

令和5年度 調査研究報告書

特別区におけるCO₂の 地産地消に向けて

～清掃工場のCO₂分離・活用と23区の役割～

令和5年度 調査研究報告書

特別区におけるCO₂の 地産地消に向けて

～清掃工場のCO₂分離・活用と23区の役割～

はじめに

特別区23区長が組織する特別区長会は、平成30（2018）年6月15日、特別区長会調査研究機構を設置しました。

その設立趣旨は、特別区及び地方行政に関わる課題について、大学その他の研究機関、国及び地方自治体と連携して調査研究を行うことにより、特別区長会における諸課題の検討に資するとともに、特別区の発信力を高めることにあります。

平成31（2019）年4月からは、各区より提案された特別区政に係る研究テーマについて、特別区職員・学識経験者が研究員となり、プロジェクト方式で調査研究を開始しました。以降、特別区の課題解決を中心に据えながら、広く地方行政の一助となるよう、さらには国及び他の地方自治体との連携の可能性も視野に入れ、調査研究を進めています。

令和4年度の研究テーマ（6テーマ）に関しては、報告書をホームページに掲載して公表するとともに、7月には報告会を開催し、アーカイブ配信を行うなど、研究成果を広く発信しています。このような取組を通じて、これらの調査研究が特別区政に活かされる事例が見られるようになりました。

令和5（2023）年度においては、「『ゼロカーボンシティ特別区』に向けた取組み（令和3・4年度）」で提案した連携方策が、23区で設置した気候変動対策推進組織にて検討されることになりました。また、7月には、「特別区における森林環境譲与税の活用（令和3年度）」を踏まえて、東京都・6区・都内6市町村との間で「森林環境譲与税の活用に係る都内連携に関する協定」が締結されています。今後も、特別区の課題解決に寄与できるよう調査研究に取り組んでまいります。

本年度は、5月に新型コロナウイルス感染症の位置付けが5類となり、感染防止に配慮しながらも研究プロジェクトメンバーが一堂に会して、調査結果の分析や今後の方策等について議論を深めることができました。この調査研究報告書は、1年間の各研究プロジェクトの調査研究による成果を取りまとめたものです。

これらの調査研究報告書が、今後とも特別区政の関係者のみならず、地方自治体、研究機関など多方面でご活用いただけると幸いです。

最後に、調査研究にご協力いただいた地方自治体関係者、さらに国や民間企業の皆様をはじめとして、報告書の作成にあたり、ご協力をいただきました全ての方に深く御礼申し上げます。

特別区長会調査研究機構

令和6年3月

目次

1. 研究会の目的と概要	6
(ア) 特別区と脱炭素への取組	6
(イ) 特別区におけるCO ₂ の地産地消に向けて	8
2. 一般廃棄物処理におけるカーボンニュートラル実現に向けた方向性	14
(ア) 特別区の清掃工場からのCO ₂ 発生状況及び要因分析	15
(イ) プラスチックの焼却量と分別回収・資源化の取組状況	22
(ウ) 一般廃棄物処理に伴うCO ₂ 排出削減に関する動向	31
(エ) 一般廃棄物処理におけるカーボンニュートラル（CN）実現の ための方向性とCO ₂ の地産地消（CCUS）の位置付け	33
3. 清掃工場から発生するCO ₂ の地産地消策の検討	38
(ア) CO ₂ の分離・回収技術、CO ₂ の利用技術の概要	38
(イ) 清掃工場におけるCCUS導入の国内外の事例分析	45
(ウ) 清掃工場におけるCCUSに取り組むプラントメーカーへの ヒアリング調査	49
(エ) CO ₂ 分離・回収及びCO ₂ 利用の実証視察	52
(オ) 特別区の清掃工場におけるCO ₂ 分離・回収装置の導入可能性検討	58
(カ) 特別区におけるCO ₂ の地産地消策の検討	62
(キ) CO ₂ の地産地消によるCO ₂ 削減・排出についての現在の考え方	77
4. 特別区におけるCO ₂ の地産地消実現に向けた課題整理と解決策	100
(ア) 特別区におけるCO ₂ の地産地消実現に向けた課題の整理	100
(イ) 特別区全体での連携方策の検討	106
(ウ) 本研究会で得られた示唆と今後の取組み	114
おわりに/研究会リーダーからのメッセージ	118

資料編

研究体制（研究プロジェクトメンバー）	126
活動実績	127
研究員へのアンケート調査	128
プラントメーカーへのヒアリング事項	131
略語・用語集	132

1.

研究会の目的と概要

1. 研究会の目的と概要

(ア) 特別区と脱炭素への取組

特別区長会は、『2050年「ゼロカーボンシティ特別区」の実現に向けた共同宣言（2023年10月16日）』において、「人口と社会資本が集中し、エネルギーと資源が大量消費される東京において、特別区が、基礎自治体としての役割を果たし、温室効果ガスの排出削減の取組を加速させることは、世界の脱炭素化を牽引する上で極めて重要な使命である」ことを述べた。

特別区は戦後、自治権拡充に継続的に取り組み、平成12年4月1日には、改正地方自治法が施行され、「特別区は、基礎的な地方公共団体として」明確に位置付けられるとともに、東京都から特別区にごみの収集・運搬、中間処理及び最終処分からなる「清掃事業」が移管された。その際、区部の清掃工場が偏在していたことから、特別区の区域から排出されるごみの中間処理は特別区が相互に協調・連携し、全体の責任として共同処理することとし、東京二十三区清掃一部事務組合（以下、「清掃一組」という）が設立され、同組合が清掃工場の管理運営を担っている。

清掃工場からのCO₂排出¹の抑制、さらに削減は、中間処理のみならず「清掃事業」そのものに関わる課題であり、温室効果ガス削減においては、清掃事業移管やごみの共同処理の理念も踏まえて、清掃一組及び特別区全体での主体的な取組が特に求められている領域の一つといえる。

清掃工場において、ごみを衛生的に焼却処理する過程でCO₂の排出は避けられない。そこで、CO₂排出量削減のためにも焼却量の減少をもたらす3R（発生抑制、再使用及び再生利用）が従来から重視されてきた。一方、最近になり、清掃工場から発生するCO₂を分離・回収して、貯留・利用するCCUSへの期待もにわかに高まっている。例えば、国の「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）」（2021年8月）においては、その基本的考え方として、「3R+Renewableの考え方に則り、廃棄物の発生を抑制するとともにマテリアル・ケミカルリサイクル等による資源循環と化石資源のバイオマスへの転換を図り、焼却せざるを得ない廃棄物についてはエネルギー回収とCCUSによる炭素回収・利用を徹底し、2050年までに廃棄物分野における温室効果ガス排出をゼロにすることを目指す」とされている。

清掃工場の耐用年数は、一般的に30年程度と言われていることを踏まえる

1 特別区全体のCO₂排出量は約4500万トンで、そのうち清掃工場でのごみ焼却に伴う化石資源由来のCO₂排出量は、約150万トンであり、全体の約3%（2021年時点）を占める。

と、これから更新される特別区内の清掃工場は2050年にも稼働している可能性が極めて高く、何らの対策も講じられなければ、2050年において相当量のCO₂がそのまま排出されてしまう。このため、特に、CO₂分離・回収装置の導入等の清掃工場におけるカーボンニュートラル施策は、今すぐに検討を開始しなければならないという差し迫った状況にある。

「カーボンニュートラル (CN)」は「脱炭素」と称されることもあり、実際、建物などへのエネルギー供給面では、例えば太陽光発電などへと切り替えることで、文字どおり「脱炭素化」できるが、物質利用では異なる面がある。植物に由来する紙や木材だけでなく、化石燃料から作られているプラスチックも含めて、身近な材料には炭素を主要成分とするものが多い。すなわち物質利用面では将来も炭素は必須だが、現在の化石燃料から、それ以外の循環的な炭素源へと切り替えていく必要がある。

特別区は、エネルギーと資源を外部からの供給に大きく依存している。一方で、資源の大量消費に伴い発生するごみの量は多く、そのごみをエネルギー源や循環的な炭素源として活用するポテンシャルも日本で最大である。現在は、清掃工場においてごみからエネルギー回収を行い、必ずしもエネルギー回収率が高いわけではないが、主に電気（一部は熱）として外部に供給し、CO₂削減に貢献している。一方、将来的には再生可能エネルギーの拡大等によってエネルギーの脱炭素化が進み、化石燃料の使用が回避されることになれば、発電によるCO₂削減効果も、それに伴う環境価値も低下することが想定される。そこで、特別区内で発生する貴重な資源としてごみを炭素源として有効利用することが特別区のカーボンニュートラルに向けた取組としても重要性を増す。すなわち、「CO₂の地産地消」が期待される。

そこで、本研究会では、23区におけるCO₂の効果的な地産地消策について検討した。併せて、CO₂の地産地消の推進にあたって、23区及び清掃一組との効果的な連携の方策を探り、課題を整理し、中長期的な取組みの方向性を議論した。さらに、CO₂の地産地消にとどまらず、一般廃棄物処理のカーボンニュートラル達成のために必要な方向性、取組についても幅広く検討・議論を実施した。

ここで、一般には、CO₂の分離・回収、利用、貯留はCCUS (Carbon Capture Utilization, and Storage) と称されるが、本研究会では、特別区内の清掃工場で発生したCO₂を特別区で利用していくことを「CO₂の地産地消」と表現することとする。このため、CCS (貯留) については、「CO₂の地産地消」には含まず、CCU (利用) を対象に調査・議論を進めることとした。

1.

(ア)
(イ)

2.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)

3.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)
(オ)
(カ)
(キ)

4.

(ア)
(イ)
(ウ)

おわりに

資料編

(イ) 特別区におけるCO₂の地産地消に向けて

CO₂の分離・回収技術、CO₂の利用技術の調査、清掃工場におけるCCUS導入の国内外の事例分析、プラントメーカーやCO₂の利用を検討している事業者へのヒアリング調査、CO₂分離・回収やCO₂利用の実証視察等を行った上で、特別区の清掃工場でのCO₂の分離・回収装置の導入可能性検討やCO₂の地産地消に関する課題整理、連携方策の検討を実施した。

調査の結果、CO₂の地産地消（CCUS）だけでは、特別区における一般廃棄物処理のカーボンニュートラルは達成できない可能性が高いことがわかった。また、現状の延長線での3R対策でも、カーボンニュートラル達成には不十分であり、より踏み込んだ3R対策が必要となること、「CO₂の地産地消」の範囲を特別区内に限定せず、周辺の産業集積地等での廃棄物の有効活用も検討していくべきとの議論も踏まえて、一般廃棄物処理のカーボンニュートラル化に向けては、以下の3つの方向性が重要であると認識した。

- ・方向性①：発生抑制・再使用・再生利用（3R）の促進
- ・方向性②：清掃工場を核としたCO₂の地産地消の促進
- ・方向性③：廃棄物を原料・燃料利用する産業との連携の促進

CO₂の地産地消の実現には、CO₂分離・回収、回収したCO₂の利用の両側面で高いハードルが複数存在する。事業環境の整備が想定される2030年代にモデルとなる大規模なCO₂のサプライチェーンを構築することを目標に、各主体が「小規模にでも今すぐできる取組」を進めていく必要がある。特別区のスケールメリットを生かせば、3Rの優れた取組等も含めて横展開を図ることができる。

調査から得られた示唆を踏まえ、本研究会としては、一般廃棄物処理のカーボンニュートラル達成に向けて、以下の取組を各主体に期待したい。

方向性①：発生抑制・再使用・再生利用（3R）の促進**23区に期待される取組**

- ・一般廃棄物処理に伴って排出されるCO₂の大部分がプラスチック由来の焼却に起因していることから、各区は、2030年までに、特別区全体での容器包装プラスチック・製品プラスチックの分別回収が実現できるよう、必要な取組を進めること。
- ・区民への啓発活動（※1）や区内の事業者への働きかけ（※2）など、区民・事業者を巻き込んで、より一層、区内での発生抑制や資源循環を促す取組を積極的に実施すること。

※1：プラスチックごみを含めた3Rの推進

※2：製品の製造、加工、流通、販売などにおいて、ごみの発生抑制、繰り返し使用ができ、不用となった場合も資源化しやすく、適正処理しやすい製品を製造、販売する等

方向性②：清掃工場を核としたCO₂の地産地消の促進**清掃一組に期待される取組（2020年代を想定）**

- ・技術開発動向や各区の発生抑制・資源化等の取組動向も踏まえ、CO₂の分離・回収能力を必要十分に確保できる戦略的な施設整備を可能とするための調査検討を開始すること。
- ・意思決定時期等に応じて、どれだけの分離・回収能力を確保しうるかなどについて各区をはじめとする関係機関に積極的に情報提供していくこと。
- ・必要に応じ国の補助金等も活用しながら、清掃工場での実証試験を積極的に実施し、技術的知見の蓄積に努めること。

23区に期待される取組（2020年代を想定）

- ・将来的に清掃工場のCO₂由来のカーボンリサイクル製品を区内に普及させ、とりわけ率先して調達する役割が期待される。地産地消においては、まずはコンクリートや再生土など建設工事に伴い調達される資材が先行する可能性が高いことを想定すれば、特別区が発注する建設工事を対象として、温室効果ガスの排出量の削減効果を有する資材がどうすれば区内の建設工事において優先的に使用されるようになるかを検討し、既存資材を対象に試行を始めること。
- ・清掃工場における実証事業においては、周辺住民の理解促進や事業の意義などの普及啓発面、さらにCCU製品の使用など、共同して取り組むこと。

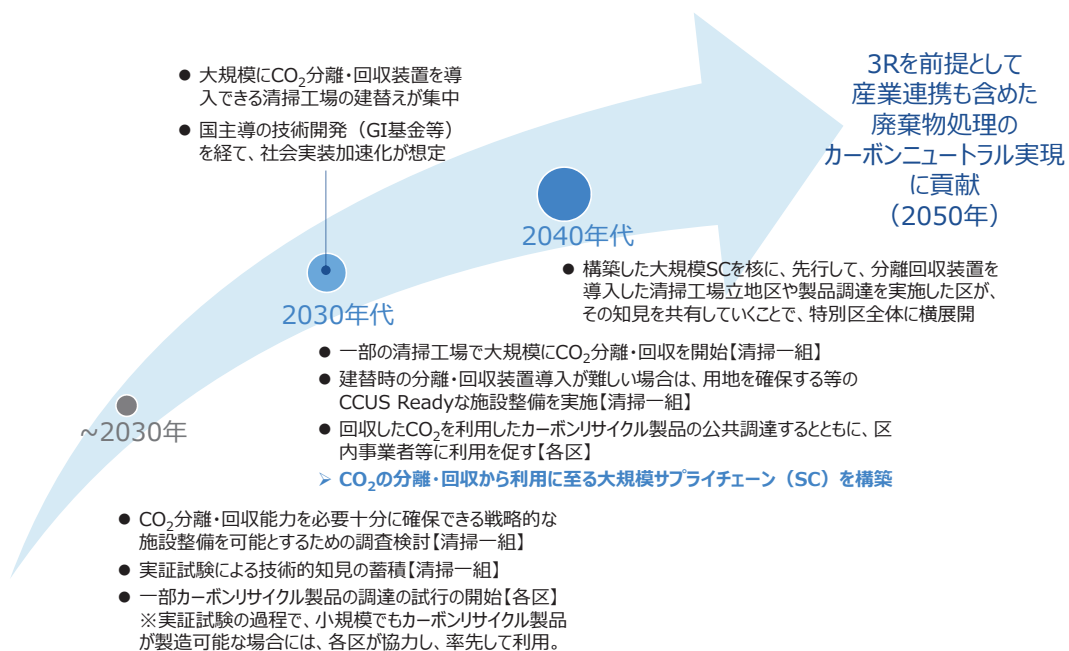
清掃一組と23区が協働することが期待される取組（2030年代以降を想定）

- ・将来的にCO₂分離・回収を本格的に実施することとなる場合には、清掃一組と各区が協力して、近隣住民や区民との説明・対話を進めていくこと。
- ・カーボンニュートラル実現のための必要な投資や費用とその分担方法の在り方について、実現方法の具体化の検討と合わせて議論を行うこと。
- ・「CO₂の地産地消」の概念が十分認識されていない現状を踏まえ、大都市としてのカーボンニュートラルへの貢献の一つの可能性として、「CO₂の地産地消」の概念を特別区内外に、わかりやすく発信していくこと。
- ・CO₂の地産地消を実現する上での条件整備について、今後の調査検討や実証事業も踏まえ、清掃一組と23区、場合によっては東京都とも協力して、国等へ働きかけていくこと。

方向性③：廃棄物を原料・燃料利用する産業との連携の促進

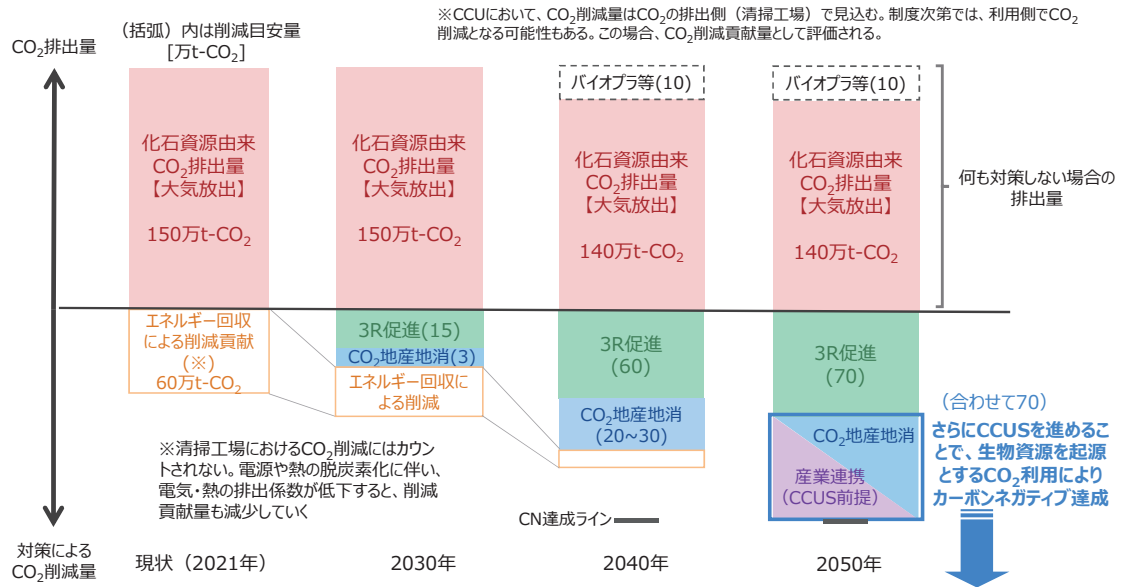
清掃一組と23区が協働することが期待される取組

- ・将来の特別区における廃棄物処理の一つの選択肢となり得るかを検討すべく、まずは首都圏における重化学工業の集積地を念頭に、清掃一組と各区が連携し、基礎的な情報収集や意見交換などの調査研究に着手していくこと。



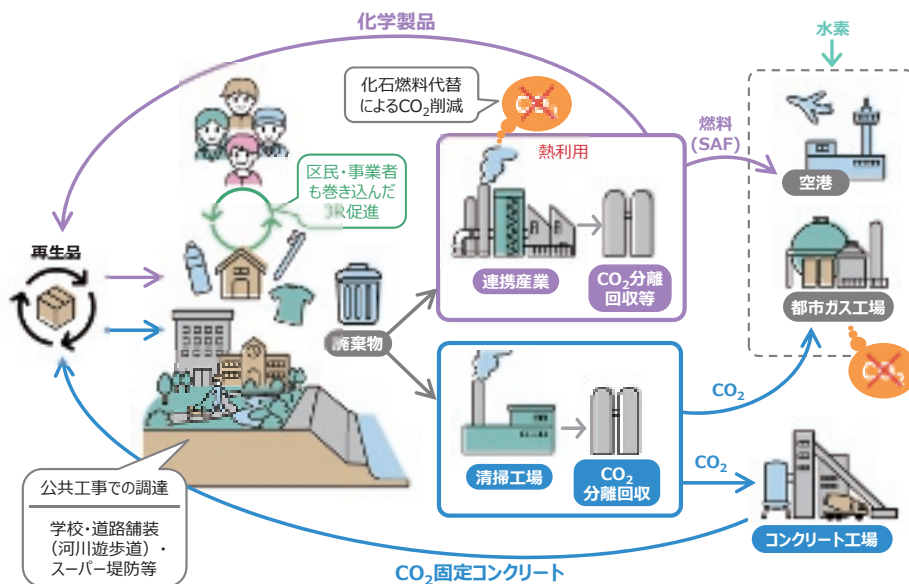
特別区におけるCO₂の地産地消に向けた具体的な取組の進め方（図表4-11を再掲）

特別区における一般廃棄物処理のカーボンニュートラルを実現していくイメージを以下に示す。3R促進だけでも、CO₂の地産地消や産業連携だけでもカーボンニュートラルは実現しえない。3つの方向性に沿った取組を効果的に進めていくことが重要である。



特別区の一一般廃棄物処理の2050年カーボンニュートラル実現のイメージ（図表4-7を再掲）

※数値の根拠は図表4-8を参照



特別区における各方向性の取組を実現した将来像（図表4-12を再掲）

- 1. (ア) (イ)
- 2. (ア) (イ) (ウ) (エ)
- 3. (ア) (イ) (ウ) (エ) (オ) (カ) (キ)
- 4. (ア) (イ) (ウ)
- おわりに
- 資料編

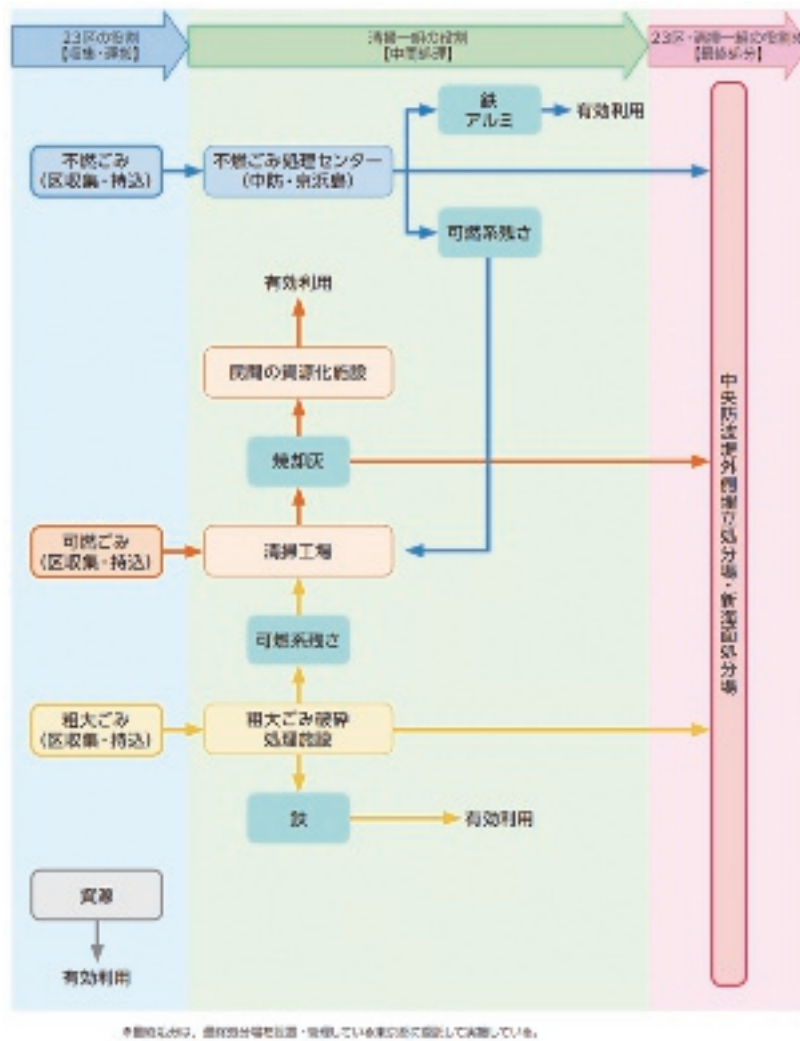
2.

一般廃棄物処理における カーボンニュートラル実現に 向けた方向性

2. 一般廃棄物処理におけるカーボンニュートラル実現に向けた方向性

一般廃棄物処理には、収集・運搬、中間処理、最終処分の3つの段階があり、各過程で必要な活動からCO₂が排出されている。特別区では、収集・運搬を各区が担うとともに、中間処理を清掃一組が担い、最終処分は各区及び清掃一組が、最終処分場を設置・管理する東京都に委託して実施している。

図表 2-1 特別区一般廃棄物処理の流れ



出典：一般廃棄物処理基本計画（東京二十三区清掃一部事務組合）

収集・運搬過程では、ごみ収集車の走行に伴ってCO₂が排出されている。また、中間処理においては、処理に必要なエネルギーの使用に伴い発生するCO₂に加えて、焼却により廃棄物そのものからCO₂（非エネルギー起源CO₂）が発生する。東京都へ委託している最終処分においては、最終処分場での重機の使

用に伴うCO₂及び分解性の有機性廃棄物の埋立によるCH₄（メタン：※温室効果がCO₂の25倍）が発生している。このうち、焼却に伴い排出されるCO₂が廃棄物処理に伴う温室効果ガス排出量の大部分を占めており、廃棄物処理に伴うCO₂排出量を削減していくためには、この非エネルギー起源CO₂への対策が重要となる。この非エネルギー起源CO₂は、清掃工場の煙突から排出されているものの、その原因物である一般廃棄物は各区において発生し、清掃工場へと収集運搬されたものである。つまり、この非エネルギー起源CO₂排出量は、清掃工場における対策以前に、廃棄物の発生側における責任があり、対策も講じ得る。そこで、23区と清掃一組との効果的な連携を図る上でも、本研究会では、清掃工場において排出される、中間処理過程で生じる非エネルギー起源のCO₂排出量を対象にして議論を進めることとした。

以降、本報告書では清掃工場から発生するCO₂については、非エネルギー起源CO₂を指すものとする。

(ア) 特別区の清掃工場からのCO₂発生状況及び要因分析

特別区内の各清掃工場における組成調査結果及び各清掃工場における焼却量から廃棄物の燃焼に伴うCO₂の発生量を推計した。清掃工場から発生するCO₂には、化石資源を由来とするものと生物資源を由来とするものが混在し、これらは、地球温暖化への寄与が異なるものであることから、区別して議論を行う。

図表 2-2 特別区の廃棄物の焼却から発生するCO₂の推計方法

■ 推計式

(化石資源由来のCO₂発生量) = (廃棄物焼却量(乾重量)) × (炭素含有率) × (化石資源割合) × 44/12

(生物資源由来のCO₂発生量) = (廃棄物焼却量(乾重量)) × (炭素含有率) × (1-化石資源割合) × 44/12

■ 利用可能なデータ

○清掃工場等ごみ性状調査委託年間報告書（東京二十三区清掃一部事務組合より貸与）

●日本国温室効果ガスインベントリ報告書

	焼却量(乾)	炭素含有率	化石資源割合	排出係数(t-CO ₂ /t)
紙類	○	40.8% (●)	9.6% (●)	0.14
紙おむつ	×	56.0% (●)	59.0% (●)	1.21
繊維(天然)	○	45.0% (●)	0とする	0
繊維(合成)	合成繊維61.4% (●)	63.0% (●)	100% (●)	2.31
厨芥	○	43.4% (●)	0とする	0
木草	○	45.2% (●)	0とする	0
プラスチック類	○	76.8% (●)	98.1% (●)	2.76
ゴム・皮革	○	上記の算術平均	0とする	0
その他可燃	○	上記の算術平均	0とする	0

※日本国温室効果ガスインベントリ報告書では、PETボトル個別の排出量をカウントしている。本試算では簡単のためプラスチック類の内数として計算。

※紙おむつは、乾燥重量が把握できないため、湿重量に25%（インベントリ報告書に記載）をかけて乾燥重量を推定。

※ゴム・皮革の排出量については日本国温室効果ガスインベントリ報告書上は0であるが、石油分も一定含まれていると想定される。

※（排出係数）=（炭素含有率）×（化石資源割合）×44/12

1.

(ア)

(イ)

2.

(ア)

(イ)

(ウ)

(エ)

3.

(ア)

(イ)

(ウ)

(エ)

(オ)

(カ)

(キ)

4.

(ア)

(イ)

(ウ)

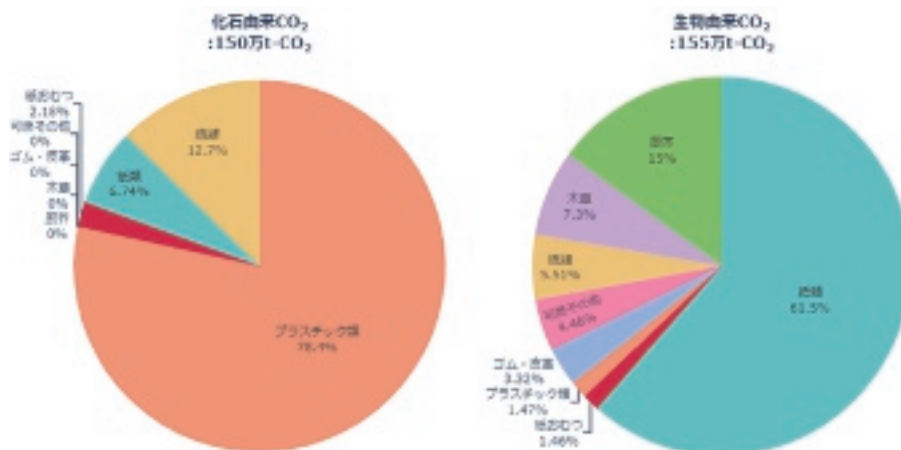
おわりに

資料編

化石資源を由来とするCO₂は、その名の通り、化石資源（石油等）を起源とするものであり、燃焼を通じて大気放出された場合に、大気中のCO₂濃度を上昇させることになり、地球温暖化対策推進法におけるCO₂排出量として定められているものである。一方、生物資源を由来とするCO₂は、植物等が光合成により大気中から吸収したCO₂を起源とするものであり、光合成の過程で吸収したCO₂と燃焼を通じて大気放出されるCO₂が相殺されるため、カーボンニュートラルであるとされている²。家庭や事務所から発生する紙類や厨芥（生ごみ）等が基本的には該当する。

清掃工場からのCO₂発生量を推計した結果、2021年時点において、特別区の清掃工場からは、ごみの焼却に伴い化石資源由来のCO₂が年間で約150万トン排出されており、そのうち約8割がプラスチック類に起因していることがわかった。他にも、繊維、紙類、紙おむつからも化石資源由来のCO₂が排出されている。また、地球温暖化対策推進法で定められているCO₂排出量としては計上されていないが、約155万トンの生物資源由来のCO₂も清掃工場では同時に発生している。紙類については、紙自体は生物資源であるが、インクやラミネート等に化石資源を含んでいるため、化石資源由来のCO₂としても計上されている。

図表2-3 特別区の廃棄物の焼却から発生するCO₂量（2021年度）



出典：清掃工場等ごみ性状調査委託年間報告書等よりパシフィックコンサルタンツ株式会社が作成

同様の方法により、過去からの化石資源由来と生物資源由来のCO₂発生量を推計すると、2007年以降、化石資源由来のCO₂排出量が増加しており、近年も高止まりしている状況にある。これは、2008年4月より順次、不燃ごみだったプラスチックを資源又は可燃ごみに分別変更し、資源以外のプラスチックが可燃ごみとしてサーマルリサイクル（熱利用）されるようになったことが大きな要因となっている。

2 生物資源（バイオマス）をカーボンニュートラルとするかは議論がある。特に、森林バイオマスを伐採・燃焼した場合には、一時的に大気中のCO₂を増加させ、森林による炭素の再固定までが長期に及ぶことが問題視されている。

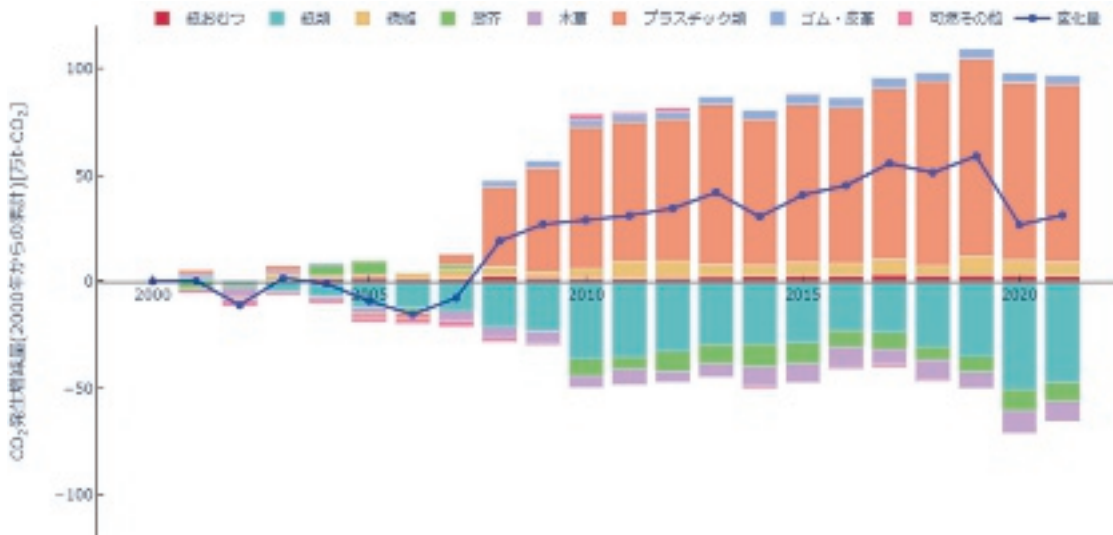
図表 2-4 特別区の廃棄物の焼却から発生するCO₂量の推移



出典：清掃工場等ごみ性状調査委託年間報告書等よりパシフィックコンサルタンツ株式会社が作成

組成別に2000年度からCO₂発生量の対前年度増減量を累積していくと、プラスチック類、合成繊維といった化石資源を起源とする組成の焼却量が増加傾向にある一方、紙類、厨芥、木草といった生物資源を起源とする組成の焼却量は減少傾向にあることが確認できる。

図表 2-5 特別区におけるCO₂発生増減量の要因分析（2000年度からの累積増減量）



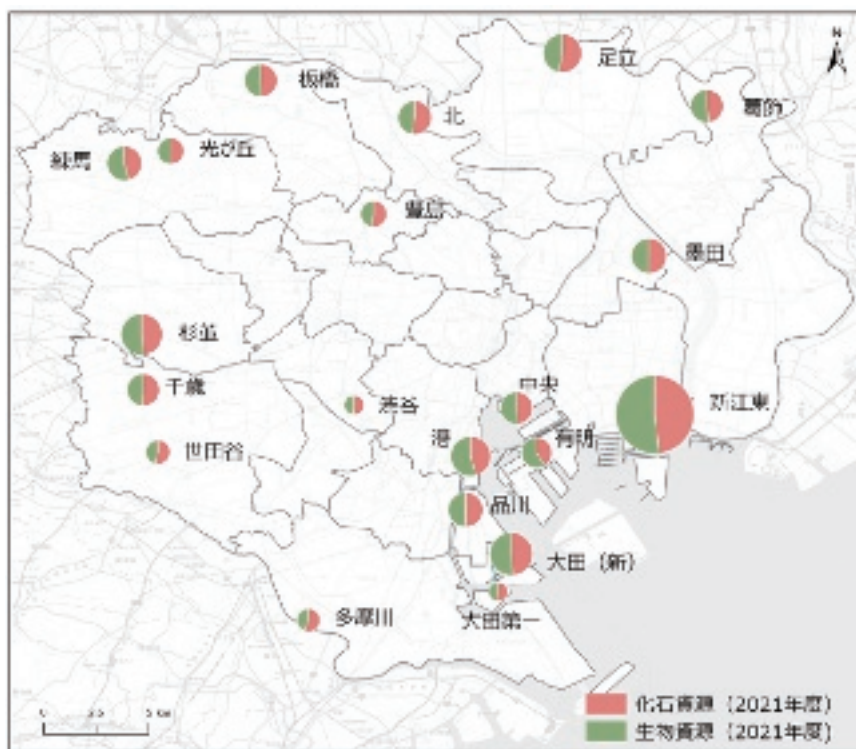
出典：清掃工場等ごみ性状調査委託年間報告書等よりパシフィックコンサルタンツ株式会社が作成

- 1.
- (ア)
- (イ)
- 2.
- (ア)
- (イ)
- (ウ)
- (エ)
- 3.
- (ア)
- (イ)
- (ウ)
- (エ)
- (オ)
- (カ)
- (キ)
- 4.
- (ア)
- (イ)
- (ウ)
- おわりに
- 資料編

特別区の一般廃棄物処理に伴って発生するCO₂は各清掃工場の煙突から大気に放出されている一方で、焼却される廃棄物は各区で発生したものが、清掃工場に搬入されている。したがって、一般廃棄物処理に伴うCO₂発生単位としては、清掃工場単位と区単位の2つの考え方があり、研究会では、清掃工場単位と区単位のCO₂発生量をそれぞれ推計した。

清掃工場単位では、焼却量に応じてCO₂の発生量が決まるが、化石資源由来と生物資源由来のCO₂発生量の割合が清掃工場ごとにばらついていることがわかる。例えば、有明清掃工場、港清掃工場、練馬清掃工場はCO₂発生量に占める生物資源由来のCO₂発生量の割合が高い傾向にある。反対に、多摩川清掃工場、世田谷清掃工場、大田清掃工場第一工場ではCO₂発生量に占める化石資源由来のCO₂発生量の割合が高い傾向にあることがわかる。化石資源・生物資源由来の割合は、各清掃工場に搬入されるごみの組成によって決まるため、各区のプラスチックの資源化等の取組状況が反映されているものと考えられる。

図表 2-6 清掃工場別のCO₂発生状況 (2021年度)

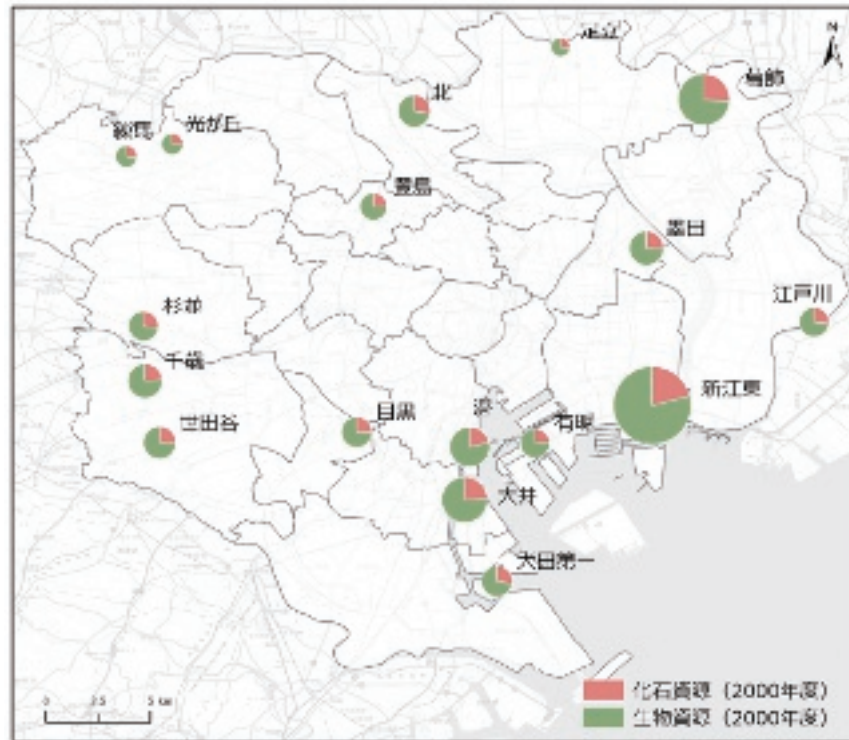


資料転記は地図スタイル (資料転記) をタレイスケールに調整して印刷

出典：清掃工場等ごみ性状調査委託年間報告書等よりパシフィックコンサルタンツ株式会社が作成

参考として、2000年度時点で同様の手法により推計した清掃工場別のCO₂発生量について示す。いずれの清掃工場においても、化石資源由来のCO₂発生状況は現在（2021年）と比較して低い様子が確認できる。

図表 2-7 【参考】 清掃工場別のCO₂発生状況（2000年度）



資料提供：国土交通省国土院（2005年）「ゼロ・エミッション」

出典：清掃工場等ごみ性状調査委託年間報告書等よりパシフィックコンサルタンツ株式会社が作成

各清掃工場におけるCO₂発生量を各区から各清掃工場へのごみの搬入量で按分することにより、各区において排出されるごみから発生するCO₂の量を推計した。清掃工場別の分析と同様に、化石資源由来と生物資源由来のCO₂発生量の割合にばらつきがあることがわかる。なお、本推計は、清掃工場から発生するCO₂をごみ搬入量に応じて按分したものであり、実際に各区から搬入されるごみの組成を反映した結果ではないことには留意が必要である。また、2021年時点の結果であり、後述のとおり、2022年4月のプラスチック資源循環促進法施行後の分別回収等の状況は反映されていないことにも留意が必要である。

1.

(ア)
(イ)

2.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)

3.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)
(オ)
(カ)
(キ)

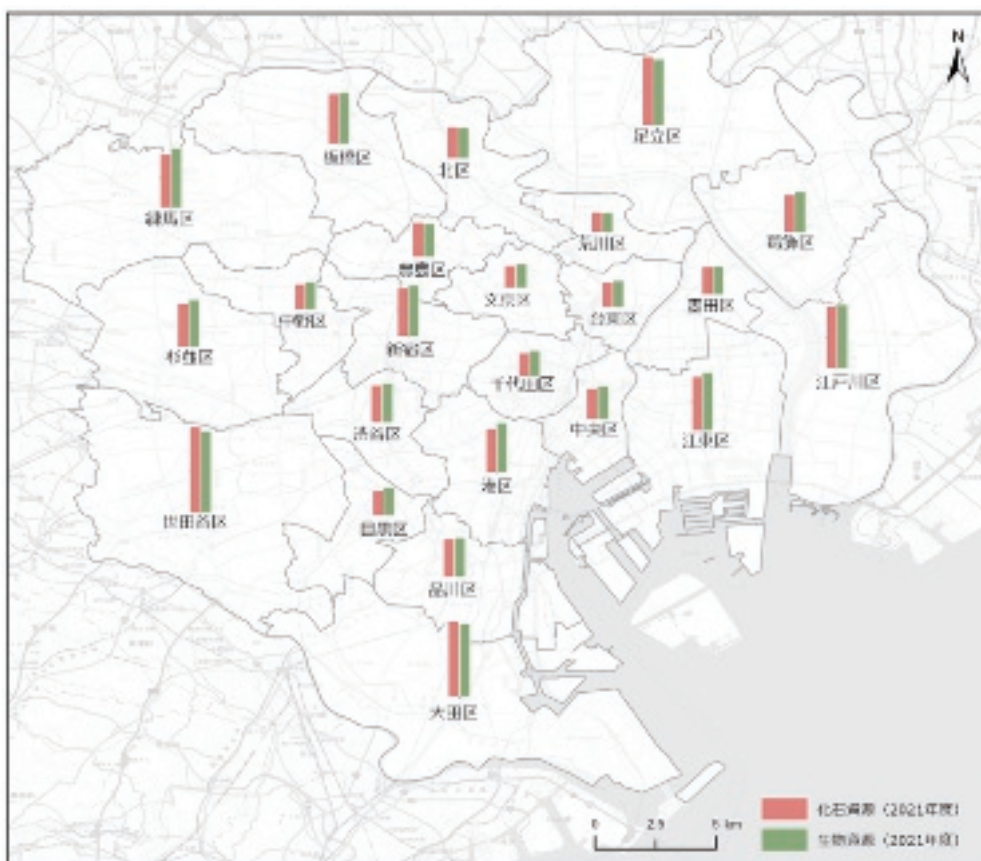
4.

