

「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発 /⑩石炭利用環境対策事業」(中間評価)

(2016年度～2025年度 10年間)

事業概要 (公開)

NEDO 環境部

2022年9月2日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

1 / 48

目次

1. 事業の必要性

- ◆ 事業実施の背景と事業の目的
- ◆ 政策的位置付け
- ◆ NEDOが関与する意義
- ◆ 事業の目標

2. 事業の効率性

- ◆ 中間評価への対応
- ◆ 情勢変化への対応、見直し
- ◆ 研究開発の進捗管理
- ◆ 枠組み・実施計画
- ◆ 実施体制
- ◆ 事業費用
- ◆ 実施の効果 (費用対効果)

3. 事業の有効性

- ◆ 全体目標と達成状況
- ◆ 項目毎の目標と達成状況
- ◆ 各個別テーマの成果と意義
- ◆ 成果の普及
- ◆ 波及効果

1. 事業の必要性

◆事業実施の背景と事業の目的

【背景】

石炭は、現時点において安定供給性や経済性に優れた重要なエネルギー源。今後、石炭火力は、再生可能エネルギーを最大限導入する中で、調整電源としての役割が期待されるが、電源構成における比率は、安定供給の確保を大前提に低減させる。(2021年エネルギー基本計画(第6次)より抜粋)



将来的に減少が見込まれるが、当面の間石炭利用が見込まれる中であって、その利用に伴いCO₂、SO_x、NO_x、ばいじんや石炭灰やスラグは継続的に発生



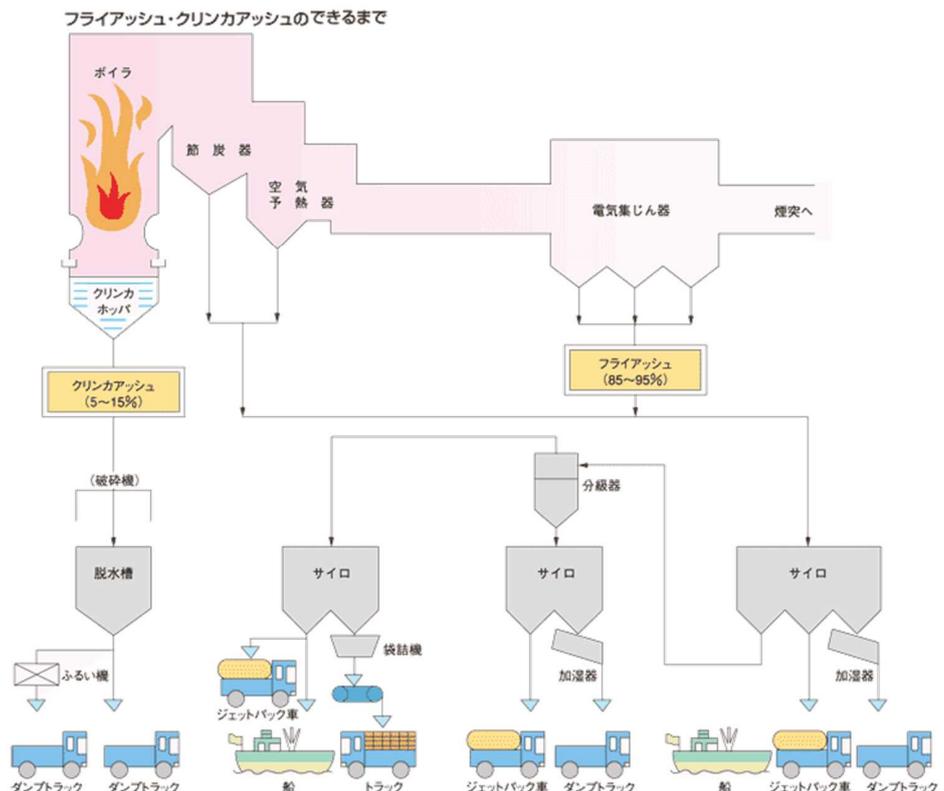
石炭利用の環境負荷低減のため、**環境対策や石炭灰・スラグの削減・有効利用方策は、依然としてその確立が必要。**

【目的】

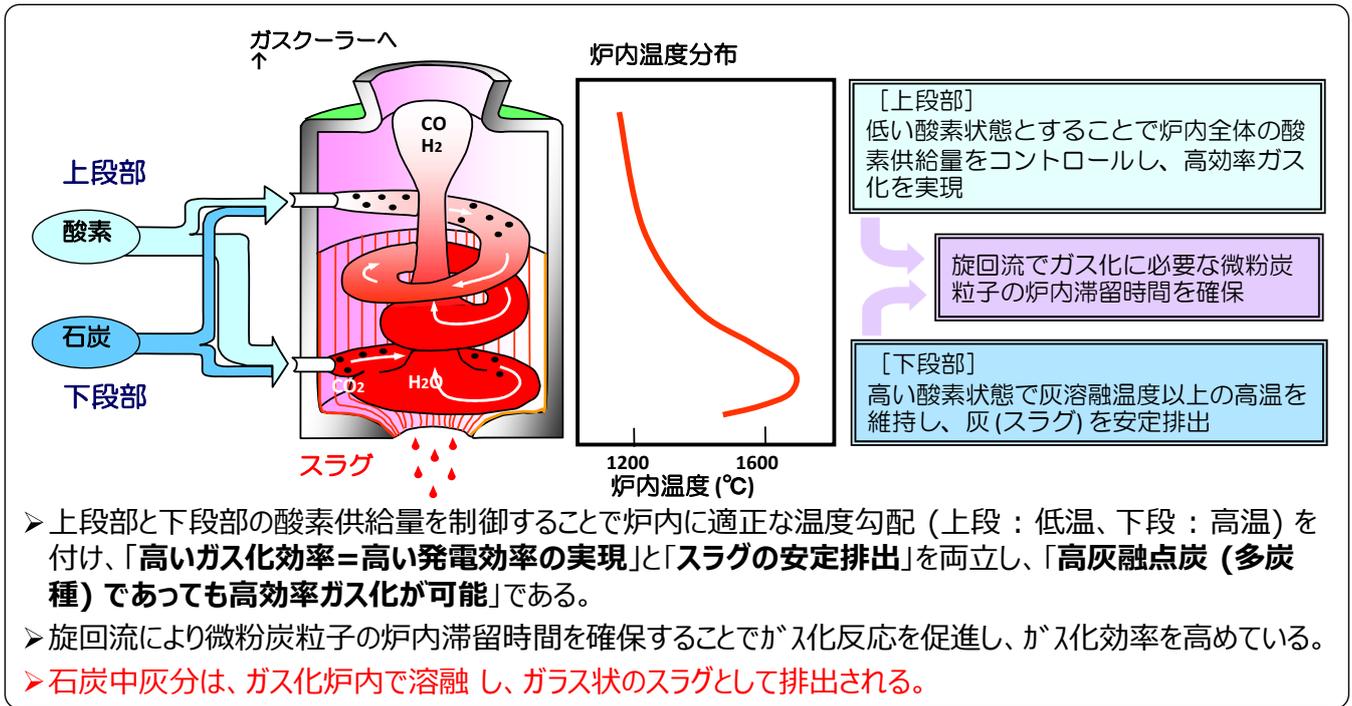
石炭利用に伴って発生する石炭灰の有効利用を一層進めることが可能な技術の開発に取り組む。

【参考】石炭灰とは

- 石炭火力発電所では、微粉碎した石炭をボイラで燃焼させ、そのエネルギーを電気に変える。
- 燃焼で発生した石炭灰は、採取される設備で大きく2種類に分かれる。
- ボイラにおいて石炭中の灰粒子が熔融固化し、ボイラ底部に落下した塊状の灰を**クリンカアッシュ**といい、燃焼ガスとともに浮遊する灰を電気式集じん器で集めた細かな粒子を**フライアッシュ**という。



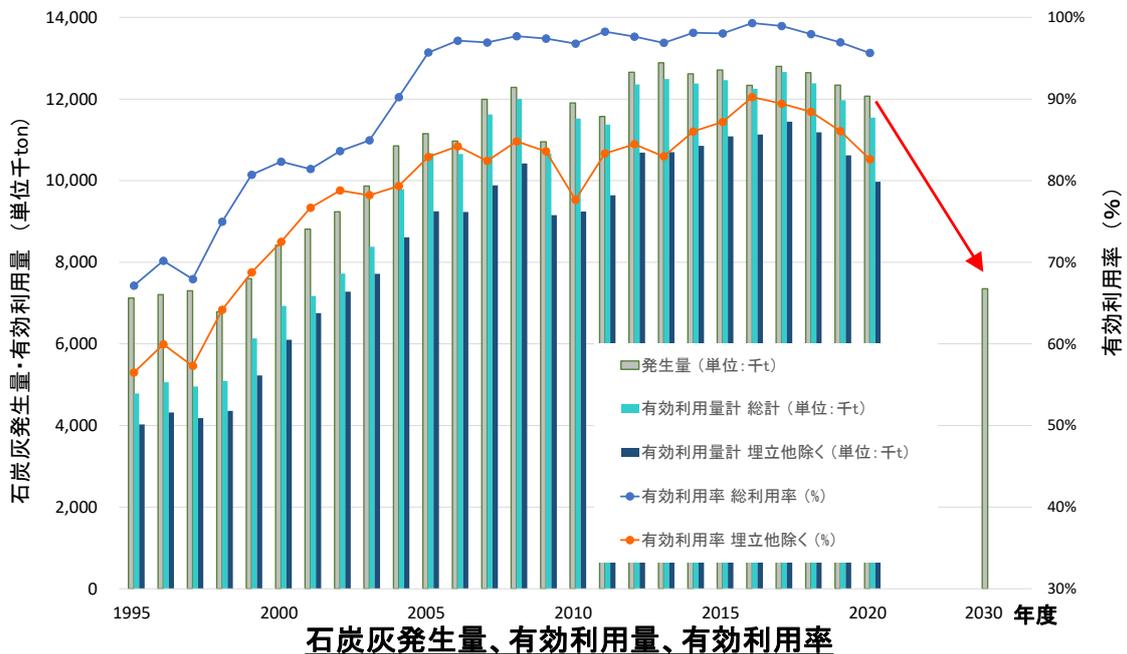
【参考】石炭溶融スラグとは



出典：JPOWER

【参考】石炭灰発生量、有効利用率

➢ 2020年度の石炭灰発生量1,200万トンのうち、埋立処理・他を除いた有効利用量は1,000万トンであり、有効利用率は82.5%である。2030年の石炭灰は750万トンに低減する予測もある*。



