

■ 技術賞内容紹介 ■

石炭灰による人工軽量骨材の製造技術(廃棄物の再資源化技術)

Manufacturing of Lightweight Aggregates Utilizing Coal Fly Ash (Recycling Technology of Fly Ash as Waste Material)

石井 國 義* • 是石 俊 文**
 Kuniyoshi Ishii Toshifumi Koreishi
 佐藤 茂 樹*** • 照喜名 二 郎****
 Sigeki Satou Jiro Terukina

1. 緒 言

近年、エネルギー政策が見直され石油エネルギーから石炭エネルギーへの転換が各産業で実施されてきた。電力業界においても電源の多様化を目指し、原子力発電とともに大型石炭専焼火力発電所の建設計画の推進及び重油（混焼を含む）火力の石炭専焼火力化が図られている。

しかし、これら発電所においては発電用に使用される石炭の15～20%が石炭灰として発生し、その処理としてセメント混和材や肥料として一部利用される他、大部分が陸上または海面の灰捨場に埋立処分されている。¹⁾

一方、適正灰捨場の減少や環境保全等から灰捨場の確保が難しくなっており、更には少資源国として資源の有効利用を図る上からも、石炭灰の有効利用を積極的に推進する必要性が高まってきている。

九州電力(株)と(株)神戸製鋼所は、これらの社会的背景に基づき、石炭灰の大量有効利用を図るため、石炭灰中の未燃焼炭素分を有効に利用する自然型焼成システムとでもいうべき石炭灰の人工軽量骨材製造技術について共同研究を実施し、この技術を確立した。

そして、昭和58(1983)年には九州電力(株)大村発電所構内に処理能力12T/Hの「石炭灰利用人工軽量骨材製造プラント」を建設し、昭和60(1985)年6月構造用人工軽量骨材として建設省の認定を取得「エフェ

表1 大村発電所での石炭使用量と石炭灰発生量
(平成3年度実績)

	量 万t/年	処 分 内 訳		
		用 途	量 万t/年	
石 炭	52.0	—	—	
石炭灰	17.2	有効利用	エフェイライト	5.6 (33%)
			セメント原料	0.7 (4%)
			そ の 他	2.4 (14%)
		埋 立	8.5 (49%)	

イライト」の商品名で販売を開始した。

本稿においては、「エフェイライト」の製造技術・品質管理法・製品性状及び製品使用実績等について紹介する。

2. 原料石炭灰

大村発電所における石炭使用量と石炭発生量及びその処分内訳については、表1のとおりであり、発生する石炭灰の分布及び比率は図-1に示す通りである。²⁾

「エフェイライト」は、石炭灰のうち最も発生量の多いフライアッシュを原料とするものである。

このフライアッシュの性状を表2に示す。

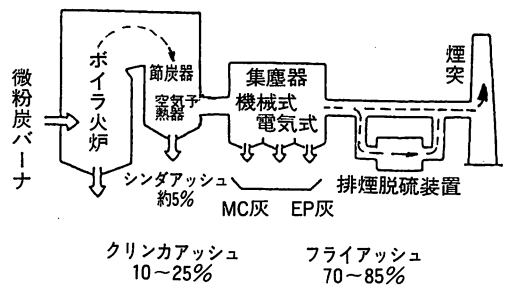


図-1 微粉炭ボイラー石炭灰分布

*九州電力(株)取締役火力部長
〒810 福岡市中央区渡辺通2-1-82

** (株)後藤組 取締役営業部長
〒810 福岡市中央区鳥飼1-4-51

*** (株)神戸製鋼所 エネルギー・化学本部プロジェクト部次長
**** (株)神戸製鋼所 エネルギー・化学本部プロジェクト部課長

〒657 神戸市灘区岩屋中町4-2-8島文第3ビル

表2 原料フライアッシュの性質

項目	湿分 (%)	比重	プレーン (cm ² /g)	未燃焼炭素 (%)	化学成分 (%)					
					SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₂
試験値	1.0 以下	1.9~2.2	1,600~2,100	2~4	50~75	10~36	1~15	1~17	1~4	10以下

