

2024年4月17日(水)

バイオマス産業社会ネットワーク(BIN)第222回研究会

@地球環境パートナーシッププラザ オンラインハイブリッド



「一般廃棄物処理施設焼却熱の 産業用熱利用」

国立環境研究所 福島地域共同研究拠点

大西 悟



国立環境研究所
福島地域協働研究拠点

環境の“知”を、地域とともに。



<https://www.nies.go.jp/fukushima/magazine/research/202309.html>



▶ 本日の講演の着目点

I. 研究の概略紹介

II. 新たな補助線として

① 資源の効率性という視点

② 国土計画の視点

③ 対・巨大需要家の視点

III. 具体的な解決提案・研究紹介

① ライフサイクルCNと地域共生

② 現実的な課題

▶ 本日の講演の着目点

I. 研究の概略紹介

II. 新たな補助線として

- ① 資源の効率性という視点
- ② 国土計画の視点
- ③ 対・巨大需要家の視点

III. 具体的な解決提案・研究紹介

- ① ライフサイクルCNと地域共生
- ② 現実的な課題

▶ 専門分野の紹介

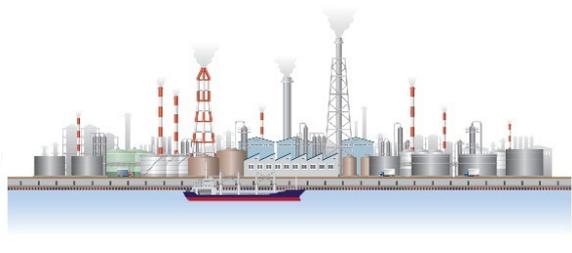
都市・産業共生 (Urban-Industrial Symbiosis);

「生態系の共生関係に倣った研究分野。都市と産業の複数主体が、**廃棄物・副産物／エネルギー／情報の交換**を実現する**社会システム**の研究 (大西ら,2014)」

自然／森林



産業／生産



都市／消費



地域循環共生圏

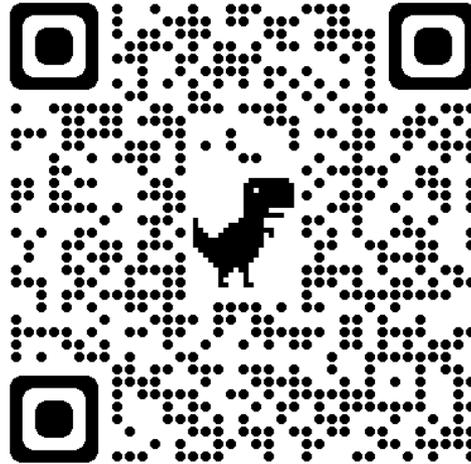
資源循環分野からの地域循環共生圏モデル（2050年に向けたイメージ図）



▶ 環境分野の支援スキーム

- 2021年～ 脱炭素先行地域
- 2018年～ SDGs未来都市
- 2013年～ バイオマス産業都市
- 2010年～ 環境未来都市
- 2008年～ 環境モデル都市
- 2004年～ バイオマスタウン
- 1997年～ エコタウン事業

▶ ライフサイクル思考の応用



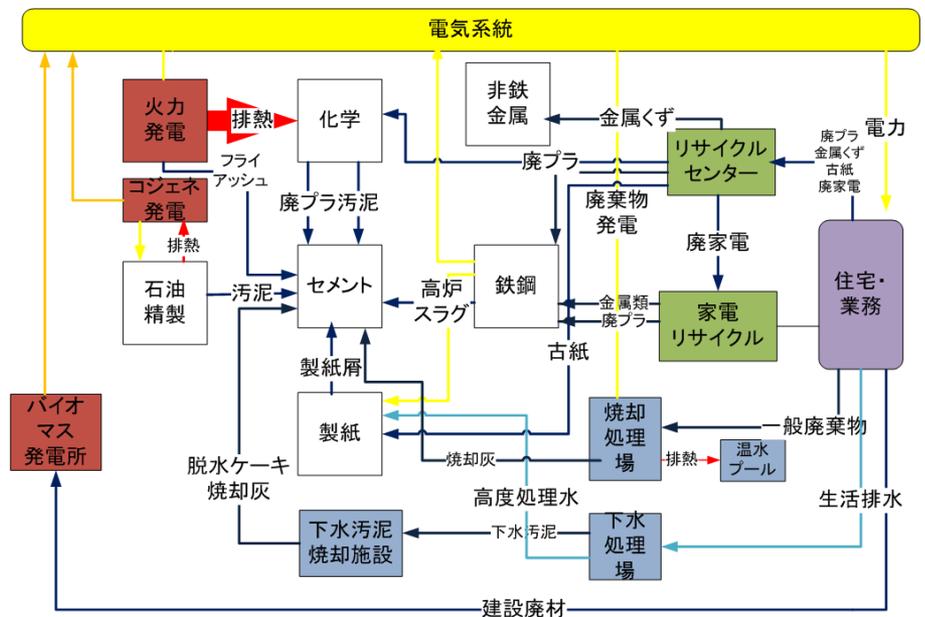
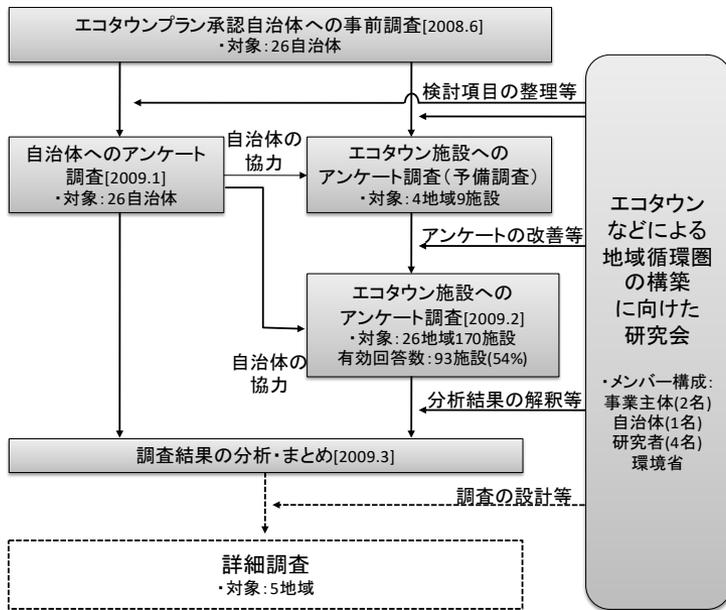
<https://www.jstage.jst.go.jp/browse/lca/17/4/contents/-char/ja>

- 情報技術・現場のデータを融合したオープンなインベントリ整備
- ライフサイクル・デザイン思考
- 地域の資本の蓄積と利用

(大西、2021)

情報技術・現場のデータを融合したオープンなイベントリ整備

- ・循環資源利用において、需要先との近接性が事業性を高める要因の一つ
- ・大規模な産業団地でも改善の余地があり、多様な業種は選択肢を増やす

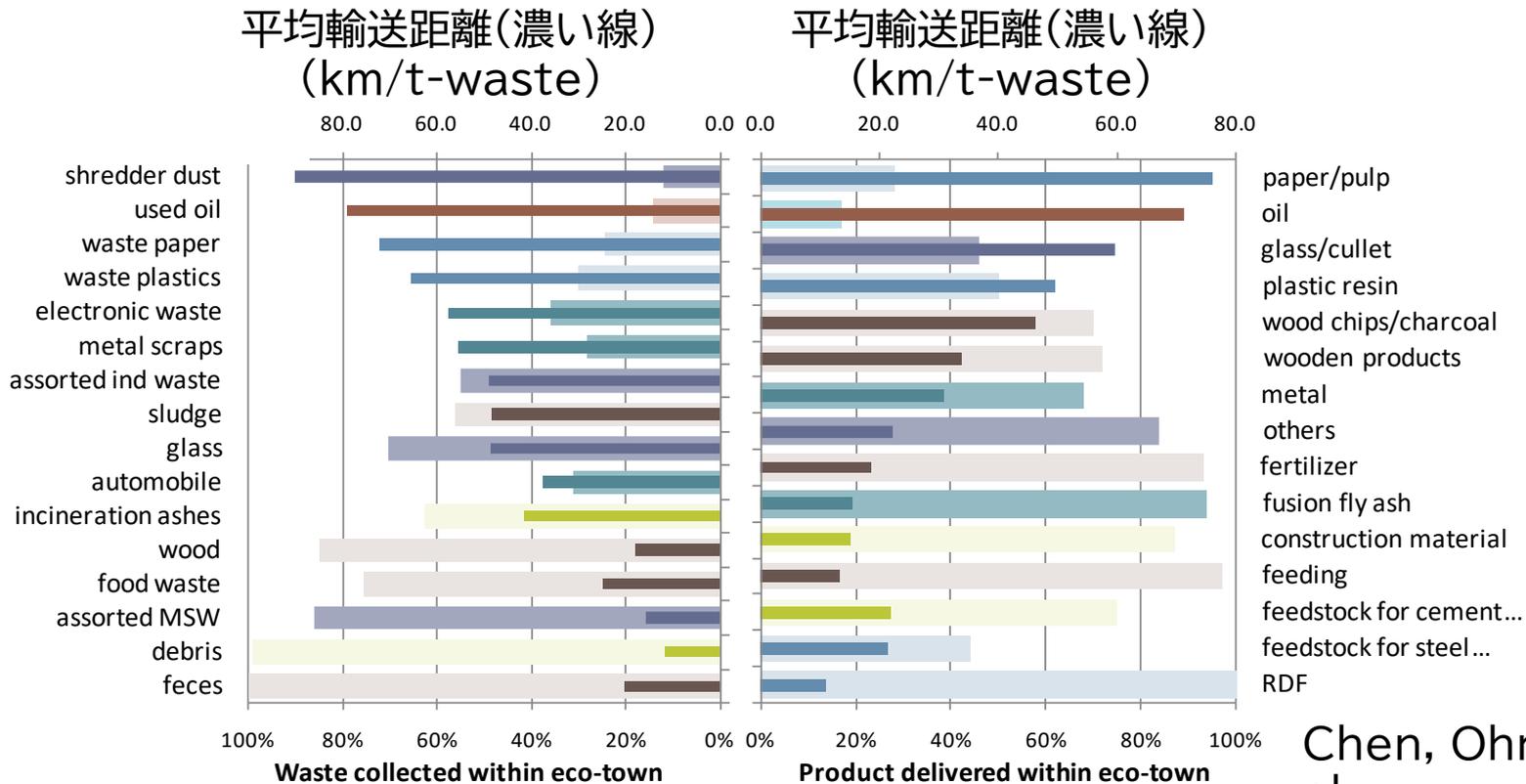


地域循環圏の構築にむけた研究のフレーム

(大西ら、2010、土木学会G、Ohnishi et al. 2012,大西、藤井ら(2014))

情報技術・現場のデータを融合したオープンなインベントリ整備

- ・循環圏は、種類により大きく異なる。
- ・総じて、市場性の高い循環資源は、広域循環が進み、循環圏が大きい。
- ・食品廃棄物や廃木材は、地域循環が進み、循環圏が小さい。



Chen, Ohnishi et al. (2012), Ohnishi et al. (2014)

地域調達率(薄い線)

地域供給率(薄い線)

▶ 本日の講演の着目点

I. 研究の概略紹介

II. 新たな補助線として

① 資源の効率性という視点

② 国土計画の視点

③ 対・巨大需要家の視点

III. 具体的な解決提案・研究紹介

① ライフサイクルCNと地域共生

② 現実的な課題

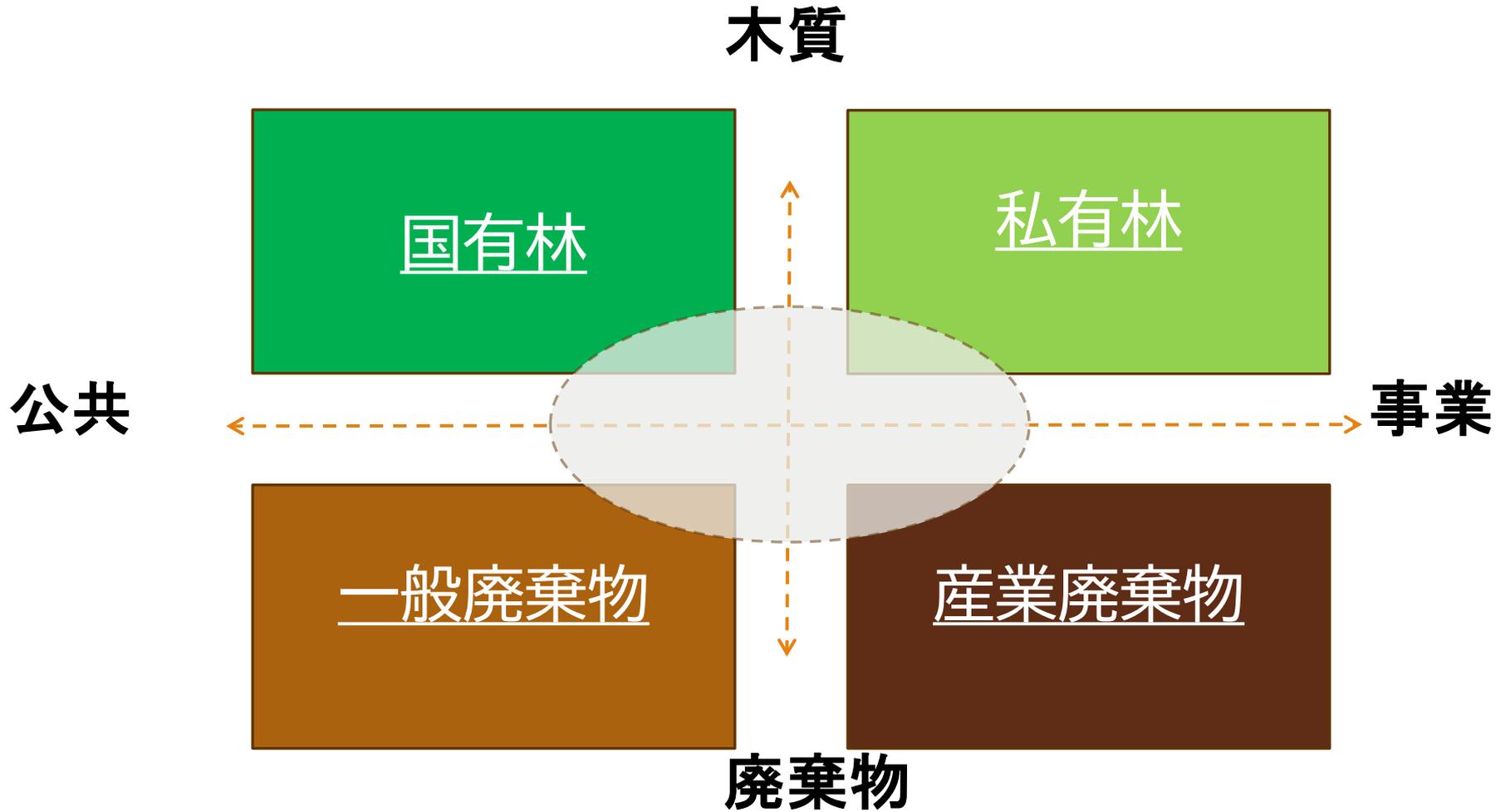
▶ II. 新たな補助線として

① 改めて、バイオマスの有効利用
→資源の効率性という視点

② 一般廃棄物政策の動向
→国土計画の視点

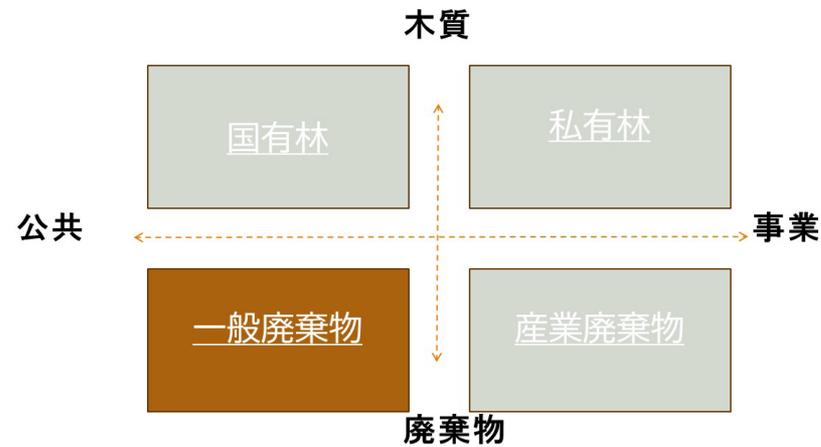
③産業部門のカーボンニュートラル
→対・巨大需要家の視点

▶ 「バイオマス」の特徴



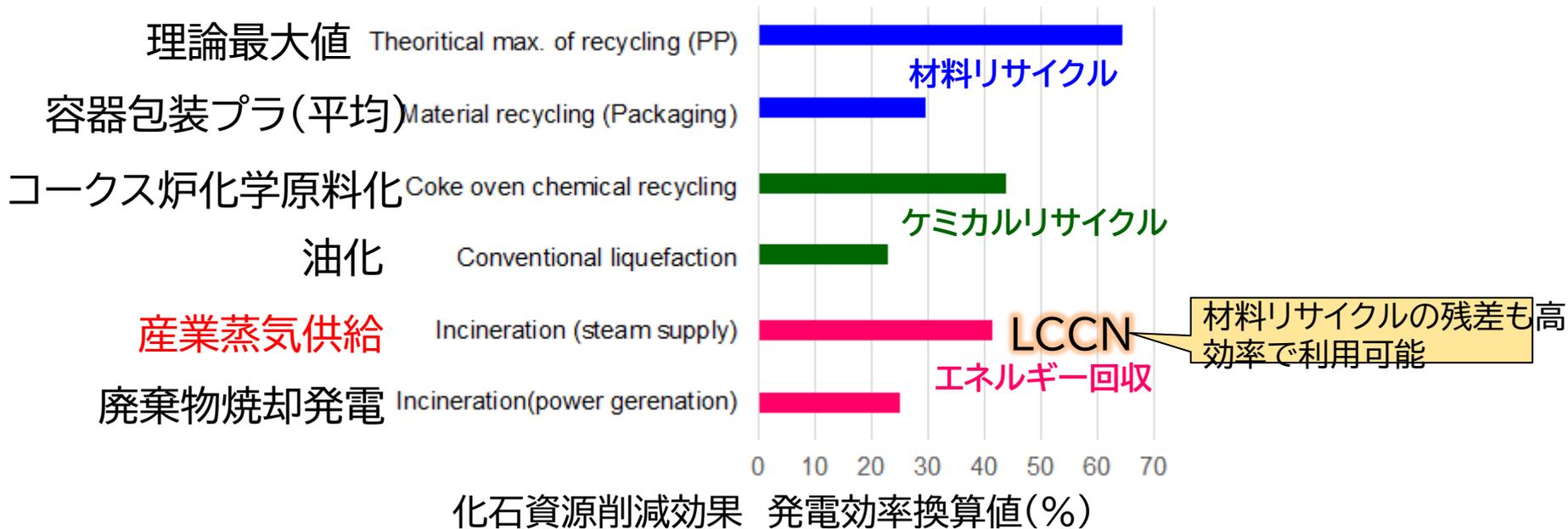
▶ 「一般廃棄物」の特徴

- 大目的が、「公衆衛生」。
- 収集運搬・施設整備は、公的資金。
- 概ね10GJ/tの低位発熱量。
- ただし、廃プラスチック:35GJ /t、厨芥:3.4GJ /t
- 自治体ごとに異なる処理計画。
- 自区内処理の原則は、緩和されつつある。



