

事業戦略ビジョン

実施プロジェクト名：Na-Fe系酸化物による革新的CO₂分離回収技術の開発
実施者名：戸田工業株式会社 代表名：代表取締役社長 久保恒晃

(共同実施者：エア・ウォーター株式会社)

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

0. コンソーシアム内における各主体の役割分担

地球の恵みを、社会の望みに。



エア・ウォーター(株) (代表事業者)

実施する研究開発の内容

- Na-Fe系酸化物を用いたCO₂分離回収プロセスの開発
- 実証機製作、性能評価



社会実装に向けた取組内容

- CO₂回収設備生産体制構築
- 保守整備体制構築
- ボイラメーカーとの協議などを担当

Fine particles for a fine future.



戸田工業(株) (共同実施者)

実施する研究開発の内容

- Na-Fe系酸化物 (CO₂固体吸収材) の開発、性能評価、製造
- 実証サイト提供 (小野田事業所)
- 回収したCO₂から作製した化合物の有用性評価



社会実装に向けた取組内容

- 鉄原材料の安価調達
- 安定した品質のNa-Fe系酸化物の提供
- 使用済み「Na-Fe系酸化物」のリサイクルなどを担当

CO₂分離回収コスト2,000円台/ton-CO₂の早期実現

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

地球温暖化による人々の価値観の変化によりカーボンニュートラル産業が急拡大すると予想

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)

- パリ協定採択、120以上の国と地域が「2050年カーボンニュートラル」宣言
- 2020年10月、日本も「2050年カーボンニュートラル」を宣言
- 日本は2030年に温室効果ガスを2013年度比46%削減する事を目指し、さらに50%に向けた挑戦と新たな方針

(経済面)

- ソーシャルボンドなど、ファイナンスシステムの整備が推進
- 金融機関による融資先支援と官民連携の推進
- 投資にもESGの視点を組み入れる傾向

(政策面)

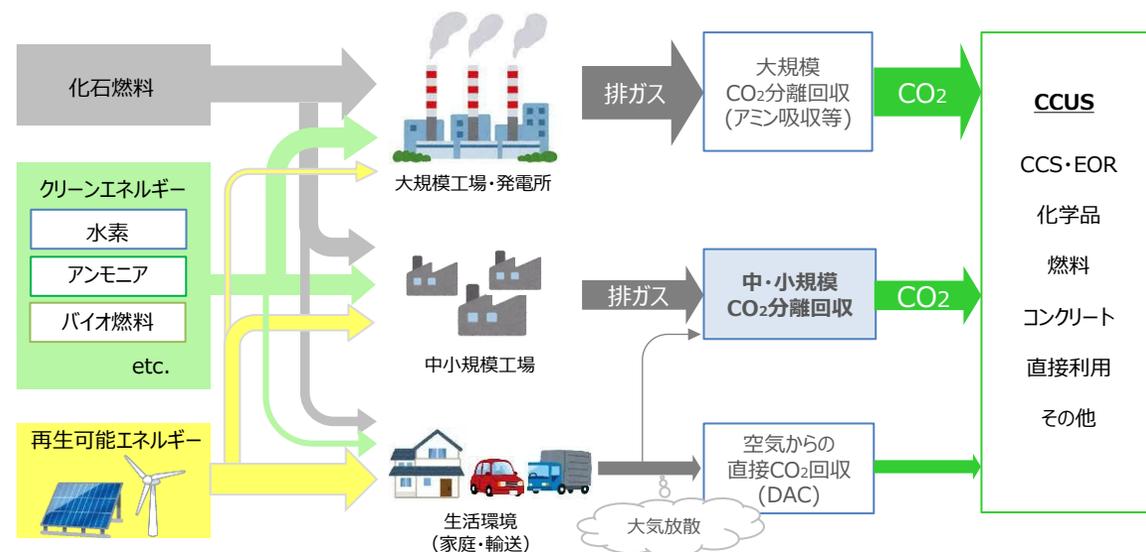
- 成長が期待される14の重要分野について「グリーン成長戦略」を策定
- 投資促進税制により、脱炭素関連設備導入に対し最大10%の税額控除又は50%の特別償却が受けられる

(技術面)

- ネガティブエミッションとカーボンリサイクル技術の開発が推進されている（化学品、バイオ燃料、鉱物、etc…）
- 世界でEOR法向けのCO₂分離回収技術は既に実用化され、国内では石炭火力発電所排ガスからのCO₂回収や利用に成功しているが、低圧/低濃度CO₂排ガスからのCO₂回収や利用に課題が残っている

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

全国に存在するCO₂排出源からCO₂が回収され、近隣のCO₂ユーザーへ供給される



- 市場機会：水素やアンモニア、CO₂リサイクル、再生可能エネルギー、蓄電池など、カーボンニュートラル推進に伴い、市場拡大が期待される分野が多数存在し、国内でのエネルギー設備・システム規模は2050年度には約4兆円と予測^{*1}されている。また、CO₂分離回収技術の市場は、2050年には日本だけでも4,000億円/年とされている^{*2}。
- 社会・顧客・国民等に与えるインパクト：環境保護、企業のイメージアップと信頼性の向上

- 当該変化に対する経営ビジョン：
戸田工業グループは「気候変動イニシアティブ(Japan Climate Initiative)」に賛同表明するとともに、2024年度以降のビジョンとして策定した「Go Beyond 200」において、環境負荷低減等に寄与する材料の開発を通じて、持続可能な社会の実現、カーボンニュートラルの達成への貢献と事業成長を目指すことを明言した。

*1 富士経済予測（2022年7月）

*2 GI基金研究開発・社会実装計画

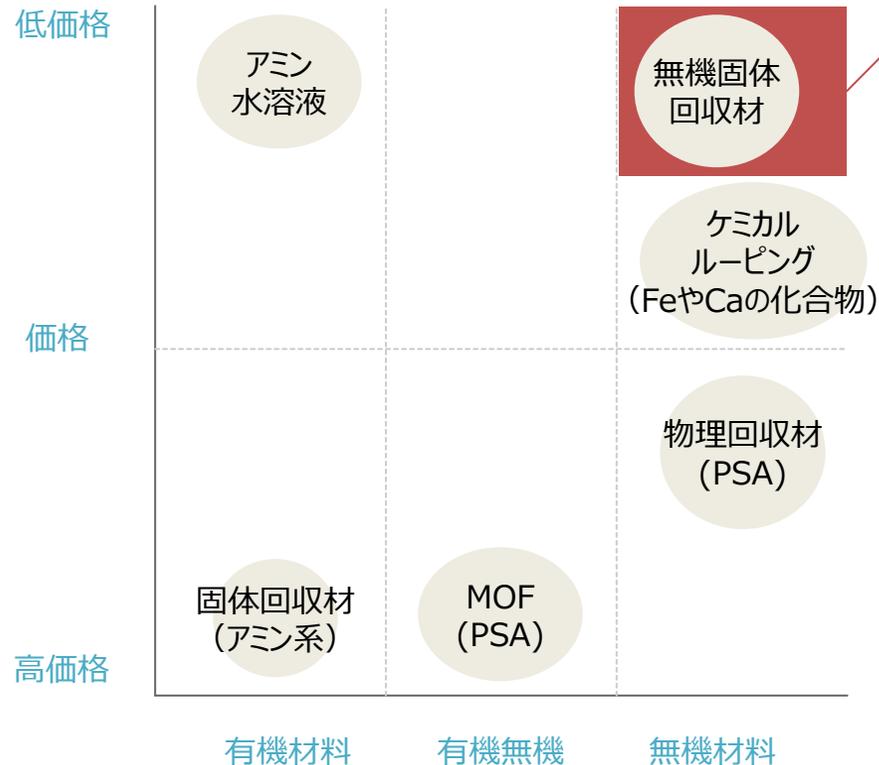
1. 事業戦略・事業計画 / (2) 市場のセグメント・ターゲット

CCU市場のうち無機固体回収材をターゲットとして想定

セグメント分析

安全性が高く、低価格で、中小規模施設に容易に設置可能なため、汎用性の高い、無機固体回収材に注力

(CCU市場のセグメンテーション)



ターゲットの概要

市場概要と目標とするシェア・時期

- 工場排ガス、燃焼排ガスからのCO₂分離回収 (CO₂固体回収材)
- CO₂排出、吸収部材への実装 (粉体)
- 環境からのCO₂直接回収 (DAC)

以下、自社マーケティング活動による具体的な取り組み状況を記載

需要家	主なプレイヤー	消費量 (/年)	課題	想定ニーズ
ガスメーカー、一般工場など	ガスメーカー ボイラメーカー 廃棄物処理	10t~500t	<ul style="list-style-type: none"> CO₂回収エネルギー↓ 連続耐久性↑ 	<ul style="list-style-type: none"> 化学品 燃料 鉱物
壁紙 道路など	建設会社 道路会社	100t~1000t	<ul style="list-style-type: none"> CO₂削減効果 生産体制 	<ul style="list-style-type: none"> 建材への実装 道路材への実装
食品 など	食品メーカー 酒造メーカー	1t~100t	<ul style="list-style-type: none"> 低濃度からの回収 CO₂回収エネルギー↓ 	<ul style="list-style-type: none"> 作業環境保護 農業

