



# 次世代コークス製造技術 (SCOPE21) の開発

西岡 邦彦\*・大島 弘信\*・杉山 勇夫\*・藤川 秀樹\*

Development of the Innovative Cokemaking Process (SCOPE21) for the 21st Century

Kunihiko NISHIOKA, Hironobu OSHIMA, Isao SUGIYAMA and Hideki FUJIKAWA

**Synopsis** : Development of the innovative cokemaking process, SCOPE21 (Super Coke Oven for Productivity and Environmental enhancement toward the 21st century), had been conducted by the Japan Iron and Steel Federation (JISF) and the Center for Coal Utilization Japan (CCUJ). It had been performed from 1994 to 2003 as a ten-year research program. Some technologies for the SCOPE21 process had been developed to realize the following concepts, *i.e.*

- (1) Effective use of coal resources
- (2) High productivity
- (3) Energy saving
- (4) Environmental protection

In 2002 the program was in the last stage of a pilot plant test to confirm the functions of the SCOPE21 process and to collect the scale-up data for designing a commercial plant. The pilot plant consists of a 6t-coal/h coal pretreatment facility and a coke oven with its chamber volume of 27 m<sup>3</sup>. The specifications of the coal pretreatment facility were determined based on the test results of a 0.6t-coal/h bench scale plant.

The pilot plant was successfully operated on schedule for about one year until March 2003. The concepts of the SCOPE21 process were verified and the engineering data for designing a commercial plant were collected at the same time. Furthermore, the feasibility study was executed according to the results.

**Key words**: coke; cokemaking; SCOPE21; preheated coal; poor coking coal; briquette; medium temperature carbonization.

## 1. はじめに

日本における高炉製鉄法の基盤をなすコークス炉は、大半が70年代の高度成長期に建設されたもので、老朽化が著しい。ここ数十年で大半の炉が寿命に達すると予想され、コークスの安定供給が危ぶまれている<sup>1)</sup>。一方で現行のコークス製造法は、主として強粘結炭を使用せざるを得ないという資源制約や、エネルギー多消費構造および環境問題等多くの課題を抱えており、21世紀に対応できる技術とは言えない。

これらの課題を解決するため、(財)石炭利用総合センターと(社)日本鉄鋼連盟との共同で次世代コークス製造技術(SCOPE21)の開発が、1994年度より2003年度まで10年に亘って進められてきた<sup>2-23)</sup>。ここではSCOPE21開発の経過と成果の概要について報告する。

## 2. SCOPE21 プロセスの概要

SCOPE21 プロセスは、石炭資源の有効利用や生産性の向上および環境/省エネルギー技術面で、21世紀対応の

革新的なプロセス開発を目指している。

プロセスの特徴は、Fig. 1に示すように、第一に原料炭を乾燥分級した後、粗粒炭と微粉炭とを別々に350~400°Cまで急速加熱し、微粉は成形して粗粒炭と混合するもので、非微粘結炭の粘結性改善が図られることと、生産性の大幅な向上と省エネ化が図られる。

第二は、無煙搬送された高温加熱炭は高熱伝導率の薄壁煉瓦を採用した室炉式コークス炉に装入され、通常の乾留温度より低温(中低温乾留)で窯出し、CDQの改質チャンパーにて再加熱することで、通常と同程度のコークス品質を確保し、生産性の大幅な向上と環境改善が図られる。

具体的な開発目標とその達成手段は下記のとおりである。

### (1) 石炭資源の有効利用技術

現行ではコークス用原料として20%程度しか利用できない非微粘結炭の使用比率を50%まで高めることを目標に、石炭の急速加熱技術による粘結性向上と微粉石炭の成形技術による装入石炭の嵩密度向上を図る。

