

COAL

ASH

Fly-Ash
Clinker-Ash
japan-flyash.com

エネルギーとエコロジーを
アッシュで考える——

日本フライアッシュ協会



目 次

はじめに	01
------------	----

生産

01 石炭灰の発生量	02
02 生産工程	04
03 製品の運搬	05

性質

01 フライアッシュ	06
02 クリンカアッシュ	09

特長

01 長期強度の増進	11
02 乾燥収縮の減少	11
03 アルカリシリカ反応の抑制	11
04 水和熱の減少	12
05 水密性の向上	12
06 化学抵抗性の向上	12
07 ワーカビリティの向上および単位水量の減少	12

用途

01 石炭灰の活用	14
02 石炭灰用途一覧表	16
03 セメント	18

会員会社 お問い合わせ先一覧	21
----------------------	----

表紙の3本ラインは

-  緑は石炭灰の資源のリサイクルとしての地球環境保全を表しています。
-  山吹色は石炭灰の多方面にわたる有効利用の可能性を表しています。
-  茶色は他の素材には見られない石炭灰が保有する、化学・物理的な特性を表しています。

はじめに

電気の安定供給の重要な柱である石炭火力発電所では、石炭の燃焼にともなう副産物として大量の石炭灰（フライアッシュおよびクリンカアッシュ）が発生しています。

石炭灰は、地球環境の保全、資源リサイクルの観点からその有効利用の促進をはかるための技術開発や規格・基準の見直し、供給体制の整備など様々な施策が進められております。

一方で2020年7月、国はCO2排出量の多い非効率な石炭火力発電所を2030年度までにフェードアウトする方針を打ち出しました。また、2020年10月には国はカーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指すことを宣言しました。しかしながら石炭火力は、当面電源構成の中核であることに変わりはなく、石炭火力発電所の安定運転のためには、今後も石炭灰有効利用が必要と考えられます。

当協会および会員各社では、ユーザーの皆様これまで以上に幅広くご利用頂けるよう、石炭灰の品質の向上と安定供給に向けてさらに努力するとともに、資源の有効活用による地球環境の保全にも貢献していきたいと考えております。

01 石炭灰の発生量

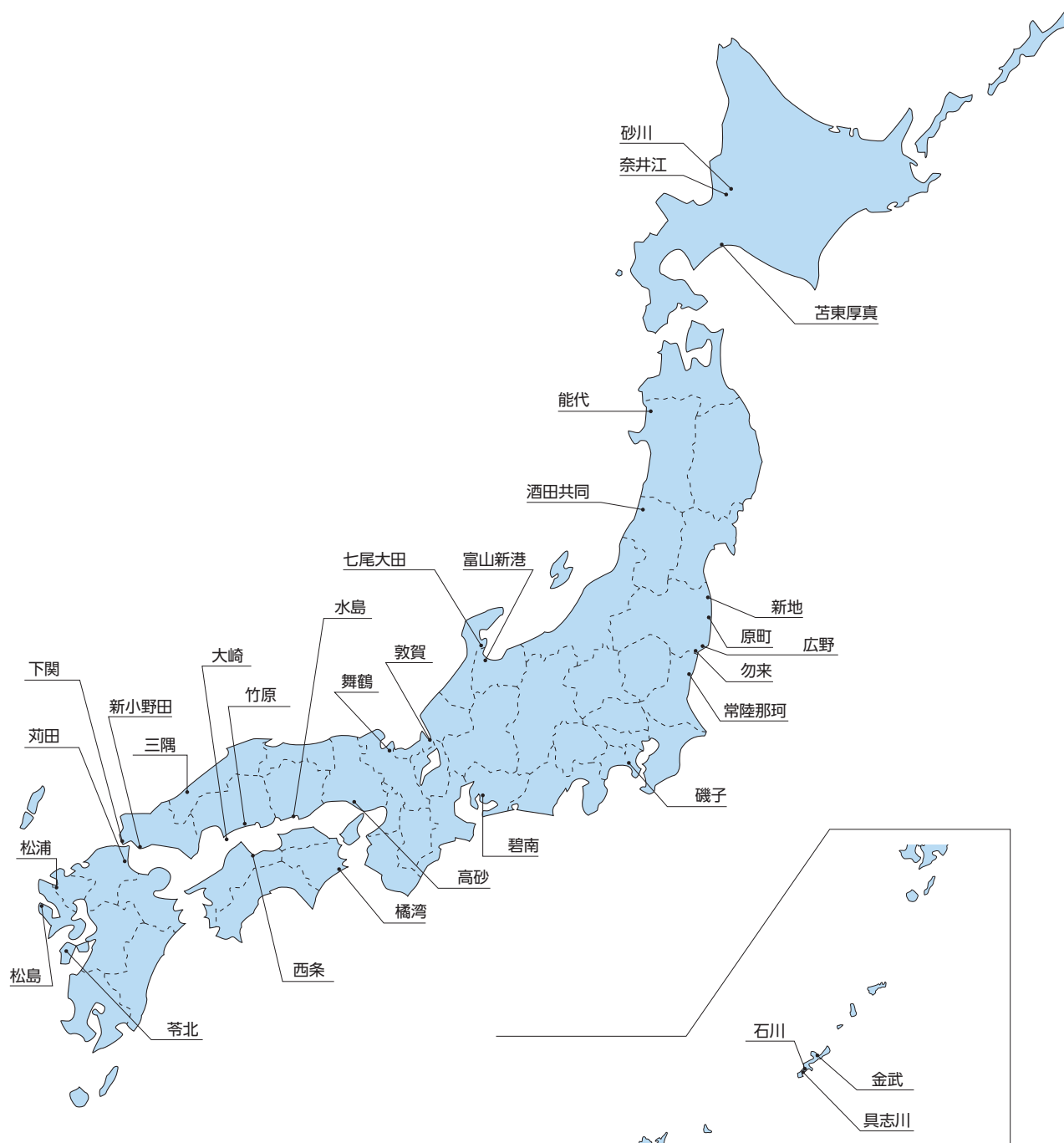
旧一般電気事業者及び旧卸電気事業者の石炭火力発電所は2021年10月現在、全国各地に35箇所、69基設置されており、その発電総出力は3,917万 kW となっています。

これにともない石炭灰の発生量は、年間約854万トン（2019年度実績）です。

100万 kw の石炭火力では（代表例）……………石炭消費量は年間約200万トン、石炭灰発生量は年間約23万トンとなります。

石炭火力から発生する石炭灰は……………フライアッシュが85～95%、クリンカアッシュが5～15%の割合となっています。

◆ 石炭火力発電所一覧



日本フライアッシュ協会調べ

主な石炭火力発電所一覧

会社	発電所	号機	出力(万 kw)
北海道電力	苫東厚真	1,2,4	165
北海道電力	砂川	3,4	25
北海道電力	奈井江	1,2	35
東北電力	能代	1,2,3	180
酒田共同	酒田共同	1,2	70
JERA	広野	5,6	120
常磐共同火力	勿来	7,8,9	145
相馬共同火力	新地	1,2	200
東北電力	原町	1,2	200
JERA	常陸那珂	1,2	200
常陸那珂ジェネレーション	常陸那珂共同	1	65
電源開発	磯子	1,2	120
北陸電力	富山新港	1,2	50
北陸電力	七尾大田	1,2	120
北陸電力	敦賀	1,2	120
JERA	碧南	1,2,3,4,5	410
関西電力	舞鶴	1,2	180
電源開発	高砂	1,2	50
中国電力	三隅	1	100
中国電力	水島	2	15.6
中国電力	大崎	1-1	25.9
電源開発	竹原	1,3	130
中国電力	下関	1	17.5
中国電力	新小野田	1,2	100
四国電力	橘湾	1	70
電源開発	橘湾	1,2	210
四国電力	西条	1,2	40.6
九州電力	苅田	1	36
九州電力	松浦	1,2	170
電源開発	松島	1,2	100
電源開発	松浦	1,2	200
九州電力	苓北	1,2	140
沖縄電力	具志川	1,2	31.2
沖縄電力	金武	1,2	44
電源開発	石川	1,2	31.2

2021年10月現在
日本フライアッシュ協会調べ

生産

性質

特長

用途

02 生産工程

石炭火力発電所では、微粉碎した石炭をボイラ内で燃焼させ、そのエネルギーを電気に変えています。この燃焼により熔融状態になった灰の粒子は、高温の燃焼ガス中を浮遊し、ボイラ出口で温度が低下することにより、球形微細粒子となって電気集じん器に捕集されます。これを**フライアッシュ**と呼んでいます。

