

CEMVC研究会

サーキュラーエコノミーの「なぜ？」を掘り下げる知の往還
No.3 炭素循環

産業のカーボンニュートラル施策が プラスチック資源循環に与える影響

2026年6月30日 @ 新宿アントレサロンビル 3Fセミナールーム

東京大学大学院工学系研究科 都市工学専攻
准教授

中谷 隼

1

プラスチック資源循環の技術

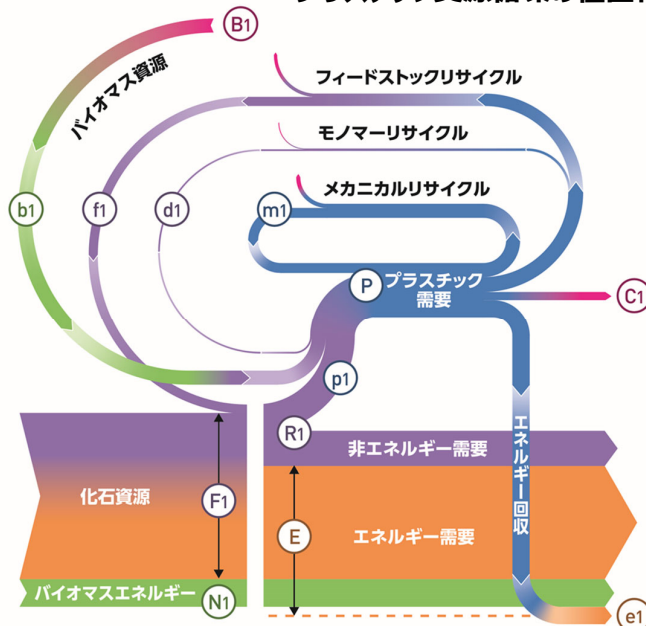
資源循環技術の分類

- ✓ **メカニカル** (マテリアル) リサイクル
- ✓ **ケミカル** (フィードストック) リサイクル
- ✓ **エネルギー回収** (サーマルリカバリー)

混合プラスチックのケミカルリサイクル

- ✓ 高炉還元剤化、コークス炉化学原料化
- ✓ ガス化 (原料および燃料利用)
- 近年、国内の大手の石油および石油化学メーカーも、熱分解や接触分解などの技術による油化リサイクルの実用化に向けた技術開発および実証を加速

産業全体の炭素循環フローにおける
プラスチック資源循環の位置付け



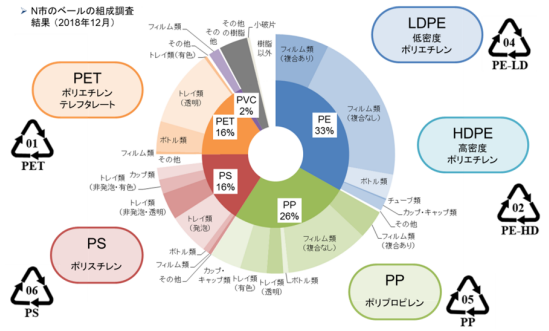
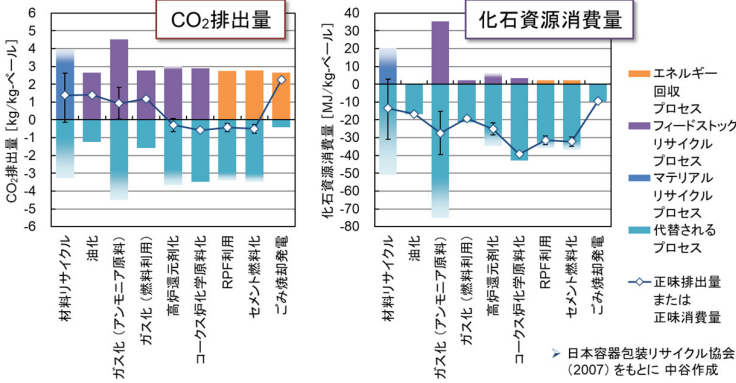
2

プラスチック資源循環のライフサイクル評価 (LCA)

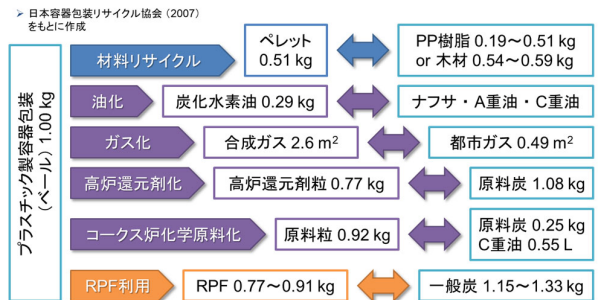
✓ 混合プラスチックである「プラスチック製容器包装」の様々な循環利用による環境負荷や資源消費の削減効果を評価すると…

- プラスチックに戻す**マテリアルリサイクル** (材料リサイクル)
- 化学産業での**ケミカルリサイクル** (油化、ガス化)
- 鉄鋼産業での**ケミカルリサイクル** (高炉還元剤化、コークス炉化学原料化)
- 製紙産業 (RPF利用) やセメント産業での**エネルギー回収**

✓ プラスチック製容器包装の循環利用手法の比較



✓ 何が・どのくらいリサイクルによって代替されるか？



プラスチック資源循環と関連する産業

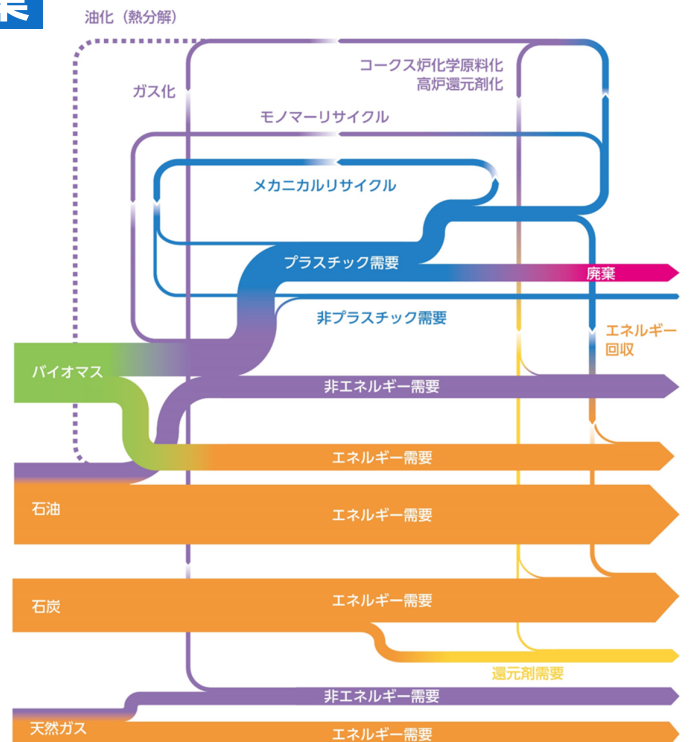
日本のプラスチック資源循環の特徴

✓ その範囲が様々な産業に広がりを持っている。

- プラスチック産業 **メカニカルリサイクル**
- 石油・化学産業 **油化、ガス化**
- 鉄鋼産業 **高炉還元剤化**
コークス炉化学原料化
- セメント産業 **セメント燃料化**

