

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（案）

令和 3 年○月○日

経済産業省

産業技術環境局

資源エネルギー庁

目次

1. 背景・目的.....	3
2. 目標.....	100
3. 研究開発項目と社会実装に向けた支援.....	13
4. 実施スケジュール.....	17
5. 予算.....	20

1. 背景・目的

- CO₂ 分離回収技術の重要性と課題解決の方向性

- 電力部門の脱炭素化に向けては、再生可能エネルギーを最大限導入する方向性であるが、国内の電力需要をカバーするためには、電力の安定供給とレジリエンス対策（供給力、調整力、慣性力）の観点から火力発電を一定容量確保し、排出される CO₂ を回収する必要がある。
- さらに、欧州委員会が準備中の「EU タクソミー」規制において、一定の条件（ライフサイクル全体での排出量が kWh 当たりで 100 グラム(CO₂ 換算)未満)を満たすガス火力発電所を、「持続可能な投資」に分類することを検討中。これを満たすためには、ガス火力発電所に CO₂ 分離回収システムを装備する必要があるが、こうした欧州での規制は、CO₂ 排出の国境調整などの議論を通じて、世界に類似の規制をもたらす可能性があり、CO₂ 分離回収技術の必要性は今後も高まっていくと考えられる。
- 産業部門の脱炭素化に向けては、電化や水素等への燃料転換が進展するが、コストの影響等により、化石燃料需要は一定程度残存すると予想される¹。また、セメント、製鉄、化学等の産業部門では原料由来の CO₂ 排出が避けられない（IEA が公開した 2050 年ネットゼロシナリオ（NZE）においても、一定程度の CO₂ 排出が避けられないとされている）。
- さらに、海外、特に欧州各国において、脱炭素化にむけた取組が加速しており、炭素国境調整（CBA）等の議論もある中で、我が国の産業競争力を維持するためには、産業分野から排出される CO₂ を着実に回収して脱炭素化を目指す必要がある。
- また、CO₂ を水素と合成することにより燃料、化学品を製造する等のカーボンリサイクル／CCUS においても、CO₂ 分離回収技術は、共通基盤のコア技術として位置づけられている。
- 以上のように、電力部門・産業部門の双方において CO₂ 分離回収技術の必要性が高まっている一方で、①分離回収のために多くのエネルギー投入が必要、②設備コスト・回収素材コスト等が高い、といった課題が存在。海外では、税控除や補助金等の政策サポートによりその導入が支援される例²があるが、本格的な社会普及・市場形成には、CO₂ 分離回収の低コスト化・低エネルギー化に繋がる技術開発や社会制度整備により、費用対効果の高い分野・需要家から段階的に分離回収技術を導入していくことが必要となる。
- CO₂ 分離回収の低コスト化・低エネルギー化には、CO₂ 回収効率を飛躍的に向上させる素材等の開発、カーボンリサイクル／CCUS までを包含した全体システムの開発が必要となるが、利用形態に応じて排ガス特性（圧力、濃度、含まれる夾雑物の種類と量、等）は様々であ

¹ 2050 年カーボンニュートラルに伴う グリーン成長戦略(<https://www.meti.go.jp/press/2021/06/20210618005/20210618005-4.pdf>)。特に、電力需要が急拡大するアジアでは、火力発電が残ると想定。

² 例えば米国には CO₂ 分離・回収について税控除の制度がある（セクション 45Q 税控除）。

ることから、一定の分類の下に、最適な素材・プロセス等を開発することが求められる。

- 既に、EOR（原油促進回収法）³に用いられる CO₂ 分離回収技術は既に実用化され、米国等において商用プラントが稼働している他、国内でも、石炭火力発電や製鉄プロセス等における CO₂ 分離回収技術の開発・実証が進められている。今後は、より低圧・低濃度の排ガスへの対応が進展していくことが見込まれ、具体的には、ガス火力発電、工業炉等の産業プロセス等、CO₂ 濃度が 10%以下の領域が対象になりうる⁴。なお、回収された CO₂を燃料・化学品・コンクリート等に活用する技術も並行して開発が進められていき、分離回収技術と組み合わせられて、ビジネスモデルが構築される見通し⁵。
- 本プロジェクトでは、世界に先駆けて、CO₂ 濃度 10%以下の低圧・低濃度の CO₂ 分離回収技術確立し、CO₂ 分離回収設備・素材ビジネスの拡大に加えて、CO₂ の活用も含めたカーボンリサイクルのビジネスモデル創出を可能にすることで、カーボンリサイクル市場における我が国の国際競争力を強化するとともに、BECCS⁶や DAC⁷等のネガティブエミッション技術の開発にもその成果を繋げていくことを目指す。

● 本プロジェクトを取りまく現状と課題解決の具体的方策

- CO₂ を含む排ガスは、排出源で用いられる原料や燃料の種類、排出源での燃焼方式等によって様々な圧力・濃度が存在し、対応する CO₂ 分離回収技術の困難性が異なる。
- 具体的には、高圧（例えば、数 MPa）の CO₂ を含むガスからの CO₂ 分離回収は、自圧と大気圧との圧力差を利用できるため、CO₂ の捕捉性と分離性の両立が比較的容易であり、水素・アンモニア工業での CO₂ 分離プロセスや、天然ガス生産時の副生ガス処理等で古くから実施されている⁸。一方、低圧（例えば、大気圧）の CO₂ を含むガスからの CO₂ 分離回収は、回収プロセスに圧力差または温度差による駆動力を追加的に付加する必要があり、CO₂ の回収率と分離性の経済的な両立が困難。
- 低圧ガスのうち、高炉ガス(CO₂ 濃度 20%程度)、石炭火力排ガス（CO₂ 濃度 12～14%程度）等の高濃度 CO₂ 排ガスに対しては研究開発が進み、実証～商用のフェーズにある