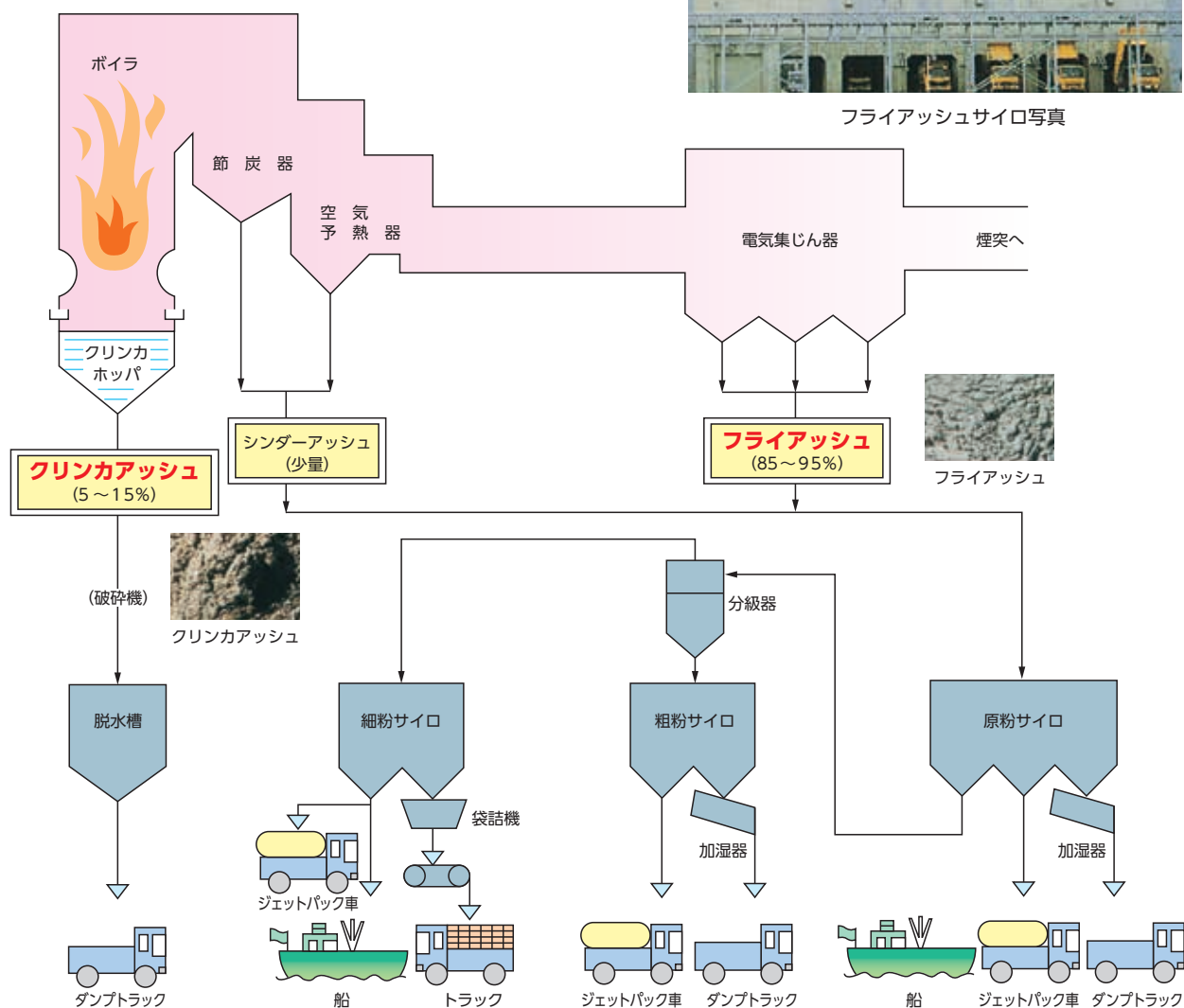
このフライアッシュは、用途に応じて更に調合または分級器で粒度調整等を行います。

一方、**クリンカアッシュ**は、ボイラ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き、これを脱水設備等で脱水したものです。

なお、クリンカホッパの形式は、このような湿式タイプがほとんどですが、水槽を用いない乾式タイプのものもあります。



フライアッシュサイロ写真



石炭灰ができる工程

03 製品の運搬

フライアッシュ・クリンカアッシュの運搬

a) フライアッシュ運搬船



b) ジェットパック車



c) 紙袋運搬車



d) フレコンパック運搬車



e) バラ積み運搬車



生
産

性
質

特
長

用
途

01 フライアッシュ

(1) 化学的特性

フライアッシュの主成分はシリカ (SiO_2) とアルミナ (Al_2O_3) であり、この2つの無機質で全体の70～80%を占めています。その他の成分は酸化第二鉄 (Fe_2O_3)、酸化カルシウム (CaO)、酸化マグネシウム (MgO) などです。

フライアッシュの化学組成例

化学成分	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO
比率	40.1～74.4	15.7～35.2	1.4～17.5	0.3～10.1	0.2～7.4

出典：日本フライアッシュ協会「石炭灰ハンドブック」

フライアッシュの主成分がシリカとアルミナなので、セメントに混合すると、セメントの水和の際に生成される水酸化カルシウムと反応（ポズラン反応と呼ばれている）して、耐久性と水密性を向上させる働きをします。

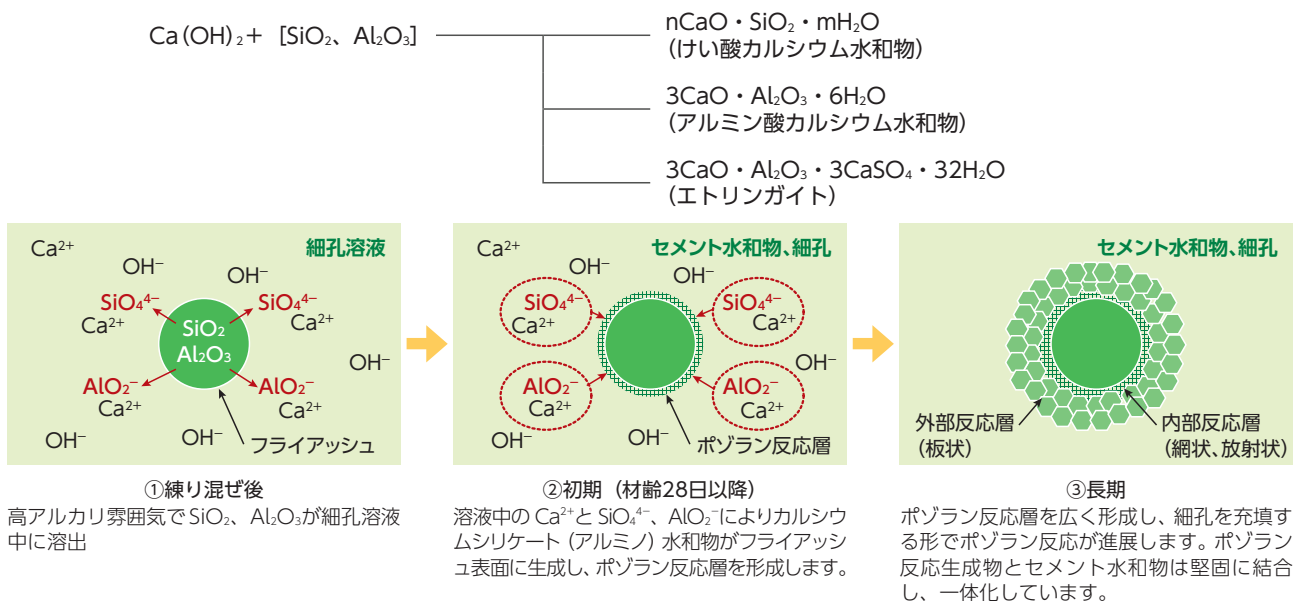
ア セメントの水和反応

クリンカー化合物	水	水和生成物
$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (エーライト) $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (ビーライト)	H_2O	$n\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ (けい酸カルシウム水和物) $+ (n \div 1.2 \sim 2.0)$ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (水酸化カルシウム)
$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (アルミネート相)	$3[\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ (せっこう) $+ 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ (エトリンガイド) $+ \text{H}_2\text{O}$	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ (エトリンガイド) $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (モノサルフェート水和物) $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (アルミン酸カルシウム水和物)
$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (フェライト相)	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ と同様の反応をし、水和生成物は Fe_2O_3 を一部固溶して、 Al_2O_3 を $(\text{Al}_2\text{O}_3)_x (\text{Fe}_2\text{O}_3)_{(1-x)}$ で置きかえたかたちで表現できます。	

