

事業原簿

作成：2019年10月

上位施策等の名称	なし	
事業名称	クリーンコール技術開発/②石炭利用環境対策事業	PJコード： P92003、P16003
推進部	環境部	
事業概要	<p>本事業は石炭の環境対策等を目的として、石炭利用に伴い発生するCO₂、SO_x、NO_x、ばいじん等への対策や、石炭需要の拡大により増大する石炭灰やスラグの有効利用のための技術的課題を明らかにした上で、その課題の解決を目指し、必要に応じ技術開発や技術実証を行う。</p> <p>実施に当たっては、各研究開発の性質に合わせ、委託事業又は助成事業（2/3助成）により実施する。</p> <p>(1) 石炭利用環境対策推進事業【委託事業】</p> <p>石炭利用時に必要な環境対策に関わる調査を実施する。また、今後のCCT開発を効率的に支援するコールバンクの拡充及び石炭の発熱性に係る調査・技術開発を行う。</p> <p>石炭灰の発生量や有効利用に関する実態調査等を行う。具体的には、国内石炭灰排出量・利用量を把握するとともに、海外の石炭灰利用技術及び利用状況等を調査する。また、石炭灰利用及び削減に係る技術開発を行う。</p> <p>さらに、石炭ガス化溶融スラグ有効利用技術を開発し、工業製品として規格化することにより、スラグ製品としての新しい販路を開拓し、石炭灰有効利用の用途を広げる。</p> <p>(2) 石炭利用技術開発【助成事業（2/3）】</p> <p>石炭灰の利用用途拡大に関する技術開発を行う。</p> <p>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の開発を実施する。加えて、低品位フライアッシュの硬化体原材料としての適用範囲を把握し、有望視される用途（土木分野、建築分野、環境分野等）に適した硬化体製造技術を確立する。</p> <p>石炭ガス化溶融スラグを利用したコンクリート構造物を製造し、強度、組成、耐久性などに関する評価試験を実施し、信頼性・性能の確認を行う。また、コンクリートを使用する際のガイドラインとなる設計・施行指針を作成する。</p>	
事業期間・予算	<p>(1) 石炭利用環境対策推進事業</p> <p>事業期間：2016年度～2021年度</p> <p>契約等種別：委託</p> <p>勘定区分：一般勘定、電源勘定、エネルギー需給勘定</p> <p style="text-align: right;">[単位：百万円]</p>	

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	合計
予算額	80	60	75	60	-	-	275
執行額	93	173	52	98	-	-	416
(2) 石炭利用技術開発 事業期間：2016年度～2021年度 契約等種別：助成 勘定区分：一般勘定、電源勘定、エネルギー需給勘定 <div style="text-align: right;">[単位：百万円]</div>							
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	合計
予算額	20	20	0	40	-	-	80
執行額	20	20	0	0	-	-	40
事業の位置付け・必要性	(1) 政策的な重要性 石炭は、経済性、供給安定性に優れたエネルギー資源であり、「エネルギー基本計画」（平成30年7月閣議決定）においても、石炭火力は重要なベースロード電源と位置付けられている。先進国を中心に世界的には、温室効果ガス削減のため石炭利用が急速に減少する傾向である一方で、安価で安定的な資源として新興国を中心に石炭利用が拡大していくと見込まれており、貴重なエネルギー源であることに変わりはない。その為にも、石炭利用に伴って発生するCO ₂ 、SOX、NOX、ばいじん等への対応や、石炭需要の拡大に伴って、増大する石炭灰及び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。 そのため、今後とも石炭を活用し、エネルギー需給安定化に貢献していくためにも、より高度なクリーンコールテクノロジーの開発が必要である。						
	(2) 世界の取組状況 近年の世界的な環境志向の高まりを受け、環境装置の需要は急激に高まっている。特に、中国では環境規制が大幅に見直されており、他国で開発された環境装置を新たに導入している他、自国において、低コスト環境装置の開発が盛んに行われている。						
(3) 我が国の状況 我が国においては、石炭の排ガスに関して、世界的に見ても非常に厳しい環境基準（環境保全協定値）が定められ、その基準が遵守されている。そのような背景から、脱硫、脱硝、ばいじん処理技術等、高度な環境保全技術が過去から培われており、日本の強みが発揮できる分野のひとつである。一方、石炭利用に伴い排出する石炭灰については、主にセメントの原料として、これまでは有効利用されてきたが、近年セメント生産量は減少傾向にあり、セメント原料に代わる石炭灰の利用方法の確立が喫緊の課題である。							

