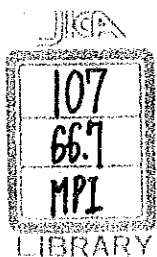


イ ン ド
溶剤精製炭生産計画調査
報 告 書
(要 約)

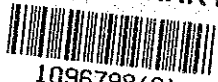
1992年 3 月

国際協力事業団



鉱計工
J R
92-104

JICA LIBRARY



1096798(2)

27686

イ ン ド

溶剤精製炭生産計画調査

報 告 書

(要 約)

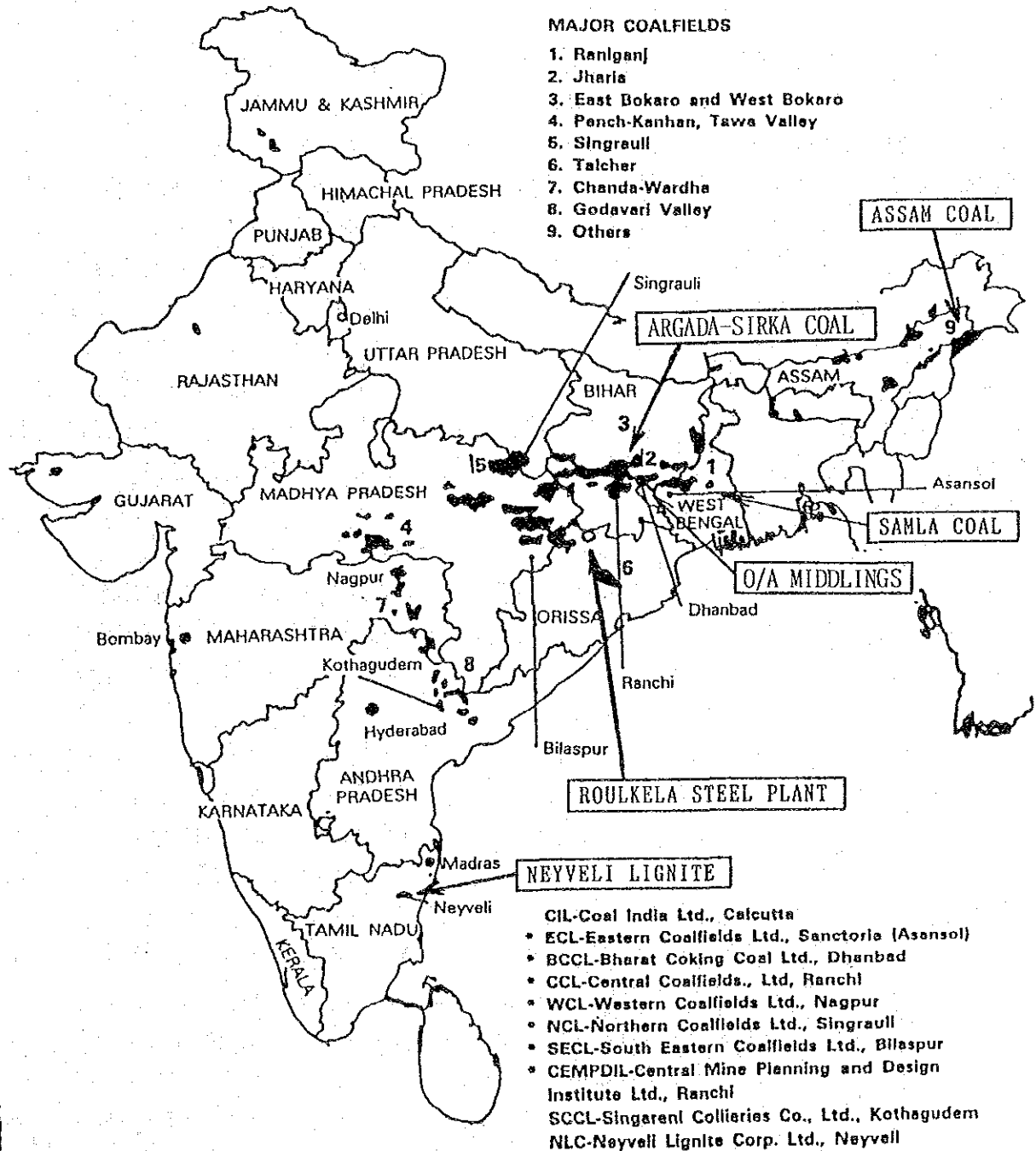
1992年3月

国際協力事業団

国際協力事業団

23686

PROJECT SITES AND MAJOR COALFIELDS OF INDIA



要 約

1. 調査の背景と経緯

インドの製鉄業においては、高炉の生産性向上と大型化を計るに際して、コークス中の灰分低下とコークス強度の向上が重要な課題となっている。現在は低灰分の原料炭を輸入し、配合使用しているが、輸入炭の外貨支出という観点からは望ましくないと判断されている。このために、インド政府は、国内に豊富に賦存する一般炭を利用して、コークス化性を高める低灰分の溶剤精製炭 (SRC) を製造するプロセスの導入について検討していたが、その実証プラント建設プロジェクトに関する F/S の実施を決定し、1989年 3月、日本政府へ技術協力を要請した。

上記要請を受けて、日本政府は、1989年 7月、予備調査団を派遣し、その調査結果を踏まえて、本件の Pre-F/S を実施することを決定した。国際協力事業団は1990年 1月事前調査団を派遣し鉄鋼鉱山省鉄鋼局との間で本調査のための S/W に合意・署名した。

本調査団は S/W に基づき調査方法を作成、それをもとに、1990年 9～10月第 1次現地調査を実施した。この調査においてインド製鉄業、石炭鉱業調査を含む一般調査、実証プラントの建設予定地の調査を行なった。更に SRC の製造試験、コークス製造試験方法について合意に達するとともに、SRC 製造原料となる石炭などの試料を入手した。調査団は帰国後 SRC 製造試験を実施し、その結果を含む中間報告書を作成し1991年 9月第 2次現地調査を実施した。この調査において、SRC 製造用原料炭、実証プラントの建設場所など基本的問題について合意するとともに、インド政府で導入が決定された新工業政策など新しい情報を入手した。またコークス製造試験のための試料の収集を行なった。第 2次現地調査での合意事項、SRC 製造試験結果、コークス製造試験結果を踏まえて、最終報告書 (案) を作成し、1992年 1月第 3次現地調査を行った。

第 3次現地調査においては、財務・経済収益率を向上するために、インド側より SRC 製造用の原料炭の種類及び価格の変更、輸入機器の一部を国産機器へ移管することなどの提案があり、又コークス製造のための石炭配合について、いくつかのケースの追加検討をするよう要請があった。

