

産業系廃プラスチックの LCA 評価

2022 年 10 月

海洋プラスチック問題対応協議会（JaIME）

受託：一般社団法人プラスチック循環利用協会

はじめに

2018年9月に設立された海洋プラスチック問題対応協議会（JaIME）ではその課題認識の一つとして、「プラスチック廃棄物流出の防止」を挙げている。プラスチックを河川に流出さないことが海洋プラスチック問題対処においてもっとも重要であり、そのために、グローバルで有効な対応は何か、その対応に対して化学産業としてどのような貢献が可能なのかを検討し、実行することとした。

2022年3月に国連環境会議で採択された海洋プラスチック問題を含む決議「プラスチック汚染の終焉：国際的に法的拘束力のある合意に向けて」においても、プラスチックの環境への流出を防止するための廃棄物管理とLCAによる評価の必要性に力点が置かれており、JaIMEでの活動方針と符合する内容が盛り込まれたことは特筆すべきであろう。JaIMEとしてプラスチック廃棄物流出の防止のために取り組んできた活動としては、以下の三点に集約される。

- 1) アジア新興国におけるプラスチック廃棄物管理・処理能力向上支援
- 2) 若年層を含む消費者の環境意識向上支援
- 3) プラスチック資源循環促進に資する環境負荷評価の実施

本事業は、3) プラスチック資源循環促進に資する環境負荷評価の実施に関する活動の一つとして行ったもので、2つのテーマについてワーキンググループを結成し、その成果を報告書にまとめた。

テーマⅠ 使用済みのプラスチック製容器包装（容リプラ）を投入原料とし、容リプラを有効利用した場合の環境負荷と、有効利用しなかった場合の環境負荷を、各種有効利用の手法ごとに算定し、その差分を環境負荷削減効果として評価し、調査報告書「プラスチック製容器包装再商品化手法およびエネルギーリカバリーの環境負荷評価（LCA）」を2019年3月に発信した。

テーマⅡ 産業廃棄物系のプラスチックを投入原料とし、ケミカルリサイクル（モノマー化等）などの新たなリサイクル技術に関して、その評価を実施し、環境負荷削減効果を比較し、調査報告書「産業系廃プラスチックのLCA評価」（本報告書）を2022年10月に発信した。

上記により、マテリアルリサイクル、ケミカルリサイクル、エネルギーリカバリーを含め各種プラスチック有効利用手法の選択に有用なデータを提供することができた。また、今後、開発が待たれる新しい手法とその評価方法についても課題提起を行い将来への布石とした。以下、テーマⅡ（本調査）において下記の①～④の内容を実施した。

- ① 2019年にJaIMEが実施した調査「プラスチック製容器包装再商品化手法およびエネルギーリカバリーの環境負荷評価（LCA）」（以下、JaIME調査）においては、容器包装リサイクル法の対象となるプラスチック（容リプラ）を対象に実施しており、産業系廃プラスチック（以下、産廃プラとする。）は対象とされていなかった。本調査において、2019年のJaIME調査に対して、産廃プラを対象としたリサイクル手法の評価を追加した。
- ② 新たに事業化が検討されている化学原料化を行うケミカルリサイクル（ナフサ化、モノマー化）は全体評価を行う上で重要性の高い手法である。ただし現時点では、実績データの入手が困難であることから、公表データ等を収集し、想定評価について検討を行った。しかしながら、本報告書内で整理している手法に比して、情報量が少ないこと、開発段階の手法も多いことから、LCA評価の実施は行っておらず、今後の課題として整理した。
- ③ 評価指標として、2019年のJaIME調査では“CO₂排出量削減効果”、“エネルギー資源消費削減効

果”のみを指標としたが、最近のサステイナブル社会を求める動きやサーキュラーエコノミーへの動きなどに配慮して、“資源消費削減効果”を示す指標を検討し、評価として加えることとした。また、ケミカルリサイクルにより廃プラスチックが再び化学原料として、プラスチック等として複数回生産される資源循環性の観点についても検討を行い、評価の在り方を整理した。

- ④ 世界的にゼロエミッション社会を目指して、国ごとの目標を見直す動きがある。今回の評価では、日本国のゼロエミッション社会実現に向けた政策等の動向を可能な範囲で算定に織り込むこととした。ただし、ゼロエミッション社会の全体像は未だ固まったものはないことから、算定における前提条件を可能な範囲で推測し、得られた結果をもとにして、ゼロエミッション社会におけるリサイクル手法と評価の在り方について限定的な範囲ではあるが整理を行った。

なお、本調査および評価結果の報告書の作成については、みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社に委託をした。本評価を進めるにあたり、ワーキンググループへご参加いただいた方々および LCA 算定に関するご助言や本調査に対するご理解をいただいた関係企業の方々に、深く感謝申し上げます。

2022年10月

海洋プラスチック問題対応協議会 (JaIME)
受託：一般社団法人 プラスチック循環利用協会

産業系廃プラスチックのLCA評価WG名簿

(期間:2021年11月~2022年7月)

(敬称略)

- 委員長 : 田原 聖隆 国立研究開発法人産業技術総合研究所
安全科学研究部門 IDEA ラボ長
- 副委員長 : 中谷 隼 国立大学法人東京大学 大学院工学系研究科 都市工学専攻 講師
- 委員 : 小西 章夫 一般社団法人日本化学工業協会 技術部 部長
- 委員 : 樋口 俊彦 一般社団法人日本化学工業協会 化学品管理部 部長
- 委員 : 清水 浩 日本プラスチック工業連盟 事務局長
- 委員 : 水谷 尚哉 石油化学工業協会 業務部長
- 委員 : 杉戸 豊 石油化学工業協会 業務部兼技術部 課長
- 委員 : 岩切 繁樹 塩ビ工業・環境協会 技術部 部長
- 調査委託 : 内田 裕之 みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社
サステナビリティコンサルティング第1部 上席主任コンサルタント
- 調査委託 : 森 史也 みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社
サステナビリティコンサルティング第2部 主任コンサルタント
- 調査委託 : 谷口 友莉 みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社
サステナビリティコンサルティング第1部 主任コンサルタント
- 事務局 : 神谷 達之 一般社団法人プラスチック循環利用協会 総合企画部 部長
- 事務局 : 中西 大悟 一般社団法人プラスチック循環利用協会 調査研究部 部長
- 事務局 : 深町 正人 一般社団法人プラスチック循環利用協会 調査研究部 部長
- 事務局 : 中橋 順一 (元 一般社団法人プラスチック循環利用協会) LCAアドバイザー

報告書要約

1 評価の目的

【目的①】産業系廃プラスチックのリサイクルによる環境負荷削減効果の検討

本評価は、産業系廃プラスチックを対象としたマテリアルリサイクル、ケミカルリサイクルおよびエネルギーリカバリーの環境負荷削減効果を客観的・定量的に評価することを目的とした。

具体的には、2019年3月に海洋プラスチック問題対応協議会（以下、JaIMEとする。）より公開された容器包装リサイクル法対象のプラスチック（容リプラ）の処理に関するLCA評価報告書「プラスチック製容器包装再商品化手法およびエネルギーリカバリーの環境負荷評価（LCA）」（以下、2019年報告書とする）を基として、これを産業系廃プラスチック（産廃プラ）の条件で実施した場合について、産廃プラスチック1kgあたりの処理手法ごとの環境負荷（CO₂排出量、エネルギー資源消費）の削減効果を算定した。産廃プラでは、使用済み製品解体処理時に単一組成のプラスチックとして得られるものを処理することも多く、リサイクル処理方法別に投入される産廃プラスチックの組成が異なっている実態があることから、手法別の単純な比較は目的とせず、各処理方法の環境負荷削減効果の把握を主な目的とした。なお、本調査では気候変動影響の評価にあたり温室効果ガス全般を対象として評価を行っているが、これを代表的な温室効果ガスであるCO₂排出量として表記する。

なお、評価対象とした手法は以下の通り、このうち△の手法は検討を行ったが、情報がまだ不足していることから、評価は実施していない。

リサイクル処理方法		リサイクル処理で 得られる生成物	産廃プラの評価対象			2019年 報告書 (容リプラ)	
区分	プロセス		資源消費量削減	エネルギー削減	CO ₂ 排出削減		
マテリアルリサイクル		再生プラスチック	○	○	○	○	
ケミカル リサイクル	油化	燃料	○	○	○	○	
		ナフサ (HiCOP)	○	○	○	○	
		スチレンモノマー	△	△	△		
	ガス化	ガス還元	水素→ アンモニア	○	○	○	○
		微生物発酵	エタノール→ エチレン	△	△	△	
	還元	高炉還元	銑鉄	○	○	○	○
化学反応	コークス炉	BTX等	○	○	○	○	
エネルギーリカバリー		RPF利用	RPF燃料	○	○	○	○
		セメント焼成	セメント	○	○	○	○
		発電焼却	電力	○	○	○	○

【目的②】カーボンニュートラル化のリサイクルによるCO₂排出量削減効果の検討

世界では、現在、社会全体のカーボンニュートラル化（CN化）に向けた様々な対応が進められつつある。廃プラスチックのリサイクルについては、足下においてリサイクルの実施がCO₂排出量の削減に貢献することを確認してきた。しかしながら、今後、社会のCN化が進んだ場合、削減の比較対象となるオリジナルシステム側の状況が変化することが想定され、リサイクルによるCO₂排出量削減の効果も変化していくことが想定される（例えば、電力の再生可能エネルギー化が進めば、発電焼却のCO₂排出量削減効果は少なくなることが想定される）。

そのため、本調査において、将来の社会変化を可能な範囲で整理し、これに基づくリサイクル処理手法のCO₂排出量削減効果について分析を行い、今後のプラスチックリサイクルの検討の方向性について整理を行った。

【目的③】新たな環境負荷削減に向けた評価モデルの検討

本評価では、リサイクル処理方法別の環境負荷削減効果に関する分析を実施しているが、WGにおける検討では、今後、リサイクル処理の適正な導入・実施を考える上で、社会全体の化石資源消費、CO₂排出量削減を見据え、資源循環性に着目した評価方法が必要という認識が得られた。そこで社会におけるセクター間の炭素資源の利活用を組み込んだ『カーボンバランスモデル』による定量評価について提案を作成した。

2 産業系廃プラスチックのリサイクルによる CO₂ 排出量削減効果の検討

(1) マテリアルリサイクルの評価（単一組成廃プラの処理）

マテリアルリサイクルでは、PE、PP、PS の単一組成廃プラの処理を評価した。いずれのプラスチックにおいてもリサイクルシステムの方がエネルギー消費、CO₂ 排出量の少ない結果となっている。単一組成の廃プラが収集される場合には、マテリアルリサイクルの実施が CO₂ 排出量の削減に向けて有効であることが示されている。

表1 マテリアルリサイクルの評価結果（単一組成プラスチックのリサイクル）

	エネルギー資源消費[MJ]			CO ₂ 排出[kg-CO ₂]		
	リサイクルシステム	オリジナルシステム	削減効果	リサイクルシステム	オリジナルシステム	削減効果
PE	5.03E+01	1.64E+02	1.14+02	3.41E+00	8.31E+00	4.89E+00
PP	4.82E+01	1.60E+02	1.12+02	3.41E+00	8.32E+00	4.90E+00
PS	4.45E+01	1.65E+02	1.21+02	3.66E+00	9.83E+00	6.18E+00

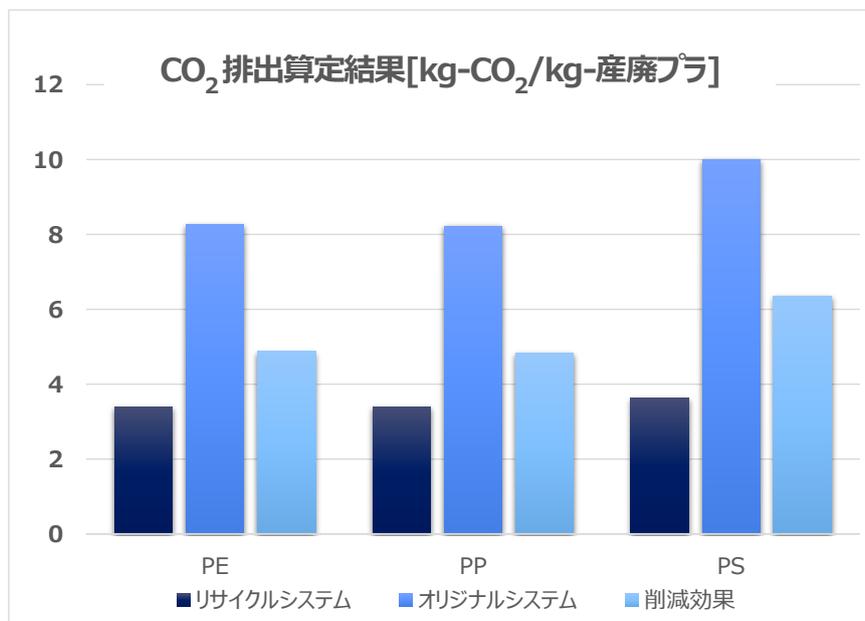


図1 マテリアルリサイクルの評価結果（CO₂ 排出量）

(2) ケミカルリサイクル／エネルギーリカバリーの評価（混合廃プラの処理）

①工業化されている手法

すでに工業化されているケミカルリサイクル／エネルギーリカバリーについては、いずれの処理方法においてもリサイクルシステムの方がエネルギー消費、CO₂ 排出量の少ない結果となり、リサイクルの実施がエネルギー消費、CO₂ 排出量の削減に向けて有効であることを示している。この中では発電焼却に比べ、ガス化、高炉還元、コークス炉還元、RPF 利用、セメント焼成で大きな CO₂ 排出量削減効果がみられる。

なお、混合廃プラについては、軽度な選別で受容されるケミカルリサイクルの利用が有利である。今

後、選別技術やモノマテリアル設計が進んだ場合であっても、混合廃プラや複合材料などのリサイクル需要は見込まれる。そのため、投入原料の許容範囲が比較的広いケミカルリサイクルは、現在も技術開発が行われており、プロセス改善やこれに伴う CO₂排出量の削減が期待される。

表2 工業化されているケミカルリサイクル/エネルギーリカバリーの評価結果
(混合プラスチックのリサイクル)

	エネルギー資源消費 [MJ]			CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]		
	リサイクルシステム	オリジナルシステム	削減効果	リサイクルシステム	オリジナルシステム	削減効果
ガス化 (アンモニア)	6.56E+01	1.21E+02	5.55+01	4.56E+00	6.24E+00	1.68E+00
高炉還元 (コークス代替)	1.32E+03	1.36E+03	3.26+01	1.20E+02	1.23E+02	2.99E+00
高炉還元 (微粉炭代替)	2.62E+02	2.87E+02	2.53+01	2.38E+01	2.61E+01	2.28E+00
コークス炉化学原料化	3.66E+01	8.51E+01	4.85+01	2.83E+00	6.10E+00	3.27E+00
RPF 利用	3.51E+01	6.96E+01	3.45+01	2.65E+00	5.83E+00	3.18E+00
セメント焼成	3.51E+01	7.03E+01	3.52+01	2.65E+00	5.90E+00	3.25E+00
発電焼却 (効率 14.05%)	3.57E+01	4.89E+01	1.32+01	2.70E+00	3.53E+00	8.36E-01
発電焼却 (効率 25%)	3.57E+01	5.92E+01	2.35+01	2.70E+00	4.15E+00	1.46E+00

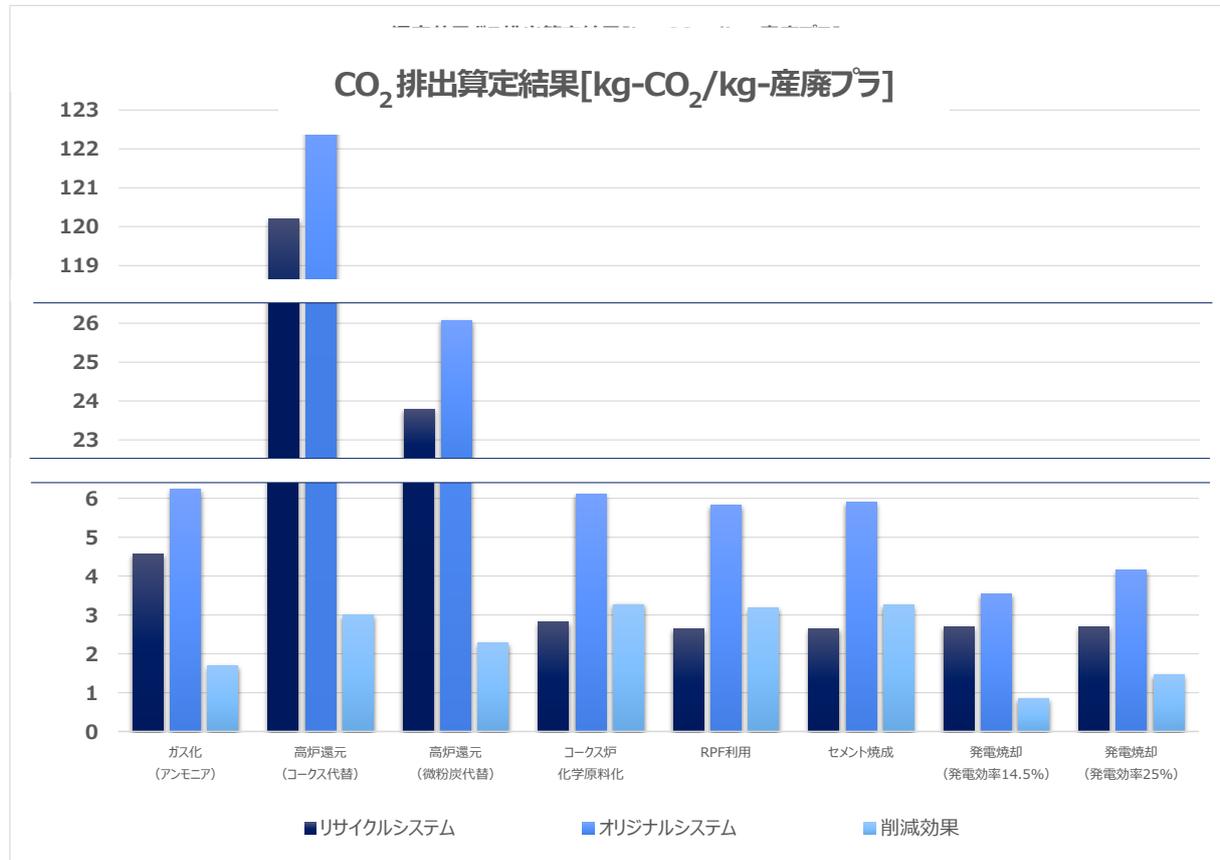


図2 混合廃プラのリサイクル処理方法 (工業化) の評価結果

②工業化前の手法

工業化に至っていないケミカルリサイクル（油化）については、工業化されているプロセスと現時点で比較することで誤解を招くおそれがあったため、工業化されている手法との比較を行わなかったが、これらの手法においても、社会全体のCO₂削減につながる事がわかる。

これらの手法は、今後、更なる技術開発によるCO₂削減量の増加が期待される。そのため、今後開発が進む手法について、化学原料化による資源循環への貢献とともに、CO₂削減への貢献を定量的に把握・確認し、より大きなCO₂排出量削減効果を実現することが技術普及への課題と考えられる。

表3 工業化されていないケミカルリサイクル（油化）の評価結果
(混合プラスチックのリサイクル)

	エネルギー資源消費[MJ]			CO ₂ 排出量[kg-CO ₂]		
	リサイクルシステム	オリジナルシステム	削減効果	リサイクルシステム	オリジナルシステム	削減効果
油化（燃料化）	3.00E+01	5.00E+01	2.00+01	2.29E+00	3.78E+00	1.50E+00
油化（HiCOP）	3.61E+01	7.31E+01	3.69+01	2.65E+00	5.33E+00	2.68E+00

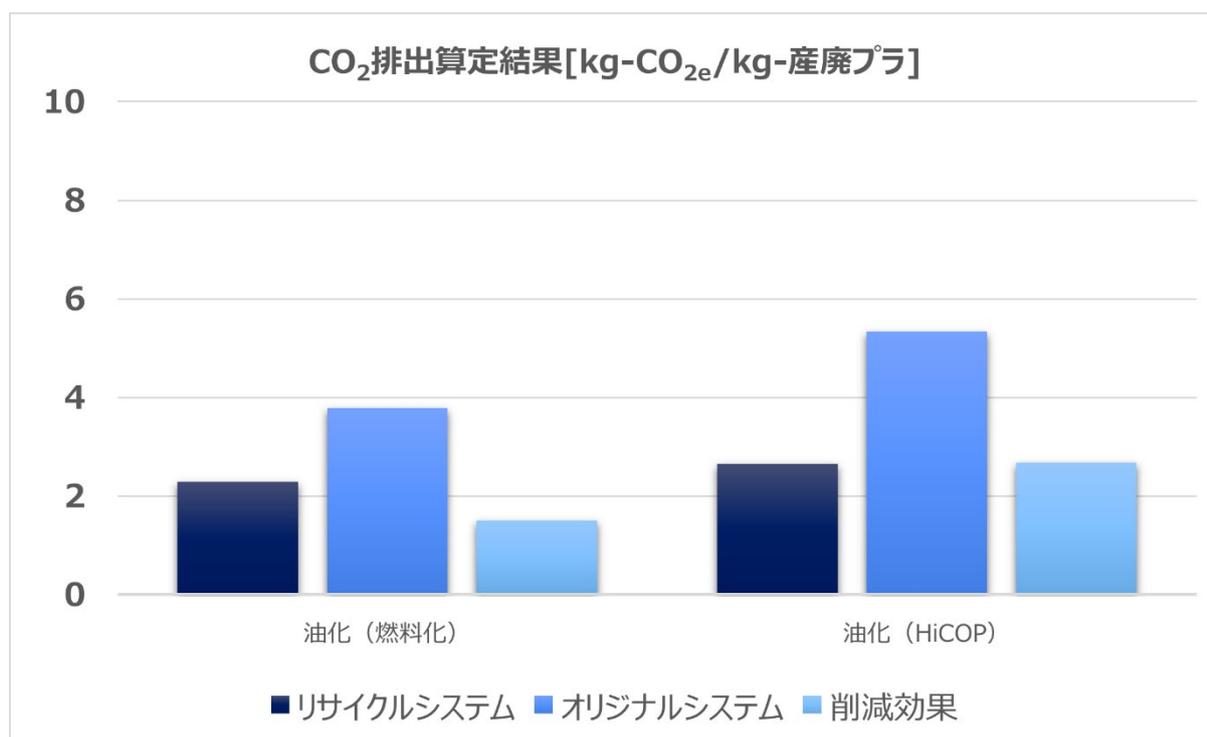


図3 混合廃プラのリサイクル処理方法（工業化前）の評価結果

3 カーボンニュートラル化のリサイクルによるCO₂排出量削減効果の検討

(1) 分析内容

本調査において、将来の社会変化を可能な範囲で整理し、これに基づくリサイクル処理手法のCO₂排出量削減効果について分析を行い、今後の影響について検討を行った。主な評価内容は以下の通り。

- ✓ エネルギー源の再生可能エネルギー化が進んだ場合について評価（エネルギーのCO₂排出原単位を現在の10%とした場合の評価）
- ✓ マテリアルリサイクルに影響を及ぼすであろうバイオマス資源の評価については、文献・研究レベルの評価が多い状況のため、定量的な分析は実施せず、定性的な示唆に留めた

(2) 分析結果

①ケミカルリサイクル/エネルギーリカバリーへの影響

電力再エネ化、化石原燃料利用の削減が進んだ場合、エネルギーリカバリー、ケミカルリサイクル（高炉還元）では、オリジナルシステムと排出量がほぼ変わらず、CO₂削減という側面からは単純焼却に近く、社会のCO₂削減への貢献は大幅に縮小する。高炉還元やコークス炉化学原料化ではCN化に向けて石炭の使用量が減少する場合、水素還元などの手法の導入が考えられるため、廃プラスチックの利用先としての候補では無くなるという影響も想定される。

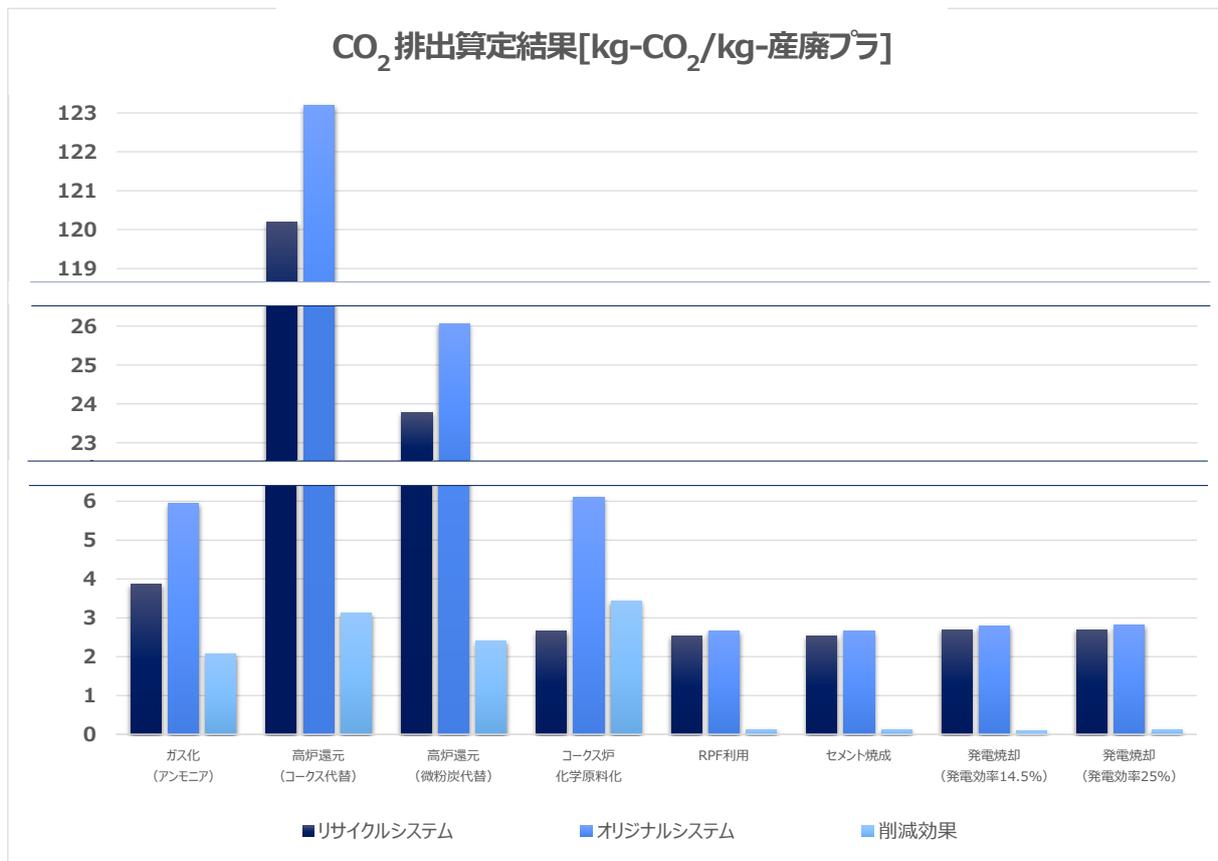


図4 カーボンニュートラル化した社会でのCO₂排出量削減効果について（今回の条件下での推定）

②マテリアルリサイクルへの影響

マテリアルリサイクルについては、原料のバイオマス化が進むことによる影響が考えられる。原料のバイオマス化に関する評価は未だ途上であるが、一部の研究成果はすでに存在する。研究文献におけるバイオマスプラスチック（サトウキビ由来 PE）製造時の排出量では、サトウキビ生育時の CO₂ 固定・吸収の効果により、化石資源由来のプラスチック（PE）に比べて、3.3~3.8kg 程度の CO₂ 排出量が低減することが示されている。他方、本調査で得られたマテリアルリサイクル（PE）による CO₂ 排出量削減効果は、大よそ 4.9kg-CO₂ 程度であるから、バイオマスプラスチックをオリジナルシステムとした場合、CO₂ 排出量削減効果が 1.2~1.7kg-CO₂ と大幅に減少するものの、一定程度の削減量が残る。

ただし、CN 化する社会の中では、バイオマスプラスチックの CO₂ 排出量は更に低減していくことも考えられる。そのため、上記の CO₂ 排出量削減効果は CN 化した社会におけるマテリアルリサイクルの優位性を示すものではない。マテリアルリサイクルとバイオマス資源利用については、それぞれの CO₂ 排出量を今後も分析し、マテリアルリサイクルによる有効利用の効果を考えていくことが重要である。

（3）CN 化する社会におけるリサイクルに関する評価・検討の方向性

CN 化する社会の構造はまだ不透明ではあるが、再生可能エネルギー、バイオマス材料の普及に伴い、プラスチックリサイクルがもたらす CO₂ 排出量削減の効果はいずれの手法であっても、その効果が少なくなっていくことは本評価から予測される。

一方、再生可能エネルギーやバイオマス材料の普及量や普及の可能性については、未だ不透明であり、また、バイオマスプラスチックであったとしても使用後の有効利用は不可欠と考えられることから、現時点では以下の整理とした。

【今後のリサイクルに関する評価・検討の方向性】

- ①使用済みプラスチックの有効利用促進は、カーボンニュートラル化した社会でも必要。
- ②その利用先は、再エネ化、バイオマス材料でカバー出来ない分野が特に求められる。
- ③従って、今後、必要とされる事項は以下の通り。
 1. 想定される利用先における再エネ化、バイオマス材料の普及動向の定期的な把握
 2. 有効利用の可能性を拡大するためのリサイクル手法の開発促進
 3. 各リサイクル手法のプロセスにおける環境影響の把握・情報開示

5 全体まとめ

(1) 産業系廃プラスチックのリサイクルによる CO₂ 排出量削減効果について

- ✓ 今回評価対象としたリサイクル評価手法について、足下においてはいずれも CO₂ 排出量削減効果を得られることが確認された。
- ✓ マテリアルリサイクルは単一組成の廃プラに限定されるが、一定の CO₂ 排出量削減効果が得られることから、単一組成の廃プラにおいてはマテリアルリサイクルが有効と考えられる。
- ✓ 混合廃プラについては、軽度な選別が許容されるケミカルリサイクルの利用が有利である。今後、選別技術やモノマテリアル設計が進んだ場合であっても、混合廃プラや複合材料などのリサイクル需要は見込まれるため、投入原料の許容範囲が比較的広いケミカルリサイクルについて、技術開発プロセス改善やこれに伴う CO₂ 排出量の削減が期待される。

(2) カーボンニュートラル化による CO₂ 排出量削減効果への影響について

- ✓ 再エネ化、化石原燃料利用の削減が進んだ場合、現状のエネルギーリカバリー、ケミカルリサイクルでは、社会への CO₂ 排出量削減への貢献は大幅に縮小することが予測される。
- ✓ 高炉還元やコークス炉化学原料化では CN 化に向けて水素還元などの手法の導入が考えられるため、廃プラスチックの利用先の候補では無くなるという影響も想定される。
- ✓ マテリアルリサイクルやモノマー化についても、原料のバイオマス化が進むことによる影響が考えられる。CN 化する社会の中では、バイオマスプラスチックの CO₂ 排出量の更なる低減も考えられるため、マテリアルリサイクルやモノマー化とバイオマス資源利用について、それぞれの CO₂ 排出量を今後も分析し、リサイクルの効果を考える必要がある。
- ✓ 再生可能エネルギーやバイオマス材料の普及量や普及の可能性は、未だ不透明であり、また、バイオマスプラスチックであったとしても使用後の有効利用は不可欠と考えられる。今後、リサイクルの促進・評価については、以下の3点が重要と考えられる。

- ① 利用先における再エネ化、バイオマス材料普及動向の定期的な把握（CN 化へ貢献する有効な利用先の把握）
- ② 有効利用可能な利用先を拡大するための更なるリサイクル手法の開発促進（モノマー化などによるリサイクル需要拡大など）
- ③ 各リサイクル手法のプロセスにおける環境影響の把握・情報開示（CN 化に貢献する技術であるかの確認）

(3) カーボンバランスモデルによる評価について

- ✓ 今後の循環型社会形成及びゼロエミッション社会に向けた化学産業の活動として、使用済みプラスチックのモノマー化、ナフサ化などの新技術によるプラント建設などが計画されつつある中、化学産業界として、炭素資源の循環型システム構築の完成度の評価及びシステム構成の変化のシミュレーション評価ができるようにしておく必要がある。

- ✓ 本調査では、今回のリサイクル処理手法毎の評価を踏まえ、複数のリサイクル処理手法の組み合わせによる、社会全体への化石資源投入量の最小化を分析することを目的としたモデルを検討した。
- ✓ 今後は、①本モデルの中に具体的な数値を組み込んでいく（本調査の成果も活用）、②数値を組み込むことでモデル自体のブラッシュアップを図る、③モデルを用いたより適切な化石資源投入量の分析の実施、へと進むことが考えられる。

