石炭灰有効利用可能性調査業務委託

調査報告書
（概要版）

平成 26 年度

秋田県産業労働部資源エネルギー産業課

目　次

1.　石炭灰の現状調査 1
1.1　全国における石炭灰の排出量、処理・再資源化状況の概況把握 1
1.2　秋田県内の石炭灰の排出量、処理・再資源化状況の現状把握 6
2.　石炭灰の有効利用方法に関わる調査 10
2.1　石炭灰の有効利用方法に関する県外事例調査 10
2.2　石炭灰利活用のポイント整理 26
3.　事業化に向けたモデルケースの提案 27
3.1　秋田県にて事業可能性の考えられる石炭灰の有効利用方法の検討 27
3.2　秋田県内の石炭灰有効利用事業のモデルケース案の設定 29
3.3　事業採算性と石炭灰有効利用評価と有望な事業モデルケースの提案 30
3.4　今後の展望 38

1. 石炭灰の現状調査

1.1 全国における石炭灰の排出量、処理・再資源化状況の概況把握

石炭灰は火力発電所の稼働増加に伴い、平成 16 年度より年間発生量が 10 百万 t を超えている。平成 24 年度では年間発生量が 12 百万 t であった。日本の石炭灰発生量の内、電力事業者等による微粉炭燃焼灰が 90%以上を占め、流動床燃焼灰は 7%程度、ストーカー燃焼灰は 1%から 2%程度である。

石炭灰は発生工程にてフライアッシュとクリンカアッシュの 2 種類に分かれる。発生比はほぼ 9:1 となっている(一般社団法人石炭エネルギーセンター「日本クリーン・コール・テクノロジー」より)。

石炭灰の再生利用用途としては、セメント分野が最も多く、平成 15 年度では、有効利用の約 70%がセメント原材料であり、セメント混合剤、コンクリート混和材も合わせると、セメント分野で約 75%を占めていた。しかしながら、セメント生産量は減少傾向が見られることから、今後の石炭灰増加に対応するため、その他の分野での利用拡大が重要な課題となっている。特に大量利用の可能性の高い土木材料としての利用が期待されている。

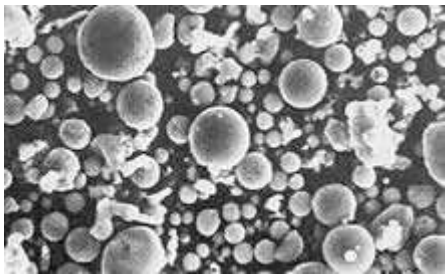
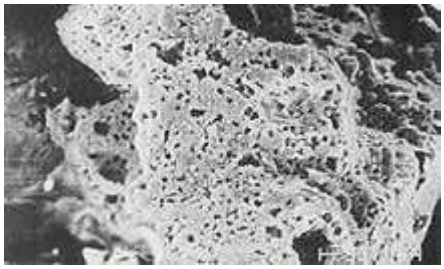
表 1-1　日本全体における石炭灰発生量(単位：千 t)

年度		石炭灰発生量	石炭灰利用量	石炭灰埋立量	石炭使用量
H20 年度実績	電気事業	8,934	8,680	254	76,729
	一般産業	3,351	3,323	29	25,159
	計	12,285	12,003	283	101,888
H21 年度実績	電気事業	8,096	7,826	270	72,095
	一般産業	2,856	2,842	14	23,475
	計	10,952	10,668	284	95,570
H22 年度実績	電気事業	8,950	8,583	367	77,896
	一般産業	2,953	2,939	13	23,316
	計	11,903	11,522	380	101,212
H23 年度実績	電気事業	8,559	8,374	185	73,560
	一般産業	3,013	2,997	16	25,599
	計	11,572	11,371	201	99,159
H24 年度実績	電気事業	9,049	8,816	233	79,022
	一般産業	3,606	3,541	92	30,846
	計	12,655	12,357	325	109,868

(出典：(一財)石炭エネルギーセンター「石炭灰全国実態調査報告書(平成 24 年度実績)」)

石炭灰には発生場所によって特性の異なるフライアッシュとクリンカアッシュの 2 種類があり、排出量はフライアッシュが 9 割を占めている。石炭灰の主な排出事業者である電気事業者等は、ゼロ・エミッション推進のため、これらの特性に応じたリサイクルを行っている。特にコンクリートの混和材として用いられるフライアッシュは、利用目的に応じて 4 種類の品質が JIS(JIS A6201-2008)によって規定されている。これらは JIS 灰と呼ばれ、有価物として取引されている。

表 1-2　石炭灰の種類と特性

	フライアッシュ	クリンカアッシュ
外観		
概要	フライアッシュは石炭を燃焼させた時に発生する石炭灰のうち、電気集塵器により捕集された微粉末の灰のことである。石炭灰の約 90%が該当する。	クリンカアッシュは石炭を燃焼させた時に発生する石炭灰のうち、ボイラーの底部に落下した石炭灰の塊を回収し、脱水・粉砕した灰のことである。石炭灰の約 10%が該当する。
形状		
特徴	フライアッシュは球状を呈しており、コンクリートなどに混ぜると流動性が向上する。	クリンカアッシュは小さな孔が多くあり、排水性、通気性に優れている。

（出典：北陸電力株式会社 HP　http://www.rikuden.co.jp/ash/fly.html、http://www.rikuden.co.jp/ash/clinker.html より作成）

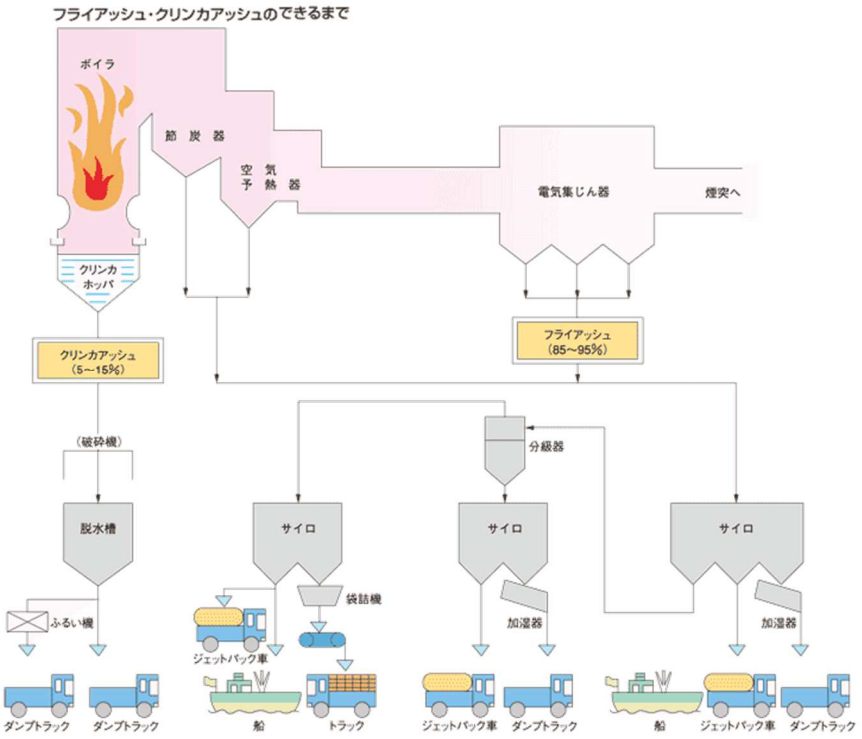


図 1-1　微粉炭ボイラーからの石炭灰発生プロセス

（出典：日本フライアッシュ協会 http://www.japan-flyash.com/process.html）

表 1-3　石炭灰のリサイクル用途例

	用途	製品例
フライアッシュ	セメント混合材	フライアッシュセメント
	コンクリート混和材	生コン、モルタル、高流動コンクリート、砂代替材、充填材
	地盤改良材	表層処理、深層混合処理、建設発生土・浚渫土改良
	道路路盤材	ポゾテック（石膏、消石灰混合物）
	アスファルトフィラー	石灰石粉の代替材
	二次製品	内・外壁材、吸音材、瓦
	人工骨材	軽量骨材、高強度骨材
	海洋構造物	漁礁、テトラポット
	人工ゼオライト	ゼオライト化
	高分子材料混和材	ゴム、プラスチック
クリンカアッシュ	地盤改良材	グラウンド・芝地の排水改良、圃場の暗渠排水
	道路路盤材	再生路盤材、凍上抑制材、埋め戻し材
	二次製品	内・外壁材、インターロッキングブロック
	肥料	特殊肥料
	土壌改良材	通気性・排水性・保水性改良
	下水・汚水処理材	ろ過、微生物分解の促進、脱臭材

（出典：北陸電力株式会社 HP　http://www.rikuden.co.jp/ash/case.html　より作成）

表 1-4　日本全体における石炭灰の有効利用分野内訳(平成 24 年度)

（単位：千トン）

項　目		電気事業		一般産業		合計	
分野	内容	利用量	構成比(%)	利用量	構成比(%)	利用量	構成比(%)
セメント分野	セメント原材料	5,529	62.72	2,663	75.19	8,192	66.29
	セメント混合材	95	1.08	35	0.99	130	1.05
	コンクリート混和材	69	0.78	1	0.03	70	0.57
	計	5,693	64.58	2,699	76.21	8,392	67.91
土木分野	地盤改良材	159	1.80	122	3.44	281	2.27
	土木工事用	542	6.15	184	5.20	726	5.87
	電力工事用	17	0.19	0	0.00	17	0.14
	道路路盤材	138	1.57	127	3.59	265	2.14
	アスファルト・フィラー材	4	0.05	0	0.00	4	0.03
	炭坑充填材	476	5.40	0	0.00	476	3.85
	計	1,336	15.15	433	12.23	1,769	14.32
建築分野	建材ボード	112	1.27	252	7.12	364	2.95
	人工軽量骨材	0	0.00	0	0.00	0	0.00
	コンクリート2次製品	30	0.34	0	0.00	30	0.24
	計	142	1.61	252	7.12	394	3.19
農林・水産分野	肥料(含：融雪剤)	8	0.09	9	0.25	17	0.14
	魚礁	36	0.41	0	0.00	36	0.29
	土壌改良剤	26	0.29	55	1.55	81	0.66
	計	70	0.79	64	1.81	134	1.08
その他	下水汚水処理剤	2	0.02	0	0.01	2	0.02
	製鉄用	1	0.01	5	0.14	6	0.05
	その他	1,572	17.83	88	2.48	1,660	13.43
	計	1,575	17.87	93	2.64	1,668	13.50
有効利用合計		8,816	100.00	3,541	100.00	12,357	100.00