➤ 廃プラスチックの性状と資源循環のオプションを 適材適所で組み合わせ、より効果的に脱炭素化のために利用することが可能になる。

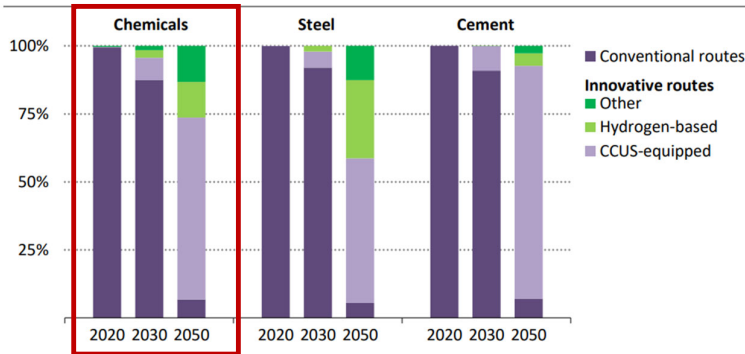
➤ 様々な産業の動向に影響を受け、各産業が カーボンニュートラル施策として生産プロセスの利用技術を転換することは、廃プラスチックの利用の拡大要因にも縮小要因にもなり得る。



IEA・NZEシナリオにおける世界の化学分野の脱炭素化

- NZEシナリオでは、2050年における化学製品のリサイクルの割合は、プラスチック回収のうち54%、原料生産のうち35%に増加する想定となっている。
- 化学分野における水素需要は2020年と比較して約80%増加し、**オンサイトの電解装置の容量は210 GWに増加する。
- 化学製品の製造では、従来型の方法が占める割合は7%にとどまり、革新的な製造方法が大半（93%）を占めると想定されている。
 - **CCUS設備を具備する製造方法の占める割合が過半数**
CO₂回収量は540 Mt-CO₂まで増加

Figure 3.19 ▶ Global industrial production of bulk materials by production route in the NZE



IEA. All rights reserved.

出典) IEA: Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector

Category	2020	2030	2050
Chemicals			
Share of recycling: reuse in plastics collection	17%	27%	54%
reuse in secondary production	8%	14%	35%
Hydrogen demand (Mt H ₂)	46	63	83
with on-site electrolyser capacity (GW)	0	38	210
Share of production via innovative routes	1%	13%	93%
CO ₂ captured (Mt CO ₂)	2	70	540
Steel			
Recycling, re-use: scrap as share of input	32%	38%	46%
Hydrogen demand (Mt H ₂)	5	19	54
with on-site electrolyser capacity (GW)	0	36	295
Share of primary steel production: hydrogen-based DRI-EAF	0%	2%	29%
iron ore electrolysis-EAF	0%	0%	13%
CCUS-equipped processes	0%	6%	53%
CO ₂ captured	1	70	670
Cement			
Clinker to cement ratio	0.71	0.65	0.57
Hydrogen demand (Mt H ₂)	0	2	12
Share of production via innovative routes	0%	9%	93%
CO ₂ captured (Mt CO ₂)	0	215	1 355

Note: DRI = direct reduced iron; EAF = electric arc furnace.

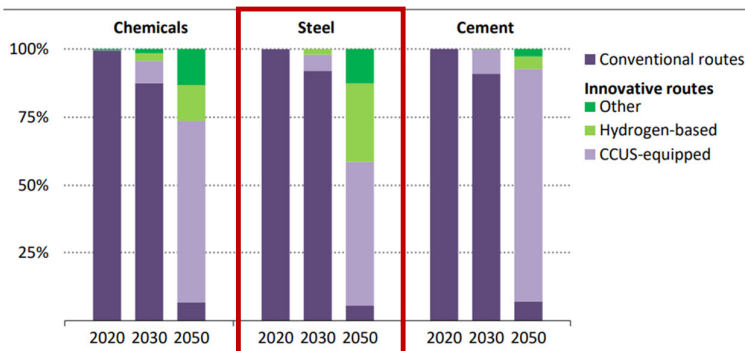
出典) IEA: Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector

7

IEA・NZEシナリオにおける世界の鉄鋼分野の脱炭素化

- NZEシナリオでは、リサイクルとリユースあわせて、2050年における粗鋼生産への**投入に占めるスクラップの割合は46%まで増加する**想定となっている。
- 鉄鉱石を原料とする粗鋼生産のうち、各製造方法の占める割合は…
 - 従来型の製鋼法： 5%
 - CCUS設備を具備するプロセス： 53%**
 - 水素を利用した直接還元～電炉： 29%
 - 鉄鉱石の電気分解～電炉： 13%

Figure 3.19 ▶ Global industrial production of bulk materials by production route in the NZE



IEA. All rights reserved.

出典) IEA: Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector

Category	2020	2030	2050
Chemicals			
Share of recycling: reuse in plastics collection	17%	27%	54%
reuse in secondary production	8%	14%	35%
Hydrogen demand (Mt H ₂)	46	63	83
with on-site electrolyser capacity (GW)	0	38	210
Share of production via innovative routes	1%	13%	93%
CO ₂ captured (Mt CO ₂)	2	70	540
Steel			
Recycling, re-use: scrap as share of input	32%	38%	46%
Hydrogen demand (Mt H ₂)	5	19	54
with on-site electrolyser capacity (GW)	0	36	295
Share of primary steel production: hydrogen-based DRI-EAF	0%	2%	29%
iron ore electrolysis-EAF	0%	0%	13%
CCUS-equipped processes	0%	6%	53%
CO ₂ captured	1	70	670
Cement			
Clinker to cement ratio	0.71	0.65	0.57
Hydrogen demand (Mt H ₂)	0	2	12
Share of production via innovative routes	0%	9%	93%
CO ₂ captured (Mt CO ₂)	0	215	1 355

Note: DRI = direct reduced iron; EAF = electric arc furnace.

