

石炭灰比表面積測定装置の開発

(株)四国総合研究所 エネルギー技術部 森本 隼人
(株)四国総合研究所 エネルギー技術部 市川 幸司

キーワード： 石炭灰
比表面積
粒度分布
分級装置

Key Words : Coal Fly Ash
Specific Surface Area
Particle Size Distribution
Classifier

Development of Measuring Device for Specific Surface Area of Coal Fly Ash

Shikoku Research Institute, Inc., Energy Technology Department
Hayato Morimoto , Koji Ichikawa

Abstract

The sequential measuring device for measuring a specific surface area (Blaine Value) as an indicator of controlling the operation of a coal classifier is developed in order to improve the function of monitoring the operation of the classifier.

High correlational relationship was confirmed between the specific surface area calculated by the blaine method in accordance with JIS and the specific surface area calculated based on the particle size distribution.

In this paper, the current situation of development for the measuring device is introduced as well as the positive results of the field test utilizing the prototype device.

1. はじめに

一般に、石炭火力発電所では、電気事業法や関係法令等に基づき、発電に伴う副生物である石炭灰の有効利用を図っており、四国電力(株)橘湾発電所では、分級装置を活用して JIS 規格に準拠した有価灰の選別を行っている。(表 1)

分級装置は、石炭灰の粉末度(比表面積:単位質量あたりの表面積の総和)を指標として運転調整されている。この比表面積測定は JIS 規格のブレン方法(空気透過法)による手分析となるため、試料採取から測定まで数時間を要している。

このため、運転管理上は、1 回/日の頻度で手分析を行っている。(石炭灰出荷時は、品質確認のために別途分析を実施)

これらのことから、分級装置の運転監視強化を目的とした、比表面積を連続的に測定・監視できる装置開発が望まれている。

そこで、顕微鏡観察等により石炭灰の粒子が概ね球状¹⁾であるという特徴を活かし、当社では、粒子計測(レーザ回折による粒度分布測定)技術を活用した石炭灰比表面積の連続測定装置の開発を行っている。(写真 1)

本稿では、粒度分布測定結果を活用した石炭灰比表面積測定装置の開発状況について紹介する。

表 1.コンクリート用フライアッシュ(JIS A 6201)

項目	種類				
	I種	II種	III種	IV種	
二酸化ケイ素 [%]	45.0 以上				
水分 [%]	1.0 以下				
強熱減量 [%]	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	45 μm以下の残量(篩ふるい方法) [%]	10 以下	40 以下	40 以下	70 以下
	比表面積(ブレン方法) [cm ² /g]	5,000 以上	2,500 以上	2,500 以上	1,500 以上
フロー値比 [%]	105 以上	95 以上	85 以上	75 以上	
活性度指数	材齢 28日	90 以上	80 以上	80 以上	60 以上
	材齢 91日	100 以上	90 以上	90 以上	70 以上

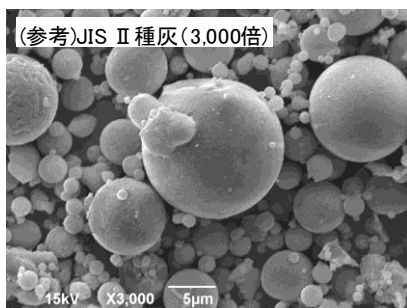


写真 1 石炭灰顕微鏡観察結果 例(JIS II 種灰)

2. 粒度分布による比表面積の算出

2.1 測定原理

(1) 手分析手法/ブレン方法(JIS R 5201)

JIS 規格に基づく石炭灰の手分析手法(ブレン方法:JIS R 5201)の概略を説明する。²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾

粉体層を気体が通過する際は Kozeny-Carman 式が成立する事が知られている。そこで、粉体のブレン値と気体の透過性との関係から次式(1)に基づき、比表面積を算出する手法がブレン方法である。(図 1)

$$S_w = \frac{(A \cdot \Delta p \cdot \varepsilon^3)^{1/2}}{\rho[k \cdot \eta L(Q/t)(1 - \varepsilon)^2]^{1/2}} \quad (1)$$

なお、(1)式において、各変数は以下のとおり。

S_w :比表面積(ブレン値)[cm²/g]

