



プラスチック混合廃棄物の化学的再循環のための プラスチックエネルギー技術のライフサイクル評価

準備:



日付:2020年9月

要旨

背景と目的

社会の消費習慣の環境的・社会的持続可能性に対する懸念が高まっている。このため、企業は自社の製品やサービスが環境や社会に与える潜在的な影響を理解し、積極的に管理するよう圧力を受けている。現在、ほとんどすべての主要製品生産者は、事業戦略の一環として環境や社会への影響を考慮しており、持続可能性は多くの産業における競争点として認識されている。

プラスチック混合プラスチックのケミカルリサイクルのリーディングカンパニーであるプラスチックエナジーは、廃プラスチックのセカンドライフ化が、私たちの自然環境におけるプラスチック問題に取り組む上で重要な要素であると考えている。リサイクル率や回収率が異なるため、プラスチック廃棄物は現在、その可能性を最大限に引き出すことができず、最終的には埋め立て処分されたり、自然のごみとして処分されることになっている。プラスチックエナジーでは、LCA(ライフサイクルアセスメント)を活用し、化学物質のリサイクルプロセスを利用した廃プラスチックリサイクルの環境プロファイルの把握に取り組んでいる。このプロセスの環境パフォーマンスは、廃棄物の観点からのアプローチ、すなわち、それを他の廃棄物管理慣行(埋め立ておよび焼却)と比較し、製品の観点からのアプローチ、すなわち、それを他のプラスチック、すなわち化石燃料から作られたバージンプラスチック[「化石」および機械的にリサイクルされたプラスチック]の製造方法と比較することをを用いて評価される。

本研究では、ケミカルリサイクルプロセスに関わる環境性能を評価し、例えば混合プラスチック廃棄物を新しい高品質LDPEに化学的にリサイクルし、他の関連シナリオと比較する。以下に示すように、廃棄物の視点と製品の視点の2つのアプローチを評価する。

廃棄物の観点からのアプローチでは、評価された各シナリオの長所と短所を理解するために、混合プラスチック廃棄物を1キログラム(kg)処理するための異なる使用済みオプションが評価される。**製品の観点から**、1kgのLDPEプラスチックを製造する異なる方法が、バージンおよび/またはリサイクル原料を用いて評価される。

評価された廃棄物視点のシナリオには、以下のものが含まれる

1. プラスチックエネルギーのケミカルリサイクルによる混合プラスチック廃棄物の管理
2. 焼却・エネルギー回収によるプラスチック混合廃棄物の管理
3. プラスチック混合廃棄物の埋立管理

評価された製品展望シナリオには、以下のものが含まれる

1. プラスチックエナジー技術を利用した混合廃プラスチックからの化学的リサイクルLDPE
2. ヴァージン(化石)LDPE
3. メカニカルリサイクルLDPE

廃棄物の観点からは、機械的リサイクルは、化学的リサイクルがそれを補完することを意図しており、むしろ、それを使用済みシナリオとして置き換えるため、適用可能なシナリオとは考えられない。

本試験の具体的な目標は以下のとおりである。

- I. Plastic EnergyのケミカルリサイクルプロセスのISO14040/14044準拠LCAを、一次データを用いて実施する。
- II. ケミカルリサイクルプロセスのパフォーマンスを他の廃棄物管理スキーム(廃棄物の観点からのアプローチ)と比較すること。
- III. ケミカルリサイクルプロセスの性能を従来のプラスチック製造方法(製品展望アプローチ)と比較する。
- IV. この結果を用いて、ケミカルリサイクルプロセスの環境プロファイルホットスポットをより良く理解する。
- V. LCAの結果を、公開された比較主張を潜在的に支持するために利用すること。

機能・機能単位

ライフサイクルアセスメントは、ユーザーまたは消費者のための特定の機能を果たす上で互いに置き換えることができる代替製品の比較のための「機能単位」(FU)に依存する。FUは、この機能を定量的に記述し、比較におけるアンカーポイントとして機能し、代替案が実際に同じ機能を果たすことを保証する。したがって、このパラメータが明確に定義され、測定可能であることが重要である。

