

# カーボンニュートラルのための環境と経済が 両立するプラスチック資源循環



**吉岡 敏明**

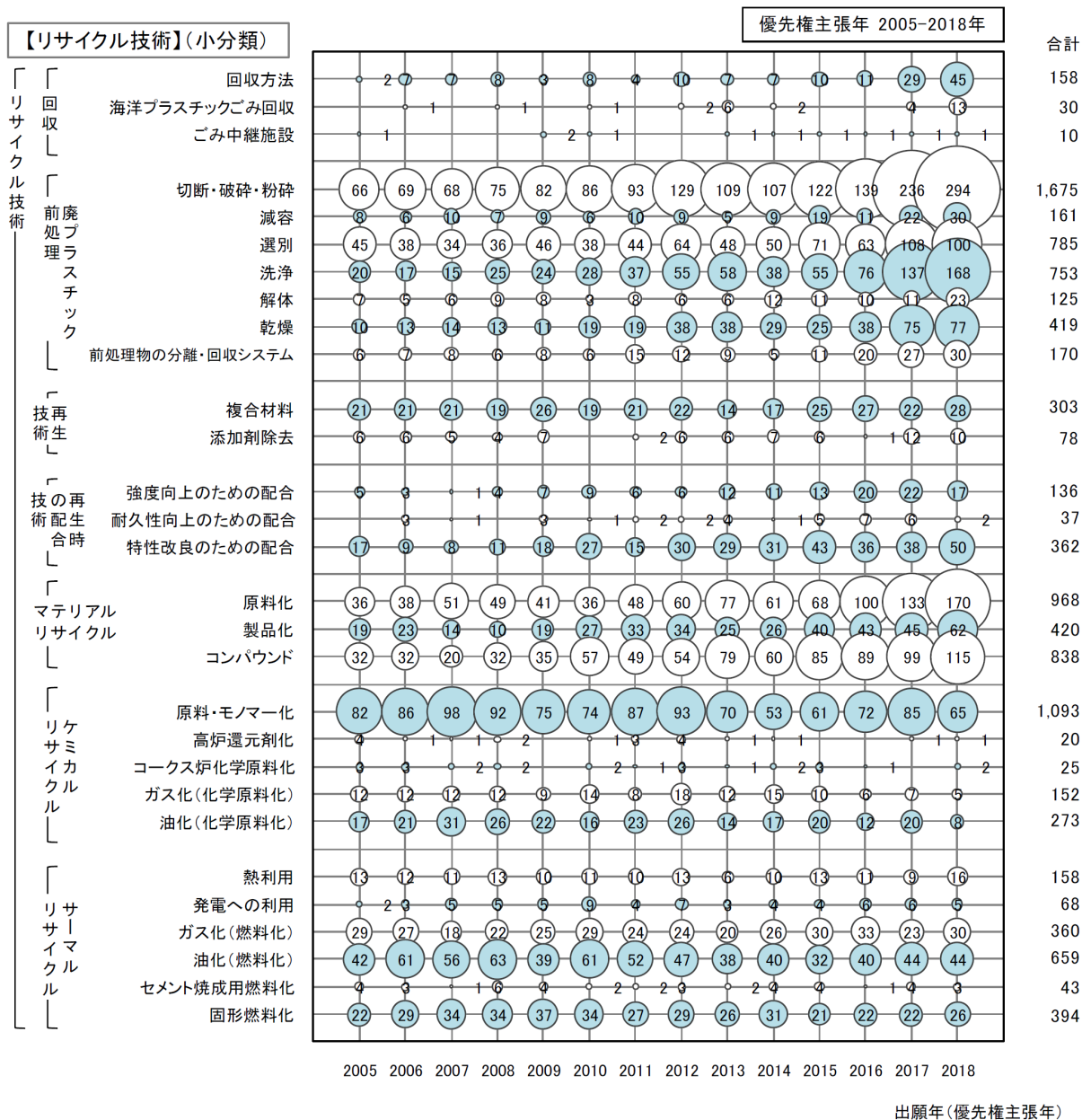
**東北大学大学院環境科学研究科**

**2024年3月6日**

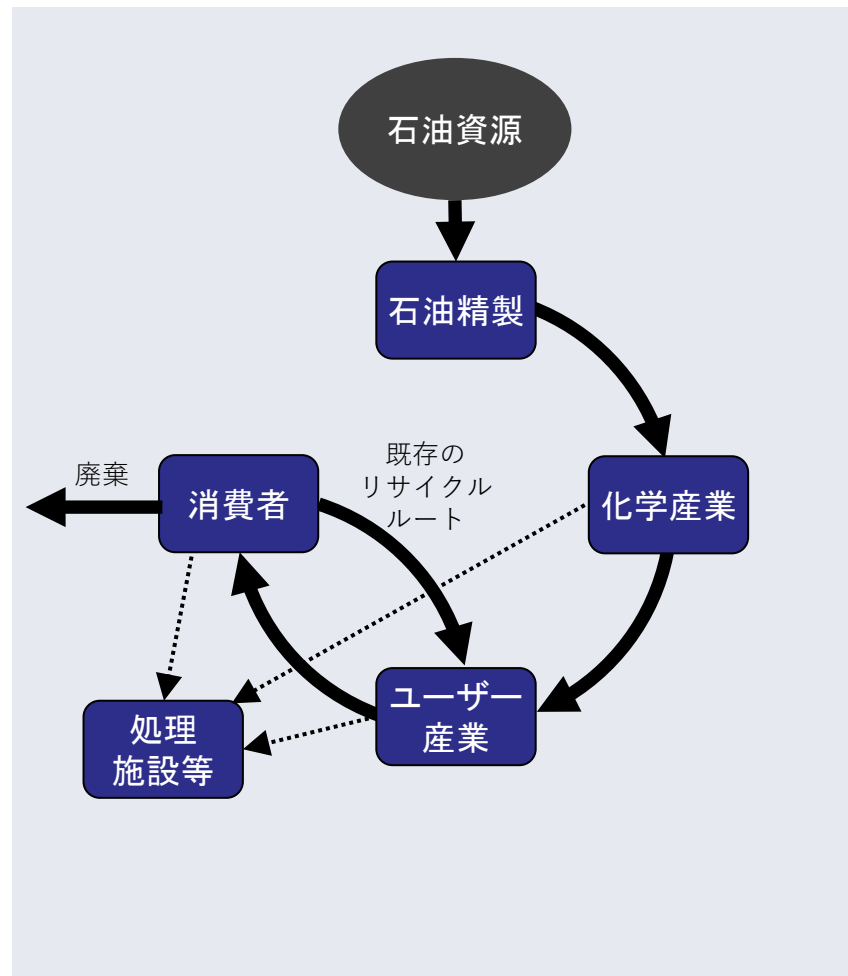
**資源循環分野における脱炭素・循環経済に係るシンポジウム**

**@航空会館**

# リサイクル技術特許出願動向

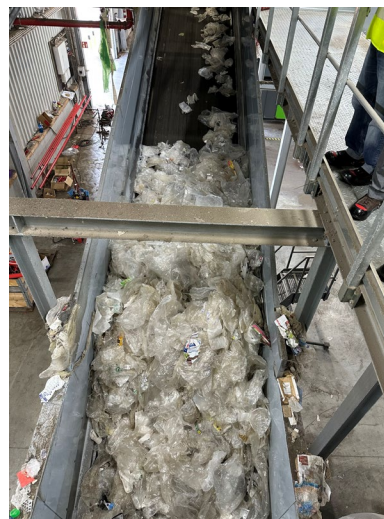
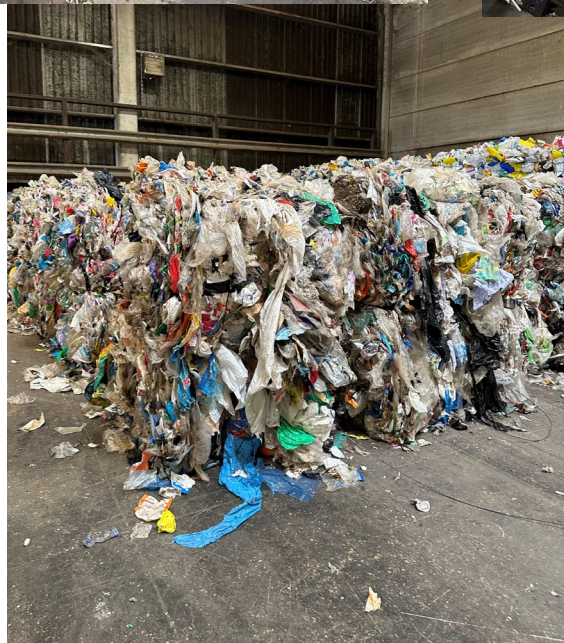


