

インド溶剤精製炭生産計画 予備調査報告書

1989年9月

国際協力事業団

鉦計工

89-197

インド溶剤精製炭生産計画
予備調査報告書

20106

JICA LIBRARY



1078037171

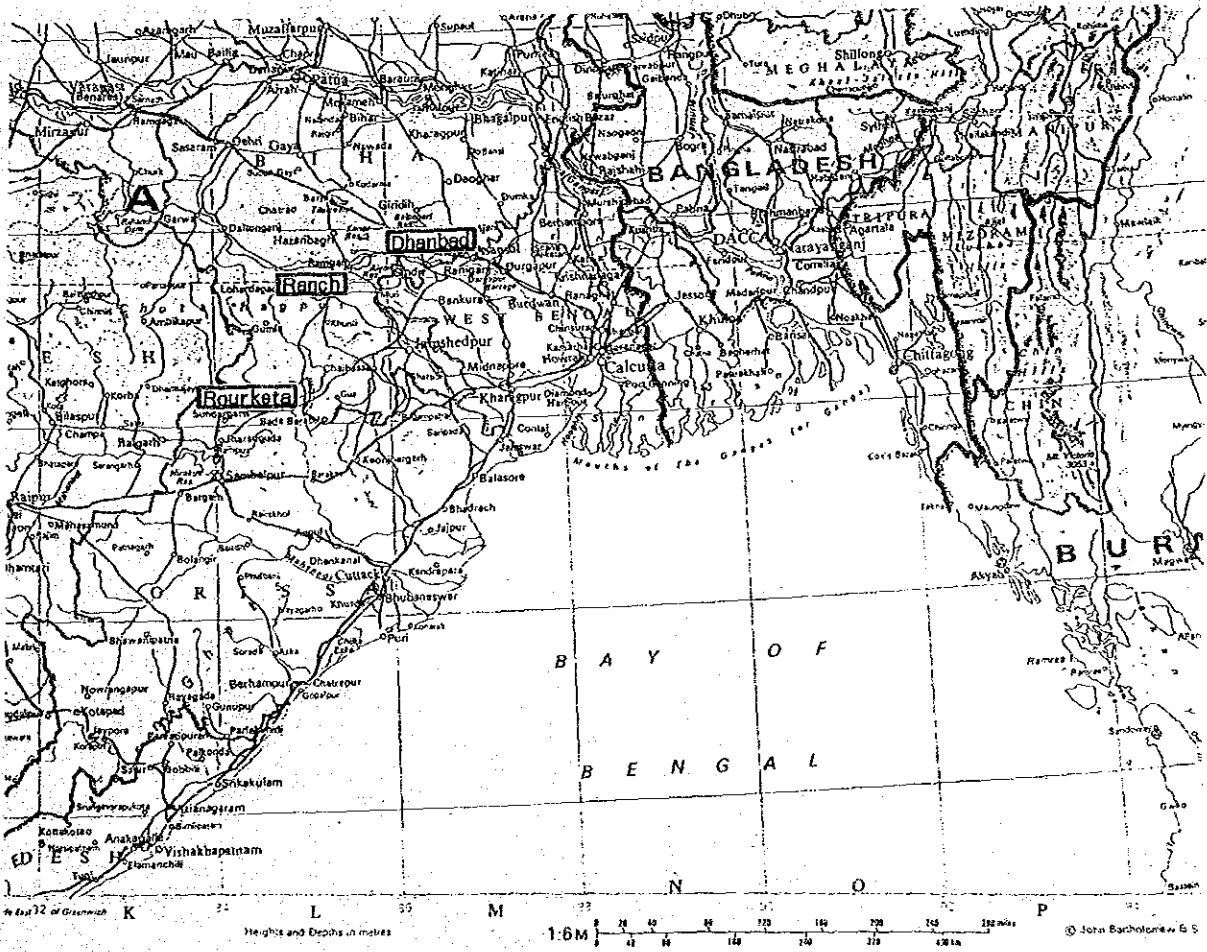
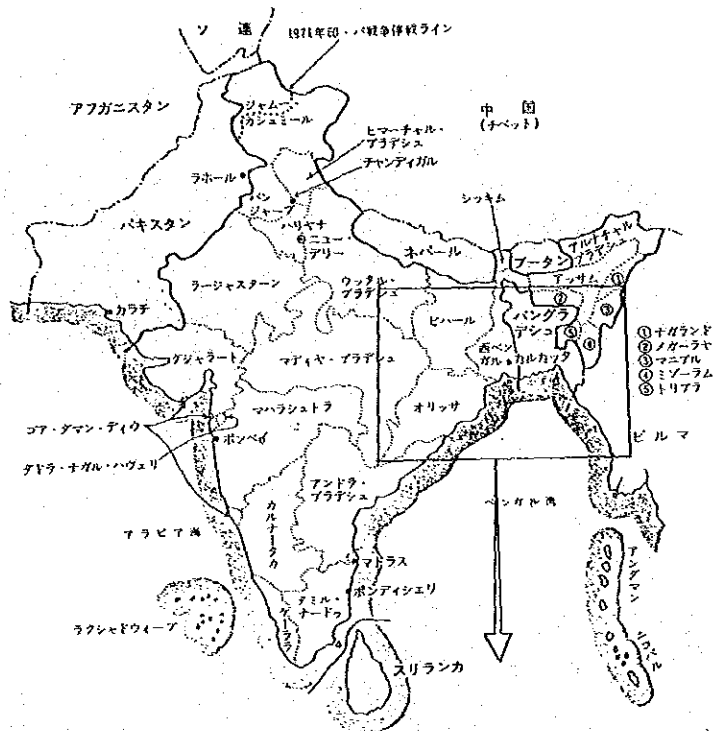
1989年9月

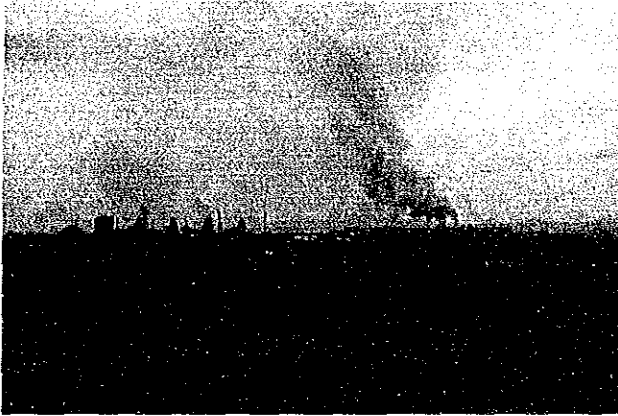
国際協力事業団

国際協力事業団

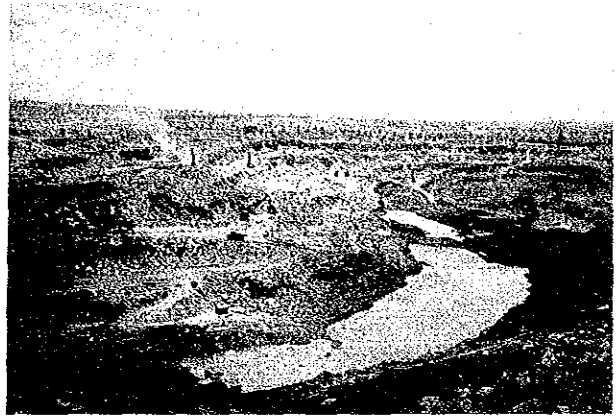
20106

インド全図





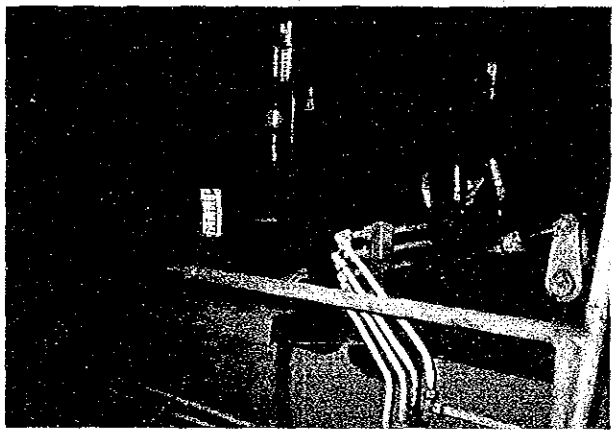
ルールケラー製鉄所の遠景



ラジャラッパ炭鉱の遠景



選炭プラントの遠景 (ラジャラッパ炭鉱)



選炭プラント内部



石炭沈降池 (ラジャラッパ炭鉱)



団長と鉄鋼鉱山省カッタール局長との間でM/M署名

目 次

I. 予備調査の概要（鈴木）	1
1. 調査要請の背景及び内容	1
2. 調査の目的	3
3. 調査団員の構成	3
4. 主要調査日程	4
5. 主要面談者	5
II. 協議交渉内容と結果（中村）	9
1. 予備調査の内容	11
2. 調査の概要に関する協議	11
3. 協議結果	11
4. その他の参考事項	13
III. 石炭・鉄鋼産業の現状（野口）	15
1. 石炭鉱業	17
1-1. 政府機関及び関係団体等	17
1-2. 主要炭田	18
1-3. 石炭の埋蔵量	19
1-4. 石炭の生産	19
1-5. インド炭の特徴及びその対策	19
2. 鉄鋼業	20
2-1. 政府機関及び関係団体等	20
2-2. 主要製鉄所	21
2-3. 粗鋼生産量	21
IV. 技術評価（山下・川田）	31
1. インド国内炭の特徴	33
1-1. 石炭資源	33

1-2. インド炭の特性	36
1-3. 選炭技術と効果	44
2. 鉄鋼産業における石炭の利用	46
2-1. インドの鉄鋼産業の概要	46
2-2. コークス製造及び粗鋼生産設備と技術レベル	49
2-3. 原料炭の特性（問題点）がもたらすコークス及び粗鋼 の生産性及び生産コストへの影響	54
2-4. コークス製造技術の向上と効果	56
3. SRC製造技術	57
3-1. SRC	57
3-2. SRC製造技術の開発状況	62
3-3. スケールアップ手法と問題点	63
3-4. インドに於けるSRC技術導入による効果	65
3-5. インド炭を原料としたSRCの製造	65
4. SRC製造プラント	69
4-1. プロセスフロー	69
4-2. 付帯設備	72
4-3. SRCプラント建設の環境へのインパクト	72
4-4. 概略物質収支	76
4-5. 概略投資金額	77
4-6. SRCの配合によるコークスの製造	79
5. 結論	80
V. 環境評価（下形）	83
1. インドにおける環境汚染の現状	85
1-1. 大気汚染	85
1-2. 水質汚濁	88
2. 環境保全対策の現況	94
2-1. 大気に関する法律	94
2-2. 水質に関する法律	97

3.	環境保全に係る今後の対策	102
3-1.	大気	102
3-2.	水質	103
VI.	経済評価（今枝）	105
1.	経済評価の範囲	107
2.	本計画の国家経済的意義	107
2-1.	S R C の必要性	107
2-2.	期待される便益	108
3.	外貨収支への影響	110
3-1.	分析手法	110
3-2.	前提条件	111
3-3.	分析結果	112
4.	収益性の検討	116
4-1.	分析手法	116
4-2.	前提条件	116
4-3.	S R C の製造原価	117
4-4.	コークス製造の収益性	122
5.	結論	127
VII.	本格調査における留意点	129
VIII.	参考資料	133
1.	対処方針案	135
2.	M / M (Minutes of Meeting)	147
3.	Questionnaire	153
4.	実験計画案	169
5.	主要入手資料リスト	179

I. 予備調査の概要

I . 予 備 調 査 の 概 要

1 . 調 査 要 請 の 背 景 及 び 内 容

(1) インドは、約 7 億人の人口を抱えているが、国民一人当たりの鉄鋼使用量は 17kg/人・年程度で、途上国中最低である。粗鋼生産は1986年の実績が1187万トンであり、世界におけるシェアは、1.7%である。

2000年になると人口が10億人に増加すると予測され、一人当たりの鉄鋼使用量も増加すると考えられるので、年間5000万トン以上の粗鋼生産が必要になると言われている。

この製鉄に必要なコークスをつくるための原料炭は、インド国内に90億トン（確定炭量）の埋蔵量があるが、原炭灰分が高く（20%～40%）、洗炭しても灰分を大幅に低下させることは困難である（洗炭後灰分18%～20%）。現在、洗炭後の原料炭から灰分25%～28%の高灰分コークスを製造している。

このため、インドの製鉄業において高炉の生産性向上及び大型化を計る際に、コークス中の灰分を低下させ、かつ、コークスの強度を向上させる対策が必要不可欠となっている。

(2) 現在は、低灰分（10%以下）の原料炭を豪州、カナダなどから輸入して配合使用しており、その輸入量は、約 300万トン（2億ドル/年）にも達しているインドの貿易バランスは、近年大幅な赤字続きであり、外貨保有高も十分ではないため、外貨のセーブがインドの大きな国策の一つであり、輸入炭量の節減も大きな問題となっている。

(3) 一方、インド国内に豊富に存在する一般炭は、燃料としては利用されているものの現在必ずしも有効に利用されているとは言えない。

インド国政府としては、この一般炭をコークス製造への利用を計り、輸入炭への依存を減らし、合わせて、国内原料炭の延命も計りたいという考えを持っている。

(4) SRC（Solvent Refined Coal）プロセスは、非コークス用炭（一般炭）をコークス化性を高めた低灰分の固体製品SRCに交換するプロセスである。このSRCは、通常のコークス配合炭に一般炭と共に添加剤として混合使用する

ことができ、高強度の良質コークスを生産できる可能性があると言われている。インド国政府は、SRCプロセスを鉄鋼業におけるコークス製造用として導入すべく一貫製鉄所内へのSRCプロセス実証プラント建設プロジェクトの可能性を検討している。

(5) 上記背景に基づき、インド国政府は、'86年1月本件（SRCプロセス実証プラント建設プロジェクトのF/S）を日本政府に対し、要請越した。しかしながら、我が国としては、原料炭市場が供給過剰傾向で、鉄鋼業部門での良質原料炭確保が可能であり、また、国内立地を前提としたSRC利用コークス生産は、現在の価格水準では経済性に難がある等の理由で、国内において事業化に至っておらず、本件に対する協力が困難であると回答した。これを受け、インド政府も未だ事業化されていない技術であれば、本件を取り止める旨、日本に伝え越した。

(6) '88年11月、一度は本件の中止を決定したインド国政府は検討の結果再度、本件を日本政府に取り上げてもらうべく、その可能性を打診越した。

我が国としては、本件に対する印側の取り組み姿勢等が不明のため'89年1月、JICAの選定確認調査団をインドに派遣し、関連省庁等との協議を実施した。その結果、インド国政府としては、外貨節減及び資源の有効活用などの観点から、本プロジェクトを優良プロジェクトと位置付けており、技術的・経済的評価を早期に実施したい考えを持っていることが判明したため、調査団は段階的なF/Sを慎重に実施してゆくという条件を印側が受け入れるのであれば、協力が可能である旨述べた。

(7) インド国政府は、上記協議に基づき、改めて'89年3月、SRCプロセス実証プラント建設の可能性の検討に備えるため、石炭の原料調査、SRC製造技術開発等を含むF/Sの実施を内容とした開発調査案件を日本政府に対し、要請越した。

(8) 上記要請を受けて、本件予備調査は、本プロジェクトの位置付け、必要性、効果等をより詳細に明らかにし、また、インドにおける技術レベル等を確認し、さらに調査の概要に関する印側との協議及び関連情報収集のため、1989年7月15日から同年7月29日まで、JICA鉱工業計画調査部次長中村信を団長として、予備調査を実施したものである。

2. 調査の目的

- (1) 背景・内容の確認
- (2) 調査の概要に関する協議
- (3) 鉄鋼・石炭・化学産業等の実態把握（工場視察等）
- (4) 関連情報の収集

3. 調査団の構成

氏名	担当事項	所属
中村 信	団長・総括	国際協力事業団 鉦工業計画調査部次長
鈴木康次郎	調査企画	国際協力事業団 鉦工業計画調査部 工業調査課
野口輝年	石炭行政	通商産業省 資源エネルギー庁 石炭部 炭業課 技術係長
山下安正	技術評価	通商産業省 工業技術院 公害資源研究所 石炭部 石炭物性研究室長
下形茂雄	環境評価	通商産業省 工業技術院 公害資源研究所 立地環境部
川田邦雄	技術評価	テクノコンサルタンツ（株） 技術第一部
今枝良隆	経済評価	テクノコンサルタンツ（株） 技術第一部

4. 主要調査日程

(1) 交渉班日程 (中村、鈴木、野口)

7/15 (土)	東京 → デリー (JL717, A1331)	(デリー泊)
16 (日)	資料整理	(")
17 (月)	大使館、JICA事務所にて打合せ 大使表敬、大蔵省にて打合せ	(")
18 (火)	鉄鉱・鉱山省にて打合せ、エネルギー省 にて打合せ	(")
19 (水)	SAILにて打合せ、大使館、JICA事務所 にて打合せ	(")
20 (木)	デリー → カルカッタ (IC401) 総領事表敬	(カルカッタ泊)
21 (金)	カルカッタ → ランチー (IC410) R&D Center for Iron & Steel 視察	(ランチー泊)
22 (土)	MECON 本社視察及び打合せ	(")
23 (日)	ランチー → ダンバード	(ダンバード泊)
24 (月)	CFRI 視察及び打合せ	(")
25 (火)	ダンバード → (カルカッタ) → デリー (IC402)	(デリー泊)
26 (水)	鉄鉱・鉱山省にて打合せ	(")
27 (木)	大使館、JICA事務所へ報告	(")
28 (金)	デリー → バンコク (TG915)	(バンコク泊)
29 (土)	バンコク → 東京 (JL728)	

(2) 評価班日程 (山下、下形、川田、今枝)

7/15 (土)	東京 → デリー (JL717, A1331)	(デリー泊)
16 (日)	資料整理	(")
17 (月)	大使館、JICA事務所にて打合せ 大使表敬、大蔵省にて打合せ	(カルカッタ泊)

- デリー → カルカッタ (10264)
- 18 (火) 総領事表敬 (ランチ-泊)
- カルカッタ → ランチー (10410)
- 19 (水) ランチー → ルールケラー (ル-ルケラー-泊)
- 20 (木) ルールケラー製鉄所、肥料工場等視察 (ランチ-泊)
- ルールケラー → ランチー
- 21 (金) ラジャラッパ炭田視察 (")
- 22 (土)]
- 29 (土)]
- 22日以降は、交渉班日程に同じ。

5. 主要面談者

※ Department of Economic Affairs, Ministry of Finance

Mr. S. Joshi, Deputy Secretary

Mr. P. C. Rastogi, Under Secretary

Mr. Ravinder Dutt, Section Officer

※ Department of Steel, Ministry of Steel & Mines

Mr. Jagdish Khattar, Joint Secretary (M/Mへの署名者)

Ms. R. Haldea, Director

Mr. Anil Gupta, Development Officer

※ Department of Coal, Ministry of Energy

Mr. R. S. Sane, Joint Secretary

Mr. R. K. Sachdev, Director

Mr. Yugesh Chandra

※ Steel Authority of India Ltd., (SAIL)

Mr. Arvind Pandé, Director (Corporate Planning)

※ Metallurgical & Engineering Consultants (India) Ltd., (MECON)

Mr. P. C. Laha, Chairman

Mr. S. N. Wazir, Consultant

Mr. G. Venugopal, General Project Manager

Mr. R. K. Bhatia, Assistant Project Manager

Mr. A. K. Mathur, Contracts Manager

Mr. A. K. Sarkar, Engineering Manager

Mr. T. C. Rajagopalan, Chief Engineer

Mr. A. K. Mukheyee

Mr. P. K. Sen

Mr. C. P. Singh

Mr. G. C. Arya

Mr. V. Venugopal

Mr. C. Bhattaeharya

Mr. Dhureja

Mr. S. K. Sinla

※ Research & Development Centre for Iron & Steel, SAIL

Mr. S. M. Aeron, Deputy General Manager

Mr. R. P. Sharma, Principal Research Manager

Mr. N. K. Ghosh, Principal Research Engineer

Mr. S. K. Jain, Principal Research Engineer

Mr. V. V. Raju, Principal Research Engineer

※ Central Fuel Research Institute, (CFRI)

Dr. R. Haque, Director

Dr. M. Chakraborty, Deputy Director

Mr. V. A. Krishnamurthi, Deputy Director

Mr. D. K. Murcheriee, Deputy Director

Mr. S. Shuse, Deputy Director

Mr. K. K. Roychunshury, Deputy Director

Mr. K. Surgh, Scientist

Dr. B. Banerjee, Scientist

Mr. K. Raja, Scientist

Mr. B. K. Sircha, Scientist

Mr. S. Sen, Scientist

Mr. T. K. Basu, Scientist

Mr. P. N. Ash, Scientist

※在インド日本国大使館

野田英二郎 特命全権大使

菅野悠紀雄 参事官

佐伯義文 一等書記官

西郷正道 ”

※在カルカッタ総領事館

加藤利一 総領事

※JICAインド事務所

倉林太郎 所長

(鈴木康次郎)

Ⅱ. 協議交渉内容と結果

II . 協 議 交 渉 内 容 と 結 果

1 . 予 備 調 査 の 内 容

本調査団は、印側関係省庁（大蔵省、鉄鋼鉱山省、エネルギー省及び鉄鋼公社）との協議を7月17日より3日間にわたり行い、その後20日より25日までは、本件プロジェクトのカウンターパート機関のMECON本社（所在地：ビハール州ラッチー市）及びCFRI（所在地：ビハール州ダンバード市）をそれぞれ訪問し、右機関の所長等幹部職員との打合せを行なうと共に、関連施設の調査を行った。

調査団のうち評価班は、MECON及びCFRIでの調査に先立ち、ルールケラー製鉄所、肥料工場並びにビハール州内の炭田調査等を実施した。

2 . 調 査 の 概 要 に 関 す る 協 議

上記インド政府関係機関及び現地調査の成果を踏まえ、7月26日、鉄鋼鉱山省において、本件プロジェクトの調査の概要について印側と最終協議を行った。

その際、本調査団は、参考資料1の対処方針案に基づき協議を進め、別添-1の「フェイズ分けの理由」に関する資料を用い、フェイズ分けの理由を説明すると共に、フェイズIとフェイズIIを別案件扱いする旨説明を行った。

3 . 協 議 結 果

印側は、調査団の提示した調査概要に全面的に理解を示し、参考資料2に添付されているとおり、鉄鋼鉱山省カッタール局長との間で、当方原案通り（参考資料1の別添-2）の協議議事録（Minutes of Meeting）に、それぞれ署名交換を行った。

主な合意事項は、以下の通り。

- (1) 本調査は通常のJICA案件に比べて、大規模案件となることが想定されるため、調査を段階的に実施し、各段階の終了時において、十分な評価を実施しながら進める。

(2) 本調査をフェイズⅠ、フェイズⅡに分けるとともに、フェイズⅠをPre-F/S、フェイズⅡをF/Sとして位置付ける。

(3) フェイズⅠの調査項目の詳細については、事前調査団訪印時に再協議することとするが、主な調査項目案は、以下のような項目にする。

- ・背景、関連事項調査
- ・市場調査
- ・原料調査
- ・コークス製造調査
- ・環境影響調査
- ・プラント概要調査
- ・財務、経済調査

(4) Pre-F/S（フェイズⅠ）を実施した後、日本側で十分に高い評価を得、かつ、印側が再要請した場合のみ、F/S（フェイズⅡ）の実施を検討する。すなわち、フェイズⅠとフェイズⅡを別案件扱いとする。

なお、本調査団は、本年1月の鉱工業プロジェクト選定確認調査団派遣時以後、印側における本プロジェクトの位置付けには、全く変化がないことを確認した。

1) 印側における本プロジェクトの今後の計画

要請書の内容通り、本調査の成果により、SRC技術の導入が可能となれば、500～1,000t/d規模のSRC実証プラントをSAIL一貫製鉄所用地の一つ（ルールケラー製鉄所は、有力候補地）に速やかに設置することを希望している。

輸入炭代替比率については、明確な数値が示されなかったものの、MECONからの情報では、最大限10～15%の代替率を見込んでいるとのことであった。

2) 印側における本プロジェクトの経済政策上、資源有効利用上の意義

国内における原料炭の保存及び一般炭の有効活用、並びに輸入原料炭の価格抑制及び外貨節約効果等、インド国民経済に及ぼすインパクトは多大である。

3) 印側の経済開発における本件プライオリティー

必ずしも明確に示されなかったものの、貿易バランスにおいて近年大幅赤字が続き、外貨保有高が不十分なため、外貨セーブが、インドの大きな国策の一つとなっており、輸入炭量の節減も大きな課題となっていることもあり、大蔵省を含めてインド政府関係機関は、本調査への積極的な支援を表明している。

4. その他の参考事項

(1) 支援体制について

本件調査の成果により、SRC技術の導入が可能となれば、インド国内の原料炭の保存、原料炭輸入による外貨節約等インド国民経済に及ぼすインパクトは多大であるとし、インド中央政府機関は本調査実施時における積極的な支援は惜しまない旨繰り返し表明しており、支援体制の確保は可能と思料される。

(2) 技術レベルについて

MECON及びCFRIの技術スタッフの配備は、カウンターパートとしては相当程度評価できるものと考えられるが、評価班の分析によれば、CFRIにおけるSRCのデータに関しては、実験用の観測機器の老朽化及び絶対的不足等により、データの精度に問題がないわけではないが、SRCに適する炭種の選定（絞り込み）等に関する基礎的資料は一応整備されていると思料される。

(3) 環境問題について

これまでの印政府の基本的な工業政策は、生産能力の増進に中心的な重きがなされ、公害防止への技術及び資本の投入は十分とは言えず、たとえば、ダンバードのような地方炭鉱都市における大気汚染、水質汚濁はひどく、石炭に含有されている有害物質が未処理のまま放出されている可能性が大きい。

しかしながら、印側も環境問題は今後無視し得ない重要政策として位置づけており、本件のSRCのF/S調査に環境問題は重要項目の一つとして含めて欲しいとしており、本調査に環境影響調査を含める意義は、十分に確認されたと思料される。

(4) 今後の対応について

現時点においては、情報が十分でないことから、印側の要請する本プロジェクトのフィージビリティの有無を即座に結論づけることはできないが、Pre-F/S(フェイズI)を実施することにより、かなりの高い精度で、フィージビリティの有無を判断できることが期待されるため、本調査団としては、上述してきたような本プロジェクトの経済政策上・資源有効利用上の意義等を十分考慮した結果、当面Pre-F/S(フェイズI)を実施し、本プロジェクトのフィージビリティを明らかにしてゆくことが必要であると考えている。

しかしながら、本件調査に関する日本側の今後の対応については、本調査団は印側に対し、予備調査の調査内容を日本側関係機関が十分に検討の上、今後の日本側の対応を印側に通報する旨説明し置いた。印側はこれを了承しつつも本件調査の実現およびその早期実施を強く求めている旨、表明した。

(中村 信)

Ⅲ. 石炭・鉄鋼産業の現状

III . 石 炭 ・ 鉄 鉱 産 業 の 現 状

1 . 石 炭 鉱 業

1-1. 政府機関及び関係団体等

(1) エネルギー省 (Ministry of Energy)

当省は、石炭部、発電部及び新エネルギー部の三部から構成されており、インド石炭会社 (Coal India Limited 「CIL」) は石炭部の傘下にある。

(2) 石炭鉱業会社

石炭生産の9割強は、国営企業であるインド石炭会社(CIL)と、中央政府と Andra Pradesh 州政府の合弁企業である Singareni Collieries Company Limited(SCCL)によって行われる。CIL は傘下の子会社として、7つの採炭会社、すなわち東部炭田会社(Eastern Coalfields Limited 「ECL」)、バラート原料炭会社(Bharat Coking Limited 「BCCL」)、中央部炭田会社 (Central Coal fields Limited 「CCL」)、北東部炭田会社 (North-Eastern Coalfields Limited 「NECL」)、西部炭田会社(Westen Coalfields Limited 「WCL」)、北部炭田会社(Northern Coalfields Limited 「NCL」)、南東部炭田会社(South-Eastern Coalfields Limited 「SECL」)とエンジニア・コンサルタント会社の中央鉱山計画・設計研究所 (Central Mine Planning & Design Institute 「CMPDI」) を保有している。