（出典：一般社団法人石炭エネルギーセンター　http://www.jcoal.or.jp/uchiwake24.pdf）

表 1-5　コンクリート用フライアッシュの品質規定(JIS A6201-2008)

			フライアッシュⅠ種	フライアッシュⅡ種	フライアッシュⅢ種	フライアッシュⅣ種
二酸化ケイ素		%	45.0以上			
湿分		%	1.0以下			
強熱減量 (1)		%	3.0以下	5.0以下	8.0以下	5.0以下
密度		g/cm3	1.95以上			
粉末度 (2)	45μmふるい残分（網ふるい方法） (3)	%	10以下	40以下	40以下	70以下
	批評面積（プレーン方法）	cm2/g	5,000以上	2,500以上	2,500以上	1,500以上
フロー値比		%	105以上	95以上	85以上	75以上
活性度指数	材齢28日	%	90以上	80以上	80以上	60以上
	材齢91日	%	100以上	90以上	90以上	70以上

(備考：(1) 強熱減量に代えて、未燃炭素含有率の測定を JIS M8819 または JIS R1603 に規定する方法で行い、その結果に対し強熱減量の規定値を適用しても良い。
(2) 粉末度は、網ふるい方法またはプレーン方法による。
(3) 粉末度を網ふるい方法による場合は、プレーン方法による比表面積の試験結果を参考値として併記する。)
(出典：日本フライアッシュ協会 http://www.japan-flyash.com/fquality.html　より作成)

表 1-6　コンクリート用フライアッシュの性能・用途等

	性能・用途等
フライアッシュⅠ種	混入することにより、特にコンクリートの高強度、流動性付与、アルカリシリカ反応抑制等に効果があるもの。また、初期強度発現性も無混入の場合と遜色ないもの。
フライアッシュⅡ種	混入することにより、特にコンクリートの水和発熱抑制、アルカリシリカ反応抑制、長期強度の改善に、Ⅱ種と同等の効果があるもの。ただし、練り混ぜ時に、コンクリートの流動性、空気連行性に関して配慮が必要である。
フライアッシュⅢ種	標準的なフライアッシュで、混入することにより、特にコンクリートの水和発熱抑制、長期強度の改善効果があるもの。また、コンクリートへの流動性付与、アルカリシリカ反応抑制について、無混入の場合と比較して十分に効果が発揮されるもの。
フライアッシュⅣ種	水和発熱抑制に対しⅡ種と同等の効果があり、アルカリシリカ反応抑制も期待できるもの。強度発現の点で低強度コンクリート、工場製品等に使用可能のもので、鉄筋コンクリート用の普通コンクリートに適用する場合には、事前に強度発現を確認して使用するもの。

(出典：日本フライアッシュ協会　http://www.japan-flyash.com/fquality.html　より作成)

1.2 秋田県内の石炭灰の排出量、処理・再資源化状況の現状把握

秋田県における石炭灰の排出量、処理及び再資源化について、秋田県の多量排出事業者データに基づき、現状の整理を行った。平成 25 年度の多量排出事業者「産業廃棄物処理計画実施状況報告書」にて記載された、ばいじん、燃えがらの処理状況を下表に示す。この内、石炭灰排出のある事業者は、東北電力株式会社能代火力発電所と日本製紙株式会社秋田工場である。なお、日本製紙株式会社秋田工場は、石炭灰とバイオマスの混焼である。

秋田県において、最も石炭灰の排出量が多いのは、東北電力株式会社能代発電所である。東北電力株式会社全体の石炭灰の発生量及びリサイクル率について、下表に示す。同社の「環境行動レポート 2013」によると、能代火力発電所においては、セメント原料への有効利用を推進し、前年度実績を上回ったとのことであった。一方で、福島県の原町火力発電所においては、運転再開の前倒しに伴い石炭灰発生量が増加したこと、発電設備の復旧を最優先に進めた結果、石炭灰搬出用の船積設備の復旧までの間に発生した石炭灰をほぼ全量埋立処分としたことなどの要因により、前年度実績を下回ったとのことであった。このため、結果として、同社全体の石炭灰のリサイクル率は前年度を下回る結果となっている。また、同社の主な石炭灰有効利用方法はセメント原料化であることから、景気低迷による国内のセメント需要が減少すると、リサイクル率も低下傾向となる。

表 1-7　秋田県内の多量排出事業者におけるばいじん、燃えがらの発生、処理状況
（単位：t/平成 25 年度）

	東北電力㈱ 能代火力発電所		新東北メタル㈱	秋田プライウッド㈱ 向浜第一工場、向浜第二工場	日本製紙㈱　秋田工場		㈱日本ピージーエム 小坂工場
業種	電気業・発電所		鋳鋼製造業	木材・木製品製造業	紙・パルプ製造業		その他の非鉄金属第一次製錬・精製業
産業廃棄物品目	燃えがら	ばいじん	ばいじん	燃えがら	燃えがら	ばいじん	ばいじん
①排出量	35,111	252,467	856	1,079.36	2,357	18,363	13
②自ら直接再生利用した量	0	0	0	0	0	0	4
③自ら直接埋立処分又は海洋投入処分した量	2,226	2,861	0	0	0	0	0
④自ら中間処理した量	0	0	0	0	0	0	9
⑤④のうち熱回収を行なった量	0	0	0	0	0	0	0
⑥自ら中間処理した後の残さ量	0	0	0	0	0	0	6
⑦自ら中間処理により減量した量	0	0	0	0	0	0	3
⑧自ら中間処理した後再生利用した量	0	0	0	0	0	0	6
⑨自ら中間処理した後自ら埋立処分又は海洋投入処分した量	0	0	0	0	0	0	0
⑩直接及び自ら中間処理した後の処理委託量	32,885	249,606	856	1,079.36	2,357	18,363	0
⑪⑩のうち優良認定処理業者への処理委託量	0	0	0	0	0	0	0
⑫⑩のうち再生利用業者への処理委託量	32,102	211,098	0	0	847	17,505	0
⑬⑩のうち熱回収認定業者への処理委託量	0	0	0	0	0	0	0
⑭⑩のうち熱回収認定業者以外の熱回収を行う業者への処理委託量	0	0	0	0	0	0	0

(備考：灰色部分が石炭灰に該当する。)

(出典：秋田県内の多量排出事業者における各社「産業廃棄物処理計画実施状況報告書」秋田県及び秋田市の HP 参照。)

表 1-8　東北電力株式会社全体における石炭灰の発生及びリサイクル率

	H20 年度	H 21 年度	H 22 年度	H 23 年度	H 24 年度	H 25 年度
石炭灰発生量(千 t)	780	803	784	354	427	890
石炭灰有効利用率(%)	78.4	76.3	66.5	81.0	63.9	66.6

（出典：東北電力株式会社「環境行動レポート 2013、2014」）

能代火力発電所では、平成 22 年度より同火力発電所が立地する能代・山本地域における秋田県発注の公共工事で使用するコンクリートは、同火力発電所から発生した石炭灰のフライアッシュを混合したものを標準使用することとし、石炭灰の有効利用と地産地消を図っているとのことであった。

能代火力発電所で発生した石炭灰の再生製品化の一部は、東北発電工業株式会社にて行われており、東北フライアッシュ・クリンカアッシュとして、公共工事等に使用されている。東北電力株式会社全体でのフライアッシュセメントの購入量は、平成 24 年度で 1,433t、平成 25 年度では 9,119t であった。(東北電力株式会社「環境行動レポート 2013」より)

表 1-9　A 社の石炭灰リサイクルの取り組み

会社概要
A 社　環境技術部門 <本社・生産拠点の所在地> 　本社：宮城県 　支社 1：秋田県、支社 2：山形県、支社 3：福島県、支社 4：福島県
石炭灰のリサイクル製品の概要
<名称> クリンカアッシュ(支社 1、支社 3、支社 4)、フライアッシュ JIS-Ⅱ種(支社 1) フライアッシュ JIS-Ⅳ種(支社 1、支社 2、支社 4) <用途> クリンカアッシュ：埋戻材、道路路床材、盛土、グラウンド中層材、地盤改良材等 フライアッシュ：コンクリート用混和材、フライアッシュセメント混合材料 コンクリート二次製品材料、トンネル吹付けコンクリート材料等(※JIS とは JIS A 6201) <製品の主な材料> フライアッシュ(JIS 規格品)・クリンカアッシュは加工等することなく、産出したそのままの姿で販売。 クリンカアッシュは土木材料として使用され、フライアッシュは納入先でそれぞれの用途毎に、材料として配合され使用されている。 <販売価格> 物価資料または自治体公表単価を参照。
石炭灰の再商品化技術の概要
<必要となる処理施設のスペック(プラントの種類、処理能力等)> 　石炭火力発電所付随設備(発電事業者の保有設備) 　例)フライアッシュ：電気集塵器、貯槽、分級器等 　　クリンカアッシュ：脱水槽、ストックヤード等 <工程フロー図> 　フライアッシュ：電気集塵器で補集→品質分析→貯槽へ貯灰→分級→品質分析→出荷 　クリンカアッシュ：脱水槽で脱水→ストック→品質分析→出荷 <処理コスト> 　販売価格の 95%程度。
石炭灰の再商品化の実績
<石炭灰の処理受入量> 発電所から製品として購入した量は、下記のとおり。 <H25 年度実績> フライアッシュ：約 28,000t　クリンカアッシュ：約 41,000t <石炭灰の排出元の業態>　排出元は発電事業者。 <商品別の製造量>　受入量(購入量)と同量。 <出荷実績(H25 年度)> クリンカアッシュ：28,000t(乾灰ベース)　フライアッシュ(JIS 品)：24,000t <主な販路> クリンカアッシュ：震災復興工事用盛土、高速道路の路盤改良用等 フライアッシュ：コンクリート用混和材(ダム工事・生コン工場)、コンクリート二次製品材料、トンネル吹付けコンクリート材料等

