

# 動・静脈産業連携による カーボンニュートラル化の可能性



TOHOKU  
UNIVERSITY

資料 1

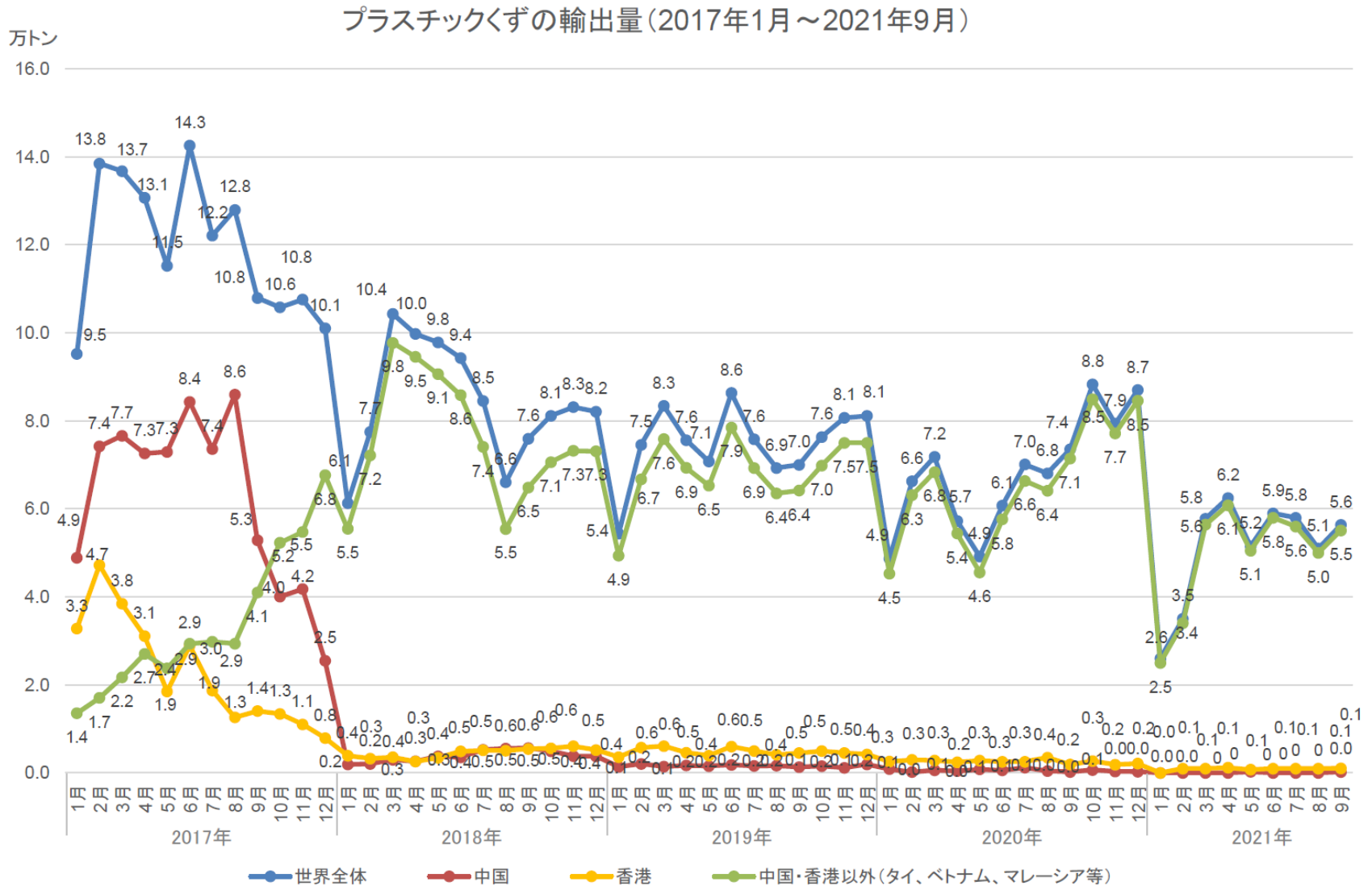
吉岡 敏明

東北大学大学院環境科学研究科

2022年11月11日

四日市コンビナートCN化検討会

# 我が国のプラスチックくずの輸出量の推移



出典) 財務省貿易統計 (HSコード: プラスチックのくず 3915) <https://www.customs.go.jp/toukei/info/index.htm>



# プラスチック資源循環戦略（概要）

令和元年5月31日

## 背景

- ◆ 廃プラスチック有効利用率の低さ、海洋プラスチック等による環境汚染が世界的課題
- ◆ 我が国は国内で適正処理・3Rを率先し、国際貢献も実施。一方、世界で2番目の1人当たりの容器包装廃棄量、アジア各国での輸入規制等の課題

## 重点戦略

### 基本原則：「3R+Renewable」

### 【マイルストーン】

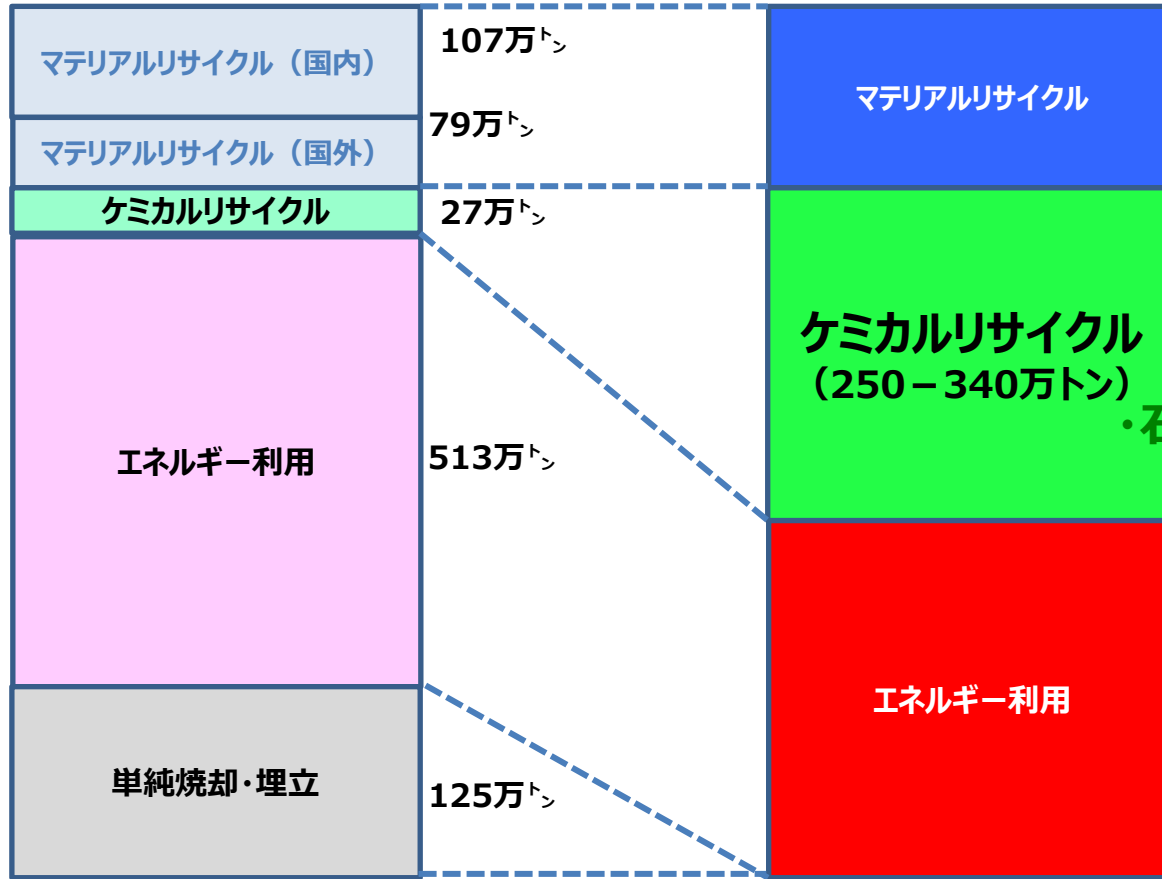
リデュース等	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ ワンウェイプラスチックの使用削減(レジ袋有料化義務化等の「価値づけ」)</li> <li>▶ 石油由来プラスチック代替品開発・利用の促進</li> </ul>	<p>&lt;リデュース&gt;</p> <p>① <b>2030年</b>までにワンウェイプラスチックを累積<b>25%</b>排出抑制</p> <p>&lt;リユース・リサイクル&gt;</p> <p>② <b>2025年</b>までにリユース・リサイクル可能なデザインに</p> <p>③ <b>2030年</b>までに容器包装の<b>6割</b>をリユース・リサイクル</p> <p>④ <b>2035年</b>までに使用済プラスチックを<b>100%</b>リユース・リサイクル等により、有効利用</p> <p>&lt;再生利用・バイオマスプラスチック&gt;</p> <p>⑤ <b>2030年</b>までに再生利用を<b>倍増</b></p> <p>⑥ <b>2030年</b>までにバイオマスプラスチックを<b>約200万トン</b>導入</p>
リサイクル	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ プラスチック資源の分かりやすく効果的な分別回収・リサイクル</li> <li>▶ 漁具等の陸域回収徹底</li> <li>▶ 連携協働と全体最適化による費用最小化・資源有効利用率の最大化</li> <li>▶ アジア禁輸措置を受けた国内資源循環体制の構築</li> <li>▶ イノベーション促進型の公正・最適なリサイクルシステム</li> </ul>	
再生材 バイオプラ	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 利用ポテンシャル向上（技術革新・インフラ整備支援）</li> <li>▶ 需要喚起策（政府率先調達（グリーン購入）、利用インセンティブ措置等）</li> <li>▶ 循環利用のための化学物質含有情報の取扱い</li> <li>▶ 可燃ごみ指定袋などへのバイオマスプラスチック使用</li> <li>▶ バイオプラ導入ロードマップ・静脈システム管理との一体導入</li> </ul>	
海洋プラスチック対策	<p>プラスチックごみの流出による海洋汚染が生じないこと（海洋プラスチックゼロエミッション）を目指した</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ ポイ捨て・不法投棄撲滅・適正処理</li> <li>▶ 海岸漂着物等の回収処理</li> <li>▶ 海洋ごみ実態把握(モニタリング手法の高度化)</li> <li>▶ マイクロプラスチック流出抑制対策(2020年までにスクラブ製品のマイクロビーズ削減徹底等)</li> <li>▶ 代替イノベーションの推進</li> </ul>	
国際展開	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 途上国における実効性のある対策支援（我が国のソフト・ハードインフラ、技術等をオーダーメイドパッケージ輸出で国際協力・ビジネス展開）</li> <li>▶ 地球規模のモニタリング・研究ネットワークの構築（海洋プラスチック分布、生態影響等の研究、モニタリング手法の標準化等）</li> </ul>	
基盤整備	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 社会システム確立（ソフト・ハードのリサイクルインフラ整備・サプライチェーン構築）</li> <li>▶ 技術開発（再生可能資源によるプラ代替、革新的リサイクル技術、消費者のライフスタイルのイノベーション）</li> <li>▶ 調査研究（マイクロプラスチックの使用実態、影響、流出状況、流出抑制対策）</li> <li>▶ 連携協働（各主体が一つの旗印の下取組を進める「プラスチック・スマート」の展開）</li> <li>▶ 資源循環関連産業の振興</li> <li>▶ 情報基盤（ESG投資、エシカル消費）</li> <li>▶ 海外展開基盤</li> </ul>	