この他、公共部門ではインド鉄鋼会社 (Indian Iron & Steel Company Limited 「IISCO」) が石炭生産を行っている。また、民間部門の生産は、タタ鉄鋼会社 (Tata Iron & Steel Company Limited 「TISCO」) によって行われている。

(3) 科学・工業研究評議会 (Council of Scientific & Industrial Research 「CSIR」)

CSIRは、インドにおける科学と工業の研究の推進、導入、調整を目的とする政策審議会であり、1942年に設立され、議長はShri Rajiv Gandhi, Prime Minister である。その傘下に約40の研究所があり、今回訪問した中央燃料研究所 (Central Fuel Research Institute 「CFRI」) はその一つである。

(4) 中央燃料研究所(CFRI)

本研究所は、インドの石炭に関する基礎研究及び応用研究を実施することを目的とし、1945年に設立され、ビハール州のダンバードにあり、所長は Dr R. Haque である。

本研究所の活動分野は、次の通りである。

- ① 石炭の品質の評価
- ② 選炭
- ③ 石炭の直接利用技術
- ④ 石炭転換技術 (SRC 技術を含む。)
- ⑤ 製品の改良及び安定化
- ⑥ 支援研究開発
- ⑦ 支援技術
- ⑧ その他の活動

なお、本研究所は SRC 技術について研究を行っているが、スケールアップの詳細データについては取得していないと思われる。

1-2. 主要炭田 (図 III-1 参照)

- (1) Raniganj 炭田は、West Bengal 州の Sanctoria (Asansol) に本部を持つ ECL に所属する炭田である。
- (2) Jharia 炭田は、Bihar 州の Dhanbad に本部をもつ BCCL に所属する炭田である。
- (3) East Bokaro & West Bokaro 炭田は、Bihar 州の Dhanbad に本部を持つ CCL に所属する炭田である。
- (4) Pench-Kanhan, Tawa Valley 炭田は、Maharashtra 州の Nagpur に本部を持つ WCL に所属する炭田である。
- (5) Singrauli 炭田は、Madhya Pradesh 州の Singrauli に本部を持つ NCL に所属する炭田である。
- (6) Talchel 炭田は、Madhya Pradesh 州の Bilaspur に本部を持つ SBCL に所属する炭田である。
- (7) Chandra-Wardha 炭田は、Maharashtra に位置している。
- (8) Godavari Valley 炭田は、Andhra Pradesh 州の Kothagudem に本部を持つ

SCCLに所属する炭田である。

(9) その田の主要炭田として、Assam 州にも炭田がある。

1-3. 石炭の埋蔵量（表Ⅲ-1参照）

今回の調査結果によれば、インドにおける石炭の確定埋蔵量は248億トン（原料炭96億トン、一般炭152億トン）、推定埋蔵量は370億トン（原料炭73億トン、一般炭297億トン）、予想埋蔵量は246億トン（原料炭19億トン、一般炭227億トン）で、総埋蔵量は864億トン（原料炭187億トン、一般炭677億トン）で、総埋蔵量の約22%が原料炭である。

1-4. 石炭の生産（図Ⅲ-2及び3参照）

インドにおける石炭の生産は、1970年初頭伸び悩んでいたが、1973年の国営化以降図Ⅲ-2のように顕著な増加を示し、第6次5ヶ年計画期（1979～84年度）末（1984年度）には1億4830万トンに達し、ほぼ目標（1億5200万トン）を達成した。続く第7次5ヶ年計画期間（1985～89年度）中の1985, 86, 87年度の石炭生産も1億5510万トン、1億7740万トン、1億9780万トンに達し、順調に増加している。この生産増加に対しては露天堀が大きく貢献しているが、坑内堀は機械化がなかなか進まず、生産性がここ10年ほど停滞している。

インド政府は、今後の石炭生産計画として、1989～1990年に240百万トン、1994～1995年に321百万トン、1999～2000年に375百万トンの生産量を達成することを目標に掲げている。そのためには新規の露天坑の開発、坑内堀の機械化等の対策が必要になろう。

1-5. インド炭の特徴およびその対策

インド炭は高灰分で無水珪酸を多く含み、灰分が石炭中に均質に混入しているため、原料炭は通常の選炭方法ではコークス原料として好ましいレベルまで灰分を低下させることは出来ない。また、一般炭については現在のところ殆ど未処理のままに使用されており、発電所等のボイラーを痛めており、この解決のために一般炭の選炭が大きな課題となっている。

原料炭をコークス原料として好ましいレベルまで灰分を低下させる方法としては、現状では灰分の少ないコークス炭を海外から購入すること（図Ⅲ-

4 参照)によりブレンド炭の品質を向上させているが、将来はSRC技術等を導入することによりコークス強度、反応性を向上させ、輸入原料炭を国内一般炭で代替させる計画を持っている。また、発電所等のボイラーに使用する一般炭の灰分を少なくするため、表土混入を避ける採炭技術の改良及び新規の選炭施設の設置(表Ⅲ-2参照)等の計画を持っている。

2. 鉄鋼業

2-1. 政府機関及び関係団体等

(1) 鉄鋼鉱山省 (Ministry of Steel & Mines)

当省は鉄鋼部と鉱山部の両部から組織され、今回予備調査団が訪問した冶金エンジニアリングコンサルタント(MECON)とインド鉄鋼公社(SAIL)は鉄鋼部の傘下にある。

(2) 冶金エンジニアリングコンサルタント (MECON)

MECONはインド国営のエンジニアリング会社で、主力業務は鉄鋼関係であるが、活動分野は以下の通りである。

① コンサルタントとエンジニアリングサービス

- | | |
|-----------------|-----------------|
| イ. 鉄鋼部門 | ヌ. 産業自動化部門 |
| ロ. 合金鉄部門 | ル. コンピューター部門 |
| ハ. 化学部門 | ワ. 環境エンジニアリング部門 |
| ニ. 耐火煉瓦部門 | ヰ. 海洋エンジニアリング部門 |
| ホ. 採炭・選炭及び造粒部門 | |
| ヘ. 原材料のハンドリング部門 | |
| ト. 非鉄金属部門 | |
| チ. 発電部門 | |
| リ. 建設部門 | |

② 装置とシステムの設計とサービス

- | |
|-------------------|
| イ. 高温及び低温用ローリングミル |
| ロ. プロセス処理 |
| ハ. コークス炉プラント |

ニ、化学装置

ホ、高炉装置

ヘ、ガス精製装置

(3) インド鉄鋼公社 (Steel Authority of India Limited 「SAIL」)

本会社の傘下には、研究開発研究所、中央選炭研究所、ドゥルガプール合金鋼工場、ビライ、ルールケラー、ドゥルガプール、ボカロ、サレム、パドワティ各製鉄所及びインド鉄鋼会社がある。

(4) 鉄鋼研究開発研究所 (Research and Development Centre for Iron and Steel 「RDCIS」)

本研究所の主要業務は、SAILの製鉄所への技術的アドバイスであり、本部はビハール州のランチャーにあり、所長はDr. S. K. Gupta である。

2-2. 主要製鉄所 (表Ⅲ-3及び4参照)

公共部門には、ビライ、ボカ、ドゥルガプール、ルールケラーの各製鉄所及びインド鉄鋼会社がある。この他民間部門にタータ鉄鋼会社がある。

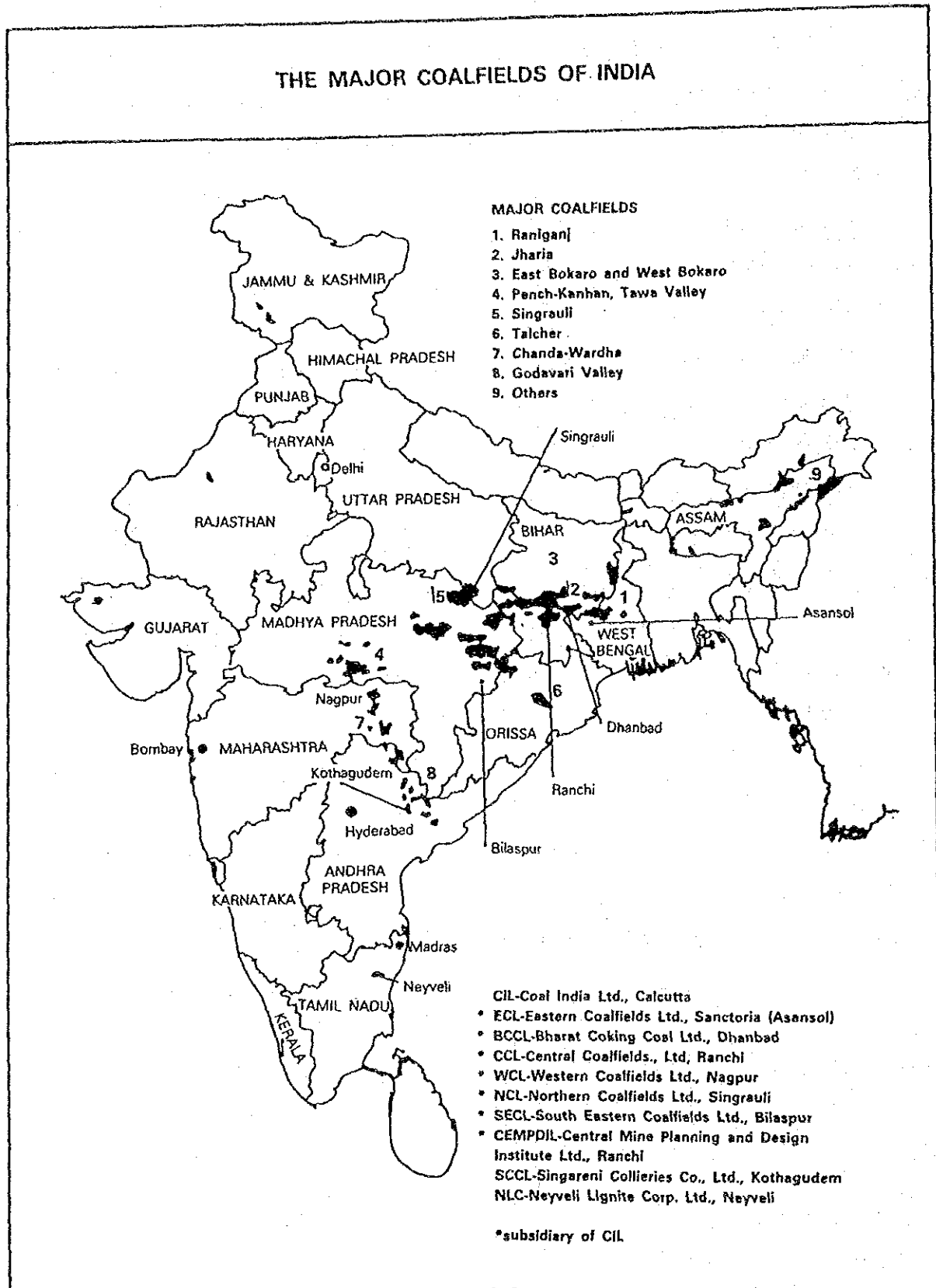
2-3. 粗鋼生産量

粗鋼生産量は、図Ⅲ-5及び表Ⅲ-5に示すように1979年から1985年までほぼ1000万トンであったが、1986年から1988年度(生産量1420万トン)まで急激に鉄鋼の生産量が伸びていることが分かる。

また、鉄鋼の将来の需要見通しは、1989~90年に1480万トン、1994~95年に2007万トン1999~2000年に2703万トンであるが、生産計画は1989~90年に1431万トン、1994~95年に2212万トン、1999~2000年に2414万トンであり、1999~2000年においては需要と供給の差が288万トンにも昇り、製鉄所のリハビリによる能力増大又は新規の製鉄所建設が必要となろう。

(野口輝年)

図III-1 インドの主要炭田



表Ⅲ-1 インドの石炭埋蔵量

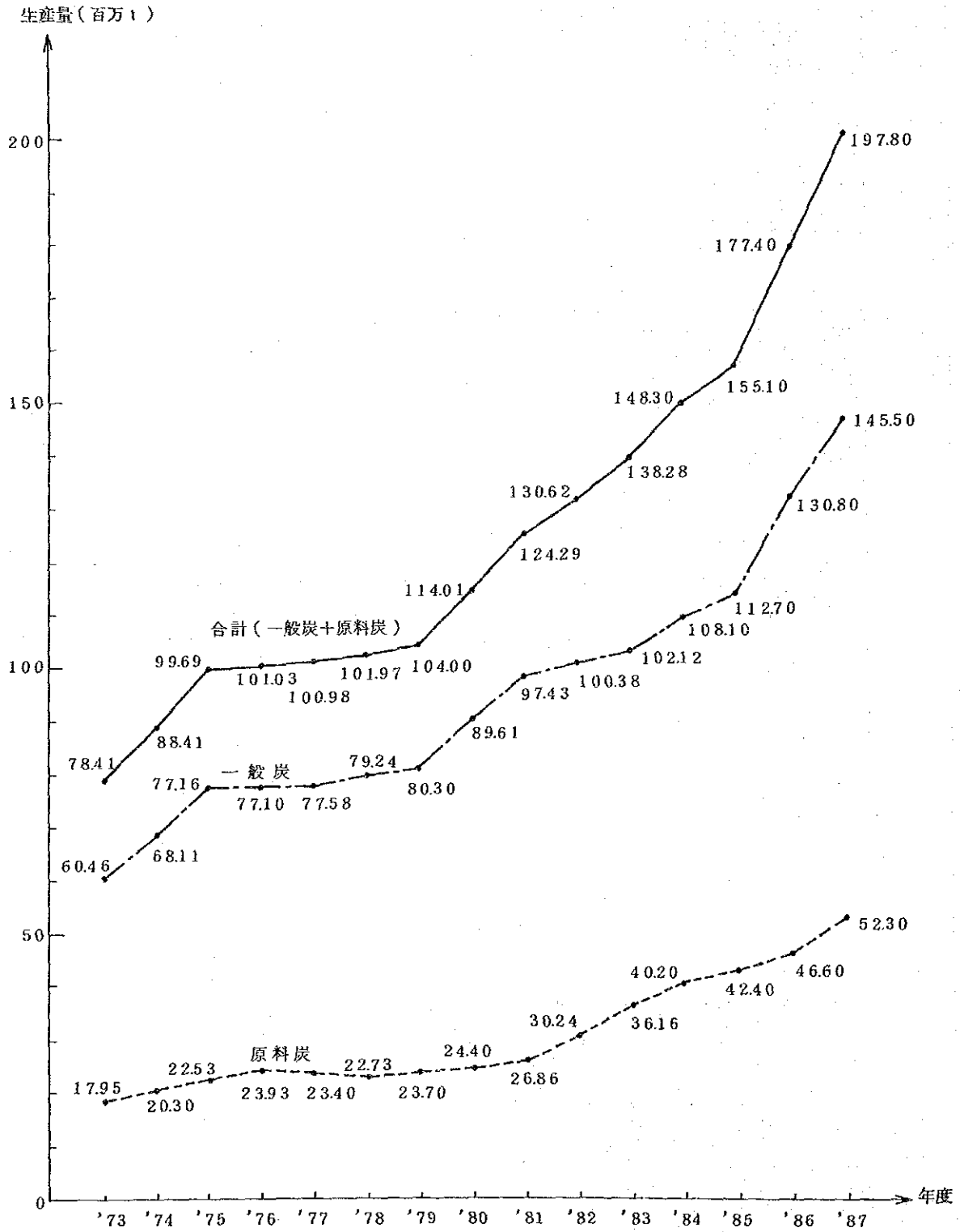
単位：百万トン

炭種 \ 項目	確定埋蔵量	推定埋蔵量	予想埋蔵量	計
高品位原料炭	4,504	462	—	4,966
中品位原料炭	3,894	4,992	1,226	10,112
半弱原料炭	1,198	1,810	665	3,673
原料炭	9,596	7,264	1,891	18,751
一般炭	15,178	29,751	22,748	67,677
計	24,774	37,015	24,639	86,428

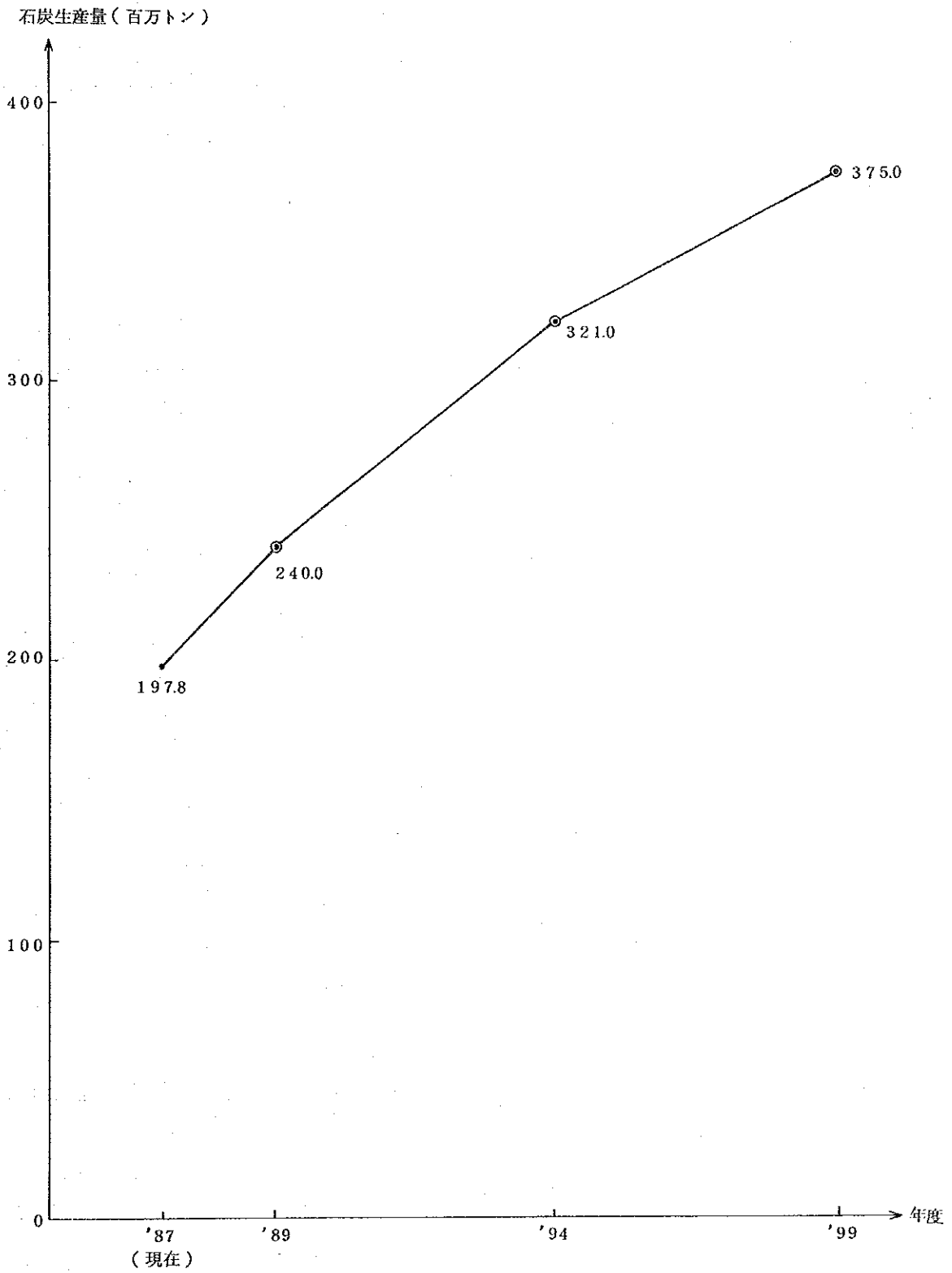
表Ⅲ-2 インドの選炭施設

タイプ \ 炭種 \ 項目	選炭施設数	原炭処理能力 (単位：百万トン/年)		
既設分	高品位原料炭	11	19.49	
	中品位原料炭	10	17.00	
	計	21	36.49	
新設分 (2000年 まで)	原料炭	高品位原料炭	12	25.43
		中品位原料炭	10	19.34
		半原料炭	3	2.80
		小計	25	47.57
		一般炭	20	74.40
	計	45	121.97	
合計	66	158.46		

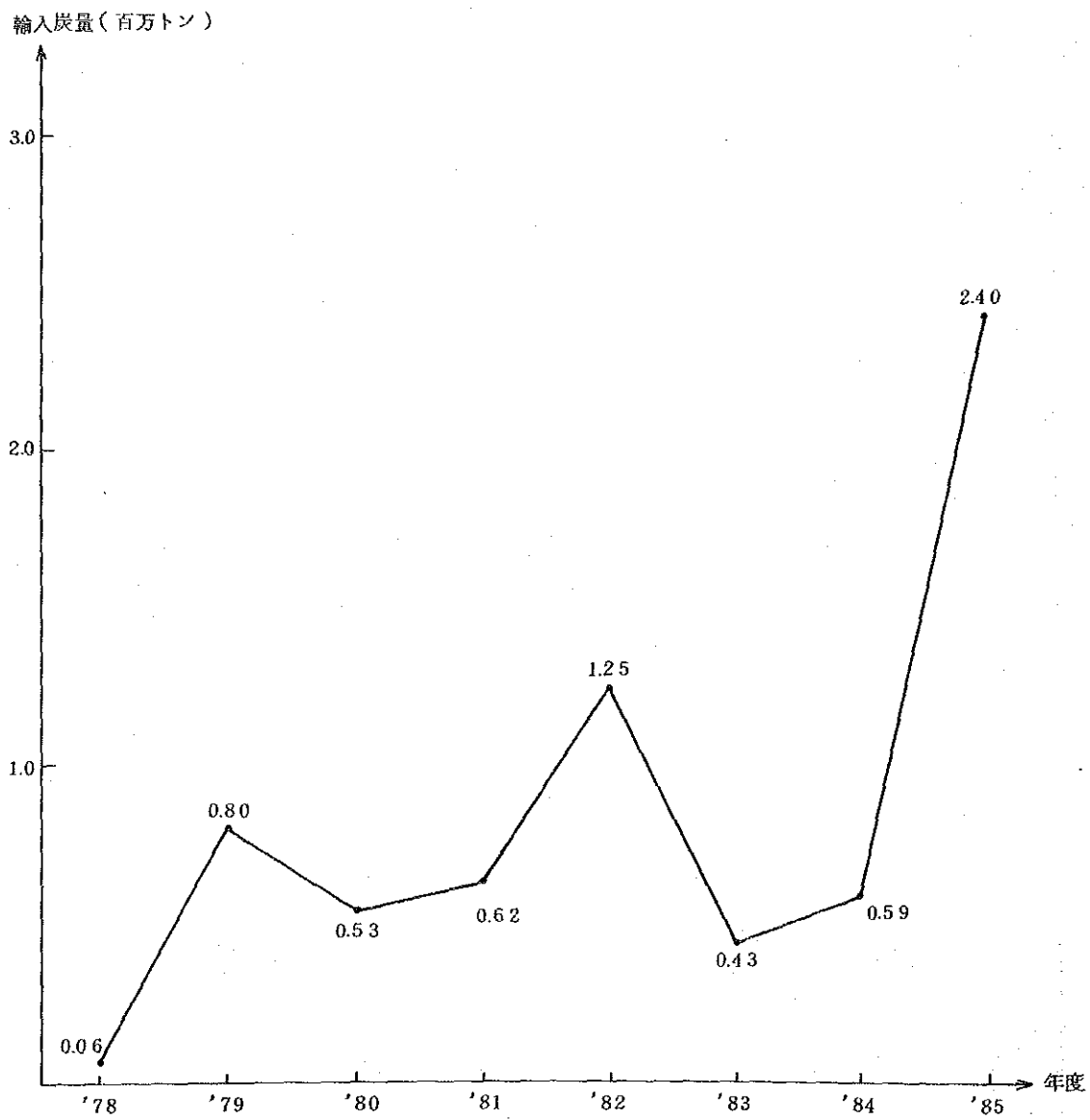
図Ⅲ-2 インドの石炭生産量の推移



図Ⅲ-3 インド石炭生産計画



図Ⅲ-4 インドの製鉄所における原料炭の輸入量の推移



表Ⅲ-3 インドの製鉄所

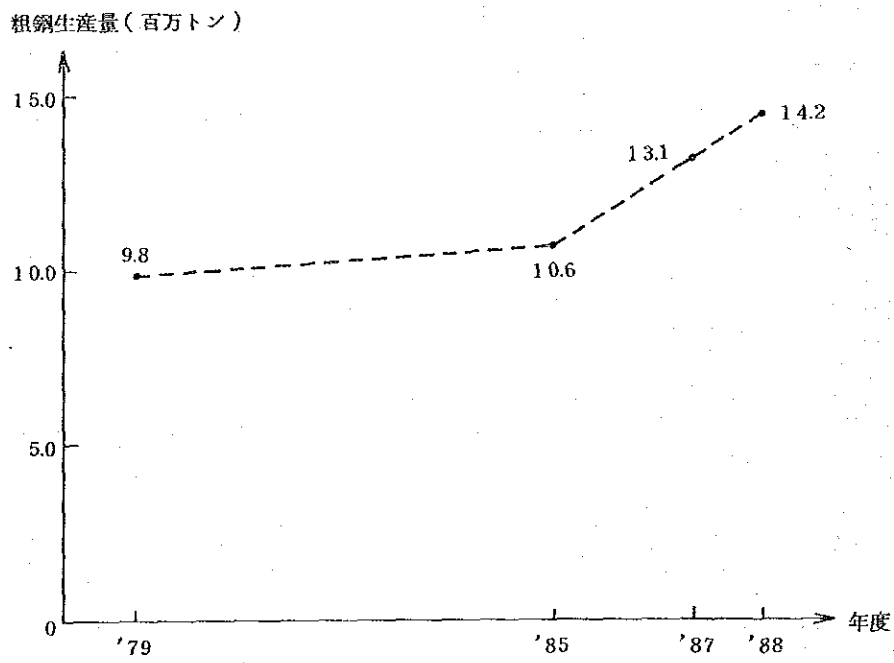
製鉄所名	項目	場 所	公称能力 (粗鋼ベース)	実 操 業 率 (粗鋼ベース) (1986~87)	完成年
1. Bhilai Steel Plant		Bhilai	4.0百万ト	89%	1985
2. Bokaro Steel Plant		Bokaro	4.0 "	82%	1985
3. Durgapur Steel Plant		Durgapur	1.6 "	97%	1969
4. Rourkela Steel Plant		Rourkela	1.8 "	61%	1966
5. Indian Iron & Steel Co.		Burnpur	1.0 "	53%	1959
6. Tata Iron & Steel Company		Jamshedpur	2.16 "	104%	---
	計	---	15.56	---	---

表Ⅲ-4 1988年度における主要製鉄所の原料炭消費量(月別)

(単位: トン)

製鉄所 月別	BSP	BSL	RSP	DSP	IISCO	TISCO	計
4月	164,400	183,300	77,400	79,700	---	130,300	635,100
5月	188,500	189,500	83,900	85,300	---	129,300	676,500
6月	173,000	165,400	74,800	78,200	---	119,700	611,100
7月	191,500	167,700	77,600	76,500	76,500	136,200	726,000
8月	181,600	166,800	76,900	77,700	76,900	128,000	707,900
9月	172,400	161,700	80,000	67,700	75,700	116,600	674,100
10月	197,300	188,200	83,500	80,700	70,700	144,500	764,900
11月	204,200	173,400	81,400	81,800	52,800	142,000	735,600
12月	207,100	187,600	89,800	79,100	49,500	150,200	763,300
1月	221,979	186,807	84,762	81,522	54,288	141,843	771,201
2月	186,718	178,957	72,249	70,189	50,982	124,869	683,964
3月	220,849	19,878	99,983	79,223	66,009	130,837	616,779
計	2,309,546	1,969,242	982,294	937,634	573,379	1,594,349	8,366,444