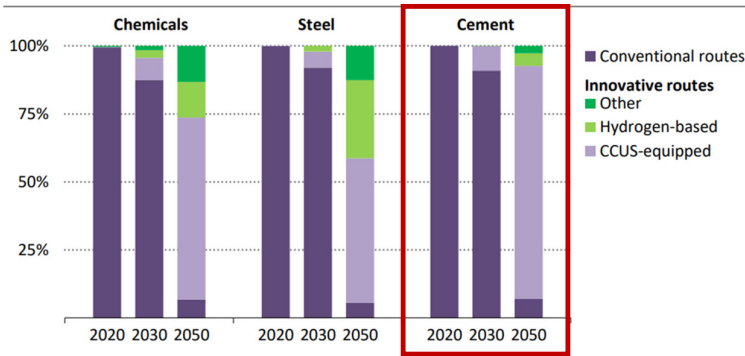
出典) IEA: Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector

8

IEA・NZEシナリオにおける世界のセメント分野の脱炭素化

- NZEシナリオでは、セメントに対するクリンカの割合は、71%から57%へと低下する。
- 2050年におけるセメント生産では、従来型の製造方法の占める割合は7%にとどまる。
- **CCUS設備を具備する製造方法の占める割合が大部分であり、水素を利用した製造方法などの他の革新技術の想定割合は小さい。**

Figure 3.19 ▶ Global industrial production of bulk materials by production route in the NZE



IEA. All rights reserved.

出典) IEA: Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector

Category	2020	2030	2050
Chemicals			
Share of recycling: reuse in plastics collection	17%	27%	54%
reuse in secondary production	8%	14%	35%
Hydrogen demand (Mt H ₂)	46	63	83
with on-site electrolyser capacity (GW)	0	38	210
Share of production via innovative routes	1%	13%	93%
CO ₂ captured (Mt CO ₂)	2	70	540
Steel			
Recycling, re-use: scrap as share of input	32%	38%	46%
Hydrogen demand (Mt H ₂)	5	19	54
with on-site electrolyser capacity (GW)	0	36	295
Share of primary steel production: hydrogen-based DRI-EAF	0%	2%	29%
iron ore electrolysis-EAF	0%	0%	13%
CCUS-equipped processes	0%	6%	53%
CO ₂ captured	1	70	670
Cement			
Clinker to cement ratio	0.71	0.65	0.57
Hydrogen demand (Mt H ₂)	0	2	12
Share of production via innovative routes	0%	9%	93%
CO ₂ captured (Mt CO ₂)	0	215	1 355

Note: DRI = direct reduced iron; EAF = electric arc furnace.

出典) IEA: Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector

石油・化学産業のカーボンニュートラル施策とプラスチック資源循環

石油・化学産業の脱炭素化に向けた革新技術がプラスチック資源循環に与える影響

利用技術	説明	プラスチック資源循環に与える影響
① 石油原料	既存技術 原油を精製し燃料製品を製造するとともに、ナフサ分解により化学製品を製造する。	—
② カーボンリサイクル	革新技術 他分野の工場や発電所などから排出されたCO ₂ および水素を原料として合成燃料や化学製品を製造する。	これらの カーボンニュートラル原料 が確保できれば、石油・化学産業での 廃プラスチック利用の必要性は低下する可能性
③ DAC	革新技術 大気中から回収したCO ₂ および水素を原料として合成燃料や化学製品を製造する。	
④ バイオマス原料	革新技術 バイオエタノールやバイオマスナフサを原料として燃料や化学製品を製造する。	
⑤ ケミカルリサイクル	革新技術 廃プラスチックをモノマー化、ガス化、油化などによって燃料や化学製品の原料として利用する。	—

鉄鋼産業のカーボンニュートラル施策とプラスチック資源循環

鉄鋼産業の既存技術と脱炭素化に向けた革新技術がプラスチック資源循環に与える影響

利用技術	説明	プラスチック資源循環に与える影響
① 従来型高炉	既存技術 高炉にコークスや微粉炭を投入し、鉄鉱石を還元して製鉄する。	—
② 外部水素活用型高炉	革新技術 還元剤として利用されている炭素の一部を、外部からの 水素 （またはメタネーションによるメタン）に切り替える。石炭利用は継続されるため、カーボンニュートラルには CCUS が必須となる。	高炉法が残ることで、 <u>高炉還元剤化およびコークス炉化学原料化は継続可能</u>
③ 100%水素直接還元炉	革新技術 還元剤として石炭を利用せず、全て 水素 による直接還元に切り替える。製鉄後に、電炉（または高炉）による製鋼が必要になる。	直接還元法が拡大すれば、 <u>廃プラスチック利用は減少する可能性</u>
④ 従来型電炉	既存技術 鉄スクラップを原料として、電気により製鋼する。	—
⑤ 高級鋼生産可能電炉	革新技術 大型化・不純物除去の技術開発により、電炉によって高級鋼を生産可能とする。	電炉法が拡大すれば、 <u>廃プラスチック利用は減少する可能性</u>

11

セメント産業のカーボンニュートラル施策とプラスチック資源循環

セメント産業の既存技術と脱炭素化に向けた革新技術がプラスチック資源循環に与える影響

利用技術	説明	プラスチック資源循環に与える影響
① 石炭焼成	既存技術 クリンカ製造のため、焼成工程において石炭を利用する。	—
② 燃料転換	革新技術 焼成工程において、石炭の代わりに 水素 やアンモニアを利用する。	<u>カーボンニュートラル燃料</u> が確保できれば、 <u>廃プラスチックの燃料利用は減少する可能性</u>
③ 天然石灰石	既存技術 天然の石灰石（CaCO ₃ ）を利用する。脱炭酸によるCO ₂ が発生する。	—
④ 再生石灰石	革新技術 廃コンクリートからCaOを抽出した上で、大気中のCO ₂ を吸収させるといった経路を経た再生石灰石からクリンカを製造する。再生石灰石から脱炭酸したCO ₂ は <u>大気中から吸収したものであるからカーボンニュートラルであり</u> 、CCSすればカーボンネガティブにもなる。	クリンカ製造の焼成プロセスが残れば、 <u>セメント燃料化は継続可能か</u>

