

# 火力発電所における灰付着評価

## 1. はじめに

石炭火力発電では、近年<sup>れき</sup>亜瀝青炭等の低品位炭の利用拡大が図られている。低品位炭を使用する上で石炭性状、石炭の燃焼性、灰の融点、付着性を把握し、設備への障害を事前に予測・検討を行う必要がある。中でも灰の炉内伝熱管等への付着性は炭種により異なるため、事前に把握することが難しい。従来の灰汚れ指標（スラッキングインデックス・ファウリングインデックス等）は瀝青炭に対して検証・確立されていた。しかし、従来の指標では問題ないとされていた亜瀝青炭を使用した実機にて伝熱障害やガス流路閉塞等のトラブルが起こっているのが現状である。従来の指標では評価できなかった亜瀝青炭に対しても灰障害の予測が可能な手法である「灰の<sup>こ</sup>膠着度」の概要および石炭火力発電における灰の付着評価に関して一例を紹介する。

## 2. 灰障害評価

### 2.1 石炭火力発電所で使用される石炭について

石炭は発熱量、燃料比、揮発分等の違いで分類される。石炭火力発電所に使用される石炭は主に

2種類あり、瀝青炭 (bituminous coal)、亜瀝青炭 (sub-bituminous coal) である。

日本の石炭火力発電には主に「瀝青炭」が使用されていたが、近年は価格が高騰しており事業者のコスト圧迫要因の一つとなっているため、「亜瀝青炭」の混焼率を高めて火力発電に用いる動きがある。亜瀝青炭は全石炭埋蔵量の30%を占め、瀝青炭に比べて安価であるため資源量、価格、および調達範囲拡大の視点で亜瀝青炭を用いる石炭焚火力発電プラントが増えている。亜瀝青炭は東南アジア地域で多く産出されるため、近隣国の火力発電所燃料に用いることが多くなってきている。しかし、亜瀝青炭は瀝青炭に比べて固有水分および塩基性成分 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ ) が多く、瀝青炭とは異なった運用が必要となる。特に石炭燃焼に伴って発生する燃焼灰に起因するトラブルが発生しやすいことが知られている。

### 2.2 石炭性状分析<sup>(1)</sup>

石炭火力発電では、燃料として使用する石炭の性状を事前に調査する。表1に主な分析・測定事項を示す。石炭の燃焼性を把握・評価するための項目（工業分析、元素分析、発熱量、その他）と燃

表1 石炭性状分析項目

	工業分析 (%)	元素分析 (%)	発熱量 (kJ/kg)	灰の化学組成 (%)	灰の熔融温度 (°C)	その他 (-)
分析項目	固有水分 灰分 揮発分 固定炭素	炭素 水素 窒素 硫黄 灰分 酸素	高位発熱量 低位発熱量	$\text{SiO}_2$ , $\text{Al}_2\text{O}_3$ , $\text{TiO}_2$ , $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , $\text{CaO}$ , $\text{MgO}$ , $\text{Na}_2\text{O}$ , $\text{K}_2\text{O}$ , $\text{P}_2\text{O}_5$ , $\text{SO}_3$	初期変形温度 軟化温度 半球温度 溶流温度 (酸化雰囲気 /還元雰囲気)	ハードグローブ (粉碎性指数: HGI)

焼時に発生する灰の成分・挙動を把握・調査する項目(灰の化学組成、灰の溶融温度)の2つに大きく分類できる。灰の化学組成では主に灰中のSiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO、MgO、Na<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、SO<sub>3</sub>を分析する。これらの成分の割合により灰の溶融温度が左右される。これまで灰付着評価(ファウリング評価)するため、ファウリングインデックス(※1)が用いられていた。ファウリングインデックスが大きくなると灰の溶融温度が低下するためファウリング性が高くなると考えられていた。しかし亜瀝青炭ではファウリングインデックスが大きくなっても溶融温度の低下に必ずしもつながらないことがわかっている。

したがって、亜瀝青炭は灰の化学組成・溶融温度の観点で瀝青炭と異なることから、亜瀝青炭を対象とした新規予測法が必要となる。

※1: 
$$\text{ファウリングインデックス}(-) = \frac{(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})}{(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2)} \times \text{Na}_2\text{O}$$

### 2.3 灰の膠着度とは<sup>(1)</sup>

微粉炭をJIS法に準じて815℃で調製した石炭灰を横型電気炉で加熱処理(ボイラ排ガス温度を模擬)し、得られた塊状灰の硬さ(膠着度)を測定(図1に示すラトラ試験機)し、焼結性を評価した。図2に亜瀝青炭の灰における加熱温度と膠着度の関係の一例を示す。加熱温度が高いほど膠着度は大きくなるが、特に1000～1200℃で急激に

