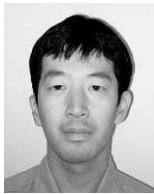


(解説)

600t/dayプラントによる改質褐炭(UBC<sup>®</sup>)プロセスの実証Demonstration of Upgraded Brown Coal (UBC<sup>®</sup>) Process by 600t/day Plant

木下 繁\*

Shigeru KINOSHITA



山本誠一\*(工博)

Dr. Seiichi YAMAMOTO



出口哲也\*

Tetsuya DEGUCHI



重久卓夫\*\*

Takuo SHIGEHISA

Utilization of low rank coal has been limited so far, due to its low calorific value and spontaneous combustibility. In Indonesia, more than half of minable coal is low rank coal such as lignite or brown coal. Some lignite in Indonesia has the feature of low sulfur content and low ash content. Therefore, it can turn into an attractive fuel coal on condition that it is upgraded with an economical dewatering method. Kobe Steel has been developing Upgraded Brown Coal (UBC) technology since the early 1990's. Currently, the UBC demonstration plant project is being undertaken in Indonesia, and operation of the plant has already commenced.

まえがき＝日本では、発電効率やコスト、輸送・貯蔵など物流上の安全面の観点から、燃料用石炭として主に高発熱量の瀝青炭(れきせいたん)が使用されている。しかしながら近年、中国やインドなどの新興国における経済成長に伴い、その需給が世界的にタイトになってきている。一方で、褐炭などの低品位炭は水分が多いために発熱量が低く、また自然発火性を有することから、日本の石炭需要家にとって利用困難な資源にとどまっている。

日本が輸入する石炭の主要産出国の一つであるインドネシアでは、瀝青炭の埋蔵量は15%と限られており、低品位炭に分類される褐炭が58%、亜瀝青炭が27%を占めている。そのインドネシアでは、低灰分、低硫黄という特徴を有する低品位炭が多量に存在しており、それらを改質(脱水)し、高発熱量かつ低灰分、低硫黄の改質炭を安定的に供給することができれば、日本の石炭需要家にとって燃料用石炭の調達元の確保や環境負荷(灰処理や脱硫処理)の軽減効果が期待できる。

当社は、1990年代初めより低品位炭の改質技術の開発に取り組んできた。そのプロセスは『天ぶら』の原理で、低品位炭に含まれる水分を加熱した軽質油中で効率的に除去するものであり、改質褐炭(Upgraded Brown Coal, 以下UBCという)プロセス<sup>1)</sup>と称している。本技術開発は、2001年度からの4年間にわたるインドネシアでのパイロットプラント運転(製品ベース3t/day)を経て<sup>1), 2)</sup>、2006年度から経済産業省/JCOAL(財団法人石炭エネルギーセンター)の補助事業としてインドネシアにおける実証プロジェクトの段階に至っている。本稿では、本プロジェクトの概要を報告する。

## 1. 低品位炭脱水プロセス

1.1 従来の低品位炭脱水プロセス<sup>3)</sup>

従来の低品位炭脱水プロセスのうち、低品位炭を水の沸点以上に加熱して水分を蒸発させるプロセスは、高温による熱改質処理を伴わない。このため、熱分解や部分酸化などによる熱損失が小さいという特長を有しており、スチームチューブドライヤなど各種乾燥機器が使用されている。しかしながら、水分の蒸発潜熱が高いため、それらのプロセスにおけるエネルギー消費量が多いことや、製品に自然発火性があることなどの課題がある。これらの課題を克服できるプロセスに実用化の可能性があると見える。

## 1.2 UBCプロセスの特長

UBCプロセスは、粉砕された低品位炭をアスファルトなどの重質油を含む軽質油に分散させ、130～160℃、400～450kPaの比較的穏和な条件下で脱水するプロセスであり、従来の低品位炭脱水プロセスが有する課題を克服できる可能性がある。以下にUBCプロセスの主な特長を示す。

- 1) 脱水条件が比較的穏和であり、化学反応が実質的にほとんど起こらないため、製品の熱損失が小さい。また、廃水処理の負荷が低い。
- 2) 油中脱水により分離された石炭中水分の蒸気を圧縮して加熱用熱源に再利用することにより、エネルギー消費量の低減を可能とする。
- 3) 油中脱水後の多孔質な低品位炭内部の細孔にアスファルト等の重質油が吸着されることにより、石炭性状の安定化が促進され、自然発火性が抑制される。