今回提出する最終報告書は、これらインド側の要請も考慮して作成されたものである。

2. 調査の目的

SRCの製造試験及びその SRCを用いたコークス製造試験並びに SRC実証プラントの概念設計を行い、技術的・財務的・経済的観点より、インドにおける実証プラント設立の可能性を検討するとともに、SRC開発計画を策定する。

3. 調査の概要

- (1) 実証プラントの規模は装入炭一日 500トン（乾炭ベース）とし、建設場所はルールケラー製鉄所とする。

実証プラントを 500トン/日とすることについては事前調査団のインド訪問時に定められ、本格調査において加熱器の一基の能力等も考慮して確認されたものである。

建設場所としてルールケラー製鉄所を選んだ理由は、SRCの開発は SRCの利用者であるSAILが主導権を持つことが望ましいこと、水素源としてコークス炉ガスが利用できること、また生成油の処理設備など SRCとの関連設備があり、関連人材も豊富に持つSAIL傘下のルールケラー製鉄所が望ましいと判断されたことによる。同工場内の SRC実証プラント設置予定場所はFigure 1のとおりである。

- (2) SRC製造用石炭は Assam炭とし、その灰分は 4~6%とする。

SRC製造試験のために日本・インド間で 5炭種が選定された。5炭種の分析結果は Table 1に示す。日本で SRC製造試験を実施した結果はFigure 2に示すように Assam炭は溶解性が極めて優れていること、Lignite、Samla炭がそれに続き、以上 3炭種は SRC製造に利用可能と判断されたが、Argada-Sirkaと O/A Middlingsは生成油の量が少なく残渣が多いことから、実際の運転において循環溶剤量を確保できないと判断され、SRC製造用には不適格と判断された。SRC実証プラントをルールケラー製鉄所内に設置することを予定していることから、遠隔地に存在する Ligniteは輸送面で問題があり、第 1次スクリーンでは Assam炭と Samla炭の 2炭種を選択した。地理的条件を含む供給の面からは Samla炭が好ましいと判断されたが Samla炭から製造された SRCの価格が高くなり、その SRCを利用してコークスを製造する場合コークス価格が現在のコークス製造コストに比較して極めて高くなることが試算されたので、基本ケースとしては Assam炭を採用することにした。日本で分析した Assam炭の灰分は

2.1%と極めて低い数値であったが、第2次現地調査において2.1%は例外的数値であるため、Assam炭の灰分は4~6%とすることで合意された。

なおAssam炭はルールケラーから遠く輸送上不利があるが、地質的埋蔵量は2.4億トンで採掘跡、安全炭柱等を除く採掘対象となる部分の確定炭量は4千万トンであるから量的には問題はない。

(3) コークス製造用の一般炭としては Samla炭を使用する。

SRCとともにコークス製造用石炭に配合される一般炭としては Samla炭は炭化度が低いことから、Samla炭よりも適した石炭がないかとの討議もされたが、代わりになる石炭を特定できず、Samla炭を使用することになった。

(4) 設備費を低減するために固形分離設備を簡略化する。

第2次現地調査においてSRC製造の目的を、第一にSRCを入れることにより必要コークス強度を維持すること、第二にSRCの製造コストを下げることにすることが決定された。即ちSRCの製造コストを下げるためにはSRC中の灰分が若干増加してもやむを得ないとの双方判断から、固形分離設備を濾過方式から遠心分離方式に変更し設備費削減を計った。この方式ではSRC中の灰分は約5%になる。固形分離設備を省略すれば更に設備費は削減されるが、灰分が5%以上になる場合灰分含有量がコークス強度にどのように影響するか不明であり、基本ケースでは遠心分離方式の固形分離設備を設置することにした。なお、固形分離設備のない場合についてもインド側の見解もあり経済性を検証した。

(5) 実証プラントの投資額は基本ケースで約 2.6億 US\$である。

Assam炭100%使用した場合の実証プラントの投資額を Table 2に示す。Table 2では輸入機械に対する輸入税 80%と固形分離設備を含み、コンティンジェンシー、税金、操業前経費、建設中金利などを含む。その場合は現地費用157.53百万\$、外貨費用 97.63百万\$で合計255.16百万\$になる。輸入税をゼロにした場合、固形分離プラントをなくした場合の建設費、更に能力を 1,000 t/d、3,000 t/dにした場合などの建設費は Table 3に示す。

(6) SRC製造コストは基本ケースでトン当り339US\$ (8,710Rs)である。

Table 4に Assam炭100%を原料とした SRCの製造コストを示してある。輸入機械に対する輸入税をゼロにした場合や、固形分離設備をなくした場合の SRCの製造コストは Table 5のとおりである。

Assam炭 50%、Samla炭 50%を混合した場合も検討したが Assam炭100%の場合より SRC製造コストは高くなった (Table 3, 5)。

- (7) SRCを配合することによりコークス強度は高くなる。SRC 1に対して一般炭を 2 (又はそれ以下) の比率で強粘結炭 (輸入炭) と置換する場合は、SRCと一般炭を配合しない現在のコークス強度を維持できる。

Table 6は各種石炭の性状分析を、Table 7にコークス製造試験を行なった石炭の配合比を示している。Table 8に各配合石炭の性状を示す。

A1は SRCと一般炭を配合しない場合で現在ルールケラー製鉄所の石炭の現状配合比のレベルであり、これをベース配合とした。Table 9に各種配合比の石炭を500g乾溜炉を用いて製造したコークスのロガドラム強度を示している。

Figure 3はそれをグラフにしたものである。これらの Tableが示すようにA2

(Samla炭5%、SRC2.5%)、A5 (Samla炭10%、SRC5%) A8 (Samla炭 15%、SRC7.5%) の 3ケースはいずれも Samla炭 2に対して SRC 1の割合であり、ベース配合の場合(A1)の強度ラインをクリアしている。なお、確認のためA1とA5については SC0での乾溜試験を行なった。Table 10に示すようにこの場合もA5のドラム強度はA1の強度を維持している。また、換算式を使ってA1につき SC0の DI_{15}° から 500gr乾溜炉からのコークスロガドラム強度を計算したものは実験データと近似している (Table 12)。ベースケースA1について実炉ベースでの M_{10} を推定すると 9.3となり現在ルールケラー製鉄所で生産されているコークスの M_{10} は11.6であり、SRC添加効果判定のための目標値である ≤ 10.0 をクリアしている (Table 11)。Samla炭の比率を下げた場合はA3 (Samla炭5%、SRC5%)、A6 (Samla炭 10%、SRC7.5%) のようにA1の強度より高い。

