源）

ターゲットに対する提供価値

- 高温空気燃焼、SIPでのアンモニア燃焼、水素利用技術など、我が国が持つ工業炉に関する技術優位性を活用したCN対応工業炉を開発し、脱炭素化が困難な領域にゼロエミ化の価値を提供

自社の強み

- 我が国の主要工業炉メーカーの持つ技術力と工業炉ユーザでの評価技術の活用
- 大学の持つアンモニア燃焼・水素燃焼および金属材料への影響等に関する知見等を活用した基礎研究（現象解明、シミュレーション技術への展開）
- 我が国が先行する高い燃焼技術を統合化するために工業炉メーカー、ユーザー、大学など幅広いプレイヤーを取りまとめた技術研究組合を組織。専門家集団としての技術研究組合によるコンセプトの提供と事業推進

自社の弱み及び対応

- アンモニア製造・供給
→燃料供給会社も参画

他社に対する比較優位性

	技術	顧客基盤	サプライチェーン	その他経営資源
自社	(現在)工業炉の脱炭素化未対応	金属部品関連産業	工業炉ユーザーへの技術展開	大学における燃焼技術の優位性
	↓	↓	↓	↓
	(将来)アンモニア・水素を利用した燃料炉技術開発。参加各社における事業化	金属部品関連産業 グリーン市場拡大による展開。 アジア等への市場拡大	- 新設炉、既設炉リニューアル展開 - 国の支援のもとでのアンモニア・水素のサプライチェーン構築	- アンモニア・水素燃料技術におけるアカデミア人材の拡大 - シミュレーション技術、デジタルツイン基盤技術への展開
競合	- 国内における主要工業炉メーカーが参加しており、競争領域と協調領域を事前に明確化した上で基盤となる技術について連携して進める - 工業炉の国際標準化（ISO/TC244）による各社の海外展開支援			

投資計画

	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度	2028年度	2029年度	2030年度	2031年度
事業収入	8 5 億円								
研究開発費	7 4 億円								
一般管理費	1 1 億円								
営業利益	0 億円								

研究開発段階から将来の社会実装（設備投資・マーケティング）を見据えた計画を推進

	研究開発・実証	設備投資	マーケティング
取組方針	- 多種多様なCN対応工業炉の開発を支える共通基盤技術（燃烧挙動、被加熱物への影響、シミュレーション・デジタルツイン）について、大学が中心となって基礎的、理論的アプローチに取り組み技術確立を目指す。 - これらの成果と企業が中心となって実施する実証試験のデータをすり合わせることで、両者のシナジーを生み出し、双方の技術のブラッシュアップと新しい知見を導出する。 - さらに工業炉ユーザーのニーズや炉の運転ノウハウを取り入れ、早期の開発、社会実装を目指す。	- 工業炉メーカーの生産設備は従前の設備を大きく更新する必要はないが、研究開発・実証設備はアンモニアあるいは水素を取り扱うための設備投資が必要。このための技術支援を行う。 - 中小企業の実態にあった安全基準などの整備も視野に入れる。	- 国内には3.7万基の工業炉が存在。平均耐用年数は約30年と長く、更新・入れ替えのタイミングを踏まえた対応が必要。早期の技術開発で対応していくことが重要。 1基当たりの炭素発生量が多い大型炉を主なターゲットとするが、中小型炉も基数が多いため、中小型炉にも幅広く活用できる技術開発も進める。 - 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。CN対応工業炉などの高性能機器を中心に海外展開
国際競争上の優位性	- 工業炉分野ではSIP、NEDO先導研究でアンモニア燃烧技術開発が行われており、アンモニア燃烧技術は日本がリード。 - 国内で火力発電や船舶エンジン分野などでもアンモニア燃烧PJが進行中。これらの技術の活用も可能。 - 技術研究組合を核として、工業炉メーカー、ユーザー、大学・国研が一体となったオールジャパンの開発体制を組成。 - 一方で海外の論文、特許は急増してきている。	海外でもアンモニア・水素燃烧への研究開発投資が行なわれ始めているが、まだ限定的である。研究開発設備も日本がリード。	- 高温空気燃烧、SIPでのアンモニア燃烧、水素利用技術など、我が国が持つ工業炉に関する技術は優位性を有する。 - 工業炉協会と連携し、ISO/TC244（工業炉及び関連設備）等を活用した国際標準化活動を進める。

資金計画

	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度	2028年度	2029年度	2030年度	2031年度
事業全体の資金需要	8.5 億円								
うち研究開発投資	7.4 億円								
国費負担（委託）	8.2 億円								
自己負担（A+B）	3 億円								
A：自己資金	3 億円								
B：外部調達	0 億円								

2. 研究開発計画

2. 研究開発計画

【研究開発項目1】カーボンニュートラル対応工業炉に関する共通基盤技術の開発

【研究開発項目1-A】カーボンニュートラル対応工業炉に関する共通基盤技術の開発

(一部、【研究開発項目2】アンモニア燃焼炉、【研究開発項目3】水素燃焼炉の内容を含む。)

【項目 1 -A】 その 1 アンモニアおよび水素の燃焼挙動解明と低NO_x、低N₂O、低未燃アンモニア排出技術の開発

(1) 研究開発目標

研究開発項目	アウトプット目標		
1. アンモニア、水素の燃焼挙動解明と低NO _x 、低N ₂ O、低未燃アンモニア排出技術の開発	アンモニアまたは水素を燃料とし、メタンとの50%混焼条件で炉内のNO _x 発生を150ppm以下にするとともに、N ₂ O、未燃アンモニアの発生を抑制する燃焼技術および工業炉設計シミュレーションに適用する技術を確認する。さらに専焼条件での同様の技術の用途をつける。		
研究開発内容	KPI	KPI設定の考え方	
1 アンモニア炉内燃焼のメカニズム解明に基づく燃焼制御法の確立	低NO _x アンモニア燃焼時の炉内詳細分布（温度・流速・化学種濃度）取得。アンモニア燃焼の特性・構造を解明し、低NO _x 、低N ₂ O、低未燃アンモニアを実現する。	炉内温度、化学種、流速分布計測結果に基づき、低NO _x 、低N ₂ O、低未燃アンモニア燃焼のメカニズムの検討を行う。	
2 水素炉内燃焼のメカニズム解明に基づく燃焼制御法の確立	低NO _x 水素燃焼（アンモニア混焼含）時の炉内詳細分布（温度・流速・化学種濃度）取得。構造解明に基づき、低NO _x 、低N ₂ O、低未燃アンモニアの燃焼を実現する。	炉内温度、化学種、流速分布計測結果に基づき、低NO _x 、低N ₂ O、低未燃アンモニアの水素・アンモニア混焼のメカニズムの検討を行う。	

委託

【項目 1 -A】 その 1 アンモニアおよび水素の燃焼挙動解明と低NO_x、低N₂O、低未燃アンモニア排出技術の開発

(2) 研究開発内容（全体像）

	KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 （成功確率）
1 アンモニア炉内燃焼のメカニズム解明に基づく燃焼制御法の確立	アンモニア燃焼時の炉内詳細分布（温度・流速・化学種濃度）取得。 アンモニア燃焼の特性・構造を解明し、低NO _x 、低N ₂ O、低未燃アンモニアを実現する。	NO _x 、N ₂ O、未燃アンモニア低減の挙動は把握。 （TRL2）	実用炉で安定、且つ低NO _x 、低N ₂ O、低未燃アンモニアを実現。その技術の実証炉適用加速（TRL4）	- ベンチスケール炉で様々な条件に展開・検証 - 数値計算支援による実証炉への適用加速	炉内詳細計測，燃焼制御法提案，数値支援・実用適用加速（90%）
2 水素炉内燃焼のメカニズム解明に基づく燃焼制御法の確立	低NO _x 水素燃焼（アンモニア混焼含）時の炉内詳細分布（温度・流速・化学種濃度）取得。構造解明に基づき、低NO _x 、低N ₂ O、低未燃アンモニアを実現する。	データなし （TRL2）	実用炉で安定、且つ低NO _x 、低N ₂ O、低未燃アンモニアを実現。その技術の実証炉適用加速（TRL4）	- 安定・低NO_x燃焼実現のコンセプト提案・検証 - 数値計算支援による実証炉への適用加速	炉内詳細計測，燃焼制御法提案，数値支援・実用適用加速（90%）

委
託

【項目 1 -A】 その 1 アンモニアおよび水素の燃焼挙動解明と低NO_x、低N₂O、低未燃アンモニア排出技術の開発

(2) 研究開発内容(これまでの取組)

研究開発内容	直近のマイルストーン	これまでの（前回からの）開発進捗	進捗度
1 アンモニア炉内燃焼のメカニズム解明に基づく燃焼制御法の確立	アンモニア・メタン混焼での低NO _x 条件の探索と炉内分布計測（2024年度末）	・アンモニア・メタン混焼で様々な条件において実験を行い，NO _x ，N ₂ O，未燃アンモニアを低減可能な条件の探索を実施。 ・サンプリングプローブを用いた手法，および光学的な自発光計測により炉内化学種濃度分布計測を実施。 ・炉内の非接触温度計測法の準備着手	◎ （理由）アンモニア・メタン混焼においてNO _x ，N ₂ O，未燃アンモニアが同時に低下する傾向を確認した．炉内濃度分布計測手法を確立した．
2 水素炉内燃焼のメカニズム解明に基づく燃焼制御法の確立	水素・アンモニア混焼実験の開始と炉内計測準備（2024年度末）	・水素・アンモニア混焼において燃焼実験を行うための設備を整備．炉内分布の計測準備を実施．	◎ （理由）水素・アンモニア混焼の設備整備完了．実験に着手．

2. 研究開発計画

【項目 1-A】その1 アンモニアおよび水素の燃焼挙動解明と低NO_x、低N₂O、低未燃アンモニア排出技術の開発

(2) 研究開発内容(今後の取組)

研究開発内容

直近のマイルストーン

残された技術課題

解決の見通し

1 アンモニア炉内燃焼のメカニズム解明に基づく燃焼制御法の確立

アンモニア・メタン混焼での低NO_x条件の特定と、メカニズムの検討



・これまでに行った実験の結果を基に、アンモニア・メタン混焼において低NO_x、低N₂O、低未燃アンモニアを同時に達成可能な条件を特定する。
・低NO_x、低N₂O、低未燃アンモニアを実現可能な燃焼場に対し、濃度分布、自発光分布計測を行い、メカニズムを解明する。

・これまでの実験で燃焼条件を変更させた場合の傾向は把握済みであるため、低NO_x、低N₂O、低未燃アンモニアの燃焼条件特定は可能である。
・化学種濃度計測、自発光計測により炉内の生成物、ラジカル分布が把握可能なため、メカニズム解明は十分に可能である。

2 水素炉内燃焼のメカニズム解明に基づく燃焼制御法の確立

水素・アンモニア混焼での低NO_x条件の探索と炉内分布計測



・水素・アンモニア混焼で様々な条件において実験を行い、NO_x、N₂O、未燃アンモニアを低減可能な条件の探索を実施する。

・水素・アンモニア混焼条件でも安定燃焼可能であることを確認済みであるため、低NO_x、低N₂O、低未燃アンモニアとなる条件を特定するため、幅広い条件で実験を行うことが可能である。

【項目 1-A】 その 1 アンモニアおよび水素の燃焼挙動解明と低NO_x、低N₂O、低未燃アンモニア排出技術の開発

(3) 実施スケジュール

低NOxアンモニア燃焼時の炉内詳細分布
(温度・流速・化学種濃度)取得. アンモニア燃焼の特性・構造を解明し, NOx濃度
150ppm以下を実現する.

研究開発項目・事業規模

実施主体

実施スケジュール

2021

2025

2030

...

2032

研究開発期間（国費負担有）

社会実装

事業化

▼ ステージゲート審査

▼ ステージゲート審査

研究開発項目

研究開発内容

1. アンモニア、水素の燃焼挙動解明と低NOx、低N2O、低未燃アンモニア排出技術の開発

①アンモニア炉内燃焼のメカニズム解明に基づく燃焼制御法の確立

②水素炉内燃焼のメカニズム解明に基づく燃焼制御法の確立

広島大学，大阪大学，東京大学航空宇宙研，東北大学流体研，茨城大学，山口大学，北海道大学宇宙研

広島大学，大阪大学，東京大学航空宇宙研，東北大学流体研，茨城大学，北海道大学宇宙研

当初計画（前回計画）

実績

当初計画（前回計画）

実績

マイルストーン：NOx抑制メカニズム解明

炉内分布詳細計測

解析・計算

マイルストーン：NOx150ppm以下の燃焼法に目処を立て実証炉へ提案

実機燃焼法提案・検証

マイルストーン：制御法確立

実機大型炉燃焼法提案・検証

炉内分布詳細計測

実験開始

連携

マイルストーン：燃焼特性解明 低NO_x条件特定

燃焼実験

マイルストーン：NOx150ppm以下の燃焼法に目処を立て実証炉へ提案

実機燃焼法提案・検証

マイルストーン：制御法確立

実機大型炉燃焼法提案・検証

【項目1-A】

委託

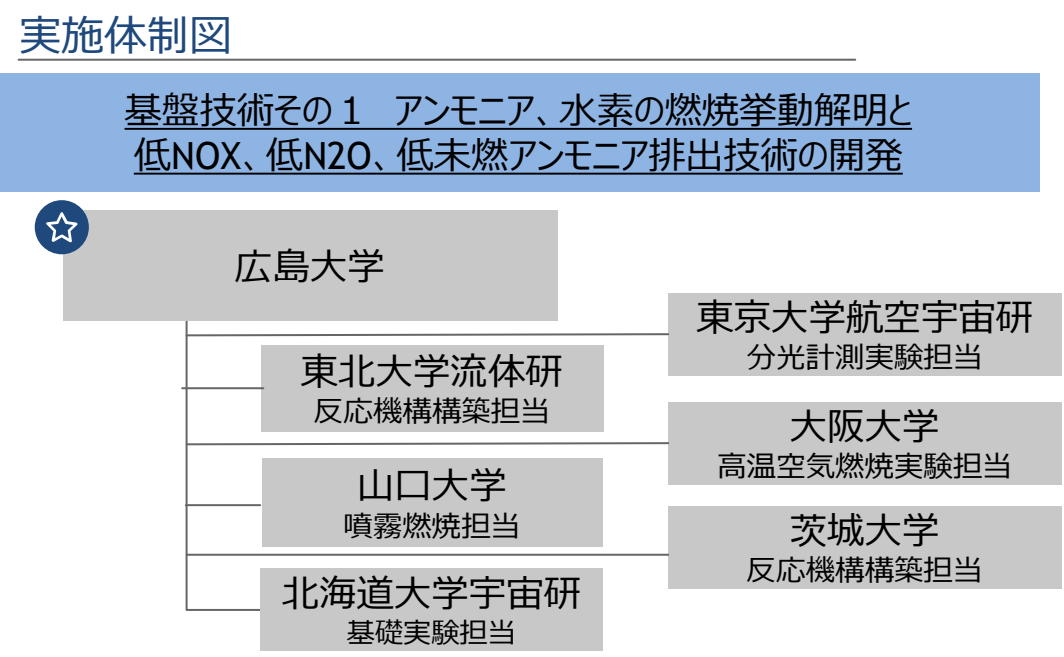
：ステージゲート審査

委託

【項目1-A】

【項目 1 -A】 その 1 アンモニアおよび水素の燃焼挙動解明と低NO_x、低N₂O、低未燃アンモニア排出技術の開発

(4) 研究開発体制



各主体の役割と連携方法

各主体の役割

- アンモニア・水素炉内燃焼の基礎的解明に基づく燃焼制御法の確立の取りまとめは広島大学が行う

研究開発における連携方法（共同提案者間の連携）

- 1 - A その 2「アンモニアおよび水素燃焼が被加熱物に及ぼす影響の解明とその制御技術の開発」と連携して、実炉環境に近いベンチスケール炉での試験片加熱試験を行う。
- 1 - A その 3「設計シミュレーション技術の開発」にCFD検証用の結果を提供する。

【項目 1-A】その1 アンモニアおよび水素の燃焼挙動解明と低NO_x、低N₂O、低未燃アンモニア排出技術の開発

(5) 技術的優位性

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
1.アンモニア、水素の燃焼挙動解明と低NO _x 、N ₂ O、未燃アンモニア排出技術の開発	1 アンモニア炉内燃焼のメカニズム解明に基づく燃焼制御法の確立	アンモニア／メタン混焼対応，高温空気燃焼ベンチスケール炉	→ アンモニアに対応した基礎研究用高温空気燃焼炉での燃焼実験実績あり
	2 水素炉内燃焼のメカニズム解明に基づく燃焼制御法の確立	ベンチスケール炉における高温空気燃焼条件での光学計測	→ 国内最大級の石英窓を利用した計測実績あり

【項目 1-A】 その2 アンモニアおよび水素燃焼が被加熱物に及ぼす影響の解明と影響制御技術の開発

(1) 研究開発目標

研究開発項目		アウトプット目標		
アンモニアおよび水素燃焼が被加熱物に及ぼす影響の解明とその制御技術の開発		従来燃料による被加熱物の機械特性と比べて、アンモニアおよび水素燃料による被加熱物の機械特性との差異が25%以内となる燃焼条件を特定		
研究開発内容		KPI	KPI設定の考え方	
1	アンモニア燃焼場が被加熱物に及ぼす影響の解明とモデル化	従来燃料による被加熱物の機械特性と比べて、アンモニアによる被加熱物の機械特性との差異が25%以内となるアンモニア燃焼条件を特定	CN対応工業炉の社会実装には、現状と同等性能の製品をアンモニア燃焼場による加熱で得ることが必須であるため	
2	水素燃焼場が被加熱物に及ぼす影響の解明とモデル化	従来燃料による被加熱物の機械特性と比べて、水素による被加熱物の機械特性との差異が25%以内となる水素燃焼条件を特定	CN対応工業炉の社会実装には、現状と同等性能の製品を水素燃焼場による加熱で得ることが必須であるため	

委
託

【項目1-A】

KPI設定の考え方（補足）

性能の指標となる様々な機械特性のうち、強度を主な対象として想定。強度が25%変わると製品のグレードが変わるため（例：鉄鋼材の590、780、980、1180MPaグレード）、KPIでは「現状と同等性能」とみなす数値的な指標として、25%以内を設定。

【項目 1-A】 その2 アンモニアおよび水素燃焼が被加熱物に及ぼす影響の解明と影響制御技術の開発

(2) 研究開発内容（全体像）

	KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 (成功確率)
1 アンモニア燃焼場が被加熱物に及ぼす影響の解明とモデル化	被加熱物の機械特性の差異が従来比25%以内のアンモニア燃焼条件を特定	アンモニア由来のラジカルが被加熱物に及ぼす影響は未知 (TRL 1)	影響の解明とモデル化により、適切な燃焼加熱条件を予測 (TRL 4)	- 気相・表面・固相における化学反応・吸着・窒化を伴う熱物質移動の統合モデル開発 - 統合モデル開発 - 反応モデル開発 - 吸着係数計測 - 窒化材の解析 - 被加熱試験	- 影響の有無の把握 (100%) - 影響の定性予測 (80%) - 影響の定量予測 (50%)
2 水素燃焼場が被加熱物に及ぼす影響の解明とモデル化	被加熱物の機械特性の差異が従来比25%以内の水素燃焼条件を特定	水素由来のラジカルが被加熱物に及ぼす影響は未知 (TRL 1)	影響の解明とモデル化により、適切な燃焼加熱条件を予測 (TRL 4)	- 気相・表面・固相における化学反応・吸着・脆化を伴う熱物質移動の統合モデル開発 - 統合モデル開発 - 反応モデル開発 - 吸着係数計測 - 脆化計測 - 被加熱試験	- 影響の有無の把握 (100%) - 影響の定性予測 (80%) - 影響の定量予測 (50%)

委
託

【項目1-A】

【項目 1-A】 その2 アンモニアおよび水素燃焼が被加熱物に及ぼす影響の解明と影響制御技術の開発

(2) 研究開発内容（これまでの取組）

研究開発内容	直近のマイルストーン	これまでの（前回からの）開発進捗	進捗度
1 アンモニア燃焼場が被加熱物に及ぼす影響の解明とモデル化	燃焼場における窒化モデル構築（2025年度末）	・加熱試験装置、表面試験装置、材料解析装置の構築及び改良を進めた。 ・先導研究におけるアンモニア／LNG混焼の加熱試験片の材料解析を実施した。 ・気相反応モデルの初期版を作成した。	○ 契約の遅れにより一部物品の納品に遅れが生じているが、おおむね計画通りの進捗である。
2 水素燃焼場が被加熱物に及ぼす影響の解明とモデル化	燃焼場における脆化モデル構築（2025年度末）	・加熱試験装置、表面試験装置、材料解析装置の構築及び改良を進めた。 ・気相反応モデルの初期版を作成した。	○ 契約の遅れにより一部物品の納品に遅れが生じているが、おおむね計画通りの進捗である。

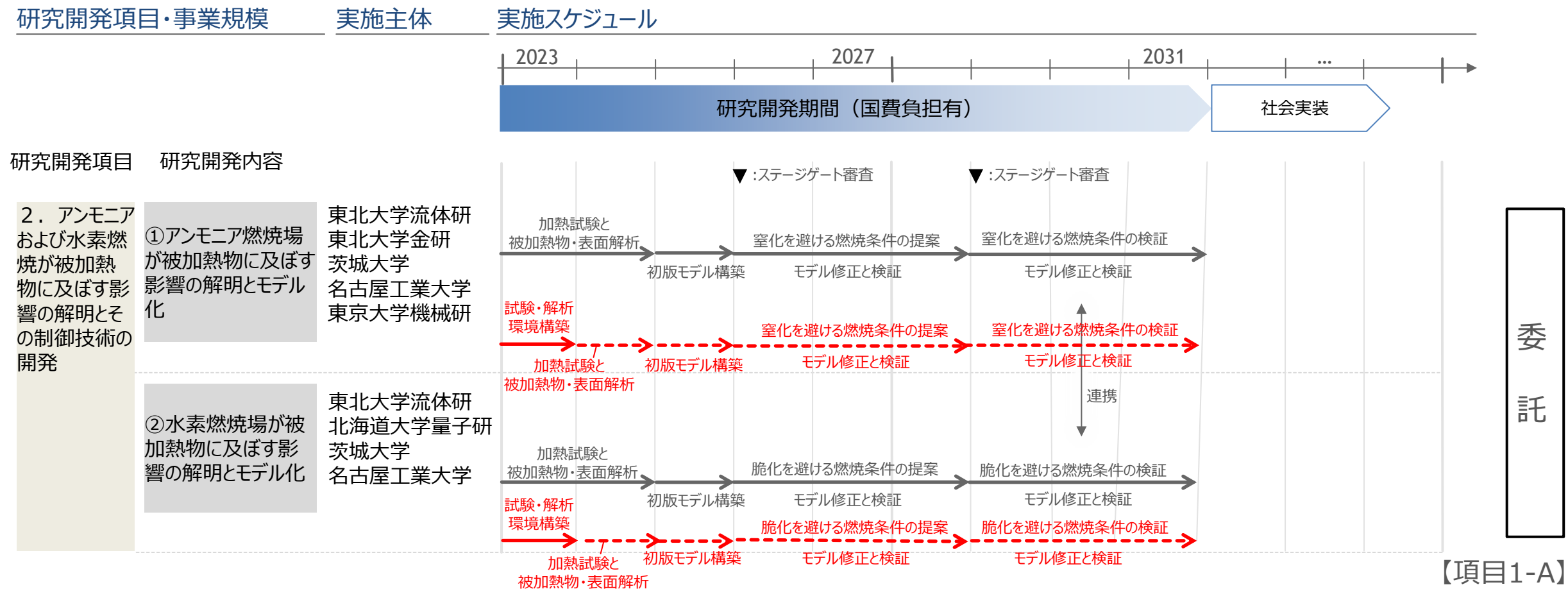
【項目 1-A】 その2 アンモニアおよび水素燃焼が被加熱物に及ぼす影響の解明と影響制御技術の開発

(2) 研究開発内容（今後の取組）

研究開発内容	直近のマイルストーン	残された技術課題	解決の見通し
1 アンモニア燃焼場が被加熱物に及ぼす影響の解明とモデル化	燃焼場における窒化モデル構築（2025年度末）	・アンモニア火炎により加熱した試験片を解析し、影響の有無または影響を生じる燃焼条件を把握する。	・構築および改良した試験装置により、加熱試験、表面試験、材料解析を進める。 ・気相・表面燃焼反応機構の解析を進める。
2 水素燃焼場が被加熱物に及ぼす影響の解明とモデル化	燃焼場における脆化モデル構築（2025年度末）	・水素火炎により加熱した試験片を解析し、影響の有無または影響を生じる燃焼条件を把握する。	・構築および改良した試験装置により、加熱試験、表面試験、材料解析を進める。 ・気相・表面燃焼反応機構の解析を進める。

【項目 1-A】 その2 アンモニアおよび水素燃焼が被加熱物に及ぼす影響の解明と影響制御技術の開発

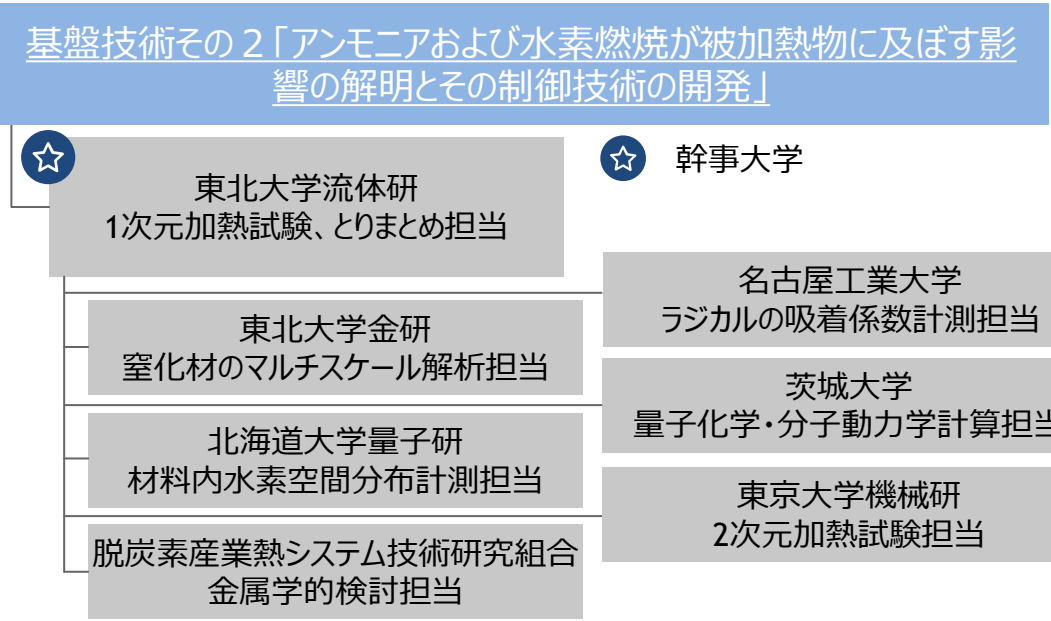
(3) 実施スケジュール



【項目 1 -A】 その2 アンモニアおよび水素燃焼が被加熱物に及ぼす影響の解明と影響制御技術の開発

(4) 研究開発体制

実施体制図



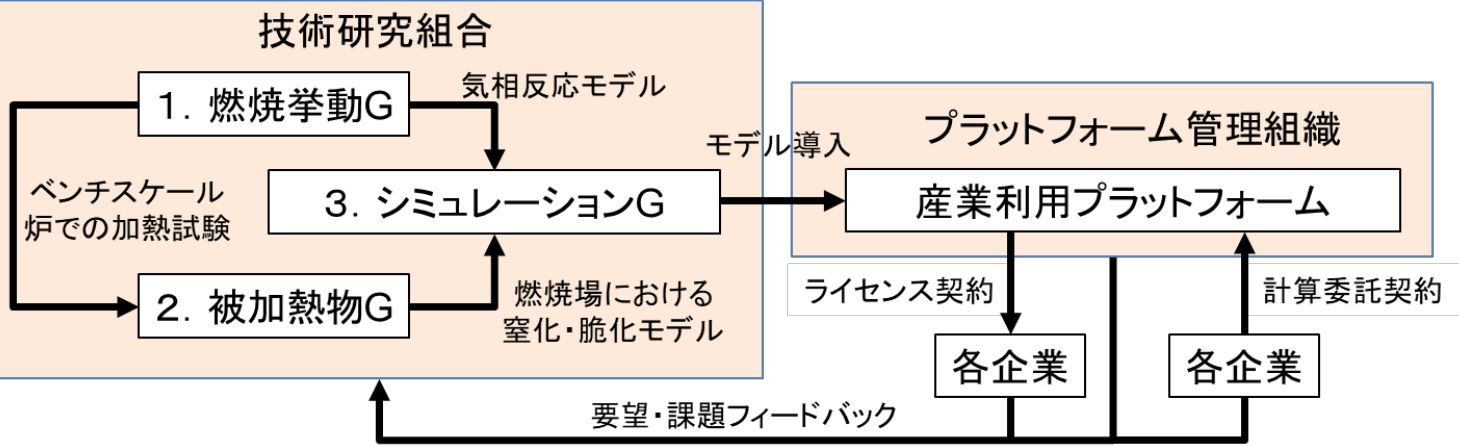
各主体の役割と連携方法

各主体の役割

- 基盤技術その2「アンモニアおよび水素燃焼が被加熱物に及ぼす影響の解明とその制御技術の開発」の取りまとめは東北大学流体研が行う
- 北海道大学量子研は中性子およびX線散乱手法による材料内部における水素空間分布計測を実施する
- 東北大学流体研は1次元加熱試験を実施する
- 東北大学金研は窒化材のマルチスケール解析を実施する
- 茨城大学は量子化学計算と分子動力学計算による素過程の解析を実施する
- 名古屋工業大学は分子線散乱装置によるラジカル吸着係数計測を実施する
- 東京大学機械研は2次元加熱試験を実施する
- 脱炭素産業熱システム技術研究組合は金属学的検討を実施する

研究開発における連携方法（共同提案者間の連携）

- 基盤技術その1「アンモニア、水素の燃焼挙動解明と低NOx、低N2O、低未燃アンモニア排出技術の開発」と連携して、実炉環境に近いベンチスケール炉での加熱試験結果を分析し、モデル検証を行う。
- 基盤技術その3「設計シミュレーション技術の開発」に検証された燃焼場における窒化・脆化モデルを提供する。



共同提案者以外の本プロジェクトにおける他実施者等との連携

- 実機スケールのシミュレーションにおいて出る要望や課題のフィードバックを受けて基礎試験および解析を追加し、燃焼場における窒化・脆化モデルのアップデートとメンテナンスを実施しつつ、現状と同等性能の製品を実現する燃焼条件を提案する。
- 多様な熱プロセスにおける個別の加熱条件や被加熱物対象にモデルの検証条件を拡大する。

【項目 1-A】 その2 アンモニアおよび水素燃焼が被加熱物に及ぼす影響の解明と影響制御技術の開発

(5) 技術的優位性

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
アンモニアおよび水素燃焼が被加熱物に及ぼす影響の解明とその制御技術の開発	1 アンモニア燃焼場が被加熱物に及ぼす影響の解明とモデル化	- 対向流火炎による被加熱試験（東北大学流体研） - 窒化材のマルチスケール組織・特性解析（東北大学金研） - 衝突噴流火炎装置による2次元加熱試験（東京大学機械研） - 分子線装置による窒素系ラジカル吸着計測（名古屋工業大学）	→ - 燃焼と材料の連成現象を観察できる一次元のwell-defined場を設定可能 → - 力学特性を支配するnmからmmでの窒素と元素の相互作用を解析可能 → - 気相中の化学種分布計測と固体中の窒素原子濃度分布の計測により統合モデルの検証が可能 → - 表面反応モデルのための定量データを直接的に取得可能
	2 水素燃焼場が被加熱物に及ぼす影響の解明とモデル化	- 量子化学計算と化学反応の統計論を利用した水素・アンモニア反応過程の解明とモデル化（茨城大学） - 中性子小角散乱によるppmオーダーの水素局在状態の解析（北海道大学量子研） - 分子線装置による水素ラジカル吸着計測（名古屋工業大学）	→ - 現象を素過程から解析することが可能 → - X線および中性子小角散乱の複合利用によるナノスケールの微細組織組成の半定量化 → - 表面反応モデルのための定量データを直接的に取得可能

【項目1-A】

委託

【項目 1 -A】 その3 設計シミュレーション・準定常デジタルツイン技術の開発

(1) 研究開発目標

研究開発項目

設計シミュレーション技術・準定常デジタルツイン技術の開発

アウトプット目標

工業炉の既存データおよび数値実験に基づき、アンモニアおよび水素の燃焼モデルの開発を行う。アンモニアおよび水素燃焼に対応した工業炉の最適設計が計算可能なシミュレーションシステムおよびそれを利用した準定常デジタルツイン技術を開発する。

研究開発内容

1 アンモニア燃焼のモデル化とアンモニア燃焼炉数値シミュレーション技術開発

2 水素燃焼のモデル化と水素燃焼炉数値シミュレーション技術開発

3 電気加熱のモデル化とハイブリッド加熱炉数値シミュレーション技術開発

KPI

3年間でベンチスケール工業炉データを対象に精度検証が実施された燃焼モデルを開発する。その後、実証スケール工業炉への適用を図るとともに、更なる高精度化を図る。また、窒化・金属腐食モデルとのカップリングを図り、製品品質への影響評価が可能とする。

3年間でベンチスケール工業炉データを対象に精度検証が実施された燃焼モデルを開発する。その後、実証スケール工業炉への適用を図るとともに、更なる高精度化を図る。また、脆化・窒化・金属腐食モデルとのカップリングを図り、製品品質への影響評価が可能とする。

3年間で、電気加熱特性に関する精度検証が実施された電気加熱モデルを開発する。加えて、ベンチスケールアンモニア・水素燃焼工業炉データに基づき開発されたアンモニア・水素燃焼モデルの電気炉シミュレーションへの適用を図るとともに、高精度化を図る。

KPI設定の考え方

未だ確立されていない工業炉条件に適用可能な燃焼モデルを新たに開発する。

未だ確立されていない工業炉条件に適用可能な燃焼モデルを新たに開発する。

未だ確立されていない電気炉条件に適したハイブリッド加熱モデルを選定する。

委
託

【項目 1 -A】 その3 設計シミュレーション・準定常デジタルツイン技術の開発

(2) 研究開発内容（全体像）

	KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 （成功確率）
1 アンモニア燃 焼のモデル 化とアンモニ ア燃焼炉数 値シミュレ ーション技術開 発	3年間でベンチスケール工業炉データを対象に 精度検証が実施された燃焼モデルを開発する。 その後、実証スケール工業炉への適用を図る とともに、更なる高精度化を図る。また、窒 化・金属腐食モデルとのカップリングを図り、製 品品質への影響評価が可能とする。	高精度モデル開 発の途上にある （TRL2）	燃焼メカニズムの理 解促進と高精度モ デルの提案 （TRL3） 高精度モデルを用 いるシミュレーシ ョンにより要素技術 設計が可能（TRL4）	- 燃焼特性・低NOx燃焼メカニズム解明とモデル化 - 設計現場で活用可能なプラットフォーム構築	シミュレーション用コー ドはソースコードレベ ルで開発を進めてきてお り、柔軟な開発が可 能（90%）
2 水素燃焼の モデル化と水 素燃焼炉数 値シミュレ ーション技術開 発	3年間でベンチスケール工業炉データを対象に 精度検証が実施された燃焼モデルを開発する。 その後、実証スケール工業炉への適用を図る とともに、更なる高精度化を図る。また、脆 化・窒化・金属腐食モデルとのカップリングを図 り、製品品質への影響評価が可能とする。	高精度モデル開 発の途上にある （TRL2）	燃焼メカニズムの理 解促進と高精度モ デルの提案 （TRL3） 高精度モデルを用 いるシミュレーシ ョンにより要素技術 設計が可能（TRL4）	- 燃焼特性・低NOx燃焼メカニズム解明とモデル化 - 設計現場で活用可能なプラットフォーム構築	シミュレーション用コー ドはソースコードレベ ルで開発を進めてきてお り、柔軟な開発が可 能（90%）
3 電気加熱の モデル化とハ イブリッド加 熱炉数値シ ミュレーション 技術開発	3年間で、電気加熱特性に関する精度検証 が実施された電気加熱モデルを開発する。加 えて、ベンチスケールアンモニア・水素燃焼工 業炉データに基づき開発されたアンモニア・水 素燃焼モデルの電気炉シミュレーションへの適 用を図るとともに、高精度化を図る。	ハイブリッド加熱 原理は理解の途 上にある （TRL1）	ハイブリッド加熱原 理の理解促進と高 精度モデルの提案 （TRL3） 高精度モデルを用 いるシミュレーシ ョンにより要素技術 設計が可能（TRL4）	- 電気・燃焼ハイブリッド加熱のモデル化 - 設計現場で活用可能なプラットフォーム構築	シミュレーション用コー ドはソースコードレベ ルで開発を進めてきてお り、柔軟な開発が可 能（90%）

委
託

2. 研究開発計画

【項目 1-A】 その3 設計シミュレーション・準定常デジタルツイン技術の開発

(2) 研究開発内容（これまでの取組）

研究開発内容	直近のマイルストーン	これまでの（前回からの）開発進捗	進捗度
1 アンモニア燃焼のモデル化とアンモニア燃焼炉数値シミュレーション技術開発	・アンモニア燃焼モデルの開発と精度検証 ・被加熱物に対する特徴化学種抽出 ・RANS燃焼計算高速化手法導入	・工業炉条件において適切なアンモニア燃焼用化学反応メカニズムの調査 ・アンモニア燃焼用ラボスケールバーナ装置における光学計測システム構築 ・RANS法による10 kW燃焼炉のアンモニア-化石燃料混焼燃焼条件におけるNOx排出量の定性的予測	◎ ・60以上のアンモニア燃焼用化学反応メカニズムの調査および選定を実施した ・NOおよびNHラジカル濃度計測用光学計測システムを構築した ・10 kW燃焼炉のRANS法計算によりNOx排出量予測精度の検証を実施した
2 水素燃焼のモデル化と水素燃焼炉数値シミュレーション技術開発	・水素燃焼モデルの開発と精度検証 ・被加熱物に対する特徴化学種抽出 ・RANS法による燃焼計算高速化手法導入	・工業炉条件において適切な水素燃焼用化学反応メカニズムの調査 ・水素燃焼用ラボスケールバーナ装置における光学計測システム構築 ・RANS法によるラジアントチューブの燃焼計算の精度検証	◎ ・60以上のアンモニア燃焼用化学反応メカニズムの調査および選定を実施した ・NOおよびNHラジカル濃度計測用光学計測システムを構築した ・ラジアントチューブのRANS法計算によりNOx排出量予測精度の検証を実施した
3 電気加熱のモデル化とハイブリッド加熱炉数値シミュレーション技術開発	・アンモニア・水素燃焼モデルと電気加熱モデルとのハイブリッドモデル開発	・電気炉の運転条件に適した既存の電気加熱モデルの調査	◎ ・実機電気炉の形状および運転条件を参考にして、既存の加熱モデルの調査を実施した

2. 研究開発計画

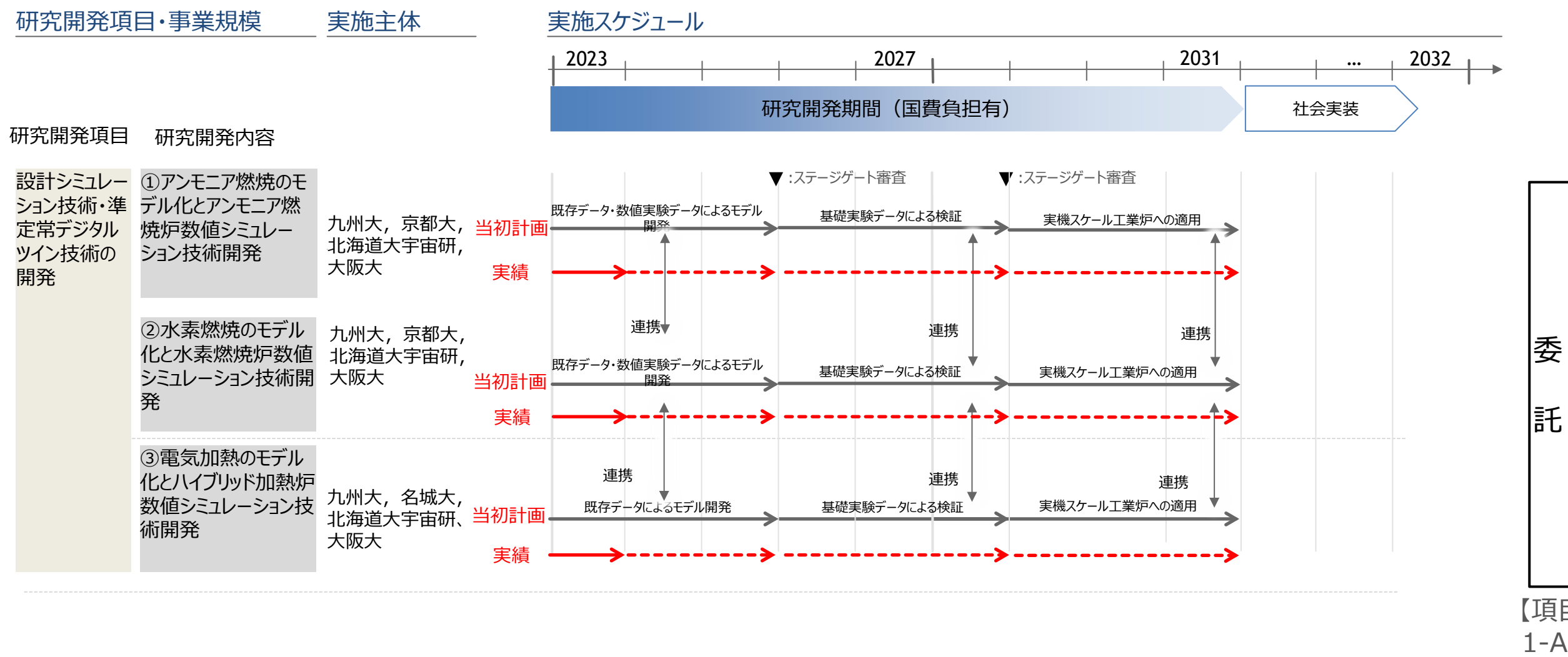
【項目 1-A】 その3 設計シミュレーション・準定常デジタルツイン技術の開発

(2) 研究開発内容（今後の取組）

研究開発内容	直近のマイルストーン	残された技術課題	解決の見通し
1 アンモニア燃焼のモデル化とアンモニア燃焼炉数値シミュレーション技術開発	・アンモニア燃焼モデルの開発と精度検証 ・被加熱物に対する特徴化学種抽出 ・RANS燃焼計算高速化手法導入	・噴流アンモニア火炎の数値実験による燃焼特性の解明, アンモニア燃焼モデルの開発, およびベンチスケール炉実験データによる精度検証 ・ラボスケールバーナの実験データおよび数値解析データからのNOx生成および被加熱物に対する特徴化学種の抽出 ・RANS法による燃焼計算による10 kW燃焼炉のアンモニア専焼条件のNOx生成量定性的予測, および計算高速化手法の開発	・噴流アンモニア火炎の数値実験に着手済み, アンモニア燃焼モデルの検討およびベンチスケール炉実験データの分析を実施中であり, 順調に進捗している ・ラボスケールバーナの実験データおよび数値解析データからのNOx生成に関する特徴化学種について分析中であり, 順調に進捗している ・RANS法によるアンモニア専焼条件における10 kW燃焼炉の燃焼計算に着手済みであり, 順調に進捗している
2 水素燃焼のモデル化と水素燃焼炉数値シミュレーション技術開発	・水素燃焼モデルの開発と精度検証 ・被加熱物に対する特徴化学種抽出 ・RANS法による燃焼計算高速化手法導入	・噴流水素火炎の数値実験による燃焼特性の解明, 水素燃焼モデルの開発, およびベンチスケール炉実験データによる精度検証 ・ラボスケールバーナの実験データおよび数値解析データからのNOx生成および被加熱物に対する特徴化学種の抽出 ・RANS法による燃焼計算によるベンチマーク水素火炎のNOx生成量定性的予測, および計算高速化手法の開発	・噴流水素火炎の数値実験に着手済み, 水素燃焼モデルの検討およびベンチスケール炉実験データの分析を実施中であり, 順調に進捗している ・ラボスケールバーナの実験データおよび数値解析データからのNOx生成に関する特徴化学種について分析中であり, 順調に進捗している ・RANS法によるベンチマーク水素火炎の燃焼計算に着手済みであり, 順調に進捗している
3 電気加熱のモデル化とハイブリッド加熱炉数値シミュレーション技術開発	・アンモニア・水素燃焼モデルと電気加熱モデルとのハイブリッドモデル開発	・簡易形状の電気炉を対象とする数値シミュレーション ・アンモニア・水素燃焼モデルの導入による電気加熱モデルとのハイブリッドモデルの開発	・簡易形状の電気炉を対象とする数値シミュレーションに着手済みであり, 順調に進捗している

【項目 1-A】 その3 設計シミュレーション・準定常デジタルツイン技術の開発

(3) 実施スケジュール



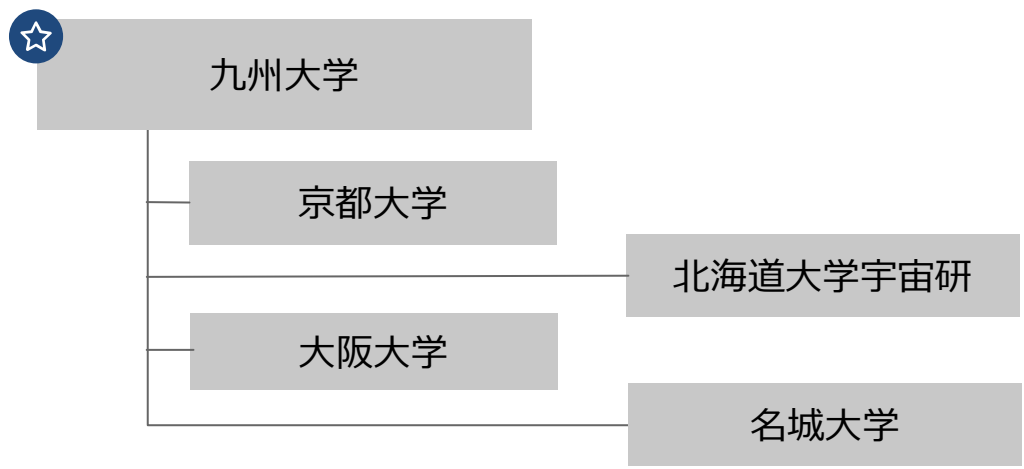
委
託

【項目 1 -A】 その3 設計シミュレーション・準定常デジタルツイン技術の開発

(4) 研究開発体制

実施体制図

基盤技術その3「設計シミュレーション技術・準定常デジタルツインの技術開発」



各主体の役割と連携方法

各主体の役割

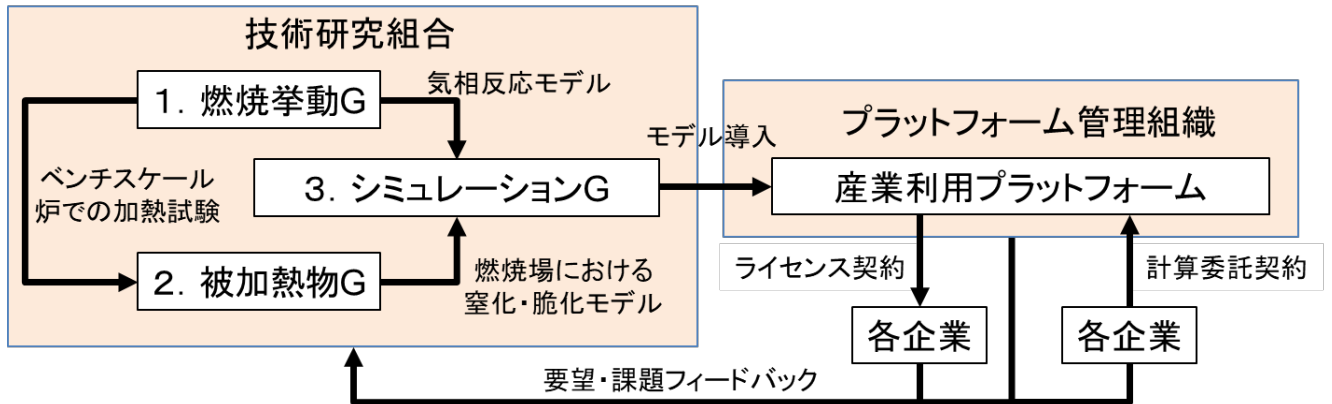
- アンモニア・水素・電気炉の各シミュレーション・準定常デジタルツインの技術開発の取りまとめは、九州大学が行う
- 九州大学は、アンモニア燃焼，水素燃焼，および電気加熱・ハイブリッド加熱を担当する
- 京都大学は、アンモニア燃焼，および水素燃焼を担当する
- 北海道大学宇宙研は、アンモニア燃焼，水素燃焼，および電気加熱・ハイブリッド加熱を担当する
- 大阪大学は、アンモニア燃焼，水素燃焼，および電気加熱・ハイブリッド加熱を担当する
- 名城大学は、電気加熱・ハイブリッド加熱を担当する

研究開発における連携方法（共同提案者間の連携）

- 開発された高精度モデル等研究成果は、産業利用プラットフォームへ導入・集約し，産業利用に資することを前提にして，モデルやコードの設計方針について共同提案者間の密な連携を行う

共同提案者以外の本プロジェクトにおける他実施者等との連携

- （特に大学、研究機関等のみで提案する場合、この記載は必須。）
- 開発された高精度モデルの適用先である工業炉の運転条件範囲を反映させたモデル適用性を検討する
 - 産業利用プラットフォームの動作検証は，実機スケール工業炉にて実施する



【項目 1 -A】 その3 設計シミュレーション・準定常デジタルツイン技術の開発

(5) 技術的優位性

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
設計シミュレーション技術・準定常デジタルツイン技術の開発	1 アンモニア燃焼のモデル化とアンモニア燃焼炉数値シミュレーション技術開発	- 直接数値計算法／ラージ・エディ・シミュレーション法コードFK³ (Kai et al., J Hydrogen Energy (2023), Yu et al., Phys Fluids (2023), http://www.tse.me.kyoto-u.ac.jp/members/kurose/link.php) - 直接数値計算法／ラージ・エディ・シミュレーション法／レイノルズ平均ナビエ・ストークス法／燃焼-構造連成法コードFFR-Comb (Yu et al., Flow Turbu Combust (2021), Yadav et al., Energy (2023))	→ - 燃焼トップジャーナルの掲載例が多数あり，基礎研究用コードとして世界的な技術的優位性をもつ - 燃焼トップジャーナルの掲載例が多数かつ産業界での活用例が豊富であり，応用研究用コードとして世界的な技術的優位性をもつが，既存汎用商用コードは開発資金が豊富であるため，優位性確保のため新規モデルの導入は速やかに実施する必要がある
	2 水素燃焼のモデル化と水素燃焼炉数値シミュレーション技術開発	- 直接数値計算法／ラージ・エディ・シミュレーション法コードFK³ (Kai et al., J Hydrogen Energy (2023), Yu et al., Phys Fluids (2023), http://www.tse.me.kyoto-u.ac.jp/members/kurose/link.php) - ラージ・エディ・シミュレーション法／レイノルズ平均ナビエ・ストークス法／燃焼-構造連成法コードFFR-Comb (Yu et al., Flow Turbu Combust (2021), Yadav et al., Energy (2023))	→ - 燃焼トップジャーナルの掲載例が多数あり，基礎研究用コードとして世界的な技術的優位性をもつ - 燃焼トップジャーナルの掲載例が多数かつ産業界での活用例が豊富であり，応用研究用コードとして世界的な技術的優位性をもつが，既存汎用商用コードは開発資金が豊富であるため，優位性確保のため新規モデルの導入は速やかに実施する必要がある
	3 電気加熱のモデル化とハイブリッド加熱炉数値シミュレーション技術開発	ラージ・エディ・シミュレーション法／レイノルズ平均ナビエ・ストークス法／燃焼-構造連成法コードFFR-Comb (Yu et al., Flow Turbu Combust (2021), Yadav et al., Energy (2023))	→ 燃焼トップジャーナルの掲載例が多数かつ産業界での活用例が豊富であり，応用研究用コードとして世界的な技術的優位性をもつが，既存汎用商用コードは開発資金が豊富であるため，優位性確保のため新規モデルの導入は速やかに実施する必要がある

