

廃熱利用型 低コスト下水汚泥固形燃料化技術

平成26年7月

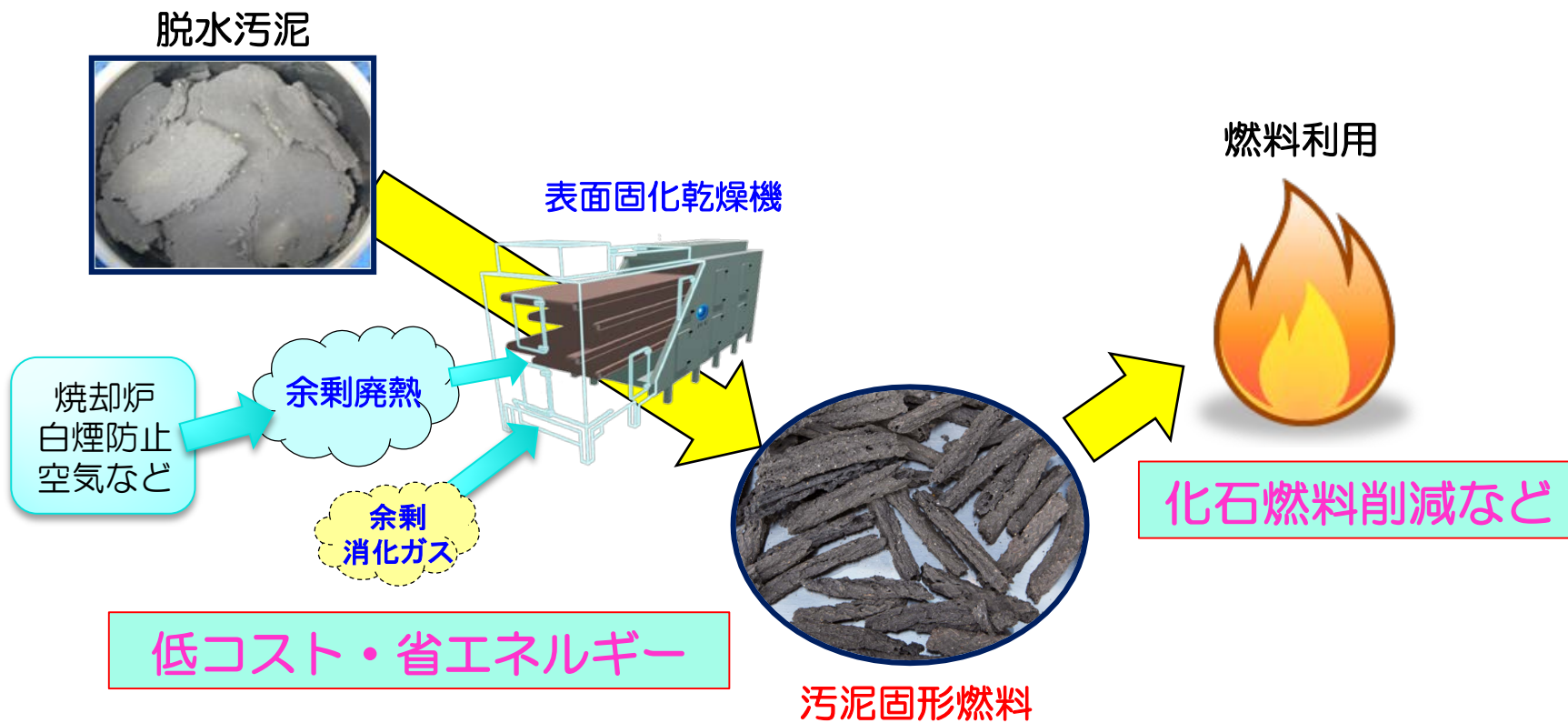
JFEエンジニアリング株式会社

技術の概要

(ガイドライン 第2章 § 5- § 13)

技術の目的 (§ 5)

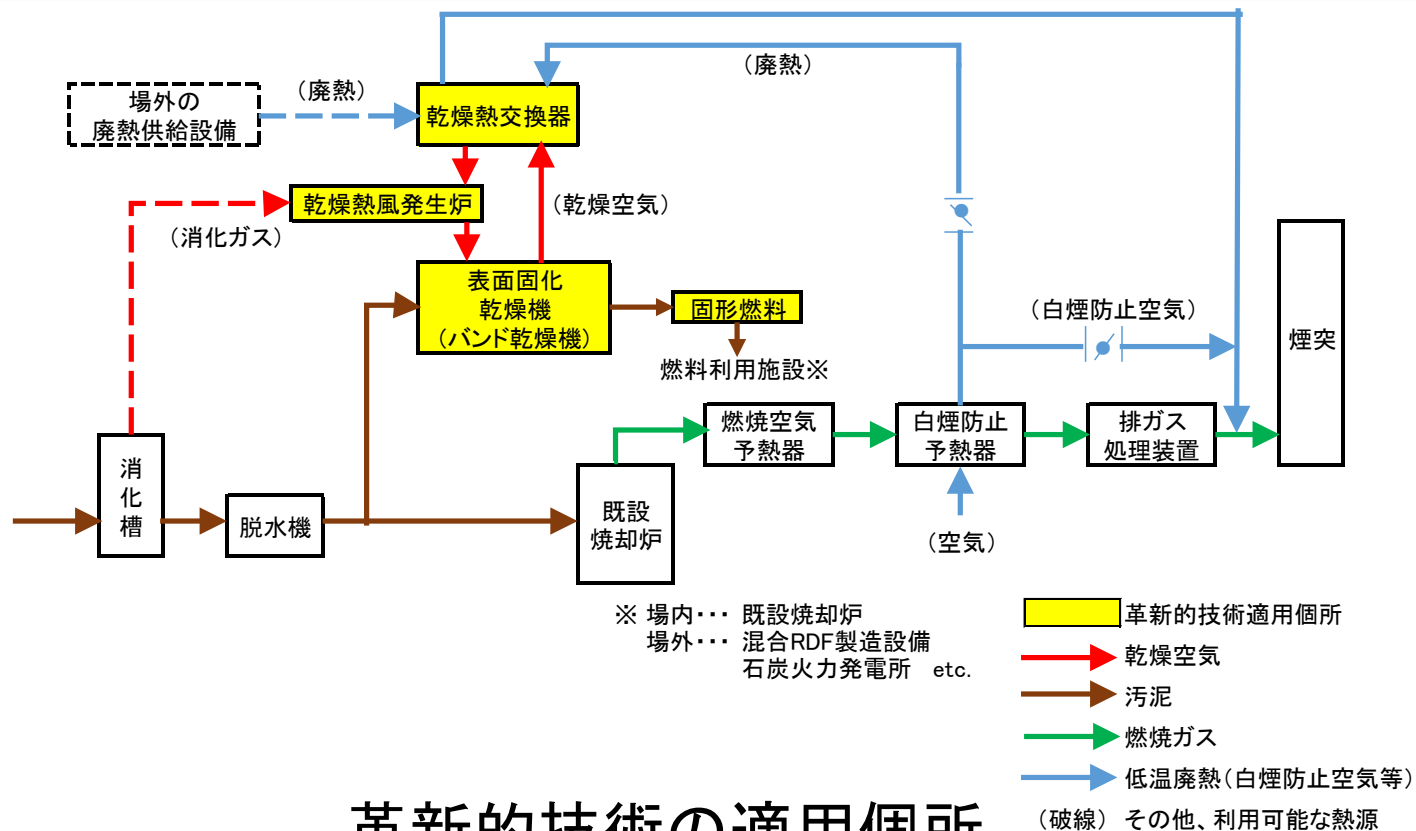
- ① 低コスト、省エネルギーで汚泥固形燃料を製造し、
- ② 下水汚泥の保有エネルギー利用拡大と
- ③ 温室効果ガス排出量削減



技術の概要 (§ 6)

250～350℃以下の**低温廃熱**が**利用可能な乾燥方式**

- ・200℃程度の乾燥空気(作動気体)による**表面固化乾燥方式**
- ・乾燥性、取扱性を考慮した**成型された乾燥燃料**製造
- ・汚泥焼却施設白煙防止空気の**余剰熱利用**



革新的技術の適用箇所

技術の特徴 (§ 7)

- ・成型後の表面固化乾燥により、高品質で操作性に優れた汚泥固形燃料を製造
- ・廃熱の有効利用によって汚泥固形燃料製造を低コスト・省エネルギー化
- ・大規模な工事を必要とせず、処理場内の廃熱利用が可能
- ・メンテナンス性が高く、長時間安定した運転を維持

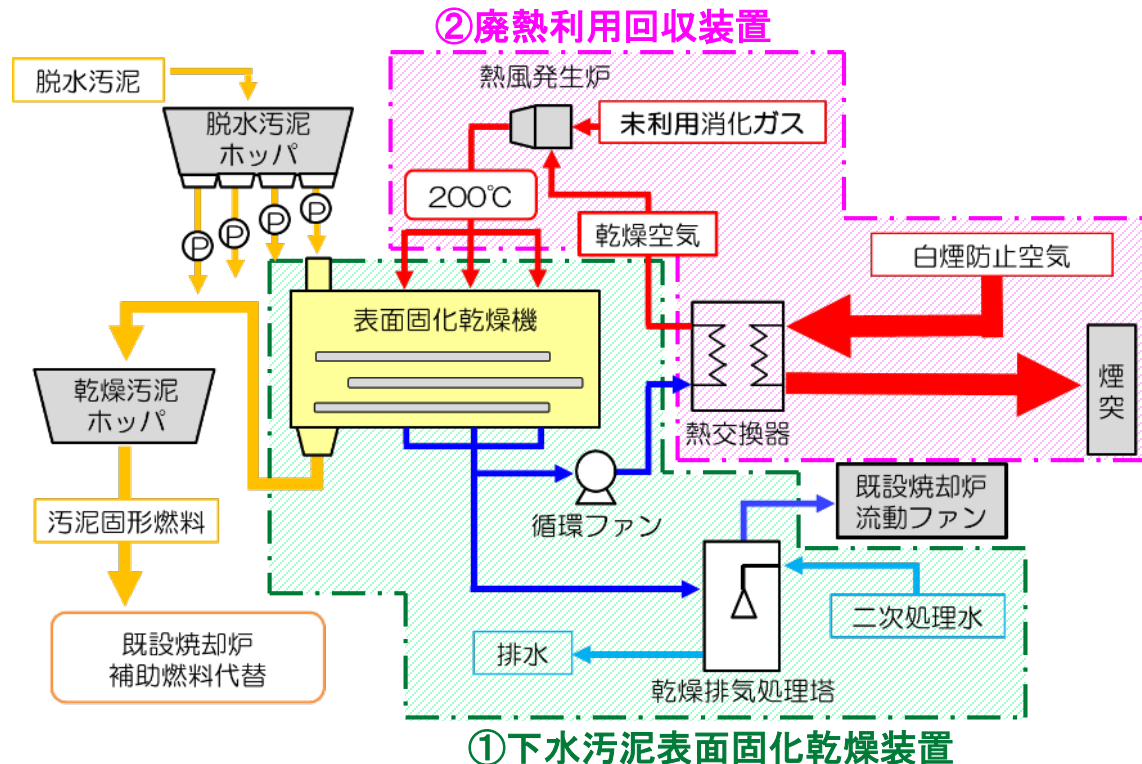
《技術の構成》

①下水汚泥表面固化乾燥装置

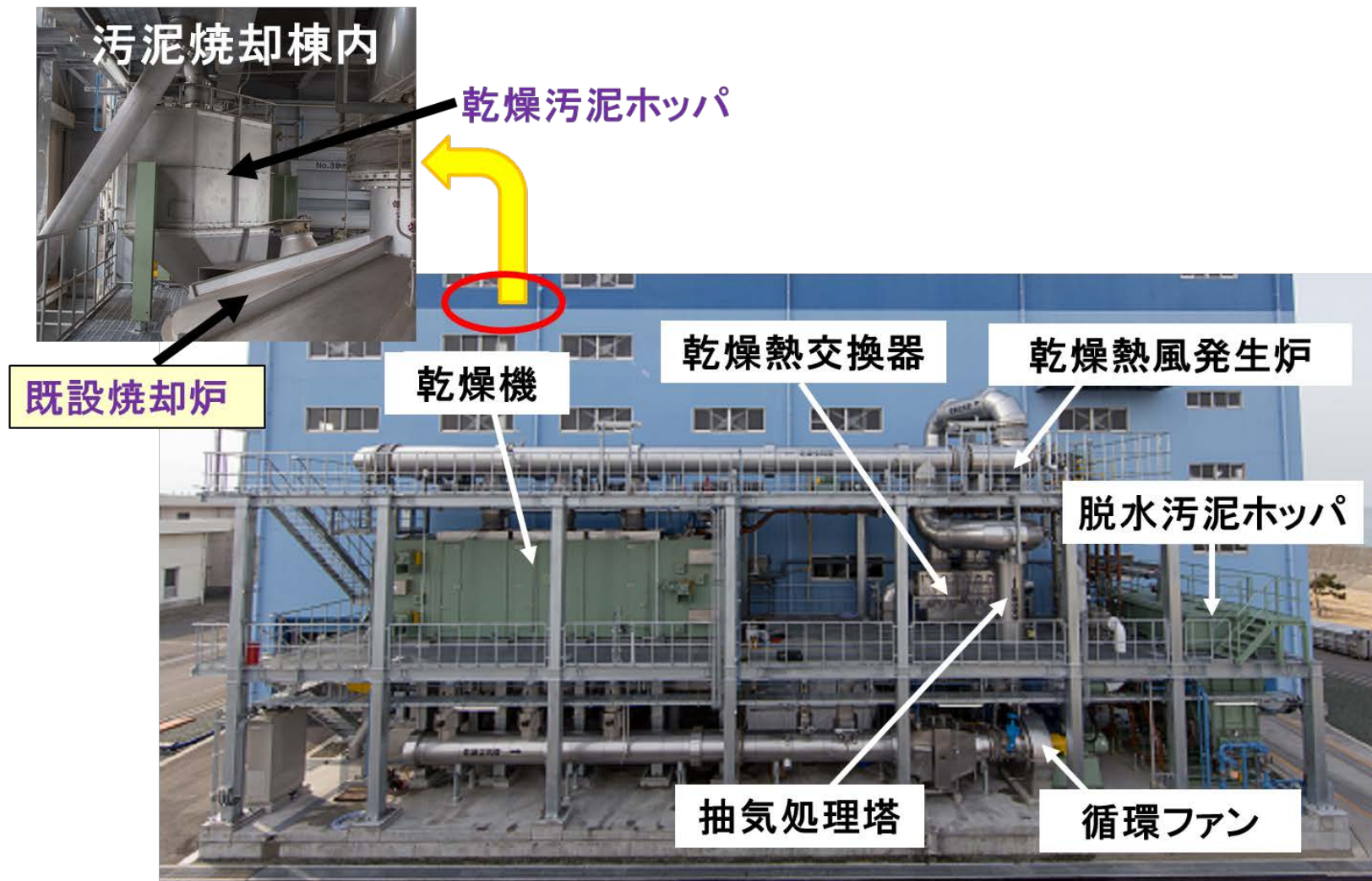
- ・脱水汚泥を成型して、**表面積拡大**、**乾燥効率向上**。
- ・汚泥はバンドコンベヤ1段目で**表面から乾燥**され、バンドへの**張付き防止効果**、**ハンドリング性向上**。
- ・循環空気の一部を抽気し、蒸発した水分を系外へ排出。