▶ 「廃プラスチック」リサイクルの効率

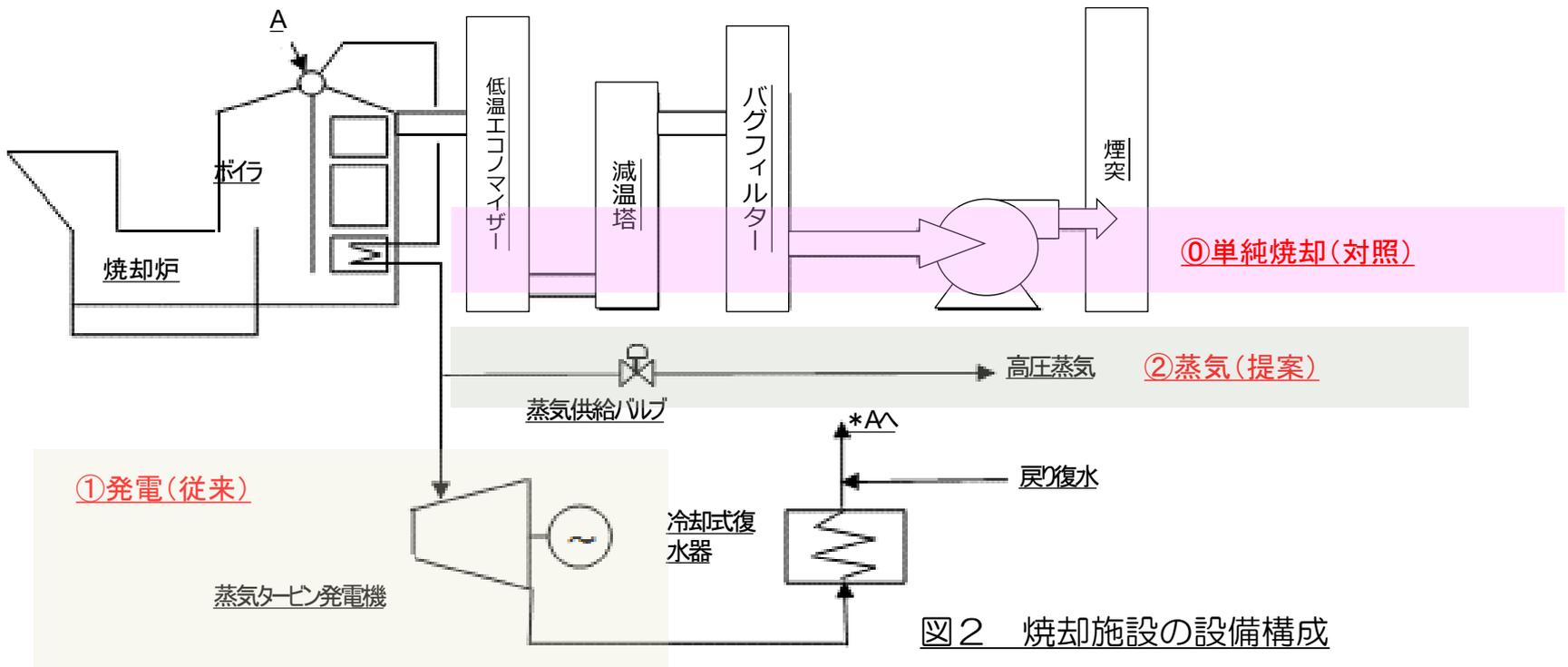
- 分別して材料リサイクルは、理想的には高効率。
ただし、全量できるわけではない。
- 現状は焼却発電が主。だが、効率には限界がある。



藤井、The author calculated based on the Report of Japan Containers and Packaging Recycling Association (2012)

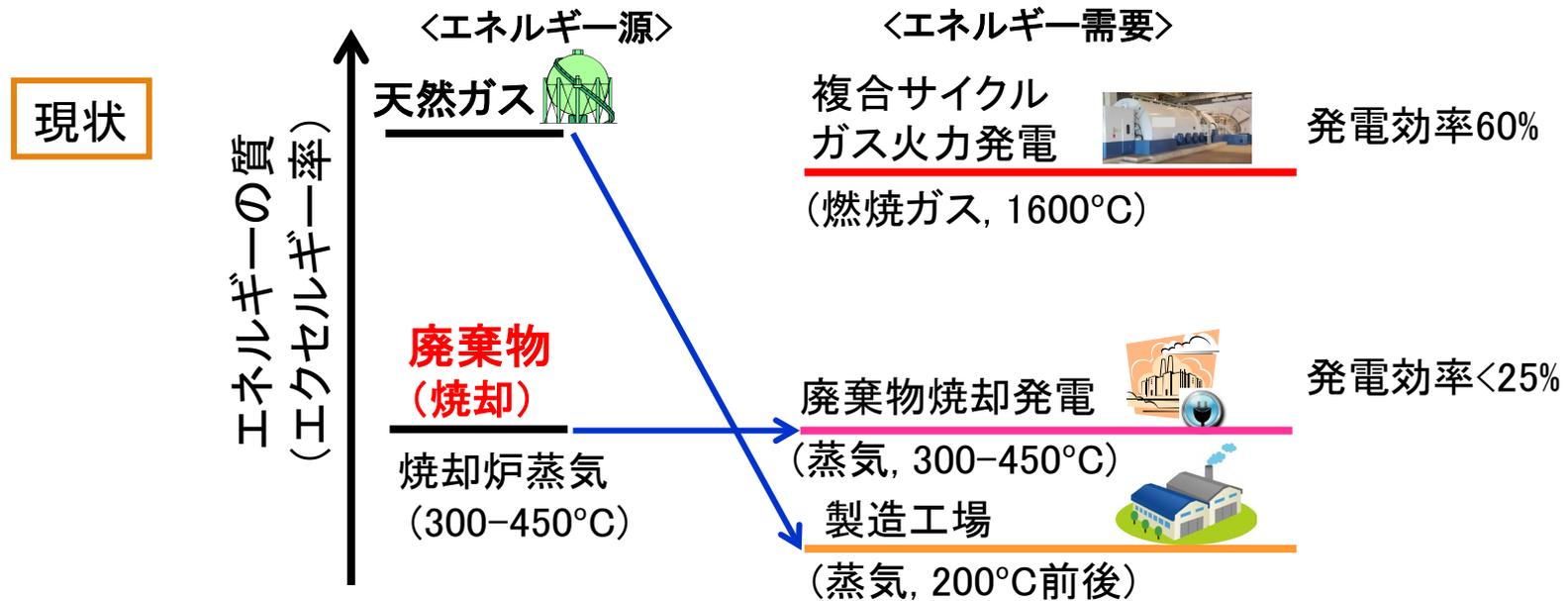
▶ 廃棄物発電の限界と産業利用の可能性

- 腐食の問題で、現状では、ボイラーで400℃、4.0MPa。
将来的にも500~550℃、6.0MPa
- 当然、タービンの発電効率は限界がある。
- ボイラーで回収した熱を熱のまま使うことが望ましい。



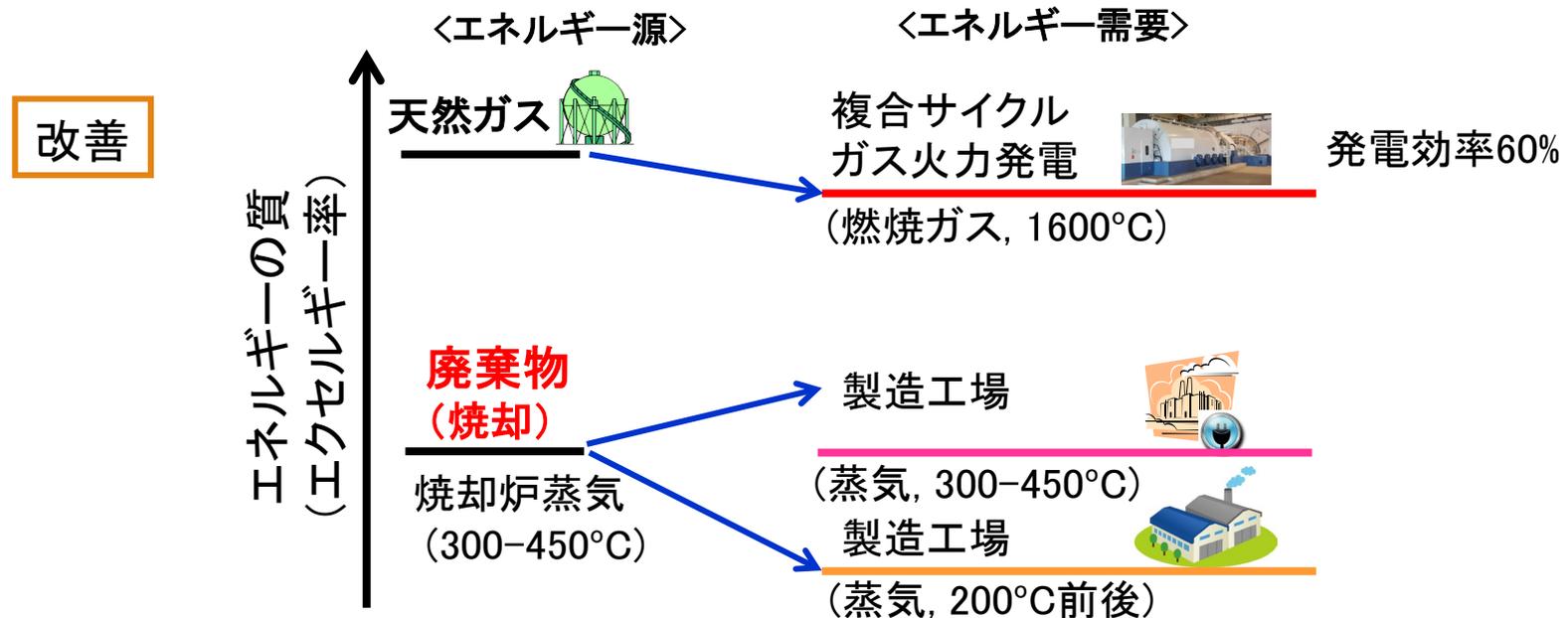
▶ 資源の特性に応じてバイオマス利用を考える

- 例えば、製造工場でガスボイラーを使っている場合を考える。
- 天然ガスは、発電効率60%程度を達成できるが、それを200°Cの蒸気に使ってしまった。
- 廃棄物の焼却発電は、25%以下の効率で発電効率。



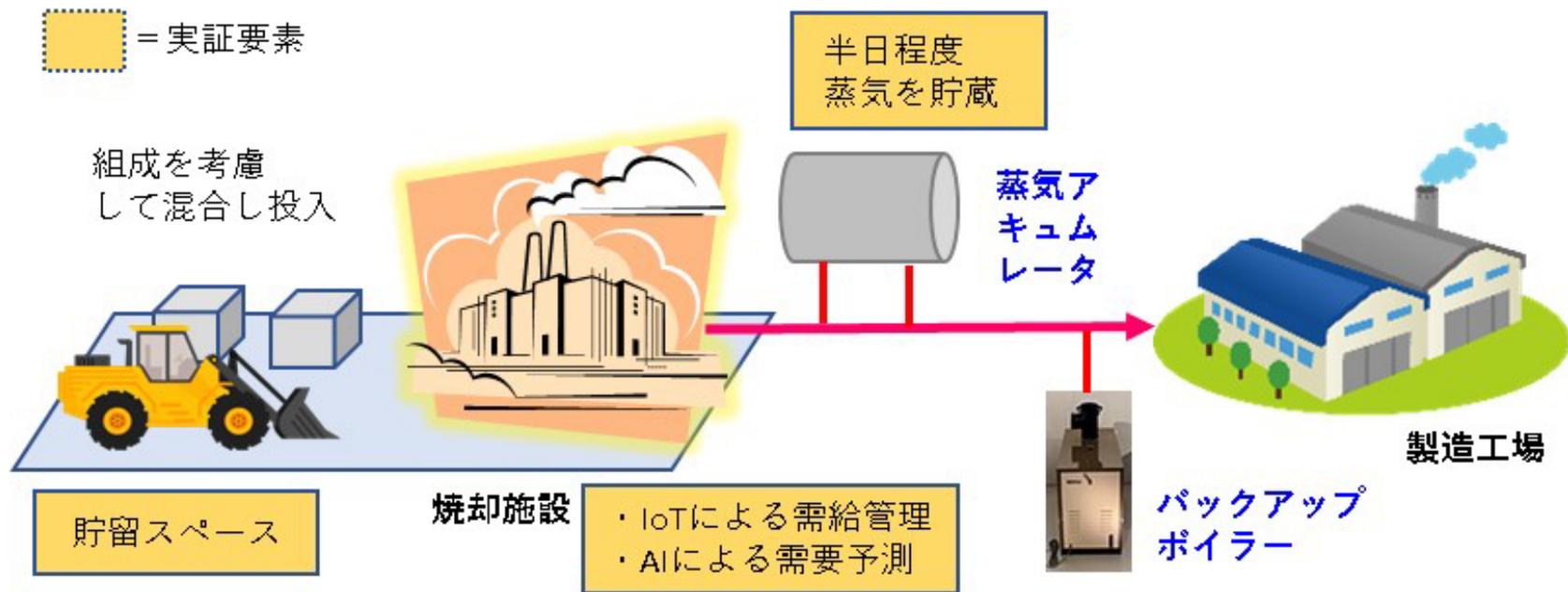
▶ 資源の特性に応じてバイオマス利用を考える

- 天然ガスは、効率60%程度で発電に利用。
- 廃棄物の焼却熱を産業の製造工場で利用。
- エクセルギーの観点から、資源・廃棄物の「適材適所」へ。



▶ 焼却熱の産業利用のモデル

- 配管設計含めて事業化検討、システム提案



廃棄物の高度な地域熱利用のための技術・社会システムに関する研究
(推進費3-1709)