委
託

2. 研究開発計画

【項目1-A】 その4 非定常デジタルツイン技術の開発

(1) 研究開発目標

研究開発項目

1. 100kW試験炉におけるアンモニア燃焼試験データを用いたデジタルツインプロトタイプ構築

アウトプット目標

100kW試験炉におけるアンモニア専焼、都市ガス/アンモニア混焼時の排ガス成分、炉内燃焼状態を制御するデジタルツインプラットフォームを構築する。
バーナー等の機器改良、取付状態は変更せず、供給条件、試験状態のみを操作、社会実装を想定した計測技術、運用コスト、標準化の評価も行う。

研究開発内容

① 100kW試験炉
データサンプリング

② 試験データ分析・制御
方式の検討/準備

③ 100kW試験炉制御
検証試験と制御方式
の修正

④ 計測技術/運用コスト
の評価、標準化検討

KPI

応答性に優れたセンサー技術の適用とともに、年間10パターン程度の供給条件、炉内状態時の100kW試験炉燃焼試験データ取得(2年間で20～30程度のパターン数)

取得データ(センサー数50程度)を用いた燃焼挙動の分析と要求条件(排ガス計測位置における未燃アンモニア/NOxの最小化)を満たす制御方式の検討、制御に必要なハード/ソフト準備

100kW試験炉における要求条件(排ガス計測位置における未燃アンモニア/NOxの最小化)検証試験実施、評価と必要に応じた制御方式の修正

要求条件(排ガス位置における未燃アンモニア/NOxの最小化)を可能とする制御に必要な計測技術の評価と制御技術の標準化策定

KPI設定の考え方

異なる組み合わせ条件における燃焼試験を実施、コンベンショナルな計測データとともに、炉内In-situ計測の時系列データを取得

取得データ分析による燃焼挙動把握、排ガス成分、炉内燃焼状態などを制御する方式の検討・準備

検討制御方式を用いた検証試験実施、検証試験結果に応じた制御方式の修正

制御に必要な計測技術の難易度、コスト、運用方法などを評価、社会実装を想定した共通技術の標準化

委
託

【項目1-A】

2. 研究開発計画

【項目1-A】 その4 非定常デジタルツイン技術の開発

(2) 研究開発内容（全体像）

研究開発内容	KPI	現状	達成レベル (2030年)	解決方法	実現可能性 (成功確率)
1 100kW試験炉 データサンプリング	様々な供給条件、 炉内状態時の 100kW試験炉 燃焼試験データ 取得	10kW級燃焼 試験炉にて時 系列データ取 得・評価 (提案時TRL2 →現状TRL3)	試験データ取 得・評価 (TRL3)	- 各計測時系列データを取得 - データ取得方法を検討・決定	10kW級燃焼試 験炉にて時系列 データ取得検証 済み (80%)
2 試験データ分析・ 制御方式の検討 /準備	取得データを用い た燃焼挙動の分 析要求条件を満 たす制御方式の 検討制御に必要 なハード/ソフト準 備	ハード/ソフト要 件検討 (提案時TRL- →現状TRL3)	試験データ取 得・評価 (TRL3)	- 取得した時系列データを分析 - 供給条件・炉内状態の制御方法検 討・準備	外注先にて民間 企業向け実機制 御実績あり (60%) ※
3 100kW試験炉 制御検証試験と 制御方式の修正	100kW試験炉 における検証試 験必要に応じた 制御方式の修正	コンセプト検討 (提案時TRL- →現状TRL2)	個々の試験炉 におけるプロト タイプ実証 (TRL4)	- 検証試験を実施 - 検証結果に応じて制御方法を修正・追 加検証を実施	外注先にて民間 企業向け実機制 御実績あり (60%) ※
4 計測技術/運用 コストの評価、標 準化検討	制御に必要な計 測技術の評価制 御技術の標準化 策定	コンセプト検討 (提案時TRL- →現状TRL2)	技術標準化 (TRL6)	- 制御に必要な機器の運用・コスト評価 - 制御技術社会実装に向け標準化策定 - 他仕様・他条件への転用を見据えた拡 張手順の策定 - 上記内容を含めたレポートを作成	外注先にて民間 企業向け実機制 御実績あり (60%) ※

委
託

【項目1-A】

※：民間企業にて実績あり、ただし高度化必要

2. 研究開発計画

【項目 1-A】 その4 非定常デジタルツイン技術の開発

(2) 研究開発内容（これまでの取組）

研究開発内容	直近のマイルストーン	これまでの（前回からの）開発進捗	進捗度
1 100kW試験炉 データサンプリング	試験データ取得	・ 燃焼試験を複数回行い時系列データを取得 ・ 得られたデータを元に幅広い結果が得られるような実験条件を検討	○ 計測、制御装置追加前の現状の試験炉でデータ取得中である。
2 試験データ分析・ 制御方式の検討 /準備	取得データ分析	・ 燃焼試験のデータを分析してNOx、アンモニア排出量に与える影響の因子を調査 ・ NOx排出量に相関のある計測値に関して文献調査、計測装置の候補を調査、導入検討	○ データの分析と並行して装置の検討、調達を進めている。
3 100kW試験炉 制御検証試験と 制御方式の修正	検証試験	・ 制御装置の要求仕様の検討 ・ 分析したデータを元に予測モデルを検討、作成開始	○ 最適な試験条件の検討を進めている。
4 計測技術/運用 コストの評価、標準化検討	標準化	・ 100kW試験炉の実験条件、計測装置、制御装置の検討	○ 装置の検討、調達を進めている。

2. 研究開発計画

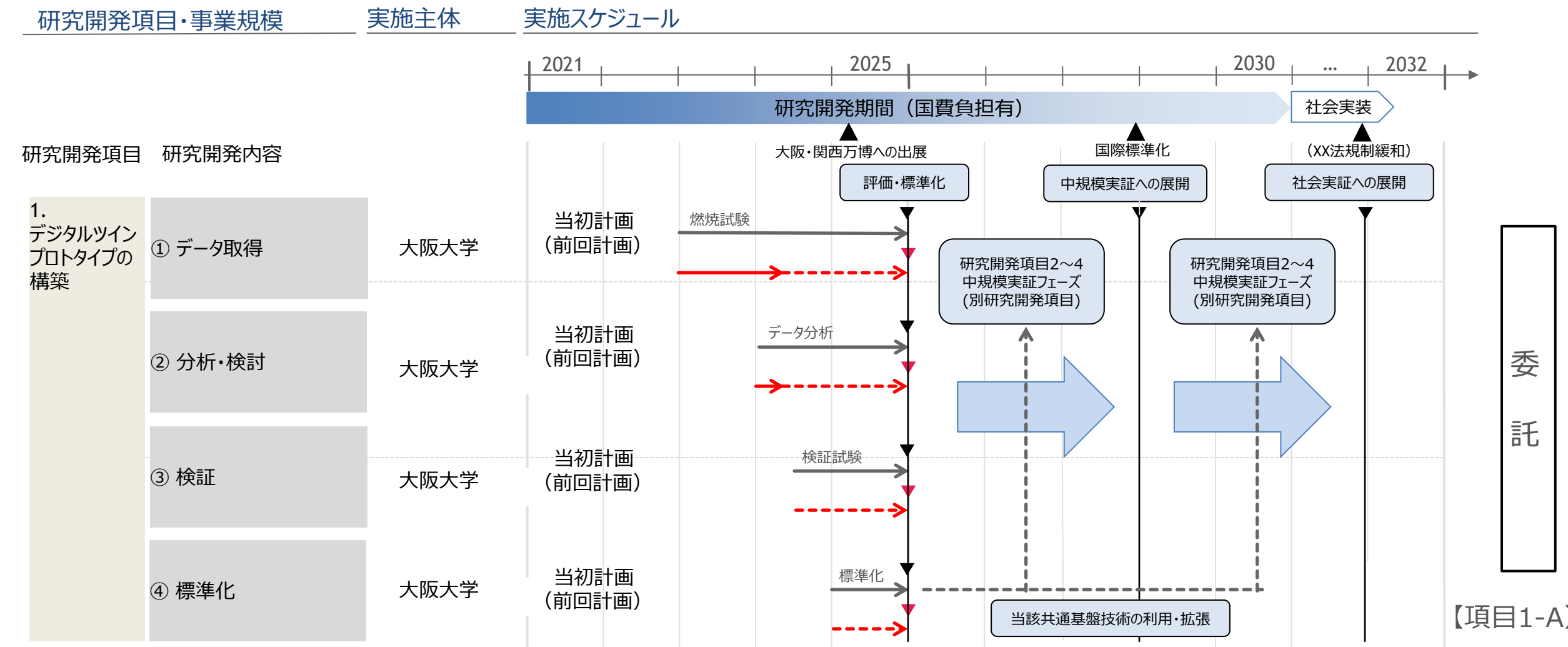
【項目 1-A】 その4 非定常デジタルツイン技術の開発

(2) 研究開発内容（今後の取組）

研究開発内容	直近のマイルストーン	残された技術課題	解決の見通し
1 100kW試験炉 データサンプリング	試験データ取得	計測、制御装置追加後に燃焼試験を行い時系列データを取得	計測、制御装置の選定、調達中である。
2 試験データ分析・ 制御方式の検討 /準備	取得データ分析	計測、制御装置追加後の燃焼試験のデータを分析してNOx、アンモニア排出量に与える影響の因子を調査して追加した計測装置を評価	計測、制御装置の選定、調達中であり、分析の手法は確立している。
3 100kW試験炉 制御検証試験と 制御方式の修正	検証試験	予測モデルで最適条件を検討して検証試験を実施	実験データを蓄積することでモデルの予測精度が見込まれる。
4 計測技術/運用 コストの評価、標 準化検討	標準化	実機の運転条件、装置に関して検討	実機の情報収集を進めている。

【項目 1-A】 その4 非定常デジタルツイン技術の開発

2 (3) 実施スケジュール

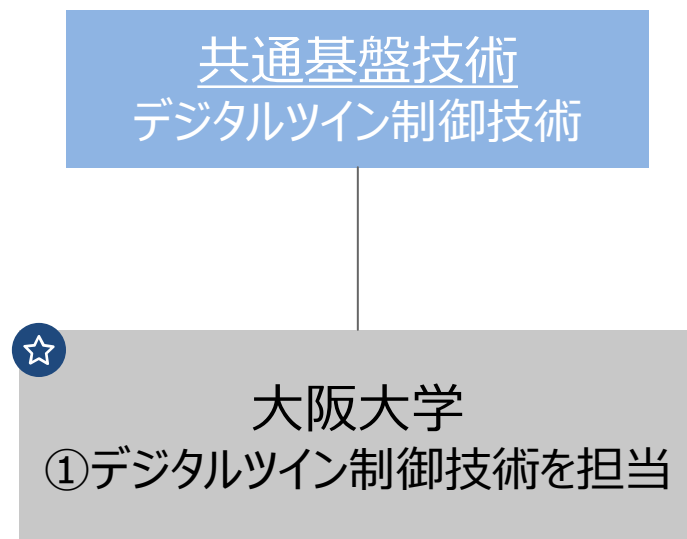


2. 研究開発計画

【項目 1-A】 その4 非定常デジタルツイン技術の開発

(4) 研究開発体制

実施体制図



各主体の役割と連携方法

各主体の役割

- アンモニア燃焼のエミッションに対するデジタルツイン制御技術開発の実施及び取りまとめは、大阪大学が行う

研究開発における連携方法（共同提案者間の連携）

- 開発された機械学習モデル等研究成果は、産業利用プラットフォームへ導入・集約し、産業利用に資することを前提として、モデルやコードの設計方針について共同提案者間の密な連携を行う

共同提案者以外の本プロジェクトにおける他実施者等との連携

- 開発された機械学習モデルやデジタルツインのアルゴリズム発案のためのアプローチの動作検証は、パイロットプラント及び実機スケール工業炉にて実施する

2. 研究開発計画

【項目 1-A】 その4 非定常デジタルツイン技術の開発

(5) 技術的優位性

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
1. 100kW試験炉における試験データを用いたデジタルツインプロトタイプの構築	1 100kW試験炉データサンプリング	- 供給設備、排ガス処理設備を有した試験環境 10kW試験炉における時系列データ取得実績あり	- 有毒性の高いアンモニアを取り扱うことのできるモデル工業炉試験設備は国内・海外にも少ない - 通常の燃焼試験では取得しない供給・炉状態・排ガスの同期時系列データ取得
	2 試験データ分析・制御方式の検討/準備	民間企業における実プラント運用時データ分析、制御変更検討の実績あり	- 社会実装を目的とした分析・検討、及びそれを公開しているデータ分析結果実績は非常に少ない(優位性) - 複数企業が求める異なる実装案への対応の検討が必要(リスク)
	3 100kW試験炉制御検証試験と制御方式の修正	民間企業における実プラントにて検討した制御方法の検証試験、実運用の実績あり	- 実機器にて検討内容の検証方法・再現性を定義・確認することは難易度が高い(優位性) - 中規模・実機検証を想定した検証方法の定義必要性(リスク)
	4 計測技術/運用コストの評価、標準化検討	民間企業における実プラントにて実装した運用ロジックの構築手順の標準化、他プラントへの転用実績あり	- 数1000の計測データを民間企業向けプラントにて取り扱い実績あり(優位性) - 目的の異なる複数企業が運用することを想定した標準化(リスク)

委託

【項目1-A】

【項目 1 -A／ 2】 その5 炉の耐火物および排熱回収蓄熱材の開発

(1) 研究開発目標

炉の耐火物および排熱回収蓄熱材の開発	
研究開発内容	
フェーズ 1	1 アルミ溶解炉用 耐火物におよぼすNH ₃ 、水素高温空気燃焼ガスの影響解明 ガス浸食炉での基礎試験の実施 実施主体：サカイ工業(株)
	2 アルミ溶解炉用 耐火物におよぼすNH ₃ 、水素高温空気燃焼ガスの影響解明 燃焼試験での曝露差し込み試験 実施主体：サカイ工業(株)
	3 鍛造用 耐火物におよぼすNH ₃ 、水素高温空気燃焼ガスの影響解明 実施主体：(株)TYK
	4 蓄熱材におよぼすNH ₃ 、水素高温空気燃焼排ガスの影響解明 実施主体：(株)TYK
フェーズ 2 ～ 3	1 フェーズ1-①で得られたデータをもとに実証炉での差し込み試験を行う 実施主体：サカイ工業(株)
	2 フェーズ1-②で得られたデータをもとに実証炉での差し込み試験を行う 実施主体：サカイ工業(株)
	3 フェーズ1-③で得られたデータをもとに改良品を作り、差し込み試験を行う 実施主体：(株)TYK
	4 フェーズ1-④で得られたデータをもとに改良品を作り、差し込み試験を行う 実施主体：(株)TYK

アウトプット目標	
アンモニアや水素の燃焼排ガスによる耐火物影響の解明	
KPI	KPI設定の考え方
耐火物の侵食測定・評価： 寸法・重量変化、化学成分変化、物性変化、鉍物変化、組織変化を測定し、耐火物損傷に与えるガス種の影響度・反応メカニズムの基礎データを得る。	溶解炉等に使用されている耐火物（アルミナ質レンガ、高アルミナ質キャストブル等）においては、炉内雰囲気（排ガス）との反応による浸食が想定される。アンモニア燃焼、水素燃焼による炉内雰囲気のガス成分によっては、耐火物の侵食（損傷・反応生成物による劣化）が激化することがある。新燃料によるガスおよび発生ガス等による耐火物の侵食が懸念されるため、その影響を基礎的な研究調査が必要である。溶湯と雰囲気ガスとの反応、内在ガスと耐火物界面での侵食促進が想定される
耐火物の侵食測定・評価： 寸法・重量変化、化学成分変化、物性変化、鉍物変化、組織変化を測定し、基礎試験結果と暴露試験の比較を実施し、実炉における耐火物損傷程度を評価する。	燃焼試験炉に耐火物試験材を用いて差し込み試験を行い、基礎データを取得する
耐火物のNH ₃ ・水素燃焼ガスとの反応および腐食反応評価	燃焼試験炉に蓄熱試験材を用いて差し込み試験を行い、基礎データを取得する
蓄熱材のNH ₃ 、水素燃焼ガスとの反応、腐食反応評価	中規模実証、及び実機実証を用いた差し込み試験により必要なデータを取得する
実証設備にて、耐火物の損傷侵食、劣化状況を確認することで改良品の方向性を確立する	中規模実証、及び実機実証を用いた差し込み試験により必要なデータを取得する
実証設備にて、耐火物の損傷侵食、劣化状況を確認することで改良品の方向性を確立する	中規模実証、及び実機実証を用いた差し込み試験により必要なデータを取得する
・実証設備での耐火物の損傷、劣化状況を分析 ・耐火物の設計指針を確立	中規模実証、および実機実証を用いた差し込み試験により必要なデータを取得する
・実証設備にて蓄熱材の損傷、劣化状況を分析 ・蓄熱材の設計指針を確立	中規模実証、および実機実証を用いた差し込み試験により必要なデータを取得する

委
託

【項目1-A】

助
成

【項目2】

2. 研究開発計画

【項目1-A／2】 その5 炉の耐火物および排熱回収蓄熱材の開発

(2) 研究開発内容（全体像）^{KPI}

		現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 (成功確率)	
フェーズ1	1 アルミ溶解炉用 耐火物におよぼすNH ₃ , 水素高温空気燃焼ガスの影響解明 ガス侵食炉での基礎試験の実施 実施主体：Dai工業(株)	耐火物の侵食測定・評価：寸法・重量変化、化学成分変化、物性変化、鉍物変化、組織変化を測定し、耐火物損傷に与えるガス種の影響度・反応メカニズムの基礎データを得る。	先導研究による燃焼試験での短時間の検証 (TRL2)	燃焼試験炉での検証 (TRL3,4)	- アルミ溶解炉用耐火物の侵食についての調査 - ガス侵食炉を用いた基礎試験の実施 - 燃焼試験炉での曝露差し込み試験の実施	予想外の課題が発生する可能性がある (80%)
	2 アルミ溶解炉用 耐火物におよぼすNH ₃ , 水素高温空気燃焼ガスの影響解明 燃焼試験での曝露差し込み試験 実施主体：Dai工業(株)	耐火物の侵食測定・評価：寸法・重量変化、化学成分変化、物性変化、鉍物変化、組織変化を測定し、基礎試験結果と暴露試験の比較を実施し、実炉における耐火物損傷程度を評価する。	燃焼試験炉での検証 (TRL2)	燃焼試験炉での検証 (TRL3,4)	- アルミ溶解炉用耐火物の侵食についての調査 - ガス侵食炉を用いた基礎試験の実施 - 燃焼試験炉での曝露差し込み試験の実施	予想外の課題が発生する可能性がある (80%)
	3 鍛造用 耐火物におよぼすNH ₃ , 水素高温空気燃焼ガスの影響解明 実施主体：(株)TYK	耐火物のNH ₃ ・水素燃焼ガスとの反応および腐食反応評価	燃焼試験炉での検証 (TRL2)	燃焼試験炉での検証 (TRL3,4)	- 耐火物損傷の調査 - 雰囲気下加熱試験の実施 - 燃焼試験炉での差し込み試験実施	試験環境について、新たに課題が発生する可能性がある (70%)
	4 蓄熱材におよぼすNH ₃ , 水素高温空気燃焼排ガスの影響解明 実施主体：(株)TYK	蓄熱材のNH ₃ ・水素燃焼ガスとの反応、腐食反応評価	燃焼試験炉での検証 (TRL2)	燃焼試験炉での検証 (TRL3,4)	- 蓄熱体損傷の調査 - 雰囲気下加熱試験の実施 - 燃焼試験炉での差し込み試験実施	試験環境について、新たに課題が発生する可能性がある (70%)
フェーズ2～3	1 フェーズ1-①で得られたデータをもとに実証炉での差し込み試験を行う 実施主体：Dai工業(株)	実証設備にて、耐火物の損傷侵食、劣化状況を確認することで改良品の方向性を確立する	燃焼試験炉での検証 (TRL3,4)	中規模実証、実機実証での検証 (TRL7)	- アルミ溶解炉用耐火物の侵食についての調査 - ガス侵食炉を用いた応用試験の実施 - 燃焼試験炉での曝露差し込み試験の実施	実設備に実装されるゆえの新たな課題が発生する可能性がある (80%)
	2 フェーズ1-②で得られたデータをもとに実証炉での差し込み試験を行う 実施主体：Dai工業(株)	実証設備にて、耐火物の損傷侵食、劣化状況を確認することで改良品の方向性を確立する	燃焼試験炉での検証 (TRL3,4)	中規模実証、実機実証での検証 (TRL7)	- アルミ溶解炉用耐火物の侵食についての調査 - ガス侵食炉を用いた応用試験の実施 - 燃焼試験炉での曝露差し込み試験の実施	実設備に実装されるゆえの新たな課題が発生する可能性がある (80%)
	3 フェーズ1-③で得られたデータをもとに改良品を作り、差し込み試験を行う 実施主体：(株)TYK	- 実証設備での耐火物の損傷、劣化状況を分析 - 耐火物の設計指針を確立	燃焼試験炉での検証 (TRL3,4)	中規模実証、実機実証での検証 (TRL7)	- 耐火物損傷の調査 - 雰囲気下加熱試験の実施 - 実設備規模の耐火物を用いた燃焼試験炉での曝露差し込み試験の実施	実設備への適用により、新たな課題が発生する可能性がある (70%)
	4 フェーズ1-④で得られたデータをもとに改良品を作り、差し込み試験を行う 実施主体：(株)TYK	- 実証設備にて蓄熱材の損傷、劣化状況を分析 - 蓄熱材の設計指針を確立	燃焼試験炉での検証 (TRL3,4)	中規模実証、実機実証での検証 (TRL7)	- 耐火物損傷の調査 - 雰囲気下加熱試験の実施 - 実設備規模の耐火物を用いた燃焼試験炉での曝露差し込み試験の実施	実設備への適用により、新たな課題が発生する可能性がある (70%)

委託

【項目1-A】

助成

【項目2】

2. 研究開発計画

【項目 1-A／2】 その5 炉の耐火物および排熱回収蓄熱材の開発

(2) 研究開発内容（これまでの取組）（1/2）

研究開発内容	直近のマイルストーン	これまでの（前回からの）開発進捗	進捗度
1 アルミ溶解炉用耐火物におよぼすNH ₃ 、水素高温空気燃焼ガスの影響解明 ガス浸食炉での基礎試験の実施	耐火物の侵食測定・評価：耐火物損傷に与えるガス種の影響度・反応メカニズムの基礎データを得る。	・ガス侵食炉の仕様を決め発注した。納入は9月末(前倒しの見込み) 据付場所、付随するガス配管等の仕様・配置も検討中である。 ・排ガス処理装置(アンモニア排ガスの2次燃焼)は、自社製作より作図、見積依頼中である。 ・水蒸気侵食試験炉は、発熱体、供試体試験用サヤ材等の準備完了した。また、供試体の製作に取り掛かり2024年4月から侵食試験を計画通り実施する。	◎（理由） 水蒸気・ガス侵食試験内容について具体的な実験計画を作成した。水蒸気侵食試験は4月より実施開始。ガス侵食炉試験装置は計画通り進捗。
2 アルミ溶解炉用耐火物におよぼすNH ₃ 、水素高温空気燃焼ガスの影響解明 燃焼試験での曝露差し込み試験	耐火物の侵食測定・評価：基礎試験結果と暴露試験の比較を実施し、実炉における耐火物損傷程度を評価する。	・耐火物暴露試験、溶湯と耐火物の反応に関する試験計画を作成した。雰囲気ガスとの反応を調査するため、上部構造用材料と溶湯接触部用材料の材質を決定し、供試体用材料を手配した。暴露試験の差し込み方案について検討した。 ・溶湯と耐火物の反応の試験内容及び製作について決定した。供試体用キャストブル材質、供試体用ルツボ形状、アルミニウム材質(2材質)等を決定し手配した。	◎（理由） 曝露試験（台車炉）での実験計画について関係者と打合せ実施。試験用サンプル作製中。2024年10月暴露試験開始予定。

2. 研究開発計画

【項目 1-A / 2】 その5 炉の耐火物および排熱回収蓄熱材の開発

(2) 研究開発内容（これまでの取組） (2/2)

研究開発内容	直近のマイルストーン	これまでの（前回からの）開発進捗	進捗度
3 鍛造用耐火物におよぼすNH₃、水素高温空気燃焼ガスの影響解明	1200℃以上で生じる各種耐火物とNH₃・水素燃焼ガスとの反応、および同雰囲気下での鋼材と耐火物の接触界面で生じる腐食反応を評価	・広島大学のベンチスケール炉で、アンモニア混焼雰囲気中に曝露された壁面耐火断熱材(1250℃前後、推定曝露時間600時間)を採取し、炉内側から炉外壁面側に向かって5部位をサンプリングした。炉内側耐火物をX線回折した結果、加熱による結晶相の変化が確認されたものの、窒素化合物の結晶相は確認されなかった。 同様に、全ての部位において窒素化合物の結晶相は確認されず、アンモニアと耐火断熱材との明瞭な反応は確認されなかった。	◎（理由） 計画通り進捗中
4 蓄熱材におよぼすNH₃、水素高温空気燃焼排ガスの影響解明	蓄熱体に導入される1000℃のNH₃、水素燃焼ガスとの反応、および同雰囲気中における炉内飛来物と蓄熱体との反応について調査・評価	・広島大学のベンチスケール炉を用いて蓄熱材の曝露試験を実施した。アンモニア燃焼、炉内温度=1000℃で5時間の加熱、設炉内場所での差異を確認した。 アンモニア雰囲気位置(アンモニア導入側)、非アンモニア雰囲気位置(バーナ側)にSiC系ボール型蓄熱材(表面に耐酸化防止コーティング有り)を配置し、受熱した蓄熱材表面は、アンモニア導入側、バーナ側での差異は確認されなかった。	◎（理由） 計画通り進捗中

2. 研究開発計画

【項目 1-A / 2】 その5 炉の耐火物および排熱回収蓄熱材の開発

(2) 研究開発内容（今後の取組）（1/2）

研究開発内容	直近のマイルストーン	残された技術課題	解決の見通し
1 アルミ溶解炉用耐火物におよぼすNH ₃ 、水素高温空気燃焼ガスの影響解明 ガス浸食炉での基礎試験の実施	耐火物の侵食測定・評価： 耐火物損傷に与えるガス種の影響度・反応メカニズムの基礎データを得る。	水蒸気侵食試験での侵食試験を開始した。試験時間を25h、50hを想定したが、原則、時間が長い50hにて実施していく。ガス侵食炉（NH ₃ 、H ₂ ）については安全な試験が出来るような操作・試験方法を確認することが課題である。試験時間は同様50hを原則として実施していく。	侵食による変質・劣化の評価については、各種試験データ・解析装置での解析調査等で総合的な評価する。事前にそれぞれの試験温度で同じ処理時間50h加熱したベンチマークサンプル作製し、比較評価する。水蒸気・ガス侵食試験は50hを原則として進めるが、試験結果を精査して必要なら長時間試験も考える。ガス侵食試験の安全な試験が出来るようリスクアセスメントを実施する。
2 アルミ溶解炉用耐火物におよぼすNH ₃ 、水素高温空気燃焼ガスの影響解明 燃焼試験での曝露差し込み試験	耐火物の侵食測定・評価： 基礎試験結果と暴露試験の比較を実施し、実炉における耐火物損傷程度を評価する。	調査サンプルの作製の上、曝露差し込み試験を実施する。側壁への差し込み試験、溶湯と耐火物の反応試験用ルツボを台車に載せ試験を実施していく。新設試験炉の稼働状況を踏まえて、燃焼ガスが耐火物及び溶湯と耐火物接触面に及ぼす影響を把握できるよう、試験数・時間などを精査する必要がある。	新設試験炉の稼働状況をヒアリングし、耐火物への燃焼ガスが与える影響について、必要なデータ採取し、解析調査を実施していく。

2. 研究開発計画

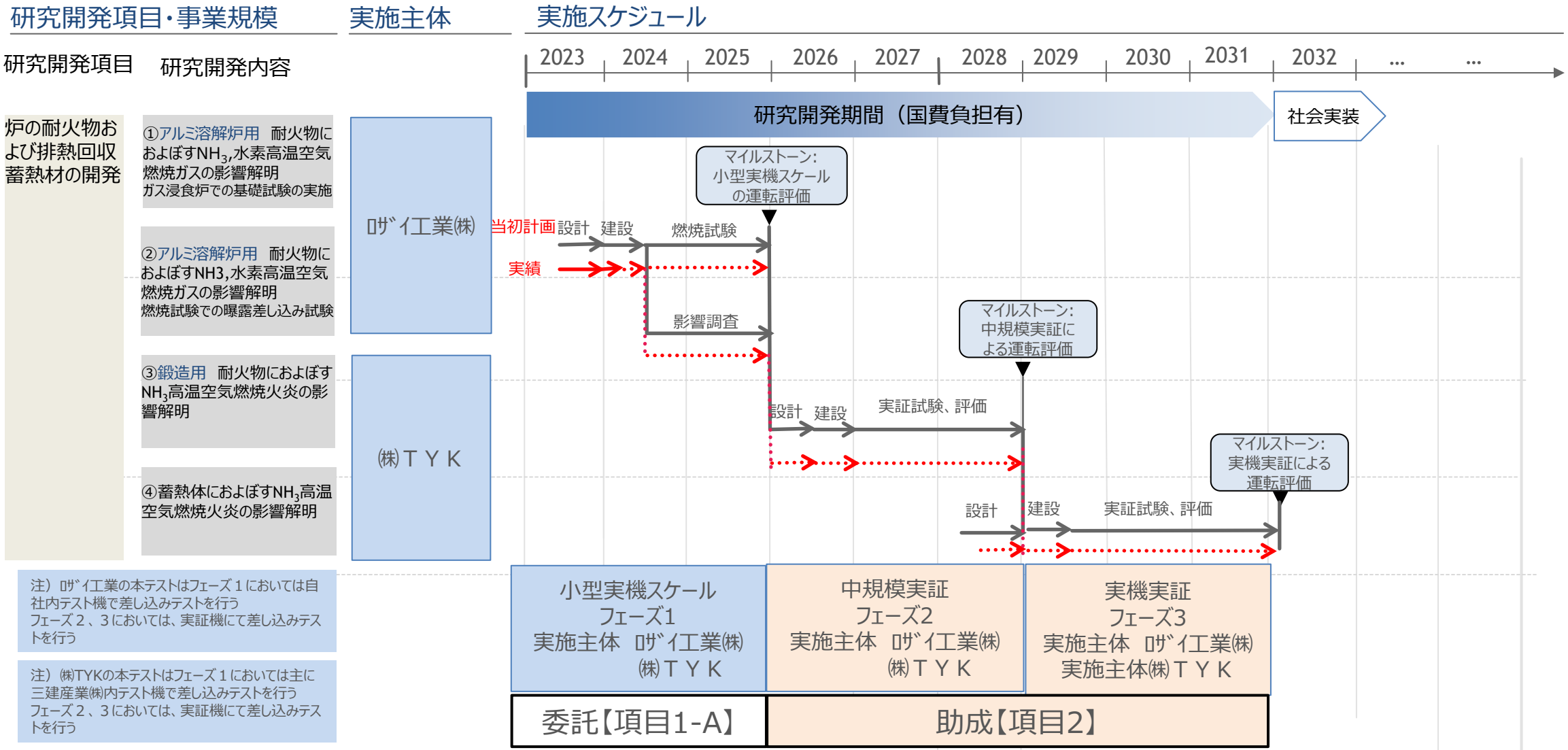
【項目 1-A / 2】 その5 炉の耐火物および排熱回収蓄熱材の開発

(2) 研究開発内容（今後の取組）（2/2）

研究開発内容	直近のマイルストーン	残された技術課題	解決の見通し
3 鍛造用耐火物におよぼすNH₃、水素高温空気燃焼ガスの影響解明	1200℃以上で生じる各種耐火物とNH₃・水素燃焼ガスとの反応、および同雰囲気下での鋼材と耐火物の接触界面で生じる腐食反応を評価	・NH₃燃焼ガスが耐火物に及ぼす腐食反応評価 ・水素高温空気燃焼ガスが耐火物に及ぼす腐食反応評価 ・炉内飛来物との腐食反応評価	・NH₃燃焼試験炉の内張り耐火物の調査、および耐火物の差し込み試験実施 ・水素ガス雰囲気下での曝露試験 ・炉内飛来模擬材を接触させた耐火物の差し込み試験実施
4 蓄熱材におよぼすNH₃、水素高温空気燃焼排ガスの影響解明	蓄熱体に導入される1000℃のNH₃、水素燃焼ガスとの反応、および同雰囲気中における炉内飛来物と蓄熱体との反応について調査・評価	・NH₃燃焼ガスが蓄熱材に及ぼす腐食反応評価 ・水素高温空気燃焼ガスが蓄熱材に及ぼす腐食反応評価 ・炉内飛来物との腐食反応評価	・NH₃燃焼試験炉への蓄熱材の差し込み試験実施 ・水素ガス雰囲気下での曝露試験 ・炉内飛来模擬材を接触させた蓄熱材の差し込み試験実施

【項目 1 -A／ 2】 その5 炉の耐火物および排熱回収蓄熱材の開発

(3) 実施スケジュール

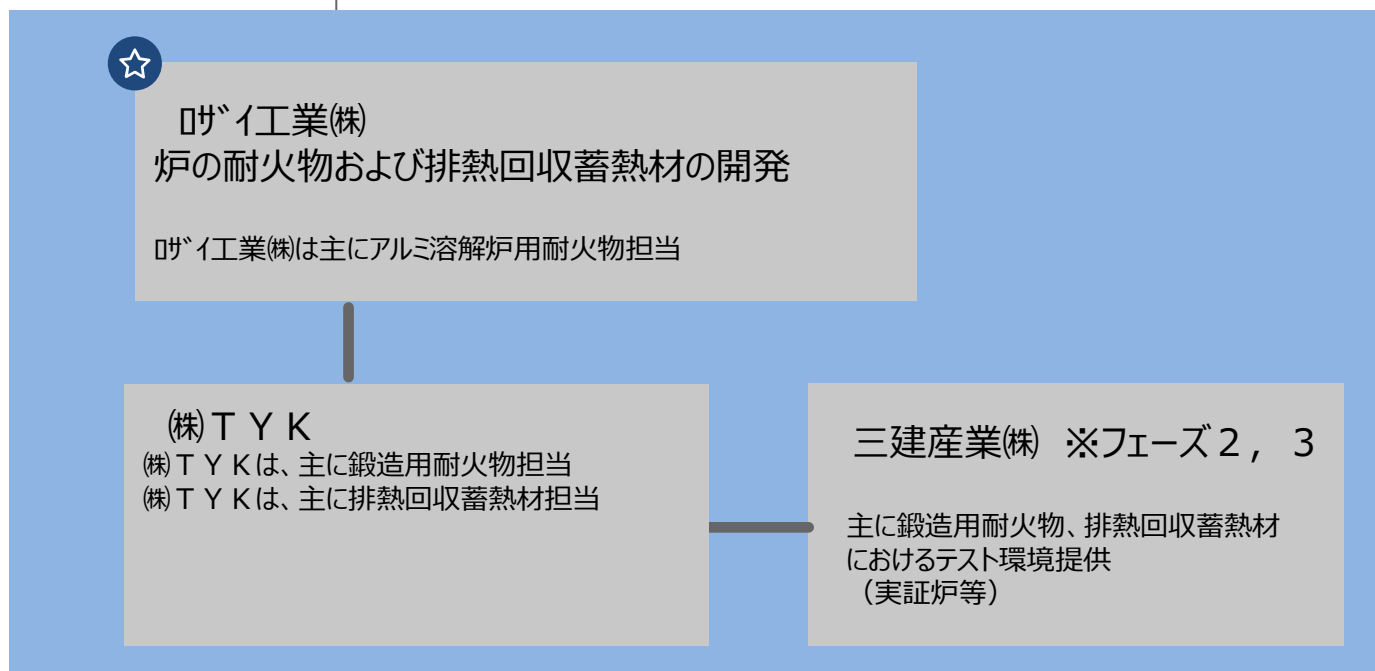


2. 研究開発計画

【項目 1 -A／ 2】 その5 炉の耐火物および排熱回収蓄熱材の開発

(4) 研究開発体制

実施体制図



各主体の役割と連携方法

各主体の役割

- ダイ工業(株)は、アルミ溶解炉用耐火物を担当する
- (株)TYKは、主に鍛造用耐火物・排熱回収蓄熱材を担当する

研究開発における連携方法（共同提案者間の連携）

- ダイ工業(株)は、(株)TYKの排熱回収蓄熱材の開発においてテスト環境を提供する
- 三建産業(株)は、鍛造用耐火物、排熱回収蓄熱材におけるテスト環境を提供する

【項目 1 -A／ 2】 その5 炉の耐火物および排熱回収蓄熱材の開発

(5) 技術的優位性

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
炉の耐火物 および排熱 回収蓄熱材 の開発	1 アルミ溶解炉用 耐火物におよぼすNH₃、水素高温空気燃焼ガスの影響解明 ガス浸食炉での基礎試験の実施 実施主体：サイ工業(株)	・ 先導研究プログラムによる基本技術 ・ 既にアンモニア燃焼技術で材料に対する影響を一部確認している	・ 自社内の工業炉製造技術に基づいた豊富な知識による工業炉以外への新設備設計能力
	2 アルミ溶解炉用 耐火物におよぼすNH₃、水素高温空気燃焼ガスの影響解明 燃焼試験炉での曝露差し込み試験 実施主体：サイ工業(株)	・ 先導研究プログラムによる基本技術 ・ 既にアンモニア燃焼技術で材料に対する影響を一部確認している	・ 自社内の工業炉製造技術に基づいた豊富な知識による工業炉以外への新設備設計能力
	3 鍛造用 耐火物におよぼすNH₃、水素高温空気燃焼ガスの影響解明 実施主体：(株)TYK	・ 耐火物およびセラミックスの広範な構成技術 ・ 様々な耐火物損傷に対する新材質提案能力	・ 鉄鋼・非鉄分野およびごみ焼却炉用の広範な耐火物設計経験に基づく、様々な耐火物損傷に対する新材質提案能力 ・ 熔融金属・気相の水素濃度測定技術に基づく、水素濃度環境と耐火物損傷の同時評価能力
	4 蓄熱材におよぼすNH₃、水素高温空気燃焼排ガスの影響解明 実施主体：(株)TYK	・ 種々の使用条件下に適合する蓄熱体構成能力 ・ 種々の酸化・腐食雰囲気下に耐久する表面処理可加工能力	・ 様々な使用環境下での蓄熱体使用/解析経験に基づく、新たな排ガス雰囲気下損傷に対する材質提案能力
	1 フェーズ1-①で得られたデータをもとに実証炉での差し込み試験を行う 実施主体：サイ工業(株)	・ 先導研究プログラムによる基本技術 ・ 既にアンモニア燃焼技術で材料に対する影響を一部確認している	・ 自社内の工業炉製造技術に基づいた豊富な知識による工業炉以外への新設備設計能力
	2 フェーズ1-②で得られたデータをもとに実証炉での差し込み試験を行う 実施主体：サイ工業(株)	・ 先導研究プログラムによる基本技術 ・ 既にアンモニア燃焼技術で材料に対する影響を一部確認している	・ 自社内の工業炉製造技術に基づいた豊富な知識による工業炉以外への新設備設計能力
	3 フェーズ1-③で得られたデータをもとに改良品を作り、差し込み試験を行う 実施主体：(株)TYK	・ 耐火物およびセラミックスの広範な構成技術 ・ 様々な耐火物損傷に対する新材質提案能力	・ 鉄鋼・非鉄分野およびごみ焼却炉用の広範な耐火物設計経験に基づく、様々な耐火物損傷に対する新材質提案能力 ・ 熔融金属・気相の水素濃度測定技術に基づく、水素濃度環境と耐火物損傷の同時評価能力
	4 フェーズ1-④で得られたデータをもとに改良品を作り、差し込み試験を行う 実施主体：(株)TYK	・ 種々の使用条件下に適合する蓄熱体構成能力 ・ 種々の酸化・腐食雰囲気下に耐久する表面処理可加工能力	・ 様々な使用環境下での蓄熱体使用/解析経験に基づく、新たな排ガス雰囲気下損傷に対する材質提案能力

委
託

【項目1-A】

助
成

【項目2】

2. 研究開発計画

【項目1-A／3】 その6 アンモニア改質装置の技術開発

(1) 研究開発目標 アウトプット目標

研究開発項目

アンモニア改質装置
の技術開発

高いアンモニア改質率を有するアンモニア改質器に適用できる実用的な触媒及び担体を開発し、委託事業)100kW～でのアンモニア改質器のアンモニア改質装置を開発する。助成事業)400kWでのアンモニア改質器のアンモニア改質装置を開発する。

研究開発内容

KPI

KPI設定の考え方

① 担体の開発

熱負荷繰返し試験にて破損しない温度制御方法及び、耐久性のある担体を構築する。

・熱負荷繰返し試験による破損有無確認し、温度制御法と耐久性を把握する。

② アンモニア改質触媒の開発 ・反応性熱流体解析シミュレーション

・触媒の定常実測改質率に対し誤差±15%以内の熱分解モデル構築を行う。

・高精度の熱分解モデルを構築し、改質器の設計及び改良に反映する。

・高いアンモニア改質率

・高いアンモニア改質率を達成し、耐久に耐えるアンモニア触媒材料の選定する。定常運転においてアンモニア改質(継続)評価を行い、解析により部品劣化を確認、同時に触媒での劣化への影響を明確にする。

・高いアンモニア改質率有する材料を選定し、耐久試験で耐えられることを確認する。

・触媒のアセンブリ化

・各機能上安全に問題なく、所定動作をすることを確認する。

・50kW、100kW級アンモニア改質器組み上げを行い、試験に供する。

③ 50kW級、100kW級 ④ アンモニア改質装置の開発

・ベンチスケール炉でのアンモニア改質器を組み込んだアンモニア改質装置の定常運転において高いアンモニア改質率を達成する。

・ベンチスケール炉継続評価でアンモニア改質率を達成し、得られた知見を元にスケールアップの設計指針を作成する。

⑤ 400kW級 アンモニア改質装置の開発

・委託事業で得られた知見にて400kW級アンモニア改質器を製作し、各種データを取得する。

・装置起動停止変動時のアンモニア改質水素の安定供給可能システムを構築する。

⑥ 実証試験

・スケールアップ実証炉でのアンモニア改質装置の同等性を確認する。

・スケールアップ指針のアンモニア改質装置のキャタラー製造実証炉を設計、製作する。

委
託

【項目1-A】

助
成

【項目3】

2. 研究開発計画

【項目1-A／3】 その6 アンモニア改質装置の技術開発

(2) 研究開発内容（全体像）

研究開発内容	KPI	現状	達成レベル	解決方法	
① 担体の開発	熱負荷繰返し試験にて破損しない温度制御方法及び、耐久性のある担体を構築する。	コンセプト設計 (TRL3)	実証用試作装置製作 (TRL5)	電気加熱式担体の加熱特性、急昇温（500℃～）でのストレス破損確認試験を行う。	委託
② アンモニア改質触媒の開発 - 反応性熱流体解析シミュレーション - 高いアンモニア改質率 - 触媒のアセンブリ化	- 触媒の定常実測改質率に対し誤差±15%以内の熱分解モデル構築を行う。 - 高いアンモニア改質率を達成し、耐久に耐えるアンモニア触媒材料の選定する。 - アンモニア改質継続評価を行い、解析により部品劣化を確認、同時に触媒での劣化への影響を明確にする。 - 各機能上安全に問題なく、所定動作を確認することを確認する。			- 電気加熱触媒実験装置で触媒反応評価する - 触媒物性及び模擬ガスで改質触媒評価を行う - 電極施工、配管アセンブリ化を行う	
③ 50kW級、100kW級 ～ ④ アンモニア改質装置の開発	・ベンチスケール炉でのアンモニア改質器を組み込んだアンモニア改質装置の定常運転において高いアンモニア改質率を満たす。			ベンチスケール炉（～80kW、100～kW）への組み込みによる、アンモニア改質器、改質装置の各データ（温度、外観、水素、故障箇所）を取得する。スケールUP時の不具合を抽出し、スケールアップ指針を作成する。	
⑤ 400kW級 アンモニア改質装置の開発	・委託事業で得られた知見にて400kW級アンモニア改質器を製作し、各種データを取得する。	コンセプト設計 (TRL3)	パイロット実証 (TRL6)	委託事業時の不具合、設計指針を織り込み、400kW級アンモニア改質装置の設計する	助成
⑥ 実証試験	・スケールアップ実証炉でのアンモニア改質装置の同等性を確認する。		プレ商業実証・トップユーザーテスト (TRL7)	実証炉に組み込み実ガス、実使用モードで評価。及び、それに応じアンモニア改質装置のカスタマイズを実施する。	

【項目1-A】

【項目3】

2. 研究開発計画

【項目 1 -A／ 3】 その6 アンモニア改質装置の技術開発

(2) 研究開発内容（これまでの取組）

研究開発内容	直近のマイルストーン	これまでの開発進捗	進捗度
1 担体の開発	熱負荷繰返し試験にて破損しない温度制御方法及び、耐久性のある担体を構築する。	・アンモニア改質触媒コート材を塗布する通電加熱可能なSiCハニカム基材をTYK分室にて製作し、アンモニア改質触媒が活性化する定常温度（500℃）の熱負荷に依る破損有無の確認試験を実施。	◎ 破損無き事を確認
2 アンモニア改質触媒の開発 - 反応性熱流体解析シミュレーション - 高いアンモニア改質率 - 触媒のアクセシビリティ	・触媒の定常実測改質率に対し誤差±15%以内の熱分解モデル構築を行う。 ・高いアンモニア改質率を達成し、耐久に耐えるアンモニア触媒材料の選定する。定常運転においてアンモニア改質(継続)評価を行い、解析により部品劣化を確認、同時に触媒での劣化への影響を明確にする。 ・各機能上安全に問題なく、所定動作を確認する。	・アンモニア改質触媒による熱分解モデルを構築するため、アンモニア熱分解実験装置の制作、および、テストピースのSiCハニカム基材、アンモニア改質触媒評価を開始した。 ・アンモニア改質触媒材料の貴金属分散度、SSA物性評価を開始した。 ・50kW級アンモニア改質装置サイズ（フルサイズ）のアンモニア改質触媒を製作し、コンセプト通りアンモニア改質触媒が通電加熱評価試験で昇温することを確認した。	◎ 計画通り進捗 ◎ 計画通り進捗 ◎ コンセプト確認完了
3 50kW級アンモニア改質装置の開発	・ベンチスケール炉でのアンモニア改質器を組み込んだアンモニア改質装置の定常運転において高いアンモニア改質率を満たす。	・アンモニア改質触媒が搭載されたアンモニア改質器、通電加熱装置、記録装置で構成されたアンモニア改質装置を製作し、広島大学分室・三建産業分室のベンチスケール炉（～80kW）にて定常運転試験を開始した。	◎ アンモニア改質水素、触媒温度および、ガス温度の測定可能な事を確認

2. 研究開発計画

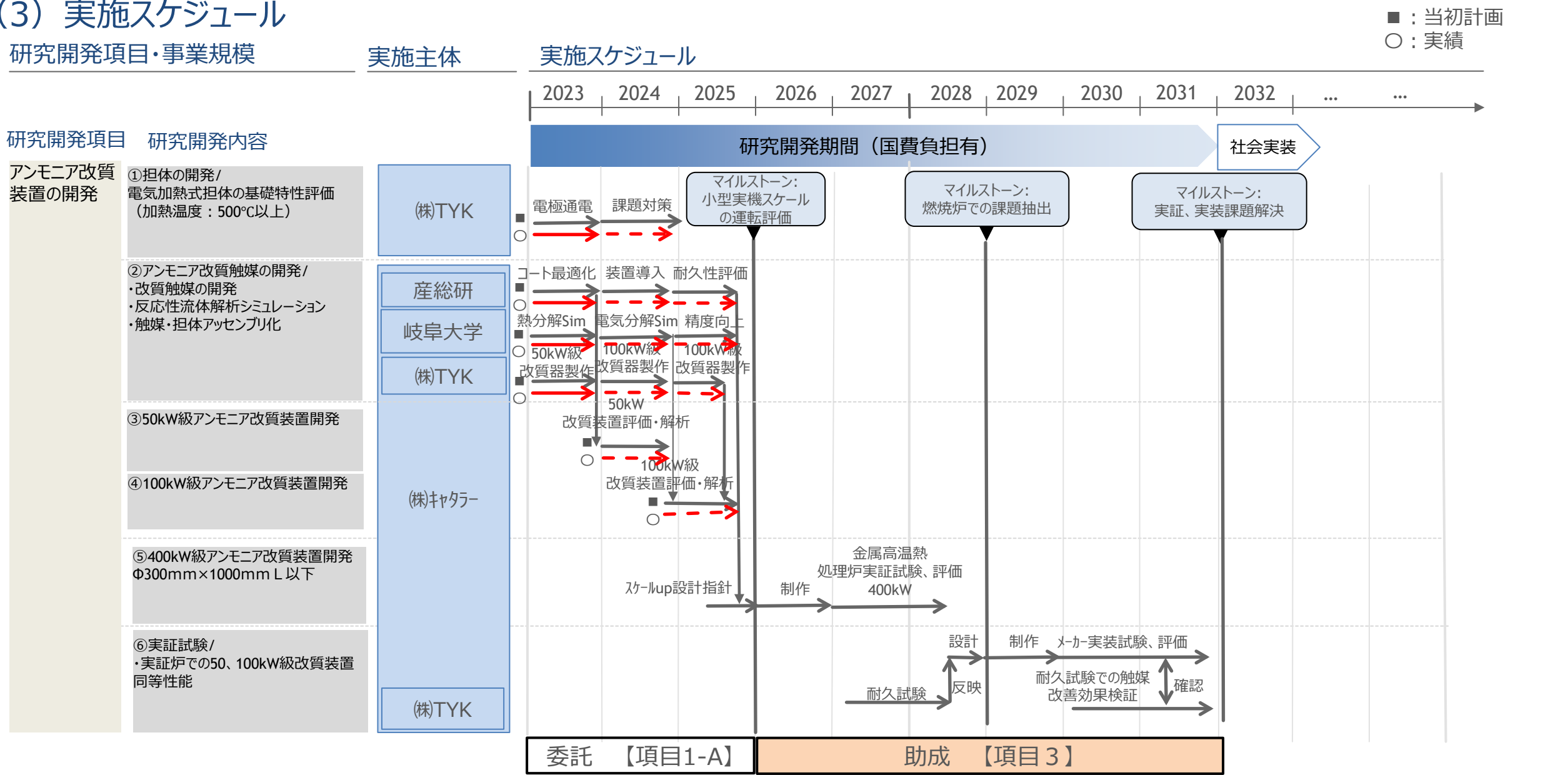
【項目 1 -A／ 3】 その6 アンモニア改質装置の技術開発

(2) 研究開発内容（今後の取組）

研究開発内容	直近のマイルストーン	残された技術課題	解決の見通し
1 担体の開発	熱負荷繰返し試験にて破損しない温度制御方法及び、耐久性のある担体を構築する。	・実評価（ベンチスケール炉）での破損有無確認	担体の設計パラメーター設定及び、実評価時の温度制御で対応可と推定
2 アンモニア改質触媒の開発 - 反応性熱流体解析シミュレーション - 高いアンモニア改質率 - 触媒のアクセナリ化	・触媒の定常実測改質率に対し誤差±15%以内の熱分解モデル構築を行う。 ・高いアンモニア改質率を達成し、耐久に耐えるアンモニア触媒材料の選定する。定常運転においてアンモニア改質(継続)評価を行い、解析により部品劣化を確認、同時に触媒での劣化への影響を明確にする。 ・各機能上安全に問題なく、所定動作を確認することを確認する。	・熱分解反応試験によるモデル設計作成、精度向上 ・アンモニア改質触媒の性能向上、および耐久性評価 ・アンモニア改質触媒の加熱方法の最適化	モデルパラメータスタディ（セル密度変更、実温測定など） 2024年度のアンモニア改質評価設備（アンモニア後処理評価設備も可能）の導入 ベンチスケール炉での試験結果、および、シミュレーションモデル評価結果のFBを予定
3 50kW級アンモニア改質装置の開発	・ベンチスケール炉でのアンモニア改質器を組み込んだアンモニア改質装置の定常運転において高いアンモニア改質率を満たす。	・アンモニア改質器の性能評価の継続 ・形状及び、ガス流れ最適化	広島大学分室・三建産業分室のベンチスケール炉（～80kW）での定常運転試験の継続 シミュレーションモデルのアンモニア改質器へのFBを予定