A :充填層断面積[cm²], Δp :充填層差圧[Pa]

ε :充填層空隙率、 ρ :粉体密度[g/cm³]

k :係数(=5.0)、 η :空気粘度(1.82 × 10⁻⁵)[Pa·s]

L :充填層厚[cm]、 Q :通過空気量[cm³]

t :空気通過時間[s]

JIS 法によるブレン値測定は、一定形状の石炭灰充填層を形成した後、本充填層に対し空気を透過させ空気流量を測定し、ブレン値既知の標準試料との比例計算により求める方法である。

なお、一般的にブレン方法では、粒子径が微細(1μm 以下)となると、粉体層の間隙が気体の平均自由行程に近づくこと Kozeny-Carman 式が成立しなくなり、その手分析値に正確性を欠く事が知られている。

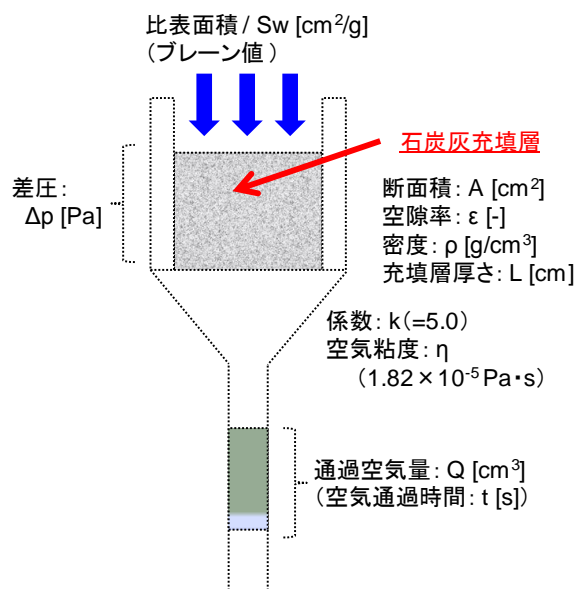


図 1 JIS 法によるブレン値測定原理⁴⁾

(2) 試作装置の測定原理

今回考案した、粒度分布計測による石炭灰比表面積測定装置の測定原理について説明する。

測定手順は以下のとおりである。(図 2)

①石炭灰にレーザ光(固定波長)を照射し、ミー散乱理論に基づく粒径固有の強度パターン(回折光や散乱光)から粒度分布を測定

②粒度分布を用い、石炭灰が全て完全球体であると仮定し比表面積を計算(石炭灰比表面積の測定値)

③石炭灰比表面積の測定値を手分析値(ブレン値)との相関関係(検量線)により補正

上述の①～③を繰り返す、比表面積の連続測定を行う。②では、次式(2)により計算している。

$$Sw' = \frac{S}{\rho \cdot V} = \frac{4\pi(D/2)^2}{\rho \cdot (4/3)\pi(D/2)^3} = \frac{6}{\rho \cdot D} \quad (2)$$

(2)式において、各変数は以下のとおり。

Sw' :比表面積(粒度分布換算値)[cm^2/g]

S :粒子(球)の表面積[cm^2]

V :粒子(球)の体積[cm^3]、 ρ :粉体密度[g/cm^3]

π :円周率、 D :粒子径[cm]