	<p>(4) NEDO が関与することの意義</p> <p>資源の大部分を海外からの輸入に頼らなければならない我が国にとって、資源の安定・安価な調達には国民生活や経済活動を下支えするものであり、エネルギー安全保障の確保の重要性は、今も変わることがない（総合資源エネルギー調査会 資源・燃料分科会, 2017年6月）。</p> <p>我が国におけるエネルギーセキュリティの向上は公共性が高く、社会全体に大きな利益をもたらすことから、NEDOが日本の石炭利用促進を牽引する必要性は高い。</p>
<p>事業の目的・目標</p>	<p>事業の目的</p> <p>本事業では、石炭の効率的利用を目的として、石炭利用の環境対応に関する調査・技術開発を実施することを通じて、エネルギーセキュリティの向上に資する。また、インフラ輸出による日本の輸出拡大に貢献する。</p> <p>事業の目標</p> <p>ビジネスモデルとして石炭灰の有効利用率を100%まで向上させる石炭の有効利用技術の確立を目指す。</p> <p>なお、研究開発項目ごとの目標を以下の通り設定した。</p> <p>(1) 石炭利用環境対策推進事業</p> <p>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発熱性を把握することにより、石炭の有効利用技術の確立を目指す。</p> <p>石炭灰の有効利用、及び削減に寄与する技術の確立を目指す。</p> <p>また、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。</p> <p>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。</p> <p>(2) 石炭利用技術開発</p> <p>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、また設計・施行指針を作成することで、石炭ガス化溶融スラグの製品化用途の提案をする。</p>
<p>事業の成果</p>	<p>別紙参照</p>
<p>情勢変化への対応</p>	<p>従来の石炭火力に比べて高効率で、かつCO₂排出量の少ないIGCC（石炭ガス化コンバインドサイクル発電）の大型プラントが2020年度に商業運転開始を見込んでおり、現在廃棄物として処理されているスラグが大量に発生する予定で、その為にもスラグの有効利用技術開発は至急の課題である。</p>

	<p>石炭灰の処理としてコンクリート混和材として輸出されてきたが、最大の輸出相手国の規制により国内での処理量が増加する見込みであり、よりいっそうの石炭灰削減、有効利用技術の開発は至急の課題である。</p> <p>上記を踏まえて、新たな事業を実施する。</p>
評価の実績・予定	<ul style="list-style-type: none"> ・ 毎年度評価：内部評価 ・ 中間評価：2019 年度、外部評価 ・ 事後評価：2022 年度、外部評価

グリーンコール技術開発／石炭利用環境対策事業
事業の成果

1. 石炭利用環境対策事業 研究開発項目一覧

研究開発項目	件名	実施期間	実施者
石炭利用環境対策推進事業 [調査・技術開発：委託]	石炭灰調査	2016年度	JCOAL
	石炭灰調査	2017年度	JCOAL
	コールバンクの拡充	2016 ～2017年度	JCOAL、産総研
	インド脱硝技術展開のため調査	2017年度	MHPS
	石炭ガス化溶融スラグ有効利用推進	2016 ～2018年度	JCOAL
	シリカフェーム代替品製造技術の研究開発	2018 ～2019年度	JCOAL（宇都宮大学）、電中研、福島エコクリート
	石炭自然発熱影響因子評価	2018 ～2020年度	電中研、日本製鉄
石炭利用技術開発 [技術開発：助成]	フライアッシュコンクリートの製造技術	2016 ～2017年度	JCOAL、電中研（中川ヒューム管工業）

