

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目 Study on Development of Ecological and Highly Efficient Combustion Technology for Upgraded Brown Coal (UBC)
(改質褐炭を利用した環境調和型高効率燃焼技術に関する研究)

氏 名 秋山 勝哉

論 文 内 容 の 要 旨

石炭は、他の化石資源に比べて豊富で130年以上の可採年数があり、しかも特定地域に偏在しないという特長を有している。また、経済的にも優位性があり、世界の1次エネルギーの約3割をまかなっている重要なエネルギー資源である。世界の石炭需要は、2030年までに2006年の1.5倍に拡大する見通しであり、とくに、経済成長の著しい中国などアジアの需要増加が大きいと予測されている。

日本においても1次エネルギーの約2割強を石炭に依存しており、石炭は石油に次ぐエネルギー源になっている。現在、日本の石炭の需要は、燃料用炭が約9,000万トン、製鉄等原料用炭を含めると約1億8,000万トンにのぼっている。しかし、その殆ど全量が輸入により賄われており、現在、日本は世界第1位の石炭輸入国である。主な輸入地域は、豪州(59%)、インドネシア(18%)であるものの、中国・インドのさらなる需要増加を鑑みれば、将来にわたって安定的な供給を確保することが重要になっている。

一方、石炭は、石炭化の進んだ順に、無煙炭、瀝青炭、亜瀝青炭、褐炭等に分類される。現在、主に生産・使用されている炭種は、発熱量が高く、輸送・貯蔵時の安定性も優れている瀝青炭であり、とりわけ日本の石炭燃焼発電設備では瀝青炭を設計炭としており、操作安定性と燃焼・発電効率を徹底的に追求したシステムが実用化されている。しかし、この瀝青炭は、地球に埋蔵されている石炭資源のうち約半分に過ぎないため、今後、低品位炭と総称される褐炭や亜瀝青炭の有効活用が重要になる。とくに、日本で主力になっている高効率微粉炭焚き発電設備においては、瀝青炭の代替として低品位炭を問題なく使用できるような改質技術の開発が求められている。

日本にとって豪州に次ぐ供給国であるインドネシアにおいては、埋蔵量のうち瀝青炭の占める比率は15%で大半の石炭が低品位炭である。また、インドネシアは石油、天然ガスの生産・輸出国であったが2004年から石油輸入国に転じたことや、電力需要が増大していることから、2006年に策定された新たなエネルギー政策では石炭を主要エネルギー源とすることとなった。このため、瀝青炭、亜瀝青炭を従来通りに輸出处とする一方、国内では大量に埋蔵されている褐炭等の低品位炭を利用していくこととなるため、低品位炭の有効利用は日本、インドネシア両国にとって共通の課題であるといえる。

そこで、(株)神戸製鋼所は、褐炭を油中でスラリー脱水し、燃料の発熱量を瀝青炭と同等程度に向上させる改質褐炭(Upgraded Brown Coal、以下UBCという)プロセスを開発した。UBCプロセスは褐炭の水分を除去し(脱水)成型するもので、脱水には油

中スラリー脱水技術を用いている。UBCプロセスの概要は、まず、原料の褐炭を5mm以下に粉碎し、少量のアスファルトを加え、熱媒体となる軽質油と共に攪拌混合して泥状の流体（スラリー）を作製し、これを加熱することで、褐炭中の水分を蒸発させて除去する。処理条件が140~150℃、3気圧程度という比較的穏やかな条件での脱水処理が可能であり、しかも、水分60%程度の褐炭でも効率的に処理が可能である。また、加熱時の熱源として蒸発した水蒸気の熱を再利用し、エネルギー効率を上げている。脱水された褐炭は、一般炭と同様のハンドリングが可能となるように成型され、UBC製品となる。しかし、UBCは瀝青炭に比べて多くの揮発分を有しており、微粉炭焚きボイラで燃焼した際の燃焼特性（NO_xおよびSO_x排出性、燃え切り性）への影響は定量的に明らかになっていない。また、インドネシア褐炭の灰の溶融温度は、瀝青炭のそれに比べて低いいため、ボイラ内の伝熱管への灰付着による収熱低下や、付着灰が落下することで水管を破損させるなどのトラブルを発生させる懸念がある。したがって、このような褐炭から製造されるUBCを微粉炭焚きボイラで利用する場合には、瀝青炭などの高品位炭と適切に混炭することが重要となる。伝熱管への灰付着挙動は、石炭性状（灰組成、灰融点、ミネラル成分）や雰囲気、灰粒子温度、伝熱管の表面温度、灰粒子の流れなどの影響を受けることが報告されているものの、低融点灰の付着挙動や混炭燃焼時における灰付着挙動については十分に解明されていない。