(ア)
(イ)
(ウ)

おわりに

資料編

図表 2-8 区別のCO₂発生状況 (2021年度)



青原雄雄は社説スタイル (緑色地図) をグレイスケールに変換し、移用

出典：清掃工場等ごみ性状調査委託年間報告書及び清掃工場別の各区からの搬入量よりパシフィックコンサルタンツ株式会社が作成

図表 2-9 各区のCO₂発生状況[万t-CO₂] (2021年度)

	化石資源由来	生物資源由来		化石資源由来	生物資源由来
千代田区	3.6	3.9	渋谷区	5.8	6.1
中央区	4.8	5.2	中野区	3.9	4.2
港区	6.8	7.7	杉並区	6.9	7.4
新宿区	7.4	7.9	豊島区	5.3	5.2
文京区	3.5	3.7	北区	5.0	4.8
台東区	3.9	4.2	荒川区	3.1	3.0
墨田区	4.2	4.4	板橋区	7.8	8.0
江東区	8.3	9.0	練馬区	8.2	9.2
品川区	6.0	6.2	足立区	10.7	10.3
目黒区	3.9	4.3	葛飾区	5.8	6.3
大田区	11.6	11.2	江戸川区	9.6	9.8
世田谷区	13.3	12.7			

ここで、生物資源由来のCO₂発生量は、先述のとおりカーボンニュートラルとみなされるため、地球温暖化対策推進法で定められるCO₂排出量には該当しない。そこで、本研究会では、(地球温暖化対策推進法においてCO₂排出量として定められる)化石資源由来のCO₂を実質排出ゼロの対象として、議論することとした。ただし、CO₂の分離・回収に当たっては、清掃工場では生物・化石資源両方に由来するCO₂が同時に発生していること、生物資源由来CO₂をCCS等により固定することで大気中のCO₂を除去できる(カーボンネガティブ)ことも踏まえ、生物資源由来のCO₂も含めて幅広く検討することとした。なお、生物資源であっても、光合成により吸収したのは過去のCO₂であるため、燃焼によって大気中のCO₂を増加させてしまうことを認識する必要がある。加えて、生物資源由来であっても、その製品の製造や流通段階でCO₂が排出されていることを考えると、発生抑制等の取組が重要であることは言うまでもない。

1.

(ア)
(イ)

2.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)

3.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)
(オ)
(カ)
(キ)

4.

(ア)
(イ)
(ウ)

おわりに

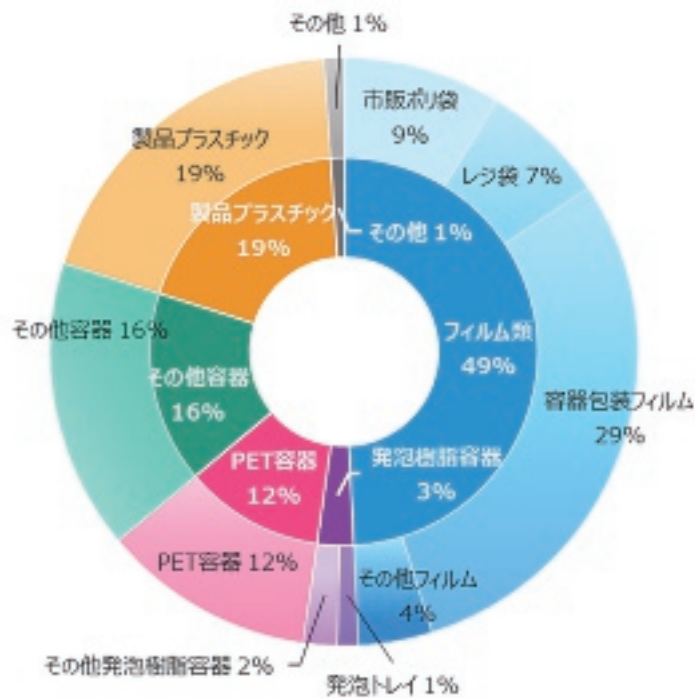
資料編

(イ) プラスチックの焼却量と分別回収・資源化の取組状況

特別区における一般廃棄物処理に伴うCO₂削減に向けては、CO₂排出量において約8割を占める「プラスチック類」の焼却量を削減していくことが重要であることから、プラスチック類における詳細な組成の排出状況や資源化の状況について調査を行った。

まず、特別区内のプラスチック焼却量の内訳（2022年度）をみると、フィルム類(49%)、製品プラスチック(19%)、その他容器(16%)、PET容器(12%)、発泡樹脂容器（3%）の順に大きい。さらに、フィルム類の内訳をみると、市販ポリ袋が9%、レジ袋が7%、容器包装フィルムが29%、その他フィルムが4%になっている。

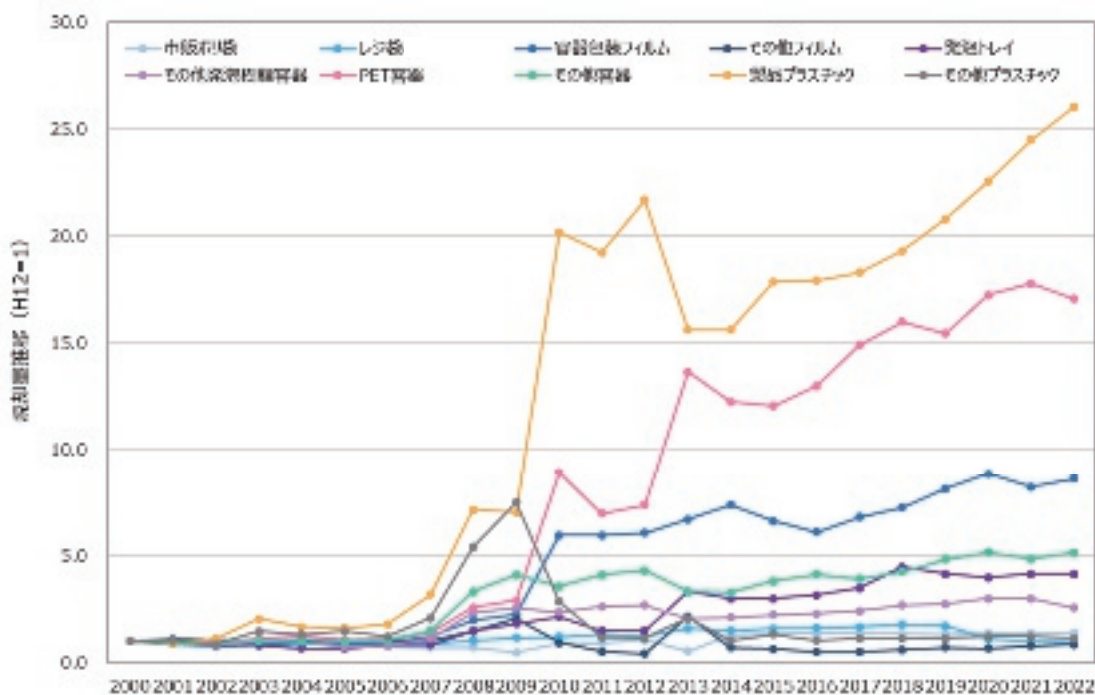
図表2-10 特別区で焼却されるプラスチック類の内訳（2022年度の組成調査）



出典：清掃工場等ごみ性状調査委託年間報告書等よりパシフィックコンサルタンツ株式会社が作成

2000年以降のプラスチック焼却量の推移をみると、2000年と比較して、製品プラスチックは26倍、PET容器は17倍、容器包装フィルムは9倍近く増加していることが確認できる。また、いずれの組成も未だに増加傾向にあるが、わずかながら2020年度からレジ袋が減少している様子も確認され、これは、2020年7月からプラスチック製買物袋の全国一律有料化に伴って減少しているものと考えられる。

図表 2-11 特別区で焼却されるプラスチック類の種類別の推移（2000年度＝1）



出典：清掃工場等ごみ性状調査委託年間報告書等より作成

2021年度の特別区のプラスチック類の一人当たり資源化量は、ペットボトルが4.3kg/人、容器包装プラスチックが3.2kg/人となっている。ペットボトルは、多摩地区を上回る水準で資源化が実施されているが、容器包装プラスチックは、多摩地区を下回る水準（2分の1以下）となっている。また、ペットボトルの一人当たりの資源化量は増加傾向にあるが、容器包装プラスチックの一人当たりの資源化量は横ばいになっている。

容器包装プラスチックの資源化について、多摩地区と特別区の大きな違いが生じたのは、分別収集実施の有無に加えて、多摩地区の「ごみの有料化」により回収が進んだことも一因ではないかと思われる。

ただし、資源化された場合にも、その資源化先でCO₂が発生している可能性があり、資源化によってCO₂排出がゼロになるわけではないことも指摘しておきたい。

1.

(ア)

(イ)

2.

(ア)

(イ)

(ウ)

(エ)

3.

(ア)

(イ)

(ウ)

(エ)

(オ)

(カ)

(キ)

4.

(ア)

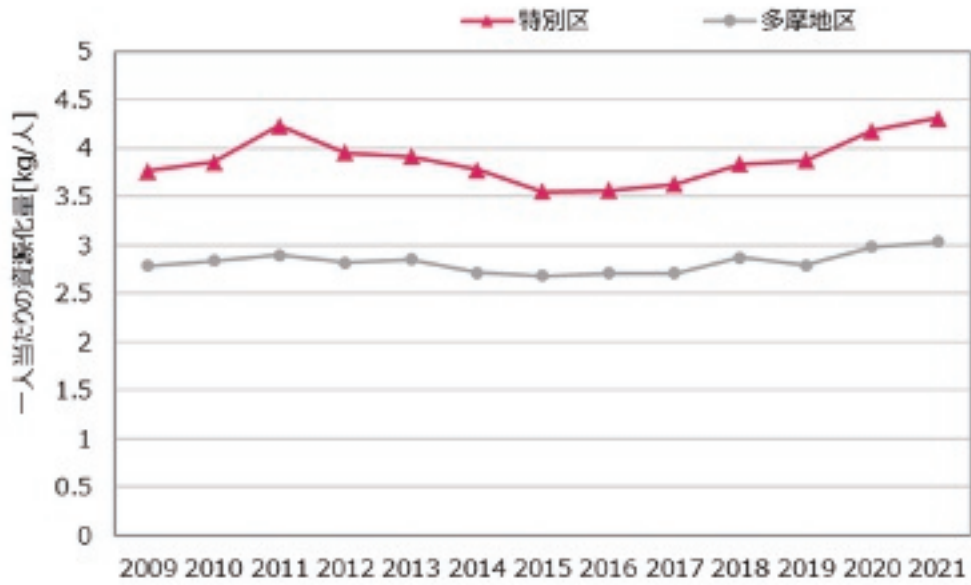
(イ)

(ウ)

おわりに

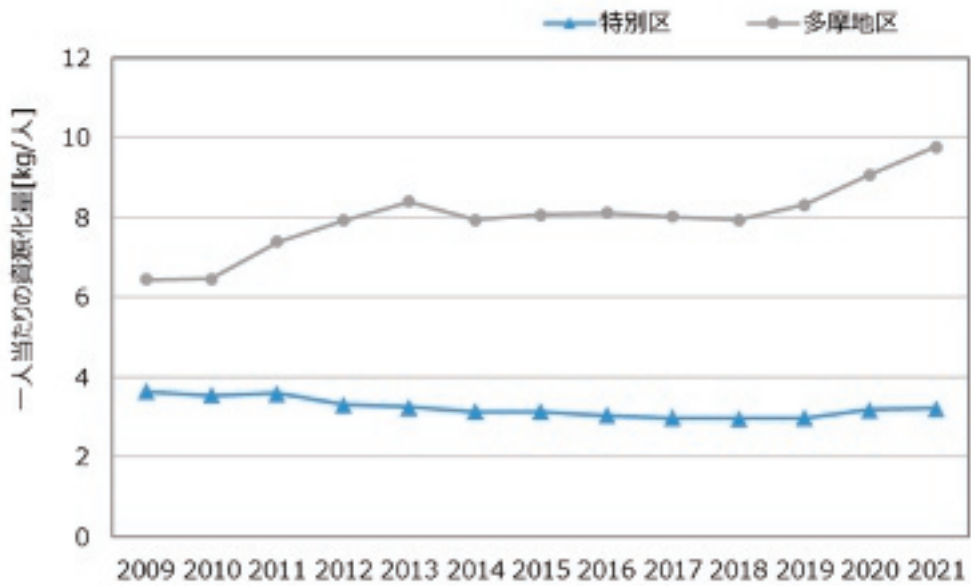
資料編

図表 2-12 ペットボトルの一人当たり資源化量の推移（特別区と多摩地区の比較）



出典：一般廃棄物処理実態調査（環境省）より作成

図表 2-13 容器包装プラスチック一人当たり資源化量推移（特別区と多摩地区の比較）



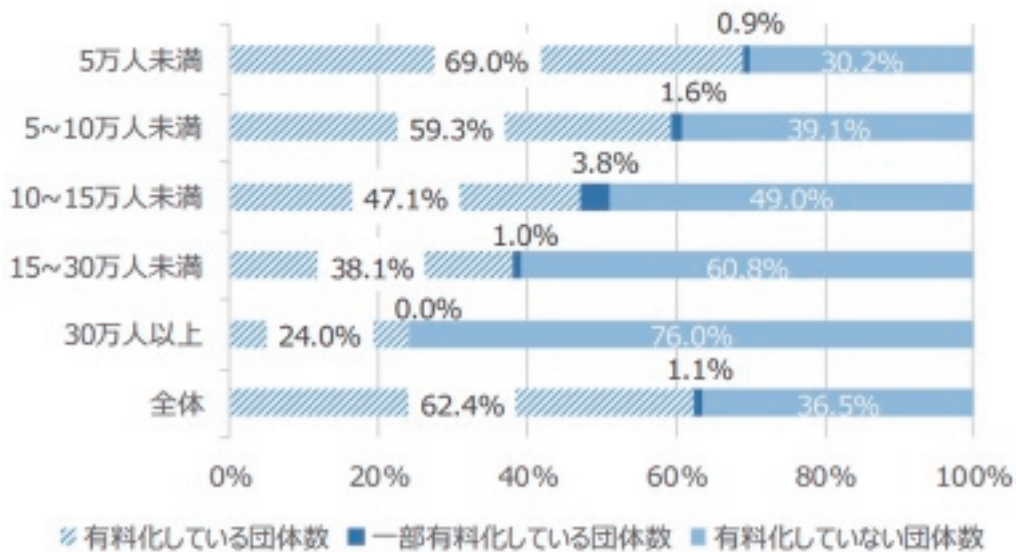
出典：一般廃棄物処理実態調査（環境省）より作成

コラム

ごみ有料化

国は「2050年カーボンニュートラル社会の実現に向けて、資源循環を通じた脱炭素にも大きな期待が寄せられており、国民にとって身近な廃棄物処理における一般廃棄物処理の有料化は、廃棄物の排出抑制や再生利用等による資源循環の推進のために有効なツールであり、国民の行動変容を促すことが可能となる」としている。平成28年1月21日に、廃棄物処理法第5条の2第1項の規定に基づく「廃棄物の減量その他その適正な処理に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るための基本的な方針」（以下「基本方針」という。）が改正され、市区町村の役割として、「経済的インセンティブを活用した一般廃棄物の排出抑制や再生利用の推進、排出量に応じた負担の公平化及び住民の意識改革を進めるため、一般廃棄物処理の有料化の推進を図るべきである。」との記載が追加され、国全体の施策の方針として一般廃棄物処理の有料化を推進するべきことが明確化された。

平成31年3月現在で、家庭系可燃ごみの有料化を実施している市区町村は全市区町村の63.5%である。ただし、人口規模が大きくなるほど、有料化していない割合が高くなる傾向にある。同様に特別区においても各区でごみの有料化が検討されているが、その人口規模等から実施に向けて課題が多いと考えられる。



出典：一般廃棄物処理有料化の手引き（環境省）

多摩地区では、東京都市長会（多摩26市の市長が任意に組織する団体）が2001年に「多摩地域におけるごみゼロ社会をめざして-家庭ごみの有料化について-」の中で、「平成15年度までに、多摩全市で家庭ごみの有料化を実施する」との施策を打ち出し、ごみの有料化が進められてきた結果、令和5年度では、すべての自治体において、ごみが有料化されている。ごみを有料化している自治体の中には、プラスチック（資源ごみ）については、無料や可燃ごみと比較して安く価格を設定するなどして資源回収を経済的に促す仕組みを導入している。

1.

(ア)
(イ)

2.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)

3.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)
(オ)
(カ)
(キ)

4.

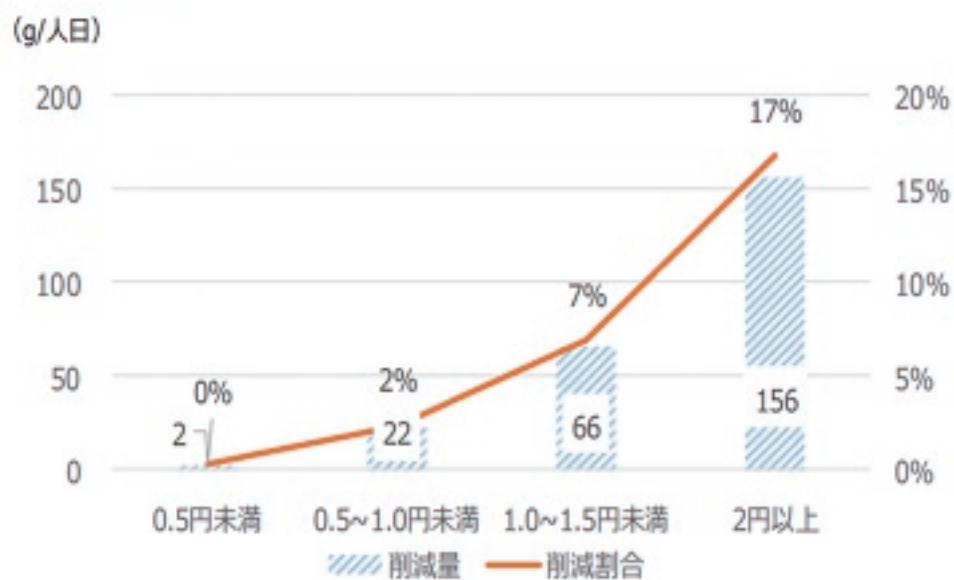
(ア)
(イ)
(ウ)

おわりに

資料編

ごみの有料化による効果については、実際に、ごみを有料化した自治体の排出量を分析すると、可燃ごみの料金水準が高いほど、ごみ排出抑制量が大きくなっていることが確認されている。

ごみ排出抑制量



出典：一般廃棄物処理有料化の手引き（環境省）に追記

※横軸：可燃ごみの料金水準（平成22年度から平成30年度：n=63）

プラスチックについては、2022年4月の「プラスチックに係る資源循環の促進等に関する法律」（以下、プラ新法という）を契機として、特別区内でも、容器包装プラスチック・製品プラスチックの分別回収の取組が広がりつつあり、今後、資源化量の増加が期待される。

コラム

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4年4月から施行された「プラスチックに係る資源循環の促進等に関する法律」は、製品の設計からプラスチック廃棄物の処理までに関わるあらゆる主体におけるプラスチック資源循環等の取組（3R+Renewable）を促進するための措置を講じるものである。

プラスチックのライフサイクル全体を通じた資源循環



出典：環境省WEBサイト

プラ新法では、「設計・製造」「販売・提供」「排出・分別・回収・リサイクル」の各段階における措置事項が定められている。特に、「排出・分別・回収・リサイクル」の段階においては、市区町村がプラスチック資源の分別収集・再商品化等、プラスチックに係る資源循環の促進等に必要な措置を講じることが求められている。なお、市区町村は、再商品化事業者と連携して行う再商品化計画を作成し、主務大臣が認定した場合に、市区町村による選別、梱包等を省略して再商品化事業者が実施することが可能になる。

1.

(ア)
(イ)

2.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)

3.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)
(オ)
(カ)
(キ)

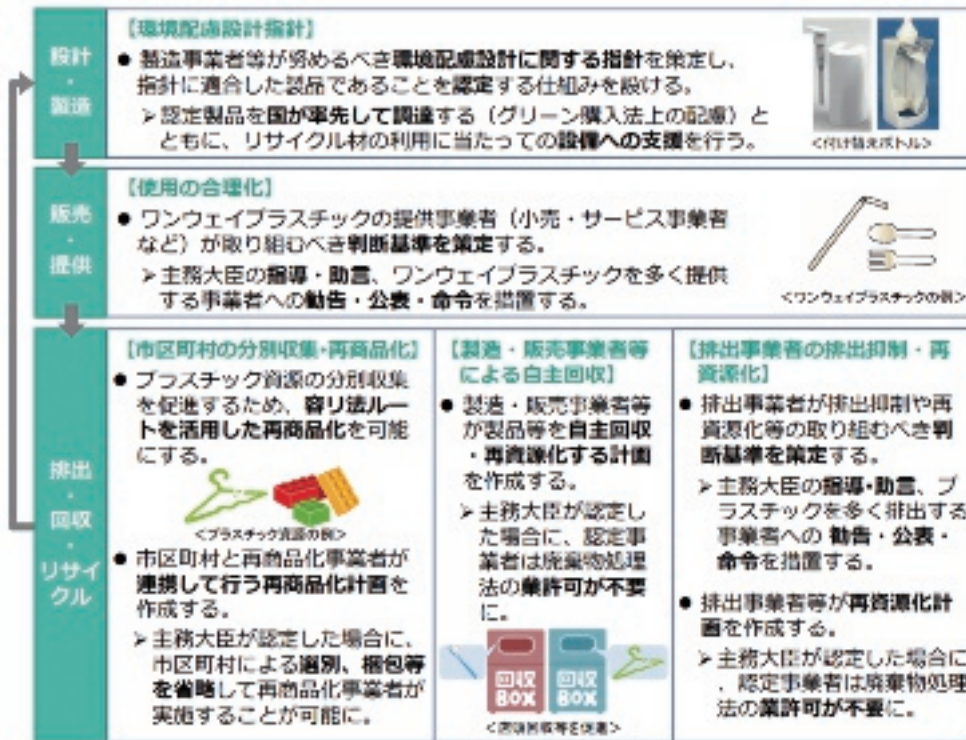
4.

(ア)
(イ)
(ウ)

おわりに

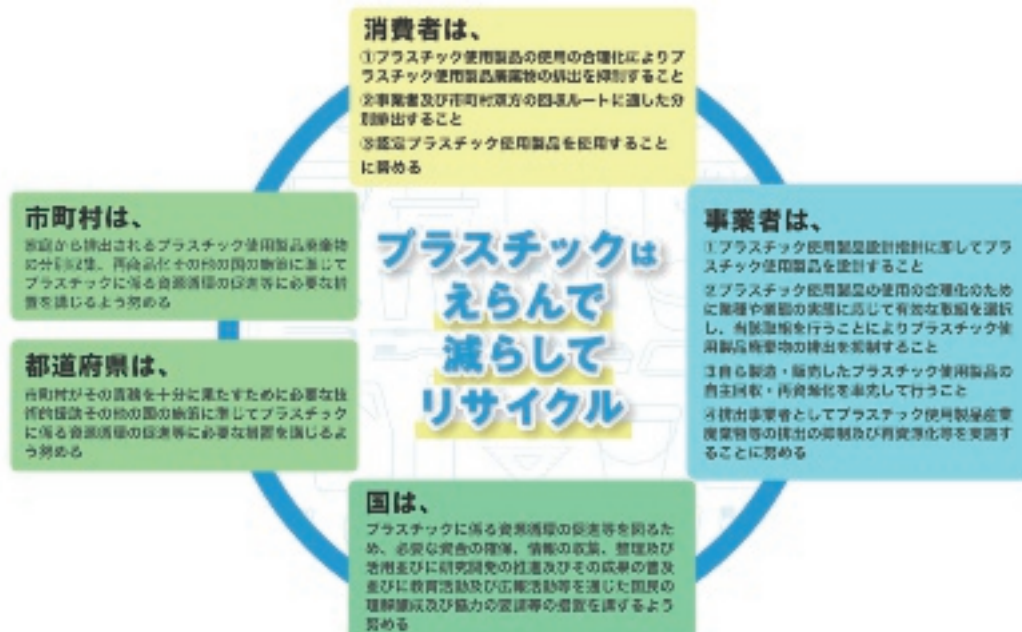
資料編

プラ新法における個別の措置事項



出典：環境省WEBサイト

関係主体に求められる役割



出典：環境省WEBサイト

2023年12月時点で、全域で容器包装プラスチックを資源とする区は15区、製品プラスチックを資源とする区は7区ある。(江東・豊島区で2023年10月より製品プラの回収が開始)。2024年4月より墨田・板橋・新宿・品川区でプラスチックの一括回収が予定されている。また、全域実施には至っていないが、6区で一括回収のモデル実証や一部地域での回収が実施・予定されている。

図表2-14 各区のプラスチックの分別回収の進捗状況【2023年12月時点】

	人口	資源化の状況		容器包装プラの資源化実績(R3)		取組状況 直近の状況等
		容器包装プラ	製品プラ	容リ協会 [kg/(人・年)]	自主的 [kg/(人・年)]	
千代田区	67,081	資源	資源	7.2	0.0	
中央区	171,401	資源	可燃	3.6	0.0	
港区	257,805	資源	資源	6.2	2.4	
新宿区	342,228	資源	資源(2024.4から実施予定)	4.6	0.0	2024.4から区内全域で製品プラの一括回収開始
文京区	226,801	可燃(実証)	可燃(実証)	0.0	0.0	2022.10から約1,100世帯を対象にモデル事業を実施
台東区	203,966	資源(2025.4から実施予定)	資源(2025.4から実施予定)	0.0	0.2	2022.10からモデル事業を実施、2025.4からプラスチックの一括回収を開始
墨田区	276,099	資源(2024.4から実施予定)	資源(2024.4から実施予定)	0.1	0.1	2023.10から一部地域でモデル実施、2024.4から区内全域で回収開始
江東区	525,323	資源	資源	4.5	0.5	2023.10から区内全域で製品プラの一括回収開始
品川区	404,798	資源	資源(2024.4から実施予定)	3.0	0.0	2024.4から区内全域で製品プラの一括回収開始
目黒区	279,489	資源	資源	5.0	0.1	
大田区	730,803	可燃(一部地域は資源)	可燃(一部地域は資源)	0.0	0.2	2022.11から大森・調布・蒲田地域でプラの回収を開始
世田谷区	917,932	可燃	可燃	0.0	0.0	
渋谷区	229,625	資源	資源	0.0	0.0	2022.7から全域でプラの回収を開始
中野区	333,364	資源	可燃	6.7	0.0	
杉並区	571,156	資源	可燃	7.3	0.1	
豊島区	284,699	資源	資源	0.6	0.2	2023.10から区内全域で製品プラの一括回収開始
北区	351,544	資源	資源	0.0	0.0	2022.10から滝野川地区、R5.4から区内全域でプラ回収を開始
荒川区	216,053	可燃(実証)	可燃(実証)	0.0	0.2	2022.3から1,000世帯程度を対象にした一括回収のモデル回収を実施
板橋区	568,457	資源(2024.4から実施予定)	資源(2024.4から実施予定)	0.1	0.0	2024.4から区内全域で回収開始
練馬区	739,679	資源	可燃	6.7	0.1	
足立区	690,186	可燃(一部地域で実施予定)	可燃(一部地域で実施予定)	0.0	0.0	2024.4からモデル地域(4エリア)でプラの回収を実施予定
葛飾区	462,170	資源	可燃	6.3	0.1	
江戸川区	691,761	資源	可燃	3.8	0.0	

出典：(資源化の状況、直近の状況等) 各区のWEBサイト等、(容器包装プラの資源化実績) 東京都環境局WEBサイト、「プラスチック製容器包装(白色トレイ含む)の分別実施状況(令和3年度)」よりパシフィックコンサルタンツ株式会社作成

清掃一組では、清掃工場等の建替事業、延命化工事において、国の循環型社会形成推進交付金等(以下、「交付金」という。)を活用しており、施設整備費に対する歳入の大きな割合を占めている。交付金の交付要件として、23区全域を対象に一般廃棄物等の処理目標や処理施設の整備などの事項を記載した「循環型社会形成推進地域計画」(以下「地域計画」という。)の策定が定められており、清掃一組では第4期計画(令和3年度から令和7年度)までが承認されている。プラ新法の施行に伴う交付要綱及び取扱要領の改正により、今後予定している第5期計画(令和8年度から令和12年度)以降、プラスチックに関する要件が交付要件に追加された。

- 1. (ア) (イ)
- 2. (ア) (イ) (ウ) (エ)
- 3. (ア) (イ) (ウ) (エ) (オ) (カ) (キ)
- 4. (ア) (イ) (ウ)
- おわりに
- 資料編

交付要綱別表1第1項から第4項まで、第6項から第8項まで及び第17項（同別表第1項から第4項まで及び第6項から第8項までの事業に係るものに限る）の事業の交付対象事業者は、地域計画の対象区域（交付要綱第3第1項の沖縄県、離島地域、奄美群島及び山村地域並びに過疎地域の持続的発展の支援に関する特別措置法第2条第2項により公示された過疎地域を除く。）の全域において、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）第2条第3項に規定するプラスチック使用製品廃棄物（同法第33条第2項第1号に規定するプラスチック容器包装廃棄物及びそれ以外のプラスチック使用製品廃棄物の両方を含む場合に限る。）の分別収集及び再商品化に必要な措置を行っている又は当該地域計画の期間の末日から1年後までに当該措置を行うことを計画している市町村とする。

出典：循環型社会形成推進交付金交付取扱要領（環境省）

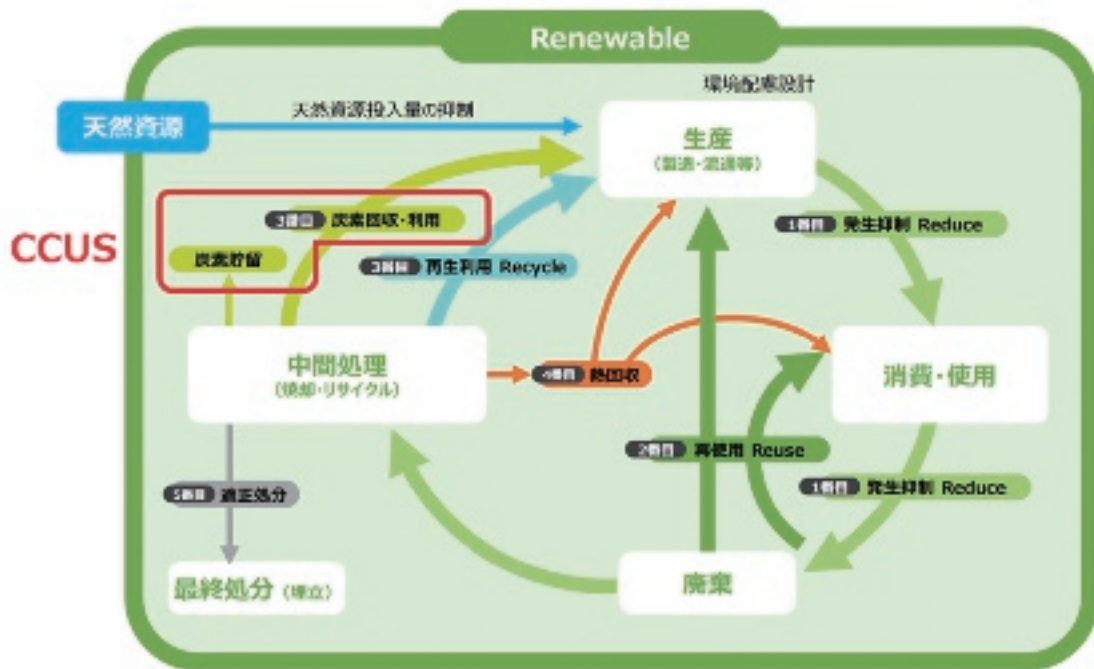
つまり、第5期計画（令和8年度から令和12年度）の期間の末日から1年後（令和13年度末）までに、対象区域（23区全域）において、プラ新法で規定するプラスチック使用製品廃棄物の分別収集及び再商品化に必要な措置を行うことが交付金の要件となり、これが実現できない場合には、令和8年度から令和12年度までに交付された交付金の全額返還を求められることとなる。

(ウ) 一般廃棄物処理に伴うCO₂排出削減に関する動向

特別区の一般廃棄物処理に伴うCO₂排出量（化石資源由来のCO₂排出量）の削減策として、CCUS（CO₂の地産地消策）を検討する前に、国や都の戦略や計画等におけるCCUSの位置付けを確認した。

国の中央環境審議会循環型社会部会（第38回）で議論された「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）」（環境省 環境再生・資源循環局、2021年）においては、「3R+Renewableの考え方に則り、廃棄物の発生を抑制するとともにマテリアル・ケミカルリサイクル等による資源循環と化石資源のバイオマスへの転換を図り、焼却せざるを得ない廃棄物についてはエネルギー回収とCCUSによる炭素回収・利用を徹底し、2050年までに廃棄物分野における温室効果ガス排出をゼロにすることを旨とする」とされており、3R（発生抑制・再使用・再生利用）を進めることが、CCUSの前提になっている。

図表2-15 3R+Renewableの概要



出典：「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）」第38回中央環境審議会循環型社会部会（令和3年8月5日）に追記

また、東京都の「プラスチック削減プログラム」（東京都環境局、2019年）においては、プラスチックに限定して、「CO₂実質ゼロのプラスチック利用の姿」としてイメージを示すとともに、以下の3点を重要な取組として示している。

1.
(ア)
(イ)

2.
(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)

3.
(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)
(オ)
(カ)
(キ)

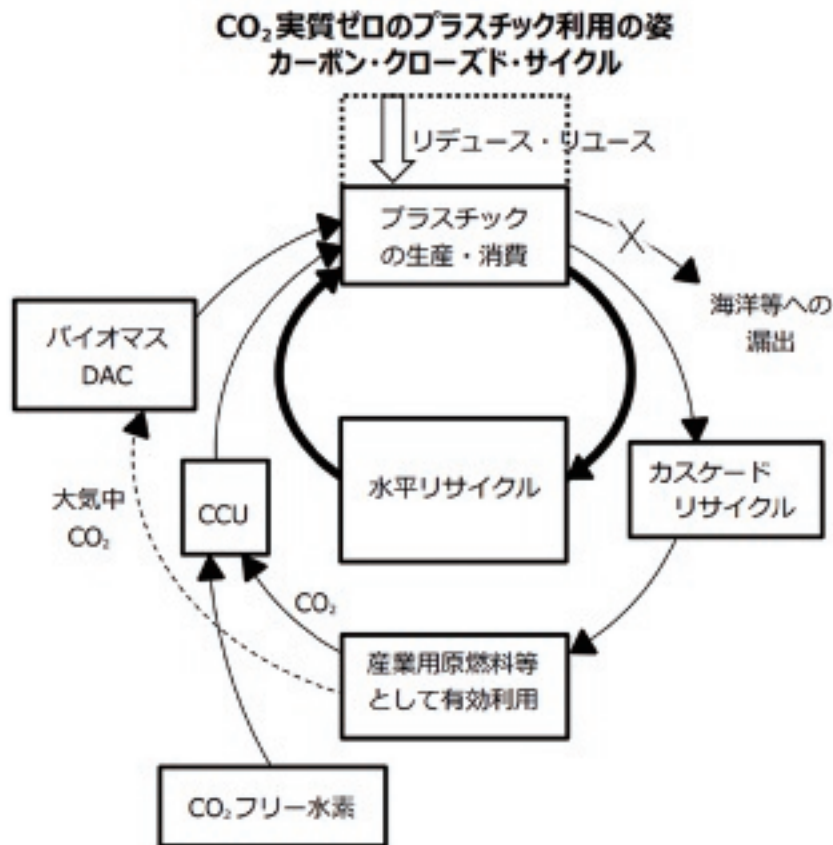
4.
(ア)
(イ)
(ウ)

おわりに

資料編

- ▶リデュース・リユースによるプラスチック消費量の削減
- ▶使用済みのプラスチック製品から元の樹脂と同等の品質の再生樹脂を得る「水平リサイクル」
- ▶これらを補完するものとして、産業用の原燃料等として高効率な熱回収及びそれに相当するCO₂を利用するプラスチックの製造（バイオマスプラスチックやCCU等）

図表2-16 カーボン・クローズド・サイクル（プラスチック削減プログラム（東京都））



出典：「プラスチック削減プログラム」（東京都，2019年12月）

東京都の「プラスチック削減プログラム」においても、CCUはあくまで、リデュース・リユース、水平リサイクルを「補完するもの」とされている。同資料中の「カーボン・クローズド・サイクル」では、カスケードリサイクル（リサイクルによって得られた再生樹脂の品質・用途が元の樹脂よりも劣るもの）からも漏れた、焼却せざるを得ないプラスチックについて、産業用原燃料等（清掃工場における廃プラスチックの焼却・熱回収も含む）として有効利用した後に、そこで発生するCO₂をCCUでプラスチックに戻して循環させるというイメージを描いている。

(エ) 一般廃棄物処理におけるカーボンニュートラル (CN) 実現のための方向性とCO₂の地産地消 (CCUS) の位置付け

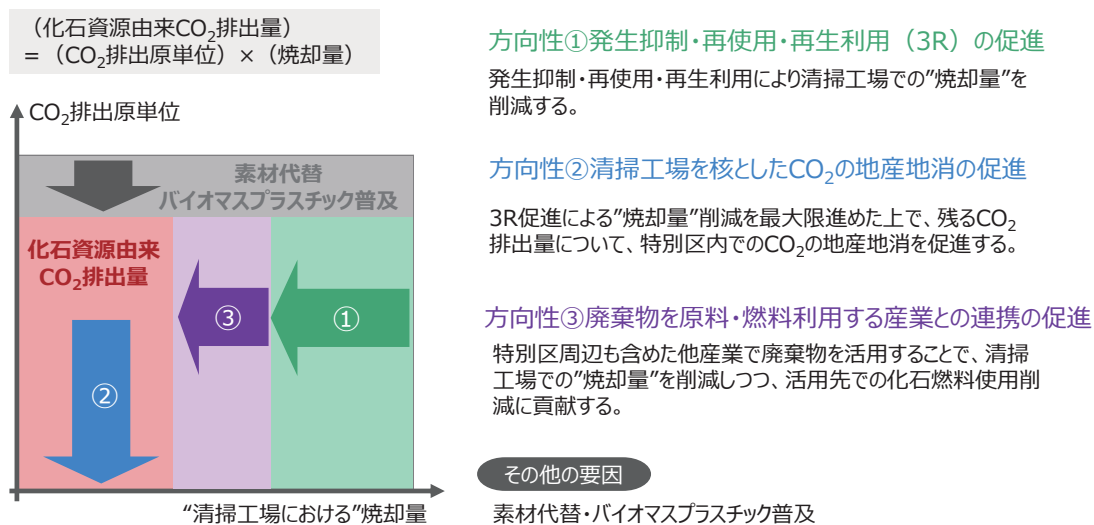
以上の整理を踏まえ、一般廃棄物処理におけるカーボンニュートラル実現に向けては、清掃工場におけるCO₂の地産地消だけではなく、一般廃棄物の発生側での対策も含めて、効果的な対策をバランスよく講じていく必要があります、むしろ、清掃工場を中心とするCO₂の地産地消は、従来の3R対策を十分に進めても、なお排出されてしまうCO₂に対して実施していくことが望ましい、ということを本研究会において認識した。このため、一般廃棄物処理におけるカーボンニュートラル実現に向けた以下の3つの方向性を提示し、議論を行った。

方向性①：発生抑制・再使用・再生利用 (3R) の促進

方向性②：清掃工場を核としたCO₂の地産地消の促進

方向性③：廃棄物を原料・燃料利用する産業との連携の促進

図表2-17 一般廃棄物処理から生じるCO₂排出量の実質ゼロ化に向けた方向性



一般廃棄物の焼却処理に伴うCO₂排出量は、清掃工場における焼却量と焼却量当たりのCO₂排出原単位の積で表現できることから、CO₂排出量を削減するためには、清掃工場における焼却量を削減するか、一般廃棄物自体のCO₂発生原単位を下げるのが求められる。

「方向性①発生抑制・再使用・再生利用 (3R) の促進」は、国や都の方向性も踏まえて設定した。方向性①は、清掃工場における焼却量を削減するための対策と言える。「方向性②清掃工場を核としたCO₂の地産地消の促進」は、本研究会において中心的に議論する取組として位置付けた。「方向性③廃棄物を

1.

(ア)

(イ)

2.

(ア)

(イ)

(ウ)

(エ)

3.

(ア)

(イ)

(ウ)

(エ)

(オ)

(カ)

(キ)

4.

(ア)

(イ)

(ウ)

おわりに

資料編

原料・燃料利用する産業との連携の促進」は、重化学工業における廃棄物の効率的なエネルギー利用や、廃棄物を原料とする持続可能な航空機燃料（SAF）やバイオメタンへの期待が高まりつつあることを踏まえ、特別区内でのCO₂の地産地消にこだわらず、必要とする産業に燃料や原料として一般廃棄物を活用する選択肢として位置付けた。廃棄物が処理される場所が、特別区内の清掃工場から変わる場合には、清掃工場における焼却量が減少するため、CO₂削減に繋がる。ただし、清掃工場で排出されていたCO₂が別の場所で排出されることになるため、23区から排出された一般廃棄物から発生するCO₂を削減するためには、その場所においてもCO₂を大気放出しないような取組が必要である。

ここで、CO₂排出原単位を削減する方法として、素材代替（プラスチック製ストローから紙製ストローへの切り替え等）やバイオマスプラスチックの普及といった取組も考えられる。「プラスチック資源循環戦略」（2019年）において、2030年までにバイオマスプラスチックを約200万トン導入するとのマイルストーンが設定され、「バイオプラスチック導入ロードマップ」（2021年）においては、バイオプラスチック導入の基本方針、プラスチック製品領域ごとの導入に適したバイオプラスチック、それを後押しするための政府の施策が提示された。このような背景もあり、プラスチック製品から紙製品への素材代替やバイオマスプラスチックの普及が進みつつあるが、食料需要³やCO₂の吸収源機能との競合の観点から、その導入には持続可能性に関して留意が必要である。また、2030年のマイルストーン200万トンに対して、2021年におけるバイオプラスチック（生分解性プラスチックとバイオマスプラスチックの総称）の出荷量は8.9万トン程度との推計も報告されており、導入が進んでいない状況にある。これらを踏まえて、本研究会では、バイオマスプラスチックの導入に過度に期待しすぎない（バイオマスプラスチック普及による削減を前提としない）こととして、バイオマスプラスチックの普及が進まない状況でもカーボンニュートラルを達成できる方策を中心に議論を進めることとした。

最後に、廃棄物分野はバイオマス由来の炭素を貯留・活用できればカーボンネガティブが見通せる分野でもあるとされていること、及び、社会全体としては温室効果ガスの排出をゼロにすることが相当に困難な分野もありうることなどから、カーボンニュートラルにとどまらず、公共部門において率先してカーボンネガティブを追求することや、カーボンネガティブ達成のための手段としてのCCSの実現可能性についても、今後、議論の余地があると思われる。

3 例えば、バイオエタノールはトウモロコシ・サトウキビ等を原料としており、世界的な食料需要の増加と競合関係にある。

<本章に関する研究会での議論の抜粋>

【一般廃棄物処理のカーボンニュートラル達成に向けた方向性について】

- ・発生抑制の周知は自治体としてやっていかないといけない部分だと感じた。
- ・ごみ問題の最終目標としては2R強化が求められる。一方で、発生抑制は行動変容が必要であり、ハードルが高いのではないかと思う。急激な目標変更はハレーションもあり、すべての市民が関心を持っているわけではない。発生抑制は見据えつつも、現実問題としてどう対応していくかを整理して、区民や事業者の行動変容を求めるものである場合には、緩やかに、合意形成をしながら進めていく必要がある。循環利用が天然資源やごみ発生の抑制になるということを記載しつつ、事業者との連携強化を通じたプラの利活用を踏まえての最終的なCO₂回収につなげられるという視点で取りまとめられるとよいのではないか。
- ・方向性①「3R促進」は、各区ですでに取組を進めている部分かと思う。前提として取り組んでいくべきだと思う。
- ・発生抑制が最初であり、CO₂回収と産業利用の優先順位は議論があるかもしれない。

【廃棄物を燃料・原料利用する産業との連携の促進について】

- ・方向性③「廃棄物を燃料・原料利用する産業との連携の促進」について、以前より、ごみを特別区外に持っていくことも検討してもよいのではないかと意見しているところである。今後、製油所が撤退した場所に廃棄物処理施設を建てて、熱供給を行うなどのような考え方もあるのではないか。
- ・3つの方向性に対して、特に「廃棄物を燃料・原料利用する産業との連携の促進」は違和感がある。発生抑制を進めると原燃料利用するポテンシャルも減ってしまうのではないか。
- ・方向性③「廃棄物を原料・燃料利用する産業との連携の促進」は、行政の立場からすると、なかなか出てこない発想であり、本研究会で議論することに賛同する。
- ・抑制しきれないごみを他の産業で原燃料利用すると、清掃工場の排出ではなく、利用先での排出となるが、利用先で化石燃料の代替をすることで、CO₂削減となり、Win-Winの関係が築けるかもしれない。

1.