# プラスチックリサイクルの現状

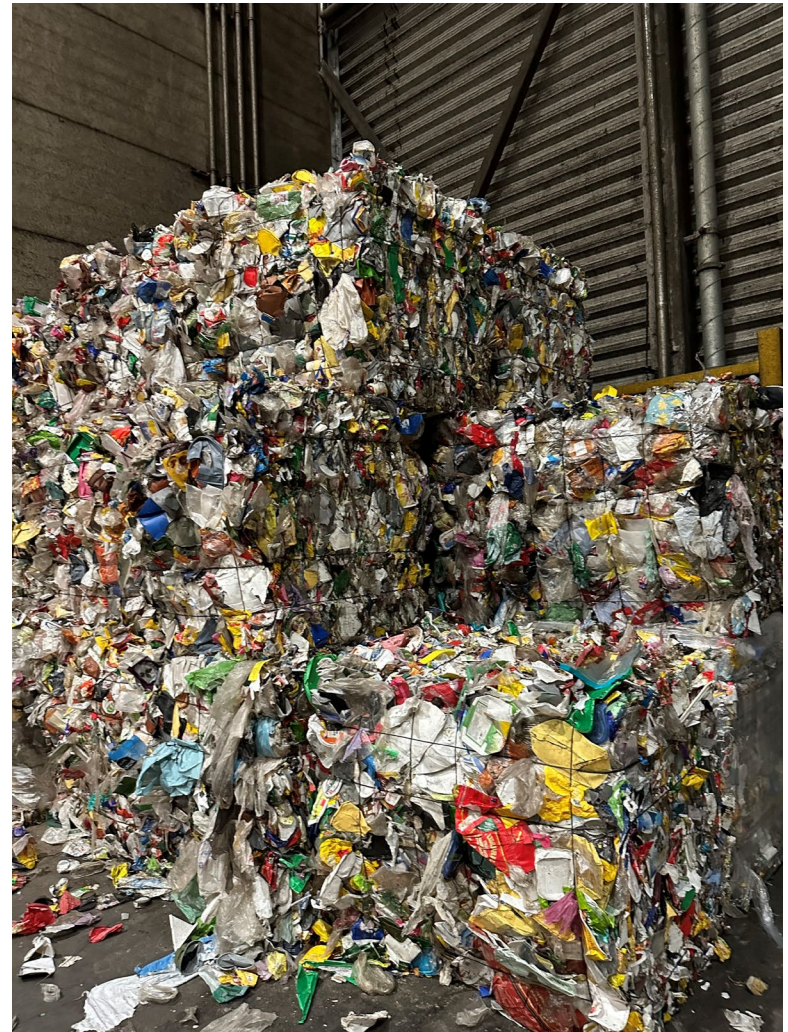


吉岡敏明, 齋藤優子, 熊谷将吾, 環境情報科学, 48, No.3, 39-44, (2019)をもとに作成

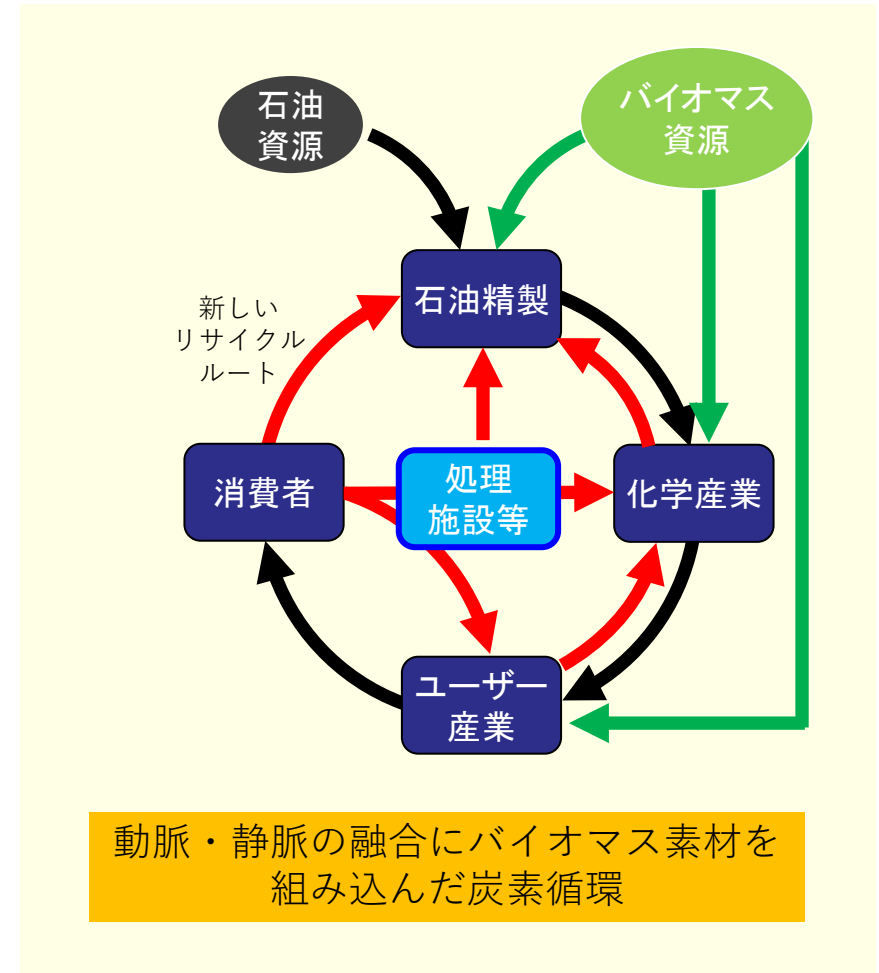
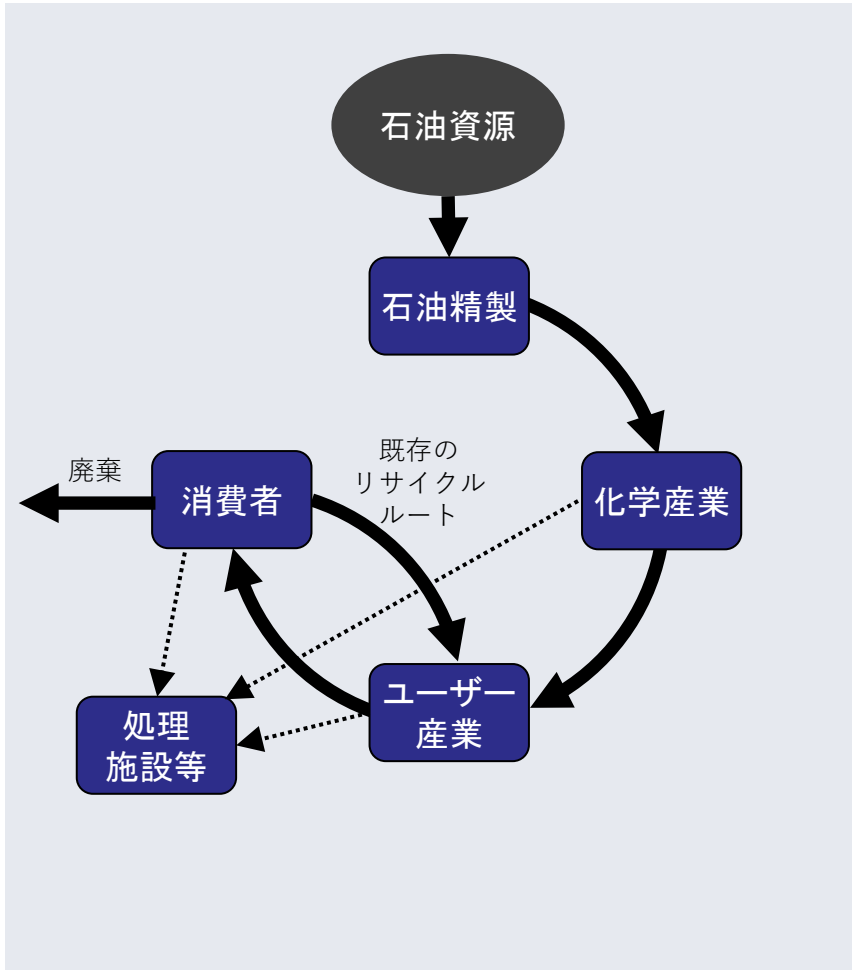
# 混合ごみからのプラスチック選別