- ◆ アジア太平洋地域をはじめ世界全体の資源・環境問題の解決のみならず、**経済成長**や**雇用創出** ⇒ **持続可能な発展**に貢献
- ◆ **国民各界各層との連携協働**を通じて、マイルストーンの達成を目指すことで、**必要な投資**や**イノベーション（技術・消費者のライフスタイル）**を促進

# 日本におけるプラスチックリサイクルの将来比率

## 従来技術 (2019)

## 新技術 (2030)



- ・高炉還元
- ・コークス炉原料化
- ・ガス化
- ・油化
- ・モノマー化

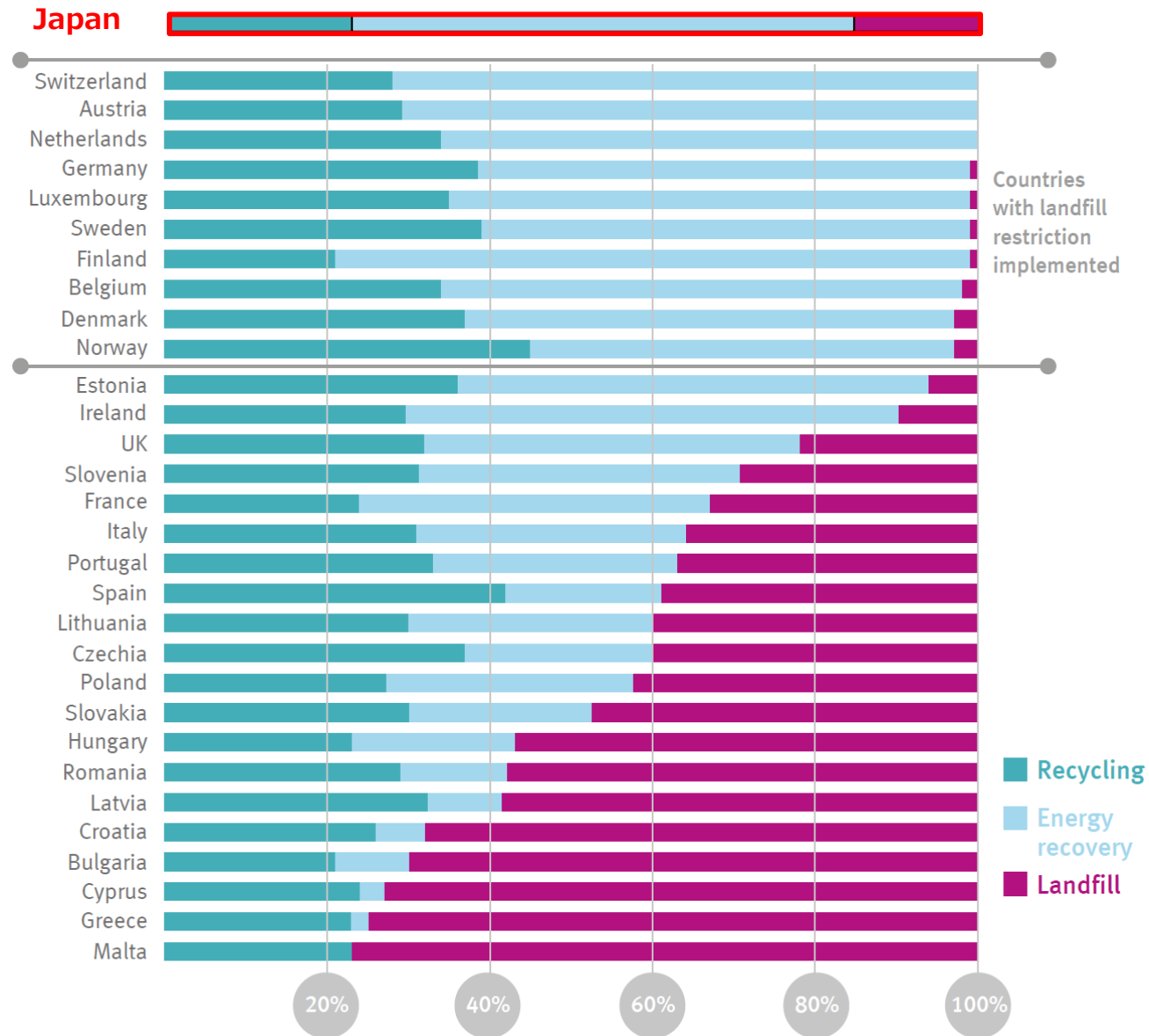
### 製品要求と品質管理の適正化

- ・高炉還元
- ・コークス炉原料化
- ・ガス化
- ・油化
- ・モノマー化

・石油・石油化学プロセス

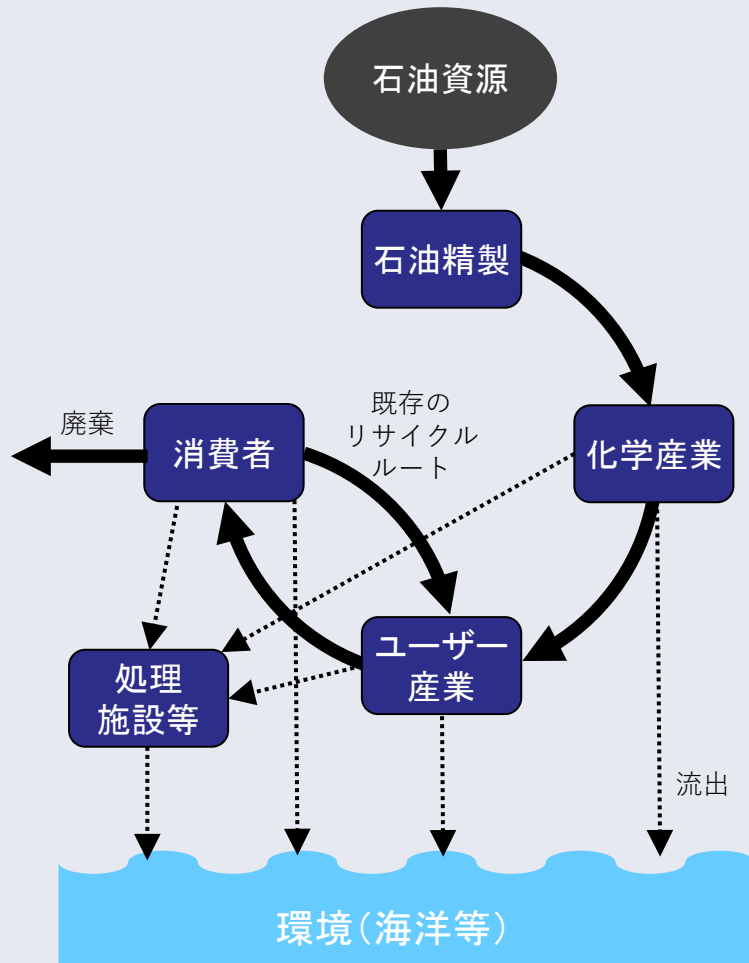
### 地域利用のシステム化

# Plastic waste treatment by EU countries

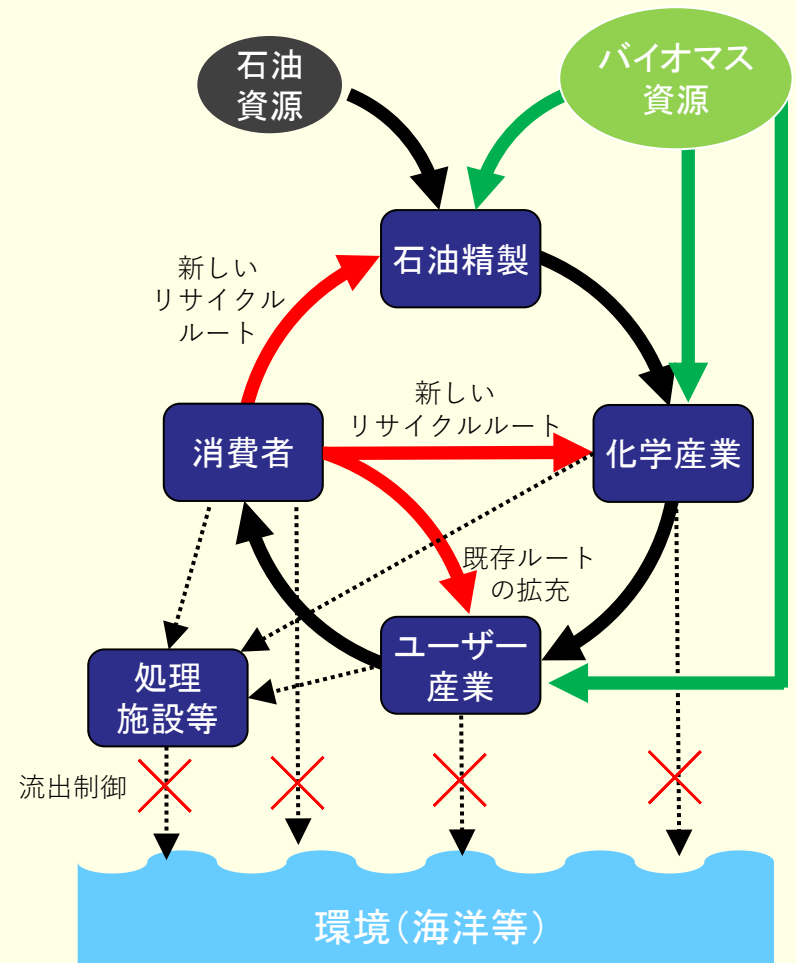


# 目指すプラスチック資源循環と海洋流出抑制の姿

従来のプラスチック資源循環



動脈・静脈の融合にバイオマス素材を組み込んだプラスチック資源循環



# プラスチックの種類はどのくらいか？

Table Number of resin and additives types produced and sold in Japan

