

グリーンイノベーション基金事業

「廃棄物・資源循環分野におけるカーボンニュートラル実現」

研究開発・社会実装計画

令和 5 年 10 月 6 日

環境省

目次

1. 背景・目的	3
2. 目標	14
3. 研究開発項目と社会実装に向けた支援	24
4. 実施スケジュール	30
5. 予算	33

1. 背景・目的

● 廃棄物・資源循環関連産業の重要性と課題解決の方向性

- 2050 年カーボンニュートラル（CN）実現に向けて、グリーン成長戦略の実行計画では「循環経済への移行も進めつつ、2050 年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする」ことを掲げた。また、GX 推進戦略においても、世界に誇る脱炭素技術の強みをいかして、世界規模でのカーボンニュートラルの実現に貢献するとともに、新たな市場・需要を創出し、日本の産業競争力を強化することを通じて、経済を再び成長軌道に乗せ、将来の経済成長や雇用・所得の拡大につなげることが求められている。我が国の温室効果ガス排出のうち廃棄物分野からは約 4 千万トン（3.4%）¹が排出され、エネルギー分野、工業プロセス及び製品の使用に次ぐ第 3 の分野となっており、他分野の温室効果ガス（GHG²）排出削減が進む中、廃棄物分野の対応が遅れると全体の中で占める割合が増大する。
- 日本の廃棄物分野の GHG 排出のうち、廃棄物の焼却等（単純焼却及び熱回収・原燃料利用）に伴うものが約 8 割¹を占めている。日本は国土が狭く、最終処分場（埋立地）の残余容量確保のためには減量化が必要であるほか、有機性廃棄物をそのまま埋立処分すると、生物分解により地球温暖化係数が二酸化炭素（CO₂）の 25 倍³にもなるメタンが発生してしまう。加えて、感染性、その他有害性のある廃棄物なども存在し、これらの適正処理の観点からも、熱処理（焼却処理や熱分解処理）は必要であり、3R（リデュース、リユース、リサイクル）の更なる推進後においても、本分野からの排出量はゼロにできない。本分野からの排出を実質ゼロ化するためには、CO₂ を大気に排出する従来型の焼却等に代替する CN 型の処理への移行が必要不可欠と考えられる。
- 廃棄物・資源循環分野は産業全体にとって必要不可欠な基盤的分野であり、廃棄物から炭素を回収して原料・燃料等として社会に循環させることは、我が国の産業全体での CN 化、さらに社会全体の CN 化を考える上で必要不可欠である。特に、バイオマス由来炭素を利用することで、他分野における化石由来炭素の消費節減が図られるため、排出削減にも寄与し得る。ただし、炭素循環には、水素をはじめとするエネルギーや副資材の投入が必要になること、それに伴う廃棄物が発生しうることにも留意する必要がある。
- また、世界では廃棄物処理量に占める埋立処分の割合が大きい現状がある。特に途上国を中心として、処分場以外の道路、空地、水路などへそのまま投棄（オープンダンプ）されている割合も高く、大量のメタンが発生している。世界全体で見た場合廃棄物分野からの GHG 排出量は経年的に増加しており、リサイクルの普及とともに、衛生処理や最終処分場確保の観点、さらには最終処分場からのメタンガス発生抑制の観点から、欧州、アジアを中心として、

¹（国研）国立環境研究所温室効果ガスインベントリオフィス「日本の温室効果ガス排出量データ（2020 年度）確報値」（2022 年 4 月 15 日）

² GHG: Greenhouse Gas

³ 気候変動に関する政府間パネル（IPCC）, 第 4 次評価報告書（2007 年）に示された 100 年値

CN 化が可能な処理技術の必要が高まっている。

- 世界における廃棄物発生量が 2050 年に向けて増加が見込まれ、また現在オープンダンプが主流の地域で中長期的に熱処理や生物処理への移行が進むと考えられることから、廃棄物処理施設（特に焼却処理・生物処理）の世界市場は今後 2050 年に向けて拡大を続ける成長分野と見込まれる。そのような中、焼却技術について日系メーカーが主たる地域における約半分のシェア⁴を有し、またガス化熱分解技術については我が国が唯一豊富な実績を有する⁵ほか、バイオメタン化技術も含め比較的小さな規模の施設や市街地における廃棄物処理施設の設置・運営のノウハウを有するなど、本分野において国内企業は先進的な技術・経験を有し世界をリードしている。国としても、引き続き技術力の向上を促進する上で、真に必要な支援をしつつ、世界市場のシェアを維持・拡大・開拓していくことが非常に重要である。
- 以上より、廃棄物の焼却処理による排ガス中の CO₂ 放出や有機性廃棄物の直接埋立処分によるメタンを生じさせず、廃棄物中の炭素を回収して社会に循環させる「カーボンニュートラル型炭素循環プラント（CN 型炭素循環プラント）」に転換するための技術開発と国内外での普及展開が喫緊に求められる。これは、一般廃棄物か産業廃棄物かといった廃棄物の種類を問わない。
- なお、CN 型炭素循環プラントの全世界的な社会実装のためには、国際的な炭素価値（例えば、クレジット取引や排出量取引による取引価値等）の上昇や規制措置（例えば、炭素税、国境・域内調整措置等）、水素価格の低下等、CN 社会の実現に必要な事業が成立する社会経済的条件の整備がなされる事を前提としつつ、必要となる追加的コストを最大限抑制し、同時に廃棄物の安定的な処理が可能な技術の研究開発と社会実装に向けた官民一体での取組が必要である。

● 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

- 2021 年 8 月 5 日に開催された第 38 回中央環境審議会循環型社会部会では、「廃棄物・資源循環分野における 2050 年温室効果ガス排出実質ゼロに向けた中長期シナリオ（案）」（以下、「中長期シナリオ」という。）において、各想定シナリオ⁶に基づいて将来の GHG 排出量や廃棄物処理量の見通しが示されており、3R+熱回収を最大限促進し、処理施設の広域化・集約化を進めたとしても、熱処理（焼却・熱分解）による相当な量の処理が引き続き必要であるとともに、メタン発酵等による生ごみの有効処理が必要であることが

⁴ 環境省調査（公益財団法人 廃棄物・3R 研究財団「令和 3 年度我が国の循環産業の海外展開促進に向けた実現可能性調査等統括業務報告書」）より

⁵ (一社)日本産業機械工業会エコスラグ普及委員会、エコスラグ有効利用の現状とデータ集 2020 年度版、Simona Ciuta 他 “Gasification of Waste Materials”, Academic Press (Elsevier), 2018 などより

⁶ BAU シナリオ、計画シナリオ、拡大計画シナリオ、イノベーション実現シナリオ、イノベーション発展シナリオ、実質排出ゼロシナリオ、最大対策シナリオが想定されており、対策が難しい順になっている。実質排出ゼロ、最大対策の各シナリオは、それぞれ廃棄物処理施設における CCUS を含んでいる。

示されている。加えて、同案では 3R + Renewable を基盤として資源循環・適正処理システムの脱炭素化を図る上での 3 つの重点対策領域が設定・提示されており、その一つが「地域の脱炭素化に貢献する廃棄物処理システム構築」とされている。

- また、資源循環の重要性の高まりを受けて、日本は「プラスチック資源循環戦略⁷」を 2019 年 5 月に策定し、さらには「プラスチックに係る資源循環の促進等に関する法律」（令和 3 年法律第 60 号）が 2022 年 4 月より施行された。これにより、3R や素材の転換が一層促進され、2050 年に向けて、廃棄物はバイオマス由来が支配的となる。従来 CO₂ を大気放出する焼却等が中心だった廃棄物・資源循環分野は、同分野からの GHG 排出を削減し CN を目指すとともに、産業界全体へのバイオマス由来炭素の主要な供給源として、処理システムを大きく変革していく必要がある。
- 想定シナリオで示されている GHG 排出量の見通しから、2050 年 CN に向けては少なくとも現状の技術水準や技術開発動向では必ずしも十分に担保されない水準まで対策を行う必要があるため、「実質排出ゼロシナリオ」⁸以上を追求していくことが必要となる。
- また、国際的な動向として、2021 年 11 月の COP26 において、世界のメタンの排出量を 2030 年までに 2020 年比 30%削減することを目指す「グローバル・メタン・プレッジ⁹」が発足した。これは米国と欧州連合が主導するイニシアティブで、日本を含め、100 を超える国と地域が参加を表明しており、メタン削減のフロントランナーである我が国に対しては、特に、国内でメタンの排出削減に成功した取組を優良事例として各国に共有する等のイニシアティブが期待されている。
- さらに、前述のとおり、焼却施設の世界的市場において、日系メーカーは高いシェアを誇っているが、現在世界各国で CN 化可能な廃棄物処理技術の開発が強化されつつあり、我が国の国際競争力（技術面・コスト面）を維持し、一層のシェア拡大や新たな市場の確保を図るためには、GHG 排出量削減に大きく寄与する CN 型の新しい廃棄物処理システムの技術開発を速やかに進めることが不可欠である。
- しかしながら、廃棄物処理においては、製造業等と異なり、投入する廃棄物の量や性状（成分、熱量、含水率等）が常に変動し自律的に制御することができない。そのため、処理後のガスの量・性状も常に不安定で、安定的・効率的に炭素回収・利用ができず、他分野における炭素回収等の技術をそのまま活用することは難しい。また、今後廃棄物中のプラスチック比率の低下等の組成の変化と発熱量低下によりエネルギー収支の悪化が見込まれること、廃棄物処理施設の用地取得に大きな困難が伴う場合が多く炭素回収設備の設置のための用地取得が技術普及の大きな妨げとなること、地域ごとに廃棄物の量・性状が異なり処理の広域

⁷ 消費者庁ほか「プラスチック資源循環戦略」（2019 年 5 月 31 日）

⁸ 「実質排出ゼロシナリオ」は廃棄物・資源循環分野の GHG 排出量を相殺する CCUS（本シナリオでは CCS として想定）導入が見込まれているが、CCS の貯留先は検討対象とされておらず、今後の進捗に応じて適宜見直しされる点に留意。

⁹ Global Methane Pledge ホームページ：<https://www.globalmethanepledge.org/>

化・集約化に限界がある中でコスト制約・立地制約の課題があることなど、廃棄物・資源循環分野における CN 化や CN 型炭素循環プラントの社会実装には多くの課題が存在する。

- また、中長期シナリオの中では、廃棄物処理施設の施設寿命を 20～30 年として、2050 年度時点で存在する施設の約 4 割程度が 2030 年から 2040 年までの間に新設される可能性も示唆されている。したがって、新設の処理施設における設備導入のみならず、既存の処理施設への後付けでの設備導入となる可能性も考慮した上で、一般廃棄物及び産業廃棄物の両方を対象とした技術開発を 2030 年に向けて今から早急に進める必要がある。
- そのため、本プロジェクトにおいて、プラスチック等の焼却による CO₂ や有機性廃棄物の埋立処分によるメタン等の GHG の大気放出を最小化し、廃棄物中の炭素を安定的・効率的に回収して GHG 排出実質ゼロを目指すとともに、バイオマス由来炭素を資源として産業に循環・供給する、CN 型炭素循環プラントの開発・実証を行い、社会実装モデルの創出を目指す。「従来の廃棄物処理システム」から「CN 型炭素循環プラント」への転換・普及は、廃棄物・資源循環分野の CN 化に貢献するだけでなく、バイオマス由来炭素の利用により他分野における排出削減にも寄与し得ることから、経済合理性・エネルギー自立を確保しつつ、化石由来及びバイオマス由来の炭素を回収・利用し、炭素循環の中心的な役割を担うことが期待される。

