

2023年4月時点



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：エア・ウォーター株式会社（幹事会社）

（共同実施者：戸田工業株式会社、国立大学法人埼玉大学）

 **AIR WATER INC.**

目次

0. コンソーシアム内における各主体の役割分担

1-1. エア・ウォーター株式会社 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

3-1. エア・ウォーター株式会社 イノベーション推進体制

- (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



戸田工業(株) (共同提案者)

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（大竹事業所）
- 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



埼玉大学 (共同提案者)

実施する研究開発の内容

- 室温でのCO₂吸収性能向上のための高性能Na-Fe系酸化物の開発
- Na-Fe系酸化物の低温再生機構、および低エネルギーCO₂回収機構の解明

社会実装に向けた取組内容

- Na-Fe系酸化物が有する化学的安定性（安全）と経済性（安価）を損なわない開発などを担当

CO₂分離回収コスト2,000円台/ton-CO₂の早期実現

1-1. エア・ウォーター株式会社 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
- ・ 日本は2030年に温室効果ガスを2013年度比46%削減を掲げる

（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
- ・ 温室効果ガスによる不測の気候変動で製造活動ができないなど企業が打撃を受ければ、株価は下落し、企業倒産のリスクがあるとの認識がある

（政策面）

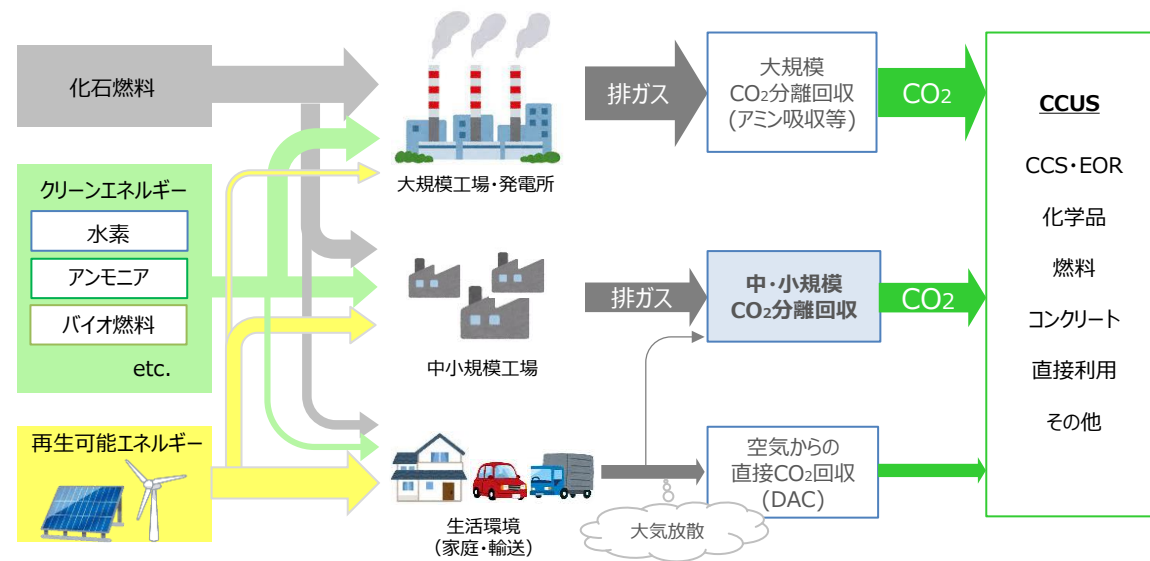
- ・ 成長が期待される14の重要分野について「グリーン成長戦略」を策定
- ・ 投資促進税制により、脱炭素関連設備導入に対し最大10%の税額控除又は50%の特別償却が受けられる

（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、その内CO₂分離回収技術の市場は、2050年には日本では4,000億円、全世界では10兆円とされている^{*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：
エア・ウォーターグループが2050年に目指す姿としてサステナブルビジョン「地球・社会との共生により、循環型社会を実現する」を策定した。目指す社会の1つに脱炭素化社会を掲げ、2021年4月には社内プロジェクトとしてCO₂回収事業化プロジェクトを発足し、CCUに関する取り組みを加速させている。

^{*1}株式会社矢野経済研究所予測（2021年12月）

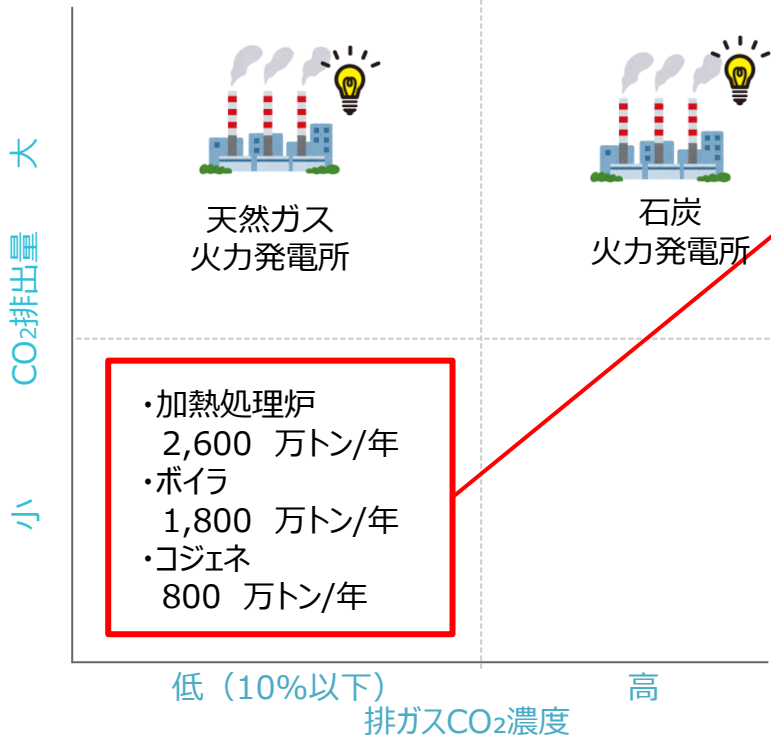
^{*2}グリーンイノベーション基金事業「CO₂の分離回収等技術開発」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画より

地域に分散した中小規模工場からのCO₂分離回収をターゲットとして想定

セグメント分析

中小規模・低濃度CO₂排ガスからのCO₂分離回収の
低コスト・省エネルギー技術が未確立であるためそこに注力する

CO₂回収装置市場のセグメンテーション



出典：グリーンイノベーション基金事業「CO₂ の分離回収等技術開発」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画より

ターゲットの概要

**低圧・低CO₂濃度排ガスの中で、汎用性が高く、拠点数の多い
（＝回収CO₂を地産地消しやすい）ボイラ由来の排ガスを
メインターゲットと定め開発を行う**

市場概要と目標とするシェア・時期

- ボイラ付帯CO₂回収装置200台（2030年目標）

CO₂回収装置顧客：各ボイラメーカー（エンドユーザー：ボイラユーザ）

CO ₂ 排出源	メーカー	排出量（万トン/年） （2022年現在と同等と仮定）	課題
ボイラ	三浦工業 他	1,800	- 小型化 - 排熱利用

蒸発容量別年間ボイラ出荷数（2015年）と当社製CO₂回収付帯設備 設置割合

蒸発容量別年間ボイラ出荷数				当社製付帯設備設置割合（2030年）		
2,000	kg/h以上	2,000	台	10%	200	台
1000~1999	kg/h	1,500	台	-	-	台
500~999	kg/h	2,000	台	-	-	台
合計					100	台

出典：ボイラの市場動向と技術動向より

まずは2,000kg/h以上の比較的大規模のボイラへの展開を進め、
2030年迄に10万ton/年のCO₂を回収する
その後小型ボイラならびにボイラ以外の他のCO₂排出源への適用を目指す

1. 事業戦略・事業計画／（3）提供価値・ビジネスモデル

革新的なCO₂分離回収技術を開発し、CO₂回収コストが安価な装置・サービスを提供する事業を創出/拡大

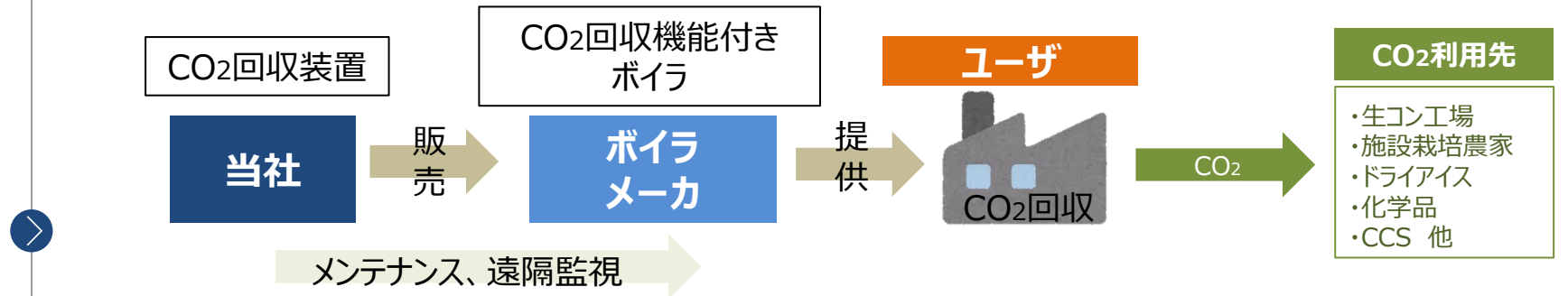
社会・顧客に対する提供価値

➤ 革新的なCO₂分離回収技術

- CO₂分離回収コスト：
2,000円台/t-CO₂以下
- CO₂分離回収能力：
0.5t/day以上
- 回収CO₂の純度：
99mol%以下で任意
- 装置の遠隔監視ならびに
メンテナンスサービスの提供に
よる安定稼働

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

本事業で開発するCO₂回収装置をエア・ウォーターで製造し、ボイラメカに販売する。
各ボイラメカがCO₂回収機能付きボイラとしてボイラユーザに提供する。
CO₂回収装置のメンテナンスはエア・ウォーターで実施し、遠隔監視で稼働状況を集中管理する。
ボイラの排熱利用方法、CO₂回収効率の向上、設備費の低減が課題であり、本事業で研究開発を推進していく。



実現可能性

- ・既存事業において各種ガス回収装置の製造・販売実績あり
- ・遠隔監視ならびにメンテナンスについても
他のガス関連設備において既に多数実施中

継続性

- ・当社は炭酸ガスを含む産業ガス事業を主軸としており、
本装置の製造、販売、保守体制が継続可能であることは明確

有効性

- ・ボイラ排ガスが有する100℃程度の排熱をNa-Fe系酸化物の再生熱源として活用することで省エネ化が可能
- ・排ガス中の水分がCO₂吸収反応に関与する回収材であり、除湿機構が不要となり、小型化・低コスト化が可能
- ・ボイラは分散型のCO₂排出源であり、装置の運転管理としては遠隔監視による集中管理が効果的
遠隔監視により一元的に集約した運転情報をもとに装置の継続的な改良・改善が可能
- ・CO₂排出を伴うボイラのオプション品としてCO₂回収装置をユーザに提案し、普及を加速

独自性

- ・戸田工業、埼玉大学が開発する新規CO₂回収材である
Na-Fe系酸化物と、当社開発のプロセスによる
独自のCO₂回収装置

新規性

- ・CO₂排出を伴うボイラのオプション品としてCO₂回収装置を
ユーザに提供するビジネスモデル

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）

標準化を活用し、中小規模CO₂回収装置の社会実装に向けたルール形成を推進

標準化を活用した事業化戦略（標準化戦略）の取組方針・考え方

- 他社に先行して高効率な中小規模設備を開発する
現状、事実上のCO₂排出規制がなく、社会実装されているCO₂回収設備は高採算性となる大型なものが多い
- 低級排熱を活用したコスト競争力のあるCO₂回収装置の開発
新規CO₂回収材と排ガスが有する排熱を活用した温度スイング式吸着分離法を採用することで競争力の高い商材とする
- CO₂ハンドリング技術の応用
 - 炭酸ガス製造/販売事業を通じて培ったCO₂のハンドリング技術を活かす（ガス、液、固体）

国内外の動向・自社の取組状況

- 開発済小型CO₂回収装置「ReCO₂ STATION」の課題解決
 - 課題：コストダウン、省エネ化、有資格者の確保
→設計標準化に取組み中
 - 高圧ガス第二種製造設備（ドライアイス150kg/day）
 - 汎用コンテナ収容型 -主要機器とソフトウェアの統一化
 - CO₂濃度10%前後の燃焼排ガスを原料ガスと想定
- 開発済小型CO₂回収装置を通したユーザヒアリング
 - 既にReCO₂ STATIONに対し100社近くからの問合せあり
導入における課題や求められる仕様を調査中



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

➤ 標準化戦略

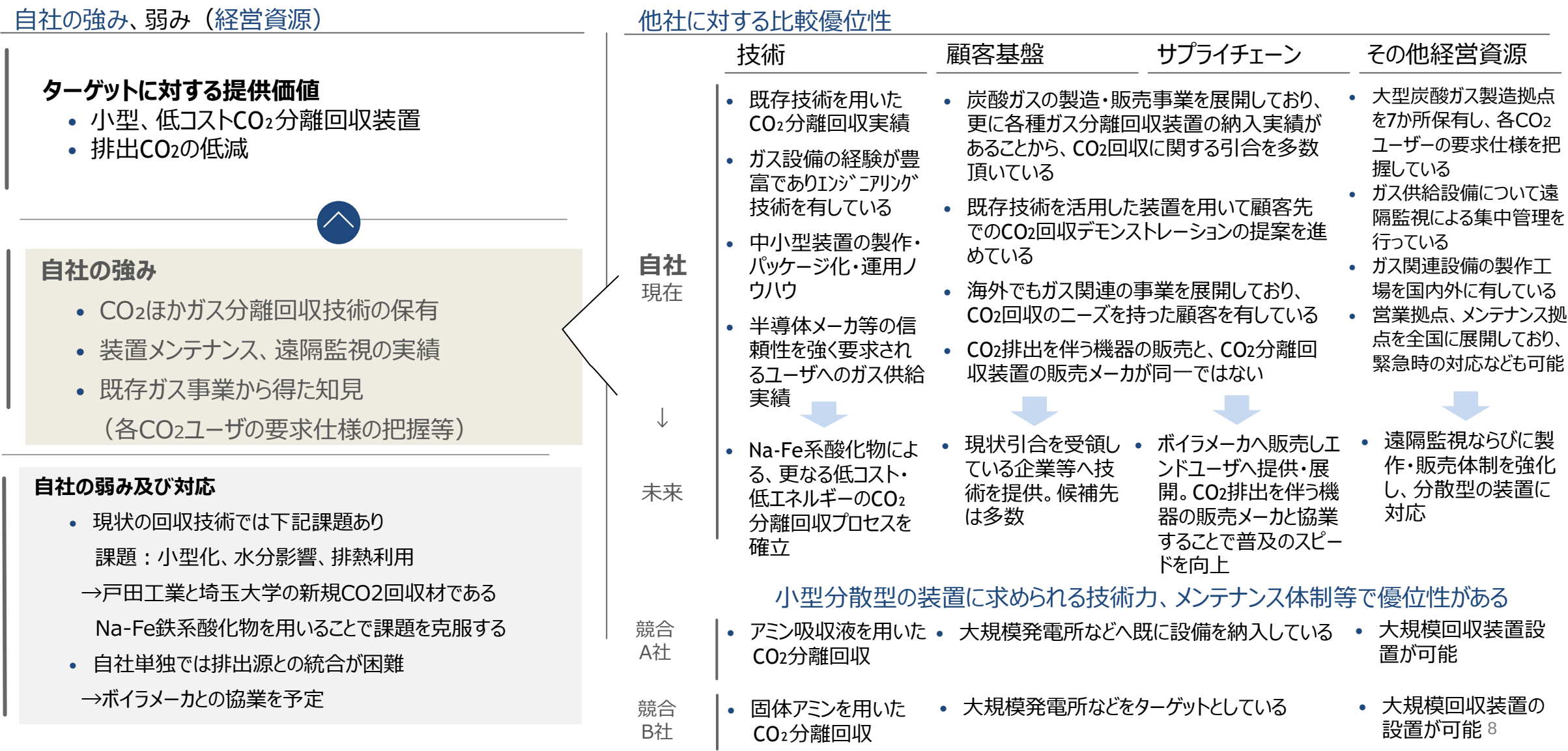
- CO₂排出量規制の導入を目指す
- 高圧ガス保安法の改訂ならびに、新たな規格の追加を目指す
- CO₂分離素材の標準評価共通基盤 協議会へ参画し他の企業や団体と協議しながら標準化を推進する