目 次

1. 評価の目的	1
2. 評価・検討の対象	2
3. システム境界及び機能単位の設定	6
3.1 システム境界と機能単位の全体的な考え方	6
3.1.1 システム境界の考え方	6
3.1.2 機能単位の考え方	6
3.2 各リサイクル処理手法におけるシステム境界と機能単位（産廃プラ）	7
3.2.1 マテリアルリサイクル（単一組成プラスチックの処理）	7
3.2.2 ケミカルリサイクル：油化（混合プラスチックの処理）	9
3.2.3 ケミカルリサイクル：ガス化（混合プラスチックの処理）	11
3.2.4 ケミカルリサイクル：高炉還元（混合プラスチックの処理）	13
3.2.5 ケミカルリサイクル：コークス炉化学原料化（混合プラスチックの処理）	16
3.2.6 エネルギーリカバリー：RPF利用（混合プラスチックの処理）	19
3.2.7 エネルギーリカバリー：セメント焼成（混合プラスチックの処理）	20
3.2.8 エネルギーリカバリー：発電焼却（混合プラスチックの処理）	21
3.3 その他全体的な考え方について（産廃プラ）	23
3.3.1 残渣処理の取扱いについて	23
3.3.2 収集・運搬の考え方	23
4. その他の評価範囲及び評価手法の検討	24
4.1 評価対象とした環境影響領域	24
4.1.1 気候変動／エネルギー消費	24
4.1.2 資源消費	24
4.2 評価に用いたデータベース	24
4.3 複数回循環の効果について	24
5. 評価の前提条件	25
5.1 使用済みプラの成分割合	25
5.1.1 産廃プラの成分割合	25
5.1.2 容リプラの成分割合	28
5.2 CO ₂ 排出量の設定	28
5.2.1 各プラスチックのCO ₂ 排出量	28
5.2.2 産廃プラを燃焼した場合のCO ₂ 排出量	29
6. 各処理手法のインベントリデータ	38
6.1 マテリアルリサイクル（単一組成廃プラの処理）	38
6.2 ケミカルリサイクル（混合廃プラの処理）	46
6.2.1 油化（燃料化）	46
6.2.2 油化（HiCOP方式）	50

6.2.3 ガス化（化学原料化）	52
6.2.4 高炉還元（コークス代替）	57
6.2.5 高炉還元（微粉炭代替）	62
6.2.6 コークス炉化学原料化	65
6.3 エネルギーリカバリー（混合廃プラの処理）	69
6.3.1 RPF利用.....	69
6.3.2 セメント焼成.....	72
6.3.3 発電焼却.....	75
6.4 ケミカルリサイクル／エネルギーリカバリー（工業化）	79
6.5 ケミカルリサイクル（工業化前）	80
7. カーボンニュートラル化した社会に関する影響の分析.....	82
7.1 影響分析の考え方	82
7.2 分析結果	83
8. カーボンバランスモデルによる評価の考え方	86
9. 容リプラに関する評価の改訂（参考情報）	88

1. 評価の目的

(1) 目的および具体的取組み

本評価は、産業系廃プラスチックを対象としたマテリアルリサイクル、ケミカルリサイクルおよびエネルギーリカバリーの環境負荷削減効果を客観的・定量的に評価することを目的とした。なお、本報告書ではマテリアルリサイクル、ケミカルリサイクルとエネルギーリカバリーをまとめてリサイクル処理手法と呼ぶこととする。具体的には、2019年3月に海洋プラスチック問題対応協議会（以下、JaIMEとする。）より公開された容器包装リサイクル法対象のプラスチック（容リプラ）の処理に関するLCA評価報告書「プラスチック製容器包装再商品化手法およびエネルギーリカバリーの環境負荷評価（LCA）」（以下、2019年報告書とする）を基として、これを産業系廃プラスチック（産廃プラ）の条件で実施した場合について、廃プラスチック1kgあたりの処理手法ごとの環境負荷（CO₂排出量、エネルギー資源消費）の削減効果を算定した。

なお、2019年報告書ではリサイクル処理方法別の環境負荷削減効果の比較を実施したが、本評価では手法別の単純な比較は目的としていない。容リプラでは、各リサイクル処理手法へ投入される容リプラの組成は基本的には変わらないため、同じ組成のプラスチックを投入することを前提として評価を行うことが出来、機能単位を揃えることが可能であった。これに対して産廃プラでは、使用済み製品解体処理時に単一組成のプラスチックとして得られるものを処理することがほとんどである。このようにリサイクル処理方法別に投入される廃プラスチックの組成が異なっている実態があるため、容リプラと同様にリサイクル処理方法別にサービスや機能単位（投入されるプラスチックの組成）を同一にすることが出来ないことから、単純な比較は行わないこととした。

また、2019年報告書の公開以降、国内のLCA評価用データベースについて更新が行われていることから、産廃プラの処理に関する評価を行うにあたり、最新のデータベースの反映を行った。あわせて、2019年報告書の容リプラの結果についても、産廃プラと同様にデータベースの更新に伴う再計算を行った。この結果も本報告書内に示す。

(2) 公開対象範囲

本検討の結果は広く一般に公開する。

(3) 環境負荷削減効果の算定方法

各処理方法における環境負荷削減効果の算定手法については、2019年報告書と同じく製品バスケツト法を用いた。基本的には用語の使い方を除けば、2019年報告書の考え方を踏襲したものである。検討にあたっては、リサイクル処理によって得られた製品とバージン材等による既製品の代替性確保＝「機能単位の統一」を実施した。なお、リサイクル処理によって得られた製品、代替製品、統一する機能単位については2019年報告書に基づいて整理した。産廃プラについては、使用済みのプラスチックにリサイクル処理を行い、そこから再生品を得る一連のシステムを本調査では「リサイクルシステム」と呼ぶ。一方、リサイクル処理により得られる再生品が代替していると考えられる既製品を「オリジナル製品」とし、これを製造する一連の流れを「オリジナルシステム」とした。その上で、各処理手法でのリサイクルシステムとオリジナルシステムの環境負荷の差異から環境負荷削減効果を算定した。

2. 評価・検討の対象

(1) 処理対象物

【産廃プラ】

日本平均の産廃プラ組成を想定した。なお、マテリアルリサイクルに関しては単一組成、そのほかのリサイクルに関しては数種類のプラスチックが混合した混合産廃プラを対象とした。

※ 産廃プラ

本報告書では、産廃プラ、再資源化製品という表現を採用した。本報告書において「産廃プラ」は、使用済みの製品から解体・選別された後に発生するプラスチックを指している。

マテリアルリサイクル及び油化のスチレンモノマー化についてはこの時点で単一組成のプラスチックとした。その他のリサイクル処理手法については、産廃プラの時点で混合プラスチックとした。

※ 再資源化製品

本報告書では「再資源化製品」は産廃プラをリサイクル処理プロセスへ投入するにあたり前処理として産廃プラの選別を行い、リサイクル処理プロセスへ投入することの出来る状態にしたものと定義する。リサイクル処理方法によって、再資源化製品の組成は異なる。マテリアルリサイクル、油化のスチレンモノマー化については産廃プラの時点で単一組成のため再資源化製品は同じ（選別はしない）になる。エネルギーリカバリーの発電焼却・熱利用については産廃プラ時点の混合プラスチックをそのまま処理するため、再資源化製品も同じ組成とする（選別は実施しない）。その他のリサイクル手法については選別により産廃プラからポリ塩化ビニル樹脂の除去などを考慮している。なお、容リプラでは、「再商品化製品」という表現が一般に用いられており、2019年報告書でも採用されている。本報告書においても容リプラの評価に関するデータベース更新においては「再商品化製品」の表現を踏襲している。

(2) 対象処理手法

a) 2019年報告書の対象手法（容リプラの対象手法：参考）

2019年報告書では、当時の状況を踏まえて、対象となるリサイクルの評価手法を選定している。容リプラにおいては、マテリアルリサイクル（パレット、再生樹脂）、ケミカルリサイクル（油化、ガス化、高炉還元、コークス炉化学原料化）、エネルギーリカバリー（RPF利用、セメント焼成、発電焼却）を対象としている。

このうち、マテリアルリサイクルについては、2017年度の容リプラマテリアルリサイクルの用途別割合から、パレット、再生樹脂を選定していた。2017年度と最新の2020年度のマテリアルリサイクルの用途別割合は次ページの通りである。このように、再生樹脂とパレットの割合が逆転している傾向にはあるが、いずれにしてもこの2つの用途でマテリアルリサイクル全体の70%以上を占めている状況は変わらないため、本調査においても容リプラの更新については、同じ手法を用いることとした。

ケミカルリサイクルについては、高炉還元、コークス炉化学原料化、ガス化は2019年報告書で対象としていた2017年度実績と最新の2020年度実績で処理量として変わらず実施されてお

り、依然として代表的な手法と言える。他方、油化については、2019 年報告書当時と変わらず、2020 年度時点でも販売実績がない状況である。ただし、容リプラの処理手法の一つとして油化は残っていることから、本調査においても油化の評価は実施した。ただし、油化は 2019 年報告書において札幌のプラントの事例を基にした評価が行われている。寒冷地であるため、エネルギー損失が大きく評価されるため、仮に温暖な地域にプラント建設すれば、効率は上昇する可能性があるため、評価結果の解釈について注意が必要である。

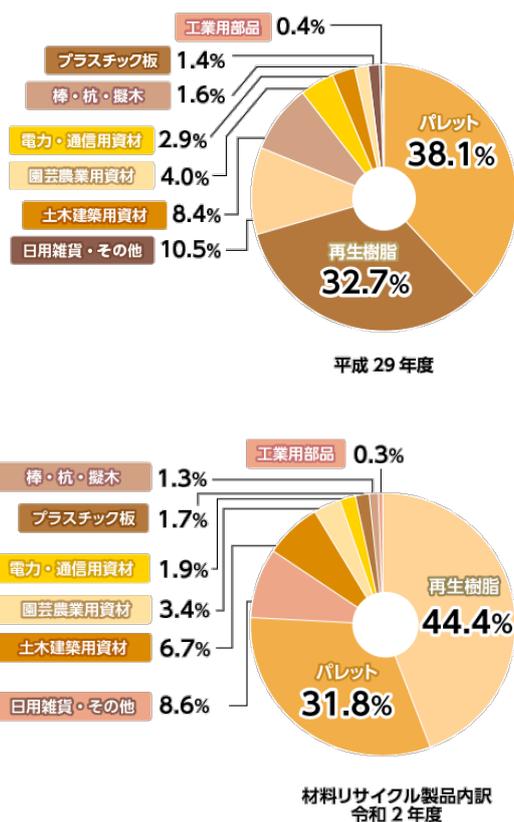


図 2-1 マテリアルリサイクルの再商品化製品の用途別割合
(出典：日本容器包装リサイクル協会 Web サイト)

エネルギーリカバリーは 2020 年度の手法別割合においても、2019 年報告書で対象としていた 2017 年度より大きな違いはなく、熱利用焼却 55 万 t (一般廃棄物 19 万 t、産業廃棄物 36 万 t)、発電焼却 252 万 t (一般廃棄物 205 万 t、産業廃棄物 46 万 t)、RPF・セメント焼成 187 万 t (一般廃棄物 29 万 t、産業廃棄物 158 万 t) であり、処理量全体に占める割合は熱利用焼却が 7% (2017 年度 8%)、発電焼却 31% (2017 年度 32%)、RPF・セメント焼成 23% (2017 年度 18%) と大きな差異は無いことから、同様の手法について評価を実施した (数字はいずれも、一般社団法人プラスチック循環利用協会「プラスチック製品の廃棄・再資源化・処理処分の状況 マテリアルフロー」(2020 年、2017 年) を参照)。

b) 産廃プラの対象処理方法

産廃プラの処理方法は、一般社団法人プラスチック循環利用協会「プラスチック製品の廃棄・再資源化・処理処分の状況 マテリアルフロー」(2020年)によると、再生利用 106 万 t、高炉還元・コークス炉化学原料化・ガス化(化学原料利用)・油化 1 万 t、RPF/セメント焼成 158 万 t、発電焼却 46 万 t、熱利用焼却 36 万 t であり、割合の差はあるものの、容リプラと同様のリサイクル手法が行われている。従って、評価の対象とした手法については、容リプラの対象方法と同じとしている。

マテリアルリサイクルに関しては、現在の処理実態を反映し、使用済み製品から単一組成のプラスチック(PE、PP、PS)を回収・処理し、再生樹脂を製造するプロセスとして評価を実施した。ただし、今後は混合産廃プラの中から単一組成のプラスチックを選別するようなプロセスについても検討が行われていることから、このような選別/再生プロセスについても検討が進んだ段階で評価を行うことが課題となる。

c) 産廃プラの対象処理方法(工業化前の手法)

ケミカルリサイクルに関しては、現在、複数の手法で、新たに化学原料へ再生する手法が開発されている状況である。本調査では、これらの手法についても、現状を整理して、評価の対象として加えることが出来ないかを検討した。

このうち、油化に関してはナフサ化を行うプロセスについて、実証の報告書を得られたことから今回新たに評価を実施した。その他の手法(微生物発酵-ガス化、スチレンモノマー製造)については評価した結果の詳細は開示されていない状況であるとの認識から、本調査の中では評価に加えないこととした。

また、これらの手法は同じ混合プラスチックのケミカルリサイクルであっても、ガス化や高炉還元などのような工業化されているプロセスと異なり、その環境負荷排出量はまだ不確定な部分が多いことから、現時点で他のケミカルリサイクル・エネルギーリカバリーとの比較は行わないこととした。今後、この手法が工業化・普及した際に、必要に応じて、改めてデータを収集し、そのリサイクル処理手法の有効性を考えていくための比較が必要と考えられる。

d) 対象リサイクル手法のまとめ

以上より、産廃プラに関する評価手法については、下記に示す方法(区分・プロセス)を対象とした。このうち、△となっている油化熱分解のスチレンモノマーへの再生、ガス化微生物発酵については検討を行ったが、現時点では評価するための十分なデータが得られなかったため、定量評価は実施していない。

表 2-1 産廃プラにおける本調査の対象リサイクル処理手法

リサイクル処理方法		リサイクル処理で 得られる生成物	産廃プラの評価対象			2019年 報告書 (容リプラ)	
区 分	プロセス		資源消費量削減	エネルギー削減	CO ₂ 排出削減		
マテリアルリサイクル	再生	再生プラスチック	○	○	○	○	
ケミカル リサイクル	油化	燃料	○	○	○	○	
		熱分解	ナフサ (HICOP)	○	○	○	○
			スチレンモノマー	△	△	△	
			ガス還元	水素→ アンモニア	○	○	○
	ガス化	微生物発酵	エタノール→ エチレン	△	△	△	
		還元	高炉還元	銑鉄	○	○	○
	化学反応	コークス炉	BTX等	○	○	○	○
エネルギーリカバリー	RPF利用	RPF燃料	○	○	○	○	
	セメント焼成	セメント	○	○	○	○	
	発電焼却	電力	○	○	○	○	

- ※ ○は評価を実施したリサイクル処理方法、△は検討を行ったが、本評価では対象としなかったリサイクル処理方法をさす。
- ※ 産廃プラでは混合プラスチックの処理を行っているが、マテリアルリサイクルと油化のスチレンモノマーについては単一組成のプラスチックの処理が実態であることから、マテリアルリサイクルでは単一プラを用いた評価を実施、油化のスチレンモノマーは単一組成のプラスチックの処理を前提とした技術について検討を行った（油化のスチレンモノマーの評価は実施していない）。
- ※ 容リプラではマテリアルリサイクルについて実態に基づき、再生プラスチックだけでなく、リターナブルパレットについて評価を実施している。

3. システム境界及び機能単位の設定

3.1 システム境界と機能単位の全体的な考え方

3.1.1 システム境界の考え方

容リプラに関する 2019 年報告書では、自治体が行う可燃ゴミの発電焼却と容リプラの再商品化手法の環境負荷等の比較を実施することを目的としていたため、システム境界として、容リプラの排出される時点システム境界の始点とし、再商品化製品の廃棄を終点とした。本調査においても容リプラのデータ更新に関しては、同様の範囲を対象とした。

産廃プラに関しても、基本的には産廃プラの排出される時点システム境界の始点とした。具体的にはプラスチックを含有する使用済み製品から解体及び選別が行われ、リサイクル処理に提供されるプラスチックとなった時点を開始とし、使用済み製品の輸送や解体・選別のプロセスは含めていない。これはプラスチックを含有する製品が多様であり、一定の評価が困難であること、多くの使用済み製品は廃棄処理時に解体・選別のプロセスが行われると考えたためである。

なお、産廃プラでは、その排出時の組成は、排出元により異なるものの、リサイクル処理される時点（図 3-1 の産廃プラ）で、プラスチックの比率の高い組成となっていることが多いと考えられることから、容リプラのような金属などが混入した状態ではないものを産廃プラと定義し、これをリサイクル処理するプロセスについて評価を実施した。

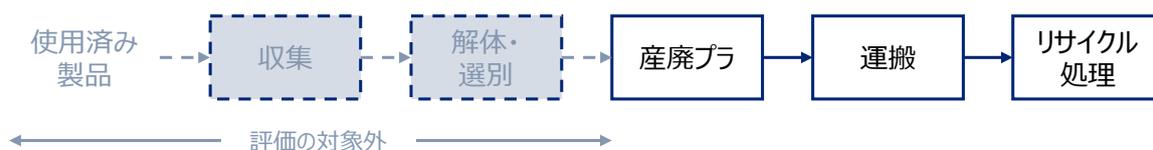


図 3-1 産廃プラのリサイクル処理に関する評価範囲



図 3-2 容リプラ（2019年報告書）のリサイクル処理に関する評価範囲（参考）

3.1.2 機能単位の考え方

本評価では、各リサイクル手法において、リサイクルシステム（排出されるプラスチックをリサイクルする場合）とオリジナルシステム（排出されるプラスチックを廃棄（焼却）し、新しい製品を製造する場合）の比較により、リサイクルシステムの採用によるオリジナルシステムからの環境負荷削減効果の算定を行った。そのためには、リサイクルシステムとオリジナルシステムの間で機能単位（各システムが提供する機能・サービス）を同一とした評価が不可欠である。

本報告書では、リサイクルシステム／オリジナルシステムの機能を「廃棄・リサイクルによるプラスチックの処理」と「製品の提供（リサイクルすると製品が出来るため）」として、表 3-1 のように機能単位（基準フロー）を整理した。

表 3-1 本報告書における機能単位

機能	機能単位の設定
① 廃プラスチックの処理	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 産廃プラ 1kg の処理 ✓ オリジナルシステムでは廃プラスチックは焼却されると想定 (容リプラのデータベース更新では、容リプラ 1kg の処理)
② 製品の提供	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 産廃プラ 1kg をリサイクル処理した際に得られる製品等の量 ✓ 得られた製品の利用特性から実用単位を機能単位とする ✓ 得られた製品の品質の差異を考慮

上記の通り、使用済み製品から排出される廃プラ 1 kg を機能単位（基準フロー）と設定した。また、オリジナルシステムとリサイクルシステムについては利用製品の特性を考え、各々の実用単位を機能単位とし統一した。

3.2 各リサイクル処理手法におけるシステム境界と機能単位（産廃プラ）

3.2.1 マテリアルリサイクル（単一組成プラスチックの処理）

（1）システム境界

産廃プラのマテリアルリサイクルに関しては、単一組成のプラスチック（PE, PP, PS を対象）として再生プラスチックの原料までのリサイクルを想定した。2019 年報告書の容リプラの評価では、リサイクル処理によって得られる再生プラスチックは、一般には混合組成であることが多いため、品質が低く、バージン並みに品質の高い産廃プラと混練することで品質を高めた製品として評価が行われた（得られた製品はオリジナルシステムの製品と混合あるいは単独で最終製品の原料として用いられる）。産廃プラでは、使用済みの製品からバージンのプラスチックと同等の品質のプラスチック（単一組成のプラスチック材料）が入手されることを前提に、これの処理を行うことを想定した。

得られた再生プラスチックは、バージンのプラスチックと同様に最終製品に使用されるものとして、製造後はオリジナルシステムと同様に最終製品化後、使用され、廃棄するまでを検討した。

（2）オリジナルシステム

バージン樹脂をオリジナルとし、PE、PP、PS の 3 種を対象とした。

2019 年報告書における容リプラの評価では再生樹脂（コンパウンド）を利用する場合、製品強度不足を補うために最終製品の重量を増した対応、新規樹脂と混合して最終製品を製造するなど、必ずしも新規樹脂と同等に扱われていないという実態を考慮し、オリジナル製品（新規樹脂）と置き換えられる量を代替率として考慮した。産廃プラは、実態としてバージンに近い品質のプラスチックを収集していると考えられることから、本評価では代替率を 100%（1kg の再生プラスチックと 1kg のバージンプラスチックが同じ機能を果たす）として実施した。

今後、使用済み製品からの解体・選別の技術が向上し、より多くの産廃プラがマテリアルリサイクルされる場合、その品質を考慮することは重要であり、今後の評価手法上の課題となる。

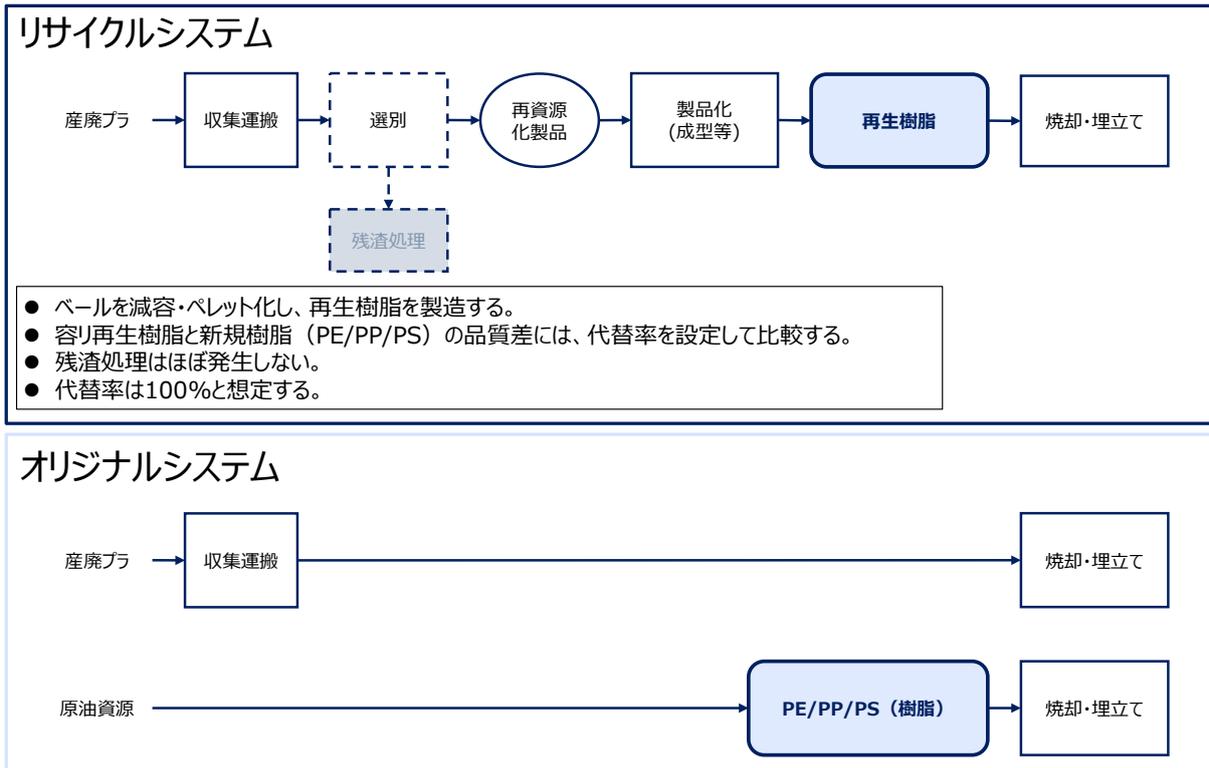


図 3-3 産廃プラの材料リサイクルのシステム境界

(3) 機能単位の設定

産廃プラの材料リサイクルについては、単一組成のプラスチックをリサイクル処理の対象としており、機能単位も単一組成のプラスチック 1kg の処理と、リサイクル処理により得られる再生プラスチックの量（ここでは再生プラスチック 1kg が出来るものと想定）とした。前記の通り、リサイクルにより同品質のプラスチックが得られるものと想定をしていることから、オリジナルシステムにおいてはバージンのプラスチック 1kg を製造するプロセスを考慮した。

表 3-2 材料リサイクル（産廃プラ）における機能単位

機能	機能単位の設定
廃プラスチックの処理	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 産廃プラ 1kg の処理（単一組成） ✓ オリジナルシステムでは廃プラスチックは焼却されると想定
製品の提供	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 製品プラスチック 1kg の提供 （材料リサイクルにより 1kg のプラスチックが得られると整理） ✓ オリジナルシステムではバージンのプラスチック 1kg を製造・提供

3.2.2 ケミカルリサイクル：油化（混合プラスチックの処理）

（1）システム境界

- ・ 油化においては、2019 年報告書において対象とした手法に加え、2020 年度の環境省事業「脱炭素化を支えるプラスチック等資源循環システム構築実証事業」で実施された「廃プラスチックの油化プロセスに関する LCA 分析」（2021 年 2 月）の情報をもとに評価を実施した（HiCOP 方式の評価）。
- ・ 2019 年報告書では、リサイクル処理により得られる生成油が軽質油、中質油、重質油に分かれており、得られた生成油は燃料として利用されている。本報告書においては 2019 年報告書の手法により得られる製品を「燃料」として扱った。
- ・ 2020 年度の「廃プラスチックの油化プロセスに関する LCA 分析」で対象となっている油化の手法（HiCOP 方式）においても混合油が生成される。事業者へのヒアリングでは、得られる混合油はナフサ相当として石油精製・石油化学の原料としての利用が可能であるということから、ナフサとしての利用として扱った。なお、「廃プラスチックの油化プロセスに関する LCA 分析」で扱われている技術は工業化まで至っていないものであることから、他のリサイクル手法とは区別し、工業化前の手法として扱った。

表 3-3 油化に関する評価ケース

評価ケース	リサイクルにより得られる製品	評価範囲	結果の取扱い
2019 年報告書に基づく評価	燃料他	燃料燃焼まで 塩素は製造まで	工業化されている製品として他の混合プラスチック処理の手法と比較
「廃プラスチックの油化プロセスに関する LCA 分析」に基づく評価 (HiCOP 方式)	ナフサ	ナフサ燃焼まで	工業化前の手法として比較はせず、切り分けて結果を整理

（2）オリジナルシステム

- ・ 2019 年報告書では、リサイクル処理により得られる生成油が軽質油、中質油、重質油に分かれており、それぞれナフサ、A 重油、C 重油に相当するものとして扱っている。本評価においてもオリジナルシステムは、代替している製品（A 重油、C 重油等）を生成油の代替品とし、その利用（燃焼）・廃棄するまでを検討した。
- ・ 2020 年度の「廃プラスチックの油化プロセスに関する LCA 分析」で対象となっている油化の手法（HiCOP 方式）については、ナフサ燃焼までを評価対象とした。

【ケミカルリサイクル（油化：燃料）】

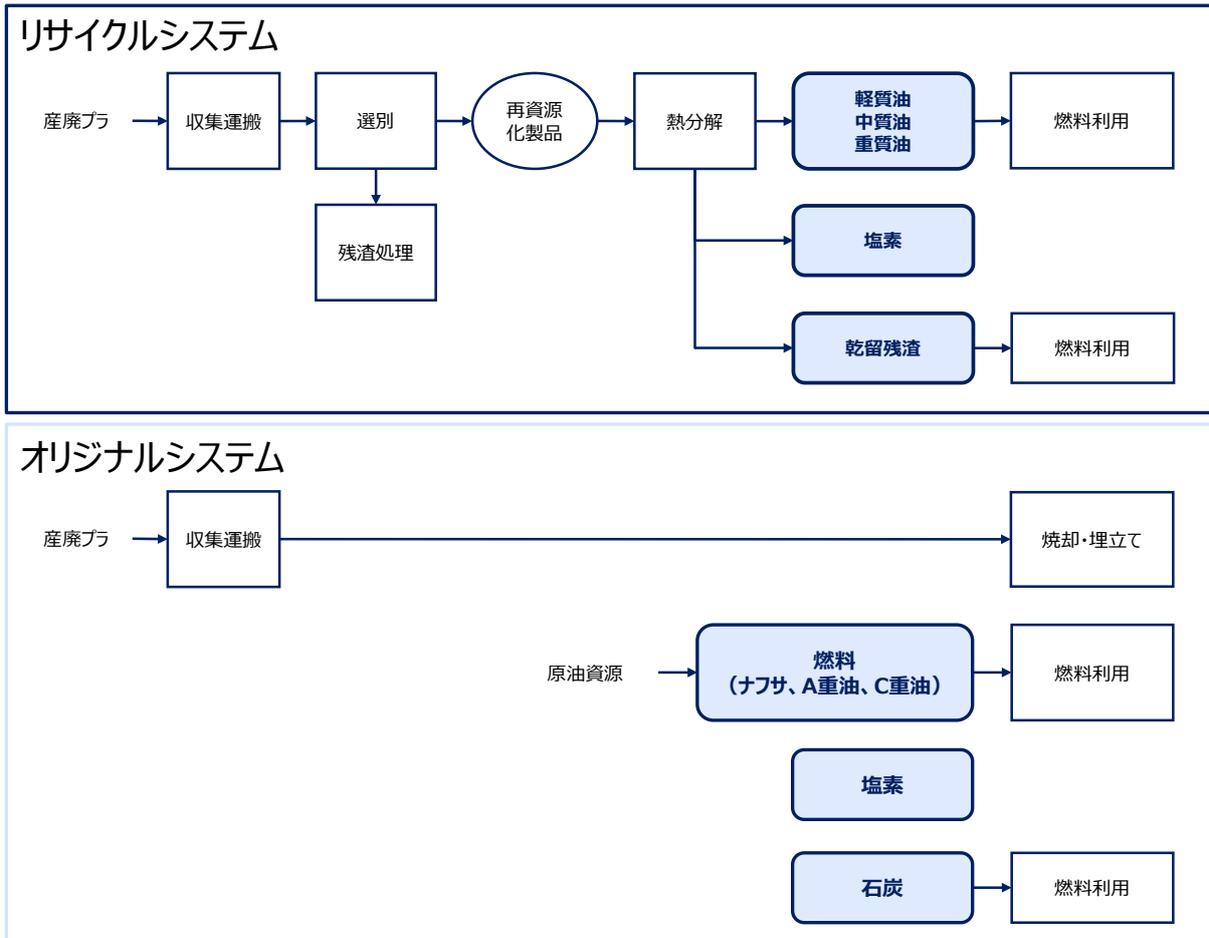


図 3-4 産廃プラのケミカルリサイクル（油化：燃料）のシステム境界

【ケミカルリサイクル（油化：HiCOP 方式、工業化前）】

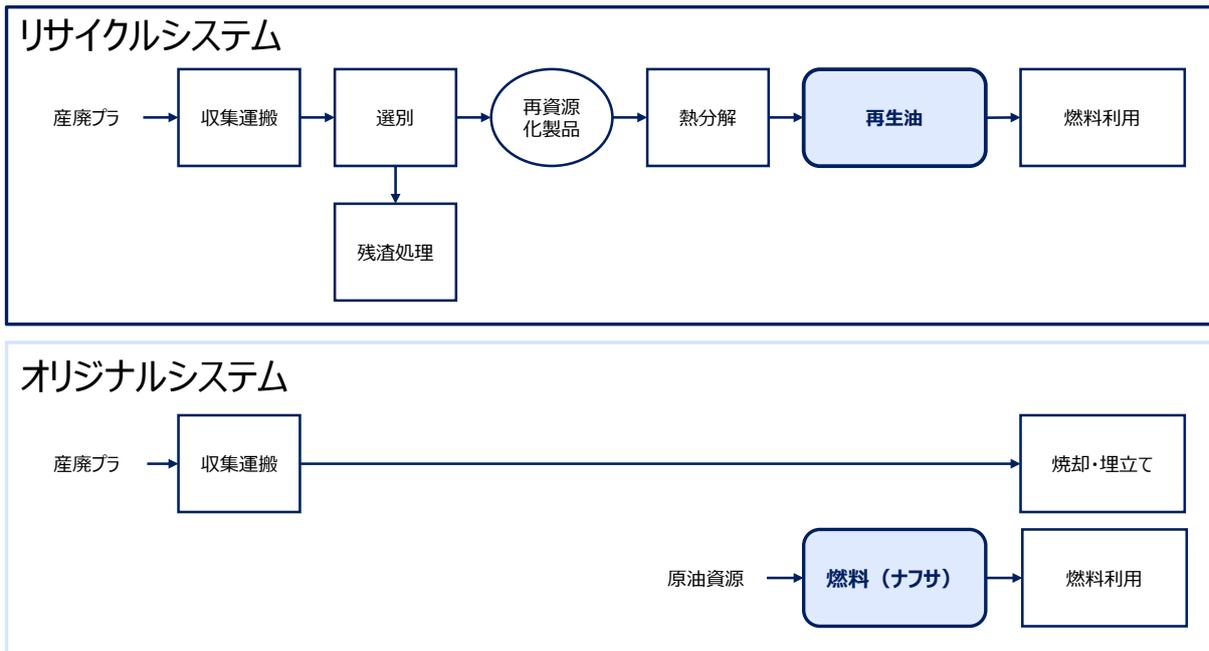


図 3-5 産廃プラのケミカルリサイクル（油化：HiCOP 方式）のシステム境界

(3) 機能単位の設定

産廃プラのケミカルリサイクル（油化）については、混合プラスチックをリサイクル処理の対象としており、機能単位も混合プラスチック 1kg の処理と、リサイクル処理により得られる再生油の量となる。再生油は燃料として利用されることから、生成される油の熱量を等価にすることとした。なお、2019 年報告書に基づく油化の技術では塩素と熱分解時の乾留残渣が再生油以外にも発生する。このうち乾留残渣は 2019 年報告書で石炭代替として燃料利用されるため、これもその熱量を機能単位とした。塩素については油化技術から得られる塩素の重量を機能単位とした。