この評価では、廃棄物の観点と製品の観点からシステムを分析する。2つの視点は異なるため、2つの機能単位が定義される。

廃棄物視点アプローチの機能単位:ヨーロッパにおける分別された混合プラスチック廃棄物1kgの廃棄物管理。

製品展望アプローチのための機能単位:欧州で使用するために1kgのLDPEを生産する。

この2つのシステムは、廃棄物管理の観点とプラスチック生産の観点から、Plastic Energyのケミカルリサイクルプロセスを代替として使用することの潜在的な環境上の利点と欠点を評価するために選択された。

方法

本研究では、1kgの分別された混合プラスチック廃棄物を3つの代替経路で管理し、他方、3つの可能な生産流に基づいて1kgのプラスチックの生産を評価した。前者の場合、境界は、製品の使用済みの両方を含まずに、ポリマー製造を除外する。(図1)

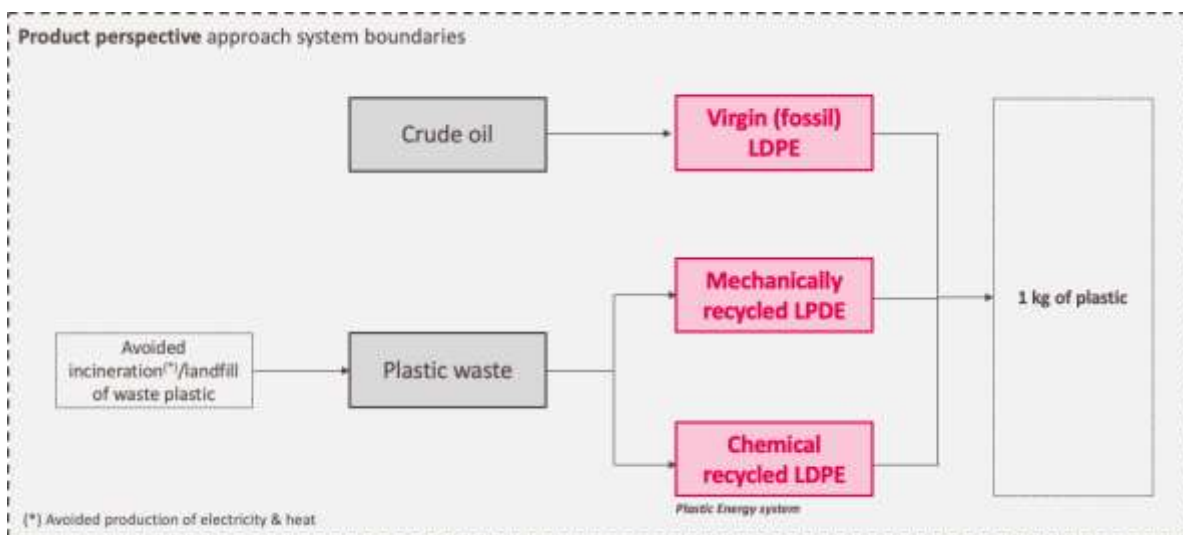
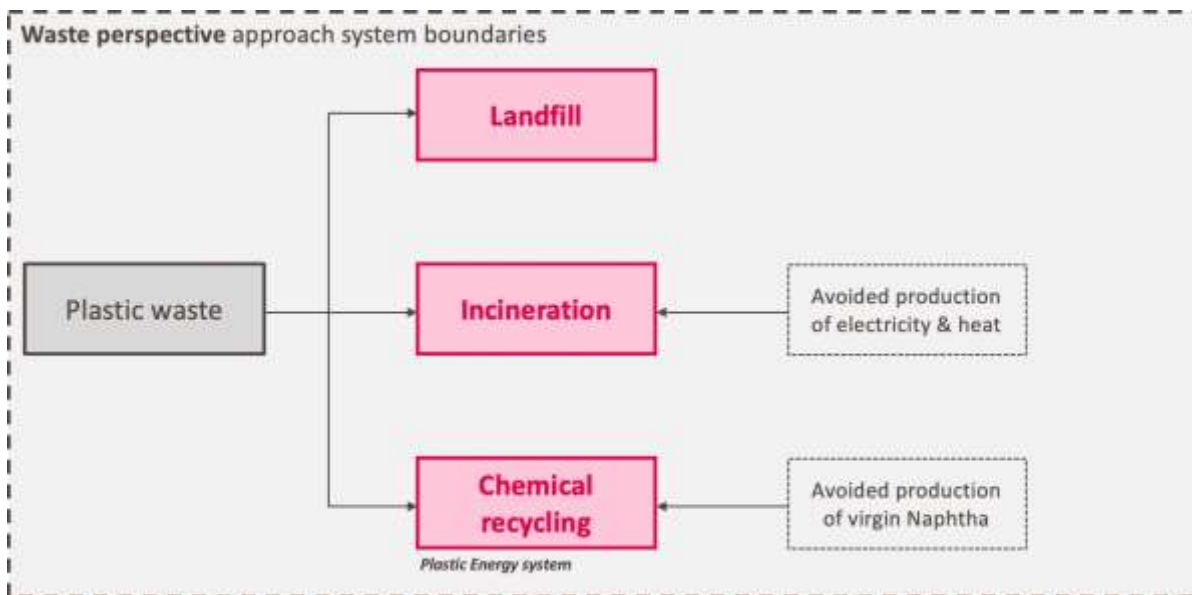