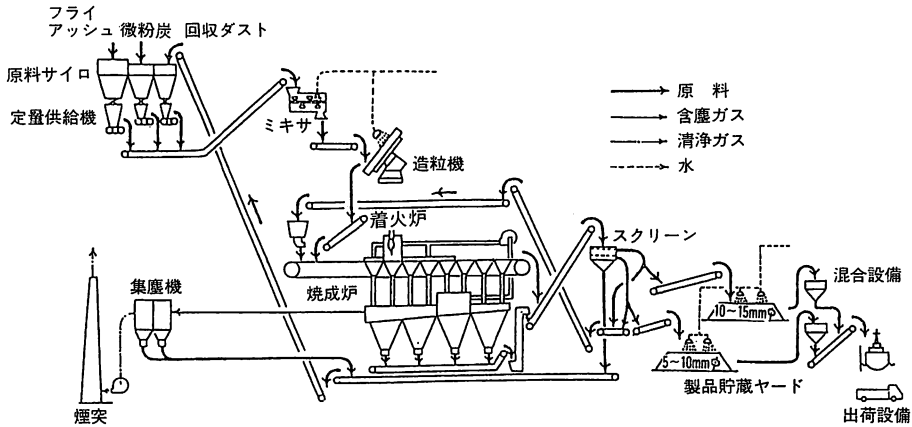


図-2 自然型焼成システムフローシート

3. プロセス

「エフェイライト」製造プラントのフローシートを図-2に示す。空気輸送装置、サイロ、定量供給機、搬送機、混合・混練機（ミキサ）、造粒機、焼成炉、スクリーン、集塵機、ファン等が主要な機器である。

原料となる石炭灰（フライアッシュ）は、発電ボイラ用灰処理設備より空気輸送にてサイロに送られる。燃料源となる微粉炭も発電ボイラ用ミル（微粉炭機）出口から分流して、やはり空気輸送により微粉炭サイロへと送られる。サイロは鋼製サイロとし、微粉炭サイロ・フライアッシュサイロ・回収ダストサイロから成り、約2日分の消費量を貯蔵することができる。

回収ダストサイロには骨材製造プラント各部で発生するダストを電気集塵器やバグフィルタ等で捕集・回収して、チェンコンベヤにより回収ダストサイロへと送り、原料の一部として再利用している。

サイロ排出口の閉塞防止対策として、微粉炭サイロには振動型排出機、フライアッシュサイロにはエアレーション設備が取り付けられている。微粉炭・フライアッシュ及び回収ダストは、サイロ排出口に設置されているロータリーフィーダにより切出される。

サイロより設定された切出量が排出され、コンベヤによりミキサへと搬送され、ここで適量の水が添加されて混合・混練され、調湿されたフライアッシュが造

粒機（パン型）へと運ばれる。造粒機で直径5～15mmを目標に造粒し焼成炉へと送られる。

焼成炉はドワイトロイド式で、パレットと称する鉄製格子の底函をエンドレスベルト状に継いで、レール上をスプロケットホイールにより運転移動させる。付属設備として、着火炉・ウインドボックス及び集塵装置などがある。パレットは常に移動しつつ一端で生パレットが供給され、続いてそれらが乾燥帯で乾燥・予熱されたあと、着火帯で表層面に点火され、移動中に下向きに通風焼成される。その際、まず着火炉によって生パレット表面に着火され焼成反応が始まる。着火後は焼成反応が始まる。着火後は焼成原料層を通じて下部ウインドボックスにより強制吸引される空気と原料中の未燃焼炭素分との燃焼熱によって、生パレットは物理的・化学的变化を受け焼成固化されていく。³⁾（この時に原料フライアッシュ中の未燃焼炭素分が少なく焼成固化が十分でない場合には微粉炭を若干量添加することにより補っている。）