# 炭素循環を実現するマルチダイレクションストリーム



吉岡敏明, 齋藤優子, 熊谷将吾, 環境情報科学, 48, No.3, 39-44, (2019)をもとに作成

# 日本のケミカルリサイクルのこれまでの動向（その1）

1972 —74	<ul style="list-style-type: none"><li>・三菱重工業(株)：溶融浴式</li><li>・三洋電機(株)：二段熱分解式 (マイクロ波溶融→分解押出)</li><li>・住友重機械工業(株)：流動床式</li><li>・川崎重工業(株)：溶融浴式</li><li>・三井石油化学(株)－三井造船(株)：溶融浴式</li><li>・ニチオー：溶融浴方式</li><li>・(株)日本製鋼所：押出式、流動床式</li><li>・日本揮発油(株)：流動床方式、パイプスチル方式</li><li>・日立造船産業(株)：流動床ガス化</li><li>・日綿実業(株)：接触分解式</li><li>・東洋エンジニアリング(株)：接触分解式</li></ul>
1977	・石川島播磨重工業(株)：分解押出によるPVCの脱塩化水素処理
1978	・不二化学機械(株)：解押出によるPVCの脱塩化水素処理
1991	・工業技術院：異方向回転二軸押出による混合プラスチックの脱塩化水素処理と油化
1992	・フジリサイクル(株)相生事業所：二段熱分解槽方式（除PVC）（溶融浴式－接触分解、新日本製鉄(株)）
1993	・フジリサイクル(株)相生事業所：二段熱分解槽方式（含PVC）（溶融浴式－接触分解、新日本製鉄(株)・品川燃料(株)）
1996	・新潟プラスチック油化センター（1998運転）：分解押出－二段熱分解槽、品川燃料(株)・千代田化工建設(株)・歴世礦油(株) ・立川市総合リサイクルセンター（1998運転）：分解押出－二段熱分解槽、新日本製鉄(株)・(株)クボタ
1997	・三菱重工業(株)：二段溶融浴式 ・(株)クボタ：二段溶融浴式 ・東芝(株)：分解押出と回転カッター炉による脱塩化水素処理
1999	・新潟プラスチック油化センター稼働



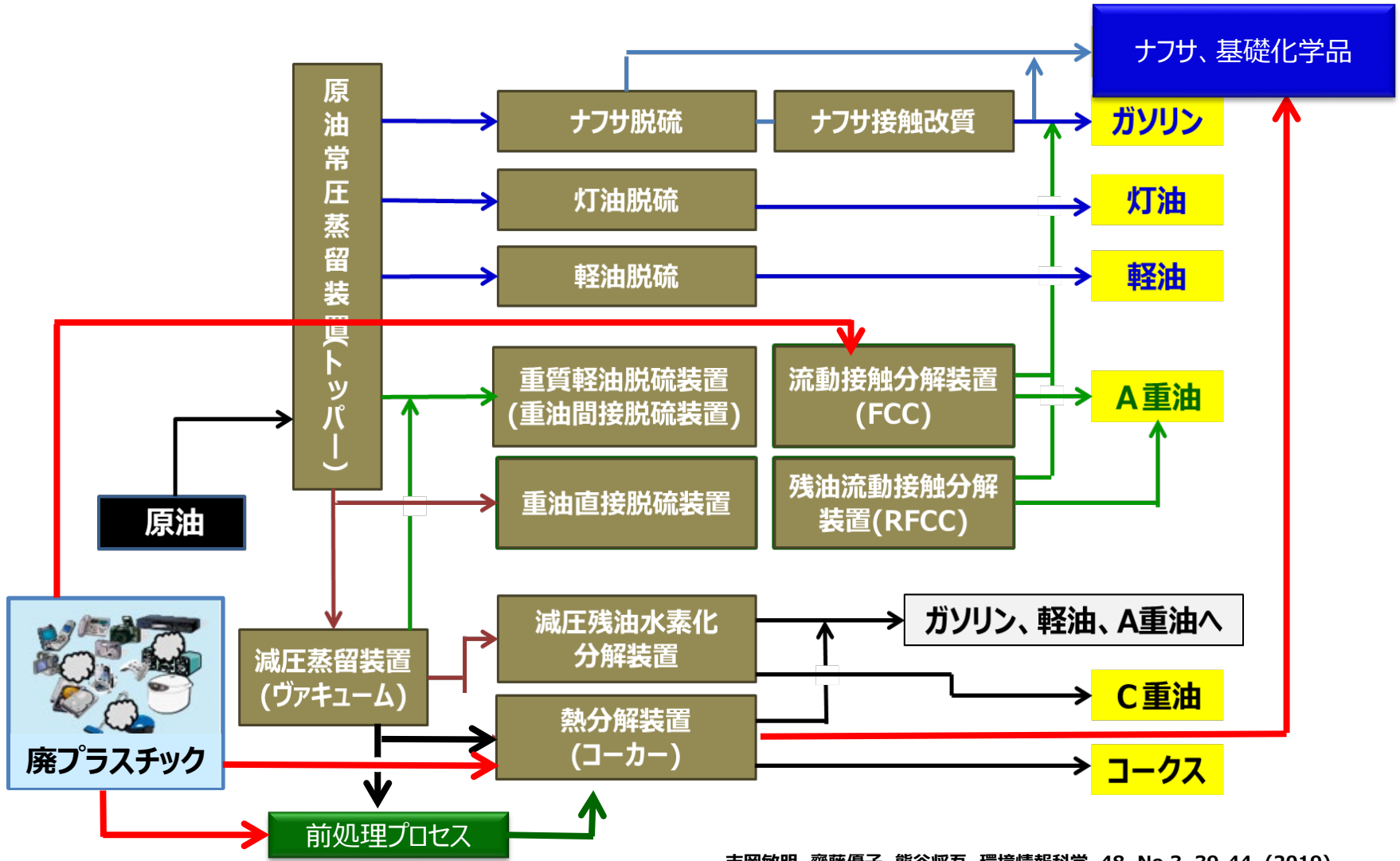
# 日本のケミカルリサイクルのこれまでの動向（その2）

2000	<ul style="list-style-type: none"><li>・新日鉄(株)君津、名古屋：コークス炉化学原料化</li><li>・日本鋼管(株)川崎・水江、福山：高炉還元剤</li><li>・道央油化センター：二段熱分解油化</li><li>・東芝プラントシステム：PS解重合法実証</li></ul>
2001	<ul style="list-style-type: none"><li>・札幌プラスチックリサイクル：分解押出－熱分解槽、</li><li>・東芝プラントシステム</li><li>・イーピーユー（宇部興産(株)－(株)荏原製作所）：ガス化</li></ul>
2002	<ul style="list-style-type: none"><li>・新日鉄(株)室蘭、八幡：コークス炉化学原料化</li></ul>
2003	<ul style="list-style-type: none"><li>・昭和電工(株)川崎：ガス化</li><li>・帝人(株)：PETボトルのケミカルリサイクル開始</li></ul>
2004	<ul style="list-style-type: none"><li>・道央油化センター停止</li><li>・ペトリバース(株)川崎：PETのケミカルリサイクル開始</li></ul>
2005	<ul style="list-style-type: none"><li>・新日鉄(株)大分：コークス炉化学原料化</li></ul>
2008	<ul style="list-style-type: none"><li>・帝人(株)：PETボトルのケミカルリサイクル休止</li><li>・ペトリバース破綻し東洋製罐引継ぐ（PRT社）</li></ul>
2010	<ul style="list-style-type: none"><li>・イーピーユー（宇部興産(株)－(株)荏原製作所）ガス化（宇部）停止</li></ul>
2011	<ul style="list-style-type: none"><li>・札幌プラスチックリサイクル解散</li><li>・協栄産業(株)：PETのボトルtoボトル開始</li></ul>
2017	<ul style="list-style-type: none"><li>・積水化学、ランザテック社：ごみ処理とともにガス化の後にエタノール変換</li></ul>
2018	<ul style="list-style-type: none"><li>・PRT社は東洋製罐資本から日本環境設計資本に</li></ul>
2019	<ul style="list-style-type: none"><li>・日揮HD(株)、(株)荏原製作所、宇部興産(株)、昭和電工(株)が協業して国内外のガス化ライセンス</li><li>・協栄産業(株)とサントリーHD(株)：FtoPダイレクトサイクル技術</li></ul>

# 欧州における廃プラケミカルリサイクルリサイクル技術開発状況

開発企業等	場所	技術概要	投資・規模
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ BASF</li> <li>・ Quantafuel</li> <li>・ Vitol S.A.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ デンマーク</li> <li>・ ドイツ他</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 熱分解オイルを製造</li> <li>・ スチームクラッカーで廃プラを分解し、エチレンとプロピレンを生成</li> </ul>	2,000万€ 16,000t/y
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ Sabic、</li> <li>・ Plastic Energy</li> </ul>	オランダ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 金属等を除去（ソーティング）し、（LDPE、HDPE、PP、PS）を熱分解で炭化水素に転換。</li> </ul>	2030年までに45億ドル 2021年商業稼働
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ Peel Environmental</li> <li>・ Powerhouse Energy</li> <li>・ マンチェスター大学</li> </ul>	英国内11か所	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ マテリアルリサイクルに不向きなプラスチックを主な原料として水素を製造する施設を開発</li> </ul>	11の施設で1億3,000万£ 最大25t/d/uni
Shellグループ <ul style="list-style-type: none"> <li>・ Air Liquide</li> <li>・ Nouryon</li> <li>・ Enerkem</li> </ul>	オランダ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 前処理した廃プラおよびその他の混合廃棄物（バイオ系）から約22万トンのメタノールを製造。</li> </ul>	約2億£ 年間36万t
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ Borealis</li> <li>・ OMV</li> </ul>	オーストリア	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ プラスチックを400℃以上に加熱し、溶媒を加え、加圧して分解油を抽出</li> </ul>	1,000万£ 毎時2,000kg
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ Neste</li> <li>・ Remondis</li> <li>・ Borealis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ドイツ</li> <li>・ フィンランド</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 水素処理によりプロパンを製造し、プロパンから脱水素を行いPPの原料を製造。</li> </ul>	年間20万t以上
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ Lyondell</li> <li>・ Basell</li> <li>・ カールスルーエ工科大学</li> </ul>	イタリア	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 多層フィルムなどのマテリアルリサイクルが困難とされる廃プラスチックを、触媒分解で化学原料を製造。</li> </ul>	

