

CFRP適正処理研究 2019年度最終報告

2020年10月22日

株式会社 矢野経済研究所

1.事業概要

項目	内容
事業名	CFRP適正処理研究
背景	ASR燃焼処理の際、電気集塵機の荷電不良等、CFRP起因と思われるトラブルが生じている。今後自動車メーカーが自動車軽量化に貢献するCFRPを安心して採用拡大するためには、CFRPの適正処理が不可欠となっている。
目的	自動車におけるCFRP適用拡大に備えて適正なCFRP処理方法を構築するために、難燃性と目されているCFの基礎燃焼特性を把握し現存燃焼処理設備での適正処理の方向性を設定する。
目標	CFRPの適正処理の方法あるいは対応の考え方を世の中に提示する。
課題	① 科学的なアプローチによるCFRPの燃焼形態の解明（1年目） ② CFRPの燃焼条件の設定（1年目～3年目） ③ 本実証で得られた知見を一般化（3年目）

2.事業実施体制

コンソーシアム体制

— : コンソーシアム体制

- : J-FAR受託体制

運営委員会

議長	自工会（事務局長兼任）	議決権	無
委員	自工会		○
	日本化学繊維協会		○
	JFEテクノリサーチ		○
	矢野経済研究所		○
	東レリサーチセンター		○

事務局（自工会）

J-FAR受託体制

アドバイザー

矢野経済

報告

委託

コンソ幹事

再委託
資金管理



使用

自工会

製造

日本化学
繊維協会
(炭素繊維
協会メンバー)

処理

JFEテクノ
リサーチ

調査

矢野経済
研究所
東レリサーチ
センター

3.事業実施期間と事業内容

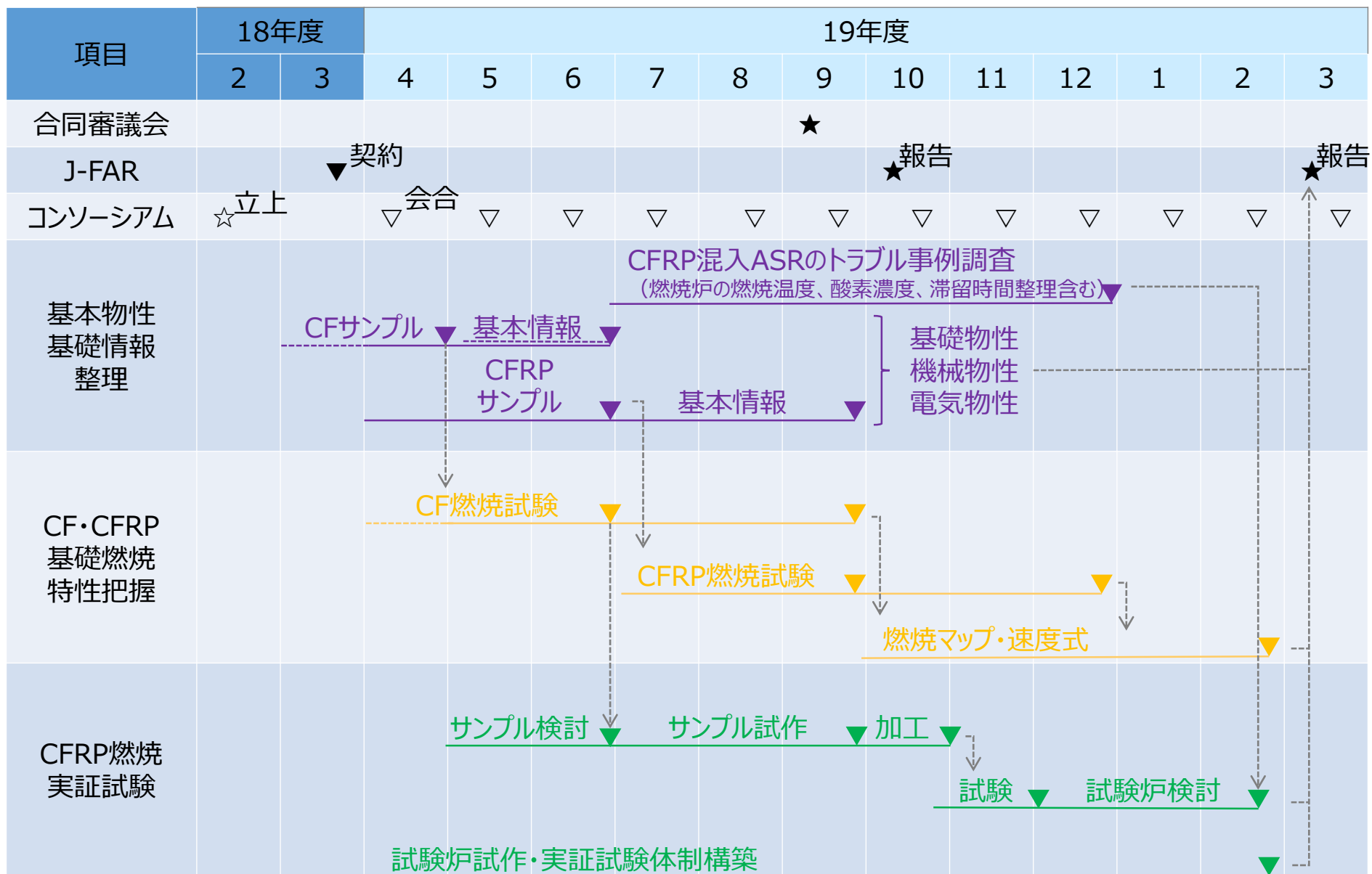
項目	2018年度		2019年度				2020年度				2021年度			
	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
合同審議会				★				★				★		
J-FAR	▼ 契約 立ち上げ			☆ 報告		▼ ☆		☆		☆		☆		☆
研究フェーズ			基礎研究				実証研究							
ASR施設調査				施設訪問等		★まとめ								
基本物性 基礎情報 整理			CF											
			CFRP	ASR中CFRP										
CF・CFRP 基礎燃焼 特性把握			CF				★基礎燃焼MAP							
			TP準備	CFRP	精度検証									
CFRP混入 ASR燃焼特性 把握				CFRPトラ ブル事例 ヒアリング							★燃焼MAP			
							TP準備	模擬ASR	精度検証					
CFRP燃焼 実証試験			燃焼設備事前検討				設計	製作	実証試験		検証完★			

