

第221回研究会講演資料

バイオマス産業社会ネットワーク研究会

廃木材のマテリアル&サーマルリサイクル事例 ～木くず蒸気供給事業～

2024年3月14日



JFE

J&T 環境 株式会社

倉敷リサイクル工場
工場長 中田 真人

目次

- I. J&T環境のご紹介
 - (1) J&T環境のご紹介
 - (2) 会社概要
 - (3) 倉敷リサイクル工場の概要
- II. 廃木材リサイクル事業
 - (1) 廃木材利活用(炭化物製造)
 - (2) 蒸気供給事業
- III. NEDO実証事業の紹介
 - (1) プロジェクト概略工程
 - (2) 物質収支の当初試算
 - (3) 実証設備
 - (4) 実証試験
 - 1) 原材料の性状
 - 2) 弊社工場の原材料調達について
 - 3) 破碎分級試験
 - 4) 燃焼試験
- IV. 考察とまとめ
 - (1) マテリアルバランス
 - (2) 温室効果ガス削減成果
 - (3) まとめ

I . J&T環境のご紹介

I-(1) J&T環境のご紹介



JFE HD

グループ全体の経営戦略策定・資金調達

TEPCO

東京電力 F&P



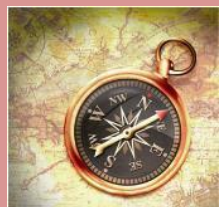
中部電力

JFEスチール 鉄鋼製造会社



JFE商事

総合商社
主力は鉄鋼商品



JFEエンジニアリング

総合エンジニアリング会社

環境・エネルギー・
社会インフラ等を
担う



JERA

発電事業会社



64
%

36
%

J&T環境株式会社



I-(2) 会社概要

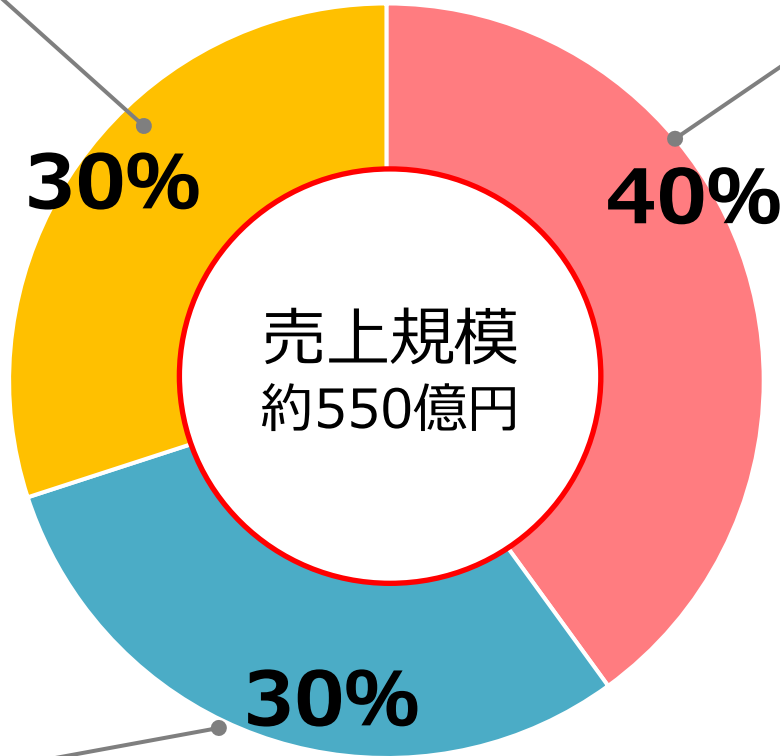


会社概要

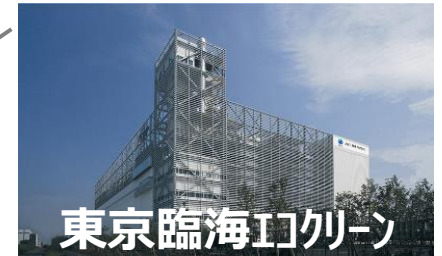
会社名	J&T環境株式会社
設立	1977年（昭和52年）10月29日（当初社名:鋼栄運輸機工(株)） 2019年4月 東京臨海リサイクルパワー(株)と合併し、J&T環境(株)発足 2023年10月 JFE環境サービスより廃木材処理事業を承継
本社	(川崎本社):川崎市幸区堀川町580番地 ソリッドスクエア東館9F (横浜本社):横浜市鶴見区弁天町 3 番地1 JFEエンジニアリング内
資本金	6億5千万円（JFEエンジニアリング株式会社64%/株式会社JERA36%）
代表者	代表取締役社長 露口 哲男
従業員数	約1,000名
事業内容	総合資源化リサイクル事業：産廃処理、一廃処理受託、計量証明 総合物流事業：産廃収集運搬、一廃収集運搬、一般貨物運送

I-(2) 会社概要 (事業内容)

ソリューション事業



焼却・発電



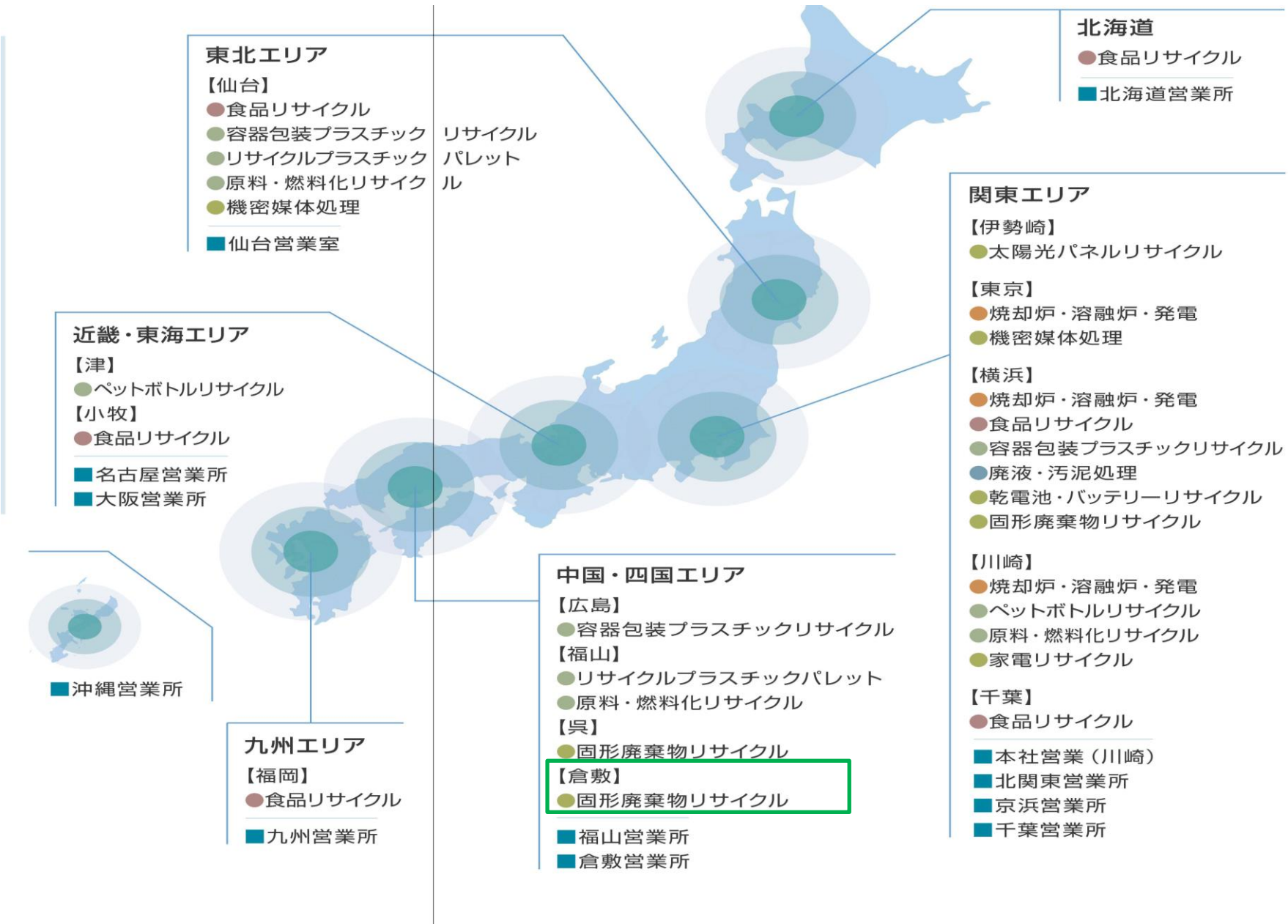
リサイクル事業



合成ガス化



I -(2) 会社概要 (主要拠点位置)

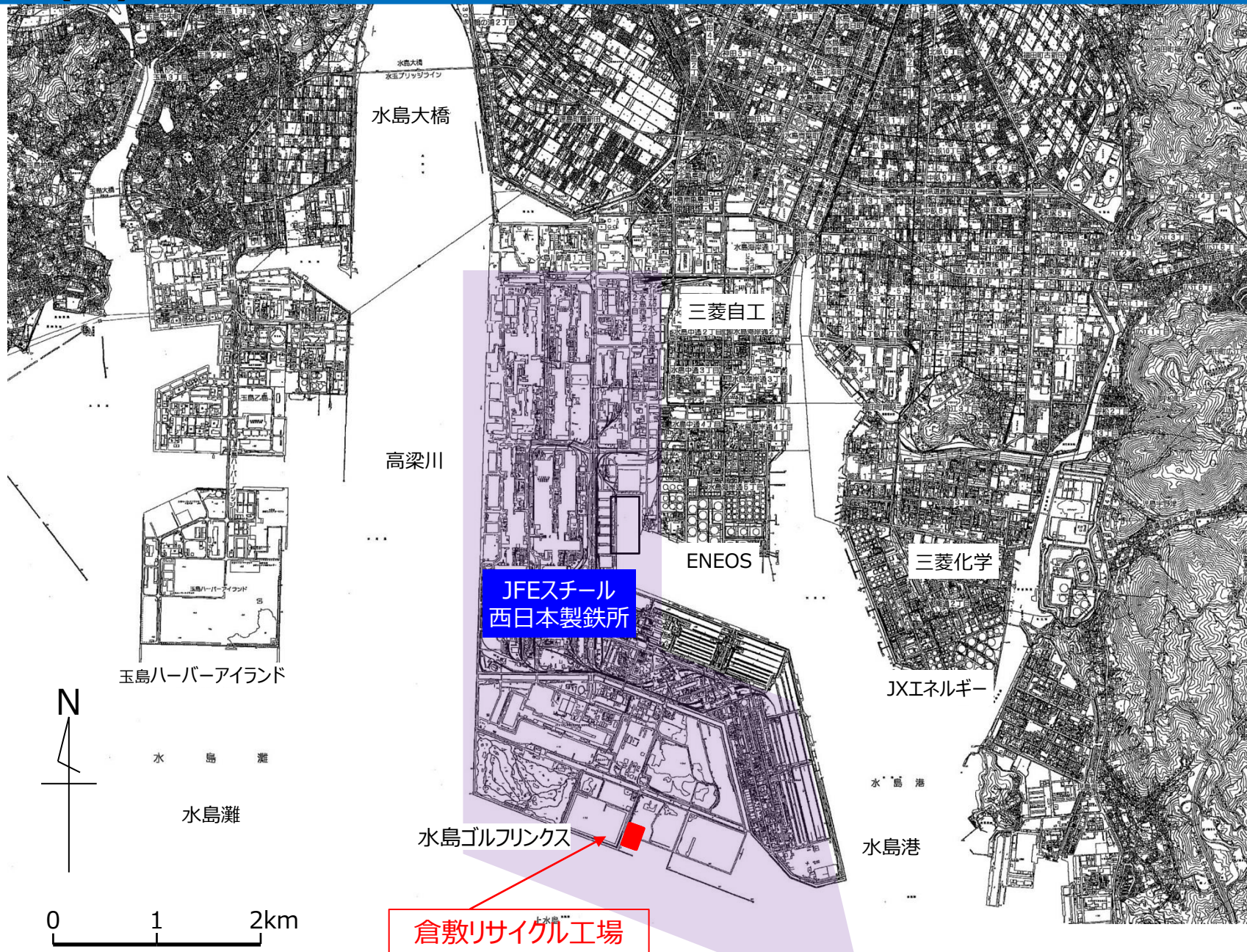


I-(3) 倉敷リサイクル工場の概要

事業所概要

事業開始	2005年（平成17年）4月～ （2023年10月1日 J&T環境がJFE環境サービスから事業承継）
所在地	岡山県倉敷市川崎通1丁目14番地1 （JFEスチール(株)西日本製鉄所倉敷地区構内）
所員数	12名
事業内容	廃木材による 蒸気製造・供給、炭化物製造・販売
許認可	一般廃棄物処分業、産業廃棄物処分業（木くず）
処理設備能力	1. 破碎施設（破碎機,分級機） 110t/日（8h） ・ 約12千t/年の木くず（産廃、一廃）を処理 2. 焼却施設（ 炭化炉 ） 65t/日（24h） ・ 約17千t/年の蒸気をJFEスチールに販売 3. 燃焼施設（ ハイマスボイラー ） 27t/日（24h） ・ 2018年8稼動

I-(3) 倉敷リサイクル工場の概要 (位置図)