表 3-4 ケミカルリサイクル（産廃プラ、油化）における機能単位

機能	機能単位の設定
廃プラスチックの処理	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 産廃プラ 1kg の処理（混合プラスチック） ✓ オリジナルシステムでは廃プラスチックは焼却されると想定
製品の提供	<p>【油化：燃料化】</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 産廃プラ 1kg より得られる燃料の熱量（乾留残渣も含めて） ✓ 産廃プラ 1kg の油化処理により得られる塩素の重量 <p>【油化：HiCOP 方式】</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 産廃プラ 1kg より得られる再生油の熱量

3.2.3 ケミカルリサイクル：ガス化（混合プラスチックの処理）

- ・ 2019 年報告書では、容リプラのガス化について、①アンモニア製造の原料として利用する場合（化学原料）と②燃料ガス（燃焼）として利用される 2 ケースについて評価を実施した。
- ・ 産廃プラについては、ガス化について①の化学原料利用に限定して評価を実施した。

表 3-5 ガス化に関する評価ケース

評価ケース	リサイクルにより得られる製品	評価範囲	結果の取扱い
2019 年報告書に基づく評価（化学原料化）	アンモニア	アンモニア製造まで	工業化されている製品として他の混合プラスチック処理の手法と比較

(1) システム境界

【化学原料化（アンモニア）】

- ・ 産廃プラを合成ガス化し、アンモニア（副生物として炭酸ガス）が製造され利用されるまでを範囲として検討した。これら製品の最終的な利用段階では、結局、容リプラが持っていた炭素分と同等の CO₂ が排出されるため、投入する容リプラが含有する炭素分（C 分）が全て CO₂ になるとして算定した。

(2) オリジナルシステム

【化学原料化（アンモニア）】

- ・ 産廃プラから製造される合成ガスを投入しない場合のアンモニア製造システムをオリジナルシステムとした。アンモニア等の製品の利用の考え方については、リサイクルシステムと同様に投入する原料を燃焼させることで対応した。
- ・ アンモニア製造時には、リサイクルシステムとオリジナルシステムの双方で炭酸ガスが発生する。しかしながらリサイクルシステムとオリジナルシステムでは原料の違いからアンモニア製造時のアンモニアと炭酸ガスの発生する割合が異なるため、オリジナルシステム側で発生する炭酸ガスの量がリサイクルシステムより少なくなる。オリジナルシステム側でリサイクルシステムと比較して不足する炭酸ガスは追加で製造することとした。
- ・ リサイクルシステムではガス化した炉を洗浄するにあたりスラグが得られて、これを路盤材として有効利用している。そのため、オリジナルシステムでも路盤材を製造するプロセスを追加した。

(3) 機能単位の設定

産廃プラのケミカルリサイクル（ガス化）については、混合プラスチックをリサイクル処理の対象としており、機能単位も混合プラスチック 1kg の処理と、産廃プラ 1kg のリサイクル処理により得られる製品の量が機能単位となる。2019 年報告書に基づく化学原料化の技術ではアンモニアと炭酸ガスが発生するため、炭酸ガスの量も機能単位とした。

表 3-6 ケミカルリサイクル（産廃プラ、ガス化）における機能単位

機能	機能単位の設定
廃プラスチックの処理	✓ 産廃プラ 1kg の処理（混合プラスチック） ✓ オリジナルシステムでは廃プラスチックは焼却されると想定
製品の提供	【ガス化：化学原料化（アンモニア製造）】 ✓ 産廃プラ 1kg より得られるアンモニア、炭酸ガスの重量

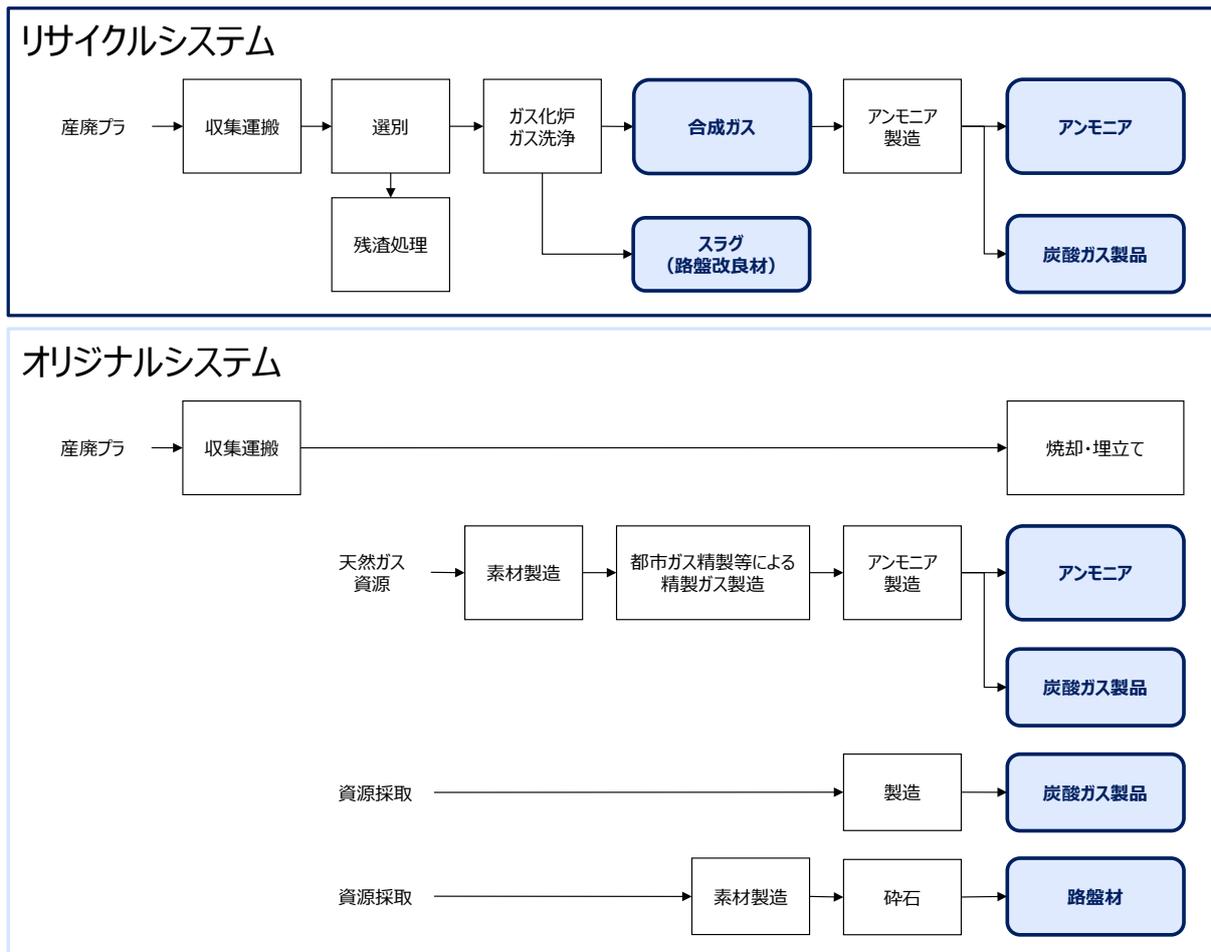


図 3-6 産廃プラのケミカルリサイクル（ガス化：化学原料化）のシステム境界

3.2.4 ケミカルリサイクル：高炉還元（混合プラスチックの処理）

（1）システム境界

- 高炉還元では、産廃プラについてポリ塩化ビニルを除去することにより、再資源化商品として高炉還元用材料を得ることが出来る。この材料を 2019 年報告書では高炉還元剤粒としており、従来、高炉で鉄鉱石の還元用材料として利用されている。
- 従って、下表の通り、コークスの代替、微粉炭の代替のそれぞれについて評価を実施した。
- 産廃プラを材料とする再資源化商品（高炉還元剤粒）をコークスや微粉炭の代替として用いる場合、高炉還元剤粒とコークス、微粉炭では、その性質が異なることから、同じ重量を高炉に投入しても得られる銑鉄や、銑鉄以外に高炉プロセスより発生する高炉ガスや炭化水素油（燃料や BTX の原料となる）の量が異なってくる。また、高炉還元剤粒だけでは高炉における還元は行われていない実態もある。
- 以上より、高炉還元については鉄鉱石から銑鉄が出来上がる高炉プロセス全体を評価範囲として検討した。

表 3-7 高炉還元に関する評価ケース

評価ケース	リサイクルにより得られる製品	評価範囲	結果の取扱い
コークス代替	高炉還元剤粒 - 銑鉄 - 高炉ガス、炭化水素油	銑鉄製造まで (高炉プロセスの全体)	工業化されている製品として 他の混合プラスチック処理の 手法と比較
微粉炭代替	高炉還元剤粒 - 銑鉄 - 高炉ガス		

- ・ なお、産廃プラから製造されたガス、炭化水素油等は最終的に製品として利用される段階で CO₂ となる。この CO₂ の量は産廃プラに含有される炭素分と同等の量が排出されるため、高炉に投入される産廃プラが含有する炭素分 (C 分) が全て CO₂ になるものとして算定した。

(2) オリジナルシステム

- ・ 産廃プラの再資源化製品 (高炉還元剤粒) を投入しない場合に、銑鉄が製造されるまでのコークスもしくは微粉炭の製造や高炉における所内供給エネルギー量の増減を含め、従来の高炉プロセス全体をオリジナルシステムとする。
- ・ 高炉還元では、産廃プラから得られる高炉還元剤粒は、従来、還元剤であるコークスの代替として扱われてきた。そこで、コークスとの代替を検討した。また、理論的には微粉炭代替とも考えられるため、微粉炭代替としても検討した。

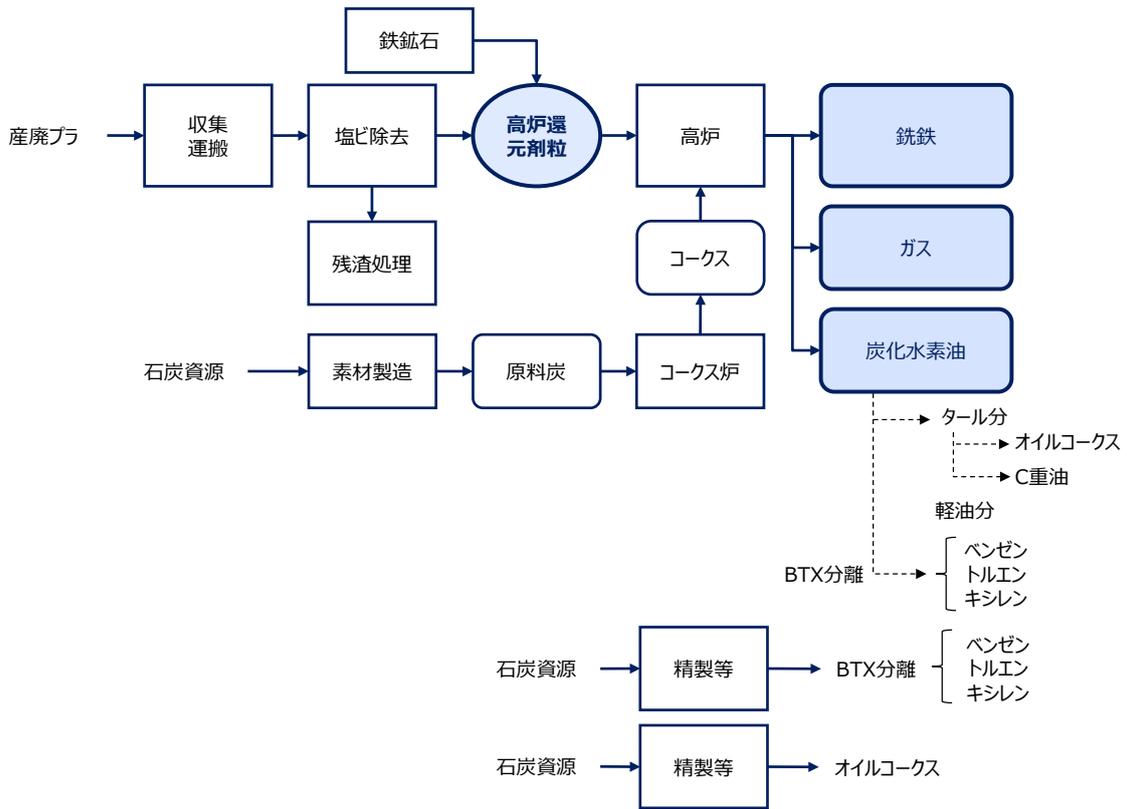
(3) 機能単位の設定

産廃プラのケミカルリサイクル (高炉還元) については、混合プラスチックをリサイクル処理の対象としており、機能単位は混合プラスチック 1kg の処理が対象となる。また高炉還元では、産廃プラから塩ビ除去を経て得られる再資源化製品 (高炉還元剤粒) と代替品であるコークス、微粉炭を重量で比較することは難しいことから、高炉還元剤粒を利用した場合と利用しない場合の高炉プロセス全体の比較を行っている。従って、高炉プロセスより提供される製品全体が機能単位となる。

表 3-8 ケミカルリサイクル (産廃プラ、高炉還元) における機能単位

機能	機能単位の設定
廃プラスチックの処理	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 産廃プラ 1kg の処理 (混合プラスチック) ✓ オリジナルシステムでは廃プラスチックは焼却されると想定
製品の提供	<p>【高炉還元：コークス代替】</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 産廃プラ 1kg より得られる高炉還元剤粒を投入した場合の銑鉄重量 ✓ 銑鉄生産に伴って発生する炭化水素油 (に起因する製品) ✓ 高炉副生ガスの熱量 <p>【高炉還元：微粉炭代替】</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 産廃プラ 1kg より得られる高炉還元剤粒を投入した場合の銑鉄重量 ✓ 高炉副生ガスの熱量

リサイクルシステム



オリジナルシステム

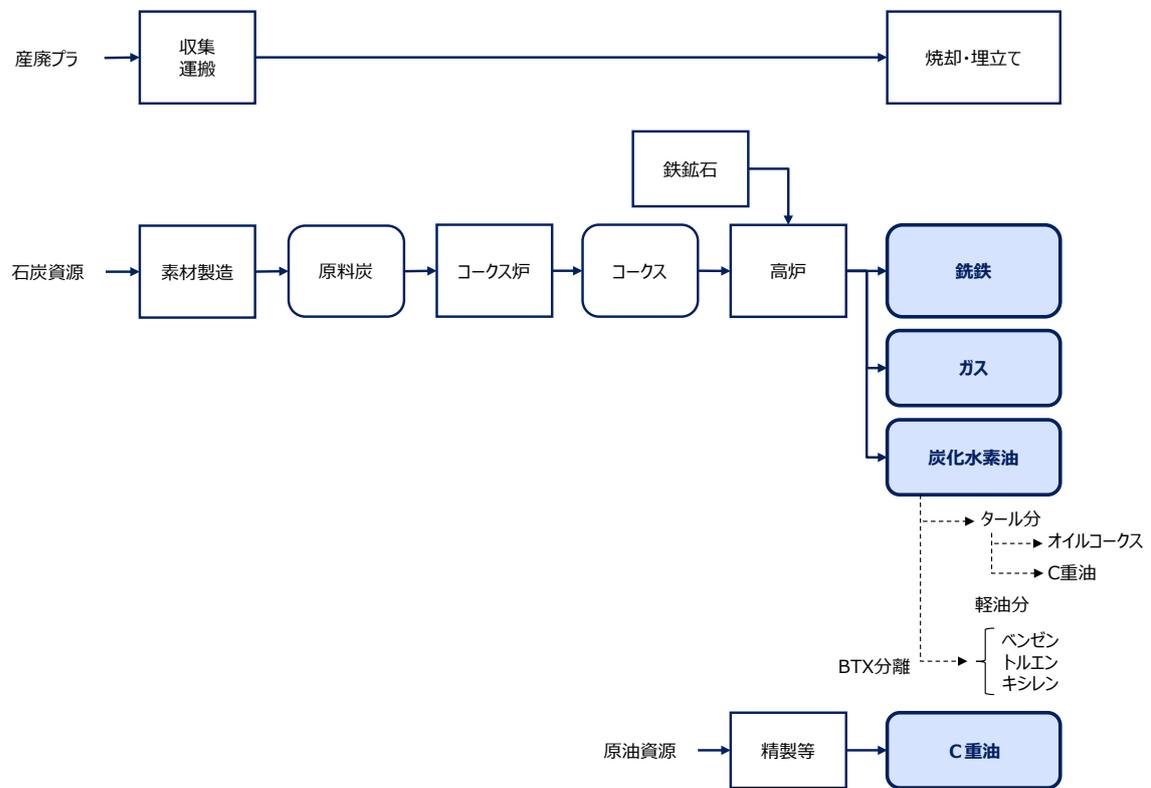


図 3-7 産廃プラのケミカルリサイクル（高炉還元：コークス代替）のシステム境界

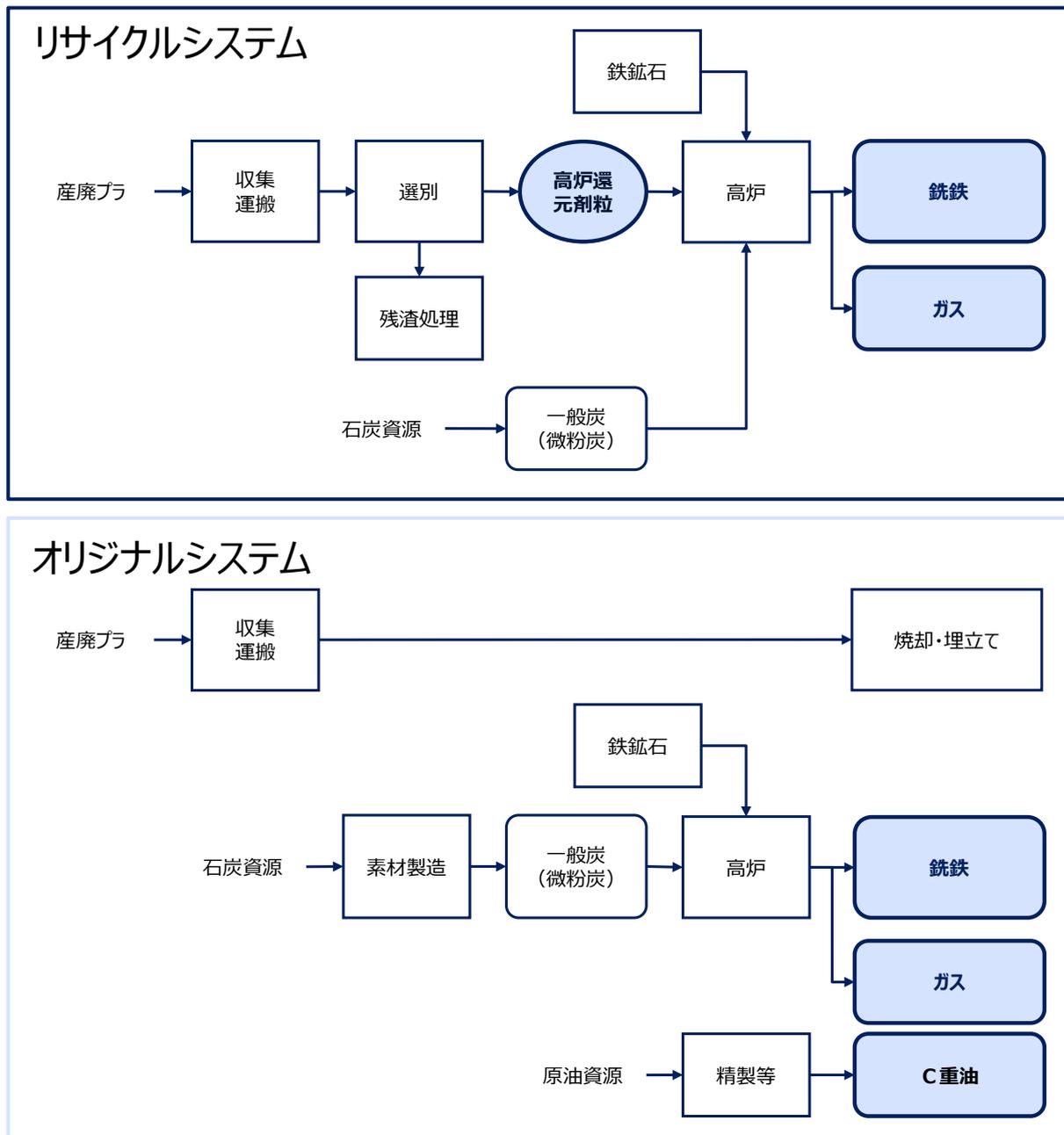


図 3-8 産廃プラのケミカルリサイクル（高炉還元：微粉炭代替）のシステム境界

3.2.5 ケミカルリサイクル：コークス炉化学原料化（混合プラスチックの処理）

（1）システム境界

- ・ コークス炉化学原料化では、産廃プラよりポリ塩化ビニルを除去することにより、再資源化製品としてコークス炉に投入することの出来る材料を得ることが出来る。この材料を2019年報告書ではコークス炉化学原料粒とし、コークス炉に投入することで、既存のコークスの原料となる原料炭の代替となる。
- ・ 産廃プラを材料とする再資源化商品（コークス炉化学原料粒）を原料炭の代替として用いるコークス炉に投入する場合、産廃プラより得られるコークス炉化学原料粒と原料炭では、そ

の性質が異なることから、同じ重量をコークス炉に投入しても得られるコークスや、コークス以外にコークス炉プロセスより発生するコークス炉ガスや炭化水素油（燃料や BTX の原料となる）の量が異なってくる。

- ・ 以上より、コークス炉化学原料化についてはコークス炉プロセス全体を評価範囲として検討した。なお、産廃プラから製造されたコークス、ガス、炭化水素油等は最終的に製品として利用される段階で CO₂ となる。この CO₂ の量は産廃プラに含有される炭素分と同等の量が排出されるため、コークス炉に投入される産廃プラが含有する炭素分（C 分）が全て CO₂ になるものとして算定した。

（２） オリジナルシステム

- ・ 産廃プラの再資源化製品（コークス炉化学原料粒）を投入しない場合に、コークスが製造されるまでの原料炭の製造やコークス炉における所内供給エネルギー量の増減を含め、従来のコークス炉プロセス全体をオリジナルシステムとする。
- ・ コークス炉化学原料化では、産廃プラから得られるコークス炉化学原料粒は、従来、コークスの材料である原料炭の代替として扱われてきた。そのため、オリジナルシステムでは原料炭の製造を検討した。

（３） 機能単位の設定

産廃プラのケミカルリサイクル（コークス炉化学原料化）については、混合プラスチックをリサイクル処理の対象としており、機能単位は混合プラスチック 1kg の処理が対象となる。またコークス炉化学原料化では、産廃プラから塩ビ除去を経て得られる再資源化製品（コークス炉化学原料粒）と代替品である原料炭を重量で比較することは難しいことから、コークス炉化学原料粒を利用した場合と利用しない場合のコークス炉プロセス全体の比較を行っている。従って、コークス炉プロセスより提供される製品全体が機能単位となる。

表 3-9 ケミカルリサイクル（産廃プラ、コークス炉化学原料化）における機能単位

機能	機能単位の設定
廃プラスチックの処理	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 産廃プラ 1kg の処理（混合プラスチック） ✓ オリジナルシステムでは廃プラスチックは焼却されると想定
製品の提供	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 産廃プラ 1kg より得られるコークス炉化学原料粒を投入した場合のコークスの生産重量 ✓ コークス生産に伴って発生する炭化水素油（に起因する製品） ✓ コークス炉副生ガスの熱量

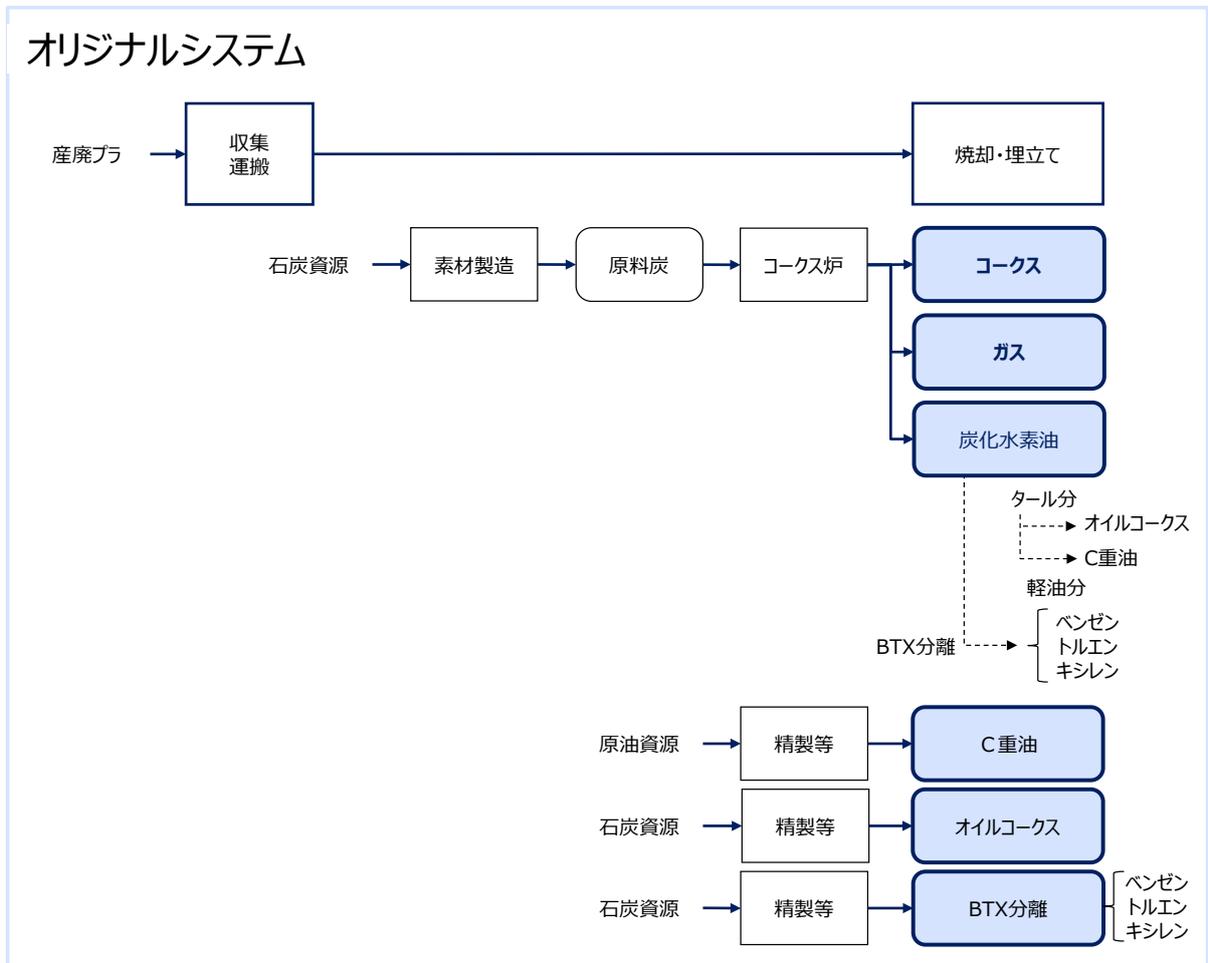
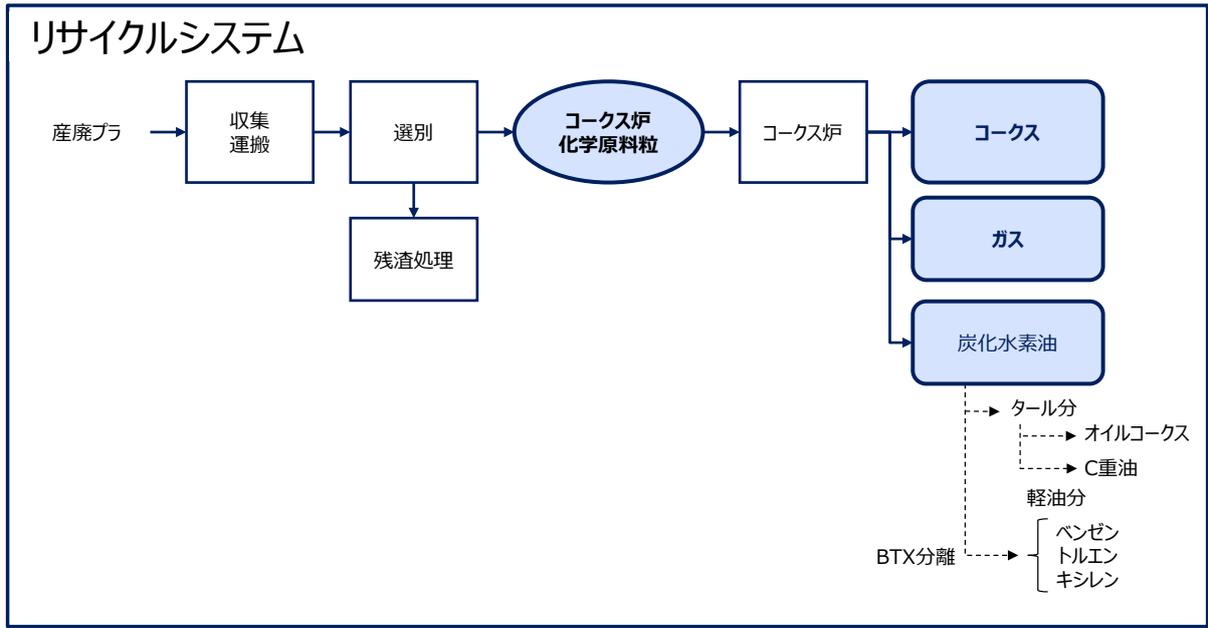


図 3-9 産廃プラのケミカルリサイクル（コークス炉化学原料化）のシステム境界

3.2.6 エネルギーリカバリー：RPF 利用（混合プラスチックの処理）

（１）システム境界

- ・ 搬送されてきた産廃プラのうち、ポリ塩化ビニルを一定割合まで除去した後、RPF 製造化ラインへ直接投入する。
- ・ RPF を製造した後、熱として利用、つまり燃焼して CO₂になるまでをシステム境界とした。

（２）オリジナルシステム

- ・ 産廃プラより製造された RPF は固形燃料であり、製紙業等で利用される。この RPF は石炭ボイラなどで従来の石炭の代替として利用されてきた。従って、オリジナルシステムとしては石炭の製造・燃焼を想定した。

（３）機能単位の設定

産廃プラのエネルギーリカバリー（RPF利用）では、混合プラスチックをリサイクル処理の対象としており、機能単位は混合プラスチック 1kg の処理が対象となる。また RPF 利用では、産廃プラから塩ビ除去を経て得られる再資源化製品と代替品である石炭が供給するサービスは熱エネルギーであることから、重量で比較するのではなく、熱量で比較することとした。熱量を考える場合には製造された RPF の熱量（産廃プラより得られる再資源化製品の組成より熱量を決定）、石炭の熱量のそれぞれに加えて、RPF と石炭のボイラにおける熱効率を考慮した。

表 3-10 エネルギーリカバリー（産廃プラ、RPF 利用）における機能単位

機能	機能単位の設定
廃プラスチックの処理	✓ 産廃プラ 1kg の処理（混合プラスチック） ✓ オリジナルシステムでは廃プラスチックは焼却されると想定
製品の提供	✓ 産廃プラ 1kg より得られる RPF の熱量 ✓ オリジナルシステムでは RPF と熱量等価となる石炭の量（それぞれの熱量とボイラ燃焼時の熱効率を考慮）