出典：(一社)セメント協会「セメントの常識」

イ ポズラン反応

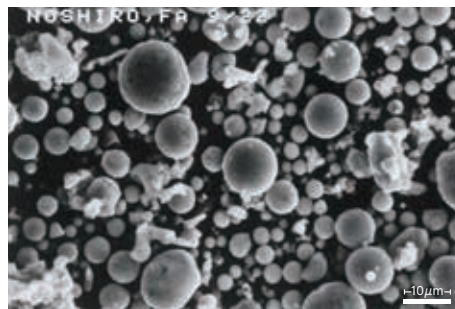
フライアッシュを、コンクリートの混和材として使用した場合、ガラス状のシリカ (SiO_2) やアルミナ (Al_2O_3) がセメントの水和によって生成される水酸化カルシウム [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] と徐々に反応して、カルシウムシリケート水和物等を生成します。この反応はポズラン反応と呼ばれ、生成された水和物はセメントの水和生成物と類似した化合物となり、コンクリートの耐久性や水密性を高めます。こうした一連の反応は次のように表わせます。



ポズラン反応のメカニズム

(2) 物理的特性

フライアッシュは微細粒子であり、これを電子顕微鏡で見ると球形をしています。この球形粒子によるボールベアリング効果により、フライアッシュを用いると、コンクリートやモルタルの施工時の流動性が増大します。この性質が活用され充填工事など土木・建築分野で多く利用されています。

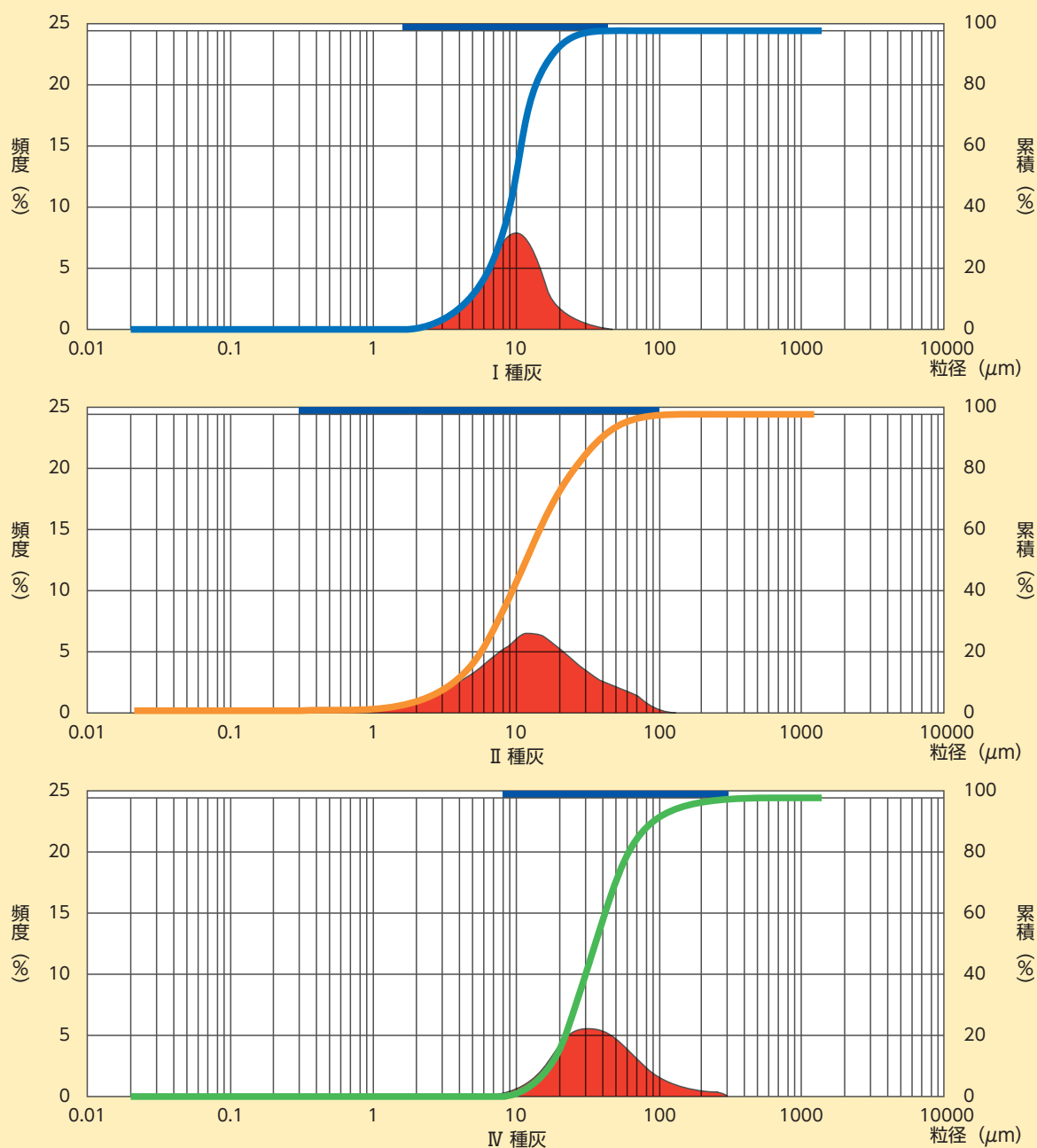


フライアッシュ電子顕微鏡写真 (×1500倍)

ア 粒度

フライアッシュは微細粒子で、その粒度分布は0.02mm以下で50%、0.02～0.1mmが38%となっており、0.1mm以下の粒径が88%を占めています。

コンクリート用フライアッシュの粒度試験結果の例を、図に示します。



出典：日本フライアッシュ協会資料

フライアッシュ粒度分布例

(3) 品質

ア JIS A 6201 : 2015

フライアッシュは、JIS A 6201 : 2015規格では、下表に示す通り4種類の品質が規定されています。

コンクリート用フライアッシュ品質規定 (JIS A 6201 : 2015)

項目		フライアッシュ I 種	フライアッシュ II 種	フライアッシュ III 種	フライアッシュ IV 種
二酸化けい素含有量 ^{a)}	%	45.0以上			
湿分	%	1.0以下			
強熱減量 ^{b)}	%	3.0以下	5.0以下	8.0以下	5.0以下
密度	g/cm ³	1.95以上			
粉末度 ^{c)}	網ふるい方法 (45 μ m ふるい残分)	10以下	40以下	40以下	70以下
	ブレン方法 (比表面積)	5000以上	2500以上	2500以上	1500以上
フロー値比	%	105以上	95以上	85以上	75以上
活性度指数	材齢28日	90以上	80以上	80以上	60以上
	材齢91日	100以上	90以上	90以上	70以上

注 ^{a)} 二酸化けい素含有量は、溶解質量分析方法又は蛍光 X 線分析方法による。
^{b)} 強熱減量に代えて、未燃炭素含有率の測定を JIS M 8819又は JIS R 1603に規定する方法で行い、その結果に対し、強熱減量の規定値を適用してもよい。
^{c)} 粉末度は、網ふるい方法又はブレン方法による。ただし、網ふるい方法による場合は、ブレン方法による比表面積の試験結果を参考値として併記する。