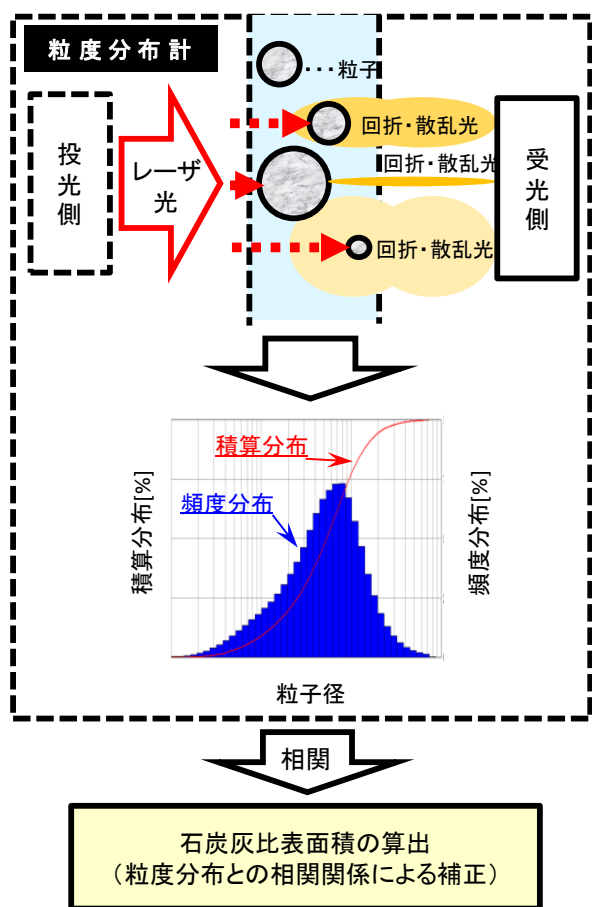


図 2 石炭灰比表面積測定装置 測定手法

2.2 粒度分布換算値とブレン値との関係

前節 (2.1-(2)) で示したとおり、石炭灰比表面積測定装置では、粒度分布換算値からブレン値への補正を行う際に、両者の相関関係を利用して。そこで、両者の相関関係評価のための試験を行った。(写真 2)

試験には発電所にて精製された JIS 灰(I 種、II 種)、原料灰を用いた。また、本試験に使用した同一試料の手分析(ブレン方法)を行い、両者の結果を比較した。(図 3)

上述の試験の結果、測定値(粒度分布換算値)と手分析値(ブレン値)との間に、高い相関関係($R^2 > 0.9$)を認めた。

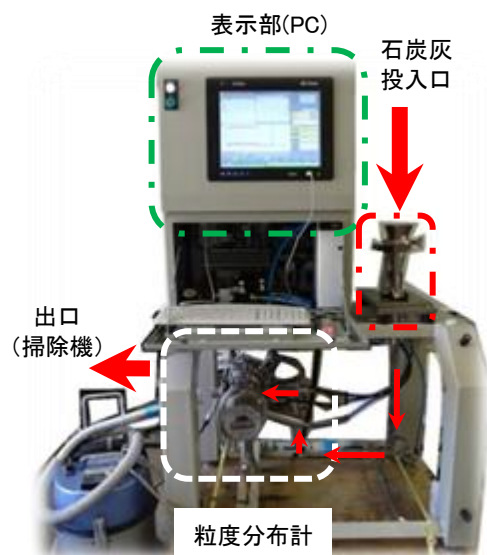


写真 2 石炭灰比表面積評価試験装置 外観

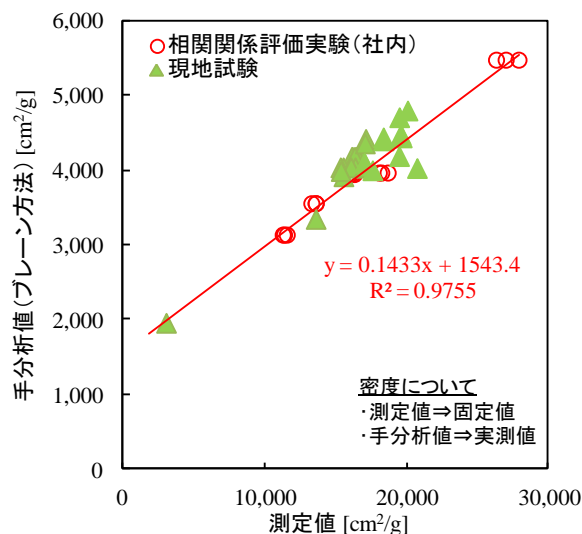


図 3 比表面積相関図(ブレン方法と比較)

2.3 相関関係についての検討

前項の相関関係評価により、手分析値(ブレン値)と測定値(粒度分布換算値)には、高い相関関係を確認したが、両者の絶対値に差異が生じている。この要因について検討した。

1点目は、粉体密度の取扱の違いが挙げられる。手分析では実測値を用いているのに対し、測定値では、固定値(暫定値)を用いている。これは、粒度分布計単独では密度の測定機能を有していないためであり、今後試験データを積み重ね実測値に近い値を採用する事で差異縮小が可能であると考えている。

