

地域連携・産業連携による カーボンニュートラルの実現

東京大学 教授
化学工学会 地域連携CN推進委員会委員長

辻 佳子

E-mail: tsuji@esc.u-tokyo.ac.jp

Tel & Fax 03-5841-0909



カーボンインディペンデンス（炭素自立）ビジョン：
CO₂排出削減が困難な産業の循環経済への変革

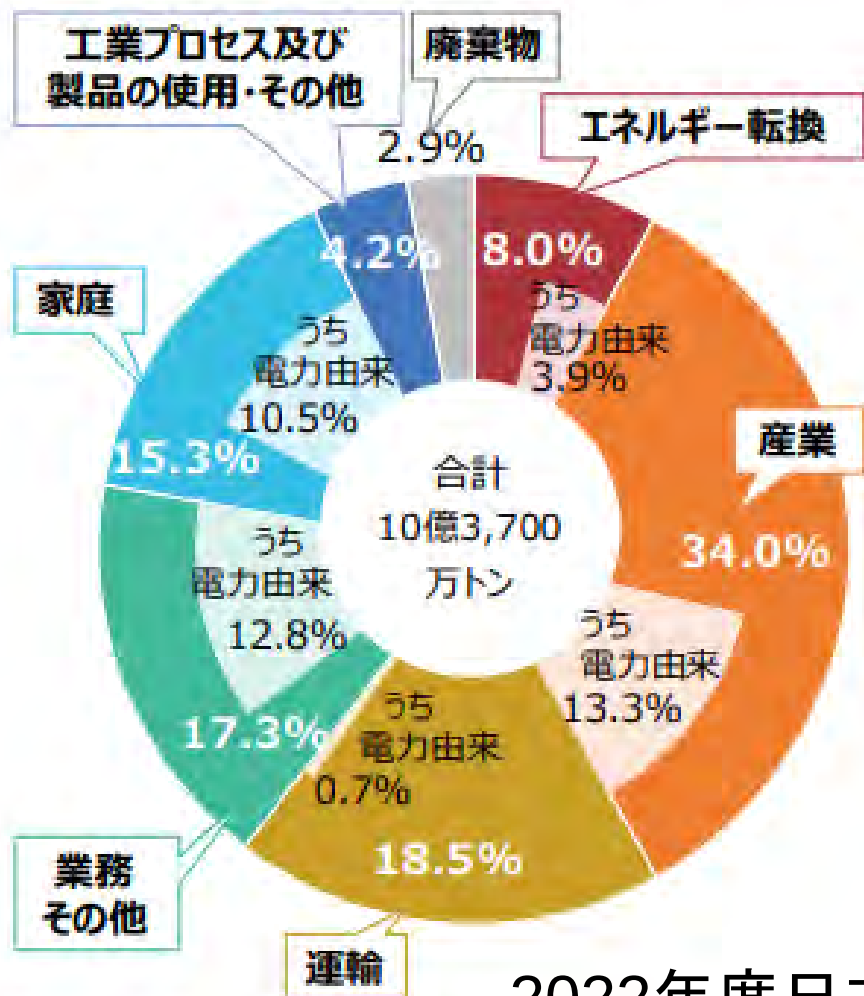
Carbon Independence Vision:
Circular Transformation from Hard-to-Abate Industries



https://www.cn.scej.org/activity/grand_design_working/

脱炭素・カーボンニュートラルを考える

<https://www.env.go.jp/content/000215754.pdf>



我々の生活に欠かせない
「ものづくり」産業

Hard to Abate産業

- ・ 鉄鋼
- ・ 化学
- ・ 電力、ガス
- ・ 石油
- ・ セメント
- ・ 紙・パルプ

2022年度日本の部門別
二酸化炭素排出量の割合

2050年CN社会実現のために

[1] Efficiencyから人と社会のSufficiencyへ

<https://www.scej.org/sapporo/indexSD.html>

経済的な豊かさの追求

経済と環境の両立

心の豊かさの追求

化石資源からの大量生産

循環型社会

1940

1960

1980

2000

2020

2030

持続可能な社会

[2] 社会構造・産業構造の変革も含めた未来社会をデザインする

システム構想

熱収支

物質収支

反応

新技術
(ラボベース)

品質

コスト(競争力)

環境負荷

未来社会構築
(Grand design)
システム計算
(Simulation)

これを成立
させる
プロセス開発
制度制定

社会実装

化学産業の創成期*のように
化学会社+セメント会社+鉄鋼・・・
大学
エンジニアリング会社
が力を合わせて挑戦できる仕掛けが必要

法令整備

制度整備

雇用

教育

社会受容性

2050年CN社会実現のために

[1] Efficiencyから人と社会のSufficiencyへ

<https://www.scej.org/sapporo/indexSD.html>

経済的な豊かさの追求

経済と環境の両立

心の豊かさの追求

化石資源からの大量生産

循環型社会

1940

地域、コミュニティが動くことが
カーボンニュートラル推進にとって大切

2030

持続可能な社会

[2] 社会構造・産業構造の変革も含めた未来社会をデザインする

システム構想

熱収支

物質収支

反応

新技術
(ラボベース)

品質

コスト(競争力)

環境負荷

未来社会構築
(Grand design)
システム計算
(Simulation)