12

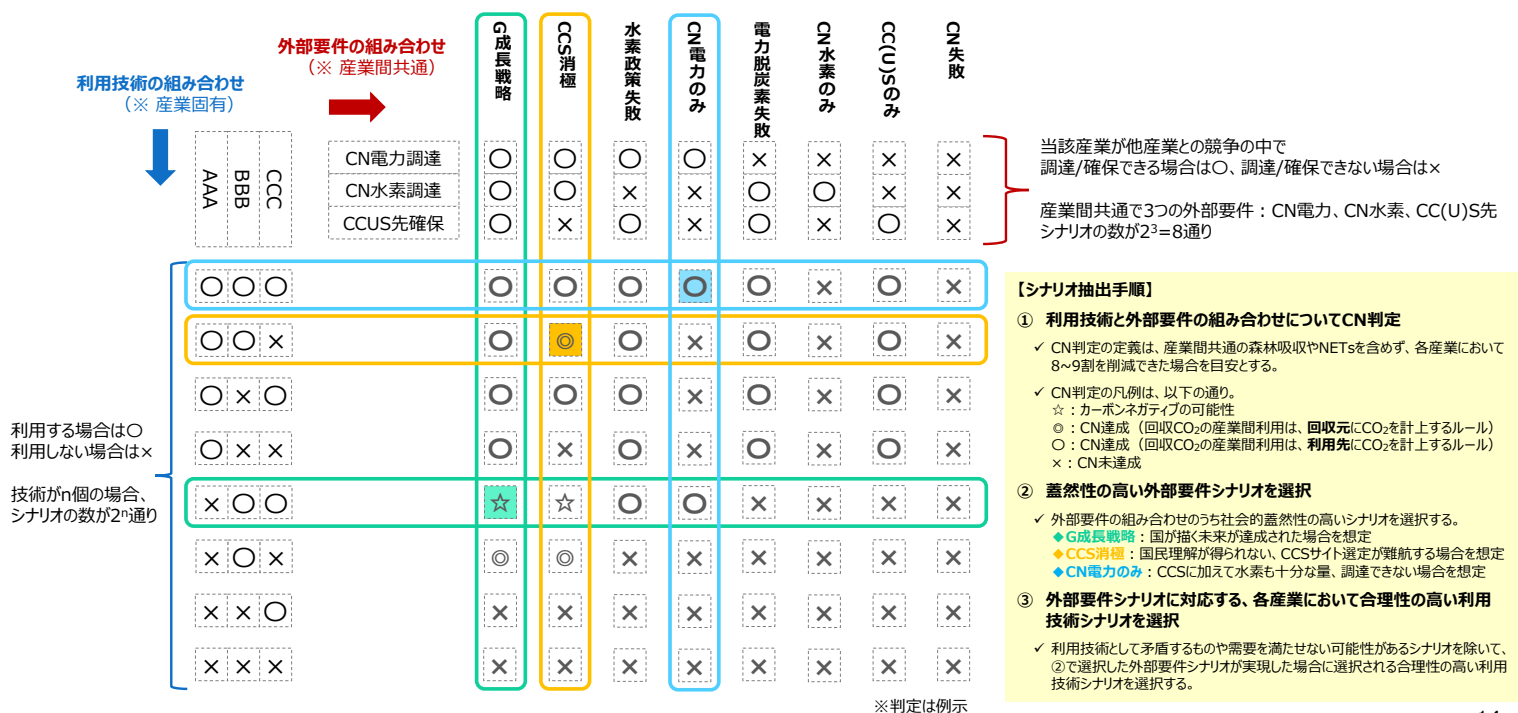
製紙産業のカーボンニュートラル施策とプラスチック資源循環

製紙産業の既存技術と脱炭素化に向けた革新技術がプラスチック資源循環に与える影響

利用技術	説明	プラスチック資源循環に与える影響
① 従来型プロセス	既存技術 主には化学パルプ製造プロセスと抄紙プロセスを想定する。黒液を分離回収してエネルギー利用を行う。石炭火力による自家発電の電力が8割程度を占める。	—
② バイオマス利用拡大	既存技術 熱源あるいは発電用の燃料として黒液以外のバイオマスを拡大させる。	カーボンニュートラル燃料が確保できれば、製紙産業でのRPF利用は減少する可能性
③ 燃料転換	革新技術 熱源あるいは発電用の燃料として水素・アンモニア・メタンなどのカーボンニュートラル燃料を利用する。	
④ 抄紙電化	革新技術 抄紙プロセス（紙製造プロセス：プレス、ドライヤーなど）を電化する。	自家発電燃料として、RPF利用が増加する可能性も
⑤ 化学パルプ	既存技術 紙の原料として、木材チップを利用する。製造のためには従来型プロセスが必要になる。	—
⑥ 古紙パルプ	既存技術 紙の原料として、回収した古紙を利用する。利用エネルギーは電力のみで熱需要はない。	—

13

各産業のカーボンニュートラルマトリクスとシナリオ抽出の手順



14

鉄鋼産業の例

	G成長戦略	CCS消極		CN電力のみ				
CN電力調達	○	○	○	○	×	×	×	×
CN水素調達	○	○	×	×	○	○	×	×
CC(U)S先確保	○	×	○	×	○	×	○	×

従来高炉	外部水素活用型高炉	100%水素直接還元	従来電炉	高級鋼生産可能電炉									
○	○	○	○	○		○	×	×	×	×	×	×	×
○	○	○	○	×		○	×	×	×	×	×	×	×
○	○	○	×	○		○	×	×	×	×	×	×	×
○	○	○	×	×	矛盾した技術の組み合わせ	○	×	×	×	×	×	×	×
○	○	×	○	○		○	×	×	×	×	×	×	×
○	○	×	○	×		○	×	×	×	×	×	×	×
○	○	×	×	○	合理性のない技術の組み合わせ	○	×	×	×	×	×	×	×
○	○	×	×	×		○	×	×	×	○	×	×	×
○	×	○	○	○		○	×	×	×	×	×	×	×
○	×	○	○	×		○	×	×	×	×	×	×	×
○	×	○	×	×	合理性のない技術の組み合わせ	○	×	×	×	×	×	×	×
○	×	○	×	×	矛盾した技術の組み合わせ	○	×	○	×	×	×	×	×
○	×	×	○	○		○	×	○	×	×	×	×	×
○	×	×	×	○	合理性のない技術の組み合わせ	○	×	○	×	×	×	×	×
○	×	×	×	×		○	×	○	×	○	×	○	×
×	○	○	○	○		○	×	×	×	×	×	×	×
×	○	○	○	×		○	×	×	×	×	×	×	×
×	○	○	×	○	合理性のない技術の組み合わせ	○	×	×	×	×	×	×	×
×	○	○	×	×	矛盾した技術の組み合わせ	○	×	×	×	×	×	×	×
×	○	×	○	○		○	×	×	×	×	×	×	×
×	○	×	○	×		○	×	×	×	×	×	×	×
×	○	×	×	○	合理性のない技術の組み合わせ	○	×	×	×	×	×	×	×
×	○	×	×	×		○	×	×	×	○	×	×	×
×	×	○	○	○		◎	◎	×	×	×	×	×	×
×	×	○	○	×	高級鋼が生産不可								
×	×	○	×	○	合理性のない技術の組み合わせ	◎	◎	×	×	×	×	×	×
×	×	○	×	×	粗鋼が生産不可								
×	×	×	○	○	スクラップのみでは原料不足								
×	×	×	○	×	高級鋼生産不可+スクラップ不足	◎	◎	○	○	×	×	×	×
×	×	×	×	○	スクラップのみでは原料不足								
×	×	×	×	×	生産不可								