### (2) 高生産性技術

生産性を大幅に高めることを目標に、装入炭の高温予熱、

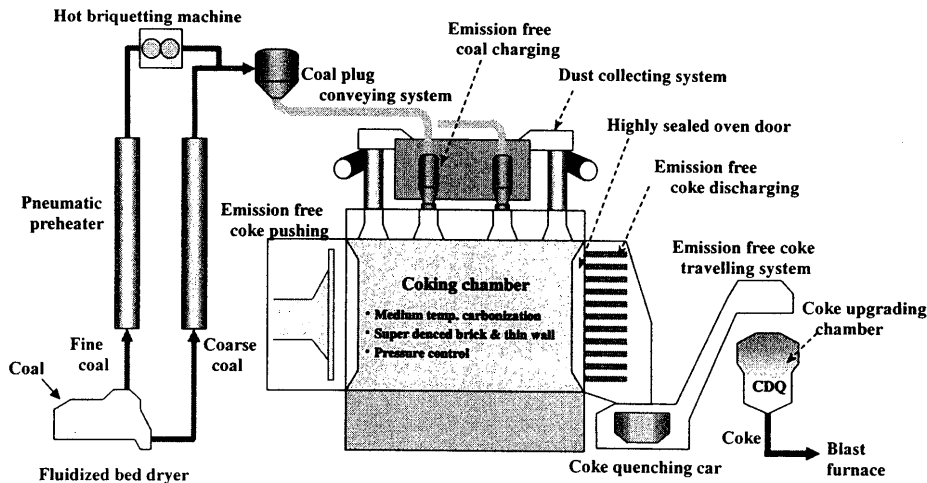


Fig. 1. Schematic diagram of the SCOPE21 process flow.

炭化室壁の高熱伝導化・薄壁化および均一加熱により通常乾留の炭中温度 1000°C より低い温度で窯出しすることで、乾留時間を大幅に短縮する。

ここで、乾留温度不足分はコークスの乾式消火設備 (CDQ) で再加熱して品質を確保する。

### (3) 環境改善技術

プラグ輸送方式による石炭の密閉搬送、コークス炉の炉内圧調整や窯出し時の密閉集塵などによるコークス炉からのガス漏れ防止により、コークス製造に伴う発煙、発塵、臭気を徹底的に防止する。また、コークス炉の燃焼構造改善により低 NO<sub>x</sub> 燃焼を実現する。

### (4) 省エネルギー技術

装入石炭の高温予熱による乾留開始温度の引き上げと中低温乾留による窯出しコークス温度の低下により、間接加熱の乾留炉での消費熱量を低減する。また発生ガスや燃焼排ガスの顕熱回収などにより省エネルギーを図る。

## 3. 開発成果概要

### 3.1 実機化までの開発展開

H6~7年度の調査研究ステージで Fig. 1 の基本プロセスを構築し、実機化までの開発展開を下記の考え方で設定した。

実機想定設備は、4000 m<sup>3</sup>級の大型高炉 1 基が出鉄量 1 万 t/日の操業を行うために、必要とする約 4000 t/日のコークスを生産できるユニット (石炭量換算 240 t/h の処理能力) を前提とした。石炭事前処理設備はスケールアップのステップを 10~20 倍に設定し、乾留炉は極力実機規模の試験が可能な設備とし、Table 1 のように設定した。

### 3.2 要素技術開発段階

H8~12年度までのラボテスト及び要素組合せ試験 (ベンチスケール試験) により、石炭事前処理工程における石炭の乾燥、加熱、分級特性および急速加熱処理時の改質効

Table 1. Development step for commercialisation.