2. 石炭利用環境対策事業 研究開発成果

2.1 石炭利用環境対策推進事業

(1) 石炭灰調査〔2016年度〕

本事業では、石炭灰の限定された利用方法や有価需要、処分費の高騰および石炭灰処分場の逼迫等のリスクを低減するために、新たな技術開発動向を調査するとともに、既存の有効利用分野の拡大、及び、新たな有効利用先を開拓するために、その技術の適用性やコスト予測等について評価・検討を行った。

① 石炭灰性状調整技術の調査（JIS 灰化）

①－1 JIS 灰の有効利用が進んでいる四国地方および大阪圏における生コンクリート工場や地方自治体の取組み状況を調査し、JIS 灰有効利用の推進のための要件を取りまとめた。

①－2 石炭灰の基礎性状分析のうち、火力発電所から副生されるフライアッシュ原粉を気流分級して得た粒度分布の異なるフライアッシュ細粉および粗粉について品質を評価するとともに、細粉を混和したセメントモルタルの流動性を評価した。

② 石炭灰改質技術の調査（高品質化）

②－1 フライアッシュにおける環境規制対象物質のうち、特に水銀量に着目し、水銀除去技術に関する文献調査を実施するとともに、未燃炭素量の低減技術に関する文献を調査した。

②－2 ゴミ溶融炉（スラグ）の実態・動向調査

多くが停止に追い込まれているゴミスラグの有効利用を継続している千葉市および盛岡市のゴミ溶融炉についての現場調査を行い、ゴミスラグ化のメカニズムとスラグの有効利用の取組み（ノウハウ）を調査した。

③ 石炭灰の有効利用に関する実態調査（対象：平成 27 年度実績）

③－ 1 アンケート調査

電気事業者以外の日本全国の 1 1 4 事業所にアンケート用紙を送付し、そのうち 9 7 事業所から回答を得た。石炭灰の発生量、有効利用量、分野別利用量のアンケート集計と実態把握を行った。

③－ 2 一般産業事業者（自家発電）からの現地ヒヤリング調査

住友共同電力(株)壬生川火力発電所を訪問し、石炭灰の有効利用についてヒヤリング調査を実施した。

④ 海外動向調査

ECOBA 国際会議に参加し、日本の石炭灰有効利用状況や取組み情報を発信し、意見交換を行った。また、ヨーロッパにおける石炭灰の有効利用状況について関係団体 VGB にヒヤリング調査を実施した。

⑤ 成果の普及活動

⑤－ 1 既成灰編ガイドラインの普及活動

本ガイドラインを仕上げ、製本印刷（300 部）し、普及セミナーを東京で開催した。

⑤－ 2 既刊の石炭灰混合材料の有効利用ガイドラインの改訂方針検討委員会を設置して、JCOAL にて既に発刊している石炭灰混合材料有効利用ガイドラインの 3 部作の改訂方針を決定した。

⑤－ 3 石炭灰 Q&A 集の作成等

委員会を設置して、石炭灰 Q&A 集、石炭灰調査事業のフォローアップ、石炭灰有効利用に関する中長期ロードマップ作成について、審議・検討を行い、Q&A 集を完成した。

(2) 石炭灰調査〔2017 年度〕

本年度の石炭灰調査事業では、以下の 3 つの課題に取り組んだ。

(1) 石炭灰有効利用の中長期ロードマップの作成

石炭灰有効利用は、現状、セメント原材料としての利用に一極集中している。この状況では、セメント原材料への有効利用量は、セメント生産量に影響を受けやすく、日本国内の景気動向によりセメント生産量が減少し、セメント原材料として利用されるフライアッシュの有効利用量が減少する可能性も高く、現状の有効利用状況を見直し、景気動向に影響を受けないシステムを構築する必要がある。そこで、中長期ロードマップの作成に当たっては、セメント、コンクリート、土木・建築、農林・水産の分野別に市場規模を調査し、有効利用の目標値を想定した。また、その目標を達成するために、利用拡大に向けた技術開発・事業性・法規制の各側面から、課題を洗い出し、優先順位をつけると共に新たな技術開発テーマを提言した。