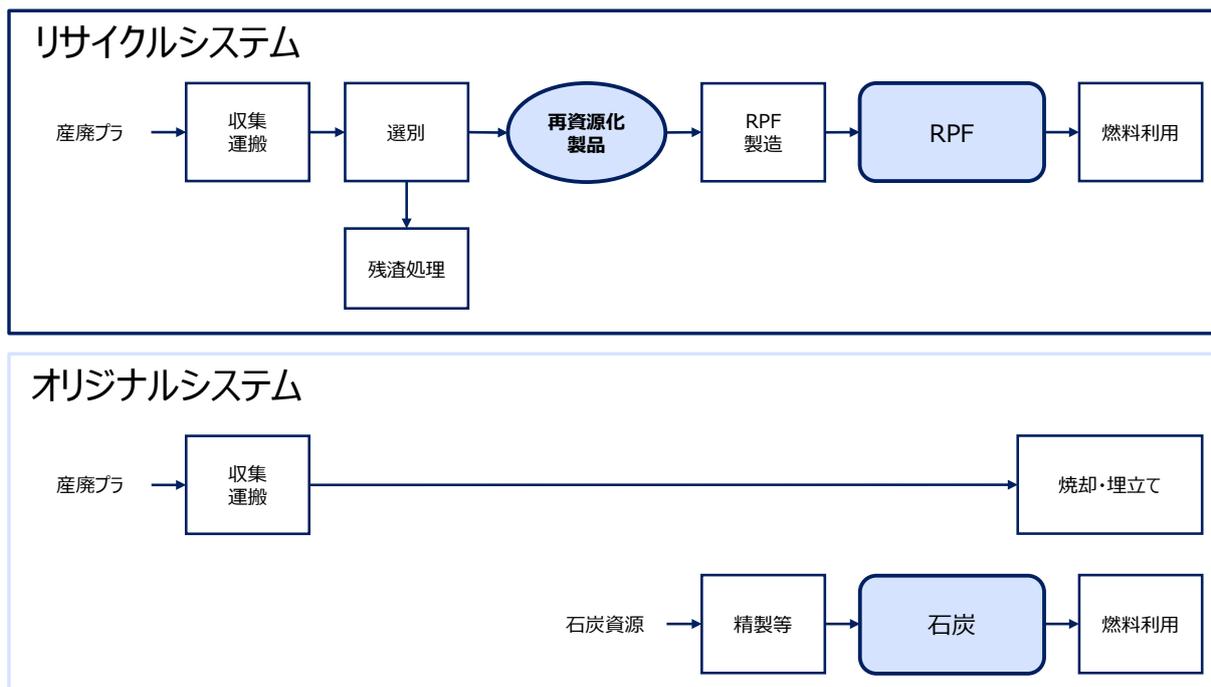


図 3-10 産廃プラのエネルギーリカバリー（RPF 利用）のシステム境界

3.2.7 エネルギーリカバリー：セメント焼成（混合プラスチックの処理）

（1）システム境界

- ・ 産廃プラの前処理については RPF 利用と同様である。そこで、産廃プラの選別等の前処理を加えた上で、セメント焼成の一次破碎、二次破碎装置をつけて処理することを想定し検討した。
- ・ セメント焼成のために産廃プラを二次破碎し、その上で燃焼して CO_2 になるまでを検討した。

（2）オリジナルシステム

- ・ セメント焼成では、産廃プラよりポリ塩化ビニルを一定程度除去した後、破碎処理した上で、セメント焼成に原燃料として投入される。セメント焼成ではこの原燃料として従来より石炭が使用されてきた。従って、オリジナルとしては石炭の製造・燃焼を想定した。

（3）機能単位の設定

産廃プラのエネルギーリカバリー（セメント焼成）では、混合プラスチックをリサイクル処理の対象としており、機能単位は混合プラスチック 1kg の処理が対象となる。またセメント焼成では、産廃プラから塩ビ除去を経て得られる再資源化製品と代替品である石炭が供給するサービスは熱エネルギーであることから、重量で比較するのではなく、熱量で比較することとした。熱量を考える場合には製造されたセメント焼成用産廃プラスチック（産廃プラより得られる再資源化製品の組成より熱量を決定）、石炭の熱量のそれぞれを考慮した。

表 3-11 エネルギーリカバリー（産廃プラ、セメント焼成）における機能単位

機能	機能単位の設定
廃プラスチックの処理	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 産廃プラ 1kg の処理（混合プラスチック） ✓ オリジナルシステムでは廃プラスチックは焼却されると想定
製品の提供	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 産廃プラ 1kg より得られる材料の熱量 ✓ オリジナルシステムでは産廃プラ 1kg より得られる材料と熱量等価となる石炭の量（それぞれの熱量を考慮）

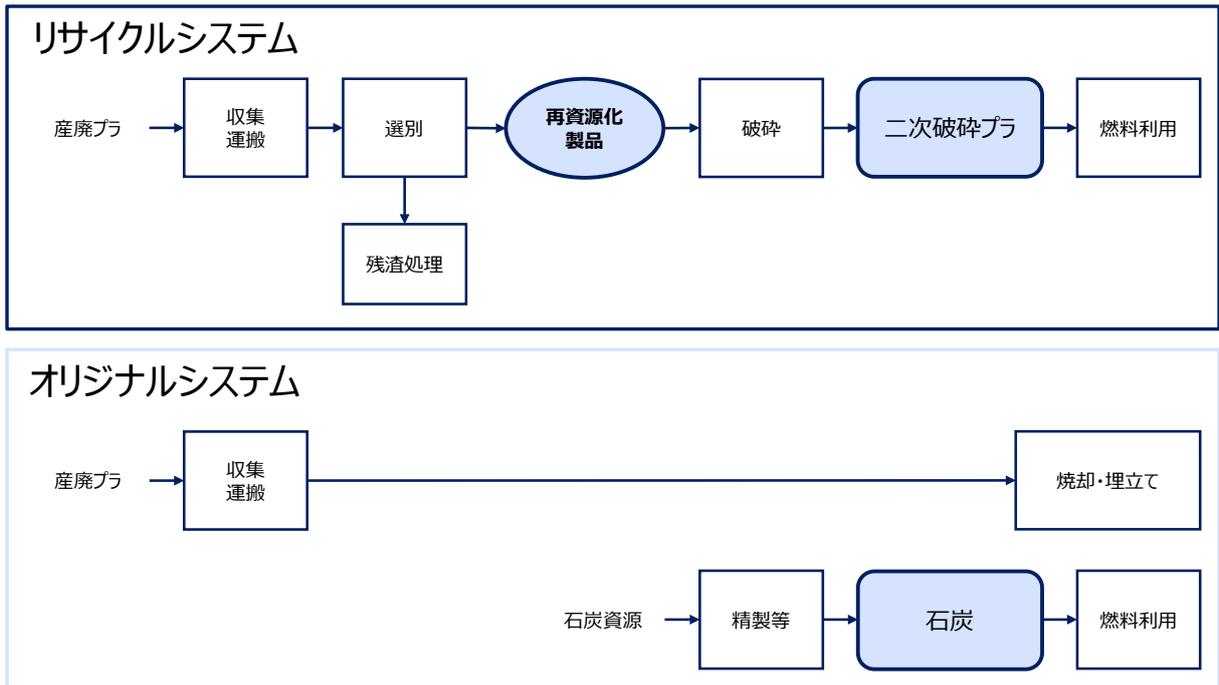


図 3-11 産廃プラのエネルギーリカバリー（セメント焼成）のシステム境界

3.2.8 エネルギーリカバリー：発電焼却（混合プラスチックの処理）

（1）システム境界

産廃プラの発電焼却では、他のリサイクル処理手法と異なり、産廃プラを直接にゴミ発電施設に投入・焼却し CO₂になるまでを対象とした。なお、ゴミ発電所で消費する電力は、発電した電力で賄うこととした。発電効率は、環境省「一般廃棄物処理事業実態調査の結果（令和2年度）について」より、ゴミ焼却施設の平均の発電効率である 14.05%とした（2019 年報告書では平成 29 年度の平均である 12.81%を利用）。

なお、ゴミ発電の発電時に発生する残渣処理（灰埋立）については 2019 年報告書（容リプラ）の数値をそのまま踏襲することとした。

（2）オリジナルシステム

発電した電力から所内利用分を差し引いた量の系統電力を利用する場合を想定した。

(3) 機能単位の設定

産廃プラのエネルギーリカバリー（発電焼却）では、混合プラスチックをリサイクル処理の対象としており、機能単位は混合プラスチック 1kg の処理が対象となる。また発電焼却では、産廃プラの焼却で得られる電力と従来の系統電力を比較するため、混合プラスチック 1kg の焼却から得られる電力量（産廃プラの熱量、ゴミ発電所の発電効率、電力のゴミ発電所における所内利用量を考慮）を機能単位とした。

表 3-12 エネルギーリカバリー（産廃プラ、発電焼却）における機能単位

機能	機能単位の設定
廃プラスチックの処理	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 産廃プラ 1kg の処理（混合プラスチック） ✓ オリジナルシステムでは廃プラスチックは焼却されると想定
製品の提供	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 産廃プラ 1kg の焼却により得られる電力量（ゴミ発電の発電効率 14.05%、電力の所内利用率を考慮） ✓ オリジナルシステムでは同量の系統電力量

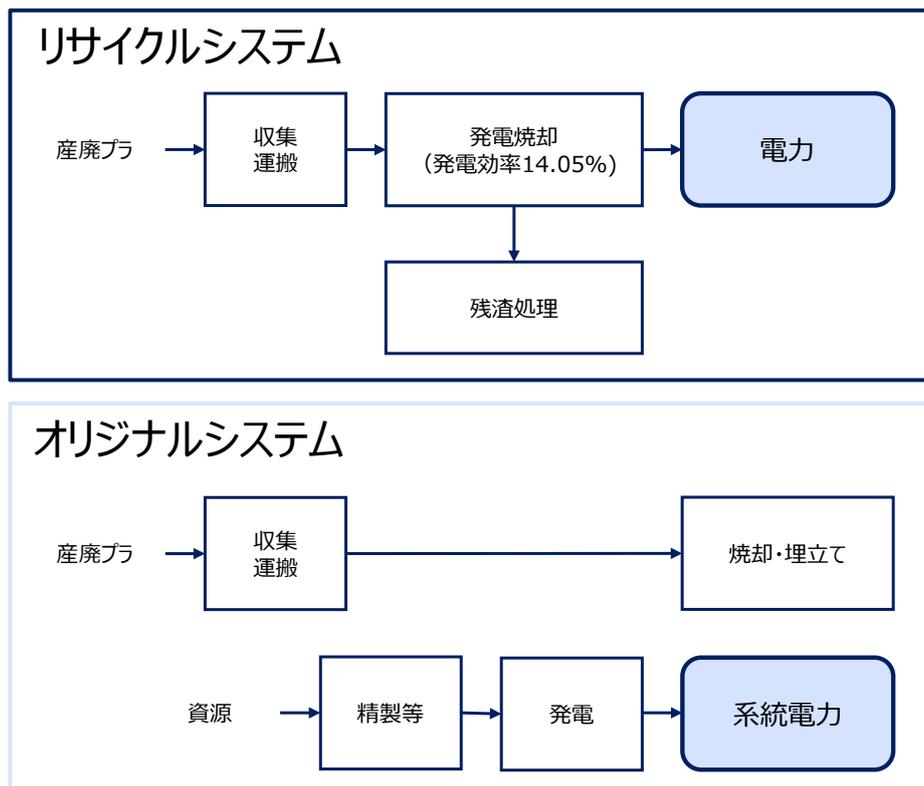


図 3-12 産廃プラのエネルギーリカバリー（発電焼却）のシステム境界

3.3 その他全体的な考え方について（産廃プラ）

3.3.1 残渣処理の取扱いについて

（1）選別プロセスの残渣の取扱い

産廃プラを収集運搬し、再資源化製品を得るプロセス（選別プロセス）では、産廃プラから各リサイクル処理手法に投入することの出来ないプラスチック成分を除去する。2019年報告書の容リプラの評価では、この残渣の量が多かったことから、除去した残渣を、再度、高炉還元やコークス炉化学原料化などへ投入する前提で評価が行われている。

4章で示すが、産廃プラでは、選別プロセス後に発生する残渣分は高炉還元やコークス炉などでも利用することの出来ないポリ塩化ビニルを中心としたプラスチック組成となっていることから、本報告書では、選別プロセスで発生する残渣については、そのまま焼却処分をすることとした。なお、マテリアルリサイクルについては、すでに単一組成の廃プラスチックを利用していることから残渣は生じないものとして評価を実施した。

（2）焼却における残渣処分

各リサイクル処理方法のプロセスで、プラスチックもしくはプラスチック由来の製品を焼却する場合には、そのプロセスで発生する灰などの残渣処理が行われる。この残渣処理は2019年報告書と同様に埋立るものとして取り扱った。

3.3.2 収集・運搬の考え方

産廃プラの収集・運搬については、その発生元などにより距離や輸送手段が異なっているため、2019年の容リプラのように、距離の想定を置くことは困難であった。そのため、ここでは、全てのリサイクル処理手法に関して、一律、輸送距離を30km、輸送手段を4tトラックとして、輸送時の積載率は国内の平均値として算定を実施した。

表 3-13 産廃プラの収集・運搬時の輸送条件

	輸送条件
輸送距離	30 km
輸送手段	4tトラック
積載率	日本平均

なお、再資源化製品が製造された後の輸送など、他の輸送については原単位に含まれているものの以外には考慮していない。

4. その他の評価範囲及び評価手法の検討

4.1 評価対象とした環境影響領域

4.1.1 気候変動／エネルギー消費

2019年報告書では、気候変動、エネルギー資源の影響領域を対象として評価を実施した。本報告書においても同様に気候変動、エネルギー資源消費について評価を実施した。気候変動については温室効果ガス排出量（CO₂排出量換算）、エネルギー資源については化石資源消費量（MJ換算）について、ともに後述するデータベースをもとに対象とする環境負荷物質について評価を実施した。なお、本報告書では温室効果ガス総量をCO₂として表記する。

4.1.2 資源消費

本評価では、資源循環性について検討を行うにあたり、資源循環の効果を表す指標について検討を行った。具体的には化石資源の消費量について、エネルギー利用／化学原料利用に分類して評価を行うことを検討した。

化学産業においては、今後のカーボンニュートラル化（CN化）していく社会への貢献として、再生可能エネルギー利用の促進などの活動を掲げている。他方で化学産業では原料としても化石資源を消費しており、エネルギー利用の脱炭素化が進んだ場合、化学原料の脱炭素化が課題になることを想定した。しかしながら、石油化学のプロセスにおいては、使用されている化石資源を化学反応する際、副生される燃料を使用するなど、投入されている化石資源をエネルギー利用／資源利用に単純に分類することが困難である。従って本報告書においてはこれらの評価方法の整理について今後の課題とし、評価については実施していない。

4.2 評価に用いたデータベース

本評価では、2019年報告書において用いたIDEAデータベース（国立研究開発法人産業技術総合研究所が開発）を用いることとした。ただし、2019年報告書後、データベースが更新されていることから、最新バージョンであるIDEAv3.2.0（2022年公開）を用いて評価を実施した。

4.3 複数回循環の効果について

今後、ケミカルリサイクルなどのリサイクル処理手法により、同品質の化学品（モノマーなど）への循環が可能となると、一回のリサイクルにおいて減衰は起こるものの、複数回のリサイクルが可能となっていく。この複数回のリサイクル可能性が環境負荷の削減につながるのではないかと考えられたため、WGにおいてその検討を実施した。

結論としては、1回の循環であっても、複数回の循環であっても、廃プラ1kgの処理の評価としては1回あたりの環境負荷削減効果が変わらないことから、複数回循環の効果を廃プラ1kgあたりの評価の中で検討することは困難であるとされた。今後、化学産業全体の評価を実施していく中でリサイクルにより得られる品質やその需要に沿って評価が行われることが望ましい。

5. 評価の前提条件

5.1 使用済みプラの成分割合

5.1.1 産廃プラの成分割合

産廃プラの成分割合は、その発生元により大きく異なっている。本評価では、実態に即して、マテリアルリサイクル及びケミカルリサイクルのスチレンモノマー化については単一組成のプラスチック、その他のリサイクル処理手法については混合プラスチックを対象とした。

混合プラスチックについては、一般社団法人プラスチック循環利用協会によるヒアリング調査から、産廃プラの平均組成を設定した。また、各リサイクル処理手法ではこの産廃プラよりポリ塩化ビニルを除去するなどの選別が行われた後に、リサイクル処理が行われる。選別にあたっては各リサイクル処理手法の受け入れについてヒアリングなどから検討を行い設定した。

表 5-1 ベースとした産廃プラ（混合プラスチック）の成分割合

PE	PP	PS	PET	PVC	その他 熱可塑性樹脂	熱硬化性 樹脂	合計
24.2%	15.1%	12.4%	10.0%	11.2%	19.2%	8.0%	100.0%

2019 年報告書の容リプラの組成と比べ、ポリ塩化ビニル（PVC）の割合が大きいことがわかる。ポリ塩化ビニルの受け入れの可能性については、各リサイクル処理手法でその対応が進みつつあるという情報もあるが、本調査では、発電焼却を除き、ポリ塩化ビニルを一定程度除去することとした。除去後の割合はヒアリング調査等より 0.9%と想定した。以下に各処理手法ごとの投入組成（再資源化製品の組成）を示す。

（1）マテリアルリサイクル

産廃プラのマテリアルリサイクルについては、現在のリサイクルの実態を参照し、使用済み製品を解体・選別した後の単一組成のプラスチック（PE、PP、PS）のリサイクルとして評価を実施した。従って組成としては PE、PP、PS のそれぞれが 100%の場合について評価を実施した。

（2）ケミカルリサイクル（油化）

油化については、PET 及び熱硬化性樹脂が技術的に忌避されるという情報があった。そのため熱硬化性樹脂についても除外することとした。他方、PET に関しては 2019 年報告書においても PET を含めた評価を行っていることから、除去せずに評価を実施した。

ただし、WG では油化における PET の投入については、熱分解の段階で安息香酸が生成され、装置の腐食等の問題が発生しているという例も紹介されていることから、今後、油化の実現を考慮するにあたって、油化における PET 投入の実態を調査し、必要に応じて PET を除いた評価の実施を今後の検討課題とする。

表 5-2 油化の設定成分割合

	PE	PP	PS	PET	PVC	その他 熱可塑性樹脂	熱硬化性 樹脂	合計
再資源化 製品	24.2%	15.1%	12.4%	10.0%	0.9%	19.2%	0.0%	81.7%
残渣	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	10.3%	0.0%	8.0%	18.3%
合計	24.2%	15.1%	12.4%	10.0%	11.2%	19.2%	8.0%	100%

(3) ケミカルリサイクル（ガス化）

ガス化に関しても、油化と同様に熱硬化性樹脂が技術的に受け入れ可能であるかという懸念がWGにて示唆された。これについては、文献により熱硬化性樹脂についても取扱い可能である旨が示されていたことから、熱量・炭素バランスを可能な範囲で考慮して評価に含めることとした。他方、ガス化において熱硬化性樹脂の投入が不利益を与える可能性もあり、ガス化における熱硬化性樹脂の処理に関する実態について、今後整理していくことを課題とすることがWGで整理された。

表 5-3 ガス化の設定成分割合

	PE	PP	PS	PET	PVC	その他 熱可塑性樹脂	熱硬化性 樹脂	合計
再資源化 製品	24.2%	15.1%	12.4%	10.0%	0.9%	19.2%	8.0%	89.7%
残渣	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	10.3%	0.0%	0.0%	10.3%
合計	24.2%	15.1%	12.4%	10.0%	11.2%	19.2%	8.0%	100%

(4) ケミカルリサイクル（高炉還元）

高炉還元については、2019年報告書において、ポリ塩化ビニルの割合を他のリサイクル処理手法と異なり、完全に除去することとなっていた。従って本調査においてもポリ塩化ビニルについて、高炉還元では完全に除去することとした。この除去に伴って、ポリ塩化ビニル以外のプラスチックについても除去されてしまうことがWGで示唆された。そのため、2019年報告書の除去割合を参照し、各プラスチックの除去割合を設定した。

2019年報告書では、PE、PP、PS、PET 4種で容リプラ全体の88.1%を占めている。これが高炉還元へ投入するためのPVC除去を行った後は、容リプラ全体の75.3%と低減され（12.8%が残渣となる）、重量比で85.47%（ $75.3 \div 88.1$ ）に減衰することになる（4種のプラスチックが一律減衰している）。本調査においても、PVCをゼロにするにあたり、他のプラスチックを85.47%減衰させ、残りの14.53%が残渣となることとした。

表 5-4 高炉還元の設定成分割合

	PE	PP	PS	PET	PVC	その他 熱可塑性樹脂	熱硬化性 樹脂	合計
再資源化 製品	20.7%	12.9%	10.6%	8.5%	0.0%	16.4%	6.8%	75.9%
残渣	3.5%	2.2%	1.8%	1.5%	11.2%	2.8%	1.2%	24.2%
合計	24.2%	15.1%	12.4%	10.0%	11.2%	19.2%	8.0%	100%

(5) ケミカルリサイクル（コークス炉化学原料化）

コークス炉化学原料化については、ポリ塩化ビニルを 0.9%まで低減する以外、他の樹脂については特に問題ないことから、ポリ塩化ビニルの除去のみを実施した。

表 5-5 コークス炉化学原料化の設定成分割合

	PE	PP	PS	PET	PVC	その他 熱可塑性樹脂	熱硬化性 樹脂	合計
再資源化 製品	24.2%	15.1%	12.4%	10.0%	0.9%	19.2%	8.0%	89.7%
残渣	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	10.3%	0.0%	0.0%	10.3%
合計	24.2%	15.1%	12.4%	10.0%	11.2%	19.2%	8.0%	100%

(6) エネルギーリカバリー（RPF 利用／セメント焼成）

RPF 利用、セメント焼成についても、コークス炉化学原料化と同様にポリ塩化ビニルを 0.9%まで低減する以外、他の樹脂については特に問題ないと考えられたことから、ポリ塩化ビニルの除去のみを行った。

表 5-6 RPF 利用／セメント焼成の設定成分割合

	PE	PP	PS	PET	PVC	その他 熱可塑性樹脂	熱硬化性 樹脂	合計
再資源化 製品	24.2%	15.1%	12.4%	10.0%	0.9%	19.2%	8.0%	89.7%
残渣	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	10.3%	0.0%	0.0%	10.3%
合計	24.2%	15.1%	12.4%	10.0%	11.2%	19.2%	8.0%	100%

(7) エネルギーリカバリー（発電焼却）

発電焼却では産廃プラを直接燃焼させるものと設定した。

表 5-7 発電焼却の設定成分割合

PE	PP	PS	PET	PVC	その他 熱可塑性樹脂	熱硬化性 樹脂	合計
24.2%	15.1%	12.4%	10.0%	11.2%	19.2%	8.0%	100.0%

5.1.2 容リプラの成分割合

容リプラのデータベース更新にあたっては、プラスチックの成分割合は全て、2019 年報告書に沿って実施した。

5.2 CO₂ 排出量の設定

5.2.1 各プラスチックの CO₂ 排出量

各手法の成分割合設定結果をもとに産廃プラ全量を焼却した場合と、残渣を焼却したときの CO₂ 排出量を算定した。まず、素材ごとの C 分、CO₂ 排出量は次のとおりである。なお、産廃プラではその他熱可塑性樹脂、熱硬化性樹脂が存在する。その詳細な内訳は不明であったことから、経済産業省生産動態統計（化学工業）より 2021 年（1 月～12 月）の生産実績値をもとに加重平均を行った。

表 5-8 各プラスチック素材の C 分から算出した CO₂ 排出量

	化学式	分子量	C分	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /kg)
PE	C ₂ H ₄	28	24	3.143
PP	C ₃ H ₆	42	36	3.143
PS	C ₈ H ₈	104	96	3.385
PET	C ₁₀ H ₈ O ₄	192	120	2.292
PVC	C ₂ H ₃ Cl	63	24	1.408
石油樹脂	C ₂ H ₄ -C ₄ H ₆ O ₂	114	72	2.316
メタクリル樹脂	(C ₅ O ₂ H ₈) _n	100	60	2.200
ポリビニルアルコール	(C ₂ H ₄ O) _x	44	24	2.000
ポリアミド系樹脂成形材料	[NH(CH ₂) ₅ CO] _n	113	72	2.336
ふっ素樹脂	(C ₂ F ₄) _n	96	24	0.917
ポリカーボネート	[-C ₆ H ₄ C(CH ₃) ₂ C ₆ H ₄ OCO ₂ -] _n	254	192	2.772
ポリアセタール	(CH ₂ O) _n	30	12	1.467
ポリブチレンテレフタレート	(C ₁₂ H ₁₂ O ₄) _n	220	144	2.400
ポリフェニレンサルファイド	(C ₆ H ₄ S) _n	108	72	2.444
その他熱可塑性樹脂		上記の平均値		2.283
フェノール樹脂	C ₆ H ₅ OH	94	72	2.809
ユリア樹脂	(NH ₂) ₂ CO	60	12	0.733
メラミン樹脂	C ₃ H ₆ N ₆	126	36	1.048
不飽和ポリエステル樹脂	-	144	72	1.833
アルキド樹脂	C ₁₀ H ₈ O ₄	192	120	2.292
エポキシ樹脂	C ₂ H ₄ O	44	24	2.000

5.2.2 産廃プラを燃焼した場合のCO₂排出量

(1) 直接燃焼

産廃プラを直接燃焼した場合のCO₂排出量について表 5-1、表 5-8 及び生産動態統計（化学工業）をもとに算出すると以下のとおりとなった。本数値は産廃プラの焼却、発電焼却に用いている。なお、マテリアルリサイクルの再生樹脂の焼却には PE、PP、PS それぞれの樹脂の数値を用いている。

表 5-9 産廃プラを直接燃焼した場合のCO₂排出量

	構成比 %	LHV (kJ/kg)	加重平均 (MJ/kg)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /kg)	加重平均 (kg-CO ₂ /kg)
PE	24.2%	46,046		3.1429	
PP	15.1%	43,953		3.1429	
PS	12.4%	40,186		3.3846	
PET	10.0%	23,023		2.2917	
PVC	11.20%	24,070		1.4084	
その他、熱可塑性樹脂	19.2%	27,835		/	
石油樹脂	1.36%	27,835		2.3158	
メタクリル樹脂	1.82%	27,835		2.2000	
ポリビニルアルコール	2.62%	27,835		2.0000	
ポリアミド系樹脂成形材料	3.01%	27,835		2.3363	
ふっ素樹脂	0.43%	27,835		0.9167	
ポリカーボネート	3.69%	27,835		2.7717	
ポリアセタール	1.58%	27,835		1.4667	
ポリブチレンテレフタレート	1.54%	27,835		2.4000	
ポリフェニレンサルファイド	0.59%	27,835		2.4444	
その他樹脂	2.56%	27,835		2.2836	
熱硬化性樹脂	8.00%	27,835		/	
フェノール樹脂	3.30%	27,835		2.8085	
ユリア樹脂	0.55%	27,835		0.733	
メラミン樹脂	0.78%	27,835		1.0476	
不飽和ポリエステル樹脂	1.26%	27,835		1.8333	
アルキド樹脂	0.67%	27,835		2.2917	
エポキシ樹脂	1.45%	27,835		2.0000	
合計	100.0%	/	35.297	/	2.645

(2) RPF 利用／セメント焼成

RPF利用／セメント焼成については、コークス炉化学原料化の化学原料粒と同じとして算出した。

表 5-10 RPF／セメント原燃料を燃焼した場合の CO₂ 排出量

	構成比 (%)	LHV (kJ/kg)	加重平均 (MJ/kg)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /kg)	加重平均 (kg-CO ₂ /kg)
PE	27.0%	46,046		3.1429	
PP	16.8%	43,953		3.1429	
PS	13.8%	40,186		3.3846	
PET	11.1%	23,023		2.2917	
PVC	0.90%	24,070		1.4084	
その他、熱可塑性樹脂	21.4%	/		/	
石油樹脂	1.52%	27,835		2.3158	
メタクリル樹脂	2.03%	27,835		2.2000	
ポリビニルアルコール	2.92%	27,835		2.0000	
ポリアミド系樹脂成形材料	3.36%	27,835		2.3363	
ふっ素樹脂	0.48%	27,835		0.9167	
ポリカーボネート	4.11%	27,835		2.7717	
ポリアセタール	1.76%	27,835		1.4667	
ポリブチレンテレフタレート	1.71%	27,835		2.4000	
ポリフェニレンサルファイド	0.65%	27,835		2.4444	
その他樹脂	2.85%	27,835		2.2836	
熱硬化性樹脂	8.9%	/		/	
フェノール樹脂	3.68%	27,835		2.8085	
ユリア樹脂	0.61%	27,835		0.7333	
メラミン樹脂	0.87%	27,835		1.0476	
不飽和ポリエステル樹脂	1.40%	27,835		1.8333	
アルキド樹脂	0.74%	27,835		2.2917	
エポキシ樹脂	1.61%	27,835		2.0000	
合計	100.0%		36.598		2.788

(3) 残渣を処理した場合の CO₂ 排出量

産廃プラから選別を行う際の選別時の残渣は焼却処理を実施している。その際の CO₂ 排出量は以下の通りである。

a) 油化に関する残渣焼却

表 5-11 焼却する残渣（油化）の割合

	PE	PP	PS	PET	PVC	その他 熱可塑性樹脂	熱硬化性 樹脂	合計
残渣	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	10.3%	0.0%	8.0%	18.3%

表 5-12 残渣（油化）を焼却した場合の CO₂ 排出量

	構成比 (%)	LHV (kJ/kg)	加重平均 (MJ/kg)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /kg)	加重平均 (kg-CO ₂ /kg)
PE	0.0%	46,046		3.1429	
PP	0.0%	43,953		3.1429	
PS	0.0%	40,186		3.3846	
PET	0.0%	23,023		2.2917	
PVC	53.60%	24,070		1.4084	
その他、熱可塑性樹脂	0.0%	/		/	
石油樹脂	0.00%	27,835		2.3158	
メタクリル樹脂	0.00%	27,835		2.2000	
ポリビニルアルコール	0.00%	27,835		2.0000	
ポリアミド系樹脂成形材料	0.00%	27,835		2.3363	
ふっ素樹脂	0.00%	27,835		0.9167	
ポリカーボネート	0.00%	27,835		2.7717	
ポリアセタール	0.00%	27,835		1.4667	
ポリブチレンテレフタレート	0.00%	27,835		2.4000	
ポリフェニレンサルファイド	0.00%	27,835		2.4444	
その他樹脂	0.00%	27,835		2.2836	
熱硬化性樹脂	46.4%	/		/	
フェノール樹脂	19.13%	27,835		2.8085	
ユリア樹脂	3.17%	27,835		0.7333	
メラミン樹脂	4.54%	27,835		1.0476	
不飽和ポリエステル樹脂	7.30%	27,835		1.8333	
アルキド樹脂	3.87%	27,835		2.2917	
エポキシ樹脂	8.40%	27,835		2.0000	
合計	100.0%	/	25.817	/	1.753

b) ガス化、コークス炉化学原料化に関する残渣焼却

表 5-13 焼却する残渣（ガス化、コークス炉化学原料化）の割合

	PE	PP	PS	PET	PVC	その他 熱可塑性樹脂	熱硬化性 樹脂	合計
残渣	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	10.3%	0.0%	0.0%	10.3%

表 5-14 残渣（ガス化、コークス炉化学原料化）を焼却した場合の CO₂ 排出量

	構成比 (%)	LHV (kJ/kg)	加重平均 (MJ/kg)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /kg)	加重平均 (kg-CO ₂ /kg)
PE	0.0%	46,046		3.1429	
PP	0.0%	43,953		3.1429	
PS	0.0%	40,186		3.3846	
PET	0.0%	23,023		2.2917	
PVC	100.00%	24,070		1.4084	
その他、熱可塑性樹脂	0.0%	/		/	
石油樹脂	0.00%	27,835		2.3158	
メタクリル樹脂	0.00%	27,835		2.2000	
ポリビニルアルコール	0.00%	27,835		2.0000	
ポリアミド系樹脂成形材料	0.00%	27,835		2.3363	
ふっ素樹脂	0.00%	27,835		0.9167	
ポリカーボネート	0.00%	27,835		2.7717	
ポリアセタール	0.00%	27,835		1.4667	
ポリブチレンテレフタレート	0.00%	27,835		2.4000	
ポリフェニレンサルファイド	0.00%	27,835		2.4444	
その他樹脂	0.00%	27,835		2.2836	
熱硬化性樹脂	0.0%	/		/	
フェノール樹脂	0.00%	27,835		2.8085	
ユリア樹脂	0.00%	27,835		0.7333	
メラミン樹脂	0.00%	27,835		1.0476	
不飽和ポリエステル樹脂	0.00%	27,835		1.8333	
アルキド樹脂	0.00%	27,835		2.2917	
エポキシ樹脂	0.00%	27,835		2.0000	
合計	100.0%	/	24.070	/	1.408

c) 高炉還元に関する残渣焼却

表 5-15 焼却する残渣（高炉還元）の割合

	PE	PP	PS	PET	PVC	その他 熱可塑性樹脂	熱硬化性 樹脂	合計
残渣	3.5%	2.2%	1.8%	1.5%	11.2%	2.8%	1.2%	18.3%