図1 本研究で評価した廃棄物と製品の展望シナリオのライフサイクル。赤色のボックスはメインシステムを示し、灰色のボックスは使用された原料を示す。

この研究では、2つの機能単位を考慮すると、研究で考慮されるシステム境界は、アプローチに依存して異なる(図1)。

ここでは、環境負荷の評価方法として、EF(Environmental Footprint)法(JRC-IES 2017)を採用している。これは、単一市場(SMGP)イニシアティブ(欧州委員会2013)の製品環境フットプリント(P EF)の文脈で使用される公式推奨方法である。

結果

廃棄物視点アプローチ

表1にケミカルリサイクル、焼却、埋立廃棄物管理システムのLCIA結果を示す。結果は、気候変動と資源枯渇の指標について報告されている。この2つの指標は、この研究に最も関連性の高いものである。マイナスは環境保全効果を表す。

表1:廃棄物視点アプローチ-処理された混合プラスチック廃棄物1kgについての全体的なLCIA結果。

指標(単位)	廃棄物視点アプローチ		
	ケミカルリサイクル LDPE	エネルギー 回収焼却	埋立
気候変動(kgCO ₂ -eq)	0.55	1.60	0.15
資源利用、化石(MJ)	-31.10	-26.54	0.36

気候変動では、埋立地が最も影響が小さく、次いで化学的にリサイクルされたLDPE、焼却が続いている。資源利用に関しては、化石化学的にリサイクルされたLDPEが最も有利な解決策であり、バージンナフサの生産回避に関する環境クレジットを示している(表1)。