鉄鋼産業の利用技術と外部要件に対応したシナリオ

鉄鋼産業の既存技術と脱炭素化に向けた革新技術

利用技術		説明
① 従来型高炉	既存技術	高炉にコークスや微粉炭を投入し、鉄鉱石を還元して製鉄する。
② 外部水素活用型高炉	革新技術	還元剤として利用されている炭素の一部を、外部からの水素（またはメタネーションによるメタン）に切り替える。石炭利用は継続されるため、カーボンニュートラルにはCCUSが必須となる。 ▶ 他に、COURSE50のように副生ガスから水素を取り出す方式も存在する。
③ 100%水素直接還元炉	革新技術	還元剤として石炭を利用せず、全て水素による直接還元で切り替える。製鉄後に、電炉（または高炉）による製鋼が必要になる。
④ 従来型電炉	既存技術	鉄スクラップを原料として、電気により製鋼する。
⑤ 高級鋼生産可能電炉	革新技術	大型化・不純物除去の技術開発により、電炉によって高級鋼を生産可能とする。

外部要件シナリオ（共通）に対応した合理性の高い利用技術シナリオとカーボンニュートラル判定

外部要件シナリオ	①	②	③	④	⑤	判定	左記の利用技術の組み合わせの合理性が高いと判断した理由
● G成長戦略	×	○	○	○	○	○	カーボンニュートラル電力および水素、CCUS先の確保が十分であれば、従来型の高炉を利用せずに鉄鉱石由来でもカーボンニュートラル達成が可能であるため。
● CCS消極	×	×	○	○	○	◎	従来型あるいは外部水素活用型の高炉ではカーボンニュートラル達成不可能のため、水素直接還元と電炉によるCNを図ると考えられるため。
● CN電力のみ	○	×	×	○	○	×	スクラップが最大源活用されることになるが、それだけで粗鋼需要を満たせない場合は従来型高炉を稼働せざるを得なくなると考えられるため。

セメント産業の利用技術と外部要件に対応したシナリオ

セメント産業の既存技術と脱炭素化に向けた革新技術

利用技術		説明
① 石炭焼成	既存技術	クリンカ製造のため、焼成工程において石炭を利用する。
② 燃料転換	革新技術	焼成工程において、石炭の代わりに水素やアンモニアを利用する。
③ 天然石灰石	既存技術	天然の石灰石 (CaCO ₃) を利用する。脱炭酸によるCO ₂ (工業プロセス) が発生する。
④ 再生石灰石	革新技術	廃コンクリートからCaOを抽出した上で、大気中のCO ₂ を吸収させるといった経路を経た再生石灰石からクリンカを製造する。再生石灰石から脱炭酸したCO ₂ は大気中から吸収したものであるからカーボンニュートラルであり、CCSすればカーボンネガティブにもなる。

外部要件シナリオ (共通) に対応した合理性の高い利用技術シナリオとカーボンニュートラル判定

外部要件シナリオ	①	②	③	④	判定	左記の利用技術の組合せの合理性が高いと判断した理由
● G成長戦略	○	○	○	○	☆	脱炭酸のCO ₂ までCCSできればカーボンニュートラル達成で、さらに再生石灰石の利用によりカーボンネガティブも見通すことができるため。
● CCS消極	×	○	○	○	×	CCS先が確保できなければ、脱炭酸分のCO ₂ が排出されてしまうためCN達成が困難になる。ただし、燃料転換が可能であれば、少なくともエネルギー起源のCO ₂ に関しては排出をゼロにすることが可能であり、産業として最大限のCN対策になると考えられるため。
● CN電力のみ	○	×	○	○	×	CCSに加えてカーボンニュートラル燃料への燃料転換も厳しければ、エネルギー起源のカーボンニュートラル達成すらままならない。その場合、化石由来の水素やアンモニア燃料へ転換するよりは、従来通り石炭の利用を継続した方が合理的であると考えられるため。

19

製紙産業の利用技術と外部要件に対応したシナリオ

製紙産業の既存技術と脱炭素化に向けた革新技術

利用技術		説明
① 従来型プロセス	既存技術	主には化学パルプ製造プロセスと抄紙プロセスを想定する。黒液を分離回収してエネルギー利用を行う。石炭火力による自家発電の電力が8割程度を占める。
② バイオマス利用拡大	既存技術	熱源あるいは発電用の燃料として黒液以外のバイオマスを拡大させる。
③ 燃料転換	革新技術	熱源あるいは発電用の燃料として水素・アンモニア・メタンなどのカーボンニュートラル燃料を利用する。
④ 抄紙電化	革新技術	抄紙プロセス (紙製造プロセス: プレス、ドライヤーなど) を電化する。
⑤ 化学パルプ	既存技術	紙の原料として、木材チップを利用する。製造のためには従来型プロセスが必要になる。
⑥ 古紙パルプ	既存技術	紙の原料として、回収した古紙を利用する。利用エネルギーは電力のみで熱需要はない。

外部要件シナリオ (共通) に対応した合理性の高い利用技術シナリオとカーボンニュートラル判定

外部要件シナリオ	①	②	③	④	⑤	⑥	判定	利用技術シナリオの合理性が高いと判断した理由
● G成長戦略	×	○	○	○	○	○	☆	製紙産業では、従来プロセスでも全量CCSすればカーボンネガティブとなる可能性があるが、石炭利用は縮退が進むと考えられるため。
● CCS消極	×	○	?	○	○	○	◎	CCSできない場合でも、石炭を利用せず、化学パルプ製造をバイオマス燃料転換で賄えばカーボンニュートラルは達成できると考えられるため。バイオマス拡大とカーボンニュートラル燃料転換は役割的に重複するが、製紙業界の森林資源との親和性を踏まえればバイオマスが主となるか？
● CN電力のみ	×	○	×	○	○	○	◎	石炭とカーボンニュートラル水素が利用できない場合は、化学パルプ製造をバイオマス燃料で賄う必要があるため。古紙だけでは原料制約がある。