(ア)
(イ)

2.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)

3.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)
(オ)
(カ)
(キ)

4.

(ア)
(イ)
(ウ)

おわりに

資料編

- ・これから再エネによる発電が増えれば、廃棄物発電の価値も下がってくるかもしれない一方で、数百℃の熱は産業界では非常に重要であり、エネルギーの利用効率も高い。さらに、発生するCO₂をカーボンサイクルする場合にも、工場で使うことができるのであれば、液化の必要もなくなり、エネルギーの有効利用につながる。

【その他】

- ・化石資源由来の炭素は、メタネーションのような利用用途では、アカウンティング（CO₂の排出量又は削減量の算定）の問題で、排出者側では削減と認められないとすると、行政が積極的にバイオマス由来の炭素も含めて回収していくシナリオがあっても良いかもしれない。

3.

清掃工場から発生する CO₂の地産地消策の検討

3. 清掃工場から発生するCO₂の地産地消策の検討

(ア) CO₂の分離・回収技術、CO₂の利用技術の概要

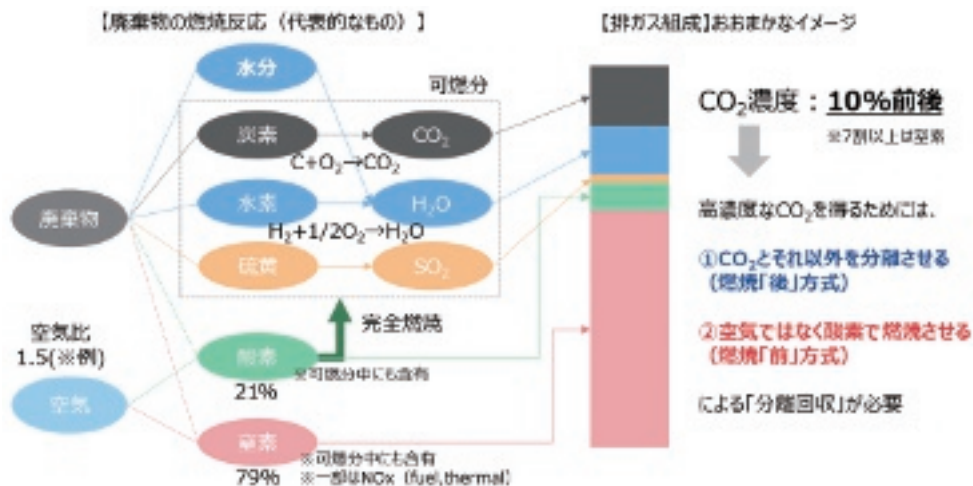
CO₂を地産地消するために必要な技術として、大きくは、CO₂の分離・回収技術とCO₂の利用技術がある。

① CO₂の分離・回収技術

廃棄物の三成分（灰分、水分、可燃分）のうち燃焼すると排ガスになる可燃分には、元素として、炭素の他に水素、酸素、窒素、硫黄などが含まれる。廃棄物の燃焼時には、炭素と酸素が反応することでCO₂に、水素が酸素と反応することでH₂Oが生じる。また、燃焼のために焼却炉に空気を送り込んでおり、空気の79%を占める窒素は、燃焼過程では、ほとんど反応しない。このため、廃棄物の燃焼後の排ガスには、CO₂だけではなく、水や酸素、窒素などが含まれており、排ガス中のCO₂濃度は10%前後になる。CO₂を利用する多くの技術では、出来る限り純粋なCO₂を原料とする必要があるため、この排ガスからCO₂のみを分離して回収することが必要になる。

前述の排ガスからCO₂を分離・回収するために、燃焼後の排ガスをCO₂とそれ以外に分離させる方式（燃焼「後」方式：Post-combustion方式）と、排ガスのうち（温度を下げることで除去可能な）水分を除けば、燃焼用の空気中の窒素が多いことに着目して、空気ではなく酸素で燃焼させる方式（燃焼「前」方式：Pre-combustion方式）の2つの方式がある。

図表3-1 廃棄物燃焼に伴う排ガス発生原理及びCO₂分離・回収の必要性



燃焼後方式と燃焼前方式の中でも、その分離方法の違いによって複数の種類が存在する。各方式の技術的概要を以下に示す。日本国内の清掃工場（焼却処理）においては、燃焼後方式のうち化学吸収法と物理吸着法での事例がある。

図表3-2 CO₂分離・回収技術の原理・各種方式

	技術の概要	技術開発段階	清掃工場での事例
青字：燃焼後方式 赤字：燃焼前方式			
化学吸収法	アミン等の溶剤を用いて化学的にCO ₂ を吸収液に吸収させ分離する方法	商用 (高濃度)	佐賀市 ふじみ衛生組合※ 横浜市
物理吸収法	高圧化でCO ₂ を物理吸収液に吸収させて分離させる方法	商用 (高濃度)	—
物理吸着法	多孔性固体を用いてCO ₂ を吸着し、分離回収する方法	商用 (高濃度)	小田原市
膜分離法	CO ₂ が選択的に透過する膜を用いて分離する方法	商用～実証 (高濃度)	—
深冷分離法	極低温化で液化し沸点の違いを用いて分離する方法	実証 (高濃度)	—
酸素燃焼法	空気分離により酸素を製造し、CO ₂ リッチの排ガスをボイラーへ再循環させながら、燃焼温度を下げ燃焼させる方法	実証 (高濃度)	—
ケミカルルーピング	空気中の酸素を用いず、金属酸化物中の酸素を使って燃焼させる方法	実証 (高濃度)	—

※三鷹市、調布市

出典：平成25年度シャトルシップによるCCSを活用した二国間クレジット制度実現可能性調査委託業務報告書等各資料を基にパシフィックコンサルタンツ株式会社作成

② CO₂の利用技術

CO₂を資源として捉え、これを分離・回収し、コンクリート、化学品、燃料など多様な製品として再利用するとともに、大気中へのCO₂排出を抑制する技術は、「CCU」「カーボンリサイクル」と称される。「カーボンリサイクル技術ロードマップ」（2021年改定）では、回収したCO₂の利用方法を石油増産回収法（EOR）、CO₂の直接利用、カーボンリサイクルに分類しており、さらに、カーボンリサイクルを化学品、燃料、鉱物、その他の4つに分類している。

1.

(ア)

(イ)

2.

(ア)

(イ)

(ウ)

(エ)

3.

(ア)

(イ)

(ウ)

(エ)

(オ)

(カ)

(キ)

4.

(ア)

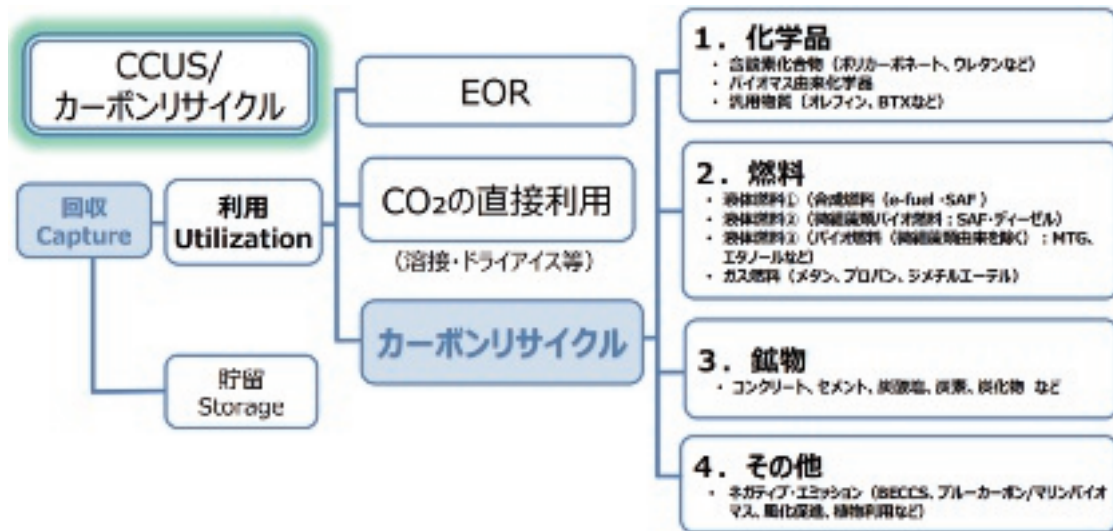
(イ)

(ウ)

おわりに

資料編

図表 3-3 CO₂の利用技術の全体像

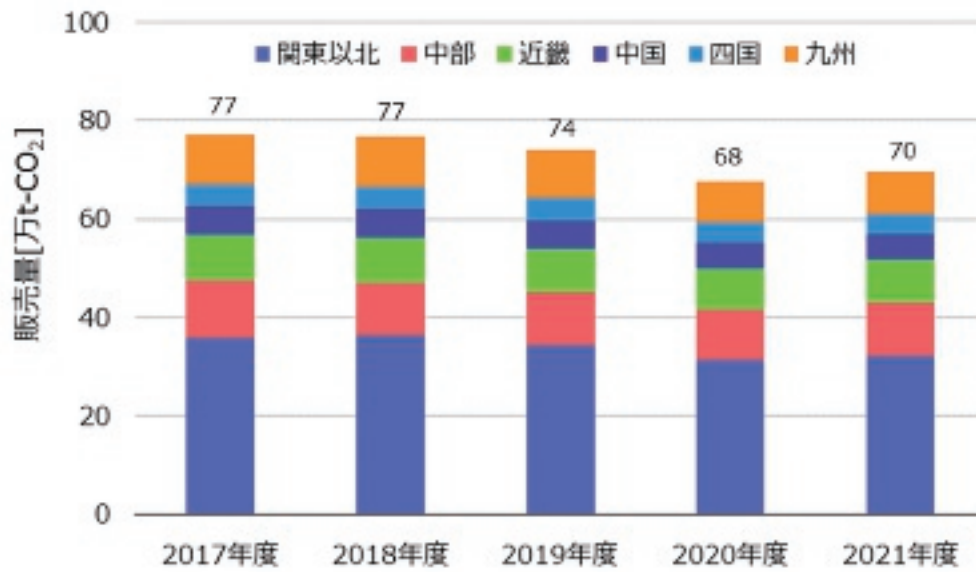


出典：カーボンリサイクル技術ロードマップ 改定版（経済産業省、令和3年7月改訂）

CO₂の直接利用については、工業、食品・農業、医療などの利用があり、年間の国内使用量は150万t-CO₂程度である。そのうち、液化炭酸ガスの販売量は2021年度では全国で70万t-CO₂となっており、関東以北に限定すると32万t-CO₂程度である。ここで、特別区の清掃工場から排出される非エネルギー起源CO₂は150万t-CO₂であり、年間のCO₂の国内使用量に匹敵する量である。また、150万t-CO₂はプラスチック類の焼却に伴う化石資源由来のみ計上されたものであり、厨芥や紙ごみ等の焼却に伴うCO₂も計上する場合は、国内使用量を大幅に上回る事となる。CO₂をドライアイスなどで直接利用する用途もあるが、特別区の清掃工場から排出されるCO₂の量を直接利用だけで捌くことは需給バランスの点で困難と思われる。

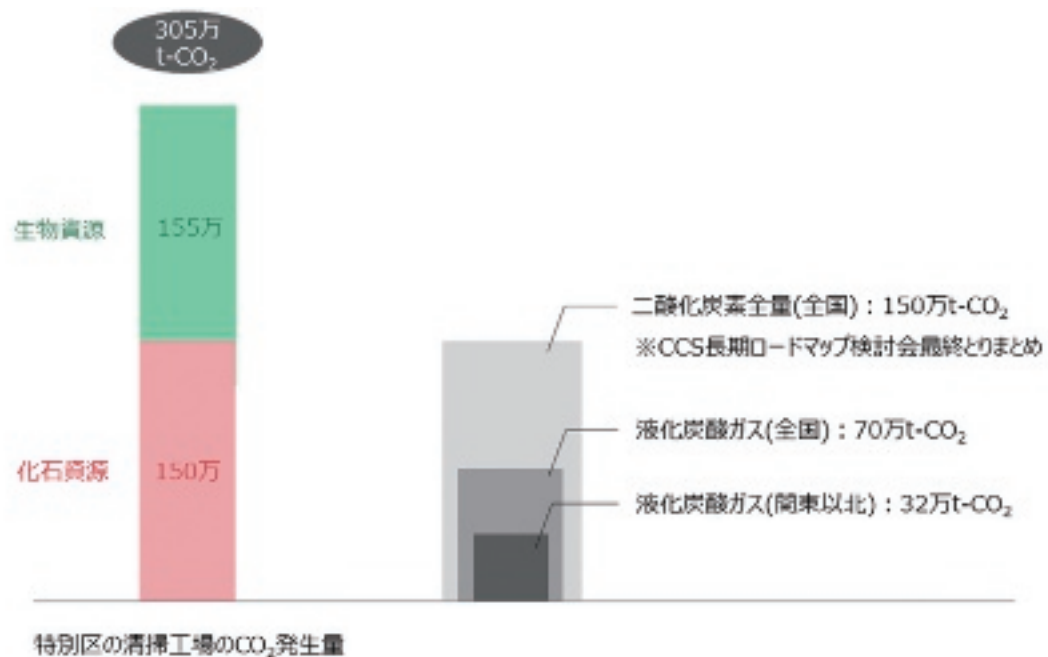
また、炭酸ガスは、現時点では、副生ガス（主には製油所で発生するもの）で賄われていることから、清掃工場のCO₂を利用したとしても、CO₂削減には繋がらない。ただし、主要な副生ガスの発生源である化石燃料が利用されない社会に転換していけば、廃棄物由来のCO₂が供給源としての役割を果たし得る。

図表3-4 CO₂（液化炭酸ガス）の国内流通量の規模



出典：「5年間推移：液化炭酸ガス」（一般社団法人日本産業・医療ガス協会）より作成

図表3-5 CO₂（直接利用）の国内流通量と特別区の清掃工場から発生するCO₂の比較

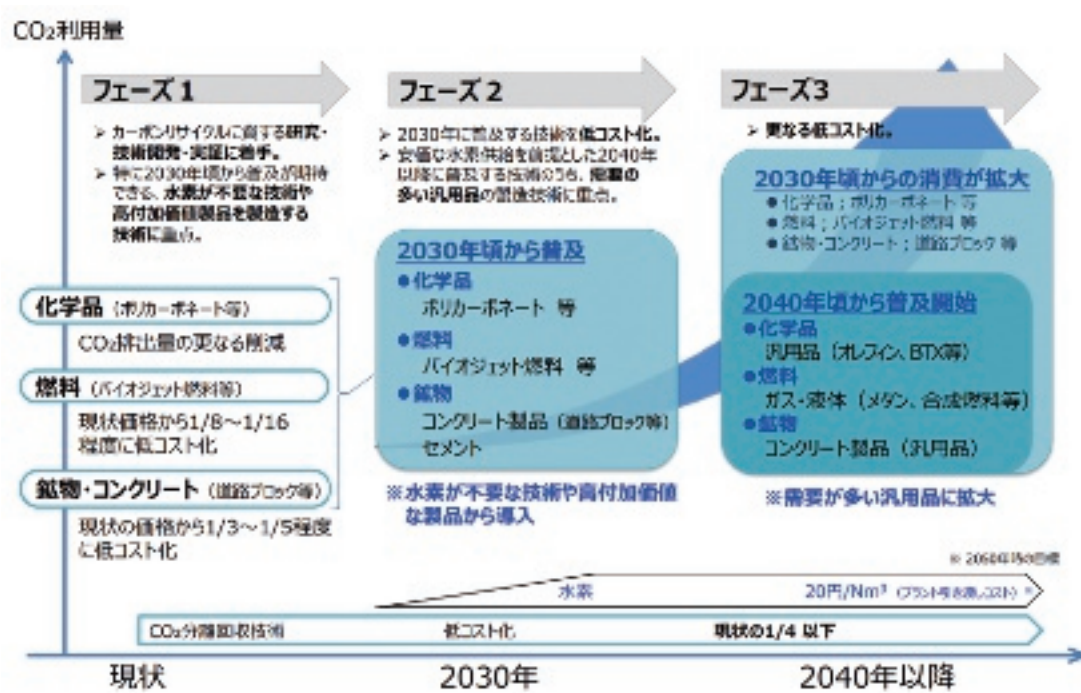


- 1. (ア) (イ)
- 2. (ア) (イ) (ウ) (エ)
- 3. (ア) (イ) (ウ) (エ) (オ) (カ) (キ)
- 4. (ア) (イ) (ウ)
- おわりに
- 資料編

化学品としては、水素が不要なポリカーボネートやポリウレタン等のO-C=O構造を有する含酸素化合物と、水素とCO₂を原料として製造可能な汎用物質(オレフィン⁴、BTX⁵)がある。燃料としては、水素とCO₂を原料として、合成燃料やメタン等を製造する技術がある。鉱物については、コンクリートにCO₂を固定するような技術がある。

カーボンリサイクル技術ロードマップでは、カーボンリサイクルを拡大していく絵姿として、2030年頃から、水素が不要な技術や高付加価値な製品(ポリカーボネート、バイオジェット燃料、コンクリート製品)から導入していき、2040年以降に需要が多い汎用品(オレフィン、メタン、合成燃料等)に拡大していくイメージが示されている。

図表3-6 CO₂の利用を拡大していく絵姿(カーボンリサイクル技術ロードマップ)



出典：カーボンリサイクル技術ロードマップ

CO₂の分離・回収技術及びその利用技術については、変換に必要な水素の製造・輸送も含めて、技術開発途上にあり、すぐに社会実装可能な状況にはないものが多い。例えば、グリーンイノベーション (GI) 基金事業において、CO₂分離・回収技術及びCO₂利用技術(化学品、燃料、鉱物)について、それぞれ、技術開発が行われている。

4 エチレン・プロピレン・ブタジエンなどの高分子化合物の総称。

5 芳香族炭化水素のベンゼン、トルエン、キシレンの総称。頭文字をとって略称としたもの。

図表3-7 CCUSに関連するグリーンイノベーション基金事業の概要

技術	プロジェクト名称	技術開発対象	概要
CO ₂ 分離・回収	CO ₂ の分離・回収等技術開発	低濃度用	天然ガス火力や工場等のより低い濃度（10%以下）のCO ₂ 回収への適用に向け、低エネルギーでCO ₂ を分離可能な革新的素材の開発やシステム技術等の革新・実証を推進する。
化学品製造	CO ₂ 等を用いたプラスチック原料製造技術開発	機能性化学品	ポリカーボネートやポリウレタン等の機能性化学品は水素を必要とせずCO ₂ から合成が原理的に可能。電気・光学・力学特性等の機能性向上にも取り組む。
		汎用品 【CO ₂ とグリーン水素から製造】	メタノール等からエチレン、プロピレン等のオレフィンを製造(MTO)する触媒収率を向上(80～90%)。人工光合成については、高い変換効率と優れた量産性が両立できる光触媒を開発し、実用化を目指す。
燃料製造	CO ₂ 等を用いた燃料製造技術開発 ※必ずしもCO ₂ からの合成が必須ではなく、合成ガス等からも製造可能	合成燃料	CO ₂ と水素から逆シフト、FT合成、これらの連携技術などを用いて高効率・大規模に液体燃料に転換するプロセスを開発する
		合成メタン	再エネ電力等から製造した水素と、発電所等から回収したCO ₂ から効率的にメタンを合成する技術（メタネーション）を確立する。
		持続可能な航空燃料(SAF)	大規模な生産量（数十万kl）を見込めるエタノールからSAFを製造するATJ技術（Alcohol to JET）を確立する。
		グリーンLPG	水素と一酸化炭素から、メタノール、ジメチルエーテル経由で合成される、化石燃料に劣らないLPG（グリーンLPG）の合成技術を確立する。
鉱物	CO ₂ を用いたコンクリート等製造技術開発	コンクリート	CO ₂ を固定する材料（特殊混和材、骨材等）の開発・複合利用、コストを最小化する製造・施工技術、CO ₂ 固定量の評価を含めた品質管理手法の確立・標準化等に取り組む。
		セメント	石灰石由来のCO ₂ を全量近く回収するCO ₂ 回収型セメント製造プロセスを開発し、回収したCO ₂ を炭酸塩として活用する技術開発も併せて行う。

出典：グリーンイノベーション基金事業関連資料より作成

また、廃棄物分野におけるカーボンニュートラルに向けた取組として、グリーンイノベーション（GI）基金事業においては、廃棄物処理施設を「CN型炭素循環プラント」に転換していくための技術開発が実施される。

図表3-8 廃棄物処理施設を対象とするグリーンイノベーション基金事業の概要



出典：第7回 産業構造審議会 グリーンイノベーションプロジェクト部会 グリーン電力の普及促進分野WG 資料3 「『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』プロジェクトの研究開発・社会実装の方向性」

1.
(ア)
(イ)

2.
(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)

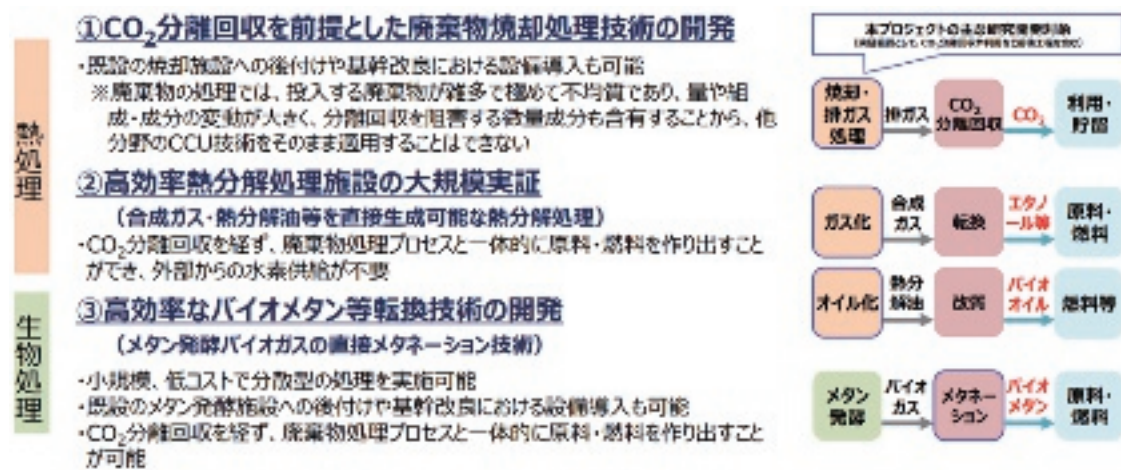
3.
(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)
(オ)
(カ)
(キ)

4.
(ア)
(イ)
(ウ)

おわりに
資料編

技術開発の内容は、①CO₂分離回収を前提とした廃棄物焼却処理技術の開発、②高効率熱分解処理施設の大規模実証、③高効率なバイオメタン等転換技術の開発とされている。清掃工場におけるCO₂の分離・回収には、①のCO₂分離回収を前提とした廃棄物焼却処理技術の開発が関連するが、その課題として、廃棄物の処理では、投入する廃棄物が雑多で極めて不均質であり、量や組成・成分の変動が大きく、分離回収を阻害する微量成分も含有することから、他分野のCCU技術をそのまま適用することはできないとされており、廃棄物分野での特有の課題が存在することも認識する必要がある。

図表3-9 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プロジェクトにおける技術開発項目



出典：第7回 産業構造審議会 グリーンイノベーションプロジェクト部会 グリーン電力の普及促進分野WG
 資料3 「[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] プロジェクトの研究開発・社会実装の方向性」

(イ) 清掃工場におけるCCUS導入の国内外の事例分析

国内外の清掃工場においてCCUSの導入を実施・あるいは計画している事例を調査した。

既存事例をまとめた結果、欧州におけるプロジェクトのほとんどがCCSであり、実証を経て、将来的に海底下（北海）に大規模にCO₂を圧入していく計画が多いことが確認された。一方で、日本では清掃工場においては、比較的小規模なCCUの事業（実証含む）を実施しているといった傾向が確認された。

1.

(ア)

(イ)

2.

(ア)

(イ)

(ウ)

(エ)

3.

(ア)

(イ)

(ウ)

(エ)

(オ)

(カ)

(キ)

4.

(ア)

(イ)

(ウ)

おわりに

資料編

図表3-10 廃棄物処理施設を対象としたCCUSの先行事例（国内外）

分類 (CCS/CCU)	施設・企業名/ プロジェクト名	国名	CO ₂ 回収施設 稼働開始	施設の処理能力 (ごみ焼却施設) [kt/y]	CO ₂ 排出量 [kt/y]	CO ₂ 回収量 [kt/y]	分離回収技術	備考
CCS	ARC CCSプロジェクト	デンマーク	2023~2024年 (実証)	600	560	500	化学吸収法 (アミン溶液)	・CO ₂ は北海にて長期貯蔵する計画 ・機組排熱は地域熱供給に利用され、発電電力量をヒートポンプで熱に変換することで、実質的にエネルギー効率を保ちCO ₂ 回収が可能
	Fortum Oslo Varme- Klemetsrud	ノルウェー	2023~2024年(予定)	320	460	400(予定)	化学吸収法 (アミン溶液)	CCS Northern Lights プロジェクトにより北海に貯蔵
	CCS Northern Lights プロジェクト	ノルウェー	2023~2024年(予定)	-	-	1,500~5,000	N.A.	・CCS(貯留容量：1億t) ・液化したCO ₂ を船でOygarden市のターミナルに輸送し、そこからパイプラインで北海の海底2600mに貯蔵 ・CO ₂ 回収源の一つとして上記"Fortum Oslo Varme"がある(1500kt/yのうち400kt/yはFortum Oslo Varmeから)
	CCS PORTHOS プロジェクト	オランダ	2023年(予定)	-	-	2,000~5,000	N.A.	貯留容量：37,000kt
	Acornプロジェクト	英国	2023年	-	-	200以上 (2023年まで)	-	・既存の石油・ガスパイプライン、船で輸送し、北海に貯蔵
	KVA Linth	スイス	-	115	120	-	-	・KVA Linthのほか、2社が参加、政府機関と自治体(グラールス州)より資金的な支援を受ける ・国内でのCO ₂ 貯蔵は地質的に困難であるため、外国へ輸送(船・鉄道等)することを想定
	HVC-Alkmaar Project 1	オランダ	2018年	682	674	4 (Project 2では 75kt(予定))	化学吸収法 (アミン溶液)	液化CO ₂ の温室栽培利用
	AVR-Duiven	オランダ	2019年	361	400	50~60	化学吸収法 (アミン溶液)	・液化CO ₂ の温室栽培利用 ・現状のCO ₂ 回収率は85%
	HVC-Alkmaar Project 2	オランダ	2022年(予定)	682	674	75	化学吸収法 (アミン溶液)	液化CO ₂ の温室栽培利用
	AEB Amsterdam	オランダ	N.A.	1284	1268	450	化学吸収法 (アミン溶液)	温室栽培利用や化学薬品への再利用を検討中
CCU	佐賀市清掃工場	日本	2016年	84 (300t/日)	54	3	化学吸収法 (アミン溶液)	回収したCO ₂ を二酸化炭素貯留タンクに保管した後、パイプラインで事業者へ供給し、藻類培養や建材工場で活用
	小田原市環境事業センター (日立造船、エックス都市研究所)	日本	2022年	92 (330t/日) ※実証は75t/日	48 (推定)	2	物理吸収法	メタネーションの実証に利用 環境省の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にて実施
	久慈市(精水化学工業)	日本	2022年	N.A.	N.A.	N.A.	ガス化	合成ガスに変換後、微生物によるエタノールの製造 環境省の「二酸化炭素の資源化を通じた炭素循環社会モデル構築促進事業」で実施
	三鷹市(調布市 (JFEエージニアリティ))	日本	2021年	80 (288t/日)	77 (推定)	N.A.	化学吸収法 (アミン溶液)	メタノール製造
	横浜市(島田清掃工場 (横浜 市、東京ガス、三菱重工グループ))	日本	2023年	336 (1200t/日)	211 (推定)	0.1	化学吸収法 (アミン溶液)	東京ガスがスクラップステーションにてメタネーション実証に利用
	都山(川崎重工業)	日本	2024年以降	84 (300t/日)	74 (推定)	N.A.	化学吸収法 (固体吸収法)	川崎重工業株式会社と郡山市はごみ処理施設における脱炭素化技術「実証試験」に関する協定を締結

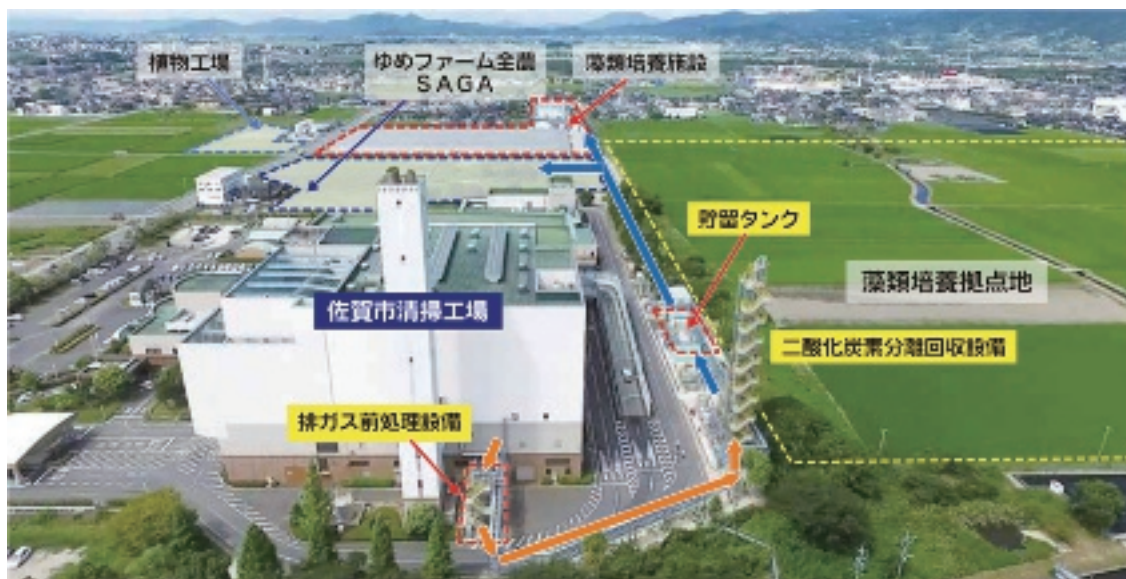
出典：IEA GREENHOUSE GAS R&D PROGRAMME, CCS on Waste to Energy, 環境省「令和2年度廃棄物処理システムにおける脱炭素・省CO₂対策普及促進方策検討調査及び実現可能性調査委託業務報告書」等より作成(※国内事例のCO₂排出量は一般廃棄物処理実態調査の処理量から推定)

佐賀市清掃工場（300t/日）においては、ごみを焼却する際に発生する排ガスからCO₂を分離・回収しており、回収したCO₂を清掃工場周辺の植物栽培や藻類培養施設などで活用している。CO₂の最大回収量は10t/日で、清掃工場周辺へ企業を誘致して、CO₂の利用を促進している。

CO₂の分離・回収には、アミン吸収液による化学吸収法が採用されており、吸収塔・再生塔を経て回収されたCO₂は貯留された後に、気体の状態で配管を通して需要家までCO₂が供給されている。

CO₂の需要家の一つである株式会社アルビータの藻類培養施設では、ヘマトコッカスという微細藻類を培養しており、抽出されるアスタキサンチンを活用したサプリメントや化粧品を販売している。また、JA全農の「ゆめファーム」（1ヘクタール）も隣接しており、キュウリの栽培用に、回収したCO₂と清掃工場から発生する排熱を供給している。

図表3-11 佐賀市清掃工場におけるCO₂分離・回収、利用の概要



※リーフレット作成時点（2019年3月）の写真であり、最新の状況ではないことに留意。

出典：佐賀市WEBサイト「二酸化炭素分離回収事業について」関連資料：バイオマスリーフレット
https://www.city.saga.lg.jp/site_files/file/2022/202210/p1gglrjhgfcrc7hthmf1ft64.pdf

1.

(ア)
(イ)

2.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)

3.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)
(オ)
(カ)
(キ)

4.

(ア)
(イ)
(ウ)

おわりに

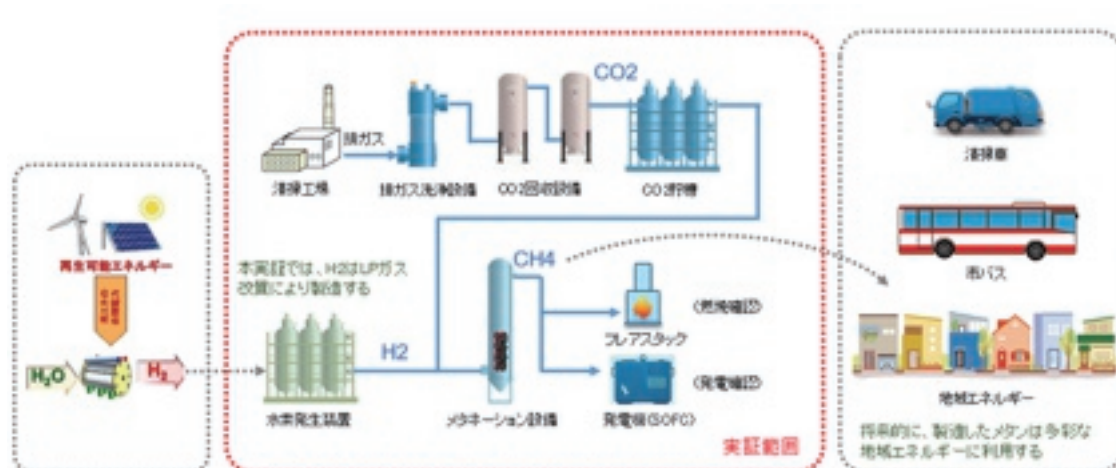
資料編

小田原市の清掃工場（330t/日※実証では75t/日×1炉を使用）では、環境省委託事業「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」として、清掃工場から排出されるCO₂を利用したメタネーション⁶設備の実証運転が実施された。

CO₂の分離・回収には、物理吸着法を用いたCO₂回収設備が用いられており、回収されたCO₂はメタネーション設備に供給され、125Nm³/hの合成メタンが製造される。125Nm³/hのメタネーションは国内最大で、清掃工場の排ガス中のCO₂を利用したメタネーションは世界発である。

実証では、合成されたメタンは、固体酸化物形燃料電池（SOFC）発電機の運転での発電確認やフレアスタックでの燃焼確認に利用された。将来的には、多彩な地域のエネルギーとして利用される絵姿が示されている。

図表3-12 小田原市の清掃工場における焼却排ガス中のCO₂を利用したメタネーション実証の概要



出典：日立造船プレスリリース「国内最大となるメタネーション設備の実証運転開始～清掃工場からの二酸化炭素を利用したメタネーションは世界初～」

<https://www.hitachizosen.co.jp/newsroom/news/assets/pdf/20220616.pdf>

6 二酸化炭素 (CO₂) と水素 (H₂) から都市ガス原料であるメタン (CH₄) を合成する技術。

(ウ) 清掃工場におけるCCUSに取り組むプラントメーカーへのヒアリング調査

特別区内にある清掃工場から一般廃棄物処理の過程で生じるCO₂の効果的な地産地消策について検討するため、清掃工場におけるCO₂分離・回収及び回収したCO₂の活用に関する技術的動向等について、プラントメーカーを対象としたヒアリング調査を実施した。

図表3-13 プラントメーカーへのヒアリング開催概要

研究会	日時	参加企業
第2回研究会	2023年5月29日 14:30～16:30	三菱重工環境・化学エンジニアリング株式会社、 JFEエンジニアリング株式会社、日鉄エンジニアリング株式会社
第3回研究会	2023年6月21日 14:00～16:00	日立造船株式会社、株式会社神鋼環境ソリューション

図表3-14 プラントメーカーからのヒアリング結果

一般廃棄物処理のカーボンニュートラル化に向けた貴社の取組の概要
<ul style="list-style-type: none"> ・焼却以外のガス化改質技術は、技術開発を進めているものの自治体に認められる性能になるのはまだ先のことでありと認識している。メタン発酵は残渣と消化液の処理が課題だと認識している。特に都市ごみの場合は雑多な種類のごみが混入するので農地還元が難しい。 ・CO₂回収を伴わない脱炭素に向けた技術として、バイオガス化、熱分解ガス化改質技術、炭化技術について技術保有・技術開発中。 ・食品残渣、食品汚泥、家畜糞尿を処理するメタン発酵技術や一般廃棄物を処理するガス化改質技術（エタノール合成前処理用）に取り組んでいる。 ・一般廃棄物処理において、焼却施設での各種技術導入に加えて、収集運搬時のCO₂排出量の抑制に向けて、「EVパッカー車及び電池交換ステーション普及協議会」を設立・参画。
清掃工場（焼却施設）を念頭においたCO ₂ 分離・回収技術の概要と要件
<ul style="list-style-type: none"> ・実装可能性が高い方式として、物理吸着法と化学吸収法がある。必要エネルギー量は、物理吸着法と化学吸収法では電気か熱かの違いでさほど変わらないが、熱のほうが効率的に供給可能という点で化学吸収法が有利である。ただし、グリーンイノベーション（GI）基金でも物理吸着法の技術開発が実施されており、今後の性能向上が期待される。 ・焼却排ガスは、圧力が低くCO₂濃度が低いため、設備規模を考慮すると化学吸収法が最適。

1.

(ア)

(イ)

2.

(ア)

(イ)

(ウ)

(エ)

3.

(ア)

(イ)

(ウ)

(エ)

(オ)

(カ)

(キ)

4.

(ア)

(イ)

(ウ)

おわりに

資料編

- ・現時点ではごみ焼却排ガスからの分離・回収はアミン吸収法が有力と認識している。規模としては数百トン/日規模まではラインアップされている。排ガス中の酸性ガスへの対応（前処理）が、アミン吸収液劣化を防ぐ目的で重要である。
- ・追加で必要になる敷地面積は、回収規模で変わる。100t/日であれば、一日80t-CO₂が発生するが、ごみの変動に対応しなければならないことを考えると100t-CO₂回収可能な設備が必要。この場合、数10m×数10mの敷地面積（イメージとして焼却施設二つ分程度）が必要。
- ・三川発電所（バイオマス発電所）では500t-CO₂/日以上の回収が可能なプラントで、90m×45m（約4000m²）の敷地面積が必要になっている。廃棄物1トンあたり約1t-CO₂のCO₂が発生するため、500t/日規模の清掃工場で全量回収する場合は、三川発電所のような規模感をイメージするとよい。
- ・必要なエネルギーについて、中長期シナリオ案の、発生するCO₂を全量回収する場合には、発電分をすべて分離・回収と液化に使ってしまうとの試算は妥当。ただし、炉の構成が1炉か2炉かでも変わってくる。
- ・分離回収装置への通ガスに必要な要件として酸性ガス濃度がある。HClの濃度は湿式洗煙であれば問題ない水準である。また、排ガスの温度を落とす必要があるため、凝縮水が発生する。排ガス1Nm³当たり0.1kgの排水が発生する。
- ・排ガス処理自体に影響はない。排ガス中の凝縮水と冷却水ブロー水が排水として発生し、排水の再生処理利用がなければ、下水道放流量が増加する。
- ・吸着剤や吸収液の劣化を防止する目的で、通常の湿式処理レベル（排ガス温度40℃以下、HCl濃度1ppm以下、SOx濃度1ppm以下）の条件による設計が推奨される。
- ・実装可能時期として、技術的には現在でも実装可能である。
- ・導入可能時期は、確立済みの技術のため数年後には可能。ただし、廃棄物処理施設への適用となると独特の課題がある。CO₂利用まで含めると数年後には少し難しいのではないかと。

清掃工場におけるCCUSの実現に向けた課題

- ・回収したCO₂の用途として、液化炭酸ガス（ドライアイス）の市場規模は国内の産業分野で年間100万トン程度である。世界的には、CCSが先行して事業レベルで進展しており、日本でも本格的な調査が開始されている。
- ・CO₂の利用先は絞り込まなくてもよいのではないかと。地域に応じた形がありうる。
- ・CO₂の利用先について、メタンやSAFは数千万トン、化学品原料は数百万トンの需要が潜在的に存在するが開拓が必要であり、水素が入手できるかどうかはボトルネックになってくるのではないかと。
- ・技術的課題として、近隣にCO₂利用装置がない場合は液化設備が必要になり、これによって設置面積/有資格者（高圧ガス）/食品添加物基準のCO₂性状の確保が必要になる。
- ・技術的・物理的課題として、敷地の確保、発電量減少、不純物や微量成分の挙動や吸収液への影響評価、排ガス量変動や排ガス成分に応じた最適設計などが挙げられる。
- ・CO₂分離・回収装置の導入によって、プラント制御（間欠・連続）をどのようにしていくのか、といった課題について、実証していかなければならないと考えている。
- ・排ガスの放出温度（環境アセス170℃）について、CO₂回収後の排ガスは40～60℃程度であるが、そのまま放出してもよいのか。170℃まで昇温する場合さらにエネルギーが必要。

- ・制度的課題として、分離・回収装置や液化設備が交付金の対象外であること、CO₂のクレジットや排出量取引の取り扱いのルールが制定されていないこと等がある。
- ・制度的・経済的課題として、CO₂利用先の確保、清掃工場に新設・後付けするCCUS設備の支援策（建設費の補助等）、カーボンプライシング・炭素税等の具体的制度設計、導入時期が未定であることなどが挙げられる。
- ・廃棄物の処理及び清掃に関する法律（以下、「廃掃法」という）上のCO₂の解釈：液体にすると廃掃法上の廃棄物に該当する可能性もあるが、法制度としての解釈ができていない。
- ・循環交付金の対象となるのか、ならないのであれば誰がそのコストを負担するのかが不明。
- ・制度的課題として、ガスの製造に関する法規対応（高圧ガス）やガスの貯留や輸送に関する法規対応が必要であることが挙げられる。経済的課題としては、カーボンプライシングの確定、水素の費用低減（メタネーション前提）が挙げられる。
- ・経済的課題として、上記の制度的課題の解決が図られない場合、事業者負担が大きくなることや現段階で回収CO₂を長期引取保証するユーザーが事実上いないことがある。
- ・技術保有者ではなく、回収CO₂のオフテイカー（引き取り手）を集めることが案件参画要件となり、熱効率の最適化等のCNに必要な技術導入が図れないことを危惧しており、回収と利用を切り離れたCCUSの導入を期待。

ここまでの調査において、CO₂分離・回収装置の導入については、国による技術開発支援状況を参考にすれば、2030年頃から大規模かつ経済性も担保した社会実装が可能となる見込みであるが、実際の導入に当たっては、まずは分離・回収装置（CO₂利用先までの道路輸送が必要となる場合は圧縮・液化設備）を設置できる敷地面積の確保が物理的に必要であり、加えて、分離・回収装置の高さの制約、施設の整備及び運転・維持管理に係る費用の増加、発電電力量の減少等、多くの課題があることが明らかとなった。

1.