(2) 技術調査

将来的なコンクリート混和材用配合指針の整備に向けて、フライアッシュコンクリートの製造技術及び空気量の確保を容易にする技術開発として、現状混和材用として使用できないフライアッシュについて、最新 AE 剤を使い空気量の確保が可能かを検証した。JIS 規格品でなくても、粒度が規格内に収まっているフライアッシュであれば、空気量の確保が可能であるが、コスト面や AE 剤量を簡易的に推測する手法の構築が課題となった。

また、国内動向調査として、生コン事業者、石炭灰リサイクル事業者の取組み事例を調査し、今後の普及拡大に向けた取組みや課題を調査した。

(3) 基礎調査

中長期ロードマップを達成するためには、一部専門家のみならず広く一般の理解が重要となるため、以下の成果普及活動を実施した。

- ・石炭灰シンポジウムの開催
- ・石炭灰 QA 集の HP 掲載
- ・石炭灰混合材料有効利用ガイドラインの統合改訂
- ・建設リサイクル技術展示会等への出展並びに情報収集

以上 4 点の取組みを通じて、石炭灰有効利用に関する取組状況を情報発信し、課題解決に向けた活動を実践した。

(3) コールバンクの拡充

NEDO は、世界で産出される石炭分析値のデータベースを作る業務を継続的に行っている。実施者は 2 つの機関である。それぞれ、石炭エネルギーセンター (JCOAL) と、産業技術総合研究所 (AIST) である。石炭を収集し、粉砕保存し、各種分析を行い、分析データおよび石炭サンプルを提供する業務である。これをコールバンクと称している。2015 年度から 2017 年度までの事業期間内に、新たに 33 炭種をコールバンクに追加した。2014 年度までの収集方針は瀝青炭を目標としていたが、この事業期間においては褐炭を収集の目標とした。背景には、褐炭の利用拡大がある。日本政府は高効率発電技術を世界に広めることを目標としている。そのためには褐炭の知識を深める必要がある。さらに、“水素社会”を構築する土台も褐炭が担っている。33 炭種の実試料を高純度窒素雰囲気下に保管するとともに、SSE ナンバーで管理した。分析内容は、元素分析、工業分析、溶融点計測、灰の組成、微量元素分析等である。これらの分析値のデータベースを構築した。大半の分析データは WEB 上で公開した。石炭試料は企業、大学、研究機関等に供給できる形態で保管した。

(4) インド脱硝技術展開のための調査事業

本事業では、インドの高灰分インド炭焼き火力発電所において、脱硝触媒（選択式還元触媒）の適応性を評価するとともに、排ガスモニタリング状況・電力セクター調査、および各種技術検討を行った。

NTPC Limited, Sipat 火力発電所 4 号機(660MW)にスリップストリーム反応器試験設備 (SSR)を設置し、運転時間による触媒性能評価を行った。本試験では、ボイラ出口ダクトより実ガスを

分岐して SSR に導入後エアヒータ出口に戻すフローにて、インド炭焼き排ガスの触媒への影響を確認し、SCR(選択式触媒還元)技術の適用性およびコスト予測等について評価・検討を行った。

1.高灰分インド炭焼き火力発電所実ガス(SSR)実験

1-1 SSR 試験設備を NTPC/SIPAT 火力発電所に設置し、高灰分排ガスによる脱硝触媒の耐久性を評価した。排ガス分析を 2 回行い、約 1,700 時間運転後触媒サンプリング試験を実施した。先端部にわずかな摩耗を認めたと、触媒性能に影響は見られなかった。

1-2 石炭灰の基礎性状分析し、品質評価を行った。触媒性能に影響を及ぼす灰中のアルカリ含有量は低く、ヒ素付着は微量でプラント運転中の触媒性能への影響は見られなかった。脱硝触媒は、SiO₂ 含有率が高く粒径が大きい灰が飛散する状況下では高い摩耗の可能性があるが、試験では SiO₂ 含有率は高く、飛散灰の平均粒径が 100 μ m を超えており、微量ながらもヒ素付着が認められた為、今後経過観察が要される。