【項目 1-A／ 3】 その6 アンモニア改質装置の技術開発

(3) 実施スケジュール

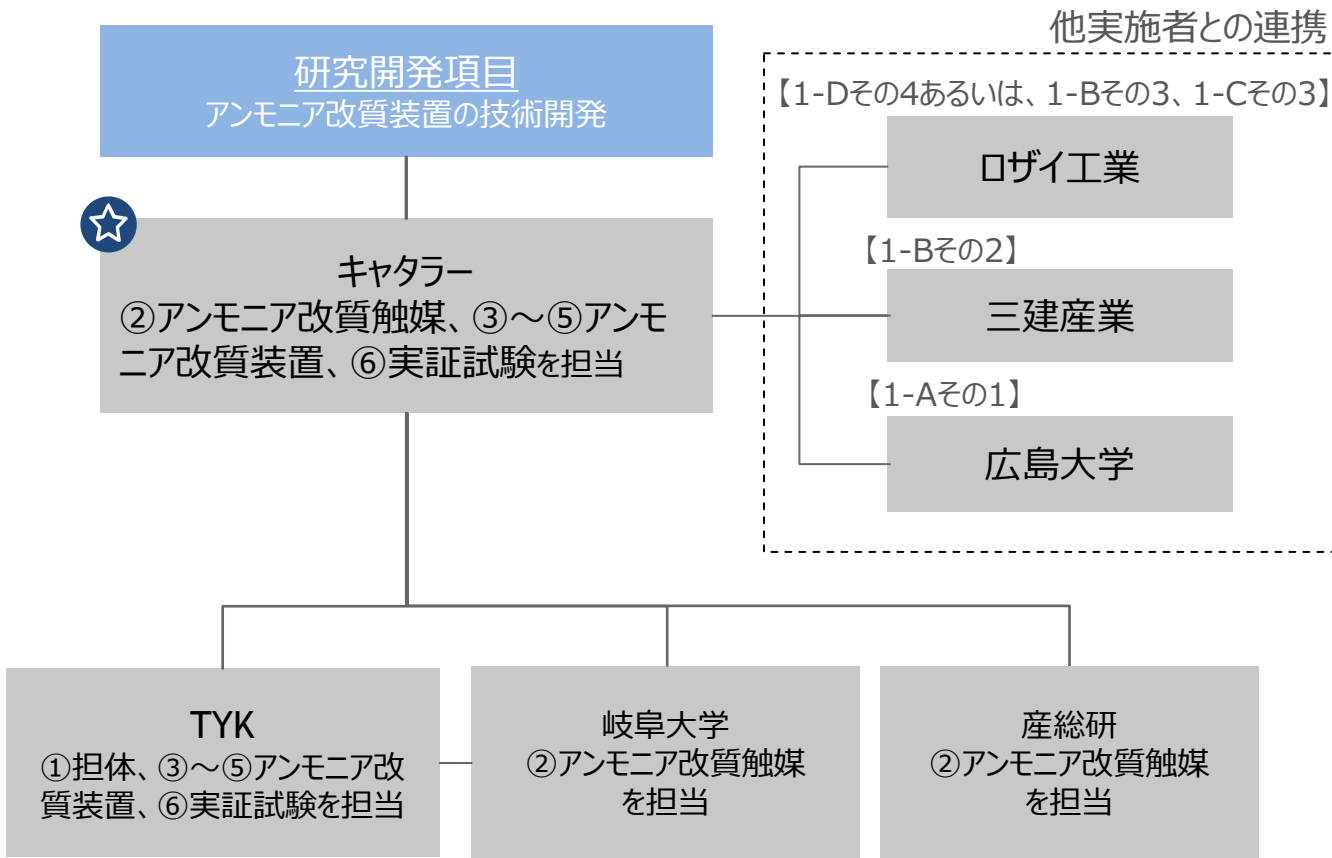


2. 研究開発計画

【項目 1-A／3】 その6 アンモニア改質装置の技術開発

(4) 研究開発体制

実施体制図



各主体の役割

- 全体の取りまとめは、キャタラーが行う
- キャタラーは、アンモニア改質装置の開発を主担当する
- TYKは、担体の開発を担当する
- 岐阜大学は、反応熱流体解析/シミュレーションを担当する
- 産総研は、アンモニア改質触媒を担当する。
- アンモニア改質装置は、2社（キャタラー、TYK）共同で実施する（外注含）

研究開発における連携方法（共同提案者間の連携）

- 定期的な開発状況、設計情報交換ミーティング
- 相互の現地現物確認

共同提案者以外の本プロジェクトにおける他実施者等との連携 （特に大学、研究機関等のみで提案する場合、この記載は必須。）

- 1-Aその1、1-Bその2の広島大学・三建産業のベンチスケール炉（炉出力～80kW/炉内温度～1200℃）でのアンモニア燃焼試験による燃焼条件、排ガスデータを活用し、本研究開発項目の一助とする。
- 1-Dその4のロザイ工業殿の（間接加熱式/ラジエントチューブバーナ/炉内温度～700℃）試験設備、あるいは1-Bその3、1-Cその3（直接接触加熱式/リジェネレーター/炉温～1200℃）試験設備炉を活用し、アンモニア改質装置の評価を実施する見込み。）

【項目 1 -A／ 3】 その6 アンモニア改質装置の技術開発

(5) 技術的優位性

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク	
アンモニア改質装置の技術開発	1 担体の開発	- DPF開発に基づく細孔特性制御技術（Diesel Particulate Filter：自動車向けのすす捕集用のフィルター） - 導電性セラミックス焼結体 特許5281666号	→ 競合他社と組成での差別化をしつつ、低圧損のSiC基材に対応	委託
	2 アンモニア改質触媒	基材コーティング装置及び方法	→ - 導電性SiCに関する特許を多数取得 抵抗値の調整幅に制限あり - 均一コート、制御可能なコート法を担保	
	3 kW級アンモニア ～ 5 改質装置開発	TYK株式会社殿とEHCアンモニア改質器特許化。	→ - 包括的な特許を取得 - 今後も周辺特許を取得予定	助成
	6 実証試験	- 排ガス触媒の貴金属Pt,Pd,Rh低減技術 - 各自動車メーカーからの実車耐久触媒解析業務及び、BMC解析業務を定常的に実施	→ - レアメタル担持や、取り扱いを定常的实施 - TEM等のナノオーダーの解析設備を保有している他社はごく一部	

【項目1-A】

【項目 3】

【項目 1 -A】 その7 アンモニア蒸発器の技術開発

(1) 研究開発目標

研究開発項目	アウトプット目標		
低コストかつ省スペース化したアンモニア蒸発器の開発	・中小企業であっても導入を容易とする省スペースで廉価なアンモニア燃焼触媒の反応熱を利用した蒸発器を開発する。		
研究開発内容	KPI	KPI設定の考え方	
① 燃焼触媒の最適化	・高い燃焼反応の触媒最適化	・蒸発器のコンパクト化のために、高い燃焼反応性の触媒を用いる	
② 燃焼触媒の反応開始方法の開発	・触媒を加熱し反応開始させる方法の確立	・蒸発器の起動させるために必要	
③ 反応器の開発	・小型の反応器の開発	・省スペースで廉価な蒸発器とするために必要	
④ 蒸発性能の実証	・燃焼触媒の反応熱で、液体アンモニアの蒸発を実証	・アンモニアを用いた検証を実施する	

委
託

【項目 1 -A】 その7 アンモニア蒸発器の技術開発

(2) 研究開発内容（全体像）

	KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 （成功確率）
1 燃焼触媒の最適化	・高い燃焼反応の触媒最適化	触焼の燃焼反応を確認 (TRL2)	初期プロトタイプ実証 (TRL4)	・ 熱伝導性の高い担持体を利用した触媒製作	担持体で性能が変化する可能性 (70%)
2 燃焼触媒の反応開始方法の開発	・触媒を加熱し反応開始させる方法の確立	従来技術は触媒雰囲気温度を反応開始温度とする (TRL-)	初期プロトタイプ実証 (TRL4)	・ 着火伝搬に適したガス条件を探索する	反応伝搬条件試行が必要 (60%)
3 反応器の開発	・小型の反応器の開発	アンモニア燃焼触媒を利用した蒸発器の実例なし (TRL-)	初期プロトタイプ実証 (TRL4)	・ 蒸発に適した反応器の設計、シミュレーション、試験流体での検証による設計	試験とシミュレーションのサイクルで可能性を高める (80%)
4 蒸発性能の実証	・燃焼触媒の反応熱で、液体アンモニアの蒸発を実証	実例なし (TRL-)	総合プロトタイプ実証 (TRL6)	・ ①～③で設計方法を確立させ、それを基礎として装置化し、実アンモニアを用い、実証する。	①②③の達成により実現可能性高 (90%)

委
託

【項目 1 -A】 その7 アンモニア蒸発器の技術開発

(2) 研究開発内容(これまでの取組)

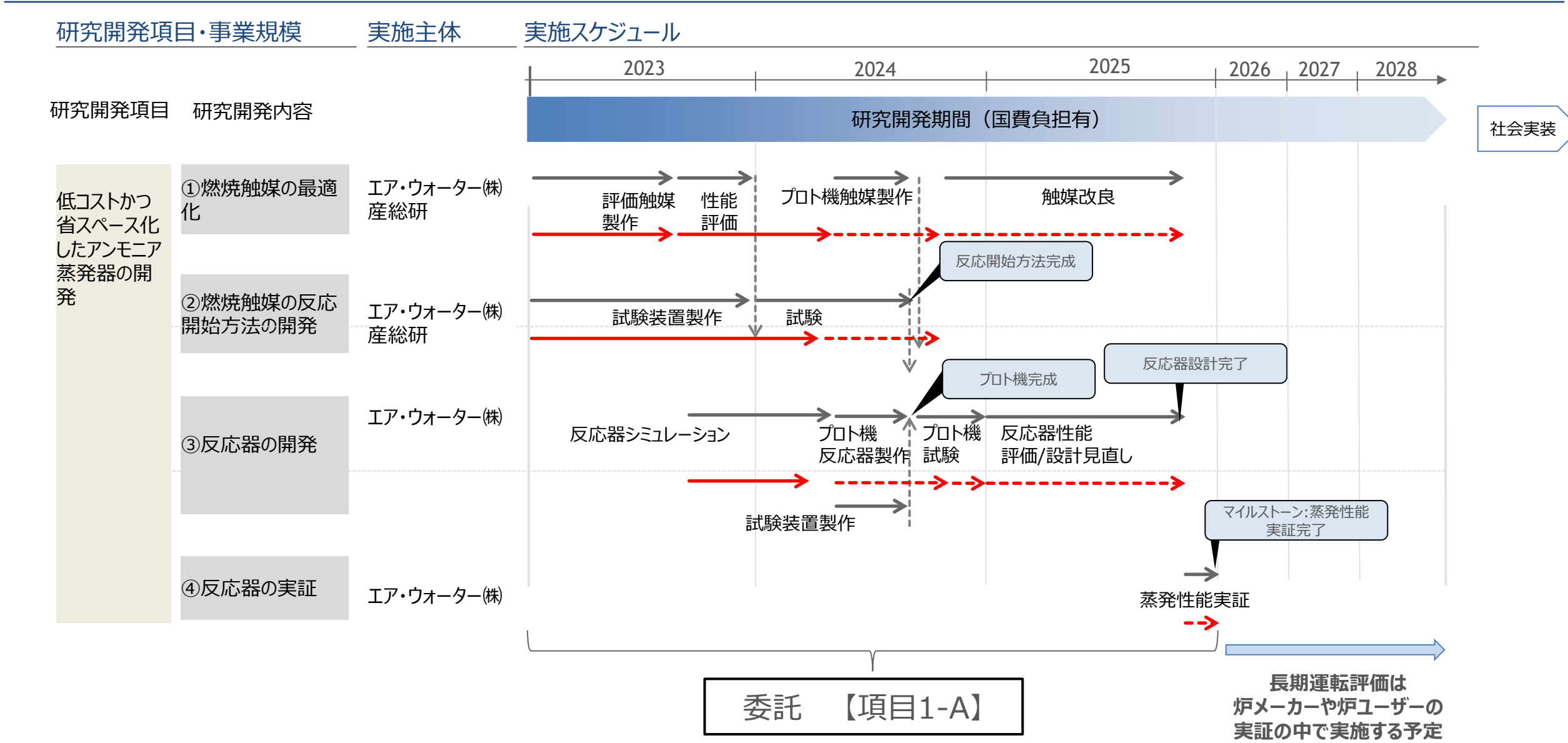
研究開発内容	直近のマイルストーン	これまでの（前回からの）開発進捗	進捗度
1 燃焼触媒の最適化	所定のSV値 以上 での燃焼反応の達成	アルミナに担持したCuOxを主成分とした触媒を製作し、アンモニアの燃焼範囲外の空気比条件において、所定のSV値以上で燃焼反応し、99%以上のアンモニアが酸化されることを確認した。	◎ 所定のSV値以上での燃焼反応を達成した。
2 燃焼触媒の反応開始方法の開発	触媒をヒーター等で外部加熱し60分以内に反応開始させる方法の確立	触媒をヒーター等で外部加熱する試験装置を製作した。	○ 試験装置を製作した。
3 反応器の開発	反応器のプロト機完成	・燃焼触媒で高温排ガス発生させ、高温排ガスの温度を利用してアンモニア蒸発させるプロセスのシミュレーションを行い、想定する設備材料の耐熱温度(800℃以下)とするための、燃料アンモニアの必要量、濃度を計算した。 ・触媒反応と伝熱を連成させたシミュレーションを行うための、解析ソフトの導入を行った。	○ プロセスシミュレーションを行い、燃料アンモニアの必要量、濃度を計算した。 反応器設計のための環境を整えた。

【項目 1 -A】 その7 アンモニア蒸発器の技術開発

(2) 研究開発内容(今後の取組)

研究開発内容	直近のマイルストーン	残された技術課題	解決の見通し
1 燃焼触媒の最適化	所定のSV値以上での燃焼反応の達成	・ 反応器に応じた形状の触媒製作と担体を変えた場合の反応性の確認 ・ 触媒性能の長期評価	・ 反応器に応じた形状の触媒製作し、反応性を確認する。 ・ 触媒性能の長期安定性について評価する。
2 燃焼触媒の反応開始方法の開発	触媒をヒーター等で外部加熱し60分以内に反応開始させる方法の確立	触媒をヒーター等で外部加熱し60分以内に反応開始させる方法の確立	試験装置を用いて、触媒をヒーター等で外部加熱し60分以内に反応開始する条件(流量、温度)を見いだす。
3 反応器の開発	反応器のプロト機完成	・ 触媒反応と伝熱を連成させたシミュレーションを行い、反応器を設計する	・ 触媒反応と伝熱を連成させたシミュレーションを行うための、触媒反応性能基礎データの取得する ・ そのデータを用い、シミュレーションを行い、反応器を設計し、プロト機で性能を確認する

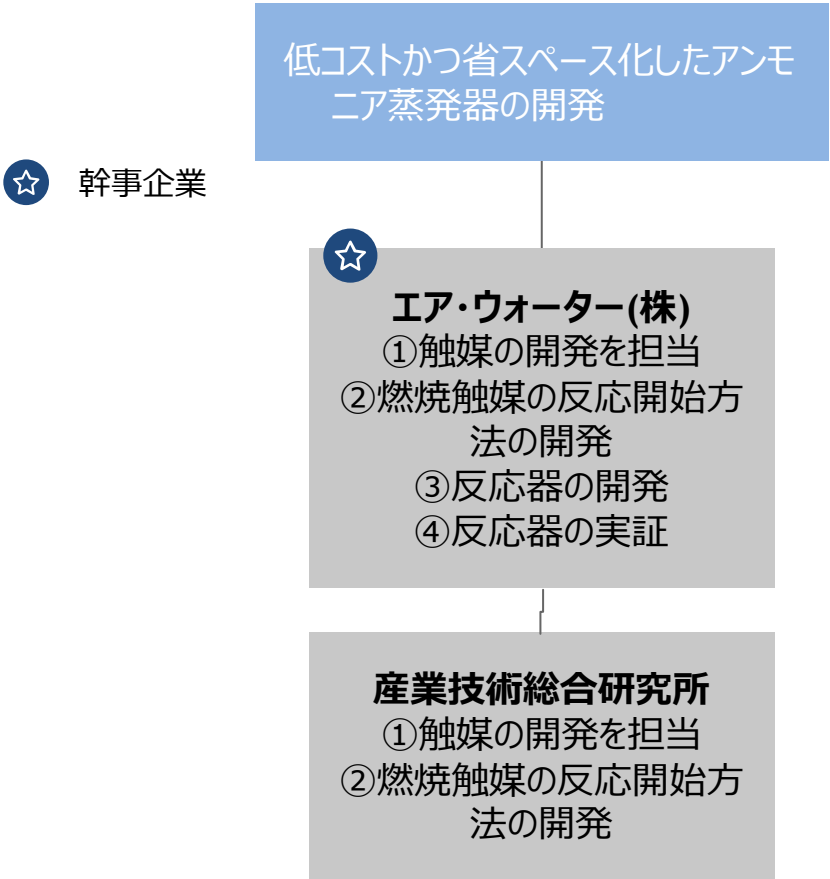
【項目 1-A】 その7 アンモニア蒸発器の技術開発



【項目 1 -A】 その7 アンモニア蒸発器の技術開発

(4) 研究開発体制

実施体制図



各主体の役割と連携方法

各主体の役割

- 産総研は、燃焼触媒の開発、燃焼触媒の反応開始方法の開発を担当する。
- エア・ウォーター(株)は、燃焼触媒の開発、蒸発反応をさせる反応器の設計、シミュレーション、検証試験、反応開始方法の開発、反応器の実証を行う。

研究開発における連携方法（共同提案者間の連携）

- 事業期間中は毎月定例打合せを開催する。
- 成果物は知財運営委員会を開催し、協議する。

共同提案者以外の本プロジェクトにおける他実施者等との連携

- 構造触媒の製作は専門メーカーへ依頼する予定。
- 蒸発性能実証は、炉メーカーのガス供給設備に組み込み、実施する予定。
- 長期運転評価については、炉メーカーや炉ユーザーの実証の中で実施する予定。

【項目 1 -A】 その7 アンモニア蒸発器の技術開発

(5) 技術的優位性

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
低コストかつ省スペース化したアンモニア蒸発器の開発	1 燃焼触媒の最適化	産総研はアンモニアの燃焼触媒の製作技術を有する。	→ 燃焼触媒技術
	2 燃焼触媒の反応開始方法の開発	AWは触媒反応器やガス関連機器の開発経験を有する。	→ - ガス関連装置の開発技術 - 反応開条件の探索
	3 反応器の開発	- AWは触媒反応による伝熱シミュレーション、装置開発の経験を有する - AWはガスハンドリングの経験、装置化のノウハウを有する	→ - ガス関連装置の開発技術 - 触媒反応器の開発技術
	4 蒸発性能の実証	AWはガスハンドリングの経験を有する	→ 実アンモニアを用いた運転経験から得られる知見を装置設計に反映

委
託

2. 研究開発計画

【項目 1 -A／ 2】 その8 アンモニア後処理システムの技術開発

(1) 研究開発目標 アウトプット目標

研究開発項目

アンモニア燃焼後処理装置

・未燃アンモニア、NO_x、N₂O除去用のアンモニア燃焼後処理装置を開発する。
委託事業)ベンチスケール炉(～80kW、100kW～)級バーナー後処理：排出NO_x：150ppm、排出未燃アンモニア：10ppm以下、排出N₂O：10ppm以下(O₂=11%換算)達成。
助成事業)直火,ラジエントバーナーにて最適なアンモニア燃焼後処理装置を開発

研究開発内容

KPI

KPI設定の考え方

1 担体開発

・担体は急加熱で温度差が300℃となった際にも亀裂・割れなし

・300℃に加熱した電気炉に室温からハニカムセグメントを投入しても亀裂が入らない

2 アンモニア酸化触媒、脱硝触媒、N₂O分解触媒開発

・排出未燃アンモニア：10 ppm以下(O₂=11%換算)
・排出NO_x：150 ppm以下(O₂=11%換算)
・排出N₂O：10 ppm以下(O₂=11%換算)

・未燃アンモニアを極力排出しないことを織り込み
・各種炉NO_x規制値を模擬し設定
・N₂Oは極力排出しないことを織り込み

3 後処理システム開発

・ベンチスケール炉(～80kW、100kW～)級バーナーにおいて排出未燃アンモニア:10 ppm以下、排出NO_x:150 ppm以下、排出N₂O:10ppm以下(全てO₂=11%換算)達成
(ただし炉稼働～定常運転～炉停止の動作時)
・実測データとシミュレーション計算値の誤差が±15%以内のモデルを作成

・試験設備借用し、後処理システムを評価。
・触媒サイズ、触媒の並び順の開発指針を策定するため、シミュレーションモデルを構築する

4 実証機用後処理システム開発(直火、ラジエントチューブバーナ)

・実証機(直火、ラジエントチューブバーナ、400kW～)の炉稼働～定常運転～炉停止の動作時、および緊急停止時などの動作時において、排出未燃アンモニア:10ppm以下、排出NO_x:150ppm以下、排出N₂O:10ppm以下(すべてO₂=11%換算値)達成。システムは最適化する。

直火、ラジエントチューブバーナに対応した後処理装置を設計

委
託

【項目1-A】

助
成

【項目 2】

2. 研究開発計画

【項目1-A／2】 その8 アンモニア後処理システムの技術開発

(2) 研究開発内容（全体像）

	KPI	現状	達成レベル	解決方法	
1 担体開発	・担体は急加熱で温度差が300℃となった際にも亀裂・割れなし	コンセプト設計 (TRL3)	実証用試作装置製作 (TRL5)	- 気孔率、平均細孔径、接着最適化 - 原料粒径、配合検討-セル構造検討 - 耐熱衝撃性を考慮した接着構造	委託
2 アンモニア酸化触媒、脱硝触媒、N ₂ O分解触媒開発	- 排出未燃アンモニア：10 ppm以下 (O₂=11%換算) - 排出NO_x：150 ppm以下 (O₂=11%換算) - 排出N₂O：10 ppm以下 (O₂=11%換算)			- 排ガス基礎特性 - 方策① 排ガス情報収集 - 方策② 反応シミュレーション - 方策③ 模擬ガスでの材料・構成評価	
3 後処理システム開発	- ベンチスケール炉(～80kW、100kW～)級バーナーにおいて排出未燃アンモニア:10 ppm以下、排出NO_x:150 ppm以下、排出N₂O:10ppm以下(全てO₂=11%換算)達成 (炉稼働～定常運転～炉停止の動作時) - 実測データとシミュレーション計算値の誤差が±15%以内のモデルを作成			- 既存400kW級バーナー装置への組み込みによる、後処理システムの評価トライ - 触媒性能の比較から触媒劣化の有無を確認し、劣化している場合は物性の比較から触媒劣化要因を特定	
4 実証機用後処理システム開発 (直火、ラジアントチューブバーナ)	・実証機（直火、ラジアントチューブバーナ、400kW～）の炉稼働～定常運転～炉停止の動作時、および緊急停止時などの動作時において、排出未燃アンモニア:10ppm以下、排出NO _x :150ppm以下、排出N ₂ O:10ppm以下（すべてO ₂ =11%換算値）達成。システムは最適化する。	コンセプト設計 (TRL3)	パイロット実証 (TRL6)	委託後直火、ラジアントチューブバーナに依る実証試験	助成

【項目1-A】

【項目2】

2. 研究開発計画

【項目 1 -A／ 2】 その8 アンモニア後処理システムの技術開発

(2) 研究開発内容（これまでの取組）

研究開発内容	直近のマイルストーン	これまでの開発進捗	進捗度
① 担体開発	・担体は急加熱で温度差が300℃となった際にも亀裂・割れなし	・アンモニア後処理システムに用いる通電加熱SiCハニカム担体のセル数、壁厚、A軸圧縮強度を確認した。本通電加熱SiCハニカム担体にて耐熱衝撃性を自動車規格（JASO M 505-87）に準拠した試験にて耐熱衝撃性を有することを確認した。	◎ 破損無き事を確認
② アンモニア酸化触媒、脱硝触媒、N ₂ O分解触媒開発	・排出未燃アンモニア：10 ppm以下（O₂=11%換算） ・排出NO_x：150 ppm以下（O₂=11%換算） ・排出N₂O：10 ppm以下（O₂=11%換算）	・ベンチスケール炉（～80kW）の排ガス条件の整理を広島大学分室及び、三建産業分室の協力の下、キャタラー分室にて実施した。 ・アンモニア改質触媒の触媒仕様選定に向けて模擬ガスを用いたモデルガス装置での触媒評価を開始し、触媒仕様A、Bによる浄化特性を確認した。	◎ 計画通り進捗 ◎ 計画通り進捗
③ 後処理システム開発	・ベンチスケール炉（～80kW、100kW～）級バーナーにおいて排出未燃アンモニア：10 ppm以下、排出NO_x：150 ppm以下、排出N₂O：10ppm以下（全てO₂=11%換算）達成（炉稼働～定常運転～炉停止の動作時） ・実測データとシミュレーション計算値の誤差が±15%以内のモデルを作成	・アンモニア酸化触媒、脱硝触媒、N₂O分解触媒が搭載可能なアンモニア後処理器、通電加熱装置、記録装置で構成されたアンモニア後処理装置を製作し、広島大学分室・三建産業分室のベンチスケール炉（～80kW）に設置した。また、現状把握の一環として、設置箇所におけるベンチスケール炉からの排ガス温度の確認を実施した。	○ キャタラー既存技術品のアンモニア後処理触媒の後処理器での評価を進捗する。

2. 研究開発計画

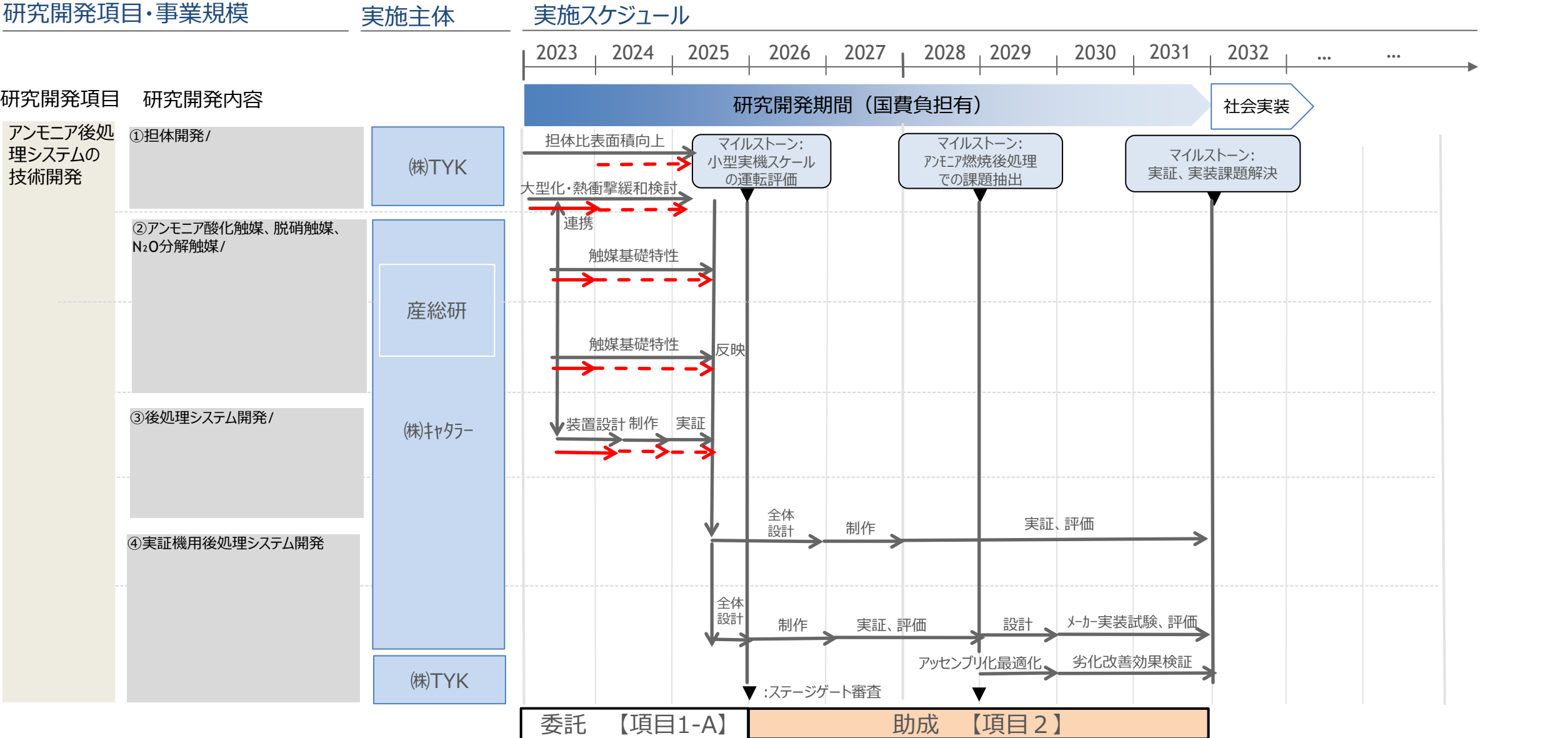
【項目 1 -A／ 2】 その8 アンモニア後処理システムの技術開発

(2) 研究開発内容（今後の取組）

研究開発内容	直近のマイルストーン	残された技術課題	解決の見通し
1 担体開発	・担体は急加熱で温度差が300℃となった際にも亀裂・割れなし	・担体セル数、壁厚を変えた担体での担体強度を確認する。	担体の設計パラメーター設定
2 アンモニア酸化触媒、脱硝触媒、N ₂ O分解触媒開発	・排出未燃アンモニア：10 ppm以下 (O₂=11%換算) ・排出NO_x：150 ppm以下 (O₂=11%換算) ・排出N₂O：10 ppm以下 (O₂=11%換算)	・ベンチスケール炉（100kW～）の使用条件の情報収集及び、触媒仕様の開発を進める。 ・アンモニア後処理（アンモニア改質も評価可能）の使用条件を模擬することのできる触媒開発を実施する。	炉メーカー開発連携を実施する。 2024年度のアンモニア後処理評価設備（アンモニア改質評価設備も可能）の導入する。
3 後処理システム開発	・ベンチスケール炉（～80kW、100kW～）級バーナーにおいて排出未燃アンモニア：10 ppm以下、排出NO_x：150 ppm以下、排出N₂O：10ppm以下(全てO₂=11%換算)達成 （炉稼働～定常運転～炉停止の動作時） ・実測データとシミュレーション計算値の誤差が±15%以内のモデルを作成	・ベンチスケール炉（～80kW、100kW～）級バーナーにおいて排出未燃アンモニア：10 ppm以下、排出NO_x：150 ppm以下、排出N₂O：10ppm以下(全てO₂=11%換算)達成できるかをキャタラー既存技術品、開発品の触媒仕様にてアンモニア後処理触媒の性能評価を進める。 ・アンモニア酸化反応、脱硝反応、N₂O分反応のシミュレーションモデルの作成を開始し、アンモニア後処理触媒の最適な並び順の設計を行う。	広島大学分室・三建産業分室・ロザイ工業分室など燃焼有知見者、炉メーカー様と協力し触媒性能評価を実施する。 キャタラー既存シミュレーション技術を活用する。

【項目 1 -A／ 2】 その8 アンモニア後処理システムの技術開発

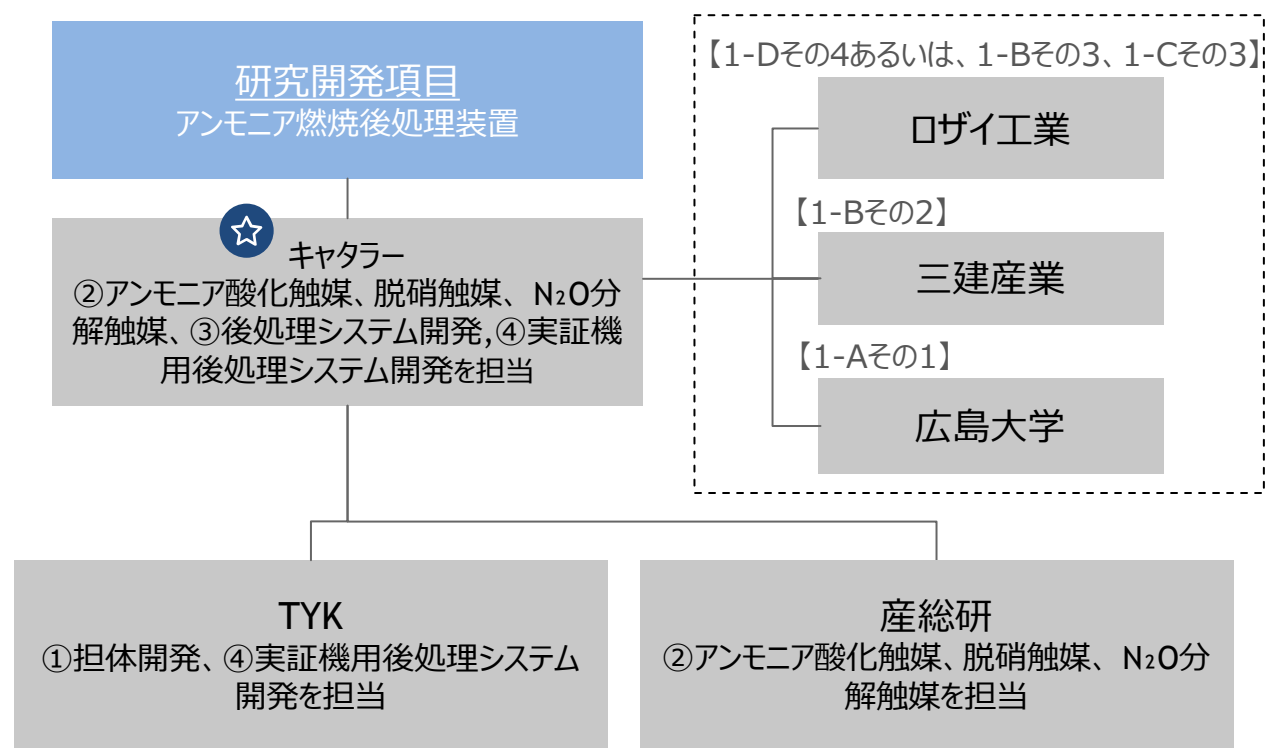
(3) 実施スケジュール



【項目 1 -A／ 2】 その8 アンモニア後処理システムの技術開発

(4) 研究開発体制

実施体制図



各主体の役割と連携方法

各主体の役割

- 全体の取りまとめは、キャタラーが行う
- キャタラーは、触媒、装置、システム、実証を担当する
- 産総研は、触媒材料開発を担当する
- TYKは、担体開発を担当する

研究開発における連携方法（共同提案者間の連携）

- 定期的な開発状況、設計情報交換ミーティング
- 相互の現地現物確認

共同提案者以外の本プロジェクトにおける他実施者等との連携
(特に大学、研究機関等のみで提案する場合、この記載は必須。)

- 1-Aその1、1-Bその2の広島大学・三建産業のベンチスケール炉（炉出力～80kW/炉内温度～1200℃）でのアンモニア燃焼試験による燃焼条件、排ガスデータを活用し、本研究開発項目の一助とする。
- 1-Dその4のロザイ工業殿の（間接加熱式/ラジエントチューブバーナ/炉内温度～700℃）試験設備、あるいは1-Bその3、1-Cその3（直接接触加熱式/リジェネバーナ/炉温～1200℃）試験設備炉を活用し、アンモニア改質装置の評価を実施する見込み。）

2. 研究開発計画

【項目1-A／2】 その8 アンモニア後処理システムの技術開発

(5) 技術的優位性

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
アンモニア後処理システムの技術開発	① 担体開発	- ディーゼル向け大型触媒量産化実績あり - ディーゼル向け大型触媒反応シミュレーション実績あり - DPF開発に基づく細孔特性制御技術 - バス・トラック向け大型DPF作製実績あり	- 多様なコート法あり - シミュレーションと結果に一部乖離あり - 競合他社と組成での差別化 - コーセライトのような大型一体品は困難
	② アンモニア酸化触媒、脱硝触媒、N ₂ O分解触媒開発	- Ba添加した低SAR CuCHA 特7206336号 - ディーゼル～Cu-CHA型ゼオライト - 基材上のPt粒子径制御によりN₂O選択性向上させたASC触媒	- 脱硝触媒活性他社同等以上 - 脱硝触媒量産化実績なし (コスト面での改善要) - 触媒温度マネジメントが必要 - ディーゼル排ガス触媒の実績あり
	③ 後処理システム開発	大型触媒システムのBMC実績より、保温や、設計イメージ有り	- 大型触媒システムのBMC実績多数 - 後処理システム設計の実績はなし
	④ 実証機用後処理システム開発 (直火、ラジアントチューブバーナ)	各自動車メーカーからの実車耐久触媒解析業務及び、BMC解析業務を定常的に実施	TEM等のナノオーダーの解析設備を保有している他社はごく一部

委託

【項目1-A】

助成

【項目2】

2. 研究開発計画

【研究開発項目1】カーボンニュートラル対応工業炉に関する共通基盤技術の開発

【研究開発項目1-B】アンモニア燃焼工業炉の技術確立

【研究開発項目2】金属製品を取り扱うアンモニア燃焼工業炉の技術確立

【項目1-B／2】 その1 アンモニアを燃料とする鉄鋼加熱炉・プロセス炉の開発

(鉄鋼加熱炉)

(1) 研究開発目標
研究開発項目

アンモニアを燃料とする脱炭素次世代工業炉
(鉄鋼加熱炉) の研究開発

アウトプット目標

アンモニア燃焼による鉄鋼加熱炉に適用可能な50%混焼～専焼技術開発に取り組み、脱炭素次世代工業炉の社会実装に向けた技術を確立する

研究開発内容

- ① リジネバーナを用いたアンモニア燃焼技術の開発
- ② 鉄鋼加熱炉を構成する材料への影響検証
- ③ 鉄鋼金属製品への影響検証
- ④ パイロット設備でのアンモニア燃焼式鉄鋼加熱炉システムの確立にむけた基礎検証
- ⑧ パイロット設備でのアンモニア燃焼式鉄鋼加熱炉システムの確立
- ⑨ 鉄鋼加熱炉への社会実装に向けた実装前実証

KPI

- 化石燃料との50%混焼及びアンモニア専焼の安定かつ低エミッション燃焼技術の確立
- 耐火材や金属部材への影響検証手法の確立と評価からの適用材料の選定
- アンモニア燃焼火災および燃焼排ガスが鉄鋼金属製品に及ぼす影響を確認・評価からの影響低減方法の立案
- 数値計算を活用し、リジネバーナシステム複数ペアの設計方針を決定する
- 化石燃料との50%混焼及びアンモニア専焼の制御を含めた最適燃焼技術の確立およびFS完了
- パイロット設備による技術検証をもとに、社会実装に資する判断および脱炭素+αのメリットを評価する

KPI設定の考え方

- 化石燃料との混焼およびアンモニア専焼による、低温時着火性、T/D時の安定燃焼に加え、NOx, 未燃アンモニアの発生を低減する
- 耐火材や金属部材への影響調査と評価に必要なデータを取得する
- 鉄鋼金属製品への影響調査と評価に必要なデータを取得する
- 混焼およびアンモニア専焼の鉄鋼加熱炉システムを構築し、経済合理性を判断する
- 混焼およびアンモニア専焼の鉄鋼加熱炉システムを構築し複合的観点から経済合理性を判断する
- 研究開発内容⑧のフィジビリティスタディを検証するための実証を行う

委託

【項目1-B】

助成

【項目2】

※KPIは後述の「研究開発内容」に示す「KPIの達成レベル」を定量的な指標として研究開発を行うものとします。

2. 研究開発計画

【項目1-B／2】 その1 アンモニアを燃料とする鉄鋼加熱炉・プロセス炉の開発 （鉄鋼プロセス炉）

(1) 研究開発目標

研究開発項目

アンモニアを燃料とする脱炭素次世代工業炉
（鉄鋼プロセス炉）の研究開発

研究開発内容

⑤ ラジアントチューブ(RT)
バーナを用いたアンモニア
燃焼技術の開発

⑥ ラジアントチューブ(RT)
バーナを構成する材料へ
の影響検証

⑦ パイロット設備でのアンモ
ニア燃焼式鉄鋼プロセス
炉システムの確立にむけた
基礎検証

⑩ パイロット設備でのアンモ
ニア燃焼式鉄鋼プロセス
炉システムの確立

⑪ 鉄鋼プロセス炉への社会
実装に向けた実装前実証

アウトプット目標

アンモニア燃焼による鉄鋼プロセス炉に適用可能な50%混焼～専焼技術開発に取り組み、脱炭素次世代工業炉の社会実装に向けた技術を確立する

KPI

RTバーナでのアンモニア専焼による燃焼
安定性および低エミッション技術の確立

金属部材への影響検証手法の確立と
評価からの適用材料の選定

数値計算を活用し、複数台RTバーナ
の設計方針を決定する

アンモニア専焼での制御を含めた鉄鋼プ
ロセス炉システムの確立と実装前実証
に向けたFSを完了する

パイロット設備による技術検証をもとに、
社会実装に資する判断および脱炭素
+αのメリットを評価する

KPI設定の考え方

アンモニア専焼による、低温時着火性、T/D時の安
定燃焼に加え、NO_x、未燃アンモニアの発生を低減
する

チューブ材やノズル材への影響調査と評価に必要な
データを取得する

アンモニア専焼の鉄鋼プロセス炉システムを構築し、
複合的観点から経済合理性を判断する

アンモニア専焼の鉄鋼プロセス炉システムを構築し、
複合的観点から経済合理性を判断する

研究開発内容⑩のフィジビリティスタディを検証する
ための実証を行う

委
託

【項目1-B】

助
成

【項目2】

※KPIは後述の「研究開発内容」に示す「KPIの達成レベル」を定量的な指標として研究開発を行うものとします。

2. 研究開発計画

【項目1-B／2】 その1 アンモニアを燃料とする鉄鋼加熱炉・プロセス炉の開発

(鉄鋼加熱炉)

(2) 研究開発内容

KPI

現状

達成レベル

解決方法

実現可能性（成功確率）

1	リジェネバーナを用いたアンモニア燃烧技術の開発	化石燃料との50%混焼及びアンモニア専焼の安定かつ低エミッション燃烧技術の確立	100kW級専焼試験 ・1300℃での安定燃烧 ・NOx:120ppm ・未燃NH3:25ppm (TRL3)	1MW級50%混焼及び専焼試験にて ・1300℃での安定燃烧 ・NOx:120ppm ・未燃NH3:25ppm (TRL4)	混焼および専焼試験を実施	既存燃烧技術の応用も可能であるが、課題が顕在化する可能性がある（70%）
2	鉄鋼加熱炉を構成する材料への影響検証	耐火材および金属材料への影響検証手法の確立と評価からの適用材料の選定	100kW級専焼試験アンモニア燃烧雰囲気下における短期暴露試験を実施(TRL2)	・機械的性質の基準を明確にし、材料を選定すること (TRL3)	鉄鋼加熱炉やバーナで使用される材料への影響調査と評価に必要なデータを取得する	実現可能性は高いが、課題が出る可能性がある（80%）
3	鉄鋼金属製品への影響検証	汎用金属製品への影響検証手法の確立と評価からの影響低減方法の立案	100kW級専焼試験アンモニア燃烧雰囲気下における短期暴露試験を実施(TRL2)	・機械的性質の基準を明確にし、影響低減方法を立案すること (TRL3)	汎用的な鉄鋼金属製品への影響調査と評価に必要なデータを取得する	実現可能性は高いが、課題が出る可能性がある（70%）
4	パイロット設備でのアンモニア燃烧式鉄鋼加熱炉システムの確立に向けた基礎検証	数値計算を活用し、リジェネバーナシステム複数ペアの設計方針を決定する	鉄鋼加熱炉への適用に向けて必要条件の抽出 (TRL3)	・試算を実施し、設計に反映させる。(TRL3)	①の結果及び数値計算の結果を活用する	予測していない課題が顕在化する可能性がある（50%）
8	パイロット設備でのアンモニア燃烧式鉄鋼加熱炉システムの確立	化石燃料との50%混焼及びアンモニア専焼の制御を含めた最適燃烧技術の確立およびFS完了	鉄鋼加熱炉への適用に向けて必要条件の抽出 (TRL3)	パイロット設備の50%混焼及び専焼システムに必要な条件整理 (TRL5)	鉄鋼加熱炉へのアンモニア燃烧技術適用時の課題の明確化とその克服対策を検証する。複合的観点から社会実装に向けた評価を行う	現段階では予測していない課題が顕在化する可能性がある（50%）
9	鉄鋼加熱炉への社会実装に向けた実証前実証	開発した技術の実証を行い、安全、環境、品質、安定操業、+αメトリックを検証することで、社会実装へ繋げる	アンモニアを燃料とする鉄鋼加熱炉はこれまでに無い(TRL3)	①～④での検証項目を検証し、社会実装化に資する技術であることを証明する (TRL6)	フィジビリティスタディを検証するための実証を行う	供給インフラ、供給量及び価格等の影響も大きいことから、パイロット設備での技術検証にて実証条件を決定する

委託

助成

【項目1-B】

【項目2】

2. 研究開発計画

【項目1-B／2】 その1 アンモニアを燃料とする鉄鋼加熱炉・プロセス炉の開発

(鉄鋼プロセス炉)

(2) 研究開発内容

実現可能性
(成功確率)

5	ラジアントチューブ(RT)バーナを用いたアンモニア燃焼技術の開発	150kW級RTバーナでのアンモニア専焼による燃焼安定性および低エミッション技術の確立	50kW級専焼試験 ・950℃での安定燃焼 ・NOx:25ppm ・未燃NH3:25ppm (TRL3)	150kW級専焼試験にて ・950℃での安定燃焼 ・NOx:25ppm ・未燃NH3:25ppm (TRL4)	アンモニア改質技術による専焼試験をバーナ単体で実施	実現可能性は高いが、課題が出る可能性がある (80%)
6	ラジアントチューブ(RT)バーナを構成する材料への影響検証	金属部材への影響検証手法の確立と評価からの適用材料の選定	50kW級専焼試験アンモニア燃焼雰囲気下における短期暴露試験を実施(TRL2)	・機械的性質の基準を明確にし、材料を選定すること (TRL3)	RTバーナで使用されるチューブ材やノズル材への影響調査と評価に必要なデータを取得する	実現可能性は高いが、課題が出る可能性がある (80%)
7	パイロット設備でのアンモニア燃焼式鉄鋼プロセス炉システムの確立に向けた基礎検証	数値計算を活用し、複数台RTバーナの設計方針を決定する	鉄鋼プロセス炉への適用に向けて必要条件の抽出(TRL3)	・試計算を実施し、設計に反映させる。(TRL3)	⑤の結果及び数値計算の結果を活用する	予測していない課題が顕在化する可能性がある (50%)
10	パイロット設備でのアンモニア燃焼式鉄鋼プロセス炉システムの確立	アンモニア専焼での制御を含めた鉄鋼プロセス炉システムの確立と実装前実証に向けたFSの完了	鉄鋼プロセス炉への適用に向けて必要条件の抽出(TRL3)	パイロット設備でのアンモニア専焼システムの確立と、社会実装に資する経済合理性の条件整理(TRL5)	数百本のバーナから構成される鉄鋼プロセス炉へのアンモニア燃焼技術適用時の課題の明確化とその克服対策を検証する 複合的観点から社会実装に向けた評価を行う	現段階では予測していない課題が顕在化する可能性がある (60%)
11	鉄鋼プロセス炉への社会実装に向けた実装前実証	開発した技術の実証を行い、安全、環境、品質、安定操業、+αメリットを検証することで、社会実装へ繋げる	アンモニアを燃料とする鉄鋼プロセス炉はこれまでに無い(TRL3)	⑤～⑦での検証項目を検証し、社会実装化に資する技術であることを証明する (TRL6)	フィジビリティスタディを検証するための実証を行う	供給インフラ、供給量及び価格等の影響も大きいことから、パイロット設備での技術検証にて実証条件を決定する

【項目1-B】

【項目2】

委託

助成

委

託

【項目1-B】

助

成

【項目2】

【項目1-B／2】 その1 アンモニアを燃料とする鉄鋼加熱炉・プロセス炉の開発

(鉄鋼加熱炉)

(2) 研究開発内容（これまでの取組）(1/2)

研究開発内容	直近のマイルストーン	これまでの（前回からの）開発進捗	進捗度
1 リジネバーナを用いたアンモニア燃焼技術の開発	化石燃料との50%混焼及びアンモニア専焼の安定かつ低エミッション燃焼技術の確立(2025年度末)	1MW級リジネバーナ1ペアのNH3燃焼試験へ向け、バルブスタンド、燃焼機器等の設置計画、ならびに安全対策計画推進中。 (燃焼試験は24年9月開始予定)	○ (理由) 計画通り進捗中
2 鉄鋼加熱炉を構成する材料への影響検証	耐火材や金属部材への影響検証手法の確立と評価からの適用材料の選定(2025年度末)	小型電気炉を用いた材料評価試験計画推進中 材料種類、試験条件、試験場所を決定	○ (理由) 計画通り進捗中
3 鉄鋼金属製品への影響検証	アンモニア燃焼火災および燃焼排ガスが鉄鋼金属製品に及ぼす影響を確認・評価からの影響低減方法の立案(2025年度末)	小型電気炉を用いた材料評価試験計画推進中 材料種類、試験条件、試験場所を決定	○ (理由) 計画通り進捗中
4 パイロット設備でのアンモニア燃焼式鉄鋼加熱炉システムの確立に向けた基礎検証	数値計算を活用し、リジネバーナシステム複数ペアの設計方針を決定する(2025年度末)	リジネバーナシステム複数ペアでの開発試験内容の立案計画 開発検証項目に対する目標値の設定および、検証に必要な設備構成を計画していく。	○ (理由) 計画通り進捗中

2. 研究開発計画

【項目1-B／2】 その1 アンモニアを燃料とする鉄鋼加熱炉・プロセス炉の開発 (鉄鋼プロセス炉)

(2) 研究開発内容（これまでの取組） (2/2)

研究開発内容	直近のマイルストーン	これまでの（前回からの）開発進捗	進捗度
5 ラジアントチューブ(RT)バーナを用いたアンモニア燃焼技術の開発	150kW級RTバーナでのアンモニア専焼による燃焼安定性および低エミッション技術の確立(2025年度末)	150kW級アンモニアラジアントチューブバーナのNH3燃焼試験へ向け、バルブスタンド、燃焼機器等の設置計画、ならびに安全対策計画推進中（燃焼試験は24年10月開始予定）	○ (理由) 計画通り進捗中
6 ラジアントチューブ(RT)バーナを構成する材料への影響検証	金属部材への影響検証手法の確立と評価からの適用材料の選定(2025年度末)	小型電気炉を用いた材料評価試験計画推進中 材料種類、試験条件、試験場所を決定	○ (理由) 計画通り進捗中
7 パイロット設備でのアンモニア燃焼式鉄鋼プロセス炉システムの確立に向けた基礎検証	数値計算を活用し、複数台RTバーナの設計方針を決定する(2025年度末)	複数台ラジアントチューブバーナの開発試験内容の立案計画。開発検証項目に対する目標値の設定および、検証に必要な設備構成を計画していく。	○ (理由) 計画通り進捗中