②廃熱利用回収装置

- ・余剰の白煙防止空気やその他周辺施設の**廃熱**を回収し、**汚泥乾燥空気**の熱源として利用

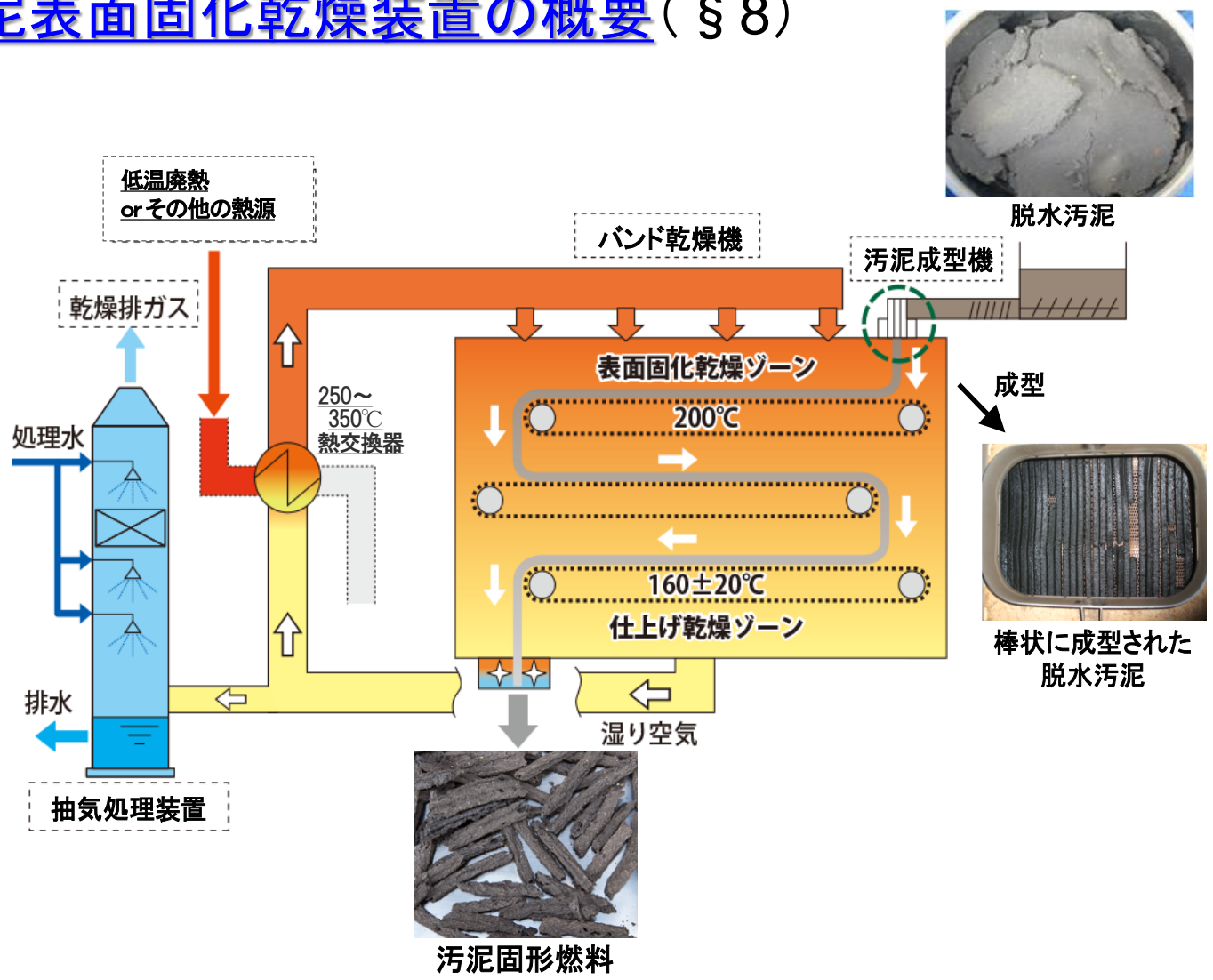


汚泥固形燃料化設備の基本構成

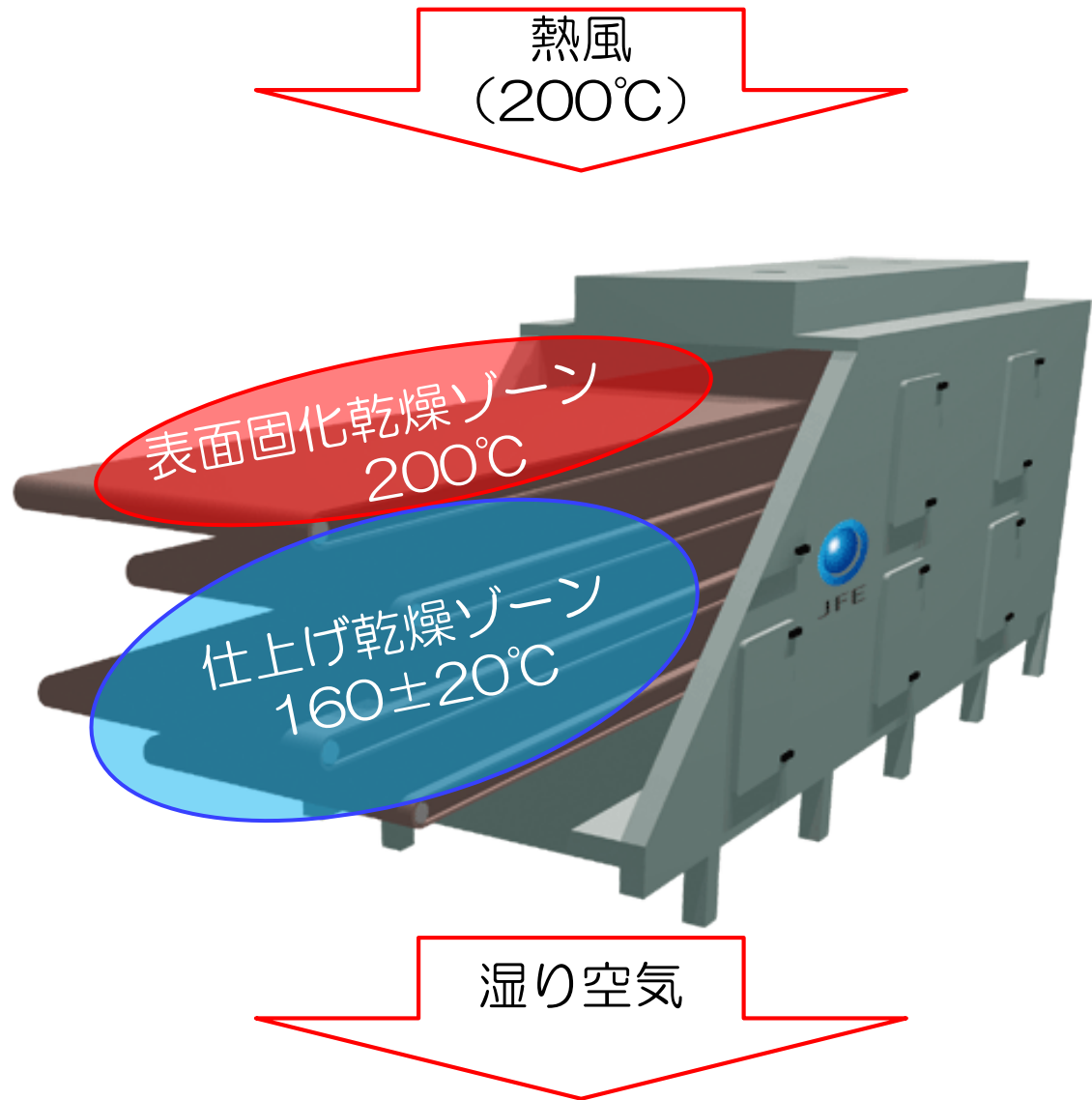
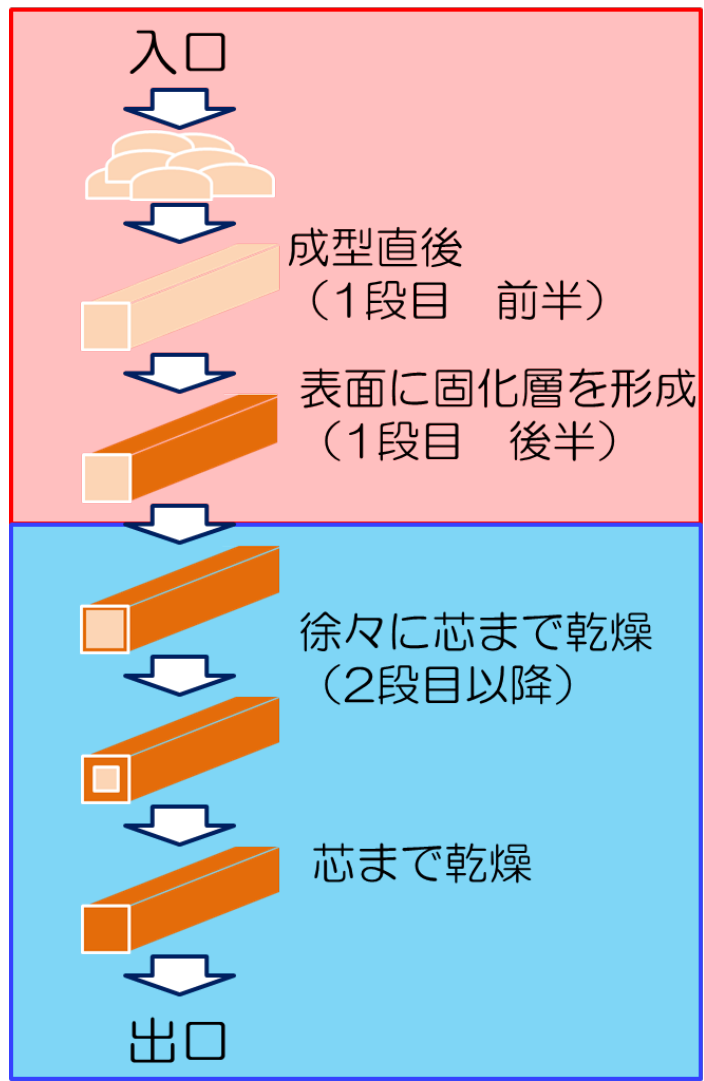


汚泥固形燃料化設備外観
B-DASH実証施設(松山市西部浄化センター内)

下水汚泥表面固化乾燥装置の概要 (§ 8)