4 . 2019年度取り組み課題

実施 期間	課題	課題詳細		
2019 年度	①科学的なアプローチによるCFRPの燃焼形態の解明	実態調査	①-1	CF・CFRPによる燃焼トラブル（ASR処理施設）調査
		サンプル準備	①-2	CF・CFRPの燃焼サンプル準備、物性等の基本データ整理
		TG-DTAによる基礎研究	①-3	TG-DTA（熱重量－示差熱分析計）を用いた温度・酸素濃度対CF・CFRP重量変化（燃焼）プロファイル取得
			①-4	CF・CFRPの燃焼データの整理
2019 年度～ 2021 年度	②CFRPの燃焼条件の設定	TG-DTAによる基礎解析	②-1	CF・CFRPの燃焼速度式の導出
			②-2	CF・CFRPの燃焼メカニズムの解析
		CFB炉における基礎研究・基礎解析	②-3	温度・酸素濃度対CF・CFRP重量変化（燃焼）プロファイル取得
			②-4	CFRPの燃焼速度式の導出
			②-5	CFRPの燃焼メカニズムの解析
		実証研究準備	②-4	実証研究での燃焼試験を設定（試験サンプル形状・サイズ、CF濃度、他材料との混合条件等）
			②-5	CF・CFRP、模擬ASRの燃焼サンプル準備
2021 年度	③本実証で得られた知見を一般化	実証研究解析	②-6	実証研究のための実験炉の設計
			③-1	CF・CFRP燃焼試験（単独、ASRとの混合等）
			③-2	燃焼条件と燃焼状態の系統的なデータ収集、整理・分析
			③-3	実効的なCF・CFRP燃焼速度式の導出

※2020年度以降実施項目は灰色網掛け表示

5．2019年度事業実施計画



6 . ASR処理におけるCFRPトラブル実態調査：矢野経済研究所

調査結果概要	CF及びCFRPは、セメントメーカーにおいてトラブルを発生させており、 セメントにおいて受け入れ拒否 となっている。現状トラブルが発生していないサーマルリサイクル施設においてもASR中のCFRP含有量 増加を懸念 しており、ASR再資源化施設の安定稼働のためには CFRPを適正に処理する方法の提示 が必須である。	
ASR処理方法	サーマルリサイクル施設 (セメント、サーマル)	マテリアルリサイクル施設
実施期間	2019年7月10日～10月17日	
ヒアリング企業数	15社	13社（TELヒアリング含む）
CFRP入りASRの 取り扱い	基本的には受入拒否 ※ASR処理施設ではないが、電炉(2社)ではCF及びCFRPの処理が可能。	特にアナウンスしていないところが多いが、サーマル施設でトラブルが発生したところのある事業者はCFRPが混入しないよう解体業者に要請している企業もあり。
CFRPに関する トラブル事例	セメントにおける電気集塵機（EP）の荷電不良	セメントにおけるEPの荷電不良に伴う受け入れ拒否
処理業者の懸念 事項・要望事項	➤ ASRにCFRPが混入しているかどうかは目視で確認できず、どのように対処すれば良いのか分からない（サーマル、マテリアルのほとんどの企業） ➤ どうすればCFが燃焼できるか知りたい、もしくはASR中からCF又はCFRPのみを事前分離してほしい（サーマルのほとんどの企業） ➤ 現状では問題になっていないが、CFRP数量が増えてくれば炉への影響は避けられず、死活問題になりかねない（サーマルA社）	

7. CF/CFRP検証サンプルの準備：炭素繊維協会

車に使用され得る性能範囲の材料を「原料」と「製造方法」の違いを考慮し、炭素繊維協会メンバー各社から提供

材料を引っ張った場合にどれだけの力まで壊れないかの指標



■CFサンプル(8種類)

用途	CF製品	種類
TG-DTA 試験用	No.1	PAN系
	No.2	
	No.3	
	No.4	異方性ピッチ系
	No.5	
	No.6	
	No.7	等方性ピッチ系
	No.8	

■CFRPサンプル(7種類)

用途	CFRP部材	繊維形態	CFRP材料		備考
			CF	樹脂	
TG-DTA 試験用	プロペラシャフト	ストランド	PAN系	エポキシ系	FW
	トランクリッド	ファブリック			プリプレグ
	ルーフ				RTM
	トランクリッドインナー	UD		ビニルエステル系	プリプレグ
	トランクリッドアウター				
	ディフューザー	短繊維			
大型TG 試験用	ファブリック/UD/ファブリック		エポキシ系		

✓ CFサンプルの“PAN系”と“ピッチ系”の分類は原料の違いを表す

✓ CFサンプル ピッチ系の“異方性”と“等方性”の分類は結晶構造の違いを表す

✓ CFRPサンプルのCF種類は全て“PAN系”

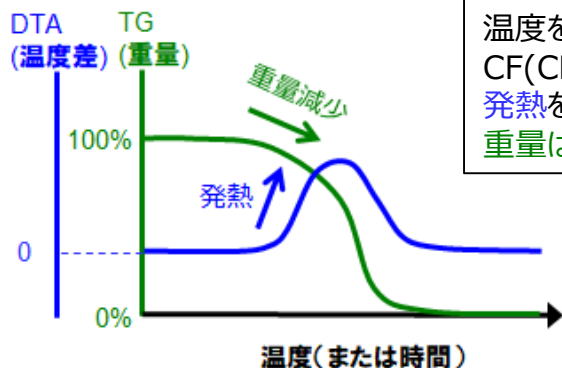
※UD：ユニディレクション（単一方向）、FW：フィラメントワインディング、RTM：レジントランスファーモールドディング