出典：石炭灰全国実態調査報告書(令和2年度実績)をもとに、NEDOにて作成

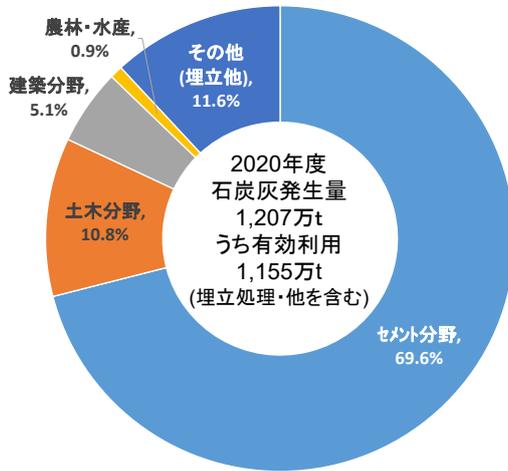
*: 「石炭灰有効利用シンポジウム2021」(JCOAL) 2021年12月9日講演資料より

【参考】石炭灰の有効利用化内訳



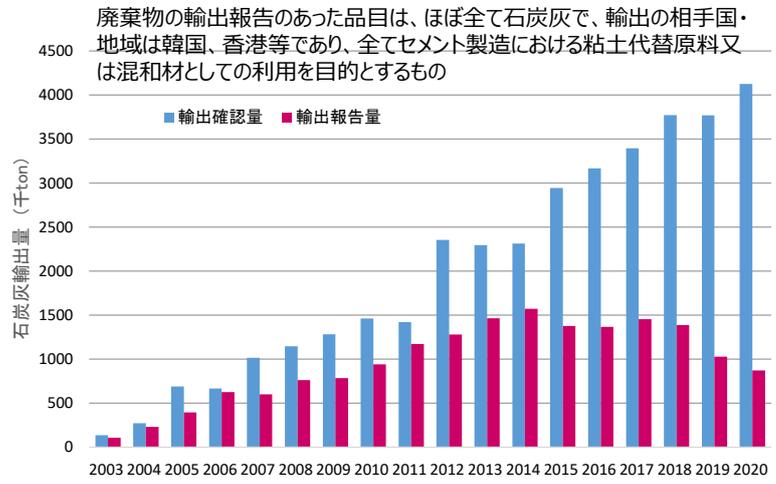
New Energy and Industrial Technology Development Organization

- 2020年度の石炭灰の有効利用化内訳は、セメント分野が約70%で最大であり、埋立他が約12%を占める。セメント分野は、海外輸出分も含む。石炭灰の輸出量は右肩上がり増加傾向だが、セメント混和材に限る



石炭灰の有効利用化内訳

出典: 石炭灰全国実態調査報告書(令和2年度実績)をもとに、NEDOにて作成



石炭灰輸出量の推移(暦歴 千t)

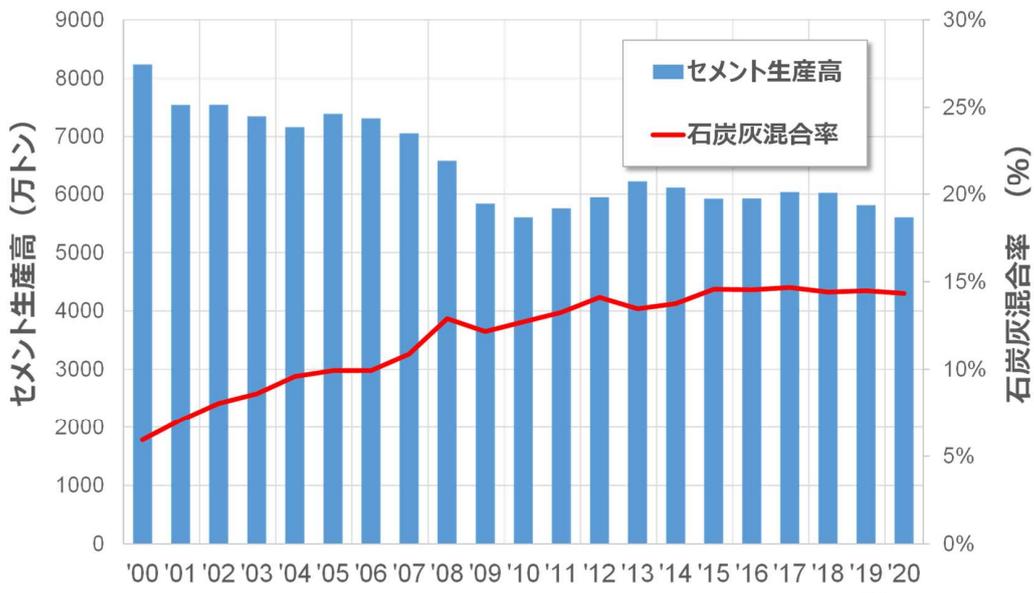
出典: METI 平成26年度石油産業体制等調査研究(石炭安定供給のための石炭灰環境負荷低減・利用可能性調査)調査報告書に環境省「廃棄物処理法に基づく廃棄物の輸出確認及び輸入許可」公表数値をもとに、NEDOにて作成

【参考】セメント・コンクリート市場における石炭灰利用状況



New Energy and Industrial Technology Development Organization

- セメント生産は近年減少傾向にある。セメントの生産量が減少する中、製造技術や品質改善の工夫により、石炭灰混合率は近年14%程度まで向上している。しかし現有技術では更なる利用は望めない。石炭灰の活用を拡大するには、セメント・コンクリート市場における新たな石炭灰活用法開発が必要。



セメント生産高と石炭灰混合率の推移*

*2 JCA統計データおよびJCOAL石炭灰全国実態調査報告書によりNEDOにて作成

【参考】石炭灰の有効利用化 埋立

- 電気事業に由来する石炭灰は、公有水面埋立が土地造成として認められているが、管理型海面最終処分場の形態で行われるため、廃掃法と公有水面埋立法等に従う必要がある。建設コストが高く、長期にわたる排水処理等の維持管理を行う必要があるため、石炭灰の廃棄場所には制約がある。

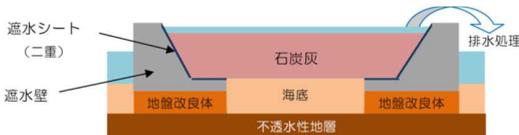


現処分場
埋め立て進捗率は約86%
(2014年3月末)

次期処分場
工事着手時期: 2017年度(予定)
使用開始時期: 2021年度(予定):

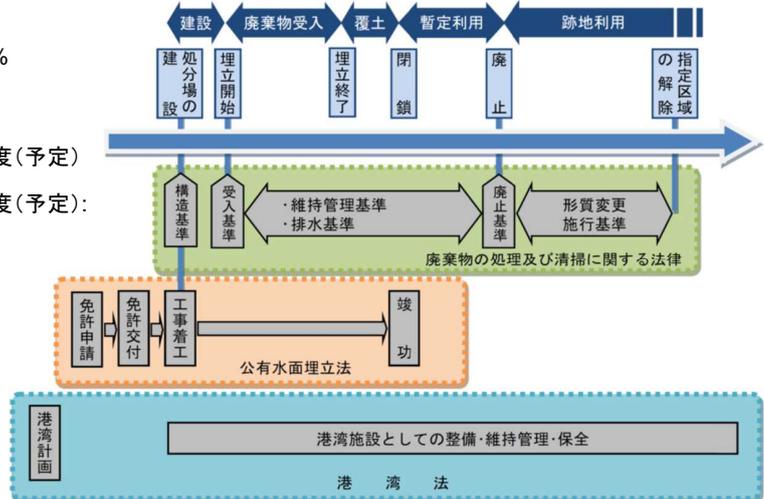
中部電力 次期石炭灰処分場の計画

出典: 中部電力プレスリリース (2014年4月)
https://www.chuden.co.jp/corporate/publicity/pub_rel_ease/press/3239666_19386.html



管理型海面最終処分場の構造模式図

出典: METI 平成26年度石油産業界等調査研究(石炭安定供給のための石炭灰環境負荷低減・利用可能性調査)調査報告書
https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2015fy/000918.pdf



管理型海面最終処分場に関する法令

出典: 国土交通省 港湾における管理型海面最終処分場の早期安定化に関する技術情報集
<http://www.mlit.go.jp/common/001193397.pdf>

1. 事業の必要性

◆政策的位置付け

- 第6次エネルギー基本計画 (2021年10月閣議決定)

現時点の技術・制度を前提とすれば、化石燃料の中で最もCO2排出量が多いが、調達に係る地政学リスクが最も低く、熱量当たりの単価も低廉であることに加え、保管が容易であることから、現状において安定供給性や経済性に優れた重要なエネルギー源である。

今後、石炭火力は、再生可能エネルギーを最大限導入する中で、調整電源としての役割が期待されるが、電源構成における比率は、安定供給の確保を大前提に低減させる。

- グリーン成長戦略 (2020年12月)

火力発電は世界的にもアジアを中心に必要最小限使わざるを得ない。

- 資源の有効な利用の促進に関する法律 (3R政策: 資源有効利用促進法)

石炭灰は「再生資源としての有効利用を促進しなければならない指定副産物」に位置付けられ、副生成物の発生抑制及びリサイクルの推進として、建築資材等 有効利用用途の拡大が求められる。

1. 事業の必要性



New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆NEDOが関与する意義

- NEDOは、これまでも石炭利活用の環境対策にかかる技術開発を実施してきた経験と知識を有する。
- NEDOは、産学官の技術力・研究力を最適に組み合わせ研究を推進できる。
- NEDOは、難易度が高く、投資規模が大きく、実用化までのリードタイムが長い、いわゆる開発リスクが高い研究開発を支援できる。