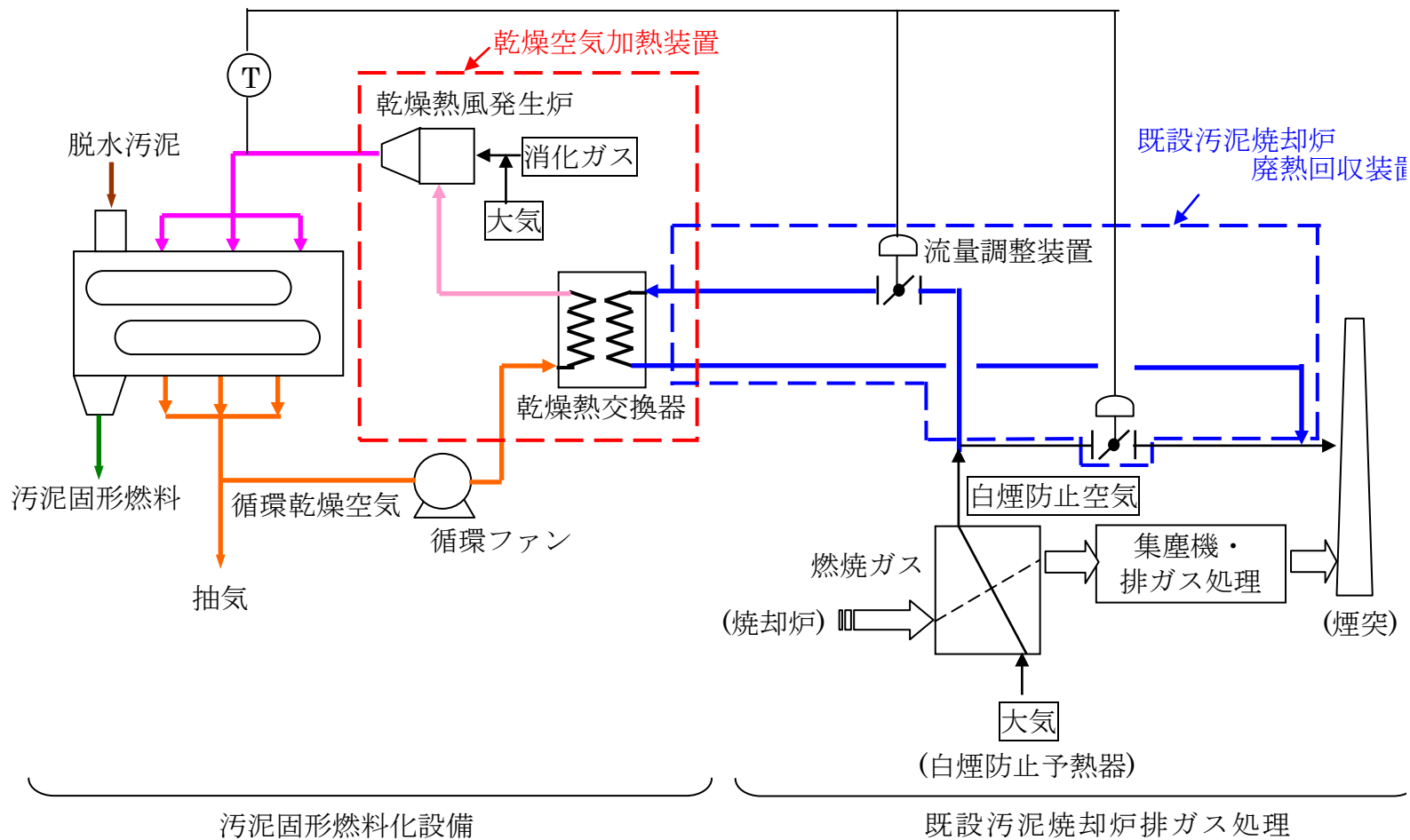
表面固化乾燥装置のフロー



表面固化乾燥工程概略図

廃熱回収利用技術の概要 (§ 9)

(乾燥空気入口温度による流量制御)



廃熱回収装置

本技術の基本適用条件 (§ 10)

本技術は、処理場内(又は近隣)から安定的に利用可能な廃熱が存在している下水処理場において適用される技術であり、また処理場内(又は近隣)に汚泥燃料を継続的に利用する施設が存在することを基本とする。

基本適用条件

安定的に利用可能な**廃熱**の存在

- ・処理場内の既設焼却炉からの**白煙防止空気**
- ・近隣施設からの**250℃以上の廃熱**

汚泥燃料を継続的に**利用する施設**の存在

- ・処理場内の既設焼却炉(**補助燃料**として利用)
- ・処理場外の火力発電所(**石炭代替**として利用)など

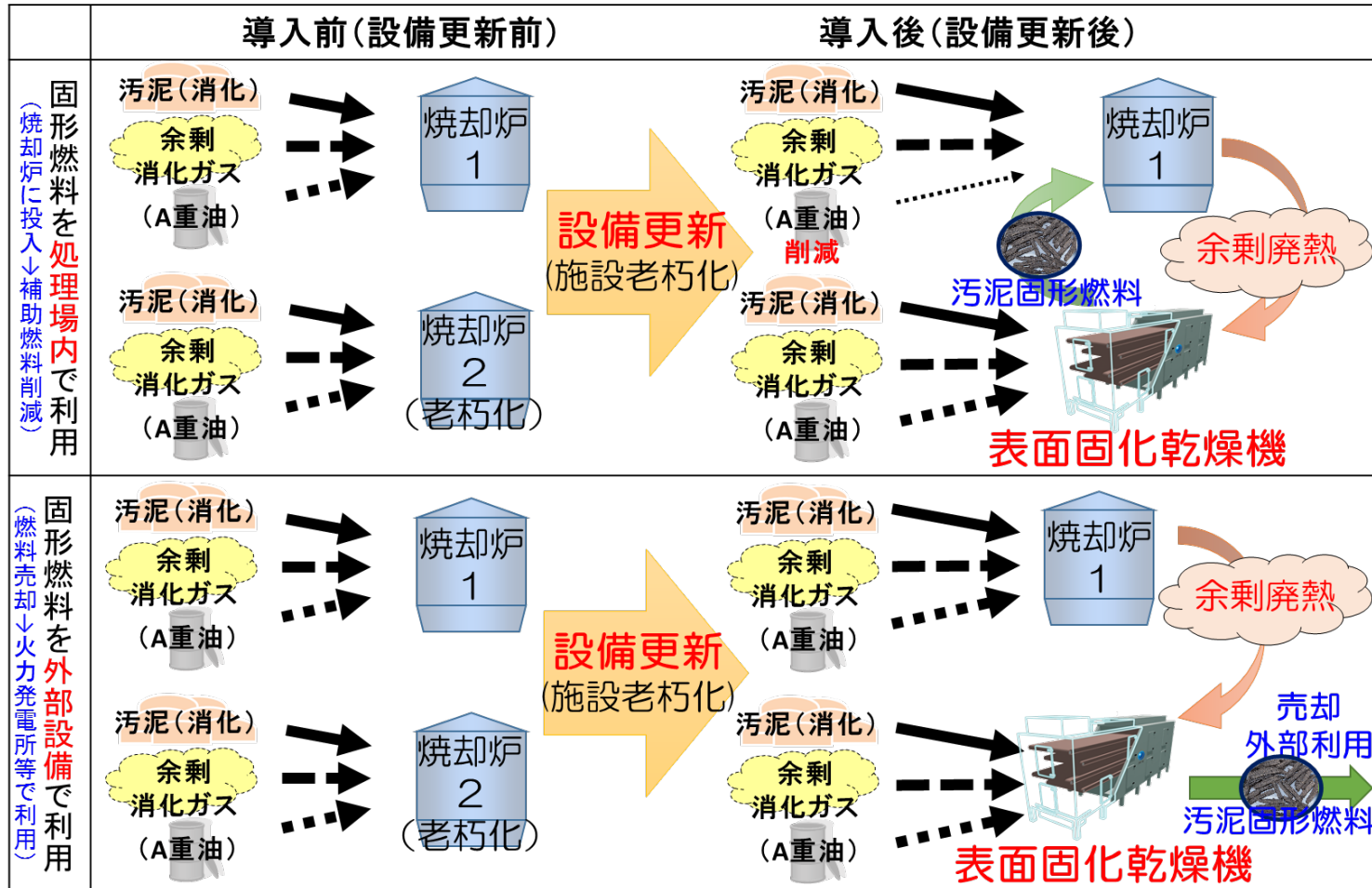


本技術の導入効果が高い処理場の条件例

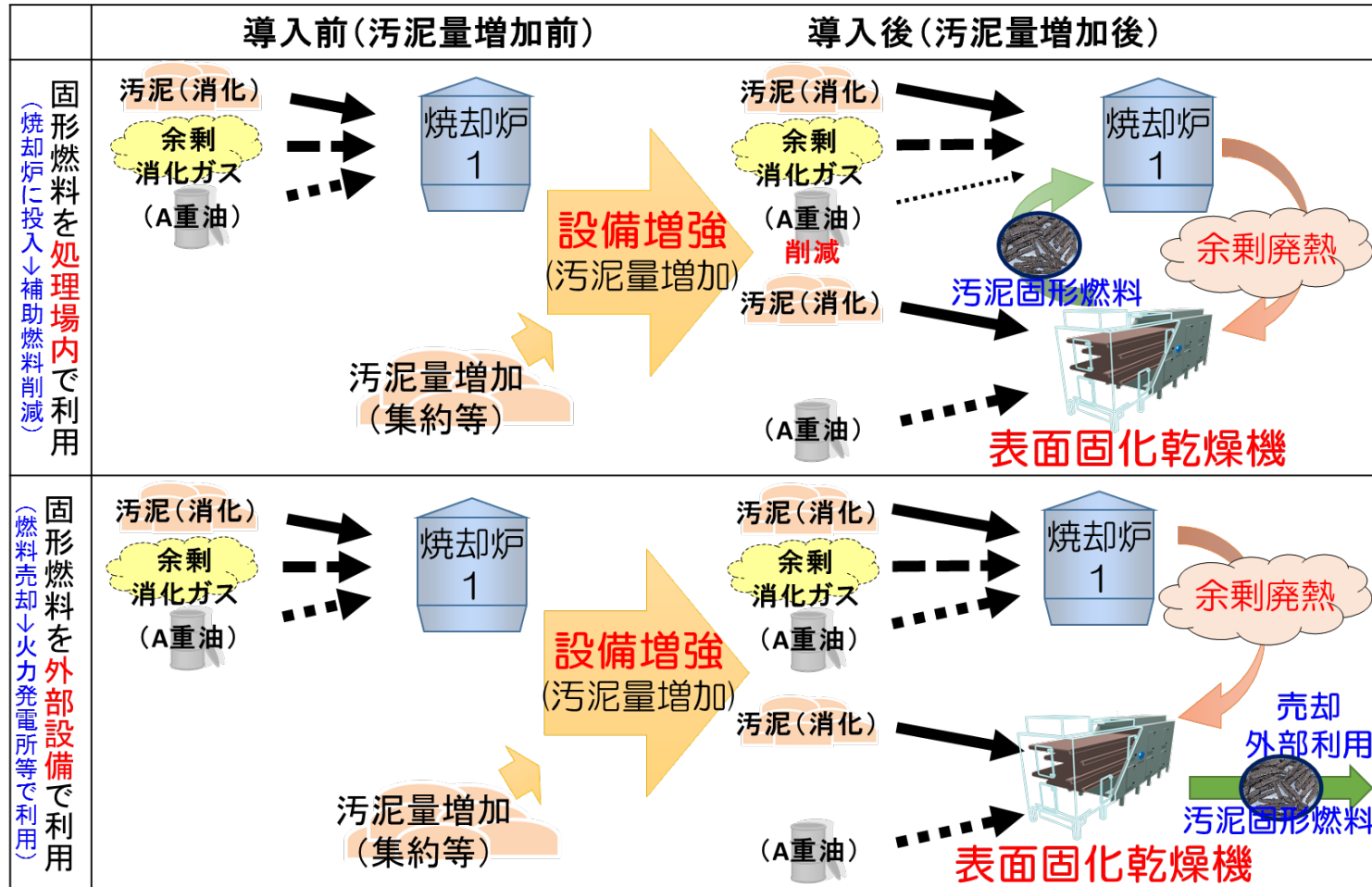
条件	期待される効果	備考
① 高温焼却炉 の採用や 汚泥集約 等で汚泥焼却量が増大することにより、 白煙防止空気の有する総熱量が大きい 場合	燃料製造時の ・コスト削減 ・エネルギー消費量削減	採算上最低限必要な廃熱量については、対象となる下水処理場の施設規模、汚泥性状、排ガス処理プロセス構成等により異なるため、個別の試算が必要。
② 近隣施設 からの 廃熱量が多い 場合	・温室効果ガス排出量削減	
③ 余剰消化ガス が存在する場合		

導入シナリオ例 (§ 11)

導入シナリオ (1) - 設備更新 -



導入シナリオ(2) — 設備増強 —



技術の評価項目(§ 12)

- (1) コスト
- (2) 温室効果ガス排出量
- (3) エネルギー消費量
- (4) 汚泥固形燃料の特性

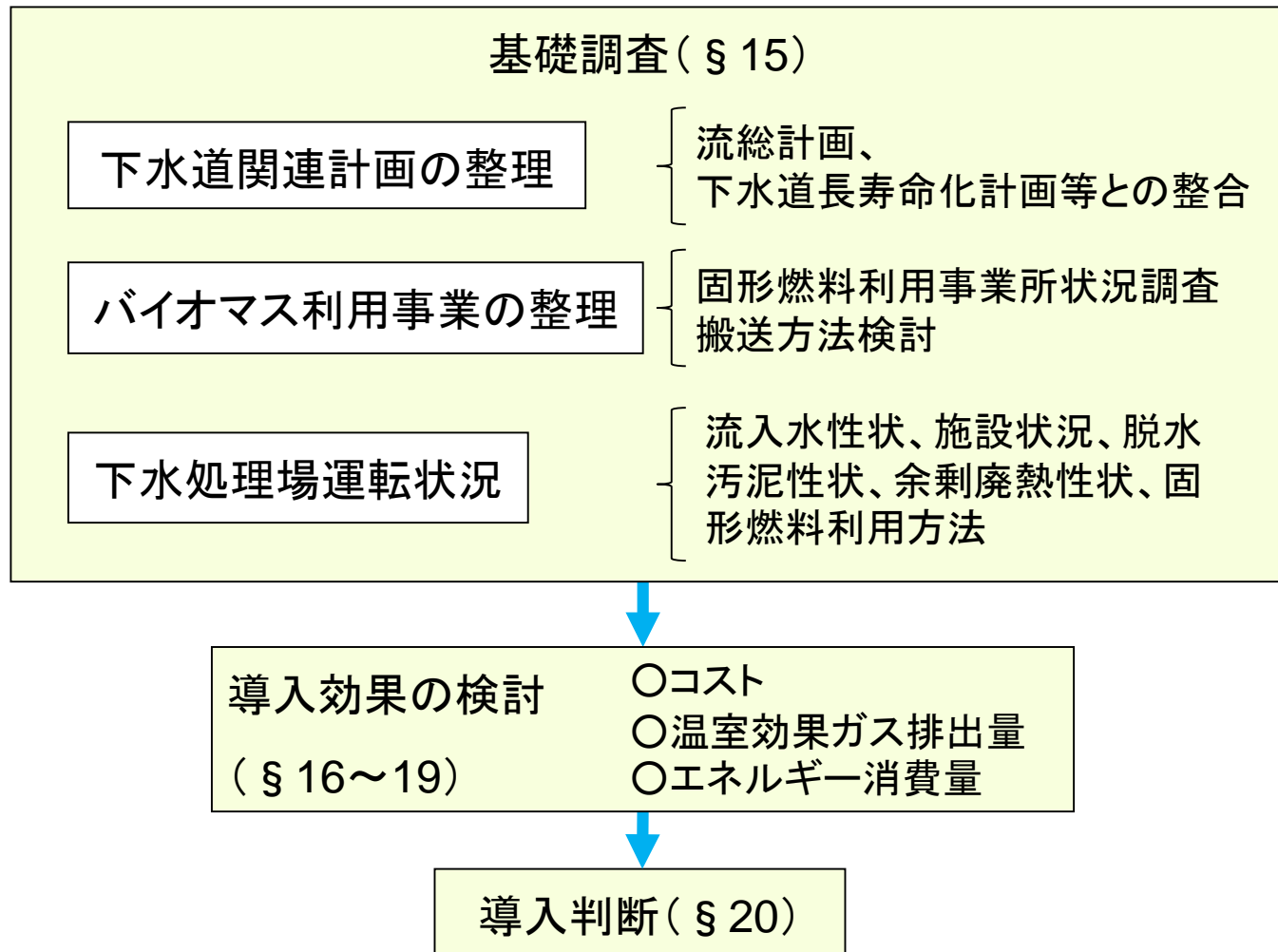
技術の評価結果(§ 13)