Scale of test plant	Coal pretreatment process	Coke oven
1 <sup>st</sup> Bench scale Plant	0.6 t/h (1/200×C.P)	Combustion chamber (Actual scale test)
2 <sup>nd</sup> Pilot Plant	6.0 t/h (1/20×C.P)	1 coke oven (1/2 length)
3 <sup>rd</sup> Commercial plant	240 t/h (120 t/h×2setts)	34 t/oven×n

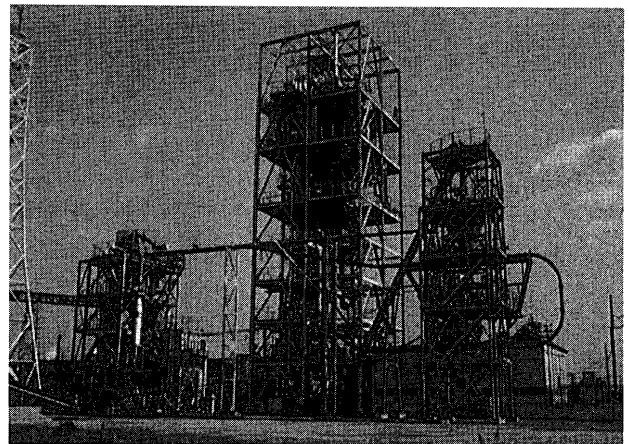


Fig. 2. The bench scale plant of SCOPE21.

果の確認を行った。また乾留炉本体の構造に関しては、実機相当の燃焼試験炉により高生産性炉に適した均一加熱、低 NO<sub>x</sub> 燃焼が可能な燃焼構造を開発し、パイロットプラントの設計に反映した。

#### (1) ベンチスケール試験

SCOPE21の重要工程である石炭事前処理工程 (乾燥分級→急速加熱→熱間成形→高温炭輸送) の設備機能の確認とパイロットプラント設計のためのスケールアップデータを収集する目的で、ベンチプラントを新日本製鐵 (株) 名古屋製鐵所構内に建設 (Fig. 2) した。設備能力は石炭処理量 0.6 t/h で、パイロットプラントの 10 分の 1 のスケールである。試験操業は 1998 年 10 月から 2000 年 3 月まで行な

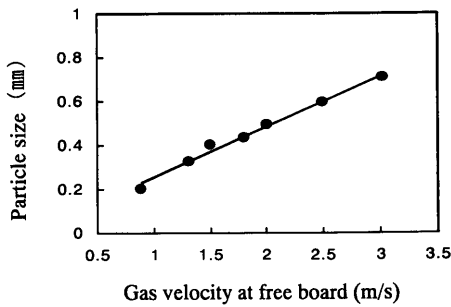


Fig. 3. Relationship between gas velocity at free board and particle size at classifying point.

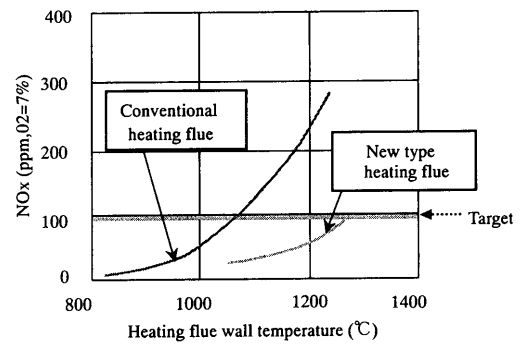


Fig. 5. Relationship between heating flue wall temperature and NOx proportion.

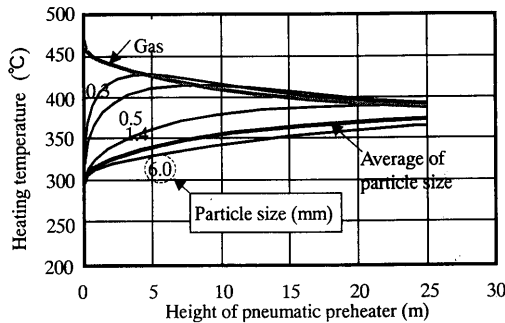


Fig. 4. Relationship between tower height and coarse coal temperature.