8 . CF/CFRP基礎燃焼特性把握試験概要

■CF/CFRPの燃焼解析(TG-DTA測定)



(炭素) (酸素) (二酸化炭素)



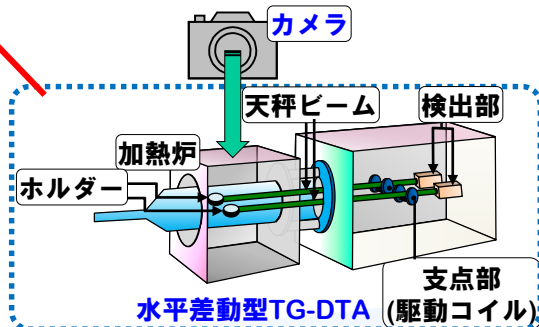
温度を上げたり、高温状態で時間が経過するとCF(CFRP)中の炭素分が燃焼。
発熱を伴う反応が発生し、重量は減少(0で完全燃焼)する。

測定結果から、燃焼パターン、燃え易さ等を整理する

《JFEテクノロジー(株)》

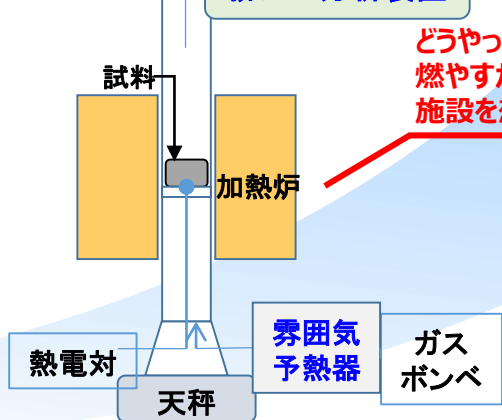
《(株)東レリサーチセンター》

実験室レベルで科学的に「燃焼」を捉える



mgオーダー

排ガス分析装置



gオーダー

どうやってCFRPを効率的に燃やすか？を実際の処理施設を想定した設備で検討



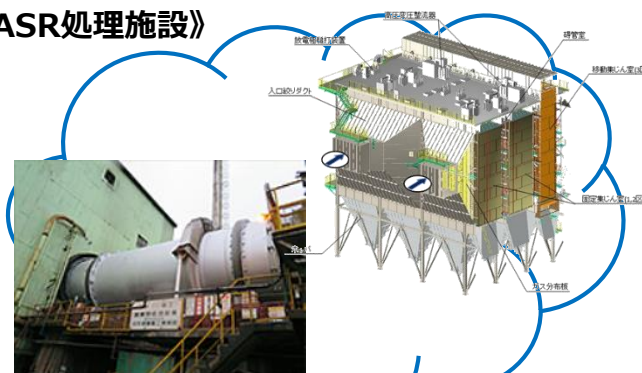
Kgオーダー

tオーダー

数百 t オーダー

実験の
スケール

《ASR処理施設》



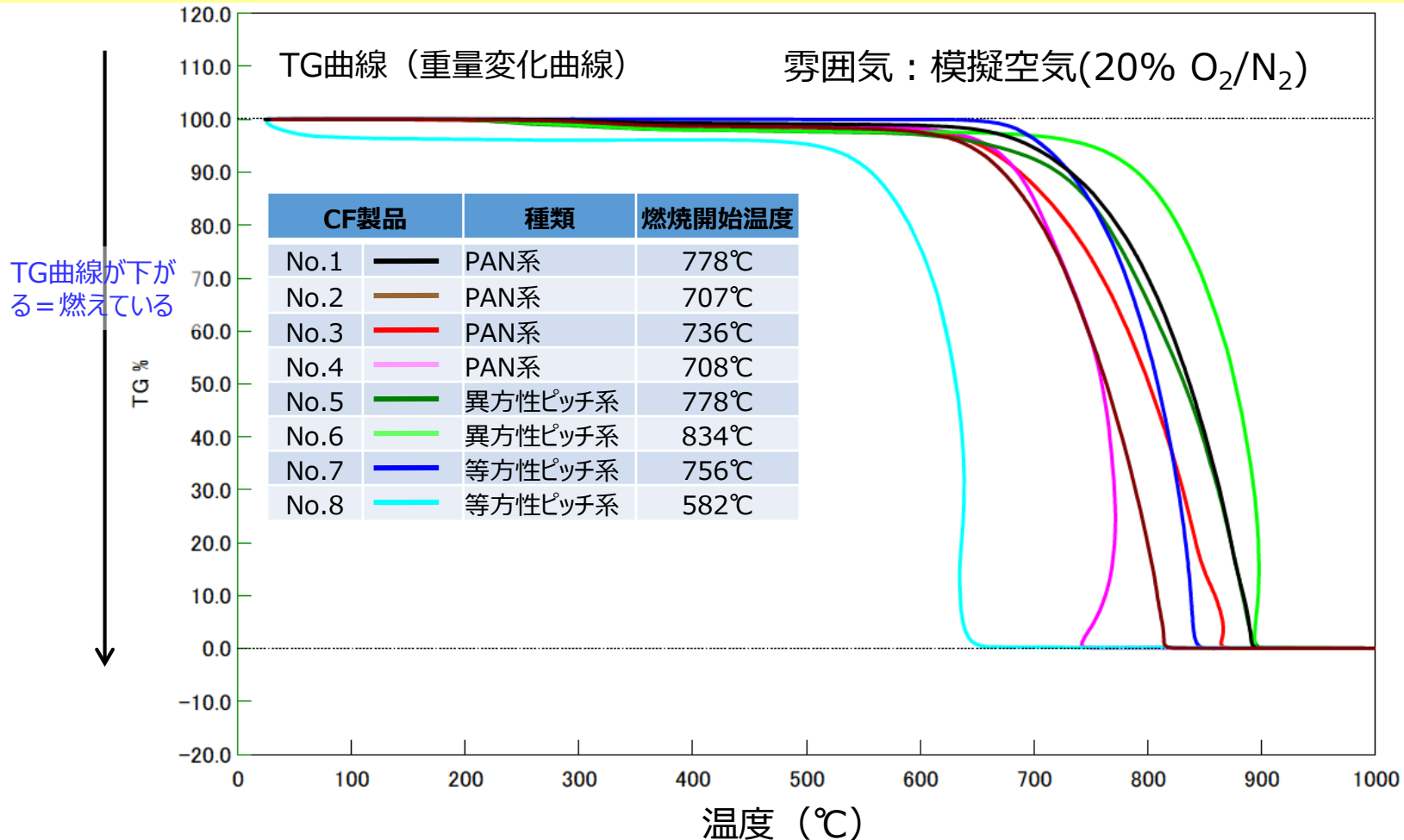
スケールの異なる基礎試験結果を実際の処理施設レベルに対しても有用な一般的な話として整理できるか？