汚泥固形燃料の特性

特性値		実証試験結果	評価	
燃焼性	含水率 (目標値:20%以下 JIS原案想定)	3.2~14.7%	目標値(JIS原案値)を満たし、燃料価値を確認	
	灰分 (目標値:50%以下 同上)	19.8~26.8%-DS		
	総発熱量 (目標値:8MJ/kg-湿以上 同上)	15.6~18.2MJ/kg-wet		
安全性	自然発火試験	50°C、48hr保持	有り	要対策 貯留時の温度管理と酸素遮断のため以下の対策を講ずる。 ・ホッパ温度測定 ・窒素置換 ・散水装置設置
	可燃性ガス発生	水素、メタン、一酸化炭素 (試料50g+水12.5g、10日間)	水素/一酸化炭素:未検出 メタン:可燃限界未満	
	粉塵爆発試験	着火・爆発の有無	有り	
		見かけの下限濃度	120 g/m ³ 以下	
		爆発性(-)	低	
ハンドリング性	真比重	1.6 kg/L	粉塵発生しにくい	
	粒度分布	1mm以下の割合(%)		
	破碎性	HGI 31		
臭気	臭気指数	36	従来の汚泥固形燃料並み	

導入検討 (ガイドライン 第3章 § 14- § 20)

導入検討手順 (§ 14～20)

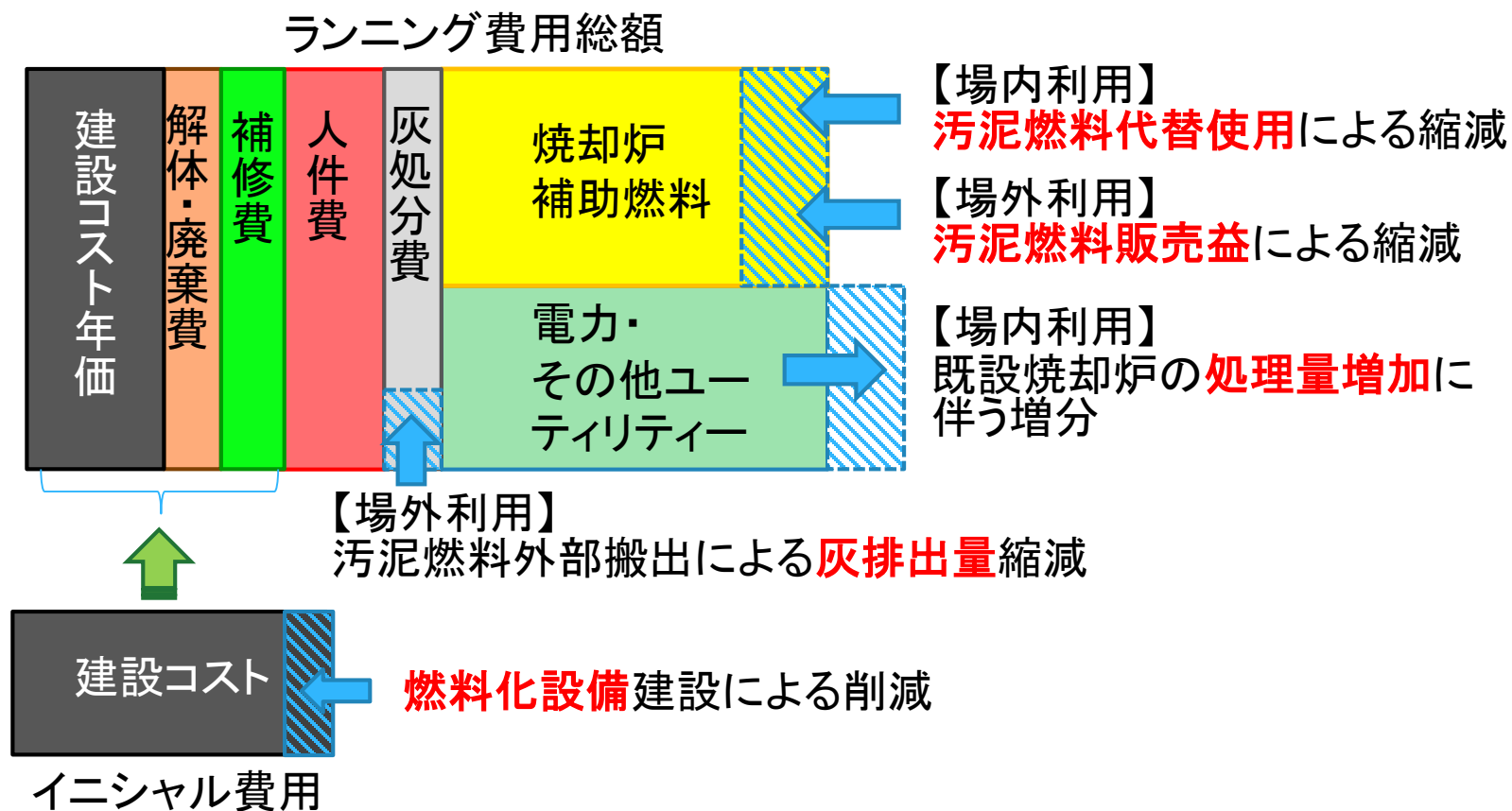


導入検討フロー

導入効果の検討項目(1/3)

コスト縮減効果の算定(§ 17)

- (1) 建設コスト
- (2) 維持管理コスト
- (3) 既設焼却炉の処理量増加に伴う維持管理
コスト増分(場内利用により焼却炉投入汚泥量が増加)
- (4) 補助燃料削減コスト(場内利用)
- (5) 燃料運搬・販売コスト(場外利用)
- (6) 灰処分コスト(場内利用)
- (7) 解体・廃棄コスト

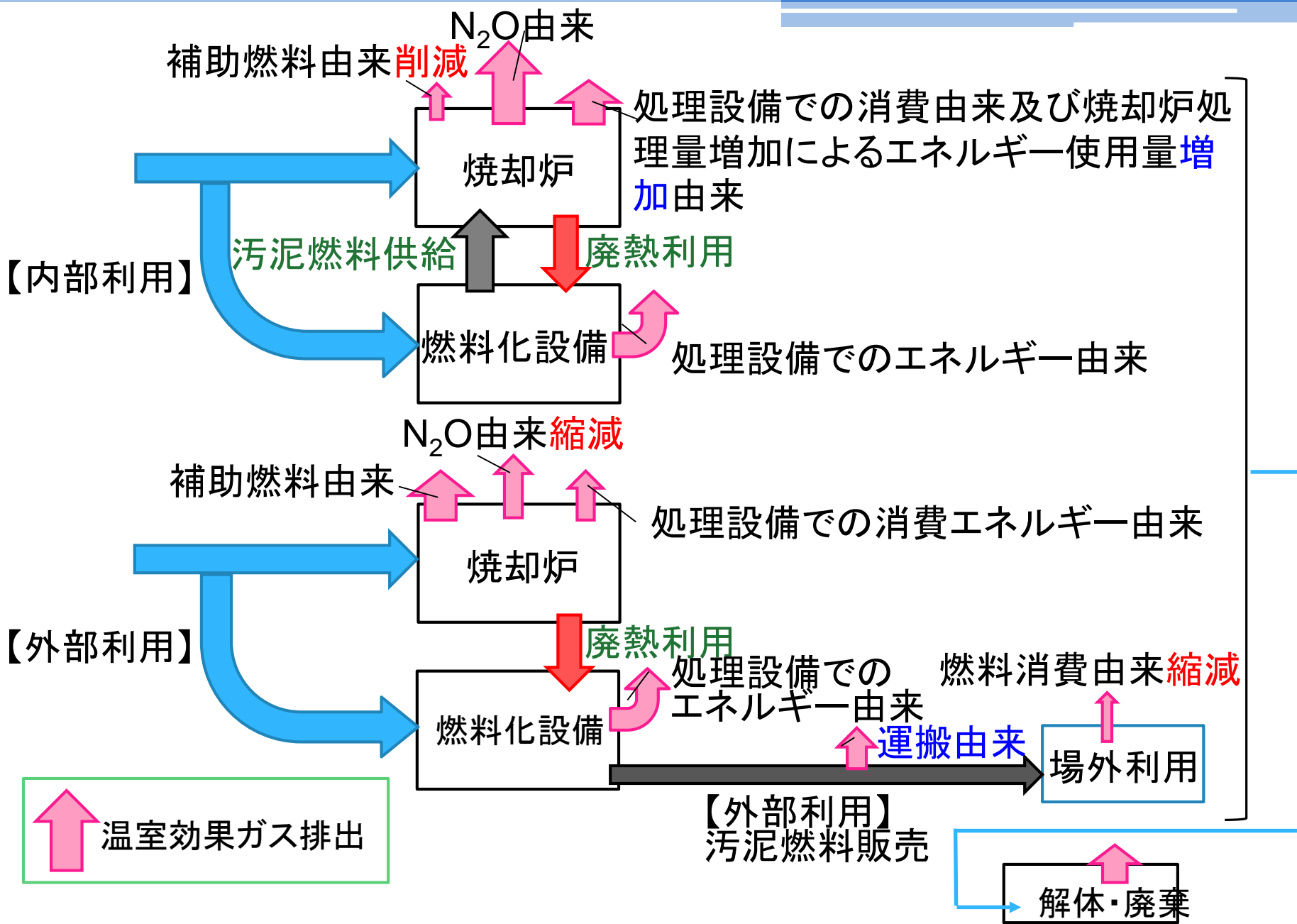


コスト縮減による導入効果の試算項目

導入効果の検討項目(2/3)

温室効果ガス排出量縮減効果の算定(§ 18)

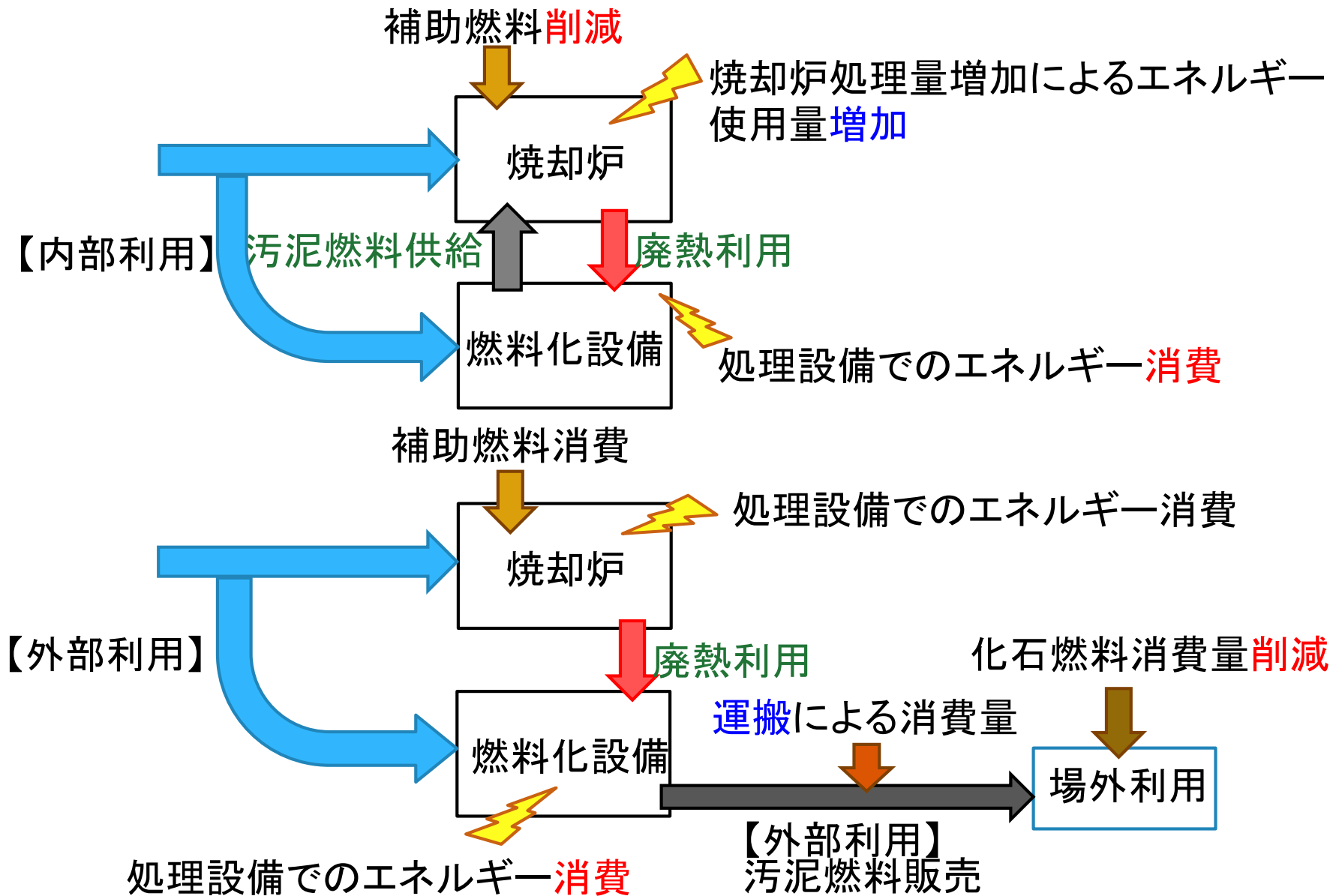
- (1) 処理設備からの温室効果ガス排出量
- (2) 既設焼却炉処理量増加に伴い増加する温室効果ガス排出量増分(場内利用により焼却炉投入汚泥量が増加)
- (3) 既設焼却炉の補助燃料削減による温室効果ガス排出量の縮減(場内利用)
- (4) 運搬による温室効果ガス排出量(場外利用)
- (5) 燃料利用による温室効果ガス排出量の縮減(場外利用)
- (6) 処理設備の建設・解体・廃棄に伴う温室効果ガス排出量