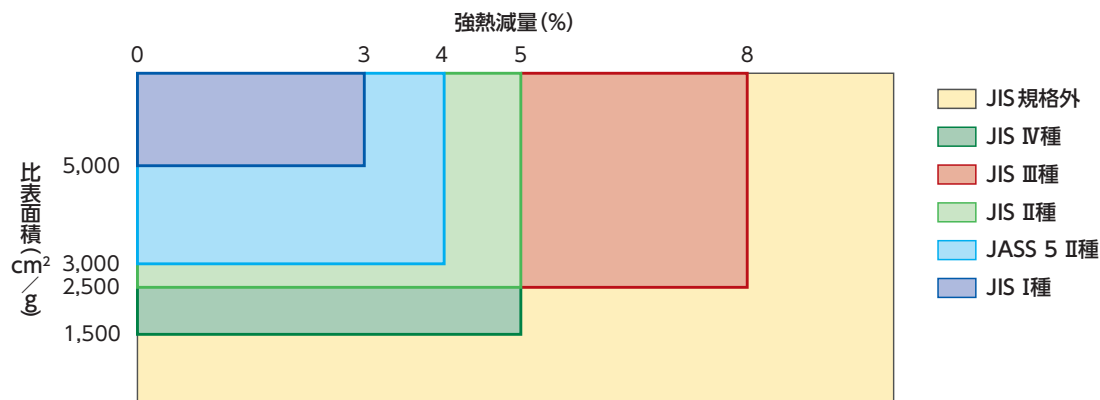
出典：JIS A 6201「コンクリート用フライアッシュ」

イ JASS 5 M-401 : 2015

建築用のコンクリートに結合材として用いるフライアッシュの品質については右表の通り規定されています。

フライアッシュ II 種の品質標準

項目		品質基準値
強熱減量	%	4.0以下
粉末度	比表面積 cm ² /g	3000以上
フロー値比	%	100以上



フライアッシュの種類と強熱減量および比表面積の範囲

フライアッシュの種類と使用目的例

使用目的	I 種	II 種	III 種	IV 種
流動性の向上	○	○	—	—
水和熱による温度上昇の抑制	—	○	○	○
アルカリシリカ反応の抑制	○	○	○	○
耐硫酸塩性の向上	○	○	○	—
耐海水性 (塩害含む) の向上	○	○	○	—
高流動性	○	○	—	—
高強度化	○	—	—	—

○使用可

02 クリンカアッシュ

(1) 化学的特性

クリンカアッシュの主成分はフライアッシュとほぼ同じで、大半はシリカとアルミナです。

クリンカアッシュの化学組成例

(%)

化学成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
比率	51.6～64.0	17.3～26.9	4.2～10.9	2.3～8.8	1.0～2.6

出典：日本フライアッシュ協会「石炭灰ハンドブック」

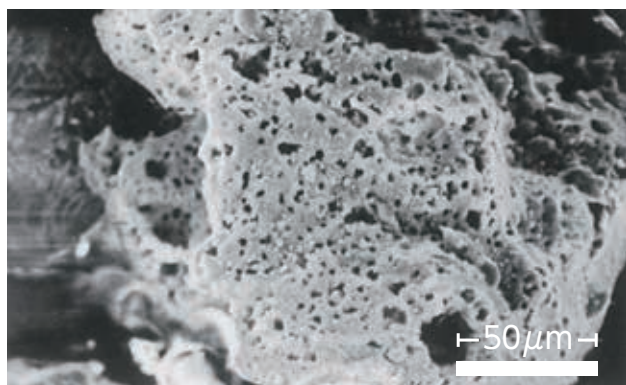
(2) 物理的特性

クリンカアッシュの粒子は、ほとんどが細礫と粗砂であり、砂に近い粒度分布になっています。

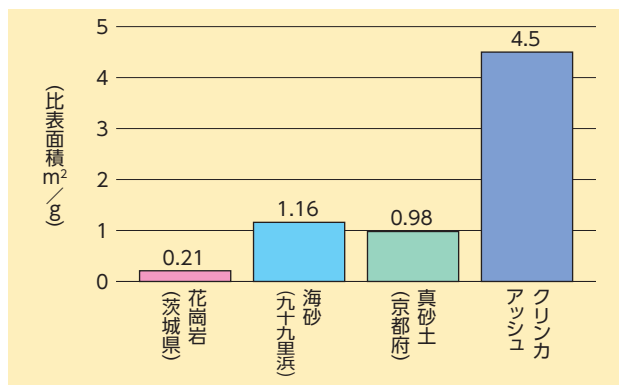
ア 比表面積

クリンカアッシュの表面を電子顕微鏡で見ると径0.2～20μm位の細孔が多数あいています。全細孔容積は、クリンカアッシュ1gあたり0.148cm³にもなります。

つまり、1gのクリンカアッシュには、約4.5m²もの表面積があることになります。



クリンカアッシュ電子顕微鏡写真（×360倍）

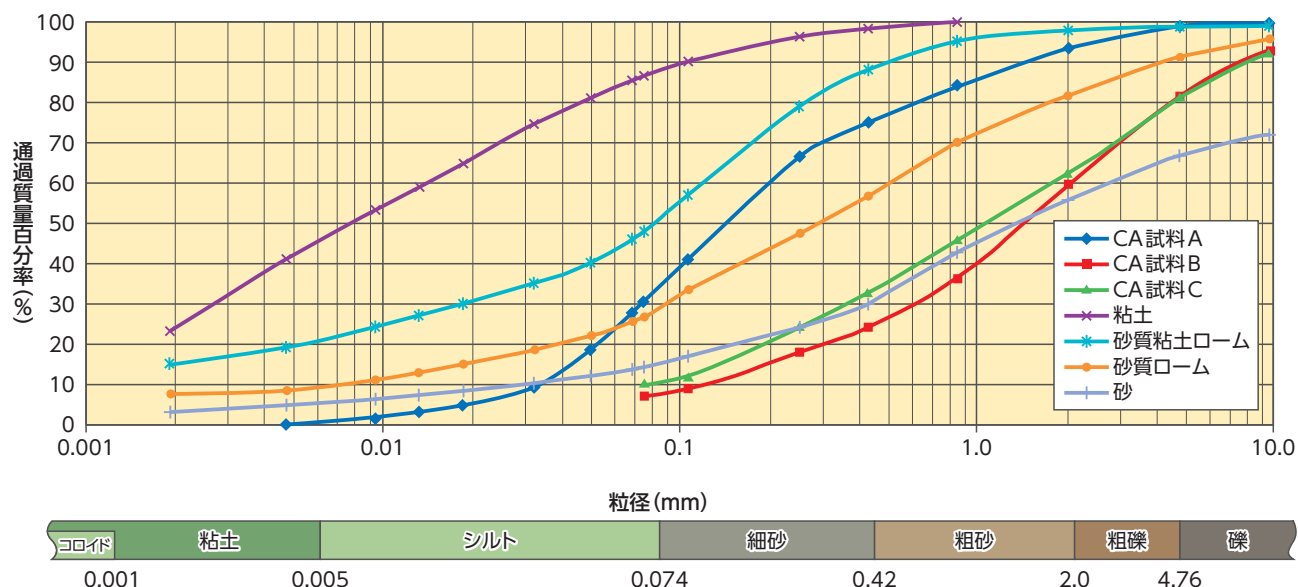


出典：日本フライアッシュ協会資料

各種土壌の比表面積

イ 粒度分布

クリンカアッシュは砂と類似の粒度分布となっています。



出典：日本フライアッシュ協会資料

クリンカアッシュの粒度分布測定例

ウ 透水係数

クリンカアッシュは透水係数が大きく、排水性の良いことが分かります。

						透水係数 (cm/sec)	
		10 ⁻⁹	10 ⁻⁷	10 ⁻⁵	10 ⁻³	10 ⁻¹	10 ¹ 10 ²
透 水 性		不透水	非常に低い	低い	中位	高い	
土 の 種 類		均質な粘土	微細砂、シルト、粘土混合砂			清浄な砂、砂礫	清浄な礫
クリンカアッシュ		3×10⁻³~3×10⁻²					
真 砂 土							
シ ラ ス							

出典：日本フライアッシュ協会資料

クリンカアッシュと一般土壌との透水性比較

エ 浸水膨張率

クリンカアッシュの粒度は粗粒砂（粗粒率=3.5~4.0）程度で、含水量は普通の砂に比べて高く、比重は2.1~2.3と普通の砂より小さいです。浸水膨張率（浸水状態で水分の吸収により粒径の膨脹する比率）は、0.012~0.036%で、鉄鋼スラグ協会規格値3.0%より極めて小さくなります。

オ 水分保有特性

クリンカアッシュは一般土壌と比べて易効水（土壌中の水分のうち植物に効率良く利用できる水分）の水分保有率が高く、耕地の土壌として適しているといえます。

クリンカアッシュと一般土壌の易効水含水量試験例

	クリンカ（密詰め）	クリンカ（粗詰め）	真砂土	粗砂
易効水含水量（%）	9.4	5.8	4.0	2.0~3.0

出典：日本フライアッシュ協会「石炭灰ハンドブック」

カ 締固め特性

クリンカアッシュは、砂とは対照的に最適含水比が高く、最大乾燥密度が低くて空隙率の高い締固め特性を持っている。このため、踏圧に対する抵抗性が強くなり固い土壌になりにくくなります。