➤ 知財戦略

- 高効率にCO₂を回収するプロセスに関して
国内ならびに海外において特許を出願し、
権利を保護する



産業ガスビジネスで培ったノウハウを活かして、社会・顧客に対してCO₂分離回収という価値を提供



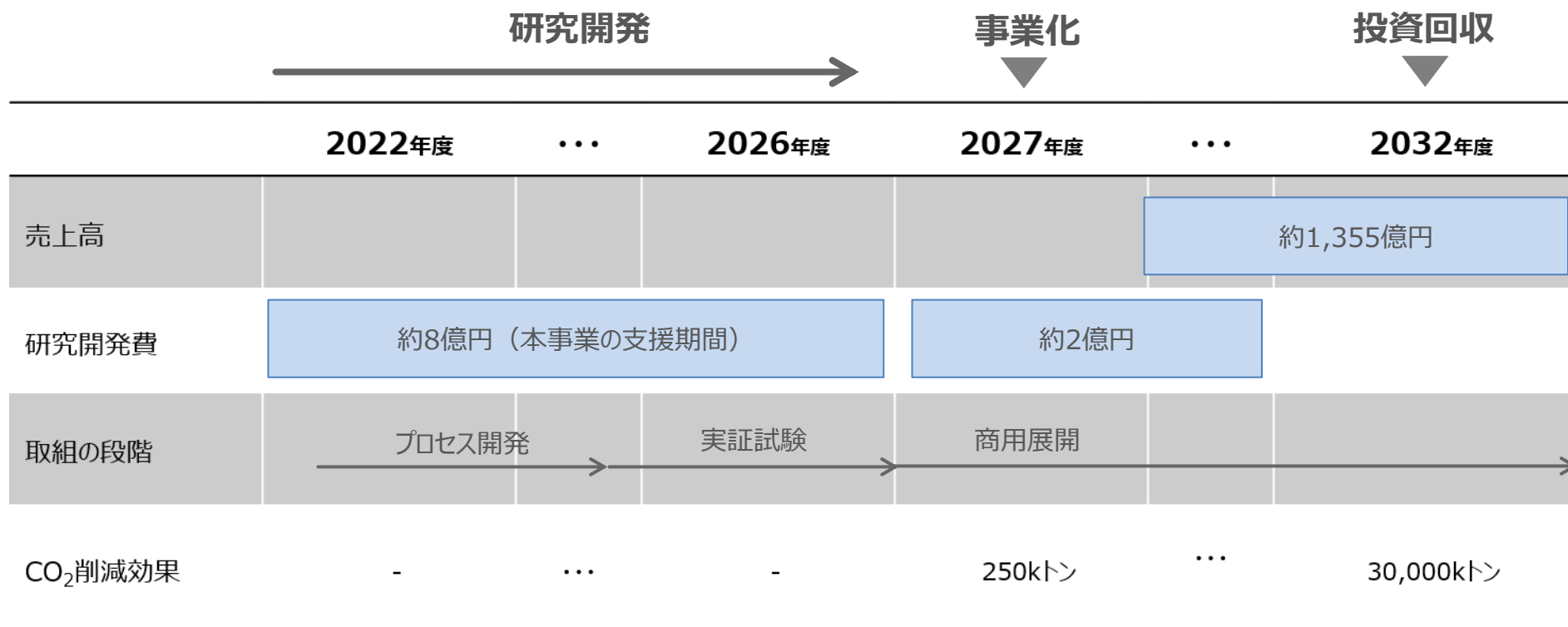
小型分散型の装置に求められる技術力、メンテナンス体制等で優位性がある

1. 事業戦略・事業計画／（5）事業計画の全体像

5年間の研究開発の後、2027年頃の事業化、2032年頃の投資回収を想定

投資計画

- ✓ 2027年に、ボイラ排ガス向けCO2回収システム商用1号機を稼働予定
- ✓ 大型ボイラ市場での販売を図り、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

取組方針 進捗報告

研究開発・実証

- 研究開発：Na-Fe系酸化物を用いたCO₂分離回収プロセスを確立に向けて、ラボ試験機の設計ならびに小規模試験を開始した。ボイラ排ガスが有する排熱の有効活用等について主に検討を行う。
- 知財・標準化戦略：海外への展開も踏まえ国内外に適切に特許出願を行い権利の保護を行う。研究開発段階ではプロセス面、社会実装段階では運用面での権利化を主に図る。必要に応じて意匠出願等も検討する。またボイラメーカーとの協議内容を踏まえ、複数のラインナップ化を図り設計製作の標準化を行う。
- オープンイノベーション：社会実装に向けて戸田工業ならびに埼玉大学と共同で検討を進める。研究開発段階からボイラメーカーとの協議も行い、排ガスの引込み方法やボイラ側とあわせたシステムの最適化に取り組む。社会実装段階ではCO₂回収装置をオプションとして取り扱うようボイラメーカーと連携し進める。保守体制についてもボイラメーカーと協力し整備する。
- PoCによる顧客ニーズ確認：実証後に実証機をデモ機として活用し、各CO₂排出地で技術検証を行う。産業ガスメーカーとして液化炭酸ガスを多数のユーザに供給しており、CO₂排出源を有する各ユーザに向けてCO₂回収装置の提案を行う。戸田工業 小野田事業所で化学品製造プロセスに使われる液化CO₂の一部を、工場内ボイラ（三浦工業製）排ガスから回収したCO₂に置換え、評価する。

国際競争 上の 優位性

- 世界的に産業用電気料金の高い日本において、回収コスト2,000円台/ton-CO₂を達成する。
- Na-Fe系酸化物を用いた技術について海外でも権利を保護する。

設備投資

- 研究段階で製作するラボ試験設備の手配開始。将来的にNa-Fe系酸化物の改良材が開発されたときの評価用試験機としてエア・ウォーターで継続的に運用する。
- 同じく研究段階で製作する3ton-CO₂/day型の実証機は移設可能なユニット型装置として製作することで、2026年の実証試験完了後より、PoC用デモ機として運用する。
- 自社のガス関連製作工場へCO₂回収設備製作ラインの追設を行い、倉庫やスペースの確保等も進める。国内では大阪府堺市や北海道石狩市、福島県郡山市などに製作拠点を有しており、需要地等を鑑み製作地を決定する。
- 既存の遠隔監視システムを強化し、多数のCO₂回収装置の稼働状況を一元管理できる体制を整備する。また遠隔監視で蓄積した知見を活かし装置の改良を図る。
- 生産体制、メンテナンス体制を強化する。
- 将来的には、各ボイラから排出されたCO₂を回収し、エア・ウォーターのセンター工場に集約の上、産業用もしくは食添用の炭酸ガスならびにドライアイスとして製造・販売することも検討する。

- ガス関連設備は海外への販売実績もあり、海外展開が可能。
- 米国にはガス関連設備の製作、販売拠点を複数保有しており、現地での製作ならびに北米諸国への販売が可能。
- アジアにもガス製造拠点ならびに営業拠点が有り、需要を鑑み、製作拠点の設置について検討する。

マーケティング

- 販売段階では、PoCで検証したCO₂回収インパクトの大きい大型ボイラ市場への導入を図る。
- 大型ボイラ市場での実績をもとに、さらなる改良を重ね中小型ボイラ市場への展開も進める。
- その他熱源を有するCO₂排出源への適用ならびに改良についても進める。
- 産業ガスメーカーとして液化炭酸ガスを多数のユーザに供給しており、各ユーザに向けてCO₂回収装置の提案を行う。

- 世界的にも小型CO₂回収装置の需要は多く、実際に米国等では引合を受領している。一方で国内ボイラメーカーは海外への販売実績も豊富であり、販売段階では国内のボイラメーカーと連携し海外への展開を図る。将来的には国内での実績を活かし海外のボイラメーカーにも販売していく。

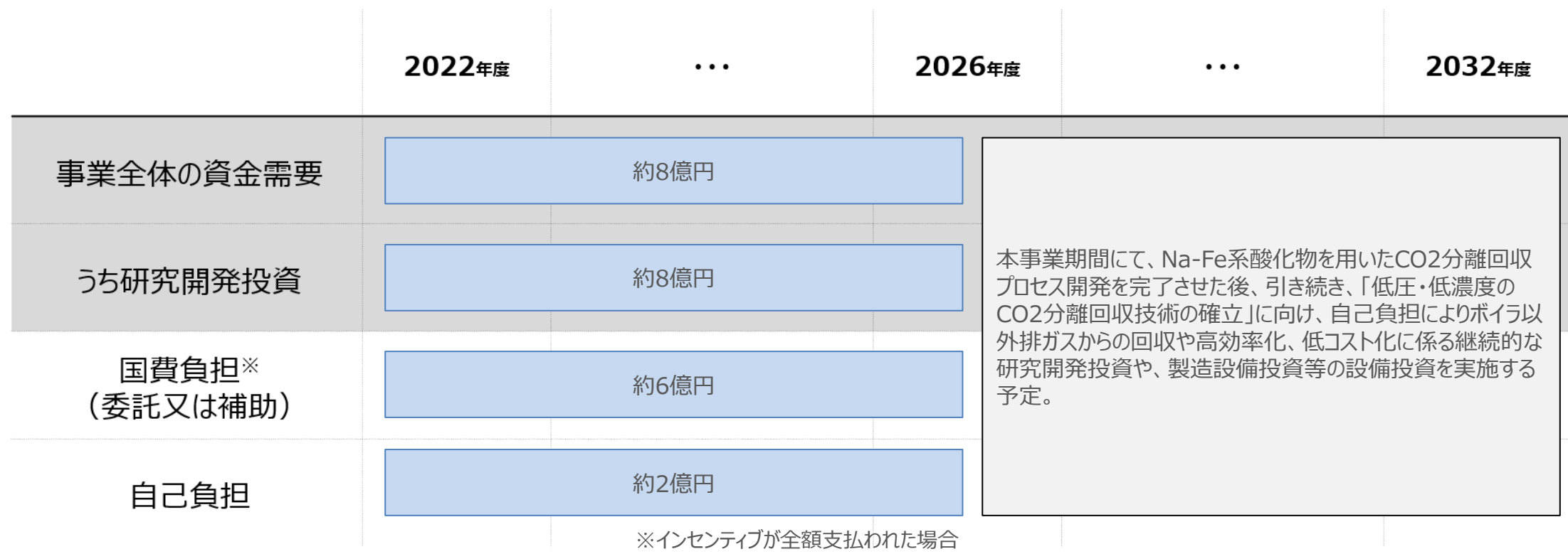
将来の社会実装を見据えて行う、事業化面の取組内容（市場導入ロードマップ）

項目	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度
イベント	GI採択				戸田工業大竹事業所での実証試験	ボイラー 排ガス向けCO ₂ 回収システム 商用1号機・発売
ヒアリング	既存小型CO ₂ 回収装置の営業活動を通じてユーザーニーズのヒアリング ボイラメーカーへのヒアリング					
プロセス開発	革新的CO ₂ 回収プロセスの確立 知的財産権の獲得			革新的CO ₂ 回収プロセスの実証 知的財産権の獲得		
標準化検討	材料・評価技術の標準化 製品ガス製品規格の標準化			用途別CO ₂ 回収システムの標準化		

1. 事業戦略・事業計画／（7）資金計画

国の支援に加えて、2億円規模の自己負担を予定

資金調達方針



2. 研究開発計画

地球の恵みを、社会の望みに。



エアウォーター



戸田工業株式会社



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		アウトプット目標	
1. Na-Fe系酸化物による革新的CO ₂ 分離回収技術の開発		CO ₂ 回収コスト2,000円台/ton-CO ₂ が達成可能なCO ₂ 分離回収装置の開発	
研究開発内容		KPI	KPI設定の考え方
① Na-Fe系酸化物のCO ₂ 回収性能向上、製造方法確立		CO ₂ 回収量(回収材対比) 10wt%達成 回収温度：90℃達成 回収エネルギー(E)：1.0GJ/ton-CO ₂ 達成	CO ₂ 回収量：25℃吸収⇔120℃再生で(回収材対比) 20wt%（粉体での理論値） 成形体で10wt%を達成 現状の回収E：1.3GJ/ton-CO ₂ 更に2割削減
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		電力原単位0.1kWh/kg-CO ₂ 達成 ラボ試験での回収CO ₂ 純度99%達成	CO ₂ 回収コストへの影響度が大きい消費電力を低減する必要がある 回収CO ₂ 純度は多様な用途への適用を目指し99%以上とする
③ 実ガス実証		CO ₂ 回収量 3ton-CO ₂ /day達成	>0.5ton-CO ₂ /day
④ システム適用検討		商用機設計完了 システム評価によるCO ₂ 回収コスト2,000円台/CO ₂ -tonの達成	NEDO殿CO ₂ 回収コスト目標：2,000円台/ton-CO ₂

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 回収性能向上、製造方法確立	CO ₂ 収量(回収材対比) 10wt% 90℃再生 1.0GJ/ton-CO ₂	4.3wt% →7wt% 110℃再生 1.3GJ/ton-CO ₂ (提案時TRL4現状TRL4)	ラボでのKPI数値達成 (TRL5)	- Na-Fe系酸化物の粉体、成形体開発 - Na-Fe系酸化物の室温でのCO₂吸収性能の向上 - Na-Fe系酸化物の低温再生機構の解明	回収量↑と回収E↓は相反するため、バランスの取れたところを探る必要 (70%)
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	0.1kWh/kg-CO ₂ 回収CO ₂ 純度99%	机上での排熱活用案 (TRL4)	プロセス確立 実証機設計のためのデータ取得完了 (TRL5)	- 排熱を活用したプロセスの設計 - ラボ試験によるプロセスの評価 - 実証規模を想定した機器の選定	プロセスの素案はあり、①との連携により達成できる可能性は十分にある (80%)
3 実証実験	CO ₂ 収量 3ton-CO ₂ /day	既存材の模擬ガスを用いた評価段階	CO ₂ 回収量目標達成 (TRL6)	- 戸田工業所有パイプラインからのCO₂回収(LPG焚き) - CO₂を3ton-CO₂/day回収	①と②が達成できれば実現可能性高 (80%)
4 システム適用検討	商用機設計完了 CO ₂ 回収コスト 2,000円台/CO ₂ -ton	従来技術ではKPI達成が困難	商用機設計完了 (TRL7)	- 商用機設計 - ライフサイクルアセスメント(LCA)	③の達成により実現可能性高 (90%)

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

	直近のマイルストーン	これまでの開発進捗	進捗度
1-1 Na-Fe系酸化物の粉体制御、セラミック組成の確立	CO ₂ 回収量(回収材対比) 4.3→5.2wt% 回収E 1.3→1.2 GJ/t-CO ₂ 110→105℃再生	・セラミック担体のスクリーニングにより、耐久性、耐水性のあるNa-Fe酸化物組成を見出した。また、造孔材の添加により、CO ₂ 吸脱着の耐久性向上と、CO ₂ 回収量の増大(4.3→7.0wt%)を達成した。	○△（理由）耐久性、耐水性のあるセラミック担体見出し、耐久性の向上と回収量アップを達成した。連続吸脱着性能の向上と最終目標の10wt%を目指す。回収E、回収温度は今後精査する。
1-2 Na-Fe系酸化物成形体形状制御	Na-Fe系参加物の形状、サイズを最適化することにより、気孔率40%を目指す。	・ セラミック担体の選定により、気孔率の向上を確認 ・ さらに、造孔材の添加により、気孔率の向上を確認	○（理由）セラミック担体の選定により、CO ₂ 吸脱着時の膨張収縮による変形を緩和できた。また、造孔材の添加により、気孔率が上がり、回収量増。
1-3 Na-Fe系酸化物の粉体製造工程設計開発	CO ₂ 回収量、CO ₂ 回収エネルギーを具現化できるNa-Fe系酸化物製造工程を考案する。	・ 戸田工業独自の球形マグネタイト、水酸化ナトリウムを用いた過熱水蒸気による低温固相反応により、α-ナトリウムフェライトを収率100%で、廃棄物フリーで合成する方法を見出し、23年度4月から、0.5t/Mで製造する装置を発注した。	○△（理由）反応方法の開発、は完全であったが、部品供給不足により、混合機選定が完全にはおこなえていない。

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

	直近のマイルストーン	これまでの開発進捗	進捗度
1-4 Na-Fe系酸化物の成形体製造工程設計開発	Na-Fe系酸化物成形体工程を立案し、装置の選定を行う。	2023年度から着手する。	—
1-5 低温再生機構の解明	Na-Fe系酸化物の低温再生機構および低エネルギー回収機構の解明	水蒸気存在下での10%濃度CO ₂ 吸収において、NaHCO ₃ とNa _{1-x} H _x FeO ₂ 相が生成することを確認し、これらの生成挙動をAl置換型固溶体を用いて調査。Al置換型固溶体NaFe _{1-x} Al _x O ₂ から生成したNaHCO ₃ は、Al置換率の増加によって低温で分解する傾向を示し、かつCO ₂ が脱離することを確認した。	○（理由）水蒸気下のCO ₂ 吸収で生成するNa _{1-x} H _x FeO ₂ が、Na-Fe系酸化物に特有の生成物であること、及びAl固溶体が低温回収に有益な化学組成であることを見出した。
1-6 CO ₂ 吸収性能の向上指針	微粒子化によるCO ₂ 吸収性能の向上およびNa-Fe系酸化物の組成制御によるCO ₂ 吸収性能の向上	これまでの微粒子化法（機械的粉碎法や合成温度の低温化）とは異なる手法として、液相を活用した合成時における分散剤添加法が、Na-Fe系酸化物の高比表面積化に有効であることを見出した。	○（理由）簡便で、安価な分散剤の活用が、Na-Fe系酸化物の吸収性能の向上に有効であることを発見した。

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

	直近のマイルストーン	これまでの開発進捗	進捗度
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（エア・ウォーター、戸田工業）	小規模試験の実施、各種データの取得。 ラボ試験機の製作を完了する。	材サンプルを受領し、小規模試験を開始しデータ取得中。 ラボ試験機の基本設計、主要機器の手配を完了した。	△（理由） ラボ試験機について設計は予定通り完了したが、電気部品等の納品遅れ製作完了は23年度5月となる見込み。

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

	直近のマイルストーン	残された技術課題	解決の見通し
1-1 Na-Fe系酸化物の粉体制御、セラミック組成の確立	(2023年度) CO ₂ 回収量5.2→6.2wt% CO ₂ 回収E 1.2→1.1GJ (2024年度) CO ₂ 回収量6.2→10wt% CO ₂ 回収E 1.1→1.0GJ/t-CO ₂ を達成する。	・Na-Fe酸化物粉体制御、セラミック担体の更なるスクリーニング、造孔材の選定を行うことにより、CO ₂ 回収量、回収Eの最小化を検討する。組成がある程度決定した後は、成形体形状制御による回収量、回収Eの最小化に重点をシフトする。	組成の改良でできることを見極め、形状制御にて、さらなる改良の方向性を見出す。
1-2 Na-Fe系酸化物成形体形状制御	(2023年度) 成形体の形状、サイズ NOX, SOXの影響評価 (2024年度) CO ₂ 回収量→10wt% CO ₂ 回収E 1.0GJ/t-CO ₂ を達成する。	・これまでの研究で決定した組成を用いて、ペレット化、多孔質化、ハニカムフィルター化、ハニカムペレット化などの形状制御を検討し、回収量、回収Eの最小化を検討する。	組成の改良と形状の改良を組み合わせることにより、相乗効果を見出す。
1-3 Na-Fe系酸化物の粉体製造工程設計開発	(2023年度) Na-Fe系酸化物を50t/M以上製造できる工程を立案、装置の選定を行う。 (2024年度) 経済性についてAWとコスト2000円台協議、工程設計。	・2022年度に導入した中量製造機で中量を製造し、課題を抽出しながら、50t/M以上製造できる工程を立案、装置の選定を行う。また、経済性を顧慮した設計すること。	スケールアップによる課題を抽出しながら、コストダウンを検討する。