2. 研究開発計画

【項目1-B／2】 その1 アンモニアを燃料とする鉄鋼加熱炉・プロセス炉の開発

(鉄鋼加熱炉)

(2) 研究開発内容（今後の取組）(1/2)

研究開発内容	直近のマイルストーン	残された技術課題	解決の見通し
1 リジエネバーナを用いたアンモニア燃焼技術の開発	化石燃料との50%混焼及びアンモニア専焼の安定かつ低エミッション燃焼技術の確立(2025年度末)	1MW級リジエネバーナ1ペアを用いて、アンモニア-化石燃料を混焼させた際のNOx、未燃アンモニアなどの燃焼排ガ斯特性のデータを採取する。	24年度中にバルブスタンド、燃焼機器等設置完了後、順次、燃焼試験を開始
2 鉄鋼加熱炉を構成する材料への影響検証	耐火材や金属部材への影響検証手法の確立と評価からの適用材料の選定(2025年度末)	小型電気炉を用いて、鉄鋼加熱炉やバーナで使用される材料を炉内に配置し、窒化などにおける影響調査とその評価に必要なデータを取得する。	24年度中に小型電気炉設置完了後、順次、試験を開始
3 鉄鋼金属製品への影響検証	アンモニア燃焼火炎および燃焼排ガスが鉄鋼金属製品に及ぼす影響を確認・評価からの影響低減方法の立案(2025年度末)	小型電気炉を用いて、汎用的な鉄鋼金属製品を炉内に配置し、窒化などにおける影響調査とその評価に必要なデータを取得する。	24年度中に小型電気炉設置完了後、順次、試験を開始
4 パイロット設備でのアンモニア燃焼式鉄鋼加熱炉システムの確立に向けた基礎検証	数値計算を活用し、リジエネバーナシステム複数ペアの設計方針を決定する(2025年度末)	鉄鋼メーカーと工業炉メーカーにてあるべき脱炭素型加熱炉の姿（炉の仕様、操業方法）の知見を取り入れ、開発試験内容を整理する。	①「リジエネバーナを用いたアンモニア燃焼技術の開発」から得られた知見をもとに開発試験内容の検討を実施する。

2. 研究開発計画

【項目1-B／2】 その1 アンモニアを燃料とする鉄鋼加熱炉・プロセス炉の開発 (鉄鋼プロセス炉)

(2) 研究開発内容（今後の取組） (2/2)

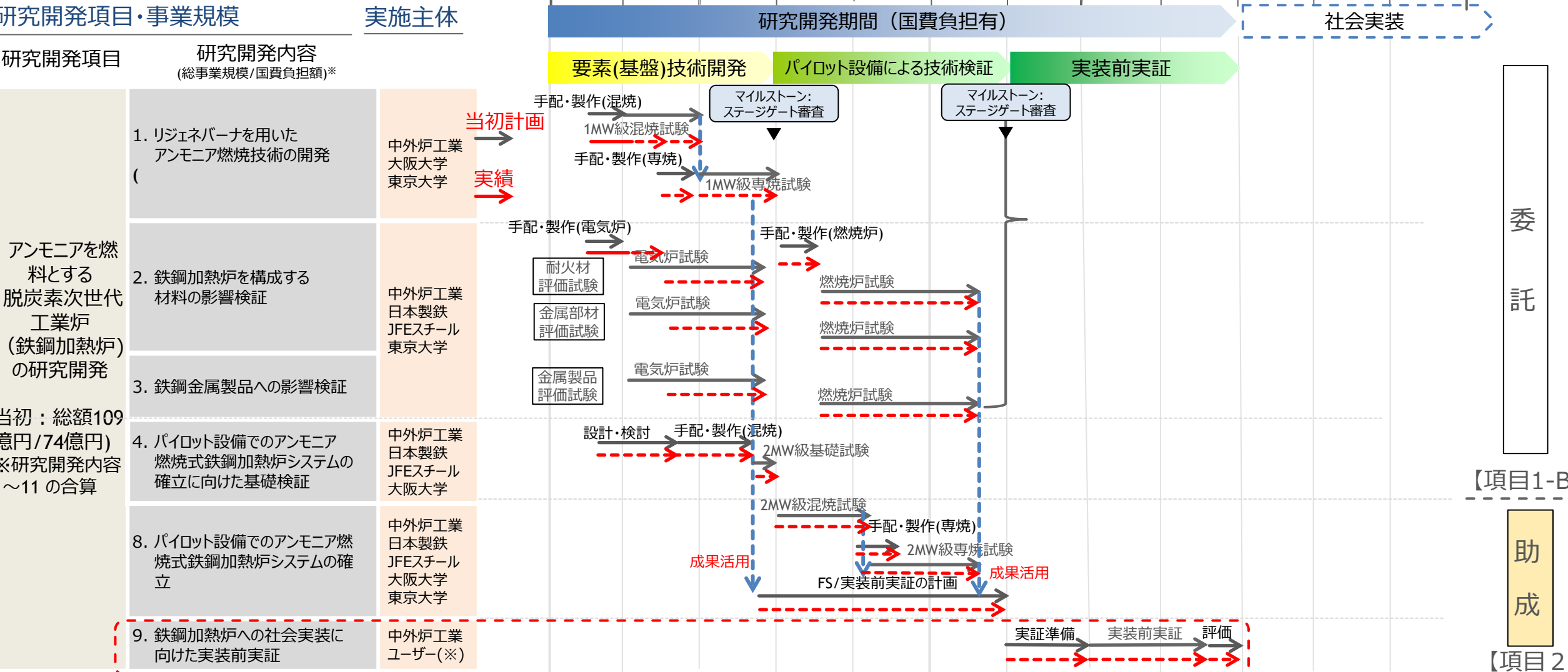
研究開発内容	直近のマイルストーン	残された技術課題	解決の見通し
5 ラジアントチューブ(RT)バーナを用いたアンモニア燃焼技術の開発	150kW級RTバーナでのアンモニア専焼による燃焼安定性および低エミッション技術の確立(2025年度末)	150kW級アンモニアラジアントチューブバーナを用いて、アンモニアを燃焼させた際のNOx、未燃アンモニアなどの燃焼排ガ斯特性のデータを採取する。	24年度中にバルブスタンド、燃焼機器等設置完了後、順次、燃焼試験を開始
6 ラジアントチューブ(RT)バーナを構成する材料への影響検証	金属部材への影響検証手法の確立と評価からの適用材料の選定(2025年度末)	小型電気炉を用いて、ラジアントチューブ(RT)バーナで使用されるチューブ材やノズル材を炉内に配置し、窒化などにおける影響調査とその評価に必要なデータを取得する。	24年度中に小型電気炉設置完了後、順次、試験を開始
7 パイロット設備でのアンモニア燃焼式鉄鋼プロセス炉システムの確立に向けた基礎検証	数値計算を活用し、複数台RTバーナの設計方針を決定する(2025年度末)	鉄鋼メーカーと工業炉メーカーにてあるべき脱炭素型加熱炉の姿（炉の仕様、操業方法）の知見を取り入れ、開発試験内容を整理する。	⑤「ラジアントチューブ(RT)バーナを用いたアンモニア燃焼技術の開発」から得られた知見をもとに開発試験内容の検討を実施する。

【項目1-B／2】 その1 アンモニアを燃料とする鉄鋼加熱炉・プロセス炉の開発

(鉄鋼加熱炉)

(3) 実施スケジュール(1/2)

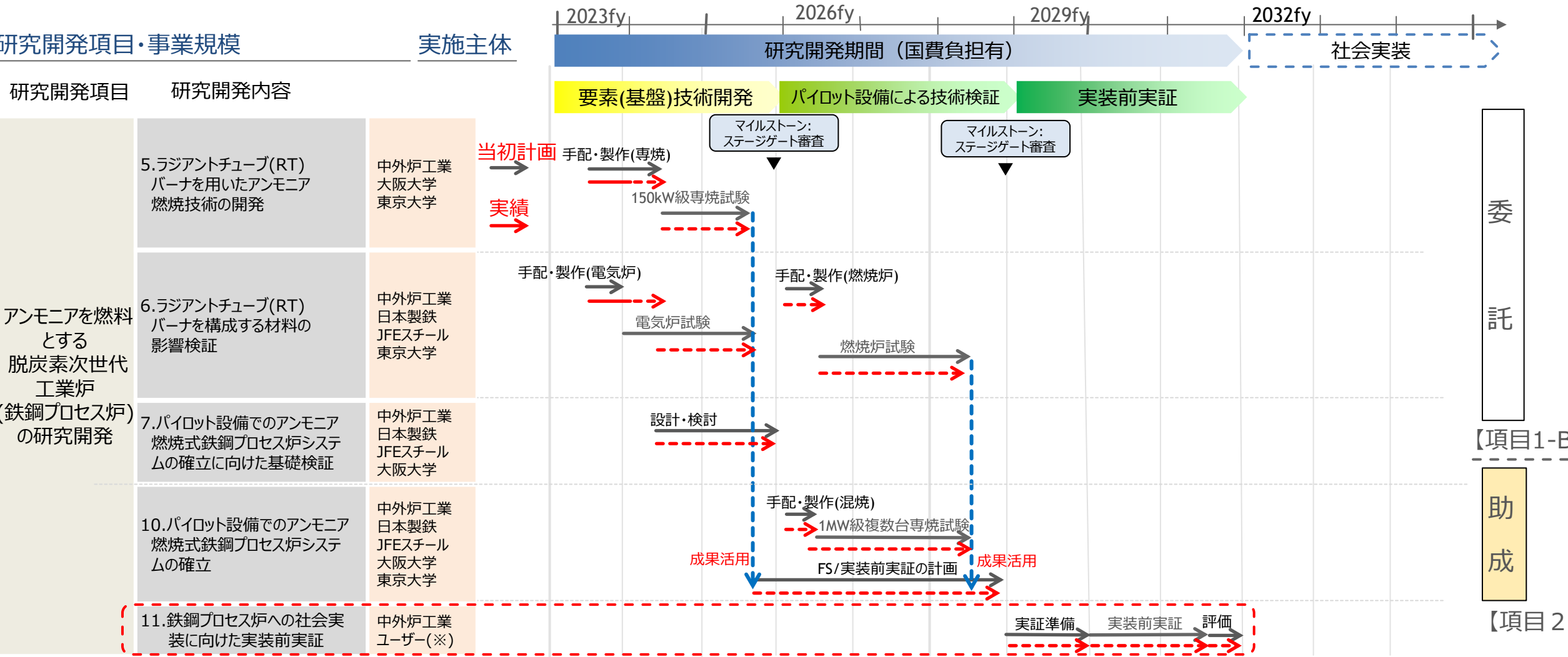
実施スケジュール



【項目1-B／2】 その1 アンモニアを燃料とする鉄鋼加熱炉・プロセス炉の開発 (鉄鋼プロセス炉)

(3) 実施スケジュール(2/2)

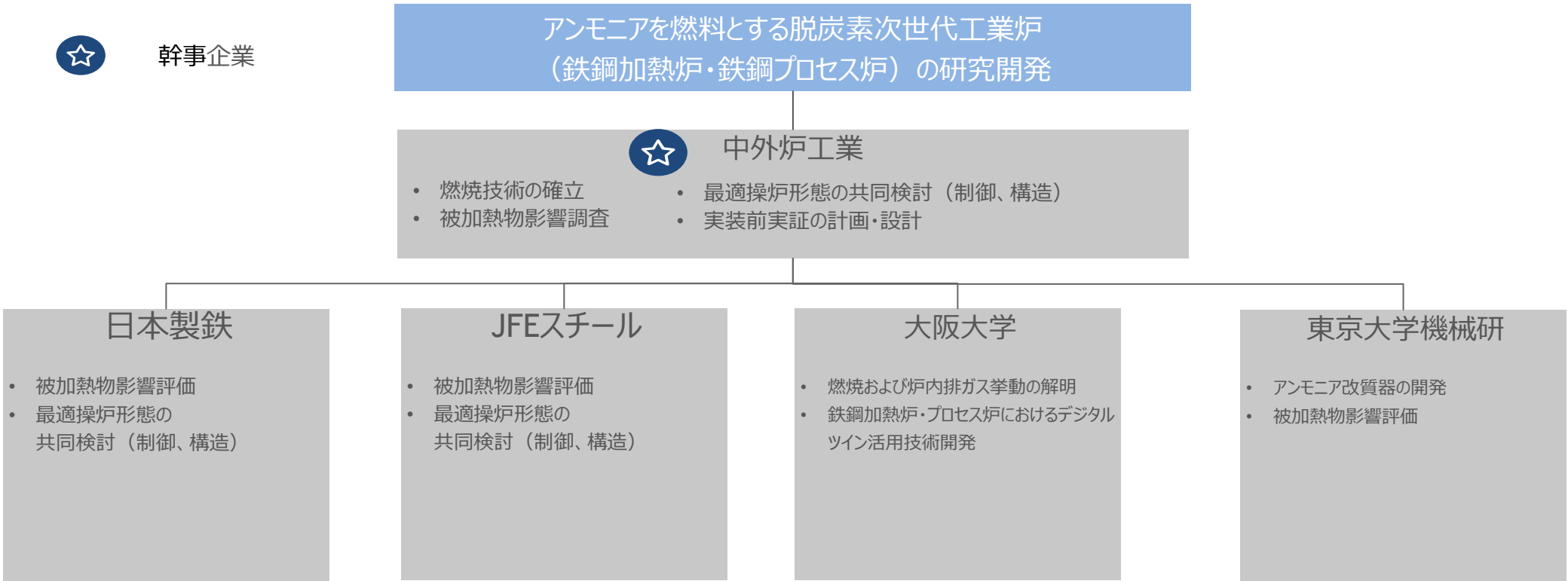
実施スケジュール



【項目1-B／2】 その1 アンモニアを燃料とする鉄鋼加熱炉・プロセス炉の開発

(鉄鋼加熱炉)
(鉄鋼プロセス炉)

(4) 研究開発体制



【項目1-B／2】

その1 アンモニアを燃料とする鉄鋼加熱炉・プロセス炉の開発

(鉄鋼加熱炉)

(5) 技術的優位性

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
アンモニアを燃料とする 脱炭素次世代工業炉 (鉄鋼加熱炉) の 研究開発	1. リジネバーナを用いた アンモニア燃焼技術の開発	- 燃焼性の低い燃料を用いた燃焼技術 - 多段燃焼などによる低NOx燃焼技術 - 排熱回収技術、改質ガス製造技術	<優位性> - NEDOエネ環・先導研究にてアンモニア燃焼の 先行開発実施 - アンモニア燃焼に関する特許取得 - 自社研究所にてアンモニア燃焼テストが可能
	2. 鉄鋼加熱炉を構成する材料の 影響検証	- 鉄鋼加熱炉における築炉技術 - 炉構成材料および金属製品の材料評価技術	<優位性> - 国内外の鉄鋼加熱炉に多数の納入実績を 有する - 日本を代表する製鉄プロセス技術を有する
	3. 鉄鋼金属製品への影響検証		
	4. パイロット設備による アンモニア燃焼式鉄鋼 加熱炉システムの確立 に向けた基礎検証	- 鉄鋼加熱炉の設計技術 - 鉄鋼加熱炉の操業・メンテナンス技術	<優位性> 加熱炉設計・建設実績に基づくノウハウを 有する
	8. パイロット設備による アンモニア燃焼式鉄鋼 加熱炉システムの確立	- 鉄鋼加熱炉の設計技術 - 鉄鋼加熱炉の操業・メンテナンス技術 - シミュレーション・デジタルツイン技術	<優位性> - 多くの鉄鋼加熱炉を保有しており、社会実装 に向けて、専焼・混焼といった多面的な展開が 可能である - 加熱炉設計・建設実績に基づくノウハウを 有する
	9. 鉄鋼加熱炉への社会 実装に向けた実装前実証	- 鉄鋼加熱炉の設計技術 - 鉄鋼加熱炉の操業・メンテナンス技術	

委
託

【項目1-B】

助
成

【項目2】

【項目1-B／2】 その1 アンモニアを燃料とする鉄鋼加熱炉・プロセス炉の開発 (鉄鋼プロセス炉)

(5) 技術的優位性

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク	
アンモニアを燃料とする脱炭素次世代工業炉（鉄鋼プロセス炉）の研究開発	5. ラジアントチューブ(RT)バーナを用いたアンモニア燃焼技術の開発	燃焼性の低い燃料を用いた燃焼技術 ・ チューブ内緩慢燃焼などによる低NOx燃焼技術 ・ 排熱回収技術、改質ガス製造技術	＜優位性＞ ・ NEDOエネ環・先導研究にてアンモニア燃焼の先行開発実施 ・ アンモニア燃焼に関する特許取得 ・ 自社研究所にてアンモニア燃焼テストが可能	委託
	6. ラジアントチューブ(RT)バーナを構成する材料の影響検証証	・ バーナ構成材料の材料評価技術	＜優位性＞ ・ 国内外の鉄鋼プロセス炉に多数の納入実績を有する	
	7. パイロット設備によるアンモニア燃焼式鉄鋼プロセス炉システムの確立に向けた基礎検証	・ 鉄鋼プロセス炉の設計技術 ・ 鉄鋼プロセス炉の操業・メンテナンス技術	＜優位性＞ ・ プロセス炉設計・建設実績に基づくノウハウを有する	
	10. パイロット設備によるアンモニア燃焼式鉄鋼プロセス炉システムの確立	・ 鉄鋼プロセス炉の設計技術 ・ 鉄鋼プロセス炉の操業・メンテナンス技術 ・ シミュレーション・デジタルツイン技術	＜優位性＞ ・ 多くの鉄鋼プロセス炉を保有しており、社会実装に向けて、専焼・混焼といった多面的な展開が可能である ・ プロセス炉設計・建設実績に基づくノウハウを有する	助成
	11. 鉄鋼プロセス炉への社会実装に向けた実装前実証	・ 鉄鋼プロセス炉の設計技術 ・ 鉄鋼プロセス炉の操業・メンテナンス技術		

【項目1-B】

【項目2】

【項目1-B／2】 その2 アンモニアを燃料とする鉄鋼鍛造炉の開発

(1) 研究開発目標

- ・アンモニア燃焼による鍛造加熱炉50%混焼～専焼を達成する。
先導研究「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」における成果を活用し、その課題に対し研究開発に取り組み、脱炭素次世代工業炉の社会実装に向けた技術確立する。

研究開発項目

アンモニア燃焼による鍛造加熱炉の技術開発

アウトプット目標

鍛造加熱炉においてアンモニア(NH₃)を燃料とし50%以上の混焼技術開発、社会実装を達成する。専焼については社会実装の目処を立てる。

研究開発内容

- ① 混焼率UPに関する低NO_x燃焼技術の開発
- ② 低温燃焼時における低未燃NH₃、低N₂O燃焼技術の開発
- ③ 被加熱物・耐火物における分析と開発
- ④ 大型試験炉における燃焼技術開発
- ⑤ 中規模検証炉・実証炉の社会実装

KPI

- 混焼率UPでもNO_x発生を150ppm以下に抑制する
- 低温燃焼時の未燃NH₃、N₂Oを10ppm以下にする
- ①被加熱物は従来材料相当の強度を維持する
②耐火物は短期暴露試験を実施し、組織の影響を実用的に問題ないレベルに抑える
- 研究開発項目①～③を大型試験炉規模で達成する
- 研究開発項目①～④の実証を中規模検証炉・実証炉規模で達成する

KPI設定の考え方

- 専焼時NO_x発生機構の解明
低温時低NO_x燃焼技術の開発、規制値
- NH₃を燃料とし他の燃焼方式に取り組む
- 低温・昇温を含めてNH₃燃焼を実現し、被加熱物と耐火物に関し品質検証する
- サイズアップによる研究開発項目①～③の効果と中規模検証炉・実証炉の適用を検証する
- 商用も可能な実炉を実績やテスト炉のデータを基にシミュレーションを活用し検討する

委託

助成

【項目1-B】

【項目2】

2. 研究開発計画

【項目1-B／2】 その2 アンモニアを燃料とする鉄鋼鍛造炉の開発

(2) 研究開発内容（全体像）

- ・先導研究「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」において、専焼でも低NO_xであることが確認されたが、そのメカニズム解明に至っていない。また、課題として低温時の低NO_x化について研究開発に継続して取り組む。
- ・高温時の低NO_x化を中規模検証炉・実証炉でも再現可能にするため、シミュレーションによる検証に取り組む。

研究開発内容	KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 (成功確率)	
1 混焼率UPに関する低NO _x 燃焼技術の開発	混焼率UPでもNO _x 発生を150ppm以下に抑制する	小規模試験 1. TRL2 2. TRL1	NO _x 150ppm以下達成 1.TRL 6 2.TRL 6	1.① テスト炉によるデータ収集 1.② シミュレーションとの分析照合 2.① 他の燃焼方式検討と発案 2.② 燃焼テスト、特性把握および技術開発	先導研成果や関連論文による (70%以上)	委託
2 低温燃焼時における低未燃NH ₃ 、低N ₂ O燃焼技術の開発	低温燃焼時の未燃NH ₃ 、N ₂ Oを10ppm以下にする	構想段階 TRL 2	NH ₃ ・N ₂ O 10ppm以下 TRL 6	・試験機(低温対策バーナ)の開発と製作およびテスト・評価 ・NH ₃ を燃料とし他の燃焼方式に取り組む	先導研成果や他の論文など (70%以上)	
3 被加熱物・耐火物における分析と開発	①被加熱物は従来材料相当の強度を維持する ②耐火物は短期暴露試験を実施し、組織の影響を実用的に問題ないレベルに抑える	1.TRL 5 (高温のみ) 2.TRL 4	1.TRL 7 2.TRL 7	・被加熱物：加熱テストおよび評価 ・耐火物：暴露テストおよび評価 ※いずれもサンプルによる表面組織検査や強度試験	先導研成果より (70%以上)	
4 大型試験炉における燃焼技術開発	研究開発項目①～③を大型試験炉規模で達成する	小規模試験 TRL2	大規模試験 TRL 6	・各種データおよび各機関等相互フィードバック ・シミュレーションによる被加熱物・バーナの検証	先導研成果より (70%以上)	
5 中規模検証炉・実証炉の実装と検証	研究開発項目①～④の実証を中規模検証炉・実証炉規模で達成する	大規模試験 TRL 6	システム試運転 TRL 7	・各種データおよび素反応試験からフィードバック ・シミュレーションによる被加熱物・バーナの検証	知見、データより (70%以上)	助成

【項目1-B】

【項目2】

2. 研究開発計画

【項目1-B／2】 その2 アンモニアを燃料とする鉄鋼鍛造炉の開発

(2) 研究開発内容（これまでの取組）(1/2)

研究開発内容	直近のマイルストーン	これまでの（前回からの）開発進捗	進捗度
1 混焼率UPに関する低NO_x燃焼技術の開発	混焼率を上げててもNO_x発生を150ppm以下に抑制する	広島大学分室のベンチスケール炉（以降BS炉）に本GI事業の研究内容に沿った改造を完了した。 BS炉にオンライン計測できるFTIRガス分析計の発注を終え、2024年6月納入以降、活用を進める。 三建分室内に解析用ワークステーションを設置完了し、2024年度以降活用する。	◎ （理由） 計画通りの進捗のため
2 低温燃焼時における低未燃NH₃、低N₂O燃焼技術の開発	低温燃焼時の未燃NH₃、N₂Oを 10ppm以下にする	アンモニア低温燃焼時に有効と考えている「管状火炎のアンモニア専焼」、「アンモニア-水素混焼の燃焼」の各試験を開始した（広島大学分室主導）。2023年度では、手配した排ガス分析装置が納入されておらず、暫定的にNO_xを測定し1500ppm(11%O₂換算)を確認し、課題が多いことを確認した。 1-Aその6とその8と連携し、改質装置および（排ガス）後処理装置をBS炉への設置を検討している。 このための広島大学分室内の電源供給は必要分を増設した。	◎ （理由） 本項目の難易度は高く、複数の解決方法を同時進行で進捗できている為。

2. 研究開発計画

【項目1-B／2】 その2 アンモニアを燃料とする鉄鋼鍛造炉の開発

(2) 研究開発内容（これまでの取組）(2/2)

研究開発内容

直近のマイルストーン

これまでの（前回からの）開発進捗

進捗度

3

被加熱物・
耐火物におけ
る分析と開発

①被加熱物は従来材料
相当の強度を維持する
②耐火物は短期暴露試
験を実施し、組織の影響
を実用的に問題ないレ
ベルに抑える



1-Aその5と連携し、TYK分室でコーティング処理したSiCボールの加熱試験をBS炉において実施した。分析はTYK分室による。
日本製鋼所M&E分室、1-Aその2と連携し、被加熱物加熱試験のヒートパターン、試験材質および形状を合意した。日本製鋼所M&E分室は被加熱材試験片の製作を推進・完了した。
耐火物加熱試験についてもTYK分室と加熱条件について合意した。

◎
（理由）
本GI事業の各分室、テーマからの実験対応も行っており、また、全体的な進捗も問題ないと判断している

4

大型試験
炉におけ
る燃焼技
術開発

研究開発項目①～③を
大型試験炉規模で達成
する



大型試験炉の建設予定地を確認した。大型試験炉の計画を推進している。バーナはリジェネレーティブバーナとし、機器選定を進めている。併せて、アンモニア供給装置の設置候補地を確認し、アンモニア供給メカと詳細仕様の検討を推進している。

◎
（理由）
大型試験炉の計画が前倒しで開始できている為。

2. 研究開発計画

【項目1-B／2】 その2 アンモニアを燃料とする鉄鋼鍛造炉の開発

(2) 研究開発内容（今後の取組）（1/2）

研究開発内容

直近のマイルストーン

残された技術課題

解決の見通し

1

混焼率UPに関する低NO_x燃焼技術の開発

混焼率UPでもNO_x発生を150ppm以下に抑制する



NO_x生成メカニズムの詳細解明、大空間での燃焼特性の把握

ベンチスケール実験炉でのNO_x生成メカニズムを明確にすること、および、スケールアップした大型試験炉を用いた燃焼試験を行うことで、低NO_xが可能と考える。

2

低温燃焼時における低未燃NH₃、低N₂O燃焼技術の開発

低温燃焼時の未燃NH₃、N₂Oを10ppm以下にする



低温時の燃焼特性を明確にする。

管状火炎、アンモニア改質装置等、複数の対応が可能と考えており、引き続き研究を進める。前項目の混焼率UPを優先して取り組む。

2. 研究開発計画

【項目1-B／2】 その2 アンモニアを燃料とする鉄鋼鍛造炉の開発

(2) 研究開発内容（今後の取組）(2/2)

研究開発内容 直近のマイルストーン

残された技術課題

解決の見通し

3

被加熱物・耐火物における
分析と開発

①被加熱物は従来材料
相当の強度を維持する
②耐火物は短期暴露試験を実施し、組織の影響
を実用的に問題ないレ
ベルに抑える



日本製鋼所M&E分室にて生産されている鋼材サイズでの影響調査、及び、耐火材の経年劣化による評価

大型試験炉、中規模実証炉の運用により、それぞれの技術課題が明確にすることができる為、大型試験炉の設置を計画通り実施する。

4

大型試験炉
における燃焼
技術開発

研究開発項目①～③を
大型試験炉規模で達成
する



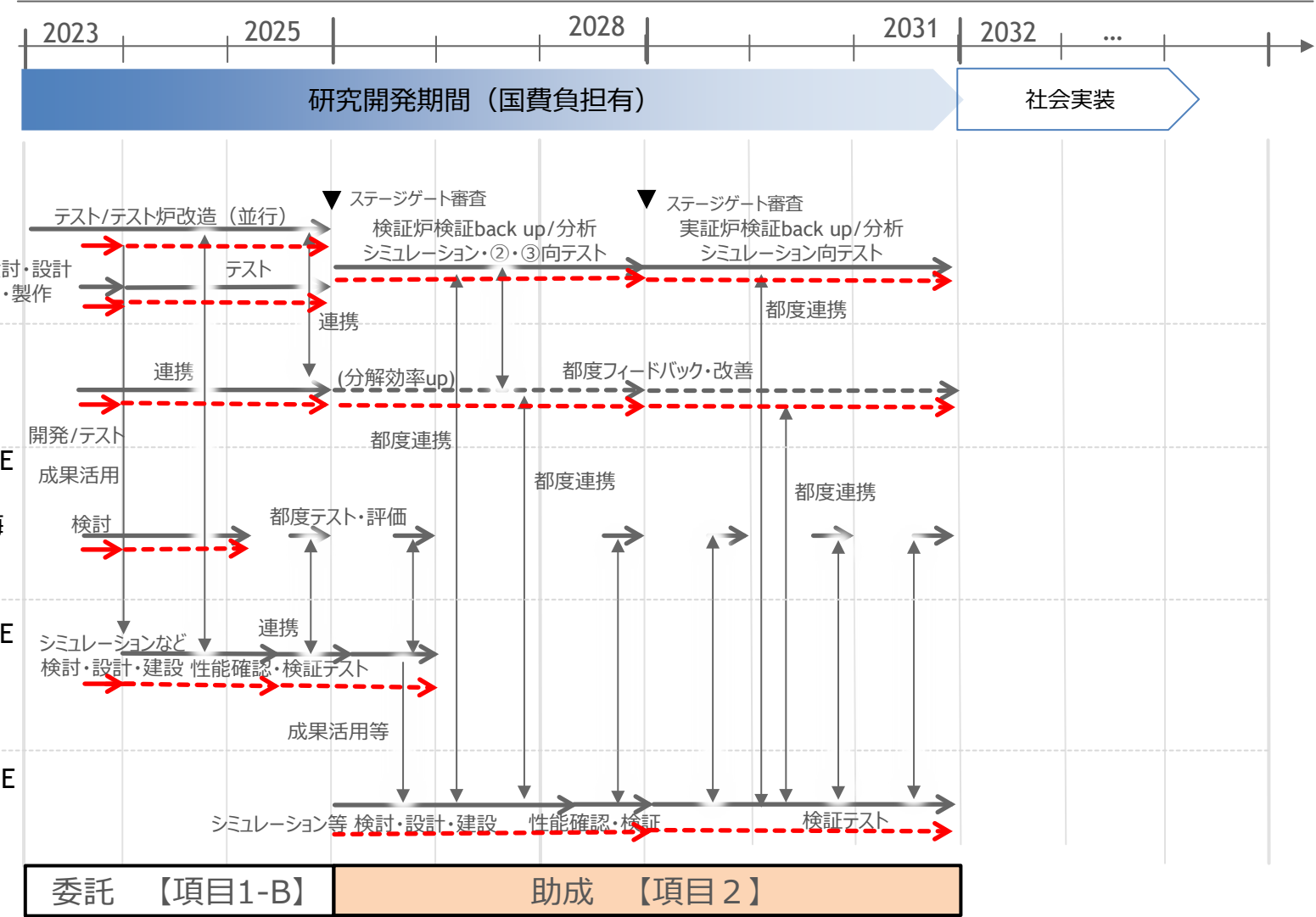
大きな燃焼空間でのNOx生成メカニズム、及び、工業炉に必要な温度均一性の両立

シミュレーションツールの活用、基盤技術グループの知見を活用し、最適解が明確になる。

【項目1-B／2】 その2 アンモニアを燃料とする鉄鋼鍛造炉の開発

(3) 実施スケジュール

実施スケジュール

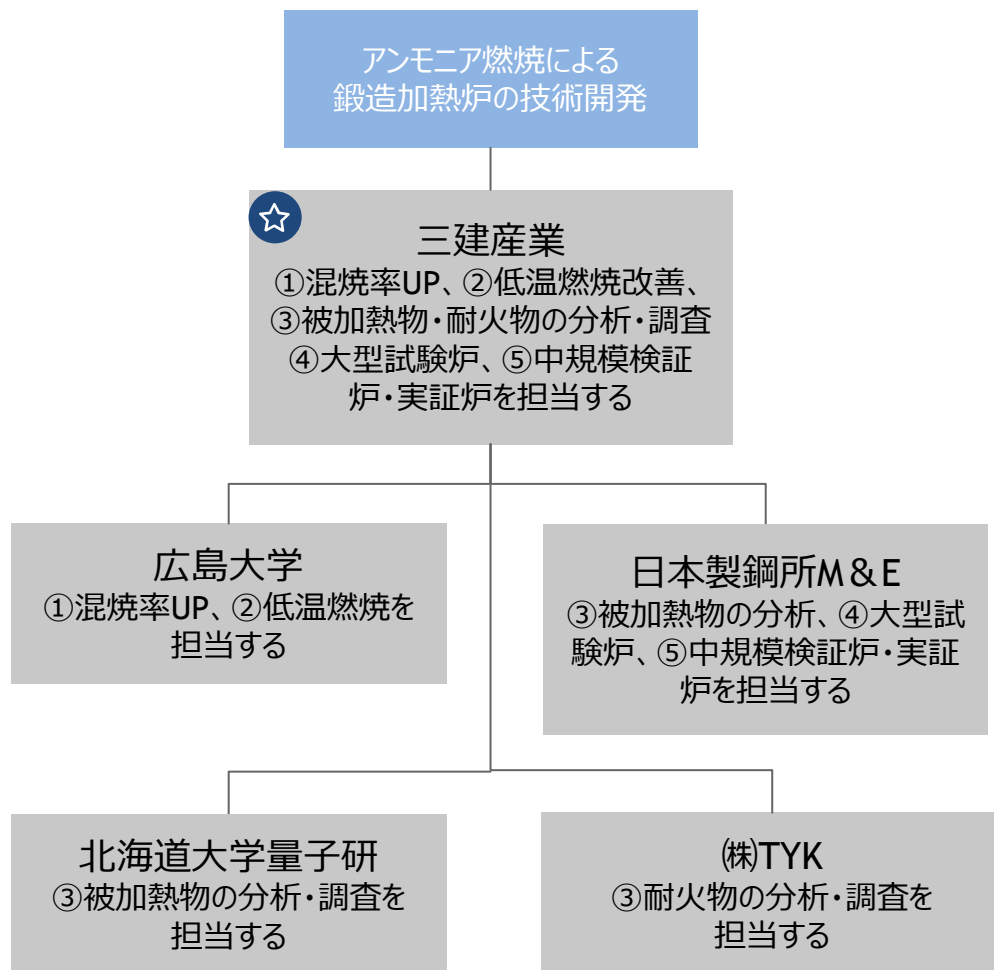


2. 研究開発計画

【項目1-B／2】 その2 アンモニアを燃料とする鉄鋼鍛造炉の開発

(4) 研究開発体制

実施体制図



各主体の役割と連携方法

各主体の役割

- 三建産業は、研究開発項目 1 -Bその2全体を取りまとめる
- 広島大学は、三建産業と共同で混焼率UPと低温燃焼を担当する
- 北海道大学量子研は、日本製鋼所M&Eとともに被加熱物の分析調査を担当する
- 日本製鋼所M&Eは、大型試験炉と中規模検証炉および実証炉の建設・運営の協力と被加熱物の分析・調査を担当する
- TYKは、耐火物の分析と調査を担当する

研究開発における連携方法（共同提案者間の連携）

- 基盤技術Gは、①～⑤すべての項目において全期間、検証back up、サポートおよび支援する。
- 大型試験炉・中規模検証炉・実証炉には、広島大学所有のベンチスケール炉においてTRL3,4を検証しTRL5コンセプトを確立後、試作検討に移行する。
- 大型試験炉・中規模検証および実証炉の検討では各機関・企業の成果を合わせる。またその結果を各々にフィードバックする
- 出願できる成果物に関しては、貢献割合等を関係者で都度協議する。

共同提案者以外の本プロジェクトにおける他実施者等との連携

- 基盤技術Gの各機関と連携をとる。

(1)燃焼G（1-Aその1）	: 広島大学（東北大学流体研、大阪大学、北海道大学宇宙研）
(2)被加熱物G（1-Aその2）	: 東北大学流体研（北海道大学量子研、名工大）
(3)シミュレーションG（1-Aその3）	: 九州大学（京都大学）
(4)耐火物G（1-Aその5）	: ロザイ工業（TYK）
(5) NH ₃ 改質装置G（1-Aその6）	: キャタラー（TYK）

【項目1-B／2】 その2 アンモニアを燃料とする鉄鋼鍛造炉の開発

(5) 技術的優位性

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク	
1. アンモニア燃焼による鍛造加熱炉を社会実装する	1 混焼率UPに関する低NO _x 燃焼技術の開発	- 先導研究「アンモニア(NH₃)を燃料とした脱炭素次世代高性能工業炉の基礎研究」の「ベンチスケール炉の開発とNH₃高温空気燃焼特性の解明」において専焼を実現した成果を活用できる。 - 同先導研究にて課題を見出している。	→ - 関連の特許出願中です - ベンチスケール炉にて産学/三建・広大共同にて継続しテスト・評価が可能です。 - ベンチスケール炉にて別コンセプトの燃焼によるテスト・評価が可能です。	委託
	2 低温燃焼時における低未燃NH ₃ 、低N ₂ O燃焼技術の開発	- 先導研究でNH₃の熱分解を確認している。 - 空気比範囲の広い管状火炎、H₂/NH₃混焼など、他の燃焼方式も確認	→ - NH₃熱分解装置、燃焼促進構造物(スタビライザ)の特許出願中です。 - 産学共同でテスト・評価が可能です。	
	3 被加熱物・耐火物における分析と開発	同先導研究の成果による。	→ - NH₃専燃できるベンチスケール炉を使用して先行しNH₃やH₂の影響を調査できます。 - 基盤技術Gと共同で高度な分析・評価を得られる。	
	4 大型試験炉における燃焼技術開発	同先導研究の成果をベースとし、継続して研究開発することで、より多くの成果を期待できる。	→ - いつでもベンチスケール炉を使用し試験可能であり、並行したBackup体制が準備できる。 - 製品製造ユーザでの建設～検証を予定しており、実機仕様で設計できる。	
	5 中規模検証炉・実証炉の社会実装	同先導研究の成果による。	→ - 製品製造ユーザによる検証・実証であり、ダイレクトな社会実装が可能。 - 化石燃料も使用できるように配慮可能。	助成

【項目1-B】

【項目2】

【項目1-B／2】 その3 アンモニアを燃料とするアルミ溶解炉の開発

(1) 研究開発目標

アンモニアを燃料とするアルミニウム溶解炉の開発

アウトプット目標

アンモニアと天然ガスとのアンモニア=50%混焼技術の確立

研究開発内容

要素技術開発フェーズ1	1	アルミ溶解炉用高温空気燃焼バーナおよび最適炉形の開発
	2	アルミニウムにおよぼすNH ₃ 高温空気燃焼火炎の影響解明
	3	NH ₃ 部分改質器の試験炉での性能評価と運転方法の確立
	4	中規模実証
	5	実機実証

フェーズ2

フェーズ3

KPI

燃焼試験炉を建設し、アルミ溶解炉に適した直進性のある力強い火炎を形成するため、燃料投入方法やバーナ配置を最適化する。
既存燃料からNH ₃ 燃焼に変わり火炎中の中間生成物に変化、反応の基礎調査する。特に水素、窒化物等の各アルミ合金ごとの影響因子を特定する
設備（燃焼試験炉）での性能評価 アンモニアの改質能力確認と、運転特性、温度と流量の変化に対する制御の最適化を行う

上記①～③の目標を達成したうえで中規模設備での安定操業 ※

上記④の目標を達成したうえで大規模設備での安定操業 ※

※ ④、⑤では、上記①で建設した燃焼試験炉を用いて実証設備での燃焼試験の補足、検証などを行う

KPI設定の考え方

アルミニウムは、光を良く反射するため、バーナ火炎を直接、被加熱物に接触させる。アンモニアは、窒素分が多いため、多量のNOxの発生が予想される
NH ₃ 燃焼によるアルミニウムの組織や特性に与える影響の技術的情報がない 燃焼試験炉での溶解試験では、実操業に近い形で行い、既存燃料との差異を確認する
実設備に装着した場合での性能評価と、物理的な耐久性（熱変形、振動）の評価が必要である

中規模設備においてアンモニアと天然ガスとのNH₃=50%混焼での安定操業と安全性の確保

大規模設備においてアンモニアと天然ガスとのNH₃=50%混焼での安定操業と安全性の確保

委託

助成

【項目1-B】

【項目2】

2. 研究開発計画

【項目1-B／2】 その3 アンモニアを燃料とするアルミ溶解炉の開発

(2) 研究開発内容（全体像）

要素技術開発フェーズ1	研究開発内容	KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 (成功確率)	委託
	1 アルミ溶解炉用高温空気燃焼バーナおよび最適炉形の開発	燃焼試験炉を建設し、アルミ溶解炉に適した直進性のある力強い火炎を形成するため、燃料投入方法やバーナ配置を最適化する。	(TRL2)	小型実機スケールの検証 (TRL3)	- 炉内温度=1000℃以下はNH₃部分改質を活用 - 最適炉形は燃焼性と被加熱物への影響を考慮	予想外の課題が発生する可能性がある (80%)	【項目1-B】
	2 アルミニウムにおよぼすNH ₃ 高温空気燃焼火炎の影響解明	既存燃料からNH ₃ 燃焼に変わり火炎中の中間生成物に変化、反応の基礎調査する。特に水素、窒化物等の各アルミ合金ごとの影響因子を特定する	サブスケール試験炉の検証 (TRL2)		上記①の燃焼試験と材料試験から得られるデータからバーナ配置や燃料ノズルの配置を検証する	予想外の課題が発生する可能性がある (80%)	
	3 NH ₃ 部分改質器の試験炉での性能評価と運転方法の確立	設備（燃焼試験炉）での性能評価 アンモニアの改質能力確認と運転特性、温度と流量の変化に対する制御の最適化を行う		(TRL3)	燃焼試験炉で試験を行う事で、実設備の運転に近い条件をつくり試験を実施する。	予想外の課題が発生する可能性がある (70%)	
	4 中規模実証 フェーズ2	上記①～③の目標を達成したうえで中規模設備での安定操業	小型実機スケールの検証 (TRL4)	中規模スケールの検証 (TRL5)	流体解析等を用いてスケールアップについて十分にシミュレーションを行う。	供給インフラ、燃料コストの価格変動等 (80%)	【項目2】
	5 実機実証 フェーズ3	上記④の目標を達成したうえで大規模設備での安定操業	中規模スケールの検証 (TRL5)	実機スケールの検証 (TRL7)	ユーティリティ、メンテナンス性、安全性などの確認	供給インフラ、燃料コストの価格変動等 (80%)	
							助成

【項目1-B／2】 その3 アンモニアを燃料とするアルミ溶解炉の開発

(2) 研究開発内容（これまでの取組）(1/2)

研究開発内容	直近のマイルストーン	これまでの（前回からの）開発進捗	進捗度
1 アルミ溶解炉用高温空気燃焼バーナおよび最適炉形の開発	燃焼試験炉を建設し、燃料投入方法やバーナ配置を最適化する。またNOx発生量を150ppm以下（O ₂ =11%換算）とする。	・燃焼試験炉の計画および詳細設計を行った。項目としては機械(燃焼炉/排ガス処理/バーナ)、電気計装、基礎工事/土木工事、ユーティリティの引込、購入機器の手配で、基本/詳細設計は完了(配管設計が一部残っている)。 ・製作品、購入機器は大物と納期がかかる物は全て発注済である。 ・2024年7月～据付開始、9月～試運転を行い→燃焼試験を開始する。	○(理由) 配管設計が一部残っているが、2024年7月からの着工(据付工事)には支障なく完了予定。
2 アルミニウムにおよぼすNH ₃ 高温空気燃焼火炎の影響解明	既存燃料からNH ₃ 燃焼に変わり火炎中の中間生成物が変化、反応の基礎調査する。特に水素、窒化物等の各アルミ合金ごとの影響因子を特定する。	・溶解試験に用いる安定評価可能な調査サンプル作製方法を開発した。坩堝をアルミニウム溶湯と反応しない窒化ケイ素製とする。評価サンプルに酸化膜を残存させないよう溶解用アルミ材の形状を検討。また巣を発生させないよう試験後の溶湯を急冷し分析サンプルを作製する。 ・上記燃焼試験炉の仕様と燃焼条件に合わせた調査サンプルの作製が必要であり、坩堝のサイズ、個数、溶湯の処理方法についても検討した。 ・耐火物試験で用いるガス浸食炉での試験も実施することとした。	○(理由) 安定評価可能な調査サンプルの作製方法を開発のための、手法検討と物品準備を進めた。新しいサンプル作製の予備試験は2024年度9月までに完了予定。

【項目1-B／2】 その3 アンモニアを燃料とするアルミ溶解炉の開発

(2) 研究開発内容（これまでの取組）（2/2）

研究開発内容	直近のマイルストーン	これまでの（前回からの）開発進捗	進捗度
3 NH ₃ 部分改質器の試験炉での性能評価と運転方法の確立	燃焼試験炉での性能評価 アンモニアの改質能力、水素＝30%の確認と運転特性、温度と流量の変化に対する制御の最適化を行う。	・燃焼試験炉に装着する改質器の仕様の検討を行った。改質器の開発を担当するキャタラー分室、TYK分室との情報共有するために、炉設備への装着や運転に関する意見交換、開発状況の情報共有などを実施した。また、燃焼試験設備での改質試験に関して、改質容量、工程などの要望事項を協議した。 ・燃焼試験設備への装着に関して必要容量、設置スペース、電源容量などの検討を行った。	○(理由) 改質器が未だ開発途中であることから、開発状況を睨みながら進めていく、但し事前に準備できることは進めている。

2. 研究開発計画

【項目1-B／2】 その3 アンモニアを燃料とするアルミ溶解炉の開発

(2) 研究開発内容（今後の取組）(1/2)

研究開発内容	直近のマイルストーン	残された技術課題	解決の見通し
1 アルミ溶解炉用高温空気燃焼バーナおよび最適炉形の開発	燃焼試験炉を建設し、燃料投入方法やバーナ配置を最適化する。またNO _x 発生量を150ppm（O ₂ = 11%換算）以下とする。	・低温時の安定した燃焼性の確保 ・バーナの水平取付け、傾斜取付けによる燃焼排ガスの特性を把握する。特にNO_x、未燃アンモニアの発生を抑制する。 ・燃焼試験炉は、燃焼試験とは別に被加熱物への影響、耐火物への影響、改質器の評価など多岐にわたり活用するためスムーズな立上りが必要である。	・改質器の活用、燃焼炉での運転特性を掴むことで安定運転を目指す。 ・先導研究の成果を活用し、燃料投方法を可変させることでNO_x、未燃アンモニアの発生を抑える。 ・実設備と同様の体制と十分な準備を行う事で、スムーズな立上げを行う。
2 アルミニウムにおよぼすNH ₃ 高温空気燃焼火炎の影響解明	既存燃料から水素燃焼に変わり火炎中の中間生成物に変化、反応の基礎調査する。特に水素、窒化物等の各アルミ合金ごとの影響因子を特定する。	開発した安定評価可能な調査サンプルの作製方法の実地トライ。ロザイ工業分室による新設試験炉の稼働状況を踏まえて、燃焼ガスが被加熱物であるアルミニウムに及ぼす影響を把握できるよう、試験数などを精査する必要がある。	ロザイ工業分室の新設試験炉、ガス浸食炉の稼働状況をヒアリングし、実機を模擬したアルミニウム溶解/加熱試験が出来るよう試験条件を検討する。併せて、東北大分室にも協力を仰ぎ、実機展開時に必要なデータ採取について検討を進める。

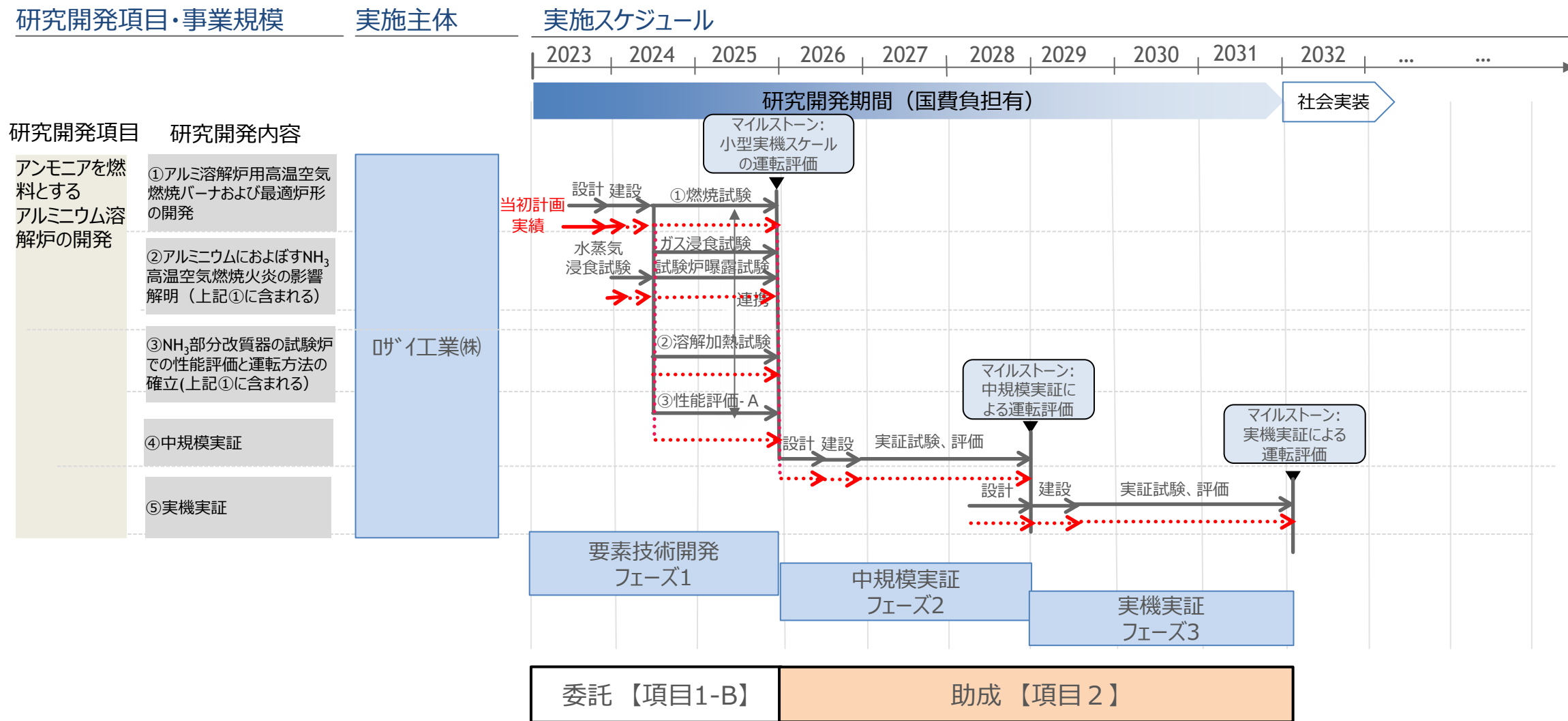
【項目1-B／2】 その3 アンモニアを燃料とするアルミ溶解炉の開発

(2) 研究開発内容（今後の取組）(2/2)

研究開発内容	直近のマイルストーン	残された技術課題	解決の見通し
3 NH ₃ 部分改質器の試験炉での性能評価と運転方法の確立	燃焼試験炉での性能評価 アンモニアの改質能力、水素＝50%の確認と運転特性、温度と流量の変化に対する制御の最適化を行う。	・改質器は開発途中のため、燃焼試験設備への導入分の詳細仕様が決まっていない。大きさ、電源容量など	・キャタラー分室、TYK分室との連携を密にして、仕様を決めていく。