(ア)

(イ)

2.

(ア)

(イ)

(ウ)

(エ)

3.

(ア)

(イ)

(ウ)

(エ)

(オ)

(カ)

(キ)

4.

(ア)

(イ)

(ウ)

おわりに

資料編

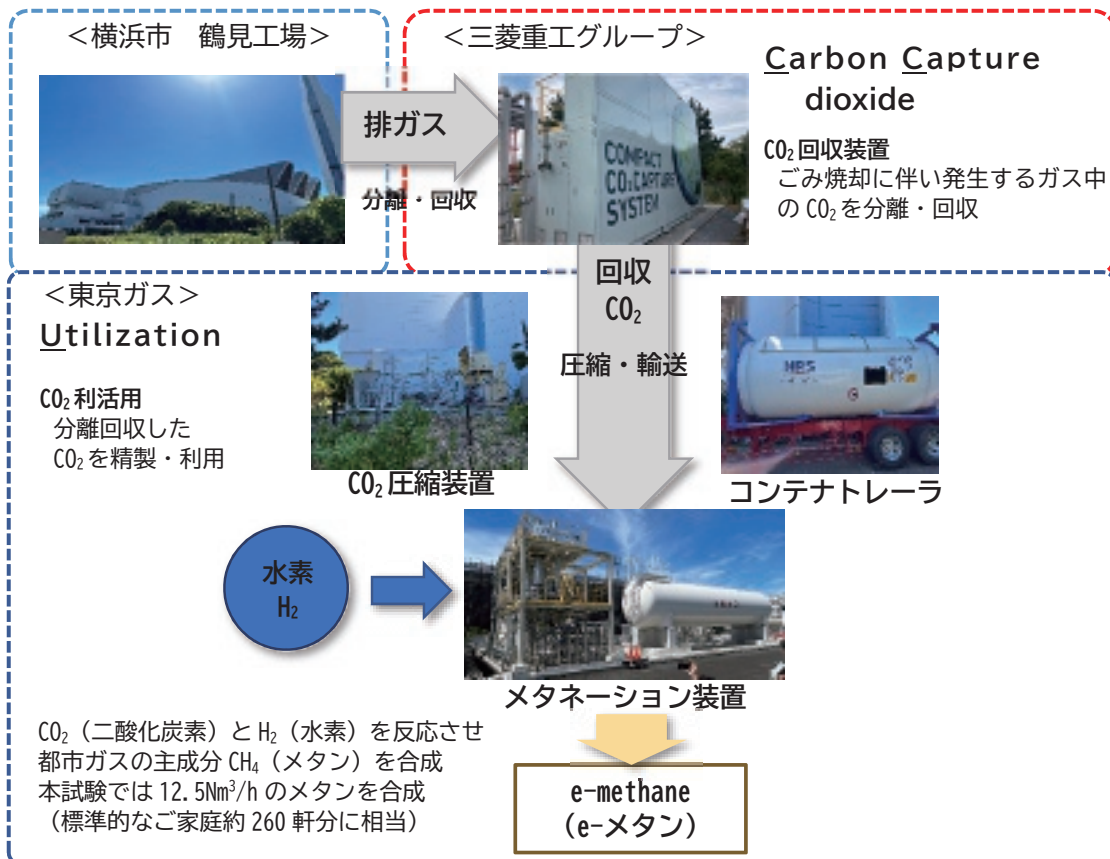
(エ) CO₂分離・回収及びCO₂利用の実証視察

横浜市、三菱重工業株式会社、三菱重工環境・化学エンジニアリング株式会社、東京ガス株式会社が共同で実施しているごみ焼却施設の排ガスからのCO₂分離・回収・圧縮ならびに有効利用の実証試験の視察を実施した。

図表3-15 横浜市鶴見工場におけるCO₂分離・回収及びCO₂利用実証の視察

日時	視察先
8月3日(木) 10時～11時頃	横浜市鶴見工場 (CO ₂ 分離・回収・圧縮装置)
8月31日(木) 10時～12時頃	東京ガス横浜テクノステーション (メタネーション装置) 横浜市鶴見工場 (CO ₂ 分離・回収・圧縮装置)

図表3-16 横浜市鶴見工場及び東京ガス横浜テクノステーションの実証全体像



出典：「ごみ焼却工場の排ガスからのCO₂回収とメタネーションへの利用実証の開始～横浜市・東京ガス・三菱重工グループによる地域連携でのCCU共同実証～」(記者発表資料)を参考に作成

図表3-17 横浜市鶴見工場及び東京ガス横浜テクノステーションの位置



Copyright (c) NTT空間情報 All Rights Reserved

1.

(ア)
(イ)

2.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)

3.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)
(オ)
(カ)
(キ)

4.

(ア)
(イ)
(ウ)

おわりに

資料編

① 横浜市鶴見工場（CO₂分離・回収装置・圧縮装置）の視察概要

煙道からの排ガス供給配管



CO₂分離・回収装置



CO₂圧縮装置



CO₂輸送車両



CO₂輸送車両



鶴見工場及びCO₂分離・回収装置の設備概要

	項目	値
鶴見工場	施設規模	1,200t/日
	発電能力	22,000kW
	排ガス処理設備	湿式方式
	誘引送風機能力	183,540Nm ³ /h
CO ₂ 分離・回収装置	CO ₂ 回収能力	0.15～0.3t/日
	排ガス引込可能量	50～65Nm ³ /h (全体の約0.3%)
	CO ₂ 回収率	90%程度
	CO ₂ 純度	99.9vol.%-dry
	分離・回収装置の寸法	長さ8m×幅2.5m×高さ5m ※圧縮装置も同程度

CO₂分離・回収設備の概要及び課題

視察時の説明及び質疑応答の概要

- ・三菱重工では化学吸収法による分離回収プロセスの商用納入実績が多数ある。
- ・当該分離回収プロセスについて、標準的なCO₂回収量(0.3～200t-CO₂/日)に対応する製品ラインアップを用意している。これらは技術開発済みのため、具体的な要望を踏まえて詳細協議に着手可能な状況にある。
- ・化学吸収法によりCO₂を回収している。吸収塔において、CO₂を選択的に大量溶解する性質を持つ吸収液と排ガスを接触させ、CO₂を分離する。その後、再生塔において、吸収液を110～130℃に加熱するとCO₂が放出されて回収することができる。
- ・全量回収をするためには、焼却施設の能力が約400t/日以上でないと電力・蒸気の観点から実施が困難となる。
- ・分離・回収装置等を導入することで、排ガスの温度が下がるため(50℃程度)、白煙が発生しやすくなるが、排ガスの量が減少するため、汚染物質が減少する。
- ・分離・回収装置等の導入に伴い、排水量が増えるため、排ガス処理設備が乾式・無放流(クローズド式)であると障壁となる。(湿式・下水道放流であれば可能である。)なお、実証実験設備の排水は分析を実施している。

1.

(ア)

(イ)

2.

(ア)

(イ)

(ウ)

(エ)

3.

(ア)

(イ)

(ウ)

(エ)

(オ)

(カ)

(キ)

4.

(ア)

(イ)

(ウ)

おわりに

資料編

② 東京ガス横浜テクノステーションの視察概要

メタネーション装置+水素ガスタンク



メタネーション装置



メタネーション装置



メタネーション装置の概要

	項目	値
メタネーション装置	合成メタン製造能力	12.5Nm ³ /h
	面積概要	約100m ²

メタネーション装置及びe-メタンの概要

視察時の説明及び質疑応答の概要

- ・ 鶴見工場の排ガスの中から分離・回収するCO₂を受け、メタネーションの実証実験を実施している。
- ・ メタネーションは、水素（H₂）と二酸化炭素（CO₂）を原料に、都市ガスの主成分であるメタン（CH₄）を合成する技術で、合成されたメタンは「e-methane（e-メタン）」と呼ぶ。
- ・ 原料の水素も、再生可能エネルギー由来の電力で水を電気分解してつくることで、製造過程でもCO₂を排出させることなく作る水素「グリーン水素」を一部用いている。
- ・ 現在の都市ガスの原料である天然ガスを、e-methane（e-メタン）に置き換えることで、脱炭素化を目指している。なお、都市ガス13Aは約45MJ/kg、e-メタンは約40MJ/kgだがそのままのインフラで送ることが可能で、都市ガスと同等として使用できる。
- ・ 2030年の都市ガスの1%のe-メタン化（2万m³/h-CH₄）は海外からの調達を考えている。（海外の候補地では、原料となる水素、水、CO₂の調達が容易なことに加え、既存の天然ガスパイプラインや天然ガス液化基地の利用が可能のため。）

1.

(ア)
(イ)

2.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)

3.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)
(オ)
(カ)
(キ)

4.

(ア)
(イ)
(ウ)

おわりに

資料編

(オ) 特別区の清掃工場におけるCO₂分離・回収装置の導入可能性検討

特別区の清掃工場において設置可能なCO₂分離・回収装置の規模を把握するために、当研究会において、既存の工場の施設配置を前提として、敷地内と近隣の状況のみに着目した割り切った条件下で、CO₂分離・回収装置の導入可能規模を試算した。

将来、新たな用地に清掃工場やCO₂分離・回収装置が新設される可能性はあるものの、現段階で検討に含めることは困難であることから、既存21工場内及び近隣用地にCO₂分離・回収装置を設置することを条件とした。

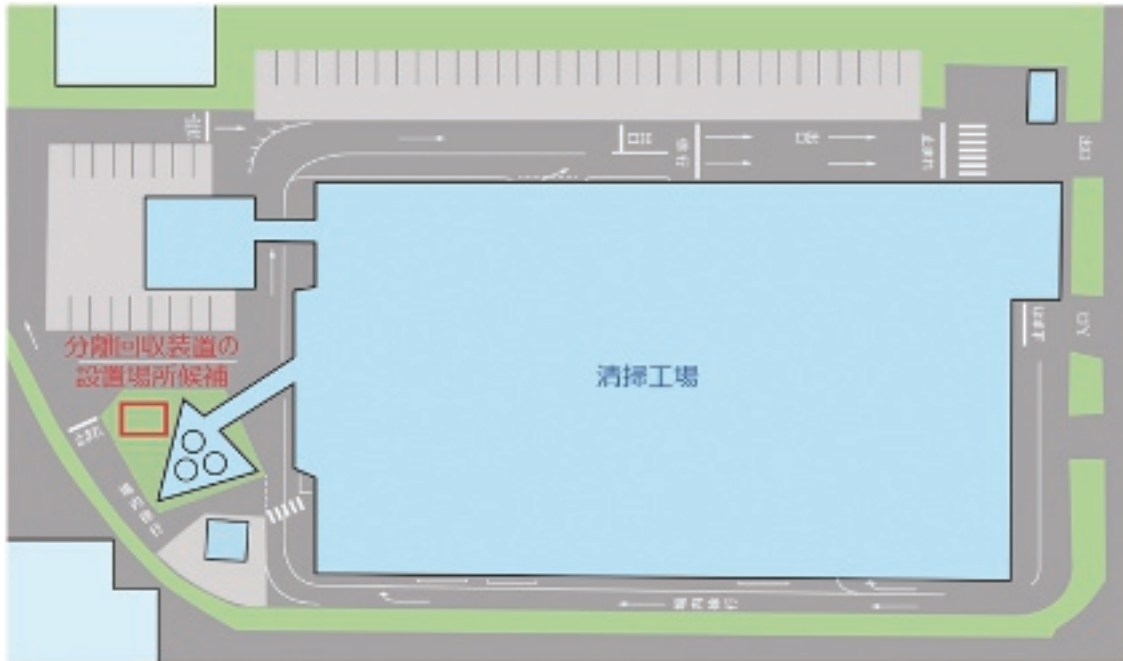
具体的には、既存21工場内及び周辺用地の航空写真より、利用可能と考えられる用地（以下のイメージにおける赤点線部分）を抽出し、研究会において、各清掃工場における設置可能面積を算出した。この設置可能面積からメーカーヒアリングにおいて把握した、面積とCO₂回収量の対応関係を整理したデータから、大まかなCO₂分離・回収量を推定した。

試算に用いた設置可能面積に対するCO₂回収量は、CO₂の圧縮・液化装置を含む数値である。また、面積以外にも、高さが分離・回収装置の導入上の制約になり得ることをメーカーヒアリングにおいて把握したが、今回の試算には、高さによる制約を見込んでいない。

図表3-18 清掃工場へのCO₂分離・回収装置導入検討イメージ
(分離・回収装置の設置に十分な敷地を確保できる場合：赤枠が利用可能な面積)



図表3-19 清掃工場へのCO₂分離・回収装置導入検討イメージ
 (分離・回収装置を設置可能な面積が小さい場合：赤枠が利用可能な面積)

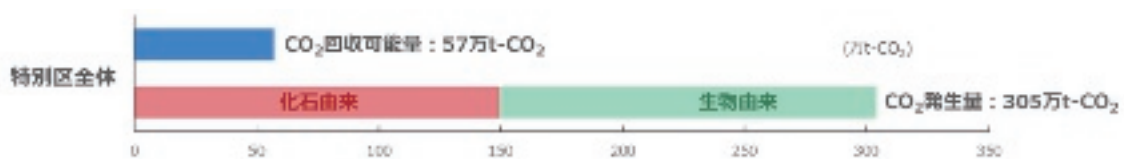


各清掃工場における設置可能面積の整理において、以下のような課題がある場合には設置困難として設置可能面積から除外した。なお、設置可能と判断した面積についても今後の周辺住民との協議や整備方針によっては、設置不可となる可能性があることに留意が必要である。

【設置困難とした理由】

- ①現状が緩衝緑地であり、周辺に対する環境負荷低減の維持が必要となる。
- ②近隣に住居があるため、影響の確認や住民協議が必要となる。
- ③地下部に構造物があり、重量物の設置が困難となる。
- ④将来的に他用途で使用される計画がある。

試算の結果、特別区の清掃工場におけるCO₂回収可能量は最大で50～60万トン程度と見積もられた。これは、化石資源由来のCO₂排出量（約150万トン）をすべて回収するには十分ではない。

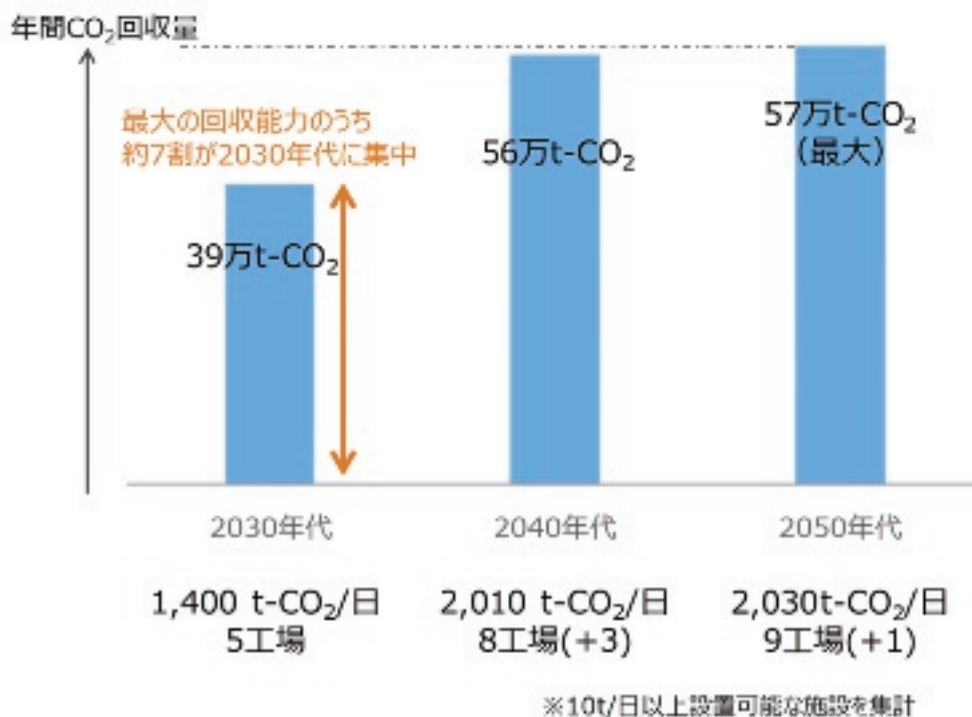


- 1. (ア) (イ)
- 2. (ア) (イ) (ウ) (エ)
- 3. (ア) (イ) (ウ) (エ) (オ) (カ) (キ)
- 4. (ア) (イ) (ウ)
- おわりに
- 資料編

清掃工場においてCO₂分離・回収を行う国内の事例（佐賀市）と比較すると、特別区では、住宅地周辺に立地している清掃工場が多く、CO₂の分離・回収装置の設置において、土地の制約を強く受ける可能性が高いことが確認された。また、分離・回収装置の設置に十分な面積があったとしても、すぐ近隣にCO₂の利用設備が存在しない場合も多く、この場合は、CO₂輸送のための圧縮・液化が必要となり、より多くのエネルギー・コストが必要になると想定される。

ここで、CO₂分離・回収装置の導入は、建設工事等に係る費用を抑えられるという観点から、清掃工場の建替えのタイミングで導入することが、経済的には望ましいと考えられる。そこで、各清掃工場の建替えのタイミングも踏まえた見通しを把握するため、先述の試算により把握した各工場で導入可能なCO₂分離・回収装置の能力とその工場の大まかな建替えスケジュールを重ねて、各年代におけるCO₂分離・回収能力も推計した。その結果、大規模な分離・回収装置を導入可能な工場の建替（回収能力にして50～60万トンのおよそ7割）が2030年に集中していることが示唆された。したがって、計画も含めた建替のリードタイム（10年程度）を考えると、今すぐにでも検討を開始しなければ、大部分の分離・回収装置の導入機会を喪失しかねない状況にあることがわかった。

図表3-20 各年代における特別区の清掃工場におけるCO₂分離・回収装置の導入可能量（試算結果）



一方で、建替えのタイミングでのCO₂分離・回収装置の導入が困難である場合には、清掃工場の建替時期を、延命化措置を講じて先に延ばす、CO₂分離・回収装置を導入できるだけの面積を予め確保しておくことも必要になってくる可能性がある。この場合、稼働年数によっては、CO₂の単位回収量当たりのコストが割高になる可能性もある。

なお、今回の試算結果は、現在の清掃工場の立地及びその配置を前提とするものであり、CCUSとなることを前提として、戦略的に工場の立地や配置を工夫することによって、さらに多くの回収能力を確保する余地がある。

1.

(ア)
(イ)

2.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)

3.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)
(オ)
(カ)
(キ)

4.

(ア)
(イ)
(ウ)

おわりに

資料編

(カ) 特別区におけるCO₂の地産地消策の検討

CO₂の地産地消は、清掃工場からのCO₂の分離・回収だけでは実現しえず、回収したCO₂を特別区周辺において利用できること、すわなち、清掃工場におけるCO₂分離回収（地産）からCO₂の変換、利用（地消）に至るサプライチェーン（バリューチェーン）の構築が大前提であり、むしろ地消の方が解決すべき課題が多い可能性もある。また、清掃工場で分離・回収したCO₂を利用した製品を各区で利用していくことが地産地消の前提となる。そこで、本研究会において、各研究員に対して、CO₂の利用に向けた以下の簡易なアンケート調査を実施した。各研究員からは質問に対して、以下の回答があった。

1) 自区内あるいは特別区内において特定の事業者が実施している（しようとしている）CO₂の利活用先がありましたら御教示ください。

・建設泥土におけるCO₂の固定について、具体的な事業者の取組を知っている。アルカリ性の泥土を中性化する過程にCO₂を利用する技術である。事業者はこの方法の特許を取得しているとのことである。課題は、原料となるCO₂サプライチェーンの構築である。財源は、国の戦略とも合致しており、NEDO等による補助金等の活用も可能ではないか。（江戸川区）

2) 特別区内あるいはその周辺地域で、有望と思われる、あるいは御自身が御関心のあるCO₂の利活用先がありましたら御教示ください。また、その理由について御教示ください。

・将来的にメタネーションは一つの選択肢である。小田原市で実証されていたが、水素価格が課題だと思う。別の研究テーマにおいて、水素の利活用も議論している。こうした取組を通じて、水素がより身近になるのであれば、メタネーションも可能性があるのではないか。また、CO₂貯留（CCS）は都心では難しいが、分離・回収したCO₂をコンクリートや建設泥土に固定させて利活用することも可能性があるのではないか。（清掃一組）

・CCUS以外の効率的なエネルギー利用方法があればと考えており、SAF（持続可能な航空機燃料）は、現状では、廃食用油から製造しているが、供給が追い付かなくなっており、廃棄物等のバイオマスからの持続可能な航空機燃料（SAF）製造を視野に入れた動きがある。羽田空港や成田空港に近いエリアでバイオマスとしての廃棄物を一番多く扱っているのが清掃一組であり、SAF原料としての廃棄物活用に期待している。（清掃一組）

・東京ガスが2030年に1%をeメタンに置き換えるとの目標を掲げており、有望な活用先ではないか。（葛飾区）

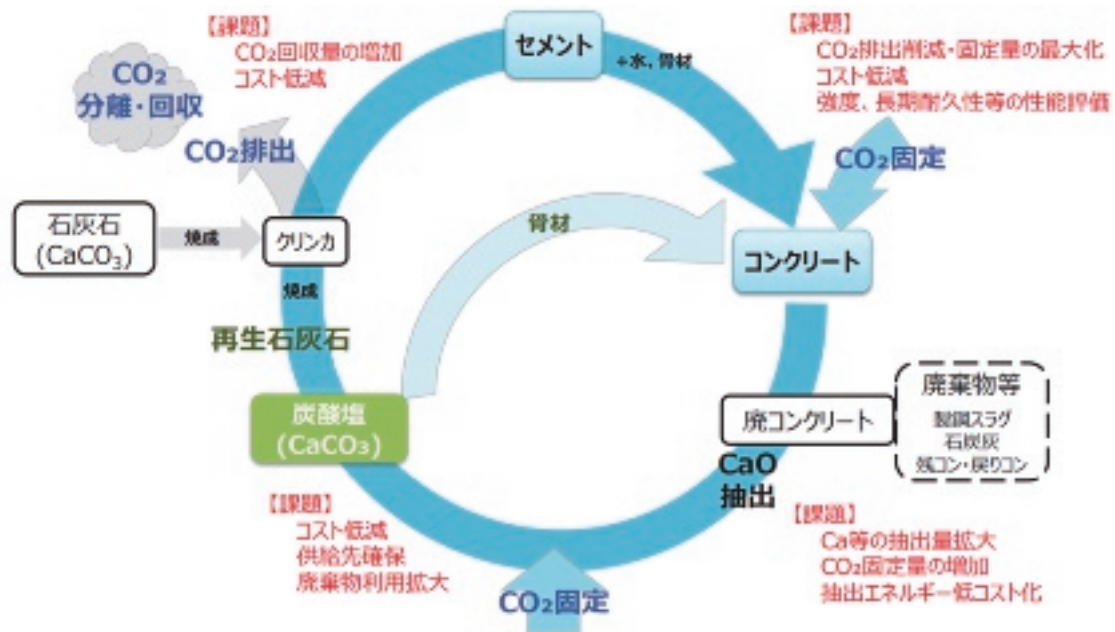
・大田区・川崎市・東京都の三者で、「空港臨海エリアにおける水素等の次世代エネルギーの利活用拡大に向けた連携協定」を6月に締結した。羽田空港及び周辺地域におけるフリー水素の利活用をイメージしており、区として水素の利活用に高い関心を持って動いている。（大田区）

上記のアンケートを踏まえて、本研究会では、コンクリートへのCO₂固定、建設汚泥の中和処理による再生土利用、メタネーションによる合成メタン製造の3つのCO₂利用用途について、ヒアリングや現地視察も含めた調査を実施した。

① コンクリートへのCO₂固定

コンクリートはセメントと水、骨材を混合することで製造されており、セメント原料（クリンカ）の製造時に石灰石の焼成過程でCO₂が発生している。カーボンニュートラルに向けて、コンクリート製造時及び廃コンクリートから抽出した酸化カルシウム（CaO）にCO₂を固定する方法がある。後者において製造された炭酸塩は骨材として利用されるか、天然の石灰石代替として使用される。

図表3-21 セメント・コンクリート分野のカーボンニュートラル全体像



出典：第11回 産業構造審議会 グリーンイノベーションプロジェクト部会 エネルギー構造転換分野ワーキンググループ資料4 コンクリート・セメントのカーボンニュートラルに向けた国内外の動向等について

コンクリートへのCO₂の削減・固定には複数の方法がある。一つは、特殊混和材使用によりセメントの使用自体を低減することである。ただし、この過程ではCO₂は固定されない。その特殊混和材にCO₂を吸収・固化させることが可能である。また、骨材にCO₂を吸収させた骨材を利用することもコンクリートへのCO₂固定方法の一つである。グリーンイノベーション (GI) 基金事業の「CO₂を用いたコンクリート等製造技術開発プロジェクト」では、これらの方法を複合的に利用することで、CO₂排出削減・固定量を最大化するコンクリー

1.
(ア)
(イ)2.
(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)3.
(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)
(オ)
(カ)
(キ)4.
(ア)
(イ)
(ウ)

おわりに

資料編

トの技術開発が実施されている。技術開発目標としては、CO₂固定量を120～200kg/m³とすること、コストを既存製品と同等以下にすることを旨とする。現在、一部商品化されているCO₂を利用したコンクリート製品は、一般的なコンクリート製品の2～3倍の価格とされている。

図表3-22 コンクリートへのCO₂固定のイメージ



出典：「コンクリート・セメントで脱炭素社会を築く！？技術革新で資源もCO₂も循環させる」経産省ウェブサイト https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/concrete_cement.html

グリーンイノベーション（GI）基金事業の「CO₂を用いたコンクリート等製造技術開発プロジェクト」におけるコンクリート分野の技術開発のうち、【研究開発項目1】CO₂排出削減・固定量最大化コンクリートの開発に2件のプロジェクトが採択されている。

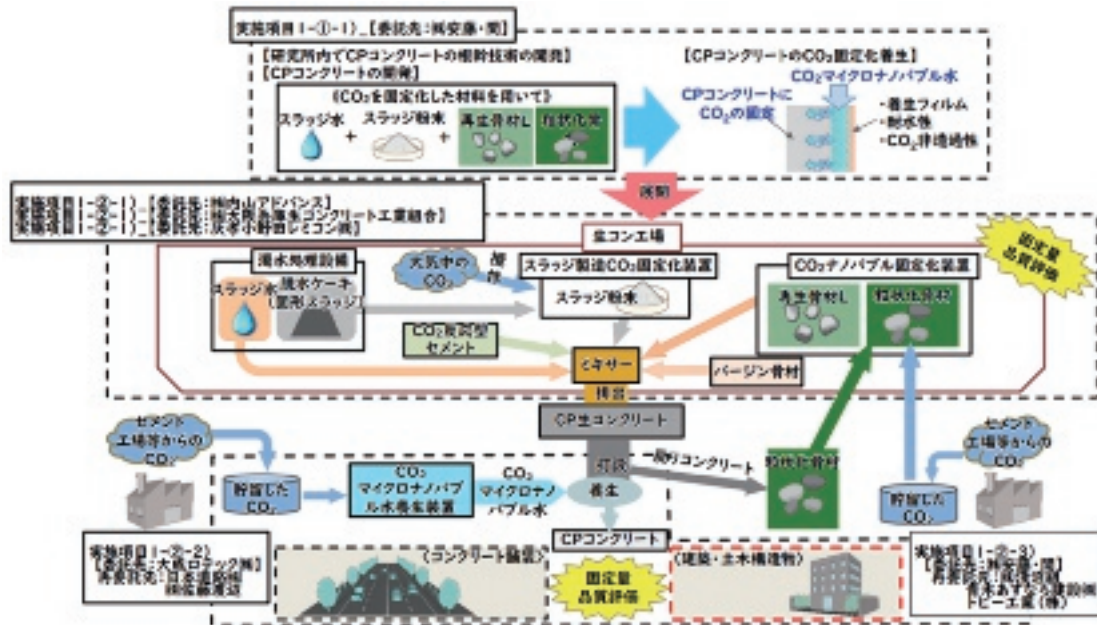
図表3-23 グリーンイノベーション（GI）基金事業の採択プロジェクト

採択テーマ	実施予定先
革新的カーボンネガティブコンクリートの材料・施工技術及び品質評価技術の開発	鹿島建設株式会社 デンカ株式会社 株式会社竹中工務店
CO ₂ を高度利用した CARBON POOL コンクリートの開発と舗装及び構造物への実装	株式会社 安藤・間 株式会社内山アドバンス 灰孝小野田レミコン株式会社 大阪兵庫生コンクリート工業組合 大成ロテック株式会社 一般財団法人電力中央研究所

本研究会では、清掃工場において分離・回収したCO₂の活用先としてのコンクリートへのCO₂固定について、その技術的動向、特別区周辺でのサプライチェーンの構築の可能性、経済・制度的課題等について把握するために、グリーンイノベーション（GI）基金事業採択プロジェクトのうち、カーボンプールコンクリートの関係者へのヒアリング調査を実施した。

以下に、カーボンプールコンクリート（CPコンクリート）の概要を示す。

図表3-24 カーボンプールコンクリートのGI基金における技術開発概要



出典：グリーンイノベーション基金事業特設ウェブサイト（NEDO）
プロジェクト概要「CO₂を用いたコンクリート等製造技術開発」実施体制/事業戦略ビジョン

グリーンイノベーション（GI）基金事業における目標の達成見込み

- ・グリーンイノベーション（GI）基金の目標の120～200kg/m³に対して達成できるように技術開発を実施している。
- ・製造コストは、新しい製品なので、今より高くなるのは当然という面があり、経済産業省公表資料によれば、そこをクレジットで補うということが示されており、クレジット前提になるだろうと考えている。
- ・コストアップの要因として、CO₂をどうやって持ってくるかが大きい。コンクリートへの吸収・固定よりも、CO₂の分離・回収・輸送をどのように工程に入れていくかが課題になる。
- ・大阪万博で試験施工して社会実装に結び付けていくのが大前提であり、グリーンイノベーション（GI）基金のステージゲートになっている。その意味合いもあり、2027～2028年が社会実装のスタートラインと思われる。

コンクリートへのCO₂固定による影響について

- ・（中性化によって鉄筋への腐食があるか、との質問に対して）中性化自体で鉄筋を腐食させるのではなく、水分があることによって錆びることで、内側から爆裂するのが原因である。そもそも、水分が無ければ問題ない。
- ・水分がある外壁では今のままでは使えないため、錆びない鉄筋の技術開発も行っている。錆びにくいステンレスを利用することも考えられるが、4倍の価格になる。いかに錆びない鉄筋をつくるかというハードルの高い課題に取り組んでいる。

- 1. (ア) (イ) (ウ) (エ)
- 2. (ア) (イ) (ウ) (エ) (オ) (カ) (キ)
- 3. (ア) (イ) (ウ) (エ) (オ) (カ) (キ)
- 4. (ア) (イ) (ウ)
- おわりに
- 資料編

- ・強度について、CO₂の固定によって緻密化されるため、簡単にいえば強くはなるが、隅々まで炭酸化する必要があって、ポーラス構造のコンクリートを製造しようとしているため、目に見えない空隙があることで弱くなる。そこで、空隙部分が弱くならないよう+αで補うことを色々な資材で検討している。目指すべき水準は、コンクリートとして既成製品と同等の強度を保つことになる。耐用年数も既成製品と変わらないことを目指す。

コンクリートへのCO₂固定方法について

- ・コンクリート工場は全国で約3,000工場あり、90分以内にデリバリするというJIS規定があるため点在している。個々の工場は大型ではない。焼却施設は、全国で約1,000施設程度あると聞いており、(清掃工場の排ガスを利用するということは)地産地消という言葉とマッチすると考えており、LCAの観点で、コスト、CO₂抑制の意味で相性がよいということになる。
- ・極論では、セメントや骨材などにCO₂を吸収・固定させる工程・施設を清掃工場内に置くのが理にかなっていると考える。既存の生コン工場はJIS規格があり、そこにCO₂を運び込むのは無理がある。また、CO₂を圧縮して運ぶ部分がコストアップの要因になるため、いかにその部分を最小化するかがポイントになる。ビジネスモデルについては、これから検討していくことになる。社会実装に向けて協議できればと考えている。

CPコンクリートの適用先について

- ・最初の社会実装先は舗装だと考えている。空隙をつくってCO₂を満遍なく入れることによる強度の問題があるため、まずは歩道・外構・駐車場が優先と考えている。いわゆる先進国では、道路舗装のアスファルトの比率は7割程度で、韓国では5割程度になっている。日本では95%がアスファルトになっている。コンクリート比率を諸外国並みまでとは言わないまでも少しでも上げていきたいと考えている。
- ・構造物は、水が無い部分での使用であれば技術的には問題ないが、実際に床などに使用していこうとすると建築基準法などを変えていく必要があり、法令整備やクレジット等での削減効果が認められるかといったことがキーになってくるため、今時点ではハードルが高い印象である。

CO₂固定によるCO₂削減の考え方について

- ・非常に難しい話(センシティブな話)である。
- ・CO₂の回収・固定を実施した主体か、CO₂を固定したコンクリートを購入した主体が環境価値を享受するのが正しい方法ではないか。
- ・議論がわかれるテーマであることは前提として、吸収固定系のクレジットの価値を高くするというものが何種類かある。その中でも一番厳しい認証機関が出しているものとして、空気中からの吸収・固定もしくはバイオマス由来CO₂の吸収・固定でなければ、最も価値の高いクレジットにならない、というものがある。これらのクレジットの価値は高くなるだろうといわれている。しかし、現段階で、高い値段がついたクレジットが多く流通しているわけではない。バイオマス由来のCO₂が分離できる前提で、バイオマス由来のCO₂を利用したほうがクレジットの価値が高いといえる可能性は、現状の情報からは高いのではないか。

- ・セメント製造時のCO₂を固定しないとCNとはいえない。過去に製造したものにCO₂を固定できれば、マイナスカウントにもなりうる。本当は、どの由来のCO₂を固定しても、地球上の収支は変わらないが、CCUのキャパシティが限られている中で、化石系を燃やしては固定が追いつかない。どうしても最後に残るのは石灰石の脱炭酸と廃棄物の燃焼くらいで、このCO₂を固定するのは合理的であると考えられる。セメント工場は全国でも数か所しかないため、そこからのデリバリではなく、(生コン工場と)同程度の規模の焼却施設のCO₂を固定するのは意味があると思われる。

社会実装に向けた課題・特別区への期待

- ・特別区の発信力に期待している。今後、世界的には廃棄物の焼却施設が増えていくと思うが、日本の焼却炉とセットで、廃棄物の焼却処理から回収したCO₂をCPコンクリートに固定させて、利用していくという一連の流れを、日本のビジネスモデルとして、国内のみならず世界にも発信できればと思い、特別区の世界にまで至る発信力に期待している。
- ・特別区への要望として、区の歩道や区の施設、公園で、(CO₂を固定したコンクリートを)率先して使うということは当然想定される。
- ・歩道部分ではコンクリート舗装にすることそのものにメリットがある。アスファルトからコンクリートに変えることで、表面が白くなって、気温が10～15℃程度下がる。CO₂も固定していて、暑さ対策にもなる、街の中のインフラとしてアピールできるのではないかと考えている。

ヒアリング調査において、コンクリート工場と清掃工場が全国に点在しており、輸送等も含めてコスト・CO₂抑制に繋がるという点で相性が良く、“CO₂の地産地消”という概念にマッチする可能性が示唆された。

清掃工場において分離・回収したCO₂をコンクリートに固定して利用するサプライチェーンのイメージを次頁に示す。ここで、コンクリートについては、コンクリートそのものにCO₂を吸収させる場合や、特殊混和材や骨材にCO₂を固定する場合が考えられ、それぞれに適用される技術も異なる側面があるため、以下はあくまで一例であることに留意が必要である。

費用負担について、コンクリートの場合は、ステークホルダーが多く複雑である。まず、最終需要家としては、例えば、各区や事業者が考えられるが、構造物に対してCO₂(建材の製造・輸送等のライフサイクルで排出されたCO₂)を計上する制度はなく、資金を投じて高い費用を支払うインセンティブがない場合も想定される。だとすると、CO₂利用による削減価値を保持したいと考えるのは、コンクリート製造事業者やセメント製造事業者と清掃工場であるが、クレジット以外に、現存する制度の中で排出量・削減量を整理することがそもそも困難と考えられる。

1.

(ア)
(イ)

2.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)

3.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)
(オ)
(カ)
(キ)

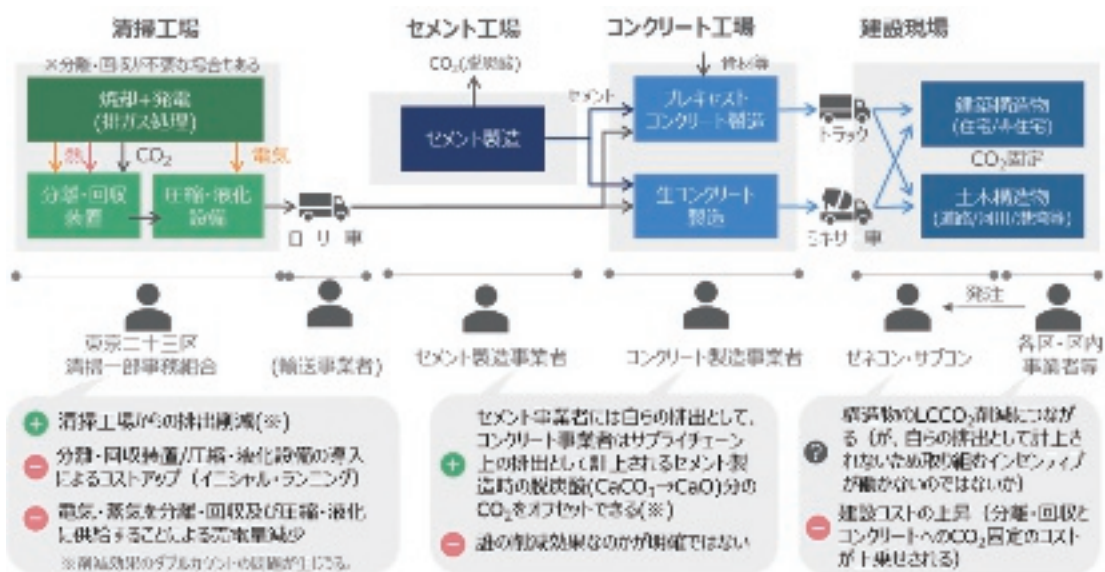
4.