1-3 灰分の流動性と凝集性の観点から、石炭灰がホッパや他の SCR システムに及ぼす影響を確認。結論として、今回採取した石炭灰サンプルでは問題はなかった。

2.排ガスモニタリング状況調査

排ガスモニタリング状況調査を上記インド NTPC / Sipat 火力発電所にて実施した。現地既設分析計の仕様確認及びポータブルアナライザでの測定データとの比較、メンテナンスを含めた運用の確認を行った。排ガスモニタリングの状況についてヒアリングを実施し、現状のメンテナンス方法や将来的な取り組みに関して発電所側に改善提案を行った。

3.電力セクター調査

電力セクターの状況・背景をインターネットや文献より調査した。電力供給不足に関しては、インド国政府の指導下、徐々に改善されていることを確認し、現状電力セクターにおける課題を纏めた。

4.インド石炭性状と排ガス成分の関連性検討

石炭性状と排ガス成分の関連性を見るため、工業分析、元素分析、発熱量、水銀および灰組成について分析を行った。使用されている石炭は硫黄分が少なく、燃料費(固定炭素/揮発分)は低めで、亜瀝青炭または瀝青炭に分類される石炭であり、燃焼性は特に問題とはならない。また、山元からの石炭運送費等の比較評価も行った。

5.インド炭焼き脱硝装置のフィージビリティ・スタディ及びビジネスモデルの検討実施

今回得られたガス性状、石炭性状、灰分性状等より触媒への影響と仕様を検討し、その運用検討とフィージビリティ・スタディを行った。これを踏まえて、触媒量、反応器構造と設置場所を計画した。

(5) 石炭ガス化溶融スラグ有効利用推進事業

石炭ガス化複合発電技術 (IGCC) は、平成 30 年 7 月に閣議決定された第 5 次エネルギー基

本計画の中で、「発電効率を大きく向上し、発電量当たりの温室効果ガス排出量を抜本的に下げることのための技術として開発を更に進める」とあり、同発電システムは CO₂ の濃縮や分離が容易に行えることから、カーボンサイクルの観点からも将来有望な技術である。

一方、石炭ガス化炉で石炭中の灰分が溶融、発生する水砕スラグは、廃棄物として扱われており、発電原価に対する処理費用の割合も大きく、国が推進する IGCC の導入、内外への普及に対して大きな障壁となっている。

本調査事業では、石炭ガス化溶融スラグの有効利用を推進するため、コンクリート用細骨材としての規格化を目指し、常磐共同火力（株）勿来 10 号機(250MW)と大崎クールジェン（株）IGCC 実証試験設備(166MW)から発生する石炭ガス化溶融スラグを用いて、細骨材とするための磨砕特性、骨材としての性状及び環境安全性の評価、コンクリート配合試験による細骨材性能の把握・評価を行うと共に利用拡大化方策を検討した。

石炭ガス化炉における溶融・水砕スラグは、細骨材粒度よりは大きく、針状粒子を含むことから粉砕および角取りが必要であり、磨砕処理を必須行程とするため、磨砕試験を含む以下の検討を行い規格化に必要な性状データを得た。

本事業で採用した「遠心式自己磨砕装置」はスラグ相互の衝突を利用する方式であり、針状スラグが無くなるとともに粒形が球形に近くなった。スラグの供給量と磨砕の周速により粒度分布の調整が可能であり、天然砂と同等の粒度分布を得られることが確認できた。

骨材としての物性は、粒子形状が球形に近いことからワーカビリティが良くなると共に、天然骨材と同等の密度で代替材料として使用し易く、吸水率が低いことが分かった。

化学性状としては、特定有害物質の含有量や溶出量が少なく、環境安全品質基準より低いことから製品の環境安全性が担保されていることが明らかとなった。

コンクリート試験では、流動性が良く、単位水量が削減できると共に、吸水率が低いことから乾燥による収縮が減少し、ひび割れ抵抗性が向上した。一方、空気連行性の低下やブリーディング量の増大が見られ、対凍害性が低下する傾向にあったが、混和剤の使用等による配合設計や施工法の工夫により対応が可能であり、細骨材代替としての使用に問題ないことが明らかとなった。