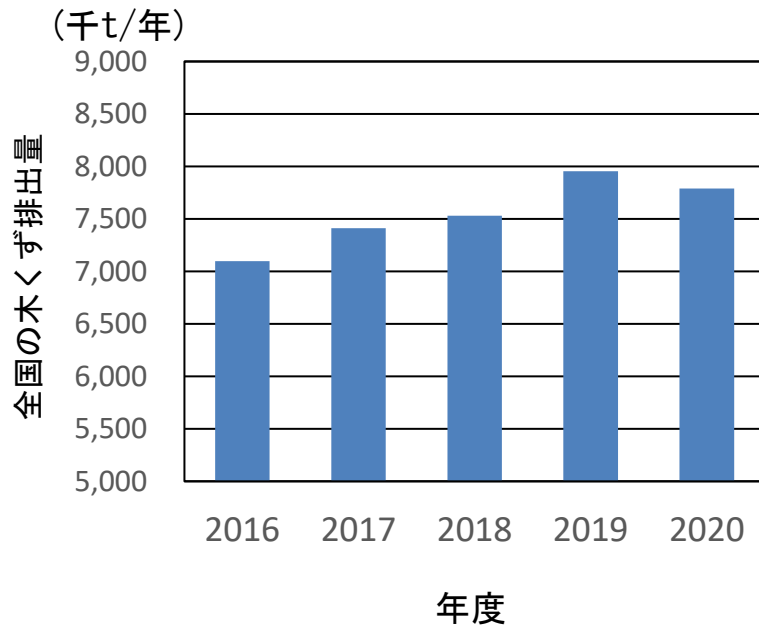


倉敷リサイクル工場

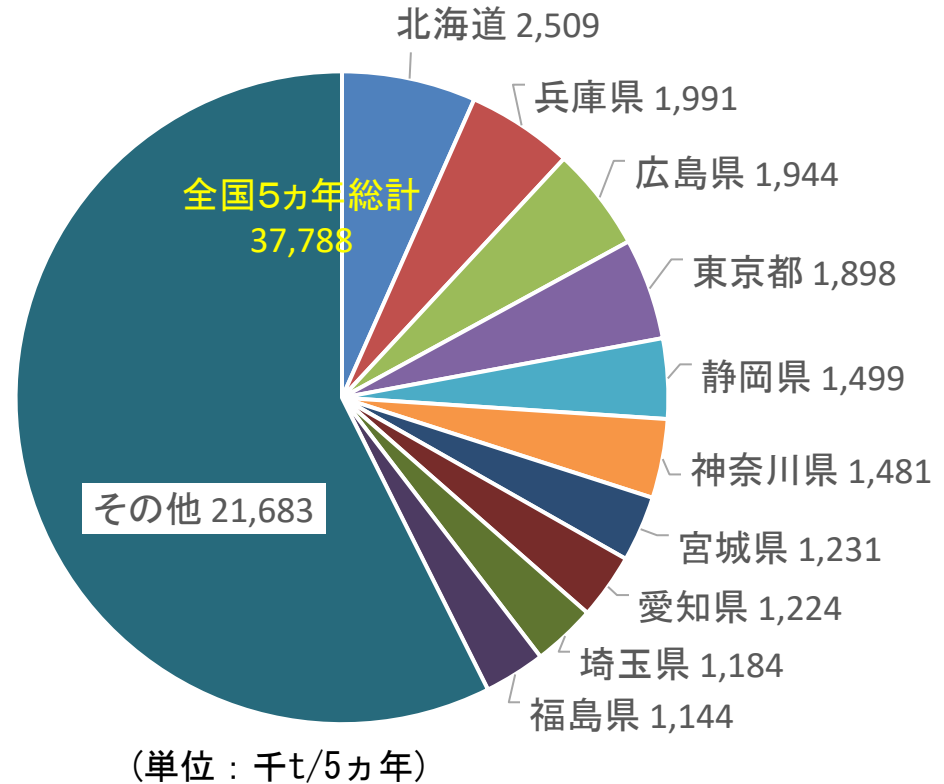
Ⅱ． 廃木材リサイクル事業

(1) 廃木材利活用(炭化物製造)

Ⅱ-(1)-① 全国の廃木材材排出量



全国の排出量推移



都道府県別累計

木くず排出量 (2016~2020年度5ヶ年)

出典: 環境省「産業廃棄物排出・処理状況調査報告書」2019~2023年3月

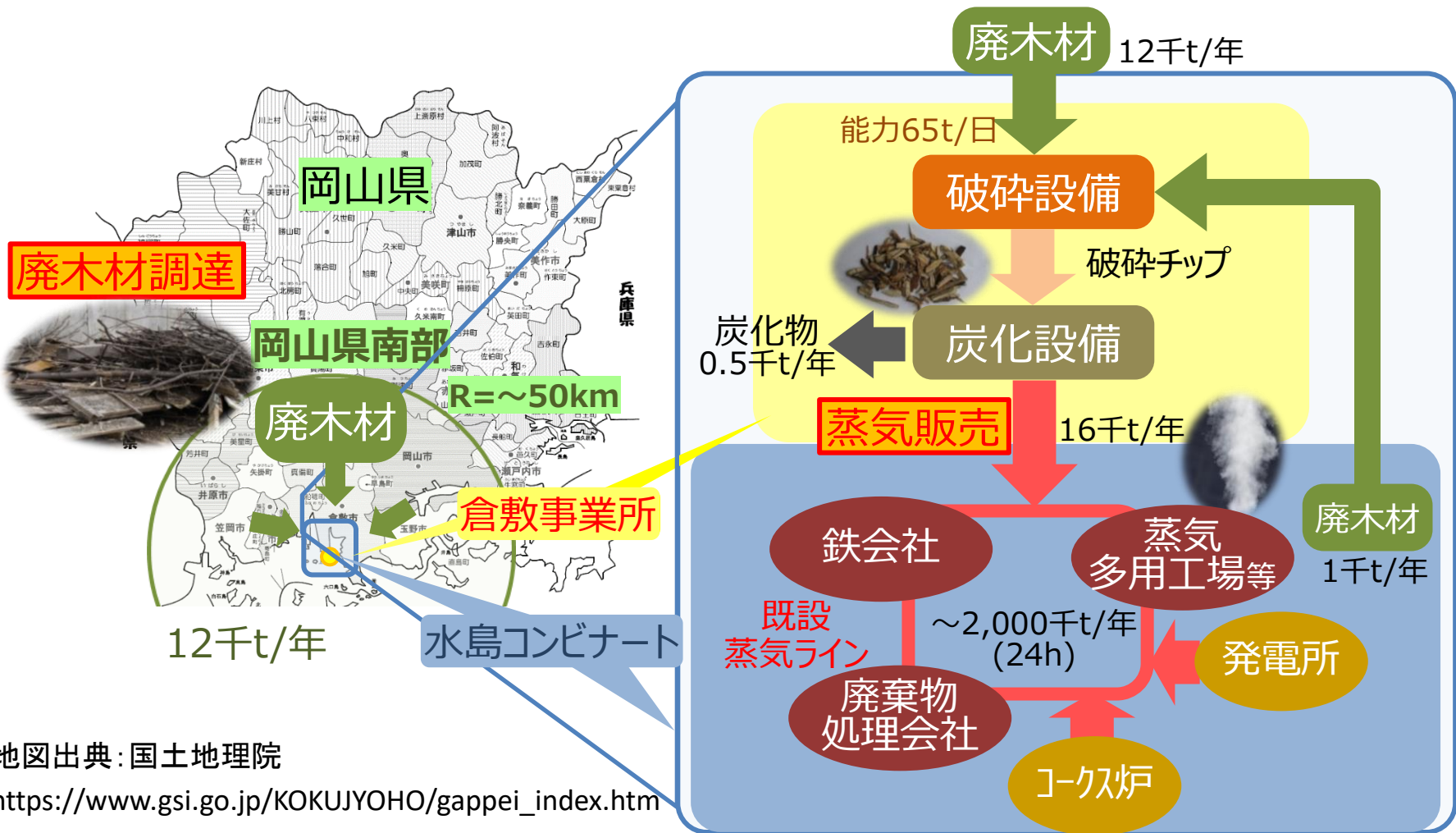
Ⅱ-(1)-② 当社における廃木材集荷量

廃木材の炭化処理事業 “廃木材のリサイクル”