表 5-16 残渣（高炉還元）を焼却した場合の CO₂ 排出量

	構成比 (%)	LHV (kJ/kg)	加重平均 (MJ/kg)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /kg)	加重平均 (kg-CO ₂ /kg)
PE	25.6%	46,046		3.1429	
PP	16.0%	43,953		3.1429	
PS	13.1%	40,186		3.3846	
PET	10.6%	23,023		2.2917	
PVC	5.88%	24,070		1.4084	
その他、熱可塑性樹脂	20.3%	/		/	
石油樹脂	1.44%	27,835		2.3158	
メタクリル樹脂	1.93%	27,835		2.2000	
ポリビニルアルコール	2.78%	27,835		2.0000	
ポリアミド系樹脂成形材料	3.19%	27,835		2.3363	
ふっ素樹脂	0.46%	27,835		0.9167	
ポリカーボネート	3.90%	27,835		2.7717	
ポリアセタール	1.67%	27,835		1.4667	
ポリブチレンテレフタレート	1.63%	27,835		2.4000	
ポリフェニレンサルファイド	0.62%	27,835		2.4444	
その他樹脂	2.71%	27,835		2.2836	
熱硬化性樹脂	8.47%	/		/	
フェノール樹脂	3.49%	27,835		2.8085	
ユリア樹脂	0.58%	27,835		0.7333	
メラミン樹脂	0.83%	27,835		1.0476	
不飽和ポリエステル樹脂	1.33%	27,835		1.8333	
アルキド樹脂	0.71%	27,835		2.2917	
エポキシ樹脂	1.53%	27,835		2.0000	
合計	100.0%	/	35.968	/	2.719

d) RPF 利用／セメント焼成に関する残渣焼却

表 5-17 焼却する残渣（RPF 利用、セメント焼成）の割合

	PE	PP	PS	PET	PVC	その他 熱可塑性樹脂	熱硬化性 樹脂	合計
残渣	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	10.3%	0.0%	0.0%	10.3%

表 5-18 残渣（RPF 利用、セメント焼成）を焼却した場合の CO₂ 排出量

	構成比 (%)	LHV (kJ/kg)	加重平均 (MJ/kg)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /kg)	加重平均 (kg-CO ₂ /kg)
PE	0.0%	46,046		3.1429	
PP	0.0%	43,953		3.1429	
PS	0.0%	40,186		3.3846	
PET	0.0%	23,023		2.2917	
PVC	100.00%	24,070		1.4084	
その他、熱可塑性樹脂	0.0%	/		/	
石油樹脂	0.00%	27,835		2.3158	
メタクリル樹脂	0.00%	27,835		2.2000	
ポリビニルアルコール	0.00%	27,835		2.0000	
ポリアミド系樹脂成形材料	0.00%	27,835		2.3363	
ふっ素樹脂	0.00%	27,835		0.9167	
ポリカーボネート	0.00%	27,835		2.7717	
ポリアセタール	0.00%	27,835		1.4667	
ポリブチレンテレフタレート	0.00%	27,835		2.4000	
ポリフェニレンサルファイド	0.00%	27,835		2.4444	
その他樹脂	0.00%	27,835		2.2836	
熱硬化性樹脂	0.0%	/		/	
フェノール樹脂	0.00%	27,835		2.8085	
ユリア樹脂	0.00%	27,835		0.7333	
メラミン樹脂	0.00%	27,835		1.0476	
不飽和ポリエステル樹脂	0.00%	27,835		1.8333	
アルキド樹脂	0.00%	27,835		2.2917	
エポキシ樹脂	0.00%	27,835		2.0000	
合計	100.0%	/	24.070	/	1.408

(4) その他プラ燃焼

再資源化製品について CO₂排出量を算出すると次のとおりとなった。

a) 油化

油化製品の燃焼による CO₂排出量は以下の通りである。

表 5-19 油化製品の燃焼時の CO₂排出量

	構成比 (%)	LHV (kJ/kg)	加重平均 (MJ/kg)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /kg)	加重平均 (kg-CO ₂ /kg)
P E	29.6%	46,046		3.1429	
P P	18.5%	43,953		3.1429	
P S	15.2%	40,186		3.3846	
P E T	12.2%	23,023		2.2917	
P V C	0.99%	24,070		1.4084	
その他、熱可塑性樹脂	23.5%	/		/	
石油樹脂	1.67%	27,835		2.3158	
メタクリル樹脂	2.00%	27,835		2.2000	
ポリビニルアルコール	3.21%	27,835		2.0000	
ポリアミド系樹脂成形材料	3.69%	27,835		2.3363	
ふっ素樹脂	0.53%	27,835		0.9167	
ポリカーボネート	4.51%	27,835		2.7717	
ポリアセタール	1.93%	27,835		1.4667	
ポリブチレンテレフタレート	1.88%	27,835		2.4000	
ポリフェニレンサルファイド	0.72%	27,835		2.4444	
その他樹脂	3.13%	27,835		2.2836	
熱硬化性樹脂	0.0%	/		/	
フェノール樹脂	0.00%	27,835		2.8085	
ユリア樹脂	0.00%	27,835		0.7333	
メラミン樹脂	0.00%	27,835		1.0476	
不飽和ポリエステル樹脂	0.00%	27,835		1.8333	
アルキド樹脂	0.00%	27,835		2.2917	
エポキシ樹脂	0.00%	27,835		2.0000	
合計	100.0%	/	37.456	/	2.850

b) 高炉還元

高炉還元のために投入された高炉還元剤粒の燃焼による CO₂ 排出量は次のとおりであった。

表 5-20 高炉還元剤粒の燃焼時の CO₂ 排出量

	構成比 (%)	LHV (kJ/kg)	加重平均 (MJ/kg)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /kg)	加重平均 (kg-CO ₂ /kg)
P E	27.2%	46,046		3.1429	
P P	17.0%	43,953		3.1429	
P S	13.9%	40,186		3.3846	
P E T	11.2%	23,023		2.2917	
P V C	0.00%	24,070		1.4084	
その他、熱可塑性樹脂	21.6%	/		/	
石油樹脂	1.53%	27,835		2.3158	
メタクリル樹脂	2.05%	27,835		2.2000	
ポリビニルアルコール	2.95%	27,835		2.0000	
ポリアミド系樹脂成形材料	3.39%	27,835		2.3363	
ふっ素樹脂	0.49%	27,835		0.9167	
ポリカーボネート	4.15%	27,835		2.7717	
ポリアセタール	1.78%	27,835		1.4667	
ポリブチレンテレフタレート	1.73%	27,835		2.4000	
ポリフェニレンサルファイド	0.66%	27,835		2.4444	
その他樹脂	2.88%	27,835		2.2836	
熱硬化性樹脂	9.00%	/		/	
フェノール樹脂	3.71%	27,835		2.8085	
ユリア樹脂	0.61%	27,835		0.7333	
メラミン樹脂	0.88%	27,835		1.0476	
不飽和ポリエステル樹脂	1.42%	27,835		1.8333	
アルキド樹脂	0.75%	27,835		2.2917	
エポキシ樹脂	1.63%	27,835		2.0000	
合計	100.0%	/	36.711	/	2.800

c) コークス炉化学原料化

コークス炉に投入されたコークス炉化学原料粒の燃焼による CO₂ 排出量は次のとおりであった。

表 5-21 コークス炉化学原料粒の燃焼時の CO₂ 排出量

	構成比 (%)	LHV (kJ/kg)	加重平均 (MJ/kg)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /kg)	加重平均 (kg-CO ₂ /kg)
PE	27.0%	46,046		3.1429	
PP	16.8%	43,953		3.1429	
PS	13.8%	40,186		3.3846	
PET	11.1%	23,023		2.2917	
PVC	0.90%	24,070		1.4084	
その他、熱可塑性樹脂	21.4%	/		/	
石油樹脂	1.52%	27,835		2.3158	
メタクリル樹脂	2.03%	27,835		2.2000	
ポリビニルアルコール	2.92%	27,835		2.0000	
ポリアミド系樹脂成形材料	3.36%	27,835		2.3363	
ふっ素樹脂	0.48%	27,835		0.9167	
ポリカーボネート	4.11%	27,835		2.7717	
ポリアセタール	1.76%	27,835		1.4667	
ポリブチレンテレフタレート	1.71%	27,835		2.4000	
ポリフェニレンサルファイド	0.65%	27,835		2.4444	
その他樹脂	2.85%	27,835		2.2836	
熱硬化性樹脂	8.92%	/		/	
フェノール樹脂	3.68%	27,835		2.8085	
ユリア樹脂	0.61%	27,835		0.7333	
メラミン樹脂	0.87%	27,835		1.0476	
不飽和ポリエステル樹脂	1.40%	27,835		1.8333	
アルキド樹脂	0.74%	27,835		2.2917	
エポキシ樹脂	1.61%	27,835		2.0000	
合計	100.0%	/	36.598	/	2.788

6. 各処理手法のインベントリデータ

6.1 マテリアルリサイクル（単一組成廃プラの処理）

（1）システム境界

再生樹脂（コンパウンド）のシステム境界を下記に示す。

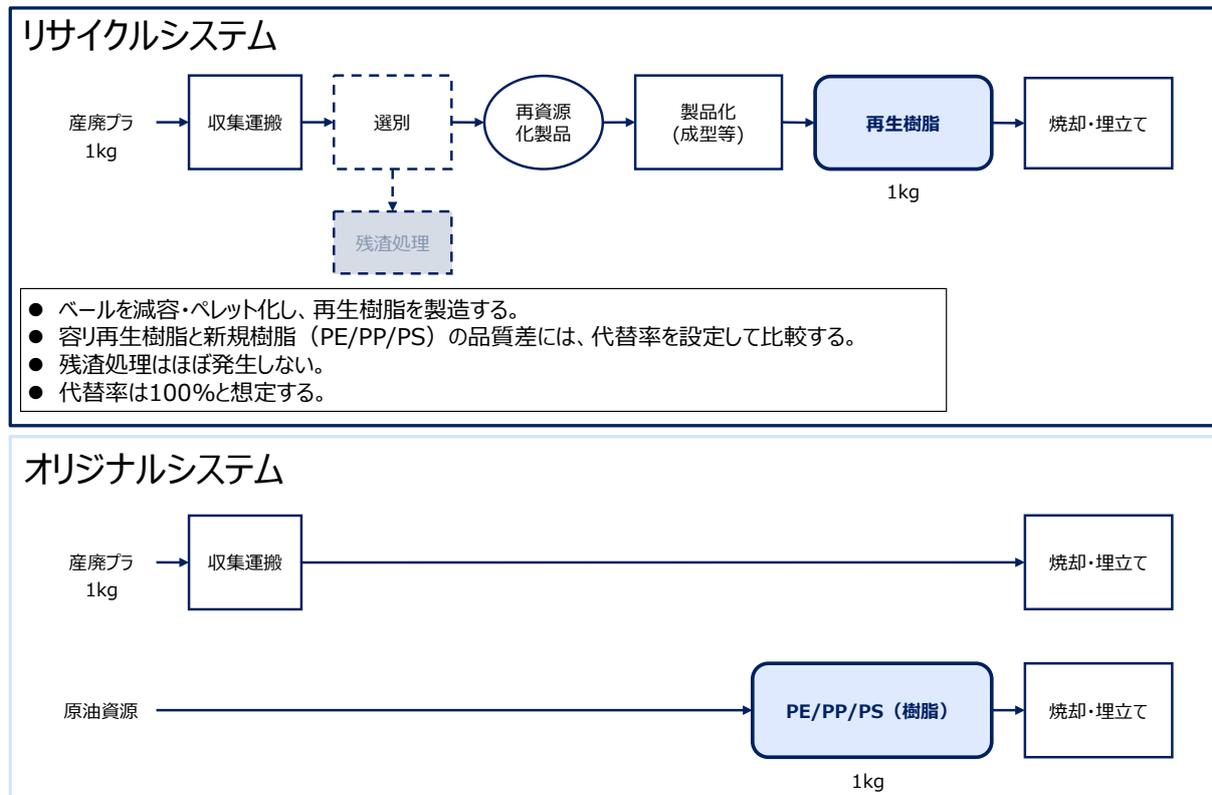


図 6-1 再生樹脂のシステム境界

（2）再生樹脂と新規樹脂の代替率

再生樹脂と新規樹脂の代替率については、2019年報告書では1（再生樹脂と新規樹脂が同じ重量で同一の機能を果たす）と0.5（再生樹脂の重量に対して新規樹脂はその半分の重量で同一の機能を果たすことができる）の2ケースを検討したが、産廃プラでは、単一組成のプラスチックを収集することから、代替率を1として評価を行った。

（3）リサイクルシステムのインベントリデータ

産廃プラの収集・運搬、再生樹脂を製造するプロセスのインベントリデータは次のとおりである。なお、再生樹脂の焼却・埋立におけるインベントリデータは、対象とする産廃プラがPE、PP、PSで異なるため、3ケースで整理した。

表 6-1 産廃プラスチックの収集・運搬～再生樹脂製造におけるインベントリデータ

活動（入力）					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー 資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Input	原料	産廃プラスチック	1.00E+00	kg		
Input	ユーティリティ	4tトラック輸送	3.00E-02	tkm		
Input	ユーティリティ	電力	4.19E-01	kWh		
Output	生成物	再生樹脂	1.00E+00	kg		
合計					4.14E+00	2.62E-01

表 6-2 再生樹脂の焼却・埋立におけるインベントリデータ（PE）

活動（入力）					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー 資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Input	原料	PE 焼却	1.00E+00	kg	4.60E+01	3.14E+00
Input	ユーティリティ	電力	1.30E-02	kWh		
Input	ユーティリティ	LPG	2.00E-03	MJ		
Input	ユーティリティ	B 重油	2.69E-03	MJ		
Output	生成物	残渣（埋立）	3.10E-02	kg		
合計					4.62E+01	3.15E+00

表 6-3 再生樹脂の焼却・埋立におけるインベントリデータ（PP）

活動（入力）					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー 資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Input	原料	PP 焼却	1.00E+00	kg	4.40E+01	3.14E+00
Input	ユーティリティ	電力	1.30E-02	kWh		
Input	ユーティリティ	LPG	2.00E-03	MJ		
Input	ユーティリティ	B 重油	2.69E-03	MJ		
Output	生成物	残渣（埋立）	3.10E-02	kg		
合計					4.41E+01	3.15E+00

表 6-4 再生樹脂の焼却・埋立におけるインベントリデータ (PS)

活動 (入力)					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー 資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Input	原料	PS 焼却	1.00E+00	kg	4.02E+01	3.38E+00
Input	ユーティリティ	電力	1.30E-02	kWh		
Input	ユーティリティ	LPG	2.00E-03	MJ		
Input	ユーティリティ	B 重油	2.69E-03	MJ		
Output	生成物	残渣 (埋立)	3.10E-02	kg		
合計					4.03E+01	3.39E+00

(4) オリジナルシステムのインベントリデータ

産廃プラの収集・運搬に関するインベントリデータはリサイクルシステムと同様である。産廃プラの焼却・埋立に関するインベントリデータ、原油資源より新規樹脂 (PE/PP/PS) を製造するプロセスおよび新規樹脂を焼却・埋立するプロセスのインベントリデータは、次のとおりである。

表 6-5 産廃プラの焼却・埋立におけるインベントリデータ (PE)

活動 (入力)					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー 資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Input	原料	PE 焼却	1.00E+00	kg	4.60E+01	3.14E+00
Input	ユーティリティ	電力	1.30E-02	kWh		
Input	ユーティリティ	LPG	2.00E-03	MJ		
Input	ユーティリティ	B 重油	2.69E-03	MJ		
Output	生成物	残渣 (埋立)	3.10E-02	kg		
合計					4.62E+01	3.15E+00

表 6-6 産廃プラの焼却・埋立におけるインベントリデータ (PP)

活動 (入力)					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー 資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Input	原料	PP 焼却	1.00E+00	kg	4.40E+01	3.14E+00
Input	ユーティリティ	電力	1.30E-02	kWh		
Input	ユーティリティ	LPG	2.00E-03	MJ		
Input	ユーティリティ	B 重油	2.69E-03	MJ		
Output	生成物	残渣 (埋立)	3.10E-02	kg		
合計					4.41E+01	3.15E+00

表 6-7 産廃プラの焼却・埋立におけるインベントリデータ (PS)

活動 (入力)					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー 資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Input	原料	PS 焼却	1.00E+00	kg	4.02E+01	3.38E+00
Input	ユーティリティ	電力	1.30E-02	kWh		
Input	ユーティリティ	LPG	2.00E-03	MJ		
Input	ユーティリティ	B 重油	2.69E-03	MJ		
Output	生成物	残渣 (埋立)	3.10E-02	kg		
合計					4.03E+01	3.39E+00

表 6-8 新規樹脂の焼却・埋立におけるインベントリデータ (PE)

活動 (入力)					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー 資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Input	原料	PE 焼却	1.00E+00	kg	4.60E+01	3.14E+00
Input	ユーティリティ	電力	1.30E-02	kWh		
Input	ユーティリティ	LPG	2.00E-03	MJ		
Input	ユーティリティ	B 重油	2.69E-03	MJ		
Output	生成物	残渣 (埋立)	3.10E-02	kg		

表 6-9 新規樹脂の焼却・埋立におけるインベントリデータ (PP)

活動 (入力)					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Input	原料	PP 焼却	1.00E+00	kg	4.40E+01	3.14E+00
Input	ユーティリティ	電力	1.30E-02	kWh		
Input	ユーティリティ	LPG	2.00E-03	MJ		
Input	ユーティリティ	B 重油	2.69E-03	MJ		
Output	生成物	残渣 (埋立)	3.10E-02	kg		

表 6-10 新規樹脂の焼却・埋立におけるインベントリデータ (PS)

活動 (入力)					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Input	原料	PS 焼却	1.00E+00	kg	4.02E+01	3.38E+00
Input	ユーティリティ	電力	1.30E-02	kWh		
Input	ユーティリティ	LPG	2.00E-03	MJ		
Input	ユーティリティ	B 重油	2.69E-03	MJ		
Output	生成物	残渣 (埋立)	3.10E-02	kg		

(5) 再生樹脂のまとめ

以下では、再生樹脂と新規樹脂の樹脂別の3つのケースの結果を示す。

- リサイクルシステムの環境負荷

表 6-11 再生樹脂のリサイクルシステムの環境負荷 (PE)

プロセス	エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
収集・運搬～再生樹脂製造	4.14E+00	2.62E-01
再生樹脂の焼却・埋立	4.62E+01	3.15E+00
合計	5.03E+01	3.41E+00

表 6-12 再生樹脂のリサイクルシステムの環境負荷 (PP)

プロセス	エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
収集・運搬～再生樹脂製造	4.14E+00	2.62E-01
再生樹脂の焼却・埋立	4.41E+01	3.15E+00
合計	4.82E+01	3.41E+00

表 6-13 再生樹脂のリサイクルシステムの環境負荷 (PS)

プロセス	エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
収集・運搬～再生樹脂製造	4.14E+00	2.62E-01
再生樹脂の焼却・埋立	4.03E+01	3.39E+00
合計	4.45E+01	3.66E+00

● オリジナルシステムの環境負荷

表 6-14 再生樹脂のオリジナルシステムの環境負荷 (PE)

プロセス	エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
収集・運搬～産廃プラ焼却・埋立	4.63E+01	3.16E+00
新規樹脂の製造・焼却・埋立	1.18E+02	5.15E+00
合計	1.64E+02	8.31E+00

表 6-15 再生樹脂のオリジナルシステムの環境負荷 (PP)

プロセス	エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
収集・運搬～産廃プラ焼却・埋立	4.42E+01	3.16E+00
新規樹脂の製造・焼却・埋立	1.16E+02	5.16E+00
合計	1.60E+02	8.32E+00

表 6-16 再生樹脂のオリジナルシステムの環境負荷 (PS)

プロセス	エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
収集・運搬～産廃プラ焼却・埋立	4.05E+01	3.40E+00
新規樹脂の製造・焼却・埋立	1.25E+02	6.43E+00
合計	1.65E+02	9.83E+00

(6) 再生樹脂に関する評価結果

以下に、マテリアルリサイクルに関する評価の結果を示す。いずれのプラスチックにおいてもリサイクルシステムの方がエネルギー消費、CO₂ 排出量の少ない結果となっており、単一素材の廃プラが収集された場合、マテリアルリサイクルの実施がCO₂排出量の削減に向けて有効であることを示している。CO₂ 排出量の削減、資源循環のためには、可能な限り単一素材の原料を収集していくことが重要と考えられる。

表 6-17 マテリアルリサイクルの評価結果 (単一組成プラスチックのリサイクル)

	エネルギー資源消費[MJ]			CO ₂ 排出[kg-CO ₂]		
	リサイクルシステム	オリジナルシステム	削減効果	リサイクルシステム	オリジナルシステム	削減効果
PE	5.03E+01	1.64E+02	1.14+02	3.41E+00	8.31E+00	4.89E+00
PP	4.82E+01	1.60E+02	1.12+02	3.41E+00	8.32E+00	4.90E+00
PS	4.45E+01	1.65E+02	1.21+02	3.66E+00	9.83E+00	6.18E+00

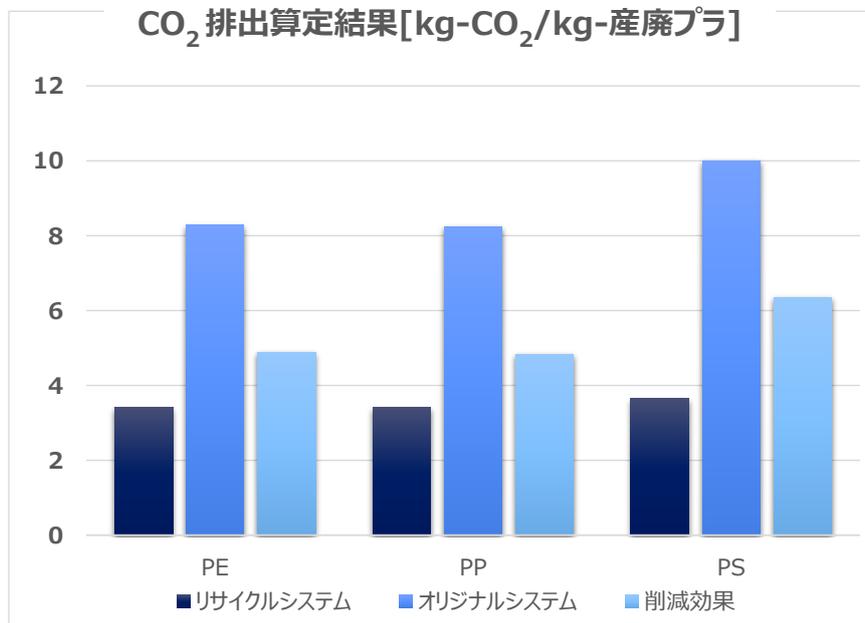


図 6-2 マテリアルリサイクルの評価結果 (CO₂ 排出量)

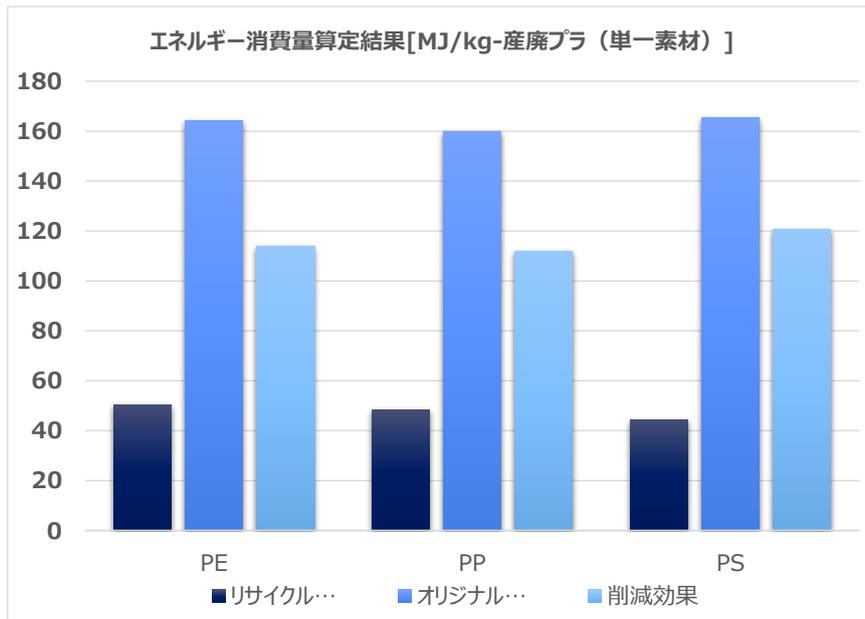


図 6-3 マテリアルリサイクルの評価結果（エネルギー消費量）

6.2 ケミカルリサイクル（混合廃プラの処理）

6.2.1 油化（燃料化）

（1）システム境界

油化（燃料化）のシステム境界を下記に示す。

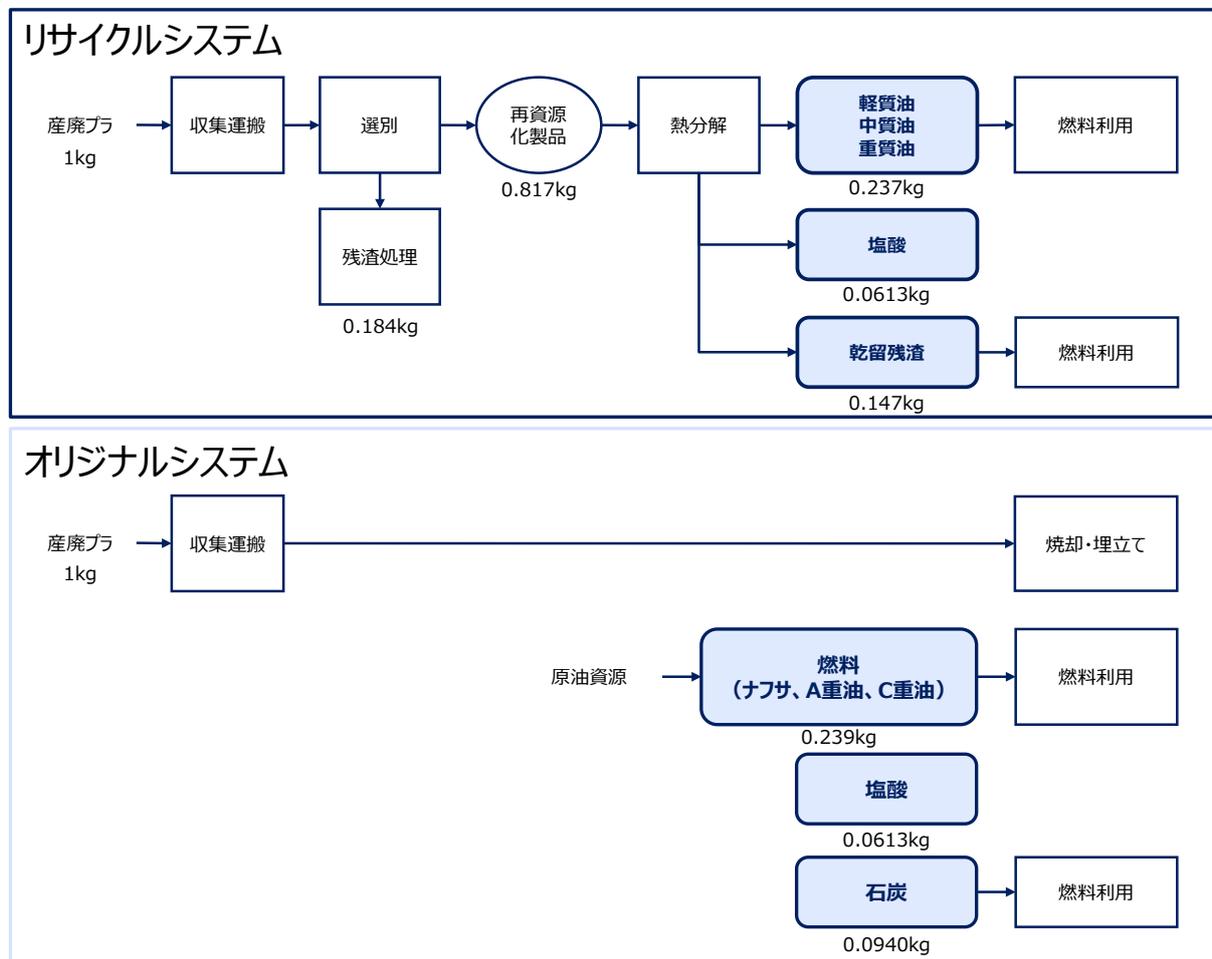


図 6-4 油化（燃料化）のシステム境界

（2）リサイクルシステムのインベントリデータ

産廃プラの収集・運搬のインベントリデータは、マテリアルリサイクルと同じである。油化（燃料化）により得られる生成油は軽質油、中質油、重質油に分かれる。産廃プラ 1kg の選別・残渣処理・熱分解プロセスのインベントリデータは次のとおり。

表 6-18 選別・残渣処理・熱分解のインベントリデータ

活動（入力）					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー 資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Output	その他	残渣処理 (埋立)	1.84E-01	kg		
Input	原料	再資源化製品 焼却（燃料）	8.17E-01	kg		
Input	ユーティリティ	軽油	1.29E-05	MJ		
Input	ユーティリティ	水道水	8.99E-05	m ³		
Input	ユーティリティ	用水	3.62E-03	m ³		
Output	生成物	軽質油	8.82E-02	kg		
Output	その他	軽質油 (自家消費)	1.40E-01	kg		
Output	生成物	中質油	1.12E-02	kg		
Output	生成物	重質油	1.37E-01	kg		
Output	その他	重質油 (自家消費)	1.12E-01	kg		
Output	その他	塩酸（10%）	6.13E-02	kg		
Output	その他	乾留残渣	1.47E-01	kg		
合計					3.00E+01	2.28E+00

※ 軽質／中質油／重質油／乾留残渣の生成物の焼却に伴うエネルギー資源消費／CO₂排出量は再資源化製品焼却として計上している。

（3）オリジナルシステムのインベントリデータ

軽質油はナフサ相当、中質油は A 重油相当、重質油は C 重油相当、乾留残渣は石炭相当である。そこで、それぞれの熱量相当で比較して必要となるナフサ、A 重油、C 重油、石炭の量を決定した。また、塩酸は油化（燃料化）から生成されるものと同等とする。ただし、本評価で使用している IDEA V3.2 では、35%塩酸のデータであったため、10%塩酸相当になるよう重量を比較して、塩酸および純水の量を決定した。それぞれの代替関係は次のとおり。

表 6-19 油化（燃料化）のリサイクルシステムとオリジナルシステムの代替関係

	重量 [kg]	熱量 [MJ/kg]	相当品熱量 [MJ/kg]	相当品重量 [kg]
軽質油	0.0882	42.1	ナフサ：48.7	0.0762
中質油	0.0112	45.2	A 重油：39.1	0.0130
重質油	0.137	45.5	C 重油：41.7	0.150
乾留残渣	0.147	17.0	石炭：26.6	0.103
塩酸（10%）	0.0613			塩素：0.0192 純水：0.0481

オリジナルシステムにおける、産廃プラの収集・運搬のインベントリデータはマテリアルリサイクルと同様である。産廃プラの焼却・埋立、油化（燃料化）に対するオリジナルシステムのインベントリデータ（代替物質の製造・燃焼）は以下の通り。

表 6-20 産廃プラの焼却・埋立におけるインベントリデータ（混合廃プラ）

活動（入力）					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー 資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Input	原料	産廃プラ焼却	1.00E+00	kg	3.53E+01	2.65E+00
Input	ユーティリティ	電力	1.30E-02	kWh		
Input	ユーティリティ	LPG	2.00E-03	MJ		
Input	ユーティリティ	B 重油	2.69E-03	MJ		
Output	生成物	残渣（埋立）	3.10E-02	kg		
合計					3.55E+01	2.66E+00

表 6-21 油化（燃料化）生成物の代替物質の製造・燃焼におけるインベントリデータ（混合廃プラ）

活動（入力）					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー 資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Input	生成物	A 重油	5.06E-01	MJ		
Input	生成物	ナフサ	3.71E+00	MJ		
Input	生成物	C 重油	6.26E+00	MJ		
Input	生成物	一般炭	2.50E+00	MJ		
Input	原料	塩酸	1.92E-02	kg		
Input	原料	純水	4.81E-05	m ³		
合計					1.44E+01	1.12E+00

(4) 油化（燃料化）のまとめ

以下に、油化（燃料化）に関するリサイクルシステムとオリジナルシステムの結果を示す。

- リサイクルシステムの環境負荷

表 6-22 油化（燃料化）のリサイクルシステムの環境負荷

プロセス	エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
収集・運搬～選別・残渣処理・熱分解	3.00E+01	2.29E+00
合計	3.00E+01	2.29E+00

- オリジナルシステムの環境負荷

表 6-23 油化（燃料化）のオリジナルシステムの環境負荷

プロセス	エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
収集・運搬～産廃プラの焼却・埋立	3.56E+01	2.67E+00
油化生成物の代替物質の製造・燃焼	1.44E+01	1.12E+00
合計	5.00E+01	3.78E+00

(5) 油化（燃料化）に関する評価結果

以下に、油化（燃料化）に関する評価の結果を示す。

表 6-24 ケミカルリサイクル（油化：燃料化）の評価結果
(混合廃プラスチックのリサイクル)

	エネルギー資源消費[MJ]			CO ₂ 排出[kg-CO ₂]		
	リサイクルシステム	オリジナルシステム	削減効果	リサイクルシステム	オリジナルシステム	削減効果
油化 (燃料化)	3.00E+01	5.00E+01	2.00+01	2.29E+00	3.78E+00	1.50E+00