これを成立
させる
プロセス開発
制度制定

社会実装

化学産業の創成期*のように
化学会社+セメント会社+鉄鋼・・・
大学
エンジニアリング会社
が力を合わせて挑戦できる仕掛けが必要

・これまで誰も考えなかった(無理だと思っていた)
プロセスの開発に挑戦する必要あり。これが差別化、
競争力の源泉になる。
・コンビナート改革が産業を再生する

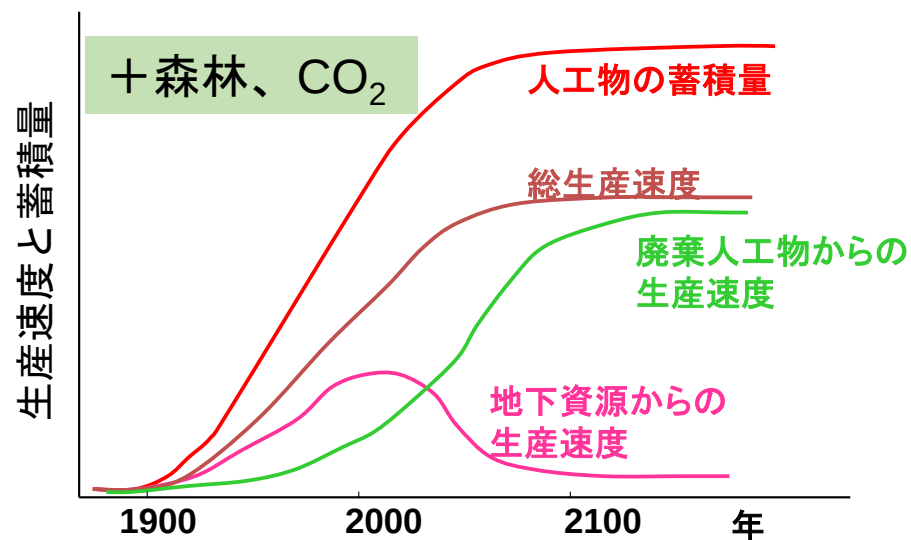
カーボンニュートラル施策



□ エネルギー



□ 素材（炭素）

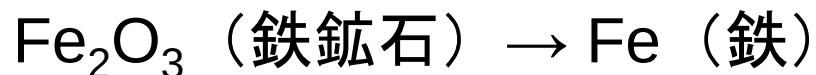


化石燃料からの脱却→脱炭素

人工物の飽和→循環社会へ移行可能

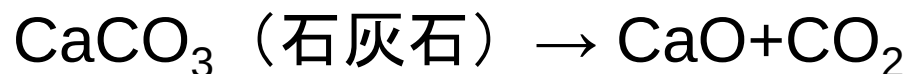
炭素に関する産業

鉄鋼産業

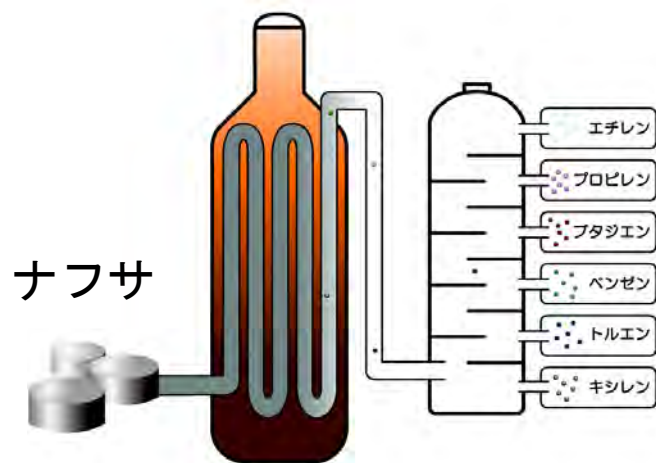


還元剤としてC（コークス）を利用

セメント産業



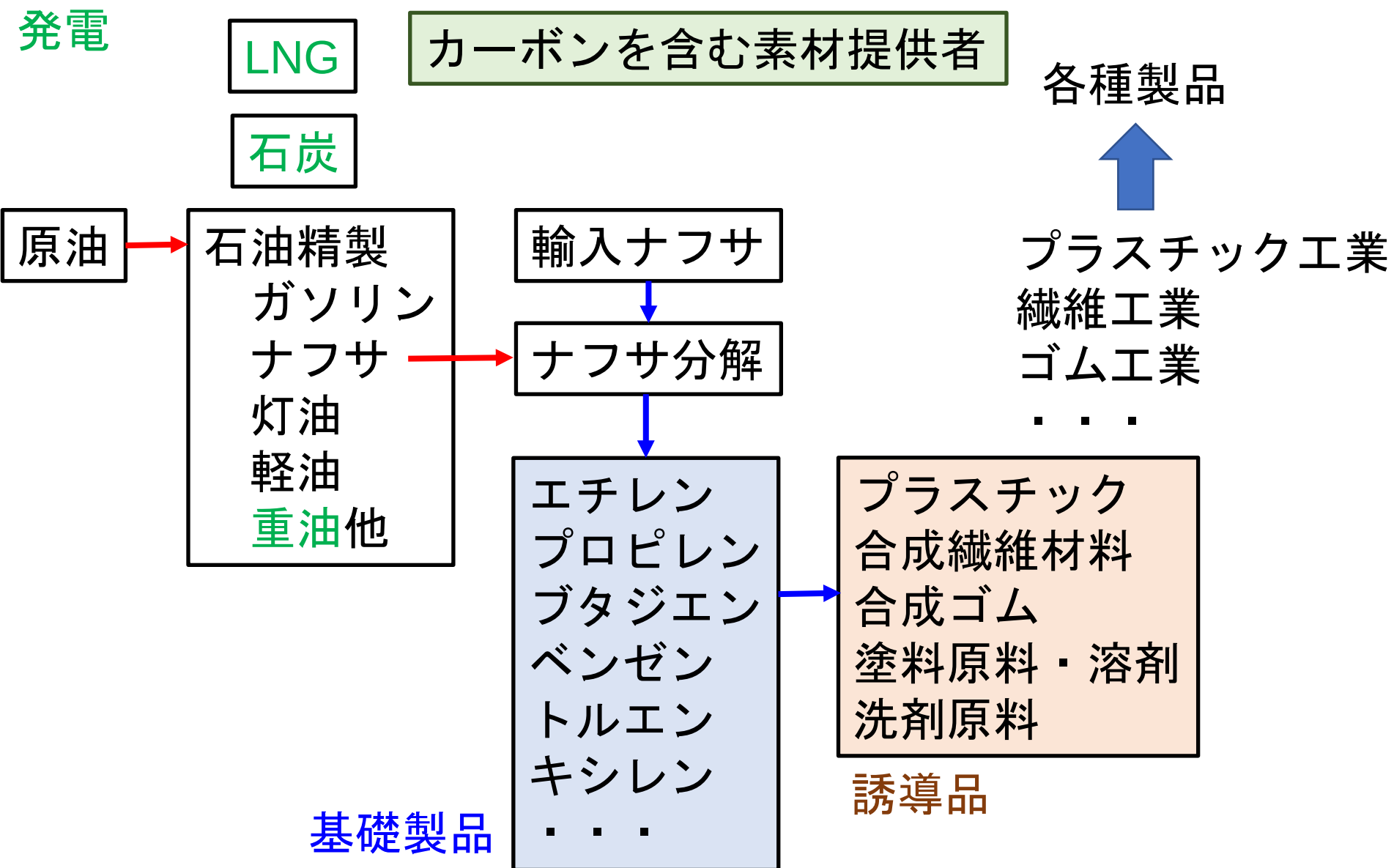
化学産業

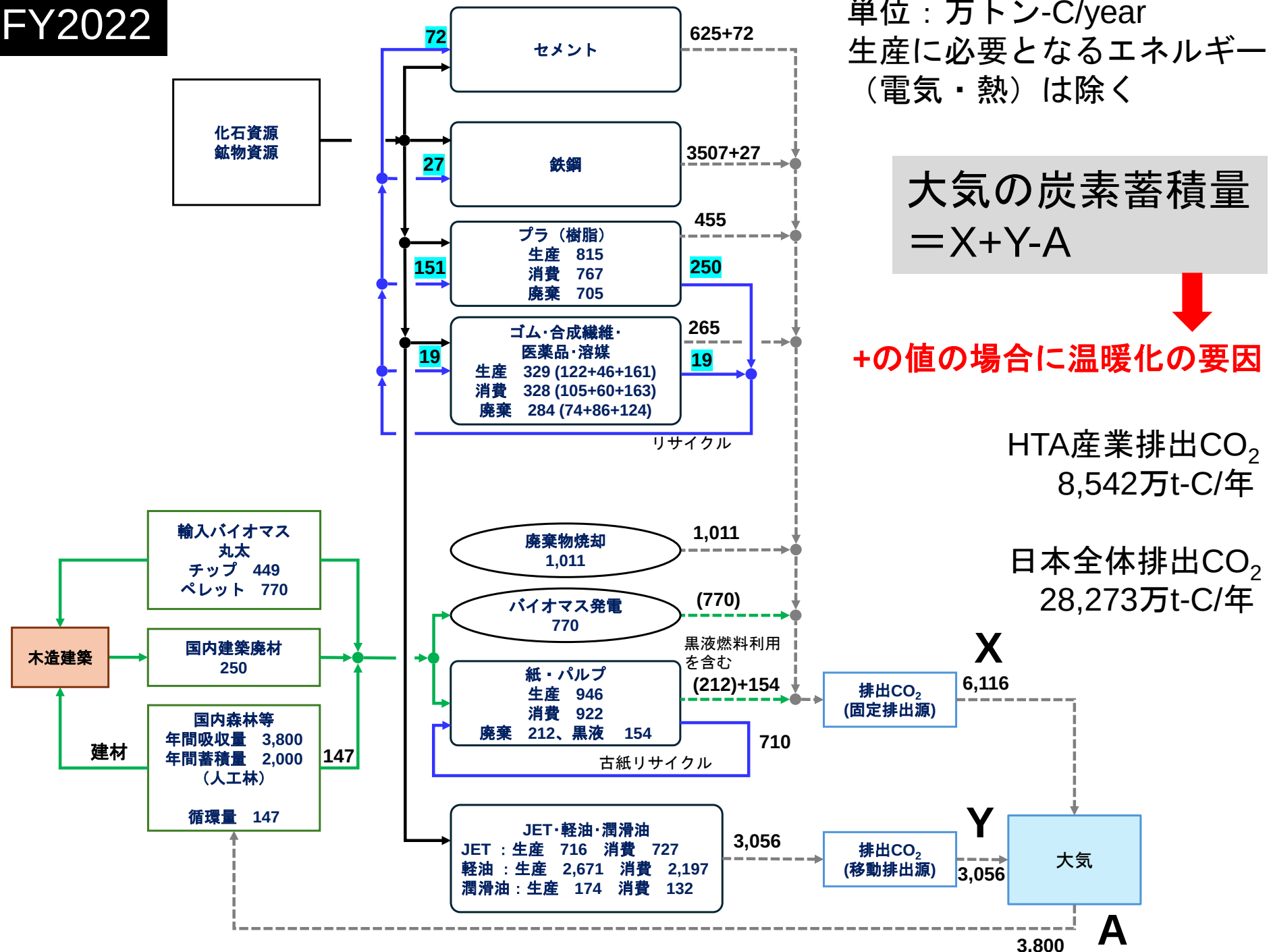


製紙産業

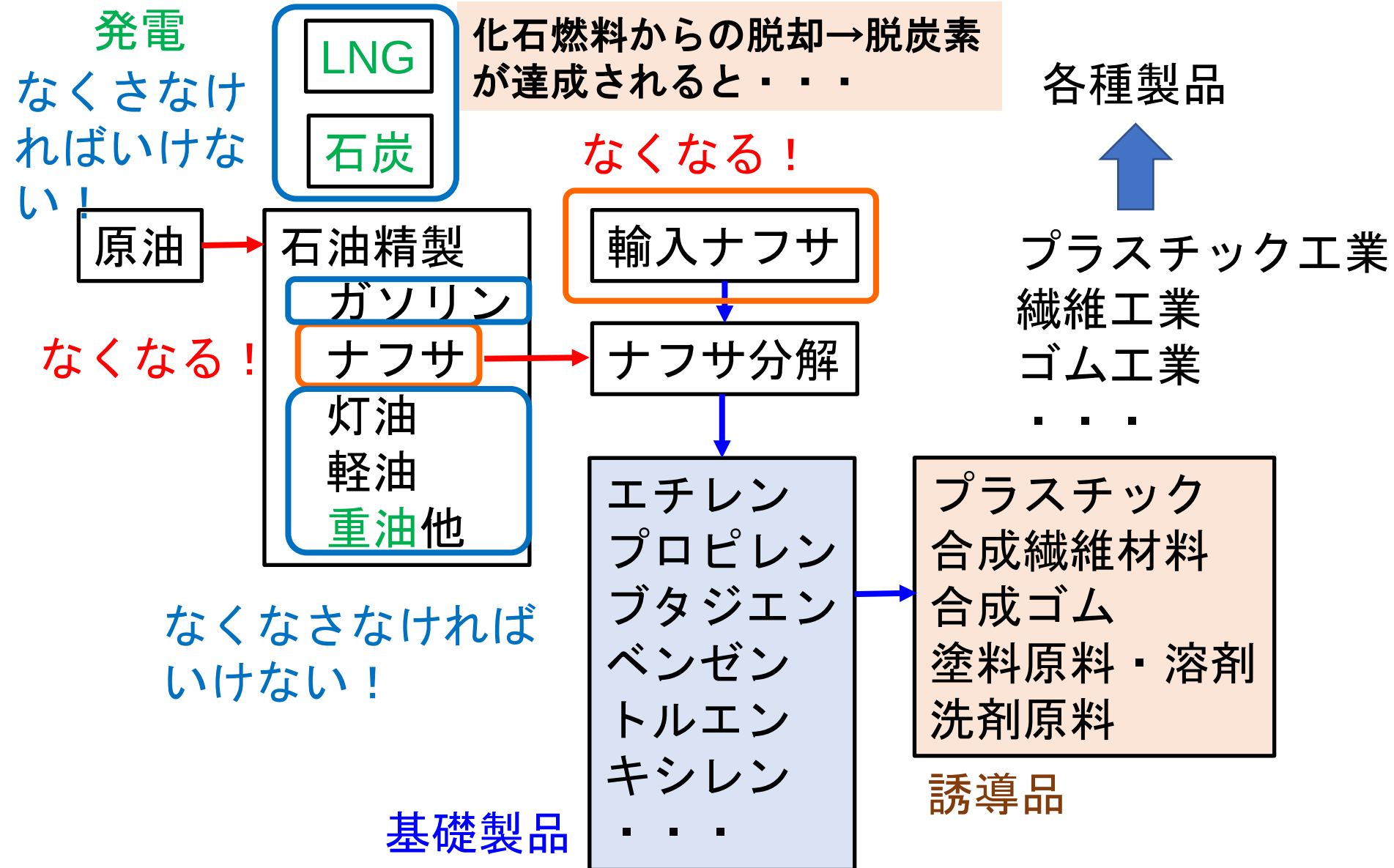


化学産業の役割

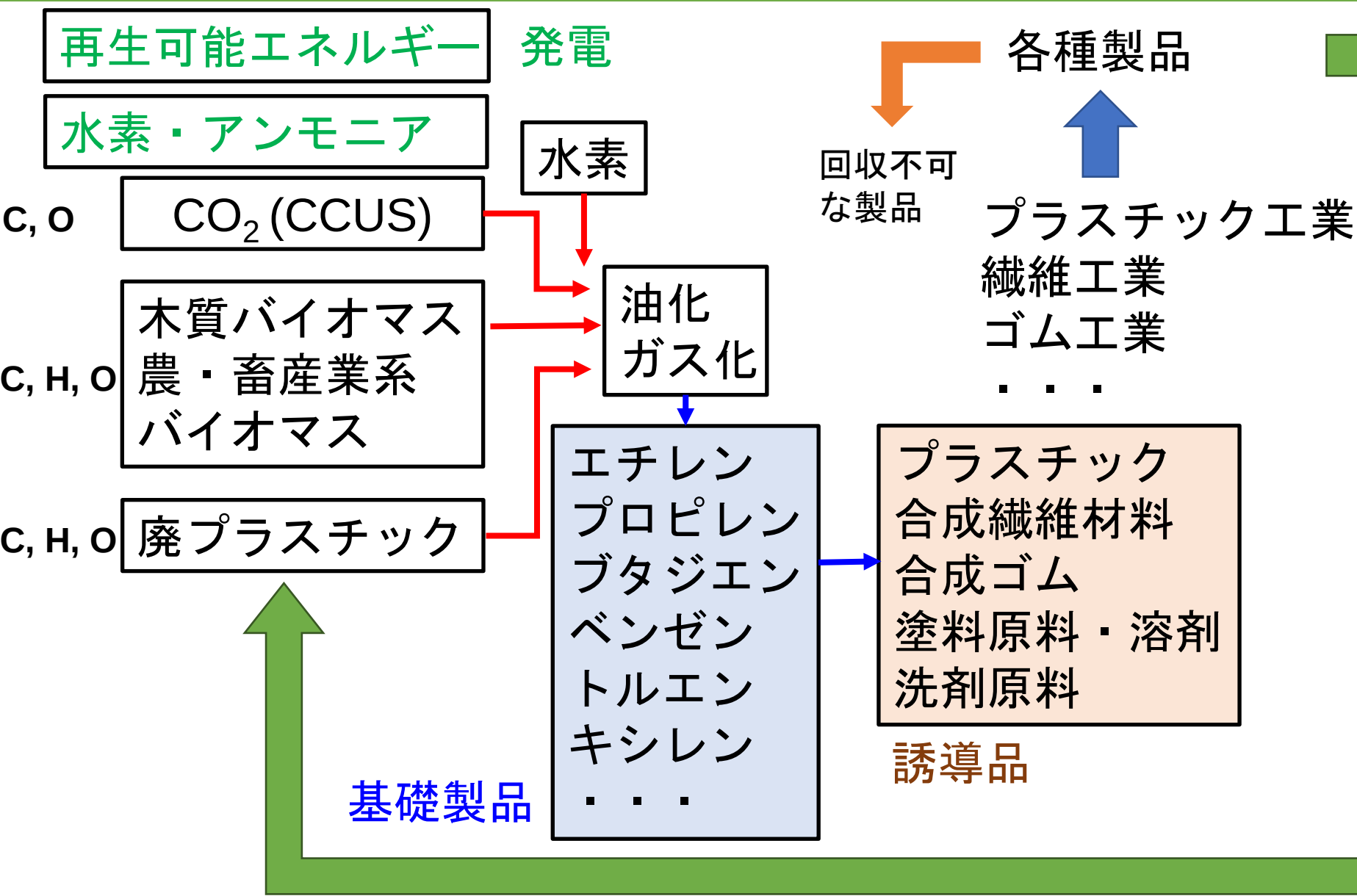




化石燃料からの脱却→脱炭素 が達成されると・・・

