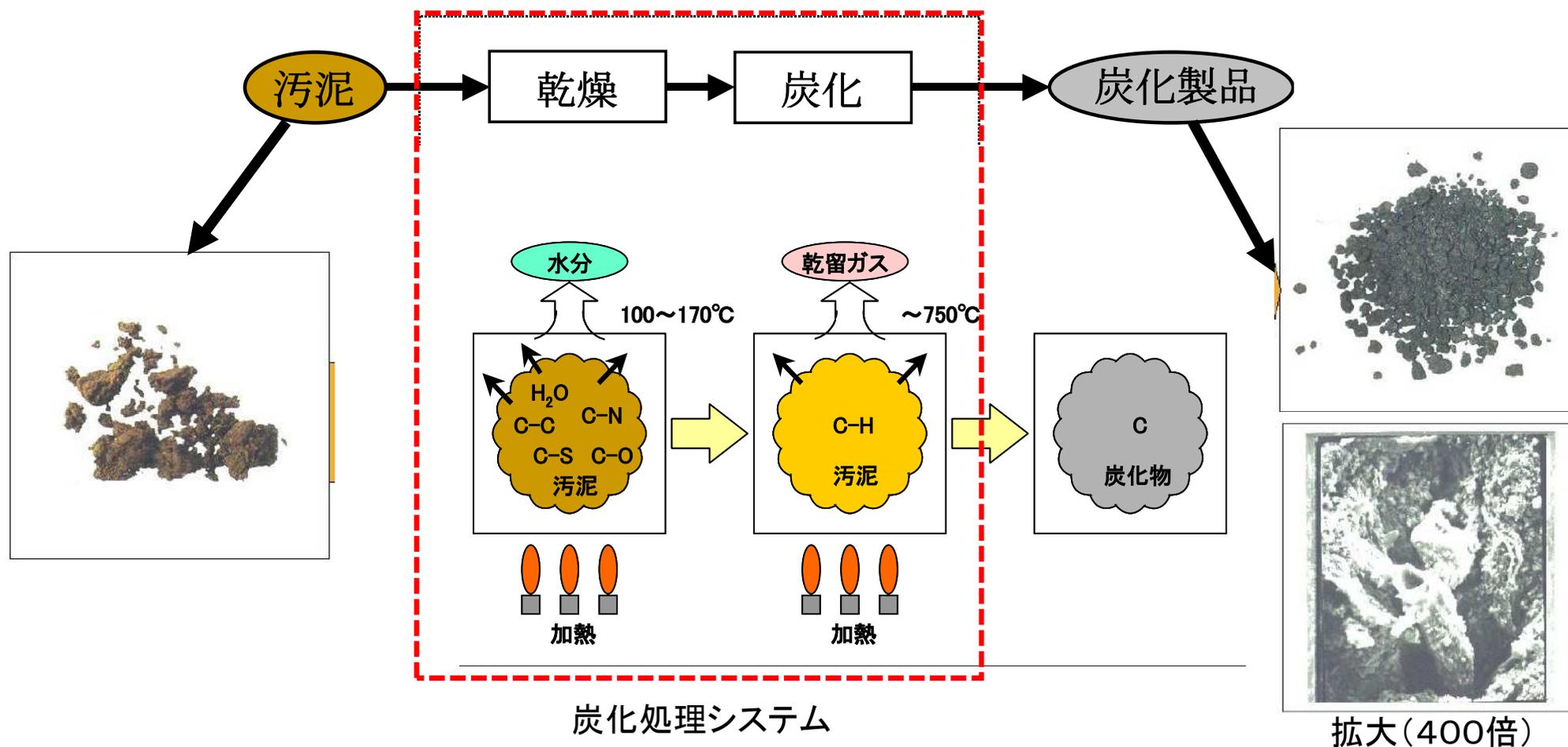


炭化によるCO₂固定量 の概算

中央大学 山村 寛

1. 炭化とは

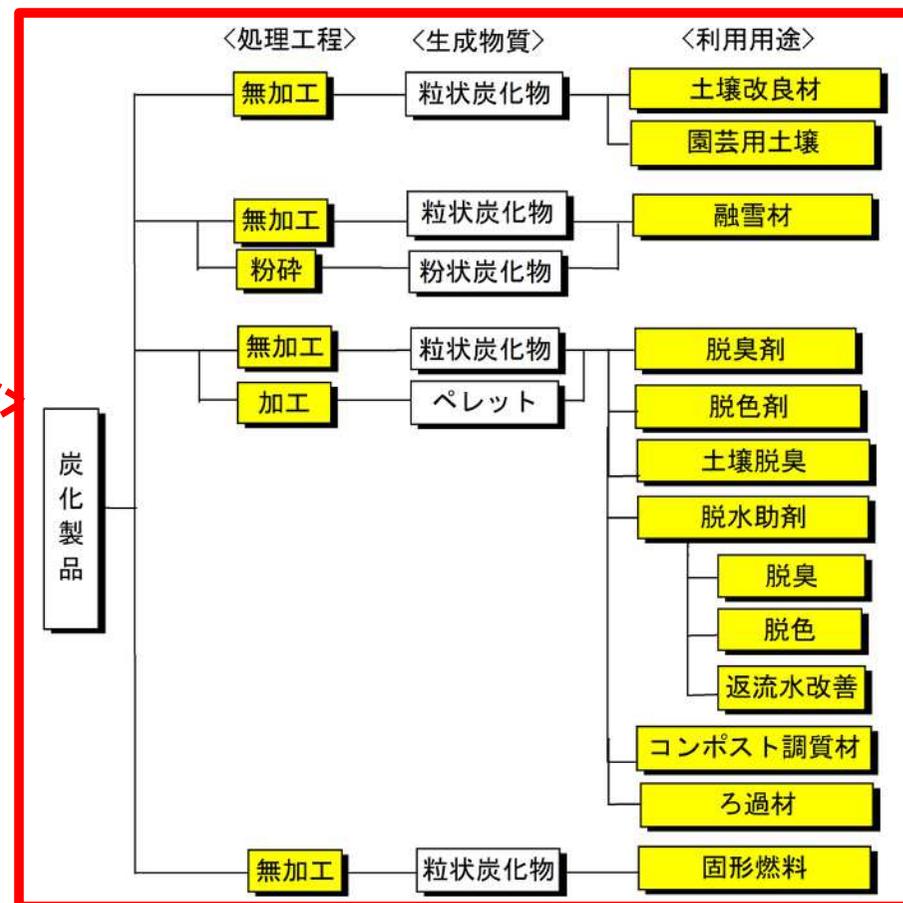
酸素を制限し汚泥をむし焼き状態に。
→炭素に富み細孔構造の炭化物が生成＝炭化



