

石炭灰の有効利用技術開発の現状と課題

OVER-VIEW OF COAL ASH UTILIZATION TECHNOLOGIES IN JAPAN

篠崎 貞行
by Sadayuki SHINOZAKI

はじめに

エネルギー源としての化石燃料の中で石炭は、他の化石燃料に比べ資源埋蔵量は豊富で、可採年数も219年と予測されている。賦存地域も世界の広汎な地域に亘っており、価格も廉価で長期的に安定供給可能なエネルギーとして位置づけられ、その重要性は今日益々増加している。しかし一方では、固体であること、灰分を含むこと、ダーティイメージであること、炭素リッチなので燃焼等に伴ってCO₂発生量が他の化石燃料に比べ多いという弱点を持っていることは周知のとおりである。

例えば、石炭の貯蔵から前処理、燃焼によっては大気側はSO_x、NO_x、CO₂、大気浮遊物質、工場排水側では環境汚染物質の溶出等、更に最大の課題は燃焼により発生する「石炭灰」である。

日本の排出ガス処理技術、排水処理技術は世界のトップレベルにあるが、石炭灰の有効利用技術は世界に比べて決して先行しているとは言えない。この石炭灰の有効利用は電源立地上、環境上から急務を要する問題であるが、これを進めるには未だ解決すべき課題が多々ある。

そこで本稿は石炭利用普及に当って長年の、そして永遠の課題である石炭灰の有効利用技術について紹介し、今後のクリーンで高効率な石炭利用の拡大に役立てていきたい。

一方、石炭灰の有効利用率は表-1に示す様に1993年の例で約62%であり、この有効利用の中でもセメント原料用が59% (表-2参照) と、大きなウエイトを占めている。即ちその他の分野での有効利用が少ないことを意味する。

表-2 有効利用の状況('93)¹⁾ (単位千トン/年)

	分野別 利用		セメント分野 利用
有効利用 合計	3,955 (100%)	セメント原料	※2,353 (83.1%)
セメント分野	2,831 (71.6%)	セメント混合材	39 (13.9%)
土木分野	583 (14.7%)	コンクリート 混合材	8 (3.0%)
建築分野	254 (6.4%)	計	2,831 (100%)
農林・ 水産分野	99 (2.5%)		
その他	188		

※全有効利用量に占めるセメント原料用(粘土代替)の比率: 59%

しかし、将来のセメント生産量は大幅に伸びることは期待出来ず、又セメント原料粘土代替としての灰の混合率(現在の平均値: 約2.5%)を増やしたとしても2000年時点でセメント分野用の合計で350~400万トン程度の需要と予測され、大きな期待は出来ない。

現在、石炭火力発電所建設に当っては10年分の灰処分場確保、有効利用の推進も義務づけられている。2000年以降年間1000万トン以上の石炭灰が排出されることになれば、石炭灰の大量かつ有効利用技術の開発は電源立地上、地球環境対策上重要であり、且つ急務と言えよう。そこで大量有効利用先の一つとして土木・建設分野での土砂代替としての石炭灰の需要を種々の仮定のもとで予測すると表-3のように2000年で少なくとも850~1400万トンの潜在需要が考えられる。

合計	10,994	6,402	3,955(61.8%)
----	--------	-------	--------------

*財団法人石炭利用総合センター 技術開発部長
(〒169 東京都新宿区大久保2丁目3番4号)

表-3 2,000年時点の公共工事中用石炭灰の需要予測⁶⁾

全投資額 (億円)	土砂量推定 (万トン)	石炭灰 (万トン)	
		3%代替として	5%代替として
222,522	28,636	859	1,431

(建設省経済局の公共工事評価額に基づく推定値)

大量需要先として土木・建設分野において、2,000年時点の土砂の需要量は年間2億8千万トンと予測され、石炭灰で5%代替が可能とすれば約1400万トンの石炭灰需要が見込める。そこで石炭灰の大量利用にも役立ち、自然保護にも役立つ土砂代替に着目し、検討を進めることにした。参考として日本国内の地域別石炭灰発生状況を表-4に示す。