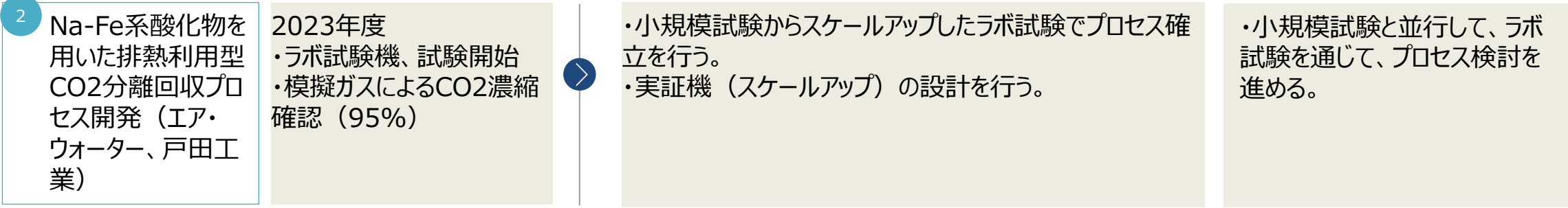
2. 研究開発計画／（2）研究開発内容（今後の取組）

個別の研究開発における技術課題と解決の見通し

	直近のマイルストーン	残された技術課題	解決の見通し
1-4 Na-Fe系酸化物の成形体製造工程設計開発	(2023年度)Na-Fe酸化物成形体の性能を具現化できる成形体製造工程を考案。 (2024年) FSを行い、経済系を確認。成形体を50t/Mで製造できる製造方法を考案。成形コスト低減。外注による成形処理も検討	・Na-Fe系酸化物成形体の性能を具現化できる成形体の製造工程を考案する。混合、成形、乾燥、熱処理の必要スペックを定め、装置選定を実施する。 ・FSを行い、経済性を確認。建屋、装置配置、配管設計などの向上レイアウトを手配。Na-Fe系酸化物成形体の品質評価体制・品質規格項目の整備を実施する。成形コスト低減を視野に入れ、外注での成形処理も検討する。	スケールアップによる課題を抽出しながら、コストダウンを検討する。
1-5 低温再生機構の解明	Na-Fe系酸化物の低温再生機構および低エネルギー回収機構の解明	・Na _{1-x} H _x FeO ₂ の再生機構における役割の調査 ・Na _{1-x} H _x FeO ₂ の結晶化学的な調査 ・第一原理計算による低温再生組成の最適化 ・低温再生に適したNa-Fe系酸化物の提案 ・再生によるCO ₂ およびH ₂ Oの定量分析 ・高温XRDや加熱FTIRによる再生機構の調査	調査に適した研究装置の準備が、2022年度にほぼ整うことため、2023年度から着実に進められる。
1-6 CO ₂ 吸収性能の向上指針	微粒子化によるCO ₂ 吸収性能の向上およびNa-Fe系酸化物の組成制御によるCO ₂ 吸収性能の向上	・水蒸気吸着特性や比表面積の評価の実施によって、CO ₂ 吸収に優れるNa-Fe系酸化物の化学組成を明らかにする。	2023年度前半には、評価装置がほぼ整うため、効率のよい性能向上が図れる。

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



① 【研究開発計画項目】 Na-Fe系酸化物のCO₂回収性能向上、製造方法確立(2022～2024年度)

1. Na-Fe系酸化物の粉体、成形体開発（戸田工業）

1-1. Na-Fe系酸化物成形体組成確立

- ・耐水性の獲得
- ・CO₂回収エネルギーの最小化
- ・耐久強度の獲得
- ・不純物（SO_x, NO_x等）の影響測定

1-2. Na-Fe系酸化物成形体形状制御（ペレット、ハニカムなど）

- ・形状制御によるCO₂回収性能の向上

1-3. Na-Fe系酸化物粉体、成形体の製造プロセスの設計とコスト計算

2. Na-Fe系酸化物の室温でのCO₂吸収性能の向上（埼玉大学）

2-1. 微粒子化

- ・酸化鉄原料の粒径縮小等（+戸田工業）

2-2. 組成制御

- ・Na量の増加したNaFeO₂以外のNa-Fe系酸化物の開発等

3. Na-Fe系酸化物の低温再生機構の解明（埼玉大学）

3-1. 層状構造の視点からの解明

- ・類似構造をもつ化合物との比較研究による再生低温化をもたらす結晶学的特長の明確化

3-2. Na炭酸塩の視点からの解明（+戸田工業）

- ・造粒成形体中でのNa炭酸塩の低温熱分解および低エネルギーCO₂脱離の仕組みの解明

-参考資料-

① 【目標】 Na-Fe系酸化物成形体による高CO₂回収量と低CO₂回収エネルギー

目標①：NaFeO₂の粉体、および成形体を改良して、1.0GJ/ton-CO₂を数値目標とする。
(現行品で回収エネルギーとして1.3GJ/ton-CO₂を達成済み。次頁に詳細記載)

目標②：CO₂回収量は、粉体での理論値20wt%の5割、10wt%を数値目標とする。

CO ₂ 回収材の形態	Na-Fe系酸化物成形体	
項目	現行	目標
吸収温度	25	25
CO ₂ 回収量 wt%	4.3	10
回収温度 ℃	110	90
回収エネルギー GJ/ton-CO ₂	1.3	1.0



成形体

Na-Fe系酸化物と粘土
成分からなる複合材料



粉体

Na-Fe系酸化物のみ
からなる粉末

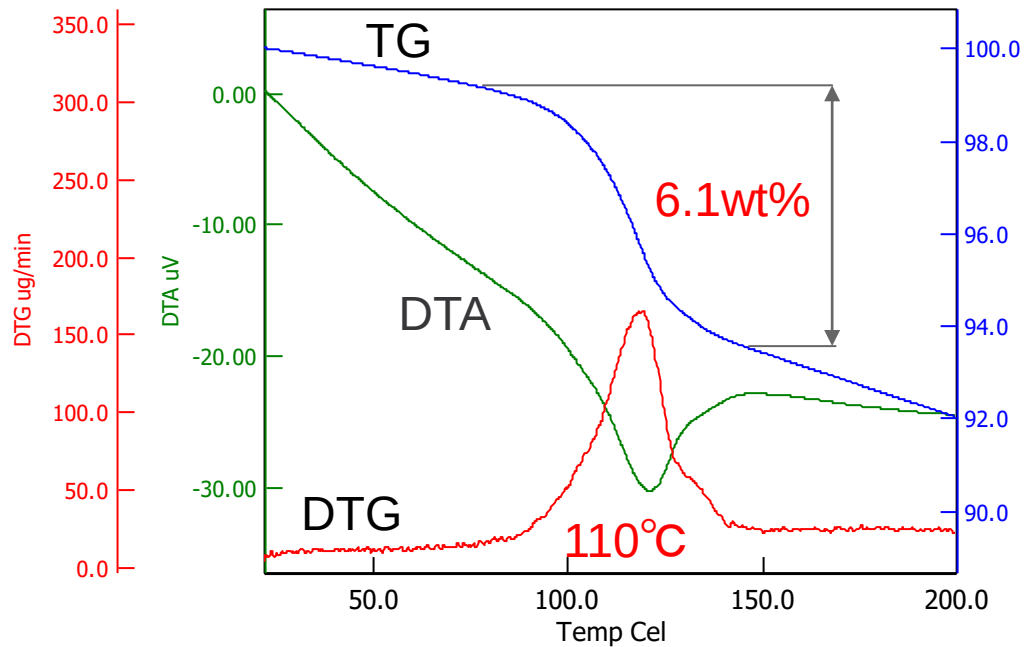
-参考資料-

① 【目標の参考データ】 Na-Fe系酸化物成形体のCO₂回収エネルギー調査



【吸着条件】 成形体 (Na-Fe系酸化物 含有率50wt%) 1.0 g, CO₂濃度10%, 0.5 L/min (RH 70%), 反応時間 2hr

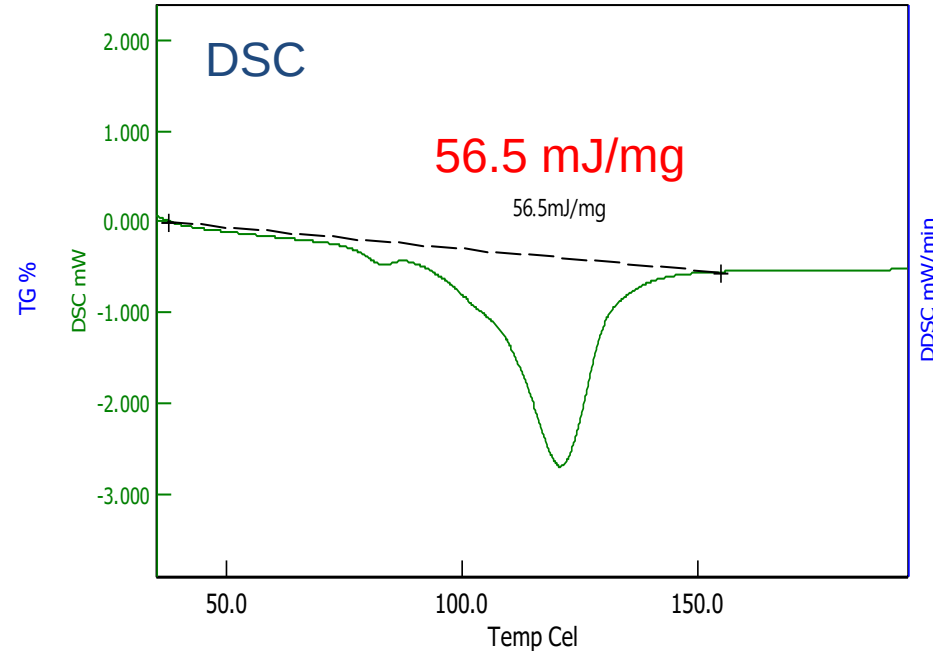
TG-DTA



【回収温度】 110°C

【回収量】 6.1wt% (CO₂正味 4.3wt%)

DSC



【回収エネルギー】 1.3 GJ/ton-CO₂

$$\begin{aligned} & 56.5 \text{ mJ/1mg (成形体)} \\ &= 56.5 \times 10^{-3} / (1 \times 10^{-3} \times 0.043) \\ &= 1.3 \text{ kJ/g-CO}_2 \\ &= 1.3 \text{ GJ/ton-CO}_2 \end{aligned}$$

CO₂を吸収させた1mmペレットをTGにて昇温すると110°Cで6.1wt%の減量がある。この中にはCO₂とH₂Oが当量含まれるため、正味のCO₂は $6.1 \times (44 / (44 + 18)) = 4.3\text{wt\%}$ になる。

また、同CO₂吸収ペレットをDSCで昇温すると、110°Cをピークとして、56.5mJ/mgの解離エネルギーが検出される。これを、TGで求めたCO₂正味の量4.3%で割り戻すと本成形体のCO₂回収エネルギーは1.3GJ/ton-CO₂になる。

-参考資料-

① 【研究開発計画1-1】 Na-Fe系酸化物成形体調製の必要性について (1)

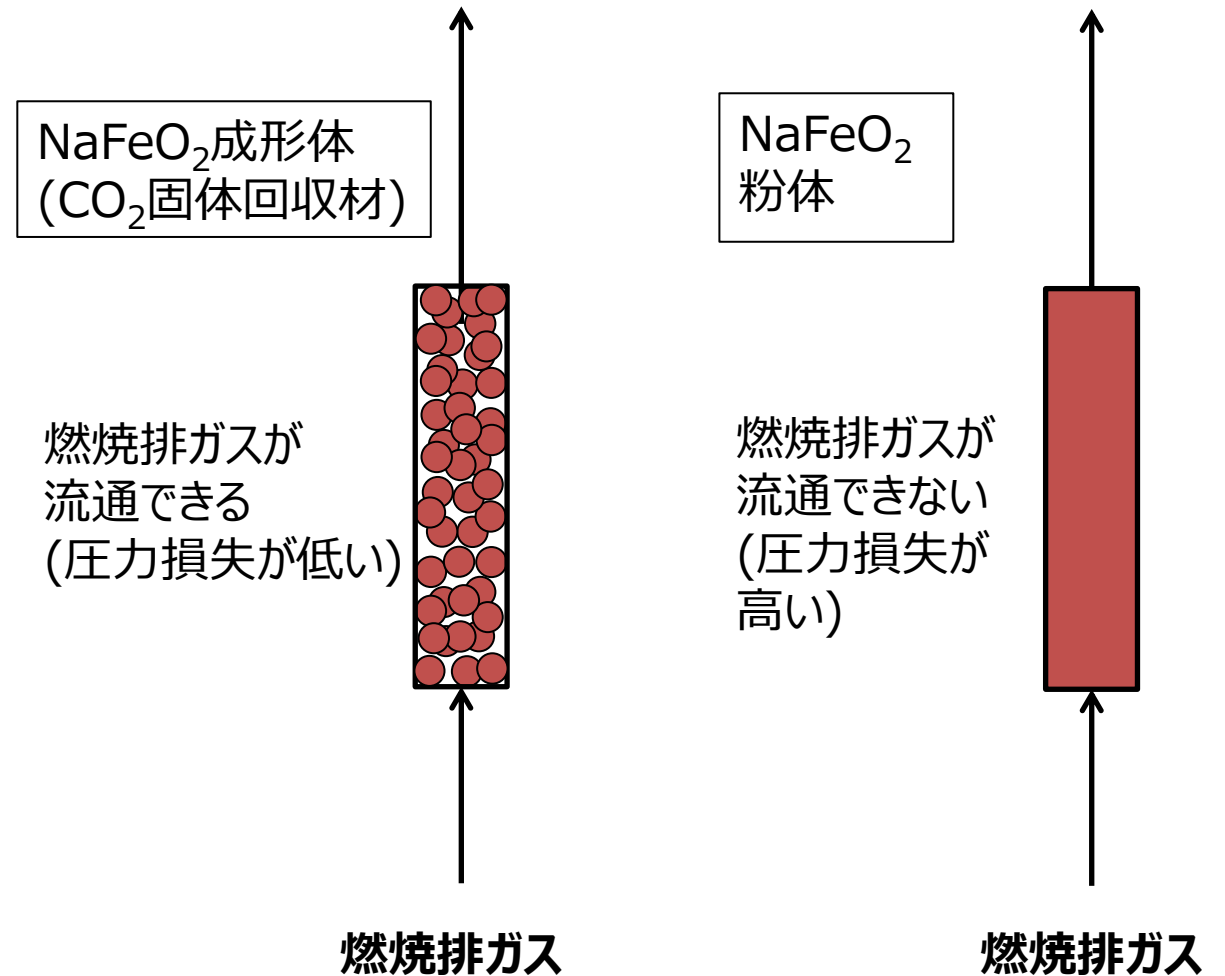
(1) 固気接触

粉体のままで吸着塔に充填
→圧損が生じて燃焼排ガスが流通できない。

成形体（ペレット化）→燃焼排ガスが流通できる。



Na-Fe系酸化物成形体
(セラミックペレット)



-参考資料-

① 【研究開発計画1-1】 Na-Fe系酸化物成形体調製の必要性について (2)

(2) 耐水性の獲得

NaFeO₂のNa成分は容易に水に溶出
触媒担体となるセラミックと混合して焼成することにより、
Naがセラミック中に不溶化し、機能を保持したまま耐水性を獲得。

(3) CO₂回収エネルギーの最小化

NaFeO₂自体、セラミックスであり、触媒担体となるセラミックスと混合
して焼成することで、NaFeO₂の一部に担体のセラミックス成分がドー
ピングされて、CO₂回収エネルギーが大幅に下がると推測。

(4) 高耐久性セラミックCO₂回収材

NaFeO₂は、触媒担体のセラミックと相性が良く、
均一に系内に拡散されることで、CO₂高吸脱着性能と高強度確保。
本固体回収材は、数百度で焼成されて調製されるため、
におい成分は極めて少ない。また、酸化物なので、これ以上空気酸化
されることはすくない。→高耐久

【新規NaFeO₂成形体の開発方針】

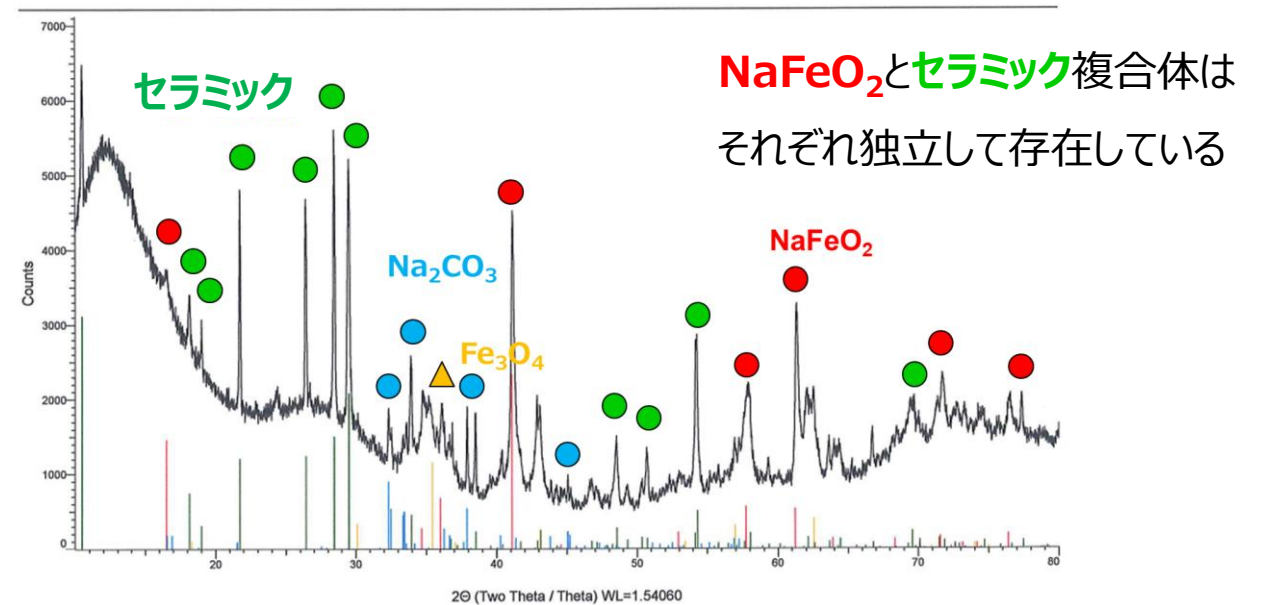
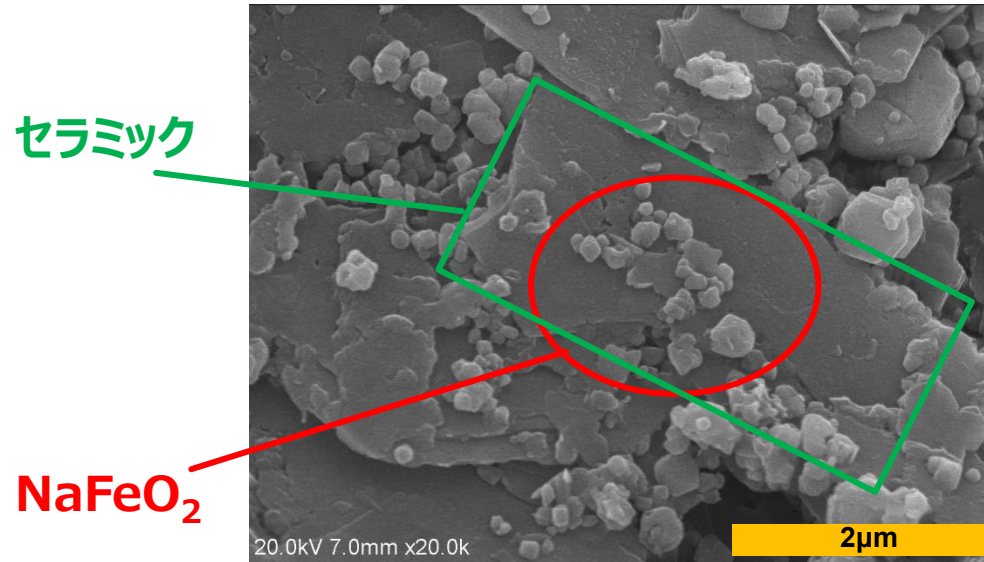
- ・NaFeO₂粉体の改良
- ・成形体形状制御