具体的には、CO₂ を大気放出する焼却処理等の従来の廃棄物処理システムに代替する処理方式として、①排ガスからの CO₂ 回収を伴う焼却処理、②炭素を含む有用合成ガス等を直接生成可能な熱分解処理、③含水率の高い有機性廃棄物に含まれる炭素利用に適したメタン発酵処理の 3 つを研究開発項目とする。これらの技術により、広域・集約型の処理と、局所最適のサイズや廃棄物の種類に合わせた方法による分散型の処理を地域特性に合わせて相補的に組み合わせつつ、安定的・効率的でバランスの取れた国内の廃棄物処理システムの構築を目指すとともに、全方位的な技術開発を進めることで、熱処理志向や機械選別・生物処理志向などの各国の多様なニーズに対応し、我が国が既に得ている市場の維持・拡大と新市場の開拓を並行して進め、国際的な CN 化に貢献しつつ経済効果を獲得する。

- なお、2023 年 3 月に開催されたグリーン電力の普及促進当分野ワーキンググループ（第 5 回）の後に本研究開発の範囲を明確にし、行うべき技術開発に絞り込みを行った。

① 焼却

- 衛生処理や最終処分場確保、さらには最終処分場からのメタンガス発生抑制の観点から、廃棄物焼却施設の新設ニーズはアジアを中心として世界的に高まると想定されている。現時点では世界市場において日本企業が高いシェアを有しており、設備建設のみならず運転技術や保守などに関して保有しているノウハウを最大限活用して GHG 削減に大きく寄与する CN 型焼却施設を開発することで、日本企業の強みを維持しつつ、将来的な高い市場シェアの確保を確かなものにするのが可能である。
- 焼却処理は廃棄物の無害化・安定化・減量化に優れ、現状の日本においては FIT 制度下

での売電により処理コストの低減が可能である一方で、含水率の高い厨芥類も燃焼するため潜熱分のエネルギーを喪失しており、近年は新設プラントにおいても廃棄物発電の発電効率向上は頭打ちとなっている。また、廃棄物中炭素のほぼ全量を CO₂ へ完全酸化して大気に排出していることや、排ガス全量を対象とする性状変動に対応した CO₂ の分離・回収技術が確立されていないことなどから、従来のエネルギー回収では今後想定されるバイオマス比率の高い炭素資源を十分有効利用できず、他の電源のゼロエミッション化に伴い廃棄物発電の環境価値が相対的に低下することが懸念されている。

- また、廃棄物焼却施設は長寿命化が進められており、設置から 30 年程度使用され続けることが想定される。2030 年までに設置された施設が 2050 年以降も稼働を続けることを想定し、既存の焼却施設への CO₂ 分離回収設備の後付けや基幹改良のタイミングにおける設備導入も可能な技術開発が必要である。
- 以上より、将来の CN 社会に適合し、かつ海外での高いシェアを維持し続けるために、本プロジェクトにおいて、CO₂ の有効利用（CCU¹⁰）に繋がるような、エネルギー自立的な CO₂ 分離回収を行う処理施設の開発や、経済合理性を確保するための焼却施設の低コスト化に関する新技術の開発、さらには各地域にマッチした処理技術・焼却施設の導入・運転技術の確立を通じて、多角的に国際競争力を有する CN 型炭素循環プラントを実現する。
- また、社会実装を確実に進めて行く上では、CN 型炭素循環を中心とした物質収支バランスの成立に加え、エネルギー収支に優れた廃棄物処理施設であることが必要であり、この点については大規模実証で検討していく。併せて、廃棄物処理施設及び周辺技術も含めた全体的な GHG 排出量削減やエネルギー収支にも留意することが必要である。
- なお、CO₂ 分離回収や有効利用の技術について、既に適用可能と判明している既存技術を組み合わせる場合には、本プロジェクト中での設備整備は措置しない。

② 熱分解

- 廃棄物の熱分解、特にガス化（原燃料化）技術は、世界でも日本が先頭に立っている分野である。ガス化技術の構想は欧州において先行したが、雑多で性状変動の大きい廃棄物特有の困難性があるところ、技術的に安定稼働に至らず、多くのプラントが建設から数年で廃止した経緯がある。一方、日本では、流動床などの独自技術の発展や、欧州から導入された技術の改善によって、今日まで長期稼働の実績を有する。その中には合成ガスを回収するガス化改質も含まれるが、その多くは初期（2000 年頃）にコンセプトが評価されて建設・稼働中である一方で、運転コスト（エネルギーコスト、メンテナンスコスト等）面の課題から近年は新規導入が進んでいない。
- 熱分解は処理物を完全酸化させないことが可能¹¹で、直接的に有用な合成ガス・熱分解油

¹⁰ CCU: Carbon dioxide Capture and Utilization（CO₂ 分離回収・有効利用）

¹¹ 廃棄物中炭素の一部は CO₂ まで酸化される。

を得ることができるため、CO₂ と水素を原料とする場合よりも効率的にカーボンリサイクル燃料・化学品を製造できる可能性があり、水素を外部から供給する必要がある技術と比較して、相対的に早期の社会実装が期待できる。また、廃棄物に含まれる水素を活用するため、外部の水素供給インフラの整備を待たずに CN 型炭素循環プラントとして社会実装することが期待できる。

- 近年の世界的な脱炭素化の潮流においては、欧米を中心に、廃棄物から得た合成ガスを利用してメタノール等を製造するプロジェクトが進みつつある中で、当技術への注目が高まっており、これまでの蓄積を活用して真に普及性のある技術を我が国が研究開発して実証することで、欧州をはじめとした新たに生まれようとしている市場を牽引し、我が国に有利な条件での市場形成を促す。これにより、一層の中長期的なシェア獲得・拡大が可能となる。
- 以上より、本プロジェクトにおいては、従来型の焼却処理などの競合する技術と同程度のコスト下で、高い技術競争力を維持しつつ、様々な性状の廃棄物に対応可能な高効率熱分解技術の開発・大規模実証を実施する。
- また、社会実装を確実に進めて行く上では、CN 型炭素循環を中心とした物質収支バランスの成立に加え、エネルギー収支に優れた廃棄物処理施設であることが必要であり、この点については大規模実証で検討していく。併せて、廃棄物処理施設及び周辺技術も含めた全体的な GHG 排出量削減やエネルギー収支にも留意することが必要である。
- なお、CO₂ 分離回収や有効利用の技術について、既に適用可能と判明している既存技術を組み合わせる場合には、本プロジェクト中での設備整備は措置しない。

③ メタン発酵

- プラスチック資源循環の進展等に伴い、化石資源由来の廃棄物の比率が低下し、有機性廃棄物の比率が上昇することが想定される。メタン発酵は小規模、低コストで分散型の処理が可能であるほか、地域の多様なバイオマス源を受け入れ可能で、バイオガスの回収・利用のほかにも発酵残渣の利用による輸入肥料の代替など、地域への多面的な効果が期待されるため、有効な処理方法となり得る。特に、厨芥類¹²などの食品廃棄物は含水率が高く、運搬効率とエネルギー回収のバランスを勘案すれば、熱処理よりもメタン発酵技術による地域分散型処理が有利となり得る。また、メタン発酵技術により発生したバイオガスをメタンネーションすることで得られるバイオメタンをガスの形態のままで周辺地域の産業に供給することはエネルギーロスの少ない地域循環共生圏の確立に資するため都市ガス注入を念頭に置いた品質担保を開発目標としている。なお、都市ガスが普及していない地域への導入に際しては LNG 等への利用を検討する。また、バイオメタンネーション時に使用する水素（60t/d のメタン発酵施設から生じるバイオガスのメタンネーションに必要な水素については、約 20,000Nm³/d と試算）供給については、余剰再エネを水素に活用する動きや水素供給インフラの整備の動向を踏まえながら

¹² 調理等で発生する生ごみ等

検討していく。

- また、メタン発酵において発生するバイオガスには主成分のメタンのほかに CO₂ が 40～50% 程度¹³と高濃度に含まれ、例えば、このバイオガス中の CO₂ を分離せずに直接メタネーションすることができれば、バイオマス由来のメタン（バイオメタン）を効率的により多く回収できるなど、廃棄物処理と一体的かつ効率的な CCU が実現できる可能性があるにもかかわらず、現在は有効利用できていない。また、メタネーション施設は既存のメタン発酵施設への後付けや基幹改良における設備導入も技術的に可能であり、社会実装の可能性が高い。
- IEA NetZero シナリオ¹⁴によると、世界全体でのバイオガス・バイオメタンの供給量は、2050 年にかけて大幅な増加が想定されている。現在は、バイオガスをそのまま利用する比率が高いが、将来はバイオメタンへの転換量が増加する見込みである。Low-carbon gas としても、バイオメタンの割合が最も高くなっており、カーボンフリーな燃料としてその需要が高まることが示唆されている。メタン発酵技術は欧州が先行しているほか、バイオガスの直接メタネーションも欧米を中心に、触媒によるメタネーションと微生物等によるバイオメタネーションのどちらに関しても研究開発が実施されている。国内においてもバイオメタネーションの研究開発は活発に行われてきているが、廃棄物処理におけるバイオメタネーションは未だ商用化以前の段階にあり、国内外の動向を注視しつつ早急に研究開発を進めていくことで、アジアにおける水素社会の構築時期に合わせて市場へ参入する可能性を確保できる。また、反応速度を上げつつスケールアップが実現されれば、焼却施設の基幹改良に合わせた併設や既存メタン発酵施設への後付けなどによる社会実装が期待できる。
- 以上より、本プロジェクトでは、将来のごみ質の変化や CN 社会を見据え、有機性廃棄物から高効率にバイオメタンを製造する技術の開発・実証を実施する。

● 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

本事業では、排ガス中の CO₂ の分離回収などを前提とした廃棄物処理技術の研究開発を進めることとしているのに対し、関連しうるプロジェクトとして「CO₂ の分離回収等技術開発」プロジェクトがある。当該プロジェクトにより研究開発が進められている技術の一部活用が期待される一方、そのまま転用することは、廃棄物処理に特有の諸課題（処理量・性状・組成等の日差変動、排ガス・排水・残渣の処理等）により困難であり、廃棄物処理システム全体での技術の確立が求められる。しかしながら、関連基金プロジェクト間で連携を図り、成果を最大化していくため、必要に応じて相互に情報交換や開発した技術の有効活用等を行うことで、双方の研究開発を一層加速していくことが考えられる。

また、CO₂ の利活用の観点で関連するプロジェクトとして、CO₂ 等を用いた製造技術開発

¹³ 環境省「メタンガス化施設整備マニュアル（改訂版）」（2017 年 3 月）より

¹⁴ IEA, Net Zero by 2050 (2021)

プロジェクト（CO₂等を用いたプラスチック原料製造技術開発、CO₂等を用いた燃料製造技術開発、CO₂を用いたコンクリート等製造技術開発）、バイオものづくり技術によるカーボンリサイクル推進プロジェクトがある。当該プロジェクトにおいて、廃棄物処理施設との組合せの観点から有望な技術が開発されることが期待されるため、必要に応じて情報を入手し、本プロジェクトの研究開発に反映させていく。

その他に、「大規模水素サプライチェーンの構築」「再エネ等由来の電力を活用した水電解による水素製造」プロジェクトについては、廃棄物処理施設においても利用しうる安価かつ大量の水素や酸素の供給につながる技術開発であるため、必要に応じて情報を入手し、本プロジェクトの研究開発に反映させていく。

