

## 将来の低炭素・脱炭素社会の実現に貢献するプラスチック資源循環の検討

東京大学大学院工学系研究科 都市工学専攻

中谷 隼

### 1. 研究の背景と目的

プラスチック資源循環の進展のために、マテリアルリサイクルに加え、ケミカルリサイクルの中でも石油化学産業における熱分解などによる油化が、プラスチックのサプライチェーン内で再生原料が利用される循環的利用手法（本研究では、これらを「内生的リサイクル」と呼ぶ）として注目されている。

一方、各産業において脱炭素化（カーボンニュートラル）に向けた動きが活発になっている。一昨年度および昨年度の受託研究の成果から、プラスチック資源循環のCO<sub>2</sub>排出量の最小化には再生原料をプラスチックのサプライチェーン外の動脈産業で利用するケミカルリサイクル（これらを「外生的リサイクル」と呼ぶ）やエネルギー回収が欠かせないことが分かっている。これらに分類される循環的利用手法では、アンモニアや水素を生産する化学産業、鉄鋼産業、製紙産業、セメント産業において廃プラスチックが利用される。これらの産業においても、脱炭素化に向けて新たな技術の導入やプロセスの転換が検討または着手されているが、廃プラスチックの受入拡大とは必ずしも軌を一にするとは限らない。

本年度の受託研究では、2050年における脱炭素社会の実現と、その過程にある2030年における低炭素社会を前提として、それに最大限に貢献するプラスチック資源循環について検討した。そのための基盤として、脱炭素化を含む産業構造の変化に関する「産業シナリオ」を設定し、2030年および2050年の時点における様々な動脈産業における廃プラスチックの受入ポテンシャルと、様々な循環的利用手法の環境負荷（CO<sub>2</sub>排出）の削減効果に影響を与える発電のCO<sub>2</sub>排出原単位を予測した。

### 2. 廃プラスチックの受入ポテンシャルの将来予測

#### (1) 内生的リサイクルの受入ポテンシャル

マテリアルリサイクルの受入容量は、当該年のプラスチック需要量を基準として、要求品質ごとに要求される純度を設定した上で、樹脂種類ごとの需要量に対する再生樹脂の混合可能率を算定した。樹脂種類ごとの選別物の純度は、研究代表者による光学自動選別機を用いた実証実験の結果を引用した。

ケミカルリサイクルのうち油化（熱分解）については、石油精製および石油化学プロセスへの廃プラスチック由来の熱分解油の混合許容量を推計した。ここでは、超臨界水技術および触媒接触（HiCOP技術）を合わせて、2030年に3.5万tの廃プラスチックの受入が検討されていることを反映した。

#### (2) 外生的リサイクルの受入ポテンシャル

外生的リサイクルおよびエネルギー回収に関わる動脈産業について、産業シナリオを定義した。まず、「脱炭素化優先シナリオD」では各産業における脱炭素化が優先され、その範囲で廃プラスチックの受入ポテンシャルを検討する。「廃プラスチック受入優先シナリオP」では各産業において廃プラスチックの受入が優先され、現状で存在している受入容量は可能な限り維持する。比較対象として、廃プラスチックの受入容量が近年の傾向のまま推移する「なりゆき（BaU）シナリオU」を設定した。

高炉還元剤化とコークス炉化学原料化は、いずれも鉄鋼生産プロセスのうち高炉転炉法（BF-BOF法）に導入されるため、高炉の稼働状況が廃プラスチックの受入容量を規定する。まずは、高炉で生産され

る粗鋼量の全量の推移を予測した。また、直接還元鉄（DRI）、フェロコークスおよび水素還元といった鉄鋼生産の新技术の普及が廃プラスチックの受入に与える影響を検討した。さらに、廃プラスチックの混合許容率をコークス炉化学原料化はコークス比1~2%、高炉還元剤化は銑鉄比1~3%とした。