\* PT UPGRADED BROWN COAL INDONESIA \*\*技術開発本部

## 2. UBC 実証プロジェクト

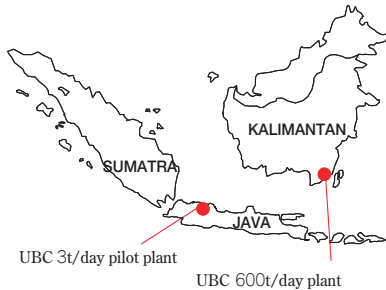
### 2.1 概要

本プロジェクトは、経済産業省/JCOALの補助事業として、2006年度から2009年度にかけてインドネシア南カリマンタン州のサツイ鉱区内においてプラント（製品ベース 600t/day）を建設し、その実証運転を通じて商業化技術を確認する計画である。図1にプロジェクトの概要、図2にプロジェクトのスケジュールを示す。

### 2.2 実証目的

本プロジェクトにおける実証目的を以下に記す。

- 1) 長期連続運転によって UBC プロセスの安定性・信頼性を評価するとともに、商業機設計のためのスケールアップデータを取得する。
- 2) UBCの大規模サンプルを日本に輸送し、実際に運転されている石炭火力発電設備で燃焼試験を行って燃料としての実用性を評価する。
- 3) 原料調達、製品製造、プラント保全および製品出荷



Item	Detail
Project structure	By "JCOAL" jointed by Kobe Steel Ltd with the partnership of Arutmin & Bumi Resources. Indonesian government also supports the project.
Period	2006-2009
Budget	80M\$
Scale	600t/day (Product base), 1,000t/day (Feed base)
Place	Satui area in South Kalimantan, Indonesia
Coal	Several lignites (4,000-5,000kcal/kg as received base)
Product evaluation	By several companies (Kobe Steel Ltd, Power companies)

図1 実証プロジェクト概要  
Fig. 1 Outline of demonstration project

を通じて FS 精度を向上させ、プロセスの経済性を評価する。

### 2.3 工程

UBC プロセスは、図3に示すように石炭粉碎工程→スラリー脱水工程→固液分離工程→油分回収工程→成型工程の5つのセクションに分かれている。図4に UBC プラント全景を示す。以下に、各セクションの概要を示す。

#### 1) 石炭粉碎工程

あらかじめ 50mm 以下に粗粉碎された生炭を受入れ、粉碎機で 5mm 以下に粉碎する。

#### 2) スラリー脱水工程

スラリー調製槽で粉碎炭とアスファルトなどの重質油を含む軽質油を混合し、石炭スラリーを調製する。次いで、石炭スラリーをスラリー脱水槽に供給し、130~160℃、400~450kPa の加圧条件下で脱水する。スラリー脱水槽で発生した水と軽質油の混合蒸気（以下、プロセス蒸気という）は圧縮機で圧縮され、石炭スラリーの脱水用加熱源として再利用される。

#### 3) 固液分離工程

脱水後の石炭スラリーを連続式遠心分離機（デカンタ）へ供給し、スラリーケーキと軽質油に分離する。分離後の軽質油は循環油タンクに戻され、スラリー調製の軽質油として再利用される。

#### 4) 油分回収工程

固液分離後のスラリーケーキを乾燥機（スチームチューブドライヤ）へ供給し、高温スチームとの間接熱交換によってスラリーケーキ中の油分を揮発乾燥させ、粉状の UBC（以下、UBC 粉という）を回収する。ドライヤ内を流通する循環ガス（主成分は窒素）に含まれる揮発油分は冷却塔で凝縮され、窒素ガスと分離される。分離後の軽質油は循環油タンクに戻され、スラリー調製の軽質油として再利用される。