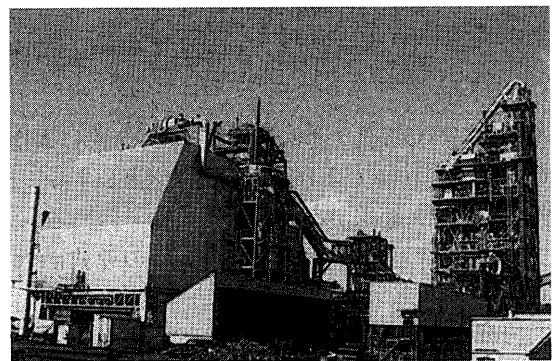


Fig. 6. The pilot plant of SCOPE21.

われた。

得られた結果の一例を Fig. 3, 4 に示す。

Fig. 3 は流動床乾燥分級設備による微粉炭の分級性能に関するもので、ガス流速を制御することにより、所定の粒度で分級可能であることを確認した。併せて、石炭の加熱特性についてもモデル解析結果とほぼ同様の昇温特性を確認し、目標とする 300°C 加熱は可能であると確認した。

Fig. 4 は気流塔加熱設備の加熱特性に関して、均一加熱が難しい粗粒炭 (0.5~6 mm) も、所要熱風温度であれば粒子温度ばらつき 50°C 以内でほぼ 380°C に加熱可能であると推定された。

(2) 燃焼構造最適化試験

実機相当 (炉高 7.5 m, 炉幅 450 mm, 窯間ピッチ 1500 mm) の燃焼試験炉 (燃焼室列数 1, 燃焼室高さ 7.1 m, 燃焼室数 12, ダミー炭化室 2, 蓄熱室 2 門分) により、高熱伝導、薄壁煉瓦の評価とともに、均一加熱、低 NOx 燃焼技術の開発を行った。一例として NOx 低減効果を、Fig. 5 に示す。

開発炉構造は、1200°C 以上の高温加熱でも、排ガス中の NOx 濃度を目標とする 100 ppm 以下に抑えることができ、既設炉構造に比べて格段に優れた燃焼室構造であることを確認した。

3.3 パイロットプラント試験

開発ステージの最終段階として、石炭事前処理~乾留炉の一貫した設備を有するパイロットプラントを新日本製鐵 (株) 名古屋製鐵所構内に建設 (Fig. 6) し、2002 年 3 月から

Table 2. Main specifications of the pilot plant.

Main equipment	Basic specifications
Fluidized bed	Coal throughput : 6.0 dry-t/h
Pneumatic preheater	Coal throughput : 6.0 dry-t/h (coarse coal) : 2.4 dry-t/h (fine coal)
Briquetting machine	Type : double roll Mold : massec type (18ml) Capacity : 2.4t/h
Coke oven	Oven size : 7.5mH×8.0mL×0.45mW Brick material : super densed brick Heat conductivity : 2.3kcal/mh°C

2003 年 3 月まで試験操作を行った。

パイロットプラント試験の目的は、開発コンセプトの検証と実機設備の設計に必要なエンジニアリングデータの取得にある。

(1) 設備概要

パイロットプラントは、Table 2 の設備仕様および Fig. 7 の設備フローに見られるように石炭事前処理設備と乾留炉より構成されている。具体的な設備構成は下記のとおりである。

