

洋上風力発電設備への石炭灰利用に関する 適用可能性調査業務

報告書

平成 30 年度

秋田県産業労働部資源エネルギー産業課

<目次>

1.	調査概要.....	1
1.1.	背景・目的.....	1
1.2.	事業概要.....	1
1.3.	実施体制.....	2
1.4.	実施期間.....	2
1.5.	実施内容.....	2
1.6.	実施結果(概要).....	4
1.7.	今後の展望(概要).....	4
2.	石炭灰活用の現状・課題・展望等に関する調査.....	5
2.1.	全国における現状の把握と今後の展望.....	5
2.1.1.	全国の石炭灰の現状調査.....	5
2.1.2.	全国の石炭灰の分野別有効利用状況調査.....	7
2.2.	秋田県における石炭灰の現状把握と今後の展望.....	26
2.2.1.	秋田県内事業所で発生する石炭灰の現状調査.....	26
2.2.2.	秋田県内の石炭灰活用状況調査.....	31
2.2.3.	秋田県内の石炭灰利用促進に向けた取り組みに関する調査.....	35
2.2.4.	秋田県内の石炭灰関連事業者に対する調査.....	43
3.	洋上風力発電事業の基礎工事と建設資材調達に関する調査.....	49
3.1.	洋上風力発電設備への石炭灰の利用に関わる法令等の調査.....	49
3.2.	秋田県内の洋上風力発電事業関係者に対する調査.....	64
3.3.	洋上風力発電事業における漁業共生に向けた取り組みに関する調査.....	74
3.4.	秋田県岩館漁港における人工藻場ブロック実証試験に関する調査.....	82
4.	国内における洋上風力発電事業(供用中及び計画中)に関する調査.....	85
4.1.	洋上風力発電の導入状況および計画に関する情報収集・整理.....	85
4.2.	洋上風力発電事業における環境アセスメントに関する調査.....	86
4.2.1.	環境アセスメントの概要.....	86
4.2.2.	国内洋上風力発電事業における環境アセスメントの実施状況.....	87
4.2.3.	秋田県内で計画中の洋上風力発電事業におけるアセスメント図書調査.....	88
4.2.4.	洋上風力発電事業における環境アセスメントに関する調査についての考察.....	93
5.	総合検討.....	94
5.1.	洋上風力発電設備における石炭灰の代替・活用の可能性検討.....	94
5.1.1.	物理的・化学的特性を活かした石炭灰利用メリット.....	94
5.1.2.	用途別特性を活かした石炭灰利用メリット.....	95
5.1.3.	環境的特性を活かした石炭灰利用メリット.....	108
5.1.4.	経済的特性を活かした石炭灰利用メリット.....	110

5.1.5.	副次的効果を活かした石炭灰利用メリット.....	112
5.1.6.	リサイクル材としての石炭灰利用による効果及び利点の整理.....	112
5.2.	石炭灰活用見込みに関する検討.....	114
5.3.	総括.....	116
5.3.1.	今年度調査結果のまとめ.....	116
5.3.2.	今後の展望.....	117
5.3.3.	今後の石炭灰活用促進に向けたポイント.....	119
6.	参考文献リスト.....	120

1. 調査概要

1.1. 背景・目的

石炭火力発電所の稼働に伴って発生する石炭灰は、現在、主としてセメント分野での利活用が進められている。特に、「リサイクル法」(1991 年)を受け、発電事業に伴う副産物の活用であるため、コスト面や環境面(CO2 発生抑制)の利点がある一方で、今後の情勢変化を想定すると、建設資材等活用分野の拡充が望まれる。

一方、東日本大震災以降新たなエネルギー源として洋上風力発電が注目されており、国の主導で技術開発が進められている中、秋田県では複数の海域で沖合洋上風力発電設備の建設計画があり、民間事業者による環境アセスメント手続き等が開始されている。

以上の背景から、本業務では今後の発展が期待される洋上風力発電事業分野における石炭灰活用の可能性について検討を行うことを目的とする。具体的には洋上風力発電事業で使用されるセメント、骨材、消波ブロック等のコンクリート製品を石炭灰利用製品に代替する可能性を調査・検討するとともに、今後の活用に向けた提案を行う。

1.2. 事業概要

(1) 石炭灰活用の現状・課題・展望等に関する調査

- ・ 全国の石炭灰の現状把握(石炭灰発生量・利活用量、具体的な利用分野)
- ・ 秋田県内の現状把握、活用推進に向けた取組みの整理(県内火力発電所の処理状況、秋田県石炭灰リサイクル再生砕石使用基準等の制定による効果)

(2) 洋上風力発電事業の基礎工事と建設資材調達に関する調査

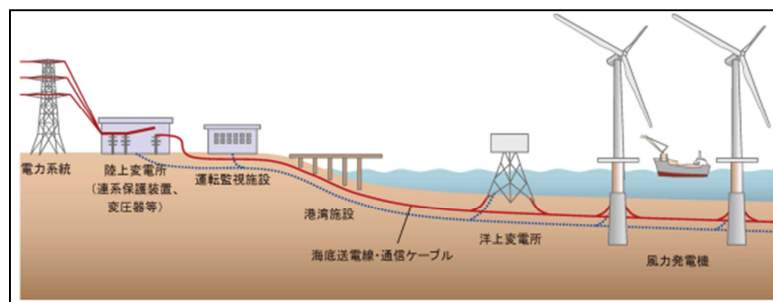
- ・ 洋上風力発電事業における基本情報の収集整理(工事に関わる法令・基準等、ヒアリング)

(3) 国内における洋上風力発電事業に関する調査

- ・ 秋田県内における洋上風力発電事業の現状調査(環境アセスメント図書・手続き状況)

(4) 総合検討

- ・ 石炭灰による代替・活用の可能性検討(CO2 排出量の算定等)
- ・ 石炭灰活用見込みに関する検討(活用促進に繋がる要因、障害となる要因)
- ・ 総括



1.3. 実施体制

実施機関:秋田県産業労働部資源エネルギー産業課

受託機関:JCOAL(一般財団法人石炭エネルギーセンター)

協力機関:一般財団法人日本気象協会

1.4. 実施期間

表 1-1 実施期間

項目	H30							H31		
	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
(1) 石炭灰活用の現状・議題・展望等に関する調査										
(2) 洋上風力発電事業の基礎工事と建設資材調達に関する調査										
(3) 国内における洋上風力発電事業に関する調査										
(4) 総合検討										

1.5. 実施内容

実施フローを図 1-1 に示す。資料収集・整理した結果を元に、洋上風力発電設備にて石炭灰利用が有望と思われる用途を絞り込んだ。絞り込んだ各用途に対して、更に文献調査、ヒアリング調査等により精査し、有用性、市場性、安全性、経済性の観点で整理・考察を行った。

＜港湾・空港等におけるリサイクル材料の適用用途＞

対象材料			工種用途	コンクリート工			地盤改良工			基礎工	本体工	被覆・根固工・消波工	裏込・裏埋工		土工			舗装工		その他	
				①コンクリート用細骨材	②コンクリート用粗骨材	③混和材	④バーチカルドレーン及びサンドマット材	⑤サンドコンパクションパイル用材	⑥深層混合処理化材	⑦捨石	⑧中詰材	⑨被覆石、根固・消波ブロック	⑩裏込材	⑪裏埋材	⑫盛土材、覆土材、載荷盛土材	⑬埋立材	⑭路床盛土材	⑮路盤材	⑯As舗装骨材、Asファイバー材	⑰藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等	⑱その他
石炭灰	フライアッシュ	JIS灰	○*	-	◎	-	-	○*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	◎ (Asファイバー材)	-	-	
		非JIS灰	○*	-	△	-	-	○*	-	△	○*	◎	○*	◎	△	○*	○*	-	-	-	
	クリンカアッシュ		△	-	-	△	△	-	-	△	-	○	○	○*	△	○*	○	-	△(覆砂)	-	
	二次製品	フライアッシュ固化体	-	-	-	-	-	-	-	-	○	◎	◎	△	△	◎	◎	-	-	-	
		石炭灰造粒物	-	-	-	○	○	-	-	-	-	△	○*	◎	△	△	-	-	◎(覆砂)	-	



資料収集・整理による絞り込み

＜洋上風力発電設備における有望な用途＞

対象材料			工種用法		コンクリート工	基礎工	本体工	被覆・根固工、消波工	裏込・裏埋工		その他
					①混和材	②捨石	③中詰材	④被覆石、根固・消波ブロック	⑤裏込材	⑥裏埋材	⑦藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等
石炭灰	フライアッシュ	JIS灰			◎	-	-	-	-	-	-
		非JIS灰			△	-	△	○*	◎	○*	-
	クリンカアッシュ				-	-	△	-	○	○	△(覆砂)
	二次製品	フライアッシュ固化体			-	-	-	○	◎	◎	-
		石炭灰造粒物			-	-	-	-	△	○*	◎(覆砂)



文献調査・ヒアリング調査

評価・考察

- ①有用性
②市場性
③安全性
④経済性 の観点より検討

図 1-1 実施フロー

1.6. 実施結果(概要)

港湾等を対象とした工程・用途と石炭灰種別の組合わせによるマトリックスをベースに、資料収集・整理した結果に基づき、洋上風力発電設備の特性や特有の工事工程・必要となる資材等を総合的に判断し、洋上風力発電設備において石炭灰利用が有望と思われる用途を以下のとおり絞り込んだ。

- ①混和材、②捨石、③中詰材、④被覆石、根固・消波ブロック、
- ⑤裏込材、⑥裏埋材、⑦藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等

次に、絞り込んだ各用途に対して、更に文献調査、ヒアリング調査等により精査し、有用性、市場性、安全性、経済性の観点で整理・考察を行った。

その結果、洋上風力発電設備本体関連では基礎工における捨石や本体工における中詰材、被覆・根固工、消波工におけるブロック材等での用途が有望である可能性が見出された。また、上記にくわえて、陸上部の付帯設備や、資材搬出等のための拠点港整備など、洋上風力発電事業に直接的・間接的に関連する施設・事業においても石炭灰活用の可能性があることが示唆された。

このように、有望な用途は見出されたものの、現行の品質基準等で、要求性能を満たしているとは言いきれないことから、新たな用途で必要となる技術仕様を明確にすべく性能試験等検証が必要である。

また、産業副産物であるがゆえの品質のばらつきに配慮した適切な安全管理が求められる。

1.7. 今後の展望(概要)

今年度の調査結果やそこから得られた成果をふまえ、今後検討すべき内容を以下の通り提案する。

- (1) 石炭灰の特性を生かした用途把握のための調査
- (2) 石炭灰利用が有望と思われる用途に関する詳細調査
 - ・ 市場性成立可否の検討
 - ・ 安全性確保方策の検討
 - ・ 有用性向上に向けた検討
 - ・ 経済性確保に関する検討
- (3) 秋田県外の地域に関する情報収集・整理

今後、秋田県内の洋上風力発電設備において石炭灰が広く活用されるためには、①新たな用途での適用を推進するための“正の流れ”を創り出し、②洋上風力発電設備の「現場」を広く柔軟に捉え、③技術的側面(ハード分野)と政策的側面(ソフト分野)のバランスをとってすすめることが重要である。

2. 石炭灰活用の現状・課題・展望等に関する調査

2.1. 全国における現状の把握と今後の展望

2.1.1. 全国の石炭灰の現状調査

(1) 石炭灰とは

石炭灰(クリンカアッシュ+フライアッシュ)は、主に石炭火力発電ボイラーで石炭(微粉炭)を燃焼させた際に発生する副産物である。一般産業としては、化学工業、製紙業、IPP・PPS、窯業土石、鉄鋼業が主に挙げられる。

フライアッシュは、ボイラー内で燃焼によって生じた溶融状態の微細な灰粒子が、高温の燃焼ガス中を浮遊した後、ボイラー出口における温度低下に伴い球形微細粒子となったものである。セメント分野、土木分野、建築分野、農林・水産分野と幅広い分野で有効利用されている。用途に応じ、気流式分級機等での粒度調整が行われ、分級等処理を施していないものは「原粉」、分級により得られた細かい粒子と粗い粒子は、それぞれ「細粉」および「粗粉」と呼ばれている。

クリンカアッシュは、ボイラー内で燃焼によって生じた石炭灰の粒子が相互に凝集し、多孔質な塊となってボイラー底部のクリンカホッパ(水槽)に落下堆積したものを破砕機で砂状に砕いたものである。

製品別の分類を表 2-1 に示す。

表 2-1 石炭灰の製品別分類

製品	製品の種類別分類	備考
フライアッシュ 	原粉…ボイラーから発生したままのフライアッシュ 細粉…集じん器の後段集じん区で回収したもの、 或は原粉を分級し粒度調整した細かいもの 粗粉…原粉を粒度調整した粗いもの	コンクリート用フライアッシュとして利用されるもので JIS 規格では、I ～ IV 種が規定されている。総称として JIS 灰と言う。
クリンカアッシュ 	粒度調整したものと粒度調整しないものがある 湿式と乾式のものがある	

(出典：一般社団法人セメント協会 石炭灰ハンドブック 第 6 版より作成)

(2) 全国の石炭灰の発生量・利用量

全国における石炭灰の発生量及び利用量について、「石炭灰全国実態調査報告書(平成 28 年度実績)」に基づき、現状の整理を行った。

平成 28 年度の実績では、石炭灰の年間排出量は約 1,272 万tであり、その内利用量が約 1,247 万t、埋立量が約 33 万tであった(表 2-2)。また、過去 5 年の推移を見ると、発生量、利用量ともにほぼ横ばいであった(図 2-1)。

表 2-2 全国における石炭灰発生量等

(単位:千 t)

		石炭灰			石炭 使用量
		発生量	利用量	埋立量	
平成 24 年度	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
平成 25 年度	電気事業	9,929	9,568	361	87,108
	一般産業	2,964	2,924	40	23,797
	計	12,893	12,492	401	110,905
平成 26 年度	電気事業	9,590	9,403	187	86,623
	一般産業	3,025	2,975	50	26,411
	計	12,615	12,378	237	113,034
平成 27 年度	電気事業	9,340	9,165	175	84,816
	一般産業	3,375	3,301	74	28,401
	計	12,715	12,466	249	113,217
平成 28 年度	電気事業	9,016	8,964	52	84,439
	一般産業	3,321	3,286	35	28,560
	計	12,337	12,250	87	112,999

(出典:一般財団法人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 28 年度実績)」)

(単位:千 t)

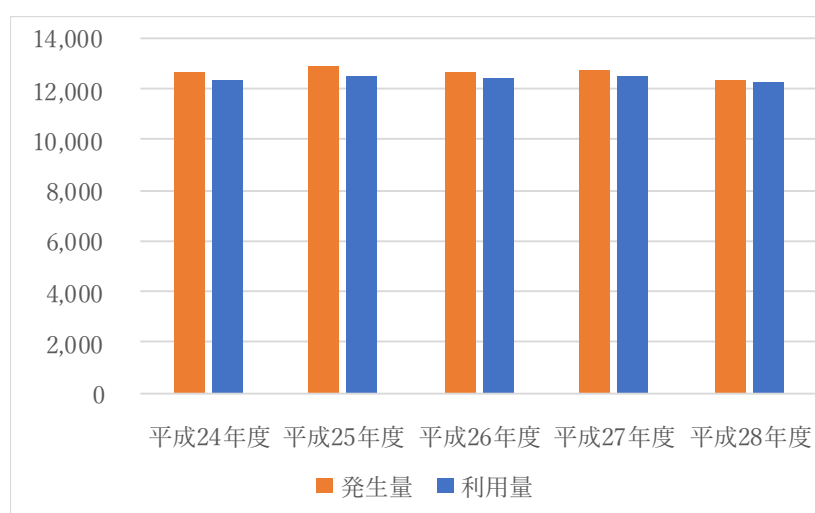


図 2-1 日本全体における過去 5 年の石炭灰発生量及び利用量の推移

(出典:一般財団法人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 28 年度実績)」)

2.1.2. 全国の石炭灰の分野別有効利用状況調査

石炭灰の有効利用用途としてはセメント分野が最も多く、平成 28 年度では、有効利用の約 69%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 70%を占めていた。(表 2-3)

表 2-3 全国における石炭灰の有効利用分野内訳(平成 28 年度)

(単位:千 t)

	項目	電気事業		一般産業		計	
		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	6,200	69.17	2,227	67.78	8,427	68.79
	セメント混合材	72	0.80	42	1.26	114	0.93
	コンクリート混和材	73	0.81	9	0.28	82	0.67
	計	6,345	70.78	2,278	69.32	8,623	70.39
土木分野	地盤改良材	105	1.17	324	9.85	429	3.50
	土木工事用	340	3.79	43	1.30	383	3.12
	電力工事用	20	0.22	0	0.00	20	0.16
	道路路盤材	280	3.12	218	6.64	498	4.07
	アスファルト・フィラー材	3	0.03	0	0.00	3	0.02
	炭坑充填材	387	4.32	16	0.49	403	3.29
	計	1,135	12.66	601	18.29	1,736	14.17
建築分野	建材ボード	232	2.59	280	8.52	512	4.18
	人工軽量骨材	91	1.02	0	0.00	91	0.74
	コンクリート 2 次製品	33	0.37	1	0.03	34	0.28
	計	356	3.97	281	8.55	637	5.20
農林・水産分野	肥料(含:融雪材)	29	0.32	4	0.12	33	0.27
	魚礁	0	0.00	0	0.00	0	0.00
	土壌改良剤	34	0.38	70	2.12	104	0.85
	計	63	0.70	74	2.24	137	1.12
その他	下水汚水処理剤	1	0.01	0	0.00	1	0.01
	製鉄用	1	0.01	7	0.20	8	0.06
	その他	1,063	11.86	46	1.40	1,109	9.05
	計	1,065	11.88	53	1.60	1,118	9.12
有効利用合計		8,964	100.00	3,286	100.00	12,250	100.00

(出典:一般財団法人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 28 年度実績)」)

表 2-3 に示す有効利用分野内訳を基に、分野別の現状を整理した結果を以下に示す。

(1) セメント分野における石炭灰利用に関する調査

1) セメント分野の石炭灰利用状況

石炭灰の有効利用分野において、現状で最も多く石炭灰が利用されているのがセメント分野である。全体の約 7 割がセメント分野として利用されている。平成 28 年度石炭灰分野別有効利用量によるとセメント分野での有効利用量は 862 万tであった。

東日本大震災以降電源事情が大幅に変化している。石炭火力のベース電源としての地位が高まり、その結果、必然的に発生する石炭灰の発生量も多くなっている。一方、石炭灰の主要な用途であるセメント原材料への有効利用は、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い。

また、東京オリンピック以降の景気動向によっては、セメント生産量の落ち込みも予想される。そのような状況下では、セメント原料用の処理費が高騰することも予想され、それを回避するために、石炭灰の新たな有効利用先を見出し、必要に応じて技術開発も行われてきている。

2) セメント分野での石炭灰有効利用促進に向けた課題

セメント生産量の減少が予想される中、今後もセメント分野で、大量に石炭灰を利用するためには、コンクリート混和材としての利用量を上げる必要がある。利用量を上げるためには、公共工事の土木仕様書に材料として追記してもらうことが必要であるといわれているが、フライアッシュコンクリートの供給体制が整っていない状態で、県や国交省の仕様書に追記してもらうことは難しいという現状もある。

そのため、生コン工場にフライアッシュコンクリートを製造する設備設置として JIS 認定工場等の取得による供給体制の確立を行う必要がある。その他、発注者にフライアッシュコンクリートのメリットを理解してもらうことも重要であり、その延長線上に全国規模の工事を行っている JRTT などの工事仕様への追記等により、フライアッシュを利用する機会を増やすことになる。具体的には、フライアッシュコンクリートの保有する各種特長を関係者に知ってもらうことが最重要事項である。次に発生事業者が品質管理体制及び供給体制を確立すると共に、土木学会のコンクリートライブラリー等を活用して使い方などを周知することにある。また、コンクリート供給者である生コン工場が、JIS 認定工場の取得や専用設備の設置を行うと共に配合技術確立し、県や国交省の工事に供給できる体制を整えることにより、モデル工事や試験施工などを行える環境となる。また、発生事業者である電力が電力工事で積極的に使うことにより、生コン工場の取組みにインセンティブが働く。最終的には各種仕様書に材料としてフライアッシュコンクリートが記載され、一般的に使用できるようになり、普及拡大が進むことが期待できる。さらに、このような取組みを円滑に進めるために、国、行政、関連団体が一丸となり、教科書(指針、基準)の整備や技術習得(工場での技術指導、講習会等)などの支援を行っていく必要がある。

(2) 土木分野における石炭灰利用に関する調査

① 土木分野における石炭灰利用形態・特徴

石炭灰のうち、クリンカアッシュは単体のまま土木材料として利用される場合が多いが、フライアッシュの場合は水、セメント、土砂等と混合して用いられ、「石炭灰混合材料」と呼ばれる。

この石炭灰混合材料は、土砂代替、砕石代替として利用されるものが大部分であるが、石炭灰混合材料が一般の土砂、砕石、廃棄物由来の再生砕石と異なる特長は以下の通りであり、この特長が生かした利用が望ましい。

①軽量

土砂、砕石よりも軽量であるため、盛土荷重の軽減、軟弱地盤上での沈下量低減、構造物への土圧、側圧の低減が可能である。軽量であることを生かした覆砂としての利用も進められている。嵩比重が土砂、砕石に比較して小さいため、輸送上のメリットがある。

②強度

通常の土質材料と同等の設計が可能である。石炭灰混合材料製造地近傍で得られる安価な骨材を利用することによって更なる強度発現が期待できる。

③原料の均一性

燃料炭種の違いにより石炭灰組成の若干の変動はあるものの、廃棄物由来のスラグ等に比較して原料の均一性は高い。

④施工性

粉塵の発生も無く、軽量であるため工事の施工性に優れる。

⑤コスト

石炭灰混合材料は、発電所の副産物として原料が供給されるので、製品の価格は比較的に安価で、天然の土工材料と同等以下のコストで供給可能である。

② 土木分野における石炭灰利用状況

平成 28 年度における石炭灰の土木分野への使用に関し、土木分野内の石炭灰利用内訳を図 2-2 に示す。

電気事業においては、炭鉱充填材と土木工事用で約 3/4 を占める。ここで炭鉱充填材としての利用は地方自治体の公共工事的な性格を有するものである。一般産業においては石炭灰土木利用の 1/2 が地盤改良用であり、残りの 1/2 が道路路盤用及び土木工事用となっている。電気事業と一般産業を合わせた含量としては、年間 170 万 t 程度で、地盤改良用、土木工事用、道路路盤用、炭鉱充填材が主な用途となっている。

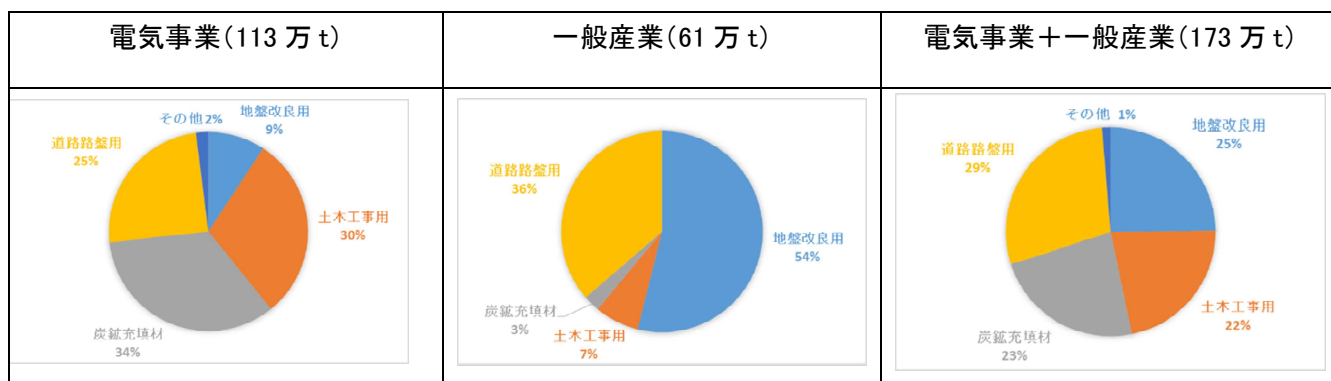


図 2-2 土木分野における石炭灰利用内訳

出典：一般財団法人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 28 年度実績)」

図 2-3 に平成 22～28 年度における石炭灰土木分野の主な用途の利用量の推移を示す。この間の土木分野利用量は 160～180 万 t／年でありほぼ安定した傾向を見せている。土木分野内での各用途について、平成 28 年度では前年と比較して道路路盤用の利用量が 1.6 倍増加しているが、全体としてはやや停滞しているといえる。

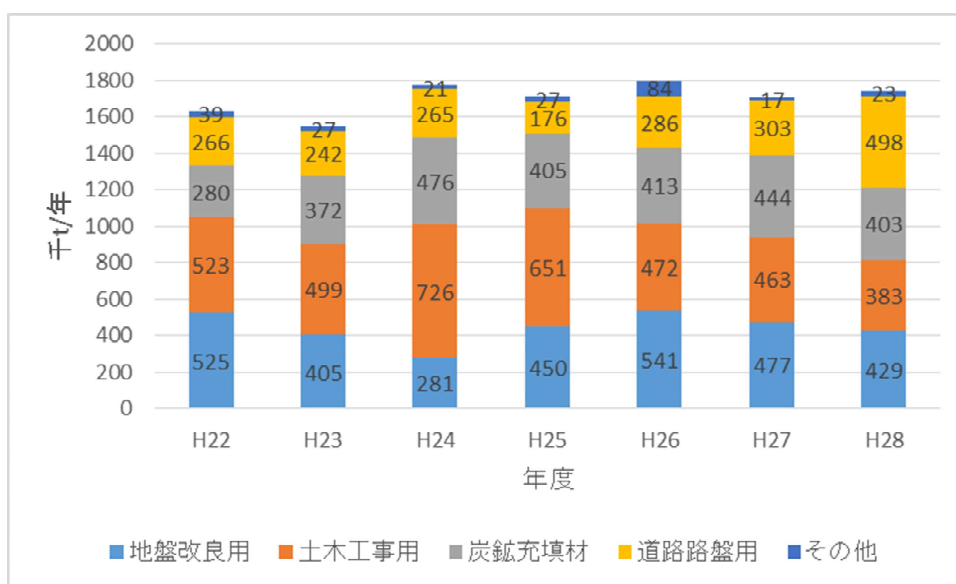


図 2-3 土木分野における石炭灰利用量推移(電気事業＋一般産業)

出典：一般財団法人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 22-28 年度実績)」より作成

以下では、地盤改良材及び道路路盤材を例示する。

① 地盤改良材としての石炭灰利用状況

深層及び浅層混合処理工法の固化材としてセメントに石炭灰を混合したものを使用

し、低強度から高強度までの幅広い地盤改良ができる。

浅層（表層ともいう）混合処理工法では固化材としてセメントに石炭灰を混合したものを使用して、軟弱土の物性を改善し、混合直後に重機が走行できるなど、従来の固化材にない改良効果が期待できる。

深層混合処理法では SCP(Sand Compaction Pile)で用いる固化材として石炭灰にセメント、水等を混合して造粒したもの（例えば Hi ビーズ）が使用されている。海砂と同等の締固め効果及び施工性が期待でき、天然資源の消費抑制が図られる。

図 2-4 に平成 19～28 年度における電気事業及び一般産業での地盤改良材としての石炭灰利用量の推移を示す。電力事業では地盤改良材としての利用量の変動はかなり大きく、ここ 10 年では 10 万～43 万 t のレベルである。一般産業での利用は概ね順調に増加しており平成 28 年度は 30 万 t 強のレベルとなっている。平成 27 年度から 28 年度にかけて、電気事業と一般事業の比率が大きく変わっている点については、平成 27 年度実績より住友共同電力(株)の事業区分が電気事業から一般産業に変更となったことが影響していると推測される。

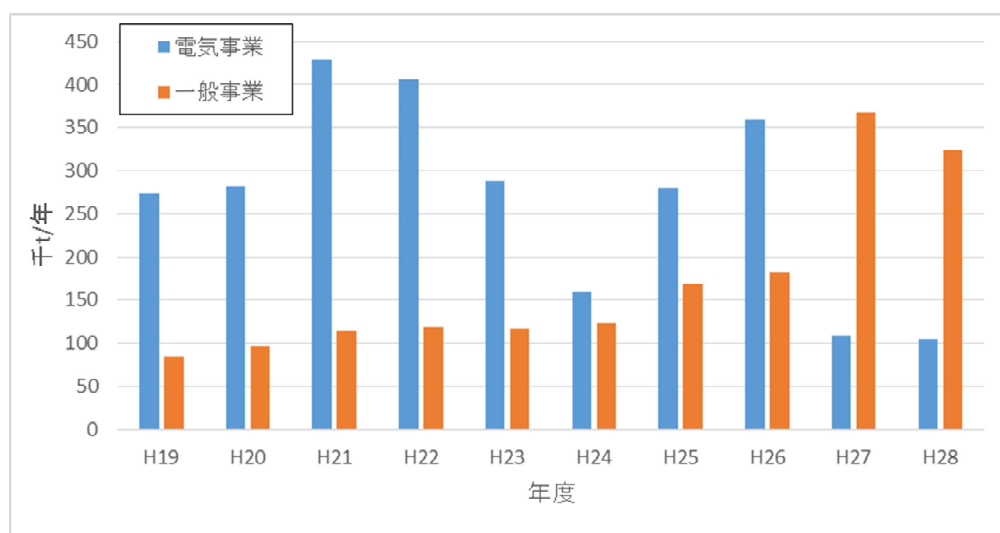


図 2-4 地盤改良材としての石炭灰利用量の推移

出典：一般財団法人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 19-28 年度実績）」より作成

② 道路用路盤材としての石炭灰利用状況

石炭灰混合物としては、石炭灰にセメント、水及び石膏等を加え粒状とするもの（石炭灰造粒物）と、石炭灰にセメント、水等を加えて混練し、石炭灰固化物を製造したもの、これを破碎する石炭灰固化破碎物の 2 種があるが、圧縮強度、粒径、粒度分布の点から一般に、後者が道路用路盤材（主として下層路盤材）として利用されている。

図 2-5 に、平成 19～28 年度における電気事業及び一般産業での道路用路盤材としての石炭灰利用量の推移を示す。電気事業における路盤材としての利用量は変動

が大きく、ここ 10 年については最大で 28 万 t(平成 28 年度)最小で 5 万 t(平成 25 年度)である。

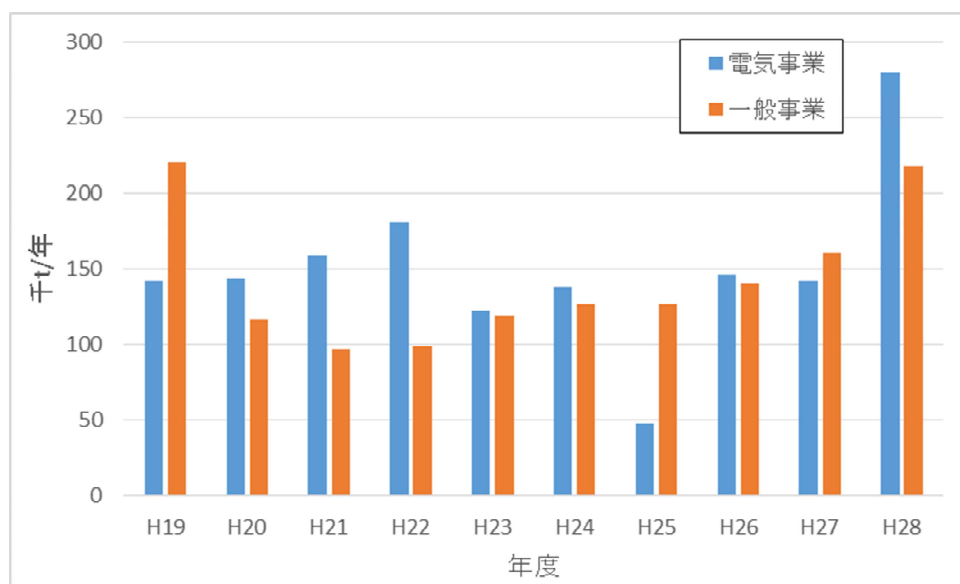


図 2-5 道路用路盤材としての石炭灰利用量の推移

出典：一般財団法人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 19-28 年度実績)」より作成

一方、一般産業については平成 19 年度に 22 万 t を記録したが、2 年後の平成 21 年度には 10 万 t 弱と半減した。ただし、その後は漸増傾向を示している。平成 28 年度時点での電気事業＋一般産業の道路路盤材への石炭灰利用量は 50 万 t 程度となっている。

図 2-6 に平成 20～29 年度における道路用砕石としての出荷量の推移を示す。道路用砕石出荷量は平成 20 年の約 65,000t から平成 29 年度には約 55,500t と減少している。

また図 2-7 には石炭灰リサイクル砕石の競合製品であるクラッシュラン及び再生骨材としての出荷量推移を示す。クラッシュラン及び再生骨材の出荷量の推移は道路用砕石と概ね同様の傾向を示し、現状ではクラッシュランが 2,200 万 t、再生砕石が 1,800 万 t のレベルである。

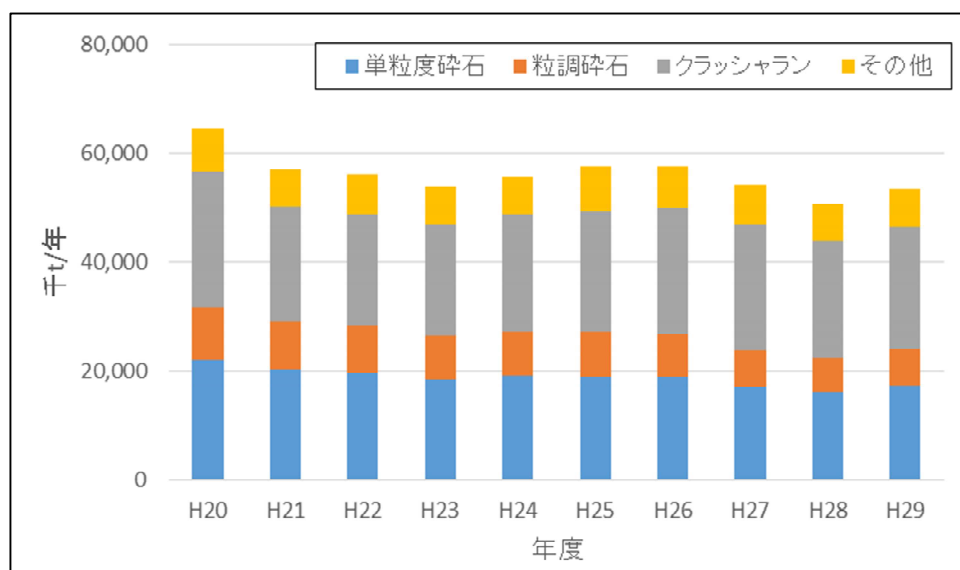


図 2-6 道路用砕石としての出荷量推移

(出典:経済産業省 砕石動態統計調査より作成)

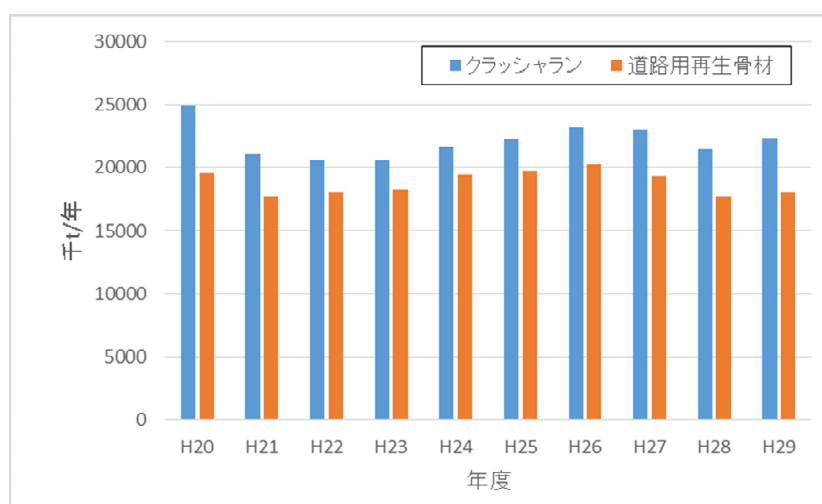


図 2-7 道路用クラッシャーラン及び再生骨材の出荷量推移

(出典:経済産業省 砕石動態統計調査より作成)