9-1 . TG-DTA測定結果：東レリサーチセンター（中間報告再掲） ～炭素繊維(CF)の模擬燃焼挙動～

[目的] 燃焼を模擬し、各種のCFの燃焼挙動を把握する。

[方法] TG曲線・燃焼温度を読み取って解析する事で燃焼のし易さを数値化する。

[結果] CFは空気中で燃える。ただし、CFの原料・製造方法によって、燃え易さは異なる。

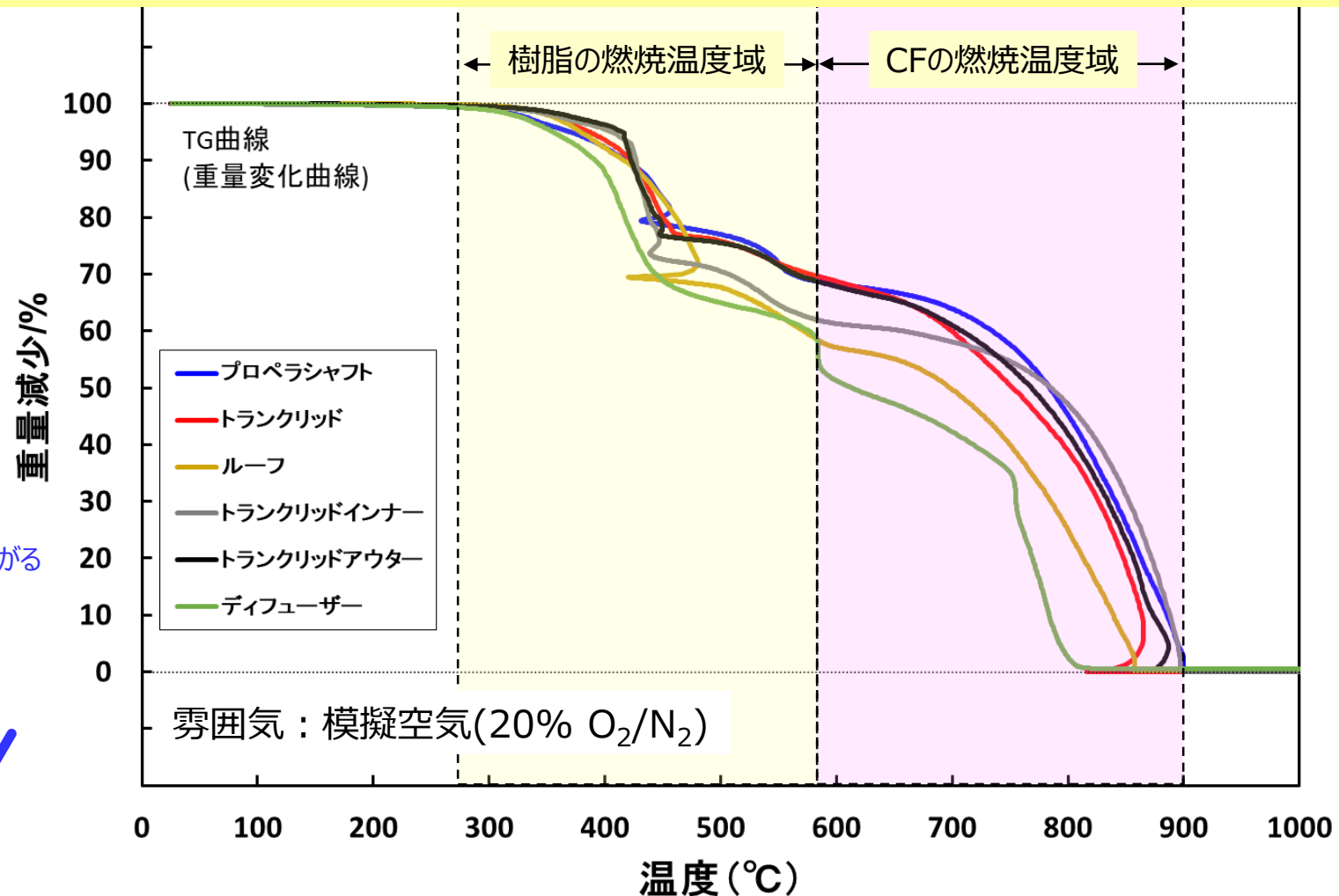


9-2 . TG-DTA測定結果：東レリサーチセンター ～CFRPの模擬燃焼挙動～

[目的] 燃焼を模擬し、各種のCFRPの燃焼挙動を把握する。

[方法] TG曲線・燃焼温度を読み取って解析する事で燃焼のし易さを数値化する。

[結果] CFRPも空气中で燃える。ただし、原料・製造方法によって、燃え方は異なる。



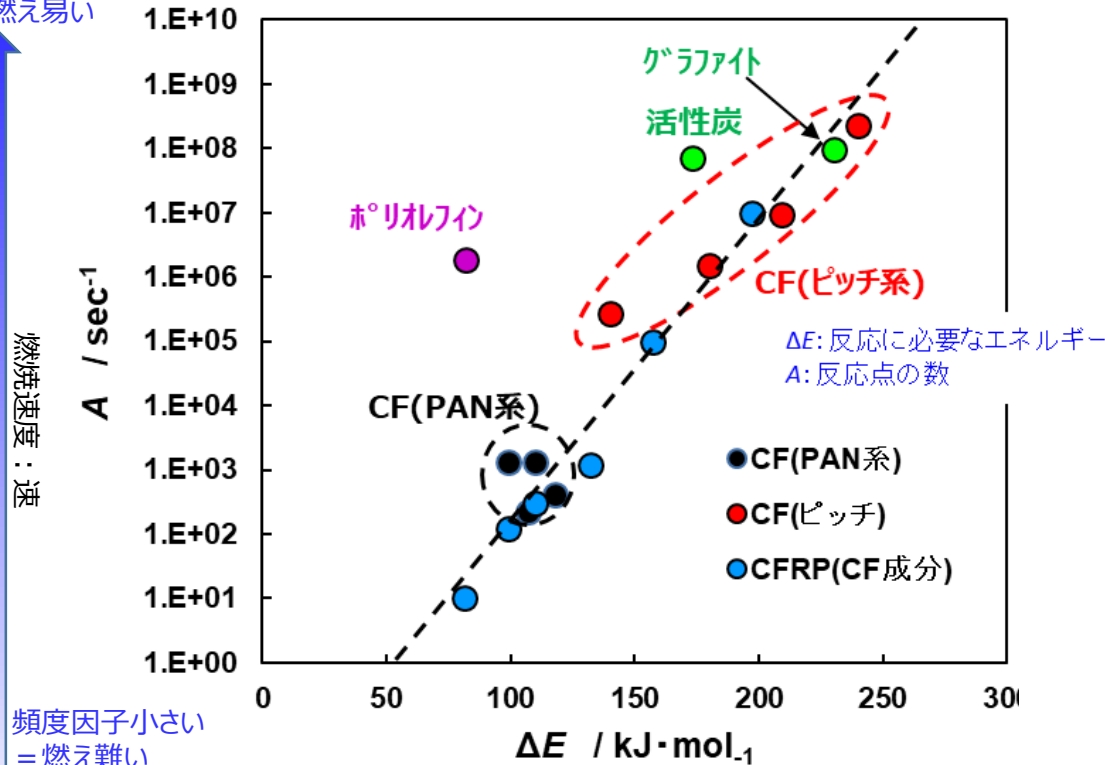
9-3 . TG-DTA測定結果：東レリサーチセンター ～CF燃焼に関する反応速度解析～

$$\frac{d\alpha}{dt} = A \exp\left(-\frac{\Delta E}{RT}\right) f(\alpha)$$

【目的】P11のTG-DTA測定結果より、燃焼性の指標となる活性化エネルギー(ΔE)と頻度因子(A)を求める。

【結果】CFの原料・製造方法によって系統的に分類出来る。
CFは樹脂や活性炭よりも燃え難い。

頻度因子大きい
= 燃え易い



試料			ΔE / kJ・mol ⁻¹	A / sec ⁻¹
C F	PA N系	No.1	118	4.2×10 ²
		No.2	99.1	1.3×10 ²
		No.3	107	2.3×10 ²