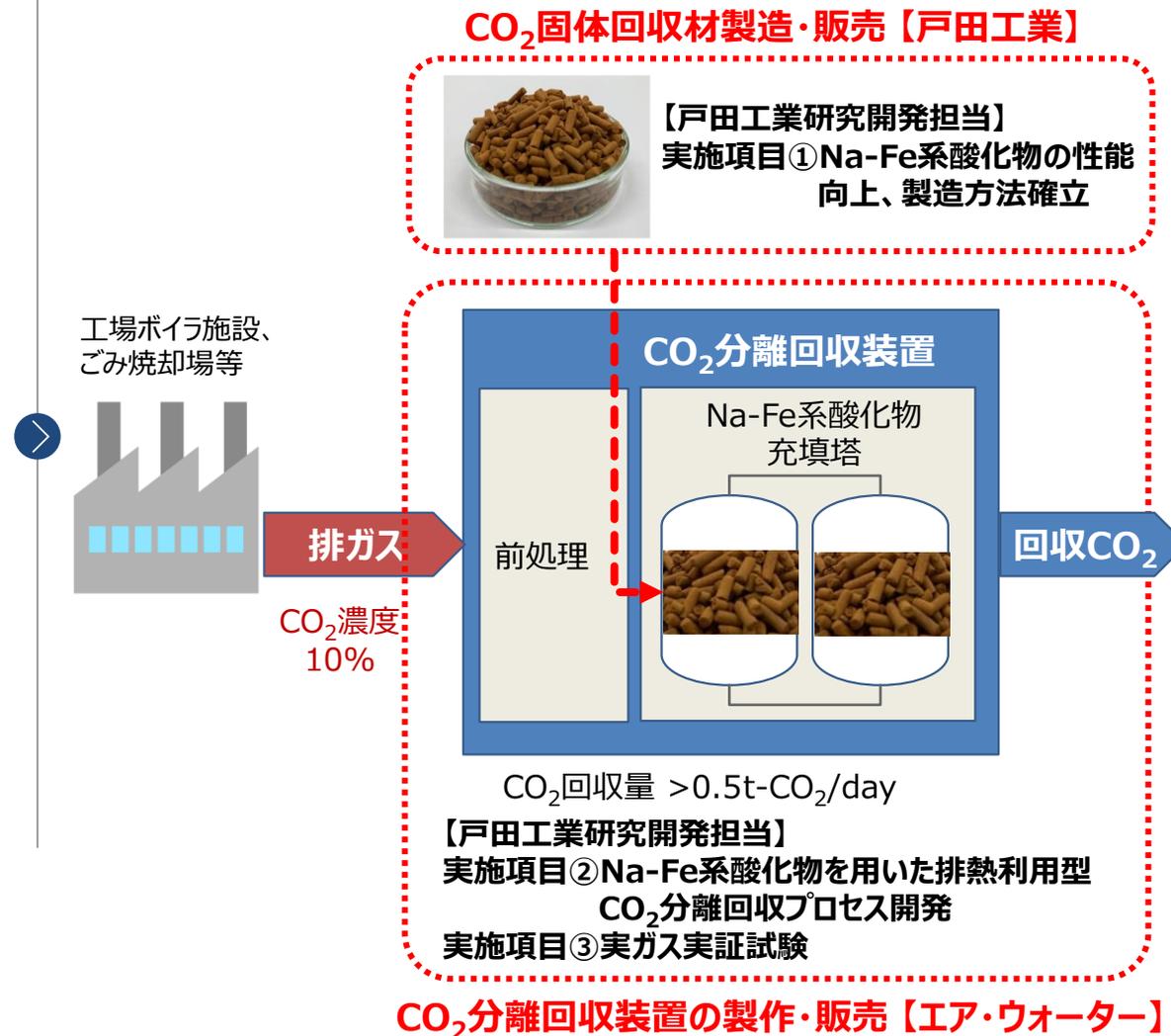
1. 事業戦略・事業計画 / (3) 提供価値・ビジネスモデル

CO₂分離回収技術を用いて低環境負荷型製品・サービスを提供する事業を創出/拡大

◆社会・顧客に対する提供価値

- ▶ 高効率かつ低コストCO₂分離回収装置
 - CO₂分離回収能力：0.5t/day以上
 - CO₂分離回収コスト：2,000円台/t-CO₂以下
- ▶ 高効率CO₂固体回収材(Na-Fe系酸化物)
 - 製造コスト：5,000円/kg以下
 - CO₂回収量：固体吸収材重量に対して10wt%以上
 - CO₂回収エネルギー：1GJ/t-CO₂以下

◆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



CCU

◆基幹物質・化成品

- メタノール・エタノール合成
- 含酸素化合物(ポリカーボネート、ウレタンなど)の合成
- バイオマス由来化学品 他

◆燃料

- メタン合成(メタネーション反応)
 $CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O \quad \Delta H = -164.9 \text{ kJ/mol}$
- バイオ燃料合成(微細藻類) 他

◆鉱物

- コンクリート(炭酸カルシウム配合・炭酸化養生)

◆直接利用

- 溶接、炭酸飲料、植物成長促進、ドライアイス(冷却等)

1. 事業戦略・事業計画 / (3) 提供価値・ビジネスモデル (標準化の取組み等)

市場導入 (事業化) しシェアを獲得するために、ルール形成 (標準化等) を検討・実施

事業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

国内/海外の技術開発・市場動向およびシナリオ

➤ 社会実装を目指す技術・製品・サービスの強み/弱み

(強み)

- ・Na-Fe系酸化物の特異的材料 (無機酸化物+CNT)→権利化
- ・Na-Fe系酸化物の特異的製法 (固相合成 + DMR)→秘匿

(弱み)

- ・実績がないこと、研究途上であること←ボトルネック

➤ 既存の規制・標準化の確認状況・国際的な動きの変化

- ・LCAの考え方の浸透→具体的な規制はまだない。
- ・大企業を中心に独自に'25-'30年カーボンニュートラル宣言

➤ 戦略を検討・実行する体制の確保状況

- ・開発専門部署の設置、生産技術、マーケティングと連携体制の構築

➤ オープン&クローズ戦略検討状況、及び、実際の取組状況

➤ オープン戦略

- ・ユーザーと面談を実施し、幅広く情報を収集中
⇒ サンプルを評価頂き、性能向上に繋げる
- ・産官学連携で学術、産業、社会基盤に広める活動を実施中
- ・協議会参画で自分らの立ち位置を把握、本仕様を標準化仕様へ編入。

➤ アミン水溶液によるCO₂回収方法が主流

- ⇒ 火力発電所、製鉄所などのCO₂分圧が低く、大量に発生する事業所などではアミン水溶液が社会実装されている (スケールメリットあり)

➤ CO₂分圧の高い石炭ガス化発電などでは、膜分離が優勢

➤ ボイラなどの中小規模で活躍できるCO₂回収装置を最速で開発 (想定市場および想定シナリオ)

- ①早期に基礎性能開発と中量生産 ('24年度)
 - ②アルファテスト (万博実証) と大量生産 ('25年度)
 - ③フィードバック→ベータテスト：戸田工業実証 ('26年度)
 - ④早期にボイラオプションとしてリリース ('27年度) と継続改良
- ・プランB:網羅的な知財によるライセンス販売：マイルストーン 出願25件

➤ クローズ戦略

- ・製造方法、運用上のノウハウは秘匿。
- ・性能面での出願は、積極的に行う。(本年度2件出願予定)
- ・網羅的な特許出願を実施済み
⇒ 特許出願22件 (海外4件、国内18件)

1. 事業戦略・事業計画 / (4) 経営資源・ポジショニング

酸化鉄製造技術の強みを活かして、社会・顧客に対してCO₂分離回収という価値を提供

自社の強み、弱み (経営資源)

ターゲットに対する提供価値

- 高い吸着能を有したCO₂固体回収材 (Na-Fe系酸化物) の提供
- 排ガス中のCO₂を高純度で回収 (CO₂排出量低減)

自社の強み

- 鉄原料確保のためのネットワークを保有
- 深化した酸化鉄製造技術 (湿式反応、熱処理、粉碎処理など)
- 高度な粉体分析評価技術
- Na-Fe系酸化物の特許を保有

自社の弱み及び対応

- Na-Fe系酸化物を活かせるシステム構築に目的が立っていなかった
⇒ エア・ウォーターのエンジニアリング技術で最適なCO₂分離回収装置を考案する

他社に対する比較優位性

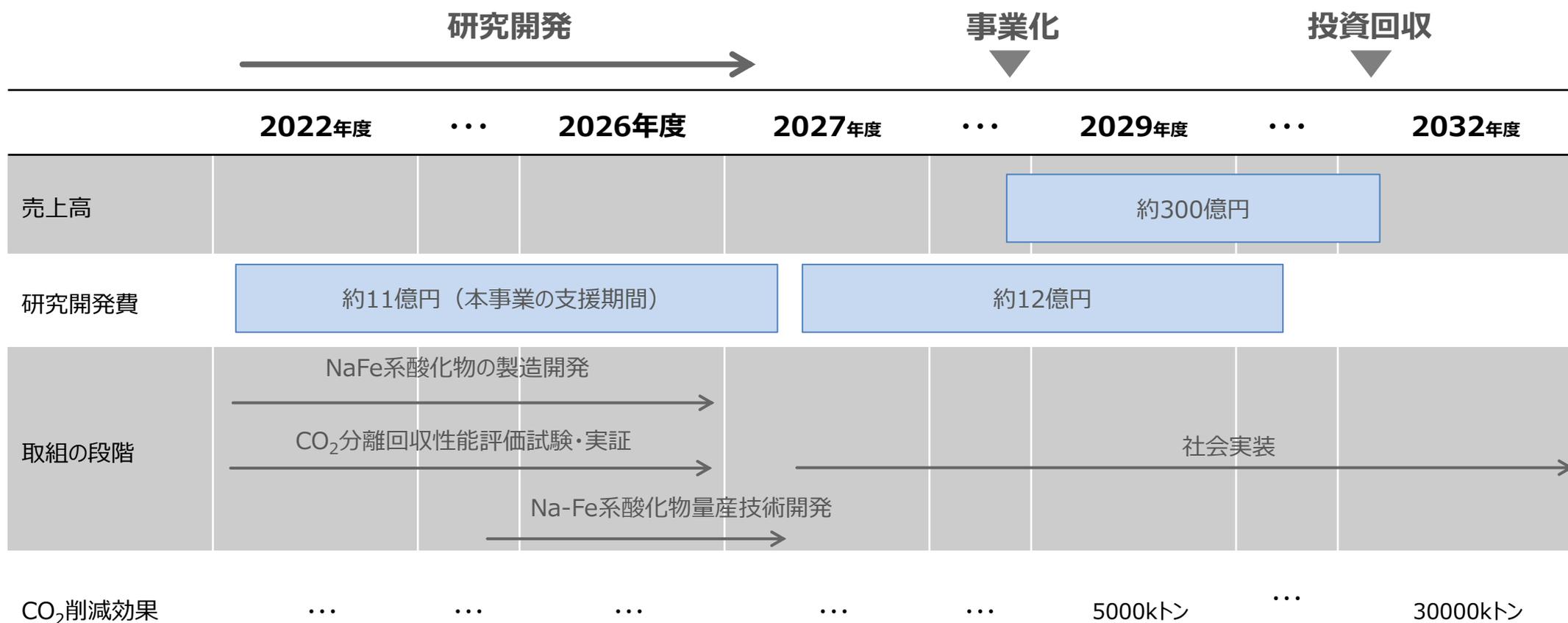
	技術	顧客基盤	サプライチェーン	その他経営資源
自社	<ul style="list-style-type: none"> • Na-Fe系酸化物がCO₂分離回収に有用であることをラボレベルで確認 	<ul style="list-style-type: none"> • 酸化鉄販売ネットワークからNa-Fe系酸化物の引き合いを多数頂いている 		<ul style="list-style-type: none"> • 多様な鉄原料、酸化鉄原料を保有 • 製造・分析技術も保有している
	↓	↓	↓	↓
	<ul style="list-style-type: none"> • 組成や製造条件を最適化することで、CO₂回収量の増加、回収温度の低下、回収エネルギー低減を図る 	<ul style="list-style-type: none"> • システムとしての引き合いがほとんどであり、お応えできていない ⇒ CO₂分離回収装置を提供し、CO₂排出低減へ貢献する 		<ul style="list-style-type: none"> • 酸化鉄を活かした新しいビジネスの構築
	Na-Fe系酸化物は「安価、非危険物、ハンドリングしやすい」面で優位性がある			
競合A社	<ul style="list-style-type: none"> • アミン吸収液 (性能は高いが危険物であり、毒性もある) 	<ul style="list-style-type: none"> • 発電所や製鉄所などの大規模施設向け 	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂分離回収技術・素材の提供 	<ul style="list-style-type: none"> • 大規模回収装置設置が可能
競合B社	<ul style="list-style-type: none"> • MOF (非常に高価で、サイクル性が低い) 	<ul style="list-style-type: none"> • 発電所や製鉄所などの大規模施設向け 	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂高速度分離回収技術の提供 	<ul style="list-style-type: none"> • 大規模回収装置設置が可能