20

外部要件シナリオに対応した各産業の利用技術シナリオ

共通の外部要件				G成長戦略	CCS消極	CN電力のみ
CN電力調達	○	○	○			
CN水素調達	○	○	×			
CC(U)S先確保	○	×	×			

産業固有の技術				G成長戦略	CCS消極	CN電力のみ
従来高炉	×	×	○			
外部水素活用型高炉	○	×	×			
100%水素直接還元	○	○	×			
従来電炉	○	○	○			
高級鋼生産可能電炉	○	○	○			
CN判定	○	◎	×			

共通の外部要件				G成長戦略	CCS消極	CN電力のみ
CN電力調達	○	○	○			
CN水素調達	○	○	×			
CC(U)S先確保	○	×	×			

産業固有の技術				G成長戦略	CCS消極	CN電力のみ
石炭焼成	○	×	○			
燃料転換	○	○	×			
天然石灰石	○	○	○			
再生石灰石	○	○	○			
CN判定	☆	×	×			

共通の外部要件				G成長戦略	CCS消極	CN電力のみ
CN電力調達	○	○	○			
CN水素調達	○	○	×			
CC(U)S先確保	○	×	×			

産業固有の技術				G成長戦略	CCS消極	CN電力のみ
石油原料	○	×	○			
カーボンサイクル	○	○	×			
DAC	○	○	×			
バイオマス原料	○	○	○			
ケミカルサイクル	○	○	○			
CN判定	☆~×	◎	×			

共通の外部要件				G成長戦略	CCS消極	CN電力のみ
CN電力調達	○	○	○			
CN水素調達	○	○	×			
CC(U)S先確保	○	×	×			

産業固有の技術				G成長戦略	CCS消極	CN電力のみ
従来型	×	×	×			
バイオマス利用拡大	○	○	○			
燃料転換	○	○	×			
抄紙電化	○	○	○			
化学パルプ	○	○	○			
古紙パルプ	○	○	○			
CN判定	☆	◎	◎			

カーボンニュートラル判定

- ☆ カーボンネガティブの可能性
- ◎ カーボンニュートラル達成 (回収CO₂の産業間利用は、**回収元**にCO₂を計上)
- カーボンニュートラル達成 (回収CO₂の産業間利用は、**利用先**にCO₂を計上)
- ×

各産業の利用技術シナリオ 1

各産業がG成長戦略に沿って技術開発を進めたシナリオ

すべての産業がG成長戦略シナリオを展開し、技術開発とCNエネルギーやCCS先の確保に成功、CNを達成するための利用技術を選択

共通の外部要件				G成長戦略	CCS消極	CN電力のみ
CN電力調達	○	○	○			
CN水素調達	○	○	×			
CC(U)S先確保	○	×	×			

産業固有の技術				G成長戦略	CCS消極	CN電力のみ
従来高炉	×	×	○			
外部水素活用型高炉	○	×	×			
100%水素直接還元	○	○	×			
従来電炉	○	○	○			
高級鋼生産可能電炉	○	○	○			
CN判定	○	◎	×			

共通の外部要件				G成長戦略	CCS消極	CN電力のみ
CN電力調達	○	○	○			
CN水素調達	○	○	×			
CC(U)S先確保	○	×	×			

産業固有の技術				G成長戦略	CCS消極	CN電力のみ
石炭焼成	○	×	○			
燃料転換	○	○	×			
天然石灰石	○	○	○			
再生石灰石	○	○	○			
CN判定	☆	×	×			

共通の外部要件				G成長戦略	CCS消極	CN電力のみ
CN電力調達	○	○	○			
CN水素調達	○	○	×			
CC(U)S先確保	○	×	×			

産業固有の技術				G成長戦略	CCS消極	CN電力のみ
石油原料	○	×	○			
カーボンサイクル	○	○	×			
DAC	○	○	×			
バイオマス原料	○	○	○			
ケミカルサイクル	○	○	○			
CN判定	☆~×	◎	×			

共通の外部要件				G成長戦略	CCS消極	CN電力のみ
CN電力調達	○	○	○			
CN水素調達	○	○	×			
CC(U)S先確保	○	×	×			

産業固有の技術				G成長戦略	CCS消極	CN電力のみ
従来型	×	×	×			
バイオマス利用拡大	○	○	○			
燃料転換	○	○	×			
抄紙電化	○	○	○			
化学パルプ	○	○	○			
古紙パルプ	○	○	○			
CN判定	☆	◎	◎			

CN判定

- ☆ カーボンネガティブの可能性
- ◎ CN達成 (回収CO₂の産業間利用は、**回収元**にCO₂を計上するルール)
- CN達成 (回収CO₂の産業間利用は、**利用先**にCO₂を計上するルール)
- ×

各産業の利用技術シナリオ2

各産業のCCS利用が制限されるシナリオ（日本全体でCCSが想定したように進展しない、または発電部門がCCSの大部分を利用してしまうなど）

➢ CCSなしではCN達成不可のセメント産業のみがG成長戦略シナリオを展開し、その他の産業はCCSに依存せずに脱炭素化を推進

共通の外部要件				G成長戦略	CCS消極	CN電力のみ
CN電力調達	○	○	○			
CN水素調達	○	○	×			
CC(U)S先確保	○	×	×			

産業固有の技術				G成長戦略	CCS消極	CN電力のみ
従来高炉	×	×	○			
外部水素活用型高炉	○	×	×			
100%水素直接還元	○	○	×			
従来電炉	○	○	○			
高級鋼生産可能電炉	○	○	○			
CN判定	○	⊙	×			

共通の外部要件				G成長戦略	CCS消極	CN電力のみ
CN電力調達	○	○	○			
CN水素調達	○	○	×			
CC(U)S先確保	○	×	×			

産業固有の技術				G成長戦略	CCS消極	CN電力のみ
石炭焼成	○	×	○			
燃料転換	○	○	×			
天然石灰石	○	○	○			
再生石灰石	○	○	○			
CN判定	☆	×	×			

共通の外部要件				G成長戦略	CCS消極	CN電力のみ
CN電力調達	○	○	○			
CN水素調達	○	○	×			
CC(U)S先確保	○	×	×			

産業固有の技術				G成長戦略	CCS消極	CN電力のみ
従来型	×	×	×			
バイオマス利用拡大	○	○	○			
燃料転換	○	○	×			
抄紙電化	○	○	○			
化学パルプ	○	○	○			
古紙パルプ	○	○	○			
CN判定	☆	⊙	⊙			