➤ 既存事業

- 環境省の実施する「CCUS 早期社会実装のための環境調和の確保及び脱炭素・循環型社会モデル構築事業」については、既存の手法による焼却施設排ガス等からの CO₂ 分離回収や回収後のガスの有効活用技術の技術実証であり、通常の焼却炉の 10 分の 1 程度のスケールで行っているところ。一方、本プロジェクトは、当該事業で得られた知見を踏まえて、実際の廃棄物処理施設全体としてのシステム確立に向けた研究開発・技術実証であり、社会実装を見据えた実証設備や実際の廃棄物施設を活用しつつ、安定的な CO₂ の分離回収率の向上と分離回収に伴うエネルギー消費の大幅な増加等の課題克服により、コスト増加抑制とエネルギー効率改善を同時に実現するための研究開発を進めるため当該事業とは異なる。
- 環境省の「既存のインフラを活用した水素供給低コスト化に向けたモデル構築実証事業」において、生ごみから製造したバイオガスに含まれる CO₂ をメタネーションする実証が実施されている。当該事業は、開発済みの設備等を組み合わせて、バイオガス製造後のバイオガス中 CO₂ のメタネーションについて実証するものであり、研究開発事業ではない。本プロジェクトは、当該実証事業で得られた知見も活用しつつ、バイオガス中の CO₂ を分離せずに直接メタネーションする等の研究開発を進めるため当該事業とは異なる。
- 国土交通省の「下水道応用研究」の下水道施設における創エネルギー化技術において、下水汚泥を対象とした消化槽におけるメタネーションの実証が実施されている。当該実証は、既存の下水汚泥消化槽の中でバイオガス化からメタネーションまでを行う「In-situ」と呼ばれる方式を採用している。一方で、バイオガス化とメタネーションを別のリアクターで行う「Ex-situ」方式は、例えば既存消化槽の容量不足により「In-situ」方式でのメタネーションが困難な場合でも採用できるなどのメリットを有している。また、生ごみ等の有機性廃棄物由来のバイオガスを対象としたメタネーションを実施する場合、下水汚泥よりもメタン発生量・濃度の変動や不純物混入の程度が大きく、安定的かつ効率的にバイオメタンを製造するためには制御等の対応が必要となるが、この場合「Ex-situ」方式が有利である。本プロジェクトは、有機性廃棄物由来のバイオガスを対象として、「Ex-situ」方式も含め、安定処理に向けた制御や既存のメタン発酵施設へも追設できるリアクターの技術開発を実施するため当該事業とは異なる。

- グリーン成長戦略の実行計画における記載（抜粋）

- （１３）資源循環関連産業

- ② リユース、リサイクル・排ガスの活用

- ＜現状と課題＞

- リユース、リサイクルについては、循環型社会形成推進基本法及び同基本計画・各種リサイクル法等により取組を推進するとともに、グリーン購入法によりリサイクル製品の調達拡大を推進している。また、国内での再生利用に向けたリサイクル技術の実証、設備の導入補助を実施している。

- 焼却施設排ガス等の活用については、ごみ焼却施設において CCU プラントが既に稼働している。加えて、廃棄物の焼却・ガス化に伴う排ガス等からメタンやエタノール等を生成する実証事業を実施している。

- ＜今後の取組＞

- リサイクルについては、更なる再生利用拡大に向け、リサイクル性の高い高機能素材やリサイクル技術の開発・高度化、回収ルートの最適化、設備容量の拡大に加え、再生利用の市場拡大を図る。特に、2022 年 4 月より施行された「プラスチックに係る資源循環の促進等に関する法律」（令和 3 年法律第 60 号）に基づき、製造・販売事業者等、市町村及び排出事業者等による円滑な回収・リサイクルを促進する。同様に、プラスチック以外の分野についても、資源循環の推進について検討を深めていく。

- 焼却施設排ガス等の活用については、グリーンイノベーション基金の活用を検討しつつ、廃棄物処理施設から CO₂ 等を回収しやすくするための燃焼制御等や、多様な不純物を含む低濃度の排ガスからの CO₂ 等の分離・回収・利用等、革新的技術の開発や実証事業等を通じてスケールアップ・コスト低減等を図り、実用化・社会実装に向けた取組を進める。

- これらの取組を進めることで、廃棄物や排ガスを地域資源として活用した産業振興等、地域循環共生圏の創造による持続可能な地域づくりが進むことが期待される。

- ③ 廃棄物発電、熱利用、バイオガス化、排ガスの固定化

- ＜現状と課題＞

- 有機性廃棄物の埋立によるメタン発生を回避するため、有機性廃棄物は焼却やバイオガス化し、エネルギーを回収している。また、河川等の維持管理において発生する樹木（伐採木・流木等）については、バイオマス発電等の再エネ資源になり得るが、有効活用の促進が課題となっている。

- 廃棄物発電については、ボイラー材料の技術開発等により、ごみ焼却施設の発電効率を毎年向上させ、2018 年度は平均 13.58%を達成した。

- 熱利用については、廃棄物焼却施設から発生する熱を熱導管で近隣の利用施設へ供給することなどにより有効活用を推進している。

バイオガス化については、中小廃棄物処理施設での焼却によるごみ処理量当たりのエネルギー回収量に限りがあることから、メタン発酵によるバイオガス化技術で廃棄物エネルギーを回収している。

焼却施設排ガス等の固定化については、ごみ焼却炉の排ガス等から分離・回収した CO₂を固定化するレベルでの技術開発を実施している。

3 R の推進等により 1 人当たりのごみ排出量や最終処分量が着実に減少していることに加え、人口減少の進行によりごみ排出量は今後さらに減少していくことが見込まれるところ、日本全体での廃棄物処理に必要な処理施設の能力は減少していく。他方で、廃棄物処理に係る担い手の不足、老朽化した社会資本の維持管理・更新コストの増大、地域における廃棄物処理の非効率化等が懸念されている上、上述の技術開発・実装を進め、エネルギー回収効率の向上とコスト低減を図るには、一定以上の処理能力を有する施設を整備していく必要がある。このため、都道府県への通知や「広域化・集約化に係る手引き」の周知により、市町村単位のみならず広域圏での一般廃棄物の排出動向を見据え、廃棄物の広域的な処理や廃棄物処理施設の集約化を図るなど、必要な廃棄物処理施設整備を計画的に進めている。

<今後の取組>

廃棄物発電については、今後のごみ質の大きな変化（プラ割合の減少に伴う有機性廃棄物割合の増加等）によって、発熱量が小さくなり、発電効率の低下が懸念されることから、低質ごみ下での高効率エネルギー回収を確保するための技術開発を進める。また、気候変動緩和策として、継続的に実施する河川等の維持管理において発生する樹木（伐採木・流木等）を、バイオマス発電等の再エネ資源として利用促進するため、現場実証で確認した課題を踏まえ、その解決と維持管理の効率化の実現可能性を検証するとともに、一般廃棄物処理施設等の有効活用の可能性を検討する。

熱利用については、廃棄物焼却施設の運転効率の向上に加え、廃棄物焼却施設の立地条件が熱の活用度合いに大きく影響するため、遠方の利用施設に熱供給を行うための蓄熱や輸送技術の向上・コスト低減を促進する。

バイオガス化については、今後のごみ質の大きな変化に伴うメタン化施設の大規模化を見据えた技術実証事業を進めるとともに、下水道バイオマスの活用拡大のため、「下水道エネルギー拠点化コンシルジュ事業」の充実など、地方公共団体における案件形成促進を 2025 年度まで集中的に取り組む。

また、2021 年度末を目途に各都道府県に対して「広域化・集約化計画」の策定を求めることで、広域化・集約化を推進し、地域の持続可能な廃棄物適正処理体制の構築と併せて、廃棄物エネルギーを効率的に回収することによる地域のエネルギーセンターとしての機能や、施設の耐震性等を推進し地震や水害等で稼働不能とならないよう強靱性を確保することによる災害時の電源供給や避難所等の防災拠点としての活用など、地域の社会インフラとしての機能を高めた廃棄物処理施設の整備を進めていく。

これらの取組により、地方公共団体における省エネ・創エネの推進や、CO₂ 排出の低減、さらには廃棄物エネルギーを利用した産業振興、自立分散型の電力・熱供給等による災害時の防災拠点としての活用など、地域循環共生圏の核となる地域に新たな価値を創出する施設整備が進むことが期待される。

- 脱炭素成長型経済構造移行推進戦略（GX 推進戦略）における記載（抜粋）

- 8) 資源循環

- 成長志向型の資源自律、循環経済の確立に向けて、動静脈連携による資源循環を加速し、中長期的にレジリエントな資源循環市場の創出を支援する制度を導入する。ライフサイクル全体での資源循環を促進するために、循環配慮設計の推進、プラスチックや金属、持続可能な航空燃料（SAF）等の資源循環に資する設備導入等支援やデジタル技術を活用した情報流通プラットフォーム等を活用した循環度や CO₂ 排出量の測定、情報開示等を促す措置にも取り組む。

- 13) カーボンリサイクル/CCS

- ① カーボンリサイクル燃料

- カーボンリサイクル燃料は、既存のインフラや設備を利用可能であり、内燃機関にも活用可能であるため、脱炭素化に向けた投資コストを抑制することができるとともに、電力以外のエネルギー供給源の多様性を確保することでエネルギーの安定供給に資する。

- メタネーションについては、燃焼時の CO₂ 排出の取扱いに関する国際・国内ルール整備に向けて調整を行い、化石燃料によらない LP ガスも併せて、グリーンイノベーション基金を活用した研究開発支援等を推進するとともに、実用化・低コスト化に向けて様々な支援の在り方を検討する。

- SAF や合成燃料（e-fuel）については、官民協議会において技術的・経済的・制度的課題や解決策について集中的に議論を行いつつ、多様な製造アプローチ確保のための技術開発促進や実証・実装フェーズに向けた製造設備への投資等への支援を行う。

- ④ CCS

- 2030 年までの CCS 事業開始に向けた事業環境を整備するため、模範となる先進性のあるプロジェクトの開発及び操業を支援するとともに、CO₂ の地下貯留に伴う事業リスクや安全性等に十分配慮しつつ、現在進めている法整備の検討について早急に結論を得て、制度的措置を整備する。

2. 目標

● アウトプット

➤ 研究開発の目標

1. 2030 年までに、下記を満たす CO₂ 分離回収を前提とした廃棄物焼却処理施設を実現する技術を確立
 - 廃棄物に含まれる炭素の安定的回収率 90%以上[※]
 - ※ 施設規模 300t/日(150t/日×2 炉)程度、従来型の焼却処理（廃棄物発電を行う場合を想定、以下同様）からの正味処理コスト¹⁵増約 1 万円/t-廃棄物以内¹⁶の条件下での数値
2. 2030 年までに、下記のいずれかを満たす廃棄物の熱分解処理施設について、実環境での大規模な有効性の実証[※]
 - ガス化の場合：炭素有効利用率の最大化（システム全体として廃棄物に含まれる炭素の利用率 80%以上を見込みつつ、廃棄物中の炭素のうちエタノール等の製品化された炭素への利用率が 27%以上）
 - オイル化の場合：発熱量の回収率の最大化（システム全体として廃棄物に含まれる炭素の利用率 80%以上を見込みつつ、廃棄物が有する発熱量のうちバイオオイルで回収する発熱量の割合が 48%以上）
 - ※ ガス化、オイル化のいずれの場合も、施設規模 300t/日(150t/日×2 炉)程度、従来型の焼却処理からの正味処理コスト増約 1 万円/t-廃棄物以内での数値
3. 2030 年までに、下記 2 点を満たす有機性廃棄物をバイオメタン等に転換する地域分散型処理システムを実現する技術を確立
 - メタン発酵バイオガス直接メタネーションをパイロットスケールで実証（精製を含めてメタン濃度 97%以上）
 - 低温(数十度)かつ低圧(～0.8MPa)条件下でメタネーションによるメタン生成速度¹⁷50NL/Lr・d 以上