# 既存石油精製プロセスを活用したプラスチックのリサイクル



吉岡敏明, 齋藤優子, 熊谷将吾, 環境情報科学, 48, No.3, 39-44, (2019)

# 石油連産品の国内生産量（2022年）

経済産業省生産動態統計調査（2022）

液化石油ガス(LPG)	307 万t
ガソリン	4,634 万kL
ナフサ	1,419 万kL
ジェット燃料油	1,044 万kL
灯油	1,220 万kL
軽油	3,896 万kL
A重油	1,042 万kL
B・C重油	1,754 万kL
潤滑油	254 万kL
アスファルト	235 万t
グリース	6 万t
パラフィン	7 万t
オイルコークス	133 万t

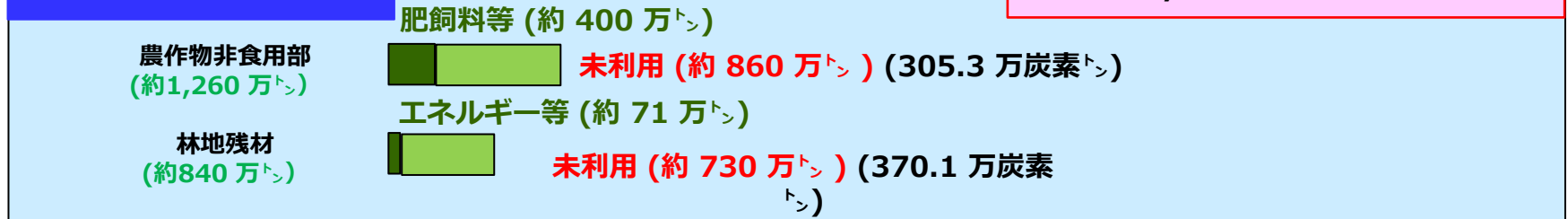
# 国内における廃棄物系バイオマスのポテンシャル

## 廃棄物系バイオマス



**未利用バイオマス  
1,096 万炭素トﾝ**

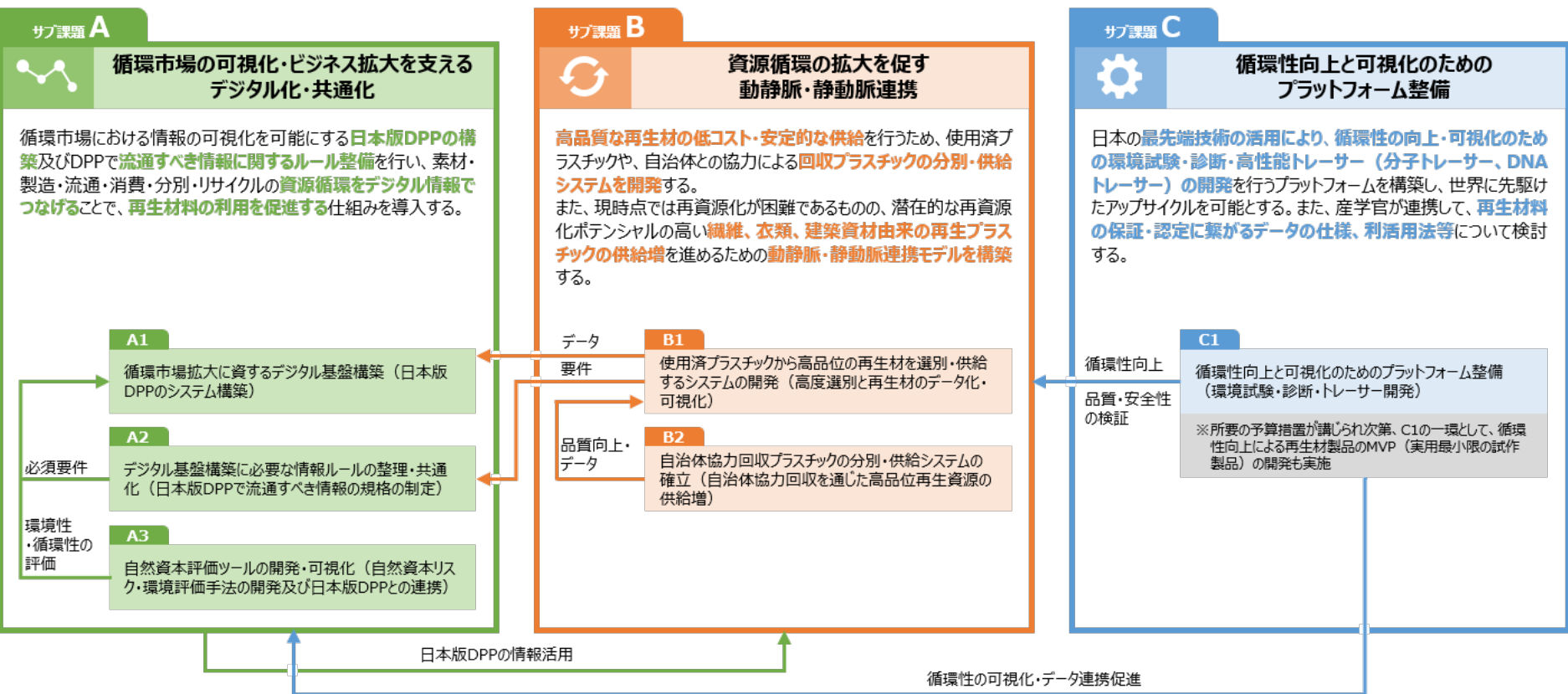
## 未利用系



# SIP課題「サーキュラーエコノミーシステムの構築」

出典：独立行政法人環境再生保全機構HP 令和5年7月31日

関係府省：文科省、経産省、環境省、デジタル庁



## サブ課題 A：循環市場の可視化・ビジネス拡大を支えるデジタル化・共通化

研究開発テーマ		研究開発プロジェクト名	研究開発責任者	所属機関
A1	循環市場拡大に資するデジタル基盤構築	循環市場拡大に資する日本版デジタル・プロダクト・パスポートの研究開発	撫佐 昭裕	日本電気株式会社
A2	デジタル基盤構築に必要な情報ルールへの整理・共通化	日本版DPPの要件定義・ルール形成	樹 世中	株式会社野村総合研究所
		再生プラスチックのマッチングツールの開発及び活用実証	新井 理恵	株式会社三菱総合研究所
		プラスチックの適切な資源循環システム構築に向けた消費者等の行動変容に係る実践的研究	浅利 美鈴	京都大学
A3	自然資本評価ツールの開発・可視化	バイオマス資源利用の自然資本への影響評価手法の開発	角谷 拓	国立研究開発法人国立環境研究所
		低環境負荷プラスチック資源循環システム構築のための環境影響評価手法の開発	玄地 裕	国立研究開発法人産業技術総合研究所

# SIP課題「サーキュラーエコノミーシステムの構築」

出典：独立行政法人環境再生保全機構HP 令和5年7月31日

## サブ課題 B：資源循環の拡大を促す動静脈・静動脈連携

研究開発テーマ		研究開発プロジェクト名	研究開発責任者	所属機関
B1	使用済プラスチックから高品位の再生材を選別・供給するシステムの開発	サーキュラーエコノミーに向けた動静脈連携による建廃プラリサイクルプロセスの開発	吉岡 敏明	東北大学
		古紙・衣類の解繊繊維を活用したバイオ・再生プラスチック開発	関 俊一	セイコーエプソン株式会社
		データ駆動型高度選別システムの構築	井関 康人	三菱電機株式会社
		高品位再生プラスチック材料の製造プロセス開発	今井 麻美	株式会社富山環境整備
B2	自治体協力回収プラスチックの分別・供給システムの確立	自治体協力回収プラスチックの分別・供給システムの確立	宮原 伸朗	アマタホールディングス株式会社