石炭灰の再商品化の課題
<再商品化するための石炭灰の受入条件の課題> 石炭種毎・発電所毎に石炭灰の性状が異なるため，品質にある程度の幅がある。 石炭種の変化(瀝青炭→亜瀝青炭)により生産量が年々減少している。 <販路の課題> 遠方になるほど輸送費が高くなる流通コストの問題。 JIS 規格品でなければ仕様に採用されない。 石炭灰を使用した製品が県のリサイクル認定を受けたとしても、仕様に入った例が少ない。 秋田県では、フライアッシュを使用した生コンクリートは冬期間(11～3 月)の使用が認められていない。
石炭灰リサイクルのための連携について
フライアッシュ協会に加盟し、協会として諸団体の委員会や活動に参加している。 日本コンクリート工学会(JCI)やがれき処理コンソーシアムの委員会へ参加し、JIS 規格外フライアッシュを利活用したコンクリート等の公共工事への採用を目的としたガイドラインを委員会にて作成中。 リサイクルポート推進協議会、土木学会、建築学会等に加盟して JIS 規格のフライアシュの普及拡大に向けた活動に参画している。
その他
その他、石炭灰リサイクル推進のために行っている主な取組みとして、以下の 2 つがある。 ・秋田県能代山本地域へのフライアッシュコンクリート標準使用への取組み(標準使用化済)。 ・発電事業者との連携した製品確保と商社等と連携した販路拡大。
備考
ヒアリングより作成

2. 石炭灰の有効利用方法に関わる調査

2.1 石炭灰の有効利用方法に関する県外事例調査

電気事業者による主なリサイクル用途はセメント化であるが、この他にも独自にリサイクル技術の研究、開発を行っている。改良土等、JIS またはエコマーク、リサイクル認定登録等、様々な認証取得を行い、販路開拓が行われていた。これらの製品は、主に地域の公共工事にて使用されていた。

大手電気事業者の他、新日鐵住金株式会社や株式会社安藤・間の先進的な石炭灰リサイクルの技術開発を行っていた事例を以下に示す。新日鐵住金株式会社は、昭和 57 年より鉄鋼スラグ協会(新日鐵住金株式会社、株式会社神戸製鋼所、山陽特殊製鋼株式会社)、兵庫県、神戸市、神戸大学の産官学連携による兵庫県路盤材研究会にて共同開発されたものであり、スラグ混練等、優れたノウハウを活用した高品質なリサイクル製品開発事例である。また、株式会社安藤・間、土木建築業のノウハウを活用した短時間製造、施工利便性を実現した、ユーザー視点に立った優れたリサイクル製品開発事例である。

表 2-1　新日鐵住金株式会社による石炭灰有効利用の製品開発

会社概要

新日鐵住金株式会社
本社所在地等：東京都千代田区丸の内 2-6-1
石炭灰製品販売：アッシュストーン
製造拠点の所在地
　広畑製鉄所(アッシュストーン)：兵庫県姫路市広畑区富士町 1 番地
　株式会社神戸製鋼所　鉄鋼事業部門　技術総括部

石炭灰のリサイクル製品の概要

<優れた特色>
(1)軽量かつ強度
路盤材に強度があることにより、敷き詰める路盤材の厚みを薄くすることができ、工事費用の削減が可能になる。
(2)吸水性
透水性アスファルトの路盤に使用されることで保水性が増す。さらに、この性質を利用した軟弱地盤の土質改良材も開発されている。土中の水分を吸収し、地盤を引き締めることができる。河川の堤防を広げ、その上に都市開発を行うスーパー堤防等での利用が期待されている。

アッシュストーン

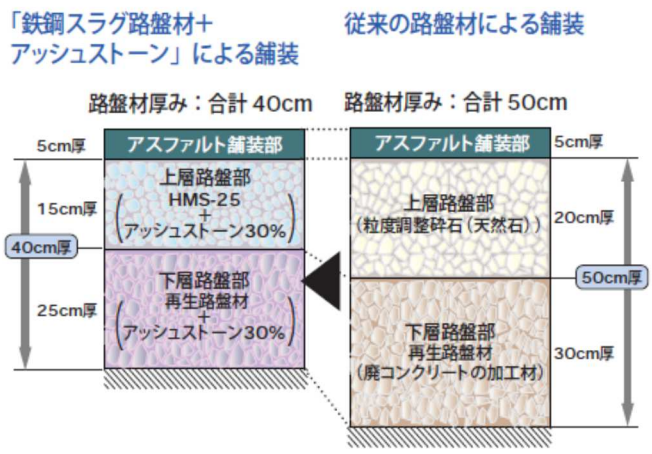
破砕したアッシュストーン

■リサイクル製品の品質（アッシュストーンを配合したスラグ路盤材 HMS25）

試験項目		試験結果	品質規格	試験方法
単位容積質量	(kg/l)	1.71	1.50 以上	道路用鉄鋼スラグ JIS A 5015
修正 CBR ※	(%)	255	80 以上	
一軸圧縮強度	(N/mm^2)	2.59	1.2 以上	
水膨張比	(%)	0.1	1.5 以下	

※修正 CBR ＝路床・路盤の支持力を表す指標。米国ｶﾘﾌｫﾙﾆｱ産の標準的な上層路盤材料強度を基準にした強度比を CBR と言い、施工時の条件を反映した値が修正 CBR となる。

名称	アッシュストーン
用途	路盤材に使われる自然砕石の代替品
主な材料	石炭灰、水、高炉セメント
使用石炭灰の種類と利用率(重量比)	非公開
販売価格	非公開 (参考価格)製紙会社由来の焼却灰での路盤材価格：0-40mm 1,500 円/m3(㈱予州興業)



「アッシュストーン」を従来の路盤材に混合しても、従来の路盤材の特性が維持される。水硬性粒度調整鉄鋼スラグ路盤材（HMS-25）に「アッシュストーン」を補足材として使用すると、「HMS-25」の特性が維持され、舗装工事の施工厚みを薄くできる。

石炭灰の再商品化技術の概要

鉄鉱石の事前処理プロセスで培った造粒技術、鉄鋼スラグ製品化プロセスで培った蒸気養生技術等製鉄技術を応用したフライアッシュペレット(商品名アッシュストーン)製造方法を開発し、石炭灰を道路用資材(路盤材)として製品化している。

<技術の特徴>

通常石炭灰を固める場合には、石炭灰とセメントを混合し、混練・造粒するという工程が必要である。「アッシュストーン」の製造方法の特徴は、これらの工程を 1 つの設備にまとめた点である。単価が安い自然砕石の代替品であることから、製造コストを抑えるため、通常食品や薬品の製造に使われている外国製のミキサーを使用し、この設備のみで最終製品を作り込むことに成功したもの。高さ約 20m のやぐらの中にメイン装置である外国製のミキサー2 基を設置し、2 つのサイロから石炭灰と、セメントがそれぞれ上部に圧送され、ミキサーの中で混練・造粒される。その後、約 90m のベルトコンベヤで屋根付き養生ヤードに送られ、養生されたあと、さらに屋外養生され、製品ヤードに送られる。運転は 24 時間無人運転。スラグなどの製鉄副産物のリサイクルについて、長年の実績に基づき、水の混合の仕方、混練の仕方、造粒の仕方などの高度なノウハウにより、コスト圧縮かつ高品質な路盤材の製造に成功している。

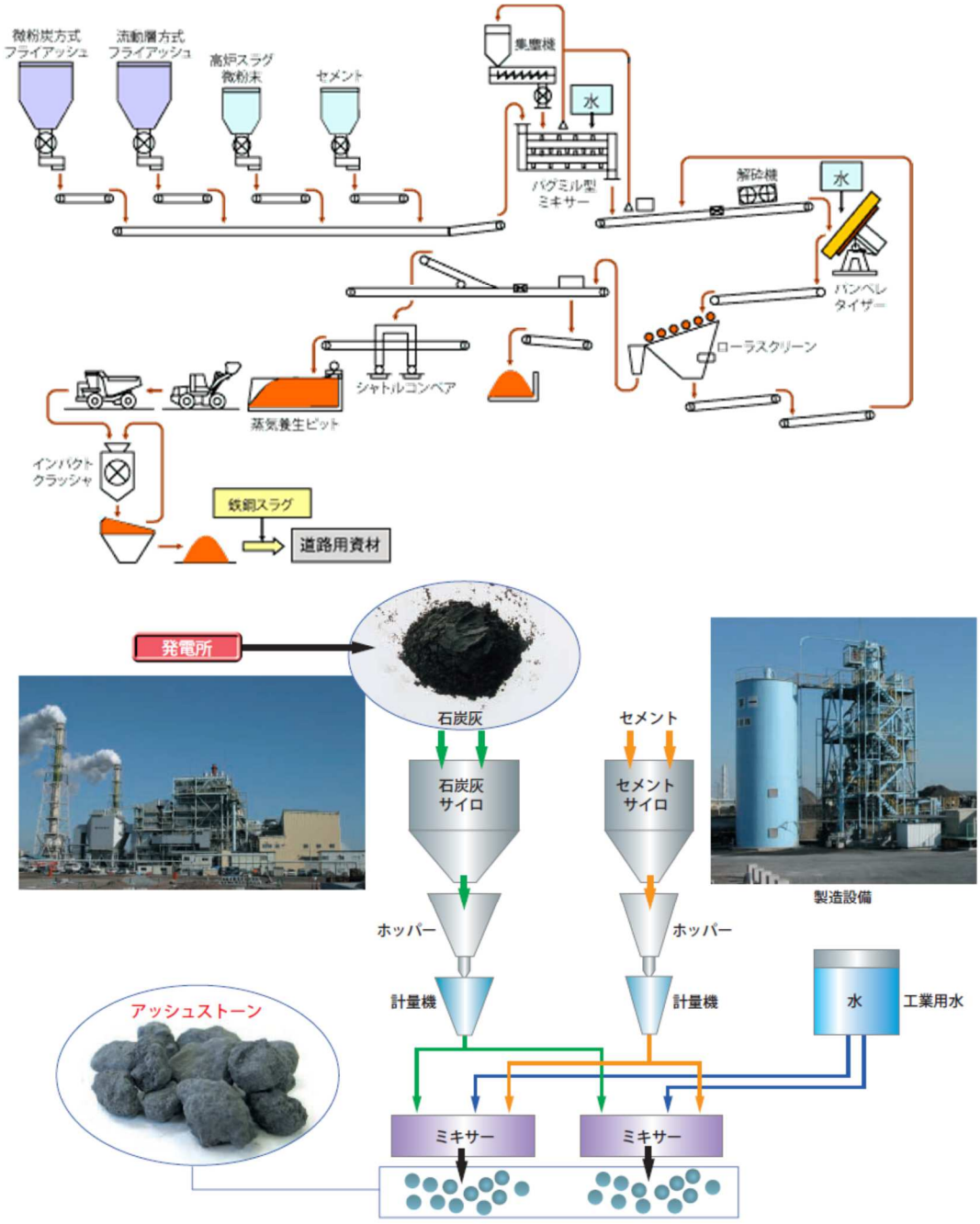


図　アッシュストーン製造工程

石炭灰の再商品化の実績

製造開始以来、年間約 7 万 t のアッシュスストーンを製造し、路盤材として販売している。

H16 年度：(旧)クリーン・ジャパン・センター「資源循環技術・システム表彰」奨励賞受賞

H21 年度：(旧)クリーン・ジャパン・センター「資源循環技術・システム表彰」会長賞受賞

※旧クリーン・ジャパン・センター事業は (一社)産業環境管理協会 資源・リサイクル促進センターにて継続。

H17 年 12 月：NETIS 登録(登録 No.K-050111)