以上より、NEDOが本技術開発事業に関与することにより、効果的・効率的に成果を得られると考えられる。

11

1. 事業の必要性



New Energy and Industrial Technology Development Organization

◆事業の目標

- 石炭利用に伴って発生するCO₂、SO_x、NO_x、ばいじん等への対応や石炭灰、スラグの有効利用方策を確立することが大きな課題である。そこで石炭灰の有効利用率の向上など、石炭の有効利用技術の確立の見通しを得る。

[中間目標(2022年度)]

1) 石炭利用環境対策推進事業

石炭等の自然発熱性を把握すると共に、石炭管理の指針に資する知見を得る。石炭等の燃焼灰の有効利用、削減及び用途拡大に寄与する技術の確立に向けた知見を得る。

2) 石炭利用技術開発

石炭等の燃焼灰の利用拡大技術として、セメントを使用しないコンクリート製造技術確立、製品性能の見通しを得る。また、石炭ガス化溶融スラグを使用したコンクリートの信頼性・性能を示し、また設計・施工指針を作成するための知見を得る。

12

◆事業の目標

[最終目標（2025年度）]

1) 石炭利用環境対策推進事業

石炭利用環境対策に関わる調査、コールバンクの拡充及び石炭の自然発熱性を把握することにより、石炭の有効利用技術確立の見通しを得る。

石炭等の燃焼灰の有効利用、及び削減及び用途拡大に寄与する技術確立の見通しを得る。

新たな石炭ガス化溶融スラグ有効利用技術を開発し、工業製品としての規格化の見通しを得る。

石炭の有効利用に資する国内石炭灰排出量・利用量等の共通基盤データをとりまとめる。

2) 石炭利用技術開発

石炭灰の利用拡大技術として、セメントを使用しないフライアッシュコンクリート製造技術を確立し、製品化に向けた用途を提案する。加えて、石炭ガス化溶融スラグを使用したコンクリートの信頼性・性能を示し、設計・施行指針を作成する見通しを得る。

[参考] 本事業の期間延長について

- 最終目標のうち、新たに解決すべき課題が顕在化し、また石炭灰の新たな可能性の追求による用途拡大の必要性も生じたため、事業年度を2022年から2025年に延長し、新たな事業公募を行った。

[最終目標（2025年度）]

1) 石炭利用環境対策推進事業

石炭利用環境対策に関わる調査、コールバンクの拡充及び石炭の自然発熱性を把握することにより、石炭の有効利用技術確立の見通しを得る。

石炭等の燃焼灰の有効利用、及び削減及び用途拡大に寄与する技術確立の見通しを得る。

新たな石炭ガス化溶融スラグ有効利用技術を開発し、工業製品としての規格化の見通しを得る。

石炭の有効利用に資する国内石炭灰排出量・利用量等の共通基盤データをとりまとめる。

2) 石炭利用技術開発

石炭灰の利用拡大技術として、セメントを使用しないフライアッシュコンクリート製造技術を確立し、製品化に向けた用途を提案する。加えて、石炭ガス化溶融スラグを使用したコンクリートの信頼性・性能を示し、設計・施行指針を作成する見通しを得る。

2. 事業の効率性

◆中間評価への対応

#	指摘	対応
1	石炭からのCO ₂ 排出量のさらなる削減が求められる中、将来のわが国の石炭エネルギーの位置づけを推定しながら、NEDO 事業が企業の石炭関連事業を継続するに資する技術開発であることを示すことが重要である。	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 火力電源の脱炭素化が求められる中、本事業と並行して、CCS*¹技術やカーボンリサイクル技術の確立とコスト低減にかかる事業にも取り組んでいる。 ➢ また、化石エネルギーを巡る国内外の動向を注視しながら、開発した技術の早期の実用化を図る。
2	テーマ選定の理由を明確にするために、事業実施に先立って、事業の方針や戦略性を明らかにしておくことが望まれる。	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 個別の実施テーマ選定において、提案者から、事業方針や戦略性を説明させるよう、公募時に事業目的、目標及び事業による効果について提案するよう求めた。
3	石炭灰からの新規の工業製品製造の創出など、我が国における石炭火力発電が果たす前向きな役割をPR することが重要である。	<ul style="list-style-type: none"> ➢ NEDOとして、各PJで成果の講演・論文発表など成果PRを奨励している（P47参照）。

*1 CCS : Carbon dioxide Capture and Storage

【参考】石炭利用環境対策事業の位置付け

NEDO環境部の取り組み

NEDO環境部は、次世代火力分野、CCUS、カーボンリサイクル分野、製鉄関連事業、海外展開推進事業、そしてグリーンイノベーション事業とともに、石炭利用環境対策事業も実施している。

次世代火力分野		グリーンイノベーション基金事業
発電効率の向上	IGCC・IGFC、A-USC	
系統安定化	ボイラ、ガスタービン	
アンモニア燃焼	ボイラ・ガスタービン	燃料アンモニアサプライチェーンの構築
CO ₂ 分離・回収	物理吸収法、固体吸収材、分離膜、ポリアミドイオン交換樹脂	CO ₂ の分離・回収等技術開発
CCUS、カーボンリサイクル分野		
CO ₂ 有効利用	共通基盤技術開発、化学品	
	液体・気体燃料	CO ₂ 等を用いた燃料製造技術開発
	炭酸塩、コンクリート、鉱物化	CO ₂ を用いたコンクリート等製造技術開発
CO ₂ 有効利用拠点化・技術開発		
CCUS研究開発・実証		
産業間連携・集約利用技術		
石炭利用環境対策技術		
海外展開推進事業		
製鉄関連事業		製鉄プロセスにおける水素活用

2. 事業の効率性

◆情勢変化への対応、見直し

情勢の変化	対応・見直し
日本は、2020年10月に2050年カーボンニュートラルを目指すことを宣言。	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 2021年度に実施した公募で、浅海域の藻場（ブルーカーボン）の活性化につながる石炭灰の利用を支援するPJを採択した。 ➤ また、カーボンリサイクル技術のうち、炭酸塩化に関するものについても、別事業でプロジェクトを立ち上げたが、本事業で纏めた石炭成分データも活用するなど、事業の成果をカーボンニュートラルに向けた技術開発で利用している。
（再掲）今後、石炭火力は、再生可能エネルギーを最大限導入する中で、調整電源としての役割が期待されるが、電源構成における比率は、安定供給の確保を大前提に低減させる。（第6次エネルギー基本計画（2021年）より抜粋）	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 石炭火力の新技術開発として、アンモニア混焼石炭火力など計画されており、石炭の利用並びに石炭灰の量は減少する見込みである。一方、この転換は徐々に進むことが想定され、引き続き一定量の石炭の利用、石炭灰の排出が続くことから、石炭利用の規模感を見据えながら、技術開発事業を進めるとともに、開発した技術の早期の実用化を図る。

2. 事業の効率性

◆研究開発の進捗管理

研究開発責任者による進捗管理

- 各研究開発項目の進捗状況、成果、課題など月間工程表により把握。
- 毎年約3回以上、事業者の研究場所に赴き、試験設備とともに研究内容の確認や管理を調査。

事業者主催による進捗・開発方針管理

- **外部有識者で構成する委員会を奨励**。事業の進捗や計画を外部有識者に紹介し、実施内容について指導・助言を受けることで、より効果的に事業を推進。（NEDOはオブザーバー参加）

◆浅海域における石炭灰の利活用促進に向けた環境配慮型技術の開発

2022/03/16 WG進捗報告会（METI、NEDO参加）

◆石炭の低温反応機構解明とそれに基づく自然発熱抑制技術開発

2022/03/09 外部有識者委員会（外部有識者5名出席）

◆石炭ガス化溶融スラグの信頼性確認

2020/07/30,10/19,2021/02/04,07/12,2022/02/03 計5回実施
（外部有識者10名、オブザーバ18名出席）

NEDOによる進捗・開発方針管理

- 外部有識者で構成する**技術検討委員会**を実施。NEDO事業としての目標達成の見直しなどを把握し、外部有識者から指導・助言を受けることで、**実施期間や予算計画の見直し必要性を再考し、今後の事業計画に反映・推進**する。

2. 事業の効率性

◆ 枠組み・実施計画

前回中間評価2019年以降、今回中間評価で関係する事業は下記の通り。

事業テーマ枠組み

➤ 石炭利用環境対策推進事業（委託事業）

- ①石炭の低温反応機構解明とそれに基づく自然発熱抑制技術開発
- ②石炭灰の削減と用途拡大のための石炭高品位化技術開発
- ③浅海域における石炭灰の利活用促進に向けた環境配慮型技術の開発
- ④石炭灰を主原料とした新規なリサイクル連続長繊維の応用研究