導入効果の検討項目(3/3)

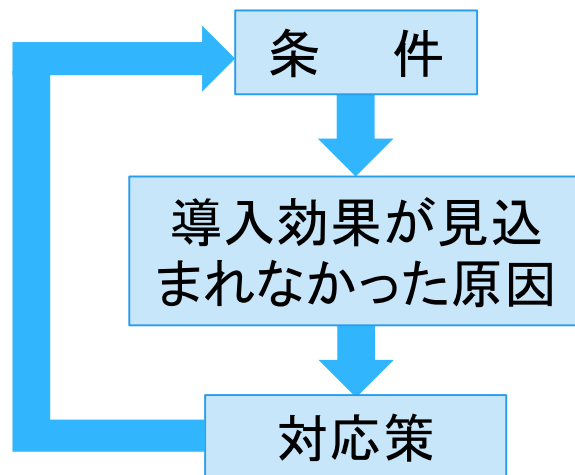
エネルギー消費量縮減効果の算定(§ 19)

- (1) 処理設備でのエネルギー消費量
- (2) 既設焼却炉の処理量増加に伴うエネルギー消費量の増分(場内利用により焼却炉投入汚泥量が増加)
- (3) 既設焼却炉の補助燃料削減によるエネルギー消費量の縮減(場内利用)
- (4) 運搬によるエネルギー消費量(場外利用)
- (5) 燃料利用によるエネルギー消費量の縮減(場外利用)



導入効果の検討(§ 20)

- ・コスト、温室効果ガス排出量及びエネルギー消費量等の検討後、従来技術との比較を行い、本技術の導入判断を行う。
- ・導入効果が見込めないと判断された場合は、導入シナリオを見直したうえで、再検討を行う。



【場内利用】焼却処理に補助燃料を使用している。

既存施設の補助燃料使用量が少なく、コスト縮減、温室効果ガス排出量縮減等の効果が少ない。

余剰の汚泥固形燃料について、**場外利用**の可能性を検討する。

導入シナリオの見直し例

導入効果の検討例 (ガイドライン 第3章 § 21- § 23)

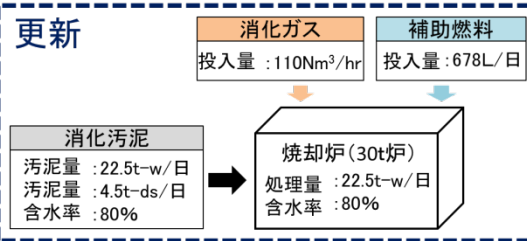
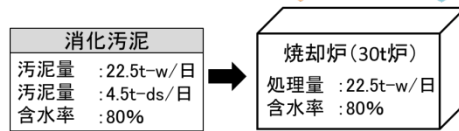
試算条件(§ 21)

ケーススタディを行うにあたり、導入目的、処理規模、技術の種類に応じて16ケースに区分けした。また、汚泥性状、消化ガス利用量等、試算に必要な条件を設定した。

導入検討ケース設定

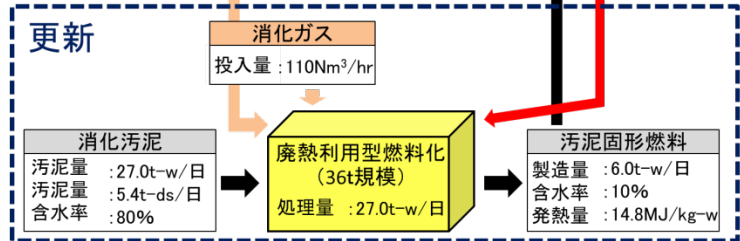
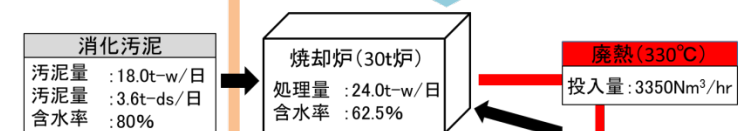
導入目的	新規設備及び処理条件		従来技術 (汚泥焼却炉)	革新的技術 (固形燃料化)		従来技術 (固形燃料化)
	既設焼却炉の規模 (1基分)	系列数	汚泥は 焼却処分	固形燃料を 場内利用	固形燃料を 外部利用	固形燃料を 外部利用
設備更新	30(t-wet/日)	2	A_1	A_2	A_3	A_4
	60(t-wet/日)	2	B_1	B_2	B_3	B_4
設備増強	90(t-wet/日)	1	C_1	C_2	C_3	C_4
	120(t-wet/日)	1	D_1	D_2	D_3	D_4

【ケースA_1】 消化ガス 補助燃料
投入量 : 110Nm³/hr 投入量 : 678L/日



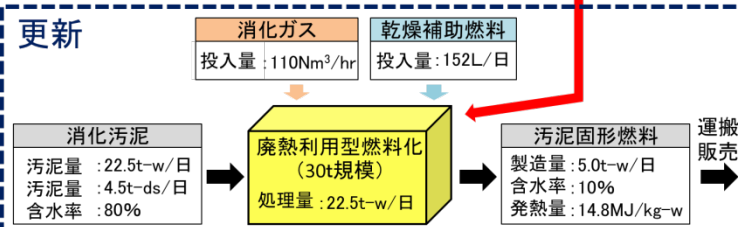
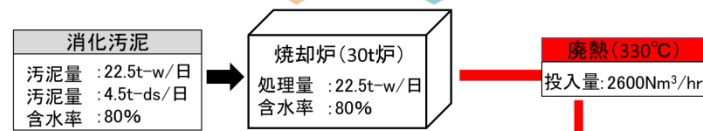
(a) ケースA_1 (焼却炉)

【ケースA_2】 消化ガス 補助燃料
投入量 : 110Nm³/hr 投入量 : 0L/日



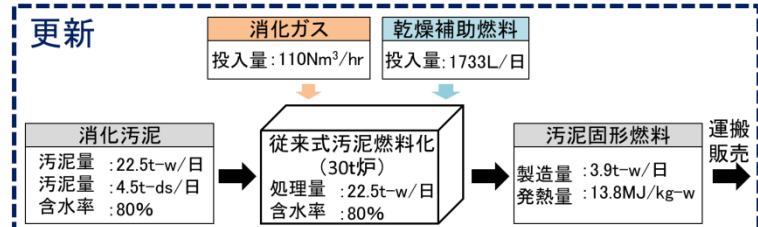
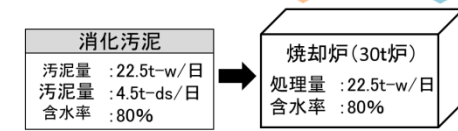
(b) ケースA_2 (革新的技術・固形燃料を場内利用)

【ケースA_3】 消化ガス 補助燃料
投入量 : 110Nm³/hr 投入量 : 678L/日



(c) ケースA_3 (革新的技術・固形燃料を場外利用)

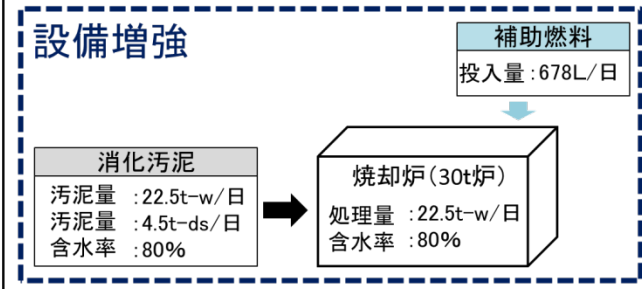
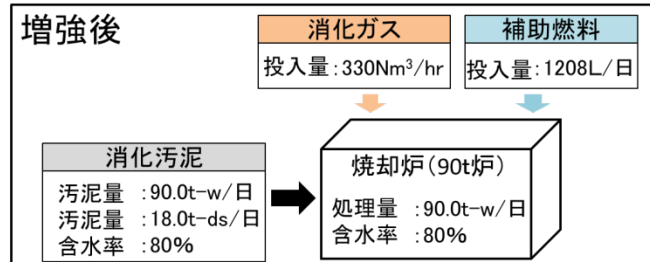
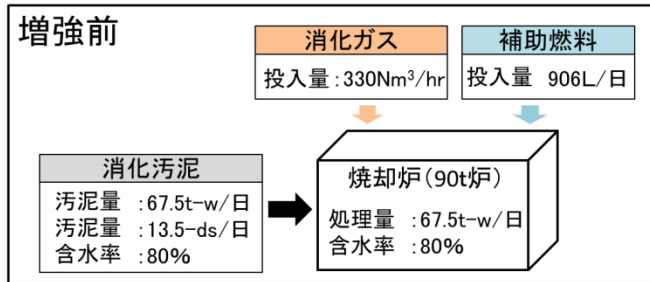
【ケースA_4】 消化ガス 補助燃料
投入量 : 110Nm³/hr 投入量 : 678L/日



(d) ケースA_4 (従来固形燃料化技術・固形燃料を場外利用)

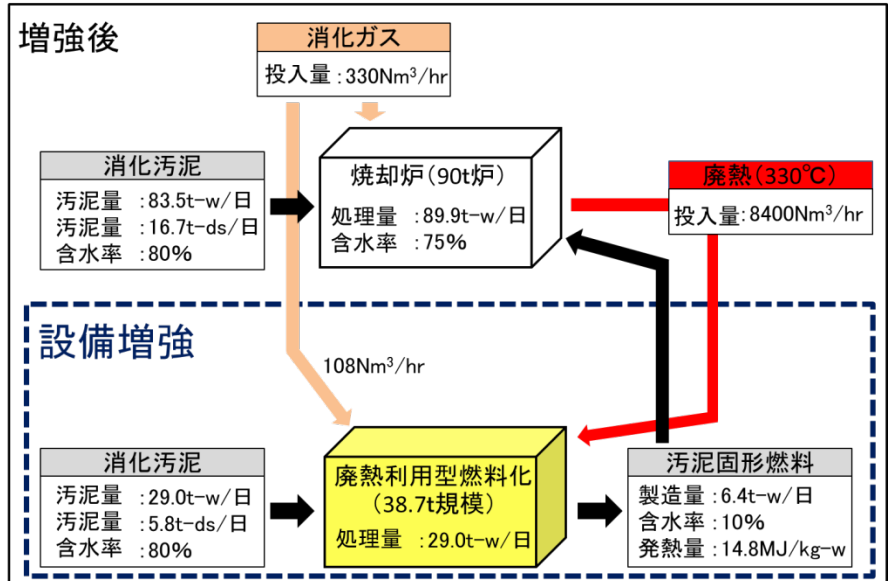
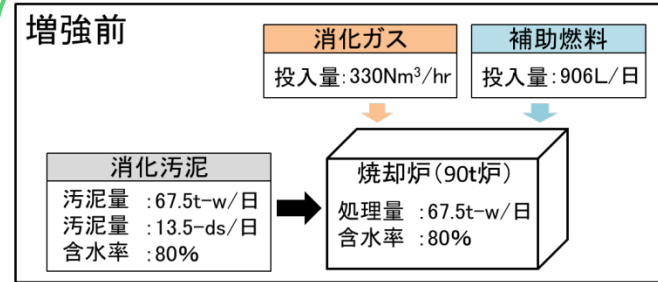
設備更新ケース (既設焼却炉規模30t/日)

【ケースC_1】



(a)ケースC_1 (焼却炉)

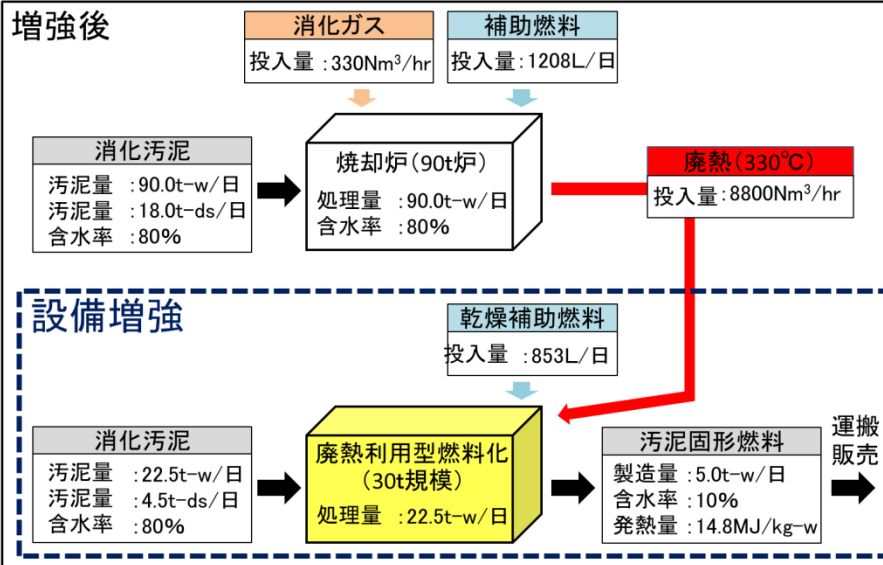
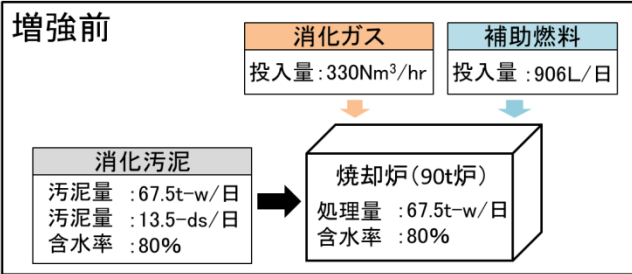
【ケースC_2】