石炭灰の再商品化の課題
販路開拓について、県の認定を受けることを重視した。アッシュストーンを混合した HMS-25 について、実路試験施工の結果、従来の HMS-25 と同等の性能を有することが確認され、H15 年に兵庫県で公認化された。また、補足材として再生砕石(RC)に混合することで修正 CBR 等の路盤材特性を改善することが可能になった。これにより、アッシュストーンを混合した道路用資材は、従来製品と同等以上の供用性が得られることから、兵庫県請負必携のマニュアルに記載されることとなり、これに沿って使用されている。
石炭灰リサイクルのための連携について
S57 年より、鉄鋼スラグ協会(新日鐵住金㈱、㈱神戸製鋼所、山陽特殊製鋼㈱)、兵庫県、神戸市、神戸大学の産官学連携による兵庫県路盤材研究会にて共同開発された。重要な技術パートナーとして、広畑製鉄所では、これまで、スラグ処理等で実績のあるグループ会社の広鉱技建㈱と連携し、道路の路盤材として再利用する技術開発を行った。H16 年 4 月より製造開始。
出典
新日鐵住金㈱HP http://www.nssmc.com/company/publications/monthly-nsc/pdf/2004_3_137_09_10.pdf ㈱神戸製鋼所 HP　http://www.kobelco.co.jp/ecobiz/list/1174089_13068.html

表 2-2　株式会社安藤・間による石炭灰有効利用の製品開発

会社概要	
株式会社安藤・間(呼称：安藤ハザマ) 本社所在地等：東京都港区赤坂六丁目 1 番 20 号 石炭灰製品販売：アッシュクリート(NETIS 登録番号：CG-990013)	
石炭灰のリサイクル製品の概要	

① アッシュクリート

アッシュクリート(NETIS 登録番号：CG-990013)は、海洋や海岸で使用するブロックであり、経済性、耐海水性、安全性、比重が小さい等の特長を備えている。同社独自技術である超流体工法の開発によって実現した。既に大量製造する生産体制が確立されている。

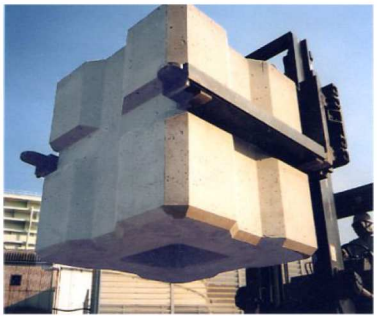


図　アッシュクリート製品

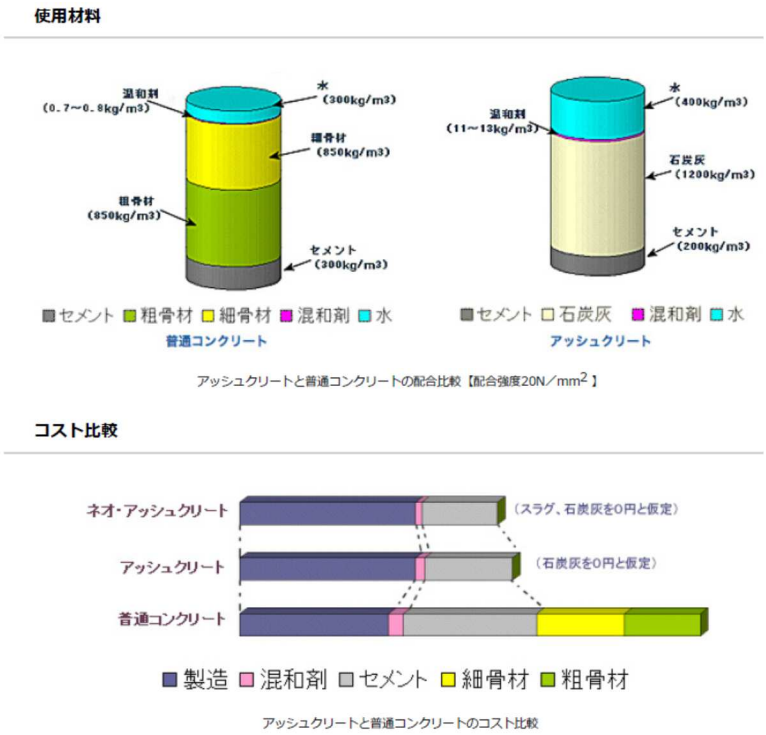


図　アッシュクリートの製品特徴と他製品比較

② アッシュクリート TypeII

アッシュクリート TypeII は、アッシュクリート技術をベースに陸上で適用するために開発されたものである。バッチングプラントで練り混ぜた材料を施工現場に運搬・敷き均した後に、現位置で超流体工法による締固めを行うことで、1 日 250m3 程度の大量施工をすることが可能。土壌環境基準値をクリアしており、維持管理を必要とせず、長期的に安定した強固な人工地盤や路盤を造成することができる。石炭灰の大量リサイクルにより、建材試験センターから環境主張建設資材の適合証明(省資源型 1 級、環境保全型 1 級)に認定されている。

図　アッシュクリート TypeII の材料構成、施工方法、適用事例

③　ネオ・アッシュクリート

ネオ・アッシュクリートは、比重が小さいために波などの外力を受ける環境下では不適というアッシュクリートの問題を解決し、金属スラグを重量骨材として添加することによって比重調整を可能にしたものである。通常のコンクリートと同等、あるいはそれ以上の比重を持つアッシュクリートの製造が可能となっている。さらに、超流体工法によるブロックの製造に小型振動機を活用することにより、機動性の向上と低コスト化を実現し、世界最大級の 80t 型テトラポッド(消波ブロック)の製造に成功した。なお、本技術は、中国電力㈱、山口大学、㈱安藤・間、㈱テトラの共同研究により開発したものである。

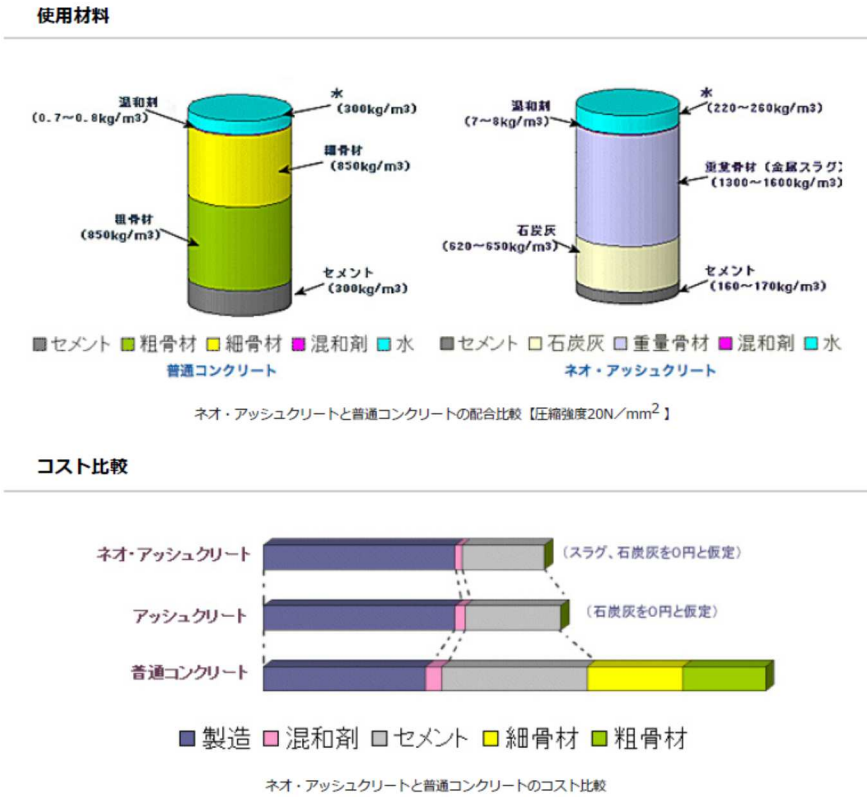


図　ネオ・アッシュクリートの材料構成、コスト比較

石炭灰の再商品化技術の概要	

① アッシュクリートブロック製造システム

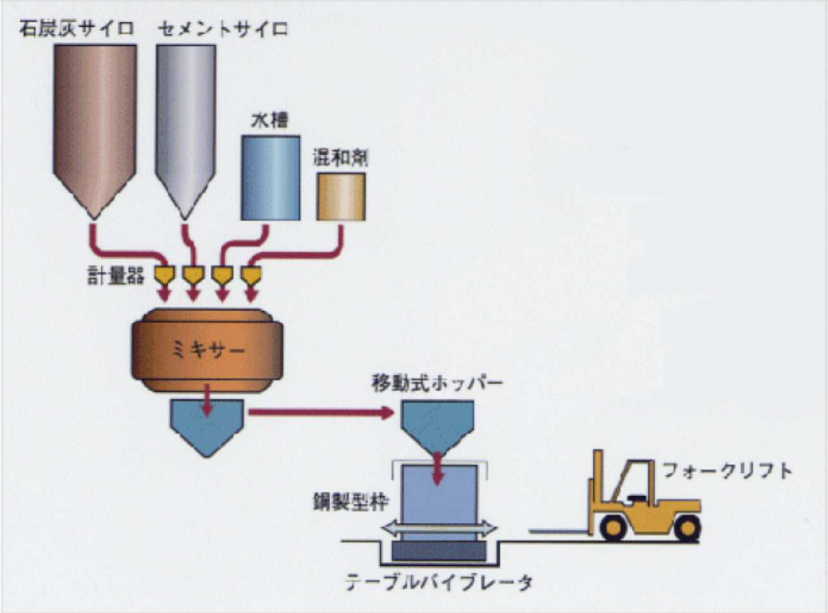
アッシュクリートブロック製造システムは、超流体工法や配合設計システムなどを含むトータルシステムとして開発されたもので、1.6m 角(6t)のブロックの製造時間は約 20 分間であり、ほぼ 1 日で脱型可能な短時間製造が特徴である。また、フォークリフトで簡単に運搬できる形状とすることで、吊り金具、鉄筋を不用とするなど、製造プロセスの簡素化、運搬の効率化が図られている。