S. Kumagai and T. Yoshioka, *Mater. Cycles Waste Manag. Res.*, 25, 124, 2014

Resins		
	Thermoplastics resin	85
	Thermosetting resin	37
	natural macromolecule, others	35
	<b>Total</b>	<b>153</b>
Additives		
	Plasticizer	46
	Stabilizer	39
	Oxidation inhibitor	30
	Ultraviolet absorbing agent	42
	Antistatic	18
	Flame retardant	24
	Organic blowing agent	5
	Lubricant	7
	Antifungal	17
	Crystalline nucleus agent	2
	<b>Total</b>	<b>230</b>

**Combination of resin and additive**

**INNUMERABLE**

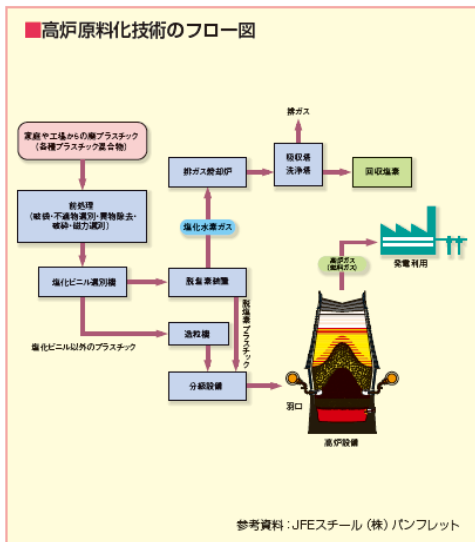
e.g.)	PVC resin	100.0
Window	Toughening agent	7.0
frame	Process aids	1.0
	Lead phosphite	3.0
	Lead stearate	0.5
	Clacium stearate	0.3
	Internal lubricant	0.5-1.0
	External lubricant	0.2
	Calcium carbonate	5.0
	Titanium oxide	3.0