炭化物製造販売, 蒸気販売



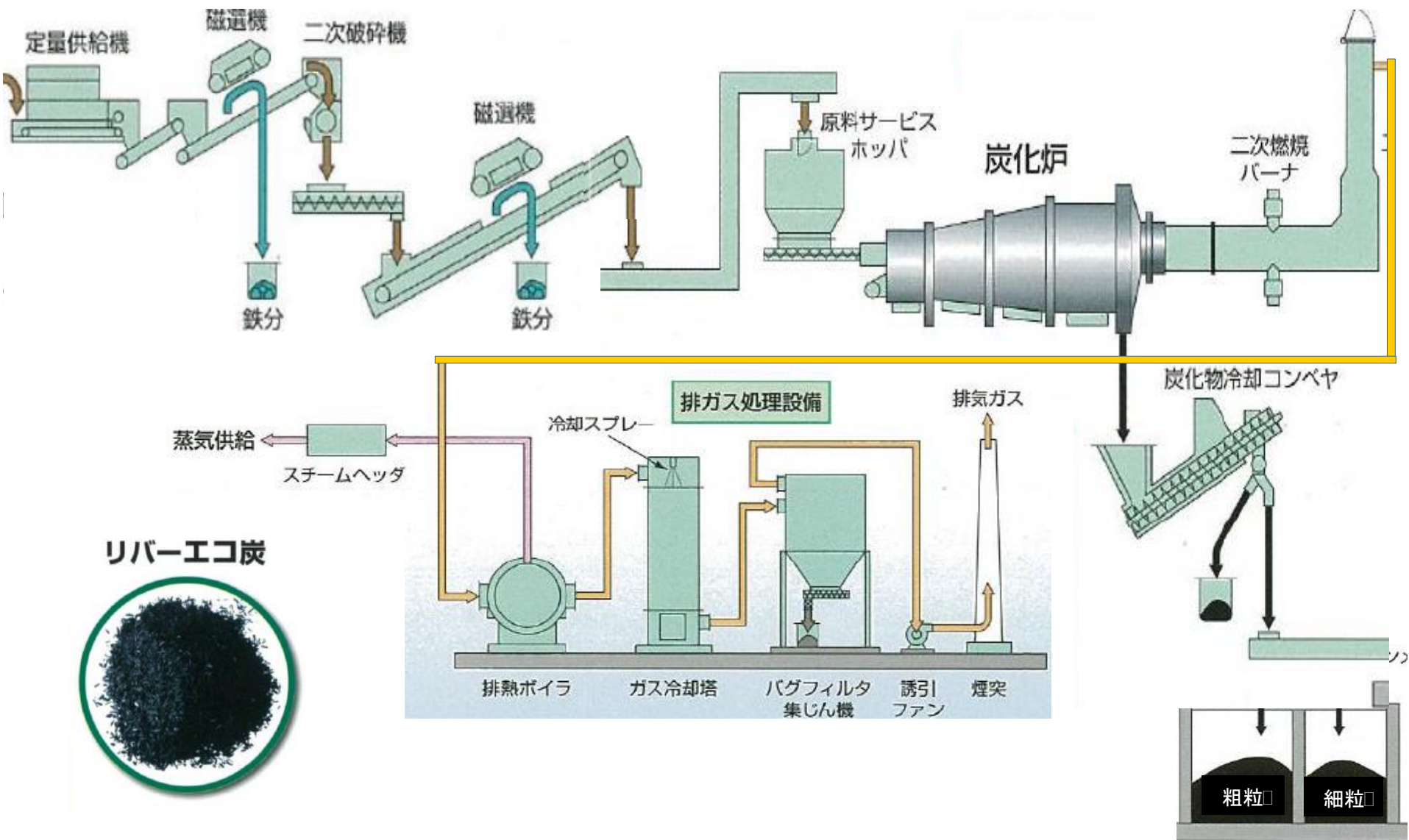
- ・炭化物ニーズの減少
- ・設備更新時期



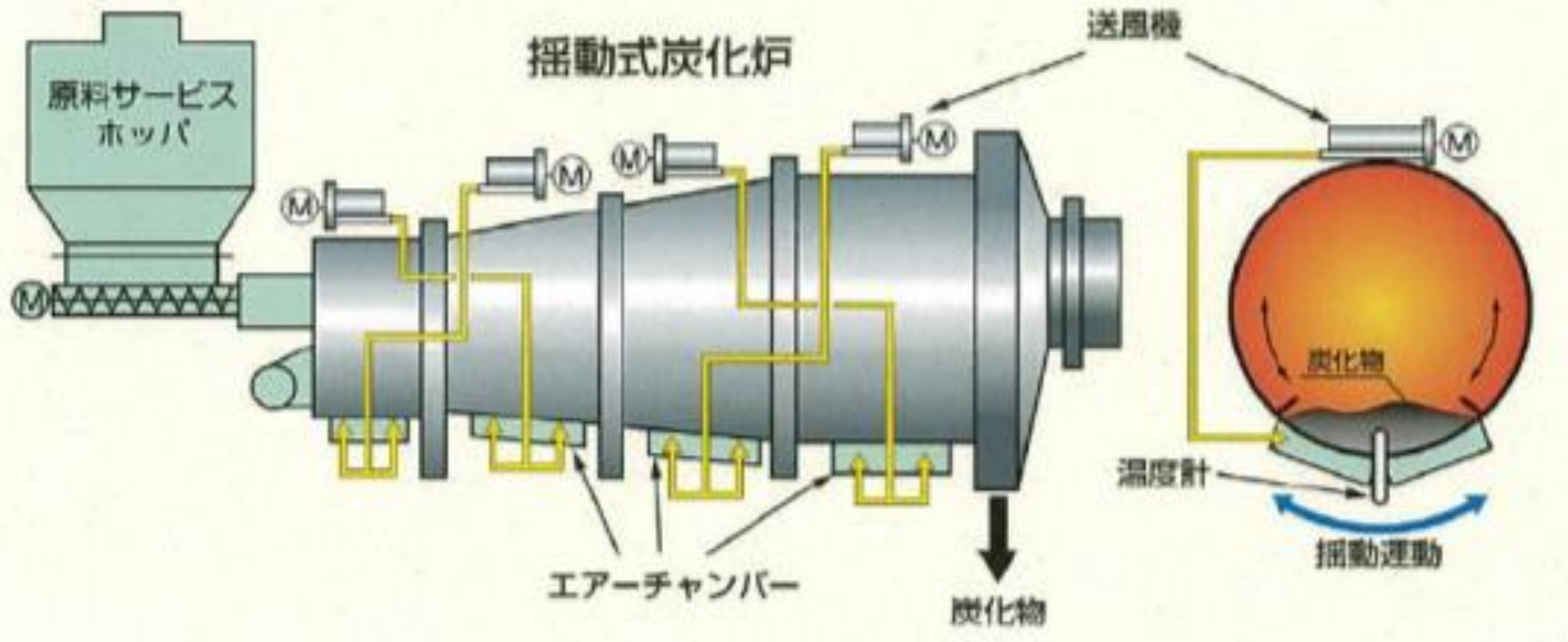
地図出典: 国土地理院

https://www.gsi.go.jp/KOKUJYOHO/gappei_index.htm

II-(1)-③ 炭化炉設備フロー



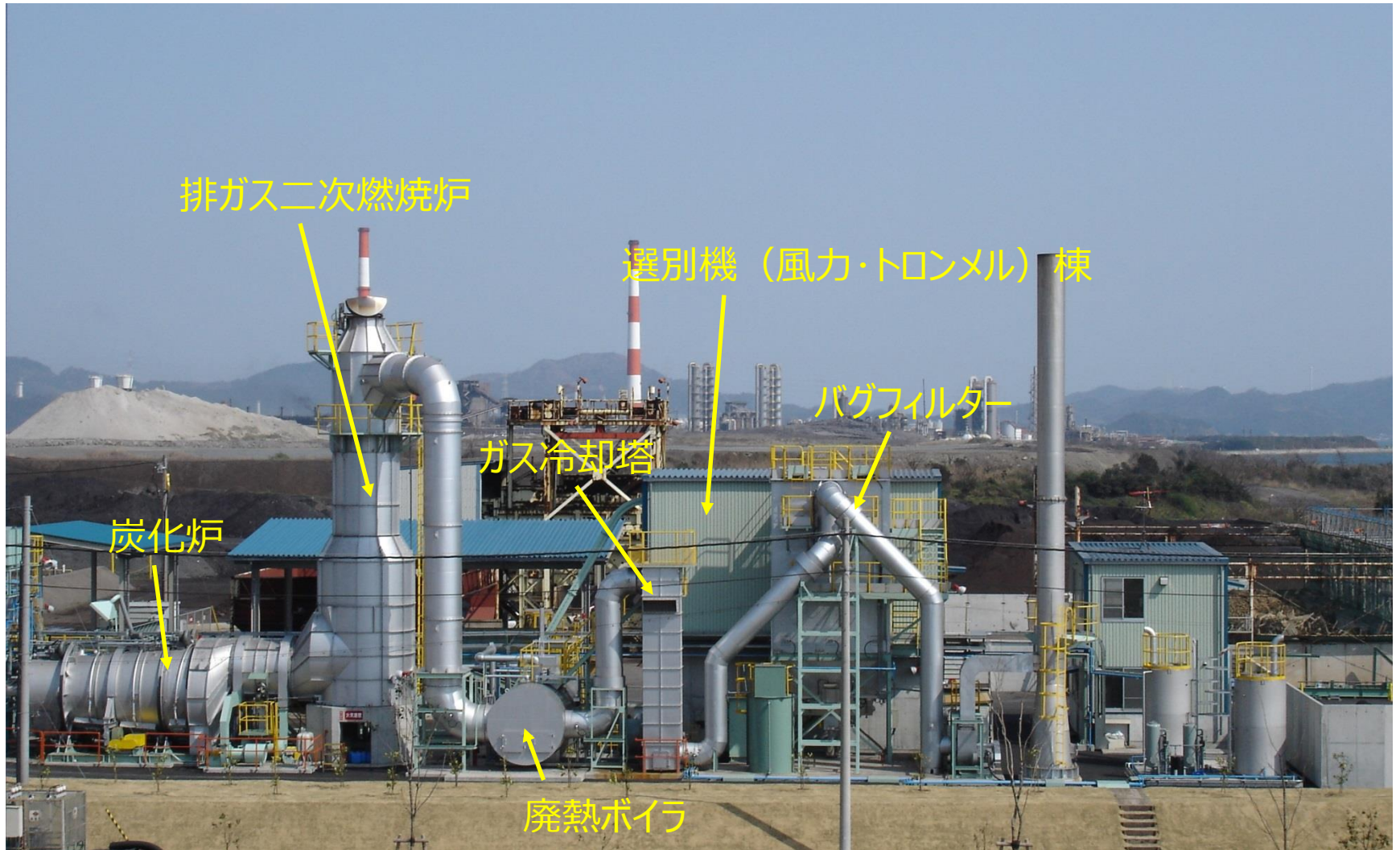
Ⅱ-(1)-④ 炭化炉の構造と特徴



内熱式炭化炉

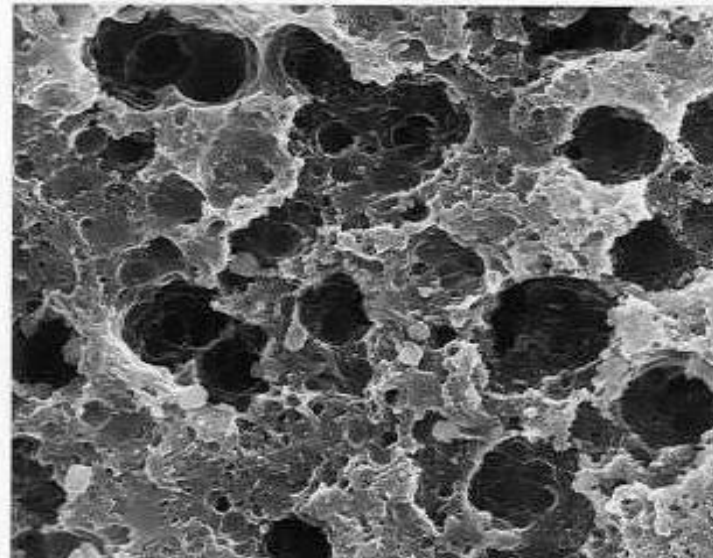
- 補助燃料が不要 → 低ランニングコスト
- 高温炭化が可能 → 良質の炭化物を製造
- 構造がシンプル・安全 → 運転・維持管理が容易

Ⅱ-(1)-⑤ 炭化設備外観



Ⅱ-(1)-⑥ 炭化物の性状(a)

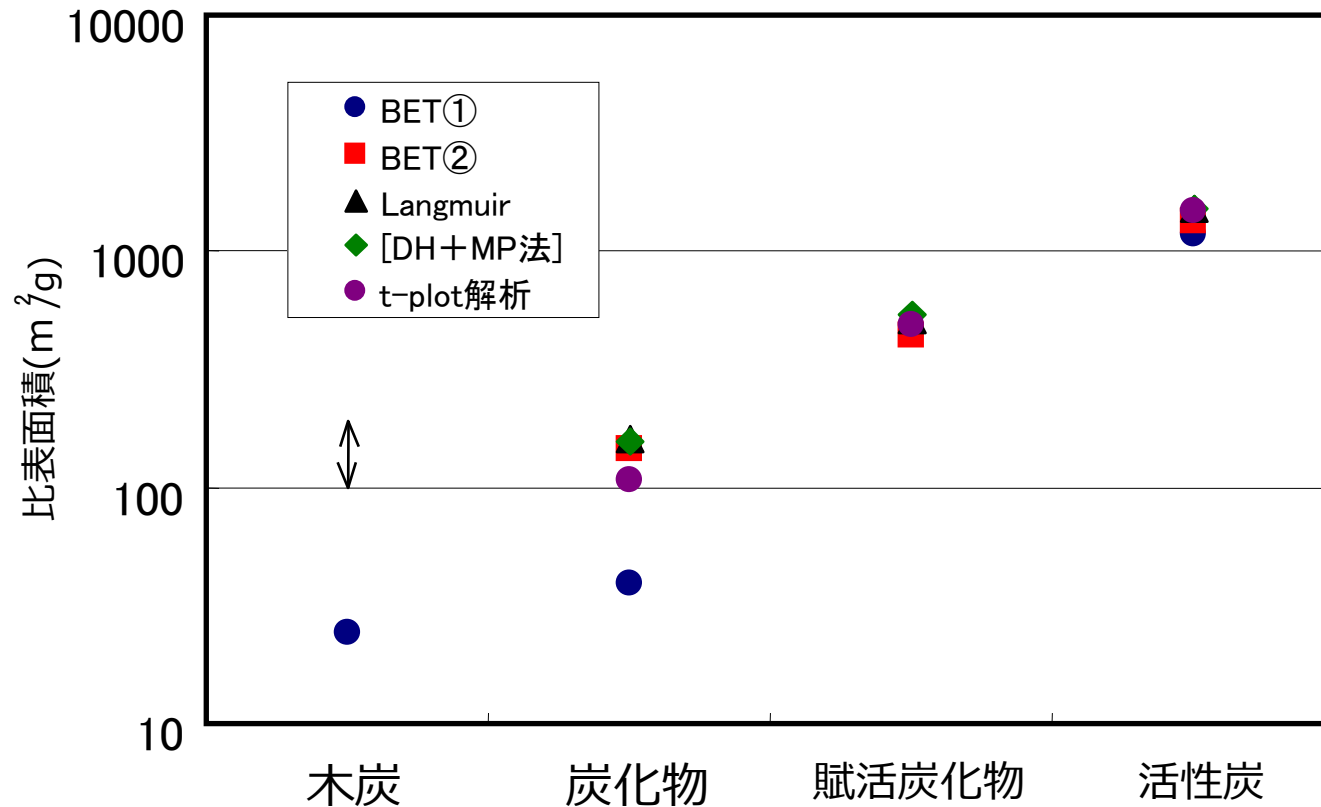
炭化物電子顕微鏡写真



木くず炭化物
(SEM × 5,000)

II-(1)-⑥ 炭化物の性状 (b)

炭化物の比表面積測定結果



Ⅱ-(1)-⑦ 炭化物の有効利用先事例 (a)

—農地での利用—

＜土壌改良材＞ 大麦栽培実験



元の土壌のまま

炭化物施工



元の土壌のまま

炭化物施工

＜炭化物施工状況＞

＜成育状況＞

Ⅱ-(1)-⑦ 炭化物の有効利用先事例 (b)

－ハウス栽培への利用－

<土壌改良材> 茄子ハウス栽培



炭化物施工



元の土壌のまま

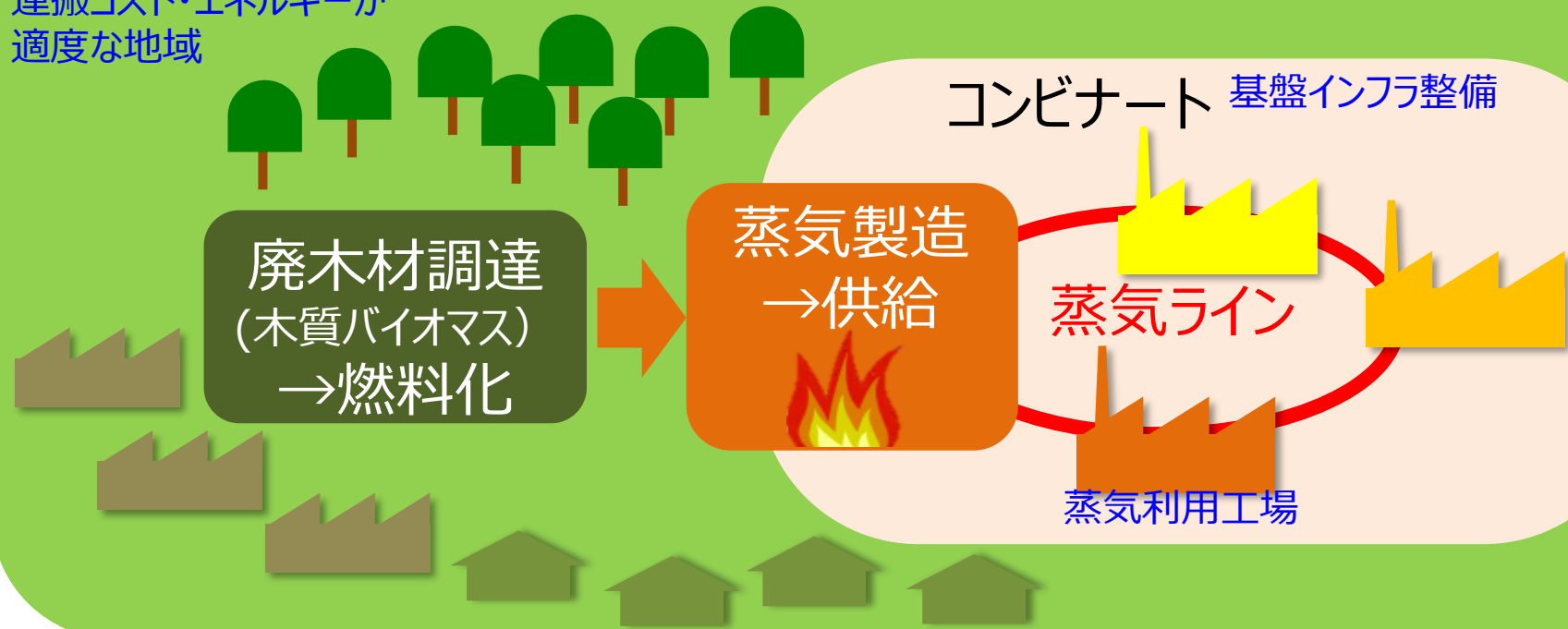
土壌の保水性、透水性が高まると共に土壌微生物が炭化物の細孔内に繁殖し
農作物の成長を促進

Ⅱ-(1)-⑧ 新たな提案

廃木材を燃料とした熱利用モデル

コンセプト “廃棄物の熱利用”