		No.4	110	1.3×10 ³
	ピッ チ系	No.5	209	9.2×10 ⁶
		No.6	240	2.3×10 ⁸
		No.7	180	1.5×10 ⁶
		No.8	140	2.7×10 ⁶
C F R P	CF 成分	プロペラシャフト	197	1.0×10 ⁷
		トランクリッド	81.1	1.0×10 ¹
		ルーフ	99.0	1.2×10 ²
		トランクリッド インナー	132	1.2×10 ³
		トランクリッド アウター	110	3.0×10 ²
		ディフューザー	157	9.8×10 ⁴
グラファイト			226	9.7×10 ⁷
活性炭			173	7.1×10 ⁷
ポリオレフィン			82.6	1.9×10 ⁶

9-4．大型TG試験結果：JFEテクノリサーチ

【目的】実証炉設計の基礎データとすべく、温度、酸素濃度、空気流量などをパラメーターとしたCFRPの燃焼試験を行う。

【試料】CF（No.1）をベースに作成したCFRP

【結果】・CFRPは樹脂部が燃焼した後、CFが燃焼する2段階の反応が進行する【図1,2】

- ・樹脂部の燃焼挙動より樹脂の燃焼は酸素濃度よりも温度依存性が高く、CFより燃焼速度が速い【図1,2】
- ・燃焼温度が高いほど燃焼時間は短い【図1】
- ・酸素濃度が高いほど燃焼時間は短くなるが、30%を超えるとその効果が低下する【図2】
- ・CFの燃焼はCFと気相の界面で進行していると考えられ、気相中の酸素濃度が高いほど（CFと接触する酸素の量が多いほど）、燃焼性は良くなると考えられる
- ・樹脂とCFの燃焼に対する酸素濃度依存性は、樹脂よりCFの方が高い。また、樹脂はCFより燃焼速度が速い【図3】