(ア)
(イ)
(ウ)

おわりに

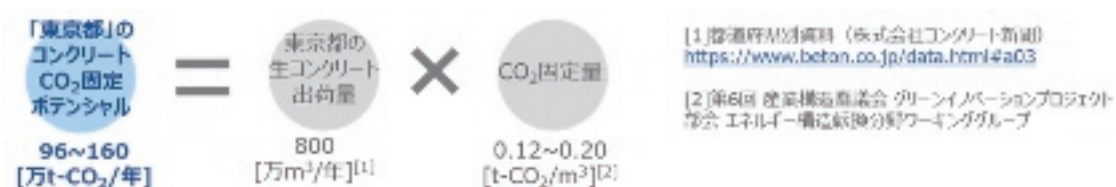
資料編

図表3-25 環境配慮型コンクリートへのCO₂固定利活用モデル

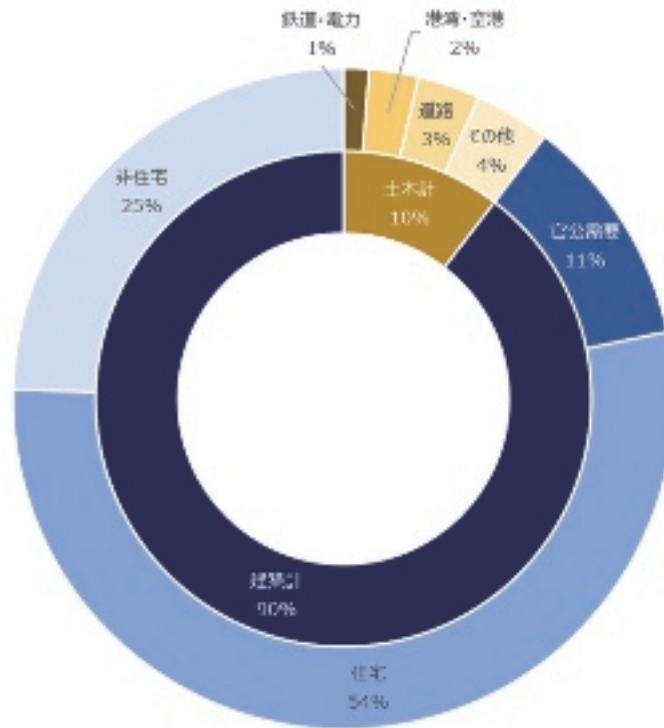


特別区周辺におけるコンクリートへのCO₂固定ポテンシャルを把握するため、東京都におけるコンクリート出荷量から、そのCO₂固定ポテンシャルを試算したところ、最大で、年間96～160万t-CO₂程度(※東京都全体)のCO₂固定が見込まれる可能性があることが示唆された。コンクリートの出荷量の内訳を確認すると、10%が土木、90%が建築の需要であり、東京都においては、建築向けの需要が大きい。建築向けにおいては、全体の54%を住宅用、25%を非住宅用、11%を官公需要が占める。土木のうち、道路向けの需要が占める割合は3%程度であったが、カーボンプールコンクリートプロジェクトへのヒアリングのとおり、道路舗装については、コンクリート舗装の割合を拡大していくことにより、CO₂固定ポテンシャルも拡大余地がある。

図表3-26 特別区周辺におけるコンクリートへのCO₂固定ポテンシャル



図表3-27 東京都における用途別の生コンクリート流通量（平成30年度）



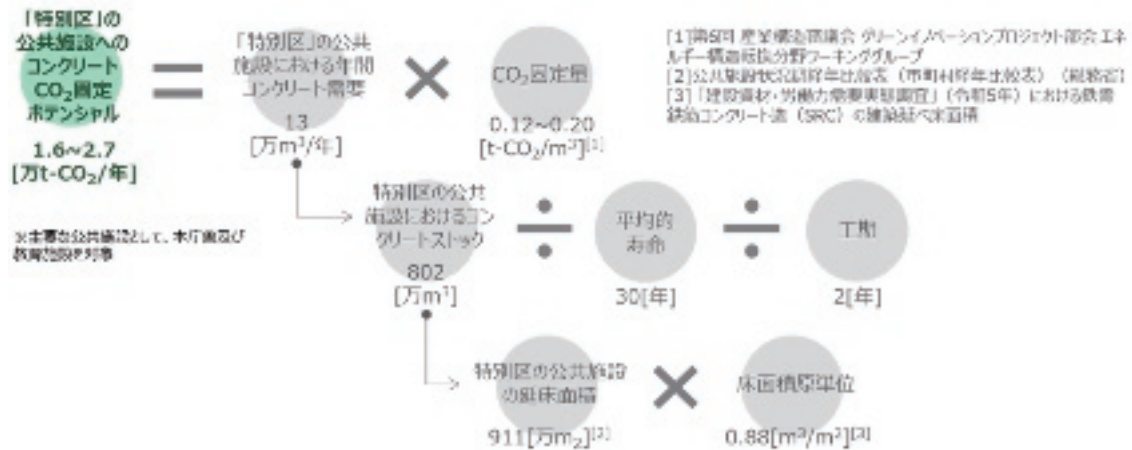
出典：生コンクリート流通統計調査（経済産業省）より作成

CO₂を固定したコンクリートについて、住宅は大きな需要先として想定されるものの、CO₂削減以外の価値を住宅購入者（区民）にもたらさないとすると、特に、普及初期段階において、住宅向けに調達が増大することには課題も多いと想定される。そのため、普及初期段階にあっては、公共セクターが積極的に調達を先導していくことには大きな意義があると考えられる。

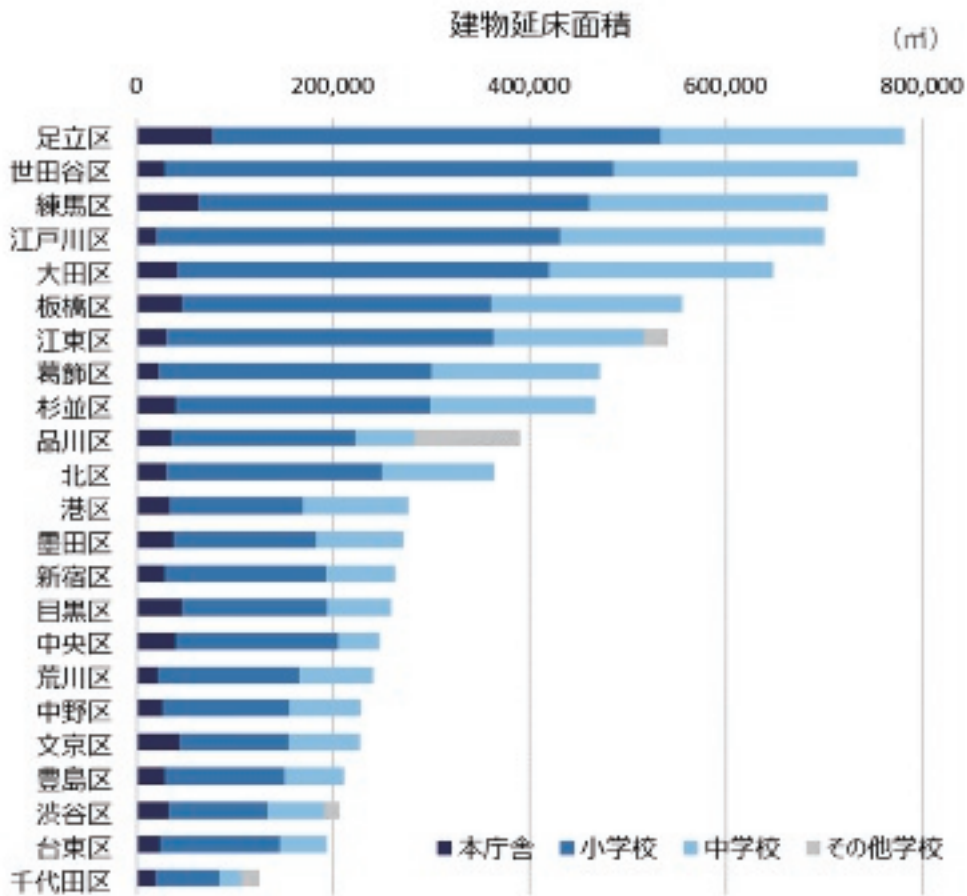
- 1.
- (ア)
- (イ)
- 2.
- (ア)
- (イ)
- (ウ)
- (エ)
- 3.
- (ア)
- (イ)
- (ウ)
- (エ)
- (オ)
- (カ)
- (キ)
- 4.
- (ア)
- (イ)
- (ウ)
- おわりに
- 資料編

そこで、各区の努力によって、利用可能なCO₂の量についての見通しを得るべく、特別区内の公共施設に使用されるコンクリートに限定したCO₂の固定ポテンシャルを試算した。その結果、年間1.6～2.7万t-CO₂程度の需要が期待されることが示唆された。特に、小・中学校での需要が大きい。特別区全体の小中学校は計1,188箇所存在しており、平均寿命を30年とすると、毎年、40校程度の更新需要が期待され、安定したCO₂利用先になる可能性もある。

図表3-28 「特別区」の公共施設へのコンクリートCO₂固定ポテンシャルの推計方法



図表3-29 特別区の公共施設（庁舎、学校）の延床面積



出典：公共施設状況調経年比較表（市町村経年比較表）（総務省）より作成

また、「『ゼロカーボンシティ特別区』に向けた取組み」（特別区長会調査研究機構）の中で議論された「建物・住宅のZEB・ZEH普及の推進」に向けた連携方策の中で、区有施設のZEB化に向け、「営繕課長会幹事区を通じ、本研究会で検討した連携方法について、報告の場を設け、区有施設のZEB化の推進に向けた具体的手法を議論していく。」とされている。ZEBは、稼働時に利用するエネルギー使用に伴って排出されるCO₂が削減のスコープであるが、建物の躯体に使用される各建材（鉄筋、コンクリート、ガラス等）の製造・流通段階にもCO₂が排出されていることに着目して、CO₂を固定したコンクリートを利用することで、ライフサイクル全体でのCO₂排出削減に寄与できる。したがって、区有施設のZEB化の議論とも一体的に、CO₂固定型のコンクリート使用についても議論していくことも有用と考えられる。将来的に、清掃工場において分離・回収したCO₂を固定したコンクリートを区有施設のZEB化に伴う工事において調達できれば、業務部門におけるCO₂排出量削減と廃棄物処理に伴うCO₂排出量削減の同時達成を実現できる可能性がある。

- 1. (ア) (イ)
- 2. (ア) (イ) (ウ) (エ)
- 3. (ア) (イ) (ウ) (エ) (オ) (カ) (キ)
- 4. (ア) (イ) (ウ)
- おわりに
- 資料編

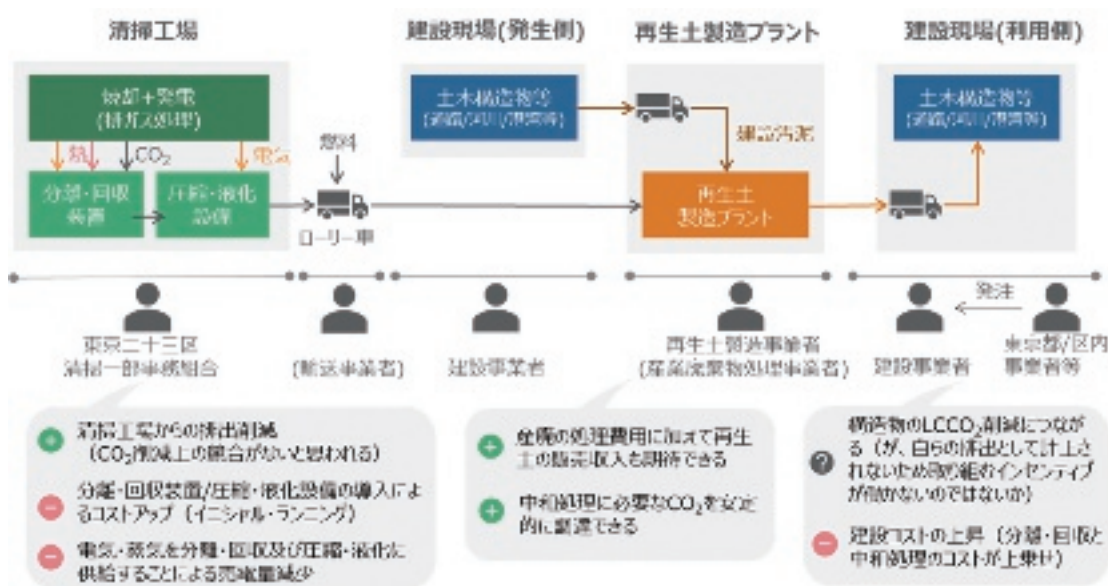
② 建設汚泥の中和処理による再生土利用

建設工事に伴い副次的に発生する建設汚泥（産業廃棄物）について、最終処分場への搬出量の削減、不適正処理の防止を目的に、「建設汚泥の再生利用に関するガイドライン」（国交省）等により、その再生利用の促進が求められている。この建設汚泥については、アルカリ性を呈するため、土壌や地下水等への汚染が懸念される。そのため、再生土の利用は、一部地方公共団体（例：千葉県）が条例において規制している状況にある。ただし、国として、再生土の埋立や盛り土利用時に流出する物質については法律では規制していない状況にある。

このアルカリ性を呈する建設汚泥に対して、CO₂を利用して中性化させることで再生土として利用する技術がある。中性化によって再生土の利用拡大が図られるとされる。

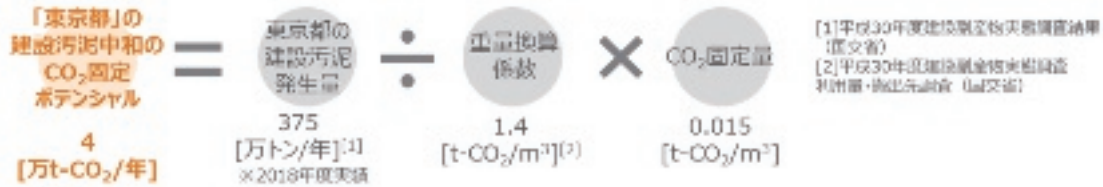
清掃工場において分離・回収したCO₂を当該技術において利用するサプライチェーンのイメージを以下に示す。

図表3-30 清掃工場で分離・回収したCO₂による中和再生土壌の利活用モデル



特別区周辺における建設汚泥の中和処理によるCO₂利用ポテンシャルを把握するため、東京都における建設汚泥の発生量から、そのCO₂利用ポテンシャルを試算したところ、最大で、年間4万t-CO₂程度（※東京都全体）のCO₂固定が見込まれる可能性があることが示唆された。コンクリートと比較すると小規模であり、清掃工場から発生するCO₂量に対しても十分な量ではないと想定される。

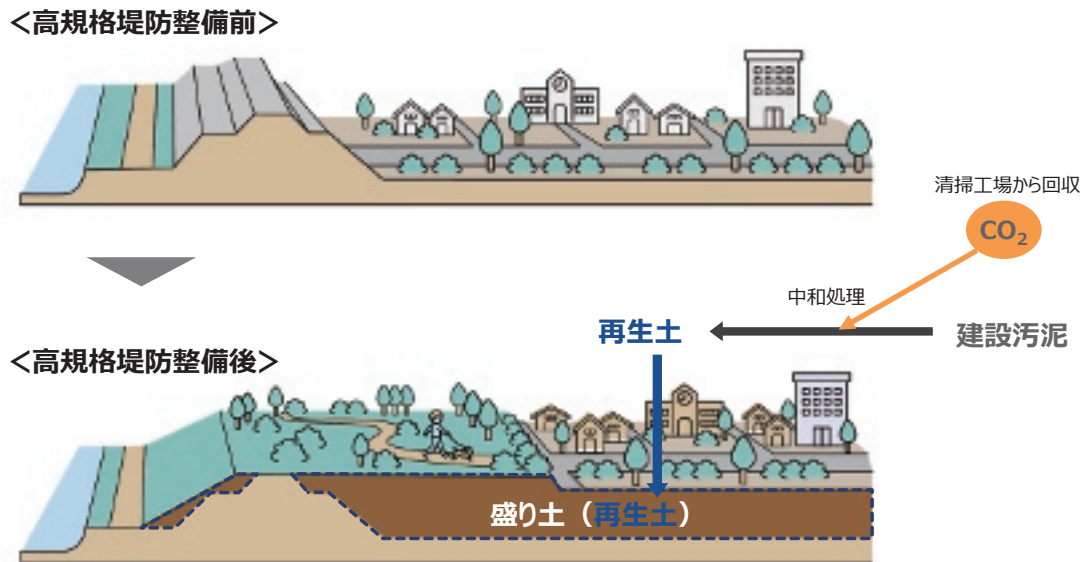
図表3-31 特別区周辺における建設汚泥中和のCO₂固定ポテンシャル



建設汚泥再生品は、「国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律」に基づく特定調達品目に位置付けられており、23区の中にも、グリーン購入に関するガイドラインの中で、特定調達品目として、「建設汚泥から再生した処理土」を位置付けている区もある。したがって、各区の公共工事において、CO₂により中和処理した再生土を積極的に調達することは可能であると考えられる。

研究会では、高規格堤防⁷（スーパー堤防）の盛り土としてCO₂を固定した再生土を活用していくアイデアも出た。建設汚泥の中和処理におけるCO₂利用量は小規模ではあるものの、こうした公共事業に活用していくことで、CO₂の地産地消策としてわかりやすく発信していくことも期待される。

図表3-32 スーパー堤防へのCO₂を固定した再生土の利用イメージ



出典：「高規格堤防とは」（国土交通省資料）を参考にパシフィックコンサルタンツ株式会社作成

7 高規格堤防（スーパー堤防）はふつうの堤防と比較して幅の広い堤防（堤防の高さの30倍）を指す。市街地再開発や区画整理などのまちづくり等と共同で実施することで、安全で快適な空間を創出できるとされている。また、治水上の効果として、超過洪水時において越水・浸食・浸透による堤防決壊を防ぐことで壊滅的な被害を回避することができる。（出典：「高規格堤防とは」（国土交通省））

1. (ア) (イ)

2. (ア) (イ) (ウ) (エ)

3. (ア) (イ) (ウ) (エ) (オ) (カ) (キ)

4. (ア) (イ) (ウ)

おわりに

資料編

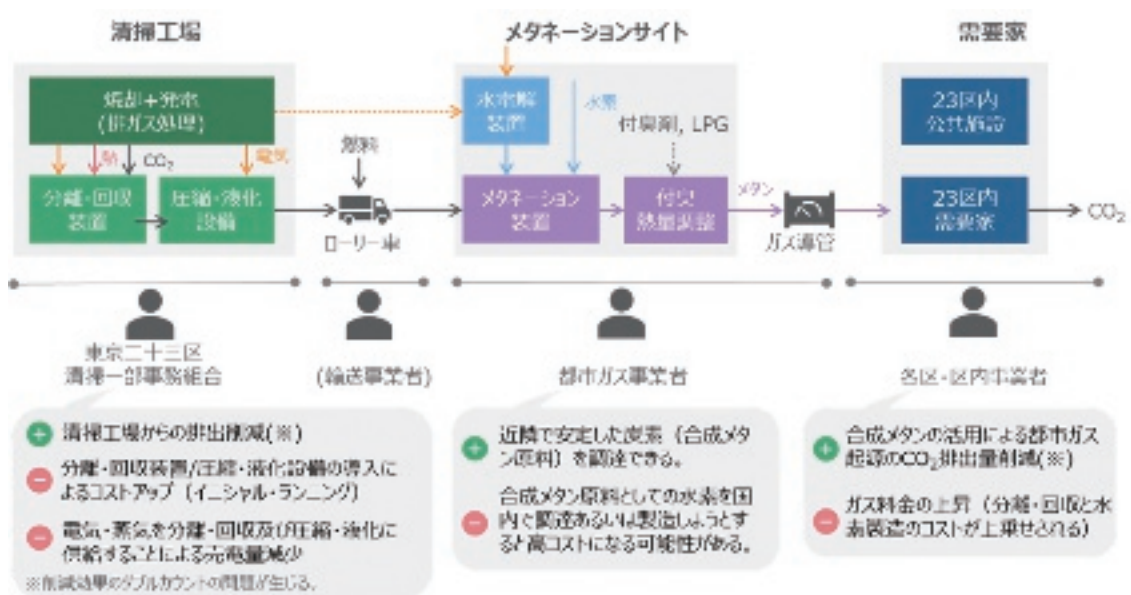
③ メタネーションによる合成メタン製造

2023年6月の経済産業省の総合資源エネルギー調査会電力・ガス事業分科会のワーキンググループにおいて「都市ガスのカーボンニュートラル化について中間整理(案)」が取りまとめられ、分離・回収したCO₂と水素を合成する「合成メタン」とメタン発酵等を通じて生成される「バイオメタン」を、都市ガスのカーボンニュートラル化の手段として、導入を促進していくことが示された。

国内においては、2件の清掃工場の排ガスを利用したメタネーションの実証試験実績（小田原市、横浜市）があることや、特別区が都市ガスの大消費地でもあることを踏まえると、CO₂の供給先の選択肢の一つとして考えられる。

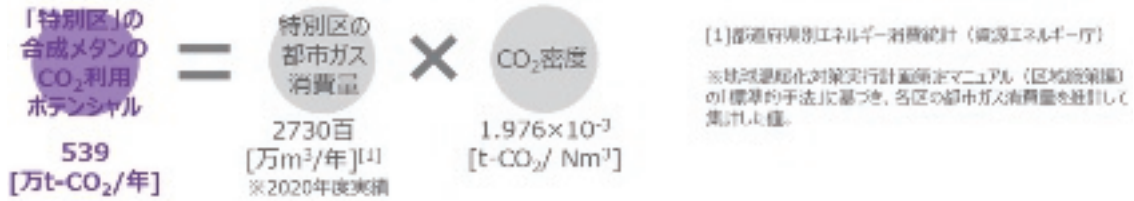
清掃工場において分離・回収したCO₂を当該技術において利用するサプライチェーンのイメージを以下に示す。メタネーションで利用する場合には、メタネーションをどこで実施するかが重要になると思われる。都市ガスを導管で供給する場合には、ガス工場において現在のところLPGによる熱量調整や保安上の目的での付臭が必要になってくるため、距離と規模次第では、ガス工場まで供給することが望ましいと考えられる。

図表3-33 合成メタンの炭素源としての利活用モデル



特別区における都市ガス消費量から、メタネーションによるCO₂利用ポテンシャルを試算したところ、特別区の清掃工場から発生しているCO₂（生物資源由来も含む）以上を利用できるだけの需要があることがわかった。

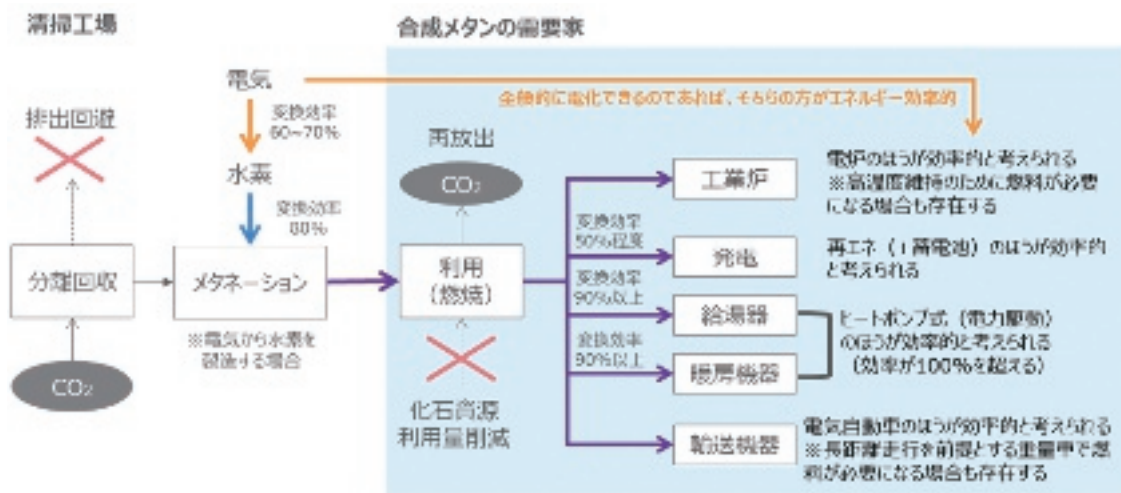
図表3-34 特別区における合成メタンへのCO₂利用ポテンシャル



メタネーションによる合成メタンの製造について、グリーンイノベーション（GI）基金においては、従来のSabatier反応による触媒式のメタネーションと比較して高効率な「革新的メタネーション」の実現に向けた技術開発が実施されている。メタネーションにより合成されるメタンの製造コストの大部分を水素（製造）価格が占めるため、いかに安価に、（ライフサイクルでCO₂を排出しない）水素を調達できるかが事業実施上の課題となる。

また、合成メタンにおける留意点としては、エネルギーの脱炭素化の中で、他の持続可能な脱炭素手段によって代替可能であることが挙げられる。工業炉、発電（火力発電所ではなく自家消費的なコージェネも含む発電）、給湯器、暖房機器、輸送機器が合成メタンの利用先として想定される。仮に、再エネ電力から水素を製造する場合には、電気から水素を製造する段階でも、一定のエネルギーロスが生じる。また、メタネーションにおいても、水素の持つエネルギーすべてをメタンに変換することは不可能であるため、エネルギーロスが生じる。ここで、給湯や暖房であれば電気ヒートポンプにより再エネ電力を供給したほうが効率的である可能性が高く、用途によっては、都市ガスである（炭素を含む燃料である）必然性がない場合もある。

図表3-35 合成メタンの有用性に関する留意事項（他の脱炭素手段との比較）



- 1. (ア) (イ)
- 2. (ア) (イ) (ウ) (エ)
- 3. (ア) (イ) (ウ) (エ) (オ) (カ) (キ)
- 4. (ア) (イ) (ウ)
- おわりに
- 資料編

先述のとおり、清掃工場の排ガスを利用したメタネーション実証の視察を通じて、水素とCO₂からメタンを製造することが既に技術的には可能であることを確認した。一方で、安価な再エネ由来水素の調達やCO₂輸送インフラの整備等の観点から、特別区を供給エリアに含む大手都市ガス事業者においては海外でのメタネーションが当面の中心的な供給方法として想定されていた。また、プラスチック等の化石資源を起源とするCO₂を利用しても、CO₂削減にはなるが、社会全体としては、排出量がゼロにはならないことに留意が必要である。このことは、以降、詳しく考察・整理を行う。

ここで、本研究会で調査した3つの利用先について、必ずしも、清掃工場で分離・回収したCO₂である必要はないことには留意が必要である。製造業における工業炉や大規模商業施設のコジェネ設備等からも直接CO₂が発生しており、これらから回収したCO₂の利活用もあり得るため、清掃工場で回収したCO₂を全量受け入れられるわけではないことには留意が必要である。

(キ) CO₂の地産地消によるCO₂削減・排出についての現在の考え方

CO₂の地産地消（CCU）によるCO₂排出量の削減効果について、合成メタンを一例に考える。例えば、ある工場（回収側）で化石燃料を燃焼させて発生したCO₂を分離・回収し、合成メタンにして、別の工場（利用側）に供給する場合を想定するとき、もともと回収側と利用側の双方でCO₂が100ずつ排出されていたとすると、合成メタンに変換して供給すると、大気中に排出されるCO₂は半分の100になる（※ここではロスは考えない）。ここで、回収側からみると、自分の工場では大気放出されていないので、排出量をゼロだと解釈することが可能である。反対に利用側では、一度、回収側で排出されていたはずのCO₂を利用しているのだから、そのCO₂を大気中に放出しても排出量はゼロだと解釈することも可能である。ただし、全体で見た場合に、CCUによって排出量は必ずしも0になっていないということを意識する必要がある。つまり、CCUによる削減効果を考える上では、①社会全体での排出削減効果と②回収又は利用側という各主体からみた排出削減効果の2つの視点を考える必要がある。①については、論理的に考えれば一意に決定しうるものであるのに対して、②は複数の解釈が可能であり、ルール・制度の設計次第で変動しうるものである。

2023年12月現在、特定事業所が、自らが排出した温室効果ガスを算定し国に報告させる「温室効果ガス排出量 算定・報告・公表制度」（SHK制度）においては、CO₂を回収さえすれば、回収した量だけ排出量から控除することが可能であるとされている。これは、実質的に回収したCO₂の利用側で排出量を計上することになっているためである。この場合は、利用側では化石燃料を利用しても、化石燃料由来のCO₂から合成した燃料を利用しても排出量が同じになるため、わざわざ高い合成燃料を利用するインセンティブが働かないといった課題がある。

なお、令和5（2023）年12月26日（研究会での議論の終了後）に開催された「温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度における算定方法検討会」（環境省）において、「SHK制度におけるカーボンリサイクルのカウントルール案」が示され、「原排出者、利用者ともに排出を計上し、回収による価値（回収価値）は回収者（回収設備の設置者）に一旦帰属することとしたうえで、その価値が原排出者や利用者に移転していく」という案が示されている。

1.

(ア)

(イ)

2.

(ア)

(イ)

(ウ)

(エ)

3.

(ア)

(イ)

(ウ)

(エ)

(オ)

(カ)

(キ)

4.

(ア)

(イ)

(ウ)

おわりに

資料編

図表3-36 SHK制度におけるCO₂回収に伴う排出量算定の概要（※2023年時点）



<現行ルールでの排出カウント方法>

活用方法	原排出者	利用者
CCS	0	—
CCU（長期固定） 例：コンクリート	0	—
CCU（長期固定なし） 例：合成燃料、ドライアイス	0	3,000

出典：第6回温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度における算定方法検討会（2023年6月21日）
資料4：CCS及びCCUの扱いについて（案）

なお、政省令で定める排出活動により排出される温室効果ガスを回収するなどして大気放出しない場合であって、当該回収量を計測することが可能な場合は、本マニュアルに記載の算定方法及び単位発熱量・排出係数を用いて算定した温室効果ガス排出量から、当該回収量を控除した値を排出量として報告することができます。この場合も、排出量を報告する際に、回収量を控除した旨を説明することが必要となります。

出典：温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル（Ver4.9）（令和5年4月）

メタネーション推進官民協議会のCO₂カウントに関するタスクフォースにおける、メタネーションによる排出帰属に関する議論では、回収側と利用側での排出計上方法に関して4通りの案が議論され、中間とりまとめでは、回収側でCO₂排出量として計上して、利用側では計上しない案が望ましいとされている。このような方向で制度設計がなされた場合、回収側を清掃工場だと考えると、CO₂を分離・回収しても清掃工場のCO₂削減とみなされない可能性がある。

図表 3-37 CCUにおけるCO₂排出量のカウント（eメタンの制度検討例）

		原排出者（回収）側	利用側
合成メタン利用に伴うCO ₂ の挙動		<p>化石燃料の燃焼による排出 CO₂を回収してリサイクル 事業者 電力、鉄、化学など メタネーション 合成メタン 合成メタンの燃焼による排出 合成メタン利用者</p>	
国内制度におけるCO ₂ 排出の取扱いに関する考え方	案1	CO ₂ 原排出者で排出計上	排出ゼロ
	案2	排出ゼロ	合成メタン利用側で排出計上
	案3	排出を按分	排出を按分
	案4	排出ゼロ	排出ゼロ

出典：合成メタン利用の燃焼時のCO₂カウントに関する中間整理（メタネーション推進官民協議会・CO₂カウントに関するタスクフォース）

【排出削減の二重カウントを認めないことを前提とした制度等】

協議会での意見は、排出削減の二重カウントを認めないことを前提とした制度等については、案1又は案3に支持が分かれた。案1と案3は、環境価値移転のための補完的な仕組みが整備され、原排出者・回収側と利用側でCO₂排出削減の価値を移転することにより負担に応じた調整が実現するのであれば、関係事業者にとっては制度に差が無くなる可能性はある。その上で、案3については、初期のCO₂排出減を按分するため制度設計がより複雑になること、合成メタンがCO₂を排出するガス（低炭素ガス）という位置づけに止まること、海外との制度互換性確保の難しさが考えられること、案1はEU-ETSの改正案の考え方と近く、合成メタンだけでなく合成燃料も含めたカーボンリサイクル燃料の今後の国際的な制度の整合性まで想定した場合の重要性も考慮すると、合成メタンを含むカーボンリサイクル燃料の利用促進の観点からは、本タスクフォースとしては、案1を基に各種国内制度の検討が進められることが望ましい。その際、原排出者・回収側に十分な誘因が働かなければ最適な結果とならないおそれがあるため、補完的な仕組みの制度設計が重要である。

- 1. (ア) (イ)
- 2. (ア) (イ) (ウ) (エ)
- 3. (ア) (イ) (ウ) (エ) (オ) (カ) (キ)
- 4. (ア) (イ) (ウ)
- おわりに
- 資料編

【排出削減の二重カウントを認め得る制度等】

国内制度等は、国のインベントリの考え方とは切り離して設計することも可能であるから、排出削減の二重カウントを認め得る前提の制度等であれば、CO₂回収とカーボンリサイクル燃料利用の双方の誘因を最大化する観点からは、本タスクフォースとしては、案4の、CO₂の回収側（原排出）と合成メタンの利用側の双方で計上しない制度が望ましい。

ただし、国内制度によっては、現にCO₂が排出されているにもかかわらず、当該CO₂の排出に責任を有する者が存在しないこととなると、真の排出削減につながらないおそれがあるため、制度設計時には留意が必要であるし、また、国際的なルールとの整合性も考慮する必要がある。

出典：合成メタン利用の燃焼時のCO₂カウントに関する中間整理（メタネーション推進官民協議会・CO₂カウントに関するタスクフォース）

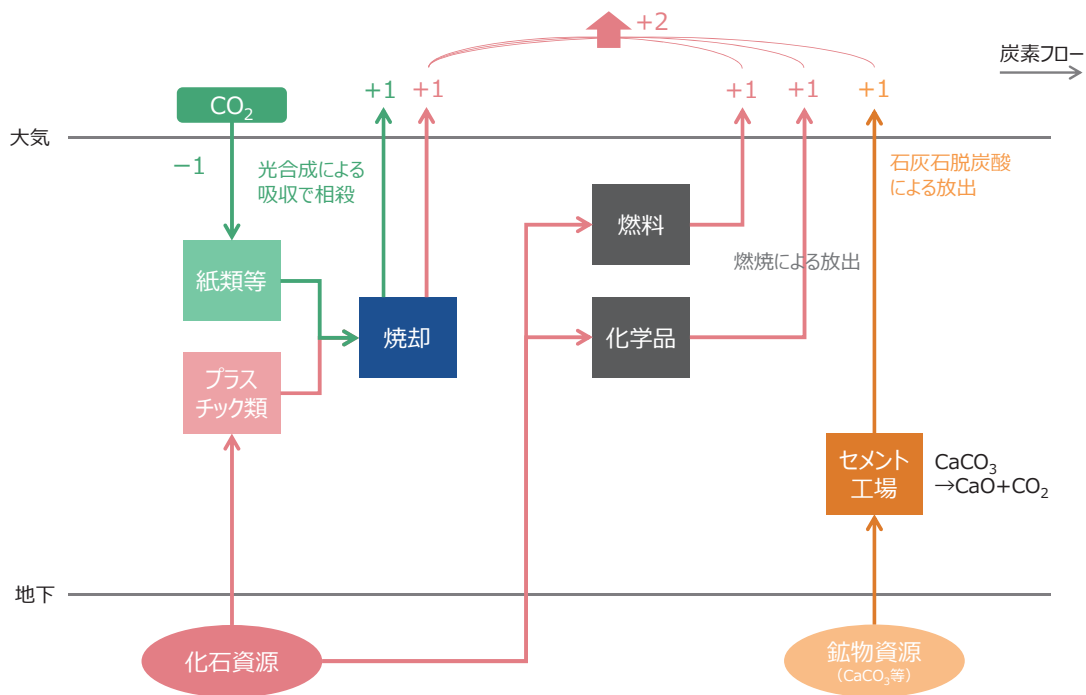
上記の例は、全体の排出量がゼロにならない場合であって、そもそも全体として排出がゼロになるのであれば、利用側・回収側どちらかで排出を計上するという議論は生じえない。例えば、利用するCO₂が生物資源由来である場合などは、光合成の過程で吸収したCO₂と差し引きでカーボンニュートラルになるため、大気放出したとしても全体の排出量はゼロになる。また、化石資源由来のCO₂が大気中に放出されない場合も排出とはみなされず、全体の排出はゼロになる。このように、CCUによって排出がゼロになるかどうかは、CO₂がどこに由来して最終的にどこにあるのかによって変わりうる。特に、廃棄物は、プラスチック類等の化石資源を由来とするものと、紙や厨芥等の生物資源を由来とするものが混在していることが、CCUによる削減効果を考える上での複雑さを招いていると考えられる。

先述の②の各主体から見た排出削減効果については、国家間や国内における制度が十分に整備されていない状況を踏まえると、この観点から明確な方向性を示すことは現時点では不可能である。そこで、本研究会では、論理的に一意に決まり得る①の社会全体での排出削減効果について、各用途にCO₂を利用する場合の整理を試みた。ここで、各用途については、分離・回収したCO₂を燃料として利用する場合（例：合成メタン）、化学品原料として利用する場合（例：プラスチック原料）、鉱物を原料とする資材として利用する場合（例：コンクリート）、さらに、CCUではなくCCSする場合の4パターンについて整理した。

まず、ベースラインとして、CCUを行わない場合を考える。清掃工場における廃棄物の焼却によって化石資源由来のCO₂と生物資源由来のCO₂がそれぞれ

れ+1ずつ大気放出されているとする。ここで、生物資源は光合成の過程で、放出と同量のCO₂を吸収しているため、清掃工場単体では、化石資源由来分の+1のみ排出されているとみなせる。さらに、別の場所で、化石燃料の燃焼あるいは化石資源由来の化学品の燃焼によってCO₂が+1だけ放出されているとする。また、セメント工場において、石灰石の焼成によって、脱炭酸されCO₂が+1大気放出されているとする。この場合、清掃工場と化石燃料燃焼の組合せで+2、清掃工場と化学品の燃焼の組合せで+2、清掃工場とセメント工場の脱炭酸の組合せで+2のCO₂が大気放出されている。

図表3-38 清掃工場から発生するCO₂及び他の排出源における炭素フロー（炭素収支）



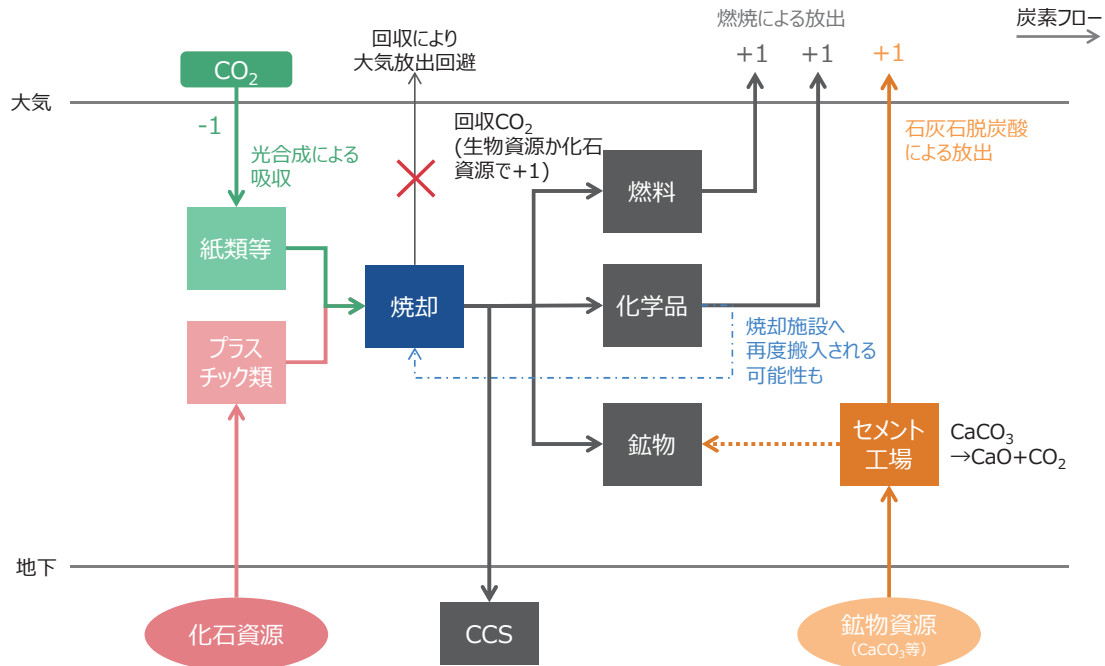
清掃工場における廃棄物の焼却により生じるCO₂を分離・回収して、燃料・化学品・コンクリートに利用する場合を考える。焼却処理で大気放出されていたCO₂の大気放出が回避されるため、大気に放出されるCO₂は、燃料又は化学品の燃焼と石灰石脱炭酸の+1だけになり、+2だった大気放出が+1になり半減することになる。大気放出される+1のCO₂について、これが化石資源由来であれば+1のままで、生物資源であれば、光合成の吸収分を差し引いて±0になる。

CCSする場合には、大気中へのCO₂の放出はゼロである。生物資源由来の場合は、光合成の過程で-1だけ吸収しているため、炭素収支はマイナスになる。すなわち、大気中からCO₂が除去される。

- 1. (ア) (イ)
- 2. (ア) (イ) (ウ) (エ)
- 3. (ア) (イ) (ウ) (エ) (オ) (カ) (キ)
- 4. (ア) (イ) (ウ)

おわりに
資料編

図表3-39 清掃工場において分離・回収したCO₂の利用・貯留による炭素フロー（炭素収支）の整理

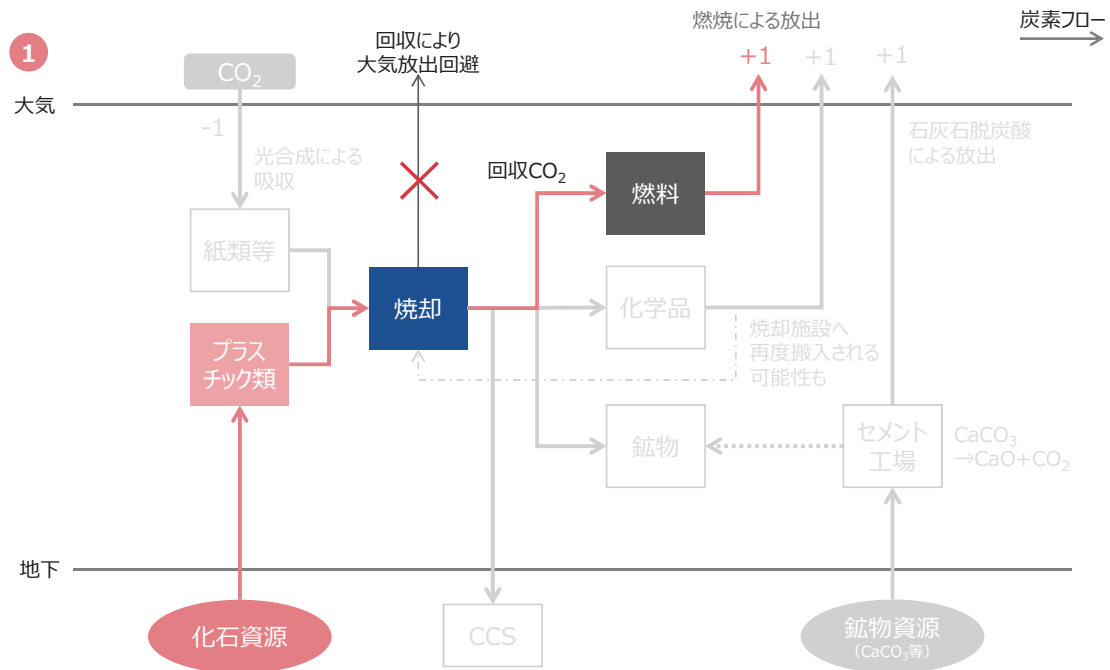


生物資源由来において、光合成の過程で吸収しているということについて、例えば、紙類は木材を原料としているが、この木材が吸収したCO₂は過去のものであるため、燃焼に伴ってCO₂が大気放出された場合には、大気中のCO₂を増加させ得ることには留意が必要である。

以降に、燃料、化学品、コンクリート、CCSのそれぞれで、化石資源あるいは生物資源由来のCO₂を利用した場合の社会全体での排出量のイメージを示す。

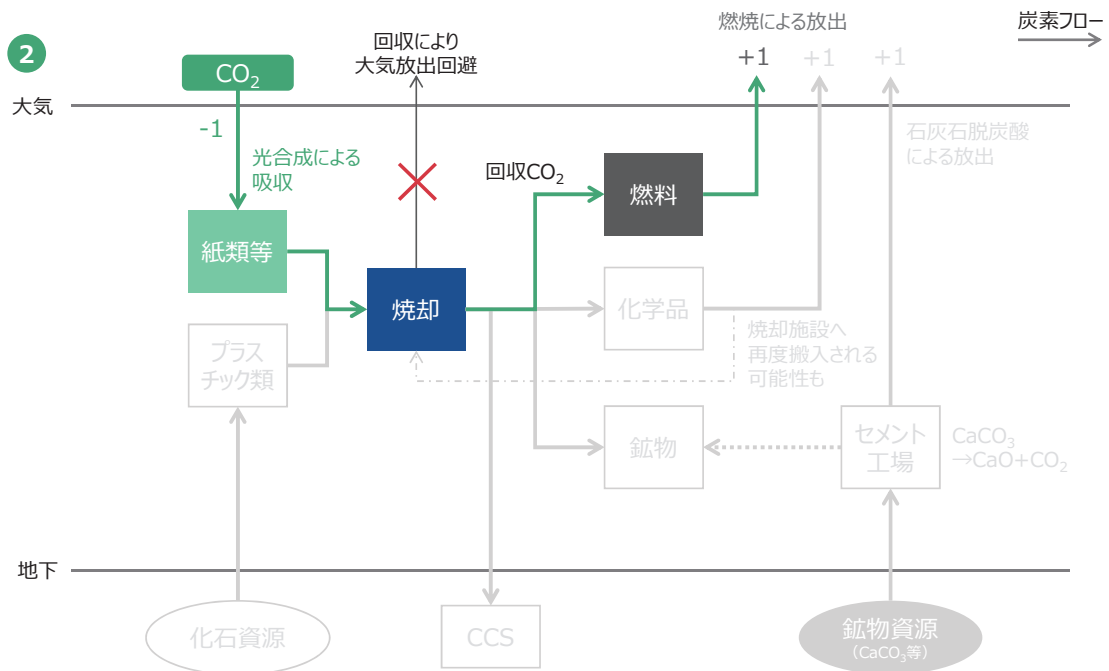
化石資源由来のプラスチック類から発生したCO₂を分離・回収して燃料利用する場合は、清掃工場での焼却によって大気放出されていたCO₂が削減されるが、燃料を燃焼すると大気中にCO₂が放出されるため、全体としては排出がゼロにならない。