図Ⅲ-5 粗鋼生産量の推移



表Ⅲ-5 粗鋼生産量の推移 (SAIL分のみ)

(単位:千トン)

年度	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
Bhilai	2,302	2,370.7	2,200.2	2,108.1	2,041.2	2,115	2,130	1,837	1,998	2,345	2,230
Bokaro	956.2	933.3	1,194.8	1,425.7	922.5	1,792	1,829	1,681	1,925	2,003	2,056
Durgapur	1,091.4	1,091.6	945.5	882.5	754.5	930	952	806	760	876	922
Rourkela	1,503.3	1,408.6	1,318.6	1,267.7	1,156.0	1,203	1,144	1,088	1,119	1,180	1,100
Birampur	677.1	561.2	627.6	564.6	608.8	600	624	543	444	565	528
SAIL	6,520	6,455	6,286.7	6,248	5,479.1	6,640	6,679	5,955	6,246.4	6,965.0	6,836

IV. 技術評価

IV . 技 術 評 価

1. インド国内炭の特徴

1-1 石炭資源

インドの石炭資源は、古生代の二畳紀を中心とした時代の石炭層から成るゴンドワナ系の石炭と新生代第三紀の石炭層からなる第三系の石炭に大別される。

ゴンドワナ系の石炭はインドの石炭資源の大部分を占め、インドの中央部から東南部にかけての西ベンガル、ビハール、マドヤプラデシ、オリッサ、マハラシュトラ、アンドラプラデシの各州にまたがって分布している。一方、第三系の石炭資源にはインド北東地域のアッサム、ナガランド、マグラヤの各州に点在する石炭とインド本土の周辺地域に分布する褐炭がある。

ゴンドワナ炭の特徴は、硫黄分の含有量は少ないが灰分の含有量が多いことである。これに加えて、粒径の小さい灰分が石炭の組織の中に一様に分散して存在するために、通常の選炭技術では灰分の除去は困難である。これに対し、第三系のアッサム炭では硫黄分は多いが、灰分が少ない。

表IV-1に炭種別の石炭埋蔵量を示す。インドの石炭資源に占める製鉄用原料炭の埋蔵量は約20%である。また、表IV-2にインドにおける粘結炭と非粘結炭の生産量を示す。表IV-1と2から判断する限りにおいてはインドの石炭資源量は十分であると判断されるが、問題となるのは高品位原料炭の埋蔵量が少ないことである。表IV-3に示すようにその可採年数は現在の消費量で63年、鉄鋼産業が年率5%の成長率を示すと30年の寿命しかない。その上灰分が多くコークス化性向が低いため、コークス製造用に灰分の少ない輸入強粘結炭を配合する事が必要となっている。

表 IV - 1 インドの炭種別石炭埋蔵量
(X 10⁶ TONNES)

	<u>PROVED</u>	<u>INDICATED</u>	<u>INFERRED</u>	<u>TOTAL</u>
<u>I. COKING COAL</u>				
A. PRIME	4,504	462	-	4,966
B. MEDIUM	3,894	4,992	1,226	10,112
C. SEMI-COKING/ WEAKLY COKING	1,198	1,810	665	3,673
SUB-TOTAL (COKING)	9,596	7,264	1,891	18,751
<u>II. NON-COKING COAL</u>	15,178	29,751	22,748	67,677
<u>III. TOTAL</u>	24,774	37,015	24,639	86,428

表 IV - 2 インドにおける石炭生産量
(X 10⁶ T)

<u>PERIOD</u>	<u>COKING COAL</u>	<u>NON-COKING</u>	<u>TOTAL</u>
1973-74	17.95	60.46	78.41
1974-75	20.30	68.11	88.41
1975-76	22.53	77.16	99.69
1976-77	23.93	77.10	101.03
1977-78	23.40	77.58	100.98
1978-79	22.73	79.24	101.97
1979-80	23.70	80.30	104.00
1980-81	24.40	89.61	114.01
1981-82	26.86	97.43	124.29
1982-83	30.24	100.38	130.62
1983-84	36.16	102.12	138.28
1984-85	40.20	108.10	148.30
1985-86	42.40	112.70	155.10
1986-87	46.60	130.80	177.40
1987-88	52.30	145.50	197.80

表 IV - 3 インド産の高品位原料炭の可採年数

1. PROVED RESERVES	: 4,504 x 10 ⁶ T	
2. MINEABLE RESERVES	: 2,700 x 10 ⁶ T	
3. CONSUMABLE RESERVES (FOR COKE MAKING)	: 1,350 x 10 ⁶ T	
4. ESTIMATED LIFE OF RESERVES AT CURRENT CONSUMPTION RATE	: 63 YEARS	
5. RESERVES LIFE CONSIDERING GROWTH IN STEEL SECTOR @ 5%	: 30 YEARS **	
** CONSUMPTION PATTERN FOR COKE MAKING		
i) STEEL SECTOR	: 15 x 10 ⁶ TPY	} RATED
ii) OTHERS	: 6.5 x 10 ⁶ TPY	

1-2 インド炭の特性

石炭の分類法は国によりいろいろ異なっているが、基礎研究の分野では表IV-4に示すような石炭化度による分類法が一般に使われている。しかし実用面では、製鉄用コークスの原料炭か、石炭火力発電等の燃料炭に大別されるため、日本では前者を原料炭、後者を一般炭と呼んでいる。インドではそれらをそれぞれ粘結炭(coking coal)、非粘結炭(non-coking coal)と区別しているようである。

表IV-5 a~5 cに代表的なインド炭の工業分析値、元素分析値、組織分析等を示す。表からも明らかなようにインドの粘結炭の灰分含有量は日本で使用しているカナダ炭、オーストラリア炭の7~10%に比べ灰分が多く、しかもコークス化性に大きな影響を持つピトリニット成分の割合に比べイナーチニットの割合が高い組織成分からなる。灰分はコークスになると約1.5倍の含有量(例えば現炭の16%灰分量はコークスになると24%程になる)になるため、コークス強度に影響するだけでなく、高炉で鉄鉱石と反応する炭素含有量が相対的に低下するため、高炉の生産性、熱効率に大きな影響を与える。このようなインドの高灰分粘結炭の使用によるコークス中の灰分を低下させるために、現状ではオーストラリアからの輸入炭を混入せざるをえず、しかも辛うじて灰分量を16%(原炭ベース)に維持している。

現在、これらインド国内炭の問題点を少しでも改善するために、中央燃料研究所(Central Fuel Research Institute-CFRI)は、インド国内の石炭の性状分析に精力的に取り組むと共に、それらのデータを基にした数多くの配合に関する試験を行い、その結果を直接製鉄所の現場に反映させている。しかし、研究所の設備は部分的に最新の設備が導入されてはいるものの全般的に旧式なものが多く、能率的に研究を進める上での問題点になる。データの信頼性に関しては元素分析、組織分析、コークス試験等数多くの分析を行ってきた実績を見る限り問題はない。

表IV-4 石炭の分類法

国際分類法		各 国 分 類 法									
クラス No.	パラメーター 揮発分 (d.m.f.) ^b [%]	総発熱量 (H.C.V.) ^b (kcal/kg)	日 本	Belgium	Germany	France	Italy	Nether- lands	Poland	United Kingdom	United States
				Maigre	Anthrazit Magerkohle	Anthracite Maigre	Antraciti speciali Antraciti comuni Carboni magri	Anthra- cite Mager	Meta- antracyt Antracyt Polar- tracyt Chudy	Anthra- cite Dry steam	Meta- anthracite Anthracite Semi- anthracite
0	0-3										
1 A	3-6.5										
1 B	6.5-10		無煙炭, A ₁ (烟石 A ₂)								
2	10-14			1/2 Gras	Magerkohle						
3	14-20			1/2 Gras 3/4 Gras	Eskohle	Demi gras	Carboni semi-grassi	Esskool	Pólkoko- wy Meta- koksowy	Coking steam	Low volatile bituminous
4	20-28		亜煙炭, B ₁ (煙質炭, B ₂) (亜煙質炭, C)		Fettkohle	Gras à co- urte flamme	Carboni grassi coria fiamma	Veikool	Oroko- ksowy	Medium volat- ile bituminous	Medium volat- ile bituminous
5	28-33			Gras	Gaskohle	Gras proprement dit	Carboni grassi me- dia fiamma		Gazowo koksowy		High volatile bituminous A
6	>33 (33-40)	8,450~ 7,750	亜煙質炭, D				Carboni da gas	Gaskool			
7	>33 (32-44)	7,750~ 7,200	煙質炭, E ₁ (E ₂)			Flambant gras	Carboni grassi da vapore	Casvla- mikool	Gazowy	High volatile	High volatile bituminous B
8	>33 (31-46)	7,200~ 6,100	褐炭, F ₁ (E ₂)		Gas- Flamm- kohle		Carboni seccchi	Vlam- kool	Gazowo- plomienny Plomi- enny	High volatile	High volatile bituminous C Sub- bituminous
9	>33 (35-48)	<6,100									

(H) d.m.f.: dry mineral matter free

表IV-5 a インド炭の物性 (炭田ベース)

Coalfields	Seams	Analyses on air-dried basis					Analyses on dry mineral free basis				
		Moisture %	Ash %	Sulphur %	Phosphorus %	Volatiles matter %	Calorific value (k cal/Kg)	Carbon %	Hydrogen %		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
(A) LOWER GONDWANA COALS											
Damodar-Koel Valley											
1. Raniganj											
(a) Raniganj Formation	Dishergarh, etc. Sanctoria, etc. Samla-Jambed etc.	2.5-3.5 3.0-11.0 0.8-2.0	15-20 13-25 15-25	0.5-0.7 0.5-0.7 0.5-0.7	0.01-0.15 0.01-0.15 0.01-0.20	39-44 39-42 25-36	8110-8450 7610-8170 8440-8330	83-85 79-82 86-90	5.3-5.8 5.2-5.5 4.5-5.4		
(b) Barakar Formation	Laikdih-Chanch, etc. Salanpur, etc.	0.8-2.0 0.8-2.0	25-35 26-36	0.5-0.8 0.4-0.9	0.01-0.18 0.01-0.36	25-35 37-43	8300-8800 7810-8060	87-90 81-84	4.5-5.2 4.8-5.7		
2. Barjora	I-IX	3.0-8.0	26-36	0.4-0.9	0.01-0.36	37-43	7810-8060	81-84	4.8-5.7		
3. Jharia											
(a) Raniganj Formation	Mohuda, Lohpiti etc. I-VIII	1.5-2.2 0.6-1.5	20-25 18-35	0.5-0.7 0.5-0.8	0.20-0.40 0.05-0.30	36-40 17-28	8440-8550 8550-8890	85-87 90-92	5.4-5.8 4.5-4.9		
(b) Barakar Formation	IX-XVIII	0.6-2.0	15-25	0.5-0.7	0.05-0.30	22-35	8440-8890	87-91	4.6-5.4		
4. East Bokaro, Barakar Formation	Jarangdih to Uchitdih Kargali Top, Karo Bottom	0.8-2.4	15-27	0.5-0.9	0.05-0.40	28-36	8330-8670	81-90	4.5-5.4		
5. West Bokaro, Barakar Formation	Kuju, Murpa, etc. V-VIII	0.7-1.9 4.2-4.7	17-28 15-22	0.5-0.7 0.5-0.7	0.06-0.17 0.10-0.35	24-37 34-37	8440-8780 8170-8370	86-90 84-86	4.5-5.4 4.9-5.1		
6. Ramgarh (Block I, II, IV) Barakar Formation		0.5-2.5	21-35	0.5-0.6	0.03-0.35	21-36	8440-8780	86-91	4.5-5.3		
7. North Karanpura, Barakar Formation	VI-VIIIA	0.5-3.0	18-30	0.6-1.0	0.01-0.25	24-38	8220-8780	85-87	4.5-5.3		
(a) Charo-Rikba, Badam-Isko, etc.	I-VI	0.5-3.0	20-35	0.5-1.0	0.06-0.34	30-40	8330-8780	85-91	4.9-5.3		
(b) Bachra, Churi, Manki, Pinderkom, etc	I-VI	5-10	15-30	0.2-0.8	0.01-0.23	35-42	7400-8000	79-82	4.0-4.9		

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8. South Karanpura, Barakar, Formation				15-30	0.4-0.8	0.03-0.2	37-40	7800-8100	80-84	4.7-5.2
9. Hutar, Karharbari Formation			6-10	8-14	0.3-0.5	0.005-0.01	35-40	7500-7700	80-81	4.2-4.5
10. Daltonganj, Karharbari Formation			3-4	13-18	0.4-0.7	0.005-0.01	9-13	8500-8560	89-93	3.5-4.0
Giridih-Rajmahal Area										
1. Giridih										
(a) Karharbari Formation										
(b) Barakar Formation										
2. Deogarh, Barakar Formation			5-9	15-35	0.3-0.5	0.002-0.04	38-42	7300-7900	80-83	4.5-5.2
3. Rajmahal, Barakar Formation			8-10	20-45	0.3-0.7	0.005-0.01	38-40	7400-7800	78-81	4.0-5.2
4. Darjeeling, Barakar Formation			1-5	19-23	-	-	14-18	8450-8700	90-93	3.5-4.0
Some-Meharadi Valley										
1. Singrauli										
(a) Raniganj Formation			8-9	25-35	0.4-0.6	0.01-0.04	40-42	7095-7300	76-78	4.5-4.8
(b) Barakar Formation			7-9	15-30	0.5-0.7	0.02-0.03	37-45	7640-7750	78-81	4.4-5.3
2. Sohagpur										
(a) Rungta, Kotma, Jhagrakhand			5-9	15-30	0.4-0.6	0.001-0.009	34-40	7740-8645	79-84	4.8-5.2
(b) Churcha-Kutkona, etc.			2-4	15-25	0.3-0.6	0.002-0.005	33-40	8220-8440	85-87	4.9-5.2
3. Chirimiri			5-7	12-20	0.3-0.4	0.005-0.016	36-38	7750-8100	80-83	4.8-5.2
4. Bisrampur			5-9	14-18	0.4-0.6	0.004-0.015	35-38	7600-8100	80-83	4.2-4.8
5. Korba			6-9	15-35	0.5-0.8	0.005-0.016	32-41	7780-8170	81-84	4.2-5.3
6. Lakhampur			7-10	15-20	-	-	35-38	7300-7600	78-81	4.2-4.8
7. Ib-River			6-9	15-35	0.5-0.7	-	32-40	7400-7800	78-84	4.3-5.1
8. Talchir			6-8	15-40	0.5-0.7	0.003-0.04	35-45	7830-7940	79-82	4.9-5.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pemch-Kanhan-Tawa Valley									
1. Dalta West, Rawanwara etc.	I-III	2-6	15-25	0.5-0.7	0.02-0.05	32-38	7650-8140	82-85	4.8-5.4
2. Damua, Rakhikole, etc.	II-III	2-5	18-24	0.6-1.0	0.05-0.06	32-38	8520-8710	86-89	5.1-5.5
3. Pathakera	I-IV	2-4	25-30	0.5-0.8	-	33-40	8500-8790	84-86	5.4-5.8
4. Tandasi-Nonkharak Area	I-III	2-4	20-25	-	-	33-35	8620-8730	87-89	5.3-5.4
Wardha Valley									
1. Kamptee, Umrer, Pipla, etc. 78-82	II-V	7-10	15-30	0.5-0.9	0.01-0.04	35-40	7250-7860		
2. Mairi, Ballarpur, Ghugus, Rajur, etc.	I-IV	8-11	15-25	0.4-0.8	0.01-0.05	38-45	7220-7750	76-80	4.3-5.1
Godavari Valley									
1. Kothagudem, Tandur, Ramagundam, etc.		6-8	15-25	0.3-0.7	0.005-0.04	35-40	7300-7950	78-82	4.2-5.1
2. Gollit, Lingola, Belampalli		5-8	15-30	0.4-0.8	0.01-0.05	35-42	7590-8000	78-83	4.5-5.4
(B) TERTIARY COALS									
Assam									
1. Makum etc.		2-3	5-15	2.0-6.0	0.001-0.01	42-48	8000-8500	79-82	5.4-6.0
2. Dilli, Jeyapore, etc.		4-16	8-20	0.4-8.0	0.01-0.02	45-50	7250-8000	75-79	5.5-6.3
Jammu & Kashmir									
1. Kalakot, Jangalgali, etc.		0.5-2.0	10-35	0.6-7.0	0.002-0.01	13-17	8380-8730	91-93	3.9-4.2

Ref: Coal Resources of India: Its Formation, Distribution and Utilisation - Mukherjee et al, Fuel Science and Technology Vol. 1, No. 1, July '82.

表IV-5 b インド炭の物性 (一般炭)

1/2

Coalfield	On 50% R.H. at 40°C basis										Dry mineral free basis				Ash fusion temperature °C (under mildly reducing atmosphere)	Total proved reserves (million tons)	Remarks
	Seams	Moist. %	Ash %	V.M. %	F.C. %	Calorific Value (Kcal/kg)	Sulfur %	Phosphorus %	V.M. %	Carbon %	Hydrogen %	LTC Coke Type	Ash fusion temperature °C				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
Rahiganj (Central & Eastern Sectors)	All working seams (of Rahiganj series)	4	12	31	40	5700	0.3	0.02	39	79	5.0	A to B	I.D. 1100-1200 H.P. 1350 over 1400	2317			
	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to						
	10	22	35	45	5350	0.6	0.18	44	83	5.5							
North Karanpura	All working seams	8	14	26	37	4600	0.6	0.04	34	79	4.3	A	I.D. 1250 over 1400 H.P. 1330 over 1400	252			
	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to						
	10	28	29	45	5400	0.8	0.2	40	83	4.9							
South Karanpura	Upper coal horizon upto Arakda A (working)	3	15	27	39	5050	0.5	0.05	37	81	4.8	A to B	I.D. 1100-1200 H.P. 1330 over 1400	820			
	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to						
	8	23	31	45	6400	0.8	0.2	40	84	5.3							
Talcher	Bottom	7	13	33	41	5900	0.4	0.002	38	81	5.2	A to B	I.D. 1150-1200 H.P. 1330 over 1400	114			
	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to						
	9	18	35	44	6100	0.7	0.009	44	82	5.8							
Rampur	Rampur & IB	6	11	23	44	5550	0.2	0.003	29	81	4.3	A to B	I.D. 1130-1330 H.P. over 1400	39			
	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to						
	8	22	30	57	6300	0.6	0.004	38	84	5.0							
Korba	Ghordawa (G-11)	5	11	25	45	6000	0.3	0.003	29	82	4.3	A	I.D. 1240-1340 H.P. over 1400	60			
	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to						
	7	18	28	53	6300	0.5	0.004	34	85	4.8							
Bisrampur	Passang	9	12	25	49	5650	below	0.04	31	81	4.3	A	I.D. 1210 over 1400 H.P. over 1400	78			
	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to						
	10	15	28	52	5800	0.5		35	82.5	4.8							
Chirmiri	All	7	10	25	44	5600	0.3	0.002	29	81	4.4	A to B	I.D. 1210-1400 H.P. over 1400	436			
	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to						
	8	22	43	56	6750	0.7	0.009	40	86	5.3							

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Sohagpur																
i) Jhaagra-khand area	4	12	25	45	5800	0.5	0.004	30	83	4.6	A to B	I.D. 1150-1240	38			
	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to		H.P. over 1400				
	7	21	30	55	6800	0.6	0.005	36	26	5.2						
ii) Kotna area	7	11	24	48	5750	0.4	0.003	30	81.5	4.6	A	I.D. 1120-1340	55			
	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to		H.P. over 1400				
	9	20	30	54	6350	0.7	0.009	36	84	4.9						
iii) Burhar area	5	15	27	44	5700	0.5	0.004	34	82.5	5.0	A & B	I.D. 1170-1350	108			
	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to		H.P. over 1400				
	8	22	31	50	6400	0.6	0.006	48	84	5.6						
Pench Valley	3	14	27	38	5200	0.5	0.003	36	81	4.9	A	I.D. 1200 over	182			
	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to		1400				
	8	24	33	49	6400	1.9	0.053	42	84	5.4		H.P. over 1400				
Kamlec (allensara)	9	19	30	39	5110	1.0	0.005	41	78	4.5	A	I.D. 1110-1345	35			
	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to		H.P. 1245-1400				
	10	21	31	41	5775	1.1	0.01	42	80	4.8						
Untar	12	14	25	42	5000	0.5	0.02	41	77	4.3	A	I.D. 1150-1295	85			
	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to		H.P. 1335-1390				
	14	20	29	46	5400	1.0	0.03	42	81	4.7						
Wardha Valley (7 colonies)	9	15	29	39	5260	0.902	1.8	39	76	4.8	A	I.D. 1150-1295	141			
	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to		H.P. 1285-1390				
	12	20	32	42	5720	0.1	0.6	43	81	5.3						
Sodavari Valley																
i) Rasegund-an area (South Godavari)	6	15	27	40	5250	0.4	0.001	35	80	4.5	A	I.D. 1060-1300	378			
	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to		H.P. 1270 over				
	8	23	31	47	5890	1.4	0.009	41	83	5.4		1400				
ii) Tandur area	7	16	26	40	5200	0.3	0.001	34	80.5	4.8	A		200			
	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to						
	8	24	33	44	5800	1.5	0.005	42	83	5.4						
iii) Kothagud-an area	7	15	24	32	5310	0.5	0.006	30	82	4.3	A	I.D. 1340-1400	219			
	to	to	to	to	to	to	to	to	to	to		H.P. over 1400				
	9	24	30	49	6100	1.1		40	83	5.0						

表IV-5c インド炭の物性(組織分析)

Sl. No.	Coalfields	Seams	Petrographic composition (Visible mineral free basis)			Average reflectance in oil (Ro %)
			Vitrinite (Vol.) %	Exinite (Vol.) %	Intertinite (Vol.) %	
LOWER GONDWANA COALS						
(A) Prime Coking Coals						
1.	Jharia	IX-XVIII	35-70	0-2.5	30-65	0.9 -1.3
2.	Giridih	Lower & Upper Karharbari	50-60	0-1	40-50	1.2 -1.4
(B) Medium Coking Coals						
1.	East Bokaro	Kargall	45-65	1-5	35-50	0.85-0.95
		Bermo, Karo	35-50	1-3.5	45-65	0.9 -1.05
2.	Raniganj	Laikdib, Chauch, etc.	45-65	3-7	30-50	0.85-0.95
3.	West Bokaro	V, VI, VII	6-12	6-12	45-55	0.75-0.90
4.	Ramgarh	VI, VII, VIII	45-60	4-12	38-50	0.7 -0.90
5.	Jharia	Mahuda Group	65-85	2.5-10	10-30	0.75-0.85
6.	Jharia	V-VIII	25-45	0-1	55-75	1.2 -1.5
7.	Pench Kanhan Valley (Damua, Rakhikole, etc.)	Main seam	57-60	8-10	32-34	0.93-0.96
(C) Semi Coking Coals						
1.	Raniganj	Dishergarh, Sanctoria	70-85	4-10	10-20	0.75-0.85
2.	Raniganj	Poniat, Hatnal, Koithi, Burradherno	70-85	5-10	10-20	0.70-0.85
3.	Sonhat (Churcha, Kutkora)	V	40-60	5-10	30-50	0.65-0.75
(D) Non-coking Coal						
1.	South Karanpura	Argada, Sirka, Hathidari, etc.	50-70	3-10	25-40	0.6 -0.8
2.	Hutar	II	40-45	3-5	50-55	0.4 -0.6
3.	Rajmahal	Lalmatia	20-25	2-3	75-80	0.45-0.50
4.	Singrauli	Jhingurda	70-75	2-5	20-25	0.4 -0.45
5.	Singrauli	Turra, Purewa	40-50	5-12	40-50	0.45-0.50
6.	Chirimiri	II, III	35-45	5-8	50-60	0.55-0.65
7.	Bisrampur	Pasang, etc.	25-30	10-15	55-60	0.5 -0.6
8.	Sohagpur	Bottom Seam	50-55	7-10	35-40	0.55-0.65
9.	Korba	Jatraj, Ghordewa, etc.	40-45	5-10	45-50	0.60-0.65
10.	Umrer	I, II	35-45	5-10	45-55	0.50-0.55
11.	Talcher	Bottom Seam (I)	40-45	5-10	45-50	0.50-0.55
12.	Talcher	Jagannath (II)	60-65	5-10	25-30	0.50-0.55
13.	Pench-Kanhan Valley (Eklehara, Rawanwara etc.)	III	45-55	8-12	35-45	0.50-0.60
14.	Wardha Valley (Ballarpur, Ghugus, Majri etc.)	Main seam	25-35	15-20	50-55	0.55-0.60
15.	Godavari Valley (Singareni, Kothagudem, Ramagundam, Tandur, etc.)	King, Queen, Ross, Salarjung, etc.	35-45	5-15	40-60	0.55-0.60
TERTIARY COALS						
1. Assam						
	(a) Makum (Baragolai, Tipong etc.)	60', 20' etc.	80-90	5-10	5-10	0.55-0.70
	(b) Jeypore	IV, V, VI	80-85	5-10	10-15	0.45-0.55
2. Arunachal Pradesh						
	(a) Nanychik-Namphuk	III, IV, V	60-80	10-25	10-20	0.45-0.55
3. Jammu-Kashmir						
	(a) Kalakot, Jangalgall, etc.		85-90		10-15	1.75-1.85

Ref: *Coal Resources of India: Its Formation, Distribution and Utilisation* — Mukberjee et al, Fuel Science and Technology Vol. 1, No. 1, July, '82.