Samla炭の代わりに中粘結炭 (MCC)の量を増やした場合は Bのケースであり、B3では MCCの増量分 (65%-40%=25%)に対して SRCの量は6%で、その比率は約 4:1であるがA1の強度をほぼクリアしている。実際には MCC中の灰分が高いため MCCを増量するケースは採用できないが、Samla炭より適した石炭が選択される場合は SRCに対する比率を 2以上にできる可能性を示している。

- (8) SRCを用いた場合のコークス価格は現在のコークス価格を上回り、財務・経済内部収益率は極めて低い。

ルールケラー製鉄所での石炭配合比に近似した配合比、すなわち国内強粘結炭 30%、中粘結炭 40%、輸入炭 30%を比較対象とした場合について、SRCを利用し、石炭配合割合を変更させたいくつかの場合について、灰分含有率、コークス価格、財務・経済内部収益率、外貨収支を各々Table 13、14、15、16に示した。

なお輸入炭にプレミアム (20%)がついた場合についても記載した。A5、B3は日本でコークス製造試験を行い、コークス強度がA1 (ルールケラー製鉄所のコ

ークス強度)に匹敵することが確認されているが、C1、C2については試験を実施していない。しかしC1、C2ともコークス強度はA1に近似したものになると推定される。B3のFIRRはA5、C1、C2より高いが灰分が多いため採用できない。

輸入炭にプレミアムをつける場合はFIRRは当然改善されるが、EIRRはプレミアムを除いて計算するのでプレミアムのない場合と同様低くなる。A5、C1、C2の中ではC2がいちばん結果がよいがそれでもコークス価格はA1より高く、FIRRも1.64%、EIRRも5.22%と低い。

将来民間企業が採用する可能性があるとした輸入炭55%、国内低揮発中粘結炭45%を比較対象とした場合についてはTable 17に示した。この場合FIRRは高くなるが、民間企業がコークス価格が高くなるような石炭の配合を採用するとは考えにくいので、現在検討対象に入れることは不適當であると考えられる。

Table 14にA5の場合については輸入機器に対する輸入税をゼロにした場合、固形分離プラントを除いた場合、能力を1,000 t/d、3,000 t/dにした場合のコークス価格を示した。いずれの場合もコークス価格はA1(現在のコークス価格)にくらべて高い。

また、1,000トン、3,000トンの場合のFIRRは各々マイナス1.89%、プラス2.21%である。建設費を低減させるためのケースについては上記のとおりであるが、その他要因(1)輸入炭が高くなる場合(2)インドの一般炭が安くなる場合(3)投資額が安くなった場合の感度分析の結果をTable 18に示す。

- (9) 国際収支は外資全体を返還すると考える場合は20年間で142百万US\$、輸入機器等に対する外貨を返還する場合は20年間で327百万US\$の外貨節約になる。

Table 16に一日500トンの実証プラントでできたSRCと、一般炭をコークス製造に使用して輸入炭の量を削減して節約される外貨分と実証プラントの総投資額の80%を外資で賄う場合(20%は自己資本)、その外資に対する元本・金利の返済による外貨支出を比較する場合A5については20年で142百万US\$節約になる。投資額の外貨部分の外貨支払を比較する場合は20年間で327百万US\$の節約になる。以上のケースは操業初年度よりいづれも外貨の節約が期待できる。

- (10) 総合的評価としては、技術的にはSRCはコークス強度を上げることが確認され、国際収支面からはプラスの効果は期待されるが、コークスコストや財務内部収益率が示すように採算性は悪い。コークスの品質向上、外貨節約には別の対策もあり、これらとの比較において評価する必要がある。

(11) SRCの開発計画は慎重に検討される必要がある。

SRCの開発計画としては、今回実施した Pre-F/Sの結果を評価し、次の段階であるベンチスケールプラントでの実験を含む本格 F/Sを実施するかどうかの検討が必要である。またその場合は SRCの技術開発と石炭液化や石炭化学の技術開発との関連にも留意する必要があるだろう。

今回の調査では技術的評価、国際収支改善は認められるが経済性からみれば本計画は現在のルールケラー製鉄所でのコークス製造を対象とする場合石炭の配合比を変更しても又商業プラントの規模に拡大しても内部収益率が低い。このため、現在の経済情勢下でベンチスケールプラントを含む本格 F/S調査の実施にすすむことは困難であると考ええる。

なお、将来大幅な条件変化が生じ SRC開発計画が検討される場合本格 F/S調査にはベンチスケールプラントの建設、SRC製造・コークス製造の実験、実証プラントの設計や経済評価などに必要な期間として約 3年が必要である。更に、その結果、実証プラントの建設が決定された場合、プラント建設には約 3.5年を要し、それぞれのステップに入る前の準備期間を考慮すると実証プラントの稼働までには 9~10年は最低必要となろう。

Table 1 ANALYTICAL DATA FOR COAL

Analytical Item	SAMLA Coal	ASSAM Coal	ARGADA-SIRKA Coal	NEYVELI Lignite	OA Middlings	Deoiled OA Coal	Analysis Method
Moisture (As received)	20.4	16.6	11.5	56.4	1.7	--	JIS M 8811
Adherent moisture(wt%)	10.9	14.5	8.4	46.3	0.0	--	
Proximate Analysis	10.7	2.4	3.4	18.8	1.7	1.0	JIS M 8812
Moisture (wt%)	10.7	2.4	3.4	18.8	1.7	1.0	JIS M 8812
Ash content (wt%)	12.6	2.1	17.9	3.5	21.0	26.4	
Volatile matter (wt%)	33.6	41.9	33.6	41.6	32.2	20.8	
Fixed carbon (wt%)	43.1	53.6	45.1	36.1	45.1	51.8	
Calorific Value (daf basis) (kcal/kg)	7870	8380	7940	6610	8930	8400	JIS M 8814
Ultimate Analysis	80.6	83.5	82.8	71.1	86.5	86.2	JIS M 8813
Carbon (wt%)	80.6	83.5	82.8	71.1	86.5	86.2	JIS M 8813
Hydrogen (wt%)	5.1	5.8	5.4	5.0	6.5	4.9	
Oxygen (wt%)	11.4	7.9	9.4	22.3	4.2	6.2	
Nitrogen (wt%)	2.4	1.2	1.5	0.7	1.4	1.9	
Sulphur (wt%)	0.5	1.6	0.9	0.9	1.4	0.8	
Grindability (HGI)	48	47	44	141	--	--	JIS M 8801
Petrographic Analysis	72.8	91.4	50.1	92.5	--	41.2	JIS M 8816
Vitrinite (%)	72.8	91.4	50.1	92.5	--	41.2	JIS M 8816
Exinite (%)	5.5	3.7	8.3	1.9	--	0.9	
Inertinite(%)	13.6	3.3	30.6	2.9	--	41.3	
Minerals (%)	8.1	1.6	11.0	2.7	--	16.6	
Mean Maximum Reflectance (Ro) (%)	0.63	0.72	0.78	0.42	--	1.18	JIS M 8816