図表3-40 清掃工場において分離・回収したCO₂の燃料利用による炭素フロー
(回収するCO₂が化石資源由来の場合)



生物資源由来のCO₂を燃料に変換して利用する場合は、吸収分を差し引きで実質排出がゼロになる。

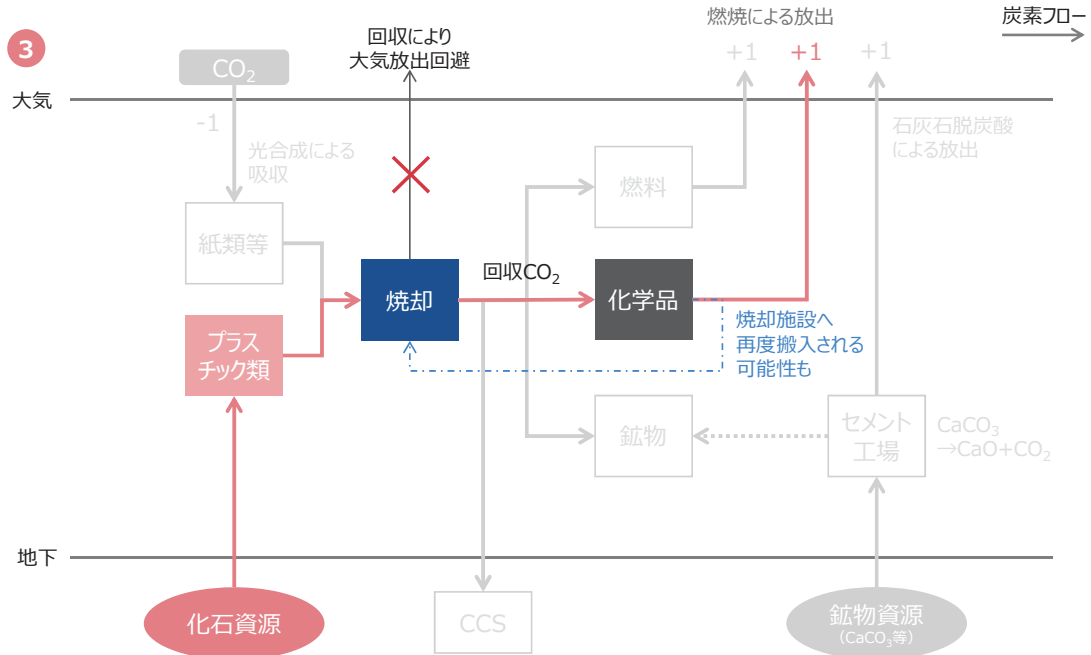
図表3-41 清掃工場において分離・回収したCO₂の燃料利用による炭素フロー
(回収するCO₂が生物資源由来の場合)



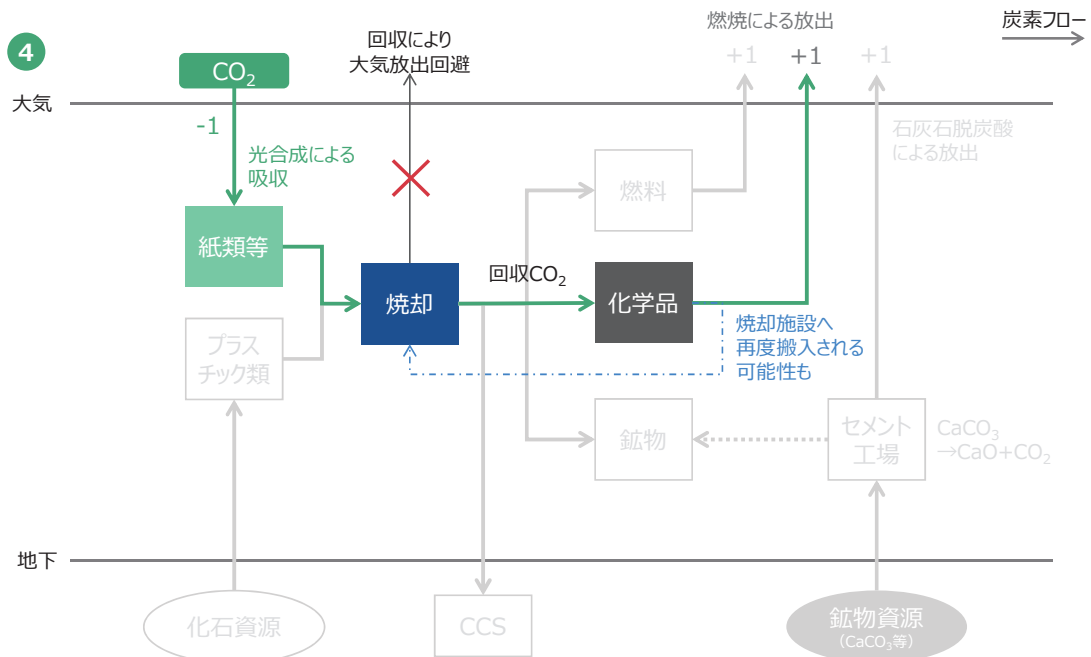
- 1. (ア) (イ)
- 2. (ア) (イ) (ウ) (エ)
- 3. (ア) (イ) (ウ) (エ) (オ) (カ) (キ)
- 4. (ア) (イ) (ウ)
- おわりに
- 資料編

化学品の場合も、燃料に変換して利用する場合と同様であるが、化学品は、製品として利用された後、再度、廃棄物として焼却施設へ搬入される可能性がある。

図表 3-42 清掃工場において分離・回収したCO₂の化学品利用による炭素フロー
(回収するCO₂が化石資源由来の場合)

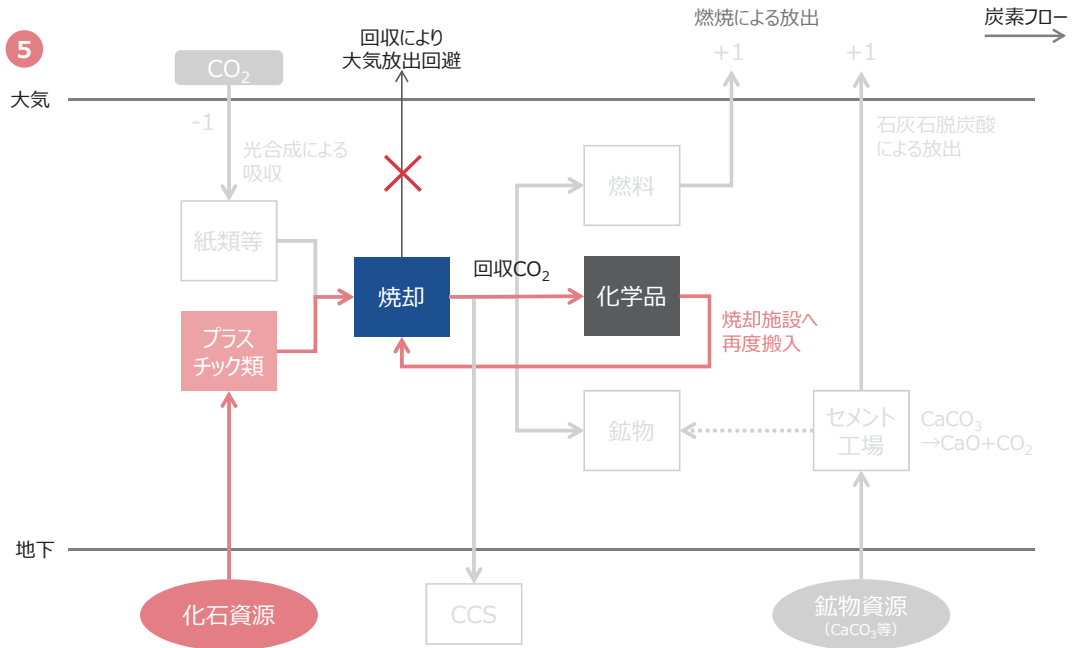


図表 3-43 清掃工場において分離・回収したCO₂の化学品利用による炭素フロー
(回収するCO₂が生物資源由来の場合)

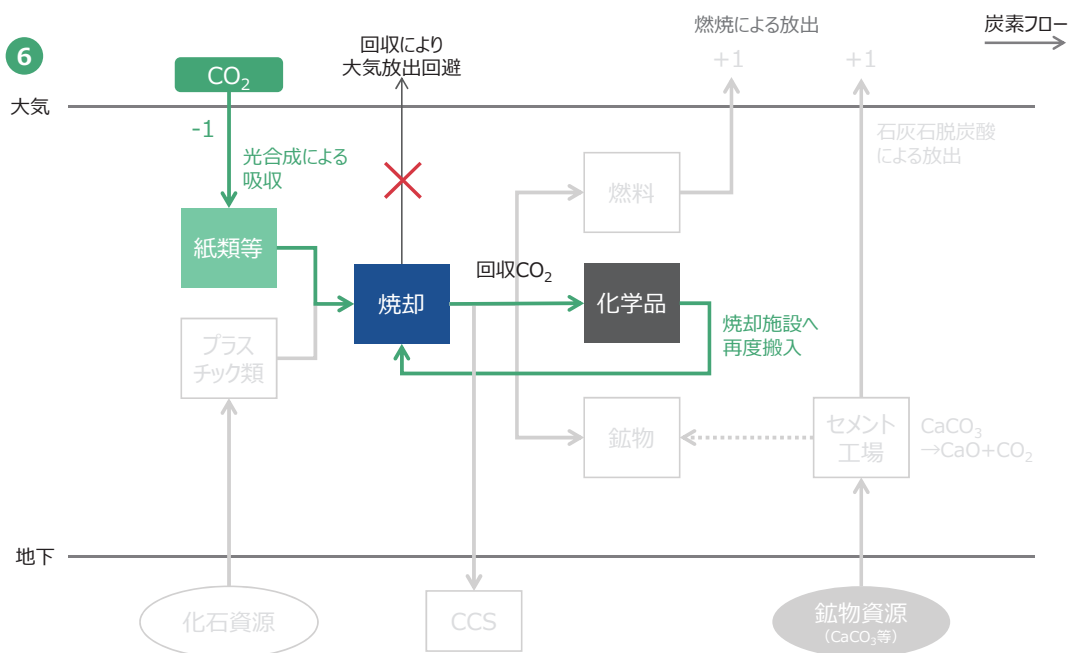


廃棄物として、再度、焼却施設に搬入されてきた場合、CO₂として分離・回収、化学品に変換して利用、廃棄されて焼却施設へ、というサイクルを繰り返すことで、大気中にCO₂を放出しない可能性もある。この場合、化石資源由来であれば排出量はゼロ、生物資源由来であればネガティブであるとみなしうる。

図表3-44 清掃工場において分離・回収したCO₂の化学品循環利用による炭素フロー (回収するCO₂が化石資源由来の場合)



図表3-45 清掃工場において分離・回収したCO₂の化学品循環利用による炭素フロー (回収するCO₂が生物資源由来の場合)



1.
(ア)
(イ)

2.
(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)

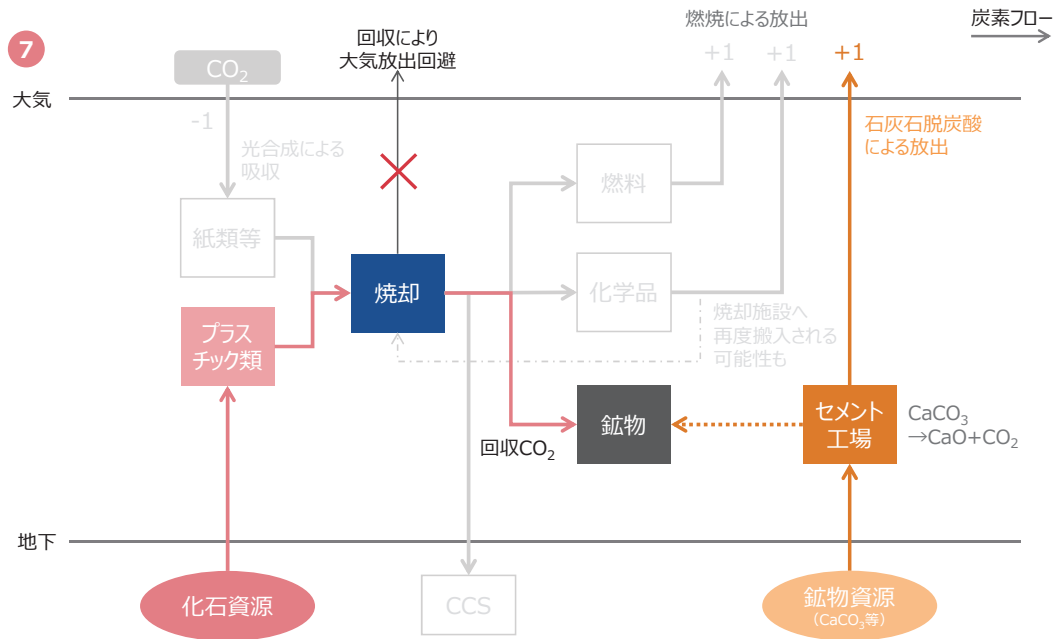
3.
(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)
(オ)
(カ)
(キ)

4.
(ア)
(イ)
(ウ)

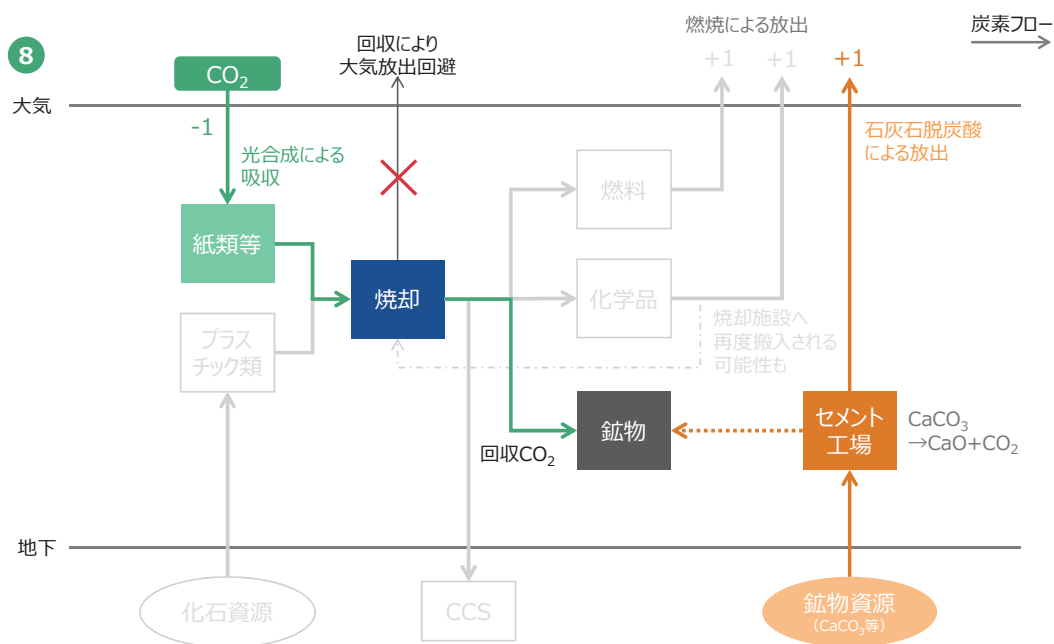
おわりに
資料編

コンクリートにCO₂を固定する場合は、回収されたCO₂がコンクリートに固定されるため、大気中には放出されないが、コンクリートの原料であるセメント製造時に石灰石から発生するCO₂が大気中に放出されていれば、排出が残る。ここで、生物資源由来であれば、光合成による吸収により±0になる。

図表3-46 清掃工場において分離・回収したCO₂のコンクリート固定による炭素フロー (回収するCO₂が化石資源由来の場合)

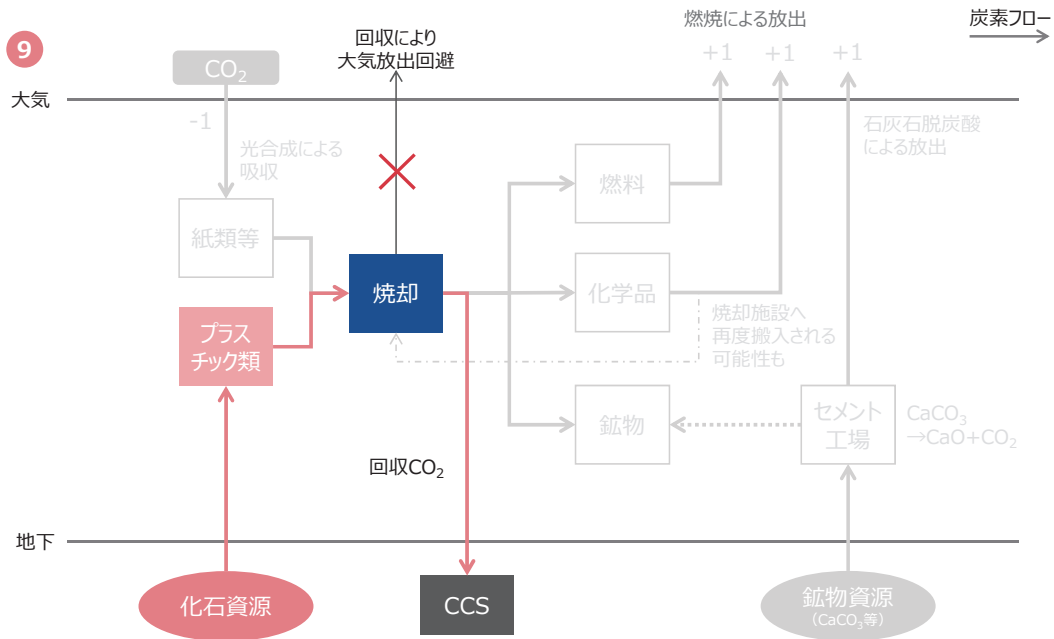


図表3-47 清掃工場において分離・回収したCO₂のコンクリート固定による炭素フロー (回収するCO₂が生物資源由来の場合)

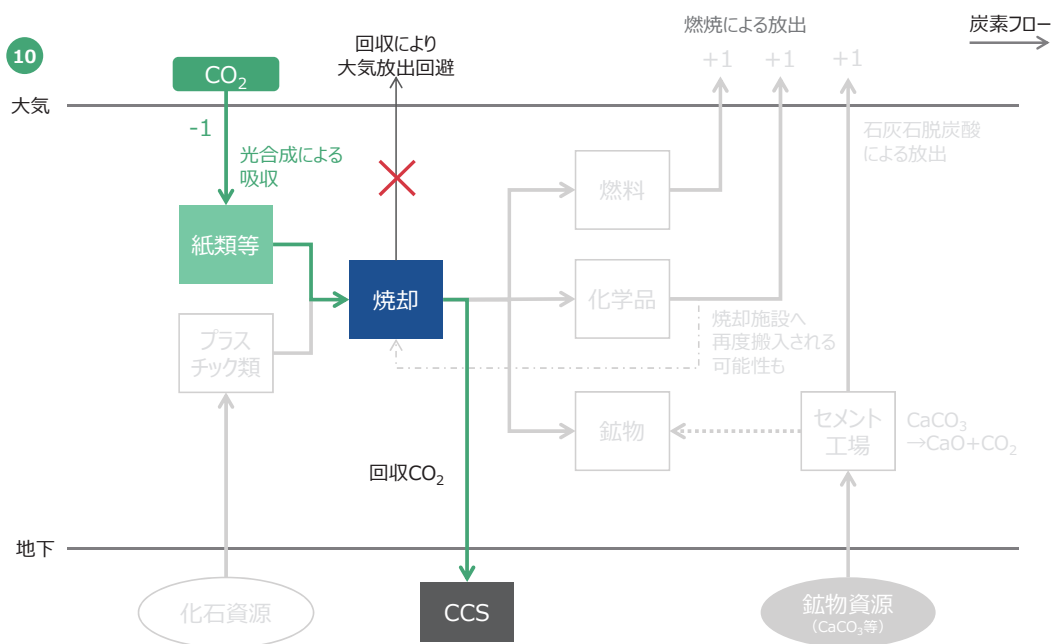


CCS（分離・回収したCO₂を海底下等に貯留する）の場合は、地中にCO₂を埋めるため、大気中にはCO₂が放出されない。このため、化石資源由来であっても排出量はゼロになる。一方、生物資源由来のCO₂を貯留すれば、吸収されたCO₂は吸収されたまま大気に放出されないため、ネガティブになる。

図表3-48 清掃工場において分離・回収したCO₂の貯留（CCS）による炭素フロー（回収するCO₂が化石資源由来の場合）



図表3-49 清掃工場において分離・回収したCO₂の貯留（CCS）による炭素フロー（回収するCO₂が生物資源由来の場合）



- 1. (ア) (イ)
- 2. (ア) (イ) (ウ) (エ)
- 3. (ア) (イ) (ウ) (エ) (オ) (カ) (キ)
- 4. (ア) (イ) (ウ)
- おわりに
- 資料編

各用途の全体での最終的な排出量を整理すると以下のとおりとなる。ここで、本研究会において、実質ゼロの対象として議論してきた化石資源由来のCO₂をCCUする場合においては、全体でのCO₂排出量をゼロにすることができない可能性があることがわかった。一方で、先述のとおり、削減効果は発生しており、その削減効果を回収側である清掃工場で計上可能なのか、ということはまだ決着していないということに課題がある。回収側での削減が認められたとして全体では排出量がゼロにならないことを考えると、出来る限り、全体としてゼロにできる余地のある用途に供給することを考えるべきである。

図表3-50 用途別・由来別の炭素収支整理結果

	化石資源由来のCO ₂ のCCU				生物資源由来のCO ₂ のCCU			
	従来の排出量		CCU後排出量		従来の排出量		CCU後排出量	
	回収側	利用側	回収側	利用側	回収側	利用側	回収側	利用側
CCU (燃料) ① ②	放出 +1	放出 +1	放出 +1	放出 +1	放出 +1	放出 +1	放出 +1	放出 +1
	吸収	吸収	吸収	吸収	吸収	吸収	吸収	吸収
			分離・回収により 大気放出回避	+1				±0
CCU (化学品) ③ ④	放出 +1	放出 +1	放出 +1	放出 +1	放出 +1	放出 +1	放出 +1	放出 +1
循環しない場合 (③ ④)	吸収	吸収	吸収	吸収	吸収	吸収	吸収	吸収
				+1				±0
継続的に循環する場合 (⑤ ⑥)	放出 +1	放出 +1	放出 +1	放出 +1	放出 +1	放出 +1	放出 +1	放出 +1
	吸収	吸収	吸収	吸収	吸収	吸収	吸収	吸収
				±0				±-1
CCU (鋳物) ⑦ ⑧	放出 +1	放出 +1	放出 +1	放出 +1	放出 +1	放出 +1	放出 +1	放出 +1
石灰石から製造する場合 (⑦ ⑧)	吸収	吸収	吸収	吸収	吸収	吸収	吸収	吸収
		石灰石由来		+1				±0
廃コンクリートから製造する場合	放出 +1	放出 0	放出 +1	放出 0	放出 +1	放出 0	放出 +1	放出 0
	吸収	吸収	吸収	吸収	吸収	吸収	吸収	吸収
				±0				±-1
CCS ⑨ ⑩	放出 +1		放出 +1		放出 +1		放出 +1	
	吸収	吸収	吸収	吸収	吸収	吸収	吸収	吸収
				0				-1

☑ 他の吸収源等の状況によらず今回検討した回収側と利用側の範囲内でCNが見込める場合

ただし、化石資源をCCUする場合にも、ゼロに近づけることは可能である。まず、燃料利用及び化学品については、利用先においてもCO₂を回収して再放出しないことが求められる。化学品であれば、製品として市中において利用された後、再度、再使用や再生利用されることも考えられ、さらには、清掃工場にも搬入される可能性があり、継続的に循環利用していくことが可能であるかもしれない。一方で、燃料にした場合は、自動車等の移動体や業務部門・家庭部門といった小規模で分散された需要に供給された場合には、分離・回収は不可能である。工場等で循環的に利用することも考えられるが、その場合、1サイクルで必要な炭素量は限定的であるため、定常的に他からCO₂を受け入れるということは不可能である。コンクリートについては、セメント工場で石灰石から脱炭酸されるCO₂が問題になる。一方で、コンクリートはすでに市中に大

量にストックされており、今後廃棄物として発生してくる。その廃コンクリートにCO₂を固定する余地がある。この場合、廃コンクリートが製造される段階で石灰石由来のCO₂は一度排出されたものとしてカウントされているため、新たに大気中のCO₂を増加させることはない。この場合は、化石資源であっても、排出量をゼロにすることが可能である。

以上の調査結果を踏まえて、本研究会としては、清掃工場で分離・回収したCO₂を利用していくに当たって踏まえるべき事項として以下を整理した。なお、以下の整理は、今後の技術開発状況やCCUに関連する諸制度の整備によって、大きく変わり得る性質のものであることには留意が必要である。

- ・カーボンリサイクル技術ロードマップにおける記載も踏まえ、水素が容易に調達できるようになるまでは、水素を必要としない用途（コンクリート、建設汚泥の中和処理、炭酸ガス等）に利用することが合理的である。炭酸ガスは、現時点では、流通量が限定的であり、副生ガスで賄われていることから、CO₂削減に繋がらない。ただし、主要な副生ガスの発生源である化石燃料が利用されない社会に転換していけば、廃棄物由来のCO₂が供給源としての役割を果たし得る。
- ・水素を必要とする用途としての基礎化学品及び燃料について、燃焼時に大気中にCO₂を再放出しないようにするためには、再度、CO₂の分離・回収による循環的利用でなければ、カーボンニュートラルにならない。化学品として利用した場合には、再度、廃棄物として清掃工場に戻ってくることも想定され、継続的な循環利用が実現する可能性がある。
- ・水素と（安定的な）CO₂を反応させて、燃料に変換して利用する場合には、その燃料が他の持続可能なエネルギーによって代替可能でない（炭素を利用する必然性のある）用途であることをよく考える必要がある。具体的には、航空機燃料など、特に大型の飛行機では、電動化や水素燃料での飛行が難しい分野とされるため、炭素を利用する必然性が高いと考えられる。
- ・カーボンリサイクルの炭素源は廃棄物の炭素だけではなく、発電所等の他の大規模な発生源も想定されるため、社会全体での需給バランスが重要であることに留意が必要である。

1.

(ア)
(イ)

2.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)

3.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)
(オ)
(カ)
(キ)

4.

(ア)
(イ)
(ウ)

おわりに

資料編

本章での議論をまとめると、「方向性②清掃工場を核としたCO₂の地産地消の促進」は、今後の期待は大きい一方で、直ちに大量に実現できる状況ではなく、実現するために解決していくべき課題も少なくない。特に、本研究会が対象としている化石資源由来のCO₂について、CO₂の地産地消を通じて、排出をゼロにすることは容易ではない。加えて、特別区においては、CCUSだけではごみ処理のカーボンニュートラルの達成が難しいことも見えてきた。そこで、従来から取り組んできた「方向性①発生抑制・再使用・再生利用（3R）の促進」を着実に進めていくことが重要であると認識した。

さらに、特別区内では、清掃工場における敷地面積の確保や近隣におけるCO₂利用産業の立地の制約が他の都市よりも厳しい状況にあることを踏まえ、CO₂の分離・回収にこだわらず、特別区周辺のコンビナート等の産業集積地において廃棄物を燃料として活用するような第三の選択肢として「方向性③廃棄物を原料・燃料利用する産業との連携の促進」を積極的に進めることも検討すべきと考えられる。廃棄物の活用先周辺にCO₂の利用用途がある場合には、廃棄物の有するエネルギーを蒸気として効率的に利用しつつ、さらに廃棄物の処理に伴い発生するCO₂を分離・回収できれば、圧縮・液化も不要で効率的なCCUSを実現できる可能性がある。例えば、化学産業で分離・回収したCO₂が化学品になって、特別区で消費される場合も考えられ、「CO₂の地産」をすべて特別区内で行うことにこだわらず、周辺地域でのCO₂の分離・回収、利用を含めて「CO₂を地産地消していく」ことも重要である。

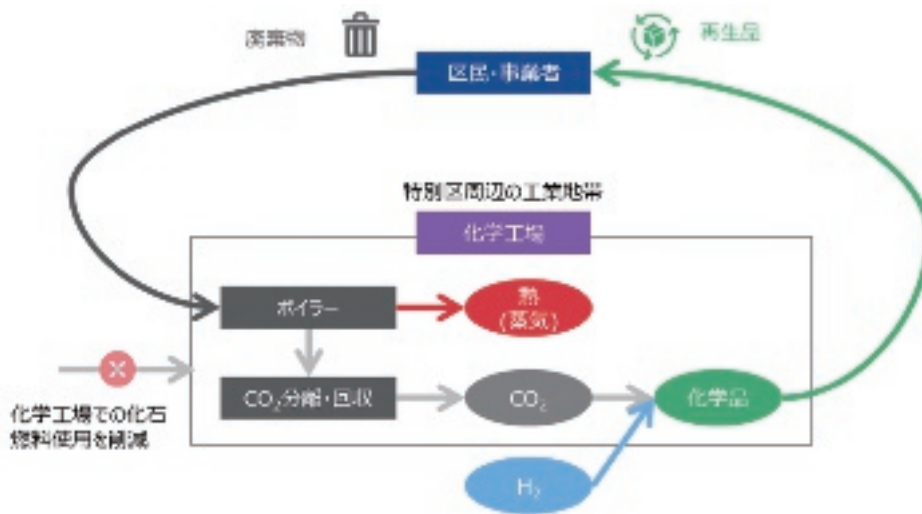
本研究会では、廃棄物を原料・燃料として利用する産業との連携の具体的な取組として、「化学産業との連携による高効率エネルギー回収・炭素循環モデル」「メタン発酵を通じたバイオメタン製造」「ガス化改質技術等を通じた持続可能な航空機燃料（SAF）製造」についても整理・議論を行った。

特別区には20以上の清掃工場があり、一つの工場に不測の停止が生じても工場間で調整できる強靱な処理体制が構築されている点に強みがある。この強みは、産業との連携に全国で先駆けて挑戦することを可能とする土台ともなり得る。

図表3-51 化学産業との連携による高効率エネルギー回収・炭素循環モデル

(清掃工場におけるCCUSに対しての) メリット	
Politics 政治	・ 中長期シナリオ案では、廃棄物焼却施設で発生する蒸気を化学工場等に供給していくことを対策として見込む。
Economy 経済	・ 再生可能エネルギー等が普及すれば、廃棄物発電の環境価値が低下する一方で、熱は今すぐに経済的に利用可能な脱炭素化手段が限定的である。 ・ 産業集積地等で大規模にプラント建設ができる場合は、規模の経済により建設単価等が抑制される。
Society 社会	・ 特別区内には、大規模な化学工場等が立地していないが、周辺の地域において湾岸部に大規模なコンビナートが立地している。
Technology 技術	・ 廃棄物発電よりもボイラーで発生した蒸気をそのまま利用するほうが、エネルギー回収率が高い。 ・ 廃棄物を燃料として活用する工場（化学工場等）においても、CO ₂ 分離・回収することで、CO ₂ 利用と一体的で効果的なCCUSが実現可能である。
課題	
コスト	・ 特別区内に想定される産業集積地がないため、特別区外に廃棄物を持ち出す必要があり、そのための輸送費用が増加すると考えられる。
プレイヤー	・ 特別区内に想定される産業集積地がなく、特別区外の主体（自治体、民間事業者）との連携が必要になる。

図表3-52 化学産業との連携による高効率エネルギー回収・炭素循環モデルのイメージ



- 1. (ア) (イ)
- 2. (ア) (イ) (ウ) (エ)
- 3. (ア) (イ) (ウ) (エ) (オ) (カ) (キ)
- 4. (ア) (イ) (ウ)
- おわりに
- 資料編

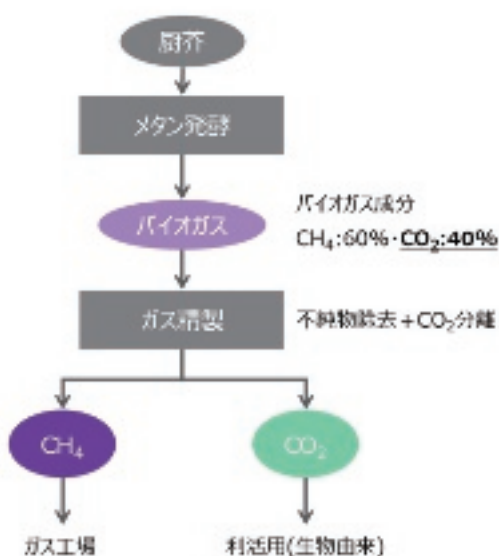
図表3-53 メタン発酵を通じたバイオメタン製造

(清掃工場におけるCCUSに対しての) メリット	
Politics 政治	<ul style="list-style-type: none"> ・都市ガス脱炭素化の手段としての政策的位置付け。 ・ガス事業者の基礎排出係数・調整後排出係数が導入予定。
Economy 経済	<ul style="list-style-type: none"> ・CNメタンの必要性の高まり (Scope 1 対策)。 ・水素の本格普及を待たずにCNメタンを供給可能。
Society 社会	<ul style="list-style-type: none"> ・23区は (民生部門での) 都市ガスの大消費地である。 ・CNGパッカー車で収集運搬CO₂排出削減の可能性。 ・プラスチックリサイクルに伴い、廃棄物保有熱量が低下することへの対応が求められる。
Technology 技術	<ul style="list-style-type: none"> ・メタン発酵自体は既に商用化済みで実績も豊富。 ・バイオガスには40%の高濃度CO₂が含まれており、焼却排ガスよりも効率的にCO₂を分離・回収できる可能性。
課題	
敷地・面積	<ul style="list-style-type: none"> ・一般に広い敷地面積が必要。
コスト	<ul style="list-style-type: none"> ・導管に直接注入する場合に不純物除去・熱量調整・付臭が必要で、コストアップにつながる。
プレイヤー	<ul style="list-style-type: none"> ・特別区で民間のメタン発酵施設は一か所のみ。 ・都市ガス工場が特別区内に存在しない。

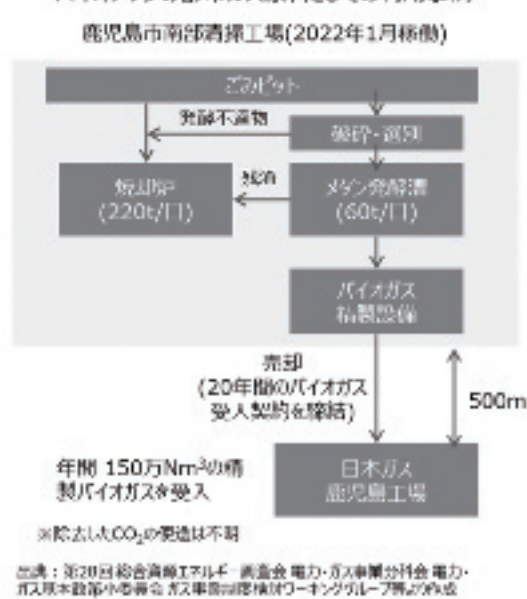
※厨芥等の生物資源が対象のため、化石資源由来のCO₂排出量は削減されない。

図表3-54 メタン発酵を通じたバイオメタン製造のイメージ

メタン発酵によるバイオメタン製造の一般的なフロー



バイオメタンの都市ガス原料としての利用事例



図表3-55 廃棄物のガス化を通じた持続可能な航空機燃料（SAF）製造

(清掃工場におけるCCUSに対しての) メリット	
Politics 政治	<ul style="list-style-type: none"> 資源循環分野における2030年度の目標として、「本邦エアラインによる燃料使用量の10%を持続可能な航空機燃料（SAF）に置き換える」との目標への貢献を掲げ、バイオマス廃棄物等からSAF製造及びSAF原料製造設備等に投資を行っていくことが示された。
Economy 経済	<ul style="list-style-type: none"> SAF原料としての廃食用油の調達競争激化と、廃食用油以外の原料からのSAF製造の期待の高まり。 合成ガスを直接的に得られるため、必要となる水素が相対的に少ない。（※水素が安価に調達できるようになった場合にはメリットとはなりえない）
Society 社会	<ul style="list-style-type: none"> 大規模国際空港（成田空港・羽田空港）が近隣に立地。 離島の都営空港（調布飛行場＋離島）が存在しており、これらの空港でもSAF導入が進められている。
Technology 技術	<ul style="list-style-type: none"> グリーンイノベーション（GI）基金においては廃棄物のガス化改質技術の開発が実施予定。また、SAF製造技術（Alcohol-to-Jet（ATJ））についても技術開発が進行中。廃棄物由来の製造システムが国際規格（ASTM）に認められている（FT合成/ATJ）。 要素技術（廃棄物のガス化、エタノール化、FT合成）については、国内での実証実績あり。
課題	
敷地・面積	<ul style="list-style-type: none"> ガス化改質により得られる合成ガスは輸送が難しいため、近隣にSAF製造設備が存在する必要がある。
コスト	<ul style="list-style-type: none"> ガス化改質技術は商用化している方式もあるが、高コストである。その他の方式も技術開発途上にある。
製品品質	<ul style="list-style-type: none"> 国際規格の厳しい品質基準を満たす必要がある。

1.

(ア)

(イ)

2.

(ア)

(イ)

(ウ)

(エ)

3.

(ア)

(イ)

(ウ)

(エ)

(オ)

(カ)

(キ)

4.

(ア)

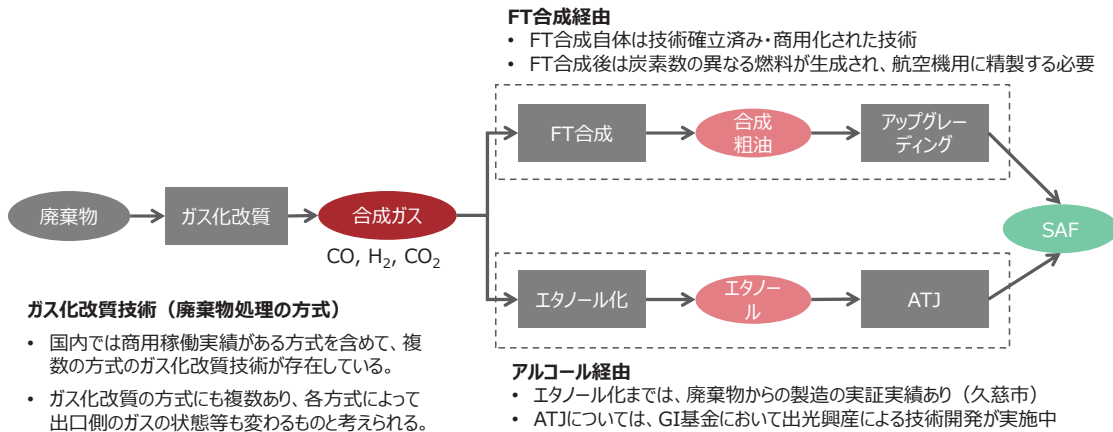
(イ)

(ウ)

おわりに

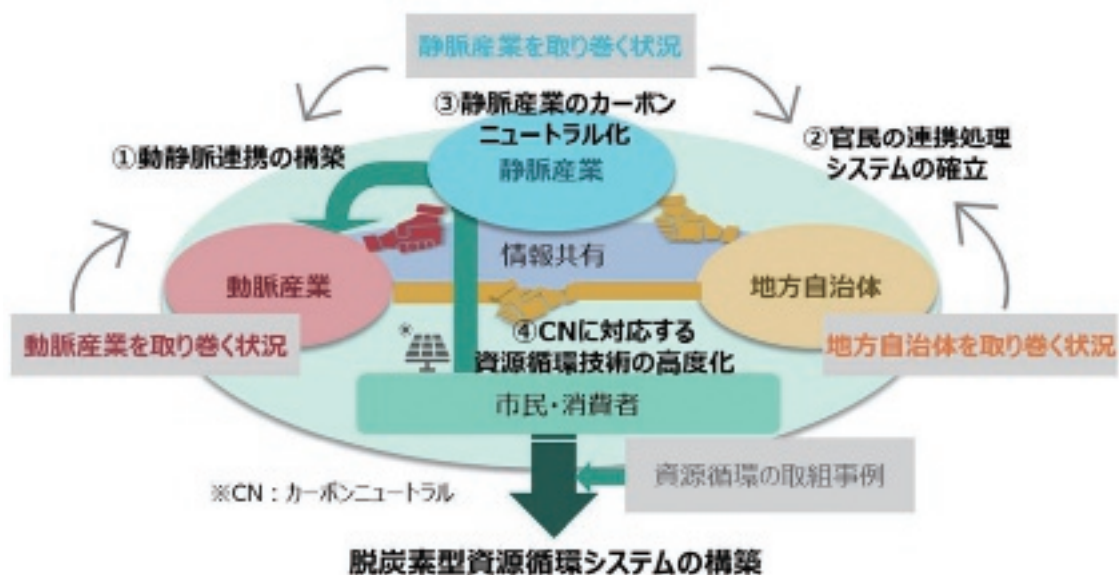
資料編

図表3-56 廃棄物のガス化を通じた持続可能な航空機燃料（SAF）製造のイメージ



一般廃棄物を他の産業（民間）において燃料や原料として活用していくことについて、静脈産業の脱炭素型資源循環システム構築に係る小委員会において、議論された「脱炭素型資源循環システム構築に向けた論点整理」の中で、官民の連携処理システムが、脱炭素型資源循環システムの1類型として示されている。その中では、静脈産業と地方自治体が連携して、「廃棄物を利活用した原料や燃料、エネルギー供給等を通じたGHG排出削減が困難な産業への貢献」が期待されるとされており、まさに、本研究会で議論した産業との連携と合致する方向性が示されている。

図表3-57 脱炭素型資源循環システムのイメージ



出典：脱炭素型資源循環システム構築に向けた論点整理（静脈産業の脱炭素型資源循環システム構築に係る小委員会（第4回））

【官民の連携処理システムの確立（類型②）】

一地方自治体では十分な資源循環が困難な場合に対応して、地方自治体が主導する官民の連携処理により、廃棄物処理の地域での担い手、廃棄物等の発生状況や再生資源の利用先などの地域特性を踏まえた資源循環を推進する。地方自治体、リサイクル技術を有する事業者、地域の処理業者が連携・協力した事業を通じて地方活性化への貢献、地域資源の活用や地域課題の解決にも貢献するものである。これにより、少量多品種にわたる未利用廃棄物の地域での資源循環や、複数の地方自治体で量の確保を通じた資源循環の効率化、廃棄物を利活用した原料や燃料、エネルギー供給等の資源循環を通じたGHG排出削減が困難な産業への貢献が期待される。こうした取組を実施するに当たっては、地方自治体の一般廃棄物処理と民間の具体的な連携内容や、地域課題の解決や暮らしの質の向上への貢献、事業継続の確実性、ライフサイクル全体を通して見込まれるGHG削減効果について確認する必要がある。

出典：脱炭素型資源循環システム構築に向けた論点整理（静脈産業の脱炭素型資源循環システム構築に係る小委員会（第4回））

1.

(ア)
(イ)

2.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)

3.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)
(オ)
(カ)
(キ)

4.