（目標設定の考え方）

1. 現在諸外国で進められている廃棄物焼却施設の排ガスからの CO₂ 分離回収

¹⁵ 焼却施設及び CO₂ 分離回収設備に係る償却費、用役費、O&M（オペレーション及びメンテナンス）の費用を加味し、電力等の売却による収入を控除したものを、廃棄物 1 t を処理するために必要となる原単位で計算したもの

¹⁶ 廃棄物中の炭素のバイオマス比率を 6 割程度として、バイオマス由来炭素には先進国の将来（2030 年）の平均炭素価格 130 米ドル/t-CO₂（IEA, NZE）を、化石由来炭素には「CO₂ 分離回収等技術開発」プロジェクトにおける CO₂ 濃度 10%以下の排ガスを想定したコスト目標と同水準（2,000 円台/t-CO₂）を仮定した炭素価値

¹⁷ メタン生成速度（NL/Lr・d）：リアクター容量（Lr）当りの 1 日当りのメタン発生量（NL）。本数値が大きくなると、必要なリアクター容量が小さくなる。

に関するプロジェクトのうち、将来的に排ガス全量を対象とした CO₂ 分離回収を構想している事例で想定される回収率は 90%弱程度¹⁸であり、回収率 90%は世界の市場を狙う上で国外の動向と遜色ない高い水準といえる。

一方で、分離回収設備に伴う設備費・運転維持費の増加に加えて、分離回収に要するエネルギー消費に伴って売電収入が低下するなどし、従来型の焼却処理と比較して正味処理コストが増加する。社会実装に向けては、分離回収設備を含めた CN 対応型焼却プラント（新設及び既設改良）の正味処理コストの増加分を、従来型と比べてプラント導入側の許容範囲内に収めることが重要である。プラントの社会実装が進む中でさらなるコスト低下が期待されとしても、開発終了時点での追加コスト分は少なくとも他分野と同程度の CO₂ 分離回収費用にその時点での炭素価値を加味した分と同程度以下までは削減されていることが望まれる。

また、諸外国では施設の大規模化を前提として 1,000t/日級の焼却施設を前提とした開発が行われている。同時に、「イノベーション実現シナリオ」及びより条件が厳しいシナリオにおいても 300～600t/日ならびに 600t/日以上 of 施設導入率がそれぞれ 4 割程度まで増加していくことが示されており、すくなくとも 300t/日程度の規模の施設においてコスト制約と安定的な回収率を実現することは重要である。

以上の考え方から、この制約条件下において、国際的に高水準の炭素回収率 90%を安定的に維持することを本研究開発項目のアウトプット目標として設定する。

2. 熱分解技術は、CCU を前提とした廃棄物処理技術として欧米を中心に関心が高く、特にガス化技術について我が国が先行して知見を有しているが、生成改質ガスは発電に用いられており、特に廃棄物発電を伴う焼却処理との比較においてはその運転コストがネックとなり、新規導入が進まない状況にある。正味処理コストを抑えるためには、熱分解炉において革新的な技術を導入することにより炭素の回収・利用率を向上させ、有用な製品製造に使用し、その売却による収益を増やしていくことが重要である。本技術開発によりガス化改質技術を通じた炭素の利用率を 27%以上[※]まで引き上げることを目指す。

※発酵技術によるエタノールへの転換を想定した場合の数値。（廃棄物中炭素のうち合成ガス中の CO への転換率 45%）×（発酵技術による合成ガスのエタノールへの転換率 60%）により求められた値。プラスチック分別後の発熱量の低い一般廃棄物を、外部から熱供給を受けずそれ自体の燃焼熱で熱分解した場合には、現状の技術においては熱分解生成物の炭素回収率としては発熱量ベースで約 20%が限界に近い数値となる。ガ

¹⁸ デンマーク（コペンハーゲン/ARC 社）やノルウェー（オスロ/Fortum Oslo Varme 社）で計画中の事例

ス化改質技術の炭素利用率は廃棄物の発熱量により変化するが、本技術開発により少なくとも 27%まで引き上げることを目指す。なお、発酵技術によるエタノールへの転換以外の触媒技術の利用なども想定されるが、同技術に係る最新の国内外の技術開発・社会実装の事例等を踏まえ適切な目標値を設定すること。

また、厨芥を含む一般廃棄物の熱分解による熱分解油の回収・濃縮は世界でも例がなく、技術が確立されていない。国内外への普及に向けてコストを抑えることを前提としつつも、得られるバイオオイルのうち液体燃料として使用可能な軽油や重油相当分の比率を最大化し、バイオオイル回収率として 48%※（発熱量ベース（バイオオイル発熱量/廃棄物発熱量））の高い目標を目指す。

※（熱分解生成物の回収率 60%）×（熱分解生成物中のオイル分 80%）により求められた値。プラスチック分別後の発熱量の低い一般廃棄物について、それ自体の燃焼熱で熱分解するためには最低でも 40%程度の発熱量を消費するため、外部から熱供給を受けない場合の熱分解生成物の回収率としては発熱量ベースで 60%が限界に近い数値となる。また、廃プラスチックを油化した際の熱分解生成物中のオイルは 80%程度であり、発熱量の低い雑多な一般廃棄物を対象とする本技術の目指すレベルとしてこれと同等の高い数値を目指す。

これらの達成により、熱分解処理で残った炭素(CO₂)を既存技術等の組合せにより回収し外部供給できる形にした割合を合算して、廃棄物に含まれる炭素利用率が 80%以上となることが見込まれる。

なお、社会実装に向けては、CN 対応型熱分解プラントの正味処理コストが、現状の焼却施設の処理コストと比べてプラント導入側の許容範囲内に収めることが重要である。プラントの社会実装が進む中でさらなるコスト低下が期待されるとしても、開発終了時点での追加コスト分は少なくとも他分野と同程度の CO₂ 回収費用にその時点での炭素価値を加味した分と同程度以下までは削減されていることが望まれる。

3. メタン発酵施設で発生するバイオガスのメタン比率は 50~60%程度¹⁹（メタン以外の 40~50%は CO₂ 等）であり、そのままでは既存のガスインフラ注入には適さないため、現状では、バイオメタンを製造する際にはエネルギーを投じて CO₂ を分離し、分離した CO₂ はそのまま大気へ放出している。分離プロセスを経ずに CO₂ を直接メタネーションできれば、バイオマス由来メタンの回収量を効率的に増加させることが可能となる。

海外で進められている実証は、下水汚泥等の比較的均一なものを対象とした高温・高圧条件下でのバイオガスの直接メタネーションであるが、我が国における社会実装を進める上では、安全性が高く、高圧ガス保安法による規制の適

¹⁹ 生ごみを対象としたメタン発酵の場合（メタンガス化施設整備マニュアル（改訂版））

用外となり、初期費用を抑えつつ既存施設への適用が可能である低温・低圧条件下におけるバイオメタネーション技術の開発が求められる。低温・低圧下でのバイオメタネーションは、現状では反応液相への水素の溶解速度が律速要因となり、スケールアップのためには大型のリアクターが必要で、その結果コストや設置面積の増加を招くため社会実装を困難にする。また、都市ガスへの注入に向けては、ガスのクオリティ（メタン濃度等）の確保が課題となっている。このため、本プロジェクトにおいては、低温(数十度)かつ低圧(～0.8MPa)条件下のメタネーションで海外商用ベースのメタン生成速度[24～54 NL/Lr・d] と同等の早いメタン生成速度[50NL/Lr・d 以上] を実現することを目指す。

また、社会実装の段階では実際の需要に合わせたメタン濃度とすることが求められるため、補助の段階でのメタン濃度は限定しないものの、メタン濃度が97%程度以上であれば既存のガスインフラも活用可能な技術と考えられることから、「メタン発酵バイオガス直接メタネーションをパイロットスケールで実証（精製を含めてメタン濃度 97%以上）」を目標の一つとして設定する。

なお、この技術開発に加えて、従来のメタン発酵施設において発酵残渣・消化液として残ってしまう有機炭素も含めて有効利用を進めることで、全体の炭素利用率は 80%程度以上となることが想定される。

1. 2. 3. いずれについても処理する廃棄物のばらつきに依らず目標が真に達成されているか判断するため、投入廃棄物に関する基礎データを目標達成の有無に関わらず整理する。

（目標達成の評価方法）

提案者の柔軟性を確保する観点から、各目標の個別の評価方法については、現時点で特定せず、その方法についての考え方を示すのみに留め、今後案件の採択時により具体的に決定することとする。

1. ①化学吸収法をベースとした CN 型廃棄物焼却施設

2024 年頃までに廃棄物由来の微量物質が CO₂ 分離回収設備へ与える影響評価を行い、目標達成を見通せる要素技術の抽出・確定を、2027 年頃までに大規模実証施設に向けた要素技術開発・設計を確認した上で、2030 年までに実環境での実機稼働を想定した規模での有効性の実証を行い、回収した CO₂ 量の実データから炭素回収率を計算して評価。評価の時点で、正味処理コストの増加分（設備費、運転維持費、販売収入等から計算）が、評価を行う時点での制約条件を満たしていることも確認。

②酸素富化(燃焼)をベースとした CN 型廃棄物焼却施設

2025 年頃までに目標達成を見通せる要素技術の開発状況を、2027 年頃まで

に大規模実証施設に向けた設計・全体モデル構築状況を確認した上で、2030 年までに実環境での実機稼働を想定した規模での有効性の実証を行い、回収した CO₂ 量の実データから炭素回収率を計算して評価。評価の時点で、正味処理コストの増加分（設備費、運転維持費、販売収入等から計算）が制約条件を満たしていることも確認。

2. 2025 年頃までに目標達成を見通せる要素技術の開発状況を、2027 年頃までに大規模実証施設に向けた設計・全体モデル構築状況を確認した上で、2030 年までに実環境を見据えた大規模な有効性の実証を行い、回収した有用合成ガス・オイル量から炭素利用率又は発熱量ベースでの回収率を計算して評価。評価の時点で、正味処理コストの増加分（設備費、運転維持費、販売収入等から計算）が制約条件を満たしていることも確認。
3. 2026 年頃までに目標達成を見通せる要素技術の開発状況を、2027 年頃までにパイロットスケールでの実証を行い、精製を含めたメタネーションによるメタン濃度・生成速度を評価し目標達成状況を確認した上で、2030 年までに実環境を見据えた大規模な有効性の実証を行い、炭素利用率を計算して評価。

（目標の困難性）

- 1.について、現状水準では正味処理コスト増加を 1 万円/t-廃棄物以内におさめるための回収率は 60~70%程度であり、回収率 90%を達成するためには 1.3 万円/t-廃棄物のコスト増加となる。コスト増加と回収率向上は相反関係にあり、求められる条件を達成するためには、エネルギー最適化による売電収益確保や排ガス中 CO₂ 濃度の上昇、そのための制御技術の確立等の革新的技術が必要である。
- 2.については、既存のガス化改質施設において廃棄物発電を伴う焼却処理と比較した場合のコストの大きさが最大の普及阻害要因となっている中で、現時点では、炭素価値分を含む商品価値を考慮しても、コストの制約下で高い炭素有効利用率を達成することは困難な目標値である。
- 3.については、現在の我が国では、商用ベースの実績は無く、試験ベースでのメタン生成速度はおよそ[0.5 NL/Lr・d] 程度。性状が比較的安定している下水汚泥を利用した比較的大規模の実証が海外で先行して計画・実施されている中で、性状が不安定である都市ごみ特有の課題を解決したうえで、実環境での大規模な有効性の実証を行うという高い目標設定となっている。