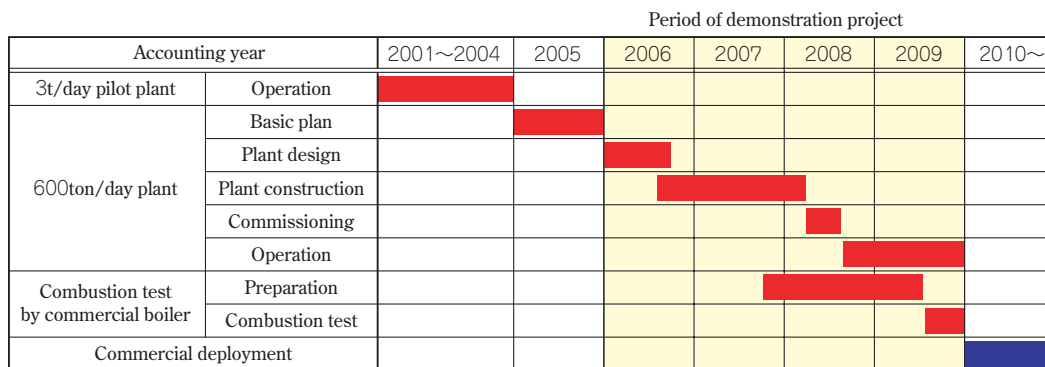


図2 UBC 実証プロジェクトスケジュール  
Fig. 2 Master schedule of UBC demonstration project

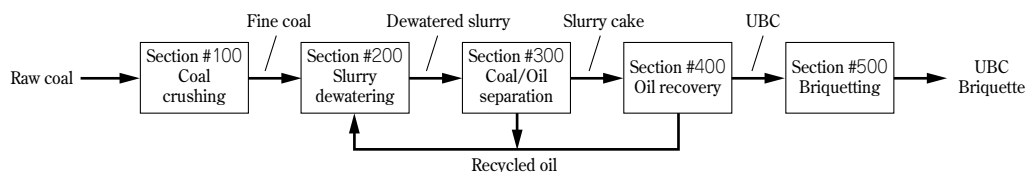


図3 UBC プロセスのブロックフロー図  
Fig. 3 Block flow diagram of UBC process



図4 UBCプラント全景  
Fig. 4 Full view of UBC 600 t/day plant

## 5) 成型工程

UBC粉をダブルロール式のブリケット成型機に供給する。そこで、UBC粉は回転する一對のロール（ロール表面にはポケットが加工されている）で圧縮成型され、豆炭状のブリケットが製品として得られる。

## 2.4 付帯設備

原水処理設備、ボイラ（スチーム製造）設備、冷却水設備、窒素製造設備、工場空気製造設備および廃水処理設備などのユーティリティ設備を備えている。このほか、軽質油と重質油を貯蔵するタンクヤードや消火設備がある。また、分析室やワークショップなども併設し、実証運転のサポート業務を担っている。

## 2.5 技術評価項目

本プロジェクトでは、図5に示されるUBCプロセスの技術評価を実施する計画である。

### 1) 石炭粉砕工程

粉砕機の石炭粉砕性能およびその材料特性（耐久性・摩耗性）を評価する。

### 2) スラリー脱水工程

パイロットプラント運転等でこれまでにノウハウを蓄積してきたスラリー沈降防止、スラリー配管等での閉塞防止などのスラリーハンドリング技術を活用し、スラリー循環運転の安定性を実証する。ま

た、プロセス蒸気中へのスラリーエントレインメントを制御し、圧縮機運転の安定性を実証する。さらに、圧縮機による熱回収性能を評価する。

### 3) 固液分離工程

デカンタ運転条件（脱水スラリー供給量、デカンタ回転数など）に対する固液分離性能を評価する。

### 4) 油分回収工程

ドライヤ運転条件（スチーム圧力、UBC 滞留時間など）に対する油分回収性能および循環ガス系の圧力損失を評価する。

### 5) 成型工程

成型機運転条件（ロール回転数、ロール押付け圧、UBC 温度など）に対する UBC ブリケットの品質を評価する。

### 6) 実缶燃焼

実缶燃焼試験では、製品である UBC ブリケットを日本の石炭火力設備へ輸送し、各種ハンドリング性能および燃焼性を評価する。図6に実缶燃焼試験における技術評価項目を示す。UBC ブリケットのハンドリング性能としては、落下試験、パイル試験、粉砕試験（瀝青炭との混炭）、自然発火性試験、ホッパ排出試験等を実施する。燃焼性能としては、UBC 熱量、燃焼排ガス性状（NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、残炭、飛灰）、炉内汚れ（スラッキング、ファウリング）、炉内腐食