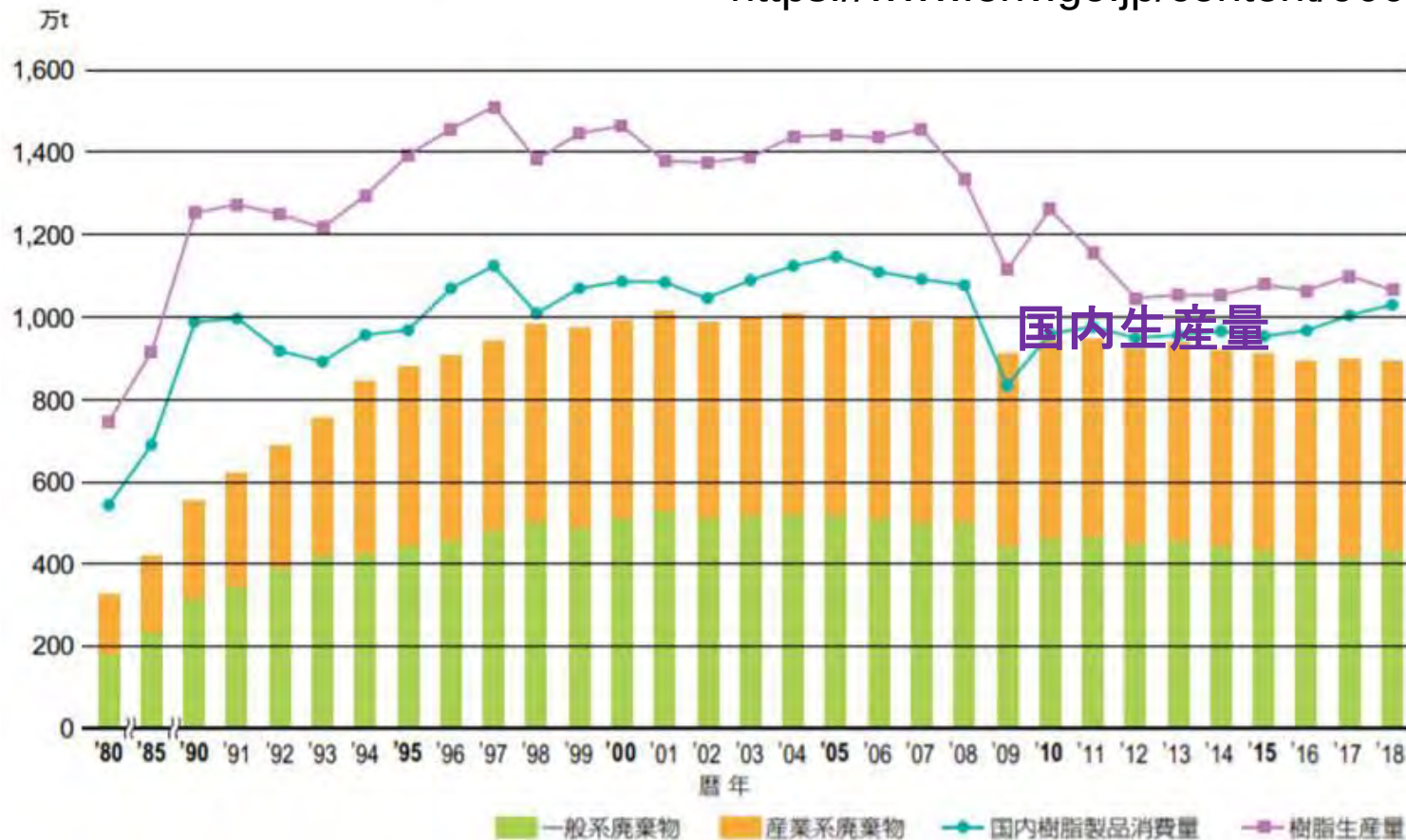


カーボンニュートラル化学産業



人工物の飽和 プラスチック

<https://www.env.go.jp/content/900515691.pdf>

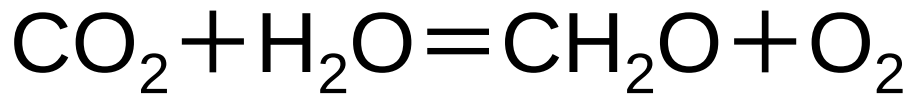
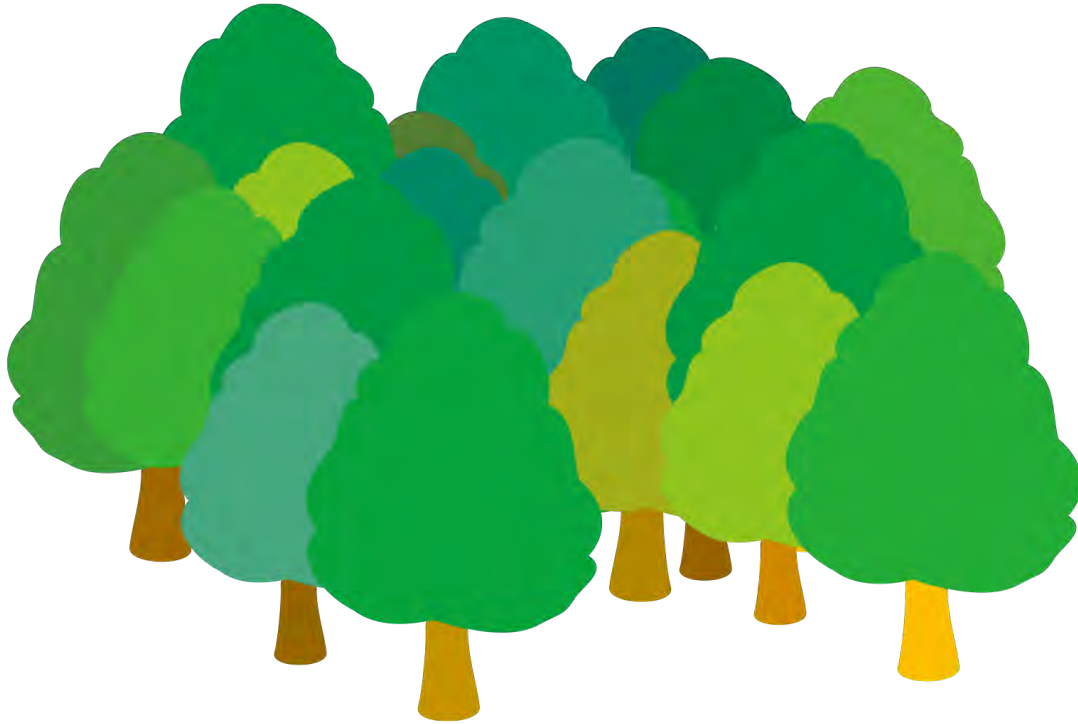


飽和している

→循環社会へ移行可能

現状はサーマルリサイクル。物質循環していない。

植物の成長



太陽光エネルギー

CO₂吸収

大気
46%

陸地
28%

海洋
25%

地球

日本は森林面積67%

森林現況

(前提条件)

人工林を対象

30年周期で伐採→植林

幹材積の平均比重 0.5 dry-t/m³

炭素含有量 0.5

木材利用率 0.5

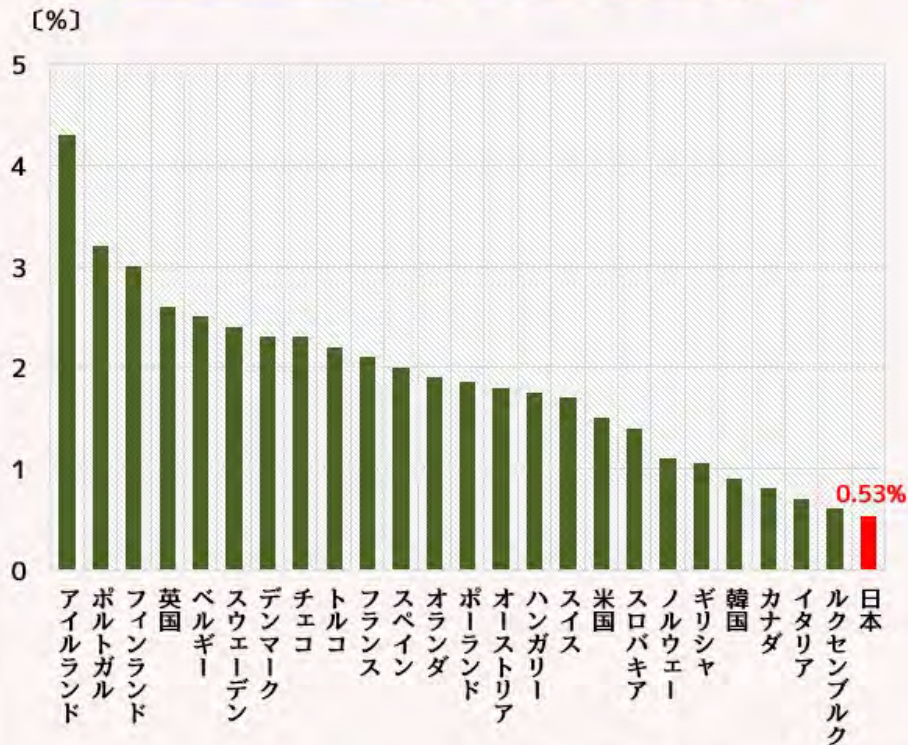
枝葉 伐採炭素含有量の0.2

	現況	30年周期で伐採→植林		木材利用率 0.5	枝葉＝伐採 炭素含有量 の0.2
	総蓄積量 [× 10 ³ m ³]	伐採可能量 [m ³ /y]	炭素含有量 [C-t/y]	幹材積のみ [C-t/y]	枝葉込み [C-t/y]
FY2017	3,308,000	110,267	27,566,667	13,783,333	19,296,667
FY2022	3,545,493	118,183	29,545,775	14,772,888	20,682,043