共通の外部要件				G成長戦略	CCS消極	CN電力のみ
CN電力調達	○	○	○			
CN水素調達	○	○	×			
CC(U)S先確保	○	×	×			

産業固有の技術				G成長戦略	CCS消極	CN電力のみ
石油原料	○	×	○			
カーボンサイクル	○	○	×			
DAC	○	○	×			
バイオマス原料	○	○	○			
ケミカルリサイクル	○	○	○			
CN判定	☆~×	⊙	×			

CN判定

- ☆ カーボンネガティブの可能性
- ⊙ CN達成（回収CO₂の産業間利用は、回収元にCO₂を計上するルール）
- CN達成（回収CO₂の産業間利用は、利用先にCO₂を計上するルール）
- ×

各産業の利用技術シナリオ3

各産業でのCN水素およびCCS利用が制限されるシナリオ（CN水素の海外輸入が想定したように確保できないなど）

➢ 製紙産業のみがCN電力のみシナリオでCN達成可能で、その他は、どの産業がCN水素、CCSを利用すべきか検討（セメント産業が優先？）

共通の外部要件				G成長戦略	CCS消極	CN電力のみ
CN電力調達	○	○	○			
CN水素調達	○	○	×			
CC(U)S先確保	○	×	×			

産業固有の技術				G成長戦略	CCS消極	CN電力のみ
従来高炉	×	×	○			
外部水素活用型高炉	○	×	×			
100%水素直接還元	○	○	×			
従来電炉	○	○	○			
高級鋼生産可能電炉	○	○	○			
CN判定	○	⊙	×			

共通の外部要件				G成長戦略	CCS消極	CN電力のみ
CN電力調達	○	○	○			
CN水素調達	○	○	×			
CC(U)S先確保	○	×	×			

産業固有の技術				G成長戦略	CCS消極	CN電力のみ
石炭焼成	○	×	○			
燃料転換	○	○	×			
天然石灰石	○	○	○			
再生石灰石	○	○	○			
CN判定	☆	×	×			

共通の外部要件				G成長戦略	CCS消極	CN電力のみ
CN電力調達	○	○	○			
CN水素調達	○	○	×			
CC(U)S先確保	○	×	×			

産業固有の技術				G成長戦略	CCS消極	CN電力のみ
従来型	×	×	×			
バイオマス利用拡大	○	○	○			
燃料転換	○	○	×			
抄紙電化	○	○	○			
化学パルプ	○	○	○			
古紙パルプ	○	○	○			
CN判定	☆	⊙	⊙			

共通の外部要件				G成長戦略	CCS消極	CN電力のみ
CN電力調達	○	○	○			
CN水素調達	○	○	×			
CC(U)S先確保	○	×	×			

産業固有の技術				G成長戦略	CCS消極	CN電力のみ
石油原料	○	×	○			
カーボンサイクル	○	○	×			
DAC	○	○	×			
バイオマス原料	○	○	○			
ケミカルリサイクル	○	○	○			
CN判定	☆~×	⊙	×			

CN判定

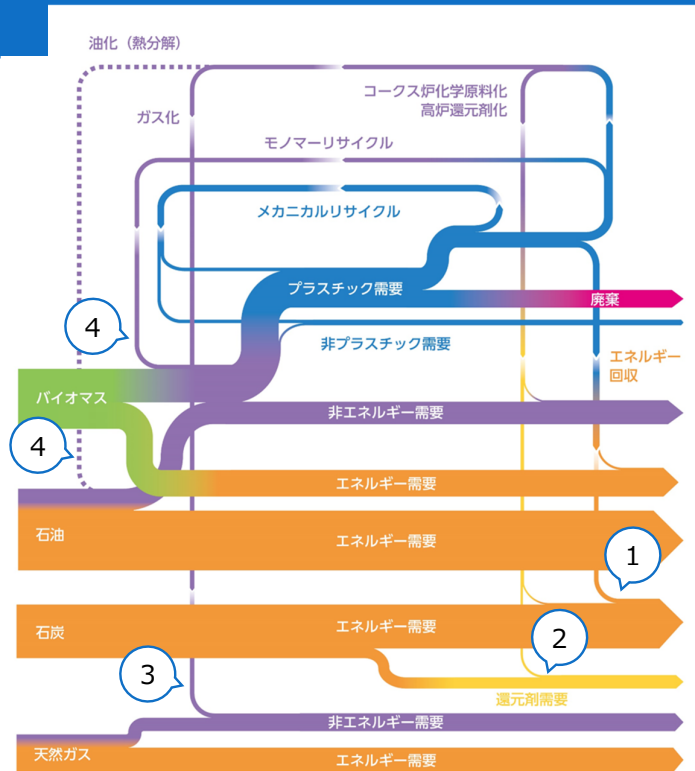
- ☆ カーボンネガティブの可能性
- ⊙ CN達成（回収CO₂の産業間利用は、回収元にCO₂を計上するルール）
- CN達成（回収CO₂の産業間利用は、利用先にCO₂を計上するルール）
- ×

プラスチック資源循環のシナリオ1

各産業がG成長戦略に沿って技術開発を進めたシナリオ

鉄鋼	従来高炉	×	セメント	石炭焼成	○
	外部水素活用型高炉	○		燃料転換	○
	100%水素直接還元	○		天然石灰石	○
	従来電炉	○		再生石灰石	○
	高級鋼生産可能電炉	○		従来型	×
石油・化学	石油原料	○	製紙	バイオマス利用拡大	○
	カーボンリサイクル	○		燃料転換	○
	DAC	○		抄紙電化	○
	バイオマス原料	○		化学パルプ	○
	ケミカルリサイクル	○		古紙パルプ	○

- ① セメントや製紙産業でCCS先が確保されれば、**廃プラスチックのエネルギー回収は炭素排出削減の効果が大きくなる。**
- ② 外部水素活用型という形で高炉が残り、CCSも確保されれば、**鉄鋼産業での廃プラスチック利用も効果は大きくなる。**
- ③ CN水素が十分に調達できれば、**廃プラスチック（ガス化）由来の水素（やアンモニア）への需要は生まれない。**
- ④ 他のCN原料が確保できれば、**石油・化学産業で廃プラスチックを受け入れる必要性は下がる…？**