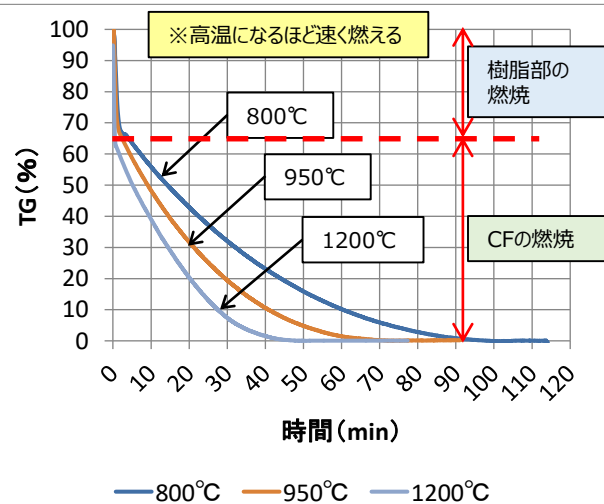


図1 燃焼温度の影響

燃焼温度設定に関して、一般的な燃焼温度である850℃前後よりも、1,200℃程度の方が燃焼速度上は望ましい。そのため温度のパラメーターを850℃を基準として、それよりも低い800℃、950℃、1,200℃を設定した。

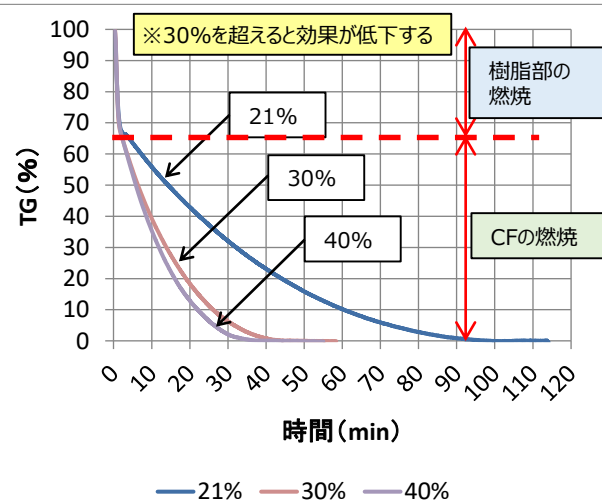


図2 酸素濃度の影響

酸素濃度設定に関して、CF・CFRPの燃焼には酸素濃度も重要であり、大気酸素濃度である約21%を基準としてそれ以上の30%、40%を設定した。

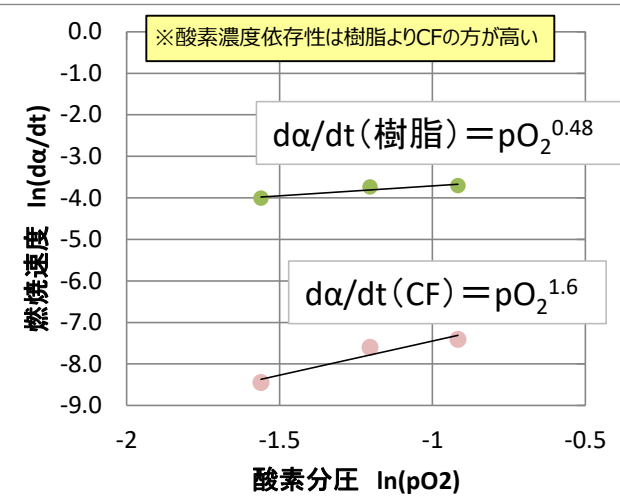


図3 酸素濃度依存性

酸素分圧の設定は大気酸素濃度（約21%）を基準とし、それ以上の30%、40%を設定した。

9-5 . CFRPのCFBベンチ炉燃焼試験結果：JFEテクノロジーサーチ

[目的]CFB実証炉設計の基礎データとすべく、CFRP燃焼時の装置性能、燃焼挙動を確認する。

[方法]CFBベンチ炉にてCFRPサンプルを燃焼させる。

[条件]

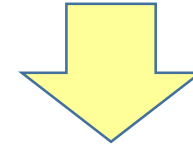
条件項目		内容
燃焼試料		W15mm×D15mm×H2mm
燃焼補助剤	組成・形状	PEペレット（円柱状）
	サイズ	15mmφ×5mm
媒体粒子	組成・形状	アルミナ砂
	サイズ	平均粒径400μm
炉内温度（目標値）		850℃
排ガスO ₂ 濃度		5～10乾vol% （空気比は1.3～1.8程度）

[運転結果]

測定項目		Run1	Run2	Run3
投入速度 (kg/h)	CFRP	1.2	0.6→1.2	0.8
	PE	-	-	1.2
温度分布 (℃)	上段	780～850	790～820	800～820
	中段	800	800	820
	下段	830～920	720～780	800～890
運転終了後の 状態と比率 (%)	燃焼分	86.7	56.9	74.7
	炉外残渣	3.9	19.0	0.9
	炉内残渣	9.4	24.1	24.4
運転時間（分） [CFRP投入開始から 運転終了まで]		60	40	40

[試験結果]

- ・Run3は800～900℃の燃焼温度で75%のCFRP燃焼を確認
- ・燃焼残渣の状態より、CFより先に樹脂部分が燃焼することを確認
- ・残渣のCF径は燃焼により細くなり、表面には凹凸も確認（P15のSEM写真参照）
- ・CFRP炉外残渣による熱交換器入口等での閉塞が発生し長時間安定運転が困難



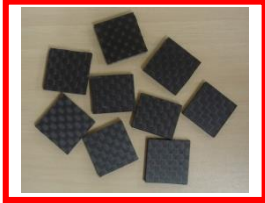
[今後の予定]

- 装置的对策(設計基礎データ) :
 - ・サイクロンの最適化による炉外残渣比率の低減
 - ・熱交換器での炉外残渣閉塞の低減
 - ・バグフィルタでの炉外残渣の回収
- 試験的対策 :
 - ・長時間の連続安定運転での燃焼データ取得（PE混合試料で燃焼温度影響確認）