一方、非粘結炭は炭素量86～79%と石炭化度が比較的高い石炭と炭素量の低いリグナイトに分かれる。前者の場合、一般にこの程度の石炭化度になると流動性、粘結性が高まり粘結炭の範疇に属するようになるが、インド炭の場合は流動性、粘結性が現れず、イナー成分の多い組織によって構成されているものと思われる。また、リグナイトについては埋蔵量が多いにも関わらず性状に関して公表されているデータは少ない。これは非粘結炭はそのほとんどを燃料用としてきたために性状に関しては十分な研究がなされてこなかったからで、今後SRCの炭種選定における検討課題の一つになるろう。

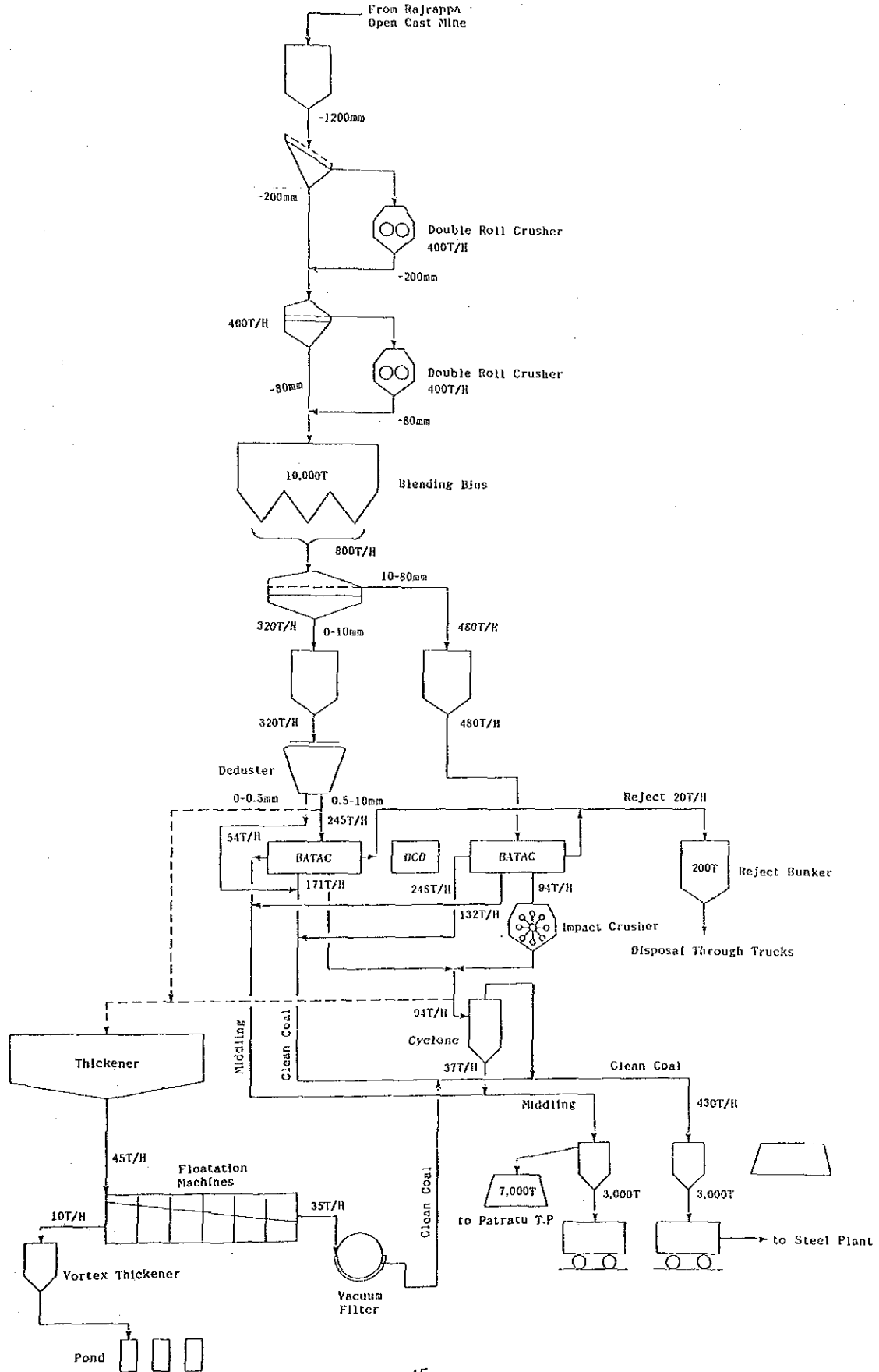
1-3 選炭技術と効果

インド産の粘結炭が高灰分である原因を探るために、ラムガー炭田のラジャラッパ地区の選炭工場を調査した。この工場は、原炭(25%灰分含有量)処理量は300万トン/年で、高品位炭(灰分16.5%以下)を180万トン/年、灰分32～35%の中品位炭を108万トン/年製造でき、時間当り処理量800トンの能力を持つコークス用原料炭供給施設として1977年に運転を開始した。高品位炭は製鉄用に向けられるが、中品位炭は灰分が多いため火力発電用燃料として使われている。このため製鉄用としては180万トン/年の供給能力があるが灰分は16.5%と高い。

選炭設備は西独から輸入したもので、粉碎-粒径選別-比重選別(ジグ)-浮遊選炭過程から構成されている。選炭は粒度別にジグにより比重選別され、その後灰分の多いものは微粉碎されて浮遊選炭法で分別する方法が取られている。図IV-1に洗炭設備のフロー図を示すとともに各機器での収率を示す。

高品位炭の高灰分の原因は、選炭技術の善し悪しというよりはインド炭中の灰の分布状態と灰分量を16.5%にしなければ歩留まりが稼げないという経済的な理由によるものと思われる。CFRIにおいて、顕微鏡とX線マイクロアナライザで灰の分布状態について観察した結果からは、石炭粒径が50 μ になれば灰分を相当分離できる可能性がある。しかし、その場合は歩留まりが大幅に低下するために、現状の技術ではいま以上の改善は難しい。尚、CFRIでは選炭の技術革新のために種々な研究がなされており、その結果によっては歩留まりの高い低灰分炭が得られる可能性もあろう。

図 IV - 1 ラジャラッパ炭田の選炭工場のフロー



2. 鉄鋼産業における石炭の利用

2-1 インドの鉄鋼産業の概要

表IV-6にインドにおける鉄鋼製品の需給バランスを示す。社会資本の充実と農業、工業両分野の発展、近代化をめざすインドにおいては鉄鋼生産量は常に十分ではなく、毎年生産量に対し10%以上の鉄鋼製品を輸入している。現在、一貫製鉄所としては国営の5工場と民営の1工場が稼働しており、また、1工場が建設中である。表IV-7に示すように、既設の6工場の内、民営の1工場を除き生産量は設備能力以下となっている。

インドの製鉄所の生産性の低さの大きな原因の一つにインド産の原料炭の灰分の多さが挙げられている。表IV-8と表IV-9に各製鉄所におけるコークス製造用原料炭の配合比と灰分量を示す。これらの表にみられるように、高品位原料炭を約60%も使用しているにもかかわらず原料炭全体での灰分は20%前後と、日本の場合の7~10%に比べ非常に高い値となっている。

表IV-6 インドにおける鉄鋼製品の需給バランス

('000 tonnes)

Year	Production	Import	Export	Apparent consumption
1977-78	6,970	424	650	6,774
1978-79	7,653	1,048	425	8,276
1979-80	7,642	2,199	81	9,760
1980-81	7,903	1,748	25	9,626
1981-82	9,364	2,443	9	11,818
1982-83	9,128	2,092	4	11,216
1983-84	8,497	1,935	14	10,418
1984-85	8,782	1,621	102	10,301
1985-86	10,025	1,753	19	11,759
1986-87	10,541	1,559	27	12,073
1987-88	11,467	1,594	50	13,011

表 IV - 7 インドの一貫製鉄所の生産能力

Name	Place	Name plate capacity (Steel Ingot)	Actual production rate (steel ingot) (1986-87)	Date of completion
Bhilai Steel Plant	Bhilai	4.0 Mt	89%	1985
Bokaro Steel Plant	Bokaro	4.0 Mt	82%	1985
Durgapur Steel Plant	Durgapur	1.6 Mt	97%	1969
Rourkela Steel Plant	Rourkela	1.8 Mt	61%	1966
Indian Iron & Steel Co.	Burnpur	1.0 Mt	53%	1959
Tata Iron & Steel Company	Jamshedpur	2.16 Mt	104%	-

表 IV - 8 インドの製鉄所におけるコークス製造用原料炭の配合比

Sl. No.	Steel Plant	Coal blend composition			Total
		% Prime	% Medium	% Blendable	
1.	IISCO	65	25	10	100
2.	DSP	70	20	10	100
3.	BSP	58	35	7	100
4.	RSP	50	40	10	100
5.	BSL	50	50	-	100
6.	TISCO	60	30	10	100
Average		59	33	8	100

表 IV - 9 コークス製造用原料炭中の灰分量

Sl. No.	YEAR	% Average ash content					
		IISCO	DSP	RSP	BSP	BSL	TISCO
1.	1972-73	18.64	20.31	17.58	17.78	-	17.60
2.	1973-74	18.65	20.52	17.96	18.23	18.24	18.50
3.	1974-75	19.53	21.81	18.09	18.68	20.18	18.62
4.	1975-76	20.76	21.03	18.66	19.11	20.64	18.70
5.	1976-77	19.93	20.22	18.99	18.91	19.83	18.50
6.	1977-78	20.20	20.44	19.84	19.06	21.38	19.06
7.	1978-79	20.83	21.12	20.20	18.95	20.45	19.70
8.	1979-80	21.41	22.69	19.60	18.64	21.18	21.40
9.	1980-81	21.71	21.96	20.10	19.41	21.81	21.23
10.	1981-82	22.20	22.13	19.70	18.87	21.06	20.32
11.	1982-83	21.90	21.78	18.70	18.52	20.64	N.A.
12.	1983-84	22.21	20.41	20.00	20.65	20.42	20.12
13.	1984-85	22.31	21.97	19.30	20.02	19.87	19.21
14.	1985-86	22.04	21.30	17.10	18.28	18.43	N.A.

2-2 コークス製造及び粗鋼生産設備と技術レベル

インドの1985年度粗鋼生産量は11.5百万トンで世界の鉄鋼生産の1.6%、第15位に位置する。

鉄は高炉で鉄鉱石を還元することにより生産されるが、その際に使用されるコークスは(1)還元剤(2)高炉内で定常的な反応を維持するために必要な通気性を保つ骨材の役割を担う。このためコークスの性状(灰分、強度など)は、高炉の生産性に大きな影響を与える。

コークスは数種類の石炭を混合した後、コークス炉で約1,200℃で熱処理することにより製造されるが、強度が高くかつ均質なコークスを得るためには石炭の配合が重要になる。石炭の性状からコークス強度を予測する方法が幾つか報告されている¹⁾が、その一例を以下に記す。

工業分析値の揮発分とギーセラープラストメーターによる最高流動度から石炭相互の相性及びコークス強度を予測する方法で、西尾²⁾は図IV-2のような関係を示した。

図中斜線の部分が高炉用コークスの配合炭として最適な配合になる部分である。図中对角線方向に位置する石炭ほど配合性はよい。インドの製鉄所で使われている配合炭物性と世界のそれを表IV-10に示す。

特に他国に比べ著しい違いは灰分で、18~22%と飛び抜けて高い値を示している。これは自国炭を最大限に使うためのやむを得ない配合であり、配合の研究で主導的立場にあるCFRIの最も苦心をしているところである。CFRIでは、数百種の配合炭コークスのサンプルを所持しており、自国炭の配合に関してはかなり研究が進んでいる事を示している。

図IV-2 コークス強度予測図

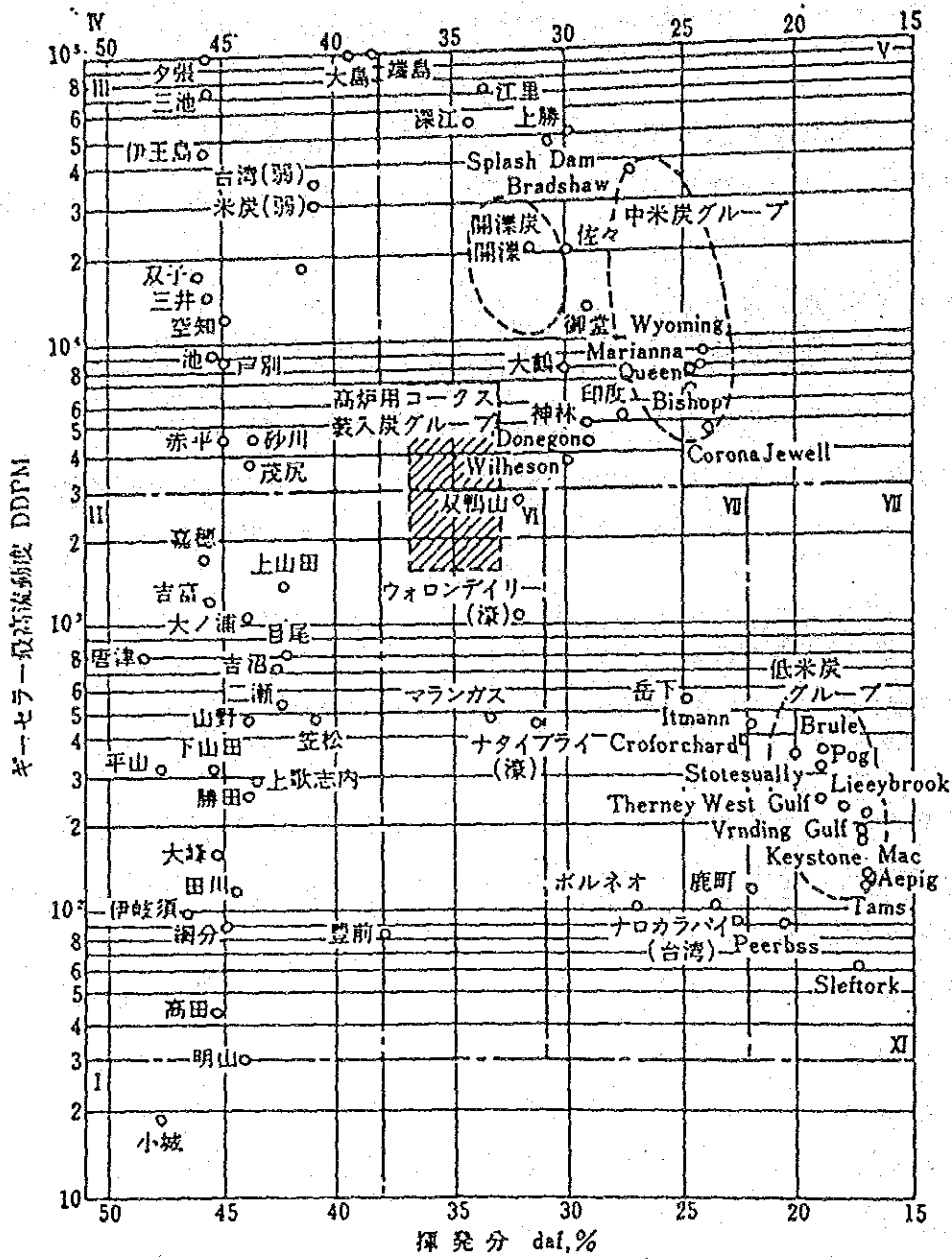


表 IV - 10 コークス用原料炭の配合物性

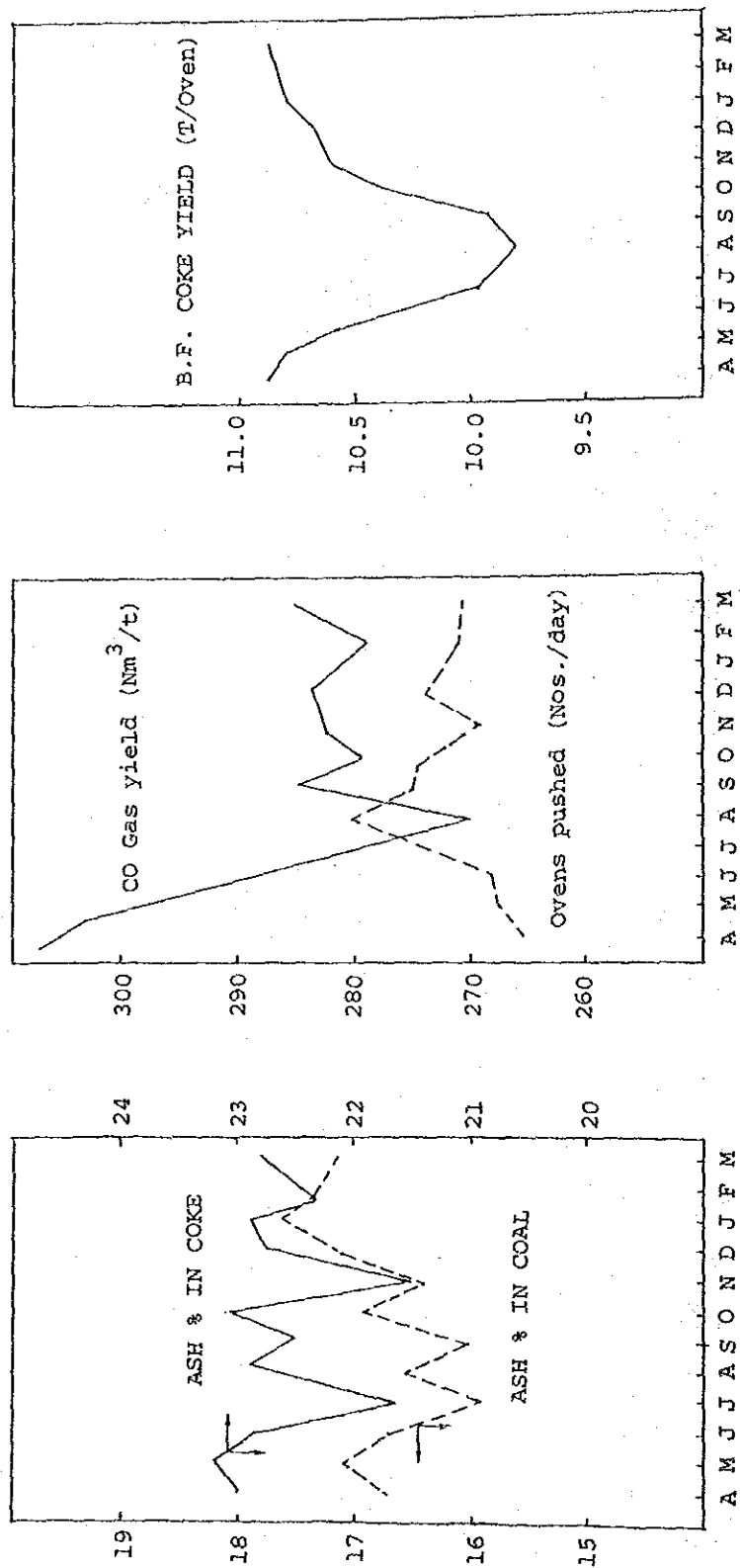
SL. NO.	PLANT	MOISTURE	ASH (%)	VM
I.	INDIA			
1.	BSP	5.40	20.00	23.90
2.	RSP	6.02	18.52	23.10
3.	DSP	5.97	22.36	22.30
4.	BSL	5.96	20.42	23.23
5.	IISCO	1.50	20.00	24.40
5.	IISCO	-	21.92	24.46
	AVERAGE	4.97	20.54	23.56
II.	OTHER COUNTRIES			
1.	NIPPON STEEL, JAPAN	1.60	8.20	29.90
2.	RUHRHORT W.GERMANY	1.20	7.70	24.70
3.	BHP, AUSTRALIA	1.20	13.30	22.30
4.	STELCO, CANADA	2.00	6.70	28.30
5.	NIZHNE-TAGIL, USSR	8.50	9.00	26.60

インドの製鉄所の設備と技術レベルを知るためにルールケラー製鉄所を調査した。このプラントは粗鋼生産能力 180万トン/年で、インドでの総生産量の13%を占める比較的少規模のものである。工場は1966年に建設されたため全体に設備は旧式で生産性は低い。配合槽を含めたコークス炉周辺技術は、基本的に日本の場合と異なるところはないが、一つ一つの操作がそれぞれ独立しているため人力で操作する部分が多く、プラントのシステム化は遅れている。また、コークス乾式消火設備による排熱回収が行われていないため熱効率は低い。ただ現在、近代化5か年計画によりコークス炉の改修、高炉の熱管理方法の改善、コークス乾式消火設備の導入など近代化が進行中である。また他の製鉄所においても成型炭プラントを建設中で、まもなくコークス炉へ成型炭の供給が始まろうとしていることを考えると、ここ数年で相当近代化が進むものと思われ、それにとまなう技術レベルの向上も期待される。

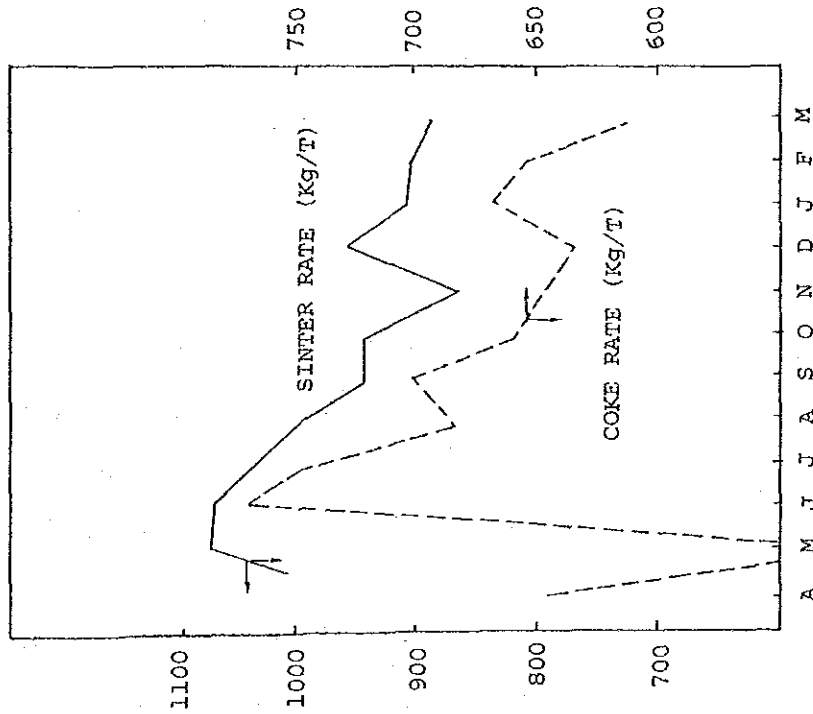
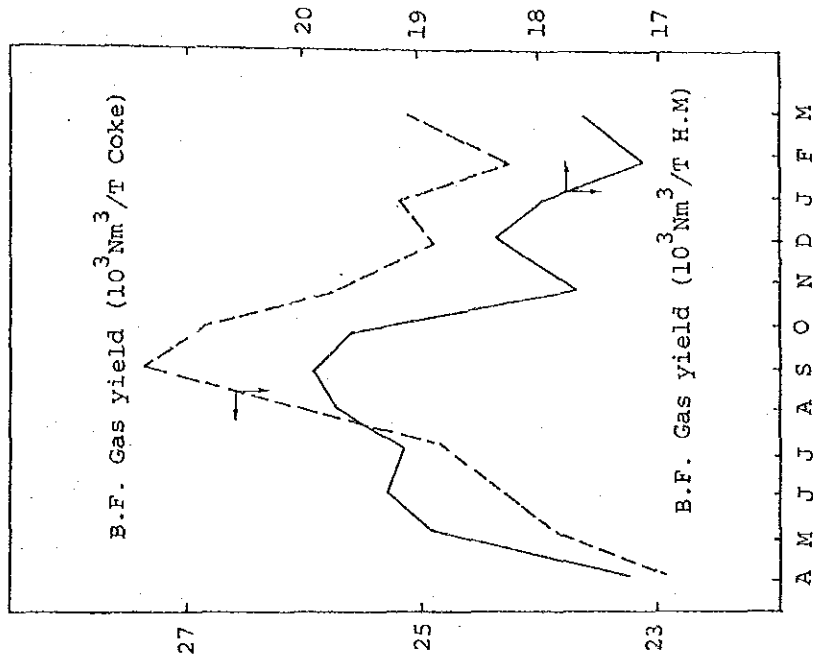
図 IV - 3、図 IV - 4 はルールケラーにおける石炭およびコークス中の灰分含有量の推移と粗鋼1トン当りのコークス消費量を示す。日本におけるコークス（灰分11.7%）消費原単位の約 450kg/t に比べ、インドのそれは 550~700kg/t と大変大きい。その原因の一つにコークスの灰分含有量の違いが挙げられ、インドにおいては灰分の低下が最大の関心事であることを示している。

図IV-3 ルーレケラー製鉄所の使用石炭、コークスの灰含有量の推移

COKE OVENS 1988-89



BLAST FURNACES 1988-89



2-3 原料炭の特性（問題点）がもたらすコークス及び粗鋼の生産性及び生産コストへの影響

インドの原料炭特性は、前述したようにわが国で使われている石炭に比べ約10%も灰分が多く、それがコークスの性状やコークス炉、高炉の生産性に与える影響は大きい。

(1) 灰のコークス性状に与える影響

コークス収率、化学組成に与える灰の影響はないが、生成する塊状コークス（> 100mm）の割合は原炭の灰の含有量が高いほど多くなる。また、一定以上の含有率になるとマイクロ細孔も発達し、コークスの反応性が不必要に増大する。しかも、得られるコークスの硬度は灰の含有量とともに低下する。

高炉内に於いて重要な因子となるコークスのCO₂との反応性は、灰の含有量が増加するにつれ上昇する。これは灰の成分がブドール反応（ $C + CO_2 = 2CO$ ）の触媒として作用するため、灰分の増加は炭素分（コークス）の余分な消費の原因となる。

(2) コークス炉、高炉の生産性に与える影響

コークスにとって灰分は、回転強度と共にコークスの品質を決める重要な因子である。灰分はコークス中の炭素分を低下させるのみでなく、高炉中でコークスの反応性を高めるためその消費量を増加させ、しかも灰分の昇温のために余分なエネルギーを消費するため燃料比を増加させることになる。

尚、燃料比とは高炉操業に於ける燃料原単位を見る基本的な指標で、次式で表される。

$$\begin{aligned} \text{燃料比 (kg·fuel/t·pig)} &= \text{コークス比 (kg·coke/t·pig)} + \text{重油比 (kg·oil/t·pig)} \\ &+ \text{タール比 (kg·tar/t·pig)} \end{aligned}$$

そして、おおよそコークス中の灰分含有量の1%の増加は5~10kg/t・pigのコークス比の上昇となり、高炉の生産性は1%前後減少する³⁾。

インドにおける粗鋼1トン当りの燃料消費量を表IV-11に示す。日本の場合の石炭750kg、微粉炭100kgに比べエネルギー消費量は大変に高い。

また高炉用コークス品質評価式(Vc)として次式が提案されており、コークス灰分がコークスの品質を決定する重要な因子であることを示している。

$$V_c = \frac{f(\text{コークスの強度、コークスのマイクロストレングス})}{f(\text{コークスの灰分})}$$

表IV-11 インドの製鉄所の粗鋼1トン当たりの燃料消費量

	Coking coal	Steam coal	Furnace oil	Gas
BSP	1,227	246	26.3	No external gas
BSL	1,664	354	6.1	No external gas
DSP	1,761	261	83.1	No external gas
IISCO	1,938	1,013	57.2	No external gas
RSP	1,537	523	80.1	No external gas

以上に述べてきたように、灰分はコークスの品質に重要な役割を持ち、粗鋼の生産性すなわち生産コストに大きな影響を与えることは明らかで、灰分を低下させる事がいかに重要かが分かる。

2-4 コークス製造技術の向上と効果

良質の高炉用コークスを製造するには強粘結炭が必要であるが、それらはインドの石炭の可採埋蔵量の約6%に過ぎない。このため、弱粘結炭、非粘結炭の割合をできるだけ多く配合する手法が研究され、実用にも供されている。しかし、炭種の多さやその性状の複雑さにより、配合手法の研究のみでは限界があるため、それ以外の方法、すなわちプロセスの改良や粘結材の開発により良質のコークスを製造する研究も行われてきた。

石炭の充填密度を上げてコークス化をするとその強度は向上する。これは、充填密度が高いと石炭粒子の間隔が密になりコークス化の過程で粒子間の結合が促進されるため、工業的にも実用化されている。その方式は技術的に次の2種に大別される。それは、石炭の事前処理により充填密度を上げる方法としての乾燥炭装入法、予熱炭装入法、成型炭配合法とコークス炉に装入前後で石炭を機械的に圧密化するスタンプ装入法である。

一方、非粘結炭を使用して高品位のコークスを製造する技術も開発されている。前述の予熱炭装入法、成型炭配合法はこの技術にも含まれるが、それ以外に粘結材添加法、成型コークス法がある。

特に、成型炭配合法、粘結材添加法、成型コークス法は石炭、石油系ピッチや後述する溶剤精製炭(SRC)をバインダーに用い、粘結炭の代わりに可能な限り多くの非粘結炭を使用してコークスを製造することを目的にしている。

以上の技術の目的は、コークス品質の向上と共に低価格の未利用非粘結炭を使用することによりコークスの製造コストを低下させることにある。

そのほか、コークス乾式消火法(CDQ)が近代的な設備としてコークス炉の効率的な熱管理のために、わが国のほとんどの製鉄所で使われている。この設備によりコークス1トン当たり20~30万Kcalのエネルギーが蒸気として回収できる。ただ、設備費が高い難点がある。

以上の方法はいずれもインドにおいても研究され、既に採用されているものや導入が計画されているものである。しかしながらSRCの利用を除いては、主としてインド炭の灰分含有量の多さからもたらされる原料面や生産性に関する問題の根本的な解決策とはなっていない。