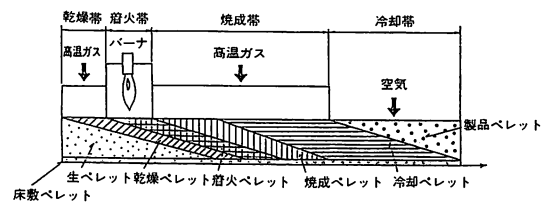


図-3 焼成炉上における焼成状態

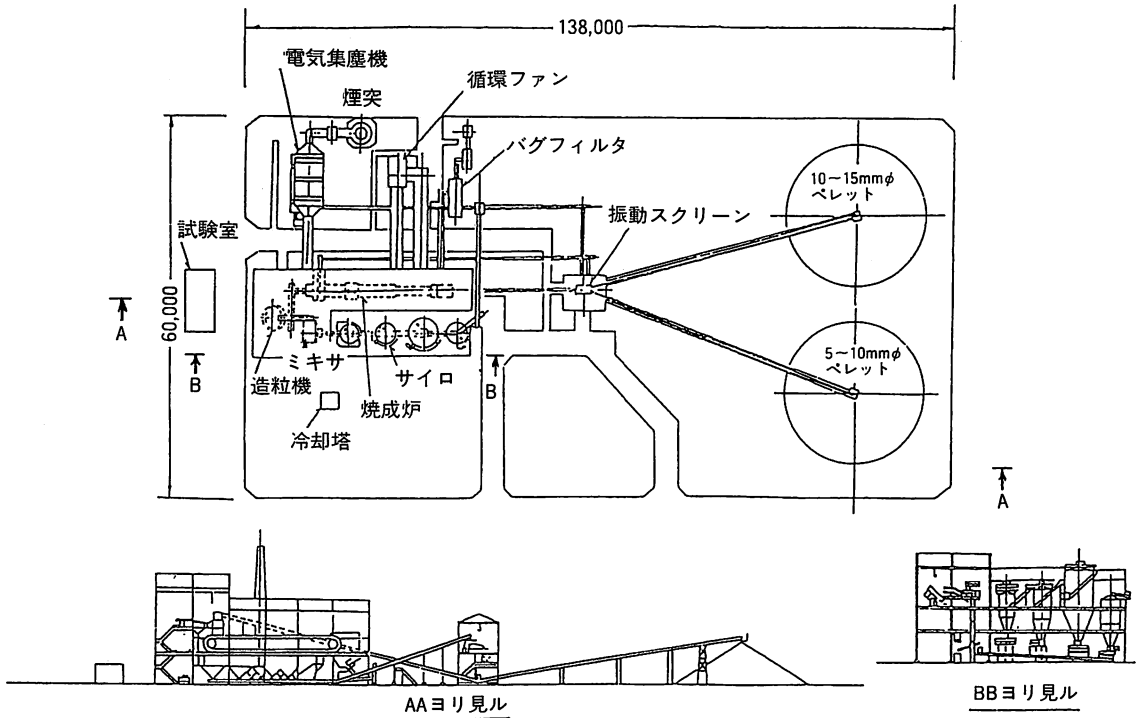


図-4 石炭灰利用人工軽量骨材製造プラント配置図

この状況を図-3に模式的に示す。乾燥帯と焼成帯に供給する高温ガスは、焼成帯と冷却帯の境界付近で発生する高温排ガスを循環使用することにより省エネルギー化を図っている。

このようにして排出部までに全層厚にわたって焼成反応が完了し排出されたあと、篩分け工程を経て5～15mmのものは製品ヤードへ送られ、15mm以上のものは系外へ排出され、5mm以下のものは回収ダストとして回収ダストサイロへ戻される。また、製品サイズの焼成ペレットの一部は焼成炉のペレットを保護する床敷材としても使用される。

なお、製品となった直径5～15mmの骨材は、5～10mm、10～15mmに分級後貯蔵され、適宜出荷される。出荷に際しては、スプリンクラーにより粒度ごとに十分に吸水させたあと出荷している。出荷は、主にバラ積船により行っているがトラック輸送による場合もある。

4. 設 備

4.1 配 置

プラント配置図を図-4に示す。

図-4に示すごとく、微粉炭用ほかの各サイロ・ミキサ・造粒機・焼成炉を一つの建屋内に設置して、単純

かつコンパクトな配置としている。スクリーンは単独に別棟の建屋内に設置することにより、十分な騒音対策を図っている。

また、電気集塵器等の集塵設備や循環ガス用ファン及び各種集塵器用ファンは、同一地域に集中することにより、点検及びメンテナンスを容易にしている。

4.2 主要機器仕様

(1) 原料及び燃料送装置

型 式：高圧圧送型空気輸送装置

能 力：12t/h (フライアッシュ)