石炭灰、セメント、水の混練物を型枠に投入

振動を与え、超流体化

約20分で完全に超流体化

仮置きされたアッシュクリートブロック



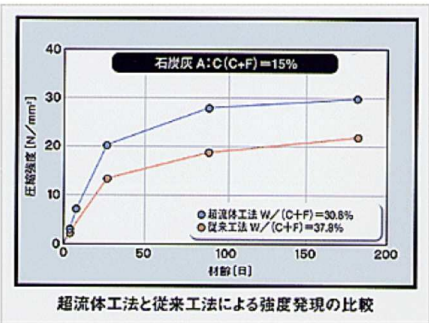
アッシュクリートブロック製造システム

図　アッシュクリートブロック製造システムの製造方法

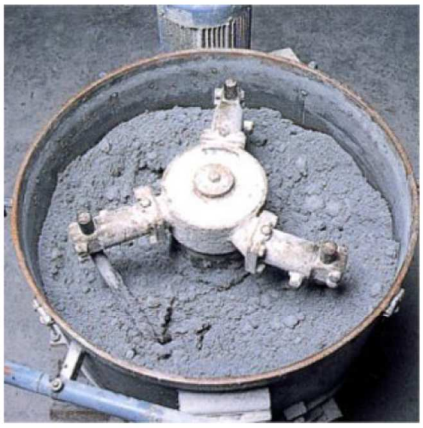
② 超流体工法

超流体工法は、アッシュクリートブロック製造システムの基礎となる技術である。非常に少ない水量で練り混ぜた粉体を振動によって締固めて硬化させるという、類例のない独自工法である。工法は以下のとおりである。①まず、石炭灰、セメント、混和剤に、実験から割り出された必要最低限の水を加え、ミキサーで混練する。この段階では、生コンクリートのような液状にはならず、粉体の状態が保たれている。②次に、この粉体に 1 分間に数千回の振動を与え、数分でプリン状の「超流体」と呼ばれる状態にする。③その後、硬化し、約 1 日で脱型可能な状態になる。

練混時から液状にして製造する従来工法と比較すると、超流体工法による硬化体は初期強度から長期強度に至る強度発現が著しいことが特徴である(グラフ参照)。また、均質性に富み、水量が少ないために乾燥後のクラックも少ないなど、品質上の優位性が見られる。さらに、運搬容器などへの付着がなく、養生もしやすいなど、施工性においても利便性が高い。グリーン購入の対象となる特定調達品目の基準に適合し、さらに海底山脈を築造したアッシュクリートブロックはエコマークも取得している。



超流体工法と従来工法による強度発現の比較


石炭灰、セメント、混和剤を混ぜた粉体に水を加え、ミキサーで混練する。この段階では粉体の状態が保たれる。

粉体を型枠に移し、振動を加えると数分で一部が流体化し始める。

すべてが超流体化状態となる。表面もフラットになり、やがて水和反応による硬化が進む。

図　アッシュクリート製造工程

石炭灰の再商品化の実績
「マウンド漁場造成システムの開発」では、約 5,000 個のブロックを製造、長崎県の北松海域に沈設した。
石炭灰の再商品化の課題
アッシュクリートは、比重が小さいために波などの外力を受ける環境下では不適という課題があった。この課題に対し、金属スラグを重量骨材として添加することによって比重調整を可能にし、解決したものがネオ・アッシュクリートである。
石炭灰リサイクルのための連携について
① アッシュクリート アッシュクリートブロックの製造技術は、石炭灰コンクリートが水産庁の技術指針に採用されたのを契機に、「マウンド漁場造成システムの開発」事業として、(一社)マリノフォーラム 21 を事業主体とし、水産庁の補助金と電気事業連合会の協力を得て H7 年度にスタートした。電源開発㈱松浦火力発電所から供給される石炭灰を利用し、大水深の海域に、天然礁に近い形状と機能を有するマウンドを構築することによって、大規模な湧昇流漁場の造成に成功した。 ② ネオ・アッシュクリート アッシュクリート課題解決として、金属スラグを重量骨材として添加し、比重調整を可能とした「ネオ・アッシュクリート」の技術は、中国電力㈱、山口大学、㈱安藤・間、㈱テトラの共同研究により開発したものである。
出典
㈱安藤・間 HP　http://www.ad-hzm.co.jp/service/ashcrete/

この他、全国の都道府県(秋田県以外)にてリサイクル製品として登録されている石炭灰の再生製品化事例を以下の表に示す。コンクリート二次製品や路盤材、改良土等、土木資材や建築資材品が多く見られた。

表 2-3　B 社の石炭灰リサイクルの取り組み

会社概要
B 社 　北海道
石炭灰のリサイクル製品の概要
アッシュブリック 煉瓦(舗装材、建材、園芸) 火力発電所の石炭灰(フライアッシュ)を原料とした煉瓦。圧縮強度、吸水率とも JIS の第 4 種の基準に適合し、耐久性に優れる。 ･JIS R 1250(普通れんが)準拠 ･エコマーク認定 ･土壌汚染対策法に基づく有害物質基準適合
石炭灰の再商品化技術の概要
混練→焼成(1,200℃程度)　通常の煉瓦製造工程と変わらない。 単一性状の石炭灰であれば、最大 50%まで混練可能。 リサイクル製品としての付加価値を上げるため、エコマーク取得条件を満たすことが必須になる。そのため、50%の混練が出来ない場合は、石炭灰を受け入れることが難しい。 条件をクリアした石炭灰であれば、工場持ち込みで有価買取している。
石炭灰の再商品化のご実績
最近は製品化実績がない(理由は、課題の 2 つ目を参照)。 製品化する際は、10t ダンプ車 100 台程度のまとまった量の確保が必要。
石炭灰の再商品化の課題
灰の中に未燃分があると煉瓦内で膨張するため、成形時に割れてしまう。 煉瓦材料として受入可能な石炭灰は単一成分に限られるが、現在の火力発電所がフル稼働している状態では様々な産地の石炭を混焼しているため、この条件を満たすことが難しい。 ユーザーは、同価格であれば、リサイクル製品ではなくバージン製品を選択する。リサイクル材への心理的な壁が未だに根強く、民民契約では、オーナーが要望しなければ、設計・建設会社からのリサイクル材使用の提案は消極的なことが多い。現状は、発注後でなければ製造が出来ていない。公共工事、準公共工事にて積極的に導入され、モデルとして普及啓発されることを望む。
石炭灰リサイクルのための連携について
石炭灰由来の煉瓦を製造するためには単一性状の石炭灰である必要があるため、排出者である電力会社との条件調整が必須になる。石炭の産地、石炭の燃焼温度を統一にすることで、同一品質の単体成分の石炭灰を作ることが可能になるためである。
その他
秋田県内に 1,200℃焼成に耐えうる粘土があるか、陶芸家等に確認が必要である。
備考
ヒアリングより作成

表 2-4　C 社の石炭灰リサイクルの取り組み

会社概要

C 社
本社所在地等：広島県
石炭灰製品販売
①（ライトサンド、エコパウダー）：電源事業本部(土木材料)
②（Hi ビーズ）：電源事業本部(環境材料)
製造拠点の所在地
① (ライトサンド、エコパウダー、ジオシード)島根県
② (ライトサンド)岡山県
③ (ライトサンド、エコパウダー、Hi ビーズ)山口県

石炭灰のリサイクル製品の概要

名称	ライトサンド
用途	グランド排水材、埋戻し材、擁壁裏込材、緑化基盤材、園芸用土 等
主な材料	クリンカアッシュ
使用石炭灰の種類と利用率(重量比)	クリンカアッシュ 100%
販売価格	運搬距離、場所、荷姿、数量等により販売価格は変わるので、都度見積りにより契約している。40～50km 運搬して持ち込み渡しで、特に付加条件がなければ 1m3 あたり 2,000 円程度。

名称	エコパウダー
用途	コンクリート混和材、吹付コンクリート、コンクリート二次製品、空洞充填材 等
主な材料	フライアッシュ
使用石炭灰の種類と利用率(重量比)	フライアッシュ 100%
販売価格	運搬距離、場所、荷姿、数量等により販売価格は変わるので、都度見積りにより契約している。40～50km 運搬して持ち込み渡しで、特に付加条件がなければ 1t あたり 2,000 円程度。

名称	ジオシード
用途	固化処理材、FC スラリー材
主な材料	フライアッシュ、セメント
使用石炭灰の種類と利用率(重量比)	フライアッシュ 20～95%
販売価格	混合比率、輸送条件等により販売価格は変わるので、都度見積りにより契約している。

名称	Hi ビーズ
用途	地盤改良材、環境修復材(覆砂、漁礁材等)
主な材料	フライアッシュ、高炉セメント
使用石炭灰の種類と利用率(重量比)	フライアッシュ 80～90%
販売価格	輸送条件等により販売価格は変わるので、都度見積りにより契約している。

石炭灰の再商品化技術の概要

名称	ライトサンド
処理施設	特別なプラント無し。(島根県産のみ除塩水槽あり)
工程フロー図	篩によるクリンカアッシュの選別・分級⇒(島根県産のみ水洗い除塩)⇒保管・出荷
処理コスト	発電設備と併用のため算出困難。

名称	エコパウダー
処理施設	分級機(処理能力 山口県産 40t/h，島根県産 27t/h)
工程フロー図	分級機によるフライアッシュの分級⇒保管・出荷
処理コスト	発電設備と併用のため算出困難。

名称	ジオシード
処理施設	混合機(処理能力 max 64t/h)
工程フロー図	混合機によるフライアッシュとセメントの混合⇒保管・出荷
処理コスト	配合によって異なるため算出困難。

名称	Hi ビーズ
処理施設	転動造粒方式(製造能力 500m3/日)
工程フロー図	ミキサーによるフライアッシュとセメントの混合⇒造粒⇒選別⇒保管・出荷
処理コスト	発電設備と併用部分があるため算出困難。