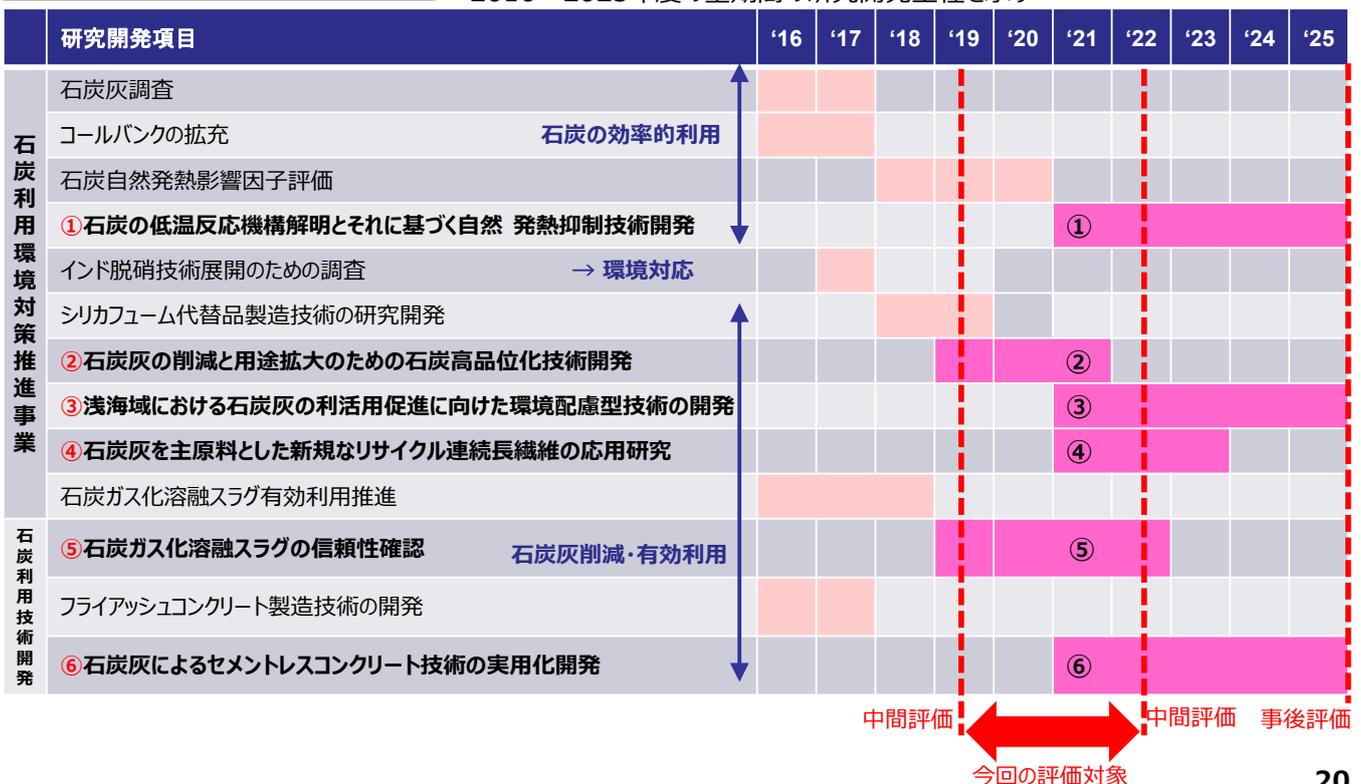
➤ 石炭利用技術開発（2/3助成事業）

- ⑤石炭ガス化溶融スラグの信頼性確認
- ⑥石炭灰によるセメントレスコンクリート技術の実用化開発

2. 事業の効率性

◆ 枠組み・実施計画

2016～2025年度の全期間の研究開発工程を示す



2. 事業の効率性

◆事業費用

➤ 総事業費：2020～2022年度（評価対象年度）については12億円

2020年	2021年	2022年	総額
1.8億円	5.2億円	5.0億円	12.0億円

◆実施の効果（費用対効果）

#	研究開発項目	条件	効果
①	石炭の低温反応機構解明とそれに基づく自然発熱抑制技術開発	自然発熱現象が解明され、亜瀝青炭（低品位炭）の利用が、高価な瀝青炭のうち10%程度置換可能で、かつ散水のみで自然発熱が抑制可能と想定	約110億円/年の石炭購入量削減（1\$=135円換算）
②	石炭灰の削減と用途拡大のための石炭高品位化技術開発	提案した「脱灰方法の選定と最適石炭利用システム」が実用化された場合	約33億円/年石炭灰処理コストが削減
③	浅海域における石炭灰の利活用促進に向けた環境配慮型技術の開発	藻場・漁場改善・洗堀防止の新たな石炭灰利活用で2030年に40万ton/年消費を想定	8億円/年の市場を創成
④	石炭灰を主原料とした新規なりサイクル連続長繊維の応用研究	将来の補強コンクリート市場5000億円中、開発した連続長繊維が計画通り3.6%のシェア獲得を想定	約180億円/年の市場を創成
⑤	石炭ガス化溶融スラグの信頼性確認	石炭ガス化スラグ利用におけるJIS生コン改定が整い、スラグ排出業者とスラグ中間処理業者の売上を想定	約2.4億円/年の市場を創成
⑥	石炭灰によるセメントレスコンクリート技術の実用化開発	石炭灰によるセメントレスコンクリートの単価を2030年度4万円/m ³ として、石炭灰の0.1%を利活用すると想定	約12億円/年の市場を創成

3. 事業の有効性

◆中間目標と達成状況

1) 石炭利用環境対策事業

中間目標	達成状況	評価
石炭等の自然発熱性を把握すると共に、石炭管理の指針に資する知見を得る。石炭等の燃焼灰の有効利用、削減及び用途拡大に寄与する技術の確立に向けた知見を得る。	<ul style="list-style-type: none"> ① 瀝青炭種で自然発熱が抑制できる石炭中水分条件、雰囲気ガス中湿度条件について把握。 ② 高灰分炭から灰分を選択的に除去可能な石炭高品位化技術を開発。 ③ 浅海域での藻場、アザリ場、洗堀防止への新規な石炭灰利用を検討し、地元業者に提案中。実海域での試験実施の見通し。 ④ 石炭灰連続長繊維の試作を行い、コンクリート補強材としての要求仕様の実現の見通し。 	<p>△ (2022年度末に目標達成予定)</p>

2) 石炭利用技術開発

中間目標	達成状況	評価
石炭灰の利用拡大技術として、セメントを使用しないフライアッシュコンクリート製造技術を確認し、製品化に向けた用途を提案する。加えて、石炭ガス化溶融スラグを使用したコンクリートの信頼性・性能を示し、設計・施行指針を作成する見通しを得る。	<ul style="list-style-type: none"> ⑤ 石炭ガス化スラグ細骨材の設計・施工指針の策定、JIS A 5308への採用目途がついた。 ⑥ セメントレスコンクリート技術を用いた試作を行い、通常型のコンクリートの配合を確立する見通し。 	<p>△ (2022年度末に目標達成予定)</p>

3. 事業の有効性

◆個別テーマ毎の目標と達成状況

研究開発項目		目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
石炭利用環境対策推進事業	① 石炭の低温反応機構解明とそれに基づく自然発熱抑制技術開発	石炭の低温反応機構解明の見通しを得ると共に、それに基づく自然発熱抑制技術の知見を得て、自然発熱抑制のための指針案を提示する。	自然発熱性の異なる2炭種の石炭を用いて試験・評価・分析を実施。 ・自然発熱が抑制できる石炭中水分条件、雰囲気ガス中湿度条件について自然発熱評価試験（R70法）で把握した。 ・精密TG-DSCを用いて、酸化発熱量や石炭中水分形態を把握した。 ・酸素官能基の直接観測と発生ガスの同位体分析により、水分が低温酸化反応に与える影響について知見を得ることに成功した。	△ (2022年度末に目標達成予定)	自然発熱抑制技術の確立に向けて、水分等の影響を考慮した低温反応機構を解明し、さらに、社会実装を見据えた自然発熱リスク分析・評価法の開発を進める。
	② 石炭灰の削減と用途拡大のための石炭高品位化技術開発（終了事業）	国内での利用を想定した高灰分炭を調査・選定し、これに対する高品位化技術の研究開発、ならびに最も合理的な石炭一貫利用システムの提案を行うことを目標とする。	高灰分炭から灰分を選択的に除去可能な石炭高品位化技術を開発した。さらに、産炭地に適用可能な脱灰プロセスを選定し、経済的に成り立つ高灰分石炭利用システムを提案した。	○	より高度な脱灰を実現する、新規石炭粉砕、分級プロセスについては、スケールアップ、経済面においてさらなる検討が必要。

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達 25

3. 事業の有効性

◆個別テーマ毎の目標と達成状況

事業項目		目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
石炭利用環境対策推進事業	③ 浅海域における石炭灰の利活用促進に向けた環境配慮型技術の開発	【藻場】 藻場用ブロックの環境安全性と機能性を確認し、実海域試験に関し適地の合意を得て大型藻礁ブロックを設置する。 【アサリ】 石炭灰混合基質の要求仕様を決定し、環境安全性、機能性及び基質収容・設置法を確認し、適地海域の設置合意を得る。 【洗掘防止】 洋上風力発電導入候補地の条件を考慮した適地選定及び資材の要求仕様を決定する。	【藻場】 適地北海道向け環境安全性、機能性確認完了。大型藻礁ブロック設置に係る合意取得完了。 【アサリ】 アサリ用基質試作により、環境安全性、機能性評価完了。適地熊本県との協力体制構築。 【洗掘防止】 施行候補地を秋田県に選定完了。地産地消材料、スラグ等候補材料の選定、耐久性、環境安全性について検証中。	△ (2022年度末に目標達成予定)	実海域設置後は継続モニタリングにより環境安全性及び機能性を評価し、資材開発法の改良等を行い、技術の普及拡大に向けた事業成立性評価を実施する。

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達 26

3. 事業の有効性

◆個別テーマ毎の目標と達成状況

研究開発項目		目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
石炭利用環境 策推進事業	④	石炭灰を主原料とした新規なリサイクル連続長繊維の応用研究	①石炭灰連続長繊維の生成、加工及び物性研究 ②加工製品の利用研究	△ (2022年度末に目標達成予定)	コンクリート補強材としての要求仕様の実現のため、CSとロッドによるハイブリッド補強等を検討
	⑤	石炭ガス化溶融スラグの信頼性確認(2/3助成)	石炭ガス化溶融スラグ細骨材を用いたコンクリートの実規模・実環境での性能・信頼性を評価すると共に、設計・施工指針を制定する。	△ (2022年9月末に目標達成予定)	固有の特徴を有する石炭ガス化溶融スラグの利用範囲拡大のためのデータ取得を目的に2022年9月まで事業延長中
石炭利用技術開発	⑥	石炭灰によるセメントレスコンクリート技術の実用化開発(2/3助成)	各項目の成果を集約して、125L規模の製造・施工を行う。通常型のコンクリートの配合を確立する。	△ (2022年度末に目標達成予定)	・装置運転条件の最適化および省エネルギー化の検討(コストメリットの明確化) ・助材生産規模拡大 ・減水剤の性能向上 ・製造体制の確立