1.5t/h (微粉炭)

空気圧：7kg/cm²G

(2) 微粉炭サイロ

全容量：60m³

付属品：ロータリフィーダ・振動型排出機・バグフィルタ・N₂供給装置・爆発放散孔・仕切ゲート・レベル計

(3) フライアッシュサイロ(A)

全容量：490m³

付属品：ロータリフィーダ・バグフィルタ・エアレーション装置・仕切ゲート・レベル計

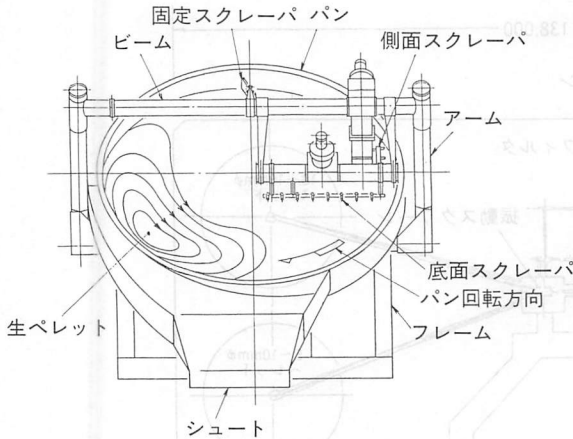
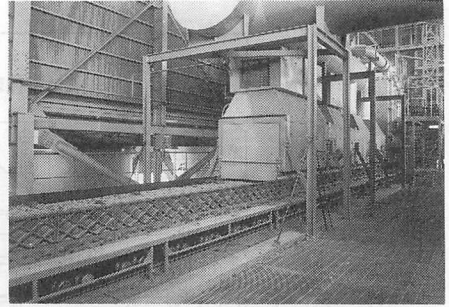


図-5 パン型造粒機



写1 焼成炉

(4) フライアッシュサイロ(B)

全容量：150 m^3

付属品：フライアッシュサイロ(A)と同じ

(5) 回収ダストサイロ

全容量：125 m^3

付属品：フライアッシュサイロと同じ

(6) ミキサ

型式：横型1軸ショベル攪拌式

容量：2,000 ℓ

(7) 造粒機……図-5

型式：パン型

寸法：パン直径5,000mm

付属品：パン内面用スクレーパ・パン回転数

可変装置・パン傾斜可変装置

(8) 焼成炉……写1

型式：ドワイトロイド式下方通風型

寸法：1.2m W ×26.4m L

付属品：着火炉・ウインドボックス

5. プロセス及びプラントの特徴

- (1) 石炭灰の大量処理が可能である。
- (2) 原料中の残存未燃焼炭素分を活用する自然焼成方式。
- (3) 循環ガスシステムを採用することにより省エネルギー化を実現。
- (4) 燃料源には安価な石炭を使用していることと、上記(2)項(3)項の理由により運転費（特に燃料消費量）が少ない。
- (5) 従来より製鉄所等で使用されているシンプルな機器で構成されているので運転保守が容易。

- (6) クローズドシステムを採用しダストも原料の一部として再利用しているのでダスト処理の必要がない。
- (7) 公害がない：ばいじん、NO x ・SO x 及び騒音量は規制値を満足し、上述のごとくダスト処理の必要もない。また、出荷用船積コンベヤもベルトチューブ式密閉型ベルトコンベヤの採用により、栈橋付近での粉塵の発生がない。
- (8) その他

① 運転・制御

プラントは集中管理方式を採用しており、少人数の運転員で運転監視ができる。なお、造粒機近傍及び焼成炉出口付近にはテレビカメラを配置し、造粒状況や焼成状況を監視している。

② 安全対策

本プラントの燃料には微粉炭を使用する関係上、微粉炭取扱機器に対し次のような安全対策を実施している。

- ・ アース：圧送機器及び圧送配管全長・サイロ等、空気輸送及び貯蔵設備全機器に実施している。
- ・ クリーニングブローの実施：空気輸送管内に原料が滞留しないようにしている。
- ・ サイロは3.2kg/cm 2 以上の耐圧設計としている。
- ・ 微粉炭サイロにはN $_2$ バージ設備と爆発放散用破裂板を付属している。
- ・ サイロ用集塵器のバグフィルタには導線入りバグを使用し、帯電防止を図っている。
- ・ 各種モータは、防爆タイプを採用している。