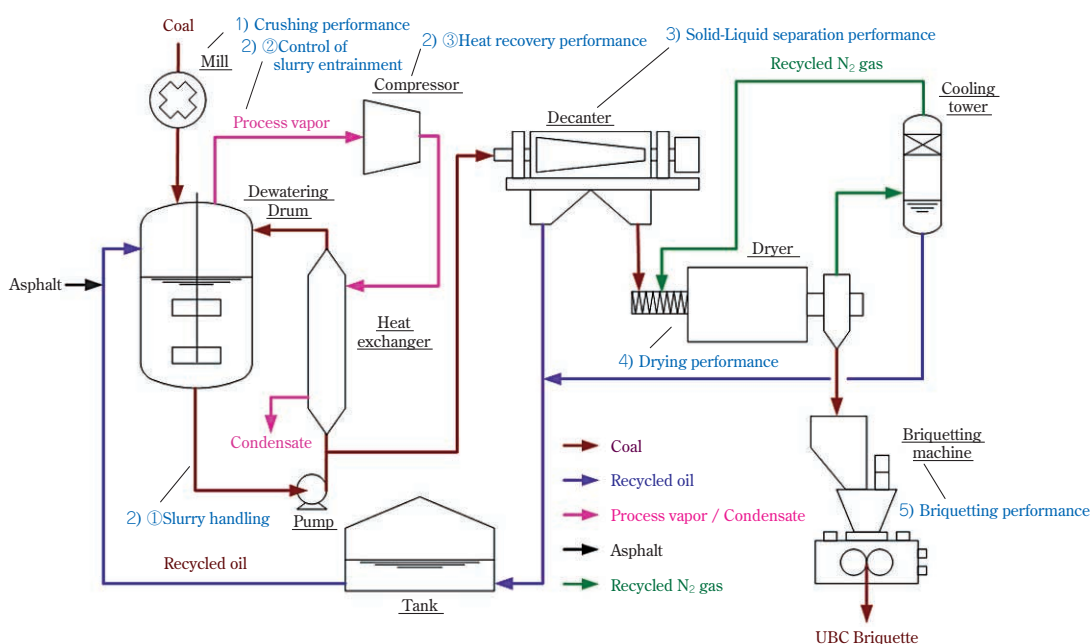


図5 UBCプロセスの技術評価項目  
Fig. 5 Items of technical evaluation in UBC process

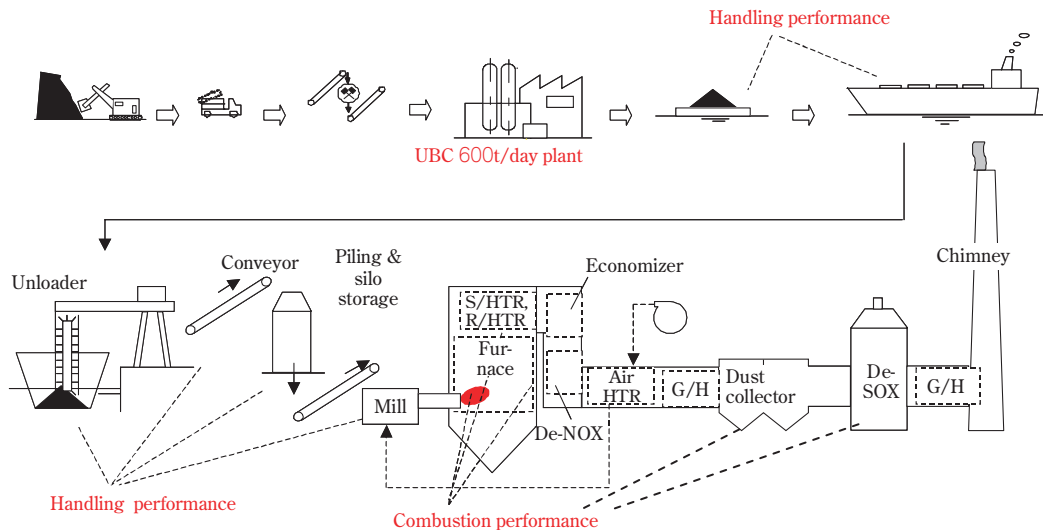


図6 実缶燃焼試験における技術評価項目  
Fig. 6 Items of technical evaluation in combustion test

性、排ガス処理（集塵特性、脱硫特性、石膏品質、脱硝特性、微量元素挙動など）を評価する。

## 2.6 プラント実証運転状況

2008年7月の600t/dayプラント建設工事完了後、ユーティリティ設備を順次立ち上げ、各機器単独の試運転を開始した。その後、8月からユーティリティ設備の連続運転、続いて、プロセス設備のコミッショニング運転を経て11月初旬から石炭運転を開始した。以後、全工程を通しての石炭連続運転を実施し、プロセスの基本性能を確認した。図7に本プラントで製造されたUBCブリケットを示す。今後、実缶燃焼試験用のUBCブリケットサンプルの製造を行い、その後は計画にしたがって高負荷運転および長時間連続運転に移行する予定である。以下に主な工程の運転状況を紹介する。