1. 事業戦略・事業計画 / (5) 事業計画の全体像

3年間の研究開発の後、2029年頃の事業化、2032年頃の投資回収を想定

投資計画

- ✓ 本事業終了後も3年程度研究開発を継続し、NaFe系酸化物について2029年頃の事業化を目指す。
⇒ 量産設備投資は2025年、2030年に実施する予定
- ✓ A.W.と共同開発するCO₂分離回収装置への搭載により、2032年頃に投資回収できる見込み



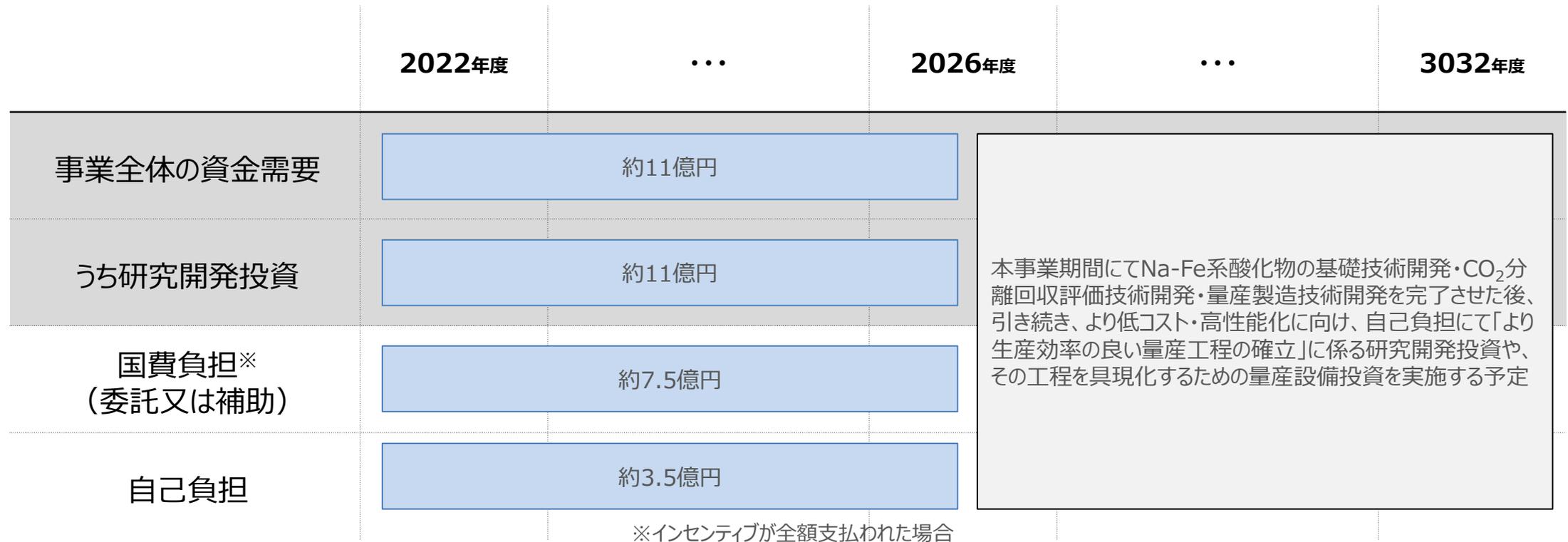
1. 事業戦略・事業計画 / (6) 研究開発・設備投資・マーケティング計画

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	<ul style="list-style-type: none"> 研究開発：Na-Fe系酸化物（CO₂固体回収材）の回収性能向上、製造方法の確立を行う。 知財・標準化戦略：網羅的に知財は有しており、新規出願のベースは出来ている。 実証：実運用に耐える成形体技術を確立し、LPGボイラ排ガスを用いて実証試験を実施する。 PoCによる顧客ニーズ：戸田工業・小野田事業所では液化CO₂を用いて無機化合物を製造販売している。この一部をボイラ排ガスに代替し、製造される無機化合物の性能を評価する。 	<ul style="list-style-type: none"> Na-Fe系酸化物における製造工程を新設する（粉体製造・成形体製造） Na-Fe系酸化物の性能評価のための分析設備一式を揃える 大竹事業所、小野田事業所、岡山事業所から排出されるCO₂を回収するためのCO₂分離回収装置設置を検討する。 導入したNa-Fe系酸化物製造設備により、0.5t/M製造スキーム完成。 大阪・関西万博用サンプル、約2tを作製 商用回収材製造実証ラインの設計完了、装置導入中 	<ul style="list-style-type: none"> 成形体としては、エア・ウォーター殿と共同で大型ボイラー市場への展開を図る まずは戸田工業社内のCO₂回収を実施するが、酸化鉄販売ネットワーク上には、酸化鉄の使用方法から、潜在ユーザが多数存在する Na-Fe系酸化物はアスファルトやコンクリートでも性能を発揮できることを確認しているため、その分野へも積極的にアプローチを行う。 石油元売大手、建設業、土木大手など多数の引き合いを頂いており、効率的なマーケティングを行う。
進捗状況	<ul style="list-style-type: none"> 担体にCNTを活用することにより、CO₂回収量・耐久性を飛躍的に向上出来ることを確認 大阪・関西万博に出展し、実証試験中 		
国際競争上の優位性	<ul style="list-style-type: none"> 日本は家庭用・産業用共に世界でもトップクラスの電気料金であり、米国と比較しても凡そ2倍である。この状況下で2,000円台/ton-CO₂以下を達成することは大きな意味がある 酸化鉄材料は世界中で製造されているが、Na-Fe系酸化物を開発しているメーカーは戸田工業だけであり、発見者の埼玉大学とより高みを目指す 	<ul style="list-style-type: none"> 戸田工業は米国・中国・韓国・台湾に製造拠点に無機化合物の製造・販売拠点を有しているため、海外への展開も可能 酸化鉄の販売ネットワークは全世界中にある 	<ul style="list-style-type: none"> 海外拠点が抱える顧客の多くは熱処理技術を有しており、CO₂固体回収材のユーザになり得る。特に中国では近年環境規制が強くなっており、実際、オファーもあり

1. 事業戦略・事業計画 / (7) 資金計画

国の支援に加えて、3.5億円以上の自己負担を予定



2. 研究開発計画

2. 研究開発計画 / (1) 研究開発目標

2,000円台/ton-CO₂というアウトプット目標を達成するために必要な複数のKPIを設定

研究開発項目

1. Na-Fe系酸化物による革新的CO₂分離回収技術の開発

研究開発内容

① Na-Fe系酸化物のCO₂分離回収特性向上、製造技術の確立

② Na-Fe系酸化物を用いた排熱利用型CO₂分離回収プロセス開発

③ 実ガス実証試験

④ システム適用検討

アウトプット目標

CO₂回収コスト2,000円台/ton-CO₂が達成可能なCO₂分離回収装置の開発

KPI

- ① CO₂回収速度向上
- ② 回収エネルギー：1.0GJ/t-CO₂
- ③ 耐水性：圧壊強度低下率10%未満（初期対比）
- ④ 安全性確保
- ⑤ Na-Fe系酸化物成形体を製造可能な量産製造技術の確立

委託事業にて完了

- ① CO₂回収量300kg-CO₂/dayでの実証研究
- ② CO₂回収量500kg-CO₂/dayでの実証試験
- ③ 回収CO₂純度 \geq 98%
- ④ CO₂分離回収ならびにCCU技術の認知向上
- ⑤ 実ガス実証用回収材を2種類製作

- ① 商用機の基本設計完了（PFD作成）
- ② システム評価による商用規模でのCO₂回収コスト2,000円台/t-CO₂
- ③ CO₂回収材製造コスト：5,000円/kg以下

KPI設定の考え方

- ① CO₂回収システム性能向上のための取り組み（Na量向上、回収方法最適化）
- ② システムのランニングコストを低減のための取り組み1.9GJ/t-CO₂から大きく低減（触媒効果）
- ③ 耐久性向上
- ④ 焼成技術を確立し、安全性確保
- ⑤ 商用回収材製造実証ラインを建設し、立証

委託事業にて完了

- ① CO₂回収速度：改良品にて検証
- ② CO₂回収速度：①の結果を反映した改良品にて検証
- ③ 500kg-CO₂/dayで検証
- ④ ユーザー確保により、システム販売台数を増やす取り組み
- ⑤ 開発した回収材の性能を検証する取り組み