表-4 地域別石炭灰排出状況¹⁾

地域名	電気事業 (千トン)	一般産業 (千トン)	計 (千トン)	比率 (%)
北海道	817	250	1,067	16.7
東北	585	102	687	10.7
北陸	191	128	319	5.0
関東	202	53	255	4.0
中部	548	137	685	10.7
関西	252	150	402	6.3
中国	753	508	1,261	19.7
四国	194	250	444	6.9
九州	896	386	1,282	20.0
計	4,438	1,964	6,402	100

2. 石炭灰有効利用の推進に当たっての課題

石炭灰を有効利用するに当たっての推進と開発のキーポイントを次に示す。即ち有効利用を拡大するに当たっては、将来の需要量が多い土木・建設分野の種々の用途に対し、
 ・多くの利用技術を開発しその実証をすること
 ・公的機関の認定取得、マニュアル化を行うこと
 次いで

- ・排出される石炭灰のキャラクタリゼーションとその特性に応じた利用を図ること
- ・石炭灰の経済性ある且つ需要と供給をマッチングさせる流通・加工システムの確立
 (情報機能、集配・貯蔵機能、加工機能等)

が大切である。なお、石炭灰流通・加工システムはそれの立地、企業体としての仕組みがキーポイントとなる。

3 石炭灰のキャラクタリゼーション

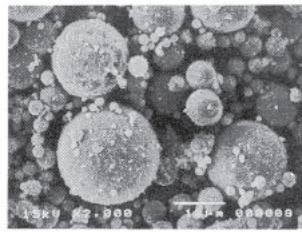
3.1 石炭灰の特徴

燃焼方式別の石炭灰の形態と特徴を表-5に示す。

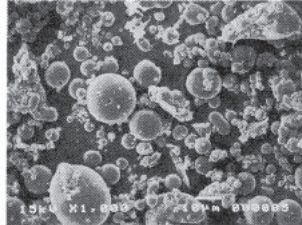
また、この石炭灰のSEM写真を図-1に示す。

表-5 燃焼方式と石炭灰の形状と特徴

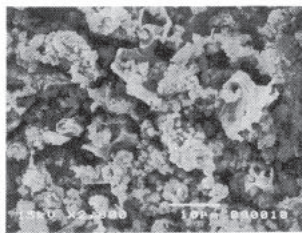
区分	灰の状態	灰の形体と発生比率	形状と特徴
微粉炭 燃焼灰 (高温 燃焼 1200~ 1500 ℃)	溶融再 固化灰 (高融 点灰は 一部半 溶融灰 あり)	フライアッシュ (85-95%)	<ul style="list-style-type: none"> ●国内炭及び低融点炭 ・ガラス質が主体 ・平均粒径20~30μm ・球形粒主体 ・自硬性やや大きい ●海外炭及び高融点炭 ・ガラス質が中程度量 ・未燃料、結晶質多 品質の劣化大 ・形状は非球状が多い ・自硬性は中程度 (Ca量により異なる)
		クリンカー アッシュ 15~5%	<ul style="list-style-type: none"> ●ガラス質が主体 ・平均粒径1~5mmの砂粒状 ・砕砂状と粒着粒 ・微小細孔を有し、 比表面積約4m²/g ・排水性、通気性、 保水性大(路盤・ 路床材施工時)
流動床 燃焼灰 (低温 燃焼 850℃ 程度)	非溶融 灰	フライアッシュ	<ul style="list-style-type: none"> ・生石灰、無水石膏と クォーツ、アルミナリキアが主体 ・平均粒径50μm前後 ・水の添加により固化 (自硬性大)
ストーカー 燃焼灰 850~ 1200℃ 程度)	非溶融 灰 半溶融 灰	クリンカー アッシュ	<ul style="list-style-type: none"> ・寸法不定・砂粒大



微粉炭燃焼灰
(国内炭)



微粉炭燃焼灰
(海外炭)



流動床燃焼灰
(海外炭)

