

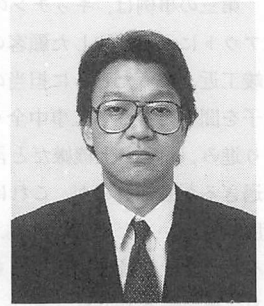
■ 展望・解説 ■

石炭ガス化複合発電の今後の展望

Outlook on Integrated Coal Gasification Combined Cycle (IGCC)

原 昭 吾*

Shogo Hara



1. はじめに

現在、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）では、従来の微粉炭燃焼石炭火力に代わる電源として、噴流床石炭ガス化複合サイクル発電技術開発を行っている。この技術開発の中核となる200t/日噴流床石炭ガス化発電パイロットプラントが、1991年6月から本格的な石炭ガス化試験を開始した。

ここでは、パイロットプラントによる運転研究の現状及び石炭ガス化複合発電の今後の展望について概説する。

2. 石炭火力発電の位置付け

電気事業審議会需給部会中間報告（1990年6月）によれば、火力発電（石炭火力、LNG火力及び石油火力）の全電源構成に占める割合は2000年及び2010年にそれぞれ57%、50%、また電力供給量に占める割合は53%、43%となっており、火力発電は引続き電源の主

流を占めるものである。

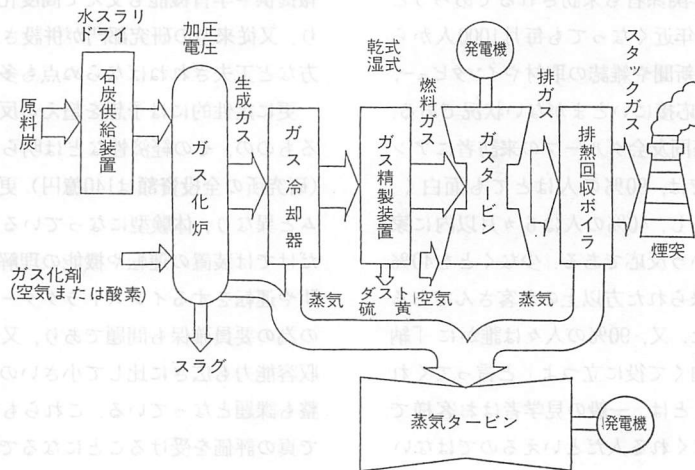
石炭火力は優れた燃料供給の安定性、経済性を有する有望な石油代替電源でありベース・ミドル電源として活用すべきものとして、今後、2000年までに現在の設備容量の2倍以上を開発することとされている。

（1989年度末現在1169万kW、2000年度末2960万kW、2010年度末4000万kW）

エネルギー資源に恵まれず、そのエネルギー資源の大部分を海外に依存している我が国では、石油代替エネルギーの導入促進が、新エネルギー開発とともに重要な政策として位置づけられている。

石炭の利用拡大もその一つとして大いに期待されているが、その導入に際しては我が国の環境に適合しつつ有効利用を図ることが要求されるため、次のような技術の確立が必要となる。

- ①多種・多様な石炭の利用が可能であること
- ②大量に排出される灰分の処理・利用が容易であること



*新エネルギー・産業技術総合開発機構 石炭技術開発室
副主任研究員
〒170 東京都豊島区東池袋3-1-1 サンシャイン60ビル29F

図-1 IGCCプラント構成概念図

- ③効率が低いこと
- ④クリーンに利用できること
- ⑤経済的であること

石炭ガス化複合発電 (Integrated Coal Gasification Combined Cycle : IGCC) は、特に上記①, ②, ③の面から早期実用化が期待されている。

3. IGCCプラントの構成等

3.1 IGCCプラントの構成

IGCCは図-1に示す構成により、発電を行う。

まず、原料炭を微粉砕した後、石炭をガス化剤とともにガス化炉へ供給し、可燃性ガスを発生させる。このガスをガス冷却器で冷却した後、不純物であるばいじん（主にチャー）と硫黄化合物（主に H_2S ）をガス精製装置で除去し、ガスタービンへ供給する。ガスタービンでこの石炭ガスを燃焼して発電し、ガスタービンの排ガスを排熱回収ボイラに導く。また、ガス化炉、ガス冷却器、排熱回収ボイラで発生した蒸気は蒸気タービンに導かれ発電に使われる。

このようにIGCCシステムは、ガスタービンサイクル及び蒸気タービンサイクルの二つのサイクルで構成されており、各々の単一サイクルでは到達できない高い熱効率を得ることができる。