Collection of homogeneous plastic wastes

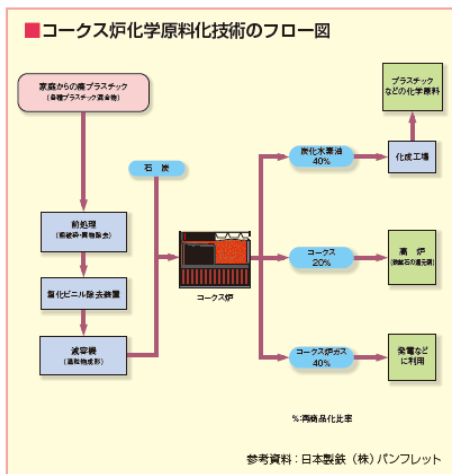
**IMPOSSIBLE**

# ケミカルリサイクル技術の例

## ●高炉原料化技術

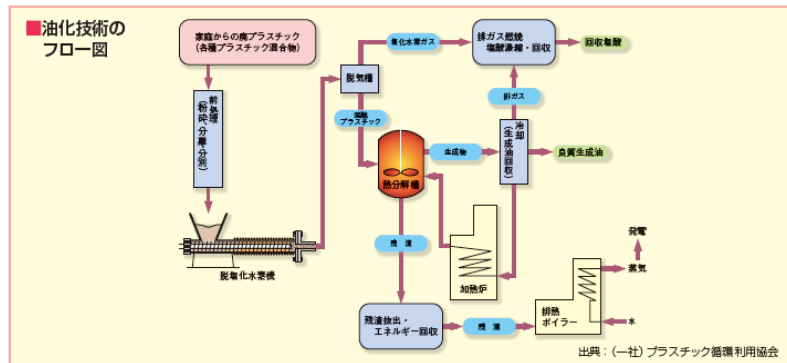


## ●コークス炉化学原料化技術



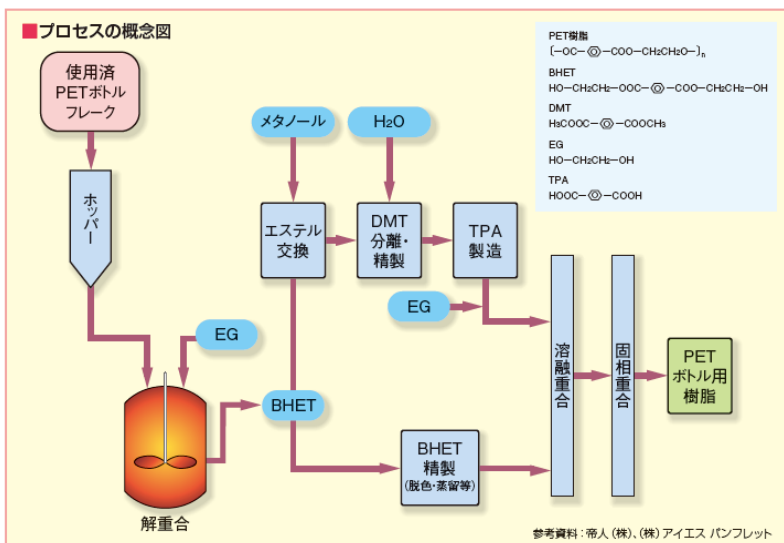
## ●油化技術

〈ケミカルリサイクル〉



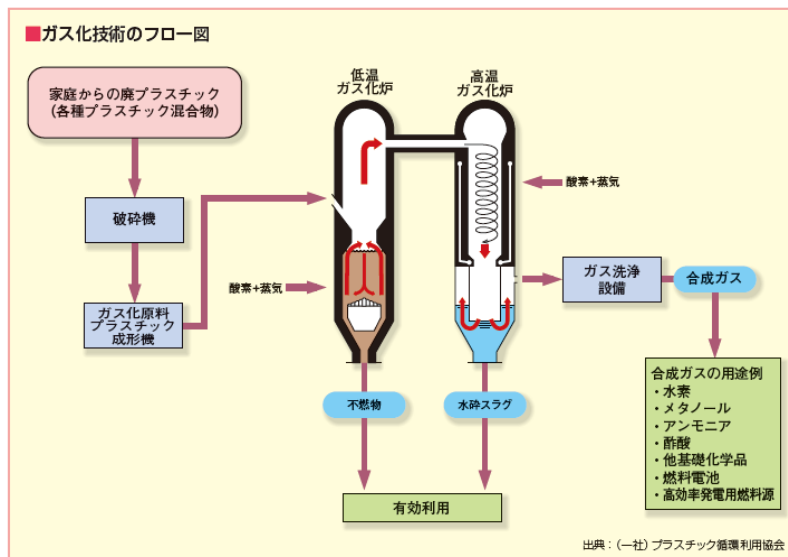
## ●原料・モノマー化技術

〈ケミカルリサイクル〉



## ●ガス化技術

〈ケミカルリサイクル〉





# 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>	

<https://www.bkv-gmbh.de/infothek/studien.html>

<https://www.bkv-gmbh.de/infothek/studien.html>

## ガス化

- ①セメントキルンで使用される流動床技術
- ②British Gas-Lurgi (BGL) 方式のガス化装置
- ③噴流式ガス化技術
- ④熔融炉技術

## 熱分解

- ①将来的な技術革新が期待できる最も興味深い要素技術と期待
- ②ケミカルリサイクルとして技術実装するには、さらに投資が必要。
- ③関連する技術が市場で成立するには、**5年～15年**かかる。