³ Enhanced Oil Recovery（原油促進回収法）：原油採掘の現場において、油層圧が徐々に減少して採掘量が減少する際に、油層に CO₂ 等のガスを注入し、油層圧を維持することが可能になる。

⁴ 天然ガス複合サイクル火力発電（NGCC）排ガス中の CO₂ 濃度は 4～5%程度、天然ガスコジェネ排ガス中の CO₂ 濃度は 4～8%程度、ナフサ由来の可燃ガスを燃料とする工業炉排ガス中の CO₂ 濃度は 7～9%程度である。

⁵ カーボンリサイクルに関するビジネスモデルとしては、カーボンリサイクル製品（化学品、燃料等）の製造販売に加え、客先での排出 CO₂ を分離・回収して活用するカーボンマネジメントサービスなどが期待される。

⁶ BECCS（Bio-energy with Carbon Capture and Storage）は、バイオエネルギー利用（燃焼や発酵）で生じる CO₂ を CCS と組み合わせて CO₂ を回収する技術。

⁷ DAC（Direct Air Capture）は、大気中の CO₂ を回収する技術

⁸ Global CCS Institute「Technology Readiness and Costs of CCS（2021）」によれば、アンモニア工業では 2～6MPa、天然ガス生産時の副生ガス処理では最大 8MPa 程度の CO₂ を含む高圧ガスから CO₂ が分離されている。

(TRL 7～9)。例えば 2012 年には、COURSE50⁹にて高炉ガスからの CO₂ 分離回収の実証が行われ、また、2016 年には日本企業により北米の石炭火力発電所において石炭火力排ガスから世界最大規模 (4776t/d) の CO₂ 分離回収が商用運転された。

- 一方で、天然ガス火力、工場排ガス等の 10%以下の低圧・低濃度排ガスに対しては、今後 CO₂ 排出源として占める割合が高まってくると考えられる¹⁰が、低コスト・低エネルギーの CO₂ 分離回収技術が未確立であり (TRL～4)、社会実装に向けては、要素技術の確立と実証が必要な段階である。
- CO₂ 分離回収技術には、様々な方式があり、例えば、A) アミン吸収法、B) 物理吸着法、C) 膜分離法等が挙げられる。こうした CO₂ 分離回収技術を、低圧・低濃度排ガスに対して低コストで実用化するためには、以下のような技術的課題が残る。
 - A) アミン吸収法は、化学反応による吸着を利用して CO₂ を吸着・分離する方法であって、実績も豊富だが分離回収に必要な熱エネルギーが大きいという課題がある。
 - B) 物理吸着法は、物理的な吸着作用を利用して CO₂ を吸着・分離する方法であって、分離回収に必要なエネルギーは A) アミン吸収法と比較して相対的に低く、またコンパクトな設計が可能である。他方で、吸着剤の種類によっては水分等との競争吸着のコントロールや長寿命化が課題となる場合があり、また、低コスト・低エネルギーの CO₂ 分離回収の実現に向けては分離回収に必要なエネルギーのさらなる低減も必要である。
 - C) 膜分離法は、分圧差を駆動力とし、CO₂ とその他の成分との分子サイズや親和性の差に基づき CO₂ を選択透過・分離する方法であって、簡易な設備での分離回収が可能となるが、CO₂ 分離性能 (CO₂ 分離選択性、透過性) のさらなる向上が必要であり、そのための材料開発が必要である。
- 国内外の技術動向については、海外において、石油・天然ガス等の資源開発における EOR や付随する大規模石油化学プロセス (リフォーミング¹¹) 向けに、特に、高圧 CO₂ を対象として CO₂ 分離回収技術の開発が進められてきた背景があり、当該用途においては商用実績も豊富である。他方、日本は低圧ガスが対象となる石炭火力発電所等の CO₂ 分離回収プラント建設でトップシェアを確保しており、その技術ポジションは以下のようにまとめられる。
 - A) アミン吸収法：天然ガス随伴ガス、リフォーマーなどの高圧ガスへの適用で海外企業が市場先行したが、石炭火力発電所等の低圧ガス向けには日本企業が高性能吸収剤を開発し、商用でリードしている。
 - B) 物理吸着法：海外企業はリフォーマー向け等で多くの実績。日本企業は製鉄向けで

⁹ CO₂ 削減を実現するための革新的な製鉄プロセス技術開発を行うプロジェクト。国内鉄鋼関連会社 4 社が NEDO (新エネルギー・産業技術総合開発機構) からの委託を受けて開発。コークス燃焼排ガスの CO₂ 分離・回収技術開発が含まれる。

¹⁰ Energy Technology perspective 2020, IEA (2020)は、CO₂ 分離・回収される燃料の分類予測を示しており、天然ガスの割合は 2030 年の 12%から、2050 年には 30%程度まで高まると予想。

¹¹ 天然ガスなどの炭化水素から水素や一酸化炭素を製造する化学プロセス。スチームを用いて変換するスチームリフォーミングがよく知られる。この変換設備がリフォーマーである。

は COURSE50 で世界に先駆け実証を完了。国内外で物理吸着システム設備に特段の優劣はないが、CO₂ 吸着剤では日本企業に存在感があり欧米でも使用実績を有している。

C) 膜分離法：天然ガス随伴ガスへの適用で海外企業 (UOP)が高分子膜適用で先行したが、日本メーカーは高性能な分離膜 (分子ゲート膜、ゼオライト膜)を開発し、材料開発や実証など、コア技術では世界をリードしている。