クリンカアッシュの締固め試験例

	搬入時の含水比（%）	最適含水比（%）	最大乾燥密度（g/cm ³ ）
クリンカ A	37.0	52.0	0.897
クリンカ B	13.9	27.8	1.072
クリンカ C	27.9	32.5	0.964

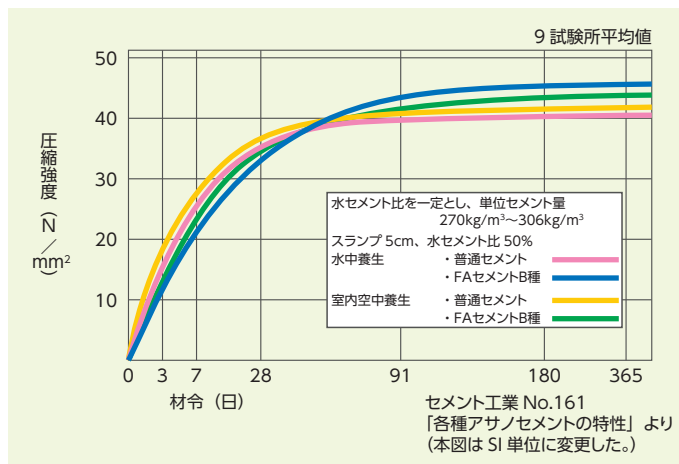
出典：日本フライアッシュ協会資料

フライアッシュを使用したコンクリートの特長について、標準的なフライアッシュⅡ種を例に示すと次のとおりです。

01 長期強度の増進

ポゾラン反応が長期間継続するため、セメントだけの場合よりも長期強度が増進し、耐久性に富んだ構造物ができます。

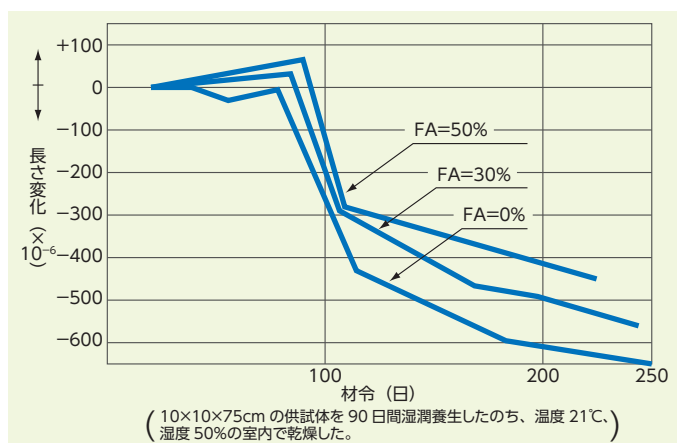
フライアッシュを混合したコンクリートの圧縮強度との関係



02 乾燥収縮の減少

フライアッシュの代替率が増加する程セメント量の減少に加え単位水量が減少するため、硬化後の収縮率が小さくなり、ひび割れ現象が起こりにくく堅牢な構造物となります。

フライアッシュを利用したコンクリートの乾燥収縮試験例



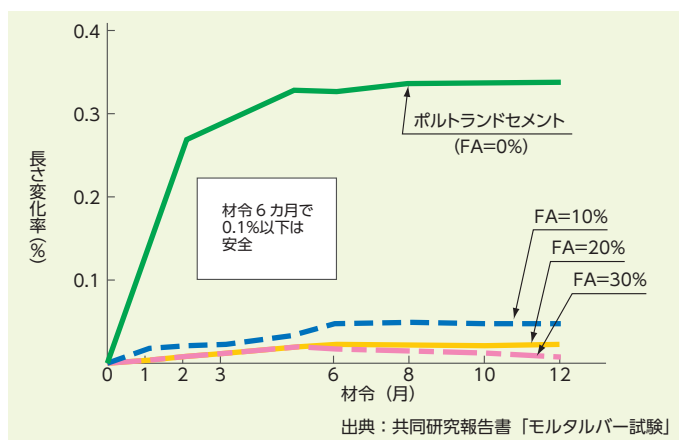
03 アルカリシリカ反応※¹の抑制

フライアッシュを混和することによるアルカリシリカ反応の抑制効果には、以下に代表される複数の説があります。

- ①セメントの一部をフライアッシュで置換することによって、その添加量に相当するセメントの水和により生成する $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の量を減少させ、さらにフライアッシュのポゾラン反応により $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を消費し、ASRに必要とされる $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量を減少させることができるとの説。
- ②フライアッシュ中のシリカ分がセメント中の Na^+ 、 K^+ を吸着し、それらのイオンが骨材と反応することを抑制できるとの説。

※¹ アルカリシリカ反応

骨材のある種の反応性シリカ鉱物が、セメント中のアルカリ成分と反応して骨材表面にけい酸ソーダを生成し、周囲から水分を吸収して膨張し、骨材周辺のセメントペーストに浸透圧による水圧を与えて、ひび割れが発生する現象です。

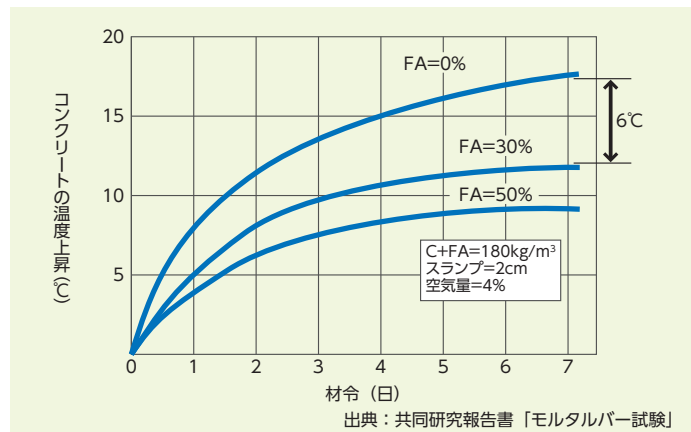


フライアッシュ使用により、長さ変化率が0.1%以下となり、アルカリシリカ反応がほぼ完全に抑制された例

04 水和熱の減少

セメントにフライアッシュを混合すると、コンクリートの水和熱が減少し、コンクリートの温度上昇とひび割れを抑制します。温度上昇は代替率が増加するほど減少します。

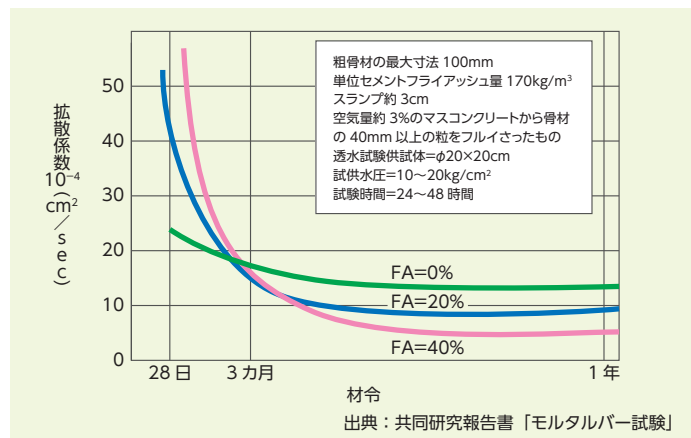
マスコンクリートの場合は、フライアッシュを用いないものに比べ、7日材令で6℃程度温度上昇が少なくなります。



フライアッシュ代替率とマスコンクリートの温度上昇関係試験例

05 水密性の向上

セメント中の遊離石灰とフライアッシュのシリカやアルミナとが結合して、不溶性の固い物質を作り、コンクリートの組織が緻密になります（ポズラン反応）。さらに日時の経過とともに著しく効果を発揮するので、地中工事を始めとする、接水構造物等に有効です。



コンクリートの水密性の試験例

06 化学抵抗性の向上

ポズラン反応の際に生成されるけい酸カルシウム水和物が組織を緻密にするとともに、セメントの水和反応によって遊離した不安定な水酸化カルシウムがフライアッシュの成分と結合するので、硫酸塩、海水、薬液等に対して顕著な化学抵抗性向上効果を発揮します。