日本の森林現況

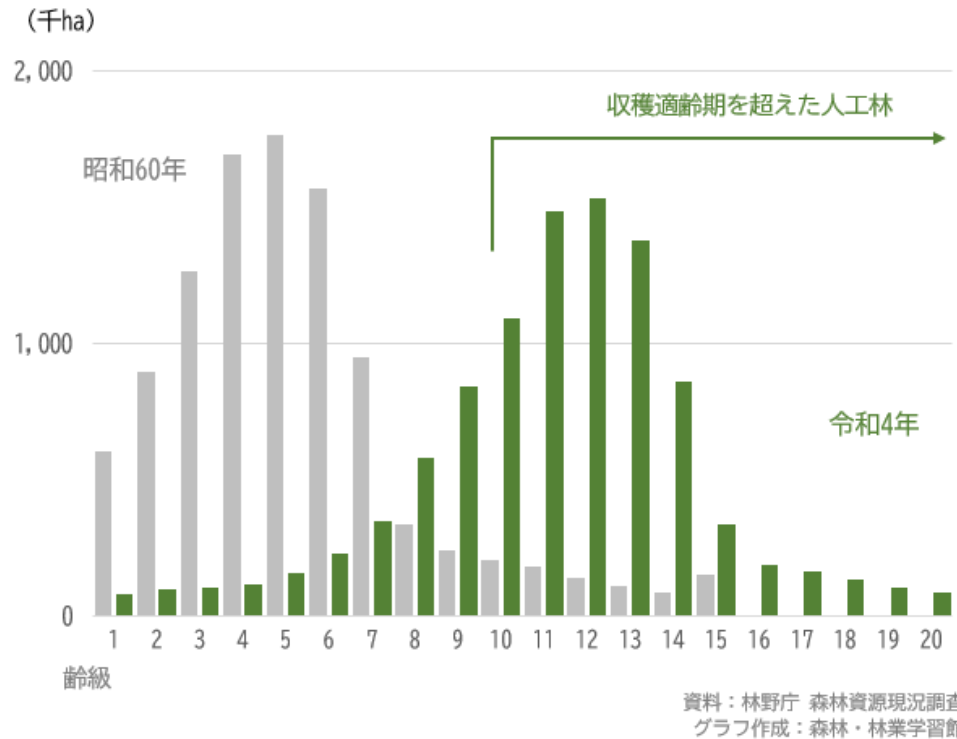
https://www.shinrin-ringyou.com/forest_japan/koutai.php

自国の森林資源に対する年間伐採量



林野庁「森林・林業白書」をもとに作成
(C) 森林・林業学習館

人工林の齢級別面積



資料：林野庁 森林資源現況調査
グラフ作成：森林・林業学習館

二酸化炭素

回収できないCO₂

炭素循環に
組み込むべき/組み込み得るCO₂

農業・畜産

畜産

農業機械・肥料等

セメント

約630万t-C/年

ブルー水素

農業・森林・
その他土地利用

農業機械・肥料等

鉄鋼*

約3,500万t-C/年

燃焼排ガス

輸送

航空（ジェット燃料）

自動車・二輪（e-fuel）

船舶

廃棄物

DAC

家庭

暖房

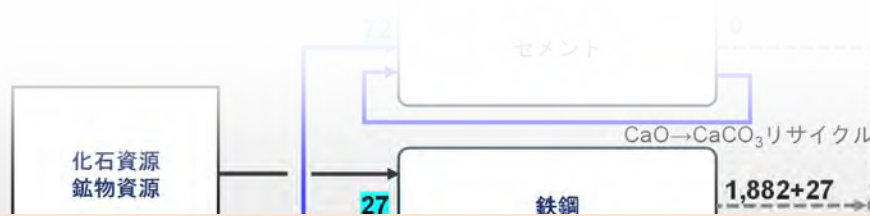
ガスコンロ

化学プロセス

バイオマス発電

発酵CO₂

*https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/chikyu_kankyo/tekko_wg/pdf/2020_001_04_01.pdf



□ エネルギー：脱化石資源を前提とし、生産に必要な電気・熱に係る炭素は考慮しない

□ 化石資源・鉱物資源

セメント原料 CaCO_3 、鉄鋼高炉還元剤Cのみ残す

□ 森林バイオマス

国内

C吸収量 5,000万t-C/年（立木、海洋）

C蓄積量 2,000万t-C/年（人工林）

海外からの輸入 ネットゼロ前提/前提せず

木造建

下貯留
塩固定



□ ものづくり

生産量 セメント、鉄鋼は公開推定値
化学は維持
紙は-40%、段ボール等板紙は維持
(液体燃料は根拠に基づき推定)

消費量 人口減 (-16%) に併せて減少

廃棄量 人口減 (-16%) に併せて減少

Recycle セメントは一部
→recycleされない分はコンクリート
吸収などで固定化
化学は80%
→recycleされない分はCO₂排出
パルプ産業による黒液は化学産業

想定する炭素循環のケース

	国内バイオマス利用	CO ₂ 利用
ケース1 国内森林バイオマス素材 優先活用	素材を優先し、余剰分を 発電に利用	化学産業起因はCCU
ケース2 国内森林バイオマス発電 優先活用	発電を優先 素材には用いない	プラ等リサイクルで足 りない分はすべてCCU
ケース3 海外サステナブル輸入木 材活用	素材のみ利用 （発電は海外）	—
ケース4 海外非サステナブル木材 活用・CCSオフセット	素材のみ利用 （発電は海外）	—
ケース5 国内森林バイオマス抑制	プラ等リサイクルおよび CCUで足りない分を素材 に利用 （発電は海外）	化学産業起因はCCU

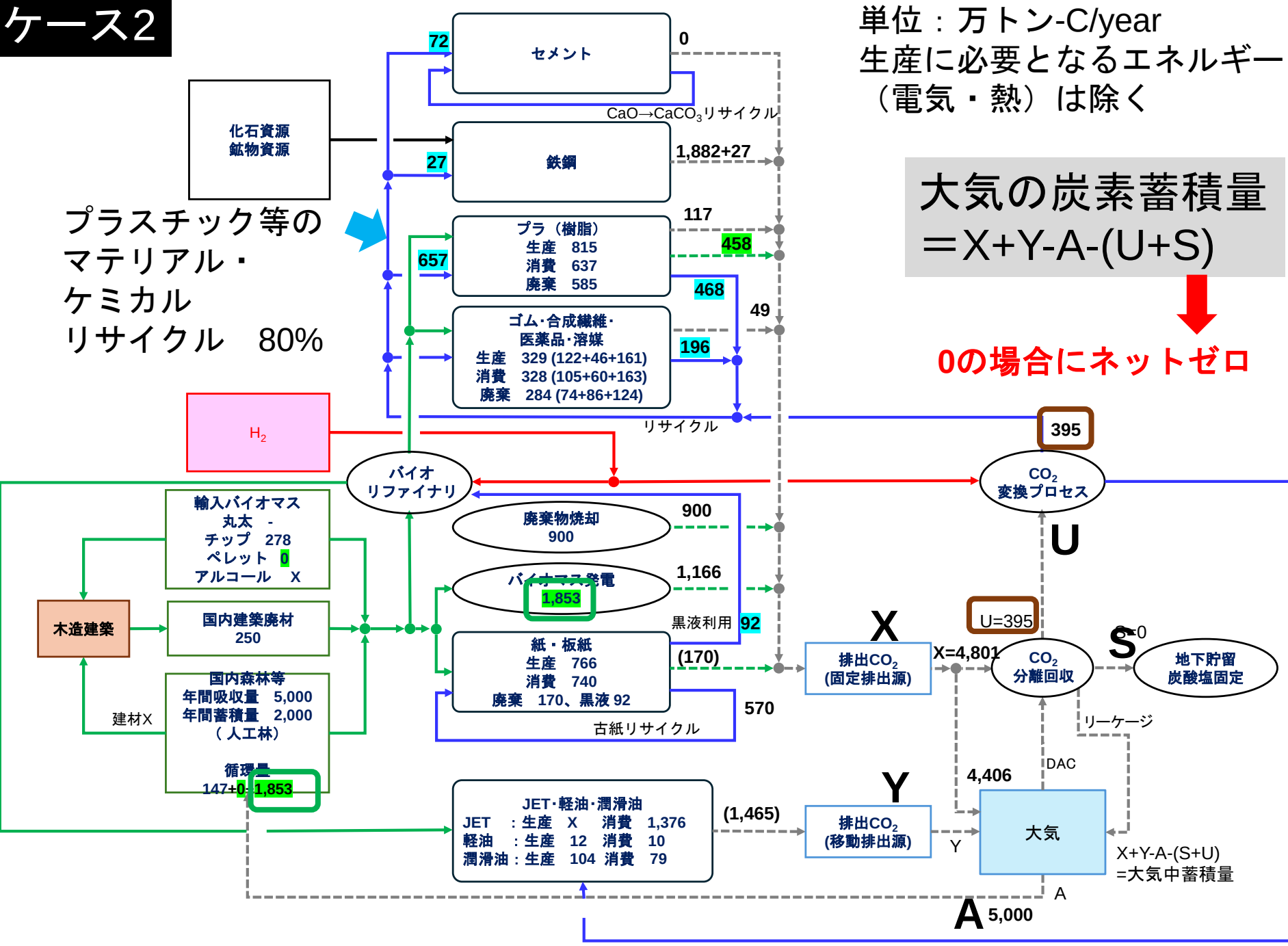
想定する炭素循環のケース

	国内バイオマス利用	CO ₂ 利用
ケース1 国内森林バイオマス素材 優先活用	素材を優先し、余剰分を 発電に利用	化学産業起因はCCU
ケース2 国内森林バイオマス発電 優先活用	発電を優先 素材には用いない	プラ等リサイクルで足 りない分はすべてCCU
ケース3 海外サステナブル輸入木 材活用	素材のみ利用 (発電は海外)	—
ケース4 海外非サステナブル木材 活用・CCSオフセット	素材のみ利用 (発電は海外)	—
ケース5 国内森林バイオマス抑制	プラ等リサイクルおよび CCUで足りない分を素材 に利用 (発電は海外)	化学産業起因はCCU

ケース2

単位：万トン-C/year
生産に必要なエネルギー
（電気・熱）は除く

プラスチック等の
マテリアル・
ケミカル
リサイクル 80%



想定する炭素循環のケース

	国内バイオマス利用	CO ₂ 利用
ケース1 国内森林バイオマス素材 優先活用	素材を優先し、余剰分を 発電に利用	化学産業起因はCCU
ケース2 国内森林バイオマス発電 優先活用	発電を優先 素材には用いない	プラ等リサイクルで足 りない分はすべてCCU
ケース3 海外サステナブル輸入木 材活用	素材のみ利用 (発電は海外)	—
ケース4 海外非サステナブル木材 活用・CCSオフセット	素材のみ利用 (発電は海外)	—
ケース5 国内森林バイオマス抑制	プラ等リサイクルおよび CCUで足りない分を素材 に利用 (発電は海外)	化学産業起因はCCU