図-1 フライアッシュの顕微鏡写真例³⁾

3・2 石炭灰の化学組成

石炭灰の主要化学組成の測定例を表-6に示す。
化学組成は表-6に示すとおり山土(SiO₂;60~75%、Al₂O₃;10~25%)に近い組成であり、自硬性を左右するCa分は本調査試料では海外炭灰<<国内炭灰<<流動床燃焼灰の順に多くなっている。

表-6 石炭灰(64 試料)の主要化学組成例²⁾ 単位:%

S=試料	微粉炭燃焼灰						流動床
	全体 (64 試料)	炭種別			全体 (12S)	全体 (13S)	
		オーストラリア炭(23S)	国内炭(9S)	混炭他(32S)			
未燃分	最小~ 最大 平均	0.3~ 11.7 3.2	0.9~ 6.9 2.8	0.3~ 6.3 1.9	1.1~ 11.7 5.7	1.0~ 21.3 5.1	5.9~ 32.3 18.4
SiO ₂	最小~ 最大 平均	49.1~ 76.3 62.7	54.8~ 76.3 66.4	49.1~ 62.4 57.5	50.1~ 70.9 61.9	53.6~ 69.5 61.1	21.6~ 53.3 34.5
Fe ₂ O ₃	最小~ 最大 平均	0.1以下 ~13.5 4.1	0.1以下 ~9.7 3.6	3.5~ 5.7 4.6	0.8~ 13.5 4.4	0.9~ 11.4 5.0	0.4~ 4.8 2.1
Al ₂ O ₃	最小~ 最大 平均	15.0~ 35.1 24.0	16.9~ 32.0 23.8	18.6~ 27.0 23.4	15.0~ 35.1 24.3	12.2~ 28.1 20.5	8.3~ 25.7 17.4
CaO	最小~ 最大 平均	0.1以下 ~11.7 2.8	0.1以下 ~4.5 1.4	2.2~ 11.7 6.3	0.5~ 7.5 3.8	0.1以下 ~5.7 2.6	6.3~ 41.3 18.7
pH	最小~ 最大 平均	3.6~ 12.8 10.9	3.6~ 12.8 10.9	11.2~ 12.6 12.0	3.6~ 12.8 11.2	7.3~ 12.0 9.5	11.5~ 12.6 12.4

3・3 石炭灰の物理的性状と土質特性の一例

石炭灰の土粒子密度、粒度分布等について表-7、表-8及び図-2に示す。

表-7 石炭灰の土粒子密度測定例²⁾ (単位:gf/cm³)

	微粉炭燃焼灰				
	フライアッシュ				刈刈アッシュ
	全体 (64 試料)	炭種別			全体 (12 試料)
		オーストラリア炭(23 試料)	国内炭	混炭他	
密度	1.92~ 2.42	2.03~ 2.38	1.92~ 2.26	2.07~ 2.42	2.13~ 2.50
平均	2.19	2.19	2.14	2.23	2.26

表-8 代表的な土粒子の密度²⁾

	密度(gf/cm ³)
粘土(沖積世)	2.65
砂(沖積世)	2.70
関東ローム	2.78
まさ土	2.60
シラス	2.38
泥炭	1.50
山砂	2.79
豊浦標準砂	2.64
フライアッシュ	2.19