（参考 1）廃棄物焼却施設排ガス CO₂ 分離回収のパイロット試験中であり将来には全量対象構想を有する事例

	デンマーク (コペンハーゲン/ARC社)	ノルウェー (オスロ/Fortum Oslo Varme社)
処理能力(施設規模)	35t/h×2炉(計 1,680t/日)	20t/h×1炉、10t/h×2炉(計 960t/日)
ごみ処理量※1	60万トン/年	32万トン/年
CO2排出量※1	56万トン/年	46万トン/年
CO2用途	(将来的には北海に貯留)	(将来的には北海に貯留)
CO2回収施設稼働状況	2021年6月パイロット試験開始済	2019年2月パイロット試験開始済
将来的なCO2回収量	2025年までに年間50万トンのCO2回収を 計画中(回収率89%※2)	2024年以降に年間40万トンのCO2回収を 計画中(回収率87%※3)

※2 ARC, “CO2 capture at ARC ClimAid CPH – Ground-breaking project can make Copenhagen CO2-neutral by 2025” からCO2排出量と回収量より逆算

※3 Fortum Oslo Varme AS (2020) “FOV Design Basis for CC Plant” からCO2排出量と回収量より逆算

(出典) ・Global CCS Institute (2019) Waste-to-Energy with CCS: A pathway to carbon-negative power generation
・ARC(2021) Market dialogue - Project klimAid Copenhagen
・ARC, CO2 capture at ARC ClimAid CPH – Ground-breaking project can make Copenhagen CO2-neutral by 2025
・V Bisinella et, al (2022) Environmental assessment of amending the Amager Bakke incineration plant in Copenhagen with carbon capture and storage
・Norwegian Ministry of Petroleum and Energy (2020) Longship – Carbon capture and storage
・GP Helsing (2015) Options for Carbon Capture with Storage or Reuse in Waste Incineration Processes
・Johnny Stuen (2016) Feasibility Study of Capturing CO2 from the Klemetsrud CHP Waste-to-Energy Plant in Oslo
・Fortum Oslo Varme AS (2020) FOV Design Basis for CC Plant
・<https://www.fortum.com/about-us/media/press-kit/carbon-removal/fortum-oslo-varme-and-our-carbon-capture-project>

(参考 2) 廃棄物の熱分解ガス化-バイオメタノールのプロジェクト事例

技術保有企業	加熱原理	ガス化タイプ	プロジェクト実施場所	プロジェクト段階	原料	生成物	設備容量(kt/yr)
Synthesis Energy Systems (アメリカ)	DO ₂	BB	フロリダ (米国)	計画中、基本設計終了	バイオマス/都市ごみ	メタノール	875
NextChem (イタリア)	DO ₂	UO ₂	リボルノ (イタリア)	計画中	都市ごみ	メタノール	115
			ロッテルダム (オランダ)	計画中	都市ごみ/廃材	メタノール	120
Enerkem (カナダ)	DO ₂	BB	エドモントン (カナダ)	稼働中	都市ごみ	エタノール ※メタノールを経由	30
			ケベック (カナダ)	建設中 2023年稼働開始予定	都市ごみ	エタノール ※メタノールを経由	35
			ロッテルダム (オランダ)	最終意思決定中	都市ごみ	メタノール	215
			タラゴナ (スペイン)	最終意思決定中 ※EU Innovation fund 採択	都市ごみ	メタノール	240

DO₂ = 酸素による部分燃焼を用いた直接加熱, BB = 気泡型流動層, UO₂ = アップドラフト (蒸気とともに酸素を注入)

出典: IRENA(2021)を基に最新の情報を確認の上で再作表

(参考 3) バイオガスの直接メタネーション方式の研究開発状況

分類 (化学/バイオ)	企業/組織	国名	ガス原料	TRL	反応温度	圧力	追加CH4生成量	CH4純度	反応器容量
化学メタネーション	Solarfuel/etogas(現在は日立造船)	Hessen, ドイツ	嫌気性消化	5	250-550°C	6 barg	14kWHHV	>91%, <4% H ₂	数Lの触媒
	Paul Scherrer Institut	Zürich-Werdhölzli, スイス	下水汚泥と生ごみの商用嫌気性消化	5	320-360°C	6 barg	0.6-0.84 Nm ³ /h (6.6-9.2 kW _{HHV})	>97%, <2% H ₂	<1 kgの触媒, 合計13 L
	Haldor Topsoe A/S	Foulum, デンマーク	農業廃棄物や家畜糞尿の嫌気性消化	5	280-680°C	20 barg	4 Nm ³ /h (45 kWHHV)	97.9%, <2% H ₂	全長2-3m, 直径は非公開
	Ineratec GmbH	Sabadell, スペイン	下水汚泥の商用嫌気性消化	5	475-375°C (1st), 375-275°C (2nd)	主に5 barg	約1.4 Nm ³ /h (15.4 kWHHV)	93.48%, <5% H ₂	29.5cm×15cm×33.5cmの反応器が2個(2×14.8L)
バイオメタネーション	Electrochaea	Avedøre, デンマーク	下水汚泥の商用嫌気性消化	7	60-65°C	10 barg	50 Nm ³ /h (550 kWHHV)	>97%	約7 m ³ (3600 L-liquid)
	Microbenergy	Allendorf, ドイツ	商用嫌気性消化	7	60-70°C	5-10 barg	15 Nm ³ /h (165 kWHHV)	>98%	5 m ³
	University for natural resources and life sciences (Boku), Vienna	Tulln, オーストリア	家畜糞尿とスクロースのバイオロジックスケールの嫌気性消化	3-4	37±2°C	Ambient	0.6 L/h (0.01 kWHHV)	94-99%	長さ1.5 m, 直径8 cm (容量7.5 L)
	National Renewable Energy Laboratory	California, 米国		N.A.	N.A.	18 bar	700 L (固定式) 30 L (移動式)	>97%, <3% CO ₂ (目標値)	N.A.
	Demonstration site Solothurn	Alps, スイス	下水処理プラント(古細菌)	6-8	62°C以下	10-11bar	30 Nm ³ /h (325 kW)	>97-99%	3.5m ³

※触媒によるメタネーションでのバイオメタン化はTRLが概ね5程度。一方、バイオメタネーションについてはプロジェクト間で若干の差があり、相対的に必要エネルギーが大きくなる攪拌気泡塔反応器(TRL7程度)が、トリクルベッド反応器(TRL3~4程度)よりも開発が進んでいる。

出典: 国立環境研究所資源循環領域小林主任研究員からの提供情報も踏まえ以下の文献よりバシフィックコンサルタンツが作成

[1] Calbry-Muzyka et al., Direct Methanation of Biogas—Technical Challenges and Recent Progress. 2020.

[2] NREL. Biomethanation to Upgrade Biogas to Pipeline Grade Methane. 2018.

[3] STORE&GO. Remarks to the reader of the STORE&GO Roadmap for large-scale storage based PtG conversion in the EU up to 2050. 2020.

- アウトカム

CN 型炭素循環プラントの社会実装促進により、期待される世界の CO₂ 削減効果、及び予想される世界の市場規模について、以下の前提に基づき機械的に算出した。なお、推計は一般廃棄物に限定したものであり、本事業で開発する技術が産業廃棄物にも適用可能であることを踏まえると、ポテンシャルはさらに大きくなるものと見込まれる。

- CO₂ 削減効果（ポテンシャル推計）

- ✧ 約 10.5Mt-CO₂/年（2030 年）

- 中間処理増加によるメタン削減効果：6.8Mt-CO₂

- 焼却・熱分解施設における CCUS²⁰、メタン発酵＋バイオメタネーションによる都市ガスのバイオメタンへの代替による削減効果：3.6Mt-CO₂

- 【算定の考え方】

- 処理量の増加による CO₂ 削減効果については、CN 型炭素循環プラントの増加分が埋立量減少分に一致すると仮定し、埋立量減少によるメタン排出削減量及び焼却量増加による CO₂ 排出増加量の差分とする。CC²¹ 技術付帯の焼却・熱分解施設における CO₂ 削減効果については、現在計画・稼働中のプロジェクトが 2030 年時点において稼働していると仮定し、CO₂ 回収量を算出する。メタン発酵＋バイオメタネーションによる都市ガスのバイオメタンへの代替による CO₂ 削減効果については、文献からメタン発酵への仕向量及びバイオメタネーションの普及率を仮定することでメタン生成量を算出する。

- 【利用したパラメータ】

- ① 2030 年における CC 付帯焼却施設の処理量：3.5Mt/year
 - ② 2030 年における熱分解施設の処理量：0.084Mt/year（ガス化、オイル化でそれぞれ 150t/day の 280 日稼働を想定）
 - ③ 2030 年における一般廃棄物の組成：47.1%（食品系）、15.8%（紙類）、11.3%（プラスチック類）、1.7%（ゴム・革類）、1.9%（木質類）、22.1%（ガラス、金属、その他）（The World bank, What a Waste 2.0 より推計）
 - ④ 埋立に伴う組成別の CH₄ 発生原単位（CO₂ 換算、乾重量）：0.9 t-CO₂/t（食物くず）、2.7 t-CO₂/t（紙くず）、3.0 t-CO₂/t（繊維くず）、2.1 t-CO₂/t（木くず）（環境省「地方公共団体実行計画（事務事業編）策定・実施マニュアル（算定手法編）」より推計）
 - ⑤ CC 技術付帯の焼却・熱分解施設におけるプラスチック処理量：0.41Mt/year

²⁰ CCUS: Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage（CO₂ 分離回収・有効利用・貯留）

²¹ CC: Carbon dioxide Capture（CO₂ 分離回収）

(①、②、③より推計)

- ⑥ 一般廃棄物の組成別 CO₂ 排出係数 (単位 : t-CO₂/t) : 0.27 (食品系)、1.07 (紙類)、2.31 (プラスチック類)、2.17 (ゴム・革類)、0.66 (木質類) (公益社団法人全国都市清掃会議「ごみ処理施設整備の計画・設計要領 (2017 年改訂版)」より推計)
- ⑦ 2030 年における世界の一般廃棄物の発生量 : 2,586 Mt/year (The World bank, What a Waste 2.0 より推計)
- ⑧ 2030 年における一般廃棄物のメタン発酵比率 : 8.0% (The World bank, What a Waste 2.0 より、2050 年に食品系廃棄物の 50% (818Mt/year) がメタン発酵施設に仕向けられると仮定し、2020 年を基点 (0%と仮定) に線形的に仕向割合が増加するとして、2030 年におけるメタン発酵量を 207Mt/year と推計)
- ⑨ 2030 年におけるバイオメタネーション施設普及率 (メタン発酵バイオガスのうちメタネーションに仕向けられる割合) : 1.6% (IEA. Net Zero by 2050 より推計)
- ⑩ CO₂ 回収率 : 90%
- ⑪ 熱分解施設での炭素有効利用率 : 27% (ガス化)、48% (オイル化)
- ⑫ 食品系廃棄物 1t 当たりバイオガス発生量 : 131.6 Nm³/t (環境省「エネルギー回収型廃棄物処理施設整備マニュアル (令和 2 年 4 月改訂)」より推計)
- ⑬ 都市ガスの CO₂ 排出係数 : 2.23 t-CO₂/1000Nm³ (環境省、SHK 制度 算定方法・排出係数一覧)

計算式 : (①+②)×③×④-⑤×⑥+⑦×⑧×⑨×④+①×③×⑥×⑩+②×③×⑥×⑪+⑦×⑧×⑨×⑫×⑬

◇ 約 1,244Mt-CO₂/年 (2050 年)