(ア)
(イ)
(ウ)

おわりに

資料編

「化学産業との連携による高効率エネルギー回収・炭素循環モデル」に関連して、化学産業と特別区の連携可能性や実現に向けた課題について、「循環型CR（ケミカルリサイクル）を通じたプラスチック資源循環」、「廃棄物の原燃料としての利活用」「清掃工場において回収したCO₂のカーボンリサイクル」といった論点について、住友化学株式会社へのヒアリングを実施した。

図表3-58 住友化学株式会社へのヒアリング要点

循環型ケミカルリサイクルについて
<ul style="list-style-type: none"> ・ 廃プラスチックの調達先について、長い時間軸で見れば産業廃棄物も一般廃棄物も両方選択肢に入ってくるが、短い時間軸では質の比較的高い産業廃棄物からアクセスするのが合理的である。しかし産業廃棄物はずでに他で利用されていて、まとまった量を集めることが困難という側面もある。 ・ 一定の規模の廃プラを確保するためには広域から一般廃棄物も含めて収集するというのは方向性としては必要であると考えている。 ・ 循環型ケミカルリサイクルについて、現在リニアで製造している製品をサーキュラーに置き換えていくということが目的であり、ケミカルリサイクルによって出口の製品群を限定するという方向は考えていない。 ・ 循環型ケミカルリサイクルの規模は、どれだけ調達できるかに依存する。ポリエチレン・ポリプロピレンの製造規模は数万～数十万トン規模だが、投入する原料は様々なソースがあり得、フレキシブルに対応しなければならないと考えている。
廃棄物の原燃料としての利活用について
<ul style="list-style-type: none"> ・ 廃棄物を化学工場のエネルギーとして利用することは、現在、プロセスで生じる副生ガスや発電用蒸気を利用しているという事情もあるため、現時点で議論はしていない。導入には将来像の検討が必要になる。
清掃工場において回収したCO ₂ のカーボンリサイクルについて
<ul style="list-style-type: none"> ・ 技術開発しているCO₂からのアルコール製造技術は、利用するCO₂源に制限は設けておらず、FeasibleなCO₂源があれば問題ない。
バイオマス原料の利用について
<ul style="list-style-type: none"> ・ 化学品の原料がバイオマスに置き換わっていくという方向性はリサイクルと同時に進めていく必要がある。課題としては、コストやバイオマスの収集をいかに効率的に行うかということなどが挙げられる。

<本章に関する研究会での議論の抜粋>

【CO₂の分離・回収に関するプラントメーカーへのヒアリングについて】

- ・技術的には化学吸収法が主流であること、23区でのCO₂分離・回収設備導入のためには敷地面積が課題となること、CO₂回収による削減量の算定に関する制度整備、利用先の確保など、課題認識は各社で共通している印象を受けた。
- ・各社とも敷地面積を課題の一つとして挙げていたが、特別区の各清掃工場は面積に余裕がない。また、工場によって立地条件がまったく異なる。分離・回収設備の導入がどの程度現実的なのか。面積を広く取ることは現実的には難しいと考えられ、例えば、地下に導入するといったことがありうるのか。高さの制約も含めて、工場別に設置の可能性を整理する必要があると感じた。
- ・清掃工場の中には周辺が住宅地になっている工場もあり、CO₂利活用を実施する場合にはタンクローリーによる運搬が必要となるなど、課題があると感じた。
- ・法整備や補助金がない中で最先端の議論をしていると実感した。今後、国による補助金が活用可能になった場合にすぐに手を挙げられるように準備をするという意味で、有用な研究テーマであると感じた。

【回収したCO₂の利用方法について】

- ・化学品のような用途であれば、最初は化石由来の炭素として清掃工場側で排出だとカウントされても、CCUされた製品が再度、清掃工場に廃棄物として搬入されるなど、カーボンフリーの製品が循環するようになれば、最終的にはCNになっていくのではないかと。そういった選択肢も含めてシナリオを描くこともありうる。
- ・CO₂の地産地消の概念が区民になじみがないというところで、地消（利用）について、コンクリートであれば庁舎や清掃一組の清掃工場でも、調達できる余地がある、といったことを提言として発信する必要があるのではないかと。
- ・清掃工場からのCO₂発生量が多く全量回収が難しいという実態がある中で、クラフトビールやクラフトコーラ等、飲料系への利用を少量から草の根的にやっていくことも検討してもよいのではないかと。
- ・（産業との連携強化について、）仮に一部のごみを産業連携により民間企業に供給して、その民間企業がごみ受け入れを停止した場合にも、特別区には20以上の清掃工場があるため、ごみを振り分けることで処理できるという強みがあるように思う。

1.

(ア)
(イ)

2.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)

3.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)
(オ)
(カ)
(キ)

4.

(ア)
(イ)
(ウ)

おわりに

資料編

【区民への説明について】

- ・CO₂分離・回収設備が国の補助金（交付金）の対象になっていないことが、難しい部分だと感じた。分離回収によるコストの増加は、分担金において各区へ負担させることができるかもしれないが、区民がどう感じるか、ということが気になった。環境問題に関心が薄い区民への説明も考えていかないといけない。
- ・将来的に工場を選定して実証実験を実施する場合などに、プラスの効果があるということを区民の方々にわかりやすく説明する必要があると感じた。
- ・区民の理解が必要である。研究会のテーマである“CO₂の地産地消”という概念が、全く馴染みないものになっているようにも思われ、理解の段階で事業化が難しくなってしまうのではないか。そうならないためにも、まずは、この“CO₂の地産地消”という概念をわかりやすく区民に向けてPRしていくことが大事ではないか。

4.

特別区におけるCO₂の 地産地消実現に向けた 課題整理と解決策

4.

特別区におけるCO₂の地産地消実現に向けた課題整理と解決策

(ア) 特別区におけるCO₂の地産地消実現に向けた課題の整理

特別区におけるCO₂の地産地消の実現に向けて、前章において調査した内容を踏まえて、CO₂の分離・回収とCO₂の利用の各段階における課題を整理した。まず、清掃工場におけるCO₂分離・回収装置の導入により生じる課題を以下のように整理した。

図表4-1 清掃工場へのCO₂分離・回収装置の導入における課題整理

課題	概要
①敷地面積及び高さ	<ul style="list-style-type: none"> ■ 分離・回収装置、圧縮・液化装置の設置に必要な面積の確保が課題である。 ※必要な面積は、分離・回収方式、回収量に応じて変動 ■ 全量回収相当では、分離・回収装置の高さは30m以上(化学吸収法)になる。物理吸着法にする、2系列にすることで、高さは抑制されるが、面積が増加。
②排ガス処理	<ul style="list-style-type: none"> ■ 化学吸収法の場合、SO_xやNO_x、HCl等の酸性ガス成分が吸収液劣化の要因となり、一般的には、排ガス処理の性能を向上させる必要がある。また、分離・回収後のガス温度(40~50℃)で煙突から放出可能かが未整理。
③有資格者配置	<ul style="list-style-type: none"> ■ CO₂を圧縮・液化する場合には、高圧ガス製造保安責任者(有資格者)が必要。
④構造及び近隣住民への配慮等	<ul style="list-style-type: none"> ■ 清掃工場によっては、地下に構造物や封じ込め槽等があって、地上に分離・回収施設を置くことができない場所や、住宅と隣接して緑地を設けなければいけない等、個別の事情が存在する。また、周辺住民の理解を得るための説明がこれまで以上に重要。
⑤エネルギー収支	<ul style="list-style-type: none"> ■ 分離・回収時に蒸気や電気が必要で、発電電力量が低下。さらに圧縮・液化まで含めた場合は、送電できなくなる程の電力が必要になる。(全量回収時)
⑥コストの増加	<ul style="list-style-type: none"> ■ 分離・回収装置、圧縮・液化装置導入は、設備費・運転維持費ともにコストアップになる。設備費は、現在は国の循環型社会形成交付金対象となっていない。運転維持のための吸収液の交換、有資格者の配置、売電収益の減少によるコスト増も、誰が負担するのか明確でない。
⑦廃掃法上の液化CO ₂ の扱い	<ul style="list-style-type: none"> ■ 清掃工場でCO₂を圧縮・液化する場合に、液体となった時点で、廃掃法上の廃棄物に該当する可能性が発生するのではないかと懸念されている。 ※CCS長期ロードマップ検討会では廃棄物ではないと議論されている。

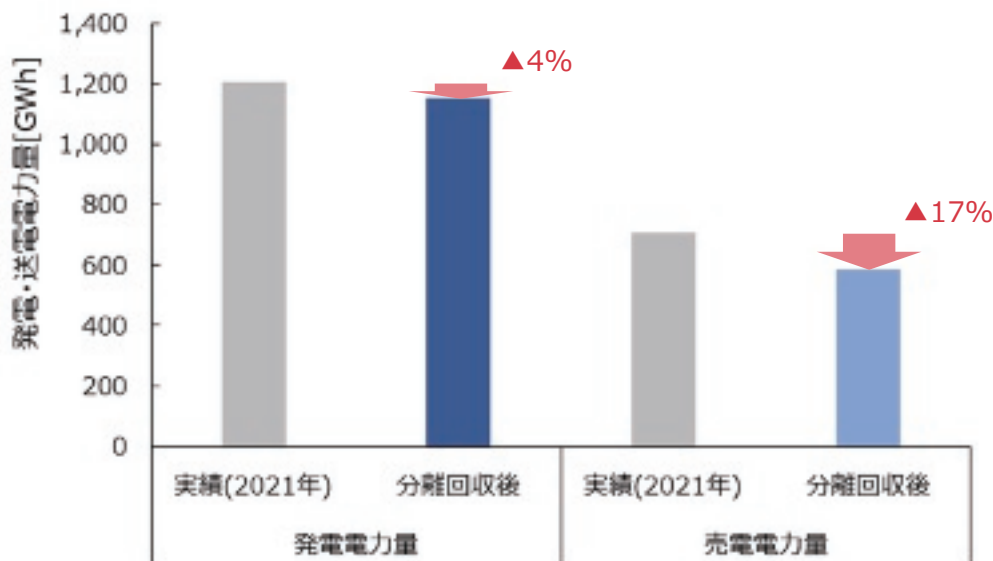
技術的課題・経済的課題・制度的課題

①敷地面積及び高さ、②排ガス処理、③有資格者の配置については、清掃工場の施設整備及び運転に関わる課題であり、清掃一組が、技術及び制度等の動向を踏まえて、対応方策を検討していくべき事項と考えられる。④構造及び近隣住民への配慮等について、特に、住民への説明については、これまでも、清掃一組と清掃工場が立地する区が協力して進めてきたところではあるが、CO₂分離・回収装置の導入についても、これまで以上に、住民の理解を得るために協力していくことが求められる。

⑤エネルギー収支について、現在、特別区の清掃工場で発電された余剰電力は、東京エコサービス株式会社を通じて、区内の公共施設（小中学校）に供給されており、公共施設における電気の使用に伴うCO₂排出量削減に寄与している。CO₂の分離・回収装置を導入する清掃工場においては、CO₂の分離・回収時に多くの熱エネルギーを消費することから、発電電力量が減少する。また、分離・回収したCO₂は圧縮・液化しなければ輸送できないため、圧縮・液化に多くの電力を消費する。これによって、外部に供給（送電）できる電力量が大幅に低下する。300t/日規模では、現状の技術で液化まで行くと、外部に電力を供給できなくなるとされている。

特別区の清掃工場で、前章の調査において、一定の規模（回収能力50t-CO₂/日）以上の分離・回収装置を導入できる可能性がある7工場について、分離・回収装置の導入による発電電力量及び送電電力量の簡易シミュレーションを実施した。その結果、最も影響の大きい工場では、発電効率が約20%から約16%に、送電効率が約16%から約5%程度まで減少する可能性があるとの示唆を得た。ここで、仮にこの7工場に導入できるだけ分離・回収装置を導入した場合に、特別区の清掃工場全体における発電電力量及び送電電力量へ与える影響を求めたところ、2021年度の数値を基準とすると、発電電力量は、1,206GWhから1,152GWhまで4%程度減少、送電電力量は、708GWhから585GWhまで17%程度減少する可能性があることがわかった。特別区においては、20以上の工場を有するために、一部の工場でCO₂を分離・回収しても全体の売電電力量への影響は致命的な減少にならない可能性がある。

図表4-2 特別区の清掃工場へのCO₂分離・回収装置導入による発電電力量・送電電力量への影響（7工場のみを導入する場合）



1.

(ア)

(イ)

2.

(ア)

(イ)

(ウ)

(エ)

3.

(ア)

(イ)

(ウ)

(エ)

(オ)

(カ)

(キ)

4.

(ア)

(イ)

(ウ)

おわりに

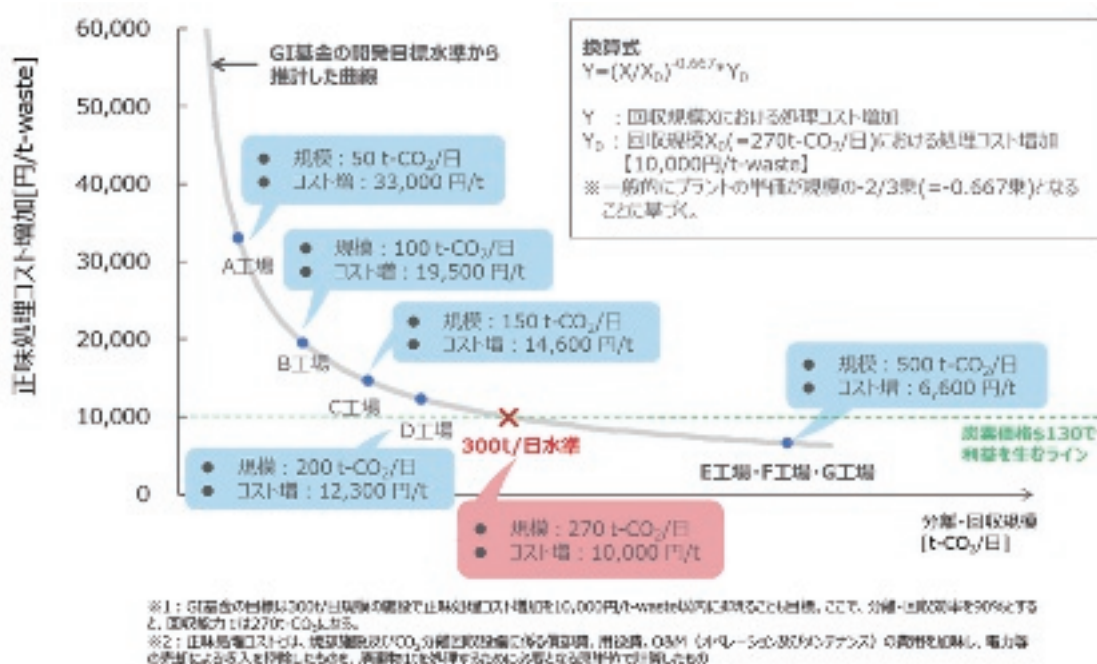
資料編

近年の技術の向上に伴って発電効率も上昇傾向にあることを踏まえ、CO₂分離・回収装置を導入困難な清掃工場では、更新時に発電能力を向上させる等により、CO₂分離・回収を導入できる工場では、CO₂の分離・回収を行いつつ、それ以外の工場では、エネルギー回収（発電・熱供給）によって、他分野での削減にこれまでと同様に貢献していく、という役割分担をすることで影響を最小化できる可能性がある。これは、20以上の清掃工場を所有する特別区だからこそ実現できることである。

また、⑥コストの増加については、CO₂を資源として捉え活用していくことに社会が変革していくのであれば、特に生物資源由来のCO₂を有価物として「販売」し、その収益を得ることも考えられ、その販売価格による投資回収も可能かもしれない。しかしながら、CO₂の「販売」価格が高すぎるとは、そもそも販売もできないとも考えられ、できるかぎり低コストに分離・回収を行う、あるいは、一部の費用は回収側で負担するということが必要である。

CO₂分離・回収に限らず、一般に、プラントの建設・運転維持の単価は設備が大規模化するほど低減するため、CO₂の分離・回収装置も大規模に導入したほうが回収するCO₂当たりのコストが低減されることが考えられる。したがって、大規模に回収できる工場に能力を集中させるほうが全体としてコスト面から効率的である可能性が高い。このため、可能な範囲で、CO₂分離・回収装置を大規模に導入できるように、設置する工場の選定や計画を進めることが重要である。

図表4-3 特別区の清掃工場へのCO₂分離・回収装置導入によるコスト上昇



清掃工場における大規模なCO₂の分離・回収技術は、技術開発段階にあり、グリーンイノベーション基金事業では、今後、実証を経て社会実装が進んでいくことが想定される。また、初期の普及段階にあっては、国等による補助金等の支援措置も期待される。特別区の清掃工場において、こうした実証に積極的に参加することや、補助金等の各種支援措置が利用可能になった段階で、すぐに動き出せるように技術的知見の蓄積に努めていくことも重要である。

また、仮に、分離・回収コストをできるだけ低減させる措置を講じることは前提として、追加的費用が生じる場合には、その費用をどのように負担していくかということについても検討を進める必要がある。先述のとおり、CO₂が販売できるのであれば、原料価格として製品価格に転嫁していくことが考えられる。これは、最も受益者負担的なスキームであるため望ましいが、市場原理が働く中で、CO₂の販売価格が高額になった場合に、すべてを価格転嫁できないという可能性も考えられる。そうなった場合には、複数の選択肢が考えられる。本研究会でも一般廃棄物の排出者である区民及び事業者が負担する方法や各区が分担金方式で負担する方法などを議論したが、それぞれにメリット・デメリットがあり、さらに時間をかけて特別区全体で議論を深めていく必要があると考えた。

図表 4-4 清掃工場へのCO₂の分離・回収装置の導入による追加費用の負担の考え方

	直接的な負担者	メリット	デメリット
製品価格への転嫁	各区 区民/事業者	<ul style="list-style-type: none"> CCU装置による環境価値を享受できるすれば、最も受益者負担的なスキームになり得る。 もし、価格転嫁できるのであれば、分担金やごみ有料化による費用確保は不要。 	<ul style="list-style-type: none"> 将来の市場動向に左右されるため、現時点で不確実性が高い。（予見可能性が低い） もし価格転嫁できなかった場合のリスクが大きい。
分担金	各区	<ul style="list-style-type: none"> 現在、すでに確立している分担金のシステム・システムを利用可能である。 各区の協議によって決定しうる。 	<ul style="list-style-type: none"> 現状の分担金でも、清掃の公平性を担保できるような細やかな調整がなされており、ここにCO₂の考え方を導入すると複雑化が懸念される。
(ごみ有料化※)	区民	<ul style="list-style-type: none"> 区民が自身が出したごみ量に応じて公平に負担することが可能。 区民・事業者がごみ減量化や資源化に積極的に取り組む契機になる。 	<ul style="list-style-type: none"> CO₂分離・回収に伴う費用負担を目的とするのではなく、それ以外の論点もある中で、区民への十分な説明が難しい。

※「廃棄物の排出抑制や再生利用等による資源循環の推進のための行動ガイド」（一般廃棄物の有料化の予見性（留意点））との位置付けであり、CO₂分離・回収による費用負担方法として位置付けられているわけではない。

- 1. (ア) (イ) (ウ) (エ)
- 2. (ア) (イ) (ウ) (エ)
- 3. (ア) (イ) (ウ) (エ) (オ) (カ) (キ)
- 4. (ア) (イ) (ウ)
- おわりに
- 資料編

次に、CO₂の利用に関連する課題を以下のように整理した。

図表 4-5 清掃工場で分離・回収したCO₂の利用に当たっての課題整理

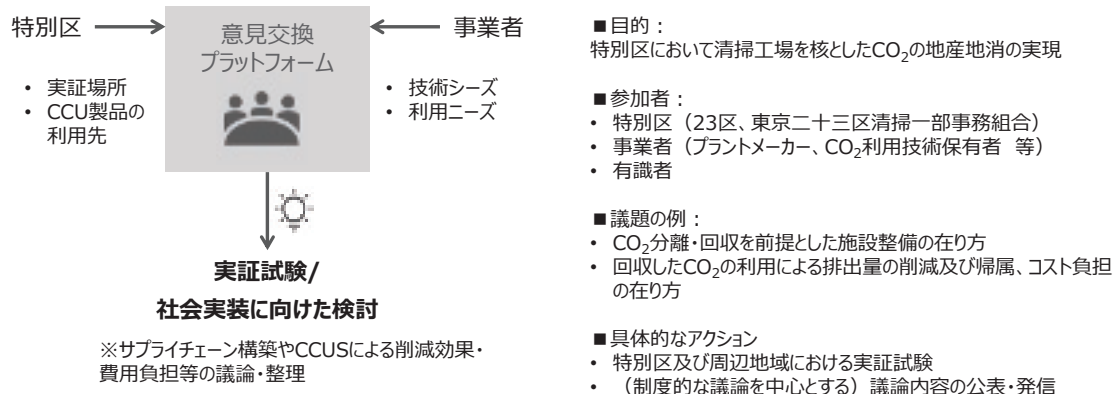
課題	概要
①CCU技術の 確立・社会実装	<ul style="list-style-type: none"> ■ CCUのうち、燃料や化学品、鉱物として利用する技術については、国による本格的な技術開発が開始されて間もなく、実証段階である技術が多い。そのため、実際のビジネスとして商用化・普及している用途がほとんどない。 ■ そもそもCO₂を地産地消するという概念自体が区民にとって全く馴染みのないものであり、その意義について十分理解が進んでいない状況にある。
②経済的な水素の本格普及	<ul style="list-style-type: none"> ■ CCUのうち、燃料や化学品においては、水素を利用する技術がほとんどである。CCU技術同様、水素製造（いわゆるグリーン水素やブルー水素等のカーボンニュートラルなもの）も、実証段階であり、本格的普及には至っていない状況にある。
③CCU製品の 排出量の計上	<ul style="list-style-type: none"> ■ 例えば、CCUの中でも直接利用や燃料利用の場合は、最終的に大気中にCO₂が排出されることになるが、この場合の、排出の帰属の問題が制度として固まっていない。CCU利用促進の観点から、排出側への計上を求める声もある。 ■ コンクリートのような大気中にCO₂を放出しない用途であったとしても、サプライチェーン上の関係者が多く、その固定量（＝削減量）を誰の貢献/寄与とするのかが必ずしも明示的ではない。一般論では、環境価値を保有するものが、その価値分の経済的負担を負うことが考えられる。
④カーボンプライシングの導入	<ul style="list-style-type: none"> ■ 分離・回収に加えて水素を利用して製造されたCCU製品は、相対的に化石資源由来のバージンな燃料や素材よりも高価にならざるを得ず、その値差補填としてのカーボンプライシングの社会実装が必須と思われ、部分的には計画がされているものの詳細が見通せない状況にある。

技術的課題・経済的課題・制度的課題

まず、大きな問題として、CCU技術のほとんどが、技術開発段階にあって、すぐさま社会実装できる技術水準にないことが挙げられる。（①CCU技術の確立）実際に、本研究会において限定された範囲でのアンケート調査ではあるものの、具体的な事業者に関する情報提供が1件にとどまった。CCU実現のためには、CO₂の分離・回収から、CO₂の有価物への変換、さらにその有価物の購入・利用とサプライチェーン上の多くのステークホルダーを巻き込んだ議論が必要であると考えられる。そこで、特別区においてCO₂の地産地消を実現していくために、行政（清掃一組、各区）と技術保有者、有識者の参加を念頭に置いた「意見交換プラットフォーム（仮称）」を設置するようなことも検討すべきと考えられる。

こうした取組を通じて、まずは、全国で先駆けて、特別区全体でCCUSの取組を率先するとの意思を特別区内外に発信していくことで、さらなる参加者を集めてより事業化に向けた具体化を進めることができる。

図表4-6 意見交換プラットフォーム（仮称）のイメージ



また、廃掃法上の液化CO₂の扱い（分離・回収に関する課題⑦）によっては輸送等に制約を受けること、CCU製品のCO₂排出量の算定、カーボンプライシングの導入（CO₂の利用に関する課題③④）等、国による制度設計等が必要な事項については、これらが、事業上の課題になり得ることを、23区が一体となって、周辺のCO₂の分離・回収を検討しているような自治体とも協力して、国に働きかけていくことも必要と考えられる。

さらに、循環型社会形成交付金の要望は、東京都を通じて行っている状況も踏まえて、CO₂分離・回収に伴う追加的費用に対する財政支援については、都とも協力して国に働きかけていくことも必要と考えられる。

1.

(ア)
(イ)

2.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)

3.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)
(オ)
(カ)
(キ)

4.

(ア)
(イ)
(ウ)

おわりに

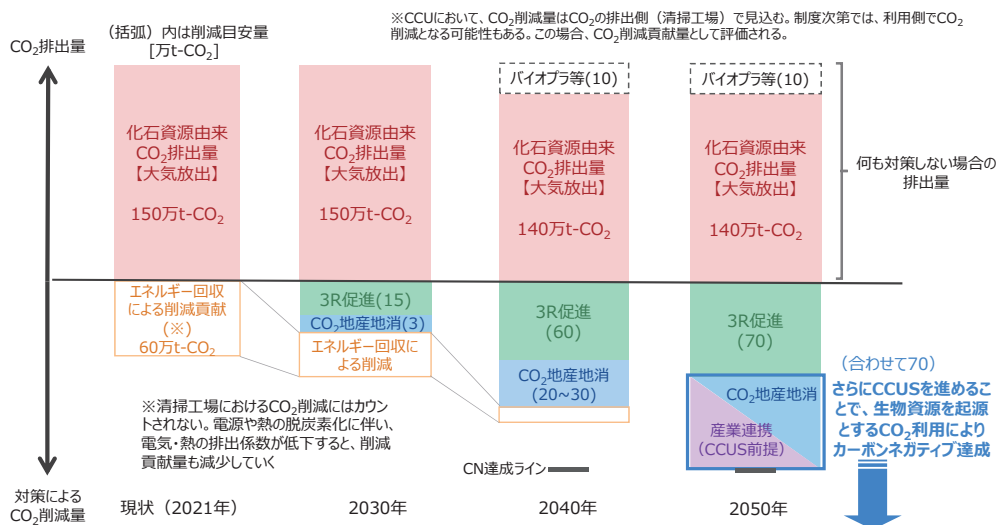
資料編

(イ) 特別区全体での連携方策の検討

本研究会の調査によって、CO₂の地産地消だけでは、特別区の一般廃棄物処理に伴う排出をゼロにすることが難しいことが示唆され、これまで以上に3Rを促進すること、廃棄物を原料・燃料利用する産業との連携を通じて清掃工場での焼却処理量を減じていくといった新たな視点も重要であることがわかった。そこで、「方向性①発生抑制・再使用・再生利用（3R）の促進」「方向性②清掃工場を核としたCO₂の地産地消の促進」「方向性③廃棄物を原料・燃料利用する産業との連携の促進」の3つの方向性によりカーボンニュートラルを達成していくための各方向性における削減目安と、それを実現するために取り組まなければならないことを議論・整理した。

各方向性による2050年までの削減目安を以下に示す。化石資源由来のCO₂排出量について、何も対策しない場合には、バイオマスプラスチックの普及等が進むことも見込んだ上で、ほとんど横ばいと想定した。3R促進による削減効果は、国の地球温暖化対策計画や東京都のプラスチック削減プログラムを参考に削減目安量を見積もった。また、CO₂の地産地消については、2030年代に特別区の清掃工場2か所程度で、大規模に分離・回収装置を導入することを見込んだ（詳細は後述）。また、2040年代には、CO₂の地産地消策に加えて、産業連携も含めて対策を講じていくことを反映した。ここで、特別区内の清掃工場においてCO₂を分離・回収するか、特別区内に限定せず、周辺の産業集積地を念頭に、他産業とも連携してCCUSを進めていくかについては、議論が分かれる部分であるため、その削減目安量はあえて区別しない。

図表4-7 各方向性の取組による削減目安



図表4-8 各方向性の取組による削減目安の設定根拠

年度	削減策	削減量の目安 [万t-CO ₂]	算定の考え方
2030	3R促進	15	<ul style="list-style-type: none"> 発生抑制は清掃一組一般廃棄物処理基本計画で横ばいのため見込まず。 特別区の一人当たり資源化量が3.22[kg/人]から、地球温暖化対策計画の目標値9.64[kg/人]まで増加すると仮定した場合の削減量に相当。
	CO ₂ 地産地消	3	<ul style="list-style-type: none"> 仮に100t-CO₂/日（回収可能量のうち約5%）程度を実証等に伴って設置できた場合の数値。
2040	3R促進	60	<ul style="list-style-type: none"> 廃プラ焼却量：40%削減レベル（東京都プラスチック削減プログラム）を想定。ただし、東京都の目標は2030年であるため、若干控えめな想定となる。
	CO ₂ 地産地消	30	<ul style="list-style-type: none"> 500t/日規模の焼却施設2か所程度で大規模にCO₂分離・回収開始
2050	3R促進	70	<ul style="list-style-type: none"> 廃プラ焼却量：40%削減レベル（東京都プラスチック削減プログラム）をさらに進めることを見込んだ。
	CO ₂ 地産地消	合わせて 70	<ul style="list-style-type: none"> 500t/日規模の焼却施設2か所+aで大規模にCO₂分離・回収。 ※最大で50万t-CO₂程度
	産業連携		<ul style="list-style-type: none"> 廃棄物が他産業で原料又は燃料として利用される（その後CCUS）想定。
他の要因	バイオマスプラスチック 素材代替	10	<ul style="list-style-type: none"> バイオマスプラスチックが「バイオプラスチック導入ロードマップ」におけるマイルストーンである年間200万トン導入される場合の削減寄与が15%程度と見積もられるが、足元の導入実績等を踏まえて、そこまで大幅な普及が進まない前提での数値。

※1：資源化先でのCO₂排出量は考慮されていない。プロセスによっては、資源化先でCO₂が発生している可能性があることに留意が必要。
 ※2：CCUの場合に、排出帰属の問題は考慮されていない。CCUSすれば清掃工場からのCO₂排出量は削減できると想定している。
 ※3：産業連携のうち、プラスチックを含む混合廃棄物を供給することを想定。メタン発酵などの厨芥類のみを供給する場合は廃棄物分野での排出削減に寄与しない。

3Rによる削減目安について、2030年は、国の地球温暖化対策計画において求められる水準が達成されている状態を想定して設定した。地球温暖化対策計画では、「市町村等によるプラスチック資源の分別収集の取組が拡大し、全国95%の人口カバー率で、一人当たりのプラスチック資源の回収量が9.64kg/人に向上すると想定」とされており、特別区における現状の一人当たり資源化量3.22kg/人を2030年までに3倍程度まで拡大する必要がある。これは、多摩地区の水準まで、一人当たりの資源化量を引き上げることにほぼ等しい。

ただし、地球温暖化対策計画の2030年度の目標値水準まで資源化が進んだ場合も、特別区における削減量（※焼却回避による削減のみ計上）は15万トン程度であり、削減量は10%程度であり、実質排出ゼロには程遠いことがわかった。

上記で設定した削減目安量を達成するために、各方向性において取り組むべき内容とその取組主体を次のとおり、議論・整理した。

1.
(ア)
(イ)

2.
(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)

3.
(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)
(オ)
(カ)
(キ)

4.
(ア)
(イ)
(ウ)

おわりに

資料編

図表4-9 特別区全体での連携に向けた具体的な取組の整理結果

方向性	期待される具体的な取組(進行中/すぐに着手可能/すぐに着手不可(事業環境未整備等))	清掃一組	各区
方向性① 3Rの促進	区民への発生抑制・再使用・再生利用に関する普及啓発	●	●
	不燃物投入の防止、不燃ごみ・粗入ごみ処理からの資源化	●	●
	容器包装プラスチック・製品プラスチックの分別回収		●
	区民・民間企業等と協力してプラスチック製品の回収及び再生利用の取組推進化		●
	プラスチック物の資源化目標の設定		●
方向性② CO ₂ の 地産地消	人集地にCO ₂ 分離回収可能な清掃工場の選定及び着工計画	●	
	意見交換プラットフォームの設置	●	●
	諸課題(敷地面積の確保、高さ、有資格者配置)の解決	●	
	(特に分別回収できない汚濁工場における)発電能力の増進による廃棄物の確保・移行期間における各区での削減への貢献	●	
	国等の補助金を活用した実証試験等の積極的な実施	●	●
	清掃工場内で実施可能な排ガスCO ₂ 削減策や回収したCO ₂ を利用した製品の製造の実施	●	●
	各区の住民の理解を促すための説明	●	●
方向性③ 産業との 連携促進	CO ₂ 分離・回収に伴う費用負担のあり方の議論の開始	●	●
	CO ₂ の地産地消の機会の普及啓発区や都に対しての働きかけ(CO ₂ 分離・回収の費用負担やCO ₂ 利用製品の活用(公共調達))	●	●
	廃棄物を原料や燃料として利用する産業との意見交換の開始 ※特に化学産業への燃料としての廃棄物の供給、SAF製造原料としての供給、メタン発酵を通じたバイオメタン製造原料としての供給が考えられる	●	
	方向性①が大前提	●	●

3Rについては、従来から取組が進められてきた部分も多く、引き続き取り組むとともに、従来の対策では不十分であることもわかってきたところであるため、より一層の取組が必要になる。3Rについては、特に各区に求められる役割が大きい。まずは、容器包装プラスチック及び製品プラスチックの分別回収をすべての区が実施することを目指す必要がある。これについては、清掃工場を建て替える際に、国から交付される循環型社会形成交付金において要件とされていることから、必ず達成すべき目標である。また、分別回収を通じて、一人当たりの資源化量を地球温暖化対策における水準まで引き上げていくために必要な措置を講じていく必要がある。

また、先述のとおり、この目標水準を達成したとしても、十分なCO₂削減効果とはならないため、さらに、区民や事業者を巻き込み、発生抑制や資源循環を促す取組を実施していくことが求められる。例えば、江東区では、3Rに「Refuse(断る)」「Repair(修理)」を加えた5R(※順番は Refuse → Reduce → Reuse → Repair → Recycle)と称して普及啓発に取り組んでおり、高い水準での資源循環を促していくことが重要である。また、墨田区では、民間事業者と協力して、ハブラシリサイクルに関する協定を提携し、行政のごみ回収事業と連携した使用済みハブラシの回収を実施している。サーキュラーエコノミーの実現に向けて、これまでも増して、民間事業者の資源循環への認識が高まっていくことも想定されるため、各区は民間とも協力しながら、従来

の資源化ルートにとどまらず、様々な製品・素材に対して取組を進めていくことが重要である。

整理した主体別の取組について、すでに進行中の取組もあれば、すぐに実行（着手）可能な取組、すぐには着手が困難（事業環境が未整備等）な取組など、取り組むべきタイミングにもバラつきがあることから、いつまでに、だれが、何に取り組むべきかが明確になるよう、取組とあわせて、2050年までのロードマップを検討した。

ロードマップのうち、CO₂の地産地消については、以下の課題と特別区ならではの強み・特徴を踏まえて、区民も理解しやすい「モデル的な大規模サプライチェーン」が一つでも構築できれば、特別区ならではのスケールメリットを生かして、横展開による取組加速化が期待できるのではないかと考えた。

（現状の課題）

- ・特別区内でも“CO₂の地産地消”という概念が十分に認知されていない
- ・CO₂利用技術は技術開発段階にある技術が多く、すぐに社会実装できるものが限られる

（特別区の強み・特徴）

- ・一般廃棄物の発生量も多く、CO₂を利用する潜在的なポテンシャルも大きい
- ・各区が主体性をもって、独自に取組を進めることができ、さらに、優れた取組を特別区全体に横展開することができる
- ・国際空港からのアクセスも良く、首都として国内外への発信力も大きい

以下に検討したロードマップを示す。

2030年までは、将来を見据えて準備を開始しつつ、取り組めることから取り組んでいく段階、2030年代は準備してきたことに対して、必要な取組を行うことで、先行して事業を創出していく段階、2040年代は2030年代に構築した事業を特別区のスケールメリットを生かして、全体に横展開していく段階として、取組の整理を行った。

「方向性①3Rの促進」について、2020年代においては、循環型社会形成交付金による要件になっていることも踏まえて、23区すべての区が容器包装・製品プラスチックの分別回収を行うことが求められる。これは、プラスチックの資源循環を促進するための土台となるものと考えられ、国が示す水準で資源化できれば、早期にCO₂削減が期待できる。一方で、国が示す水準での資源化では、CO₂削減としては十分でないため、2030年代には、さらに民間事業者や

1.

(ア)
(イ)

2.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)

3.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)
(オ)
(カ)
(キ)

4.

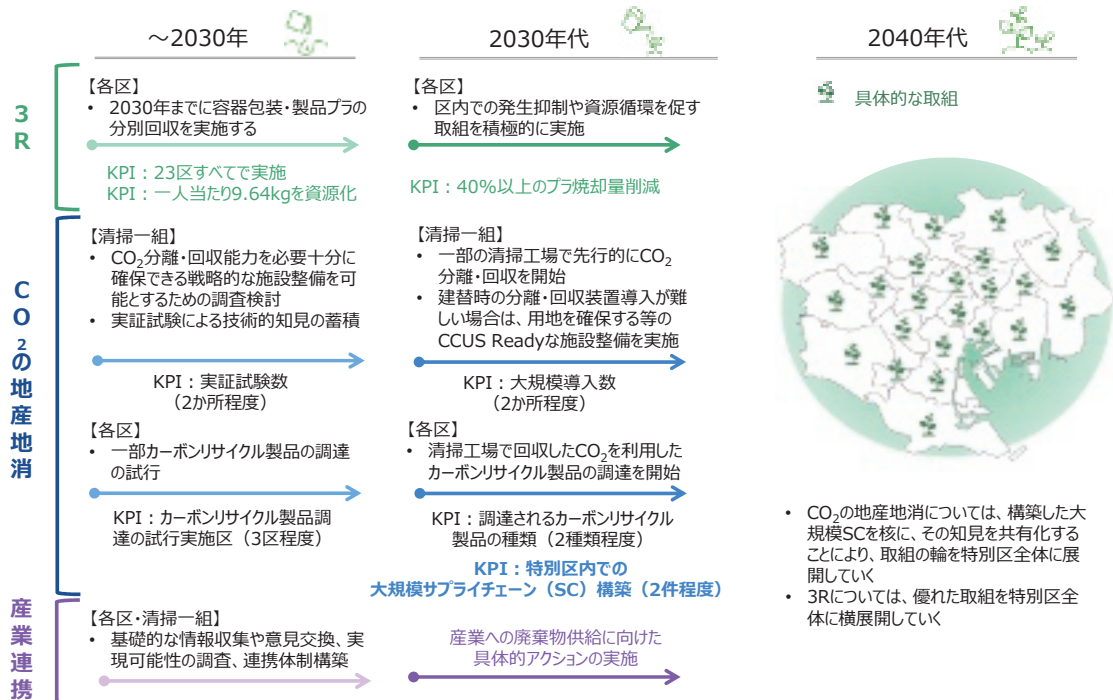
(ア)
(イ)
(ウ)

おわりに

資料編

区民を巻き込んだ取組を各区で進めていくことが必要になる。もちろん、現時点で各区の取組状況に差異があることも踏まえて、早期に、これらを実施できる区は、すぐにでも取組を進めていくべきであることは言うまでもない。

図表4-10 特別区の廃棄物処理のカーボンニュートラル実現に向けたロードマップ

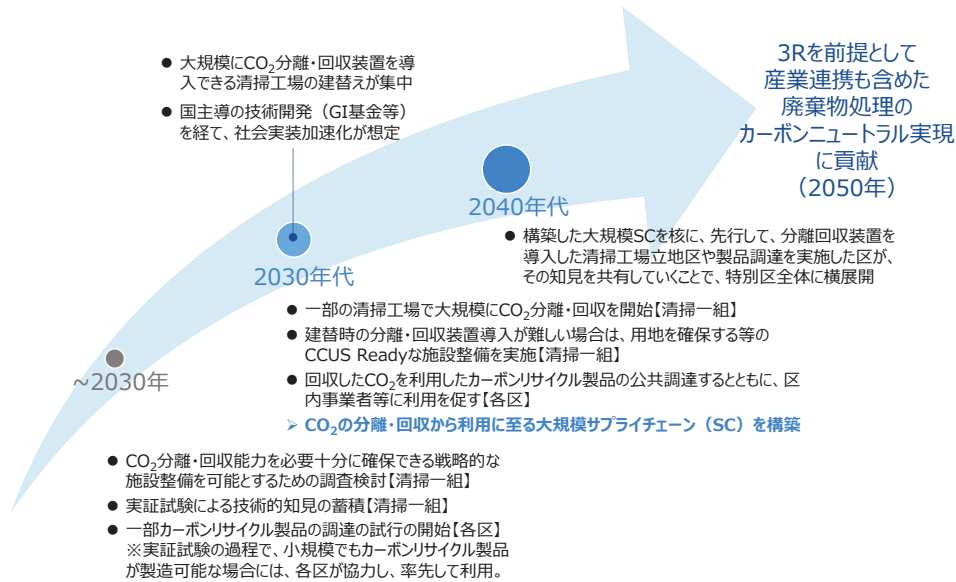


「方向性②CO₂の地産地消の促進」について、2020年代は、清掃一組においては、CO₂分離・回収能力を必要十分に確保できる戦略的な施設整備を可能とするための調査検討を実施するとともに、実証試験により技術的知見を蓄積することが考えられる。また、各区は、清掃工場で回収したCO₂に限らず、例えば、研究会で調査したコンクリートや建設汚泥の再生土等を公共事業で活用するようなことの検討、試行を実施するということが考えられる。そのような区が出てくれば、清掃工場において、CO₂分離・回収を積極的に実施していく機運が高まっていくものと考えられる。

2030年代は、大規模にCO₂分離・回収装置を導入可能な清掃工場の建替えが重なっていることや、国主導の技術開発を経て、技術の社会実装が加速化することが想定されることも踏まえ、CO₂の分離・回収から利用に至るまでのサプライチェーンを大規模に構築することを一つの目標に取組を進めることが考えられる。2050年に向かって、段階的に取組を進めていくとすると、2030年代においては、2件程度のサプライチェーンを構築しておくことが求められる。

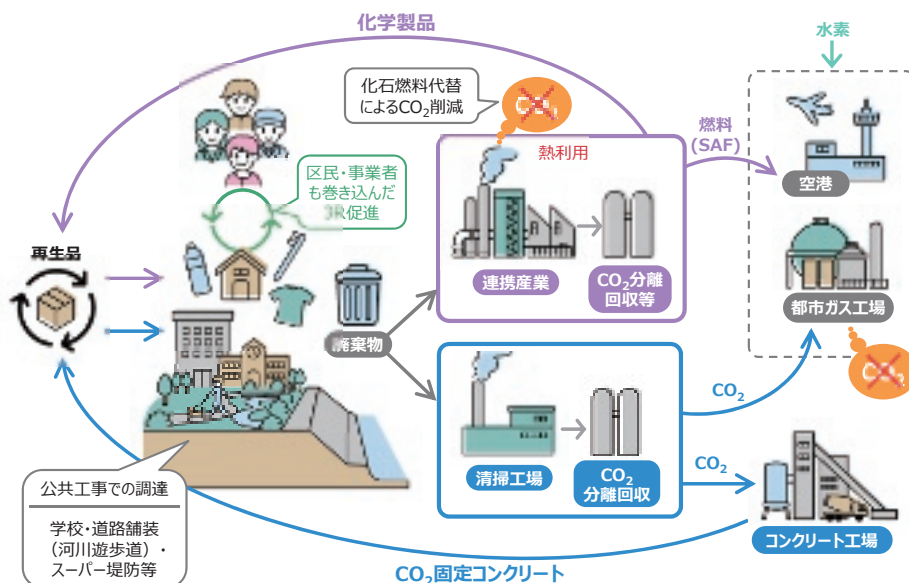
2040年代は、2050年カーボンニュートラルに向けて、さらに多くの区や主体まで取組の輪を広げていく必要があると考えられる。

図表4-11 特別区におけるCO₂の地産地消の進め方



「方向性③産業との連携促進」については、2020年代においては、まずは、国内外において先行する事例の調査や、連携先候補となる産業の整理等の基礎的な調査を行うとともに、連携先候補との意見交換を通じて、その実現可能性の調査を進めていく必要がある。また、清掃一組、23区、産業、近隣自治体との連携体制を構築し、2030年代以降、必要な措置を講じていくことで、取組を実現していく必要がある。

図表4-12 特別区における各方向性の取組を実現した将来像



<本章に関する研究会での議論の抜粋>

【CO₂の地産地消の実現に向けた課題について】

- ・既存工場への分離・回収装置の設置を前提に検討しており、利用していない灰溶融施設の面積を捻出することになっていたが、清掃一組の意向や他の新規事業の用地とする可能性もあり、すべての用地を利用できるとは限らず、この面積（回収量）は縮小する可能性があるのではないか。一方で、特別区全体でコストを負担することになるのであれば、効率のよいところで分離・回収を実施するほうが、理解を得やすいと思われる。
- ・費用負担について、分担金にCO₂の概念を追加することは複雑化を招くため、やめたほうがよいのではないか。CCUSのような新しいことを実験するためにアップグレードした清掃工場を建てるという説明がよいのではないか。
- ・分離・回収によって施設整備コストが増加することになり、その負担の問題が生じる。現在も、（中間処理については、）分担金を各区が負担していることを考えると、コストは特別区全体で負担することになるのではないか。そうすると、特別区全体として取り組んでいるとの建付けが重要になってくるのではないか。
- ・区民への周知が必要になってくるため、区民の負担がどの時点で発生するのかを気にしている。当区では、プラごみの回収のモデル事業を来年度から実施するために、住民への説明会を予定している。プラの分別ならまだしも、金銭的負担が発生する場合は暗礁に乗り上げる可能性がある。国からの支援のほうが、区民が負担するというよりは理解が得られやすいのではないか。

【今後期待される取組について】

- ・手順として、まずは、少量規模の実証を進めることが現実的だと考えている。回収したCO₂を商業利用できることが実証できれば、清掃工場のCO₂を利用したいという事業者が出てくるのではないか。そうして、CCUSの市場規模が拡大していくとよいと考えている。
- ・ポテンシャルが大きい2か所程度の清掃工場に絞った上で、地域の理解を得ながら進めていくことがよいのではないか。
- ・ごみの減量化は前提として、CO₂をどのように回収するのかということを示す必要があるのではないか。いつ・どの工場に回収装置を導入するかまでは書き込めないと思われるが、具体的なイメージを示せるとヒントになるのではないか。

- ・このくらいの年に、これだけの分離・回収能力ができていてほしいということは言えるかもしれない。2050年に急にゼロになればよいわけではなく、それまでに地道に削減していくことが大事だとすると、分離・回収できる清掃工場がどこかという話は、本当は今の段階から出てくるべき。
- ・かなり大変なこともやらなければCNは達成できないということを報告書にも記載する必要がある。本当は、先進国はカーボンマイナスを目指さなければならず、その中でも公共セクターが積極的に削減し、最終的にゼロでよいのかという議論があってもよい。相当頑張るロードマップになるのは仕方がないと思う。
- ・清掃工場を（CNに向けて）いろいろなことを試してみるような実験場にするようなことも発信できるとよいのではないか。お金や人材などのリソースがある特別区で実現できないと他の自治体は難しいのだとすると、先んじて実験場になっていくようなビジョンも描けるのではないか。
- ・区の役割としては方向性①3Rの促進が大きいと認識した。3Rにおいてプラスチックばかりが言及されていることが気になった。CO₂には大きく関係しないかもしれないが、紙や食品も廃棄物として発生しており、食ロス対策も重要である。

1.