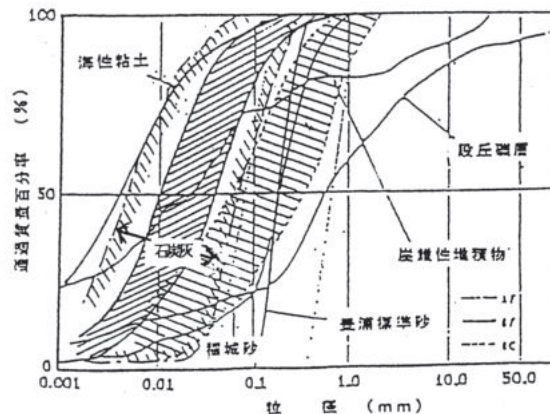
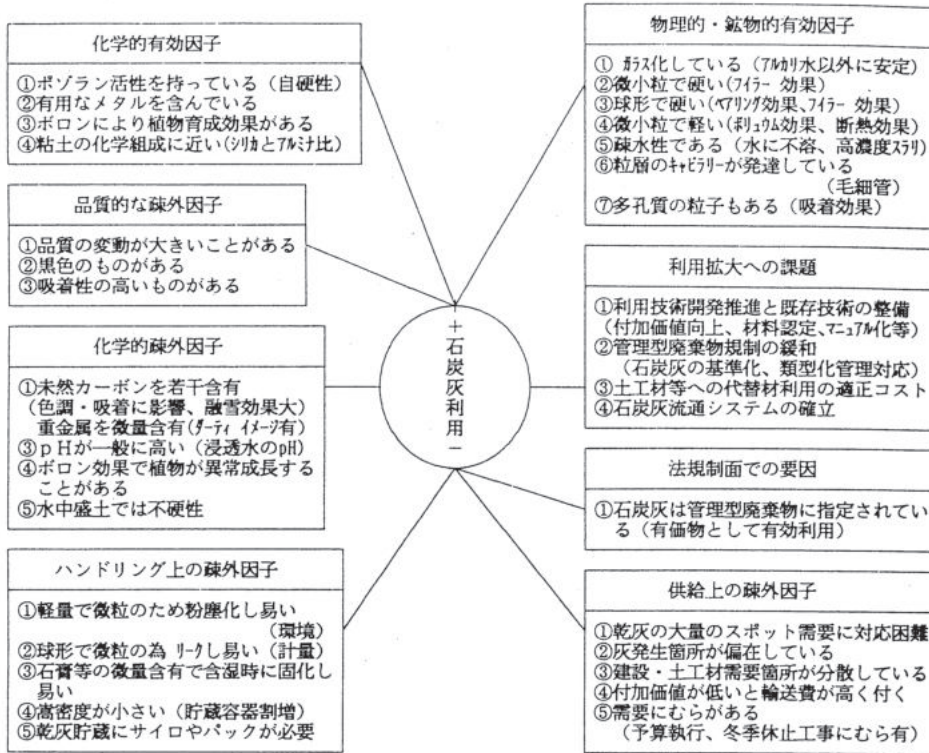


図-2 石炭灰と土の粒径加積曲線²⁾

3.4 石炭灰の長所・短所と利用拡大に当たっての課題

石炭灰の長所と短所および利用するに当たっての課題を表9に示す。

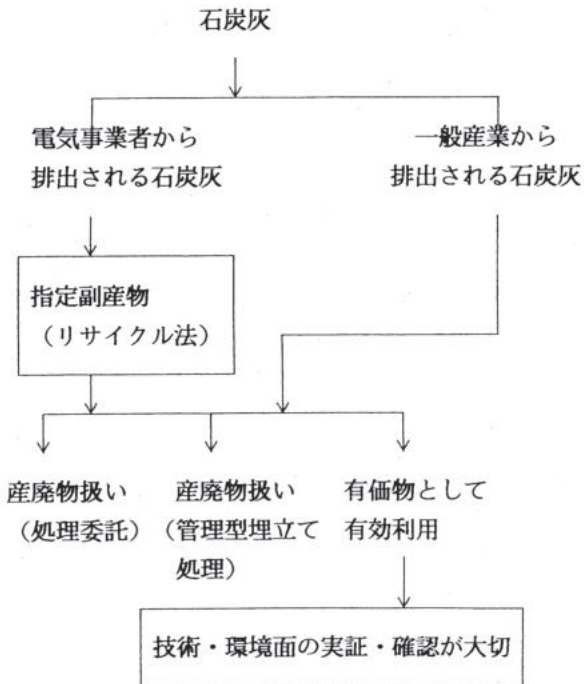
表9 石炭灰の長所・短所と利用拡大に当たっての課題



引用文献：「石炭灰の発生状況とその化学的・物理的・環境的諸性状ならびに処理・利用について」電発コール・テック 安田 稔

4. 石炭灰利用に対する環境に関する基準類

日本では石炭灰は大気汚染防止法第2条に「煤煙発生装置から発生するばいじん、燃え殻は有価物として利用されない時は産業廃棄物」として位置づけられている。



石炭灰の環境に係わる基準類として次に示す規定がある。

- 特別管理型産業廃棄物の埋立て処分に係わる
判定基準—総理府令5条, 環告13
—廃掃法
- 管理型埋立て場所余水吐きからの排水の排出基準
—総理府令39条、海防法(令)条
—水質汚濁防止法
- 特定事業所からの排水の排水基準
—総理府令第35条
—下水道法(令), 9条
—水質汚濁防止法
- 水質環境基準 — 公害対策基本法 第9条
- 土壌環境基準 — 環境基本法 第16条