## サブ課題 C：循環性向上と可視化のためのプラットフォーム整備

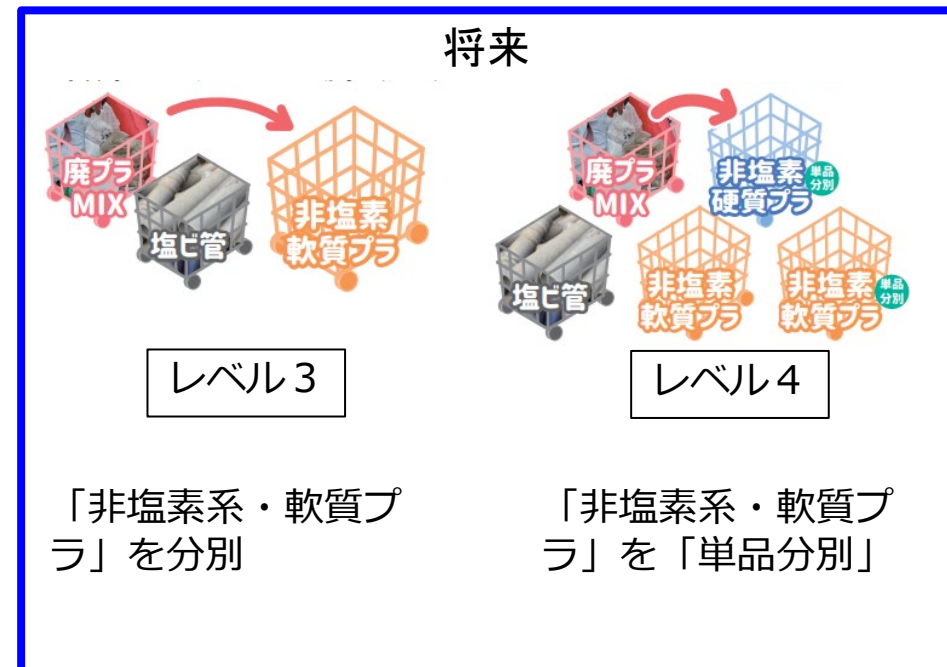
研究開発テーマ		研究開発プロジェクト名	研究開発責任者	所属機関
C1	循環性向上と可視化のためのプラットフォーム整備	環境試験・診断・トレーサー技術の確立と産業応用のためのデジタル解析基盤の構築	内藤 昌信	国立研究開発法人物質・材料研究機構
		再生プラスチックの循環性向上のための品質分析データバンク構築	高田 昌樹	東北大学



# 建廃プラのリサイクル率向上に向けた分別

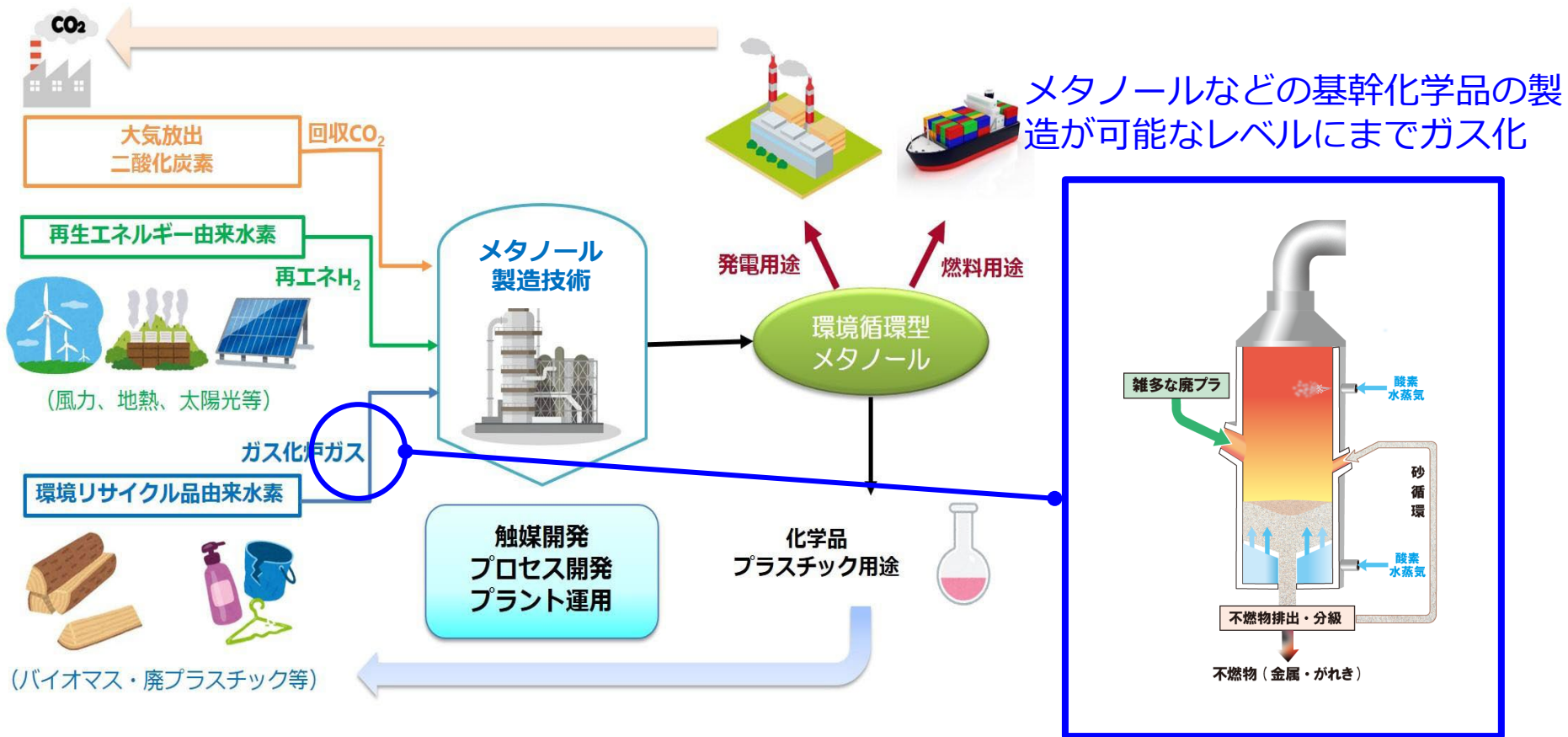
1 種類のマニフェスト（現在）を3種類に区分を増やしリサイクル最大化

- (1) 「廃プラMCR」（リサイクル向けの建廃プラ）
- (2) 「廃プラTR」（エネルギー利用向けの建廃プラ）
- (3) 「廃プラ」（単純焼却や埋立処分などリサイクル困難な建廃プラ）