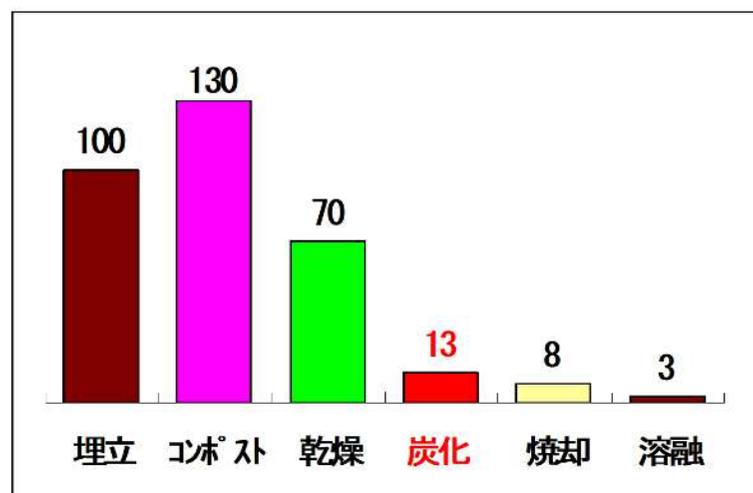
1. 炭化とは—他処理との比較

炭化製品は幅広い有効利用用途が存在
また、乾燥と焼却の中間の減容化率

処理方法	発酵	乾燥	炭化		焼却
反応温度 (°C)	65	160	300~800		900
生成物	コンポスト	乾燥物	炭化製品		焼却灰
有効利用	堆肥		右図参照	レンガ、セメント原料	