6. 品質管理

- 6.1 製品骨材は、試験室にて常時性状測定を実施している。

表3 エフェイライトの物理的性質及び管理基準

項目	エフェイライト		管理基準	試験方法
絶乾比重	1.35		1.34±0.04	JIS A 1134 JIS A 1135
24時間吸水率 (%)	16.3		18以下	JIS A 1135
単位容積質量 (kg/ℓ)	0.83		0.825±0.030 (ジギング法)	JIS A 1104
実積率 (%)	61.4		60以上	JIS A 5002
粒 度 (通過百分率)	20mm	100	100	JIS A 5002
	15	100	90~100	
	10	47	40~70	JIS A 1102
	5	0	0~15	JIS A 1103
強熱減量 (%)	0.8		1以下	JIS R 5202
三酸化硫黄 (%)	0.2		0.5以下	
塩化物 (NaClとして) (%)	0.001		0.01以下	JIS A 5002
有機不純物	無色		試験溶液の色が標準色より濃くないこと	JIS A 1105
安定性 (%)	4.3		—	JIS A 1122
粘土塊 (%)	0.44		1	JIS A 1137
浮遊率 (%)	0		10以下	JASS 5 土木示方書
BS 破砕値	40T (%)	32	—	BS 812
	10% (T)	11	—	
コンクリートとしての 圧縮強度 (kgf/cm ²)	468		1種軽量 400以上	JIS A 5002
	435		2種軽量 400以上	
コンクリートの単位 容積質量 (kg/ℓ)	1.99		1種軽量 1.8以上 2.0未満	JIS A 5002
	1.79		2種軽量 1.6以上 1.8未満	
建設省住指発第32号 C調合 (kg/ℓ)	351		280以上	建設省住指発 第32号

6.2 表3に示す如き管理値により実施している。

品質管理中特に重要視しているのは絶乾比重であり、このバラツキが小さくなるように生産している。

7. 「エフェイライト」の性質

人工軽量骨材の品質は、構造用軽量コンクリート骨材 (JIS A 5002) に規定されている。

「エフェイライト」の物理的性質は表3に示すとおりである。JIS A 5002では、材料・絶乾比重・実積率・コンクリートの単位容積質量において区分することが定められており、これに従うと「エフェイライト」の呼び方は人工軽量粗骨材MA-419 (川砂)、MA-417 (人工軽量細骨材) となる。また、「エフェイライト」使用コンクリートの性能は施工性、構造部材性状、耐久性及び居住性のいずれの面においても、従来の人工軽量骨材や天然粗骨材を使用したコンクリートと同等以上であることを確認している。

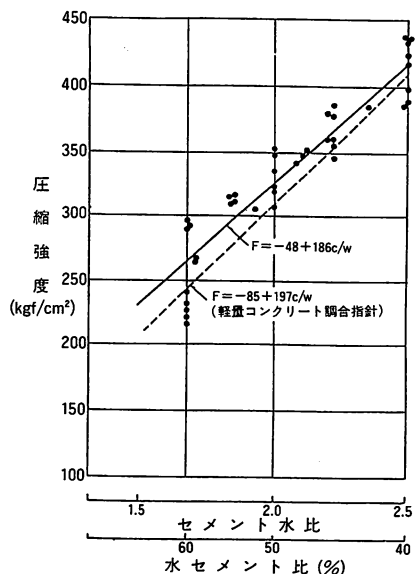


図-6 水セメント比と圧縮強度の関係 (材令28日)
(エフェイライト1種コンクリート)

「エフェイライト」を使用したコンクリートの性質の一例を次に示す。(4)(5)