【項目1-B／2】 その3 アンモニアを燃料とするアルミ溶解炉の開発

(3) 実施スケジュール

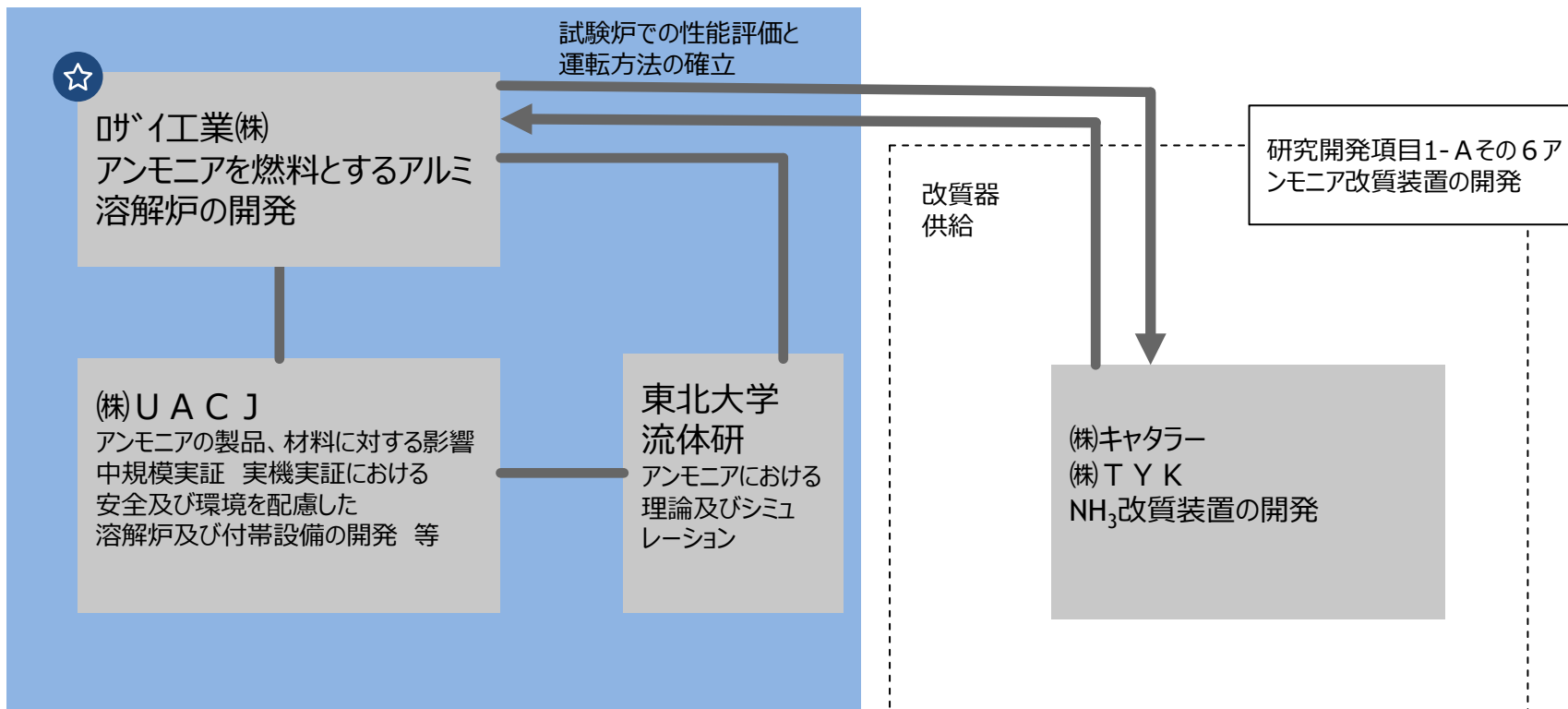


2. 研究開発計画

【項目1-B／2】 その3 アンモニアを燃料とするアルミ溶解炉の開発

(4) 研究開発体制

実施体制図



各主体の役割と連携方法

各主体の役割

- ロザイ工業(株)
アンモニアを燃料とするアルミ溶解炉の開発を担当する
- (株)UACJ
要素技術開発フェーズ
アンモニアの製品、材料に対する影響 確認を担当する
中規模実証 実機実証フェーズ
安全及び環境を配慮した溶解炉及び付帯設備の開発を担当する
- 東北大学流体研
アンモニアにおける理論シミュレーションを担当する

研究開発における連携方法 (共同提案者間の連携)

- ロザイ工業(株)は、(株)キャタラー & (株)TYKの改質器の開発においてテスト環境を提供し、アルミ溶解炉の燃焼開発に活用する
- (株)キャタラー & (株)TYKは、ロザイ工業(株)に改質器を供給し、テスト装置における改質器のデータを取得する

【項目1-B／2】 その3 アンモニアを燃料とするアルミ溶解炉の開発

(5) 技術的優位性

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク	
アンモニアを燃料とするアルミニウム溶解炉の開発	1 アルミ溶解炉用高温空気燃焼バーナおよび最適炉形の開発	- 先導研究プログラムによる基本技術 - 広範囲で多岐にわたるアルミ溶解炉技術	→ → - 先導研究プログラムにて先行研究実施済 - 豊富な納入実績	委託
	2 アルミニウムにおよぼすNH ₃ 高温空気燃焼火炎の影響解明	- 先導研究プログラムによる基本技術 - 既にアンモニア燃焼技術で材料に対する影響を一部確認している	→ 自社内の工業炉製造技術に基づいた豊富な知識による工業炉以外への新設備設計能力	
	3 NH ₃ 部分改質器の試験炉での性能評価と運転方法の確立	- アンモニア燃焼の基礎技術 - 改質器を導入組込する技術及び開発力	⇒ 改質器メーカーとの連携にて柔軟で、先進的な協同開発	
	4 中規模実証	非鉄金属素材メーカー（ユーザー）、弊社が協同にて既設炉（弊社過去納入等）を改造実施	→	助成
	5 実機実証	非鉄金属素材メーカーの多岐にわたる要望を採り入れた実機（新設）を製作可能	→	

【項目1-B】

【項目2】

【項目1-B／2】 その4 アンモニアを燃料とする小型加熱炉向けラジアントチューブバーナの開発

(1) 研究開発目標(要素技術開発)【項目1-B】

研究開発項目		アウトプット目標	
アンモニアを燃料とする小型加熱炉向けラジアントチューブバーナの開発		小型金属加熱炉を70kW級アンモニア燃焼RTバーナを用いて開発する。 RTバーナはアンモニア / 天然ガス混焼とアンモニア / アンモニア分解ガス混焼の2種類のバーナを開発。	
研究開発内容		KPI	KPI設定の考え方
1	アンモニア/天然ガス混焼RTバーナ開発	定常燃焼時に未燃アンモニアが一定レベル以下のアンモニア/天然ガス混焼RTバーナ開発 ・ 口径6B ・ 発熱量割合でアンモニア以上50%	50%のCO ₂ 削減をめざし、アンモニア混焼率を50%（発熱量割合）以上とする。未燃アンモニアを発生させないことをバーナ開発の目標に設定。
2	アンモニア/アンモニア分解ガス混焼RTバーナ開発	定常燃焼時に未燃アンモニアが一定レベル以下のアンモニア/アンモニア分解ガス混焼RTバーナ開発 ・ 口径6B ・ 体積割合でアンモニア75%以上	上記①アンモニア/天然ガス混焼バーナで天然ガスを25%程度混合するので、天然ガスの代替としてアンモニア分解ガスを25%程度利用する。
3	バーナシステム・制御方法検討	実施のプロセス利用を想定した運転パターンで操業可能なバーナシステム・制御方法開発	・ 立上げ時/温度制御時など実際のプロセス利用を想定した場合のバーナ制御を設計する。 ・ 中規模実証試験に向けた課題抽出とその対応方法検討
4	口径4B,3Bでのアンモニア/天然ガス混焼、アンモニア/アンモニア分解ガス混焼RTバーナ開発	①②で開発したバーナの小口径化 ・ 口径4Bおよび3B	社会実装に向けて熱処理炉として市場占有率の高い口径4B,3BのRTバーナを開発する。

委
託

【項目1-B／2】 その4 アンモニアを燃料とする小型加熱炉向けラジアントチューブバーナの開発

(1) 研究開発目標(中規模実証・評価、最終実証試験) 【項目2】

研究開発項目		アウトプット目標	
アンモニアを燃料とする小型加熱炉向けラジアントチューブバーナの開発		小型金属加熱炉を70kW級アンモニア燃焼RTバーナを用いて開発する。 RTバーナはアンモニア/天然ガス混焼と アンモニア/アンモニア分解ガス混焼の2種類のバーナを開発。	
研究開発内容		KPI	KPI設定の考え方
5	キャタラーにおける生産プロセス用金属加熱炉での実証試験(中規模実証)	アンモニア/アンモニア分解ガス/天然ガス混焼RTバーナ使用による金属加熱炉での実証試験	金属加熱炉について実証試験を行う。 - 開発したバーナの燃焼性能確認 - 材質選定および耐久性評価を行う。
6	小型金属熱処理炉の設計・製作・実証試験(中規模実証)	アンモニア/アンモニア分解ガス/天然ガス混焼RTバーナ使用による金属熱処理炉での実証試験	社会実装に向け金属熱処理炉での実証試験を実施するため、アンモニア燃焼RTバーナを用いた中規模実証用小型金属熱処理炉の設計・製作を実施。性能評価試験を実施し、最終実証試験の際の問題点抽出を行う。
7	キャタラーにおける生産プロセス用金属加熱炉での実証試験(最終実証)	金属加熱炉におけるアンモニア/アンモニア分解ガス/天然ガス混焼RTバーナ使用による最終実証試験	金属加熱炉での中規模実証試験の継続。
8	自動車用部品メーカー（A社）における金属熱処理炉の実証試験(最終実証)	金属熱処理炉アンモニア/アンモニア分解ガス/天然ガス混焼RTバーナ使用による実証試験	金属熱処理炉での中規模実証試験の継続。

助成

2. 研究開発計画

【項目1-B／2】 その4 アンモニアを燃料とする小型加熱炉向けラジアントチューブバーナの開発

(2) 研究開発内容（全体像） 【項目1-B】

実現可能性
(成功確率)

1	アンモニア/天然ガス混焼RTバーナ開発	定常燃焼時に未燃アンモニアが一定レベル以下のアンモニア/天然ガス混焼RTバーナ開発 ・ 口径6B ・ 発熱量割合でアンモニア以上50%	小型炉においてアンモニア/天然ガスを燃料するRTバーナの実績はなし、構想段階 TRL2	定常燃焼時に未燃アンモニアが一定レベル以下で燃焼可能TRL4	アンモニア/天然ガス混焼における安定着火および未燃アンモニアを排出しない燃焼方法の確立	天然ガスバーナにおける燃焼技術を応用することが可能だが、課題が残る可能性がある(80%)
2	アンモニア/アンモニア分解ガス混焼RTバーナ開発	定常燃焼時に未燃アンモニアが一定レベル以下のアンモニア/アンモニア分解ガス混焼RTバーナ開発 ・ 口径6B ・ 体積割合でアンモニア75%以上	小型炉においてアンモニア/アンモニア分解ガスを燃料としたRTバーナの実績はなし、構想段階 TRL2	定常燃焼時に未燃アンモニアが一定レベル以下で燃焼可能TRL4	アンモニア/アンモニア分解ガス混焼における安定着火および未燃アンモニアを排出しない燃焼方法の確立	①における燃焼技術を応用することが可能だが、課題が残る可能性がある(80%)
3	バーナシステム・制御方法検討	実施のプロセス利用を想定した運転パターンで操業可能なバーナシステム・制御方法開発	構想段階TRL2	実際のプロセスを想定した運転時に安定した火炎を形成し続けることTRL4	温度調整のある場合に安定した燃焼および未燃アンモニアを排出しない燃焼制御方式の確立	①および②の開発時の知見をいかすことができるが一部条件において課題が残る可能性がある(70%)
4	口径4B,3Bでのアンモニア/天然ガス混焼、アンモニア/アンモニア分解ガス混焼RTバーナ開発	①②で開発したバーナの口径小口径化 ・ 口径4Bおよび3B	実例なし、構想段階TRL2	定常燃焼時に未燃アンモニアが一定レベル以下で燃焼可能TRL4	6BRTバーナの開発実績を活用して、口径3B,4BとしたRTバーナにおいて安定着火および未燃アンモニアを排出しない燃焼方法の確立	①および②での開発時の知見を応用することが可能だが、課題が残る可能性がある(50%)

2. 研究開発計画

【項目1-B／2】 その4 アンモニアを燃料とする小型加熱炉向けラジアントチューブバーナの開発

(2) 研究開発内容（全体像）【項目2】

	KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 (成功確率)	
5	キャタラーにおける生産プロセス用金属加熱炉での実証試験(中規模実証)	アンモニア/アンモニア分解ガス/天然ガス混焼RTバーナ使用による金属加熱炉での実証試験	アンモニアを燃料とする間接加熱方式での生産プロセス用の小型金属加熱炉の実例はこれまでにない TRL2	①～④にて開発したバーナを使用したシステムの確立 TRL5	金属加熱について開発上課題になる点についてあらかじめ検討・明確化したうえで、実証用試験炉での試験により課題解決を目指す。	委託研究期間での成果を用いることで実現可能と思われるが、最終実証に向けて課題が残る可能性がある。(60%)
6	小型金属熱処理炉の設計・製作・実証試験(中規模実証)	アンモニア/アンモニア分解ガス/天然ガス混焼RTバーナ使用による金属熱処理炉での実証試験	アンモニアを燃料とする間接加熱方式での小型金属熱処理炉の実例はこれまでにない TRL2	①～④にて開発したバーナを使用したシステムの確立 TRL5	金属熱処理について開発上課題になる点をあらかじめ検討・明確化したうえで実証用試験炉での試験により課題解決を目指す。	委託研究期間での成果を用いることで実現可能と思われるが、最終実証に向けて課題が残る可能性がある。(60%)
7	キャタラーにおける生産プロセス用金属加熱炉での実証試験(最終実証)	金属加熱炉におけるアンモニア/アンモニア分解ガス/天然ガス混焼RTバーナ使用による最終実証試験	アンモニアを燃料とする間接加熱方式での生産プロセス用の小型金属加熱炉の実例はこれまでにない TRL2	⑤での開発の知見をもとに社会実装可能なレベルまで技術レベルを引き上げる TRL6	⑤での開発にて社会実装に向けて解決すべき課題を明確化したうえで引き続き試験を実施する。	中間実証の期間で現在予期せぬ課題についても整理し社会実装に向けての課題を整理したうえで検討を進める。(50%)
8	自動車用部品メーカー(A社)における金属熱処理炉の実証試験(最終実証)	金属熱処理炉アンモニア/アンモニア分解ガス/天然ガス混焼RTバーナ使用による実証試験	アンモニアを燃料とする間接加熱方式での小型金属熱処理炉の実例はこれまでにない TRL2	⑥での開発の知見をもとに社会実装可能なレベルまで技術レベルを引き上げる TRL6	⑥での開発にて社会実装に向けて解決すべき課題を明確化したうえで引き続き試験を実施する。	中間実証の期間で現在予期せぬ課題についても整理し社会実装に向けての課題を整理したうえで検討を進める。(50%)

助

成

【項目1-B／2】 その4 アンモニアを燃料とする小型加熱炉向けラジアントチューブバーナの開発

(2) 研究開発内容（これまでの取組）

研究開発内容	直近のマイルストーン	これまでの（前回からの）開発進捗	進捗度
1 アンモニア/天然ガス混焼RTバーナ開発	①アンモニア/天然ガス混焼RTバーナ開発 - 口径 6 B - 発熱量割合でアンモニア50%以上	これまでの（前回からの）開発進捗 - キャタラー分室と協議の上、燃料供給用のアンモニア用ベーパーライザーおよび水素・窒素供給用のポンベを設置することとした。 - バーナ開発にあたり基準となるバーナとして弊社開発の都市ガス用シングルエンド型ラジアントチューブバーナを選定し製作した。 - 研究開発に使用する試験炉、燃料供給用のバルブスタンドの仕様について大部分が決定した。バーナ開発に必要な各種燃料の供給条件を決定し、アンモニアおよびアンモニア分解を模擬したガスを供給するためのバルブスタンドについては仕様の検討を進めている。 - 試験炉の最高使用温度は1000℃、最大燃焼量は105kWで設計している。開発予定のすべてのサイズのバーナでの試験が可能となるように3種類のバーナが設置できる構造としている。また、炉内温度を一定に保ち燃焼試験を実施するための機能を備える設計としている。	進捗度 △ 試験設備設置に向けた検討が長期化しており、設備設置および試験開始時期が後ろ倒しとなっている。 また、排ガス分析計は購買にあたり購買先との仕様・購買に向けた折衝が難航しており発注が遅れている。
2 アンモニア/アンモニア分解ガス混焼RTバーナ開発	②アンモニア/アンモニア分解ガス混焼RTバーナ開発 - 口径 6 B - 体積割合でアンモニア75%以上		
3 バーナシステム・制御方法検討	実施のプロセス利用を想定した運転パターンで操業可能なバーナシステム・制御方法開発	排ガス処理装置の設置場所をキャタラー分室と協議を開始した。現状ではバーナ直後の煙道に設置することを想定している。排ガス処理装置に使用する触媒や機構については1-A-8にて開発しているシステムでの成果を流用して検討することをキャタラー分室との協議の上で決定した。	○ 基本構成は1-A-8での成果から検討することで決定したため。

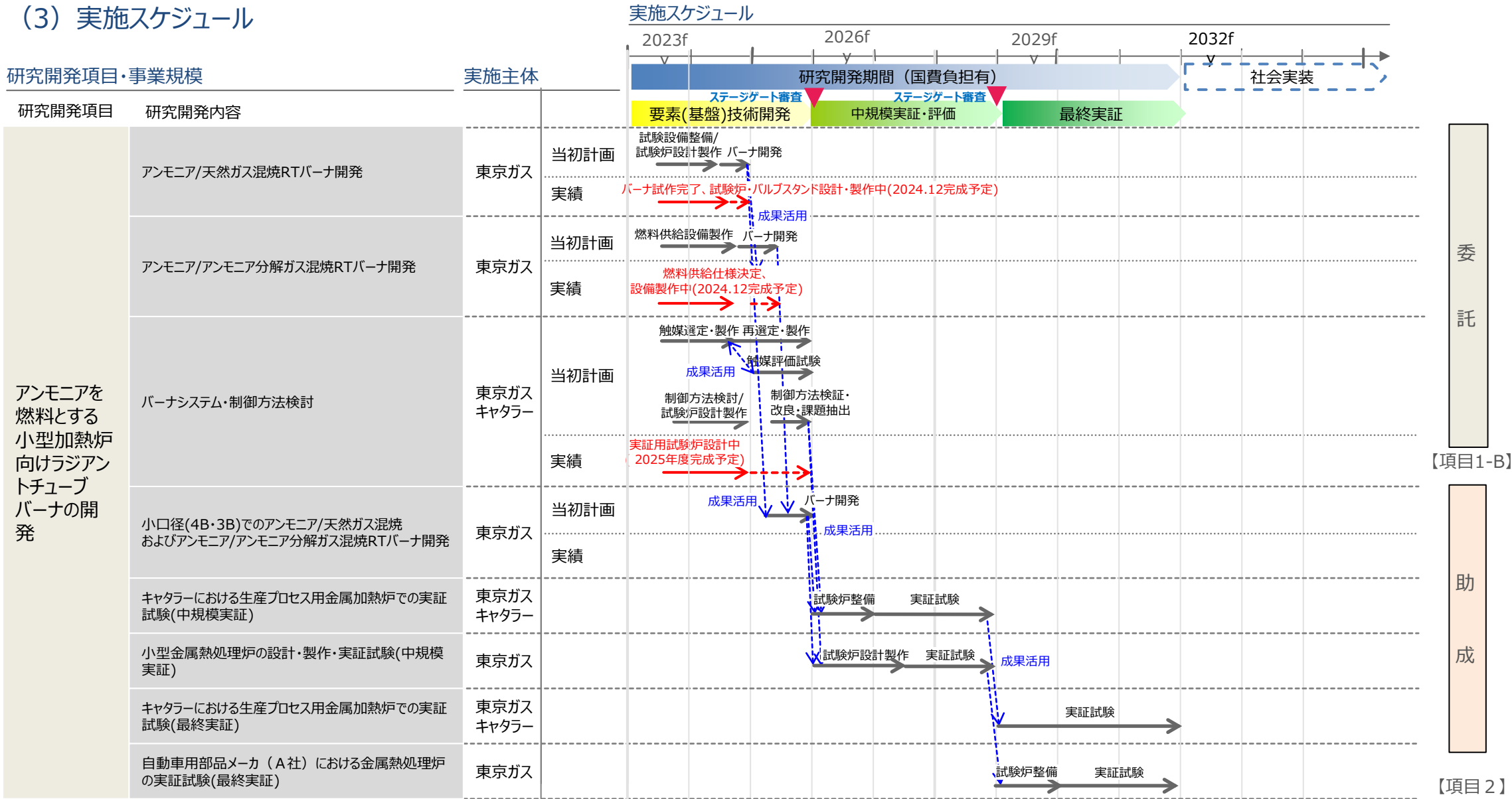
【項目1-B／2】 その4 アンモニアを燃料とする小型加熱炉向けラジアントチューブバーナの開発

(2) 研究開発内容（今後の取組）

研究開発内容	直近のマイルストーン	残された技術課題	解決の見通し
1 アンモニア/天然ガス混焼RTバーナ開発	①アンモニア/天然ガス混焼RTバーナ開発 - 口径 6 B - 発熱量割合でアンモニア50%以上	・バーナ開発期間の短縮 現在の予定では2024年12月までに試験炉、バルブスタンドなど試験実施に必要な設備が完成予定であり、年度内では4か月間が試験可能期間となる。その間に今年度KPIとして設定しているアンモニア/天然ガス混焼RTバーナの開発を完了するためには開発に要する期間を短縮するための工夫が必要となる。	・アンモニアを模擬したガスによる燃焼試験の実施 天然ガスをベースとしたアンモニアと同等程度の燃焼性を持つ模擬ガスによる燃焼試験により燃焼性の低い燃料の燃焼特性を把握する ・燃料と空気の混合方式の再検討 開発ベースとなる弊社開発の天然ガス用バーナでの燃焼方法以外の燃焼方式によるバーナ構造の検討および設計を進める
2 アンモニア/アンモニア分解ガス混焼RTバーナ開発	②アンモニア/アンモニア分解ガス混焼RTバーナ開発 - 口径 6 B - 体積割合でアンモニア75%以上		
3 バーナシステム・制御方法検討	・実施のプロセス利用を想定した運転パターンで操業可能なバーナシステム・制御方法開発	・処理排ガス組成が不明 試験設備が整っておらず燃焼試験を実施できていないため、処理対象と想定しているNO, NO₂, N₂O, 未燃アンモニアの排出濃度が想定値での検討にとどまっている	1-A-8での成果の適用検討

【項目1-B／2】 その4 アンモニアを燃料とする小型加熱炉向けラジアンチューブバーナの開発

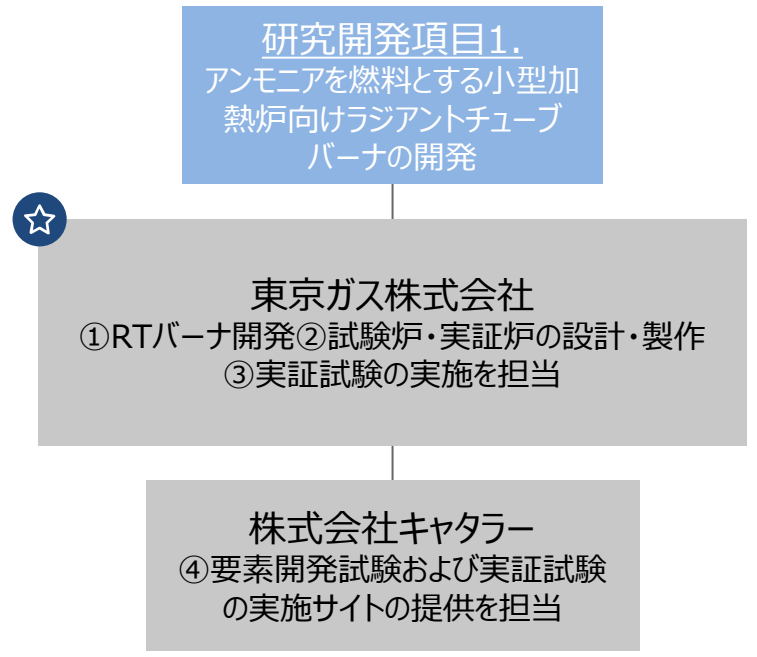
(3) 実施スケジュール



【項目1-B／2】 その4 アンモニアを燃料とする小型加熱炉向けラジアントチューブバーナの開発

(4) 研究開発体制

実施体制図



各主体の役割と連携方法

各主体の役割

- 研究開発項目 1 全体の取りまとめは、東京ガス株式会社が行う
- 東京ガス株式会社は、①RTバーナ開発②試験炉・実証炉の設計・製作③実証試験の実施を担当する
- 株式会社キャタラーは、④要素開発試験および実証開発試験の実施サイトの提供を担当する

研究開発における連携方法（共同提案者間の連携）

- 定例での進捗報告の実施
- バーナユニットの商品化の共同実施
- 製造プロセスにおける要件・ニーズの提供およびバーナ・試験炉仕様への適用
- 実証試験時の密な情報共有および連携

【項目1-B／2】 その4 アンモニアを燃料とする小型加熱炉向けラジアントチューブバーナの開発

(5) 技術的優位性

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
アンモニアを燃料とする小型加熱炉向けラジアントチューブバーナの開発	1 アンモニアと天然ガス混焼RTバーナ開発	・ 天然ガス向けSERTの燃焼技術・設計指針(東京ガス) (※東京ガスエンジニアリングソリューションズHP)	<優位性> ・ 天然ガスSERTの燃焼技術・設計指針・ノウハウ活用による開発期間の短縮(東京ガス) ・ 水素専焼バーナにおける開発実績・低NOx化ノウハウの活用による開発期間の短縮(東京ガス) ・ 自社内での材料分析可能な体制の確保によるRT材料評価サイクルの短縮(東京ガス) ・ エンジニアリングノウハウの活用により要件達成の確度向上および開発期間の短縮(東京ガス) ・ スケールダウン時の開発ノウハウ保持による開発期間の短縮およびコスト低減(東京ガス) <リスク> ・ 海外メーカーの急速な技術進捗 ・ 適用可能なRT材質が存在しない可能性有り ・ 過大なNOxを含む場合の実用的な処理ノウハウが現状無い
	2 アンモニアとアンモニア分解ガス混焼RTバーナ開発	・ 水素燃焼における燃焼技術(低NOx等)(東京ガス) (※東京ガスHPプレスリリース) ・ 水素の安全設計指針(東京ガス) →検討WGメンバーとして参画	
	3 バーナシステム・制御方法検討	・ 天然ガス燃焼におけるエンジニアリング技術(東京ガス) (※東京ガスHP参照)	
	4 口径4B,3Bでのアンモニア/天然ガス混焼、アンモニア/アンモニア分解ガス混焼RTバーナ開発	・ 天然ガス向けSERTにおける開発実績(東京ガス) (※東京ガス、東京ガスエンジニアリングソリューションズHP)	
	5 キャタラーにおける生産プロセス用金属加熱炉での実証試験(中規模実証)	・ 上記①～④の技術/知見を活用 ・ 材料分析技術(東京ガス) → 導管部門で金属材料表面観察・分析およびTES等の給湯器内熱交換用銅パイプの劣化評価	<優位性> ・ 要素(基盤)技術開発の技術/知見を活用できる ・ 都市ガス使用の工業炉についての設置実績/使用実態など知見多数あり(東京ガス)
	6 小型金属熱処理炉の設計・製作・実証試験(中規模実証)	・ 上記①～④の技術/知見を活用 ・ 材料分析技術(東京ガス) → 導管部門で金属材料表面観察・分析およびTES等の給湯器内熱交換用銅パイプの劣化評価	
	7 キャタラーにおける生産プロセス用金属加熱炉での実証試験(最終実証)	・ 上記①～⑥の技術/知見を活用	
	8 自動車用部品メーカー(A社)における金属熱処理炉の実証試験(最終実証)	・ 上記①～⑥の技術/知見を活用	

委
託

【項目1-B】

助
成

【項目2】

2. 研究開発計画

【研究開発項目1】カーボンニュートラル対応工業炉に関する共通基盤技術の開発

【研究開発項目1-C】水素燃焼工業炉の技術確立

【研究開発項目3】金属製品を取り扱う水素燃焼工業炉の技術確立

2. 研究開発計画

【項目1-C／3】 その1 水素を燃料とする鉄鋼プロセス炉の開発

(1) 研究開発目標

研究開発項目

水素を燃料とする
脱炭素次世代工業炉(鉄鋼プロセス炉)
の研究開発

アウトプット目標

水素燃焼による鉄鋼プロセス炉に適用可能な50%混焼～専焼技術を開発に取り組み、脱炭素次世代工業炉の社会実装に向けた技術を確立する

研究開発内容

- 1 ラジアントチューブ(RT)バーナを用いた水素燃焼技術の開発
- 2 ラジアントチューブ(RT)バーナを構成する材料の影響検証
- 3 パイロット設備での水素燃焼式鉄鋼プロセス炉システムの確立にむけた基礎検証
- 4 パイロット設備での水素燃焼式鉄鋼プロセス炉システムの確立
- 5 鉄鋼プロセス炉への社会実装に向けた実装前実証

KPI

- RTバーナでの水素専焼による燃焼安定性および低エミッション技術の確立
- 金属部材への影響検証手法の確立と評価からの適用材料の選定
- 数値計算を活用し、複数台RTバーナの設計方針を決定する
- 水素専焼での制御を含めた鉄鋼プロセス炉システムの確立と実装前実証に向けたFSを完了する
- パイロット設備による技術検証をもとに、社会実装に資する判断および脱炭素+αのメリットを評価する

KPI設定の考え方

- 水素専焼による、ローカルヒート抑制、T/D時の安定燃焼に加え、NOx、未燃水素の発生を低減する
- チューブ材やノズル材への影響調査と評価に必要なデータを取得する
- 水素専焼の鉄鋼プロセス炉システムを構築し、複合的観点から経済合理性を判断する
- 水素専焼の鉄鋼プロセス炉システムを構築し、複合的観点から経済合理性を判断する
- 研究開発内容④で行うフィジビリティスタディを検証するための実証

委
託

【項目1-C】

助
成

【項目3】

※KPIは後述の「研究開発内容」に示す「KPIの達成レベル」を定量的な指標として研究開発を行うものとしします。

2. 研究開発計画

【項目1-C／3】 その1 水素を燃料とする鉄鋼プロセス炉の開発

(2) 研究開発内容（全体像）

KPI		現状	達成レベル	解決方法	(成功確率)	委託	
1	ラジアントチューブ (RT)バーナを用いた水素燃焼技術の開発	150kW級RTバーナでの水素専焼による燃焼安定性および低エミッション技術の確立	50kW級バーナにて ・950℃での安定燃焼 ・NOx:150ppm (TRL3)	150kW級専焼試験にて ・950℃での安定燃焼 ・NOx:120ppm (TRL4)	水素専焼試験を実施		実現可能性は高いが、課題が出る可能性がある (80%)
2	ラジアントチューブ (RT)バーナを構成する材料の影響検証	金属部材への影響検証手法の確立と評価からの適用材料の選定	定量的な評価実績はこれまでに無い (TRL2)	・機械的性質の基準を明確にし、材料を選定する (TRL3)	RTバーナで使用されるチューブ材やノズル材への影響調査と評価に必要なデータを取得する		実現可能性は高いが、課題が出る可能性がある (80%)
3	パイロット設備での水素燃焼式鉄鋼プロセス炉システムの確立に向けた基礎検証	数値計算を活用し、複数台RTバーナの設計方針を決定する	鉄鋼プロセス炉への適用に向けて必要条件の抽出(TRL3)	・試算を実施し、設計に反映させる。(TRL3)	①の結果及び数値計算の結果を活用する	予測していない課題が顕在化する可能性がある (50%)	【項目1-C】 助成
4	パイロット設備での水素燃焼式鉄鋼プロセス炉システムの確立	水素専焼での制御を含めた鉄鋼プロセス炉用システムの確立と実装前実証に向けたFSの完了	大型鉄鋼プロセス炉ではこれまでにない (TRL3)	パイロット設備での水素専焼システムの確立と、社会実装に資する経済合理性の条件整理 (TRL5)	数百本のバーナから構成される鉄鋼プロセス炉への水素燃焼技術適用時の課題の明確化とその克服対策を検証する 複合的観点から社会実装に向けた評価を行う	現段階では予測していない課題が顕在化する可能性がある (60%)	
5	鉄鋼プロセス炉への社会実装に向けた実装前実証	開発した技術の実証を行い、安全、環境、品質、安定操業、+αメリットを検証することで、社会実装へ繋げる	大型鉄鋼プロセス炉ではこれまでに無い(TRL3)	①～③での検証項目を検証し、社会実装化に資する技術であることを証明する (TRL6)	フィジビリティスタディを検証するための実証を行う	供給インフラ、供給量及び価格等の影響も大きいことから、パイロット設備での技術検証にて実証条件を決定する	

2. 研究開発計画

【項目1-C／3】 その1 水素を燃料とする鉄鋼プロセス炉の開発

(2) 研究開発内容（これまでの取組）

研究開発内容	直近のマイルストーン	これまでの（前回からの）開発進捗	進捗度
1 ラジアントチューブ（RT）バーナを用いた水素燃焼技術の開発	150kW級RTバーナでの水素専焼による燃焼安定性および低エミッション技術の確立（2025年度末）	150kW級水素ラジアントチューブバーナの燃焼試験へ向け、バルブスタンド、燃焼機器等の設置計画、ならびに安全対策計画推進中（燃焼試験は24年10月開始予定、アンモニア燃焼テーマと工程調整の上実施）	○ （理由）計画通り進捗中
2 ラジアントチューブ（RT）バーナを構成する材料への影響検証	小型金属部材への影響検証手法の確立と評価からの適用材料の選定（2025年度末）	小型電気炉を用いた材料評価試験計画推進中 材料種類、試験条件、試験場所を決定	○ （理由）計画通り進捗中
3 パイロット設備での水素燃焼式鉄鋼プロセス炉システムの確立に向けた基礎検証	数値計算を活用し、複数台RTバーナの設計方針を決定する（2025年度末）	複数台ラジアントチューブバーナの開発試験内容の立案計画。開発検証項目に対する目標値の設定および、検証に必要な設備構成を計画していく。	○ （理由）計画通り進捗中

2. 研究開発計画

【項目1-C／3】 その1 水素を燃料とする鉄鋼プロセス炉の開発

(2) 研究開発内容（今後の取組）

研究開発内容	直近のマイルストーン	残された技術課題	解決の見通し
1 ラジアントチューブ(RT)バーナを用いた水素燃焼技術の開発	150kW級RTバーナでの水素専焼による燃焼安定性および低エミッション技術の確立(2025年度末)	150kW級水素ラジアントチューブバーナを用いて、水素を燃焼させた際のNOxなどの燃焼排ガス特性のデータを採取する。	24年度中にバルブスタンド、燃焼機器等設置完了後、順次、燃焼試験を開始
2 ラジアントチューブ(RT)バーナを構成する材料への影響検証	小型金属部材への影響検証手法の確立と評価からの適用材料の選定(2025年度末)	小型電気炉を用いて、ラジアントチューブ(RT)バーナで使用されるチューブ材やノズル材を炉内に配置し、窒化などにおける影響調査とその評価に必要なデータを取得する。	24年度中に小型電気炉設置完了後、順次、試験を開始
3 パイロット設備での水素燃焼式鉄鋼プロセス炉システムの確立に向けた基礎検証	数値計算を活用し、複数台RTバーナの設計方針を決定する(2025年度末)	鉄鋼メーカーと工業炉メーカーにてあるべき脱炭素型加熱炉の姿（炉の仕様、操業方法）の知見を取り入れ、開発試験内容を整理する。	①「ラジアントチューブ（RT）バーナを用いた水素燃焼技術の開発」から得られた知見をもとに開発試験内容の検討を実施する。

【項目1-C／3】 その1 水素を燃料とする鉄鋼プロセス炉の開発

(3) 実施スケジュール

実施スケジュール

研究開発項目・事業規模

実施主体

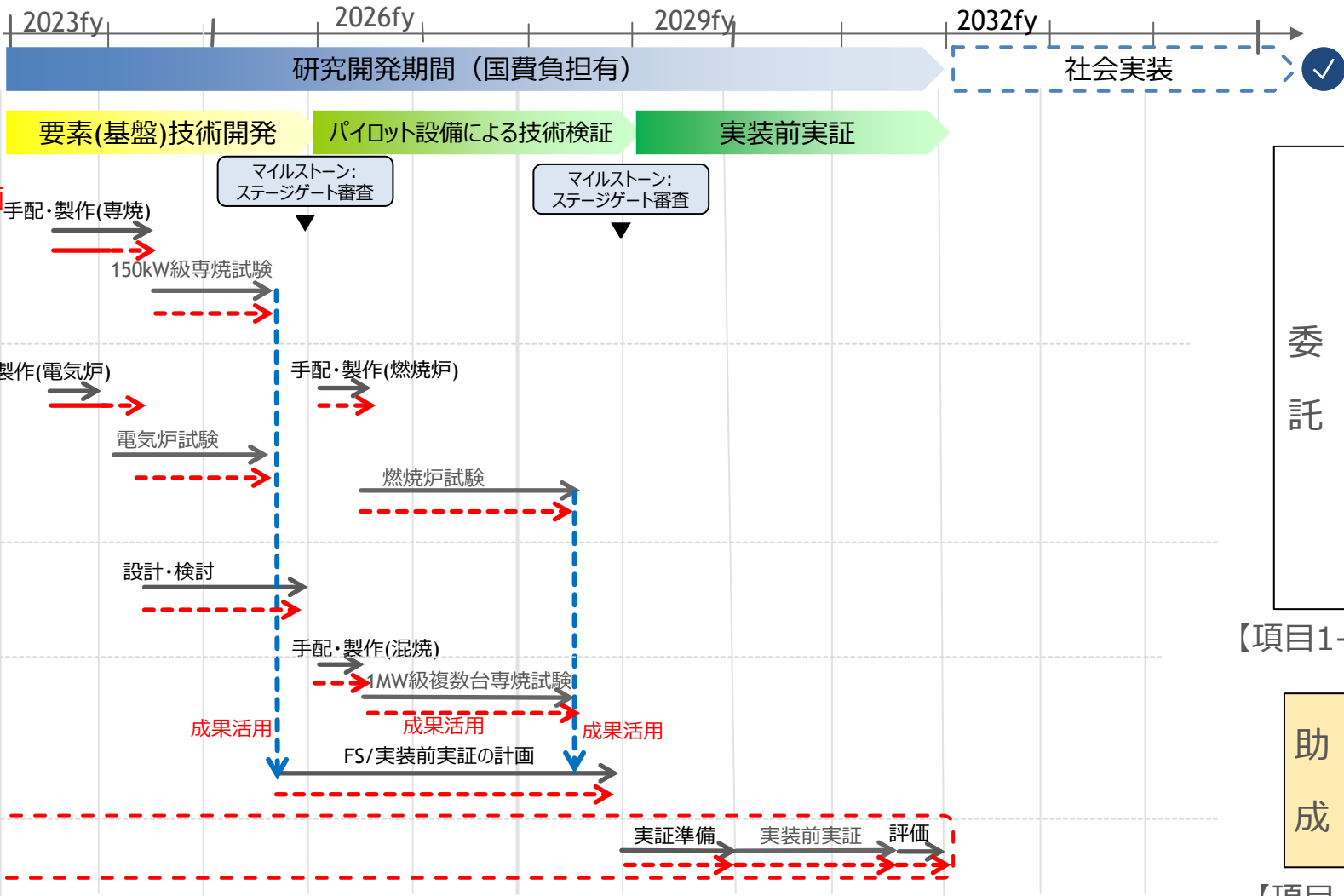
研究開発項目

研究開発内容

水素を燃料とする
脱炭素次世代
工業炉
(鉄鋼プロセス炉)
の研究開発

(当初：総額23億
円/17億円)
※研究開発内容 1
～5 の合算

1.ラジアントチューブ(RT) バーナを用いた水素燃焼技術 の開発	中外炉工業 大阪大学
2.ラジアントチューブ(RT) バーナを構成する材料の影響検証	中外炉工業 日本製鉄 JFEスチール 東京大学
3.パイロット設備での水素燃焼 式鉄鋼プロセス炉システムの確 立に向けた基礎検証	中外炉工業 日本製鉄 JFEスチール 大阪大学
4.パイロット設備での水素燃焼式 鉄鋼プロセス炉システムの確立	中外炉工業 日本製鉄 JFEスチール 大阪大学 東京大学
5.鉄鋼プロセス炉への社会実装 に向けた実装前実証	中外炉工業 ユーザー(※)



委託

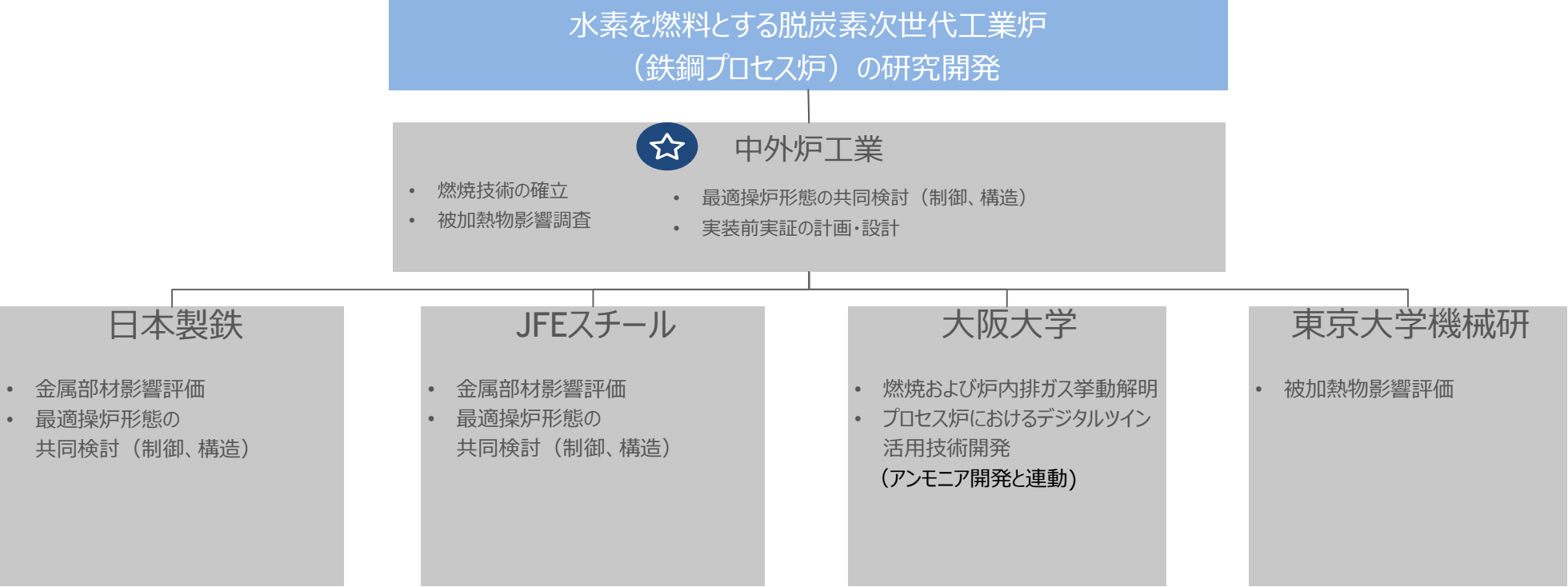
【項目1-C】

助成

【項目3】

【項目1-C／ 3】 その1 水素を燃料とする鉄鋼プロセス炉の開発

(4) 研究開発体制



【項目1-C／ 3】 その1 水素を燃料とする鉄鋼プロセス炉の開発

(5) 技術的優位性

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
水素を燃料とする 脱炭素次世代工業炉 (鉄鋼プロセス炉)の 研究開発	1. ラジアントチューブ(RT) バーナを用いた 水素燃焼技術の開発	燃焼性の低い燃料を用いた燃焼技術 ・ チューブ内緩慢燃焼などによる低NOx燃焼技術	＜優位性＞ ・ 小型熱処理炉（搭載バーナ本数：数本）の 先行開発実施 ・ 水素燃焼に関する特許取得 ・ 自社研究所にて水素燃焼テストが可能
	2. ラジアントチューブ(RT) バーナを構成する材料の 影響検証	・ バーナ構成材料の材料評価技術	＜優位性＞ ・ 国内外の鉄鋼プロセス炉に多数の納入実績を 有する
	3. パイロット設備による 水素燃焼式鉄鋼プロセス炉 システムの確立に向けた基礎 検証	・ 鉄鋼プロセス炉の設計技術 ・ 鉄鋼プロセス炉の操業・メンテナンス技術	＜優位性＞ ・ プロセス炉設計・建設実績に基づくノウハウを 有する
	4. パイロット設備による 水素燃焼式鉄鋼プロセス炉 システムの確立	・ 鉄鋼プロセス炉の設計技術 ・ 鉄鋼プロセス炉の操業・メンテナンス技術 ・ シミュレーション・デジタルツイン技術	＜優位性＞ ・ 多くの鉄鋼プロセス炉を保有しており、 社会実装に向けて、専焼・混焼といった 多面的な展開が可能である ・ プロセス炉設計・建設実績に基づくノウハウを 有する
	5. 鉄鋼プロセス炉への社会 実装に向けた実装前実証	・ 鉄鋼プロセス炉の設計技術 ・ 鉄鋼プロセス炉の操業・メンテナンス技術	

委
託

【項目1-C】

助
成

【項目 3】

【項目1-C／3】 その2 水素を燃料とする溶解・熱処理炉の開発

(1) 研究開発目標 (1/3)

研究開発項目		アウトプット目標	
水素燃焼を用いた溶解・熱処理炉の開発		水素燃焼を使用した工業炉の開発及び安全操業の実証	
研究開発内容		KPI	KPI設定の考え方
1	低酸化雰囲気における水素燃焼特性の解明 (対象炉：熱処理炉)	低酸化雰囲気内での水素燃焼の排ガス測定、ラジカル分布の測定などにより、炉内の燃焼状態を把握し、安定燃焼状態が継続して制御できる技術を確立する	低酸化雰囲気内での水素燃焼、未燃水素、ラジカル分布の測定はこれまで実施されていない為、これらの解明は必要
2	被加熱物及び耐火材への影響の解明 (対象炉：熱処理炉)	被加熱物：従来材料相当の品質を維持する 耐火材：耐火物は短期暴露試験を実施し、組織の影響を実用的に問題ないレベルに抑える	影響を理解することで、水素燃料転換に即移行できるものおよび更なる技術開発が必要なものが設定できる
3	水素燃焼式高温空気燃焼の燃焼特性の最適化 (対象炉：溶解炉)	溶解炉保持室からの水素燃焼による高温空気燃焼排ガスのNO _x 濃度150ppm以下を達成する	水素燃焼ではサーマルNO _x が発生し易い為、排出ガスのNO _x が規制値以下となる工業炉の構築は必要。

委託

【項目1-C】

【項目1-C】

【項目1-C／3】 その2 水素を燃料とする溶解・熱処理炉の開発

(1) 研究開発目標 (2/3)

研究開発項目

水素燃焼を用いた溶解・熱処理炉の開発

アウトプット目標

水素燃焼を使用した工業炉の開発及び安全操業の実証

研究開発内容

④ 水素燃焼火炎の低NO_x化への対応研究
(対象炉：溶解炉)

⑤ 水素燃焼火炎による被加熱材料への高伝熱効率の解明
(対象炉：溶解炉)

⑥ 被加熱物及び耐火材への影響の解明
(対象炉：溶解炉)

⑦ 水素燃焼を用いた燃焼制御技術の開発
(対象炉：熱処理炉)

KPI

溶解室の狭い空間でノズル配置、ガス流速を可変させた場合のNO_x排出量の測定を行い、排ガス中のNO_x規制値150ppm以下を達成する

被加熱材料とバーナ火炎位置を可変させた場合の材料溶解速度を従来燃料との比較において、30%改善する

被加熱物：従来材料相当の品質を維持する
耐火材：耐火物は短期暴露試験を実施し、組織の影響を実用的に問題ないレベルに抑える

リスクアセスメントによる燃焼制御技術の安全法案を明確にする
燃焼テスト炉及び実験用加熱炉における安全稼働の確認

KPI設定の考え方

水素燃焼では火炎温度が高いためサーマルNO_xが発生しやすく、NO_x発生量に寄与する因子を理解することで、理想形の設計をすることが可能となる

伝熱量に寄与する因子を理解することで、被加熱物形状に適した理想形状の炉を設計することが可能となる

影響を理解することで、水素燃料転換に即移行できるものおよび更なる技術開発が必要なものが設定できる

水素の大容量燃焼及び水素過多の燃焼方式はほとんど実施されたことがなく、実現には技術的に多くの課題が考えられ、安全性を確保する必要がある

委
託

【項目1-C／3】 その2 水素を燃料とする溶解・熱処理炉の開発

(1) 研究開発目標 (3/3)

研究開発項目

水素燃焼を用いた溶解・熱処理炉の開発

研究開発内容

8 水素燃焼を用いた燃焼制御技術の開発
(対象炉：溶解炉)

9 長期間の操業安定性・安全性を確保する
(対象炉：溶解炉、熱処理炉)

アウトプット目標

水素燃焼を使用した工業炉の開発及び安全操業の実証

KPI

炉体・計装技術設計の基準化の実施
テスト炉における安全稼働の確認
リスクアセスメントによる安全対策を行う

研究開発項目①～⑥の実証を中規模
検証炉・実証炉規模で達成する

KPI設定の考え方

水素の大容量燃焼及び水素過多の燃焼方式はほとんど実施されることがなく、実現には技術的に多くの課題が考えられ、安全性を確保する必要がある

水素燃焼を工業炉に導入した場合の燃焼安全・制御機器の機能を確認する必要がある

助成

【項目3】

【項目1-C／3】 その2 水素を燃料とする溶解・熱処理炉の開発

(2) 研究開発内容（全体像） (1/3)

研究開発内容	KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 (成功確率)	委託
1 水素燃焼による 低酸化雰囲気における 燃焼特性の解明 (対象炉：熱処理炉)	低酸化雰囲気内での 水素燃焼の排ガステ 性、ラジカル分布の測 定、分析により明確に する	バーナの 市販化 (TRL5)	工業炉への 社会実装 (TRL7)	- ノズルレイアウトによる生成ガス濃度分布の研究 ①最適なノズルレイアウトの解明 ②シミュレーションによる最適	(80%以上)	
2 被加熱物・耐火材 への影響解明 (対象炉：熱処理炉)	被加熱物：従来材料 相当の品質を維持する 耐火材：耐火物は短期 暴露試験を実施し、組 織の影響を実用的に問 題ないレベルに抑える	検討開始 (TRL3)	工業炉の社 会実装 (TRL7)	- テスト炉での加熱試験 ①試験片の加熱・分析 ②炉内加熱位置による影響調査・評価 →評価により対策を検討	(80%)	
3 水素燃焼式 高温空気燃焼の 燃焼特性の最適化 (対象炉：溶解炉)	水素燃焼による高温 空気燃焼排ガスの NO _x 濃度 150ppm以下を 達成する	テスト段階 (TRL4)	工業炉への 社会実装 (TRL7)	- バーナノズルレイアウトによる生成ガス濃度 分布の研究 ①最適なノズルレイアウトの解明 ②シミュレーションによる最適化の実施	(80%以上)	