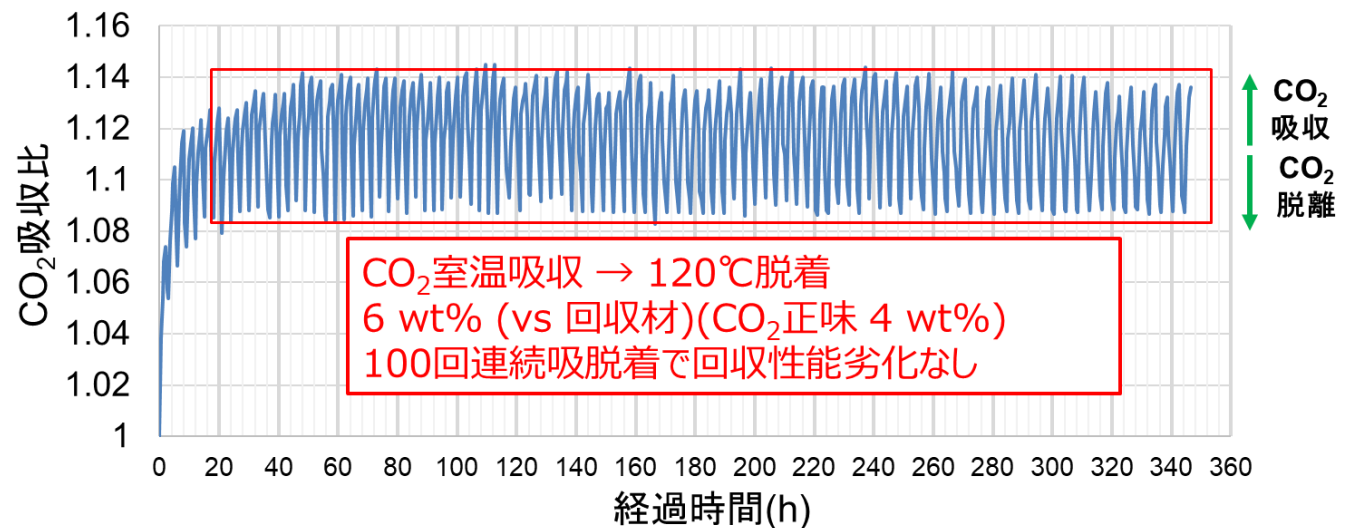
- ・水の蒸発エネルギーの少ない固体回収材
(高通気性材料による、余剰水の低温気化)
⇒ CO₂回収エネルギーの低減と耐水性の向上
- ・ハニカム構造化
⇒ 回収材の耐久性の向上

-参考資料-

①【研究開発計画1-2】 Na-Fe系酸化物成形体を用いた繰り返し性能試験



【条件】ペレット充填 Φ20x30 12g,
CO₂ 10%, RH 80%



-参考資料-

① 【研究開発計画1-2】 Na-Fe系酸化物成形体回収率の向上

	CO ₂ 回収量 (wt%)	圧壊強度 (N)	耐水性	繰返し特性
NaFeO ₂ 単独ペレット	8.0	10	×(Na溶出)	膨張収縮で破壊
NaFeO ₂ /セラミック 50:50複合ペレット	4.3	100	○	100回劣化無し

- セラミックと複合化することで耐久性・耐水性の向上
- 単独ペレットと比較して**CO₂回収能力が半減**

原因

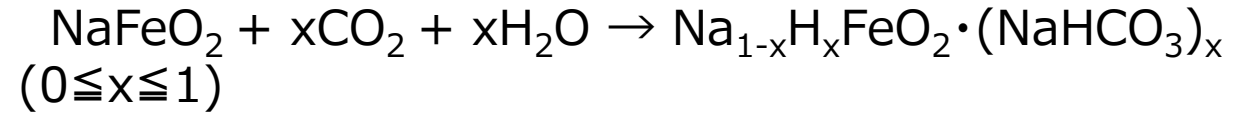
- NaFeO₂量が少ない
- 内部までCO₂ガスが浸透しない
- セラミックとの相性の追求不足
(粒径などの制御)



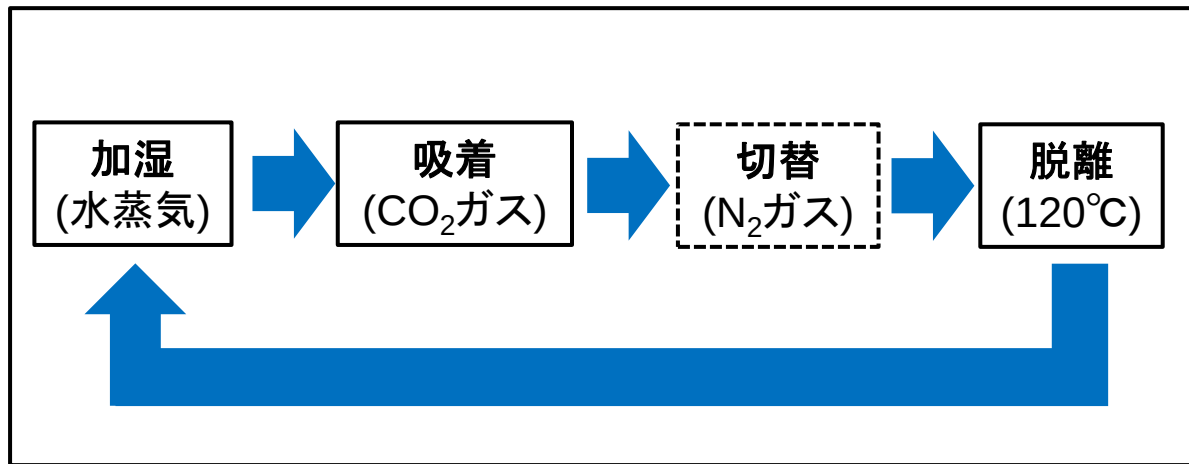
対策

- NaFeO₂比率の向上
- 気孔率の向上
- 最適なセラミック材料との成形

【研究開発計画1-2】 Na-Fe系酸化物成形体回収率の向上（水分の付与）



現行のサイクル評価



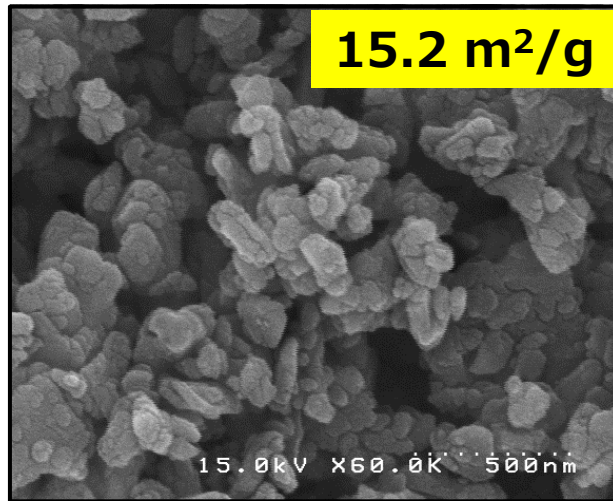
狙い

- ・最初に十分水分を吸着させ、NaFeO₂を活性化させてから吸着操作を行う。
回収サイクルの向上
- ・吸着速度等の観察

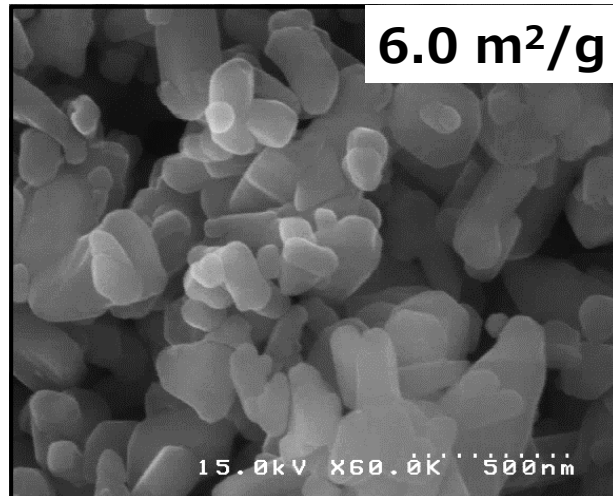
-参考資料-

1 【研究開発計画2-1】 微粒子化によるCO₂吸収性能の向上

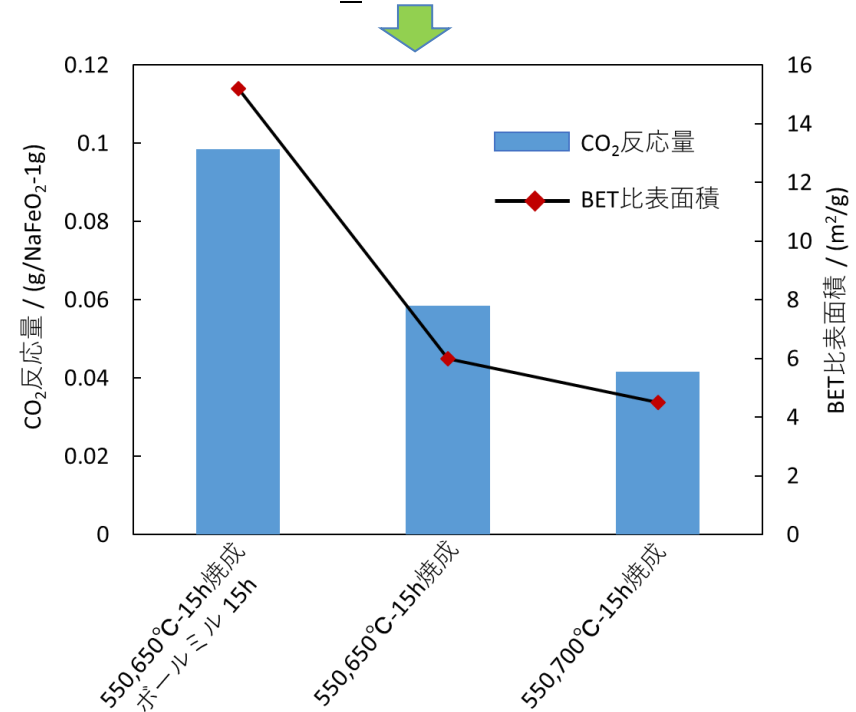
・原料粉砕法による合成



・原料を粉砕しない従来法による合成



高比表面積化によってCO₂吸収容量が増大することを確認済



解決 手段

酸化鉄等の原料粒径の縮小や合成法の改良によって、高比表面積化と高CO₂吸収容量化を図る。

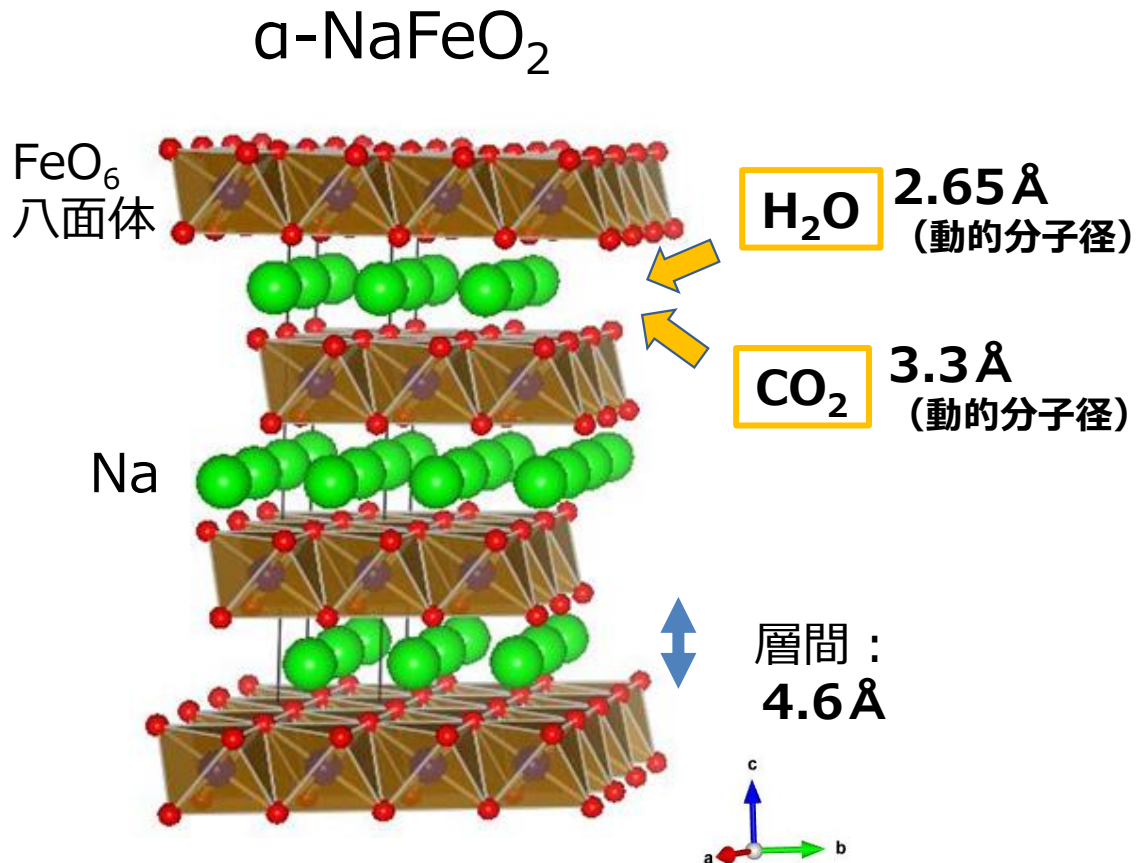
相乗 効果

成形体中のNaFeO₂と粘土成分との接触面積の増大にも繋がる。

➡ 粘土成分の触媒作用の促進によるCO₂回収エネルギーの低減が期待される。

-参考資料-

① 【研究開発計画2-2】 Na-Fe系酸化物の組成制御によるCO₂吸収性能の向上



解決手段①

FeO₆八面体中のFe³⁺の一部をイオンサイズの大きいカチオンで置換して層間を広げる。



CO₂およびH₂Oとの接触を容易にして, CO₂吸収性能の向上を目指す。(次頁参照)