3. SRC 製造技術

3-1 SRC

(1) SRC とは

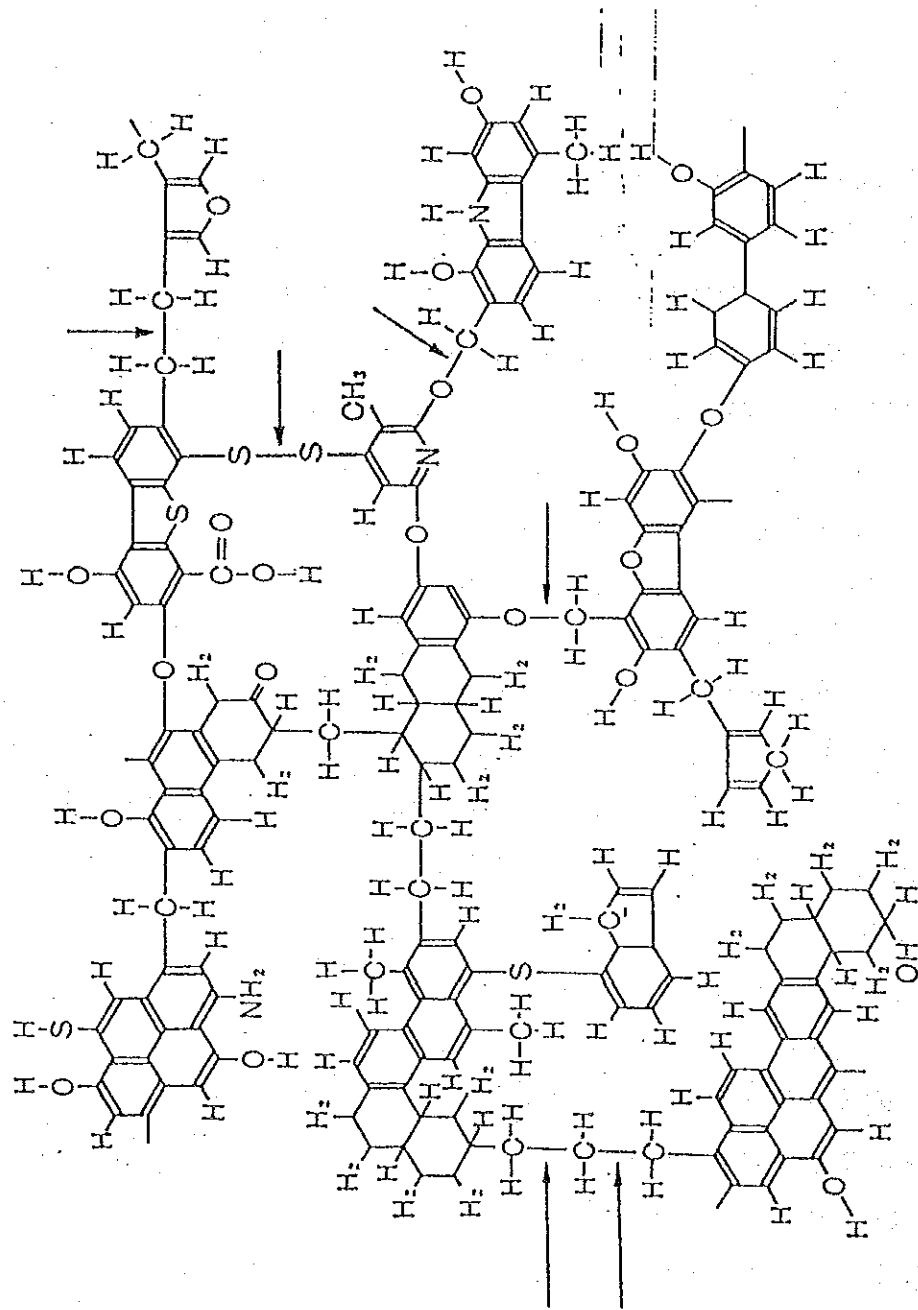
石炭は表 IV-4 で示したように、炭素含有量により褐炭から無煙炭までに分類される。弱粘結、強粘結炭に属する石炭は歴青炭と亜歴青炭の一部で、これらは 350℃ 付近から 500℃ にかけてコークス化にとって重要な流動性を示す。しかしながら褐炭、亜歴青炭の一部および無煙炭は加熱しても熔融することなく炭化するため非粘結炭と総称され、これまでは配合によりその一部がコークス用として利用されるのみであった。このため褐炭や亜歴青炭、硫黄や灰分の多い低品位歴青炭を溶剤に分散させ、水素加圧下で加熱反応させることにより低分子化、脱硫等を行い、流動性、粘結性が高くかつ硫黄や灰分を低下させた溶剤精製炭 (SRC) を得る研究が行なわれてきた。

一般に SRC を製造するには、微粉碎された石炭を、石炭/溶剤比 1.5~3 の割合で溶剤と混合し、水素を添加後、温度 400~450℃、圧力 50~150 気圧、滞留時間 0.5~2 時間の条件で反応させる事になる。ただし、その最適化のためには原料石炭の特性に応じて反応条件を変更する事が求められる。

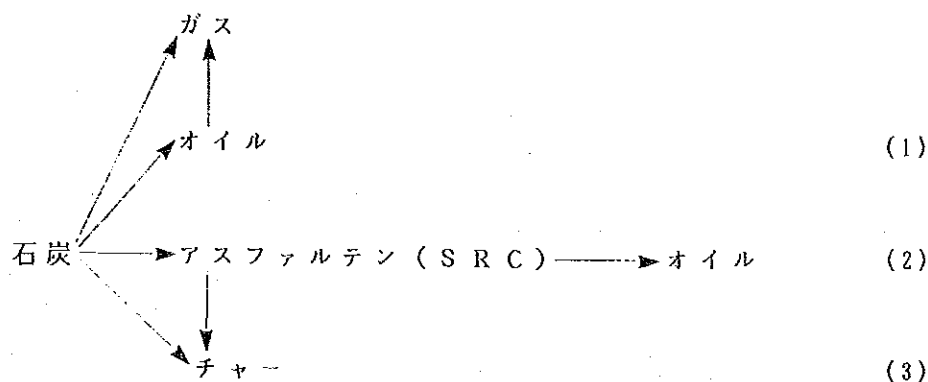
(2) SRC 生成反応

石炭の構造は 1~5 環の多環芳香族化合物に脂肪族側鎖やナフテン環、その他の官能基が結合した高分子と考えられており、全炭素原子に対する芳香族炭素の割合 (fa) は、いろいろな測定結果から、炭素割合 77% の石炭で 0.72、87% では 0.8 程度の値を示す。そして炭種による平均的な芳香環の大きさは炭素割合 70~80% で 1~2 環、80~85% で 2~3 環の縮合環が基本構造になっていると推定されている。歴青炭の構造モデルを図 IV-5 に示す。

図IV-5 歴青炭の構造モデル



S R C は、この様な石炭の構造の中で骨格構造を結ぶエーテル結合 (—O—)、炭素—炭素結合 (C—C)、含酸素官能基の分解脱酸素反応など比較的分解しやすい結合が水素化分解することにより得られる重質成分である。即ち、S R C の生成反応は石炭の熱分解により生成したラジカルを水素化して安定化することにより進行する。それは次の様な過程を経ると考えられている。



(1)は石炭の熱分解、水素化分解によりオイルが生成する場合で、その生成量は少ない。

(2)の過程は石炭の液化における主反応である。アスファルテン (S R C) は、石炭の構造単位体を結ぶエーテル結合や炭素—炭素結合などの架橋部分が分解・水素化したもので、平均分子量は 450~1,400 程度になる。以上は石炭の構造からみた S R C 生成反応であるが、石炭性状の分析値から S R C 製造用原料炭の適否を推測するには、分解し易い結合の量を定性的に示すと考えられる揮発分、構造との関係は明かではないが組織成分のイナートが重要な因子になる。

表 IV - 12 は石炭化度の異なる 16 種の原炭の性状と S R C の収率、化学構造を示す⁴⁾。原炭の性状と S R C の収率の関係は、揮発分についてはほぼ 50% まで比例関係にあるとあってよい。ただグリフィン炭のようにイナート成分が多いと収率は低下する。S R C は石炭を液化した時の重質成分であり、限られた範囲の留分であるため、原料の石炭は褐炭から歴青炭まで石炭化度がかなり異なるにもかかわらず、生成する S R C の構造は、炭素割合 88~90%、水素割合 5~5.5% とあまり差がみられない。ただし、分子量、N M R による構造解析結果から見ると原炭の骨格構造を多少反映した差が見られる。

表IV-12 原炭の分析値、S R Cの収率および性状

1/2

NO	Original coals	Proximate analysis (%, dry base)				Ultimate analysis (%, d.a.f. base)					Ro (%)	Inerts. (%)	Cal (Kcal/Kg)	H /C
		Ash	VM	FC	C	H	N	S	O(diff.)					
1	Illinois				73.76	5.80	1.80	1.10	17.54				0.937	
2	Kentucky NO 11	7.13	41.37	51.50	75.52	5.85	1.19	3.74	13.70				0.923	
3	Griffin	2.51	58.76	38.73	75.77	4.00	1.55	0.21	18.47	0.33	39.0	6630	0.629	
4	Taikeiyo	13.23	51.29	35.48	77.00	6.02	1.33	0.29	15.36	0.57	6.6	6760	0.932	
5	Miike	14.65	43.67	41.68	82.20	6.29	1.34	2.52	7.65	0.79	9.0		0.912	
6	Grose valley	14.28	27.60	58.12	83.20	4.79	1.73	0.41	9.87	0.83	60.4	6810	0.686	
7	Newdell	8.94	39.52	51.54	83.53	5.79	1.93	0.50	8.25	0.80	20.5	7260	0.826	
8	Hwaipei	20.01	27.38	52.61	85.19	4.99	1.31	0.26	8.25	0.99	24.2	6490	0.698	
9	Wollondilly(9<1.35)	6.17			85.92	5.25	1.79	0.53	6.51		35.5	7860	0.728	
10	Yubari	2.67	45.98	51.35	86.32	6.21	1.90	0.30	5.27				0.857	
11	Wollondilly	9.50	28.95	61.55	86.96	5.17	1.77	0.42	5.68	1.11	44.8	7480	0.708	
12	Weathered Balmer	11.12	20.85	68.03	88.38	4.43	1.18	0.33	5.68	1.52	41.7	7450	0.597	
13	Balmer	9.79	22.66	67.55	89.09	5.51	1.11	0.37	3.92	1.46	32.2	7750	0.737	
14	South Yakutian 0-6	7.96	19.92	72.12	89.90	4.61	0.87	0.33	4.29	1.70	22.0	7880	0.611	
15	Smoky river	7.74	19.40	72.86	90.56	4.71	1.31	0.50	2.92	1.75	29.1		0.620	
16	South Yakutian{0-1}	8.86	18.38	72.76	91.66	4.67	1.06	0.39	2.22	1.74	21.9	7750	0.607	

NO	Extract.						Ultimate analysis										Structural parameters					
	yield (%)	C	H	N	S	O(diff.)	MM	f _a	H _{au} /Ca	σ	n	M	R _a	R _n	H/C							
1	94.7	84.22	5.98			9.80	536	0.758	0.775	0.381	1.8	2.48	5.6	2.7	0.846							
2	80.6	85.73	5.90			8.37	587	0.757	0.720	0.386	1.8	2.35	6.7	3.1	0.820							
3	38.5	90.29	5.23	1.76	0.30	2.42	611	0.873	0.650	0.232	1.7	2.29	9.2	1.7	0.690							
4	64.2	88.46	5.34	1.71	0.26	4.23	538	0.818	0.631	0.310	2.0	1.68	7.6	2.5	0.719							
5	91.5	88.47	5.46	1.73	1.13	3.21		0.781	0.590	0.354	2.2				0.735							
6	34.8	88.74	5.31	1.55	0.42	3.98	689	0.842	0.649	0.275	1.9	2.45	9.9	2.3	0.713							
7	57.3	88.24	5.48	2.07	0.40	3.81	1126	0.806	0.660	0.336	1.9	3.86	15.1	4.4	0.740							
8	45.9	89.60	5.19	1.71	0.29	3.21	869	0.837	0.613	0.289	1.9	2.68	13.1	3.1	0.690							
9	56.9	89.22	5.17	1.91	0.40	3.30	931	0.809	0.601	0.362	1.7	2.60	13.7	4.5	0.691							
10	95.2	88.93	5.66			5.41	1037	0.773	0.605	0.350	1.9	2.83	14.4	4.4	0.758							
11	44.6	88.98	5.27	1.59	0.41	3.75	1250	0.827	0.640	0.319	1.7	4.26	18.0	4.4	0.706							
12	23.8	91.42	4.67	1.32	0.28	2.31		0.870	0.546	0.266	1.6				0.609							
13	41.6	90.33	5.13	1.56	0.36	2.62	1156	0.836	0.578	0.277	2.0	3.16	18.4	3.6	0.677							
14	28.2	90.12	5.00	1.10	0.23	3.55		0.868	0.621	0.261	1.4				0.661							
15	33.0	90.93	5.06	1.47	0.40	2.14	1028	0.853	0.590	0.265	1.7	2.95	16.4	3.3	0.663							
16	32.1	91.03	5.20	1.14	0.26	2.37	1241	0.868	0.630	0.238	1.5	4.26	19.2	2.8	0.681							

(3) SRCの用途

SRCの用途としては燃料、コークス用バインダー、あるいは電極用炭素材が考えられている。

コークス用バインダーとしての試験は実験室のみでなく実炉によっても新日鉄、川崎製鉄で実施された。その結果、以下の効果が確認された。

1) 粘結性補填効果として、

a) コークス強度が低い配合炭でもSRCを添加すれば高炉用コークスに必要なレベルまで、強度を向上させることができる。

b) SRCの添加効果はコークス強度の低い配合炭ほど大きい。

2) コークス製造原料としての非粘結炭の使用では、非粘結炭2：SRC1の割合で、非粘結炭20%まで使用可能。

3) 強粘結炭をSRCで代替してもコークス強度は必要なレベルを確保できる。

以上のように、SRCはコークス用バインダーとして優れた特性を持っている。

3-2 SRC製造技術の開発状況

本格的なSRCプロセスの開発は、米国のガルフ社の子会社であるピッツバーグ & ミッドウェイ コール マイニング社により行なわれた。同社は1966年に米国石炭研究局(OCR)と50トン/日のパイロットプラントの建設および運転に関する契約を結び、1974年ワシントン州タコマ市にプラントは完成した。当初の開発目的は、硫黄含有量の大きなケンタッキ炭を原料として、低硫黄、低灰分かつ加熱された場合に流動性を得るクリーンな固体燃料を製造することであった。その後、部分的な改良を加え低硫黄の燃料油を目的としたSRC-IIプロセスに発展している。

日本におけるSRC研究は、主として三井石炭液化、川崎製鉄にてアメリカの

S R C 技術を発展させた 8 トン / 日、5 トン / 日のプラントで粘結炭代替用のバインダーの開発を目的として行われ、現在に至っているが、まだ実プラントは建設されていない。

3 - 3 スケールアップ手法と問題点

一般的に S R C 製造プラントの様に新しいプロジェクトの開発においては、以下に示すような開発手順が取られる。

- (1) 石炭の分析、オートクレーブを用いた石炭の液化特性の把握、S R C の製造および S R C を用いたコークス製造を主とする実験室規模の研究。
- (2) 実用化への評価。
- (3) ベンチスケールプラントを用いたプロセス開発。
- (4) エンジニアリングデータの整備および経済性の評価。
- (5) パイロットプラントを用いた運転条件の最適化を主目的とする研究。
- (6) デモンストレーションプラントの建設と運転。
- (7) 商業プラントの建設と運転。

本プロジェクトの本格調査においても段階的な検討手順がとられる予定であり、本格調査の Phase-I では上記の (1) と (2) が実施され、実用化に対する見通しが立てば、それに続く Phase-II では (3) と (4) が実施される予定である。

S R C 製造プラントの開発において問題となるのは商業プラントの実績が無い事であり、類似の石炭液化プラントにおいても実績はない。これに加えて、装置内では高温、高圧でしかも腐食性の高い流体を取り扱うために、かなりの技術的、経済的リスクがある。

したがって、(1) では、インド炭の物性の検討、原料とすべき候補炭の選択と

S R C 製造の可能性の確認を行い、さらにその S R C を用いたコークス製造および生成コークスの物性の確認を行う。これらの実験は、オートクレーブを用いて比較的簡単に行えるために十分に時間をかけて実施すべきである。

(1)の実験結果を用いれば基本的な物質収支を計算する事が可能となるので、(2)では、その他の条件も考え合わせて、インド炭を原料とする S R C 製造プラントの実用化の評価すなわち予備的な企業化評価を行う。

(2)で、企業化の可能性がある事が示され、しかも両国政府が合意すれば(3)を実施する。(3)では、(1)で選択された候補炭を原料として、小規模連続式のベンチスケールプラントを用いて S R C 製造プロセスの検討を行う。この実験により、プロセスの基本構成、概略の物質および熱収支の確認、使用機器の材質の選定等を行う。

これらのデータを基にすればデモンストレーションプラントをある程度の精度で設計する事が可能となるので、これに続く(4)では、設計に必要なエンジニアリングデータの整備とそれに基づく詳細な企業化評価を行う。その際には、技術的リスクの低減および評価の信頼性の向上のために、既存の商業的に実証されている石油精製、ガス処理、石油化学の技術の応用および開発途中の石炭液化に関する技術・ノウハウの適用が必要となる。これまでの類似プロジェクトの経験から、技術上特に問題となる可能性のある部分は以下の項目である。

- 1)石炭スラリーによる機器・配管のコロージョン、エロージョンの防止が必要。
- 2)石炭液化油のコーキングによる処理能力の減少、運転性の低下を防止する技術の確立が必要。
- 3)スラリーのプロセス条件を制御するための計装機器の信頼性が乏しいため、スラリー用計装機器の開発および信頼性を高めるための制御システムの開発が必要。
- 4)液化反応塔に供給するスラリーを調整するための信頼性の高い石炭スラリー混合装置およびスラリー供給ポンプの開発が必要。
- 5)石炭スラリーを反応温度にまで加熱するためのスラリー加熱炉の設計方法の確立が必要。

6) スラリー用の熱交換器には、低流速の場合に起こる固体沈降と高流速の場合に起こるエロージョンおよび圧力損失の増大を共に防止できる設計方法の確立が必要。

7) 生成したSRCを効率よく連続的に分離するための信頼性の高い固液分離機の開発が必要。

以上の点を考慮すれば、本格調査のPhase-IおよびPhase-IIで予定されているインドにおけるSRC製造プラントを技術面から評価するためには、日本のように、SRC製造に関する技術・経験はもとより、石油精製等の関連技術および石炭液化の最新の技術開発に関する知識・経験を保有する先進国の技術的援助が必要不可欠である。

3-4 インドに於けるSRC技術導入による効果

インドのSRC技術導入の目的は、前述のようにインド国内に豊富に存在する非粘結炭をコークス用バインダーに転換し、現在外貨収支の不均衡の一因となっているオーストラリアからの強粘結炭の輸入量を削減すると共に、その価格を抑制することにある。もしSRC製造プラントがインドにて実用化されれば、これまで述べてきたようにSRCは十分に粘結炭の代替になり得るものと予想され、インドの石炭液化技術の向上と石炭資源の新たな活用による産業の活性化、就労人口の拡大などその効果は大きいであろう。

3-5 インド炭を原料としたSRCの製造

(1) インドに於ける研究開発状況

インドにおけるSRCの研究は石炭研究の中心であるCFRIにて、オートクレーブ、ベンチスケール規模で行われている。研究の詳細は十分に明らかにされていないが、入手したデータを見る限りにおいては物質収支の検討といったプラ

ントの設計に必要なエンジニアリングデータの採取よりは、SRCを製造しコークスバインダーとしての性能の検討を主目的としているように思われる。このため、プロセスの開発のためのエンジニアリングデータはほとんど整備されていない。また、既存の実験施設に関しては、石炭研究について旧式ではあるが十分に対応できる施設があるが、SRCの研究に使用されているオートクレーブ、ベンチスケールプラントに付属する計測機器類は工学的データを取得するには十分であるとはいえない。

CFRIでの実験データを表IV-13に示す。表からも明らかなように、SRC生成条件は石炭/溶剤比1:4、反応時間2時間で水素消費量が多くどちらかといえば軽質油の取得を目的とした条件に近い。また、物質収支も一致していない。

(2) インド炭の特性から見たSRC製造の可能性

インド炭を表IV-5から見る限り粘結炭、非粘結炭ともに灰分量は高い。このためSRC製造に際しては、固液分離プロセスなどが最大の技術的課題になる可能性がある。ただし、非粘結炭は現在選炭が行われていないので、選炭により灰分をどこまで低下させることができるかが、一つのポイントになる。

また、揮発分、イナートなどの性状分析値から見る限り、揮発分は25~54%、イナート分は25~60%と炭種により大きな幅があり、分析値からある程度SRC用原料炭を絞れるが、最終的には、オートクレーブ実験の結果を基にSRC用として適する石炭があるかどうかを明らかにする必要がある。また、無触媒で十分なSRCが得られない場合には、使い捨て可能な触媒(酸化鉄等)を用いた検討も必要となろう。いずれにしても、今後インド炭の液化特性に関する精密な実験結果を得る必要があり、その上で、今後さらに研究を進めるか否かを判断する必要がある。

(3) インドにおけるSRC製造のコークスに及ぼす効果

SRCは前述したように、灰分、イオウ分が少なく、かつ粘結性が高いコークス用粘結材として優れている。このため、インドでSRCが製造されるようにな

ると、輸入している粘結炭のかなりの割合が、これまでコークス原料として使用されなかった低灰分非粘結炭に変わる可能性がある。そのため配合炭の灰分が低化し、生成するコークスは低灰分になり、しかも高い強度を有する高品位コークスが得られるようになる。すなわち、強粘結炭の輸入量の大幅な削減とコークスの高品位化に伴う高炉の生産性の向上が可能となろう。

以上インドの現状を見てきたが、SRCに関する研究はまだ始まったばかりであり、インド炭を実際に取り扱い、その結果を基に種々の観点にたって解析を行うことが必要であろう。

表 IV - 13 インド炭を原料とする SRC 製造実験の結果

(1) 実験条件

Materials/Conditions		Description/Quantity
Coal		Singrauli coal (Noncoking)
Coal particle size		below 100 mesh
Solvent		Anthracene oil (boiling range: 300-360°C)
Gas for hydrogenation		Hydrogen (pure)
Coal to Solvent Ratio		1:4
Temperature	°C	400
Pressure	kg/cm ²	80
Residence time	Hour	2

(2) 実験結果 (物質収支)

(weight in gram)

Raw materials and products	IN	OUT
1. Coal	50.0	-
2. Solvent	200.0	-
3. Hydrogen gas	5.25	-
4. Solvent for product discharge and filtration	150.0	-
5. Exit gases	-	10.03
6. Insolubles (Filtercake)	-	20.0
7. Light oil (Boiling below 300°C)	-	60.0
8. Recovered solvent	-	284.0
9. Solvent Refined Coal (SRC)	-	20.0
Total	405.25	394.03

4. SRC 製造プラント

本節では、文献調査および現地調査により入手した SRC 製造プラントおよびインド炭を原料とする SRC 製造実験に関する情報を基にして想定される、インドにおける SRC 製造デモンストラーションプラントの概要を示す。

4-1 プロセスフロー

SRC 製造プロセスの概略フローを図 IV-6 に示す。

SRC 製造プロセスは、数多くの企業および研究所で研究が進められているが、その基本的なプロセスフローには変わりはない。ただ原料とする石炭の物性と目的とする製品により、プロセスの運転条件や構成機器の一部が異なる程度である。

原料石炭はまず石炭前処理装置において微粉碎され、石炭スラリー調整装置にて溶剤と所定の割合で混合され石炭スラリーとなる。運転開始時にはアントラセン油等の芳香族成分の含有量の多い油が溶剤として使用されるが、運転が継続されるにつれて生成した重質油に置き換えられ、最終的には生成重質油が溶剤として使用されるので外部から溶剤を補給する必要はない。

石炭スラリーには水素が添加され、スラリー加熱炉にて原料石炭の溶解温度まで加熱される。この間に灰分を除く原料石炭の相当部分が溶解する。よって、石炭液化油がコーキングを起こさないような加熱炉の構造および運転条件を選ぶ事が肝要である。このスラリー加熱炉の設計が、SRC 製造プラントの成否を決定する大きなポイントの一つとなっている。

加熱炉を出たスラリーは液化反応塔に送られ、さらに石炭の溶解抽出と水添分解、脱硫などの反応が促進される。液化反応における運転条件すなわち、溶剤比、水素分圧、反応温度、滞留時間等は原料となる石炭の種類により最適な組み合わせが決められるが、SRC の収率を高め、水素の消費量を抑えるような温和な反応条件が選択される。

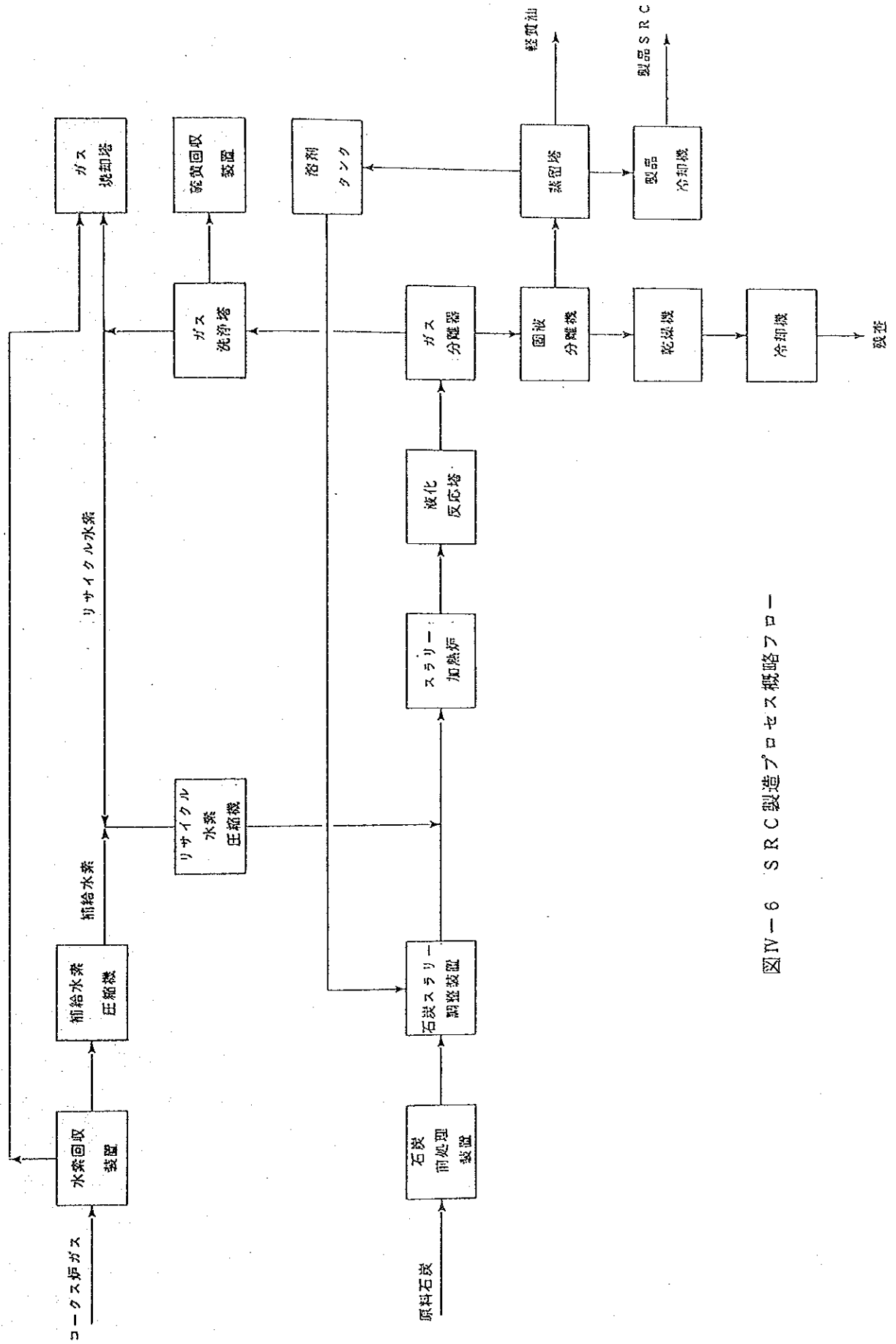
液化反応塔からの反応生成物は、ガス分離器にて循環水素や分解生成ガスが分離された後、固液分離機に送られる。固液分離機では、灰分や未溶解分が SRC から分離されるが、製品 SRC の用途により灰分の分離に対する要求が異なるた