Table 2 CAPITAL INVESTMENT COST

- Feedstock Coal: Assam Coal -

Items	Capital Investment Cost, US\$, million		
	Foreign Currency	Local Currency	Total
1. Land & Site Development	-	0.0	0.0
2. Plant Direct Cost	55.75	74.47	130.22
- Equipment and Materials	(52.11)	(50.31)	(102.42)
- Spare Parts	(3.64)	(3.52)	(7.16)
- Erection and Installation Works	(-)	(6.64)	(6.64)
- Civil and Building Works	(-)	(13.87)	(13.87)
- Additional Facilities	(-)	(0.13)	(0.13)
3. Ocean Freight and Insurance	1.35	-	1.35
4. Local Handling and Inland Transportation	-	0.36	0.36
5. Indirect Field Expenses	-	2.21	2.21
6. Engineering Services	12.95	4.64	17.59
- License Fee	(2.71)	(-)	(2.71)
- Basic Design	(0.84)	(-)	(0.84)
- Engineering Services	(6.76)	(3.25)	(10.01)
- Project Management	(2.64)	(1.39)	(4.03)
Base Project Cost - 1991	70.05	81.68	151.73
7. Contingency	5.58	8.13	13.71
- Physical Contingency	(5.58)	(8.13)	(13.71)
- Price Escalation	(Not considered in the analysis)		
8. Tax and Duty	-	61.11	61.11
- Import Duty	-	(50.14)	(50.14)
- Excise Duty, Sales Tax and R & D Cess	-	(10.97)	(10.97)
Erected Plant Cost - 1991	75.63	150.92	226.55
9. Pre-Operation Expenses	-	4.63	4.63
10. Interest during Construction (F:6%)	22.00	-	22.00
11. Initial Working Capital	-	1.98	1.98
Capital Investment Cost - 1991	97.63	157.53	255.16

Table 3 TOTAL CAPITAL INVESTMENT COST

(Unit: US\$ million)

Coal		Assam		Samla	Assam + Samla	
Capacity t/d (Dry Coal)	Import Duty	500	1000	500	500	
	Sep. P.					
80%	Y (Base)	255.16	408.57	848.16	306.65	271.24
0%	Y	200.14				
80%	N	214.03				
0%	N	174.06				

Table 4 SRC PRODUCTION COST
- Assam Coal Base Case -

Inputs and Pricing (CIF at the Plant in 1991 Price Base)

Inputs	Unit		Per Feed Coal(Dry)		Per SRC	Annual as of 2009	
	Unit	Cost	Consumption	Cost	Cost	Consumption	Cost
		\$/Unit	Unit/Unit	\$/Unit	\$/Unit	Unit	\$, million
Raw Material							
- Feedstock Coal (Purchase)	ton	56.02	1.10742	62.04	91.34	182,724	10.236
- Coke Oven Gas	ton	65.42	0.6336	41.45	61.03	104,544	6.839
Utilities							
- Fuel Coal	ton	30.21	0.3984	12.04	17.72	65,736	1.986
- Electricity	kWh	0.0401	62.88	2.52	3.71	10,375 x 10 ⁶	0.416
- Steam(57kg/cm ² G)	ton	9.776	0.48	4.69	6.91	79,200	0.774
- Make-up Water	m ³	0.03	9.60	0.29	0.43	1,584 x 10 ³	0.048
- Nitrogen	Nm ³	0.0288	24.0	0.69	1.02	3,960 x 10 ³	0.114
- Catalyst(Iron Ore)	ton	35.71	0.0309	1.10	1.62	5,100	0.182
- Catalyst (Sulfur)	ton	136.13	0.0074	1.01	1.48	1,212	0.165
- Chem.(Filter Aid)	ton	250.00	0.0112	2.80	4.12	1,848	0.462
- Chemicals, etc.	ton	-	-	-	0.38	-	0.043
(1) Variable Cost	-	-	-	-	189.76	112,063	21.265
Operating Labor	M-Y	2226			2.66	134	0.298
Overhead	Ope. Labor x 50%				1.33	-	0.149
Maintenance(Materials)	E&M, CIF x 1.5%				27.97	-	3.134
(Labor)	M-Y	2227			1.05	53	0.118
Administration (Supplies)	Admi. Staff x 100%				0.45	-	0.050
(Staff)	M-Y	2633			0.45	19	0.050
Tax & Insurance	Book Value x 0.5%				5.89	-	0.661
(2) Direct Fixed Cost	-	-	-	-	39.80	-	4.460
Credits							
- Return Gas	ton	62.93	0.6427	40.45	59.56	106,049	6.674
- Light Distillate	ton	156.20	0.036	5.61	8.26	5,931	0.926
- Middle Distillate	ton	147.22	0.006	0.88	1.25	950	0.140
- Residue	ton	5.266	0.087	0.46	0.67	14,303	0.075
(3) Total Credits	-	-	-	-	69.74	-	7.815
(4) Production Cost = (1)+(2)-(3)					159.82	112,063	17.910
(5) Depreciation & Interest (D & I)	See Item 5.				178.95	-	20.054
(6) Total Production Cost inc. D&I					338.77	112,063	37.964

Table 5 SRC PRODUCTION COST (IN 10 YEARS AFTER START-UP)

Coal		Unit: US\$/t, Dry (Rs/t, Dry)				
Capacity t/d (Dry Coal)	Sep. P.	Assam	Samla	Assam + Samla		
Import Duty						
80%	Y	338.77 (8,710)	500	307.93 (7,917)	515.34 (13,249)	369.59 (9,502)
0%	Y	292.08 (7,509)	500	307.93 (7,917)	515.34 (13,249)	369.59 (9,502)
80%	N	289.88 (7,453)	500	307.93 (7,917)	515.34 (13,249)	369.59 (9,502)
0%	N	255.96 (6,581)	500	307.93 (7,917)	515.34 (13,249)	369.59 (9,502)

Ref: prices of coals:

(Rs/t, Wet)(Rs/t, Dry)