石炭灰の再商品化のご実績

昨年度の石炭灰の再商品化の実績

石炭灰の処理受入量	フライアッシュ 38,000t/年 クリンカアッシュ 53,000t/年
石炭灰の排出元の業態	自社電気事業(他社からの受入なし)。
商品別の製造量	ライトサンド：53,000m3/年 エコパウダー：15,000t/年 ジオシード：0t/年 Hi ビーズ：30,000m3/年
出荷実績	ライトサンド：65,000m3/年 エコパウダー：15,000t/年 ジオシード：0t/年 Hi ビーズ：91,000m3/年
主な販路	公共事業(国、県、市)、民間工事、コンクリート二次製品会社、ボードメーカー他

石炭灰の再商品化の課題

当社の場合は、排出事業者自らが自社再商品化処理して販売しており、どこまでが廃棄物で，どこからが商品なのか廃掃法上の判断が曖昧で、行政によっても判断が少し異なる。販売先によっては、廃棄物と判断され、リサイクルの大きな障害となる。

<再商品化するための石炭灰の受入条件の課題>
最近はコスト低減、調達の安定化のために石炭の産地が非常に多くなり、石炭灰の性状を把握するのに、試験をしてみないとわからないものもある。

<技術・設備の課題> なし <リサイクル製品の付加価値向上のための課題> 国や県のエコ認定等を取得し、実証事業も極力協同で行うようにしている。 <販路の課題> 競合商品より低価格でないと、なかなか販売が難しい。
石炭灰リサイクルのための連携について
研究開発については、大学と共同研究する場合が多い。 実証レベルでは、ヤードの提供、モニタリング等で国や県の協力を得て行う。 最近では役所発注の工事において、リサイクル製品の使用を仕様書に記載されていることが結構あるので、供給しやすい状況にある。
その他
環境関係、リサイクル製品関係などの展示会・イベントにおいて、認知度を高めるべく積極的に PR している。

表 2-5　D 社の石炭灰リサイクルの取り組み

会社概要

D 社
　島根県
製造拠点 / 本社・本社工場：島根県、営業所・工場：島根県

石炭灰のリサイクル製品の概要

火力発電所から排出されるフライアッシュを混和材として、使用済 PET ボトルを加工した PET 繊維をコンクリート補強材として利用している。コンクリート構造物を形成する際の残存型枠として使用可能である。型枠の製作・解体工程が不要で、工期が短縮されるとともに現場廃材も削減できる。

商品名	エコンパネル
認定番号	23-16
認定年月日（最初）	平成 21 年 1 月 20 日
認定年月日（現在）	平成 24 年 3 月 22 日
認定有効期限	平成 27 年 3 月 31 日
循環資源名	フライアッシュ、PET 繊維
循環資源利用割合	10%
販売価格（参考価格）	2,560 円

製品紹介	火力発電所から排出されるフライアッシュを混和材として、使用済 PET ボトルを加工した PET 繊維をコンクリート補強材として利用している。コンクリート構造物を形成する際の残存型枠として使用出来る。型枠の製作・解体工程が不要で、工期が短縮されるとともに現場廃材も激減する。

石炭灰の再商品化技術の概要

混練→成形　通常のコンクリート成形と変わらない。
石炭灰(フライアッシュ)の利用率は 10%、PET 繊維は 1m3 に対し、5kg 混練。
同社では PET 加工は行っておらず、他社にて加工された長さ 3cm 程度の PET 繊維を購入し、混練している。

石炭灰の再商品化のご実績

エコンパネルの販売は収束傾向である(理由は、課題を参照)。
他の石炭灰のリサイクル製品としては、二次製品としてカルバード製品(側溝等)がある。

石炭灰の再商品化の課題

エコンパネルは肉厚が薄いことを特徴としており、強度を出すために補強材として PET 樹脂を混練したが、競合のパネル製品は強度を出すために鉄筋を用いるなどしており、強度の評価が相対的に下がってしまうという課題があった。このため、市場競争力が厳しいことから、現在は販売を縮小している(他の石炭灰リサイクル製品は継続している)。

出典

島根県 HP「しまねグリーン製品」
http://www.pref.shimane.lg.jp/environment/kankyo/kankyo/junkan/s-green/shimanegreen/23-16_076.html、他ヒアリング

2.2 石炭灰利活用のポイント整理

石炭灰の有効利用事例より、製品用途の建築資材、土木資材、その他の 3 つに分類し、それぞれの要素の傾向を比較した。市場規模と販路状況を考慮すると、建築資材は販路確保が厳しく、製品化がされても販売実績は少ない状況があることから、土木資材の市場の方が安定傾向にあるのではないかと思われた。建築資材、土木資材共に、成立する技術要因としては、プラント設備ではなく、規格や仕様ニーズを満たす材料構成比にノウハウがあり、重要と考えられる。

石炭灰の使用率についても、土木資材の方が使用割合の幅が広く、また、フライアッシュだけでなくクリンカアッシュの受入も可能な製品が多いことから、土木資材の方が石炭灰のリサイクル率向上に繋がる可能性が高いと考えられる。

一方で、土木資材のリサイクルの課題として、製品の付加価値が低いことが挙げられる。製品開発において、用途拡充だけでなく、品質を向上させることにより付加価値を高める開発事例が見られた。

表 2-6　石炭灰利活用の比較検討

製品用途	用途例	市場規模	販路状況	技術要因	石炭灰使用率
建設資材	壁材、外装材等	建材の市場規模は大きいが、代替率は低い。	販路確保困難。 収支性は厳しい。	混練、焼成工程等メーカーの既存設備で対応可能。 製品仕様のニーズや規格を満たす材料構成比が重要。	低い(10%以内)。 フライアッシュが主。
土木資材	セメント、コンクリート二次製品(残存型枠、側溝等)、路盤材、埋め戻し材、盛土材、地盤改良材等	大規模	公共工事、準公共工事にて使用。 収支性はありと推測。 製品の付加価値向上に課題あり。	分級、混練、圧縮成形等。 メーカーの既存設備で対応可能。 製品仕様へのニーズや規格を満たす材料構成比が重要。	低～高と幅あり(10%～100%)。 フライアッシュが主だが、クリンカアッシュも利用可能な事例もあり。
その他	除染剤、覆砂材、浄化剤等	中規模	今後、開拓が必要。	混練、焼成等。 技術改善中。	中～高と幅あり。

3. 事業化に向けたモデルケースの提案

3.1 秋田県にて事業可能性の考えられる石炭灰の有効利用方法の検討

秋田県にて石炭灰リサイクルの事業可能性を検討するにあたり、対象とする石炭灰の量について、現在の多量排出事業者による石炭灰排出量のうち、外部委託している中間処理量を対象とした。この結果、秋田県内における石炭灰の処理量規模は、燃えがら約 35 千 t/年、ばいじん約 268 千 t/年、合計約 303 千 t/年の処理量規模であった。

表 3-1　秋田県における石炭灰の排出状況

		東北電力㈱ 能代火力発電所分		日本製紙㈱ 秋田工場分		合計		
産業廃棄物品目		燃えがら	ばいじん	燃えがら	ばいじん	燃えがら	ばいじん	計
排出量（t/年）		35,111	252,467	2,357	18,363	37,468	270,830.00	308,298.00
外部委託処理量（t/年）		32,885	249,606	2,357	18,363	35,242	267,969.00	303,211.00
必要となる処理能力（t/日）	10%リサイクル	11.0	83.2	0.8	6.1	11.7	89.3	101.1
	5%リサイクル	5.5	41.6	0.4	3.1	5.9	44.7	50.5
	1%リサイクル	1.1	8.3	0.1	0.6	1.2	8.9	10.1

(出典：秋田県内の多量排出事業者「産業廃棄物処理計画実施状況報告書」秋田県及び秋田市 HP)
(備考：処理能力は、1 年の処理稼動日を 300 日と仮定した。)

本検討では、実際の処理施設の処理能力規模を参考に、石炭灰リサイクル専用の施設と、石炭灰の使用率を約 10%とする製品をラインナップの 1 つして製造する施設の 2 パターンを想定した。

パターン①は石炭灰リサイクル製品製造率 100%の専用施設を新設することを前提として、秋田県内の石炭灰を 10%リサイクルするために必要となる処理(生産)能力と同程度の規模と仮定し、日量の処理(生産)能力を 100t/日、石炭灰の再生量を 25 千 t とした。

一方、パターン②は、既存設備を活用し、製造する製品の 1 つとして石炭灰リサイクル製品を加える形を前提とし、石炭灰利用率を 10%と仮定した。パターン②は、1 つの製品の年間生産量を類似事例の規模から仮定し、生産全体の 1 割程度と仮定して、石炭灰の再生利用量を試算したところ、石炭灰の年間再生量は 90t/年となった。これらの仮定に基づき、事業規模等のシミュレーションを行った。

表 3-2　秋田県内にて事業可能性のある石炭灰有効利用事業

	日量処理（生産）能力（t/日）	年間処理（生産）能力（t/年）	石炭灰リサイクル製品製造率	石炭灰利用率	石炭灰再生量（t/年）
パターン①	100	30,000	100%	85%	25,500
パターン②	30	9,000	10%	10%	90

石炭灰の有効利用が可能なリサイクル製品用途の内、用途の市場規模、用途の幅広さ、石炭灰のリサイクル可能量、販路の安定性、リサイクル製品の先進性等を考慮した結果、土木資材分野の路盤材化と、残存型枠等、土木資材分野のコンクリート二次製品化が有望と考えられた。特にコンクリート二次製品化の内、従来の道路ブロックや側溝のほか、秋田県の漁業に関連して漁礁用資材としての再製品化を検討することとした。

建築資材については、製品の付加価値は高い一方で、石炭灰の品質要求レベルが高く、販路安定性も低いことから本検討では困難と判断した。

表 3-3　秋田県内にて事業可能性のある石炭灰有効利用事業

製品用途	用途例	市場規模（百万円）	石炭灰のリサイクル可能量（千 t）	販路安定性	先進性	検討結果
土木資材	コンクリート二次製品、路盤材、埋め戻し材、土壌改良材等	32,321～	10,424～	○ JIS やエコ製品等の認定取得が出来れば、公共工事等の大ロットニーズあり。	技術に先進性あり。	○
建築資材	外装材(パネル、煉瓦)、セメント	2,162～	289～ ただし、受入条件あり。	△ 石炭灰の品質条件クリアや製品の発注確定がなければ製造が難しい状況あり。	新製品開発あり。	