③ 土木分野における石炭灰有効利用促進に向けた課題

土木分野のうち、地盤改良材としての利用に関しては、地盤改良は特に新しい技術ではなく、土砂代替として如何に経済的に材料を供給できるかにかかっている。

道路用路盤材としての利用に関しては、原料は非 JIS 灰であり、粒径、未燃炭素分が燃料炭種、燃焼条件によって変動するが、原料の変動に対応して安定した強度、耐溶出性を有する石炭灰混合材料を製造する技術は固化体製造条件上の技術的な課題である。

(3) 建築分野における石炭灰利用に関する調査

1) 建築分野における石炭灰利用状況

建築分野における石炭灰の有効利用量は約 63 万 t であり、この数量は全体の有効利用量の 5.2%程度に留まる。建築分野の利用状況を図 2-8 に示す。建材ボードへの利用量が 51 万 t、人工軽量骨材への利用量が 9.1 万 t、コンクリート二次製品への利用量が 3.4 万 t となっており、80%以上を建材ボードが占めているのが現状である。

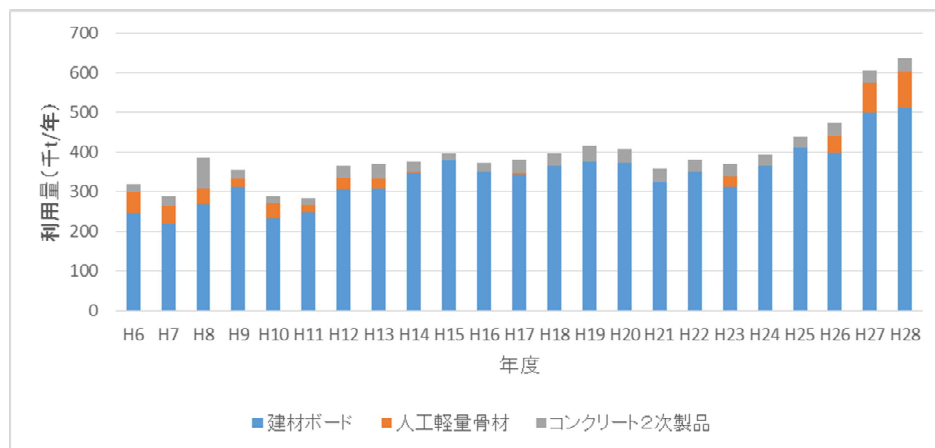


図 2-8 建築分野における石炭灰有効利用状況

(出典:一般財団法人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 6-28 年度実績)」より作成)

図 2-9 に建築分野における主要な製品・技術を示す。本項では、洋上風力発電設備での利用を念頭に、関連している製品・技術として赤枠に示すコンクリート二次製品及び人工軽量骨材を対象とする。

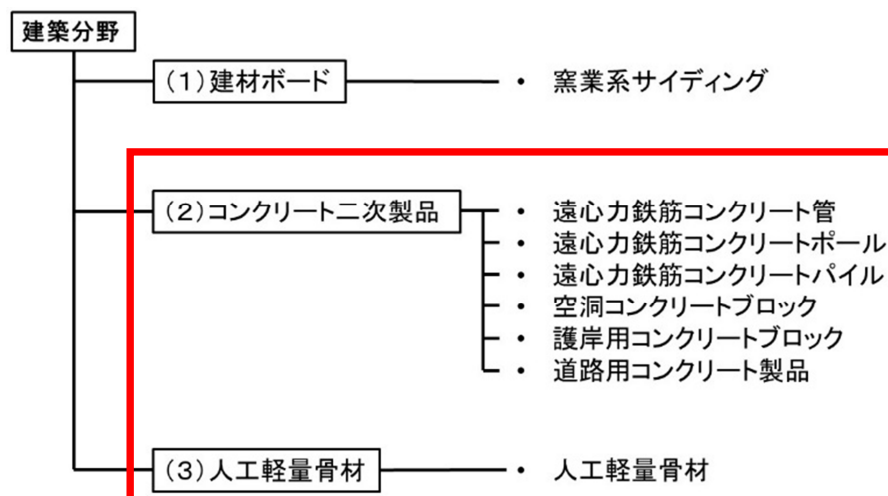


図 2-9 建築分野における主要な製品・技術

2) コンクリート二次製品における石炭灰利用状況

① コンクリート二次製品の製造量の推移

図 2-10 に各地方の公共工事発注額の推移を示す。関東地方及び東北地方が他の地域に比べて受注額が大きいのは、関東地方は東京オリンピック開催の特需、東北地方は震災復興によるものである。東北地方の工事受注額は落ち着きつつあり、関東地方においても 2020 年度以降は落ち着く見込みである。

次に図 2-11 にコンクリート二次製品の製造量の推移を示す。各コンクリート二次製品は、いずれの製品も平成 25～29 年度にかけて製造量が減少傾向にある。平成 29 年度の遠心力鉄筋コンクリート管の製造量は約 20 万 t、遠心力鉄筋コンクリートポールは約 54 万 t、遠心力鉄筋コンクリートパイルは約 130 万 t、空洞コンクリートブロックは約 60 万 t、護岸用コンクリートブロックは約 70 万 t 及び道路用コンクリート製品は約 260 万 t である。

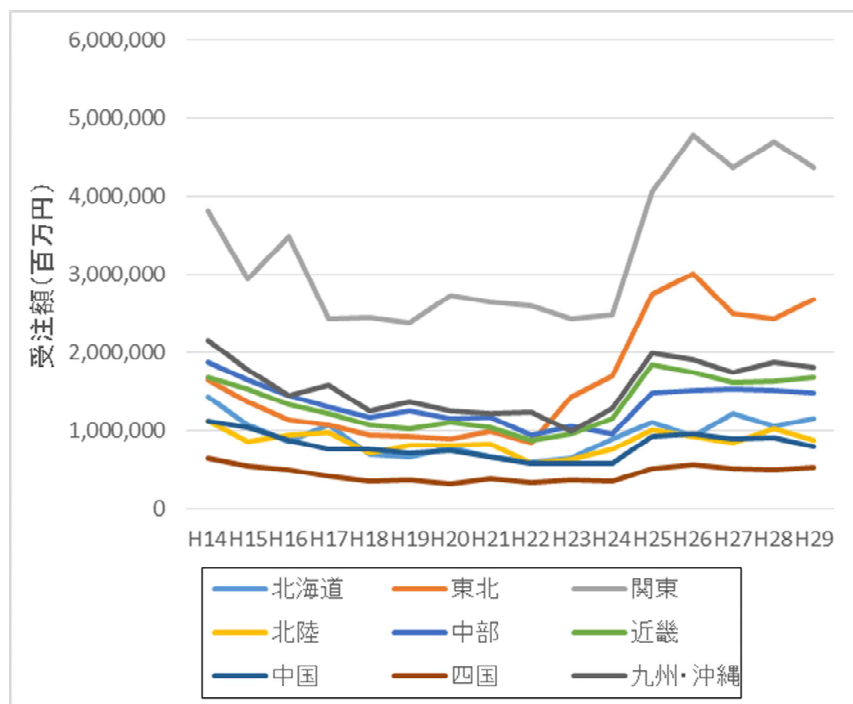


図 2-10 各地方の公共工事発注額推移

(出典:国土交通省 建設工事受注動態統計調査報告(平成 14-29 年度)より作成)

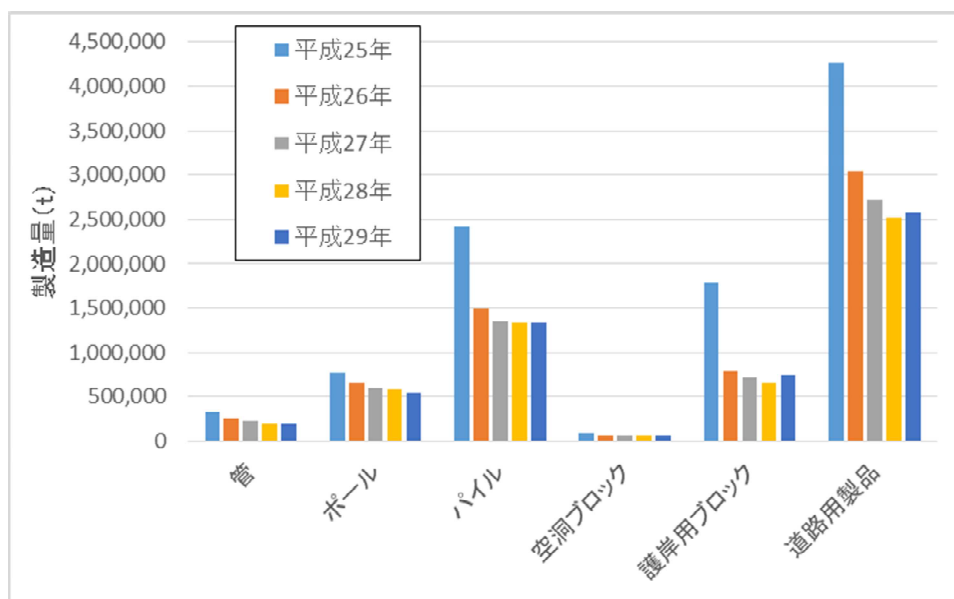


図 2-11 コンクリート二次製品の製造量推移

(出典:経済産業省 平成 29 年度生産動態統計調査より作成)

② コンクリート二次製品に関する近年の動向

平成 13 年のグリーン購入法の施行により、環境物品等の普及促進及び環境物品等に関する情報の提供を行う目的として、道府県レベルで独自にリサイクル製品認定制度を構築している。中には、混和材としてフライアッシュを混合したコンクリート二次製品（以下、フライアッシュ混合製品）を登録し、地域内で生じるフライアッシュ等の産業副産物の利用推進を図っている都道府県も見られる。

一方、昨今の地球温暖化問題により、CO₂ を代表とする温室効果ガスの排出抑制の取組みが急務であることから、全世界の人為的総 CO₂ 排出量の約 6% を占めるセメントの使用量を減らした低 CO₂ 排出型コンクリートの技術開発が世界的に望まれており、1980 年代に開発された「ジオポリマー」とも呼ばれる「セメントを使用しないコンクリート」が注目されている。現状のジオポリマーは施工性、経済性に問題を抱えており、国内では実用化・普及に至っていないものの、関心は高く、豪州や米国等で盛んに研究がなされており、国内においても、原材料や製造方法を工夫することにより施工性・経済性といった課題の克服を図っている。

3) 人工軽量骨材における石炭灰利用状況

① 人工軽量骨材の出荷量の推移

人工軽量骨材の出荷量推移を図 2-12、用途別出荷割合を図 2-13 に示す。平成 28 年度における出荷量は 200 千 m³ であるが、出荷量は年度ごとにバラつきが見られる。平成 28 年度における供給先としては、生コンクリートが 85%、プレキャストコンクリート

に 11%となっている。

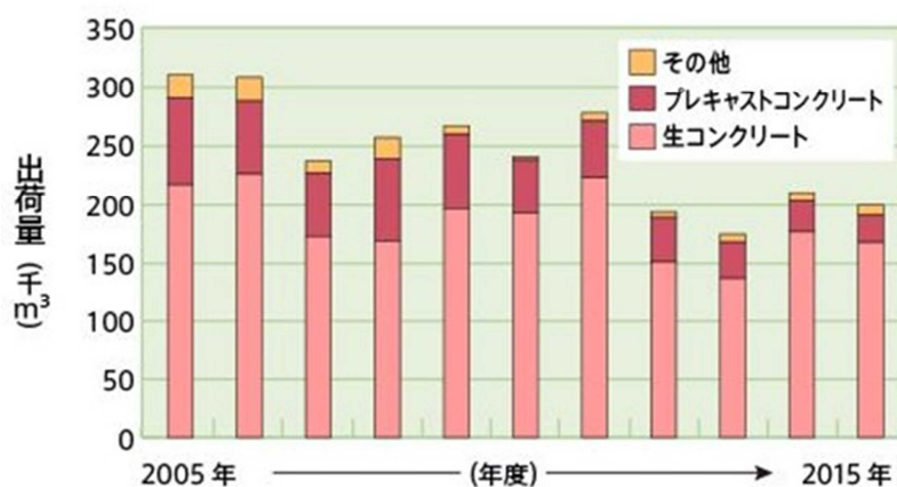


図 2-12 人工軽量骨材の出荷量推移

(出典: 人工軽量骨材協会 HP)

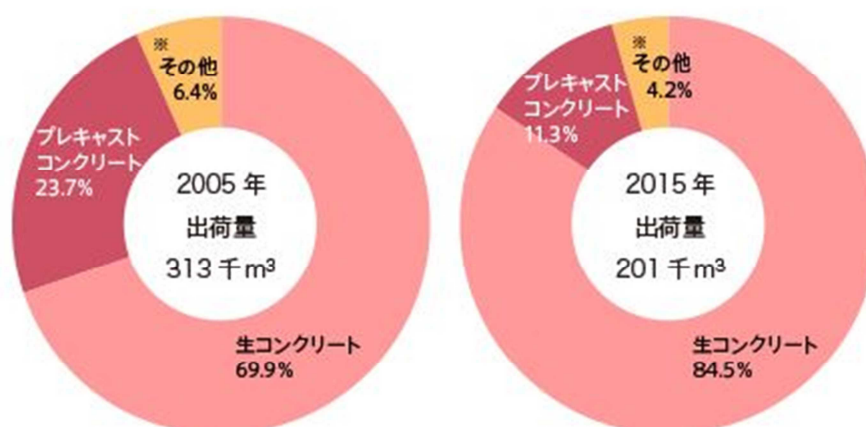


図 2-13 人工軽量骨材の用途別出荷割合

(出典: 人工軽量骨材協会 HP)

② 人工軽量骨材の分類

軽量骨材は構造用と非構造用に大別され、構造用軽量骨材の種類は JIS A 5002－2003「構造用軽量コンクリート骨材」によると、「人工」「天然」「副産」に分類される。そのうち、人工軽量骨材とは、膨張頁岩、膨張粘土、膨張スレート、フライアッシュを主原料としたものと定義されている。

製造方法による違いとして、非造粒型、造粒型、破碎型に大別され、本項では原料として代表的な膨張頁岩の製造方法について記載する。

非造粒型は、原料となる膨張頁岩を粗砕機で粉碎し、ロータリーキルンで焼成する。キルン内で骨材の角張りが取れ、形状は川砂利形となる。非造粒型の製造方法の長所は製造工程が単純化でき、製造管理が比較的容易である。短所は、原料を粗砕してそのまま焼成するため、原料の品質の変動に製品の品質の変動が依存されることとなる。

造粒型は、原料となる膨張頁岩をボールミルなどで微粉碎し、その他の原料を混合し、加水・混練する。その後、造粒機で造粒し、ロータリーキルンで焼成する。造粒型の人工軽量骨材の製造方法の長所は、種々の原料(石炭灰、発泡材、ベントナイト、下水汚泥など)を配合することができ、焼成骨材の品質変動が非造粒型よりも比較的小さいことである。短所は、非造粒よりも製造工程が複雑なため製造管理の手間がかかる。

破砕型は、原料を粗砕し、ロータリーキルンに投入し焼成する。発泡した原料は塊状となりキルンの出口で粗砕されるため、骨材の形状は角張った碎石形である。破砕型の製造方法の長所は、製造管理は前2者に比べて容易であるが、短所は前2者に比べて焼成骨材の品質変動が大きい。

人工軽量骨材協会では、構造用人工軽量骨材としてメサライト及びアサノライトを認定し、国内の工事では上述の2種が主に使用されている。

4) 建築分野における石炭灰有効利用促進に向けた課題

① コンクリート二次製品としての石炭灰利用促進に向けた課題

建築分野の市場動向で示した通り、コンクリート二次製品の製造量は減少傾向にあり、2030年度における二次製品の製造量は現状の据え置きかもしくは減少していると推定される(工事受注数によっては増加する可能性もあり得る)。製品の製造量が横ばいで推移する中で石炭灰有効利用量を増やすためには、

- ・ フライアッシュコンクリート二次製品のシェアの拡大
- ・ ジオポリマー(セメントを使わないコンクリート)製二次製品の実用化、普及・拡大

が挙げられる。

フライアッシュコンクリート二次製品のシェアの拡大では、現状でフライアッシュコンクリートの標準使用化や道府県に設けられたリサイクル製品認定制度への二次製品の登録及び工場の認証などフライアッシュコンクリート二次製品の利用推進に積極的な地域が見られるものの、地域毎に状況に差が見られる。石炭灰混合材料のリサイクル製品認定状況においては、特に北海道、東北地方及び北陸地方が進んでいる傾向にあり、先進的な地域例を参考にすることで他地域においてもフライアッシュコンクリート二次製品の普及率が向上すると考えられる。

ジオポリマー製二次製品の実用化、普及・拡大では、開発段階の技術であるが、道

路用境界ブロックやU字型排水溝の試験製造及び施工例が出始めており、今後も継続して種々のコンクリート製品の試験製造及び施工を実施するなどして実績の蓄積が必要である。国内のコンクリート二次製品メーカーがジオポリマーの実用化に向けた実証試験を検討しており、そこでジオポリマーの種々のコンクリート二次製品への適用性や性能確認試験等のデータが蓄積されと考えられる。

2030年度における石炭灰有効利用を推進していくにあたり、フライアッシュコンクリート二次製品については、各都道府県のフライアッシュコンクリート二次製品使用のための使用基準の整備や各事業者による実績の蓄積が必要である。ジオポリマーは、上記のデータや施工実績の蓄積により有用性を周知していく必要がある。

② 人工軽量骨材としての石炭灰利用促進に向けた課題

人工軽量骨材は、人工軽量骨材協会が認定した資材が市場を独占している状況であり、製造工程の簡略化やそれに伴う製造コスト削減による石炭灰を主原料とした製品の普及が望まれる。

(4) 農林水産分野における石炭灰利用に関する調査

1) 農林分野における石炭灰利用状況

農林分野での主な用途は肥料としての活用である。

石炭灰の肥料への利用は、1960年に微粉炭燃焼灰が特殊肥料の指定を受けたが、1992年の肥料公定規格の改正(1993年1月7日施工)によって、クリンカアッシュも形状、ホウ素及びケイ酸の含有量などから粒径制限を設けて特殊肥料として指定された。また、石炭灰を主原料とした「けい酸加里肥料」も工業化に成功し、1978年に加里質普通資料として認可され、1979年より生産販売している。

平成28年度から過去10年分の肥料分野における石炭灰利用量の推移を図2-14に示す。石炭灰は珪素の供給源としてだけでなく、畑の水捌けを補助する役割も持ち、土壌改良資材に似た特性も持つため、土壌改良材と定義した。肥料については、肥料取締り法の普通肥料の公定法に登録された肥料(けい酸加里肥料)を指す。利用量の推移を見ると、珪酸加里肥料は毎年約30千tの安定的な利用がされている。一方、土壌改良材(石炭灰)は年々増加傾向にあり、平成19年度からすると平成28年度は約6倍の利用量となっている。

以下では、けい酸加里肥料、培土及び腐熟促進剤を例示する。

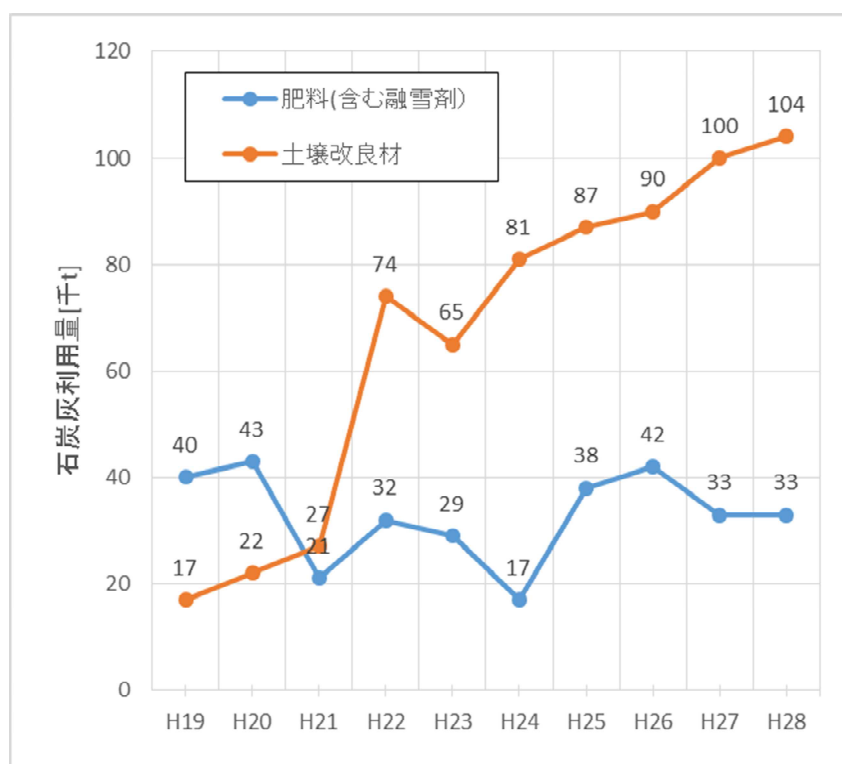


図 2-14 肥料分野における石炭灰利用量の推移

(出典:一般財団法人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 19-28 年度実績)」より作成)

① けい酸加里肥料としての石炭灰利用状況

緩効性の加里肥料であるため、通常の即効性を持つ化学肥料とくらべてカリウムの利用率が高く、また栄養塩過剰状態を避けることにも繋がる長所がある。

一方、カリウムが石炭灰に由来するものではなく、添加によって追加されることが課題である。カリウムはほとんどが輸入に頼っており、供給と価格について外部要因を受けやすい。また、一般には、石炭灰を原料とした肥料は食用作物への積極的利用は避けられる傾向にある。

② 培土としての石炭灰利用状況

石炭灰利用培土は、クリンカアッシュの孔に根毛が入り込み、栄養分の吸収が進み易く、根の張りが良くなる。透水性、保水性、通気性、保肥力に優れたクリンカアッシュが主成分であり、有機物も含んでいる。

一方、培土は基本的には家庭用に製造されているものであり、消費量が多くないことが課題である。培土を多量に利用する際の基本は地産地消である。そのため、培土の利用拡大を図るにはクリンカアッシュを現地に届ける体制を整える必要がある。

③ 腐熟促進剤としての石炭灰利用状況

腐熟の効果が認められるものであれば、堆肥に添加することができる。石炭灰による堆肥の腐熟促進作用の検討がなされ、促進されることが確認されている。

一方、三相分布の気相が高くなること、また必ずしも石炭灰である必要がなく一般的な腐熟促進剤に代わり難いことが課題である。

2) 農林分野における石炭灰有効利用促進に向けた課題

市場規模から計算すると肥料分野における石炭灰利用量は、今後増加する可能性は高く、ポテンシャルはあると考えられる。ただし、けい酸加里肥料については、現状の化学肥料との関係や農協との関係もあるため、単純な増加は見込めない可能性が高い。させることは困難であると考えられる。また、石炭灰堆肥についても、工業用作物の利用先がないため、現状における普及拡大は難しいと考えられる。

普及拡大に向けて検討すべき課題として、けい酸加里肥料の場合、公定規格を満たした技術を完成させ、肥効の確認作業まで行う必要がある。更に、肥料に対してこだわりを持つ農家に肥料を変えてもらうという障壁がある。土壌診断などで加里肥料の転換を求められたとしても他の緩効性加里肥料もあるため、必ずしもけい酸加里肥料へ転換されるわけではないと考えられる。つまり、利用促進を図るためには、利用先を明確にするとともに、生産から利用まで一貫したシステムの開発を実現するための検討が必要と考えられる。

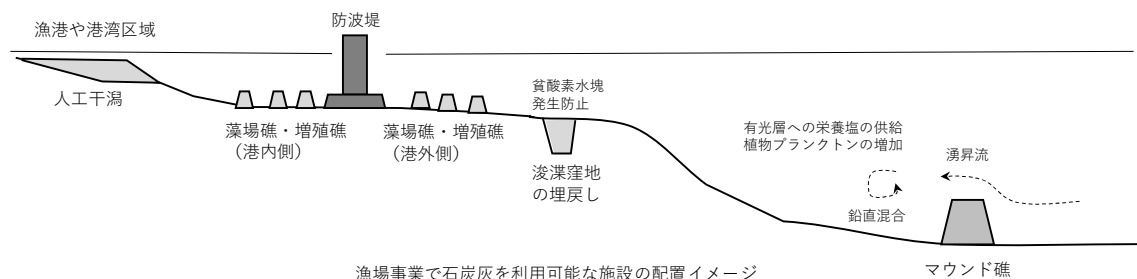
3) 水産分野における石炭灰利用状況

これまで、水産分野での石炭灰有効利用の実績としては、国直轄によるフロンティア漁場整備事業において造成したマウンド礁(人工海底山脈とも呼ばれている)がある。これは石炭灰を利用したブロックを沖合の海底に投入して大規模なマウンドを形成することで、湧昇流や水塊の混合を発生させ、水産資源の増大を図るものである。他方、漁場整備の大半を占める地方自治体による漁場整備においては、未だ利用に至っていないのが現状である。

漁場施設における石炭灰有効利用の促進として表 2-4 に 6 つの分野を整理した。有効利用の範囲は沖合から沿岸域まで広がっており、すでに技術的に確立されたマウンド礁については、さらに廉価版の石炭灰ブロックを供給するため、地産地消型のビジネスモデルにより、各地にプラントを設置し、ブロックを供給できる体制づくりが必要となる一方、まだ実例のほとんど無い藻場礁・増殖礁等はこれから実績を作り、その成果を確認しつつ開発を進める必要がある。

表 2-4 漁場施設における石炭灰有効利用内容と課題

技 術	概 要	技術的課題	社会的課題
湧昇マウンド礁	水深 100m 前後に高さ 10m 前後の山脈状にマウンド礁を造成し、底層の栄養塩濃度の高い海水との混合により、プランクトン増殖・魚類の鯖集を図る。石炭灰ブロックによる実施例がある。	既往の技術は問題なし 廉価版のブロック供給の検討が必要	石材店や生コン業者との軋轢が発生する。有効利用の
藻場礁・増殖礁	砂質底に投石やブロックを設置し、岩礁化することで、藻場が形成され、魚介類が増殖する。	石炭灰ブロックは質量が小さく、港外での使用には大型化、高比重化が必要。海藻の付着しやすい形状も考慮。 既往の藻場礁の型枠利用の検討が必要。	基礎実験レベルで実施例が少なく、発注者への営業・啓蒙が必要。
人工干潟	アサリ等の生産のため、人工干潟が建設されている。良質な砂質土は単価が高く、中詰材にズリが使用されることがある。	中詰材として FRC 砕石等の破砕材や造粒材の利用が考えられ、さらなる検証が必要。	鉄鋼スラグや石炭灰の造粒材での実験的事例はある。破砕材の利用の推進と発注者への提案が必要。
漁港内増殖礁	漁港内を有効利用するため、ナマコの鯖集施設等を設置する。	軽量なブロックが必要である。先駆的な研究開発が必要である。	実施例はないが、国の施策や漁業者の意向に沿うため重要テーマ。
窪地の埋め戻し	浚渫窪地(砂採取跡地)は夏季に貧酸素水塊(青潮等)の発生場所として指摘され、近年、各地で窪地の埋戻しが実施されている。	窪地を埋め戻す材料として、石炭灰の土砂代替材の利用は可能と考えられる。環境負荷の検討が必要。	水産庁のみでなく、国交省の事業でもある。鉄鋼スラグの実績はあるが、石炭灰はない。
人工魚礁	人工魚礁は容積が大きい割に質量が軽いため、安定性を確保するには少なくとも普通コンクリートの単位体積質量が必要である。石炭溶融スラグの細骨材としての利用の可能性はある。	普通生コンの細骨材の一部を石炭ガス溶融スラグで置き換える。生コン工場や発電所に隣接したプラントでのスラグの利用実績が必要。	発注者のみならず、生コン業者の理解や協力が必要。



上述の通り、漁場施設における石炭灰の有効利用は 1980 年代後半に検討されている。その成果の一部として、石炭灰硬化体を漁場施設に利用することを目標に、社団法人マ

リノフォーラム 21(漁場施設開発研究会「新素材開発研究グループ」が水産庁の支援を受けて、「石炭灰コンクリート設計・製作マニュアル」を作成した。その後の実証試験推進における設計思想はこのマニュアルが基本になっていると考えられる。しかし、記載内容が古く、その後の配合設計の改良等からも、マニュアルの改良が求められている。漁港施設や漁場施設での石炭灰利用に向けて、港湾工事や震災復興資材編等のガイドラインも完成しているものの、実際の設計にはまだまだ生かされておらず、有効利用が進んでいるとは言えないことから、ガイドラインの啓発等も必要であると考えられる。

4) 水産分野における石炭灰有効利用促進に向けた課題

上述の通り、漁場施設を対象にした石炭灰の有効利用の実績は湧昇マウンド礁用のブロック製作のみである。そのため、今後の有効利用促進に向けた取り組みとして、推進母体を結成するとともに、現状で熟度の高い技術の範囲をマニュアル化し、広く啓発する資料づくり等を行う必要がある。

また、漁場施設を対象とした石炭灰の有効利用技術は水産庁が実施したマウンド礁用のブロック製作以外は開発中もしくは今後の開発を必要とするものであり、さらなる検討の結果最新のマニュアルへの改良が必要である。しかし、マニュアル改良のためには各技術の成果が出ることが求められる等、一定の期間が必要とされており、一方で、マニュアル整備が進まないと、石炭灰の有効利用が進まず、地産地消の企業誘致も進みにくい。そこで、現状の技術及び開発中の藻場礁の技術で完成度が高い取り組みを早急にまとめてマニュアル化することが望ましいと考えられる。

(5) その他分野における石炭灰利用に関する調査

石炭灰は、従来は埋立材料やセメント原料として多く利用されてきたが、今後は、石炭灰の化学的成分構成や保水性、吸着性、軽量性などの特長を活かした製品の開発が石炭灰の利用促進につながると考えられる。

その一部の開発事例を以下に示す。特に人工ゼオライトは実用化されており、将来の農園材や水質浄化、土壌浄化技術に寄与するのではないかと期待されている。この人工ゼオライトを用いた製品開発が今後の課題であり、この製品開発が進めば石炭灰の有効利用が更に拡大する可能性があると考えられている。

1) 一部の開発事例における石炭灰利用状況及び石炭灰有効利用促進に向けた課題

① 人工ゼオライト

ゼオライトは沸石とも呼ばれる、シリカ(SiO_2)とアルミナ(Al_2O_3)を主成分とした多孔質の物質である。天然に産出する天然ゼオライトと工業薬品から製造される合成ゼオライトの2種類があるが、近年フライアッシュ等を主原料とした第3のゼオライトとして人工ゼオライトが開発された。フライアッシュを水酸化ナトリウム水溶液等と混合し、加熱

などの化学処理を行って製造される。性能、経済性の面からは天然ゼオライトと合成ゼオライトの中間に位置するとされ、「吸着」「イオン交換」「触媒活性」などの優れた機能を有し、脱臭や、水質の浄化、土壌改良などの用途で利用されている。

② 人工軽量地盤(屋上緑化用人工土壌)

都市中心部では樹林や空地の減少に伴い、ヒートアイランド現象などの環境問題が深刻化する中、これらの緩和に有効とされる屋上緑化は、多くの自治体で義務化され、さらに補助制度も導入されている。クリンカアッシュは、砂に近い粒度分布を持つ多孔質粒子であるため軽量で、緑化に必要な保水性や通水性に優れており、屋上などの乾燥の激しい場所や荷重を考慮する場所において、屋上緑化用人工土壌の主材料として利用されている。

③ トンネル裏込材

シールド工法等によるトンネル掘削覆工の裏込材としてフライアッシュを利用すると、その特性から、圧送、流動、充填およびポゾラン反応による強度発生等、トンネル工事に必要な材料特性が得られる。裏込注入原料中のフライアッシュの混合比率は、土質、地下水等の状態によるが、40%程度が有効とされている。

④ 軽量盛土材

大型岸壁の裏込材、テールアルメ工法の擁壁裏込材として、従来の天然材料の代替にクリンカアッシュを利用した工事が進められている。クリンカアッシュは砂とよく似た粒度分布であり取扱が容易なこと、単位体積重量が砂よりも軽く、さらに内部摩擦角が30度以上あり壁にかかる加重を軽減できること、多孔質であり吸水性・透水性に優れていることなどの理由により、建設コストの削減、資源の有効利用、壁の耐震性の向上などが期待されている。

⑤ コンパクションパイル中詰材

シルト、砂質土等の軟弱地盤の改良工法として、従来のサンドコンパクションパイル工法の砂の代替に、クリンカアッシュやフライアッシュ造粒物が使用されている。

⑥ スラリー材

フライアッシュにセメント、砂等を添加して水と混合し、スラリー化して狭隘箇所の充填、埋め戻しや構造物の中詰材に使用されており、CDM工法の材料にも適している。また、砂を用いずフライアッシュにセメント、気泡剤、水を加えてスラリー化したエアミルクは、下水道、電話・通信線等の地中化に伴う管路の中詰や管内充填、トンネル坑口部の保護盛土等に利用されている。

⑦ フライアッシュモルタル

フライアッシュモルタル(石炭灰に少量のセメントを添加し水と混合したもの)は、岸壁などの充填材、表層改良材、軽量裏込材、ブロック材、陸上遮水材として使用されている。特殊な工法として、フライアッシュモルタルに少量の硬化促進剤を添加することにより、型枠を用いなくて海中部における捨石傾斜堤等の法面に遮水材として施工する方法もある。特に水深の深い海中で優れた施工性・経済性を発揮する。

⑧ 消波ブロック用新素材コンクリート

石炭灰に少量のセメントと海水を混ぜて締め固めることで、コンクリートと同程度の強度を持つ固化体を作ることができ、これに比重の高い金属スラグを混入し、単位体積あたりの重さを自由に変えることができる。重量が必要になる消波ブロックなどを低コストで製作できる海洋コンクリートとして使用されている。

⑨ 排煙脱硫剤

フライアッシュを主原料とし、石灰、石こうを加えた脱硫剤であり、石炭火力発電所の乾式排煙脱硫装置に使用され、高い脱硫性能を示している。また、使用済み脱硫剤は石こう源として脱硫剤の製造に一部使用されるほか、脱臭、ヘドロ固化、除濁などの効果がある。さらに、本技術を基に開発された半乾式脱硫システムが国のプロジェクト(グリーンエイドプラン)に採用され、中国の石炭火力発電所に供与されて実績を上げている。

⑩ 高分子材料の混和材・充填剤

プラスチックには強度、成型性、接着性等の物性保持のために、充填材としてシリカ等の無機成分が混合されており、フライアッシュの成分は、無機成分を主成分としているため、プラスチック混和材として利用されている。また、フライアッシュの成分は、ゴムの補強、増量に使用されている配合剤と類似しており、有効な成分を含んでいるため、ゴム充填剤としての利用も可能とされている。

⑪ 水処理材

クリンカアッシュは多数の細かい孔隙を有しているため、吸着性がある。これを利用して病院、ホテル、ゴルフ場、食品加工工場等の排水の浄化用として使用されている。

2.2. 秋田県における石炭灰の現状把握と今後の展望

2.2.1. 秋田県内事業所で発生する石炭灰の現状調査

(1) 現状の石炭灰発生量調査

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 29 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表 2-5 に示す。

表 2-5 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 29 年度)

	東北電力(株) 秋田火力発 電所	東北発電工 業(株) 秋田 支社	秋田プライウ ッド(株) 向浜 第一工場、 向浜第二工 場	日本製紙(株) 秋田工場		東北電力(株) 能代火力発 電所、能代火力発電所建 設所	
業種	電気業	建設業	木材・木製品 製造業	紙・パルプ製造業		電気業	
産業廃棄物品目	ばいじん	燃えがら	燃えがら	ばいじん	燃えがら	ばいじん	燃えがら
①排出量	379.26	23.12	1,260.17	30,930.00	1477.00	285,766	28,216
②自ら直接再生利用した 量	0	0	0	0	0	0	0
③自ら直接埋立処分又は 海洋投入処分した量	0	0	0	0	0	25,779	10,008
④自ら中間処理した量	0	0	0	0	0	0	0
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	0
⑦自ら中間処理により減 量した量	0	0	0	0	0	0	0
⑧自ら中間処理した後再 生利用した量	0	0	0	0	0	0	0
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	379.26	23.12	1,260.17	30,930.00	1,477.00	259,987	18,208
⑪⑩のうち優良認定処理 業者への処理委託量	50.58	0	0	0	0	0	0
⑫⑩のうち再生利用業者 への処理委託量	328.68	0	0	0	1,266.00	251,778	18,208
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	328.68	0	0	0	0	0	0