6.2.2 油化 (HiCOP 方式)

(1) システム境界

油化 (HiCOP 方式) のシステム境界を下記に示す。

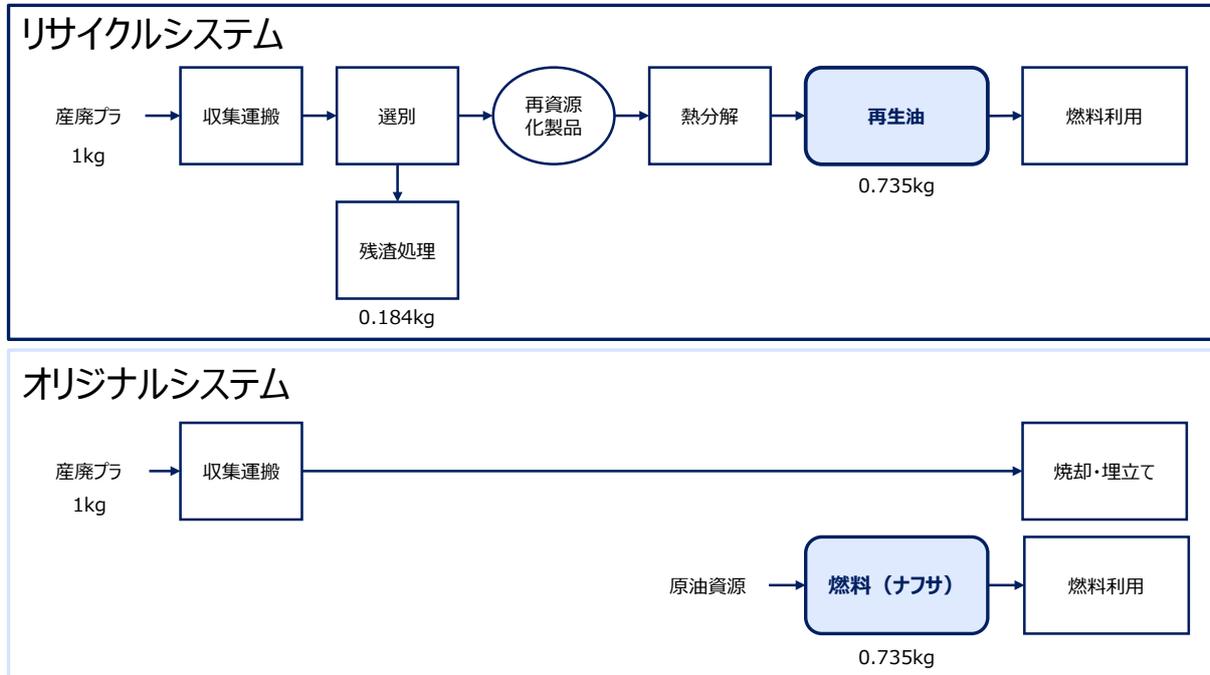


図 6-5 油化 (HiCOP 方式) のシステム境界

(2) リサイクルシステムのインベントリデータ

産廃プラの収集・運搬のインベントリデータは、マテリアルリサイクルと同じである。油化 (HiCOP 方式) により得られる生成油は原油に相当する。産廃プラ 1kg の選別・残渣処理・熱分解プロセス、熱分解で得られた油からナフサを製造するプロセスのインベントリデータは次のとおり。

表 6-25 選別・残渣処理・熱分解のインベントリデータ

活動 (入力)					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Output	その他	残渣処理 (埋立)	1.84E-01	kg		
Input	原料	再資源化製品	8.17E-01	kg		
Input	ユーティリティ	電力	6.54E-01	kWh		
Output	生成物	再生油	7.35E-01	kg		
Output	その他	ガス留分の燃焼	8.17E-02	kg		
合計					3.60E+01	2.64E+00

(3) オリジナルシステムのインベントリデータ

得られる再生油はナフサ相当となっており、ここでは同量のナフサが得られるものと想定して評価を実施した。なお、オリジナルシステムにおける、産廃プラの収集・運搬のインベントリデータはマテリアルリサイクルと同様である。産廃プラの焼却は油化（燃料化）と同じになる。油化（HiCOP方式）に対するオリジナルシステムのインベントリデータ（ナフサの製造・燃焼）となる。

(4) 油化（HiCOP方式）のまとめ

以下に、油化（HiCOP方式）に関するリサイクルシステムとオリジナルシステムの結果を示す。

- リサイクルシステムの環境負荷

表 6-26 油化（HiCOP方式）のリサイクルシステムの環境負荷

プロセス	エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
収集・運搬～選別・残渣処理・熱分解 (製品焼却含む)	3.61E+01	2.65E+00
合計	3.61E+01	2.65E+00

- オリジナルシステムの環境負荷

表 6-27 油化（HiCOP方式）のオリジナルシステムの環境負荷

プロセス	エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
収集・運搬～産廃プラの焼却・埋立/ 代替物質の製造・燃焼	7.31E+01	5.33E+00
合計	7.31E+01	5.33E+00

(5) 油化（HiCOP方式）に関する評価結果

以下に、油化（HiCOP方式）に関する評価の結果を示す。

表 6-28 ケミカルリサイクル（油化：HiCOP方式）の評価結果
(混合廃プラスチックのリサイクル)

	エネルギー資源消費[MJ]			CO ₂ 排出[kg-CO ₂]		
	リサイクルシステム	オリジナルシステム	削減効果	リサイクルシステム	オリジナルシステム	削減効果
油化 (HiCOP)	3.61E+01	7.31E+01	3.69+01	2.65E+00	5.33E+00	2.68E+00

6.2.3 ガス化（化学原料化）

（１）システム境界

ガス化（化学原料化）のシステム境界を下記に示す。

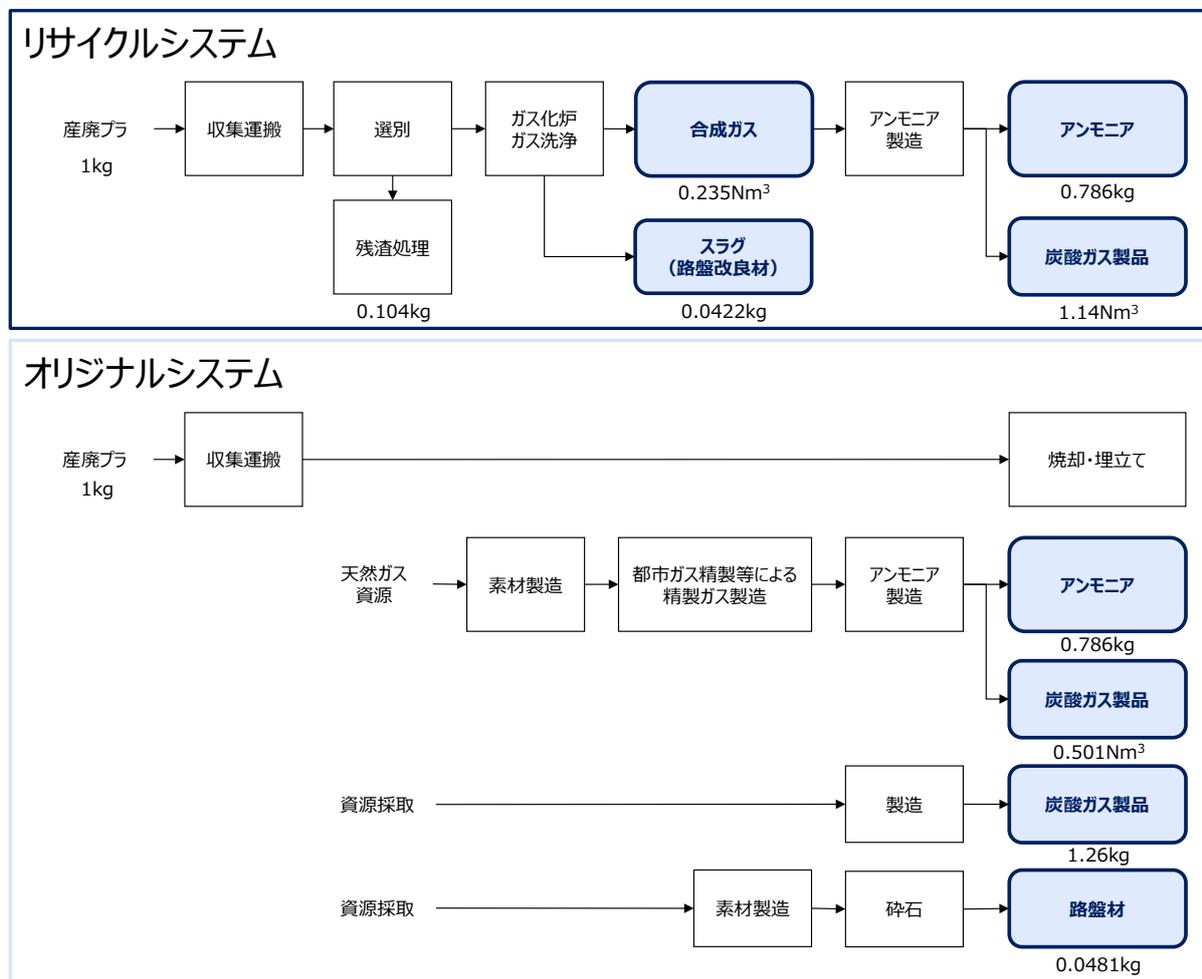


図 6-6 ガス化（化学原料化）のシステム境界

（２）リサイクルシステムのインベントリデータ

産廃プラ収集運搬のインベントリデータは、マテリアルリサイクルと同じである。産廃プラを選別し、ガス化（合成ガス製造）するプロセスおよび合成ガスからアンモニアを製造するプロセスのインベントリデータは次のとおりである。なお、選別時に残渣となる産廃プラについては残渣（埋立）として、選別、ガス化（合成ガス製造）するプロセスへ計上した。また、産廃プラに含まれる炭素分は炭酸ガスとして販売され、最終的に大気へ排出される。この排出については、産廃プラ焼却（ガス化）として計上した。

表 6-29 選別～ガス化（合成ガス製造）のインベントリデータ

活動（入力）					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー 資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Input	原料	産廃プラスチック 焼却（ガス化）	8.97E-01	kg	3.28E+01	2.50E+00
Input	原料	酸素	8.56E-01	N m ³		
Input	原料	NaOH	4.49E-03	kg		
Input	ユーティリティ	電力	5.23E-01	kWh		
Input	ユーティリティ	都市ガス	1.98E-04	MJ		
Input	ユーティリティ	軽油	1.46E-02	MJ		
Input	ユーティリティ	蒸気	1.29E+00	kg		
Input	ユーティリティ	空気	2.56E-01	N m ³		
Input	ユーティリティ	窒素	3.80E-01	N m ³		
Input	ユーティリティ	用水	7.46E-04	m ³		
Output	生成物	合成ガス	2.35E+00	N m ³		
Output	その他	スラグ	4.22E-02	kg		
Output	その他	残渣（埋立）	1.04E-01	kg		
合計					4.37E+01	3.26E+00

酸素及び空気については影響が小さいものと考え評価の対象外とした。

表 6-30 合成ガスからアンモニア製造のインベントリデータ

活動（入力）					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー 資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Input	原料	合成ガス	2.35E+00	N m ³		
Input	原料	空気	3.71E-01	N m ³		
Input	原料	蒸気	1.16E+00	kg		
Input	ユーティリティ	電力	7.37E-01	kWh		
Input	ユーティリティ	都市ガス	7.98E+00	MJ		
Output	生成物	アンモニア	7.86E-01	kg		
Output	生成物	炭酸ガス	1.14E+00	N m ³		
Output	生成物	水素	2.35E-02	N m ³		
合計					2.16E+01	1.28E+00

（3）オリジナルシステムのインベントリデータ

オリジナルシステムにおける、産廃プラの収集・運搬のインベントリデータはマテリアルリサイクルと同様である。産廃プラの焼却・埋立は油化（燃料化）と同じになる。新規のアンモニア製造、炭酸製造（副生ではないもの）、路盤材（碎石・砂利）製造に関するインベントリデータは次のとおりである。

表 6-31 新規アンモニア製造のインベントリデータ

活動（入力）					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Input	原料	都市ガス	1.94E+01	MJ		
Input	原料	空気	7.28E-01	N m ³		
Input	原料	蒸気	2.09E+00	kg		
Input	ユーティリティ	電力	5.38E-01	kWh		
Input	ユーティリティ	都市ガス	7.99E+00	MJ		
Output	生成物	アンモニア	7.86E-01	kg		
Output	生成物	炭酸ガス	5.01E-01	N m ³		
Output	生成物	水素	2.36E-02	N m ³		
合計					4.82E+01	2.65E+00

空気については影響が小さいものと考え評価の対象外とした。

表 6-32 新規炭酸ガス製造および路盤材（砕石・砂利）製造のインベントリデータ

活動（入力）					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Input	原料	炭酸ガス	1.26E+00	kg		
Input	原料	砕石・砕砂	4.81E-02	JPY		
合計					3.72E+01	9.20E-01

（４）ガス化（化学原料化）のまとめ

- リサイクルシステムの環境負荷

表 6-33 ガス化（アンモニア製造）のリサイクルシステムの環境負荷

プロセス	エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
収集・運搬～合成ガス製造	4.39E+01	3.27E+00
アンモニア製造	2.16E+01	1.28E+00
合計	6.55E+01	4.55E+00

- オリジナルシステムの環境負荷

表 6-34 ガス化（アンモニア製造）のオリジナルシステムの環境負荷

プロセス	エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
収集・運搬～産廃プラの焼却・埋立	3.56E+01	2.66E+00
アンモニア製造	4.82E+01	2.65E+00
炭酸ガス・砕石・砂利製造	3.72E+01	9.20E-01
合計	1.21E+02	6.24E+00

(5) ガス化（化学原料化）の評価結果

以下に、ガス化（化学原料化）に関する評価の結果を示す。

表 6-35 ケミカルリサイクル（ガス化：化学原料化）の評価結果
（混合廃プラスチックのリサイクル）

	エネルギー資源消費[MJ]			CO ₂ 排出[kg-CO ₂]		
	リサイクルシステム	オリジナルシステム	削減効果	リサイクルシステム	オリジナルシステム	削減効果
ガス化	6.55E+01	1.21E+02	5.55+01	4.55E+00	6.24E+00	1.68E+00

6.2.4 高炉還元（コークス代替）

(1) システム境界

高炉還元（コークス代替）のシステム境界を下記に示す。

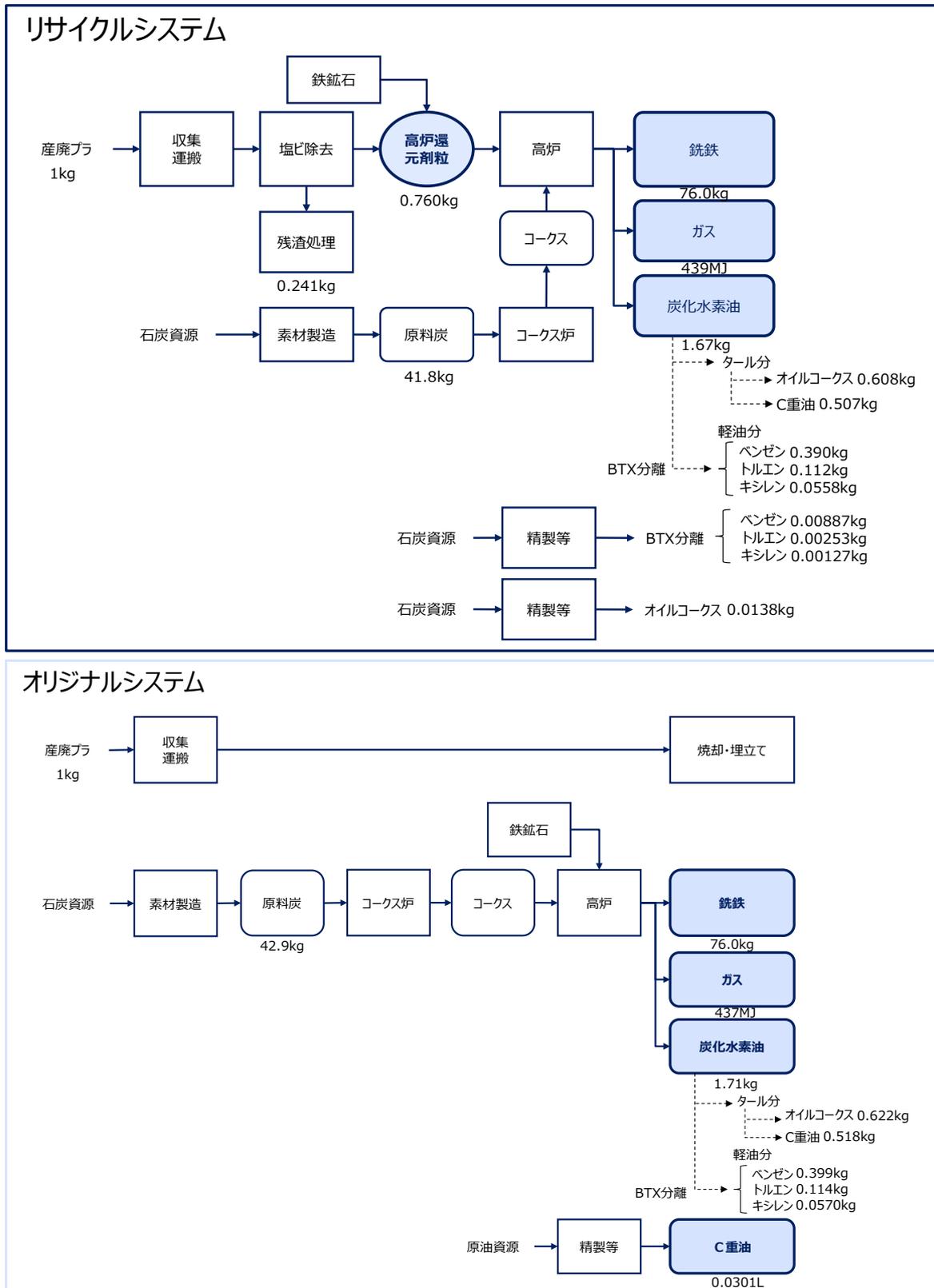


図 6-7 高炉還元（コークス代替）のシステム境界

(2) リサイクルシステムのインベントリデータ

産廃プラ収集運搬のインベントリデータは、マテリアルリサイクルと同じである。産廃プラを選別し、高炉還元剤粒を製造するプロセスのインベントリデータは次のとおりである。なお、選別時に残渣となる産廃プラについてはPVCを残渣（埋立）とし、一部残ったPVCの除去時に同時に除去されるプラスチック分については焼却処理を行うこととして、選別、高炉還元剤粒製造プロセスへ計上した。

表 6-36 産廃プラから高炉還元剤粒を製造するプロセスのインベントリデータ

活動（入力）					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー 資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Input	原料	再資源化製品	7.60E-01	kg		
Input	ユーティリティ	電力	2.21E-01	kWh		
Input	ユーティリティ	COG	1.08E-01	MJ		
Input	ユーティリティ	灯油	2.22E-01	MJ		
Input	ユーティリティ	軽油	1.16E-01	MJ		
Input	ユーティリティ	用水	1.29E-04	m ³		
Output	生成物	高炉還元剤粒	7.60E-01	kg		
Output	その他	残渣（埋立）	1.04E-01	kg		
Output	その他	残渣（焼却）	1.37E-01	kg		
合計					7.47E+00	5.41E-01

製造された高炉還元剤粒から銑鉄を製造するプロセスについて、製造時のユーティリティは2019年報告書と同様に省略する。インベントリデータは次のとおり。

表 6-37 高炉還元剤粒から銑鉄を製造するプロセスのインベントリデータ

活動（入力）					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー 資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Input	原料	高炉還元剤粒	7.60E-01	kg		
Input	原料	原料炭	1.21E+03	MJ		
Input	原料	鉄鉱石				
Output	生成物	ガス	4.39E+02	MJ		
Output	生成物	炭化水素油	1.67E+00	kg		
Output	生成物	銑鉄	7.60E+01	kg		
合計					1.31E+03	1.19E+02

炭化水素油のコールタールと軽質油の割合、BTX 分離工程の割合、BTX 分離における環境負荷に関しては 2019 年報告書を参照した。炭化水素油分離におけるインベントリデータは次のとおり。なお、BTX の生成量については、炭化水素油から出来るオイルコークスと C 重油の量をもとに H19 年度の「プラスチック製容器包装再商品化手法に関する環境負荷の検討」の値を用いた。炭化水素油由来の BTX、オイルコークスについては、リサイクルシステムの生成量と後述するオリジナルシステムの従来の石油精製のプロセスで生成量を比較すると、オリジナルシステムの生成量の方が大きくなった。従って、不足分を補うためにリサイクルシステム側において、BTX 及びオイルコークスの新規製造による環境負荷を加えることとした。BTX、オイルコークスの新規製造におけるインベントリデータは次のとおり。

表 6-38 炭化水素油分離及び BTX・オイルコークスの新規製造におけるインベントリデータ

活動（入力）					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー 資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Input	原料	炭化水素油	1.67E+00	kg		
Output	生成物	BTX	5.56E-01	kg		
Output	生成物	ベンゼン	3.90E-01	kg		
Output	生成物	トルエン	1.12E-01	kg		
Output	生成物	キシレン	5.58E-02	kg		
Output	生成物	オイルコークス	6.08E-01	kg		
Output	生成物	C 重油	5.07E-01	kg		
Output	生成物	ベンゼン（新規）	8.87E-03	kg		
Output	生成物	トルエン（新規）	2.53E-03	kg		
Output	生成物	キシレン（新規）	1.27E-03	kg		
Output	生成物	オイルコークス （新規／燃焼）	4.60E-01	MJ		
合計					3.30E+00	1.98E-01

（3）オリジナルシステムのインベントリデータ

オリジナルシステムにおける、産廃プラの収集・運搬のインベントリデータはマテリアルリサイクルと同様である。産廃プラの焼却・埋立は油化（燃料化）と同様である。銑鉄製造におけるインベントリデータ、炭化水素油分離におけるインベントリデータは次のとおり。炭化水素油のコールタールと軽質油の割合、BTX 分離工程の割合、BTX 分離における環境負荷に関しては 2019 年報告書を参照した。

表 6-39 銑鉄製造におけるインベントリデータ

活動（入力）					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー 資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Input	原料	原料炭	1.24E+03	MJ		
Input	原料	鉄鉱石				
Output	生成物	ガス	4.37E+02	MJ		
Output	生成物	炭化水素油	1.71E+00	kg		
Output	生成物	銑鉄	7.60E+01	kg		

表 6-40 炭化水素油分離のインベントリデータ

活動（入力）					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー 資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Input	原料	炭化水素油	1.67E+00	kg		
Output	生成物	BTX	5.31E-01	kg		
Output	生成物	ベンゼン	3.99E-01	kg		
Output	生成物	トルエン	1.14E-01	kg		
Output	生成物	キシレン	5.70E-02	kg		
Output	生成物	オイルコークス	6.22E-01	kg		
Output	生成物	C 重油	5.18E-01	kg		

ガスによる熱量差分については、C 重油ボイラから発生するガスで代替されるものとした。また、炭化水素油由来の C 重油差分について、リサイクルシステムとオリジナルシステムの差分を算出し、合計で不足となる C 重油を追加した。C 重油の精製におけるインベントリデータは次のとおり。

表 6-41 C 重油精製におけるインベントリデータ

活動（入力）					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー 資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Output	原料	C 重油	1.26E+00	MJ		

(4) 高炉還元（コークス代替）のまとめ

● リサイクルシステムの環境負荷

表 6-42 高炉還元（コークス代替）のリサイクルシステムの環境負荷

プロセス	エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
収集・運搬～高炉還元剤粒の製造	7.59E+00	5.50E-01
銑鉄製造	1.31E+03	1.19E+02
炭化水素油分離・BTX・オイルコークス製造	3.30E+00	1.98E-01
合計	1.32E+03	1.20E+02

● オリジナルシステムの環境負荷

表 6-43 高炉還元（コークス代替）のオリジナルシステムの環境負荷

プロセス	エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
収集・運搬～産廃プラの焼却・埋立	3.56E+01	2.67E+00
銑鉄製造・炭化水素油分離・C 重油製造	1.32E+03	1.21E+02
合計	1.36E+03	1.23E+02

(5) 高炉還元（コークス代替）の評価結果

以下に、高炉還元（コークス代替）に関する評価の結果を示す。

表 6-44 ケミカルリサイクル（高炉還元：コークス代替）の評価結果
(混合廃プラスチックのリサイクル)

	エネルギー資源消費[MJ]			CO ₂ 排出[kg-CO ₂]		
	リサイクルシステム	オリジナルシステム	削減効果	リサイクルシステム	オリジナルシステム	削減効果
高炉還元 (コークス代替)	1.32E+03	1.36E+03	3.26+01	1.20E+02	1.23E+02	3.00E+00

6.2.5 高炉還元（微粉炭代替）

（1）システム境界

高炉還元（微粉炭代替）のシステム境界を下記に示す。

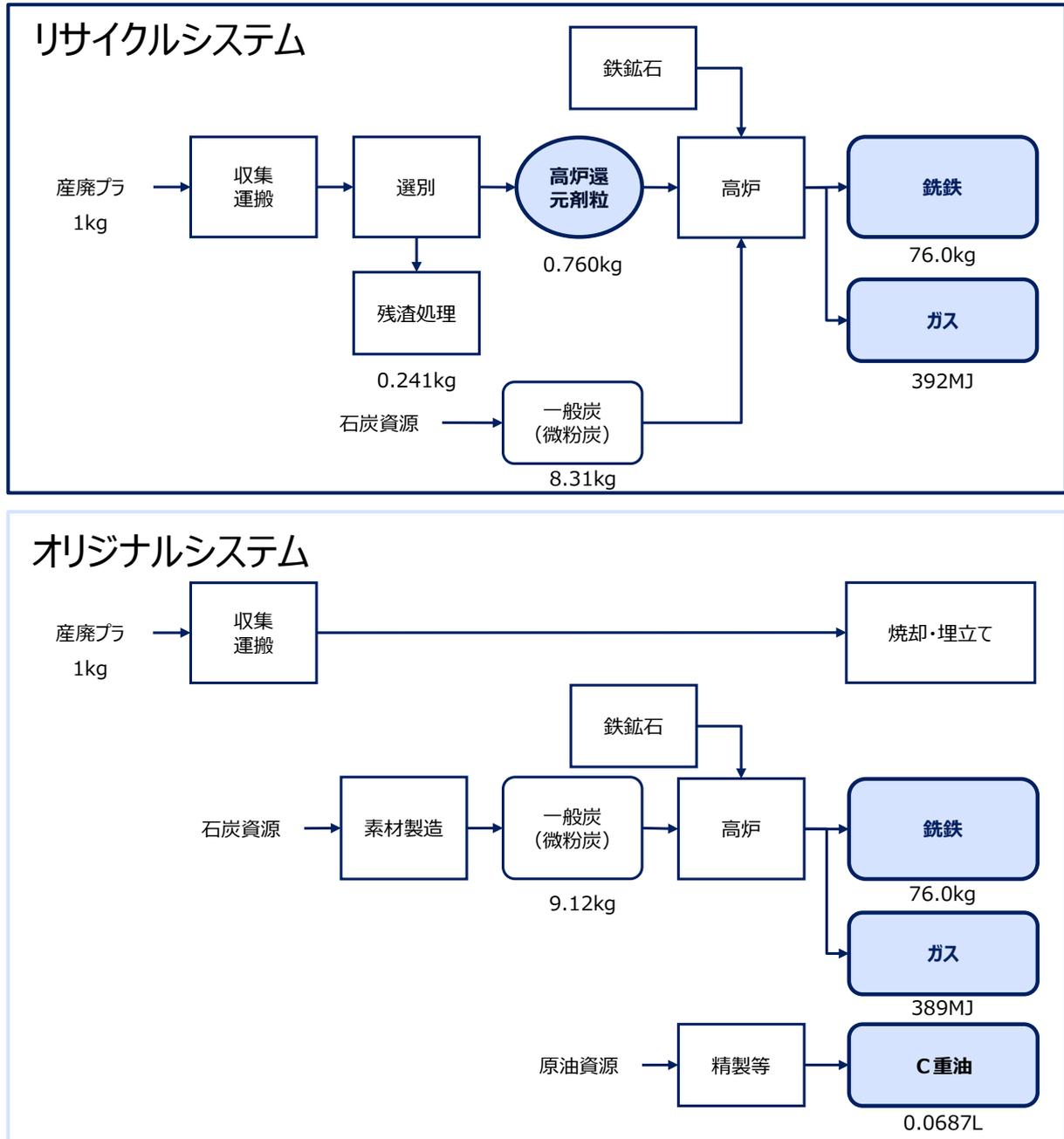


図 6-8 高炉還元（微粉炭代替）のシステム境界

（2）リサイクルシステムのインベントリデータ

産廃プラ収集運搬のインベントリデータは、マテリアルリサイクルと同じである。産廃プラを選別し、高炉還元剤粒を製造するプロセスのインベントリデータは高炉還元（コークス代替）と同様である。製造された高炉還元剤粒から銑鉄を製造するプロセスについて、製造時のユーティリティは2019年報告書と同様に省略する。インベントリデータは次のとおり。

表 6-45 高炉還元剤粒から銑鉄を製造するプロセスのインベントリデータ

活動（入力）					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー 資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Input	原料	高炉還元剤粒	7.60E-01	kg		
Input	原料	一般炭	2.17E+02	MJ		
Input	原料	鉄鉱石				
Output	生成物	ガス	3.92E+02	MJ		
Output	生成物	銑鉄	7.60E+01	kg		
合計					2.54E+02	2.32E+01

（3）オリジナルシステムのインベントリデータ

オリジナルシステムにおける、産廃プラの収集・運搬のインベントリデータはマテリアルリサイクルと同様である。産廃プラの焼却・埋立は油化（燃料化）と同様である。銑鉄製造におけるインベントリデータは次のとおり。

このとき、リサイクルシステムとオリジナルシステムでは発生する副生ガスの量にわずかに差が生じる（オリジナルシステムの方がやや少ない）ため、熱量の差分を補うための C 重油をオリジナルシステムに追加した（発生するガスの熱量の差分は 2.54MJ、C 重油によるボイラ効率を 90%と想定し、熱量を補うための C 重油の量を約 0.07L と想定）。

表 6-46 銑鉄製造におけるインベントリデータ

活動（入力）					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー 資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Input	原料	一般炭(燃焼)	2.38E+02	MJ		
Input	原料	鉄鉱石				
Output	生成物	ガス	3.89E+02	MJ		
Output	生成物	銑鉄	7.60E+01	kg		

表 6-47 C 重油精製におけるインベントリデータ

活動（入力）					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー 資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Output	原料	C 重油	2.83E+00	MJ		

(4) 高炉還元（微粉炭代替）のまとめ

● リサイクルシステムの環境負荷

表 6-48 高炉還元（微粉炭代替）のリサイクルシステムの環境負荷

プロセス	エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
収集・運搬～高炉還元剤粒の製造	7.59E+00	5.50E-01
銑鉄製造	2.54E+02	2.32E+01
合計	2.62E+02	2.38E+01

● オリジナルシステムの環境負荷

表 6-49 高炉還元（微粉炭代替）のオリジナルシステムの環境負荷

プロセス	エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
収集・運搬～産廃プラの焼却・埋立	3.56E+01	2.67E+00
銑鉄製造・C 重油製造	2.51E+02	2.34E+01
合計	2.87E+02	2.61E+01

(5) 高炉還元（微粉炭代替）の評価結果

以下に、高炉還元（微粉炭代替）に関する評価の結果を示す。

表 6-50 ケミカルリサイクル（高炉還元：微粉炭代替）の評価結果
（混合廃プラスチックのリサイクル）

	エネルギー資源消費[MJ]			CO ₂ 排出[kg-CO ₂]		
	リサイクル システム	オリジナル システム	削減効果	リサイクル システム	オリジナル システム	削減効果
高炉還元 (微粉炭代替)	2.62E+02	2.87E+02	2.53+01	2.38E+01	2.61E+01	2.29E+00