3.2 IGCCシステムの選定

IGCCシステムの構成機器には以下に示す多くの選択要素がある。

- (1) ガス化炉形式：固定床，流動床，噴流床
- (2) ガス化剤：酸素，空気
- (3) プラント圧力：加圧系，常圧系
- (4) 石炭供給方式：微粉炭気流搬送（ドライフィード），水スラリー（スラリーフィード）
- (5) ガス精製：乾式，湿式

従って、各要素の特性を活かしたシステム全体としての調和のとれたIGCCプラントを構成することが重要となる。

4. IGCCの国内外の開発状況

4.1 国内の開発状況

ガス化炉の形式は、固定床方式，流動床方式，噴流床方式等に大別されるが、我が国においては、流動床方式と噴流床方式によるIGCC技術開発が中心となっている。

我が国における流動床方式の開発は、1974年に(財)石炭技術研究所が国の委託を受けて、同所夕張試験場に

において5t/日のガス化試験を開始したのが始まりであり、引続いて、1981年度から1987年度までは40t/日のパイロットプラント試験を実施している。

一方、噴流床方式の開発は、1983年に(財)電力中央研究所と三菱重工業(株)とが電力中央研究所横須賀研究所において2t/日規模の実験装置を建設したのが始まりである。

4.2 海外の開発状況

海外では、1970年頃、西独のSTEAG社が政府の援助を受けKellerman発電所において17万kWの固定床式IGCCプラントを開始したのが、世界で最初の例である。その後、固定床炉は化学製品や高カロリーガスの製造に用いられている。

流動床方式の開発としては、KWR炉が米国DOEの援助を受け、パイロットプラントスケールの運転例があり、現在、運転を終了している。また、ドイツにおいては高温ウィングラ (HTW) 炉を用いた32万kWのIGCC実証プラントの建設を計画している (KoBraプロジェクト、1993年着工予定、1996年運転予定)。

噴流床方式の開発は、米国クールウォータープログラムがあり、テキサコ社の加圧1段噴流床ガス化炉を用いてIGCCが技術的に成立することを世界で始めて実証した。シェル社は、シェル石炭ガス化プロセス (SCGP) の商用化を図るため、1987年に運転開始し、最長1528時間の連続運転を行った。SCGPの商用化への適用例としては、オランダのSEP (オランダ電力公社) が1993年に運転開始予定としている25万kW (2000t/日) のIGCCに採用されている。ダウ炉の最初の商用規模実証プラント相当 (2400t/日 : 16万kW) は、1987年に運転開始し、ガス化炉を既存の10万5千kWガスタービンに供給した実績があり、現在、世界最大の商用プラントである。CE社は、クリーンコールテクノロジー (CCT) の一環として6万5千kW規模のIGCCプラント開発を行っている (1992年着工予定、1996年運転予定)。

5. 200t/日パイロットプラントによる研究開発

NEDOでは石炭利用の拡大を目指し、国のサンシャイン計画に沿って噴流床石炭ガス化複合発電技術のフィージビリティスタディを1983年度から1985年度にかけて、(財)電力中央研究所に研究委託して実施し、1986年度からは200t/日噴流床石炭ガス化発電パイロットプラントによる研究を、石炭ガス化複合発電技術研究組合へ研究委託して実施するとともに、1988年度から

項目	年度	58	59	60	61	62	63	元	2	3	4	5	6
フィージビリティスタディ		基本計画策定											
パイロットプラントによる研究					基本・詳細設計								
							製作・建設						
									ガス化炉試験				
										ガス精製試験			
											ガスタービン試験		
											プラント適用性試験		
											評価		
要 業 研 究					[研究期間]								
支 援 研 究					[研究期間]								

図-2 研究開発スケジュール

は、(財)石炭技術研究所夕張試験場の40t/日流動床ガス化試験設備を用いて支援研究を実施してきている。

5.1 パイロットプラント開発計画の概要

(1) 研究開発体制等

開発体制は、NEDOが民間と共同研究開発を行うが、実施にあたっては、NEDOが「石炭ガス化複合発電技術研究組合」に対し研究を委託している。また、支援研究については「(財)石炭技術研究所」に対して研究を委託してきた。

開発費用は、NEDOが国（通産省）より補助金（90%）を受け、その他の費用は共同研究者が負担している。

(2) 開発目標

IGCCは、21世紀初頭の石炭火力の中核として、微粉炭焚石炭火力に代わる電源としての位置づけのみならず、電源構成のベストミックスの達成及び系統運用の総合効率化の観点から、早急にパイロットプラントによる研究開発を推進していくことが重要であり、以