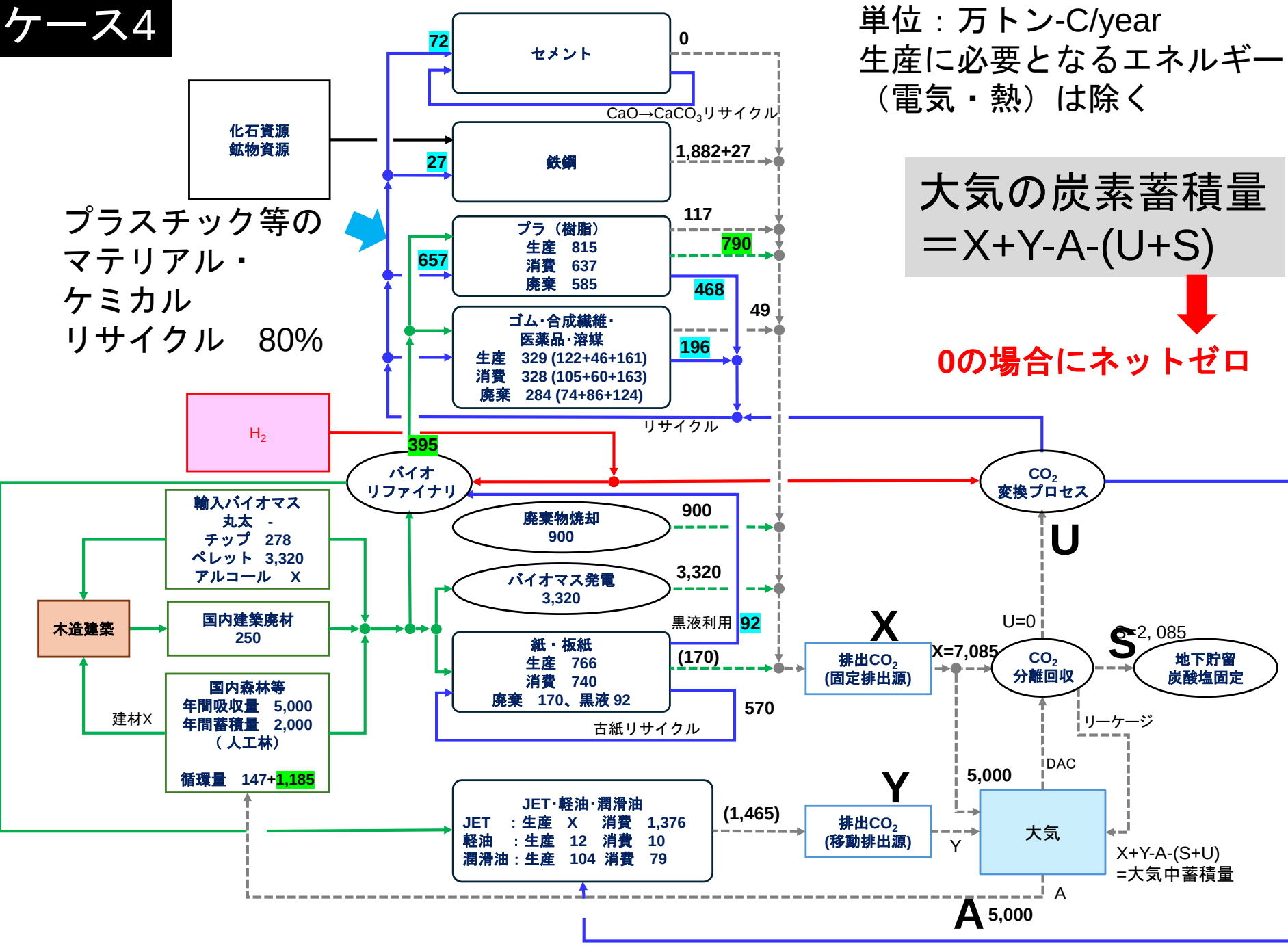
想定する炭素循環のケース

	国内バイオマス利用	CO ₂ 利用
ケース1 国内森林バイオマス素材 優先活用	素材を優先し、余剰分を 発電に利用	化学産業起因はCCU
ケース2 国内森林バイオマス発電 優先活用	発電を優先 素材には用いない	プラ等リサイクルで足 りない分はすべてCCU
ケース3 海外サステナブル輸入木 材活用	素材のみ利用 (発電は海外)	—
ケース4 海外非サステナブル木材 活用・CCSオフセット	素材のみ利用 (発電は海外)	—
ケース5 国内森林バイオマス抑制	プラ等リサイクルおよび CCUで足りない分を素材 に利用 (発電は海外)	化学産業起因はCCU

ケース4

単位：万トン-C/year
生産に必要なエネルギー
（電気・熱）は除く

プラスチック等の
マテリアル・
ケミカル
リサイクル 80%



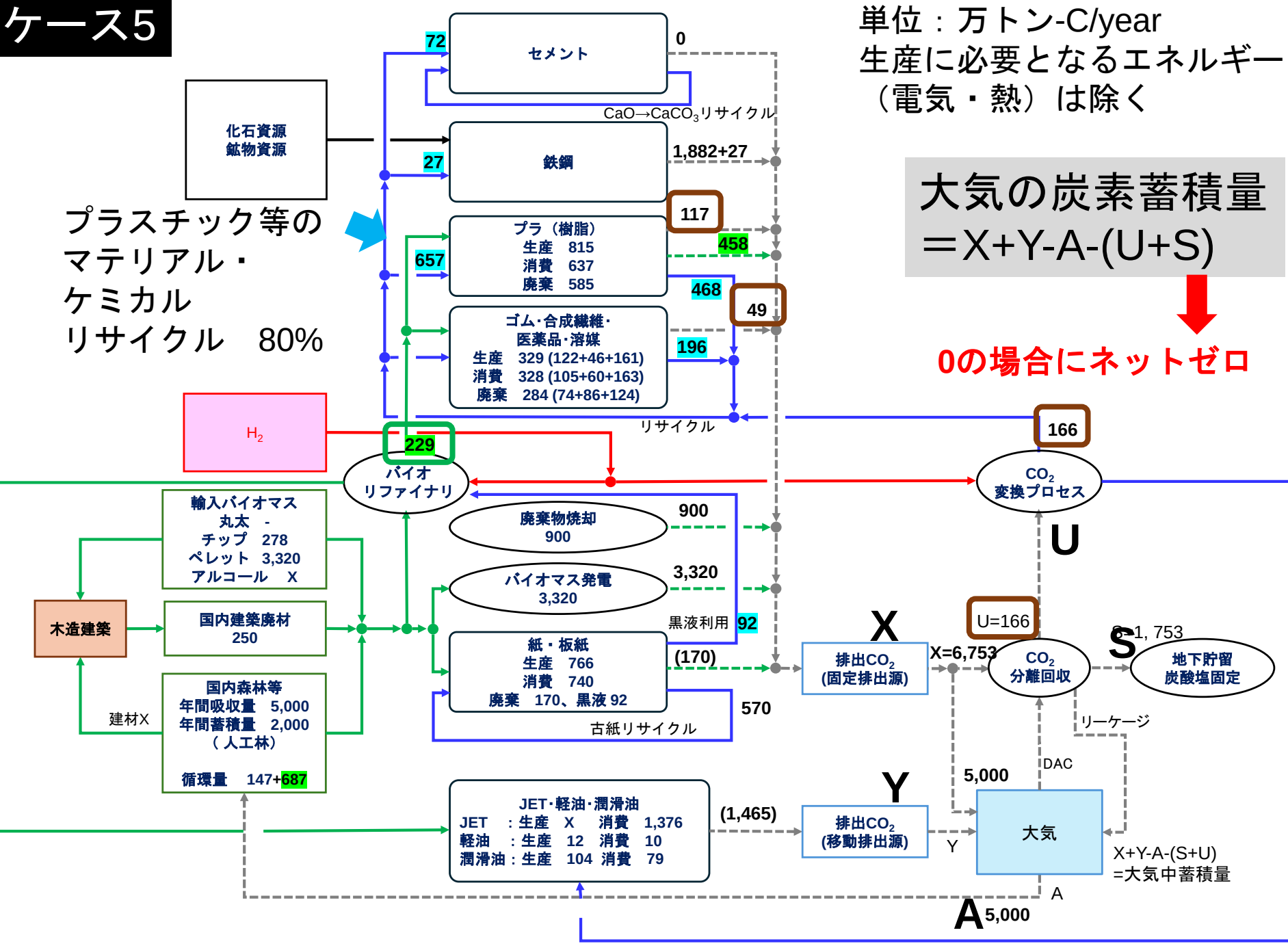
想定する炭素循環のケース

	国内バイオマス利用	CO ₂ 利用
ケース1 国内森林バイオマス素材 優先活用	素材を優先し、余剰分を 発電に利用	化学産業起因はCCU
ケース2 国内森林バイオマス発電 優先活用	発電を優先 素材には用いない	プラ等リサイクルで足 りない分はすべてCCU
ケース3 海外サステナブル輸入木 材活用	素材のみ利用 (発電は海外)	—
ケース4 海外非サステナブル木材 活用・CCSオフセット	素材のみ利用 (発電は海外)	—
ケース5 国内森林バイオマス抑制	プラ等リサイクルおよび CCUで足りない分を素材 に利用 (発電は海外)	化学産業起因はCCU

ケース5

単位：万トン-C/year
生産に必要なエネルギー
（電気・熱）は除く

プラスチック等の
マテリアル・
ケミカル
リサイクル 80%



各ケースのまとめ

	炭素源（万t-C/年）					必要 水素量 （万t- H ₂ /年）	CCS すべき CO ₂ （万t- C/年）
	廃プラ スチッ ク等	黒液	CO ₂	国内森林 バイオマス			
				化学	発電		
1	657	92	166	687	1,166	137	0
2	657	92	395	0	1,853	213	0
3	657	92	0	1,185	0	81	0
4	657	92	0	1,185	0	81	2,085
5	657	92	166	687	0	137	1,753