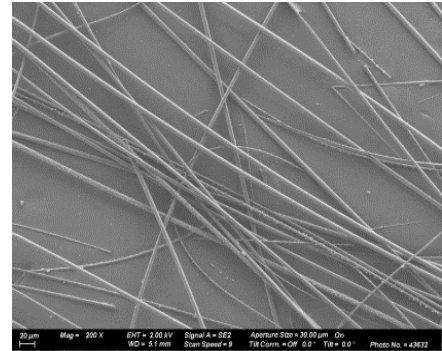
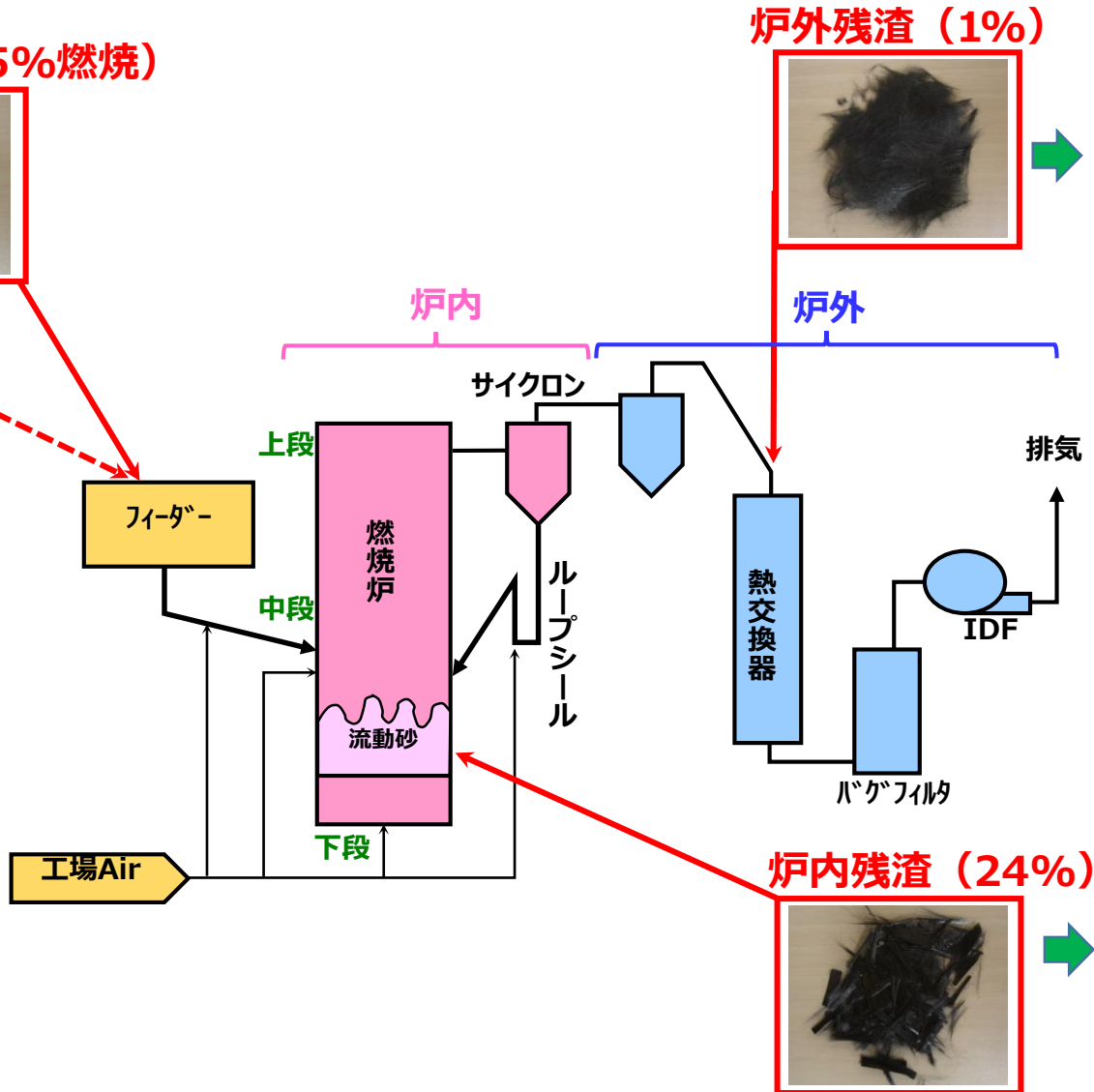
P15でRun3運転終了後の炉内/外残渣画像と滞留位置を示す