- ①②③
2027年度発売予定のCO₂回収システム商用初号機の基本設計に繋げる取り組み

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

各KPIの目標達成に必要な解決方法を実施

	KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 (成功確率)
1 Na-Fe系酸化物のCO ₂ 分離回収特性向上、製造技術の確立	<ul style="list-style-type: none"> ①CO₂回収速度向上 ②回収エネルギー：1.0GJ/t-CO₂ ③耐水性：圧壊強度低下率10%未満(初期対比) ④安全性確保 ⑤Na-Fe系酸化物成形体を製造可能な量産製造技術の確立 	<ul style="list-style-type: none"> ②1.9GJ/t-CO₂ ③25wt% ④焼成条件検討中 ⑤パイロット製造技術まで有している 	<ul style="list-style-type: none"> ①②③④⑤パイロットスケールでのKPI達成 (TRL5) 	<ul style="list-style-type: none"> ①成形体の比表面積向上、回収条件の最適化 ②CO₂脱離方法の最適化、Fe外その他元素による触媒効果向上 ③成形技術の向上 ④焼成条件の緻密な最適化 ⑤パイロットスケールで確立 	<ul style="list-style-type: none"> ①③④⑤については実現可能性は高い (80%) ②については回収量増加と回収E低下はトレードオフのためバランス調整 (60%)
2 -	-	-	-	-	-
3 実ガス実証	<ul style="list-style-type: none"> ①CO₂回収量300kg-CO₂/dayでの実証研究 ②CO₂回収量500kg-CO₂/dayでの実証試験 ③回収CO₂純度≥98% ④CO₂分離回収ならびにCCU技術の認知向上 ⑤実ガス実証用回収材を2種類製作 	<ul style="list-style-type: none"> ①②200kg-CO₂/dayの回収を達成 ③98%達成 ④実証事業を通じて実施 ⑤成形体仕様検討中 	<ul style="list-style-type: none"> ①②③⑤CO₂回収量、純度目標達成 (TRL6) 	<ul style="list-style-type: none"> ①大阪・関西万博内にて実証 ②戸田工業内にて実証 ③戸田工業内にて実証 ④様々な報告会を活用 ⑤パイロットにて材料作製 	<ul style="list-style-type: none"> ①④⑤については現在進行中 (60%) ②については、①、⑤が達成できれば実現可能性は高い (60%) ③25年度実証においては達成(80%)
4 システム適用検討	<ul style="list-style-type: none"> ①商用機の基本設計完了 (PFD作成) ②システム評価による商用規模でのCO₂回収コスト 2,000円台/t-CO₂ ③CO₂回収材製造コスト:5,000円/kg以下 	<ul style="list-style-type: none"> ①②③検討実施中 	<ul style="list-style-type: none"> 商用機設計完了 (TRL8) 	<ul style="list-style-type: none"> ①大阪・関西万博、戸田工業内の実証試験のデータを基に考案 ②材と回収システムの両面からアプローチ ③製造仕様を確立する 	<ul style="list-style-type: none"> ①③の達成により、②の実現可能性も高まる (70%)

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容 (これまでの取組)

各KPIの目標達成に向けた個別の研究開発の進捗度

1

Na-Fe系酸化物のCO₂分離回収特性向上、製造技術の確立

直近のマイルストーン

- ①CO₂回収速度
- ②回収エネルギー：1.5GJ/t-CO₂
- ③耐水性：圧壊強度低下率30%未満（初期対比）
- ④安全性確保
- ⑤Na-Fe系酸化物成形体を製造可能な量産製造技術の確立

これまでの開発進捗

- ・ 委託事業（2022～2024年度）にて新規担体を見出し、CO₂回収量増加のみならず、強度、耐水性を向上できる技術を見出している
- ②回収エネルギーは1.9GJ/t-CO₂
- ③耐水性は36%
⇒ 新規担体により飛躍的に向上できた
- ④焼成技術を最適化中
- ⑤パイロット設備を通じて、成形体製造技術の基盤を確立することができた。

進捗度

- ①：○
（理由）Na量最適化、プロセスの改良、最適なCO₂回収条件により目標を達成
- ②：△
（理由）酸化鉄量・種類などを検討中
- ③：○
（理由）成形方法の最適化により、25%を達成
- ④：○
（理由）焼成条件の最適化により、達成
- ⑤：○
（理由）パイロット設備を通じて、商用回収材製造実証ラインの設計を実施した。

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容 (これまでの取組)

各KPIの目標達成に向けた個別の研究開発の進捗度

3 実ガス実証

- #### 直近のマイルストーン
- ①CO₂回収量300kg-CO₂/dayでの実証研究
 - ②CO₂回収量500kg-CO₂/dayでの実証試験
 - ③回収CO₂純度≥98%
 - ④CO₂分離回収ならびにCCU技術の認知向上
 - ⑤実ガス実証用回収材を2種類製作



- #### これまでの開発進捗
- ①委託事業で開発したCO₂回収材を用いて、システムを構築。大阪・関西万博に出展済み。CO₂回収量は約200kg-CO₂/day。
 - ②大阪・関西万博での実証試験を通じて得られたデータをベースに最適な装置を検討中
 - ③2026年度に検証予定 (大阪・関西万博での実証試験内では達成済)
 - ④大阪・関西万博での実証事業において、メディア・一般客への展示を随時対応。COP30に出展済み (2025年11月開催)
 - ⑤CO₂回収速度を向上した材を作製中

- #### 進捗度
- ① : △ (理由) CO₂回収量の達成に至っていない
 - ② : - (理由) 2026年度目標
 - ③ : - (理由) 2026年度目標
 - ④ : ○ (理由) 随時対応中
 - ⑤ : △ (理由) 材製造対応中

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容 (これまでの取組)

各KPIの目標達成に向けた個別の研究開発の進捗度

3 システム適用検討

直近のマイルストーン

- ①商用機の基本設計完了 (PFD作成)
- ②システム評価による商用規模でのCO₂回収コスト 2,000円台/t-CO₂
- ③CO₂回収材製造コスト : 5,000円/kg以下



これまでの開発進捗

- ①大阪・関西万博での実証試験を通じて、データ収集を完了。2026年の実証にて継続検討予定。
- ②大阪・関西万博での実証試験に基づくデータ収集、及び材性能向上を検討中。
- ③パイロット設備にて、安価な材を製造できる効率の良い製造ラインを検討中

進捗度

- ① : - (理由) 2026年度目標
- ② : - (理由) 2026年度目標
- ③ : - (理由) 2026年度目標

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容 (今後の取組)

個別の研究開発における技術課題と解決の見通し

1 Na-Fe系酸化物のCO₂分離回収特性向上、製造技術の確立

直近のマイルストーン

(2025年度)

①CO₂回収速度向上

②回収エネルギー：
1.5GJ/t-CO₂

③耐水性：圧壊強度低下率30%未満（初期対比）

④安全性確保

⑤Na-Fe系酸化物成形体を製造可能な量産製造技術の確立



残された技術課題

①2025年度のマイルストーンは達成、更なる性能向上のため、成形体のNa量増加、比表面積増加が必要。また実システムで実現できるCO₂回収条件の確立が必要

②「CO₂脱離工程において、成形体を乾燥させない方法」の考案が必要。他元素展開の最適化、比熱容量の低い材料の選定が必要

③④⑤
パイロット設備を用いて、担体や添加材料の最適化、各製造工程の処理条件（時間や回転数）などの最適化が必要

解決の見通し

①担体や添加剤の最適化、製造条件検討により、実現を目指す

②CO₂回収条件を最適化することでエネルギー低減に繋がると期待される。

③各種製造条件を緻密に制御することにより、比表面積を高くすることで、耐水性向上に繋がると考えている。

④焼成処理の条件を最適化することで、目標達成は可能

⑤パイロット製造技術、及び当社既存技術を組み合わせることで実現を目指す

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容 (今後の取組)

個別の研究開発における技術課題と解決の見通し

2 実ガス実証

直近のマイルストーン

(2025年度)

①CO₂回収量300kg-CO₂/dayでの実証研究

(2026年度)

②CO₂回収量500kg-CO₂/dayでの実証試験

③回収CO₂純度 \geq 98%

④CO₂分離回収ならびにCCU技術の認知向上

⑤実ガス実証用回収材を2種類製作

残された技術課題

①CO₂回収量300kg/day達成のため、システム運用条件の最適化が必要。ラボ試験機での運用条件との比較検証、実証規模での再現により、回収量向上を図る。

②③CO₂回収速度向上の開発、材の性能を十二分に引き出せるシステムの開発及びCO₂吸脱着条件の最適化

④大阪・関西万博での実証期間中、及び終了後の広報活動を継続して対応

⑤CO₂回収速度を向上した材の開発

解決の見通し

①システム運用条件を最適化することにより実現を目指す

②③⑤CO₂回収材性能の向上については担体や添加剤量の最適化、製造条件検討により、実現を目指す。システム運用条件については、300kg-CO₂/dayでの実証試験データを検証し、最適化を図る

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容 (今後の取組)

個別の研究開発における技術課題と解決の見通し

2 システム適用検討

直近のマイルストーン

- (2026年度)
- ①商用機の基本設計完了 (PFD作成)
 - ②システム評価による商用規模でのCO₂回収コスト2,000円台/t-CO₂
 - ③CO₂回収材製造コスト：5,000円/kg以下



残された技術課題

- ①②③
- いずれも2026年度目標としている

解決の見通し

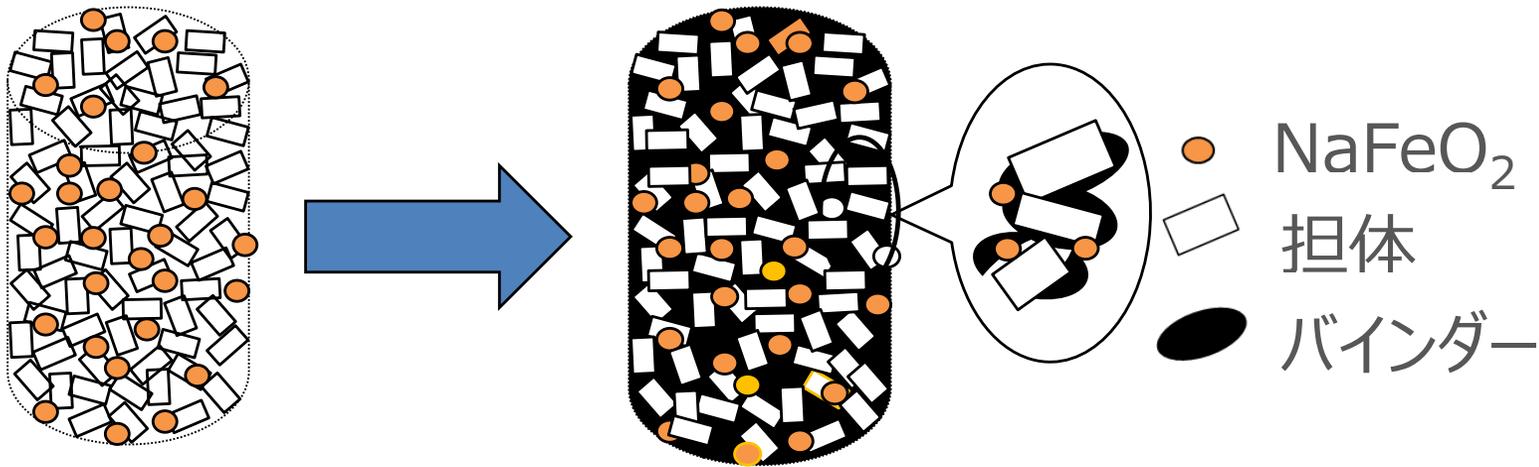
- ①②③
- 各研究開発内容で設定したKPIを確実に達成することで、「システム適用検討」も達成できると考えている