石炭灰を有価物として有効利用する場合は廃掃法の適用は除かれるが、上記の環境に関する基準類は適用される。土木材料としての認定を受ける場合は上記環境に係る基準も一つのファクターとなるので十分な調査が必要である。

表-10に石炭灰の利用又は埋立てに係る各種の判定基準を示す。

表-10 石炭灰利用又は埋立に係る各種の判定基準⁴⁾

単位 ;mg/ℓ

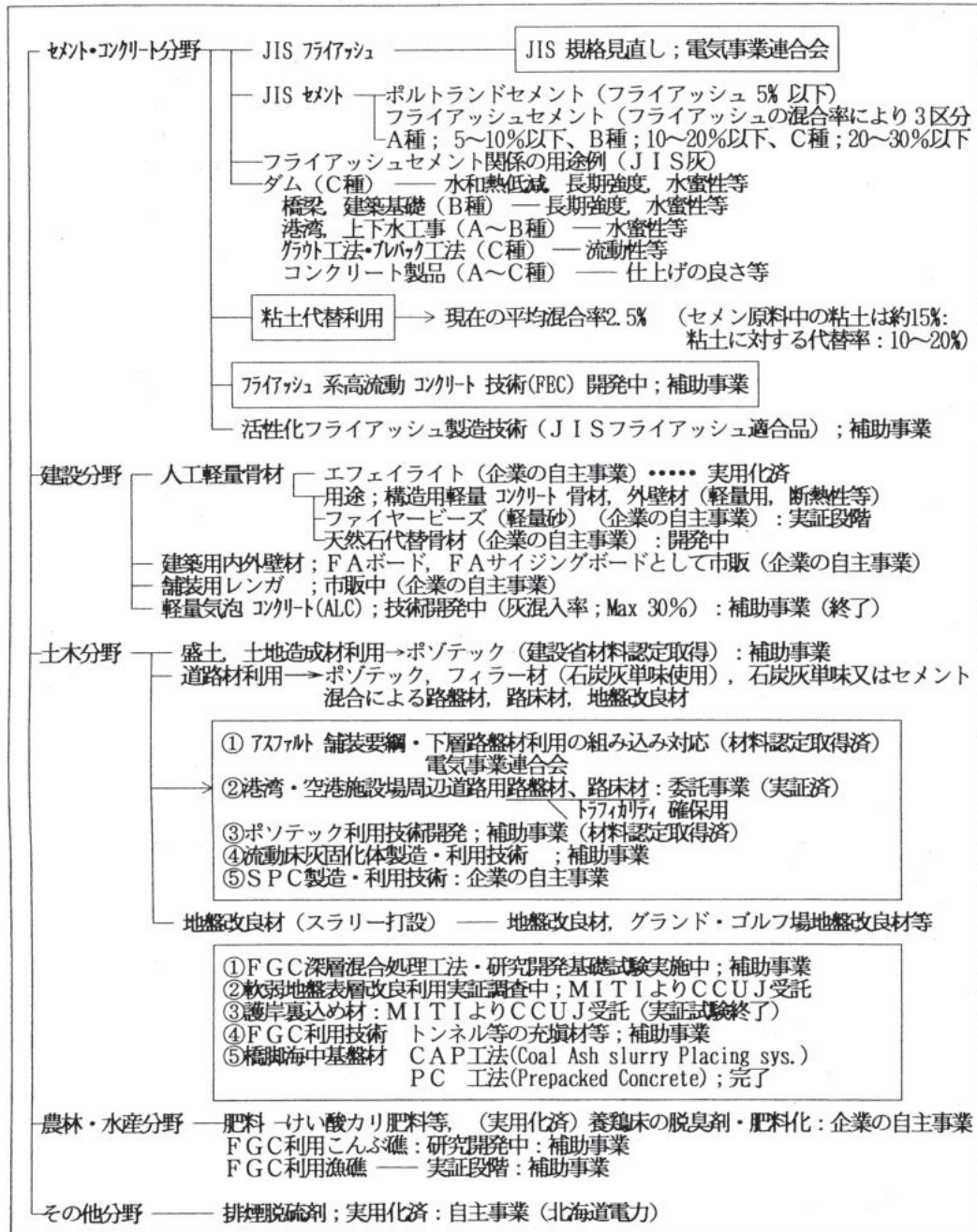
種 別	特別管理産業 廃棄物の埋立 て処分に係る 判定基準	排水基準 (特定事業所 からの排出 水)	管理型埋立場 所余水吐きか らの排水の排 出基準	水質 基準	水質 環境基準	土壌 環境基準
対象(適応)	燃え殻,ばい塵等(石炭灰)					
試験方法	溶出量	溶出量	含有量	含有量	含有量	検液中溶 出量
・7価水銀化合物	N. D	N. D	同 左	同左	N. D	同左
・総水銀	0.005	0.005			0.005	
・Cd及びその化合物	0.3	0.1			0.01	
・鉛及びその化合物	0.3	0.1			0.01	
有機磷化合物	1.0	1.0			N. D	
・六価クロム化合物	1.5	0.5			0.05	
・砒素及びその化合物	0.3	0.1			0.01	
シアン化合物	1.0	1.0			N. D	
P C B	0.003	0.003			N. D	
トクエン	0.3	同 左			0.03	
テトクエン	0.1				0.01	
四塩化炭素	0.02				0.002	
ジクロロメタン	0.2				0.02	
1・2-ジクエン	0.04				0.004	
1・1-1 トクエン	3				1	
1・1-2-トクエン	0.06				0.006	
1・1-ジクエン	0.2				0.02	
ス-1・2-ジクエン	0.4				0.04	
1・3 ジクエン	0.02				0.002	
チウラム	0.06				0.006	
シマジン(CAT)	0.03		0.003			
チオベンカルブ (ベチカブ)	0.2		0.02			
ベンゼン	0.1		0.01			
・セレン	0.3	0.01	0.01			
関係法律	総理府令 5 環告13 廃掃法令6条	総理府令35 水質汚濁 防止法	総理府令39 海防法(令) 5条 水質汚濁 防止法	下水道 法令 9条	公害策 基本法9条 環告59	環境基本 法16条 環告25