【項目1-C】

【項目1-C／3】 その2 水素を燃料とする溶解・熱処理炉の開発

(2) 研究開発内容（全体像）（2/3）

研究開発内容	KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 （成功確率）
4 水素燃焼火炎の 低NOx化への対応 研究 （対象炉：溶解炉）	溶解室の狭い空間でノズル配置、ガス流速を可変させた場合のNOx排出量の測定を行い、排ガス中のNO _x 規制値150ppm以下を達成する	バーナの市販化（TRL5）	150ppm規制値内（TRL7）	- ノズル配置条件を数値化 - NOx発生量の数値化 - 各条件因子の相関関係を分析 - 効果の高い条件で実機製作・試験・評価	（80%以上）
5 水素燃焼火炎による 溶解材料への高伝熱 効率の解明 （対象炉：溶解炉）	被加熱材材料とバーナ火炎位置を可変させた場合、材料の溶解速度を従来燃料との比較において、30%改善する	テスト段階（TRL4）	実績炉相当以上（TRL7）	- 被加熱物の実体温度数値化（実績および水素） - バーナとの相関関係数値化（実績および水素） - 各条件因子の相関関係を分析（実績および水素） - 効果の高い条件で実機製作・試験・評価	（90%）
6 被加熱物・耐火材 への影響解明 （対象炉：溶解炉）	被加熱物：従来材料相当の品質を維持する耐火材：耐火物は短期暴露試験を実施し、組織の影響を実用的に問題ないレベルに抑える	検討開始（TRL3）	工業炉の社会実装（TRL7）	テスト炉での加熱試験 ①試験片の加熱・分析 ②炉内加熱位置による影響調査・評価 →評価により対策を検討	（80%）
7 水素燃焼を用いた 燃焼制御技術の確立 （対象炉：熱処理炉）	炉体・計装技術設計の基準化 テスト炉における安全稼働の確認 リスクアセスメントによる安全対策を行う	調査開始（TRL3）	従来燃料と同等レベル以上（TRL7）	- 中規模実証炉を用いた実証運転を行い既存の燃焼安定性及び操業安全性と同等レベルであることを確認する - 燃焼制御方法の確立	（70%以上）

委
託

【項目1-C／3】 その2 水素を燃料とする溶解・熱処理炉の開発

(2) 研究開発内容（全体像） (3/3)

研究開発内容	KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 (成功確率)	助 成
8 水素燃焼を用いた 燃焼制御技術の確立 (対象炉：溶解炉)	炉体・計装技術設計 の基準化 テスト炉における 安全稼働の確認 リスクアセスメントによ る安全対策を行う	調査開始 (TRL3)	従来燃料と 同等レベル 以上 (TRL7)	● 中規模実証炉を用いた実証運転を行い 既存の燃焼安定性及び操業安全性と 同等レベルであることを確認する ● 燃焼制御方法の確立	(70%以上)	
9 長期間の操業 安定性・安全性の 確認 (対象炉：溶解炉,熱処理炉)	研究開発項目①～ ⑥の実証を中規模検 証炉・実証炉規模で 達成する	調査開始 (TRL3)	従来燃料と 同等レベル 以上 (TRL7)	● 中規模実証炉を用いた実証運転を行い 従来通りの操業安全性及び製品品質を 評価する	(70%以上)	

【項目3】

【項目1-C／3】 その2 水素を燃料とする溶解・熱処理炉の開発

(2) 研究開発内容（これまでの取組）（1/4）

研究開発内容	直近のマイルストーン	これまでの（前回からの）開発進捗	進捗度
1 低酸素雰囲気における燃焼特性の解明 (熱処理炉)	低酸化雰囲気内での水素燃焼の排ガス測定、ラジカル分布の測定などにより、炉内の燃焼状態を把握し、安定燃焼状態が継続して制御できる技術を確立する	炉内流速分布を把握するため炉内燃焼シミュレーションに着手した。結果は、2024年度に明確になり、その結果を燃焼テスト炉設計計画に活用する予定。	○ (理由) 燃焼テスト炉計画にあたり、バーナノズル配置を検討を行う基礎データを取得中であるため。
2 被加熱物・耐火材への影響の解明 (熱処理炉)	被加熱物：従来材料相当の品質を維持する 耐火材：耐火物は短期暴露試験を実施し、組織の影響を実用的に問題ないレベルに抑える	(被加熱物の影響調査) 試験条件、実験計画を東京製鋼分室と合意し、実験計画の妥当性評価、サンプル数決定のため、東北大学流体研分室、北海道大学量子研分室と打合せを行った。 (耐火材の影響調査) ア. 耐火物成分との反応：TYK分室にて低酸素状態の水素雰囲気中での反応実験を、雰囲気下TG試験を実施した。 イ. 熱伝導率の変化：耐火物の気孔率と水素濃度による熱伝導率の変化を測定するために、異なる耐火物を燃焼テスト炉の側壁に採用する事を決定した。 ウ. 鉄皮への水分付着：水素燃焼と炭化水素系燃料による鉄皮への水分付着量の違いを測定する事を決定した。	◎ (理由) 被加熱物の影響調査及び耐火材の影響調査に関して、東京製鋼分室、TYK分室、北海道大学量子研分室と打ち合わせ進捗中のため。

【項目1-C／3】 その2 水素を燃料とする溶解・熱処理炉の開発

(2) 研究開発内容（これまでの取組）（2/4）

研究開発内容	直近のマイルストーン	これまでの（前回からの）開発進捗	進捗度
3 高温空気燃焼の燃焼特性の解明 (溶解炉)	溶解炉保持室からの水素燃焼による高温空気燃焼排ガスのNO _x 濃度150ppm以下を達成する	燃焼テスト炉の計画検討を開始した。 高温空気燃焼に使用するリジェネーティブバーナの仕様をバーナメーカーと打ち合わせを行い、開発の仕様を確定する。 メーカーよりバーナ本体の納期回答を受領し、研究計画に反映させる。 燃焼テスト炉の詳細設計は、2024年度に開始する。	○ (理由) 2023年度では、高温空気燃焼バーナの型式決定、見積採取完了の状態であるため。
4 水素燃焼火炎の低NO _x 化への対応研究 (溶解炉)	溶解室の狭い空間でノズル配置、ガス流速を可変させた場合のNO _x 排出量の測定を行い、排ガス中のNO _x 規制値150ppm以下を達成する	2023年度では、水素バーナによる加熱テストが完了した。比較テストとして、従来燃料である都市ガスを燃料とするインゴット加熱テストを2024年度に行い、テスト結果を比較検討する。	◎ (理由) 水素バーナによる加熱テストを行った。比較データとしての都市ガスによる加熱は2024年度に実施する。

【項目1-C／3】 その2 水素を燃料とする溶解・熱処理炉の開発

(2) 研究開発内容（これまでの取組）（3/4）

研究開発内容	直近のマイルストーン	これまでの（前回からの）開発進捗	進捗度
5 溶解材料への高伝熱効率の解明 (溶解炉)	被加熱材材料とバーナ火炎位置を可変させた場合の材料溶解速度を従来燃料との比較において、30%改善する	2023年度では、水素バーナによる加熱テストが完了した。比較テストとして、従来燃料である都市ガスを燃料とするインゴット加熱テストを2024年度に行い、テスト結果を比較検討する。	◎ (理由) 水素バーナによる加熱テストを行った。比較データとしての都市ガスによる加熱は2024年度に実施する。
6 被加熱物・耐火材への影響の解明 (溶解炉)	被加熱物：従来材料相当の品質を維持する 耐火材：耐火物は短期暴露試験を実施し、組織の影響を実用的に問題ないレベルに抑える	2023年度では、水素バーナによる加熱テストが完了した。比較テストとして、従来燃料である都市ガスを燃料とするインゴット加熱テストを2024年度に行い、テスト結果を比較検討する。	◎ (理由) 水素バーナによる加熱テストを行った。比較データとしての都市ガスによる加熱は2024年度に実施する。

【項目1-C／3】 その2 水素を燃料とする溶解・熱処理炉の開発

(2) 研究開発内容（これまでの取組）(4/4)

研究開発内容	直近のマイルストーン	これまでの（前回からの）開発進捗	進捗度
7 水素燃焼を用いた燃焼制御技術の確立 (熱処理炉)	リスクアセスメントによる燃焼制御技術の安全法案を明確にする 燃焼テスト炉及び実験用加熱炉における安全稼働の確認	2023年12月からプロジェクトがスタート、①項、②項の進捗を優先し、本項の進捗は2024年度からの計画です。	－ (理由) 2024年度から開始の為。

【項目1-C／3】 その2 水素を燃料とする溶解・熱処理炉の開発

(2) 研究開発内容（今後の取組） (1/4)

研究開発内容	直近のマイルストーン	残された技術課題	解決の見通し
1 低酸素雰囲気における燃焼特性の解明 (熱処理炉)	低酸化雰囲気内での水素燃焼の排ガス測定、ラジカル分布の測定などにより、炉内の燃焼状態を把握し、安定燃焼状態が継続して制御できる技術を確立する	シミュレーション結果より、水素投入ノズル位置を検討し、製作する燃焼テスト炉に反映する。 未燃水素他、炉内のガス濃度分布他、シミュレーションとの整合を確認する。	シミュレーションを東京ガス分室にて実施中。 結果が明確になり次第、燃焼テスト炉の計画に反映させる。
2 被加熱物・耐火材への影響の解明 (熱処理炉)	被加熱物：従来材料相当の品質を維持する 耐火材：耐火物は短期暴露試験を実施し、組織の影響を実用的に問題ないレベルに抑える	中性子線を使用した非破壊分析は、試料の作成に時間を要す。その為、特異な比較条件を明確にする必要がある。	2024年度にて、燃焼テスト炉を構築し、2024年度末に燃焼試験から、材料の熱処理テストが可能になる見込み。 北大の分析装置は、2025年度より使用見込みで、詳細な比較調査を行う予定。

【項目1-C／3】 その2 水素を燃料とする溶解・熱処理炉の開発

(2) 研究開発内容（今後の取組） (2/4)

研究開発内容

直近のマイルストーン

残された技術課題

解決の見通し

3
高温空気燃
焼の燃焼特性
の解明
(溶解炉)

溶解炉保持室からの水
素燃焼による高温空気
燃焼排ガスのNO_x濃度
150ppm以下を達成す
る



水素燃焼によるリジェネーティブバーナは未
だ市販されておらず、市販化への技術課
題は多い。水素燃焼によるリジェネバー
ナーの開発を中外炉工業分室に依頼し、
市販化されたバーナシステムを使用し、溶
解炉保持室への適用を検討する必要がある。

リジェネーティブバーナーの基本システムを調達し、
2024年度に構築する燃焼テスト炉に組み込み、
溶解炉保持室に適合する燃焼制御技術を確立する。
溶かした溶湯から鋳造を行い、従来製品との強度、経
年変化を観察するための、タワー型小型溶解炉を
2024年度に制作する。

4
水素燃焼火
災の低NO_x化
への対応研究
(溶解炉)

溶解室の狭い空間でノズ
ル配置、ガス流速を可変
させた場合のNO_x排出
量の測定を行い、排ガス
中のNO_x規制値
150ppm以下を達成す
る



2023年度では、水素バーナによる加熱テ
ストが完了した。比較テストとして、従来燃
料である都市ガスを燃料とするインゴット加
熱テストを2024年度に行い、テスト結果
を比較検討する。

2024年4月に都市ガスによる加熱テストを実施済み。
データ比較により、タワー型小型溶解炉の設計に活かす。

【項目1-C／3】 その2 水素を燃料とする溶解・熱処理炉の開発

(2) 研究開発内容（今後の取組） (3/4)

研究開発内容	直近のマイルストーン	残された技術課題	解決の見通し
5 水素燃焼火炎による溶解材料への高伝熱効率の解明 (溶解炉)	被加熱材材料とバーナ火炎位置を可変させた場合の材料溶解速度を従来燃料との比較において、30%改善する	2023年度では、水素バーナによる加熱テストが完了した。比較テストとして、従来燃料である都市ガスを燃料とするインゴット加熱テストを2024年度に行い、テスト結果を比較検討し、水素バーナで最適な溶解室形状を検討する。	2024年度に実施する都市ガスによる加熱テスト結果より、既存の設計基準から水素燃料に適した溶解室の形状を構築し、タワー型小型溶解炉に適用、検証を行う。
6 被加熱物・耐火材への影響の解明 (溶解炉)	被加熱物：従来材料相当の品質を維持する 耐火材：耐火物は短期暴露試験を実施し、組織の影響を実用的に問題ないレベルに抑える	2023年度では、水素バーナによる加熱テストが完了した。比較テストとして、従来燃料である都市ガスを燃料とするインゴット加熱テストを2024年度に行い、テスト結果を比較検討する。 最終的には、溶湯から鑄造し、強度等を測定・比較する必要がある。	2024年度に構築する小型タワー型溶解炉にて、溶解した溶湯を用いて、サンプルを製作し、各種品質検査を計画する。

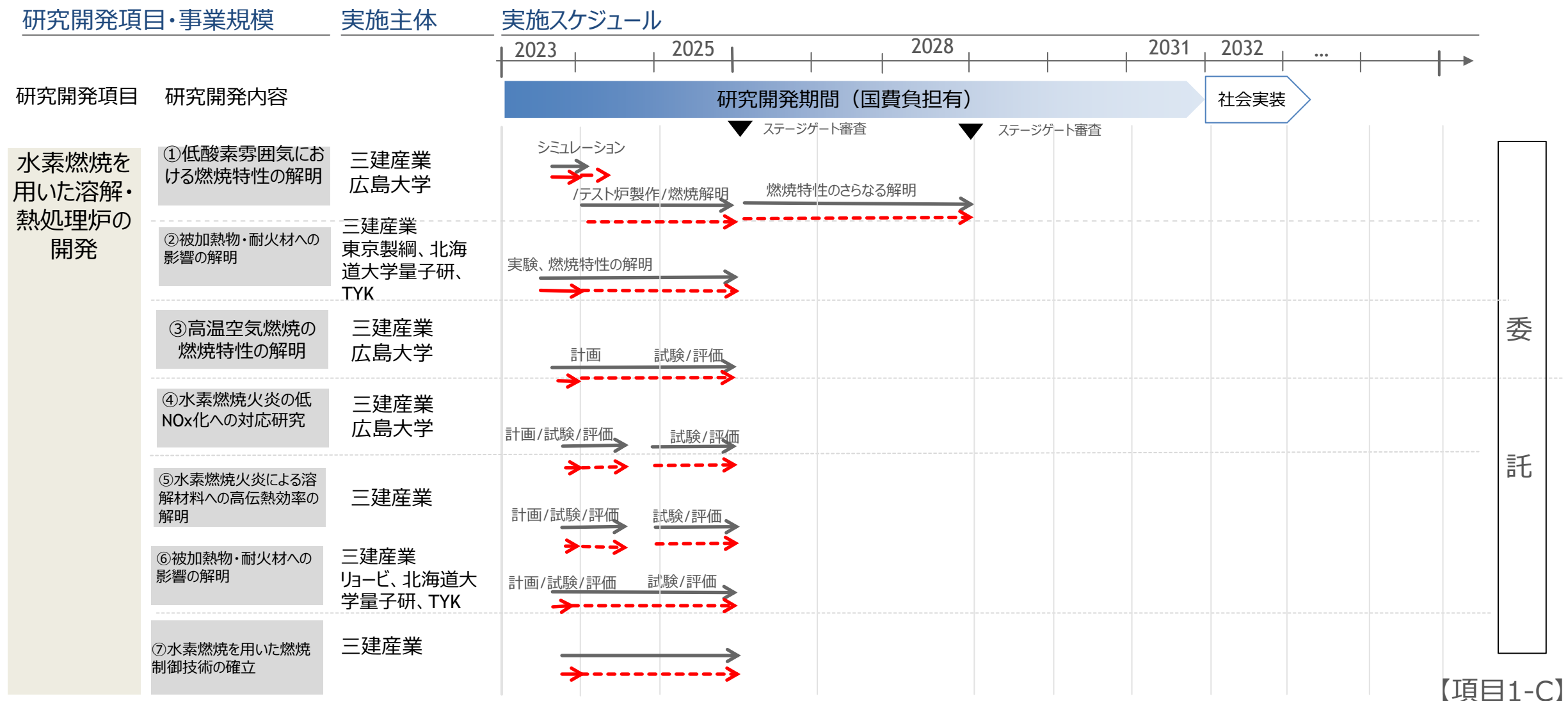
【項目1-C／3】 その2 水素を燃料とする溶解・熱処理炉の開発

(2) 研究開発内容（今後の取組）(4/4)

研究開発内容	直近のマイルストーン	残された技術課題	解決の見通し
7 水素燃焼を用いた燃焼制御技術の確立 (熱処理炉)	リスクアセスメントによる燃焼制御技術の安全法案を明確にする 燃焼テスト炉及び実験用加熱炉における安全稼働の確認	これまで水素燃焼は、空燃比が1以上の完全燃焼状態を基本とされてきた。 炭化水素系燃料で行われている空燃比1以下の燃焼状態は、工業炉業界でも行われていない燃焼方法であり、その安全指標を明確にする必要がある。	日本ガス協会発行の「工業用ガス燃焼設備の安全技術指標（追補）」を基本に、低酸素雰囲気燃焼の安全指針を自社のこれまでの知識・ノウハウより確立してゆく。

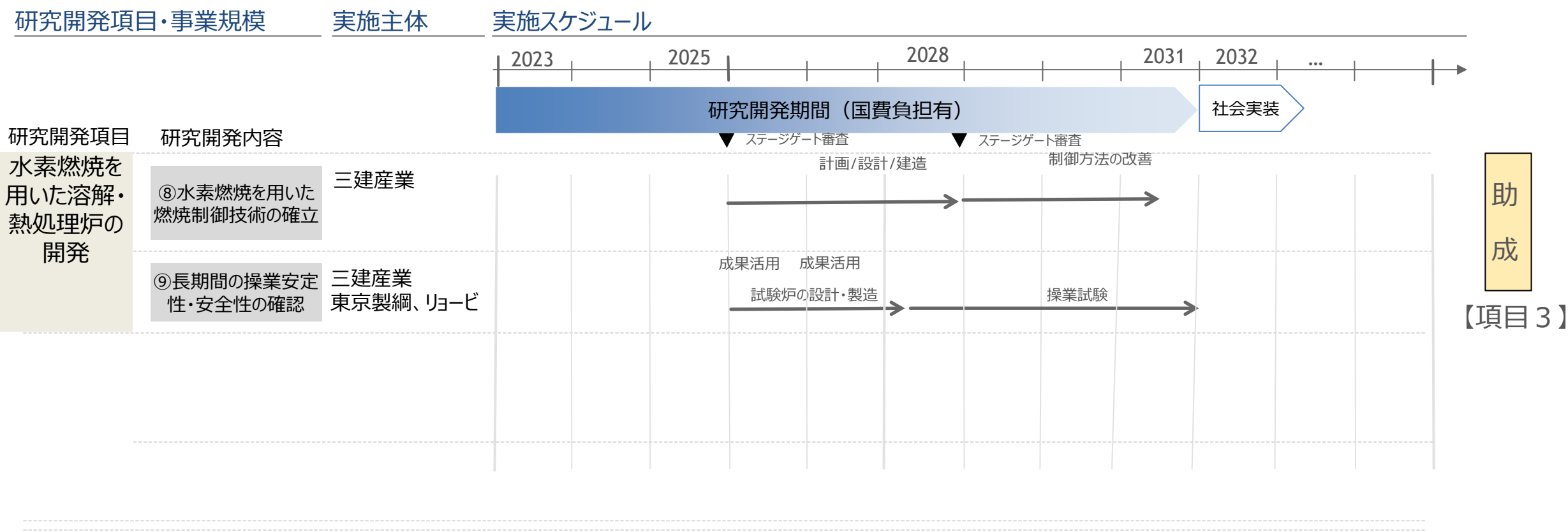
【項目1-C／3】 その2 水素を燃料とする溶解・熱処理炉の開発

(3) 実施スケジュール (1/2)



【項目1-C／3】 その2 水素を燃料とする溶解・熱処理炉の開発

(3) 実施スケジュール (2/2)

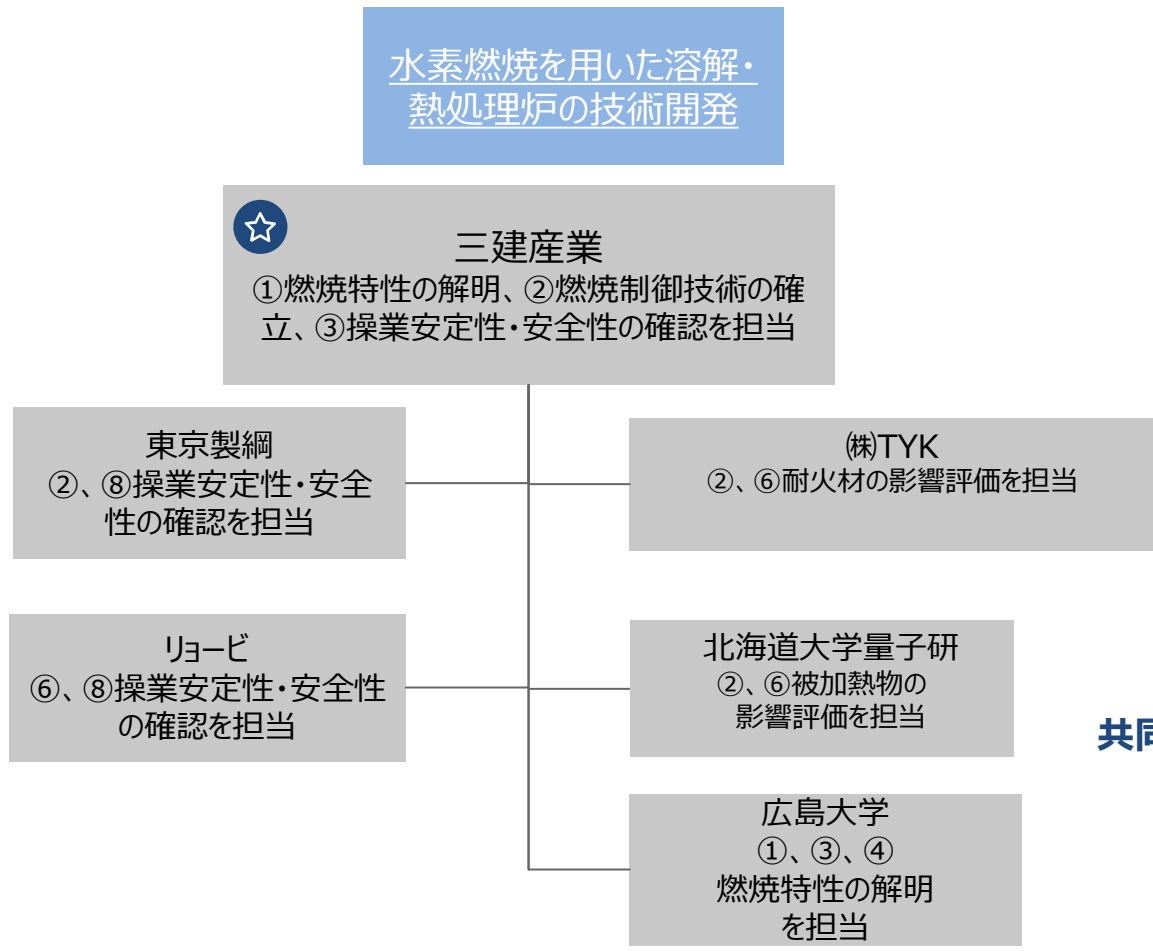


【項目1-C／3】 その2 水素を燃料とする溶解・熱処理炉の開発

(4) 研究開発体制

実施体制図

各主体の役割と連携方法



各主体の役割

- 三建産業は、研究開発項目 1 C-3全体を取りまとめる
- 東京製綱、リョービは、被加熱物の影響調査、操業安定性・安全性の確認を担当する
- TYKは、耐火材の影響評価を担当する
- 広島大学は、燃焼特性の解明を担当する
- 北海道大学量子研は被加熱物の影響調査を担当する

研究開発における連携方法（共同提案者間の連携）

- 秘密保持契約を締結し、成果物の権利を明確化する
- 定期的な会議の開催
- 成果物の共有

共同提案者以外の本プロジェクトにおける他実施者等との連携

- 秘密保持契約を締結し、成果物の権利を明確化する

共同提案者以外の本プロジェクトにおける他実施者等との連携

基盤技術Gの各機関と連携は以下の通り。

- (1) 燃焼G（1-Aその1）： 広島大学
- (2) 被加熱物G（1-Aその2）： 東北大学、北海道大学量子研
- (3) シミュレーションG（1-Aその3）： 九州大学
- (4) 耐火物G（1-Aその5）： TYK

【項目1-C／3】 その2 水素を燃料とする溶解・熱処理炉の開発

(5) 技術的優位性 (1/2)

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
水素燃焼を用いた溶解・熱処理炉の開発	1 低酸化雰囲気における燃焼特性の解明	- フレキシブルなノズル構造設計技術 - 高温空気燃焼が可能なテスト炉の技術所有 - 高温空気供給装置(レキュペレータ、ヒータ) - ラジカル分布測定技術 - 水素雰囲気炉の設計技術	→ NH₃燃焼における研究プロセス → 高温空気燃焼が可能なテスト炉を共有可能 → ベンチスケール実験炉の運用実績 → 水素雰囲気炉の納入実績
	2 被加熱物・耐火材への影響の解明	- 水素雰囲気炉の設計技術 - 無酸化炉設備などの設計製造技術 - フレキシブルなノズル構造設計技術	→ 水素雰囲気炉の納入実績 → NH₃燃焼における研究プロセス
	3 高温空気燃焼の燃焼特性の解明	- 水素雰囲気炉の設計技術 - 水素の燃焼調整技術 - 燃焼テスト炉の所有	→ 水素の取り扱いに関する知見 → 水素燃焼に関する知見 → 燃焼テストが容易に実施可能
	4 水素燃焼火炎の低NO _x 化への対応研究	- 水素の燃焼調整技術 - タワー型溶解炉の設計技術の所有	→ 水素燃焼に関する知見 → タワー型溶解炉の納入実績が多く有る

【項目1-C】

委
託

【項目1-C／3】 その2 水素を燃料とする溶解・熱処理炉の開発

(5) 技術的優位性 (2/2)

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク	
水素燃焼を用いた溶解・熱処理炉の開発	5 水素燃焼火災による溶解材料への高伝熱効率の解明	- 低酸化雰囲気・無酸化雰囲気炉の運用技術 同、設計、製造技術	→ 低酸化雰囲気・無酸化雰囲気炉の運用・設計・製造実績	委託
	6 被加熱物・耐火材への影響の解明	- タワー型溶解炉の設計製造技術 - タワー型溶解炉の運用技術	→ タワー型溶解炉の設計製造実績 → タワー型溶解炉の運用実績	
	1 水素燃焼を用いた燃焼制御技術の確立	- 既存燃料を用いたリジネバーナにおける制御技術 - マルチポートリジネ・個別流量制御技術 - 低酸化雰囲気・無酸化雰囲気炉の運用技術	→ 既存燃料を用いたリジネバーナの使用実績が多くあり → マルチポートリジネ・個別流量制御技術の実績 → 低酸化雰囲気・無酸化雰囲気炉の運用実績	助成
	2 長期間の操業安定性・安全性の確認	- 既存燃料を用いたリジネバーナの設計技術 - 常温空気での水素燃焼技術 - タワー型溶解炉の設計・製造・運用技術・知見 - タワー型溶解炉の安全運用に対する技術	→ 既存燃料を用いたリジネバーナの使用実績 → 自社テスト炉での燃焼実績 → タワー型溶解炉の運用実績 → 納入実績による技術・知見の蓄積	

【項目1-C】

【項目3】

【項目1-C／3】 その3 水素を燃料とするアルミ溶解炉の開発

「【項目1-B／2】 その3 アンモニアを燃料とするアルミ溶解炉の開発」 項末ページの説明資料参照

(1) 研究開発目標

水素を燃料とするアルミニウム溶解炉の開発

アウトプット目標

天然ガスと水素との50%混焼技術の確立
(水素とは、改質で水素 = 50%にしたアンモニア)

研究開発内容

KPI

KPI設定の考え方

要素技術開発フェーズ1

1 アルミ溶解炉用高温空気燃焼バーナおよび最適炉形の開発

燃焼試験炉を建設し、アルミ溶解炉に適した直進性のある力強い火炎を形成するため、燃料投入方法やバーナ配置を最適化する。

アルミニウムは、光を良く反射するため、バーナ火炎を直接、被加熱物に接触させる。アンモニアは、窒素分が多いため、多量のNOxの発生が予想される

2 アルミニウムにおよぼす水素高温空気燃焼火炎の影響解明

既存燃料から水素燃焼に変わり火炎中の中間生成物が変化、反応の基礎調査する。特に水素、窒化物等の各アルミ合金ごとの影響因子を特定する

NH₃燃焼によるアルミニウムの組織や特性に与える影響の技術的情報がない
燃焼試験炉での溶解試験では、実操業は近い形で行い、既存燃料との差異を確認する

3 NH₃部分改質器の試験炉での性能評価と運転方法の確立

設備（燃焼試験炉）での性能評価
アンモニアの改質能力確認と運転特性、温度と流量の変化に対する制御の最適化を行う

実設備に装着した場合での性能評価と、物理的な耐久性（熱変形、振動）の評価が必要である

4 中規模実証
フェーズ2

上記①～③の目標を達成したうえで中規模設備での安定操業 ※

中規模設備において天然ガスと水素とNH₃=50%混焼での安定操業と安全性の確保

5 実機実証
フェーズ3

上記④の目標を達成したうえで大規模設備での安定操業 ※

大規模設備において天然ガスと水素とNH₃=50%混焼での安定操業と安全性の確保

※ ④、⑤では、上記①で建設した燃焼試験炉を用いて実証設備での燃焼試験の補足検証などを行う

委託

【項目1-C】

助成

【項目3】

【項目1-C／3】 その3 水素を燃料とするアルミ溶解炉の開発

「【項目1-B／2】 その3 アンモニアを燃料とするアルミ溶解炉の開発」 項末ページの説明資料参照

(2) 研究開発内容（全体像）

研究開発内容		KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 (成功確率)
要素技術開発フェーズ1	1 アルミ溶解炉用高温空気燃焼バーナおよび最適炉形の開発	燃焼試験炉を建設し、アルミ溶解炉に適した直進性のある力強い火炎を形成するため、燃料投入方法やバーナ配置を最適化する。	(TRL2)	小型実機スケールの検証 (TRL3)	- 炉内温度=1000℃以下はNH₃部分改質を活用 - 最適炉形は燃焼性と被加熱物への影響を考慮	予想外の課題が発生する可能性がある (80%)
	2 アルミニウムにおよぼす水素高温空気燃焼火炎の影響解明	既存燃料から水素燃焼に変わり火炎中の中間生成物が変化、反応の基礎調査する。特に水素、窒化物等の各アルミ合金ごとの影響因子を特定する	パイプスケール試験炉の検証 (TRL2)		上記①の燃焼試験と材料試験から得られるデータからバーナ配置や燃料ノズルの配置を検証する	予想外の課題が発生する可能性がある (80%)
	3 NH ₃ 部分改質器の試験炉での性能評価と運転方法の確立	設備（燃焼試験炉）での性能評価 アンモニアの改質能力確認と運転特性、温度と流量の変化に対する制御の最適化を行う		(TRL3)	燃焼試験炉で試験を行う事で、実設備の運転に近い条件をつくり試験を実施する	予想外の課題が発生する可能性がある (70%)
	4 中規模実証	上記①～③の目標を達成したうえで中規模設備での安定操業	小型実機スケールの検証 (TRL4)	中規模スケールの検証 (TRL5)	- 流体解析等を用いてスケールアップについて十分にシミュレーションを行う - ユーティリティ、メンテナンス性、安全性などの確認	供給インフラ、燃料コストの価格変動等 (80%)
	5 実機実証	上記④の目標を達成したうえで大規模設備での安定操業	中規模スケールの検証 (TRL5)	実機スケールの検証 (TRL7)		供給インフラ、燃料コストの価格変動等 (80%)

フェーズ2

フェーズ3

【項目1-C】

【項目3】

委託

助成

2. 研究開発計画

【項目1-C／3】 その3 水素を燃料とするアルミ溶解炉の開発

(2) 研究開発内容（これまでの取組）（1/2）

研究開発内容	直近のマイルストーン	これまでの（前回からの）開発進捗	進捗度
1 アルミ溶解炉用 高温空気燃焼 バーナおよび最適 炉形の開発	燃焼試験炉を建設し、燃料投入方法やバーナ配置を最適化する。またNOx発生量を150ppm（O ₂ =11%換算）以下とする。	・燃焼試験炉の計画および詳細設計を行った。項目としては機械(燃焼炉/排ガス処理/バーナ)、電気計装、基礎工事/土木工事、ユーティリティの引込、購入機器の手配で、基本/詳細設計は完了(配管設計が一部残っている)。 ・製作品、購入機器は大物と納期がかかる物は全て発注済である。 ・2024年7月～据付開始、9月～試運転を行い→燃焼試験を開始する。	○(理由) 配管設計が一部残っているが、2024年7月からの着工(据付工事)には支障なく完了予定。
2 アルミニウムにおよぼす水素高温空気燃焼火炎の影響解明	既存燃料から水素燃焼に変わり火炎中の中間生成物の変化、反応の基礎調査する。特に水素、窒化物等の各アルミ合金ごとの影響因子を特定する。	・溶解試験に用いる安定評価可能な調査サンプル作製方法を開発した。坩堝をアルミニウム溶湯と反応しない窒化ケイ素製とする。評価サンプルに酸化膜を残存させないよう溶解用アルミ材の形状を検討。また巣を発生させないよう試験後の溶湯を急冷し分析サンプルを作製する。 ・上記燃焼試験炉の仕様と燃焼条件に合わせた調査サンプルの作製が必要であり、坩堝のサイズ、個数、溶湯の処理方法についても検討した。 ・耐火物試験で用いるガス浸食炉での試験も実施することとした。	○（理由） 安定評価可能な調査サンプルの作製方法を開発のための、手法検討と物品準備を進めた。新しいサンプル作製の予備試験は2024年度9月までに完了予定。

【項目1-C／3】 その3 水素を燃料とするアルミ溶解炉の開発

(2) 研究開発内容（これまでの取組）(2/2)

研究開発内容	直近のマイルストーン	これまでの（前回からの）開発進捗	進捗度
3 NH ₃ 部分改質器の試験炉での性能評価と運転方法の確立	設備（燃焼試験炉）での性能評価 アンモニアの改質能力、 水素＝50%の確認と運転特性、温度と流量の変化に対する制御の最適化を行う。	・燃焼試験炉に装着する改質器の仕様の検討を行った。 - 改質器の開発を担当するキャタラー分室、TYK分室との情報共有するために、炉設備への装着や運転に関する意見交換、開発状況の情報共有などを実施した。また、燃焼試験設備での改質試験に関して、改質容量、工程などの要望事項を協議した。 ・燃焼試験設備への装着に関して必要容量、設置スペース、電源容量などの検討を行った。	○(理由) 改質器が未だ開発途中であることから、開発状況を睨みながら進めていく、但し事前に準備できることは進めている。

2. 研究開発計画

【項目1-C／3】 その3 水素を燃料とするアルミ溶解炉の開発

(2) 研究開発内容（今後の取組）（1/2）

研究開発内容

1 アルミ溶解炉用
高温空気燃焼
バーナおよび最
適炉形の開発

2 アルミニウムにお
よぼす水素高
温空気燃焼火
災の影響解明

直近のマイルストーン

燃焼試験炉を建設し、燃料投入方法やバーナ配置を最適化する。またNOx発生量を150ppm（O₂=11%換算）以下とする。

既存燃料から水素燃焼に変わり火炎中の中間生成物に変化、反応の基礎調査する。特に水素、窒化物等の各アルミ合金ごとの影響因子を特定する。

残された技術課題

- ・低温時の安定した燃焼性の確保
- ・バーナの水平取付け、傾斜取付けによる燃焼排ガスの特性を把握する。特にNOx、未燃アンモニアの発生を抑制する。
- ・燃焼試験炉は、燃焼試験とは別に被加熱物への影響、耐火物への影響、改質器の評価など多岐にわたり活用するためスムーズな立上げが必要である。

開発した安定評価可能な調査サンプルの作製方法の現地トライ。ロザイ工業分室による新設試験炉の稼働状況を踏まえて、燃焼ガスが被加熱物であるアルミニウムに及ぼす影響を把握できるよう、試験数などを精査する必要がある。

解決の見通し

- ・改質器の活用、燃焼炉での運転特性を掴むことで安定運転を目指す。
- ・先導研究の成果を活用し、燃料投方法を可変させることでNOx、未燃アンモニアの発生を抑える。
- ・実設備と同様の体制と十分な準備を行う事で、スムーズな立上げを行う。

ロザイ工業分室の新設試験炉、ガス浸食炉の稼働状況をヒアリングし、実機を模擬したアルミニウム溶解/加熱試験が出来るよう試験条件を検討する。併せて、東北大分室にも協力を仰ぎ、実機展開時に必要なデータ採取について検討を進める。

【項目1-C／3】 その3 水素を燃料とするアルミ溶解炉の開発

(2) 研究開発内容（今後の取組）(2/2)

研究開発内容

3 NH₃部分改質器の試験炉での性能評価と運転方法の確立

直近のマイルストーン

設備（燃焼試験炉）での性能評価
アンモニアの改質能力、
水素＝50%の確認と運転特性、温度と流量の変化に対する制御の最適化を行う。



残された技術課題

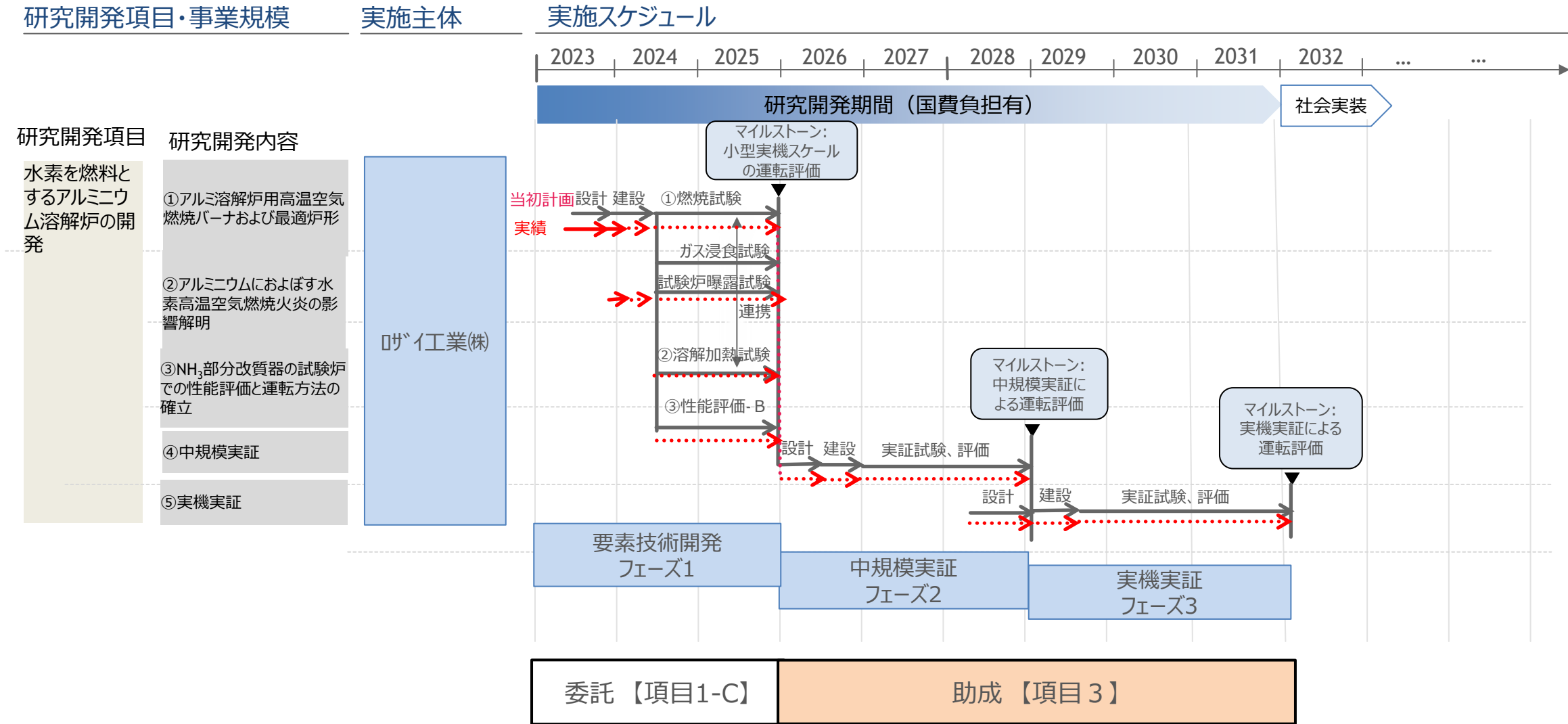
・改質器は開発途中のため、燃焼試験設備への導入分の詳細仕様が決まっていない。大きさ、電源容量など

解決の見通し

・キャタラー分室、TYK分室との連携を密にして、仕様を決めていく。

【項目1-C／3】 その3 水素を燃料とするアルミ溶解炉の開発

(3) 実施スケジュール

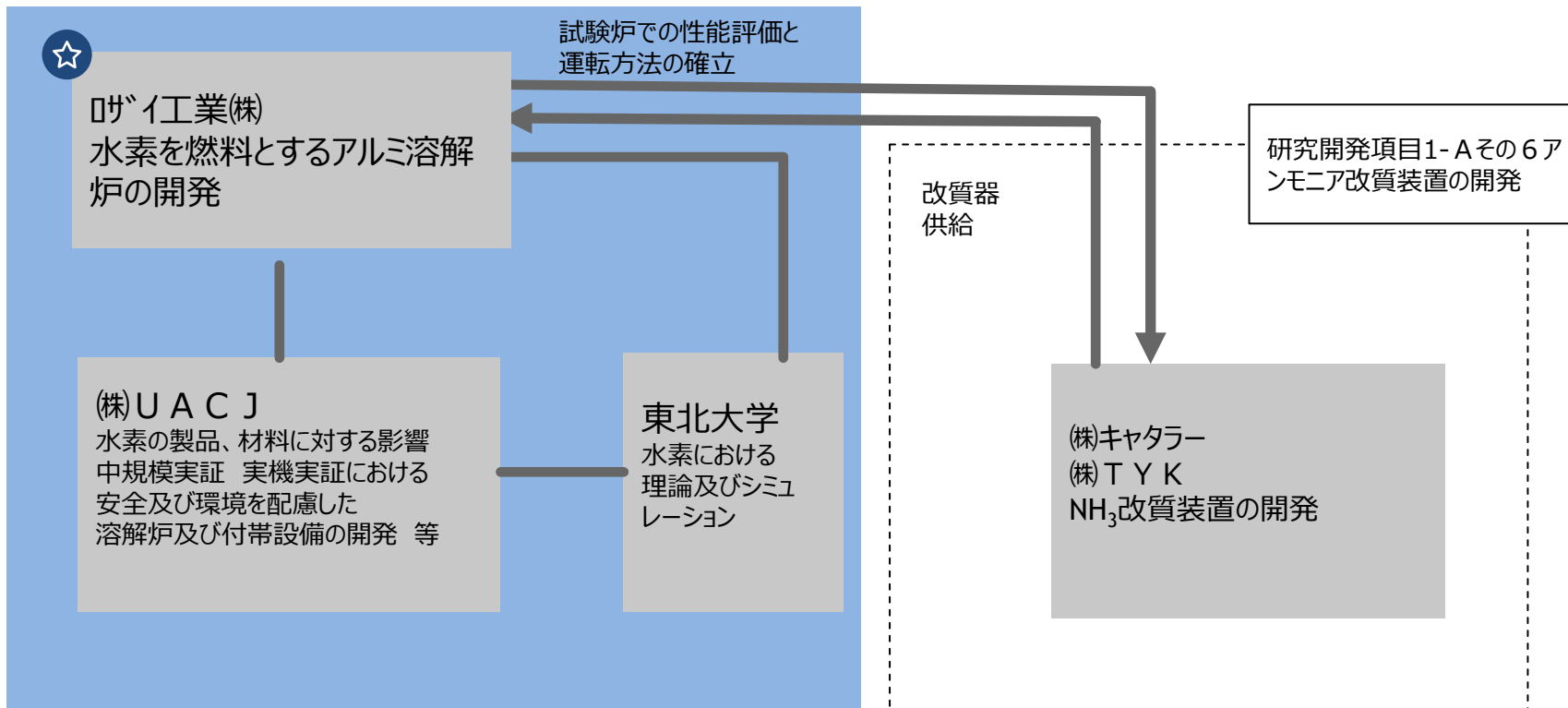


2. 研究開発計画

【項目1-C／3】 その3 水素を燃料とするアルミ溶解炉の開発

(4) 研究開発体制

実施体制図



各主体の役割と連携方法

各主体の役割

- ロザイ工業(株)
水素を燃料とするアルミ溶解炉の開発を担当する
- (株)UACJ
要素技術開発フェーズ
水素の製品、材料に対する影響 確認を担当する
中規模実証 実機実証フェーズ
安全及び環境を配慮した溶解炉及び付帯設備の開発を担当する
- 東北大学
水素における理論シミュレーションを担当する

研究開発における連携方法 (共同提案者間の連携)

- ロザイ工業(株)は、(株)キャタラー & (株)TYKの改質器の開発においてテスト環境を提供し、アルミ溶解炉の燃焼開発に活用する
- (株)キャタラー & (株)TYKは、ロザイ工業(株)に改質器を供給し、テスト装置における改質器のデータを取得する

【項目1-C／ 3】 その3 水素を燃料とするアルミ溶解炉の開発

「【項目1-B／ 2】 その3 アンモニアを燃料とするアルミ溶解炉の開発」 項末ページの説明資料参照

(5) 技術的優位性

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク	
水素を燃料とするアルミニウム溶解炉の開発	1 アルミ溶解炉用高温空気燃焼バーナおよび最適炉形の開発	- 先導研究プログラムによる基本技術 - 広範囲で多岐にわたるアルミ溶解炉技術	→ → - 先導研究プログラムにて先行研究実施済 - 豊富な納入実績	委託
	2 アルミニウムにおよぼす水素高温空気燃焼火炎の影響解明	- 先導研究プログラムによる基本技術 - 既にアンモニア燃焼技術で材料に対する影響を一部確認している	→ 自社内の工業炉製造技術に基づいた豊富な知識による工業炉以外への新設備設計能力	
	3 NH ₃ 部分改質器の試験炉での性能評価と運転方法の確立	- アンモニア燃焼の基礎技術 - 改質器を導入組込する技術及び開発力	→ 改質器メーカーとの連携にて柔軟で、先進的な協同開発	
	4 中規模実証	非鉄金属素材メーカー（ユーザー）、弊社が協同にて既設炉（弊社過去納入等）を改造実施	→	助成
	5 実機実証	非鉄金属素材メーカーの多岐にわたる要望を採り入れた実機（新設）を製作可能	→ 非鉄金属素材メーカー（ユーザー）との信頼、及び密接な連携	

【項目1-C】

【項目 3】

2. 研究開発計画

【研究開発項目1】カーボンニュートラル対応工業炉に関する共通基盤技術の開発

【研究開発項目1-D】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

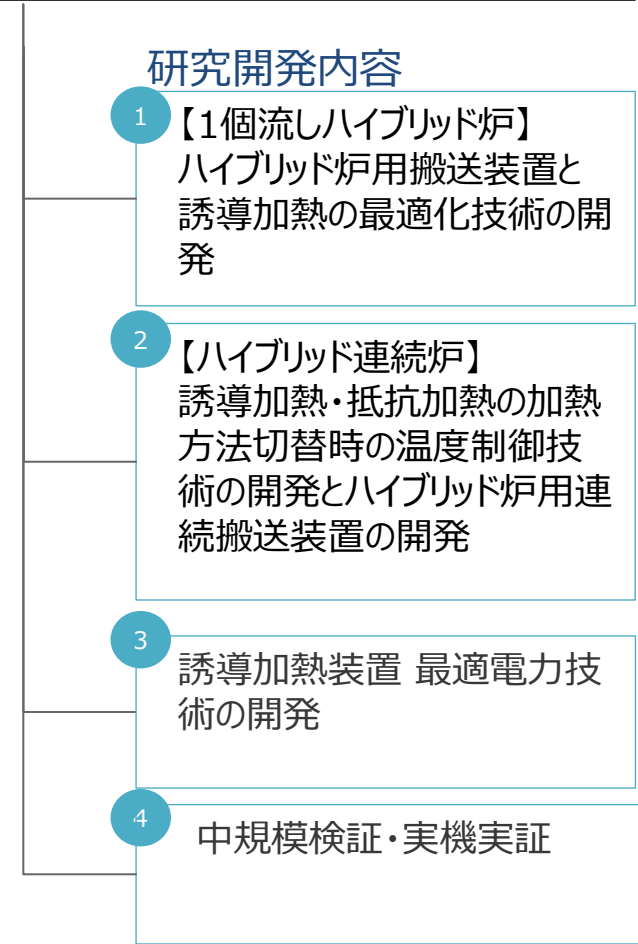
【研究開発項目4】電気炉の受電設備容量等の低減・高効率化に関する技術確立

【項目1-D／4】 その1 誘導加熱と抵抗加熱のハイブリッド炉の開発

(1) 研究開発目標

研究開発項目

1. 誘導・抵抗ハイブリッド炉の開発



アウトプット目標

従来の抵抗加熱単独の連続炉に比して 消費エネルギー原単位を15%削減ができるハイブリッド連続炉を開発する。また、1個流しとして消費エネルギー原単位を15%削減できる1個流しハイブリッド炉を開発する。誘導加熱の受電電力容量を15%削減する。

KPI

- ・誘導加熱での実適用可能な昇温性能
- ・搬送装置による誘導加熱-抵抗加熱の被加熱部品受渡し時の実用的な温度低下範囲
- ・消費エネルギー原単位15%削減

- ・連続炉内誘導加熱で実適用可能な昇温性能
- ・連続炉内の誘導加熱-抵抗加熱の切替時の被加熱部品の温度低下が実用的な温度低下範囲
- ・従来に比して消費エネルギー原単位の15%以上削減

- ・従来の誘導加熱装置に比して受電電力容量を15%削減

- ・中規模検証炉・実証炉の実現

KPI設定の考え方

- ・熱処理として実用に供するに足る昇温条件
- ・誘導加熱後の抵抗加熱均熱処理に供するに足る受渡し時の温度低下範囲
- ・1個流しとしての省エネルギー効果目標

- ・熱処理として実用に供するに足る昇温条件
- ・連続炉内の熱処理に供することが可能な範囲の切替時の温度低下範囲
- ・従来の全抵抗加熱の連続炉に比しての誘導加熱併用による消費エネルギー削減効果目標

誘導加熱受電前段に大型蓄電装置と直流受電の誘導加熱用電源を設け、誘導加熱部の受電ピーク電力を抑制し受電電力容量を低減する

中規模検証炉・実証炉において、目標達成の検証と安定的操業を実現する。

委託

【項目1-D】

助成

【項目4】

【項目1-D／4】 その1 誘導加熱と抵抗加熱のハイブリッド炉の開発

1 【1個流しハイブリッド炉】
ハイブリッド炉用搬送装置
と誘導加熱の最適化技
術の開発

- ・誘導加熱での実適用可能な昇温性能
- ・搬送装置による誘導加熱-抵抗加熱の受渡し時の実用的な温度低下範囲
- ・消費エネルギー原単位15%削減

単体でのラボースケール
確認 (TRL3)

未確認 (TRL2)

未確認 (TRL2)

昇温の実証 (TRL6)
温度低下範囲の実証 (TRL6)
消費エネルギー原単位削減の実証 (TRL6)

- ・目標温度へ昇温するための誘導コイル最適設計
- ・受渡し時の被加熱部品の下を抑制する搬送装置・機構の最適化
- ・昇温過程・均熱過程の最適化

昇温性能
(70%)
温度低下範囲
(70%)
消費エネルギー原
単位15%削減
(70%)

2 【ハイブリッド連続炉】 誘導加熱・抵抗加熱の 加熱方法切替時の温度 制御技術の開発とハイブ リッド炉用連続搬送装置 の開発

- ・連続炉内誘導加熱で実適用可能は昇温性能
- ・連続炉内の誘導加熱-抵抗加熱の切替時の被加熱部品の温度低下が実用的な温度低下範囲
- ・従来に比して消費エネルギー単位の15%以上削減

未確認 (TRL2)

それぞれの加熱方法
での特徴把握
(TRL2)

未確認 (TRL2)