中間処理増加によるメタン削減効果 : 927Mt-CO₂

焼却・熱分解施設における CCUS、メタン発酵 + バイオメタネーションによる都市ガスのバイオメタンへの代替による削減効果 : 317Mt-CO₂

【算定の考え方】

処理量の増加による CO₂ 削減効果については、焼却・熱分解処理及びメタン発酵量増加分が埋立量減少分に一致すると仮定し、埋立量減少によるメタン排出削減量及び焼却量増加による CO₂ 排出増加量の差分とする。CC 技術付帯の焼却・熱分解施設による CO₂ 削減効果については、2050 年における世界の一般廃棄物の発生量(The World Bank, Trends in Solid Waste Management)に焼却処理の割合を乗じて熱処理量を算出し、さらにそこから発生する CO₂ 排出量を 90%分離・回収したときの排出削減量とする。メタン発酵 + バイオメタネーションによる都市ガスのバイオメタンへの代替による CO₂ 削減効果については、文献からメタン発酵への仕向量及びバイオメタネーション

の普及率を仮定することでメタン生成量を算出する。

【利用したパラメータ】

- ① 2050 年における世界の一般廃棄物の発生量：3,399 Mt/year (The World bank, What a Waste 2.0 より推計)
- ② 2050 年における一般廃棄物の焼却処理の割合：28% (The World Bank から推計)
- ③ 現状の一般廃棄物の焼却処理の割合：11% (The World Bank)
- ④ 埋立に伴う組成別の CH₄ 発生原単位 (CO₂ 換算)：0.9 t-CO₂/t (食物くず)、2.7 t-CO₂/t (紙くず)、3.0 t-CO₂/t (繊維くず)、2.1 t-CO₂/t (木くず) (環境省「地方公共団体実行計画 (事務事業編) 策定・実施マニュアル (算定手法編)」)
- ⑤ 2050 年における世界のプラスチック (一般廃棄物) の発生量：378 Mt/year (The World bank, What a Waste 2.0 より推計)
- ⑥ 一般廃棄物の組成別 CO₂ 排出係数 (単位：t-CO₂/t)：0.27 (食品系)、1.07 (紙類)、2.31 (プラスチック類)、2.17 (ゴム・革類)、0.66 (木質類) (公益社団法人全国都市清掃会議「ごみ処理施設整備の鋭角・設計要領 (2017 年改訂版)」より推計)
- ⑦ 2050 年における一般廃棄物のメタン発酵比率：24% (The World bank, What a Waste 2.0 より、2050 年に食品系廃棄物の 50% (818Mt/year) がメタン発酵施設に仕向けられると仮定して推計)
- ⑧ 2050 年における CC 付帯の焼却施設の普及率：24% (2030 年以降、新設される焼却施設に占める CC 付帯施設の割合が年々増加していき、2050 年に 100%になると仮定)
- ⑨ 2050 年における一般廃棄物の組成：48.1% (食品系)、15.1% (紙類)、11.1% (プラスチック類)、1.5% (ゴム・革類)、1.7% (木質類)、22.4% (ガラス、金属、その他) (The World bank, What a Waste 2.0 より推計)
- ⑩ CO₂ 回収率：90%
- ⑪ 食品系廃棄物 1t 当たりバイオガス発生量：131.6 Nm³/t (環境省「エネルギー回収型廃棄物処理施設整備マニュアル (令和 2 年 4 月改訂)」より推計)
- ⑫ 2050 年におけるバイオガス中の CH₄ 割合：57.8% (全国都市清掃会議「ごみ処理施設整備の計画・設計要領」)
- ⑬ バイオメタネーション施設普及率 (メタン発酵バイオガスのうちメタネーションに仕向けられる割合)：6.1% (IEA. Net Zero by 2050 より推計)
- ⑭ 都市ガスの CO₂ 排出係数：2.23 t-CO₂/1000Nm³ (環境省、SHK 制度 算定方法・排出係数一覧)

$$\begin{aligned} \text{計算式：} & ① \times (② - ③) \times ④ - ⑤ \times (② - ③) \times ⑥ + ① \times ⑦ \times ④ + ① \times ② \times ⑧ \times ⑨ \times ⑥ \times ⑩ \\ & + ① \times ⑦ \times ⑪ \times \{⑫ + ⑬ \times (1 - ⑫)\} \times ⑭ \end{aligned}$$

➤ 経済波及効果（世界市場規模推計）

◇ 約 0.5 兆円（2030 年）

CC 付焼却・熱分解処理施設の導入：3,000 億円（2030 年）

メタン発酵施設の導入：1,700 億円（2030 年）

【算定の考え方】

CC 技術付帯の焼却・熱分解施設の経済波及効果については、2030 年までに商用運転を開始すると仮定した CC 付帯施設の処理量 3.5Mt/year、欧州での廃棄物発電施設の年間処理量当たりの EPC 単価 800 MMUSD/Mt（Kaza and Bhada-Tata 2018.より推計）を用いて試算した。

メタン発酵施設の経済波及効果については、2030 年のバイオメタネーション施設仕向量 3.2 Mt/year、欧州でのメタン発酵施設の年間処理量当たりの EPC 単価 473 MMUSD/Mt（Kaza and Bhada-Tata 2018.より推計）を用いて試算した。

（いずれも日系メーカーの世界市場におけるシェアを考慮しない数字。）

◇ 約 5.2 兆円/年（2050 年）

CC 付焼却・熱分解処理施設の導入：3.3 兆円（2050 年）

メタン発酵施設の導入：1.9 兆円（2050 年）

【算定の考え方】

CC 技術付帯の焼却・熱分解施設の経済波及効果については、2050 年における一般廃棄物の焼却量 952 Mt/year、欧州での廃棄物発電施設の年間処理量当たりの EPC 単価 800 MMUSD/Mt（Kaza and Bhada-Tata 2018.より推計）、2050 年に導入される焼却施設に占める当該技術の割合を 100%と仮定して試算した。

メタン発酵施設の経済波及効果については、2050 年に増加するバイオメタネーション施設仕向量 37 Mt/year、欧州でのメタン発酵施設の年間処理量当たりの EPC 単価 473 MMUSD/Mt（Kaza and Bhada-Tata 2018.より推計）を用いて試算した。

（いずれも日系メーカーの世界市場におけるシェアを考慮しない数字。）

3. 研究開発項目と社会実装に向けた支援²²

- 【研究開発項目 1】CO₂ 分離回収を前提とした廃棄物焼却処理技術の開発
 - 目標：2030 年までに、下記を満たす CO₂ 分離回収を前提とした廃棄物焼却処理施設を実現する技術を確立
 - 廃棄物に含まれる炭素の安定的回収率 90%以上※
※施設規模 300t/日(150t/日×2 炉)程度、従来型の焼却処理（廃棄物発電を行う場合を想定、以下同様）からの正味処理コスト増約 1 万円/t-廃棄物以内の条件下での数値
 - 研究開発内容【（9/10 委託→2/3→1/2）+1/10 インセンティブ】：
CO₂ の分離回収を前提とした場合の増加コストを抑制しつつ炭素回収率を高めるために、焼却施設への導入が必要となる新たな要素技術（分離回収設備を含む構成設備）の開発に加え、焼却施設全体の技術基盤（設備プロセス技術、操業技術等）の開発を行う。必要となる要素技術としては、排ガス中の CO₂ 濃度を高めて CO₂ 分離回収の効率を向上させる新たな燃焼技術や、従来の排ガス処理と分離回収用の排ガス設備の統合技術等が考えられる。また、これらの要素技術を十分に活用するために、施設内でのエネルギー利用を最適化できる操業技術が必要である。技術基盤の開発にあたっては、廃棄物の性状の変動に伴い量や性状が変動する焼却排ガスを対象として、廃棄物に含まれる炭素の 90%以上を CO₂ として分離回収するために実機規模を見据えた実証を行う。研究開発時に得られるデータについては、適切な取扱いの下でデータベース（DB）化し、その DB を活用した最新のシミュレーション技術、データ科学等の導入を適宜行う。
- 【研究開発項目 2】高効率熱分解処理施設の大規模実証
 - 目標：2030 年までに、下記のいずれかを満たす廃棄物の熱分解処理施設について、実環境での大規模な有効性の実証※
 - ガス化の場合：炭素有効利用率の最大化（廃棄物中の炭素のうちエタノール等の製品化された炭素への利用率が 27%以上）
 - オイル化の場合：発熱量の回収率の最大化（廃棄物が有する発熱量のうちバイオオイルで回収する発熱量の割合が 48%以上）
※ガス化、オイル化のいずれの場合も、施設規模 300t/日(150t/日×2 炉)程度、従来型の焼却処理からの正味処理コスト増約 1 万円/t-廃棄物以内での数値
 - 研究開発内容【（9/10 委託→2/3→1/2）+1/10 インセンティブ】：
現状技術水準では活用しきれない廃棄物中の炭素を利用するために、各熱分解処理方式に応じた革新的熱分解技術を開発するとともに、高止まりしている処理コスト（特にメンテナンス

²² 本プロジェクトは「脱炭素成長型経済構造移行推進戦略」（令和 5 年 7 月 28 日閣議決定）

コスト）低減に繋がる施設劣化を防ぐ熱分解処理プロセスの確立等、必要となる要素技術についても併せて開発を行う。合成ガス・オイルへの転化率向上には、従来の概念に縛られない熱分解技術や効率性向上のための新たな炉体の設計や、有用化学品製造後の残存 CO₂ を再利用する技術等の要素技術の開発を行い、既存技術等の組み合わせによる回収と併せてシステム全体で廃棄物中の炭素の 80% 以上の利用を実現するような研究開発を行う。また、廃棄物の適正処理機能を保持したまま社会実装することを踏まえ、廃棄物の組成の変動（短期・長期）にも耐え、長期に渡り安全に操業可能なプラントであることを検証する必要があることから、実機規模を見据えた実証試験を行う。研究開発時に得られるデータについては、適切な取扱いの下でデータベース（DB）化し、その DB を活用した最新のシミュレーション技術、データ科学等の導入を適宜行う。

● 【研究開発項目 3】高効率なバイオメタン等転換技術の開発

- 目標：2030 年までに、下記 2 点を満たす有機性廃棄物をバイオメタン等に転換する地域分散型処理システムを実現する技術を確立
 - ・ メタン発酵バイオガス直接メタネーションをパイロットスケールで実証（精製を含めてメタン濃度 97% 以上）
 - ・ 低温(数十度)かつ低圧(～0.8MPa)条件下のメタネーションでメタン生成速度 50NL/Lr・d 以上

➤ 研究開発内容【（9/10 委託→2/3→1/2） + 1/10 インセンティブ】：

処理対象となる有機性廃棄物を高い割合で、なおかつ優れたエネルギー効率でバイオメタンやその他の燃料に転換するために、水素反応効率の向上に資する最適リアクターの新規開発やバイオガスの量・質の変動に対応可能なプロセス、メタン発酵における分解率向上技術、発生ガス中のメタン・水素比率の向上技術、メタン発酵残渣の燃料等への転換技術などの要素技術の開発を行うとともに、有機性廃棄物受入れからバイオメタン等の利用に至る一連のシステムとしての実証を行う。バイオメタネーションを行う際に用いる微生物については、最新のバイオテクノロジーを用いた反応効率の高効率化などより優れた特性を有する微生物等を開発・活用する提案やバイオものづくりなど他の GI 基金との連携ならびに各種関連プロジェクト等との連携を通じた提案も歓迎するとともに、採択審査において考慮する。研究開発時に得られるデータについては、適切な取扱いの下でデータベース（DB）化し、その DB を活用した最新のシミュレーション技術、データ科学等の導入を適宜行う。