2点目として、測定手法の違いによる微細領域の影響を考えた。手分析で用いられるブレン方法では微細領域(1 μm 以下)に正確性を欠くことがあり、これが誤差要因となる可能性がある。一方、今回採用した粒度分布計は、この微細領域を含めた測定が可能な計器であるため、微細領域に着目して分析を行った。原料灰の結果を例として示す。(図4)

原料灰の場合、粒度分布(体積分布)は全体の5%程度であるが、これを比表面積へ換算すると50%程度となっており、これが影響し手分析値よりも高い値を示す要因の一つとなっている。

また、同様に JIS 灰(I種、II種)の場合も、比表面積換算値は概ね 50%程度であり、原料灰と同様の傾向であった。したがって、同様の傾向であったこれらの相関関係(図3)を検量線とした。

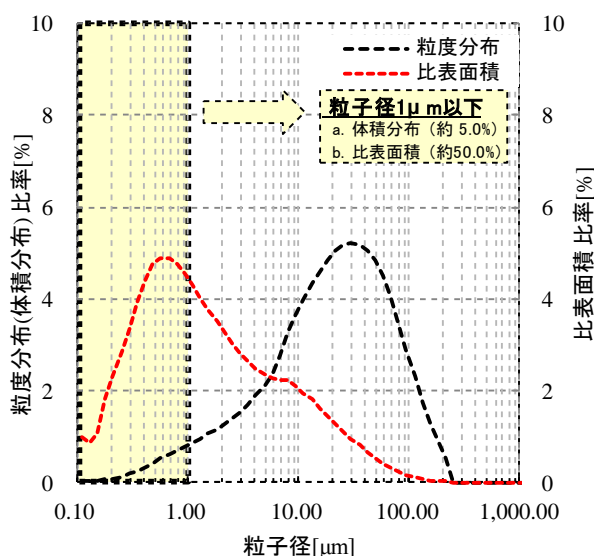


図4 粒度分布比率と比表面積比率(原料灰)

2.4 粒度分布による石炭灰比表面積換算の妥当性

粒度分布を用いた石炭灰比表面積換算の妥当性を検証するために、粉体の比表面積測定に広く利用されているガス吸着法(BET法)との比較を実施した。(図5)

その結果、測定値(粒度分布換算値)と BET 法による分析値とは同等な傾向である事を確認した。これは、測定対象である石炭灰が概ね球状であるためであり、石炭灰のような球状粒子の比表面積測定には、粒度分布計の適用が可能であると考える。

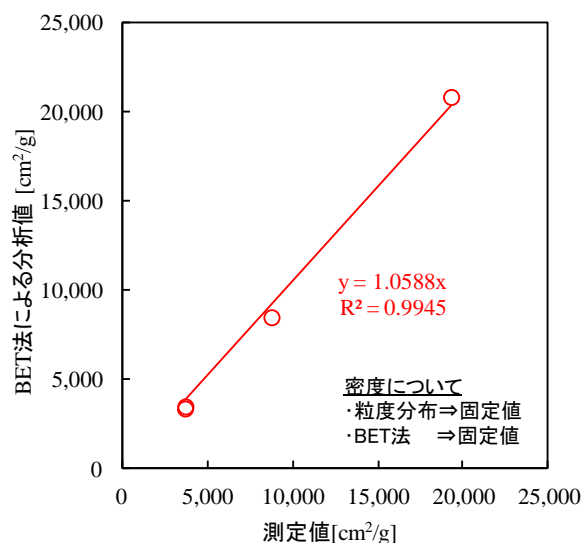


図5 比表面積比較(粒度分布換算値と BET 法)

3. 試作装置の設計製作

粒度分布計、既設輸送配管から石炭灰を自動採取するための粉体自動サンプリング制御装置および PC を組合せ、下記のとおり石炭灰比表面積測定装置の試作装置を製作した。(図6、表2)

粒度分布計は、既設輸送配管から採取される石炭灰の粒度分布を連続で計測し、上位計算機(PC)へデータを連携する。また、乾式測定用機器を採用しており、測定した石炭灰をそのまま輸送配管中へ戻し廃棄ロスのない構成としている。