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

① Na-Fe系酸化物のCO₂分離回収特性向上、製造技術の確立

GI基金委託事業で開発した「CO₂固体回収材」

CO₂回収能を低下させることなく、高い耐アルカリ性、耐水性、圧壊強度を有した成形体を開発



2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

① Na-Fe系酸化物のCO₂分離回収特性向上、製造技術の確立

GI基金委託事業で開発した「CO₂固体回収材」

◆ CO₂吸収脱離カラム試験@10cyc.後

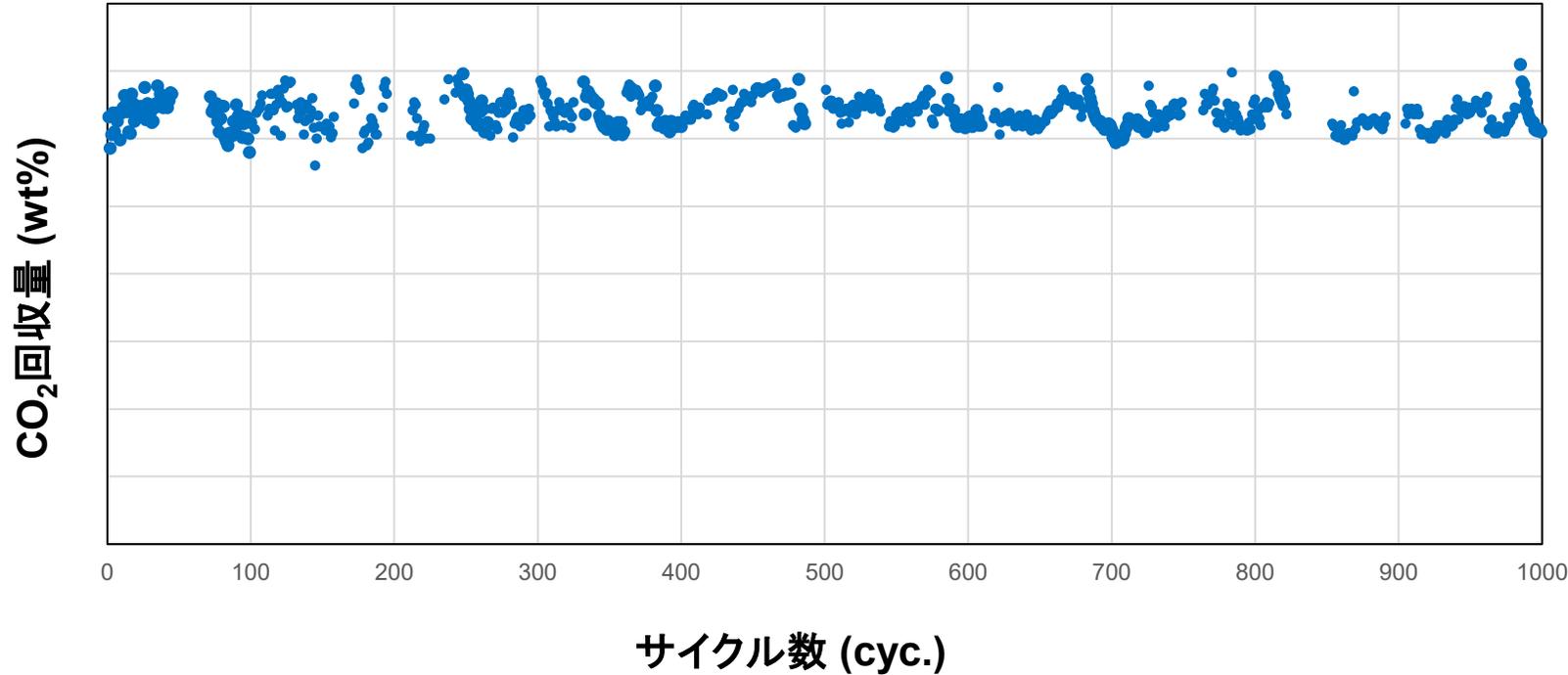


- 改良成形体により以下の効果が確認された
- 空孔率向上
- 圧壊強度向上
- 耐久性大幅向上
- CO₂連続吸脱着時の粉化抑制

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

① Na-Fe系酸化物のCO₂分離回収特性向上、製造技術の確立 ペレットによるCO₂吸収脱離評価

【CO₂吸収・脱離性能の耐久性試験】



- CO₂ 10% in Air
- 20-25°C (RH 65-70%)