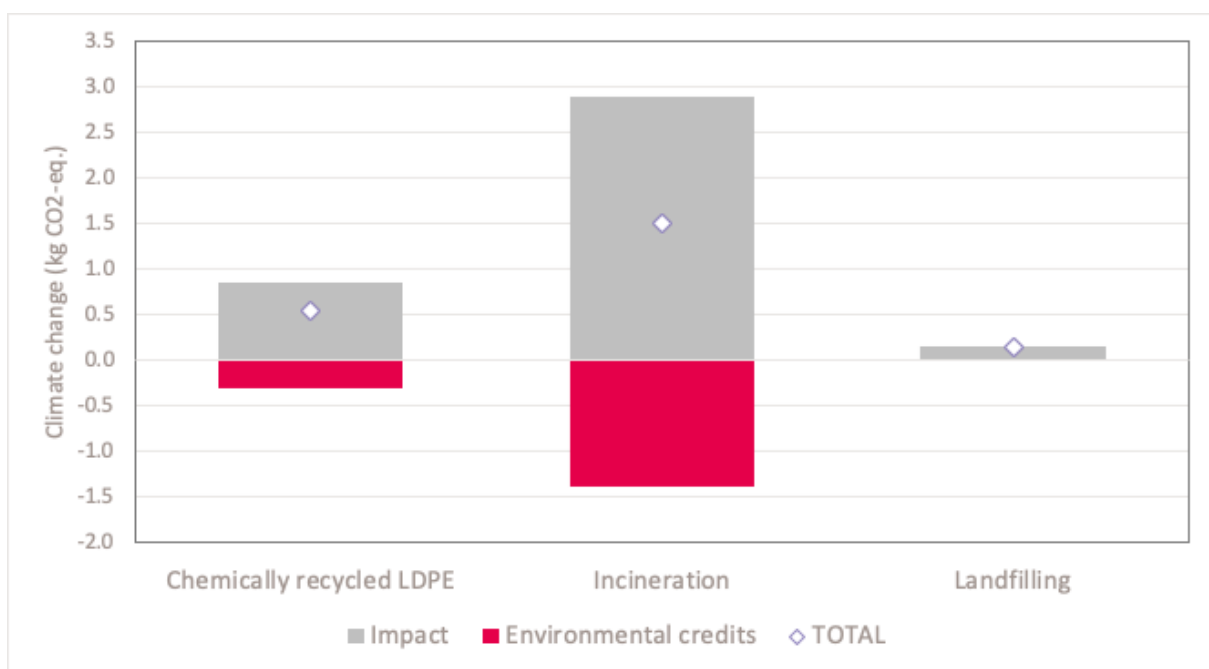


図2:混合プラスチック廃棄物処理量1kgについての廃棄物の展望シナリオの影響と便益、気候変動指標。

図2は、気候変動に対する影響と環境クレジットを分けた3つのシナリオの結果を示している。化学的にリサイクルされたLDPEについては、クレジットはバージンナフサの生産回避に関連しており、一方、燃焼についてはエネルギー(熱と電気)の生産回避に関連している。平均的なヨーロッパ混合物は、焼却時に回収した熱による天然ガス発電に置き換えられると考えられる。

4.2.3項に記載するように、廃棄物エネルギープラントで使用される効率、電気で10.1%、熱で31%である。

要約すると:

- 現在、評価されたすべての指標において、3つのシナリオのいずれも、一貫して影響が低い、または高い、またはスコアを示していない。
- プラスチックの燃焼からのGHG排出量は、その過程で回収された電気と熱によって完全には補償されないため、焼却は、気候変動の影響が最も大きいシナリオである。
- プラスチックは埋立地では部分的にしか分解せず(1%)、その結果、気候変動の影響は比較的小さくなる。一方、プロセスからエネルギーや材料が回収されないため、環境クレジットは発生しません。さらに、一般的には、埋め立ては、材料が自然に帰着する確率を増加させ(例えば、環境中へのプラスチック漏出)、従って、抑制されるべきである。さらに、埋め立ては環状度、化石資源利用、化石に有害である。この側面は、現在のプロジェクトの対象外である環境中へのプラスチック漏れを評価する指標によって対処する必要がある。
- 全体として、廃棄物の無価値化(エネルギーとして、またはリサイクル材料として)のために、廃棄物の埋立処分がヨーロッパではますます抑制される可能性が高く、また、ヨーロッパの平均的なエネルギーミックスがより多くの再生可能エネルギーオプションを含み始めると期待されることを考えると、これは最終的には、プラスチック廃棄物を管理する実行可能な方法として、焼却(エネルギーと熱が貯蔵され再利用されるとき)の経済的利益と化学的リサイクルの間のギャップを生じ始めるであろう。このように、廃プラスチックのケミカルリサイクルは、廃棄物管理の観点から、ますます有利な解決策となるであろう。

製品視点アプローチ

表2は、1kgのLDPEの生産に関するLCIAの結果を、上記の代替法と共に示す。

表2:生産された1kgのLDPEについての製品展望アプローチ-全体的なLCIA結果。

指標(単位)	製品視点アプローチ		
	ケミカルリサイクルLDPE	ヴァージン(化石)LDPE	メカニカルリサイクルLDPE
気候変動(kgCO ₂ -eq)	0.86	1.90	-0.45
資源枯渇(MJ)	39.54	80.08	22.14

いずれの指標も、機械的にリサイクルされたLDPEが最も好ましい溶液であり、次いで化学的にリサイクルされたLDPE(バージン(化石)LDPEが最も好ましくない)の3つのシステムについて同様の傾向を示している。