下の項目を開発目標として掲げている。

- ① 実用化時期：遅くとも2000年
- ② 規模：25万kW以上（単機容量）
- ③ 熱効率：送電端効率43%以上（乾式ガス精製及び1300℃級ガスタービンの採用）
- ④ 経済性：微粉炭焚石炭火力の発電コストを下回ること。
- ⑤ 環境適合性：SO_x、NO_x、ばいじん等環境影響が既存石油火力並みであること。また、灰処理対策が微粉炭焚石炭火力より容易なこと。
- ⑥ 炭種適合性：燃料比、灰融点等の異なる広範囲な炭種の利用が可能であること。
- ⑦ 運用性：起動・停止・負荷追従性等が微粉炭焚石炭火力と同等以上であること。
- ⑧ 信頼性：微粉炭焚石炭火力並みであること。

(3) 研究開発計画概要

研究開発期間は、当初計画では1986年度から約7年間であったが、途中建設に時間がかかったため今後運

表1 IGCCの主な研究開発課題

開発目標	開発対象	新開発課題主要因	主な研究開発課題	
規模 250MW（単機容量）	空気吹ガス化炉 加圧ガス化炉	ガスタービン燃料の精製	高圧可燃性粉体供給（弁、バーナ、燃料遮断装置など）	（共通課題） 大型化技術
熱効率 送電端約43%以上	微粉炭気流搬送系（ドライフィード）	[高温 高圧 高バイジン 高S、N分]	チャー回収及び供給スラグ連続排出	シュミレーション技術
経済性 微粉炭焚石炭火力並	乾式ガス精製装置 低カロリーガス焚ガスタービン（1,300℃級）		高温度可燃性ガス精製	材料技術 製造技術
環境適合性 既存石油火力並	統括制御システム 保護・防護システム	可燃性 低カロリー	低カロリーガス高温安定燃焼 ガス化剤抽気ガスタービン 生成カロリー変動対応 保護・防護技術	最適化技術
炭種適合性 広範囲な炭種が利用可能		スラグ排出 [高温]		
運用性 微粉炭火力と同等以上				
信頼性 微粉炭焚石炭火力並				

転研究に十分な時間がないこともあって、研究期間を1年強延長し約9年間とした。研究開発スケジュールは図-2に示す通りである。1986年度からの2年間で、パイロットプラントの基本・詳細設計を行い、1988年6月10日の起工式からは福島県いわき市にある常磐共同火力(株)勿来発電所構内において、パイロットプラントの土木・建築工事を開始した。また、1989年4月より大型機器の搬入が開始され、機器据付工事、単体試運転の後、1991年2月28日に竣工した。

支援研究については夕張の40t/日石炭ガス化試験設備を使用し、1988年度から1990年度まで3年間の運転研究を行ってきたが、1991年度の解体研究をもって終了となっている。

5.2 研究開発課題

石炭ガス化複合発電を実現するための主な研究開発課題を表1に示す。本研究開発課題には、ガス化炉に関する高圧下での可燃性粉体供給・チャー回収とその搬送・スラグの連続排出等の技術の確立、ガス精製に関しては、高温・高圧・高ばいじん・高S分の可燃性ガス精製技術の確立、また、ガスタービンに関しては、ガス化炉へ供給するガス化剤用の空気を、空気圧縮機から抽気しながら行う低カロリーガスの高温安定燃焼技術の確立等がある。さらにシステム全体として、生成ガスのカロリー変動に対応して安定した運転を行う

総括制御システムの開発ならびに安定性・信頼性の確保のための保護・防護システムの確立がある。

5.3 パイロットプラントによる運転試験研究の概要

(1) パイロットプラントのシステム構成

IGCCシステムを構成する機器には多くの選択要素があるので、1983年度から1985年度にかけて実施したフィージビリティスタディにより我が国の発電プラントとして最も適合する方式を選定した。

選定にあたっては、ガス化剤(酸素、空気)、石炭供給方式(スラフィード、ドライフィード)及びガス精製方式(湿式、乾式)の各々の組合せ計8方式について比較検討を行った。その結果、いずれの方式も既存の微粉炭焚石炭火力よりも高い熱効率を得られることが判明した。経済性・実現性・運用性・環境性・炭種適合性。信頼性を考慮した総合評価の結果からは、ドライフィード空気酸化ガス化炉と湿式ガス精製の組合せシステムを採用すべきであるが、石炭の有効利用、CO₂排出量低減への寄与等を考慮すると、我が国においてはシステムの高効率化が不可欠となるためガス精製は、これまで世界で例のない乾式を採用することとし、ドライフィード空気酸化ガス化炉と乾式ガス精製の組合せ方式を選定した。