解決手段②

NaやFe組成を変えたNa-Fe系酸化物を合成することで、CO₂吸収容量を高める。



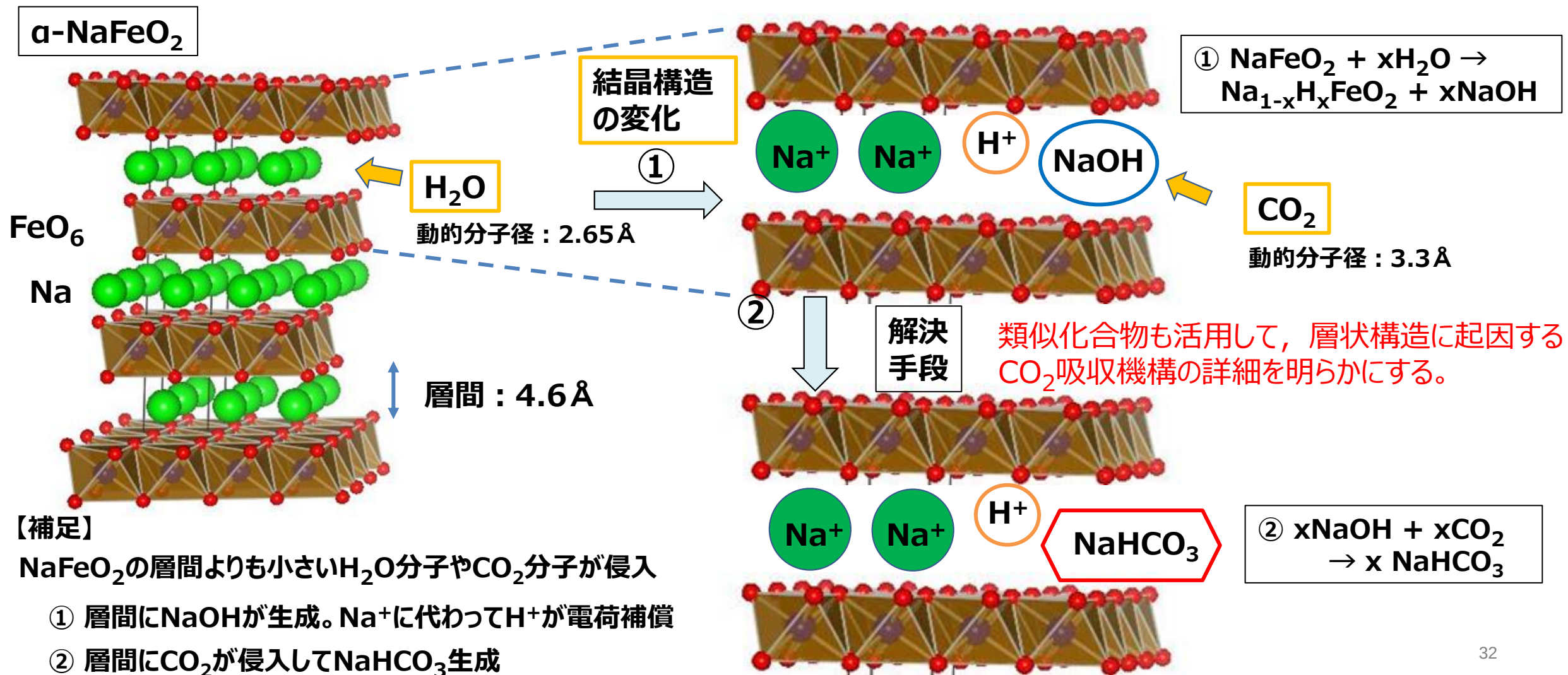
相乗効果

Na-Fe系酸化物の高CO₂吸収容量化によって、本実施技術の汎用性の向上に寄与する。

-参考資料-

① 【研究開発計画3-1】 層状構造が作り出すCO₂吸収機構の解明

【水蒸気利用したNaFeO₂のCO₂吸収機構】



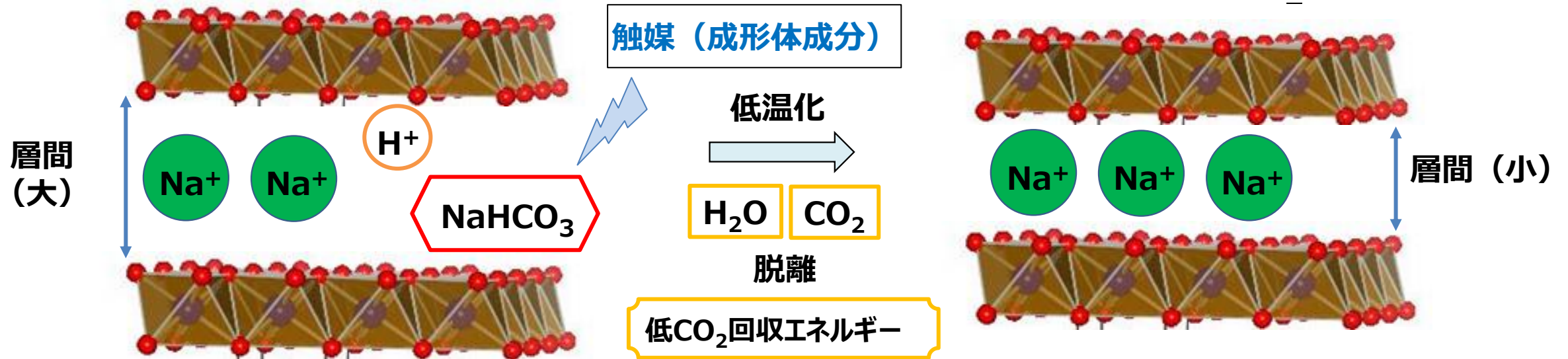
-参考資料-

① 【研究開発計画3-2】 Na炭酸塩の低温分解とCO₂回収エネルギーの低減

NaFeO₂の低温再生機構



CO₂吸収体 $\text{Na}_{1-x}\text{H}_x\text{FeO}_2 \cdot (\text{NaHCO}_3)_x$



解決手段

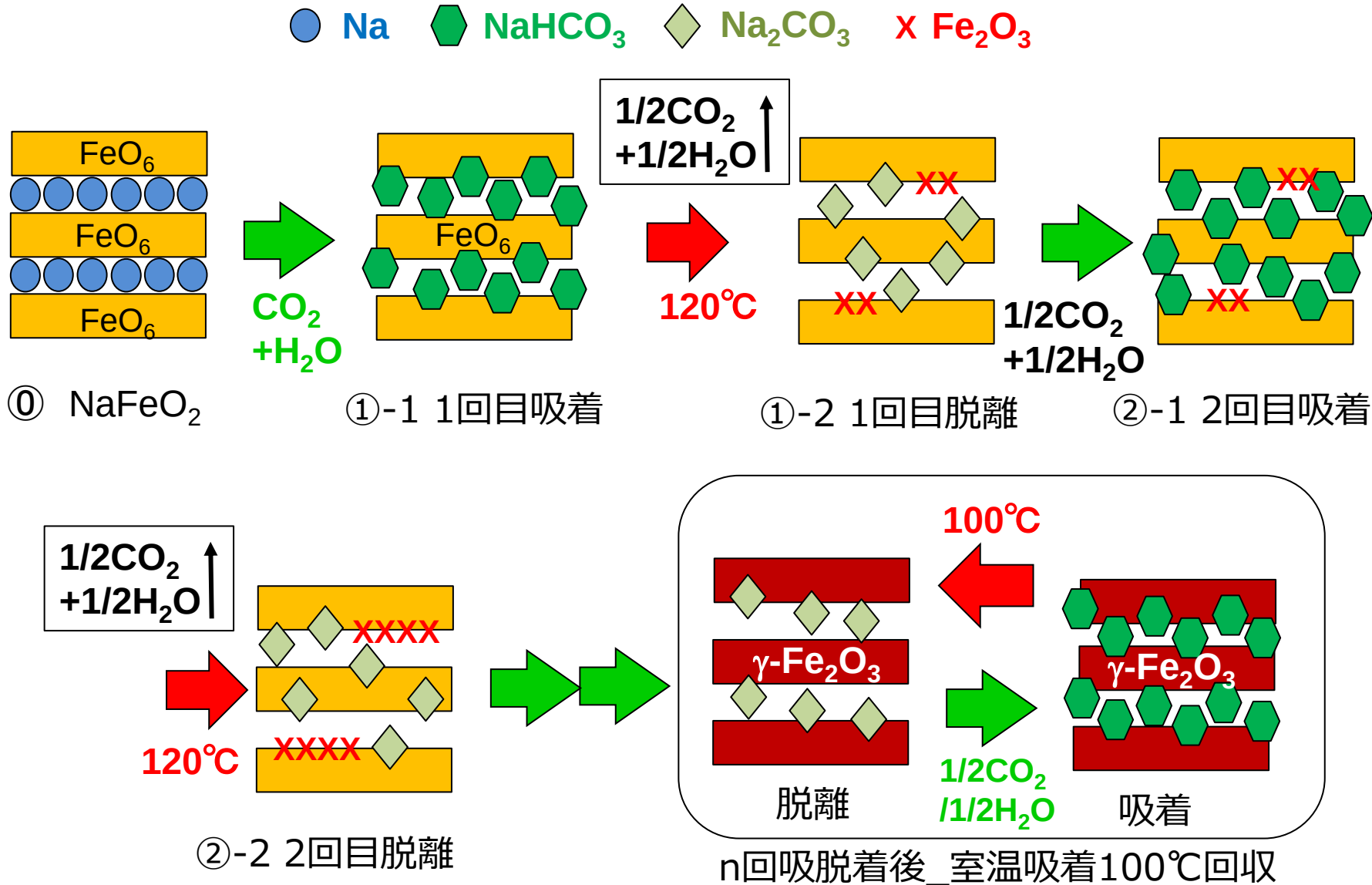
戸田工業製の成形体試料中に含まれる粘土成分による触媒機構を明らかにし、触媒作用を促進することで、Na炭酸塩の熱分解の低温化とCO₂回収エネルギーの低減を図る。

【補足】

- (1) 上記のNaHCO₃を層間に含むCO₂吸収体 ($\text{Na}_{1-x}\text{H}_x\text{FeO}_2 \cdot \text{NaHCO}_3$) が加熱によって熱分解される。
- (2) (1) の際、H⁺が、生成するH₂Oに組み込まれ、Na⁺が層間に戻る[電荷補償]。
- (3) (1)と(2)の結果、CO₂とH₂Oが脱離し、NaFeO₂が再生される。

-参考資料-

① 【研究開発計画3-2】 Na-Fe系酸化物によるCO₂の室温吸収・【低温】脱着イメージ



① NaFeO₂を模式的に示すと、FeO₆層間にNaが二次元的に配列した構造となっている。

① -1; CO₂を接触させるとCO₂をNaHCO₃として、取り込みます。

① -2; 120℃加熱をすると、1/2CO₂と1/2H₂Oを放出して、NaHCO₃はNa₂CO₃になる。また、層内の一部がFe₂O₃に変化する。

② -1; さらにCO₂を接触すると、CO₂とH₂Oを吸収して、NaHCO₃が生成する。

② -2; 120℃加熱をすると、同様に1/2CO₂と1/2H₂Oを放出してNa₂CO₃になり、Fe₂O₃成分が増える。

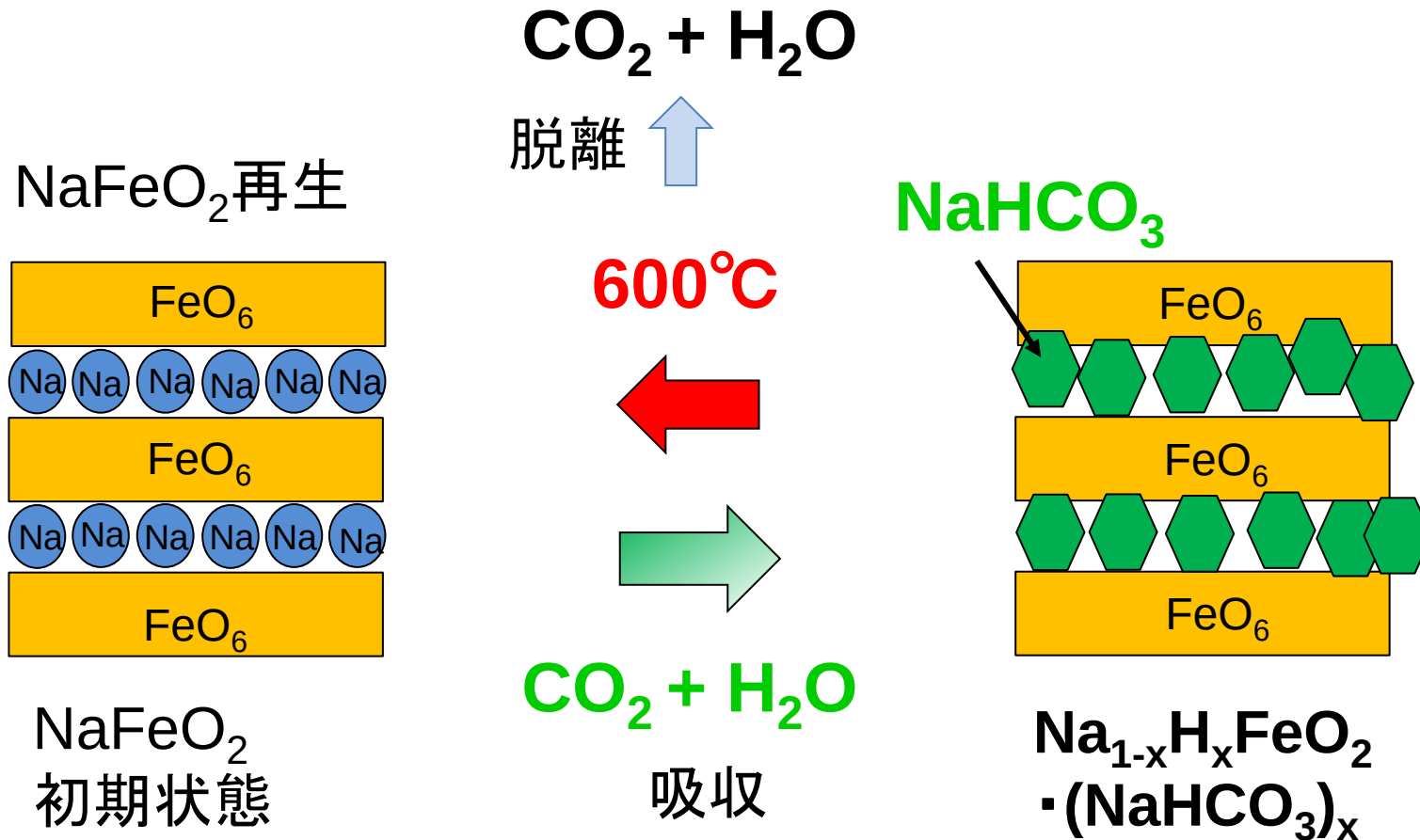
(n回後には、層上のFeO₂は全て、Fe₂O₃に変化し、連続的にCO₂を吸脱着する。この形態になることで、回収量が15wt%程度に増え、回収温度が100℃に下がり、より効率的にCO₂を吸脱着できる。)

-参考資料-

1

【研究開発計画3-2】

Na-Fe系酸化物のCO₂の室温吸収・【高温】脱離イメージ (NaFeO₂完全再生)



①まず、NaFeO₂を模式的に示すと、FeO₆八面体を作る層間にNaが二次元的に配列した構造となっている。(図中左)

②これに、CO₂と1/2H₂Oが接触すると、NaがNaHCO₃となり、系内にCO₂が取り込まれ、CO₂が固定化される。(図中右)

③さらに、600℃の熱をかけると、取り込んでいたCO₂と1/2H₂Oを放出して、NaFeO₂に戻る。

-参考資料-

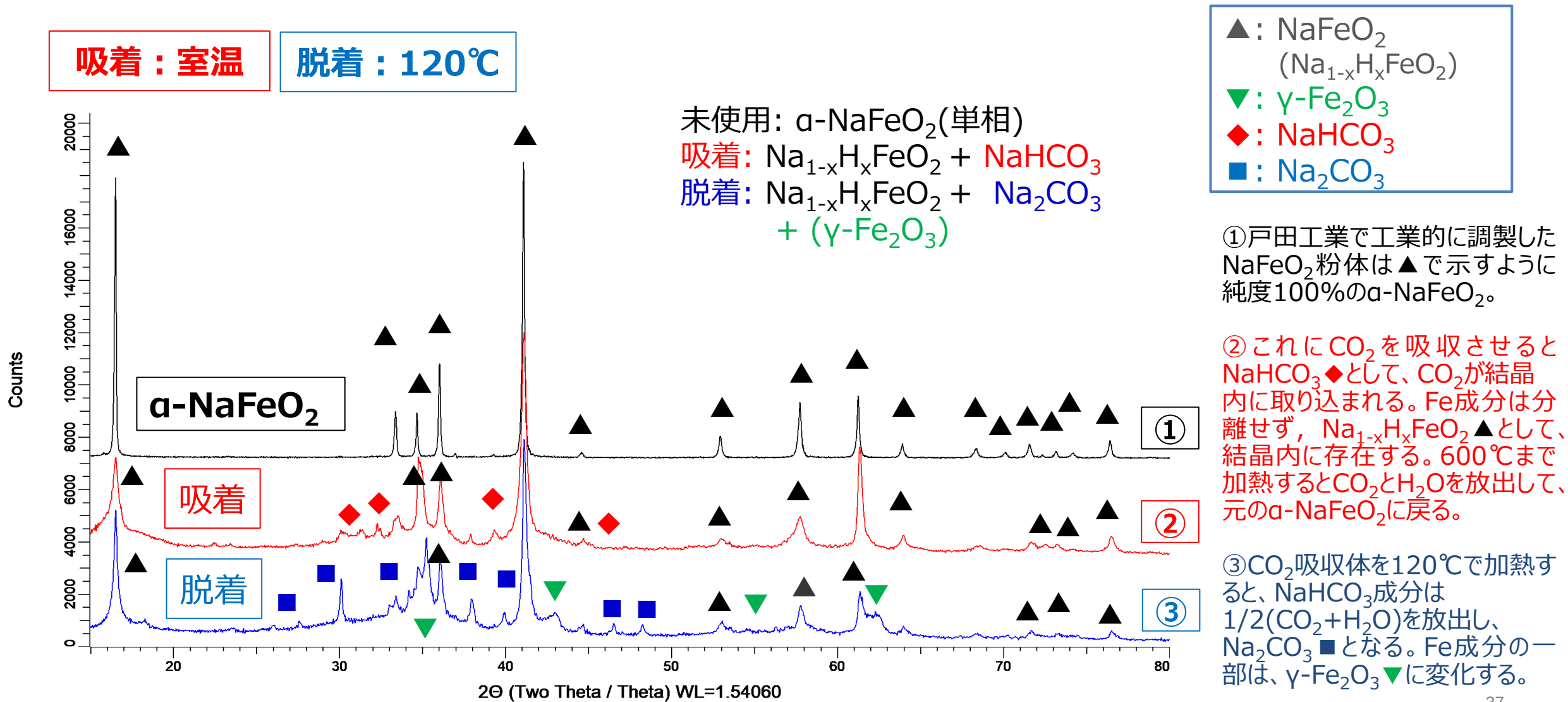
① 【研究開発計画3-2】 Na-Fe系酸化物の低温再生機構の解明

2022年度進捗

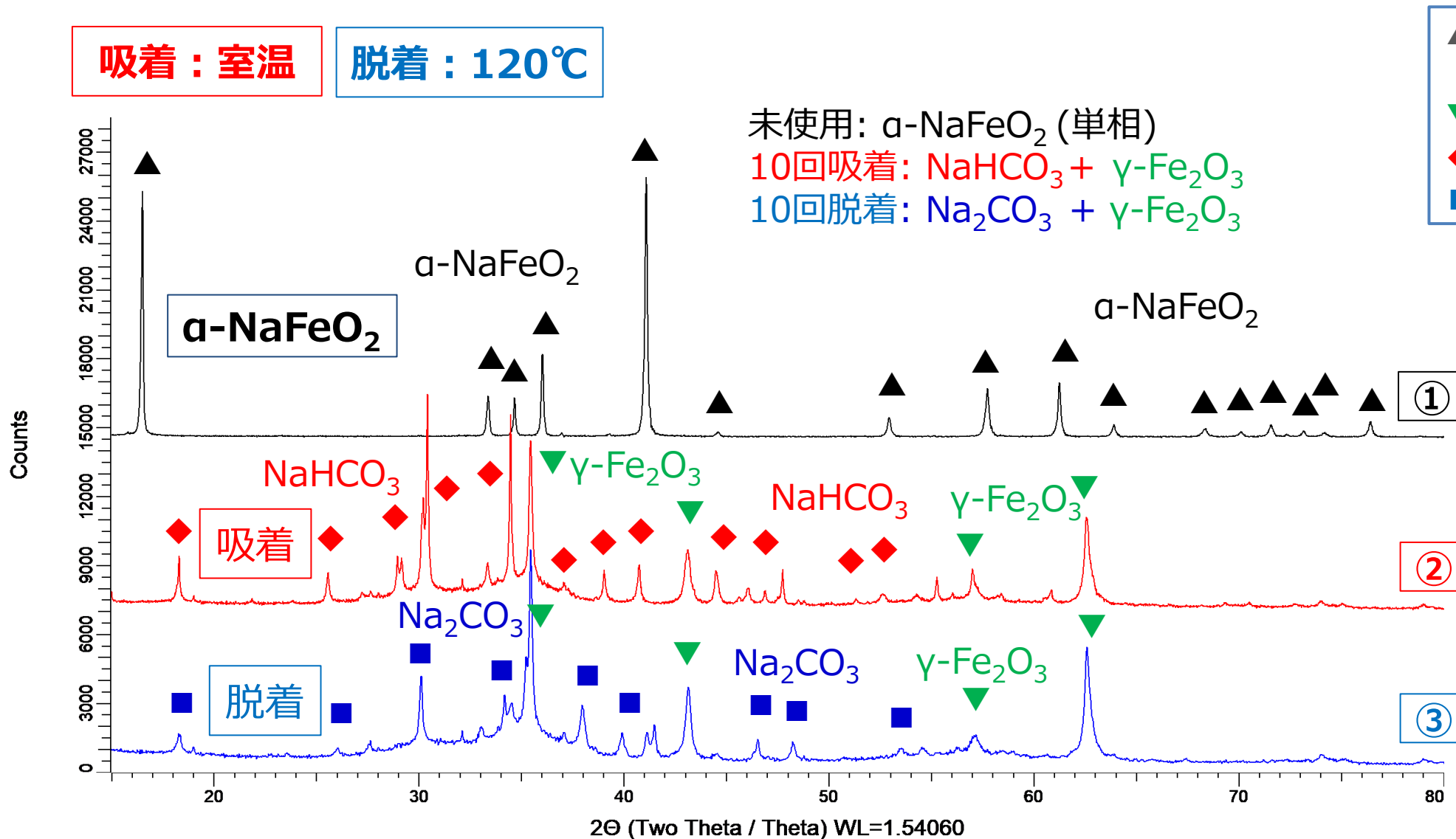
Na-Fe系酸化物の低温再生機構および低エネルギーCO₂回収機構の解明をはかるため、類似の結晶構造をもつ化合物の比較検討を行いながら、Na-Fe系酸化物に対して、様々な条件のもとでCO₂とH₂Oを吸収・脱離させ、それらの定量分析、脱離に伴う吸熱エネルギー、脱離・再生に伴う結晶相変化を調査した。