6.2.6 コークス炉化学原料化

(1) システム境界

コークス炉化学原料化のシステム境界を下記に示す。

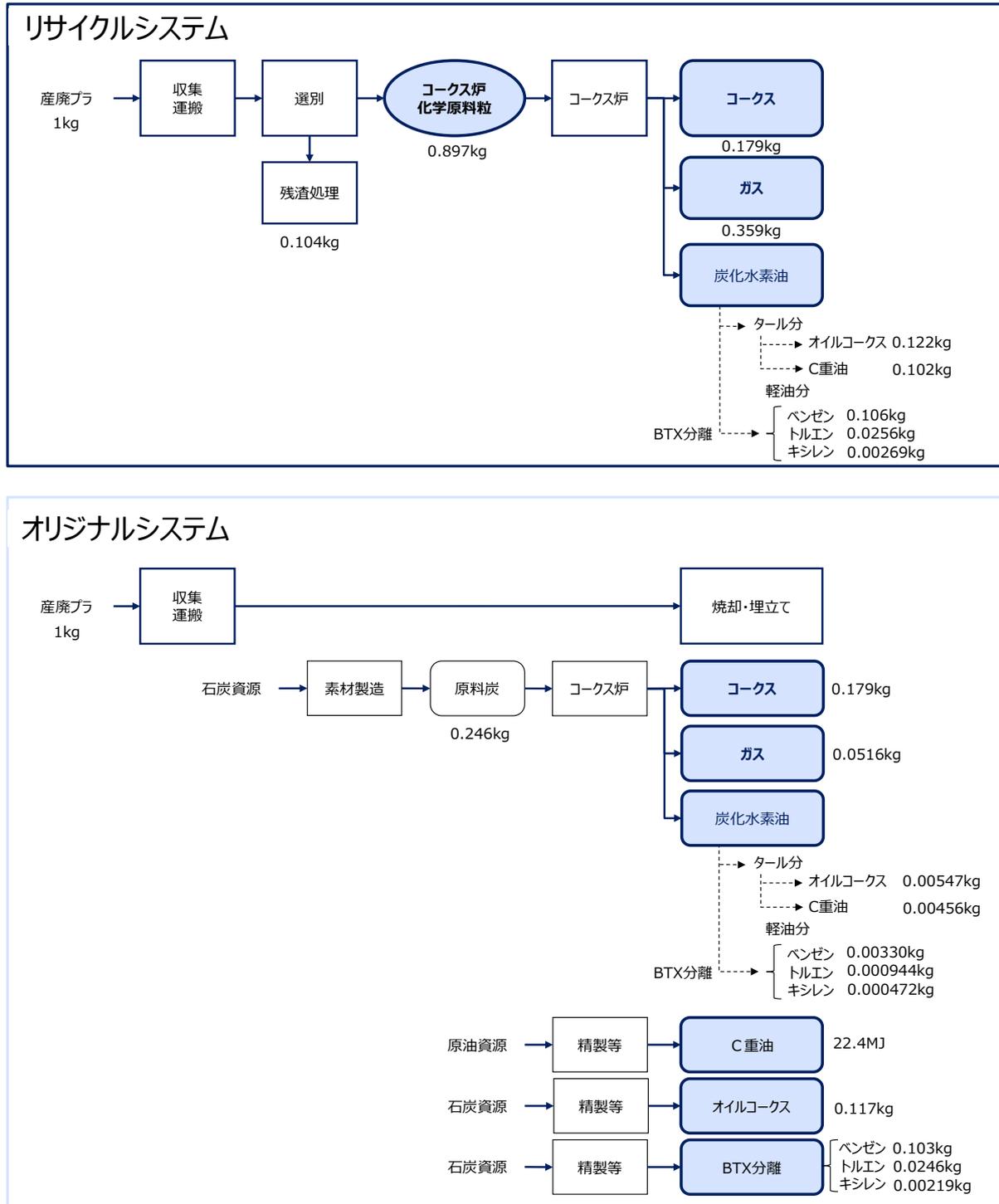


図 6-9 コークス炉化学原料化のシステム境界

(2) リサイクルシステムのインベントリデータ

産廃プラ収集運搬のインベントリデータは、マテリアルリサイクルと同じである。運搬された産廃プラは選別され、コークス炉化学原料粒を製造する。コークス炉化学原料粒はコークス炉に投入され、コークス、ガス、炭化水素油に2:4:4の比率で分解される。コークス炉化学原料粒の製造プロセス、コークス、ガス、炭化水素油が生成されるまでのインベントリデータは次のとおり。

表 6-51 産廃プラからコークス炉化学原料粒を製造するプロセスのインベントリデータ

活動（入力）					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー 資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Input	原料	産廃プラスチック	1.00E+00	kg		
Input	ユーティリティ	電力	2.94E-01	kWh		
Input	ユーティリティ	コークス炉化学原料粒	8.97E-01	kg		
Input	その他	残渣（埋立）	1.04E-01	kg		
合計					2.87E+00	1.81E-01

表 6-52 コークス炉化学原料粒からコークス、ガス、炭化水素油を製造するプロセス及び炭化水素油を分離する際のインベントリデータ

活動（入力）					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー 資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
コークス・ガス・炭化水素油製造プロセス						
Input	原料	化学原料粒（焼却）	8.97E-01	kg		
Input	ユーティリティ	電力	1.29E-02	kWh		
Input	ユーティリティ	COG	2.11E+00	MJ		
Output	生成物	炭化水素油	3.59E-01	kg		
Output	生成物	コークス	1.79E-01	kg		
Output	生成物	ガス	3.59E-01	kg		
炭化水素油分離プロセス						
Output	生成物	BTX	1.35E-01	kg		
Output	生成物	オイルコークス	1.22E-01	kg		
Output	生成物	C 重油	1.02E-01	kg		
合計					3.34E+01	2.62E+00

炭化水素油は25:15でタール分と軽質油分に分かれ、軽質油分よりBTX分離がなされる。BTX分離における環境負荷は2019年報告書を参照した。なお、生成されるオイルコークスやC重油の燃焼時に排出されるCO₂については、化学原料粒に含まれる炭素分が全て排出されるものとして化学原料粒の焼却として算定した。また、BTX分離に伴うエネルギー、CO₂排出量は全て2019年報告書の数値をそのまま採用した、

(3) オリジナルシステムのインベントリデータ

オリジナルシステムにおける、産廃プラの収集・運搬のインベントリデータはマテリアルリサイクルと同様である。産廃プラの焼却・埋立は油化（燃料化）と同様である。オリジナルシステムでは、原料炭がコークス炉に投入され、コークス、ガス、炭化水素油に分解される。また、炭化水素油からはBTXに分離される。インベントリデータは次のとおり。

炭化水素油のコールタールと軽質油の割合、BTX分離工程の割合、BTX分離における環境負荷に関しては2019年報告書を参照した。

表 6-53 原料炭からコークス、ガス、炭化水素油を製造するプロセス及び
BTX分離プロセスのインベントリデータ

活動（入力）					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー 資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
原料炭からコークス、ガス、炭化水素油を製造するプロセス						
Input	原料	原料炭	7.10E+00	MJ		
Input	ユーティリティ	電力	3.54E-03	kWh		
Input	ユーティリティ	COG	5.77E-01	MJ		
Output	生成物	炭化水素油	1.47E-02	kg		
Output	生成物	コークス	1.79E-01	kg		
Output	生成物	ガス	5.16E-02	kg		
BTX 分離プロセス						
Output	生成物	BTX	4.72E-03	kg		
Output	生成物	オイルコークス	5.47E-03	kg		
Output	生成物	C 重油	4.56E-03	kg		
合計					9.29E+00	8.30E-01

リサイクルシステムとオリジナルシステムでは発生する副生ガスの量にわずかに差が生じる（オリジナルシステムの方が少ない）ため、熱量の差分を補うためのC重油をオリジナルシステムに追加した（発生するガスの差分は約3kg（熱量で約16MJ）、C重油によるボイラ効率を90%と想定し、熱量を補うためのC重油の量を約0.4Lと想定）。また、炭化水素油の分離においてもBTX、オイルコークス（燃焼まで含む）、C重油がそれぞれオリジナルシステムの方で発生量が少ない。これについてもその差分を新規製造することで補った。

表 6-54 C 重油・BTX・オイルコークスの新規製造におけるインベントリデータ

活動（入力）					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Output	生成物	C 重油	2.24E+01	MJ		
Output	生成物	ベンゼン	1.03E-01	kg		
Output	生成物	トルエン	2.46E-02	kg		
Output	生成物	キシレン	2.19E-03	kg		
Output	生成物	オイルコークス	3.89E+00	MJ		
合計					4.01E+01	2.59E+00

（４） コークス炉化学原料化のまとめ

- リサイクルシステム的环境負荷

表 6-55 コークス炉化学原料化のリサイクルシステム的环境負荷

プロセス	エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
収集・運搬～コークス炉化学原料粒の製造	2.99E+00	1.90E-01
コークス製造・炭化水素油分離	3.34E+01	2.62E+00
合計	3.64E+01	2.81E+00

- オリジナルシステム的环境負荷

表 6-56 コークス炉化学原料化のオリジナルシステム的环境負荷

プロセス	エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
収集・運搬～産廃プラの焼却・埋立	3.56E+01	2.67E+00
コークス製造・炭化水素油分離	9.29E+00	8.30E-01
C 重油製造・燃焼・BTX・オイルコークスの製造	4.01E+01	2.59E+01
合計	8.49E+01	6.09E+00

（５） コークス炉化学原料化の評価結果

以下に、コークス炉化学原料化に関する評価の結果を示す。

表 6-57 ケミカルリサイクル（コークス炉化学原料化）の評価結果
（混合廃プラスチックのリサイクル）

	エネルギー資源消費[MJ]			CO ₂ 排出[kg-CO ₂]		
	リサイクルシステム	オリジナルシステム	削減効果	リサイクルシステム	オリジナルシステム	削減効果
コークス炉化学原料化	3.64E+01	8.49E+01	4.85+01	2.81E+00	6.09E+00	3.27E+00

6.3 エネルギーリカバリー（混合廃プラの処理）

6.3.1 RPF 利用

（1）システム境界

RPF 利用のシステム境界を下記に示す。

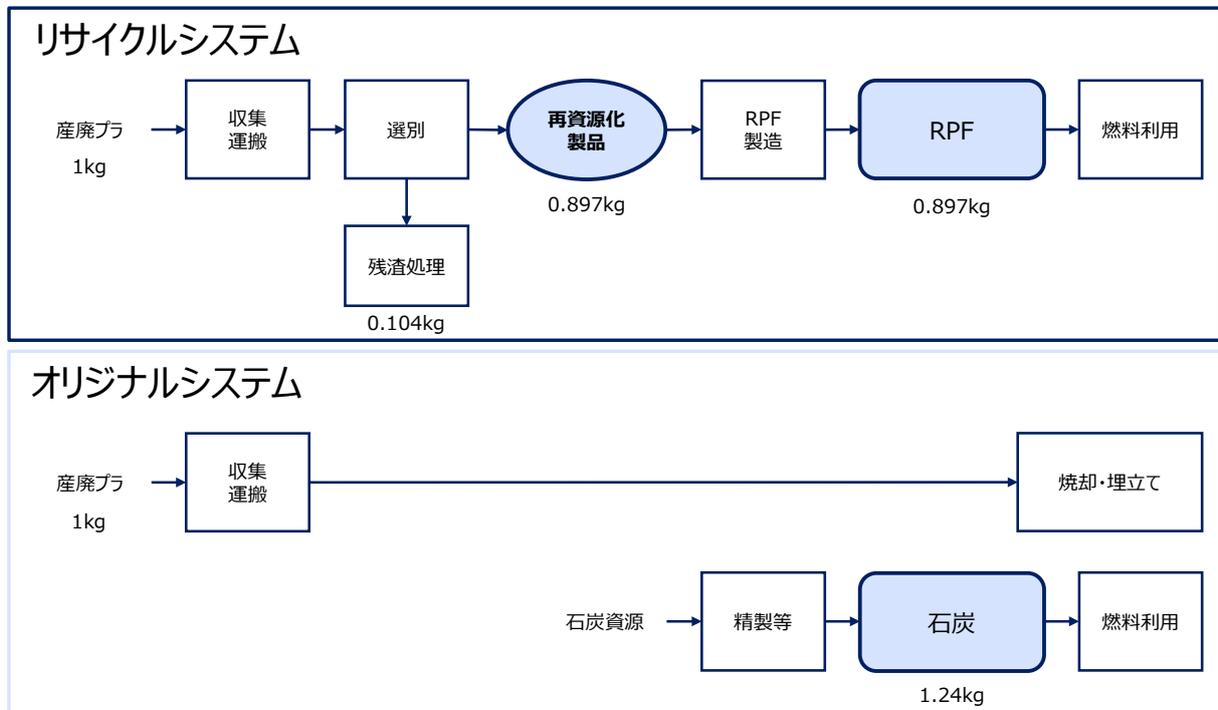


図 6-10 RPF 利用のシステム境界

（2）リサイクルシステムのインベントリデータ

産廃プラ収集運搬のインベントリデータは、マテリアルリサイクルと同じである。産廃プラを選別し、RPF を製造するプロセス及び製造した RPF を燃料利用／残渣埋立におけるインベントリデータは次のとおり。2019 年の容リプラでは収率について 2 パターンを想定したが、本調査の組成設定においてポリ塩化ビニルの除去で利用可能とのことから、この条件（収率 90%）を用いた。

表 6-58 産廃プラから RPF を製造するプロセスのインベントリデータ

活動（入力）					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Input	原料	産廃プラスチック	1.00E+00	kg		
Input	ユーティリティ	電力	1.88E-01	kWh		
Output	生成物	RPF 原料	8.97E-01	kg		
Output	その他	残渣	1.04E-01	kg		
合計					1.86E+00	1.17E-01

表 6-59 RPF の単純焼却・残渣埋立におけるインベントリデータ

活動（入力）					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Input	原料	RPF 焼却	8.97E-01	kg	3.28E+01	2.50E+00
Input	ユーティリティ	電力	1.17E-02	kWh		
Input	ユーティリティ	LPG	1.80E-03	MJ		
Input	ユーティリティ	B 重油	2.42E-03	MJ		
Output	その他	残渣（埋立）	2.78E-02	kg		
合計					3.30E+01	2.51E+00

（3）オリジナルシステムのインベントリデータ

オリジナルシステムにおける、産廃プラの収集・運搬のインベントリデータはマテリアルリサイクルと同様である。産廃プラの焼却・埋立は油化（燃料化）と同様である。RPFにより代替される石炭は、RPF に対し、RPF の燃焼時のボイラ効率 88%（プラスチック処理促進協会※データ）、石炭の燃焼時のボイラ効率 90%（プラスチック処理促進協会※データ）を想定して算定を実施した。なお、産廃プラから選別を経て得られた再資源化製品の組成をもとに、RPF の発熱量は 36.6MJ/kg（産廃プラ 1kg から得られる RPF の量は 0.897kg）とした。これと石炭の発熱量 26.6MJ/kg より、オリジナルシステムにおける石炭の投入量は 1.24kg となる。石炭製造・燃焼のインベントリデータは次のとおり。（※プラスチック循環利用協会の旧名称）

表 6-60 石炭製造・燃焼のインベントリデータ

活動（入力）					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Input	原料	一般炭	1.24	kg		

（4）RPF 利用のまとめ

- リサイクルシステム的环境負荷

表 6-61 RPF 利用のリサイクルシステム的环境負荷

プロセス	エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
収集・運搬～RPF 製造	1.98E+00	1.26E-01
RPF 焼却残渣埋立	3.30E+01	2.51E+00
合計	3.49E+01	2.64E+00

- オリジナルシステムの環境負荷

表 6-62 RPF 利用のオリジナルシステムの環境負荷

プロセス	エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
収集・運搬～産廃プラの焼却・埋立 石炭製造・燃焼	6.93E+01	5.81E+00

(5) RPF 利用の評価結果

以下に、RPF 利用に関する評価の結果を示す。

表 6-63 エネルギーリカバリー (RPF 利用) の評価結果
(混合廃プラスチックのリサイクル)

	エネルギー資源消費[MJ]			CO ₂ 排出[kg-CO ₂]		
	リサイクル システム	オリジナル システム	削減効果	リサイクル システム	オリジナル システム	削減効果
RPF 利用	3.49E+01	6.93E+01	3.44+01	2.64E+00	5.81E+00	3.17E+00

6.3.2 セメント焼成

(1) システム境界

セメント焼成のシステム境界を下記に示す。

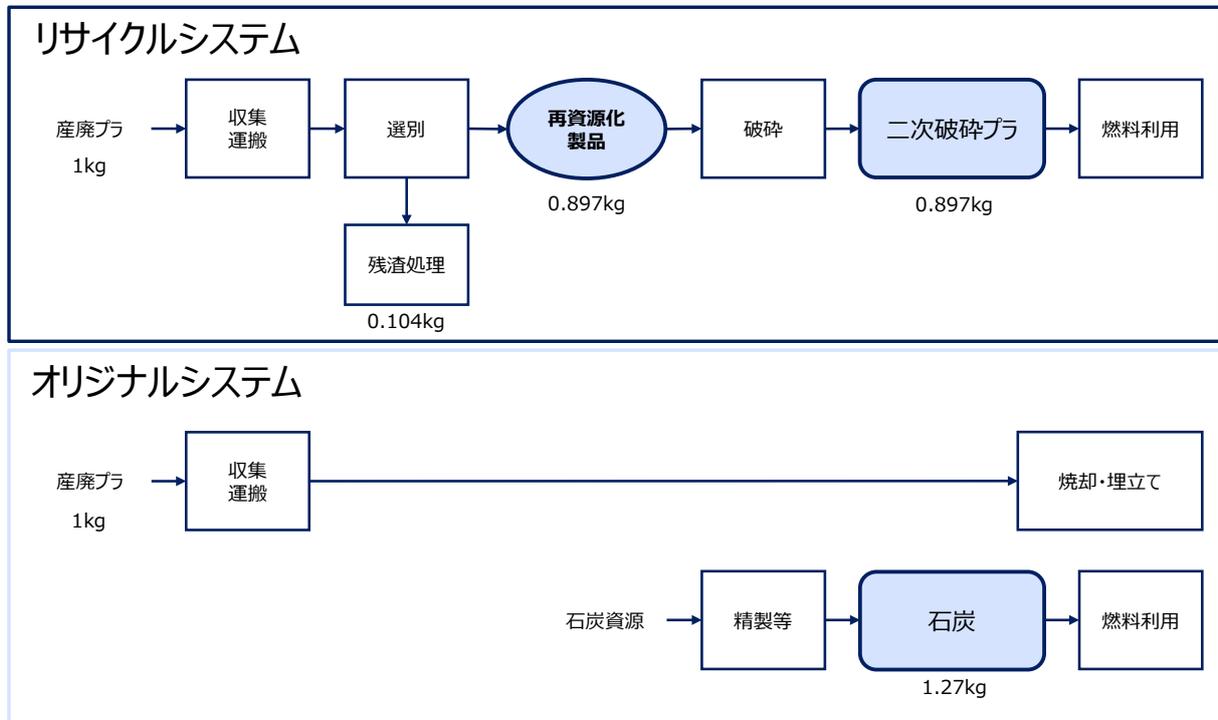


図 6-11 セメント焼成のシステム境界

(2) リサイクルシステムのインベントリデータ

産廃プラ収集運搬のインベントリデータは、マテリアルリサイクルと同じである。産廃プラを選別し、セメント焼成に用いる材料（二次破碎プラ）を製造するプロセス及び製造したその材料をセメント製造プロセスで利用するプロセスのインベントリデータは次のとおり。2019年の容リプラでは収率について2パターンを想定したが、本調査の組成設定においてポリ塩化ビニルの除去で利用可能とのことから、この条件（収率90%）を用いた。

表 6-64 産廃プラから二次破碎プラを製造するプロセスのインベントリデータ

活動（入力）					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー 資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Input	原料	産廃プラスチック	1.00E+00	kg		
Input	ユーティリティ	電力	1.90E-01	kWh		
Input	ユーティリティ	軽油	3.66E-02	MJ		
Output	生成物	二次破碎プラ	8.97E-01	kg		
合計					1.91E+00	1.21E-01

表 6-65 二次破碎プラの単純焼却・残渣埋立におけるインベントリデータ

活動（入力）					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー 資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Input	原料	二次破碎プラ 焼却	8.97E-01	kg	3.28E+01	2.50E+00
Input	ユーティリティ	電力	1.17E-02	kWh		
Input	ユーティリティ	LPG	1.80E-03	MJ		
Input	ユーティリティ	B 重油	2.42E-03	MJ		
Output	その他	残渣（埋立）	2.78E-02	kg		
合計					3.30E+01	2.51E+00

（3）オリジナルシステムのインベントリデータ

オリジナルシステムにおける、産廃プラの収集・運搬のインベントリデータはマテリアルリサイクルと同様である。産廃プラの焼却・埋立は油化（燃料化）と同様である。二次破碎プラにより代替される石炭は、二次破碎プラと熱量等価にて投入量を算定した。産廃プラから選別を経て得られた再資源化製品の組成をもとに、RPF の発熱量は 36.6MJ/kg（産廃プラ 1kg から得られる RPF の量は 0.897kg）とし、これと石炭の発熱量 26.6MJ/kg（低位発熱量にするために×0.975 する）より、オリジナルシステムにおける石炭の投入量は 1.27kg となる。石炭製造・燃焼のインベントリデータは次のとおり。

表 6-66 石炭製造・燃焼のインベントリデータ

活動（入力）					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー 資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Input	原料	一般炭	3.30E+01	MJ		

（4）セメント焼成のまとめ

- リサイクルシステムの環境負荷

表 6-67 セメント焼成のリサイクルシステムの環境負荷

プロセス	エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
収集・運搬～二次破碎プラ製造	2.03E+00	1.30E-01
二次破碎プラ焼却残渣埋立	3.30E+01	2.51E+00
合計	3.50E+01	2.64E+00

- オリジナルシステムの環境負荷

表 6-68 セメント焼成のオリジナルシステムの環境負荷

プロセス	エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
収集・運搬～産廃プラの焼却・埋立 石炭製造・燃焼	7.01E+01	5.88E+00

(5) セメント焼成の評価結果

以下に、セメント焼成に関する評価の結果を示す。

表 6-69 エネルギーリカバリー（セメント焼成）の評価結果
(混合廃プラスチックのリサイクル)

	エネルギー資源消費[MJ]			CO ₂ 排出[kg-CO ₂]		
	リサイクル システム	オリジナル システム	削減効果	リサイクル システム	オリジナル システム	削減効果
セメント焼成	3.50E+01	7.01E+01	3.51+01	2.64E+00	5.88E+00	3.24E+00

6.3.3 発電焼却

(1) システム境界

発電焼却のシステム境界を下記に示す。

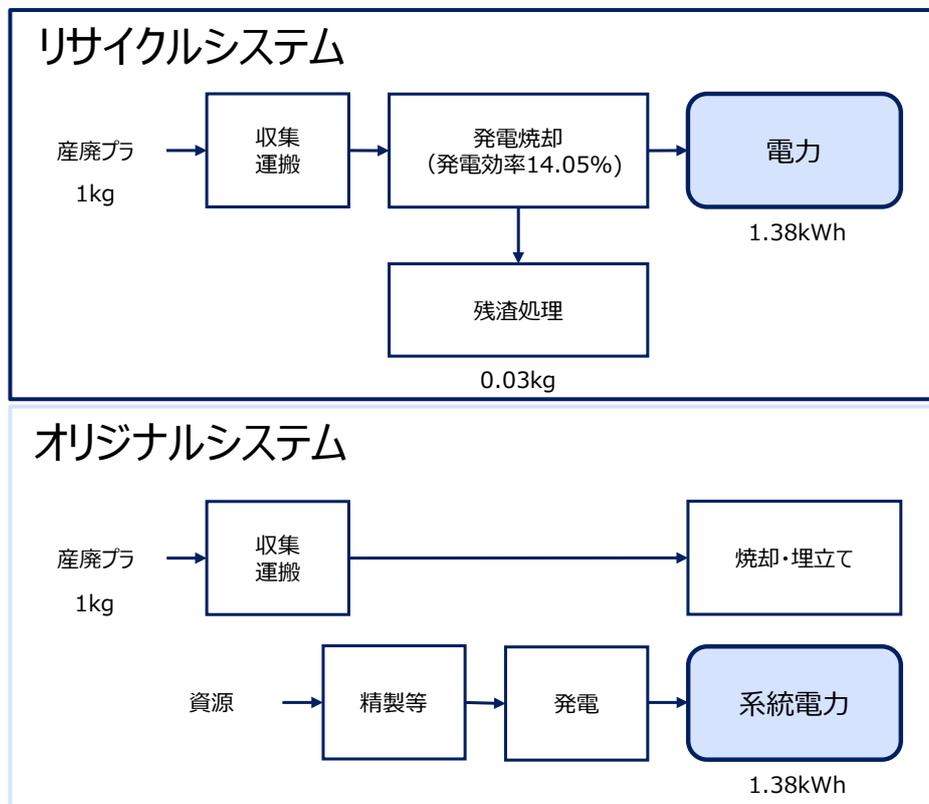


図 6-12 発電焼却のシステム境界

(2) リサイクルシステムのインベントリデータ

産廃プラ収集運搬のインベントリデータは、マテリアルリサイクルと同じである。産廃プラ 1kg の焼却に伴う発電量は、産廃プラ 1kg を直接燃焼した際の発熱量 35.3MJ と発電効率 (日本平均で 14.05%) の想定より定められ、約 1.4kWh となる。このうち一定程度の割合が所内の動力として利用されるものとした。所内の消費電力量は 2019 年報告書の数値を引用した。

なお、2019 年の容リプラの評価では、発電焼却の効率を最大で 25%まで想定している。本調査においても、2019 年報告書と同様に発電焼却の効率を 25%とした場合についても検討した。発電効率を 25%とした場合の発電量は、上記と同様に考えると約 2.5kWh となる。

産廃プラを投入した際の発電焼却におけるインベントリデータは以下の通り。

表 6-70 産廃プラから焼却発電するプロセスのインベントリデータ（発電効率 14.05%）

活動（入力）					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー 資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Input	原料	産廃プラスチック 焼却	1.00E+00	kg	3.53E+01	2.65E+00
Input	ユーティリティ	所内電力	1.26E-02	kWh		
Input	ユーティリティ	都市ガス	1.59E-02	MJ		
Input	ユーティリティ	A 重油	2.73E-03	MJ		
Output	生成物	発電量	1.38E+00	kWh		
Output	その他	残渣（焼却）	3.10E-02	kg		
合計					3.54E+01	2.68E+00

表 6-71 産廃プラから焼却発電するプロセスのインベントリデータ（発電効率 25%）

活動（入力）					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー 資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Input	原料	産廃プラスチック 焼却	1.00E+00	kg	3.53E+01	2.65E+00
Input	ユーティリティ	所内電力	1.26E-02	kWh		
Input	ユーティリティ	都市ガス	1.59E-02	MJ		
Input	ユーティリティ	A 重油	2.73E-03	MJ		
Output	生成物	発電量	2.46E+00	kWh		
Output	その他	残渣（焼却）	3.10E-02	kg		
合計					3.54E+01	2.68E+00

（3）オリジナルシステムのインベントリデータ

オリジナルシステムにおける、産廃プラの収集・運搬のインベントリデータはマテリアルリサイクルと同様である。産廃プラの焼却・埋立は油化（燃料化）と同様である。オリジナルシステムの系統電力としての必要量は、リサイクルシステムの発電量から所内利用した電力量を差し引いた量となる。必要な量は、発電焼却における発電効率が 14.05%の場合で 1.37kWh、発電効率が 25%の場合は 2.44kWh となる。

表 6-72 系統電力の環境負荷（発電効率 14.05%）

活動（入力）					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Input	原料	電力	1.37E+00	kWh		

表 6-73 系統電力の環境負荷（発電効率 25%）

活動（入力）					評価指標	
活動量項目			活動量		エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
Input	原料	電力	2.44E+00	kWh		

（４） 焼却発電のまとめ

● リサイクルシステムの環境負荷

表 6-74 発電焼却のリサイクルシステムの環境負荷（発電効率 14.05%, 25%）

プロセス	エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
収集・運搬～焼却発電	3.55E+01	2.69E+00

● オリジナルシステムの環境負荷

表 6-75 発電焼却のオリジナルシステムの環境負荷（発電効率 14.05%）

プロセス	エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
収集・運搬～産廃プラの焼却・埋立 系統電力	4.87E+01	3.52E+00

表 6-76 発電焼却のオリジナルシステムの環境負荷（発電効率 25%）

プロセス	エネルギー資源消費 [MJ]	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]
収集・運搬～産廃プラの焼却・埋立 系統電力	5.90E+01	4.14E+00

(5) 発電焼却の評価結果

以下に、発電焼却に関する評価の結果を示す。

表 6-77 エネルギーリカバリー（発電焼却、発電効率 14.05%）の評価結果
（混合廃プラスチックのリサイクル）

	エネルギー資源消費[MJ]			CO ₂ 排出[kg-CO ₂]		
	リサイクルシステム	オリジナルシステム	削減効果	リサイクルシステム	オリジナルシステム	削減効果
発電焼却	3.55E+01	4.87E+01	1.32+01	2.69E+00	3.52E+00	8.33E-01

表 6-78 エネルギーリカバリー（発電焼却、発電効率 25%）の評価結果
（混合廃プラスチックのリサイクル）

	エネルギー資源消費[MJ]			CO ₂ 排出[kg-CO ₂]		
	リサイクルシステム	オリジナルシステム	削減効果	リサイクルシステム	オリジナルシステム	削減効果
発電焼却	3.55E+01	5.90E+01	2.35+01	2.69E+00	4.14E+00	1.45E+00

6.4 ケミカルリサイクル／エネルギーリカバリー（工業化）

以下に工業化されているケミカルリサイクル／エネルギーリカバリーに関する評価結果を示す。CO₂ 排出量削減効果の結果をみると、いずれの処理方法においてもリサイクルシステムの方がエネルギー消費、CO₂ 排出量の少ない結果となり、リサイクルの実施がエネルギー消費、CO₂ の削減に向けて有効であることを示している。発電焼却に比べ、ガス化、高炉還元、コークス炉還元、RPF 利用、セメント焼成で大きな CO₂ 排出量削減効果がみられる。

なお、混合廃プラについては、軽度な選別が許容されるケミカルリサイクルの利用が有利である。ガス化、高炉・コークス炉、RPF 化、セメントによる有効利用によって、廃プラスチックの外部への排出削減、社会全体の CO₂ 排出量削減を果たすことが認められている。選別技術やモノマテリアル設計が進んだ場合であっても、混合廃プラや複合材料などのリサイクル需要が見込まれる。投入原料の許容範囲が比較的広いケミカルリサイクルは、現在も技術開発が行われており、プロセス改善やこれに伴う CO₂ 排出量の削減が期待される。

表 6-79 工業化されているケミカルリサイクル／エネルギーリカバリーの評価結果
(混合プラスチックのリサイクル)

	エネルギー資源消費 [MJ]			CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]		
	リサイクルシステム	オリジナルシステム	削減効果	リサイクルシステム	オリジナルシステム	削減効果
ガス化 (アンモニア)	6.55E+01	1.21E+02	5.55E+01	4.55E+00	6.24E+00	1.68E+00
高炉還元 (コークス代替)	1.32E+03	1.36E+03	3.26E+01	1.20E+02	1.23E+02	3.00E+00
高炉還元 (微粉炭代替)	2.62E+02	2.87E+02	2.53E+01	2.38E+01	2.61E+01	2.29E+00
コークス炉 化学原料化	3.64E+01	8.49E+01	4.85E+01	2.81E+00	6.09E+00	3.27E+00
RPF 利用	3.49E+01	6.93E+01	3.44E+01	2.64E+00	5.81E+00	3.17E+00
セメント焼成	3.50E+01	7.01E+01	3.51E+01	2.64E+00	5.88E+00	3.24E+00
発電焼却 (発電効率 14.05%)	3.55E+01	4.87E+01	1.32E+01	2.69E+00	3.52E+00	8.33E-01
発電焼却 (発電効率 25%)	3.55E+01	5.90E+01	2.35E+01	2.69E+00	4.14E+00	1.45E+00

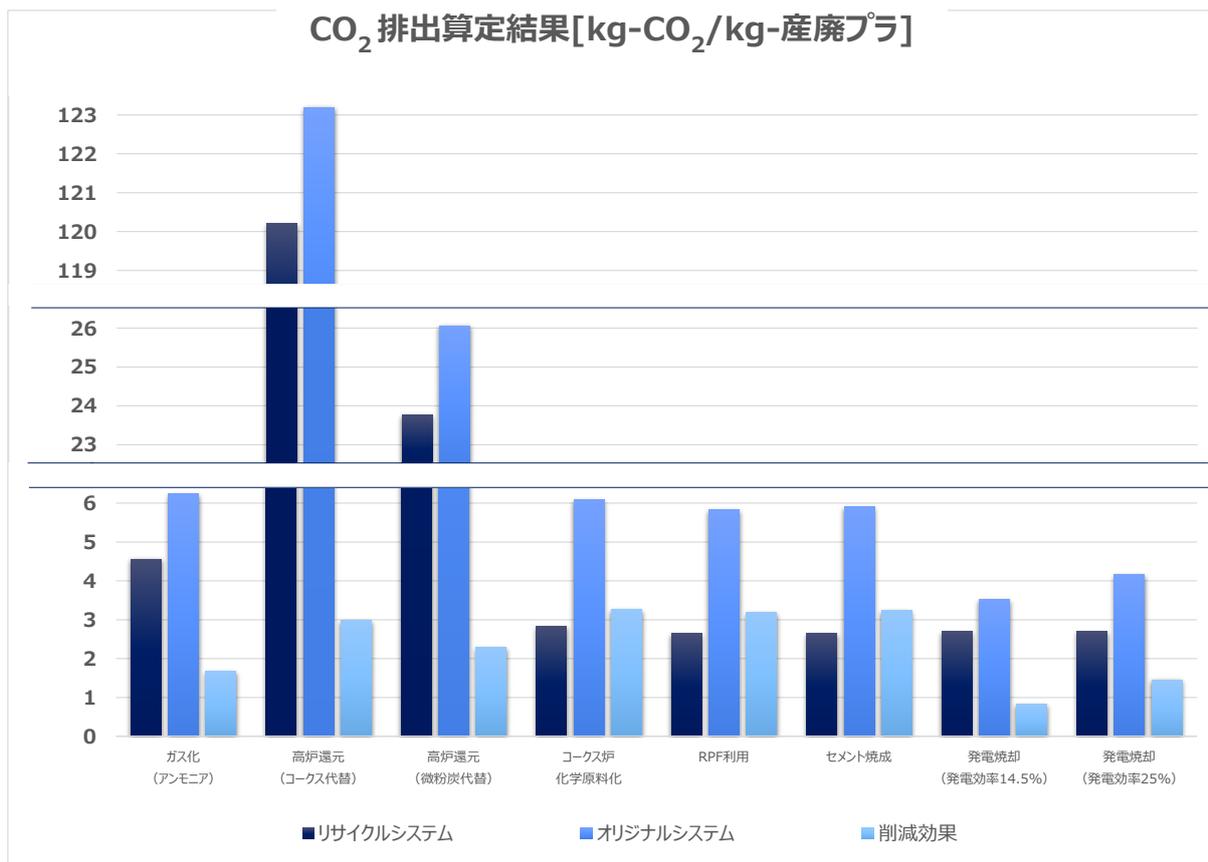


図 6-13 混合廃プラのリサイクル処理方法（工業化）の評価結果

6.5 ケミカルリサイクル（工業化前）

以下にまだ工業化までに至っていないケミカルリサイクル（油化）に関する評価結果を示す。これは工業化されているプロセスと現時点で比較することで誤解を招くおそれがあったため、工業化されている手法との比較を行わなかった。