炭素自立実現に向けた課題と論点

◆ 炭素種類に合わせた技術開発

◆ 供給ポテンシャル

廃棄物

静脈産業と動脈産業の連携

森林バイオマス

木の成長速度に鑑みた伐採・植林

CO₂

莫大なエネルギーと水素

◆ 地域（空間的）ギャップ

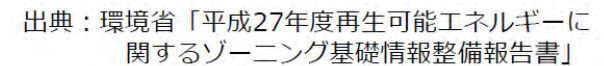
供給源と生産場所の不一致

→どの形でどのように運搬するか

◆ 経済的ギャップ

社会システム全体としての総コストの観点から設計

中小水力発電（河川部）



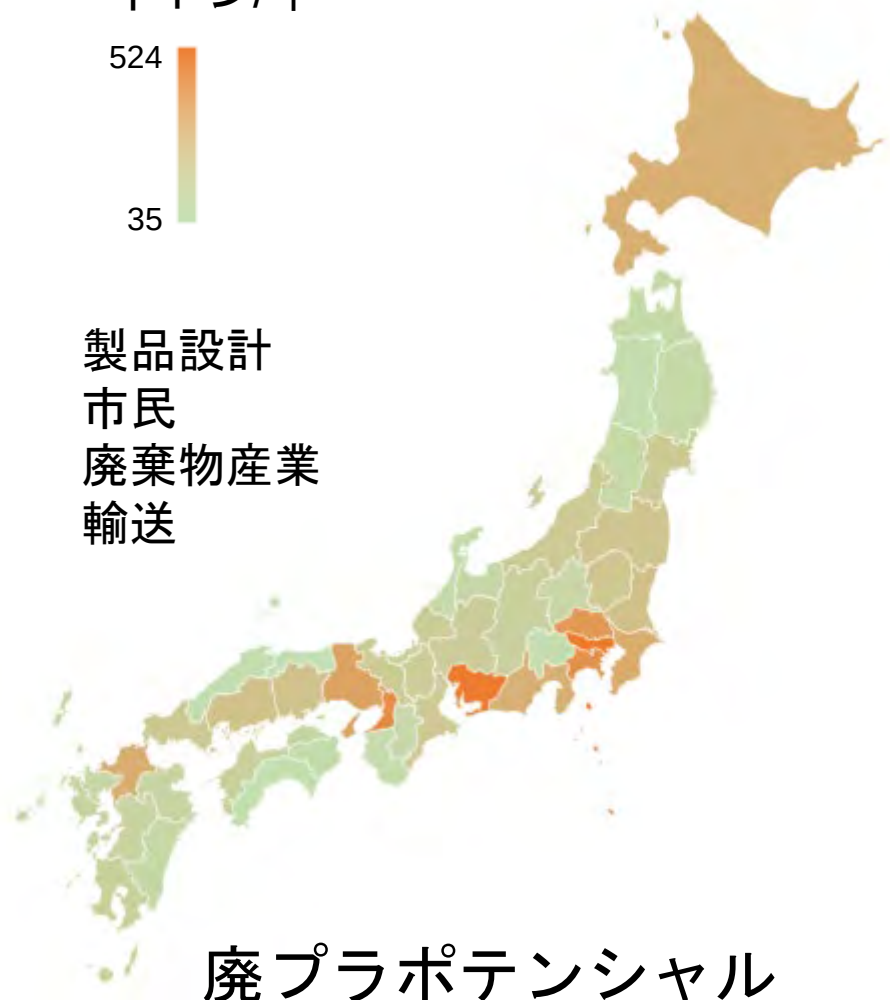
都道府県別炭素源ポテンシャル

千トン/年

524

35

製品設計
市民
廃棄物産業
輸送



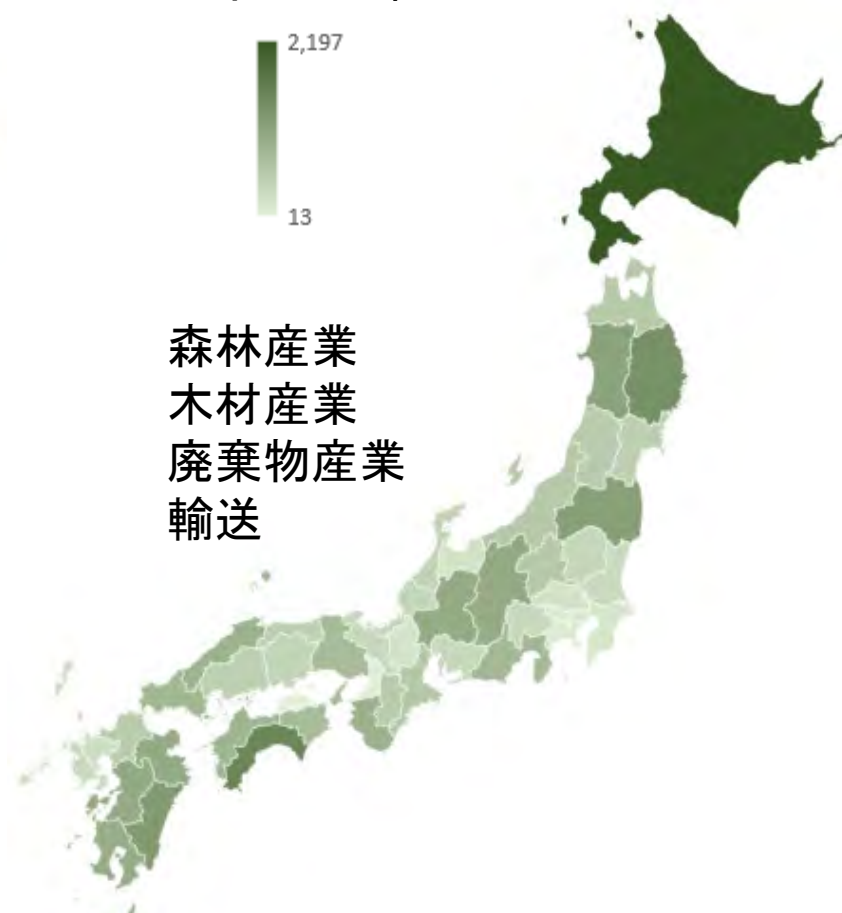
廃プラポテンシャル
(一般＋産業廃棄物)

千トン/年

2,197

13

森林産業
木材産業
廃棄物産業
輸送



バイオマス供給ポテンシャル
(乾燥ベース重量)