(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」を基に作成)

また、東北電力株式会社全体における石炭灰の発生量及び有効利用率について、表 2-6 に示す。同社の「環境行動レポート 2018」によると、平成 28 年度の時点で有効利用率の向上が認められる。2017 年度は石炭灰の発生量が約 9 万 t 増加したものの、セメント原料への有効利用につとめた結果、前年度実績と同程度の有効利用率を確保したとのことであった。

表 2-6 東北電力株式会社全体における石炭灰の発生量及び有効利用率

	平成 23 年度	平成 24 年度	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度
石炭灰発生量(千 t)	354	427	890	830	862	794	882
石炭灰有効利用率(%)	84.0	63.9	66.6	82.5	83.1	91.7	91.6

(出典:東北電力株式会社「環境行動レポート 2017, 2018」)

(2) 秋田県内で発生した石炭灰の公共工事等での施工実績

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 28 年度では 14,510t、
平成 29 年度では 7,185t であった(東北電力株式会社「環境行動レポート 2018」より)。東北
フライアッシュ・クリンカアッシュの施工実績を表 2-7 及び表 2-8 に示す。

表 2-7 東北フライアッシュの施工実績

利用用途	発注者	工事名、施設名	工事場所	セメントの種類及び使用方法		使用開始年月
ダム	山形県	留山川ダム	山形県	中庸熟セメント+フライアッシュ	セメント工場混合	H20.6
	国 土 交 通 省	津軽ダム	青森県	中庸熟セメント+フライアッシュ	現地混合	H21.12
港湾	秋田県	岩館漁港地域水産物供給 基地整備事業	秋田県	普通セメント+フライアッシュ	生コン工場混合	H20.9
	秋田県	能代港重要港湾改修工事	秋田県	普通セメント+フライアッシュ	生コン工場混合	H20.9
土木	秋田県	公共工事標準仕様工事	秋田県	普通セメント+フライアッシュ	生コン工場混合	H20.9
	東 北 電 力 (株)	水力発電所	新潟県	普通セメント+フライアッシュ	現地混合	H21.8
	東 北 電 力 (株)	火力発電所	新潟県	普通セメント+フライアッシュ	生コン工場混合	H22.3
	東 北 電 力 (株)	火力発電所(非常電源)	新潟県	普通セメント+フライアッシュ	生コン工場混合	H23.8
	東 北 電 力 (株)	火力発電所(非常電源)	新潟県	普通セメント+フライアッシュ	生コン工場混合	H23.9
	鉄道会社	駅高架工事	新潟県	普通セメント+フライアッシュ	生コン工場混合	H23.8
	仙台市	仙台市地下鉄東西線	宮城県	普通セメント+フライアッシュ	生コン工場混合	H24.1
トンネル	国 土 交 通 省	摩当山トンネル	秋田県	普通セメント+フライアッシュ	現地混合	H21.9
	秋田県	猿ヶ瀬トンネル	秋田県	普通セメント+フライアッシュ	現地混合	H22.1
	国 土 交 通 省	栗子トンネル(山形側)	山形県	普通セメント+フライアッシュ	現地混合	H21.7
	NEXCO 東日本	原町トンネル	福島県	普通セメント+フライアッシュ	現地混合	H21.12
	国 土 交 通 省	松ヶ房トンネル	福島県	普通セメント+フライアッシュ	現地混合	H21.9
	国 土 交 通 省	栄トンネル	秋田県	普通セメント+フライアッシュ	現地混合	H24.6
	国 土 交 通 省	吉浜トンネル	岩手県	普通セメント+フライアッシュ	現地混合	H24.8

(出典:東北発電工業株式会社 HP <http://www.tohatu.co.jp/service/sekitanhai/04.html> より作成)

表 2-8 東北クリンカアッシュの施工実績

使用形態	発注者	工事場所	出荷場所	概算使用 数量(t)	施工年度
水道管理戻材	福島県 南相馬市	福島県南相馬市 水道管布設替工事	原町火力	2,400	H20 年度
下水道管理戻材	福島県 南相馬市	福島県南相馬市 下水道渠築造工事	原町火力 南相馬市	4,500	H20 年度
屋上緑化基盤材	民間	福島県富岡町 および栃木県日光市	原町火力	1,000	H20 年度
水道管理戻材	福島県 南相馬市	福島県南相馬市 水道管布設替工事	原町火力	2,600	H21 年度
下水道管理戻材	福島県 南相馬市	福島県南相馬市 下水道渠築造工事	原町火力	1,800	H20 年度
グラウンド中層材	鹿角市 及 び秋田市	秋田県鹿角市 および秋田市	能代火力	3,100	H21 年度
花壇ブロック用混和材	民間	福島県三春町	原町火力	700	H21 年度
道路路床材	福島県 南相馬市	福島県南相馬市 道路整備工事	原町火力	1,500	H21 年度
芝土保水材	福島県 相馬市	福島県相馬市 パークゴルフ場造成工事	新地火力	2,400	H21 年度
水道管理戻材	福島県 南相馬市	福島県南相馬市 水道管布設替工事	原町火力	2,000	H22 年度
下水道管理戻材	福島県 南相馬市	福島県南相馬市 下水道渠築造工事	原町火力	2,400	H22 年度
下水道管理戻材	福島県 南相馬市	福島県南相馬市 下水道渠築造工事	新地火力	5,300	H22 年度
花壇ブロック用混和材	民間	福島県三春町	原町火力	600	H22 年度
下層路盤材	NEXCO 東 日本	常磐道 原町IC～相馬IC間	原町火力	13,500	H23 年度
グラウンド中層材	宮城県	宮城県教育・福祉複合施設 建設工事	新地火力	600	H24 年度

(出典:東北発電工業株式会社 HP <http://www.tohatu.co.jp/service/sekitanhai/04.html> より作成)

このように、現在、東北フライアッシュは、ダム、港湾、土木、トンネル分野でのセメント混合材料としての施工実績があり、東北クリンカアッシュは、上・下水道管理戻材や道路路床材としての施工実績があるが、今後の石炭灰発生量増加に伴い、更に利用先拡大に向けた検討を行う必要がある。その際、これまでの施工実績からも言えることとして、経済性確保が大前提となる。つまり、地産地消の観点で経済性が成立しうる条件下での適用先・適用量を増加させることが重要である。

そのために、これまでの取組み実績を基に、洋上風力発電設備への転用が可能なもの等、本調査結果を基に精査することが必要である。あるいは、現状の技術では転用が難しいものについては、必要となる技術改良等について検証することで、有用性向上に向けた検討を進めることが必要である。一方、有用性向上のみならず、安全性確保に向けた基準等を現行の基準で適用可能かどうか等の検証も行う必要がある。

以上の検討を基に、トータルとして、石炭灰の新たな適用用途としての洋上風力発電設備での利用可能性があるかどうかを検討・整理することが必要である。

(3) 今後の石炭灰発生量見込み

現在、秋田県内において稼働中及び計画中の石炭火力発電所の概要を表 2-9 に示す。計画中の発電所の運転が開始されると、発電出力の合計は現状の 2.7 倍弱に増加する。石炭灰の発生量が出力に概ね比例すると仮定すれば、将来における石炭灰発生量は現在とくらべて大幅に増加すると見込まれ、有効活用の重要性が一層高まるものと考えられる。

表 2-9 秋田県内において稼働中及び計画中の石炭火力発電所の概要

省略

2.2.2. 秋田県内の石炭灰活用状況調査

(1) 秋田県内の石炭灰利用事業者の調査

秋田県内の石炭灰を利用した製品を現在取り扱っている事業者について、各種資料の整理を行い以下にまとめた。

1) 能代山本生コンクリート協同組合

会社概要	
＜名称＞ 能代山本生コンクリート協同組合	
＜組合員＞ 秋北生コンクリート株式会社 能代中央生コン株式会社 中友商事株式会社	
＜所在地＞ 秋田県能代市	
石炭灰リサイクル製品の概要	
＜製品＞ フライアッシュ（JISⅡ種灰）混合コンクリート コンクリート混和材として使用した際の混合割合は用途により10～50%。 サイロと軽量機を直接連結させることにより、効率的な製造ラインを設計している。 能代山本地域においてフライアッシュ混合コンクリートは平成22年より県発注工事での使用が標準化されている。 秋田中央地域でもフライアッシュ入り生コンクリート製造施設を導入しようとしている事業者がある。	
石炭灰リサイクル製品のメリット	
作業性の向上、耐久性の向上、発熱の低減、アルカリシリカ反応の抑制 コンクリートと合わせた場合、高炉スラグに比べてひび割れが入りにくい。	
公共事業での活用促進にむけての取り組み	
県、地方振興局開催の説明会、意見交換会等を通じて、逐次現状報告を行うと共に、国等も含め、要望書を提出する等して働きかけを進めている。 秋田県以外でも実績を積み上げている。（広島県、長崎県、宮城県） 国の仕様書に明記されることが重要なため、今後も継続して働きかけを行う。	

2) ホクエツ秋田

会社概要	
<名称> 株式会社ホクエツ秋田 品質管理部 <所在地> 全て秋田県内 本社: 秋田市 営業所(2箇所): 大館市、大仙市 工場(4箇所): 大館市、能代市、秋田市、大仙市	
石炭灰リサイクル製品の概要	
<製品> 生コンクリート同様、フライアッシュ(JISⅡ種灰)混合コンクリートを用いたプレキャストコンクリート製品 製品は秋田県の認定リサイクル製品として登録されている(県発注工事で優先的に使用されている)。	
石炭灰リサイクル製品の利点・課題	
<メリット> コンクリート製品の主な劣化要因である①中性化②凍結融解③塩害④アルカリ骨材反応に対してFAが有効である。 <フライアッシュ利用のリスク、課題> 未燃カーボンによるAE剤の吸着、未燃カーボン量の変動 <リスク、課題に対する取り組み> 補助金を受けて、秋田大学との共同研究及びサイロ新設 ⇒合理的にコストを軽減した高耐久品質を広範囲の製品に対応可能	
今後の石炭灰リサイクル製品の有望な利用先	
現時点では現在の二次製品製造に特化して業務を進める。セメントを使わないFAコンクリートについては現状開発途上であることから、今後協議の上メリットを感じれば製品製造を手がけることは可能。	
公共事業での活用促進にむけての取り組み	
国の仕様書に明記されることが重要で、国や行政等への働きかけを行っている。 同社の保有技術を活用したビジネスに対して他社への広報活動を行っている。他者にメリットを感じてもらえれば、FAメーカーの増加に繋がる。	

3) 能代 FRC 有限責任事業組合

会社概要	
<名称> 能代 FRC 有限責任事業組合 <組合員> 大森建設 中田建設 酒井鈴木工業 能代資源 陸羽物産 <所在地> 秋田県能代市	
石炭灰リサイクル製品の概要	
<製品> JIS 灰以外のフライアッシュを活用した路盤材の製造が開始されているが(平成 27 年 10 月～)実際は大森建設がメインで事業を行っている。路盤材は砕石として、能代・山本地域など半径 40km 以内の地域に年間 3 万 m³ 以上の出荷を行っている。製品であるフライアッシュ再生砕石は秋田県の認定リサイクル製品として登録されている。	
石炭灰リサイクル製品の利点・課題	
RC が不足する場合の代替として強度の高い(25N)FRC を利用している。難点は軽いこと。また、採石場との競争があり、現在、価格は現場渡しで 2000 円/m ³ である。	
今後の石炭灰リサイクル製品の有望な利用先	
FRC の技術を利用して、藻場礁の試験を実施している。藻場礁の実用化にあたっては特に、型枠、蒸気養生庫の大幅変更が必要である。また、工場製品に馴染む藻場礁を考案し、他社のブロックにない機能の付加(形状など)が望まれる。材料を運搬すると高価格になるが、地産地消でブロック化まで行えば県内運搬は可能である。 また FRC の長所である保水性と透水性を利用して土地造成への利用を検討している。盛土材であれば砕石業者との軋轢がなくなる。	
公共事業での活用促進にむけての取り組み	
舗装関係の路盤材の販売促進に力を入れている。JCOAL のガイドラインだけではなく、県も国交省も土木学会のガイドラインがあれば有望になるとしている。さらに省庁がガイドラインを作らないと事業は活性化しない。そのため、土木学会のガイドラインに事例を載せて販路を広げられるように、販売実績を増やしていくための取り組みを行っている。	

(2) 秋田県内の石炭灰利用事業者の調査についての考察

秋田県内の石炭灰を利用した製品を現在取り扱っている事業者に対して、各種資料の整理を行った結果について、以下の通り考察した。

観点	現状	今後の課題
市場性	● 既存技術を新たな市場で適用できる可能性はある。	● 新たな市場での適用可能性を技術的に検証することが必要。 ● 市場が成立しうるかどうかの試算等検討が必要。
安全性	● 現行基準で、フライアッシュ混合コンクリートとして県発注工事での使用が標準化している。	● 現行基準で、新たな市場での適用時に安全性を確保できるか検証が必要。
有用性	● コンクリート混和材として使用した場合、10～50%の混合割合を達成している。 ● 耐久性向上、発熱低減、アルカリシリカ反応の抑制等高炉スラグより性能面で優れている。 ● 藻場礁としての利用可能性検討のための試験を実施している。 ● 盛土材としての利用を検討している。 ● 比重が軽い。 ● フライアッシュによる品質変動がある。	● 県内の他事業者での利用促進に向けた研修事業、啓発活動等を行うことが必要。 ● 省庁主導のガイドラインの作成等販路拡大等の検討を行うことが必要。 ● 比重の軽さを生かす用途、あるいは比重の軽さを解消するための技術開発、他材料との組み合わせによる利活用等の検討が必要。 ● フライアッシュの品質変動に左右されない製品開発技術の確立が必要。
経済性	● 天然資材より安い。	● 従来事業者との競争等の影響も考慮しコストメリットがあるかどうかの検討が必要。
その他	● 秋田県のリサイクル製品認定制度への登録により県の公共工事での優先的使用に結びついている。	● 県の発注仕様書への新たな用途追加検討に向けた技術検証等が必要。

2.2.3. 秋田県内の石炭灰利用促進に向けた取り組みに関する調査

秋田県内の石炭灰利用促進に向けた取り組みとして、「秋田県リサイクル製品認定制度」、「秋田県フライアッシュ混合プレキャストコンクリート製品使用基準」、「秋田県石炭灰リサイクル再生砕石使用基準」を対象に各種資料の整理を行った。

(1) 秋田県リサイクル製品認定制度に関する調査

循環型社会形成に向けてリサイクル製品需要拡大及び廃棄物対策の側面から、リサイクル製品認定制度が実施されている。このリサイクル製品認定制度は、地域内で生産されるリサイクル製品について、その品質及び環境安全性について基準を満たしたものを認定する制度として設定されているもので、公共事業の工事発注共通仕様書(特記仕様書)などに率先利用を記載する等、環境への影響が少ない製品を優先的に購入する「グリーン調達」の促進を目的とした制度である。現在、多くの道府県でリサイクル製品の認定制度が実施されており、秋田県も実施県となっている。秋田県リサイクル製品認定制度の認定要件、認定基準を表 2-10 に示す。また品目ごとの認定基準も定められており、石炭灰に関する品目として、「フライアッシュ入りプレキャストコンクリート製品」及び「フライアッシュ入り再生砕石」が制定されており、あわせて表 2-10 に示す。さらに、秋田県リサイクル製品認定制度として登録されている石炭灰の再生製品化事例を表 2-11 に示す。

表 2-10 秋田県リサイクル製品認定制度 要件・基準一覧

項目	制度全体		フライアッシュ入りプレキャストコンクリート製品	フライアッシュ入り再生砕石
要件、前提条件	(1)原則として県内で製造・加工された製品であること。 (2)主として県内で発生した循環資源を原材料とすること。 (3)生活環境の保全のために必要な措置が講じられている工場等において製造・加工されていること。 (4)申請から 6 ヶ月以内に販売されることが確実であること。 (5)次の認定基準に適合していること。		能代火力発電所より発生する石炭灰を利用して製造されるフライアッシュ(JIS A 6201 II 種)を用いたプレキャストコンクリート製品を対象とする。 ただし、これまで本県においてフライアッシュ入りプレキャストコンクリート製品の使用実績が少ないことから当面は、不慮の事故発生時の交換等の対応が可能な製品とする。	記載なし
安全性に関する基準	次の基準をみたしたもの (1)特別管理一般廃棄物及び特別管理産業廃棄物を原材料としていないこと。 (2)環境基本法第 16 条第 1 項の規定による土壌汚染に係る環境基準に適合していること。		1 特別管理(一般・産業)廃棄物を使用していないこと。 2 製品が、「土壌の汚染に係る環境基準について」(平成 3 年環令第 46 号)に掲げる物質のうち以下の物質について、当該基準に適合していること。 (1)カドミウム、鉛、六価クロム、ヒ素、総水銀、セレン、ほう素及びふっ素 (2)その他溶出するおそれのある物質がある場合は、その物質	
規格に関する基準	(1) JIS、JAS 規格のあるもの	(1)日本工業規格(JIS)に適合していること。 (2)日本農林規格(JAS)に適合していること。	1 使用するフライアッシュは、「秋田県フライアッシュ混合プレキャストコンクリート製品使用基準」(平成 24 年 9 月秋田県建設部)に適合していること。 2 無筋コンクリート製品は、JIS A5371(プレキャスト無筋コンクリート製品)に準じていること。 3 鉄筋コンクリート製品は、JIS A5372(プレキャスト鉄筋コンクリート製品)に準じていること。 4 無筋・鉄筋コンクリート製品については、JIS A1148(コンクリートの凍結融解試験方法)の A 法により対凍害性を確認していること。 ただし、加圧・振動締固めによる即時脱型方式で製造された製品であって、上記試験を行わない場合であっても合理的な理由が明確に示される場合は、この限りでない。	1 「秋田県石炭灰リサイクル再生砕石使用基準」(平成 27 年 12 月秋田県建設部)に適合していること。
	(2) JIS、JAS 規格のないもの	県が定める土木工事等に係る共通仕様書又は国が定める建築工事等に係る標準仕様書に定める規格に適合していること。		
	(3) (1)、(2)以外のもの	認定審査委員会の意見を聴いて知事が定める規格に適合していること。		
循環資源の配合率	エコマーク基準のあるもの	エコマーク認定基準に定める配合率基準に適合していること	フライアッシュの混合率は、セメントとフライアッシュの合計質量に対してフライアッシュ質量を原則として 10%以上 20%以下とする。 ただし、上記配合率に当てはまらない場合であっても合理的な理由が明確に示される場合は、この限りでない。	1 「秋田県石炭灰リサイクル再生砕石使用基準」(平成 27 年 12 月秋田県建設部)5. 石炭灰再生砕石の品質基準に適合する配合率とする。
	エコマーク基準のないもの	認定審査委員会の意見を聴いて知事が定める配合率基準に適合していること。		

表 2-11 秋田県におけるリサイクル製品認定制度への登録再生製品

製品名	製品	石炭灰の種類	認定事業者等
フライアッシュ入りプレキャストコンクリート製品(28品目、水路柵、緑化ブロック、河川・道路擁壁等)	HFR・HS集水樹、HFR・エコブロック 鉄筋コンクリート水路用L型、HFR・圃場進入路用水型 UNVS カルバート HFR・農道横断用小型VSカルバート、HFR・根固めブロック HFR・プレキャスト帯エブロック、HFR・小口止めブロック HFR・フロアテップ、HFR・法留ブロック、HFR・ヘイベストン HFR・リバーロック、HFR・グラペット、HFR・グラバンク HFR・ヘイベブロック(本体及び基礎版)、HFR・大型水路 HR・暗渠側溝、HFR・組合せL型側溝、HFR・ガード基礎ブロック HFR・自由勾配側溝(本体及び蓋) HFR・UNVS(ユニバーサル)側溝(本体及び蓋)、HFR・暗渠側溝 HFR・普通型側溝、HFR・ベンチフリューム改良型 HFR・ベンチフリュームボックス暗渠 HFR・ベンチフリューム(本体及び蓋) HFR・落ちふた式U形側溝(本体及び蓋)	フライアッシュ	㈱ホクエツ秋田
フライアッシュ入りプレキャストコンクリート製品(14品目、用水路、側溝等)	フライピーシー・MVDレーン(本体・ふた) フライピーシー・CF フライピーシー・VS基礎版 フライピーシー・MUDレーン(本体・ふた) フライピーシー・大型フリューム フライピーシー・排水フリューム フライピーシー・スーパーMXドレーン(本体・ふた) フライピーシー・暗渠型側溝 フライピーシー・VS側溝(本体・ふた) フライピーシー・落ちふた式U形側溝(本体・ふた) フライピーシー・水路(本体・ふた) フライピーシー・ベンチボックス フライピーシー・ベンチフリューム(本体・ふた) フライピーシー・歩車道境界ブロック	フライアッシュ (非 JIS 灰)	前田製管㈱
FRC		フライアッシュ	能代 FRC 有限責任事業組合

本制度における認定に伴う需要拡大等の効果は、道府県間で差異があると言われている。製品認定を受けた事業者から寄せられる要望としては、公共工事への優先調達の度合いの向上や公共工事での利用の原則義務化等がある。そのため、品質・環境安全性などの認定基準の共通的なガイドライン・指針などの必要性も求められているが、秋田県では利用推進に向けて2種の基準が定められている。これら2種の基準については、(2)にて記載する。

この他、グリーン調達推進に向けた制度として、国が定めるグリーン購入法、エコマーク等がある。また、グリーン調達推進に限定することなく、公共工事における新技術活用を促進するシステムとして国交省が定める NETIS がある。

これら、多様な制度が存在しているが、真に利用促進を図るためには、互いの制度等が相補的に機能するよう運用面でのルールを明確にすることが必要である。

(2) 秋田県産石炭灰製品の使用基準に関する調査

秋田県が発注する公共事業において、フライアッシュの有効利用を目的として、2012年に制定された基準「秋田県フライアッシュ混合プレキャストコンクリート製品使用基準」がある。項目及び内容を表 2-12 に示す。また、秋田県が発注する公共事業において、フライアッシュ及びクリンカアッシュの有効利用を目的として、2015年に制定された基準「秋田県石炭灰リサイクル再生砕石使用基準」がある。項目及び内容を表 2-13 に示す。

また、環境安全性に係わる管理基準は、表 2-14 のとおり定められている。

表 2-12 秋田県フライアッシュ混合プレキャストコンクリート製品使用基準内容一覧

項番	項目	内容
1.	総則	
1-1	目的	本基準は、秋田県が発注する公共事業において、フライアッシュの有効利用を目的に、フライアッシュ混合プレキャストコンクリート製品(以下フライアッシュコンクリート製品という)を使用する際の基準について規定する。
1-2	適用範囲	(1)本基準は、秋田県が発注する公共事業に適用する。 (2)本基準で取り扱うのは、秋田県内で製造される JIS A 6201 に規定するⅡ種のフライアッシュを混合したコンクリート製品であり、他県産、あるいは産業廃棄物である石炭灰は適用対象外とする。
2.	フライアッシュの管理	
2-1	フライアッシュ品質の確認	(1) フライアッシュ混合プレキャストコンクリート製品製造者(以下、「製品製造者」という)は、フライアッシュの品質が明らかになっていることを確認して使用しなければならない。フライアッシュの品質は JIS A 6201 に規定するⅡ種規格とする。 (2) 製品製造者は、品質記録等を5年間保存することとする。
3.	フライアッシュコンクリート製品の管理基準	石炭灰再生砕石は、有害物質の溶出および含有量などについての確認試験の結果、表 2-14 の規定に適合したものでなければならない。
3-1	環境安全性に係る管理項目	フライアッシュコンクリート製品は、配合設計以上の混合率により作成したコンクリート供試体から作成した試料による有害物質の溶出および含有量などについての確認試験の結果、表 2-14 の規定に適合したものでなければならない。
3-2	フライアッシュコンクリート製品の性能に関する管理項目	フライアッシュコンクリート製品の性能に関する基準は、無筋コンクリート製品は JIS A 5371、および鉄筋コンクリート製品は JIS A 5372 に準じていること。また、各管理項目に関しては JIS Q 1012 に準じていること。また、コンクリート供試体による JIS A 1148(コンクリートの凍結融解試験方法)の A 法により耐凍害性を確認していること。
3-3	路盤材等への利用	フライアッシュⅡ種を用いたコンクリートの配合設計は、所要の性能が得られるよう、試験などによって適切に定めなければならない。 (1)フライアッシュの混合率 フライアッシュの混合率は、セメントとフライアッシュの合計質量に対してフライアッシュ質量を原則として20%以下とする。 (2)配合設計 フライアッシュコンクリート製品に使用するコンクリートは、設計基準強度 35N/mm ² 以下とする。また、耐凍害性を確保するため、混和材料を適当量使用すること。なお、強度や耐久性などの品質が確認できれば、これ以上の強度レベルでの適用を妨げるものではない。 (3)当面の措置 フライアッシュコンクリート製品については、まだ使用実績が少ないこと、長期安定性に関するデータが少ないことから、当面の間、交換が容易なプレキャスト製品のみを使用するものとする。
4.	使用基準の見直し	今後、国等において新たな基準や指針等が策定された場合や、施工・管理実績により見直すことが必要となった場合には、本基準を見直すものとする。
5.	適用年月日	平成24年9月28日から適用する。

表 2-13 秋田県石炭灰リサイクル再生砕石使用基準 内容一覧

項番	項目	内容
1.	総則	
1-1	目的	本基準は、秋田県が発注する公共事業において、フライアッシュ及びクリンカアッシュの有効利用を目的に、石炭灰リサイクル再生砕石(以下「石炭灰再生砕石」という)を使用する際の基準について規定する。
1-2	適用範囲	(1)本基準は、秋田県が発注する公共事業に適用する。 (2)本基準は、石炭灰再生砕石をRC-40の同等品として使用する際の標準を示すものである。 (3)本基準に示されていない事項は、別途、適切な指針・基準類による。
2.	石炭灰の管理	
2-1	石炭灰(フライアッシュ及びクリンカアッシュ)品質の確認	(1) 石炭灰再生砕石製造者(以下、「再生砕石製造者」という)は、石炭灰の品質として当該施設での産業廃棄物処分量の許可範囲であることを定期的(1回/年)に書面で確認して使用しなければならない。 (2) 再生砕石製造者は、石炭灰の品質記録等(マニフェストを含む)を5年間保存することとする。
3.	環境安全性に係る管理基準	石炭灰再生砕石は、有害物質の溶出および含有量などについての確認試験の結果、表 2-14 の規定に適合したものではない。
4.	路盤材等への利用	
4-1	路盤材への利用	石炭灰再生砕石を下層路盤に使用する場合は、秋田県土木工事共通仕様書に示す「再生砕石の粒度」及び「下層路盤の品質規格」を満足しなければならない。
4-2	基礎材、裏込め材等への利用	「3. 環境安全性に係る管理項目」及び「4-1 路盤材への利用」の項で示した品質を満足する石炭灰再生砕石については、RC-40の同等品として、石炭灰再生砕石単体または他骨材と混合して、基礎材・裏込め材等に使用することができる。
5.	石炭灰再生砕石の品質基準	石炭灰を用いた再生砕石の配合設計は、所要の性能が得られるよう、試験などによって適切に定めなければならない。 1)再生砕石の品質管理石炭灰再生砕石の配合は「3. 環境安全性に係る管理項目」及び「4-1 路盤材への利用」に示す基準を満足するものとし、公的機関による試験により証明されなければならない。
6.	使用基準の見直し	今後、国等において新たな基準や指針等が策定された場合や、施工・管理実績により見直すことが必要となった場合には、本基準を見直すものとする。
7.	適用年月日	平成27年12月1日から適用する。

表 2-14 石炭灰再生砕石における有害物質の溶出及び含有量基準等

項目	規格値	
	溶出量基準(mg/L 以下)	含有量基準(mg/kg 以下)
カドミウム	0.01	150
鉛	0.01	150
六価クロム	0.05	250
ひ素	0.01	150
総水銀	0.0005	15
セレン	0.01	150
ふっ素	0.8	4,000
ほう素	1	4,000
試験方法	JIS K 0058-1 利用有姿:最も配慮すべき暴露環境	JIS K 0058-2 利用有姿:最も配慮すべき暴露環境

(出典:秋田県「秋田県石炭灰再生砕石使用基準(平成 27 年 12 月)」)

(3) 秋田県内の石炭灰利用促進に向けた取り組みについての考察

秋田県内の石炭灰利用促進に向けた取り組みについて各種資料の整理を行った結果について、以下の通り考察した。

観点	現状	今後の課題
市場性	● フライアッシュ混合プレキャストコンクリート製品使用基準では秋田県内で製造される JIS A 6201 に規定するⅡ種フライアッシュ混合コンクリート製品のみが対象となっており、他県産或いは産業廃棄物である石炭灰は適用対象外となっている。 ● 秋田県石炭灰リサイクル再生砕石使用基準では秋田県が発注する公共事業で RC-40 の同等品として使用する石炭灰再生砕石が対象となっている。基準に示されていない事項は、明確な記載がない。	● フライアッシュ混合プレキャストコンクリート製品使用基準における適用範囲を広げる等の検討が必要。 ● 秋田県石炭灰リサイクル再生砕石使用基準以外に準拠する基準等について詳細な調査が必要。 ● 基準内に内容を盛り込むことと、施工・管理実績を積み重ねることは密接に関係していることから、利用事業者による実績向上に向けた積極的な活動を推進すべく技術指導等が必要。
安全性	● 石炭灰再生砕石における有害物質の溶出及び含有量基準等は、現行基準（土壌汚染対策法等）の溶出基準、含有量基準と同値となっている。	● 現行の基準適用で安全性を確保できるか検証が必要。
有用性	● 現行の基準にもとづき、秋田県内の石炭灰活用促進に向けた一定の成果が出ており、施工実績も上がっている。 ● 現行の基準が洋上風力発電設備への適用の場合に当てはまるのかが不明である。 ● 秋田県リサイクル製品認定制度と整合性の取れた形で配合率が明確に定められている。 ● 配合率に当てはまらない場合でも、合理的な理由が明確に	● 今後も詳細調査を行い、必要となる技術仕様等を明確にすることが必要。

	示されることで認められる内容となっている。	
経済性	—	—
その他	● 秋田県リサイクル製品認定制度と整合性が取れており現行の2つの基準と合わせて、秋田県内の石炭灰活用促進に向けた一定の成果が出ており、施工実績も出ている。	● 今後新たに洋上風力発電設備での適用を検討するにあたって、現行の基準で対象となる石炭灰の範囲のみで対応可能かどうかの検討が必要。また、現行の基準に加えて、他の法令・基準等との関連性も検討し、新たな用途への適用推進可否についても検討が必要。 ● フライアッシュ混合プレキャストコンクリート製品使用基準の制定・適用は2012年であり、その後の状況変化を踏まえ制限緩和の検討が必要。

2.2.4. 秋田県内の石炭灰関連事業者に対する調査

(1) 秋田県内の石炭灰関連事業者へのアンケート調査

秋田県内の石炭灰関連事業者に対して、新たな適用先としての洋上風力発電設備における石炭灰利用に関するアンケート調査を実施した。結果を表 2-15 に示す。

表 2-15 秋田県内の石炭灰関連事業者へのアンケート調査結果

項目	結果
現在までの石炭灰利用による用途、そこでの課題、国・県等への要望	・ 電力会社がフライアッシュの様に利用促進に積極的でないクリンカアッシュは、路盤材等に利用すると大量の消費が見込まれるが、多くは生産地と需要地との距離の関係から、運搬費による単価増で利用が進まない。 ・ クリンカアッシュの流通経路が既得権益化、ゆえに高コストとなっている。舗装や路盤材利用については、利用データの開示と、販売窓口の増、出荷価格低減による利用増加を図ってほしい。 ・ フライアッシュは、アルカリ骨材反応抑制効果が判明しており、地産地消の観点から見れば県内産の低品質な骨材への利用が可能と考えられるので、低品質骨材の利用をお願いしたい。 ・ フライアッシュⅡ種は JIS 品として管理できるが、Ⅳ種に関しては設備増設の問題やデータ不足もあり、JIS 品として出荷するには時間がかかる。 ・ 国交省では BB(高炉セメント)指定であるが、秋田県内においては、フライアッシュ混合コンも同等品として認めて欲しい。フライアッシュ混合コンは冬期の強度低下が心配されているが、打設後の 12 時間をしっかり養生すれば普通セメントと同等の強度を確保できる。 ・ 国土交通省の事情は理解できるが、提案があれば変更の可能性があるとのことなので、県と同じく地域限定の仕様も検討して欲しい。そうなればもっと普及する。 ・ 全県の生コン工場が石炭灰の利用促進を図れるよう、輸送コスト、サイロの設置費用等について県にはより利用可能な制度を検討いただきたい。 ・ フライアッシュは現状能代港のみとなっている。今後は県庁内部でエネルギー課から港湾整備等の秋田地域振興局や秋田港湾事務所へフライアッシュ使用の指定の働きかけをしていただきたい。縦割り行政ではなく県庁内で横展開していただきたい。 ・ 石炭灰を利用するということは地産地消という観点で好ましいもの。絶対石炭灰を利用するのが有効というものではない。 ・ 地元の材料を取り扱うことで、材料費が下がる可能性があることから、経済性メリットを見出せるというものであり、かつ、地元の産業振興にもつながるその地元材料が産業廃棄物である、ということだけである(従来製品と同等、あるいは同等以上の性能が見出せるということが前提条件となる)。
現在までの石炭灰以外のリサイクル材料の利活用状況、今後の採用予定	・ 鉄鋼スラグの舗装材利用(利用中)、鉄鋼スラグと石炭灰(CA)のハイブリット利用(予定)、IGCC ガラス熔融スラグと石炭灰(CA)のハイブリット利用(予定)、FRC 砕石由来の骨材利用(予定)、銅スラグの活用(予定) ・ 石炭灰(フライアッシュ)以外の利用はなし。今後、コンクリートに対して有効な技術があれば考えたい。 ・ 現状は高炉スラグの指定使用となっており、フライアッシュの需要がないため標準化までたどり着いていない。早急に指定をお願いしたい。
石炭灰の洋上風力発電設備への適用可能性についての意見	・ 石炭灰は比重が 1 以下と軽いために基礎等重力式で本体を支持する構造の建造物には不向きと考えられる。 ・ (株)エコアッシュが開発しているアッシュクリート活用による消波ブロックの製造と利用が考えられる。また、(株)エコアッシュの藻場キューブの利活用が考えられる。