運搬コスト・エネルギーが
適度な地域



特徴

- ① 廃木材(バイオマス)のエネルギーを蒸気として利用
- ② 地域の特徴を活かした最適なシステム化

Ⅱ． 廃木材リサイクル事業

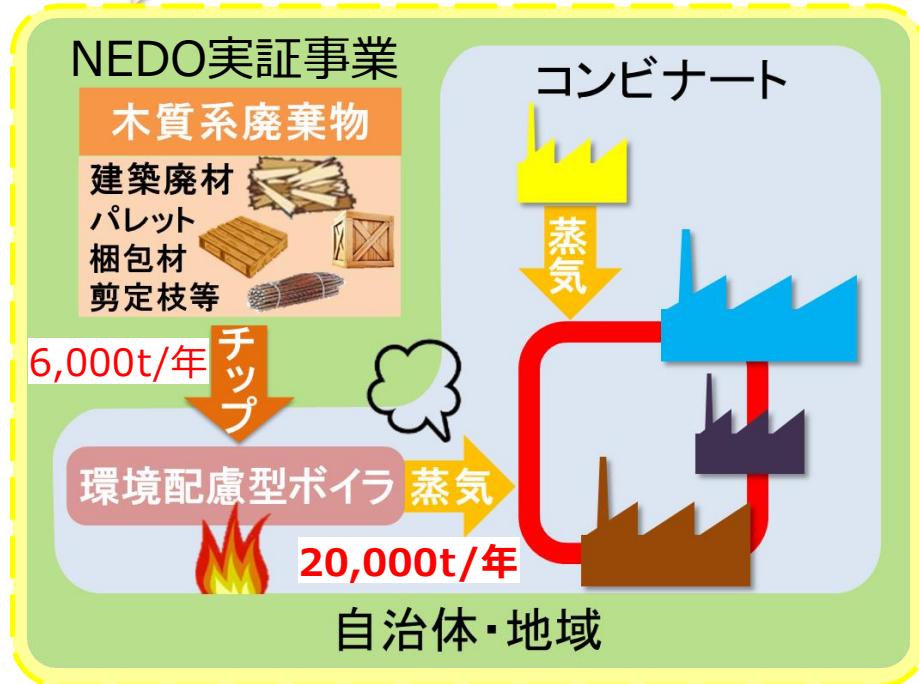
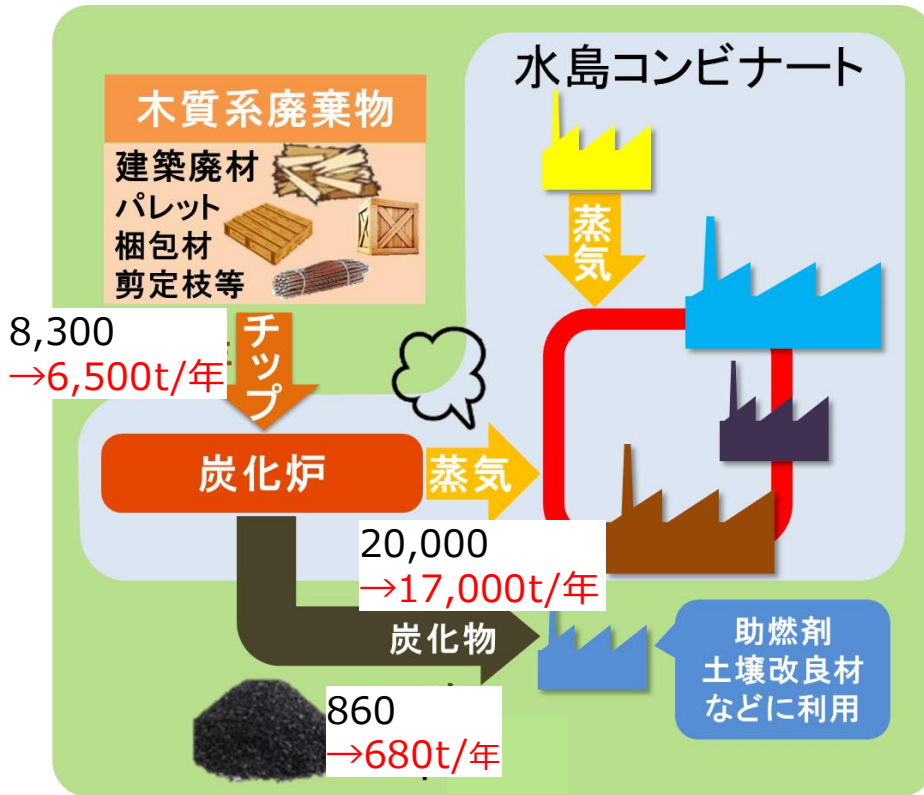
(2) 蒸気供給事業

Ⅱ-(2)-① 蒸気供給モデル

従来からの炭化事業

採算性向上

蒸気供給実証モデル



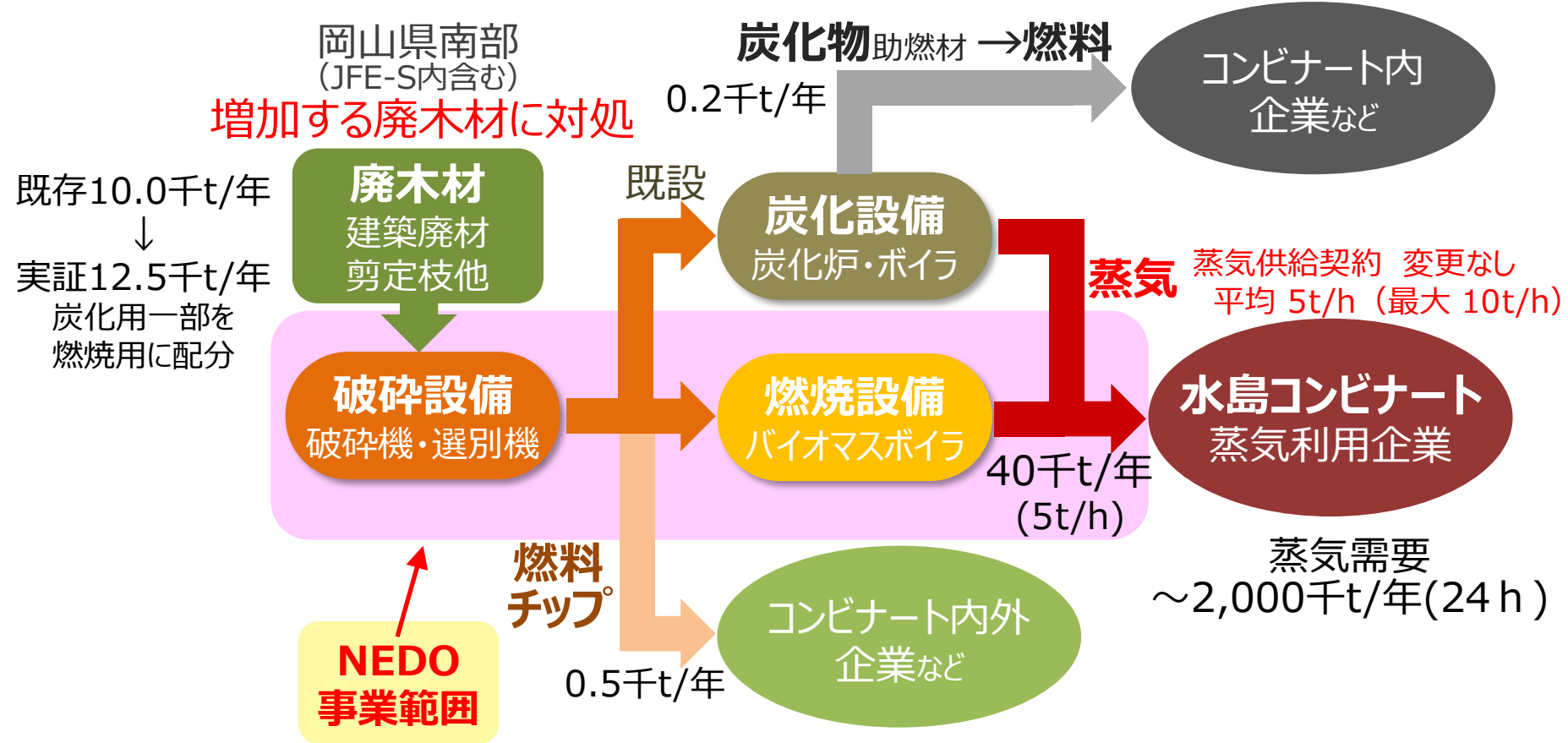
上記供給事業拡大
20,000t/年→37,000t/年
木質系廃棄物利用量増大
8,300t/年→12,500t/年

○CO₂削減；廃木材1.2万t ⇒ (A重油0.44万kl相当) 1.2万t-CO₂/年削減
(倉敷市の森林による温室効果ガス吸収量は約1.4万t-CO₂/年)

蒸気供給事業の効果

Ⅱ-(2)-② NEDO実証事業の活用 (2017年度～2020年度)

新規破碎システム+燃焼システム 有効性実証→NEDO助成事業活用へ



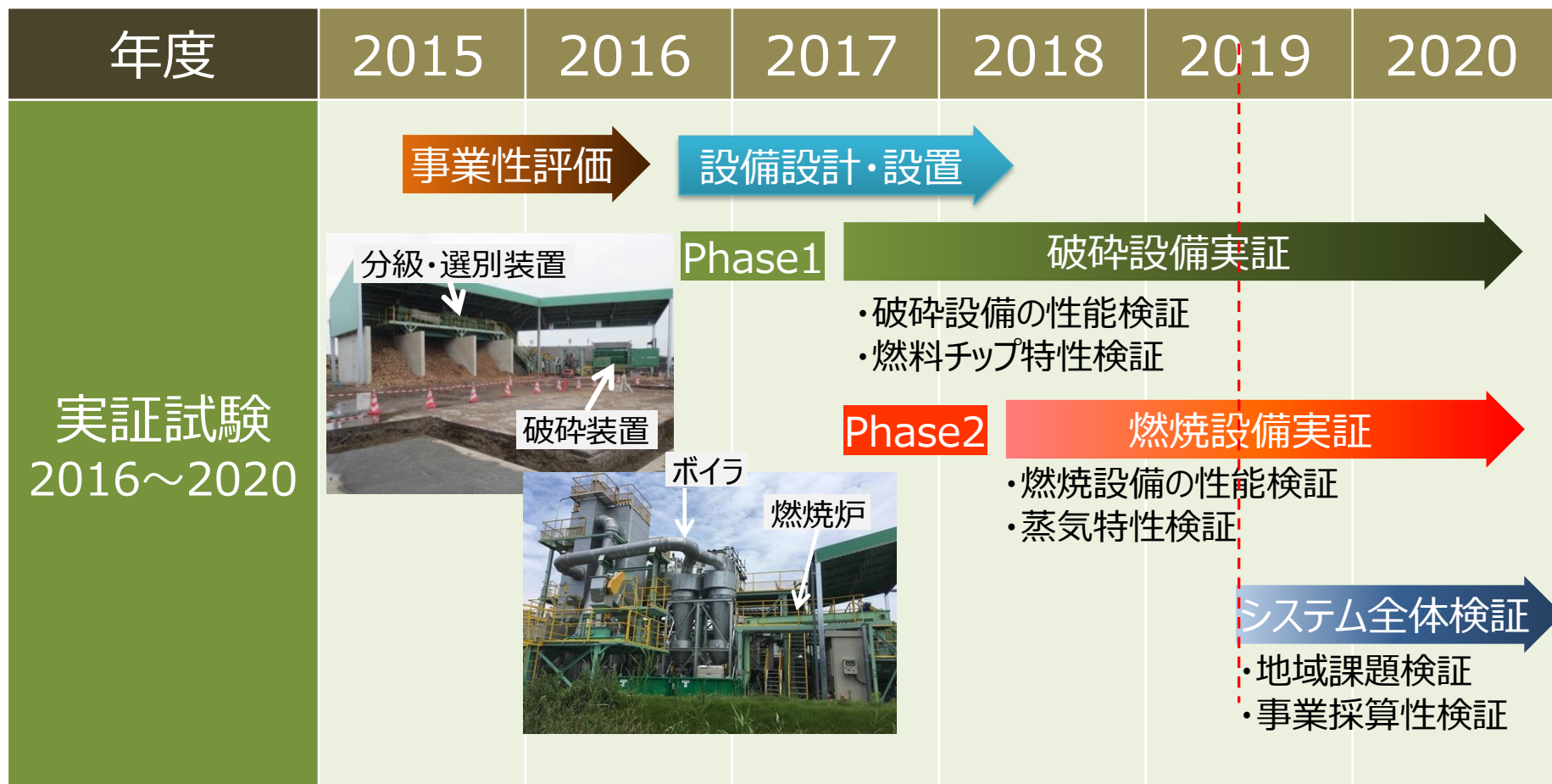
- (i) 廃木材活用 岡山県南部の廃木材の**燃料化**
- (ii) 配管投資不要 コンビナート内既設蒸気ラインに接続した**蒸気供給**
→ 岡山県南部の**廃棄物減量**と**蒸気の有効利用**