めに、プレコートフィルターや遠心分離機等が使い分けられる。

固形分が分離されたSRCは蒸留塔に送られ、軽質油と溶剤となる重質油が分離回収される。重質油は溶剤タンクを経て循環使用される。液状の製品SRCは蒸留塔の塔底から抜き出され、製品冷却機にて冷却固化される。

一方、固液分離機で分離された固形分は、乾燥機および冷却機を経て残渣として抜き出される。また、ガス分離器にて分離されたガスはガス洗浄塔に送られ、硫黄分が除去される。その一部は重質ガスの蓄積を防ぐために抜き出されガス焼却塔にて燃焼廃棄されるが、残りの水素ガスはリサイクル水素圧縮機を経て循環使用される。除去された硫黄分は硫黄回収装置にて単体硫黄として回収される。

デモンストラーションプラントは製鉄所の中に建設される可能性が高いので、水素源としてはコークス炉ガスが利用できる。コークス炉ガス中には約50mol%の水素が含まれているので、深冷分離、膜分離、圧力スウィング式吸着法等の手段を用いれば高純度の水素が回収できるので、水素が安価に得られる。



図IV-6 SRC製造プロセス概略フロー

4-2 付帯設備

以上のプロセス設備の他に、SRC製造プラントには下記の付帯設備が必要となる。

- (1) 石炭受け入れ貯蔵設備
- (2) 製品SRC貯蔵設備
- (3) 残渣廃棄設備
- (4) 燃料設備
- (5) 冷却水設備
- (6) ボイラー給水処理設備
- (7) 空気設備
- (8) 窒素設備
- (9) 飲料水設備
- (10) 受配電設備
- (11) 防消火設備
- (12) 排水処理設備
- (13) 事務所・計器室

4-3 SRCプラント建設の環境へのインパクト

(1) 予想される汚染物質とその処理方法

SRC製造プラントから排出される汚染物質の量は供給される原料石炭の組成および反応条件に大きく左右される。よって、必要となる公害防止装置は少なくともベンチスケール実験が終了するまでは決定できない。したがって、ここでは参考としてインド炭以外の石炭を使用した実験結果から想定される汚染物質とその処理方法について説明する。

1) 排ガス

a) ガス洗浄塔の溶液再生塔排ガス

石炭中に含まれる硫黄分の一部は液化反応塔にて水素添加される事により硫化水素に転化され、ガス分離器にて分離される循環水素と分解生成ガスの混合ガス中に含まれる。この混合ガスは、ガス洗浄塔において酸性ガス吸収溶液にて洗浄され、硫化水素および二酸化炭素が吸収除去される。溶液に吸収された硫化水素および二酸化炭素は、溶液再生塔にて溶液を加熱再生する際に溶液から分離される。分離された硫化水素および二酸化炭素をそのまま大気に放出すると大気汚染の原因となるので、このガスを硫黄回収装置およびそれに続くテールガス処理装置に送り、単体硫黄として回収する。

b) 排水ストリッパ排ガス

上記の硫化水素の一部および石炭中の窒素分の一部が水素添加されて生成したアンモニアはプロセス排水に含まれ系外に排出される。この排水を処理するためには、まず、排水ストリッパにて処理し、硫化水素およびアンモニアを除去する必要がある。ここで分離された硫化水素およびアンモニアはやはり硫黄回収装置に送られ、硫化水素は単体硫黄に、アンモニアは窒素と水に変えられる。

c) 炭化水素を含むプロセス排ガス

プロセスからは炭化水素を含むオフガスが数多く排出されるが、そのオフガスに炭化水素以外の汚染物質が含まれていない場合は排ガス焼却塔にて燃焼廃棄し、炭化水素排出による大気汚染を防止する。

2) 排水

a) プロセス排水

液化反応塔からの反応生成物には原料石炭に含まれていた水分や反応で生じた水分が含まれている。これらの水分は、反応生成物が冷却されるにつれ凝縮し、排水として系外へ抜き出される。この排水は、石炭、生成液化油、溶剤等と接触

しているので数多くの有害成分を含んでいる。したがって、そのまま河川等に放流すると水質汚濁の原因となる。

この排水を処理するためには、まず、含まれているフェノール、硫化水素、アンモニアを除去し、その後活性汚泥プロセスを主とする通常の排水処理装置により有機物を分解除去する。

排水中のフェノールを除去するためには、有機溶媒を用いた液-液抽出プロセスを用いる。フェノールを抽出した溶媒は、蒸留して揮発性の高い溶媒から高沸点のフェノールを分離回収する。

ついで硫化水素とアンモニアを除去するために、フェノールが除去されたプロセス排水を上述の排水ストリッパーにて処理する。

このような順序で処理されたプロセス排水は、その他の含油排水および生活排水等と混合され、活性汚泥プロセスにて有機物を分解除去した後、河川等に放流される。

b)含油排水

フェノールや酸性ガスを含まないプロセスからの含油排水は、そのまま活性汚泥プロセスに送られ処理される。

c)生活排水

プラント従業員の生活排水も活性汚泥プロセスにて処理される。

d)石炭パイル雨水

野積みされた原料石炭に降った雨水は、石炭の成分がある程度溶出している。しかし、その含有量は石炭の種類および雨水のpHにより大きく異なるので、処理方法は千差万別となる。重金属の含有量が多い場合は、重金属除去装置の設置が必要となる。

e)含油雨水

プロセス機器が配置されている地域に降った雨は、ポンプ等の動機器から漏れだした潤滑油等の油分を含んでいる可能性が高いので、油水分離装置にて油分が分離された後、河川等に放流される。

f) 一般雨水

プラント敷地内のその他の部分に降った雨は汚染物質を含んでいる可能性がないので、そのまま放流される。

(2) 公害防止設備の概略コスト

S R C 製造プラントに必要とされる公害防止設備の内容は、汚染物質の質と量およびその排出規制値により決定されるので、現状ではインドにおける S R C 製造プラントに要する公害防止設備のコストを算出する事は不可能である。よってここでは参考として、日本における S R C 製造プラント建設のフィージビリティスタディに示された総建設費に占める公害防止設備費の割合を示す。

$$\frac{\text{公害防止設備費}}{\text{総建設費}} \times 100 = 10 \sim 15 \%$$

(3) 環境へのインパクト

S R C 製造プラントは石炭を原料にするために、無処理で排出された場合は、その排ガス、排液中にはある程度の濃度の汚染物質が含まれる事は避ける事はできない。しかし、その程度は製鉄プラントからの排出量に比べると少量で、規制値を守るための公害防止設備も既存のプロセスで十分対応が可能である。

4 - 4 概略物質収支

インド炭を原料とするSRCの製造を予備的に評価するために、表IV-13に示した公表されている唯一のCFRIでの実験結果を基にして、概略の物質収支を算出した。

この実験はオートクレーブを用いた実験であるので、厳密に物質収支を計算することはできない。よって、表IV-13の物質収支を以下のように変更する。

- (1) 実際の水素消費量は不明であるので、米国におけるパイロットプラントの実験結果を利用する。その実験結果では原料石炭当たり3~4wt%の水素が添加されているので、水素必要量は原料石炭当たり4wt%とする。尚、水素源としてコークス炉ガスを使用する場合は、その水素含有量は約10wt%であるので、コークス炉ガス必要量は原料石炭当たり40wt%となる。
- (2) SRCおよび残渣の収率は実験結果通りそれぞれ40%とする。
- (3) 物質収支の合わない部分は軽質油の生成量とする。よって、軽質油の収率は10.44%となる。

以上より、デモンストレーションプラントの石炭処理能力を500トン/日とした場合の物質収支は以下の様になる。

原料使用量

石炭（一般炭）	500	トン/日
コークス炉ガス	200	トン/日

製品量

SRC	200	トン/日
軽質油	52.2	トン/日
燃料ガス	247.8	トン/日
残渣	200	トン/日

4-5 概略投資金額

前にも述べたように、SRC製造プラントはいまだ建設された例はない事および物質収支等の基本的なデータが不十分な事を考慮すると、現段階で投資金額を推定する事は非常に困難であるが、日本におけるサンシャイン計画の一部である褐炭液化プロジェクトの建設費をベースとして、SRC製造プラントの投資金額を推定した。

褐炭液化プロジェクトの概要

石炭処理量	50 トン/日
プラント建設場所	オーストラリア
一次水添設備までの建設費	290 億円 (1984年完成)
二次水添設備の建設費	180 億円 (1987年完成)

このプロジェクトの一次水添設備までの部分は、SRC製造プラントとほぼ同じであるために、投資金額推定のベースとなりうる。よって、これをベースとして、プラントの規模、建設場所、水素製造設備が水素回収設備に変わる事などを考慮すると、石炭処理量 500トン/日のSRC製造プラントの建設に要する投資金額は、約 500億円と推定される。

この金額は、石炭処理量をベースにパイロットプラントの建設費から推定したものであり信頼性はきわめて低い。その信頼性を向上させるためには以下の検討が必要である。

- (1) 石炭および石炭スラリー取扱い機器の仕様決定に大きく関与する原料石炭の物性の把握。
- (2) SRC製造用の最適原料石炭の決定。
- (3) スラリー加熱炉、液化反応塔等の重要機器の運転条件の決定。

- (4) SRCおよび石炭液化油の収率、水素消費量等を含む物質収支と熱収支の確立。
- (5) スラリー加熱炉、液化反応塔、固液分離機、スラリーポンプ等実用実績が少なくしかも運転条件の過酷な機器の設計製作法の確立。
- (6) 信頼性の高い計装システムの確立。

第3節3-3項で述べたSRC製造プロジェクトの開発手順を経ることにより以上の項目の検討が進み、信頼性の高い投資金額の推定が可能となってくる。

4-6 SRCの配合によるコークスの製造

SRCは灰分が少なく粘結性に優れているために、コークス製造用の原料炭に配合する場合は、高価な強粘結炭の使用量を抑え、なおかつ一般炭を配合する事も可能となる。ただし、その最適な配合割合は、コークスに対する要求性状をベースにして、SRCおよび配合されるべき原料炭と一般炭の性状とそれらの価格を見て実験により決定される。インドにおいては、輸入強粘結炭の使用をなくするとともに安価な一般炭を最大限使用できるような配合割合が求められる。以下にその一例として、MECONの作成したSRC製造の検討資料に示された輸入炭を使用する場合と、SRCを使用する場合のコークス製造用原料炭の配合割合の変化を示す。

表IV-14 コークス製造用の原料炭の配合割合

炭種	配合割合 (重量%)	
	輸入炭使用	SRC使用
強粘結炭	26.5	20.0
中粘結炭	40.0	40.0
弱粘結炭	10.0	10.0
非粘結炭	--	20.0
輸入炭	23.5	--
SRC	--	10.0
合計	100.0	100.0

インドにおけるSRC製造の最終目的はSRCの配合による良質でしかも安価なコークスの製造であるので、SRCとコークス製造用の原料炭の配合割合は、本プロジェクトの意義と経済性を左右する大きな因子である。したがって、SRCの製造のみならず、SRCを使用したコークスの製造および原料炭の配合割合の検討も大きな研究課題である。

5. 結論

これまでに述べてきたように、インドにおいては、インド国内炭およびインド鉄鋼産業の抱える問題点を一挙に解決する手段としてSRC製造技術に対する期待は非常に大きい。しかしながら、SRC製造技術は完成された技術とはいえず、解決されるべき技術上の問題点も数多く残されている。それに加えて、先に研究を進めてきた欧米および日本では、経済性がないとの理由により研究は中断されており、再開されるめども立っていない。このような状況のもとで、インドにおいてSRCの研究開発を進める事の意義としては、次の点が挙げられる。

- (1) 新技術の開発には多額の費用を要し、かつその費用の回収に対するリスクもある。したがって、実際にその技術を必要としている国または会社が技術開発を行うべきであるとの世界的な認識がある。この点から判断するとSRC製造技術を最も必要としているのはインドであり、インドでその技術開発を推進するのは当然である。
- (2) 石炭を取り扱う技術は、使用する石炭により大きく異なる。インド炭は灰分が非常に多く、世界的にも希な条件の悪い石炭である。よって、インド炭を実際に使用しての実験を行わない限り、海外におけるSRC製造技術がそのまま適用できるかどうかは判断できない。
- (3) SRC製造技術は石炭液化技術の一貫としても捉えられる。したがって、インドにおける実験結果は、単にSRC製造技術としてだけではなく、石炭液化に関する貴重なデータとしても役立てる事ができる。

以上の理由により、インドにおいてはSRC製造に関する研究開発は推進されるべきであると思われるが、それに対する日本の協力のあり方について技術面から次の様に判断される。

- (1) 研究開発に要する費用と時間を節約するために、SRC製造技術の先進国

である日本が技術援助することはインド側にとって大きな助けとなる。

- (2) 一方石炭の輸入国である日本にとっても、SRC製造技術の研究開発に協力する事は、将来予想される良質原料炭の不足に対する技術的な備えになる。また、代替技術を持つ事により輸入炭の価格交渉において有利な立場に立つ事が可能となる。
- (3) 研究開発の第一段階として、SRC製造に向くインド炭の調査・選択を重点的に行う必要がある。特に実用化において問題となるのはプロジェクトの経済性であるので、水素消費量が少なくSRC収率の高い石炭を探し出す必要がある。そのためには、できるだけ多くの炭種を使用したインド炭の特徴の把握および液化特性の把握のための分析・実験を行うべきである。この実験は、これまでのインドにおける研究の成果を確認すると共に今後の研究開発の成果を占う重要な実験である。
- (3) 日本における研究の実績から判断すると、上記の実験においてSRC収率が高い適当な原料炭が見いだされた場合のみプロジェクトの経済性が成り立つ可能性がある。その場合には、日本が引き続き研究開発の推進に協力する価値がある。ただし、選択された石炭の物性が日本における研究で使用された石炭と大きく異なる場合には日本での研究の成果がそのまま適用できないので、日本が協力する意味が半減する。
- (4) 研究開発の第二段階は、SRC製造プラントを設計するためのエンジニアリングデータの取得を目的とした、ベンチスケールプラントを用いた連続式のSRC製造実験である。その場合、日本での研究の成果を踏まえ、実験プラントの設計およびデータの利用には次の配慮が必要となる。
 - 1) 運転の安定性の向上、データ測定の容易さを考え、できるだけ自動化を図る。

2) 機器の構造および構成はできるだけ実プラントにそったものとする。

3) 得られたデータを基にして物質および熱収支を確認するとともに、日本におけるパイロットプラントでの研究実績およびデータを利用して実証プラントまたは実プラントの概念設計を行う。また、それらの経済性を詳細に検討する。その場合、SRC製造の経済的効果は、コークス製造の際の一般炭による強粘結炭の代替によるコークス製造コストの削減として評価されるので、インドにおける諸条件をも考慮の上評価する必要がある。

(5) 以上の研究により、インドにおけるSRC製造プラントの経済性が成り立つ事が明らかになれば、パイロットプラント実験、実証プラントの建設・運転、実プラントによる商業運転と、段階的に開発が進められる事になる。しかし、その過程において解決されるべき技術上の問題点が数多く残されている上に多額の費用を要するため、日本としてどのように協力すべきかはこの時点で、再度検討する必要がある。

以上に述べたように、インドにおけるSRC製造技術の研究開発に対し、日本が協力する事は大いに意義があるが、技術面・経済面での問題点が多く、その対応は慎重にすべきであると判断される。

(山下安正・川田邦雄)

V. 環境評価

V . 環境評価

1. インドにおける環境汚染の現状

インドは、現在7億5千万を越す世界第2位の人口をかかえており、そのうち24%が都市に集中している。そして今なお人口が増え続けており、このままの状態が続くと2020年には現在の2倍になると予想されている¹⁾。さらに問題は、農村部に住む3億5千万と都市部に住む約6千万の人々が貧困に苦しんでいると言う現実である。こうした事態は、様々な環境問題を引き起こす一つの重要な要因を構成している。農村部においては、農耕地の不足からくる自然林の破壊、収穫量をあげるための過度の農薬使用に起因する農薬汚染が問題となっている。これらの農薬は地下水、地表水に浸透し水質汚染をもたらすと同時に、野菜や飼料をとおして人や家畜に被害をもたらしている。また、木材や家畜のふんを家庭用燃料として使用しているために、それらから発生するふんじんによる健康被害が家庭の主婦の間で問題となっている。

一方、都市部においては、人口の集中化に伴う生活雑排水、下水量の異常な増大と、それを未処理のまま河川に投棄するために発生する河川の汚濁、家庭用燃料として低質の石炭を使用していることに起因する大気汚染、さらには自動車の排気ガス公害、騒音は深刻な問題である。

こうした、人々の社会生活に起因する公害に加えて、政府の工業化政策は各地に工場公害をもたらす主要な原因ともなっている。

1-1 大気汚染

大気汚染の主要な原因は人の社会生活に起因するもの、工業活動に起因するもの、地球の自然活動に起因するものに大別される。インドにおける大気汚染の特徴は人の社会生活上からくる汚染と工場による汚染とが複合している点にある。これは、労働力が得易い、消費地が近い、原材料や製品の輸送に便利である等の経済的な理由により、工場が都市の内部またはその周辺部に立地している場合が多いからである。従って、汚染の特にひどい地域は、ボンベイ、カルカッタ、デ

リー、カンブールのような大都市とその周辺部である。

例えば、カンブールの主要な場所での粉じん濃度は数年間の月平均濃度で $200 \sim 300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ に達しており、最高濃度は実に月平均値で $1,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を越える場合も出現している²⁾。表 V-1³⁾ にインドの主要都市における SO_2 、 NO_2 、粉じん濃度を示す。カルカッタ、デリーの粉じん濃度は高いが、 SO_2 、 NO_2 等のガス状の汚染物質については日本の現状と比較しても、極端に濃度が高いわけではない。粉じん濃度が高く SO_2 濃度が低いのは、燃料用として使用されているインドの石炭が灰分が多い割に、硫黄含有率が比較的低いことによるものと思われる。粉じんの発生源としては、土壌粒子の地表面からの舞い上がりによる自然発生源のもの、自動車の排気ガス、火力発電所・製鉄所等工場での石炭の燃焼によって生ずるばい煙、また家庭用燃料としての石炭燃焼によるばい煙等が考えられる。これらがほとんど未処理のまま、都市大気中に放出されている点が問題である。こうした粒子状物質中には、人の健康にとって好ましくない多くの有害金属元素が含まれているので早急な対応が必要である。表 V-2⁴⁾ にカルカッタと他の都市との重金属濃度の比較を示す。カルカッタの濃度がいずれの金属についても高く、特に路上で採取したダストについてはクロム、マンガン、銅、亜鉛、カドミウム、鉛の濃度が他の二都市に比較して高い値となっている。カルカッタのダストに高濃度の重金属が含まれているのは、カルカッタ市街は特に道路が狭く、入り組んでおりその上交通量が多いために、いたる所で交通渋滞が慢性化し、排気ガスが市街地に充満しているためである。

インドの主要な工業地帯の一つであるビハール州は、大気汚染と水質汚濁が深刻な問題となっている。同州には 120 を越える大中の工場と、50,000 の零細企業が分散している。それらは石炭、非鉄金属、鉄鋼、肥料、製糖、醸造業で占められており、そのほとんどがばい煙や汚水を未処理のまま大気中や河川に放出している。特に、ビハール州南部には鉱物資源が豊富であるため、ボカロを始めとした大小の発電所、石炭の採鉱、洗炭、ブリケット工場、セメント工場、あるいは銅やウランの採掘精錬工場がひしめいている。これらの工場から排出されたフライアッシュや有害金属、有害ガスを含むばい煙が周囲の町や村へ流出し、環境汚染を引き起こす元凶となっており、大きな社会問題としてインドの新聞紙上で報道されている。

表 V - 1 インドの都市における大気汚染の状況

City	Sulphurdioxide ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			Suspended particulate matter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			Oxides of N_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	1970	1979	1982	1970	1979	1982	1979	1982
Ahmedabad	11	71	22	307	243	234	NA	20
Bombay	47	83	29	241	275	148	23	31
Calcutta	33	85	81	341	578	418	24	24
Cochin	NA	15	7	NA	110	89	NA	Traces
Delhi	41	39	33	601	481	328	38	32
Hyderabad	5	26	14	146	295	173	16	6
Jaipur	4	17	Traces	446	379	279	10	18
Kanpur	12	25	11	544	344	307	9	7
Madras	8	16	9	101	106	145	12	11
Nagpur	8	12	10	262	386	161	22	9
Max. Permissible Limits (WHO)	—	—	60	—	—	40	—	—

表 V - 2 カルカッタ、ロンドン、ランカスターにおけるダスト中の重金属濃度

Metals	Mean Value (conc. $\mu\text{g}/\text{gm}$)											
	Street dust						Household dust					
	No. of samples	Calcutta	No. of samples	London	No. of samples	Lancaster	No. of samples	Calcutta	No. of samples	London	No. of samples	Lancaster
Cr	5	130	—	—	13	29	10	110	—	—	4	31
Mn	5	680	—	—	—	—	10	542	—	—	—	—
Co	5	15	—	—	13	9.1	10	10	—	—	4	8.5
Ni	5	50	—	—	13	35	10	50	—	—	4	43
Cu	5	253	65	115	13	143	10	224	683	208	4	221
Zn	5	890	65	513	13	534	10	954	683	1324	3	1170
Cd	5	12	65	4.0	13	4.6	10	10	683	7.7	4	10.7
Pb	5	2011	65	1354	13	1880	10	915	683	1007	4	716

ダンバードには露天掘りの炭田、石炭の粉碎、洗炭施設、ブリケット工場が密集している。最近の中央公害防止委員会の調査は、同地区の105の施設の内95の施設の排気ガスの性状が極めて危険な状態であることを指摘している。また、ダンバードを起点とした主要な国道の大気汚染はひどく、日暮れ時にはスモッグによって視野が影響を受けるほどである。表V-3⁵⁾に同市内で測定した粉じん濃度の一例を示す。いずれも極めて高い値であり、午後よりも午前中が高い。年間をとった濃度の一般的な特徴としては、冬期に高く、雨期に低く、夏季はその中間である。

1-2 水質汚濁

インドの河川は既に大部分が汚染されていると言われている。ガンジス川の一部は飲料水の供給源としては不適であるとされている。これらの河川の汚濁の原因の90%は人のし尿、家畜のふん等であり、工場排水に起因する部分はわずかに10%を占めるに過ぎない。河川の流域に点在する多くの都市には下水の終末処理施設がなく、排出される全汚水量の内、大都市ではその37%、小都市ではわずかに5%が回収され処理されているに過ぎず、残りは未処理のまま河川に投棄、または放流されている⁶⁾。一方、工場排水については、主要な大工場の内42%が排水処理設備を持っているが、それ以外の大、中、零細工場は設備を備えていない⁷⁾。表V-4⁸⁾に州別の主なる大工場について排水処理設備を備えた工場数の統計を示す。

図V-1⁹⁾にインドの主要河川の汚染状況、および地下水汚染の場所と汚染された湖の位置を示す。この図をもとにして主要河川の汚染状況を以下に概括する。ガンジス川は全長2,500kmをもつインド最大の川である。その沿岸には48の大都市と66の町があり、それらのすべてが下水処理施設を持っていない。従って、川の汚染源としては、これらの下水と家畜のし尿および、工場排水である。特に、カンノーイ、カンプール、アラハバード、バーラーナシー、パटना、カルカッタ流域での汚濁が進行している。バーラーナシーの排水口で採取した水のBODが342mg/lという値が報告されている。

表 V - 3 ダンバード市内の粉じん濃度
NOV. - MAR. (1977-80), $\mu\text{g}/\text{m}^3$

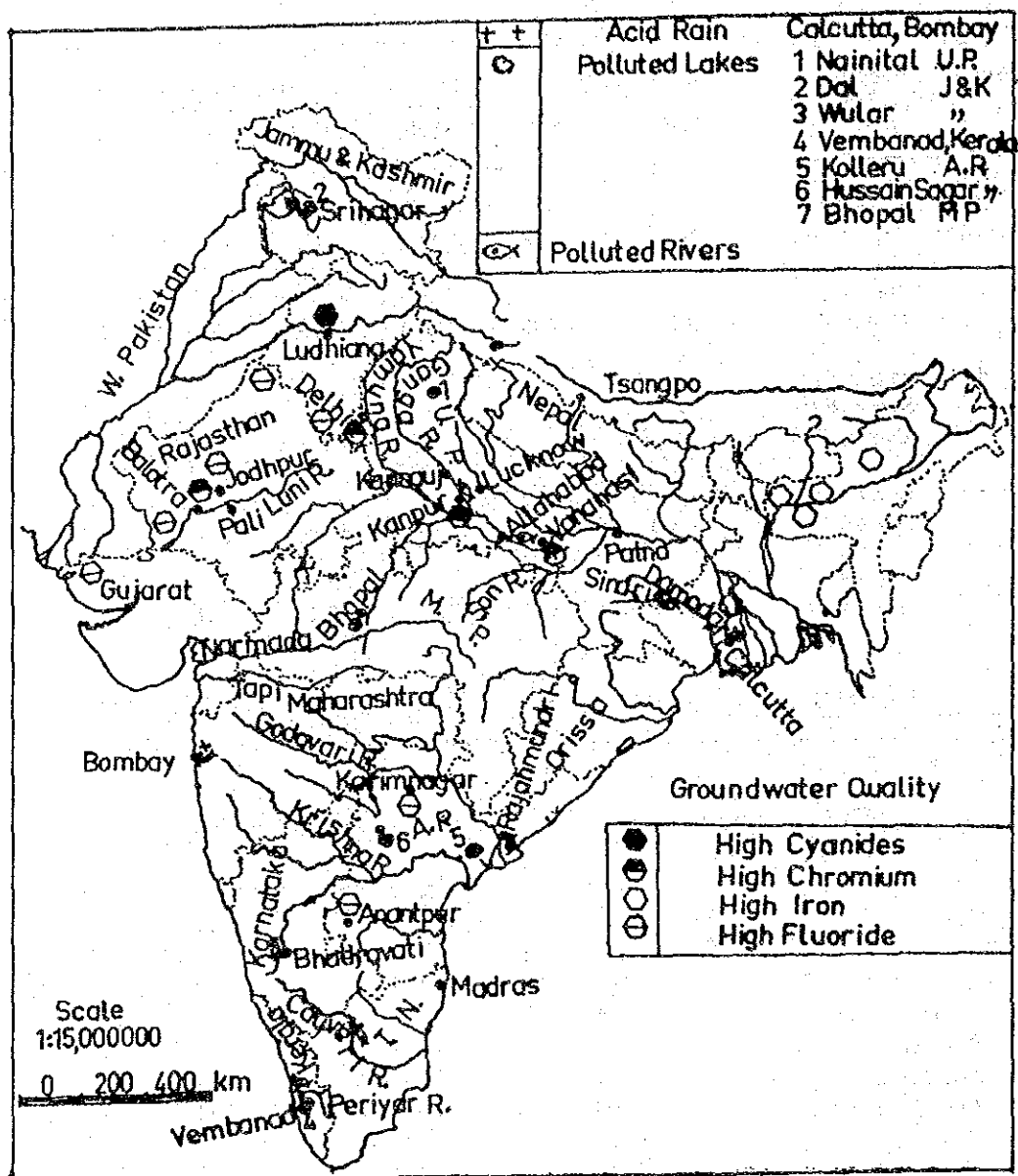
Site	Sampling Frequency	Nov. 77 - Mar. 78		Nov. 78 - Mar. 78		Nov. 79 - Mar. 80	
		Avg.	Max.	Avg.	Max.	Avg.	Max.
0 (GMRS)	Every 20th Day-24-hrs	310.2	334	279.5	378	256	372
1	Every 8th Day-24-hrs	573.3	848	595.0	976	589.1	826
3	24 Hourly Study Not Done	-	-	-	-	-	-
4	Every 8th Day-24-hrs	618.3	1014	683.8	1104	485.6	679
6	Every 8th Day-24-hrs	-	-	652.5	795	578.2	824
7	Every 8th Day-24-hrs	-	-	819.5	1464	716	1264