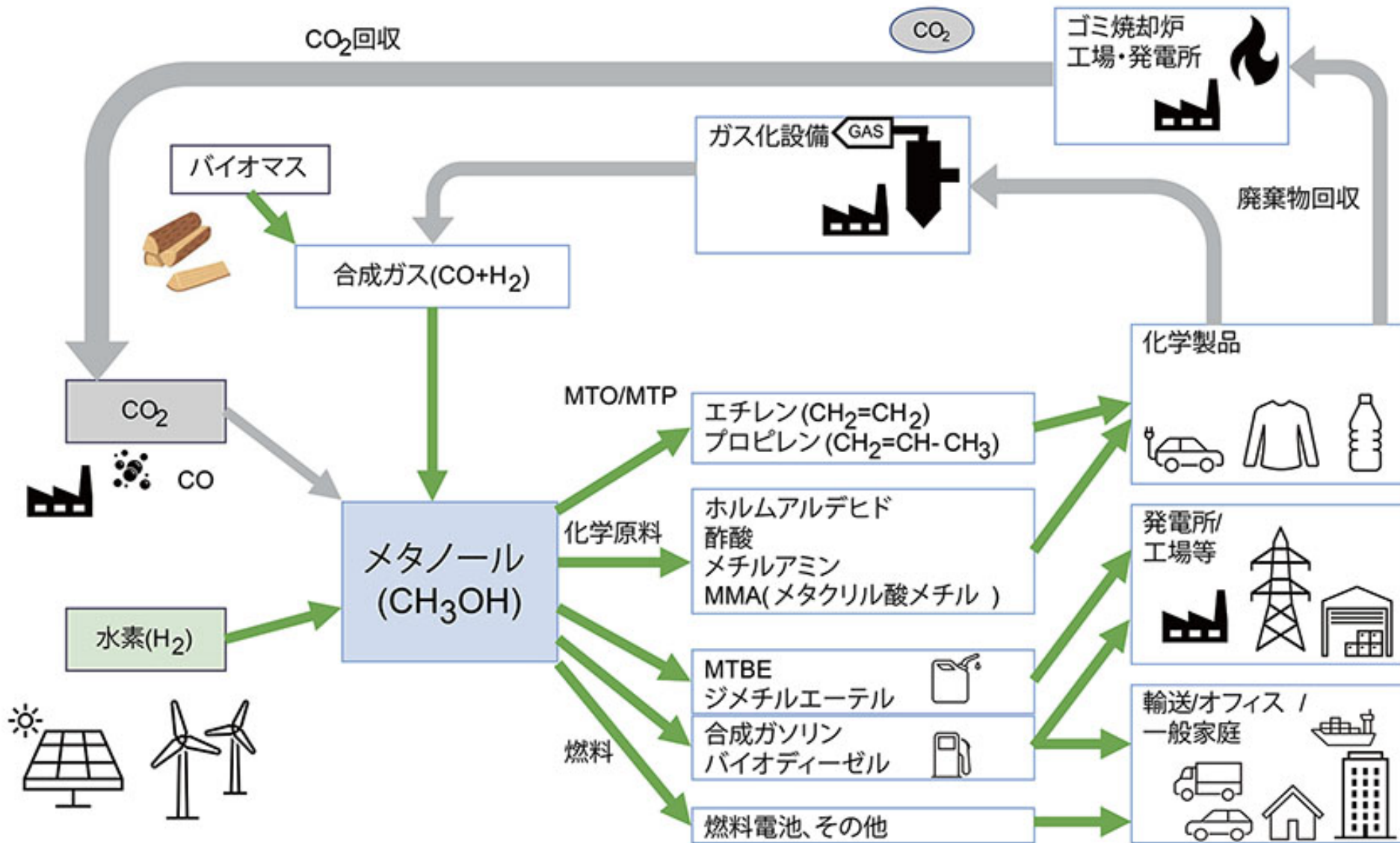


# ガス化プロセス・オペレーションの最適化

- ・ 分別されたエネルギー利用向け建廃プラ
- ・ リサイクル困難な建廃プラ



# 静脈側の要素技術をハブとする期待される炭素循環の絵姿（例）



出典：NEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）HP 2024年2月15日

## 【研究開発項目 1-1】CO<sub>2</sub>分離回収を前提とした廃棄物焼却処理技術の開発

／化学吸収法をベースとした CN 型廃棄物焼却施設

採択テーマ	実施予定先
CO <sub>2</sub> 分離・回収を前提とした CN 型廃棄物 焼却処理全体システムの開発	日鉄エンジニアリング株式会社

## 【研究開発項目 1-2】CO<sub>2</sub>分離回収を前提とした廃棄物焼却処理技術の開発

／酸素富化(燃焼)をベースとした CN 型廃棄物焼却施設

採択テーマ	実施予定先
CO <sub>2</sub> 高濃度化廃棄物燃焼技術の開発	日立造船株式会社

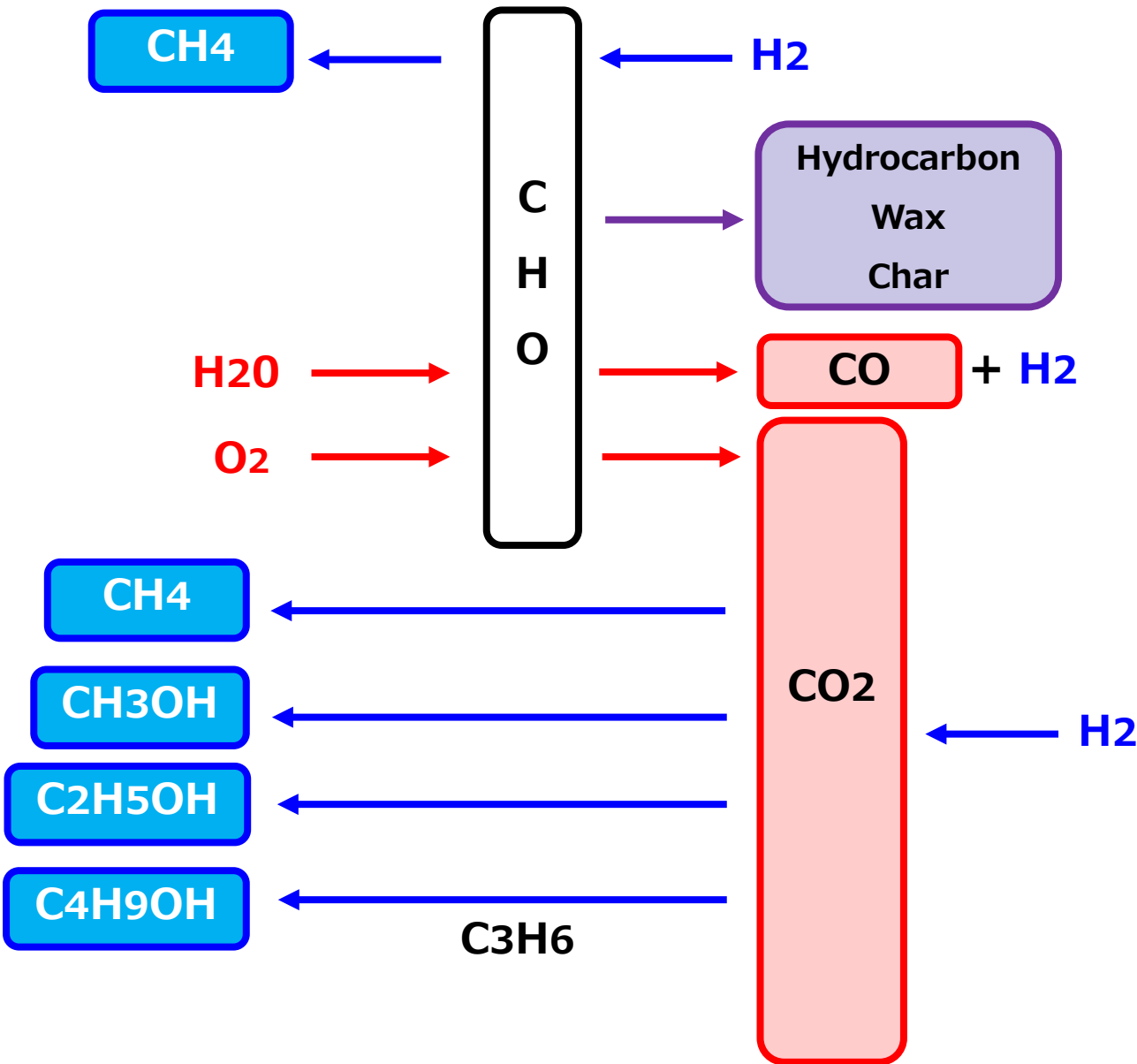
## 【研究開発項目 2】高効率熱分解処理施設の大規模実証

採択テーマ	実施予定先
ガス化改質と微生物を用いたエタノール 製造による廃棄物ケミカルリサイクル技術の 開発	JFE エンジニアリング株式会社 積水化学工業株式会社

## 【研究開発項目 3】高効率なバイオメタン等転換技術の開発

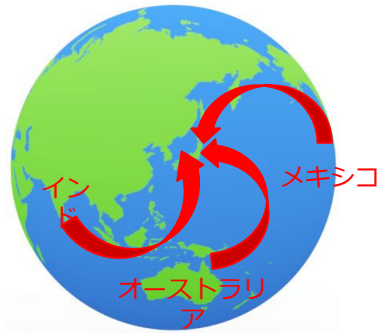
採択テーマ	実施予定先
バイオメタネーション技術の開発	水 ing エンジニアリング株式会社

# 有機性原料（廃棄物）の化成品化



# 塩素のマテリアルフローから診る新たな塩素循環

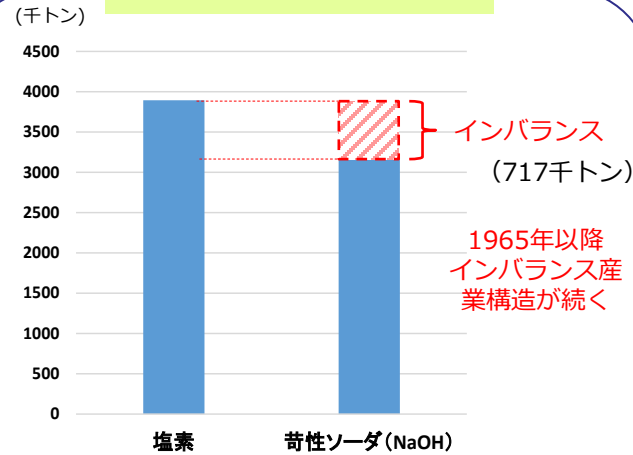
## 塩の輸入



国内ソーダ工業用塩  
は全量輸入

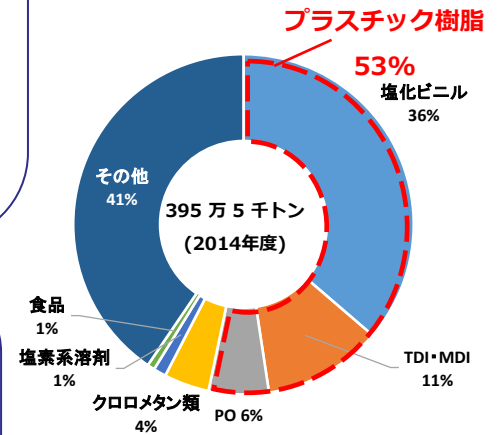
新たな  
塩素循環

## 塩素製造（ソーダ工業）



図：塩素・苛性ソーダの国内需要量（2013年度）

## 原料化・製品化



図：塩素の需要構成（2014年度）

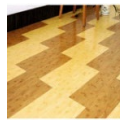
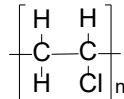
## リサイクル・廃棄物処理

- ◆ パイプ、農業用フィルム等一部はマテリアルリサイクル
- ◆ 熱処理により塩化水素ガスや有害な塩素系有機化合物が生成
- ◆ 乾式脱塩法で生成する塩化水素は中和して排水されるケースも多い（有効利用されず）
- ◆ 焼却灰中の脱塩残渣による塩素濃度、セメント原料等への制限
- ◆ 埋立処理、浸出水中の塩類濃度上昇