粉体自動サンプリング制御装置は、シーケンサによる自動制御機能を有しており、上位計算機からの指令に基づき、操作端の開閉動作を自動で行う仕様とした。(図7)

表 2 試作装置 主な仕様

測定原理	粒度分布 ⇒ 検量線補正による比表面積の算出 (ブレン値との相関関係を利用)	
主要構成機器	1. 粒度分布計 (粒度分布を測定するための計器)	
	測定原理	レーザー回折法(Mie散乱理論)
	測定範囲	0.1 ~ 2,500 [μm]
	測定周期	(最短) 1sec
	その他	インライン式(乾式測定計器)
2. 粉体自動サンプリング制御装置 (石炭灰を自動採取するための制御装置)		
制御装置	PLCによる自動制御 (起動停止/非常停止/個別制御など)	
操作端	電磁弁、電動弁にて構成	
その他	サンプリングノズル、母管等	

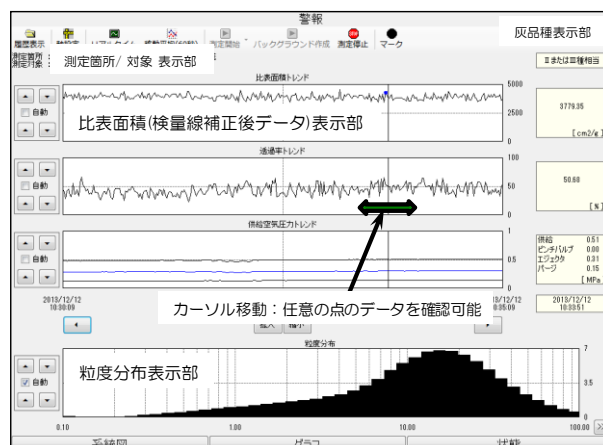


図 7 監視画面例(制御用 PC)

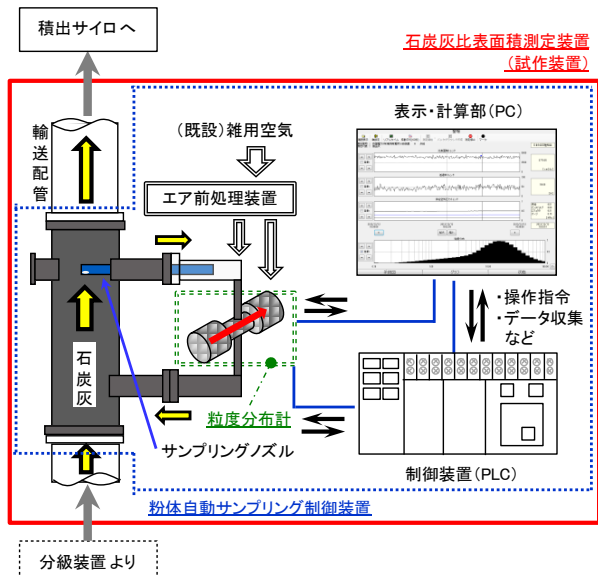


図 6 試作装置 機器構成

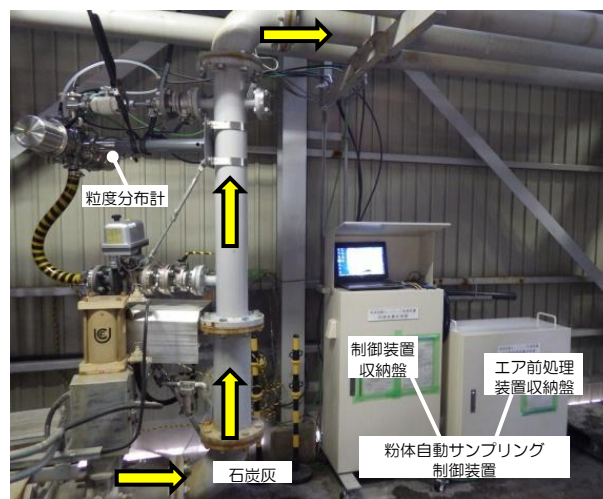


写真 3 試作装置 設置状況

石炭灰採取は、母管に挿入したサンプリングノズル(耐摩耗材)により、粒度分布計に供給する圧縮空気によるエジェクタ効果を用い連続採取を行っている。

4. 現地試験

本試作装置を四国電力(株)橘湾発電所分級装置の石炭灰輸送配管上に設置し、現地試験を実施している。試作装置の設置状況を示す。(写真 3)