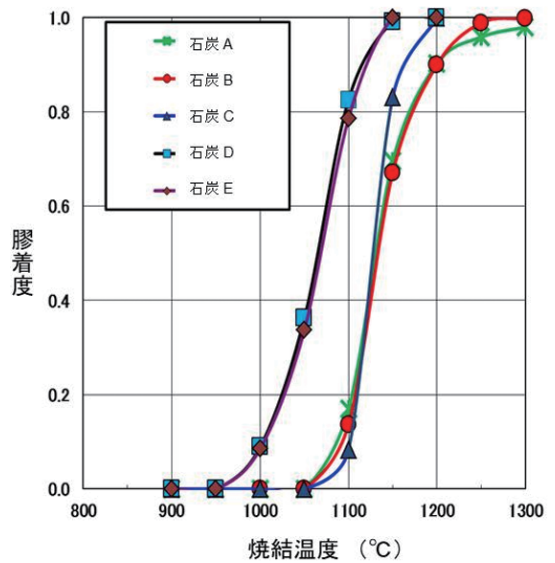


図2 膠着度測定によって得られるデータ

変化した。1050℃では膠着度が小さかった炭種でも、加熱温度の上昇とともに膠着度が大きくなり硬く付着することがわかる。実機では火炉内のガス温度が非常に重要な因子となり、同じ炭種でもガス温度が上昇すればスラッキングが起りやすくなると考える。膠着度は炭種ごとに異なるため、より膠着度の小さな炭種を選択することでスラッキングの可能性を低減できると考える。

灰の性状と膠着度の関係性については、図3に示すように灰の融点と膠着度には相関があることがわかった。基本的には融点が高いと膠着度が小さい傾向にある。しかし、幾つかの炭種では低融点にもかかわらず膠着度が小さい炭種(図3の赤

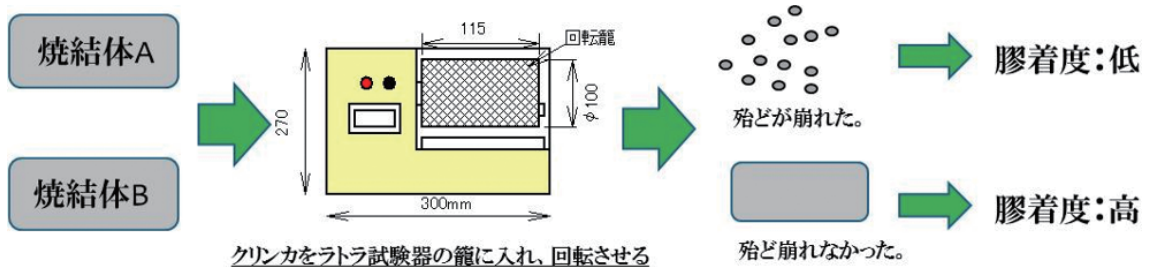


図1 膠着度測定の概要

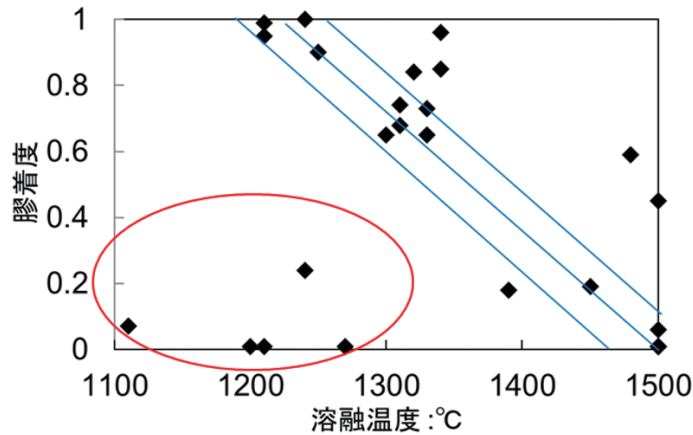


図3 膠着度と融点の関係

枠内)も確認されており、これらの炭種を実機ボイラで運用した際には、スラッシングが確認されなかった。これらのデータより、膠着度は灰の付着性に対して有効な手段であると考えられる<sup>(2)</sup>。

### 3. まとめ

これまで亜瀝青炭の灰障害も従来の指標で評価できると考えていたが、亜瀝青炭の灰の挙動は瀝青炭と大きく異なり、従来の指標では評価できなかった。「膠着度」は亜瀝青炭の灰障害を評価・予測できる手法であることがわかった。

石炭火力発電所だけでなく、ゴミ焼却発電所、バイオマス火力発電所で発生した灰障害に対して膠着度を測定し、灰付着予想・挙動について適用した実績もあるため今後も実績を重ね評価法の精度を高めていく。

### 文責

計測事業部	化学・環境部	福浦グループ
		高野 卓
計測事業部	化学・環境部	福浦グループ
次長		永瀬 成世

### 参考文献

- (1) 茂田潤一、知恵賢二郎：石炭焚ボイラにおける燃焼灰の付着挙動、IIC REVIEW、No.55、2016/04、pp.21-29
- (2) 知恵賢二郎、茂田潤一：灰汚れ評価「灰の膠着度」の亜瀝青炭への適用について、IIC REVIEW、No.61、2019/04、pp.8-12