(2) パイロットプラントの設備仕様

パイロットプラントの各構成設備の仕様は下記に示

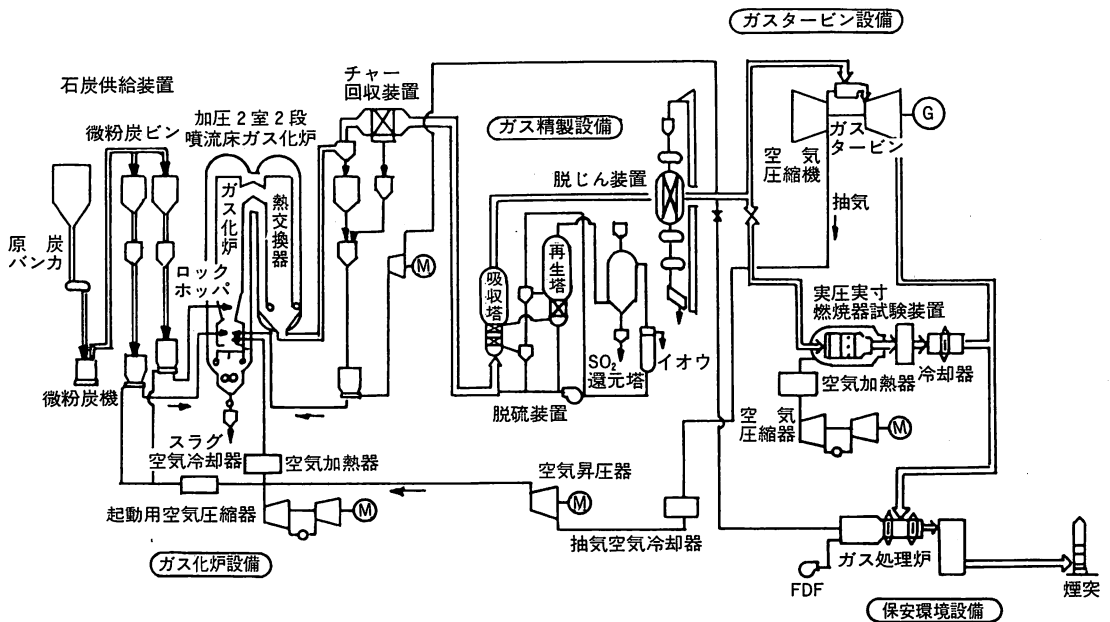


図-3 パイロットプラントフロー図

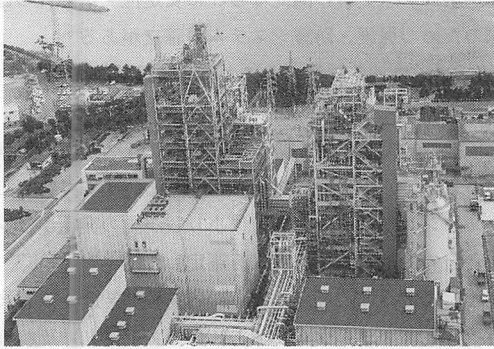


図-4 パイロットプラント全景写真

すとおりであり、その構成図を図-3に示す。

① ガス化炉設備

型式：空気酸化加圧 2室 2段噴流床炉

石炭供給方式：微粉炭気流搬送方式（ドライフィード）

石炭処理量：200t/日

ガス化圧力：27ata

② ガス精製設備

脱硫方式：高温乾式脱硫（流動床方式）

脱じん方式：高温乾式脱じん（グラニューラーベッド方式）

③ ガスタービン設備

・ガスタービン試験装置

型式：軸流開放単純サイクル形

出力：12500kW

表2 調整炭（太平洋炭）の工業分析値

工業分析値	
水分	6.9 (%)
発熱量	6,300 (kcal/kg)
灰分	13.6 (%)
揮発分	46.1 (%)
固定炭素	34.6 (%)
硫黄分	0.22 (%)

表3 200t/日ガス化炉における石炭ガス化ガスの性状例

ガス組成 (vol%)	CO	20.0
	H ₂	9.0
	CO ₂	6.2
	CH ₄	0.5
	N ₂	61.8
	Ar	0.7
ガス発熱量(HHV)		921
		(kcal/m ³ N)