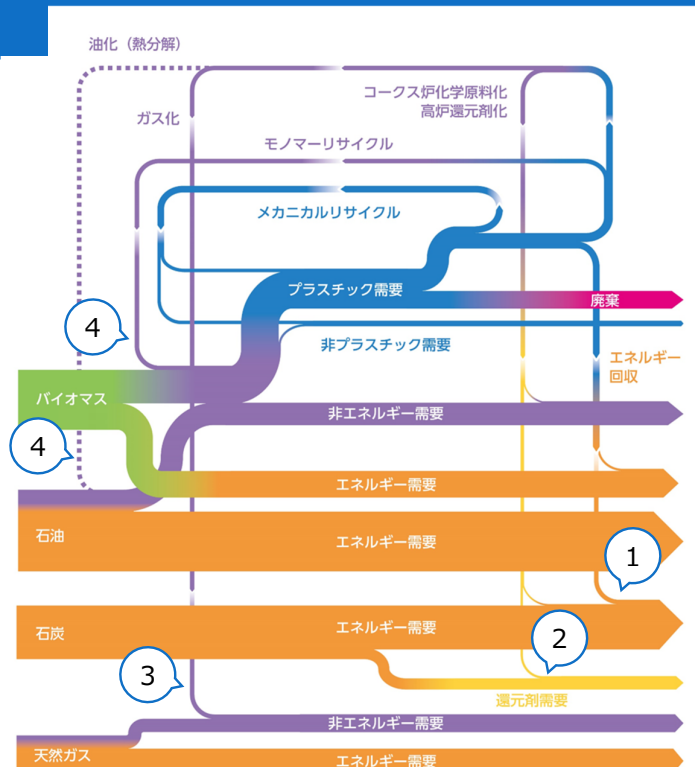
25

プラスチック資源循環のシナリオ2

各産業のCCS利用が制限されるシナリオ

鉄鋼	従来高炉	×	セメント	石炭焼成	○
	外部水素活用型高炉	×		燃料転換	○
	100%水素直接還元	○		天然石灰石	○
	従来電炉	○		再生石灰石	○
	高級鋼生産可能電炉	○		従来型	×
石油・化学	石油原料	×	製紙	バイオマス利用拡大	○
	カーボンリサイクル	○		燃料転換	○
	DAC	○		抄紙電化	○
	バイオマス原料	○		化学パルプ	○
	ケミカルリサイクル	○		古紙パルプ	○

- ① CCSが確保できずバイオマス燃料やCN燃料への転換が進めば、**製紙産業で廃プラスチックのエネルギー回収への需要は弱くなる。**
- ② CCSが確保できず高炉がなくなれば、**鉄鋼産業で廃プラスチックを受け入れる余地はなくなる。**
- ③ CN水素が十分に調達できれば、**廃プラスチック（ガス化）由来の水素（やアンモニア）への需要も生まれない。**
- ④ 必然的に、**石油・化学産業が廃プラスチックを受け入れて**、石油原料の代わりに利用することになる…？



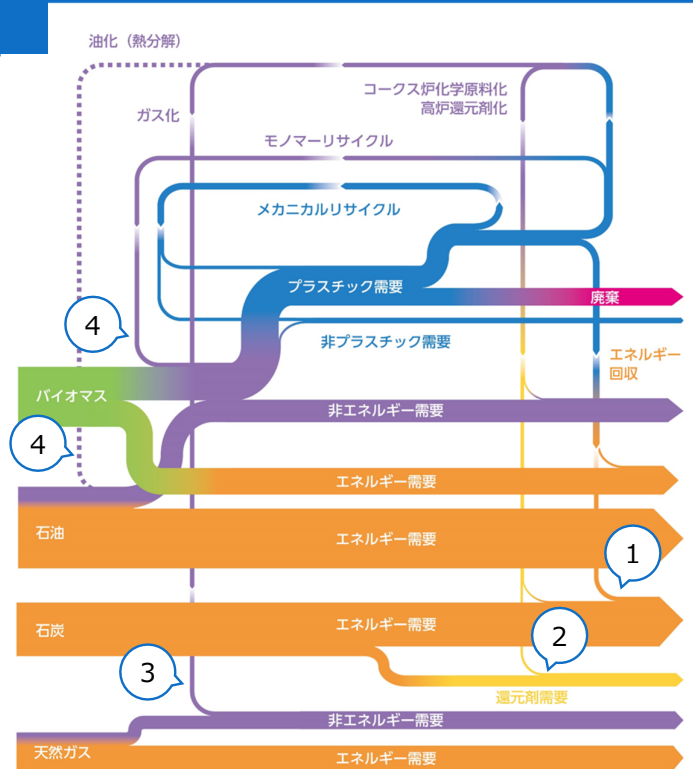
26

プラスチック資源循環のシナリオ3

各産業でのCN水素およびCCS利用が制限されるシナリオ

鉄鋼	従来高炉	×	セメント	石炭焼成	○
	外部水素活用型高炉	×		燃料転換	○
	100%水素直接還元	○		天然石灰石	○
	従来電炉	○		再生石灰石	○
	高級鋼生産可能電炉	○		従来型	×
石油・化学	石油原料	×	製紙	バイオマス利用拡大	○
	カーボンリサイクル	○		燃料転換	×
	DAC	○		抄紙電化	○
	バイオマス原料	○		化学パルプ	○
	ケミカルリサイクル	○		古紙パルプ	○

- ① CCSもCN燃料も確保できずバイオマス燃料への依存が高まれば、**製紙産業で廃プラスチックが必要とされることも…?**
- ② CCSが確保できず高炉がなくなれば、**鉄鋼産業で廃プラスチックを受け入れる余地はなくなる。**
- ③ セメント産業などで燃料転換のためのCN水素が調達できないと、**廃プラスチック（ガス化）由来の水素への需要が強くなる。**
- ④ 他のCN原料なら他産業で廃プラスチックを利用しやすくなるため、**石油・化学産業でケミカルリサイクルは優先度が下がる…?**



27

まとめ

- 欧州サーキュラーエコノミーでは、プラスチックの資源循環はループが内側であるほど優先
 - 外側のループと見なされるケミカルリサイクルはメカニカルリサイクルの補完的な役割
 - ループを形成しないエネルギー回収は脱炭素社会に向けた過渡期の技術と認識
- ✓ メカニカルリサイクルや循環型ケミカルリサイクルを、ワンウェイ型と呼ばれるケミカルリサイクル（高炉還元剤化など）やエネルギー回収よりも優先するには…
 - 脱炭素社会において、還元剤やエネルギー用途の炭素源よりプラスチックや化学原料の炭素源の方が逼迫しているという現実的なロジックが必要という見方も。
- ✓ 各産業の**カーボンニュートラル施策の進展**を**プラスチック資源循環にとってのリスク要因**と考え、それに合わせて柔軟に対応できるように…
 - リサイクルおよびエネルギー回収の様々な資源循環のオプションを排除せず
 - それらの穴を埋める新たな技術開発の必要性を議論するべき。

28