規格化に向けては、スラグ品質の安定性とユーザーニーズに合致することが必要であり、要求品質として密度や粒度の重要性を現地生コン工場の調査により把握した。密度や成分組成は、供試炭性状から推定が可能なこと、粒度は磨砕プロセスにより調整可能なことを明らかにした。本事業の成果を基に JIS 原案の素案を作成し、JIS 原案作成委員会を 2019 年 4 月より設置する見通しが得られた。

更なる利用拡大化方策としては、土木・建築学会による設計・施工指針の作成と当該スラグ骨材を用いた実規模構造物による施工性、耐久性の確認であり、今後の必要な取組みを検討し、実施計画をとりまとめた。

(6) シリカフューム代替品製造技術の研究開発

1：石炭灰からの実用的微粉砕システムの研究開発

石炭灰（フライアッシュ）を効率よく微粉砕するための手法を研究し、実用的な石炭灰微粉砕システムを開発した。

① 石炭灰微粉砕機の調査

実用規模で運用実績があり、石炭灰の超微粒子化（サブミクロン程度の領域まで）粉砕機としての採用が見込める微粉砕機について、スケールアップ性能や経済性などを含む実用性の観点から、候補となる機種を2機種（ビーズミル並びにジェットミル）選定した。

② 微粒子石炭灰の試作

シリカフェーム代替品（本研究開発では、後述のとおり、高強度コンクリート分野及び高耐久性コンクリート（ジオポリマー）分野の2領域を想定する）としての性能評価に供試するため、粉砕条件の異なる微粒子石炭灰（平均粒径：1, 3, 8 μ m程度）を試作した。

引き続き、試作品の品質評価（平均粒度・粒度分布・粒子形状などの粒度特性と組成分析など）を行うことで、基礎データを集積中である。

③ 石炭灰微粉砕システムの研究開発

前項②の「微粒子石炭灰の試作」を通じて、実用機のスケールアップ等のための設計データを収集する。微粉砕機システムのコスト試算（設備費及び運転経費の算出）等のための基礎データとしても活用する。

このうち、ビーズミルによる粉砕機運転データによる予備検討の結果、粉砕粒度と動力原単位（小型試験機での値）との間の対応を解析した。

2：製品事業領域に応じたシリカフェーム代替品としての性状把握の研究開発
本研究開発で対象とした製品事業領域（高強度コンクリート分野及び高耐久性コンクリート（ジオポリマー）分野の2領域）各々に対し、必要に応じたシリカフェーム代替となる「微粒子石炭灰」の製造品質を把握し、製造技術（石炭灰の効率的な微粉砕システム）を確立する計画を進めている。
現在、粉砕機（2機種）と、粉砕粒度（3条件）を変化させた石炭灰微粒化品を試作し、代替品としての各種コンクリート品質の評価を継続中である。

3：シリカフェーム代替品製造プラントのシステム構築における事業性向上のための研究開発
原料調達（入口）から製品販売（出口）に至る一連のビジネスモデルを想定した上で、事業化の前提となる代替製品の需給バランスや将来動向などの事業環境を把握するための基礎情報の収集と整理を進めた。

① シリカフェーム需給環境の把握

シリカフェームの国内における需給環境に関する調査を継続した。

② コンクリート分野全般における石炭灰（フライアッシュ）の利用実態把握

電力会社のコンクリート分野における石炭灰利用（コンクリート混和材）の実態調査を実施し、集計作業を進めた。また、コンクリート製造者（生コン会社）へのヒアリング調査（東北・四国・九州の3地域で実施済み）により、実態調査及び課題抽出などを行った。