炭化により、汚泥は約13%に減容します。



新しい用途として、CO₂の固定という考え方

どのくらいCO₂を固定できるのか？

下水汚泥エネルギー化技術

ガイドライン

—平成 29 年度版—

平成 30 年 1 月

国土交通省 水管理・国土保全局 下水道部

表-5.9 CASE1における温室効果ガス削減効果

ケース	排出区分		汚泥 処理対象量	単位処理量当たり エネルギー 使用量等	年間エネルギー 使用量等	排出係数	地球 温暖化 係数	CO ₂ 換算 排出量 (t-CO ₂ /年)	備考		
現況	処理場内	脱水	電力	46 t-wet/日	5.8 kWh/t-wet	97,671 kWh/年	CO ₂	0.551 kg-CO ₂ /kWh	1	54 ※1	
	処理場外	脱水汚泥埋立		10.2 t-DS/日		3,723 t-DS/年	CH ₄	0.0667 t-CH ₄ /t-DS	25	6,208 ※2	
	合計									6,262	
CASE 1-0	処理場内	脱水	電力	46 t-wet/日	5.8 kWh/t-wet	97,671 kWh/年	CO ₂	0.551 kg-CO ₂ /kWh	1	54 ※1	
			電力	46 t-wet/日	92 kWh/t-wet	1,549,259 kWh/年	CO ₂	0.551 kg-CO ₂ /kWh	1	851 ※1	
		焼却 (高温焼却)	燃料	46 t-wet/日	25 L/t-wet	421 kL/年	CO ₂	2,710 kg-CO ₂ /L	1	1,141 ※3	
			処理プロセス	46 t-wet/日		16,940 t-wet/年	CH ₄	0.0097 kg-CH ₄ /t-wet	25	1 ※3	
						N ₂ O	0.645 kg-N ₂ O/t-wet	298	3,237 ※3		
合計									5,290		
CASE 1-1	処理場内	脱水	電力	46 t-wet/日	5.8 kWh/t-wet	97,671 kWh/年	CO ₂	0.551 kg-CO ₂ /kWh	1	54 ※1	
			電力	46 t-wet/日	129 kWh/t-wet	2,172,331 kWh/年	CO ₂	0.551 kg-CO ₂ /kWh	1	1,197 ※1	
		固形燃料化	燃料	46 t-wet/日	34 L/t-wet	573 kL/年	CO ₂	2,710 kg-CO ₂ /L	1	1,552 ※3	
			処理プロセス	46 t-wet/日		16,940 t-wet/年	N ₂ O	0.0312 kg-N ₂ O/t-wet	298	157 ※4	
			小計								2,960
	処理場外	石炭代替利用による温室効果ガス削減量			-695t-石炭/年 × 2.41t-CO ₂ /t					-1,675 ※5	
合計									1,283		
CASE 1-2	処理場内	脱水	電力	32 t-wet/日	20 kWh/t-wet	233,984 kWh/年	CO ₂	0.551 kg-CO ₂ /kWh	1	129 ※1	
			電力	32 t-wet/日	5.3 kWh/m ³	561,005 kWh/年	CO ₂	0.551 kg-CO ₂ /kWh	1	309 ※1	
		固形燃料化	燃料	32 t-wet/日		320 kL/年	CO ₂	2,710 kg-CO ₂ /L	1	867 ※3	
			処理プロセス	32 t-wet/日		11,699 t-wet/年	N ₂ O	0.0312 kg-N ₂ O/t-wet	298	109 ※4	
			小計								2,246
	処理場外	石炭代替利用による温室効果ガス削減量			-954t-石炭/年 × 2.41t-CO ₂ /t					-2,371 ※5	
合計									-125		

計 5236 t-CO₂/年
46t/日 稼働率
80%より
390 kg-CO₂/t

計 2906 t-CO₂/年
46t/日 稼働率
80%より
216 kg-CO₂/t

計 1808 t-CO₂/年
32t/日 稼働率
80%より
193 kg-CO₂/t

※1 電力使用に伴う排出係数の出典: 環境省資料「平成25年度の電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等の公表」について」
電気事業者別のCO₂排出係数の代替値
※2 下水汚泥の埋立に伴う排出係数の出典: 「日本国温室効果ガスインベントリ報告書 2014年4月」廃棄物の埋立処分に関する排出係数にお
ける「下水汚泥」の準好気性埋立の値。委員会による埋立処分は、温対法の地方公共団体実行計画や算定・報告・公表制度では計上対象外
(産廃業者において計上すること)とされている。
※3 排出係数の出典: 「特定非出者の事業活動に伴う温室効果ガスの排出量の算定に関する省令」
※4 「平成26年温室効果ガス排出量算定方法検討会廃棄物分科会」(第2回:平成27年1月6日)において議論され、了承された値である。
※5 温対法の地方公共団体実行計画や算定・報告・公表制度では計上対象外(燃料燃焼品利用者において計上すること)とされている。

下水汚泥エネルギー化技術 ガイドライン(平成29年度版)

- 施設規模＝脱水汚泥量÷稼働率80% × 100

(1) CASE1-0 焼却(高温焼却)の場合 5236 t-CO₂/年

46t/日で稼働率が80%なので、390 kg-CO₂/t

(2) CASE1-1 中温炭化の場合 2906 t-CO₂/年

46t/日で稼働率が80%なので、216 kg-CO₂/t

炭化物を土に戻す場合

46 汚泥-t/日 × 0.2有機物% × 365日 × 80稼働率% = 2686 t-CO₂/年 を吸収
46t/日で稼働率が80%なので、13432 t-汚泥/年を処理=200 kg-CO₂/t を吸収