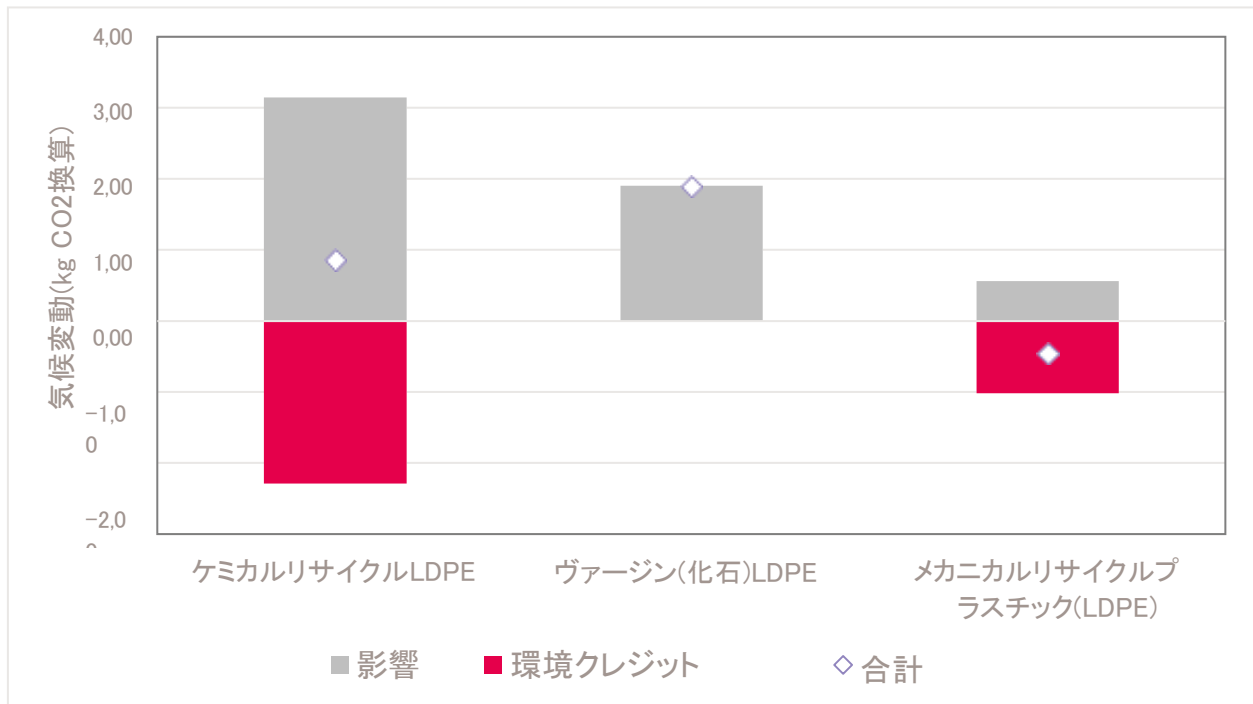


図3:プラスチック混合廃棄物処理量1kgの製品展望シナリオの影響と便益、気候変動指標。

化学的および機械的にリサイクルされたLDPEの両方について、環境クレジットは、プラスチック廃棄物の廃棄物処理に関連する回避された影響(すなわち、焼却およびエネルギー回収で5%回避;ヨーロッパの平均的な廃棄物管理慣行によれば、埋立処分場の減少により45%回避)と関連している。化学的にリサイクルされたLDPEは、他の2つのシナリオと比較して、気候変動の影響が最も高く、環境クレジットも最も高い。化学的にリサイクルされたLDPEは、機械的にリサイクルされたLDPEよりも環境クレジットが高くなっている。これは、化学的にリサイクルされたLDPEの方が、機械的にリサイクルされたLDPEよりも、効率が低いため、プロセスに多くのプラスチック廃棄物が必要とされ、その結果、焼却/埋立 要約すると:

- 機械的リサイクルは、評価された代替シナリオと比較して、両方の指標で最良のパフォーマンスを示している。
- 処女(化石)LDPEと比較して、化学的にリサイクルされたLDPEは、気候変動および資源枯渇スコアが低い。

全体的に、化学的にリサイクルされたLDPEは、バージンLDPEと比較して良好な結果を有するが、機械的にリサイクルされたLDPEよりも高いスコアを有する。

一連の感度分析を行い、モデリング仮定の不確実性と変動性の影響、および結果と結論に対するデータを研究し、それらの頑健性と信頼性を評価した。結果および結論の感度を検証するために、以下のパラメータおよび選択肢を変更した。