その結果、低温域ではNa-Fe系酸化物からCO₂とH₂Oが脱離すること、およびそれらの量が吸収条件によって変化することを確認した。また、結晶構造を変えずに組成制御したNa-Fe系酸化物は、従来と同様の結晶相変化を伴ってCO₂吸収を示したが、従来よりも低温域でのCO₂回収に有効であることを見出した。

① 【研究開発計画3-2】 CO₂吸脱着前後のNa-Fe系酸化物XRD試験（1回目）



① 【研究開発計画3-2】 CO₂吸脱着前後のNa-Fe系酸化物XRD試験 (10回目)



① 戸田工業で工業的に調製したNaFeO₂粉体は▲で示すように純度100%のα-NaFeO₂。

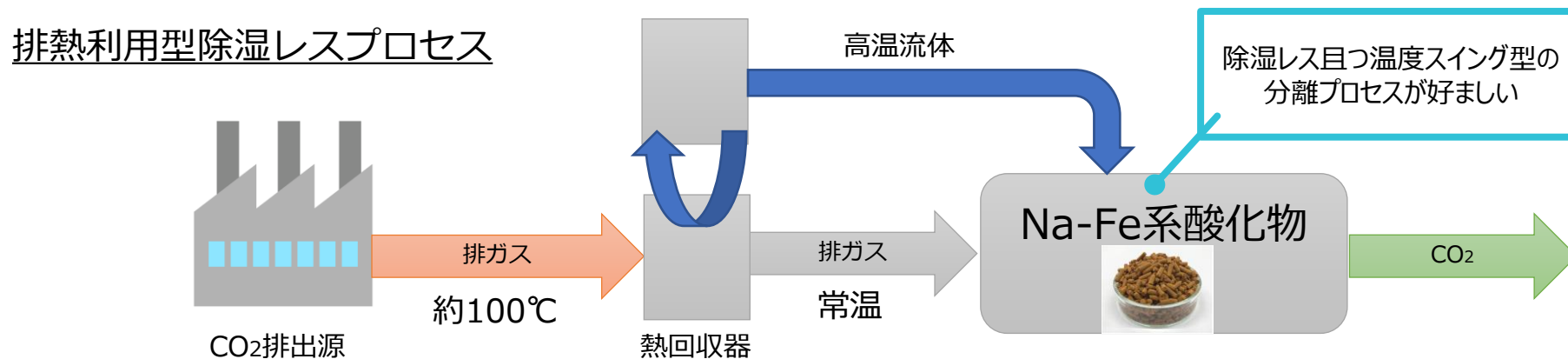
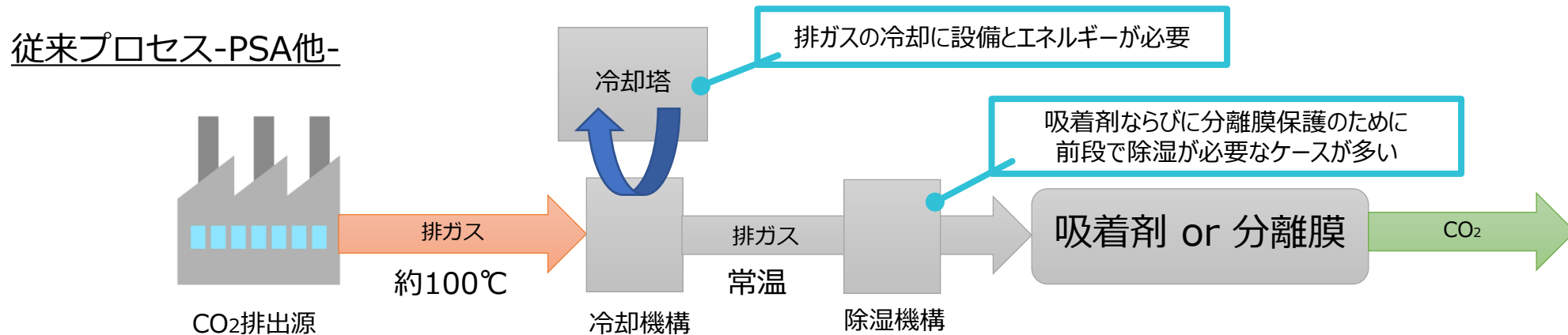
② これに10回CO₂を連続吸脱着させ、CO₂を吸着させたものはNaHCO₃とγ-Fe₂O₃になっており、Na_{1-x}H_xFeO₂は消失。

③ さらに、120℃に加熱するとNaHCO₃成分は1/2(CO₂+H₂O)を放出し、Na₂CO₃とγ-Fe₂O₃になる。

-参考資料-

2 Na-Fe系酸化物を用いた新規CO₂回収プロセスの開発

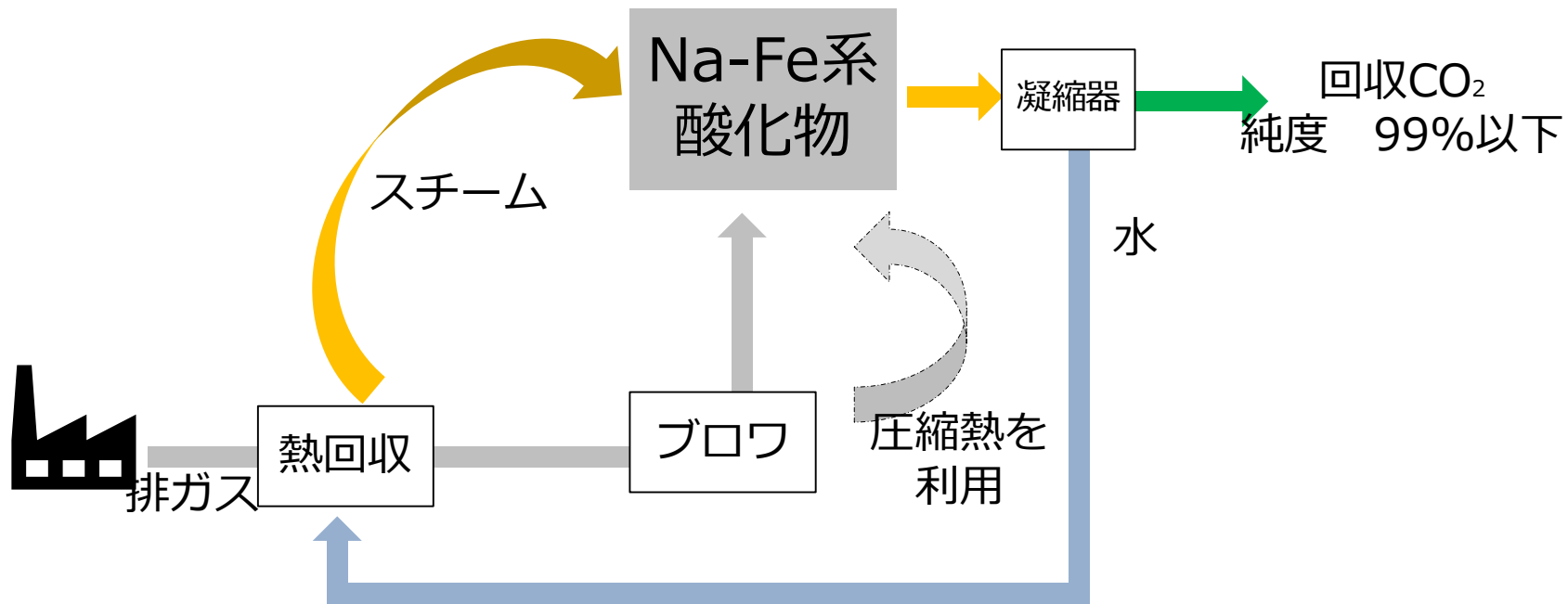
- ・エア・ウォーターでは既存技術を活用し、圧カスイング吸着分離法(PSA)のCO₂分離回収装置の製作実績あり
※環境省「清掃工場から回収した二酸化炭素の資源化による炭素循環モデルの構築実証事業」向け装置他
- ・排ガスの冷却機構ならびに除湿機構が必要となり、エネルギー消費が多いという課題がある



-参考資料-

② Na-Fe系酸化物を用いた新規CO₂回収プロセスの開発

- 回収コスト2,000円台/ton-CO₂以下を達成するため以下3つをコンセプトにプロセス開発を行う
 - i .排ガス排熱、プロセス内熱の最大利用
 - ii .CO₂回収率最大化
 - iii .回収CO₂純度最大化

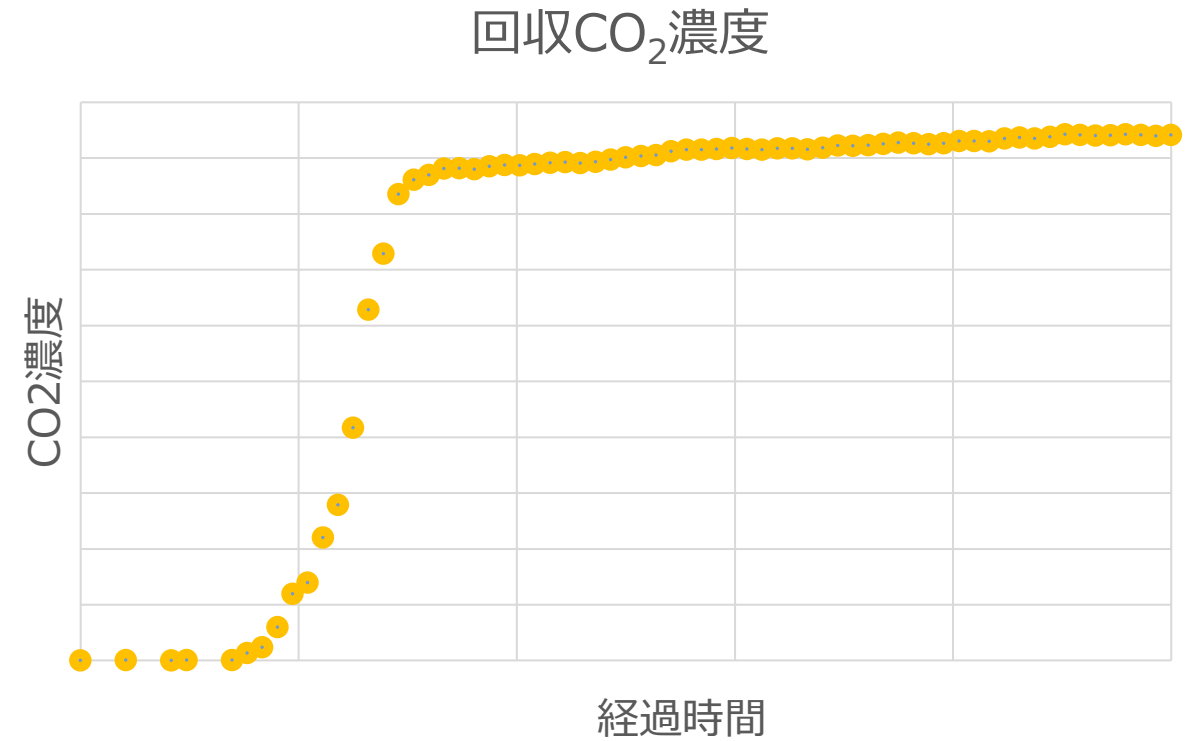
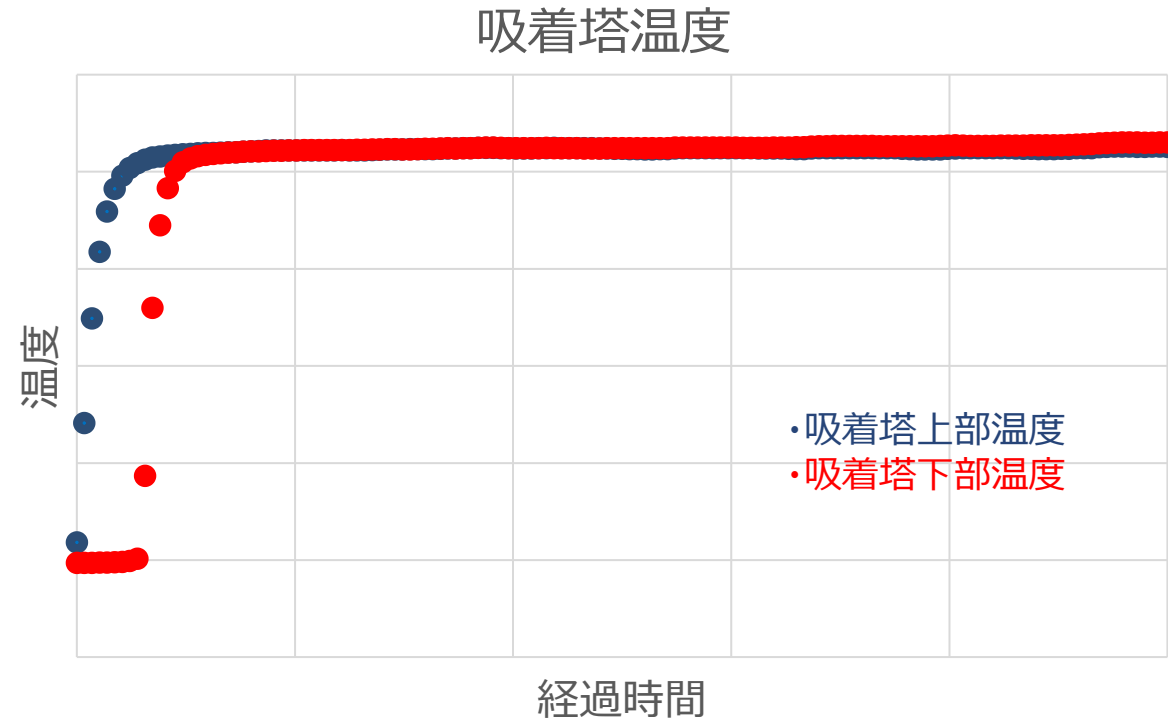


- ◆ 戸田工業(株)の大竹事業所での実証
 - LPG焚きのボイラを使用中。
 - 煙突より排ガスを引き込み、CO₂を回収（回収CO₂量3ton/day）する。