(3) CASE1-2 低温炭化の場合 1808 t-CO₂/年

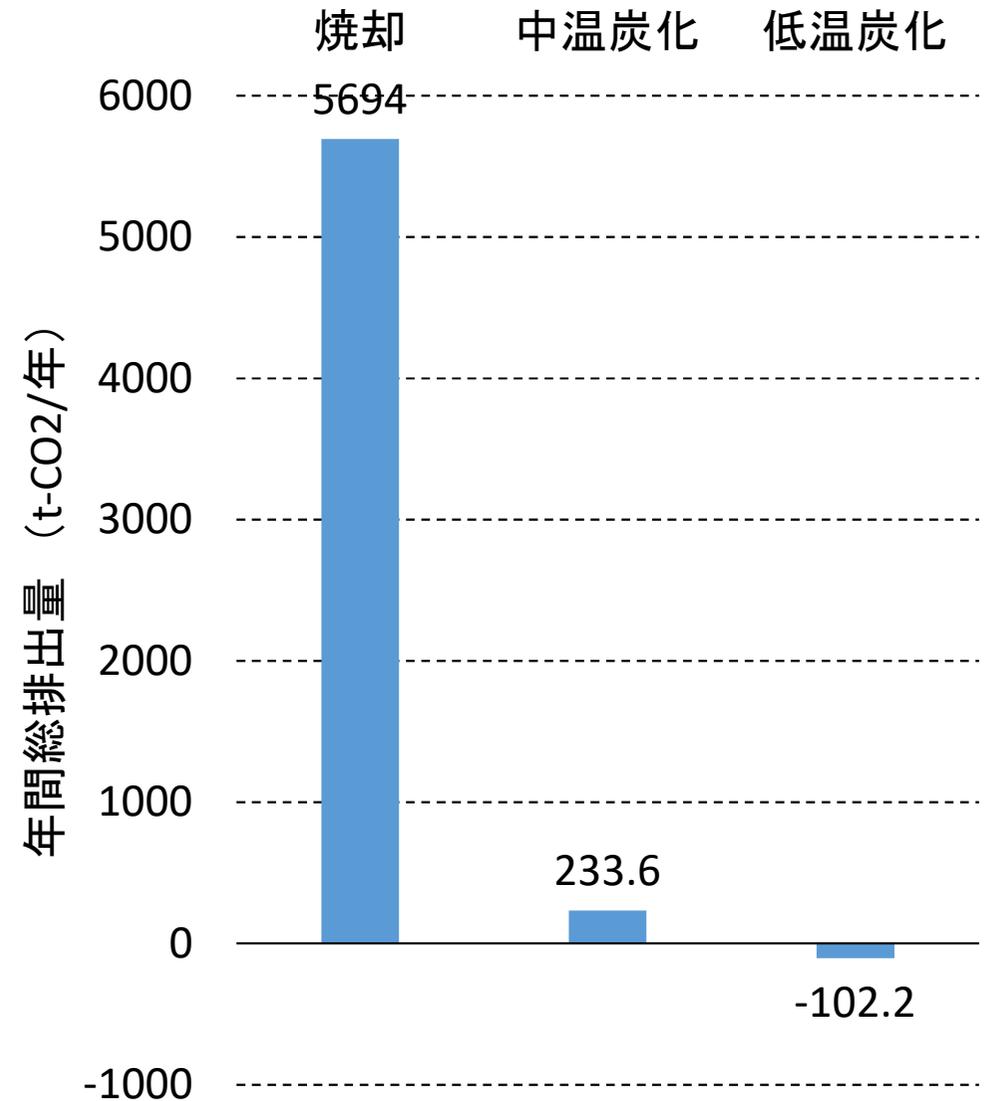
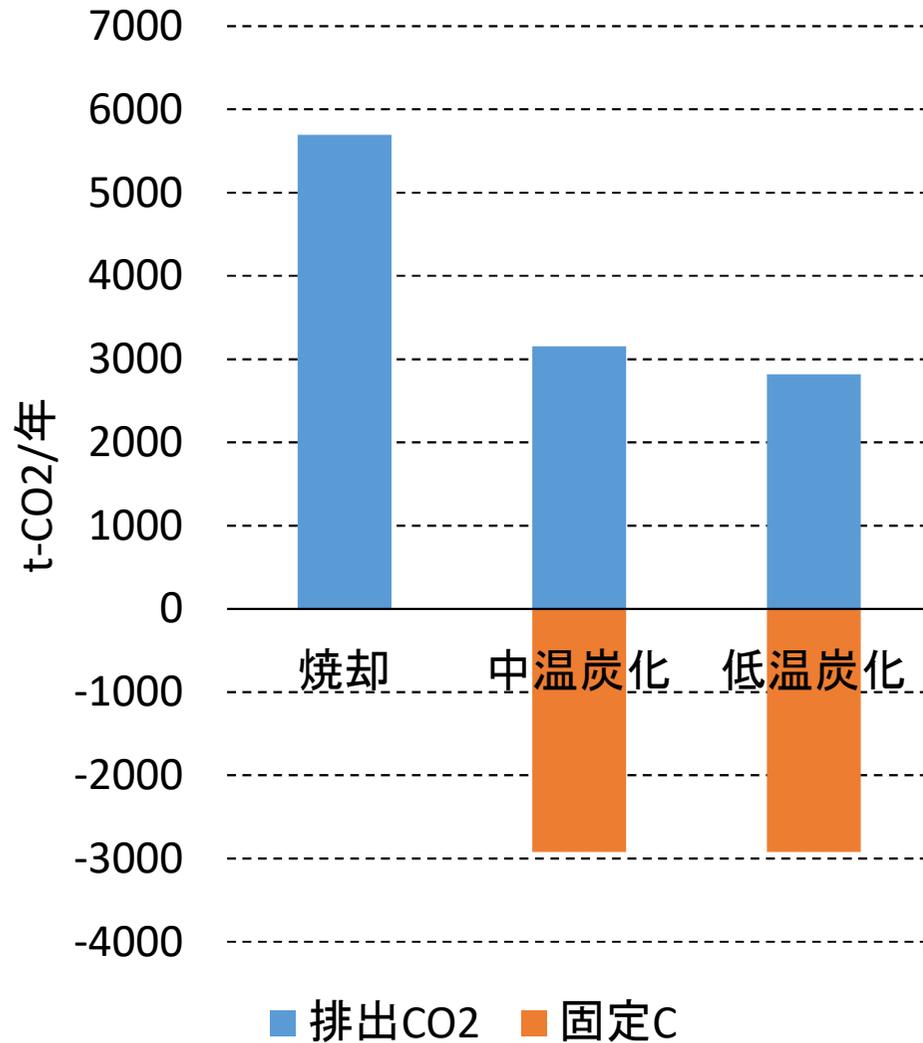
32t/日で稼働率が80%なので、193 kg-CO₂/t