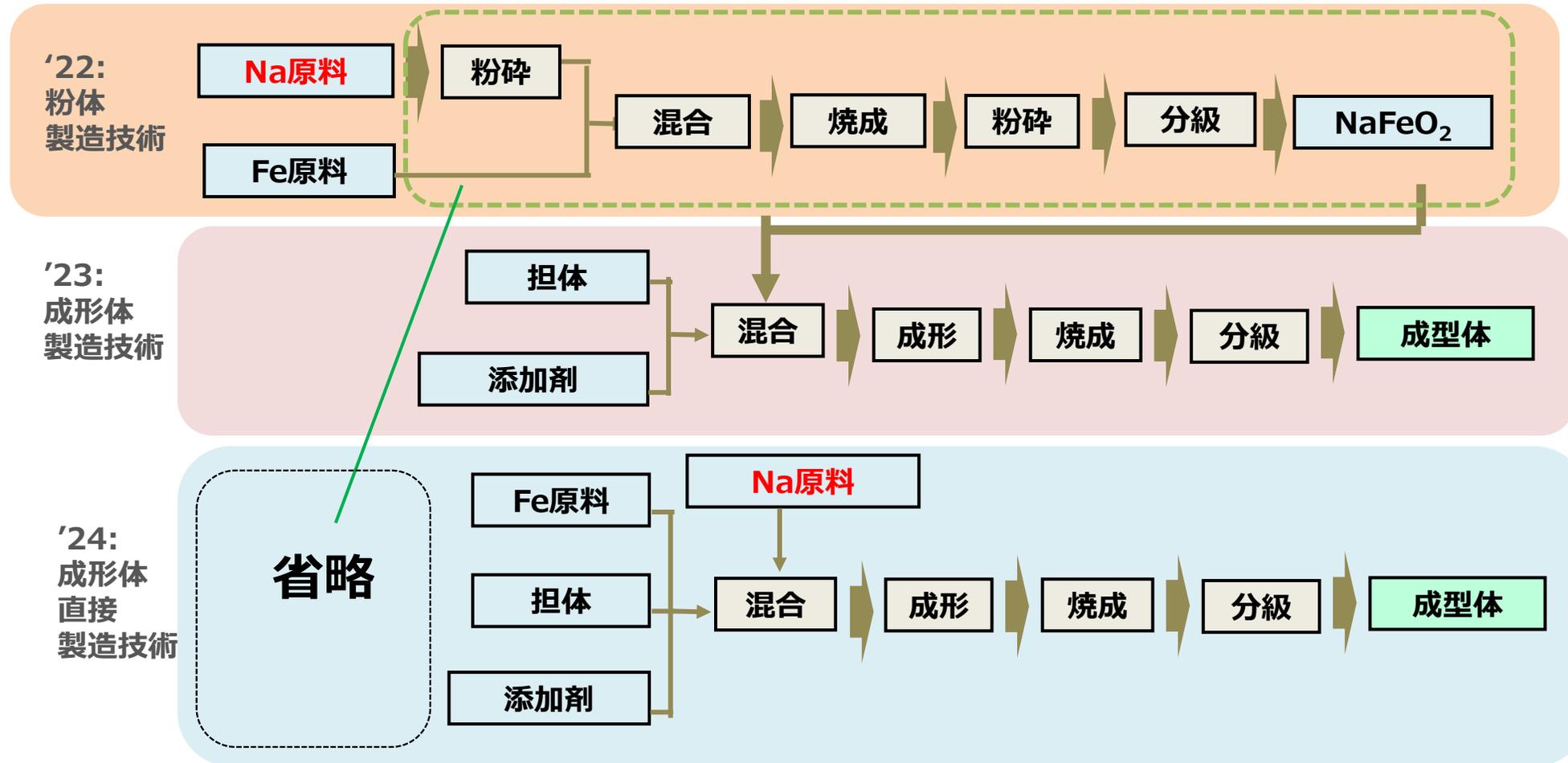


新型ペレットを用いて連続CO₂吸収・脱離サイクル試験を実施しました。
1000サイクル後でも性能の劣化が無いことを確認しました。

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

① Na-Fe系酸化物のCO₂分離回収特性向上、製造技術の確立

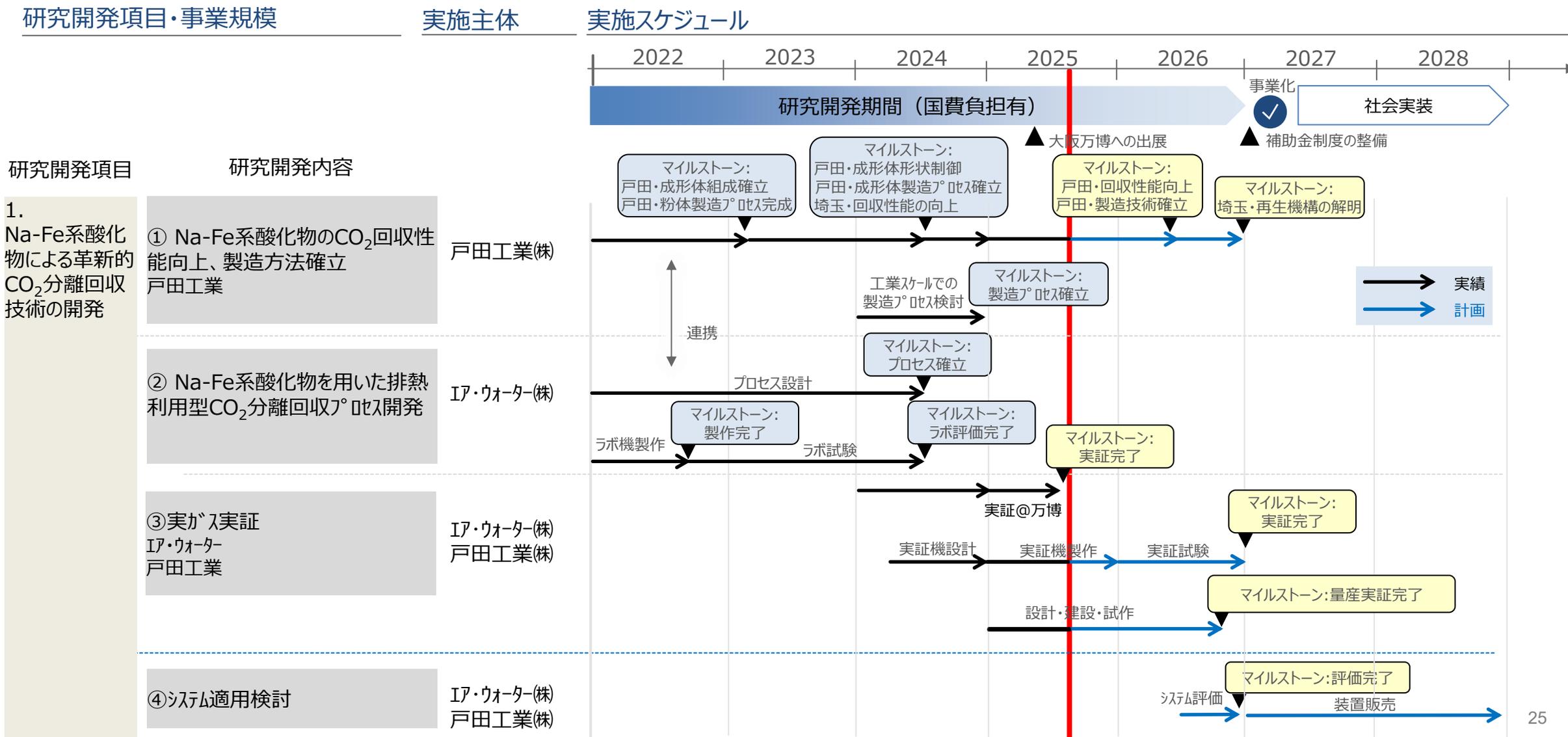
Na-Fe系酸化物の製造プロセスの確立



安全性、品質向上、設備コストを大幅に低減した製造プロセス確立

2. 研究開発計画 / (3) 実施スケジュール

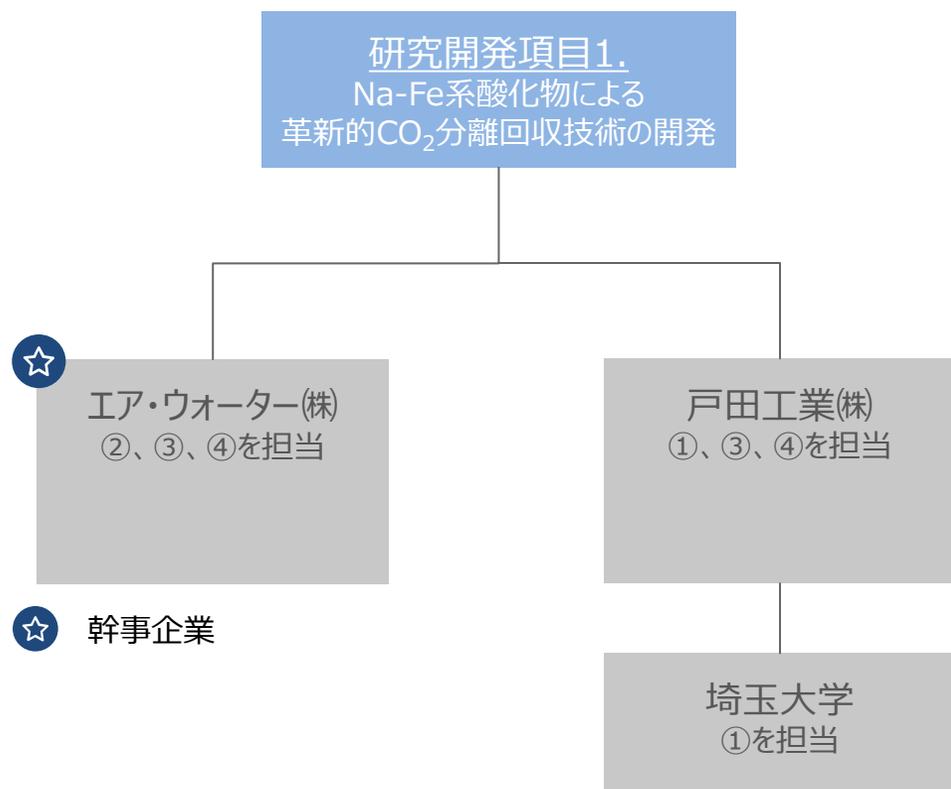
複数の研究開発を効率的に連携させるためのスケジュールを計画



2. 研究開発計画 / (4) 研究開発体制

各主体の特長を活かせる研究開発実施体制と役割分担を構築

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、エア・ウォーター(株)が担う。
- エア・ウォーター(株)は、②Na-Fe系酸化物を用いた排熱利用型CO₂分離回収プロセス開発ならびに、③実ガス実証、④システム適用検討を担当する。
- 戸田工業(株)は、①Na-Fe系酸化物のCO₂回収性能向上、製造方法確立のうち、a)Na-Fe系酸化物の粉体、成形体開発を主担当し、b)Na-Fe系酸化物の室温でのCO₂回収性能の向上、c)Na-Fe系酸化物の低温再生機構の解明は一部担当する。
また、③実ガス実証においては実証場所を提供するとともに、自社で使用するCO₂利活用設備への適用可否を検討する。
- 埼玉大学は再委託先として、実施項目①-2 NaFeO₂組成の最適化と性能向上を担当する。

研究開発における連携方法（共同実施者間の連携）

- 事業期間中に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、実施者間で協議する。

共同実施者以外の本プロジェクトにおける他実施者等との連携

- CO₂分離回収の実ガス実証を行うにあたっては、戸田工業に設置されているLPG焼きボイラの排ガスを利用する計画である。

中小・ベンチャー企業の参画

- Na-Fe系酸化物の成形体を作製するにあたって、成形加工の外注先として中小企業の成形加工メーカを予定しており、事業化時には、成形体の製造委託を行いたいと考えている。

2. 研究開発計画 / (5) 技術的優位性

国際的な競争の中においても技術等における優位性を保有

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. Na-Fe系酸化物による革新的CO ₂ 分離回収技術の開発	1 Na-Fe系酸化物のCO ₂ 回収性能向上、製造方法確立	<ul style="list-style-type: none"> 微粒子酸化鉄製造技術 [戸田工業] Na-Fe系酸化物製造技術 [戸田工業] 回収材(セラミック)製造技術 [戸田工業] 様々な室温CO₂吸収無機固体の性能向上に関する多くの知見[埼玉大学] 	<ul style="list-style-type: none"> → 微粒子酸化鉄製造技術 → 新規無機固体回収材 → 安価で安全な回収材 製造簡便なため、剽窃を受けやすい →戦略的な特許出願→包括的知財確保
	2 Na-Fe系酸化物を用いた排熱利用型CO ₂ 分離回収プロセス開発	<ul style="list-style-type: none"> 吸着分離技術 [IA・ウォーター:AW] ガスハンドリング経験、ノウハウ [AW] 省エネプロセス開発技術[AW] 	<ul style="list-style-type: none"> → Na-Fe系酸化物を用いた省エネ型CO₂分離回収技術 → プロセス特許の海外出願による保護
	3 実ガス実証	<ul style="list-style-type: none"> ガス分離装置のエンジニアリング技術 [AW] ガス分離装置の運転操作経験、ノウハウ[AW] 	<ul style="list-style-type: none"> → 実ガスを用いた運転経験から得られる知見を装置設計に反映
	4 システム適用検討	<ul style="list-style-type: none"> 炭酸ガス事業から得たCO₂ユーザ要求仕様の把握等[AW] 各種ガスプラントのスケールアップノウハウ[AW] 装置メンテナンス、遠隔監視等の保守管理ノウハウ[AW] 海外でのガス関連設備販売経験[AW] 	<ul style="list-style-type: none"> → ガス分離装置の豊富な運転経験に基づく保守体制の整備 → スケールアップ等の経験にもとづくラインナップ拡充