(b)ケースC_2 (革新的技術・固形燃料を場内利用)

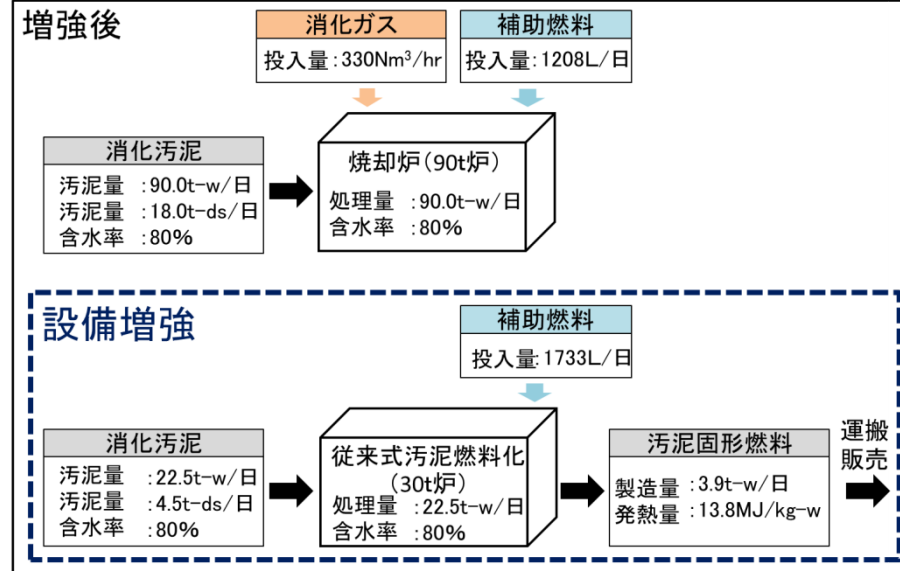
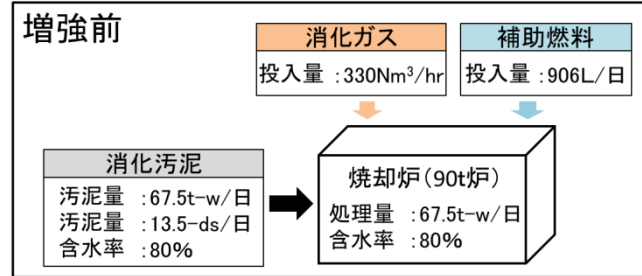
設備増強ケース (既設焼却炉規模90t/日) (1 / 2)

【ケースC_3】



(c) ケースC_3(革新的技術・固形燃料を場外利用)

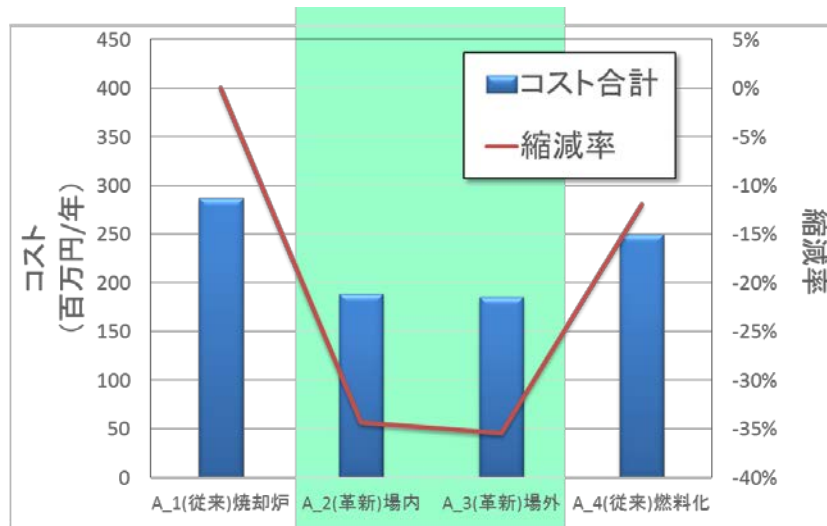
【ケースC_4】



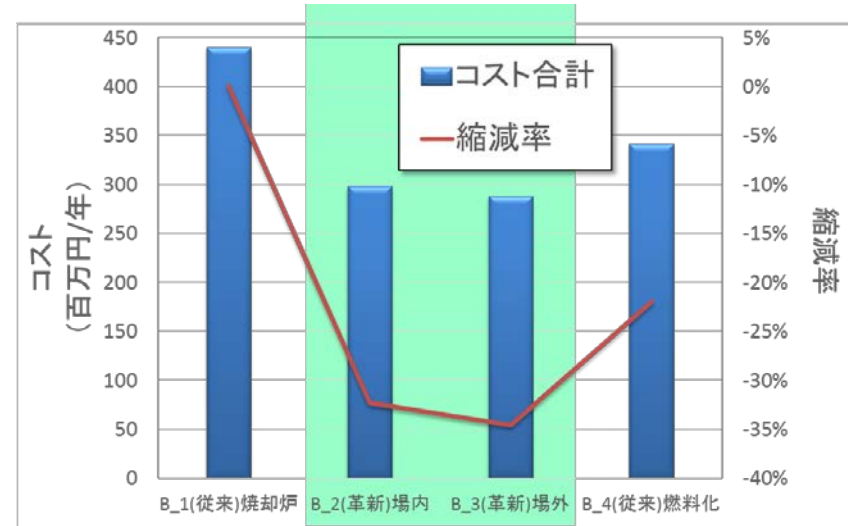
(d) ケースC_4(従来固形燃料化技術・固形燃料を場外利用)

設備増強ケース(既設焼却炉規模90t/日) (2/2)

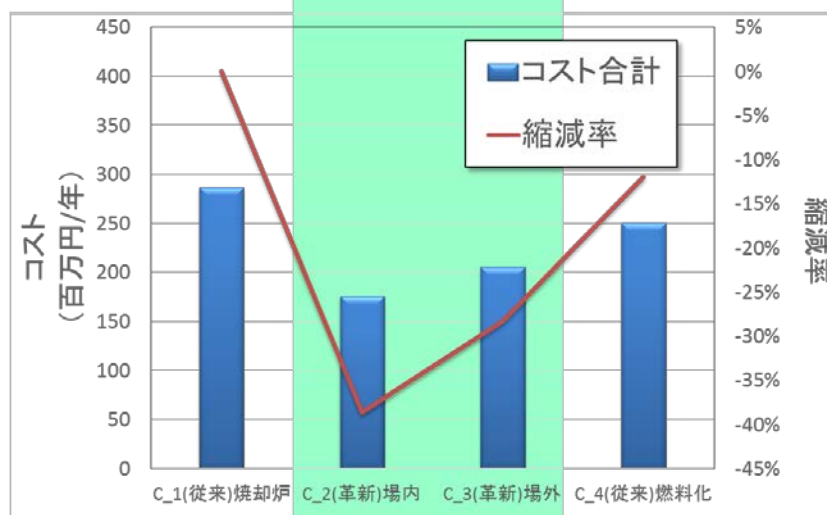
導入効果の検討結果(§ 22)



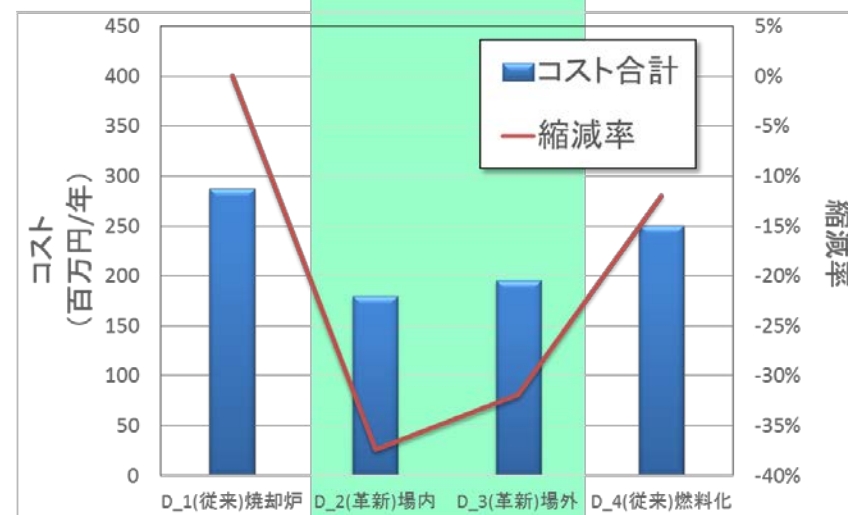
(a)設備更新ケース(A_1~A_4)



(b)設備更新ケース(B_1~B_4)

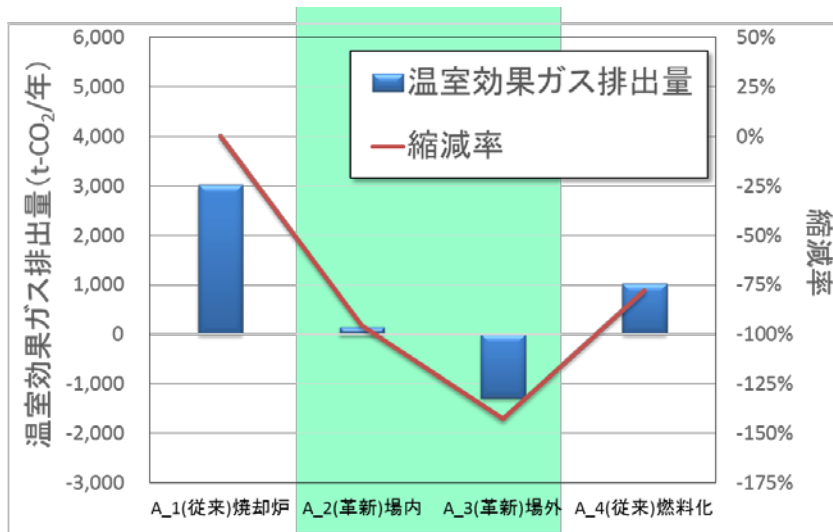


(c)設備増強ケース(C_1~C_4)

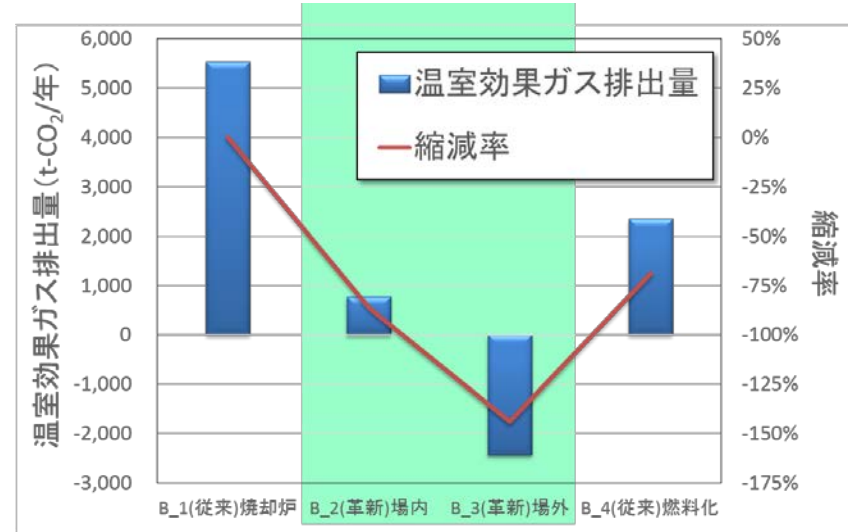


(d)設備増強ケース(D_1~D_4)

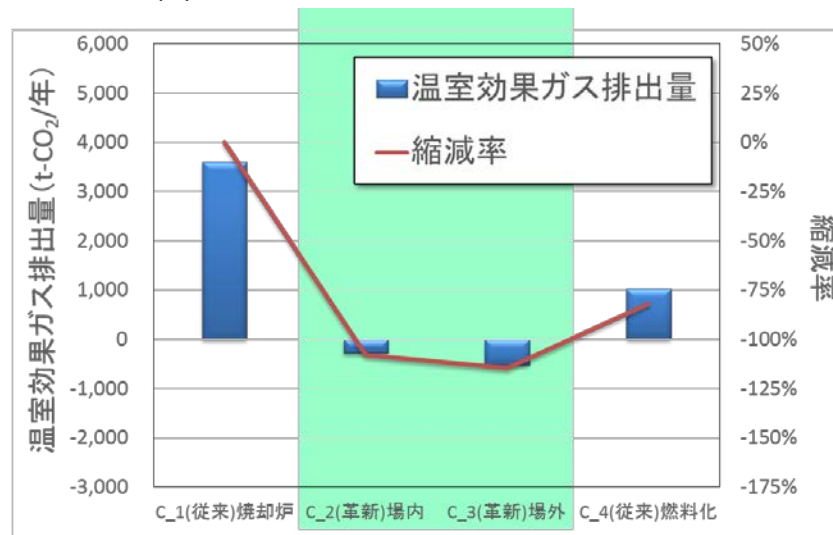
コスト試算結果及び各ケース縮減率 (縮減率は(従来)焼却炉を基準(0%)とする。)