1) 石炭事前処理設備

実機の約 20 分の 1 である石炭処理能力 6t/h の規模とし、ベンチスケール試験の成果に基づき基本仕様を確定した。

2) 乾留炉

乾留炉は 1 窯で、炉長が実機の 1/2、炉高、炉幅は実機大の寸法諸元とし、前述の燃焼構造最適化試験の結果

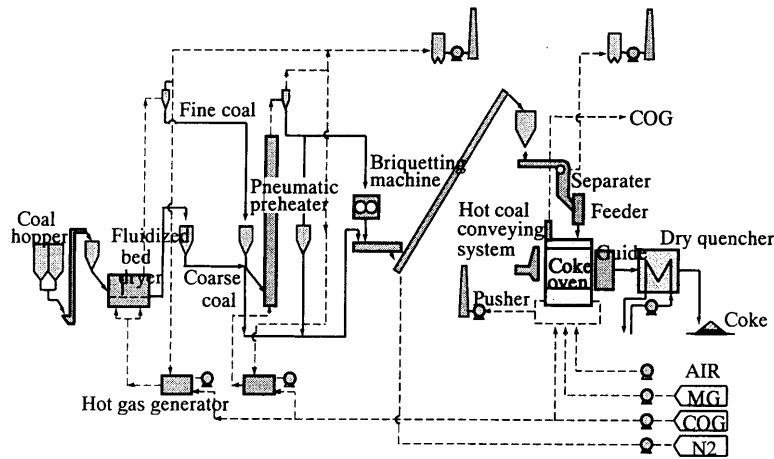


Fig. 7. Overall process flow of the pilot plant.

Table 3. Characteristics of the tested coals.

	Proximate analysis (mass%, dry)		Fluidity Index MF (log/ddpm)	Blending ratio (mass%)
	VM	Ash		
Coal A (Coking coal)	24.6	9.0	2.70	25
Coal B (Coking coal)	26.3	9.0	1.77	25
Coal C (Poor coking coal)	34.6	9.2	1.70	50

を反映させ、環境対策の設計データを収集できる設備とした。

(2) PP試験操業

PP操業は、大きくは低炉温の1次操業(炉温1100~1150°C)と高炉温の2次操業(1200~1280°C)の2段階に分けて約1年間行なわれた。総乾留試験数は440回を数え、ほぼ開発目標を達成することができた。

1) コークス品質

装入原料となる配合炭は、Table 3に示す3種を粘結炭、微粘結炭各50%配合したものである。また、石炭事前処理は流動床で300°C加熱後、気流塔で粗粒炭、微粉炭とも380°Cまで加熱した。この装入原料で1年間の操業を通した平均コークス強度は、 $DI^{150}_{15}=84.8$ であり、現行プロセスで操業した時の推定値82.3を2.5上回る良好な強度であった(Fig. 8)。この強度向上効果は、装入嵩密度向上効果に加え、急速加熱効果などによるものと考えている。

2) 生産性

装入炭温度330°C、炉温1250°Cの条件では、通常の湿炭操業では乾留時間17.5hのところを7.4hで乾留(Fig. 9)でき、装入嵩密度向上効果と合わせ、生産性は2.4倍と評価された。

また高温、高速乾留にもかかわらず、コークス炉操業の課題とされるカーボン付着は通常操業並みで、微粉部分の成形がカーボン生成の抑制に極めて有効であると確認された(Fig.10)。

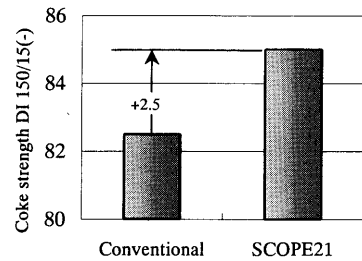


Fig. 8. Effect of improvements on the coke strength by the SCOPE21 process.

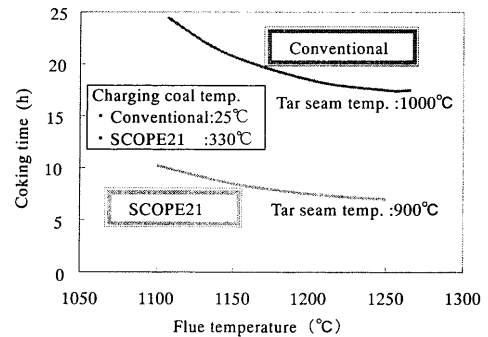


Fig. 9. Reduction of coking time by the SCOPE21 process.