(7) 石炭自然発熱影響因子評価

A. 乾燥炭の自然発熱影響因子評価

① 自然発熱試験* 1（一般財団法人電力中央研究所）

本プロジェクトで使用する石炭として、電力および鉄鋼業界での使用実績を考慮し、亜瀝青炭 1 種類、瀝青炭 2 種類を選定した。亜瀝青炭については、電力および鉄鋼業界で使用実績の豊富な X 炭とした。瀝青炭については、これまでに、R70 法により十数種類の石炭の自然発熱性を評価した実績から、自然発熱性の異なる Y 炭および Z 炭とした。本プロジェクトに供与する X 炭、Y 炭、Z 炭の乾燥炭を用いて、R70 法による自然発熱性試験を実施し、Y 炭と Z 炭で自然発熱性が異なることを再確認した。

来年度以降、これらの 3 炭種を用いて様々な条件下で、自然発熱性評価試験を実施する。

*1 炭種選定を含む。（一般財団法人電力中央研究所および新日鐵住金株式会社）

② 石炭性状の測定（一般財団法人電力中央研究所）

上記で選定した石炭の自然発熱前の性状を把握するため、3 炭種の石炭試料について、石炭性状（元素分析、工業分析、発熱量）を JIS 法に基づいて測定した。亜瀝青炭である X 炭は、自然発熱性の一つの指標となる燃料比が小さく、石炭中酸素濃度は高いことを確認した。

③ 石炭構造の解析

③-1. 化学構造の解析（新日鐵住金株式会社）

自然発熱前の石炭の化学構造を把握するため、気乾乾燥後、粉碎した石炭について、固体 NMR 測定に着手し、上記 3 炭種のうち、X 炭と Y 炭について ^{13}C NMR 測定を行った。 ^{13}C NMR 測定は、静磁場強度 11.7 T（テスラ）の下で、所定のパルスシーケンスを用いて実施した。 ^{13}C NMR スペクトルから、各石炭に含まれる脂肪族、芳香族等の化学構造（官能基）を把握した。

③-2. その他の石炭構造の解析（一般財団法人電力中央研究所）

自然発熱前の石炭（X 炭、Y 炭、Z 炭）について、自然発熱性に関連性の高い細孔や表面積の情報を把握するため、気乾乾燥後、粉碎した石炭試料の細孔分布、比表面積を測定した。

マクロポアからメソポアについては水銀圧入法で、マイクロポアについては CO_2 によるガス吸着法で測定した。水銀圧入法は、水銀圧入式細孔分布測定装置（Auto Pore IV, micrometrics 社製）を用い、ガス吸着法は、吸着式細孔分布測定装置（BELSORP MAX, マイクロトラックベル社）を用いた。比表面積は、TriStarII（micrometrics 社製）を用いて N_2 吸着による BET 法で測定した。

以上の測定から、自然発熱前の石炭試料の細孔分布と比表面積を把握した。

2.2 石炭利用技術開発

(1) フライアッシュコンクリートの製造技術

① 建設資材として求められる性能および、経済性を確保したセメント不使用フライアッシュコンクリートを製造する技術の開発

製造条件（使用材料種類、配合、養生条件）を様々な変化させ作製したコンクリート等硬化体について、生成物、空隙構造、強度等の各種性質および性能を評価・分析し、上記課題を解決する製造方法の開発に取り組み、課題を解決する最適な製造方法を開発した。開発した製造方法は、従来の水ガラス使用型の製造方法に比べ、原材料コストが 1/2 以下であり、大幅に製造コストを低減す

ることに成功した。また、水ガラス使用型では、混練から硬化までの時間が短いため、作業時間の確保や製造設備のスケールアップが問題となるが、本事業で開発した製造方法では、硬化までの時間が長く、従来のセメントコンクリートと同等の作業時間の確保が可能となったことから、製造設備のスケールアップに対して対応可能となった。

② フライアッシュ品質に合わせ、コンクリートの配合を調整し、一定の性能のコンクリートを製造する技術の構築

多様な品質のフライアッシュを使用し作製したコンクリート等硬化体について、強度等の各種性質および性能を評価・分析し、上記課題を解決する手法の構築に取り組んだ。

上記アプローチにより検討した結果、セメント不使用フライアッシュコンクリートの性能に対して支配的影響を及ぼすフライアッシュの品質を特定した。この知見を利用し、コンクリートに対する要求強度およびフライアッシュの特定の品質に基づき、コンクリート配合の内粉体水比を調整し一定性能のコンクリートを製造する手法を構築した。