### 1) スラリー脱水工程

スラリー脱水槽で発生したプロセス蒸気を圧縮機で圧縮し、石炭スラリーの脱水用加熱源として再利用する点は本プロセスの特徴の一つである。圧縮機の導入により、圧縮機の機械効率を100%と仮定した理想的な試算では、圧縮機の単位仕事量に対してスラリーと熱交換可能な熱量はおよそ20倍となり、プロセス蒸気の熱量を回収しない場合に比べて大きなメリットが得られる。今回導入した圧縮機（株神戸製鋼所製）はスチーム（水蒸気）仕様であるが、本プロセスではプロセス蒸気（水と軽質油の混合蒸気）を圧縮機に供給する。また、圧縮機内部に固体や液滴が侵入すると異常振動や異音など機械的トラブルの原因となるため、スラリーエントレインメントやプロセス蒸気の凝縮を抑制することが長期連続運転の重要なポイントの一つである。

図8に圧縮機周辺のプロセスフロー概略図を示す。まず、図8(a)のようにプロセス蒸気系と切離した状態でスチームを圧縮機に供給する運転を実施した。その結果、圧縮機の性能曲線に応じた圧縮性能を示すとともに、表1に示すように圧縮機本体の振動変位値が $20\mu\text{m}$ 以下と許容範囲内であり、機械的に問題ないことを確認した。



図7 改質炭ブリケット  
Fig. 7 UBC briquette

表1 蒸気圧縮機の運転状況  
Table 1 Operation condition of compressor

Operation	Molecular weight	Pressure (MPa)		Flow rate (Nm <sup>3</sup> /h)	Vibration displacement (μm)
		Suction	Discharge		
Steam	18	0.41	0.60	11,000	10~20
Process Vapor	27	0.36	0.68	12,000	10~20

つぎに、図8(b)のようにプロセス蒸気を圧縮機に供給する運転において、水の分子量とプロセス蒸気の平均分子量が異なるが、ほぼ予測どおりの圧縮性能を示すことを確認した。圧縮機本体の振動値もスチーム運転時と同等であり、安定した運転を実証することができた。

このほか、スラリー循環系では、スラリー沈降や配管閉塞などのトラブルもなく、安定した運転を継続できている。

### 2) 油分回収工程

スチームチューブドライヤとは、傾斜を持った横置き回転筒内に設置された複数の加熱管に蒸気などの熱媒体を流通させ、シェル側を移動する被乾燥物を加熱・乾燥させる機器である。気相側に移動した揮発分を排出するため、シェル側にはガス（本プロセスでは窒素ガス）が循環している。図9にドライヤ周辺のプロセスフロー概略図を示す。一般的にスチームチューブドライヤを用いた乾燥方法では、乾燥効率の観点から図9(a)のように被乾燥物の搬送方向に対して循環ガスを向流で流して