(備考：リサイクル材の市場規模は、「経済産業省生産動態統計(平成 25 年度)」の該当製品の販売額と販売量より、リサイクル代替率を乗じて試算した。

土木資材：道路用・コンクリート骨材用のけい石、石灰石、ドロマイド、硅砂、護岸用コンクリートブロック、道路用コンクリート製品のデータを参照。いずれもリサイクル代替率は 20%と仮定。

建設資材：セメント計、プレストレストコンクリート製品計、その他の耐火れんがのデータを参照。サイクル代替率はセメント計が 0.5%、その他は 0.8%と改訂した。

代替率は、土木資材協会資料「第２章 石炭灰有効利用拡大の効果」の実績、及び日本建設業連合会「建設業におけるグリーン調達の進め方」のグリーン調達比率の実績等を参考に設定した。)

3.2 秋田県内の石炭灰有効利用事業のモデルケース案の設定

秋田県内の石炭灰有効利用事業のモデルケースについて、処理量の規模について、事例を参考とした 2 パターンに分け、リサイクル事業モデルを設定した。

表 3-4　秋田県内における石炭灰有効利用事業のモデルケース

	石炭灰処理規模	用途	施設・設備	リサイク体制	ビジネスモデル
モデルケース①	大規模 (25.5 千 t/年)	路盤材、漁礁等	新規設備の導入。	単体処理	JIS 灰以外の石炭灰処理費徴収 要産廃処理業許可
モデルケース②	小規模 (90t/年)	パネル材(残存型枠等)等コンクリート二次製品	既存施設・設備の活用。	2 社連携	JIS 灰 有価買取

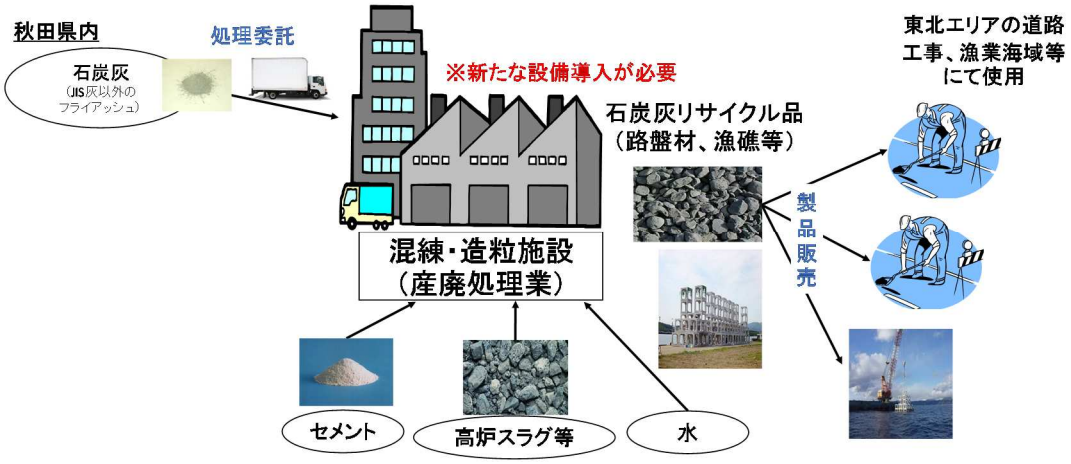


図 3-1　石炭灰リサイクル事業モデルケース①のスキーム図

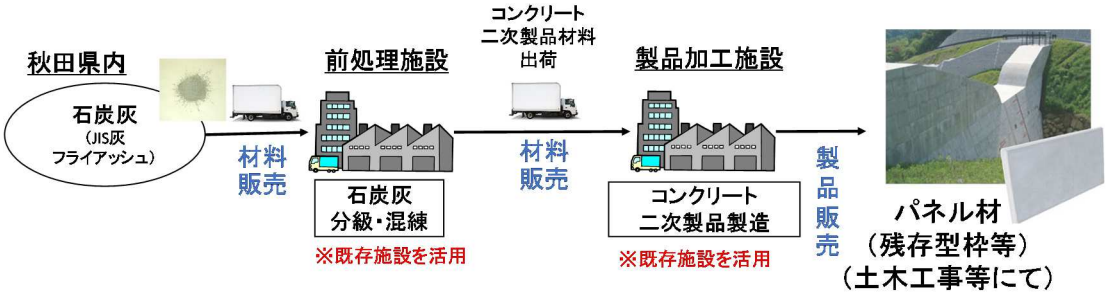


図 3-2　石炭灰リサイクル事業モデルケース②のスキーム図

3.3 事業採算性と石炭灰有効利用評価と有望な事業モデルケースの提案

石炭灰の有効利用事業につき、各モデルケースの事業採算性試算結果を示す。なお、初期投資額、運営コストなどは、類似事業、類似規模の数値を引用した仮定値であることに留意する。また、生産した製品は全て販売される前提で行っている等、簡易試算である。

(1) モデルケース①による事業採算性(概算)

石炭灰を路盤材化または漁礁化する施設を新規設置する事業モデルについて、路盤材製造の事例を参考に下記に仮定した条件にて試算を行った。その結果、IRR(内部利益率)が 7.7%、営業利益は 1 年目から黒字となった。しかしながら、これは処理費が 7,000 円/t 徴収できることが前提となっていることに留意する。

また、初期投資は、処理能力 100t/日であることから、他県の処理能力約 700t/日の生コン事業の約 1/3 と仮定した保守的な設定である。運用費内訳も産廃事業の一例を元にした仮定値であることから、詳細な試算ではこれらの条件を見直す必要がある。この他、石炭灰リサイクルによる漁礁製造では比重が課題となることから、比重を大きくするための骨材が路盤材と異なる可能性があることも留意する。

表 3-5　リサイクル事業の前提条件(モデルケース①概算)

〈事業規模〉

石炭灰処理量	25.5	千 t/年
石炭灰利用率	85%	%
路盤材製造量	30	千 t/年
運転日数	300	日/年
運転時間	24	時間/日

〈初期投資額〉

初期投資	プラント費	66,000	千円
	工事費	33,000	千円
	土木費	16,000	千円
	初期投資小計	115,000	千円
初期投資額総計		115,000	千円

〈税率等〉

固定資産税	1.6	%	能代市
減価償却	15	年	定額償却
法人税等	36.31%	%	

〈廃棄物処理委託〉

	原料	受入単価(千円/t)	受入量(t/日)
路盤材化	石炭灰	6	100

※運賃は排出事業者負担とする。

〈製品販売〉

年間製造量	路盤材	35	千 t/年
	石炭利用率	85%	%
路盤材販売	路盤材単価	1,700	円/m3
	路盤材比重	1.1	t/m3

※運賃は購入者負担とする。

〈運営費用内訳〉

項目	円/年	区分	備考
人件費	67,200,000		
セメント購入	66,705,882	原価	
工業用水	1,325,700	原価	
電気(プラント)	12,000,000	原価	
燃料(軽油)	18,000,000	原価	
消耗品	6,000,000	販管費	
土地賃料	8,553,600	販管費	
事務費	3,600,000	販管費	
水道光熱費	600,000	販管費	
通信費	2,400,000	販管費	
車輌経費	4,800,000	販管費	
事務外注費	6,000,000	販管費	
諸雑費	6,000,000	販管費	
メンテナンス費	3,300,000	原価	プラント費合計の 5%
保険料	1,000,000	販管費	別途想定

〈運営費用内訳根拠〉

項目	細別	単価	単位	数量	単位
人件費	派遣含	5,600,000	円/月	1	式
セメント購入	セメント	12,600	円/t	441	t/月
工業用水		14.73	円/m3(t)	7,500	m3(t)/月
電気(プラント)	プラント	1,000,000	円/月	1	式
燃料(軽油)	重機	1,500,000	円/月	1	式
消耗品		500,000	円/月	1	式
土地賃料	6,600m2 (約 2,000 坪)	108	円/m2・月	1	式
事務費	備品	300,000	円/月	1	式
水道光熱費	事務所	50,000	円/月	1	式
通信費	電話	200,000	円/月	1	式
車輌経費	営業車	200,000	円/月	2	台
事務外注費		500,000	円/月・台	1	式
諸雑費		500,000	円/月	1	式

〈人件費内訳〉

役員	700,000	円/月・人	2	人	昼間
管理職	500,000	円/月・人	1	人	昼間
施設社員	350,000	円/月・人	6	人	昼夜
営業社員	350,000	円/月・人	2	人	昼間
事務職	250,000	円/月・人	2	人	昼間
パート	200,000	円/月・人	2	人	昼夜

表 3-6　リサイクル事業における事業採算性(モデルケース①概算)

IRR	7.7%

＜PL＞　（千円）

	0年目	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	10年目
処理費収入（石炭灰受入）	0	178,500	178,500	178,500	178,500	178,500	178,500	178,500	178,500	178,500	178,500
路盤材販売（製品販売）	0	46,364	46,364	46,364	46,364	46,364	46,364	46,364	46,364	46,364	46,364
売上合計	0	224,864	224,864	224,864	224,864	224,864	224,864	224,864	224,864	224,864	224,864
メンテナンス費	0	3,300	3,300	3,300	3,300	3,300	3,300	3,300	3,300	3,300	3,300
減価償却費	0	7,667	7,667	7,667	7,667	7,667	7,667	7,667	7,667	7,667	7,667
土地賃料	0	8,554	8,554	8,554	8,554	8,554	8,554	8,554	8,554	8,554	8,554
その他原価	0	88,026	88,026	88,026	88,026	88,026	88,026	88,026	88,026	88,026	88,026
原価合計	0	107,546	107,546	107,546	107,546	107,546	107,546	107,546	107,546	107,546	107,546
固定資産税	0	10,405	8,927	7,660	6,572	5,639	4,838	4,151	3,562	3,056	2,622
保険料	0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
人件費	0	67,200	67,200	67,200	67,200	67,200	67,200	67,200	67,200	67,200	67,200
その他販管費	0	37,954	37,954	37,954	37,954	37,954	37,954	37,954	37,954	37,954	37,954
販管費合計	0	116,558	115,081	113,813	112,726	111,792	110,992	110,305	109,715	109,209	108,776
営業利益	0	759	2,237	3,504	4,592	5,525	6,326	7,013	7,602	8,108	8,542
税引前利益	0	759	2,237	3,504	4,592	5,525	6,326	7,013	7,602	8,108	8,542
法人税等	0	276	812	1,272	1,667	2,006	2,297	2,546	2,760	2,944	3,101
税引後利益	0	484	1,425	2,232	2,925	3,519	4,029	4,467	4,842	5,164	5,441
キャッシュフロー	-115,000	8,150	9,091	9,899	10,592	11,186	11,696	12,134	12,509	12,831	13,108