P.C.C. 1,009.92 1,074.38

M.C.C. 995.20 1,073.10

N.C.C. 776.68 940.29

Imp.C. 2,450.00 2,663.04

SRC 8,274.29 8,709.78

Table 6 PROPERTIES OF SINGLE COALS

Brand Name	Proximate Analysis		TS (%, d)	Fluidity					Dilatation							
	Ash	VM		Softening Temperature (°C)	Max. Fluidity Temperature (°C)	Solidifi- cation Temperature (°C)	Log. Max. Fluidity	Softening Temperature (°C)	Tempera- ture of Max. Contraction (°C)	Tempera- ture of Max. Dilatation (°C)	Contraction (%)	Dilatation (%)	Total Dilatation (%)	Ro (%)	II (%)	
																Contraction (%)
Bhojudih	24.00	20.3	0.50	420	463	495	2.07	388	452	470	21	-7	14	1.32	44.1	
Sudamdih	24.20	21.7	0.56	481	449	488	3.08	370	438	448	25	-17	8	1.20	47.9	
Chasnala	17.80	24.8	0.51	400	441	479	2.64	383	442	463	23	-3	20	1.16	50.9	
Kargali	19.50	24.4	0.60	414	452	491	2.62	373	439	448	25	-19	6	1.15	49.9	
Swang	21.80	22.5	0.55	395	446	481	3.30	373	435	471	23	23	46	1.19	51.3	
Rajrappa	20.90	29.5	0.71	394	429	465	3.29	370	438	448	25	-17	8	0.85	48.7	
Imported Coal	9.10	23.8	0.57	413	458	493	2.61	392	440	480	25	78	103	1.19	41.1	
Samla	13.80	34.6	0.45	(Coal Briquetting Not Possible)					365	480	-	16	-16	0	0.56	27.5

Table 7 BLENDING RATIO (%) OF COAL BLEND USED IN THE CARBONIZATION TEST

Brand Name	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	B1	B2	B3
Bhojudih	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	14.55	14.1
Sudamdih	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	9.70	9.4
Chasnala	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.85	4.7
Kargali	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	20.0	19.40	18.8
Swang	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	20.0	19.40	18.8
Rajrappa	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	30.0	29.10	28.2
Imported Coal	30.0	22.5	20.0	17.5	15.0	12.5	10.0	7.5				
Samla		5.0	5.0	10.0	10.0	10.0	15.0	15.0	22.5			
SRC		2.5	5.0	2.5	5.0	7.5	5.0	7.5	7.5		3.00	6.0

Table 8 PROPERTIES OF COAL BLEND FOR 500g CARBONIZATION TEST

No.	Proximate Analysis		TS (%, d)	Fluidity				Dilatation					
	Ash	VM		Softening Temperature (°C)	Max. Fluidity Temperature (°C)	Solidifi- cation Temperature (°C)	Log. Max. Fluidity	Softening Temperature (°C)	Tempera- ture of Max. Contraction (°C)	Tempera- ture of Max. Dilatation (°C)	Contraction Dilatation (%)	Total Dilatation (%)	
													Temperature (°C)
A1	18.0	24.2	0.59	411	458	493	2.85	388	439	455	24	16	40
A2	17.8	25.7	0.59	384	439	478	3.35	355	427	464	25	10	35
A3	17.7	25.6	0.59	394	447	492	3.53	364	426	463	25	8	33
A4	18.3	25.7	0.58	406	453	494	2.95	370	436	457	24	-8	16
A5	18.0	26.6	0.58	397	446	490	3.37	365	428	453	23	-6	17
A6	18.0	27.0	0.57	363	429	479	3.94	343	423	456	22	-1	21
A7	18.4	26.7	0.57	396	446	488	3.24	366	435	453	24	-15	9
A8	18.2	27.2	0.59	377	430	478	3.62	347	426	451	23	-15	8
A9	18.7	28.0	0.59	374	428	470	3.56	363	436	436	25	-25	0
B1	21.6	24.5	0.60	397	441	476	2.83	385	443	459	25	-11	14
B2	20.9	25.3	0.61	403	450	486	3.41	343	425	456	23	-4	19
B3	20.4	25.7	0.62	370	435	480	4.70	364	430	454	22	-4	18

Table 9 RESULTS OF 500g CARBONIZATION TEST

No.	Proximate Analysis		Ash	TS (%, d)	Roga-Drum Strength	True		JIS		MSI
	(%, d)	VM				Specific Gravity	Porosity (%)	Reactivity (%, AG)	Specific Gravity	
A1	23.2	0.7	0.4	70.9	2.01	1.03	48.7	18	25.6	
A2	23.2	0.6	0.4	72.8	2.02	1.07	47.0	20	25.4	
A3	23.3	0.8	0.5	75.5	2.02	1.13	44.1	21	25.3	
A4	23.4	0.7	0.4	65.6	2.02	1.00	50.4	25	26.9	
A5	23.8	0.5	0.4	71.3	2.05	1.10	46.4	26	25.9	
A6	23.5	0.8	0.5	72.8	2.02	1.14	43.6	24	24.6	
A7	24.2	0.6	0.4	65.3	2.02	1.01	49.8	31	25.9	
A8	23.7	0.6	0.5	71.7	2.01	1.08	46.2	27	25.4	
A9	24.8	0.7	0.4	63.8	2.02	1.05	48.3	35	25.5	
B1	27.9	0.5	0.4	67.6	2.05	1.05	48.9	21	26.9	
B2	26.5	0.7	0.5	68.8	2.04	1.08	47.2	17	26.8	
B3	26.4	0.7	0.5	70.2	2.05	1.04	49.0	15	27.3	

Table 10 RESULTS OF SCO TEST

	Proximate Analysis (% ,d)		Size Distribution (%)				Mean Size (mm)	Drum Strength DI ₁₂	Drum Strength DI ₁₅	CRI	CSR			
	Ash	VM (% ,d)	125~100	100~75	75~50	50~38						38~25	<25mm	
A1	23.4	0.7	0.5	4.0	23.4	36.9	23.1	4.4	8.2	60.6	91.0	73.9	23.7	38.8
A5	23.2	0.6	0.5	12.3	21.3	39.5	15.4	4.5	7.0	66.2	91.1	73.0	25.3	40.9

Table 11 RELATION BETWEEN DRUM STRENGTH (SCO) AND M₁₀ (ACTUAL OVEN)

$$DI_{1\frac{1}{2}}^{\circ} (SCO) = 73.9 \text{ (Test Result) Case "A1"}$$

Conversion Equation-3:

$$DI_{1\frac{1}{2}}^{\circ} (\text{Actual Oven}) = 0.884 \times DI_{1\frac{1}{2}}^{\circ} (SCO) + 11.9 = 77.2$$