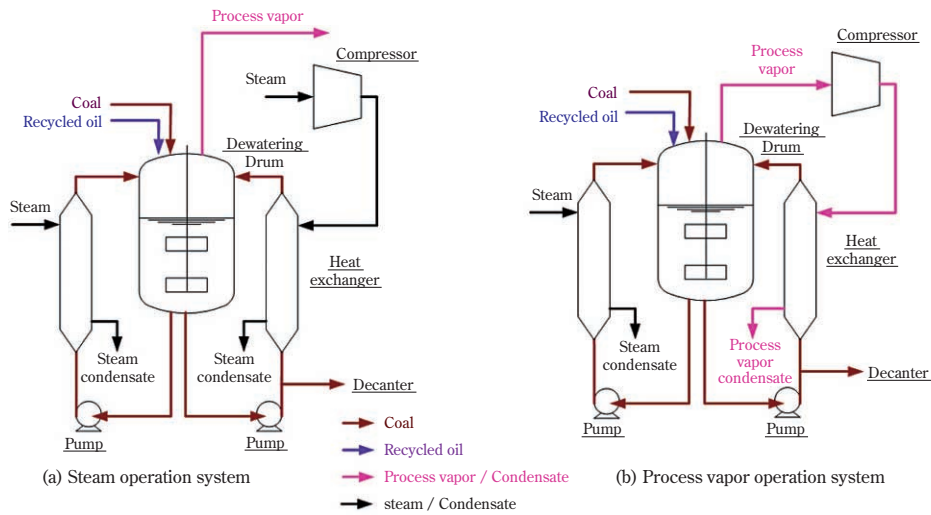


図8 圧縮機周辺のプロセスフロー図  
Fig. 8 Process flow diagram around compressor

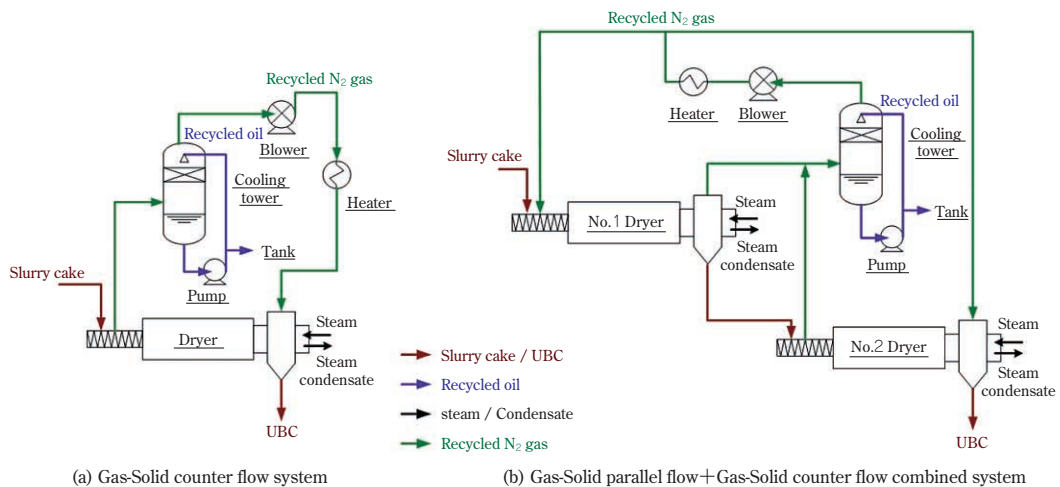


図9 ドライヤ周辺のプロセスフロー図  
Fig. 9 Process flow diagram around dryer

運転されている。この方式を採用していたパイロットプラント運転では、ドライヤ内を通過した高温の循環ガス中に含まれていた揮発油分の一部がドライヤ入口付近で低温のスラリーケーキで凝縮され、スラリーケーキの粘性が上昇した。その結果、ドライヤ入口付近のスチームチューブに付着し、ドライヤの伝熱効率が低下する現象が生じたこともあった。

そこで本プラントでは、図9 (b) のようにスチームチューブドライヤを2基直列に配置し、スラリーケーキの搬送方向に対して循環ガスの流れを上流のNo.1ドライヤでは並流に、下流のNo.2ドライヤでは向流とした。以下に、その特長を挙げる<sup>4)</sup>。

- a) No.1ドライヤ入口部では、循環ガスの露点は低く、スラリーケーキ中の油分が高くてもスチームチューブへのスラリーケーキの付着は生じにくい。
- b) No.2ドライヤ出口部では、露点の低い循環ガスが向流で供給されるため、減率乾燥区間における乾燥効率を高めることができる。

これまでの運転において、循環ガス系の圧力損失データなどからスチームチューブへのスラリーケーキの付着による閉塞や乾燥効率の低下は生じておらず、安定した運転を継続できている。

むすび＝インドネシアに建設した600t/dayプラントによるUBCプロセスの実証運転を実施している。2009年には、全工程を通しての石炭連続運転により、プロセスの基本性能を確認した。2010年には、実缶燃焼試験用のUBCブリケットサンプルの製造を行い、その後は計画にしたがって高負荷運転および長時間連続運転に移行し、UBCプロセスの安定性・信頼性に係る技術評価、商業機設計のためのスケールアップデータの取得、および燃料としての製品評価、経済性評価を実施していく予定である。

本プロジェクトは経済産業省/JCOALから石炭生産技術振興費補助金の交付を受けて実施されており、ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 杉田 哲ほか：R&D 神戸製鋼技報, Vol.53, No.2 (2003), p.41.
- 2) 杉田 哲ほか：R&D 神戸製鋼技報, Vol.56, No.2 (2006), p.23.
- 3) 重久卓夫：日本エネルギー学会誌, Vol.86, No.10 (2007), p.822.
- 4) 公開特許：2009-97783.