③ 大型製造機器を用い、一定品質の大型コンクリート製建設資材を製造する技術の確立

材料計量から混練、養生、脱型までの生産サイクルを想定し、実際の製品工場プラント一式を使用した製品試作試験を行い、課題を抽出した。その後、抽出した課題の解決方策を実験室において考案し、考案した解決方策の効果を工場試験において検証するサイクルによって、課題解決を進めた。また、実際の製品の性能実証のため、試作製品の試験施工を行った。検討の結果、「実プラント、製造ラインの適用に対する問題」、「蒸気養生槽実機の適用に対する問題」および、実プラント使用試験の結果から抽出された「製品型枠からのコンクリートの離型性の向上」という問題をそれぞれ解決し、工場設備を用いた実製品製造技術の構築を果たした。

また、製品型枠からのコンクリートの離型が困難であるという問題を解決すべく、「セメント不使用フライアッシュコンクリートに適する離型剤」の模索を行い、実験室において基礎検証し、工場での製品試作試験で実証を図るというアプローチを繰り返した。検討の結果、市販の水溶性離型剤が適することを実験室において見出し、製品試作試験において実製品型枠での実検証を行った。その結果、脱型が難しい形状を有する暗渠型枠であっても、同離型剤を使用することによって問題なく離型が可能となることを実証し、離型性問題の解決を果たした。

本事業では、実プラントを用い試作した製品を試験施工し、実環境における実用性および耐久性を実証する試験も実施した。2016年12月、地熱発電所構内において、70～90℃の熱水が流下する排水溝用途として、セメント不使用フライアッシュコンクリート製のU字溝を10m程度試験施工した。また、耐久性を比較するため、セメントコンクリート製U字溝も同時に施工した。その後、約1年が経過した2017年11月に、各製品の状況を確認した。セメントコンクリート製U字溝では、U字溝内側側面においてコンクリート表面に荒れや風化が生じ、熱水が流下する底面部では組織の剥離・剥落が生じていた。一方、セメント不使用フライアッシュコンクリート製は、内側側面が施工時と変わらず綺麗で滑らかな表面を保っており、底面部においても変状が生じていなかった。この試験結果より、セメント

不使用フライアッシュコンクリート製は、セメント製であれば劣化する高温環境であっても健全性を維持可能であり、高い化学的耐久性を有することが実証された。

④ 競争力強化のため、開発する建設資材に付与すべき性能等仕様の分析

各種資材の営農等仕様を調査・分析し、それら競合製品との差別化を図り、競争力を強化するために求められる仕様を明らかにした。

セメントを使用しないフライアッシュコンクリートの特徴である高い耐酸性を活かした用途先として下水道資材に着目し、下水道資材の要求仕様及び競合製品について調査した。近年、下水道管渠の劣化が問題となっており、今後、修繕や入れ替え工事の増加が予想される。本技術は遠心力成型への適用はまだ対応できないため、マンホール等の部材にいかにして食い込んでいくかが重要である。競合製品に対抗するには腐食環境対応Ⅲ種以上かつ耐用年数延長のコストパフォーマンスを具体的に示していく必要があると考えられた。

一般資材への適用についても考慮し、コンクリート二次製品の製造方法、現状の製造動向、要求仕様について調査した。コンクリート二次製品の製造量は、工事発注件数の減少に伴い、減少の傾向にあるが、道路用製品は他製品に比べ製造量が多く、施工実績の蓄積等に適すると考えられる。工事使用にあたっては、各製品の JIS 規格に準じた性能を有することが最低条件であり、本技術で種々の製品の試作及び性能確認試験の実施が今後も必要であると判断された。

実用化を見据え、各都道府県のリサイクル認定制度、フライアッシュ混合コンクリート二次製品の認定実績及びコンクリート二次製品の立地状況について調査した。

以上