そこで本研究では、インドネシアのUBCを、微粉炭焚きボイラにおいて低環境負荷かつ高効率に燃焼させる技術を開発することを目的とする。

本論文は、下記に示す6章から構成されている。第1章では、研究の背景、既往の研究、本研究の目的を記載した。第2章では、熱天秤実験装置およびパイロットスケールの微粉炭燃焼炉を用いて、インドネシアのUBCと瀝青炭の燃焼特性を定量的に評価した。その結果、以下のことを明らかにした。(1) UBCは、瀝青炭に比べて700K以下で分解する揮発分を多く含んでいる。(2) UBCチャーの比表面積は、瀝青炭チャーのそれに比べて大きいため、UBCチャーの燃え切り時間は瀝青炭のそれに比べて短い。(3) UBCの未燃率は非常に低く、燃焼時のチャーによるNO_x還元作用が低減するために、UBCのNO_x転換率は、瀝青炭のそれに比べて高くなる傾向がある。しかし、インドネシア褐炭から製造されたUBCは低N分のものが多いため、排ガス中のNO_x濃度は低くなる。(4) SO_xの生成は、石炭中のS分含有率とCa/Sモル比の影響を受ける。つまりS分が低いあるいはCa/Sモル比が大きいとSO_x生成は抑制される。(5) UBCは瀝青炭に比べて良い燃え切り特性を有しており、2段燃焼率を増加した場合でも、低NO_x燃焼と燃焼効率の向上を同時に達成できる。第3章では、パイロットスケールの微粉炭燃焼炉を用いて伝熱管を模擬した水管への灰付着実験を実施した。また、石炭灰の組成と燃焼場の雰囲気ガス組成をもとに化学平衡計算を実施し、燃焼場における灰の溶融性を定量的に求めた。その結果として、以下のことを明らかにした。(1) 伝熱管への灰の付着特性は、灰の溶融特性と密接な関係がある。(2) 化学平衡計算によって算出した灰中融液割合は、実験で得られた水管への灰付着率と相関がある。とくに灰中融液割合が60%以上の場合に灰付着率が急激に増加する。また、この関係はUBCと瀝青炭を混炭した場合にも成立する。(3) 化学平衡計算によって算出できる灰中融液割合は、水管への灰付着率を低減させるようなUBCと瀝青炭の混合条件を決定する有用な指標の一つである。第4章では、混炭ではなく、添加剤を用いてUBCの水管への灰付着を抑制することを試みた。まず、化学平衡計算によって灰中融液割合の低減に寄与する添加剤成分を決定した。つぎに、パイロットスケールの微粉炭燃焼炉を用いて、添加剤がUBCの灰付着を抑制する機構を解明し、添加剤を用いた灰付着抑制効果を定量的に検証した。その結果として、以下のことを明らかにした。(1) 添加剤成分としてMgOが最も灰中融液割合を低減させる作用がある。(2) MgOの添加は、アルミナシリカの固体化合物を生成させる作用がある。(3) UBCにMgOを添加することで、水管への灰付着率は低減する。これは、MgOが水管表面で溶融スラグの生成を抑制しているからである。つまり、水管上に付着した灰の表面は常に粘着性のないパウダー状になっており、灰が付着し難くなっている。(4) MgOの添加は、水管母材と付着した溶融スラグの界面反応を抑制する作用もある。したがって、MgOの添加

は、水管への灰付着を抑制するだけでなく、水管母材の侵食および腐食をも抑制する作用がある。第5章では、第3章で構築した混炭による灰付着抑制技術を用いて、145MWの実機微粉炭焚きボイラでUBCと瀝青炭の混炭を燃焼実証した際の、燃焼特性および灰付着特性を検証した。化学平衡計算を用いて灰中融液割合を計算した結果、UBC灰のそれは90%に達した。この結果を基にして、灰中融液割合が60%以下となるUBCの瀝青炭に対する混合率を20%と決定した。燃焼試験を実施した結果、以下のことを明らかにした。(1) UBCは瀝青炭に比べて、燃え切り性が良く、NO_x排出量も低い。(2) 瀝青炭に比べてUBCのS分含有率が低いため、UBCと瀝青炭の混炭の方が瀝青炭に比べて排ガス中のSO_x濃度が低減する。(3) UBCを瀝青炭と混合することにより、UBCの灰中融液割合を低減させることが可能となる。これは、瀝青炭を混合することで、アルミナシリカの固体化合物が生成するためである。(4) バーナ近傍のスラッシング部に伝熱管を模擬した水管を挿入し、暴露時間100分における付着灰の重量および付着灰の熔融状態を比較すると、UBCと瀝青炭の混炭の付着灰の重量は、瀝青炭のそれに比べてやや増加する。また、UBCと瀝青炭の混炭は瀝青炭に比べて、付着灰の粒子がより球形状を呈しており、粒子の大きさも大きい。これは、UBCと瀝青炭の混炭の灰中融液割合が、瀝青炭のそれに比べて増加したためである。しかし、8日間の燃焼期間中にスラッシングなどの灰に関するトラブルは無かった。したがって、灰の熔融温度が低いUBCを瀝青炭と適切に混合することで、微粉炭焚きボイラにおいて灰付着のトラブルを発生させずに利用することが可能である。第6章では、第1章から第5章の内容を総括した。

以上に述べたとおり、本研究では、インドネシアのUBCを実機の微粉炭焚きボイラにおいて、低環境負荷かつ高効率に燃焼させる技術を開発した。今後、本技術が低品位炭のような未利用資源の有効活用に適用されることを期待する。