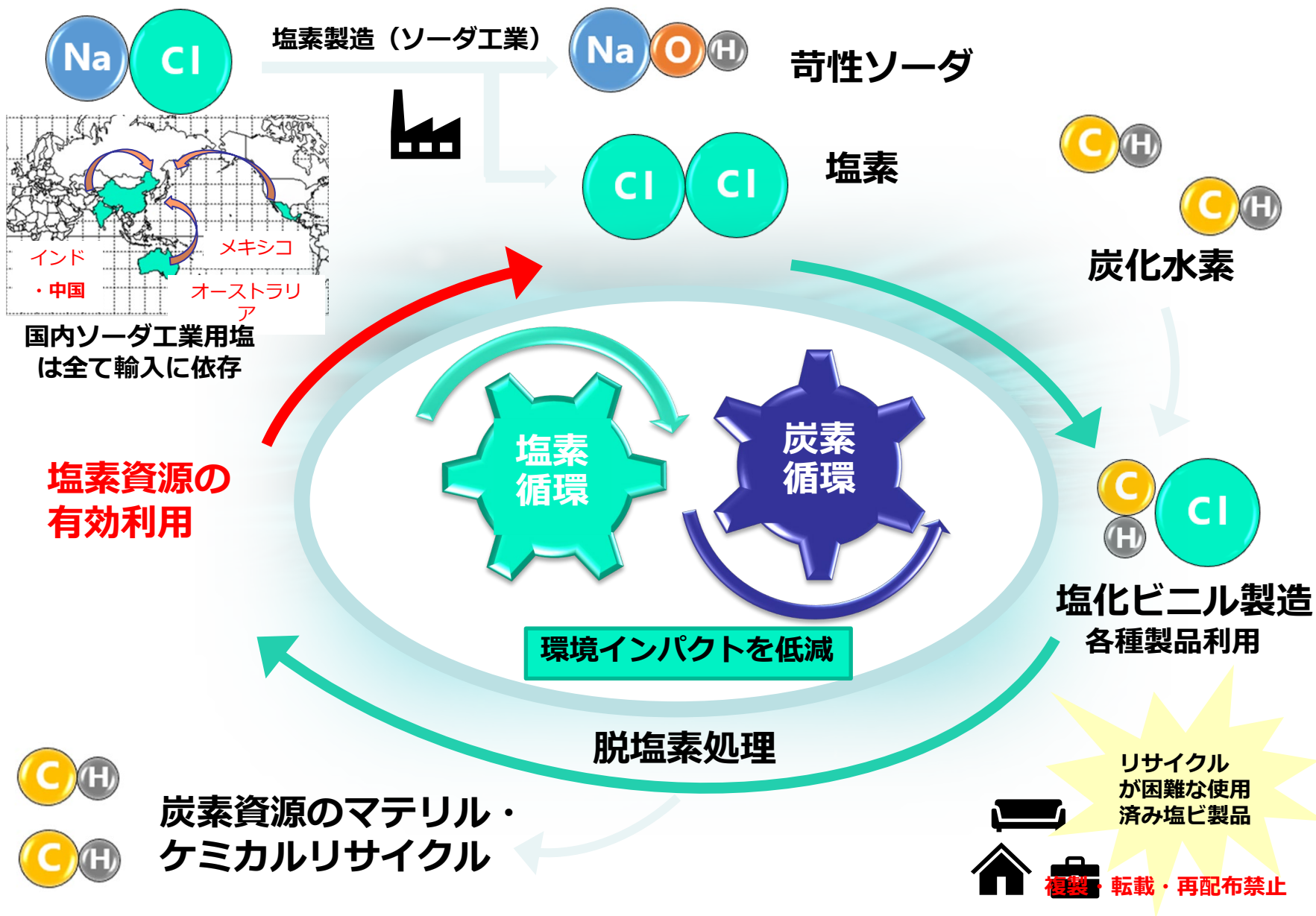
塩化廃棄物は廃棄・リサイクルにおいて忌避

## 廃棄

## 使用

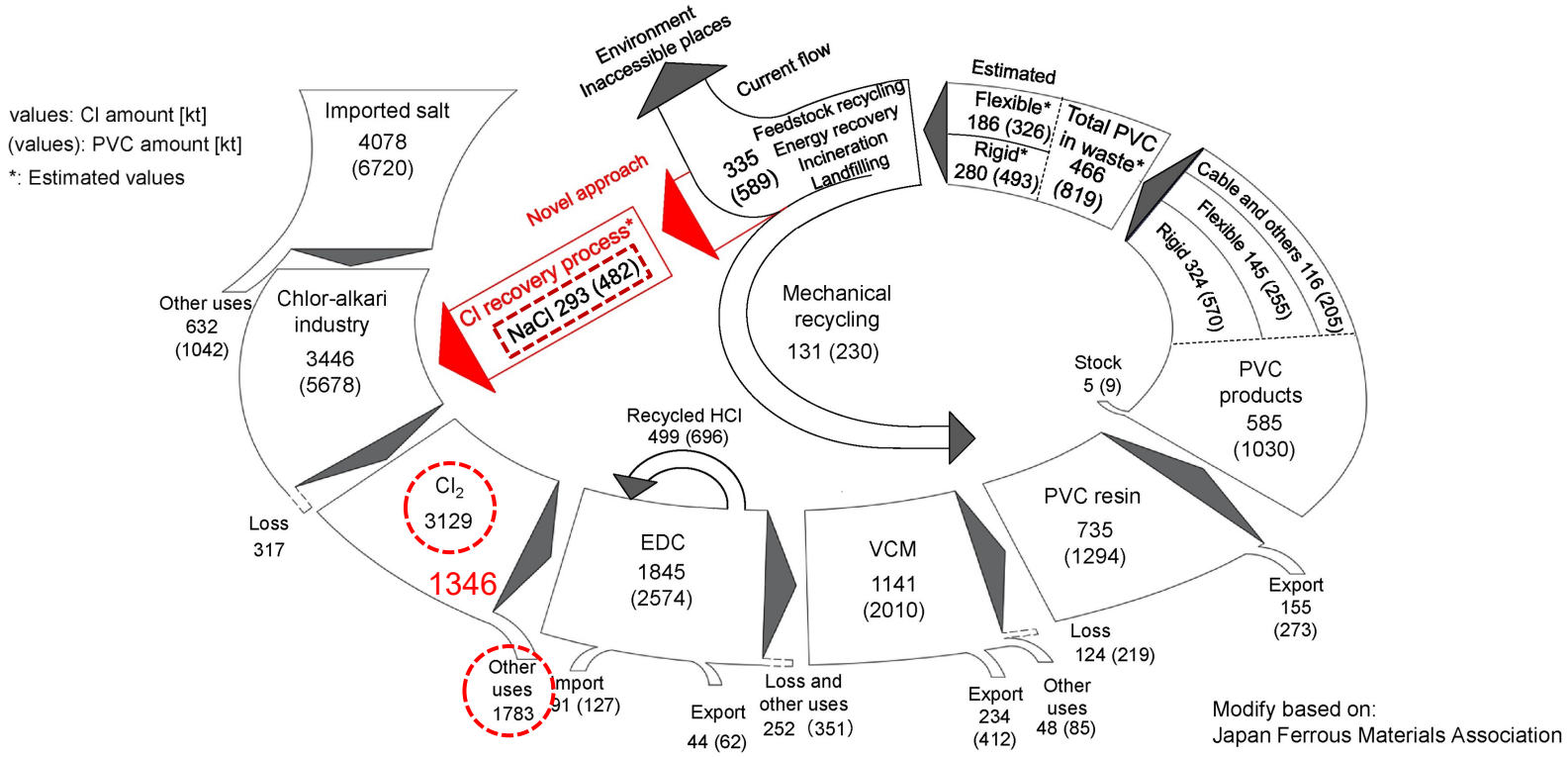


# 塩素のマテリアルフローからみる新たな塩素循環



# PVCから回収した塩素の国内産業に対する貢献

PVCを基にした、工業用塩の輸入からCI回収までの塩素の流れ



この循環 (MFA) が確立できると

- ソーダ工業で生産される塩素の**8.5%**、PVC製造に投入される塩素の**23%**が賄える。
- 増加傾向にある塩の輸入やソーダ工業における環境負荷の低減が期待。

S. Kumagai, J. Lu, Y. Fukushima, H. Ohno, T. Kameda and T. Yoshioka, *Resources, Conservation and Recycling*, 133, 354-361 (2018).