- 空気からの CO₂ 直接回収 (DAC) の分野では、欧米のベンチャー企業が商用化を見据えた研究開発を加速させているものの、低コスト・低エネルギーな DAC 技術については、世界的にも要素技術開発の段階である。国内でも、ラボレベルでの開発が 2020 年から開始されている。
- 国内外における研究開発の動向については、CO₂ 分離回収、利用等に関しては、欧米および中国の政策においても、重要な技術であるとの位置付けが与えられており、数多くのプロジェクトが組成されている状況¹²である。日本においても、今後必要性が高まる低圧・低濃度の CO₂ 分離回収技術に関しても、吸収剤・吸着剤・分離膜等の素材開発を含む技術先行ポジションを維持・拡大する必要がある。
- 本プロジェクトは、低圧・低濃度 CO₂ 排ガスにおける CO₂ 分離回収コストの低減によって、当該技術の国内における利用拡大と海外市場を目指すものであり、社会実装に必要な以下の項目のうち、①～③を実施。
 - ① 天然ガス火力発電排ガスからの大規模 CO₂ 分離回収技術開発・実証
 - ② 工場排ガス等からの中小規模 CO₂ 分離回収技術開発・実証
 - ③ CO₂ 分離素材の標準評価基盤の確立
 - ④ CO₂ 分離回収サイトと CO₂ 利用サイトを結びつける低コスト輸送手段確立
 - ⑤ CO₂ 分離回収の活用を促進する制度整備 (CO₂ 分離回収の需要側のインセンティブ形成、カーボンプライシング等)
- ①においては、石炭火力発電等と比較して CO₂ の濃度が相対的に低い天然ガス火力発電排ガスに対して、大規模化による低エネルギー化が期待できる技術方式 (革新的なアミン吸収法等を想定) を選択した上で、回収した CO₂ の活用法も想定しながら (実施者に対して回収した CO₂ の活用を求めながら)、CO₂ 分離回収システムの開発・実証等を行う。
- 工場排ガスにおいては 1 拠点あたりの CO₂ 排出量は火力発電所等に比較すると限定的ではあるが、排出拠点の数が多く、排出総量としては大きな規模となる¹³ので、今後カーボンニュートラル社会実現においては、CO₂ を分離回収する技術の確立が必要である。例えば、化学ブ

¹² 二酸化炭素資源化に関する調査報告 CDRS-FY2019-RR-05 には、欧州・米国・中国で実施されている CO₂ 分離回収を含むプロジェクトが多数示され、欧州での事例としては、Carbon8、CB8、Smart CO₂ Transformation、等が例示されている。

¹³ 日本において工業用途に販売される都市ガスは 238 億 Nm³であり、全都市ガス販売量(404 億 Nm³)の約 6 割を占める (日本ガス協会資料)。ここから排出される CO₂ の排出総量は約 0.52 億トン/年。天然ガス火力発電所から排出される CO₂ 排出量約 1.3 億トン/年に対して、約 4 割の量に達すると推定される。

ラント等における原料由来の CO₂ 排出、再エネ電力や安価な水素エネルギーの利用が困難な場合のコージェネレーションシステム（熱電併給システム）、ボイラ、工業炉等における化石燃料由来の CO₂ 排出が想定される。また、廃棄物焼却炉からの CO₂ 分離回収も今後のカーボンニュートラル社会実現においては重要である。このため、②においては、工場排ガス等の規模において最も低エネルギーとなる技術方式（アミン吸収法よりも相対的に低エネルギーであり、コンパクトな設計が可能な物理吸着法や膜分離法等を想定）の素材開発（TRL 3～4）、未利用エネルギーの活用、複数の分離回収技術を組み合わせるコンビネーション技術等のプロセス開発・実証等により、回収した CO₂ の活用も含めたカーボンリサイクルのモデルの創出を行う。

- ③においては、新素材の開発と製品適用を加速するため、共通基盤として、実ガスでの CO₂ 分離回収標準評価技術を確立し、海外競合メーカーとの性能比較、差別化を図る。
- CO₂ 濃度の低い排ガスからの CO₂ 分離回収技術は、将来の CO₂ に対する国内外の政策動向等にも依存する面もあり、不確実性が大きく民間企業が単独で実施することが困難であるため、当面は、国として支援を講じていくが、将来的に、当該技術はカーボンリサイクル市場のキーテクノロジーとなることが想定されるため、CO₂ 排出に係る取引市場制度の整備やカーボンリサイクル全体の他の技術開発や市場形成の動向・経済性を見極めながら、徐々に民間企業の自主的な取組へと移行していくことを想定。
- なお、本プロジェクトでは、DAC を直接的な研究対象とはしていないが、低圧・低濃度 CO₂ 排ガスに対する低コスト・低エネルギーの CO₂ 分離回収技術の開発は、さらに低い CO₂ 濃度となる大気からの CO₂ 分離回収の技術開発の確立に向けても技術の関連性が生まれることで、DAC 技術確立への波及効果も期待される。