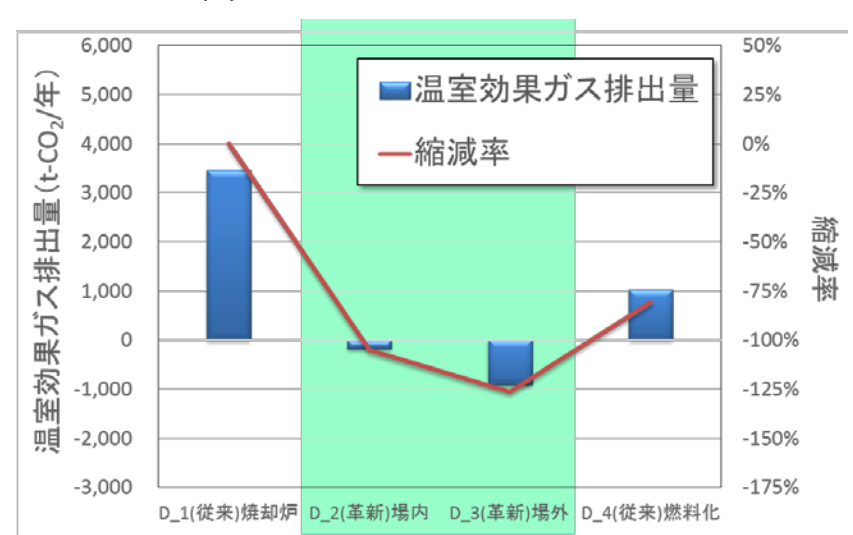
(a)設備更新ケース(A_1~A_4)



(b)設備更新ケース(B_1~B_4)

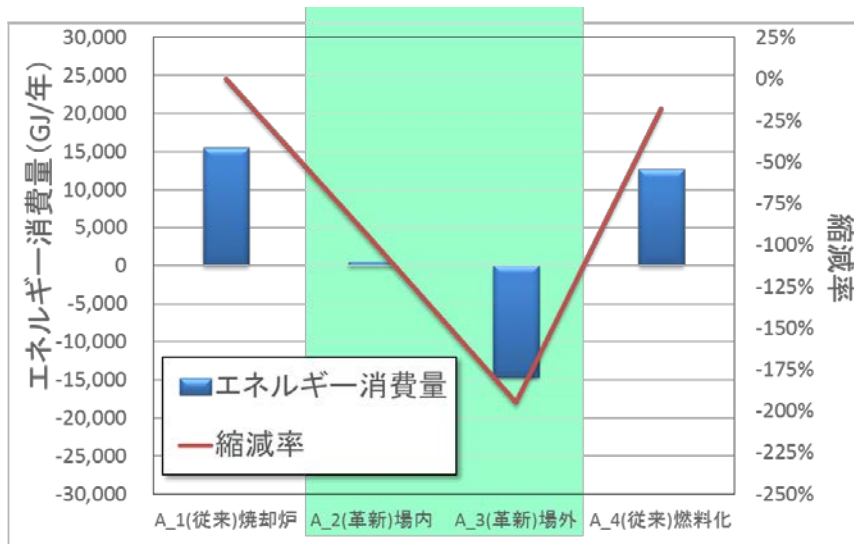


(c)設備増強ケース(C_1~C_4)

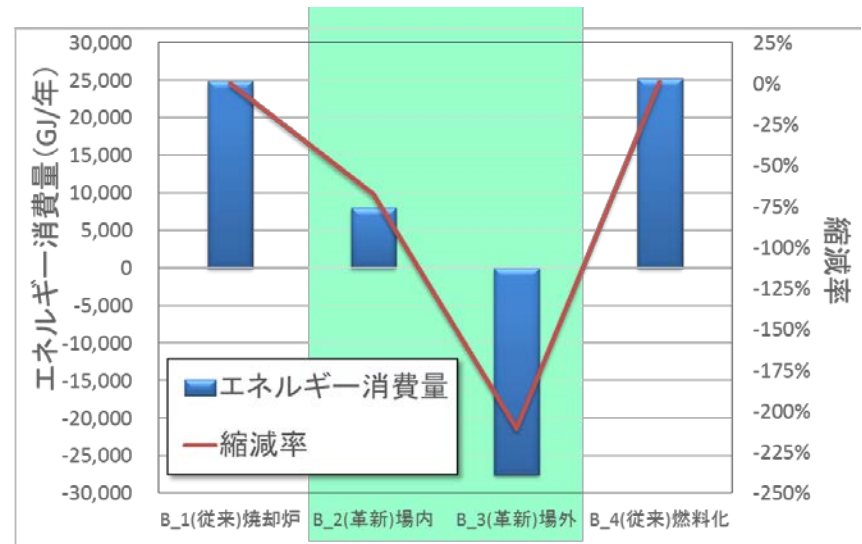


(d)設備増強ケース(D_1~D_4)

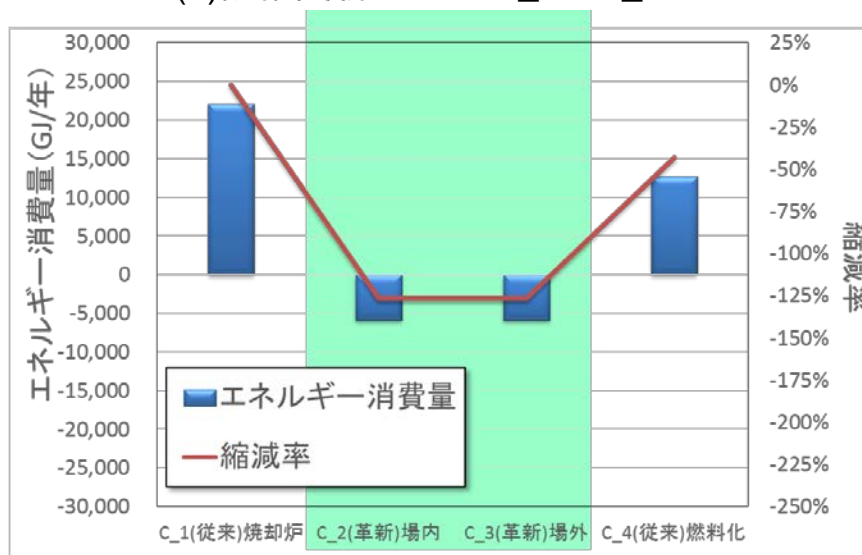
温室効果ガス排出量試算結果及び各ケース縮減率（縮減率は（従来）焼却炉を基準（0%）とする。）



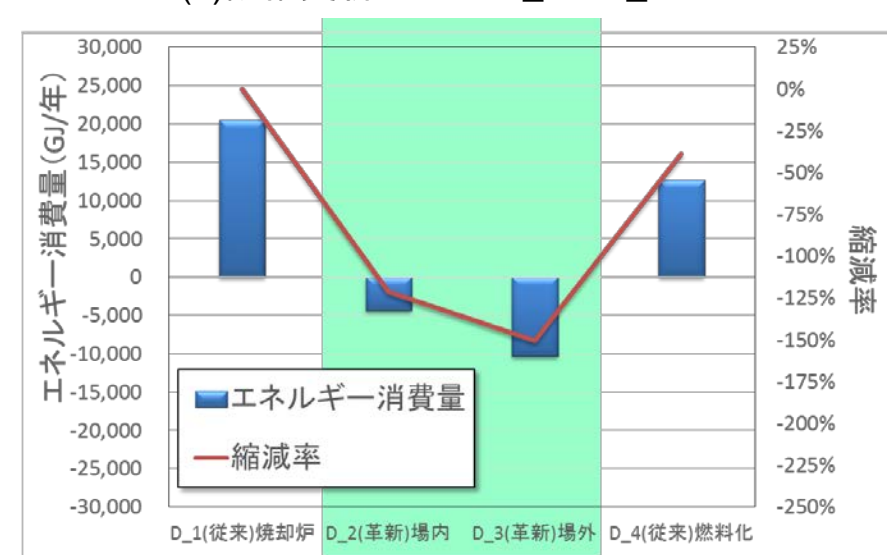
(a)設備更新ケース(A_1~A_4)



(b)設備更新ケース(B_1~B_4)



(c)設備増強ケース(C_1~C_4)



(d)設備増強ケース(D_1~D_4)

エネルギー消費量試算結果及び各ケース縮減率 (縮減率は(従来)焼却炉を基準(0%)とする。)

技術の評価結果（ § 23）

（1）コスト

いずれの導入目的においても技術は従来技術に対して30%程度の縮減率が見込まれた。

（2）温室効果ガス排出量

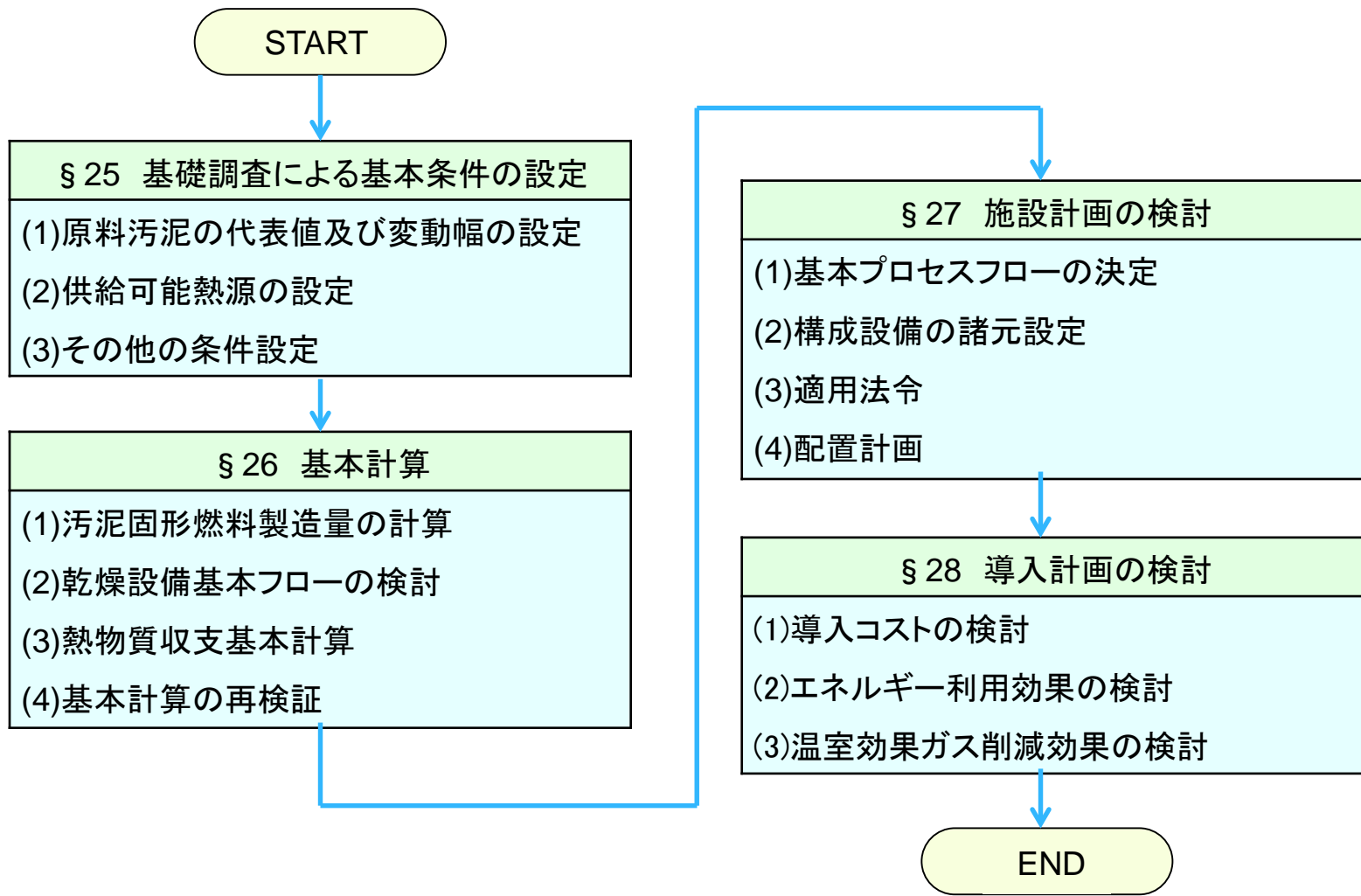
いずれの導入目的においても技術は従来技術に対して90%以上の縮減率が見込まれた。

（3）エネルギー消費量

いずれの導入目的においても技術は従来技術に対して60%程度の縮減率が見込まれた。

計画・設計 (ガイドライン 第4章 § 24- § 32)

導入計画 (§ 24 ~ § 28)



基本計画手順

施設設計 (§ 29 ~ § 32)

施設設計

施設設計大別	設計機器類	
表面固化乾燥設備 (§ 30)	脱水汚泥設計条件の設定	脱水汚泥ホツパ 汚泥供給ホツパ
	乾燥機	乾燥機本体 汚泥成型機
	乾燥汚泥移送・貯留・供給系	集合コンベヤ(スクリー式) 定量供給機(ロータリーフィーダ) 乾燥汚泥移送コンベヤ(フライト式) 乾燥汚泥ホツパ 乾燥汚泥供給機(ロータリーフィーダ、 スクリー切出し装置)
	乾燥空気系	循環ファン 乾燥排気処理塔 乾燥排気返送ファン
廃熱回収利用設備 (§ 31)	乾燥熱交換器	
	熱風発生炉	
安全対策及び臭気対策 (§ 32)	安全対策	窒素封入装置 水噴霧層著 破裂板
	臭気対策	密閉、吸引、捕集 脱臭: 燃焼、その他

設計方法例(乾燥機バンド部の設計)

$$\textcircled{1} \text{1段目バンド面積} = \frac{\text{脱水汚泥処理量(kg/分)} \times \text{表面固化乾燥時間(分)}}{\text{バンド上充填率(kg/m}^2\text{)}}$$