-参考資料-

② Na-Fe系酸化物を用いた新規CO₂回収プロセスの開発

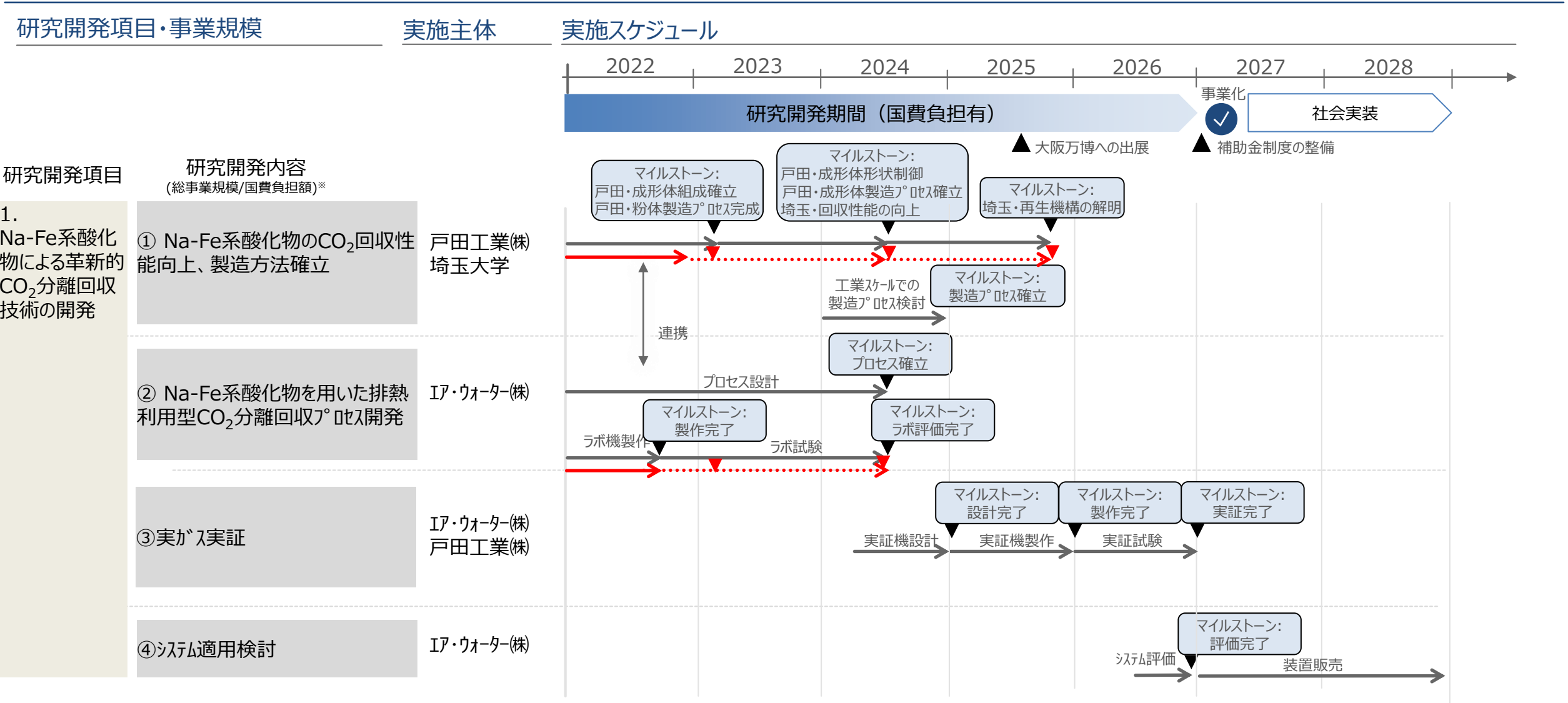
2022年度進捗 小規模試験によるCO₂濃縮の確認



- スチームによるCO₂回収、濃縮を確認した。
- 各種パラメーター調整中。

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

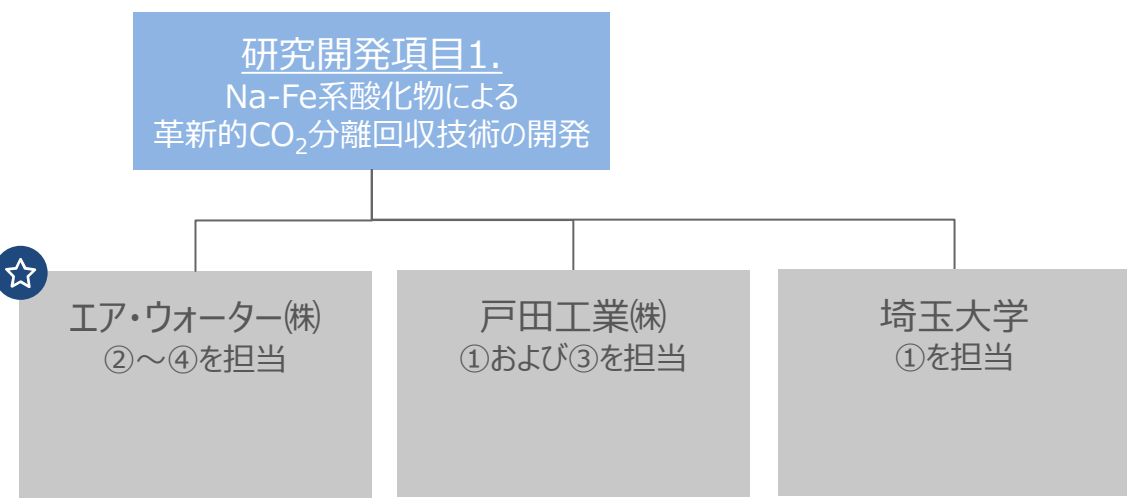


※総事業規模は、実施者の自己負担も含めた総投資額、国費負担額はNEDOからの補助金の額

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 ※金額は、総事業費/国費負担額



☆ 幹事企業

- ・ 事業規模：約17.0億円
- ・ 支援規模*：約14.5億円
- *インセンティブ額を含む。
- 今後ステージゲートでの事業進捗などに応じて変更の可能性あり。
- ・ 補助率など：9／10委託→2／3補助（インセンティブ率10%）

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、①Na-Fe系酸化物のCO₂回収性能向上、製造方法確立のうち、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）

- ・ 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、提案者間で協議する。

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

- ・ 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焚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	- 微粒子酸化鉄製造技術(補足-1) [戸田工業] - Na-Fe系酸化物製造技術(補足-2) [戸田工業] - 回収材(セラミック)製造技術(補足-3) [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(補足-4)[埼玉大学]	→ 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	- 吸着分離技術(補足-5,6) [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(補足-6)[AW]	→ 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	- ガス分離装置のエンジニアリング技術(補足-5) [AW] - ガス分離装置の運転操作経験、ノウハウ(補足-7)[AW]	→ 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	- 炭酸ガス事業から得たCO₂ユーザ要求仕様の把握等(補足-8)[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(補足-9)[AW] - 海外でのガス関連設備販売経験(補足-10)[AW]	→ 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

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

（補足-1）微粒子酸化鉄製造技術[戸田工業]

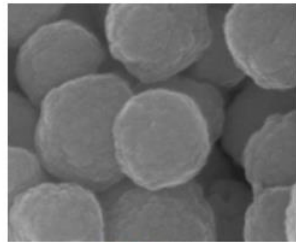
微粒子酸化鉄を顔料、触媒、磁性材料、フェライト原料などに製造・販売中

➡ 粉体設計・粒子設計の重要な特性「組成、形状、寸法、粒度分布、表面性を制御する独自の技術を保有

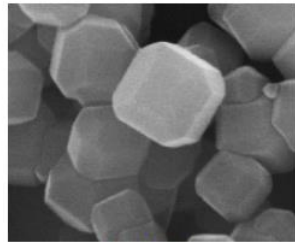
酸化鉄の形状制御技術

粒子設計におけるTSSDSコントロールの中で、「Shape（形状）」のコントロール例を下に示します。

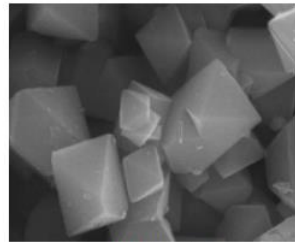
戸田工業では鉄塩水溶液をアルカリで中和することによって種々の酸化鉄を製造しています。このように水溶液中で合成する方法は湿式合成法と呼ばれ、戸田工業のコアコンピタンスのひとつです。求められる機能や特性に合わせて湿式合成の条件を変更することにより、粒子形状を球状、八面体、針状などに制御します。



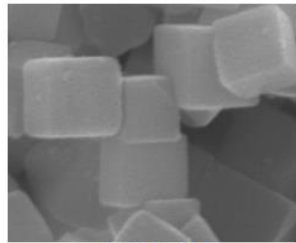
球状(Fe_3O_4)



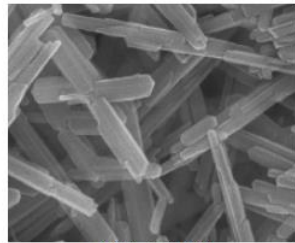
多面体(Fe_3O_4)



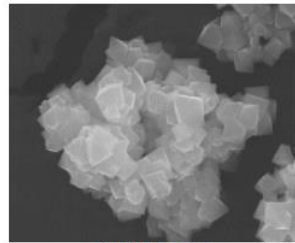
八面体(Fe_3O_4)



六面体(Fe_3O_4)



針状($\alpha\text{-FeOOH}$)

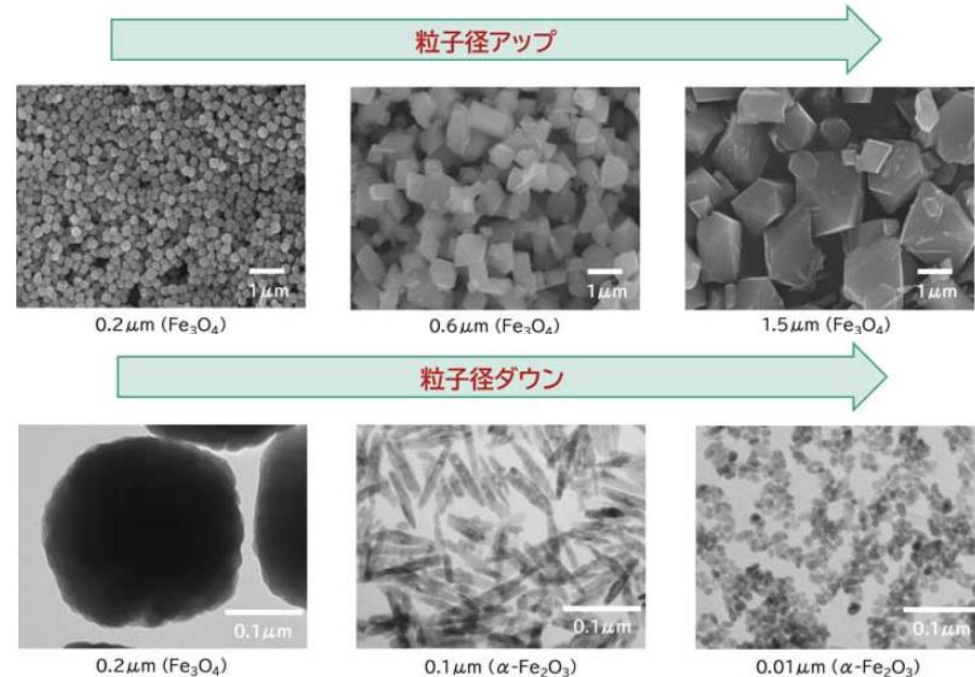


造粒体(Fe_3O_4)

酸化鉄の粒子径制御技術

粒子設計におけるTSSDSコントロールの中で、「Size（寸法）」のコントロール例を下に示します。

コアコンピタンスの湿式合成技術により、粒子径を $0.005\mu\text{m}$ (5nm)～ $1.5\mu\text{m}$ (1500nm)程度の範囲内で制御することが可能です。



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

（補足-2）Na-Fe系酸化物製造技術[戸田工業]

酸化鉄で培った技術を応用し、Na-Fe系酸化物粉末の製造技術を構築、権利化

➡ 公開中：2件、出願中：12件

＜公開特許情報＞

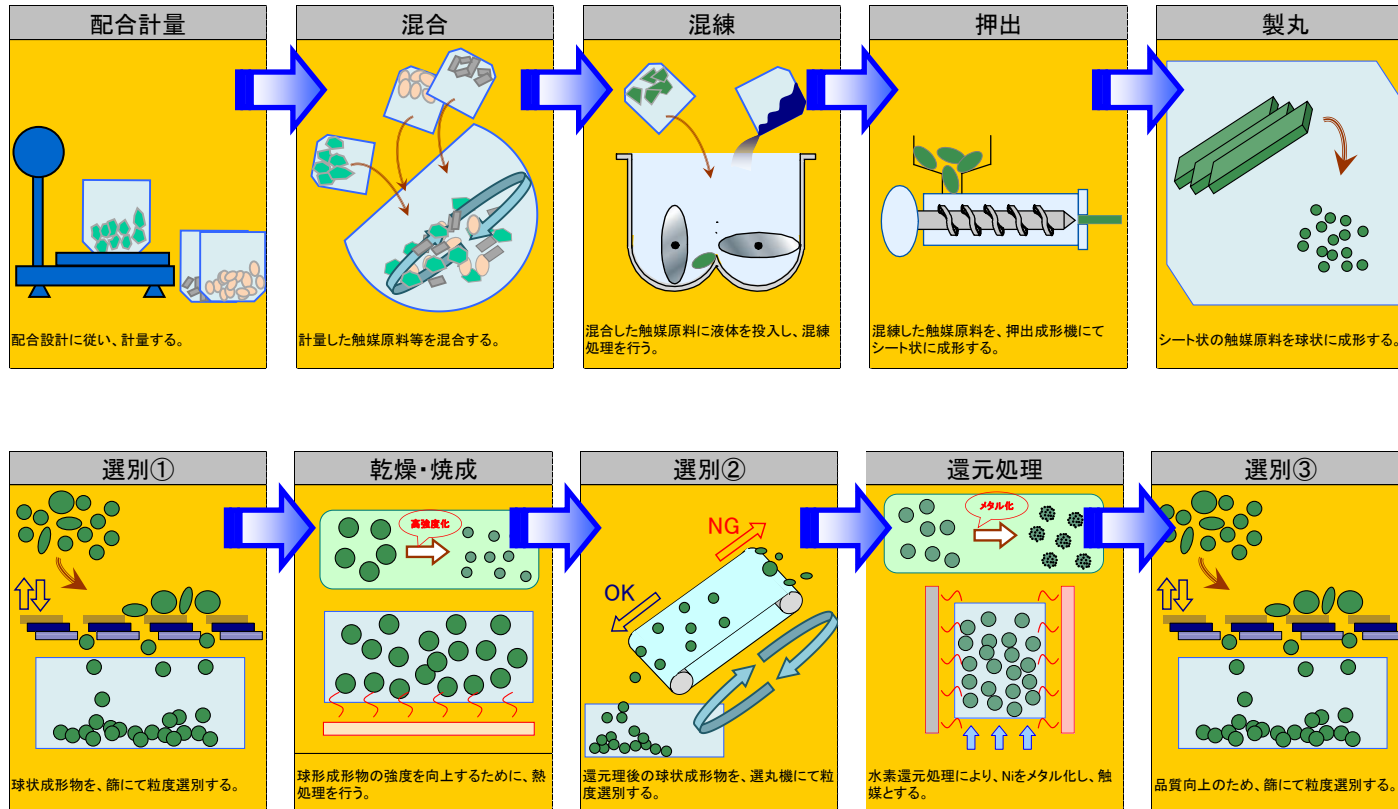
公開番号 (出願日)	発明の名称	特許請求の範囲	出願人（発明者）
WO2021/ 117623 (2020/12/4)	ナトリウムフェライト粒子 粉末及びその製造方法	【請求項1】ケイ素、アルミニウム、チタン、マンガン、コバルト、ニッケル、銅、および、亜鉛からなる金属群より選ばれた少なくとも1種類以上の金属が、酸化物換算として0.05～1重量%含有し、Na/Feのモル比が0.75～1.25であることを特徴とするナトリウムフェライト粒子粉末。 【請求項2】～【請求項4】の内容は省略。	戸田工業株式会社 (坂本宗由, 志茂伸哉, 栗田栄一)
WO2022/ 030338 (2021/7/29)	二酸化炭素固体回収 材及びその製造方法	【請求項1】1～70重量%のナトリウムフェライトと、30～99重量%の多孔質材料とを含む二酸化炭素固体回収材であって、平均粒径が1～10mmであり、比表面積が100～1500m ² /gであり、前記ナトリウムフェライトの一次粒子の平均短軸径に対する平均長軸径の軸比が1～2である二酸化炭素固体回収材。 【請求項2】～【請求項6】の内容は省略。	戸田工業株式会社 (坂本宗由, 志茂伸哉, 栗田栄一)

2. 研究開発計画／（5）技術的優位性

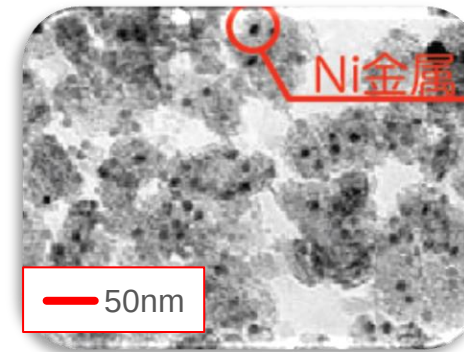
国際的な競争の中においても技術等における優位性を保有

（補足-3）回収材(セラミック)製造技術 [戸田工業]

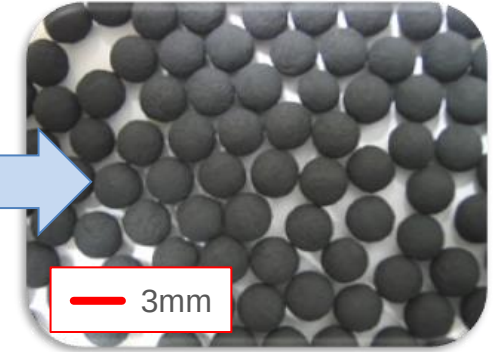
自社の触媒製造技術を応用し、
本事業のベースとなる回収材（セラミック）製造技術を構築



戸田工業製・改質触媒



改質触媒 [粉体]



改質触媒 [成形体]

- ・Niをシングルナノで高分散担持した高性能改質触媒
➡ 自社で最終製品（成形体）まで加工・販売
- ・特許：20件登録済み
- ・文献：
燃料電池用新規ニッケル系改質触媒の開発
高橋真司、他4名 粉体及び粉末冶金58(2)141-143
2011-2-15

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

（補足-4）当該研究開発に関連する最近5年間の成果：論文リスト[埼玉大学]

発行年	主な著者 1	著者 2	著者 3	表題	論文雑誌名	巻 (Vol.)	備考
2021	Ikuo Yanase	Kohei.Hayashizaki	Hiroaki Takeda	Novel application of Tb-substituted layered double hydroxides to capturing and photoluminescence detecting CO ₂ gas at ambient temperature	Inorganic Chemistry Communications	125	水蒸気吸着を利用した、層状化合物のCO ₂ 吸着に関する査読論文
2019	Ikuo Yanase	Satoshi Konno		Photoluminescence of Zn ₅ (CO ₃) ₂ (OH) ₆ nanoparticles synthesized by utilizing CO ₂ and ZnO water slurry	Journal of Luminescence	213	水とCO ₂ を利用した塩基性炭酸塩の生成に関する査読論文
2019	Ikuo Yanase	Takuya Takano		CO ₂ capture and release of Na _{0.7} MnO ₂ ·0.05 under water vapor at 25–150 °C	Inorganic Chemistry Communications	104	NaMn層状化合物のCO ₂ 吸収と低温再生に関する査読論文
2019	Ikuo Yanase	Shuhei Onozawa	Yuri Ohashi	CO ₂ capture from ambient air by β-NaFeO ₂ in the presence of water vapor at 25–100 °C	Powder Technology	348	β型NaFeO ₂ のCO ₂ 吸収と再生に関する査読論文
2019	Ikuo Yanase	Kento Sato	Yu Midorikawa	CO ₂ absorption properties of lithium sodium orthosilicate in the presence of water vapor at room temperature	Materials Letters	238	水蒸気を利用したNaLiシリケートのCO ₂ 吸収に関する査読論文
2019	Ikuo Yanase	Yuta Horiuchi	Hidehiko Kobayashi	Photoluminescence changes of Tb-substituted layered double hydroxides caused by capturing carbonate ions in water	Materials Research Bulletin	110	層状構造化合物による水中の中で、炭酸イオン吸着に関する査読論文
2018	Ikuo Yanase	Satoshi Konno	Hidehiko Kobayashi	Reversible CO ₂ capture by ZnO slurry leading to formation of fine ZnO particles	Advanced Powder Technology	29	水を利用したZnOのCO ₂ 吸収に関する査読論文
2018	Ikuo Yanase	Kento Sato	Toshiyuki Naka	CO ₂ absorption property of Li ₄ SiO ₄ in the presence of water vapor at room temperature	Chemical Engineering Journal	356	pp.81-90 リチウムシリケートの水蒸気中での室温CO ₂ に関する査読論文
2018	Ikuo Yanase	Kensuke Suzuki	Taisei Ueda	Synthesis of W-substituted CeO ₂ powder and its CO ₂ adsorption under a CO ₂ atmosphere	Materials Letters	228	金属酸化物表面へのCO ₂ 吸着に及ぼす水蒸気の影響に関する査読論文
2018	Ikuo Yanase	Shuhei Onozawa	Kohei Ogasawara	A novel application of α- and β-sodium ferrite as a CO ₂ -capturing solid in air with water vapor	Journal of CO ₂ Utilization	24	水蒸気を利用したNaFeO ₂ のCO ₂ 吸収に関する研究の先駆けとなる査読論文