(1) 水セメント比と圧縮強度との関係

普通ポルトランドセメント・AE剤を使用した場合、図-6および図-7に示す通り既往の指針などに

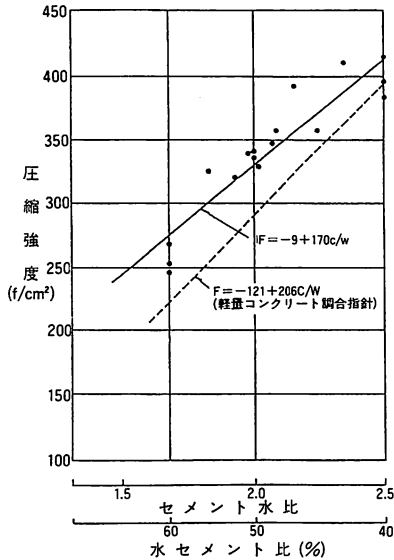


図-7 水セメント比と圧縮強度の関係 (材令28日) (エフェイライト2種コンクリート)

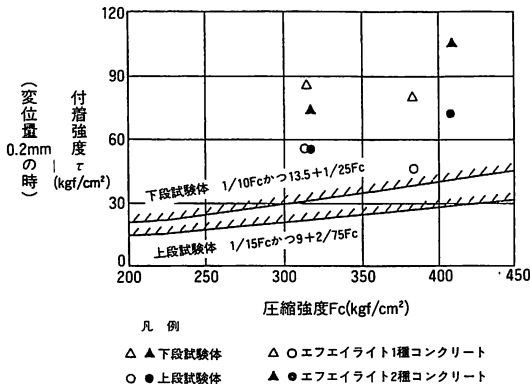


図-8 圧縮強度と付着強度の関係

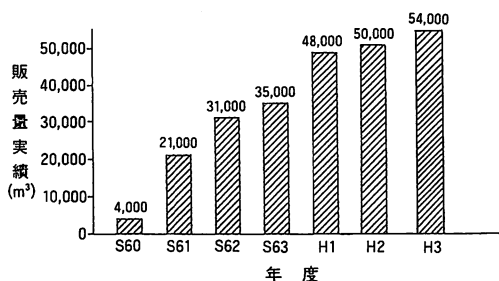


図-9 エフェイライト販売量実績

示されている関係式によるよりも5~10%程度高い圧縮強度が得られている。

(2) 付着強度

付着強度は、図-8に示す通り、いずれも十分な付着強度を持つといえる。

8. 使用実績

軽量骨材は建築物の軽量化ができるため、基礎工事費等建設費用の低減を図ることを目的として高層ビル建設に使用されているが、このほかにも軽量大型パネル・軽量ブロックなどコンクリート二次製品の骨材用としても最適である。

特にエフェイライトを使用したコンクリートの施工例としては、福岡市の「朝日プラザ天神」「福岡市庁舎」をはじめ、九州各地の高層ビル建設への使用実績も相当数を数えている。

また、これに対応して販売量も図-9に示すとおり、これまで順調な製造販売を行っている。

9. 結 言

前述のとおり、エフェイライトはコンクリート軽量骨材として最適であり、また水耕園芸用や土地排水改良用等にも使用することができ、利用の拡大が期待されている。

本製造技術は、従来より製造されている有限資源である膨張けつ岩を原料としてロータリーキルンで製造する方法に比べ、原料は産業廃棄物である石炭灰を有効利用していること、また石炭灰中の残存未燃焼炭素分を有効に利用しているため燃料使用量が少ないこと等の特徴を持っている。

従って、本製造技術は石炭火力発電所における灰捨量を減少し、灰捨場の延命を可能にするとともに、産業廃棄物の再資源化に大きく貢献できるものである。

参 考 文 献

- 1) 石井國義；石炭灰利用による人工軽量骨材製造，燃料協会誌第69巻11号（1990），1022~1027
- 2) 佐藤茂樹，若林 明，照喜名二郎；石炭灰による人工軽量骨材の製造，資源処理技術第38巻4号（1991），185~190
- 3) 石井國義ほか7名；石炭灰の人工軽量骨材化，火力原子力発電No.370 Vol.38（1987）35~52
- 4) 石井國義ほか4名；石炭灰の人工軽量骨材化，日本化学会誌，1992，(5)，431~441
- 5) 是石俊文，岡 範彦，杉田英明；石炭利用人工軽量粗骨材およびそれを用いたコンクリートの諸性質，電力土木No.204（1986）51~61