なお、上記研究開発項目 1～3 の実施体制として、①技術開発を行うプラントメーカー、②実証事業後に実際の施設運転を行う廃棄物処理事業者（自治体 or 民間）^{※1} 及び③回収したバイオマス由来炭素原材料・燃料（CO₂、CH₄ 等）の利用者^{※2} の 3 者（1 者で複数の役割を担うことも可）が含まれることを基本とする。提案段階においては③の参画を必ずしも

求めないが、ステージゲートのタイミングなどで実施体制について確認する。

※ 1 ②としては協力事業者としての参画を想定する。また、②として自治体が想定される場合は、応募時点での公表が困難な場合も想定されるため、応募時点からの公表は必須としないが、開始時点の想定内容を提案として記載することを基本とする。

※ 2 「③回収したバイオマス由来炭素原材料・燃料（CO₂、CH₄等）の利用者」については、例えば、回収した CO₂ を H₂ と反応させ、CH₄ とし、都市ガスとして活用するとした場合に、燃料製造事業者やガス会社等が想定される。ただし、この工程については必ずしも革新的な技術を求めるものでなく、社会実装につながる事が確認できる技術、用途であればよく、実証事業後の使用が継続されることを前提として持続可能な規模とする。

（委託・補助等の考え方）

- 一般廃棄物処理施設は、自治体等から発注を受けた民間企業によりプラントが建設されているが、ほとんど全ての自治体は施設整備の際に、国の交付金による支援を受けており、一般廃棄物の焼却施設の発注者は主に自治体であり、一般廃棄物処理は日々、処理を止めることができない性質の事業であることから、技術的な確認が十分に得られていないと、自治体が発注する際の障壁となる。また、廃棄物組成の地域差や社会情勢の変化による組成の変化、廃棄物に含まれる有害物質への対応が技術開発上のリスクとなる。そのため、国も一定の関与の下で十分な技術の確認を行うことが、当該技術の導入に資する。2050 年に向けて廃棄物処理分野での CN を目指す方針が示されているものの、CN に対応した処理施設が著しく高コストとなることが見込まれる場合、自治体等による設備更新の原資確保が困難になり、適切な時期における更新が不可となる恐れがある。そのような状況下においては、国が主導して廃棄物処理施設として対応が必要となるレベルを含めた野心的な到達目標を民間企業等に示しつつ、速やかに技術開発を実施するため、革新的な要素技術開発に関しては委託事業として行うことが妥当である。
- 個別の技術開発項目別には、以下の通りである。
- CO₂ 分離回収を前提とした廃棄物焼却処理技術の開発：将来の CO₂ に対する国内外の政策動向（カーボンプライシング等）や関連する他のプロジェクト等の技術開発状況等に不確実性がある中では、自治体等が更新に必要な予算原資の確保が困難となる状況が想定される。その結果として、更新が必要なタイミングでの入札・発注が行われず、廃棄物分野での CN 化が遅れることも懸念される。また、廃棄物処理施設は整備の構想から竣工までには 10 年程度を要する場合もあることも念頭に、2030 年代から社会実装は進めていくものの、2040 年代の導入拡大を想定している。このため、以下の通り進める。

① 化学吸収法をベースとした CN 型廃棄物焼却施設

本開発は廃棄物由来の微量物質が CO₂ 分離回収設備へ与える影響評価を委託事業として開始し、2024 年頃までに目標達成を見通せる要素技術の抽出・確定を行い、十分に見通せると判断された場合には補助事業として 2027 年頃までに大規模実証施設に向けた要素技術開発・設計を行い、その状況・妥当性を認められた場合、補助率を下げ 2030 年ま

で実環境での実機稼働を想定した規模での有効性の実証を行う。

②酸素富化(燃焼)をベースとした CN 型廃棄物焼却施設

本開発は革新的な要素技術開発に関して委託事業として開始し、2025 年頃までに目標達成を見通せる要素技術の開発状況を確認し、十分に見通せると判断された場合には補助事業として 2027 年頃までに大規模実証施設に向けた設計・全体モデル構築を行い、その状況・妥当性を認められた場合、補助率を下げて 2030 年までに実環境での実機稼働を想定した規模での有効性の実証を行う。

- 高効率熱分解処理施設の大規模実証：熱分解処理の事業性は、将来の CO₂ に対する国内外の政策動向（カーボンプライシング等）などに依存し、不確実性が高いため、2030 年代から社会実装は進めていくものの、2040 年代の導入拡大を想定している。このため、本開発は革新的な要素技術開発に関して委託事業として開始し、2025 年頃までに目標達成を見通せる要素技術の開発状況を確認し、十分に見通せると判断された場合には補助事業として 2027 年頃までに大規模実証施設に向けた設計・全体モデル構築を行い、その状況・妥当性を認められた場合、補助率を下げて 2030 年までに実環境での実機稼働を想定した規模での有効性の実証を行う。
- 高効率なバイオメタン等転換技術の開発：再エネ電気又は水素の利用を前提とするバイオメタン転換処理の事業性は、CO₂ 分離回収を伴う廃棄物焼却処理と同様の不確実性を有しており、2030 年代から社会実装は進めていくものの、2040 年代の導入拡大を想定している。このため、本開発は革新的な要素技術開発に関して委託事業として開始し、2026 年頃までに目標達成を見通せる要素技術の開発状況を確認し、十分に見通せると判断された場合には補助事業として 2027 年頃までにパイロットスケールでの実証を行い、精製を含めたメタネーションによるメタン濃度・生成速度を評価し目標達成が認められた場合、補助率を下げて 2030 年までに実環境を見据えた大規模な有効性の実証を行う。

● 【社会実装に向けた支援】

国内においては、今後の大幅な 3 R の進展を考慮した場合でも、2050 年時点で約 2,900 万 t の熱処理（焼却・熱分解）・メタン発酵等による処理が引き続き必要と想定されている。また、現状ではごみ焼却施設の施設数ベースでは、300t/日未満の規模の施設が大半を占めるものの、中長期シナリオにおいて、廃棄物・資源循環分野からの温室効果ガス排出を実質ゼロとするシナリオ（「実質排出ゼロシナリオ」）では、2030 年代以降は熱処理施設の新規整備は 300t/日以上（うち約 4 割が 300t/日-600t/日、約 4 割が 600t/日以上）に集約化すること及び熱処理施設の整備（更新）時はメタン発酵施設とセットで導入とすることを条件に置いている。廃棄物を原料とした燃料製造への期待の高まりなど社会全体の動向も踏まえつつ、SAF 原料や化学品原料のニーズが期待される空港・コンビナート周辺地域、ボイラー用燃料のニーズが期待される工場周辺地域、都市ガスが利用されている地域などの利用先も念頭において各地域で最適な技術の導入・普及を促進し、我が国の産業全体の脱炭素化に貢献していくことが求められる。

世界的な廃棄物の発生量は 2050 年にかけて増加すると見込まれており²³、特に増加が予想される低所得や低中所得の国・地域での廃棄物処理施設の市場拡大が見込まれる。当該国・地域では現在オープンダンプが主な廃棄物処理方法であるが、GHG 削減に向けた廃棄物のオープンダンプ回避と衛生的な処理のために、今後、主な廃棄物である有機性廃棄物(厨芥類・木竹類・紙類等)を処理可能で、価格的にも調達しやすい生物処理(メタン発酵等)施設の導入が進み、所得増加が進めば、処理能力が高くエネルギー回収等のメリットがある熱処理(焼却・熱分解)施設の導入が考えられる。低中所得～高所得地域においては、脱炭素化・資源循環のニーズの高まりを受けて、現在(焼却+発電)プラントが主流の地域では(焼却+CO₂分離回収)プラントの導入が、生物処理(燃料化等)が主流の地域では(メタン発酵+バイオメタネーション)プラントの導入が期待される。さらに EU-ETS²⁴に係る議論がなされている欧州をはじめ廃棄物由来原料・燃料のニーズが高い地域では、CN 原料の製造プラントとして熱分解処理のニーズが高まると考えられる。また、(メタン発酵+バイオメタネーション)プラントは、先進国におけるバイオリファイナリ等の高度なものづくりに伴って発生する残渣や副産物、途上国における農業残渣やバイオ燃料製造残渣(例：バイオエタノール等)への対応により、さらなる市場拡大が見込まれる。

現状においても、日系メーカーは本分野の国際市場において熱処理(焼却・熱分解)をはじめトップシェアを誇っており、特に欧州を含むエリア区分(欧州・中東・アフリカ)では約半分のシェアを有している。2050 年においては、世界全体で一般廃棄物の焼却量 952 Mt/year(1 日当たり約 261 万 t に相当)に対して炭素回収技術付帯の焼却・熱分解施設を導入と、増加するバイオメタネーション施設仕向量 37 Mt/year(1 日当たり約 10 万 t に相当)が想定され、本プロジェクトで開発する技術の展開を通じた日系メーカーによる 2030 年以降も継続したシェアの維持・拡大と、国内外の廃棄物・資源循環分野及び関連分野の脱炭素化への貢献のため、産業としての動静脈連携を強く念頭に置きつつ以下のような社会実装支援を行う予定である。

- 国による普及推進の方針を明確化するため、廃棄物処理法に基づき策定される廃棄物処理施設整備計画等、国が策定する廃棄物処理に係る計画等において、本事業において開発を支援する技術等を活用した廃棄物処理の脱炭素化や、その普及の基盤となる処理の広域化・集約化について、離島や豪雪地帯など集約化が難しい地域を除いて 600t/日以上 of 施設導入も政策として推進していくとともに施設の大規模化が難しい地域においても、地域の特性に応じた効果的なエネルギー回収技術の導入等の取組を促進していく。例えば酸素富化(燃焼)ベースのプラント設置においては、地域で行われる水電解から発生する酸素の利活用を見据えた設置場所の検討なども進める。また、各種取組の進捗の把握に努め 5 年ごとに定める廃棄物処理施設整備計画において進捗をふまえた今後の施設整備の方向性を示すとともに、時流に応じた技術開発が行われるよう点検を行い、必要に応じて技術開発の方向性の見直しを行い社会実装に向けた支援を行っていく。

²³ 世界銀行(2018)「What a Waste 2.0 : 2050 年に向けた世界の廃棄物管理の現状と展望」

²⁴ 欧州連合域内排出量取引制度 : European Union Emissions Trading System

- 国内では、市町村が家庭などから排出される一般廃棄物の処理について統括的な責任を有しており、実際の処理は主に市町村が民間企業（プラントメーカー）に処理施設の建設工事を発注し、公共事業として施設を運営している。これに対して、国は一定の条件を満たす一般廃棄物処理施設の整備に対し交付金等による財政面での支援を行っている。廃棄物処理施設は安全性・安定性が極めて重要であることから、技術的な確認が十分に得られていないと、市町村が発注する際の障壁となる。本技術開発により、国のリーダーシップのもとで CN 型炭素循環プラントを開発・実証し、技術的な確認の担保をはじめ開発技術が広く社会実装されていく上での前提条件を環境省が積極的に確保するとともに、一般廃棄物処理施設整備事業等も活用し、各地域における社会実装を財政的にも優先的に支援していく。
- 主に民間事業として実施されている廃棄物処理では、CN 型廃棄物処理の効果が廃棄物排出事業者等の事業活動に伴う温室効果ガス排出削減量の算定に反映されるルールを確立することなどにより、廃棄物処理事業者の CN 化の取組の促進も必要。また、CN に貢献する取組については今後新たに設立された株式会社脱炭素化支援機構（JICN）等を通じた資金調達も期待される。
- 国外市場への展開については、環境インフラ海外展開基本戦略に沿って、特に新興市場として期待されるアジア等との二国間政策対話や地域内フォーラム等の機会を通じた制度・ファイナンスとパッケージでの我が国技術の海外展開、二国間クレジット制度（JCM[※]）の仕組みの活用などにより、支援を行う。