Ⅲ. NEDO実証事業の紹介

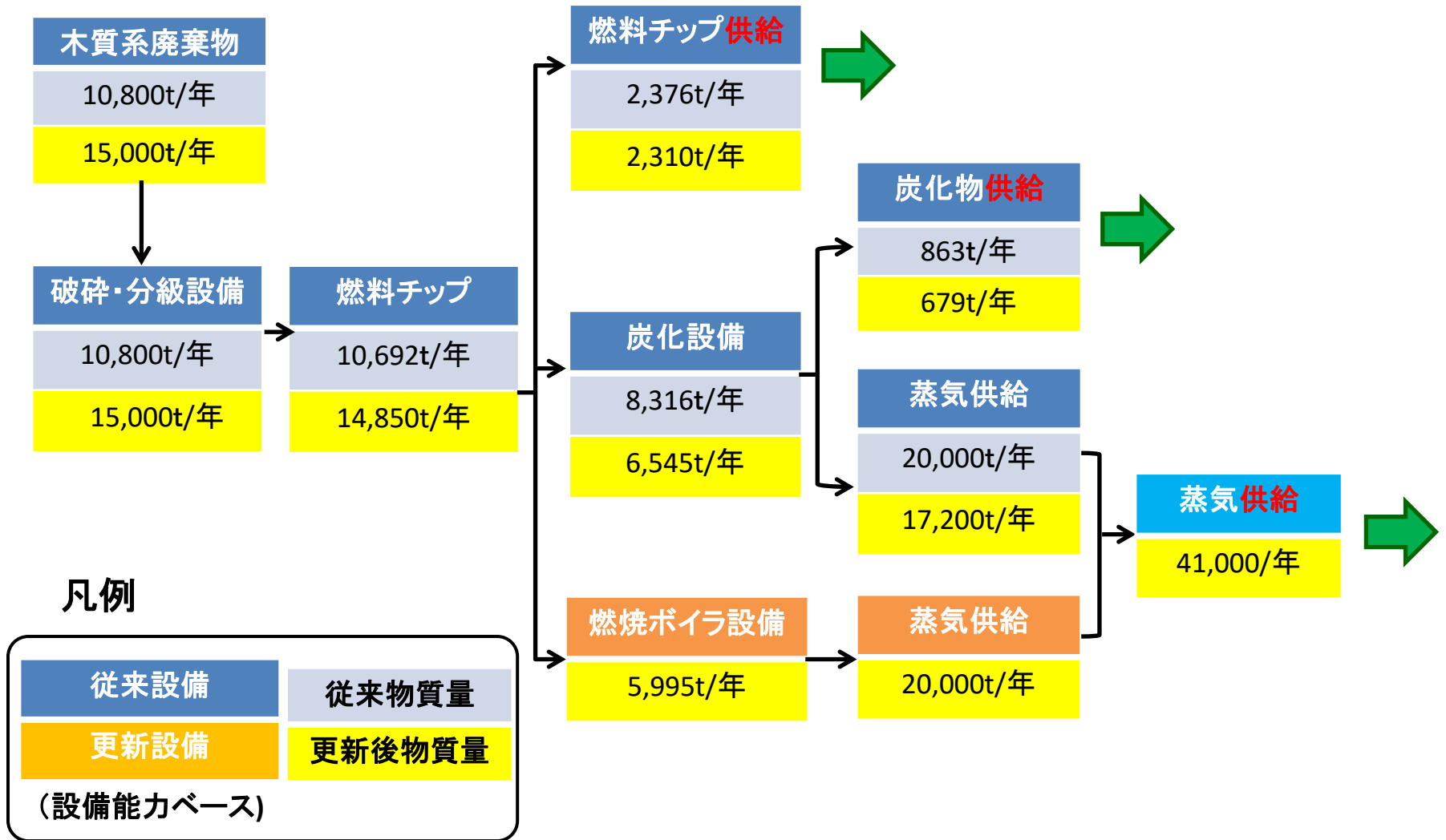
Ⅲ-(1) プロジェクト概略工程

実証試験は2段階に分けて実施

- ・2017年度：Phase1（破碎設備導入）
- ・2018年度：Phase2（燃焼設備導入）

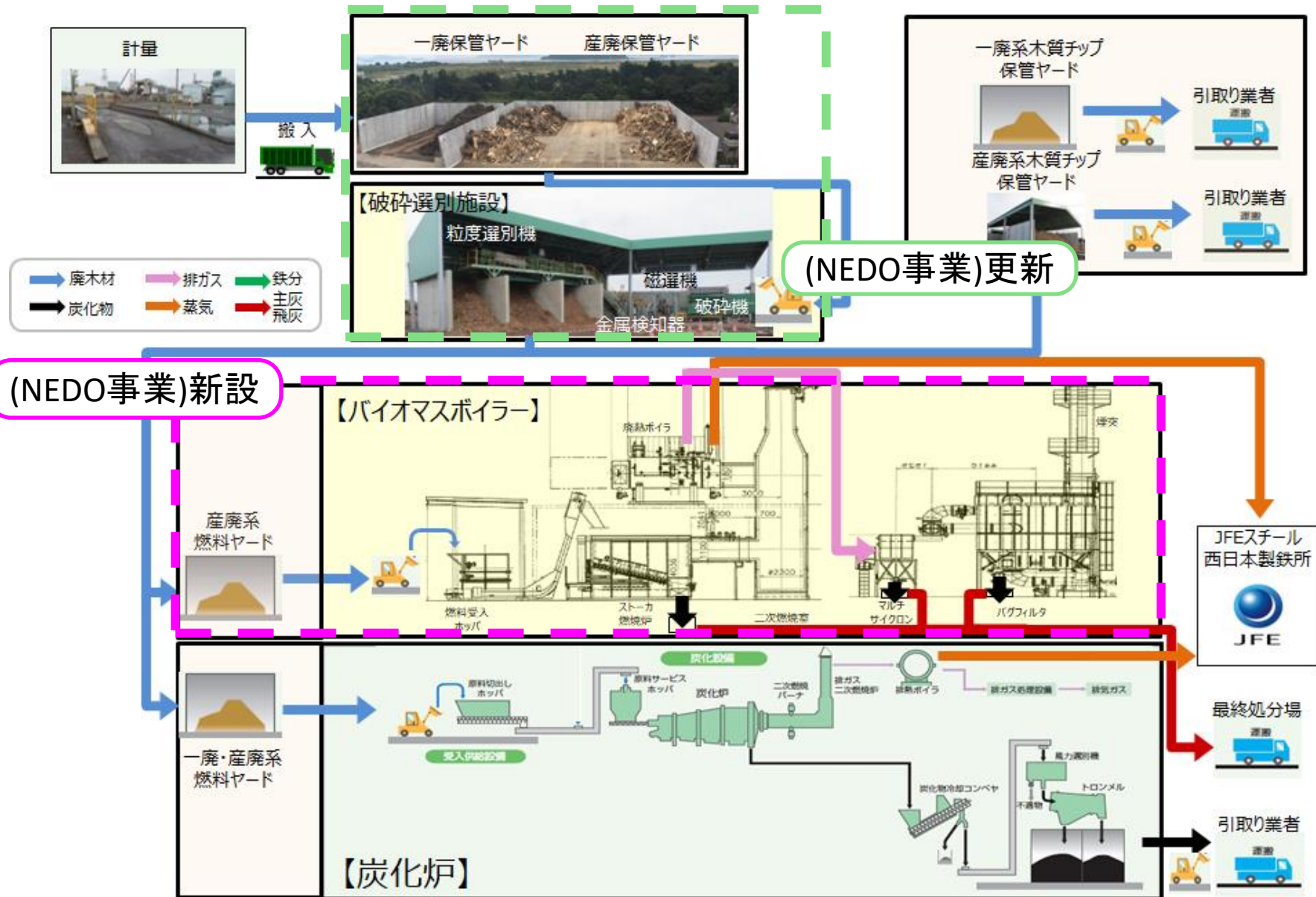


Ⅲ-(2) 物質収支の当初試算



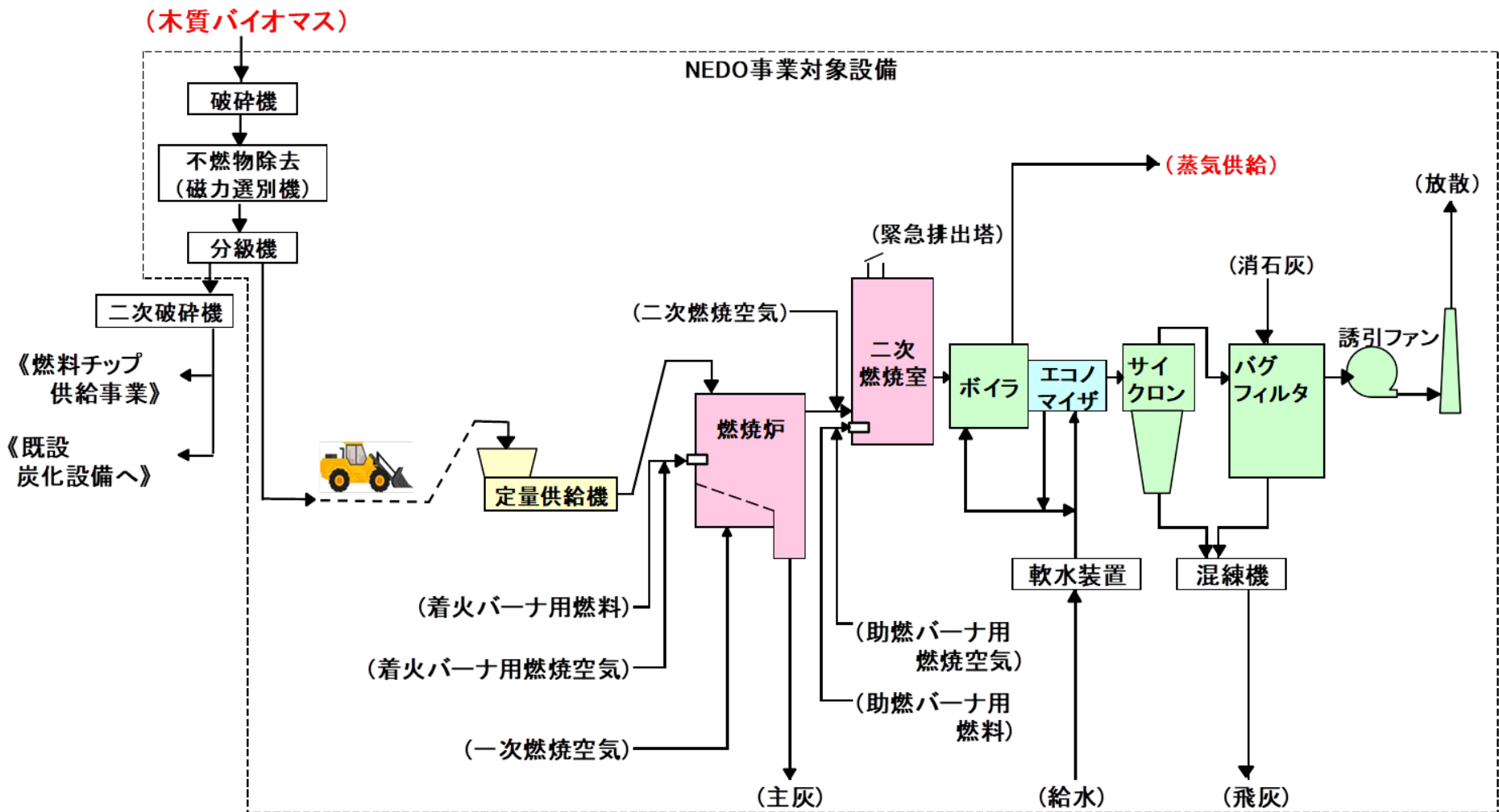
炭化設備と燃焼設備への分割例

Ⅲ-(3)-① 実証設備



Ⅲ-(3)-② 新規設備フロー (破砕設備+燃焼設備)

【設備構成】



設備構成

Ⅲ-(3)-③ NEDO事業 更新・新設設備外観



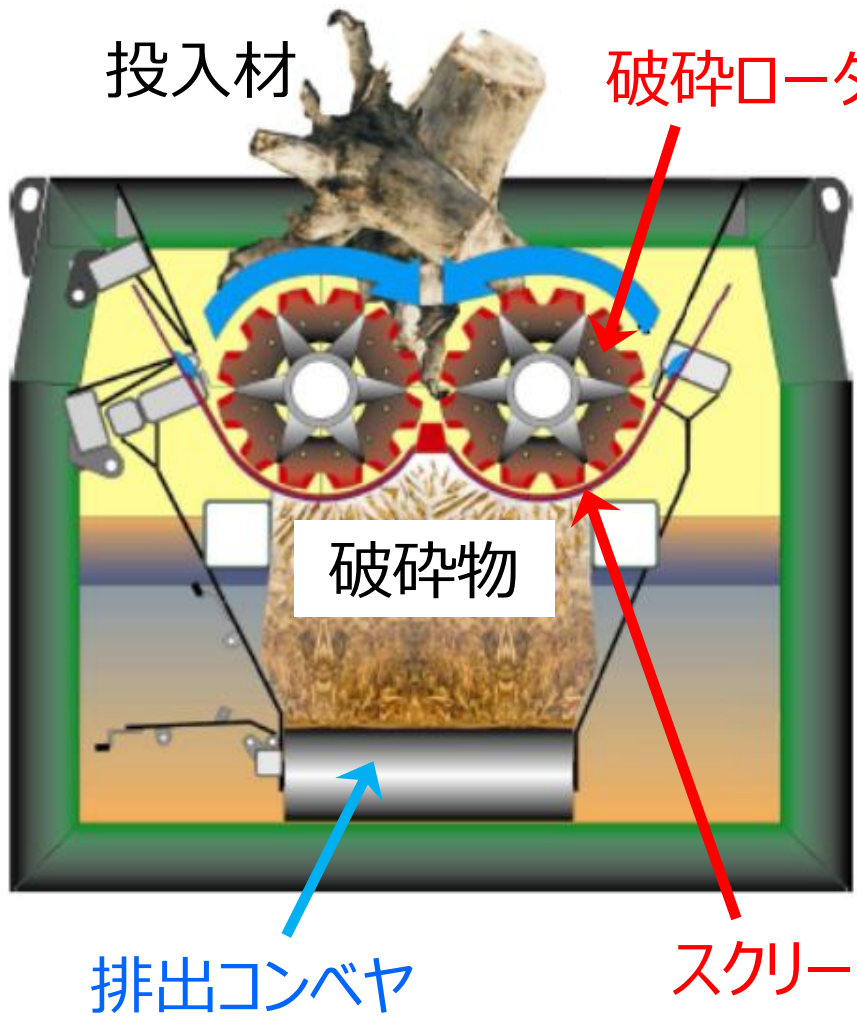
破碎設備

燃烧炉・ボイラ設備



バイオマスボイラー（NEDO事業）

Ⅲ-(3)-④ 破砕機



- ・負荷に応じて回転数制御
- ・自動負荷制御による正逆運転



運転状況

- ・破砕物がスクリーン上に滞留、再循環し、所定の寸法まで破砕

破砕機模式図

Ⅲ-(3)-⑤ 破碎機内部状況

- 材料投入は、ホツパが大きいので作業性が向上

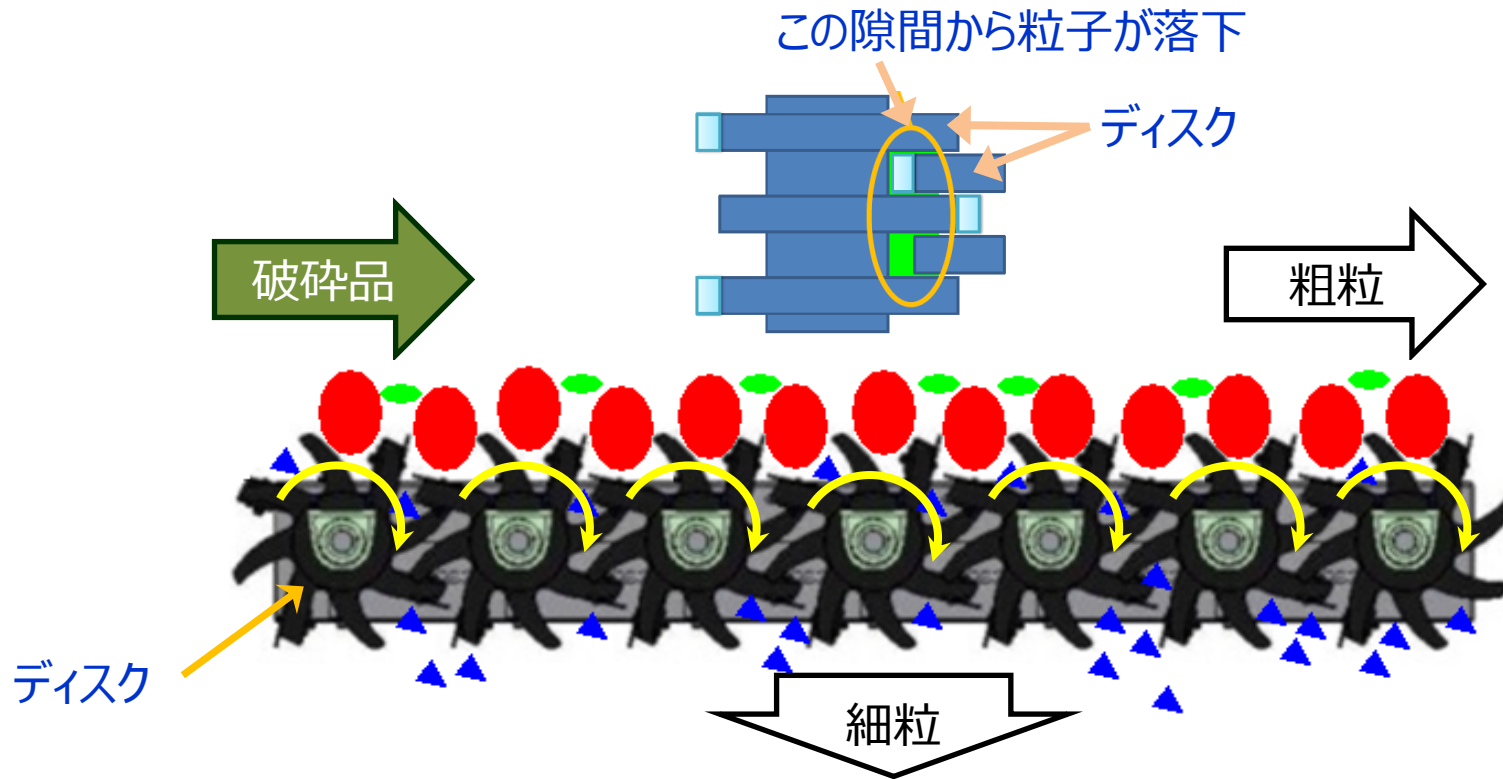


破碎ブレードおよび破碎ロータとスクリーン(下部)