都道府県別炭素源ポテンシャル

千トン/年



鉄鋼（高炉）
廃プラ利用
CCU
輸送（配管）

高炉由来CO₂

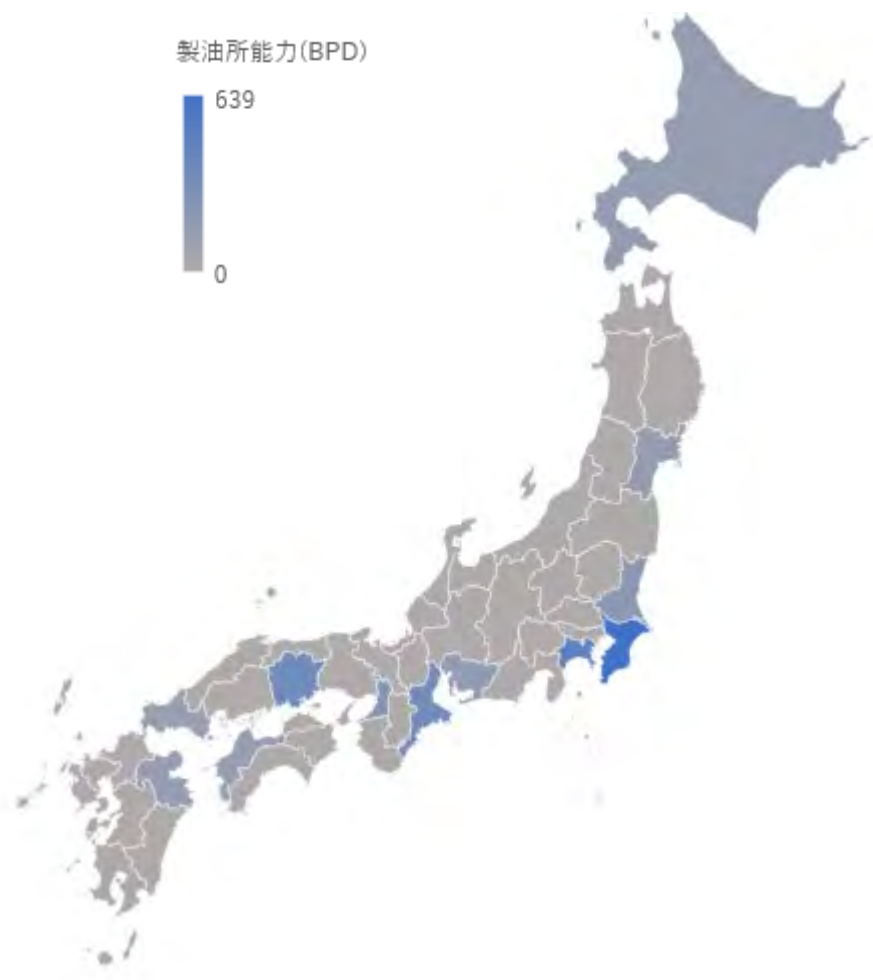
千トン/年



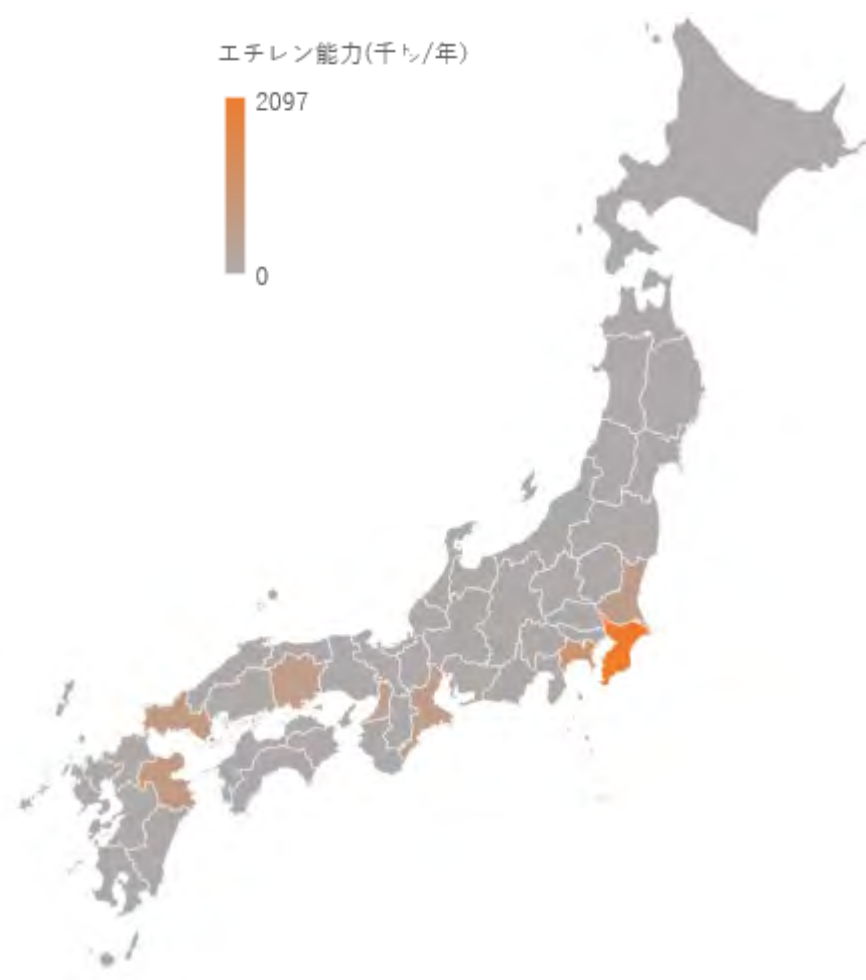
セメント産業
廃プラ利用
輸送（配管）

セメント由来CO₂

既存炭化水素産業ポテンシャル



製油所処理能力



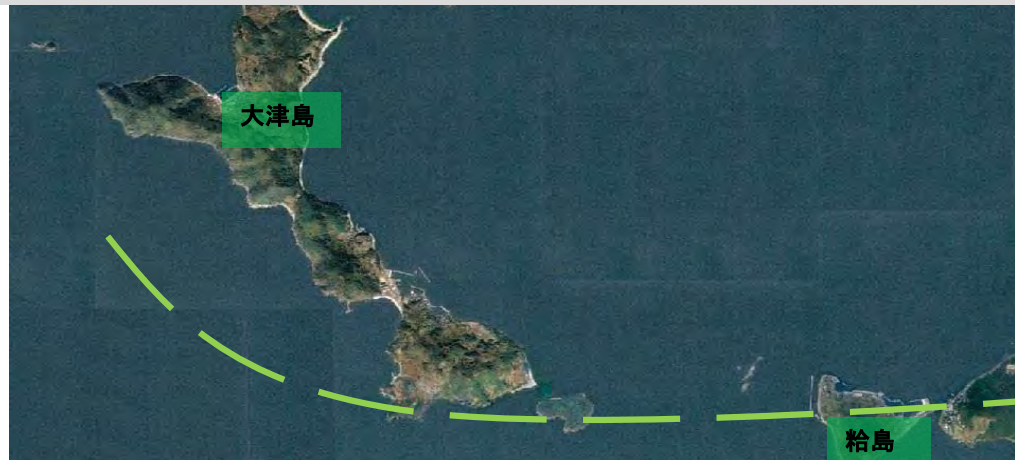
エチレン生産能力

化学工学会の地域連携の取組事例

化学の日パネルディスカッション資料より抜粋



自家発電が石炭火力
苛性ソーダを軸とする無機化学とオレフィン系の有機化学が融合
石油化学・ソーダ・セメント・ゴム・鉄鋼などの多彩な素材型産業が集積
副生水素がある
中国地方には森林資源が豊富



工学的なモデル
地域産業政策的なモデル
連携体制構築のモデル
として確立
→日本、そして世界に展開

周南コンビナート脱炭素推進協議会

周南コンビナート脱炭素推進協議会（2022.1～）

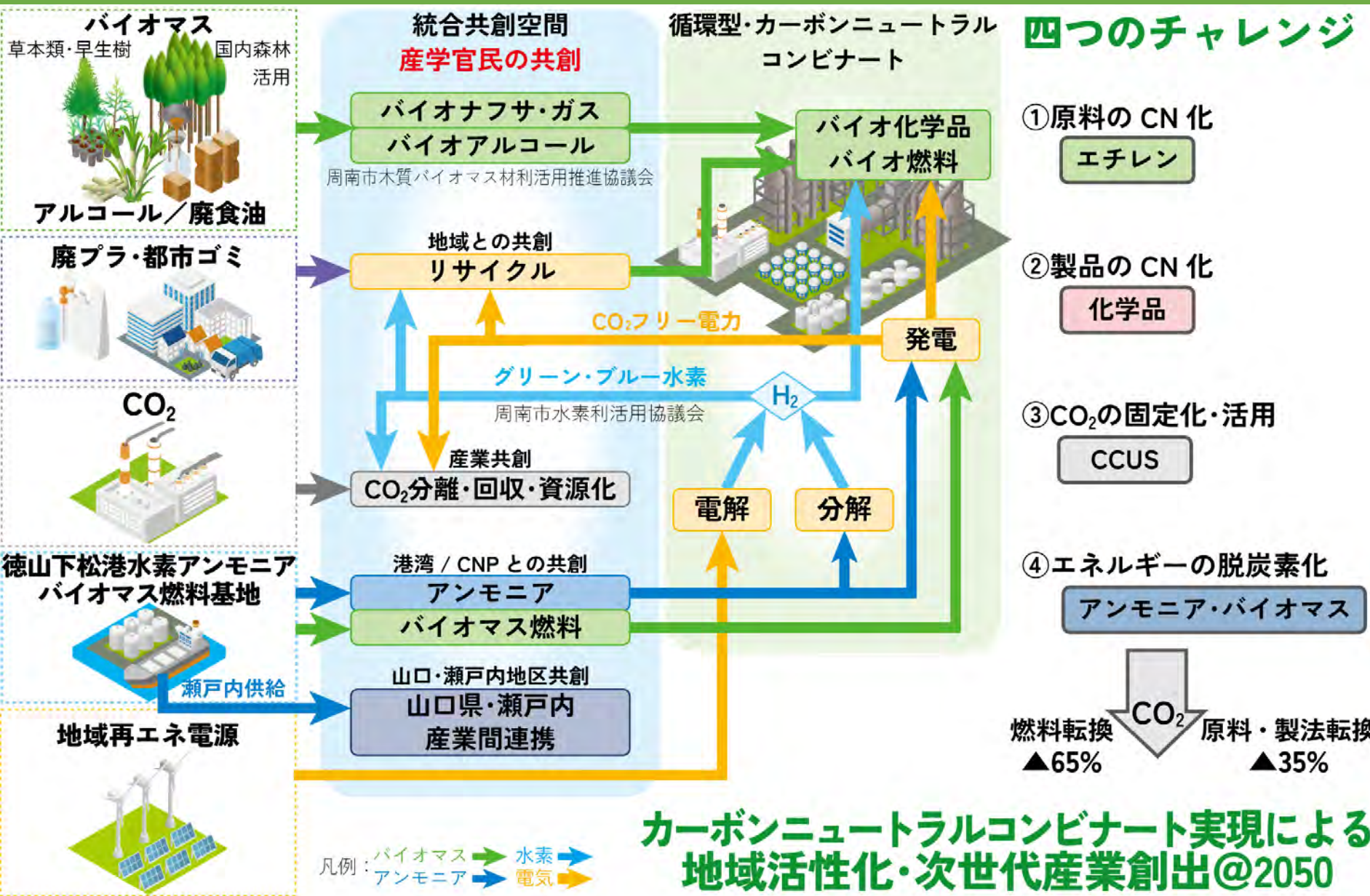
- 構成員** 出光興産、東ソー、トクヤマ、日鉄ステンレス、日本ゼオン、化学工学会、周南市
オブザーバー 経済産業省、国土交通省、環境省、林野庁、山口県、有識者
具体的な取組 周南コンビナートのグランドデザイン、バックキャストによるロードマップ策定
 企業間連携による推進体制の構築、技術研究開発、実証事業
 既存施設、産業インフラ、資源の有効活用、国・県への支援要望、政策提案等
 市民と共に考えるシンポジウム開催



周南コンビナートのカーボンニュートラル化実現による
 地域活性化と次世代産業創出

周南カーボンニュートラルコンビナート構想 (未来共創センター化)

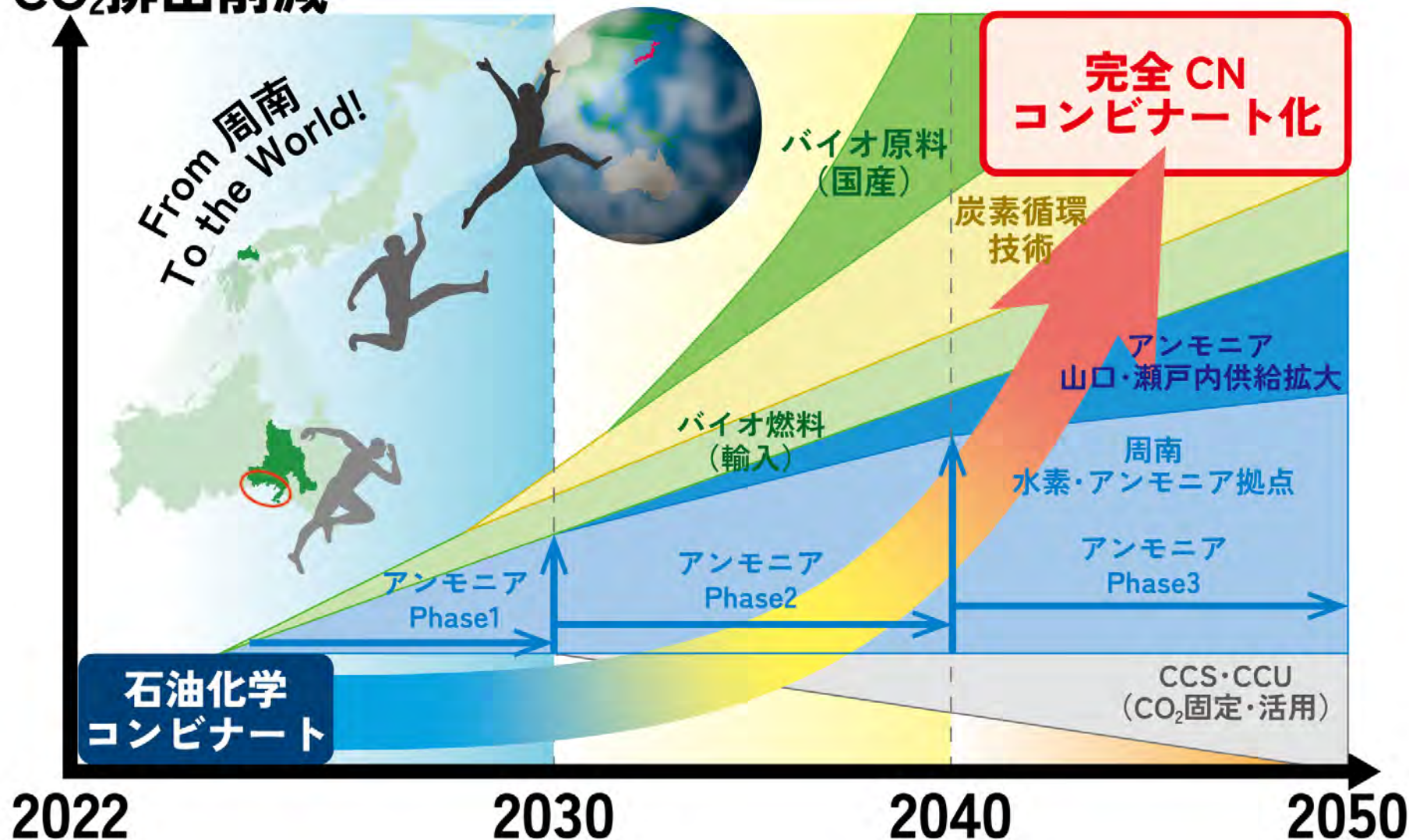
©周南コンビナート脱炭素推進協議会



周南コンビナートカーボンニュートラルロードマップ

©周南コンビナート脱炭素推進協議会

CO₂排出削減



北海道のパテンシャル

- ・ 国内有数の貨物取扱量を誇る港湾と空の玄関
新千歳空港のダブルポートを有する
- ・ 製紙、自動車部品、石油精製/備蓄、製鉄、
セメントに加え、近年は
半導体、データセンターの誘致が進む
- ・ 国内屈指の第一次産業