07 ワーカビリティ^{※2}の向上および単位水量の減少

フライアッシュは微細な球形をしているため、これを混和すると流動性が著しく改善されるので、コンクリートの打設が効率的に行われ、充填性がよくなり、仕上り面が滑らかで美しくなります。プレキャストコンクリート工法には不可欠とされる理由もここにあります。また同一スランプを得るための所要水量は、フライアッシュの代替率に比例して減少します。

最近ではコンクリート構造物の高性能化に伴い、この性質を利用して高流動コンクリートなどにも用いられています。

※2 ワーカビリティ

まだ固まらないモルタルやコンクリートの、おもに作業性の程度をいいます。「ワーカブルなコンクリート」とは、作業性のためにほどよい軟らかさをもち、しかも材料分離にくいコンクリートのことをいいます。

Memo



01 石炭灰の活用

石炭灰の成分、特性を活かし、セメント原料、コンクリート混和材、建材、骨材、道路材、地盤改良材などの土木・建築材料として、また、肥料等の身近なものを含め、広く各分野で利用されています。

「建築材料」

学校

病院

「グラウンド整備」

「土地造成工事」

「肥料・人工床土・培養土」

「防潮堤」

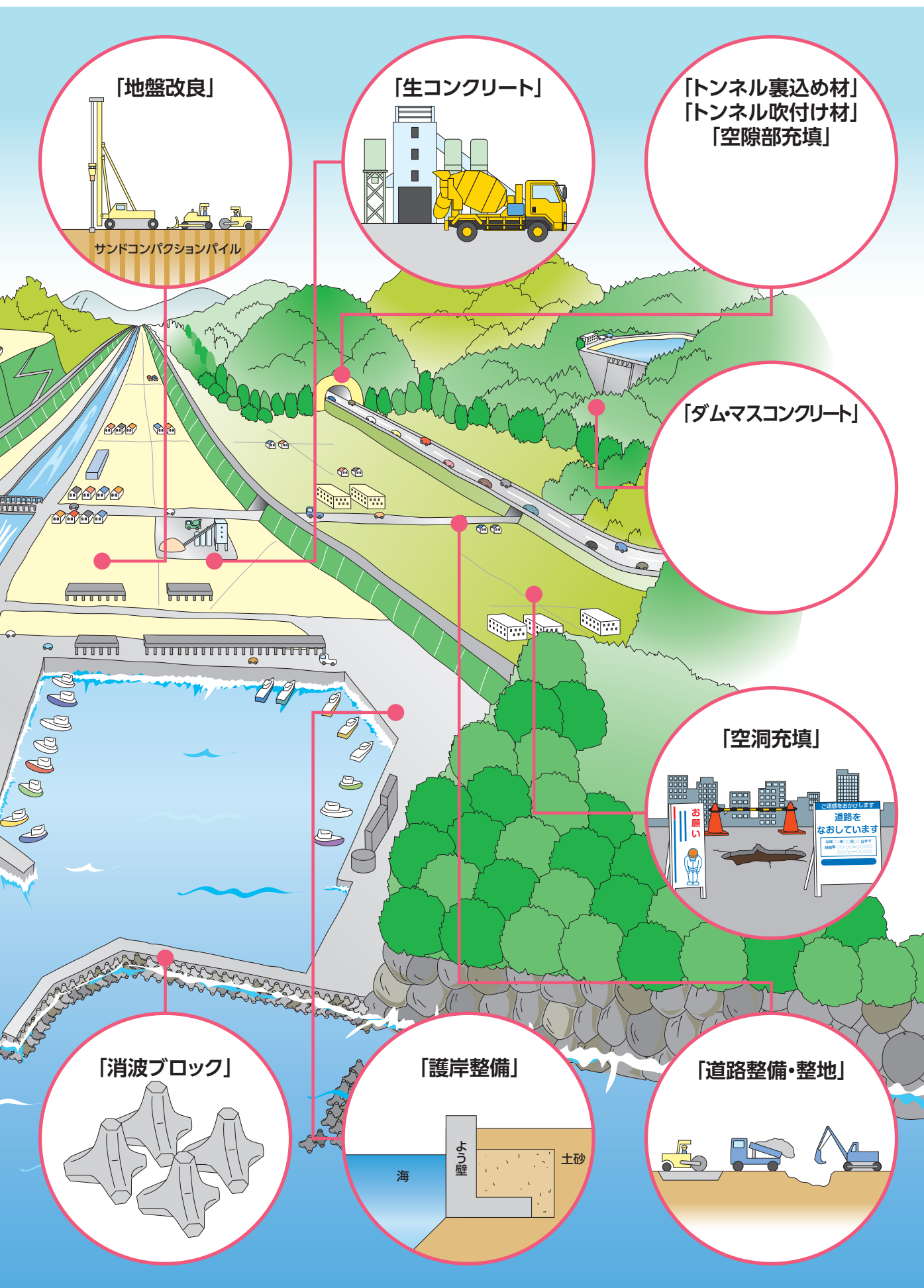
「橋脚」

生産

性質

特長

用途



02 石炭灰用途一覧表

分野	材料	フライアッシュ	
		種類	用途
1. セメント	混合セメント	フライアッシュセメント JIS R5213	セメント工場
		中庸熱フライアッシュセメント 三成分系セメント	
	ポルトランドセメントに対する 少量混合 (JIS R5210)	普通・早強・超早強ポルトランドセメント	
	セメント製造原料	粘土代替	
2. コンクリート	生コンクリート	混和材 (フライアッシュ JIS A6201)	生コン工場・ 二次製品会社
		混和材 (微細粉フライアッシュ)	
		細骨材補充	
		混和材+細骨材 (プレミックス製品)	
	マスコンクリート	ダム	生コン工場・ 施工会社
	吹付けコンクリート	トンネル吹付け、法面吹付け	
	舗装コンクリート	転圧コンクリート工法	
		早期交通開放型コンクリート舗装	
	橋梁 (床版) コンクリート	プレストレストコンクリート (PC)	
3. 建材・資材	土木用コンクリート製品	プレキャストコンクリート、シールドセグメント、 L型ブロック、被覆石、根固・消波ブロック、舗装ブロック	二次製品会社
	建築用製品	粘土瓦、レンガ、タイル、壁材・床材、外装材、 目地中注入材	
4. 農水産	肥料用原料	けい酸加里肥料、特殊肥料	メーカー
	土壌改良材		
	融雪促進材		施工会社
	海洋構造物	人工漁礁、人工藻礁、人工湧昇用海底構造物	
5. 地盤安定材	地盤改良材	浅層改良工法	施工会社
		深層混合処理工法	
		石炭灰混合材料	
		事前混合処理工法	
	軽量盛土	石炭灰気泡混合軽量土	
	裏込材、盛土・築堤材	石炭灰混合材料	
	充填材・グラウト材	空洞・シールド裏込め注入、管路充填 火山灰混合スラリー材、自硬性安定液、流動化埋戻し材、 低強度モルタル・コンクリート材	
6. 道路	アスファルトフィラー材		合材工場
	路盤材、路床材	セメント安定処理材	施工会社
		石炭灰混合材料	
7. その他	環境修復材	石炭灰混合材料	施工会社・ メーカー
	プレミックスモルタル材		
	補修材	断面修復工法	
	脱硫剤	乾式用脱硫剤、LILC 排煙処理システム	
	ジオポリマー		
	ゴム・プラスチック充填材		
	水処理材		
	製鉄酸化防止材、鋳物砂		
	陶芸用		

地域により適用とならない場合がありますので、会員会社へお問合せ下さい。

分野	材料	クリンカアッシュ		
		種類	用途	使用箇所
1. セメント	セメント製造原料	粘土代替		セメント工場
2. コンクリート	生コンクリート	細骨材		生コン工場・ 施工会社
3. 建材・資材	土木用コンクリート製品	インターロッキングブロック、保水・透水性舗装ブロック		二次製品会社
4. 農水産	肥料	特殊肥料		メーカー
	人工床土（人工培土）			
	培養土			施工会社
	疎水材	暗渠排水管理戻材		
5. 地盤安定材	埋戻材、埋立材	上下水道管工事、保護砂用		施工会社
		住宅向け土地造成工事用		
		構築物周辺の埋戻材		
	盛土材、軽量盛土	補強土壁工事材料		
	排水材			
	中詰材	コンパクションパイル材、サンドドレーン材		
	充填材			
6. 道路	下層路盤材			施工会社
	凍上抑制材			
	遮断層材			
	透水性補材	防草用		
7. その他	グラウンド中層材、排水材	芝生目土		施工会社
	除草材、雑草抑制材			
	軽量地盤	屋上緑化用		
	緑化基盤材			
	植生基材吹付け材	法面吹付け材		
	汚水処理用通気性土壌	トイレ用汚水処理材		
	泥濘化防止材、消毒資材	家畜パドック		酪農家