表 V - 4 主たる工場の排水処理設備の設置状況

State	Industries		State	Industries	
	Total	E.T. plants		Total	E.T. plants
Andhra Pradesh	114	54	Assam	30	8
Himachal Pradesh	20	1	Bihar	95	14
Jammu & Kashmir	3	1	Gujarat	389	68
Madhya Pradesh	119	108	Haryana	110	16
Rajasthan	108	82	Kerala	130	60
Uttar Pradesh	102	47	Karnataka	165	142
West Bengal	120	53	Punjab	68	21
Union Territories	136	36	All States	1709	711

E.T. = Effluent treatment

図 V - 1 主要河川、湖の汚染状況



デリー近郊を流れているジャムナ川は、デリーより上流ではほとんど汚染されていない。しかし、デリーで大量の下水と工場排水が流入するために水質は急激に悪化する。下流に行くに従い、徐々に水質は回復するものの、再度マトウラとアグラで汚濁が進行する。

ダモダル川の流況の様子は図V-2に示したとおりである。ビハール州流域には13の洗炭施設、6基の火力発電所、多数の小型のコークス炉工場、そしてその他零細工場が多数分布しており、それらが排水を川に放流している。ジャマドバのモニタリングステーションで測定した水質の一例を表V-5に示す。

その他、チャリヤ川のレーヨン工場による水銀汚染、クリシナ川の製紙工場、製鉄工場による汚染、ゴダワリ川、ワルダ川のパルプ排水汚染等が問題となっている。また、カル川のボンベイとカルヤーン間にはレーヨン、アルミ、鉄鋼、石油化学、農業、製菓等100以上の工場が立地しており、これらの工場からの排水によって川が酸性化し魚が住めなくなったり、死んだりという現象も生じている。

湖にも汚染が広がってきており、例えばウルタプラデシ州にある48ヘクタールの面積を持つナイニタル湖、ケララ州にあるベンバンド湖、アンドラプラデシ州にあるコレル湖、フッサインサガル湖、マドヤプラデシ州にあるボパール湖等がいずれも汚濁されつつある状況である。汚染の原因はそれぞれの場所によって相違し複雑であるが、湖周囲にある観光施設等からの下水、工場からの排水、農業や肥料を含む農業排水の流入に加え、かんがい用水として河川の水の一部をせき止めたり、引き込んだりするために、湖へ流入する清浄水の水量が減少するためだとされている。

この他に地下水汚染も進行しているものと予想される。大量の農業が使用されていること、肥料の管理や貯蔵が適切でないこと、大量の家畜のふんが地面に散乱していること、固形産業廃棄物、汚水、汚泥の不適切な処理の実態等からして事態は容易に想像される。飲み水として井戸水が多く利用されている現状を考えると、放置できない問題である。ハリヤナ州の井戸水中のクロム濃度が $31,000 \mu\text{g} / \text{l}$ 、カンブールの道路沿いの井戸水から $21,000 \mu\text{g} / \text{l}$ のクロムが検出されたという報告がなされている¹⁰⁾。しかし、系統だった調査はなされておらず、実態は明かではない。

表 V - 5 ダモダル川の水質の一例
(A.V. Mean Value - Period 1984-85)

Sr. No.	Water quality parameters	Summer	Winter	Monsoon
1.	Temperature (Air/Water) °c	37/35	25/22	32/30
2.	pH	7.8	7.8	7.6
3.	Turbidity JTU	-	-	-
4.	Velocity of flow (m/sec)	-	-	-
5.	Dissolve Oxygen (DO)	7.0	8.6	6.66
6.	Bio-chemical Oxygen Demand 20 °c, 5 day, mg/l	1.7	1.2	0.8
7.	Total Kjeldahal Nitrogen mg/l	0.57	0.57	0.40
8.	Nitrate Nitrogen, mg/l	-	-	-
9.	Total coliform, MPN/100 ml.	4200	3100	2400
10.	Fecal Coliform, MPN/100 ml.	3800	2400	1600
11.	Conductivity M-mho/cm. at 25 °c	333	480	475
12.	Chloride, mg/l	22	19	16
13.	Total Hardness (EDTA Method) as mg/l of Ca Co ₃	42	40	45
14.	Calcium (EDTA Method) mg/l	12	22	8.60
15.	Magnesium mg/l.	2.65	1.65	6.40
16.	Alkalinity as mg/l of Ca Co ₃	68	69	59
17.	Sulphate mg/l.	16	17	14
18.	Sodium mg/l.	-	-	-
19.	Chemical Oxygen Demand mg/l	20	15	12.6
Extra	Total suspended solid mg/l	105	60	85

1 - 3 その他

大都市の自動車騒音はすさまじいが実態は明かにされていない。

2. 環境保全対策の現況

既に指摘したように、インドにおける環境問題は、(1)人口と貧困の問題、(2)工業開発がマイナスの要因をとまなうという問題の二つの相矛盾する解決すべき課題を抱えている。第一の点は、人間が日常生活するうえで必要な衣食住を獲得する目的のために土地、水等の天然資源を汚染、または破壊するという問題であり、第二の点は、貧困を解決すべき性急な経済成長政策の予期せぬ副産物として派生してきた問題である。

こうした環境汚染に対してインド政府は様々な対策をこれまで実施してきた。第4次5か年経済開発計画(1969-1974)の中で初めて環境問題に触れ調和ある開発計画を提唱している。1972年にインドの環境保護運動の最高機関である政府環境計画調整委員会(NCEPC)を設立させ、連邦政府として開発プロジェクトに対する環境保全対策の策定と指導を実施した。1974年には水に関する法律の施行と同時に連邦と州の公害防止委員会が設置された。その後、1980年に環境局(DOE)が設立され、NCEPCの活動は停止されている。DOEの役割は環境の保護および調査、環境影響評価、大気汚染と水質汚濁の監視等が主なるところである。1981年に大気に関する法律が施行されている。1986年には環境保護法が施行された。現在の第7次5か年計画では環境保護に非常に高い優先権が与えられており、開発計画の策定にあたっては、環境保護を十分に考慮に入れなければならないと明言されている。

2 - 1 大気に関する法律

この法律が適用される業種を表V-6¹¹⁾に示す。またそれぞれの業種に対する

表 V - 6 大気汚染防止法が適用される業種

-
1. Ferrous metallurgical industry.
 2. Non-ferrous metallurgical industry.
 3. Mining industry.
 4. Ore processing industry.
 5. Petroleum industry.
 6. Petrochemical industry.
 7. Chemical industry.
 8. Ceramic industry.
 9. Cement industry.
 10. Textile industry.
 11. Paper industry.
 12. Fertilizer industry.
 13. Coal (including coke) industry.
 14. Power (thermal and diesel) generating industry.
 15. Processing of animal or vegetable products industry.
-

排出基準は別途、各種の専門委員会 (ISI) によって定められている。その規定は表 V - 7¹²⁾ に示すように基準値と暫定基準値とに分かれており、技術的または経済的に基準値達成が困難と思われる業種に対しては暫定基準値が適用されている。

また1982年11月に、法律の規定により中央公害委員会は専門分科会の諮問を受けて環境基準を設定することとし、1985年12月にこれを施行した。国土をその利用状況等から次の3つカテゴリーに分類した。

(a) 工業および商業地域

(b) 住宅および農村地域

(c) 非汚染地域

カテゴリー (a) は言うまでもなく工業、商業活動によって大気が極めて汚染されているような地域、カテゴリー (c) は山岳、自然景観地、サンクチュアリー、保養地等の国が特に優れた自然環境を維持することを目的としたような場所、(b) はそれ以外の範ちゅうに属する全ての場所として規定されている。カテゴリー別の環境基準値を表 V - 8 に示す。測定は中央公害委員会の定める方法に従う事と定められている。つまり、最低一週間に一度、一回につき8時間連続測定を行い、これを12カ月間続けた後、その全時間数の内95%以上が基準値以内であることが環境基準達成のための条件と定められている。

表 V - 7 大気汚染防止法の排出基準

Indian Specifications Standards			
S. No.	Description	IS No.	Year
1.	Limits for gaseous emissions from sulphuric acid and phosphatic fertilizer industries.	8635	1977
2.	Limits for gaseous emission from nitric acid and nitrogenous fertilizer industries.	9005	1978
3.	Limits for gaseous emission from petroleum refineries.	8636	1977
4.	Limits for gaseous pollutants from chloro-alkali industries.	8353	1980
5.	Code of practice for control of air pollution in iron and steel industries.	8495	1979
6.	Limits for carbon monoxide for vehicles powered by spark ignition engines.	9057	1979
7.	Limits for emission of particulate matter from cement plants — Part 1 kilns.	10693	1983

Draft Standards			
S. No.	Description	IS No.	Year
1.	Limits for gaseous pollutants from thermal process phosphoric acid industries.	DOC : CDC 53 (8437)	1980
2.	Limits for emission of particulate matter from new cement industries.	DOC : CDC 53 (8402)P	1979
3.	Limits for gaseous emissions from man-made fibre plants-Part I cellulosic fibre	DOC : CDC 53 (8218)	1978
4.	Limits for gaseous emission from man-made fibre plants-Part II synthetic fibre	DOC : CDC 53 (6737)F	1978
5.	Limits for pulp & paper industry		
6.	Limits for emissions from cement plants Part I kilns.		
7.	Emission standards from non-ferrous metallurgical industries copper, zinc, aluminium and lead.		
8.	Limits for emissions from refractory industry		
9.	Limits for emissions from lime kilns and dolomite kilns.		

表 V - 8 大気環境基準値

Area	Category	Concentration microgrammes per metre cube			
		SPM	SO ₂	CO	NOX
A	Industrial and mixed use	500	120	5,000	120
B	Residential and Rural	200	80	2,000	80
C	Sensitive	100	30	1,000	30

2 - 2 水質に関する法律

中心となる法律は1974に施行された水質汚濁防止法である。その後何度か改訂が行われ、1986年に成立した環境保護法の25条の規定によって、1988年9月に法律の見直しが行われ、現在それが排出基準として実施されている。新たに改訂された排出基準を表V-9に示す。しかし、醸造、皮革、ボール紙、染色、コークス、肥料の各業種については別途表V-10に示す排出基準が規定され、実施されている。また、水質基準については、水の利用形態によって水質を区分し、それぞれに対して基準値が定められている。つまり、

クラス A: 飲用水（消毒のみで通常の水処理は必要ない）

クラス B: 水浴用

クラス C: 飲用水（通常の水処理が必要）

クラス D: 野生生物、魚類の繁殖

クラス E: かんがいおよび工業用冷却水

これらのクラスの各々について陸水域の環境基準値を表V-11¹³⁾に示した。

表 V - 9 排水基準値 (I)

(1/2)

Sl. No.	Parameter	Standards			
		Inland surface	Public sewers	Land for	Marine coastal
		(a)	(b)	(c)	(d)
1.	Color and odour	See Note 1	---	See Note 1	See Note 1
2.	Suspended solids, mg/l, max	100	600	200	(a) For process waste water 100 (b) For cooling water effluent 10% above total suspended matter of influent cooling water (a) Floatable solids, Max 3mm (b) Settleable solids, Max 850 microns
3.	Particle size of suspended solids	Shall pass 850 micron IS Sieve	---	---	---
4.	Dissolved solids (inorganic), mg/l, max	2100	2100	2100	---
5.	pH value	5.5 to 9.0	5.5 to 9.0	5.5 to 9.0	5.5 to 9.0
6.	Temperature, °C, max	Shall not exceed 40 in any section of the stream within 15 meters down stream from the effluent outlet	45 at the point of discharge	---	45 at the point of discharge
7.	Oil and grease mg/l, max	10	20	10	20
8.	Total residual chlorine, mg/l, max	1.0	---	---	1.0
9.	Ammonical nitrogen (as N), mg/l, max	50	50	---	50
10.	Total Kjeldhal nitrogen (as N), mg/l, max	100	---	---	100
11.	Free ammonia (as NH ₃), mg/l, max	5.0	---	---	5.0
12.	BOD (5 days at 20°C), max	30	350	100	100

	(a)	(b)	(c)	(d)
13. COD, mg/l, max	250	---	---	250
14. Arsenic(as As), mg/l, max	0.2	0.2	0.2	0.2
15. Mercury(as Hg), mg/l, max	0.01	0.01	---	0.01
16. Lead(as Pb), mg/l, max	0.1	1.0	---	1.0
17. Cadmium(as Cd), mg/l, max	2.0	1.0	---	2.0
18. Hexavalent chromium(as Cr ⁺⁶), mg/l, max	0.1	2.0	---	1.0
19. Total Chromium(as Cr), mg/l, max	2.0	2.0	---	2.0
20. Copper(as Cu), mg/l, max	3.0	3.0	---	3.0
21. Zinc(as Zn), mg/l, max	5.0	15.0	---	15.0
22. Selenium(as Se), mg/l, max	0.05	0.05	---	0.05
23. Nickel(as Ni), mg/l, max	3.0	3.0	---	3.0
24. Boron(as B), mg/l, max	2.0	2.0	2.0	---
25. Percent sodium, max	---	60.0	60.0	---
26. Residual sodium carbonate, mg/l, max	---	---	5.0	---
27. Cyanide(as CN), mg/l, max	0.2	2.0	0.2	0.2
28. Chloride(as Cl), mg/l, max	1000	1000	600	---
29. Fluoride(as F), mg/l, max	2.0	15.0	---	---
30. Dissolved Phosphates(as P), mg/l, max	5.0	5.0	---	---
31. Sulphate(as SO ₄), mg/l, max	1000	1000	1000	---
32. Sulphide(as S), mg/l, max	2.0	---	---	5.0
33. Pesticides	Absent	Absent	Absent	Absent
34. Phenolic compounds(as C ₆ H ₅ OH), mg/l, max	1.0	5.0	---	5.0

Note-1 All efforts should be made to remove colour and unpleasant odour as far as possible.

Note-2 The standards mentioned in this notification shall apply to all the effluents discharged, such as industrial mining and mineral processing activities, municipal sewage, etc.

Note-3 This notification shall not apply to those industries for which standards have been notified by the Central Government vide S.O. 844(E), dated the 19th November, 1986, S.O. 393(E) dated 16th April, 1987, S.O. 443(E), dated the 28th April, 1987 and S.O. 64(E), dated 18th January, 1988. This notification shall cease to apply with regard to a particular industry when industry specific standards are notified for that industry.

表 V - 10 排水基準值 (II)

Characteristics	Part I: General Limits												
	Inland Surface (a)	Public Sewer	Marine coastal Area (b)	Used for Irrigation (d)	Part II: Distillery Industry	Part III: Tanning Industry	Part IV: Discharge into Inland Surface Water	Part V: Electro-Plating Industry	Part VI: Surface Water	Part VII: Water & Coke Oven Industry	Part VIII: Fertilizer Ind.	Part IX: Discharged into Inland Surface Water	Part X: Discharged into Inland Surface Water
Temperature	45°C	45°C	45°C	45°C	Absent	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0
Color & Odor	Absent	5.5 - 9.0	Absent	Absent	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0
pH Value	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0
Suspended Solid	100	800	100	200	100	2100	100	100	100	100	100	100	100
Dissolved Solid	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
Oil & Grease	10	20	20	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
BOD	30	350	100	100	30	30	30	30	30	30	30	30	30
COD	250	350	250	100	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Total Nitrogen	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Ammonical Nitrogen	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Free Ammonia	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TTL Resid. Chlorine	0.2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Hexavalent Chromium	0.2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Total Chromium	0.2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Cyanide	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Chloride	1000	1000	15	600	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Fluoride	2	15	15	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Sulphates	1000	1000	5	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Sulphides	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Diss. Phosphate	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Phenolic Compounds	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Arsenic	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mercury	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Lead	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Cadmium	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Copper	3	13	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Zinc	3	15	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Nickel	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Selenium	0.05	0.02	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Yr. of Regulation Released	1981				1974	1977	1974	1974	1980	1976	1985	1977	1985
Yr. Latest Revised	1981				1974	1985	1974	1974	1985	1976	1985	1977	1985

Note: Units are mg/liter except for pH value, color & odor and temperature

表 V - 11 用途別水質基準

分 類	項 目	基 準	
A 飲料用水 雑菌のみで通常の水 処理は行わない場合	大腸菌群MPN	<50ヶ/100 ml	
	濁 度	<10度	
	色	<10°	
	BOD	<2 mg/l	
	DO	>6 mg/l	
	毒物(殺虫剤等含)	急性毒存在しないこと	
	浮遊物	目立たないこと	
	味・臭	感知しないこと	
	B 浴用, 水浴, レクリ エーション	大腸菌MPN	<500/100ml
		濁 度	<25度
色		<10°	
BOD		<3 mg/l	
DO		>5 mg/l	
毒物(殺虫剤など含)		急性毒存在しないこと	
浮遊物		目立たないこと	
味・臭		感知しないこと	
C 飲料水 通常法による水処理 が行われる場合	大腸菌MPN	<5,000/100ml	
	色	<25度	
	BOD	<3 mg/l	
	DO	>4 mg/l	
	毒物(殺虫剤等含)	急性毒存在しないこと	
D 野生生物, 魚類の繁 殖	大腸菌MPN	<5,000/100ml	
	BOD	<6 mg/l	
	DO	>4 mg/l	
	毒物(殺虫剤等含)	急性毒存在しないこと	
E 灌漑, 工業用冷却水	TDS	<1,000mg/l	
	Ca+Mg	<100mg/l	
	Na比	<0.5	
	Cl	<250mg/l	
	B	<2mg/l	

3. 環境保全に係る今後の対策

前節で述べたように、良好な環境を維持していくうえで必要とされる法律的な対策は整備されつつある。今後の課題は、これらの法律をいかに運用し、優れた環境を現実に達成していくことである。それには次のような対策を実行してみるのも一つの方策と思われる。

- (1) 公害発生企業には公害防止装置の設置を義務づけること。
- (2) 公害発生型企業の立地場所に制限を設けること。
- (3) 大都市近郊への企業の立地に制限を加えること。
- (4) 零細・中小企業については共同、または集中公害防止設備を設けること
- (5) 新規の工場立地に対しては環境影響評価を義務づけること。
- (6) 公害防止管理者の養成をすること。
- (7) 公害に関する啓蒙運動を実施すること。
- (8) 公害に関する学校教育を充実させること。
- (9) 公害を出した企業に対して罰則を科すこと。
- (10) 公害防止に努力した企業に対しては税金の軽減を行うこと。
- (11) 新たな公害防止装置の設置に対しては補助金、または低利の貸付金を融資すること。

3-1 大気

良好な大気環境を維持、保全していくためには関連する法律の施行と共に、次に挙げる施策を並行して実施することが望ましい。

- (1) 大気汚染物質の固定発生源および移動発生源の経済的なモニタリングの手法を確立すること。
- (2) 広域拡散の予測あるいは評価手法、モニタリングについて研究すること。
- (3) 発生源調査の方法を確立し、そのデータベースを作成すること。
- (4) 微気象調査の手法を確立すること。
- (5) 酸性雨に関する研究を推進すること。
- (6) 悪臭、騒音に関する研究を推進すること。

(7) 粉じんの発生を抑制する工業プロセスの開発に努めること。

3 - 2 水質

良好な水質環境を維持、保全していくためには関連する法律の施行と共に、次に挙げる施策を並行して実施することが望ましい。

- (1) 地表水、地下水の流況と水質の調査。
- (2) 水質汚濁の発生源調査の手法を定め、データベースを作成すること。
- (3) 河川および湖沼等の水系での汚濁物質の拡散調査。
- (4) 底質の調査。
- (5) 有害汚濁物質の処理方法の研究。
- (6) 経済的な排水処理法の研究。
- (7) 汚泥、スラッジ等の有効利用方法の研究。

(下形 茂雄)

[参考文献]

- 1) B. Bowonder: Environmental Management, Vol. 10, No. 5, 1986
- 2) R. K. Gupta, V. P. Sharma and H. C. Arora: Indian J. Environ. Hlth., Vol. 29, No. 2, 1987
- 3) M. Aslam and R. Johny: Chemical Age of India, Vol. 36, No. 12, 1985
- 4) D. Chakraborti and B. Raeymaekers: Intern. J. Environ. Anal. Chem., Vol. 1, 32, 1988
- 5) A. K. Mukherjee, M. K. Chakraborty and C. N. Das: Indian J. Environ. Hlth., Vol. 26, No. 3, 1984
- 6) 1)に同じ
- 7) B. K. Handa: IAHS Publ. (Int. Assoc. Hydrol. Sci.) No. 150, 1984
- 8), 9), 10) 7)に同じ
- 11) N. G. Ashar: Chemical Age of India, Vol. 36, No. 2, 1985
- 12) N. G. Ashar: Chemical Age of India, Vol. 36, No. 6, 1985
- 13) 日本産業機械工業会の調査報告: 環境と測定, Vol. 13, No. 11, 1986

VI. 經濟評估

VI . 経 済 評 価

1. 経 済 評 価 の 範 囲

現時点ではSRCの原料として使用する石炭の種類が未決定であるばかりでなく、SRCプラントの物質収支、プラントコスト等の主要前提条件を推定するに足る情報も不十分である。従って、本調査では最初に「インドにおいてSRCの製造を行う計画の国家経済的意義（便益）の検討」を行う。次いで、あくまでも参考用ではあるが、定量的な分析として以下の検討を行う。

- ・原料用石炭の処理能力 500トン/日のデモンストレーションプラントの外貨収支への影響の予備的な評価
- ・上記の能力を有するデモンストレーションプラントの概略的な収益性の検討

2. 本計画の国家経済的意義

2-1 SRCの必要性

インドは燃料用の石炭（一般炭）資源に恵まれており、バングラデッシュ、ネパール、ブータン等の近隣諸国に輸出も行っている。しかし、製鉄用コークスの原料となる粘結炭（原料炭）の埋蔵量は少ない。

一方、第IV章技術評価でも述べた様にインドの石炭は灰分が多く、灰分が石炭中に均質に混入しているため、通常の選炭方法ではコークス原料として好ましいレベルまで灰分を低下させることはできず、高炉の生産性向上の妨げとなっている。このような状況の下、インドでは、ここ数年間オーストラリア、カナダ等から良質の原料炭（灰分10%以下）を輸入し、国産炭と混合してコークスを製造し、コークスの品質の向上を図っている。しかし、近年大幅な赤字続きで外貨準備高も十分でないインドにとって、継続的な原料炭の輸入は適切な対応策とは言い難い。

以上の状況を鑑みると、輸入炭の使用を削減すると共に、インド国内に豊富に

存在する一般炭が原料炭の代替として利用可能となる可能性を有するSRC技術は、インドの要求に最適の技術である。

2-2 期待される便益

本計画の実施にともない期待される直接的な便益は外貨の節約であるが、外貨収支については次節で検討するので、本節では間接的な便益について検討を行う。期待される便益は、以下の通りである。

(1) 国内資源の保護／未利用資源の有効利用

表IV-1に示した様に、インドにおける強粘結炭の確認埋蔵量は約45億トン、可採埋蔵量は約27億トンである。選炭の歩留まりを50%とすると、利用可能な強粘結炭の量は13.5億トンである。一方、強粘結炭の年間需要は約2,150万トン（製鉄用：1,500万トン、その他：650万トン）である。

以上より判断すると、強粘結炭の可採年数は、同炭の将来の需要が現在と同レベルであると仮定しても、63年にすぎない。今後の強粘結炭の需要が年率5%で増加すると仮定すれば、可採年数は僅か30年にすぎない。一方、一般炭の確認埋蔵量は約152億トンで、未確認の資源を加算した推定埋蔵量は約677億トンと言われている。

SRC技術の導入により、豊富に存在する一般炭を粘結炭の代替品として利用可能となれば、貴重な強粘結炭資源の節約が図られる。また、燃料用以外には有効利用されているとは言い難い一般炭の有効利用が図られる。更に、褐炭（比較的多量に存在するが着火しやすい等の理由からほとんど利用されていない）がSRC原料として利用可能であれば、本計画は未利用資源の有効利用を促進することになる。

(2) SRC／石炭液化および周辺技術に関する技術移転

SRCプロセスにおいては、高温・高圧の水素雰囲気中で溶媒を用いて石炭

を液化し灰分等の固形物を分離した後、冷却により固体製品（SRC）を得る。このプロセスは、本質的に石炭液化プロセスの一部であり、生成したSRCを更に水素添加することにより、付加価値の高い液体燃料（ガソリン、灯油、軽油等）を得ることも可能である。それ故、SRC技術の導入は、単にSRCの製造に留まらず、インドにおける石炭液化技術の研究の進歩にも大きく貢献するであろう。

また、SRCはコークス製造原料以外にも以下の用途に適用可能である。

- ・ 不純物の少ないクリーンな燃料
- ・ 豆炭製造の際のバインダー
- ・ 炭素繊維および炭素電極の原料

現時点では、上記の用途にSRCを使用するには、技術的／経済的に克服しなければならない多くの課題があるが、技術的な波及効果は大きい。

(3) 石炭輸入価格の低下

インドは年間約300万トンの原料炭をオーストラリア、カナダ等から輸入している。石炭の価格はFOBで約60\$／トンで、日本の輸入価格（FOBで約50\$／トン）に比較して割高となっている。石炭の輸入価格が高い理由は、

- ・ インドにおいては高品位の原料炭輸入の必要度が高いため、不利な価格交渉を強いられている。
- ・ 石炭の輸入量が日本等に比較して少ないため、割高となっている。
- ・ スポットマーケットからの購入割合が高い。

等が挙げられる。SRC技術の導入あるいは研究は、インドにおける原料炭輸入の必要度を下げることに伴い、今後の輸入炭の価格交渉が有利となる。日本・米国等が石炭液化技術の研究開発を行っている第一の目的が、産油国の原油価格の値上げに対する牽制であるのと同様に、本計画の実施はオーストラリア等の石炭輸出国に対する有効な牽制となる。

(4) 粗鋼生産性の向上

インドにおける高炉の生産性は低い。インドでは生産性の向上を目的に

- ・ Selective Crushing of Coal Charge
- ・ Dry Coke Cooling
- ・ Partial Briquetting of Coal Charge
- ・ Stamp Charging of Coke Ovens
- ・ Pre-heated Coal Charging of Coke Ovens

等の技術の研究・実用化を図っている。しかし、いずれの技術も、原料炭の灰分が多い事に起因する問題の根本的な解決には役だっていない。SRCの導入により、高品位のコークスの製造が可能になれば、高炉の生産性の向上が図られる。

(5) 雇用機会の増大

プラントの建設と操業に伴い、新規の雇用機会が生まれる。失業問題の解消が最重要課題であるインドにとっては、雇用機会の増大は大きな便益である。

建設に伴う雇用機会は一時的な性格のものであるが、デモンストレーションプラントに続き何基かの商業プラントの建設が行われることになれば、引続き雇用機会が生まれる。SRCのデモンストレーションプラントの操業に必要な人員は300名程度である。