	・ 変電所内の防草対策として、クリンカロード舗装の活用がある。系統連系用の変電所・送電線については隣接地(地権者)との共生が必須。具体的には防草対策と雨水排水対策が重要である。強度/透水性/保水性のバランスの取れた石炭灰を利用した製品が望ましい。仮設ヤードはぬかるみ対策として粒径の大きなクリンカアッシュを敷均し活用する。 ・ 粒径の大きなクリンカアッシュを耐候性メッシュなどに充填しても成果は期待できる。石炭灰は多孔質であることが最大の特徴。素焼き陶器の端材がサンゴ再生に役立っている中、陶器を凌ぐ表面積を有する石炭灰であれば十分に効果が期待できると考える。溶出を心配する声が世間ではあるが、そこは土対法の定める基準をクリアしている事を説明すれば良い。 ・ コンクリートの混和材として使用した場合、石炭灰のポゾラン反応により緻密なコンクリートとなるので、水密性、遮塩性が向上し耐久性が増すので各使用箇所でも有効的ではないか。 ・ 洋上風力発電設備に使用する生コンクリートは、塩害に強く、海水の作用を受けにくいフライアッシュ混合コンが最適と思える。工事に関しては、地元企業の採用とフライアッシュ混合コンが使用されることを期待する。 ・ 裏込、洗掘防止剤、汚濁防止沈降剤、コンクリート混和剤等への利用が可能と考えられる。またサンドコンパクションパイルの砂(砂杭…埋立するとき、砂杭を打設した上に岩を敷き詰めてその上にコンクリート構造物を施す)としての可能性がある。 ・ 碎石に鉄分を入れて磯やけを防いだり、表面に小さな穴を施して生物が着きやすくなったりする。また、浄化作用を持たせることも可能。 ・ 生コンは、石炭灰配合量は少ないが地盤改良用のラップルコンクリート代替材として使用可能。 ・ 技術的には現状のままでも十分適用可能と考えられる。ただし、仮に洋上風力発電事業現場(港湾施設等)で石炭灰を調達し製作を行うとなると、そこで産業廃棄物を利用する上での許認可等が関わってくるため、その検証も必要。また、石炭灰利用事業者が新たな用途開発としての製作に関わる場合にも、その生成物がそのものの許認可に含まれたものとして認められているかの確認も必要。 ・ 新たな適用場所ということもあり、安全性面で現状の基準(土対法等)のクリアだけで十分といえるかの検証は必要。また安全性面でクリアした場合にも、現地住民や関連産業関係者(漁業関係者ほか)の合意等、安心確保のための検証が必要。 ・ 経済性の面では逆有償であれば有利。ただ、その場合にも輸送距離の問題で、本当に経済的メリットが見出せるか試算が必要。 ・ 陸上風力現場にてこれまでコンクリート混和材として利用した経緯があるため、洋上風力発電設備でも適用可能性はある。ただし冬季は強度発現が遅くなることから、冬季以外の利用が好ましい。
石炭灰利活用推進にあたって、現行の規格・基準に対する意見	・ 生産者が石炭灰を県外に移動させる場合、産業廃棄物として取扱われるため、手続きが面倒な上に県条例が異なると難しい場合があり、県外港での受け取りが実現しにくい。 ・ 現行の規格・基準で十分ではないか。 ・ 一部の条件にて利用を義務化することが必要。 ・ 秋田県の定めた基準を元に、秋田県で利用した場合には、生コン利用よりもFRCを利用するほうが安価であると思われる。ただし、その安価な状

	態が維持できるのは、秋田県内の特定エリア（山本地域振興局管内）であるため、県内のほかのエリアでの適用についても安価を維持できるように県の検討が必要。
その他自由意見	・ 石炭灰利活用は需要のある現場での低価格化がポイントである。そのためにストック販売できる拠点づくりが必要。この辺を電力会社が整備すると市場までの運搬コストが一気に低減でき普及促進に繋がると思われる。 ・ フライアッシュ混合コンクリートは、乾燥収縮ひずみが小さくなることから4月～10月までの期間で使用される高炉セメントB種にも使用できれば高炉コンクリートのひび割れの発生率が少なくなるのではないかと考えられる。 ・ 石炭灰有効利用セミナーについて、フライアッシュを有効利用できるように設備を改修して対策は十分であるにもかかわらず、コンクリートの使用が山本地域復興局管内、二次製品工場に限定されていると思う。全県的に普及させるために、対応できる向上がある各振興局においても利用を推進してはどうか。今後セミナーに希望する内容については、コンクリートにフライアッシュを利用した場合に、コンクリートの乾燥収縮によるひび割れの発生が抑制され外観上良いことから、建築系、土木系の事例等の発表が聞きたい。また、北陸地方では産学官連携によって石炭灰の利用が多いと聞いているので、北陸地方の有効利用の講演があれば良いのではないかな。 ・ 当協組で ASR・塩害・夏場のコンクリート温度対策・水セメント比・耐久性・施工性の良さを考慮したのが、FA15%の混合コンである。FA20%にするとセメント量も増え、経済的とは言えずフライアッシュ混合コンの利点を損なうからである。 ・ 石炭灰有効利用セミナーについて、岩城先生の講演の時間をもう少し取って欲しい。また、IV 種灰を使用した事例をもっと詳しく知りたい。 ・ 今後セミナーに希望する内容については、パネルディスカッションも勉強になるが、会議終了後の懇談会があっても良いのでは。また、生コンとして IV 種灰を混和材として使用する場合は設備の増設・改良など、どの程度必要なのか、稼働している工場の対応を知りたい。 ・ 今後のセミナーの希望する内容については、秋田県認定リサイクル製品を使用する農林水産部からも出席してもらえればと思う。 ・ 31 年度から予定されている秋田火力発電について環境問題化されているようだが、今後の動向について情報発信をお願いしたい。 ・ コンクリートの専門技術者は灰を入れることでコンクリートの品質向上することがわかるが、一般土木技術者に対して広く知らせることが必要。 ・ 橋脚の止水材としての利活用の可能性がある（従来、明石大橋などでの利用実績もあり）。 ・ 有用性面では、比重の軽さを生かした藻場としての利用や養殖現場での利活用など検討するのが良い。 ・ 比重を重くする、という場合に、銅スラグのような材料選定に向けて、DOWA グループ（小坂製錬など）との協議を行い、比重アップに向けた材料選定、提供可否についての協議等を行うのが良い。

(2) 秋田県内の石炭灰関連事業者へのアンケート調査についての考察

秋田県内の石炭灰関連事業者に対して、新たな適用先としての洋上風力発電設備における石炭灰利用に関するアンケート調査を行った結果について、以下の通り考察した。

観点	現状	今後の課題
市場性	● フライアッシュの取り扱いが能代港のみとなっている。 ● 地域によって、高炉スラグの指定が義務付けられている。	● 能代港以外の港での取り扱いを可能とすべく港湾整備等に関する検討が必要。 ● 県全体でフライアッシュを活用できるように指定品目の追加に関する検討が必要。
安全性	● 現行の基準(土壌対策法)での判断となっている。	● 現行の基準を満たすことのみで安全性確保につながるか検討が必要。 ● 安全に加え、安心確保に向けた具体的な方策の検討が必要。
有用性	● アルカリ骨材反応抑制効果が判明しており、低品質な骨材への利用可能性がある。 ● 国の指定品目である高炉セメントとフライアッシュ混合コンは同等以上(ひびわれ発生率が下がる等)の性能がある。 ● フライアッシュ混合コンクリートは塩害に強く海水の作用を受けにくく、洋上風力発電設備での適用可能性がある。 ● コンクリートの混和材としての利用可能性がある。 ● 洗掘防止剤としての利用可能性がある。 ● 汚濁防止沈降材としての利用可能性がある。 ● 地盤改良材としての利用可能性がある。	● 現在の指定品目と同等の性能があることを客観的に示すことにより指定品目の追加に関する検討を行うことが必要。 ● 新たな用途での技術仕様を確定するための技術検証を行うことが必要。 ● 比重の軽さを生かした用途での継続的な試験による検証が必要。 ● 比重の軽さを解消するため、他の材料(鉄鋼スラグ、非鉄スラグ等)との組み合わせによる利活用検討や、地元で排出する他のリサイクル材料の使用状況等確認が必要。 ● 冬期の強度低下等の事項が洋上風力発電設備での利活用に影響を及ぼさないかどうかの検

	● 港湾整備における橋脚の止水材としての利用可能性がある。 ● 付帯設備としての変電所等での防草対策、排水対策等に利用可能性がある。 ● 比重が軽いため、藻場や養殖現場での利用可能性があるが、高い比重を要求される基礎等での利活用は難しい。 ● 冬期の強度低下等が懸念されている。	証が必要。
経済性	● 生産地と需要地の距離が離れている場合、運搬費がかかり利用促進につながらない。 ● 地元で発生した材料を利用することによる材料費減となる。 ● 逆有償であれば、採算性が取れる。	● 県内のエリアによっては、安価とならない場合の解決策の検討が必要。 ● 従来製品と同等あるいは同等以上の性能が出せることが前提条件となるため、技術検討が必要。
その他	● 洋上風力発電設備での材料調達・製造にあたって、現在の許認可で問題ないかどうか不明。 ● 石炭灰利用に対する強制力が不明。	● 現在の石炭灰利用事業者が新たな用途開発として製作を行う場合も含め、現場施工に関わる許認可内容についての確認が必要。 ● 石炭灰利用を促進するためのセミナー開催等を通じて義務化する等の検討が必要。

3. 洋上風力発電事業の基礎工事と建設資材調達に関する調査

3.1. 洋上風力発電設備への石炭灰の利用に関わる法令等の調査

(1) 法令・基準、ガイドライン等に関する情報収集・整理

洋上風力発電設備への石炭灰有効利用に関わる法令等についての概要を以下に整理し、詳細を表 3-1(1)～(5)に示す。

1) 公有水面埋立法

1935 年に制定された日本の河川、沿岸海域、湖沼等の公共水域の埋立、干拓に関する法律。

公共水面とは広義には、国や都道府県等の公共団体が所有する水域を言うが、一般的には「国が所有する河、海、湖、沼その他の公共の用に供する水流又は水面」を言う。このため、私有地および、公有地でも溝渠やため池の用途変更等に伴うものは対象外であると共に、護岸工事や築堤は土地造成が目的でないため対象外となっている。また、1973 年の改正によって、公有水面の埋立の規制を図るため、「埋立を行う者は都道府県知事の免許を受けなければならない」等の規定が追加され、工業団地の造成、空港の整備、干拓等公有水面を埋め立てることによる沿岸海域の生態系維持能力や、浄化作用の消失による公害・環境汚染、漁業被害に歯止めが設けられた。また、主務大臣は国土交通大臣であるが、面積 50ha 以上または環境影響評価法対象の 40ha 以上の埋立に関しては、環境大臣の意見を聴取することになっている。

なお、近年は内陸部において廃棄物等の処理場の整備が困難なため、広域的な廃棄物埋立処分場の立地を公有水面に求めることが多くなっている。

2) 港湾法

1950 年に制定された港湾組織等を定める法律。

一般には、港湾とは船舶の係留施設とその周辺水域(港)をいうが、狭義には「港湾法」の対象とする港をいう。なお、「漁港」は、「漁港法」の対象とする港で「港湾」とは区別される。港湾法では、港湾の重要度に応じて定義を行っており、国際海上輸送網又は国内海上輸送網の拠点となる港湾その他の国の利害に重大な関係を有する港湾で政令で定めるものを「重要港湾」、重要港湾のうち国際海上輸送網の拠点として特に重要な港湾で政令で定めるものを「特定重要港湾」、重要港湾以外の港湾を「地方港湾」と定めている。なお、暴風雨に際し小型船舶が避難のために泊することを主たる目的とし、通常貨物の積卸又は旅客の乗降の用に供せられない港湾で、政令で定めるものを「避難港」という。重要港湾では、港湾の整備等に関して「港湾計画」を定めることになっている。日本では、公有水面を埋め立てて大規模な工業団地を造成することが多いが、これらのほとんどは港湾計画に基いて行われる。この意味で、港湾計画は単に港を整備する計画ではなく、港を中心とした沿海部開発計画と呼ぶべきものである。また、近年は内陸部において廃棄物等の処理場の整備が困難で、海面にそれらの埋立処分地を求めざるを得な

いため、広域的な廃棄物埋立処分場を港湾計画に基く港湾施設として整備することが多くなっている。

3) 海岸法

1956年に津波、高潮、波浪その他海水又は地盤の変動による被害から海岸を防護することを目的に制定された法律。

1999年5月には、総合的な海岸管理制度を目指し、(1)海岸環境の整備と保全、(2)公衆の海岸の適正な利用、が追加され、防護、環境、利用の調和のとれた総合的な海岸管理制度となった。本法に基づいて都道府県知事が指定した海岸保全区域においては、環境の保全、適正な利用の観点から、海岸への大型四輪駆動車の乗り入れや、一定の行事に伴う構造物の設置が制限または禁止されている。

4) 廃棄物の処理及び清掃に関する法律

1970年に制定されたもので「廃棄物処理法」または「廃掃法」と略称される場合もある。

廃棄物の排出抑制と適正な処理、生活環境の清潔保持により、生活環境の保全と公衆衛生の向上を図ることを目的に、従来の「清掃法」(1954)を全面的に改めて制定された。同法では、廃棄物の定義や処理責任の所在、処理方法・処理施設・処理業の基準等が定めており、廃棄物を「自ら利用したり他人に売ったりできないため不要になったもので、固形状または液状のもの」と定義すると共に、廃棄物の発生要因、発生箇所等から産業廃棄物と一般廃棄物とに分類している。また、廃棄物の処理については、産業廃棄物は排出事業者が処理責任をもち、事業者自らか、または排出事業者の委託を受けた許可業者が処理することを義務化すると共に、一般廃棄物については当該に市町村が処理の責任を持つことを示しており、廃棄物行政における国、都道府県、市町村、事業者および国民の責任を明確化することで、衛生処理および生活環境の保全の観点で、廃棄物の発生抑制、リサイクルの推進および適正な処理を推進することを目的としている。

5) 海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律

1970年に制定された法律で「海防法」と略称される。

同法では船舶、海洋施設及び航空機から海洋に油、有害液体物質等及び廃棄物を排出し、船舶及び海洋施設において油、有害液体物質等及び廃棄物を焼却することを規制している。さらに海洋の汚染及び海上災害の防止に関する国際約束の適確な実施を確保し、海洋環境の保全並びに人の生命及び身体並びに財産の保護に努めることとしている。また、1972年の廃棄物その他の物の海洋投棄による海洋汚染の防止に関する1996年の議定書(96年議定書)を締結するため、2004年に改正が行われた。主な改正点は、(1)廃棄物の船舶からの海洋投入処分を許可制とすること、(2)廃棄物の海域に

おける焼却の禁止等、である。

6) 資源の有効な利用の促進に関する法律

「再生資源利用促進法」(1991 年制定)を抜本的に改正し、2000 年に制定されたものであり、「リサイクル法」、あるいは「資源有効利用促進法」と略称される場合もある。

循環型社会形成の観点から、資源の有効利用の促進を目的にリサイクルの強化や廃棄物の発生抑制、再使用を定めた法律。同法は、リサイクルしやすい設計を行うべき製品、使用済み製品を回収・リサイクルすべき製品、生産工程から出る廃棄物を減らしたりリサイクルすべき業種、リサイクル材料を使用したり部品等を再使用するべき業種など 7 項目について、10 業種 69 品目(平成 30 年現在)を具体的に指定している。資源の有効利用の観点から「循環型社会形成推進基本法」で示された「3R(リデュース・リユース・リサイクル)」という廃棄物処理の優先順位の考えをもとに、製造・設計段階における 3R 対策、分別回収の識別表示、事業者による自主回収・リサイクルシステムの構築を規定している。

7) 環境基本法

従来の「公害対策基本法」または「自然環境保全法」に対して、地球環境保全という視点を盛り込んで 1993 年に制定された法律。

(1)環境の恵沢の享受と継承等、(2)環境への負荷の少ない持続的発展が可能な社会の構築等、(3)国際的協調による地球環境保全の積極的推進を基本理念に 46 条からなる基本法。同法では、国内で対策を講じるだけでなく、国際的な連携の下に他国との協力を推進する必要があるとの観点から、国、地方公共団体、事業者、国民の責務を明らかにし、環境保全に関する施策(環境基本計画、環境基準、公害防止計画、経済的措置等)を順次規定している。また、同法の制定に伴い[公害対策基本法]は廃止され、「自然環境保全法」も改正された。

8) 環境影響評価法

1997 年に制定された、開発事業に対して行われる環境アセスメントの手続を定めた法律で、一般に「アセス法」、「環境アセスメント法」或いは「環境アセス法」と略称される。

土地の形状の変更、工作物の新設等の事業を行う事業者が、その事業の実施にあたり予め環境影響評価を行うことが環境保全上重要であることから、環境影響評価について国等の責務を明確にすると共に、環境影響の程度が大きな場合は適切な措置を講じて、環境保全を確保することを目的とした法律。本法における環境影響評価とは、事業の実施が環境に及ぼす影響について環境の構成要素に係る項目ごとに調査、予測・評価を行い、その事業の環境保全の措置を検討し、環境影響を総合的に評価すること定義されている。また、環境アセスメントを実施する対象事業としては、道路、河川、鉄道、

飛行場、発電所、廃棄物最終処分場、埋立て・干拓、土地区画整理事業、新住宅市街地開発事業、工業団地造成事業、新都市基盤整備事業、流通業務団地造成事業および宅地の造成事業の13事業が定められており、それぞれ事業規模の大きさによって第一種事業と第二種事業を定めている。

9) 国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律

2001年4月に施行された法律で「グリーン購入法」と略称されている。

グリーン購入とは、商品やサービスを購入する際に必要性をよく考え、価格や品質だけでなく、環境への負荷がすくないものを優先的に選定する行為をさす。たとえば、再生紙のノートや低公害車等の調達を推進すると共に、環境物品等に関する適切な情報提供を供給することで持続可能な循環型社会の構築を実現することを目的としている。国の事業ではグリーン購入が最優先であり、地方公共団体は国に準ずるもの、民間は努力規定となっている。国等が重点的に調達を行う環境物品に関しては、特定調達品目に定められている。なお、特定調達品目とは、グリーン購入法で定められている国等の各機関が重点的に調達を推進する環境物品等の種類であり、特定調達品目およびその判断基準等については、毎年見直しが行われている。

10) 建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律

2000年4月に制定されたもので「建設リサイクル法」と略称されている。

一定規模以上の建設工事を行うにあたり、資源の有効利用や廃棄物の適正処理を推進するため、建設廃棄物(建設工事で出る廃棄物)の分別・リサイクル等を行うことで、建設廃棄物の排出量の抑制、減量、再生利用を推進することを目的とした法律。

同法では、一定規模以上の建築物の解体・新築工事を請け負う事業者には、対象となる建設資材(土木建築工事に使われる資材)の分別・リサイクルを義務付けた。特に、コンクリート、アスファルトおよび木材の3品目については特定建設資材と規定し、リサイクルを義務化している。また、工事の発注者や施工者には、工事の時期や工程、建設資材の種類や量等を事前に都道府県知事に届け出ることが義務付けられた。

11) 循環型社会形成推進法

循環型社会の形成を総合的・計画的に推進することを目的に2000年に制定された法律。

同法は資源消費や環境負荷の少ない「循環型社会」の構築を促すことを目的として、国、都道府県、市町村、事業者および国民の役割分担を明確にすると共に、循環型社会形成推進基本計画の策定、排出者責任並びに拡大生産者責任等施策の基本となる事項を定めている。また、同法では(1)循環型社会の定義の明確化、(2)「循環資源」の定義(廃棄物や生産活動で排出される不要物などのうち、売れるか売れないかに関わら

ず、再び利用できるもの)と再使用やリサイクル推進、(3)廃棄物処理やリサイクル推進における「排出者責任」と「拡大生産者責任」の明確化、(4)廃棄物処理やリサイクルの優先順位(発生抑制→再使用→再生利用→熱回収(サーマルリサイクル)適正処分)の規定、等を示している。

12) 土壤汚染対策法

2002 年 5 月の制定された法律で「土対法」と略称されている。

土壤汚染の状況の把握に関する措置及びその汚染による人の健康被害の防止に関する措置を定めること等により、土壤汚染対策の実施を図り、もって国民の健康を保護することを目的としたものであり、現行法では(1)法が定める有害物質使用特定施設を廃止するとき、および(2)土壤汚染により健康被害が生じる恐れがあると都道府県知事が認めるときに、土壤汚染調査の実施を義務付けしていたが、2009 年の改正により、(3)3,000m² 以上の土地の形質変更の届出時において、都道府県知事がその土地に汚染の恐れがあると見なしたとき、も土壤汚染調査の実施が義務付けられた。調査によって基準に適合しない区域の土地は都道府県知事等により指定区域に指定・公示されるとともに、指定区域台帳に記帳して公衆に閲覧される。また、当該指定区域の土壤汚染により健康被害が生ずるおそれがあると認められる場合には、汚染原因者、汚染原因者が不明等の場合は土地所有者等に対し、汚染の除去等の措置が命令されると共に、当該指定区域においては土地の形質の変更が制限される。土壤汚染による健康被害に対するリスクは土壤・地下水の暴露経路をもとに、土ほこりを吸引する等の「直接摂取」と、地下水を飲用する「間接摂取」の観点から判断されている。すなわち、暴露があった場合は土壤環境基準以下に浄化されればリスクはない、あるいは許容されると判断され、暴露がある場合であっても、汚染されている土壤に触れる事がない場合や、地下水の飲用がない場合はリスクはない、あるいは許容されると判断される。

なお、土壤汚染対策法では土壤環境基準に示される 25 物質が特定有害物質として示されている。

13) 土壤の汚染に係る環境基準

1991 年に公布された基準。

環境基本法第 16 条第 1 項による土壤の汚染に係る環境上の条件につき、人の健康を保護し、及び生活環境を保全するうえで維持することが望ましい基準である。2019 年 4 月に一部改正が予定されている。

14) 特定有害物質及び指定区域の指定基準

2002 年に制定された土壤汚染対策法に基づいた指定基準。

本基準を満たさない土地は土壤汚染対策法の指定区域として定められ、汚染除去等

の措置の対象となる。溶出量の基準は土壤環境基準の本文基準と同値であるため、土壤環境基準を満たしていれば土壤汚染対策法の指定区域とはされない。ただし、港湾の場合は海水の影響を受けるため、土壤環境基準の本文基準値が適用されない場合があることに留意する必要がある。

15) 港湾・空港等整備におけるリサイクルガイドライン(改訂)

2001年に策定された「港湾・空港等整備におけるリサイクルガイドライン」と、2004年に策定された「港湾・空港等整備におけるリサイクル技術指針」が2015年に統合され、「港湾・空港等整備におけるリサイクルガイドライン(改訂)」として見直されたもので、更に、リサイクル材の利活用に関する技術的知見の蓄積により各種ガイドライン類の整備が進んだことを受け、最新の技術情報を反映した改訂版が2018年に策定されたもの。

リサイクル材料の特性や設計・施工方法、利用手続きや関係法令を整理したものであり、リサイクル材料の適切な利活用の促進を図ることを目的としている。

16) 石炭灰混合材料有効利用ガイドライン(震災復興資材編)

2011年に一般財団法人石炭エネルギーセンター(以下 JCOAL)より発刊された「港湾工事における石炭灰混合材料の有効利用ガイドライン」を見直し、港湾工事以外の復旧・復興工事に広く活用されることを目的としたもので、2014年に発刊されたもの。

防潮堤、防災緑地、高台移転工事等に石炭灰混合材料を活用する場合の品質管理・安全性の評価の留意点を取りまとめるとともに、これらの工事に利用した場合の優位性、有用性についても整理を行っている。

17) 石炭灰混合材料有効利用ガイドライン(高規格道路盛土編)

2015年に JCOAL より発刊されたもの。

2011年に発刊された「港湾工事における石炭灰混合材料の有効利用ガイドライン」及び2014年に発刊された「石炭灰混合材料有効利用ガイドライン(震災復興資材編)」での議論を活かし、高規格道路への活用を記している。

石炭火力発電を行った際に副生される石炭灰の有効活用促進を目的としており、図面や写真だけでなく、事例やデータを取り上げて実務に具体的に活かせるよう記述を行っている。

18) 石炭灰混合材料有効利用ガイドライン(既成灰編)

2016年に JCOAL より発刊されたガイドライン。

石炭火力発電所等から発生する石炭灰には、湿潤状態で一定期間静置されたエージング灰(既成灰)が存在する。このエージング灰を主原料とした石炭灰混合材料に着目し、2013~2014年度に、経済産業省資源エネルギー庁の石炭灰利用技術振興費補助

事業として「都市基盤整備資材としての利用に関する基礎調査」が実施された。この研究成果を世の中に普及するためにエージング灰の性状や有効利用方法について情報を整理し、取り纏めたものが本ガイドラインである。エージング灰の更なる有効活用、特に、都市インフラ整備を支える資材としての活用を促進するものと期待される。

19) 港湾工事における石炭灰混合材料の有効利用ガイドライン(改訂版)

2011年にJCOALから発刊された「港湾工事における石炭灰混合材料の有効利用ガイドライン」の更なる実務的な活用を促進するため、改訂版として2017年に発刊されたものの。

港湾工事における石炭灰混合材料を用いるメリット、実際の適用方法、製造方法、材料特性および適用箇所ごとの環境安全品質および検査方法について解説を行っている。

20) 石炭灰ハンドブック

日本フライアッシュ協会会員の実務参考書として、1990年に初版が発刊され、それ以降5年毎に改定を行っており、最新版となる改訂第6版は2015年に発刊されたもの。

改訂版では、石炭灰の発生と利用に関する統計および石炭火力発電所設備などの年次の更新、JIS A 6201(コンクリートフライアッシュ)改正に合わせた改正箇所の追加、有効利用の新しい文献、試験データおよび新規利用事例の織り込み、環境関連法令改正と情勢変化に応じた見直しを実施している。

石炭および石炭灰利用のあらましから有効利用の概要、技術開発状況、そして石炭灰関連統計に至るまでの情報が記載されており、石炭灰の有効利用拡大に役立てることを目的としている。

21) 港湾整備事業等におけるリサイクル材料の適用性に係る技術検討について

2016年に沿岸技術研究センターおよび国土交通省から発刊され、「港湾・空港等整備におけるリサイクル技術指針」及び「港湾・空港等整備におけるリサイクルガイドライン」の高度化に向けて、実用化されたリサイクル技術や関連法令等の整理や検討を行ったものの。

リサイクル材料の利用技術の品質・実績評価が用途・材料ごとにまとめられている。

22) 洋上風力発電の技術マニュアル(2001年度版)

2002年に沿岸技術研究センターより発刊されたもの。

風力発電施設を洋上に設置する際に課題となる基礎構造に着目し、現状技術を応用した設計・施工方法を提案したものであり、港湾・沿岸域における風力発電システムに係る工法の技術開発と普及を目的としている。

これまで提案された既往の設計基準や設計指針に基づいた洋上風車基礎の設計手法を、土木的観点より系統的にとりまとめている。

23) 石炭灰造粒物による底質改善手法の手引き

2013 年に国土交通省中国地方整備局より発刊された手引き。

2007 年度から 2012 年度の 6 年間に渡り、広島湾奥部に位置する海田湾における実証試験に際して、いくつかの産業副産物を比較検討した結果、底質改善に使用する材料として石炭灰造粒物を選定した。続いて、石炭灰造粒物を用いた底質改善実証試験箇所を選定に始まり、実証試験区画の設計、施工工法、モニタリングによる評価といった一連の検討が進められ、瀬戸内海において石炭灰造粒物による底質改善手法を広く展開していく上で重要となる様々な知見や技術が得られた。これらの検討結果から得られた知見を集約・整理し、実際の事業等へ「石炭灰造粒物による底質改善手法」を適用する際の指針を示すことを目的としている。

24) 今後の港湾環境政策の基本的な方向について(案)

2005 年に国土交通省港湾局より発刊された資料。

従来の環境施策の限界や環境問題の多様化などの理由から、港湾環境政策の見直しの必要性や今後の政策の方向性、具体的な施策をまとめたもの。循環型社会の形成というテーマの中にリサイクルが含まれており、「干潟や海浜等の再生・創出」や「深掘跡の埋め戻しによる青潮等の対策」にリサイクル材等を積極的に活用していく旨が記載されている。

25) 石炭灰全国実態調査(平成 28 年度実績)

JCOAL から毎年発刊されている、石炭灰の発生・利用量等の基礎資料。

石炭灰の有効利用拡大のための技術開発・普及を目的としており、石炭灰の発生・有効利用の実態及び動向がまとめられている。有効利用については、セメント分野、土木分野、建築分野、農林・水産分野、その他分野における利用の内訳を示している。

また、概要のみの整理として、以下を記載する。

26) 海洋再生エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律

2018 年 3 月に閣議決定、同年 11 月に成立、12 月 7 日公布された法律。

海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の推進は、我が国の海洋の開発及び利用を進める観点から、海洋政策上の重要課題のひとつである。しかし、その利用促進に関しては、長期にわたる海域の占有を実現するための統一的ルールがなく、先行利用者との調整に係る枠組みも整備されていなかった。こうした背景を受けて、本法律案が提案され、閣議決定に至った。

長期にわたり海域を占用する海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用を促進するため、基本方針の策定、促進区域の指定、当該区域内の海域の占用等に係る計画の認定制度を創設するものである。

表 3-1(1) 洋上風力発電設備への石炭灰有効利用に関連する法律・基準、ガイドライン等一覧

名称	公有水面埋立法	港湾法	海岸法	廃棄物の処理及び清掃に関する法律	海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律	資源の有効な利用の促進に関する法律
通称・略称	埋立法			廃棄物処理法	海洋汚染防止法、海防法	リサイクル法、資源有効利用推進法
法令番号	大正 10 年法律第 57 号	昭和 25 年法律第 218 号	昭和 31 年法律第 101 号	昭和 45 年法律第 137 号	昭和 45 年法律第 136 号	平成 3 年法律第 48 号
種類		法律	法律	環境法	産業法	法律
主な内容	水面埋立と干拓について	港湾等について	海岸の保護等について	廃棄物の抑制と適正な処理、生活環境の清潔保持	海洋汚染や海上災害の防止等について	リサイクルについて等
最新改正	2014 年 6 月 4 日	2016 年 5 月 20 日	2014 年 6 月 13 日	2015 年 7 月 17 日	2014 年 6 月 18 日	2014 年 6 月 13 日
主務官庁	国土交通省	国土交通省	国土交通省	環境省	国土交通省	経済産業省、環境省
概要	対象は「公の水面を埋め立てて土地を造成する」行為とその実施者。私有地および護岸工事や築堤は土地造成が目的でないため対象外。 面積 50ha 以上または環境影響評価法対象の 40ha 以上の埋め立てに関して、環境大臣の意見を聴取する必要がある。	交通の発達および国土の適正な利用と均衡ある発展に資するため、港湾の秩序ある整備と適正な運営を図るとともに、航路を開発し、保全することを目的とした法律。港湾管理者である港務局等の設立、その業務・組織・財務等のほか、港湾計画、港湾区域内の工事等の許可、臨港地区の指定、港湾工事の費用、開発保全航路など、港湾の開発・利用および管理の方法などについて定めたもの。	制定時は津波、高潮、波浪等による被害から海岸を防護することを目的としたが、1999 年の改正により、「海岸環境の整備と保全」、「公衆の海岸の適正な利用」を追加。	廃棄物の排出抑制と適正な処理、生活環境の清潔保持により、生活環境の保全と公衆衛生の向上を図ることを目的に、従来の「清掃法」(1954)を全面的に改めて制定された法律。 廃棄物の定義や処理責任の所在、処理方法・処理施設・処理業の基準等が定められている。	船舶、海洋施設および航空機から海洋に油、有害液体物質等および廃棄物を排出し、船舶及び海洋施設において油、有害液体物質等及び廃棄物を焼却することを規制した法律。 廃棄物の船舶からの海洋投入処分の許可制、廃棄物の海域における焼却の禁止等も追加規定されている。	循環型社会形成の観点から、資源の有効利用の促進を目的にリサイクルの強化や廃棄物の発生抑制、再利用を定めた法律。 リサイクルしやすい設計を行うべき製品、使用済み製品を回収・リサイクルすべき製品、生産工程から出る廃棄物を減らしたりリサイクルすべき業種、リサイクル材料を使用したり部品等を再使用すべき業種などを具体的に指定している。
石炭灰混合材料の港湾工事への利用に関する記載	護岸整備および築堤を行う場合は対象外と考えられる。 港湾埋立材料として石炭灰混合材料を使用する場合は、事業者が都道府県知事に許可申請を行う際に、埋立材料として石炭灰混合材料を用いることを明示する必要がある。	基本的には港湾設備の機能を定義する法律であることから、使用材料に関する規定は対象外と考えられる。	海岸の防護、海岸環境の整備・保全が主たる目的の法律であるため、石炭灰混合材料を護岸構造物の背面に利用することで、護岸構造物(堤体等)の断面寸法を縮小しても同様の機能が得られること、液状化に対しても有効であることを確認する必要がある。	廃棄物の定義において、フライアッシュがばい塵、クリンカアッシュが燃え殻に該当することから、使用する石炭灰が適性に処理されていることを確認する必要がある。一般に石炭灰を利用する際には、「有償売却」、「自ら利用」のスキームを利用する方法と、石炭灰を再生加工して「新たな産業資材」として使用する方法が考えられる。	石炭灰混合材料を用いた施工時において、海洋の汚染がないことを、水質(濁度等)を監視することで確認する必要がある。 供用時においては、石炭灰混合材料を利用した箇所からの有害物質の流出がないことを確認する必要がある。	電力事業に係る石炭灰が指定副産物に指定されていることから、石炭灰混合材料の利用が資源有効利用推進の上で有用なものであることを工事発注者、事業者に認識してもらう必要がある。
石炭灰混合材料の洋上風力発電設備における関連工事への利用に関する記載	洋上風力発電設備における基礎及び本体工事や関連設備等の工事は土地造成が目的ではないため対象外と考えられる。	洋上風力発電事業として港湾区域を専有する際には同法に基づき申請する。構造の概略を提出する必要があるが、使用材料に関しては明記されていない。	海岸保全区域に洋上風力発電設備及び付随施設等を建設する場合に対象となる。			

表 3-2(2) 洋上風力発電設備への石炭灰有効利用に関連する法律・基準、ガイドライン等一覧

名称	環境基本法	環境影響評価法	国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律	建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律	循環型社会形成推進法	土壌汚染対策法
通称・略称		アセス法、環境アセス法、環境アセスメント法	グリーン購入法	建設リサイクル法		土対法
法令番号	平成 5 年法律第 91 号	平成 9 年法律第 81 号	平成 12 年法律第 100 号	平成 12 年法律第 104 号	平成 12 年法律第 110 号	平成 14 年法律第 53 号
種類	環境法	産業法	産業法	産業法	法律	行政法
主な内容	環境保全について	環境影響評価等	グリーン購入について	建設資材のリサイクルについて	循環型社会の構築等	土壌汚染の防止等
最新改正	2014 年 5 月 30 日	2014 年 6 月 4 日	2015 年 9 月 11 日	2014 年 6 月 4 日	2012 年 6 月 27 日	2014 年 6 月 4 日
主務官庁	環境省	環境省	環境省	国土交通省	環境省	環境省
概要	環境保全の基本理念を定め、国、地方公共団体、事業者および国民の責務を明らかにすると共に、環境の保全に関する施策の基本事項を設定した環境保全に関する基本法。「環境への負荷」、「地球環境保全」および「公害」を定義。	地の形状の変更、工作物の新設等の事業を行う事業者が、その事業の実施にあたり予め環境影響評価を行うことが環境保全上重要であることから、環境影響評価について国等の責務を明確にすると共に、環境影響の程度が大きな場合は適切な措置を講じて、環境保全を確保することを目的とした法律。	商品やサービスを購入する際に、価格や品質だけでなく、環境への負荷がすくないものを優先的に選定することの推進を目的とした法律。国の事業ではグリーン購入が最優先であり、地方公共団体は国に準ずるもの、民間は努力規定となっている。国等が重点的に調達を行う環境物品に関しては、特定調達品目に定められている。	一定規模以上の建設工事を行うにあたり、資源の有効利用や廃棄物の適正処理を推進するため、建設廃棄物（建設工事で出る廃棄物）の分別・リサイクル等を行うことで、建設廃棄物の排出量の抑制、減量、再生利用を推進することを目的とした法律。	廃棄物・リサイクル問題の解決のため、「大量生産・大量消費・大量廃棄」型の社会から脱却し、環境への負荷が少ない「循環型社会」形成を推進するための基本的な枠組みとなる法律。「循環型社会の定義」、「資源循環の定義」、「排出者責任」と「拡大生産者責任」の明確化、「リサイクルの優先順位の規定」などを示している。	土壌汚染の状況の把握に関する措置及びその汚染による人の健康被害の防止に関する措置を定めること等により、土壌汚染対策の実施を図り、もって国民の健康を保護することを目的とした法律。2009 年の改正により、3,000m ² 以上の土地の形質変更の届出時において、都道府県知事がその土地に汚染の恐れがあると見なしたとき、も土壌汚染調査の実施が義務付けられた。
石炭灰混合材料の港湾工事への利用に関する記載	護岸構造物の裏埋め等に石炭灰混合材料を使用する際、港湾内への有害物質の流出がないこと、逆に石炭灰混合材料を利用することで土砂等の吸出し等がなくなり、周辺環境への負荷が軽減されることを確認する必要がある。	港湾工事そのものに対して環境影響評価を行う必要がある。この際に石炭灰混合材料を使用することで、新たな環境影響があると判断された場合は、事前に適切な環境保全対策措置を講じる必要がある。	石炭灰と同様に産業副産物であるスラグ類（高炉スラグ、銅スラグ、フェロニッケルスラグ等）は、コンクリート用骨材、盛土材、ケーソン中詰め砂等として特定調達品目に指定されている。港湾工事もしくは洋上風力発電設備における関連工事で利用する石炭灰混合材料も裏埋め材、盛土材として特定調達品目に指定されることが有効活用を促進させる上で必要。	浚渫土を含む建設発生土に石炭灰を混合して石炭灰混合材料を製造して有効利用することで、建設発生土の再資源化に寄与できることを示す必要がある。	石炭灰混合材料が循環資源（石炭灰）の再生利用に該当することを、工事関係者（事業者、排出責任者等）が認識することが重要。また、天然の土砂を使用せず循環資源を用いることで自然環境への負荷も軽減できることを周知させる必要がある。有効利用にあたっては、「循環資源の循環的な利用及び処分に当たっては、環境の保全上の支障が生じないように適正に行われなければならない」と規定されている。	石炭灰等が土木用・道路用資材等として用いられかつ周辺土壌と区別されている場合は土壌とみなされないため、本法の適用外となる。なお本法では、土壌・地下水の暴露経路を基に土ほこりを吸引する等の「直接摂取」と地下水を飲用する「間接摂取」の観点から健康被害に対するリスクを判断しており地下水の飲用がない港湾において石炭灰混合材料を利用する場合は表面が暴露されなければリスクはない、あるいは許容されと考えられる。
石炭灰混合材料の洋上風力発電設備における関連工事への利用に関する記載	洋上風力発電設備における基礎に石炭灰を使用する場合、水質汚濁や海洋汚染に関して設けられている基準を満たす必要がある。	洋上風力発電事業等に対して環境影響評価を行う必要がある。石炭灰を使用した該当施設においても通常と同様のプロセスで環境影響を評価する。				陸上を対象としているため、洋上風力発電事業における基礎工事は対象外となる。