(ア)

(イ)

2.

(ア)

(イ)

(ウ)

(エ)

3.

(ア)

(イ)

(ウ)

(エ)

(オ)

(カ)

(キ)

4.

(ア)

(イ)

(ウ)

(エ)

(オ)

(カ)

(キ)

おわりに

資料編

(ウ) 本研究会で得られた示唆と今後の取組み

本研究会での調査を通じて、以下の示唆を得た。

- ☞ CO₂の地産地消（CCU）だけでは特別区における一般廃棄物処理のカーボンニュートラルは達成できない。

・現在、特別区の清掃工場からは一般廃棄物処理に伴って、150万t-CO₂の化石資源由来のCO₂が排出されている。ここで、既存の施設配置を前提に、敷地内と近隣の状況だけに着目した割り切った条件下で試算したところ、特別区の清掃工場におけるCO₂回収可能量は最大で50～60万t-CO₂程度ではないかと思積もられた。CO₂の地産地消（CO₂の分離・回収、利用）だけでは、カーボンニュートラルは達成できない。

- ☞ 現状の延長線での3R対策では、カーボンニュートラル達成には不十分で、より踏み込んだ3R対策が必要。また、特別区内に限定した「CO₂地産地消」にこだわらず、周辺の産業集積地における廃棄物の活用も検討すべき。

・プラスチックの資源化を、国の地球温暖化対策計画で示された日本全国での目標水準まで進めたとしても、期待されるCO₂削減量は15万トン程度であり、CCUSと併せてもカーボンニュートラルに到達しえないため、3Rについてもより踏み込んだ対策が必要である。

・特別区における廃棄物処理のカーボンニュートラルに向けて、従来の3Rの取組の強化を前提としつつ、特別区の清掃工場においては、土地の制約や回収したCO₂の利用先への輸送によるコストアップ等の課題を踏まえると、以下の3つの方向性をバランスよく実施していく必要がある。

- ▶方向性①：発生抑制・再使用・再生利用（3R）の促進
- ▶方向性②：清掃工場を核としたCO₂の地産地消の促進
- ▶方向性③：廃棄物を原料・燃料利用する産業との連携の促進

☞ CO₂の地産地消の実現にも、CO₂分離・回収、回収したCO₂の利用の両側面で高いハードルが複数存在し、課題解決に向けて特別区全体の連携が必須。

- ・清掃工場におけるCO₂分離・回収においては、分離・回収装置（加えてCO₂利用先までの道路輸送が必要となる場合は圧縮・液化設備）を設置できる敷地面積の確保が必要になること、分離・回収装置の高さの制約、施設の整備及び運転・維持管理に係る費用の増加、発電電力量の減少等の多くの課題を解決していく必要がある。
- ・分離・回収したCO₂の利用においては、CO₂の変換・利用技術の多くは、変換に必要な水素の製造・輸送も含めて技術開発途上にあり、すぐさま社会実装可能な状況にはない。また、その普及を促進するためのツールとしての炭素税などのカーボンプライシングの諸制度も十分整備されていない。
- ・化石資源由来のCO₂を利用する場合、CO₂の利用先等において、大気中にCO₂が放出されてしまう場合は、社会全体としてカーボンニュートラルになりえず、CO₂回収側・利用側のどちらか、あるいは双方において排出を計上する必要が生じる。現在、一部のCO₂の燃料利用については、回収側で計上する議論もあり、CO₂を分離・回収したからといって排出削減につながると断言できないことも大きな課題である。

☞ CO₂地産地消の実現に向け、各主体が「小規模にでも今すぐできること」から始めていき、事業環境の整備が想定される2030年代にモデルとなる大規模なCO₂のサプライチェーンを構築する。特別区のスケールメリットを生かして、3Rの優れた取組等も含めた横展開を図る。

- ・CO₂分離・回収装置の導入については、技術的には、国による技術開発支援状況を参考にすれば2030年頃から大規模での社会実装が可能となる見込みである。また、特別区内では、大規模な分離・回収装置を導入可能な工場の建替が、2030年代に集中していることも示唆された。
- ・CO₂の利用技術は、国が主導する技術開発を通じて、2030年頃の技術確立が想定されるが、2030年代においては、水素を利用しない用途や高付加価値な用途からの普及拡大が想定されている。
- ・本研究会では、コンクリートへのCO₂固定、建設汚泥の中和処理へのCO₂利用、メタネーションによる合成メタン製造について、具体的な調査・検討を実施してきた。例えば、CO₂を固定したコンクリートを区有施設のZEB化時に利用していく、建設汚泥を中和処理した再生土をスーパー堤防整備等の公共工事で利用していく、などが考えられる。

1.

(ア)
(イ)

2.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)

3.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)
(オ)
(カ)
(キ)

4.

(ア)
(イ)
(ウ)

おわりに

資料編

- ・“CO₂の地産地消”という概念が十分に認知されていないことも踏まえ、一つでもモデルとなり得る事業を構築して、特別区のスケールメリットを生かすことで、全体への横展開も期待されるのではないか。

以上の調査から得られた示唆をもとに、本研究会として、清掃一組と23区には、第1章でも述べた3つの方向性に沿った具体的な取組を期待したい。

- ・清掃一組は、技術開発動向や各区の発生抑制・資源化等の取組動向も踏まえ、CO₂の分離・回収能力を必要十分に確保できる戦略的な施設整備を可能とするための調査検討を開始し、意思決定時期等に応じて、どれだけの分離・回収能力を確保しうるかなどについて各区をはじめとする関係機関に積極的に情報提供していくべき。また、必要に応じ国の補助金等も活用しながら、清掃工場での実証試験を積極的に実施し、技術的知見の蓄積に努めるべき。
- ・各区は、将来的に清掃工場のCO₂由来のカーボンリサイクル製品を区内に普及させ、とりわけ率先して調達する役割も期待される。上述のとおり、地産地消においては、まずはコンクリートや再生土など建設工事に伴い調達される資材が先行する可能性が高いことを想定すれば、特別区が発注する建設工事を対象として、温室効果ガスの排出量の削減効果を有する資材がどうすれば区内の建設工事において優先的に使用されるようになるかを検討し、既存資材を対象に試行をはじめていくべき。また、清掃工場における実証事業においては、周辺住民の理解促進や事業の意義などの普及啓発面、さらにCCU製品の使用など、共同して取り組むことが期待される。
- ・将来的にCO₂分離・回収を本格的に実施することとなる場合には、清掃一組と各区が協力して、近隣住民や区民との説明・対話を進めていくことが重要となる。また、カーボンニュートラル実現のための必要な投資や費用とその分担方法の在り方について、実現方法の具体化の検討と合わせた議論が求められる。ただし、現時点では、分離・回収により追加的費用が発生することは確実と考えられる一方で、CO₂の「販売」価格、何より、経済的支援制度やCO₂排出への規制・課金などの我が国における社会経済面の条件がどのようになるかを見通すことは極めて困難である。
- ・特別区全体としては、大都市としてのカーボンニュートラルへの貢献の一つの可能性としての「CO₂の地産地消」の概念を特別区内外に、わかりやすく発

信していくべき。また、CO₂の地産地消を実現する上での条件整備について、今後の調査検討や実証事業も踏まえ、清掃一組と各区が協力して、国等へ働きかけていくべき。(清掃工場においてCO₂分離・回収を行う場合の現行制度での制約や必要となる財政支援その他実現を可能とする各種ルールの整備等)

- ・「方向性①発生抑制・再使用・再生利用(3R)の促進」については、まずは、すべての区が、容器包装プラスチック・製品プラスチックの分別回収に取り組むべき。さらに、区民への啓発活動(プラスチックごみを含めた3Rの推進、プラスチック資源循環の推進)や区内の事業者への働きかけ(製品の製造、加工、流通、販売などにおいて、ごみの発生抑制、繰り返し使用ができ、不用となった場合も資源化しやすく、適正処理しやすい製品を製造、販売)など事業者・区民を巻き込んで、より一層、区内での発生抑制や資源循環を促す取組を積極的に実施すべき。また、素材代替(プラスチック製品から紙製品)やバイオマスプラスチックについても、その利用に係る普及啓発においても各区が果たす役割は大きい。特別区のスケールメリットを生かせば、優れた取組を特別区全体に横展開していくことも期待できる。
- ・「方向性③廃棄物を原料・燃料利用する産業との連携の促進」については、将来の特別区における廃棄物処理の一つの選択肢となり得るかを検討すべく、まずは首都圏における重化学工業の集積地を念頭に、清掃一組と各区が連携し、基礎的な情報収集や意見交換などの調査研究に着手していくべき。

コラム

23区の清掃工場におけるCO₂回収技術の実証確認

令和6年2月、東京二十三区清掃一部事務組合は、プラントメーカーとの官民連携によるCO₂回収の技術開発協力として、同組合の板橋清掃工場と品川清掃工場で実証確認を行うことを発表した。



板橋清掃工場

- 板橋清掃工場の煙突付近にCO₂回収装置を設置し、排ガスの一部を引き抜いてCO₂を回収する技術を実証確認する。
- 期間は令和7年3月31日まで(約1年間を予定)
- 実証確認完了後、CO₂回収装置は撤去



品川清掃工場

- 品川清掃工場の敷地内にプラント設備を仮設し、排ガス中のCO₂を高濃度化して効率良く回収する技術を実証確認する。
- 期間は令和13年3月31日まで(約7年間を予定)
- 実証確認完了後、仮設したプラント設備は撤去

出典 東京二十三区清掃一部事務組合資料

1.

(ア)
(イ)

2.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)

3.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)
(オ)
(カ)
(キ)

4.

(ア)
(イ)
(ウ)

おわりに

資料編

東京23区的一般廃棄物処理・循環利用のカーボンニュートラル実現に向けて

1. 気候変動を取り巻く状況と二酸化炭素排出削減対策

温室効果ガスの大気中濃度の上昇に伴う気候変動が原因と考えられる、大規模な災害が国内外で増加している。気候変動に伴う様々なリスクを軽減するために、温室効果ガスの中でも最も寄与が大きい、二酸化炭素（CO₂）の排出量を速やかに削減し、実質的にCO₂を排出しないカーボンニュートラル（以下、「CN」という。）をできるだけ早期に達成し、2050年代以降はカーボンマイナスを目指すことが求められている。2050年はもうすぐそこまで来ており、社会システムの大幅な変更には長い時間を要することから、今からその準備を始める必要がある。

CNの達成はあらゆるセクターで求められており、廃棄物セクター（研究会での検討対象は一般廃棄物）も例外ではない。家庭や業務系であれば、あらゆるエネルギー利用を電化した上で、電力を再生可能な電力で賄うことでCNを達成可能である。運輸部門では極力電動化を進めた上で、航空機のように電動化が難しい対象について、CNな燃料への転換を図ることになる。一方、一部の素材産業と廃棄物処理に関しては、エネルギー源や原料の転換だけでは、CNの実現が難しい。例えばセメント製造時に炭酸カルシウムが熱分解されて発生するCO₂は、その発生を回避することができない。将来的には廃コンクリートに含まれるカルシウムのリサイクルが進む可能性もあるが、技術的、経済的な課題が残されている。

廃棄物セクターでは、化石資源から製造されたプラスチック等の焼却に伴うCO₂排出が大きな割合を占めている。加えて産業廃棄物では、廃油の燃焼に伴うCO₂排出の寄与も大きい。リサイクルを行うことで廃棄物の焼却は回避されるが、これまでの技術では回収率100%で、完全に元の製品に戻る水平リサイクルが行われるような状況からは大きな乖離があり、結果的にリサイクルされない廃棄物も多く発生している。リサイクル率は次第に向上すると考えられるが、将来も一定量のプラスチック等の焼却が残ると考えられる。

プラスチック原料をCNなバイオマスとし、製造をCNなエネルギーで行えば、そうして製造されたプラスチックを焼却してもCNが保たれることになる

が、例えば国内で豊富なバイオマス資源である木材を利用する場合、炭素収支の経年変化が重要になる。今後の大気中のCO₂濃度の増加・減少を考えることが必要な今、例え過去にCO₂を吸収して成長した木材であっても、燃焼等によってCO₂に変われば、大気中CO₂の一時的な増加に繋がる。伐採後に植林した木の成長には、一般的な針葉樹であれば数十年単位の時間が掛かるため、大気中CO₂の増加期間が長くなる可能性がある。かなり以前から伐採、植林、育林を繰り返している定常的な森でない限り、木の化学原料利用によってもたらされるCNの達成には時間が掛かるため、2050年時点の削減には大きく寄与しない可能性もある。バイオマスへの世界的な需要の増加も踏まえると、バイオマスプラスチックの大幅な生産拡大も難しいと思われる。

このような状況を踏まえると、廃棄物の焼却から今後も正味のCO₂の排出が続くことは不可避であると考えられる。CN化を確実に進めるためには、廃棄物焼却からのCO₂を回収し、利用または貯留（CCUS⁸）することが強く求められる。

実際に東京23区でも廃棄物焼却からのCO₂回収の実証が始まると聞いている。今後、回収したCO₂の利用を含めた、23区発となるサプライチェーンの構築につながっていくことを期待する。

2. 一般廃棄物処理・資源循環のカーボンニュートラル化に向けた転換の必要性

CNの実現には、部分的にCO₂の削減を行ってきたこれまでの低炭素対策とは、大きく異なる対応が求められることになる。食品の容器包装であれば、リユースできる容器の使用や、素材の薄肉化等による廃棄物の発生抑制は、CNの実現に向けても引き続き有効な対策となるが、例えばリサイクルに向かう廃棄物を増やしただけではCNは達成できない。同時にリサイクル製品の品質を高め、繰り返し元と同等の用途に用いることが求められる。しかし、質を高めようとするれば選別を徹底することになり、異なる素材が積層、あるいは混合された廃棄物が選別によってはじかれると、リサイクル製品の収率⁹を下げることもなり得るといった具合に、リサイクルの量と質の間にはトレードオフが生じがちでもある。今後は、生分解性プラスチックの利用拡大や、プラスチック製容器包装の紙へのシフトなど、廃棄物組成に大幅な変更が生じる可能性がある。現状の廃棄物量と組成に合わせた固定的な仕組みでは、高品質なりサイ

8 Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage

9 化学的手法によって原料物質から目的の物質を取り出すとき、理論的に取り出せると仮定した量と実際に得られた量との割合。

クルが持続しない可能性もある。

一方、食品の生産や流通には大量の温室効果ガスの排出が伴っており、特に家畜や耕作地から排出されるメタン等の温室効果ガスについては、将来も排出をゼロにすることは困難である。容器包装の単一素材化や過度な薄肉化でその性能が低下し、食品ロスの増加を招いてしまうことも避けなくてはならない。

廃棄物焼却施設は、リサイクル困難な廃棄物を幅広く柔軟に受け入れることが可能であるが、焼却時のエネルギー回収の在り方にも変更が求められる。現在は発電が主要なエネルギー回収の手段となっているが、燃焼ガス中に塩素ガス等が含まれる廃棄物焼却施設では、ボイラ配管の腐食を防ぐために、蒸気温度の上限が450℃程度に制限されており、結果的に発電効率は最大でも25%程度と低い値に留まっている。太陽光発電等の再生可能な電力が今後大きく増加することや、CNな水素やアンモニアを燃料とする、発電効率が60%を超える高効率火力発電が増えていくことが想定される中で、廃棄物焼却発電のCO₂排出削減への寄与は次第に減少してしまう。一方、200℃前後の蒸気がプラスチックや紙の製造プロセスにおいて大量に消費されており、これまでは化石燃料を用いて比較的安価に蒸気を製造できていただけに、これをどのようにCN化するかが大きな課題となっている。発電効率には大きな違いがあったが、廃棄物焼却施設のボイラと素材産業が持つボイラとの熱利用効率には大きな差がないため、廃棄物の焼却熱を素材製造のための蒸気として利用できれば、燃料消費の削減効果が高く、将来においても効率的である。

廃棄物焼却に伴うエネルギー回収効率を大幅に高めた上で、焼却によって発生するCO₂を回収することは不可欠である。最低限、廃棄物中のバイオマス成分を除く廃棄物の焼却に伴うCO₂を回収する必要があるが、理想的にはバイオマス分も含めて回収し、カーボンマイナスを狙えると良い。回収したCO₂は地下に埋めておく選択肢 (CCS¹⁰) もあるが、むしろ鉄鋼やセメント産業から大量に排出されるCO₂が貯留の優先対象になると考えられるため、焼却施設のCO₂は利用 (CCU¹¹) を前提に考えるべきだと思われる。

廃プラスチック等の焼却に伴うCO₂を対象としたCCUでCNを達成する選択肢は、実はそれほど多くない。過渡的には、CO₂の削減には寄与するが、CNには到達しない用途にもCO₂を利用することが考えられるが、最終的にはCNを実現できる用途に絞ることになる。CNを実現する典型的な選択肢は、回収したCO₂にCNな水素を反応させてアルコール等を製造し、これを基礎原料にして再びプラスチックを製造することである。CCUで製造したプラスチックが廃棄されて焼却される際は、再びCCUを行ってプラスチックに戻すこと

10 Carbon dioxide Capture Storage

11 Carbon dioxide Capture Utilization

の繰り返しが必要になるが、これでCNが保たれる。

プラスチック等の元の製品に戻らない用途では、そこに実用上永久とみなせる期間に渡ってCO₂が固定されることが必要になる。この典型例としてコンクリートの製造時に、主にコンクリート中のセメント成分にCO₂を固定化させる技術が開発されている。理論的には、前述のセメント製造時に炭酸カルシウムから放出されたCO₂の分だけ、CO₂を固定化することができる。いったん固定化されてしまえば、コンクリートが廃棄されてもCO₂は容易には再放出されない。ただし、セメント工場における炭酸カルシウムからのCO₂排出は依然として残ってしまうため、社会全体としてはCO₂削減にはなるが、CNにはならない。セメント工場(CO₂の発生場所であり、少数の拠点に立地)と、コンクリート工場(CO₂を固定する場所であり、多数が分散立地)が遠く離れている場合が多いため、分散立地する焼却施設からのCO₂をコンクリートに固定化させることは、合理的な選択肢となり得るが、セメント工場からのCO₂排出については、CCSや何等かの方法でオフセットすることが必要になる。

廃棄物焼却施設で回収したCO₂から燃料を製造した場合、その燃焼に伴うCO₂が回収できなければ、CNにはならない。しかし、燃焼時のCO₂が回収できるような、ある程度規模の大きな利用先であれば、CNな水素やアンモニアを直接燃料にすればCO₂の回収が不要となるため、より合理的である。また、CO₂の回収が難しい家庭やオフィスなどでは、電化を進めた上で再生可能な電力を利用することがCN化に向けた対策の基本であり、CO₂の効果的な利用先にはなりにくい。社会のCN化に向けた今後の変化を踏まえた上で、最も有効な用途を選択することが求められる。

3. 研究会での成果

これまで述べてきたように、廃棄物セクターのCNの達成には様々な制約があり、その中で有効な選択肢を選ぶ必要がある。本質的には選択肢が多くないということは、目指すべき姿が概ね見えていることにもなるが、その実現には現在の仕組みからの大きな変更を伴うことになる。もちろん、今ある仕組みをすぐに大きく変更することは困難であるため、現在の延長線上にある仕組みと、最終的に目指す仕組みの両方を考慮しながら、今後取るべき対策を決めていくことになる。研究会ではこのような観点から、現在の仕組みである廃プラスチックのリサイクルが更に拡大する対策、現在の廃棄物焼却施設にCO₂の回収装置を設置してCCUを行う対策に加えて、将来の1つの理想形とも言える、素材産業と連携する対策を検討した。素材産業との連携については、例えば化学産業等との連携により、廃棄物焼却熱をプラスチックの製造プロセスへの熱

1.

(ア)
(イ)

2.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)

3.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)
(オ)
(カ)
(キ)

4.

(ア)
(イ)
(ウ)

おわりに

資料編

供給に利用し、更にCCUでCO₂からプラスチックを製造する対策を、今後取り得る手段として検討した。これら3つの対策の中で、特に東京23区における廃棄物焼却施設でのCCU実施のポテンシャルについては、これまでにない詳細な精度で検討が行われ、重要な成果示すことが出来た。

研究会のタイトルがCO₂の地産地消となっていることもあり、検討の中心は現在の廃棄物焼却・発電施設で発生しているCO₂を回収して利用するケースとなったが、CN実現への近道を考える場合、必ずしも東京23区に地域を限定した地産地消にこだわる必要もないと思われる。廃棄物1トンを燃やすと、概ね1トンのCO₂が発生することになり、これを長距離輸送するには液化を行う必要もある。CO₂がその需要場所で発生すれば、液化と輸送の手間を軽減することができるため、CO₂の発生場所と消費場所はまさに地産地消であることが望ましい。CO₂を運ぶ代わりに廃棄物を運んで、例えば化学コンビナートのような場所で焼却し、製造プロセスへの熱供給のための燃料と、プラスチック製造のための炭素原料としてその場で利用することも、廃棄物から発生するCO₂の地産地消と言えるのではないか。

研究会では、費用対効果の検討はやや不十分であったかもしれない。現時点では2040年、2050年といった時点の費用構造を見通し難いため、やむを得ない面もあるが、対策を実行に移していく上で、今後より詳細な検討を要する点である。将来像の幾つかが不確かであったとしても、CCUの実施には大掛かりな付帯設備が必要であり、炭素を繰り返しリサイクルするには大量のCNな水素の投入が必要になることは明確である。一定の費用の増加は避けられないことを踏まえた上で、今後の計画を立てる必要がある。

研究会で検討したどの対策を実施するにしても、市民の理解に加えて、国、自治体、企業等の様々な主体の協力が必要になる。東京23区の中では地理的な条件も様々であるため、各区が協力してCNのパズルを組み立てていくことも極めて重要である。将来的に化学コンビナート等に廃棄物を運ぶとなれば、都道府県境界を越えて廃棄物を輸送することになるので、ハードルが高そうにも見えるが、費用対効果の面では他の対策よりも優れている可能性もあり、実は意外と実現し易い対策であるかもしれない。有効な対策となり得る主要な幾つかの可能性について、今から各主体との意見交換を始め、実現に向けて踏み出すことが重要である。東京23区のような巨大な組織が、他の組織に先駆けて行動に移すことを期待したい。本研究会の成果は、これから踏み出すべき数歩について、重要な示唆を与えている。

謝辞

本研究会の立ち上げと実施に尽力して頂いた関係各位に深い感謝と敬意を表します。東京二十三区清掃一部事務組合からは、若手のサポートメンバーも含めて多くの方が参加して下さい、活気のある議論ができたと思います。特別区長会調査研究機構の皆様からは、これまでの豊富なご経験も踏まえて、様々な有意義なご助言を頂きました。研究員として参加して頂いた区の職員の方々には、各区の実情とその役割も反映する形でご意見を頂き、検討のリアリティを高めることが出来ました。東京都環境局の皆様には、研究会の活動に関心を寄せて頂き、貴重なご意見も頂きました。委託先として研究会を支えて下さったパシフィックコンサルタンツの皆様には、タイトなスケジュールの中で、最大限の素晴らしい仕事をして頂きました。また、CCUSに関するヒアリングや視察をさせて頂いた企業・自治体の皆様にも、その多大なご協力に感謝致します。今回の成果を活かしつつ、廃棄物セクターのCN実現に向けて皆様と共に引き続き活動できればと思います。

「特別区におけるCO₂の地産地消に向けて～清掃工場のCO₂分離・活用と23区の役割～」研究会リーダー

国立研究開発法人国立環境研究所
社会システム領域システムイノベーション研究室長
藤井 実

1.

(ア)
(イ)

2.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)

3.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)
(オ)
(カ)
(キ)

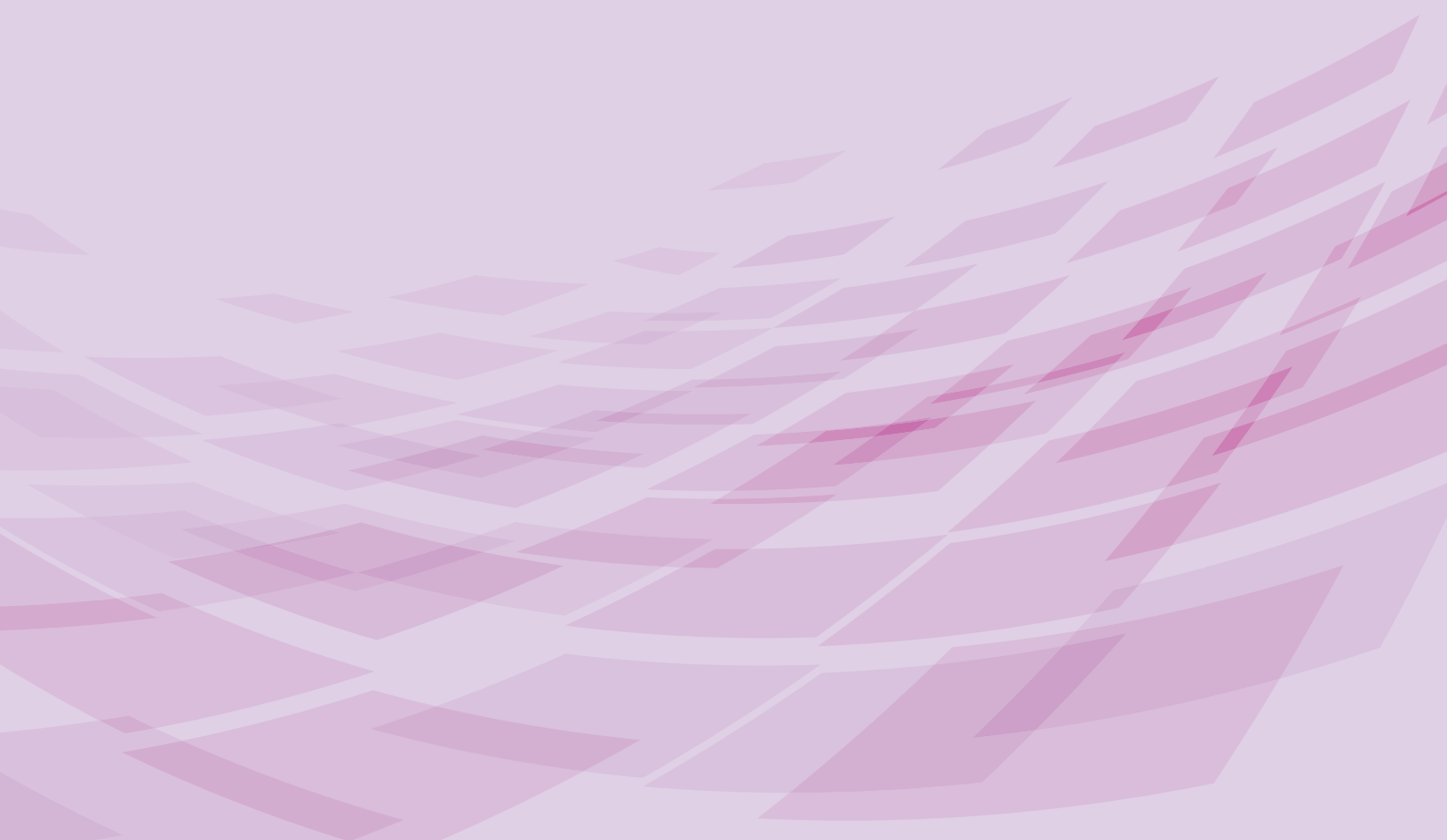
4.

(ア)
(イ)
(ウ)

おわりに

資料編

資料編



研究体制（研究プロジェクトメンバー）

リーダー	国立研究開発法人国立環境研究所 社会システム領域システムイノベーション研究室室長	藤井 実
研究員	東京二十三区清掃一部事務組合 総務部企画室長	森田 昌志
	東京二十三区清掃一部事務組合 総務部企画室計画担当課長	能戸 学
	東京二十三区清掃一部事務組合 総務部経営改革担当課長	稲井 精彦
	東京二十三区清掃一部事務組合 総務部企画室企画担当係長	上原 丈史
	新宿区環境清掃部ごみ減量リサイクル課計画係主任	森 勇介 ※6月まで
	新宿区環境清掃部ごみ減量リサイクル課長	佐藤 陽一 ※7月以降
	大田区環境清掃部清掃事業課長	池田 真司
	足立区環境部環境政策課環境事業係長	英 吉司郎
	葛飾区環境部リサイクル清掃課計画調整係主任	牟田 圭吾
江戸川区環境部清掃課庶務係主査	池川 淳一	

研究員補助 東京二十三区清掃一部事務組合施設管理部ほか 7名

調査研究等支援 パシフィックコンサルタンツ株式会社

活動実績

	日時	検討事項
第1回	令和5年4月18日(火) 午前10時～12時	<ul style="list-style-type: none"> 特別区におけるCO₂の地産地消に向けて CO₂削減に関する国内外の動向等 港清掃工場視察
第2回	令和5年5月29日(月) 午後2時～午後5時	<ul style="list-style-type: none"> 清掃工場等におけるCO₂分離回収技術に関する技術動向 清掃工場におけるCO₂削減・回収及び回収したCO₂の活用に関するヒアリング 清掃工場等からのCO₂の活用先に関する検討
第3回	令和5年6月21日(水) 午後2時～午後5時	<ul style="list-style-type: none"> 清掃工場におけるCO₂削減・回収及び回収したCO₂の活用に関するヒアリング調査 特別区の各清掃工場におけるCO₂発生状況 清掃工場から分離回収したCO₂の活用に関する検討
第4回	令和5年7月25日(火) 午後2時30分～ 午後4時30分	<ul style="list-style-type: none"> 特別区の各清掃工場へのCO₂分離回収装置の導入可能性に関する検討 特別区の清掃工場から分離回収したCO₂の活用に関する検討
第5回	令和5年8月29日(火) 午後2時30分～ 午後4時30分	<ul style="list-style-type: none"> 特別区の清掃工場排ガスを利用した効果的なCO₂地産地消策の検討 特別区における廃棄物由来CO₂排出量削減の全体像に関する検討
第6回	令和5年9月27日(水) 午後2時30分～ 午後4時30分	<ul style="list-style-type: none"> 特別区におけるCCUS実現に向けた連携方策の検討
第7回	令和5年10月30日(月) 午後2時30分～ 午後4時30分	<ul style="list-style-type: none"> 特別区におけるCCUS実現に向けた連携方策の検討 報告書の骨子案について カーボンプールコンクリート関係事業者等へのヒアリングについて
	令和5年11月7日(火) 午後3時～4時30分	<ul style="list-style-type: none"> カーボンプールコンクリート関係事業者へのヒアリング
第8回	令和5年11月28日(火) 午後2時30分～ 午後4時30分	<ul style="list-style-type: none"> カーボンプールコンクリート関係事業者等へのヒアリング結果の報告 特別区におけるCO₂の地産地消実現に向けたロードマップ(案) 本研究会におけるとりまとめについて
第9回	令和5年12月21日(木) 午後2時～午後4時	<ul style="list-style-type: none"> 報告書素案について
第10回	令和6年1月29日(月) 午後1時～午後3時	<ul style="list-style-type: none"> 住友化学株式会社へのヒアリング

1.

(ア)

(イ)

2.

(ア)

(イ)

(ウ)

(エ)

3.

(ア)

(イ)

(ウ)

(エ)

(オ)

(カ)

(キ)

4.

(ア)

(イ)

(ウ)

おわりに

資料編

研究員へのアンケート調査

【御所属・御名前（必須）】：

※①と②はどちらか、あるいは両方をお答えいただけますと幸いです。③は必須、④と⑤は任意です。

① 自区内あるいは特別区内において特定の事業者が実施している（しようとしている）CO₂の利活用先がありましたら御教示ください。

※大分類：直接利用、化学品、燃料、鉱物、その他の5種類から選択してください。

※中分類：大分類に対応する中分類を選択してください（別紙参照）

大分類：	中分類：
自由記述（概要、理由等）：	

② 特別区内あるいはその周辺地域で、有望と思われる、あるいは御自身が御関心のあるCO₂の利活用先がありましたら御教示ください。また、その理由について御教示ください。

※大分類：直接利用、化学品、燃料、鉱物、その他の5種類から選択してください。

※中分類：大分類に対応する中分類を選択してください（別紙参照）

大分類：	中分類：
自由記述（概要、理由等）：	

1.

(ア)
(イ)

2.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)

3.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)
(オ)
(カ)
(キ)

4.

(ア)
(イ)
(ウ)

おわりに

資料編

- ③ 第3回研究会の資料2において、「地方公共団体実行計画」に基づく各区の一般廃棄物由来のCO₂排出量について議論がありましたが、貴区（貴組合）で一般廃棄物由来のCO₂排出量について算定されていますか。

- () 算定している → [t-CO₂ (年)]
 () 算定中・算定予定
 () 算定していない

自由記述（概要、理由等）

- ④ 廃棄物からのCO₂削減は、清掃工場でのCO₂の分離回収・利用だけではありません。例えば、廃棄物の発生抑制や資源化促進もCO₂削減につながります。そこで、自区のゼロカーボン達成に向けて、廃棄物分野のCO₂（主にプラ由来）を削減するための、貴区（貴組合）での検討状況や取組について御教示ください。（任意）

自由記述（検討状況（検討している・していない）、特筆すべき取組等）：

- ⑤ 貴区（貴組合）が本研究会を通じて期待していること、これまでの議論において確認しておきたいことなどがあれば御教示ください。（任意）

自由記述：

<別紙：CO₂の利用技術の分類について>

※経済産業省 他の「カーボンリサイクル技術ロードマップ」を一部改変

※直接利用、化学品、燃料、鉱物に当てはまらないものは「その他」にしてください

大分類	中分類
直接利用	<ul style="list-style-type: none"> ■農業利用（回収したCO₂を植物の光合成を促進させるために供給） ■炭酸飲料（回収したCO₂を炭酸飲料原料として活用） ■ドライアイス（回収したCO₂をドライアイス原料として活用） ■溶接（回収したCO₂を溶接時のシールドガス（熔融金属の酸化防止）として活用） ■その他
化学品	<p>※回収したCO₂を各種反応によって化学品に変換して活用</p> <ul style="list-style-type: none"> ■機能性化学品（含酸素化合物）（水素が不要、限定的な用途） ■基礎化学品（オレフィン等）（水素が必要、プラスチック等汎用品として幅広く利用） ■その他
燃料	<p>※回収したCO₂を水素等と反応させることで燃料化し、化石燃料代替として活用</p> <ul style="list-style-type: none"> ■合成燃料（e-fuel）（ガソリン等の液体燃料代替として活用） ■持続可能な航空機燃料（SAF）（ジェット燃料代替として活用） ■合成メタン（都市ガス原料の天然ガス（メタン）の代替として活用） ■グリーンLPG（LPG代替として活用） ■その他
鉱物	<ul style="list-style-type: none"> ■コンクリート（回収したCO₂をコンクリート原料中のカルシウム源や骨材に吸収させて活用） ■セメント（回収したCO₂と廃コンクリート中のカルシウムから石灰石を生成してセメント原料に再利用） ■その他
その他	—

プラントメーカーへのヒアリング事項

一般廃棄物処理のカーボンニュートラル化に向けた貴社の取組の概要

- ・ 廃棄物分野のCN化のために重要と考えていること、それに向けた貴社の取組（※）を御教示ください。※焼却施設以外の処理技術やCO₂の利用技術もあれば、ぜひ御紹介ください。

清掃工場（焼却施設）を念頭においたCO₂分離・回収技術の概要と要件

- ・ 実装可能性が高いと考えるCO₂分離・回収技術の概要（原理・方式、可能な規模、プラント内導入位置、新設・後付け、分離回収効率（回収率・純度）、貴社特有の特徴など）について御教示ください。
- ・ 2030年以降に竣工する清掃工場におけるCO₂分離・回収装置の導入について、想定される影響や必要となる要件について、例えば、以下の観点で御教示ください。ここで、数値は現状比等の相対的なイメージで問題ありません。（追加で必要となる敷地面積、追加で必要となるコスト（CAPEX、OPEX）、排ガス処理・排水処理への影響、分離・回収に伴うエネルギー収支、導入可能時期の目安）

清掃工場におけるCCUSの実現に向けた課題

- ・ 特別区の清掃工場（貴社の納入されたプラント等）を念頭に、CCUSの実現に向けて想定されておられる主な課題（技術的課題、制度的課題、経済的課題等）を御説明ください。
- ・ 特別区内の清掃工場で回収したCO₂について、有望と考えておられる用途及び貴社での対応（CO₂引き受けなど）可能性を御教示ください。
- ・ CCUS実現のために、東京二十三区清掃一部事務組合及び特別区並びに国や東京都に期待される事項がありましたら御提案ください。

1.

(ア)

(イ)

2.

(ア)

(イ)

(ウ)

(エ)

3.

(ア)

(イ)

(ウ)

(エ)

(オ)

(カ)

(キ)

4.

(ア)

(イ)

(ウ)

おわりに

資料編

略語・用語集

用語	解説
CCS	Carbon dioxide Capture and Storageの略で、二酸化炭素の分離・回収・貯留のこと。
CCU	Carbon dioxide Capture and Utilizationの略で、二酸化炭素の分離・回収・利用のこと。
CCUS	CCSとCCUの両方を指す。二酸化炭素の分離・回収・利用・貯留のこと。
GI基金	グリーンイノベーション基金の略。経済と環境の好循環につなげるための日本の新たな成長戦略として、「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が策定され、企業の野心的な挑戦を後押しすべく、NEDOに創設された2兆円（当初）の基金。
CO ₂ 発生量	特別区の一般廃棄物の焼却に伴って生じるCO ₂ の量を指す。化石資源か生物資源かを区別しない。
CO ₂ 排出量	特別区の一般廃棄物の焼却に伴って生じるCO ₂ の量のうち地球温暖化対策推進法で定められる化石資源由来のCO ₂ の量を指す。
バイオマスプラスチック	原料として植物などの再生可能な有機資源を使用するプラスチックのことを指す。
カーボンプライシング	炭素に価格を付け、排出者の行動を変容させる政策手法。燃料・電気の利用（＝CO ₂ の排出）に対して、その量に応じた課税を行う「炭素税」や企業ごとに排出量の上限を決め、上限を超過する企業と下回る企業との間で「排出量」を売買する「国内排出量取引」をはじめ、「クレジット取引」、「国際機関による市場調整メカニズム」、「インターナル・カーボンプライシング」などがある。

1.

(ア)
(イ)

2.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)

3.

(ア)
(イ)
(ウ)
(エ)
(オ)
(カ)
(キ)

4.

(ア)
(イ)
(ウ)

おわりに

資料編

令和5年（2023）年度 特別区長会調査研究機構調査研究報告書一覧

テーマ名	提案区
帰宅困難者対策における初動対応体制の確立に向けた取組み	港
水素を中心としたクリーンエネルギーの利活用推進	大田
特別区における女性を取り巻く状況と自治体支援の方策	世田谷
複式簿記・発生主義会計に基づく財務書類の活用策	中野
少子化の傾向が顕著な特別区で有効な少子化対策	葛飾
特別区におけるCO ₂ の地産地消に向けて ～清掃工場のCO ₂ 分離・活用と23区の役割～	東京二十三区 清掃一部事務 組合

以上の6テーマをテーマ別の報告書（計6冊）にまとめて発行しています。
各報告書は、特別区長会調査研究機構ホームページで閲覧できます。

<https://www.tokyo23-kuchokai-kiko.jp/>

特別区長会調査研究機構

検索

CLICK!



令和5年度 調査研究報告書

特別区におけるCO₂の地産地消に向けて ～清掃工場のCO₂分離・活用と23区の役割～

令和6年3月発行

発行：特別区長会調査研究機構 事務局：公益財団法人特別区協議会

〒102-0072 東京都千代田区飯田橋 3-5-1 TEL：03-5210-9053 Fax：03-5210-9873

※本書の無断転載・複製は、著作権法上での例外を除き禁じられています。

印刷所：能登印刷株式会社



特別区長会調査研究機構

Kuchokai
Institute for Research and Study