● 関連基金プロジェクトと既存事業

➤ 関連基金プロジェクト

- グリーンイノベーション基金において、関連するプロジェクトとして、⑦CO₂ 等を用いたプラスチック原料製造技術開発、⑧CO₂ 等を用いた燃料製造技術開発、⑨CO₂ を用いたコンクリート等製造技術開発、及び、⑪廃棄物処理の CO₂ 削減技術開発、の組成が予定されている。これらプロジェクトにおいては、分離回収された CO₂ を用いたカーボンリサイクル技術を 2024 年度以降に実証する予定。本プロジェクトでは、2024 年度頃までに分離回収に必要な吸収剤等の要素技術を開発して、その後分離回収を目的としたスケールアップと実ガス実証を行う予定であるため、上記関連プロジェクトの実証においても、本プロジェクトで開発した分離回収技術を活用することも検討する（当然ながら、開発内容の重複は排除する）。また、事業を開始する段階において、実証地域等を調整し、異なるプロジェクトの実施者間で CO₂ の受け渡しを行うといった連携も想定される。こうしたプロジェクト間の連携を徹底することで、本プロジェクトの開発成果の着実な社会実装を推進する。

➤ 既存事業

以下の予算事業では、本プロジェクト分野よりも、2030 年よりも前に社会実装が見込まれる高濃度 CO₂ の分離回収技術の開発・実証及び、より長期的な研究開発が必要な低濃度 CO₂ の分離回収技術の開発を実施している。

- CCUS 研究開発・実証関連事業¹⁴（2018～2026 年度予定）：2021 年度予算額 80 億円の内数
製油所から排出されるガスから CO₂（年間約 10 万トン規模）を分離回収し、地中（地下 1,000m 以深）に貯留する CCS 実証試験及び固体吸収材や分離膜を用いた石炭火力発電所排ガスからの CO₂ 分離回収技術開発。
- 環境調和型プロセス技術の開発事業¹⁵（2017～2022 年度予定）：2021 年度予算額 28 億円の内数
化学吸収法を用いた高炉ガスからの CO₂ 分離回収技術及び未利用排熱活用技術開発。
- ムーンショット型研究開発事業¹⁶（2020 年度～）：2018 年度予算額 200 億円の内数（基金）
2050 年までに、地球環境再生に向けた持続可能な資源循環の実現を目標とした大気からの CO₂ 分離回収技術の要素技術開発を実施。
- NEDO 先導研究プログラム¹⁷（2014 年度～）：2021 年度予算額 48.9 億円の内数
CO₂ 分離回収に未利用冷熱を利用する要素技術開発（2020 年度～最長 2 年間）も実施。

● グリーン成長戦略の実行計画における記載（抜粋）

（１１）カーボンサイクル産業

④ 分離回収設備（排気中 CO₂ の分離回収）

＜現状と課題＞

脱炭素化が困難な CO₂ 排出源のネガティブエミッション（炭素除去）、及びカーボンサイクルに必要な CO₂ 源を確保するため、CO₂ 分離回収技術の開発・実証が不可欠である。日本や欧米等の各国が脱炭素化に向かう潮流の中、2030 年には、CO₂ 分離回収技術の市場規模は約 6 兆円/年、2050 年には約 10 兆円/年にまで拡大すると予測されており、日本だけでも 2050 年に約 4,000 億円/年にまで達する見込み。

日本企業は EOR や化学用途向けに、発電所からの高濃度 CO₂ の分離回収設備を完成

¹⁴ CCUS 研究開発・実証関連事業ホームページ： https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100141.html

¹⁵ 環境調和型プロセス技術の開発事業ホームページ： https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100050.html

¹⁶ ムーンショット型研究開発事業ホームページ： https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100161.html

¹⁷ NEDO 先導研究プログラムホームページ： https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100100.html

させており、CO₂分離回収プラント建設でトップシェアを確保している。また、CO₂分離回収技術について、日本の産学の特許数が他国と比較して多い。

他方で、様々な濃度や特性を持つ CO₂排出源からの低コストでの回収技術が、今後の開発課題である。

<今後の取組>

今後、高効率な CO₂分離回収技術を開発し、2030 年には分離回収技術の更なる低コスト化と、EOR 以外の用途への拡大を実現する。その上で、2050 年に、年間 10 兆円の世界の分離回収市場のうち 3 割のシェア確保を目指す。

【参考】大気中から CO₂直接回収（DAC: Direct Air Capture）

<現状と課題>

DAC（Direct Air Capture）の技術開発について、欧米のベンチャー企業が商用化を見据えた研究開発を加速させているものの、世界的にも要素技術開発の段階。国内でも、ラボレベルでの開発を 2020 年から開始している。

現状、エネルギー効率が低く、大気中からの CO₂回収コストが高いことが課題となっている。

<今後の取組>

大気中からの高効率な CO₂回収方法について技術開発を進め、低コスト化を実現し、2050 年の実用化を目指す。

2. 目標

● アウトプット

➤ 研究開発の目標

低圧・低濃度ガス（大気圧、CO₂濃度 10%以下）に対して、2030 年 2,000 円台/t-CO₂ 以下の CO₂ 分離回収コストを実現するための技術確立

（目標設定の考え方）

CO₂ 分離回収コストは、CO₂ 濃度が比較的高い低圧排ガス（大気圧、CO₂ 濃度 12～14%程度）に対して、過去の実績ベースで 6,000 円台/t-CO₂ 程度、現行技術に基づく計画プラントベースで 3,000～4,000 円台/t-CO₂ の値が報告されている（Global CCS Institute「Global Status of cost targeting climate change 2019」）。2,000 円台/t-CO₂ という目標は、10%以下の CO₂ 排ガス回収技術の社会実装に必要な、石炭火力発電排ガスや高炉排ガスと同等なコスト水準として設定¹⁸。この水準は、過去のコスト推移と経験曲線効果を考慮すれば、大規模・中小規模の別に関わらず、適切な技術方式を使い分けることで、実現可能な水準と考えられる。