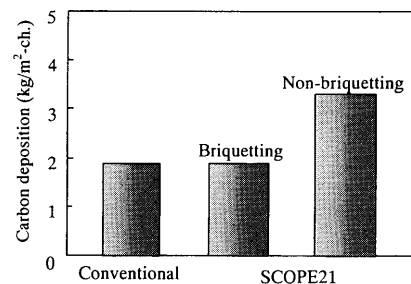


Fig. 10. Effect of briquetting of fine coal on carbon deposition.

3) 環境改善

①プラグ輸送方式による高温炭の搬送は、目標とした実機適用時の搬送速度350t/h以上で安定輸送できることを確認した。

- ②乾留炉燃焼排ガス中のNOxは、Fig. 5に示した燃焼構造試験結果と全く一致して、目標の炉温1250°Cで、100 ppm以下の低濃度を達成した。
- ③乾留炉からのガス漏れ防止対策について、乾留中の炉内圧調整効果を確認するとともに、実機設計のための窯出し時の局所集塵データを収集した。

3.4 省エネルギー効果

(1) 省エネ評価前提

省エネ評価には、下記の前提で現行プロセスと比較した。

- ・比較プロセス：1990年度時点の現行プロセス（湿炭操業+CDQ熱回収）
- ・電力評価：発電端効率38.2%（エネルギー換算2250 kcal/kWh）
- ・評価方法：総合エネルギー（消費エネルギー-CDQ回収エネルギー）評価

(2) 評価結果(Fig.11)

- ・SCOPE21プロセスの省エネ率は、現行プロセスと比較して21%低減される。
- ・これは石炭事前処理工程での電力は増加するが乾留炉でのガス燃焼エネルギーの低減効果が大きいことによる。

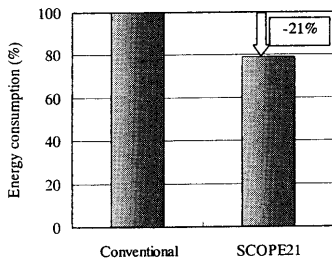


Fig. 11. Reduction of energy consumption by the SCOPE21 process.

3.5 実機設備の概念設計と経済性

(1) 設備概要

1) 前提

- ①設置場所：グリーンフィールド
- ②コークス生産能力：大型高炉（出鉄量10,000 t/d）に対応したコークス量4,000 t/d(1.5 MT/Y)を生産能力とする。
- ③検討範囲：石炭粉砕から石炭事前処理工程、高温炭搬送工程、乾留工程、CDQ消火工程までを含める
- ④その他：予備機、応急時対応の設備余力は有しない。

2) 設備イメージ

①主要設備概要

Table 4にその概要を示すが、パイロットプラントの試験結果をもとに、石炭事前処理設備、高温炭搬送設備、乾留炉の操業条件を確定し、乾留炉窯数については、PP実績をもとに実機設備の生産性を現行プロセス比2.4倍と確定して算出した。

②設備レイアウト

現行プロセスと比較して、SCOPE21プロセスは乾留炉の窯数が126から53に削減されるため、石炭事前処理設備増を加味しても敷地面積は半減(Fig.12)する。参考までに、石炭事前処理設備の機器構成をFig.13に示す。

3) 経済性

前記Table 3の条件で、設備費およびコークス製造費の評価を行なった。

①設備費

現行プロセスと比較してSCOPE21プロセスは、石炭事前処理設備費と環境対策費などの増加はあるものの、乾留炉設備の低減が大きく寄与し、16%の設備費低減と評価された。(Fig.14)