▶ I. 新たな補助線として

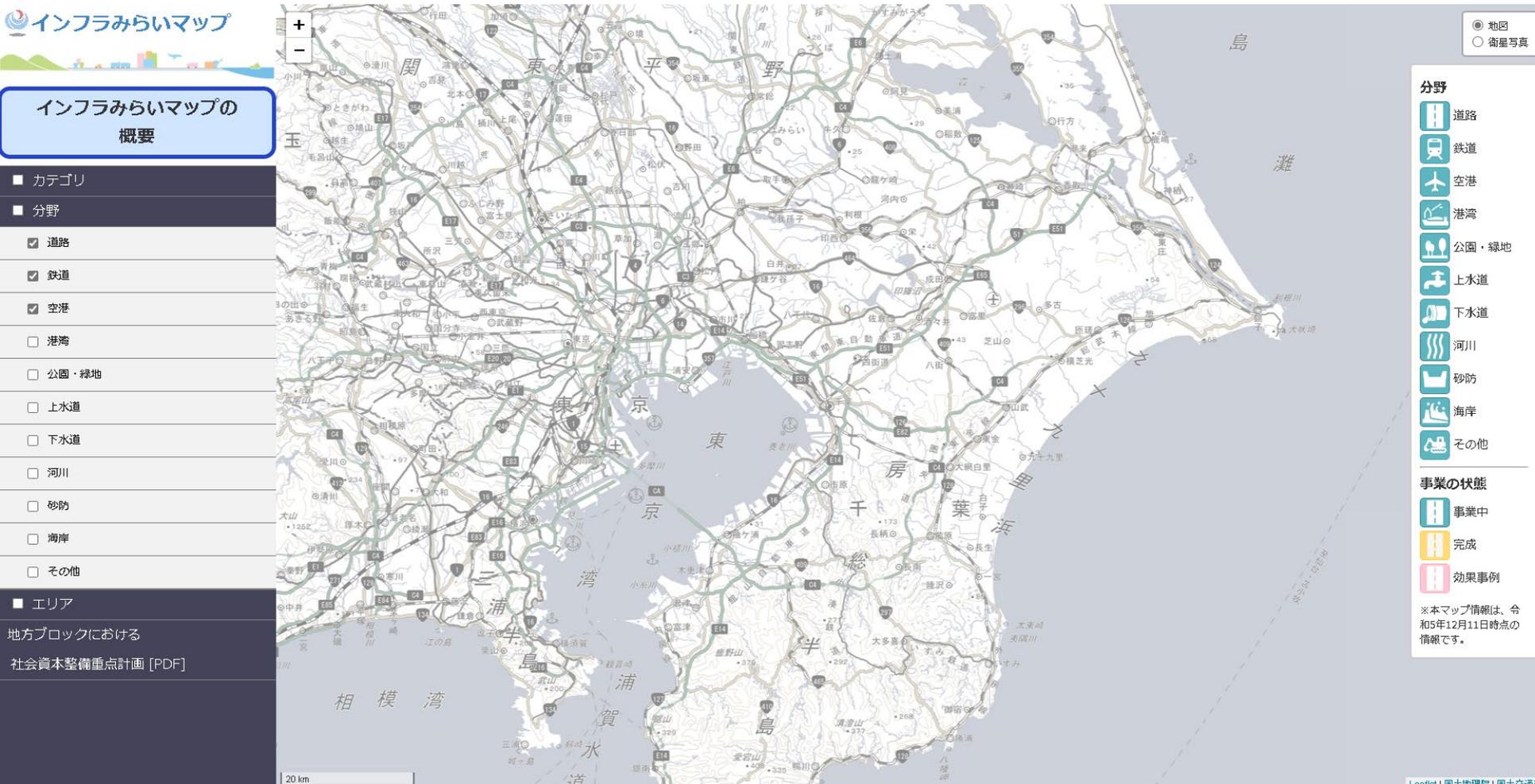
① 改めて、バイオマスの有効利用
→資源の効率性という視点

② 一般廃棄物政策の動向
→国土計画の視点

③産業部門のカーボンニュートラル
→対・巨大需要家の視点

▶ 輸送条件に変化が起きてきた

- とはいえ、今のインフラを維持し続けるかは不確実



▶ 50年前の価値観をアップデートできるか？

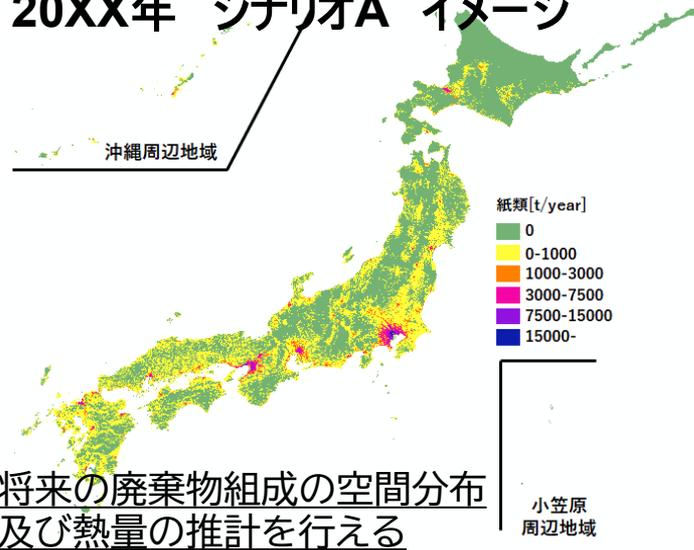
- 縮小経済 + 情報技術:

→いかに少ない人・資源・エネルギーでシステムを維持するか？

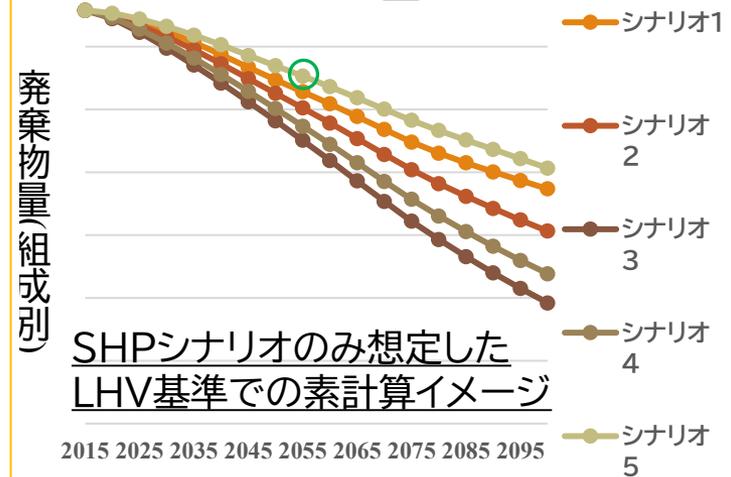
「バイオマス」は、国土の基盤であり、生活の要。

カーボンニュートラルは、災害国日本にとって切実な課題。

20XX年 シナリオA イメージ



人口のシナリオによる廃棄物発生量



▶ 廃棄物の「質」が変化する

- 人口減少、ライフスタイル、商品の変化などが影響
- バイオマス炭素割合も変化していく。

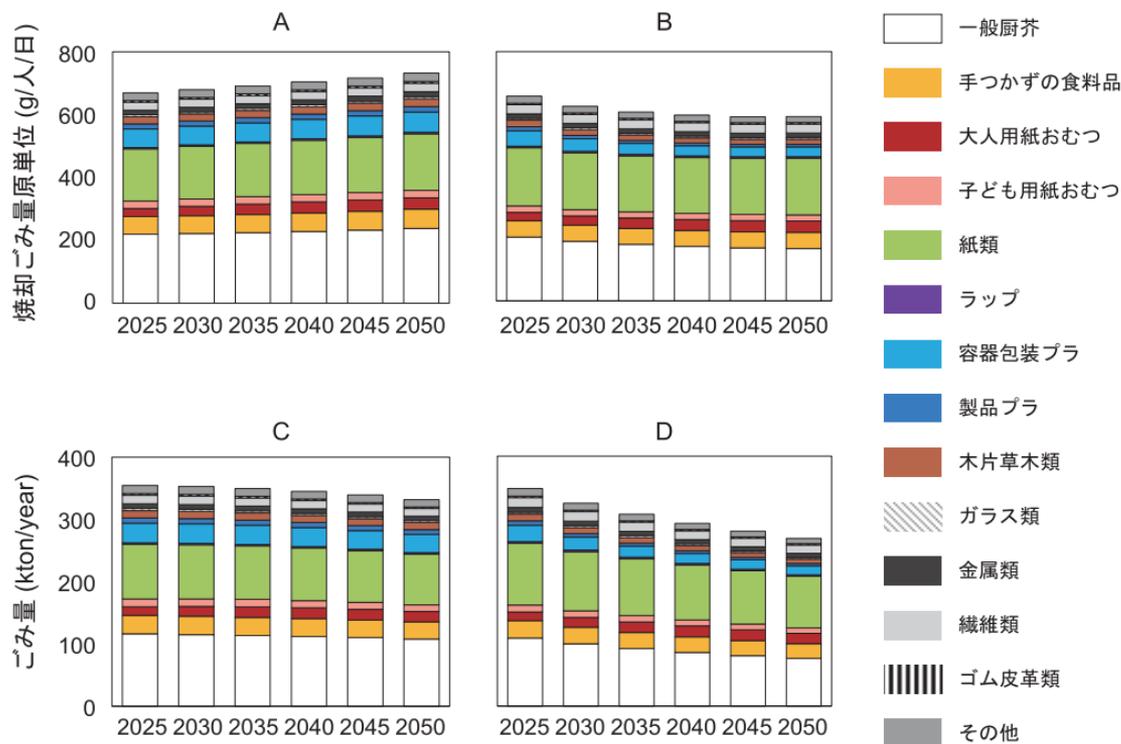


図2 BaU シナリオの焼却ごみ量原単位推計 (A), ごみ減少シナリオの焼却ごみ量原単位推計 (B), BaU シナリオのごみ量推計 (C), ごみ減少シナリオのごみ量推計 (D)

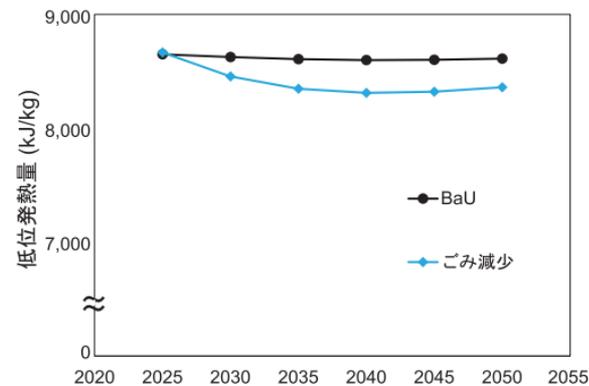
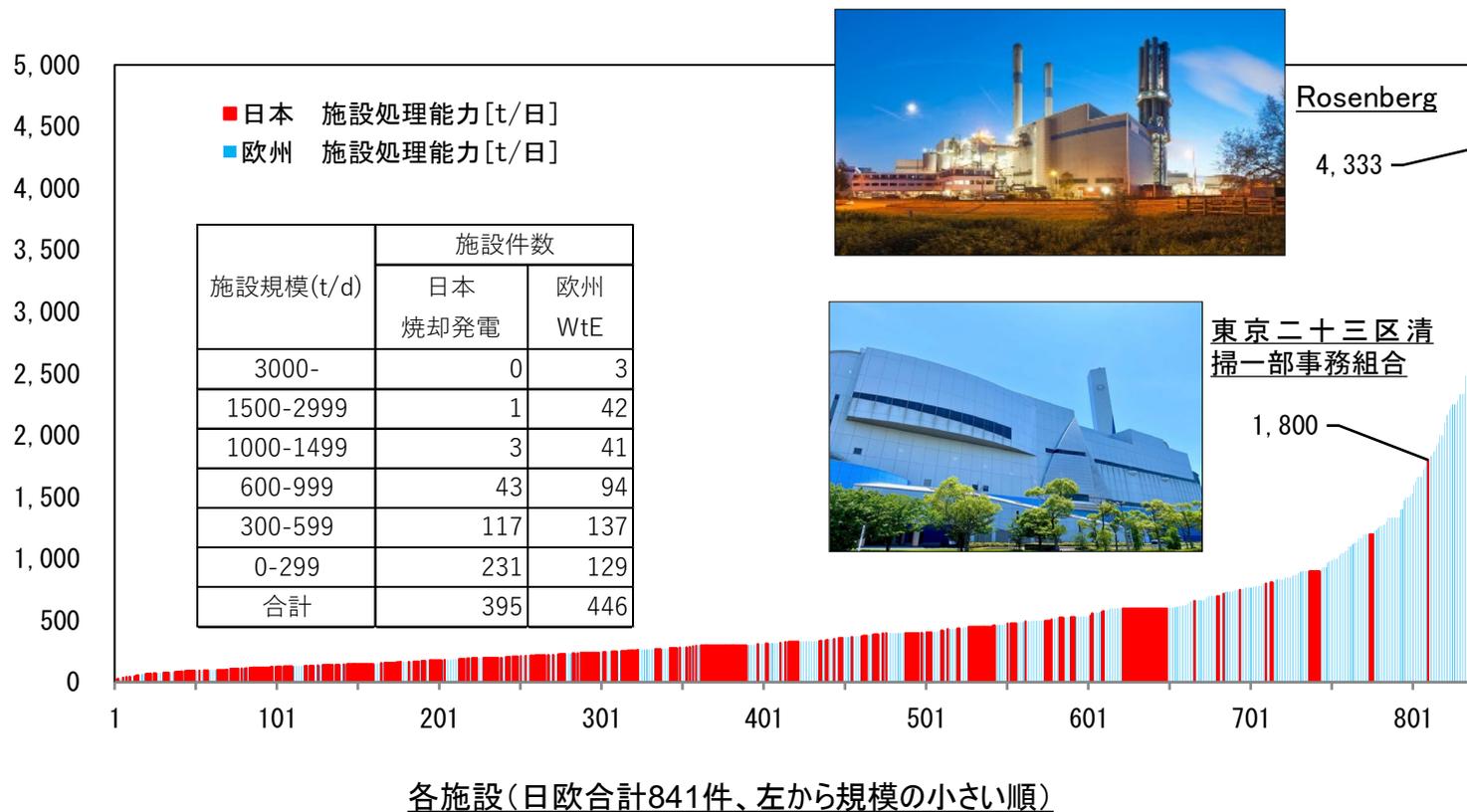


図3 各シナリオにおけるごみ全体の発熱量

▶ 焼却炉の規模を再検討

- 日本の焼却炉は、小さすぎる、多すぎる。



▶ 産業セクターからのGHG排出の特徴

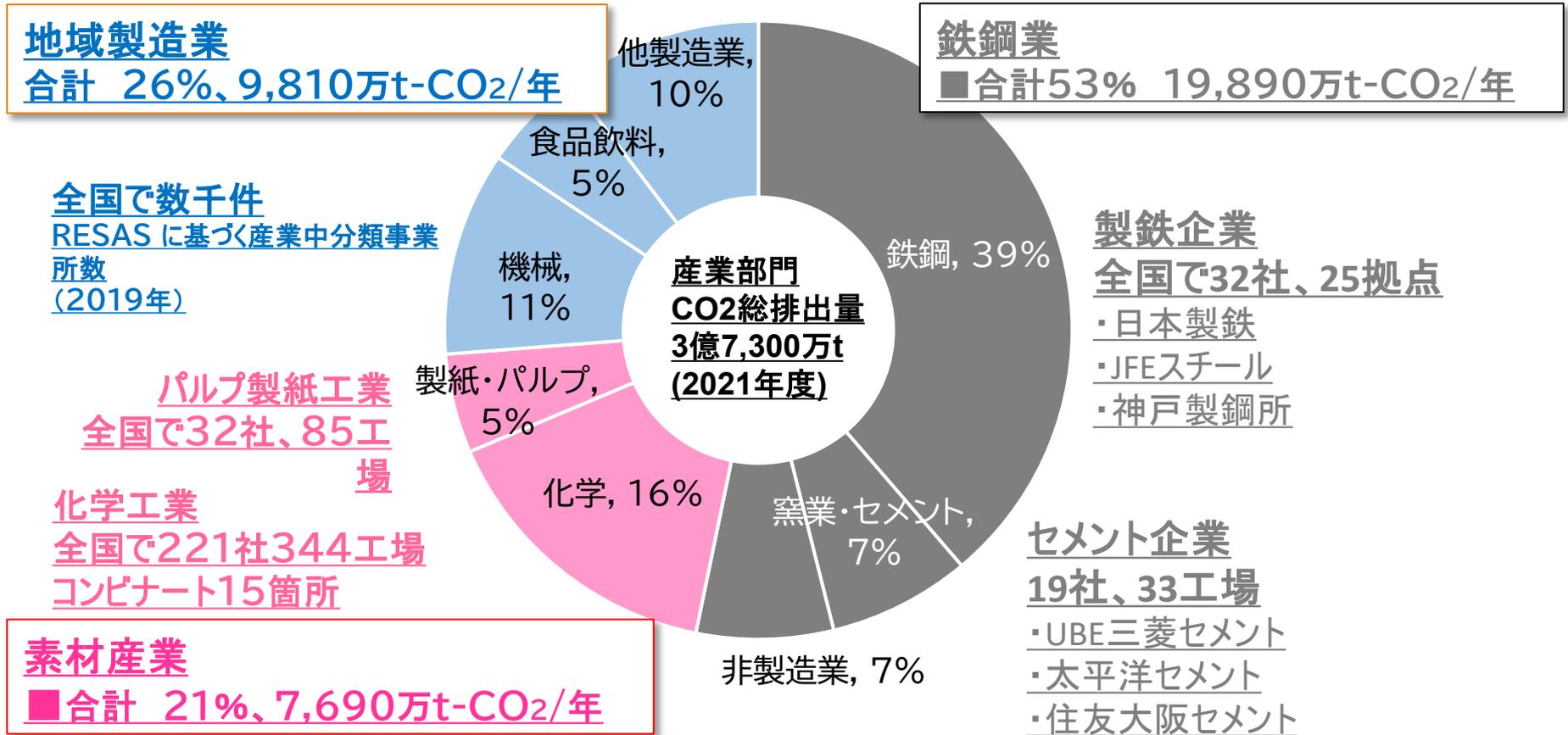


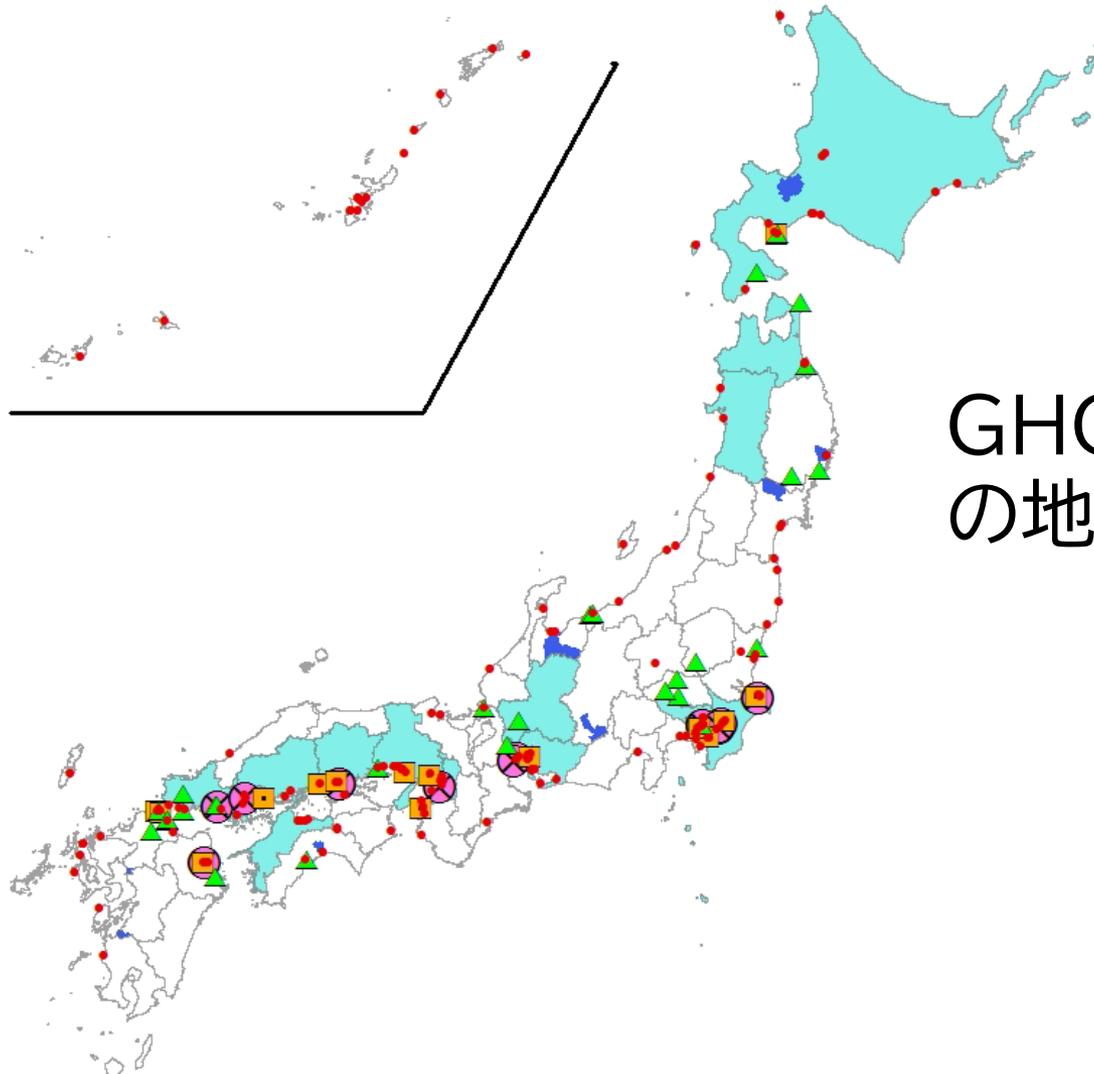
図1-3 産業部門の内訳別の削減主体の企業数

注1) 地域製造業件数は、経済産業省「工業統計調査」再編加工、総務省・経済産業省「経済センサス活動調査」再編加工、総務省「住民基本台帳に基づく人口、人口動態及び世帯数調査」