（目標達成の評価方法）

各実施者の事業終了時点において、商用化設備で想定される生産設備での t-CO₂ あたりの CO₂ 分離回収コストを試算し、目標達成度を評価する。なお、当該コスト目標には、CO₂ 分離回収に係る用役費¹⁹、設備の償却費、O&M（オペレーション及びメンテナンス）のコストを含むものとする。

（目標の困難性）

上記 CO₂ 分離回収コストは、Global CCS Institute「Global Status of cost targeting climate change 2019」に記載された 2030 年時点の CO₂ 分離回収コスト（高濃度も含む）と同等であるが、本プロジェクトの対象 CO₂ 濃度が 10%以下と低い条件（単位 CO₂ 重量当たりの必要エネルギー（例えば排ガスを CO₂ 分離回収設備に送るブロー動力や圧縮動力等）が相対的に大きくなる条件）であることを鑑みると、十分に困難な

¹⁸ カーボンサイクルの社会実装に向けた CO₂ 許容コストはアプリケーション毎に異なり、それぞれに精緻な検討が必要であるが、一つのイメージを得るため、ケーススタディとして、回収した CO₂ をメタノールに転換する例をここで例示する。量論反応（CO₂ + 3H₂ → CH₃OH + H₂O）を仮定するとメタノール 1t の製造に CO₂ 1.38t、水素 0.19t が必要。水素価格 ¥20/Nm³ とするとメタノール 1t 製造に必要な水素コストは約 ¥40,000。メタノール 1t 製造に必要な CO₂ コストは、6,000 円/t-CO₂ の場合に ¥8,250/t、2,000 円/t-CO₂ の場合に ¥2,750 と計算される。化学変換コストは別途必要。既存メタノール市況が ¥40,000/t である場合に、CO₂ コスト 2,000 円/t-CO₂ が視野に入ると、原料コストの合計は ¥42,750 となり、既存製品価格により近づくイメージとなる。

¹⁹ 商用化設備が立地するエリアでの用役費を CO₂ 分離回収コストの算定に用いる。

目標である²⁰。

- アウトカム

日本や欧米等の各国が脱炭素化に向かう潮流の中、今後、高効率な CO₂ 分離回収技術を開発し、2030 年には分離回収技術の更なる低コスト化と EOR 以外の用途への拡大を実現する。2050 年のプラント、素材、薬品や燃料費等を含めた、CO₂ 分離回収技術に係る市場規模は、日本だけでも 年間約 4,000 億円にまで達する見込みであり、世界の CO₂ 分離回収による CO₂ 削減効果や経済波及効果は以下のように見込まれる。このうち、日本企業のシェア 3 割確保を目指しつつ、世界市場の付加価値の相当程度の割合を我が国に還流させ、世界及び日本の脱炭素化に貢献することを目指す。

- CO₂ 削減効果（ポテンシャル推計）

1. 約 16 億 t-CO₂/年（2030 年）

【算定の考え方】

IEA が 2030 年の分離回収・貯蔵量を約 16 億トン²¹ [Beyond 2℃シナリオ (B2DS)] と予測している。

2. 約 80 億 t-CO₂/年（2050 年）

【算定の考え方】

IEA が 2050 年の分離回収量・貯蔵量を約 80 億トン [Beyond 2℃シナリオ (B2DS)] と予測している。

- 経済波及効果（CO₂ 分離回収に係る世界市場規模推計）

1. 約 6 兆円/年（2030 年）

【算定の考え方】

市場は、分離回収コスト目標・予測 と ETP2017 の B2DS における分離回収量から試算。分離回収コストは日本、米国、中国のコスト目標・推定の平均値を用いた。

約 6 兆円 = 約 3700 円/t-CO₂(分離回収コスト目標・予測) × 約 16 億 t-CO₂ (ETP2017 の B2DS における分離回収量)

²⁰ Global CCS Institute 「Technology Readiness and Costs of CCS (2021)」は、CO₂濃度が 14%（石炭火力発電排ガス）から 4%（天然ガス火力発電排ガス）まで低下する場合に CO₂ 分離回収コストは 25～60%程度割高になるとの試算を示している。

²¹ Energy Technology Perspective 2017, (2017) B2DS は 2060 年にネットゼロエミッションを示すシナリオ、2050 年の CO₂ 削減効果については、技術革新が加速され 2050 年にネットゼロエミッションを達成する Faster Innovation Case においても、同様の CO₂ 分離回収量約 80 億 t-CO₂と予測されている。

2. 約 10 兆円/年 (2050 年)

【算定の考え方 (同上)】

約 10 兆円 = 約 1200 円/t-CO₂(分離回収コスト目標・予測) × 約 80 億 t-CO₂
(ETP2017 の B2DS における分離回収量)

3. 研究開発項目と社会実装に向けた支援

- 【研究開発項目】 低圧・低濃度 CO₂ 分離回収の低コスト化技術開発・実証

- 目標：低圧・低濃度ガス（CO₂ 濃度：10%以下）に対して、2030 年 2,000 円台/t-CO₂ 以下の CO₂ 分離回収コストを実現するための技術確立

- 研究開発内容²²：

- ① 天然ガス火力発電排ガスからの大規模 CO₂ 分離回収技術開発・実証

【（9/10 委託→2/3 補助） + （1/10 インセンティブ）】

発電部門においてゼロエミッション達成が困難な排出源の大部分を占めると考えられる天然ガス火力発電排ガスは CO₂ 濃度が 10%以下となり、CO₂ 分離回収コストの低減が課題である。CO₂ 分離回収コストの低減には、(i)運転費用(OPEX)と、(ii)設備費用(CAPEX)の両面の検討が必要であり、前者においては、CO₂ 分離回収消費エネルギーの低減、後者においては、分離回収設備のモジュール化等による設備コスト低減が有効であると考えられる。