連続炉内での昇温
の実証（TRL6）

搬送を含む温度制
御の実（TRL6）

消費エネルギー削
減の実証
（TRL6）

- ・シミュレーションによる連続炉誘導加熱の最適設計
- ・ラボ試験による誘導加熱データ採取
- ・構成部品の熱影響、電磁誘導影響を考慮した搬送装置設計の実施
- ・熱収支をはじめとする熱解析を実施して連続炉の最適化

連続炉内温度
低下範囲
(90%)
計算上消費エ
ネルギー原単
位15%削減
(80%)

3 誘導加熱装置 最適電力技術の開発

- ・従来の誘導加熱装置に比して受電電力容量15%削減

未確認
(TRL 2)

受電電力容量
削減の実証
(TRL 6)

- ・受電/蓄電/誘導加熱電源制御方式の最適化検討
- ・構成デバイス機器の仕様検討・選定
- ・解析およびベンチテストによる検討

計算上で受電
電力容量
15%削減
(60%)

4 中規模実証・実機実証

中規模検証炉・実証炉の実現

未確認
(TRL2)

実機スケール検証(TRL7)

ベンチテスト・試験炉の各種データの反映

知見、解析
により
(70%)

助成

【項目1-D】

【項目4】

2. 研究開発計画

【項目1-D／4】 その1 誘導加熱と抵抗加熱のハイブリッド炉の開発

(2) 研究開発内容（これまでの取組）

研究開発内容

直近のマイルストーン (2025年度末)

これまでの（前回からの）開発進捗

進捗度

1 【1個流しハイブリッド炉】
ハイブリッド炉用搬送
装置と誘導加熱の最
適化技術の開発

誘導加熱での実適用
可能な昇温性能
・搬送装置による誘導
加熱-抵抗加熱の受
渡し時の実用的な
温度低下範囲
・消費エネルギー原単
位15%削減

・一個流しハイブリッド試験炉用の抵抗加熱装置の仕様を決定した。
・被加熱部品の受渡し時の温度低下量が実用的な温度低下範囲を満たす
ための誘導加熱装置と抵抗加熱装置間の搬送装置について仕様検討中。
・1個流しハイブリッド試験炉のその他の構成部品についても、概ねその仕様を
決定し、発注製作着手の準備を完了した。

○
2024年度計画の搬送装置、抵抗加
熱装置の仕様検討を先行実施
2023年度計画のハイブリッド試験炉用
誘導コイルの電磁シミュレーションと設計
は続けて実施予定。

2 【ハイブリッド連続炉】
誘導加熱・抵抗加熱
の加熱方法切替時の
温度制御技術の開発
とハイブリッド炉用連続
搬送装置の開発

・連続炉内誘導加熱
で実適用可能な昇
温性能
・連続炉内の誘導加
熱-抵抗加熱の切替
時の被加熱部品の
温度低下が実用的
な温度低下範囲
・従来に比して消費エ
ネルギー原単位の
15%以上削減

・ハイブリッド連続炉における誘導加熱の要素実験として、予備加熱実験を実
施し、誘導加熱性能の確認を実施した。
・昇温状況は、結果は、実適用可能な昇温性能となった。また、加熱方法切
替時における温度低下量が実用的な温度低下範囲と推定された。今回試
験では対象が外気に露出しているが、実際は炉本体に蔽われて搬送され、
温度低下抑制時間はさらに延びると考えられる。
・この結果、誘導加熱の昇温性能、加熱方法切替時の温度低下抑制につい
て見通しを得た。

○
2023年度計画の連続炉を模した誘
導加熱の要素試験を実施し、誘導加
熱の昇温性能・昇温バラツキ状況・搬
送ベルトへの影響を把握した。さらに加
熱方法切替時の温度低下状況も把
握できた。
誘導加熱と抵抗加熱を組み合わせた
試験用連続炉の基本設計は、続いて
実施する予定である。

3 誘導加熱装置 最適
電力技術の開発

・従来の誘導加熱装置
に比して受電電力容量
15%削減

・必要蓄電容量・充放電等の蓄電技術の検討を行い、大型蓄電装置試作
機の基本構想と仕様を決定し、現在製作メーカーを選定中。
・後段の直流受電の誘導加熱用電源試作機については、その基本仕様を檢
討中。

○
2023年度計画通り大型蓄電装置試
作機の必要蓄電容量・充放電等の仕
様を決定した。一次試作は納期の関係
で見送ることとした。
直流受電電源試作機の基本仕様はほ
ぼ決定した。

2. 研究開発計画

【項目1-D／4】 その1 誘導加熱と抵抗加熱のハイブリッド炉の開発

(2) 研究開発内容（今後の取組）

研究開発内容

直近のマイルストーン (2025年度末)

残された技術課題

解決の見通し

1 【1個流しハイブリッド炉】
ハイブリッド炉用搬送
装置と誘導加熱の最
適化技術の開発

誘導加熱での実適用
可能な昇温性能
・搬送装置による誘導
加熱-抵抗加熱の受
渡し時の実用的な
温度低下範囲
・消費エネルギー原単
位15%削減

・1個流しハイブリッド炉用誘導加熱装置の構築
・誘導加熱装置と抵抗加熱装置の間の搬送装置、抵抗加熱
装置の構築
・1個流しハイブリッド試験炉全体組立・構築
・検証試験：誘導加熱での昇温性能、誘導加熱-抵抗加熱受
渡し時の温度低下抑制、エネルギー原単位の15%削減を検
証する。

・誘導加熱装置：電磁シミュレーションを反映して最適
な誘導コイルの設計・製作を行う。
・部品受渡し時の温度低下が実用的な温度低下範
囲となる誘導加熱装置・抵抗加熱装置間の搬送装
置の搬送シーケンスを確立する。
・誘導加熱・部品搬送・抵抗加熱の各部の動作最適
化と相互の動作シーケンスなどの最適化により、KPIの
実現を検証する。

2 【ハイブリッド連続炉】
誘導加熱・抵抗加熱
の加熱方法切替時の
温度制御技術の開発
とハイブリッド炉用連続
搬送装置の開発

・連続炉内誘導加熱
で実適用可能な昇
温性能
・連続炉内の誘導加
熱-抵抗加熱の切替
時の被加熱部品の
温度低下が実用的
な温度低下範囲
・従来に比して消費エ
ネルギー原単位の
15%以上削減

・連続炉用の誘導加熱装置（含むコイル）の構築
・ハイブリッド炉連続搬送装置の構築
・誘導加熱から抵抗加熱への加熱方法切替時の温度低下制
御の検討と検証
・ハイブリッド連続試験炉の全体組立・構築
・検証試験：誘導加熱での昇温性能、誘導加熱-抵抗加熱
受渡し時の温度低下抑制、エネルギー原単位の15%削減を
検証する。

・連続炉用誘導加熱装置：電磁シミュレーション
を活用する。
・誘導加熱装置と抵抗体の配置なども含め抵抗
体加熱方法切替時の温度低下抑制の最適化
を図る。
・誘導加熱・抵抗加熱・連続搬送装置の個別の
運用および連続試験炉全体の運用の最適化に
より、KPIの実現を検証する。

3 誘導加熱装置 最適
電力技術の開発

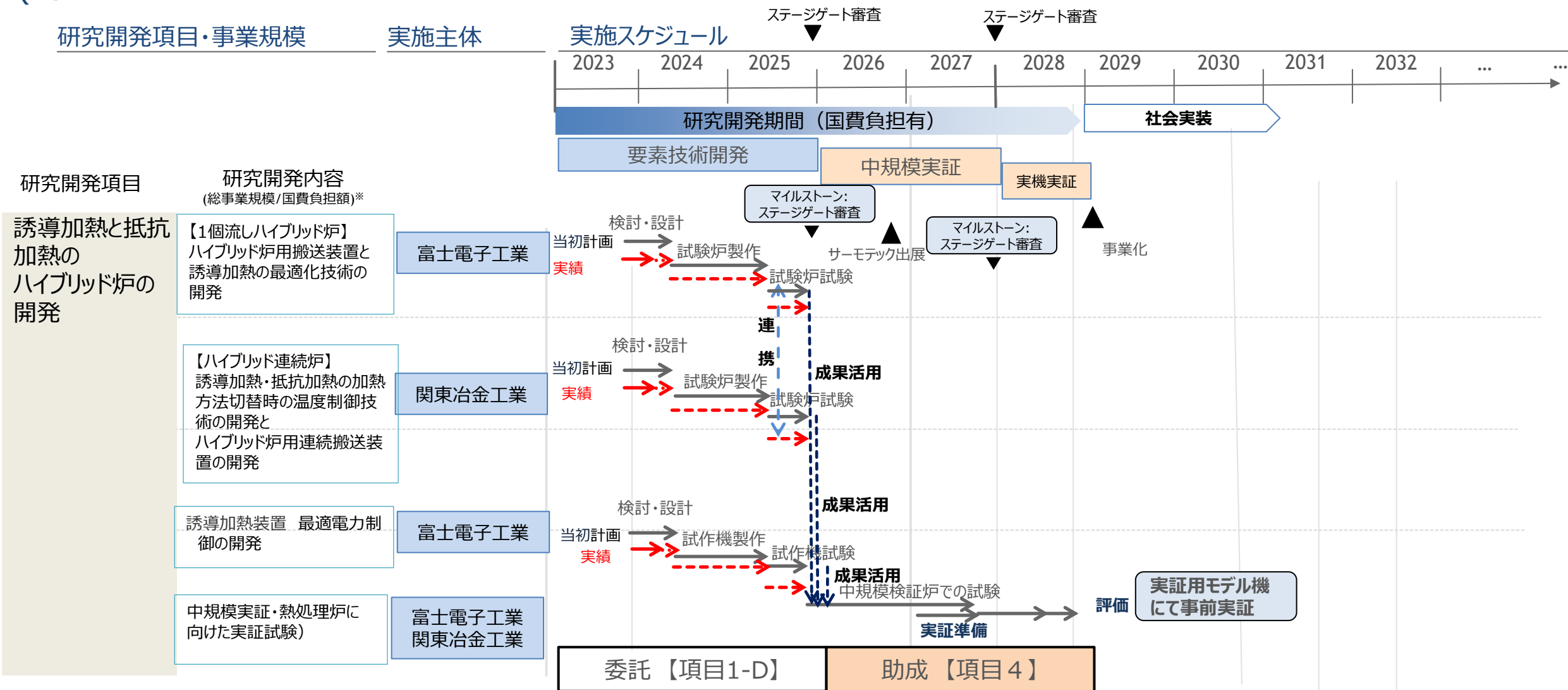
・従来の誘導加熱装置
に比して受電電力容量
15%削減

・大型蓄電装置の構築
・直流受電の誘導加熱用電源の構築
・大型蓄電装置と直流受電誘導加熱用電源の統合と
試運転調整
・検証試験：受電電力容量の15%削減を検証する。

・統合した大型蓄電装置と直流受電の誘導加
熱用電源の個別および全体としての運用の最適
化を実施する。

【項目1-D／4】 その1 誘導加熱と抵抗加熱のハイブリッド炉の開発

(3) 実施スケジュール

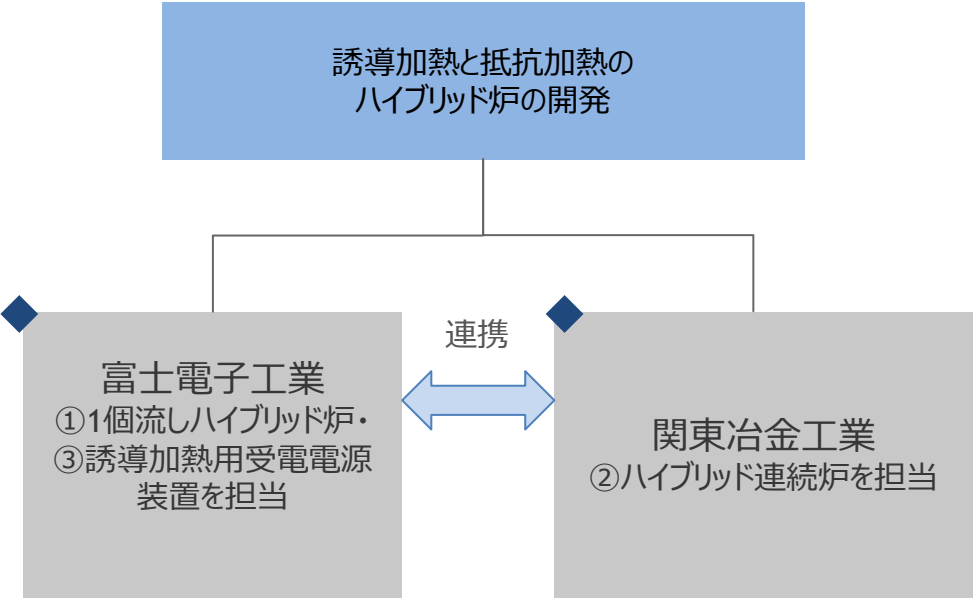


【項目1-D／ 4 】 その1 誘導加熱と抵抗加熱のハイブリッド炉の開発

(4) 研究開発体制

富士電子工業 関東冶金工業の共同で実施する

実施体制図



各主体の役割と連携方法

各主体の役割

- 富士電子工業は、1個流し誘導加熱炉に長じ、1個流しハイブリッド炉と誘導加熱用受電装置を担当する
- 関東冶金工業は、抵抗加熱連続炉に長じ、ハイブリッド連続炉を担当する
- 両社で連携して技術開発を行う

研究開発における連携方法（共同提案者間の連携）

- 定例会の実施（含Web）
- 実験データ共有、仕様決定への協議

【項目1-D／ 4 】 その1 誘導加熱と抵抗加熱のハイブリッド炉の開発

(5) 技術的優位性

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
・ 誘導加熱と抵抗加熱のハイブリッド炉の開発	誘導加熱・抵抗加熱の1個流しハイブリッド炉	・ 1個流し熱処理の省エネルギー化	→ 他社に類例がなく、先駆けて実施
	誘導加熱・抵抗加熱のハイブリッド連続炉	・ 連続熱処理ラインの省エネルギー化	→ 他社に類例がなく、先駆けて実施
	受電電力容量削減可能な誘導加熱炉用受電設備	・ 誘導加熱炉用受電電力容量の削減	→ 他社に類例がなく、先駆けて実施

2. 研究開発計画

【項目1-D／ 4】 その2 トランスバース型誘導加熱技術による鉄鋼プロセス炉の開発

(1) 研究開発目標

研究開発項目

トランスバース型誘導加熱技術による
新プロセス炉の研究開発

研究開発内容

1 予備実験モデルでの電磁場、
発熱解析およびその検証

2 拡大モデルでの
板条件変化対応および効率
などの確認試験

3 パイロット設備 製作と実験
設備に設置の
上でのテスト

4 鉄鋼プロセス炉への社会
実装に向けた実装前実証

アウトプット目標

2029年度までに、大型炉での均一加熱・均一温度の実現を目指し、トランスバース型IH＋抵抗加熱装置実装技術を確立する
また、燃焼炉を既存の電気炉に置き換えた場合に比べて、ピーク電力消費量および受電設備容量を15%削減する
さらに、従来型大規模連続燃焼炉の実績熱効率例と比較したとき、15%以上の省エネルギーを達成する※1

KPI

板条件変化に応じた伝達エネルギー密度分布の最適化とエネルギー伝達効率の最大化を両立できるコイル構造を探索すること

中規模の連続熱処理炉に適用する場合の可動コイルなど詳細機構の実現手法を拡大モデルの製作を用いて確立し、板条件変化時の幅方向温度分布およびエネルギー伝達効率を確認・評価すること

中規模実証機を実験設備に組み込み、最適な連続熱処理システムとしての設計技術の開発と基準技術を確立し、幅方向温度分布およびエネルギー伝達効率などを確認・評価すること

当該技術で大規模連続熱処理炉に適用する場合の、連続熱処理システムとして、幅方向温度分布およびエネルギー伝達効率などを確認・評価すること
また、ピーク電力消費量および受電設備容量、さらに省エネルギー効果などを確認・評価すること

KPI設定の考え方

基準サイズのスチレンス薄板鋼板を用いてベースとなるデータを採取、次に各種サイズのスチレンス薄板鋼板を用いてデータ採取、コイル形状や補助コア配置等を見極める

可動コイル機構や給電機構など構築し、板条件変化時の幅方向温度分布およびエネルギー伝達効率を確認・評価する。板幅に応じた可動コイル制御方法と幅方向温度分布制御方法を検討し、具体的指針を得る

幅方向温度分布およびエネルギー伝達効率維持及びEMC影響の軽減システムの構築技術等を確立させる

幅方向温度分布およびエネルギー伝達効率維持の構築技術等を確立させる
ピーク電力消費量および受電設備容量、省エネルギー効果に関しては、比較対象規定して比較、評価する

委
託

【項目1-D】

助
成

【項目4】

※1.トランスバース型IHは板幅変化（板幅方向の温度分布）への対応が不十分であったため普及に至っていない。
これらの問題点を解決して、トランスバース型IHの普及によって従来の燃焼炉を電化し、かつ従来の燃焼炉と比較して省エネを図るものとしてKPIを設定している。

2. 研究開発計画

【項目1-D／ 4】 その2 トランスバース型誘導加熱技術による鉄鋼プロセス炉の開発

(2) 研究開発内容（全体像）

研究開発内容	KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 (成功確率)
1 予備実験モデルでの電磁場、発熱解析およびその検証	予備実験モデル a)幅方向温度分布 b)効率	実験モデル(TRL4) 基準板幅・板厚において a)±5%超 b)54%	(TRL4) 基準板幅・板厚において a)非公開 b)非公開	予備実験モデルにて、 ー各種のコイル形状・補助コア配置などを考案し、数値解析によって発熱解析を行い、適正解を求める。 ー予備実験用コイルを試作、予備加熱試験によって検証し、その結果を上記にフィードバックする。	事前シミュレーションを進めており、実現可能性は高い(90%)
2 拡大モデルでの板条件変化対応および効率などの確認試験	可動コイルなど拡大モデルを製作し、板条件変化時の幅方向温度分布およびエネルギー伝達効率を確認・評価	(TRL3) この容量のトランスバース型IH搭載システムは国内にはなく、新たな設計が必要	(TRL5) 基準板幅・板厚において a)幅方向温度分布：非公開 b)非公開	拡大モデルを用いて、可動コイル機構や給電機構などの構築や最適化（必要に応じ発熱解析、コイル再製作、加熱試験を繰り返す）などをおこない、工業炉システムとしての整合性を見極める。	事前シミュレーションを進めているが、規模が変わるので不明要素が出てくる。(80%)【項目1-D】
3 パイロット設備 製作と実験設備に設置の上でのテスト	板条件変化時の幅方向温度分布およびエネルギー伝達効率を確認・評価すること	(TRL3) データなし	(TRL5) 基準板幅・板厚において a)幅方向温度分布：非公開 b)効率：非公開	パイロット設備にて、 ー拡大モデルにて決定したコイル形状・補助コア配置を基礎に製作 ー大規模設備に拡大した場合を想定し幅方向温度分布、エネルギー伝達効率維持およびEMC影響の軽減システムの構築技術等を確立させる	大型化への対応において技術課題が顕在化する可能性がある(70%)
4 鉄鋼プロセス炉への社会実装に向けた実装前実証	大規模プロセスラインに適用する場合の、幅方向温度分布およびエネルギー伝達効率などを確認・評価すること また、ピーク電力消費量および受電設備容量、さらに省エネルギー効果などを確認・評価すること	(TRL3) データなし	(TRL7) 大型実証機での基準技術の確立 基準板幅・板厚において a)幅方向温度分布：非公開 b)（熱）効率：非公開 c)ピーク電力消費量(注)：非公開	大規模設備に拡大した場合の幅方向温度分布、エネルギー伝達効率維持およびEMC影響の軽減システムの構築技術等を確立させる ピーク電力消費量および受電設備容量、省エネルギー効果に関しては、比較対象規定して比較、評価する	ピーク電力消費量および受電設備容量の削減、および省エネ効果の目標達成の可能性は高い(80%) 【項目4】

注：ピーク電力消費量 / 定格電力消費量

委
託

助
成

2. 研究開発計画

【項目1-D／ 4 】 その2 トランスバース型誘導加熱技術による鉄鋼プロセス炉の開発

(2) 研究開発内容（これまでの取組）

研究開発内容	直近のマイルストーン	これまでの（前回からの）開発進捗	進捗度
1 予備実験モデルでの電磁場、発熱解析およびその検証	予備実験モデル目標数値（基準板幅・板厚において） a)幅方向温度分布 ±5% b)総合効率 70% (2025年度目標)	コイル形状素案を検討し、最終的に4案について電磁場、発熱解析を行い、それぞれのコイルの最適警報、配置を検討するとともに温度分布、効率を算出する作業を継続中	△ （理由）解析に時間を要しており、コイルの検討が遅れている
2 拡大モデル（～400kW）での板条件変化対応および効率などの確認試験	可動コイルなど拡大モデルを製作し、板条件変化時の幅方向温度分布およびエネルギー伝達効率を確認・評価 (2025年度目標)	基本仕様（材料寸法、通板速度、冷却方法等）を決定。それぞれの構成機器について基本設計を開始	○ （理由）計画通り進行中

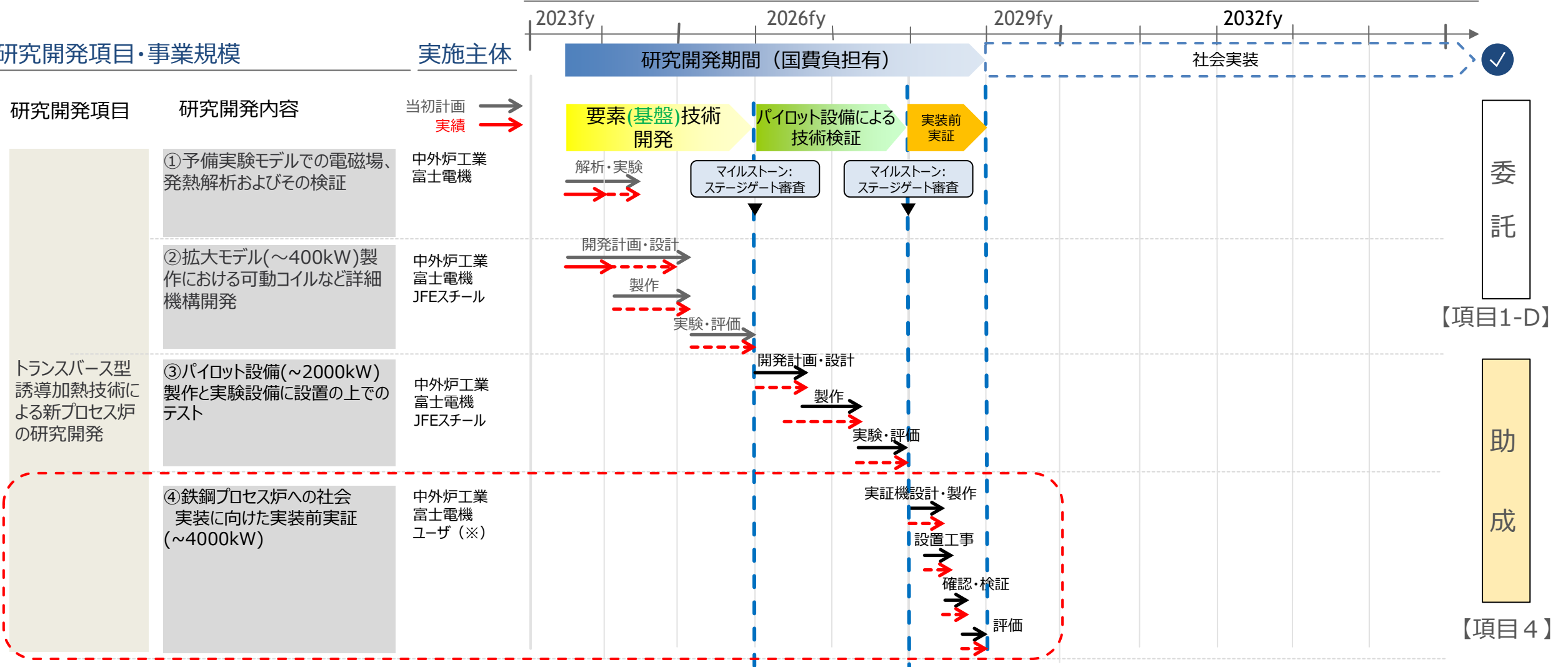
【項目1-D／ 4 】 その2 トランスバース型誘導加熱技術による鉄鋼プロセス炉の開発

(2) 研究開発内容（今後の取組）

研究開発内容	直近のマイルストーン	残された技術課題	解決の見通し
1 予備実験モデルでの電磁場、発熱解析およびその検証	予備実験モデル目標数値 （基準板幅・板厚において） a)幅方向温度分布 ±5% b)総合効率 70% (2025年度目標)	コイル形状を決定し、基準板幅・板厚に対し解析、及び加熱試験の両方において目標数値を達成する	2024年度中にコイル形状決定後に解析、加熱試験を行い目標を達成
2 拡大モデル（～400kW）での板条件変化対応および効率などの確認試験	可動コイルなど拡大モデルを製作し、板条件変化時の幅方向温度分布およびエネルギー伝達効率を確認・評価 (2025年度目標)	予備実験の結果に基づき拡大モデル用コイル形状を設計し、その結果をもとに電源装置、及びコイル移動装置の設計、製作を完了する	コイル基本形状、およびそれに基づく電源、移動装置の仕様を決定し、2024年度末に製作の80%を完了する

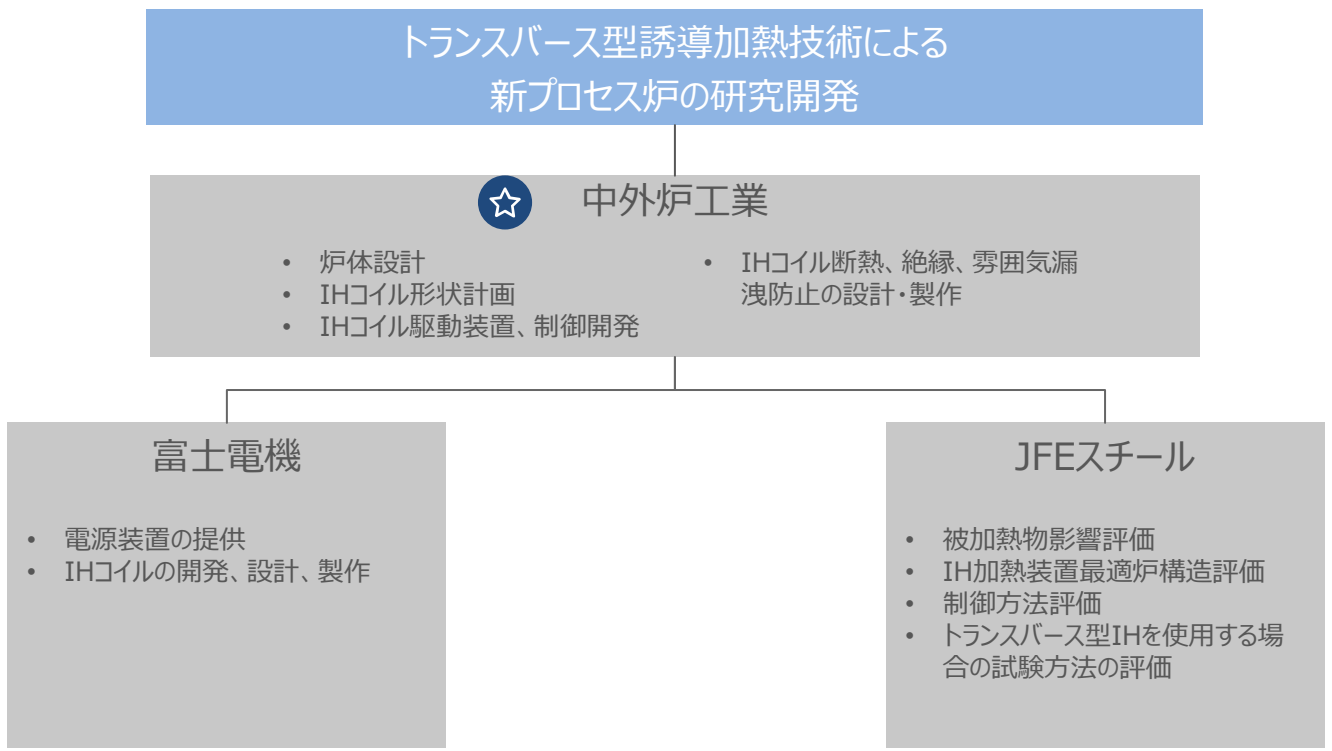
【項目1-D／ 4 】 その2 トランスバース型誘導加熱技術による鉄鋼プロセス炉の開発

(3) 実施スケジュール



【項目1-D／ 4 】 その2 トランスバース型誘導加熱技術による鉄鋼プロセス炉の開発

(4) 研究開発体制



【項目1-D／ 4 】 その2 トランスバース型誘導加熱技術による鉄鋼プロセス炉の開発

(5) 技術的優位性

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
トランスバース型誘導加熱技術による新プロセス炉の研究開発	1. 予備実験モデルでの電磁場、発熱解析およびその検証	- 従来設備における電磁場・発熱連成解析技術 - 小型設備におけるトランスバースコイル設計製作技術	→ ＜優位性＞ - 現在実操業中のトランスバース方式誘導加熱装置の納入実績を有する（但し、幅方向温度分布・効率・可能能力とも今回目標に及ばない） - その他多くの誘導加熱設備の納入実績を有する - 自社研究所にてトランスバース型誘導加熱装置のテストが可能
	2. 拡大モデル製作における可動コイルなど詳細機構開発	- 金属加熱用誘導加熱設備の設計技術 - 小型設備における板条件変化時対応技術 - 従来設備における電磁場・発熱連成解析技術	[＜優位性＞ - 従来の加熱手段（放射加熱・対流加熱）と誘導加熱を組み合わせた設備を国内外に納入した実績を有する - 金属加熱用誘導加熱設備に多数の納入実績を有する - 日本を代表する製鉄プロセス技術を有する - 多くの金属加熱炉を保有しており、社会実装に向けて多面的な展開が可能である。 - 金属加熱用誘導加熱設備設計・建設実績に基づくノウハウを有する。 - メンテナンス時、従来の加熱手段と誘導加熱手段とも1社が窓口となりワンストップで対応できる]
	3. パイロット設備製作と実験設備に設置の上でのテスト	- 小型設備における板条件変化時対応技術 - 金属加熱用誘導加熱設備の製作技術 - 炉構成材料および金属製品の材料評価技術	
	4. プロセス炉への社会実装に向けた実装前実証	- 金属加熱用誘導加熱設備の設計製作技術 - 雰囲気ガスの取り扱い技術	

委
託

【項目1-D】

助
成

【項目 4】

【項目1-D／4】 その3 オール電化溶解炉の開発

(1) 研究開発目標

研究開発項目		アウトプット目標		委託
5.大型高効率オール電化溶解炉の開発		大型高効率オール電化溶解炉を確立し社会実装する		
研究開発内容		KPI	KPI設定の考え方	
① 高効率・高出力浸漬ヒータの実現		ワット密度基準にて高出力化を達成する （保護管外面発熱面積基準）	ヒータ性能を決定づける評価となり、これを満足するものが理想形となる	
② 熱損失の最小化技術の確立		既設炉（天然ガス焚タワー炉）と比較して、 熱損失率20%削減を達成する 投入材料形状対応率80%以上を達成する	省エネは熱損失を抑えることであり、主要な熱損失となっている要素の評価をすることで、高効率となる設計が出来る	
③ アルミ溶湯清浄化装置の高機能化の実現		Kモールド値 K10=0.2以下を達成する	溶湯の清浄度を向上することができれば、リターン材等の材料が溶解でき高品質で生産性の高い設備になる	【項目1-D】
④ 電気消費量の均一化、受電設備容量の最小化の実現		負荷変動の最小化等により 設備容量を従来炉比較で30%カットする	設備導入時に課題となっている、一次供給電力・受電設備容量が下があれば、設備投資を加速化出来る	助成
⑤ 長期間の操業安定性・安全性の確認		・リスクアセスメントを行い評価する ・研究開発項目①～③の実証を中規模検証炉・実証炉規模で達成する	現状課題を明確にしルール設定および技術開発を行い故障しにくい設備にできる	

【項目1-D】

【項目4】

【項目1-D／4】 その3 オール電化溶解炉の開発

(2) 研究開発内容（全体像）

	KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 （成功確率）	
1 高効率・高出力 浸漬ヒータの 実現	ワット密度基準にて高出 力化を達成する （保護管外面発熱面積 基準）	28W/cm2 （TRL 4）	高出力化を 達成 （TRL7）	- 新設計および新素材でのヒータ試作 - 試作ヒータ実負荷試験 - 各条件因子の相関関係を分析 - 効果の高い条件で実機製作・試験・評価	60%以上 期間短縮により実 現可能な数値とし 継続に自社開発に 取り組む	委 託
2 熱損失の最小化 技術の確立	既設炉（天然ガス焚ター 炉）と比較して熱損失率 20%削減を達成する 連続で材料投入、溶解が 安定している事を確認する	調査開始 （TRL 3）	最大値達 成 （TRL 6）	- エネルギー変換測定試験機製作 - 測定試験機でのデータ取り - 各条件因子の相関関係を分析 - 効果の高い条件で実機製作・試験・評価	70%以上	
3 アルミ溶湯清浄化 装置の高機能化 の実現	Kモールド値 K10=0.2 以下を達成する	構想段階 （TRL2）	基準値クリア （TRL7）	- 試験機製作 - 実負荷データ測定 - 各条件因子の相関関係を分析 - 効果の高い条件で実機製作・試験・評価	80%	
4 電気消費量の均 一化、受電設備 容量の最小化の 実現	負荷変動の最小化等 により設備容量を従来炉比 較で30%カットする	構想段階 （TRL2）	30%カット する （TRL7）	- 試験機製作 - 実負荷データ測定 - 各条件因子の相関関係を分析 - 効果の高い条件で実機製作・試験・評価	50%	助 成
5 長期間の操業安 定性・安全性の 確認	・リスクアセスメントを行い 評価する ・研究開発項目①～③ の実証を中規模検証炉・ 実証炉規模で達成する	構想段階 （TRL3）	無事故 （TRL7）	- リスクアセスメント評価基準による点数化 - 課題について改善目標設定する - 課題解決手段を採用し、リスクアセスメント再評価する	90%	

【項目1-D】

【項目4】

【項目1-D／4】 その3 オール電化溶解炉の開発

(2) 研究開発内容（これまでの取組）

研究開発内容	直近のマイルストーン	これまでの（前回からの）開発進捗	進捗度
1 高効率・高出力浸漬ヒータの実現	ワット密度基準にて高出力化を達成する（保護管外面発熱面積基準）	保護管材料を調査し、対象となる保護管材質の保護管及び充填材だけのテストピースを製作し、昇温加圧試験を実施した。	○ （理由） 保護管の薄肉化の可能性が明確化、充填材調査が予定通り進捗中のため
2 熱損失の最小化技術の確立	既設炉（天然ガス焚タワー炉）と比較して熱損失率20%削減を達成する 投入材料形状対応率80%以上を達成する	比較対象となる既存の燃焼式タワー型溶解炉の熱精算を実施した。	○ （理由） 比較対象となる既存溶解炉のエネルギー効率が明確になった。
3 アルミ溶湯清浄化装置の高機能化の実現	Kモールド値 $K10=0.2$ 以下を達成する	シミュレーション用ワークステーションと高精度流体解析ソフトの導入が完了した。 また、その習熟に時間がかかるため、既存解析ソフトによる概略シミュレーションを行い、その結果を用いて、パラメータの要因効果を求める実施計画（水流テストを含む）を作成した。 日産分室にて既設清浄化装置の実施状況、効果、実施後の品質の情報共有を行った。	○ （理由） 実験や設計のための方向性を決めることができた。

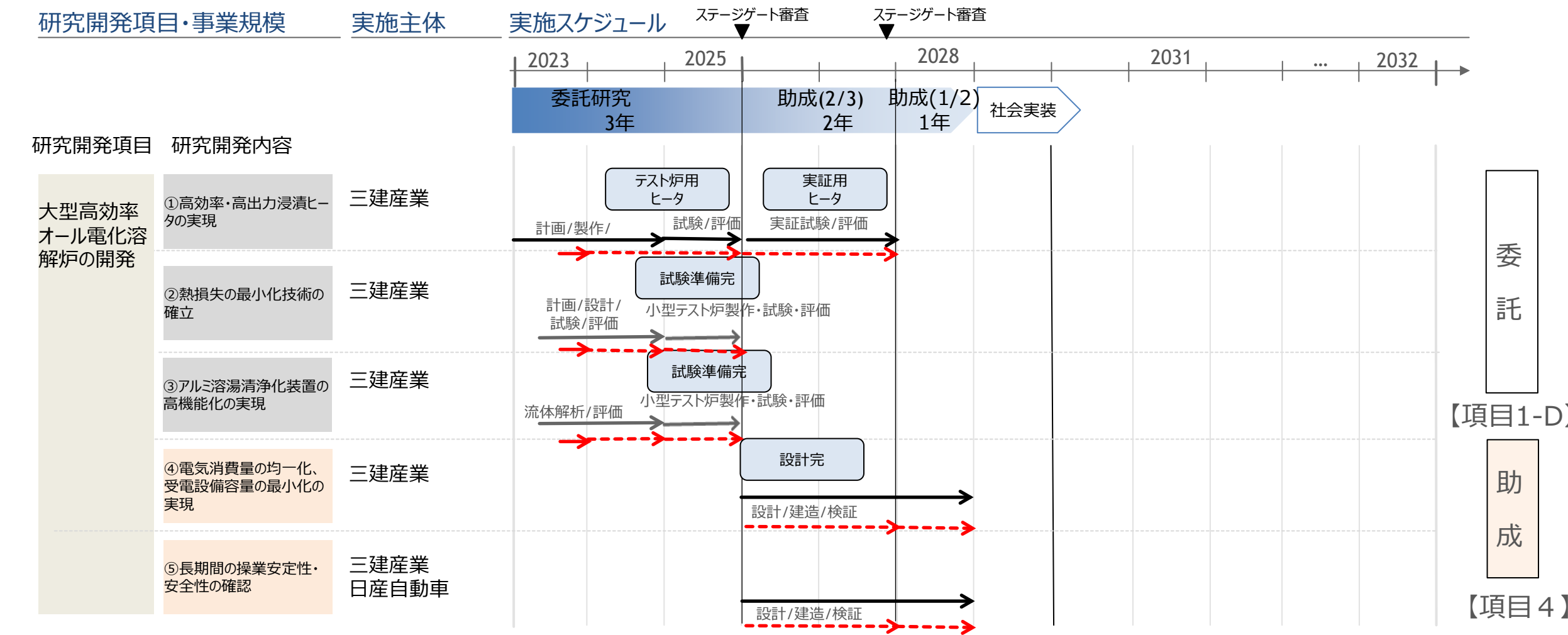
【項目1-D／4】 その3 オール電化溶解炉の開発

(2) 研究開発内容（今後の取組）

研究開発内容	直近のマイルストーン	残された技術課題	解決の見通し
1 高効率・高出力浸漬ヒータの実現	ワット密度基準にて高出力化を達成する（保護管外面発熱面積基準）	既存のニクロム線構造で充填材の高熱伝導率化を図ることと、SiC発熱体を用いて高温で絶縁抵抗を維持する充填材を求める検討と調査が必要である。	発熱体を入れたテストピースを制作し、熱抵抗測定装置を設計、製作し、充填材の種類、充填方法のパラメータを変更することによる要因効果を観察し、試験用高出力ヒータの設計にフィードバックする。
2 熱損失の最小化技術の確立	既設炉（天然ガス焚タワー炉）と比較して熱損失率20%削減を達成する 投入材料形状対応率80%以上を達成する	既存の溶湯循環・浸漬式溶解炉の熱損失データを計測・分析し熱損失の最小化の要点を掴む。	日産自動車分室に既存オール電化溶解炉が稼働できる状態であるので、計測や分析が容易にできる。
3 アルミ溶湯清浄化装置の高機能化の実現	Kモールド値 K10=0.2以下を達成する	泡の微細化が必要とされており、溶湯内で微細な泡を発生させるための技術構築が必要。 また、槽内での攪拌による溶湯流れをシミュレーションにより可視化する。	シミュレーションソフトを習熟し、槽内の溶湯流れを明確にする。

【項目1-D／4】 その3 オール電化溶解炉の開発

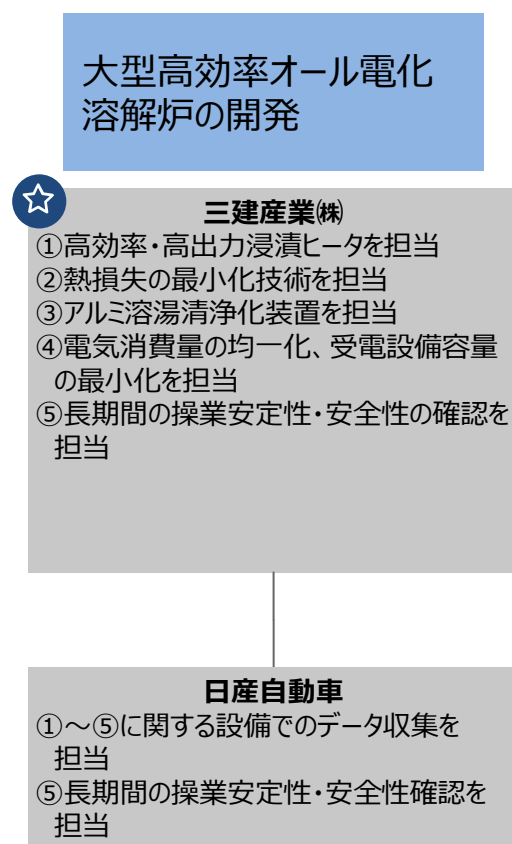
(3) 実施スケジュール



【項目1-D／4】 その3 オール電化溶解炉の開発

(4) 研究開発体制

実施体制図



各主体の役割と連携方法

各主体の役割

- 研究開発項目1の全体取りまとめは、三建産業(株)が行う
- 三建産業は、①～⑤を全て担当する
- 日産自動車は、①～⑤に関する設備データを収集する（既存設備および実証炉）
⑤安全性・安定性の確認を担当する

研究開発における連携方法（共同提案者間の連携）

- 秘密保持契約を締結し、成果物の権利を明確化する
- 定期的な会議の開催
- 成果物の共有

共同提案者以外の本プロジェクトにおける他実施者等との連携

- 秘密保持契約を締結し、成果物の権利を明確化する

【項目1-D／4】 その3 オール電化溶解炉の開発

(5) 技術的優位性

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク	
大型高効率オール電化溶解炉の開発	1 高効率・高出力浸漬ヒータの実現	- 浸漬管ヒータに関する知見 - 伝熱・熱応力シミュレーション技術	→ 既存浸漬ヒータの故障調査データ → 伝熱、応力シミュレーターの自社所有	委託
	2 熱損失の最小化技術の確立	- 伝熱・流体シミュレーション技術 - テスト設備を利用した自社でのテストの容易性	→ 伝熱、流体シミュレーターの自社所有 → 自社工場の所有	
	3 高機能アルミ溶湯清浄化の実現	- 水流テスト装置、溶湯保持炉 - テスト設備を利用した自社でのテストの容易性	→ 溶湯清浄化装置の自社ブランド所有 → 自社工場の所有	
	4 電気消費量の均一化、受電設備容量の最小化の実現	- 制御盤の自社設計技術 (蓄電池システムメーカーの制御技術)	→ 自社設計による柔軟な設計が可能 → (システムメーカーとのコラボ)	助成
	5 長期間の操業安定性・安全性の確認	10年間のオール電化溶解炉の稼働による知見 - 安全・安定操業技術、ノウハウ	→ 10年間の稼働実績 → 技術・ノウハウの蓄積	

【項目1-D】

【項目4】

【項目1-D／4】 その4 燃焼と電気のハイブリッド アルミ熱処理炉の開発

(1) 研究開発目標

燃焼と電気のハイブリッド熱処理炉の開発		アウトプット目標	
研究開発内容		KPI	KPI設定の考え方
要素技術開発フェーズ1	① NH ₃ と水素の混焼ラジアントチューブバーナの開発	アンモニアと水素の燃焼特性を考慮し、燃焼試験装置を製作し燃焼試験を実施 未燃NH ₃ やN ₂ Oを抑制した安定燃焼の確立	比較的处理温度が低く、チューブ内の狭い空間での燃焼になるため、安定した点火性、燃焼性が必要となる
	② ラジアントチューブ、レキュペレータの燃焼ガスの影響確認	燃焼ガスの成分による腐食や窒化反応を調査、確認、分析し、最適な材質を選定する	実用化する上で、耐久性寿命が重要なポイントとなるため、燃焼条件、使用温度条件に適した材質を検証する必要がある
	③ 燃焼と電気ヒータのハイブリッド運転、制御方法の開発	燃焼から電気ヒーターへの切替タイミング、制御の最適化を検討する。制御確認用試験装置を製作し、これを用いて切替方式（制御）を確立する。	燃焼と電気ヒーターの制御速度の違いをどのように両立させるか、切替時の炉内温度の乱れを抑える必要がある
	④ 中規模実証 フェーズ2	上記①～③の目標を達成したうえで中規模設備での安定操業 ※	中規模設備において水素＝50％混焼での安定操業と安全性の確保
	⑤ 実機実証 フェーズ3	上記④の目標を達成したうえで大規模設備での安定操業 ※	大規模設備において水素＝50％混焼での安定操業と安全性の確保

【項目1-D】

【項目4】

※ ④、⑤では、上記①③で建設した燃焼試験炉を用いて実証設備での燃焼試験の補足、検証などを行う

2. 研究開発計画

【項目1-D／4】 その4 燃焼と電気のハイブリッド アルミ熱処理炉の開発

(2) 研究開発内容（全体像）

研究開発内容		KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 (成功確率)
要素技術開発フェーズ1	1 NH ₃ と水素の混焼ラジアントチューブバーナの開発	アンモニアと水素の燃焼特性を考慮し、燃焼試験装置を製作し燃焼試験を実施 未燃NH ₃ やN ₂ Oを抑制した安定燃焼の確立	基本原理 説明 (TRL 2)	実機スケールの検証 (TRL 7)	- NH₃の部分改質の活用 - 排ガス再循環方式による緩慢燃焼化 - NH₃と水素燃焼速度の違い	予想外の課題が発生する可能性がある (70%)
	2 ラジアントチューブ、レキュペレータの燃焼ガスの影響確認	燃焼ガスの成分による腐食や窒化反応を調査、確認、分析し、最適な材質を選定する	基本原理 説明 (TRL 2)	実機スケールの検証 (TRL 7)	チューブバーナでの燃焼排ガス特性の把握	予想外の課題が発生する可能性がある (80%)
	3 燃焼と電気ヒータのハイブリッドの運転、制御方法の開発	燃焼から電気ヒーターへの切替タイミング、制御の最適化を検討する。制御確認用試験装置を製作し、これを用いて切替方式（制御）を確立する	基本原理 説明 (TRL 2)	実機スケールの検証 (TRL 7)	燃焼、電気ヒーター制御速度の違い、様々な切替タイミング（併用含め）を整理し、プログラミングする	予想外の課題が発生する可能性がある (80%)
	4 中規模実証	上記①～③の目標を達成したうえで中規模設備での安定操業	小型実機スケールの検証 (TRL 4)	中規模スケールの検証 (TRL 5)	- 流体解析等を用いてスケールアップについて十分にシミュレーションを行う - ユーティリティ、メンテ性、安全性などの確認	供給インフラ、燃料コストの価格変動等 (80%)
	5 実機実証	上記④の目標を達成したうえで大規模設備での安定操業	中規模スケールの検証 (TRL 5)	実機スケールの検証 (TRL 7)		
フェーズ2						
フェーズ3						

委託

【項目1-D】

助成

【項目4】

【項目1-D／4】 その4 燃焼と電気のハイブリッド アルミ熱処理炉の開発

(2) 研究開発内容（これまでの取組）

研究開発内容	直近のマイルストーン	これまでの（前回からの）開発進捗	進捗度
1 NH ₃ と水素の混焼ラジアンチューブバーナの開発	バーナの運転評価 燃焼試験装置を製作し燃焼試験を実施 未燃NH ₃ やN ₂ Oを抑制した安定燃焼の確立 未燃NH ₃ 発生量は、10ppm以下とする	•燃焼試験装置の計画および詳細設計を行った。 燃焼装置、RTバーナは、基本計画/詳細設計を完了した(配管設計が一部残っている)。電気計装は未着手である。 •製作品、購入機器は今後発注を行っていく。 •2024年12月～組立/試運転を行い→2025年1月～燃焼試験を開始する。 •東北大学流体研分室では、改質アンモニアの層流燃焼速度について文献調査と数値計算を実施した。	△(理由) 燃焼試験炉の設計に負荷がかかり、配管と電気計装のが遅れているが、2024年12月からの組立/試運転には支障なく完了予定。
2 ラジアントチューブ、レキュペレータの燃焼ガスの影響確認	バーナの運転評価 燃焼ガスの成分による腐食や窒化反応を調査、確認、分析し、最適な材質を選定する	•対象となる材質や試験方法の検討、試験計画の策定した。 対象材質はSCH13、SCH21、SUS304、SUS316L、SUS310Sとし、温度条件は550℃、750℃、900℃とする。 試験方法は、加速試験として管状電気炉の管内に試験材を装入し、希釈したアンモニアガスに晒す。 また、曝露試験として燃焼試験で用いるラジアントチューブやレキュペレータ内に試験片を装入し燃焼排ガスに晒す。	○(理由) 今後、試験機器、試験サンプルの手配を行う。

【項目1-D／4】 その4 燃焼と電気のハイブリッド アルミ熱処理炉の開発

(2) 研究開発内容（これまでの取組）

研究開発内容	直近のマイルストーン	これまでの（前回からの）開発進捗	進捗度
3 燃焼と電気ヒータのハイブリッド運転、制御方法の開発	燃焼から電気ヒータへの切替タイミング、制御の最適化を検討する。 制御確認用試験装置を製作し、切替方式（制御）を確立する。 切替時の炉内温度の乱れも30℃以内とする。	•ハイブリッド制御試験装置の計画および詳細設計を行った。 炉体、循環ファン、バーナ、ヒータの基本設計は完了した。詳細設計は未着手である。電気計装の基本設計は完了した。詳細設計は未着手である。 •製作品、購入機器は今後発注を行っていく。 •2024年12月～組立/試運転を行い→2025年1月～燃焼試験を開始する。	△(理由) 燃焼試験炉の設計に負荷がかかり、詳細設計が遅れているが、2024年12月からの組立/試運転には支障なく完了予定。

【項目1-D／4】 その4 燃焼と電気のハイブリッド アルミ熱処理炉の開発

(2) 研究開発内容（今後の取組）(1/2)

研究開発内容	直近のマイルストーン	残された技術課題	解決の見通し
1 NH ₃ と水素の混焼ラジアントチューブバーナの開発	燃焼試験装置を製作し燃焼試験を実施する。 未燃NH ₃ やN ₂ Oを抑制した安定燃焼の確立する。 未燃NH ₃ 発生量は、10ppm以下とする。	・燃焼速度の遅いアンモニアに、燃焼速度が著しく速い水素を加えることで、燃焼性は改善されるが、燃えすぎることによるNOxの増加が懸念される。	・燃料と燃焼空気のみキシングを工夫する。また、排ガス再循環を積極的に行い最適な燃焼条件を確立する。 また、東北大学流体研分室による基礎計算で、この条件を満たすための燃焼場を解明する。
2 ラジアントチューブ、レキュペレータの燃焼ガスの影響確認	燃焼ガスの成分による腐食や窒化反応を調査、確認、分析し、最適な材質を選定する。	・今後実施するラジアントチューブやレキュペレータ内曝露試験では、アンモニアの影響は出ない可能性があると思われる。	・加速試験を行うことで一定の評価ができる。

【項目1-D／4】 その4 燃焼と電気のハイブリッド アルミ熱処理炉の開発

(2) 研究開発内容（今後の取組） (2/2)