炭化物を土に戻す場合

32汚泥-t/日 × 0.2有機物% × 365日 × 80稼働率% = 1868 t-CO₂/年 を吸収
32t/日で稼働率が80%なので、9344 t-汚泥/年を処理=200 kg-CO₂/t を吸収

50t/日の施設とすると(1施設あたりの削減量)

排出・固定されるCO2比較



炭化することで、消費したエネルギー量を固定・削減できる！

30%処理場への導入効果(日本全体を見て)

3~30t/日の中小規模(平均20t/日)の国内下水処理場600カ所のうち、200カ所に炭化設備を導入した場合 => 4000 t/日

焼却設備の場合 455,520 t-CO₂/年

焼却施設比

中温炭化設備の場合 18,688 t-CO₂/年

43万 t-CO₂/年の削減効果

低温炭化設備の場合 -8,176 t-CO₂/年

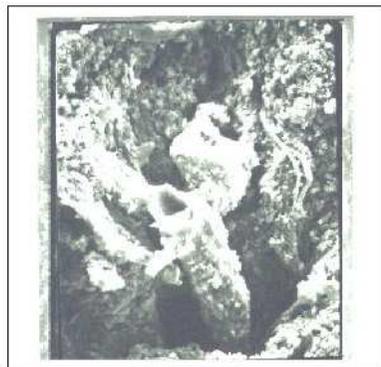
46万 t-CO₂/年の削減効果

0.8万トンの吸収!