Conversion Equation-4:

$$M_{10} (\text{Actual Oven}) = -0.43 \times DI_{1\frac{1}{2}}^{\circ} (\text{Actual Oven}) + 42.5 = 9.29$$

$$9.29 \leq 10 \text{ (Target } M_{10}\text{)}$$

Table 12 RELATION BETWEEN DRUM STRENGTH (SCO) AND ROGA-DRUM STRENGTH (500g)

Conversion Equation-2:

$$DI_{1\frac{1}{2}}^{\circ} (SCO) = 0.936 \times \text{Roga-Drum Strength (SCO)} + 0.4$$

$$DI_{1\frac{1}{2}}^{\circ} (SCO) = 73.9 \text{ (Test Result) Roga-Drum Strength (SCO)} = 78.5$$

Conversion Equation-1:

$$\text{Roga-Drum Strength (SCO)} = 0.665 \times \text{Roga-Drum Strength (500g)} + 33.7$$

$$\text{Roga-Drum Strength (500g)} = 67.4 \doteq 70.9 \text{ (Test Result)}$$

Table 13 ASH CONTENT IN COAL AND COKE BY VARIOUS COAL MIXTURE

	Present Ope	Cases Using SRC					
	RSP '90	Test A2	Test A5	Test A8	Test B3	Case C1	Case C2
Ash in Blended Coal [%]	18.2	18.1	18.2	18.3	20.4	18.2	18.3
Ash in Coke [%]	22.7	23.0	23.5	23.9	25.9	23.5	23.7
Coal Blend Ratio [%]							
--PCC	(37.9)	(30.0)	(30.0)	(30.0)	(28.2)	(30.0)	(10.0)
Bhojudih	19.0	15.0	15.0	15.0	14.1	15.0	5.0
Sudamdih	12.6	10.0	10.0	10.0	9.4	10.0	0.0
Chasnala	6.3	5.0	5.0	5.0	4.7	5.0	5.0
--MCC	(32.5)	(40.0)	(40.0)	(40.0)	(65.8)	(47.0)	(72.5)
Kargali	8.1	10.0	10.0	10.0	18.8	10.0	20.0
Swang	8.1	10.0	10.0	10.0	18.8	10.0	20.0
Rajrappa	16.3	20.0	20.0	20.0	28.2	27.0	32.5
--HVC	(0.4)					(10.0)	(5.0)
--IMPORTED COAL	(29.2)	(22.5)	(15.0)	(7.5)	(0.0)	(8.0)	(7.5)
--NCC	(0.0)	(5.0)	(10.0)	(15.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)
--SRC		(2.5)	(5.0)	(7.5)	(6.0)	(5.0)	(5.0)
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

$$[\text{Acoke}] = [\text{Acoal}] / [\text{yield}]$$

$$[\text{yield}] = [\text{yield0}] * f(x) / f(x0)$$

$$f(x) = (98 - 0.84 * [\text{vm}]) * (1 - [\text{wa}])$$

[Acoke]: ash in coke

[Acoal]: ash in coal

[yield]: BF coke yield

[vm]: volatile matter[%]

[wa]: water in coal[-]

f(x): formula estimating coke yield

suffix 0: figure in With-out Case

Case C1 and C2: Blend ratio was given by Indian Side

Table 14 COKE PRODUCTION COST

- Assumption: - In 10 years after start-up
 - Coke Cost Adjusted by Ash Content
 - Coke Cost without SRC of Test-A1: 2,276.9 Rs/t

(Unit: Rs/t)

Coal	Capacity [t dry coal/d]	Case using SRC Imp.Duty	Solid Sep.	Assam +				
				Assam	Samla	Samla	Samla	Samla
				500	1000	3000	500	500
Test A5	80%	Y	Y	2,496.5	2,437.1	2,328.4	2,836.3	2,555.8
Test A5	0%	Y	Y	2,406.6	-	-	-	-
Test A5	80%	N	N	2,402.4	-	-	-	-
Test A5	0%	N	N	2,337.1	-	-	-	-
Test B3	80%	Y	Y	2,350.4	-	-	-	-
Case C1	80%	Y	Y	2,426.6	-	-	-	-
Case C2	80%	Y	Y	2,384.5	-	-	-	-

$$[C_{tot}] = ([C_{mate}] - [C_{bypro}] + [C_{ope}]) * [coke] / [coke0]$$

$$[C_{mate}] = [C_{coal}] / [yield]$$

$$[C_{bypro}] = [C_{bypro0}] * g(x) / g(x0)$$

$$g(x) = 0.84 * [vm] * (1 - [wa]) / f(x)$$

[C_{tot}]: unit coke production cost

[C_{mat}]: unit material cost

[C_{bypro}]: unit by-product credit

[C_{ope}]: unit operating and other cost

[C_{coal}]: unit coal cost

Table 15 FINANCIAL INTERNAL RATE OF RETURN AND ECONOMIC INTERNAL RATE OF RETURN

I. FINANCIAL INTERNAL RATE OF RETURN (FIRR)

Case using SRC	Coal		Sep. P.	Assam			Samla	Assam + Samla		*1
	Capacity t/d (Dry Coal)	Import Duty		500	1000	3000		500	500	
Test A5	80%	Y (Base)		-2.77	-1.89	2.21	-10.69	-4.49	0.77	
Test A5	0%	Y		-0.38					3.38	
Test A5	80%	N		0.18					3.60	
Test A5	0%	N		2.35					5.98	
Test B3	80%	Y		3.24					7.14	
Case C1	80%	Y		0.13					4.25	
Case C2	80%	Y		1.64					5.49	

*1: Case with premium (20%) on imported coal

II. ECONOMIC INTERNAL RATE OF RETURN (EIRR)

Case using SRC	Coal		Sep. P.	Assam		500
	Capacity t/d (Dry Coal)	Import Duty		500	Assam	
Test A5	0%	Y		3.11		
Test B3	0%	Y		1.50		
Case C1	0%	Y		4.02		
Case C2	0%	Y		5.22		

Table 16 FOREIGN CURRENCY SAVING DURING 20 YEARS

Coal		Capacity t/d (Dry Coal)			Assam			Samla	Assam + Samla	(US\$ million)
Case using SRC	Import Duty	Sep. P.	500	1000	3000	500	500	500	500	
Test A5	80%	Y (Base)	141.9 *	430.8	1,858.1					98.2
Test A5	0%	Y	218.6							
Test A5	80%	N	204.4							
Test A5	0%	N	260.0							
Test B3	80%	Y	486.0							
Test C1	80%	Y	382.8							
Test C2	80%	Y	400.0							

* Foreign currency saving is US\$ 327 million in case foreign loan equaling foreign portion only instead of 80% of capital investment cost.