9-6 .設備外観および試験サンプル画像：JFEテクノリサーチ

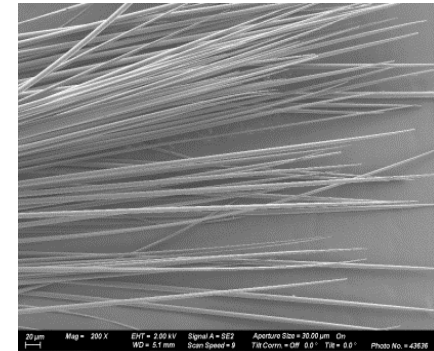
CFRP試料（75%燃焼）



PEハレット



● 炉外残渣
1.5～5.5μmの太さが
まちまちの綿状のCF繊維
高倍率で表面に凹凸確認



● 炉内残渣
～6.5μmで先端が細く
なったCF繊維
高倍率で表面に凹凸確認

10.2019年度サマリー

詳細			結果	課題/備考
実態調査	①-1	CF・CFRPによる燃焼トラブル（ASR処理施設）調査	CF及びCFRPはセメントにおける電気集塵機（EP）の荷電不良を発生させている。	ASR等の適正処理のためにはCFRPを適正に処理する方法を提示していく必要がある。
サンプル準備	①-2	CF・CFRPの燃焼サンプル準備、物性等の基本データ整理	自動車に使用されるCF8種、CFRP7種類の試料を選定した。	—
TG-DTAによる基礎研究	①-3	TG-DTA（熱重量－示差熱分析計）を用いた温度・酸素濃度対CF・CFRP重量変化（燃焼）プロファイル取得	CFやCFRPは空気中で燃える。ただし、原料・製造方法によって、燃え易さは異なる。	燃焼過程でのCF・CFRPの形態変化や構造変化を調べることで、CF・CFRPの燃焼メカニズムを把握することができる。
	①-4	CF・CFRPの燃焼データの整理	CFの原料・製造方法によって系統的に記述できた。CFは樹脂や活性炭よりも燃え難いことが数値的に示された。	更なる反応解析（酸素の次数導出など）を進めることで、CF・CFRPの燃焼速度式の導出ができる。
TG-DTAによる基礎解析	②-1	CF・CFRPの燃焼速度式の導出	温度・酸素濃度等パラメーターを変化させ、CF・CFRPの燃焼挙動を把握した。	今年度で終了。
	②-2	CF・CFRPの燃焼メカニズムの解析	温度、酸素濃度がCF・CFRPの燃焼速度に大きく影響することが明らかになった。	今年度で終了。
CFB炉における基礎研究・基礎解析	②-3	温度・酸素濃度対CF・CFRP重量変化（燃焼）プロファイル取得	100%CFRP試料の燃焼試験を実施し、温度800～900℃、空気吹き込み条件にて、75%のCFRP燃焼を確認した。	温度による燃焼効果確認が、炉外残渣閉塞で連続安定運転困難であった。実証炉設計に反映。
	②-4	CFRPの燃焼速度式の導出	先に樹脂が燃焼し、ばらけたCFは次第に細くなって燃焼していく状況を確認した。	TG-DTA、大型TGの回分結果とCFB連続結果関連付け検討。
	②-5	CFRPの燃焼メカニズムの解析	酸素濃度21%の大型TGのCFRP燃焼率と同程度であった。	樹脂とCFで燃焼現象が異なるため、CFB同時燃焼の適用検討。

11 . 2020年度以降の活動概要（1）中間報告時点の課題対応

項目	課題、対応案	検討結果
実証試験装置の設計・製作	・JFE-TECの設計・製作（案） ・形式：CFB（循環流動層燃焼）方式 ・実証機能力：0.1トン/日（24h）規模 ・最高温度：950℃ ・原料装入：スクリーン装入機構	基本設計は済、詳細設計は2020年度
設置場所	・各社で候補場所、自治体への届出内容を調査 ・現状のユーティリティーの調査（電力、排ガス・排水など）	川崎で実施。ただし川崎において産業廃棄物の燃焼は不可
試験サンプル作成	・CFRP材の製造体制、燃焼サンプル(模擬ASR)組成の協議 ・燃焼サンプル総量 500kg規模 ・燃焼サンプル形状：ペレット形状 ・CFRP比率10%（協議）	ASR中のCFRP比率、CFRPの形状、模擬ASRの組成が未決定。 →20年度内にコンソーシアムで協議、確定する
実証試験体制と要員確保	・試験要員確保の検討 ・試験ケースの協議：温度、サンプル種類、触媒燃焼など数ケースを想定（今後協議） ・定常燃焼時間2～3h程度は確保（検討結果に詳細説明）	解決済み（2h程度の定常燃焼試験ができれば燃焼ガス、後処置影響などCFRP混合物の燃焼特性が評価でき、設備計画データに反映できることがわかったため）
実証試験終了後の試験装置の扱い	・試験装置の所有者の協議 ・後年度負担の扱い(減価償却費、土地借用費など) ・本PJ終了後に継続して、関連試験作業の有無 ・試験装置の使用予定がない場合は、最終年度に解体費計上	現時点では解体・廃棄費用は計上済み

11 . 2020年度以降の活動概要（2） 取り組み課題

実施 期間	課題	課題詳細		
2019 年度	①科学的なアプローチによるCFRPの燃焼形態の解明	実態調査	①-1	CF・CFRPによる燃焼トラブル（ASR処理施設）調査
		サンプル準備	①-2	CF・CFRPの燃焼サンプル準備、物性等の基本データ整理
		TG-DTAによる基礎研究	①-3	TG-DTA（熱重量－示差熱分析計）を用いた温度・酸素濃度対CF・CFRP重量変化（燃焼）プロファイル取得
			①-4	CF・CFRPの燃焼データの整理
2019 年度～ 2021 年度	②CFRPの燃焼条件の設定	TG-DTAによる基礎解析	②-1	CF・CFRPの燃焼速度式の導出
			②-2	CF・CFRPの燃焼メカニズムの解析
		CFB炉における基礎研究・基礎解析	②-3	温度・酸素濃度対CF・CFRP重量変化（燃焼）プロファイル取得
			②-4	CFRPの燃焼速度式の導出
			②-5	CFRPの燃焼メカニズムの解析
		実証研究準備	②-4	実証研究での燃焼試験を設定（試験サンプル形状・サイズ、CF濃度、他材料との混合条件等）
			②-5	CF・CFRP、模擬ASRの燃焼サンプル準備
			②-6	実証研究のための実験炉の設計
2021 年度	③本実証で得られた知見を一般化	実証研究解析	③-1	CF・CFRP燃焼試験（単独、ASRとの混合等）
			③-2	燃焼条件と燃焼状態の系統的なデータ収集、整理・分析
			③-3	実効的なCF・CFRP燃焼速度式の導出

12. 2020年度以降の展開計画

項目	2020年度				2021年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
合同審議会		★				★		
J-FAR		☆		☆		☆		☆
研究フェーズ	実証研究							
CF・CFRP基礎燃焼 特性把握	燃焼速度式の導出							
	CFRP精度検証		燃焼メカニズムの解析					
基礎燃焼試験	CFB試験							
試験装置設計・製作	炉体・機器・計装設計							
		炉体製作・工事						
		機器・計装製作、搬入						
据付け工事	試験場整備		架台製作・工事					
					配管・計装 工事			
実証試験	試験材調達・試料作成 (模擬ASR組成協議、確定)							
						試運転	実証試験	
解体								解体