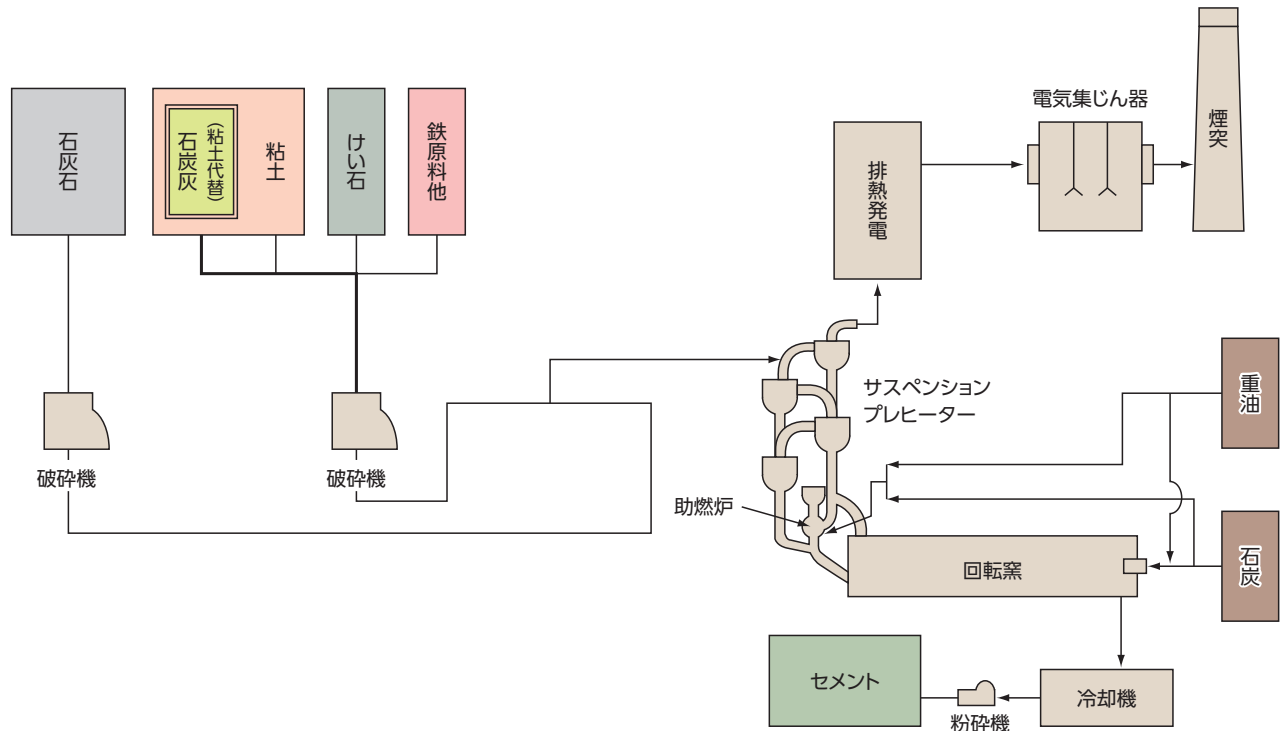
同左

03 セメント

(1) セメント原料

ポルトランドセメントの製造に必要な原料は、石灰石、粘土、けい石、鉄原料他および石こうです。

石灰はけい素やアルミニウムを含むため、1975年頃からセメントの原料として粘土の代替に用いられるようになりました。2018年度実績で年間約615万トンが使用されています。



出典：(財) 経済調査会「セメントコンクリートの知識」を一部利用

セメント製造工程図

生産

性質

特長

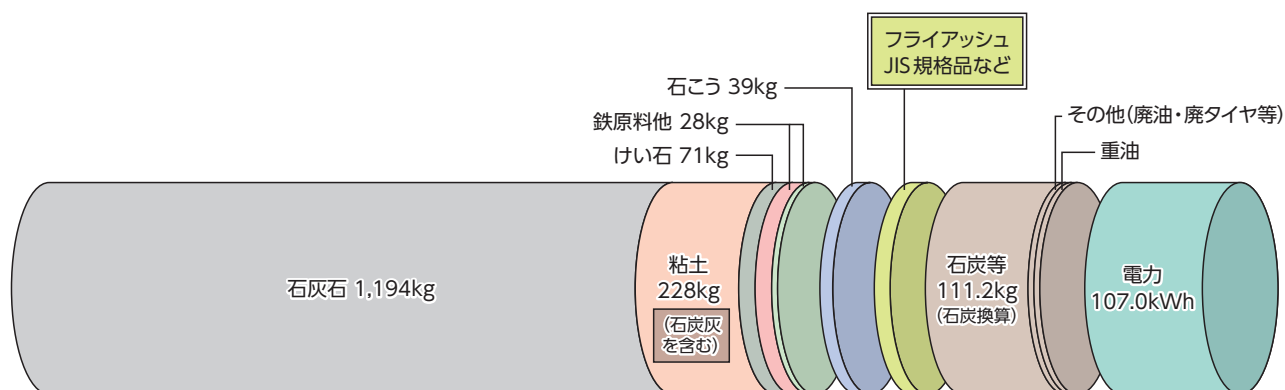
用途

(2) ポルトランドセメント JIS R5210

ポルトランドセメントはJIS R5210に規定されており、けい素、アルミニウム、鉄、カルシウムのいずれかの材料を含む原料を適切な割合で混ぜ、その一部が溶融するまで焼成して得られたクリンカーに石こうを混ぜて粉砕して製造します。

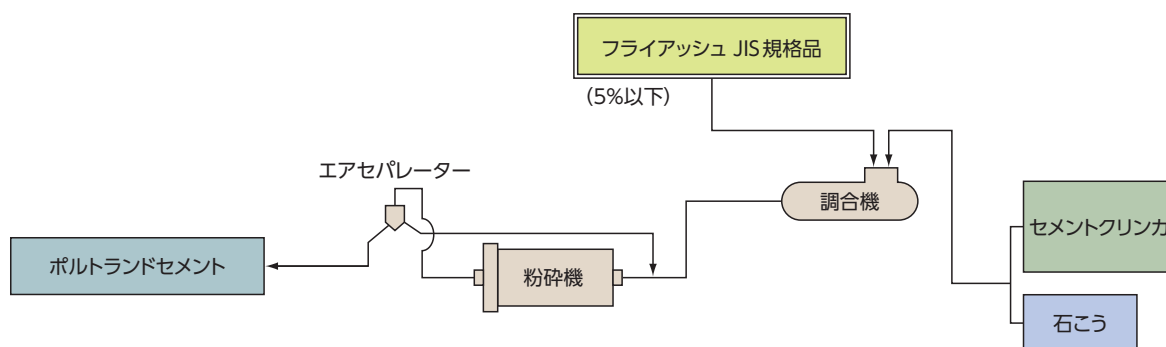
セメントの製造方法は、大別すると乾式法と湿式法に分けられますが、現在わが国では省エネルギー型の乾式法によって全量生産されています。

ポルトランドセメントは、ポルトランドセメントJIS R5210（普通・早強・超早強）の製造方法の中で、JIS A6201に規定するフライアッシュ（Ⅰ種またはⅡ種）を単独、またはJISに規定されている他の混合材と適宜組み合わせたものを加えて均一に混合してもよいと規定されており、その総量はセメントの5%以下になっています。