- 製品と廃棄物の両面からのアプローチ(すなわち、EUミックス対再生可能エネルギー100%)のために、ケミカルリサイクル施設で使用される電気ミックス
- 代わりに、ケミカルリサイクルプロセスで使用されるプラスチック廃棄物全体を焼却する(製品の観点からのアプローチ)と仮定する。
- 代わりに、ケミカルリサイクルプロセスで使用されるプラスチック廃棄物全体が埋立処分されたと仮定する(製品の観点からのアプローチ)
- 化学リサイクルシナリオ(製品・廃棄物視点アプローチ)のために、廃プラスチックを分別施設まで運搬するためのトラック(100km、500km、1000km)の走行距離の違い
- ケミカルリサイクル施設での熱分解電力利用(基準値に対し±20%)
- LPDE 1kg(ベースライン:ナフサ1.6kg/kg LDPE;追加試験量はナフサ1.4kg/kg/LDPE、1.2kg/kg LDPE)を製造するのに必要なナフサの量が異なる。
- TACOIL 1生産/原料に関するケミカルリサイクルプロセスの効率(ベースライン:69.6%;65%および75%の追加効率評価)
- 焼却過程で廃プラスチックから回収されるエネルギー量(電気・熱)(ベースライン:EUの平均エネルギー回収率、その他の評価シナリオはエネルギー回収なし、エネルギー効率高)
- 製品環境フットプリント(PEF)ガイダンスからの機械的リサイクル品質比($Q_s/Q_p=0.9$ および0.75)を試験でパラメータとしてプラスチックの品質を統合するために試験した。

結論

環境面から見れば、ケミカルリサイクルは幅広い種類のプラスチック(すなわち、ケミカルリサイクル)を受け入れている点で興味深い解決策である。PP、LDPE、PSは、高品質、食品グレード、再生プラスチックを生産する。この技術は、環境性能に関して有望な結果を示しており、特に、プラスチックストリームの代替品が燃焼をもたらす場合に有望である。

一般に、エネルギー消費とプロセス歩留まりは、メカニカルリサイクルよりもケミカルリサイクルにおいてより重要である。エネルギー消費は、特に熱分解段階において、実際に化学的にリサイクルされたLDPEの主要な環境ホットスポットである。

本研究で分析されたシナリオの中で、ほとんどのインジケータにわたって化学的リサイクルより一貫して優れた性能を発揮する唯一の選択肢は、機械的リサイクルである。しかし、プラスチックは、材料特性が劣化する前に数回しか機械的にリサイクルできず、一方、ケミカルリサイクルはポリマー結合を破壊し、再度重合できる新しい分子を生成する。このため、化学的にリサイクルされたプラスチックは、食品グレードの目的に使用できる高品質の製品となる。理想的には、環境の観点から、

¹ 熱分解プロセスの出力であり、TAC(Thermal Anaerobic Conversion)技術の名前から引用されている。

まず、機械的リサイクルを数回行うべきであり、その後、ポリマーが過度に劣化している場合には、ケミカルリサイクルを行うべきである。

全体として、使用済み製品の選択肢を互いに比較し、次の質問に答えようとすることができる。ケミカルリサイクル、機械的リサイクル、または焼却という、環境面および環境面からの最善の経路は何か？ 現実には、すべての資産が廃プラスチックの流れの質に依存している。ペットボトルまたはPEフィルムは自動的に機械的リサイクルのために移動する(他の選択肢は、ゴーではない)。混合プラスチック廃液流は、化学的リサイクルの好機を見つける可能性が高く、プラスチック流が汚染されすぎる場合、おそらく焼却が最良の選択肢である。したがって、このようなLCAの結果とは無関係に、現在および近い将来のヨーロッパ市場のために、3つのエンドライフ・ルートすべてが存在するであろう。

その結果、次のような勧告が出され、ケミカルリサイクルプロセスがさらに改善された。

- 工程中のエネルギー消費量を削減し、工程歩留まりを向上させる。ケミカルリサイクルは、メカニカルリサイクルに比べ、工程数が多く、エネルギー消費量が多いという特徴があります。プロセスの効率を上げることは、エネルギー消費を減少させ、従って、全体的な環境影響を緩和するであろう。
- 100%の再生可能電力源に切り替えることで、ケミカルリサイクルプロセスのカーボン・フットプリントを大幅に減少させることができる。