# 塩素循環に関するEUの動き（塩素回収と再利用）



## PROGRESS REPORT 2022

REPORTING ON 2021 ACTIVITIES



### PATHWAY 1

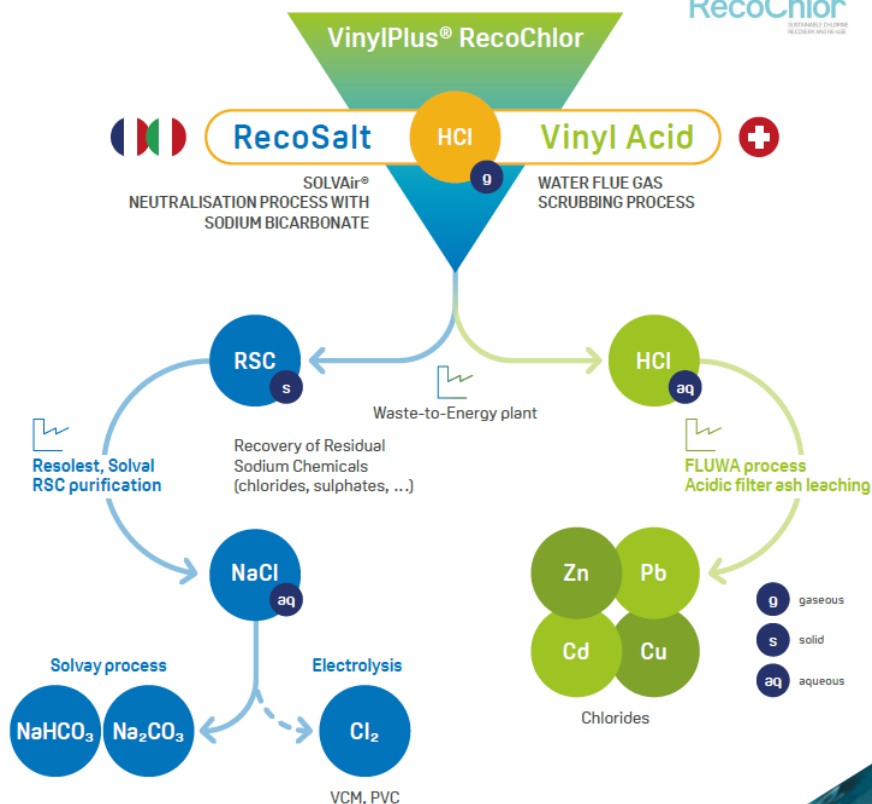
> Research, innovation and best practices  
**Recovering and recycling chlorine from end-of-life PVC articles**

VinylPlus® RecoChlor is a programme dedicated to the PVC waste treatment methodology to recover and recycle chlorine from difficult-to-recycle end-of-life

PVC products. This chemical recycling process leads to the production of hydrochloric acid (HCl) in waste-to-energy treatment plants, which is then reused to obtain new products.

VinylPlus® RecoChlor recently launched two major projects leading to the recovery and reuse of chlorine.

### CHEMICAL RECYCLING: CHLORINE RECOVERY AND REUSE

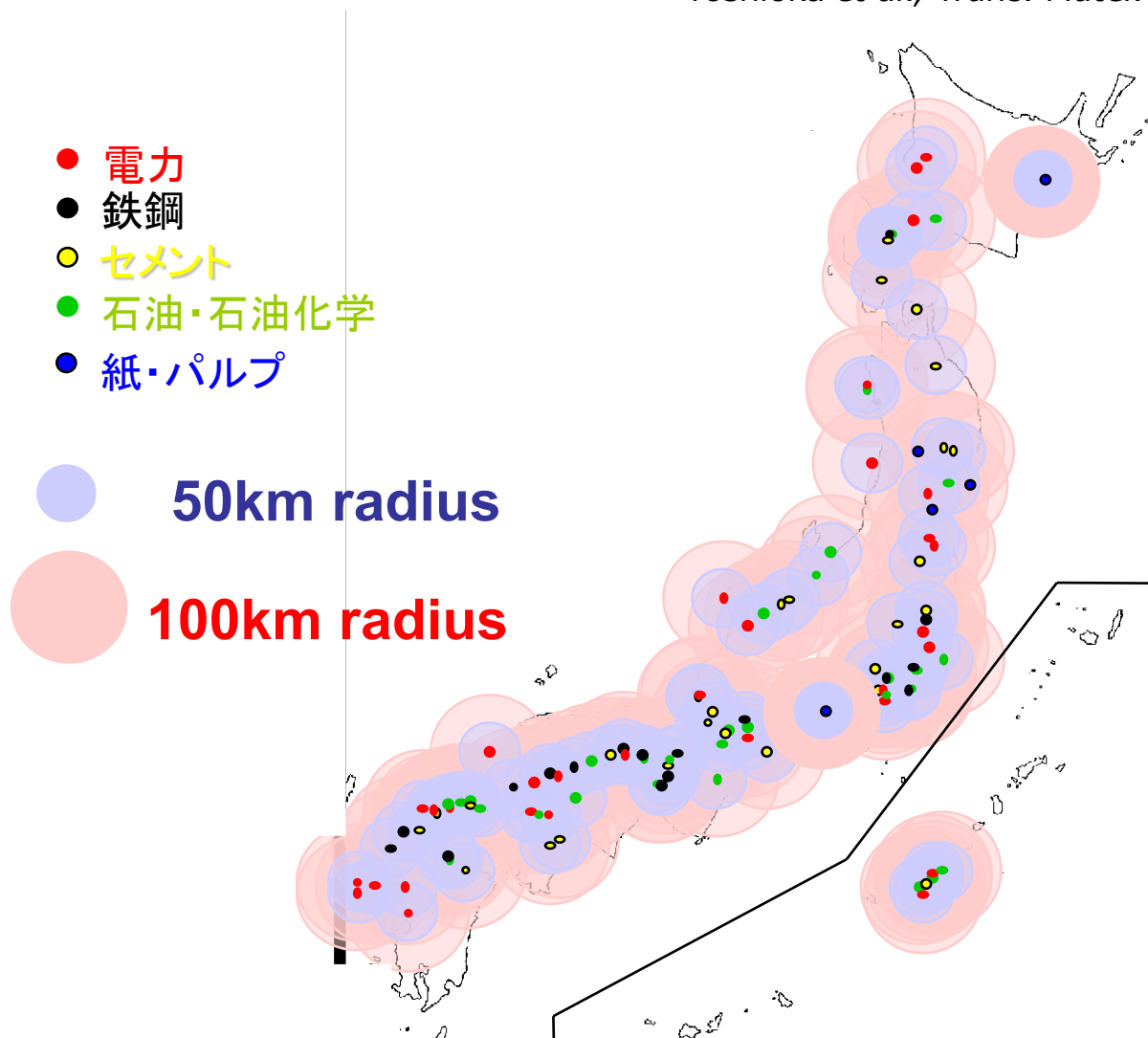


産業部門に属する主要業界団体の多くが、カーボンニュートラルの潮流に沿って取組方針や主な施策方向性を対外的に示している

	業界団体	カーボンニュートラル取組方針	カーボンニュートラル実現に向けた検討施策（例）
電力業界	電気事業連合会	2050年カーボンニュートラルの実現に向けて	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 再生可能エネルギー、原子力、脱炭素火力、水素の各分野での電源の脱炭素化</li> <li>■ 電化の取り組み強化</li> </ul>
鉄鋼業界	(一般社団法人) 日本鉄鋼連盟	日本鉄鋼連盟 長期温暖化対策ビジョン『ゼロカーボン・スチールへの挑戦』	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 製造プロセスでの省エネルギーの取組（エコプロセス）</li> <li>■ 高機能鋼材の提供により使用段階でのCO2排出削減（エコプロダクト）</li> <li>■ 水素還元製鉄や直接還元鉄を活用した電炉の不純物除去技術開発</li> <li>■ 電炉に置き替えることによる鉄リサイクルの推進</li> </ul>
石油業界	石油連盟	石油業界のカーボンニュートラルに向けたビジョン（目指す姿）	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 高効率型熱交換器の利用による加熱炉のエネルギー消費量削減やコンピュータによる高度制御の導入などの省エネルギー対策</li> <li>■ 廃食油、廃棄プラスチックリサイクルの推進、バイオマス原料の活用、SAFの製造</li> <li>■ CO2 フリー水素の製造・利用を通じた合成燃料の製造</li> </ul>
化学業界	(一般社団法人) 日本化学工業協会	カーボンニュートラルへの化学産業としてのスタンス	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ プロセスの合理化や電化等の革新技术の導入</li> <li>■ 自家発電設備の燃料転換、再生可能エネルギーの利用、バイオマス原料利用や廃棄プラスチック等の炭素源としての廃棄物を活用した原料の炭素循環</li> <li>■ エネルギー利用極小化へのプロセスや構造の転換、VC全体のイノベーションに繋がる新素材の開発</li> </ul>
セメント業界	(一般社団法人) セメント協会	脱炭素社会を目指すセメント産業の長期ビジョン	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ クリンカ比率の低減、投入原料の低炭素化、省エネルギーの推進、鉍化剤使用等による焼成温度低減</li> <li>■ CO2回収・利用・貯留（CCUS）への取組、供用中の構造物及び解体コンクリートによるCO2の固定もしくは吸収</li> </ul>

# 基幹産業を活かした資源循環の可能性

Yoshioka et al., *Trans. Mater. Res. Soc. Jpn.*, 2004.



ありがとうございました。