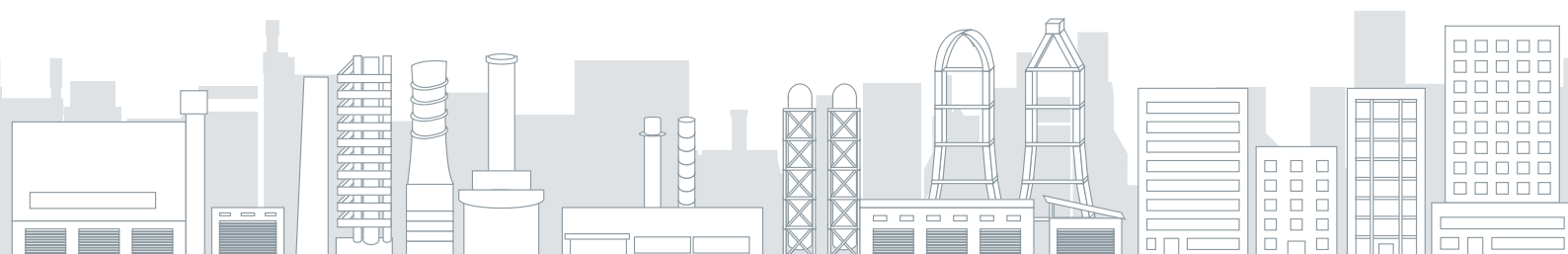
出典：（一社）セメント協会「セメントハンドブック」2014年度版参考

ポルトランドセメントを1tつくるのに必要な原料・燃料・電力



出典：（財）経済調査会「セメントコンクリートの知識」を一部利用

ポルトランドセメント製造工程



生産

性質

特長

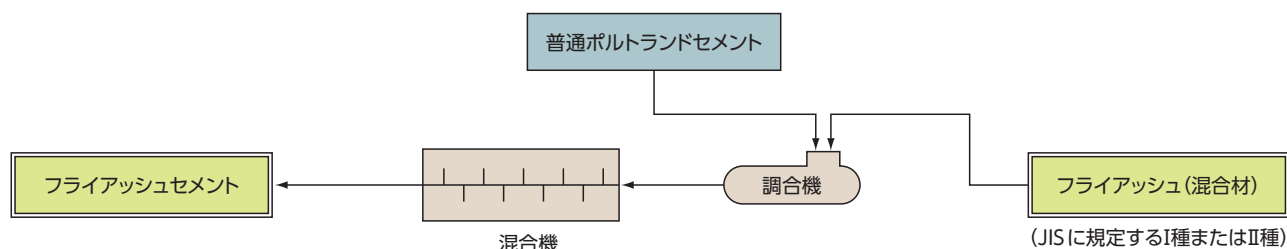
用途

(3) 混合セメント

ア フライアッシュセメント JIS R5213

フライアッシュを混合すると、モルタルまたはコンクリートの各種の性質が改善されます。

その使用法は、現地でセメントにフライアッシュを混合する方法（現地混合）とフライアッシュセメントとして使用する方法（工場混合）が代表的なものです。



出典：（財）経済調査会「セメントコンクリートの知識」を一部利用

フライアッシュセメント製造工程（工場混合）

このモルタルまたはコンクリートに用いるフライアッシュについては、JIS A6201で、その化学成分および物理的性質が規定されています。

フライアッシュセメントにはJIS R5213により A、B、C、の3種が規定されており最大30%までのフライアッシュが混合されています。

セメントの JIS 品質規格

セメントの種類		少量混合成分 (質量%)	化学成分 (%)			比表面積 (cm ² /g)	凝結		安定性		圧縮強さ [N/mm ²]		
			強熱減量	三酸化硫黄	酸化マグネシウム		始発 (min)	終結 (h)	パット法	ルシヤテリエ法 (mm)	3日	7日	28日
普通ポルトランドセメント (JIS R5210)	普通	5以下	5.0以下	3.5以下	5.0以下	2,500以上	60以上	10以下	良	10以下	12.5以上	22.5以上	42.5以上
フライアッシュセメント (JIS R5213)	A 種	5を超え10以下	5.0以下	3.0以下	5.0以下	2,500以上	60以上	10以下	良	10以下	12.5以上	22.5以上	42.5以上
	B 種	10を超え20以下	—	3.0以下	5.0以下	2,500以上	60以上	10以下	良	10以下	10.0以上	17.5以上	37.5以上
	C 種	20を超え30以下	—	3.0以下	5.0以下	2,500以上	60以上	10以下	良	10以下	7.5以上	15.0以上	32.5以上

イ 3成分系セメント（混合材）

水和発熱によるコンクリートのひび割れを抑制するセメントとして、低発熱セメントが注目を浴びています。

現在、低発熱セメントとしては、フライアッシュセメント、高炉セメントおよび、3成分系セメント（普通ポルトランドセメント＋高炉スラグ微粉末＋フライアッシュ）の混合セメント系と、その他の低発熱セメントがあります。特に、3成分系セメントは、フライアッシュを混合していることから、セメントの水和発熱及びアルカリシリカ反応を抑制する効果が大きく、また、塩害対策にも効果があり、ダム、建物、橋梁基礎等大型構造物用マスコンクリートに使用されています。

ウ 中庸熱フライアッシュセメント

フライアッシュを中庸熱ポルトランドセメントと混合することで、通常のフライアッシュセメントに比べて、水和反応に伴う発熱が低くなるように設計されたセメントです。

水和熱が低いため、セメント硬化時の内外温度差によるひび割れを防止することができます。また、コンクリートの流動性も向上させます。初期強度は低いのですが、長期材齢になるとフライアッシュのボゾラン反応も相まって十分な強度を発現します。コンクリートの水密性にも優れ、高い耐久性を有します。そのため、ダム等の大型土木工事やマスコンクリート工事などで使用されています。

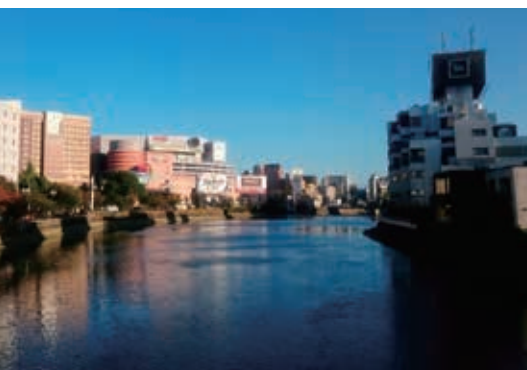
《石炭灰についてのお問合せならびにご用命は、 長年の実績をもつ会員各社にご連絡ください》

日本フライアッシュ協会会員会社

北電興業株式会社	〒060-0031 札幌市中央区北1条東3丁目1 北電興業ビル	電話 011-261-1484 FAX 011-232-7726 http://www.hokudenkogyo.co.jp/
東北発電工業株式会社	〒980-0804 仙台市青葉区大町2-15-29 大町電力ビル	電話 022-261-4344 FAX 022-264-4138 http://www.tohatu.co.jp/
常磐火力産業株式会社	〒974-8222 福島県いわき市岩間町塚原76	電話 0246-63-7130 FAX 0246-77-0303 http://www.jksangyo.co.jp/
東京パワーテクノロジー株式会社	〒135-0061 東京都江東区豊洲五丁目5番13号 豊洲アーバンポイント4階	電話 03-6372-7316 FAX 03-6372-4152 https://www.tokyo-pt.co.jp/
J-POWERジェネレーションサービス株式会社	〒104-0045 東京都中央区築地5丁目6番4号 (浜離宮三井ビルディング7階)	電話 03-3545-5281 FAX 03-3545-5295 https://www.jpigs.co.jp/
株式会社テクノ中部	〒455-8512 名古屋市港区大江町3-12	電話 052-614-7189 FAX 052-614-7170 https://www.techno-chubu.co.jp/
日本海環境サービス株式会社	〒930-0848 富山市久方町2番54号	電話 076-444-6800 FAX 076-444-6801 https://www.nes-env.co.jp/
株式会社関電パワーテック	〒541-0051 大阪市中央区備後町3丁目6番2号 KF センタービル5F	電話 06-4705-8635 FAX 06-4705-8638 http://www.kanden-pt.co.jp/
中国高圧コンクリート工業株式会社	〒730-0041 広島市中区小町4番33号 中電ビル2号館	電話 082-243-6928 FAX 082-244-9058 http://e-grid-gr.energia.co.jp/kouatsu/
四電ビジネス株式会社	〒760-8538 高松市亀井町7番地9	電話 087-807-1228 FAX 087-807-1225 https://www.yon-b.co.jp/
九電産業株式会社	〒810-0004 福岡市中央区渡辺通2丁目1番82号 電気ビル北館3階	電話 092-761-4463 FAX 092-713-9082 https://www.kyudensangyo.co.jp/



日本フライアッシュ協会



<http://www.japan-flyash.com/>



昭和63年12月 初 版
平成 6年 3月 第2版
平成11年 4月 第3版
平成16年 4月 第4版
平成21年 4月 第5版
平成28年 9月 第6版
令和 3年11月 第7版



〒108-0023
東京都港区芝浦3-6-10
田町サンハイツ801
電話：03-3454-4542
FAX：03-3454-0989



非売品