②コークス製造費

SCOPE21プロセスは石炭事前処理での電力/燃料ガ

Table 4. Main specifications of 4,000 t-coke/d commercial plant

		Conventional	SCOPE21	
Charged coal	Moisture (%)	9.0	-	
	Temperature (°C)	25	330	
	Briquetted coal ratio (%)	-	30	
Coal pretreatment	Fluidized bed dryer	-	240t/h	
	Pneumatic preheater	-	Coarse coal:160t/h Fine coal : 80t/h	
	Briquetting machine	-	80t/h	
Hot coal transporting		-	Plug flow conveyor 400t/h×2setts	
Carbonization	Flue temperature (°C)	1250	1250	
	Coking time (h)	17.5	7.4	
Coke oven feature	Dimensions	Height (m)	7.5	7.5
		Length (m)	16.0	16.0
		Width (m)	0.45	0.45
	Oven volume (m <sup>3</sup> )	47.0	47.0	
	Chamber wall brick	Thickness (mm)	100	70
		Heat conductivity (kcal/mh°C)	Densed brick 1.7	Super densed brick 2.3
	Number of ovens (-)	126	53	

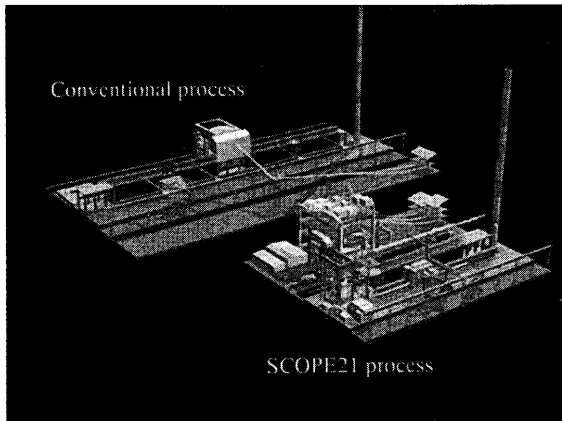


Fig. 12. Outlook of the commercial plant.

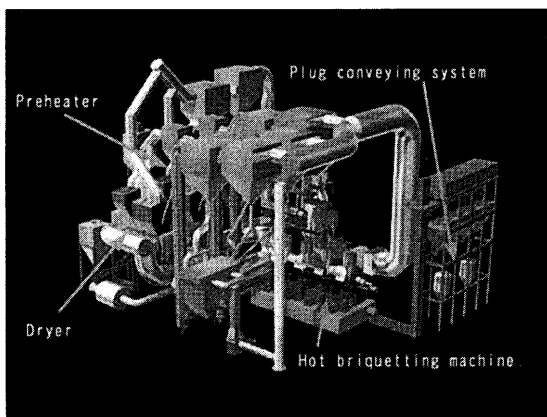


Fig. 13. Outlook of the coal pretreatment process.

スなどの用役費が増えるものの、非微粘多配合のため、現行プロセスより原料費の低減と副産物控除が大きい。その結果、フルコストの製造費(変動費+固定費)比較において、18%のコークス製造費低減と評価された。(Fig.15)

#### 4. おわりに

日本のコークス技術者が十年の歳月をかけ、総力を挙げて取り組んできたSCOPE21プロジェクトは、最終段階のパイロットプラント試験を終え、当初の目標をほぼ達成する大きな成果を挙げた。

これまで得られた成果は、来るべきコークス炉更新において必ずや生かされるであろうし、世界のコークス製造技術に大きく貢献する21世紀にふさわしいプロセスになるものと確信している。

最後に、本研究は石炭生産・利用技術振興費補助金の石炭燃焼技術開発(石炭高度転換コークス製造技術)に係る研究の一環として実施されたものであり、ここに関係各位に感謝の意を表します。

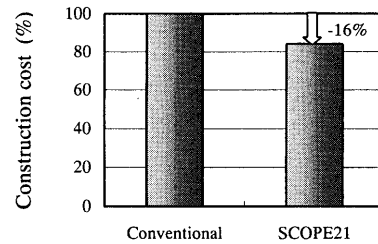


Fig. 14. Reduction of the construction cost by the SCOPE21 process.

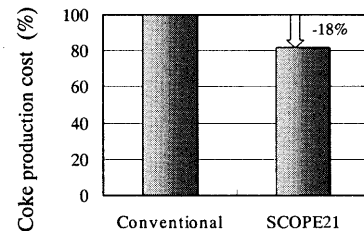


Fig. 15. Reduction of the coke production cost by the SCOPE21 process.