CO₂ 分離回収消費エネルギーの低減には、分離素材の性能向上、必要な熱エネルギーを効果的に活用できる分離回収プロセス設計等が必要であるが、耐久性向上等の技術課題が存在している。また、これらの開発は大規模化を見据えてスケーラブルな設計とする必要があり、加えて、設備コスト低減には、分離回収設備のモジュール化を含めたプロセス全体の設計を行いつつ、大型化を進めていく必要があるが、モジュールコンセプトの導入においては補機を含めたエネルギー効率を最大化するプロセス設計の確立等の技術課題が存在している。これら個別の技術課題を解決しつつ、両開発の綿密なすり合わせにより、分離回収システム全体のコスト削減効果を最大化させる。

本研究開発では、数十万から百万 kW 程度の大規模な天然ガス火力発電からの排ガスを対象とし、2030 年 2,000 円台/t-CO₂ 以下の CO₂ 分離回収コストを実現するための技術開発から、プラントにおける実ガス実証（10t/d 以上）による当該目標の達成状況の確認までを実施する。実ガス実証においては、確立された技術を利用し、回収された CO₂ を用いて化学品や燃料等を製造することも求める（但し、化学品や燃料等の製造技術開発は本プロジェクトには含めない）。なお、分離回収の技術方式については、原則、事業者の提案に委ねることとするが、大規模化によって低コスト化が可能なアミン吸収法が有望²³と想定されるため、複数の技術方式による競争と選択は実施しない。

²² 「2. 目標」の「研究開発の目標」の達成に向けては、様々な方法が考えられるため、具体的な達成方法は提案者の創意工夫に委ねる。

²³ アミン吸収法においては、設備を大型するほど CO₂ 単位処理量当たりの設備費が低下するスケール効果が顕著にできるため、大規模化によって分離回収コストの低コスト化が有利となる。

② 工場排ガス等からの中小規模 CO₂ 分離回収技術開発・実証

【（9/10 委託→2/3 補助）＋（1/10 インセンティブ）】

一部の工場排ガス等もゼロエミッションが困難な排出源であり、排ガス源あたりの CO₂ 排出量は天然ガス火力発電所からのもののほどは大きくはないが、排出源が分散するという特徴があり、こうした中小規模の低圧・低濃度 CO₂ 排出に対する分離回収コストの低減は、①（天然ガス火力発電排ガス）とは異なる技術課題を有しており、別途の開発アプローチが必要となる。こうした分散型の排ガスの主要例として、コージェネレーションシステム、ボイラ、工業炉等からの排ガス、化学プロセス等からの排ガス等が挙げられる。この中でも、CO₂ 排出の規模や性質（異物混入の量等）や設備設置環境等の違いにより、現場ニーズに即した、異なる要素技術が求められる。共通課題としては、工場等においては、CO₂ 分離回収設備には設置場所の制約などからコンパクトな設計が求められる一方で、個別の課題としては、コージェネレーションシステムではフレキシブルな運転対応、ボイラでは小型化・排熱利用、加熱処理炉等の工業炉では NO_x 等の夾雑成分への対処、ナフサ分解炉等の化学プロセス用途では含水成分への対処等が重要となる。

本研究開発内容では、コージェネレーションシステム、ボイラ、工業炉等からの排ガス、化学プロセス等からの排ガスを対象とし、それぞれについて、2030 年 2,000 円台/t-CO₂ 以下の CO₂ 分離回収コストを実現するための技術開発から、それぞれの工場における実ガス実証（0.5t/d 以上）による当該目標の達成状況の確認までを実施する。ただし、同じ目標設定が妥当と認められる場合には、上記に例示した利用環境以外での CO₂ 分離回収技術の開発・実証を提案することも可能。実ガス実証においては、確立された技術を利用し、回収された CO₂ を用いて化学品や燃料等を製造することも求める（但し、化学品や燃料等の製造技術開発は本プロジェクトには含めない）。

なお、分離回収の技術方式については、原則、事業者の提案に委ねることとするが、その利用形態に応じて最適な方式が存在すると想定されるため、同一利用環境に対して複数の技術方式による競争と選択は実施しない。例えば、中小規模の工場排ガス向けには、コンパクトな設計が可能な物理吸着法や膜分離法が有効であると考えられるが、CO₂ の高純度化の場合には物理吸着法、CO₂ の荒取りの場合には膜分離法が優位となり、その双方の特長を活かしたコンビネーション技術も有効である。このように、利用環境に応じて必要な技術が異なることを前提に、複数（4 件程度）の利用環境下における開発を並行して実施することを想定するが、ある環境下で開発された技術が複数の需要家タイプに対して汎用的に適用でき、他の技術よりも有効であることが明らかになった場合は、ステージートにおいて、絞り込みを行う可能性もある。

③ CO₂ 分離素材の標準評価共通基盤の確立★²⁴

²⁴ ★マークがある研究開発内容については、大学・研究機関等が主たる実施者（支出が過半を占める実施者）となることが可能（★マークがない項目・内容は、企業等の収益事業の担い手が主たる実施者となる必要）