<https://resas.go.jp/industry-statistics-all/#/portfolio/13/13101/1/1/1/2019/E/-/>

注2) CO₂排出量は、産業部門エネルギー起源CO₂排出量の業種別内訳（2021年時点、環境省）温室効果ガスインベントリを基に作成
<https://www.env.go.jp/content/000150033.pdf>

▶ 産業セクターからのGHG排出の特徴



GHGの排出源は、特定の地域に集中している

▶ 投資家にむけた国際的なイニシアティブ

- RE100は、「使用する電力の100%を自然エネルギー由来の電力で賄う」とされており、「電力」を中心とした動きである。
- 一方、産業部門は、エネルギーとして「電力」と共に「熱」を大量に消費するが、「熱源」の再生可能エネルギー化に関しては、検討の余地がある。
- 「熱源」として、バイオマスボイラー(コジェネ含む)、バイオガスが選択肢のひとつとなる。工業団地内での熱電エネルギーマネジメントも重要な検討事項となる。
⇒北海道石狩市、熊本県など災害でエネルギー源が遮断経験のある地域で顕著
- 多くの企業は、RE100イニシアティブと同時にGHGプロトコルに準拠した報告を実施しているため、再生可能熱(水素含む)に関する支援も重要になる。
⇒再エネ熱利用に関心のある企業が増加(グローバルな報告と地域貢献の両面)

表 4-2 日本の証書等と国際的イニシアティブとの対応関係

| | CDP (GHGプロトコル準拠) | SBT (GHGプロトコル準拠) | RE100 (GHGプロトコルをベースに独自要件あり※1) |
|--------------------|---------------------|---------------------|----------------------------------|
| 再エネ電力由来 J-クレジット | ○ | ○ | ○ |
| 再エネ熱由来 J-クレジット | ○ | ○ | — (熱はRE100の対象外) |
| グリーン電力証書 | ○ | ○ | ○ |
| グリーン熱証書 | ○ | ○ | — (熱はRE100の対象外) |
| 非化石証書 | ○ | ○ | 政府によるトラッキング FIT非化石証書等○※2 |

⇒
「国際的な気候変動イニシアティブへの対応に関するガイダンス～日本において再エネを活用する企業のためのスコープ2ガイダンスへの対応～」より
2020年3月改定版、経済産業省 環境省

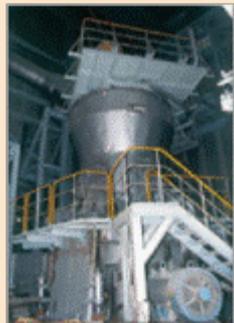
※1 詳細は Appendix B: 国際的イニシアティブの概要(3) を参照。

※2 詳細は P25 の脚注 p を参照。

セメント産業

資源投入

資材破砕



石灰石

粘土

石炭

生産・転換

回転炉



製品化工程

セメント粉末化



セメント
製品



受け入れ前処理



汚泥など



産廃系廃プラ

廃棄物
代替
・産業
廃棄物
他

循環セメント生産
;粘土、石炭を
廃棄物で代替

図20 セメント産業のリサイクル技術

鉄鋼産業

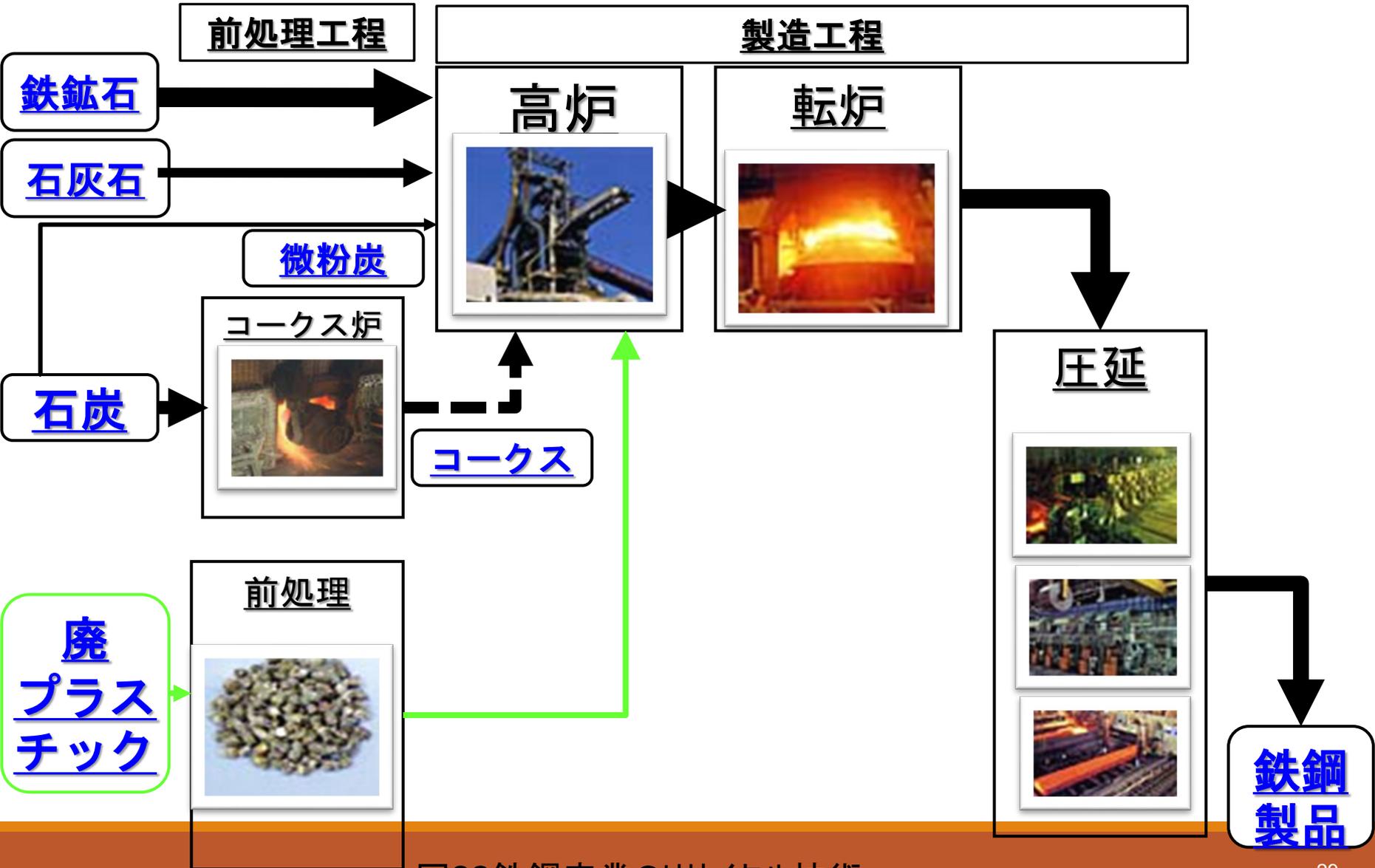


図22鉄鋼産業のリサイクル技術

▶ 温度帯を考慮した産業熱利用

ヒートポンプで
代替可能

バイオマスで代
替しうる温度域

高いエネルギー
密度が必要

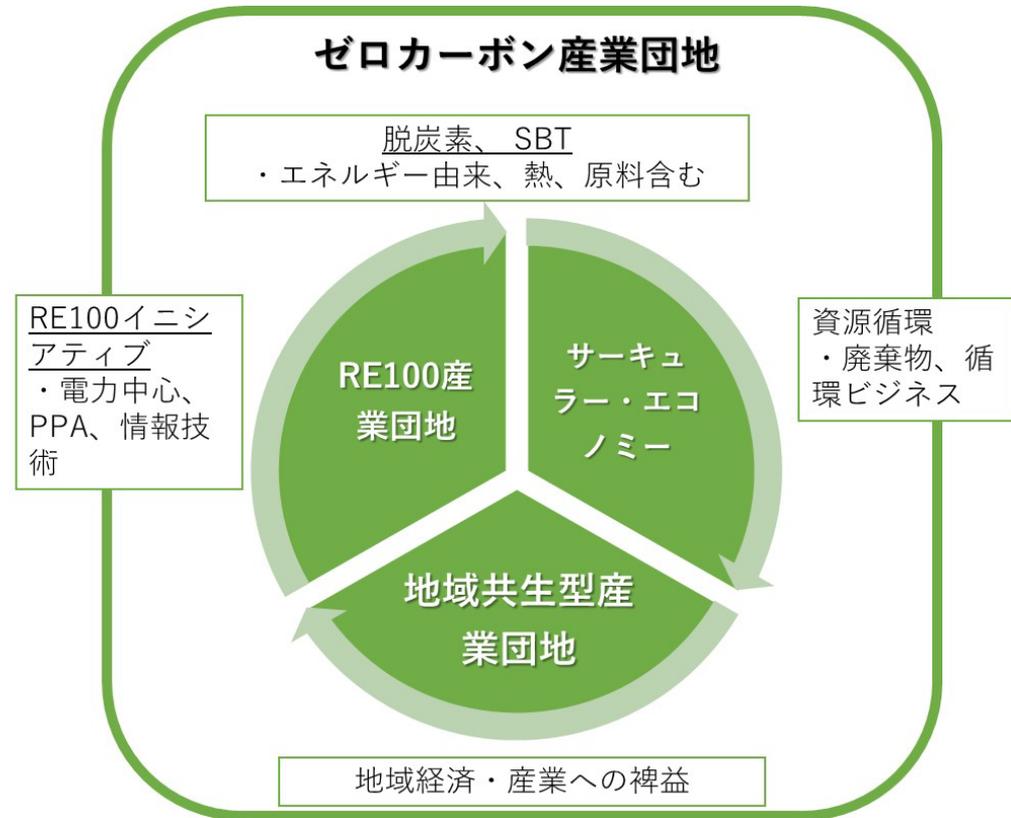
| STUDY REFERENCE | Temperature range | | | | | | Site(year) | | |
|------------------------|-------------------|-----------|-----------|--|------------|--------|-------------|----------------------|--------------|
| Naegler et al -2015 | <100°C | 100-500°C | | | 500-1000°C | | >1000°C | EU (2012) | |
| Philibert(2017) | <150°C | 150-400°C | | | >400°C | | | Global (2006-12) | |
| McKinsey & Co -2018 | <100°C | 100-500°C | | | 500-1600°C | | >1600°C | Global(2015) | |
| Malico et al -2019 | <100°C | 100-200°C | 200-500°C | | >500°C | | | EU (2017) | |
| ARENA(2019) | <150°C | 150-250°C | 250-800°C | | | >800°C | | Austria (2016-17) | |
| Madeddu et al -2020 | <100°C | 100-400°C | | | 400-1000°C | | >1000°C | EU (2015) | |
| Lenz et al -2020 | <100°C | 100-200°C | 200-500°C | | 500-1000°C | | 1000-1500°C | >1500°C | German(2013) |

Table 1:大西ら(2023)Classification of temperature range in the industrial sector
* Based on IEA(2021)¹⁾

▶ 産業セクターのカーボンニュートラル → 産業団地のカーボンニュートラル

「縦」：
サプライチェーン上位からのプレッシャーと協働

「横」：
地理的に近接した産業との協働



▶ 産業団地のカーボンニュートラル化(ING)



| | |
|--|----|
| 巻頭言 | |
| 産業団地のカーボンニュートラル化 | 49 |
| 大西 悟 | |
| 特集「産業団地のカーボンニュートラル化」 | |
| 解説 川崎水素戦略と川崎カーボンニュートラルコンビナート構想 | 50 |
| 江崎 哲弘 | |
| 解説 石狩市の産業団地のRE100化にむけた取組み | 57 |
| 加藤 純 | |
| 解説 自動車関連産業クラスターにおけるサプライチェーン排出量削減に関する動向と課題： 豊田市等での取組を題材に | 62 |
| 如中 直樹, 東海 明宏, 中久保 豊彦 | |
| 解説 産業の脱炭素化モデルとネットゼロにむけた国際的な産業クラスターのイニシアチブ | 68 |
| 土井 麻記子 | |
| 解説 エコ産業団地と産業の脱炭素化 | 77 |
| 吉川 克彦, 大西 悟 | |

https://www.jstage.jst.go.jp/article/lca/20/2/20_62/article/-char/ja

▶ 本日の講演の着目点

I. 研究の概略紹介

II. 新たな補助線として

① 資源の効率性という視点

② 国土計画の視点

③ 対・巨大需要家の視点

III. 具体的な解決提案・研究紹介

① ライフサイクルCNと地域共生

② 現実的な課題

▶ 研究プロジェクトを紹介

国立研究開発法人 国立環境研究所
社会システム研究領域
システムイノベーション研究室(藤井実室長)

廃棄物の高度な地域熱利用のための
技術・社会システムに関する研究
(推進費3-1709)
2017~2019年度

実践例:
北九州市「産業スマートエネル
ギーシェアリング研究会」
川崎市
「川崎スマートヒートサプライ
プロジェクト」
等

プラスチック等脱炭素広域循環経済と
食品廃棄物地域循環による環境・経済
効果の最大化
(推進費3CN-2202)
2023~2025年度

脱炭素化・先導的廃棄物処理
システム実証事業
(地域の熱利用マッチングによ
る焼却施設からのエネルギー
回収高度化実証)
2022~2024年度

▶ 当初の研究モチベーション

- ✓ 高度な熱利用システムの**社会実装、水平展開**を実現するため、意思決定の観点から**ステークホルダーの実態調査**を実施。

①清掃工場の意思決定

- ✓ **清掃工場の選好・現状把握**のためのウェブアンケートサイトの開発

(系統電力)

②産業部門への熱供給

100～数100度の高温熱を需要する、**産業への熱供給**

- 社会実装可能性分析
- ✓ 国内・ステークホルダーヒアリング調査
 - ベストプラクティス調査
 - ✓ 韓国・蔚山市の事例分析(社会インフラ(ソフト))

ビジネス性大

阻害要因と突破口

- 現状分析
- ✓ 国内・地域熱供給事業ビジネスモデル分析
 - ベストプラクティス調査
 - ✓ デンマークの地域熱供給の事例分析(制度)

公共性大

③民生部門への熱供給

民生への熱供給は、発電を犠牲にしない**50～60度の低温熱供給**

(地域電力利用)

(余熱の場内・近接地域利用)

環境省令和3年度～令和5年度脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業
(地域の熱利用マッチングによる焼却施設からのエネルギー回収高度化実証)
【東海村実証共同実施事業体 (EXRI/NIES/東海C/JWRF)】

全体最終目標:実証を通して廃棄物焼却施設からの熱回収の高度化に向けた普及シナリオを取りまとめること。

(委託者)環境省 廃棄物適正処理推進課

代表事業者:エックス都市研究所(EXRI)

共同事業者:国立環境研究所(NIES)

再委託者:エネルギー総合工学研究所

共同事業者:東海クリーン(東海C)

再委託者:アイフォーコム【需給管理システム】
再委託者:アクトリー【熱回収・蒸気配管】R3,4
再委託者:早稲田環境研究所【事業性評価】R3,4
再委託者:デザイナーズユニオン【3D施工,動画】R5

共同事業者:廃棄物・3R研究財団(JWRF)

・大手焼却炉メーカー5社
(JFEエンジニアリング、日立造船、タクマ、川崎重工、
神鋼環境ソリューション)
・有識者2名

環境省令和3年度～令和5年度脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業
(地域の熱利用マッチングによる焼却施設からのエネルギー回収高度化実証)
【東海村実証共同実施事業体 (EXRI/NIES/東海C/JWRF)】

全体最終目標:実証を通して廃棄物焼却施設からの熱回収の高度化に向けた普及シナリオを取りまとめること。

第1章 業務計画・管理

第6章 課題の整理

パート横断的視点から普及に向けた課題を整理し、廃棄物焼却施設からの熱回収の高度化に向けた普及シナリオを取りまとめ、提案を行う。

第2章 産業への蒸気安定供給システムの基本設計(熱需要地内での新設による供給)

化学工場との連携による蒸気産業利用の事業化可能性調査

第3章 地域の熱供給需給管理システム実証(既設炉の周辺熱需要への供給)