現在、油化やガス化→微生物発酵による新たなケミカルリサイクル手法により、モノマーの再生技術が開発されている。これらの技術については、開発途上であるため、LCA によるデータの整備は今後の課題であるが、一部の技術開発のデータから推計した結果を以下に示す。

これらの手法においても、社会全体の CO₂削減につながる事がわかる。削減量は現時点の他の混合プラスチックのリサイクル処理手法（ガス化（アンモニア）、コークス炉化学原料化）よりは少ない結果であるが、更なる技術開発による CO₂削減量の増加が期待される。今後開発が進む手法についても、化学原料化による資源循環への貢献とともに、CO₂削減への貢献を定量的に把握・確認し、より大きな環境負荷削減効果を実現することが技術普及への課題と考えられる。

表 6-80 工業化されていないケミカルリサイクル（油化）の評価結果
 （混合プラスチックのリサイクル）

	エネルギー資源消費[MJ]			CO ₂ 排出量[kg-CO ₂]		
	リサイクルシステム	オリジナルシステム	削減効果	リサイクルシステム	オリジナルシステム	削減効果
油化（燃料化）	3.00E+01	5.00E+01	2.00+01	2.29E+00	3.78E+00	1.50E+00
油化（HiCOP）	3.61E+01	7.31E+01	3.69+01	2.65E+00	5.33E+00	2.68E+00

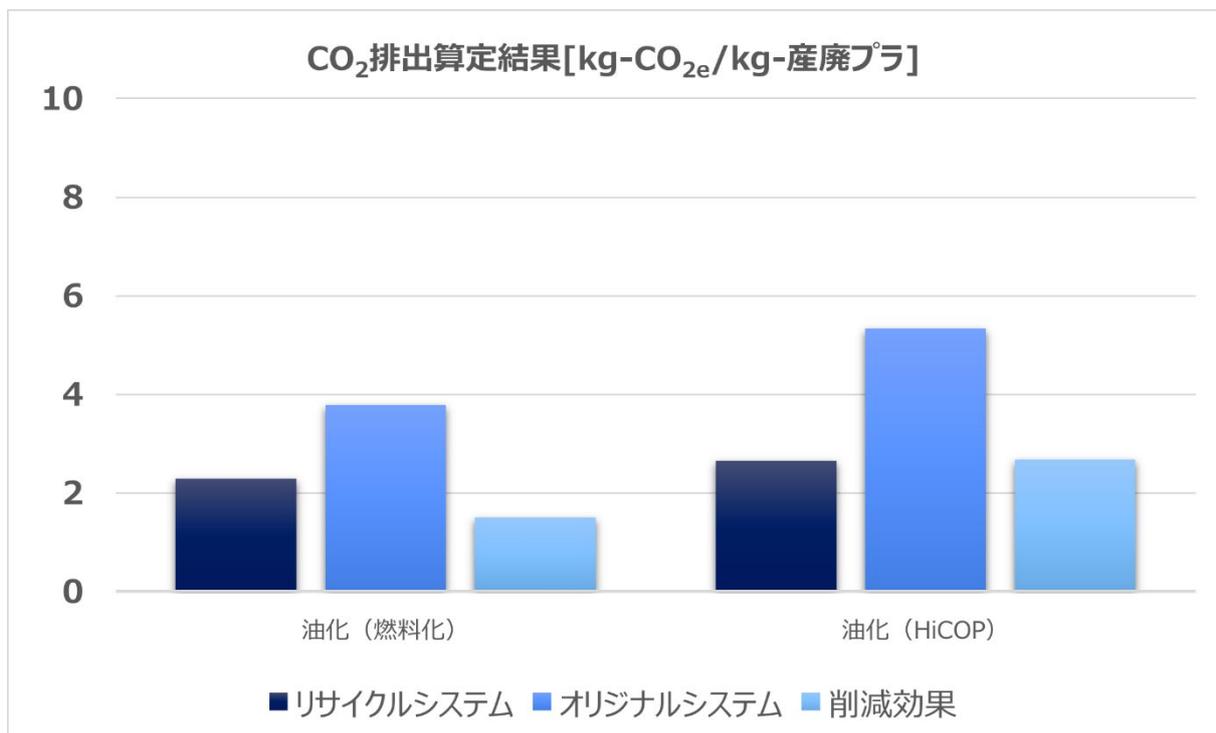


図 6-14 混合廃プラのリサイクル処理方法（工業化前）の評価結果

7. カーボンニュートラル化した社会に関する影響の分析

7.1 影響分析の考え方

世界では、現在、社会全体のカーボンニュートラル化（CN 化）に向け、再生可能エネルギーの導入やバイオマス資源の活用、植林や CCS による炭素の吸収・除去など様々な対応が進められつつある。

廃プラスチックのリサイクルについては、2019 年の報告書及び本報告書にて、足下ではリサイクルの実施が CO₂ 排出量の削減に貢献することがわかっている。しかしながら、今後、社会の CN 化が進んだ場合には、オリジナルシステム側が変化することにより、リサイクルによる CO₂ 排出量削減の効果も変化していくことが想定される。例えば、電力の再生可能エネルギー化が進めば、発電焼却の CO₂ 排出量削減効果は少なくなり、最終的にはゼロになることも想定される。また、バイオマス資源を用いた材料製造が進むことで、マテリアルリサイクルの効果にも影響が出ることも想定される。

本調査では、将来の社会変化を可能な範囲で整理し、これに基づくリサイクル処理手法の CO₂ 排出量削減効果について分析を行い、今後の影響について検討を行った。ただし、将来の技術開発や社会予測は本来、非常に労力かつ知見を要する整理であることから、今回の整理はあくまでも一つの仮定に基づく評価と分析であることに注意いただきたい。今後、さらに社会変化が明確に見えてきた時点で、本分析を更新し、CN 化する社会におけるプラスチックリサイクルの在り方を整理していく必要がある。

（1）カーボンニュートラル化した社会における影響の想定

以下に、社会の CN 化と本評価に関する影響、考え方を整理した。マテリアルリサイクルや油化／ガス化など、何らかの製品へリサイクルを行う手法の場合、CN 化した社会ではバイオマス資源による製品製造などが普及し、バイオマス資源による製品と再生製品の比較が必要になってくる。

他方、高炉還元やコークス炉化学原料化、エネルギーリカバリーについては、石炭をはじめとする化石燃料の利用が少なくなっていく、従来、化石資源の代替を果たしてきた廃プラスチックの効果が少なくなっていくことも想定される。高炉還元やコークス炉化学原料化などの手法は、鉄鋼プロセスが炭素による還元から水素による還元、電炉利用に移行した場合、廃プラスチックの投入先自体が無くなることになる。

（2）評価分析の内容

本調査では、分析可能な範囲として、エネルギー源の再生可能エネルギー化が進んだ場合について評価を実施した（エネルギーの CO₂ 排出原単位を現在の 10%とした場合の評価）。マテリアルリサイクルに影響を及ぼすであろうバイオマス資源の評価については、未だ文献・研究レベルの評価が多い状況であり、本評価の中では分析が困難であることから、定性的な示唆に止める。

表 7-1 カーボンニュートラル化した社会の想定

区分	プロセス	生成物	オリジナルシステムの想定 (CN化した社会は太字を評価)			
			現状	CN化した世界	今回の評価における備考	
マテリアルリサイクル	再生	再生プラスチック	化石資源由来プラ	①化石資源由来プラ ②バイオマスプラ	①をベースとし、バイオ材料の評価結果は確定していないことから、可能な範囲で文献参照しておく。	
ケミカルリサイクル	油化	熱分解	燃料	既存化石燃料	①既存化石燃料 ②バイオエタノール	①、②で評価を実施
			ナフサ	化石資源由来ナフサ	①化石資源由来材料 ②バイオ資源由来材料	①をベースとし、バイオ材料の評価結果は確定していないことから、可能な範囲で文献参照しておく。
		スチレンモノマー	化石資源由来モノマー			
	ガス化	ガス還元	水素→アンモニア	既存のアンモニア	①既存のアンモニア ②グリーンアンモニア	グリーンアンモニアについては未だ実証に至っていないことから、一旦は考慮しない。
		微生物発酵	エタノール→エチレン	既存化石資源由来エチレン	①化石資源由来エチレン ②バイオ資源由来エチレン	①をベースとし、バイオ材料の評価結果は確定していないことから、可能な範囲で文献参照しておく。
	還元	高炉還元	銑鉄	コークス、C重油(代替物)	コークス、C重油	今後の製鉄の脱炭素化ビジョンでは、電炉の拡大、水素直接還元、高炉水素還元による製鉄が主と思われる。この場合には、高炉還元、コークス炉化学原料化の廃プラの需要変化を考慮するは必要があるが、個別のLCA評価では原料炭相手が良い。
化学反応	コークス炉	BTX等	主に原料炭	主に原料炭		
エネルギーリカバリー	RPF利用	RPF燃料	石炭	①石炭 ②現状の化石燃料平均(脱化石燃料で評価)	製紙業においては2050年のCN化の中でも一定のRPF利用が考えられており、脱化石の一部に貢献するものとするべきか否か。	
	セメント焼成	セメント	石炭	脱化石燃料	セメントの産業ビジョンからは廃プラスチックの利用は考えられないのではないかな？	
	発電焼却	電力	系統電力	①系統電力 ②再エネ電力	系統電力の脱炭素化に貢献するという考え方はしない方がよいか。	

7.2 分析結果

以下に、エネルギーのCO₂排出原単位を現在の10%とした場合の評価結果を示す。

(1) エネルギーリカバリー、ケミカルリサイクル(高炉・コークス炉)への影響

エネルギーリカバリー、ケミカルリサイクル(高炉・コークス炉)について、電力再エネ化、化石原燃料の利用削減により、それぞれの排出係数が90%削減となるケースにて評価を実施した。結果として、電力再エネ化、化石原燃料利用の削減が進んだ場合、エネルギーリカバリー、ケミカルリサイクル(高炉還元)では、オリジナルシステムと排出量がほぼ変わらなくなり、CO₂削減という側面では単純焼却に近く、社会のCO₂削減の効果が大幅に縮小する。また、高炉還元やコークス炉化学原料化ではCN化に向けて石炭の使用量が減少する場合、水素還元などの手法の導入が考えられるため、廃プラスチックの利用先としての候補では無くなるという影響もある。

エネルギーリカバリーについては、廃プラスチックの燃焼熱の有効利用により再生可能エネルギー等の利用を減らす効果は存在する。このことから、CN化に向けたトランジションフェイズでは、引き続き、エネルギーリカバリー、ケミカルリサイクルによる廃プラスチックの有効利用は、社会のCO₂排出量削減に対して有効であり、トランジションフェイズの間に廃プラスチックの有効利用先を整理していくことが必要となる。

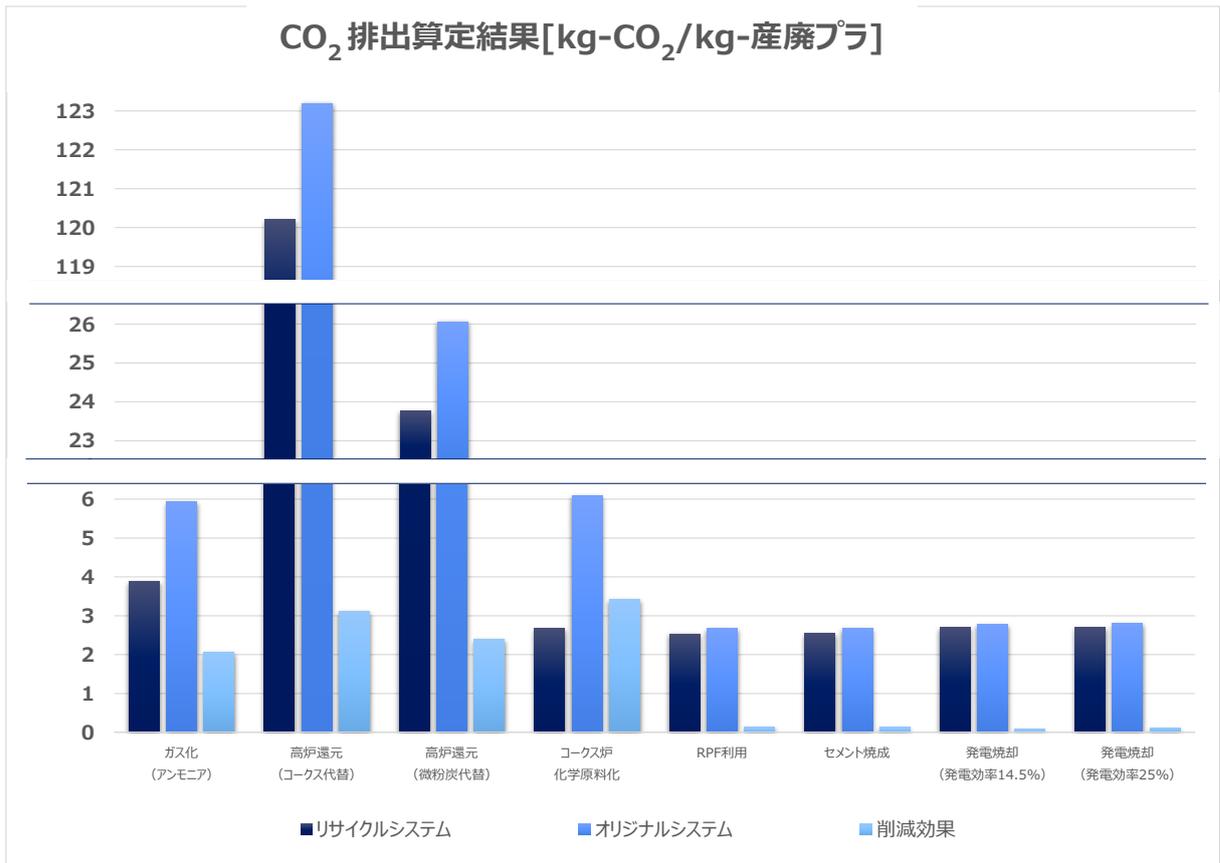


図 7-1 カーボンニュートラル化した社会での CO₂ 排出量削減効果について (今回の条件下での推定)

(2) マテリアルリサイクルへの影響

マテリアルリサイクルについては、原料のバイオマス化が進むことによる影響が考えられる。原料のバイオマス化に関する評価は未だ途上であるため、妥当性の高い評価は困難であるが、一部の研究成果はすでに存在する。

研究文献におけるバイオマスプラスチック（サトウキビ由来 PE）製造時の排出量では、サトウキビ生育時の CO₂ 固定・吸収の効果により、化石資源由来のプラスチック（PE）に比べて、3.3~3.8kg 程度の CO₂ 排出量が低減することが示されている。他方、本調査で得られたマテリアルリサイクル（PE）による CO₂ 排出量削減効果は、大よそ 4.9kg-CO₂ 程度であるから、バイオマスプラスチックをオリジナルシステムとした場合、CO₂ 排出量削減効果が 1.2~1.7kg-CO₂ と大幅に減少するものの、足下では一定程度の削減量が残る。

ただし、CN 化する社会の中では、バイオマスプラスチックの CO₂ 排出量は更に低減していくことも考えられる。そのため、上記の分析は、結論として、CN 化した社会におけるマテリアルリサイクルの優位性を示すものではない。マテリアルリサイクルとバイオマス資源利用については、それぞれの CO₂ 排出量を今後も分析し、マテリアルリサイクルによる有効利用の効果を考えていくことが重要である。

(3) CN化する社会におけるリサイクルに関する評価・検討の方向性

CN化する社会の構造はまだ不透明ではあるが、再生可能エネルギー、バイオマス材料の普及に伴い、プラスチックリサイクルによるCO₂排出量削減の効果は、エネルギーリカバリー、ケミカルリサイクル、マテリアルリサイクルのそれぞれの場面で、削減の効果が少なくなっていくことは本評価からも予測される。

その一方で、再生可能エネルギーやバイオマス材料の普及量や普及の可能性については、未だ不透明であること、バイオマスプラスチックであったとしても使用後の有効利用は不可欠と考えられることから、現時点では以下の整理が考えられる。今後も、継続して同様の分析を行い、より有効なリサイクル処理方法の選択を行っていくことが望まれる。

【今後のリサイクルに関する評価・検討の方向性】

- ①使用済みプラスチックの有効利用促進は、カーボンニュートラル化した社会でも必要。
- ②その利用先は、再エネ化、バイオマス材料でカバー出来ない分野が特に求められる。
- ③従って、今後、必要とされる事項は以下の通り。
 1. 想定される利用先における再エネ化、バイオマス材料の普及動向の定期的な把握
 2. 有効利用の可能性を拡大するためのリサイクル手法の開発促進
 3. 各リサイクル手法のプロセスにおける環境影響の把握・情報開示

今後、日本は、循環型社会形成に向け、また、ゼロエミッション社会に向けて新たに社会システムを再構築すべく施策をスタートさせており、化学産業界もこれに遵って活動を開始している。鉄、アルミニウム、紙などの素材が、循環型システムをほぼ構築できているのに対して、プラスチックの循環型システムは未完成であるが、最近、使用済みプラスチックのモノマー化、ナフサ化など、循環型システム構築に向けた新技術によるプラント建設などが計画されつつある。このような環境下、化学産業界として、(炭素資源の)循環型システム構築の完成度の評価及びシステム構成の変化のシミュレーション評価ができるようにしておく必要がある。

この「化学産業におけるライフサイクルカーボンバランス」は、化学産業界全体のライフサイクルを通しての、①新規炭素資源消費量、②炭素資源循環量およびその度合いおよび③大気中に放出されるCO₂の量を評価することができ、今後の方向性を示すこともできるツールとして有用なものとする。また、いくつかのリサイクル手法の組み合わせ、たとえば、マテリアルリサイクルでダウングレードされたものがケミカルリサイクルによってバージン品同等なものにリサイクルされる可能性もシミュレーション評価も可能になる。

今後のステップとしては、①本モデルの中に具体的な数値を組み込んでいく(本調査の成果も活用)、②数値を組み込むことでモデル自体のブラッシュアップを図る、③モデルを用いたより適切な化石資源投入量の分析の実施、へと進むことが考えられる。

9. 容リプラに関する評価の改訂（参考情報）

2019年報告書では、容リプラを対象とした評価をデータベースとして IDEAv2.3 を用いて実施した。他方、今回、産廃プラの評価においては IDEAv3.2 を用いた評価を実施したことから、容リプラについても、IDEAv3.2 を用いた評価を実施し、その影響を検討した。

あわせて、発電焼却について、ゴミ発電の平均的な発電効率が向上していることから、2019年報告書では環境省「一般廃棄物処理事業実態調査の結果（平成28年度）」に基づき12.81%としていたが、これを最新年度の同報告書（令和2年度）の数値14.05%へ更新した。その他の条件については全て2019年報告書に沿って算定を実施した。

表 9-1 容リプラに関する評価の改訂結果

リサイクル方法	GHG排出量 [kg-CO2eq/kg_容リプラ処理]			エネルギー消費量 [MJ/kg_容リプラ処理]		
	リサイクルシステム	オリジナルシステム	削減効果	リサイクルシステム	オリジナルシステム	削減効果
リターナブルパレット（新規樹脂代替）（単純平均値）	2.30E+00	3.97E+00	1.67E+00	3.38E+01	6.29E+01	2.91E+01
リターナブルパレット（新規樹脂代替）（代替率最小値）	2.30E+00	3.45E+00	1.15E+00	3.38E+01	5.16E+01	1.78E+01
リターナブルパレット（新規樹脂代替）（代替率最大値）	2.30E+00	4.46E+00	2.16E+00	2.30E+00	7.37E+01	7.14E+01
リターナブルパレット（新規樹脂代替）（単純平均値）ケース1	2.10E+00	3.77E+00	1.68E+00	3.10E+01	5.07E+01	1.96E+01
リターナブルパレット（新規樹脂代替）（単純平均値）ケース2	2.59E+00	4.25E+00	1.66E+00	3.79E+01	6.91E+01	3.12E+01
リターナブルパレット（木材代替）	2.30E+00	2.92E+00	6.21E-01	3.38E+01	3.77E+01	3.97E+00
再生樹脂	2.23E+00	5.41E+00	3.18E+00	3.28E+01	9.65E+01	6.38E+01
油化	2.78E+00	4.18E+00	1.40E+00	3.69E+01	5.50E+01	1.81E+01
ガス化（アンモニア製造）	5.05E+00	6.77E+00	1.72E+00	7.31E+01	1.32E+02	5.91E+01
ガス化（燃焼）	2.92E+00	4.57E+00	1.65E+00	3.92E+01	6.03E+01	2.11E+01
高炉還元（コークス代替）	1.22E+02	1.25E+02	3.21E+00	1.35E+03	1.38E+03	3.46E+01
高炉還元（微粉炭代替）	2.41E+01	2.66E+01	2.51E+00	2.66E+02	2.93E+02	2.69E+01
コークス炉化学原料化	3.09E+00	6.37E+00	3.28E+00	4.05E+01	8.25E+01	4.21E+01
発電焼却（発電効率14.05%）	2.71E+00	3.48E+00	7.66E-01	3.57E+01	4.79E+01	1.22E+01
発電焼却（発電効率14.05%）ケース1	2.66E+00	3.48E+00	8.16E-01	3.47E+01	4.76E+01	1.29E+01
発電焼却（発電効率14.05%）ケース2	2.79E+00	3.67E+00	8.76E-01	3.73E+01	5.12E+01	1.39E+01
発電焼却（発電効率25%）	2.71E+00	4.21E+00	1.49E+00	3.57E+01	5.95E+01	2.37E+01
発電焼却（発電効率25%）ケース1	2.66E+00	1.45E+00	-1.21E+00	3.47E+01	2.31E+01	-1.16E+01
発電焼却（発電効率25%）ケース2	2.79E+00	4.35E+00	1.56E+00	3.73E+01	6.20E+01	2.48E+01
RPF利用（収率75%）	2.90E+00	5.68E+00	2.78E+00	3.88E+01	6.81E+01	2.92E+01
RPF利用（収率89%）	2.90E+00	6.19E+00	3.29E+00	3.88E+01	7.36E+01	3.47E+01
セメント焼成（収率75%）	2.90E+00	5.74E+00	2.84E+00	3.89E+01	6.88E+01	2.99E+01
セメント焼成（収率89%）	1.99E-01	6.27E+00	6.07E+00	3.31E+00	7.44E+01	7.11E+01

以下に、2019年報告書と今回の改訂の結果をそれぞれ示す。発電焼却の効率の向上を除けば、それぞれの再商品化手法についてデータベースの更新による環境負荷削減効果への影響はほぼ無いという結果が得られた。

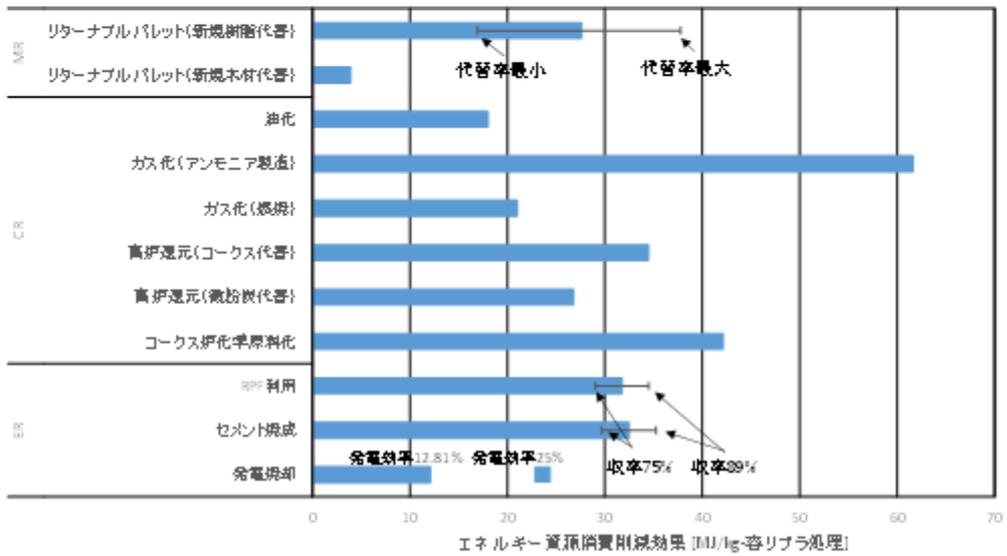
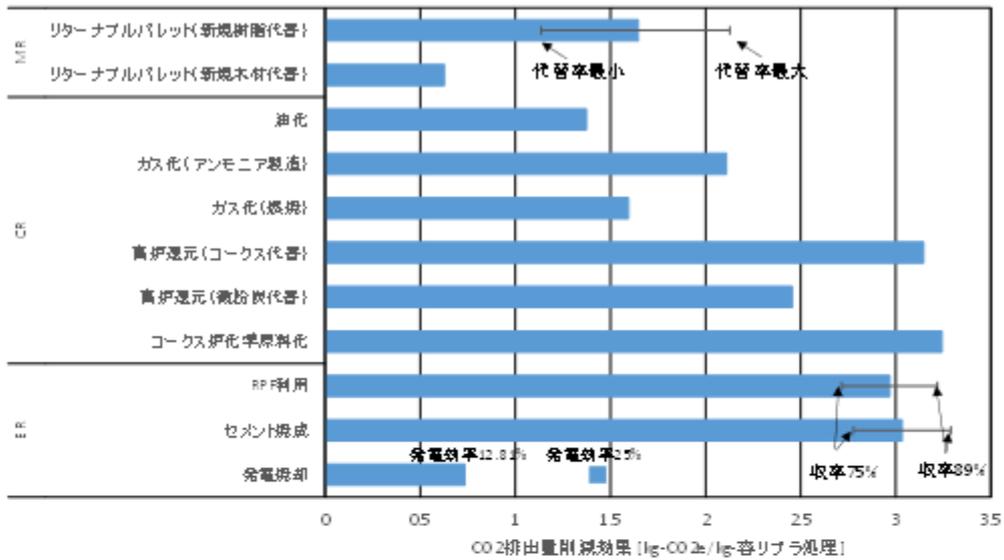


図 9-1 2019 年報告書における算定結果

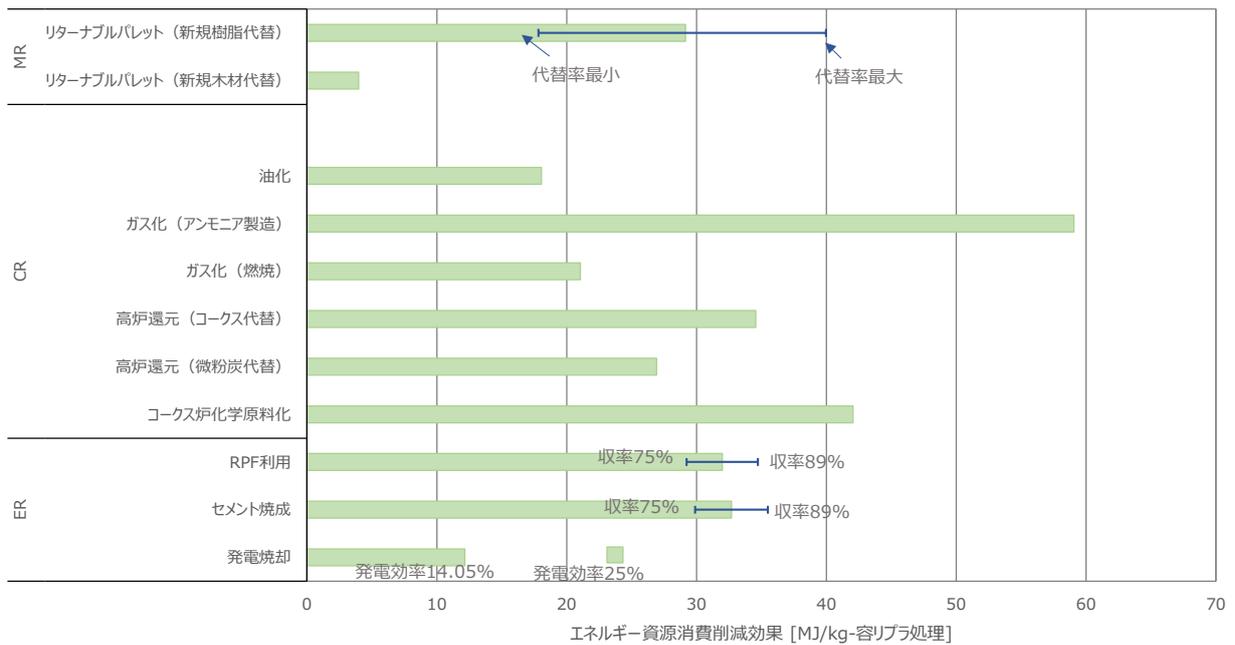
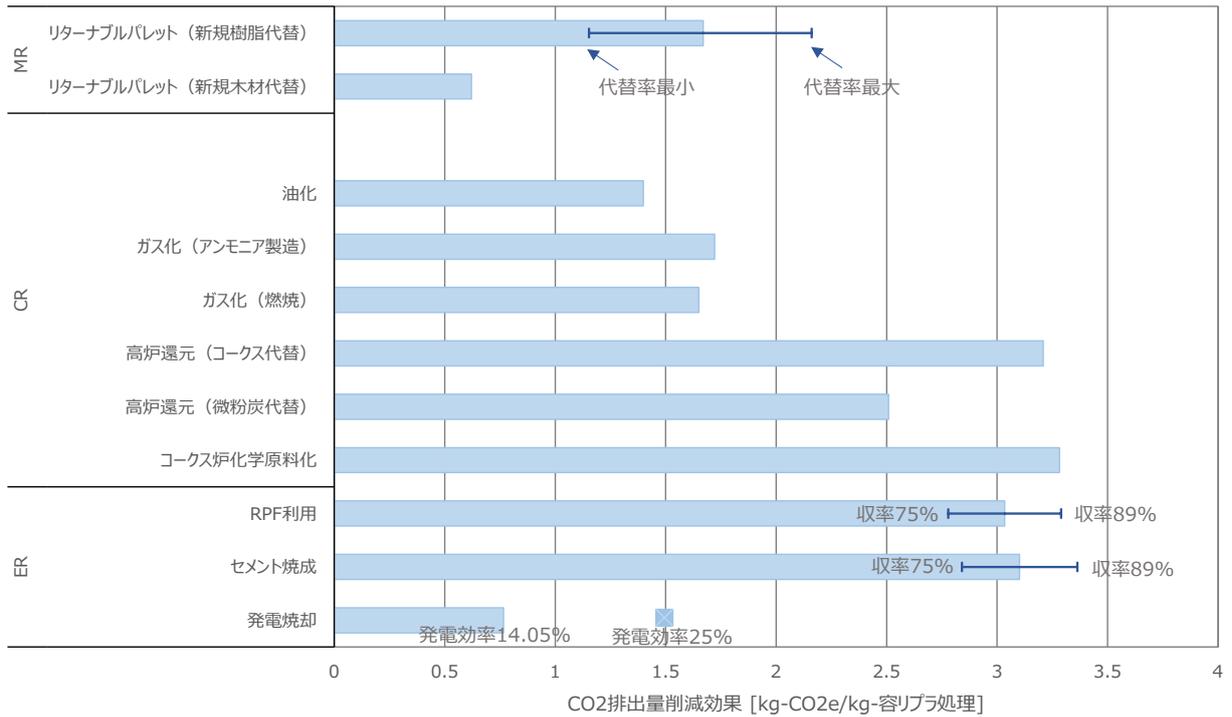


図 9-2 今回の改訂の結果