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達 27

3. 事業の有効性

～各個別テーマの成果と意義～ (継続中事業)

①石炭の低温反応機構解明とそれに基づく自然発熱抑制技術開発

<概要>

本事業では、実際の貯炭場を想定し、石炭中水分と雰囲気ガス中の水分に因子分解して影響評価し、石炭等の自然発熱性に係る抑制指針を確立することにより、石炭等の自然発熱抑制技術確立の見通しを得る。また、石炭管理のため、自然発熱リスク分析・評価法の確立に取り組む。

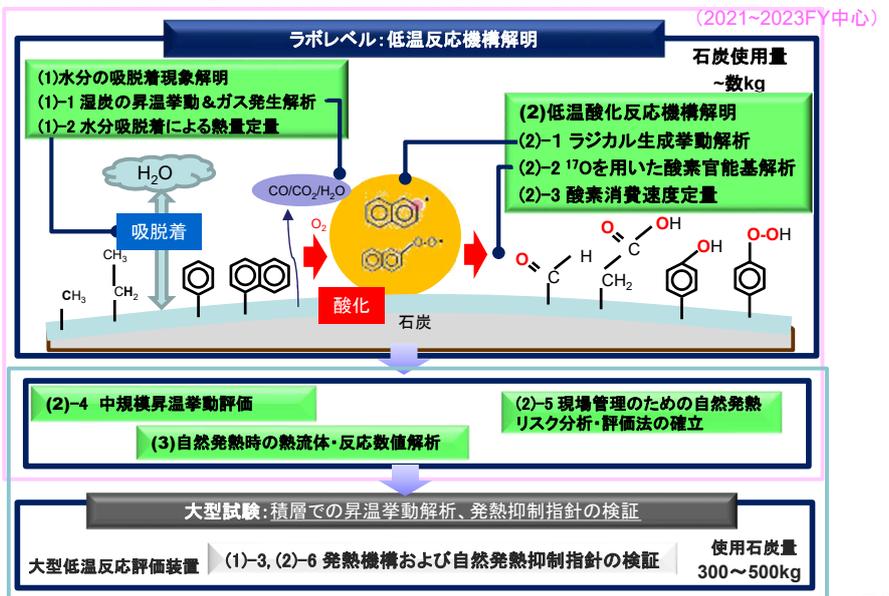
<期間>

2021年4月～2026年3月(予定)

<委託先>

一般財団法人電力中央研究所、日本製鉄株式会社

石炭の自然発熱機構の解明は、低品位炭の改質炭や混合燃料等に関し、従来の自然発熱特性とは異なる挙動であったため、官能基まで含めた、発熱現象の解明が必要になり、要素研究および判定方法を解明する事業を開始。この成果を用いることで、低品位炭はもとより炭化バイオマスの利用拡大が可能になる



①石炭の低温反応機構解明とそれに基づく自然発熱抑制技術開発

<成果>

1. 水分の吸脱着現象解明

1-1 湿炭の昇温挙動(関連項目(1)-1)

- 実際の貯炭条件に近い状態を模擬するため、湿炭および湿ガスを用いた自然発熱性評価試験(R70試験:図1)を実施し、石炭中水分やガス中水分の昇温特性に及ぼす影響を明らかにした。これらの結果から、水分調整による自然発熱抑制手法の可能性について見通しを得た。

→ 今後、より多くの炭種を用いて、水分調整による発熱抑制技術を確立

1-2 水分吸脱着による熱量の定量(関連項目(1)-2)

- 湿潤ガス下における発熱量測定の前段階として、乾燥雰囲気下における発熱量を精密TG-DSC(熱量-示差走査熱量同時測定装置:図2)を用いて測定した。その結果、極微少な酸化発熱量及び酸素吸着熱を測定することができ、湿潤ガス下における発熱量も測定できる見通しを得た。

→ 今後、湿潤雰囲気下における水の吸着熱、水との反応熱を把握

2. 自然発熱時の熱流体・反応数値解析(関連項目(3))

- 総括反応モデルをベースとする固気混相流数値解析ツールを用い、R70試験に用いる小型反応器内の乾燥炭充填層を対象に解析を行った結果、第一段階として総括反応モデルによって、自然発熱を捉えられることが分かった。

→ 今後、湿炭充填層を対象に、総括反応モデルを用いた熱流体・反応数値解析



図1 自然発熱性評価試験装置 (R70試験装置)



図2 精密TG-DSC装置 (熱の捕捉率が従来のDSCと比較して、大幅に優れた装置)

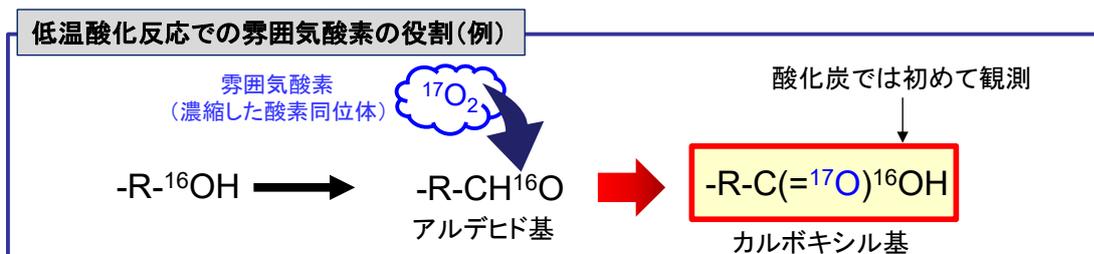
①石炭の低温反応機構解明とそれに基づく自然発熱抑制技術開発

<成果>

3. 低温酸化反応機構解析(関連項目(2)-1～(2)-3)

$^{17}\text{O}_2$ 同位体酸素および核磁気共鳴法を用いた反応解析の結果、低温(<80°C)では、雰囲気酸素による酸化で、石炭中に元々存在するアルデヒド基からカルボキシル基が生じることを明らかにした。(この反応は発熱量も大きく、発熱への寄与度も高いと考えられる)更に、水(H_2O)は、カルボキシル基生成反応とその分解反応の双方に関与する可能性を見出した。

→ 今後、水の影響、生成ラジカルを定量的に把握し、低温酸化機構の全貌を解明する。また、得られた知見を以下のリスク評価にも活用。



自然発熱リスク分析・評価法の開発(関連項目(2)-5)

社会実装を見据えた準備として、分析のための望ましい石炭の前処理方法について標準化案を作成した。

→ 今後、石炭の分析法および解析法についても標準化案を作成する。

4. 外部有識者委員会等の開催(関連項目(4))

- 研究開発全体の進捗と石炭の自然発熱抑制指針の妥当性を確認するため、石炭ユーザを含めた外部有識者で構成される委員会を設置・開催し、各研究開発項目で目標とする成果を踏まえて作成した石炭の自然発熱抑制指針(案)の内容について協議した。

3. 事業の有効性

～各個別テーマの成果と意義～

(終了事業)



New Energy and Industrial Technology Development Organization

②石炭灰の削減と用途拡大のための石炭高品位化技術開発

<概要>

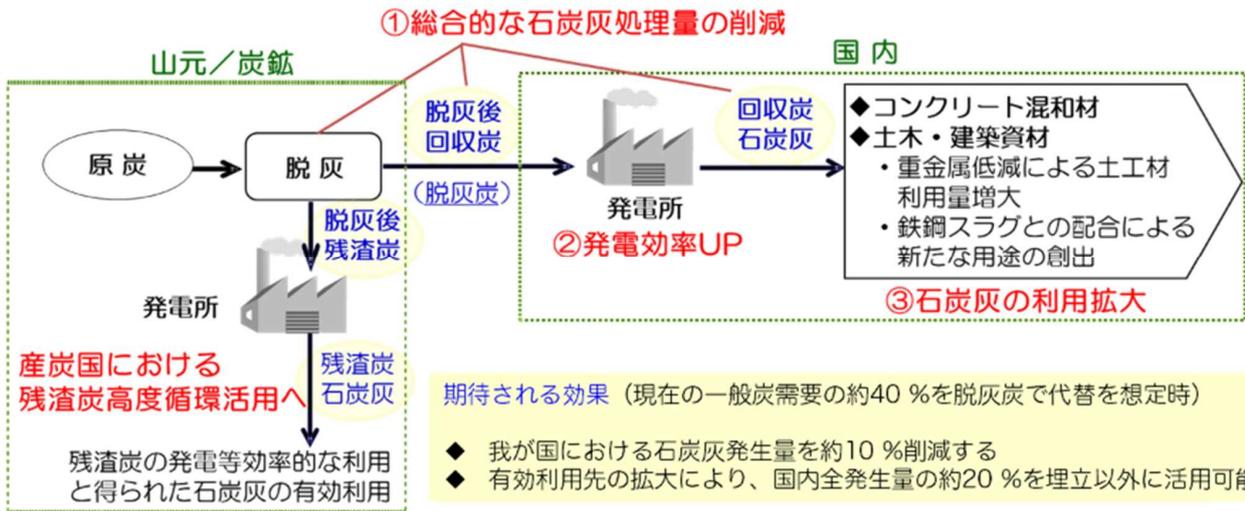
多様な石炭を利用可能とし、石炭灰発生量削減ならびに石炭灰の性状改善により用途拡大を容易にする技術の確立のため、石炭中の灰分を精度良く分離・除去するとともに、石炭灰の組成・物性を制御し、有効利用しやすくする石炭高品位化技術の研究開発を行う。

<期間>

2020年2月～2022年3月

<委託先>

国立大学法人群馬大学、日鉄エンジニアリング株式会社、一般財団法人電力中央研究所、国立研究開発法人産業技術総合研究所



3. 事業の有効性

～各個別テーマの成果と意義～

(終了事業)



New Energy and Industrial Technology Development Organization

②石炭灰の削減と用途拡大のための石炭高品位化技術開発

<開発項目>



<実施項目1>

- 効果的な単体分離に適した粉碎技術の開発
- さらなる高効率単体分離に向けた粉碎技術の検討
 - ✓ 電気パルス粉碎による単体分離技術
 - ✓ 超音波粉碎による単体分離技術