ガス化については、廃プラスチック由来の合成ガスがアンモニアの原料として利用される。シナリオDについては現状のアンモニアの生産能力が維持されるものと仮定し、シナリオPではアンモニアのエネルギー利用が普及して廃プラスチックの受入容量も拡大すると仮定した。シナリオUに関しては、農業用途（肥料）と工業用途に分けて、現状の傾向からアンモニアの国内生産量の推移を予測した。

### (3) エネルギー回収の受入ポテンシャル

固形燃料（RPF）利用では、廃プラスチックが古紙とともに固形燃料に加工され、主に製紙産業で石炭の代替燃料として使用されている。シナリオDではエネルギー源の大半がバイオマス由来に転換され、RPFが占める割合は削減されるものとし、シナリオPでは廃プラスチックを最大限まで使用することとした。シナリオUでは、製紙産業のエネルギー消費原単位もRPFの割合も変わらないものとした。

セメント産業では、石炭使用の大幅削減を実施するために廃プラスチックを含む廃棄物の積極的な受入が検討されている。セメントの生産量の将来シナリオを参照し、シナリオDでは石炭を積極的に削減しつつ様々な廃棄物をバランス良く利用し、シナリオPでは廃プラスチックを最大限に利用、シナリオUでは近年の廃プラスチックの受入量が、そのまま推移するものとした。

表1 産業シナリオごとの2030年および2050年における廃プラスチックの受入ポテンシャル

産業シナリオ		脱炭素化優先D		廃プラスチック受入優先P		なりゆき (BaU) U	
		2030年	2050年	2030年	2050年	2030年	2050年
内生的リサイクル	油化（熱分解）	3.5万t	（不明）	3.5万t	（不明）	3.5万t	（不明）
	ガス化（アンモニア原料）	41.5万t	38.1万t	61.6万t	57.7万t	4.1万t	3.6万t
外生的リサイクル	高炉還元剤化	75.2万t	50.6万t	131.4万t	101.6万t	30.0万t	30.2万t
	コークス炉化学原料化	23.6万t	13.0万t	42.5万t	28.1万t	23.5万t	18.5万t
エネルギー回収	RPF利用	21PJ	18PJ	18~48PJ	18~92PJ	26PJ	26PJ
	セメント燃料化	101PJ	199PJ	176PJ	303PJ	11PJ	36PJ

注) ガス化については廃プラスチック由来のアンモニア生産ポテンシャル、その他の循環的利用手法については廃プラスチックの受入容量を示した。

### 3. 環境負荷の排出原単位の将来予測

今後、様々な製品や原燃料について、技術革新や省エネルギーによってCO<sub>2</sub>を含む環境負荷の排出原単位が変化する可能性があり、それによって廃プラスチックの循環的利用手法のCO<sub>2</sub>排出の削減効果も変化する。本研究では、多くの製品や原燃料の排出原単位に対して影響を与える電力について、2030年および2050年におけるCO<sub>2</sub>排出原単位を予測した。2019年に0.5 kg-CO<sub>2</sub>/kWhを超えていた原単位は、2030年には「第6次 エネルギー基本計画」に基づく電源構成で0.3 kg-CO<sub>2</sub>/kWhとなる。さらに、2050年はRITEが示した電源構成では0.2 kg-CO<sub>2</sub>/kWhより小さくなり、再生可能エネルギーの割合が100%になるか二酸化炭素回収・有効利用・貯留（CCUS）技術の利用が進めば原単位は0に近づく。

### 4. 結論

脱炭素化が社会の大きな命題となった現在、廃プラスチックの循環的利用もループの大きさに固執せず、CO<sub>2</sub>排出の削減（低炭素・脱炭素社会の実現）への最大限の貢献を目指す必要がある。そのためには、より内側のリサイクルループが望ましいとする欧州サーキュラーエコノミーの教義的な考え方とは一線を画す、よりプラグマティックなプラスチック資源循環の設計が求められる。そうした検討に対して、本研究の受入ポテンシャルと排出原単位の将来予測の結果は活用しうるものと考えられる。