表 3-3(3) 洋上風力発電設備への石炭灰有効利用に関連する法律・基準、ガイドライン等一覧

名称	土壌の汚染に係る環境基準	特定有害物質及び指定区域の指定基準
通称・略称	土壌環境基準	
種類	環境基本法	土壌汚染対策法
主な内容	人の健康や生活環境を守るための基準	土対法における指定基準
主務官庁	環境省	環境省
概要	土壌の汚染に係る環境上の条件につき、人の健康を保護し、及び生活環境を保全するうえで維持することが望ましい基準。対象項目については本文基準値(1倍値基準)と備考欄記載の基準値(3倍値基準)のが規定されている。	本基準が守れない土地は土壌汚染対策法の指定区域として定められ、汚染除去等の措置の対象となる。 溶出量基準は土壌環境基準と同値。
石炭灰混合材料の港湾工事への利用に関する記載	石炭灰は、無機物質であるため有機化合物以外の重金属等に関する項目についてのみ確認することが通例である。海域に隣接して海水の影響を受けていると考えられる土壌については、本基準の対象外となり、水質汚濁防止法の排水規制等で判断することが可能。	溶出量基準は土壌環境基準の本文基準値と同値のため、土壌環境基準を満たしていれば土対法の指定区域とはされない。ただし、港湾や洋上風力発電設備の場合は海水の影響を受けており、本文基準値を適用していない場合があることに留意が必要
石炭灰混合材料の洋上風力発電設備における関連工事への利用に関する記載	陸上の関連設備工事は海水の影響を受けている場合には上記港湾工事の記載に順ずる。	

表 3-4(4) 洋上風力発電設備への石炭灰有効利用に関連する法律・基準、ガイドライン等一覧

名称	港湾・空港等整備におけるリサイクルガイドライン(改訂)	石炭灰混合材料有効利用ガイドライン(震災復興資材編)	石炭灰混合材料有効利用ガイドライン(高規格道路盛土編)	石炭灰混合材料有効利用ガイドライン(既成灰編)	港湾工事中における石炭灰混合材料の有効利用ガイドライン(改訂版)	石炭灰ハンドブック
主な内容	リサイクル材料の港湾利用について	各分野に特化した石炭灰有効利用ガイドライン				石炭灰の品質管理や処理、有効利用の技術開発等について
最新改正	2018 年 4 月	2014 年 3 月	2015 年 3 月	2016 年 3 月	2017 年 2 月	2015 年 11 月
作成者、関係者	国土交通省港湾局 日本フライアッシュ協会	石炭エネルギーセンター	石炭エネルギーセンター	石炭エネルギーセンター	石炭エネルギーセンター	日本フライアッシュ協会
概要	建設副産物及び建設業以外の産業活動から排出される副産物を港湾整備事業、空港整備事業及び海岸事業の建設資材として利用する際の技術的取り扱い及び法令面での取り扱いについて示したものであり、港湾・空港等工事中におけるリサイクルの促進を図ることを目的とする。	東北地方太平洋沖地震にて大きな被害を受けた東北地方の太平洋側において、復旧復興工事に際して不足が懸念される盛土材料等に対して石炭灰混合材料を活用するために作成されたガイドライン。	石炭灰の土木分野での用途を拡大させる目的で、盛土構造が主体となり土砂材料の確保が課題となる高規格道路への利用に向けたガイドライン。	石炭灰混合材料として、湿潤状態で一定期間放置された既成灰(エージング灰)の使用に焦点を当てたガイドライン。既成灰を原料とした石炭灰混合材料の品質評価や活用方針を示すことで石炭灰の有効活用を促進させることを目的とする。	石炭灰混合材料を有効利用するにあたり、材料的優位性が活用できる港湾工事への適用に関する事項をとりまとめたもの。石炭火力発電所等から発生する石炭灰の土木分野での用途拡大を目的とする。	日本フライアッシュ協会会員の実務参考書として発行されている。最新版は第 6 版。基礎編、応用編、設備編、規格・試験方法編、用語集、統計・資料編から構成されている。石炭および石炭灰利用のあらましから有効利用の概要、技術開発の状況、そして石炭灰関連の統計に至るまでの情報が記載されている。石炭灰の有効利用拡大に役立てることを目的とする。
石炭灰混合材料の港湾工事への利用に関する記載	フライアッシュ、クリンカアッシュ、石炭灰二次製品の用途ごとの評価が記載されており、港湾工事への利用可能性についてまとめられている。なお、用途については港湾局の共通仕様書を参考にしている。	堤防や道路盛土、護岸等の用途について記載されており、港湾施設への適用についての参考となる。	高規格道路関連に限定されているため直接的な関連性はないが、盛土や地盤改良等についての記載は港湾工事の参考となる可能性がある。	土砂代替材料として土木工事へ適用することについて記載があり、護岸や防波堤基礎、消波ブロックへの利用が可能とされている。	港湾工事に石炭灰混合材料を適用した際の有用性や実際の適用事例、環境安全品質基準、検査方法等が示されている。	石炭灰混合材料を港湾構造物の防波堤上部工、根固めブロック、消波ブロックに適用する用途が記載されており、港湾施設への適用についての参考となる。
石炭灰混合材料の洋上風力発電設備における関連工事への利用に関する記載	洋上風力発電設備での基礎工事における中詰材や裏込材、裏埋材等にも評価を適用できるため、石炭灰の有効利用促進に向けての参考となる。	洋上風力発電事業における工事に関する記載はないが、陸上の洋上風力発電事業での関連設備において盛土等に石炭灰を使用する場合に参考になる。	洋上風力発電事業における工事に関する記載はないが、陸上の洋上風力発電事業での関連設備において盛土等に石炭灰を使用する場合に参考になる。	洋上風力発電事業における基礎工事に関する記載はないが、防波堤基礎等海中での利用についても記載があるため参考となる。	洋上風力発電事業における基礎工事における中詰材や裏込材、裏埋材等にも評価を適用できるため、石炭灰の有効利用促進に向けての参考となる。	洋上風力発電事業における関連工事への利用に関する記載はないが、石炭灰混合材料の各種構造物への使用用途(盛土材や中詰材など)の記載が豊富であるため、洋上風力発電事業での関連工事へ石炭灰混合材料を適用する場合に参考になる。

表 3-5(5) 洋上風力発電設備への石炭灰有効利用に関連する法律・基準・ガイドライン等一覧

名称	港湾整備事業等におけるリサイクル材料の適用性に係る技術検討について	洋上風力発電の技術マニュアル(2001 年度版)	石炭灰造粒物による底質改善手法の手引き	今後の港湾環境政策の基本的な方向について(案)	石炭灰全国実態調査(平成 28 年度実績)
主な内容	港湾等におけるリサイクル材料の利用技術検討	港湾・沿岸域における風力発電システムに係わる工法	石炭灰造粒物を底質改善に利用するための手引き	港湾環境政策の見直しと具体的施策	石炭灰の発生・利用量等の基礎資料
最新改正	2016 年	2002 年 6 月	2013 年 3 月	2005 年 2 月	2018 年 2 月
作成者、関係者	沿岸技術研究センター 国土交通省	沿岸技術研究センター	国土交通省中国地方整備局	国土交通省港湾局	石炭エネルギーセンター
概要	「港湾・空港等整備におけるリサイクル技術指針」及び「港湾・空港等整備におけるリサイクルガイドライン」の高度化に向けて、実用化されたりリサイクル技術や関連法令等の整理や検討を行ったもの。	風力発電施設を洋上に設置する際に課題となる基礎構造に着目し、現状技術を応用した設計・施工方法を提案したもの。港湾・沿岸域における風力発電システムに係わる工法の技術開発と普及を目的とする。	広島湾奥部の底質改善に試行する材料として石炭灰造粒物を選定し、検討・実証した結果を集約・整理したもの。石炭灰造粒物による底質改善手法が適用される際の指針となるようにまとめられた。	従来の環境施策の限界や環境問題の多様化等の理由から、港湾環境政策の見直しの必要性や今後の政策の方向性、具体的な施策をまとめたもの。	石炭灰の有効利用拡大のための技術開発・普及を目的として毎年実施されている調査。石炭灰の発生・有効利用の実態及び動向等をまとめたもの。
石炭灰混合材料の港湾工事への利用に関する記載	港湾・空港等整備におけるリサイクルガイドラインと同様に、リサイクル材料の利用技術の品質・実績評価が用途・材料ごとにまとめられている。	洋上風力発電事業における関連工事に特化した内容となっており、それ以外の記載はない。	海底での使用を想定した手引きであり、陸上の港湾工事は対象外となる。	循環型社会の形成というテーマの中にリサイクルが含まれており、「干潟や海浜等の再生・創出」や「深掘跡の埋戻しによる青潮等の対策」にリサイクル材等を積極的に活用していく旨が記載されている。	港湾や洋上風力発電事業等特定の用途についての記載はないが、石炭灰の利用促進のための基礎データが記載されている。
石炭灰混合材料の洋上風力発電設備における関連工事への利用に関する記載	洋上風力発電事業における基礎工事の各用途に関する評価も記載されている。石炭灰の有効利用を促進するには、評価基準を元に課題を抽出し、改善していく必要がある。	既往の設計規準や設計指針に基づいた洋上風車基礎の設計手法をとりまとめたものであり、石炭灰混合材料を使用する際の検討・設計の参考となる。石炭灰等リサイクル材利用に関しての記述はない。	石炭灰造粒物の底泥への被覆材としての適用可能性に関する実験結果がまとめられており、底質・水質の改善効果、底生生物への効果等が記されている。洋上風力発電設備における基礎工事に使用した際の底質等への影響に関しての参考となる。	洋上風力発電事業における工事に関する記載はないが、洋上風力発電事業での関連設備が港湾区域と関連する場合には上記の通りとなる。	

(2) 法令・基準、ガイドライン等についての考察

現在、洋上風力発電設備への石炭灰有効利用に関するガイドラインは存在していない。そのため、現時点では洋上風力発電事業計画が、広く港湾整備における建設計画に類似した形で進められる可能性が高いことから、「港湾整備事業等におけるリサイクル材料の適用性に係る技術検討について」を参考にできるとともに、表 3-1(1)～(5)でまとめた各種法令・基準、ガイドライン等も部分的に参考できると考えられる。と考えられる。しかし、実際の現場で現行のガイドラインにそのまま準拠できるとは言い切れないことから、利用可能とされる各用途における検討を進めるとともに、検討結果を反映したガイドライン策定に向けた検討が必要である。

3.2. 秋田県内の洋上風力発電事業関係者に対する調査

(1) 秋田県内の洋上風力発電事業に係る先行事業者へのヒアリング調査

秋田県内で、洋上風力発電の導入に向けて、環境影響評価法に基づく手続きや事業可能性調査、地元調整等を進めている先行事業者に対して、洋上風力発電設備における石炭灰利用に関するヒアリング調査を実施した。結果を表 3-2 に示す。

表 3-2 秋田県内の洋上風力発電事業に係る先行事業者へのヒアリング調査結果

項目	ヒアリング結果
現在までの石炭灰利用による用途、そこでの課題、国・県等への要望	・ 洋上風力発電設備での利用実績はないものの、JCOAL がこれまで進めてきた人工藻場としての石炭灰利用の実績を生かすことで、秋田県の洋上風力発電設備での利活用可能性はあると思われる。 ・ 洋上風力発電事業の事業者としては、洋上風力発電推進にあたって、建設コストの低減等、コスト削減を重要課題として考えており、その際、安価でかつ安全面で環境等への影響が無いものを活用できるのであれば、取り入れていきたい。 ・ 特に今後、地元住民等への事業説明を行うにあたって、どのようなものを使うのか、その使うものは環境への影響はないのか等の説明が求められる中で、地元から出てきた材料で、既に地元でも利活用実績がある（JCOAL の実証試験だけではなく、地元の石炭灰利用事業者が既に製造・現場適用等を行っている）リサイクル資材を活用するということは、製造時の環境影響や、現地への搬入に伴う環境影響等を最小化することになり、地元への環境配慮面に関する説明材料ともなる。 ・ 今後の具体的な事業計画策定にあたって、漁業共生事業は必ず組み込まれるため、そこでの石炭灰利用可能性について盛り込んでいくことなどは可能。 ・ 有用性・安全性・コスト等の面で利点があれば利用も考えられるが、漁業者や住民がどう思うかが課題。 ・ 輸送コスト、または地元企業の活用による地域振興等から、材料は由利本荘市内で賄えることが望ましい。
現在までの石炭灰以外のリサイクル材料の利活用状況、今後の採用予定	・ 安価かつ安全な製品等は積極的に使っていきたい。特に、地産地消の観点から、運搬コスト低減等も考慮して取り扱い推進等を検討したい。
石炭灰の洋上風力発電設備への適用可能性についての意見	・ 洗掘防止剤や、モノパイルを差し込んだ後の捨石マウンドとして利用可能性がある。また陸にあげるところの被覆材として活用可能性がある。 ・ 周辺設備としての変電所での利活用は、人工島としての利活用と類似する部分も多いと思われることから可能性がある。変電所や仮設ヤードなどといった付帯する陸上設備における材料として利用できる可能性はあるかもしれない。 ・ 漁業共生事業における藻場材料、海藻のみならず魚類や貝類等の水産資源増殖に向けた人工構造物材料としての適用可能性はある。特に当社の事業予定地は砂地が主であり水産資源はそれほど多くないため、それら増殖の効果が、より期待できるかもしれない。 ・ 洋上風力発電の導入にあたって、能代港を拠点港としたいと考えているため、その港湾設備の増強等が必要になる可能性がある。新たに埋め立て

	等の工事を行うとなると、埋め立て工事は長期に及ぶので、今回の建設スケジュールとの兼ね合いでは、建設時点での拠点港整備の効果の恩恵は受けにくいものの、竣工後の風車メンテの際に、拠点港が整備されていると、事業者としてメリットがある。 ・ 重力式発電設備においては、コンクリート代替としての石炭灰利用可能性はあるものの、現在設置予定の場所を含め、日本の現場では不適切と思われるところ(例えばレベル2地震動に耐える強度要求に応えられるか)もあり、現時点では判断しきれない。 ・ 中詰材(グラウト材の代替)としては、規格の問題等もあることから利用は難しい可能性はある。
石炭灰活用推進にあたって、現行の規格・基準に対する意見	・ 法令・基準を遵守しているとしても、やはり現場としては安全面の懸念はなかなか払拭し難いものがある。 ・ 新たな材料を活用する上では、安全性面が最重要であることから、その部分などを県の発注の中で設けるなどの検討は必要。 ・ 安全性面だけではなく、洋上風力発電設備で使うにあたっての技術仕様(強度等)も検討が必要。 ・ 社内基準は特になく、事業を共同で行うゼネコン等の基準に依存する。
その他自由意見	・ 再エネを推進する立場では、石炭火力の今後の増設について等、石炭火力との密接な連携は強く発言することはできない。ただ、再エネとのリンクによるCO2排出量の削減や、地産地消の推進や、地元産業振興、漁業振興等のメリットを見出す点については、連携していきたい。 ・ アセス図書閲覧、追加ヒアリングについては、秋田県からの要請を受ければ閲覧していただいてよい(秋田県環境管理課で確認してよい)。 ・ ほかの事業者のアセス閲覧結果も踏まえ、考察し、調査報告書としてまとめていただくのは問題ない。 ・ 再エネ事業を行っている立場ではあるが、発生する石炭灰をどうにかしなければという意識はある。 ・ 同じ県内でも北部／南部で漁業関係者の意識に差があるのではないかな。どちらかというと、由利本荘など南部は保守的な考え方が強いように感じる。 ・ 藻場は、漁業にとってのメリットを見出す可能性もあることから利用可能性はある。 ・ 漁業関係者にとって、藻場・魚礁等の効果が想定される一方で、新たな構造物が海中に設置されることによって流況が変わり、生態系に影響する可能性がある。現に、そのような変化に対する懸念を漁業関係者から聞いている。海洋の現場で利用する場合、溶出などの問題をクリアにする必要がある。 ・ いずれの用途で利用する場合にも、従来の砂利やコンクリートと比較して、本当に安価となるのか、コストメリットを見出すことが必要。 ・ 漁業共生事業における藻場材料、海藻のみならず魚類や貝類等の水産資源増殖に向けた人工構造物材料としての適用可能性はある。 ・ 藻が付きやすいかどうかというより、安全性が最重要で、そこにプラスしてコスト等のメリットが必要となる。少しでも不安要素があるものは漁業者が難色を示すので、魚礁・藻場として利用する場合は実証実験等による説得力が必要となる。1つあたりの藻の付きやすさは同等でも、同コストで多く作成できるのであれば、トータルでは付きやすくなったと評価できるのでは

	ないか。
--	------

(2) 秋田県内洋上風力発電事業に係る先行事業者へのヒアリング調査についての考察

秋田県内で、洋上風力発電の導入に向けて、環境影響評価法に基づく手続きや事業可能性調査、地元調整等を進めている先行事業者に対して、洋上風力発電設備における石炭灰利用に関するヒアリング調査を行った結果について以下の通り考察する。

観点	現状	今後の課題
市場性	● 人工藻場としての石炭灰利用実績がある。 ● 洋上風力発電設備以外の現場で、地元企業による利活用実績がある。 ● 再エネ推進と同時に、地元で発生している産業副産物としての石炭灰の利活用は重要であるとの認識がある。	● 人工藻場としての石炭灰利用に関する継続調査を行い、洋上風力発電設備での適用可能性を検証することが必要。
安全性	● 安全かつ環境への影響がないものであれば活用したいとの認識がある。 ● 現行の法令・基準を満たしても安全面の懸念が残る。 ● 地元住民等から環境影響に対する懸念の声が多い。	● 安全かつ環境への影響がないものであるか、具体的な数値データを出す等の検証が必要。 ● 現行の法令・基準での対応でよいかどうか検討するとともに、県の発注仕様書に盛り込むことも検討が必要。 ● 環境影響評価結果の地元住民等への説明が必要。 ● 安全のみならず、安心につなげるために必要なデータ取得法、データ提示についての検討が必要。
有用性	● 人工藻場としての石炭灰利用実績がある。 ● 洗掘防止剤としての利用可能性はある。 ● 捨石マウントとしての利用可能性はある。 ● 被覆材としての利用可能性が	● 人工藻場のみならず、水産物増殖に向けた波及効果を得るための継続調査が必要。 ● 各種用途における仕様を決定するための技術検討が必要。 ● 利活用可能性が難しい場合、必要となる新たな技術開発や

	ある。 ● 中詰材としての利用は難しい。 ● 周辺設備における変電所や仮設ヤード等陸上設備における材料としての利活用可能性がある。	他材料との組み合わせによる利用可能性検討等が必要。
経済性	● 建設コスト低減等コスト削減を重要課題として認識している。 ● 安価なものを活用したいとの認識がある。 ● 地産地消であれば成り立つとの認識がある。	● 従来材料と比較して、安価なものとなりうるのか、コスト試算を行うことが必要。 ● 地産地消として成り立つかどうか、輸送コスト含めトータルコストの試算を行うことが必要。
その他	● 漁業共生策が重要であるとの認識がある。 ● 石炭灰利用による各種メリットが不明	● 具体的な漁業共生策を地元住民等へ示していくことが必要。 ● 環境的特性等も含めメリットを整理し、関係者への説明が必要。

(3) 有識者へのヒアリング調査

リサイクル材料の港湾事業等への適用に関わる有識者、洋上風力発電事業に関わる有識者に対して洋上風力発電設備における石炭灰利用に関するヒアリング調査を実施した。結果を表 3-3 に示す。

表 3-3 有識者へのヒアリング調査結果

項目	ヒアリング結果
現在までの石炭灰利用による用途、そこでの課題、国・県等への要望	・ JIS 灰と非 JIS 灰があり、埋立てはそれほどの品質を要求されないのので後者を用いる。 ・ 品質のばらつきが大きい点が、リサイクル材全般にいえる課題(使用上の留意点)である。 ・ 埋立後は港湾関連用地として活用 ・ 土木用資材として使用する場合、大量の材料を定められた期間に供給することが重要である。 ・ 約 30 年前、北海道室蘭湾の白鳥大橋建設時に、人工島建設を行う際に、火山灰と石炭灰のブレンドが採用された。その際、北海道開発土木研究所の関与があった(行政)ことが新たな取り組みのきっかけとなった(10万 m³)。 ・ 本来、人工島建設は、テンポラリーなものであるが、非常に成果が優れていたため、今も残っており利活用されている。 ・ 技術的なところはある程度クリアされているが、石炭灰等廃棄物の再利用に対するハードルは高い。 ・ 過去に港湾現場でも、再生砕石を活用するにあたって、用途・品質にもよるが、利用までのハードルは高かった。それを改善するためには、一部利活用をテスト的に行い、そこから実用化に向けた取り組みが開始した。 ・ 行政としての仕様に盛り込んでもらうことが利活用促進の一番の道であり、例えば、発注の際の総合評価で加点するような仕組みを行政が盛り込むことが重要。 ・ 再エネ推進の時勢を受けて、環境負荷面でのメリット等を行政の仕様に盛り込むようなことがあって欲しい。 ・ 行政の仕様の中では、具体的なスペックや県産品のリサイクル(地産地消)等を盛り込むなどを検討いただくと同時に、技術開発した事業者が他県の事業に参画できるような体制づくりまでを検討してもらうことで、地域活性化に他県事業者が関与できるようにしてもらいたい。 ・ 仕様の中では、行政が明確なスペックや強度、安全性基準等を設けてもらえば、事業者/ゼネコンとしてはぜひクリアするための技術開発等に取り組みたい。 ・ 洋上風力発電設備での石炭灰利用に関しては、地域貢献、共存協業が重要であり、地元の雇用促進につながれば、今後、地元の石炭灰利用企業等も新たな分野への参画が見込まれる。
現在までの石炭灰以外のリサイクル材料の利活用状況、今後の採用予定	・ 瀬戸内海では船の大型化に伴う海底工事等により発生する浚渫土を有効活用 ・ ⇒近隣で発生する鉄鋼スラグを混合し、減少している干潟再生に利用する

	・ 心理的な抵抗感はある(スラグの中から採取したアサリの安全性等) ・ 「鉄鋼スラグ」という名前から忌避される傾向もある。 ・ 砂の粒の大きさ(75ミクロン～2mm)に鉄鋼スラグを合わせて使用する。 ・ 造粒材そのものの利活用は難しいことから、他の材料との組み合わせが可能性としてある。 ・ 例えば、盛土では、山砂と混ぜて山砂の混合率を下げつつも、かつ、強度・密度がクリアできるならば有望と考えられる。 ・ 路盤材も、コンクリート碎石との組み合わせで強度クリアが出来る、あるいは、土木現場での適用基準をクリアできるのであれば、有望。 ・ 裏込材は軽くてよいため、石炭灰そのものだけでも使える可能性はある。 ・ 港の拡張にあたって、土木資材としての利活用できるシチュエーションがあるが、他の材料との組み合わせがあると有望。 ・ 秋田県の場合は、DOWAグループ(小坂精錬)がリサイクル事業を推進しており、こことのタイアップも重要。 ・ 石炭灰は同じ石炭灰でも、既成灰の利活用が洋上風力発電設備で可能であれば非常に有望であるが、既成灰の利活用は県によって考えが異なるため要確認。
石炭灰の洋上風力発電設備への適用可能性についての意見	・ 洋上風力発電設備周辺の洗掘防止対策は必須となるので、捨石と被覆ブロックの需要が見込まれる。洋上風力発電事業には基地港が必要となり、通常の港湾施設よりも高い耐荷重が要求される。耐荷重を向上させるためには地盤改良が必要となり、通常は砂やセメントが地盤改良材として使用される。砂の代替材としてフライアッシュは高価だがセメントよりは安価で経済的優位性があると考えられる。 ・ 基礎工における捨石にとって必要な機能は長期耐久性と石と石のかみ合わせである。フライアッシュ(JIS 灰)、フライアッシュ(非 JIS 灰)、クリンカアッシュともに捨石は用途対象外である。石炭灰二次製品適用の可能性はあるが、セメント等を使用する必要がある経済性に難点があると想定される。 ・ 本体工における中詰め代替材は、フライアッシュ(JIS 灰)は用途対象外である。フライアッシュ(非 JIS 灰)は防波堤本体工に利用実績がある。マニュアル等や技術資料等で用途の検討が行われたことは確認できないが課題等も挙げられており限定される。クリンカアッシュはマニュアル等や技術資料等で用途として利用可能であるが課題も挙げられており、利用実績はない。 ・ フライアッシュ(JIS 灰)、フライアッシュ(非 JIS 灰)はコンクリート用細骨材の一部(上限 20%)に代替利用されており、被覆ブロック・根固めブロック・消波ブロックへの利用実績が多い。ただし細骨材よりもフライアッシュのほうが高価であるためコストは上昇する。 ・ クリンカアッシュはコンクリート用細骨材の一部に代替利用されており、防潮堤工事の実績があるが限定的である。 ・ 洋上風力発電設備で裏込め材を使用することは考えにくい。護岸背後の埋立地でない限り、裏込め材は使用しない。 ・ フライアッシュ(JIS 灰)、フライアッシュ(非 JIS 灰)ともに用途対象外である。秋田における藻場ブロック実績がある。クリンカアッシュは浚渫土砂との混合土を覆砂に用いた室内実験の実績がある。

	・ 周辺施設として、岸壁及びヤードに要求される耐荷重が比較的大きいため地盤改良が必要となる。地盤改良にサンドコンパクションパイル工法を適用する場合、サンドコンパクション材としての需要がある。フライアッシュ（JIS 灰）、フライアッシュ（非 JIS 灰）、クリンカアッシュともに利用マニュアル等が整備されており、限定的ではあるが利用実績がある。地盤改良に深層混合処理工法を適用する場合、深層混合処理固化材としての需要がある。フライアッシュ（JIS 灰）、フライアッシュ（非 JIS 灰）は利用マニュアル等が整備されており、限定的ではあるが利用実績がある。クリンカアッシュは用途対象外である。 ・ 地盤改良工での利活用可能性もあると思われる。その際、砂利の代替あるいは砂利とのブレンドでの利活用が可能であればよい。 ・ 洋上風力発電計画を進める上で、発電機、周辺施設についての検討も必要であるが、港湾整備（増設、補強等）の拡充が重要。海外では、基地港としての機能と物流港としての機能を併せ持って、その上で建設計画が進行している。洋上風力を導入する場合には、その機材の受入れ設備、工事材料の受入れ設備などを含めて港湾設備をかなり規模を拡大する必要がある。このような港湾設備の拡充まで考慮すると、石炭灰の利活用が確実に必要となる。 ・ 港湾整備は行政の所掌であるが、この港湾整備を行政がどのように考えているかを知る必要がある。 ・ 例えば港湾を拡大する場合に、海側を拡大する場合は埠頭を造る必要があり、そのための資材として石炭灰の利活用可能性がある。さらに、灰の海面利用を他の用途で適用する場合には強度アップ等が必要になるが、港湾工事にともなって石炭灰利用可能性が出てくる。 ・ 港湾拡大において陸側を拡大する場合には、荒廃地利用の観点で、舗装、地盤改良の現場での利活用が可能となる可能性がある。 ・ 周辺設備としての変電所での利活用は、人工島としての利活用と類似する部分も多いと思われることから、可能性はある。 ・ 人工島の中詰材として利用する場合には、通常の方法（砂等）であると、中詰材を補強する管の材質を強度が高いものにするなどしなければならないが（材質がゆがむため）、石炭灰スラリーの場合は、内部で固まる性質を持つことから管の材質を必ずしも強度が高いものにしなくてもよい。 ・ 洗掘防止剤としての適用可能性はあると思う。
石炭灰利活用推進にあたって、現行の規格・基準に対する意見	・ 陸上の工事については土壤汚染対策法の基準がある一方、特例として港湾は独自の基準を設けている。使用量が陸上よりはるかに大きいこともあり、陸上の基準をそのまま港湾に当てはめると事業が成り立たない。 ・ 土壤汚染対策法では項目によっては条件付で環境基準の 3 倍の値が適用されるが、「水底土砂に係る判定基準」は土壤環境基準の 10 倍程度の値を基準としている。 ・ 基準は厳しくなる方に向かっていると感じている。 ・ 基準さえ満たしていれば関係者に納得いただけるというわけでもない。国や漁協がうんというか、理屈ではないところもあり、難しい。 ・ 日本海側の港は港湾整備として必ずしも最適になっているとは思えない。 ・ 特に、洋上風力発電事業がさかんな秋田、青森、このあたりの港湾整備にもっと力を入れることが必要。 ・ ただし、港湾設備の整備について自治体として洋上風力発電事業を推進

	する上で、理想的な港湾像があり、それとともに現状の港湾があり、その乖離を埋めることが洋上風力発電事業推進に向けた港湾設備の整備に向けた取り組み課題である。
その他自由意見	・ 「港湾・空港等整備におけるリサイクルガイドライン」は 2017 年度に改訂された。技術的知見の蓄積や JIS 改正によるもの。石炭灰は大きな変更はなかったように思う。なお、定期的に改訂が決まっているわけではなく、状況の変化が大きくなったら適宜改訂するというスタンスだと思う。「港湾・空港等」という名前ではあるが、実情として港湾分野での使用がメイン。空港は品質管理が厳しく、リサイクル材の使用はあまり普及していない。また、陸上よりも海上、海中を想定しているため、洋上風力発電設備であれば陸上の付属設備よりも風車基礎に関して参考になるかもしれない。表の工種は港湾局の共通仕様書を参考にしている。 ・ 国の事業に関連するデータは、裏が取れる(さまざまな観点での確認・検証が可能である)が、一般企業の事業については、それは難しい。 ・ 既に、東北電力と清水建設と恵和興業(宮城県)にて造粒材の開発済(2017年3月プレス・リリース)。ただ、石炭灰を活用したビジネスモデルが今の重要協議事項。ビジネスモデルを成立させるためにはマーケットが重要。 ・ 本調査事業はぜひ積極的に進め、秋田県こそが全国のモデルとなってほしい。それにより、ゼネコンの新たな事業拡大も見込まれることが期待できる。

(4) 有識者へのヒアリング調査結果についての考察

リサイクル材料の港湾事業等への適用に関わる有識者、洋上風力発電事業に関わる有識者に対して洋上風力発電設備における石炭灰利用に関するヒアリング調査を行った結果について以下の通り考察した。

観点	現状	今後の課題
市場性	● 技術的にはクリアしていた場合にも利用にあたってはハードルがある。	● 廃棄物利用促進に向けた新たなルール等の検討が必要。
安全性	● 安全性基準を満たしていても、産業廃棄物利用に対する不安がある。	● 新たな用途における安全性基準の改訂に向けた検討が必要。 ● 安心担保のための根拠データの取得、地元住民等への開示・説明等が必要。
有用性	● 埋め立てで利用可能性がある。 ● 品質のばらつきによる影響(製造法、性能等)がある。 ● 港湾整備(拡張等)の建設資材等での利用可能性がある。 ● 従来材料の一部代替での利用可能性がある。 ● 軽さを生かして裏込材としての利用可能性がある。 ● 洗掘防止剤としての利用可能性がある。 ● スラリー形状での中詰材としての利用可能性がある。 ● 地盤改良材としての利用可能性がある。 ● 防波堤本体工としての利用実績がある。 ● 被覆ブロック・根固・消波ブロックでの利用実績がある。 ● 藻場ブロックとしての実証試験が行われている。	● 新たな用途における明確な技術仕様を確立するための技術検証が必要。 ● 従来材料の一部代替(他材料との組み合わせ)による性能保持等の検証が必要。 ● 軽さを生かした用途における技術検証を行うとともに、軽さを解消するための検討が必要。

経済性	● 港での原料調達にあたって調達可能な港の制限がある。	● 輸送コスト増を防ぐために、新たな港湾整備等、原料の取り扱い可能港を増やすための検討が必要。
-----	---	---

3.3. 洋上風力発電事業における漁業共生に向けた取組みに関する調査

洋上風力発電事業導入に伴い必要とされる漁業共生の取組みに関する文献調査を行った。結果を表 3-4 に示す。

表 3-4 漁業共生に関する取り組み事例

No.	取組み事例	実施者(提案者)	実施時期・場所	概要	手法	期待される効果	出典
1	風車つき消波堤囲い増養殖場	(一財)漁港漁場漁村技術研究所	未定・提案段階	消波堤を風車の基礎として、消波堤で囲んだ増養殖場を設置するもの。 消波堤は重力式、浮体式等があるが、利活用されていない領域を風車設置域として有効活用する。	増養殖場を消波堤で囲み、所定の静穏度を確保する。加えて遊休地である消波堤の上部に風車を設置し、地域へのエネルギー供給を志向する。	増養殖場造成による資源水準向上および漁獲・漁家所得増および経営の安定化、地域独自の電力資源獲得、観光資源、再生エネルギー導入に関する啓蒙。	(一財)漁港漁場漁村技術研究所作成資料 http://www.jfa.maff.go.jp/test/kikaku/other/pdf/gyokouguyoson.pdf
2	風車を境界線とした増殖場の造成			魚礁、藻場等による保護増殖場を造成する際に、保護区域の境界線上に風車を整備し、区域の範囲を明確化する。風車を用いることにより保護区域が明確になるとともに、地域の景観や保護意識の向上を促進し、観光資源にもつながる。	保護増殖場を造成するとともに、その境界線に風車を設置する。これにより保護増殖場の範囲を明確化するとともに、地域へのエネルギー供給を志向する。また、ロープで風車支柱間を接続し、海中林を造成することも考えられる。これらにより保護増殖場全体の生態系の底上げを志向する。	増養殖造成による資源水準向上及び漁獲・漁家取得増および経営の安定化、地域独自の電力資源獲得、観光資源、再生エネルギー導入に関する啓蒙、未利用漁場の増殖機能発現。	
3	風力発電施設直下および周辺地域における増殖場造成			浮体式風力発電は係留索が着底する範囲の海域を占有するため、未利用漁場を対象とすると共に風車と同時に増殖場を整備し、資源水準をかさ上げすることが有効である。	沖合いの未利用漁場に風車の直下及び周辺地域に投石マウンド礁、各種魚礁等の増殖場を整備する。それにより付着生物、ベントス、葉上動物等餌料生物を増加させ、併せてそれらを接餌する魚介類の資源水準を高める。	周辺海域の資源水準の向上、生態系の多様性向上、動植物プランクトン量向上、染み出し資源の漁獲、多獲性回遊魚類(アジ、イワシ等)の蛸集と増肉、未利用漁場の増殖機能発現。	
4	風車支柱の表層、中層魚礁化			枕島実証試験風車(浮体式)の支柱には様々な魚類が蛸集していることが明らかになっている。この機能を推し進め、支柱を表層、中層魚礁として積極的に活用することを試みる。	予め魚探調査等で周辺海域の蛸集魚類の生息水深を把握し、その水深を狙って支柱に表層・中層魚礁を付加する。これにより、魚群の蛸集と漁獲の効率化を図る。加えて直下に増殖場を整備することで、表層から底層に至る生態系ネットワークが形成される。また、増殖場に蛸集した魚類は、表・中表層へ蛸集した大型回遊魚類の餌料にもなる(例:マグロやカツオがイワシ・アジを接餌)。	魚群の蛸集、特に大型回遊性魚類(マグロ、カツオ等)の蛸集、蛸集による魚労活動の効率化、蛸集魚類の増肉。	(一財)漁港漁場漁村技術研究所作成資料 http://www.jfa.maff.go.jp/test/kikaku/other/pdf/gyokouguyoson.pdf