工業団地立地の一廃・産廃混焼炉での周辺需要家との需給システム設計

第4章 自治体における展開可能性の検討

主要プラントメーカーとの連携で、自治体の焼却炉更新機会へ提案

第5章 工業団地及び水平展開時のCO₂削減費用対効果拡大推計(拡大推計)

各パートの成果から得た数字を利用し、各モデルに適用した場合の推計を行う。

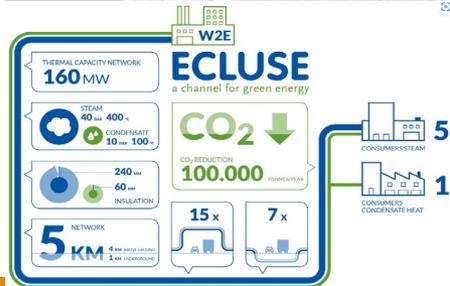
廃棄物処理施設を核とした
地域循環共生圏への展開
→事業実施計画

▶ 事業モデル

素材産業連携モデル

① 熱需要地での焼却炉新設

- 収集範囲を拡大し集約処理を推進して新設する事業。
- 焼却熱供給のほか、施設集約の合理化、大規模化による効率化が図れる。
- 将来的なCCU基地となりうる。
- 国内のコンビナートに大規模なものを数カ所設置する。



産業への熱供給モデル

地域製造業連携モデル

② 既設炉周辺需要への供給

- 既存施設を活用し、周辺工場に熱供給する。
- 現在でスチーム未利用の場合、燃料転換のための工程のリデザインを検討する。



③ 乾燥資材供給ビジネスの展開

- 乾燥工程の一部を集約し、資材乾燥事業を行う新事業。既存の需給立地に左右されず、適用範囲が高い。
- 例 1：干し芋残差の飼料化事業
- 例 2：アスファルト製造における砂乾燥事業
- 例 3：下水汚泥の乾燥



※AP砂乾燥事業検討協力：日工株式会社技術本部 蓬萊秀人様
参考資料：NIKKO TECHNICAL REPORT2022, No.3 (別紙1)

← 本日の主眼

課題番号:3CN-2202

研究課題名:プラスチック等脱炭素広域循環経済と食品廃棄物地域循環による
環境・経済効果の最大化

研究代表者名:藤井実(国立環境研究所)

【研究目標(全体目標)】

プラスチックを含む有機系廃棄物の処理・リサイクルの仕組みを、カーボンニュートラルに適したものに転換するとともに、化学産業の製造工程の大幅なCO₂排出削減が可能な、セクター横断的なシステムを提示し、その費用対効果及び便益の評価を行って導入の可否を判断する。

システムの構成要素となる選別や蒸気供給(サブテーマ1)、輸送の各プロセスのモデル化(サブテーマ3)を行うと共に、大都市や地方都市など、異なる条件の自治体や産廃事業者を対象としたケーススタディを実施する(サブテーマ2)。プロセスモデルとケーススタディに基づいて全国規模でのCO₂排出削減ポテンシャルや費用対便益を推計する(サブテーマ1)。その際、将来の有機系素材(プラスチック、紙、木材)の使用や資源循環に関するシナリオ分析を行って、発生する廃棄物の変化を踏まえたシステム分析となるようにする(サブテーマ4)。

各サブテーマの成果を併せた検討により、個別地域での焼却処理への依存度が大きなこれまでのリサイクル・処理の仕組みから、少子高齢化等に伴う社会の変化にも柔軟に対応し得る、廃棄物と地域の特性に最適化された、有機系資源のカーボンニュートラルの実現と社会コストの低減にも繋がる新たな地域循環共生圏の姿を提示する。

加えて、システムの社会実装に向けて、化学メーカー、自治体、処理業者等と協力して、実現に向けて課題を整理した上で、ロードマップを提示する。

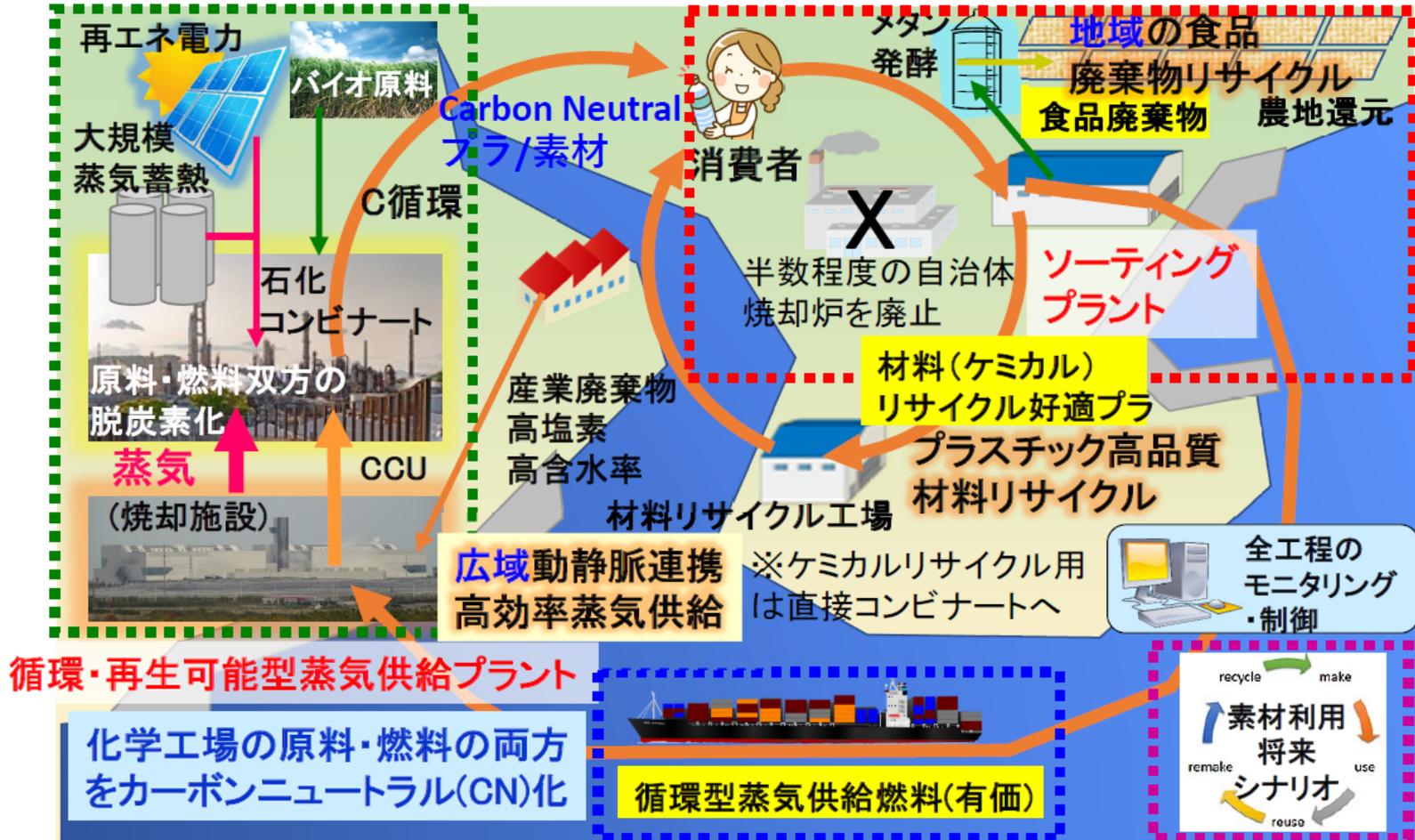
産業セクターのカーボンニュートラル

環境省環境研究総合推進費に採択(2022年度~2024年度、研究費約1.2億円)
 環境省環境再生・資源循環局廃棄物適正処理推進課による行政推薦課題

サブ1: 国立環境研究所
 (コンビナートのシステム)

サブ2: 日本環境衛生センター
 (自治体のシステム)

地域



循環・再生可能型蒸気供給プラント

化学工場の原料・燃料の両方をカーボンニュートラル(CN)化

循環型蒸気供給燃料(有価)

全工程の
モニタリング
・制御



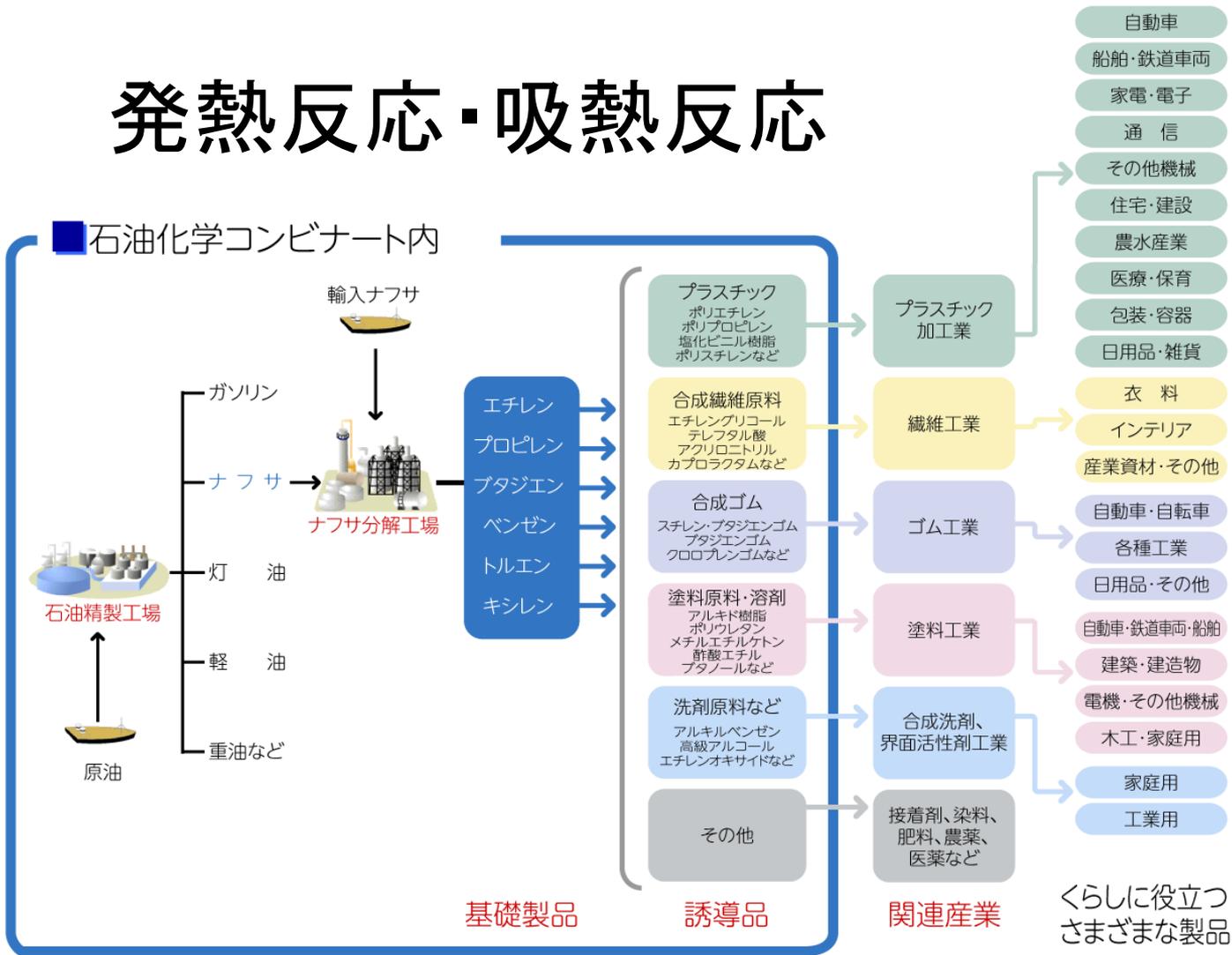
広域

サブ3: 日本通運・グリーン
 ・エックス都市研究所 (広域輸送)

サブ4: 名古屋大学・立命館大学
 (素材利用の将来像)

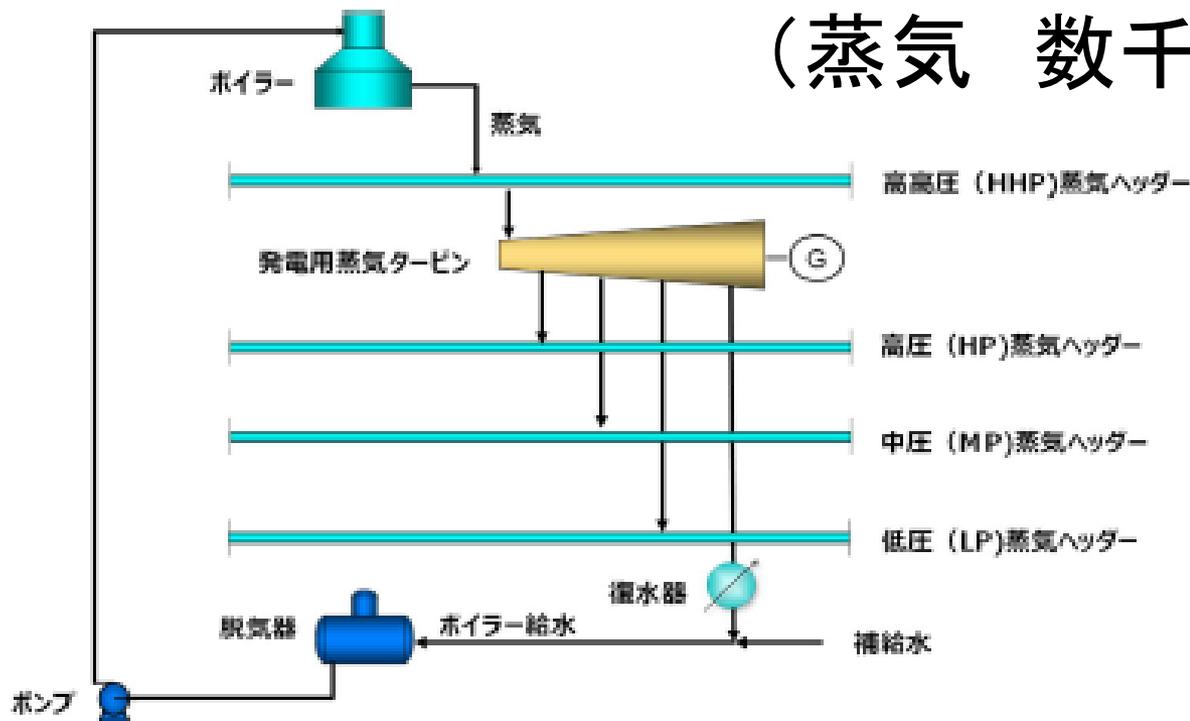
石油化学コンビナート

発熱反応・吸熱反応



▶ 石油化学コンビナートのエネルギー

大規模のコージェネ (蒸気 数千トン/時)



必要な温度・圧力帯
を3圧ヘッダーから
調整して入手

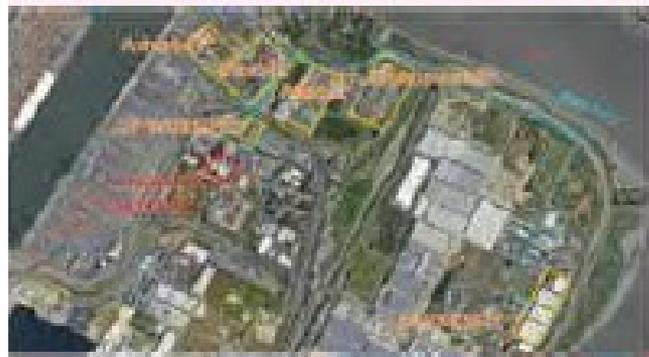
図 3-15 化学工場での蒸気利用におけるエネルギーシステムフローの一例

▶ 石油化学コンビナートへの焼却熱供給

素材産業連携モデル

①熱需要地での焼却炉新設

- 収集範囲を拡大し集約処理を推進して新設する事業。
- 焼却熱供給のほか、施設集約の合理化、大規模化による効率化が図れる。
- 将来的なCCU基地となりうる。
- 国内のコンビナートに大規模なものを数カ所設置する。



ECLUSE
CO₂ ↓
100,000
5

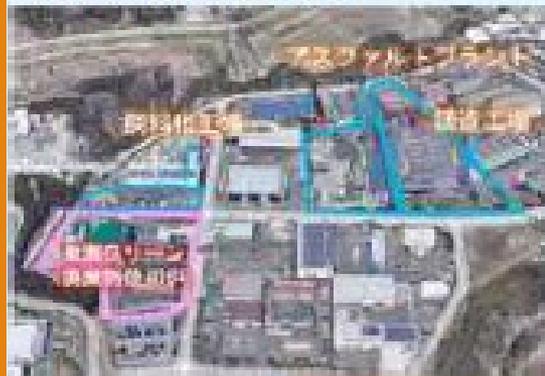
Antwerp@C

ベルギー アンтверープ港 INDAVER社と周辺5社とのECLUSE CCUプロジェクト“Antwerp@C”

地域製造業連携モデル

②既設炉周辺需要への供給

- 既存施設を活用し、周辺工場に熱供給する。
- 現在でスチーム未利用の場合、燃料転換のための工程のリデザインを検討する。



平塚高純工業団地
東亜クリーン社のWaste to Steam Project

③乾燥資材供給ビジネスの展開

- 乾燥工程の一部を集約し、資材乾燥事業を行う新事業。既存の集約立地に左右されず、適用範囲が広い。
- 例1：干し草換装の飼料化事業
- 例2：アスファルト製造における砂乾燥事業
- 例3：下水汚泥の乾燥



日工社のアスファルトプラント砂乾燥事業

※APR砂乾燥事業提供協力：日工株式会社技術本部 橋本 浩一
参考資料：NIKKO TECHNICAL REPORT2022, No.3 (P15)

▶ 海外の事例

素材産業連携モデル

③熱需要地での焼却炉新設

- 収集範囲を拡大し集約処理を推進して新設する事業。
- 焼却熱供給のほか、施設集約の合理化、大規模化による効率化が図れる。
- 将来的なCCU基地となりうる。
- 国内のコンビナートに大規模なものを数カ所設置する。