□ 流動層偏析法を用いた分級回収技術の開発

- さらなる高効率分級回収に向けた技術の検討
 - ✓ 流動層内の気流を利用した分級回収技術

<実施項目2>

- 脱灰炭使用時の特性評価
 - ✓ 脱灰炭の燃焼性と石炭灰性状の評価
 - ✓ 残渣炭の燃焼性の把握
 - ✓ 原炭及び脱灰炭の炉内灰付着特性評価
- 石炭灰性状に応じた有効利用技術調査

- 脱灰技術の総合評価
 - ✓ 脱灰方法の選定と最適石炭利用システムの提案

海外炭
鉱調査

<実施項目3>

- 脱灰技術の海外炭鉱適用可能性調査
- 将来を見据えた脱灰技術の適用地点選定

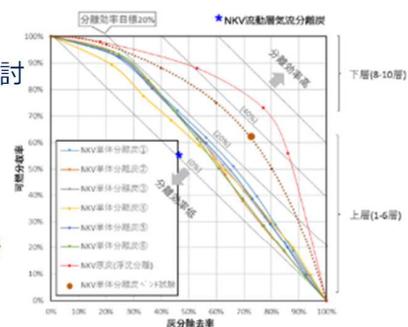


図 分級処理により得られた脱灰回収炭の灰分除去率・可燃分回収率

3. 事業の有効性

～各個別テーマの成果と意義～ (終了事業)



New Energy and Industrial Technology Development Organization

② 石炭灰の削減と用途拡大のための石炭高品位化技術開発

<成果>

□ 石炭中灰分の特性評価と単体分離方法並びに効率的な分級技術の開発

粉砕技術開発

機械的粉砕法：灰分の存在状態に依存して適切な粉砕方法が存在することを明らかにし、**粉砕方法の選択により高い単体分離度を実現**

新規粉砕法：**機械的粉砕方法と比較して、高い単体分離度**を示し脱灰プロセス性能向上に寄与する高いポテンシャルを確認

分級技術開発

流動層偏析分級、気流分級ともに、条件の最適化により**灰分を高濃度に濃縮**できることを見出した。

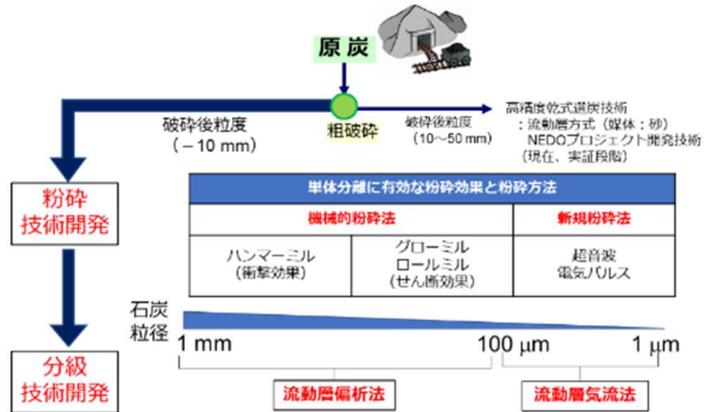


Fig. 本事業で実施した石炭高品位化技術開発

□ 石炭一貫利用システムの提案

機械的粉砕処理であるロールミルによる粉砕、流動層偏析法による分級を組み合わせた石炭利用システムを提案し、これが**分離効率・経済両面で十分成り立つ石炭高品位化システム**であることを明らかにした。

3. 事業の有効性

～各個別テーマの成果と意義～ (継続中事業)



New Energy and Industrial Technology Development Organization

③ 浅海域における石炭灰の利活用促進に向けた環境配慮型技術の開発

<概要>

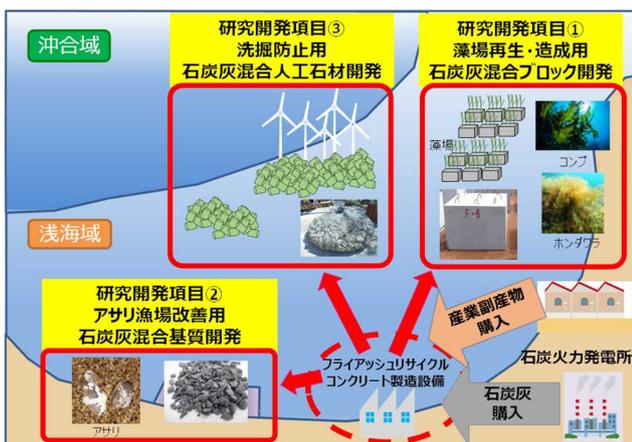
陸地で創出される再生資源である石炭灰を活用する環境配慮型技術の開発を行い、海域の生産力を向上させて水産資源の回復と海域環境の改善を図る。また、本技術開発により、石炭灰の有効活用策の拡大、天然資源の消費抑制、及び環境影響の低減を図り、低炭素社会と持続発展可能な循環型社会を実現する。

<期間>

2021年4月～2026年3月(予定)

<委託先>

一般財団法人石炭フロンティア機構、一般財団法人電力中央研究所、東京パワーテクノロジー株式会社、東洋建設株式会社



全国各地域の市場サーベイを行い、先ずは下記地域に特定し、実海域での検証とともに石炭灰利活用促進及び環境評価技術を確立将来的には全国主要海域へ開発技術の展開を図る

検討項目	検討対象地域
藻場再生	北海道渡島地域 秋田県能代・山本地域
アサリ漁場改善	熊本県緑川河口域
洗掘防止	秋田県沖、千葉県銚子沖

3. 事業の有効性

～各個別テーマの成果と意義～ (継続中事業)



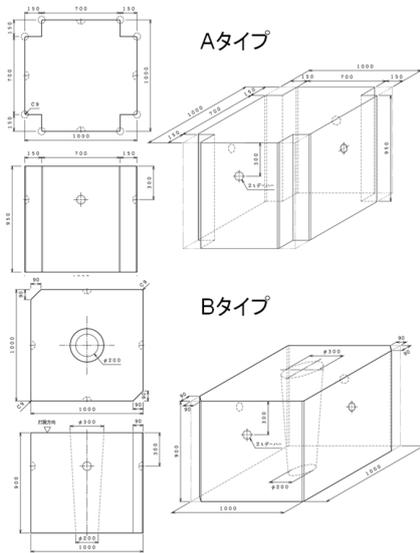
New Energy and Industrial Technology Development Organization

③ 浅海域における石炭灰の利活用促進に向けた環境配慮型技術の開発

<成果> 藻場再生・造成用石炭灰混合ブロック開発

北海道鹿部町海域：大型藻礁ブロック設置に係る合意取得完了

開発ブロックの形状



開発資材の配合

	FA	ホタテ砕粉	BFS	CH	CS
① FSB	70	15	0	11	4
② FSB-S	70	15	6	5	4

配合 (重量%)

FA：フライアッシュ原粉、ホタテ砕粉：未焼成/平均粒径 約 0.2 mm、
BFS：高炉スラグ微粉末、CH：消石灰 CS：二水石膏

環境安全性の確認

	カドミウム	鉛	クロム ¹⁾	ヒ素	水銀	セレン	フッ素	ホウ素
FSB	0.001	0.009	0.07	0.076	1 × 10 ⁻⁵	0.039	36	1.3
FSB-S	0.001	0.003	0.23	0.209	4.3 × 10 ⁻⁴	0.052	42	3.7
基準A	3	10	50	10	0.5	10	800	1000
基準B	9	30	150	30	1.5	30	15000	20000

単位 (μg/L)

基準A：一般用途溶出量基準*
基準B：港湾用途溶出量基準*
1) クロムは全量として分析

*：一般財団法人石炭エネルギーセンター編
「石炭灰混合材料有効利用ガイドライン
(統合改訂版)」より

3. 事業の有効性

～各個別テーマの成果と意義～ (継続中事業)



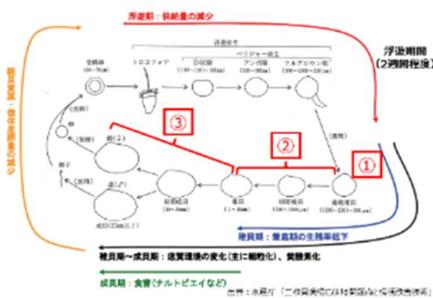
New Energy and Industrial Technology Development Organization

③ 浅海域における石炭灰の利活用促進に向けた環境配慮型技術の開発

<成果> アサリ漁場改善用石炭灰混合基質開発



● 候補地選定を完了し、地元関係者との協力体制構築完了

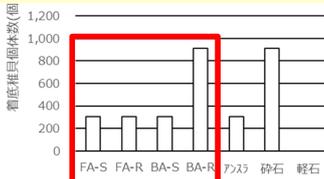


新規開発基質で、
①着底させる。
②着底後生残させる。
③成長させる。



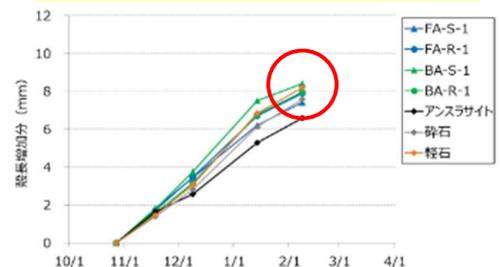
● 従来基質と遜色ない殻長成長で、成長機能があることを確認済

● 初期稚貝が着底し、着底機能があることを確認済



● 生存率が高く、着底後生残機能があることを確認済

基質	月日	10/12	10/27	11/18	12/9	1/14	2/8
FA-S-1	100%	100%	100%	100%	95%	95%	95%
FA-R-1	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
BA-S-1	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
BA-R-1	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
アンスラサイト	100%	100%	100%	90%	90%	90%	90%
砕石	100%	100%	100%	100%	95%	95%	95%
軽石	100%	100%	100%	95%	85%	85%	85%



3. 事業の有効性

～各個別テーマの成果と意義～ (継続中事業)