#### 文 献

- 1) S.Kubo: 3rd Int. Cokemaking Cong. Proc., CRM and VDEh, Düsseldorf, (1996), 278.
- 2) K.Nishioka: 3rd Int. Cokemaking Cong. Proc., CRM and VDEh, Düsseldorf, (1996), 285.
- 3) H.Taketomi, K.Nishioka, Y.Nakashima, S.Suyama and M.Matsuura: 4th Int. Cokemaking Cong. Proc., French Iron & Steel Tech. Asso., Paris, (2000), 278.
- 4) K.Nishioka, T.Yamada, H.Oshima, I.Sugiyama, S.Suyama, H.Fujikawa and M.Yamamoto: *Energy*, **260** (2003), 26.
- 5) S.Matsuura, M.Sasaki, K.Saito, K.Katoh and I.Komaki: *Tetsu-to-Hagané*, **89** (2003), 565.
- 6) M.Yamamoto, K.Nishioka, T.Yamada, H.Oshima, I.Sugiyama, S.Suyama, H.Fujikawa and M.Yamamoto: *CAMP-ISIJ*, **16** (2003), 99.
- 7) K.Fukada, S.Itagaki and I.Shimoyama: *CAMP-ISIJ*, **16** (2003), 100.
- 8) M.Nishimura and K.Amamoto: *CAMP-ISIJ*, **16** (2003), 101.
- 9) M.Matsuura, M.Sasaki and K.Katoh: *CAMP-ISIJ*, **16** (2003), 102.
- 10) K.Hanaoka, K.Nushiro and K.Igawa: *CAMP-ISIJ*, **16** (2003), 103.
- 11) K.Uebo: *CAMP-ISIJ*, **16** (2003), 104.
- 12) H.Nakai, M.Sasaki, M.Matsuura, K.Nishioka, I.Sugiyama and S.Suyama: 3rd ICSTI Proc., VDEh, Düsseldorf, (2003), 550.
- 13) K.Nishioka, H.Oshima, I.Sugiyama and H.Fujikawa: Kyushu-Korea Technical Exchange Forum 2003 Proc., NEDO, Fukuoka, (2003), 35.
- 14) K.Nishioka, H.Oshima, I.Sugiyama and H.Fujikawa: *CAMP-ISIJ*, **16** (2003), 740.
- 15) A.Suzuki, K.Nagai and T.Sunagawa: *CAMP-ISIJ*, **16** (2003), 964.
- 16) M.Kubota, T.Arima, K.Katoh, M.Matsuura, H.Nakai and M.Sasaki: *CAMP-ISIJ*, **16** (2003), 965.
- 17) K.Hanaoka, K.Nushiro, S.Itagaki and K.Igawa: *CAMP-ISIJ*, **16** (2003), 966.
- 18) M.Matsuura, H.Nakai, M.Sasaki and K.Katoh: *CAMP-ISIJ*, **16** (2003), 967.
- 19) K.Uebo: *CAMP-ISIJ*, **16** (2003), 968.
- 20) S.Yoshida, S.Takase, M.Uchida, T.Saji and H.Koyama: *CAMP-ISIJ*, **16** (2003), 969.
- 21) T.Arima, K.Fukuta, M.Kubota, K.Katoh, M.Matsuura, H.Nakai and M.Sasaki: *CAMP-ISIJ*, **16** (2003), 970.
- 22) S.Yoshida, S.Takase, M.Uchida, T.Saji and H.Koyama: The 40th Coal Science Conf. Proc., J. Jpn. Inst. Energy, Tokyo, (2003), 42.
- 23) H.Fujikawa, K.Nishioka, H.Oshima and I.Sugiyama: 12th Int. Conf. on Coal Science Proc., Australian Inst. Energy Agency & IEA Clean Coal Centre, Sydney, (2003), 43.