※ 環境省では、JCM を通じた環境インフラの海外展開を一層強力に促進するため、「脱炭素インフラニシアティブ」を策定（2021 年 6 月 15 日）したところ。JCM により、2030 年度までに官民連携で GHG 排出削減量累計 1 億トン程度を目指し（資金の多様化による加速化を通じて、官民連携で事業規模最大 1 兆円程度）、4 つのアクション（国際ルール作りを主導、資金の多様化、国際的・地域的な展開、脱炭素市場の整備）による条件整備を行う。廃棄物インフラは再エネなどと並び、JCM における注力すべき分野とされている。

4. 実施スケジュール

● プロジェクト期間

➤ 【研究開発項目 1】CO₂ 分離回収を前提とした廃棄物焼却処理技術の開発

①化学吸収法をベースとした CN 型廃棄物焼却施設

廃棄物由来の微量物質が CO₂ 分離回収設備へ与える影響評価を行い、2024 年度にステージゲートを設けて、社会実装に向けて必要な要素技術の抽出・確定を行う。真に必要と認められた要素技術についての開発・詳細設計、全体モデル構築、社会実装に必要となる大規模実証まで、一連の取組みを確実に実施するための十分な時間を確保する観点から、2024 年度から 2030 年度までの最大 7 年間を想定している。計 8 年間の期間中に 2 度のステージゲートを設けることで、事業継続を適切に判断し、効率的な開発を実施する。事業内容に関しては適宜国内外の動向調査・モニタリングを行い、必要に応じて柔軟に判断していく。

②酸素富化(燃焼)をベースとした CN 型廃棄物焼却施設

廃棄物処理施設で利用するための CO₂ 分離回収技術の低コスト化、設備の高性能化等の要素技術開発と、全体モデル構築、社会実装に必要となる大規模実証まで、一連の取組みを確実に実施するための十分な時間を確保する観点から、2023 年度から 2030 年度までの最大 8 年間を想定している。8 年間の期間中に 2 度のステージゲートを設けることで、事業継続を適切に判断し、効率的な開発を実施する。事業内容に関しては適宜国内外の動向調査・モニタリングを行い、必要に応じて柔軟に判断していく。

➤ 【研究開発項目 2】高効率熱分解処理施設の大規模実証

炭素有効利用率等を最大化する熱分解技術等、低コスト化を実現するための要素技術開発に加えて、全体モデル構築、実際の廃棄物を用いた大規模実証まで、一連の取組みを確実に実施するための十分な時間を確保する観点から、2023 年度から 2030 年度までの最大 8 年間を想定している。8 年間の期間中に 2 度のステージゲートを設けることで、事業継続を適切に判断し、効率的な開発を実施する。事業内容に関しては適宜国内外の動向調査・モニタリングを行い、必要に応じて柔軟に判断していく。

➤ 【研究開発項目 3】高効率なバイオメタン等転換技術の開発

高効率な直接メタネーション技術等の技術開発に加えて、全体モデル構築と大規模実証を含め一連の取組みを確実に実施するための十分な時間を確保する観点から、2023 年度から 2030 年度までの最大 8 年間を想定している。8 年間の期間中に 2 度のステージゲートを設けることで、事業継続を適切に判断し、効率的な開発を実施する。事業内容に関しては適宜国内外の動向調査・モニタリングを行い、必要に応じて柔軟に判断していく。

● キーマイルストーン・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、早期の目標達成を目指しつつも、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し、最適なスケジュールを組むことは妨げない。以下のとおり、事業化段階の切れ目において、キーマイルストーン及びステージゲートを設定し、プロジェクトの進捗状況や関連基金プロジェクトを含むグローバルな技術動向等も踏まえた実現可能性等を見極め、継続可否を判断する。また、国内外の動向等も踏まえ、ステージゲートのタイミングは、効果的な開発・社会実装に資するよう、プロジェクト期間中であっても必要に応じて適宜見直しを行う。いずれも、その必要性が確認された場合には追加公募を行う。

➤ 【研究開発項目 1】CO₂ 分離回収を前提とした廃棄物焼却処理技術の開発

①化学吸収法をベースとした CN 型廃棄物焼却施設

- ✧ 正味処理コスト削減に係る条件を満たしたうえで、廃棄物中の炭素の安定的回収率 90%以上を見通せる要素技術の抽出・確定時点（表 1 の例では 2024 年頃にステージゲート審査）
- ✧ 上記で真に必要な要素技術の開発が認められた場合に、要素技術の開発・詳細設計と大規模実証施設の設計終了時点（表 1 の例では 2027 年頃にステージゲート審査）に正味処理コストに関する制約条件の達成見込みを確認

②酸素富化(燃焼)をベースとした CN 型廃棄物焼却施設

- ✧ 正味処理コスト削減に係る条件を満たしたうえで、廃棄物中の炭素の安定的回収率 90%以上を見通せる要素技術の開発終了時点（表 1 の例では 2025 年頃にステージゲート審査）
- ✧ 大規模実証施設の設計終了時点（表 1 の例では 2027 年頃にステージゲート審査）に正味処理コストに関する制約条件の達成見込みを確認

➤ 【研究開発項目 2】高効率熱分解処理施設の大規模実証

- ✧ 正味処理コスト削減、炭素有効利用率 27%以上（ガス化）又は発熱量ベースでの回収率 48%以上（オイル化）を見通せる要素技術の開発終了時点（表 1 の例では 2025 年頃にステージゲート審査）
- ✧ 大規模実証施設の設計終了時点（表 1 の例では 2027 年頃にステージゲート審査）に正味処理コストに関する制約条件の達成見込みを確認

➤ 【研究開発項目 3】高効率なバイオメタン等転換技術の開発

- ✧ メタン濃度 97%、低温かつ低圧条件下でのメタン生成速度 50NL/Lr・d 以上を見通せる要素技術の開発終了時点（表 1 の例では 2026 年頃にステージゲート審査）
- ✧ パイロットスケール実証終了時点（表 1 の例では 2027 年頃にステージゲート審査）にメタン濃度 97%達成を確認

表1：プロジェクトの想定スケジュール（例）

年度	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
【研究開発項目 1】 CO₂分離回収を前提とした廃棄物焼却処理技術の開発 ①化学吸収法 をベースとしたCN型廃棄物焼却施設		廃棄物由来の物質の影響評価 TRL4	要素技術開発・詳細設計 TRL4~6			大規模実証 TRL6~7		
②酸素富化(燃焼) をベースとしたCN型廃棄物焼却施設		要素技術開発・実証 TRL4	詳細設計・全体モデル構築 TRL5~6			大規模実証 TRL6~7		
【研究開発項目 2】 高効率熱分解処理施設の大規模実証		要素技術開発・実証 TRL4	詳細設計・全体モデル構築 TRL5~6			大規模実証 TRL6~7		
		研究成果を反映 全体モデル構築に向けた基礎的検討・基本設計※ TRL4~5						
【研究開発項目 3】 高効率バイオメタン等転換技術の開発		要素技術開発・実証 TRL4	詳細設計・全体モデル構築 TRL5~6			大規模実証 TRL6~7		

▼ : ステージゲート

TRL3:技術コンセプトの実験的な証明

TRL4:試験環境下での初期プロトタイプ実証

TRL5:想定使用環境下での機能別大規模プロトタイプ実証

TRL6:想定使用環境下での統合プロトタイプ実証

TRL7:商用前実証によるソリューション検証

TRL8:実機での初期的商用稼働

※要素技術開発・実証を待たずして検討・実施可能な項目については、並行して実施。必要に応じて、随時他GI基金プロジェクトの成果の取り込みを検討。

※大規模実証で用いる設備等のうち納期が長く、大規模実証前のステージゲート通過後の発注では大規模実証に支障をきたす恐れがある場合には事前に事務局と相談し、認められた場合に限り、ステージゲート前に調達の発注を行うことができるものとする。ただし、当該設備等の購入に係る補助金の支払いは大規模実証前のステージゲートを通過した場合にのみ行われる。

表 2：社会実装スケジュール

⑬資源循環関連産業の成長戦略「工程表」

- 導入フェーズ： 1. 開発フェーズ 2. 実証フェーズ 3. 導入拡大・コスト低減フェーズ 4. 自立商用フェーズ
- 具体化すべき政策手法： ①目標、②法制度（規制改革等）、③標準、④税、⑤予算、⑥金融、⑦公共調達等

	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	～2030年	～2040年	～2050年
	循環経済への移行								循環経済への移行も進めつつ、2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする
Reduce・Renewable	○リデュース 食ロス削減、サステナブルファッション、ワンウェイプラスチックの削減...								
	○Renewable 代替素材化（製品のバイオマス化・再生材利用等）の技術開発・実証 代替素材化（製品のバイオマス化・再生材利用等）導入拡大						代替素材化（製品のバイオマス化・再生材利用等）による製品の自立的普及拡大		
Reuse・Recycle	○リサイクル リサイクル技術の技術開発・実証 リサイクル技術の導入、コスト低減						リサイクル技術の普及拡大		
	○焼却施設排ガス等の活用 焼却施設排ガス等のCO2を活用したプラスチック原料等の製造実証・焼却施設の最適化等を通じた回収率向上 コスト低減								更なるコスト低減による導入拡大
Recovery	○エネルギー回収の高度化・効率化 焼却施設の運転効率向上、生活系生ごみの大規模バイオガス化技術の確立、発電効率向上、バイオマス資源（下水泥・バイオマス・伐採木等）の活用拡大 先進事例の横展開					メタン発酵エネルギー回収の向上、消化液等の有効活用	有機性廃棄物の一体処理によるコスト低減策の検討		先進事例の横展開、低コスト化
	○回収したエネルギー利用の高度化・効率化 排熱利用型地域熱供給、オフライン熱輸送の向上等 先進事例の横展開					エネルギー回収の全体効率の向上策、導入拡大策の検討		低コスト化	

5. 予算

- 事業総額（国費負担額のみ。インセンティブ分を含む額）：上限 445 億円

【研究開発項目 1】CO₂分離回収を前提とした廃棄物焼却処理技術の開発

（研究開発内容①）化学吸収法をベースとしたCN型廃棄物焼却施設のうち、廃棄物由来の物質の影響調査部分

予算額：上限 4 億円

※本予算額は、当初の委託事業に関して措置するものであり、真に必要と認められた要素技術開発及び大規模実証は、本事業で新たに補助事業として措置し、継続して実施する。

また、提案段階においては大規模実証を見据えたプロジェクト実施体制を提案するものとする。

予算根拠：ラボ試験装置、モバイル試験設備。

メーカーヒアリングに基づき試算。

（研究開発内容②）酸素富化(燃烧)をベースとしたCN型廃棄物焼却施設

予算額：上限 183 億円

予算根拠：燃烧設備、排ガス処理設備、CO₂分離回収実証設備。

メーカーヒアリングに基づき試算。

【研究開発項目 2】高効率熱分解処理施設の大規模実証

予算額：上限 237 億円

予算根拠：高効率熱分解技術実証炉。

類似の実証設備実績より推定。

【研究開発項目 3】高効率バイオメタン等転換技術の開発

予算額：上限 21 億円

予算根拠：バイオメタネーション試験設備。

メーカーヒアリングに基づき試算。

- ・ 取組状況が不十分な場合の国費負担額の返還率：返還が決定した時点における目標達成度を考慮し、WG において「10%、30%、50%」の3段階で評価

（参考）改訂履歴

- ・2023 年 10 月 制定