ここで、脱水汚泥処理量(kg/分)

$$= \text{脱水汚泥処理量日最大値} W_s \text{ (t/日)} \div 24 \div 60 \times 1000$$

バンド上充填率は7.4kg/m²

$$\textcircled{2} \text{バンド長さ(mm)} \geq \frac{\text{1段目バンド面積(m}^2\text{)}}{\text{バンド幅(mm)}} \times 10^6$$

ここで、バンド幅は最大3,000mm

- ・1段目(表面固化乾燥ゾーン): 汚泥表面に固化層が形成するまでの時間(表面固化乾燥時間: 概ね7.5~10分)を確保 → 乾燥機の機長が決定
- ・バンド長さに制約が生じる場合
→ 乾燥機1基当りの脱水汚泥を分割し、乾燥機基数の増数を検討

$$\textcircled{3} \text{バンド段数:} \frac{\text{バンド長さ(mm)} \times \text{2段目以降のバンド段数}}{\text{2段目以降のバンド走行速度(mm/分)}} > \text{標準仕上げ乾燥時間(分)}$$

→ 2段目以降のバンド走行速度とバンド段数を設定

ここで、標準仕上げ乾燥時間は概ね70分(原料脱水汚泥含水率に応じて設定)

維持管理 (ガイドライン 第5章 § 33- § 37)

導入システム全体としての維持管理の要点（§ 33）

導入目的の観点を考慮して、乾燥汚泥燃料品質維持、汚泥処理施設全体としてのエネルギーマネジメントおよび災害時の対応が可能となるよう、システム全体を管理する。

導入システムの運転管理項目（§ 34）

導入システムの運転管理では、以下に示す項目に対して、管理基準を定め、測定、分析、解析を行い、適正な運転が行われているかを確認する。

- (1) 脱水汚泥原料
- (2) 表面固化乾燥装置
- (3) 熱風発生炉
- (4) 乾燥空気抽気処理系
- (5) 乾燥汚泥燃料
- (6) 乾燥汚泥燃料貯留装置
- (7) 乾燥熱交換器

管理基準の例示(1/2)

原料汚泥性状管理基準

項目		測定頻度	管理基準	備考
性状	含水率	4回/日	汚泥性状の基本 計画値と差異がな いことを確認	
	強熱減量	1回/週		
	組成	1回/週		
	発熱量	1回/日		
投入量		瞬時値(1時間値):1回/時 累積値:1回/日	設計値と差異がな いこと	

表面固化乾燥装置管理基準

部位	項目	測定頻度	管理基準	備考
乾燥機	汚泥成型機圧力	連続	大きな圧力上昇がないこと	
	入口乾燥空気温度	連続	190℃ ~ 210℃	
	入口乾燥空気圧力	連続	大きな変動がないこと	
	出口乾燥空気温度	連続	120℃ ~ 150℃	結露防止
	出口乾燥空気湿度	1回/時	0.45kg-水/kg-DA以下	結露防止
乾燥空気ダクト	乾燥空気温度	連続	120℃以上	結露防止
	乾燥空気流量	連続	運転計画値	

管理基準の例示(2/2)

乾燥汚泥燃料(製品)の品質管理基準

項目		測定頻度	管理基準	備考
製造量		瞬時値:1回/時 累積値:1回/日	運転計画値	
乾燥汚泥 燃料	含水率	4回/日	20%以下	目標値
	形状寸法	1回/日	—	
	灰分	1回/週	—	
	総発熱量	1回/日	8MJ/kg(湿)以上	目標値

乾燥汚泥燃料貯留装置運転管理基準

部位	項目	測定頻度	管理基準	備考
貯留ホツパ	温度	連続	温度や可燃性ガ	
	可燃性ガス濃度	連続	ス濃度の大きな上	
	酸素濃度	連続	昇が無いこと	

導入システムの運転操作および運転管理(§ 35)

導入システムの運転操作

運転操作項目	操作概要
廃熱量(白煙防止空気量)	乾燥機入口の乾燥空気温度を適正範囲(200℃程度)に保持するために、焼却炉廃熱(白煙防止空気)の利用量を調節する。
乾燥熱風発生炉 消化ガス量	上記焼却炉廃熱(白煙防止空気)以外に消化ガスを使用する場合、熱風発生炉燃料(消化ガス)流量を調整して、乾燥空気温度を適正範囲に保持する。
乾燥空気風量	脱水汚泥投入量、乾燥機出口乾燥空気湿度、乾燥汚泥含水率等に応じて設定値を調節する。
脱水汚泥投入量	脱水汚泥含水率の変動により機器の蒸発可能量を越える水分が投入された場合、脱水汚泥投入量を調節して、製造燃料の含水率を適正な値にする。
滞留時間	バンド速度を調節する。

導入システムの保守点検 (§ 36)

日常点検

腐食、破損、変形、漏洩、閉塞、振動(異音)、過熱、油量

定期点検

乾燥機(24hr、1ヶ月、3ヶ月、1年)、その他機器(1年)

緊急時の対応と対策 (§ 37)

熱風発生炉緊急停止

地震発生時、停電時 ⇒ **燃料緊急遮断弁閉止**

脱水汚泥の乾燥装置内流下の防止

乾燥機緊急停止時

⇒ 汚泥流下による汚泥堆積、閉塞防止のため**脱水汚泥投入部汚泥遮断弁閉止**

表面固化乾燥装置緊急冷却

乾燥機緊急停止時

⇒ 汚泥過熱による発火防止のため**外気導入ダクト開で冷却**

窒素置換による発火防止

乾燥汚泥貯留ホッパ内汚泥酸化による発熱防止

⇒ 窒素置換のための**専用の窒素発生装置**

実証試験

(資料編 1. 実証試験結果)

【実証試験の概要】

- ◆研究名称: 廃熱利用型低コスト下水汚泥固形燃料化技術実証研究
- ◆実施者: JFEエンジニアリング株式会社
- ◆実施期間: 平成24年7月～平成26年3月
- ◆実施場所: 松山市西部浄化センター
- ◆実施目的: 廃熱を利用した乾燥方式によって、低コスト、省エネルギーで汚泥固形燃料を製造し、これを活用することにより、コスト縮減効果や省エネルギー効果等に関する実証研究を実施。

【実証施設概要】

- ◆処理対象: 嫌気性消化汚泥
- ◆最大処理汚泥量: 約15t-wet/日
- ◆実証プラント基本仕様(増設設備 最大出力計: 119.1kW)
 - ・脱水汚泥供給系…脱水汚泥ホッパ、汚泥供給ポンプ
 - ・乾燥機(表面固化方式、バンド搬送式)
 - ・乾燥汚泥移送・貯留・供給系…集合コンベア、乾燥汚泥移送コンベア等
 - ・乾燥空気系…循環ファン、乾燥熱交換器、乾燥熱風発生炉、乾燥排気処理塔等

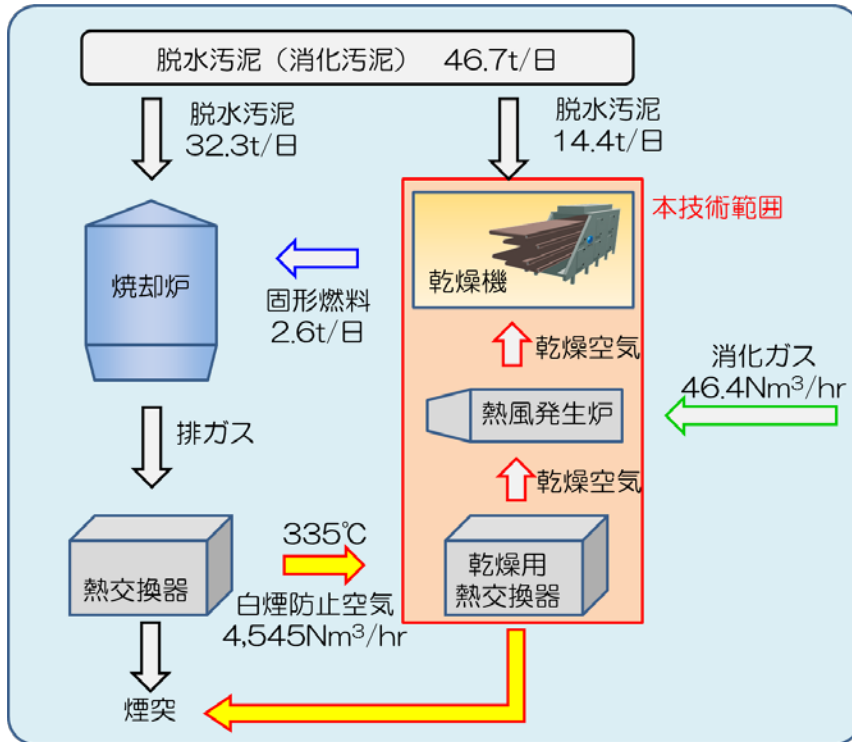
【実証試験の条件】

		運転条件
前 ↑ 保温工事 ↓ 後	RUN 1	消化ガスを利用せず、白煙防止空気からの廃熱のみで汚泥固形燃料を製造
	RUN2	RUN1の乾燥機負荷低減運転
	RUN3	白煙防止空気からの廃熱、消化ガスを利用して定格運転
	RUN4	RUN3の乾燥機負荷低減運転
	RUN3'	保温工事前後の差異を把握するため、RUN3とほぼ同条件で運転
	RUN5	最大処理量の把握
	RUN6	汚泥固形燃料のフリーボード部での燃焼が懸念されたため、焼却炉砂層部まで届かせることを目的とし、汚泥固形燃料をペレット化(再成型して高密度化)し投入。
	RUN7	RUN3との季別比較のため、同条件で試験
RUN8	夏期における消化ガス未使用での最大処理量把握。	

RUN1～4は冬期、RUN5～8は夏期の運転。冬期と夏期の間、乾燥機下部の保温工事を実施

【実証試験の結果の例示 (RUN5の場合)】

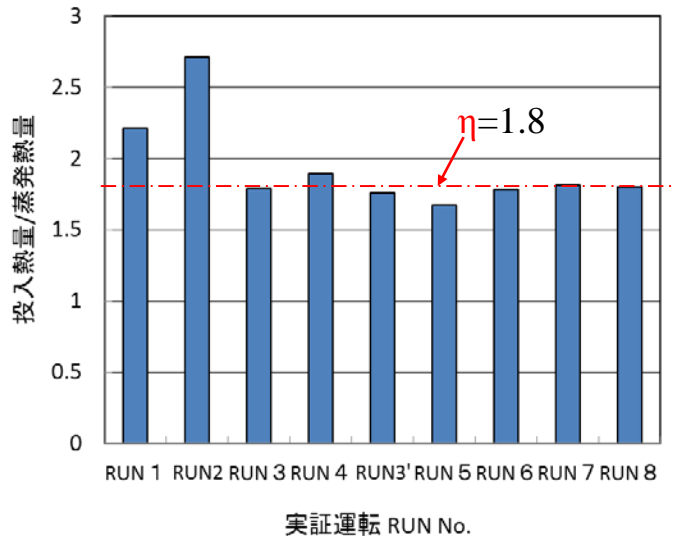
最大処理時の処理フロー



実証試験結果

汚泥固形燃料製造量	t/日	2.6	
汚泥固形燃料含水率	%	9.9	
実証プラントの電力使用量	kWh/h	77.6	
焼却炉補助燃料 (A重油) 使用量	乾燥機導入前	L/h	117.0
	乾燥機導入後	L/h	47.5
①補助燃料削減によるCO ₂ 排出量の削減	t-CO ₂ /年		1,447
②実証プラント電力使用によるCO ₂ 排出量の増加			328
③CO ₂ 排出量の縮減量 (①-②)			1,119

【乾燥に必要な熱量の目安】



乾燥、除去させる水分の蒸発潜熱に対して、必要とする熱量は実証試験の運転実績から以下の $\eta=1.8$ 倍となった。

Q: 乾燥必要熱量(MJ/日)

Xrd: 実処理量(t-wet/日)

$$Q = 2.5(\text{MJ/kg}) \times [\text{Xrd}] \times \left\{ 1 - \frac{(1 - \text{投入汚泥含水}/100)}{(1 - \text{乾燥燃料含水率}/100)} \right\} \times 1000 \times \eta$$

乾燥機への投入熱量/蒸発熱量

[脱水汚泥]
処理汚泥量
含水率

蒸発熱量

× 1.8

乾燥に必要な
投入熱量

【汚泥燃料性状】

冬季(RUN1～4)及び夏季(RUN7)連続運転時の脱水汚泥及び汚泥固形燃料の性状分析、安全性評価試験及び運転時の排ガス分析を実施

固形燃料の発熱量分析

RUN No.		RUN1		RUN2		RUN3		RUN4		RUN7
試料No.		1-1	1-2	2-1	2-2	3-1	3-2	4-1	4-2	7
総発熱量(乾ベース)	MJ/kg-dry	19.3	19.4	19.2	18.4	18.7	19.3	19.1	19.6	17.0
低位発熱量(乾ベース)	MJ/kg-dry	17.8	18.0	17.8	16.9	17.4	17.9	17.7	18.2	15.6
含水率	%	14.7		7.7		6.2		6.4		7.3
総発熱量(湿ベース)	MJ/kg-wet	16.1	16.2	17.5	16.8	17.4	17.9	17.7	18.2	15.6
低位発熱量(湿ベース)	MJ/kg-wet	14.8	15.0	16.2	15.4	16.2	16.6	16.4	16.9	14.3

〔目標値〕 JIS草案 総発熱量(受け渡し時の全水分有の状態＝湿ベース)
 (BSF-15) 15 MJ/kg
 (BSF) 8 MJ/kg

〈その他の分析項目〉

工業分析、元素分析、重金属含有量、灰分組成、比重、HGI、粒度分布