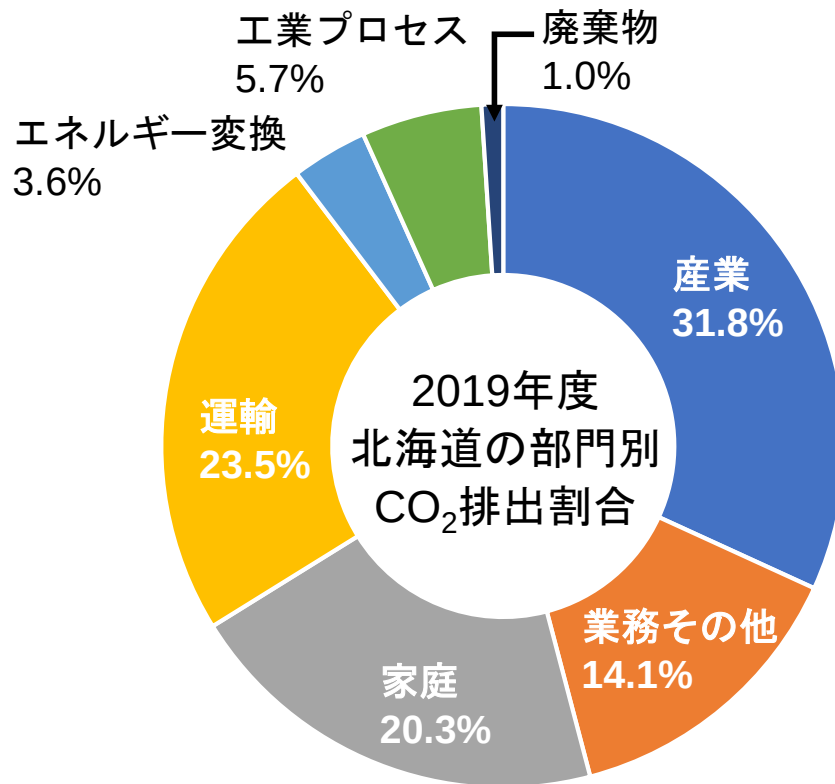


苫小牧の特徴

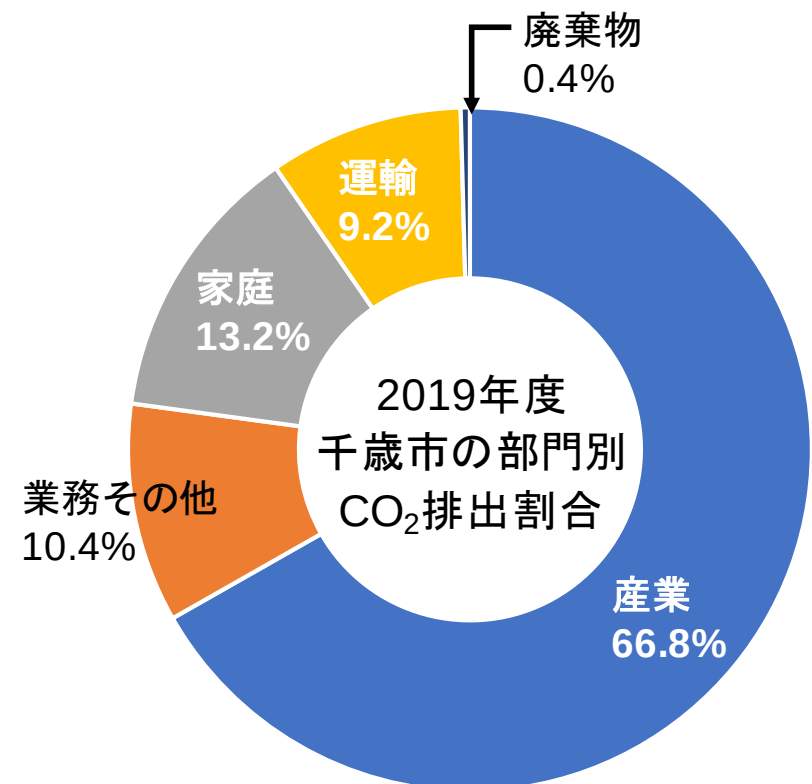
再エネ+原発
バイオマス資源
を利用した

- 1) 水素・e-fuel拠点
- 2) 基礎化学品原料拠点
- 3) 陸・海・空の物流拠点

Think Locally, Act Globally



北海道における温室効果ガス排出量の状況と北海道地球温暖化対策推進計画に基づく令和3(2021)年度の施策等の実施状況報告書(2023年3月一部修正)
https://www.pref.hokkaido.lg.jp/kz/tot/keikau_jyoukyou.html



2019年度千歳市CO₂排出量(環境省自治体排出カルテより作図)
https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/tools/karte.html

北海道の再生エネ導入ポテンシャル

出典：環境省 自治体排出カルテより
 (https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/tools/karte.html)

再エネ導入
ポテンシャル(GWh)

1,200,000

1,000,000

800,000

600,000

400,000

200,000

0

再エネ種別	設備容量 [GW]	発電電力量 [GWh]	ポテンシャル [億MJ]
太陽光発電	360	438,000	15,760
風力発電（陸上）	247	636,000	22,900
中小水力発電	1	5,000	190
地熱発電	2	14,000	510
合計	610	1,093,000	41,640

北海道

岩手県

青森県

福島県

秋田県

鹿児島県

長野県

山形県

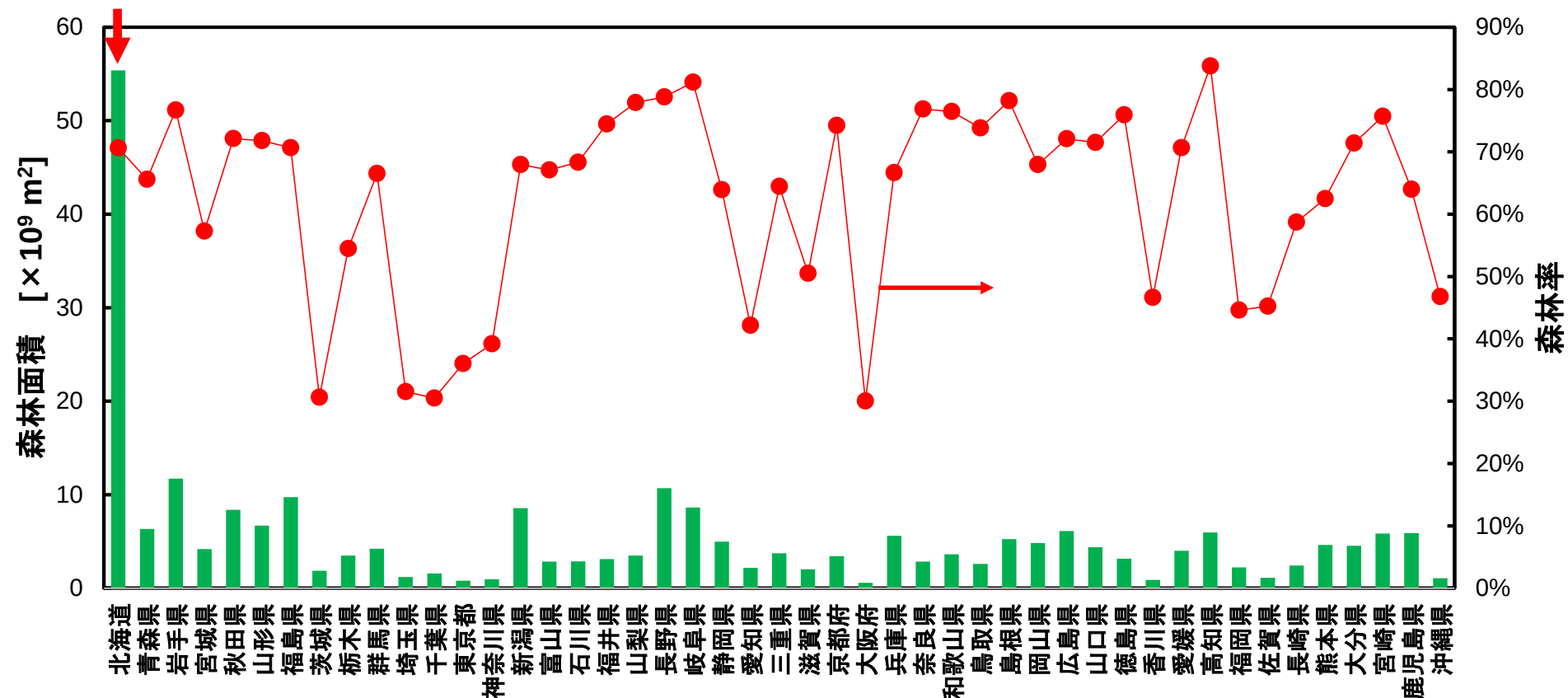
宮城県

新潟県

都道府県別森林面積

<https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/genkyou/h29/1.html>

北海道



バイオマス廃棄物

「バイオマスの活用の推進」

<https://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/>

バイオマスの種類		現在の年間発生量（※2）	現在の利用率	2030年の目標
廃棄物系	家畜排せつ物	約 8,000 万トン	約 86%	約 90%
	下水汚泥	約 7,900 万トン	約 75%	約 85%
	下水道バイオマスリサイクル（※3）	—	約 35%	約 50%
	黒液	約 1,200 万トン	約 100%	約 100%
	紙	約 2,500 万トン	約 80%	約 85%（※5）
	食品廃棄物等（※4）	約 2,400 万トン	約 58%	約 63%
	製材工場等残材	約 510 万トン	約 98%	約 98%
	建設発生木材	約 550 万トン	約 96%	約 96%
未利用系	農作物非食用部 （すき込みを除く。）	約 1,200 万トン	約 31%	約 45%
	林地残材	約 970 万トン	約 29%	約 33%以上

北海道家畜排泄物の現況

北海道家畜排せつ物利用促進計画

https://www.pref.hokkaido.lg.jp/fs/8/6/0/0/6/4/4/_/keikaku.pdf

（単位：万トン、％）

区 分	堆 肥	尿	スラリー	放牧	その他	計
利 用 量	1,241	149	343	110	55	1,898
割 合	65.4	7.9	18.0	5.8	2.9	100.0

カーボンニュートラル施策の影響検討 フレームの構築

50

日本学術会議第25期記録として公開
安全工学シンポジウム2022 OS-16-2

CN実現

原因・影響

実現できないリスク

原因1：社会的合意の未成立

原因2：産業の移行の課題が解決できない

原因3：技術開発に関する事項

原因4：個人の選択の問題

CN施策の達成がもたらすリスク

影響1：産業構造

影響2：エネルギー

影響3：炭素を主原材料とする産業

影響4：気候変動以外の環境影響

影響5：生活・地域・国・国際

影響6：気候変動抑制未達成

影響7：移行期間

人々・組織の安心感

正確な市民への情報発信、正しい安心感、社会受容性

1. 上記評価の正確な情報を適切な形で発信
2. ライフサイクルを通じた環境リスクを考慮した考え方の普及
「植物由来の製品を使えばいくら使って燃やしても大丈夫」
というような短絡的思考への懸念
3. 人や国によってリスクの視点・多寡も大きく異なることを
考慮した適切な安心感の評価

可視化

1. リスクの定量評価の可視化

技術各論・産業構造変革・社会構造変革が社会実装される際の
安全・安心・リスク評価を自分自身の問題として考える

ACT NOW !

2050年CNに向けて社会変革、産業変革
国際的な課題に対して
日本が世界をリード + 国内産業の活性化

プラスチックなど化学品のリサイクル率の向上
森林バイオマスを最大活用した素材の生産
CO₂の回収と利用および貯留の拡大

産業間の連携による必要な炭素資源を自立的に循環確保

産業間連携

地域内連携

技術力強化