- ・ホツパが大きく、原材料投入前のプレカット(前処理)の頻度減少
- ・破碎ロータは、低速回転のため破片の飛散が少ない(安全作業)

Ⅲ-(3)-⑥ 分級機

ディスクの回転数を調整することで粗粒・細粒の割合設定が可能



分級機模式図

- ディスクの回転が遅いと、比較的大きな粒子も落下して細粒量が増加。
- ディスクの回転が速いと、落下する粒子が減り、粗粒量が増加。

Ⅲ-(3)-⑦ 燃焼設備仕様

燃焼設備概略仕様

燃焼炉	形式	ストーカ式 1 次燃焼室 + 煙道式二次燃焼室
	対象 バイオマス	建設廃材チップ、廃パレットチップ他
	燃焼能力	800 kg/h (常用)
ボイラ	形 式	横煙管式廃熱ボイラ (蒸気式ストブロー付き) フィンチューブ式エコマイザー付き
	蒸気圧力	常用 1.7 MPaG(最高使用 1.96 MPaG)
	蒸気温度	207 °C (常用時飽和温度)
	蒸 気 量	5.1 t/h (定格 : 設計値)

Ⅲ-(3)-⑧ 燃烧設備 (燃烧炉)



燃烧炉外觀



燃烧炉内部

燃烧炉

Ⅲ-(3)-⑨ 燃焼設備 (ボイラ)



ボイラ外観
(手前：燃焼ガス入り側)

スートブロー装置



ボイラ内部
(燃焼ガス入り側)



ボイラ外観
(エコノマイザー側)

ボイラ

Ⅲ. NEDO実証事業

(4) 実証試験

1) 原材料の性状

Ⅲ-(4)-1)-①原材料の性状

原材料※¹性状例

		建設廃材	廃パレット	剪定枝・建設 廃材混合※ ²
工業分析 (%-dry)	揮発分	68.7	83.2	80.3
	固定炭素	13.2	14.5	15.9
	灰分	18.1	2.3	3.8
元素分析 (%-dry)	C	44.8	50.3	49.7
	H	5.11	5.91	5.86
	O	31.15	41.36	40.10
	N	0.78	0.13	0.52
	T-Cl	0.44	0.02	0.09
	T-S	0.06	<0.01	0.04
参考)※ ³ 水分(%-wet)		7.4	9.2	8.5

※¹破碎処理後採取

※²剪定枝と建設廃材を体積比1:1で混合

※³破碎機通過後のサンプル採取に付き、微細粒の乾燥が予想される。

Ⅲ-(4)-1)-②原材料の性状

木くず供試材※4の分析例

項目	単位	建設廃材	廃パレット
水分	湿質量%	13.6	11.0
高位発熱量	MJ/kg-wet	16.55	16.82
低位発熱量	MJ/kg-wet	14.99	15.30

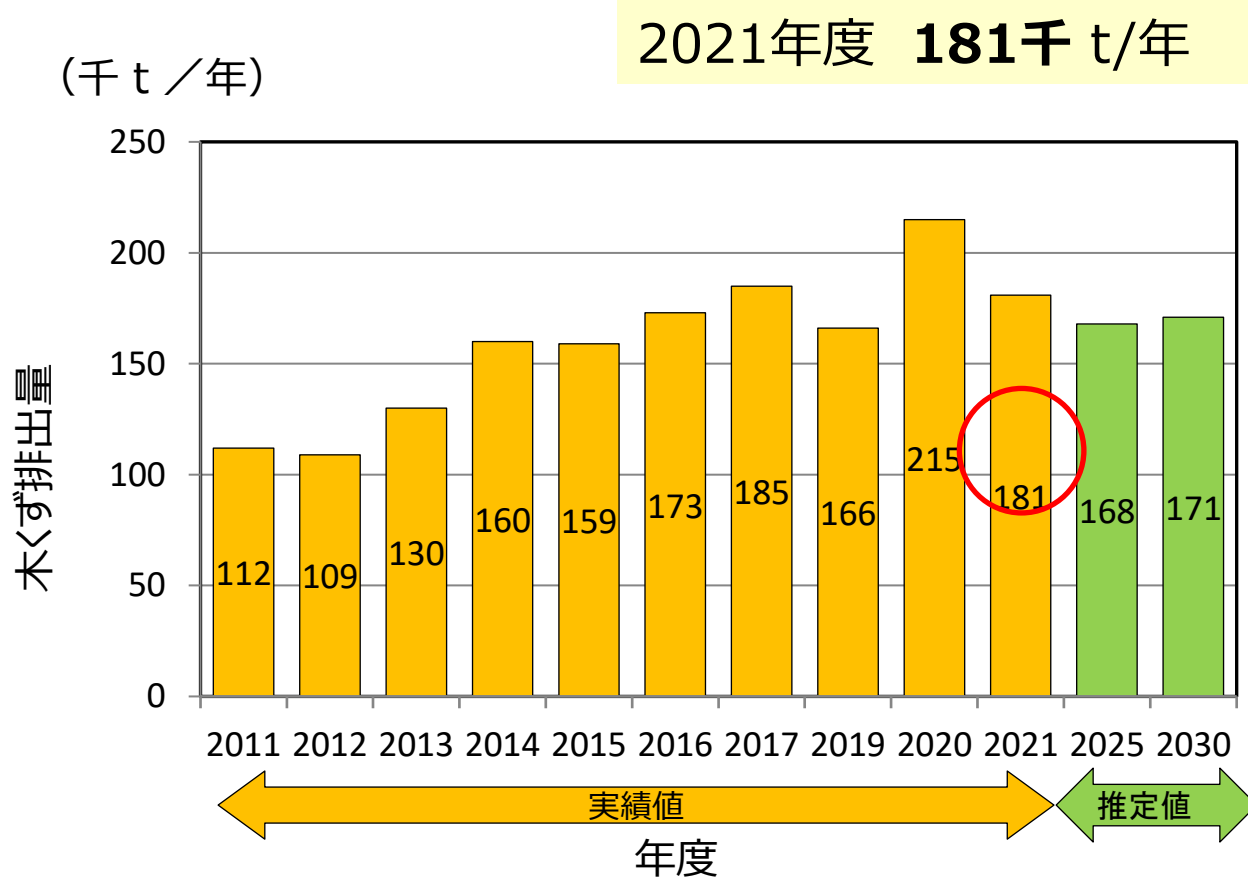
※4破砕前採取サンプル

Ⅲ. NEDO実証事業

(4) 実証試験

2) 弊社工場の 原材料調達について

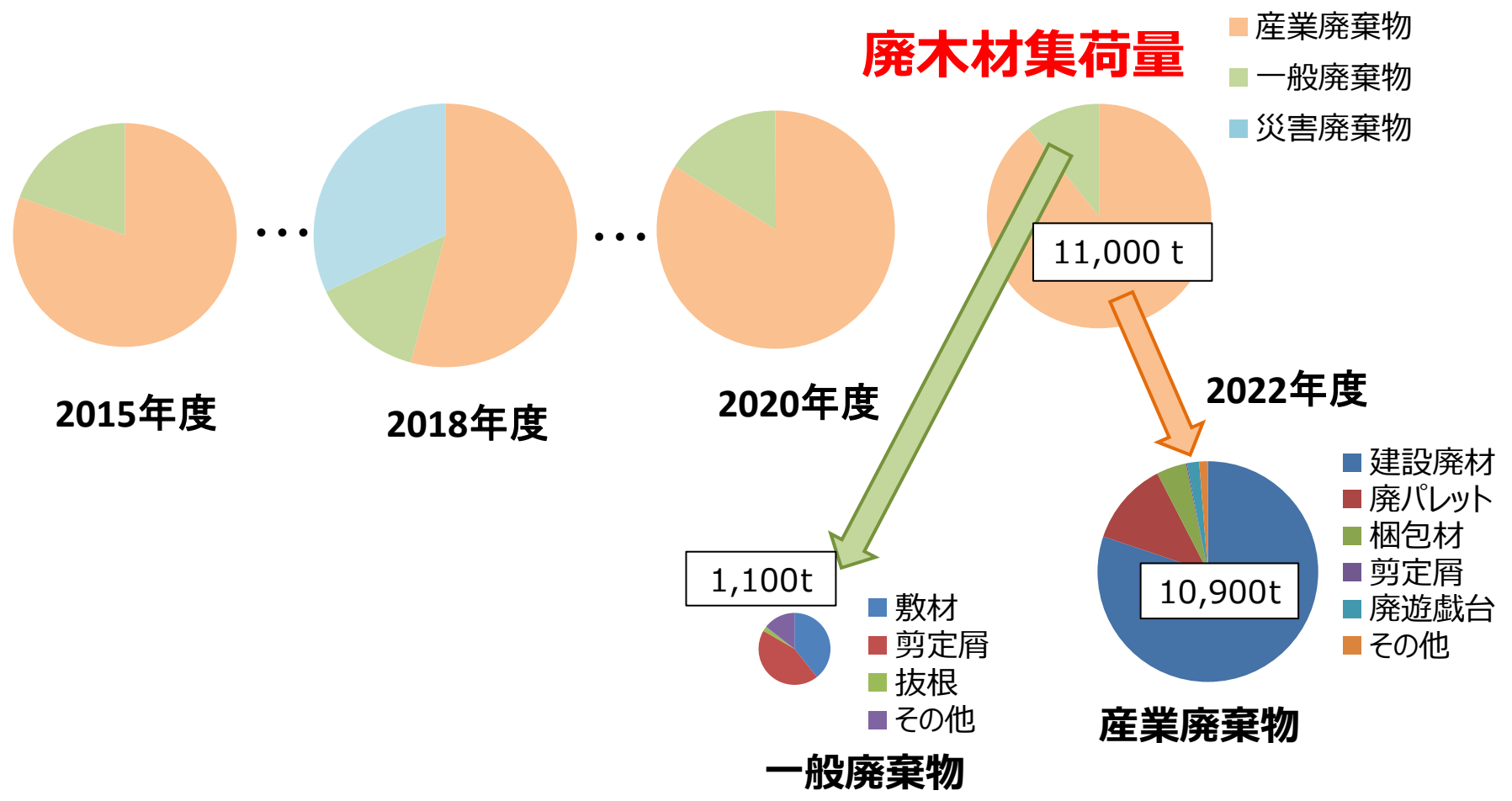
Ⅲ-(4)-2)-① 岡山県の廃木材排出量



岡山県の廃木材(木くず)排出量推移 (2011-2021)

- 1)「令和2年度岡山県産業廃棄物実態調査報告書(令和元年度実績)」(令和3年2月)
- 2)「岡山県産業廃棄物実態調査結果(令和3年度実績)」(令和5年より引用)

Ⅲ-(4)-2)-② 廃木材種別ごとの集荷量



Ⅲ. NEDO実証事業

(4) 実証試験

3) 破碎分級試験

Ⅲ-(4)-3)-① 破碎対象物



破碎・分級品サンプル

Ⅲ-(4)-3)-② 破砕粒径の検証

○スクリーンサイズとサンプル結果

●スクリーン 125mm□



●スクリーン φ80mm

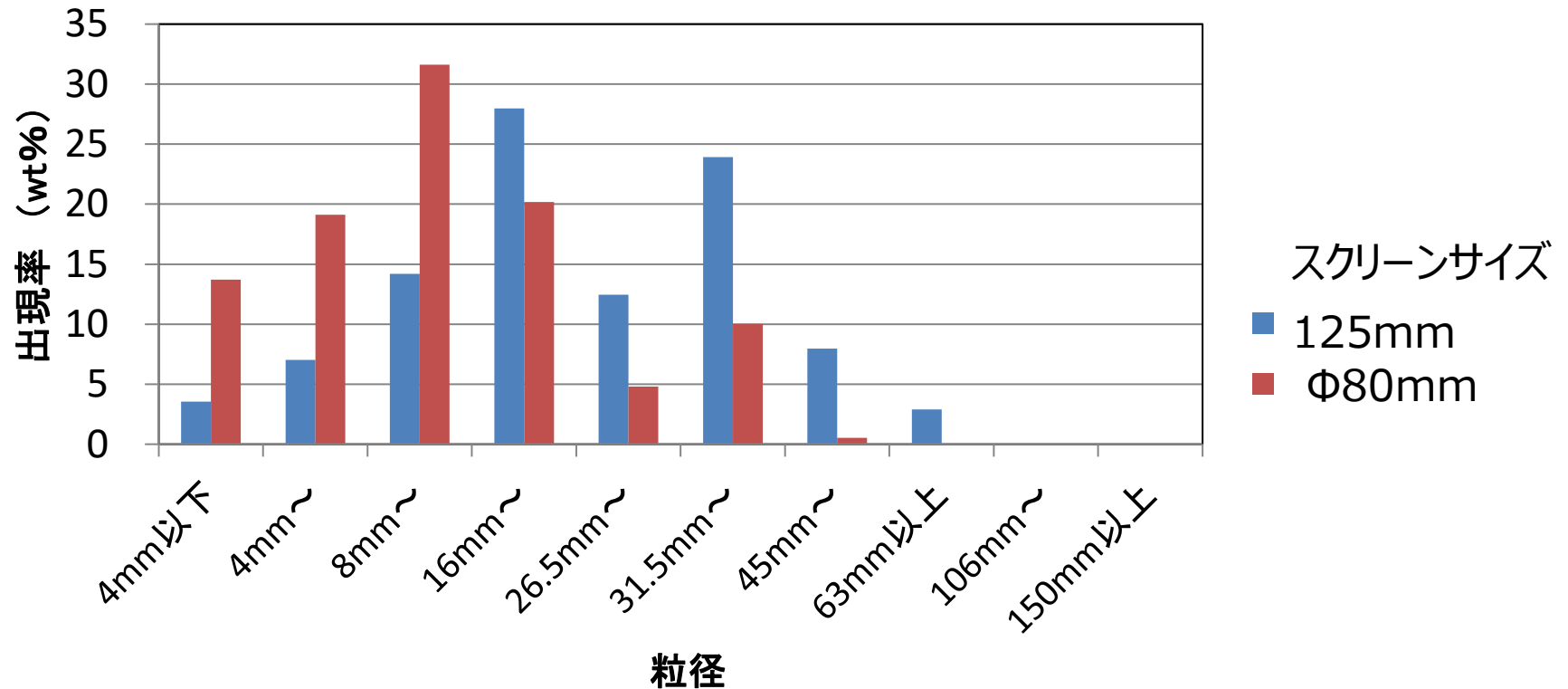


粗粒

中粒

細粒

Ⅲ-(4)-3)-③ スクリーンが破砕物の粒径に及ぼす影響



・スクリーンサイズ を小さくすることで、粒径は小径にシフト

Ⅲ. NEDO実証事業

(4) 実証試験

4) 燃焼試験

Ⅲ-(4)-4)-① 燃焼試験

・蒸気発生性能の評価

エネルギー回収効果指標の定義

$$\text{エネルギー原単位} = \frac{\text{発生蒸気量}}{\text{燃料投入量}} \quad (\text{t-蒸気/t-燃料})$$

$$\text{蒸気回収熱効率} = \frac{\text{発生蒸気エンタルピー} - \text{給水顕熱}}{\text{投入燃料燃焼熱}} \times 100 \quad (\%)$$