【委託（企業の場合は 9/10 委託＋インセンティブ 1/10）】

低濃度 CO₂ 分離回収技術の低コスト化を目指す上で、分離素材の性能向上が鍵を握る。分離素材の開発にあたっては、通常は模擬ガスで一定の性能を得た後に、実ガス評価を行って基本性能を検証することになるが、素材メーカーにとって実ガスを用いた評価は容易でないため、実ガス評価が遅れ、後になって実ガス使用時の致命的な課題が顕在化するなどの問題がある。また、こうした分離素材を扱うエンジニアリングメーカーにとっては、分離素材の評価条件が開発メーカー各社ごとに異なることが多く、優劣の判断に困難を要するという課題があった。このような状況において、実ガスを用いた統一的な性能評価技術を確立することは、CO₂ 分離回収技術の開発加速に資するものと考えられる。また、こうした共通基盤の存在は、当該分野に新たに参入を試みる素材メーカー、ベンチャー企業、大学等による素材評価を可能とし、研究開発の一層の活性化も期待される。

本プロジェクトでは、低圧・低濃度排ガス（大気圧、CO₂ 濃度 10%以下）に対して分離素材の開発を加速するため、実ガスを用いた CO₂ 分離回収標準評価基盤を確立する。具体的には、(1) 素材メーカーとエンジニアリング会社との連携体制を構築し、データを取得・集積すること、(2) 実ガスを用いた標準的な性能評価手法（評価方法や評価項目等）を策定すること、(3) 加速劣化システムやシミュレーション技術を用いた耐久性評価手法を開発すること、(4) (2)及び(3)で開発した評価手法を国際標準化すること、を検討する。実ガスを用いた標準評価技術確立の対象は、CO₂ 濃度 10%以下の排ガスを対象として、アミン吸収法、物理吸着法、膜分離法からなる 3 つの分離回収手法を当初の対象として整備を進め、他に有望な分離技術が顕在化する場合にはその対象を広げることとする。本基盤が日本における CO₂ 分離回収に関する情報共有のハブとなって CO₂ 分離回収技術開発加速に資するものとするため、共通基盤の構築においては、長期的かつ安定的な運営が見通せる体制を構築することを併せて求める。

本研究開発内容③は、研究開発内容①および②の実施企業等と連携することを採択条件として、研究機関や大学等のみで申請することも可とする。この場合、当該方式で採択された研究機関や大学等の代表者は、エネルギー構造転換分野ワーキンググループにおける実施企業等の経営者との対話の場に参加し取組状況について説明を行うとともに、実施企業等の関連する取組の全てが中止となる場合には、それと連携する研究機関や大学等の取組も中止する。

（委託・補助の考え方）

- 研究開発内容①、②については、CO₂ 濃度の低い排ガスからの CO₂ 分離回収技術は、未だ TRL で 4 程度の未成熟なレベルであり、社会実装に向けては、更なる技術革新が必要である。併せて、将来の CO₂ に対する国内外の政策動向等にも依存する等、事業の不確実性が高いため、委託事業として実施する。委託事業により要素技術開発が完了した後は、実ガスを使用した実証段階を経て社会実装につなげることになるため、事業リスクの減少を踏まえ

て、補助事業とする。

- 研究開発内容③については、様々な企業が利用可能な評価技術の開発であり、実施者自身の裨益が小さい協調領域の取組であるため、委託事業として実施する。
- 研究開発内容①及び②は、③で開発した分離素材の標準評価技術を可能な限り活用することとするが、それぞれ異なる利用環境に対する独立した取組であるため、①、②及び③は、異なる事業者が申請・実施することを想定。

- 社会実装に向けたその他の取り組み

- CO₂ 分離回収技術に関する研究開発の成果を広く国内外に発信し、社会実装の加速に向けて国内外からの投資を呼び込む観点から、実証の実施に際しては、一部、2025 年の大阪・関西万博の会場を利用する。

4. 実施スケジュール

● プロジェクト期間

【研究開発項目】 低圧・低濃度 CO₂ 分離回収の低コスト化技術開発・実証

研究開発内容①及び②ともに、要素技術の開発とその基本性能の確認・プロセス設計から、実ガス実証までを行うことで、企業のコミットメントを引き出し、2030 年頃から順次、着実な社会実装を実現する観点から、2021 年度から 2030 年度までの最大 10 年間を想定。以下のスケジュールは、あくまで一例であり、事業者の提案において、早期の目標達成のために最適なスケジュールを組むことは妨げない。研究開発内容③に関しては、研究開発内容①及び②で素材開発の開発加速の役目を担うことから、2024 年度に評価体制を構築し、①及び②でその成果を活用しつつ、並行して、評価に係る国際標準化を進めることとする。

● ステージゲート設定

研究開発目標の達成には、様々なアプローチが考えられることから、具体的な達成方法・スケジュールは提案者の創意工夫に委ねることを原則とするが、CO₂ 分離回収技術の実ガス実証については、社会実装が見通せる要素技術の具備が必要条件となるので、①及び②に関しては、基本性能とプロセス開発が終了する時点で、基本性能とプロセス開発の達成状況を判断材料として、スケールアップ検討への移行可否をステージゲートにて判断する。このタイミングで、スケールアップに進む追加の事業者を公募することも考慮する。また、スケールアップ検討終了時において、建設及び実ガス実証に向けた検討への移行可否をステージゲートにて判断する。また、③に関しては、評価設備を設計した段階と統一的な評価手法が確立した段階でステージゲートを設け、評価設備と素材評価ステージへの移行を判断する。また、素材評価とデータ集積が進んだ時点でも、その活動状況をステージゲートで判断する。

【研究開発項目】 低圧・低濃度 CO₂ 分離回収の低コスト化技術開発・実証

① 天然ガス火力発電排ガスからの大規模 CO₂ 分離回収技術開発・実証

基本性能とプロセス開発が終了する時点、及びスケールアップ検討が終了する時点
(下表の例では 2024 年度と 2027 年度にステージゲート審査)