<https://www.bkv-gmbh.de/infothek/studien.html>

- ドイツにおける潜在的な需要  
年間約270万トン

内訳：

商業廃棄物（日本でいうところの概ね産業廃棄物：約88万トン）

家庭系廃棄物（約100万トン）

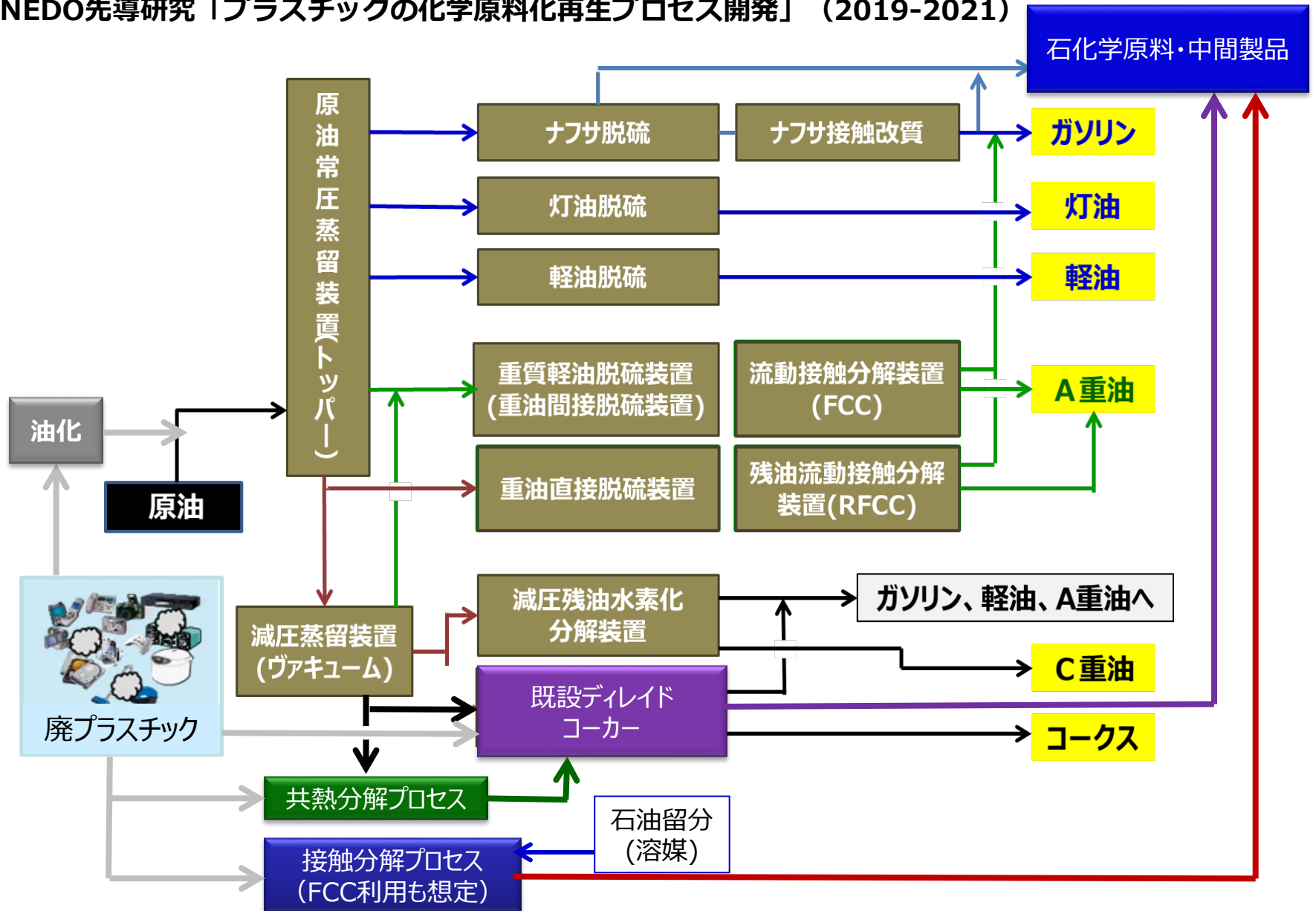
容器包装廃棄物の残差（48万トン）など

現在これらの廃プラスチックは、焼却またはエネルギーリカバリーのために、  
100～180€/ton

このコストを転用できればケミカルコストの実施が可能、と報告

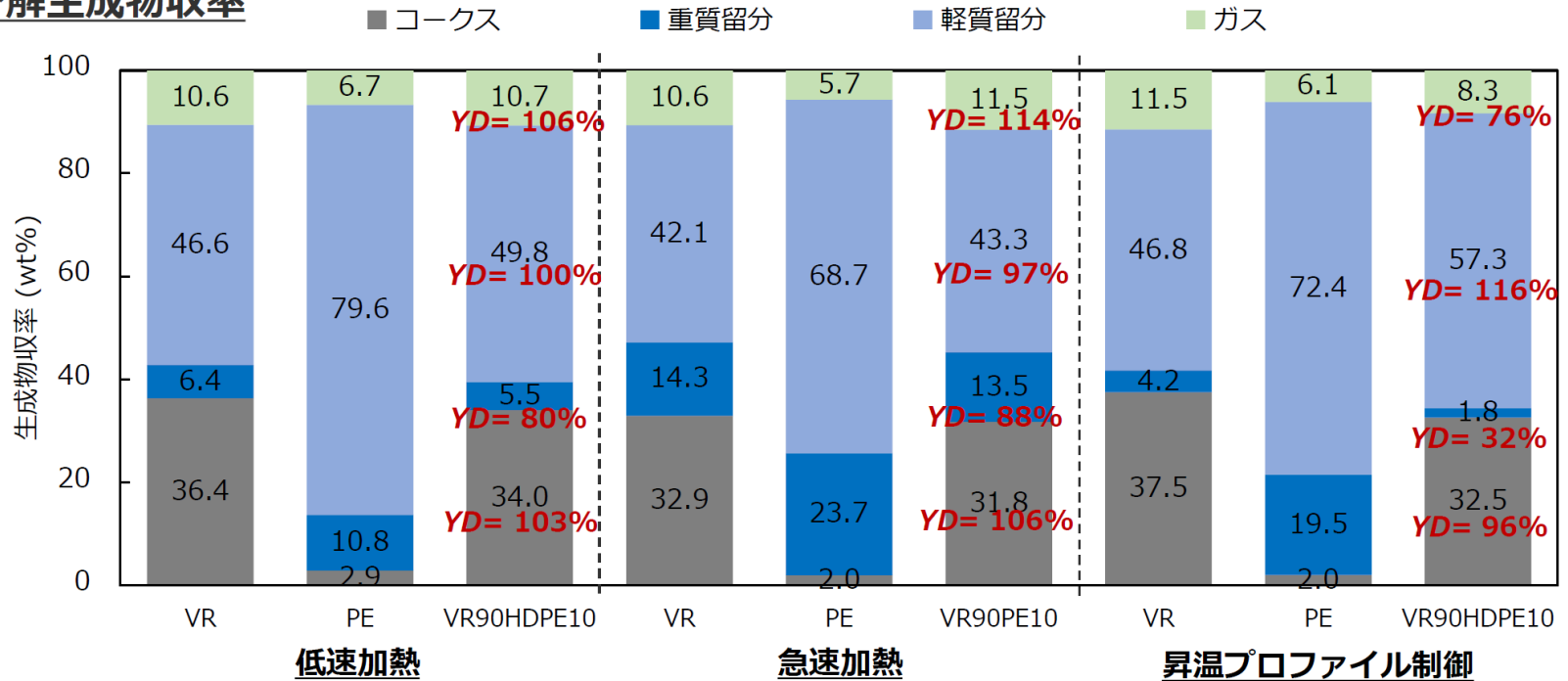
# 石油精製プロセスを活用するプラスチックリサイクル

NEDO先導研究「プラスチックの化学原料化再生プロセス開発」(2019-2021)



# 石油精製プロセスを活用するプラスチックリサイクル

## 熱分解生成物収率



## 共熱分解効果の評価

$$YD_i[\%] = \frac{F_i}{F_{i,VR100} \times R_{VR} + F_{i,HDPE100} \times R_{HDPE}} \times 100\%$$

$F_i$  [wt%]: 共熱分解で得た生成物*i*の重量割合

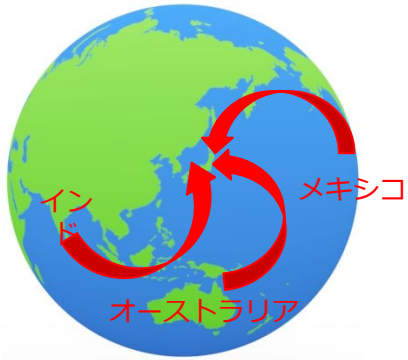
$F_{i,VR100}$  or  $F_{i,HDPE100}$  [wt%]: VRまたはHDPE単体の熱分解で得た生成物*i*の重量割合

$R_{VR}$ ,  $R_{HDPE}$  [-]: VRおよびHDPEの混合割合

**昇温プロファイル制御により軽質油増・コークス減の共熱分解シナジー効果を発現**

# 塩素のマテリアルフローから診る新たな塩素循環

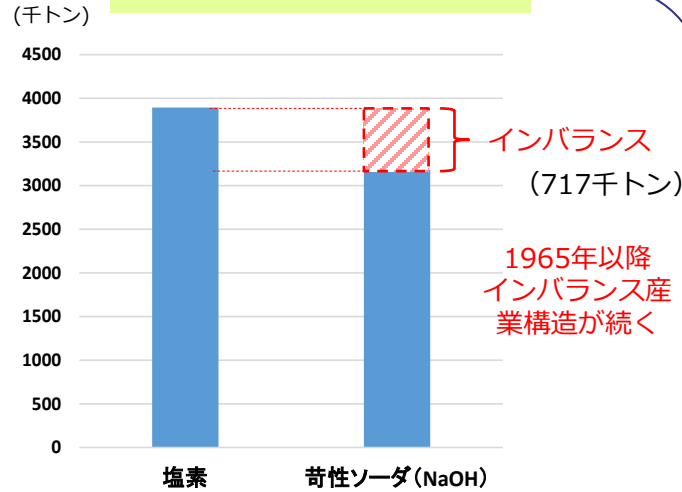
## 塩の輸入



国内ソーダ工業用塩  
(は全量輸入)

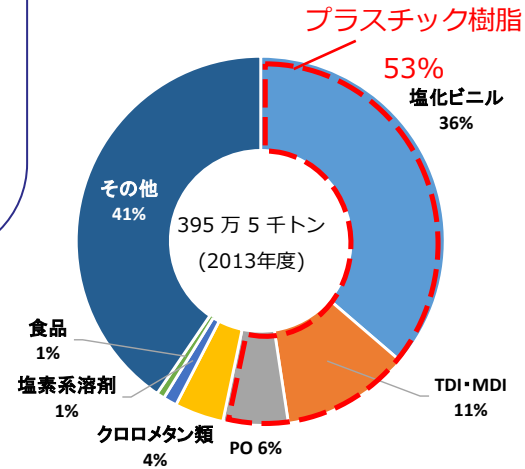
新たな  
塩素循環

## 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



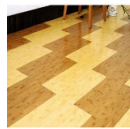
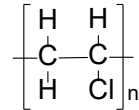
図：塩素の需要構成 (2013年度)