No.	取り組み事例	実施者(提案者)	実施時期・場所	概要	手法	期待される効果	出典
5	大規模増殖場の造成			洋上風力発電所は多数の風車を整備することで発電所としての実用性が担保されるため、水産利用としても大規模な領域を対象とした考えが必要である。 風車群をいくつかの区域に分類し、その間の回廊を染み出し漁場とする整備を例示する。	「風力発電施設直下および周辺地域における増殖場造成」および「風車支柱の表層、中層魚礁化」で提案した漁業協調型施設を設置した複数の風車をまとめた区域を増殖場と定義し、この区域を整配置するとともに、その間を染み出し漁場とする。	資源水準が底上げされた増殖場からの安定的な漁獲、未利用漁場の利用の場合はそのまま漁獲・漁家所得増および経営の安定化。	
6	洋上風力発電施設周辺域における新規漁場の創出案	東京久栄	未定・提案段階	沿岸生態系を考慮し、浅海域では着床式洋上風力発電施設周辺に岩礁性藻場を造成し、沖合い域では回遊魚の経路に魚礁効果を有する浮体式洋上風力発電施設を配置する。これにより沿岸生態系の生物生産性と生物多様性の底上げを図る。	海藻の生育に適した水深 20m 以内では、着床式洋上風力発電施設の周辺に割石やコンクリートブロックを投入することにより岩礁性藻場を造成する。 水深 20m 以内の沖合い域では、浮体式洋上風力発電施設の係留系や浮体自身を魚礁として直接利活用する他、周辺への魚礁ブロック等の投入により魚礁効果を高める。	マダイ、イサキ、ヒラメなどの岸沖回遊魚、ブリなど広範囲に回遊する魚、中深場に生息する魚礁性の高い魚種の鰯が期待できる。シンカー部及び周辺部にはⅠ型、Ⅱ型、Ⅳ型の魚種が、係留系、浮体にはⅢ型の魚種の鰯が想定される。	(一社)マリノフォーラム 21 資料 http://www.jfa.maff.go.jp/test/kikaku/other/pdf/mf21.pdf
7	ゾステラマットを用いたアマモ場造成	芙蓉海洋開発	平成 16～17 年度 650 基 志摩市阿児町 平成 17 年 200 基 津市御殿場海岸 平成 18 年 200 基 伊勢市二見町	ゾステラマット(全て腐食分解する材質でできた造成基盤)を海底に落とし、アマモ場を造成する。	ゾステラマットの間に、アマモの種子を海底の泥と一緒に挟み込み、マット同士をロープで連結し船から海底に落す。対象場所は砂泥の浅海域。	魚介類の産卵の場、稚仔魚の育成場、生産場の拡大による資源の増加。栄養塩の固定による海域の浄化。	
8	太陽エネルギーを活用した漁場環境改善システムの開発		未定・提案段階	スマートグリッドの考え方を背景に地域電力網への漁業の参入と電力活用を想定。光が届かない海底環境に光(藻類の生育に適した赤色・青色の LED ランプなどの利用)を与えることにより、透過度の低い海域においても藻場造成を行う。	高濁度海域や水深のある場所(30m 位まで)の海域や地盤沈下による光量不足となっている海域を対象場所として、浅場ではアマモ、岩礁域ではアラメ、カジメ等の藻場造成を行う。	魚介類の産卵の場、稚仔魚の育成場、生産場の拡大による資源の増加。栄養塩の固定による海域の浄化。CO2 の固定による地球温暖化の防止。	
9	マリンブロックを用いた岩礁性藻場の造成		平成 16 年度 石川県珠洲市沖 マリンブロック 40 基	貝殻やサンゴと同じく、炭酸カルシウムを主成分とするマリンブロック(JFE スチール商標)による藻場を造成する。	鉄鋼スラグに炭酸ガスを吹き込み吸収固化させたマリンブロックを砂泥および岩場の海域に沈設する。対象種はアラ 11 メ・カジメ・クロメコンブ、ホンダワラ等	魚介類の産卵の場、稚仔魚の育成場、生産場の拡大による資源の増加。栄養塩の固定による海域の浄化。	(一社)マリノフォーラム 21 資料 http://www.jfa.maff.go.jp/test/kikaku/other/pdf/m

No.	取組み事例	実施者(提案者)	実施時期・場所	概要	手法	期待される効果	出典
10	液化魚腸を用いた漁場造成	サカイオーベックス㈱	未定・提案段階	魚腸の骨等を粉砕⇒加温攪拌⇒保温⇒塩添加または高温による腐敗防止を行い生産(福井県立大学宇多川教授開発の特許製法)された液化魚腸を風力発電構造物に付与する。液化魚腸は分解(無機化)が早く、昆布など海藻の栄養になる。	①沿岸型 着床式洋上風力発電構造物に対し、液化魚腸装置を付与し、イカ内臓など未利用水産物をアミノ酸等に分解、散布する。 ②沖合型 浮体式洋上風力発電構造物に対し、液化魚腸装置を付与し、構造物周辺に液化魚腸を1週間で1t散布する。	①沿岸型 半径15mが昆布の生育に有効な窒素濃度となり昆布などの海藻の栄養供給となる。また人工海藻など生物担体を展開することで、付着藻類が増殖し、タラ、ニシン、ハタハタなど稚魚の餌場となる。また行動が嗅覚に大いに依存するといわれるタラなどが集魚する。 ②沖合型 マグロやアジを集魚し周辺の餌生物を増殖させる。	f21.pdf
11	洋上風力発電施設建設に伴う魚礁設置	日本ミクニヤ	未定・提案段階	洋上風力発電における基礎の周辺および関連施設(ケーブル等)に魚礁や藻場礁を設置し、岩ガキ、アワビ、サザエ等の増産を図る。また、種苗放流や維持管理方法の普及によって、増産効果を高める。	洋上風力の基礎周辺(根固め、洗掘防止)にブロック等を設置する。また、ケーブル等の関連施設に魚礁や藻場礁を設置する。	岩ガキ、アワビ、サザエ等の貝類の増産効果。また、種苗放流することによる増産効果の向上。さらに、魚礁表面を一定時期に研磨する維持管理手法を組み合わせることで増産効果を高める。	(一社)マリノフォーラム 21 資料 http://www.jfa.maff.go.jp/test/kikaku/other/pdf/mf21.pdf
12	リアルタイムでの海況情報の提供	海洋産業研究会	未定・提案段階	着床式洋上風車の基礎部や、浮体式洋上風車の浮体部、あるいは浮体式サブステーションを観測プラットフォームとして活用し、リアルタイム漁海況情報を取得・公開する。	着床式洋上風車の基礎部、あるいは浮体式洋上風車/サブステーションの浮体部に、表層、中層、低層など所要の水深別の水温、流向、流速などを測定するセンサーを設置し、通信電話回線や衛星電話回線などにより、海況データを送信する。データはリアルタイムでインターネットに公開する。	・漁業者・漁協へのメリット:携帯電話やスマートフォンなどで得られるリアルタイムの実測データを、漁業の効率化、省力化に役立てる。 ・事業者へのメリット:メンテナンスの計画や、損傷時の原因分析に実測データを役立てる。 ・地元・地域社会へのメリット:海水浴やサーフィン、遊漁などの海洋レジャーにデータを役立てる。また、地域の抱える課題(密漁防止、水質汚濁防止など)の解決に役立つセンサーやカメラの設置が可能となる。	洋上風力発電等の漁業協調の在り方に関する提言《第2版》—着床式および浮体式洋上ウィンドファームの漁業協調メニュー— 一般社団法人海洋産業研究会
13	風車基礎部の人工漁礁化利用(自然保護育成目的)		未定・提案段階	ウィンドファーム内を積極的に漁業操業制限区域(水産資源の保護水面、禁漁区)として設定する。この場合ウィンドファーム内において漁業はできなくなるが、区域内を水産資源の育成のための海域と位置づけ、人工漁礁などの設置により資源培養効果の向上を図る。	資源保護育成目的として設置する魚礁として、周辺海域への餌料供給効果が高いとされる貝殻をリサイクル利用した魚礁(鋼製の枠に貝殻を充填した基質を取り付けたもの)を設置する場合、小型魚礁(3.4×3.4×2.2m)を30基、大型魚礁(7.7×7.7×6.9m)を8基設置する。	・漁業操業区域内で増殖した水産資源が周辺海域に湧き出していく「しみ出し効果」により、ウィンドファームの外縁海域での漁場形成、漁獲量増加が期待できる。 ・増殖目的である魚種の種苗放流を併用することにより、一層効率的な資源培養を図ることが期待できる。	

No.	取組み事例	実施者(提案者)	実施時期・場所	概要	手法	期待される効果	出典
14	風車基礎部の人工漁礁化利用(周辺での漁業操業目的)			着床式洋上風車の支柱や基礎部に集魚効果のある部材を取り付けたり、周辺に人工魚礁等を設置したりすることにより、水産資源の増集による漁獲量の増加を図る。 浮体式洋上風車の浮体部自体が浮魚礁としての効果があるが、より集魚効果のある部材を浮体に取り付けることも考える。さらに、浮体式風車群＝浮魚礁群として捉え、その外側に浮魚礁群を配置し、当該海域全体として集魚効果を発揮、増大できるようにして、ウインドファームの周辺海域に漁業操業用の漁場を形成させ、水産資源の増殖や漁獲量の増加を図る。	①着床式ウインドファーム 鋼製の枠に貝殻を充填した基質を取り付け、パネル型魚礁を洋上風車の支柱や基礎部、小型魚礁を周辺の海域に約10m 間隔で設置する。 ②浮体式ウインドファーム 浮魚礁を併設する。水深が深い海域での沈設魚礁については、対象魚種や既往事例などを参考に検討し最適配置を行うことが求められる。	これまで漁場として良好と言えなかった海域にウインドファームを立地することにより、ウインドファーム海域内やその周辺海域の比較的近い海域が新たな漁場となる可能性があり、漁船の燃費節減や漁業操業パターンの向上、安定化などに寄与できる。	
15	魚介類・藻類の養殖施設の併設	海洋産業研究会	未定・提案段階 関連実績 ①北海道せたな町:基礎構造物間に複数のロープを張り、昆布などの海藻を養殖し、風車基礎部に連結したアワビやウニの蓄養餌料として利用した。 ②高知県大月町:波浪・潮流の激しい海域で大規模かつ安定的にクロマグロ養殖を可能とする大型浮沈式生簀試験が水産庁補助金(マリノフォーラム 21)で実施された。	着床式洋上風車の支柱等への養殖生簀及び養殖筏の設置および洋上風車基礎構造物間の海域に養殖施設を設置することにより、漁業生産の場として活用する。 浮体式洋上風車が沖合に設置されることで周辺に電力の供給が可能となることから、従来養殖に適さない場所で浮沈式生簀等を用いることで漁業生産の場として活用が可能となる。	養殖筏は格子状に組んだ筏をフロートで浮かせる。 養殖生簀は大型円形生簀で、鋼管製などの枠をフロートで浮かし、それに立方体あるいは円筒体の囲い網を吊り下げる方式と、フロートのみで網を吊り下げるフロート式がある。また、波浪が大きな外洋域でも対応可能な浮沈式生簀も開発されている。	ウインドファームや周辺海域を新たな沖合養殖場とすることが可能となり、海域の有効利用を図ることができる。 海藻(ワカメ、コンブ)や貝類(カキ、ホタテ等)の垂下式養殖だけでなく、将来的には浮沈式生簀を活用した魚類の養殖も考えられる。	洋上風力発電等の漁業協調の在り方に関する提言《第2版》―着床式および浮体式洋上ウインドファームの漁業協調メニュー― 一般社団法人海洋産業研究会
16	漁業現場への電力供給		未定・提案段階 関連実績 ①東京水産大学が箱網の奥に設置されているキンコの水中映像を撮影し、陸上に無線で伝送するシステムを開発(2002年)。	洋上風車を電力供給プラットフォームとして利用し、陸上の電力を漁業に活用する。	風車の制御用電力を活用して、センサーやビデオカメラで箱網の内の魚群の入網状況を陸上に送る。	漁業の効率化を図る。将来的には揚網作業の一部電化も考えられる。	

No.	取り組み事例	実施者(提案者)	実施時期・場所	概要	手法	期待される効果	出典
17	レジャー施設の併用(海釣り公園)		未定・提案段階 関連実績 海浜公園は全国に多数整備。 遊覧船や遊漁船も各地で利用。 海釣り公園は全国で20箇所ほど整備。	事業者と漁業者が協調して、着床式風車群の設置海域にレジャー施設を併設する。	着床式風車群の設置海域を、遊漁を行う海域とする。また、同海域の一角に洋上デッキを併設して海釣り公園を整備する。沿岸部にも海釣り公園を設置する。また、同海域における風車群の風景を含めた海洋景観を楽しむ遊覧船や、沿岸部に設置した展望台等により観光・レクリエーション利用を行う。	地元漁業者とメリット共有関係を築くことで円滑に事業を推進できる。 海洋観光スポット(例:遊覧船などによるエコツーリズム等)として地域社会の活性化に貢献できる。	
18	レジャー施設の併用(ダイビングスポット)		未定・提案段階 関連実績 ダイビングスポットは北海道から沖縄まで全国に点在。	着床式風車群の設置海域をダイビングスポットとして利用する。	着床式洋上風車群の設置海域をダイビングスポットとして、基礎構造物や人工魚礁群、その終焉の魚介藻類などの海中景観を楽しむ場として利用する。ダイビングショップや宿泊施設の管理運営、ダイバーの案内や管理等を漁業者が行う。	・地元漁業者とメリット共有関係を築くことで円滑に事業を推進できる。 ・海洋観光のスポットとして地域社会の活性化に貢献できる。	
19	漁業者の事業参加(洋上発電施設への関連調査、建設・保守点検における漁船利用)	海洋産業研究会	未定・提案段階 関連実績 通航や計測等の関連軽作業に漁船を活用する事例は各地に存在。	洋上風車の警戒船や連絡船として漁船を活用する。	洋上風車建設工事時の警戒船や、運転時の保守点検作業における洋上風車への連絡船に漁船を活用する。また、定期的な保守点検作業の一部を漁業者・漁船を活用するかたちで漁協に委託するなどして、恒常的な漁協の事業の1つとする。	漁業者・漁協側へのメリットとして、現有船舶を活用するため、大きな設備投資は必要ない。 事業者側へのメリットとして、専用船を保有、または専門会社(海洋工事会社、海洋調査会社)へ外注するより、コストを抑えられる可能性がある。漁業者の地先の海に関する知識と経験に基づいた海洋環境の変化や付着生物の異常の把握など保守点検上の効果を期待できる。地元との結びつきを保てる。 地元・地域社会へのメリットとして、漁業者を中心として保守点検を行う新会社を設立するなど、地域の雇用が創出される可能性がある。	洋上風力発電等の漁業協調の在り方に関する提言《第2版》—着床式および浮体式洋上ウィンドファームの漁業協調メニュー— 一般社団法人海洋産業研究会
20	洋上発電事業への出資・参画		未定・提案段階	漁協等が洋上発電事業へ参画、出資を行う。	洋上発電等における事業に対して、漁業共同組合や漁業共同組合連合会が参加・出資し、その割合に応じた事業を担うとともに配当等を受け取る。	海域に設置する風車等に付加する特別な装置・設備が不要。 発電事業者と漁協等が利害関係、情報、意思決定過程を共有することにより、発電事業における利益を得るだけでなく、発電事業に対するチェック機能の強化が見込める。	

No.	取組み事例	実施者(提案者)	実施時期・場所	概要	手法	期待される効果	出典
21	秋田県岩館漁港における人工藻場ブロック実証	JCOAL	2017 年ブロック沈設 2018 年モニタリング(1 回目実施) 実施場所: 秋田県岩館漁港	藻場創生を通じた漁業振興、創生した藻場による CO2 吸収、石炭灰有効利用(リサイクル推進)及び用途拡大を目的として、石炭灰ブロックの沈設及びモニタリング実証を行う。石炭灰ブロックを人工藻場礁として活用し、ブルーカーボンを促進する。	石炭灰ブロック 3 種を秋田県岩館漁港に沈設し、ブロックの配合比率の違いによる藻場着床性能の確認、耐久性確認を行う。また、沈設後のモニタリングを通じて経済性検討、石炭灰利用人工藻場普及に向けた課題抽出を行う。	漁獲可能な資源量の増加。藻場の増加による水質浄化。藻場による二酸化炭素固定効果。	JCOAL
22	北九州市沖洋上風力発電所とその実海域を利用した藻場造成(銅スラグモルタルの消波ブロックとしての利用)	JPOWER	2017 年洋上風力発電所の実証試験完了。 ～2020 年で藻場造成、漁場造成高家の評価 実施場所: 北九州若松	NEDO の公募事業として 2013 年に研究を開始。 2017 年に NEDO との実証事業を終了。 石炭灰を多量に混入した銅スラグモルタルの初期性状、強度発現特性、耐久性について確認するとともに、5t 消波ブロックを実海域に設置し藻類の付着状況を観察する。	洋上風力発電所の実証試験では、風況・海象の把握や海洋構造物が環境に与える影響などについて調査を実施。また実証試験では厳しい気象・海象のもとで運転・保守を経験するとともに、設備の安全性、塩害に対する耐久性などを検証し、沖合洋上風力発電の導入や普及に必要な技術の確立を目指し、試運転データを継続的に取得。 今後、銅スラグを細骨材とした石炭灰モルタルの所期性状、強度発現特性、耐久性を室内試験で確認するとともに、5t 消波ブロックを製作し実海域等に設置し経過観察する。	モルタル比重は 2.7 程度と通常のコンクリートの 2 割程度の増で、レディーミクストコンクリートを使用した場合と比較しブロックの寸法ランクを下げる、設置勾配を大きくする、等の効果が期待できる。	NEDO 特設ページ (https://www.nedo.go.jp/fuusha/index.html) 及び JPOWER 所有資料

表 3-4 によれば、全項目 22 例のうち、4 例は現場で試行され、そのうち 1 例の No.22 は、洋上風力発電設備での実証事例となっており、人工構造物を洋上風力発電設備における基礎部に沈設し、藻場造成、漁場造成を目指す取組みである。またその他 3 例 (No.7, 9, 21) は、現時点では洋上風力発電事業は行われていないが、今後の洋上風力発電導入計画を念頭にした実海域での試行事例となっており、いずれも、人工構造物沈設による藻場造成を目指す取組みである。

一方、全項目 22 例のうち、残りの 18 例に関しては、海域での確認等は未試行であり、今後の洋上風力発電導入計画を念頭にした提案段階の取組み案である。この 18 例の取組み案は大きく 5 つに分類される。

(1) 人工構造物を設置し、藻場造成、漁場造成を図るもの (No.1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 11, 13, 14, 15)

洋上風力発電設備周辺に割石や投石マウンド礁、コンクリートブロックなどを沈設し、藻場や魚礁を造成するといった提案が数多く見られる。上記でも述べたように、人工構造物沈設による藻場造成は海域での実証事例・試行事例も存在している。風力発電関連事業者ヒアリングの結果からも、藻場への石炭灰の利用可能性については前向きなコメントがある。このように、洋上風力発電設備における漁業共生の取組みとして、石炭灰を活用した人工構造物の設置による藻場造成としての可能性は最も実効性ある取組みとして提案されていることから、実際の洋上風力発電事業での漁業共生策としては有望視されるものと考えられる。ただし、新たな取組みであることから、実証事例・試行事例における知見等も活用しつつ、技術面や安全面等における詳細検討が必要であると考えられる。

(2) 自然エネルギーで発生した電力を活用し、海域環境の改善を通じて、藻場造成、漁場創生を図るもの (No.8, 16)

太陽エネルギーで発生した電力を活用し、藻類の生育に適した赤色・青色の LED ランプで光を与えることで、光の届かない海域における藻場造成を目指す取組みを提案している団体もある。また、洋上風力発電事業で発生した電力を活用し海域環境の改善を目指す取組みを提案している団体もある。このように、本事業に適用する場合には、石炭灰を活用した人工構造物による藻場造成と組み合わせる実施できる可能性があると考えられる。ただし、本取組みも提案段階であり試行事例はないため、技術検討や安全性検討、そして経済性の検討も必要であると考えられる。

(3) 洋上風力発電導入後の海域環境、洋上風力発電設備に対するモニタリングを通じて漁場保全を図るもの (No.12, 19)

着床式洋上風車の基礎部や浮体式洋上風車の浮体部を、観測プラットフォームとして活用しリアルタイムの海況情報を取得する取組みや、洋上風車の制御用電力を活用して海中の状況を陸上に送信する取組みを提案している団体もある。洋上風力発電導入後の洋上風力発電設備に対するモニタリングは、漁業の効率化や漁場保全に役立つことが期待されており、直接的に漁業現場への恩恵をもたらす可能性がある取組みと考えられることから、本事業においても、ハード面での取組みのみならず、ソフト面での取組み推進に向けて漁業関係者などからの理解が得るための検討を行う必要がある。ただし、新たな取組みであるため、技術性・経済性の検討が必要であると考えられる。

(4) レジャー施設(既設、新設)との併用を通じて、新たな観光スポットの創生を図るもの(No.17, 18)

洋上風力発電設備の設置海域に、海釣り公園やダイビングスポットといったレジャー施設を併用することで、地元漁業者とメリット共有関係を築き円滑に事業を実施するという取組みを提案している団体もある。本事業においても、こういったレジャー施設を近隣に併設し海洋観光スポットとして地域社会の活性化に貢献できることをアピールポイントとして、漁業関係者や地元住民と友好的な関係を築く足がかりになる可能性はあると考えられる。

(5) 洋上風力発電事業への出資・参画を通じて、漁協等による新たな事業方式を採用した発電事業創生を図るもの(No.20)

漁協等が洋上風力発電事業へ参画・出資を行い、その割合に応じた事業を担うとともに配当を受け取るといった事業を提案している団体もある。発電事業者と漁協等が利害関係、情報、意思決定過程を共有し、発電事業に対する多様な関係者による協力体制を保つことができると考えられる。このような取組みによって漁協等が事業に参画することにより、漁業関係者や地元住民との意見交換が円滑になり、事業への理解が得られやすくなる可能性はあると考えられる。

3.4. 秋田県岩館漁港における人工藻場ブロック実証試験に関する調査

(1) 背景及び目的

JCOAL(一般財団法人石炭エネルギーセンター)では、①地方創生(現在衰退している藻場の再生を通じた漁業振興)、②リサイクル推進(石炭火力発電所から排出される産業副産物(石炭灰)の有効利用及び用途拡大、③温暖化対策(藻場の吸収力によるブルーカーボンの活用を通じたCO₂削減)の目的で石炭灰を活用した人工藻場実証試験を行っている。

本実証試験の背景の一つに循環型社会形成の観点が挙げられる。平成13年4月に施行された「資源有効利用促進法」で、資源の有効利用の促進を目的に、リデュース(廃棄物の発生抑制)、リユース(再使用)、リサイクル(再資源化)、いわゆる3Rの取り組みが進められている中、指定副産物としても定められている石炭灰の再資源としての利用の促進が求められているものである。

石炭灰利用における新たな市場の一つとして漁場現場での藻場造成、漁場造成が注目されているが、これまでの施工実績としては、水産庁の水産基盤整備事業にて、水深100m程度の沖合いにマウンド礁としての機能を果たすべく、石炭灰を利用したコンクリートを沈設した実績がある。一方、水深の浅い浅海域での石炭灰を活用した施工事例は未だ少ない状況にあるが、特に藻場礁の取り組みは、育成された海藻がCO₂を吸収する、いわゆる「ブルーカーボン」としての効果も期待されており、世界的な温暖化対策にも資するものと言われている。

(2) 実施内容

本実証試験では、表3-5に示す3種18個の人工藻場ブロックを製造し、平成29年8月に秋田県岩館漁港に沈設された(図3-1)。全てのブロックは、ブロックに求められる性能(設計基準強度15N/mm² 単位体積重量1.7t/m³)を満たしている。また、製品ロット毎の微量成分含有量の測定を行うとともに、溶出試験を行い、土壤環境基準を満足していることを確認し安全性評価を行っている。

沈設から10ヶ月が経過した平成30年6月に、天然の岩礁性藻場との比較検討により石炭灰ブロックの人工藻場としての効果を検証した。

(3) 結果

1) 基質安定調査

基質安定調査では、石炭灰ブロックの欠損、転倒の有無の点検及び傾斜度の測定を行った。その結果、18個全ての構造物が、欠損することなく元形状のまま存在していることを確認した。しかし、オリジナルFRC、コンクリート構造物では一部転倒が認められた。各ブロックの比重及び平均移動距離を測定した結果、比重が軽いオリジナルFRCの移動距離が最も大きかった。

2) 植生調査

植生調査では、石炭灰ブロックの生物目視観察を行った。その結果、図3-2に示すように、海藻の着生は認められ、動物の存在も認められたが、ブロックの基質の違いによる海藻の着生性能の違いは認められなかった。また、今回の観察では、ブロック周辺に大型海藻は存在するものの、ブロック上に確認された海藻は、大型海藻は少なく、小型海藻が多いことから、現時点ではブロックと周辺環境の調和の段階に至っていないことが確認された。

3) 海域環境調査

海域環境調査では、水温、塩分、pH、溶存酸素量について測定を行った。その結果、pHの上昇とDOの上昇が見られ、植物プランクトン及び藻場が水中のCO₂を消費し光合成していることが示唆された。

(4) 考察

波浪条件が厳しい日本海側に位置する秋田県では、強い波浪に耐えうる安定性の高い基質、すなわち比重の高い基質の設置により、季節変化を通じて転倒、欠損を無くすことは重要である。しかし、海藻の生活史によって基質に求められる安定性は変わることにも配慮する必要がある。海藻の中には、発芽から1年以内に孢子や卵などの生殖細胞を作り枯死する「一年生海藻」と、数年間の寿命を有する「多年生海藻」がある。今回効果検証を行ったブロック沈設海域では、7種の大形海藻の存在が確認されており、そのうち一年生海藻が3種、多年生海藻が4種となっている。

それぞれの海藻の特性を踏まえると、多年生海藻は、安定性の高い基質に着生する傾向が高く、一年生海藻は、多年生海藻の生育しない基質に着生する傾向が高い。つまり、一年生海藻の着生する基質は、適度な移動、転がり等が認められる比重の低い基質に着生する可能性も高いことから、比重が軽いという特性を持つ石炭灰フライアッシュ混合ブロックは一年生海藻にとって適した基質とも言える。

特に秋田県では、食用としても利用されている海藻として「アカモク」が重要漁獲物ともなっているが、近年生育量の低下に伴い漁獲量も低下しており、今後の生育量増加が期待されている。このアカモクは褐藻植物の一種で、一年生海藻であることから、新たな着生基質としての石炭灰ブロックの効果が期待されるものである。

現在、秋田県では、洋上風力発電導入計画が検討されているが、地域の特性にあった漁業共生案の策定が求められている。漁業共生案の中でも、藻場造成、漁場造成を図る取り組みは注目されていることから、秋田県の石炭火力発電所から発生した産業副産物としての石炭灰を活用した藻場礁としての利活用が進むことは、今後の再生可能エネルギーの推進に向けて、地元で発生した産業副産物としての石炭灰を活用し、地元関連産業振興にも結びつく、まさに地産地消としての取り組みにもなると考えられる。

本実証試験は、海藻の繁殖を助けるための人為的な補助であることから、場所に応じた適切な海藻を選定し、その種に適した成育条件を創出することが必要とされる。また、海藻の生活史を踏まえ、最適なタイミングで事業を実施することにより、漁獲可能な資源量を増加させることが求められている。

海藻の生活史の交代は、小型から大型へ、短命から長命に遷移が進行すると言われており、藻場の再生は、経年変化を通じて、より自然と調和した形で推移していくことから、今後の継続的な効果検証が必要である。また、着生した藻場によるCO₂吸収量を定量的に測定しCO₂固定化評価も行っていくことで、環境面でのメリットも見出していくことができると考えられる。

表 3-5 人工藻場ブロックの概要

種別	名称	配合比率	個数
No.1	オリジナル FRC	石炭灰 80%+セメント 20%	6 個
No.2	スラグ FRC	ガス化スラグ 80%+セメント 20%	6 個
No.3	コンクリート	—	6 個



図 3-1 人工藻場ブロック製作から沈設の様子

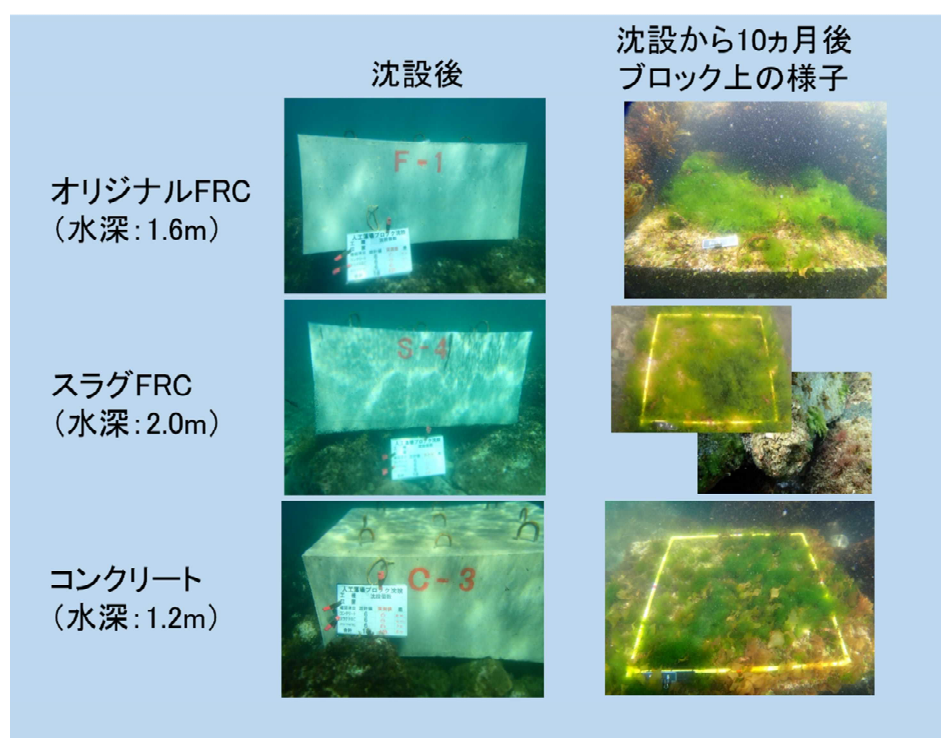


図 3-2 沈設 10 ヶ月後の植生調査観察結果

4. 国内における洋上風力発電事業(供用中及び計画中)に関する調査

4.1. 洋上風力発電の導入状況および計画に関する情報収集・整理

国内における洋上風力発電の導入状況を図 4-1 に示す。2018 年 11 月時点で、導入済が 4 件(約 2 万 kW)、環境アセスメント手続き中等で今後導入が予定されている計画が 13 件(約 540 万 kW)であった。

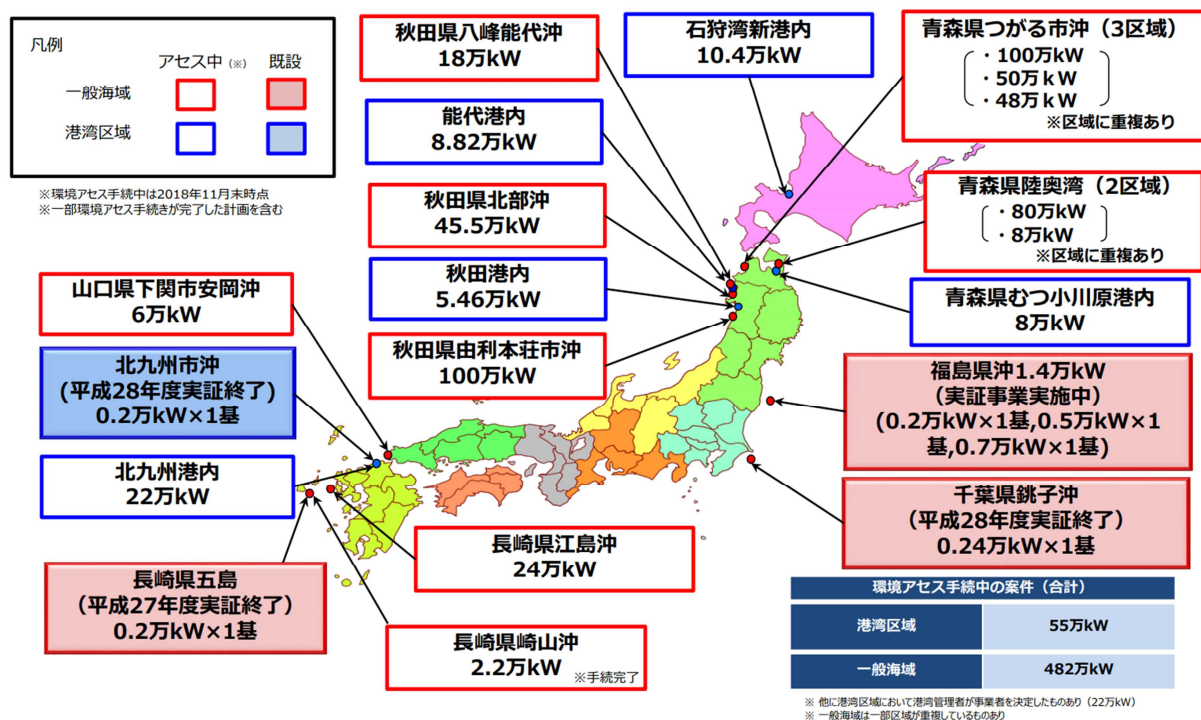


図 4-1 国内の洋上風力発電の導入状況

(出典:経済産業省「海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律(再エネ海域利用法)について」)

秋田県における洋上風力発電の導入については、秋田県が港湾区域に洋上風力発電適地を設定し、発電事業者を公募した。結果、(仮称)秋田港洋上風力発電事業、(仮称)能代港洋上風力発電事業の 2 事業が計画されている。

一般海域については、秋田県が候補海域を設定し、事業化に当たり精査が必要な項目を整理した(図 4-2)。県が候補海域等を示したことで民間事業者による投資が促進され、(仮称)秋田県北部洋上風力発電事業、(仮称)秋田県由利本荘市沖洋上風力発電事業、(仮称)八峰能代沖洋上風力発電事業の 3 事業の計画が進行中である。

<u>候補海域の設定条件</u> ① 水深 30m 以内 ② 港湾区域を除く ③ 年平均風速 7.0m/s 以上 ④ 区画・定置漁業権区域を除く ⑤ 底びき網禁止ラインの陸側 ⑥ 魚礁・藻場を除く ⑦ 自然公園周辺 5km を除く ⑧ 船舶航行分布域を除く	<u>事業化に当たり精査が必要な項目</u> ① 漁業 ② 成育場・産卵場 ③ 種苗放流 ④ 航行安全・マリンレジャー ⑤ テレビ等の電波
--	--