新構想ECLUSE2:

400℃、4MPaのグリーン蒸気で、工場からのCO2排出量を年間10万トン削減しているが、ECLUSE2に拡張すると、15万トン/年の削減となる。政府からECLUSE2に14億円が気候変動対策の一環として支援された。

右図: INDAVERのsteamネットワークECLUSR



▶ 2つの施設をつなぐ



蒸気のバランスと燃料削減量

1ton/日の焼却炉で0.147ton/
時の蒸気を供給

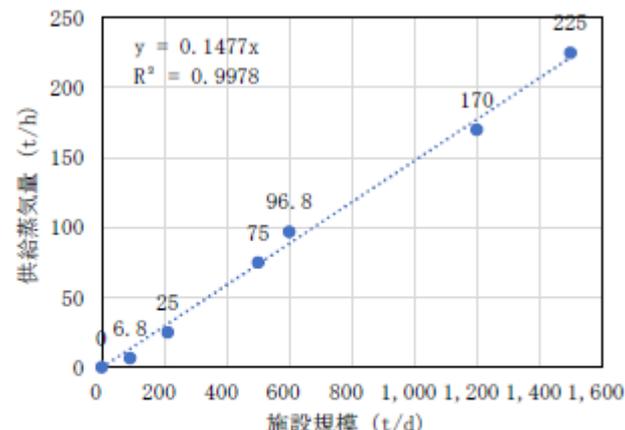


図 2-10 施設規模と蒸気供給可能量の相関

注 1) F/S 結果や実装済みの施設情報から回帰曲線を作成

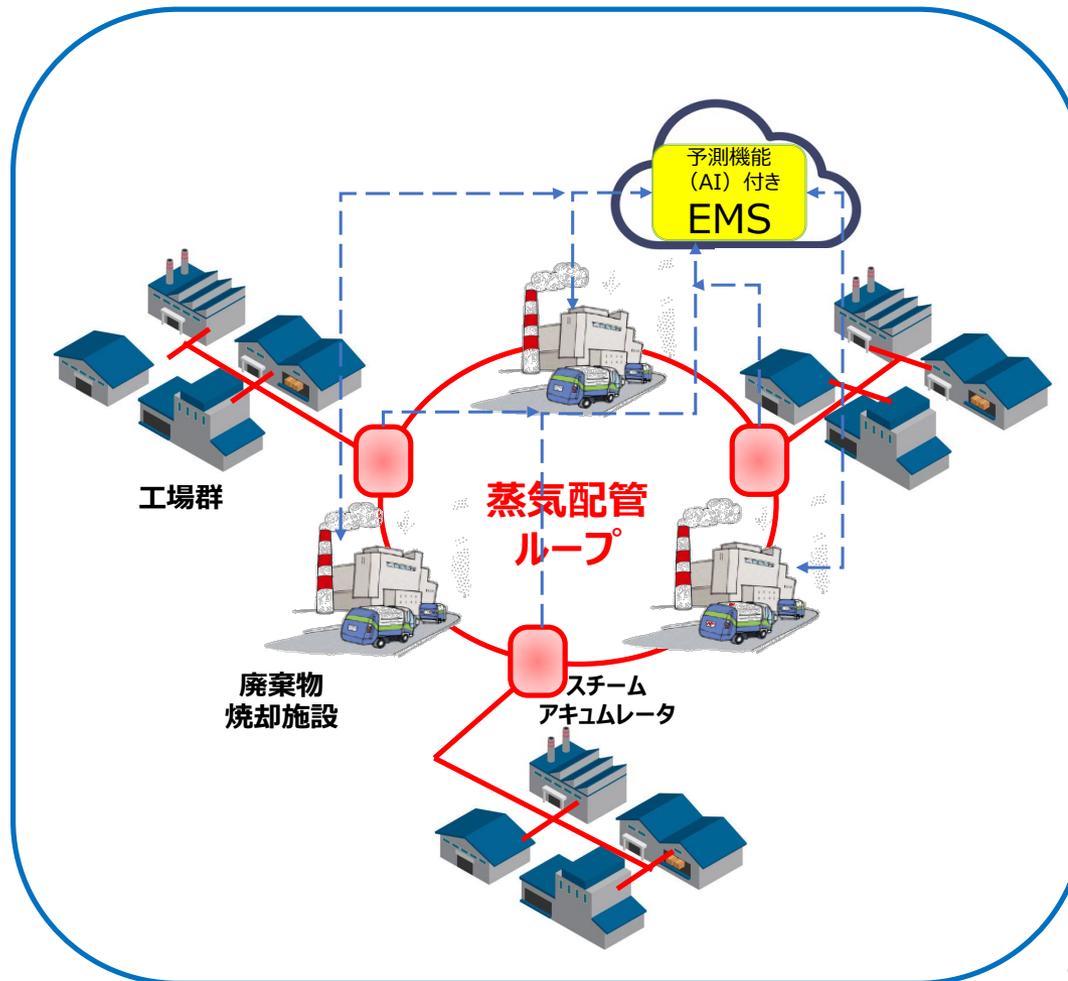
10ton/日の蒸気で4.80MWの
燃料削減(ケース1)



(再掲) 表 2.2-7 焼却施設からの蒸気配給による燃料削減効果と CO₂ 排出削減効果

| | ケース | 10 t/h | 20 t/h | 50 t/h |
|--|---------------|--------|--------|--------|
| | 供給蒸気量 | | | |
| 工場の燃料削減効果 MW 【ボイラー燃料+ 買電の燃料換算量】 | ケース 1 復水発電増加 | 4.80 | 9.59 | 23.96 |
| | ケース 2 系統電力増加 | 5.72 | 11.43 | 28.59 |
| | ケース 3 再エネ電力増加 | 9.68 | 19.36 | 48.39 |
| 工場の CO ₂ 排出削減効果 t-CO ₂ /h | ケース 1 復水発電増加 | 1.60 | 3.21 | 8.01 |
| | ケース 2 系統電力増加 | 2.50 | 5.00 | 12.50 |
| | ケース 3 再エネ電力増加 | 3.24 | 6.47 | 16.18 |

▶ 情報技術で効率的なエネルギー利用



8

図2-5 多数の工場群へ複数の廃棄物焼却施設から蒸気供給 - 蒸気配管ループとEMSで運転変動を平滑化 (一般財団法人エネルギー総合工学研究所/NIES)

茨城県での ケース スタディ

▲ 焼却施設

□ 廃棄物集約ブロック

(地域区分)

- 県北
- 県央
- 鹿行
- 県南
- 県西



シナリオの設定

現状

2030年時点

2050年時点

シナリオ1 分散発電の 現行計画

24清掃工場

23清掃工場

13清掃工場

24清掃工場が23清掃工場延命化及び基幹改良工事によって維持され、1清掃工場が廃止される。2050年時点では、新設工場を含む13清掃工場体制となる。地域に分散した焼却発電、平均発電効率が14.5%。

シナリオ2 工業団地 4カ所集約

24清掃工場

14清掃工場

2清掃工場(残置)

4清掃工場

4清掃工場(拡張)

24清掃工場のうち、2030年時点では、10の清掃工場が集約化され、14の清掃工場が現状維持となる。2050年時点では、さらに12清掃工場が集約化され、2清掃工場が現状維持で運営される。廃止した施設で処理していた廃棄物は、4清掃工場に集約化される。燃料はA重油として計算した。

シナリオ3 コンビナート 1カ所集約

24清掃工場

14清掃工場

2清掃工場(残置)

1清掃工場

1清掃工場(拡張)

2030年、2050年ともに対象清掃工場はシナリオ2と同じ。コンビナート近接地の1カ所への集約化を想定する。燃料はC重油と石炭として計算した。

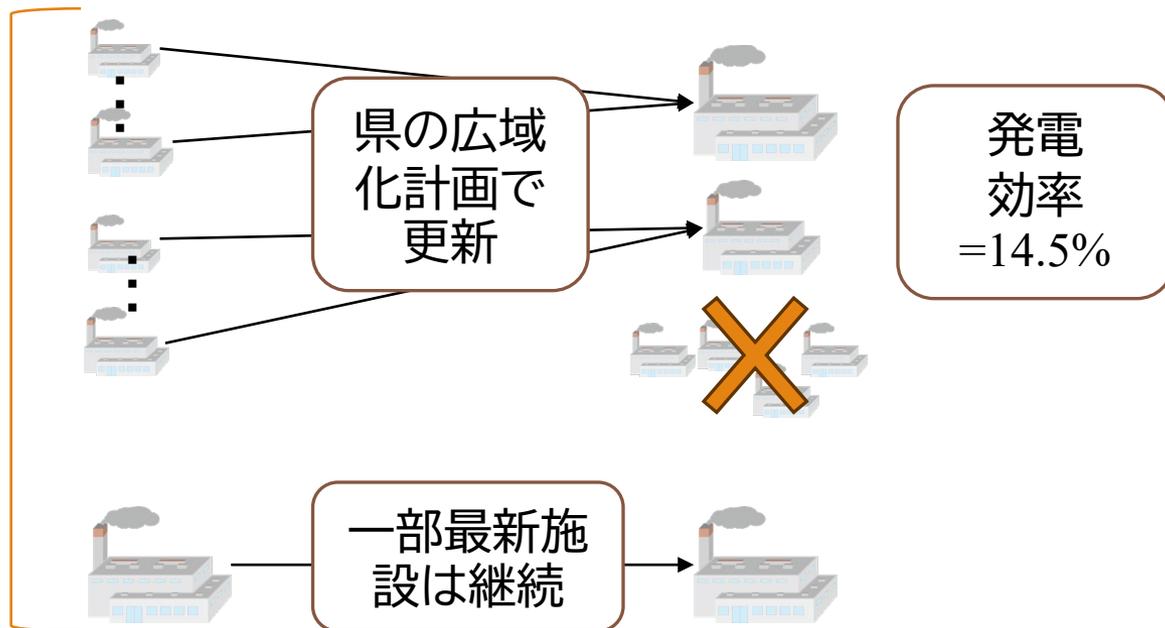
シナリオの設定

シナリオ1: BaU(発電)



現状
(2020年)

将来
2050年

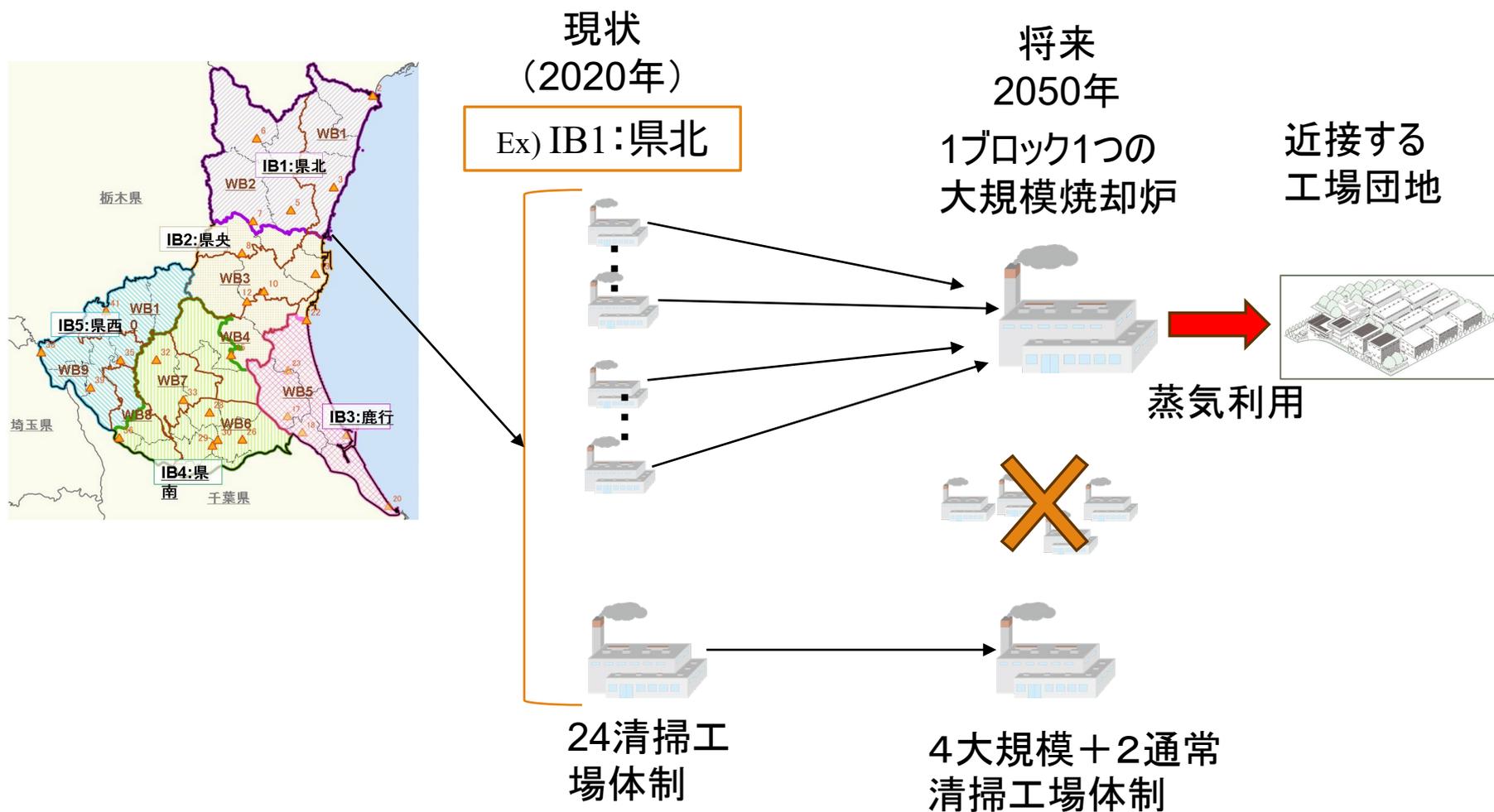


24清掃工場体制

13清掃工場体制

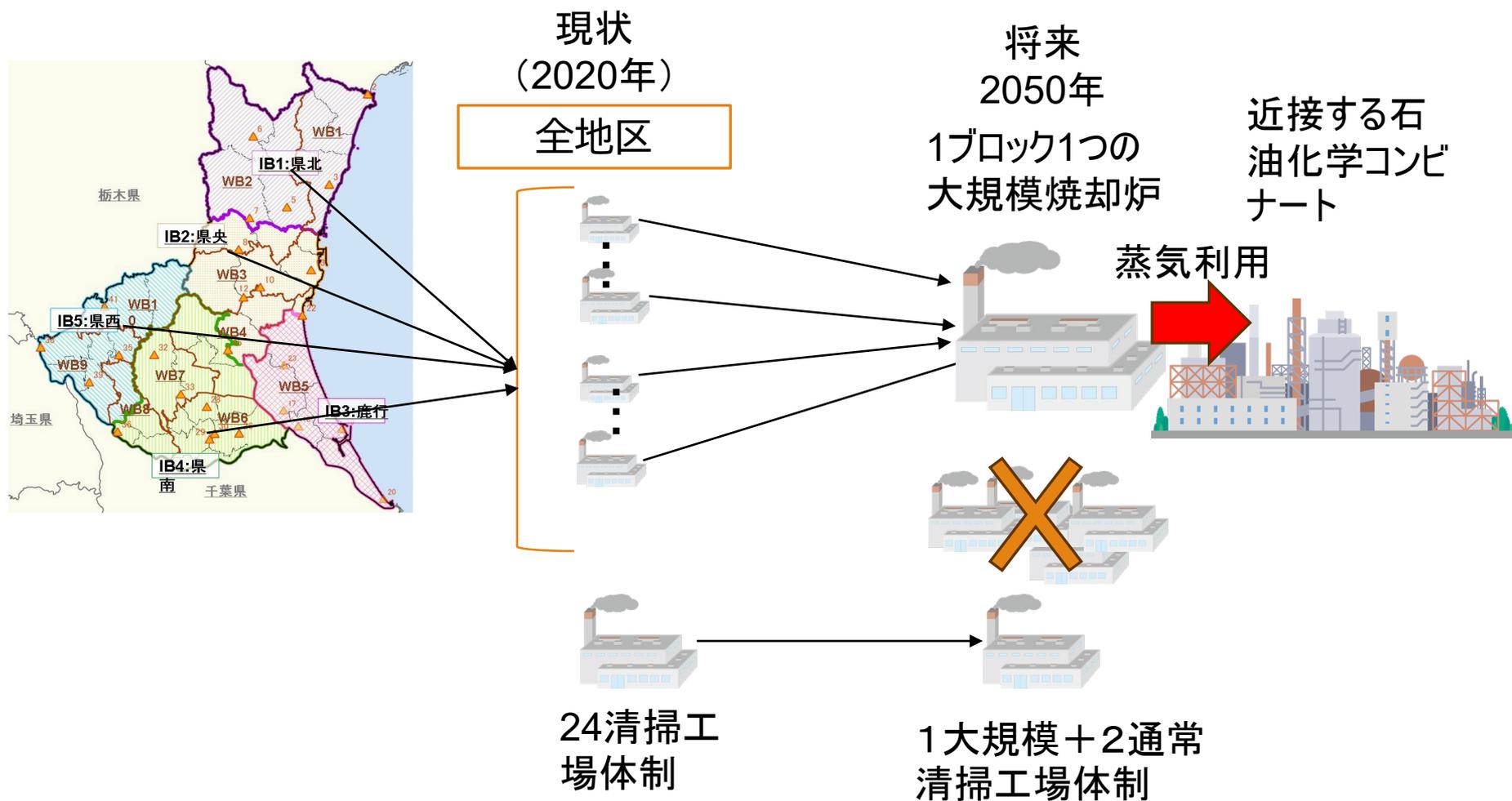
シナリオの設定

シナリオ2: 工業団地(拡大推計)



シナリオの設定

シナリオ2: 工業団地(拡大推計)