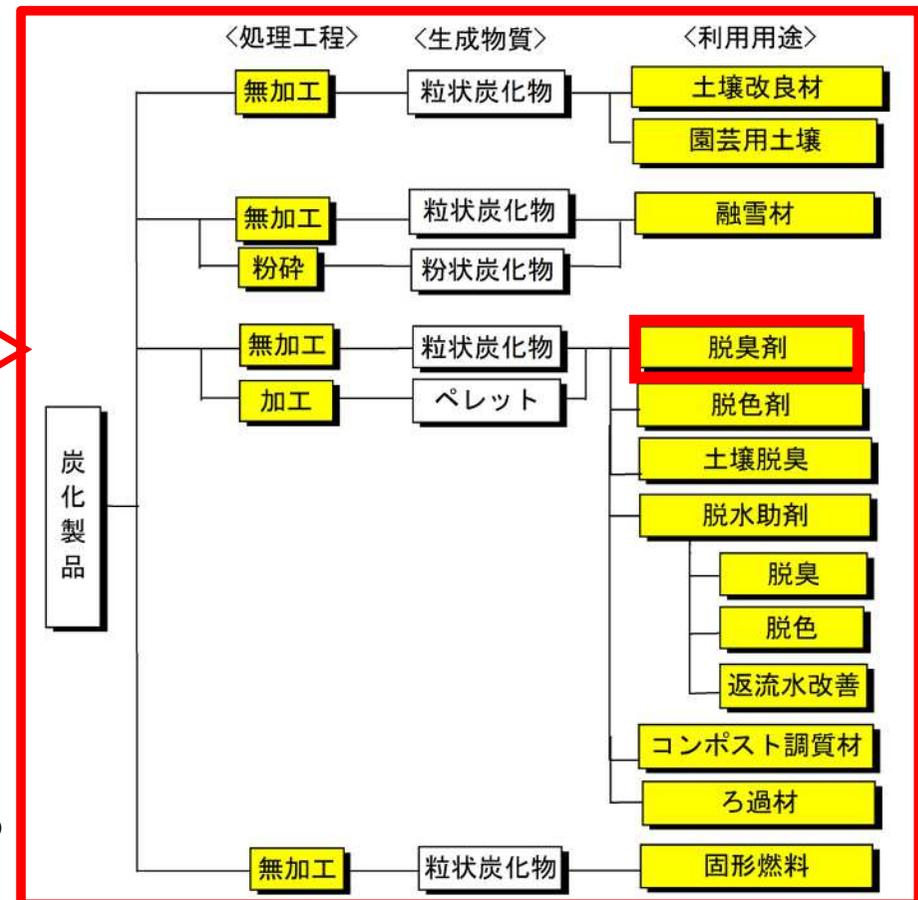
汚泥埋立処分の場合、400万 t-CO₂/年なので、さらに削減効果が大きい

約1100°Cでむし焼きにすることで、活性炭に近い性質になり、脱臭剤などの代替材に。

処理方法	超高温炭化
反応温度 (°C)	1000°C以上
生成物	炭化製品
有効利用	右図参照



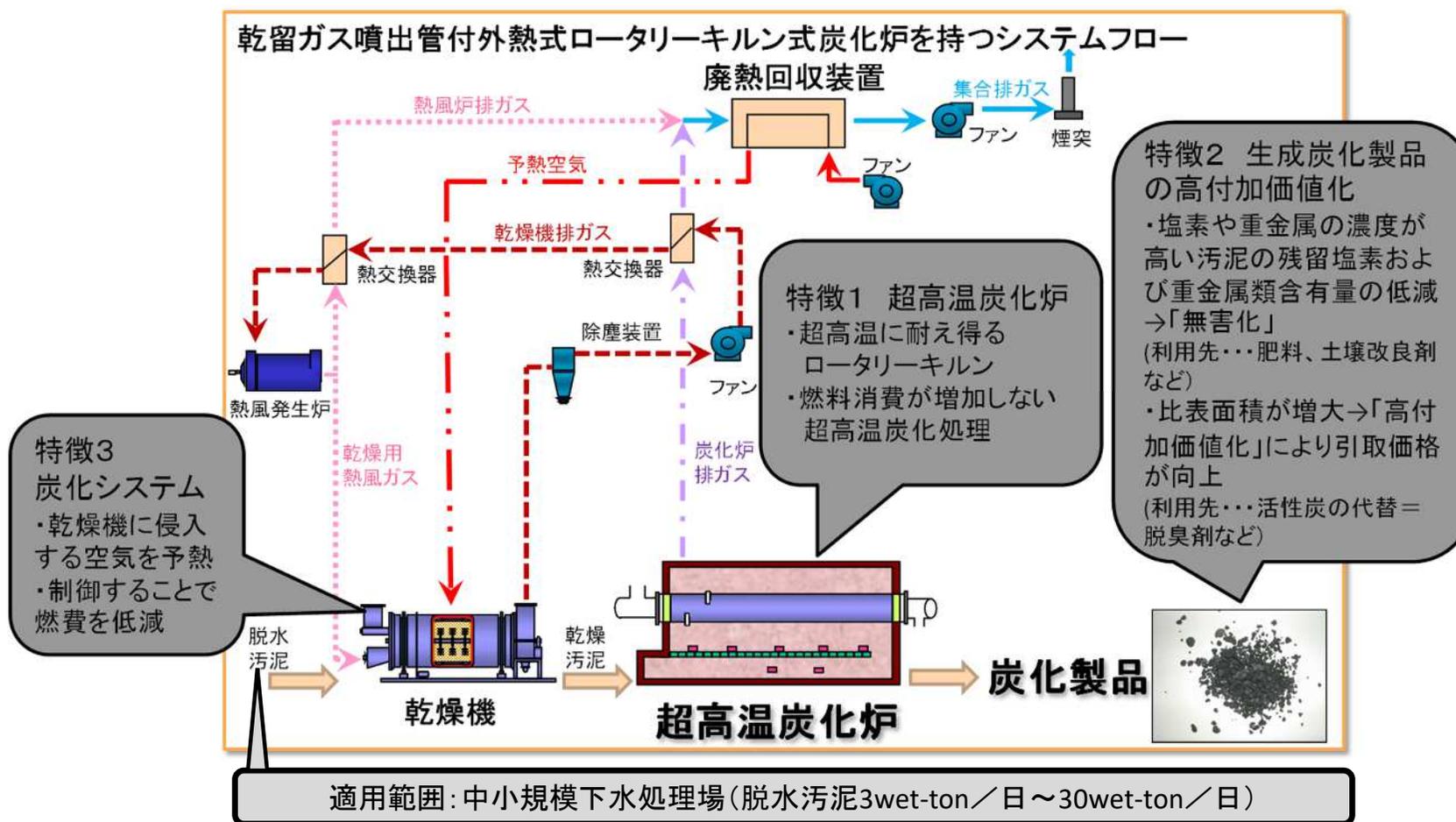
高温炭化(800°C)より細孔構造が発達し、物理吸着性能up (比表面積が10~90 m²/g から 300 m²/gに)