## リサイクル・廃棄物処理

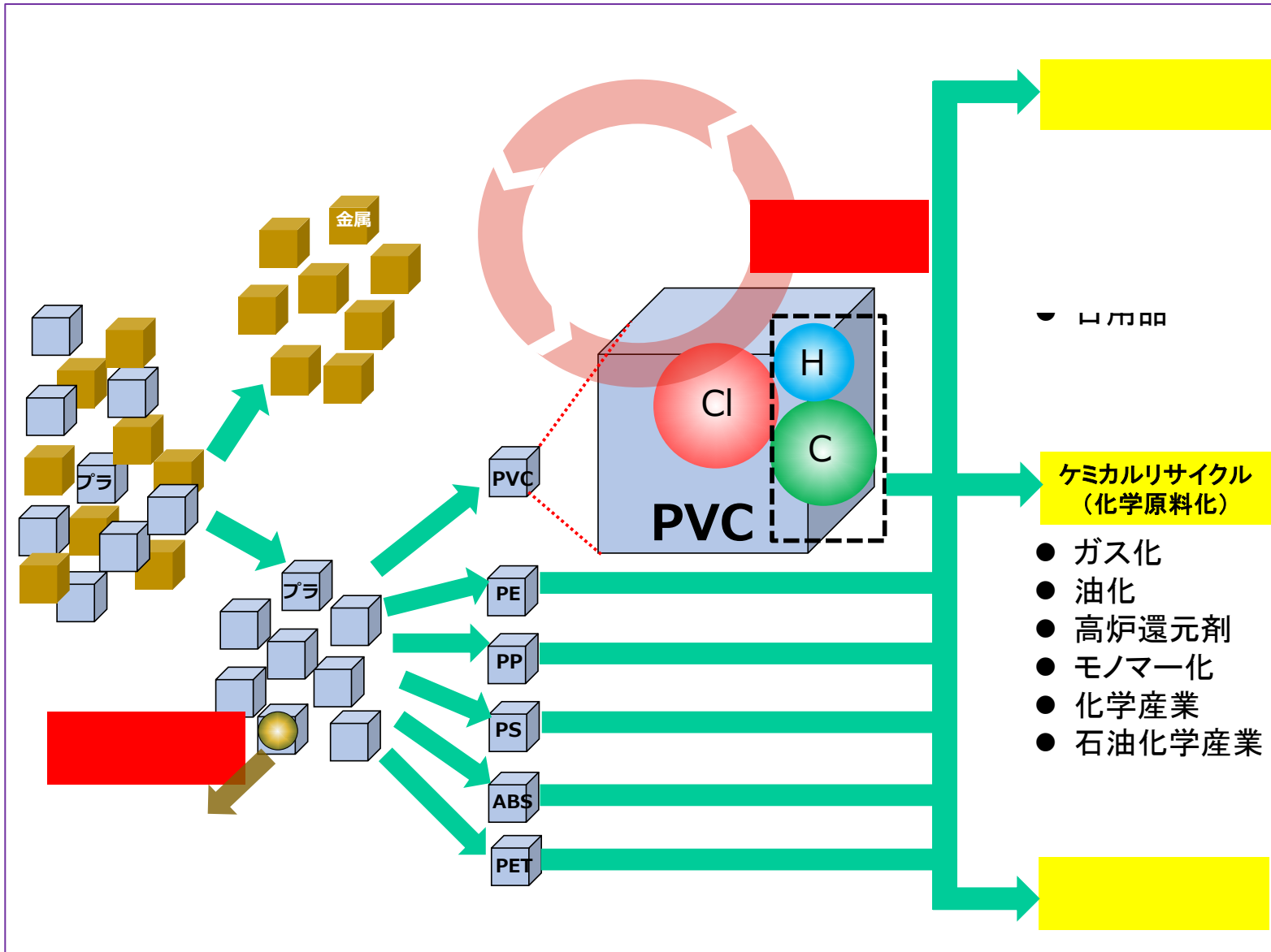
- ◆ パイプ、農業用フィルム等一部はマテリアルリサイクル
- ◆ 熱処理により塩じから腐食性の塩化水素ガスや有害な塩素系有機化合物が生成
- ◆ 乾式脱塩法で生成する塩化水素は中和して排水されるケースも多い (有効利用されず)
- ◆ 焼却灰中の脱塩残渣による塩素濃度、セメント原料等への制限
- ◆ 埋立処理、浸出水中の塩類濃度上昇  
塩じ廃棄物は廃棄・リサイクルにおいて忌避

## 廃棄

## 使用



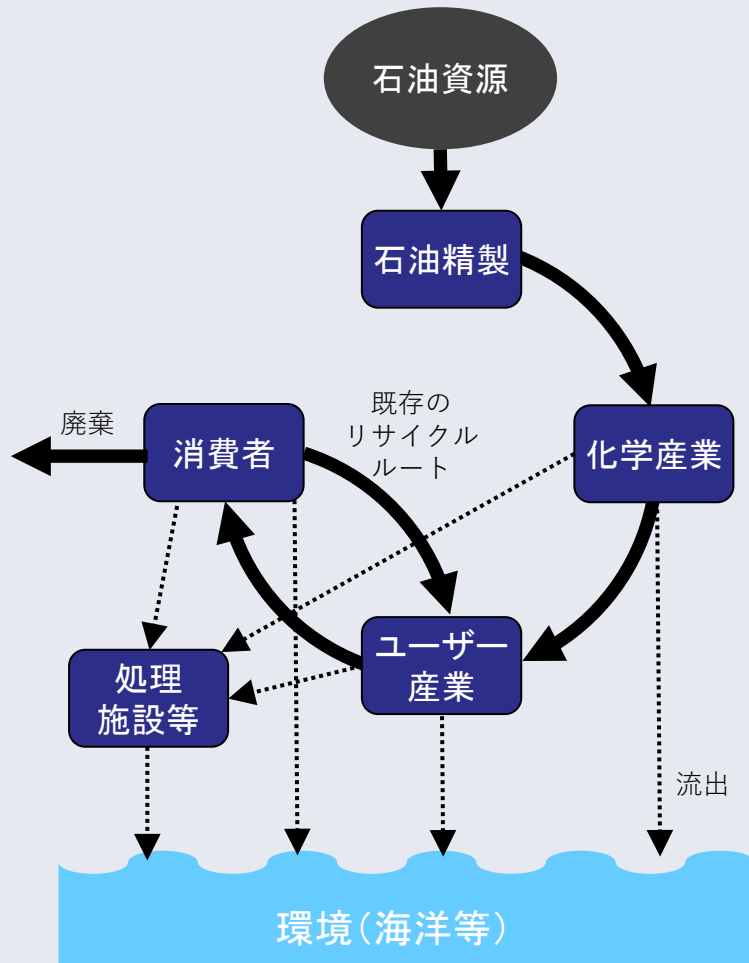
# ハロゲン循環の意義



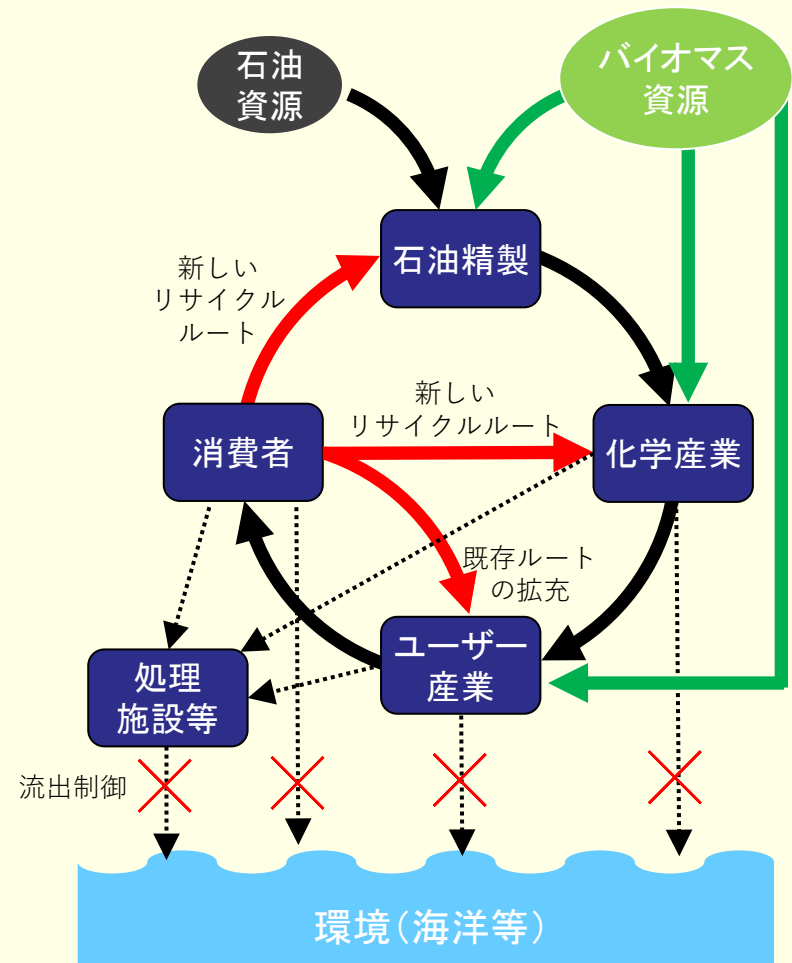
プラスチックの二次資源としての価値を高めると共に、**有用金属やレア  
メタル等の高効率回収に寄与する高度なプラスチック回収技術開発**

# 目指すプラスチック資源循環と海洋流出抑制の姿

従来のプラスチック資源循環



動脈・静脈の融合にバイオマス素材を組み込んだプラスチック資源循環





# 環境対策におけるバイオプラスチックの位置付け

	化石由来	化石由来+バイオマス由来	バイオマス由来
生分解性	生分解性プラスチック	バイオベース生分解性プラスチック	生分解性 バイオプラスチック
	PVA, PGA ポリブチレンアジペート /テレフタレート、 ポリエチレンテレフタ レートサクシネート、 その他	Bio-PBS ポリ乳酸ブレンド・PBAT スターチブレンド・ポリエステル樹脂 ポリブチレンテレフタレートサクシネー ト	ポリ乳酸 PHA系 (PHBH等)
非生分解性	プラスチック	バイオマスプラスチック	バイオマスプラスチック
	PE PP PET PVC PS ABS, PC, PBT POM, PMMA PPS, PA6, PA66 PU, フェノール、 エポキシ、 その他	Bio-PTT Bio-PET Bio-PA610, 410, 510 Bio-PA11T, MXD10 Bio-PC Bio-PU 芳香族エステル Bio-フェノール Bio-エポキシ樹脂	Bio-PE Bio-PP Bio-PA11 Bio-PA1010