シナリオの設定条件

| 項目 | シナリオ1 BaU | シナリオ2 工業団地 | シナリオ3 コンビナート | 注釈 |
|----------------|--------------|-------------------|-------------------|----|
| 2050年焼却施設数 | 13施設 | 4施設 | 1施設 | *1 |
| 年間稼働日数 | 280日 | 280日 | 280日 | *2 |
| 廃棄物処理規模(平均) | 173 t/日 | 190 t/日 | 1,945 t/日 | *1 |
| 発電効率(平均) | 12.9% | - | - | *3 |
| ボイラー効率 | - | 85% | 85% | *4 |
| 蒸気条件 | - | 1.80MPaG・ 284℃ | 1.80MPaG・ 284℃ | *5 |
| 蒸気供給量 | - | 71 t/日(4施設 平均) | 285 t/日 | *6 |
| 配管損失 | - | 10% | 10% | *7 |
| 機器損失(設備 効率) | - | 15% (85%) | 15% (85%) | *7 |

*1: 第5章第1節でのシナリオ設定の試算結果に基づく

*2: 需要家の工場は、廃棄物処理施設よりも稼働日数が多いことを想定し、工場の休業日と処理施設の休止日を調整することで、280日の供給が可能になる。

*3: Ohnishi, Fujii et. al., (2018)に基づき、第5章第1節の施設規模、搬入廃棄物熱量ごとに発電効率を試算した結果に基づく。

*4: 一般廃棄物でのボイラー熱回収効率を85%と想定。

*5: 第2章モデル工場Xの分析のうち、中圧蒸気相当での代替を推計するため、1.80MPaG・284℃を採用。

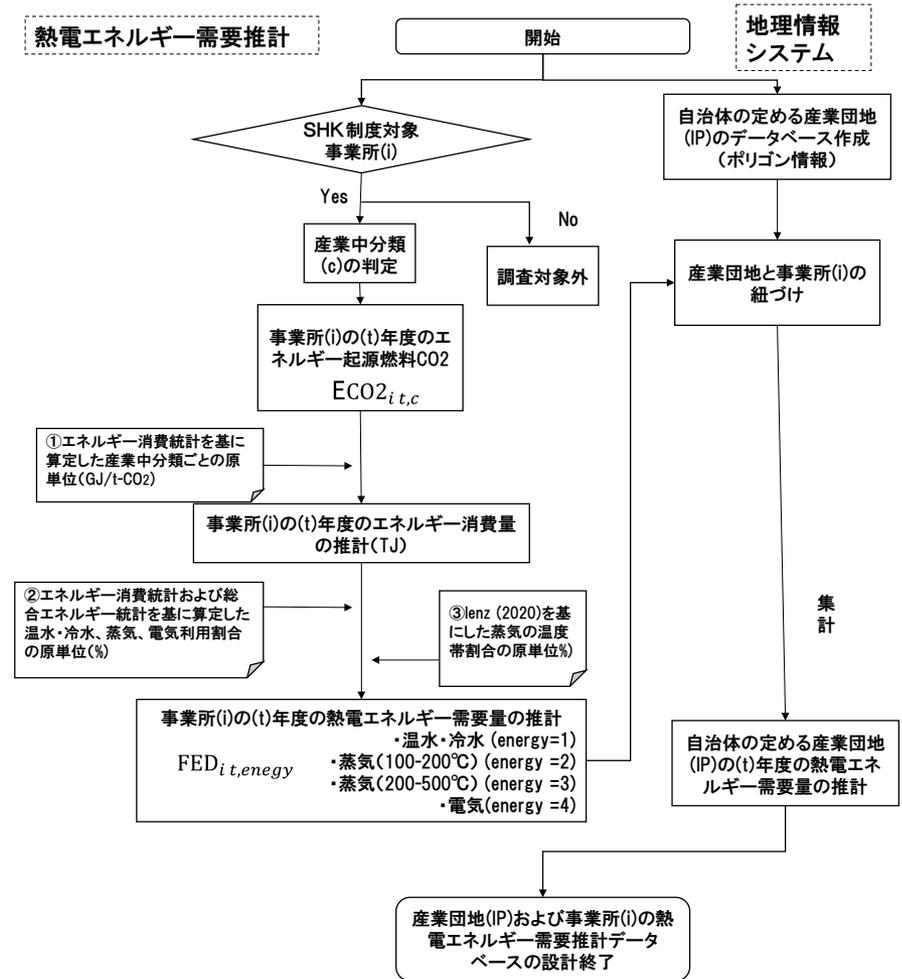
*6: 焼却施設規模と蒸気供給能力の単回帰分析より推計。

*7: エンジリング会社、焼却炉メーカー、需要家工場管理者等へのヒアリング結果、機械工学便覧等を参考にそれぞれ10%、15%と仮定した。

▶ 産業熱需要の推計手法

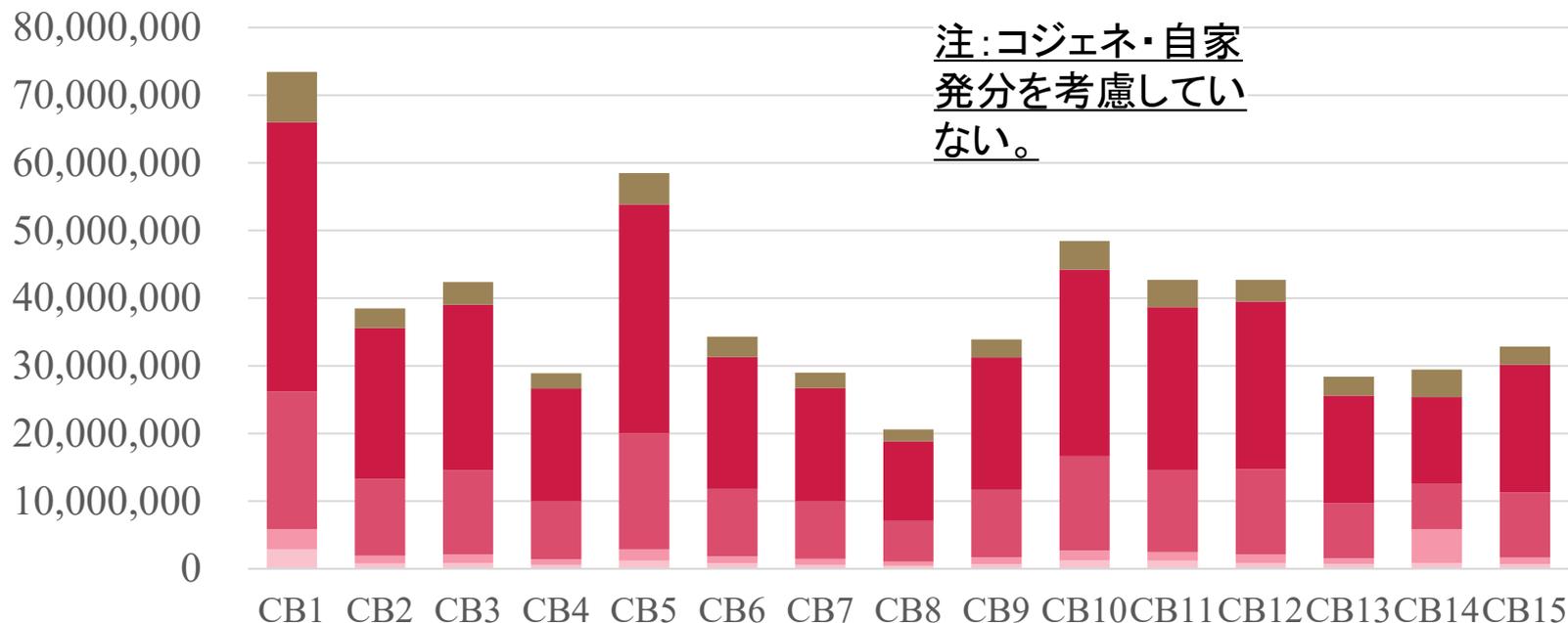
✓ 産業ごとの蒸気利用割合は、検討している温度帯で参照可能な Lenz et. al., (2020)²¹⁾の割合を用いている。国内応用では課題はあり。

✓ 産業団地スケールで集計することで地域特性を分析することを試みる。そこで、各事業所の立地情報(ポイント)と自治体が定める産業団地(ポリゴン)を紐づけ、それらをデータベース化する。



▶ 産業熱需要の推計結果

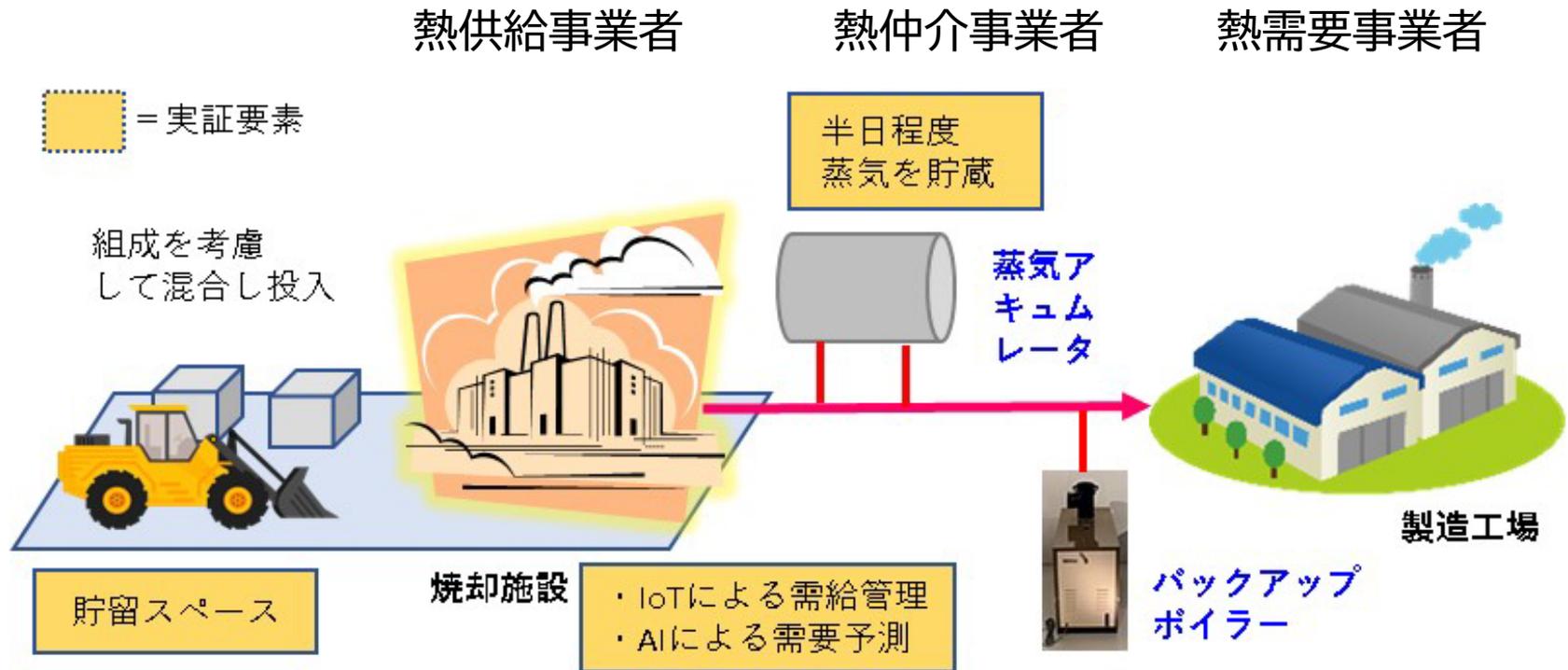
化学コンビナート別の熱電需要量(全業種)



- 温水冷水
- 蒸気(100-200°C)
- 蒸気(200-500°C)
- 蒸気(500°C<)
- 電力需要量

▶ 焼却熱の産業利用のモデル

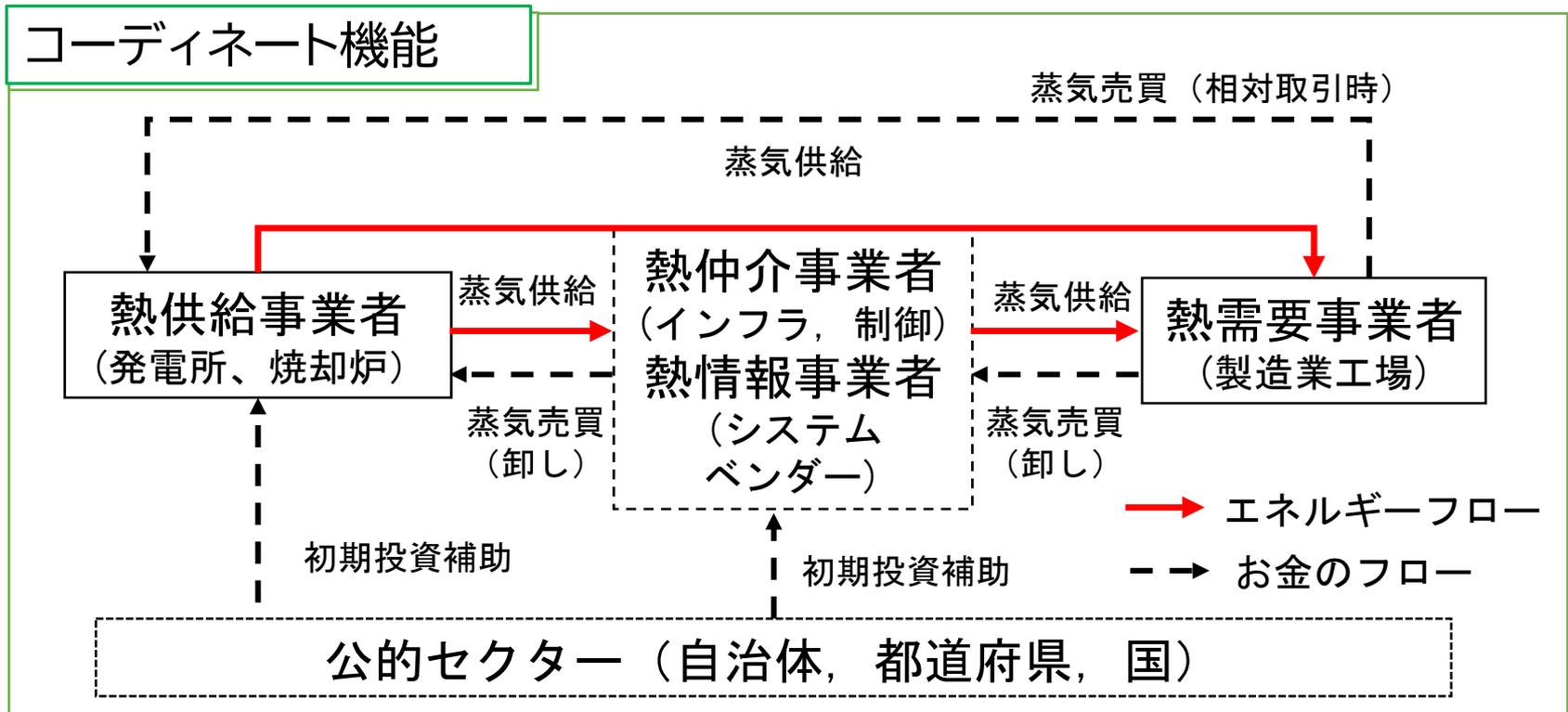
• 改めて、ビジネスモデルの特定



廃棄物の高度な地域熱利用のための技術・社会システムに関する研究
(推進費3-1709)

費用対効果

- A:焼却炉建設費、B:蒸気供給設備建設費、C:集約輸送コスト、D:売電・買電、E:蒸気販売収益
- 誰が費用を負担し、収益を得るのか？



費用対効果の結果

- 総額で、シナリオ1BaUで22.8億円/年の費用
- シナリオ2工業団地で6.28億円/年、シナリオ3コンビナートで10.5億円/年の費用
- シナリオ2工業団地での蒸気販売収益は65.9億円/年、シナリオ3コンビナートで65.2億円/年

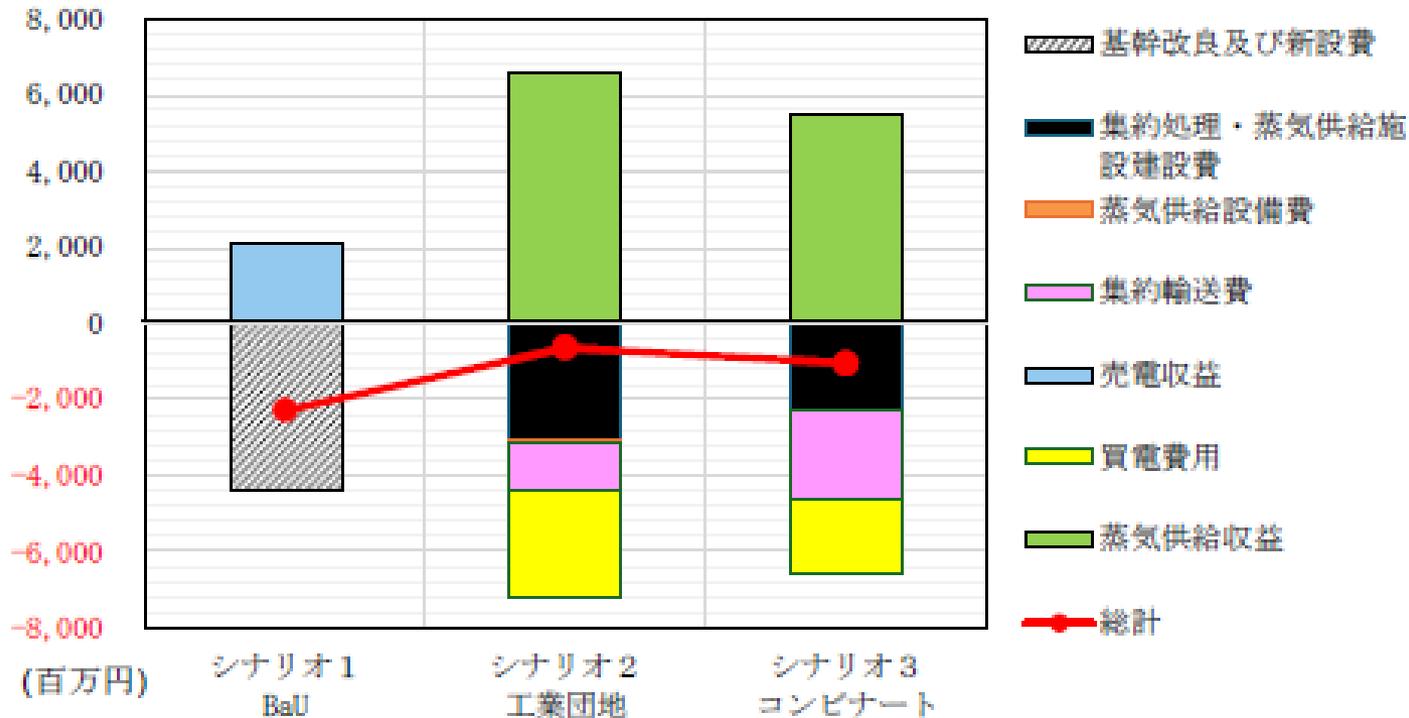


図 5.4-2 2050年時点の拡大推計の費用対効果の結果 (20年償却における年額)