脱臭剤として硫化水素吸着能力が、市販活性炭相当(以上)に

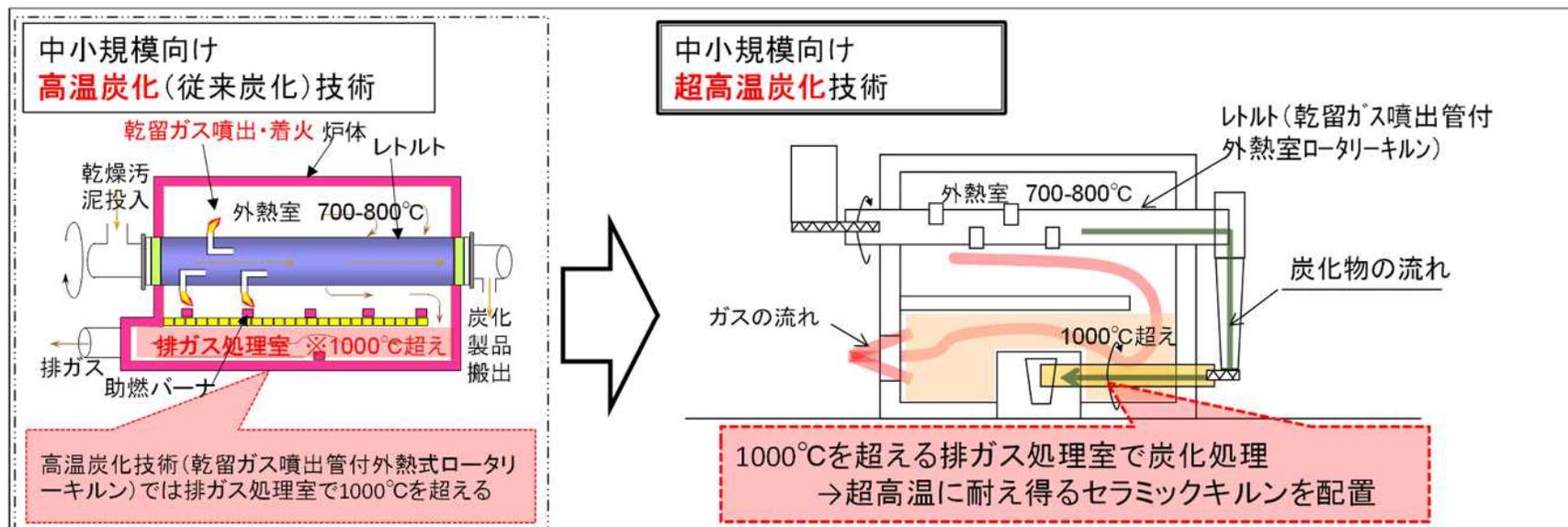
2. 超高温炭化設備について

平成30年、令和元年のB-DASH・FS調査 にて超高温炭化設備を開発



3. 超高温炭化炉の特長

超高温炭化炉は超高温に耐え得るセラミックキルン・2段キルン構造などの特徴



◆超高温炭化処理を実現させる要素技術(従来と比較)