燃焼器出口ガス温度：1260℃

・実圧実寸燃焼器試験装置

燃焼器出口ガス温度：1300℃級

(3) 運転試験研究

パイロットプラントは1991年度に完成し、機器単体及び設備総合の試験調整を経て、1992年6月25日にガス化運転を開始した。図-4にパイロットプラントの全景写真を示す。

表4 現在までの主な運転試験研究実施項目

ガス化炉設備	脱 硫 設 備	脱 じん設備	ガスタービン設備
<ul style="list-style-type: none"> ランピング試験 ガス化炉圧力を5-26atgで昇圧・降圧し、制御装置等の調整 軽油焚き負荷運転試験 ガス化炉圧力26atgガス化炉負荷35%での各制御系の調整 石炭設備の実炭による運転確認試験 石炭ガス化初期運転試験 軽油・石炭切替試験 微粉炭系の実作動試験 給水・主蒸気殿制御系調整 石炭ガス化調整試運転 起動・停止操作確認 各部状態量確認 チャーリサイクル確認 スラグ排出状況確認 	<ul style="list-style-type: none"> 系内ガス循環運転試験 系内圧26atg、300℃でガス循環運転を行い、制御系の調整、構成機器作動の確認 脱硫剤循環運転試験 脱硫剤の系内循環運転を行い、脱硫塔・再生塔の圧損などを確認 	<ul style="list-style-type: none"> 系内ガス循環運転試験 系内圧力26atg、温度300℃でガス循環運転調整、ダスト負荷のない状態でのろ過層の圧損等を確認 	<ul style="list-style-type: none"> 軽油燃焼運転試験 無負荷試験 1/4、2/4負荷遮断試験 蒸気噴射運転試験 (NO_x低減効果確認) 昇圧空気圧縮機運転試験 実圧実寸燃焼器試験設備の空気圧縮機運転試験

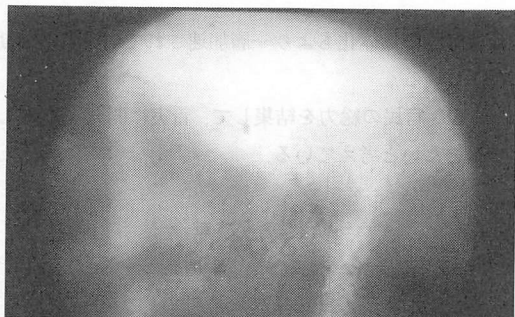


図-5 スラグ流下状況例

現在、パイロットプラントにおいては調整炭である国内炭（太平洋炭）を用いて設備上流側の石炭供給系及びガス化炉の試運転、調整を実施しており、順次下流側のガス精製、ガスタービン設備に生成ガスを通して試験を行うこととしている。

現在使用中の石炭の工業分析結果を表2に、また生成ガスの性状の一例を表3に示す。従来の発電設備と異なる発電システムであるため、ガス化炉の運転特性の把握及び起動停止を含めた運転操作に慣熟するため、様々な運転パターンを設定し十分時間をかけて試運転を継続している。現在までに行った試運転研究の内容を表4に示す。

石炭灰を熔融スラグとして取出すのが噴流床ガス化炉の特徴であり、本プラントでは運転初期に多少の排出不良の状況が発生したが、その後は良好な排出状況となっている。スラグの流下状況の一例を図-5に示す。

5.4 要素研究

噴流床石炭ガス化発電プラントの各プロセスは、各要素部分毎に固有の技術開発課題を有しており、これらの技術課題を解決するため要素研究を1986年度より実施している。

パイロットプラントの設計製作に反映すべき研究テーマは既に終了し、現在は、主に運転研究支援を目的とした試験を実施中である。設備毎の主要要素研究の項目は以下のとおりである。

① ガス化炉・石炭供給設備に係る要素研究

- ・ 2t/日ガス化炉によるガス特性
- ・ 高圧可燃粉体系の信頼性と安全
- ・ 高性能チャー回収システム
- ・ ガス化炉要部構造検討
- ・ ガス化ガス雰囲気下の材料信頼性

② ガス精製設備に係る要素研究

- ・ 脱硫装置の大型化・構造最適化
- ・ 集じん装置本体の構造最適化
- ・ 脱硫剤仕様の最適化

- ・ ろ過材条件の最適化
 - ・ ろ過材/ダスト空送及び分離方法
- ③ ガスタービン設備に係る要素研究
- ・ 低カロリーガスの安定燃焼
 - ・ 燃焼器の燃料切替技術
 - ・ 高性能冷却翼の冷却性能
 - ・ 大型ガスタービン燃焼器の開発
- ④ プラントシステムに係る要素研究
- ・ プラント全体システムのシミュレーションモデルの確立