現地試験では、石炭灰の安定採取に向けた改良等を適宜実施しながら試験を継続している。なお、今までの期間において、良好な装置稼働状態である事を確認している。

次に結果を示す。なお試験結果評価のために、石炭灰を適宜採取し手分析も行った。(図 8)

試作装置による比表面積測定値(検量線補正値)と手分析値を比較すると、同様の傾向を示しており、良好な結果を得ている。

現在までの現地試験の中で、基本的な装置性能は、ある程度検証が進んでいる。

今後は、分級装置の運転条件(分級装置の回転数等のパラメータ変更時の挙動確認や昼夜を通じた連続試験など)に合わせた装置のデータ収集・解析を繰り返し実施し、検量線の精度向上や経年特性の把握、保守方法等に関する知見を深め、より実用的で信頼性の高い測定技術の実現を目指していく。

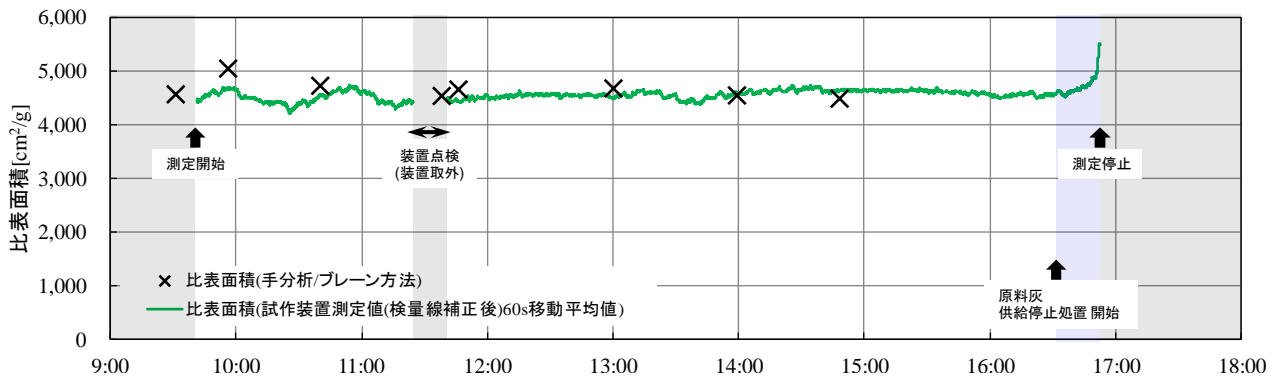


図 8 現地試験結果 例(対象：JIS II 種灰)

5. まとめ

四国電力(株)橘湾発電所を対象とし、分級装置の運転監視強化を目的とした石炭灰比表面積測定装置の開発状況を以下のとおり示した。

- ・粒度分布から計算した比表面積値と JIS 規格のブレン方法による手分析値との間に高い相関関係を認めた。
- ・石炭灰比表面積の連続測定が可能な試作装置を設計製作した。現地試験において、手分析値と同様な傾向を示す結果を得ており、現地適用化に向けた見通しを得た。

【謝辞】

本研究は、四国電力(株)火力部より委託を受け実施したもので、ご協力いただいた関係各位に深く感謝いたします。

【参考文献】

- 1) 環境技術協会・日本フライアッシュ協会編、「石炭灰ハンドブック Coal Ash Handbook (第 3 版)」、環境技術協会、日本フライアッシュ協会、(2000.5)
- 2) JIS A 6201、「コンクリート用フライアッシュ」(1999)
- 3) JIS R 5201、「セメントの物理試験方法」(1997)
- 4) 重本直也、氏原俊英、多田健紀、「石炭灰粉末度自動測定装置の開発」、四国電力・四国総合研究所 研究期報 No.78(2002.6)
- 5) 椿淳一郎、鈴木道隆、神田良照著、「入門 粒子・粉体工学 (第 1 版)」日刊工業新聞社、(2002.09)