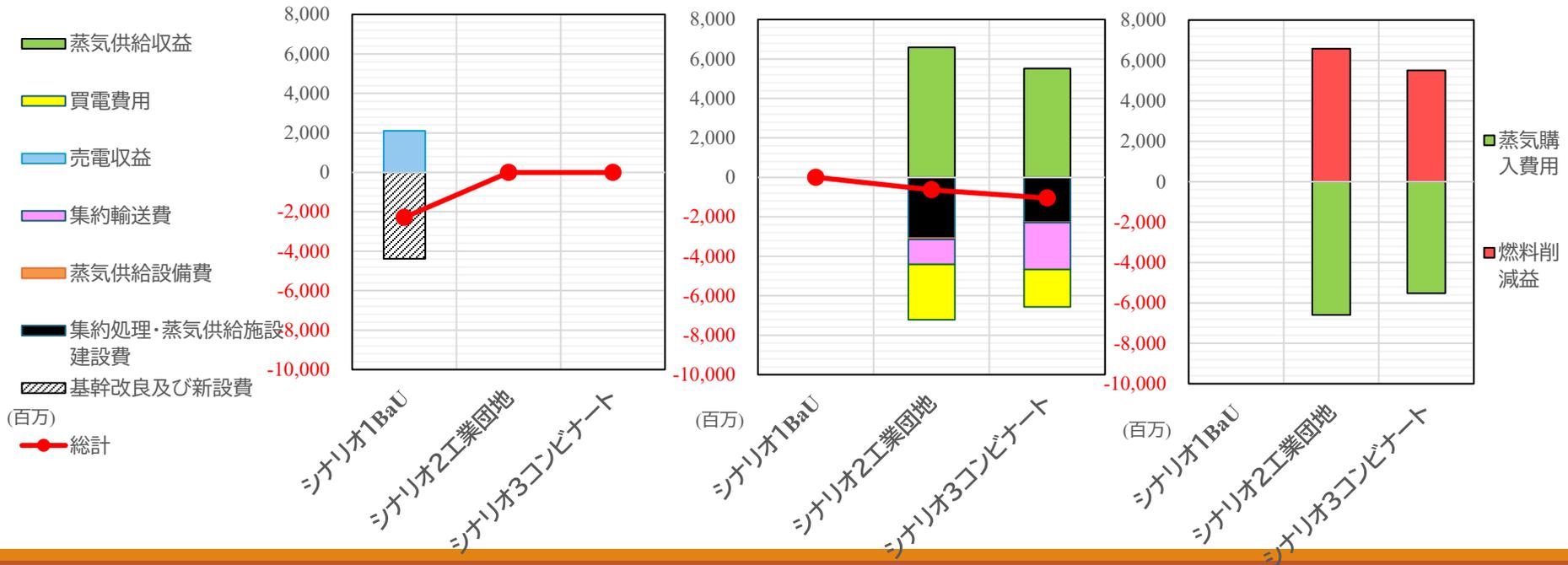
▶ 主体別の費用対効果

- 横断的連携による利益を公平に分配する価格決定
- 収集運搬費用を市町村が負担
- 自治体からの広域の集約輸送費を効率化
- 需要家が、化石燃料の削減益よりも高額な蒸気価格設定を許容する

地方自治体(国)

蒸気供給事業者
・大規模焼却炉

蒸気需要家(工場)



▶ CO₂削減量

- 2050年時点でのCO₂削減効果は、シナリオ1で9.51万t-CO₂/年、シナリオ2工業団地で27.2万t-CO₂/年、シナリオ3で33.8万t-CO₂/年と推計。
- 発電と蒸気供給のCO₂削減効果を比較すると、シナリオ2ではシナリオ1の2.86倍、シナリオ3コンビナートではシナリオ1の3.56倍の効果が推計。

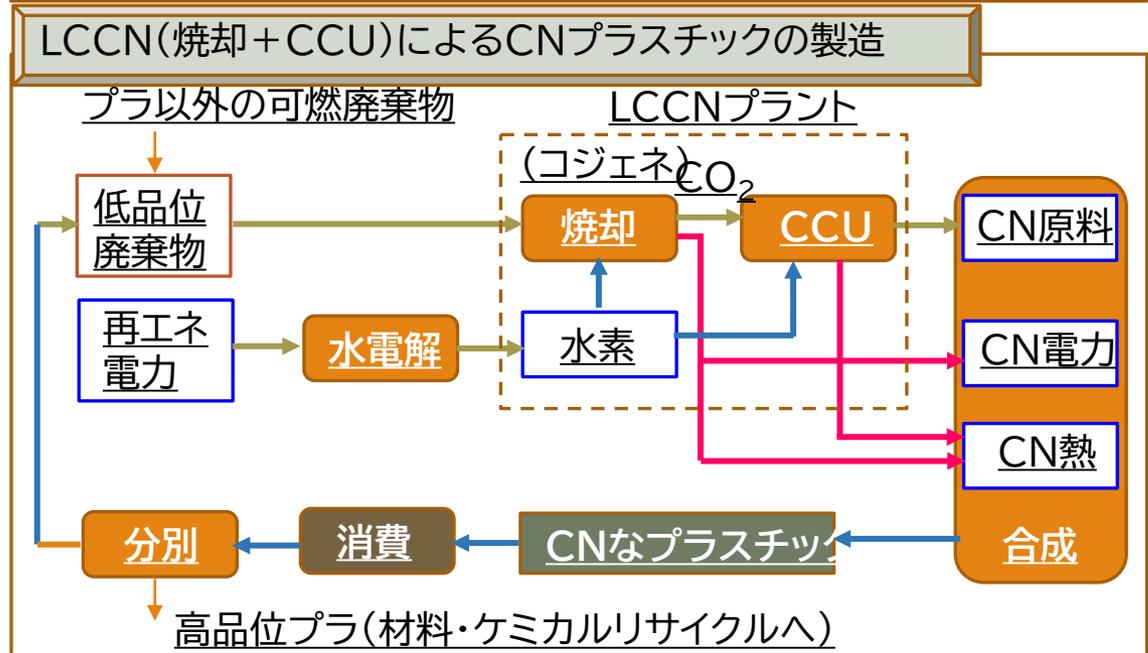
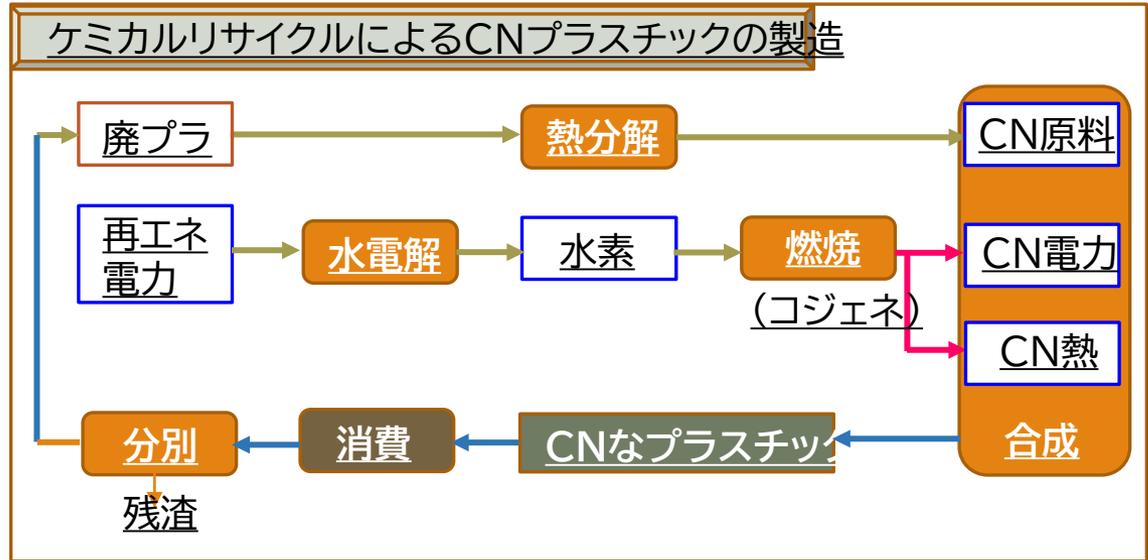
| CO ₂ 削減量 | 単位 | 2050年時点 | | |
|--------------------------|-------------------|---------------|----------------|------------------|
| | | シナリオ1・ BaU | シナリオ2・ 工業団地 | シナリオ3・ コンビナート |
| 削減量 | t-CO ₂ | 95,117 | 272,054 | 338,870 |
| シナリオ1との比較 | 倍 | - | 2.86 | 3.56 |
| 発電効率25%想定時の シナリオ1との比較 | 倍 | - | 1.66 | 2.07 |

▶ さらに先を見据えると

▶ ライフサイクルカーボンニュートラル(LCCN)

- リサイクル困難な有機素材も含め、生産・廃棄の総てのライフサイクルでカーボンニュートラルを達成(Life Cycle Carbon Neutral: LCCN)
- LCCNでは、ケミカルリサイクルの効率を上回るエネルギー効率で焼却・蒸気供給+CCUを実現することを目指す

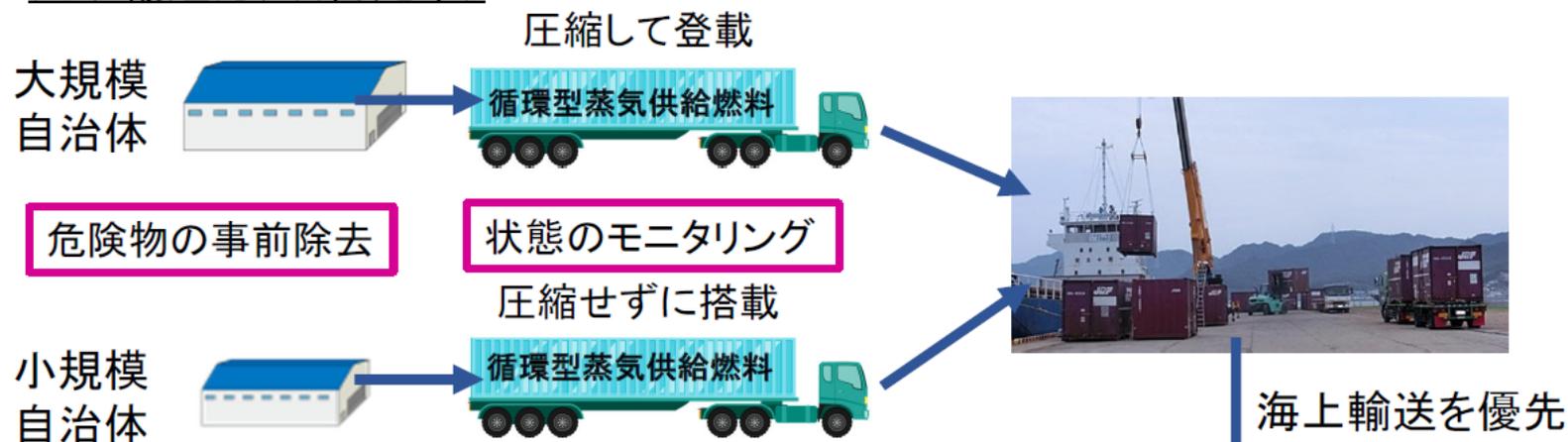
※製紙工場は、輸送が容易なメタノールやエタノールをCCUで製造し、化学産業に出荷する。



広域輸送にむけて

廃棄物燃料の広域収集(長距離輸送)の効率化

循環型蒸気供給燃料を効率的かつ安全に輸送する方法を提案・採用する
広域輸送方法(暫定案)



欧州の廃棄物コンテナ・海上輸送の事例(ロッテルダム)



全国6カ所程度のコンビナート(臨海工業地帯)に集積(仮説)

LCCNプラントへの転換によるポテンシャル

将来3000万t/年の一廃・産廃をコンビナートのLCCNプラントに集約した場合のおおよその経済性の変化(焼却発電との比較)

+:費用増加 -:費用削減

| | | |
|------------------|---|-----------|
| LCCN Ready Plant | 輸送費の増加  | +3500億円/年 |
| | 焼却炉の建設・運転経費の削減(LCCN Ready) | -4000億円/年 |
| | 蒸気供給と発電との差額 | -2000億円/年 |
| LCCN Plant | 2400万t/年(80%)のCO ₂ の回収費用(カーボンマイナス) 500 | 500億円/年 |
| | 反応させる水素の価格(20円/Nm ³ の場合) | +7000億円/年 |
| | 生産されるエチレン・プロピレン(580万t/年*)の現在価値 | 7000億円/年 |
| | CCUのための装置の建設・運転経費 | 削減額不明 |

合計 カーボンリサイクルまで行った上で(廃棄物については300万t-CO₂/年程度のカーボンマイナス)、2000億円/年以上の経済的メリットが得られる可能性がある。

現在と同等の費用で、カーボンリサイクル(カーボンマイナス)の達成を目指す

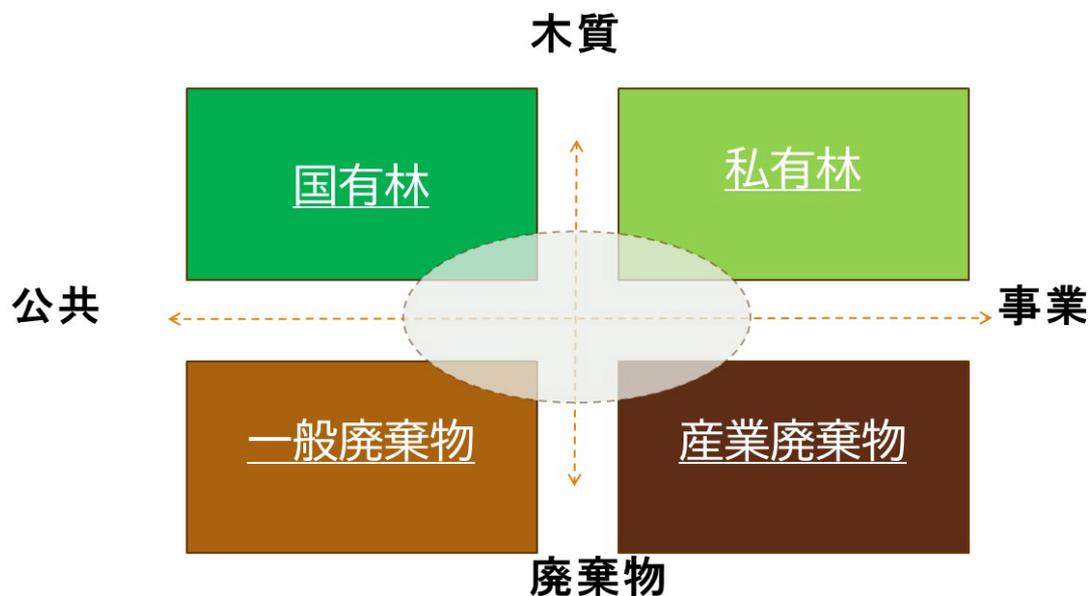
プラスチック等脱炭素広域循環経済と食品廃棄物地域循環による環境・経済効果の最大化

(推進費3CN-2202)藤井実

総合的にバイオマスの利活用を検討

LCCNと同時に実現可能な選択肢

- 既存の焼却炉でチップ・ペレット乾燥
- 木質と湿潤系バイオマスのコンバインド
- 地域産業エコシステムの再構築



政策的な垣根なく、「**適材適所**」、かつ「**適所適材**」の利活用。

▶ まとめ

- 一般廃棄物焼却炉を広域・大規模化し、石油化学コンビナートに近接することで、産業・廃棄物分野のカーボンニュートラルに近づく
- 特に、資源の効率性、国土計画、巨大な需要家と視点が鍵になる
- 一方、その動きと連動して、木質バイオマス・湿潤系バイオマスのエコシステムも再検討が必要
- 縮小社会の中で、自然・産業・都市/地方の共生関係を見直すことが重要な課題

ご清聴ありがとうございました

Question and comment to;
onishi.satoshi@nies.go.jp



[FRECC+ \(フレックプラス\) | 福島から地域と環境の未来を考えるWEBマガジン \(nies.go.jp\)](https://www.nies.go.jp/)

謝辞

本発表にあたっては、脱炭素化・先導的廃棄物処理システム実証事業(地域の熱利用マッチングによる焼却施設からのエネルギー回収高度化実証)*、及び環境研究総合推進費 3CN-2202「プラスチック等脱炭素広域循環経済と食品廃棄物地域循環による環境・経済効果の最大化」での成果を反映している。関係各位に深謝いたします。

なお、*株式会社エックス都市研究所 EXRIが代表、国立研究開発法人国立環境研究所 NIES、一般財団法人エネルギー総合工学研究所、株式会社東海クリーン 東海C、アイフォーコム・スマートエコロジー株式会社 IFC, 株式会社デザイナーズユニオン DU、公益財団法人 廃棄物・3R研究財団 JWRFの事業体の成果です。