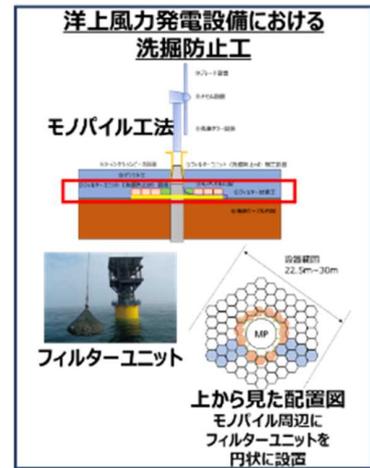
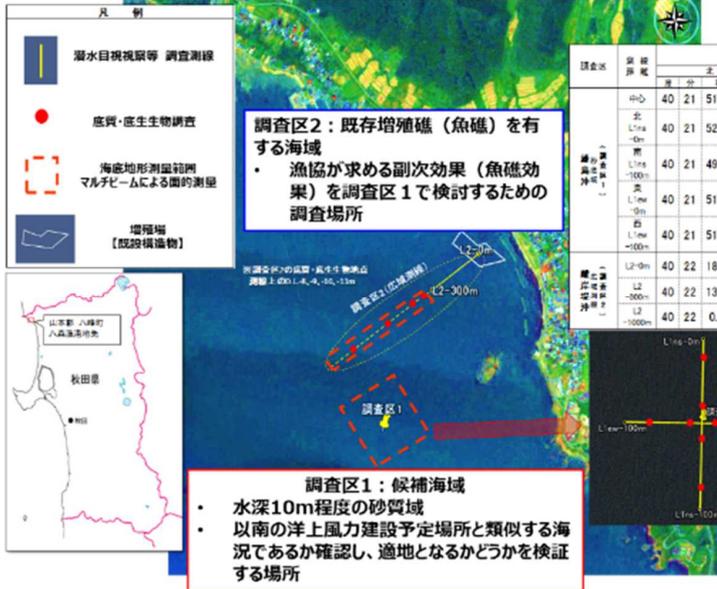


New Energy and Industrial Technology Development Organization

③ 浅海域における石炭灰の利活用促進に向けた環境配慮型技術の開発

<成果> 洗掘防止用石炭灰混合人工石材開発

● 洗掘防止用石材施工候補地の選定を完了



【選定理由】

- ・洋上風力発電設備（上図参照）建設予定地の海域条件（水深、波浪、土質（砂質））と類似 → 調査区1
- ・副次効果（漁礁効果）を評価するためのモデル海域を有する → 調査区2
- ・地元関係者（漁組等）と良好な関係性が構築できている

3. 事業の有効性

～各個別テーマの成果と意義～ (継続中事業)



New Energy and Industrial Technology Development Organization

④ 石炭灰を主原料とした新規なりサイクル連続長繊維の応用研究

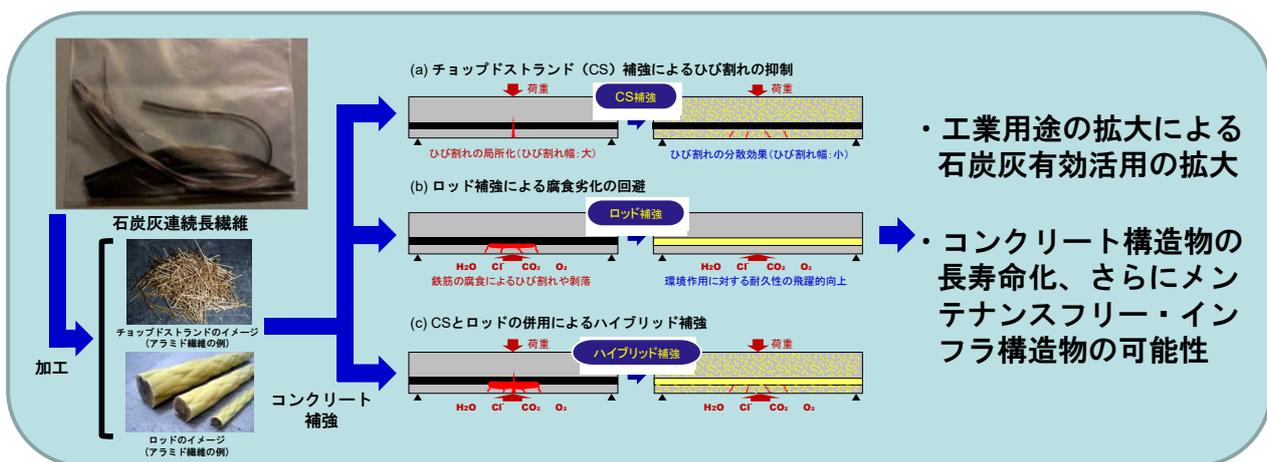
<概要>

石炭灰の有効利用・用途拡大を目標とし、コンクリート構造物の長寿命化への寄与を念頭に、石炭灰から製造した連続長繊維を数十mm以下の長さとした短繊維（CS）、もしくはロッドとしてコンクリート部材へ適用する技術を確認することを目的とする。この目標達成のため、石炭灰連続長繊維の生成、加工及び物性研究ならびに加工製品の利用研究を行う。

<期間>

2021年6月～2024年3月(予定)

<委託先> 国立大学法人東京大学、新日本繊維株式会社、一般財団法人電力中央研究所



④石炭灰を主原料とした新規なりサイクル連続長繊維の応用研究

<成果> 1. 石炭灰連続長繊維の生成、加工及び物性研究

コンクリート用CS、ロッドの製作

石炭灰連続長繊維（CACLF）について、石炭灰、およびその他成分の組成比率を確認しつつ予備試験用の試作を行い、図4.1.1-1に示すような連続長繊維が得られた。また、アルカリ耐性のあるCACLF-CSおよびロッドの製作に向け、最適な収束剤の情報収集を行うと共にさらに試作を行い、東京大学物性研究所(ISSP)、電力中央研究所(CRIEPI)に提供した。



図4.1.1-1 : CACLF試作品

石炭灰連続長繊維の物性研究

CACLFおよび各種CLF-CSおよびロッドの物性（物理特性・形状表面観察・成分評価・耐アルカリ性評価など）を実施するための各種装置を整備・設置した。試作されたCACLF-CS（図4.1.1-2）に対する耐アルカリ性のテストを行い、実施計画通りの良好な結果が得られた。また、引張強度評価ではガラスCSと同程度の値が得られている。



図4.1.1-2 : CACLF-CS試作品

コンクリート補強用CACLF-CS、ロッドを製作するにあたりこれらの情報をフィードバックし、CFCLFの改良に役立てる。

④石炭灰を主原料とした新規なりサイクル連続長繊維の応用研究

<成果> 2. 加工製品の利用研究

CACLF-CS補強コンクリートのひび割れ抵抗性（靱性）の検証

提供された、各種CSのコンクリート試験体の作製と材齢28日の物性試験を目的とした、配合選定試験を繰り返し行い（図4.2.1-1参照）、コンクリート試験体の仕様を決定した。ポリプロピレンCSについては、コンクリート試験体の作製と材齢28日の物性試験を実施した。



図4.2.1-1 : コンクリート配合選定試験の様子

CACLF-ロッド補強コンクリート部材の耐荷性（剛性）の検証

各種ロッド補強コンクリート部材の耐荷性を評価するための数値解析を行い図4.2.1-2に示される様な結果を基に梁断面の設計を行った。また、各種ロッドとコンクリートの付着性能を評価するため、の実験の仕様を決定した。

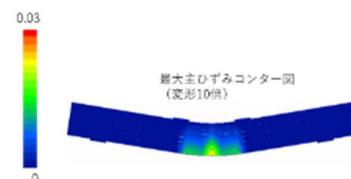


図4.2.1-2 : 数値解析による梁の計算例

3. 事業の有効性

～各個別テーマの成果と意義～

(継続中事業)



New Energy and Industrial Technology Development Organization

⑤ 石炭ガス化溶融スラグの信頼性確認

<概要>

石炭ガス化スラグ（CGS）の有価利用拡大のための実規模施工による信頼性の確認として、スラグ細骨材の実規模製造技術の確立、実規模施工・暴露試験による信頼性確保、実環境における優位性評価試験、構造試験による鉄筋コンクリート構造性能把握を行う。これまでの検討の結果、石炭ガス化スラグは他事業のスラグと異なる特徴を有することが判明したため、設計・施工指針策定において適用範囲が拡大されるよう、データ取得する目的で2022年9月まで事業延長。

<期間>

2020年2月～2022年9月

<委託先>

一般財団法人石炭フロンティア機構
 勿来IGCCパワー合同会社
 清水建設株式会社



3. 事業の有効性

～各個別テーマの成果と意義～

(継続中事業)



New Energy and Industrial Technology Development Organization

⑤ 石炭ガス化溶融スラグの信頼性確認

<成果>

1. スラグ細骨材の実規模製造技術の確立

国内全てのIGCCのガス化スラグ（CGS）を対象に以下を達成した。

- ・大量・連続磨砕試験によりJIS規格適合品製造技術を実証した(図1)。
- ・CGSの組成、骨材性状は石炭種及びガス化条件により影響を受けるものの、JIS規格に適合できることを確認した。一方で、コンクリート性状として凝結遅延、初期強度低下が観察されたことから、2022年度まで事業延長し、要因究明等の検討を実施している。
- ・CGS規格適合品を製造する品質・製造管理プロセスを構築した。

2. 実規模施工・暴露試験による信頼性確保

石炭ガス化スラグ細骨材を使ったコンクリートの製造性・施工性・諸性能の確認を行った。

- ・製造性については、従来のコンクリートと同様に、練混ぜができることを確認した。
 - ・施工性については、従来のコンクリートと同様に、ポンプ圧送での打込み・締固めができることを確認した(図2)。
 - ・諸性能（フレッシュ性状・力学性状※・耐久性能※）は、従来のコンクリートと同様の傾向を示した。
- ※材齢1年までの結果による評価