更に、未利用の石炭がSRCの原料として利用されることになれば、石炭の採掘、輸送等の分野でも雇用機会が生まれる。

3. 外貨収支への影響

3-1 分析手法

以下の基準で、原料炭の処理能力500トン/日のデモンストレーションプラントの外貨収支への影響を評価する。

- ・ SRCによってもたらされる輸入炭の削減量を外貨の節約と考える。
- ・ プラント建設費の外貨部分は、全て外貨借入金により賄われる。

- ・プラントの操業に外貨は不要とする。従って、外貨流出は借入金の元本と金利の支払いのみとする。

3 - 2 前提条件

(1) 操業期間：20年

(2) プラント建設費

500トン／日のSRCプラントは建設実績が無いため、実際の建設費が本調査で想定した金額から大きく外れる可能性もある。それ故、本調査では以下の3ケースについて検討を行う。外貨比率の算定においては、主要機器および計器類は全て海外調達、他の資機材および労働力は可能なかぎりインド国内調達とし、総建設費に占める外貨の割合は60%と推定した。尚、米ドルと日本円の換算レートは、US\$1 = 135円とする。

- ・基本ケース：500億円（外貨部分 300億円；約2億2千万ドル）
- ・低価格ケース：250億円（外貨部分 150億円；約1億1千万ドル）
- ・高価格ケース：750億円（外貨部分 450億円；約3億3千万ドル）

(3) 借入金条件

総建設費の60%に相当する外貨部分は全て以下に示すソフトローンにより賄われるものとする。

- ・金利：3%/年
- ・返済：20回/20年払い

(4) 石炭輸入価格：90\$/トン（CIF価格）

(5) SRCの収量

原料炭1トンより0.4トンのSRCが得られるものとする。プラントの操業日数は年間330日と考え、SRCの収量は66,000トン/年とする。

(6) 輸入炭代替量

S R C 1 トンが輸入炭 2.35 トンを代替し得るものとする。

3 - 3 分析結果

以上の前提条件に基づき各ケースの外貨収支を計算し、その結果を表 VI - 1 ~ VI - 3 にまとめた。各ケースの要約は、以下の通りである。

(1) 基本ケース

基本ケースにおいては、12年目まで外貨収支はマイナスである。13年目以降は金利負担の軽減に伴い外貨節約が期待される。しかし、プロジェクト全体の外貨バランスは約 1,300 万ドルのマイナスとなった。

(2) 低価格ケース

本ケースにおいては、全ての年度において外貨の節約が期待される。期待される外貨節約額は初年度で約 507 万ドル、10年目で 657 万ドル、20年目で 824 万ドルである。また20年間の外貨節約額の累計は約 1 億 3,300 万ドルとなる。

(3) 高価格ケース

本ケースにおける外貨収支は全ての年度ともマイナスであり、プロジェクト全体では 1 億 5,900 万ドルのマイナスとなる。金利負担の最も重い初年度の外貨収支は約 1,270 万ドルのマイナスであった。

表VI-1 外貨収支（基本ケース）

（単位：百万\$）

年 度	外貨節約	外貨流出		バランス
		金 利	元 金	
1	13.96	6.67	11.11	-3.82
2	13.96	6.33	11.11	-3.49
3	13.96	6.00	11.11	-3.15
4	13.96	5.67	11.11	-2.82
5	13.96	5.33	11.11	-2.49
6	13.96	5.00	11.11	-2.15
7	13.96	4.67	11.11	-1.82
8	13.96	4.33	11.11	-1.49
9	13.96	4.00	11.11	-1.15
10	13.96	3.67	11.11	-0.82
11	13.96	3.33	11.11	-0.49
12	13.96	3.00	11.11	-0.15
13	13.96	2.67	11.11	0.18
14	13.96	2.33	11.11	0.51
15	13.96	2.00	11.11	0.85
16	13.96	1.67	11.11	1.18
17	13.96	1.33	11.11	1.51
18	13.96	1.00	11.11	1.85
19	13.96	0.67	11.11	2.18
20	13.96	0.33	11.11	2.51
合 計	279.18	70.00	222.22	-13.04

表VI-2 外貨収支(低価格ケース)

(単位 : 百万\$)

年 度	外貨節約	外貨流出		バランス
		金 利	元 金	
1	13.96	3.33	5.56	5.07
2	13.96	3.17	5.56	5.24
3	13.96	3.00	5.56	5.40
4	13.96	2.83	5.56	5.57
5	13.96	2.67	5.56	5.74
6	13.96	2.50	5.56	5.90
7	13.96	2.33	5.56	6.07
8	13.96	2.17	5.56	6.24
9	13.96	2.00	5.56	6.40
10	13.96	1.83	5.56	6.57
11	13.96	1.67	5.56	6.74
12	13.96	1.50	5.56	6.90
13	13.96	1.33	5.56	7.07
14	13.96	1.17	5.56	7.24
15	13.96	1.00	5.56	7.40
16	13.96	0.83	5.56	7.57
17	13.96	0.67	5.56	7.74
18	13.96	0.50	5.56	7.90
19	13.96	0.33	5.56	8.07
20	13.96	0.17	5.56	8.24
合 計	279.18	35.00	111.11	133.07

表VI-3 外貨収支（高価格ケース）

（単位：百万\$）

年 度	外貨節約	外貨流出		バランス
		金 利	元 金	
1	13.96	10.00	16.67	-12.71
2	13.96	9.50	16.67	-12.21
3	13.96	9.00	16.67	-11.71
4	13.96	8.50	16.67	-11.21
5	13.96	8.00	16.67	-10.71
6	13.96	7.50	16.67	-10.21
7	13.96	7.00	16.67	-9.71
8	13.96	6.50	16.67	-9.21
9	13.96	6.00	16.67	-8.71
10	13.96	5.50	16.67	-8.21
11	13.96	5.00	16.67	-7.71
12	13.96	4.50	16.67	-7.21
13	13.96	4.00	16.67	-6.71
14	13.96	3.50	16.67	-6.21
15	13.96	3.00	16.67	-5.71
16	13.96	2.50	16.67	-5.21
17	13.96	2.00	16.67	-4.71
18	13.96	1.50	16.67	-4.21
19	13.96	1.00	16.67	-3.71
20	13.96	0.50	16.67	-3.21
合 計	279.18	105.00	333.33	-159.15

4. 収益性の検討

4-1 分析手法

以下に示す手順で、原料炭の処理能力 500トン/日のデモンストレーションプラントの収益性を評価する。

- ① SRC の製造原価を算出する
- ② 輸入炭を使用する場合のコークス製造の際の原料コストを算出する。
- ③ コークスプラントが製造原価と同一価格で SRC を購入するものとし、コークス製造の際の原料コストを算出する。
- ④ 上記②と③の原料コストの差を算出する。
- ⑤ 両ケースの石炭以外の製造費用および製品コークスの品質を同一と考え、上記④の結果を SRC 導入の収益（原料費の節約）とする。

4-2 前提条件

(1) 操業期間：20年

(2) 通貨と換算率

計算は現地通貨で行う。外貨で見積った費用は、以下の換算率を用いて現地通貨に換算する。

・ US \$ 1 = 135円 = 16ルピー

(3) プラント建設費

外貨収支の検討と同様に、以下の3ケースについて検討を行う。

- ・ 基本ケース : 500億円 (約59億2,600万ルピー)
- ・ 低価格ケース : 250億円 (約29億6,300万ルピー)
- ・ 高価格ケース : 750億円 (約88億8,900万ルピー)

(4) 資金計画

以下の資金計画を想定する。

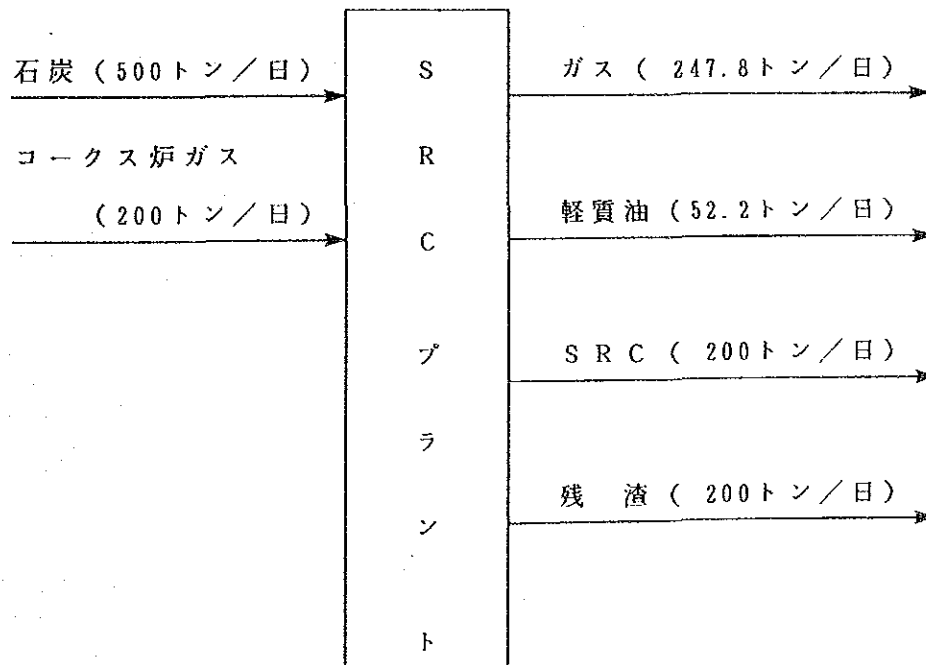
- ・ 自己資本比率：40%
- ・ 金利：3%/年
- ・ 返済：20回/20年払い

(5) 減価償却：10%定額

4-3 SRCの製造原価

(1) 物質収支

第IV章4-3項で行った技術的な検討に基づき、インド炭を用いてSRCを製造する際の物質収支を以下のように設定した。



(2) 原料および副製品価格

- ・石炭 : 460ルピー／トン
- ・コークス炉ガス : 1,600ルピー／トン
- ・ガス : 1,600ルピー／トン
- ・軽質油 : 4,760ルピー／トン

(3) その他の運転費用

- ・用役費用 : 400ルピー／トン・石炭
- ・補修費 : プラント建設費の3％／年
- ・人件費 : 1,350万ルピー／年
- ・管理費 : 人件費の100％

(4) SRCの製造原価

以上の前提に基づきSRCの製造原価を算出し、表VI-4～VI-6に纏めた。
各ケースの平均製造原価は以下の通りである。

- ・基本ケース : 8,966ルピー／トン
- ・低価格ケース : 4,950ルピー／トン
- ・高価格ケース : 12,982ルピー／トン

上記のSRCの製造原価は輸入炭の価格(約1,500ルピー／トン)に比較してかなり割高となっているが、単純にSRC1トンが輸入炭1トンを代替する訳ではないので、SRCの製造原価に基づきSRCプロジェクトの収益性の評価を行うことはできない。収益性の評価を行うためには、本章4-4項で行っている様に、SRCを使用する場合と使用しない場合の両ケースについてコークスの製造原価を算出することが必要である。

表 VI-4 S R C の製造原価 (基本ケース)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(単位:百万R.s)										
S R C 生産量 (トン)	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000
運転費用	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9
一炭炭ス炉ガス	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6
コークス	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0
用役	177.8	177.8	177.8	177.8	177.8	177.8	177.8	177.8	177.8	177.8
補修費	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
人件費	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
管理費	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
合計	452.3	452.3	452.3	452.3	452.3	452.3	452.3	452.3	452.3	452.3
副製品控除	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8
方解質油	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0
合計	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8
減価償却	592.6	592.6	592.6	592.6	592.6	592.6	592.6	592.6	592.6	592.6
借入金	106.7	101.3	96.0	90.7	85.3	80.0	74.7	69.3	64.0	58.7
製造費用合計	938.7	933.4	928.0	922.7	917.4	912.0	906.7	901.4	896.0	890.7
製造原価 (R s / トン)	14,222.8	14,142.0	14,061.2	13,980.3	13,899.5	13,818.7	13,737.9	13,657.1	13,576.3	13,495.5
平 均										
S R C 生産量 (トン)	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000
運転費用	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9
一炭炭ス炉ガス	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6
コークス	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0
用役	177.8	177.8	177.8	177.8	177.8	177.8	177.8	177.8	177.8	177.8
補修費	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
人件費	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
管理費	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
合計	452.3	452.3	452.3	452.3	452.3	452.3	452.3	452.3	452.3	452.3
副製品控除	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8
方解質油	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0
合計	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8
減価償却	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
借入金	53.3	48.0	42.7	37.3	32.0	26.7	21.3	16.0	10.7	5.3
製造費用合計	292.8	287.4	282.1	276.8	271.4	266.1	260.8	255.4	250.1	244.8
製造原価 (R s / トン)	4,435.0	4,355.2	4,274.4	4,193.6	4,112.8	4,032.0	3,951.2	3,870.4	3,789.5	3,708.7
製造原価 (R s / トン)	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000

表VI-5 S R Cの製造原価（低価格ケース）

	(単位:百万R.s)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S R C生産量 (トン)	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000
運転費用	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9
一般燃料	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6
イガス	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0
工用	88.9	88.9	88.9	88.9	88.9	88.9	88.9	88.9	88.9	88.9
補修費	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
人件費	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
管理費	363.4	363.4	363.4	363.4	363.4	363.4	363.4	363.4	363.4	363.4
合計	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8
副製品控除	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0
力	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8
燃料	296.3	296.3	296.3	296.3	296.3	296.3	296.3	296.3	296.3	296.3
減価償却	53.3	50.7	48.0	45.3	42.7	40.0	37.3	34.7	32.0	29.3
借入金	500.2	497.5	494.9	492.2	489.5	486.9	484.2	481.5	478.9	476.2
製造費用合計	7,578.6	7,538.1	7,497.7	7,457.3	7,416.9	7,376.5	7,336.1	7,295.7	7,255.3	7,214.9
製造原価 (R.s/トン)										

	(単位:百万R.s)									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
S R C生産量 (トン)	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000
運転費用	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9
一般燃料	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6
イガス	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0
工用	88.9	88.9	88.9	88.9	88.9	88.9	88.9	88.9	88.9	88.9
補修費	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
人件費	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
管理費	363.4	363.4	363.4	363.4	363.4	363.4	363.4	363.4	363.4	363.4
合計	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8
副製品控除	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0
力	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8
燃料	296.3	296.3	296.3	296.3	296.3	296.3	296.3	296.3	296.3	296.3
減価償却	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
借入金	26.7	24.0	21.3	18.7	16.0	13.3	10.7	8.0	5.3	2.7
製造費用合計	177.2	174.6	171.9	169.2	166.6	163.9	161.2	158.6	155.9	153.2
製造原価 (R.s/トン)	2,885.2	2,844.8	2,804.4	2,764.0	2,723.6	2,683.2	2,642.7	2,602.3	2,561.9	2,521.5

表VI-6 SRCの製造原価(高価格ケース)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SRC生産量(トン)	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000
運転費用	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9
一般炭	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6
用スチガス	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0
補修費	266.7	266.7	266.7	266.7	266.7	266.7	266.7	266.7	266.7	266.7
人管理費	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
合計	541.2	541.2	541.2	541.2	541.2	541.2	541.2	541.2	541.2	541.2
副製品控除	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8
方経費油	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0
合計	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8
減価償却	888.9	888.9	888.9	888.9	888.9	888.9	888.9	888.9	888.9	888.9
借入金利	160.0	152.0	144.0	136.0	128.0	120.0	112.0	104.0	96.0	88.0
製造費用合計	1,377.2	1,369.2	1,361.2	1,353.2	1,345.2	1,337.2	1,329.2	1,321.2	1,313.2	1,305.2
製造原価(Rs/トン)	20,867.0	20,745.8	20,524.6	20,503.4	20,382.1	20,260.9	20,139.7	20,018.5	19,897.3	19,776.1

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SRC生産量(トン)	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000	66,000
運転費用	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9	75.9
一般炭	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6	105.6
用スチガス	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0
補修費	266.7	266.7	266.7	266.7	266.7	266.7	266.7	266.7	266.7	266.7
人管理費	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
合計	541.2	541.2	541.2	541.2	541.2	541.2	541.2	541.2	541.2	541.2
副製品控除	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8	-130.8
方経費油	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0
合計	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8	-212.8
減価償却	888.9	888.9	888.9	888.9	888.9	888.9	888.9	888.9	888.9	888.9
借入金利	80.0	72.0	64.0	56.0	48.0	40.0	32.0	24.0	16.0	8.0
製造費用合計	408.3	400.3	392.3	384.3	376.3	368.3	360.3	352.3	344.3	336.3
製造原価(Rs/トン)	6,186.9	6,065.6	5,944.4	5,823.2	5,702.0	5,580.8	5,459.6	5,338.4	5,217.2	5,095.9

4-4 コークス製造の収益性

(1) 原料炭の配合割合および価格

第IV章4-5項に示したコークス製造用の原料炭の配合割合をベースに、輸入炭を使用する場合およびSRCを使用する場合の原料炭の配合割合を以下のように設定し、石炭価格と共に表VI-7に示す。

表VI-7 原料炭の配合割合と価格

炭種	配合割合 (トン/日)		価格 (ルピー/トン)
	輸入炭使用	SRC使用	
強粘結炭	530	400	1,200
中粘結炭	800	800	1,000
弱粘結炭	200	200	850
非粘結炭	--	400	460
輸入炭	470	--	1,472
SRC	--	200	製造原価
合計	2,000	2,000	--

(2) コークス製造の際の原料費の比較

輸入炭を使用する場合とSRCを使用する場合のコークス製造の原料費の比較を表VI-8～VI-10に示す。同表に示した原料単価は、コークスの歩留まりを65%と仮定した場合のコークス1トン当たりの原料費を表す。各ケースにおけるコークス製造の原料費は以下の通りである。

・基本ケース

基本ケースにおいては、20年間にわたる操業期間を通じて輸入炭を使用する場合の原料費の方がSRCを使用する場合より割安である。コークス製造の平均原料単価は、輸入炭を使用する場合で1,768ルピー/トン、SRCを使用する場合で2,636ルピー/トンである。即ち、SRCの導入によりコークス製造の原料費は約870ルピー/トン(54ドル/トン)上昇する。

・低価格ケース

低価格ケースにおいても、原料費の節約が期待されるのは11年日以降で、20年の累計では原料費の節約はマイナスである。本ケースにおけるコークス製造の平均原料単価は2,019ルピー／トンであるので、SRCの導入に伴う原料費の上昇額は約250ルピー／トンとなる。

・高価格ケース

本ケースにおいては、20年間にわたる操業期間を通じて原料費の節約は期待できない。本ケースにおけるコークス製造の平均原料単価は3,254ルピー／トン（輸入炭を使用する場合の約1.8倍）であり、SRCの導入に伴う原料費の上昇額は約1,490ルピー／トンである。

尚、SRCの導入により、良質のコークスの製造が可能となることも期待されるが、コークスの品質に基づく値差が100ルピー／トン（灰分25%のコークス価格：1,650ルピー／トン、灰分25～30%のコークス価格：1,550ルピー／トン）でしかないことを考えると、追加費用の回収は困難である。

表 VI-8 コークス製造の際の原料費の比較 (基本ケース)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(単位: 百万 R.s.)										
< 輸入炭使用 >										
原料費	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9
焦炭	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0
中粘結炭	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1
弱粘結炭	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3
輸入炭計	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3
合計原料単価 (R.s./トン)	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6
< SRC使用 >										
原料費	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4
焦炭	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0
中粘結炭	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1
弱粘結炭	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7
一般炭	938.7	933.4	928.0	922.7	917.4	912.0	906.7	901.4	896.0	890.7
SRC計	1,477.9	1,472.6	1,467.3	1,461.9	1,456.6	1,451.3	1,445.9	1,440.6	1,435.3	1,429.9
合計原料単価 (R.s./トン)	3,445.0	3,432.6	3,420.2	3,407.7	3,395.2	3,382.9	3,370.4	3,358.0	3,345.6	3,333.2
原料費の節約 (R.s./トン)	-719.6	-714.3	-709.0	-703.6	-698.3	-693.0	-687.6	-682.3	-677.0	-671.6
原料費の節約 (R.s./トン)	-1,077.5	-1,065.0	-1,052.6	-1,040.2	-1,027.7	-1,015.3	-1,002.9	-990.4	-978.0	-965.6
(単位: 百万 R.s.)										
< 輸入炭使用 >										
原料費	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9
焦炭	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0
中粘結炭	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1
弱粘結炭	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3
輸入炭計	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3
合計原料単価 (R.s./トン)	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6
< SRC使用 >										
原料費	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4
焦炭	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0
中粘結炭	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1
弱粘結炭	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7
一般炭	292.8	287.4	282.1	276.8	271.4	266.1	260.8	255.4	250.1	244.8
SRC計	832.0	826.7	821.3	816.0	810.7	805.3	800.0	794.7	789.3	784.0
合計原料単価 (R.s./トン)	1,939.4	1,927.0	1,914.5	1,902.1	1,889.7	1,877.2	1,864.8	1,852.4	1,839.9	1,827.5
原料費の節約 (R.s./トン)	-73.7	-68.4	-63.0	-57.7	-52.4	-47.0	-41.7	-36.4	-31.0	-25.7
原料費の節約 (R.s./トン)	-171.8	-159.4	-147.0	-134.5	-122.1	-109.7	-97.2	-84.8	-72.4	-59.9
(単位: 百万 R.s.)										
< 輸入炭使用 >										
原料費	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9
焦炭	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0
中粘結炭	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1
弱粘結炭	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3
輸入炭計	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3
合計原料単価 (R.s./トン)	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6
< SRC使用 >										
原料費	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4
焦炭	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0
中粘結炭	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1
弱粘結炭	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7
一般炭	322.8	317.4	312.1	306.8	301.4	296.1	290.8	285.4	280.1	274.8
SRC計	1,131.0	1,125.6	1,120.3	1,114.9	1,109.5	1,104.1	1,098.7	1,093.3	1,087.9	1,082.5
合計原料単価 (R.s./トン)	2,908.6	2,895.2	2,881.8	2,868.4	2,855.0	2,841.6	2,828.2	2,814.8	2,801.4	2,788.0
原料費の節約 (R.s./トン)	-1,141.0	-1,136.6	-1,132.2	-1,127.8	-1,123.4	-1,119.0	-1,114.6	-1,110.2	-1,105.8	-1,101.4
原料費の節約 (R.s./トン)	-1,979.7	-1,975.3	-1,970.9	-1,966.5	-1,962.1	-1,957.7	-1,953.3	-1,948.9	-1,944.5	-1,940.1
(単位: 百万 R.s.)										
< 輸入炭使用 >										
原料費	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9
焦炭	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0
中粘結炭	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1
弱粘結炭	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3
輸入炭計	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3
合計原料単価 (R.s./トン)	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6
< SRC使用 >										
原料費	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4
焦炭	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0
中粘結炭	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1
弱粘結炭	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7
一般炭	352.8	347.4	342.0	336.6	331.2	325.8	320.4	315.0	309.6	304.2
SRC計	1,311.0	1,305.6	1,300.2	1,294.8	1,289.4	1,284.0	1,278.6	1,273.2	1,267.8	1,262.4
合計原料単価 (R.s./トン)	3,078.6	3,065.2	3,051.8	3,038.4	3,025.0	3,011.6	2,998.2	2,984.8	2,971.4	2,958.0
原料費の節約 (R.s./トン)	-1,311.0	-1,305.6	-1,300.2	-1,294.8	-1,289.4	-1,284.0	-1,278.6	-1,273.2	-1,267.8	-1,262.4
原料費の節約 (R.s./トン)	-2,316.7	-2,312.3	-2,307.9	-2,303.5	-2,299.1	-2,294.7	-2,290.3	-2,285.9	-2,281.5	-2,277.1

表VI-9 コークス製造の際の原料費の比較(低価格ケース)

(単位:百万Rs)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
< 輸入炭使用 >										
原料費	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9
強粘結炭	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0
中粘結炭	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1
弱粘結炭	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3
輸入炭計	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3
合 原料単価 (Rs/トン)	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6
< SRC使用 >										
原料費	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4
強粘結炭	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0
中粘結炭	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1
弱粘結炭	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7
SRC	500.2	497.5	494.9	492.2	489.5	486.9	484.2	481.5	478.9	476.2
計	1,039.4	1,036.7	1,034.1	1,031.4	1,028.7	1,026.1	1,023.4	1,020.7	1,018.1	1,015.4
合 原料単価 (Rs/トン)	2,422.9	2,416.6	2,410.4	2,404.2	2,398.0	2,391.8	2,385.6	2,379.3	2,373.1	2,366.9
原料費の節約 (Rs/トン)	-281.1	-278.5	-275.8	-273.1	-270.5	-267.8	-265.1	-262.5	-259.8	-257.1
原料費の節約 (Rs/トン)	-655.3	-649.1	-642.9	-636.6	-630.4	-624.2	-618.0	-611.8	-605.6	-599.3
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	平均
< 輸入炭使用 >										
原料費	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9
強粘結炭	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0
中粘結炭	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1
弱粘結炭	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3
輸入炭計	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3
合 原料単価 (Rs/トン)	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6
< SRC使用 >										
原料費	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4
強粘結炭	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0
中粘結炭	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1
弱粘結炭	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7
SRC	177.2	174.6	171.9	169.2	166.6	163.9	161.2	158.6	155.9	153.2
計	716.4	713.8	711.1	708.4	705.8	703.1	700.4	697.8	695.1	692.4
合 原料単価 (Rs/トン)	1,670.0	1,663.8	1,657.6	1,651.4	1,645.2	1,639.0	1,632.7	1,626.5	1,620.3	1,614.1
原料費の節約 (Rs/トン)	41.8	44.5	47.2	49.8	52.5	55.2	57.8	60.5	63.2	65.8
原料費の節約 (Rs/トン)	97.5	103.8	110.0	116.2	122.4	128.6	134.8	141.1	147.3	153.5

表 VI-10 コークス製造の際の原料費の比較 (高価格ケース)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(単位: 百万 R.s.)										
< 輸入炭使用 >										
原料費	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9
強粘結炭	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0
中粘結炭	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1
弱粘結炭	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3
輸入炭計	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3
合計	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6
原料費の節約 (Rs/トン)										
< SRC使用 >										
原料費	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4
強粘結炭	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0
中粘結炭	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1
弱粘結炭	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7
一般 C	1,377.2	1,369.2	1,361.2	1,353.2	1,345.2	1,337.2	1,329.2	1,321.2	1,313.2	1,305.2
SRC 計	1,916.4	1,908.4	1,900.4	1,892.4	1,884.4	1,876.4	1,868.4	1,860.4	1,852.4	1,844.4
合計	4,467.2	4,448.6	4,429.9	4,411.3	4,392.6	4,374.0	4,355.3	4,336.7	4,318.0	4,299.4
原料費の節約 (Rs/トン)										
原料費の節約 (Rs/トン)	-1,158.2	-1,150.2	-1,142.2	-1,134.2	-1,126.2	-1,118.2	-1,110.2	-1,102.2	-1,094.2	-1,086.2
原料費の節約 (Rs/トン)	-2,599.7	-2,581.0	-2,562.4	-2,543.7	-2,525.1	-2,506.4	-2,487.8	-2,469.1	-2,450.5	-2,431.8
(単位: 百万 R.s.)										
< 輸入炭使用 >										
原料費	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9	209.9
強粘結炭	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0
中粘結炭	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1
弱粘結炭	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3	228.3
輸入炭計	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3	758.3
合計	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6	1,767.6
原料費の節約 (Rs/トン)										
< SRC使用 >										
原料費	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4	158.4
強粘結炭	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0
中粘結炭	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1
弱粘結炭	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7	60.7
一般 C	408.3	400.3	392.3	384.3	376.3	368.3	360.3	352.3	344.3	336.3
SRC 計	947.6	939.6	931.6	923.6	915.6	907.6	899.6	891.6	883.6	875.6
合計	2,208.7	2,190.1	2,171.5	2,152.8	2,134.2	2,115.5	2,096.9	2,078.2	2,059.6	2,040.9
原料費の節約 (Rs/トン)										
原料費の節約 (Rs/トン)	-189.3	-181.3	-173.3	-165.3	-157.3	-149.3	-141.3	-133.3	-125.3	-117.3
原料費の節約 (Rs/トン)	-441.2	-422.5	-403.9	-385.2	-366.6	-347.9	-329.3	-310.6	-292.0	-273.3