図 4-2 一般海域における候補海域の設定条件及び事業化に当たり精査が必要な項目

4.2. 洋上風力発電事業における環境アセスメントに関する調査

4.2.1. 環境アセスメントの概要

環境アセスメント(環境影響評価)とは、事業の実施前に環境への影響を評価し、その結果を踏まえて影響をより小さくするための対策を講じていく手続きのことである。環境アセスメントは環境影響評価法に基づいた一連の手続きであり、環境に著しく影響を及ぼすおそれのある事業を対象としている。また、事業の規模によって環境アセスメントを行う必要があるかが定められている。発電事業は上記対象事業に含まれており、風力発電事業においても、規模によって環境アセスメントを実施する必要がある。また、地方公共団体によっては環境アセスメントに関する条例が定められており、法令による環境アセスメントの対象外となる事業についても条例による環境アセスメントの対象となる場合がある。

対象事業が周辺の環境に与える影響について、事業者は検討・調査内容を元に環境アセスメント図書を作成する。これらを公表し、住民や行政等の意見を収集するとともに、内容の審査を受け、環境保全への適正な配慮を行う。

環境アセスメント図書は事業の段階によって種類が分かれており、その概要を図 4-3 に示す。

- ・ 配慮書: 事業の検討段階において環境保全の配慮事項をとりまとめたもの
- ・ 方法書: 調査計画・手法をとりまとめたもの
- ・ 準備書: 現地調査の結果や事業実施による影響の予測・評価結果をとりまとめたもの
- ・ 評価書: 準備書手続きでの審査結果等をふまえ準備書を必要に応じて修正したもの

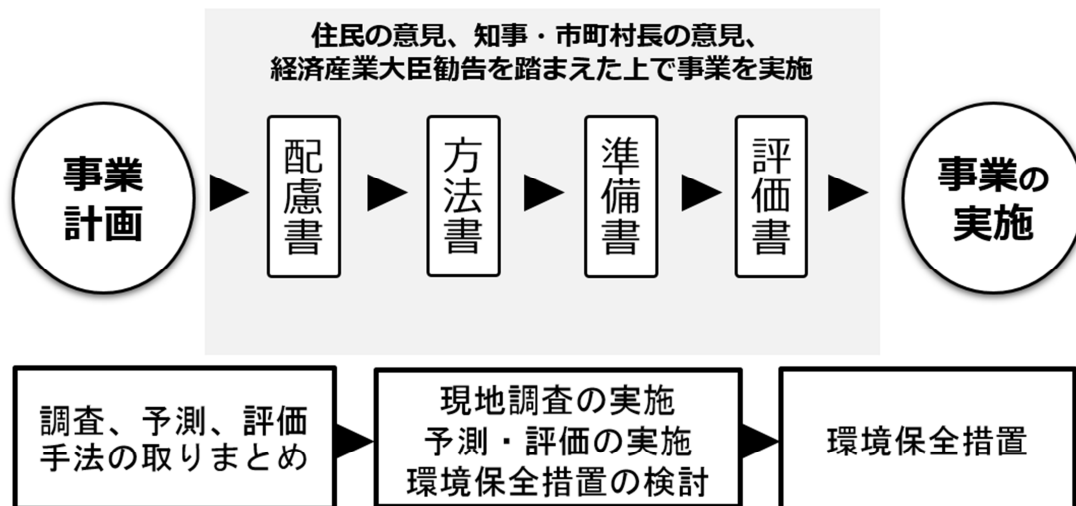


図 4-3 環境アセスメントの概要図

4.2.2. 国内洋上風力発電事業における環境アセスメントの実施状況

再生可能エネルギー導入にあたり発電コストの低い風力発電設備が期待されており、一方でその導入に伴う周辺環境への影響が顕在化していることを踏まえ、2012 年 10 月より、風力発電事業が環境影響評価法対象事業に追加された。2015 年度は風力発電事業に対し 41 件（うち、洋上風力発電事業は 3 件）、2016 年度には 55 件（うち、洋上風力発電事業は 3 件）に意見を提出している。

環境アセスメントに関する条例を定めている地方公共団体において、風力発電事業を条例の対象としている団体は、都道府県が 47 団体中 28 団体、環境影響評価法上の政令市が 20 市中 14 市となっている。全ての地方公共団体において、陸上に設置されるものも洋上に設置されるものも同様の扱いとしており、洋上風力発電事業も対象となる。また、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の実証研究として秋田県由利本荘市沖で行われている「（仮称）秋田県沖洋上風力発電事業」では、自主的に環境影響評価方法書に相当する図書が縦覧された。

4.2.3. 秋田県内で計画中の洋上風力発電事業におけるアセスメント図書調査

秋田県内にて計画されている洋上風力発電事業について、環境影響評価書(配慮書、方法書、準備書)の記載内容をまとめた。2019年2月現在、5事業(4事業者)が計画されている。

(1) (仮称)秋田港洋上風力発電事業(秋田洋上風力発電株式会社)

省略

(2) (仮称)能代港洋上風力発電事業(秋田洋上風力発電株式会社)

省略

(3) (仮称) 秋田県北部洋上風力発電事業(株式会社大林組)

省略

(4) (仮称) 秋田県由利本荘市沖洋上風力発電事業(株式会社レノバ)

省略

(仮称)八峰能代沖洋上風力発電事業(ジャパン・リニューアブル・エナジー株式会社)

省略

4.2.4. 洋上風力発電事業における環境アセスメントに関する調査についての考察

4.2.2.に記載した通り、2015～2016 年度にはあわせて 100 件近い風力発電事業に対して環境アセスメントの手続きが行われているが、そのほとんどが陸上の案件であり洋上を対象としたものは各年度数件にとどまっていた。しかし、近年は洋上風力発電事業への関心が高まり、事業の計画・検討も次第に増加していくものと想定される。

洋上風力発電事業に関する環境アセスメントを進める上では、陸上風力発電事業とは異なる観点での配慮が必要になる。主要な利害関係者が漁業者・水産業従事者であるケースが多く、漁業への影響に関しての不安を払拭しつつ、地域活性化等の導入メリットを示す必要がある。

秋田県内にて計画されている洋上風力発電事業の環境アセスメント調査においては、基礎構造にモノパイル式を想定している、もしくは検討段階で候補に挙げている。想定基数の多い事業に関しては1基あたりコストが重要であり、比較的安価なモノパイル式が想定されていると考えられる。

今後、洋上風力発電事業の円滑な導入を進めていく上での留意点等について、全国共通である点と秋田県特有の事情に拠る点に分けて、下記に整理した。

(1) 全国の共通的事項

漁業共生の観点として、個別の漁業実態(漁場／魚種／漁協の考え方や指導力／漁協同士の関係(連携 or 反目)／地域社会の状況(高齢化・過疎化等)による相違があり、今後の洋上風力導入予定地域の特性にあった漁業共生案を検討し、協議することが必要である。

現時点での事前調査では、風況等の実測値や生物・生態系影響について知見が不足していると考えられるが、特に、洋上風力発電設備で、新たな材料として石炭灰を利用する場合の影響検討も行い利活用可能性を検討する必要がある。

(2) 秋田県の特徴的事項

海岸線の形状・離島の分布などからみて、秋田沿岸部の風況・水深・地形などは近隣他県(青森・新潟等)より比較的均一性が高いと考えられる。一方、秋田では海岸部の公園区域は男鹿のほかは南北の県境近くに位置しており、海岸部と公園区域の位置関係により、景観影響の大小が異なると考えられる。

また、施工・メンテナンスの拠点港との位置関係では秋田は比較的有利と考えられる。

さらに、漁業共生策について、全国でも魚礁の設置などが期待されているが、秋田では既に魚礁・藻場礁の設置が行われている。また、2 年前からは、地元で発生した産業副産物である石炭灰を利用した藻場礁の設置も進んでいることから、地元企業参画型事業として全国に先行した取組であり、今後の推進に期待が寄せられている。

5. 総合検討

5.1. 洋上風力発電設備における石炭灰の代替・活用の可能性検討

洋上風力発電設備において、既存材料の代替として石炭灰を利活用した場合の効果及び利点について、各種特性別に整理する。

5.1.1. 物理的・化学的特性を活かした石炭灰利用メリット

石炭灰混合材料としては、土砂代替品やフライアッシュコンクリートが代表的なものであるが、その他にも材料種別毎に列記すれば、破砕材・造粒材・塑性材、スラリー材、クリンカアッシュ、新素材コンクリートなどがある。各種石炭灰混合材料の基本物性について、以下要点をまとめる。

(1) 物性

混合材料の種別や想定している用途により異なるが、破砕材・造粒材の乾燥密度は 1.2g/cm^3 程度、塑性材の単位容積質量は 1.8g/cm^3 程度であり、自然の土より軽量である。新素材コンクリートの密度は 2.5g/cm^3 程度である。

(2) 圧縮強度

混合材料や用途により変わるが、圧縮強さは自然の土と同等程度にコントロールできる。

(3) 土質定数

破砕材・造粒材については、内部摩擦角が 30° 以上であり、通常の砂、砂質土と同様の内部摩擦角を有している。改良盛土材・塑性材については、最適含水比が 20～30%となっている。

(4) 透水性

混合材料や用途にもよるが大半の透水係数が $1 \times 10^{-2} \sim 10^{-5}\text{cm/s}$ であり、砂～微細砂と同程度である。但し、塑性材のように $1 \times 10^{-7} \sim 10^{-8}\text{cm/s}$ と小さなものもある。

(5) 施工性

混合材料の比率にもよるが、従来材料と同様に施工できる。

(6) 環境安全性

重金属などの有害物質の溶出試験および含有量試験の結果によれば、溶出量基準および含有量基準にそれぞれ適合している。また、水質環境にも悪影響を及ぼさないことも確認されている。

これらの石炭灰の特性から、石炭灰利用メリットを表 5-1 に整理した。

表 5-1 石炭灰及び石炭灰混合材料のメリット

	石炭灰の特性	石炭灰混合材料のメリット
化学的特性	- 原料である石炭は元来自然界に存在していたものであるため、化学組成が一般的な自然の土壌・岩石類に近い。 - 発生箇所（火力発電所）、使用する原炭によって若干性質はことなるが、他の産業副産物に比べると基本性状のばらつきが比較的小さい。 - 他の産業副産物に比べて、塩素含有量が比較的小さい。	- ポゾラン反応を有している場合は、セメント等の固化材の使用量を低減することが可能で、長期的な強度を確保しやすい。 - セメントを添加することで安定し、要求品質が確保しやすくなると共に重金属等の溶出が抑制される。
物理的特性	シルト質で土粒子密度が小さく、軽量埋立資材として優れた性質を有している。	- 比較的軽量であることから、軟弱な地盤上では沈下量を低減することが可能。 - 軽量であり、セメント等で固化させた場合、構造物への土圧、側圧を軽減することが可能。 - スラリー状にした場合、微粒分が多いため流動性が改善され充填性能に優れる。 - 固化させることで海上への吸出しがなく、水質への影響が少ない。

5.1.2. 用途別特性を活かした石炭灰利用メリット

表 5-2 に一般的なフライアッシュ及びクリンカアッシュの用途を示す。

表 5-2 フライアッシュ及びクリンカアッシュの用途

材料 分野	フライアッシュ		クリンカアッシュ	
1.セメント	混合セメント	フライアッシュセメント JIS R5213	粘土代替材	
		3成分系セメント、 中低熱フライアッシュセメント		
	普通・早強・超早強ポルトランドセメント JIS R5210の少量混合			
	粘土代替材			
2.コンクリート	生コンクリート	混和材、細骨材	生コンクリート	細骨材
	マスコンクリート			
	高流動コンクリート			
	中流動コンクリート			
	プレバクトコンクリート			
	吹付けコンクリート			
	3.建材・資材	土木用コンクリート製品		
建築用製品		粘土瓦、れんが、タイル、壁材、床材、外装材	特殊肥料	
4.農水産	肥料	けい酸加里肥料	人工床土	
	人工魚礁材		培養土	
5.地盤改良材	軟弱地盤改良材		グラウンド中層材	
	地盤安定剤		排水改良材	
6.道路	フィラー材		コンパクションバイル材 サンドドレーン材	
			下層路盤材	
	路盤材、路床材		凍上抑制材	
			遮断層材	
7.その他	トンネル裏込材		防草材	
	スラリー材、グラウト材		軽量地盤(屋上緑化用)	
			家畜パドック泥濘化防止材	
	裏込材、盛土・築堤材		軽量盛土材	
			埋め戻し材	

洋上風力発電設備における石炭灰の利用可能性について検討する際には、「港湾・空港等整備におけるリサイクルガイドライン」が参考となる。当該ガイドラインにおいて、港湾等でのリサイクル材料の適用について施工プロセス毎に品質及び実績の観点から一覧にまとめられており、対象材料は建設副産物及び産業副産物の19品目となっている。ここでは石炭灰に絞って表5-3に示す。

表5-3を基に、本事業では、洋上風力発電設備での石炭灰適用可能性を検討するため、各種文献調査及びヒアリング調査を実施した。その結果、洋上風力発電設備特有の工事条件等も鑑みて、有望と思われる用途について、表5-4に示す7つに絞り込んだ。

表 5-3 港湾・空港等整備における石炭灰の適用可能性一覧表

対象材料			工種 用途	コンクリート工			地盤改良工			基礎工	本体工	被覆・根固 工、消波工	裏込・裏埋工		土工		舗装工			その他	
				①コン リート用 細骨材	②コン リート用 粗骨材	③混和材	④バーチカ ルドレーン 及びサンド マット材	⑤サンド コンパク ションパ イル用材	⑥深層混 合処理固 化材	⑦捨石	⑧中詰材	⑨被覆石、 根固・消波ブ ロック	⑩裏込材	⑪裏埋 材	⑫盛土 材、覆土 材、載荷 盛土材	⑬埋立材	⑭路床 盛土材	⑮路盤材	⑯As 舗装骨材、 Asフィラー材	⑰藻場、浅 場・干潟造 成、覆砂材、 人工砂浜等	⑱その他
石炭灰	フライ アッシュ	JIS灰	○ ⁺	－	◎	－	－	○ ⁺	－	－	－	－	－	－	－	－	－	◎ (As フィラー材)	－	－	
		非JIS灰	○ ⁺	－	△	－	－	○ ⁺	－	△	○ ⁺	◎	○ ⁺	◎	△	○ ⁺	○ ⁺	－	－	－	
	クリンカアッシュ		△	－	－	△	△	－	－	△	－	○	○	○ ⁺	△	○ ⁺	○	－	△(覆砂)	－	
	二次製品	フライアッシュ固化体	－	－	－	－	－	－	－	－	○	◎	◎	△	△	◎	◎	－	－	－	
		石炭灰造粒物	－	－	－	○	○	－	－	－	－	△	○ ⁺	◎	△	△	－	－	◎(覆砂)	－	

表 5-4 洋上風力発電設備における石炭灰の適用可能性が有望な用途一覧表

対象材料			工種 用途		コンクリート工	基礎工	本体工	被覆・根固工、消波工	裏込・裏埋工		その他
					①混和材	②捨石	③中詰材	④被覆石、根固・消波ブロック	⑤裏込材	⑥裏埋材	⑦藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等
石炭灰	フライアッシュ	JIS灰	◎	—	—	—	—	—	—	—	
		非JIS灰	△	—	△	○ ⁺	◎	○ ⁺	—		
	クリンカアッシュ		—	—	△	—	○	○	△(覆砂)		
	二次製品	フライアッシュ固化体	—	—	—	○	◎	◎	—		
		石炭灰造粒物	—	—	—	—	△	○ ⁺	◎(覆砂)		

出典：国土交通省「港湾・空港等整備におけるリサイクルガイドライン」より作成

◎	：すでに当該用途を想定した品質基準が設けられる等、利用が可能
○ ⁺	：利用実績が多いものまたは○に加えて利用マニュアル案等が整備されているもの
○	：標準材料と同等、または利用実績や実証実験などで品質が確認され利用可能性の高いもの
△	：利用可能性はあるが、既存資料からは判定できず、今後の検討を要するもの
×	：現段階では利用は難しいと考えるもの
—	：用途対象外

これ以降、絞り込んだ 7 つの用途における石炭灰の代替・活用の可能性を品質・実績の観点から考察した。考察は、石炭灰以外のリサイクル材料として、建設業以外の産業活動等に伴い副次的に得られる物品としての産業廃棄物を対象とし、用途のうち裏込材及び裏理材については 1 つの用途とした。

(1) コンクリート混和材としての利用可能性

コンクリートの品質を改善するための材料としてコンクリート混和材が総称されている。

リサイクル材料をコンクリート混和材として利用する場合は、品質は JIS で規定されており、通常のコンクリートと同様に、品質のばらつきが少なく、作業に適するワーカビリティを有するとともに、硬化後は所要の強度、耐久性、水密性、ひび割れ抵抗性並びに鋼材を保護する性能などを有するものでなければならない。

これまでの港湾等整備において、産業副産物の利用状況について、以下のとおり整理されている。

対象材料	品質性能	利用実績
高炉スラグ(高炉スラグ微粉末)	品質基準あり	利用実績多い
フライアッシュ(JIS 灰)	品質基準あり	利用実績あり(限定的)
フライアッシュ(非 JIS 灰)	利用可能、課題あり	利用実績あり(限定的)

これによれば、石炭灰の JIS 灰フライアッシュは、既に当該用途を想定した品質基準が設けられ、利用実績も認められている。しかし、非 JIS 灰フライアッシュは用途として利用可能であるものの、課題等も挙げられており、今後の検討を要するものとされている。一方、他の産業副産物として、鉄鋼スラグの高炉スラグ微粉末でも、品質基準が設けられるとともに、利用実績が多数認められ、汎用性が高いと評価されている。

フライアッシュは、コンクリート用の混和材として JIS A 6201 に規定されている。また、「フライアッシュを用いたコンクリートの施工指針(案)」(土木学会)にてフライアッシュを混和材として用いるコンクリート施工についての一般の標準が示されている。なお、この指針に示されていない事項は、土木学会コンクリート標準示方書によるとされている。

フライアッシュをコンクリートに用いる場合は、その使用目的が十分に達成されるよう考慮して、Ⅰ種、Ⅱ種、Ⅲ種、及びⅣ種の中からその種類を選定し、結合材中に占めるフライアッシュの質量の割合が 10～30%(Ⅰ種では 40%まで)の範囲内で、適切な値を定める。なお、非 JIS 灰を用いる場合は、品質のばらつきが大きいことを考慮し、コンクリートの圧縮強度及び乾燥収縮ひずみ、フレッシュ性状及び硬化性状が JIS に適合する材料(JIS 灰)を使用したものと同等程度の性能を有することを確認された事例があることから、利用しようとする用途で必要となる要求性能を満たす材料を利用するものとする。

フライアッシュの種類及び置換率の選定にあたっては、フライアッシュの特性を踏まえた上で、使用するコンクリートの要求性能に応じたフライアッシュの種類及び置換率を定める

ことが重要である。フライアッシュの種類によってコンクリートの流動性、強度発現性、水和熱による温度上昇等に及ぼす影響が異なるので、要求性能に応じたフライアッシュの種類を決定する。また、置換率の決定にあたっては、フライアッシュの種類により、フライアッシュの使用効果を十分に発揮させるための置換率の範囲が異なるので、適切な置換率を試験や実験により確認することが大切である。

フライアッシュは、コンクリートまたはモルタルに混合することで、「流動性の改善及び単位水量の減少」、「水和熱の減少」、「長期強度の増進」、「乾燥収縮の減少」、「水密性及び耐久性の向上」、「アルカリ骨材反応の抑制」などの効果を持つことが、多くの調査や研究によって明らかにされ、従来からコンクリートの混和材及びフライアッシュセメントの混合材として幅広く利用されているが、海水の作用を受けるコンクリートは、凍結融解作用、海水中の塩類の作用による劣化、水酸化カルシウムの溶脱、鉄筋の腐食による劣化、有害な骨材反応による劣化及び波浪や漂流固化物の作用による劣化等の有害な作用に対する抵抗性を有する必要がある。

フライアッシュ利用時は、セメント置換が基本となることから、セメントのみの単価に比べて安価となる。一方で、新たな貯蔵サイロ等の設備が必要になることや、フライアッシュ製造拠点から距離が遠くなることによりコスト増となる場合があるが、フライアッシュ製造拠点に近い場合や、距離が遠い場合でもフライアッシュ使用量が多い工事等ではコストメリットが生じる。

以上のことから、石炭灰を新たな適用先としての洋上風力発電設備へ利用するにあたって、

- ・ 既往の「フライアッシュを用いたコンクリートの施工指針(案)」(土木学会)や、「土木学会コンクリート標準示方書」を参考にすることができる。
- ・ 使用にあたって、使用目的が十分に達成されるための要求性能を明確にした上で、それを満たす材料を利用することが必要である。
- ・ JIS 灰、非 JIS 灰、いずれの利用にあたってでも、新たな適用先であるがゆえに、用途で必要となる要求性能を明確にすべく、適切な置換率を試験・実験により確認することが必要である。
- ・ 材量単価は安価となると考えられるが、新たな貯蔵サイロ等の設備が必要になる可能性もあることから、輸送距離や適用可能量を考慮したトータルコスト計算を行い、経済性でのメリットを見出すことが必要である。

(2) 捨石としての利用可能性

リサイクル材料を捨石として用いる場合は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」、「港湾工事共通仕様書」等々に示される品質基準を満足するものを利用するとともに、リサイクル材料の性質を把握した上で、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に示される方法に準拠して適切に行う必要がある。特に、構造物の基礎捨石には、波力の影響に対して安定し

ている必要があるため、寸法の大きさやせん断強さ、長期的な耐久性が要求される。

また、材料によっては有害物質の溶出やpH 上昇等の可能性が考えられるためその特性を把握した上で、周辺環境に十分配慮することが必要である。

リサイクル材料には品質のばらつきがあるものも多く、天然の材料との違いに注意しながら設計等を進めることが必要である。

これまでの港湾等整備において、産業副産物の利用状況について、以下のとおり整理されている。

対象材料	品質性能	利用実績
鉄鋼スラグ二次製品（鉄鋼スラグ水和固化体）	利用マニュアル案等あり	利用実績あり(限定的)
エコスラグ	利用可能、課題あり	利用実績あり(限定的)

これによれば、石炭灰は、当該用途対象外とされ、利用実績も認められていない。現在までのところ、捨石としての利用可能性のあるものとされているのは、鉄鋼スラグ二次製品の鉄鋼スラグ水和固化体及びエコスラグであるが、いずれも利用可能性はあるものの、利用実績は限定的である。

鉄鋼スラグ水和固化体は、粒径を 100mm～1,000mm 以上とした割ぐり石状またはブロック状に調整し、準硬石相当の天然石材代替材として利用されている。また、エコスラグも物理的性質、力学的性質から天然の割ぐり石（石材）と同等とみなすことができ、天然材と同様に設計、施工等を行うことができるとされている。

適用に当たっては、以下の利点があるが、利用に当たっては、利用者は供給側と協議の上、使用目的に応じて必要な品質管理を行うと共に、供給量について、事前に確認することとされている。

- ・ 準硬石相当の天然石材と同等の品質を有する。また、品質管理された工業製品のため、品質のばらつきが少ない。使用目的に応じて、大きさを任意に変えることもできる。
- ・ 高い密度を有するため、波浪安定性に優れる。
- ・ 10%通過粒径が大きいことで透水性が大きく、非液状化材料である。
- ・ 周辺海域の pH への影響がない。
- ・ 施工性に関しては、従来の石材、コンクリートブロックと同等であり、製造後の運搬や保管等も従来材と同等に扱うことができる。

以上のことから、石炭灰を新たな適用先としての洋上風力発電設備へ利用するにあたって、

- ・ 石炭灰が「港湾の施設の技術上の基準・同解説」、「港湾工事共通仕様書」等に表示される品質基準を満足するものとなりうるかどうかの検証を行うことが必要である。その上で、使用目的に応じて、大きさを任意に変えるなど、従来の天然石材の代替となる仕様への設計条件等を確立することが必要である。

- ・ また、波浪安定性を確保するための高い密度を求められることから、適用箇所の気象条件等を勘案した上での石炭灰利用可否を検証する必要があり、単体での利用では条件を満たさない場合には、天然石材との混合による使用や、他のリサイクル材料との組み合わせによる使用等も検討する必要がある。それに伴い、施工性についても、従来材と同等に扱うことができるかどうかの検証も必要である。
- ・ JIS 灰、非 JIS 灰の性状の違いが品質への影響を及ぼすか否か等の検討も必要であり、用途で必要となる要求性能を明確にすべくそれを踏まえて適切な置換率を試験・実験により確認することが必要である。
- ・ 安定的な原料供給、原料の品質管理が重要なことから、供給側との協議を行ったうえで、現状の施設での対応可否等も十分検討する必要がある。

(3) 中詰材としての利用可能性

リサイクル材料を中詰材として利用する場合は、「港湾工事共通仕様書」に示される品質基準を満足するものを利用するとともに、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に示される天然の砂や砂利を対象とした方法に準拠して適切に行う必要がある。

これまでの港湾等整備において、産業副産物の利用状況について、以下のとおり整理されている。

対象材料	品質性能	利用実績
高炉スラグ(土工用水砕スラグ)	利用可能、課題あり	利用実績あり(限定的)
製鋼スラグ(土工用・地盤改良用製鋼スラグ)	利用可能、課題あり	利用実績あり(限定的)
フライアッシュ(非 JIS 灰)	利用可能、課題あり	利用実績あり(限定的)
クリンカアッシュ	利用可能、課題あり	利用実績なし
銅スラグ	利用マニュアル案等あり	利用実績多い
フェロニッケルスラグ	利用マニュアル案等あり	利用実績多い
亜鉛スラグ	利用マニュアル案等あり	利用実績多い
貝殻(ホタテ殻)	利用可能、課題あり	利用実績多い
エコスラグ	利用可能、課題あり	利用実績なし

これによれば、石炭灰の非 JIS 灰フライアッシュ及びクリンカアッシュは用途として利用可能であるものの、課題等も挙げられており、今後の検討を要するものとされているが、クリンカアッシュについては適用技術に係る情報が十分集積されていないことから利用実績はない現状である。一方、他の産業副産物として、天然の砂よりも大きな単位体積重量を持つ非鉄スラグの銅スラグ、フェロニッケルスラグ及び亜鉛スラグでは、利用実績が多数認められ、汎用性が高いと評価されている。貝殻(ホタテ殻)については、漁港建設工事での実績はあるものの、施工後の沈下の問題等配合比率の検討等も必要とされている。また、エコス

ラグについては、重金属の溶出等安全性面での事前検証が必要とされていることから利用実績は認められていない。

フライアッシュは、非 JIS 灰を用いセメントなどを添加し、水と混合してスラリー化し、構造物に利用するもので、河川築堤基礎の止水壁、道路盛土基礎の杭、防波堤ケーソン中詰などが実用化されている。

適用に当たっての利点としては、以下が挙げられる。

- ・ フライアッシュを用いる事で流動性が向上し、作業性の向上が図れる。
- ・ 水中部での使用の場合は、充填性に優れている。
- ・ セメントとフライアッシュ及び水の配合量で強度等の固化条件の選択が可能である。
- ・ 近隣に火力発電所がある場合は、コスト的に安価な資材として活用可能である。
- ・ また、適用に当たっての留意事項としては、以下が挙げられる。
- ・ 非 JIS 灰を用いるため、JIS 灰に比べ、品質の変動が考えられるため、品質変動を考慮した配合設計が望まれる。
- ・ 基本的には、セメントと混合した場合は、重金属等の溶出は防止されるが、一定のロット毎での重金属溶出管理を行う事が必要である。

また、クリンカアッシュを二重鋼管矢板や二重鋼矢板の中詰材に用いる場合は、天然砂と同様の設計方法を用いることができるが、適用技術に係る情報が十分集積されていないことから、必要に応じて室内試験や試験施工等により要求性能を満足することを確認することが望ましい。

以上のことから、石炭灰を新たな適用先としての洋上風力発電設備への利用を検討するにあたって、

- ・ 既往の「港湾工事共通仕様書」に示される品質基準を満足するものを利用するとともに、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に示される天然の砂や砂利を対象とした方法に準拠して適切に行う必要がある。
- ・ 一定のロット毎に、重金属等の溶出管理を行うことが必要である。
- ・ フライアッシュ(非 JIS 灰)、クリンカアッシュいずれの利用にあたって、品質変動を考慮し、用途で必要となる要求性能を明確にすべく、性能試験等を行い、適用技術に係る情報を集積する必要がある。

(4) 被覆石、根固・消波ブロックとしての利用可能性

リサイクル材料を被覆石、根固・消波ブロックとして利用する場合は、「港湾工事共通仕様書」に示される品質基準を満足するものを利用するとともに、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に示される方法に準拠して適切に行う必要がある。また、材料によっては有害物質の溶出や pH 上昇等の可能性が考えられるため、その特性を把握した上で、周辺環境に十分配慮することが必要である。

これまでの港湾等整備において、産業副産物の利用状況について、以下のとおり整理されている。

対象材料	品質性能	利用実績
鉄鋼スラグ二次製品（鉄鋼スラグ水和固化体）	利用マニュアル案等あり	利用実績多い
フライアッシュ（非 JIS 灰）	標準材料に準ずる性能	利用実績多い
石炭灰二次製品（フライアッシュ固化体）	標準材料に準ずる性能	利用実績あり（限定的）
銅スラグ	利用マニュアル案等あり	利用実績あり（限定的）
フェロニッケルスラグ	利用マニュアル案等あり	利用実績あり（限定的）
貝殻（ホタテ殻）	標準材料に準ずる性能	利用実績なし
エコスラグ	利用可能、課題あり	利用実績あり（限定的）

これによれば、石炭灰の非 JIS 灰フライアッシュ及び石炭灰二次製品（フライアッシュ固化体）は標準材料に準ずる性能とされており、利用実績も認められている。一方、他の産業副産物として、鉄鋼スラグ二次製品（鉄鋼スラグ水和固化体）、非鉄スラグの銅スラグ及びフェロニッケルスラグでは、利用マニュアル案等が整備され利用実績も認められている。貝殻（ホタテ殻）は、標準材料に準ずる性能とされているが利用実績はない。エコスラグは、利用可能性は認められるものの、課題が残されており今後の検討を要するものとされている。

フライアッシュ非 JIS 灰の被覆石、根固・消波ブロックへの適用に当たっての利点としては、以下が挙げられる。

- ・ フライアッシュのポズラン反応により、緻密な構造体となり、長期強度の増進及び耐摩耗性に効果があり、ライフサイクルコストの低減が期待できる。
- ・ また、適用に当たっての留意事項としては、以下が挙げられる。
- ・ フライアッシュの混和量が多い場合は、粘性が高まるため、表面仕上げが多少し難いことから配合設計で考慮する必要がある。
- ・ 非 JIS 灰を用いることから、JIS 灰に比べ、品質の変動が考えられるため、品質変動を考慮した配合設計が望まれる。
- ・ 基本的には、セメントと混合した場合は、重金属等の溶出は防止されるが、一定のロット毎での重金属溶出管理を行う必要がある。
- ・ フライアッシュ固化体の形状で港湾エリアで利用する場合は、通常のコンクリートと同様の硬化体としてである。耐久性の高いブロック製造が求められ、代表的な方法として、セメントを減らし、普通骨材に代えて鉄鋼スラグ骨材を用いる方法や、骨材を使用せず、セメントとフライアッシュのみ使用する場合などがある。

以上のことから、石炭灰を新たな適用先としての洋上風力発電設備への利用を検討するにあたって、

- ・ 「港湾工事共通仕様書」に示される品質基準を満足するものを利用するとともに、

「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に示される方法に準拠して適切に行う必要がある。

- ・ JIS 灰、非 JIS 灰の品質の違いを踏まえ、利用用途に対する配合試験等を行う必要がある。
- ・ 一定のロット毎に、重金属等の溶出管理を十分に行うことが必要である。
- ・ 利用にあたって高い耐久性が求められることから、フライアッシュ単体利用での検討のみならず、他材料との組み合わせ等についても用途で必要となる要求性能を明確にすべく性能試験等検討を行うことが必要である。

(5) 裏込材・裏埋材としての利用可能性

リサイクル材料を裏込材・裏埋材として利用する場合は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に示される、天然の砂や砂利を対象とした方法に準拠して適切に行う必要がある。また、材料の品質については、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」等において規定されている内容に準拠する必要がある。

また、矢板の継ぎ目部等から染み出した溶出水による海水への影響や、埋立地内への溶出等が考えられることから、周辺環境に十分配慮することが必要である。

これまでの港湾等整備において、産業副産物の利用状況について、以下のとおり整理されている。

対象材料	品質性能	利用実績
高炉スラグ(土工用水砕スラグ)	利用マニュアル案等あり	利用実績多い
製鋼スラグ(土工用・地盤改良用製鋼スラグ)	利用マニュアル案等あり	利用実績あり(限定的) 裏込材は利用実績なし
鉄鋼スラグ二次製品(鉄鋼スラグ水和固化体)	利用マニュアル案等あり	利用実績多い
鉄鋼スラグ二次製品(浚渫土改質材)	標準材料に準ずる性能 裏埋材は利用マニュアル案等あり	利用実績なし
フライアッシュ(非 JIS 灰)	利用マニュアル等あり	利用実績多い 裏埋材は限定的
クリンカアッシュ	標準材料に準ずる性能	利用実績あり(限定的)
石炭灰二次製品(フライアッシュ固化体)	利用マニュアル等あり	利用実績多い
石炭灰二次製品(石炭灰造粒物)	利用マニュアル等あり	利用実績あり(限定的) 裏込材は利用実績なし
フェロニッケルスラグ	利用マニュアル等あり	利用実績あり(限定的)

		裏込材は利用実績なし
貝殻(ホタテ殻)	標準材料に準ずる性能	利用実績なし
エコスラグ	利用可能、課題あり	利用実績あり(限定的)
破碎瓦	利用マニュアル案等あり	利用実績あり(限定的) 裏込材は利用実績なし

これによれば、石炭灰の非 JIS 灰フライアッシュ、石炭灰二次製品(フライアッシュ固化体及び石炭灰造粒物)で利用マニュアル等が整備されており、利用実績も認められている。クリンカアッシュについては、標準材料に準ずる性能とされており、利用実績も認められている。一方、他の産業副産物として、鉄鋼スラグ、フェロニッケルスラグ、貝殻(ホタテ殻)、エコスラグ及び破碎瓦での利用可能性もあるといわれている。

非 JIS 灰利用の場合、流動性などのフレッシュ性状や強度特性などに関して必要な品質が得られることや、天然土砂などに比較して軽量であり、流動性が高いことなどが特徴であるが、コンクリートと同様に用途ごとの要求品質を満足できることを事前の試験により確認しておく必要がある。

適用に当たっての利点としては、以下が挙げられる。

- ・ 土砂等に比較して軽量でさらに固化するため構造物に対する土圧(常時)の低減が図れる。
- ・ 流動性に優れ、ポンプ打設が容易である。
- ・ 材料分離抵抗性に優れ水中打設が可能である。
- ・ 材齢 3 日のコーン貫入抵抗値 1,200kN/m² 以上が可能であり、早期にダンプ走行も可能なトラフィカビリティを確保できる。
- ・ 適用に当たっての留意事項としては、以下が挙げられる。
- ・ 環境安全性については、炭種や配合の影響を受けるので事前の確認を要する。
- ・ 品質のばらつきがスラリー性状に及ぼす影響度合いを事前確認しておくことが望ましい。

フライアッシュ固化体利用の場合、締め固め後は時間の経過とともに徐々に強固かつ安定な路盤・地盤へと変化するため、層内の液状化や地盤沈下などによる変状の懸念もなく、設計・施工は天然材料(割石、切込砂利、玉石)と同様の方法を用いることができる。

石炭灰造粒物利用の場合、10N/mm² 程度の供試体強度(石炭灰造粒物円柱テストピースの強度試験)、1.6 N/mm² 程度の圧潰強度(粒子強度)を有し、護岸・岸壁背面等の裏埋材として、設計・施工とも天然の材料と同様に扱うことができる。通常の天然材料に比べ単位体積重量が軽いことから、護岸・岸壁背後等の土圧(常時)軽減策として、活用できる。

以上のことから、石炭灰を新たな適用先としての洋上風力発電設備への利用するにあたって、

- ・ 「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に示される、天然の砂や砂利を対象とした方法に準拠して適切に行う必要がある。また、材料の品質については、「港湾の施