Ⅲ-(4)-4)-② 実証運転例

燃料：建設廃材

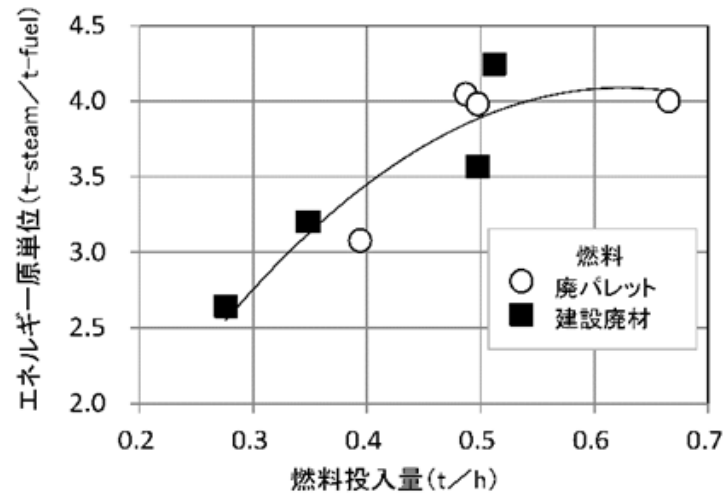
【プロセスデータ】

項目	運転例
燃料低位発熱量(MJ/kg-wet)	14.86
燃料投入量(t/h)	0.51
1次燃焼室出口温度(℃)	1,132
煙突入口排ガスO ₂ 濃度(%)	13.4
蒸気発生量(t/h)	2.17
蒸気圧力(MPa(G))	0.69
エネルギー原単位(t-蒸気/t-燃料)	4.24

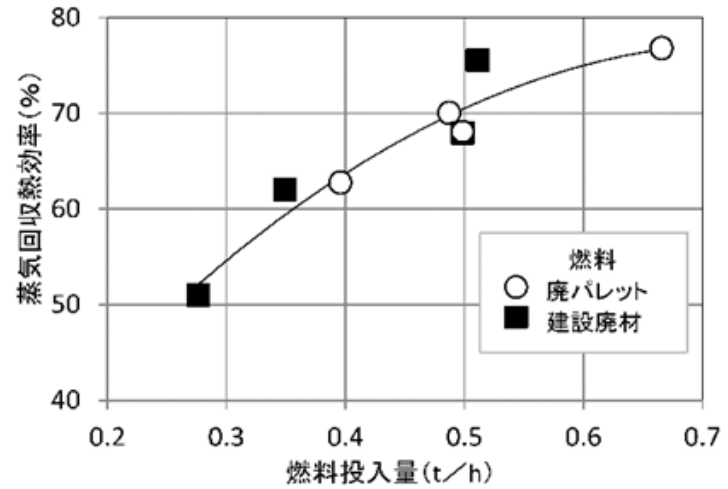
【熱収支】

項目		MJ/h	%
入熱	燃料燃焼熱	7,606	93.5
	燃料顕熱	25	0.3
	燃焼空気顕熱	251	3.1
	給水顕熱	255	3.1
	合計	8,137	100
出熱	発生蒸気エンタルピー	6,005	73.8
	排ガス顕熱	1,064	13.1
	放熱損失他	1,068	13.1
	合計	8,137	100
蒸気回収熱効率(%)			75.6

Ⅲ-(4)-4)-③ 燃料投入量当たりのエネルギー回収効果

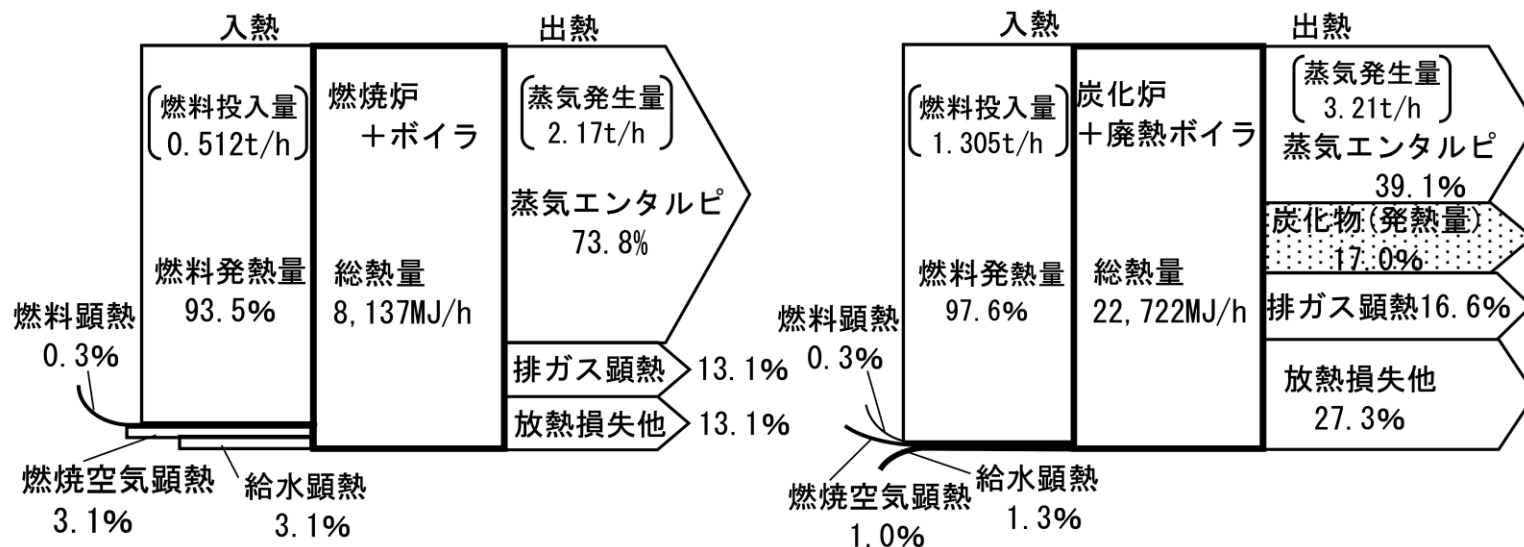


(1)エネルギー原単位



(2)蒸気回収熱効率

Ⅲ-(4)-4)-④ 熱収支の設備比較



(I) 新規燃焼設備(バイオマスボイラ)

(II) 既設炭化設備

【参考】バイオマスボイラー操業実績

実証期間	稼動回数	稼動日数	燃料投入量		蒸気発生量(ボイラ給水*)		
					量	流量	I礼ギ- 原単位
					t	t/h	t/t
	回	d	t	t/d	t	t/h	t/t
性能試験	1	2.6	32	14.7	126	2.42	3.96
2018年下期	5	31.0	338	11.5	1,579	2.23	4.67
2019年上期	10	35.1	342	10.8	1,502	1.98	4.39
2019年下期	7	27.5	221	9.2	715	1.24	3.23
2020年上期	4	14.7	91	7.7	252	0.89	2.78
2020年下期	8	23.8	153	8.6	500	1.17	3.26
2021年上期	3	9.1	63	9.4	207	1.28	3.28
2021年下期	4	9.7	91	13.2	357	2.16	3.93
2022年上期	2	5.8	54	12.7	235	2.29	4.32
2022年下期	0	0.0	0	0.0	0	0.00	—
2023年上期	3	10.1	103	13.0	405	2.14	3.95
合計	47	169.4	1,489	10.4	5,878	1.72	3.95

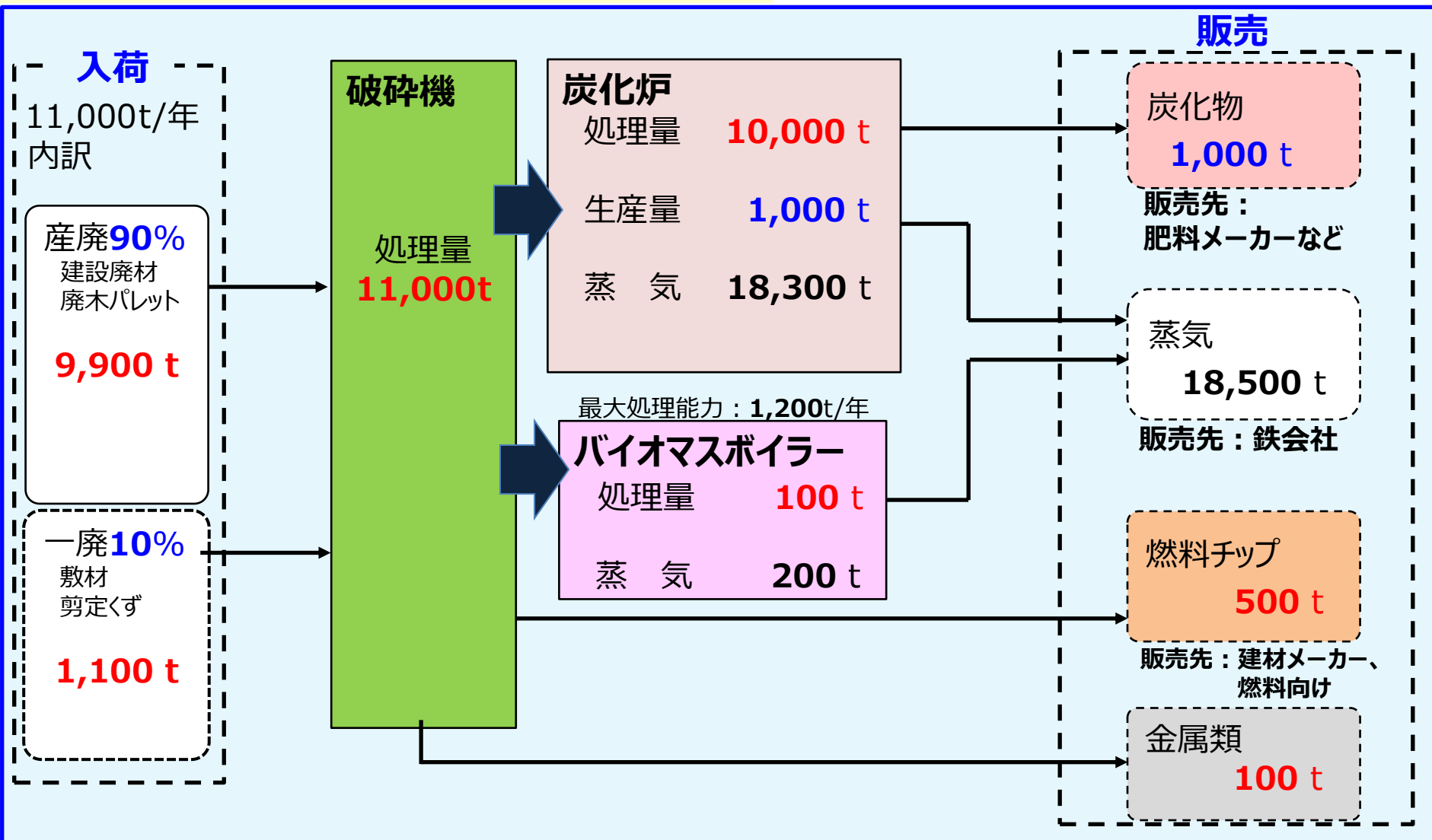
* ボイラ給水量を蒸気発生量と見做す。

IV 考察とまとめ

(1) マテリアルバランス

IV-(1)-① マテリアルバランス

2022年度 集荷量：11,000 t/年



IV 考察とまとめ

(2) 温室効果ガス削減効果

IV-(2)-① 炭化設備CO₂削減効果

・炭化炉

排出量	用役種別	2020-2021 使用量総計	木くず1t当たりの 使用量		排出係数	木くず1t当たりの CO ₂ 排出量
	木くず	18,278t	-		-	-
	軽油	61.239kl	0.00335kl/t		2.58tCO ₂ /kl	0.00864tCO ₂ /t
	電力	1,832,959kWh	100.2823kWh/t		0.000433tCO ₂ /kWh	0.04342tCO ₂ /t
	上水	57,154m ³	3.127m ³ /t		0.000345tCO ₂ /m ³	0.00108tCO ₂ /t
計(③)						0.05314tCO ₂ /t

削減量	相当燃料 A重油		木くず1t当たりの 相当燃料量※1			排出係数	木くず1t当たりのCO ₂ 削減量
			0.155kl/t			2.71tCO ₂ /kl	0.420tCO ₂ /t

炭化物	用途別生成量		木くず1t当たり			排出係数	木くず1t当たりのCO ₂ 削減量
	土壌改良材	944t	炭化物量	固定炭素濃度	100年残存率	残存固定炭素量	0.0517t炭素/t
0.09087t/t			87.6%	65%	0.190tCO ₂ /t		

炭化設備CO₂削減効果

$$\text{排出量} - \text{削減量} = \text{③} - \text{④} - \text{⑤}$$

$$= 0.05314 - 0.420 - 0.190 = \underline{\underline{-0.557 \text{ tCO}_2/\text{t}}}$$

IV-(2)-② 炭化設備CO₂削減量

炭化設備木くず利用によるCO₂排出削減量

木くず1t使用による化石燃料由来CO₂排出削減量算出

木くず発熱量(分析値)
↓
(15.0GJ/t × 0.364) ÷ (39.1GJ × 0.9) × 2.71tCO₂/kl = **0.420tCO₂/t** ……④