	11年目	12年目	13年目	14年目	15年目	16年目	17年目	18年目	19年目	20年目	合計
処理費収入（石炭灰受入）	178,500	178,500	178,500	178,500	178,500	178,500	178,500	178,500	178,500	178,500	3,570,000
路盤材販売（製品販売）	46,364	46,364	46,364	46,364	46,364	46,364	46,364	46,364	46,364	46,364	927,273
売上合計	224,864	224,864	224,864	224,864	224,864	224,864	224,864	224,864	224,864	224,864	4,497,273
メンテナンス費	3,300	3,300	3,300	3,300	3,300	3,300	3,300	3,300	3,300	3,300	66,000
減価償却費	7,667	7,667	7,667	7,667	7,667	0	0	0	0	0	115,000
土地賃料	8,554	8,554	8,554	8,554	8,554	8,554	8,554	8,554	8,554	8,554	171,072
その他原価	88,026	88,026	88,026	88,026	88,026	88,026	88,026	88,026	88,026	88,026	1,760,514
原価合計	107,546	107,546	107,546	107,546	107,546	99,879	99,879	99,879	99,879	99,879	2,112,586
固定資産税	2,250	1,930	1,656	1,421	1,219	1,046	897	770	661	567	69,848
保険料	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	20,000
人件費	67,200	67,200	67,200	67,200	67,200	67,200	67,200	67,200	67,200	67,200	1,344,000
その他販管費	37,954	37,954	37,954	37,954	37,954	37,954	37,954	37,954	37,954	37,954	759,072
販管費合計	108,403	108,084	107,810	107,575	107,373	107,200	107,051	106,924	106,814	106,720	2,192,920
営業利益	8,914	9,234	9,508	9,743	9,945	17,785	17,933	18,061	18,170	18,264	191,767
税引前利益	8,914	9,234	9,508	9,743	9,945	17,785	17,933	18,061	18,170	18,264	191,767
法人税等	3,236	3,352	3,452	3,537	3,611	6,457	6,511	6,557	6,597	6,631	69,622
税引後利益	5,678	5,881	6,056	6,206	6,334	11,328	11,422	11,504	11,573	11,633	122,145
キャッシュフロー	13,345	13,548	13,723	13,873	14,001	11,328	11,422	11,504	11,573	11,633	122,145

⑵ モデルケース②による事業採算性(概算)

既存設備を活用し、石炭灰を土木用パネル材(残存型枠)等の二次コンクリート製品化する事業モデルとして、下記に仮定した条件下では、前処理の利益率がマイナス488.0%、製品製造工程がプラスの 80.3%となった。本シミュレーションでは、一般的なコンクリート製品の材料構成を参考に、石炭灰を約 10%となるよう調整し、素材構成を仮定した。また、製品サイズについても一般的な残存枠型を参考とした。

製品製造工程の高い利益率は、全ての製品が同一価格で全て販売出来た場合であり、現実的な利益率とは必ずしも一致するものではないことに留意が必要である。

この成立要件として最も重要なコスト要素は、製品の販売単価と販路確保である。また、製品製造のための材料構成比が支出の殆どを占めることから、材料混練が重要となる。

ユーザーの求める品質条件を高め、コストを抑えることが、リサイクル製品の市場競争力を高めることから、事業成立には材料コストを抑え、より付加価値が高くなるような製品の製造レシピを構築することが重要であると考えられる。

表 3-7　リサイクル事業の前提条件(モデルケース①概算)前提条件

前提条件(前処理)

項目		数値
収入項目		
製品販売費	コンクリート二次製品材料販売単価(円/kg)	1.43
	コンクリート二次製品材料製造量(千 t/年)	0.09
	石炭灰利用率(%)	100.0%
費用項目		
石炭灰調達費	石炭灰調達単価(円/kg)	1
	石炭灰調達量(千 t/年)	0.09
作業加工費	処理作業員数(人)	1
	従事時間(h/人/日)	1
	人件費単価(円/h・人)	1,800
	年間労働日数(日/年)	300
	電気代(円/月)該当分	6,000
	一般管理費率(%)	10.0%

前提条件(コンクリート二次製品製造)

項目		数値
収入項目		
製品販売費	コンクリート二次製品販売単価(円/kg)	51.2
	コンクリート二次製品製造量(千 t/年)	0.92
	石炭灰利用率(%)	9.7%
	コンクリート二次製品比重(kg/m3)	1.57
費用項目		
コンクリート二次製品材料調達費	コンクリート二次製品材料(石炭灰)構成比(%)	9.7%
	コンクリート二次製品材料(石炭灰)調達単価(円/t)	1,428.6
	コンクリート二次製品材料(石炭灰)調達量(千 t/年)	0.09
	水構成比(%)	7.2%
	水道代単価(円/m3(t))	14.7
	工業用水量(千 t/年)	0.1
	セメント構成比(%)	16.5%
	セメント調達単価(円/t)	12,600
	セメント量(千 t/年)	0.2
	細骨材構成比(%)	24.1%
	細骨材調達単価(円/m3)	2,000
	細骨材量(千 t/年)	0.2
	粗骨材構成比(%)	42.4%
	粗骨材調達単価(円/m3)	3,900
	粗骨材量(千 t/年)	0.4
	AE 減水剤構成比(%)	0.1%
	AE 減水剤調達単価(円/t)	72,000
	AE 減水剤量(千 t/年)	0.001
調達運搬費(石炭灰のみ)	最大載積量(t/台)	10
	1 台あたりの積載率(%)	50.0%
	1 回あたりの載積量(t/台・回)	5
	想定される車両台数計(台)	18
	1 回あたりの回収費用(円/回)	80,000
作業加工費	処理作業員数(人)	2
	従事時間(h/人/日)	1
	人件費単価(円/h・人)	3,000
	年間労働日数(日/年)	300
	電気代(円/月)該当分	50,000
	一般管理費率(%)	10.0%

表 3-8　リサイクル事業における事業採算結果(モデルケース②概算)

損益計算（前処理）

項目		金額（千円/年）
収入	販売収入	129
	小計	129
費用	材料調達費用	90
	人件費	540
	電気代	72
	一般管理費	54
	保険料	0
	土地貸借料	0
	小計	756
営業利益		-627
利益率		-488.0%

損益計算（コンクリート二次製品製造）

項目		金額（千円/年）
収入	販売収入	47,304
	小計	47,304
費用	材料調達費用	5,201
	調達運搬費	1,440
	人件費	1,800
	電気代	600
	一般管理費	297
	保険料	0
	土地貸借料	0
	小計	9,338
営業利益		37,966
利益率		80.3%

3.4 今後の展望

石炭灰のリサイクル用途として、土木資材のうち、路盤材や漁礁、コンクリート二次製品が有望であるとして、事業化の検討を行った。これらはいずれも新規の用途開発ではなく、既存の用途であった土木資材に対し、品質を向上させ、石炭灰リサイクル製品の付加価値向上を図ったものである。石炭灰の混合率を調整しながら、JIS 等の規格を満たし、製品の強度等の品質向上を達成したもので、材料の構成比が高度な技術ノウハウとなる。本検討では、これらの技術研究事例において、石炭灰(フライアッシュ)を混練した路盤材やコンクリート二次製品の材料構成比に基づき、生コン製造やコンクリート二次製品の製造事業の規模を参考に、事業性の試算を行った。

路盤材や漁礁については、新たにサイロやミキサーを設置する事業創出モデルとして試算を行った。残存型枠等の土木資材としてのコンクリート二次製品化については、既存のリサイクル施設を活用する事業モデルで試算を行った。

路盤材や漁礁については、JIS 灰ではない石炭灰を対象に処理費を徴収する産廃処理業の形式を設定したところ、前提条件として設定した運営コストとなった場合、事業性を保つためには、7 千円/t の処理費を必要とする結果となった。しかしながら、排出量の規模が大きいことから、排出事業者にとってこの価格条件では難しいことが予想される。したがって、設備の投資額等の運営コストについて、詳細検討を行い、見直す必要がある。

JIS 灰を対象とした残存型枠等の土木資材としてのコンクリート二次製品化については、コンクリート二次製品の収益性が設定したコスト条件では高い収益率となる結果が得られた。これは、製品が全て高付加価値単価で販売出来た場合であり、実際には在庫を保有すること、また製品全てが高付加価値とは限らないことから、製造計画を詳細に詰めていくことで、試算の精度を高めていくことが考えられる。

この試算結果より、残存型枠等の土木資材としてのコンクリート二次製品の製造は、既存施設の活用が可能であること、これまでの製品製造のノウハウを活用することが可能であること、製品の市場競争力があれば事業収益性が見込めること等の観点から、高付加価値な製品企画が出来れば石炭灰リサイクル事業として有望ではないかと思われる。路盤材や漁礁についても、既存設備や事業ノウハウを活用した製品化の研究開発を行うことが石炭灰リサイクルに繋がると考えられる。

高付加価値な製品開発にあたり、既に北海道や四国にて高付加価値製品の研究開発として漁礁等の海洋資材に石炭灰をリサイクルしたコンクリート二次製品の研究がなされている。漁礁への活用については、石炭灰の比重が軽いことから、配合率の上限値が課題となっている。今後は、これらの事例を参考に検討を進めていくことが有効と考えられる。また、これらの研究開発では、県等の公共工事の指定製品として認可されることを目標品質に掲げていることから、秋田県の特色を活かした石炭灰リサイクル製品の研究開発として、産学官連携の研究体制を構築し、石炭灰リサイクルの向上とリサイクル事業創出の両立を図ることが望ましいと考えられる。

石炭灰有効利用可能性調査業務委託
（概要版）

平成 26 年度

秋田県　産業労働部　資源エネルギー産業課

調査協力：株式会社レノバ
〒100-0004 東京都千代田区大手町 1-7-2 東京サンケイビル 18F
TEL：03-3516-6233(事業部直通)　FAX：03-3516-6261
URL：http://www.renovainc.jp

※ 無許可の転載・掲載を禁じます。