海洋汚染対策

CO<sub>2</sub> 排出抑制対策

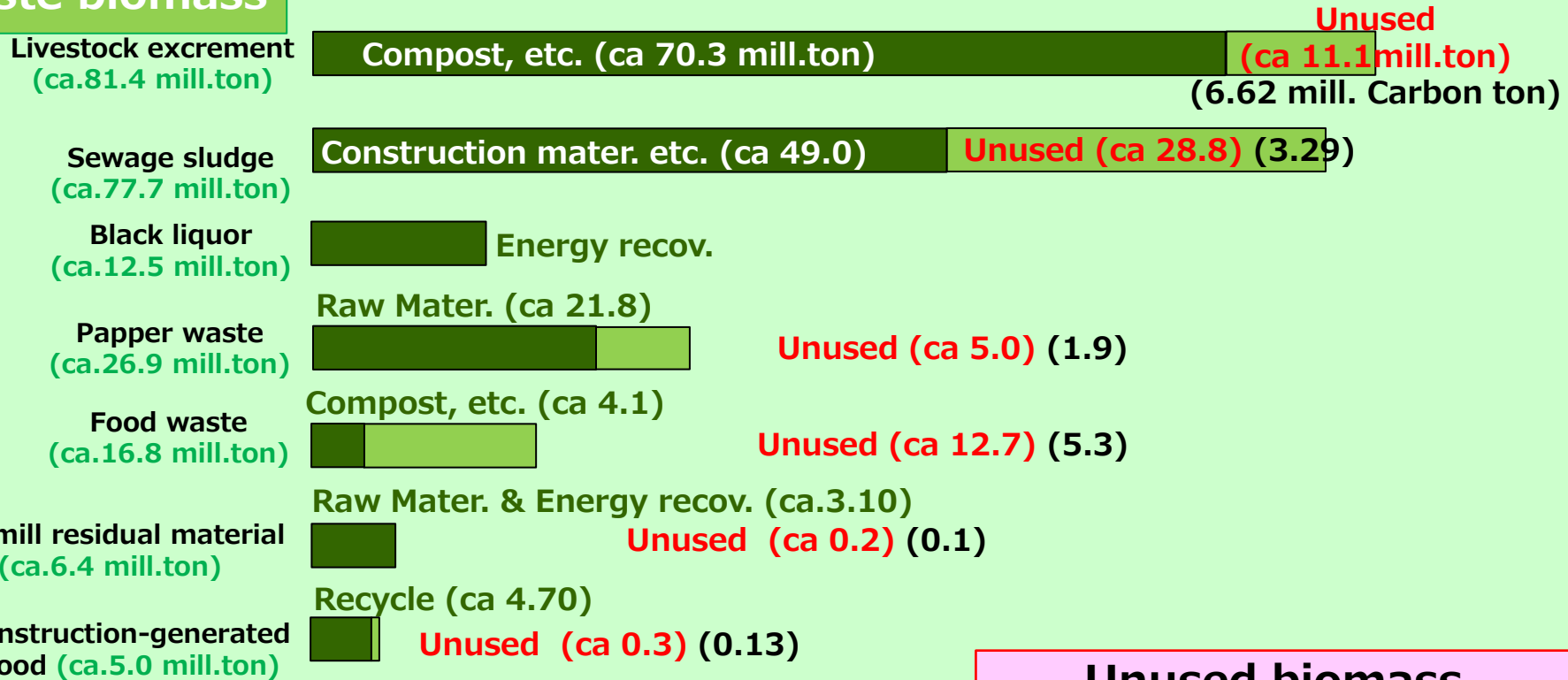
# プラスチック製品領域毎の導入が適したバイオプラスチック

製品領域		導入に適したバイオプラスチック		製品領域毎に留意が必要な事項 (使用後のフローにおけるリサイクル調和性等の影響)
		類型1：バイオマスプラスチック（非生分解性）のうち、リサイクルに悪影響がない以下①、②のいずれかに該当するもの。 ①バイオマス由来の汎用プラスチック（バイオPE、バイオPET、バイオPP等） ②高性能プラスチック等を代替する同種のバイオマスプラスチック（PA→バイオPA等） 類型2：バイオマスプラスチック（非生分解性） 類型3：生分解性プラスチック（※分解環境に適した生分解性機能を持つもの）		
容器包装等/コンテナ類	プラスチック製買物袋	類型：1	使用後の影響の観点から、リサイクル調和性が高い「類型1」を導入。ただし、分別収集・選別により単一プラスチック種でリサイクルされる場合は、すべての類型も該当し得るため、環境負荷低減効果がより高いものを選択。	バイオプラスチックがリサイクルへ混入した際に悪影響がないことが求められる。
電気・電子機器/電線・ケーブル/機械等	家庭・オフィス等で使用される日用品/衣類履物/家具/玩具等			
可燃ごみ用収集袋	類型：2			
	堆肥化・バイオガス化等に用いる生ごみ用収集袋	類型：3	使用後の機能の観点から、「類型3」のうち、堆肥化・バイオガス化等での生分解機能を持つものを導入。	堆肥化・バイオガス化等に伴い十分な分解可能な生分解機能があることが求められる。
建材	輸送	類型：1	使用後の影響の観点から、リサイクル調和性が高い「類型1」を導入。ただし、分別収集・選別により単一プラスチック種でリサイクルされる場合は、すべての類型も該当し得るため、環境負荷低減効果がより高いものを選択。	バイオプラスチックがリサイクルへ混入した際に悪影響がないことが求められる。
	農林・水産			
農業用マルチフィルム	【回収・リサイクルの場合】 類型：1	【回収・リサイクルの場合】 使用後の影響の観点から、リサイクル調和性が高い「類型1」を導入。ただし、分別収集・選別により単一プラスチック種でリサイクルされる場合は、すべての類型も該当し得るため、環境負荷低減効果がより高いものを選択。 【農地の土壌にすき込む場合】 類型3	【回収・リサイクルの場合】 使用後の影響の観点から、リサイクル調和性が高い「類型1」を導入。ただし、分別収集・選別により単一プラスチック種でリサイクルされる場合は、すべての類型も該当し得るため、環境負荷低減効果がより高いものを選択。 【農地の土壌にすき込む場合】 使用後の機能の観点から、「類型3」のうち、土壌生分解機能を持つものを導入。ただし、農作業の一環として、適正な管理のもと農地へすき込む場合に限る。	【回収・リサイクルの場合】 バイオプラスチックがリサイクルへ混入した際に悪影響がないことが求められる。 【農地の土壌にすき込む場合】 土壌での生分解機能があることが求められる。
漁具等水産用生産資材	【回収・リサイクルの場合】 類型：1  【必ずしも高い強度や耐久性が求められない場合】 類型：3	【回収・リサイクルの場合】 使用後の影響の観点から、リサイクル調和性が高い「類型1」を導入。ただし、分別収集・選別により単一プラスチック種でリサイクルされる場合は、すべての類型も該当し得るため、環境負荷低減効果がより高いものを選択。 【必ずしも高い強度や耐久性が求められない場合】 使用後の影響の観点から、「類型3」のうち、海洋生分解機能を持つものを導入。	【回収・リサイクルの場合】 バイオプラスチックがリサイクルへ混入した際に悪影響がないことが求められる。 【必ずしも高い強度や耐久性が求められない場合】 自然環境に流出した際の海洋生分解機能があることが求められる。	

注) 利用の状況、特性、製品の組成、リサイクル技術・システム、新たなバイオプラスチック開発等で整理が変わり得るため、状況に応じて随時、本表を更新していく。

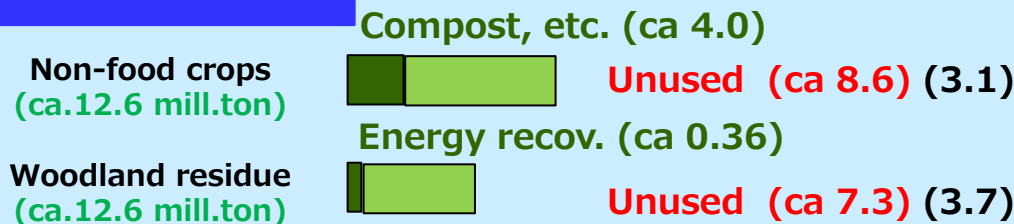
# Quantitative potential of waste and unused biomass (Japan)