廃熱ボイラ効率(実績値)
↓
A重油発熱量(環境省: 排出係数一覧)
↓
A重油ボイラ効率(一般値)
↓
排出係数(環境省: 排出係数一覧)

木くず1t当たり生成した炭化物による炭素固定に由来するCO₂固定量算出

生成炭化物量 = $\frac{2020\sim 2021\text{年の炭化物生成量}}{2020\sim 2021\text{年の木くず処理量}} = \frac{1,661}{18,278} = 0.09087$

炭化物中の固定炭素割合(分析値)
↓
100年残存率
↓
 $0.09087 \times 87.6\% \times 65\% = 0.0517\text{tC/t-木くず}$

CO₂分子量
↓
C原子量
↓
 $0.0517 \times 44/12 = \mathbf{0.190\text{tCO}_2/\text{t}}$ ……⑤

IV-(2)-③ バイオマスボイラー設備CO₂削減効果

排出量	用役種別	2020-2021 使用量総計	木くず1t当たりの 使用量	排出係数	木くず1t当たりの CO ₂ 排出量
	木くず	399t	—	—	—
	軽油	1.187kl	0.002975kl/t	2.58tCO ₂ /kl	0.00767tCO ₂ /t
	電力	22,337kWh	55.98kWh/t	0.000433tCO ₂ /kWh	0.02424tCO ₂ /t
	上水	1,455m ³	3.647m ³ /t	0.000345tCO ₂ /m ³	0.00126tCO ₂ /t
			計(①)		0.03317tCO ₂ /t
削減量	相当燃料	木くず1t当たりの 相当燃料量※2		排出係数	木くず1t当たりの CO ₂ 削減量
	A重油	0.320kl/t		2.71tCO ₂ /kl	0.867tCO ₂ /t
		計(②)			0.867tCO ₂ /t

※ 2 (木くず発熱量×木くずボイラ効率) ÷ (A重油発熱量×重油ボイラ効率)

バイオマスボイラーCO₂削減効果

$$\text{排出量} - \text{削減量} = \text{①} - \text{②} = 0.0332 - 0.867 = \underline{\underline{-0.834 \text{ tCO}_2/\text{t}}}$$

IV-(2)-④ バイオマスボイラー設備CO₂削減量

新規燃焼設備(バイオマスボイラー)木くず利用によるCO₂排出削減量

木くず1tあたりに相当する化石燃料量算出

木くず発熱量(分析値)

木くずボイラ効率(実績値)

A重油発熱量(環境省:排出係数一覧)

A重油ボイラ効率(一般値)



$$(15.0\text{GJ/t} \times 0.75) \div (39.1\text{GJ} \times 0.9) = \underline{0.320\text{kl/t}}$$

木くず1t使用による化石燃料由来CO₂排出削減量算出

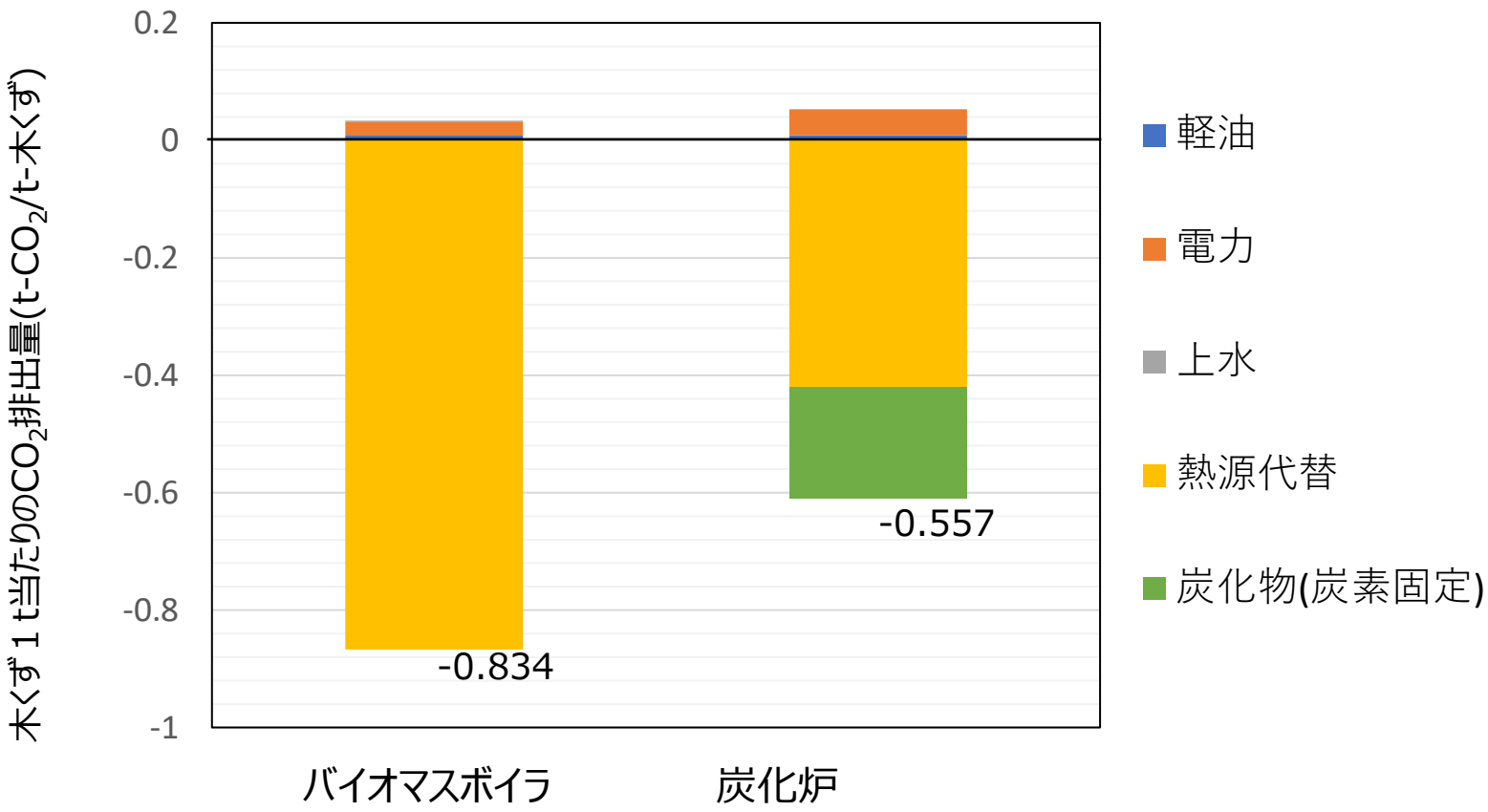
排出係数(環境省:排出係数一覧)



$$0.320\text{kl/t} \times 2.71\text{tCO}_2/\text{kl} = \underline{0.867\text{tCO}_2/\text{t}} \dots\dots ②$$

$$\text{CO}_2\text{排出削減効果} \quad ① - ② = 0.0332 - 0.867 = -0.834 \dots\dots \text{I}$$

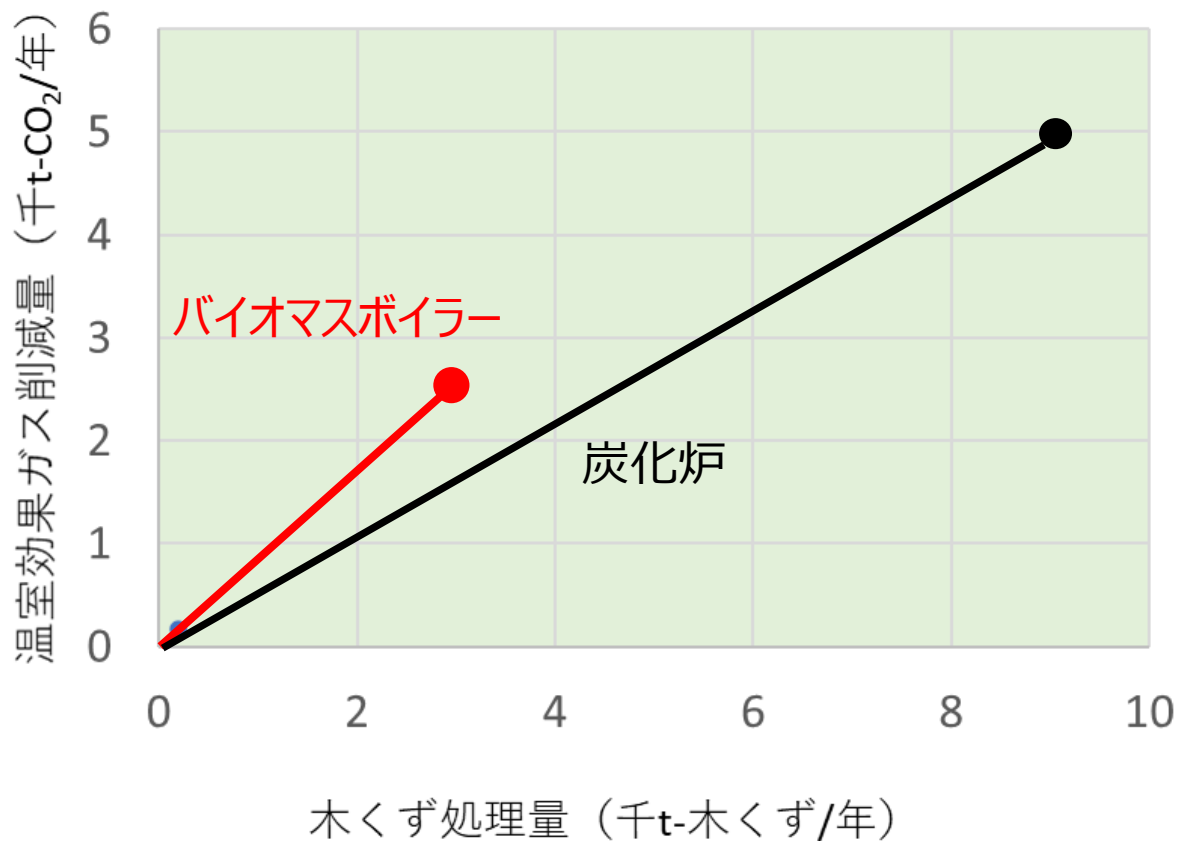
IV-(2)-⑤ 廃木材 1 t 当たりの温室効果ガス削減効果



温室効果ガス排出削減効果

バイオマスボイラ > 炭化炉

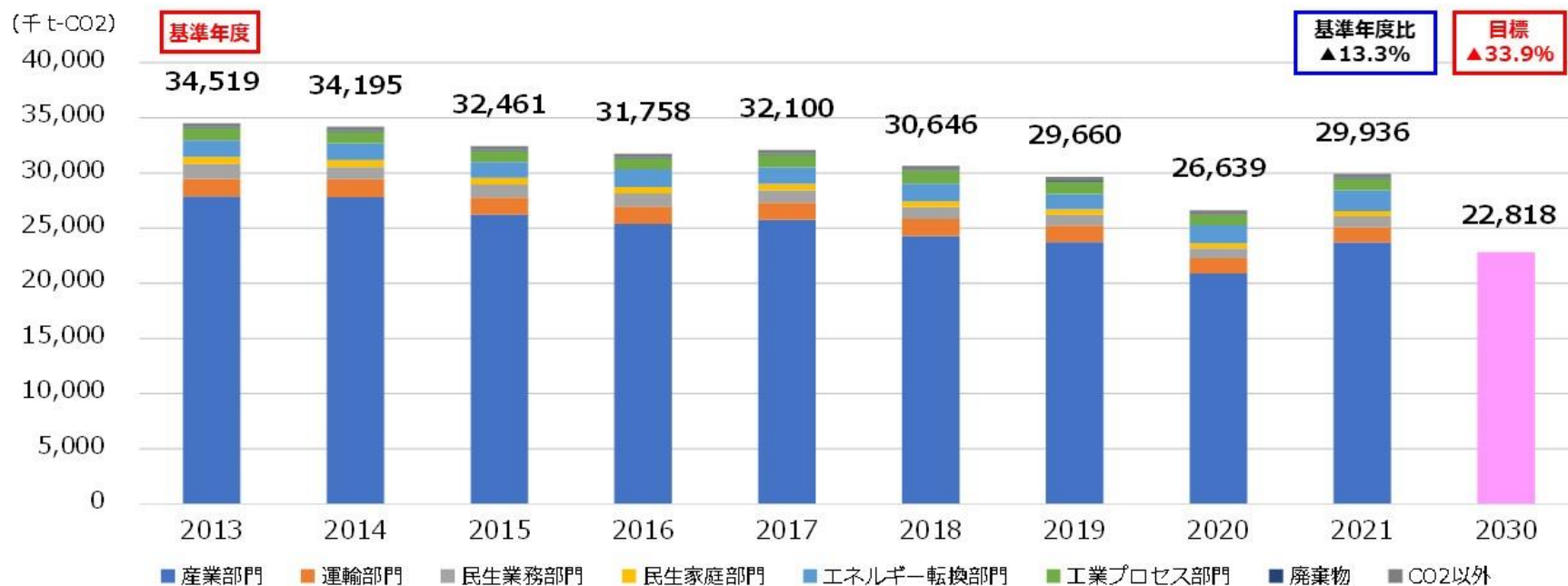
IV-(2)-⑥ 温室効果ガス排出削減量の比較



温室効果ガス排出削減量

炭化炉 : 約 5千 t - CO₂/年
バイオマスボイラー : 約 2.5千 t - CO₂/年 } 約 7.5千 t - CO₂/年

IV-(2)-⑦ 倉敷市への貢献



倉敷市の温室効果ガス排出量の推移

出典：温室効果ガスの排出状況/地球温暖化対策室/環境政策課/倉(city.kurashiki.okayama.jp)

倉敷リサイクル工場による温室効果ガス削減効果は **約7.5千t-CO₂/年**
 この量は、倉敷市の温室効果ガス排出量（2021）の約**0.03%**に相当

IV 考察とまとめ

(3) まとめ

実証事業で得られた結論

木くずの適性処理と温室効果ガス削減を目的としたバイオマスエネルギー利用蒸気供給システムの実証運転を実施し、以下の所見を得た。

- (1)木くず単位重量当たりの発生蒸気量、燃料発熱量に対する蒸気回収熱効率 η は燃焼量が大きくなるに従い増大し、前者は約4倍、後者は約75%程度で上限となった。
- (2)従来の炭化設備に比べ、新規燃焼設備の導入は熱効率の改善になると判断された。
- (3)新規燃焼設備(バイオマスボイラ)は炭化設備よりCO₂削減効果が大きい。

ご清聴
ありがとうございました



先進リサイクル技術で
未来を創る

J&T環境グループ