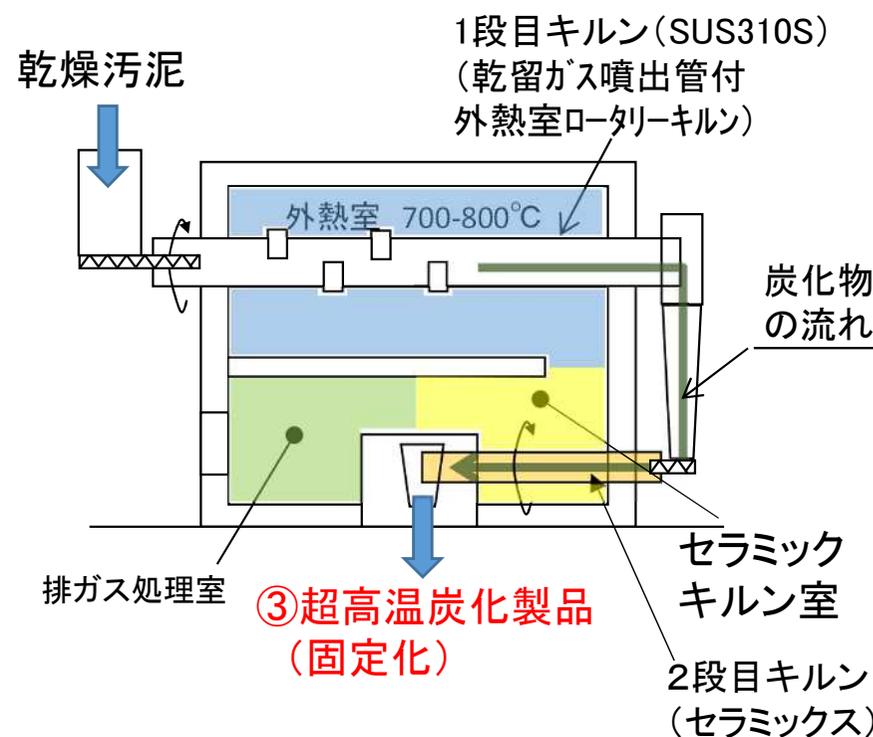
項目	高温炭化	超高温炭化
特徴その1-構造	1段構造	2段構造(高温炭化+超高温炭化) →高温炭化後の処理物を受け入れることで ・超高温炭化の見掛け処理容積を軽減 ・炭化物の品温変化を緩和
特徴その2-キルン材質	ステンレス鋼	超高温炭化に耐え得る材質(セラミック)を採用
特徴その3-配置	外熱室800°Cに配置	1000°Cを超える排ガス処理室に超高温炭化キルンを配置

4. GHGの観点から見た超高温炭化炉の特長その1

超高温炭化設備は、以下の特徴から 低GHGの特長

超高温炭化炉のGHG特長

- ① 多段燃焼により焼却炉と比べ亜酸化窒素量が少ない
- ② 高温炭化と比べ、超高温炭化は亜酸化窒素量が少ない
- ③ 超高温炭化製品に含まれるC固定化により、焼却炉と比べCO₂排出量低減に貢献



① 外熱室→セラミックキルン室
→排ガス処理室と1炉内で多段燃焼

② 1000°Cを超えるセラミックキルン室
温度にて亜酸化窒素低減

4. GHGの観点から見た超高温炭化炉の特長その2: **有効活用**

超高温炭化製品が、活性炭の代替材として利用されることにより、カーボンニュートラルの実現が可能

	国内処理場 活性炭使用量	製造時の CO ₂ 排出量
石炭由来	約1万ton(炭)／年	約26t-CO ₂ ／活性炭ton
ヤシ殻由来	約5万ton(炭)／年	約4t-CO ₂ ／活性炭ton

上記約6万t炭／年から生成されるGHG量は **約50万t-CO₂／年**。

	製造時の CO ₂ 排出量
超高温炭化製品	約5t-CO ₂ ／活性炭代替材ton

左記約6万t炭／年相当を置き換えるための超高温炭化設備を導入する下水処理場数は200カ所。その200カ所から生成されるGHG量は **約29万t-CO₂／年**。

超高温炭化製品を活性炭に代替すると、50万－29万＝**21万t-CO₂／年**のGHG削減

5. GHG試算例(焼却との比較)

焼却炉と比べた場合でも 顕著なGHG削減効果が見込める

3~30t/日の中小規模(平均20t/日)の国内下水処理場600カ所のうち、200カ所に炭化設備を導入した場合 => 4000 t/日

焼却設備の場合	455,520 t-CO ₂ /年	← 焼却施設比
中温炭化設備の場合	18,688 t-CO ₂ /年	43万 t-CO₂/年の削減効果
低温炭化設備の場合	-8,176 t-CO ₂ /年	46万 t-CO₂/年の削減効果
高温炭化設備の場合	188,800 t-CO ₂ /年	26万 t-CO₂/年の削減効果
超高温炭化設備の場合	58,000 t-CO ₂ /年	39万 t-CO₂/年の削減効果

汚泥埋立処分の場合、400万 t-CO₂/年なので、さらに削減効果が大きい

→ 超高温炭化物を活性炭として利用した場合には・・・

さらに21万t-CO₂/年の削減効果が上乗せされるため、**60万t-CO₂/年の削減効果あり**