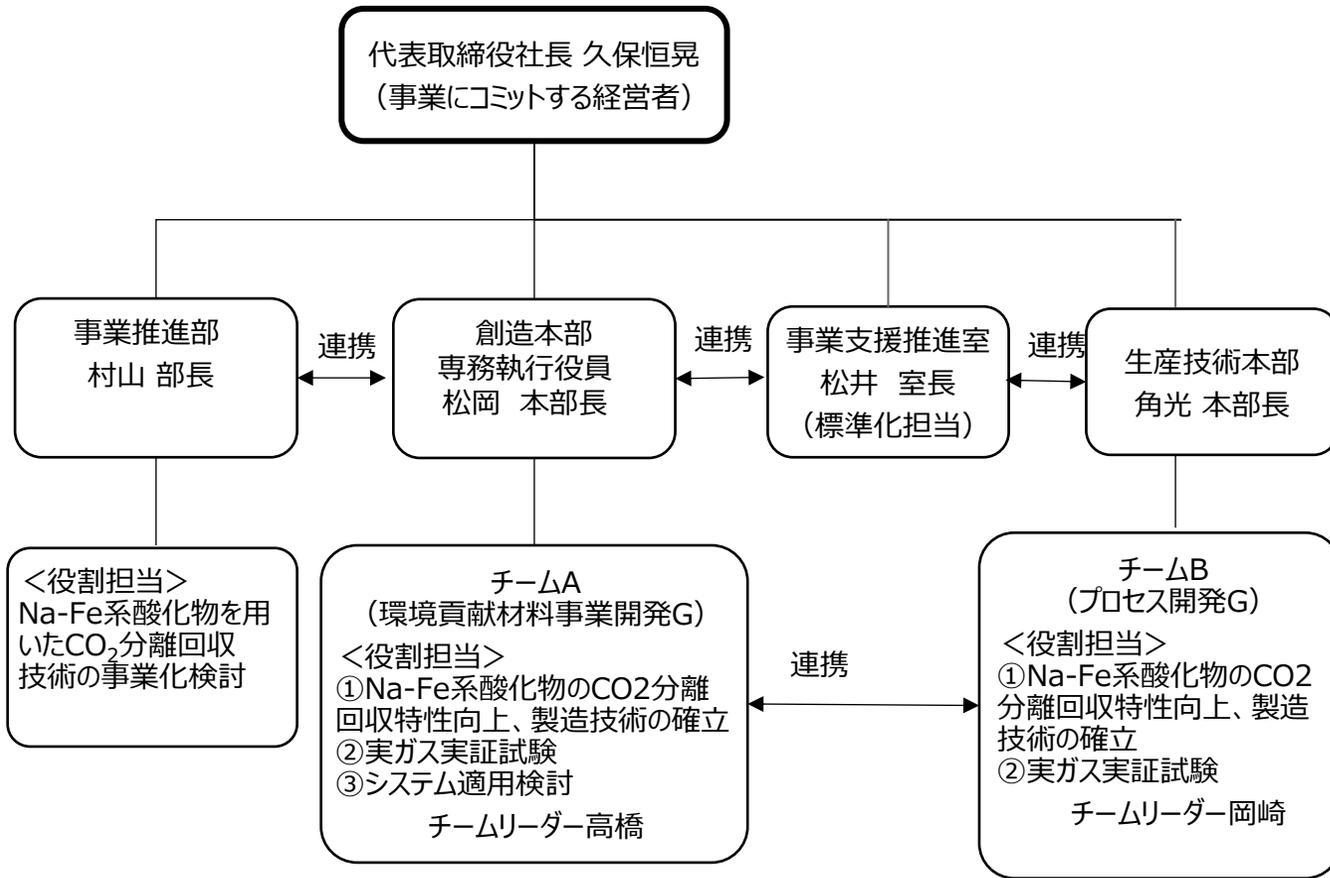
3. イノベーション推進体制

(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）組織内の事業推進体制

経営者のコミットメントの下、専門部署に複数チームを設置

◆組織内体制図



◆組織内の役割分担

<研究開発統括と担当部署>

- 研究開発統括
 - 松岡創造本部長：高性能Na-Fe系酸化物（CO₂固体回収材）の設計および製造プロセスの確立に関して統括を担当
- 担当チーム
 - チームA：①Na-Fe系酸化物のCO₂分離回収特性向上、製造技術の確立、②実ガス実証試験、③システム適用検討を担当（専任3人、併任1人規模）
 - チームB：① Na-Fe系酸化物のCO₂分離回収特性向上、製造技術の確立、②実ガス実証試験を担当（併任3人規模）
 - マーケティング部 村山部長：Na-Fe系酸化物を用いたCO₂分離回収技術の事業化検討を担当（併任2人規模）
- チームリーダー
 - チームリーダー-高橋：数多くの環境関連材料の開発実績を有するとともに、これまで3つの国の研究開発事業（NEDO等）の主要研究者として携わった経験を持っている。また、2件の受賞歴あり。
 - チームリーダー-岡崎：これまで数多くの社内製品の製造プロセス設計とプラント穿設に携わってきた実績を有する。
 - 標準化担当：松井室長：これまで数多くの事業の標準化を推進。

<部門間の連携方法>

- 3か月に一度、事業会議を開催し、経営層（部門長含む）への報告および協議を行う。
- 定期的（数か月に一度）に部門長レベルで相互の進捗会議を行う。

3. イノベーション推進体制／(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

経営者等によるNa-Fe系酸化物を用いたCO₂分離回収事業への関与の方針

◆経営者等による具体的な施策・活動方針

▶ 経営者のリーダーシップ

- 統合報告書2024のトップメッセージにおいて、本事業を含む環境関連材料は次世代を担う事業として社内外に示しています。
 <統合報告書2024 トップメッセージ抜粋>
 中期的に高い成長性を見込む軟磁性材料と環境関連材料は、次世代を担う事業として位置づけました。
- 本事業の重要性や進捗状況に関しては、定期的なIR説明会、プレスリリース、統合報告書への掲載等を通じて、社内外のステークホルダーへ情報公開を継続してまいります。

▶ 事業のモニタリング・管理

- 本事業は、定期的（3ヵ月ごと）に開催される事業会議において、経営層（社外取締役含む）に報告し、そこで経営層は進め方や取り組み内容について指示やアドバイスを行います。また、新たに環境戦略会議を発足し、事業面でのフォローも開始しました。
- 本事業の技術内容に関しては、研究開発部門が毎年開催する技術報告会およびポスターセッションで報告され、そこで経営層を含む社内関係者からアドバイス等を受けます
- 本事業に関わる設備投資のうち、重要性の度合いに応じて詳細かつ具体的な付議・報告基準を定め、設備投資委員会、経営会議、取締役会の決議または稟議による社長決裁により決定しています。
- また、業務執行責任者及び社内部課長の職務権限、職務分掌等についても、社内規程により明確化し、組織変更等に応じて、常に見直しがなされる仕組みを構築しています。

◆経営者等の評価・報酬への反映

- 本事業の研究開発責任者（執行役員）およびチームリーダー（管理職）は、その成果が業績評価および年俸に反映されます。
- 尚、業務執行を担う社内取締役の報酬については、基本報酬、業績連動報酬および株式報酬から構成され、代表取締役の業績連動報酬については会社業績、またその他の社内取締役については会社業績及び個人業績を総合的に勘案する方式で算定されます。

◆事業の継続性確保の取組

- 当社グループは、環境関連材料を2026年度以降の成長事業とするべく研究開発を加速しています。
- 本事業は、環境関連材料の中でも主要事業として位置付けており、中長期の事業売上計画を策定しました。
- この事業売上計画を達成すべく、今後の本事業の体制（後継者育成を含む）を整備・強化してまいります。

3. イノベーション推進体制／(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

経営戦略の中核にCO₂分離回収事業を位置づけ、企業価値向上とステークホルダーとの対話を推進

◆取締役会等コーポレートガバナンスとの関係

➤ カーボンニュートラルに向けた全社戦略

当グループは、2023年にマテリアリティの特定を行い、2030年度のありたい姿を見据え達成目標を定めました。さらに「このありたい姿」の達成に向けた、2024年度～2026年度の中期計画「vision2026」を策定しています。また、素材メーカーとして、創業200年を超えてますます発展すべく、「環境ビジョン」を掲げて、カーボンニュートラルに繋がる環境関連材料事業の育成に取り組んでいます。（GXリーグには参画していません。）

➤ 経営戦略への位置付け

具体的には、2024年に6月に作成した中期事業計画「Vision 2026」に基づき、現在、下記の開発活動を実施中です。今回の実施事業も本開発活動の一つとして位置付け取り組みます。

事業戦略「環境関連材料（開発）の取り組み

- CO₂フリーの高純度水素とカーボンナノチューブを同時に製造できるDMR法の開発に取り組んでおり、エア・ウォーター(株)と事業化に向けた協業を進めています。
- CO₂を吸脱着する機能のある酸化鉄系材料「ナトリウムフェライト」は鉄、酸素、ナトリウムが層状に配列する層状化合物でNEDO事業として、採択され、エア・ウォーター(株)と埼玉大学と共に、開発を進めています。

➤ コーポレートガバナンスとの関連付け

本事業内容に関しては、3か月に一回開催される事業会議（経営層出席）にて報告・協議を行っております。また、本事業の投資に関しては、設備投資審査会（2024/12/12）から始まり、数回に及び経営会議を経て、最終的に取締役会（2025/4/22）で承認を得ております。

◆ステークホルダーとの対話、情報開示

➤ 中長期的な企業価値向上に関する情報開示

- 定期的に機関投資家を対象とした事業報告会を開催しております。説明の内容は、決算の概要・今後の事業見通し・事業ごとのトピックス等です。また、当社ウェブサイトにてIR資料として決算短信等を掲載しています。
- 本事業に関しては、統合報告書2024において、事業別戦略「環境関連材料 CO₂のソーシャルマネージメント」として紹介しています。
- G7広島サミットへのCO₂回収装置（デモ機）およびNa-Fe系酸化物を出展しました。（2023/5/19-21）
- 第5回カーボンリサイクル産学官国際会議にNa-Fe系酸化物をパネル出展しました。（2023/9/8）
- 2024年度第1回広島県サーキュラーエコノミー推進協議会マッチングイベントで、本事業を紹介しました。（2024/4/19）
- 2024年度COP29ジャパン・パビリオン バーチャル展示に酸化鉄を活用したCO₂マネジメント技術を出展しました（2024/11/11～22）
- 広島県カーボンサーキュラーエコノミー推進協議会令和7年度総会にて本事業を紹介しました（2025/4/23）

➤ 企業価値向上とステークホルダーとの対話

- 株主の皆様へは、年に1回株主総会后、経営近況報告会を設けて、会社の理解を深めていただけるよう状況報告に努めております。また従業員との良好な関係を構築するために、日々の協議を通じてより良い会社の構築に努めています。地域活動にも積極的に参加し、地域との連携を深めています。
- 本事業が採択され、プレスリリースやCSR報告書により説明し、機関投資家、個人投資家に対してはIR説明会を通じて事業計画等を説明しました。

3. イノベーション推進体制 / (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

温室効果ガス排出削減のための取組状況

◆カーボンニュートラルの推進

▶ TCFD提言への賛同表明

当社グループは、2023年7月にTCFD（気候関連財務情報開示タスクフォース）の提言へ賛同を表明しました。今後、GHG削減の取組みを着実に実行するとともに、TCFDが推奨するシナリオ分析に基づいた気候変動のリスク・機会の評価を行い、「ガバナンス」、「戦略」、「リスク管理」、「指標と目標」に関する情報開示を段階的に充実させていきます。