Table 17 FINANCIAL ANALYSIS FOR VARIOUS BLENDS ASSUMED TO BE APPLIED TO PRIVATE SECTOR (P SERIES)

I. ASH CONTENT IN COAL AND COKE

(%)

	W/O SRC	Case P1	Case P2	Case P3
Ash in Blended Coal	14.0	15.3	16.0	16.5
Ash in Coke	17.2	18.7	19.4	20.0
- IMPORTED COAL	(55.0)	(39.0)	(30.0)	(25.0)
- LVMC	(45.0)	(58.0)	(65.0)	(70.0)
- SRC	(0.0)	(3.0)	(5.0)	(5.0)
Total	100.0	100.0	100.0	100.0

II. COKE PRODUCTION COST

	W/O SRC	Case P1	Case P2	Case P3
Coke Production Cost, Rs/t	2,845.5	2,859.7	2,900.9	2,805.4

Notes: - In 10 years after start-up
 - Coke Cost Adjusted by Ash Content

III. FINANCIAL INTERNAL RATE OF RETURN (FIRR)

(%)

	W/O SRC	Case P1	Case P2	Case P3
FIRR w/o Premium	-	4.33	3.37	6.13
FIRR with Premium *	-	8.25	7.24	10.14

* Case with premium (20%) on imported coal

IV. FOREIGN CURRENCY SAVING (FCS) DURING 20 YEARS

	W/O SRC	Case P1	Case P2	Case P3
FCS, US\$, MM	-	543.3	486.0	658.0

Table 18 FINANCIAL I.R.R. SENSITIVE ANALYSIS

(SRC/Samla = 1/2)

(%)

Base Case	Imported Coal		Non-Coking Coal		Investment Cost	
	10% Up	20% Up	10% Down	20% Down	10% Down	20% Down
-2.77	-0.32	1.74	-1.20	0.20	-1.77	-0.65

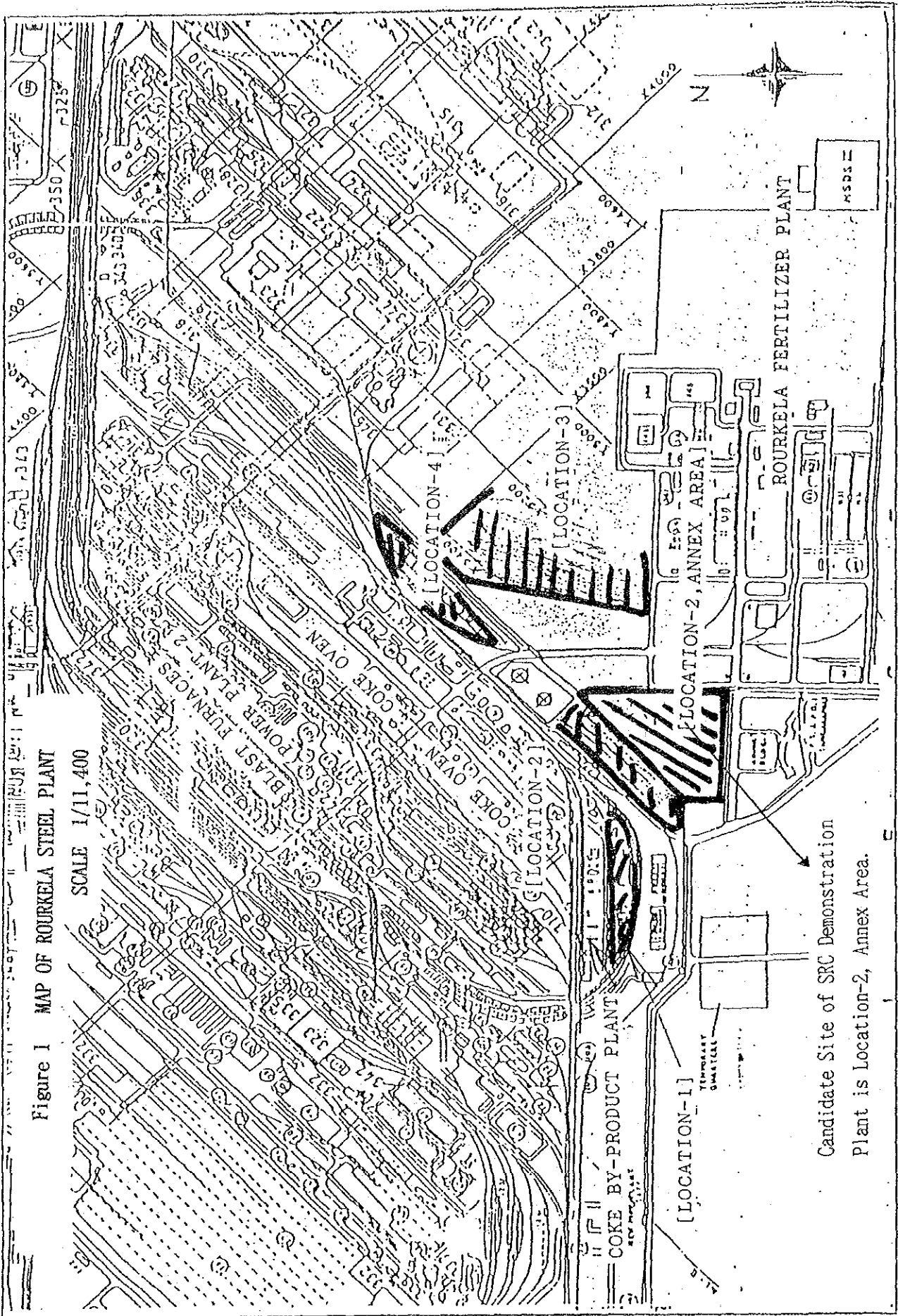


Figure 1 MAP OF ROURKELA STEEL PLANT
SCALE 1/11,400

[LOCATION-1]

COKE BY-PRODUCT PLANT

TEMPORARY QUARTERS

[LOCATION-2]

COKE OVEN - TA COKE OVEN

[LOCATION-3]

COKE OVEN - TA COKE OVEN

[LOCATION-4]

BLAST FURNACES

[LOCATION-2, ANNEX AREA]

ROURKELA FERTILIZER PLANT

Candidate Site of SRC Demonstration Plant is Location-2, Annex Area.