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

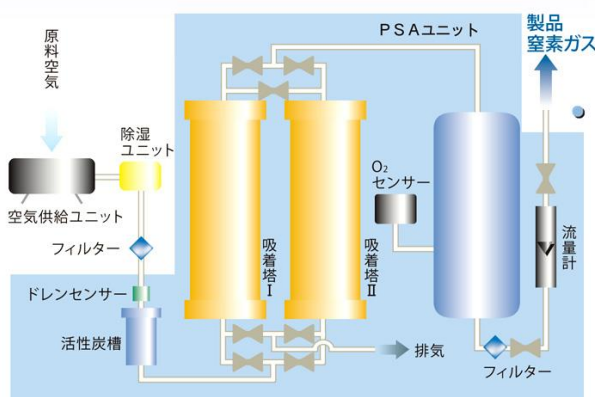
（補足-5）吸着分離技術、ガス分離装置の運転操作経験、パッケージ化ノウハウ[エア・ウォーター]

エア・ウォーターのグループ会社において、吸着分離型N₂発生装置（N₂PSA）や医療用酸素濃縮器など、パッケージ型の吸着分離装置を製造・販売。

■ N₂発生装置(N₂PSA)

- ・空気を原料に高濃度のN₂ガスを発生させる装置
- ・業界シェアNo.1 ※N₂発生量21Nm³/h以上クラス、出典:ガスジオラマ2021
- ・累計出荷台数 約3,800台

自社開発の
特殊吸着剤を搭載



■ 医療用酸素濃縮器

- ・空気を原料に高濃度のO₂ガスを発生させる装置
- ・安全、信頼性が求められる医療用のガス分離装置



5L/min型
医療用酸素濃縮器

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

（補足-6）吸着分離技術、省エネプロセス開発技術[エア・ウォーター]

- ・吸着剤を用いたCO₂分離回収技術に関連する複数件の特許を出願。下記以外にも3件の関連特許を出願済み。

関連特許(抜粋)

出願年	出願番号	登録番号	発明名称
1996年10月	1996-267570	3816594	ガス精製方法およびそれに用いる装置
2001年3月	2001-184326	3571672	燃焼排ガス中の炭酸ガスを濃縮する方法
2002年8月	2002-239800	3830872	混合ガス分離装置
2004年2月	2004-43365	3841792	空気分離装置における前処理方法およびそれに用いる装置
2016年9月	2016-182590	6826850	排ガス処理装置、ゴミ焼却施設および排ガス処理方法
2019年1月	2019-13754	(審査中)	容器内の加熱構造および温度スイング吸着装置
2019年12月	2019-224324	(審査中)	二酸化炭素回収装置および方法

- ・CO₂分離回収に関わる各種セミナーで講演

発表年月	主催者	セミナー名	発表タイトル
2018年4月	Global CCS Institute	第24回勉強会	炭酸ガス製造の現状と室蘭でのCO ₂ 回収事例の紹介
2018年4月	(株)技術情報センター	CO ₂ 分離回収の技術/研究開発と適用動向セミナー	炭酸ガス製造の現状とユーザー側からみた炭酸ガス回収設備
2021年6月	(株)技術情報センター	CO ₂ 分離回収技術と事業・開発・適用動向 ～CCS・CO ₂ -EORを含めた～	炭酸ガス製造の現状とCO ₂ 分離回収に関する取り組み

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

（補足-7）ガス分離技術[エア・ウォーター]

高効率小型液化窒素・窒素製造装置「VSU」を全国20ヶ所に配備し、地産地消型の産業ガスビジネスを展開。
安定供給と環境貢献を同時に実現。

- ・小型のプラントで、高効率なガス生産を実現
- ・需要近郊での生産による安定供給
- ・輸送距離の大幅削減による物流合理化・環境改善効果
- ・災害に強い供給ネットワークの実現

※ビジネスモデルが2009年資源エネルギー庁長官賞を受賞

VSU設置場所

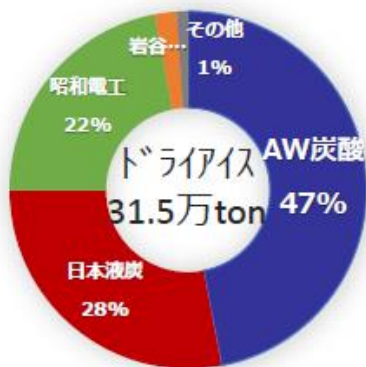


2. 研究開発計画／（5）技術的優位性

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

（補足-8）国内炭酸ガス事業[エア・ウォーター]

炭酸ガス製造拠点を全国7ヶ所に展開。ドライアイスについては国内シェア 47%。
炭酸ガスユーザを既に保有しており、ユーザの要求仕様などの情報を保有している。



ドライアイス販売シェア
出典：ガスシオラマ2021

エア・ウォーターの炭酸ガス製造拠点



エア・ウォーター炭酸
山陽小野田工場
液300t ドライ90t

エア・ウォーター炭酸
大阪工場
液600t ドライ200t

エア・ウォーター炭酸
大牟田工場
液100t ドライ60t

共同炭酸
ドライ80t

エア・ウォーター
鹿島工場
液130t

近畿炭酸(株)

昭和四日市石油(株)

エア・ウォーター炭酸
川崎工場
液330t ドライ150t

エア・ウォーター炭酸
室蘭工場
液120t

エア・ウォーター炭酸
市原工場
液720t ドライ300t



◎ 自社工場
● 協力工場
● エア・ウォーター炭酸の営業拠点
■ エア・ウォーターの地域事業会社

液00t ドライ00t
液化炭酸ガスとドライアイスの
1日当たりの生産能力

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

（補足-9）遠隔監視・支援システム[エア・ウォーター]

全国各地に設置する約200基以上の産業ガス製造プラントを一元的に集中監視するシステムを2016年に産業ガス製造プラントとして国内初稼働。同年にプレスリリース済み。

当社遠隔監視・支援センターの機能・役割

- ①24時間体制でのガス製造管理の集約化を実現
- ②プラントの運転状況を確認し、計画的メンテナンスを実現
- ③品質保証体制の強化
- ④的確な営業提案を可能とするガス供給量、設備データの蓄積
- ⑤メンテナンス部門における緊急対応力強化



AIR WATER INC.

NEWS RELEASE

2016年3月25日

エア・ウォーター株式会社
 (証券コード 4088)
 東証一部・札証

国内初となる産業ガス製造プラントの遠隔監視・支援システム稼働について

当社は、全国各地に設置する約230基ある産業ガス製造プラントを一元的に集中監視するシステムを開発し、本年4月より大阪府堺市にて運用を開始いたします。こうした全国規模かつ、24時間体制でのプラントの運転状況や製品品質を一元的に遠隔監視するシステムの導入は、国内初の取り組みとなります。

これにより当社のガス供給は、緊急時においてもより迅速な支援体制が構築され、これまで培ってきたプラントの技術力、ガス供給のバックアップの機動力と相まって、極めて高い水準の安定供給体制が整うこととなりました。

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

（補足-10）海外エンジニアリング体制[エア・ウォーター]

海外に事業拠点を展開しており、その中でも北米を中心にガス関連設備の製造拠点を有している。



【米国】

- ・Air Water America社 : 米国のグループ会社を統括
- ・AW-AMCS社 : 北米エリアにおいて、深冷空気分離装置(ASU)をはじめとする産業ガス関連プラントのEPC事業を展開
- ・TOMCO2 SYSTEMS COMPANY社 : 炭酸ガス関連設備の製造・販売ならびにメンテナンスを提供
- ・Taylor-Wharton America社 : 輸送用低温機器を製造・販売

【マレーシア】

- ・Taylor-Wharton Malaysia Sdn.Bhd社 : 貯槽用の低温容器を製造

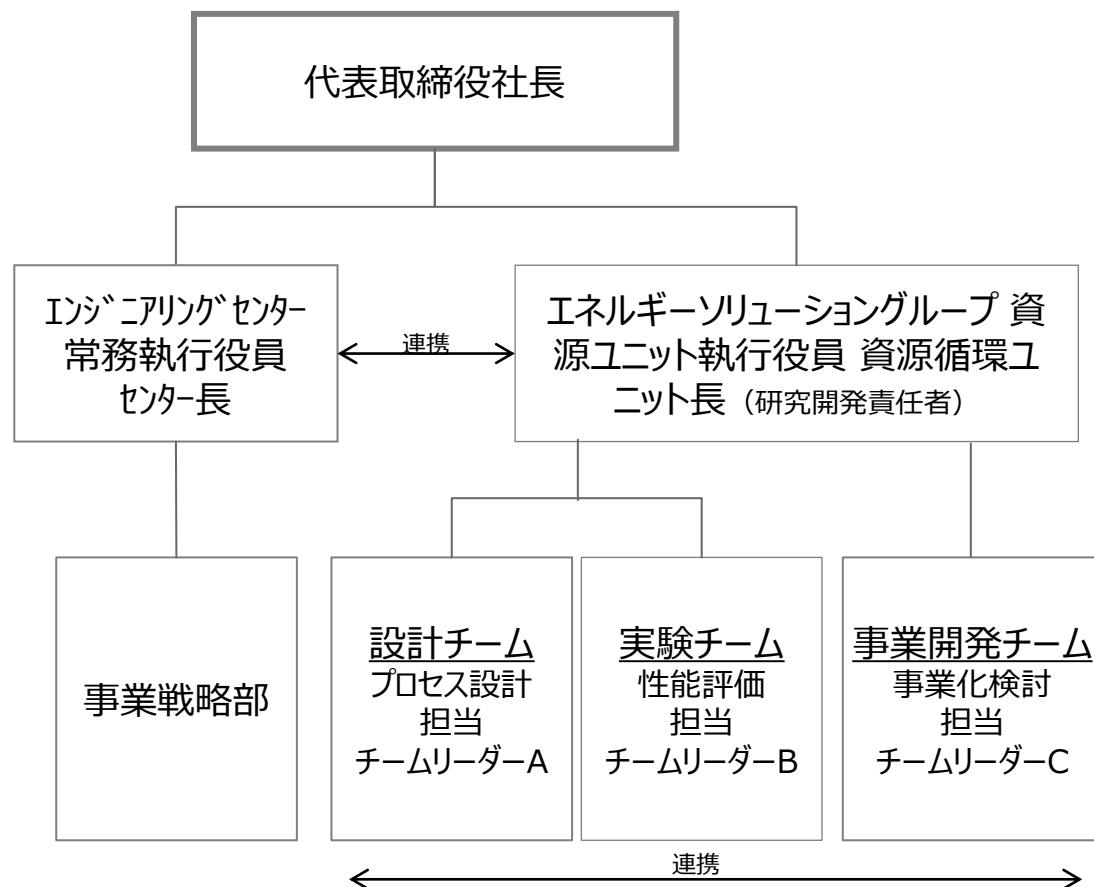
3-1. エア・ウォーター株式会社 イノベーション推進体制



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

研究開発責任者と担当部署

- 研究開発責任者
 - エネルギーソリューショングループ 資源ユニット執行役員 資源循環ユニット長
：プロジェクトの全体統括
- 担当チーム
 - 設計チーム：プロセス設計を担当（併任3人規模）
 - 実験チーム：性能評価試験を担当（併任3人規模）
 - 事業開発チーム：事業化検討を担当（併任3人規模）
 - エンジニアリングセンター：エンジニアリング部門を統括し、生産体制やメンテナンス体制の構築等を担当（併任2人規模）
- チームリーダー
 - リーダーA：CO₂分離回収プロセスの開発等の実績
 - リーダーB：各種ガス分離装置の開発ならびにその性能評価等の実績
 - リーダーC：協業スキーム構築等の実績

部門間の連携方法

- 毎月、事業推進会議を開催し、各部門での進捗状況の共有ならびに取組み方針の協議を行う。
- 代表取締役社長への進捗報告も毎月実施する。

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

経営者等による新規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
 - 2021年度統合報告書において、CO₂分離回収事業を含む事業ビジョンを社内外に発信しています。
 <抜粋>
 経済価値と同様に社会価値も重視するサステナブル経営を推進することが重要です。「グリーンエネルギー」の領域では当社のビジネスモデルやノウハウを掛け合わせ、地産地消による脱炭素ソリューションを提供していきます。
 - 2021年4月より、全社の重点プロジェクトとしてCO₂回収事業化プロジェクトを推進しており、経営者による定期的なモニタリングを実施しています。2021年全社経営会議においても、CO₂回収・利用事業を「地球環境」分野のメイン事業と位置付けております。
 - 産業ガスメーカー及び炭酸ガスメーカーである当社にとって、長く培ってきた強みのある技術を活用可能な事業領域であり、社内外の幅広いステークホルダーに対しても、当社のCO₂分離回収事業への取組みを広く発信して参ります。
- 事業のモニタリング・管理
 - 年3回（7月、10月、12月）開催された全社技術連絡会・全社技術発表会にて、経営陣にプロジェクトの進捗を報告済。引き続き開発チームと直接コミュニケーションを実施、適宜軌道修正を行って参ります。

評価・報酬への反映

- 担当役員、担当管理職のKPIに設定
 - 本提案事業の担当役員、担当管理職は、本事業の目標成果をKPIとして設定します。その成果が業績評価・報酬に反映されます。

事業の継続性確保の取組

- 中期経営計画への織り込み
 - CO₂分離回収事業を中期経営計画および2030年に向けた事業イノベーションの中核と位置付けております。また、当社は産業ガスメーカー及び炭酸ガスメーカーであり、本提案事業と既存主要事業との親和性は非常に高いことから、経営層が交代する場合にも本提案事業は継続されることが明確です。

経営戦略の中核において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

- 中期計画への織り込み
 - 当社では、気候変動や高齢化社会など様々な社会課題を解決する事業を創造していくことでサステナブル社会に貢献していく方針を打ち出しております。研究開発においては、「地球環境」と「ウェルネス」という2軸を設定し、それぞれの社会課題解決につながる技術開発を推進しております。
 - 2025年に向けた中期計画においても、CO₂分離回収事業以外に以下に挙げるカーボンニュートラル事業への構造転換を掲げております。
- 開発中案件
 - 家畜ふん尿を原料とするバイオメタン製造技術開発
 - 未利用バイオマス資源を利用したガス化発電設備の実証事業
 - 食物残渣を有効活用するバイオコークス事業
 - 環境負荷の少ない水素製造技術の開発
- 事業戦略・事業計画の決議・変更
 - 代表取締役を含む経営者へ事業内容の報告を行いました（7/8、12/13）。
 - 担当役員と密に協議を行い、開発スケジュールの再検討や標準化戦略の立案を行いました。

ステークホルダーとの対話、情報開示

- 情報開示の方法
 - 9月実施の経営会議にて新規中期経営計画を発表した。重点テーマの一つとしてCO₂分離回収技術の開発を掲げています。
 - 本提案事業について、共同実施者と合同プレスリリースを実施しています（7月）。
 - 2022年統合報告書にて新事業創出に向けた技術開発の一つとしてCO₂回収・利活用を掲げています。また脱炭素社会・資源循環型社会の実現に貢献する技術開発と位置付けて小型CO₂回収・利活用装置「Re CO₂ STATION」を報告しています。2023年度に発行する統合報告書にはグリーンイノベーション基金事業に参画していることを明記します。
- ステークホルダーへの説明
 - 決算発表や中期経営計画、投資家への経営方針発表会などの場を活用して、定期的に本提案事業の進捗に関しても説明していく方針です。

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

- 実施体制の柔軟性の確保
 - 2022年4月の組織再編に際し、多様な事業領域の成長軸として定めた「地球環境」と「ウェルネス」の事業領域を管掌する2名の取締役と、今後の成長を担うグローバル事業・エンジニアリング事業を担当する代表取締役1名を選任しました。
 - 既設CO₂回収事業化プロジェクトはグループテクノロジーセンターにおける重点プロジェクトとしてグループ内に発信しており、プロジェクトリーダーの権限で機動的な開発を実践できる体制を構築しております。
 - 既存顧客へのヒアリングを行い、CO₂回収ニーズの明確化行っています。
- 人材・設備・資金の投入方針
 - 世界的な半導体不足による購入品の納期遅れが発生しましたが、全体の開発スケジュールに影響を及ぼさないように開発人員を強化し、開発スピードを向上させる方針としました。

専門部署の設置と人材育成

- 専門部署の設置
 - 2021年4月に、当社の研究開発組織であるグループテクノロジーセンター内に機動的な意思決定を可能とする、CO₂回収事業化プロジェクトを設置済みです。当該プロジェクトの体制ならびに機能を拡張し、本提案事業も推進して参ります。
- 若手人材の育成
 - 本提案事業は、若手人材を中心とした開発チーム編成を企図しております。これまでの事業スタイルに縛られずにカーボンニュートラル社会に向けた事業変革をリードする人材を、本提案事業で育成して参ります。
 - 当社では以前から大学等との共同研究を積極的に行っております。インターンシップ制度も整備し、今後さらに若手研究者との交流も図る方針であります。
 - 標準化戦略の協議には、若手も参加させ、早期から「社会実装踏まえた技術開発」を推進できる人材を育成へ取り組みました。

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
 - 装置設計の見直し
 - 他回収材適用の検討
- 目標回収コストからの大幅な乖離
 - 対象排ガスの変更
- 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

- 鋼材等の原料高騰のリスク
 - 多元的な購入先の確保（BCP対策）
- 製作費高騰のリスク
 - 販売価格、CO₂回収コストに添加
- 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
- 工場増設に対する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
 - 技術の継承準備
- 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分離回収技術が出現して、Na-Fe系酸化物を用いたCO₂分離回収システム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、本事業に資金投資できない状況となった。