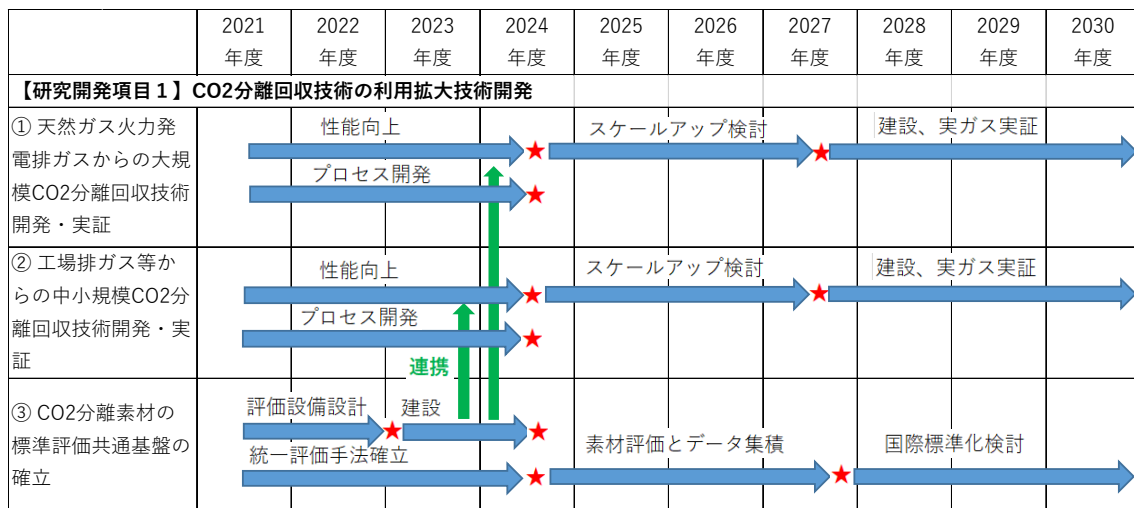
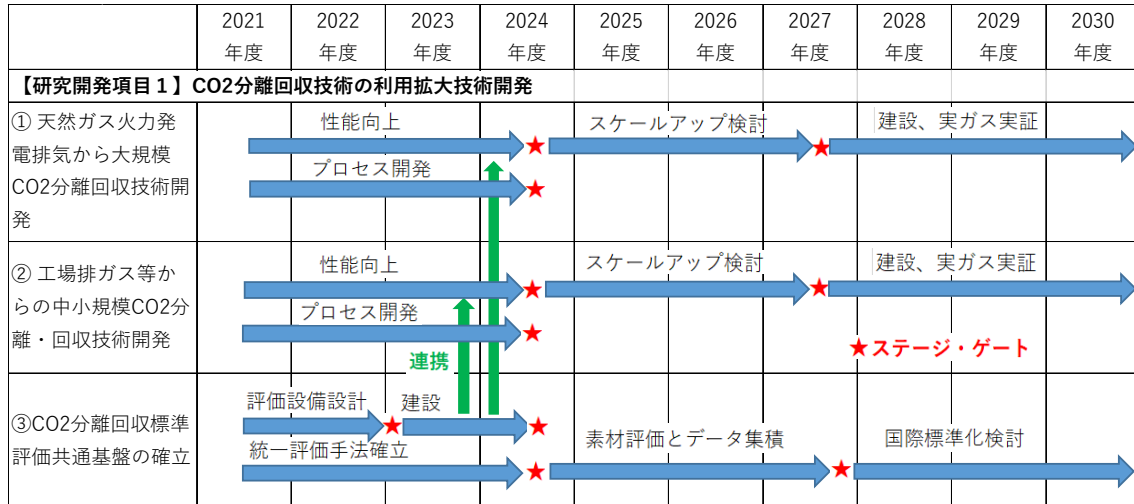
② 工場排ガス等からの中小規模 CO₂ 分離回収技術開発・実証

基本性能とプロセス開発が終了する時点、及びスケールアップ検討が終了する時点
(下表の例では 2024 年度と 2027 年度にステージゲート審査。案件の絞り込みも含めて判断)

③ CO₂ 分離素材の標準評価技術基盤の確立

標準評価技術確立 (2024 年度までに完了、その後、素材評価とデータ集積を進め、国際標準化を検討)

表1：プロジェクトの想定スケジュール（例）



★：ステージゲート

表 2：社会実装スケジュール

●導入フェーズ： 1. 開発フェーズ 2. 実証フェーズ 3. 導入拡大・コスト低減フェーズ 4. 自立商用フェーズ

※代表事例を記載	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	～2030年	～2040年	～2050年
●分離回収 コスト目標 (/CO ₂ 2t) 低圧ガス： 30年 2千円台 高圧ガス： 30年 千円台 DAC： 50年 2千円台 目標規模 50年 世界で約25億 CO ₂ t	○排ガス由来 ・高効率なCO ₂ 分離回収技術を開発し、 コスト低減			・大規模実証			・更なるコスト低減による 導入拡大	
	○大気由来 (DAC) ・ムーンショット型研究開発制度等を活用した、 大気からのCO₂直接回収 (DAC) 技術の研究開発 (エネルギー効率向上、 コスト低減)						・実証による更なる低 コスト化	・さらなる低コスト化・補 助金等による 導入拡大

5. 予算

（分野別ワーキンググループでの審議結果を踏まえ、研究開発項目及び研究開発内容を必要に応じて修正した後、今後の分野別ワーキンググループにおいて、項目ごとの予算額と予算根拠を提示予定）

（参考）改訂履歴

・2021 年〇月 制定