設の技術上の基準・同解説」等において規定されている内容に準拠する必要がある。

- ・ JIS 灰、非 JIS 灰の品質の違いを踏まえ、利用用途に対する配合試験等事前確認を行う必要がある。

(6) 藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工海浜等としての利用可能性

リサイクル材料を藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工海浜等に利用する場合は、「港湾工事共通仕様書」、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」、「空港土木工事共通使用書」等において規定されている内容に準拠し、用途毎の要求性能に応じた品質を満足することを確認する必要がある。また、材料によっては溶出水による海水への影響や近傍に生息する生物への影響、人が立ち入る場合は人が直接摂取(摂食及び皮膚接触)することによる健康影響等が考えられるため、「海の自然再生ハンドブック」も参考にし、十分配慮することが必要である。

これまでの港湾等整備において、産業副産物の利用状況について、以下のとおり整理されている。

対象材料	品質性能	利用実績
高炉スラグ(土工用水砕スラグ)	利用マニュアル案等あり	利用実績あり(限定的)
製鋼スラグ(土工用・地盤改良用製鋼スラグ)	利用マニュアル案等あり	利用実績あり(限定的)
鉄鋼スラグ二次製品(鉄鋼スラグ水和固化体)	利用マニュアル案等あり	利用実績多い
鉄鋼スラグ二次製品(鉄鋼スラグ炭酸固化体)	利用マニュアル案等あり	利用実績あり(限定的)
鉄鋼スラグ二次製品(浚渫土改質材)	利用マニュアル等あり	利用実績あり(限定的)
鉄鋼スラグ二次製品(生物共生材)	標準材料に準ずる性能	利用実績あり(限定的)
クリンカアッシュ	利用可能、課題あり	利用実績あり(限定的)
石炭灰二次製品(石炭灰造粒物)	利用マニュアル等あり	利用実績多い
フェロニッケルスラグ	利用マニュアル等あり	利用実績あり(限定的)
貝殻(カキ殻)	標準材料に準ずる性能	利用実績あり(限定的)
破碎瓦	利用可能、課題あり	利用実績あり(限定的)

これによれば、クリンカアッシュは用途として利用可能であるものの、課題等も挙げられており、今後の検討を要するものとされている。また、石炭灰二次製品(石炭灰造粒物)は、利

用マニュアル等が整備されており、利用実績も認められている。一方、他の産業廃棄物として、鉄鋼スラグ、フェロニッケルスラグ、貝殻(カキ殻)、破碎瓦での利用可能性もあるといわれている。

クリンカアッシュ利用の場合、天然砂と同様の設計方法を用いることができ、天然砂に比べ軽量のため、載荷重の軽減が期待できる。しかし、同じ発電所内で製造されたクリンカアッシュの性質のばらつきは小さいが、発電所が異なる場合はクリンカアッシュ間に品質のばらつきが見られることがあるため、特に重要な構造物への利用においては、事前に試験等を行って必要な材料特性等を確認することが望ましい。

また、アルカリ水の溶出が懸念される場合は、溶出水の中和等の対策を検討する必要がある。

石炭灰造粒物利用の場合、環境修復材として、ヘドロ化した底泥に散布・挿入・混合することで、生物が生息しやすい環境に改善することができ、水質・底質環境改善を目的とした工事に適用できる。

栄養塩、硫化物イオンの溶出抑制効果を考慮し、覆砂箇所の底質環境に応じ覆砂厚(設計厚)の設定ができるとともに、石炭灰造粒物層の好気的な環境保全効果により造粒物表層への新生堆積物はヘドロ化しないことから、環境改善効果が継続され、生物相の回復が維持される。また、従来の砂と比較し2割程度軽量であり、機能維持の追加施工をする場合においても、減り込み量が少なくすむが、覆砂後に良好な浸透場を形成するため、石炭灰造粒物の細粒分は極力減らしておく必要がある。

なお、過去に護岸安定化等工事施工時において、石炭灰造粒物の散布によって海底泥の巻き上がりや材料分離が生じ、濁度が一時的に上昇することが懸念されたため、散布口付近に汚濁防止膜を設置し、濁度監視を行ったことにも配慮する必要がある。

以上のことから、石炭灰を新たな適用先としての洋上風力発電設備へ利用するにあたって、

- ・ 「港湾工事共通仕様書」、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」、「空港土木工事共通使用書」等において規定されている内容に準拠し、用途毎の要求性能に応じた品質を満足することを確認する必要がある。
- ・ 生物や水質への影響に加えて、人への健康影響等にも配慮し、重金属等の溶出管理を十分に行うとともに、適用後の経過観察を行うことが必要である。

5.1.3. 環境的特性を活かした石炭灰利用メリット

(1) CO₂ 排出量比較の前提条件の設定

砕石や砂利などの天然資材を使用する場合と、石炭灰をはじめとするリサイクル資材を使用する場合のいずれにおいても CO₂ が排出される主な過程は以下の3段階であると考えられる。

- ①資材を生産する過程
- ②資材を施工現場まで運搬する過程
- ③施工現場における施工過程

このうち、③は天然資材を用いた場合とリサイクル資材を用いた場合で、施工方法に大きな差はないため、この過程における CO₂ 排出量に差はないものと仮定する。また、②についても、天然資材／リサイクル資材の生産場所が近隣に位置するため運搬距離には大差がなく、運搬手段も同一であると考え、この過程における CO₂ 排出量に差はないものと仮定する。

したがって、天然資材／リサイクル資材の CO₂ 排出量比較は、①生産過程についてのみ実施する。

(2) CO₂ 排出量算定の原単位の設定

石炭灰を活用した場合の CO₂ 排出量削減効果を定量化するにあたり、原単位を設定した。

クリンカアッシュについては単体利用が可能であり、リサイクル資材としての使用に際して新たな加工を必要としないと考えられるため、クリンカアッシュの CO₂ 排出原単位はゼロと仮定する。一方で、フライアッシュについては現実的には二次製品として加工されたものを使う可能性が高く、「フライアッシュⅡ種」の値 0.0196(t-CO₂/t)を採用する。

値を kg-C/t に換算すると $0.0196 \times 1000 \times 12/44 = 5.35 \text{kg-C/t}$ となり、本調査において排出量算定に用いる原単位の値を表 5-5 に示す。

表 5-5 CO₂ 排出量算定に用いる原単位

区分	資材	CO ₂ 排出原単位 (kg-C/t)
天然資材	砕石	6.00
リサイクル資材 (石炭灰)	クリンカアッシュ	0.00
	フライアッシュ二次製品	5.35

(参考:「LCA 手法を用いたグリーン調達による環境負荷低減効果試算」(西山・酒井:沿岸技術研究センター論文集 No.7(2007))及び「環境配慮型超高強度コンクリートに関する研究」(吉田ら:大成建設技術センター報 第 43 号(2010))を基に算出)

(3) CO₂ 排出量算定と比較検討

石炭灰をはじめとするリサイクル資材で代替が可能な構造物等につき、当該の構造物製作に必要な天然資材またはリサイクル資材の種類と必要な使用量にもとづき、以下の式により削減されるCO₂排出量を算定し、石炭灰活用による環境への負荷低減効果につき定量的に検討・考察した。

$$\text{CO}_2 \text{ 排出削減量} = \Sigma (\text{各天然資材の排出原単位}) \times (\text{各天然資材の使用量}) \\ - \Sigma (\text{各リサイクル資材の排出原単位}) \times (\text{各リサイクル資材の使用量})$$

使用量については、石炭灰に寄る代替比率として、「捨石」および「藻場・浅場等」について、天然資材の碎石の80%を石炭灰(クリンカアッシュまたは石炭灰二次製品)で代替した想定、「中詰材」(本体工)「裏込材・裏詰材」(裏込工・裏詰工)について、天然資材の碎石の90%を石炭灰(クリンカアッシュまたは石炭灰二次製品)で代替した想定としている。

表5-6に、上記排出量原単位および、各資材の密度(碎石1.8t/m³、クリンカ1.4t/m³、石炭灰二次製品1.5t/m³)から、使用資材単位体積あたりのCO₂排出量を算出した。

表 5-6 使用資材単位体積あたりのCO₂ 排出原単位

kg-C/m ³	代替なし	80%代替	90%代替
天然資材(碎石)	10.80		
クリンカアッシュ代替		2.16(▲80.0%)	1.08(▲90.0%)
フライアッシュ代替		8.58(▲20.6%)	8.30(▲23.1%)

注：()内は天然資材(碎石)の原単位に対する削減率

したがって、天然製品としての加工時にCO₂が排出される石炭灰二次製品を採用した場合でも2割以上のCO₂排出削減効果、さらにクリンカアッシュを採用すればより大きな削減効果が得られることになると考えられる。

5.1.4. 経済的特性を活かした石炭灰利用メリット

石炭灰を有効利用する場合のコストは、「品代(必要な加工費等含む)と中継・運搬費」で構成される。運搬費は、需要家までの灰運搬船による海上輸送、ダンプやジェットバック車等による陸上輸送に係る費用、必要に応じて中継サイロ、需要地における貯蔵用サイロなども計上される必要があるが、受入サイロ、1ロットあたりの輸送量などにより異なるため一概に示すことはできない。表 5-7 に各資材単価に材料費、人件費等が加味されていると仮定して整理した。

前述の各種用途別特性を活かした石炭灰利用を進めるためには、経済性を考慮することが重要である。具体的には、需要家にとって、ある価格レベルであれば有価で購入することができ、かつ石炭灰利用によるメリットが享受できるものであるが、発電所から需要地までの距離が遠くなれば、運搬費増に伴うコスト高となると言える。つまり、同一利用用途においても、発電所近傍であれば、需要家ニーズに応えた販売が可能であるが、遠隔地では対応できなくなるという結果になる。

なお、従来資材を石炭灰関連資材で代替することによりコストダウンを実現した事例を表 5-8 に示す。これによれば、最大で 3 割程度、あるいは 5 億円程度の削減効果が得られることになる。

表 5-7 石炭灰の各資材単価

資材	単価	出典
天然資材(砕石)	3,508 円/m ³	建設物価(平成 30 年 2 月 1 日発行) 秋田県(秋田・大館・能代・由利本荘)における砕石平均単価を算出
クリンカアッシュ	2,700~3,000/m ³ ~	NETIS ライトサンド
石炭灰二次製品	3,371 円	NETIS FRC 砕石

表 5-8 石炭灰代替利用によるコストダウンの事例

	製品・用途	内容	コストダウン規模	コストダウン要因	供給・実施者
製 品	海砂代替材 Hi ビーズ	SCP 工法、SD 工法	-10%	廃棄物利用(フライアッシュ)	中国電力㈱
	NA クリート	消波ブロック等	-5~-30%	廃棄物(フライアッシュ、製鋼スラグ、銅スラグ等)利用、軽量~重量コンクリート	中国電力㈱
	FS コンクリート	消波ブロック等	-10~-15%	廃棄物(フライアッシュ、高炉スラグ、製鋼スラグ、銅スラグ等)利用	㈱沿岸環境開発資源利用センター
建 設 工 事	海中盛土	土砂+セメント+フライアッシュ+海水→固練りスラリー 苫小牧西港 H10~11 フライアッシュ 15 千 t	-30%	浚渫土砂とフライアッシュの利用	北海道電力㈱
	固化盤	フライアッシュ+セメント→固練りスラリー 苫東コールセンター貯炭場 H11~12 フライアッシュ 45 千 t	-0.3 億円	フライアッシュの利用	北海道電力㈱
	建設汚泥改良	フライアッシュ+建設汚泥→土砂材 苫東 4 号 H11~12 フライアッシュ 21 千 t	-1.0 億円	建設汚泥の廃棄物としての処理の省略	北海道電力㈱
	深層混合処理 F-CDM	フライアッシュ+セメント→地盤改良材 苫東 4 号・苫東コールセンター H11 フライアッシュ 6 千 t	-0.6 億円	フライアッシュをセメントの一部代替として利用	北海道電力㈱
	深層混合処理	フライアッシュ原粉+セメント+特殊減水剤 日本石油 下松コールセンター工事 他	-10%~30%	フライアッシュ原粉のセメント置換、特殊減水剤による高濃度スラリー	中国電力㈱
	路床改良	加湿固化材による路床改良システム 山陰道(国交省) 他	-5~-10%	加湿固化材による省力化施工	中国電力㈱ 国交省中国整備局
	石炭灰スラリー 埋戻し	フライアッシュ+セメント+水→スラリー状の道路埋戻し材 碧南火力 4・5 号 増設 H11 フライアッシュ 40 千 t	-5.0 億円	埋設管厚低減等	中部電力㈱
	高品質吹付け コンクリート	トンネル吹付けコンクリート混和材(フライアッシュ I 種) 笹ヶ峰トンネル(道路公団)等	-5%~-10%	リバウンド量・粉塵量の低減	四国電力㈱
	EP ショット工法 (石炭灰原粉を 活用した吹付け コンクリート)	トンネル吹付けコンクリート混和材(フライアッシュ原粉) 平瀬トンネル(山口県)他	-5%~15%	セメント置換、リバウンド・粉塵発生量低下	中国電力㈱
	エアモルタル	軽量盛土 苫田ダム黒木第一改良工事(国交省)他	-10~20%	細骨材の全量置換、セメントの一部置換、気泡剤低減	中国電力㈱
	海中盛土	土砂+セメント+フライアッシュ+海水→固練りスラリー 苫小牧西港 H10~11 フライアッシュ 15 千 t	-30%	浚渫土砂とフライアッシュの利用	北海道電力㈱

5.1.5. 副次的効果を活かした石炭灰利用メリット

その他、副次的効果を活かした石炭灰利用メリットを整理した。

(1) 循環型社会形成への寄与

我が国は、21世紀の経済社会のあり方として「循環型社会」を提起し、2000年6月には循環型社会形成基本法が制定された。また、この循環基本法と一体的に改正廃棄物処理法、資源有効利用促進法(リサイクル法の改正)、建設リサイクル法、グリーン購入法などが成立し、循環型社会の形成に向けた取り組みを推進する基盤が整備されつつある。資源有効利用促進法では、エネルギーの供給又は建設工事に係る副産物は、再資源の有効利用を図る上で特に必要なものとして指定されており、エネルギーの供給として電気事業が排出する石炭灰指定副産物に定められている。さらに、政府は、循環型社会の形成に関する施策の総合的かつ計画的推進を図るための基本計画(循環型社会形成推進基本計画)を2003年度に決定した。このような状況下、関係省庁は、環境施策として「豊かな海域環境の次世代への継承」や「地球規模の環境問題の解決に向けた取組みの強化」などを進めている。具体的には、生物共生型港湾構造物導入の取組みの拡大など生物との共生を目指した港湾整備による豊かな海域環境の次世代への継承を目指している。また、港湾、海域という特性を踏まえて安全性や適正を評価した上での海域環境の再生・創出へのリサイクル材の積極的な活用として港湾臨海部等で発生する産業副産物の利用などによって循環型社会への寄与が期待されている。

(2) 天然資源消費の抑制効果

骨材は、コンクリート、アスファルト、道路等に用いられる。海、山、川から採取される砂利、また、山から岩石を採掘・破碎して得られる砕石は天然骨材である。

現在、骨材の供給は殆どが天然骨材であるが、供給量は天然骨材とリサイクル材(アスファルト・コンクリートやコンクリート屑を破碎して得られる再生骨材)を合わせて年間7億tである。リサイクル材にシフトすることで海や河川、山の自然環境負荷の軽減、除去が可能となる。

天然骨材は1990年度以降、減少傾向であるがリサイクル材は増加傾向である。これは、建設リサイクル法、グリーン購入法等の法整備による効果によるもので今後益々増加するとみられることから、天然資源消費の抑制効果が期待されている。

5.1.6. リサイクル材としての石炭灰利用による効果及び利点の整理

産業副産物である石炭灰およびこれを原材料とした石炭灰混合材料を建設資材として利活用することによる効果及び利点について、以下要点をまとめる。

- ・ 副産物の有効活用であり、天然資材を利用するのに比べて環境負荷が少ない。
- ・ 産業副産物であり材料コストが購入土砂等と比較して安い。
- ・ 石炭灰の発生位置(火力発電所位置)が沿岸域にあるため、船舶での大量輸送が

可能で運搬コストの低減が図れる。

- ・ 石炭灰の発生位置(火力発電所位置)が全国に分布しており、供給体制が取りやすい。
- ・ 大量に発生する(全国で 1,000 万 t/年以上)ものであり、大規模な工事への供給が可能である。

5.2. 石炭灰活用見込みに関する検討

洋上風力発電設備への石炭灰利用に関する適用可能性を検討にあたって、各種文献調査、アンケート調査及びヒアリング調査を行った。各種調査の結果を以下のとおり考察する。

有用性・市場性面からは、これまで、石炭灰を各種用途で利活用するために確立した技術を生かすことで、新たな適用先としての洋上風力発電設備での利活用が可能との意見が得られた。具体的な用途としては、洋上風力発電設備本体におけるコンクリート代替材、洗掘防止材、中詰材、被覆・根固・消波ブロック材及び藻場礁等としての利用可能性が期待されている。しかし、洋上風力発電設備は、新たな適用先であることから、直接参考にできる品質基準、ガイドライン、マニュアル等は存在していないことから、現時点では、新たな用途として適用するには、国交省の定める「港湾・空港等整備におけるリサイクルガイドライン」やこれに関する各種指針・仕様書等に示される品質基準を満足する必要がある。

その上で、新たな用途で必要とされる要求性能を明確にすべく、性能試験等を行い検証することが必要である。検証の結果、現時点で求められる品質基準を満足させない場合には、必要となる技術改良についての検討や他材料との組み合わせによる適用可能性等の検討も必要となる。なお、検討にあたって、石炭灰の「軽い」という特性を活かした用途を見出すための検討と、「軽い」を解消するための検討を区別して進めることが重要である。

また、適用可能な用途を見出す上で、洋上風力発電設備本体のみならず、広く、周辺・付帯設備への活用も視野に検討を進めることが必要である。特に、過去に明石大橋橋脚止水材としての利用実績があることに着目する等、更に周辺・付帯設備での利用実績等も調査することで適用可能性の確度を高めることにつながると考えられる。

さらに、洋上風力発電設備は、港湾・漁場エリアであるため、漁業共生の観点を取り入れることも重要である。特に秋田県北部に位置する岩館漁港では、石炭灰混合材料の人工藻場礁としての適用可能性を検討すべく実証試験が行われていることから、今後の藻場・魚礁等としての活用に向けた継続的な調査・検討が必要である。

安全性面からは、現行の基準を満足させることは必要であるが、石炭灰をはじめ産業副産物は全般的に品質変動があることから、適切な安全管理のもと利用されることが求められる。なお、現行の基準遵守による安全性確保に加え、地元市民等の安心確保につなげるべく説明会等の機会を設けることも必要である。

経済性面からは、地元で発生する産業副産物としての石炭灰を利用した場合、天然資材より材料費が安価になる可能性は高いものの、生産地と需要地の距離の問題等から、運搬費増になるエリアも存在しているため、結果的に利用促進につながっていないエリアもあるとされている。また、県内でも品目指定されていないエリアでは利用促進につながっていない状況にあることから、指定エリアの拡大等の検討も必要になると考えられる。さらに、現在石炭灰の取り扱い可能な港が限定されていることから、今後の石炭灰利活用促進に向けた取り扱い可能な港の拡大等新たな港湾整備についての検討も必要である。

その他、秋田県では秋田県リサイクル製品認定制度、秋田県産品使用基準等が制定されており、石炭灰が県の公共工事等で優先的な利用に結びついている。また、環境調和型産業集積支援事業補助金制度等により、設備投資や研究開発等に対する支援も行っていることから、石炭灰の利用促進につながっている。今後、広く、県内の関係事業者、技術者等への周知に向けた啓発活動を進めていくことにより、石炭灰の利用促進が加速されることが期待される。

5.3. 総括

5.3.1. 今年度調査結果のまとめ

東日本大震災以降電源事情が大幅に変化している。石炭火力のベース電源としての地位が高まり、その結果、必然的に発生する石炭灰の発生量も多くなっている。一方、石炭灰の主要な用途であるセメント原材料への有効利用は、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い。

また、東京オリンピック以降の景気動向によっては、セメント生産量の落ち込みも予想される。そのような状況下では、セメント原料用の処理費が高騰することも予想され、それを回避するために、石炭灰の新たな有効利用先を見出し、必要に応じて技術開発も行われてきている。

秋田県では、石炭火力発電所の稼働に伴って発生する石炭灰のセメント以外の分野での利活用推進に向けた検討が進められており、また、新たなエネルギー源として複数の海域で沖合洋上風力発電の建設計画、民間事業者による環境アセスメント手続き等が進行中である。

このような背景を受けて、今後の発展が期待される洋上風力発電事業分野における石炭灰活用の可能性について検討し、洋上風力発電事業において使用されるセメント、骨材、消波ブロック等のコンクリート製品を石炭灰利用製品に代替する可能性について調査した。

港湾等を対象とした工程・用途と石炭灰種別の組み合わせによるマトリックスをベースに、風力発電設備の特性や特有の工事工程・必要となる資材等を総合的に判断した。

まず、資料収集・整理した結果に基づき、洋上風力発電設備において石炭灰利用が有望と思われる用途を以下のとおり絞り込んだ。

- ①混和材、②捨石、③中詰材、④被覆石、根固・消波ブロック、
- ⑤裏込材、⑥裏埋材、⑦藻場、浅場・干潟造成、覆砂材、人工砂浜等

次に、絞り込んだ各用途に対して、更に文献調査、ヒアリング調査等により精査し、有用性、市場性、安全性、経済性の観点で整理・考察を行った。その結果、風車本体関連では基礎工における捨石や本体工における中詰材、被覆・根固工、消波工におけるブロック材等での用途が有望である可能性が見出された。

また、上記にくわえて、陸上部の付帯設備や、資材搬出等のための拠点港整備など、風力発電事業に直接的・間接的に関連する施設・事業においても石炭灰活用の可能性があることが、ヒアリング等における関係者意見等から示唆された。

5.3.2. 今後の展望

今年度の調査結果やそこから得られた成果をふまえ、今後検討すべき内容を以下の通り提案する。

(1) 石炭灰の特性を生かした用途把握のための調査

国内における洋上風力発電事業に関係する事業者としてのマリコン・ゼネコン及び商社へのアンケート・ヒアリング調査を行い、代替材料としての石炭灰利用可能性を把握する。また、各用途での活用における課題(技術的・社会的)とその解決のための対応策や、関連した国・県等への要望等も明らかにする。さらに、洋上風力発電設備におけるリサイクル材料全般の利活用状況、可能性等も把握し、追加して検討すべき新たな材料の考察や、実際の適用にあたって必要となる情報整備のあり方等を明らかにする。

(2) 石炭灰利用が有望と思われる用途に関する詳細調査

今年度調査により有望と考えられる用途に対して、以下の項目についての調査を行う。

1) 市場性成立可否の検討

有望と思われる用途に対して、供給、需要及びコスト面の試算を行う。具体的にはリサイクル材として利用可能な石炭灰発生量の現状や今後の推定、県内及び近隣県における洋上風力発電事業の事業計画の調査等から、需給バランスの現状と今後の見通しについて試算し、市場性成立の可否について検討する。

2) 安全性確保に向けた方策の検討

現行の規格・基準が、洋上風力発電設備における石炭灰利用の観点で過不足ない設定となっているか、他用途・他目的で設定された規格・基準の流用により実態にそぐわない設定となっていないかを精査する。なお、公的な基準として明確に定義・公開されている数値のほか、運用上の慣行や、民間企業が独自に社内基準等を設けているようなケースも考えられるため、それらについても可能な限り把握する。

さらに、規格・基準の達成のみでは、必ずしも心情的・感覚的な不安感の払拭につながらないことから、それらを克服する有効な方策についても検討・考察する。

3) 有用性向上に向けた検討

安定的かつ継続的に機能が発揮されるための課題と対策(塩害対策、ひび割れ対策等)を、石炭灰利用事業者へのヒアリングを通じて強度、比重、耐久性の観点から明らかにし、必要な技術開発項目等を把握する。適宜、リサイクル事業者へのヒアリングも行い、他のリサイクル材料との組み合わせ等による有用性向上等も念頭に調査を行う。

4) 経済性確保に関する検討

石炭灰で代替した際の、従来材料(コンクリート、砂利等)と比較したコストメリットについて試算し把握する。具体的には、代替時の原材料の価格差、製造工程・輸送手段・輸送距離の差異から生じる製造・輸送コスト差、さらに耐用年数やメンテナンス等を考慮したランニングコストの差などを調査し、総合的に考察する。

(3) 秋田県外の地域に関する情報収集・整理

洋上風力発電事業が進行中(あるいは計画中)の地域で、既往文献・図書等による情報収集・整理を行うとともに、当該自治体に対するアンケート・ヒアリング調査を行い、洋上風力発電設備におけるリサイクル材料の活用に対する意向・実態等を把握する。また、リサイクル材料活用に向けたガイドライン等の整備状況を確認する。

5.3.3. 今後の石炭灰活用促進に向けたポイント

今後、秋田県内の洋上風力発電事業において石炭灰が広く活用されるためのポイントについて、総合的に考察し以下のように取りまとめた。

(1) 新たな用途での適用を推進するための“正の流れ”を創り出すこと。

現状における最大の課題は、「洋上風力発電事業－石炭灰」の組み合わせに関し、先行する導入事例がほとんどなく、参考とすべき基準やマニュアルも皆無に近い点にある。その結果、有用性を認識している関係者もごく一部に留まっている。

新たな用途での適用を推進するには、採用実績増加→文献等（基準・マニュアル類含む）への記載増→有用性に関する認知度拡大→導入検討機会の増加→（さらなる実績増加へ）→・・・という正の流れが創り出されることが重要である。

採用実績が拡大すればコストの低下も見込めることにつながる可能性が多く、導入拡大に一層拍車がかかることが期待される。

(2) 洋上風力発電事業の「現場」を広く柔軟に捉えること

洋上風力発電事業として風車およびその基礎部分のみを捉えると、石炭灰の適用箇所は限定される。

広く、関連する陸上部の付帯設備や、さらに資材搬出等のための拠点港までを視野に入れることにより、石炭灰活用の途が大幅に拡大される。とくに拠点港整備は、その事業自体に石炭灰を多量に使用することになり、石炭灰活用促進につながると考えられる。特に、港湾整備関連では従来からリサイクル資材の導入が進められており、基準やマニュアルが充実しつつあるとともに利用実績もあることから、洋上風力発電事業での適用にあたって参考にできる可能性が高く、利用拡大に結びつくことが期待される。

(3) 技術的側面（ハード分野）と政策的側面（ソフト分野）のバランスをとってすすめること

(1)とも関連するが、実際の現場における導入拡大には、技術の革新とともに、政策面・制度面において、導入することのインセンティブに関する検討も必要である。

また、石炭灰使用が地元関係者に受容されるために不可避である安全性の担保についても、現場海域における実証試験などを通じた技術的側面と、地元関係者への啓発や地元と共同した取り組みなどの社会的側面の、両輪を意識して進めることが期待される。

6. 参考文献リスト

本調査事業を進めるにあたって以下を参考文献として活用した。

参考箇所	発行元	タイトル／HP	発行年など
2 章	一般社団法人セメント協会	石炭灰ハンドブック(第 6 版)	平成 27 年
	一般財団法人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 6-28 年度実績
	経済産業省	砕石動態統計調査	平成 20-29 年度実績
	国土交通省	建設工事受注動態統計調査報告	平成 14-29 年度実績
	経済産業省	生産動態統計調査	平成 29 年度実績
	人工軽量骨材協会 HP	人工軽量骨材出荷量の推移、用途別出荷割合(http://www.keiryokotsuzai.com/)	2005 年、2015 年実績
	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構	平成 29 年度成果報告書 クリーンコール技術開発／石炭利用環境対策事業／石炭利用環境対策推進事業／石炭灰調査事業	2018 年
	一般財団法人海域環境研究機構	海域環境改善における石炭灰活用方策の検討ほか業務 報告書	平成 30 年
	秋田県 HP	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」(https://www.city.akita.lg.jp/kurashi/recycle/1006089/1006094/1006369.html)	平成 29 年度実績
	能代港ビジョン懇談会	能代港ビジョン～県北地域の一体的な飛躍に向けて～	平成 30 年
	東北電力株式会社 HP	環境行動レポート 2017、2018 (https://www.tohoku-epco.co.jp/enviro/)	平成 29-30 年
	東北発電工業株式会社 HP	東北フライアッシュの用途別施工実績 (http://www.tohatsu.co.jp/service/sekitanhai/04.html)	記載なし
	秋田県認定リサイクル製品 Web サイト	秋田県認定リサイクル製品のご紹介 (https://common3.pref.akita.lg.jp/recycle/introduce/index.html)	記載なし
	秋田県建設部	秋田県フライアッシュ混合プレキャスト混合コンクリート製品使用基準	平成 24 年
	秋田県建設部	秋田県石炭灰リサイクル再生砕石使用基準	平成 27 年
	国立研究開発法人国立環境研究所、明星大学	リサイクル製品認定制度の現状分析からみた課題と展望－アンケート調査結果を踏まえて－	記載なし
	国立研究開発法人国立環境研究所	リサイクル製品認定制度の課題と展望	平成 20 年
	国立研究開発法人国立環境研究所	コンクリート用骨材又は道路用等のスラグ類に化学物質評価方法を導入する指針に関する検討会 総合報告書	平成 24 年
3 章	一般財団法人石炭エネルギーセンター	石炭灰混合材料有効利用ガイドライン(震災復興編、高規格盛土編、既成灰編) 港湾工事における石炭灰混合材料の有効利用ガイドライン(改訂版)	順に平成 26、27、28、29 年
	経済産業省 HP	海洋再生エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律 (http://www.meti.go.jp/press/2017/03/20180309002/20180309002.html)	平成 30 年
	恵良拓路、菊池洋二、成田圭介	港湾整備事業等におけるリサイクル材料の適用性に係る技術検討について	沿岸技術研究センター論文集 16, pp. 1-4, 2016
	一般財団法人沿岸技術研究センター	洋上風力発電の技術マニュアルについて (2001 年度版)	平成 14 年
	国土交通省中国地方整備局	石炭灰造粒物による底質改善手法の手引き	平成 25 年
	国土交通省港湾局	今後の港湾環境政策の基本的な方向について(案)	平成 17 年
	一般財団法人漁港漁場漁村技術研究所資料	http://www.jfa.maff.go.jp/test/kikaku/other/pdf/gyokougyoson.pdf	記載なし

	一般社団法人マリノフォーラム 21 資料	http://www.jfa.maff.go.jp/test/kikaku/other/pdf/mf21.pdf	記載なし
	一般社団法人海洋産業研究会	洋上風力発電等の漁業協調の在り方に関する提言《第 2 版》—着床式および浮体式洋上ウィンドファームの漁業協調メニュー—	平成 27 年
	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 特設ページ	https://www.nedo.go.jp/fuusha/index.html	記載なし
	農林水産省 農林水産技術会議事務局 筑波産学連携支援センター	秋田県八森町沿岸における海藻群落の遷移と漂砂の影響	平成 15 年
	株式会社アルファ水工コンサルタンツ	石炭灰の魚礁への利用に関する中長期戦略について 2017 年「石炭灰有効利用シンポジウム」	平成 29 年
	鍵本広之、安田幸弘、野中陽介	石炭灰を多量に混入した銅スラグモルタルの耐久性と水際部、陸上部に設置した消波ブロックの経年変化	コンクリート工学年次論文集、39, pp. 199-204, 2017
4 章	経済産業省資源エネルギー庁 国土交通省港湾局	再エネ海域利用法の運用開始に向けた論点整理—促進区域指定と事業者選定について—	平成 30 年
	洋上風力発電所等に係る環境影響評価の基本的な考え方に関する検討会	洋上風力発電所等に係る環境影響評価の基本的な考え方に関する検討会 報告書	平成 29 年
	犬飼杜典、鈴木三樹雄、片山能輔、入江敬	洋上風力発電基礎の設計技術の確立～北九州市沖における国内初のジャケット式洋上風力基礎の実現～	新日鉄住金エンジニアリング技報 4、pp.30-38、2013
	一般社団法人日本風力発電協会	洋上風力発電の現状と今後の展望	平成 26 年
	五洋建設株式会社	洋上風力発電施設等の施工について	平成 28 年
	むつ小川原港洋上風力開発株式会社	洋上風車の『基礎』構造と世界の洋上風力発電所	平成 25 年
5 章	一般財団法人石炭エネルギーセンター	石炭灰混合材料有効利用ガイドライン(総合改訂版)	平成 30 年
	一般社団法人セメント協会	セメントの LCI データの概要	平成 30 年
	西山貴大、酒井洋一	LCA 手法を用いたグリーン調達による環境負荷低減効果試算	沿岸技術研究センター論文集、7、pp.47-50, 2007
	吉田泰、山本佳城、陣内浩、並木哲	環境配慮型超高強度コンクリートに関する研究	大成建設株式会社技術センター報、43、pp. 18-1-18-5, 2010
	公益社団法人土木学会エネルギー土木委員会	石炭灰有効利用技術について—循環型社会を目指して—	平成 15 年
	公益社団法人土木学会	循環型社会に適合したフライアッシュコンクリートの最新利用技術—利用拡大に向けた設計施工指針試案—	平成 21 年
	公益社団法人土木学会	コンクリートからの微量成分溶出に関する現状と課題	平成 21 年
	農林水産省農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター	水産基盤整備事業におけるリサイクル材の活用に関する現状と展望	平成 20 年
	一般社団法人水産土木建設技術センター	水産基盤整備事業における廃棄物等の再利用技術手法の検討	平成 14 年
その他	国土交通省 港湾局、航空局	港湾・空港等整備におけるリサイクルガイドライン	平成 30 年
	独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構	NEDO 再生可能エネルギー技術白書第 2 版 再生可能エネルギー普及拡大にむけて克服すべき課題と処方箋	平成 26 年
	秋田県産業労働部資源エネルギー産業課	石炭灰有効利用可能性調査 報告書	平成 26 年、27 年
	佐賀県海洋エネルギー産業クラスター研究会、佐賀県、アカシア・リニューアブルズ株式会社、オリックス株式会社、佐賀大学	佐賀県海洋エネルギー産業クラスター研究会(J☆SCRUM)第 5 回会議資料	平成 30 年
	一般社団法人日本風力発電協会	洋上風力発電の現状と今後の展望	平成 26 年
	国立研究開発法人水産総合研究センター	洋上風力発電施設の漁業協調型活用方策の提案	不明
	生物研究社	洋上風力発電と環境影響調査	海洋と生物 232、39、pp.421-471, 2017
	資源エネルギー庁	一般海域における利用調整に関するガイド【初版】	平成 29 年

資源エネルギー庁	再生可能エネルギー政策の最新動向と風力発電の現状	平成 28 年
イー・アンド・イーソリューションズ株式会社、芙蓉海洋開発株式会社	NEDO 新エネルギー成果報告会 洋上風力発電等技術研究開発(洋上風況観測システム実証研究)「環境影響評価手法の確立」平成 26 年成果報告	平成 26 年
イー・アンド・イーソリューションズ株式会社、芙蓉海洋開発株式会社	風力等自然エネルギー技術研究開発洋上風力発電等技術研究開発 洋上風力発電等技術研究開発 浮体式洋上風力発電に係る基礎調査 成果報告	平成 24 年
一般財団法人新エネルギー財団	風力発電システムの導入促進に関する提言	平成 30 年
独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(委託先)名古屋大学、株式会社三井物産戦略研究所、一般財団法人日本気象協会	平成 25~26 年度成果報告書 風力等自然エネルギー技術研究開発 洋上風力発電等技術研究開発 地域共存型洋上ウインドファーム基礎調査	平成 27 年
環境省	洋上風力発電所に係る環境影響評価の基本的な考え方の検討	記載なし
水産庁	漁場整備の現状と課題	平成 21 年
資源エネルギー庁	再生可能エネルギー政策の最新動向と風力発電の現状	平成 28 年
東北発電工業株式会社、日本大学、一般財団法人石炭エネルギーセンター、秋田大学、一般財団法人電力中央研究所	石炭灰の有効利用に関するセミナー資料	平成 29 年、30 年

洋上風力発電設備への石炭灰利用可能性調査

平成 30 年度

秋田県産業労働部資源エネルギー産業課

調査協力:一般財団法人石炭エネルギーセンター

〒105-0003 東京都港区西新橋 3-2-1

Daiwa 西新橋ビル 3 階

[TEL:03-6402-6101\(事業部直通\)](tel:03-6402-6101) FAX:03-6402-6110