5.5 支援研究

支援研究については、噴流床石炭ガス化発電プラントの高温乾式ガス精製プロセス及び関連技術について、パイロットプラントの運転信頼性及び経済性等の向上を目的とし、(財)石炭技術研究所夕張試験場に設置されている40t/日石炭ガス化設備を用いて1988年度から実施され、1990年度をもって運転試験を終了し、1991年度は支援研究の最終年度として、この40t/日石炭ガス化設備の解体研究を実施した。

(1) 研究開発課題

- ① 乾式脱硫試験：運転自動化と監視技術、部分負荷運転と負荷応答性及び長期運転信頼性等の改良・向上、並びに新しい脱硫剤・SO₂還元剤の開発
- ② 乾式脱じん試験：ろ過材/ダスト分離法、ろ過材給排出シーケンス制御、連続ダスト濃度計、運転自動化、部分負荷運転と負荷応答性及び長期運転信頼性等の改良・向上、並びに新しいろ過材の開発
- ③ 高温低NO_xガス燃焼器試験等：ガスタービン燃焼試験装置とガスタービン試験静翼及びガス化装置の点検・調査、並びにガスタービン材料試験方法の調査

(2) 成果

3年の間に毎年度3回のランを実施し、脱硫装置は延べ1203時間、脱じん装置は延べ1052時間の運転研究を通じて予期した成果を収めることができ、その成果は、200t/日パイロットプラントの研究開発に逐次反映してきている。

6. おわりに

海外では、石炭の高度利用の観点から他の発電技術に比較して高い熱効率が期待できるIGCCの導入に積極的に取組んでおり、実証規模の計画が着実に推進されている。中でも、エネルギーを取り巻く環境が我が国と酷似しているオランダでは、現計画の25万kW級の次の段階として60万kW級（1999年運転開始予定）

の開発計画も具体化されつつある。

我が国では、総合エネルギー調査会石油代替エネルギー部会及び産業技術審議会新エネルギー技術開発部会の両部会名で発表された中間報告にもあるように、「噴流床石炭ガス化発電プラント開発」は、21世紀初頭の石炭火力の中核技術としての位置づけが期待されている。

NEDOが進めている200t/日パイロットプラントの運転研究も、ガス化設備、ガス精製設備の調整運転を経て、間もなく、石炭ガス化ガスによる発電を開始することとしており、IGCCシステムの一貫した検証が可能な段階までに至っている。その成果を踏まえて、パイロットプラントの10倍規模である25万kW級の実

証機計画の具体化もより一層加速されていくものと期待している。

今後、官民の総力を結集して、着実に開発を推進していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 噴流床石炭ガス化発電プラント開発について；NEDO News, Vol9, No.96 (1989) 3～13
- 2) 噴流床石炭ガス化発電プラント開発；NEDO News, Vol 11, No.114 (1991) 18～27
- 3) 噴流床石炭ガス化発電プラント開発；NEDO News, Vol 12, No.125 (1992) 18～22
- 4) 高成 昇；石炭ガス化複合発電、火力原子力発電, No.421, Vol.42 (1991), 77～99

協賛行事ごあんない

「充填層中の気・固・液移動現象部会シンポジウム

—— 高炉下部における移動 ——」開催案内

1. 主催 (株)日本鉄鋼協会
2. 日時 平成4年9月7日(月)9:00～16:50
9月8日(火)9:00～12:30
3. 場所 JAビル(旧農協ビル)第一会議室
(東京都千代田区大手町1-8-3,
TEL 03-3245-7469)
4. プログラム
9月7日(月)
I. 伝熱WG II. 燃焼・粉の発生WG
III. 粉の流動と蓄積WG IV. 固体流れWG
9月8日(火)
V. 液流れWG
VI. 総合シミュレーションWG

5. 参加費 1,000円(当日受付)
6. テキスト(報告書)別売
機関誌「鉄と鋼」新刊図書予約案内参照

■申込み・問合せ先

参加者は、先着順100名までとします。
(参加受付否の際は、ご連絡いたします。)

〒100 東京都千代田区大手町1-9-4
経団連会館3階

(株)日本鉄鋼協会 技術室
担当：宮谷 仁史または林 万紀子
TEL 03-3279-6021, FAX 03-3245-1355