戸田工業WEBサイト
TCFD 情報開示



▶ マテリアリティ指標としての気候変動への取り組み

当社グループは、気候変動をマテリアリティと定め、温暖化を1.5℃に抑える世界を目指します。IPCC第6次報告書の提言に適合した高い削減目標を掲げ、その実現のために、省エネ、創エネを進めています。

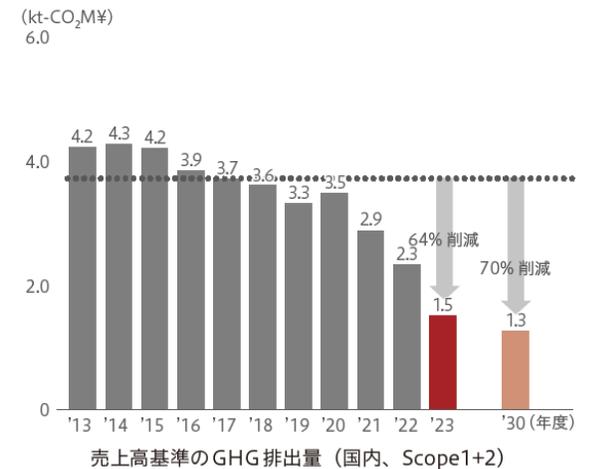
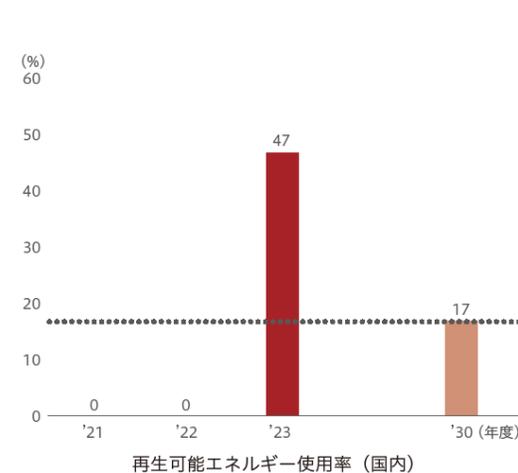
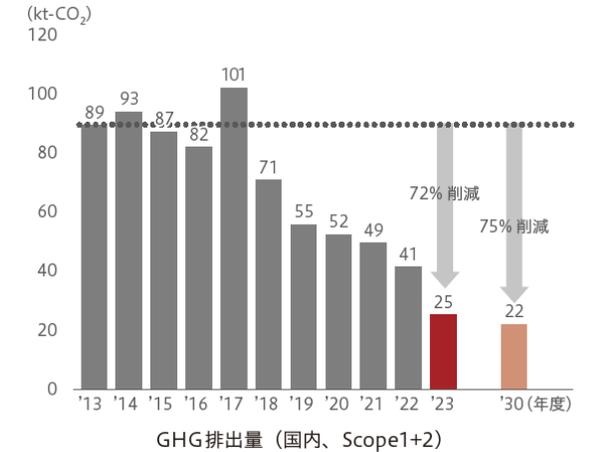
<目標（2013年対比2030年・日本国内）>

- Scope1+2のGHG 排出量 75% 削減
(総排出量 22,000t-CO₂)
- 売上高基準のGHG 排出量 70%削減
- 再生可能エネルギーの利用 17% 以上

2023年度は、インターナルカーボンプライシングのルールに則り、2つの投資判断を行いました。1つは再生可能エネルギー100%の電力への切り替えです。国内の3つの主要生産拠点の電力をすべて再生可能エネルギー100%の電力に切り替え、年間約12,800tのGHGを削減しました。

もう1つは、大竹創造センターへのカーポート型太陽光発電設備の導入です。2024年12月に設置予定し、年間約50tのGHGを削減できる見込みです。これを契機に、創エネの合理性を検証し、事業計画に沿った将来のエネルギープランの策定に生かします。

今後は、気候移行計画の作成、海外連結子会社のGHG算定等に取り組む予定です。



3. イノベーション推進体制／（4）マネジメントチェック項目③ 事業推進体制の確保

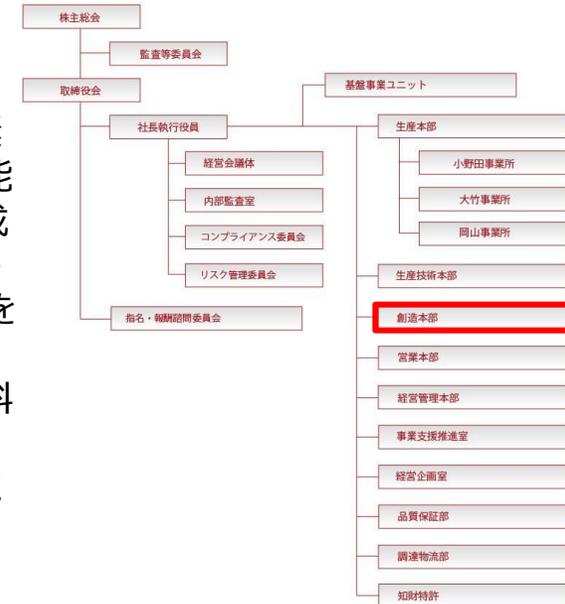
機動的に経営資源を投入し、社会実装、企業価値向上に繋ぐ組織体制を整備

◆経営資源の投入方針

- ▶ 全社事業ポートフォリオにおける本事業への人材・設備・資金の投入方法
 - 当社は従業員368名のうち、研究開発人員が89名を占める研究開発型企業です(2025年3月末時点)。本事業については、2025年度は新たに1名の開発人員を採用いたしました（新入社員を配属）。本事業で導入する開発検討用装置については、大竹事業所内実験棟を整備し、専用エリアを準備いたしました。また、量産実証については小野田事業所（山口県）にて専用エリアを準備いたしました。
 - マテリアリティ（2023年11月30日制定）において、45億円の設備投資を計画しています。その内、環境関連材料等へは約10億円の投資を計画しています。
- ▶ 機動的な経営資源の投入、実施体制の柔軟性の確保
 - 当社グループでは、代表取締役社長執行役員を委員長として、執行役員を中心に構成するリスク管理委員会を設置し、当社グループの顕在化しつつあるリスクについて定期的（月一回）に議論しております。リスク管理委員会は、リスク管理活動について取締役会に報告を行い、取締役会は当社グループ全体のリスクを網羅的、継続的に監視する体制の整備を進めております。その管理活動の中で、市場の動向分析に基づく継続的な研究開発体制の見直しや、開発テーマの選択と集中を高めるための組織改革により、事業開発のスピードアップや営業力の拡充を図ります。
 - 当社グループで不足している技術・ノウハウや開発人員については、公的機関や民間企業と協業体制を構築することで補強してまいります。

◆専門部署の設置と人材育成

- ▶ 専門部署の設置
 - 当社グループの事業セグメントは、磁石材料、誘電体材料などの「電子素材」と、顔料、環境関連材料の「機能性顔料」の2つ事業セグメントで構成しております。また研究開発部署として、現業事業の総括的に研究開発を担う「創造本部」を設置しております。
 - この創造本部の中に、環境関連材料専門の開発部署「環境貢献材料事業開発グループ」を設置しており、そこで本事業の開発を行っております。
- ▶ 人材の育成（含む標準化戦略人材）
 - 当社は以前から大学等との公的研究機関との積極的な交流を行っており、これまで多くの若手研究員が大学派遣の経験や社会人ドクター制度による博士号を取得しています。
 - カーボンニュートラルに寄与する製品・技術開発を推進すべく、全従業員に対してCSR等の環境教育を定期的実施しております。
 - 環境関連材料の研究開発人員は、カーボンニュートラル、カーボンリサイクルに関する各種セミナー、講演会への参加を通じて最新の技術情報を入手するとともに、大学、他企業の研究者との人的交流を図っております。社内では技術報告会を通じて、本事業をプレゼンする機会を作っております。³³



4. その他

4. その他／（1）想定されるリスク要因と対処方針

リスクに対して十分な対策を講じるが、不測のコスト増等の事態に陥った場合には事業中止も検討

研究開発（技術）におけるリスクと対応

- Na-Fe系酸化物の性能未達によるリスク
 - 装置側から設計を見直す
 - 他用途展開の可能性を探索
- 優れた他社製品が現れ、業界を席捲
 - Na-Fe系酸化物の利点を多方面から研究
 - 他用途展開の可能性を探索
- 安定した品質の量産技術を確立できないリスク
 - 外注生産等のアウトソーシング
- 知的財産を確保できないリスク
 - 戦略的な特許出願継続
 - 他社特許が出てきた場合はクロスライセンス

社会実装（経済社会）におけるリスクと対応

- 原料高騰のリスク
 - 多元的な購入先の確保（BCP対策）
- 量産設備部材調達不可のリスク
 - 多元的な購入先の確保（BCP対策）
- 輸送費高騰のリスク
 - 販売価格に転嫁（ユーザーと交渉）
- システムを販売できないリスク
 - ライセンスによる契約事業
- 日本でのカーボンリサイクル衰退
 - 海外ユーザーへの展開
- 法制度改定のリスク
 - 事前調査及び確認
- 地域住民からの反対リスク
 - 事前説明会の実施

その他（自然災害等）のリスクと対応

- 台風・大雨などによるリスク
 - 生産拠点をどこでも行えるよう装置、操作の標準化（BCP対策）
- 資金調達リスク
 - 金融機関との連携強化
- 担当者退職のリスク
 - 担当者の処遇改善
- CO₂分離回収が不要になるリスク
 - 自社消費を検討
- 組合ストライキのリスク
 - アウトソーシングができるよう装置、操作の標準化



● 事業中止の判断基準

- 想定以上の製造原価の高騰や設備投資金額の増大により、事業利益の確保が困難となった。
- 開発、実証段階において、目標とするCO₂分離回収率が得られない、CO₂固体回収材の耐久性が著しく悪い、などの理由により、CO₂分離回収コストが想定以上に高くなった（競合技術に対する優位性がなくなった）。
- 非常に低コストで優れたCO₂分離回収技術は出現して、当方の技術が市場で受入れられないと判断した。
- 会社の経営状況が悪化して、本CO₂分離回収事業に資金投資できない状況となった。