5. 石炭灰有効利用技術開発の現状と今後の動向

石炭灰の有効利用技術開発の現状について、表-11に示す。表-11中の●は現在開発中のテーマである。材料認定取得済のものは「ポゾテック利用技術」であり、実証段階の技術としては高流動コンクリート技術(FEC)、FGC利用技術、流動床灰固化体利用技術、港湾・空港施設場周辺道路用路盤・路床材、軟弱地盤表層改良技術(スラリー打設)、護岸裏込め材利用技術

(スラリー打設)、護岸裏込め材(スラリー打設)等がある。この実証段階の技術については、技術面と併せて環境面の評価データも取得している。なお、今後は海外炭燃焼灰について、大量利用が見込める土木材料用としての技術開発に取り組み、併せて石炭灰の需要と供給をマッチングさせ、供給を円滑にする為の石炭灰「流通加工システム」の構築も大切であると考え、スタディを行っている。

表11 石炭灰有効利用技術開発の状況⁵⁾
(最近の動向)



(参考資料) 1) 電気事業連合会・CCUJ調査('93)
 2) CCUJ, 第4回石炭利用技術会議講演集, Sep.'94
 3) CCUJ, 調査報告書('93)
 4) 環境六法 平成7年版
 5) CCUJ, 第15回クリーンコールセミナー講演集, Jun.'95
 6) CCUJ, 石炭灰流通・加工システム調査報告書, '94

(1995年12月27日受付)