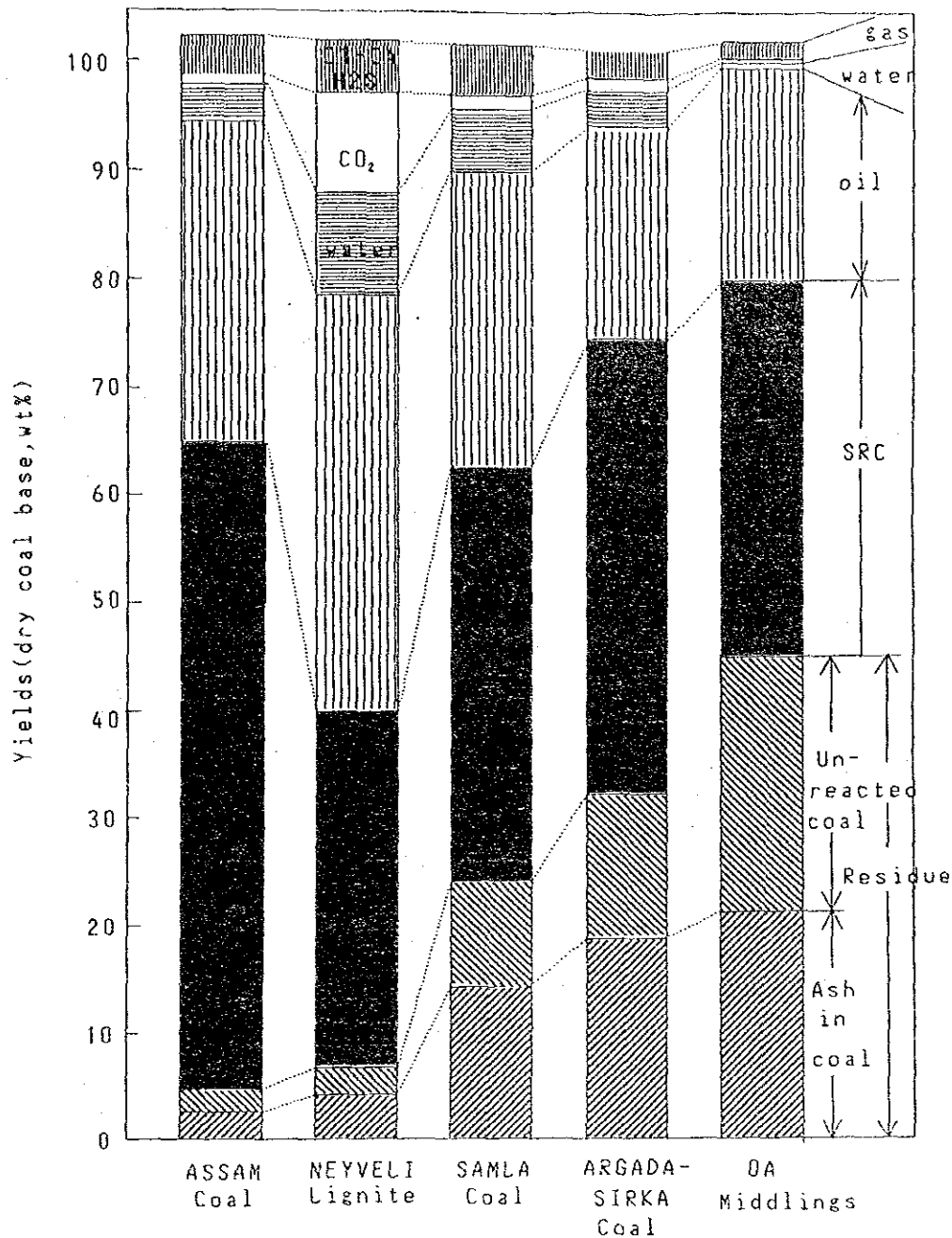


Figure 2 YIELDS OF VARIOUS COALS

(Condition: Tetralin-430°C-60min.-100Kg/cm²G-3wt%)

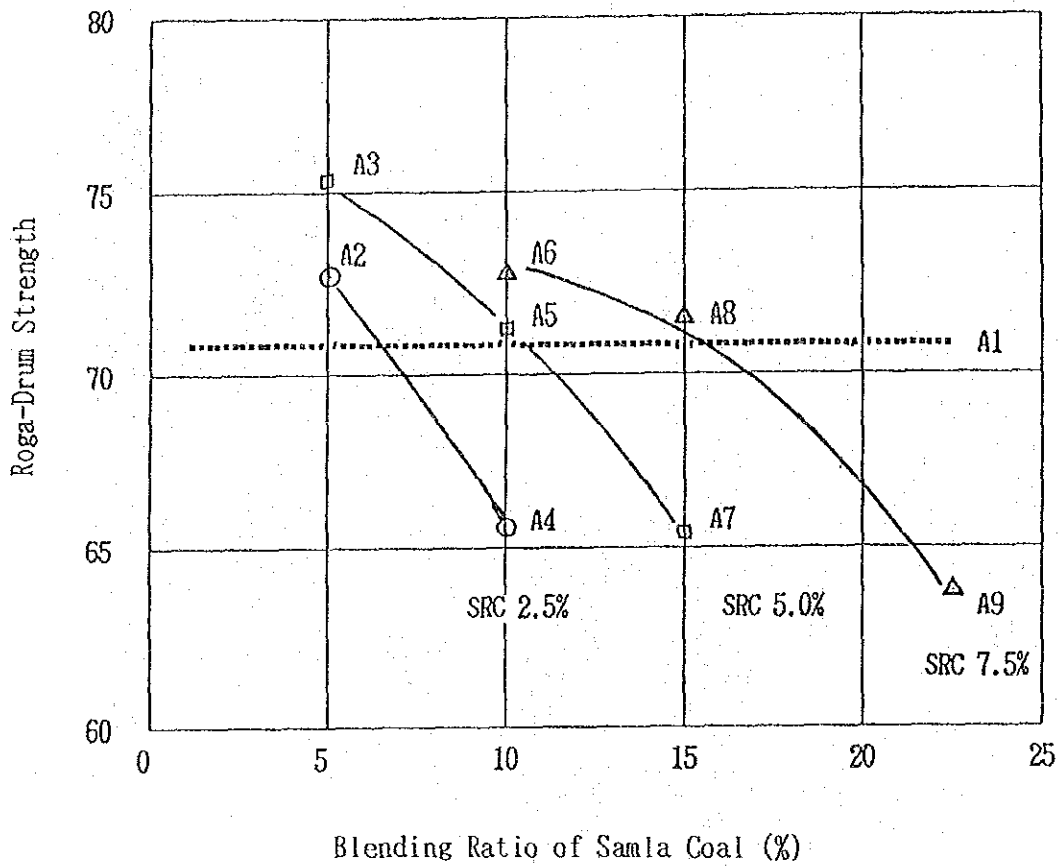


Figure 3 ROGA-DRUM STRENGTH OF COKE PRODUCED WITH BLENDING SAMLA COAL AND SRC

JICA