研究開発内容

3 燃焼と電気ヒータのハイブリッド運転、制御方法の開発

直近のマイルストーン

燃焼から電気ヒータへの切替タイミング、制御の最適化を検討する。
制御確認用試験装置を製作し、切替方式（制御）を確立する。
切替時の炉内温度の乱れも30℃以内とする。



残された技術課題

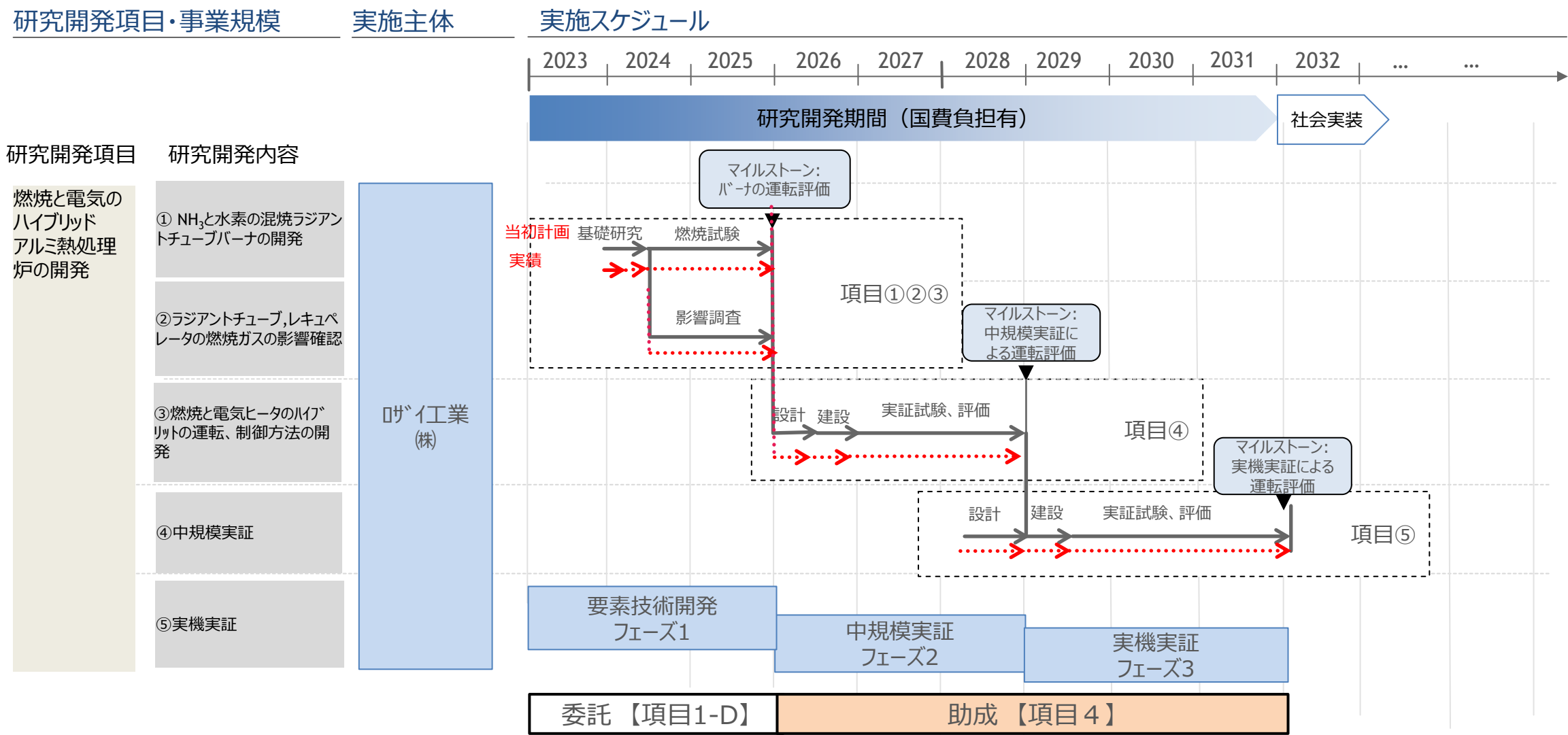
間接焚バーナの制御時間と電気ヒータの制御時間の違いを把握する必要がある。
また、炉内温度の違いでも特性が違われる。

解決の見通し

炉内温度として、300℃、450℃、600℃で試験を行い特性を確認する。

【項目1-D／4】 その4 燃焼と電気のハイブリッド アルミ熱処理炉の開発

(3) 実施スケジュール

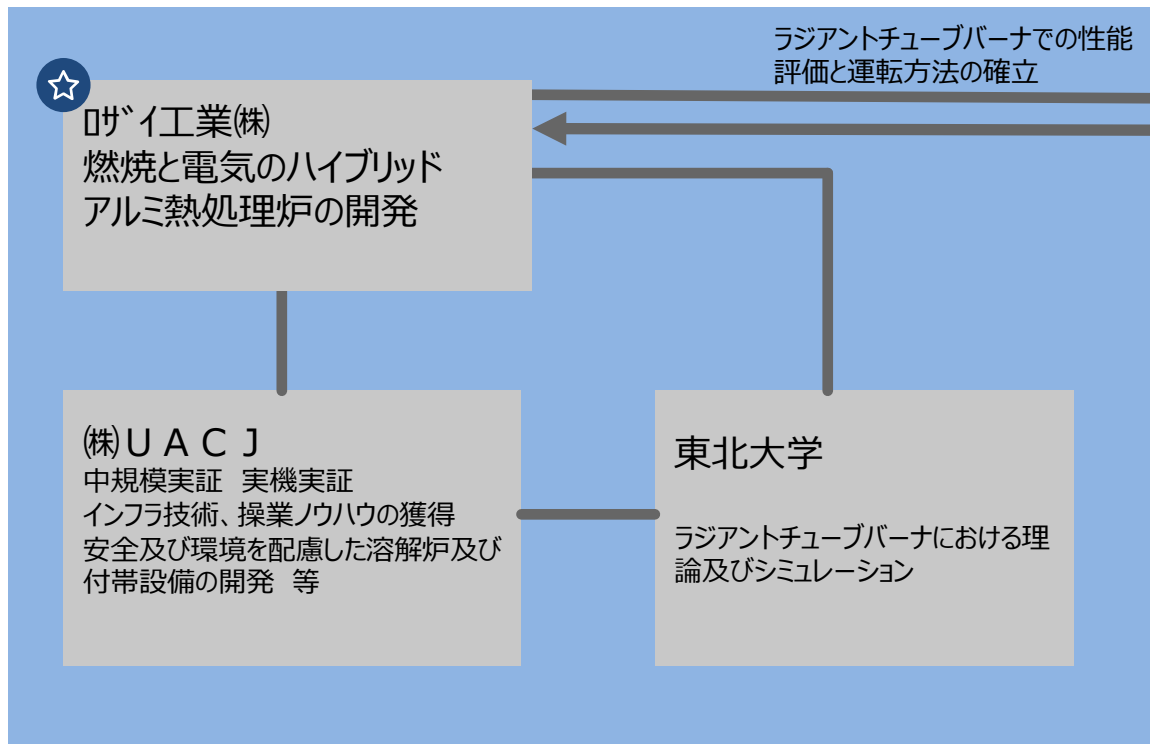


2. 研究開発計画

【項目1-D／4】 その4 燃焼と電気のハイブリッド アルミ熱処理炉の開発

(4) 研究開発体制

実施体制図



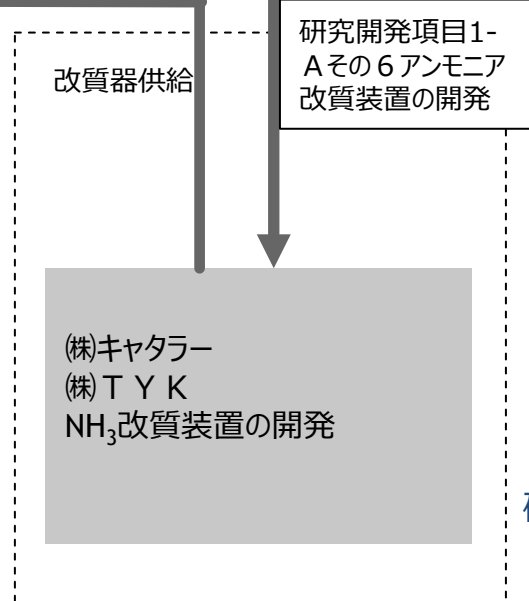
各主体の役割と連携方法

各主体の役割

- ロザイ工業(株)
燃焼と電気のハイブリッドアルミ熱処理炉の開発を担当する
- (株)UACJ
中規模実証 実機実証
インフラ技術、操業ノウハウの獲得
安全及び環境を配慮した溶解炉
及び付帯設備の開発 付帯設備の開発を担当する
- 東北大学
ラジアントチューブにおける理論シミュレーションを担当する

研究開発における連携方法 (共同提案者間の連携)

- ロザイ工業(株)は、(株)キャタラー & (株)TYKの改質器の開発においてテスト環境を提供し、ラジアントチューブの燃焼開発に活用する
- (株)キャタラー & (株)TYKは、ロザイ工業(株)に改質器を供給し、テスト装置における改質器のデータを取得する



【項目1-D／4】 その4 燃烧と電気のハイブリッド アルミ熱処理炉の開発

(5) 技術的優位性

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク	
燃烧と電気のハイブリッド アルミ熱処理炉の開発	1 NH ₃ と水素の混焼ラジアントチューブバーナの開発	- 既存ラジアントチューブバーナの開発、生産能力 - 先導研究プログラムによるアンモニア基本技術取得	→ → ラジアントチューブバーナの豊富な納入実績に合わせて先導研究におけるアンモニア技術	委託
	2 ラジアントチューブ、レキュペレータの燃烧ガスの影響確認	- 自社内における燃烧器開発能力 - レキュペレータ自社内設計製作能力	→ →	
	3 燃烧と電気ヒータのハイブリッドの運転、制御方法の開発	- 長年の工業炉製造技術（電気炉含む） - バーナの開発、製造技術	→	
	4 中規模実証	非鉄金属素材メーカー（ユーザー）、弊社が協同にて既設炉（弊社過去納入等）を改造実施	→	助成
	5 実機実証	非鉄金属素材メーカーの多岐にわたる要望を採り入れた実機（新設）を製作可能	→	

【項目1-D】

【項目4】

【項目1-D／4】 その5 誘導加熱式高温プロセス炉の開発

(1) 研究開発目標

研究開発項目

1. アチソン炉の代替となる省エネ型誘導加熱式高温プロセス炉の開発

アウトプット目標

2028年度末時点で誘導加熱式高温プロセス炉の社会実装を実現する。
【研究～実証フェーズ 完了時】

研究開発内容

1

省エネシステムによるエネルギー原単位の低減
【研究フェーズ】

2

実質CO2排出量の削減
【研究フェーズ】

3

大型縦型誘導炉での要求温度達成
【研究フェーズ】

4

作業環境の改善
【実証フェーズ】

5

メンテナンス周期の長期化
【実証フェーズ】

KPI

既設アチソン炉比 15%以上削減

既設アチソン炉比 実発生CO₂削減量50%削減

操業温度2900℃以上での均一加熱
(既設アチソン炉実績温度幅
±20%→±5%に改善)

3 K作業を伴わない粉体搬送設備の開発・改善
(粉じん量50%改善)

設備稼働率30%→90%

KPI設定の考え方

消費電力量、ランニングコスト削減

焼成中の実発生CO₂排出量の削減

加熱プロセス3.5～4日／サイクル を想定

省人化・自動化
不安全作業をなくす

連続生産を止めないメンテナンスのシステム開発

委託

助成

【項目1-D】

【項目4】

2. 研究開発計画

【項目1-D／4】その5 誘導加熱式高温プロセス炉の開発

(2) 研究開発内容（全体像）

	KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 （成功確率）	
1 省エネシステムによるエネルギー原単位の低減	既設アチソン炉比 15%以上削減	エネルギー原単位 15～20 Kwh/kg程度	エネルギー原単位 →対アチソン炉 15%減	- 方式①誘導加熱による効率的加熱方法 - 方式② 真空技術の活用 - 方法③高効率伝熱・冷却技術の活用	エネルギー原単位 対アチソン炉 15%減 (80%)	委託
2 実質CO ₂ 排出量の削減	既設アチソン炉比 実発生CO ₂ 半減		既設アチソン炉比 実発生CO ₂ 発生量 半減	- 方式①誘導加熱による効率的加熱方法 - 方式② 真空技術の活用	既設アチソン炉 比 実発生CO ₂ 半減 (80%)	
3 大型縦型誘導炉での要求温度達成	操業温度2900℃以上での均一加熱 (温度幅±20% →±5%に改善)	技術コンセプト の実験的な証明	実機での初期 的商用稼働 →2900℃均熱 時±5%以内	- 高効率電熱技術 - 誘導加熱シミュレーションと小型及び大型検証機でのテスト	2900℃均熱時 ±5%以内 (80%)	
4 作業環境の改善	3 K作業を伴わない システム開発 (粉じん量50%改善)	試験環境下での 初期プロトタイプ実証 (TRL4)	実機での初期 的商用稼働 (TRL8)	- 高温下での作業の改善 - 方式① 冷却式真空容器の採用 - 方式② 断熱構造の開発 - 粉体搬送設備の開発・改善 - 方式① 原料供給～処理品排出までの自動化検討	省人化・自動化 (60%)	助成
5 メンテナンス周期の長期化	設備稼働率30% →90%	技術コンセプト の実験的な証明 (TRL3)	商用前実証によるソリューション検証 (TRL7)	- 高温部材の消耗低減 - 真空技術の活用 - 連続生産システム構築 - マテハン技術との連携 - IoTツールの導入による生産システム構築	1回/2カ月、生産停止無し (70%)	
						【項目4】

【項目1-D／4】その5 誘導加熱式高温プロセス炉の開発

(2) 研究開発内容（これまでの取組）

研究開発内容	直近のマイルストーン	これまでの（前回からの）開発進捗	進捗度
1 省エネシステムによるエネルギー原単位の低減	2025年度末までに、大型検証機を設計・製作し、大型検証機による検証試験を実施し、研究目標値を確認する。	1. 大型検証機コンセプト決め： 炉サイズ→決定済み 量産時概略FS実施→大型検証機によりエネルギー原単位検証 新機構採用判定→小型パイロット炉要素試験待ち	○（理由） 小型テスト機で検証すべき技術検証が遅れたため、若干大型検証機の基本設計に遅延が発生
2 実質CO ₂ 排出量の削減	①既設アチソン炉比 15%以上削減 ②既設アチソン炉比 実発生CO ₂ 削減量50%削減 ③操業温度2900℃以上での均一加熱	2. 大型検証機見積設計（計画予算決め用）： 断面および配置計画ほぼ完了 見積用資料作成実施中 3. 大型検証機基本設計： 実施中 4. 大型検証機詳細設計： 一部着手 （最優先機器である高周波電源はほぼ詳細仕様決定し、メーカー選定中）	
3 大型竪型誘導炉での要求温度達成	（既設アチソン炉実績温度幅±20%→±5%に改善）	5. 粉体原料搬送設備の検証機製造に向けたコンセプト設計に関しては、2023年度から原料投入及び搬送方法など種々のテストを実施中である。 ・2023年度上期完成予定であった自社保有の小型テスト機用の高周波電源及び誘導コイルのメーカー不適合に対策工事が予想以上に時間を要したが、2024年3月初旬には、原因究明及びその改善対策工事を完了し、 現状はすでに2900℃昇温を確認し、2024年4月以降は、小型テスト機によるプロセス開発を実施していく。	○（理由） 小型テスト機の不具合対応により、検証テストに遅延が発生

【項目1-D／4】その5 誘導加熱式高温プロセス炉の開発

(2) 研究開発内容（今後の取組）

研究開発内容

直近のマイルストーン

残された技術課題

解決の見通し

① 省エネルギーシステムによるエネルギー単位の低減

② 実質CO₂排出量の削減

③ 大型縦型誘導炉での要求温度達成

2025年度末までに、大型検証機を設計・製作し、大型検証機による検証試験を実施し、研究目標値を確認する。

①既設アチソン炉比 15%以上削減

②既設アチソン炉比 実発生CO₂削減量50%削減

③操業温度2900℃以上の均一加熱

（既設アチソン炉実績温度幅±20%→±5%に改善）

・小型テスト機による検証テストの遅れ

・小型テスト機による検証テストの遅れ

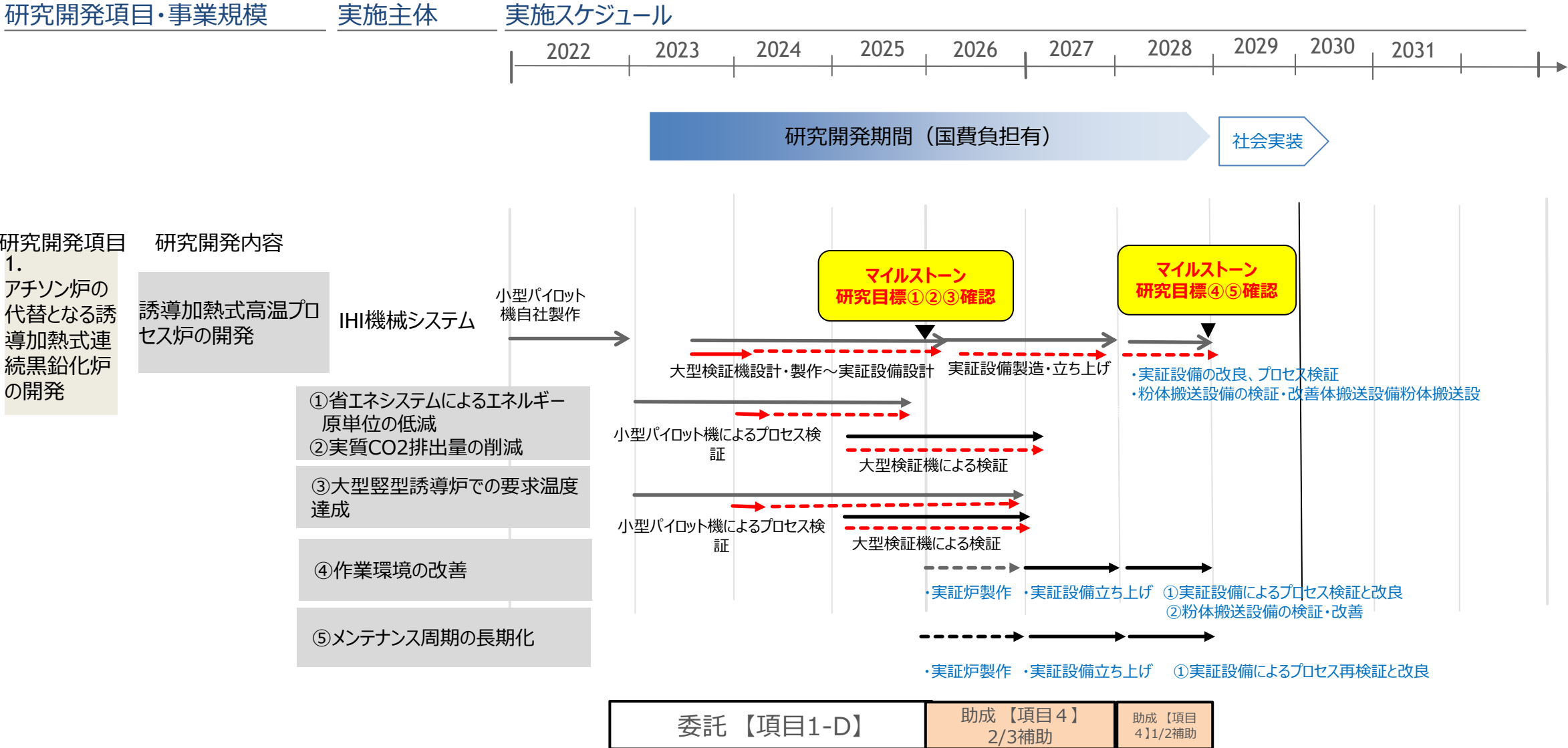
・見積取得時に確認できた納期より、設計スケジュール見直し
・既存の自社保有設計技術により、ある程度推定し、詳細設計を先行着手し、部品手配と並行して進められる小型パイロット機によるプロセス開発試験結果をフィードバックしつつ大型検証機の製作を進める

・小型テスト機検証テストメンバーの増員し、2024年度内までには、実証すべき開発要素技術の目途を付ける

・小型テスト機検証テストメンバーの増員し、2024年度内までには、実証すべき開発要素技術の目途を付ける

【項目1-D／4】 その5 誘導加熱式高温プロセス炉の開発

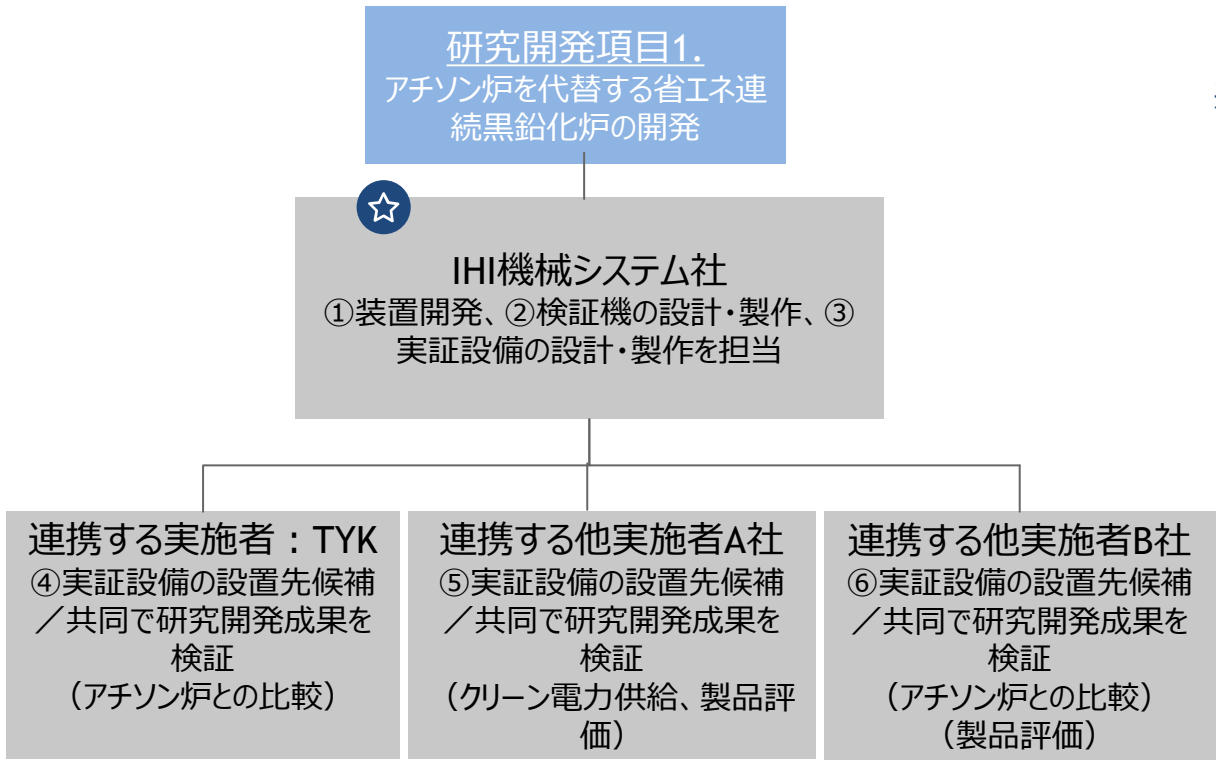
(3) 実施スケジュール



【項目1-D／4】 その5 誘導加熱式高温プロセス炉の開発

(4) 研究開発体制

実施体制図



各主体の役割と連携方法

各主体の役割

- 研究開発項目 1 全体の取りまとめは、IHI機械システムが行う
- IHI機械システムは、①省エネ型連続黒鉛化炉及びマテハン装置を含む装置開発 ②検証機的设计・製造 ③実証設備的设计製作 を担当する

共同提案者以外の本プロジェクトにおける他実施者等との連携

- (特に大学、研究機関等のみで提案する場合、この記載は必須。)
- 連携する実施者TYK様は、アチソン炉を保有するカーボンの黒鉛化メーカー。既存アチソン炉に代わる省エネ設備として本研究開発に関心をもつ。実証設備を事業所内に設置し、アチソン炉代替設備としての省エネ・脱CO2効果及び自動化・省人化の有効性について、共同で研究開発成果を検証する。
 - 連携する他事業者（候補）A社は、LiB用黒鉛材料を取り扱う企業及び水力発電事業者。クリーン電力を活用した負極材製造プラント建設を検討中。発電事業者の既存ビジネス（セラミックス焼成）からの転換と、保有する発電能力に対して省エネ設備による製造能力の最大化に関心。実証設備を事業所内に設置し、実際の原料を黒鉛化し負極材としての製品評価を進め、アチソン炉代替設備としての品質面及び自動化・省人化の有効性について、共同で研究開発成果を検証する。
 - 連携する他実施者（候補）B社は、アチソン炉を保有するカーボンの黒鉛化メーカー。既に負極材ビジネスに参入しており一定のシェアを確保している。既存アチソン炉に代わる省エネ設備として本研究開発に関心をもつ。実証設備を事業所内に設置し、アチソン炉代替設備としての省エネ・脱CO2効果を検証し、さらに実際の原料を黒鉛化し負極材としての製品評価を進め、品質面及び自動化・省人化の有効性について、共同で研究開発成果を検証する。

【項目1-D／4】 その5 誘導加熱式高温プロセス炉の開発

(5) 技術的優位性

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク	
1. アチソン炉を代替する省エネ連続黒鉛化の開発	1 省エネシステムによるエネルギー原単位の低減 【研究フェーズ】	- 各種真空炉、特殊炉製造ノウハウ（2500台超の製造実績） - 加熱・冷却システム設計ノウハウ - 関連特許技術	→ （優位性）2500℃を超える超高温の生産炉製造実績では世界有数 → （リスク）中国既存メーカーの開発規模・スピード。	委 託
	2 実質CO2排出量の削減 【研究フェーズ】			
	3 大型縦型誘導炉での要求温度達成 【研究フェーズ】	- 誘導加熱式横型連続黒鉛化炉の製造実績 - 原型となる小型縦型誘導炉テスト機を保有 - 加熱・冷却シミュレーション技術	→ （優位性）IHIグループとして持つ基礎技術の共有・活用 → （リスク）中国既存メーカーの開発規模・スピード。	
	4 作業環境の改善 【実証フェーズ】	- 熱処理炉と自動搬送を組み合わせた熱処理ラインの豊富な納入実績 - グループとして各種搬送設備技術を保有	→ （優位性）グループおよび既存ベンダーの保有するマテハン技術 → （リスク）中国既存メーカーの開発規模・スピード。	助 成
	5 メンテナンス周期の長期化 【実証フェーズ】	- 黒鉛化処理技術を保有 - 超高温炉向け部材選定ノウハウ	→ （優位性）小～中ロットでの黒鉛処理ノウハウ → （リスク）大型化による新たな開発要素	

【項目1-D】

【項目4】

2. 研究開発計画

【研究開発項目1-E】工業炉ユーザーの脱炭素化に向けた実態調査研究

【項目1-E】 工業炉ユーザーの脱炭素化に向けた実態調査研究

(中小企業向け脱炭素工業炉の導入に関する指針づくりおよびアンモニア供給網のシナリオづくりのために)

(1) 研究開発目標

研究開発項目		アウトプット目標	
1. 工業炉ユーザーの脱炭素化に向けた実態調査		①中小工業炉ユーザーが既設炉の改造、リプレイスに際して、最適な脱炭素の方策の選定が可能となる。②工業炉へのアンモニア供給網を計画し、アンモニア価格を場所、容量ごとに明らかにする。	
研究開発内容		KPI	KPI設定の考え方
① 工業炉ユーザーの実態調査		工業炉ユーザーの実態調査完了 全工業炉（3.7万基）の50%以上調査	工業炉ユーザーは中小製造業が多く、脱炭素技術に関する知見不足、資金不足が懸念され、脱炭素への対応が進まない恐れがある。中小ユーザーの脱炭素化に向けて実態調査が不可欠。50%以上実施することで、ほぼ全容が把握できる。
② 中小企業向けの脱炭素工業炉導入指針		工業炉導入に関する指針づくり完了	
③ アンモニア供給網のシナリオづくり		アンモニア供給網のシナリオを構築し、FS完了。	

委託

【項目1-E】 工業炉ユーザーの脱炭素化に向けた実態調査研究

(中小企業向け脱炭素工業炉の導入に関する指針づくりおよびアンモニア供給網のシナリオづくりのために)

(2) 研究開発内容（全体像）

	KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 (成功確率)
1 工業炉ユーザーの実態調査	全工業炉（3.7万基）の50%以上	詳細はほとんどわかっていない。	50%以上の工業炉の調査完了	日本工業炉協会、金属熱処理工業会などと連携し、保有する工業炉の導入時期、場所、炉種、サイズ、個数、対象の被加熱物、加熱方式、エネルギー量、リプレース・改造の意思を調査	(95%)
2 中小企業向けの脱炭素工業炉導入指針策定	工業炉導入に関する指針づくり完了	脱炭素工業炉の指針はない	工業炉導入に関する指針づくり完了	炉種、サイズ、加熱方式などに応じた脱炭素の方策を検討し、ガイドライン化する。	(90%)
3 アンモニア供給網のシナリオづくり	工業炉へのアンモニア供給網のシナリオづくり完了	工業炉利用の供給シナリオ未検討	工業炉ユーザーまでの供給シナリオを立案する。	・クリーンアンモニアの世界生産拠点の調査 ・上記生産拠点～国内への海上輸送FS ・炉ユーザーへの供給網のシナリオの構築、FS	(95%)

委
託

【項目1-E】

【項目1-E】 工業炉ユーザーの脱炭素化に向けた実態調査研究

190

(中小企業向け脱炭素工業炉の導入に関する指針およびアンモニア供給網のシナリオづくりのために)

(2) 研究開発内容（これまでの取組）

研究開発内容	直近のマイルストーン	これまでの（前回からの）開発進捗	進捗度
1 工業炉ユーザーの実態調査	工業炉ユーザーへのアンケート調査のとりまとめ、評価	初年度として以下を実施 ・工業炉ユーザーに係る過去調査の状況把握・事前調査 ・調査外注先の検討と選定 ・事前調査として工業炉の国際的動向等を調査	○ （理由）ほぼ計画通り進捗した。
2 中小企業向けの脱炭素工業炉導入指針策定	指針策定	2025年度から実施する計画	—
3 中小企業向けの脱炭素工業炉導入指針策定	アンモニア供給網のFS完了	初年度として以下を実施 ・海外アンモニア生産拠点の現地情報収集 ・国内供給網の検討して課題の洗い出し	20% （理由）ほぼ計画通り進捗した。

【項目1-E】 工業炉ユーザーの脱炭素化に向けた実態調査研究

191

(中小企業向け脱炭素工業炉の導入に関する指針およびアンモニア供給網のシナリオづくりのために)

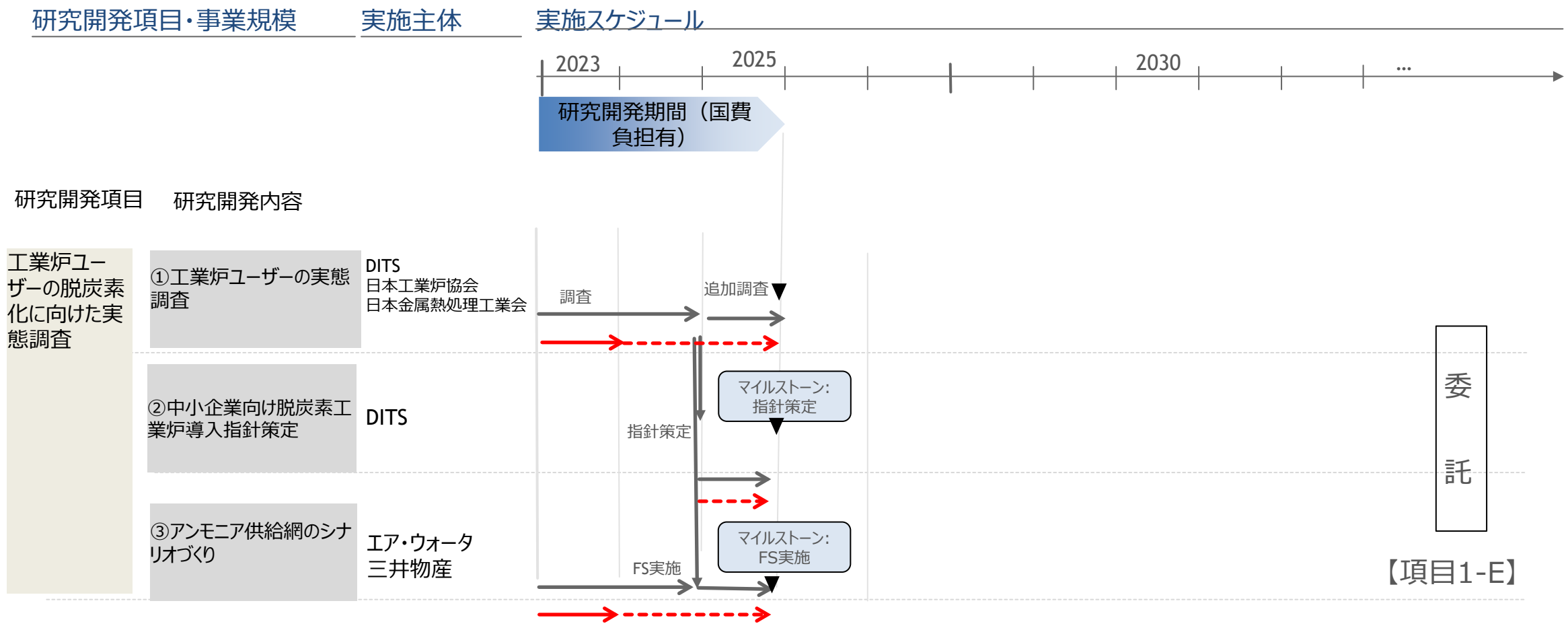
(2) 研究開発内容（今後の取組）

研究開発内容	直近のマイルストーン	残された技術課題	解決の見通し
1 工業炉ユーザーの実態調査	工業炉ユーザーへのアンケート調査のとりまとめ、評価	・工業炉調査の回答率向上 ・アンケート内容の充実	・協会への協力依頼と協会を経由したルートでの調査数を増やす。 ・アンケート票の内容精査
2 中小企業向けの脱炭素工業炉導入指針策定	指針策定	2025年度から実施する計画	—
・ 中小企業向けの脱炭素工業炉導入指針策定	アンモニア供給網のFS完了	・アンケート調査結果の反映	・2024年度以降本格的に活動

【項目1-E】 工業炉ユーザーの脱炭素化に向けた実態調査研究

(中小企業向け脱炭素工業炉の導入に関する指針およびアンモニア供給網のシナリオづくりのために)

(3) 実施スケジュール

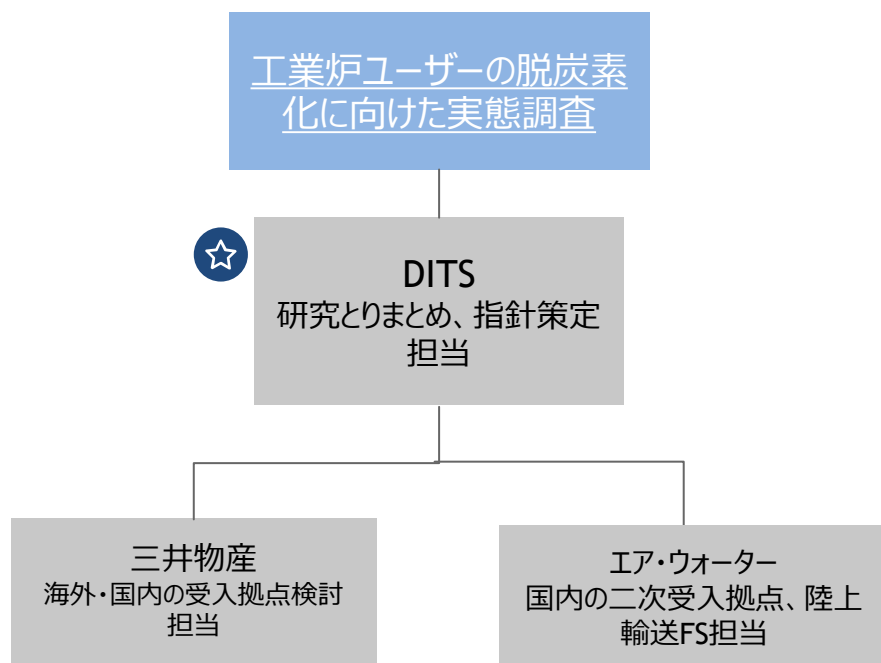


【項目1-E】 工業炉ユーザーの脱炭素化に向けた実態調査研究

(中小企業向け脱炭素工業炉の導入に関する指針づくりおよびアンモニア供給網のシナリオづくりのために)

(4) 研究開発体制

実施体制図



各主体の役割と連携方法

各主体の役割

- 研究開発項目全体の取りまとめは、DITSが行う。
- DITSは指針づくりを担当する。
- 三井物産は、海外・国内の受入拠点、海上輸送のFSを担当する。
- エア・ウォーターは、国内の陸上輸送、受入供給設備FSを担当する。

研究開発における連携方法（共同提案者間の連携）

- DITS、三井物産、エア・ウォーターの情報共有

共同提案者以外の本プロジェクトにおける他実施者等との連携

- 日本工業炉協会、日本金属熱処理工業会などを通じて調査を行う。
- その結果をもとに、DITSは指針策定、三井物産・エア・ウォーターは供給網の検討を行う。

【項目1-E】 工業炉ユーザーの脱炭素化に向けた実態調査研究

(中小企業向け脱炭素工業炉の導入に関する指針づくりおよびアンモニア供給網のシナリオづくりのために)

(5)技術的優位性

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
工業炉ユーザーの脱炭素化に向けた実態調査	1 工業炉ユーザーの実態調査	・（一社）日本工業炉協会、（一社）金属熱処理工業会は主要な工業炉メーカーが参画しており、調査を実施する機関としては最適	→ ・ 世界的にも工業炉ユーザーの脱炭素に関する調査を実施した事例はない。
	2 中小企業向け脱炭素工業炉導入指針策定	・ DITSは本プロジェクトの幹事を務め、本プロジェクトの成果を反映させることができる。	→ ・ 脱炭素に向けた導入指針策定は初めての試みである。
	3 アンモニア供給網のシナリオづくり	・ 三井物産はアンモニアの海外物流の専用船を備船し、物流ノウハウを有する。 ・ エア・ウォーターは全国で高圧液化ガスの実績があり、物流ノウハウを有する。	→ ・ 世界にクリーンアンモニア開発の情報収集能力 ・ アンモニア供給設備設計能力

3. イノベーション推進体制

(経営のコミットメントを示すマネジメントシート)

3. イノベーション推進体制

(1) 脱炭素産業熱システム技術研究組合について

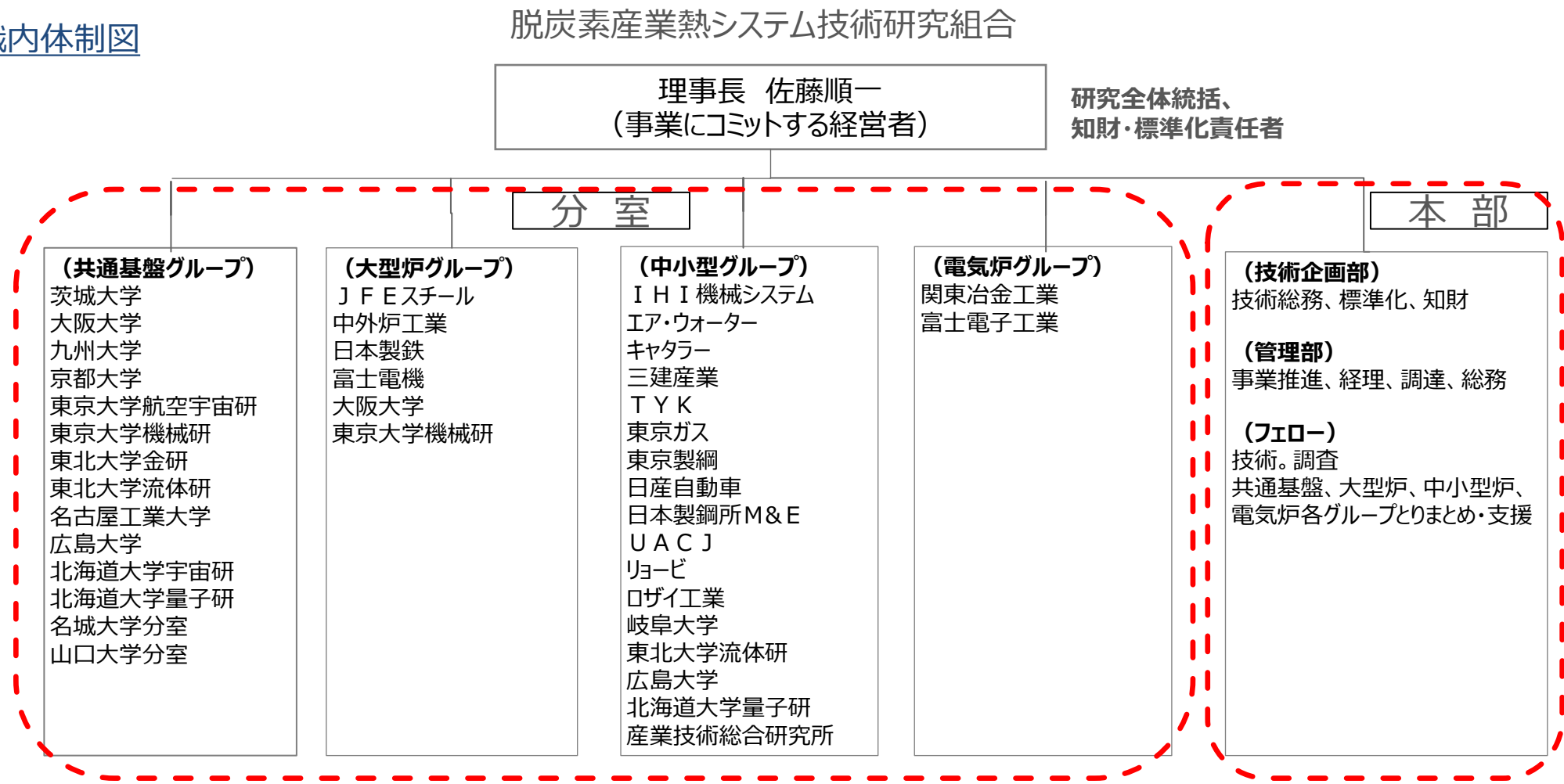
脱炭素産業熱システム技術研究組合（DITS）

- 設立目的
 - 2050年カーボンニュートラルの実現に向け、アンモニアや水素を燃料としたCO₂を排出しないクリーンな工業炉、および電力の逼迫を考慮した受電容量の低減かつ高効率化した電気炉を用いた産業熱システム技術を確立し、その成果の社会実装および普及・促進を目指す。そのため、関係するすべてのステークホルダーが協同で、これらに関する共通基盤技術の確立、個々の工業炉技術の確立、燃料供給など周辺技術の確立、ユーザーフレンドリー技術の確立を図るとともに、これら技術の規格化、標準化を世界に先駆けて行うことを目的とする。DITSはその企画、運営、とりまとめを担当する。
- 設立日
 - 2023年5月11日
- 組合構成
 - 主要工業炉のメーカー、ユーザー、燃料供給会社 19企業
 - 国内大学 12大学、1 国研
- 運営
 - 本プロジェクトの研究開発を遂行する機関は組合参加を原則とする。
 - 各機関が実施する研究開発拠点は組合の分室とする。
 - 共通基盤技術分科会、大型炉分科会、中小型炉分科会、電気炉分科会の4つの分科会を組織し、各分科会は少なくとも年に3回、進捗会議を行う。
 - また、各分科会の正副分科会長は全体推進会議も参加する。
- イノベーション推進の課題となりうる要因
 - 協調領域（共通基盤技術）と競争領域（個別の工業炉の開発技術）が混在する。
 - 協調領域を主に担当する大学・国研と競争領域を主に担当する企業との議論が、専門用語の違いなどの問題で、相互に理解しづらい。
 - 分室が多数で全国に点在し、対面での議論が難しい。

⇒主要な工業炉メーカー、ユーザー、燃料供給企業 および本研究開発に関する知見を有する大学、国研が参加しており、本プロジェクトを遂行するあたりの最適な組織

(2)組織内の事業推進体制

組織内体制図



共通基盤技術、大型炉、中小型炉、電気炉の4つのグループを組織し、各グループは少なくとも年に3回進捗会議を行う。また、知財に関してもこの単位で運営する。

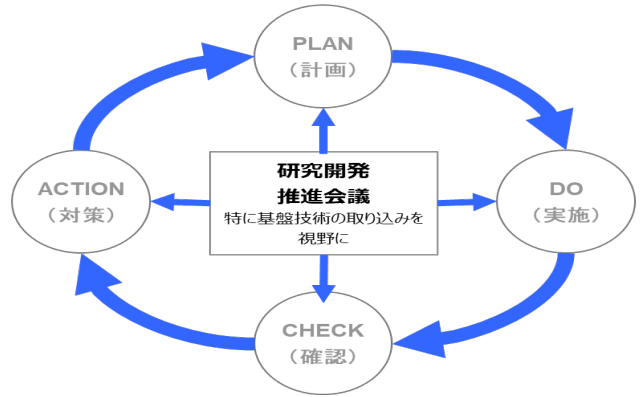
脱炭素産業熱システム技術研究組合(DITS)による脱炭素工業炉事業への関与の方針

（1）DITSによる具体的な施策・活動方針

DITSにおけるリーダーシップと3本部体制により効果的な運営を目指す

- 本部事務局：理事長の強いリーダーシップのもと、NEDOおよび国の要望、参加組合各社の要望、それら要望を実現する研究開発内容を調整し、DITSとして技術開発およびその社会実装が効率的に遂行できる体制を目指す。
- 共通基盤技術：大学を中心とした共通基盤技術の推進。生み出された基盤技術の実炉等への展開、および実炉の開発過程で生じた基盤技術上の問題を解決することを目指す。
- 大型炉、中小型炉開発技術：各種燃焼炉に関する技術開発を行うとともに、共通で解決すべき技術を基盤技術本部へ展開する。
- 電気炉開発技術：各種電気炉に関する技術開発を行うとともに、共通で解決すべき技術を基盤技術本部へ展開する。
- 上記体制を一体的に、効率的に運営するための研究開発推進会議の設立（モニタリング管理参照）

燃焼炉技術/電気炉技術/基盤技術のPDCAサイクル



（2）事業のモニタリング・管理

- 4本部体制による各分野の推進強化
 - 研究開発における技術分野毎に「共通基盤技術」「大型炉技術」「電炉開発技術」に分け、技術毎に責任を持った推進体制を構築し、個別技術に対するモニタリング・管理を実施
- 研究開発推進会議による統合的推進強化
 - 全体最適を目指したモニタリング・管理のため、全体会議「研究開発推進会議」を設ける。（年3回）
 - 特に基盤技術と実際の炉開発との技術連携・融合をPDCAサイクルの視点から実施
 - 協調領域である共通基盤技術の成果を競争領域である個々の炉開発技術部門がタイムリーに取り込めるようにするとともに、炉開発の技術部門の技術課題を共通基盤部門がすぐに取り組むようにする。

（3）事業の継続性確保の取組

- 成果の社会実装化支援を目的に、開発されたシミュレーション手法等を継続的に参加企業などに提供できる体制を構築する。また、DITSが日本工業炉協会と協同し、技術の標準化、規格化を行う。規格化においては、ISO分科会での活動を目指すことができるように体制を強化する。

脱炭素工業炉事業による企業価値向上とステークホルダーとの対話を推進

（1）DITS理事会での議論

- 事業計画の議論
 - NEDO実施方針、実施計画に基づき、事業計画を策定し、組合内会議(理事会等)で審議を行い、事業計画の承認を得る。
 - 共通基盤技術のモニタリングを国内、世界で常に行い、自分たちの科学技術レベルをモニターし、その結果を研究開発計画に反映させる。
 - 燃焼炉および電気炉の最新の動向のモニタリングを国内および世界で常に行い、その結果を各種炉の開発計画に反映させる。
- 社会実装に向けた議論
 - 今後の国内および世界の燃料事情、アンモニアや水素の製造量の推移、輸送・貯蔵技術の進展、電力市場の安定性などを、1回/年の頻度で調査し、工業炉ユーザーの脱炭素計画に反映できるようにする。
 - 我が国および世界の脱炭素計画、カーボンプライシング、環境規制などを調査し、それをユーザーの脱炭素計画に反映できるようにする。
 - 技術開発の進捗、各社の戦略を加味しながら、協調領域において技術組合として社会実装に向けた支援策の方向性を議論する。
 - エネルギー事情、環境規制からどのような工業炉の開発が望まれているかを議論する。
 - 技術組合の成果を社会に発信すべく検討する。

（2）ステークホルダーに対する公表、情報開示

- 技術組合の成果について発信に努める
 - 参加組合各社による特許出願を行う。
 - 大学等による論文発表を行う。
 - 今後望まれる工業炉の考え方についてPRを行う。
 - ホームページを用いた情報発信活動を行う。

機動的に資源を投入し、着実に社会実装まで繋げられる組織体制と人材育成

（1）経営資源の投入方針

- 実施体制の柔軟性の確保
 - 実施体制
研究の進捗および外部環境の変化に応じて、共通基盤技術の研究開発項目、各種炉の開発目標の見直し、およびそれに基づく研究開発体制を柔軟に変更・強化する。
 - 外部リソース
将来の脱炭素燃料であるアンモニアおよび水素の供給量・価格、電力の供給量・価格の調査を外部リソースを柔軟に活用し行う。
 - 各種開発炉の要求性能の柔軟な見直し検討
我が国の燃料受給見通し、電力需給見通し、各種規制、社会要求を考慮した柔軟な要求性能の見直し、開発目標の設定を柔軟に行い、開発された技術、開発された各種工業炉の社会実装を確実に出来るようにする。
- 機動的な経営資源投入
 - 研究の進捗に応じて、人材・設備・資金の投入について柔軟に対応する

（2）人材育成

- 将来に向けた人材育成
 - 大学人材の育成：
共通基盤の技術開発を通じて、大学における若手研究人材を育成し、将来の我が国の競争力強化に資する
 - 産業界・大学人材の交流による産業競争力強化：
参加各社の技術者と基盤技術を担当する大学の若手研究者が机を並べて議論できる環境を作る。モデル炉の実験データと基礎解析データを比較検討し、議論することで、参加したメンバーの研究力・技術力の向上を図る。
 - 産業界人材の育成：
組合に参加している各企業の経営層と参加企業の若手が研究開発方向、仕様、その見直しについて議論する場を定期的に設け、人材の育成を行う。

4. その他

(1) 想定されるリスク要因と対処方針

研究開発（技術）におけるリスクと対応

- 研究開発目標大幅未達によるリスク
 - コンソーシアム内でリソース配分を検討する。また、外部のリソースも活用する。
 - 類似研究開発における技術を調査し、最新技術の導入をはかる。
- 当該技術を凌駕する新技術の出現するリスク
 - 競合する技術の競争力を検討し、開発目標を変更する。

社会実装（経済社会）におけるリスクと対応

- アンモニア、水素のコストが高止まりとなるリスク
- アンモニア、水素の供給量が要求に満たない
 - 研究開発は継続するが、アンモニアおよび水素燃焼炉の社会実装のタイミングは延期する。電気炉に軸足を移す。

その他（自然災害等）のリスクと対応

- 大規模地震、風水害等により研究開発が大幅遅延するリスク
 - 計画を一部変更し、ほかの研究開発拠点を活用する。



- 事業中止の判断基準：
 - ①研究開発目標が大幅に未達で、代替方法が見いだせない場合
 - ②当該技術を大幅に凌駕する新技術が出現した場合
 - ③アンモニア、水素のコストが高止まり、将来にわたって下がる見通しが無い場合
 - ④アンモニア、水素の供給量が将来にわたって要求に満たない場合