## Waste biomass



**Unused biomass  
24.14 mill Carbon ton**

## Unused biomass



# 日本国内の製油所と石油化学工場(エチレンセンター)

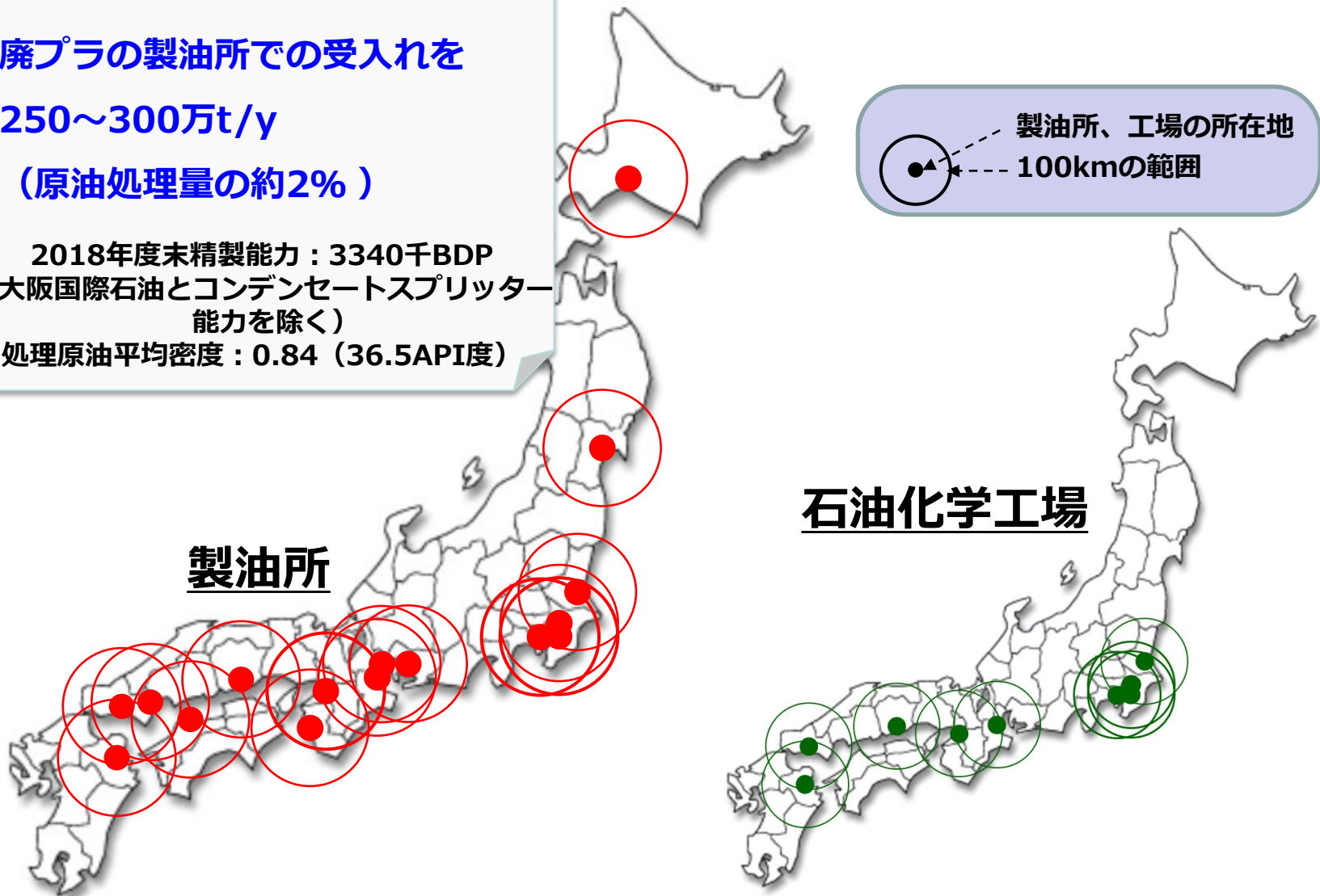
廃プラの製油所での受入れを  
250~300万t/y  
(原油処理量の約2%)

2018年度末精製能力：3340千BDP  
(大阪国際石油とコンデンセートスプリッター  
能力を除く)  
処理原油平均密度：0.84 (36.5API度)

製油所、工場の所在地  
100kmの範囲

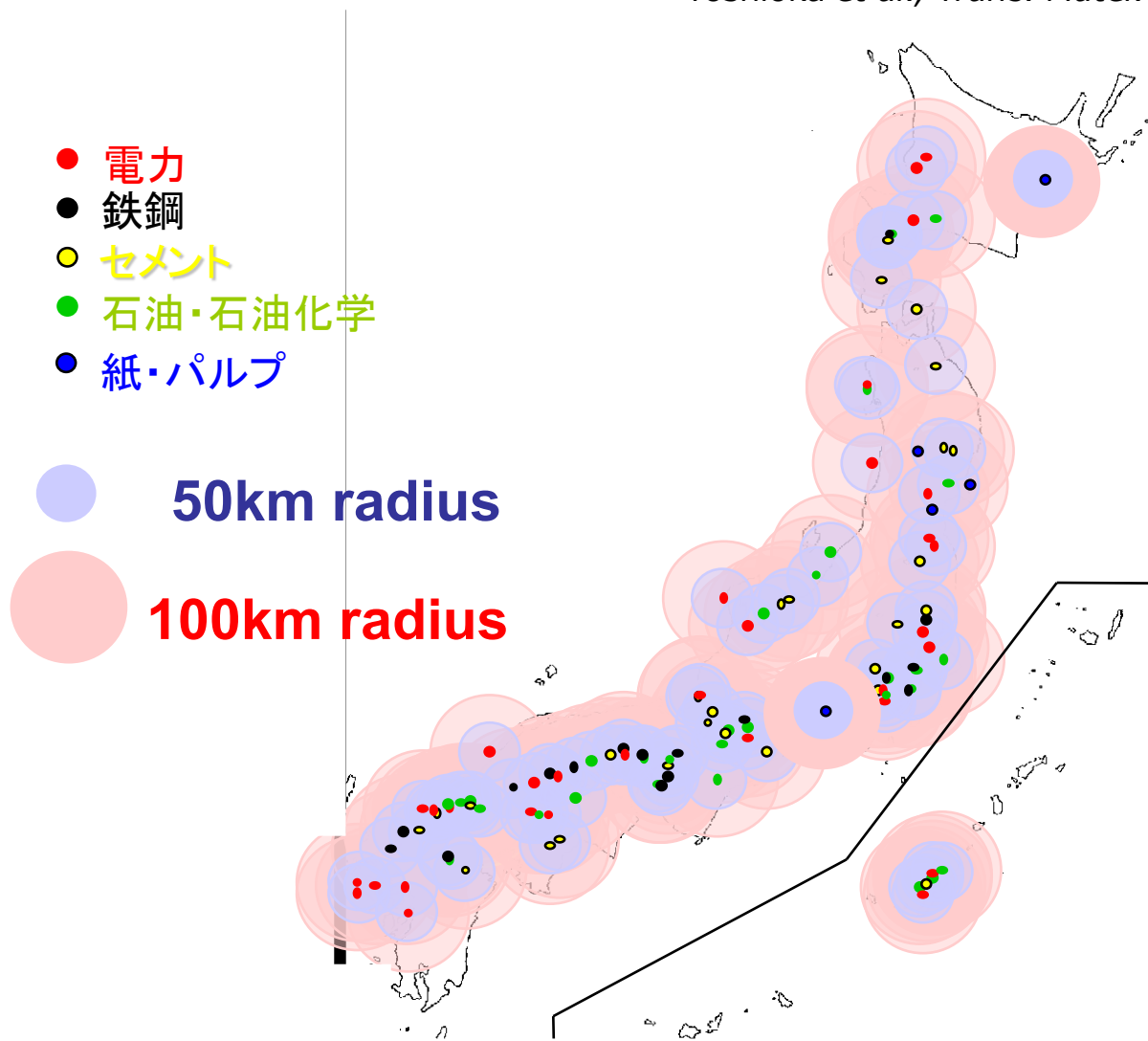
製油所

石油化学工場



# 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。

本研究においては、以下の研究費の支援を受けております。御礼を申し上げます。

JSPS 科研費基盤研究S (20H05708)

ERCA 環境研究推進費(S-19)(JPMEERF21S11900)