図2 石炭ガス化スラグ細骨材を使ったコンクリートの壁を模擬した試験体の施工状況

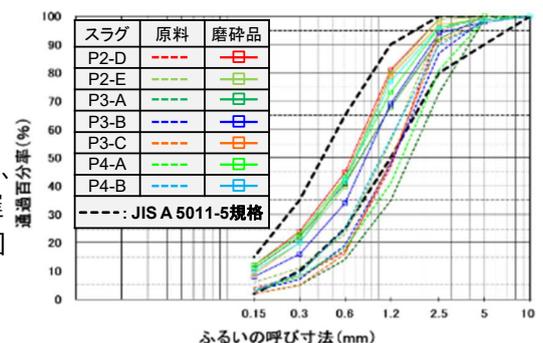


図1 粒径加積曲線（磨砕前後）

⑤ 石炭ガス化溶融スラグの信頼性確認

<成果>

3. 実環境における優位性評価試験

- ・CGSは、乾燥収縮、湿潤膨張の低減、拘束収縮ひび割れの抑制（図3）に対して、有効に作用することを確認した。一方で、乾燥による収縮量は小さいものの、小さいひずみ量でひび割れが発生しやすいことも確認した。
- ・CGSの利用による物質浸透抵抗性の向上に伴い、中性化抵抗性、塩分浸透抵抗性の向上が期待できることを確認した。
- ・CGSの利用により、やや凍結融解抵抗性を低下させる傾向にあることが確認されたが、その影響は限定的であり、適切な空気量の連行によって十分な凍結融解性を確保できることを確認した。

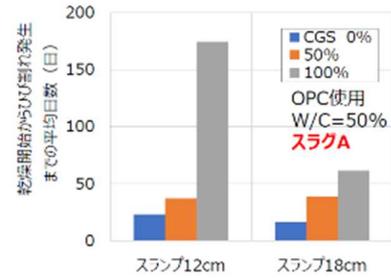


図3 拘束収縮試験結果

4. 構造試験による鉄筋コンクリート構造性能把握

- ・鉄筋コンクリート部材による載荷試験では、いずれも一般のコンクリートと同等の破壊形態で（図4）、耐荷性能、変形性能にも有意な差はなく、構造部材を構成する材料として有用であることを確認した。
- ・一軸部材の両引張試験においても、ひび割れ発生荷重や鉄筋降伏荷重の低下などは認められないことから、ブリーディングによる影響はほとんどなく、コンクリートとの十分な付着が得られていることを確認した。

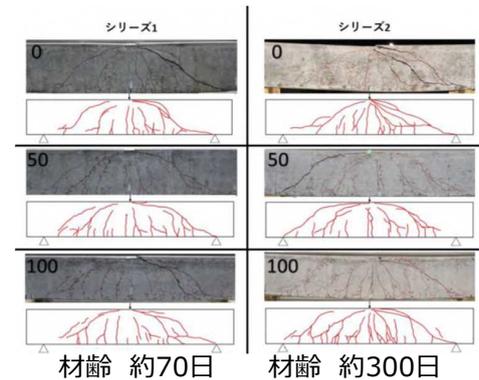


図4 曲げ試験結果

⑥ 石炭灰によるセメントレスコンクリート技術の実用化開発

<概要>

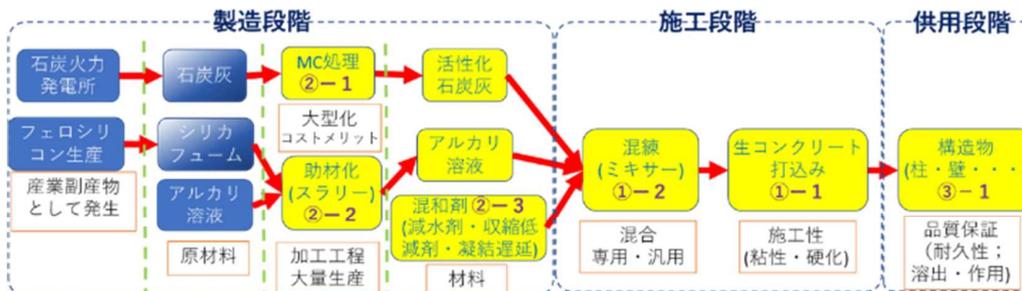
石炭灰をメカノケミカルにより結合材化してセメントの代替材とするセメントレスコンクリートの実用化開発を行うことを目的として、配合設計法を含めた施工技術の確立、石炭灰結合化や混和材（剤）からなる結合材技術の確立、長期の供用を想定したコンクリート品質保証技術の開発、製造・施工体制の構築検討を行う。

<期間>

2021年5月～2026年3月(予定)

<委託先>

株式会社大林組、日本シーカ株式会社、株式会社フジインコーポレーテッド



コンクリートの配合 (kg/m ³)				
結合材	混練水	骨材		混和剤
加工石炭灰	スラリー	細骨材	粗骨材	減水剤等
300	150	870	870	10(程度)

図1 セメントレスコンクリートの製造・施工フローと配合



図2 本技術のセメントレスコンクリート

3. 事業の有効性

～各個別テーマの成果と意義～

(継続中事業)



New Energy and Industrial Technology Development Organization

⑥石炭灰によるセメントレスコンクリート技術の実用化開発

<成果>

1. 個別課題の成果を集約しコンクリート供試体を製作 (21年度目標)

2-1 石炭灰の加工装置 : 装置の探索と評価を実施

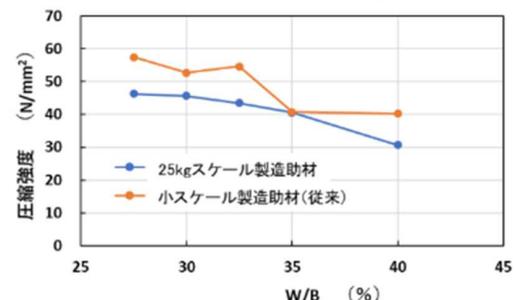
- ・A社(再委託先)の機種であるA1とA2による連続処理法を開発
→ペースト供試体を作製、40 N/mm²の圧縮強度

2-2. 助材製造、省コスト化

- ・1バッチ2~3kg → 1バッチを25kgにスケールアップ(21年度目標)
→品質は変わらないことを確認(図参照)
- ・原材料の探索を行い、安価な候補を見出した。
→コストダウンが可能に



コンクリート供試体



助材の変更と供試体の圧縮強度

3. 事業の有効性

～各個別テーマの成果と意義～

(継続中事業)



New Energy and Industrial Technology Development Organization

⑥石炭灰によるセメントレスコンクリート技術の実用化開発

<成果>

2-3 減水剤と凝結遅延剤を探索 : 混練後の自由成形性確保

- ・減水剤 → D1、凝結遅延剤 → D2 これらの併用で効果が増大
- ・収縮低減剤 : 硬化に伴う体積収縮の抑制(ひび割れの発生の抑制)
収縮低減剤 → D3 を見出した。 減水剤D1と凝結遅延剤D2と併用して効果有り

3-1 ひび割れ発生の確認と対策 : 乾燥硬化後の再度水浸漬時

一部の供試体でひび割れを生じる現象の発生を確認

- ①石炭灰の加工度低、②助材の濃度低
→対策法策定に着手

3-2 微量有害元素の溶出抑制

対象重金属等を不溶化のための薬剤を探索
→ E1とE2の2種類の混和材が有効

4. 生産関係者に対する技術の共有

対象物質	不溶化材	
	E1	E2
ヒ素	○	◎
セレン	◎	×
六価クロム	—	—
ふっ素	○	○
ほう素	×	◎

【不溶化効果】◎高い、○あり、×なし

3. 事業の有効性

◆成果の普及

➤ 講演・論文、新聞雑誌記事掲載など成果PRを奨励

#	研究開発項目	講演 (セミナー、シン ポジウム等)			論文・規格化*			新聞・雑誌・HP			特許			
		'20	'21	'22	'20	'21	'22	'20	'21	'22	事前	'20	'21	'22
①	石炭の低温反応機構解明とそれに基づく自然発熱抑制技術開発	—	2	5	—	0	2	—	0	0	0	—	1	0
②	石炭灰の削減と用途拡大のための石炭高品位化技術開発	0	4	—	0	0	—	0	0	—	3	0	0	—
③	浅海域における石炭灰の利活用促進に向けた環境配慮型技術の開発	—	0	0	—	0	0	—	0	1	2	—	0	1
④	石炭灰を主原料とした新規なりサイクル連続長繊維の応用研究	—	0	0	—	0	0	—	0	0	1	—	0	0
⑤	石炭ガス化溶融スラグの信頼性確認	2	9	2	(3)*	2	1	4	7	1	0	0	0	0
⑥	石炭灰によるセメントレスコンクリート技術の実用化開発	—	0	0	0	0	1	0	0	1	4	1	1	2
総計		2	15	7	(3)*	2	4	4	7	3	10	1	2	3

*：規格化件数は()で掲載

3. 事業の有効性

◆波及効果

●石炭灰によるCO₂削減

→石炭灰は炭酸塩化のためのCa源としての活用もあり、利用技術を開発することでCO₂削減に適用。

●データ蓄積に基づく規格化

石炭自然発熱性評価手法(R70)の規格化(含む官能基評価)

→再生可能エネルギーの利用増大による石炭の貯蔵期間の長期化に対応

石炭ガス化溶融スラグJIS A 5308 レディーミクストコンクリート 認定

→安価なコンクリート細骨材としての普及により天然骨材の採掘量を削減。環境破壊を抑制。

●漸減してきたセメントへの石炭灰有効活用

石炭灰長繊維化の成功によるコンクリート構造物の長寿命化

→石炭灰繊維の補強効果がガラス繊維・アラミドと同等以上ならば安価な高強度材として普及拡大。

セメントレスコンクリートの実用化

→普通ポルランドセメントが削減され、セメント製造によるCO₂削減にも寄与。

●日本近海漁場の活性化とブルーカーボンによるCO₂削減

藻礁ブロック、アサリ用基質、洗掘防止用石材への石炭灰活用

→水産資源の回復、海域環境の改善が図られ、マリンバイオマスによるCO₂固定化促進に寄与。